

ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MALATYA KULUNCAK BÖLGESİ KAYA KALİTESİ TAYİNİ VE ZEMİN
SIVILAŞMALARI

Furkan TARAKÇI

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇANKIRI
2024

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Furkan TARAKÇI tarafından hazırlanan “**Malatya Kuluncak Bölgesi Kaya Kalitesi Tayini ve Zemin Sıvılaşmaları**” adlı tez çalışması 24/06/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Cihan DOĞRUÖZ

Jüri Üyeleri :

Başkan : Doç. Dr. Cihan Doğruöz
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Salih YILMAZ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye : Doç. Dr. Sertaç Oruç
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hamit ALYAR
Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum “**Malatya Kuluncak Bölgesi Kaya Kalitesi Tayini Ve Zemin Sıvılaşmaları**” konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan “Bilimsel İntihal Tespit Programıyla tarandığını, “intihal içermediğini” beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim (24/06/2024).

Furkan TARAKÇI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MALATYA KULUNCAK BÖLGESİ KAYA KALİTESİ TAYİNİ VE ZEMİN SIVILAŞMALARI

Furkan TARAKÇI

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Cihan Doğruöz

Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle farklı fay hatlarına sahiptir. Kuzey Anadolu Fay Hattı, Doğu Anadolu Fay Hattı, Batı Anadolu Fay Hattı ve Güney Anadolu Fay Hattı gibi birçok büyük fay hattı Türkiye'nin fay hatları arasında yer alır. Bu fay hatları, Türkiye'nin neredeyse tamamında deprem riski yaratan büyük kırılma hatlarıdır. Doğu Anadolu Fay Hattı, Türkiye'nin en uzun fay hatlarından biridir ve Türkiye'nin doğusunda uzanmaktadır. Bu fay hattı, 1983'ten bu yana 6 büyük depremle bilinmektedir. Bunlardan bazıları, 2011 Van Depremi, 2020 Elazığ Depremi ve 2023'te yaşanan Gaziantep ve Kahramanmaraş depremleridir. Bu fay hattının en yıkıcı depremlerinden biri olan 2011 Van Depremi, binlerce insanın ölümüne neden olmuştur.

Zemin sıvılaşması ya da zeminde sıvılaşma, yeraltı su seviyesi altındaki tabakaların geçici olarak mukavemetlerini kaybederek, katı yerine viskoz sıvı gibi davranmalarınıdır. Sıvılaşma, deprem gibi dinamik yüklemeler altında gevşek daneli zeminlerde görülen bir olaydır.

Bu tez çalışmasında Dünya genelindeki büyük depremlerin etkisiyle oluşan deprem hasarları ve zemin sıvılaşması üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir. Örneğin, Tayvan'ın en kötü depremlerinden biri olan 1999 Chi Chi depreminde meydana gelen sıvılaşma, 1993 Japonya Hokkaido limanında yanal yayılma nedeniyle oluşan hasar, California'da Most Landing depremindeki yanal yayılma, 1995 Kobe limanındaki hasar, 1991 Kosta Rika depreminde oluşan hasarlar, 1990 Lozan depreminde oluşan hasarlar, 1994 Northridge depremi sonrası meydana gelen hasarlar, 1990 Bakugan Filipinler depreminde oluşan hasarlar, 1993 Guam depremi ile oluşan hasarlar, 1995 Manzanillo Meksika depremi ile oluşan hasarlar incelenmiştir.

Bu tez çalışmasında ayrıca, Büyük depremler neticesinde ülkemizdeki zemin sıvılaşmasının önemi de incelenmiştir. Örneğin, Türkiye'de 1999 Kocaeli depreminde Adapazarı'nda meydana gelen zemin sıvılaşması, 2011 Van depremi Erciş'e bağlı Çelebibağı beldesinde Kumluk mevkiinde yaşanan sıvılaşma, Elazığ'da 17 Şubat 2023 tarihinde Yol Üstü ve Uzunova köylerinde görülen zemin sıvılaşması, 6 Şubat 2023 depremleri sonrasında Antakya'da Gölbaşı ve Türkoğlu bölgelerinde meydana gelen zemin sıvılaşması incelenmiştir.

Ayrıca, 6 Şubat 2023 depremleri sonrasında TOKİ'nin yeniden yaşam alanlarının inşası çalışmalarından biri olan Malatya Kuluncak ilçesinde yapılacak konutların zeminleri incelenmiş, zeminden alınan numunelerin kaya kütle sınıflandırması (RQD) değerlendirmesi yapılarak zemin yapısı hakkında bilgi edinilmiştir.

2024, 150 sayfa

ANAHTAR KELİMELEER: sıvılaşma, deprem, zemin inceleme, deney, analiz, kaya kütle sınıflandırma (RQD)

ABSTRACT

Master of Science Thesis

MALATYA KULUNCAK REGION ROCK QUALITY DETERMINATION AND GROUND LIQUECUTION

FURKAN TARAKÇI

Çankırı Karatekin University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Advisor: Doç. Dr. Cihan Doğruöz

Türkiye has different fault lines due to its home location. Many major fault lines such as the North Anatolian Fault Line, East Anatolian Fault Line, West Anatolian Fault Line and South Anatolian Fault Line are among the fault lines of Turkey. These fault lines are major fracture lines that create an earthquake risk in almost all of Turkey. The Eastern Anatolian Fault Line is one of Turkey's longest fault lines and extends across Turkey. This fault line is known for 6 major earthquakes since 1983. Some of these are the 2011 Van Earthquake, the 2020 Elazığ Earthquake and the Gaziantep and Kahramanmaraş earthquakes in 2023. The 2011 Van Earthquake, one of the most severe earthquakes on this fault line, caused the death of thousands of people.

Liquefaction of the ground or liquefaction of the ground indicates the temporary durability of the layers at the water level, acting as a viscous liquid rather than a solid. Liquefaction is a phenomenon seen in granular soils operating under dynamic loading such as earthquakes.

In this thesis, Studies on earthquake damage and ground liquefaction caused by major earthquakes around the world were examined. For example, liquefaction in the 1999 Chi Chi earthquake, one of Taiwan's worst earthquakes, damage caused by lateral spreading in the Hokkaido port of Japan in 1993, lateral spreading in the Most Landing earthquake in California, damage in the Kobe port in 1995, damage in the 1991 Costa Rica earthquake in 1990. The damages caused by the Lausanne earthquake, the damages after the 1994 Northridge earthquake, the damages caused by the 1990 Bakugan Philippines earthquake, the damages caused by the 1993 Guam earthquake, the damages caused by the 1995 Manzanilo Mexico earthquake were examined.

The importance of soil liquefaction in our country as a result of major earthquakes was also examined. In this thesis, For example, the ground liquefaction that occurred in Adapazarı during the 1999 Kocaeli earthquake in Turkey, the liquefaction that occurred in Kumluk locality in Çelebibağı town of Erciş in the 2011 Van earthquake, the ground liquefaction that occurred in Yol Üstü and Uzunova villages in Elazığ on February 17, 2023, and the earthquakes of February 6, 2023. Afterwards, the soil liquefaction that occurred in Gölbaşı and Türkoğlu regions of Antakya was examined.

In addition, the floors of the houses to be built in Malatya Kuluncak district, which is one of TOKİ's reconstruction works of living spaces after the February 6, 2023 earthquakes, were examined and information about the ground structure was obtained by making RQD evaluation of the samples taken from the ground.

2024, 150 pages

Keywords: liquefaction, earthquake, ground inspection, experiment, analysis, Rock Quality Designation (RQD)

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle zaman zaman can ve mal kayıplarıyla sonuçlanan büyük depremlere maruz kalmıştır. Bu depremlerin neden olduğu zemin bozulmaları ve sıvılaşma olgusunu inceleme sürecimde her zaman destek olan ve yol gösteren Doçent Dr. Cihan DOĞRUÖZ hocama teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca desteğini hiç esirgemeyen ve her zaman yanımda olan babam Kenan TARAKÇI'ya, annem Filiz TARAKÇI'ya ve kardeşim Melike TARAKÇI'ya da teşekkür ederim.

Furkan TARAKÇI

Çankırı, Haziran 2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1.GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı	3
1.2 Çalışmanın Alanı	3
2.LİTERATÜR ÖZETİ	4
3.DEPREM RİSKİ VE KAYIPLARA MARUZ KALMA	9
3.1 Deprem Kayıpları: Doğrudan ve Dolaylı.....	10
4.ZEMİN ETKİLERİ	11
4.1 Sıvılaşma.....	12
4.2 Sıvılaşmanın İlkeleri	12
4.3 Sıvılaşma Duyarlılığı	13
4.4 Kalıcı Zemin Deformasyonu.....	14
4.5 Deprem Kaynaklı Sıvılaşmadan Kaynaklanan Hasar	15
4.5.1 Depremlerde sıvılaşmanın meydana gelmesi.....	15
4.5.2 Sıvılaşmanın neden olduğu bina hasarı.....	16
4.5.3 Sıvılaşmanın neden olduğu taşıma kesintisi	24
4.5.4 Yaşam hatlarında sıvılaşmanın neden olduğu hasar	28
4.6 Hasar Nedenleri Olarak Zemin Arızası ve Zemin Sarsıntısı	30
4.6.1 Yer sarsıntısından kaynaklanan hasar.....	30
4.6.2 Yer sarsıntısı ile yer arızasından kaynaklanan hasar	32
4.7 Deprem Tehlikeleri ve Yapılı Çevreye Verilen Zararların Özeti	36
4.8 Kayıp Modellemeye Yönelik Çıkarımlar	389
5.ADAPAZARI'NDA TOPRAK KESİNTİSİNDEN KAYNAKLANAN KAYIPLAR	434
5.1 1999 Kocaeli Depremi	456
5.1.1 Kuvvetli hareket verileri formun üstü.....	478
5.1.2 Adapazarı kuvvetli hareketi	54
5.2 Vaka Çalışmasının Arka Planı	589

5.3 Adapazarı'nda Deprem Hasarı.....	601
5.3.1 Toprak arızası bölgelerinde hasar.....	601
5.3.2 Jeoteknik inceleme verileri	612
5.3.3 Bina hasarı verileri	63
5.3.4 Temel ve yapısal hasar	667
5.4 Yer Sarsıntısından Kaynaklanan Deprem Hasarının Tahmini	689
5.4.1 Bina sınıflandırması	689
5.4.2 Talep eğrileri	689
5.4.3 Sarsıntının neden olduğu kayıplar.....	712
5.5 Sıvılaşmadan Kaynaklanan Deprem Hasarının Tahmini	767
5.5.1 Basitleştirilmiş 'artırımlı' metodoloji.....	778
5.5.2 HAZUS metodolojisi	789
5.6 Değerlendirmeler	845
6. SIVILAŞMAYA KARŞI HASSASİYETİN ARTIRILMASI	889
6.1 Zemin Deformasyon Talebi.....	889
6.2 Bina Sınıflandırması	90
6.2.1 Temel sınıflandırması.....	90
6.2.2 Yapısal sınıflandırma.....	92
6.3 Binanın Sıvılaşmaya Karşı Tepkisi	912
6.4 Zemin Deformasyonuna Karşı Rijit Gövde Tepkisi.....	934
6.4.1 Temel yerleşimi.....	945
6.4.2 Yanal serpmme	967
6.4.3 Zemin deformasyonuna karşı rijit gövde tepkisinin onarımı	98
6.5 Esnek Altlıktaki Diferansiyel Hareketlerden Kaynaklanan Yapısal Hasar	1001
6.5.1 Farklı yerleşimler	1012
6.5.2 Yanal serpmme	1045
6.6 Bina Hasarı Durumları.....	1056
6.6.1 Deprem hasar ölçeklerinin gereklilikleri.....	1067
6.7 Farklı Temel Hareketlerinden Kaynaklanan Hasarların Değerlendirilmesi	1078
6.8 Zemin Kesintisi ve Zemin Sarsıntısının Etkileşimi	1089
6.9 Örnek Olay İncelemesi	1112
7. ELAZIĞ İLİ YOLÜSTÜ VE UZUNOVA ÇEVRESİNİN SIVILAŞMASI	115
7.1 Elazığ'ın Yolüstü ve Uzunova Köyleri	115
7.2 Bölge Coğrafyası	115
7.3 Bölge ile İlgili Çalışmalar	117
7.4 Sıvılaşma Potansiyeli Nedir ve Neden Önemlidir?.....	120

7.5 Jeolojik ve Jeoteknik Özelliklerin Değerlendirilmesi	120
7.6 Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesi.....	120
7.7 Risk Yönetimi ve Önlemler	121
8. MALATYA KULUNCAK İLÇESİ TOKİ KONUTLARININ ZEMİN İNCELEMELERİ..	122
8.1 Araştırmanın Amacı ve Kapsamı	122
8.2 Jeomorfolojik ve Çevresel Bilgiler	122
8.3 Ada ile İlgili Bilgiler	123
8.4 Arazi Çalışmaları	124
8.5 Zeminlerin İncelenmesinde RQD Yöntemi.....	124
8.5.1 RQD nedir?	124
8.5.2 RQD nasıl belirlenir?	125
8.5.3 RQD'nin kullanım alanları ve önemi	125
8.5.4 Sondajlar	126
8.5.5 Alınan numunelerin RQD değerlerinin incelenmesi	127
8.6 Değerlendirmeler	134
9. SONUÇLAR	135
9.1 Kayıp Tahminlerinde Sıvılaşma	135
9.2 Önceki Depremlerden Edinilen Tecrübeler.....	136
9.3 Sınırsız Bir Hasar Ölçeği	137
9.4 Zemin Hatası Nedeniyle Bina Hasarı.....	138
9.5 Sıvılaşabilir Bölgelerde Zemin-Yapı Etkileşiminin Sayısal Modellenmesi	138
9.6 Sıvılaşabilir Bölgelerdeki Kayıpların Tahminine Yönelik Basitleştirilmiş Bir Yaklaşım	139
9.7 Diğer İleri Çalışmalar	139
9.8 Yorumların Kapatılması	140
KAYNAKLAR.....	141
ÖZGEÇMİŞ	150

SİMGELER DİZİNİ

T	Yanıt süresi/süreleri
Sa	Spektral ivme
Fc	Gelen frekans
m/s ²	İvme
V	Hız
Vs	Kayma dalgası hızı
PGD	Tepe yer değıştirmesi
PGA	En yüksek yer ivmesi
Mw	Moment büyüklüğü
Rjb	Fay kopmasının yüzey izdüşümünde sahadan en yakın noktaya kadar olan yatay mesafe
RQD	Kaya kütlesi tanımı

KISALTMALAR DİZİNİ

m	Metre
Cm	Santimetre
Km	Kilometre
Km ²	Kilometrekare
EEFIT	Deprem Mühendisliği Saha Araştırma Ekibi
FEMA	Federal Acil Durum Yönetim Ajansı
PEER	Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi
DASK	Doğal Afet Sigortaları Kurumu
NEHRP	Ulusal Deprem Tehlikesini Azaltma Programı
EMS	Avrupa Makrosismik (yoğunluk) Ölçeği
ATC	California için Deprem Hasar Değerlendirme Verileri
SPT	Standart Penetrasyon Testi
CPT	Koni Penetrasyon Testi
RC	Betonarme
Sd	Spektral Yer Değiştirme
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
JGS	Japon Geoteknik Derneği
M	Deprem Moment Büyüklüğü
RQD	Kaya Kalitesi Tanımı
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1 Yerleşik binanın bitişiğindeki zeminin şişmesi.....	17
Şekil 4.2 Gözlemlenebilir yaklaşık 30 cm'lik temel oturması.....	17
Şekil 4.3 Sıvılaşmanın neden olduğu Sapanca Otel'i'nin su baskını	18
Şekil 4.4 Eğimli bina, Sedat Sokak, Adapazarı merkez 1999	19
Şekil 4.5 1999 Chi-Chi sonrasında bir teknik okul binasında sıvılaşmanın neden olduğu hasar	20
Şekil 4.6 California Moss Landing'deki Marina Araştırma Tesisinde sıvılaşmanın neden olduğu hasar	21
Şekil 4.7 17 Ocak 1995 depreminin ardından Kobe'de yükseltilmiş bir ulaşım bağlantısı	22
Şekil 4.8 Yanal yayılmaya çok yakın hasarsız evler, Kobe, Ashiya bölgesi.....	23
Şekil 4.9 1990 Luzon depreminden sonra Dagupan'daki Magsaysay Köprüsü'nün çöküşü.	25
Şekil 4.10 Japonya'da sıvılaşmaya bağlı temel deformasyonlarından kaynaklanan 1999'daki 6,9 Mw Kobe depreminin ardından Nishinomaya Köprüsü'nde meydana gelen çöken açıklık	25
Şekil 4.11 1995 yılında Kobe Limanı'nda ıslah edilen dolguların sıvılaşması operasyonların askıya alınması.....	267
Şekil 4.12 1994 Northridge depremi sonrası	30
Şekil 4.13 1995 depreminin ardından Kobe bölgesinde en ağır bina hasarına sahip alanları ve sıvılaşma alanlarını gösteren harita.....	33
Şekil 4.14 1995 Manzanillo, Meksika depremi sonrasında Jaluco'da hasar gören bir bina	345
Şekil 4.15 Deprem bina stoğuna verdiği hasarın nedenleri a) Birincil neden b) ikincil neden	367
Şekil 4.16 Köprüler ve yollarda ulaşım hasarı ve aksamalarının nedenleri	378
Şekil 4.17 Taşıma hariç yaşam hattı hasarı ve aksama nedenleri	389
Şekil 4.18 Ön kayıp modellemesi	412
Şekil 5.1 Adapazarı merkezde sıvılaşma nedeniyle yana yatmış bina.	434
Şekil 5.2 Yer sarsıntısı nedeniyle çökme.....	445
Şekil 5.3 Türkiye Haritası	456
Şekil 5.4 Kuzey Anadolu Fayı'nın bölgesel tektonik yapısı ve iki fayın kırılması 1999 depremleri.....	467

Şekil 5.5 Türkiye Ulusal Afet Yardım Merkezi tarafından hazırlanan 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin MSK şiddetindeki izosizmal haritası.....	478
Şekil 5.6 Marmara Denizi bölgesindeki kuvvetli yer hareketi istasyonlarının konumu.....	489
Şekil 5.7 17 Ağustos 1999 depremi için PGA.....	501
Şekil 5.8 Boore ve arkadaşlarının (1997) rastgele yatay bileşen ve Guikan ve Kalkan (2002) PGA ile en büyük bileşen karşılaştırılması	512
Şekil 5.9 Boore vd., (1997), Özbey vd., (2004) ve Guikan ve Kalkan'ın (2002) karşılaştırılması.....	534
Şekil 5.10 Adapazarı ve diğer etkilenen şehirlerin fay konumu, deprem merkez üssü ve kuvvetli yer hareketi istasyonlarına göre konumu	545
Şekil 5.11 Adapazarı'nın güneybatısındaki istasyon.....	556
Şekil 5.12 İlçeler içindeki hasarları, araştırma veri hatlarını ve verileri gösteren Adapazarı haritası.....	567
Şekil 5.13 Çark Bulvarı boyunca yapısal olarak hasar görmüş binaların görünümü	60
Şekil 5.14 1'den 4'e kadar olan araştırma hatlarının bölümlerini gösteren Adapazarı haritası.....	623
Şekil 5.15 Bina hasarının alçak ve orta katlı betonarme çerçevelere dağılımı	655
Şekil 5.16 Yapısal hasarın ve zemin çökmesi hasarının binalarda göreceli dağılımı	678
Şekil 5.17 Formüller	70
Şekil 5.18 Adapazarı merkezi için, fay kırılmasından 7 km uzaklıkta, Mw=7,4 için talep eğrileri.....	701
Şekil 5.19 Adapazarı merkezde tahmin edilen ve gözlemlenen hasar	723
Şekil 5.20 Yumuşak zeminlerdeki bireysel inceleme bölgeleri için gözlemlenen hasar dağılımları	767
Şekil 5.21 Adapazarı merkezde zemin sınıfları için perde duvar modeli kullanılarak tahmin edilen hasar	778
Şekil 5.22 HAZUS zemin göçmesi metodolojisinin Adapazarı merkeze uygulanması..	80
Şekil 5.23 İncelenen binalar için zemin arızası dağılımı	812
Şekil 5.24 Zemin göçmelerindeki sığ temeller için HAZUS kırılma eğrisi.....	823
Şekil 5.25 Sıvılaşma kaynaklı oturma için tahmini hasar dağılımı	834
Şekil 5.26 Adapazarı merkezde hem yer sarsıntısı hem de deprem nedeniyle tahmini hasar	845
Şekil 6.1 (a) Adapazarı şehir merkezinde sert sığ temeller üzerindeki bir binanın devrilmesi ve (b) aynı binanın temellerinin yakından görünümü	901
Şekil 6.2 Bir binada sıvılaşmanın neden olduğu farklı hasar türlerinin özeti	912
Şekil 6.3 Sıvılaşmadan kaynaklı zemin deformasyonlarının neden olduğu 'yapısal hasar'	934

Şekil 6.4 (a) Kolonların oturması nedeniyle iç döşemede yapısal olmayan hasar ve altta yatan toprağın şişmesi, (b) Zeminin şematik gösterimi	945
Şekil 6.5 (a) Adapazarı'nda sert temeller üzerinde olduğu anlaşılan bir binanın düzgün yerleşimi ve (b) sert temeller üzerindeki binaların üniformaya tepkisinin şematik gösterimi	956
Şekil 6.6 Sert temeller üzerindeki bir binanın diferansiyel etkilere tepkisinin şematik gösterimi	956
Şekil 6.7 Radye temel üzerindeki bir binanın altındaki toprağın yatay olarak yayılması ile yer değiştirme ve bazı dikey hareketler.....	967
Şekil 6.8 Adapazarı'nda yaklaşık 140 cm'lik farklı oturmaya maruz kalan bina	100
Şekil 6.9 1999'daki Chi-Chi depreminden sonra Wu-feng, Tayvan'daki apartman binası	100
Şekil 6.10 SeismoStruct'tan (SeismoSoft, 2004) hesaplanan deforme şekil örneği	1012
Şekil 6.11 Adapazarı'nda sığ temeller üzerinde olduğu düşünülen ahşap ve tuğladan yapılmış bir yapı.	1012
Şekil 6.12 Esnek sığ alanlı tek açıklıklı betonarme çerçeve binanın idealleştirilmiş davranışı	1023
Şekil 6.13 Esnek sığ zeminde çok açıklıklı betonarme çerçeve binanın idealleştirilmiş davranışı	1034
Şekil 6.14 Çok açıklıklı betonarme çerçeve binanın farklı oturmalara idealleştirilmiş tepkisi.....	1045
Şekil 6.15 Esnek sığ temellere sahip betonarme çerçeve binanın idealleştirilmiş tepkisi (a) ilişkili dikey bileşen olmadan (b) ilişkili dikey bileşenle (ölçeksiz)	1056
Şekil 6.16 Bir yapısal eleman için kuvvet: yer değiştirme yollarının şematik gösterimi	10910
Şekil 6.17 Yer sarsıntısı ve ardından sıvılaşma nedeniyle oluşan kümülatif yapısal hasar	1101
Şekil 6.18 Yalnızca yer sarsıntısından veya yalnızca sıvılaşmanın neden olduğu farklı oturmalarından kaynaklanan hasar dağılımlarının karşılaştırılması	1134
Şekil 6.19 Yukarıda listelenen (i), (iii) ve (iv) hasar senaryolarının karşılaştırılması ..	1145
Şekil 7.1 Yolüstü köyü konumu.....	116
Şekil 7.2 Uzunova köyü konumu	116
Şekil 7.3 Fay hattındaki zemin sıvılaşması.....	117
Şekil 8.1 Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler mahallesi çalışma alanı ada vaziyet planı.....	123
Şekil 8.2 Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler mahallesi çalışma alanı Sondaj Noktaları Lokasyonu.....	126

Şekil 8.3 Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler mahallesi çalışma alanı sondaj makinesi çalışması	127
Şekil 8.4 Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler mahallesi çalışma alanı sandığa alınan numuneler	128
Şekil 8.5 Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler mahallesi çalışma alanı sandığa alınan numuneler	128
Şekil 8.6 Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler mahallesi çalışma alanı sandığa alınan numuneler	129
Şekil 8.7 Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler mahallesi çalışma alanı sandığa alınan numuneler	130
Şekil 8.8 Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler mahallesi çalışma alanı sandığa alınan numuneler	131
Şekil 8.9 Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler mahallesi çalışma alanı sandığa alınan numuneler	131
Şekil 8.10 Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler mahallesi çalışma alanı sandığa alınan numuneler	132
Şekil 8.11 Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler mahallesi çalışma alanı sandığa alınan numuneler	133
Şekil 8.12 Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler mahallesi çalışma alanı sandığa alınan numuneler	133
Şekil 8.13 Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler mahallesi çalışma alanı sandığa alınan numuneler	134

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 5.1 17 Ağustos 1999 Kocaeli ana şokunun Kuvvetli Hareket Kayıtları	50
Çizelge 5.2 Adapazarı merkezindeki tahmini yüzey PGA'sı (fay kırılmasından 7 km), hariç sivilaşmanın etkileri	578
Çizelge 5.3 Yapısal hasar indeksinin, HAZUS hasar ölçeğiyle ilişkilendirilen hasar araştırmaları	634
Çizelge 5.4 Topraklama Arızası Endeksi	645
Çizelge 5.5 Adapazarı merkez için farklı kayıp modellerinin karşılaştırılması	856



1.GİRİŞ

Depremeler, dünyanın dört bir yanında yıkıcı etkilere sahip doğal afetlerdir. Yer kabuğundaki hareketler sonucunda ortaya çıkan depremler, çoğu zaman can ve mal kaybına neden olurlar. Bununla birlikte, deprem sırasında ortaya çıkan ve yaygın olarak bilinmeyen diğer bir tehdit ise zemin sıvılaşmasıdır. Zemin sıvılaşması, depremin etkisiyle kumlu veya killi toprakların su ile doymuş hale gelmesi ve sertliğini kaybetmesi sonucu ortaya çıkan bir olgudur.

Bu çalışmada, depremde zemin sıvılaşmasının ne olduğu, nasıl meydana geldiği, etkileri ve önlemleri incelenmiştir. Sıvılaşma, deprem sarsıntısı veya diğer hızlı yüklemeler nedeniyle zeminin mukavemetinin ve sertliğinin azaldığı bir olgudur. Bu olgu dünya çapındaki tarihi depremlerde büyük hasarlara yol açmıştır. Sıvılaşma, doymuş zeminlerde, yani tek tek parçacıklar arasındaki boşlukların tamamen suyla dolu olduğu zeminlerde meydana gelir. Bu su, toprak parçacıkları üzerinde, parçacıkların kendilerinin ne kadar sıkı bir şekilde birbirine bastırıldığını etkileyen bir basınç uygular. Deprem öncesi su basıncı nispeten düşüktür, ancak deprem sarsıntısı, su basıncının toprak parçacıklarının birbirine göre kolayca hareket edebileceği noktaya kadar artmasına neden olabilir. Bu durumda, büyük bir çökmeye, kırılmaya ve zemin yüzeyinin yatay kaymasına neden olabilir. Binaların ve diğer yapıların altında meydana gelen sıvılaşma, deprem sırasında büyük hasara neden olabilir.

Zemin sıvılaşmasının etkilerini azaltmak için bir dizi önlem alınabilir. Öncelikle, binaların sağlam temeller üzerine inşa edilmesi önemlidir. Bu, zemin sıvılaşması durumunda binaların daha az zarar görmesini sağlayabilir. Ayrıca, zemin sıvılaşmasını azaltmak için su seviyesinin düşürülmesi veya drenaj sistemlerinin kurulması gibi hidrolik mühendislik çözümleri de uygulanabilir. Deprem öncesi ve sonrası yapılan detaylı risk analizleri de önemlidir, böylece risk altındaki alanlar belirlenip gerekli önlemler alınabilir.

Depremde zemin sıvılaşması, yıkıcı bir fenomen olup ciddi can ve mal kayıplarına neden olabilir. Kumlu veya killi toprakların su ile doymuş hale gelmesi sonucu ortaya çıkan bu olay, deprem hazırlık ve risk yönetimi açısından önemli bir konudur. Sağlam yapılar inşa

etmek, su seviyesini kontrol altında tutmak ve risk analizleri yapmak gibi önlemler alınarak zemin sıvılaşmasının etkileri azaltılabilir ve deprem sonrası toparlanma süreci daha etkin bir şekilde yönetilebilir.

Depremde zemin sıvılaşması konusu, sadece bilim insanlarının değil, aynı zamanda toplumun her kesiminin dikkatini çeken ve üzerinde çalışması gereken bir alandır. Bu fenomen hakkında daha fazla araştırma yapılması ve alınacak önlemlerin artırılması, depremlerin etkilerini en aza indirmek adına hayati öneme sahiptir.

Türkiye'de, büyük depremler sonucunda sıvılaşmanın önemi açıkça görülmüştür. Örneğin, 1999 Kocaeli Depreminde Adapazarı'nda meydana gelen zemin sıvılaşması binalarda şimdiye kadar görülmemiş ölçüde hasara neden olmuştur. Adapazarı'nda yeraltı su seviyesinin yüksek olması ve zeminin siltli kil olması, zemin sıvılaşmasının ortaya çıkmasında önemli bir rol oynamıştır. Önemli deprem hasarı görmeyen yapıların bazıları birkaç metre zemine batarken, bazılarında devrilmeye varan dönmeler meydana gelmiştir. Benzer şekilde, 2011 Van Depremi Erçiş'e bağlı Çelebibağ Beldesinde Kumluk mevkiinde sıvılaşma sonucu zemin yüzeyinde kum konileri ve derin çatlaklar oluşmuş ve sıvılaşmaya bağlı yanal yayılmalar gelişmiştir. Elazığ'da 17 Şubat 2023 günü 18.34'te, merkez üssü Yolüstü Köyü olan 4.6 büyüklüğünde deprem meydana geldi. Uzunova ve Yolüstü köyleri Fırat Nehrine çok yakın olması ve kumun çok seyrek olması ve su seviyesinin yüksek olması nedeniyle 4,6 şiddetindeki deprem sıvılaşma meydana getirmişti. 6 Şubat 2023 Depremleri Sonrası Antakya'da, Gölbaşı'nda ve Türkoğlu'nda zemin sıvılaşması görülmüştür. Zemin, temel ve yapı deformasyonlarının, istinat yapılarının, şevlerin ve boş arazilerin ciddi anlamda etkilendiği gözlemlenmiştir. Zeminin dinamik davranışı ve sahaya özel davranış analizi sismik tasarımda önemlidir ve ilgili bilim dallarının disiplinler arası çalışarak deprem dayanıklı yapılar ve kentler kurulma çalışmalarının yapılması önemlidir.

RQD (Rock Quality Designation), jeoteknik mühendislik ve madencilikte kullanılan bir ölçümdür ve kaya kütlesinin dayanıklılığını ve kusurlarını değerlendirmek için kullanılır. RQD, genellikle sondaj verileri üzerinden belirlenir ve kaya kütlesinin ne kadar homojen olduğunu, içindeki çatlakların ve kırıkların durumunu anlamak için önemli bir gösterge olarak kabul edilir. Bu ölçüm, kaya kütlesinin mühendislik projelerindeki davranışını

tahmin etmek ve özellikle tünel inşaatı, madencilik faaliyetleri, baraj yapımı gibi büyük altyapı projelerinde kullanılan kaya mekaniği analizlerinde temel bir parametre olarak kullanılır. RQD'nin yüksek olması, kaya kütlesinin daha sağlam ve dayanıklı olduğunu, düşük olması ise daha fazla çatlak ve kırık içerdiğini gösterir. Bu bilgiler, mühendislerin uygun inşaat tekniklerini seçmelerine ve yapısal tasarımlarını optimize etmelerine yardımcı olur. RQD uygulaması, jeoteknik mühendislik disiplininde kritik bir rol oynamakta olup, güvenli ve sağlam altyapıların tasarlanması ve inşa edilmesinde önemli bir araç olarak kabul edilir.

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu tezin özel amacı, depremden kaynaklı kaybın zemin bileşenini incelemektir. Sıvılaşma gibi zemin göçmelerine duyarlı alanlar, bina hasarına etkili olabilir. Bu durum, 1999 yılında Kocaeli depremi, 2011 Van depremi, 17 ubat 2023 Elazığ depremi ve 6 ubat 2023 depremleri de dahil olmak üzere geçmiş depremlerde defalarca görülmüştür. Sıvılamadan kaynaklanan zemin deformasyonları, farklı oturmaları içerir. Binaların bu deformasyonlara maruz kalması, temellerine ve taşıyıcı sistemlerine bağlıdır. Deprem kayıpları göz önüne alındığında, sıvılaan zeminlerin varlığından dolayı dikkatli olunması açıktır. Tez, zeminden kaynaklanan kayıpların ilgili pratik konularla dikkate alınması, kayıp çalışmalarının incelenmesine yöneliktir ve öneriler sağlamayı amaçlamaktadır.

1.2 Çalışmanın Alanı

Bu çalışmada dünya genelinde ve Türkiye'de meydana gelmiş büyük depremlerin etkisiyle oluşan hasarlar ve zemin sıvılaşması incelenmiştir.

Türkiye'de ubat 2023 depremleri sonrasında yeniden yapılacak afet konutları projelerinden biri olan Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler Mahallesi'nde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Zeminden alınan numuneler RQD yöntemiyle incelenmiş ve zemin türü ve kalitesi hakkında araştırma yapılmıştır.

2.LİTERATÜR ÖZETİ

“Malatya Kuluncak Bölgesi Kaya Kalitesi Tayini Ve Zemin Sıvılaşmaları” adlı tez çalışmasında ulusal ve uluslararası literatür taranarak konuyla alakalı öncel çalışmalar incelenmiştir. Aşağıda incelenen bu çalışmaların kısa bir özeti sunulmuştur. Adalier ve Aydingun (2001), 1998 Adana-Ceyhan depreminin yapısal mühendislik yönlerini ele almışlardır. AIJ (2001), Türkiye'deki 1999 Kocaeli depreminin hasarını araştırmıştır. Ambraseys, Simpson ve Bommer (1996), Avrupa'da yatay tepki spektrumlarının tahmin edilmesi üzerine bir çalışma sunmuşlardır. Ambraseys vd. (2002), Avrupa'da güçlü hareket verilerini içeren bir internet sitesi hakkında bilgi vermişlerdir. Anderson ve ark. (2000), 1999 Kocaeli depreminin sismik tehlike analizine etkilerini incelemişlerdir. Bakir, Sucuoglu ve Yilmaz (2002), 1999 İzmit depreminde Adapazarı'nda görülen yerel site etkilerini ve bina hasarlarını özetlemişlerdir. Bardet ve Kapuskar (1993), 1989 Loma Prieta depreminde meydana gelen sıvılaşma sonucu kum kaynaklarının analizini sunmuşlardır. Bardet ve Seed (2000), 1999 Kocaeli depremindeki toprak sıvılaşması, toprak kaymaları ve çökmeler üzerine bir inceleme yapmışlardır. Berrill ve Yasuda (2002), sıvılaşma ile kazık temelleri arasındaki ilişkiye odaklanan çalışmaları ele almışlardır. Berrill, Beetham ve Tanaka (1993), 1993 Hokkaido-Nansei-Oki depreminde sıvılaşma sonucu oluşan örnekleri incelemişlerdir. Bird, Sancio, Bray ve Bommer (2004), Adapazarı'nda yer alan zemin başarısızlığının deprem kaybı tahminlerindeki etkilerini ele almışlardır. Bommer vd. (2002a), Türk Felaket Sigortası için bir kayıp modelinin geliştirilmesi üzerine bir çalışma sunmuşlardır. Boore, Joyner ve Fumal (1997), Batı Kuzey Amerika depremlerinden elde edilen verilere dayanarak yatay tepki spektrumları ve tepe ivme tahminleri için denklemler sunmuşlardır. Booth, Bird ve Spence (2004), Türkiye'de bir vaka çalışması üzerinde yapı zayıflık değerlendirme pushover yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Booth, Chandler, Wong ve Coburn (1991), Luzon, Filipinler depremi (1990) üzerine saha raporu sunmuş ve yapısal mühendisler tarafından yapılan incelemeleri paylaşmışlardır. Boulanger ve Idriss (2004), penetrasyon direncinin normalize edilmesi ve üzerindeki toprak yükünün sıvılaşma direncine etkisi üzerine odaklanmış bir çalışmadır. Boulanger, Mejia ve Idriss (1997), Loma Prieta Depremi sırasında Moss Landing'de meydana gelen sıvılaşma olaylarını incelemişlerdir. Bray ve Stewart (2000), Kocaeli, Türkiye'deki 1999 depremi hakkında bir keşif raporu sunmuş ve

Adapazarı'daki hasar desenleri ile temel performansını ele almışlardır. Bray vd. (2001), Adapazarı, Türkiye'de zemin başarısızlıklarını ve 2001 Nisqually Depremi'nin jeoteknik yönlerini içeren gözlemler sunmuşlardır. BRE (2003), binaların eğilmesi ve ilerleyici temel hareketleri konusuna odaklanan bir Building Research Establishment raporudur. Burland ve Wroth (1975), yapıların oturması ve bu durumun neden olduğu hasarlar üzerine detaylı bir çalışma sunmuşlardır. Cetin vd. (2002), Kocaeli (İzmit) depremi sırasında Hotel Sapanca'da meydana gelen sıvılaşma kaynaklı zemin deformasyonlarını incelemiştir. CIA (2004), Central Intelligence Agency tarafından yayımlanan World Factbook 2004'tür, dünya genelinde ülke bilgileri ve istatistikler içermektedir. Coburn ve Spence (2002), "Earthquake Protection" adlı kitap, deprem mühendisliği ve risk azaltma stratejileri konusunda kapsamlı bir kaynaktır. Comartin (Ed.) (1995), 1993 Guam depremi hakkında keşif raporunu içeren bir çalışmadır. Crowley, Pinho ve Bommer (2004), deprem kayıplarının tahmini için olasılıksal yer değiştirme tabanlı kırılma değerlendirme prosedürü üzerine çalışmışlardır. Earthquake Spectra (1995), deprem mühendisliği ve afet yönetimi konularını içeren bir çalışmadır. EEFIT (2003), 1999 Kocaeli, Türkiye depremi üzerine saha incelemelerini içeren bir rapordur. EERC (1995), Japonya'daki 1995 Hyogoken-Nanbu depreminin jeoteknik etkileri üzerine bir rapordur. EERI (2003), Tecoman, Colima, Meksika depremi üzerine yapılan gözlemleri içeren özel bir deprem raporudur. EQE (1990), Filipinler'deki 1990 depremi hakkında EQE tarafından hazırlanan hızlı bir rapordur. Erdik (2000), 1999 Kocaeli ve Düzce depremleri hakkında bir internet raporudur ve güçlü yer hareketlerini ele almaktadır. Erdik ve Durukal (2001), İstanbul'da düzenlenen bir konferansta sunulan ve 1999 Kocaeli ve Düzce depremleri üzerine dersler içeren bir makaledir. FEMA (1997), NEHRP (Ulusal Deprem Tehlikesi Azaltma Programı) kılavuzları çerçevesinde binaların deprem güçlendirme yönergelerini içeren bir rapordur. FEMA (2001), HAZUS99 SR-2 Teknik El Kitapları adlı yazılımın deprem sonrası zarar ve kayıp tahminlerini yapmak için kullanılan teknik belgelerini içermektedir. FEMA (2003), HAZUS-MH Teknik El Kitapları'nda Amerika Birleşik Devletleri için afet zarar tahmin modeli HAZUS-MH'nin teknik detaylarını sunmaktadır. Gülkan ve Kalkan (2002), Türkiye'deki son depremlerin azalma modellemesi üzerine bir çalışmadır; bu makalede yerel deprem verileri analiz edilmiştir. Grünthal (Ed.) (1998), Avrupa makroseismik ölçeği 1998'e dair bir yayındır ve depremlerin etkilerini sınıflandıran standart bir ölçek sunar. Gülkan vd. (2004),

Adapazarı, Türkiye'de yapısal hasar gelişimi üzerine bir arka plan raporudur; zeminlerle ilişkilendirilmiş bina hasarı için bir inceleme yöntemi sunmuşlardır. Haldar ve Leuttich (1985), zemin sıvılaşması nedeniyle oluşan deprem hasarı üzerine bir çalışma sunmuş ve zarar analizini alt yapı ile ilişkilendirmiştir. Hamada ve O'Rourke (Eds) (1992), geçmiş depremlerde sıvılaşma ve altyapı performansı üzerine vaka çalışmalarını içeren bir teknik rapordur. Hopkins vd. (1991), Filipinler'deki 1990 depremi hakkında Yeni Zelanda Deprem Mühendisliği Ulusal Derneği keşif ekibinin saha raporudur. Idriss (1991), yumuşak zemin sitelerindeki deprem yer hareketlerini ele alan bir çalışmadır. Ishihara ve Yoshimine (1992), depremler sırasında sıvılaşma sonucu kum yataklarında meydana gelen oturmaların değerlendirilmesi üzerine bir çalışma sunmuşlardır. Ishihara vd. (1992), İran'daki Manjil depremi (1990) sırasında ortaya çıkan zemin mekaniği konularını inceleyen bir makaledir. JSCE (2001), El Salvador'daki 13 Ocak 2001 depremi hakkında Japonya Yapısal Mühendisler Derneği tarafından yayımlanan bir rapordur. Juarez Garcia vd. (1997), Meksika'nın Manzanillo şehrindeki 9 Ekim 1995 depremi üzerine Seismological Research Letters dergisinde yayımlanan bir makaledir. Kehoe, B.E. (1998), 6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı'nda sunulan bir çalışmada, deprem sonrası hasar değerlendirmelerinde karşıt konuları ele almıştır. Kudo, K., Kanno, T., Okada, H., Ozel, O., Erdik, M., Sasatani, T., Higashi, S., Takahashi, M. & Yoshida, K. (2002), Kocaeli, Türkiye'deki 17 Ağustos 1999 depremi sırasında bir dizi gözlemlerle elde edilen güçlü yer hareketlerini site özgü konularla ele alan bir makaledir. Lettis, W., Bachhuber, J. & Witter, R. (2000), Kocaeli, Türkiye'deki 17 Ağustos 1999 depremi üzerine bir keşif raporudur ve özellikle yüzey fay kırılmasına odaklanmıştır. Lew, M., Naeim, F., Huang, S.C., Lam, H.K. & Carpenter, L.D. (2000), Tayvan'daki 21 Eylül 1999 Chi-Chi depreminin jeoteknik ve jeolojik etkilerini inceleyen bir makaledir. Lopez, F.J. (2002), Pavia Üniversitesi ROSE Okulu'nda sunulan bir yüksek lisans tezidir ve sıvılaşmanın üstündeki yapıları yer sarsıntılarından koruyup korumadığını araştırmıştır. Lund, L.V. (1996), Kuzeyridge, California'daki 17 Ocak 1994 depreminde yaşamsal altyapı tesislerinin performansını detaylı bir şekilde inceleyen bir makaledir. Marino, G.G. (1997), deprem hasarı inceleme, değerlendirme ve onarımı üzerine kapsamlı bir kitaptır. Matsui, T. & Oda, K. (1996), yapıların temel hasarları üzerine odaklanan bir çalışma, Soils and Foundations dergisinin özel sayısında yayımlanmıştır. Matsui, T., Mitamura, M., Sakagami, T., Shimizu, F., Hamada, T., Tanaka, Y., Suwa, S., Tsurukawa, H. &

Takeishi, A. (2001), Kobe depremi (1995) sırasında bazı hasar faktörlerinin yapısal hasarlarla ilişkisini araştıran bir makaledir. Mejia, L.H., Hughes, D.K. & Sun, J.I. (1992), Loma Prieta depremi sırasında Moss Landing'deki sıvılaşma olaylarını incelemiştir. Naeim, F. & Lew, M. (2000), Temel Deprem Mühendisliği Dergisi'nde yayımlanan bir makalede, 1999 yılında dünya genelinde meydana gelen deprem felaketlerini değerlendirmişlerdir. Orense, R., Vargas-Monge, W. & Cepeda, J. (2002), El Salvador'daki 13 Ocak 2001 depreminin jeoteknik yönlerini Soils and Foundations dergisinde detaylı bir şekilde ele almışlardır. O'Rourke, T. & Hamada, M. (Eds) (1992), SUNY Buffalo Ulusal Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi tarafından yayımlanan bir teknik rapordur ve geçmiş depremlerde sıvılaşma ile altyapı performansını içeren vaka çalışmalarını detaylandırmaktadır. O'Rourke, T.D., Chang, J-F & Lin, M-L (2000), MCEER (Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi) tarafından yayımlanan bir keşif raporudur ve Chi-Chi, Tayvan depremi (21 Eylül 1999) sırasında jeoteknik konuları ele almaktadır. Ozbey, C., Sari, A., Manuel, L., Erdik, M. & Fahjan, Y. (2004), Soil Dynamics and Earthquake Engineering dergisinde yayımlanan bir makaledir ve Kuzeybatı Türkiye'deki yer hareketlerini rastgele etkiler yaklaşımıyla inceleyen bir empirik zayıflama ilişkisini sunmaktadır. Park, R., *et al.* (1995), Yeni Zelanda Deprem Mühendisliği Ulusal Derneği keşif ekibinin raporudur ve Hyogo-ken Nanbu depremi (Hanshin depremi) hakkında bilgi sağlamaktadır. Rathje, E.M., Stokoe, K.H. & Rosenblad, B. (2003), Earthquake Spectra dergisinde yayımlanan bir makaledir ve Türkiye'deki 1999 depremleri sırasında güçlü yer hareketi istasyonlarının karakterizasyonunu ve site etkilerini incelemektedir. Restrepo, J.I. & Cowan, H.A. (2000), Yeni Zelanda Deprem Mühendisliği Derneği Bülteni'nde yayımlanan bir çalışmadır ve Kolombiya'nın "Eje Cafetero" bölgesindeki 25 Ocak 1999 depremi üzerine odaklanmıştır. Rodriguez-Marek, A. & Edwards, C.L. (Eds.) (2003), Earthquake Spectra dergisinin özel sayısında yayımlanan bir keşif raporudur ve Güney Peru'da 23 Haziran 2001 tarihinde meydana gelen deprem hakkında detaylı bilgi sunmaktadır. Sancio, R.B., *et al.* (2002), Soil Dynamics and Earthquake Engineering dergisinde yayımlanan bir makaledir ve Adapazarı, Türkiye'de zemin başarısızlığı ile zemin koşulları arasındaki ilişkiyi araştırmaktadır. Sancio, R.B. (2003), California Üniversitesi, Berkeley tarafından yayımlanan bir doktora tezidir ve Adapazarı, Türkiye'deki zemin başarısızlığı ve bina performansını detaylandırmaktadır. Sancio, R.B., *et al.* (2004), 13. Dünya Deprem

Mühendisliği Konferansı'nda sunulan bir çalışmadır ve Adapazarı, Türkiye'deki sıvılaşabilir zeminler üzerindeki bina performansını incelemektedir. Schiff, A.J. & Tang, A.K. (Eds) (2000), ASCE tarafından yayımlanan bir monografi olup, Chi-Chi, Tayvan depremi (21 Eylül 1999) ve altyapı performansı hakkında kapsamlı bilgi sağlamaktadır. Schiff, A. J. (Ed.) (1991), Earthquake Spectra dergisinin özel sayısında yayımlanan bir rapordur ve Filipinler'deki bir deprem keşif raporunu detaylandırmaktadır. Seed, R.B., *et al.* (1990), California Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi tarafından yayımlanan bir ön rapordur ve Loma Prieta depreminin ana zemin mühendisliği yönlerini ele almaktadır. Seed, R.B., Dickenson, S.E. & Idriss, I.M. (1991), Soils and Foundations dergisinde yayımlanan bir çalışmadır ve 1989 Loma Prieta depreminin ana zemin mühendisliği yönlerini detaylandırmaktadır. SeismoSoft (2004), SeismoStruct adlı çerçeveli yapıların statik ve dinamik olmayan analizleri için bir bilgisayar programıdır ve SeismoSoft tarafından geliştirilmiştir. Shibata, T., Oka, F. & Ozawa, Y. (1996), Soils & Foundations dergisinin özel sayısında yayımlanan bir çalışmadır ve sıvılaşmanın neden olduğu zemin deformasyonlarının özelliklerini araştırmaktadır. Singh, M.P., *et al.* (2002), Earthquake Spectra dergisinin özel sayısında yayımlanan bir keşif raporudur ve 2001 Bhuj, Hindistan depremi hakkında ayrıntılı bilgi sunmaktadır. Spence, R., *et al.* (2002), Yedinci Amerikan Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı'nda sunulan bir çalışmadır ve Türkiye'de seismik kayıp tahmini için yapılan çalışmaları içermektedir. Spence, R.J., *et al.* (2003), Bulletin of Earthquake Engineering dergisinde yayımlanan bir makaledir ve Kocaeli depremi (1999) sonrası kayıp tahminleri ile gözlemlenen hasarın karşılaştırılmasını detaylandırmaktadır. Spudich, P., *et al.* (1999), Bulletin of the Seismological Society of America dergisinde yayımlanan SEA99, sismik hareket tahmin ilişkisinin revize edilmiş versiyonudur ve ileri analizler sunmaktadır. Stewart, J.P. (2001), Earthquake Spectra dergisinin özel sayısında yayımlanan bir keşif raporudur ve Chi-Chi, Tayvan depremi (1999) sırasında soil liquefaction konusunu detaylandırmaktadır. Stewart, J.P., *et al.* (2001), California Üniversitesi, Berkeley tarafından yayımlanan PEER Rapor 2001/09'da performans bazlı tasarım için zemin hareketi değerlendirme prosedürlerini ele almaktadır. Stojanovski, P., Shah, H. & Dong, W. (2003), Avrupa Deprem Mühendisliği'nde yayımlanan "40 Yıl: Skopje Depremi" başlıklı kitapta yer alan bir çalışma olup, deprem mühendisliği ile sigorta arasındaki ilişkiyi incelemektedir. Sucuoglu, H. (2002), Journal of Seismology dergisinde yayımlanan bir makaledir ve

Türkiye'deki 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinden kaynaklanan yakın saha güçlü hareketlerin mühendislik özelliklerini araştırmaktadır. Tokimatsu, K. & Asaka, Y. (1998), Soils & Foundations dergisinin özel sayısında yayımlanan bir çalışmadır ve 1998 Hyogoken-Nambu depreminde sivilaşma nedeniyle oluşan zemin deplasmanlarının kazık performansına etkilerini analiz etmektedir. Wallace, J.W. (2001), Earthquake Spectra dergisinin özel sayısında yayımlanan bir keşif raporudur ve Chi-Chi, Tayvan depremi (1999) sırasında karayolu köprüleri üzerine odaklanmış bir bölüm içermektedir. Yamazaki, F., *et al.* (1995), Pasifik Deprem Mühendisliği Konferansı'nda sunulan bir çalışma olup, Japonya'daki son beş önemli depremin gözden geçirilmesini ele almaktadır. Yoshida, N., *et al.* (2001), Soils and Foundations dergisinde yayımlanan bir makaledir ve 1999 Kocaeli, Türkiye depreminde Adapazarı şehrindeki zemin mühendisliği açısından hasarın detaylı bir şekilde incelenmesini sağlamaktadır. Youd, T. L. & Perkins, D.M. (1978), ASCE'nin Geoteknik Mühendislik Bölümü Dergisi'nde yayımlanan bir çalışmadır ve sivilaşma nedeniyle oluşan zemin başarısızlık potansiyelini haritalamaktadır. Youd, T. L., *et al.* (2000), Earthquake Spectra dergisinin özel sayısında yayımlanan bir keşif raporudur ve 1999 Kocaeli, Türkiye depremi hakkında ayrıntılı bilgi sunmaktadır. Youd, T.L., Chung, R.M. & Harp, E.L. (1995), Earthquake Spectra dergisinin özel sayısında yayımlanan bir rapordur ve 1993 Hokkaido-Nansei-Oki depremi ve tsunami sırasında sivilaşma ve diğer zemin mühendisliği etkilerini detaylandırmaktadır. Youngs, R.R. *et al.*, (2003), Earthquake Spectra dergisinde yayımlanan bir makaledir ve olasılıksal fay deplasman tehlike analizi (PFDHA) metodolojisini açıklamaktadır.

3.DEPREM RİSKİ VE KAYIPLARA MARUZ KALMA

Deprem riski ve kayıplara maruz kalma konusu, kayıpların depremlere dayanıklı tasarımlar sayesinde önlenmesinin hala acil bir gereklilik olduğunu göstermektedir. Ancak, bölgesel etkinin belirli bölgeler açısından önemli olduğu unutulmamalıdır. Depremlerde yüksek potansiyelli kayıplara sahip olan alanların belirlenmesi amacıyla acil durum planlamasına dikkat edilmelidir. Deprem riskinin kontrol altına alınması ve en temelde dikkate alınması gereken bir husustur. Küresel bazda deprem tehlikesi varlığını sürdürse de bu tehlikenin geçici olarak önemli ölçüde değişmemesi durumunda, belirli bir tehlike seviyesi devam etmektedir. Küresel akım, iş arayanların kırsal bölgelerden şehirlere göç etmesi yönündedir. Kentsel alanların kontrolsüz bir şekilde genişlemesi ve önemli bir artışa neden olması dikkate değerdir. Risk, beklenen kayıpların bir ölçüsü olarak değerlendirilir. Nüfusun yoğunlaştığı bir bölgenin karşı karşıya olduğu temel riskler; ölümler ve kayıplar, binaların çökmesi ve hasar görmesi, enerji santrali veya barajların zarar görmesi, doğrudan ve dolaylı gelir kaybı ile bir bölgenin veya bölgelerin ekonomisinin uzun vadeli etkileri şeklinde sıralanabilir.

3.1 Deprem Kayıpları: Doğrudan ve Dolaylı

Bir deprem kaybı tahmininin çıktısı şu özellikleri içermektedir:

1. Doğrudan hasar: Sismik tehlike düzeyi, binaların bölgesel envanteri, altyapı ve her bir unsurun mühendislik davranışının anlaşılmasıdır. Her bir gruptaki hasar düzeyine ilişkin bir tahmin elde etmek için envanter birleştirilir. Bir bölgedeki yapılar, hasar durumlarına göre sınıflandırılır. Doğrudan yapısal hasar, yani bir yapının yük taşıyan yapısal elemanlarının hasar görmesi anlamına gelir. Bina ve yapısal olmayan hasarlar, yük taşımayan bileşenler, bağlantı parçaları, bina içeriği gibi hasarlardır.
2. Dolaylı hasar: Dolaylı hasar, binalara verilen hasarın ikincil etkisidir. Tesisler veya yaşam hatlarına verilen zararlar dolaylı hasar olarak kabul edilir. Dolaylı hasar örnekleri arasında deprem sonrası çıkan yangınlar, tehlikeli madde sızıntıları veya bir barajın veya setin arızalanması nedeniyle su baskını olası durumlarıdır.

3. Ekonomik kayıp: Bu genellikle onarım veya değiştirme maliyetiyle ölçölür. Hasarlı binalar ve işlerin aksaması nedeniyle oluşan kayıplardır. Bina hasarı, yaşam hattındaki kesintiler veya müşteri siparişlerinin yavaşlaması gibi daha az somut durumlar, bunların hepsi işletmeler için gelir kaybına yol açacaktır.



4.ZEMİN ETKİLERİ

Yerel zemin koşullarının ana kaya yer hareketi üzerindeki etkisi iyi bilinmektedir. Yüzeye yakın yumuşak veya gevşek topraklar genellikle deprem periyodunu artırır. Yumuşak zeminlerin varlığı, potansiyel olarak en çok uzun veya esnek yapılara zarar verebilir.

4.1 Sıvılaşma

Bu bölümde sıvılaşmanın esasları ve değerlendirilmesi sunulmaktadır. Sıvılaşma, sıvılaşan zemin kütlesinin yatay hareketine yol açabilen akış arızasını ifade eder. Deprem sarsıntısı sırasında artan yanıl hareketler nedeniyle yanıl yayılma ve dikey yer değişimleri oluşur. Sıvılaşmanın hasara yol açma potansiyeli aşağıdaki aşamalarla değerlendirilir:

- Çevresel faktörler gibi su tablasının konumu.
- Zeminin çökelme ve sismik yükleme geçmişi.
- Toprak özellikleri, nispi yoğunluk, tane boyutu dağılımı, mineraloji ve herhangi bir çimentolama maddesinin varlığı.
- Söz konusu depremin özellikleri, esas olarak zeminin sallanma genliği ve süresi.

4.2 Sıvılaşmanın İlkeleri

Doymuş kohezyonsuz bir zemin döngüsel olarak yüklendiğinde parçacık yapısı çökme eğilimi gösterebilir. Hızlı deprem yüklemesi sırasında drenaj meydana gelemez, daha sonra çökme gerçekleştiğinde gerilmeler ortaya çıkar. Toprak tanecikleri temas ettiği yerden gözenek suyuna aktarılarak gözenek suyunda basınç artışına neden olur. Basit bir ifadeyle, boşluk suyu basıncı arttığında, yüzeydeki efektif gerilmeler artar ve parçacık yapısı azaldıkça toprağın kayma direnci azalır. Sıvılaşan kumun gerilme-gerinim davranışı büyük oranda bağıl yoğunluğuna bağlıdır. Gevşek kum sıvılaştığında, yerçekimsel statik kayma gerilmeleri oluşur ve zeminin kayma direncini aşabilir, bu da çok büyük kayma deformasyonlarına ve hızlı deformasyonlara yol açabilir; buna akış deformasyonu denir. Zeminin davranışı, sıvılaşan zeminin akış deformasyonu sırasında sergilediği kesme direncidir. Orta derecede yoğun taneli zeminler periyodik olarak kesildiğinde, boşluk suyu basınçları benzer şekilde yükselebilir ve sıvılaşma tetiklenebilir. Ancak, toprağın parçacık yapısı belirli bir seviyeye ulaştıkça zemin genişlemeye çalışabilir. Kayma gerilimi, dilatatif davranış olarak adlandırılır. Drenajsız

koşullar için bu durum, boşluk suyu basınçları, efektif gerilme ve kayma direncinde buna karşılık gelen bir artıştır. Deprem sırasında kayma gerilmesinin tersine çevrilmesi birçok kez meydana gelebilir, zemin parçacık yapısının giderek daralması ve sıfır efektif gerilme durumu geçici olarak bir kez daha olabilir. Bu, sürekli sıfır etkili stres döngüsü ve gücün yeniden kazanılması ve buna eşlik eden zemin deformasyonuna çevrimsel hareketlilik olarak adlandırılır. Özellikle sallama süresi uzunsa, kümülatif deformasyonlar önemli olabilir. Ancak, dilatatif zeminler, büzülmeli zeminlerde olduğu gibi çok büyük akış deformasyonları sergilemezler. Kum kaynamaları, aşırı boşluk suyu basınçlarının yukarıya doğru yayılma eğiliminden kaynaklanır. Serbest yüzeye doğru, toprak parçacıkları sıvılaşmış tabakadan çatlaklar yoluyla yukarıya doğru taşır ve üstteki malzemede kanallar açar ve bunları zemin yüzeyine fırlatır. Depremin neden olduğu aşırı boşluk suyu basınçları nedeniyle boşluk suyunun yukarıya doğru sızması, daha az geçirgen toprak katmanları tarafından engellenebilir, bu da yakınlarda su birikmesine neden olabilir. Su birikmesi toprağı gevşetebilir ve hatta muhtemelen su oluşumuna neden olabilir. Sıvılaşmış zeminin artık kayma mukavemetinin sadece zeminin deprem öncesi özelliklerine bağlı olmayıp aynı zamanda zemini etkileyen faktörlere de bağlı olması, boşluğun önemli bir sonucudur.

4.3 Sıvılaşma Duyarlılığı

Belirli bir yatağın sıvılaşmaya duyarlı olduğunun en açık kanıtı tarihseldir, çünkü sıvılaşmanın aynı yerde tekrar meydana gelmesi olağandır. Potansiyel tehlike bölgelerinde tarihsel kanıtlar bulunmadığında, ilk değerlendirmeyi yapmak için diğer bilgiler kullanılmalıdır. Bu bilgiler arasında çeşitli tür ve yaşlardaki toprak birikintilerine karşı duyarlılık önemlidir, çünkü bu bilgiler mühendisler tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Mühendisler ve jeologlar, bölgesel sıvılaşma tehlikesi haritaları üretmek veya yer seçimi için potansiyel tehlikeleri ön değerlendirmek için çalışmalıdırlar. Alüvyon, akarsu, deniz, delta veya rüzgârla taşınan yataklar genellikle daha yüksek bir duyarlılığa sahiptir; bu durum, artık topraklar veya buzul tabakaları gibi daha yüksek oranda konsolide olan malzemelerden farklıdır. Yaklaşık 10-15 m'den daha büyük derinliklerde meydana gelen sıvılaşmanın az sayıda vaka geçmişi vardır, bu da kısmen daha derinlerdeki toprakların daha yaşlı ve daha yoğun olması nedeniyle, dolayısıyla bu topraklar sıvılaşmaya karşı daha yüksek bir döngüsel dirence sahiptir. Ayrıca, daha

büyük sıvılaşmalar düz zeminin altındaki derinliklerde meydana gelebilir ve zemin yüzeyinde belirgin olmayabilir, bu nedenle fark edilemeyebilir. Killer genel olarak sıvılaşmaya karşı dayanıklı olmakla birlikte, plastik silt ve killerin de önemli ölçüde sıvılaşabileceği anlaşılmaktadır. Yeterince güçlü ve sürekli deprem yüklemesi altında, kesme şekil değiştirmeleri, dayanım kaybına neden olabilir ve hızlı deformasyon görülebilir.

4.4 Kalıcı Zemin Deformasyonu

Sıvılaşmanın bir sonucu olarak kalıcı zemin deformasyonu, mühendislik çözümleri veya yeniden tasarım ile azaltılabilir veya düzeltilir. Kayıp tahminleri için, kalıcı zemin deformasyonu en önemli parametrelerden biridir, çünkü ortaya çıkan zemin deformasyonlarının binalara ve altyapıya zarar vermesi beklenir. Sıvılaşma ya akış hataları ya da yanal yayılma şeklinde ortaya çıkar ya da herhangi bir mesnetten dolayı dikeydir. Hacimsel gerinim oturmaları neden olur. Statik kayma gerilmeleri artık kayma mukavemetini aştığında, sıvılaşma akışı göçmesi meydana gelir ve sıvılaşmış bir topraktan doğan bu tür bozukluklar, stabil olan zeminde eğimler meydana getirir. Zemin hareketiyle yer değiştirmeler çok büyük olabilir. Akış kaybı potansiyeli, standart şev stabilite analizleri kullanılarak değerlendirilebilir. Yanal yayılma, aynı zamanda döngüsel hareketlilikle ilgili bir eğimle aşağı kırılma mekanizmasıdır. Etkileyici kuvvetler, yerçekimine bağlı statik eğim aşağı kuvvetleri ile eylemsizlik kuvvetlerinin bir birleşimidir. Zemin deformasyonu, yerin salınımı etkisiyle yüzey katmanlarının ilerleyen hareketinin bir sonucudur. Sıvılaşma, suya doymun taneli zeminlerin deprem altında yoğunlaşma eğiliminin bir sonucudur. Sarsıntı ve bu davranışın nihai tezahürü, depremden sonra aşırı boşluk basıncının dağılması nedeniyle zemin yüzeyinde oturmadır. Oturma derecesi, toprağın heterojenliğinden dolayı karmaşıktır. Altındaki sıvılaşmış zeminin kalan kesme mukavemeti yeterince düşükse, bu durumda mesnet kapasite arızası meydana gelecek ve yapının düzgün bir şekilde yerleşmesine veya eğilmesine neden olacaktır. Deprem sonrası destek potansiyeli kapasite kaybı, basit statik taşıma kapasitesi formülleri kullanılarak tahmin edilebilir. Taşıma kapasitesi arızası sırasında, yatay kuvvetlerden dolayı yüklemenin dışmerkezlik etkileri ve temeldeki atalet momenti dikkate alınmalıdır. Güvenlik faktörü 1,0'dan küçükse arıza meydana gelecektir. Ancak, taşıma hasarlarına karşı güvenli olan yapılar, altlarda oluşan şekil değiştirmelere bağlı

olarak yine de oturmalar geliştirebilir. Potansiyel zararın değerlendirilmesi, sahaya özel türlü bilgiler gerektirir. Her yapının zemini deprem öncesi güvenlik faktörüyle taşıma basınçlarıyla ilgili olarak deprem kaybı tahminleri ve zemin analizi çalışması yapılmalıdır. Salınım hareketleriyle kumun kayması nedeniyle zemin kaybı oluşur. Bu tehlikeler potansiyel olarak temellere zarar verir. Sıvılaşmanın neden olduğu oturmalar genellikle serbest alan kullanılarak tahmin edilir. Sıvılaşmanın neden olduğu zemin deformasyonlarının hem düşey hem de yatay olarak değerlendirilmesi oldukça zordur. Doğrudan hasara yol açabilecek çok sayıda karmaşık mekanizma vardır. Hareket miktarı, geliştirilen ilişkiler kullanılarak, yani ampirik verilerden, zemin mekaniği teorisinden veya sayısal modellemeden faydalanılarak tahminlerde bulunulabilir. Ampirik veriler kullanılarak geliştirilenlerin kullanılması en kolay olanlardır, ancak kullanıcılar şunları dikkate almalıdır; bu çok karmaşık olgunun herhangi bir şekilde basitleştirilmesiyle ilgili belirsizlik, zorunlu olarak üç boyutlu efektler, yerleştirmeler ve boşluk suyu basınçlarının yeniden dağıtılması. Bir diğeri, jeoteknik analiz tekniklerinin genellikle zeminlerde büyük şekil değiştirme deformasyonlarına izin vermemesidir. Sonlu elemanlarda tam kurucu zemin modellerinin olduğu durumlarda bile  er eve kullanıldığında bunlar, çalışmacının bilgisi dahilinde, çerçevenin ötesine geçemez. Sayısal modellemenin biraz hassas ve karışık olduğu bulunmuştur. Girdi parametrelerindeki k  k değişiklikler, durumu istenmeyen bir özellik haline getirebilir. Deprem kaybı tahminleri için ampirik süreçler, kolayca elde edilebilen parametrelere veya en azından bir tahmin yöntemi kullanılarak tahmin edilebilecek parametrelere göre makul düzeyde muhakemeye dayanarak karmaşık sayısal yaklaşımlara tercih edilir. Herhangi bir yöntemle ilgili belirsizlik her zaman dikkate alınmalıdır.

4.5 Deprem Kaynaklı Sıvılaşmadan Kaynaklanan Hasar

4.5.1 Depremlerde sıvılaşmanın meydana gelmesi

 ncelenen depremlerin çoğunda sıvılaşma rapor edildi ve bu durum bir dereceye kadar hasara neden oldu. Sıvılaşmanın meydana gelmesi için zeminin yüksek kil içeriğine sahip olması gerekir (Restrepo, Cowan, 2000). İtalya'da (1991, 1997, 2002), Newcastle (Avustralya), Ekvador, İran ve Türkiye'de $M_w < 6$ veya diğer orta büyüklükteki olaylarda

sıvılaşma meydana geldi ve rapor edildi. Sıvılaşmanın nerede meydana geldiği konusunda büyük sürprizler yaşanmadı; geriye dönük analizler şunu gösteriyordu: Sıvılaşma, en güncel metodolojiler kullanılarak tahmin edilebilirdi.

Sıvılaşmanın doğrudan kanıtı kum kaynamaları, yanal yayılma, yerleşme veya çökme; Bunların hiçbirinin gözlemlenmediği durumlarda, bir binanın altındaki sıvılaşma başarısız modellemekten kaynaklanabilir. Sıvılaşmanın yoğun nüfuslu kentsel çevreler üzerindeki etkisine ilişkin benzeri görülmemiş düzeyde örnekler 1999 Kocaeli depremleri ile görülebilir.

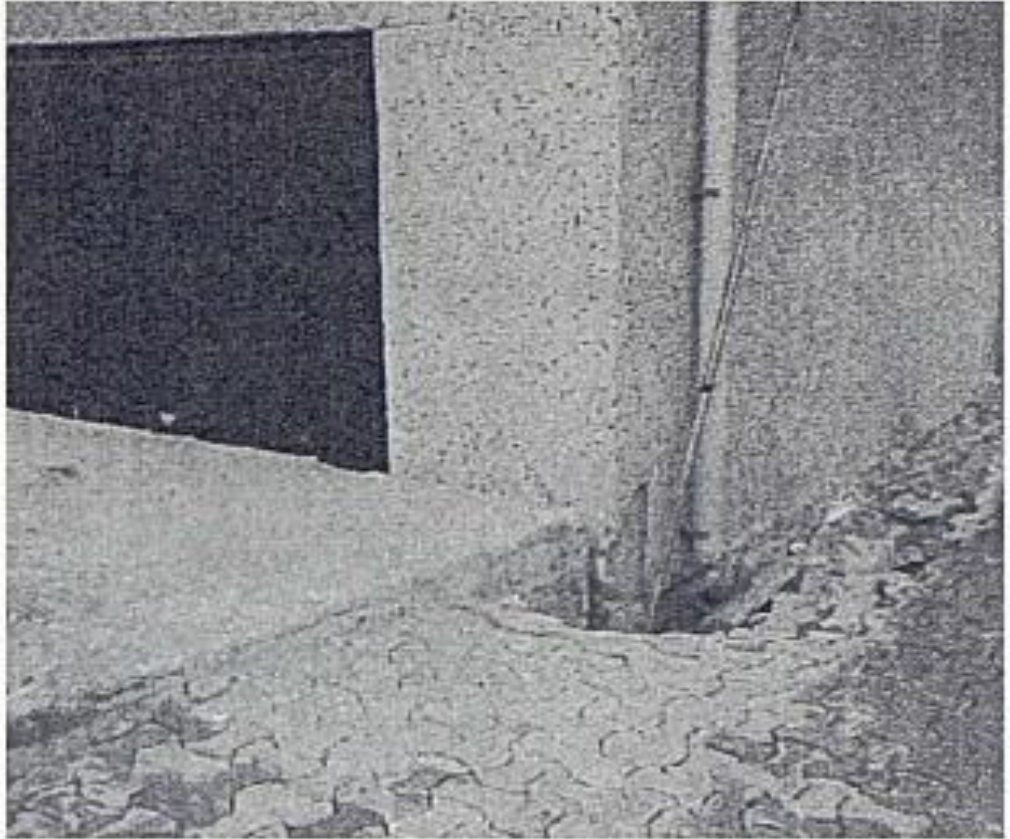
Sıvılaşma sıklıkla kıyı bölgelerindeki ıslah edilen topraklarda meydana gelir (örneğin, Kobe Poit; Deniz San Francisco Bölgesi, Manzanillo, Meksika) ve ayrıca alüvyonlu, eski veya mevcut nehir yataklarını içeren delta yatakları (örneğin, Dagupan, Luzon; Ceyhan, Türkiye; Rann of Kachchh, Gujarat, Hindistan).

4.5.2 Sıvılaşmanın neden olduğu bina hasarı

Yer sarsıntısı, heyelan ve tsunami tehlikeleriyle karşılaştırıldığında, sıvılaşmanın kazaya neden olma olasılığı binaların çöküşü veya ölümler bakımından daha düşüktür. Binalarda sıvılaşmanın neden olduğu hasarlar yanal yayılma nedeniyle temel oturması veya eğilmesi veya yer değiştirmesi ile ortaya çıkabilir. Zayıf temellere sahip yapılar, sıvılaşmanın neden olduğu temel hareketleri nedeniyle çökebilir. Sıvılaşma kaynaklı oturma durumunda veya sallanmanın neden olduğu çökmeye göre eğilme durumunda can ve malzeme hasarı önemli ölçüde daha az olacaktır.



Şekil 4.1 Yerleşik binanın bitişiğindeki zeminin şişmesi, Adapazarı, Türkiye, 1999. Nezaket Deprem Mühendisliği Saha Araştırma Ekibi (EEFIT), İngiltere



Şekil 4.2 Gözlemlenebilir yaklaşık 30 cm'lik temel oturması (Sancio, 2004)

Temel oturması, binanın altındaki toprağın yerleştiği yerde meydana gelir. Taşıma kapasitesi kaybı, hacim değişikliği veya toprağın mukavemetinin azalması nedeniyle yapının zemine batması ile zeminde deformasyonlar oluşur (Bray ve Stewart, 2000). 1999 Kocaeli depremi sonrasında Adapazarı'nda hasar gören binalarda yapılan araştırmada, eski yapıların varlığı ve zeminin şişkinliği tespit edilmiştir. Dagupan'da 1990 Filipinler depreminde ise 1 veya 2 metre kadar çöken bazı binaların yıkıldığı, ancak depremden sonra hala yerleşim yerinin olduğu bildirilmektedir (Schiff, 1991).

4.5.2.1 Sıvılaşmış bölgelerde gözlemlenen bina hasarı

Temellerin altındaki sıvılaşma ile ilişkilidir ve güçlendirilmemiş zemin kat döşemelerinin hasar görmesine yol açar, ayrıca duvarlar ve alt kısımdaki malzemenin şişmesine neden olabilir. Bu tür hasarlar, Adapazarı'nda da gözlemlenmiştir (EEFIT, 2003). Diğer bir örnekte ise, sıvılaşma nedeniyle kum püskürmesiyle dolmuş bodrum katları görülmüştür, örneğin 2001 Nisqually depremi sonrasında Seattle bölgesi (Bray vd., 2001a) ve Tayvan'da Chi-Chi olayı. Yapısal hasarı olmayan yerleşik binalarda ise, ekonomik zararlar sel gibi diğer doğal afetlerden kaynaklanabilir, örneğin Türkiye'deki Sapanca Oteli'nde olduğu gibi (Şekil 4.3). Tekdüze oturmaların neden olduğu hasarın bir başka belirtisi ise komşu binaların çeşitli nedenlerle yıkılması olabilir. Dagupan'daki Filipinler gibi, aynı miktarda yerleşme gerçekleşmediği durumlarda bu durum gözlemlenebilir.



Şekil 4.3 Sıvılaşmanın neden olduğu Sapanca Oteli'nin su baskını, Türkiye, 1999 (EEFIT'in izniyle, Birleşik Krallık)

Sıvılaşmanın neden olduğu ikinci tür hasar farklı oturma ve eğilmeyi içerir. Temelin değişken olduğu hacim değişikliği veya taşıma kapasitesi zemin arızasıyla ilgilidir. Sıvılaştırılmış tabakanın kalınlığı eşit değilse, o zaman her türlü olasılık vardır ve farklı oturma meydana gelir. Marina Bölgesi'nde sıvılaşmaya bağlı en kötü hasar 1989 yılında San Francisco Loma Prieta depreminde meydana geldi; burada yerleşim farklılığından dolayı sıvılaşmış ve sıvılaşmamış bölgeler arasındaki sınırdıydı (Bardet ve Kapuskar, 1993). Bu tür durumlarda, tekdüze yerleşimde, binalar eğildiğinde çoğunlukla başka bir hasar gözlemlenmez; eşit pencere camları çoğu zaman kırılmadan kalır. Ancak, küçük bir eğim açısı bile bir binayı görünür şekilde etkileyebilir ve kullanılamaz hale getirebilir. Ayrıca, eğimin ikincil etkisi komşu binalara da etki eder; her iki binada da ciddi hasar oluşabilir (Şekil 4.4). Şu anda bir binanın ne kadar eğilebileceği veya oturabileceği konusunda belirlenmiş bir kılavuz bulunmamaktadır. Bunun sonucu olarak, bazı binalar tamir edilemez hale gelir; açıkçası, bu büyük ölçüde binanın işlevine ve değerine bağlı olacaktır. Şekil 4.4'teki bina açıkça tamir edilemeyecek durumdadır. Evlerin temel kullanımı nedeniyle bazı farklı oturmalar gözlemlenmiştir.



Şekil 4.4 Eğimli bina, Sedat Sokak, Adapazarı merkez 1999. (EEFIT'in izniyle, Birleşik Krallık)

Yanal yayılma, potansiyel olarak binalar için sıvılaşmayla ilgili en yıkıcı tehlikedir. Bu durumda, yapılar yanal hareketten dolayı ağır hasar görebilir. Ancak, kazıklı binalarda

veya sürekli olarak güçlendirilmiş sığ temellere bağlı inşa edilen yapılar için bu tür bir hasarın oluşması pek olası değildir. Yanal yayılmanın neden olduğu hasar açısından en büyük potansiyel risk taşıyan binalar, kötü tasarım veya inşaat kalitesine sahip olan ve üzerinde bulundukları zeminin özelliklerini dikkate almayan binalardır. Şekil 4.5, sıvılaşabilir zeminlerin bulunduğu bir alanda bir eğime veya serbest yüzeye yakın bir okul binasını göstermektedir. Bu bina, düzgün olmayan yerleşim nedeniyle tamir edilemeyecek şekilde hasar görmüş bir nehir kıyısına yakın konumdadır. Chi-Chi depremi sırasında nehre doğru yanal yayılma hareketi bariz bir şekilde ortaya çıkmıştır (Lew vd., 2000).



Şekil 4.5 1999 Chi-Chi sonrasında bir teknik okul binasında sıvılaşmanın neden olduğu hasar (Fotoğraf izniyle: Marshall Lew, Los Angeles Yüksek Binaların Yapısal Tasarımı Konseyi)

Guam'daki Donanma İstasyonu'ndaki bir liman, yanal yayılma nedeniyle zarar görmüştür (Comartin, 1995). Aynı şekilde, 1993 yılında Hokkaido Limanı'nda Oshamanbe'deki bir ilkokulda yanal yayılma nedeniyle hasar tespit edilmiştir (Berrill vd., 1993). Ancak, bu durumlarda üst yapıya herhangi bir zarar gelmediğine dikkat edilmelidir. Örneğin,

Sapanca Oteli (Şekil 4.3), oturma ve yanal göçmelerin birleşimi sonucu onarılamayacak kadar hasar görmüştür ve binanın göle doğru yayılmasına neden olmuştur (Çetin vd., 2002). Deniz Bilimi laboratuvarı, Şekil 4.6'da gösterilen Moss Landing'de, yanal yayılmanın ardından 1989 Loma Prieta depreminde temellerinin altına yayılarak yıkılmıştır (Boulangere vd., 1997).



Şekil 4.6 California Moss Landing'deki Marina Araştırma Tesisinde sıvılaşmanın neden olduğu hasar

1989 Loma Prieta depremi (Seed, R.B., Dickenson, S.E., Riemer, M.F., Bray, J.D., Sitar, N., Mitchell, J.K., Idriss, I.M., Kayen, R.E., Kropp, A., Harder, L.F. ve Power, M.S. 1990. Müdüre İlişkin Ön Rapor
17 Ekim 1989 Loma Prieta Depreminin Jeoteknik Yönleri. Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi,
Rapor No. UCB/EERC-90/05, Kaliforniya Üniversitesi).

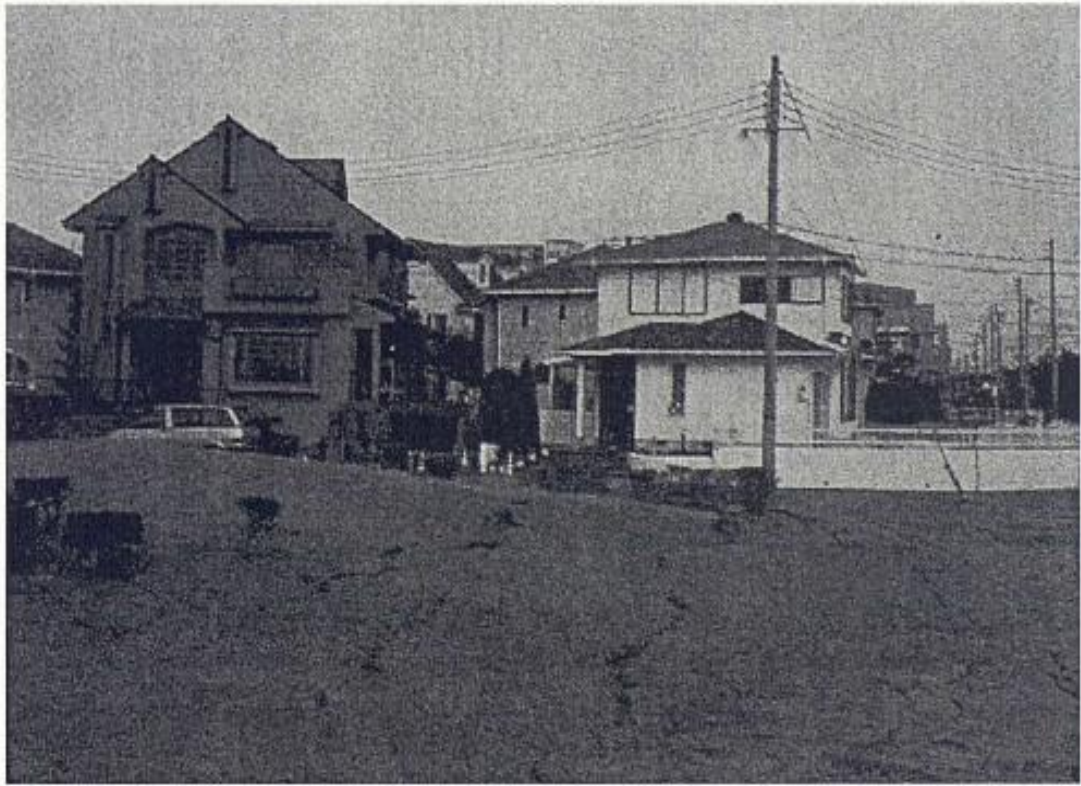
4.5.2.2 Bina temellerinin sıvılaşma tepkisine etkisi

Saha raporları ve çalışmalar, iyi temellerin sıvılaşma nedeniyle hasarı önemli ölçüde azaltılabileceğini açıkça göstermektedir. Örneğin, Kobe Limanı'nda, liman binalarının çoğunluğunun yer aldığı alanda, çevredeki toprakta yarım metreye kadar çökme gözlenmiş olmasına rağmen herhangi bir zarar görmemiştir. Benzer bir durum, Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Port Island Feribot terminali binaları, farklı yatay hareketleri önlemek için kazıklarla desteklenmiş ve birbirine güçlü bir şekilde bağlanmıştır. Depremi ardından birkaç gün boyunca şiddetli sıvılaşmaya maruz kalmalarına rağmen, binanın hasar görmediği ve kısa süre içinde tekrar kullanıma açıldığı bildirilmiştir (EERC, 1995). Aynı şekilde, Dagupan'daki kazıklı temelli oteller, 1990 Luzon depreminde çok az hasar görmüş ve işlevini sürdürebilmiştir (Hopkins vd., 1991).



Şekil 4.7 17 Ocak 1995 depreminin ardından Kobe'de yükseltilmiş bir ulaşım bağlantısı (Fotoğraf R.W. Boulanger, UC Davis'in izniyle)
Köprü ayakları istiflenmiş olup, yapı genel olarak yerleşime rağmen hasar görmemiştir.

Kobe bölgesinde, ayakları sağlam zemine sabitlenmiş kazıklar üzerine inşa edilmiş binalar, sıvılaşmış katmanda kurulan yüzeydeki kazıklara göre daha fazla zarar görmüştür, zira zemin deformasyonları iki katman arasındaki farklı hareketlerden kaynaklanmaktadır (Tokimatsu ve Asaka, 1998). Bu durum, sismik olmayan yükleme koşulları için iyi tasarlanmış temellerin kullanılamayacağını göstermektedir; ancak deprem anında bu temellerin en iyi çözüm olacağı açıktır. Adapazarı'ndaki olayda olduğu gibi, binaların bağlı veya sürekli rijit sığ temeller üzerinde olduğu yerlerde yapılan gözlemler, bu tür durumların sıvılaşmaya tepki olarak muhtemelen tek biçimli olarak yerleştiğini ya da katı bir şekilde eğildiğini doğrulamaktadır. 1998 yılındaki Adana-Ceyhan depreminde, iyi tasarlanmış ve inşa edilmiş sürekli mat temellere ve güçlü takviyelere sahip binalar, taban döşemeleri sıvılaşmış alanlarda gözle görülür derecede daha iyi performans göstermiştir (Adalier ve Aydingun, 2001). Benzer şekilde, Kobe'deki Ashiya bölgesinde, birbirine bağlı sığ temeller üzerine inşa edilen evler çok az hasar görmüştür (Şekil 4.8). Bu durum, temellerin birbirine bağlı olması nedeniyle sıvılaşma alanlarının zarar görmediğini göstermektedir (Youd vd., 1995).



Şekil 4.8 Yanal yayılmaya çok yakın hasarsız evler, Kobe, Ashiya bölgesi. (Deprem Mühendisliği Ulusal Bilgi Servisi'nin izniyle, Kaliforniya Üniversitesi, Berkeley)

4.5.3 Sıvılaşmanın neden olduğu taşıma kesintisi

4.5.3.1 Yollar ve köprüler

Sıvılaşma nedeniyle yollarda meydana gelen hasar, dolgularda çatlamaya ve düzgün olmayan yüzeylere neden olur. Bu tür hasarlar genellikle büyük eğim hareketleri veya yüzey fayları gibi yollarda meydana gelebilecek diğer potansiyel hasarlarla karşılaştırıldığında genellikle küçüktür. Yerleşimlerin onarımı genellikle nispeten düşük maliyetlerle gerçekleştirilebilir. Ancak bazı durumlarda hasar oldukça geniş olabilir. Örneğin, 1991'deki Kosta Rika depreminde yollarda yaygın bir kesinti yaşanmıştı ve depremin en önemli özelliği budur. Etkilenen bölgedeki otoyol ağının yaklaşık %30'u kesintiye uğradı. 2001'deki Bhuj depreminden sonra tahmini yerleşim ve çatlama maliyetiyle karayollarındaki hasar 125 milyon ABD Doları olup, bu toplam doğrudan kayıpların %4'ünden azdır, ancak yine de önemlidir (Singh vd., 2002). En büyük hasarlardan biri ulaşımda yaşandı. 1990 Luzon depreminin önemli bir özelliği olan sıvılaşmadan kaynaklanan yol kaplama hasarı nispeten küçüktü. Köprü dolguları, hassas bileşenlerin birleşiminden dolayı yanal yayılmaya karşı hassastır. Sıvılaşmanın neden olduğu hasar, depremlerin %30'unda rapor edilmiştir ve bu genellikle aksamayı içermektedir ancak çökme olmamıştır. Gucerat'taki Eski Surajbadi karayolu köprüsü, olaydan birkaç gün sonra kapatılmıştır. Ocak 2001'de iskelenin yanal yayılmaya bağlı hareketi nedeniyle depremin meydana geldiği ve Tayvan'daki Chi Lu köprüsünde hasar olduğu ancak sıvılaşma nedeniyle herhangi bir çökmenin gerçekleşmediği rapor edilmiştir (Wallace vd., 2001). Sıvılaşma nedeniyle köprülerde görülen küçük hasarlar, yaklaşım dolgusunun oturması ve köprü ile köprü arasında kot farkı oluşmasına neden olur. Bu tür hasarların onarım yöntemi genellikle geçici rampalar veya toprak dolgusudur. Depremlerin dördünde köprünün çökmesi gibi durumlar sıvılaşmanın neden olduğu hareketten kaynaklanmıştır (Luzon depremi, 1990). Luzon'daki diğer en az beş köprü sıvılaşma nedeniyle hasar görmüştür; bu hasar, önemli ekonomik kayıplara neden olan toplam ulaşım kesintisini önemli ölçüde artırmıştır. Köprü ayaklarının yanal yayılma ve kötü tasarımdan kaynaklanmasının sebep olduğu önemli ekonomik kayıplar şunlardır: Manila'daki tarım alanlarının ana pazarlardan ayrılması (Booth vd., 1991). Sıvılaşmanın neden olduğu köprü hasarı nedeniyle yollar kapanmıştır. Depreminin ardından Kosta Rika bölgesindeki her bir köprünün tahmini maliyeti 0,25 milyon ABD doları olmuştur. Eski

bir demiryolu köprüsünün bir açıklığı, daha yakın zamanda karayolu taşıtları için kullanılmış ve Ocak 2001'de 1,2 m'ye varan yanal hareketler nedeniyle çökmüştür. Ancak 2000 yılında inşa edilen bitişik köprü hasar görmemiş ve ortaya çıkan bozulma önemsizdir (Orense vd., 2002). Kobe depremi sonrası köprü (Şekil 4.10) sıvılaşma kaynaklı deformasyonla ilişkilendirilmiştir (Park vd., 1995).



Şekil 4.9 1990 Luzon depreminden sonra Dagupan'daki Magsaysay Köprüsü'nün çöküşü. {EEFIT'in izniyle, Birleşik Krallık)

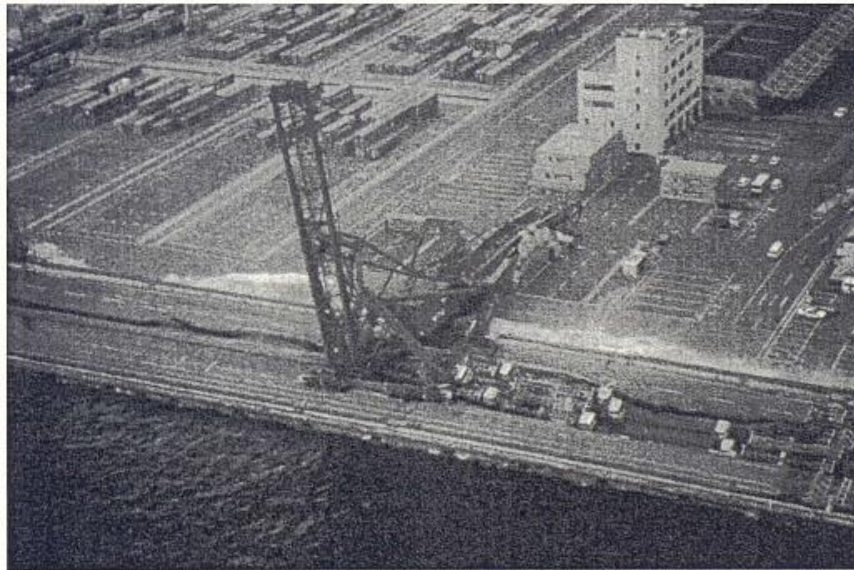


Şekil 4.10 Japonya'da sıvılaşmaya bağlı temel deformasyonlarından kaynaklanan 1999'daki 6,9 Mw Kobe depreminin ardından Nishinomaya Köprüsü'nde meydana gelen çöken açıklık (Fotoğraf: LF. Harder, Jr)

Su kenarına paralel çatlaklar, zemin rıhtım duvarlarının arkasında yan zemin hareketlerinin göstergesidir.

4.5.3.2 Limanlar

Limanlar, yakın zamanda yerleştirilmiş dolgu ve yüksek su tablalarının birleşimi nedeniyle özellikle sıvılaşmaya karşı hassas olma eğilimindedir. Bu çalışmada, doğrudan veya dolaylı olarak sıvılaşmadan kaynaklanan hasarın en yaygın olduğu durum limanlardır. Örneğin, Kobe depremi, 1995 yılı dolarıyla 11 milyar ABD doları tutarında doğrudan zarara neden oldu. Limanın 187 bağlama yerinin %90'ı, Liman ve Rokko'nun inşasında kullanılan ıslah edilmiş toprağın sıvılaşması nedeniyle tahrip oldu. Operasyonların çoğu başka bir yere devredildi ve bunun yerel ekonomi üzerindeki etkisi birçok liman çalışanının iş kaybı da dahil olmak üzere yıkıcı oldu. Depremden önce, Kobe Limanı, Japonya'nın en işlek limanı ve dünyanın dördüncü büyük konteyner limanıydı. Deniz duvarlarında büyük yanal hareketler (3 m'ye kadar) meydana geldi ve bu hareketler önemli tanklara, silolara, vinçlere ve vinç raylarına zarar veren yerleşim yerleri oluşturdu. Bu durum, Japonya'daki kullanılabilir alan kıtlığı ve Kobe'nin dağlarla deniz arasındaki konumu nedeniyle denizdeki toprağın kapsamlı bir şekilde ıslahını gerektirdi. Kobe Limanı'ndan elde edilen önemli gözlemlerden biri, kazıklı gemilerde genel olarak herhangi bir hasar olmamasıydı ve yapılar ile sıvılaşma riskinin azaltılmasında zemin iyileştirmenin etkinliği konusunda önemli bir veri sağlamıştır.



Şekil 4.11 1995 yılında Kobe Limanı'nda ıslah edilen dolguların sıvılaşması operasyonların askıya alınması (Fotoğraf: L.F. Harder, Jr)

Bu resimde rıhtım duvarlarının yanıl yer değıştirmesi çekilmiştir. Vinç bacaklarının birbirinden ayrılması çökmeye neden olmaktadır.

Operasyonların askıya alınmasıyla rıhtım duvarlarının yanıl yer değıştirmesi, vinç bacaklarının birbirinden ayrılmasına ve çökmesine neden olmaktadır. Bu fotoğrafta, rıhtım duvarlarının yanıl yer değıştirmesi görölmektedir (Fotoğraf: L.F. Harder, Jr). Sıvılaşmanın rapor edildiğı 31 depremden 26'sı kıyı bölgelerini etkiledi ve bu 26 olayda limanlarda sıvılaşmanın neden olduğı 12 küçük hasar vakası tespit edilmiştir. Sıvılaşma sonucu operasyonlar kesintiye uğramış ve liman operasyonlarında doğrudan etkisi olan dört ciddi kesinti vakası meydana gelmiştir, bunlardan biri Kobe Limanı'ndadır. Kobe Limanı'ndaki hasarın boyutu benzersizdir. Mısır'daki Nuweiba'daki liman tesisleri önemli ölçüde kesintiye uğramıştır. 1995 Akabe Körfezi depreminin ardından, ikisi tahrip olmak üzere yalnızca dört rıhtımdan oluşan ve 1990 Luzon gemisi tarafından hasar gören San Fernando limanındaki tesisler hasar görmüştür. Deprem küçük çaplı olmasına rağmen, Manzanillo'daki liman orta derecede hasar görmüştür. 1995 Manzanillo depremi, kent üzerinde önemli bir ekonomik etki yaratmıştır. Aynı liman bir kez daha sarsıldığında, 2003 Colima depreminde sıvılaşmanın meydana geldiğı ancak çoğunlukla kritik olmayan bölgelerde, muhtemelen 2003 yılından bu yana uygulanan zemin iyileştirme tedbirlerinin bir sonucu olarak meydana geldiğı kaydedilmiştir (EERI, 2003a).

4.5.4 Yaşam hatlarında sıvılaşmanın neden olduğı hasar

Deprem sonrasında yaşam hatlarının çalışmaya devam etmesi hem çevre açısından hem de acil müdahale ve bir topluluğun kurtarılması açısından hayati önem taşımaktadır (Lund, 1996). 1990 Luzon depreminden sonra dağ şehri Baguio'daki telefon sistemi, Manila'daki yetkililerin bu durumu tam olarak takdir edebilmesi için önemli bir gecikme yaşandığını göstermiştir. Elektrik, gaz veya su kaynaklarının kesintisi çok daha ileri boyutlara ulaşabilir. Lund (1996) örneğın Los'un daha geniş bir bölgesinde Angeles'ta Northridge depreminden sonra yaşam hattındaki kesintinin çok büyük olmadığını ve bu durumun yerel halkın normal rutinlerine hızlı bir şekilde dönmesinde önemli bir faktör olduğunu belirtmektedir. Sıvılaşmanın neden olduğı yanıl kalıcı zemin deformasyonu, santimetreden onlarca metreye kadar değışebilir ve en yaygın nedenlerden biri deprem

boru hattı hasarıdır (Hamada & O'Rourke, 1992, O'Rourke & Hamada, 1992). Sıvılaştırılmış topraklardan geçen yaşam hatlarında meydana gelen gerilimler, sıvılaştırılmış ve sıvılaştırılmamış malzemeler arasındaki sınırdadır. Sıvılaşma, bazı durumlarda yaşam hatlarının neden olduğu hasar açısından özellikle önemli olabilir. Bölgesel yaşam hatı ağlarının doğası, zayıf topraklara sahip yerlerden ve alanlardan kaçınmanın zor olduğunu ve derin temeller veya zemin iyileştirmesinin uzun mesafeler boyunca nadiren uygulanabileceğini belirtmektedir. Sıvılaşabilir birikintilerin içinde veya yakınında gömülü boru hatları özellikle hasara karşı hassastır ve çoğu yerde önemli hasara neden olmayacak yerel sıvılaşma alanları bulunmaktadır.

Binalardaki arızalar boruların bükülmesine veya yırtılmasına neden olabilir ve boru hattındaki tek bir arıza da su veya gaz kaynağının kesilmesine yol açabilir. Böyle bir sızıntının onarılmasının maliyeti düşük olabilir, ancak bu durum bölgede iş kaybına neden olabilir. Depremlerin %30'unda sıvılaşma nedeniyle yaşam hatlarında bir miktar kesinti olduğu bildirilmiştir (yani sıvılaşmanın meydana geldiği depremlerin yaklaşık %50'si). Yukarıda belirtildiği gibi, boru hattı hasarının ana sebebinin zemin deformasyonları olduğu genel olarak anlaşılmıştır (örneğin Schiff ve Tang, 2000). Kamu hizmeti şirketleri de kayıplar nedeniyle önemli mali zararlara maruz kalabilirler, örneğin 1999 yılında Tayvan'daki şirketler (Schiff ve Tang, 2000). Sıvılaşmadan kaynaklanan yaşam hattı kesintilerine örnek olarak 1993'teki Piti Elektrik Santrali gösterilebilir. Türbinlerin farklı yerleşimlerinin yanı sıra gömülü boru hatlarının arızalandığı Guam depremi, depremde sonra en az bir hafta boyunca elektrik kesintilerine neden oldu (Comartin, 1995). Oluşan sıvılaşma oturması nedeniyle gömülü gaz veya su borularının kırılması Oshamanbe, 1993 Hokkaido-Nansei-Okı olayının ardından (Yamazaki vd., 1995), 1999 Kocaeli depreminin ardından Sapanca ve Adapazarı, 1995 yılında Kobe ve ayrıca 1990 Luzon ve 1991 Kosta Rika etkinliklerinde meydana gelmiştir. Kobe depremi durumunda su kaynakları birkaç ay süreyle kesintiye uğradı. Kobe bölgesindeki ek aksaklıklar şunları içeriyordu: sıvılaşmanın meydana geldiği ıslah edilmiş zemin üzerinde bulunan atık su tesislerine zarar verilmesi ve daha küçük ölçekle, topraklama hatası nedeniyle elektrik dağıtım direklerinin eğilmesi. Gömülü yüzdürme tankları, hizmet sistemleri için sıvılaşmayla ilgili başka bir tehlikedir. 1999 yılında hem sıvılaşmadan hem de kuvvetli yer sarsıntısından etkilenen Adapazarı şehrinde Kocaeli depremi can damarlarını çok kötü

etkiledi; su dağıtım şebekesinin tahrip edilmesi "tarihteki en dikkat çekici sistem başarısızlığı örneklerinden biri" olarak gösterildi (O'Rourke vd., 2000b). Mali kayıplar açısından bakıldığında, yaklaşık 5,7 milyon haneye gaz tedarik eden Osaka Gaz Şirketi, Kobe ve Osaka bölgesinde 170 milyon ABD doları tutarında onarım ve 68 milyon ABD doları tutarında kayıp rapor etmiştir. Yalnızca bu esasa dayanarak göz ardı edilmemesi gereken şey, deprem sonrası çıkan yangındır. Gaz boru hattı kırılma, yangınların tetikleyicisi olabilir ve su boru hattının yırtılması, yangının giderilmesini ciddi şekilde engelleyebilir (Şekil 4.12). Yukarıda belirtilen hasar türlerinin her ikisi de sıklıkla sıvılaşma veya yüzey fay kırılmasının meydana gelmesiyle ilişkilidir. Zarar verici potansiyel hızla yayılan yangın durumunda çok önemlidir.



Şekil 4.12 1994 Northridge depremi sonrası

Balboa Bulvarı'nın altında sıvılaşmanın yol açtığı zemin deformasyonları gaz ve su boru hatlarını yırtılmasına neden olmaktadır. Bu durumda yangın kontrol edilmemiş ve bu nedenle önemli bir hasara neden olmamıştır.

4.6 Hasar Nedenleri Olarak Zemin Arızası ve Zemin Sarsıntısı

4.6.1 Yer sarsıntısından kaynaklanan hasar

Yer sarsıntısı nedeniyle binaların çökmesinin temel nedeni olduğuna inanılıyor; bu, inceleme tarafından açıkça desteklenmektedir. İncelenen 50 depremden, sarsıntı dışındaki tehlikeler yalnızca yedi olayda ölümlerin başlıca nedeniydi; bunlardan dördü yıkıcı heyelanlar nedeniyle çok sayıda can kaybına yol açan olaylar (Erdebil, İran, 1997; El Salvador, 2001; Paez, Kolombiya, 1997 ve Luzon, Filipinler, 1990) ve bunlardan üçü deprem kayıplarının tümüne veya çoğuna yol açan yıkıcı tsunamiyi tetikledi (Flores Ada, 1992; Hokkaido-Nansei-Oki, 1993 ve Papua Yeni Gine, 1998).

Yer sarsıntısı ticari, endüstriyel, konut ve kamu binalarına zarar verir. Sarsma, yaşam hattı sistemlerini beslemeden (üretim, işleme veya arıtma tesisleri) yok edebilir. En çok kamu hizmetlerine zarar veriyor, genellikle su arıtma tesislerindeki ilgili yapılara, telefon kontrolüne zarar verilmesini içerir, merkezler, enerji santralleri veya elektrik trafo merkezleri. Ilo'daki elektrik santralinde hasar oluştu Peru'nun güneyindeki 23 Haziran 2001 depremi tamamen güçlü yer sarsıntısından kaynaklandı (Rodn'guez-Marek ve Edwards, 2003). En önemli ulaşım kesintisi sıklıkla köprülerin çökmesi gibi, köprülerde sarsıntıdan kaynaklanan hasarlar nedeniyle meydana gelir, örneğin Kobe'deki yüksek Hanshin Otoyolu (1995) ve Loma Prieta'daki Nimitz Otoyolu'nun çökmesi (1989). Karayolları ve demiryollarının yer sarsıntısına ve doğrudan hasara karşı duyarlılığı düşüktür. Yol kaplamaları ve demiryolu rayları, kalıcı zemin deformasyonlarıyla ilişkili olma eğilimindedir, yanal yayılma, oturma, şev hareketleri ve yüzey fay kırılmasıdır. Köprüden başka hasar, yer sarsıntısı yapısal hasar nedeniyle ulaşım ağlarını dolaylı olarak bozabilir, istasyonlara veya gişelere zarar gelmesi, binaların şehrin caddelerine çökmesi veya hasar görmesi elektrik kesintilerinin demiryolu operasyonlarını durdurduğu enerji üretim ve iletim tesisleri ve trafik kontrol sistemlerinin aksamasına neden olur. Yer sarsıntısının neden olduğu geçici yükleme boru hatlarına zarar verme potansiyeline sahiptir. Zemin arızasından kaynaklanan kalıcı zemin deformasyonlarının genellikle boru hatlarına daha fazla zarar verdiği genel olarak kabul edilmektedir. Rota hizalamalarındaki kısıtlamalarla birlikte baskı büyük boru hatlarının yerleşim alanlarından uzağa yerleştirilmesi sıklıkla bunların içinden geçmesine neden olur. Uzak, dağlık araziler veya topografik veya toprak büyütmelerinin olduğu diğer alanlarda yer sarsıntısı muhtemeldir.

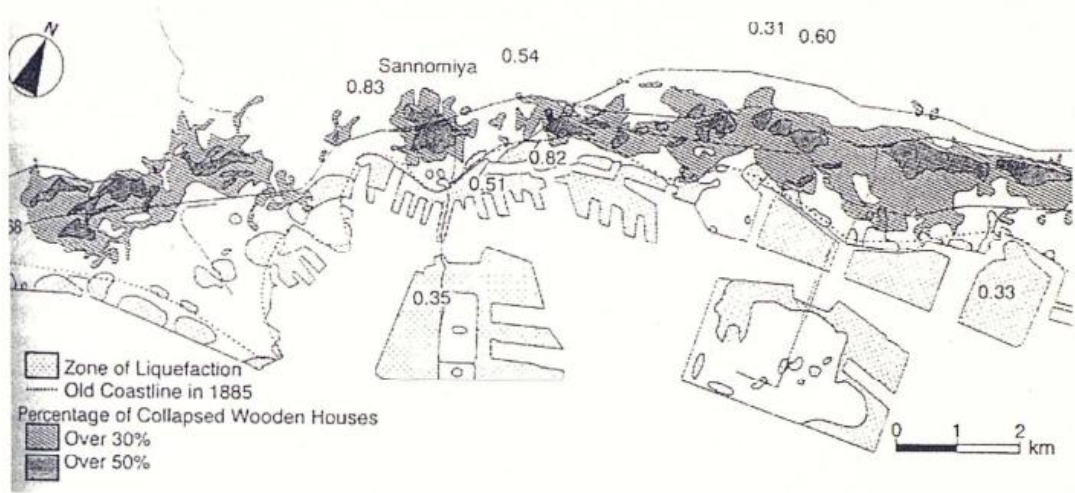
1990 Luzon depremi ve 1999 Chi-Chi depremleri özellikle dikkat çekicidir, yaygın jeoteknik etkiler, ancak bu olaylarda bile mevcut tüm hasar raporları hasara sarsıntının hakim olduğunu öne sürüyor.

Luzon'da sarsıntının neden olduğu yaygın bir olay yaşandı, özellikle yer sarsıntısının yaşandığı dağ kenti Baguio'da bina çöktü. Çöktüğü bildirilmiş olup, çeşitli sebeplere ilişkin bir döküm olmamasına rağmen, hasar raporlarından, bunların önemli bir kısmının doğrudan bir sonucu olduğu açıkça görülüyor. Chi-Chi depreminde en az 10.000 bina yıkıldı. Kobe depreminde, sıvılaşma hasarının deprem kayıpları üzerinde önemli bir etkisi oldu.

Yer sarsıntısı nedeniyle köprü %10 oranında daha çökerken, limanlarda hasar meydana geldi. Bu istatistikler, yer sarsıntısının baskın olduğunu gösteriyor. İş kesintisi kayıpları sonuçta Kobe depreminin onarım maliyetlerinden daha yüksek olacaktır; bu durumda toprak arızasının göreceli katkısı muhtemelen daha büyük olacaktır. Naeim ve Lew (2000) sismik mühendisliğin mevcut durumunu özetlemekte ve derslere dikkat çekmektedir. Son depremlerden ders alınması gereken ama asıl neden olmaya devam eden şeyler yaralanma, ölüm ve yıkım durumlarıdır. Bu derslerden ikisi (yanlış arazi kullanımı ve imar ve Sıvılaşabilir toprak üzerinde uygunsuz inşaat) jeoteknik arızalarla ilgilidir, diğerleri sarsıntıya karşı dayanıklı yapıların tasarımı ve inşası ile ilgilidir. İncelenen depremlerin %50'sinden fazlasındaki ana sorun Cezayir (Mayıs 2003), Bingöl, Türkiye (Mayıs 2003), Colima, Meksika'daki son zarar verici olaylar (Ocak 2003) ve Bam, İran (Aralık 2004). Etkilenen bölgenin tamamı dikkate alındığında, yer sarsıntısı neredeyse her zaman bina hasarının ana nedenidir. 1990 Luzon için depremin daha küçük bölgeleri dikkate alınırsa, Dagupan şehrinin esas olarak depremden etkilendiği söylenebilir. Sıvılaşma, Rizal kasabası esas olarak fay kopması nedeniyle ve uzak dağların bir kısmı köyler esas olarak yamaç çökmesinden kaynaklanmaktadır. Ancak etkilenen bölgeyi bir bütün olarak ele aldığımızda, sıvılaşma, fay kırılması ve şev yenilmesinin her biri yalnızca küçük alanları etkilerken, yer sarsıntısı Dagupan, Rizal ve Dağlık alan gibi küçük alanları etkilemektedir. Tsunamiler bu gözlemin bir istisnasıdır çünkü çok geniş alanları yok etme potansiyeline sahiptirler.

4.6.2 Yer sarsıntısı ile yer arızasından kaynaklanan hasar

Yer sarsıntısı ile yer arızasından kaynaklanan hasar arasındaki etkileşim, zeminin deprem kaybı tahminlerine dahil edilmesinde ve zemin arızasından kaynaklanan hasar ile yer sarsıntısının neden olduğu hasarın nasıl birleştirileceği konusunda önemli bir husustur. Örneğin, bir sonraki bölümde açıklanan HAZUS metodolojisinde iki tehlikenin olduğu varsayılmaktadır: sarsıntı nedeniyle çökme olasılığı ve toprak kayması nedeniyle çökme tehlikesi. Pratik olarak, bu sivilaşabilir zemin üzerinde bir binanın veya kararsız eğimin genel olarak çökme olasılığı daha yüksek olacaktır, ancak bu çökmede bir binanın yer sarsıntısı nedeniyle kısmen hasar görmesine izin verilmez. Bu varsayımlar, bu inceleme için toplanan veriler ışığında daha ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Berrill ve Yasuda (2002) ile Lopez (2002) tarafından gösterildiği gibi, önemli miktarda sivilaşma meydana gelmeden önce sarsıntı meydana gelebilir, dolayısıyla yapı en azından teorik olarak zarar görebilir. Alternatif senaryo, sivilaşmanın yüksekteki güçlü sarsıntının çoğunu etkili bir şekilde sönmlediği yönündedir. Bu bağlamda ampirik kanıtları belirlemek için vaka geçmişleri dikkatle gözden geçirilmiştir. Birçok saha raporu, sivilaşmış bölgelerdeki yapılara faydalı bir etki olduğunu belirtmektedir. Örneğin, Kobe (1995) "Nishinomiya Şehri'nin sivilaşmış bir bölgesindeki bir evin sakinlerinin depremde sonra mobilyaları dik kaldı ve şiddetli sarsıntıyı hissetmediler" (Shibata vd., 1996). Ayrıca Kobe'de nüfusun %30'undan fazlasının bulunduğu bir 'Deprem Afet Bölgesi' belirlendi. Geleneksel ahşap evler çöktü (Matsui ve ark., 2001), ancak en şiddetli hasar gören alanlar sivilaşma ve yanal yayılma bu bölgenin dışındaydı. Sivilaştırılmış yapılar ve alanlar çok az hasar görme eğilimindeydi. Bir gözlem 1999 depreminde Adapazarı'nda meydana gelen hasarın, sivilaşan toprakta izolatör görevi görmesi, enerjinin temel seviyesinde dağıtılması ve sarsıntının binalara zarar vermesinin önlenmesi yönündedir (Erdik, 2000). Bu gözlem muhtemelen insan tarafından desteklenmektedir. Yapısal hasarı çok az olan veya hiç olmayan binalar, örneğin, Adapazarı'ndaki birçok bina gibi bazı binalar tamamen yıkıldı.



Şekil 4.13 1995 depreminin ardından Kobe bölgesinde en ağır bina hasarına sahip alanları ve sıvılaşma alanlarını gösteren harita (Matsui ve Oda, 1996).

Dagupan'da 1990 Filipinler depreminden sonra bazı yapısal hasarlar meydana geldi. Çatılar ve duvarlar merkezi bölgenin dışında, ancak bu bölge içerisinde, %90'a kadar bir oranda meydana geldi. Sıvılaşma nedeniyle binalarda oturmalar ve eğilmeler meydana geldiğinden yapısal hasar çok az olmuştur (EQE, 1990). Benzer şekilde Guam'da 1993 depreminden sonra büyük bir deprem olduğu açıkça görülmüştür. Zemin göçmesinin görülmediği otellerde yapısal hasar meydana gelmezken, Piti'de ise yapısal hasar meydana gelmiştir. Santralde toprak kayması meydana gelmiş ve yapısal hasar çok az olmuştur (Comartin, 1995). San Francisco'nun Marina Bölgesi'nde meydana gelen olaya büyük ilgi gösterildi. Loma Prieta depreminde sıvılaşma, ancak "yapısal hasarların yüksek konsantrasyonu" şeklindedir. Bu bölgedeki deprem öncelikle şiddetli sarsıntıdan kaynaklanıyordu" (Seed vd., 1991). Saha raporlarında zaman zaman yer sarsıntısı vakalarına atıfta bulunmaktadır: Aynı yapıya zarar veren başarısızlık. Yumuşak zemin katı nedeniyle binalar çöktü ve bitişik binalarda bunun kanıtı görüldü. Zemin çökmesinden kaynaklanan temel hasarı "yapısal yapıya katkıda bulunmuş olabilir" (Stewart vd., 2001). 1990 Luzon depremindeki gözlemciler 45-50 saniyeler süren güçlü sarsıntı, ahşap yapıların sıvılaşmadan önce çökmesine neden oldu. Yerleşim gerçekleşti (Schiff, 1991) ve Filipinler'in başka yerlerinde de önemli Carmen köprüsünün sıvılaşma ve zemin kombinasyonundan kaynaklandığı bildirildi. AIJ (2001) yerleşimden etkilenen bir binayı rapor etmektedir; dışarıdan bakıldığında yapısal olarak hasarsız görünmesine rağmen "ciddi hasarlar olduğu" ortaya çıktı. Binanın iç kısmında yapılan incelemede

zemin sıvılaşmasının yanı sıra sismik yanal titreşimlerin neden olduğu iç duvarlar ve bitirmeler gözlemlenmiştir. Vaka Juarez Garcia ve ark. tarafından bildirildi. (1997), Şekil 4.14'de gösterilmektedir.



Şekil 4.14 1995 Manzanillo, Meksika depremi sonrasında Jalisco'da hasar gören bir bina (Juarez Garcia vd., 1997).

Bahsedilen yer sarsıntısı hasarı ön plandaki düşen moloz olabilir. Heyelandan kaynaklanan hasarlar için, bir binanın depremden önce sarsılarak hasar görmesi mümkündür. Bulunduğu eğimin başarısızlığı, ancak hemen hemen her durumda, neden olunan hasar, heyelan tamamlanmış olup, yer sarsıntısından dolayı hasar oluşup oluşmaması etkilenen yapılar açısından önemsizdir, ancak daha önce de belirtildiği gibi ölü sayısı açısından önemsizdir. Cankurtaran hattı hasarıyla ilgili olarak, belirli bir konumdaki hasarın nedeni genellikle yardımcı yapılara sallanma hasarı veya boru hatlarında zemin deformasyonu hasarıdır. Yaşam hattı ağı veya büyük bir boru hattının

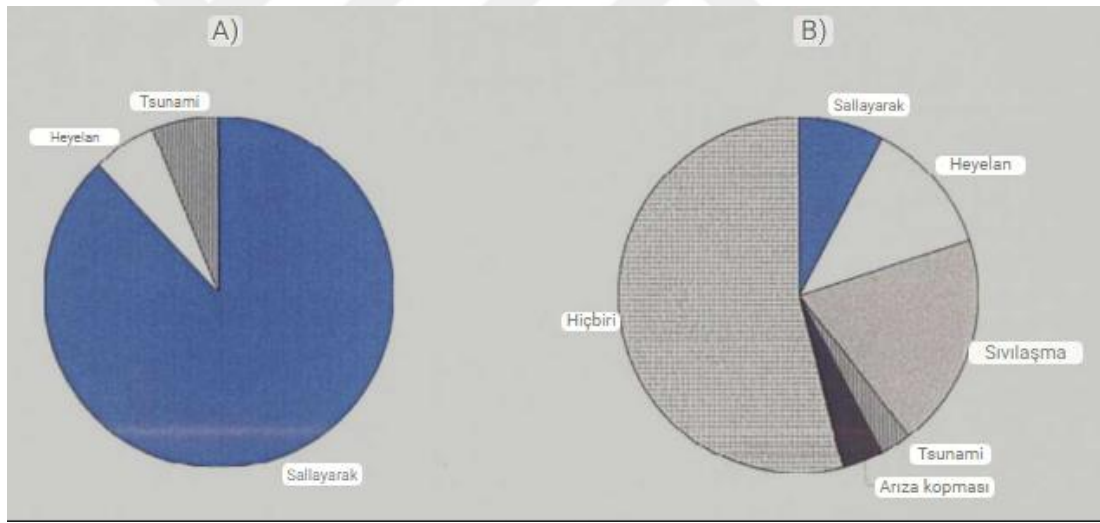
uzunluğu, hasar tehlikelerin birinden veya tümünden kaynaklanabilir. Sonuç olarak binaların depremden önce kuvvetli bir şekilde sarsılmasını sağlayacak bir mekanizma mutlaka vardır. Sıvılaşma veya heyelanların başlaması, nihai hasar durumlarının kümülatif olarak ortaya çıkması HAZUS'taki (FEMA, 2003) varsayımın aksine yer sarsıntısı ve yer kayması. Böyle bir olayı destekleyen birkaç vaka geçmişi tespit edilmiştir. Bununla birlikte, sıvılaşmanın binalara veya köprülere zarar verdiği veri tabanındaki depremlerde, birleşik hasara ilişkin yalnızca beş izole gözlem bulunmuştur. Geri kalan vakalarda eğilim sıvılaşma bölgeleri arasında makul ölçüde net bir sınır oluşturacak ve temellere zarar verecek veya binanın oturması veya eğilmesi, ancak nispeten hafif yapısal hasar, heyelanın neden olduğu hasar bölgeleri ve zemin çökmesi belirtisi olmayan yapısal hasar bölgeleri, kayıplar, onarım maliyetleri ve aksamaların tümü binaların gözle görülür bir şekilde çökmeye maruz kaldığı yerlerde bunun çok zor olduğu doğrudur.

Toprak arızasının kanıtlarını tespit etmek ve dolayısıyla hassas bölgelerde bunu tespit etmek imkansızdır. Zemin arızasının çökmeye katkıda bulunup bulunmadığını belirleyin. Heyelanların zarar verdiği yerler binalarda, yer sarsıntısının neden olduğu önceki hasarlar büyük ölçüde önemsizdir, çünkü çoğu binaların heyelandan kurtulması pek mümkün değil. Bu durumlarda şunu varsaymak mantıklı olacaktır: Hasarın, özellikle diğerinin ışığında, bir veya diğer tehlikeden kaynaklandığı Deprem kayıplarının tahmin edilmesine ilişkin belirsizlikler. Kümülatif olasılığın göreceli olasılığı sarsıntı ve sıvılaşmanın birleşiminden kaynaklanan hasar, daha fazla araştırmayı hak eden bir konudur.

4.7 Deprem Tehlikeleri ve Yapılı Çevreye Verilen Zararların Özeti

Bu bölümde sunulan deprem incelemesi depremin neden olduğu hasar ve aksamalara odaklanmıştır. Heyelan, sıvılaşma, fay kırılması ve tsunami gibi deprem tehlikeleri ve zıtlıklar, bunlar yer sarsıntısının doğrudan etkisidir. Son zamanlarda yapılan 50 incelemeden elde edilen ampirik veriler, hasara neden olan depremler bu bölümde, ilgili depremler hakkında yararlı bir rehberlik sağlamak amacıyla özetlenmiştir. Her deprem için binalardaki hasar nedenlerinin dağılımı, hasarın boyutunu, yani binalardaki genel hasarın hafif olup olmadığını ayırt etmek, orta veya şiddetli, sadece hasarın nedenini

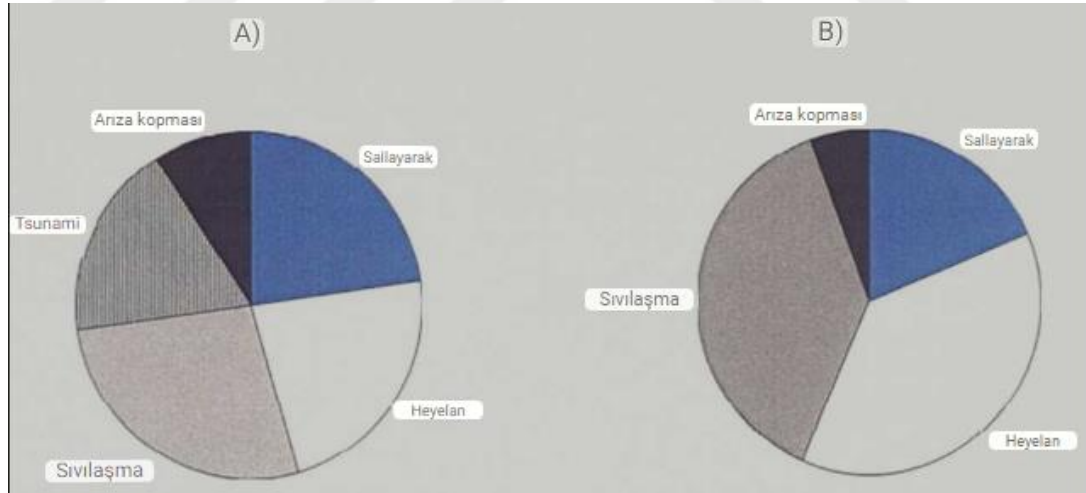
dikkate alır. Depremlerin yüzde 88'i incelendiğinde, bina hasarının en önemli sebebinin yer sarsıntısı olduğu görüldü. Topraklama arızası vakaların yüzde 6'sında birincil neden, yüzde 6'sında ise tsunamiler vardı. Bu istatistikler şunları içerir: İki veya daha fazla tehlikenin eşit öneme sahip olduğu düşünülen birden fazla deprem etkiler. Örneğin, 1990 yılında İran'ın Mencil kentinde kerpiç yapılardaki yer sarsıntısı hasarı, Hazar Denizi'ne giden delta bölgelerinde sivilaşma hasarı ve iki büyük heyelanların tümü bölgenin genel tahribatından sorumluydu (Ishihara vd., 1992). Bu bireysel tehlikeler, ana tehlikeyi tanımlayacak kadar kolaylıkla ayrılamaz. Sadece depremlerin yarısından azında birden fazla tehlike birleşerek genel hasara neden olur. Ancak bu durumlarda en çok hangi tehlikenin neden olduğunu belirlemek mümkün oldu. Hasar ve bu da ikincil nedendi. Yer sarsıntısından kaynaklanan hasarlar indirimli ise, bu durumda toprak kayması önemli bir tehlike haline gelir; heyelanlar ve sivilaşma vakaların %32'sinde bina hasarının ikinci en önemli nedenidir. Ancak depremlerin %54'ünde bina hasarının tek nedeni yer sarsıntısıydı.



Şekil 4.15 Depremin bina stoğuna verdiği hasarın nedenleri A) Birincil neden B) İkincil neden

Şekil 4.15'te görülen şekiller "A) Birincil neden ve B) İkincil neden" olarak sınıflandırılmıştır. Hasarın iki nedeninin olduğu durumlarda, genellikle aralarında net bir ayrım vardır. Farklı bölgelerde, bazı depremlerde birden fazla eşit hasar nedeni vardır, bazılarında ise tek bir neden vardır, bu durumda ikincil neden 'Yok' olarak tanımlanır.

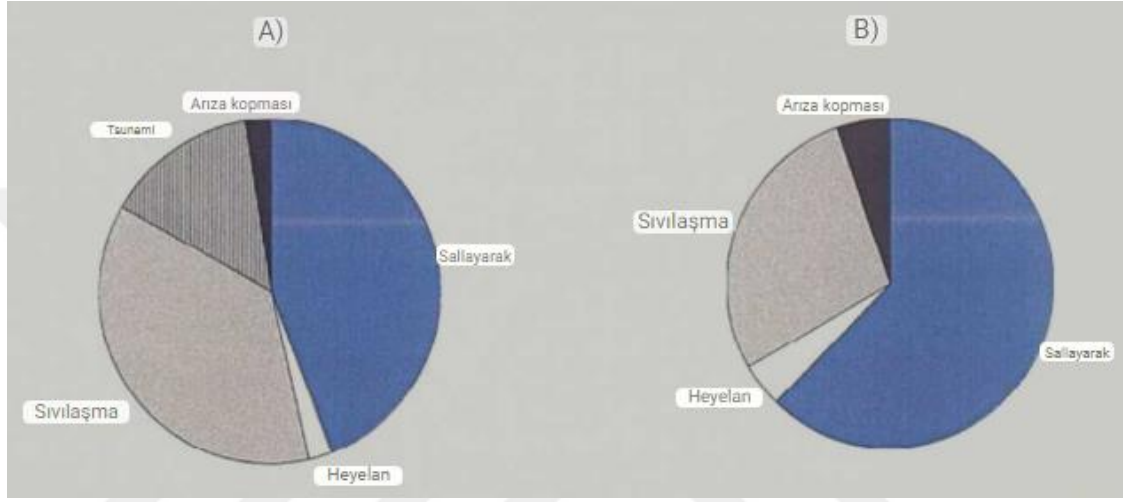
Şekil 4.16 a'da ulaşım ağlarındaki hasar ve kesintilerin başlıca nedenleri gösterilmektedir. Ulaşım hasarının önemli olduğu (örneğin köprülerin çöktüğü veya çöktüğü) 12 depremin ardından ana yollar kapatıldı. Bu kategori aynı zamanda limanlara zarar verir. Bazı depremlerde iki veya üç tehlike eşit olarak atanmıştır. Sarsıntı, heyelan ve sivilaşma bu bölgede yaklaşık olarak eşit dağılmıştır. Hasarın veya aksamının sarsıntıdan kaynaklandığı durumlarda, bu genellikle köprülerde çökme veya büyük hasar meydana gelirken, heyelandan kaynaklanan hasar ve aksamalar tipik olarak ana yolların kapatılması şeklinde, bazen aylarca devam etmektedir (örneğin Ocak 2001 El Salvador). Depremlerin yüzde 36'sında ulaşım aksama yaşandı. Çoğunlukla geçici ve tamir edilebilir olan sistem, bu nedenle orta düzeyde olarak sınıflandırılmıştır. Şekil 4.16 b'de gösterilen bu durumlarda, sivilaşma baskın tehlikeydi ve hemen ardından heyelan. Sivilaşmanın neden olduğu orta dereceli hasar, ayakların yer değiştirmesini içerebilir. Karayolu ve demiryolu dolgularının çökmesi, yanıl yayılması ve karayolları veya demiryolunun oturmasını izler. Heyelanın neden olduğu orta dereceli hasar, kaya düşmelerini veya yarmalardaki eğim kaymalarını veya yolları geçici veya kısmen kapatan setleri etkiler.



Şekil 4.16 Köprüler ve yollarda ulaşım hasarı ve aksamalarının nedenleri

- A) Depremlerde ulaşımın etkilendiği hasarların ana nedenleri: Sistemin önemli olduğu
B) Depremde meydana gelen hasarın ana nedenleri: Ulaşım sistemi orta düzeydeydi

Kamu hizmetleri ağıları 14 depremde ciddi, 19'unda ise orta hasar gördü. Hasarın önemli olduğu durumlarda, cankurtaran hattını belirleyen ana faktör yer sarsıntısıydı. Vakaların %45'inde hasar, %37'sinde ise sivilaşma söz konusudur (Şekil 4.17 a). Yer sarsıntısı aynı zamanda genel kamu hizmetlerinin olduğu depremlerde kamu hizmetleri için en önemli tehlikeydi. (Şekil 4.17 b). Yaşam hatlarına verilen bu sarsıntı hasarı tipik olarak ilgili binalara, tesise veya altyapıya (örneğin su arıtma tesislerine) zarar verilmesi veya elektrik üretim tesislerine orta düzeydeydi.



Şekil 4.17 Taşıma hariç yaşam hattı hasarı ve aksama nedenleri

A) Yaşam hatları üzerindeki etkinin önemli olduğu depremlerde hasarın nedenleri

B) Depremin ulaşım sistemini etkilediği hasarlar

4.8 Kayıp Modellemeye Yönelik Çıkarımlar

Çoğu deprem kaybı tahminleri yalnızca yer sarsıntısından kaynaklanan kayıplardır. Topraklama arızası gibi ikincil tehlikelerin olduğu ve tsunamiler dahil edildiğinde, metodolojilerin kıyaslandığında zayıf şekilde geliştirildiği görülmektedir. Özellikle toprak arızası durumunda, bu tür tehlikelerin bir kayıp tahminine dahil edilmesi, ya önemli miktarda ek veri gerektirir ya da analiz veya bunlarla ilgili yapılması gereken bir takım önemli varsayımlar ve basitleştirmeler gerektirir. Toprakların toprak kaymasına karşı hassasiyeti ve bunun sonucunda binalarda ve altyapıda meydana gelen hasarı son derece önemlidir. Bu incelemeye dayanarak, deprem kaybı tahmin çalışmasının planlanmasına yönelik yönergeler geliştirilmiştir. Öncelikle bölgesel dağılıma sahip bir

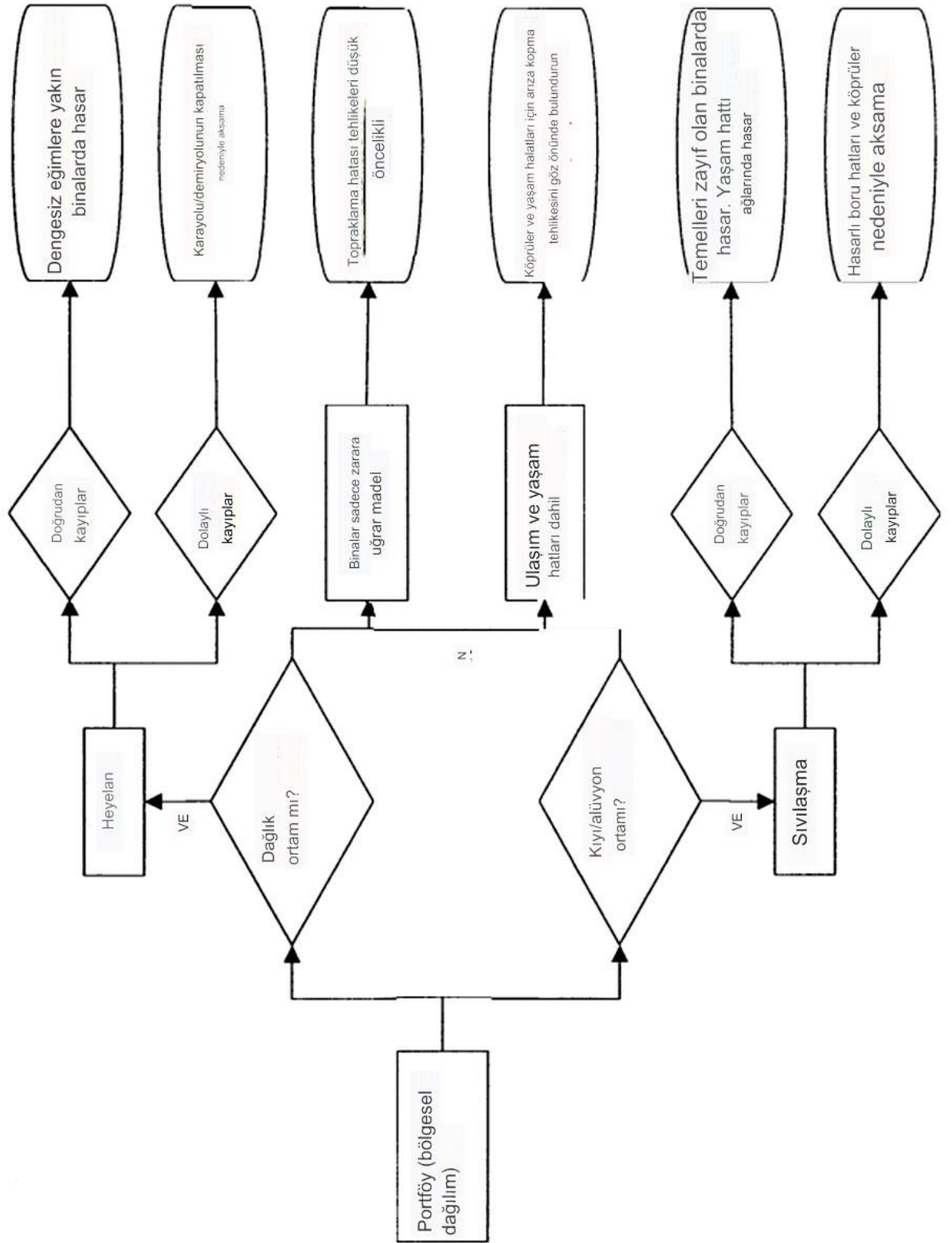
kayıp çalışması için önerilmektedir. Portföyde, bina hasarına ilişkin bir ön tahmin istendiğinde, dikkate alınması yeterli olacaktır. Bu basitleştirmedeki tahminler genellikle doğru aralıktadır, çünkü yer sarsıntısı neredeyse etkilenen bölgenin tamamında bina hasarına her zaman hakimdir (Şekil 4.15). Böylece çalışma alanı küçülür ve ikincil tehlike potansiyeline daha fazla odaklanılır. Heyelan, sıvılaşma veya fay kırılması doğaya hakim olur ve dağılım daha da artar. Dagupan'ın merkezinde veya Adapazarı şehir merkezinde daha küçük bir bölgede sıvılaşma potansiyelinin hakim olduğu gözlemlendi.

Nadir de olsa, tsunamiler meydana geldiğinde büyük ihtimalle kıyı bölgesinde yıkıma neden olur. Göz ardı edilen bir kıyı bölgesi için kayıp tahmininde Tsunami oluşma ihtimali neredeyse anlamsız olabilir. Kazıklı, sürekli veya bağlı sığ temeller üzerinde olan yapılar önemli ölçüde daha iyi performans gösterir. Esnek sığ temeller üzerinde olanlar ve performansı etkilediği gözlenen diğer parametreler zemin göçmesine, özellikle de sıvılaşmaya maruz kalan binalar, yüksekliği, en boy oranını içerir. Ve diğer binalara yakınlığın yanı sıra sıvılaşan toprağın değişkenliği önemlidir. (örn. Sancio et al diğerleri, 2002). Mevcut binaların temel sistemleri hakkında bilgi edinmek zor olabilir. Ancak zemin arızasından dolayı bina performansının doğru modellenmesi için gereklidir. Zorluk, görsel incelemenin bile temel tipini ortaya çıkaramaması gerçeğinde yatmaktadır. Orada temel türüne ilişkin potansiyel olarak yapılabilecek bazı varsayımlar vardır; örneğin Modern kod gereksinimlerini karşılayacak şekilde tasarlanmış bir yapının sahip olacağı uygun temeller ve zemin deformasyonuna karşı direnç önemlidir. Kayıp tahmininde Metodolojilerde bina envanter sınıfları genellikle binanın hem yaşı hem de yüksekliği ile ilişkilidir. Temelin farklı tasarım ve sınıflandırma seviyelerini temsil etmek için toprak arızası nedeniyle gelecekteki kayıpları tahmin etmek amacıyla sistemlerde aynı değişkenler değerlendirilebilir. Yerel bilgi ve yargı ile temel sistemi ve ilgili belirsizlik derecesi tahmin edilebilir.

Kapsamlı kayıp tahminleri nakliye hasarını ve aksamayı içerir. Mali açıdan kayıplar (en azından yollarda) binaların çökmesinden kaynaklanan kayıplardan daha az önemlidir, ancak ulaşım sisteminin performansı ve bir bölgenin daha sonra kurtarılması acil durum müdahalesinde hayati bir role sahip olabilir. 2001 El Salvador depreminde toplam maliyet yol ve köprülerdeki hasarın onarılmasının sırasıyla 2,7 milyon dolar ve 12,4 milyon dolar olduğu bildirildi (JSCE, 2001). Ancak yollarda meydana gelen hasar büyük ve yaygındı.

Yalnızca küçük olarak sınıflandırılan köprü hasarına ilişkin birkaç rapor, doğrudan kayıplar açısından dolaylı kayıplar da ulaşımın aksamasından etkilenecektir. Bağlantı noktalarının hasar görmesi potansiyel olarak çok pahalı ve yıkıcı olabilir ve bağlantı noktaları özellikle yüksek su seviyeleri ve insan yapımı dolgu kombinasyonundan dolayı sivilaşmaya karşı hassastır. Binalarda meydana gelen hasarlardan farklı olarak ulaşım kategorisi için sadece yer sarsıntısından kaynaklanan hasarın dikkate alınması uygun değildir. Taşıma kayıplarının olabileceği durumlar, dağlık bölgelerdeki yolların kapatılmasından kaynaklanan dolaylı kayıplar veya sivilaşabilir bölgelerdeki köprü hasarlarından kaynaklanan doğrudan ve dolaylı kayıplar özellikle önemlidir. Bu gibi durumlarda, yer sarsıntısı, sivilaşma ve heyelan gibi üç ana tehlikenin dikkate alınması gereklidir. Arıza kopması da önemli olabilir ve vakaların %9'unda ciddi hasara neden olabilir. Bir kayıp portföy içindeki mevcut tesislerin, köprülerin veya yaşam hattı ağlarının belirlendiği durumlarda bir fayı geçerken olasılıksal fay yer değiştirmesi tehlike analizi yaklaşımı anlatılmıştır.

Youngs vd. (2003) tarafından önerildiği gibi, tsunamiler duyarlı olarak değerlendirilmelidir. Yaşam hattı ağlarında gelecekteki kayıplara ilişkin tahminler, heyelan ve sivilaşmanın, özellikle dolaylı kayıplar veya acil durum planlamasının gerektiği durumlarda önemli bir rol oynadığı göz ardı edilemez. Bu durumlar, yaşam hatlarının acil durum müdahalesi ve deprem sonrası toparlanmayı etkilediği ve aynı zamanda dolaylı kayıpları da etkilediği (bkz. Şekil 4.18) durumlarda daha belirgindir. Yaşam hattı sistemlerindeki hasar, ilgili yapılara verilen hasarın bir kombinasyonu olabilir; tesisler ve boru hatları özellikle yer sarsıntısına karşı hassas olup aynı zamanda zemin arızası tehlikeleriyle de karşı karşıyadır, özellikle gömülü oldukları durumlarda kalıcı zemin deformasyonuna maruz kalabilirler.



Şekil 4.18 Ön kayıp modellemesi

Yer sarsıntısını dikkate almanın yanı sıra toprak başarısızlığı da göz önünde bulundurulmalı mı? Bu basitleştirilmiş karar ağacı, bu durumu etkileyecek temel faktörlerden bazılarını gösterir. Tek bir saha kaybı modeli için, toprak arızasının her zaman dahil edilmesi beklenir. Ancak, bu rakama dahil edilmeyen diğer faktörler arasında kalite de bulunmaktadır. Mevcut veriler, mevcut zaman ve kaynaklar, temel türleri ve son kullanıcı bilgisi gibi kayıp sonuçlarını etkileyen diğer faktörleri belirler.

İşletmeler, sanayi ve okullar gibi kritik tesislerin sürekli işleyişi sağlanmalıdır. Hastaneler, sadece deprem yükleri altında iyi yapısal performansa değil, aynı zamanda çevredeki ortamın performansına da odaklanmalıdır. Önemi gösteren örnekler, toprak arızasının ulaşım ve hizmet sistemlerinde nasıl etkili olduğunu göstermektedir. Kayıpların tam bir resmi için, bölgenin farklı kategorilerinin etkileşimini içermesi gerekir ve bir yolun veya limanın kapatılmasının yol açacağı dolaylı kayıplar da hesaba katılmalıdır. Bu tür dolaylı kayıpların potansiyeli, Ağustos 2003'te New York'a zarar veren elektrik kesintilerinde görülmüştür. Bir depremin yaratacağı hasar maliyetlerinin yanı sıra, tahmini 1,1 milyar dolarlık dolaylı kayıplar da ortaya çıkabilir. Dolaylı kayıplara yol açan etkileşim karmaşık bir sistemdir. Ancak, açıkça ortaya çıkan bir gerçek var ki, sarsıntı hasarı sabitken, buna neden olan birincil faktör, özellikle ulaşım ve yaşam hatları açısından zemin arızasının etkilerinin uygun şekilde modellenmemesi, bir bölgenin deprem sonrası durumuna ilişkin gerçekçi olmayan bir tabloya yol açabilir.

5.ADAPAZARI'NDA TOPRAK KESİNTİSİNDEN KAYNAKLANAN KAYIPLAR

Türkiye'nin kuzeybatısındaki Adapazarı şehri, 17. Dünya Savaşı sırasında yoğun bir zemin çökmesine maruz kaldı. Ağustos 1999 Kocaeli depreminde, zemin arızasının belirtileri öncelikle şöyleydi: Sıvılaşmanın neden olduğu oturma ve kum kaynamaları gözlemlendi. Sıvılaşmış bölgelerdeki binalarda eğilme, oturma ve yanıl yer değıştirmenin yanı sıra yapısal hasarlar da meydana geldiği gözlemlendi. Yer sarsıntısından kaynaklanan çatlama, deformasyon ve çökme gibi hasarlar da tespit edildi. Daha önce belirtildiği gibi, deprem kayıplarının değerlendirilmesi açısından, önemli bir yapısal hasar olmadan aşırı eğilmeye maruz kalan yapılar önemlidir. Şekil 5-1'de gösterilen yapı sadece yıkıma uygundur ve bu nedenle hasar durumu, tamamen yıkılmış bir binayla aynı şekilde tamamlanmış olarak tanımlandı (Şekil 5-2). İki farklı arıza şeklinin maliyeti; can kaybı, yaralanma, içeriklere ve yapısal olmayan elemanlara verilen hasar ilk modda daha az olacaktır, oysa işlevsellik açısından her iki bina da tamir edilemeyecek durumda olduğundan yapısal hasar maliyetleri esas olarak aynıdır ve ayrıca Şekil 5.1'deki bina ek masraflara tabi olacaktır.



Şekil 5.1 Adapazarı merkezde sıvılaşma nedeniyle yana yatmış bina. {Deprem izniyle Mühendislik Saha Araştırma Ekibi (EEFIT), Birleşik Krallık}

Yer hasarının etkilerinin nispeten küçük olduğu düşünölmektedir, ancak çalışma alanı genişletildiğinde deprem hasarı ve kayıplarının gerçekten baskın olmaya başlayacağı öngörülmektedir. Çoğu durumda, geniş bir bölge düşünöldüğünde, yer sarsıntısının büyük olasılıkla hasar modellerine hakim olacağı düşünölmektedir. Adapazarı şehir merkezi, zemin çökmesinin gözlemlenen hasarı etkilediğı bir bölgenin önde gelen örneğidir; bu nedenle, daha ileri araştırmalar için bu bölge seçilmiştir. Adapazarı'nın hasar araştırma verileri, benzer bölgelerde gelecekteki kayıp modellemesi kapsamında değerlendirilmektedir.



Şekil 5.2 Yer sarsıntısı nedeniyle çökme NATO Caddesi, Adapazarı. (EEFIT'in izniyle, Birleşik Krallık)

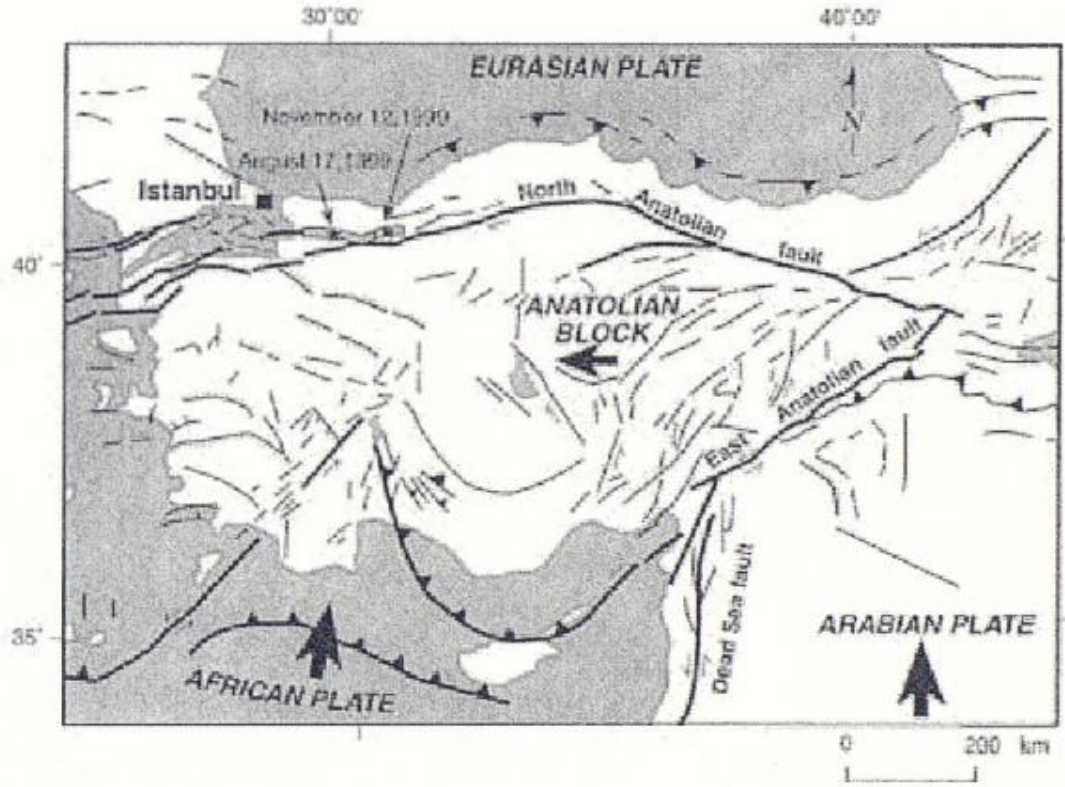
Bu bölümün amacı, hasar dağılımının zemin çökmesinden nasıl etkilendiğini anlamaktır. Bina stoğunun genel davranışı açısından zemin çökmesinin yaygın olarak meydana gelmesi ve mevcut metodolojilerin bu davranışı tahmin etmeye çalışırken nasıl performans gösterdiği incelenecektir. Önceki bölümlerde bu alandaki mevcut metodolojilerle ilgili bazı eksikliklere değinilmişti; bu eksikliklerin önemini gerçek veriler bağlamında ele almak uygun olacaktır.



Şekil 5.3 Türkiye Haritası (CIA, 2004)

5.1 1999 Kocaeli Depremi

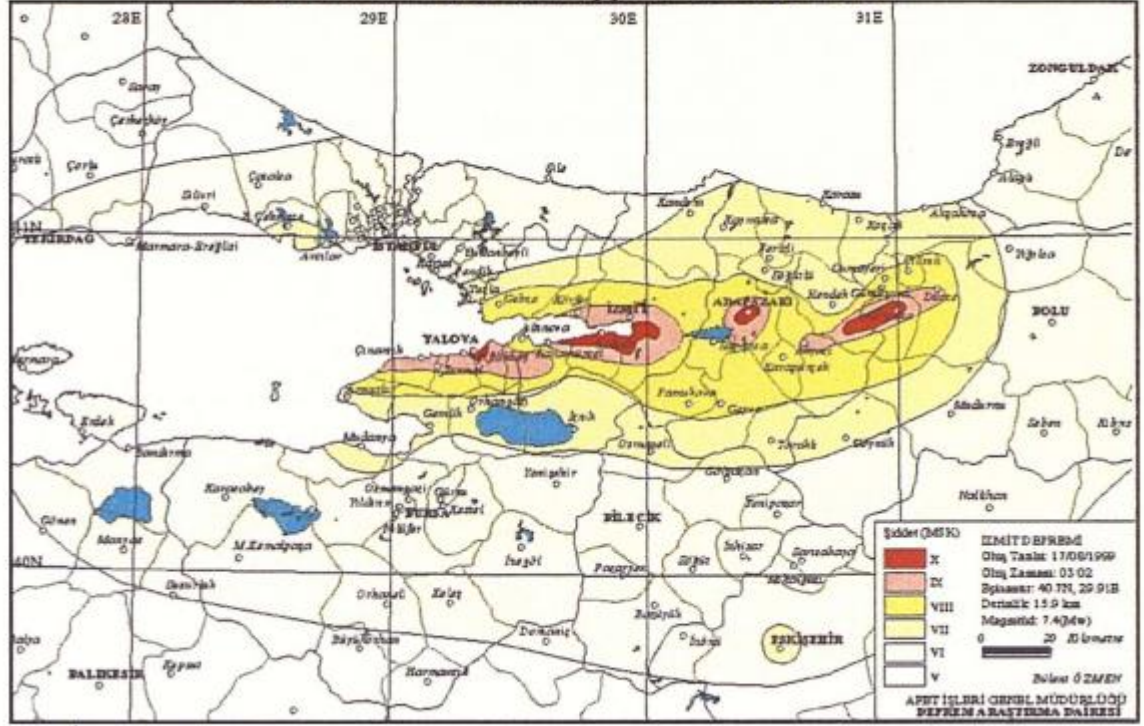
Kocaeli depremi olarak bilinen 17 Ağustos 1999 depremi büyük bir depreme neden oldu. Depremi büyüklüğü 7,4 olarak ölçülmüş, doğrultu atımlı bir fay kırılma mekanizması ve 17 km odak derinliğiyle gerçekleşmiştir. Depremi merkez üssü koordinatları 40.702° K enlemi ve 29.987° D boylamı olarak belirlenmiştir. Deprem, Kuzey Anadolu'nun 126 km'sini etkilemiştir. Bu depremi 3 ay içinde, Mw 7.1 büyüklüğünde ve Düzce'de gerçekleşen bir deprem izlemiştir. Fay kopması neredeyse dikey bir fay düzlemiyle gerçekleşmiş ve neredeyse tamamen sağ yanal doğrultu atımlıydı. Türkiye'nin kuzeybatısındaki etkilenen bölge, ülkenin sanayi merkezidir ve nüfusu 15 milyon insana ve Türk sanayisinin %40'ına denk gelmektedir (Youd vd., 2000). Doğrudan ekonomik kayıplar, 17.000'den fazla ölüm ve yaklaşık 50.000 kişiyle birlikte 9 milyar dolarlık tahmini hastaneye kaldırılan yaralanmalarla sonuçlanmıştır. (Erdik, 2000).



Şekil 5.4 Kuzey Anadolu Fayı'nın bölgesel tektonik yapısı ve iki fayın kırılması 1999 depremleri (Lettis vd., 2000)

Depremin yoğunluk dağılımı Şekil 5.5'te gösterilmektedir; toplam etkilenen alan yaklaşık 10.000 km²'dir (Youd vd., 2000). Fay kırılmasının kesitleri 100 km mesafeden güçlü hareket kayıtları Tablo 6.1'de, istasyon konumları ise Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

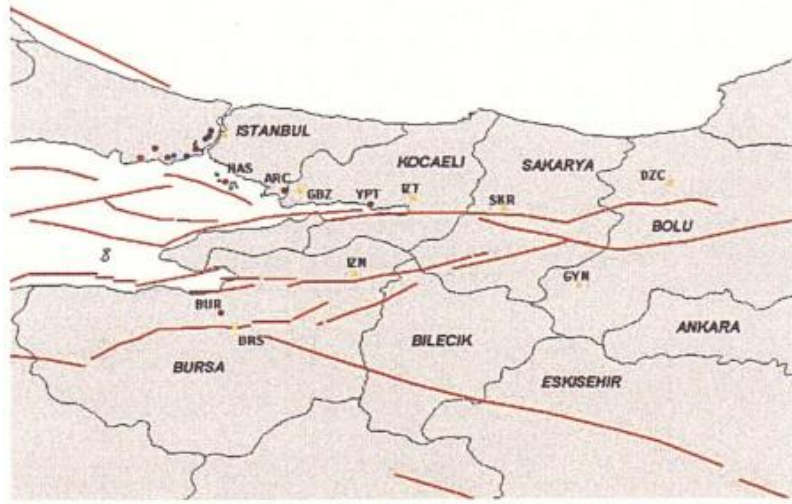
İZMİT DEPREMİNİN EŞİDDET HARİTASI



Şekil 5.5 Türkiye Ulusal Afet Yardım Merkezi tarafından hazırlanan 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin MSK şiddetindeki izosizmal haritası (AFAD)

5.1.1 Kuvvetli hareket verileri formun üstü

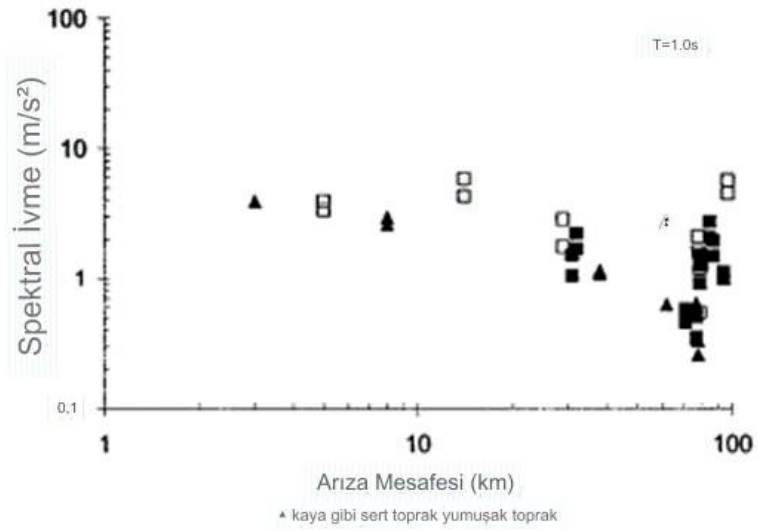
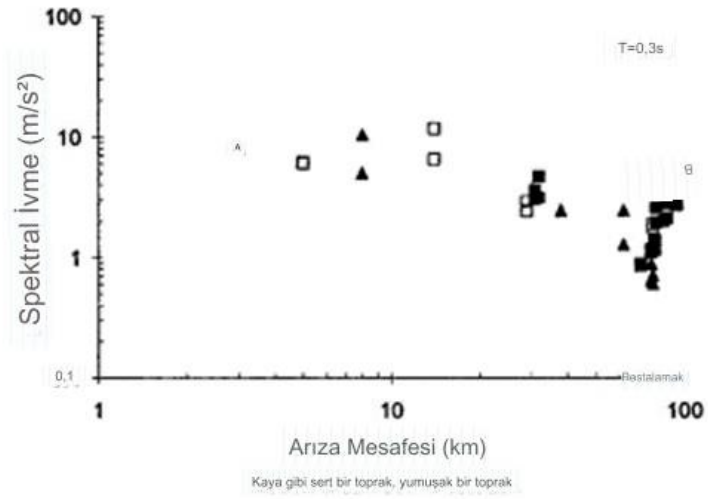
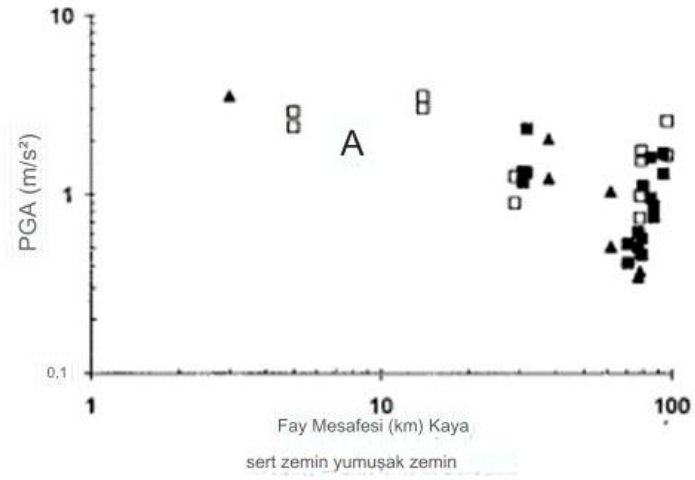
Tablo 6.1'de listelenen kuvvetli yer hareketi kayıtları İnternet sitesinden indirilmiştir, Avrupa Güçlü Hareket Verileri (ISESD) (Ambraseys vd., 2002) kaynaklıdır. Hızlanma mesafesi çiftleri, yerel jeolojinin geçerli olduğu, fay mesafesinin 100 km'den az olduğu 21 kayıt için bilinen değerler Şekil 5.7'de gösterilmektedir. Bu veriler $T=0s$ (PGA) olarak çizilmiş ve $T=0,3s$ ve $1,0s$ değerleri için ayrıca verilmiştir. Şekil 5.7'nin belirli özellikleri arasında, nispeten düşük genliklerin olduğu daha kısa mesafeler ve 70 ila 100 km arasındaki büyük mesafelerdeki verilerdeki büyük dağılım ile 20 ila 60 km arasındaki orta mesafe aralığındaki kayıtların azlığı yer almaktadır.



Şekil 5.6 Marmara Denizi bölgesindeki kuvvetli yer hareketi istasyonlarının konumu

Çizelge 5.1 17 Ağustos 1999 Kocaeli ana şokunun Kuvvetli Hareket Kayıtları
(Ambraseys vd., 2002; Anderson vd., 2000; Kudo vd., 2002, Sucuoğlu, 2002)

İstasyon Adı	Kod	Mal sahibi	Koordinatlar		Yerel jeoloji	Merkez üssü bölgesi (km)	Arıza mesafesi (km) ¹
			Yıllar. (°K)	Uzun. (°E)			
Ambarlı-Termik Santrali	ATS	Kandilli ²	40.981	28.693	Yumuşak toprak	113	97
Bursa-Sivil Savunma Mudurluğu	BRS	GDDA ³	40.183	29.131	Sert toprak	93	79
Bursa-Tofa İmalatı	FUR	Kandilli	40.261	29.068	Yumuşak toprak	92	78
Cekmece-Kucuk	ÇNAK	Kandilli	41.024	28.759	Sert toprak	110	94
Düzce-Meteoroloji Mudurluğu	DZC	GDDA	40.85	31.17	Yumuşak toprak	101	14
Fatih Türbesi	YAĞ	Kandilli	41.02	28.95	Yumuşak toprak	94	79
Gebze-Arçelik	ARK	Kandilli	40.824	29.361	Kaynak	55	38
Gebze-Tubitak MAM	GBZ	GDDA	40.82	29.44	Sert toprak	48	32
Goynuk-Devlet Hastanesi	Jinekoloji	GDDA	40.381	30.734	Sert toprak	73	31
Heybeliada-Senatoryum	SAHPOLMAK	Kandilli	40.869	29.088	Kaynak	78	62
İstanbul-Ataköy	saldırı	O	40.989	28.849	Sert toprak	101	85
İstanbul-Bayındırlık ve İskan Mudurluğu	DIR-DİR	GDDA	41.08	29.09	Sert toprak	86	71
İstanbul-Maslak	MSK	O	41.104	29.019	Kaynak	93	78
İstanbul-Mecidiyeköy	MCD	O	41.065	28.997	Sert toprak	93	77
İstanbul-Zeytinburnu	ZYT	O	40.986	28.908	Sert toprak	96	80
İzmit-Meteoroloji İstasyonu	IZT	GDDA	40.79	29.96	Kaynak	10	8
İzmit-Karayolları Sefliği Muracaatı	İZİN	GDDA	40.437	29.691	Yumuşak toprak	39	29
Sakarya-Bayındırlık ve İskan Mudurluğu	SKR	GDDA	40.737	30.384	Kaynak	34	3
Yapı-Kredi Plaza Levent	YKP	Kandilli	41.081	29.011	Kaynak	92	77
Yarımca-Petkim	YPT	Kandilli	40.764	29.762	Yumuşak toprak	20	5
Yesilköy-Havaalanı	DHM	Kandilli	40.982	28.82	Sert toprak	103	87

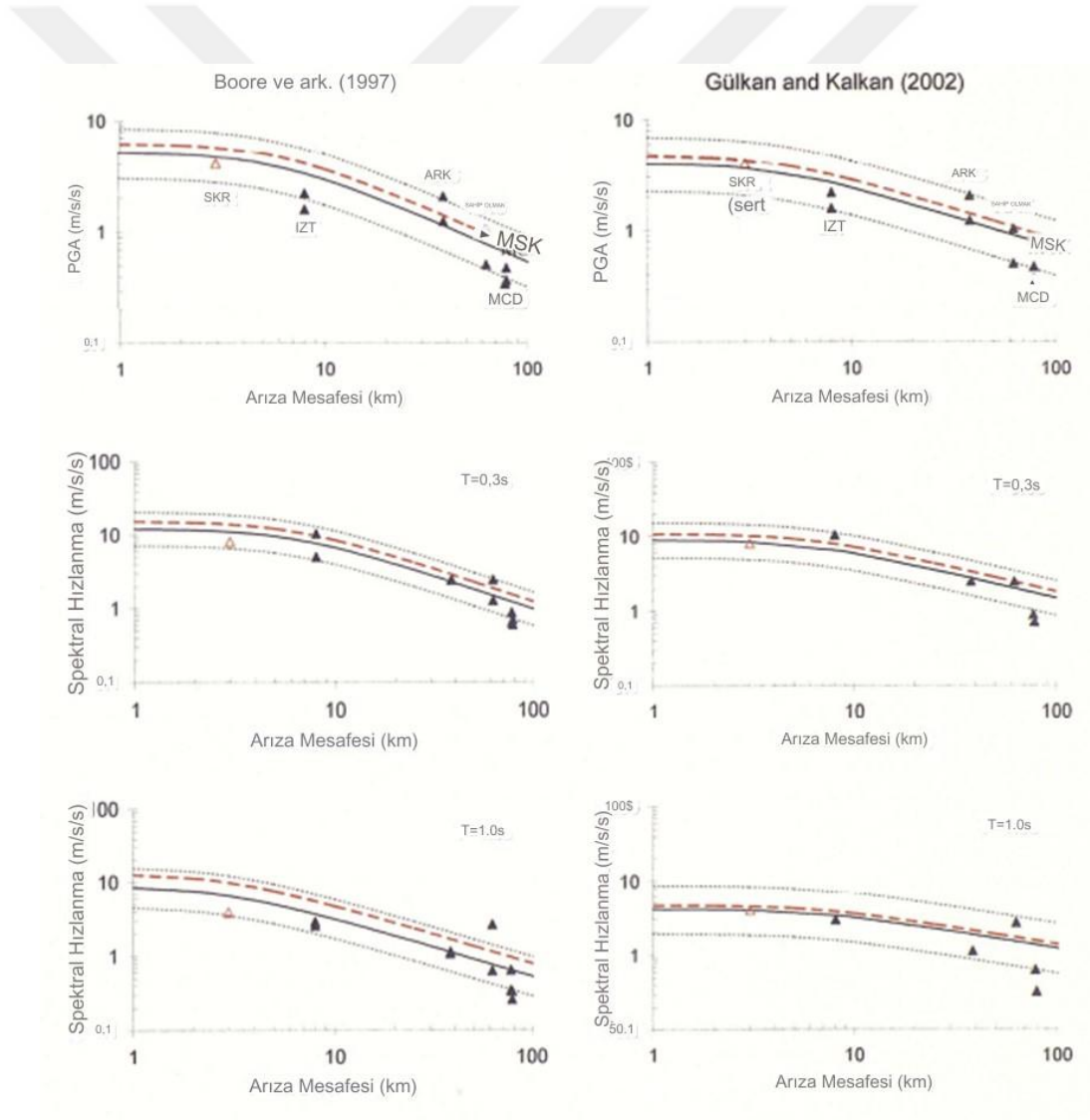


Şekil 5.7 17 Ağustos 1999 depremi için PGA

$T=0,3s$ ve ivmelenme mesafesi çiftleri

$T=1,0s$ (%5 sönümleme). Fay Mesafesi = fayın yüzey projeksiyonuna en yakın yatay mesafe düzlem (R_{jb}). Her iki yatay bileşen de gösterilmiştir.

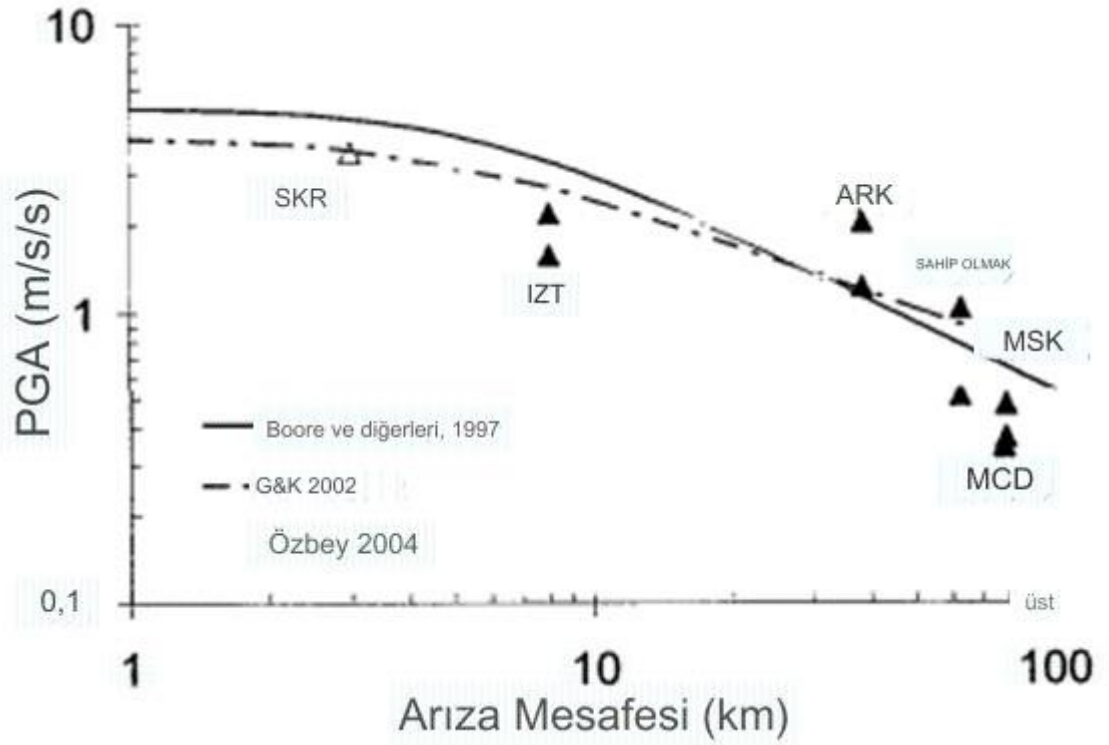
Kocaeli depreminde kaydedilen ivmelerin daha düşük olduğu gözlenmiştir. Özellikle faya yakın bölgede ilişkiler kullanılarak tahmin edilen ivmelerden daha fazla sığ kabuklu depremler için geliştirilmiştir (örneğin Anderson vd., 2000; Erdik ve Durukal, 2001). Boore vd.nin ilişkileri (1997) ise, örneğin daha önceki çalışmalarda kullanılan bölgeler için (örneğin Bommer vd., 2002a), ölçülen değerlere makul bir uyum sağladığı bulunmuştur.



Şekil 5.8 Boore ve arkadaşlarının (1997) rastgele yatay bileşen ve Guikan ve Kalkan (2002) PGA ile en büyük bileşen karşılaştırılması

Şekil 5.8’de, Boore ve arkadaşlarının (1997) rastgele yatay bileşeni sol taraf, Guikan ve Kalkan’ın (2002) PGA ile en büyük bileşeni sağ taraf olarak verilmiştir. 0,3s ve 1,0s 17/08/99 Kocaeli depreminin kaya sahaları için spektral ivmeleri (%5 sönüm) (katı çizgi) ve sert toprak alanları (kesikli çizgi). Noktalı çizgiler ± 1 logaritmik standart sapmayı gösterir kaya bölgeleri için logaritmik ortalamadan. SKR istasyonu sert topraktır, diğerleri kayadır.

Guikan ve Kalkan (2002), Türkçe kullanarak yer hareketi tahmin ilişkilerini türetmişlerdir. Bu kuvvetli hareket verileri ayrıca Şekil 5.8'deki ölçülen verilerle karşılaştırılmıştır. 1999'daki iki depremin veri setlerine büyük ölçüde hakim olduğu gözlemlenmiştir. Bu bağımlılık, onu potansiyel olarak gelecekteki sismik tehlike değerlendirmeleri için uygun olmayan bir seçim yapar, ancak daha iyi bir uyum sağlar. Kocaeli olayına ait yakın alan verileri ölçülmüş ve bu nedenle bu çalışma için uygundur. Tahmini yer hareketlerindeki belirsizliği mümkün olduğu kadar azaltmayı amaçlayan Spudich vd.nin (1999) ve Ambraseys ve ark. (1996) ilişkileri de kontrol edilmiştir. Türkiye dışı ilişkiler, özellikle kısa mesafelerde ölçülen ivmeler, sürekli olarak abartılmaktadır, bu da onların Faya 7 km uzaklıktaki Adapazarı şehir merkezindeki yer hareketi tahminini etkileyebilir. Daha güncel Türkiye için ilişkiler Özbey vd. (2004) tarafından yayınlanmıştır. Şekil 5.9, kısa mesafeler açısından iki Türkiye ilişkisi arasında nispeten az bir fark olduğunu göstermektedir.

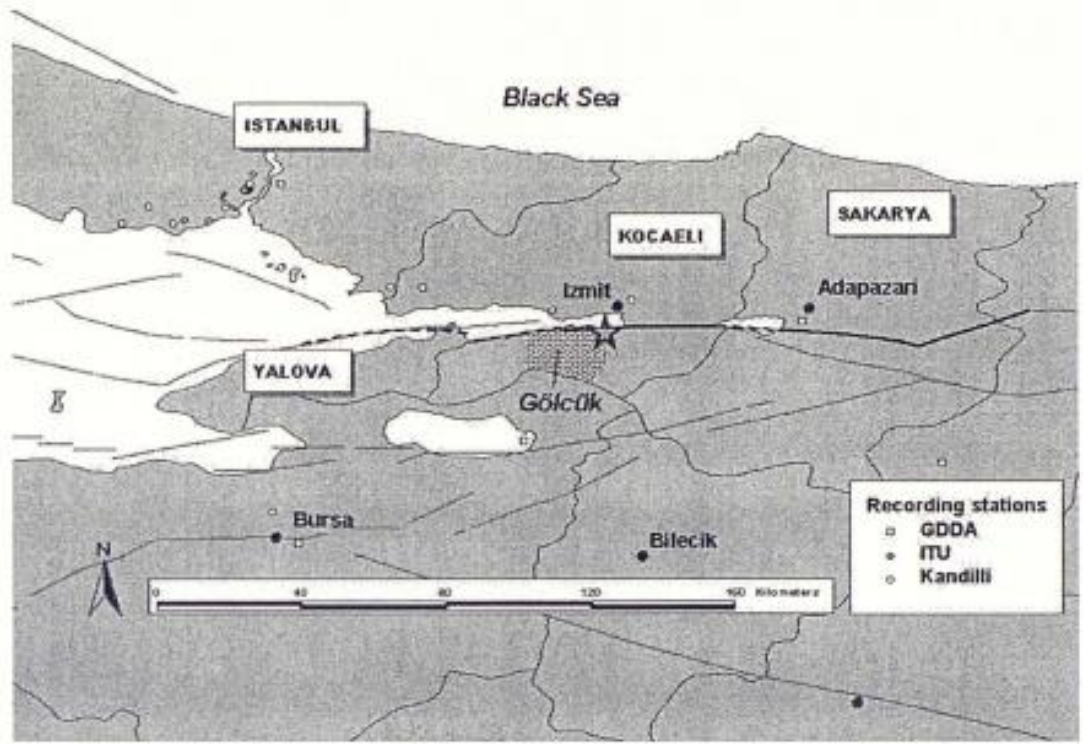


Şekil 5.9 Boore vd., (1997), Özbey vd., (2004) ve Guikan ve Kalkan'ın (2002) karşılaştırılması

Kaya alanlarındaki verileri ölçtüler. İlk iki ölçümün rastgele yatay tahminler olduğunu dikkate alarak, bir bileşenin daha büyük olanını öngörürken, diğeri sadece daha büyük olanı tahmin eder.

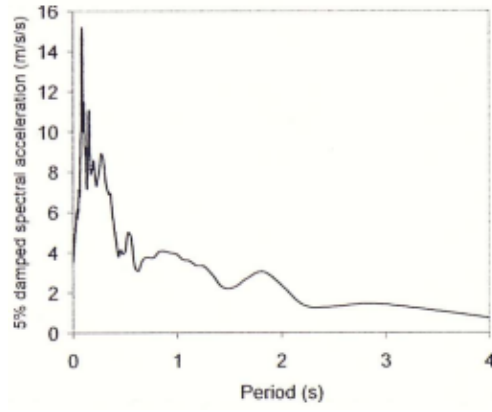
5.1.2 Adapazarı kuvvetli hareketi

Adapazarı merkezinde tahmini talep sarsıntısına ilişkin belirsizlik önemli düzeydedir, çünkü gelecekteki kayıplara ilişkin pek çok çalışma, hasarın büyüklüğü ve konumunun daha az bilinmesi nedeniyle zorluklarla karşılaşabilir. Deprem büyüklüğü ve konumu bilinmekle birlikte, dört kilometre mesafeden kuvvetli yer hareketi kaydı çalışma alanına ulaşmıştır. Ayrıca, şehir merkezindeki yerel zemin koşulları da bilinmektedir, çünkü deprem sonrasında kapsamlı araştırmalar yapılmıştır (Sancio, 2003).



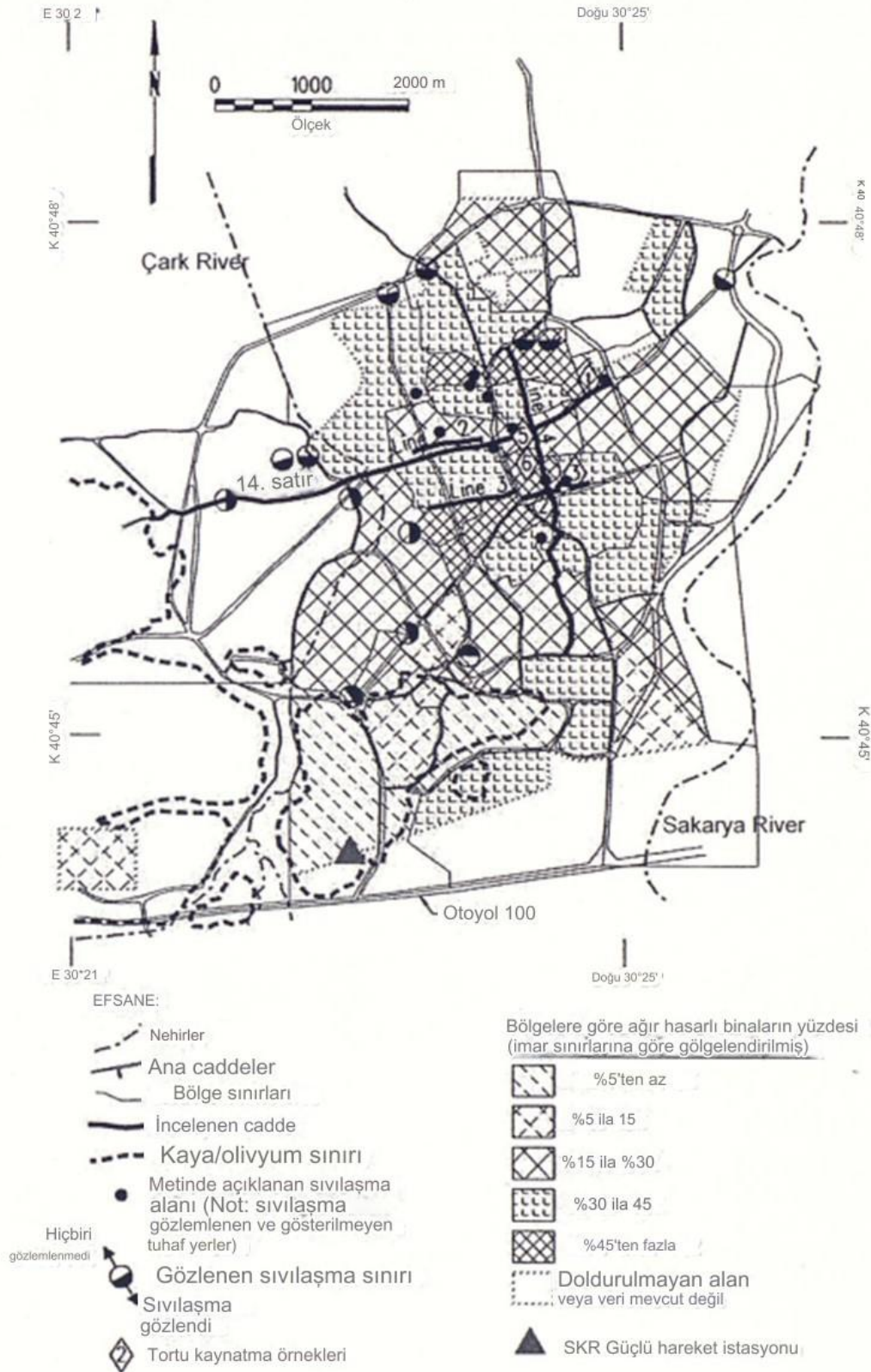
Şekil 5.10 Adapazarı ve diğer etkilenen şehirlerin fay konumu, deprem merkez üssü ve kuvvetli yer hareketi istasyonlarına göre konumu (Spence vd., 2003)

Sakarya İstasyonu (SKR), şehrin eteklerinde yer almaktadır ve faya yaklaşık 3 km uzaklıktadır. Ayrıca, yoğun kırılma ve sıvılaşmanın gözlemlendiği aşağı şehir alanından 4 km uzaklıktadır. Şekil 5.10, şehrin ve istasyonun konumunu fay kırılması ve diğer faktörlere göre göstermektedir. Etkilenen şehirler Şekil 5.12'de ana hasarlı bölgeye göre istasyonun konumunu gösterir ve bu vaka çalışmasında ele alınan dört araştırma hattını içerir. Kaydedilen hareket Şekil 5.11'de, Adapazarı merkezdekilerden farklı olacak şekilde, hem saha koşulları hem de mesafe nedeniyle farklılık gösterir. İstasyon, ölçülen kayma ile yoğun topraktan yumuşak kayaya kadar uzanmaktadır ve dalga hızı (V_{30}) 470m/s olarak belirlenmiştir (Rathje vd., 2003). Zemin yüzeyindeki PGA ise 0,4 I_g seviyesindedir.



Şekil 5.11 Adapazarı'nın güneybatısındaki istasyon

Şekil 5.11'de doğu-batı yönü yaklaşık olarak faya paraleldir. Sakarya'da (SKR) kaydedilen %5 sönümlü elastik tepki spektrumu, Doğu-Batı (EW) bileşenidir.



Şekil 5.12 İlçeler içindeki hasarları, araştırma veri hatlarını ve verileri gösteren Adapazarı haritası (Bray ve Stewart, 2000)

Kentin orta bölgesi, daha derinlere kadar uzanan alüvyon çökeltileriyle kaplıdır, bu tabakanın kalınlığı 300 metreden fazladır. Yüzeye yakın topraklar, Sakarya ve Çark nehirlerinin oluşturduğu yeni çökellerle sınırlanan bölgede yer almaktadır (Şekil 5.12). Merkezi alandaki yüzey PGA'sının yayınlanmış tahminleri Tablo 5.2'de özetlenmiştir; bu değerler, sivilaşma değerlendirmeleri için gereken giriş verileridir. Yüzey ivmesini tahmin etmek için iki yaklaşım kullanılmıştır:

(i) Gülkan ve Kaikan (2002) ilişkileri, 7 km'lik bir arıza mesafesi ve $M_w=7,4$ için elde edilen ortalama değerler PEER Merkezi'nden alınan jeoteknik araştırma verilerine ve Cox'tan kayma dalgası hız profillerine dayanarak belirlenmiştir.

(ii) Gülkan ve Kaikan'ın aynı ilişkileri, ana kayaya ilişkin NEHRP saha sınıfı B için ivmeleri tahmin etmek için kullanılmıştır ($V_s=760$ ila 1500 m/s). Daha sonra, kısa süreli ivmelenmeler için uygun büyütme faktörleri ($T=0,3s$) uygulanarak yüzey ivmeleri tahmin edilmiştir. 200 m/s V_s değerine uygun olarak, ara saha sınıfı D/E olarak atanmıştır. PGA'ya $T=0,3$ s'ye uygun olarak NEHRP'nin faktörlere bağlı olduğu varsayımı HAZUS metodolojisine göre uygulanabilir.

Çizelge 5.2 Adapazarı merkezindeki tahmini yüzey PGA'sı (fay kırılmasından 7 km), hariç sivilaşmanın etkileri.

Kaynak	Yüzey PGA'sı (g)
Bakır ve ark. (2001); Gülkan ve ark. (2004)	0,43
Sancio ve diğerleri. (2002)	0,3 ila 0,4
Bray ve ark. (2004)	0,3 ila 0,5
Yasuda ve ark. (2001)	0,4
Sanço (2003)	0,35 ila 0,5 (en iyi tahmin 0,4 ila 0,45)
Bu çalışma (i)	0,41
Bu çalışma (ii)	0,33 ila 0,4

Bu tahminlerin hiçbirisi sivilaşmanın yüzey yer hareketi üzerindeki etkisini dikkate almamaktadır. Yayınlanan değerler, eşdeğer doğrusal 1 boyutlu saha tepki analizleri de dahil olmak üzere çeşitli yollarla elde edilmiştir (Bakır vd., 2002; Bray vd., 2004). Bu

Çalışma için elde edilen tahmini değerler birbirleriyle ve diğer yayınlanmış değerlerle makul düzeyde uyum göstermektedir.

5.2 Vaka alışmasının Arka Planı

Ağustos ve Ekim 1999'da Türkiye'nin kuzeyinde meydana gelen iki yıkıcı depremin ardından Türkiye sonuçta ortaya çıkan 20 milyon ABD Doları tutarındaki maliyeti üstlendi. Devlet tüm ev sahipleri için geleceği dengelemek amacıyla zorunlu bir sigorta poliçesi oluşturacak yeniden inşa maliyetlerini belirledi. Bu program, Türkiye Doğal Afet Sigortaları Havuzu olarak bilinir ve Kaliforniya Deprem Sigortası planına benzer hatlara dayanmaktadır. Türkiye için ekonomik riskin belirlenmesi amacıyla ulusal bir kayıp tahmin çalışması yapılmıştır, bu çalışma gelecekteki depremlerden kaynaklanabilecek bina stoğunu belirlemiştir (Bommer vd., 2002a; Spence vd., 2002). Çalışmanın sonuçları daha sonra Türk mülkünün sigortalanmasının faydalarını değerlendirmek ve reasürans şemasını tasarlamak için kullanılmıştır.

Bu çalışmanın tamamlanmasının ardından Spence vd. (2003), aşağıdakilerin bir karşılaştırmasını yapmışlardır:

DASK modeli kullanılarak tahmin edilen hasar ile Kocaeli depremi sonrasında Gölcük ve İzmit kentlerinde gerçekleştirilen detaylı hasar araştırmalarının sonuçları (şekil 5.10). Bulgular, kaynağa yakın bölgelerdeki orta yükseklikteki hasarın, betonarme (RC) ereve binalar ve betonarme döşemeli ve çatılı yığma binalar için önemli ölçüde aşır tahmin edildiğini önerdi. Duyarlılık alışmaları, bu farklılıkların kısmen belirsizlikle açıklanabileceğini ileri sürdü, özellikle tahmini yer sarsıntısı seviyesi açısından. Ancak daha da önemlisi, varsayılan kapasite eğrisinin bu tür binaların gerçek davranışını temsil etmediği konusundaki hassasiyeti belirtildi, çünkü bu kapasite eğrisi kırılğan dolgu duvarlı veya yumuşak katlı çerçevelerden oluşuyordu (Spence vd., 2003). Bu nedenle, güçlü bir hareket olmadan hasar verilerinin tam olarak aynı yerden kaydedilmesi, belirsizlik bileşeninin tam olarak belirlenememesine neden oldu. Tahmin edilen sonuçların çeşitli faktörlere bağımlılığı, girdi değişkenleri yalnızca bu değişkenlerin en azından bir kısmının sabit tutulmasıyla tam olarak değerlendirilebilir. Geriye kalan

bilinmeyen değişkenlerin etkisini araştırmak için bilinen değerleri bulma firsatı olmadan, tahmin edilen hasarın hassasiyeti araştırılırken, yanlış sonuçların kaynağı belirlenemedi. Ayrıca, Adapazarı merkezdeki yer sarsıntısının bazı hesaplamalarla kendinden emin bir şekilde tahmin edilebileceği belirtilmiştir. Ayrıca, kalıcı olarak len toprak arızası, hasar araştırması kapsamında şehir merkezinde zemin deformasyonunun doğrudan ld bilinmektedir. Bray ve Stewart (2000) tarafından gerçekleştirilen araştırmaya dayanmaktadır. Bu nedenle, mevcut veriler şu şekilde kabul edilir:

Gözlemlenen hasarı taleple ilişkilendirmek ve bunlar arasında yararlı bir karşılaştırma yapmak için yeterli basitleştirilmiş yaklaşımlar kullanılarak tahmini talep ve gözlemlenen bina performansı değerlendirilir. Bu bölümdeki örnek olay inceleme, Türkiye için kayıp tahmin çerçevesinin birleşik kullanımını sağlamaktadır. Bommer vd. (2002a), Bray ve Stewart (2001) tarafından sunulan anket verileri ve Rodolfo tarafından gerçekleştirilen jeoteknik inceleme ile bina tepkisinin ayrıntılı çalışmalarını içermektedir ve bu çalışma, 2000'den 2003'e kadar Kaliforniya Üniversitesi, Berkeley'de (Sancio, 2003) Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma (PEER) Merkezi'nin himayesinde gerçekleştirilmiştir.



şekil 5.13 ark Bulvarı boyunca yapısal olarak hasar görmüş binaların görünümü (Hat 1, şekil 6.14) (EEFIT) izniyle, Birleşik Krallık

5.3 Adapazarı'nda Deprem Hasarı

Adapazarı'nın nüfusu yaklaşık 190.000'dir. Şehirdeki resmi can kaybı, Kocaeli depremi sırasında 2.627 olarak kaydedilmiştir, ancak gerçek sayının muhtemelen çok daha yüksek olduğu tahmin edilmektedir (Bray ve Stewart, 2000). Şehirdeki binaların yaklaşık %27'si ağır hasar görmüş veya yıkılmıştır. Bu durumun, fay kırığının yakınlığı ve derin alüvyon çökeltilerinin varlığı nedeniyle Adapazarı'nın en fazla can kaybına ve büyük bina hasarına maruz kalmasına katkıda bulunduğu düşünülmektedir (Bray ve Stewart, 2000).

Hasar, şehrin merkezi bölgelerinde yoğunlaşmış, ancak güney bölgelerinde ana kayaya daha yakın olduğu için nispeten daha az hasar rapor edilmiştir (bkz. Şekil 5.12). Merkezi bölgede, orta katlı binaların (4-6 katlı) daha yoğun olduğu, merkeze doğru hareket ettikçe ise kenar mahallelerde binaların daha az yoğunlaştığı ve daha çok alçak konutların olduğu belirtilmiştir. Yaşam hatları da ciddi şekilde etkilenmiş, özellikle su dağıtım ağının tahrip edilmesi sonucunda kötü sonuçlar doğurmuştur. Görünür yapısal hasar, çatlaklar, deformasyonlar veya çökmeler şeklinde olmuştur (örneğin, Şekil 5.13). Temel hasarı genellikle oturma, devrilme veya yanal yer değiştirmelerle karakterize edilmiştir.

Adapazarı'ndaki deprem hasarının en dikkat çekici özelliği, birçok kaynak tarafından bildirildiği üzere, araştırmacılar tarafından "sıvılaşmanın muhteşem ve kapsamlı bir şekilde ortaya çıkması" olmuştur (Bardet & Seed, 2000).

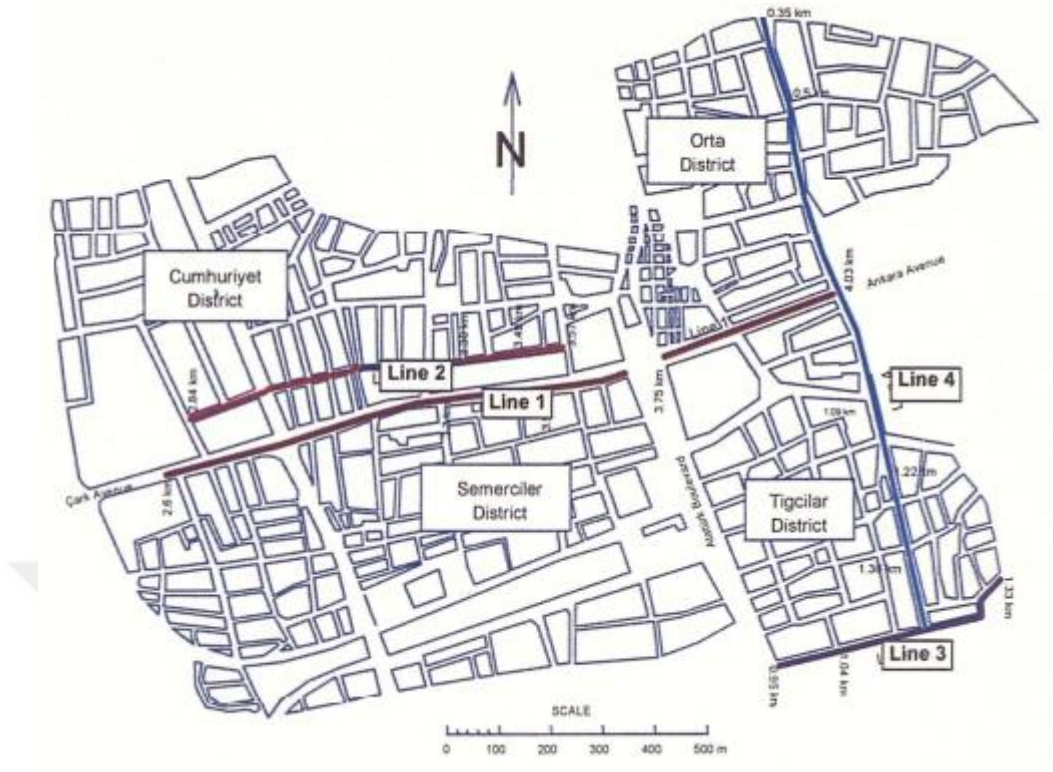
5.3.1 Toprak arızası bölgelerinde hasar

Adapazarı'nda zemin arızasına bağlı olarak bina hasarı genellikle şu üç gruba ayrılmaktadır, aşağıda açıklanan kategorilere göre:

- Temellerin düzgün ve dikey olarak yer değiştirmesi. Bazı yerleşik binalar, çevredeki yapı malzemelerinde taşıma kapasitesi azalmasını gösteren şişkinliklerle birlikte temel topraklarından kaynaklanan yer değiştirmeyi kanıtlamıştır. Diğer binalar ise gözle görülür bir şişkinlik olmaksızın yer değiştirmiştir.

- Tipik olarak 1° ile 3° arasında eğim oluşturan düzgün olmayan dikey yer değişimi, bazen bu değerlerden çok daha fazlası da görülebilir.
- Binaların bir metreye kadar yanal yönde kayması.

5.3.2 Jeoteknik inceleme verileri Adapazarı'nda yapılan kapsamlı bir jeoteknik araştırma, standart penetrasyonlu zemin sondajları (SPT) ve koni penetrasyon testleri (CPT) gerçekleştirilerek sonuçlandı. Bu testler, zeminin yeraltı koşullarını karakterize etmek amacıyla yapılmış olup, deprem başarısızlığına dair belirtilerin varlığı veya yokluğu gözlemlendi (Bray vd., 2001b). Toplamda 90 CPT ve 14 toprak sondajı yapılmıştır, bu testler devam eden hasar araştırmalarının bir parçası olarak gerçekleştirilmiştir. Çoğu sondaj 10 metre derinliğe kadar yapılmış olsa da bazıları 30 metreye kadar derinleştirilmiştir. Daha derin katmanları karakterize etmek için yapılan çalışmalar, Sancio vd. (2004) tarafından yapılmıştır ve alüvyon çökeltilerinin özelliklerinde yerel farklılıklar olduğunu göstermiştir. Adapazarı'nda toprak arızası ve buna bağlı bina hasarı oluşumunda ve oluşmamasında bu farklılıkların tamamlayıcı bir rol oynadığı gözlemlenmiştir. Gözlemlenen toprak arızasının derecesi, çalışma alanının temel olarak toprak durumu tarafından kontrol edildiği ve sıvılaşmaya karşı hassas olan bölgelerde zemin çökmesinin meydana geldiği şeklindeydi. Yapı tipiyle ilgili net bir kanıt bulunamamış olmasına rağmen, zemin yetersizliğinin derecesini etkileyen önemli faktörler arasında çevredeki yerleşimlerin konumu, kum kaynaması vb. gözlemlerinin bulunmamasıdır. Bu durum, zemin-yapı etkileşimiyle ilişkili zemin şekil değişikliklerinin tetiklemeye katkıda bulunmuş olabileceği şeklinde yorumlanabilir ve zemin arızasının ciddiyeti üzerinde etkili olmuş olabilir (Bird vd., 2004).



Şekil 5.14 1'den 4'e kadar olan araştırma hatlarının bölümlerini gösteren Adapazarı haritası (Sancio vd., 2002).

5.3.3 Bina hasarı verileri

Şekilde gösterilen dört araştırma hattı boyunca 725 binanın hızlı hasar araştırmaları yapılmıştır. Şekil 6.14, depremden sonraki üç hafta içinde yapılan bu araştırmaları göstermektedir (Bray ve Stewart, 2000). Anket verileri her binanın kat sayısı, bodrum kat varlığı, bina tipi, yapısal hasar, oturma, eğim, yanal hareket ve kum kaynamalarının varlığı gibi diğer ilgi çekici notları içermektedir. Hasar seviyeleri, ilk olarak Coburn ve Spence (1992) tarafından sunulan yapısal hasar indeksi kullanılarak ölçülmüştür. HAZUS hasar durumu açıklamaları, DASK metodolojisinde kullanılanlarla benzerdir; kısmi çökme ve tam çöküş, tek hasar tamamlanmış durumda birleştirilir, çünkü her ikisi de %100 kaybın göstergesidir (Tablo 5.3).

İki hasar ölçeğinin korelasyonu önemlidir, çünkü korelasyon eksikliği tahmin edilen ve gözlemlenen hasar dağılımlarının karşılaştırılmasında ek bir belirsizlik yaratır. Ancak, Tablo 6.3'te gösterildiği gibi, bu durumda iki ölçek doğrudan ilişkili değildir. Adapazarı

araştırma verilerine uygulanan yapısal hasar indeksi (DI), herhangi bir hasar içermemektedir. Oysa hasar durumu, DASK/HAZUS modelinde kullanılan hafif çatlakları içerir; bu çatlaklar kiriş ve kolonlarda kılcal çatlaklar olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle, ilk üç hasar durumu arasındaki ilişkiler biraz çarpıktır.

Çizelge 5.3: Yapısal hasar indeksinin, HAZUS hasar ölçeğiyle ilişkilendirilen hasar araştırmaları (FEMA, 2003)

Yapısal Hasar İndeksi (SDI)	Tanım	Eşdeğer HAZUS hasar durumu	RC çerçeve veya URM binaları için yapısal hasarın açıklaması
D0	Hiçbiri; Gözlenebilir hasar yok	Hasarsız	Hiçbiri
D1	Hafif Hasar; yalnızca mimari hasar		
D2	Orta hasar, yük taşıyan elemanlarda bazı çatlaklar	Hafif	Kiriş ve kolonlarda bazı kılcal çatlaklar, yığma duvar yüzeylerinde bazı kılcal çatlaklar
		İlman	Çoğu betonarme kiriş ve bağlantı yerinde kılcal çatlaklar, bazı büyük eğilme çatlakları, çoğu duvar duvarında çatlaklar
D3	Ağır hasar, çatlaklı yük taşıyan elemanlar ve çatlaklar boyunca bir miktar deformasyon	Yaygın	Bazı betonarme çerçeve elemanlarında büyük çatlaklar, bazı sünek olmayan çerçevelerde ise kesme kırılmaları. Çoğu yığma duvarda kapsamlı çatlaklar.
D4	Kısmi çökme, binanın bir kısmının çökmesi	Tamamlamak	Yapının taban alanının en az %10-20'si (URM yapıları için %25) çökmüştür.
D5	Çökme, bir yapının tamamen çökmesi veya bir zeminin kaybı		

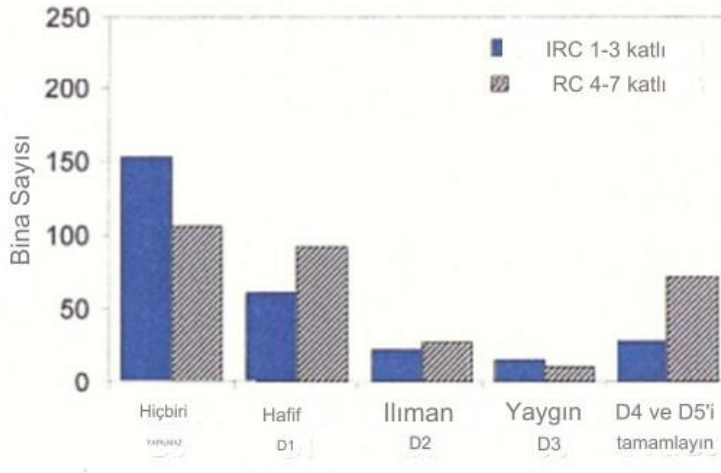
Bu çalışmada, aslında D0 ile hasarsız arasında doğrudan bir ilişki olduğu varsayılmaktadır: D1 ve hafif hasar, D2 ve orta hasar. İlgili belirsizlikler dikkate alındığında, hasar tahmini ve çeşitli bina davranışlarının kapsandığı gerçeğiyle birlikte, her hasar durumu içerisinde iki ölçeğin, şekilde gösterildiği gibi bırakılması uygun görülmüştür. Tablo 5.3 ve aralarındaki korelasyonu varsayalım. Bu varsayımın önemi sonuçlara ilişkin olarak daha sonra tartışılacaktır. Topraklama Arıza İndeksi (Tablo 5.4), ayrıca Bray ve Stewart (2000) tarafından geliştirilmiştir ve temel hasarının dağılımını ve

ciddiyetini sınıflandırmak için kullanılmaktadır. Ortak bir ölçü olarak, toprak arızasından kaynaklanan yer değiştirmeleri gibi kalibrasyon çalışmaları için oldukça değerlidir. Eğer uygulanan hasar tanımları yalnızca Tablo 6.3'te sunulanlar olsaydı, yapısal veya kozmetik çatlama olmaksızın yaşanan eğim veya oturma kesinlikle hasarsız olarak sınıflandırılacaktır. Bu eksiklik, kayıp modellemede kullanılan tüm hasar ölçekleri için geçerlidir.

Çizelge 5.4 Topraklama Arızası Endeksi (Bray & Stewart, 2000'den sonra)

Dizin	Tanım	Tercüme
GF0	Gözlemlenebilir toprak arızası yok	Yerleşme, eğim, yanal yer değiştirme veya kaynama yok
GF1	Küçük toprak arızası	Yerleşme, $A < 10$ cm; > 3 katlı binaların eğimi $< 1^\circ$; yanal yer değiştirme yok
GF2	Orta derecede toprak arızası	$10 \text{ cm} < A < 25 \text{ cm}$; $1^\circ < \text{eğim} < 3^\circ$; küçük yanal yer değiştirmeler ($< 10 \text{ cm}$)
GF3	Önemli toprak arızası	$A > 25 \text{ cm}$; eğim $> 3^\circ$; yanal yer değiştirmeler $> 25 \text{ cm}$

Bray ve Stewart (2000) tarafından toplanan hasar araştırması verileri, betonarme (RC) çerçeve binalar, tuğla dolgulu ahşap çerçeve, ahşap ve takviyesiz duvarlar gibi özel yapıları kapsamaktadır. Bu çalışmada sadece betonarme çerçeve binalar ele alınmıştır. Tam verileri sağlanan betonarme çerçeve binaların toplam sayısı için hasar dağılımı Şekil 6.15'te gösterilmektedir. Bu binalar az katlı (1 ila 3 katlı) ve orta katlı (4 ila 7 katlı) olarak ayrılmıştır. Araştırma bölgesinde yüksek katlı (7 katın üzerinde) bina bulunmamaktadır.



Şekil 5.15 Bina hasarının alçak ve orta katlı betonarme çerçevelere dağılımı

Adapazarı merkezindeki binalar, hasar ölçekleri Tablo 5.3'te gösterildiği gibi, aşağıdaki nedenlerden dolayı bu çalışmanın odak noktasıdır:

- Verilerin ve sonuçların sunumunda netliği korumak.
- Hem DASK metodolojisinden hem de DBELA'dan mevcut yapısal modellere dayanarak, RC çerçeveleri, yeni çerçevelere olan ihtiyacı ortadan kaldırarak göz önünde bulundurulmuştur. Bu tezin odak noktası olmayan yapısal analiz.
- Genellikle 4 ila 7 katlı betonarme çerçeve apartman binaları, etkilenen bölgedeki en yaygın bina sınıflarından biridir. Bu seçim, diğer çalışmalarla ve diğer hasar veri kümeleriyle karşılaştırmaya olanak tanır.

Şekil 5.15, binaların iki yükseklik arasında yaklaşık olarak eşit şekilde dağıldığını göstermektedir. Daha düşük hasar durumlarında daha fazla alçak binaya sahip sınıflar olmasına rağmen, daha fazla sayıda orta katlı bina, alçak binalara kıyasla ya kapsamlı ya da tamamen hasar görmüştür.

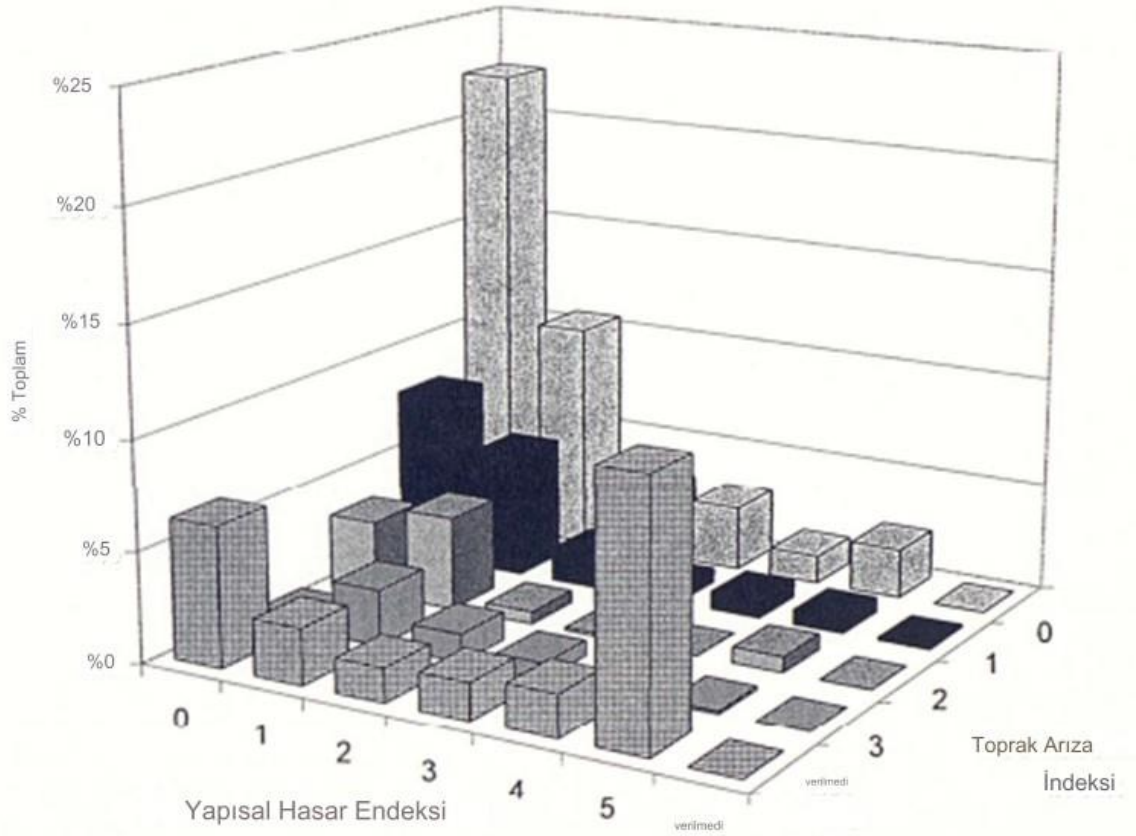
Bray ve Stewart'ın (2000) hasar araştırması verilerine ek olarak, ek veriler de eklenmiştir. Bakır vd. (2002) tarafından Adapazarı Belediyesi tarafından derlenen bu veri tabanı, hasarın onarılabılır (hafif ila orta dereceli hasara eşdeğer) veya onarılamaz (ağır hasara veya çökmeye eşdeğer) olarak sınıflandırıldığı neredeyse 24.000 binayı kapsamaktadır. Daha az ayrıntılı olmasına rağmen, Bray ve Stewart'ın (2000) çalışmasının aksine, bu veri tabanı sadece merkezi alanı değil, şehrin büyük bir kısmını kapsamaktadır, bu da onu ek bir yararlı kaynak haline getirmektedir.

Japon Geoteknik Derneği (JGS) ayrıca, sivilaşmanın gözlemlendiği veya hasarın en yoğun olduğu bölgelerdeki 197 binanın detaylı hasar araştırmasını gerçekleştirmiştir (Yoshida vd., 2001). EMS-98 hasar ölçeğini (Grünthal, 1998) kullanarak bina hasarını sınıflandırmışlardır. Ayrıca, EEFIT (2003), merkezi bölgelerdeki hasarlı binalara ilişkin bir araştırma sunmaktadır.

5.3.4 Temel ve yapısal hasar

Hasar tespit raporlarının birçoğunda ortaya çıkan bir gözlem, kentsel alanlardaki yoğun sivilaşmanın belgelenmiş diğer örnekleriyle uyumludur. Bu durumda, binaların temel hareketleri nedeniyle yer değiştiren üst yapı hasarı nispeten hafif olma eğilimindedir, özellikle de Şekil 6.1'de gösterilen binaya gelindiğinde. Zemin arızası ve zemin etkileşimi nedeniyle zemin göçmesi olan bölgelerdeki kayıpların tahmini için sarsıntı büyük önem taşımaktadır. Bu konu, Adapazarı verileri ışığında ayrıca değerlendirilmektedir.

Verileri, Adapazarı'nda 5000'den fazla binanın zarar gördüğünü gösteriyor; bunlardan 'yüzlercesi' aşırı derecede yerleşmiş, eğilmiş veya kaymıştır (Bray ve Stewart, 2000). Bu, en çok dikkat çeken şeyin sivilaşma olmadığını, ancak Adapazarı'ndaki binaların zarar görmesinin ana nedeninin bu olduğunu gösteriyor. Adapazarı araştırması kapsamında, bölgedeki binaların %25'i ağır çökme hasarına maruz kalmış (D3'ten D5'e kadar), yalnızca %14'ü yıkılmıştır. Orta ila önemli düzeyde toprak arızası yaşayan binaların oranı ise %1'den azdır (GF2'den GF3'e, bkz. Şekil 6.16). İncelenen binaların hem ciddi yapısal hasara hem de şiddetli zemin hasarına maruz kaldığı açıkça görülmektedir. Öte yandan, çeşitli nedenlerden dolayı toprak arıza indeksi belirlenememiştir, incelenen toplam bina sayısının yaklaşık %26'sında bu durum söz konusudur. GFL bildirilmeyen binaların yarısından fazlasında D4 veya D5 yapısal hasar bulunmaktadır, yani ağır çökmeye zarar verir. Bu önemlidir, çünkü toprak arızası derecesi, ağır yapısal hasarın pozitif olarak tespit edilmesini imkansız hale getirmiştir, sahada toprak arızasının meydana gelmesi. Altında bir dereceye kadar toprak arızası varsa, bu binalarda dağılım önemli ölçüde değişecektir ve bu da yukarıdaki gözleme göre, ciddi yapısal hasara sahip binaların büyük bir kısmının mevcut olacağını gösterir.



Şekil 5.16 Yapısal hasarın ve zemin çökmesi hasarının binalarda göreceli dağılımı (Bray ve Stewart, 2000, araştırma verileri), tüm bina tipleri ve yükseklikleri

Her ne kadar Adapazarı merkezdeki hasar tespitleri ve hasar fotoğraflarından anlaşılıyor olsa da sıvılaşmış toprak üzerindeki binaların temel seviyesinin üzerinde hasar görmeme eğilimi olduğu, tamamen yıkılmış binaların çok sayıda olması nedeniyle bu gözlem yanıltıcı olabilir. Çökmeden önce zemin çökmesinin boyutunu belirlemek mümkün değildi. Öte yandan, düşük yapısal hasar ile yüksek zemin hasarının tesadüfleri daha fazladır, yüksek zemin arızası ile birlikte yüksek yapısal hasar meydana gelmektedir. Sancio vd. (2004), Adapazarı'nda zemin göçmesi ile yapısal hasarın birbirine bağımlılığını daha ayrıntılı bir şekilde sunmuştur.

Adapazarı'nda gözlemlenen özel hasar türleri arasında alt kat çökmesi, çatı veya üst kat çökmesi, burulma nedeniyle hasar, uzatma katlarında veya açıklıklarda hasar, kiriş-kolon birleşim noktalarında hasar ve zemin sıvılaşması veya oturmasından kaynaklanan

hasarlar yer almaktadır (AIJ, 2001; EEFİT, 2003). Bu liste, sıvılaşmadan kaynaklanan hasarın tek önemli hasar olmadığını açıkça göstermektedir. Sıvılaşma olmasa bile güçlü sarsıntı ve zemin amplifikasyonu yeterli olabilir, Adapazarı'nı en kötü etkilenen şehir haline getirebilir. Bu, sıvılaşabilir bölgelerin önemli bir özelliğidir; bu zeminler sıvılaşma olmasa bile amplifikasyon yoluyla önemli hasara yol açabilir.

5.4 Yer Sarsıntısından Kaynaklanan Deprem Hasarının Tahmini

Adapazarı'ndaki betonarme karkas binaların hasarlarının tahmin edilmesi prosedürü yer sarsıntısı kapasite spektrumu yaklaşımına dayanmaktadır. Kapasite DASK projesine ait eğriler HAZUS'tan alınmış ve her ikisi Türkiye koşullarına uyarlanmıştır, uzman görüşü ve ampirik kalibrasyon kullanılarak. Benimsenen güvenlik açığı parametreleri Bommer vd. (2002a), Spence vd. (2002) ve Spence vd. (2003) tarafından açıklanmıştır.

5.4.1 Bina sınıflandırması

DASK bina sınıflandırması, Türkiye'deki betonarme çerçeve binaları için iki kalite seviyesini dikkate almıştır: zayıf ve iyi. Zayıf binalar, zayıf zemin katlarına sahip olanları veya 1975'ten önce inşa edilenleri içermektedir. Adapazarı araştırma verileri, bu iki grup içinde kategorize etmek için yeterince ayrıntılı bilgi bulunmadığından, tahminler her iki bina sınıfı için yapılmalıdır. Ancak Adapazarı'nın yayınlanan açıklamalarına göre, 1999'daki bina stoğunda ve davranışlarında birçok yumuşak kat göçmesi yaşandığı ve Adapazarı merkezindeki betonarme çerçeve binalarının çoğunun muhtemelen zayıf olduğu görülmüştür. Bu varsayım, DASK çalışmasında kentsel lokasyonlar için varsayılan dağılıma uyum sağlar (Bommer vd., 2002a), burada betonarme binaların yaklaşık %98'i kötü olarak sınıflandırılmıştır.

5.4.2 Talep eğrileri

Talep eğrisi, %5 sönümlü elastik tepki spektrumundan %5 için belirlenir. HAZUS metodolojisine uygun olarak, PGA (Zirve Zemin Hızlanması), 0,3 saniye ve 1,0 saniye periyotlarda sönümlenmiştir. PGA ayrıca toprak arızası bileşeni olarak da tanımlanır. Tasarım hızlandırma spektrumu şu şekilde oluşturulmuştur (HAZUS, FEMA, 2003):

$$\text{at } T = 0 \quad S_A = PGA$$

$$S_D = 0$$

$$0 < T \leq T_{AV} \quad S_A = S_A(T = 0.3s)$$

$$S_D = S_A \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2$$

$$\text{where } T_{AV} = \frac{F_{AL}}{F_{AS}} \cdot \frac{S_{AL}}{S_{AS}}$$

$$T_{AV} < T \leq T_{VD} \quad S_A \propto \frac{1}{T} = \frac{S_A(T = 1.0s)}{T}$$

$$\text{where } T_{VD} = \frac{1}{f_c} = 10^{\frac{M-5}{2}}$$

$$T \geq T_{VD} \quad S_D = S_A(T = T_{VD}) \left(\frac{T_{VD}}{2\pi} \right)^2 = \text{constant}$$

$$\therefore S_A \propto \frac{1}{T^2} = S_D \left(\frac{4\pi}{T^2} \right) = S_A(T = T_{VD}) \cdot \frac{T_{VD}^2}{T^2}$$

Şekil 5.17 Formüller (HAZUS, FEMA, 2003)

Burada:

T = yanıt süresi/süreleri

T_{AV} = sabit ivmenin sabit hıza dönüştüğü dönem

T_{VD} = sabit hızın sabit yer değiştirmeye dönüştüğü periyot

S_a = spektral ivme

S_d = spektral yer değiştirme

PGA = en yüksek yer ivmesi

F_{AS} = kısa süreli ($T=0,3s$) ivme için zemin büyütme faktörü

F_{AL} = uzun süreli ($T=1.0s$) ivme için zemin büyütme faktörü

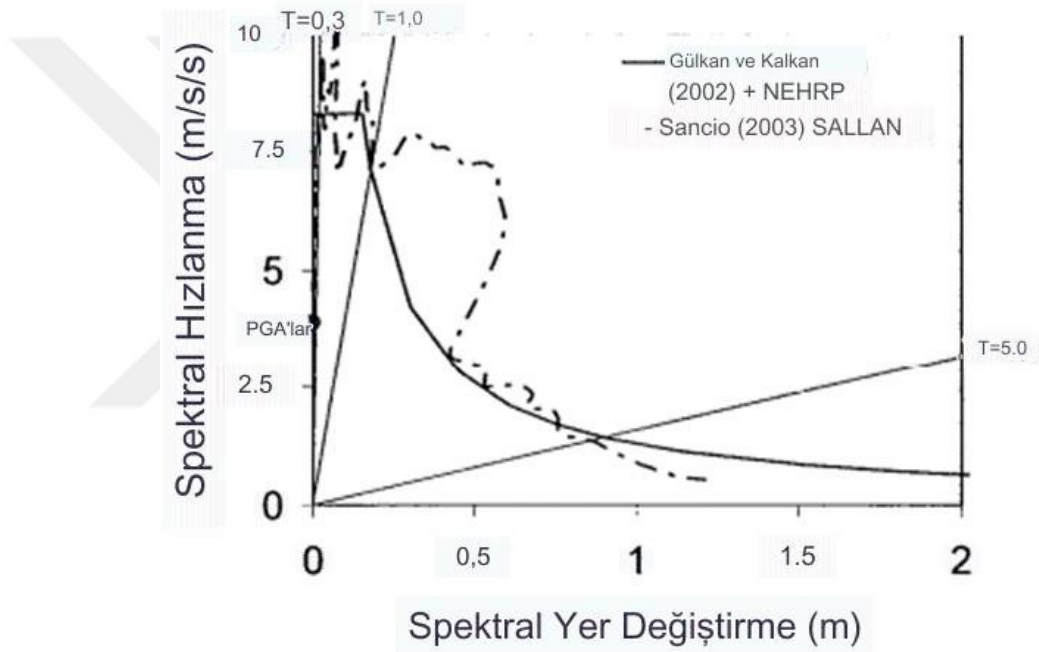
S_{AS} = kısa süreli ivme, = $T=0,3s$ 'de S_a

S_{AL} = uzun dönemli ivme, = $T=1,0s$ 'de S_a

f_c = gelen frekans

M = depremin moment büyüklüğü

Ortaya çıkan spektrum, yer değiştirmeye karşı ivme cinsinden grafiğe dönüştürülür. Spektrumun sabit yer değiştirme kısmı bu durumda yaklaşık 15 saniyelik (~3 m spektral) bir periyoda (TVD) kadar başlar ve bu nedenle Adapazarı yapı stoğuyla ilgili değildir. Bu nedenle, ikinci olarak açıklanan yüzey ivmelerinin tahminine yönelik yaklaşım tercih edilmiştir. Bu durumda, doğrusal olmayan zemin davranışının geliştirilmiş temsili nedeniyle, daha uzun dönemlerde önem kazanan NEHRP faktörleri etkili olur.



Şekil 5.18 Adapazarı merkezi için, fay kırılmasından 7 km uzaklıkta, $M_w=7,4$ için talep eğrileri

D ve E Saha Sınıfları için NEHRP faktörlerinin enterpolasyonu ile elde edilmiştir.

Şekil 5.18, bu çalışmadaki en iyi tahmini yüzey tepkisi spektrumlarını SHAKE91 saha tepki analiz programı (Idriss & Sun, 1991) ve jeoteknik araştırmalarından elde edilen toprak profilleri kullanılarak hesaplanan tepki spektrumlarıyla karşılaştırmaktadır (Sancio, 2003). İlk yaklaşımdaki belirsizlikler, en uygun öngörücü ilişkinin seçimiyle ilgilidir ve toprağın basitleştirilmesinin yanı sıra kaç standart sapmanın dahil edileceği

sorusunu kapsar. İkinci yaklaşımdaki belirsizlikler ise girdilerin seçimi ve ölçeklendirilmesiyle ilgilidir; bu, toprak değişkenliği, uygun dinamik toprak parametrelerinin seçimi ve modelleme varsayımları gibi faktörleri içerir. İki yaklaşım arasında makul bir anlaşma olmasına rağmen, düzleştirilmiş spektrumun gösterilmemesi dışında, bağımsız olarak hesaplanan spektrumlar 2,0 ila 3,0 saniye arasında giriş hareketinin üç katına kadar amplifikasyon göstermiştir (bu, kullanılan toprak kolonunun doğal frekansı ile ilgilidir). Düzleştirilmiş spektrumun sadece temel alınarak yapıldığı düşünüldüğünde, 0,3 ve 1,0 saniyede iki amplifikasyon faktörü arasındaki fark beklenen bir durumdur. Basitleştirilmiş prosedürün burada muhafaza edilmesinin nedeni, kullanılan yaklaşımla tutarlılıktır ve kayıp tahmin metodolojilerindeki belirsizliklerin bir kısmını içermektedir. Özellikle, talep eğrisi modelindeki belirsizlik kaçınılmazdır, ancak bu çalışma ile Sancio'nun (2003) elde ettiği bağımsız sonuçlar, nispeten düşük (ancak yine de anlamlı) bir belirsizlik düzeyine işaret etmektedir.

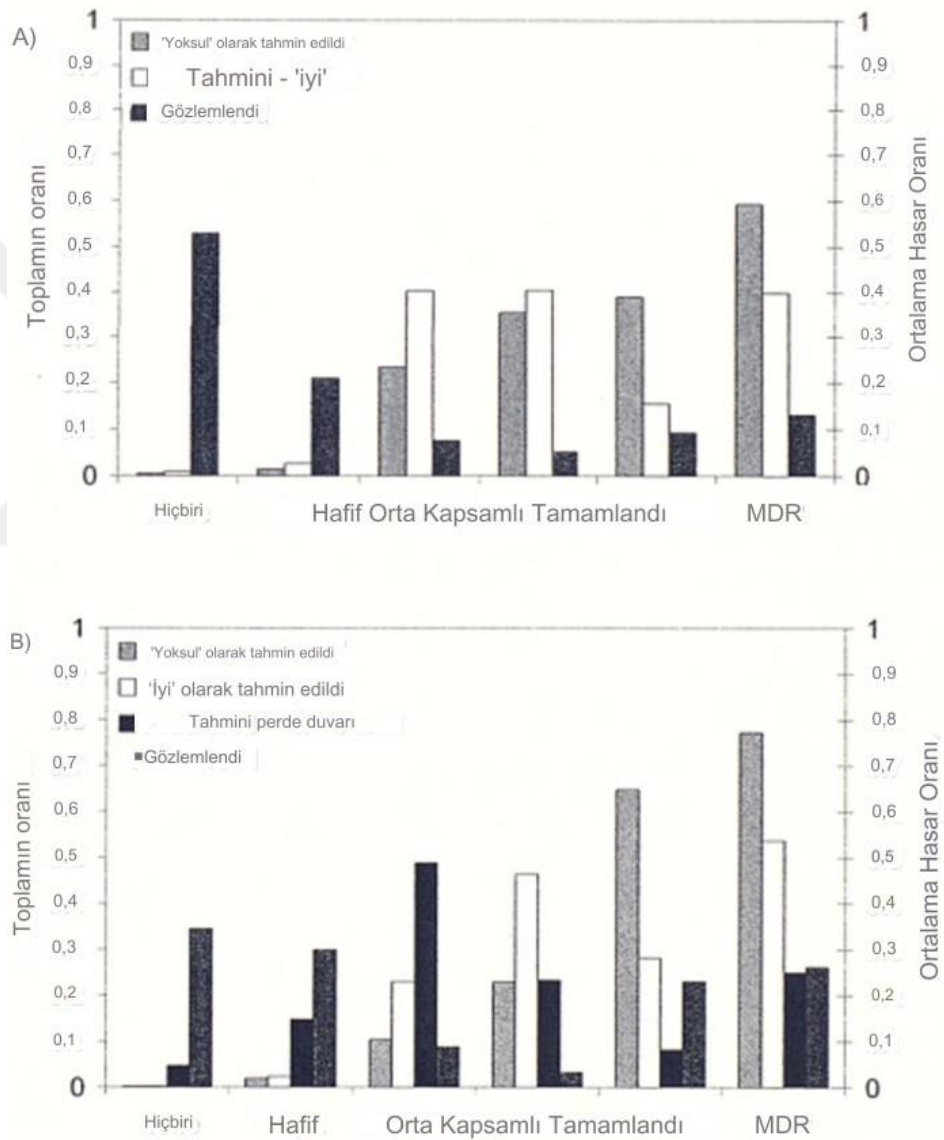
5.4.3 Sarsıntının neden olduğu kayıplar

Spence vd. (2003) tarafından açıklanan yaklaşım kullanılarak, orta katlı betonarme çerçeve binalar için dolgu duvarların yanal direnç katkısına izin veren bir model kullanılarak Adapazarı merkezindeki hasar dağılımları tahmin edilmiştir.

Başlangıçtan tamamlamaya kadar her hasar durumunun aşılma olasılığı hesaplandı ve bundan, bir binanın belirli bir hasar durumunda olma olasılığı belirlendi. Bu olasılık, her hasar durumundaki binaların yüzdesine eşittir. MDR, her bir ürün için göreceli genel kayıpları karşılaştırmak amacıyla da hesaplanmıştır. Karşılaştırmanın sonuçları, farklı varsayımlar için Şekil 5.19'da gösterilmektedir.

Güvenlik açığı parametreleri, tahmin edilen ve gözlemlenen hasarsız sayısı arasında belirgin bir fark olduğunu göstermektedir. Düşük hasar durumlarını, yok ve hafif gibi, birleştirmek bu farkı azaltmayacaktır; bu nedenle, bunun sebebi hasar ölçekleriyle ilgili belirsizliklerden daha fazlası olmalıdır. Adapazarı'nda hasarsız olarak sınıflandırılan binalar, zemin arızası derecesine bakılmaksızın tüm binaları içermektedir; ancak, bu durum aynı zamanda sağlanan hasar tanımlarına dayalı olarak tahmin edilen kayıpların Tablo 5.3'te verildiği gibi gözlemlenenlerle en iyi uyumu sağlar. Orta katlı betonarme binalar için perde duvar hasar görülebilirlik modeli, %35 oranında düşük tahmin edilen orta

hasarlı binaların ve %40 fazla tahmin edilen hasarsız binaların sayısını göstermektedir. Tamamen hasarlı bina sayısı ise %15 oranında eksik tahmin edilmektedir. Bu model için tahmin edilen ve gözlemlenen MDR arasındaki fark %2'den azdır; bu, şaşırtıcı derecede iyi bir anlaşma sağlar. İyi bina modeli, yapıyla daha iyi uyum gösterir ve orta ve tam hasar durumlarında daha iyi bir anlaşma gösterir, ancak genel olarak daha kötü bir anlaşma sağlar: MDR.



Şekil 5.19 Adapazarı merkezde tahmin edilen ve gözlemlenen hasar

Şekil 5.19’da yalnızca yer sarsıntısı, RC çerçeve binaları. Bina sınıfı D/E, ortalama talep değerleri, a) az katlı, b) orta katlı olarak gösterilmektedir.

'Perde duvar' modeli için tahmin edilen MDR, gözlemlere oldukça yakın olmasına rağmen, hasar durumlarının yanlış dağıtılmasıyla elde edilmiştir, ki bu da daha fazla dikkat gerektirir. Orta ve ağır hasarlı binaların aşırı tahmininin olası açıklamaları ve hem hasarsız hem de tamamen hasarlı binaların yetersiz tahmin edilmesi şunları içerir:

1. Adapazarı'ndaki hasar dağılımının beklenenden farklı olması, sıvılaşmış ve sıvılaşabilir zeminlerin varlığından kaynaklanabilir.
2. Modelde kullanılan tahmin edilen hasar durumları ile saha araştırmasında kullanılan tanımlar arasında bir eşitsizlik bulunabilir.
3. Bu bina tipine ait kırılmalık eğrilerinin şekil veya yapı bakımından hatalı olması, sürüklenme seviyeleri ve ortalama hasar durumu arasındaki ilişki.

İlk noktaya ilişkin olarak, bazı araştırmacılar (örneğin, Gülkan vd., 2004) sıvılaşma alanlarında yapısal hasarın daha az görüldüğünü gözlemlemiştir. Bu fenomen bazen 'taban izolasyonu' etkisi olarak da anılır. Zira sıvılaşma tetiklendiğinde, zeminin yoğunluğunu sınırladığı için sarsıntı azalır. Hasarsız ve hafif hasarlı binaların sayısı, tahminlerle karşılaştırıldığında, böyle bir özelliğe sahip alanlar daha fazla olabilir. Öte yandan, temel izolasyon açıklamasını desteklemeyen bazı önemli konular da mevcuttur. Sıvılaşmış zemin üzerindeki binaların performansının dikkate alınması, zemin yenilmesi ile yer sarsıntısından kaynaklanan yapısal hasar arasındaki karşılıklı bağımlılığı da içerir. Ayrıca, Adapazarı'ndaki yapı stoğunun önemli bir özelliği de saha araştırması ve müteakip araştırmalar sonucu, alışılmadık derecede sağlam takviyeli hasarın kullanılması ve kesişen dereceli kırışlara sahip temellerin varlığıdır. Eğer temeller daha fazla olsaydı, Adapazarı'ndaki genel inşaat standardıyla orantılı olsalardı (yani fakir olsalardı), muhtemelen sıvılaşmış bölgelerde gözlenen yapısal hasar daha büyük olurdu; daha az katı gövde dönüşü ve daha fazla yapısal bozulma meydana gelebilirdi.

Ayrıca, sıvılaşmanın neden olduğu taban izolasyonu, gözlemlenen yüksek tamamen hasar görmüş binaların sayısını açıklamamaktadır; bu durumun büyük olasılıkla hatalı güvenlik

açığı parametrelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Farklı güvenlik açığı modellerine ilişkin sonuçlar arasındaki büyük farklılıklar, bu açıklamayı desteklemektedir. Örneğin, zayıf binalara yönelik model, hasarın tamamını önemli ölçüde fazla tahmin ediyor; dolayısıyla düşük tahmin tutarlı bir özellik değil. Perde duvarı modeli, güvenlik açığı modelinin bazı yönlerini geliştirse de dolgu duvarlarının kırılma davranışını doğru bir şekilde yakalayamamaktadır (Spence vd., 2003).

Katkıda bulunan diğer faktörler arasında, orta katlı betonarme çerçeve binaların özellikle kırılma olması yer alabilir. Türkiye'deki inşaatların zayıf olması ve çoğu zaman ilave katların yapılması nedeniyle, bu binalar sıklıkla açık zemin katlara sahip olabilir; bu da yumuşak bir kat oluşturur ve yapıların birbirleriyle örtüşmesine neden olur, böylece yer sarsıntısının baskın olduğu doğal dönemlerde daha hassas hale gelirler. Bunların kombinasyonu ve muhtemelen başka faktörler de gözlemlenen verilerin çarpık dağılımına katkıda bulunmuş olabilir.

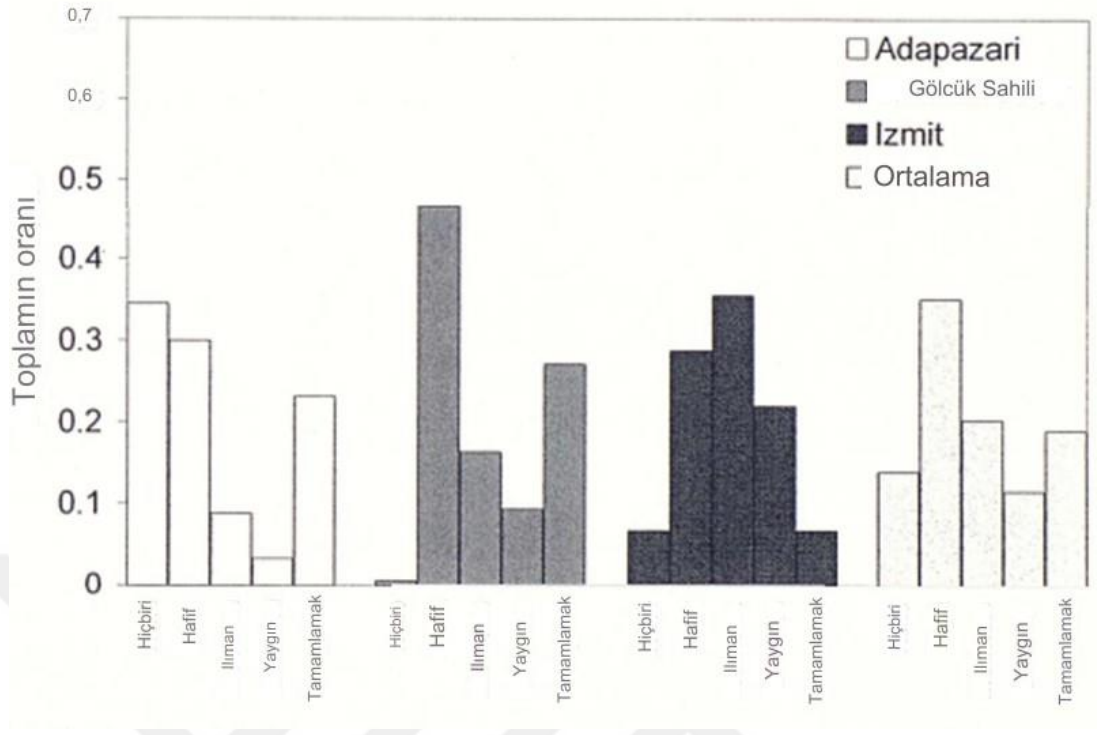
Şekildeki yumuşatılmış ve ayrıntılı yüzey tepki spektrumları arasındaki fark, ek bir belirsizlik kaynağıdır. Kullanılan hasar ölçekleriyle ilgili farklılıklar, özellikle hafif, orta ve büyük hasarlar için sonuçların genel belirsizliğine katkıda bulunur; bu da görsel olarak değerlendirilmesi en zor olanıdır. Ancak, iki ölçek arasındaki fark, Tablo 6.3'te gösterildiği gibi, anket verilerinin, eğer varsa, mevcut durumu eksik tahmin ettiği anlamına gelir. Hasarsız binaların sayısı çok azdır, bu nedenle bunu ayarlamak, daha iyi bir anlaşmaya yol açmayacaktır.

Daha önce açıklandığı gibi, Şekil 5.19'da gösterilen hem gözlemlenen hem de tahmin edilen hasar yalnızca yer sarsıntısından kaynaklanan hasar için geleneksel hasar durumu tanımlarına atıfta bulunur, bu da yapısal elemanların çatlaması ve arızalanması gibi durumları içerir. Daha uygun bir hasar ölçeği olsaydı, yerleşik veya eğimli binaların yanı sıra çatlak veya çökmüş binaları da derecelendiren gözlemlenen dağılım değişecek ve bazı 'hasarsız' binalar daha yüksek hasar seviyelerine yeniden dağıtılacaktır. Ancak tahmin edilen hasar nedeniyle kapasite spektrumu yaklaşımı kullanılarak hesaplandığı için, bu aşamada yalnızca geleneksel sürüklenme ile ilgili hasar tanımlayıcılarına odaklanılmıştır.

Yukarıdaki üçüncü noktaya ilişkin olarak, anket verilerine ilişkin hasar dağılımlarının şekli kısaca tartışılmıştır. HAZUS kırılabilirliğinin şeklini değiştirmeden eğriler, örneğin onları birbirine yakın tutarak elde etmek imkansız olacaktır. Tahmin edilen ve gözlemlenen hasar durumları arasındaki anlaşma bu nedenle sorundur. Bu sorunu incelemek amacıyla, Booth, Bird & Spence (2004) tarafından yapılan bir çalışmada, iki-modlu şekillerin dağılımları hem kapasite hem de talebe ilişkin Monte Carlo simülasyonları kullanılarak kopyalanmıştır. Daha süreklilik için binalarda modal şekil üretildi. Bu nedenle bu çalışma çok önemli bir konuyu öne sürdü: Kocaeli depreminde hasar dağılımını etkileyen faktörlerden biri kırılabilirlik olabilir. Betonarme çerçeve binaların davranışı, takviyesiz yapının ani yıkılmasından kaynaklanır, özellikle yığma duvarların veya yumuşak kat çökmelerinin etkisiyle. Yer değiştirmeye dayalı deprem kayıp değerlendirmesi (DBELA) metodolojisi, Pinho ve iş arkadaşları tarafından geliştirilen, mekanik olarak daha sağlam tepki veren binaların zayıf çevrelenmiş yapıların davranışını modellenmesi için daha uygun olduğu bulunan bir metodolojidir.

Araştırmanın bu ilk aşamasının sonuçları aşağıdaki gibidir:

- Adapazarı'nda gözlemlenen hasar dağılımı oldukça karmaşıktı ve HAZUS kullanılarak elde edilen tahminlerden daha fazla değişken içeriyordu, yalnızca yer sarsıntısına dayalı bir yaklaşım kullanıldığında.
- Adapazarı araştırma alanında sivilaşmanın meydana gelmesi, binada değişikliklere yol açmıştır. Bu kadar küçük bir bölgedeki sivilaşmayı göz ardı etmek, yanlış tahminlere yol açabilir. Bunun yanı sıra, yer sarsıntısı bileşeniyle ilgili başka belirsizlikler de hasar dağılımının belirsizliğine katkıda bulunabilir.



Şekil 5.20 Yumuşak zeminlerdeki bireysel inceleme bölgeleri için gözlemlenen hasar dağılımları

Tüm sahalar için ortalama hasar dağılımıyla karşılaştırıldığında fay kırılmasından 7 km uzakta. Orta katlı RC çerçeve binaları.

5.5 Sıvılaşmadan Kaynaklanan Deprem Hasarının TahminiKayıp modelleyicilerinin kullanabileceği seçenekler şunlardır:

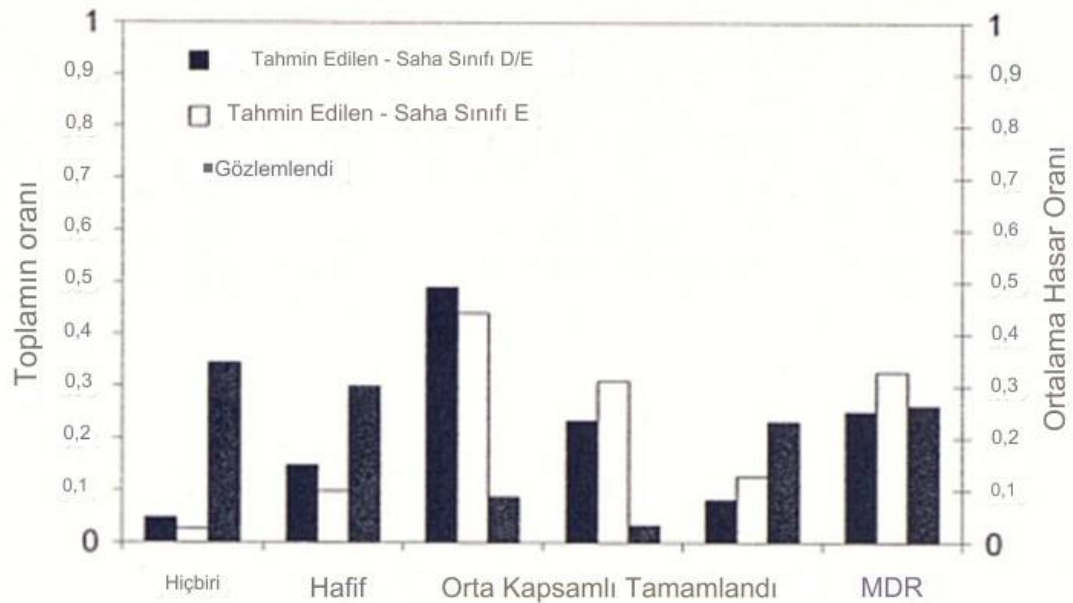
- i. Yer sarsıntısının baskın olduğunu varsayarak sıvılaşmayı tamamen göz ardı edin.
- ii. Sıvılaşmanın etkisini temsil etmek için basitleştirilmiş bir artımlı yaklaşım kullanın; DASK çalışmasında benimsenen (Bommer vd., 2002a), burada saha sınıfı E, sıvılaşmaya duyarlı tüm bölgelere atanmıştır, dolayısıyla sıvılaşmanın etkileri de hesaba katılmıştır. Çoğu alanda yer sarsıntısında yapay artan bir artışa dönüşen sıvılaşma. ATC-13 gibi diğer yöntemler, tahmin edilen hasara artışlar uygular.

- iii. HAZUS metodolojisini kullanın ve muhtemelen yerel koşulları yansıtacak ayarlamalar yapın.
- iv. Tam analizleri gerçekleştirmek için yerinde jeoteknik verileri ve ayrıntılı envanter verilerini kullanın. Sıvılaşma olasılığı, beklenen kalıcı zemin deformasyonu ve bunun sonucunda ortaya çıkan binalara zarar verilmesi.

Bu bölümün önceki kısmında sunulan sonuçlarda ilk seçenek kullanıldı ve sıvılaşmanın meydana gelmesinin yoksullar için olası bir açıklama olduğu sonucuna varıldı. Modelin performansı. İkinci ve üçüncü seçeneklerin ne kadarının değerlendirileceği Adapazarı'na dair tahminleri ne ölçüde geliştiriyorlar, değerlendirilmektedir. Adapazarı'ndaki hasarın neredeyse tamamı yanal değil, zemin oturmasından kaynaklanmaktadır.

5.5.1 Basitleştirilmiş 'artırımlı' metodoloji

Adapazarı'ndaki toprak yataklarının potansiyel olarak sıvılaşabilir olduğu tespit edilmiştir, zira yüksek su tablasına sahip güncel alüvyon çökelleri bulunmaktadır. Bu nedenle, DASK modeli merkezi bölgeye E sınıfı olarak atanmıştır.

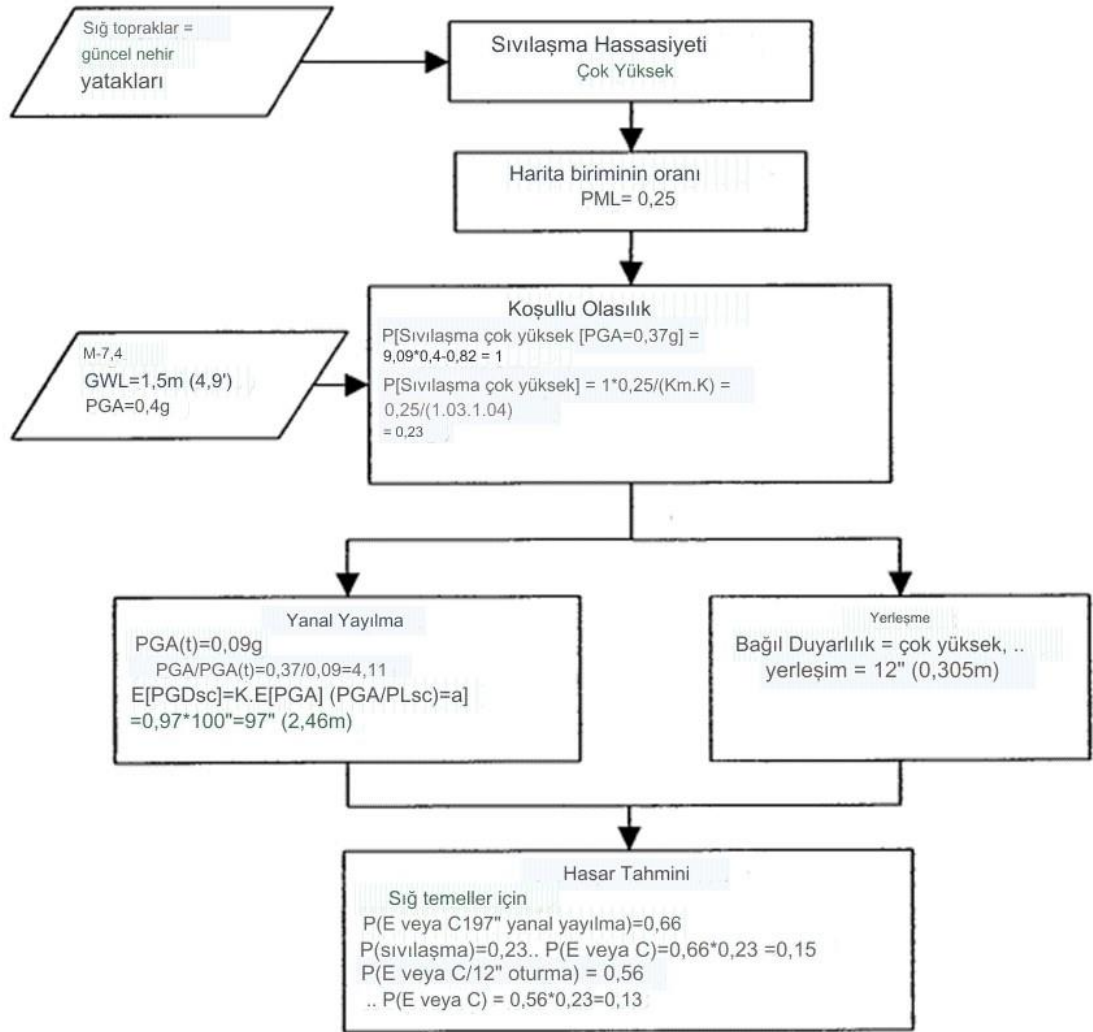


Şekil 5.21 Adapazarı merkezde zemin sınıfları için perde duvar modeli kullanılarak tahmin edilen hasar

D/E ve E (FEMA, 1997) orta yükseklikteki betonarme çerçevelerde gözlemlenen hasarla karşılaştırıldığında Şekil 5.21'de gösterildiği gibi, talebi saha sınıfı D/E'den E'ye değiştirmek yalnızca küçük bir fark yaratır (%8 oranında artış), ve gerçek değere daha yakın bir tahmin sağlamaz hasar dağılımı. Farklılıklar esasen önceki bölümde tartışılanlarla aynıdır, dolayısıyla aynı eksiklikler herhangi bir sonuca varılmasını engellemektedir. DASK yaklaşımıyla ilgili bir diğer gözlem ise E saha sınıfı için NEHRP faktörlerinin gevşek veya zayıf zeminlerin doğrusal olmama özelliğini yansıtmasıdır, böylece en yüksek sarsıntı seviyelerinde sarsıntı ve dolayısıyla tahmin edilen hasar, artmak yerine daha da güçlenir. Ancak, sıvılaşmanın derinliği ve dolayısıyla sıvılaşmanın yol açtığı hasar sarsıntı kuvveti arttıkça artacaktır.

5.5.2 HAZUS metodolojisi

Adım I: Sıvılaşma Duyarlılığı Adapazarı merkezinin altında yatan çökelti, ağırlıklı olarak güncel nehir kanalları ve taşkın yataklarından oluşmaktadır. Aslında, adı "Ada Pazarı" olarak tercüme edilen bu şehir, eskiden bir deniz kıyısında yer alıyordu ve Sakarya ve Çark nehirleri arasındaki bir adada bulunuyordu. Youd ve Perkins'e (1978) göre kohezyonsuz güncel nehir kanalı ve taşkın yatağı çökellerinin sıvılaşma duyarlılığı oldukça yüksek ve sırasıyla yüksektir. Aslında, Adapazarı'ndaki yatakların yüksek miktarda toz içeriği vardı ve bunların uygun olarak sınıflandırılması tartışmalıdır. Ancak, HAZUS çerçevesinde bu tür detaylı bilgi muhtemelen mevcut olmayacaktır. Gerçek bilgiye dayanarak, zemin koşullarını ve HAZUS'un tahmin edebileceği maksimum kayıpları göstermek için, toprak çok yüksek olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 5.22 HAZUS zemin göçmesi metodolojisinin Adapazarı merkeze uygulanması

Adım 2: Harita Biriminin Oranı (P^l) Duyarlılığı çok yüksek olan birikintiler için, sıvılaşması muhtemel kabul edilen birimin oranı 0,25'tir. Adapazarı'ndaki gözlemler, sıvılaşmanın homojen olmadığı varsayımını destekledi. Bray ve Stewart'ın (2000) araştırma verilerine göre, katılımcıların yaklaşık %40'ının binalarında GFO toprak arıza indeksi olduğu, bu durumun sıvılaşma için herhangi bir kanıt olmadığı ve yaklaşık %30'luk bir kesimin zemin arızası hakkında herhangi bir gözlem yapmadığı anlamına geliyordu. Bu rakamlar, 0,25 faktörünün uygun olabileceği aralığı düşündürmektedir; ancak gerçek aralık muhtemelen daha düşüktür, çünkü veriler %30 ila %60 arasında değişmektedir. İncelenen binaların tamamında bir miktar sıvılaşma yaşanmıştır. Ancak, araştırma sırasında güçlü bir etkinin olduğu orta bölgedeki sadece dört hat, sıvılaşmanın

varlığını destekleyen kanıtlar olarak ele alınmıştır. Dolayısıyla, 0,25 faktörünün makul bir tahmin olduğu sonucuna varılır. Buna ek olarak, belirtildiği gibi P¹ faktörü ile ilişkili aralık ve belirsizlik dikkate alınmalıdır, bu daha uygun olur.

Adım 3: Koşullu Sıvılaşma Olasılığı Çalışma alanı için en yüksek yer ivmesinin en iyi tahmini 0,4g'dir. Diğer parametre girişleri, bu hesaplamaya büyüklük (M=7,4) ve yeraltı suyu seviyesinin varsayılan olarak 1,5m (4,9 ft) altında olduğu kabul edilir. Koşullu sıvılaşma olasılığı şu şekilde elde edilebilir:

$$P[\text{Sıvılaşma}] = \frac{P(\text{Sıvılaşma çok yüksek} | \text{PGA} = 0,48)}{K_M K_w} \cdot 0,25$$

$$P[\text{Sıvılaşma çok yüksek} | \text{PGA} = 0,37 - 0,82] = 2,54 \geq 1,0$$

$$\therefore P[\text{Sıvılaşma} | \text{PGA}] = 1,0$$

$$K = 0,0027 (7,4)^2 - 0,2055 (7,4) + 2,9188 = 1,03$$

$$K = 0,022 - 4,9 + 0,93 = 1,04$$

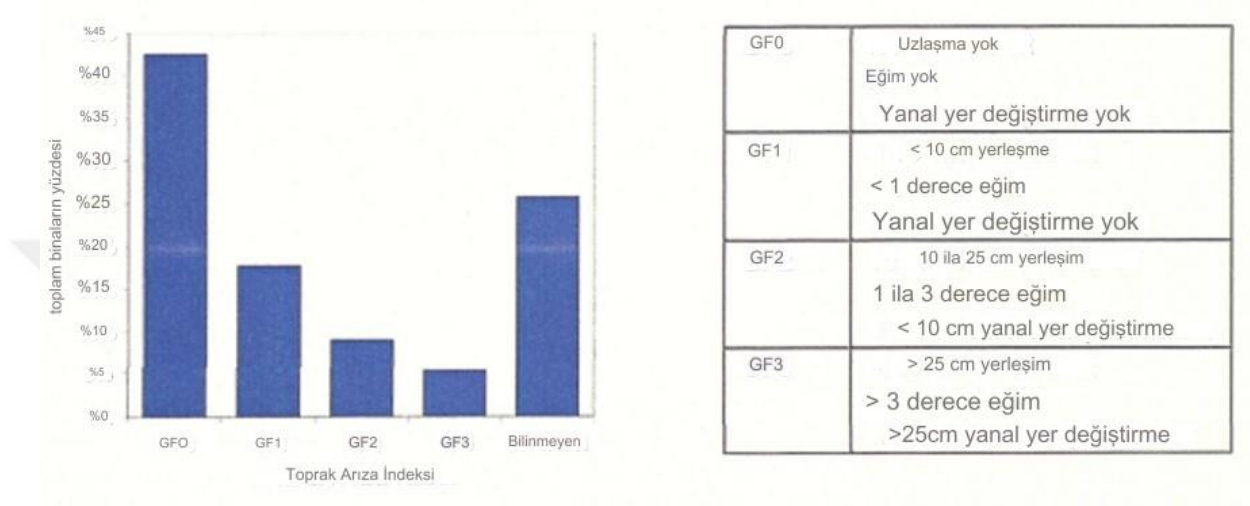
$$\therefore P[\text{Sıvılaşma}] = \frac{0,25}{1,03 - 1,04} = 0,23$$

Çok yüksek değerler için sıvılaşmanın tetiklenebileceği eşik ivme, toprağın duyarlılığına bağlı olarak 0,09'dur. Bu nedenle, eşik değere normalize edilmiş PGA 4,11'dir. Normalleştirilmiş ivme 0,4'ten büyük olduğunda, beklenen yanal yayılma 100 inçtir. Bu, aşağıdaki denklem kullanılarak büyüklük açısından değiştirilir:

$$K_A = 0.0086 M^3 - 0.0914 M^2 + 0.4698 M - 0.9835 = 0.97$$

Çok yüksek duyarlılık için beklenen oturmanın genliği 12 inç veya 0,305 metredir. Bu bilgi araştırma bölgesi için doğrudan mevcut değildir, ancak zemin hasar indeksi, alttaki kalıcı zemin deformasyonu aralığını verir, gösterilen binaların altında. 0,305 metrekarelik yerleşim, GF3'e eşdeğer olacaktır ve bu karşılaştırmadan çeşitli yorumlar yapılabilir. İlk olarak, Adapazarı'ndaki zemin yenilme derecesinin, küçük ölçekte bile önemli değişkenlik gösterdiği açıktır. Araştırma bölgesi, tek bir değerle yeterince temsil edilemeyen değişkenliklere sahiptir, bu nedenle duyarlılık kategorisi bu çalışmada yanlış

atanmış olabilir. İkinci olarak, HAZUS'ta kullanılan değerler serbest alan bazlıdır, ancak hesaplamalar, bina temellerinden elde edilen verileri temel alır. Eğim açısı, serbest alan hacmi kullanılarak tahmin edilemeyen önemli bir değişkendir ve bu yaklaşımlar, serbest alanın yatağın etkisini göz ardı etmesinden kaynaklanan baskıları temel oturmasına yansıtmaz.



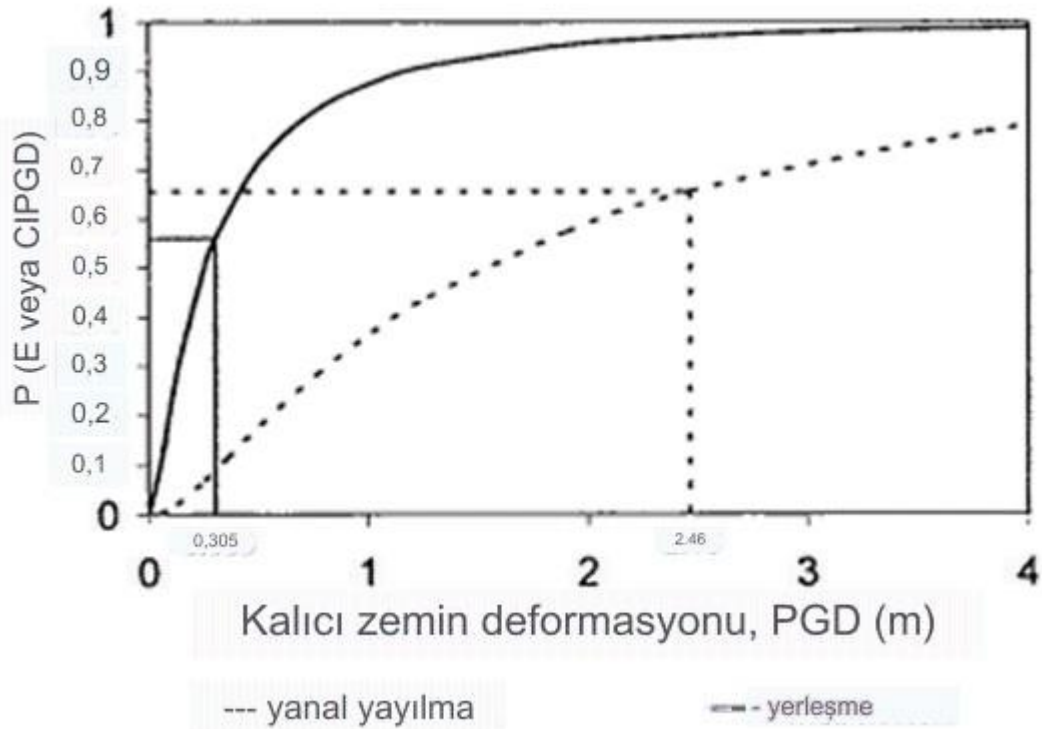
Şekil 5.23 İncelenen binalar için zemin arızası dağılımı (Bray & Stewart, 2000)

Adım 5: Hasar Tahmini

Hasarın nihai tahmini, kırılmalık eğrilerine dayanmaktadır. İncelenen binaların çoğunun temel bilgileri mevcut olmasa da, sadece bir betonarme çerçeve binasının yıkıldığı anlaşıldı; bu nedenle sadece sığ temeller dikkate alınmıştır. Şekil 5.25, hasarın beklenen kalıcı zemin deformasyonunun bir fonksiyonu olarak kapsamlı veya tam olma olasılığını gösterir; daha önce de belirtildiği gibi, HAZUS, binaların ya hasarsız olduğu ya da kapsamlı veya eksiksiz hasara uğradığı varsayılararak topraklama hatası nedeniyle hasar tespit eder.

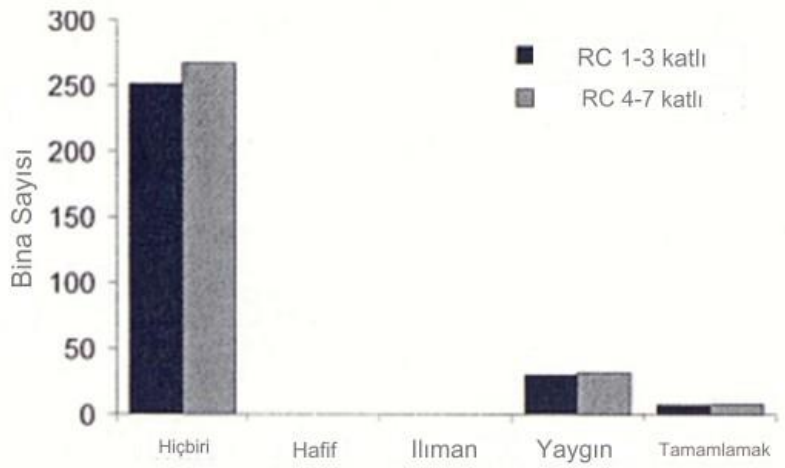
HAZUS kılavuzuna göre (FEMA, 2001), yanal yayılmanın daha zarar verici senaryosu veya yerleşimin kullanıldığı; Şekil 5.25'ten bunun yanal yayılma olduğu görülebilir. Adapazarı'nda yanal yayılmanın nadir bir olay olduğu bilinmektedir, çünkü çok az sayıda sıvılaşabilir zemin bulunmaktadır, özellikle de binalara yakın serbest yüzeylerde (R. Sancio, Kişisel İletişim, 2004). Bununla birlikte, Adapazarı'ndaki sıvılaşabilir zeminlerin

ince taneli yapısı genellikle büyük yer deşiştirmelere neden olmaktadır. Dolayısıyla, bu çalışmanın amacı HAZUS metodolojisini kullanmak olsa da bu adımda oturma kaynaklı hasar olasılığı kullanılmıştır, çünkü HAZUS'tan daha uygun bir hesaplama yapılabilmesi için serbestliğin varlığı ve niteliği dikkate alınmalıdır. Yanal yayılmanın neden olduğu hasar için yüzler. Metodolojinin sıkı bir şekilde uygulanması, aslında yanal yayılmanın neden olduğu hasar olasılığının, oturmadan daha yüksek olduğunu öngörmek için yargı uygulamaktan ziyade, gözlemlenen zemin deformasyon biçimini seçmektedir.



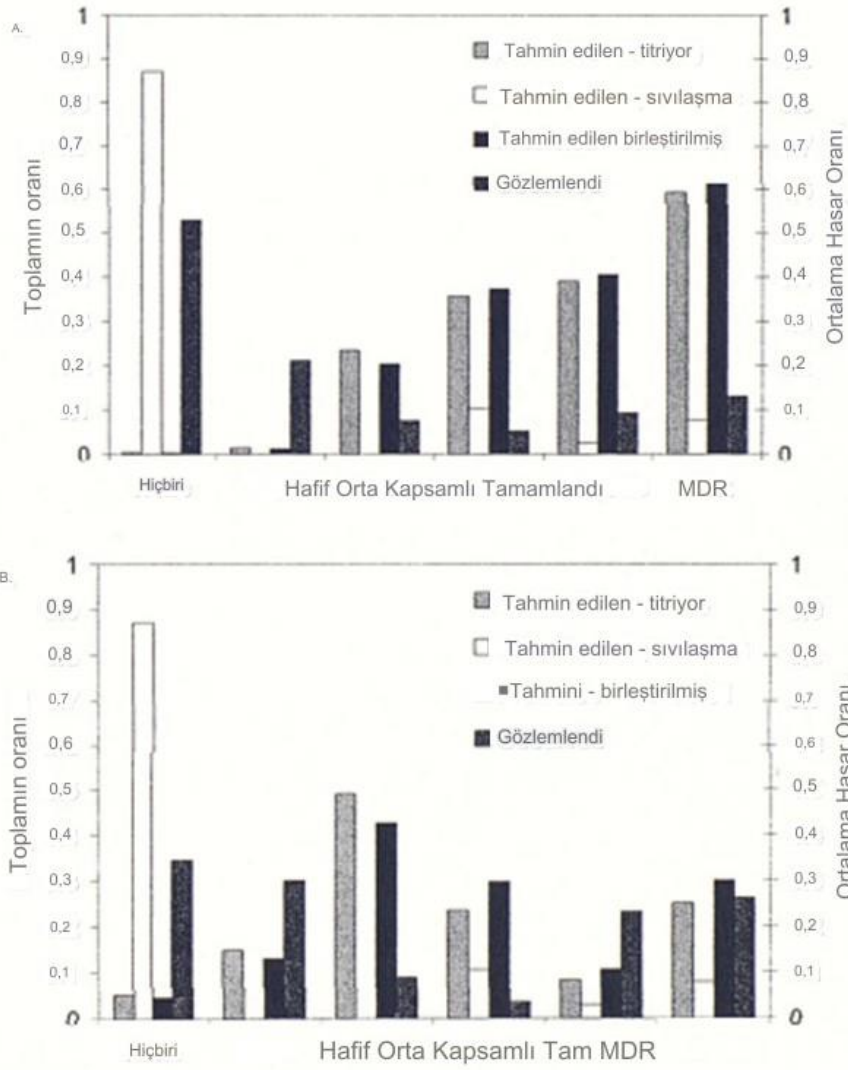
Şekil 5.24 Zemin göçmelerindeki sığ temeller için HAZUS kırılabilirlik eğrisi

Çözüm için, $P(E \text{ veya } C)$ (Şekil 6.25'ten 0,56) daha sonra koşullu değerlerle çarpılır: sıvılaşma olasılığı Bu, 0,13'lük nihai değerin birleşimidir: sıvılaşmanın meydana gelme ve kapsamlı veya tam hasara neden olma olasılığı. Binaların sıvılaşma nedeniyle büyük ölçüde veya tamamen hasar gördüğü durumlarda, bu oranın %20 olduğu varsayılmaktadır; bunların bir kısmı tamamen, %80'i ise büyük oranda hasar görmüştür (FEMA, 2003). Sadece sıvılaşmadan kaynaklanan bina hasarının dağılımı Şekil 5.27'de gösterilmektedir. Şekil 5.27'deki iki bina kategorisi yalnızca araştırma verilerine dayanmaktadır, çünkü herhangi bir HAZUS metodolojisinde bina yüksekliği veya bina tipi ayrımı yapılmıştır.



Şekil 5.25 Sıvılaşma kaynaklı oturma için tahmini hasar dağılımı

Adapazarı araştırma verilerine dayalı olarak, HAZUS'un varsayılan metodolojisi kullanılmıştır. HAZUS metodolojisindeki son adım, yer sarsıntısından kaynaklanan hasarın toprak sarsıntısından kaynaklanan hasarla birleştirilmesidir, sonuçlar Şekil 5.28’ de gösterilmektedir.



Şekil 5.26 Adapazarı merkezde hem yer sarsıntısı hem de deprem nedeniyle tahmini hasar

Şekil 5.28’de a) Alçak katlı betonarme çerçeve binalar, kalitesiz, b) Orta katlı betonarme çerçeveler, perde duvarlar olarak gösterilmiş; yer sarsıntısı talebi için zemin sınıfı D/E varsayılmıştır.

5.6 Değerlendirmeler

Bu çalışmanın önemli bir bulgusu, toprak arızası dahil edildiğinde kullanılan yapısal hasar ölçeğinin uygun olmadığıdır. Araştırma ve tahminlerde, büyük oturma veya eğime maruz kalan tüm binaların büyük ölçüde veya tamamen hasar gördüğü gözlemlenmiştir.

Bu durum, çok sayıda alt kategorideki binaların daha yüksek kategorilere yeniden dağıtılmasına neden olmuştur. Bu vaka çalışmasına dayanarak, hasar ölçeklerinin sıvılaşmadan kaynaklanan kayıpları hesaba katmak için geliştirilmiş bir metodolojinin geliştirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

Adapazarı merkezinde, hasarsız betonarme çerçeve binaların oranının, Gölçük ve İzmit gibi benzer illerdeki araştırma bölgelerine kıyasla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Orta derecede hasar gören binaların bir dizi olası açıklaması ise farklı saha araştırmacıları tarafından hasar ölçeklerinin farklı yorumlanması, farklı bölgeler arasındaki saha koşulları ve kaynak etkileri arasındaki farklılıklar olabilir. Bu eksikliklerin yanı sıra, mevcut hasar ölçeklerinin katkıda bulunan bir faktör olabileceği düşünülmektedir.

Sıvılaşmanın dahil edilmesi için üç farklı yaklaşım test edilmiştir: görmezden gelmek; en kötü zemin sınıfının sıvılaşabilir zeminlere atanması veya HAZUS varsayılanını kullanarak metodoloji. Bu sonuçlar, ek verilerin ve analizlerin basitleştirilmiş HAZUS kullanılarak sıvılaşma kaynaklı hasarın dahil edilmesi için gereken süreçte, özellikle bu özel durumda, metodolojinin haklı olmadığını göstermektedir. Öngörülen hasarın daha hassas olması, yer sarsıntısından kaynaklanan hasarı tahmin etmek için kullanılan bina hasar görülebilirlik modelinin, sıvılaşmanın dahil edilip edilmediğine bağlı olduğunu göstermektedir. Bu vaka çalışması, HAZUS yaklaşımının aslında sıvılaşmanın neden olduğu hasarı doğru şekilde modellediğini göstermektedir. Ancak, bu bileşenin yüksek bir belirsizliğe sahip olması ve çoğu kullanıcıya gizlenmesi, riske duyarlı bölgelerdeki sonuçların geçerliliğini iyileştirmez ve sıvılaşmanın kesinlikle modellenmesini sağlamaz.

Çizelge 5.5 Adapazarı merkez için farklı kayıp modellerinin karşılaştırılması

Sıvılaşma Modeli	Güvenlik açığı modeli	Gözlemlenen hasar durumlarıyla arasındaki fark			
		Hiçbiri	İlman	Tamamlamak	MDR
Yoksayıldı	İyi	-35%	+%14	-5%	+%28
Yoksayıldı	Yontulmuş duvar	-30%	+%40	-%15	-%1
Saha sınıfı E	Yontulmuş duvar	-32%	+%35	-11%	+%7
HAZUS	Yontulmuş duvar	-30%	+34%	-%13	+%4

D/E zemin sınıfına sahip orta katlı betonarme çerçeve yapılar için tahmin edilen ve gözlemlenen hasarlar arasındaki fark olarak gösterilmektedir.

HAZUS yaklaşımını takiben sivilaşmanın hasar tahminine eklenmesinin etkisi, bazı binaları hasar durumundan yok, hafif ve orta hasar durumundan geniş kapsamlıya taşıyarak ve tamamlayarak sonuçlanır. Şekil 5.28b'de, tamamen hasarlı binaların tahmin edilen oranı, kombine model ile geliştirilmiş ancak genel olarak etki açısından zararlı olduğunu ve gözlemlerle uyum sağlamadığını göstermektedir. Adapazarı'nın merkezinde sivilaşma önemli bir özellik olmasına rağmen, bu durum net olmaktan uzaktır. Bu vaka çalışmasının temelinde, genel hasarın daha kötü hale gelmesi etkisinin meydana gelmediği ortaya çıktı. Bina hasarından kaynaklanan kayıpları doğru bir şekilde tahmin etmek mümkün olsaydı, o zaman sivilaşmanın meydana gelmesinde ne kadar fark olduğunu tam olarak tespit etmek mümkün olacaktır. Adapazarı, sivilaşmanın olduğu ve olmadığı bir durumu analiz ederek, bileşeni belirlemeye çalışmıştır. Ancak Spence ve ark. (2003) ve Booth ve ark. (2004) ve bu bölümde yinelenen, mevcut yer değiştirmeye dayalı hasar tahmininin sonuçlarının güvenilirliği hâlâ sorgulanabilir niteliktedir ve Kocaeli depremi için durum böyle değildi. Gözlemlenen hasar dağılımlarını yeniden oluşturmak mümkündür. Bu nedenle, sunulan bulguların bu temel belirsizlik ışığında yorumlanması gerekmektedir. Özellikle, Spence ve ark. (2003) ve Booth ve ark. (2004) bununla ilgili belirsizliklerin altını çizmiştir. Yapısal davranış için basitleştirilmiş itme modeli ve gerçek durumu zayıf bir şekilde temsil etmesi, binaların tepkisini sınırlı bir şekilde gösterir.

Tüm vaka çalışmalarında olduğu gibi, Adapazarı veri setinin de bazı özellikleri vardır ki sonuçların yorumlanması daha zordur. Bu durumda, iki önemli özellik şunlardı: temellerin tekdüzeliği ve toprağın ince taneli yapısı. Temeller, alışılmadık derecede sert olup, binanın sivilaşmaya karşı tepkisini belirlemede kesin bir etkiye sahipken, toprak yapısının ince taneli olması farklı hasar dağılımlarının nedenlerine dair geçici sonuçların çıkarılmasına olanak sağlamış olabilir. Zemin göçme bölgelerinde temel tipinin önemi, HAZUS (FEMA, 2003) metodolojisinde önemli bir öncelik olarak kabul edilmiştir. Adapazarı'nda, temeller sağlam olmasına rağmen üst yapıların kalitesizliğiyle orantılı değildi ve bu faktör, tahmin edilen ve gözlemlenen hasar arasındaki tutarsızlıkları etkilemiştir. Ne yazık ki, Adapazarı'ndaki vakıflar da bu araştırma açısından oldukça tekdüzeydi ve bu nedenle verilerden farklı temel yanıtlar elde edilememiştir. Gözlenen hasar, temellerin zayıf ve başarısızlığa açık olduğu durumda tahminlere daha yakın olabilirdi, özellikle de diferansiyel yerleşim söz konusuysa. Zeminlerin ince taneli yapısı

dikkate alındığında, Adapazarı'nda sıvılaşmanın yaygın bir olay olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıntılı yeraltı araştırmaları, sıvılaşan zeminlerin çoğunun daha ince taneli olduğunu göstermektedir. Ancak bu özellik, ampirik veri kümeleri tarafından iyi temsil edilmemekte ve dolayısıyla birçok HAZUS yer arızası bileşeni kapsamında kullanılan metodoloji, yüksek ince tane içeriğine sahip sıvılaşabilir zeminlere uygulandığında belirsizliklerle karşılaşmaktadır. Bu çalışmanın sonuçları dikkate alındığında, HAZUS'un sıvılaştırma metodolojisinin özellikle Amerika Birleşik Devletleri'ndeki uygulamalar için geliştirildiği ve çoğu ampirik ilişkinin ABD verilerinden türetildiği unutulmamalıdır. Ancak Türkiye'deki koşullar için özel olarak türetilmiş metodolojilerin benimsenmesi yaygındır.



6. SIVILAŞMAYA KARŞI HASSASİYETİN ARTIRILMASI

Yer sarsıntısından kaynaklanan yapısal hasarın değerlendirilmesi, bina tanımının yapılmasını gerektirir. Bu, bina kapasitesi ve kırılabilirliğinin taleplere karşı yanı sıra, durumun durumunu tanımlamak için hasar ölçeklerinin kullanımını içerir. Ancak, sivilaşmadan kaynaklanan zemin deformasyonlarından kaynaklanan bina hasarı durumunda, bu ölçeklerin geçerli olmadığı belirtilmelidir. Bu nedenle, bu eksiklikleri gidermek için bu bölümde sunulan iki ana unsur bulunmaktadır: Tüm bina hasarı modları için önerilen birleşik hasar ölçeği ve değerlendirme ve yapısal hasarın değerlendirilmesi için analitik bir prosedür, farklı yer hareketlerine maruz kalan binalar için. İlk yaklaşım, esas olarak sert temeller üzerindeki binalara uygulanabilirken, ikincisi esnek temeller üzerindeki binalara uygulanabilir. Bu bölüm, zemin deformasyonu ile ilgili olarak ele alınan konuları geliştirir ve talep ile bina sınıflandırması arasındaki ilişkiyi inceler. Daha sonra, bina tepkisi modları açıklanır ve ardından bu modlara yönelik çözümler sunulur. Çözümler, tekdüze, katı için ampirik olarak türetilmiş bir hasar ölçeği biçiminde cisim, yer değiştirmeleri ve diferansiyel yer değiştirmelerin analitik çözümlerini içerir. İkincisi için, bölgesel hasar tahminlerinde uygulama açıklanır ve ardından bunlara yönelik bir öneri sunulur. Son olarak, yer sarsıntısının neden olduğu hasarla kombinasyon ve bu yöntemlerin uygulanmasına ilişkin bir örnek olay incelenir.

6.1 Zemin Deformasyon Talebi

Sivilaşma olasılığının bölgesel olarak değerlendirilmesi, Bölüm 7.5'te ele alınmaktadır. Bu bağlamda, olasılıksal prosedürlerin tercih edilmesinin nedeni, sivilaşma değerlendirmesindeki belirsizliğin hesaba katılmasına izin vermesidir. Belirli bir çalışma için uygun metodolojinin seçimi, mevcut verilerin dikkatli bir şekilde incelenmesini gerektirir. Bölüm 6.6, bir bina hasarı tahmininin gerekliliklerini, kalıcı zemin deformasyonunu ve yaygın olarak kullanılan değerlendirme yöntemlerini açıklar. sonuçta, gerekli girdi verileri, her bir deformasyon modunun ortaya çıkma olasılığı ve genliğinin medyan değeri, standart sapması ve atanmış istatistiksel dağılımını içermelidir. Dolayısıyla, belirsizlikleri ele almak için olasılıksal bir yaklaşım, sivilaşma kaynaklı kalıcı zemin deformasyonlarının bölgesel olarak incelenmesi için gereklidir.

6.2 Bina Sınıflandırması

Herhangi bir bina hasar görebilirlik değerlendirmesinin ilk gerekliliği, bir sınıflandırma sistemidir. Bina stoğu, benzer beklenen yanıtlara ve başarısızlık modlarına sahip olan binaların tek bir kategoride gruplandığı varsayımına dayanır ve bu, deprem tehlikesine karşı duyarlılığın karşılaştırılabilir düzeylerini göz önünde bulundurur. Daha önce belirtildiği gibi, toprak arızasının neden olduğu hasarın türü büyük ölçüde binanın temel sistemiyle ilişkilidir.

6.2.1 Temel sınıflandırması

Zemin deformasyonlarına yapısal tepki, temellerin esnekliğine bağlıdır. Kolonlar veya duvarlar, diferansiyel olarak hareket edebilecekleri veya zemin deformasyonunu sağlayacak kadar sert olabilecekleri şekilde tasarlanmalıdır. Bu durum, temel ve üst yapının rijit gövde hareketine neden olur. Bundan sonra, "esnek" temel terimi, bu özelliği neredeyse hiç içermeyen herhangi bir temeli tanımlamak için kullanılacaktır. Kolonların altındaki bireysel ped veya yayılmış temeller dahil olmak üzere bükülme sertliği; takviyesiz veya yük taşıyan duvarların altındaki zayıf güçlendirilmiş şerit temeller veya güçlendirilmemiş veya zayıf güçlendirilmiş mat temelleri içerir. Sonsuz esneklik sağlamak için basitleştirilmiş bu temeller, zeminle birlikte deforme olur ve zemin deformasyonları doğrudan yapısal sisteme aktarılır. "Sert" temeller ise sonsuz katılıkta tepki verebilecek şekilde basitleştirilebilen temellerdir. Zemin deformasyonları, güçlendirilmiş hasır temelleri veya şerit veya yayılmış temelleri içerir. Güçlendirilmiş bağlantı kirişleri de bu kategoride yer alır. Kazıklı temeller için çözümler, duruma ve kazık tipine, içinde bulundukları malzemeye göre değişebilir. Temel türlerinin görsel olarak tanımlanması zor olabilir ve daha kapsamlı bir inceleme gerektirebilir. Ancak, vakıflar hakkında bilgi edinmek de son derece önemlidir. Zemin arızası bileşeni için yerinde jeoteknik veriler, kayıp değerlendirmesinde önemli bir rol oynar. Bazı varsayımlar makul bir şekilde yapılabilir; örneğin, kötü tasarlanmış binaların genellikle kötü tasarlanmış temellere sahip olduğu düşünülebilir ve modern, iyi tasarlanmış binaların temel tasarımında sınırlama duyarlılığını dikkate almaları ve dolayısıyla sert veya derin temellere sahip olmaları muhtemeldir. Ancak, bu tür varsayımların güvenilirliği elde edilen verilerle doğrulanmalıdır. Adapazarı'nda binaların genel

kalitesinin düşük olduğu ve temellerinin karşılaştırıldığında şaşırtıcı derecede sağlam olduğu belirlenmiştir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 (a) Adapazarı şehir merkezinde sert sığ temeller üzerindeki bir binanın devrilmesi ve (b) aynı binanın temellerinin yakından görünümü (Bray & Stewart. 2000)

Zemin arızasından kaynaklanan hasarın tahminine yönelik herhangi bir metodolojinin aşağıdakilere uygulanması muhtemeldir:

Sıvılaşabilir zeminlerin yaygın olduğu bilinen nispeten küçük çalışma alanları için, çoğu durumda yeterli bilginin bulunacağını varsaymak mantıklı olacaktır. Yerel yapı stoğu türleri için uygun kararların verilebilmesi için, örneğin Adapazarı büyüklüğündeki bir çalışma alanı için bu tür verilerin toplanması mümkündür. Yerel mühendisler ve inşaatçılar ile yapılan görüşmeler yoluyla bilgi edinilirken, daha geniş bir bölge için Türkiye genelinde DASK modeli gibi, bu kadar derin bir soruşturmanın pek mümkün görünmediği anlaşılmaktadır.

Yukarıda açıklanan iki temel sınıflandırması olan esnek veya sonsuz rijit sığ temeller, sonsuzluğun uç durumlarını temsil eder ve zemin yapı sisteminin göreceli sertliğine izin vermez. Dolayısıyla, bu temeller önemli bir basitleştirmeyi temsil eder. Kayıp tahmin çalışmalarının niteliğine uygun olarak, göreceli sertliğin değerlendirilmesi ve gözlemlenen temel deformasyonları üzerindeki olası etkisi, belirtilenlerin ötesinde parametreler gerektirir. Bu tür çalışmalarda genellikle veriler mevcuttur. Ancak, gerçekte kabul edilmesi gereken şudur: Binanın ve zemin kolonunun bağıl sertliği hem yapının

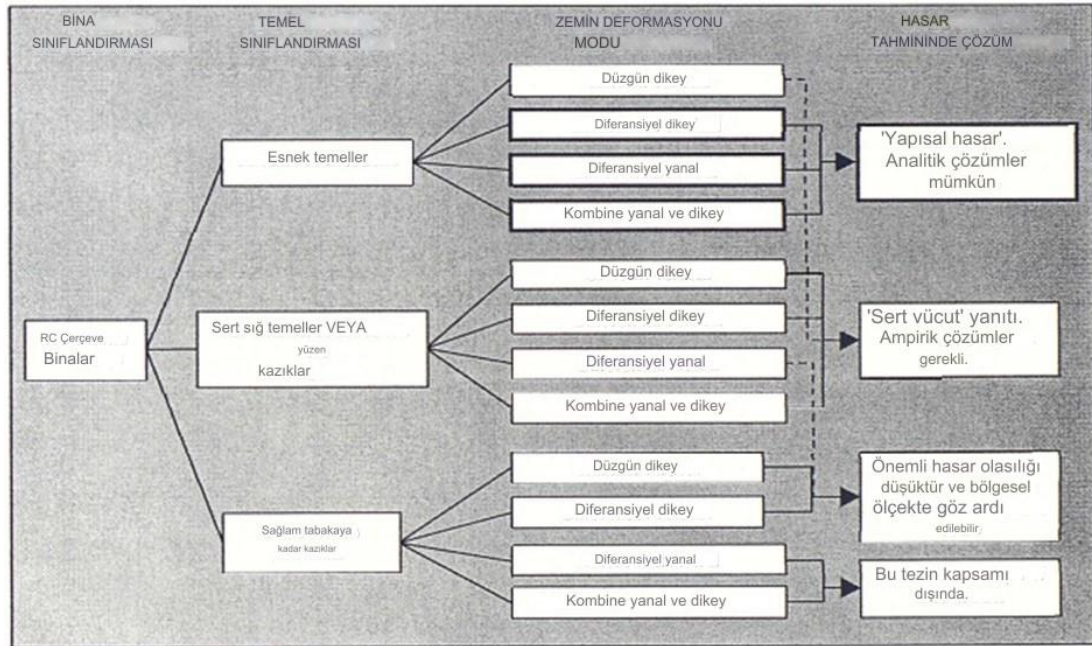
hem de yapının modunu etkileyecektir. Yapıların zemin deformasyonuna tepkisi ve zeminin modu ve büyüklüğü, yapıların altındaki deformasyon üzerinde etkili olacaktır.

6.2.2 Yapısal sınıflandırma

Temel sistemi, meydana gelen hasar türünü belirleyecektir. Zemin deformasyonları, yapısal sınıflandırmayı etkileyerek nihai hasar durumunu belirleyecektir. Gevrek yapılar, temel seviyesindeki farklı deformasyonlara karşı daha az toleranslı olacaktır, fakat sünek olanlar daha toleranslı olacaktır. Sert temeller üzerindeki binaların hasar durumları, zemin koşullarına daha az bağımlıdır, çünkü temel seviyesinden kaynaklanan rijit gövde rotasyonlarını içerirler. Üst yapı tipi de bu durumu etkileyebilir (örneğin Şekil 6.1).

6.3 Binanın Sıvılaşmaya Karşı Tepkisi

Herhangi bir yapısal ve yapısal durum için zemin deformasyonlarına karşı basitleştirilmiş tepki modları, temel sınıflandırması Şekil 6.2'de özetlenmiştir.



Şekil 6.2 Bir binada sıvılaşmanın neden olduğu farklı hasar türlerinin özeti

Bir çözüm prosedürü ararken, hasar iki kategoriye ayrılabilir. Birincisi, duvarların veya sütunların hareket edebilmesi için temellerde yeterli esnekliğin olduğu yer bağımsız

olarak ve dolayısıyla farklı olarak (örneğin Şekil 6.3), 'yapısal hasar' olarak anılır, çünkü yapı elemanlarında hasar meydana gelir. Bu konuda analitik çözümler geliştirilebilir çünkü hasar yapıda oluşan deformasyonla ilgilidir. İkinci kategori 'rijit gövde' bina tepkisidir; bu nedenle, belirlenmesinde önemli olan husus hasar durumu sistem performansının kabul edilebilirliğidir. Örneğin, tekdüze yerleşim için sokak seviyesine göre göreceli yer değiştirme, hizmet biçiminin bozulması gibi konular, bağlantılar ve bitişik binalarla olan seviye farkı, ıslahı veya yıkımı gerektirir. Hasar durumu kolaylıkla sınıflandırılmaz çünkü yapısal elemanların deformasyonu nedeniyle belirgin bir analitik çözüm yoktur, ve ampirik bir çözüme ihtiyaç vardır. Yüzlerce Türkiye ve Tayvan'da meydana gelen depremlerde binaların çöktüğü ya da yana yattığı bildirildi, örneğin 1999'daki Luzon, Filipinler, 1990 ve çok sayıda başkası. İkinci türün dikkate değer bir örneği başarısızlığın nedeni, Deniz Laboratuvarı'nın alçak katlı ahşap yapılarının tamamen hasar görmesidir, 1989'daki Loma Prieta depreminin ardından Moss Landing (Mejia vd., 1992). Ayrıca, Marino (1993) "çevre temelleri üzerinde bulunan evlerin hasara karşı en duyarlı evler olduğunu" bildirmiştir. 1989 Loma Prieta depreminde "sıvılaşma" meydana geldi; bu sayede bükülme ve kırılma meydana geldi ve temellerde ev çerçevelerinin çökmesine neden oldu. Kocaeli'de başka vakalar da bildirildi, Chi-Chi depremleri (örneğin Şekil 7.3). Vaka geçmişlerinin azlığına rağmen, bu arıza modu, esnek temellere sahip binalar için açıkça gerçek bir tehlike teşkil etmektedir. Marino (1997), depremden kaynaklanan en yaygın temel hasarının, temel elemanlarının yanal hareketlerden dolayı temel oturmasının düzensizliğinden kaynaklandığını ve sığ temellerde yayılma, gerilime neden olma, bükülme veya eğilme olduğunu belirtmiştir.



Şekil 6.3 Sıvılaşmadan kaynaklı zemin deformasyonlarının neden olduğu 'yapısal hasar' (Fotoğraf: Marshall Lew, Los Angeles Yüksek Binalar Tasarım Konseyi)

1999 Chi-Chi depremi. Nehir kıyısına doğru yanal yayılma ve buna bağlı yerleşim. Gösterilen her iki binada da yapısal deformasyonlara ve hasara neden olmuştur,

Farklı temel hareketlerinden dolayı daha az sayıda yapısal hasar raporu alınabilir. Bunun nedeni, birçok durumda zemin-yapı sisteminin bağıl sertliğinin yapıların katı cisimler olarak tepki vermesini sağlamak için yeterli olmasıdır. Alternatif olarak, hasar, yer sarsıntısının neden olduğu hasara daha çok benzemektedir, çünkü hasar yapısal elemanların çatlamasını ve akmasını içerir; her zaman hemen gerçekleşmez, toprak arızasından kaynaklandığı belirlenir. Ancak bu açıklama pek olası görünmemektedir, özellikle de örneğin Şekil 6.3'te gösterilen binalar dikkate alındığında. Önerilen bir başka açıklama ise basitçe bu tür hasarların meydana geldiği, ancak saha araştırmalarının odak noktası olmadığı ve bu nedenle raporlarda özel bir önem verilmediği.

6.4 Zemin Deformasyonuna Karşı Rijit Gövde Tepkisi

Bu bölümde, binaların sert temeller üzerindeki tepki biçimleri açıklanmakta ve gösterilmektedir.

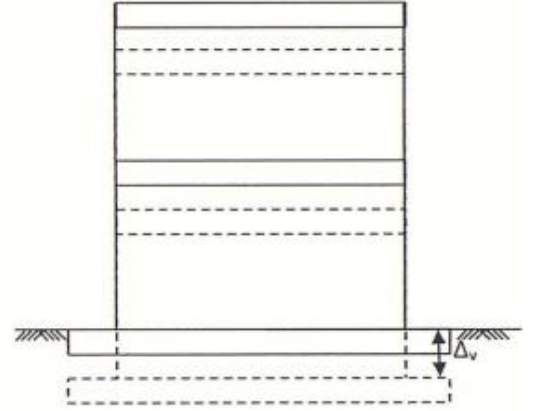
6.4.1 Temel yerleşimi

Sıvılaşmış bir tabakanın, yüzey boyunca çok az veya hiç diferansiyel deformasyon olmadan oturması durumunda, bir binanın kapladığı alan, yapıya vereceği zarar düşük olacaktır. En muhtemel hasar, zemin kat döşemesinde çatlama veya arıza ve binalar için zemin katını dolduran kum fişkırmasıdır, çevre veya geniş temeller üzerinde (bkz. Şekil 6.4).



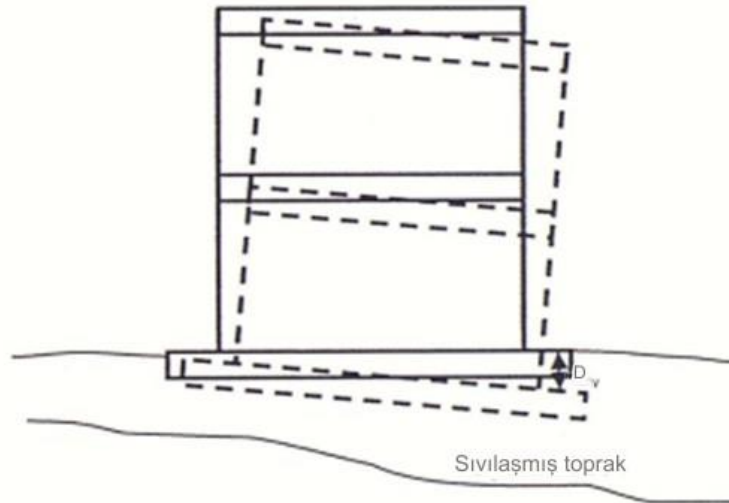
Şekil 6.4 (a) Kolonların oturması nedeniyle iç döşemede yapısal olmayan hasar ve altta yatan toprağın şişmesi, (b) Zeminin şematik gösterimi Adapazarı, Türkiye (Bray & Stewart, 2000)

Şekil 6.4'te gösterilen yapı için ana yük taşıyıcıda herhangi bir hasar olmadığı görülmektedir. Ancak diyafram hareketinin kaybı nedeniyle zayıflama olabilir. Yük taşıyan kolonlar temellerine düzgün bir şekilde otururken, taşıyıcı olmayan elemanlar (örneğin bölme duvarlar) veya yüzer döşeme plakaları aynı miktarda hareket etmeyebilir ve bu da büyük yapısal olmayan hasara neden olabilir. Sonuç olarak, hasar durumu yerleşimin boyutuna ve taşınma kolaylığına bağlı olacaktır, tamirat için.



Şekil 6.5 (a) Adapazarı'nda sert temeller üzerinde olduğu anlaşılan bir binanın düzgün yerleşimi ve (b) sert temeller üzerindeki binaların üniformaya tepkisinin şematik gösterimi

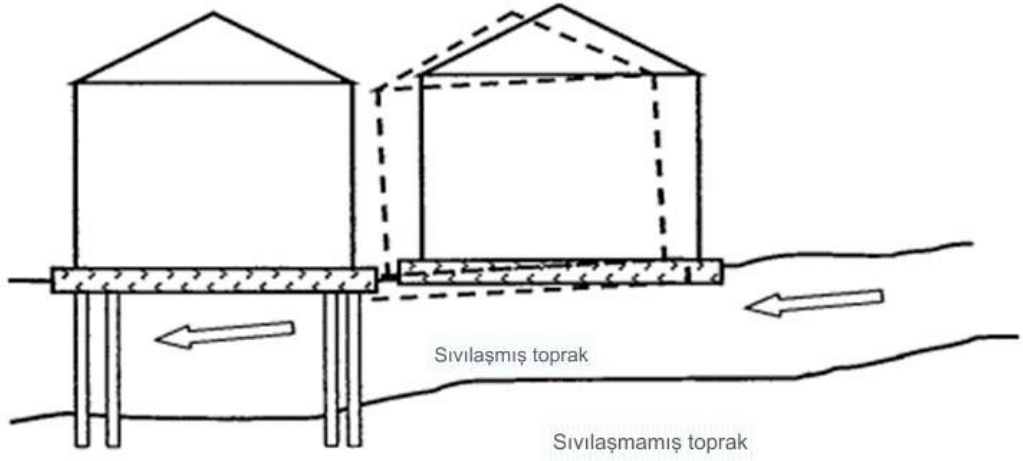
Şekil 6.5, sert radye temel üzerindeki bir binanın düzgün düşey tepkisini göstermektedir. Bu tür binaların hasar durumu estetiğin, kullanılabilirliğin ve onarılabilirliğin bir sonucudur. Sert temellerin altındaki farklı oturmalar, sert gövdenin dönmesine neden olur. Bu durum, Şekil 6.6'da gösterildiği gibi, Adapazarı'nda yaygın olarak görülen bir olaydır.



Şekil 6.6 Sert temeller üzerindeki bir binanın diferansiyel etkilere tepkisinin şematik gösterimi

6.4.2 Yanal serpme

Toprağın hafif eğimli zeminde veya serbest bir yüzeye yatay olarak yayılması yaygın bir durumdur, özellikle sıvılaşma özelliği gösteren durumlarda. Çoğu durumda, çok küçük de olsa dikey bir bileşen olacaktır ve bazı durumlarda yanal harekete neden olabilir. Hem geometrik olarak hem de fiziksel olarak durum böyledir; yani, yanal hareket çok sık bir eğimde bile olsa yatayda yer değiştiren temel aynı şekilde hareket edecektir. Aşağı doğru hareket etmesi gerekir ve ayrıca fiziksel olarak (sıvılaşma sonrası hacimsel gerilmeler düz zeminde bile oturmaya neden olacaktır), bu durum Şekil 6.7'de gösterilmiştir.



Şekil 6.7 Radye temel üzerindeki bir binanın altındaki toprağın yatay olarak yayılması ile yer değiştirme ve bazı dikey hareketler

Kazıklı binalar depreme karşı dayanıklı olabilir yer değiştirmeler ve sabit kalmaları nedeniyle komşu yapıların hareketi kısıtlanır.

Esnek temeller üzerine inşa edilmiş binalar da aynı şekilde yer değiştirebilir; bunun için gerekli koşulların meydana gelmesi gerekmektedir. Bu koşullar arasında yanal yayılmanın bina temeline kıyasla büyük olması ve bina ayak izinin tamamen yanal yayılmayı içermesi yer alır. Ancak, esnek temeller üzerine inşa edilmiş binaların daha olası senaryosu, bazı yanal farklılıklara maruz kalmasıdır, ki bu deformasyonlar Bölüm 6.5.2'de tartışılmıştır. Rijit temellerin kuvvetler nedeniyle diferansiyel yatay hareketlere

maruz kalması pek olası değildir, çünkü bu durum temellerin çekme kapasitesini aşması gerektirir. Pratikte, tüm yapının muhtemelen toprak hareketi yönünde düzgün bir şekilde yer değiştireceği ortalama bir miktar olurdu.

6.4.3 Zemin deformasyonuna karşı rijit gövde tepkisinin onarımı

Gerekli onarımların ve dolayısıyla rijit gövde oturmalarının ve rotasyonlarının maliyetleri büyük ölçüde artacaktır. Kabul edilebilirlik, hizmet verilebilirlik ve son olarak güvenlik konularına göre yönetilir. Hasar olduğu kabul edilirse yalnızca kozmetik olmalı, yani estetik açıdan değiştirilmiş olmalı ancak ne servis edilebilirliği ne de ürünün kullanım kolaylığı etkilenmemelidir. Yapının stabilitesi, daha sonra onarım maliyetlerini nispeten düşük tutacaktır. Bunun üzerindeki herhangi bir hasar için oturma ve/veya eğimin iyileştirilmesi gereken durumlarda, onarım maliyetleri önemli ölçüde yüksektir. Bu iyileştirmenin yeniden tesviye gerektireceğinden (örneğin temellerin ve kaldırma veya Diaz vd. tarafından 1998'de tanımlanan harç enjeksiyonu yoluyla) ve temel tamirat gerektireceğinden çok büyük yerleşim ve eğimlerde binaların yıkılıp yeniden yapılması gerekebilmektedir. Düzgün bir şekilde yerleşmiş binalar için (örneğin Şekil 6.5'te gösterildiği gibi), onarım çözümlerinin dikkate alınması gerekecektir. Hizmetlerin aksaması, bitişik binaların sürüklenmesine neden olabilecek hasara ve kapı ve giriş seviyelerinin değişmesiyle ilgili servis kolaylığı sorunlarına yol açabilir. Ek olarak, yerleşik bir yapı ile bulunduğu yapı arasındaki kot farklılıklarından dolayı estetik kaygılar oluşabilir. Çevredeki altyapıyla ilgili sorunlar da meydana gelebilir. Bir binanın üniform olarak yerleştiği çoğu durumda, hizmetlerin onarılması ve işlevselliğin değiştirilmesi, girişlerin değiştirilmesi yoluyla nispeten düşük maliyetle geri getirilebilir.

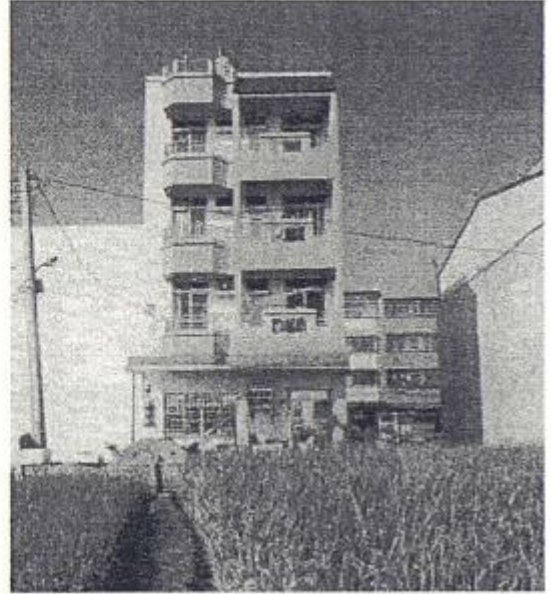
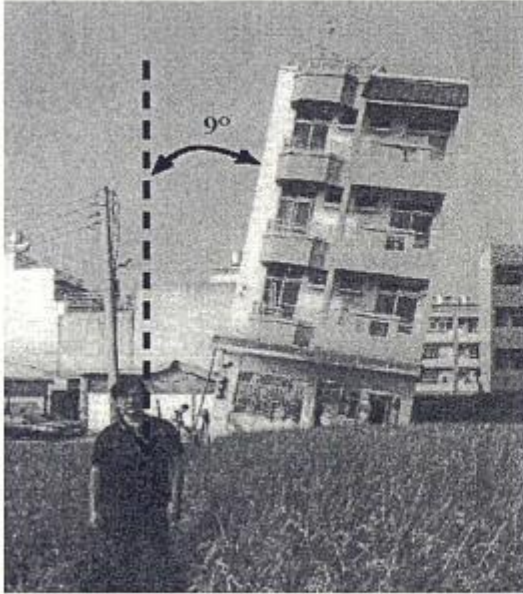
Yerleşmenin özellikle önemli olduğu durumlarda, yapısal düzenlemelerin yapılması gerekebilir. Bu düzenlemeler genellikle kaldırma ve destekleme gibi iyileştirici çalışmaları içerir. En kötü durumlarda, binalar düzgün temel oturması nedeniyle tamir edilemeyecek şekilde hasar görmüş sayılabilir. Eğimli binalar, düzgün bir şekilde yerleşenlerin aksine, eğimi düzeltmek için onarıma daha yüksek olasılıkla ihtiyaç duyarlar. Önceden etkiler genellikle sadece estetik olabilir, yani bölge sakinleri tarafından algılanabilir, ancak bazı durumlarda işlevselliği veya servis verilebilirliği etkileyebilirler.

En kötü durumlarda, yapısal stabilite etkilenebilir. Binaların olası onarım maliyetini tahmin etmeyi zorlaştıran konular şunları içerir;

- Temellerin planlanandan sağ çıkabilmesi için yeterli güce sahip olması gerekir. Bu, düzeltici bir eylemdir ve bunu belirlemek her zaman kolay olmayabilir. Eğer temel sisteminin sökülmesi ve değiştirilmesi gerekiyorsa, maliyetler eşit veya hatta aşabilir, özellikle az katlı konut yapıları için yapının değeri (Marino, 1997).
- Binanın ve temellerinin deprem öncesi durumuna getirilmesi konusu önemlidir. Zemin iyileştirmesinin yapılması, özellikle onarım maliyetlerini önemli ölçüde artırabilir, çünkü jeoteknik inceleme de gerekli olabilir.
- Hasar görmüş temeller için en uygun onarım yönteminin seçimi, inşaat çözümleri, inşaat kaynakları ve maliyetlerin birleşimiyle belirlenecektir. Bölgesel değişkenlik Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da iki apartman bloğu ile gösterilmektedir; Türkiye'de yıkıldı, Tayvan'da ise onarıldı. Tamir ve karşı Değiştirme kararlarında kurtarma değeri, yıkım maliyetleri, geçici onarım veya yeniden inşa sırasındaki yer değiştirme masrafları, çevredeki binalara etkisi ve idari maliyetlerdir ve bu nedenle özellikle belirli bir bazda belirlenmesi çok zordur, bina grupları için bölgesel baz.
- Bina sahiplerinin israfa karşı hoşgörüsü. Örnek olarak: 1990 Luzon depreminden sonra Dagupan'daki binaların 2 metre kadar çöktüğünü bildirdi. Deprem olayından sonra da işgal edilmeye devam edilmiştir (Schiff, 1991). Yerleşik binaların onarım ve iyileştirme maliyetleri hakkında daha fazla veriye ihtiyaç vardır. Literatürde yalnızca bir avuç vaka rapor edilmiştir (örn. Diaz ve ark. 1998; Ono vd., 1998; Sumi vd., 1998; Hwang vd., 2003) ve bunlar maliyet üzerine fazla bilgi sağlamamaktadır.



Şekil 6.8 Adapazarı'nda yaklaşık 140 cm'lik farklı oturmaya maruz kalan bina (yaklaşık 10'da 1 veya 5 derece eğim). Bu bina daha sonra yıkıldı. (EEFIT)

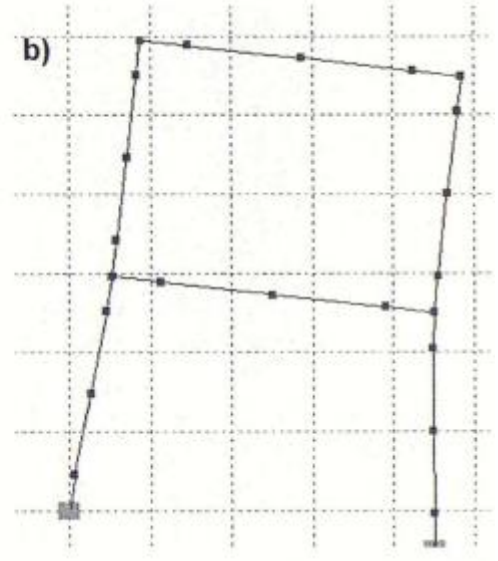
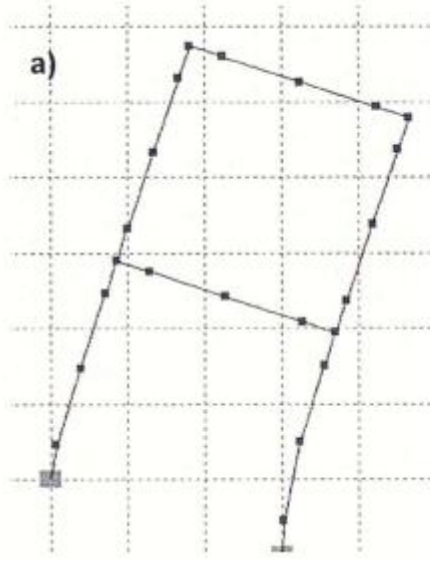


Şekil 6.9 1999'daki Chi-Chi depreminden sonra Wu-feng, Tayvan'daki apartman binası (Fotoğraflar Profesör J-H'nin izniyle Hwang, Ulusal Merkez Üniversitesi, Tayvan)

- a) Depremden sonra temel altında sıvılaşma nedeniyle 9 derece eğim gösteren.
- b) onarımdan sonra binayı yeniden düzleştirmek için yağ krikolarını kullanmak.

6.5 Esnek Altlıktaki Diferansiyel Hareketlerden Kaynaklanan Yapısal Hasar

Bu bölüm, sonsuz esnek temeller üzerindeki binaların deformasyonunu açıklamaktadır, özellikle temel seviyesindeki diferansiyel hareketleri ele almaktadır. Bu bölümde sunulan resimler, betonarme çerçeve binaların iki boyutlu deforme şekillerini gösteren diferansiyel etkilere maruz kalan yapıları yapısal analiz yazılımı kullanılarak analitik olarak elde edilmiştir (SeismoStruct, SeismoSoft, 2004). SeismoStruct, sonlu elemanlar yazılım paketidir ve statik veya dinamik etkilere maruz kalan uzay çerçeve yapılarının büyük deformasyon davranışını modeller. Bu durumda, yükler artan yer değiştirmeler olarak temel düğümlerine uygulanmıştır. Analizde hem yerel (kiriş-kolon etkileri) hem de küresel (büyük yer değiştirme/dönme etkileri) hesaba katılmaktadır, çünkü geometrik doğrusal olmamaların yanı sıra malzeme esnekliğinin de olmaması göz önünde bulundurulmaktadır. Malzeme esnekliğinin eleman uzunluğu boyunca ve kesit alanı boyunca yayılması, kullanılan bir fiber modelleme yaklaşımı ile açıkça temsil edilmektedir. Analizde kullanılan elastik olmayan kiriş-kolon çerçeve elemanlarının formülasyonu SeismoStruct'taki hesaplamalar, programın 'sihirbaz' fonksiyonunu kullanarak çerçeve yapılarının analizi için uygun olan parametrik çalışmaları yapmıştır. Bu çalışmalarda, bina geometrisi ve temel yer değiştirmeleri incelenmiş ve deforme olmuş şekillerin olduğu gösterilmiştir. Bu değişkenlerden bağımsız olarak elde edilen sonuçlar güvenilir bir temsil sunmuştur. Bölüm 6.7'de sunulan analitik çözümler genel uygulama için uygun olup, Şekil 6-10, bir temel düğümünde uygulanan yer değiştirmeler için SeismoStruct analizlerinden elde edilen örnek çıktıları göstermektedir.



Şekil 6.10 SeismoStruct'tan (SeismoSoft, 2004) hesaplanan deforme şekil örneği tek açıklıklı, RC çerçeve, 3 m kat yüksekliğinde ve 3 veya 4 m kiriş uzunluğunda, (a) 1,0 m'ye tabi bir temel altında düşey oturma ve (b) 0,5 m yatay, 0,5 m düşey yerdeğiştirmeler.



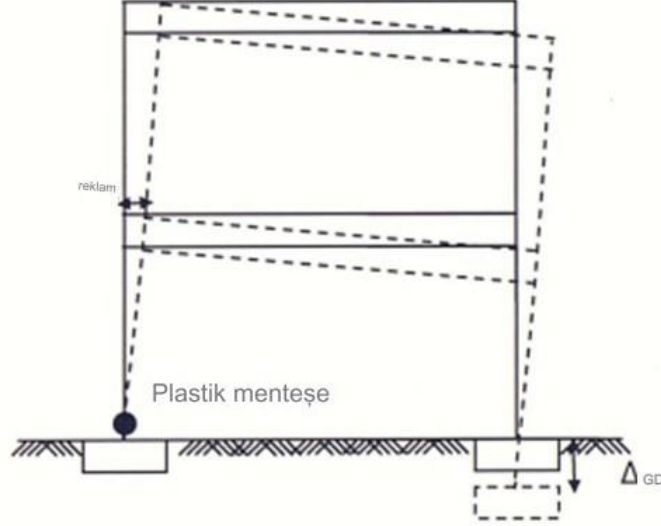
Şekil 6.11 Adapazarı'nda sığ temeller üzerinde olduğu düşünülen ahşap ve tuğladan yapılmış bir yapı

Türkiye, 1999. Kolonların farklı yerleşimi, zemin kat yükselmesi ve buna göre oturma (Sancio, 2003).

6.5.1 Farklı yerleşimler

Bir binanın kapladığı alan üzerinde farklı deformasyonlar, değişkenlik nedeniyle meydana gelecektir, özellikle altta yatan toprağın stratigrafisi ve her katmandaki toprak

özellikleri belirleyici olacaktır. Toprak birikintileri nadiren homojendir, bu nedenle sahada oldukça küçük bir alanda bile yerleşimlerin tekdüze olması pek mümkün değildir (Ishihara & Yoshimine, 1992). Esnek temeller üzerindeki taşıyıcı kolonlar arasındaki farklı yerleşimler önemli hasara neden olma potansiyeline sahiptir.



Şekil 6.12 Esnek sığ alanlı tek açıklıklı betonarme çerçeve binanın idealleştirilmiş davranışı

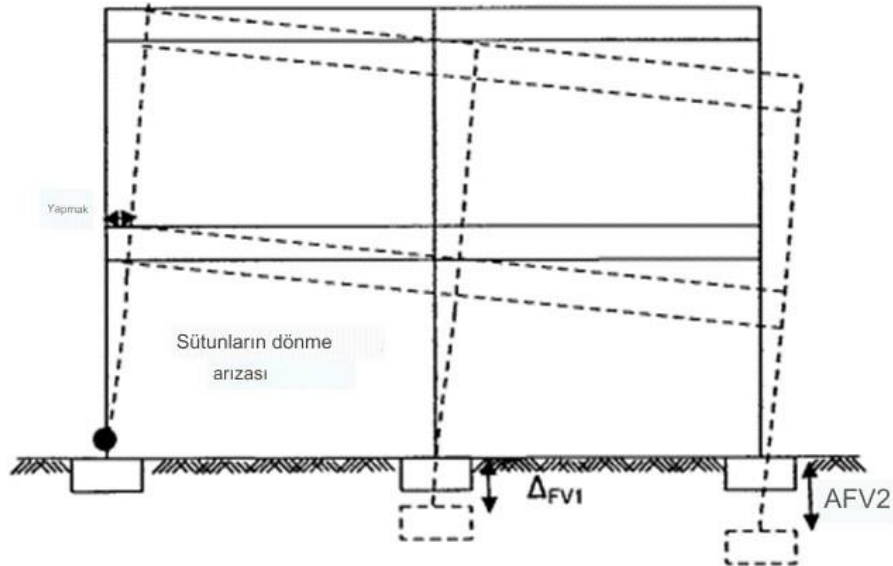
Şekil 6.12 ve 6.13, betonarme çerçeve binalarının düşey yüklere karşı ideal tepkisini göstermektedir. Temel seviyesinde uygulanan yer değiştirmeler, sütunlardaki maksimum talep tek açıklıklı çerçeveler için çok açıklıklı çerçevelerle aynı olduğunu göstermektedir; bu iki durum için aynı analitik çözümler kullanılabilir. Önemli ölçüde deformasyonlar meydana gelebilir, bu deformasyonların kirişlerden ziyade kolonlarda yer aldığı ve zeminde yoğunlaştığı görülmektedir. Kat yüksekliği veya kat sayısına bakılmaksızın daha yüksek katlardaki kat kolonları, katı cisimler olarak dönüştürür. Bunun nedeni sütunların yanal olarak serbestçe dönebilmesi ve bu nedenle basit bükülmede konsol gibi davranmasıdır; tabanında plastik menteşelerin oluşumu bina en basit arıza mekanizmasıdır.

Başlangıçta, düşey deformasyonun kirişler tarafından karşılanacağı öngörülmüştü, ancak desenin üst katlarında zemin seviyesinde tekrarlanmasıyla bu deformasyon modunun yalnızca Şekil 6.14'te gösterildiği gibi, dengeyi korumak için bir sınırlamanın olduğu

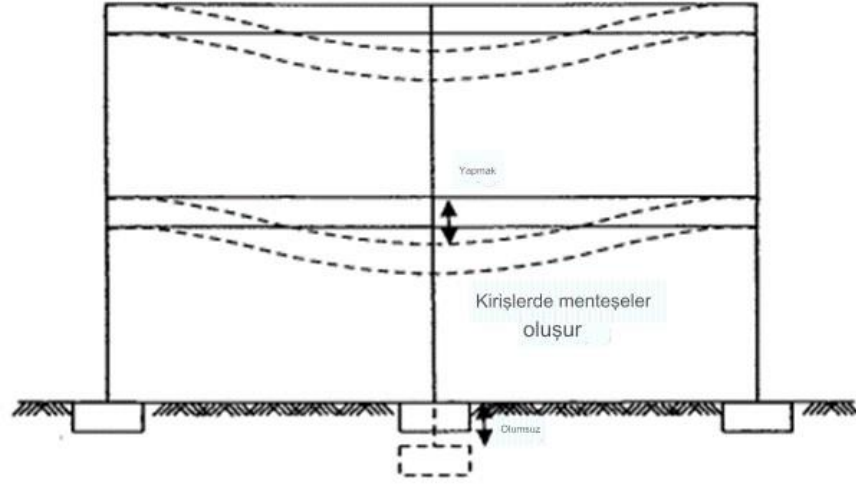
durumlarda meydana geldiği görülmektedir. Sütunlar dikeydir. Herhangi bir sınırlamanın olmadığı durumlarda kirişlerin eğilme rijitliği öyle ki deforme olmazlar ancak yanal olarak hareket ederler.

SeismoStruct'taki parametrik analizler, kirişlerin gerçekçi olmaması gerektiğini ve kirişlerin bükülmesini içeren bir göçme mekanizması meydana gelmeden önce esnektir olduğunu gösterdi. Farklı bu nedenle, en büyük deneyime sahip çok bölmeli yapılar için analitik çözümler gereklidir. Maksimum oturmaların meydana geldiği yerlerle karşılaştırıldığında çerçevenin sonundaki oturmalar bir iç temelin altında. Bir kayıp tahmini çerçevesinde, bunun komplikasyon, bina stoğunun bir kısmının subjektif olarak atanması yoluyla dahil edilebilir maksimumun nerede olduğunu tahmin etmek açıkça imkansız olacağından her bir davranış moduna farklı oturmaların oluşması beklenmektedir.

Şekil 6.12'deki binaların üst katlarının etkili rijit gövde tepkisi ve açısından kabul edilebilir rotasyon sınırlarının aşıldığı durumlar olabileceğinden potansiyel olarak önemlidir. Bir sonraki bölümde sunulduğu gibi kullanılabilirlik ve stabilite kritik kriterler haline gelir.



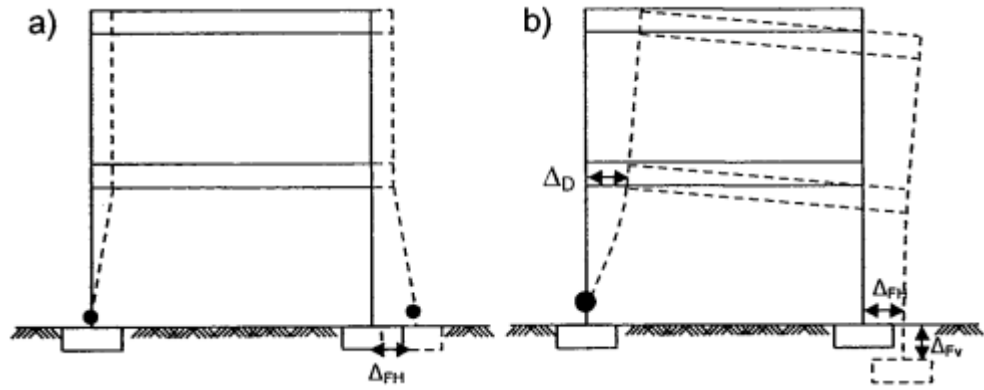
Şekil 6.13 Esnek sığ zeminde çok açıklıklı betonarme çerçeve binanın idealleştirilmiş davranışı



Şekil 6.14 Çok açıklıklı betonarme çerçeve binanın farklı oturmalara idealleştirilmiş tepkisi

6.5.2 Yanal serpmme

Diferansiyel yanal hareketlere maruz kalan binaların göçme mekanizması Şekil 6.15'te gösterilmiştir. Deformasyon, yine zemin kat kolonlarında yoğunlaşmıştır. Kirişlerin eksenel rijitliği, kolonların eğilme rijitliğinden çok daha yüksektir. SeismoStruct'taki parametrik çalışmalar, yalnızca çok küçük bir dikey bileşenin olduğunu gösterdi, ki bu deformasyon modunu oluşturmak için gereklidir (yatayın yaklaşık %1'i). Şekil 6.15a'deki durumun aksine, deformasyonun tek bir sütunda yoğunlaştığı Şekil 7.15b'de, iki zemin kat sütunu arasında eşit olarak dağıtıldığı yerde görülür. Diferansiyel yanal hareketin etkisiyle, Şekil 6.15b'deki sağdaki sütunun yerleşimi, yüklerin yeniden dağıtılmasına neden olur, bu da sol sütundaki yükün azalmasına yol açar, bu nedenle sadece küçük bir miktar deformasyon gereklidir. Gerçekte, neredeyse her zaman belirgin bir dikey bileşenin olduğu göz önüne alındığında, Bölüm 6.4.2'de bu nedenle yalnızca bu mod (Şekil 6.15b) dikkate alınmıştır.



Şekil 6.15 Esnek sığ temellere sahip betonarme çerçeve binanın idealleştirilmiş tepkisi (a) ilişkili dikey bileşen olmadan (b) ilişkili dikey bileşenle (ölçeksiz)

Dikey bir bileşenin varlığının deforme olmuş şekli etkilediği bulunmasına rağmen, yapıda hasar durumunun yalnızca yatay düzlemin genliği tarafından yönetildiği bulunmuştur. Temel deformasyonu; yani dikey deformasyonun meydana geldiği ve daha büyük olmadığı göz önüne alındığında, yatay bileşenden ziyade gerçek genliği önemli değildir.

6.6 Bina Hasarı Durumları

Önceki bölümde olduğu gibi, binanın zemin çökmesine tepkisinin yapısal hasar içerdiği durumlarda, hasar durumları aynı yapısal hasar şemaları kullanılarak sınıflandırılabilir. Yer sarsıntısından kaynaklanan bu hasar durumları, tanımlanmış aralıkları kullanarak, analiz ve sunum açısından sürekli hasar ölçeklerinden daha pratiktir. Hasar tahminlerinin sonuçları, beklenen hasar seviyelerini açıklarken aynı zamanda kullanıcıların binaların fiziksel durumu hakkında bilgi sahibi olmasını sağlar. Mevcut hasar ölçeklerinin çoğundan farklı olarak, eğilme, çökme veya kayma gibi vücut tepkileri hesaplanmıştır, bu da bu tezde daha önce tartışılmıştır. Yapısal hasar olmasa bile, bu tür binaların elemanları, hasarlı olarak kabul edilmelidir; çünkü hasar, "yapının durumunda, gelecekteki yapısal performansını olumsuz yönde etkileyecek bir değişiklik" olarak tanımlanır (Kehoe, 1998). Daha önce belirtildiği gibi, hasar düzeylerinin tahminine yönelik analitik bir yaklaşım bulunmamaktadır, çünkü yapısal bir talep olmadığından rijit bir gövde olarak dönen binalar (ayrıca daha büyük dönüşlerde olası P-A etkileri) bulunmaktadır. Bu nedenle, döndürülmüş veya yerleşmiş bir hasar durumu, binanın en iyi

şekilde hasar seviyesini sınıflandırmak için ampirik çözümler kullanılarak tanımlanır, bu da binanın işlevselliği ve onarılabilirliği ile ilgilidir. Yapısal ve yapısal olmayan hasar arasındaki sınır, katı vücut tepkisi durumunda kolayca tanımlanamaz. Küçük hareketler genellikle estetik amaçlıdır, örneğin binanın cephe hasarına eşdeğer olabilir ve genellikle yapısal olmayan hasar olarak sınıflandırılır. Ancak, bina cephesi hasarı her zaman yapısal olmayan olarak sınıflandırılmamıştır; çünkü bu durumda hasar şekli, yapısal olmayan hasar şekliyle aynıdır ve yeterince büyük olduğunda yapısal kabul edilir, dolayısıyla tek bir ölçek daha uygundur. Hizmetlere ve bağlantılara verilen hasarlar her zaman yapısal olmayan hasarlar olarak sınıflandırılabilir ve bu nedenle bu ölçeğe dahil edilmemiştir.

6.6.1 Deprem hasar ölçeklerinin gereklilikleri

Depremlere verilen tepkileri gruplandıran deprem hasar ölçeklerinin temel gereksinimleri şunlardır:

- i. Hasar durumunun açıklayıcı bir tanımını sağlamak, böylece bir kayıp tahmini, tahmin edilenin doğası ve kapsamı hakkında bir anlayışa sahip olabilir.
- ii. Farklı bina sınıflandırmalarına ilişkin tahmini hasar seviyelerinin sunulmasını sağlamak için karşılaştırılabilir terimler kullanılmalıdır.
- iii. Saha hasar araştırmalarını yürütenlere, bireysel binaları derecelendirmede yardımcı olmak ve ortak bir ölçek kullanarak araştırma bölgeleri arasında ve bölgeler arasında karşılaştırma yapılmasına olanak sağlamaktır.

Yapısal hasar seviyeleriyle tutarlılık sağlamak amacıyla, her iki dönme ve oturma sınırları onarım maliyeti oranıyla ilişkilendirilmelidir. Ancak, temel onarımlarının maliyeti, yapısal onarımlardan çok daha karmaşıktır (örneğin Marino, 1997). Çalışma bölgesi, inşaat uygulamaları ve halkın tutumu gibi değişkenler, bina sakinlerinin neyin hizmet verilebilir bir yapı oluşturduğunun tanımına katkıda bulunacaktır. Örneğin İngiltere'de, ev sahipleri 250'de 1 kadar düşük eğimleri kabul edilemez buluyor, ancak bu kadar küçük rotasyonlar alçak bir binanın hizmet verilebilirliğini veya yapısal bütünlüğünü etkilemez

(BRE, 2003). Marino (1997), depremde kaynaklanan hasarlar perspektifinden yazarak, "çok az insanın yüzde yarımlik bir eğimi fark etmediğini" (yani 200'de 1) belirtmektedir.

6.7 Farklı Temel Hareketlerinden Kaynaklanan Hasarların Değerlendirilmesi

Çoğunlukla zemin deformasyonlarından kaynaklanan bina hasarlarının değerlendirilmesine yönelik mevcut yöntemler uzun vadeli konsolidasyon çözümünden kaynaklanan hasarlarla ilgilidir (örneğin Borland & Wroth, 1975) veya kazı veya tünel açmanın neden olduğu hareketlere (örn. Boscardin & Cording, 1989) neden olabilir. Bu yöntemler tipik olarak iki gruptan birine girer; vakalardan ampirik veriler kullananlar izin verilen oturma sınırlarını veya yapı mühendisliğini uygulayan yöntemleri belirlemek için geçmişler prensipler; Örneğin Burland ve Wroth (1975), bina duvarlarını basit bir şekilde modellediler. Desteklenen kirişler, deformasyon modlarını ve kritik çekme şekil değiştirmelerini dikkate alarak kaynaklı hasar. Etkileyebilecek deprem kaynaklı sınırlama bağlamında bir bölgedeki bina stoğunun önemli bir yüzdesine sahip olan ve farklılık yaratabilecek olan En az 0,5 m'ye kadar yer hareketleri, bu metodolojiler bazı yararlı arka planlar sağlar, ancak sınırlı uygulanabilirliğe sahiptir. Bu bölümde sunulan prosedürler mekanik olarak elde edilme avantajına sahiptir. Basit geometrik ve malzeme değişkenlerini kullanan sağlam prensipler. Bina hasarı durumları doğrudan hesaplamalardan elde edilir ve ne yargı ne de ampirik veriler (hariç olarak) girdi tanımıyla ilgili olan hasar dağılımını tanımlamak için gereklidir. Tablo 8-1'in ilk iki sütununda gösterilen yapısal hasar durumları tam olarak açıklanmıştır. Bu hasar durumları, hasar tahmini için kullanılanlara benzerdir. Adapazarı daha önce anlatılmıştır ancak hiçbirisi arasında herhangi bir ayırım yapılmamıştır; hafif ve daha büyük hasarlar arasında ayırım yapılması gerektiğine dair bir gereklilik vardır. Hafif hasar, akma suşlarının aşılmasıyla tanımlanır; bu daha ayrıntılı bir şekilde açıklanacaktır. Bir yapı aşağıda olduğunda akma noktası nedeniyle hasarsız ve hasar arasındaki sınırı doğru bir şekilde belirlemek mümkün değildir. Hesaplama metodolojisindeki hafif hasar, bu bölümdeki gözlemlerle doğrulanmıştır. Rapor bağlamında, bu iki durum arasında bazı örtüşmelerin olduğu gözlemlenmiştir. Bu bölümde sunulan analitik prosedürler, betonarme çerçeve binalarını (dolgu göz ardı edilerek) dikkate alır; duvarlar esnek temellere sahiptir. Bu tek bina sınıfı daha sonra farklı yüksekliklere bölünmüştür; yer sarsıntısı tepkisi için aralıklar ve iki seviyeli sismik tasarım; fakir ve iyi. Betonarme çerçeve binalarda ikinci sınıflandırma,

çevrelenme düzeyine ve zayıf binaların yetersiz şekilde kapatıldığı yer sarsıntısından kaynaklanan hasar modu daha düşük limit durumu eşikleri ve artan yumuşak kat (kolon salınımı) olasılığına dayanır. Son olarak, belirli bir grup binaların geometrik ve malzeme özellikleri dikkate alınmalıdır (örneğin betonarme çerçeve; dağınık temeller; orta katlı; zayıf sismik tasarım) ve bu özellikler, deprem hasarına dayanma kapasitelerini etkiler. Bu yöntemdeki değişkenler, kapasite parametrelerine bir değer atandığı olasılıksal bir çerçevede temsil edilir. Geometrik ve değişkenlerle ilişkili belirsizliğin bir fonksiyonu olan olasılıksal dağılım, malzeme özelliklerini açıklar.

6.8 Zemin Kesintisi ve Zemin Sarsıntısının Etkileşimi

Tek bir bölgede yer sarsıntısı ve sıvılaşmanın neden olduğu hasarın birleşiminden oluşan karmaşık bir sorundan bahsedilmektedir. Bu bölümde, bu hasarlarla ilgili olarak bina kısaca ele alınmıştır. Sıvılaşmadan kaynaklanan 'taban izolasyonu' etkileri ve görünen birleşik hasara ilişkin saha gözlemleri bu bölümde sunulmuştur. Özetle, olası senaryolar şunlardır:

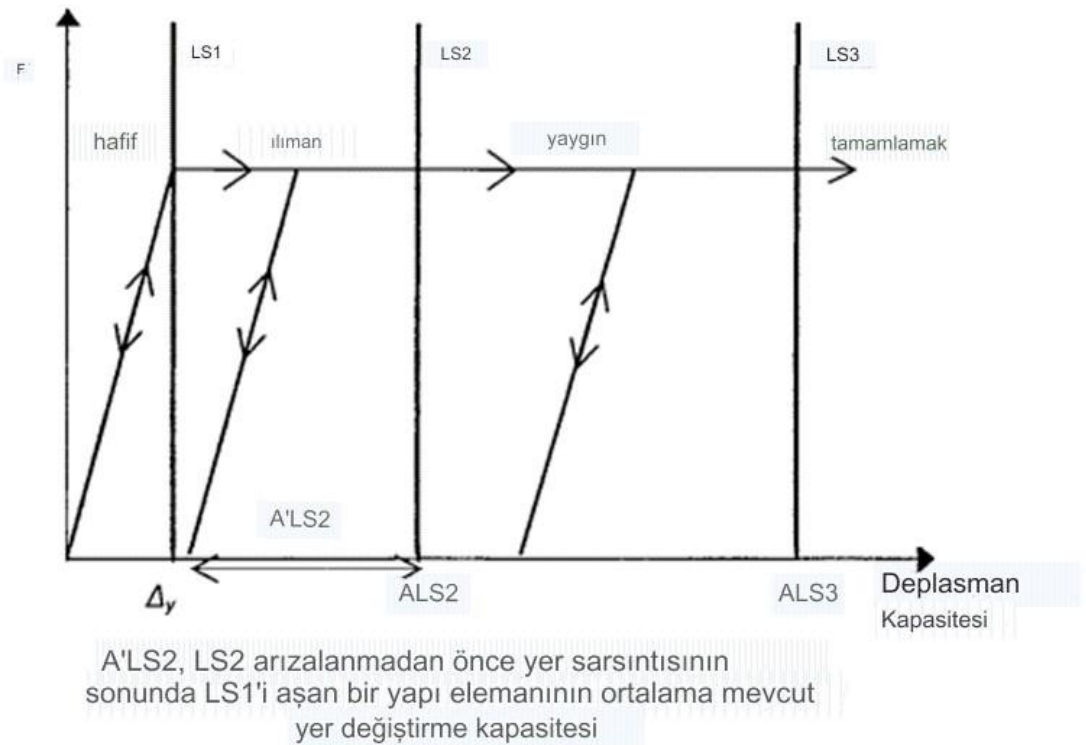
- i. Hasarın tek nedeni yer sarsıntısıdır.
- ii. Sıvılaşmanın meydana geldiği bölgelerde nihai hasar durumu yalnızca sıvılaşmanın sonucudur.
- iii. Nihai hasar durumu, ilk olarak yer sarsıntısı ve ardından sıvılaşmadan kaynaklanır.

Bu bölüm, üçüncü senaryo için nihai hasar durumunu tahmin etmek için analitik bir yaklaşım önermektedir. Ancak bunun belirlenmesinin basit olmadığı kabul edilmektedir. Birinci veya ikinci senaryo yerine bunun ne zaman gerçekleşeceği ve bu tür değerlendirmelerin birçok durum kayıp tahmin modelinin kapsamı dışında olduğu belirtilmiştir.

Depremi ilk bölümünde yer sarsıntısından kaynaklanan hasar varsayılmaktadır. Bunu, sonuna doğru veya sonrasında sıvılaşma kaynaklı zemin deformasyonunun takip ettiği belirtilmiştir. Bu, depremin başlangıcından sonra düşük frekanslı yer sarsıntısı

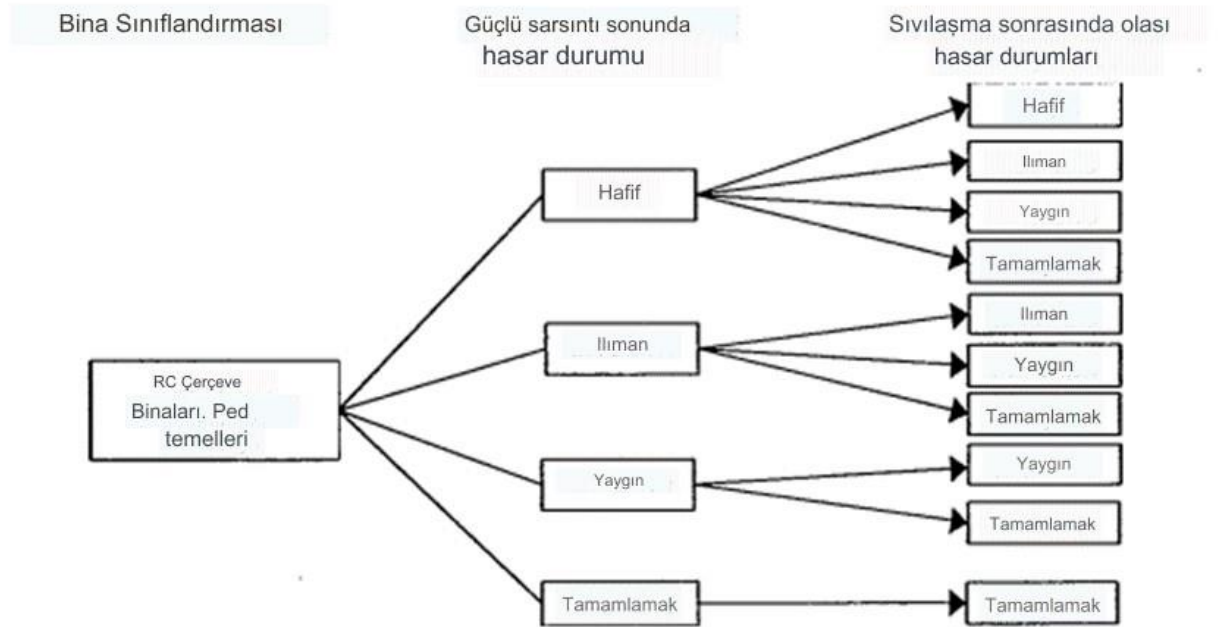
potansiyelini göz ardı eder, ancak uygun bir basitleştirme olarak kabul edilir. Son hasar durumu, güçlü sarsıntının sonunda ulaşılan hasar durumunun bir fonksiyonudur ve dolayısıyla sıvılaştırma talebini karşılayabilecek kapasitenin ne kadar kaldığına bağlıdır. Basitleştirilmiş bir davranış modeli şeklinde gösterilen yer sarsıntısı sonunda yer değiştirme kapasitesinin belirlenmesi için şu şekilde hesaplanır:

1. Yapı akma kapasitesini aşmamışsa, yani elastik kalmışsa, sıvılaştırma talebini karşılamak için tam kapasite mevcuttur.
2. Birinci veya ikinci sınır durumlarından herhangi biri aşılmışsa, nominal olarak varsayılır ki yapı ortalama olarak bu sınırlar arasında yer alır ve kalan kapasite buna göre hesaplanır. Kapasite, şu varsayım ile hesaplanır: boşaltma yolu, ilk yükleme yolu ile aynı eğime sahiptir.
3. Üçüncü sınır durumu aşılmışsa, yapı zaten tamamen hasara uğramıştır ve toprak arızasının kendisine yüklediği ek taleplere bakılmaksızın devam eder.



Şekil 6.16 Bir yapısal eleman için kuvvet: yer değiştirme yollarının şematik gösterimi

Yapısal elemanın kullanacağı ortalama kullanılabilir kapasiteyi gösteren, her bir sınır durumunu aşan sivilaşmanın neden olduğu deformasyonlara direnmeye bırakıldı. Şekil 6.16'daki döngüsel davranışı temsil eden omurga eğrisi de aynı şeyin geçerli olduğunu varsaymaktadır. Yapısal eleman talebi her iki aşaması tarafından da yüklenecektir. Bu durum muhtemelen yer sarsıntısı altında kolon sallanma davranışı sergileyen zayıf binalar için geçerlidir, ancak kirişlerde kırılmanın meydana gelebileceği güçlü binalar için muhtemelen geçerli değildir. Yer sarsıntısı nedeniyle tekrarlı yüklemelerin sonunda 'artık' kapasitenin bu modeline dayanarak, nihai hasar durumunu tahmin etmek için Şekil 6.17'de gösterilen şematik diyagram takip edilebilir. Güçlü artçı şoklar nedeniyle beklenen hasarı değerlendirmek için benzer bir yaklaşım kullanılabilir. Bu prosedürü uygulamak için, sivilaşmanın gerçekleşmediği duruma kıyasla sivilaşmanın meydana gelmesinin talebi ne ölçüde değiştireceğine ilişkin bir karar verilmelidir. Bu örnekte, zirve talebinin yine de gerçekleşeceği varsayılmıştır, ancak kuvvetli hareket döngülerinin sayısı daha az olacaktır. Ayrıca, detaylı araştırma yapılarak sivilaşmanın meydana geleceği bilinmektedir, bu da çığır açan talebi değiştirmek veya değiştirmemek için sağlam bir temel oluşturur. Bu çok ilginç konsept ne yazık ki standartların ötesindedir ve bu tezin kapsamını aşmaktadır.



Şekil 6.17 Yer sarsıntısı ve ardından sivilaşma nedeniyle oluşan kümülatif yapısal hasar

6.9 Örnek Olay İncelemesi

Bu bölümde, ilgili diferansiyel toprak seviyelerinin tahminini gerektirir. Aynı konumdaki hareketler ve yer sarsıntıları tercihen tahmin edilmez, ölçülür, bu da talepteki belirsizliği azaltır. Çünkü hem sarsma hem de kalıcı zemin deformasyonları 1999 Kocaeli depreminden kaynaklanan olarak bilinmektedir. Bu nedenle, talep ile ilgili tüm değişkenliğin dikkate alınması gerekmez, çünkü bu verilerdeki belirsizlik hesaba katılmıştır. Tek belirsizlik mekansal değişkenlik ve doğal yer zemininin heterojenliğidir. Adapazarı merkezinde gözlemlenen hasar, çok katı olanların baskınlığı nedeniyle sunulan çözümlere tamamen benzer radye temeller ile ilgilidir.

Adapazarı'nda neredeyse hiç yanal yayılma gözlenmemiştir, bu nedenle sadece yerleşim kaynaklı hasar dikkate alınmıştır. Zemin deformasyon talebi, Yoshida vd. tarafından bireysel binalar için bildirilen yerleşim aralığından tahmin edilmiştir (2001). Bunların altındaki zeminin farklı oturmalara doğrudan benzer olduğunu varsayarsak, binalar için aynı tahminler kullanılmıştır. Çöken binalar için, farklı yerleşimler rapor edilmemiştir. Oturmayan birçok bina için oturmanın ölçüleceği nokta veya aynı şekilde yerleşenler olduğu kabul edilmiştir. Yalnızca bir eğim açısının rapor edildiği durumlarda, bu tür tahminler yapılması mümkün olmamaktadır.

Sıvılaşmanın neden olduğu hasarın tahminini tamamlamak için iki faktör daha dikkate alınmıştır:

i. Sıvılaşmadan etkilenmeyen binaların oranı. Sıvılaşmanın meydana gelme ihtimali önemli ise, bunun gerçekleşeceği kabul edilmelidir, ancak toprak özelliklerindeki değişkenlik nedeniyle duyarlı alan boyunca meydana gelmeyebilir. Adapazarı merkezinde binaların en az %60'ı olduğundan %60'lık bir oran varsayılmaktadır. Bray ve Stewart (2000) tarafından yapılan araştırmada herhangi bir zemin göçmesi yaşanmamıştır. Bu değer göz ardı edilir çöken ve bu nedenle durumunun belirlenmesini imkansız hale getiren binaların toprak arızasının meydana gelmesi ve bu nedenle gerçek değerden daha yüksek olması mümkündür.

ii. Diferansiyel farkın olduğu yerde sınılaşmanın meydana geldiği binaların oranı deformasyonlar sıfırdı (yani tekdüze oturmalar). Adapazarı'ndaki sağlam temellerin varlığı, bu ihtimali artırarak kesinlikle bunu etkilemiş olabilir.

Tekdüze yerleşimler ve bu nedenle mevcut verilerden belirlenmesi kolay değildir. Esnek temeller söz konusu olduğunda böyle bir faktör ne olurdu? Nominal bir faktör açıklama amaçlı olarak %10 tahsis edilmiştir. Ayrıca, temel deformasyonlarının zeminden etkilenmediği varsayılmıştır, temel türü veya binanın geometrisi ve binanın eğiminin doğrudan neden olduğu taşıma gücü kaybından ziyade temellerin farklı oturması.

Daha sonra aşağıdaki durumlar için hasar dağılımı tahmin edilmiştir:

i. Sunulan metodoloji kullanılarak yalnızca betonarme çerçeve binalarda yer sarsıntısı hasarı Crowley vd. tarafından rapor edilmiştir (2004a).

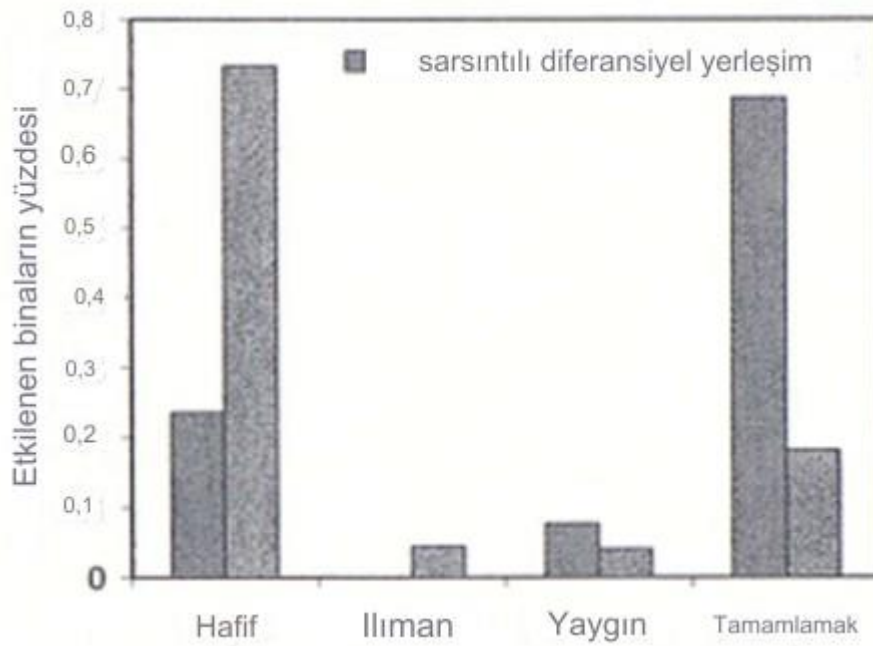
ii. Esnek temellere sahip betonarme çerçeve binalarda sınılaşma hasarı ve farklı oturmalar.

iii. Sınılaşma nedeniyle 'taban izolasyonu' ile birlikte yer sarsıntısı ve sınılaşma, yani iki tehlike birbirini dışlar ve binaların %60'ı yalnızca yer sarsıntısı, geri kalan %40'ı yalnızca sınılaşma yoluyla gerçekleşir.

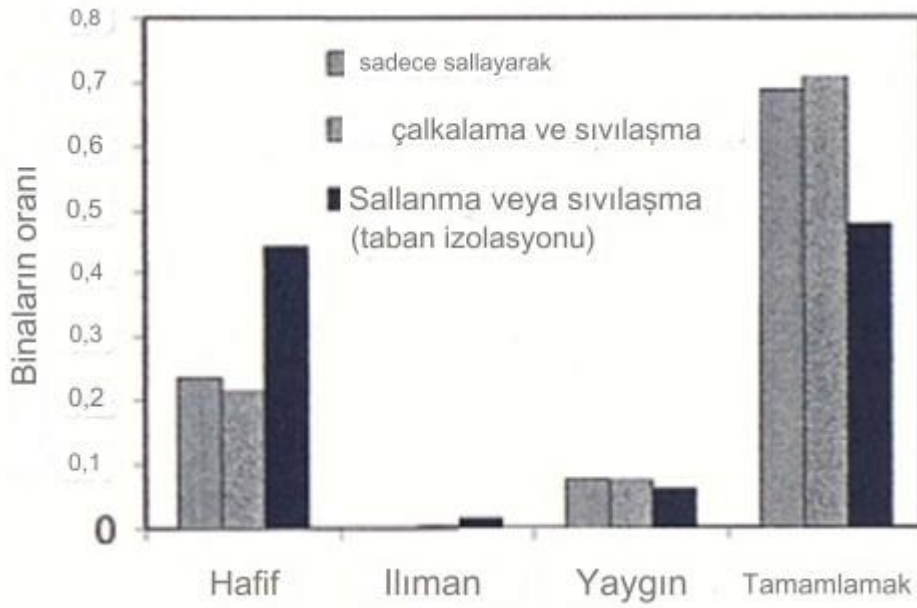
iv. 'Taban izolasyonu' olmadan, yani %40'ın üzerinde yer sarsıntısı ve sınılaşmanın birleşimi sınılaşmanın meydana geldiği bölgede yer sarsıntısı nedeniyle binalar hasar görmektedir.

Şekil 6.17'de önerildiği gibi sınılaşma. Bu çizimin hatırına, talep önceden belirlendiğinden, hem yer sarsıntısından kaynaklanan hasarın yarı varsayımsal dağılımları (Crowley vd., 2004a tarafından tarif edilmiştir) ve aynı lokasyonda sınılaşma. Şekil 6.18, tek başına sınılaşmanın betonarme çerçeve binalara daha az zarar verdiğini göstermektedir. Tek başına yer sarsıntısı, dolayısıyla taban izolasyon teorisi destekleniyorsa, sınılaşma bu durumda genel olarak olumlu bir etkiye sahip olacaktır. İki tehlikeyi birleştirmek Şekil 6.17'de önerilen genel hasar düzeyini artıracaktır. Bu

senaryoların her ikisi de Şekil 6.19'da yalnızca yer sarsıntısı ile karşılaştırılmıştır. Şekil 6.19, sivilaşmanın meydana gelmeden önce yer sarsıntısının kuvvetinin daha iyi yönlendirildiği varsayılmaktadır. Unutulmamalıdır ki, sadece farklı oturmalarından kaynaklanan hasarlar betonarme yapılara sivilaşma senaryosunda esnek temellere sahip çerçeve binalar dikkate alınır; Farklı temel türleri ve hasar mekanizmalarıyla ilişkili karmaşıklıkların çoğu. Oturmanın üniform olduğu sivilaşmış zemin üzerindeki yapıların %10'u için, diferansiyelde yer sarsıntısının sona ermesinden sonra başka bir hasarın oluşmayacağı varsayılmaktadır. Şekil 6.19'da sunulan sonuçların gerçek sonuçlarla karşılaştırılması amaçlanmamıştır. Adapazarı'ndaki gözlemler, bina sınıfları ve temel tiplerinin uyumlu olmaması nedeniyle, bunların bu bölümde geliştirilen yaklaşımın bir örneği olması amaçlanmıştır.



Şekil 6.18 Yalnızca yer sarsıntısından veya yalnızca sivilaşmanın neden olduğu farklı oturmalarından kaynaklanan hasar dağılımlarının karşılaştırılması



Şekil 6.19 Yukarıda listelenen (i), (iii) ve (iv) hasar senaryolarının karşılaştırılması

Bu vaka çalışmasının sınırlamaları dahilinde, önemli ilave yerden devam eden sıvılaşmadan kaynaklanan birleşik hasarın tahmin edilmesi için gerekli çalışmayla karşılaştırıldığında, hasar seviyelerindeki çok küçük farklar göz önüne alındığında, sallama hak edilmeyebilir, yalnızca yer sarsıntısı için. Üst katlardaki rijit gövde dönüşünün ilave karmaşıklığı ve hasar, bunların bu örnekte göz ardı edilmiş olabileceğini belirtir. Ancak, genel durumun ek bir kontrol yoluyla analize kolaylıkla dahil edilebileceğini belirtmek gerekir.

7. ELAZIĞ İLİ YOLÜSTÜ VE UZUNOVA ÇEVRESİNİN SIVILAŞMASI

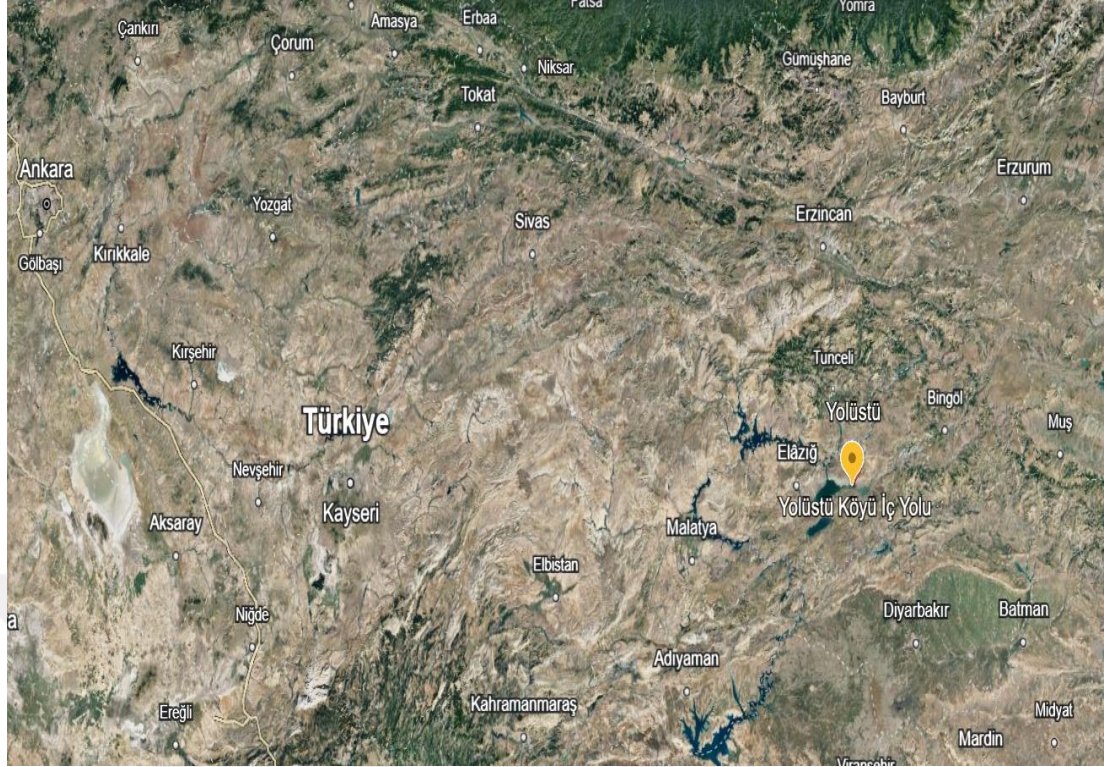
Türkiye, sık sık deprem riski altında olan bir ülkedir ve bu nedenle jeolojik ve jeoteknik özelliklerin değerlendirilmesi büyük önem taşır. Elazığ ilinin Yolüstü ve Uzunova köyleri, bu açıdan özellikle dikkat çeken bölgelerden biridir. Bu bölümde, söz konusu köylerin sivilaşma potansiyelinin değerlendirilmesi amacıyla yapılan çalışmalar incelenecek ve elde edilen bulgular değerlendirilecektir.

7.1 Elazığ'ın Yolüstü ve Uzunova Köyleri

Elazığ iline bağlı Yolüstü ve Uzunova köyleri, il merkezine yakın konumda yer alır. Bu köyler, tarım ve hayvancılığın yaygın olarak yapıldığı, nüfus yoğunluğunun olduğu yerleşim birimleridir. Ancak, jeolojik yapısı ve yeraltı su seviyeleri nedeniyle sivilaşma potansiyeli taşıyan alanlar olarak bilinmektedir.

7.2 Bölge Coğrafyası

Yolüstü, Elazığ ilinin Merkez ilçesine bağlı bir köydür. Uzunova, Elazığ ilinin Kovancılar ilçesine bağlı bir köydür. Elazığ ili doğu Anadolu bölgesinde bulunmaktadır. 9.383 km² yüzey alanına sahiptir. Elâzığ 40° 21 ile 38° 30 doğu boylamları, 38° 17 ile 39° 11 kuzey enlemleri arasında kalmaktadır.



Şekil 7.1 Yolüstü köyü konumu (Google Earth, 2023)

Yolüstü köyü Elazığ il merkezine 50 km uzaklıktadır. Köy rakımı 849 m ‘dir.



Şekil 7.2 Uzunova köyü konumu (Google Earth, 2023)

Uzunova köyü Elazığ il merkezine 92 km, Kovancılar ilçe merkezine 31 km uzaklıktadır. Köy rakımı 819 m' dir.

7.3 Bölge ile İlgili Çalışmalar

Elazığ'da 17 Şubat'ta meydana gelen 4,6 büyüklüğündeki depremin ardından suların çekildiği Keban Baraj Gölü sahasındaki yaklaşık 20 kilometrelik fay hattında yarıklar oluşan zemin sıvılaşması dron ile görüntülendi.

Merkeze bağlı Yolüstü ile Uzunova köyleri sınırları içinde yer alan Uluova Fay Zonu'nda 17 Şubat'ta meydana gelen 4,6 büyüklüğündeki depremin ardından fay hattı üzerinde parçalı uzanan, yer yer 1 metre genişliğe sahip yarıklar oluşan zemin sıvılaşması, bölgede tekne avcılığı yapan balıkçılar tarafından fark edildi.



Şekil 7.3 Fay hattındaki zemin sıvılaşması

Daha önce bölgede yer almayan yarıkların deprem sonrası oluşan fay kırıkları olabileceğini tahmin eden balıkçı Emrah Bayram, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Ercan Aksoy ile irtibata geçerek alanda inceleme yapmasını istedi.

Bunun üzerine yarıkları inceleyen Aksoy, çamur çatlaklarıyla kaplı baraj sahasında yaklaşık 20 kilometrelik fay hattında parçalı olarak uzanan ve her iki yanı 3 metre genişliğinde ince kumla sıvanmış yarıkların deprem sonrası zemin sıvılaşması olduğunu tespit etti.

Aksoy, Uluova Fay Zonu'nun oluşturduğu 4,6 büyüklüğündeki depremin etkisiyle meydana gelen yarıkların zemin sıvılaşması olduğunu belirtti.

Keban Baraj Gölü sahasında kuraklık nedeniyle suların çekildiği alanda doğu-batı doğrultusunda uzanan fay hattı üzerinde meydana gelen jeolojik olayın bilimsel açıdan önemlidir.

Çalışmanın sonuçlarına göre, gözlemler, yarıkların zemin sıvılaşmasıyla ilişkili olduğunu göstermektedir. İncelenen nokta, kuraklık nedeniyle Keban Baraj Gölü sularının çekildiği Uzunova köyü mevkisidir; bu alan suyla doymuş bir zemin olarak bilinmektedir. Daha önce su altında olan fay hattı, suyun çekilmesiyle yürünür durumdadır, ancak altında hala su olduğu bilinmektedir. Bu durum, sıvılaşmaya uygun bir zeminin ve kum boyutunda malzemenin varlığına işaret etmektedir.

Deprem dalgaları, özellikle p-dalgaları (primer dalgalar) olarak bilinen dalgalar, zemini sıkıştırır ve genişletir, böylece bir yayılma etkisi oluştururlar. Zeminin sıkıştırılması sırasında, birim hacimdeki boşluk su basıncındaki artışa bağlı olarak, zemin taneleri arasındaki bağlantılar bir an için kopar ve zemin sıvılaşması meydana gelir. Bu nedenle, sıvılaşma olayına bağlı olarak kum volkanları oluşabilir veya belirli hatlar boyunca sıvılaşan kısımlar yüzeye çıkabilir ve kumlar yüzeye yayılabilir.

Aksoy, fay hattında görülen zemin sıvılaşmasının bina inşa edilecek alanlarda zemin etüdü yapılmasının ne kadar önemli olduğunu gözler önüne serdiğine dikkat çekti.

Kahramanmaraş merkezli 7,7 ve 7,6 büyüklüğündeki depremler sonrası afetten etkilenen bölgelerde incelemelerde bulunduğunu, Adıyaman'ın Gölbaşı ilçesinde, Mimar Sinan Mahallesi'ndeki 5 katlı Kayı Apartmanı'nın yan yatmasının da depremin oluşturduğu zemin sıvılaşmasından kaynaklandığı görülmüştü.

Zemin sıvılaşması olayı, deprem sırasında meydana gelen bir fenomendir ve en kötü örnekleri 1999 Marmara Depremi ve 1998 Ceyhan Depremi sırasında yaşanmıştır. Bu depremlerde, binalar yıkılmamış ancak zeminin içine doğru batmış veya düşey konumdan sapmış ve yan yatmıştır. Daha yakın tarihli depremlerde de zemin sıvılaşması örneklerine rastlanmıştır. Örneğin, Kahramanmaraş merkezli depremlerde, Adıyaman'ın Gölbaşı ilçesinde bu fenomen en yakın şekilde gözlemlenmiştir.

Gölbaşı'nda, bir binada kolon kesimi veya yıkılma gibi belirgin hasarlar olmamış, ancak zeminin özellikleri nedeniyle sıvılaşma meydana gelmiştir. Yer altı su seviyesinin yüksek olması ve zeminin karakteristik özellikleri, yapıların yıkılmamasına rağmen yan yatmasıyla sonuçlanmıştır. Bu durumu önlemek için, zemin etüdlerinin titizlikle yapılması ve bu tür zeminlerde uygun yapı tipinin seçilmesi veya zeminin iyileştirilmesi gerekmektedir.

Palu'nun Baltaşı (Nacaran) Köyü'nde de zemin sıvılaşması meydana geldi. Keban Baraj Gölü kenarında bir vatandaş tarafından tespit edilen zemin sıvılaşmasının kilometrelerce uzunlukta olduğu görüldü. Bazı yerlerde zeminin altında geçen fay hattının oluşturduğu yarıklardan çıkan suların, çamurlaşmayı da beraberinde getirdiği görüldü.

Zemin sıvılaşması sallantı sonrası suya doymuş tanecikli materyallerin sıkılığını kaybetmesi ve katı halden sıvı hale geçmesi şeklinde görülebilir. Bu durumda binalar ve köprüler çökebilir ya da bulunduğu noktaya bataabilir.

Katı zemin davranışını kaybeden malzeme, su ile birlikte toprak zemin içerisinde bulunduğu çatlak ve fisürlerden yüzeye doğru hareket eder. Yüzeyde sıvılaşmanın gözlenmesi de tek veya art arda sıralanmış kum konileri, çatlaklar boyunca kum birikimleri ve kum fişkırması şeklindedir.

Zeminin sıvılaşması sonucu yapı zemine batabilir veya hafif yapılarda yukarı doğru hareket gözlenebilir. Sıvılaşan zeminde, küçük kayma gerilmeleri büyük şekil değiştirmelere sebep olur ve yapılarda zemin göçmesi hasarları meydana gelir. Bir zeminin sıvılaşması esas olarak; zeminin gevşekliğine, daneler arasındaki bağa, kil miktarına ve boşluk suyunun drenajının engellenmesine bağlıdır.

Özellikle, kil bulunmayan kum ve siltler ve bazen çakıllar sıvılaşma potansiyeline sahiptirler. Deprem sırasında oluşan deprem dalgaları suya doymuş daneli tabakalardan geçerken dane yerleşim düzenini değiştirir ve bu durum gevşek olarak bulunan danelerin göçerek yerleşmesine ve sıkışmasına sebep olur.

7.4 Sıvılaşma Potansiyeli Nedir ve Neden Önemlidir?

Sıvılaşma, zeminin deprem sırasında su etkisiyle taşıma kapasitesini kaybederek akışkan hale gelmesi durumudur. Bu durum, yapıların hasar görmesine ve hatta çökmesine neden olabilir. Özellikle alüvyon zeminler ve yüksek su seviyelerinin olduğu alanlarda sıvılaşma riski daha yüksektir. Bu nedenle, sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi yapılaşma ve altyapı çalışmalarında büyük önem taşır.

7.5 Jeolojik ve Jeoteknik Özelliklerin Değerlendirilmesi

Yolüstü ve Uzunova köylerinin jeolojik ve jeoteknik özellikleri, sıvılaşma potansiyelini belirlemede kritik bir rol oynar. Bu bölgelerde genellikle alüvyon ve gevşek tortul tabakalar bulunur. Ayrıca, yeraltı su seviyelerinin yüksek olması da sıvılaşma riskini artırır. Bu nedenle, bölgede yapılan jeolojik ve jeoteknik araştırmalar, sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde temel bir adımdır.

7.6 Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesi

Bir bölgenin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi için çeşitli jeoteknik testler ve analizler yapılması gerekir. Bu testler arasında, zemin numunelerinin alınması ve laboratuvar testlerinin yapılması, sıvılaşma indeksi, akış indeksi ve direnç faktörünün

belirlenmesi gibi yöntemler bulunur. Bu analizler sonucunda, bölgenin sıvılaşma potansiyeli belirlenir ve riskli alanlar tespit edilir.

7.7 Risk Yönetimi ve Önlemler

Çalışma yapılan bölgede belirlenen sıvılaşma potansiyeli doğrultusunda risk yönetimi ve önlemler alınmalıdır. Bu önlemler arasında, yapıların tasarımında ve inşaatında sıvılaşma riskine karşı ek güvenlik önlemlerinin alınması, zemin iyileştirme tekniklerinin uygulanması ve altyapı tesislerinin güçlendirilmesi yer alabilir. Ayrıca, yerel yönetimlerin ve planlama uzmanlarının bu konuda bilinçlendirilmesi ve gerektiğinde acil durum planlarının oluşturulması da önemlidir.

Elazığ'ın Yolüstü ve Uzunova köylerinin sıvılaşma potansiyeli, bölgede yaşayan insanların güvenliği ve yapılan altyapı yatırımlarının dayanıklılığı açısından büyük önem taşır. Bu potansiyelin belirlenmesi ve değerlendirilmesi, jeoteknik mühendislik çalışmalarında temel bir adımdır ve bölgedeki risklerin yönetilmesine yardımcı olabilir. Gelecekte, bölgedeki sıvılaşma potansiyelinin daha detaylı bir şekilde incelenmesi ve önlemlerin alınması, deprem riskinin azaltılması açısından büyük önem taşır

8. MALATYA KULUNCAK İLÇESİ TOKİ KONUTLARININ ZEMİN İNCELEMELERİ

8.1 Araştırmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışma, Malatya ili, Kuluncak ilçesi, Bahçelievler Mah. 165 adet Konut + 1 KD + 2 Dükkanlı Ticaret Merkezi İnşaatı ile alt yapı ve çevre düzenleme işi Toplu Konut projesi uygulanacak zeminin koşullarının belirlenmesine yönelik yapılan zemin etüt ve değerlendirme çalışmalarını içermektedir.

Çalışma, proje sahasında yer alan temel zemin araştırmalarını, arazide ve laboratuvar da yapılan deneysel çalışma sonuçlarını ve bu sonuçlara ilişkin yapılan jeolojik ve jeoteknik değerlendirmeleri içermektedir.

8.2 Jeomorfolojik ve Çevresel Bilgiler

İnceleme alanı Malatya Kuluncak ilçe merkezinde yer almaktadır. Etüt alanına şehir içi ulaşım mümkündür. İnceleme alanı Malatya il, Kuluncak ilçe merkezinde yer almaktadır. Parsel ve çevresi eğim %0-20 arasındadır.

Malatya ili; coğrafi konumu itibarıyla Doğu Anadolu Bölgesinde Yukarı Fırat Bölümünde Malatya Ovası içerisinde yer almaktadır. Malatya ili, Yukarı Fırat Havzasında ve Doğu Anadolu bölgesinin güneybatısında bulunur. 35°–54° ve 39°–03° Kuzey enlemleri ile 38°–45° ve 39°–08° Doğu boylamları arasındadır. Doğusunda Elazığ ve Diyarbakır, Güneyde Adıyaman, Batıda Kahramanmaraş, Kuzeyde Sivas ve Erzincan illeri bulunmaktadır. Malatya ili, 12.313 km yüzölçümüne sahiptir. Nüfusu 807.970 olup bu nüfusun 499,496'sı şehir, 308,474'ü ise köyde yaşamaktadır. Rakımı ise 960'dır. Malatya ili, yaklaşık olarak 750-1000 m yükseklikte ve derin vadilerin oluşturduğu etrafı oldukça yüksek dağlarla çevrili bir havzadır.

Malatya ili genel olarak yüksek plato ve dağlardan oluşmuş bir arazi yapısına sahiptir. İlin yüzey şekilleri kuzey, batı ve güneyindeki dağlık alanlarla, orta ve kuzey kesimindeki düzlüklerden oluşur. Kuzeyde il sınırları dışında kalan Yama Dağı ile bu dağın güney uzantısı olan ve Hasbek doruğunda 2.310 metreye yükselen Ayranc Dağı ve Göl Dağı

(2.402 m), kuzeybatıda Leylek Dağı (2.052 m), Batıda Akçababaçalı Tepesi'nde 2.164 metreye yükselen Akçababalı Dağı yer alır. Güneybatı, güney ve güneydoğuda ili boydan boya Güneydoğu Toroslar'a bağlayan dağlar sıralanır. Nurhak Dağları (Malatya Torosları)'nın başlıca yükseltileri Bozdağ ve Beydağıdır. Güneydoğu Torosların yüksek batı kısmını oluşturan sıradağlar güney kısımda geniş yer kaplamaktadır. Bu dağlardan Beydağı 2544 m, Bozdağ 2613 m, Karadağ 2400 m, Kurudağ 2100 m yüksekliktedir. Bu dağ sınırının kuzeyinde Malatya ovası uzanır. Malatya ilinin güney kenarını Güneydoğu Toroslar, doğu kenarını Fırat Nehri, batı kenarını ise Akçadağ ve Doğanşehir yaylalarının etekleri kuşatır. Bu ovayı Tohma Suyu ikiye ayırır. Malatya ilinin güney bölümü meşe ağaçlarından oluşan korular ve bataklıklarla, kuzeyi ise ormanlarla kaplıdır. Nehir ve çay kenarlarında söğüt ve kavaklıklar bulunmaktadır.

8.3 Ada ile İlgili Bilgiler

İnceleme alanı Malatya ili, Kuluncak merkez ilçesi, Bahçelievler mahallesi, sınırlarında yer almaktadır. İnceleme alanı parselde Betonarme Karkas (B+Zemin+4), (2B+Z+3) ve (B+Z+3) katlı konut, ticaret merkezi, inşa edilmesi düşünülmektedir. İnceleme alanı % 0-30 eğimli bir topoğrafya üzerinde olup, herhangi bir kütle hareketi söz konusu değildir.



Şekil 8.1 Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler mahallesi çalışma alanı ada vaziyet planı

8.4 Arazi Çalışmaları

Etüt alanının yeri ve binanın inşa edileceği alan belirlendikten sonra; temel jeolojisinin belirlenmesi için etüt alanı ve çevresinde gerekli incelemeler yapılmış, statik hesaplara temel teşkil edecek olan zemin taşıma gücü ve zemin sınıfının tespiti için inceleme alanına yaklaşık 10.00 m. derinliğinde olan 29 adet temel sondaj kuyusu açılmaya başlanmıştır.

İnceleme alanındaki çalışmalar; arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanının jeolojik-jeoteknik ve hidrojeolojik parametrelerinin belirlenmesi, zeminin düşey ve yatay yönde jeolojik modelinin oluşturulması ve zemin durumunun değerlendirilmesinin yapılması amacıyla 29 adet temel sondaj kuyusu yapılmıştır. Çalışma alanında açılan araştırma çukurundan alınan numuneler zeminin genel karakteristik özelliklerini belirlemek amacıyla TSE kalite belgeli ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı onaylı zemin mekaniği laboratuvarına nakledilmiştir. Alınan numuneler üzerinde deneyler yapılmıştır.

8.5 Zeminlerin İncelenmesinde RQD Yöntemi

Kaya zeminlerinin inşaat ve mühendislik projelerindeki önemi tartışılmazdır. Bu zeminlerin kalitesi ve dayanıklılığı, yapıların dayanıklılığı ve güvenliği açısından kritik bir faktördür. RQD (Rock Quality Designation), kaya zeminlerinin incelenmesinde kullanılan önemli bir parametredir. Bu kısımda, RQD'nin ne olduğu, nasıl belirlendiği, kullanım alanları ve önemi gibi konular ele alınacaktır.

8.5.1 RQD nedir?

RQD (Rock Quality Designation), bir kaya kütesinin bütünlüğünü ve dayanıklılığını değerlendirmek için kullanılan bir ölçümdür. Bu ölçüm, kaya kütesinin derinliklerinden alınan numuneler üzerinde yapılan gözlemlere dayanır. RQD değeri, bir kaya numunesinin içindeki sağlam kaya parçalarının oranını gösterir. Bu değer, genellikle yüzde cinsinden ifade edilir ve kaya numunesinin kalitesini belirlemekte önemli bir rol oynar.

8.5.2 RQD nasıl belirlenir?

RQD değerin belirlenmesi için belirli bir prosedür izlenir. İşte RQD'nin belirlenmesi adımları:

1. **Numune Alımı:** RQD'nin belirlenmesi için öncelikle kaya zeminin derinliklerinden sondaj yapılır ve numuneler alınır. Bu numuneler, genellikle çelik borularla korunmuş delme numuneleri olabilir.
2. **Numunenin İncelenmesi:** Alınan numuneler laboratuvar ortamında veya sahada dikkatlice incelenir. Numune üzerindeki çatlaklar, kırıklar, boşluklar ve sağlam kaya parçaları gözlemlenir.
3. **RQD Değerinin Hesaplanması:** Numune incelendikten sonra, sağlam kaya parçalarının toplam uzunluğu ile numunenin toplam uzunluğu karşılaştırılır. Bu oran yüzde olarak ifade edilir ve RQD değerini oluşturur. Formül genellikle şu şekildedir:

$$\text{RQD (\%)} = (\text{Sağlam Kaya Parçalarının Toplam Uzunluğu} / \text{Numunenin Toplam Uzunluğu}) \times 100.$$

8.5.3 RQD'nin kullanım alanları ve önemi

RQD değerin belirlenmesi, birçok mühendislik projesinde kritik bir öneme sahiptir. Özellikle aşağıdaki alanlarda RQD'nin değerlendirilmesi önemlidir:

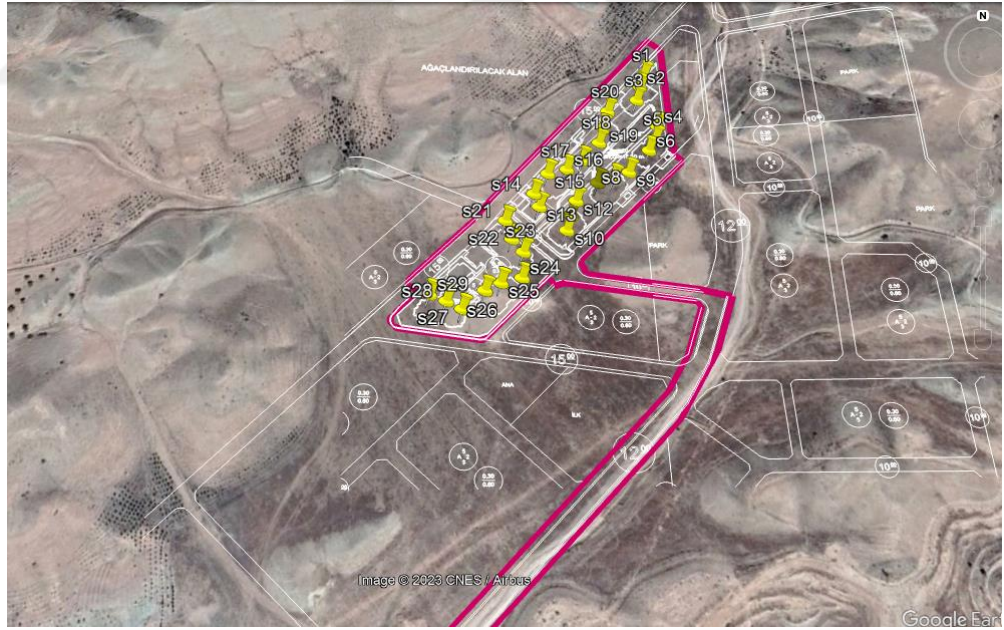
1. **Temel Kazıları:** İnşaat projelerinde temel kazıları sırasında, zeminin dayanıklılığı ve stabilitesi belirlenmelidir. RQD değeri, temel kazıları için gereken stabilizasyon önlemlerinin belirlenmesine yardımcı olur.
2. **Tünel İnşaatı:** Tünel inşaatı sırasında, kaya zeminin dayanıklılığı ve çatlaklara olan eğilimi önemlidir. RQD değeri, tünel stabilitesini değerlendirmede ve gerekli güçlendirme önlemlerinin belirlenmesinde kullanılır.

3. **Kaya Yapıları:** Kaya zeminlerinin stabilitesi, barajlar, köprüler ve diğer kaya yapıları için önemlidir. RQD değeri, bu yapıların tasarımında ve inşaatında kullanılan parametrelerden biridir.

RQD (Rock Quality Designation), kaya zeminlerinin incelenmesinde önemli bir parametredir. Bu değer, kaya zeminin bütünlüğünü ve dayanıklılığını belirlemede mühim bir rol oynar. İnşaat ve mühendislik projelerinde, RQD'nin doğru bir şekilde belirlenmesi ve yorumlanması, yapıların güvenli ve dayanıklı bir şekilde inşa edilmesini sağlar. Bu nedenle, RQD'nin değerlendirilmesi ve kullanımı, mühendislik pratiklerinde önemli bir yer tutar.

8.5.4 Sondajlar

İnceleme alanındaki zemini oluşturan birimlerin yatay ve düşey yönde ilişkilerinin belirlenmesi yeraltı jeolojisinin oluşturulması ve zemin parametrelerinin belirlenmesi amacıyla 29 adet sondaj kuyusu açılmıştır.



Şekil 8.2 Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler mahallesi çalışma alanı Sondaj Noktaları Lokasyonu



Şekil 8.3 Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler mahallesi çalışma alanı sondaj makinesi çalışması

8.5.5 Alınan numunelerin RQD değerlerinin incelenmesi:

RQD (%) = (Sağlam Kaya Parçalarının Toplam Uzunluğu / Numunenin Toplam Uzunluğu) x 100

RQD (%)	Kaya Kalitesi
<25	Çok Zayıf
25- 50	Zayıf
50- 75	Orta
75- 90	İyi
90- 100	Çok İyi (Mükemmel)



Şekil 8.4 Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler mahallesi çalışma alanı sandığa alınan numuneler

$$RQD = \frac{0.1 + 0.13 + 0.1 + 0.2}{1} * 100\% = 53\%$$

(kaya kalitesi orta)

$$RQD = \frac{0.1 + 0.29 + 0.16}{1} * 100\% = 55\%$$

(kaya kalitesi orta)

$$RQD = \frac{0.13 + 0.1 + 0.25}{1} * 100\% = 48\%$$

(kaya kalitesi zayıf)

$$RQD = \frac{0.35 + 0.11 + 0.1}{1} * 100\% = 56\%$$

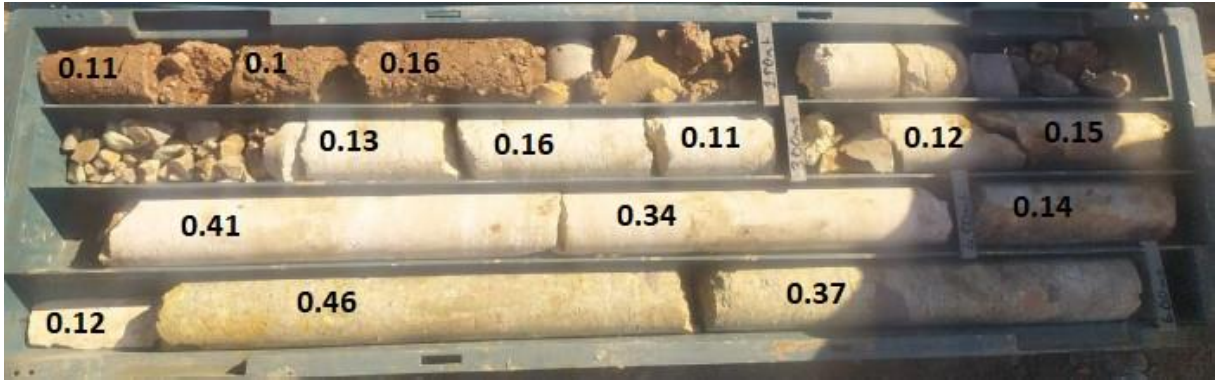
(kaya kalitesi orta)

$$RQD = \frac{0.11 + 0.14}{1} * 100\% = 25\%$$

(kaya kalitesi zayıf)

$$RQD = \frac{0.16 + 0.13}{1} * 100\% = 29\%$$

(kaya kalitesi zayıf)



Şekil 8.5 Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler mahallesi çalışma alanı sandığa alınan numuneler

$$RQD = \frac{0.11 + 0.1 + 0.16}{1} * 100\% = 37\%$$

(kaya kalitesi zayıf)

$$RQD = \frac{0.13+0.16+0.11+0.12+0.15}{1} * 100\% = 67\% \quad (\text{kaya kalitesi orta})$$

$$RQD = \frac{0.41+0.34+0.14}{1} * 100\% = 89\% \quad (\text{kaya kalitesi iyi})$$

$$RQD = \frac{0.12+0.46+0.37}{1} * 100\% = 95\% \quad (\text{kaya kalitesi çok iyi})$$



Şekil 8.6 Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler mahallesi çalışma alanı sandığa alınan numuneler

$$RQD = \frac{0.1+0.15+0.14}{1} * 100\% = 39\% \quad (\text{kaya kalitesi zayıf})$$

$$RQD = \frac{0.15+0.12+0.11+0.22}{1} * 100\% = 60\% \quad (\text{kaya kalitesi orta})$$



Şekil 8.7 Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler mahallesi çalışma alanı sandığa alınan numuneler

$$RQD = \frac{0.1 + 0.14 + 0.13}{1} * 100\% = 37\%$$

(kaya kalitesi zayıf)

$$RQD = \frac{0.1 + 0.16 + 0.13}{1} * 100\% = 39\%$$

(kaya kalitesi zayıf)

$$RQD = \frac{0.1 + 0.1}{1} * 100\% = 20\%$$

(kaya kalitesi çok zayıf)

$$RQD = \frac{0.13 + 0.18}{1} * 100\% = 31\%$$

(kaya kalitesi zayıf)



Şekil 8.8 Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler mahallesi çalışma alanı sandığa alınan numuneler

$$RQD = \frac{0.18+0.1}{1} * 100\% = 28\%$$

(kaya kalitesi zayıf)

$$RQD = \frac{0.11+0.12}{1} * 100\% = 23\%$$

(kaya kalitesi çok zayıf)

$$RQD = \frac{0.1+0.1+0.12+0.16}{1} * 100\% = 48\%$$

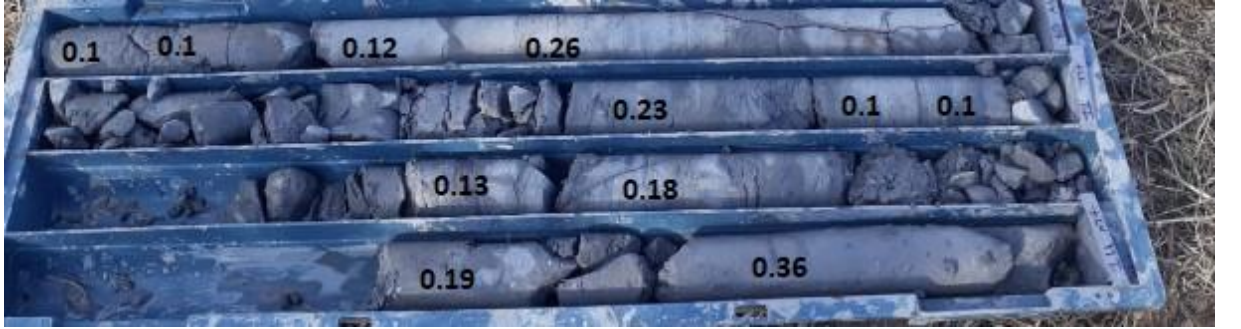
(kaya kalitesi zayıf)

$$RQD = \frac{0.1+0.14}{1} * 100\% = 24\%$$

(kaya kalitesi çok zayıf)

$$RQD = \frac{0.12+0.1}{1} * 100\% = 22\%$$

(kaya kalitesi çok zayıf)



Şekil 8.9 Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler mahallesi çalışma alanı sandığa alınan numuneler

$$RQD = \frac{0.1+0.1+0.12+0.26}{1} * 100\% = 58\%$$

(kaya kalitesi orta)

$$RQD = \frac{0.23+0.1+0.1}{1} * 100\% = 43\%$$

(kaya kalitesi zayıf)

$$RQD = \frac{0.13+0.18}{1} * 100\% = 31\%$$

(kaya kalitesi zayıf)

$$RQD = \frac{0.19+0.36}{1} * 100\% = 55\%$$

(kaya kalitesi orta)



Şekil 8.10 Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler mahallesi çalışma alanı sandığa alınan numuneler

$$RQD = \frac{0.1+0.1}{1} * 100\% = 20\% \quad (\text{kaya kalitesi çok zayıf})$$

$$RQD = \frac{0.1+0.14}{1} * 100\% = 24\% \quad (\text{kaya kalitesi çok zayıf})$$

$$RQD = \frac{0.1+0.11+0.1}{1} * 100\% = 31\% \quad (\text{kaya kalitesi zayıf})$$

$$RQD = \frac{0.21+0.13+0.1}{1} * 100\% = 44\% \quad (\text{kaya kalitesi zayıf})$$



Şekil 8.11 Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler mahallesi çalışma alanı sandığa alınan numuneler

$$RQD = \frac{0.11+0.1+0.16+0.12+0.13}{1} * 100\% = 62\% \quad (\text{kaya kalitesi orta})$$

$$RQD = \frac{0.15+0.17}{1} * 100\% = 32\% \quad (\text{kaya kalitesi zayıf})$$

$$RQD = \frac{0.18+0.11}{1} * 100\% = 29\% \quad (\text{kaya kalitesi zayıf})$$

$$RQD = \frac{0.16+0.12}{1} * 100\% = 28\% \quad (\text{kaya kalitesi zayıf})$$



Şekil 8.12 Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler mahallesi çalışma alanı sandığa alınan numuneler

$$RQD = \frac{0.11+0.23+0.13+0.12}{1} * 100\% = 59\% \quad (\text{kaya kalitesi orta})$$

$$RQD = \frac{0.1+0.14}{1} * 100\% = 24\% \quad (\text{kaya kalitesi çok zayıf})$$

$$RQD = \frac{0.12+0.14+0.16+0.29}{1} * 100\% = 71\% \quad (\text{kaya kalitesi orta})$$

$$RQD = \frac{0.32+0.19+0.26}{1} * 100\% = 77\% \quad (\text{kaya kalitesi iyi})$$



Şekil 8.13 Malatya ili Kuluncak ilçesi Bahçelievler mahallesi çalışma alanı sandığa alınan numuneler

$$RQD = \frac{0.1 + 0.1}{1} * 100\% = 20\% \quad (\text{kaya kalitesi çok zayıf})$$

$$RQD = \frac{0.32 + 0.11}{1} * 100\% = 43\% \quad (\text{kaya kalitesi zayıf})$$

$$RQD = \frac{0.1 + 0.11}{1} * 100\% = 21\% \quad (\text{kaya kalitesi çok zayıf})$$

8.6 Değerlendirmeler

Bu çalışma, Malatya ile Kuluncak ilçesi Bahçelievler Mahallesi'nde yapılacak olan konut projesinin zemin değerlendirmesini kapsamaktadır. Sondaj çalışması ve sismik araştırma sonuçları doğrultusunda yerel zemin sınıfı "zb" olarak belirlenmiştir. Zemin profili incelendiğinde, kil taşı ve kireç taşı ardalanması biriminin mevcut olduğu görülmüştür. Çalışma alanında yeraltı suyu bulunmaması, sıvılaşma olayının meydana gelebileceği zemin koşullarını sağlamamasından dolayı sıvılaşma riski beklenmemektedir. Ancak, uzun vadede mevsimsel yağışlara bağlı olarak oluşabilecek yüzey sularına karşı çevre drenaj tedbirlerinin alınması gerekmektedir ve sızıntı sularının drenaj sistemleri ile temelden hızlı bir şekilde uzaklaştırılması gerekmektedir. Aynı zamanda, alanda incelenen birimin kiltası ve killi kireç taşı olması nedeniyle oturma problemi bulunmamaktadır. İnşaatın temeli, zeminin taşıma gücünü homojen hale getirmek amacıyla 10 cm kalınlığında granüle malzeme ile dolgu yapılarak sıkıştırılmalıdır.

9. SONUÇLAR

Bu tezde sunulan araştırma, geliştirme süreci sırasında gerçekleştirilmiş ve teşvik edilmiştir. Kayıp tahminlerine dahil edilecek metodolojiler öncelikle pragmatik bir yaklaşım sağlamalıdır; zemin koşullarındaki mekânsal belirsizlik ve değişkenlik sorunlarına çözüm bulmalı ve maruziyet, bina stoğu ve ikinci olarak beklenenin gerçekçi ve anlamlı bir tahminini üretmek risklerine odaklanmalıdır. Hem girdi verisi gereklilikleri hem de girdiyle ilişkili belirsizlik derecesi, verilerin modelin diğer bileşenleriyle orantılı olmalıdır. Zemin arızasını bir analize dahil etmek için gereken maliyet ve zaman arasındaki ilişki ve bunun doğruluğunun iyileştirilmesi ve belirsizliğin azaltılması açısından getireceği faydalar, sonuçların değerlendirilmesi açısından risk yönetimiyle ilgilenenler için önemli bir konudur. Sıvılaşmanın neden olduğu zemin üzerine odaklanan bu tezin üç temel amacı başarısızlığı önlemek için şunlardır:

- i. Son yıllardaki bölgesel kayıplar bağlamında toprak arızasından kaynaklanan hasarın dikkate alınması ve depremler için gerçek verilerle desteklenen yeni bir rehberlik sağlamak amacıyla toprak arızasının gelecekteki bölgesel risk veya kayıp değerlendirmelerine dahil edilmesi.
- ii. Olasılığını ve kapsamını tahmin etmek için mevcut yöntemleri eleştirel olarak gözden geçirmek; sıvılaşma ve buna bağlı hasarların belirlenmesi ve bu yöntemlerin arazi verileriyle karşılaştırılması. Bu, ilgili varsayımları ve belirsizlikleri ortaya koymayı amaçlar.
- iii. Öğrenilen dersleri kullanarak geliştirilmiş bir metodoloji için bir çerçeve geliştirmek, ilk iki hedefi içerir. Bu çerçeve, her adımdaki önemli konuları tanımlar ve her adımın nasıl gerçekleştirilmesi gerektiğine ilişkin daha fazla rehberlik sunar.

9.1 Kayıp Tahminlerinde Sıvılaşma

Zemin göçmesinin açıklığa kavuşturulması ve bu tezin konusunun bağlamsallaştırılması önemlidir. Kayıp tahmininin bileşeni çoğu durumda nihai sonuçlar açısından o kadar önemli değildir ki, yer sarsıcı bileşen olarak incelenen depremlerde, sıvılaşmanın etkisi

en fazla yollar, köprüler, gömülü boru hatları ve liman yapıları üzerinde olmuştur. Bina hasarıyla ilgili olarak, genellikle çalışma alanı ne kadar büyük olursa, büyük olasılıkla binalarda yer sarsıntısının neden olduğu hasar genel kayıplardan daha fazla olacaktır ve belirli bir bölgenin herhangi bir bireysel özelliği önemini kaybedecektir. Bu gibi durumlarda, uygun karar verme kriterleri ikincil tehlikelerin olup olmadığını belirlemelidir; sıvılaşma, heyelan ve fay kırılması gibi durumlar dahil edilmelidir. Bu karar önemsiz değildir, çünkü aşırı basitleştirilmiş metodolojilerin kullanımı, zemin arızasının hasara katkısını gerçekçi olmayan bir şekilde artırabilir. Deprem kaynaklı kayıplar bağlamında sıvılaşmanın ikincil bir tehlike olduğu gerçeği hiçbir şekilde önemini azaltmaz. Kapsamlı metodolojilere ihtiyaç var; bir bölgenin altyapısının tüm öğelerinde beklenen tüm tehlikelerin neden olduğu hasarın tahmin edilmesi. Başka bir deyişle, elde edilen kapsam ve bütünlükte yöntemlerin geliştirilmesi arzu edilir. Üstelik, etkilenen bir bölgedeki alt bölgelere ilişkin ayrıntılı çalışmalar için, yerel sıvılaşabilen zeminler gibi özellikler sonuçları etkileyebilir ve hatta baskın hale gelebilir. Bu nedenle, herhangi bir projede belirli özelliklerin olabileceği kabul edilse de, ihmal edilebilecek bileşenler nedeniyle bu tür kararlar kriterlere göre alınmalıdır. Çalışma bölgesinin özellikleri, büyüklüğü, jeolojisi ve topoğrafyası ile ilgili nihai çalışmanın amacıdır. Şu anda, hangi bileşenlerin dahil edileceği seçimi gibi görünüyor biraz keyfi bir temelde yapılabilir ve çoğu zaman algılanan zorluklarla ilgilidir. Belirli unsurları bünyesinde barındırmaktadır.

9.2 Önceki Depremlerden Edinilen Tecrübeler

Deprem sonrası araştırmalarda zemin arızası oluşumunun ve bunun altyapı üzerindeki etkisinin niteliksel haritalanması, öngörülerin geliştirilmesi ve kalibrasyonu için çok değerlidir. Yakın zamana kadar bu tür veriler nadiren kapsamlı bir şekilde toplanıyordu. Toprak arızası oluşumuna ilişkin ölçümler ve gözlemler geçmişte genellikle bireysel binalar ve alanlar için yapılma eğilimindeydi; bu da bölgesel ve depremler arası karşılaştırmaları zorlaştırıyordu. Bray tarafından toplanan ayrıntılı hasar araştırması verileri ve Stewart (2000)'in Adapazarı merkezi için kullandığı ifadesi bu açıdan çok değerlidir. Ancak mevcut hasarla ilgili olarak bu veri tabanından öğrenilebilecek dersler, tahmin metodolojilerinin aşağıdaki özelliklerle kısıtlandığını göstermiştir:

- Yer sarsıntısından kaynaklanan hasar tahminindeki belirsizlikler, topraktan kaynaklanan ilave veya alternatif hasara ilişkin kesin bulguları engellemiştir. İkincisi ancak ilkinin bir tahminle tahmin etmek mümkün olsaydı mümkün olurdu ve bu tahminleri gözlemlenen hasarla karşılaştırmak daha kesin sonuçlar elde etmeyi sağlayacaktır.
- Adapazarı'ndaki hasarlı yapı stoğunun hakimiyetinde etkilenen binaların temelleri tek tipti ve sıvılaşma tipik olarak kendisini yalnızca oturma olarak gösterdi; çok az sayıda yanal durum söz konusuydu. Yalnızca sınırlı sayıda koşulu temsil ederek, veri tabanının kullanılabilirliği kaçınılmaz olarak kısıtlanmıştır.

Gelecekte, yer arızası olan bölgelerde keşif yapılması şiddetle tavsiye edilir. Saha verilerine olan ihtiyaç paralelinde iyileştirilmiş analitik çözümlere de ihtiyaç duyulmaktadır. Geliştirilmiş veri tabanı, diğerlerine kıyasla küçük ve düzensiz olacaktır, ancak sigorta primlerinin değerlendirilmesinde kullanılabilir olacaktır.

9.3 Sınırsız Bir Hasar Ölçeği

Hasarlarda halihazırda kullanılan hasar ölçekleriyle ilgili önemli bir konu gündeme geldi. Anketler ve tahmin metodolojileri (örneğin, Coburn ve Spence, 2002; Grunthal, 1998; HAZUS, FEMA, 2003) bu konuda değerlendirilmiştir. Bu ölçekler, hasarı çatlaklar, deformasyonlar veya çökmeler açısından sınıflandırır; yani kirişler, kolonlar ve duvarlar gibi yapısal bileşenler. Binaların sert sığ temeller üzerine inşa edildiği yerlerde sıvılaşmanın neden olduğu tipik bir hasar, 'rijit gövde' oturması olarak bilinir. Bu durum, bina temellerinin eğilmesi veya yanal yer değiştirmesiyle kendini gösterir; genellikle çok az veya hiç ilişkili çatlama veya diğer yapısal hasarlar olmaz. Örneğin, Adapazarı'nda birçok şiddetli temel göçmesi geçiren bina, hasarın sıkı bir şekilde uygulanmasıyla 'hasarsız' olarak sınıflandırılmıştır. Ancak, bu durum, araştırmacıların, bunun gerçekçi olmadığını kabul ederek, eğimli ve hasar durumuyla ilgili yargılarda bulunabileceği alanlar yaratmaktadır. Bölüm 8'de sunulan önerilen birleşik hasar ölçeği, yapısal hasarı ve zemin yenilmesine karşı rijit gövde tepkisini hizalamaktadır. Bu ölçek türü, gelecekteki alanlarda zemin arızasının derecesini olası onarım maliyetiyle ilişkilendiren ölçümler yapılmasını sağlayabilir. Bu da yapı ve kayıp tahminleriyle beklenen davranışı

doğrudan ilişkilendirilebilir. Binaların kırılğanlığına karşı katı cisimler olarak tepki vermesi beklenir. Bu ölçeğin doğrulanması için, saha keşiflerinden elde edilen onarım maliyeti verileri kullanılmalıdır.

9.4 Zemin Hatası Nedeniyle Bina Hasarı

Sıvılaşma kaynaklı deformasyonların mevcut yapılar üzerindeki etkisinin belirlenmesi, yapıların araştırma ve uygulamada "gri" bir alan olduğu bulunmuştur. Haldar ve Luettich (1985) şunları kaydetmiştir: "Bu son derece zor bir sorundur. Hasar, oldukça tartışmalı bir konudur, niteliksel yapısından dolayı." Bölgesel bir çerçevede, zorlukların sahaya özgü analizlerden bile daha fazla olduğunu gösterdik. Bunun pek çok nedeni vardır, en azından tercih edilen tasarım yaklaşımının sıvılaşma potansiyelini azaltmaya yönelik zemin iyileştirme veya sahanın taşınması olmasıdır. Jeoteknik biliminin pek çok alanında karşılaşılan ampirik verilere aşırı bağımlılık, zemin tepkisinin karmaşıklığı ve değişkenliği nedeniyle deprem mühendisliği ve yeterli güvenilirliğe sahip test verilerinin elde edilmesindeki zorluklar, herkesin karşılaştığı sürekli bir sorun yaratır. Modellerimiz son deprem için yeterince doğrulanmıştır, ancak bir sonraki deprem için bu gerekli değildir. Binaların zemin deformasyonlarına karşı hassasiyeti için sunulan analitik çözümler, en azından bina tepkisi açısından bu sorunun üstesinden gelmektedir, ampirik veriler yerine basit yapısal mekanikler kullanır.

9.5 Sıvılaşabilir Bölgelerde Zemin-Yapı Etkileşiminin Sayısal Modellenmesi

Daha önce belirtildiği gibi, birçok durumda, beklenen bölgeler için tercih edilen tasarım çözümü, toprak arızası, yer değiştirme veya hafifletme yoluyla kaçınılmasıdır. Ancak aynı zamanda bir seçenek de var: tepkisini belirlemek için sonlu elemanlar modellemeyi kullanarak ayrıntılı analiz yapmak. Zeminin tekrarlı yüklemesi ve boşluk suyu basıncı arttığında, bu durum iki veya üç boyutlu temeller ve yapılar üzerinde oluşan etkileşimi içerir. Bununla birlikte, bu karmaşık modellerin kalibrasyonu için verilerin doğası gereği gereksinimlere uygun değildir. Zaman ve veri toplama gereksinimleri engelleyici olduğundan bölgesel kayıp tahmininin yapılması zordur. Ancak gelecekte, bu modellerin parametrik çalışmalarda kullanılma potansiyeli bulunmaktadır, güvenlik açığı

ilişkilerinin kalibrasyonu veya geliştirilmesi için ve ek kalıcı zemin deformasyonu tahmin ilişkilerinin türetilmesi için veriler.

9.6 Sıvılaşabilir Bölgelerdeki Kayıpların Tahminine Yönelik Basitleştirilmiş Bir Yaklaşım

Bu tezde sunulan araştırma, güvenilir ancak basit bir prosedürün, kayıp tahmin modelinin gereksinimlerini henüz gerçekçi bir şekilde karşılamadığını, ancak böyle bir prosedürün bu araştırmanın nihai hedefi olması gerektiğini belirtmektedir. Kapsamlı yerinde jeoteknik bilginin mevcut olmadığı durumlarda, çoğu zaman olduğu gibi, potansiyel olarak sıvılaşabilir bölgelerde tahmin edilen hasar seviyelerinde artış yaşanabilir. Ancak, uygun bir 'sıvılaşma hasar faktörü' elde etmek için yeterli veri bulunmamaktadır ve bu faktör, bina stoğunun özelliklerine ve yapının beklenen boyutuna bağlı olacaktır. Bu verileri elde etmek için sıvılaşmış sahalardan ek saha verileri gerekmektedir. Ayrıca, yer sarsıntısından kaynaklanan hasarın tahminindeki belirsizlik ve tüm durumlar için analitik çözümler, kalıcı zemin deformasyonlarına maruz kalan bina sınıflarını içermelidir.

9.7 Diğer İleri Çalışmalar

Deprem hasarı tahminleri alanındaki araştırmalar, her koşulda hasar değerlendirmesi için kapsamlı stratejiler geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu tezde sunulan çözümler yalnızca belirli koşullar için geçerlidir ve aşağıdaki konular yalnızca birkaçını içermektedir:

- Şu anda düşünülen taşıyıcı sistem, çıplak betonarme çerçeveli binalardır. Ek olarak, dolgu duvarların hem yer sarsıntısına hem de zemine tepkiye katkısı, çerçevesinde önemli bir gerekliliktir.
- Takviyesiz duvarcılıktan başlayarak diğer yapısal sistemler ve temel sistemleri, sığ, nispeten esnek temellere ve betonarme çerçeveye sahip olma eğiliminde olan yapılar, kazıklı temelleri veya bodrumları olan binaları içerir.

- Başta boru hatları, yollar ve köprüler olmak üzere diğer altyapı öğelerinin sivilaşma hasarına duyarlı olduğu belirtilmiş ve önemli dolaylı kayıplara yol açabileceği ifade edilmiştir.
- Yapısal olmayan hasarlar, yapısal hasarlardan daha büyük ekonomik kayıplara neden olabilir, özellikle orta büyüklükteki depremlerde. Yapısal olmayan bazı bileşenler, tavanlar, duvarlar ve cepheler gibi hasarlarla ilişkilendirilmiştir.

9.8 Yorumların Kapatılması

Doğal afetler nedeniyle beklenen kayıpların değerlendirilmesi ihtiyacı azalmayacaktır. Stojanovski vd. (2003), endüstri harcamalarındaki risk modellemesinin artacağını bildirmektedir. 1995'te 111 milyon dolar olan harcamalar, 2005'te 432 milyon dolara yükselmiş ve 2004'teki kasırga kayıpları bir kez daha sigortacıları bu olaylara hazırlıklı olmaları konusunda uyarılmıştır. Bu nedenle, gelişmeler, geoteknik mühendisliği alanında birçok belirsizliğin titizlikle ele alınması için gelişmiş olasılıksal yöntemlerin üretilmesi gerektiğini vurgular. Dolayısıyla, artan mühendislik yaklaşımları ile risk yönetimi gereksinimleri arasındaki uyumluluk bu tezde tartışılan konulardan biridir.

Sonuçta, deprem felaketlerinin toplum ve ekonomi üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi önemlidir. Bu araştırma, çok geniş ve karmaşık bir alanın sadece bir unsuru olarak deprem mühendisliğinin ötesine geçmektedir. Nihai ürünün asla unutulmaması veya elde edilen çözümlerin amaçlarına uygun olmama riski bulunmaktadır. Bina sahiplerinin, olası bir durumda onarımın ne kadar süreceği ve maliyetinin ne kadar olacağını bilmeleri önemlidir. Sigortacıların kaç ve ne kadar olduğunu ve ne tür iddiaları çözmeleri gerektiğini bilmeleri gerekmektedir. Hükümetlerin ve acil servislerin zararın ölçeği, dağılımı ve maliyetleri konusunda bilgi sahibi olmaları önemlidir. Bu taraflardan her biri, hasarın nasıl oluştuğuna veya nasıl değerlendirildiğine ilişkin ayrıntıları az da olsa bilmek isteyebilir. Ancak, onların endişesi, sundukları sonuçların gerçekçi olması ve belirsizliklerin titizlikle ele alınmasıdır. Bu nedenle mühendislere düşen görev, gerekli parçaların bütüne girdi olarak sağlanmasıdır. Her ne kadar bölgelerdeki kayıpların tahmini ve zemin arızası başlı başına küçük bir unsur olarak görülse de büyük sonuçlar ortaya çıkarılabilir.

KAYNAKLAR

- Adalier, K. & Aydingun, O., 2001. Structural engineering aspects of the June 27, 1998 Adana-Ceyhan (Turkey) earthquake. *Engineering Structures*, 23 (4): 343-355
- AIJ 2001 Report on Damage Investigation of the 1999 Kocaeli Earthquake in Turkey. Architectural Institute of Japan.
- Ambraseys, N. N., Simpson, K.A. & Bommer, J.J. 1996 Prediction of horizontal response spectra in Europe. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 25 (4): 371-400
- Ambraseys, N., Smit, P., Sigbjomsson, R., Suhadolc, P. & Margaris, B. 2002. Internet Site for European Strong-Motion Data. European Commission, Research-Directorate General, Environment and Climate Programme.
- Anderson, J.G. 2000. Kocaeli, Turkey earthquake of August 17, 1999: Reconnaissance Report, Chapter 3 - Implications for seismic hazard analysis. *Earthquake Spectra* 16 (Suppl. A): 65-96
- Bakir, B.S., Sucuoglu, H. & Yilmaz, T. 2002 An overview of local site effects and the associated building damage in Adapazari during the 17 August 1999 Izmit earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America* 92(1): 509-526.
- Bardet, J.P. & Kapuskar, M. 1993 An analysis of the sand boils due to liquefaction in the San Francisco Marina District during the 1989 Loma Prieta earthquake. *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 119 (3): 543-562
- Bardet, J.P. & Seed, R.B. 2000 Kocaeli, Turkey, earthquake of August 17, 1999: Reconnaissance report. Chapter 7 - Soil liquefaction, landslides, and subsidences. *Earthquake Spectra* 16 (Suppl. A): 141-162
- Berrill, J. & Yasuda, S. 2002. Liquefaction and piled foundations: some issues. *Journal of Earthquake Engineering*, 6 (Special Issue 1): 1-41
- Berrill, J.B., Beetham, R. & Tanaka, H. 1993. Liquefaction: ejecta samples from the 1993 Hokkaido-Nansei-Oki Earthquake. *New Zealand Society for Earthquake Engineering Bulletin*, 26 (4): 411-414
- Bird, J.F., Sancio, R.B., Bray, J.D. & Bommer, J.J. 2004. The ground failure component of earthquake loss estimations: a case study of Adapazari, Turkey. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Paper No. 803

- Bommer, J.J., Spence, R., Erdik, M., Tabuchi, S., Aydinoglu, N., Booth, E., Del Re, D. & Peterken, O. 2002a. Development of a Turkish Loss Model for Turkish Catastrophe Insurance Jowrwa/ of Seismology 6 (2): 341-446
- Boore, D M., Joyner, W.B. & Fumal, T.E. 1997. Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from western North American earthquakes: a summary of recent work. Seismological Research Letters 68(1): 128-153.
- Booth, E, Bird, J & Spence, R 2004). Building Vulnerability Assessment using pushover methods - a Turkish case study. International Workshop on Performance Based Seismic Design, Concepts & Implementation, Bled, Slovenia, June 2004.
- Booth, E.D., Chandler, A.M., Wong, P.K.C. & Cobum, A.W. 1991 The Luzon, Philippines Earthquake of 16 July, 1990; A field report by EEFIT. Earthquake Engineering Field Investigation Team, Institution of Structural Engineers, London
- Boulanger, R.W. & Idriss, I.M. 2004 State normalization of penetration resistance and the effect of overburden on liquefaction resistance. 77th International Conference on Soil Dynamics & Earthquake Engineering and 3rd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, University of California, Berkeley, 484-491
- Boulanger, R.W., Mejia, L. H. & Idriss, I. M. 1997. Liquefaction at Moss Landing during Loma Prieta Earthquake. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 123(5): 453-467
- Bray, J.D. & Stewart, J.P. 2000. Kocaeli, Turkey, earthquake of August 17, 1999: Reconnaissance report. Chapter 8 - Damage patterns and foundation performance in Adapazari. Earthquake Spectra, 16 (Suppl. A): 163-189
- Bray, J.D., Sancio, R.B., Durgonoglu, H.T., Onalp, A., Seed, R.B., Stewart, J.P., Youd, T.L., Baturay, M.B., Cetin, K.O., Christensen, C., Karadayilar, T. & Emrem, C. 2001b. Ground Failure in Adapazari, Turkey. XV ICSMGE TC4 Satellite Conference on "Lessons Learned from Recent Strong Earthquakes ", Istanbul, Turkey, 19-28
- Bray, J.D., Sancio, R.B., Durgonoglu, T., Onalp, A., Youd, T.L., Stewart, J.P., Seed, R.B., Cetin, O.K., Bol, E., Baturay, M.B. & Karadayilar, T. 2004. Subsurface characterization at ground failure sites in Adapazari. Turkey, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 130 (7): 673-685
- Bray, J.D., Sancio, R.B., Kammerer, A.M., Merry, S., Rodriguez-Marek, A., Khazai, B., Chang, S., Bastani, A., Collins, B., Hausler, E., Dreger, D., Perkins, W.J. & Nykamp, M. 2001a.

- Some observations of Geotechnical Aspects of the February 28, 2001 Nisqually Earthquake in Olympia, South Seattle, and Tacoma, Washington. Report sponsored by NSF, PEER Center, UCB, University of Arizona, Washington State University, Shannon & Wilson Inc., and Leighton & Associates.
- BRE 2003. Tilt of low-rise buildings with particular reference to progressive foundation movements. Building Research Establishment Digest 475
- Burland, J B. & Wroth, C. P., 1975. Settlement of buildings and associated damage. Building Research Establishment, CP 33/75, Garston, England, 44 pp
- Cetin, K.O., Youd, T.L., Seed, R.B., Bray, J.D., Dacio, R.B., Lettis, W., Yilmaz, M.T. & Durgunoglu, H.T. 2002. Liquefaction-induced ground deformations at Hotel Sapanca during Kocaeli (Izmit), Turkey earthquake. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 22; 1083-1092
- CIA 2004. The World Factbook 2004, Central Intelligence Agency, US Government
- Coburn, C.A. & Spence, R.J.S. (2002) Earthquake protection. 2nd Edition, Wiley, Chichester.
- Comartin, C D. (Ed.) 1995. Guam earthquake of August 8, 1993: Reconnaissance report.
- Crowley, H., Pinho, R. & Bommer, J.J. (2004a) A probabilistic displacement-based vulnerability assessment procedure for earthquake loss estimation. Bulletin of Earthquake Engineering 2(2): in press
- Earthquake Spectra, 11 (Suppl. B), 175 pages
- EEFIT 2003. The Kocaeli, Turkey earthquake of 17 August 1999. A field report by EEFIT. D'Ayala, D. & Free, M. (Eds), Earthquake Engineering Field Investigation Team, Institution of Structural Engineers, London.
- EERC 1995. Geotechnical reconnaissance of the effects of the January 17 1995 Hyogoken-Nambu earthquake, Japan. Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley. UCB/EERC-95-01
- EERI 2003a. Learning from Earthquakes - Preliminary Observations on the Tecoman, Colima, Mexico Earthquake of January 21, 2003. EERI special earthquake report
- EQE 1990. The July 16, 1990, Philippines Earthquake: an EQE Quick Look Report. EQE International
- Erdik, M. 2000. Report on 1999 Kocaeli and Düzce (Turkey) earthquakes. Internet report. <http://www.koeri.boun.edu.tr/depremmuli/Kocaelireport.pdf> (accessed September 2004)

- Erdik, M., & Durukal, E. 2001. 1999 Kocaeli and Düzce, Turkey earthquakes: strong ground motion. XVICSMGE TC4 Satellite Conference on 'Lessons learned from recent strong earthquakes', Istanbul, Turkey.
- FEMA 1997. FEMA-273 & FEMA-274. NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings. Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.,
- FEMA 2001. HAZUS99 SR-2 Technical Manuals. Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.,
- FEMA 2003. HAZUS-MH Technical Manuals. Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.,
- Giilkan, P. & E. Kalkan 2002. Attenuation modelling of recent earthquakes in Turkey. *Journal of Seismology* 6(3): 397-409.
- Griinthal, G. Ed. 1998. European macroseismic scale 1998. *Cahiers de Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie* 15, Luxembourg.
- Gulkan, P., Bakir, B.S., Yakut, A., Yilmaz, T. & Yazgan, U. with collaboration of M. Elmas & P. Lestuzzi 2004. Background report on structural damage development and implementation of a building damage survey for Adapazari, Turkey: Interpretation and soils correlation. DRM - Project MERM final report, 125-154
- Haldar, A. & Leuttich, S.M. 1985. Subsidence approach to damage in earthquake induced liquefaction. 2TM International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering; 3-13 - 3-22.
- Hamada, M. & O'Rourke, T. (Eds) 1992. Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance during Past Earthquakes. Technical Report NCEER-92-0001, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, NY.
- Hopkins, D C., Clark, W.D., Matuschka, T., & Sinclair, J.C. 1991. The Philippines earthquake of July 16, 1990: Report on field visit by the NZNSEE reconnaissance team. *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, 24 (1): 3-95
- Idriss, I.M. 1991. Earthquake ground motions at soft soil sites. 2^{""} International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics. St Louis, Missouri, 111: 2265-2273
- Ishihara, K. & Yoshimine, M. 1992. Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes. *Soils and Foundations*, 32(1): 173-188

- Ishihara, K., Haeri, S.M., Moinfar, A.A., Towhata, I. & Tsujino, S. 1992. Geotechnical aspects of the June 20, 1990 Manjil earthquake in Iran. *Soils and Foundations*, 32 (3); 61-78
- JSCE 2001. The January 13, 2001, El Salvador earthquake. Japan Society of Civil Engineers. <http://www.isce.or.jp/report/11/01/contents.htm> (accessed October 2003)
- Juarez Garcia, H., Whitney, R.A., Guerrero, J.J., Gama, A., Vera, R. & Hurtado, F. 1997. The October 9, 1995. Manzanillo, Mexico earthquake. *Seismological Research Letters*, 68 (3): 413-425
- Kehoe, B E. 1998. Conflicting issues in post-earthquake damage evaluations. 6th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Research Inst., Oakland, California.
- Kudo, K., Kanno, T., Okada, H., Ozel, O., Erdik, M., Sasatani, T., Higashi, S., Takahashi, M. & Yoshida, K. 2002. Site-specific issues for strong ground motions during the Kocaeli, Turkey, earthquake of 17 August 1999, as inferred from array observations of microtremors and aftershocks. *Bulletin of the Seismological Society of America* 92(1): 448-465
- Lettis, W., Bachhuber, J. & Witter, R. 2000. Kocaeli, Turkey, earthquake of August 17, 1999; Reconnaissance report. Chapter 2 - Surface fault rupture. *Earthquake Spectra*, 16 (Suppl. A); 11-53
- Lew, M., Naeim, F., Huang, S C., Lam, H.K. & Carpenter, L.D. 2000. Geotechnical and geological effects of the 21 September 1999 Chi-Chi earthquake, Taiwan. *Structural Design of Tall Buildings*, 9; 89-106
- Lopez, F.J. 2002. Does liquefaction protect overlying structures from ground shaking? MSc Dissertation, ROSE School, University of Pavia.
- Lund, L. V. 1996. Lifeline utilities performance in the 17 January 1994 Northridge, California, earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 86 (Suppl., 1, Part B); S350-S361.
- Marino, G.G. 1997. Earthquake Damage Inspection, Evaluation and Repair. Lawyers and Judges Publishing Company Inc.
- Matsui, T. & Oda. K. 1996. Foundation damage of structures. *Soils and Foundations*. Special issue on Geotechnical Aspects of the January 17 1995 Hyogoken-Nambu earthquake: 189-200

- Matsui, T., Mitamura, M., Sakagami, T., Shimizu, F., Hamada, T., Tanaka, Y., Suwa, S., Tsurukawa, H. & Takeishi, A. 2001. Relevance of some damage factors to structures damage in the 1995 Kobe earthquake. 4th International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, University of Missouri-Rolla, Rolla, Missouri, Paper No. 10.27
- Mejia, L. H., Hughes, D. K. & Sun, J. I. 1992. Liquefaction at Moss Landing during the 1989 Loma Prieta earthquake. /O"" World Conference on Earthquake Engineering, A. A. Balkema, Rotterdam, Vol. 3, 1435-1440
- Naeim, F. & Lew, M. 2000. The 1999 earthquake disasters worldwide: how many times do we have to re-learn the fundamentals of seismic engineering? *The Structural Design of Tall Buildings* 9 {2}: 161-182
- Orense, R., Vargas-Monge, W. & Cepeda, J. 2002. Geotechnical aspects of the January 13, 2001 El Salvador earthquake. *Soils and Foundations*. 42(4): 57-68
- O'Rourke, T. & Hamada, M.(Eds) 1992. Case studies of liquefaction and lifeline performance during past eEarthquakes. Technical Report NCEER-92-0002, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, NY.
- O'Rourke, T.D., Chang, J-F & Lin, M-L 2000b. Geotechnical Issues: Restoration strategies and research needs, the Chi-Chi, Taiwan earthquake of Sept. 21, 1999: Reconnaissance Report, Lee, G.C. & Loh, C-H, Eds., Technical Report MCEER-00-0003, MCEER, Buffalo, NY, 15-28
- Ozbey, C., Sari, A. Manuel, L., Erdik, M. & Fahjan, Y. 2004. An empirical attenuation relationship for Northwestern Turkey ground motion using a random effects approach. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 24: 115-125
- Park, R., Billings, I.J., Clifton, G.C., Cousins, J., Filiatrault, A., Jennings, D.N., James, L.C.P., Perrin, N.D., Rooney, S.L., Sinclair, J., Spur, D.D., Tanaka, H. & Walker, G. 1995. The Hyogo-ken Nanbu earthquake (the great Hanshin earthquake) of 17 January 1995: report of the NZNSEE Reconnaissance Team. *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, 28(1): 1 -98.
- Rathje, E.M., Stokoe, K.H. & Rosenblad, B. 2003. Strong Motion Station Characterization and Site Effects During the 1999 Earthquakes in Turkey *Earthquake Spectra*, 19(3): 653-675
- Restrepo, J. I. & Cowan, H.A. 2000. The "Eje Cafetero" earthquake, Colombia of January 25, 1999. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 33 (1): 1-29

- Rodriguez-Marek, A. & Edwards, C.L. (Eds.) 2003. Southern Peru earthquake of 23 June 2001 reconnaissance report. *Earthquake Spectra*, 19 (Suppl. A)
- Sancio, R. B., Bray, J. D., Stewart, J. P., Youd, T. L., Durgunoglu, H. T., Onalp, A., Seed, R. B., Christensen, C., Baturay, M. B. & Karadayilar, T. 2002. Correlation between ground failure and soil conditions in Adapazari, Turkey. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22: 1093-1102
- Sancio, R.B. 2003. Ground failure and building performance in Adapazari, Turkey. PhD Thesis, University of California, Berkeley, 747pp
- Sancio, R.B., Bray, J.D., Durgunoglu, T. & Onalp, A. 2004. Performance of buildings over liquefiable ground in Adapazari, Turkey. 73rd World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Paper No. 935
- Schiff, A J. & Tang, A.K. (Eds) 2000. Chi-Chi, Taiwan Earthquake of September 21, 1999 - Lifeline Performance. TCLEE Monograph'Ho. 18. ASCE
- Schiff, A. J. (Ed.) 1991. Philippines earthquake reconnaissance report. *Earthquake Spectra*, 7 (Suppl. A) 144 pages
- Seed, R. B., Dickenson, S. E., Riemer, M. F., Bray, J. D., Sitar, N., Mitchell, J. K., Idriss, I. M., Kayen, R. E., Kropp, A., Harder, L. F., and Power, M. S. 1990. Preliminary report on the principal geotechnical aspects of the October 17, 1989 Loma Prieta earthquake. Earthquake Engineering Research Center, Report No. UCB/EERC-90/05, University of California.
- Seed, R.B., Dickenson, S.E. & Idriss, I.M. 1991. Principal geotechnical aspects of the 1989 Loma Prieta earthquake. *Soils and Foundations*, 31 (1): 1-26
- SeismoSoft 2004. SeismoStruct - A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures. Available from URL: <http://www.seismosoA.com>
- Shibata, T., Oka, F. & Ozawa, Y. 1996. Characteristics of ground deformations due to liquefaction. *Soils & Foundations*, Special Issue, 65-79
- Singh, M P., Khaleghi, B., Saraf, V., Jain, S.K. & Norris, G. 2002. 2001 Bhuj, India earthquake reconnaissance report. Chapter 19 - Roads and bridges. *Earthquake Spectra*, 18 (Suppl. A.): 363-379
- Spence, R., O. Peterken, E. Booth, A. Aydinoglu, D. del Re & J. Bommer 2002. Seismic loss estimation for Turkish catastrophe insurance. Proceedings of the Seventh US National Conference on Earthquake Engineering, Boston.

- Spence, R.J., Bommer, J.J., Del Re, D., Bird, J., Aydinoglu, N. & Tabuchi, S. 2003. Comparing loss estimation with observed damage: A study of the 1999 Kocaeli earthquake in Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 1 (1) 83-113
- Spudich, P., W.B. Joyner, A.G. Lindh, D.M. Boore, B.M. Margaris & J.B. Fletcher 1999. SEA99 - A revised ground motion prediction relation for use in extensional tectonic regimes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89 (5): 1156-1170.
- Stewart, J.P. 2001. Chi-Chi, Taiwan, earthquake of September 21, 1999; Reconnaissance report, Chapter 4 - Soil liquefaction. *Earthquake Spectra*, 17 (Suppl. A): 37-60
- Stewart, J.P., Chiou, S-J., Bray, J.D., Graves, R.W., Somerville, P.G. & Abrahamson, N.A. 2001. Ground-motion evaluation procedures for performance-based design. PEER Report 2001/09, University of California, Berkeley
- Stojanovski, P., Shah, H. & Dong, W. 2003. Bridging the gap between earthquake engineering and insurance. *Skopje Earthquake: 40 years of European Earthquake Engineering*
- Sucuoglu, H. 2002. Engineering characteristics of the near-field strong motions from the 1999 Kocaeli and Duzce earthquakes in Turkey. *Journal of Seismology* 6(3).
- Tokimatsu, K. & Asaka, Y. 1998. Effects of liquefaction-induced ground displacements on pile performance in the 1998 Hyogoken-Nambu earthquake. *Soils & Foundations*, Special Issue 2: 163-177
- Wallace, J.W. 2001. Chi-Chi, Taiwan, earthquake of September 21, 1999: Reconnaissance report. Chapter 8 - Highway bridges. *Earthquake Spectra*, 17 (Suppl. A): 131-152
- Yamazaki, F., Meguro, K., Tong, H. & Katayama, T. 1995. Review of recent five damaging earthquakes in Japan. *Pacific Conference on Earthquake Engineering*, Australia
- Yoshida, N., Tokimatsu, K., Yasuda, S., Kokusho, T., & Okimura, T. 2001. Geotechnical aspects of damage in Adapazari City during 1999 Kocaeli, Turkey earthquake, *Soils and Foundations* 41 (4); 25-45
- Youd, T. L. & Perkins, D.M. 1978. Mapping liquefaction-induced ground failure potential. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 104, GT4; 433-446
- Youd, T. L., Bardet, J-P & Bray, J.D. (Eds.) 2000. Kocaeli, Turkey, earthquake of August 17, 1999: Reconnaissance report. *Earthquake spectra* 16 (Suppl. A), 461 pages
- Youd, T.L., Chung, R.M. & Harp, E.L. 1995. Hokkaido-Nansei-Oki earthquake and tsunami of July 12, 1993: Reconnaissance report. Chapter 6 - Liquefaction and other geotechnical effects. *Earthquake Spectra*, 11 (Suppl. A): 49-93

Youngs, R.R., 2003. A methodology for probabilistic fault displacement hazard analysis (PFDHA). *Earthquake Spectra*, 19(1): 191-219



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : FURKAN TARAKÇI

Doğum Yeri

