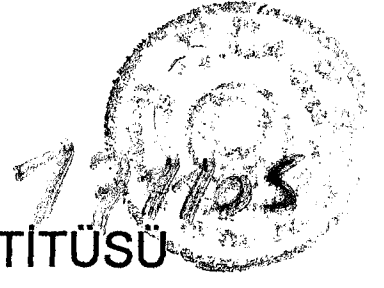


T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ESTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



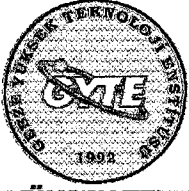
1999 KOCAELİ DEPREMİ SIRASINDA
İZMİT KÖRFEZİ'NDEKİ ATIKSU BORU
HATTINDA OLUŞAN DEPREM
HASARLARININ DERLENMESİ
(DOĞU BÖLGESİ)

Dilek KARABULUT
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI BİLİMLERİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Yrd. Doç. Dr. Eren UÇKAN

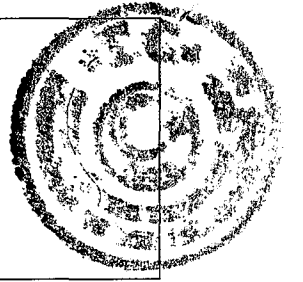
GEBZE

2005



**GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ
ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU



Dilek KARABULUT'un tez çalışması, G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 05/10/2005 Tarih ve 2005/35 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından Deprem ve Yapı Bilimleri Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Yrd.Doç.Dr. Eren UÇKAN

M. S. Uçkan

ÜYE

: Doç.Dr. Bilge SİYAHİ

Bilge Siyahi

ÜYE

: Yrd.Doç.Dr.Yasin FAHJAN

Yasin Fahjan

ONAY

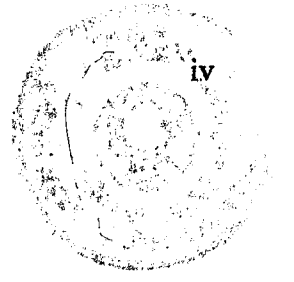
G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

.....15.11.2005..... Tarih ve 2005...../.....39..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

[Signature]

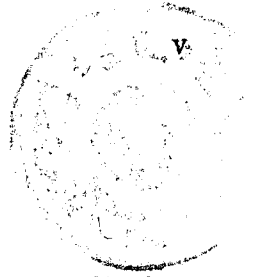
ÖZET



Yerel zemin şartları, yer altı can damarı sistemlerinin deprem davranışlarını etkileyen en önemli faktörlerdendir. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminden iki hafta sonra İller Bankası Genel Müdürlüğü tarafından hasarlı hatların bulunduğu bacalarda nivelman ölçümleri ile hasar tespiti yapılmıştır. Araziden toplanan hasarlı hatlara ait veri, Uçkan ve diğ.,2005 tarafından yapılan çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemine (CBS) aktararak, bölgelerdeki boru hattı yerleşimi harita üzerinde gösterilmiştir.

Bu çalışmada, 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi sırasında, İzmit körfezi güney sahil şeridinin doğu kısmında yer alan, Bahçecik, Yeniköy, Gölcük ilçelerinde bulunan atıksu kollektör hattında incelenen deprem davranışları derlenmiş ve gömülü boru hatlarında hasara sebep olan faktörlerden, etkin yer hızına(PGV) bağlı olan geçici deformasyonlar ile kalıcı yer deplasmanları (PGD) parametreleri üzerinde durulmuştur. Ayrıca çalışma alanının batısında yer alan Ereğli, Karamürsel ve Kaytazdere bölgelerindeki birim deformasyonlar hesaplanarak hasara etki eden faktörler ile arasındaki ilişkilendirmeler yapılmıştır.

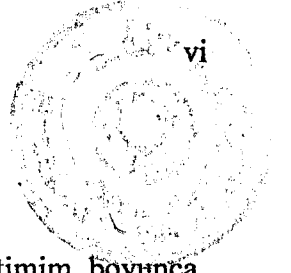
SUMMARY



Local site conditions are one of the most important parameters effecting lifelines. Two weeks after the earthquake Engineering Department of the Bank of Provinces (İller Bankası) has made nivelman measurements in manhole locations and the deformations are determined. Data collected from the deformed pipelines is transferred to Geographical Information System (GIS) and the pipeline locations are shown on the map. The relation between the vertical deformations obtained from this data and damage parameters are explained.

In this study, the behaviour of the sewage system in Bahçecik, Yeniköy and Gölcük, which take place in south-east of İzmit Bay, during the 17 August 1999 Kocaeli Earthquake is investigated. Also, Earthquake behaviour of pipelines and the damage parameters which depend on Peak Ground Velocity (PGV) and Permanent ground deformation (PGD) are determined. In addition, the ground strains in Ereğli, Karamürsel and Kaytazdere are calculated and correlated with damage parameters.

TEŞEKKÜR



Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü'ndeki yüksek lisans eğitimim boyunca, danışmanlığımı yapan ve bitirme çalışmam süresince her türlü desteğini esirgemeyen değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Eren Uçkan ve jüri üyelerim Sayın Doç.Dr. Bilge Siyahi ile Sayın Yrd.Doç.Dr. Yasin Fahjan'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

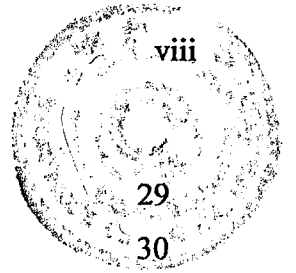
Çalışmalarım ve tüm öğrenim sürecim boyunca sonsuz sabır gösterip,hiçbir desteğini esirgemeyen sevgili eşim Fuat Karabulut'a, sevgili aileme, biricik kızım Ece Karabulut'a ve değerli arkadaşım Pelin Çoruk'a sonsuz teşekkürlerimi sunmayı borç bilirim.



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	iv
SUMMARY	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. GÖMÜLÜ BORULARDA HASARA ETKİ EDEN FAKTÖRLER	4
2.1. Dalga Yayılımı Hasarları	6
2.1.1 Dalga Yayılımının Temelleri	6
2.1.2 Cisim Dalgaları	7
2.1.3 Yüzey Dalgaları	8
2.1.4 Dalga Yayılımı Hasar İlişkileri	9
2.2. Kalıcı Yer Deformasyonu (PGD) Hasarları	10
2.2.1. Sıvılaşma	11
2.2.2. Oturma	12
2.2.3. Boru tipleri	12
2.2.4. PGD Hasar İlişkileri	12
2.3. Birim Deformasyon Miktarı (Ground Strain)	13
2.3.1. Dalga Yayılımı Kaynaklı Boru Hattı Hasarı ve Birim Deformasyon İlişkisi	14
2.3.2. PGD Kaynaklı Boru Hattı Hasarı ve Birim Deformasyon İlişkisi	15
2.4. Boru Hatlarının Geçmiş Depremlerdeki Performansı	18
3. ÇALIŞMA ALANLARINDAKİ BORU HATLARININ DEPREM DAVRANIŞININ DERLENMESİ	19
3.1 Bahçecik	19
3.2. Yeniköy	23
3.3.Gölcük	26



4.EREĞLİ, KARAMÜRSEL VE KAYTAZDERE'DEKİ BORU HATLARININ DEPREM DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

4.1. Ereğli

4.2. Karamürsel

4.3. Kaytazdere

4.4. Bölgelerde Oluşan Hasarların Değerlendirilmesi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

KAYNAKLAR

ÖZGEÇMİŞ

29

30

32

37

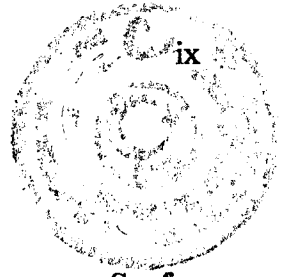
40

42

44

45





ŞEKİLLER DİZİNİ

Sekil

Sayfa

1.1. 1999 depremi sonrasında İzmit körfezinin doğusunda yenilenen atıksu kollektör hatları.	3
2.1. Cisim ve Yüzey dalgalarının yayılımının şematik gösterimi.	6
2.2-a. P Dalgasının Şematik gösterimi.	7
2.2-b. S Dalgasının Şematik gösterimi.	7
2.3-a. Love Dalgasının Şematik Gösterimi.	8
2.3-b. Rayleigh Dalgasının Şematik Gösterimi.	8
2.4. Etkin yer hızına bağlı (PGV) hasar görebilirlik eğrileri.	10
2.5. Sıvılaştırılabilir katman üzerindeki sıvılaştırmayan katmandaki boru hatları için hasar türleri.	11
2.6. Kalıcı yer deformasyonlarına (PGD) bağlı hasar görebilirlik eğrileri.	13
2.7. Birim deformasyona karşılık Dalga Yayılımı hasar oranları.	15
2.8. Birim deformasyona karşılık PGD hasar oranları.	16
2.9. Birim deformasyona karşılık Dalga Yayılımı ve PGD hasar oranları.	17
3.1 Çalışma alanının uydu görüntüsü.	19
3.2. Bahçecik' teki sıvılaşma ve tektonik harekete maruz kalan hasarlı boru hattı.	21
3.3 Bahçecik'te ki düşey yönde kalıcı yer değiştirmeler ve nivelman ölçümleri.	21
3.4. Bahçecikte kollektör hattının geçtiği bölgenin panoramik görüntüsü ve sıvılaşmaya maruz kalan bir binanın zemini.	22
3.5. Yeniköy'de tektonik harekete, yanal yayılma ve çökmeye maruz kalan bölgedeki hasarlı hatlar.	23
3.6. Yeniköy 1. bölüme ait konum haritası ve oturmalar.	24
3.7. Yeniköy 2. bölüme ait konum haritası, oturmalar, kabarmalar ve Sondaj kesitleri.	25
3.8. Yeniköy 3. bölüme ait konum haritası, oturma ve Sondaj kesitleri.	26
3.9. Gölcük-Doğu bölgesinden geçen boru hattı.	28



- 3.9. Gölcük'teki hatta ait nivelman ölçümleri ile yeryüzeyi ve boru hattındaki oturmalar. 28
- 4.1 İnceleme bölgesinin uydu haritası ve boru hatlarının konumu. 29
- 4.2. Ereğli $\varnothing = 600$ mm çapındaki boru hattında deprem sonucunda oluşan çökme ve kabarmalar. 30
- 4.3. Ereğli $\varnothing = 400$ mm çapındaki boru hattında deprem sonucunda oluşan çökmeler. 31
- 4.4. Karamürsel'deki gömülü boru hattının harita üzerindeki yerleşimi. 33
- 4.5. Karamürsel-TM10 bölgesindeki $\varnothing = 1000$ mm çapındaki boru hattında deprem sonucunda oluşan çökmeler ve yükselmeler. 33
- 4.6. Karamürsel-TM10 bölgesindeki $\varnothing = 500$ mm çapındaki boru hattında deprem sonucunda oluşan çökmeler ve yükselmeler. 34
- 4.7. Karamürsel-TM11 bölgesindeki $\varnothing = 1000$ mm çapındaki boru hattında deprem sonucunda oluşan çökmeler ve yükselmeler. 35
- 4.8. Kaytazdere'deki $\varnothing = 500$ mm çapındaki boru hattında deprem sonucunda oluşan çökmeler ve yükselmeler. 37
- 4.9. Kaytazdere'deki $\varnothing = 600$ mm çapındaki boru hattında deprem sonucunda oluşan çökmeler ve yükselmeler. 38

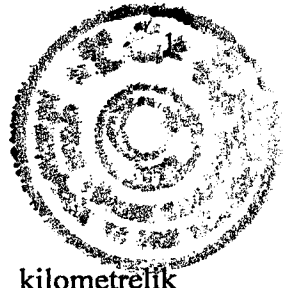


TABLolar DİZİNİ

Tablo

Sayfa

2.1. Geçici (Transient) Etkilerin Oluşturduğu Deformasyonlar.	4
2.2. Kalıcı Etkilerin oluşturduğu deformasyonlar.	5
2.3. Sano ve diğ. (1999) ve Hamada ve Akioka (1997) tarafından kullanılan PGD veri noktaları.	16
3.1. Bahçecik'teki boru çapları ve oluşan hasarlar.	20
3.2. Bahçecik'teki tipik zemin profili.	21
3.3. Yeniköy'deki hasarlı boru hatları.	23
4.1. Ereğli 600 mm çapındaki boru hattına ait baca numaraları, mesafeler, birim deformasyonlar ve hasar sayıları.	31
4.2. Ereğli 400 mm çapındaki boru hattına ait baca numaraları, mesafeler, birim deformasyonlar ve hasar sayıları.	32
4.3. Karamürsel-TM10 bölgesindeki $\varnothing = 1000$ mm çapındaki boru hattına ait baca numaraları, mesafeler, birim deformasyonlar ve hasar sayıları.	34
4.4. Karamürsel-TM10 bölgesindeki $\varnothing = 500$ mm çapındaki boru hattına ait baca numaraları, mesafeler, birim deformasyonlar ve hasar sayıları.	35
4.5. Karamürsel-TM11 bölgesindeki $\varnothing = 1000$ mm çapındaki boru hattına ait baca numaraları, mesafeler, birim deformasyonlar ve hasar sayıları.	36
4.6. Kaytazdere'deki $\varnothing = 500$ mm çapındaki boru hattına ait baca numaraları, mesafeler, birim deformasyonlar ve hasar sayıları.	38
4.7. Kaytazdere'deki $\varnothing = 600$ mm çapındaki boru hattına ait baca numaraları, mesafeler, birim deformasyonlar ve hasar sayıları.	39



1. GİRİŞ

17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi ($M_w=7.4$) sırasında 1300 kilometrelik Kuzey Anadolu Fayının Gölyaka-Karamürsel arasında uzanan 120 kilometrelik bir bölümü kırılmıştır. Bu deprem, binlerce kişinin ölümüne, yaralanmasına ve evsiz kalmasına neden olmakla beraber; hayati önem taşıyan ulaşım, iletişim ve altyapı sistemlerinin de hasarlar görmesine neden olmuştur.

Gömülü boru hatlarında deprem sonrası oluşan hasarlar birçok araştırmacıya inceleme konusu olmakta ve bu incelemeler sonucunda boru hatlarının hasar görme oranları ve hasar görme biçimleri hakkında önemli bilgiler edinilmektedir. Geçmiş depremlerden edinilen hasar verileri gelecek depremlerde oluşacak boru hattı hasarlarını ve performansını tahmin etmede önemli bir istatistiksel veri kaynağı olmaktadır.

Bu tip boru hattında deprem sırasında meydana gelen hasarlar genellikle yer gerilmelerinden oluşmaktadır. Gömülü borular ağırlıklarının düşük olmasından dolayı atalet kuvvetlerine sahip olmamakta ve bu yüzden de çevrelerindeki zemin ile aralarında göreceli bir hareket olmayacağı varsayılmaktadır (Uçkan ve diğ., 2005). Genelde boru hattının mukavemeti çapla doğru orantılı olmasına rağmen hasar görme ihtimalinin ters orantılı olduğu kabul edilmektedir.

Bu depremden iki hafta sonra, İller Bankası Genel Müdürlüğü tarafından, hasarlı hatların bulunduğu bölgelerdeki bacaların, boru ve yüzey kodlarından nivelman ölçümleri ile hasar tespitleri yapılmış; kolektör hattındaki ve yüzey seviyesindeki düşey deplasmanlar belirlenmiştir. İzmit Körfezi güney sahil şeridindeki atıksu sistemi, fay hattını 0-1000 metre mesafede takip eden, Bahçecik, Yeniköy ve Gölcük ilçelerinde, her üç eksen boyunca tektonik harekete bağlı kalıcı deformasyonlara uğramıştır. Hasar yoğunluğunun %100 oranına kadar ulaştığı bu bölgelerdeki boru hatlarının büyük bir kısmı tamamen yenilenmiştir.

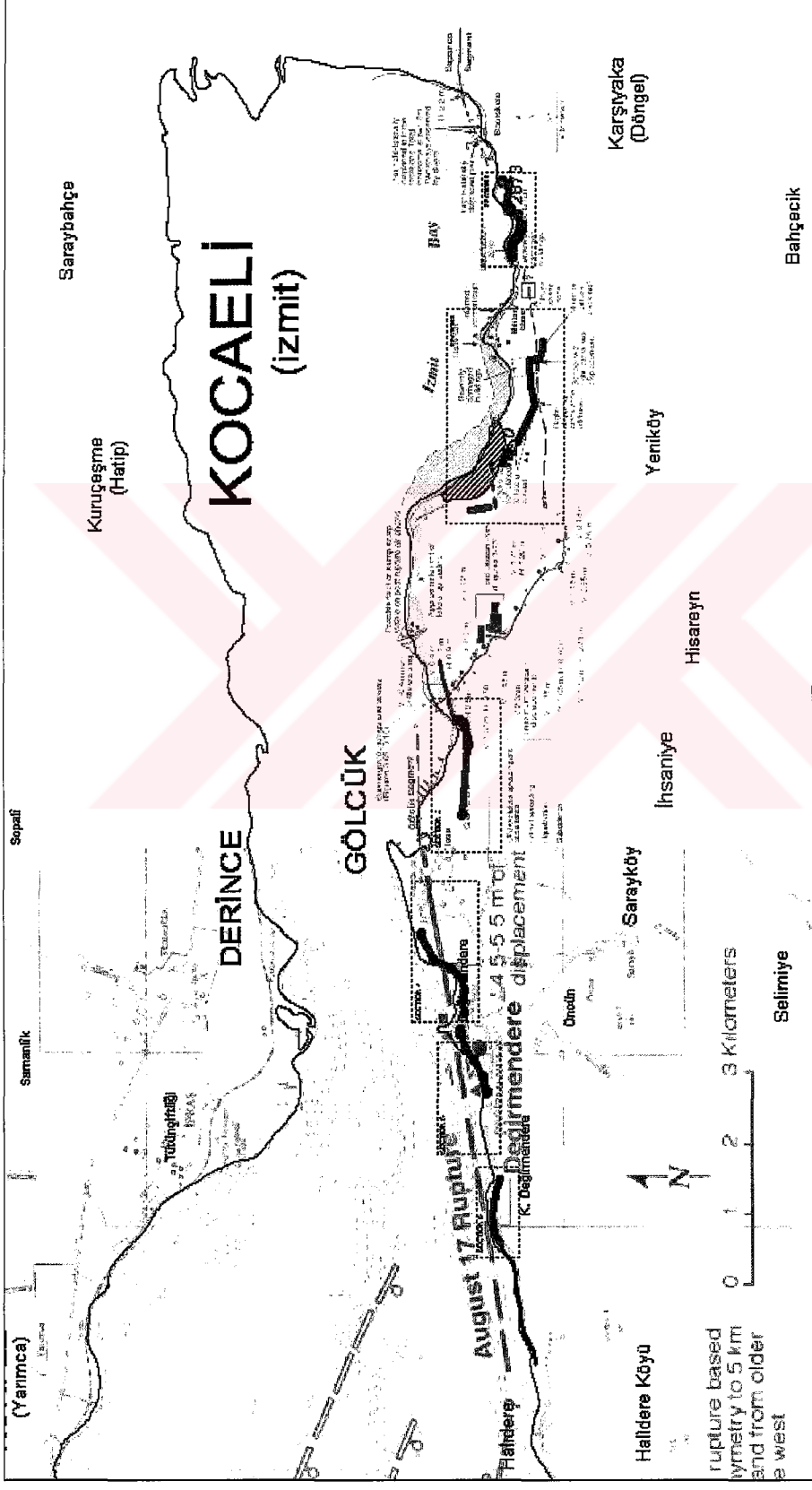
Daha önce, İzmit körfezi güney sahil şeridindeki atıksu sisteminin deprem hasarlarının incelendiği “1999 Kocaeli Depreminde Gömülü Borularda Gözlenen



Deprem hasarları” (Uçkan E., Kılıç N., Durukal E., Demircioğlu M. ve Sıyahı B., 2005) çalışması kapsamında, bu hasar verileri, zemin özellikleri, sondaj verileri ve boru hattı üzerinde alınan GPS (Global Pozitioning System) ölçümleri gibi parametreler ile birlikte CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) ortamına aktarılarak, tüm verilerin bir arada gösterildiği tek bir harita oluşturulmuştur (Şekil 1). Bu çalışmada ise çalışma alanı olarak, İzmit Körfezinin Güney-Doğu sahil şeridi seçilerek daha önce incelenen bu bölgenin hasar verileri derlenmiştir. Ayrıca Gömülü boru hatlarında hasara etki eden faktörler ve bu bölgenin dışında kalan Ereğli, Karamürsel, Kaytazdere'deki hasarların geçmiş depremlerden elde edilen eşitliklerle karşılaştırması yapılmıştır.

Selsuyu, atıksu ve kanalizasyon suyunu toplayan, genellikle bacalı mecra veya borulardan oluşan sisteme atıksu sistemi denir. Birbirlerine lastik contalarla bağlanan bu boru hattı boyunca ortalama 50 metrede 1 adet muayene bacası bulunmaktadır. İncelen ana kollektör hattı ‘parçalı’ tür olup, 600-1200 mm çaplı, beton, lastik contalı, çan geçmeli ve bacalı mecralardan oluşmaktadır (Uçkan ve diğ., 2005).

Çalışma alanı içerisindeki su sistemi konutlara yakın bölgelerde şebeke adı verilen (100-300mm) küçük çaplı borularla başlayıp, toplayıcı adı verilen 300-500 mm’lik borular vasıtasıyla ana kollektörlere (500-1400mm) kadar uzanan bir su taşıma ağını kapsamaktadır. Kollektörlerde toplanan sular kot farkına göre terfi istasyonlarında yukarı seviyelere çıkartılır ve arıtma tesisine gönderilmektedir (Uçkan ve diğ., 2005).



Şekil 1.1. 1999 depremi sonrasında İzmit körfezinin doğusunda yenilenen atıksu kollektör hatları
(Earthquake Spectra, 2001, Background Map by: William Lettis & Associates,inc).

2. GÖMÜLÜ BORULARDA HASARA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Gömülü borularda hasara sebep olan sismik risk faktörleri Dalga Yayılımı ve Kalıcı Yer Deformasyonu hasarları olarak iki bölümde incelenmektedir. İlk faktör olan Dalga Yayılımı hasarları deprem dalgasının geçişi (wave passage) sırasında, geçici (transient ground deformation) etkiden oluşmaktadır (Tablo 2.1). Bu tür hasarlar daha çok, geniş bir alanı etkilemelerine rağmen hasar yoğunlukları düşük olmaktadır. İkinci faktör ise yer sarsıntısı, toprak kayması, sıvılaşma, su basması, fay kesişimi ve oturma gibi sebeplerle zeminde oluşacak kalıcı yer deformasyonu (permanent ground deformation, PGD) ve ona bağlı gelişen zemin hasarlarıdır (Tablo 2.2). Bu türde ise hasar yoğunluğu çok daha fazla olmasına rağmen etkileri daha bölgesel olmaktadır.

Tablo 2.1. Geçici (Transient) Etkilerin Oluşturduğu Deformasyonlar (O'Rourke ve diğ., 1998)

GEÇİCİ (TRANSIENT) ETKİ	SEBEP	TANIM
	Seyahat Eden Yer Dalgaları	Sismik kaynaktan yayılan cisim dalgalarının sebep olduğu yüzeye yakın yer deformasyonları
	Geniş sedimenter çökellerdeki yüzey dalga oluşumu	Birkaç km genişliğindeki ve derinliği 1 km'den az olan geniş sedimenter çökellerdeki ilk gelen dalga tarafından oluşturulan yüzey dalgaları
	Yer Salınımı	Geçici yanal kesme gerilmeleri, sıvılaşabilen zeminin yatay yer hareketi

Tablo 2.2. Kalıcı Etkilerin oluşturduğu deformasyonlar (O'Rourke ve diğ., 1998)

KALICI (PERMANENT) ETKİ (PGD'ye bağlı)	SEBEP	TANIM
	Faylanma	- Düşey atımlı - Ters faylanma - Normal faylanma Normal ve ters faylanma, gerilim ile sıkışmayı, fay ile boru hattı arasındaki kesişme açısına bağlı olarak artırır.
	Tektonik kabarma ve çökmeler	Kabuksal deformasyonla ilişkili olan, boyuttaki bölgesel değişimlerdir. Deformasyon uzun mesafeler boyunca olduğundan gerilmeler küçük.
	Sıvılaşma	Suya doymuş kohezyonsuz toprağın sıvılaşmış hale ve kesme gerilmesi büyük ölçüde azaltılmış duruma dönüşmesinden kaynaklanan yer değişimleridir. Sıvılaşma kaynaklı boru hattı deformasyonları; Yanal yayılma, akışın bozulması, bölgesel oturmalar, sıvılaşma sonrası konsolidasyon, davranışın bozulmasından kaynaklanmaktadır.
	Yerkaymaları	Yer kütlelerinin hareketi sismik çalkantıdan oluşan iç kuvvetler tarafından tetiklenir. Birçok yer değiştirme biçimi mümkündür. Temel Hareket formları; • Kaya düşmeleri • Toprağın yüzeysel olarak aniden kaymasıdır.
	Oturma	Kuru yada suya doymuş kohezyonsuz toprakta, sismik titreşimden kaynaklanan hacim azalmasıdır.

Boru hatlarında görülen hasarlar genellikle bu iki faktörün kombinasyonundan oluşur. Fakat geçmişte sadece dalga yayılımından dolayı oluşan hasarlar da görülmüştür. Buna örnek olarak 1985 Michoacan depreminde Mexico City'de oluşan hasar gösterilebilir (O'Rourke ve diğ.1988). Bu iki faktörün kombinasyonu olarak oluşan hasarlara ise 1906 San Francisco depremi örnek gösterilebilir. Bu depremde oluşan boru hasarlarının büyük bir bölümü sıvılaşma kaynaklı Yanal atım bölgelerinde; geri kalan bölümü ise geniş bir alanı etkileyen dalga yayılımı kaynaklı oluşmuştur (O'Rourke ve diğ.1988).

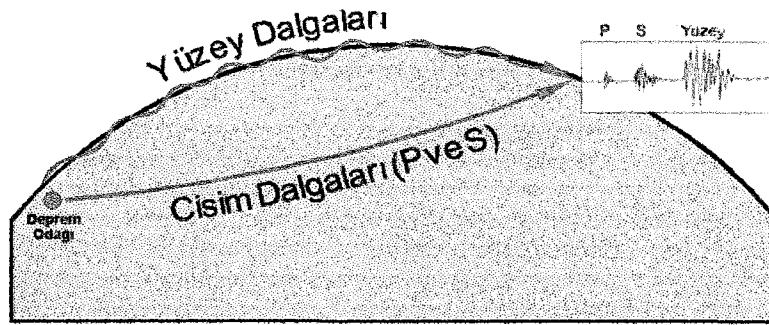


2.1. Dalga Yayılımı Hasarları

Dalga yayılımı hasarları depremler sırasında gömülü boru hatlarında etkin yer hızına (PGV) ve etkin yer ivmesine (PGA) bağlı olarak meydana gelirler. Dalga yayılımı hasarları ile kalıcı yer deformasyonu hasarlarını ilk kez ayıran Eguchi'dir. Eguchi (1983) Dalga Yayılımı için, Amerika'da gerçekleşen birçok depremden elde ettiği veriler doğrultusunda altı farklı boru malzemesi için boru hasar oranlarına karşı Mercalli şiddet diyagramını çizdirmiş ve kırılma ilişkilerini ortaya koymuştur. Barenberg (1988) çalışmasında demir borularda dalga yayılımı ile maksimum yatay yer hızı arasında bir ilişki ortaya koymuştur. İlerleyen bölümlerde, M.O'Rourke ve Ayala (1993) ve T.O'Rourke ve Jean (1999) tarafından farklı deprem verilerine göre geliştirilen hasar ilişkileri detaylı bir şekilde sunulmuştur.

2.1.1. Dalga Yayılımının Temelleri

Sismik Dalgalar, Cisim dalgaları (Body Waves) ve Yüzey dalgaları (Surface Waves) olarak iki grupta incelenir. Cisim dalgaları sismik faylanma sonucu oluşur ve yerin içinde ilerler; yüzey dalgaları ise cisim dalgalarının yer yüzündeki kırılma ve yansımaları olup yerin yüzeyinde ilerlerler. Şekil 2.1'de Cisim ve Yüzey dalgalarının yayılımının şematik gösterimi verilmektedir. Boru hatları genellikle yerin 1 ile 3 metre altında ve yere paralel olarak gömülü olduklarından hem cisim hem de yüzey dalgalarından etkilenirler.

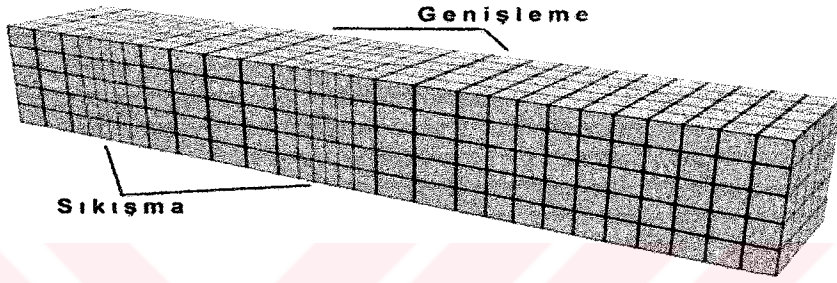


Şekil 2.1. Cisim ve Yüzey dalgalarının yayılımının şematik gösterimi

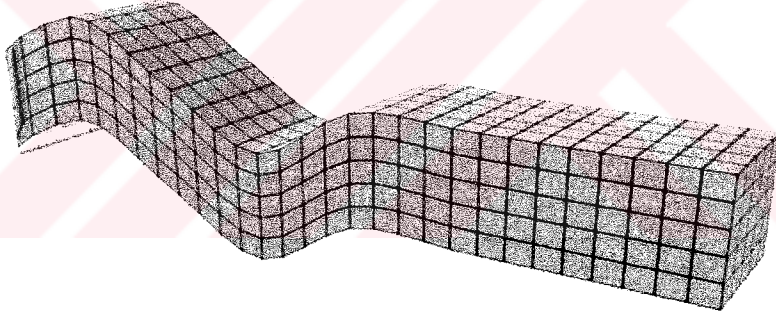


2.1.2 . Cisim Dalgaları

P dalgaları, en hızlı yayılan bu yüzden deprem kayıt aletlerinde (sismograf) en önce görülen dalgalardır. Değişen basınç ve çekme gerilmelerini oluşturan P dalgalarında zemin yayılmaya paralel doğrultuda hareket eder. Daha yavaş yayılan S dalgaları, kayıt aletlerinde ikincil olarak görülür ve zemin yayılma doğrultusuna dik olarak hareket eder. Şekil 2.2’de P ve S dalgalarının yayılımı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2-a. P Dalgasının Şematik gösterimi



Şekil 2.2-b. S Dalgasının Şematik gösterimi

Boru hattı hasar belirleme çalışmalarında cisim dalgalarından sadece S dalgaları göz önünde bulundurulur. Çünkü S dalgaları daha fazla enerji taşır ve P dalgalarından daha büyük bir yer hareketi oluşturmaya meyillidir. S dalgaları için yeryüzüne göre yatay yer hızı anahtar parametredir (O’Rourke 1988). Düşey gelen S dalgası için görünür dalga yayılımı sonsuzdur. Bununla birlikte düşey düzlemde hiçbir zaman 0 olmayan yatay yer gerilmesine kılavuzluk eden küçük bir geliş açısı vardır (O’Rourke 1988).



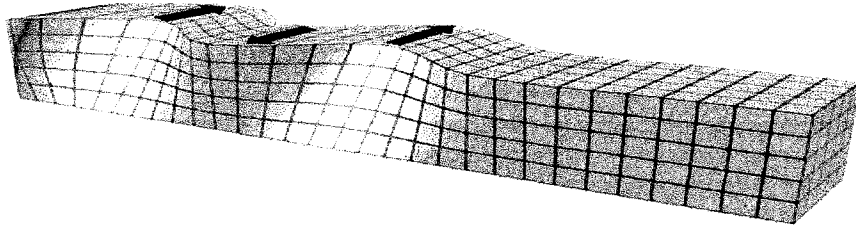
O'Rourke ve diğ.(1982), cisim dalgaları için görünür yatay yayılma hızı C üzerinde çalışmışlar ve yeryüzünde oluşan hareketin üç bileşenini ve yer hareketi şiddet tensorunu kullanarak S dalgasının geliş açısını elde etmek için analitik bir teknik geliştirmişlerdir. S dalgaları için görünür yayılma hızı;

$$C = \frac{C_s}{\sin \gamma_s} \quad (3)$$

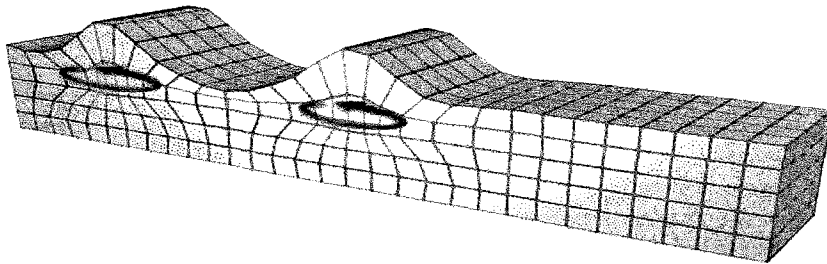
olarak verilmiştir. Burada, γ_s , S dalgasının dik geliş açısı, C_s zemin yüzeyindeki kesme dalgasının hızıdır.

2.1.3 Yüzey Dalgaları

Yüzey dalgaları depremler tarafından oluşturulan Rayleigh (R) ve Love (L) dalgaları olmak üzere iki türde incelenirler. Bu dalgalar, cisim dalgalarına göre daha yavaş yayılırlar ancak genlikleri daha büyüktür. Hızı daha fazla olan Love dalgaları yatay doğru boyunca dalga yayılımına dik olarak ve genliği daha büyük olan Rayleigh dalgaları ise dalga yayılımına paralel olarak düşey düzlemde hareketin yatay bileşeniyle geriye doğru giden elipsler çizen bir yol izler. L ve R dalgalarında hareketin genliği yer yüzeyinden derine inildikçe azalmaktadır. Şekil 2.3.'te L ve R dalgalarının yayılımı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.3-a. Love Dalgasının Şematik Gösterimi



Şekil 2.3-b. Rayleigh Dalgasının Şematik Gösterimi.

Boru hattı hasar belirleme çalışmalarında, yüzey dalgalarından sadece R dalgaları göz önünde bulundurulur. Çünkü L dalgaları, özellikle uygun boru çapına sahip gömülü boru hatlarında, R dalgaları tarafından üretilen aksiyal gerilmeden önemli ölçüde küçük, bükme gerilmesi oluştururlar(O'Rourke ve diğ.1988). R dalgaları için, yer hareketinin yatay bileşeni, yayılma doğrultusuna paraleldir ve bu yüzden dalga yayılımı doğrultusuna paralel olarak döşenmiş borularda aksiyal gerilme oluşturur. R dalgaları her zaman yerin yüzeyine paralel olarak ilerlediğinden R dalgalarının faz hızı C_{ph} görünür yayılma hızıdır.

Faz hızı, yerin yüzeyinden çıkan ortam yüzeyine doğru yayılan ve verilen frekansta geçici bir düşey titreşim oluşturan hız olarak ifade edilir. Faz hızı derinlikle değişen kesme dalgası hızının bir fonksiyonudur. O'Rourke ve diğ.(1982)'ne göre Faz hızı C_{ph} ;

$$C_{ph} = \lambda f \quad (4)$$

olarak verilmiştir. Burada λ dalgaboyunu, f ise frekansı göstermektedir.

2.1.4 Dalga Yayılımı Hasar İlişkileri

M.O'Rourke ve Ayala (1993), 1965 Puget Sound, 1969 Santa Rosa ve 1989 Mexico depremlerinden birer veri noktası, 1971 San Fernando ve 1983 Coalinga depremlerinden ikişer veri noktası, ayrıca 1985 Michoacan-Mexico depreminde dört veri noktasını kullanarak dalga yayılımı hasarına karşılık en yüksek yer hızının grafiğini dört farklı boru malzemesi için çizdirerek Barenberg'ten daha yüksek hasar oranları veren eğrilerini oluşturmuşlardır. O'Rourke ve Ayala ilişkisinin fonksiyonel formu;

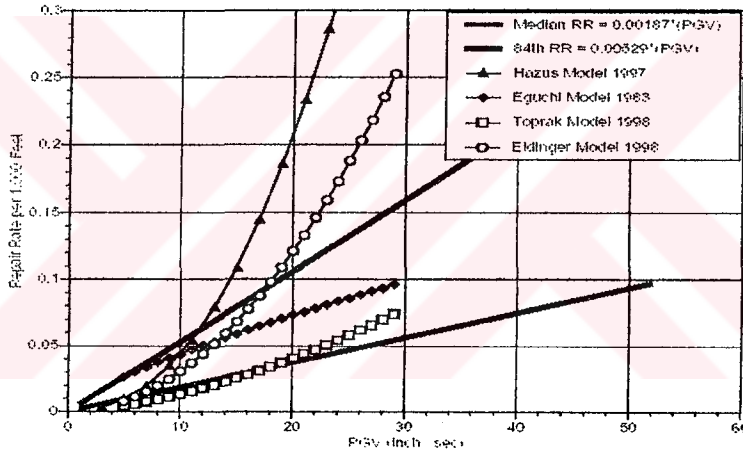
$$RR = (V_{max} / 50)^{2.63} \quad (5)$$

olarak ifade edilmektedir. Burada RR(Repair Rate) kilometre başına hasar oranını, V_{max} (peak horizontal velocity) en yüksek yatay yer hızını (cm/sn) ifade etmektedir. Bu formülden hareketle, $V_{max} = 10$ cm/sn için km başına hasar oranı 0.015 değerini verirken, $V_{max} = 50$ cm/sn için ise km başına hasar oranı 1 olmaktadır.

T.O'Rourke ve Jean (1999) ise 1994 Northridge depreminden gömülü parçalı boru hattı için ampirik bir dalga yayılım kırılgenlik ilişkisi kurmuştur. Bu ilişki aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir;

$$RR = (V_{\max} / 266)^{1,22} \quad (6)$$

Bu ilişkide de $V_{\max} = 10$ cm/sn için km başına hasar oranı 0.018 değerini verirken, $V_{\max} = 50$ cm/sn için ise km başına hasar oranı 0.13 olmaktadır. Yer sarsım seviyesi arttıkça M.O'Rourke ve Ayala formülasyonu, T.O'Rourke ve Jean ilişkisinden daha fazla hasarın meydana geldiğini ortaya koymaktadır. Şekil 2.4'te farklı çalışmalarda ortaya konan PGV (maksimum yer hızı) – RR (Repair Rate – km başına hasar oranı) ilişkileri yer almaktadır. Bu eğrilerden her biri, birbirinden farklı depremlerden elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 2.4. Etkin yer hızına bağlı (PGV) hasar görülebilirlik eğrileri (O'Rourke ve diğ., 1999).

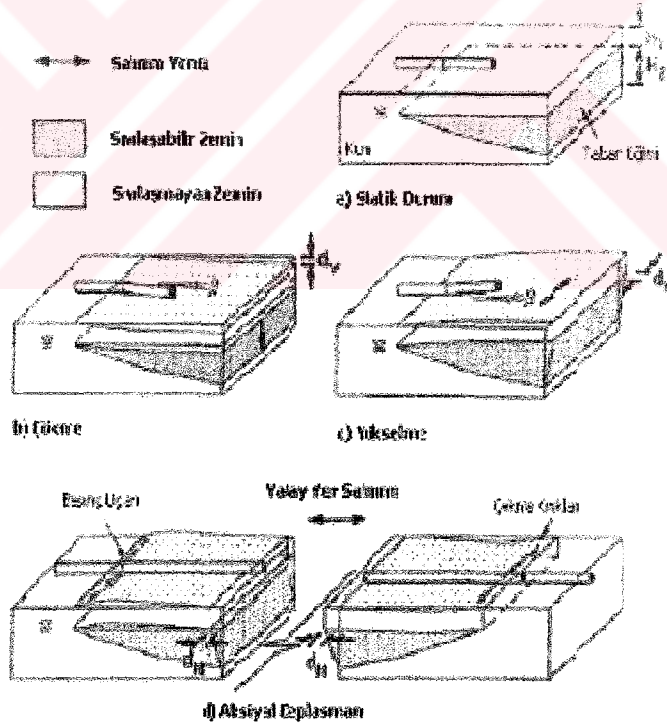
2.2 Kalıcı Yer Deformasyonu (Pgd) Hasarları

Kalıcı yer deformasyonları, yerel zemin şartlarına ve fayın mevcudiyetine bağlı olarak çeşitli şekillerde gerçekleşmektedir. Bunun ilk şekli, deprem sonrasında fayın yerin yüzeyinde oluşturduğu veya yer kayması sınırında oluşan yer değiştirme; diğer bir şekli ise sıvılaşma kaynaklı yanıl atım ve zemin konsolidasyonuna bağlı olan yer çökmesi gibi sebeplerle oluşan kalıcı yer deformasyonlarıdır. Boru hatlarında oluşan hasarların büyük bir çoğunluğu PGD kaynaklı olmaktadır.

Çalışma bölgesini içinde bulunduran alanın geoteknik özelliklerine bağlı olarak, kalıcı etkilerden kaynaklanan deformasyonların sebep olduğu sıvılaşma ve oturma faktörlerinin yanı sıra ve boru türleri de bu bölgedeki hasarları meydana getiren önemli faktörlerdendir.

2.2.1. Sıvılaşma

Suya doygun ince taneli kohezyonsuz toprağın (kum ve siltli katmanların) boşluk suyu basıncının arttırması ve etkin yatay gerilmenin sıfır olması sonucunda taşıma gücünü yitirerek sıvı gibi davranış göstermesidir. Bunun sonucunda, sıvılaşma bölgelerinde yer alan gömülü boru hatlarında kalıcı düşey deformasyonlar oluşmakta ve oturma meydana gelmektedir. Boru hatlarındaki sıvılaşmadan kaynaklanan hasarlar, sıvılaşabilir toprağın hareket potansiyeli ile ilişkilendirilebilir. Şekil 2.1 sıvılaşabilir katman üzerinde yer alan sıvılaşmayan katmandaki boru hattının davranışını göstermektedir.



Şekil 2.5. Sıvılaşabilir katman üzerindeki sıvılaşmayan katmandaki boru hatları için hasar türleri (O'Rourke 1998)

2.2.2 Oturma

Boru hasarları, alüvyal topraktan sıvılaşma bölgelerine geçiş zonlarındaki düşey oturmalarla bağlı olarak oluşmaktadır. Oturma miktarı kalıcı düşey deformasyona (PGD) bağlı olarak hesaplanmaktadır.

2.2.3 Boru Tipleri

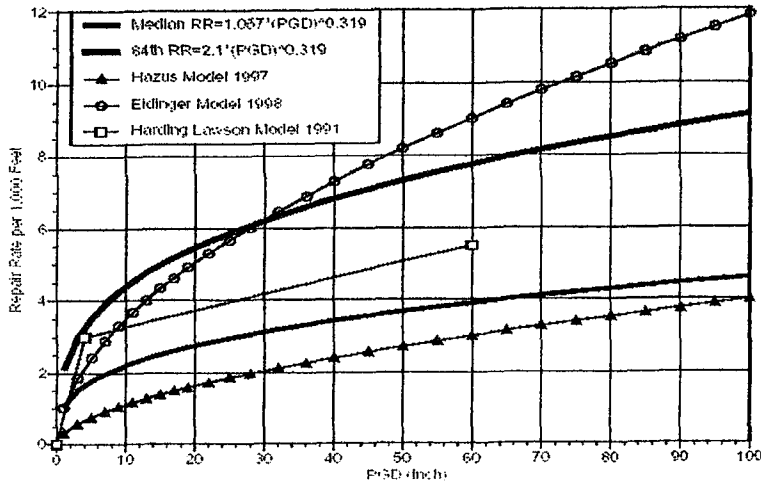
Atık su sistemlerinde kullanılan borular, sürekli ve parçalı boru hatları olmak üzere iki bölümden oluşur. Sürekli borularda daha çok çekme kırılması veya basınçtan dolayı oluşan burkulmalar görülmektedir. Bu tür hasarlar Yalova barajından başlayarak karayolunu takip ederek Bahçecik'e kadar uzanan çelik (sürekli) isale hattı üzerindeki üç farklı noktada gözlenmiştir (Uçkan ve diğ., 2005). Kırılğan olarak kabul edilen parçalı borular ise hasar görene kadar sürekli borularla aynı ya da benzer davranış sergilemektedir. Parçalı borularda gerilmeye maruz kalma sonucunda çekilme ve bağlantı noktalarında ezilme ile basınca maruz kalma sonucunda, bağlama noktalarında genişleme şeklinde hasarlar görülmektedir

2.2.4PGD Hasar İlişkileri

Daha önce yapılmış çalışmalarda, risk miktarını belirlemek için gömülü boru hatlarında PGD'ye bağlı olan kırılğanlık ilişkilerinde, kalıcı yer hareketinin miktarı kullanılmıştır. Median ,kilometre başına onarım oranı;

$$RR= 1.067(D_{max})^{0,319} \quad (7)$$

olarak verilmektedir. Burada D_{max} kalıcı yer değiştirmenin "cm" cinsinden ifadesidir. Şekil 2.6' da Kalıcı yer deformasyonlarına (PGD) bağlı hasar görülebilirlik eğrileri verilmektedir.



Şekil 2.6. Kalıcı yer deformasyonlarına (PGD) bağlı hasar görülebilirlik eğrileri (O'Rourke ve diğ.,1999)

2.3 Birim Deformasyon Miktarı (Ground Strain)

Gömülü boru hatlarındaki birim uzama miktarı O' Rourke ve diğ.2005 tarafından;

$$\epsilon = \Delta l / l \quad (8)$$

olarak verilmiştir. Burada Δl , boyca uzama miktarı (m), l ise iki baca arasındaki mesafe (m) dir. İleride verilecek olan arazi üzerine uygulamalı çalışma bölümünde birim deformasyon miktarının hesaplanmasında bu eşitlik kullanılmıştır.

Yüzey dalgaları,tanecik hareketine hem dikey hem de yatay bileşeni ile yer yüzeyi boyunca seyahat etmektedir. Yatay bileşen dalga geçişi yönüne paraleldir. Yatay düzlemde yer alan boru hattı için bu yatay bileşen önemlidir(O'Rourke ve diğ.1988). Böyle bir durumda Newmark (1967), maksimum birim deformasyonu dalga yayılımı doğrultusundaki yüzey dalgaları ϵ_R (çekme ve basınç) için aşağıdaki formül ile ilişkilendirmiştir.

$$\epsilon_R = V_{max} / C_R \quad (9)$$

Burada V_{max} maksimum yatay tanecik hızını (yüzey, R dalgalarına göre), C_R ise R dalgasının faz hızını ifade etmektedir.

Dalga yayılımı doğrultusuna paralel olmayan koşullar için ise, durum daha kompleks olmaktadır (örneğin S dalgaları durumu için). Eğer boru hattı dalga yayılımı doğrultusuna paralel ise, S dalgalarının tanecik hareketi yayılım doğrultusuna dik olduğundan, bu dalgalar boru hattındaki eğilmeyi azaltmaktadır. Ancak, yatay düzlemde boru eksenine ve dalga yayılımı arasında bir açı varsa tanecik hareketinin boru eksenine paralel bir bileşeni vardır. Boru eksenine boyunca oluşan birim deformasyon, yatay düzlemde bu açının fonksiyonudur. Yeh (1974) yatay düzlemde 45° lik açı için birim deformasyonun maksimum olduğunu göstermiştir.

$$\epsilon_s = V_{\max} / 2C_s \quad (10)$$

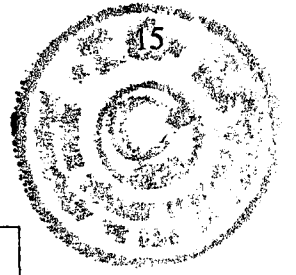
Burada C_s , S dalgasının yer yüzüne göre görünür yayılım hızı, $V_{\max}$, S dalgasına göre maksimum yatay hız, ϵ_s ise yayılım doğrultusuna göre 45° lik doğru boyunca yatay düzlemdeki birim deformasyonu ifade etmektedir. Yüzey (R) veya cisim (S) dalgaları için yatay düzlemdeki birim deformasyon, yeryüzü boyunca seyahat eden dalga doğrultusuna göre 45°'de (S dalgası) veya paralel (R dalgası) olarak, $V_{\max}$ ile doğru orantılıdır. Ancak birim deformasyon, yayılım hızı C_R veya C_s ile ters orantılıdır.

2.3.1 Dalga Yayılımı Kaynaklı Boru Hattı Hasarı ve Birim Deformasyon İlişkisi

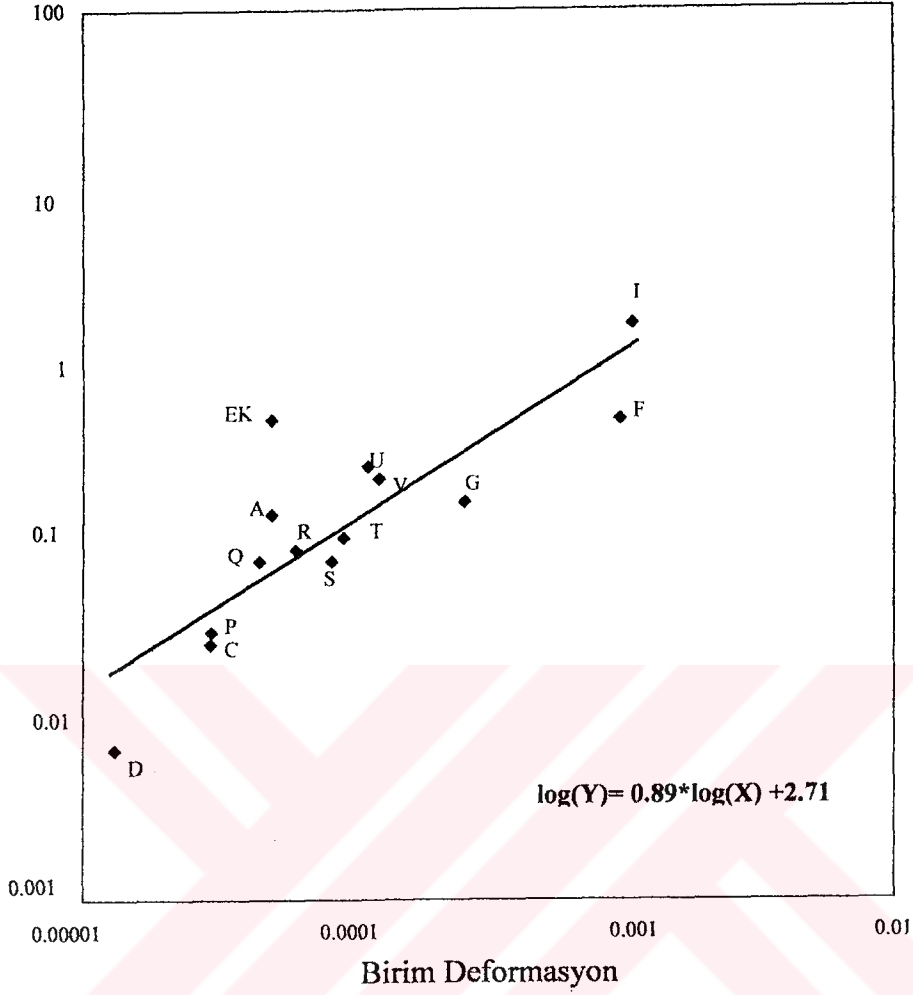
Boru hattı hasarına etki eden dalga yayılımı hasarında dalga türünün etkisini netleştirmek için birim deformasyon ile dalga yayılımı hasar oranları arasında karşılaştırma yapılmalıdır (O'Rourke ve diğ., 2004). Ayrıca, birim deformasyon dalga yayılımı hızının fonksiyonu olduğundan, dalga türünü içeren kabuller de yapılmalıdır. 1971 San Fernando, 1965 Puget Sound, 1983 Coalinga, 1985 Michoacan ve 1994 Northridge depremlerinden alınan 14 veri noktasından yola çıkarak Isenberg ve Taylor (1984), birim deformasyon ve dalga yayılımından kaynaklanan hasar oranı aşağıdaki şekilde ilişkilendirmiş ve bu ilişki Şekil 2.7.'de gösterilmiştir.

$$RR = 513 \epsilon^{0.89} \quad (11)$$

Şekil 2.7'de yer alan Coaligna (EK) veri noktasındaki yüksek hasar oranı (RR) Isenberg ve Taylor'a (1984) göre, boruda oluşan korozyona dayanmaktadır.



Hasar Oranı
(RR-km başına hasar sayısı)



Şekil 2.7. Birim deformasyona karşılık Dalga Yayılımı hasar oranları.

2.3.2 PGD Kaynaklı Boru Hattı Hasarı ve Birim Deformasyon İlişkisi

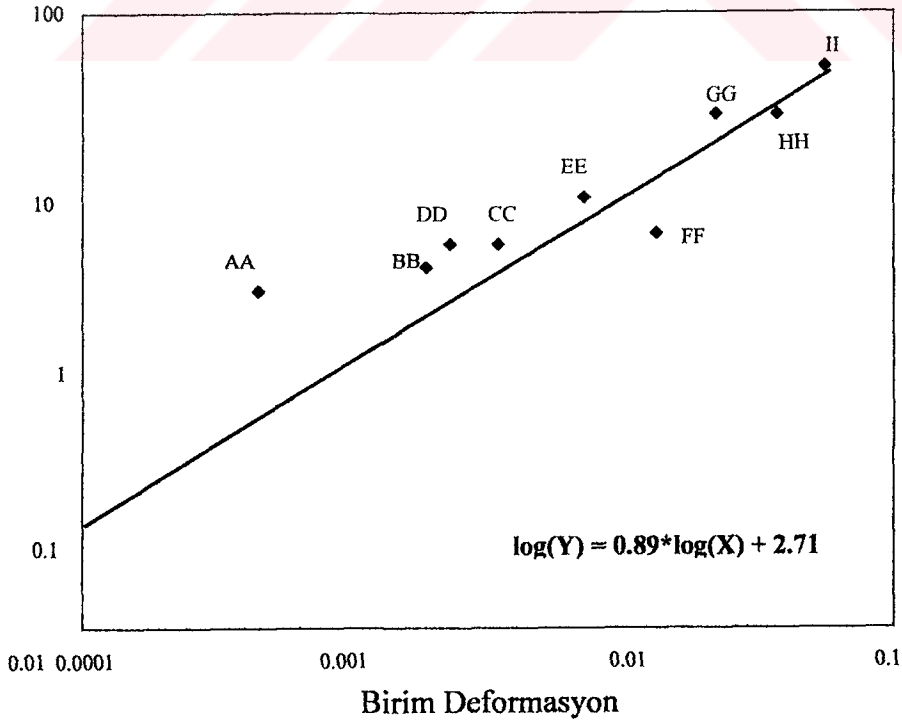
PGD hasarını karakterize etmek için birim deformasyon kullanıldığında, hasar oranı-birim deformasyon veri noktaları artmakta ve uygulama alanı genişlemektedir. Sano ve diğ. (1999) tarafından 1994 Northridge depreminde parçalı boru hatları için % 0.4 - 0.05 değer aralığındaki birim deformasyonlardan hesaplanan km başına hasar oranı 2 – 6 arasında değişmektedir. Yine bu ilişkiyi karakterize etmek için Hamada ve Akioka (1997), Japonya'daki 6 deprem verisini kullanarak % 0.03 – 5 arasında değişen birim deformasyon miktarlarına karşılık km başına 5 – 35 arasında değişen hasar oranlarını elde etmişlerdir.

Tablo 2.1'de Hamada ve Akioka (1997) tarafından PGD kaynaklı boru hattı hasarı ve Birim Deformasyon İlişkisi kullanılan 3 Northridge ve Japonya depreminden alınan veriler görülmektedir. Şekil 2.8.'de, Tablo 2.1.'deki veriler kullanılarak, birim deformasyona karşılık çizilen PGD hasar oranları gösterilmektedir.

Tablo 2.3. Sano ve diğ. (1999) ve Hamada ve Akioka (1997) tarafından kullanılan PGD veri noktaları.

Sembol	Deprem	Hasar Oranı (RR) (km başına hasar sayısı)	ϵ
AA	1994 Northridge	2.3	0.0005
BB	1994 Northridge	3.5	0.002
CC	1994 Northridge	5.4	0.004
DD	Japonya	5.5	0.0025
EE	Japonya	9.0	0.0075
FF	Japonya	6.0	0.0125
GG	Japonya	20.0	0.0175
HH	Japonya	20.0	0.0275
II	Japonya	35.0	0.045

Hasar Oranı
(RR-km başına hasar sayısı)



Şekil 2.8. Birim deformasyona karşılık PGD hasar oranları.

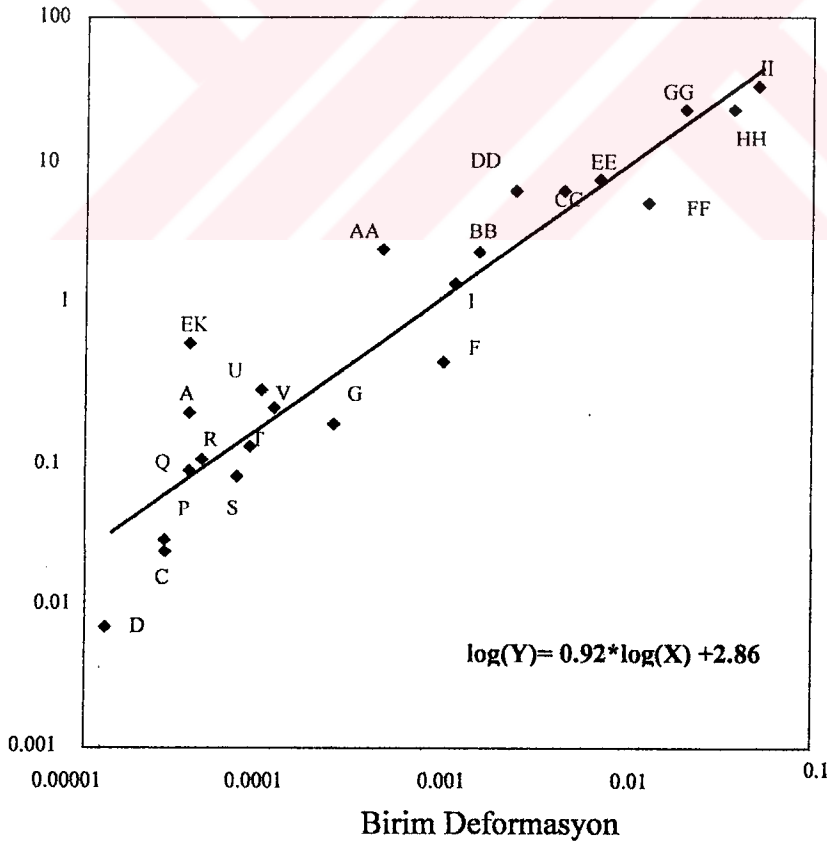
Şekil 2.9.'da ise birim deformasyona karşılık hem dalga yayılımı hem de PGD hasar oranı gösterilmektedir. Birleştirilmiş (dalga yayılımı-PGD) ver seti için en uygun eşitlik;

$$RR = 724 \epsilon^{0.92} \quad (12)$$

Eşitlik 11'in dayandığı birim yer deformasyonu verisi % 0.001 ve %10 aralığında değişmektedir. Bu değerler için birim deformasyon, Eşitlik 12'de öngörülen hasar oranları ile uyum içerisinde.

Dalga yayılımı birim deformasyonları, PGD birim deformasyonlarından daha küçük olmasına rağmen, aynı hasar ilişkileri uygulanmaktadır. Eşitlik 12 için R^2 değeri 0.92'dir. Eşitlik 5 ve 6'da ayrı ayrı kullanılan dalga yayılımı veri setleri yerine, Eşitlik 12'de kullanılan birleştirilmiş dalga yayılımı ve PGD veri setinin kullanılmasıyla doğruluk oranı daha artmaktadır.

Hasar Oranı
(RR-km başına hasar sayısı)



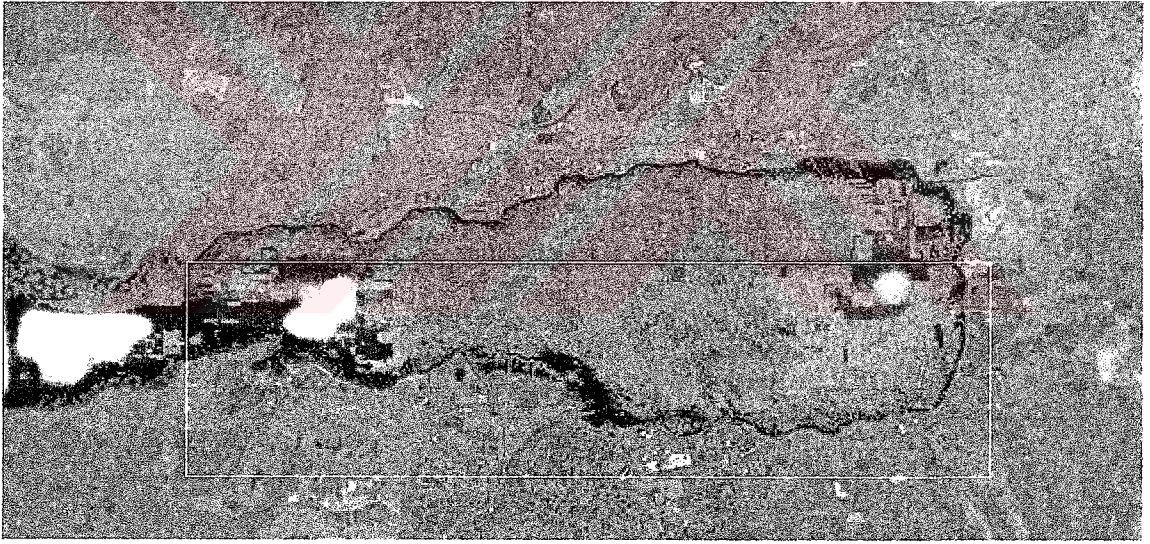
Şekil 2.9. Birim deformasyona karşılık Dalga Yayılımı ve PGD hasar oranları.

2.4. Boru Hatlarının Geçmiş Depremlerdeki Performansı

Gerek Kocaeli (1999) gerekse Northridge (1994) depremlerinde boru hatlarının alansal hasar görmelerinin zemin sınıflarına göre duyarlılık göstermediği rapor edilmiştir (Toprak vd., 2003; Tromans vd., 2004; Trifunac ve Todorovska, 1998). Northridge depreminde su, gaz ve petrol boru hatlarında rapor edilen yaklaşık 1400 adet hasar kaydı bulunmaktadır. Hasarlar basınç ya da çekme kaynaklı olabileceği gibi, yüzey çatlaklarından ve rölatif oturmalarından da kaynaklanabilmektedir (O'Rourke vd., 1998). Kobe (1995) depreminde ise yaklaşık olarak 3 metre genişliğinde yanal atımlar, ve sıvılaşma kaynaklı olarak 0.5 m'lik su basması gözlenmiştir. Bu depremde hasarı başlatan PGV değerleri 15 cm/s, PGA değerleri ise 100 cm/s², olarak belirlenmiştir. Chi-Chi (1999) depreminde ise hasarların %48'i geçici yer sarsıntısından, %35'i faylanma, %11'i toprak kayması, %2'si ise sıvılaşma kaynaklı olarak bulunmuştur (Uçkan ve diğ., 2005).

3. ÇALIŞMA ALANLARINDAKİ BORU HATLARININ DEPREM DAVRANIŞININ DERLENMESİ

17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi sırasında kırılan fayı yaklaşık olarak 60 kilometre boyunca, 0-1 kilometre mesafeden paralel olarak takip eden ana kollektör hattının deprem davranışını incelemek amacıyla, İzmit Körfezi Güney bölgesi sahil şeridinin doğusunda bulunan ve doğudan batıya doğru 20 kilometrelik bir sahil şeridinde yer alan Bahçecik, Gölcük, Yeniköy ilçeleri çalışma alanı olarak seçilmiştir. Deprem sonrasında gözlenen boru hasarları bu ilçelerde ayrı ayrı incelenecektir. Şekil 3.1 de çalışma alanının uydu görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 3.1 Çalışma alanının uydu görüntüsü

3.1. Bahçecik

Atık su sisteminin, Bahçecik'te yer alan bölümünde, çapı 300 milimetre ile 1200 milimetre arasında değişen boru hatları bulunmaktadır. Bu boru hatlarından 800 ve 1200 milimetre çapında olanlar % 100 oranında, 1000 milimetre çapında olan ise % 85 oranında hasar görmüş ve tamamen yenilenmiştir. Tablo 3.1.'de boru çaplarına göre hasarlar gösterilmiştir.

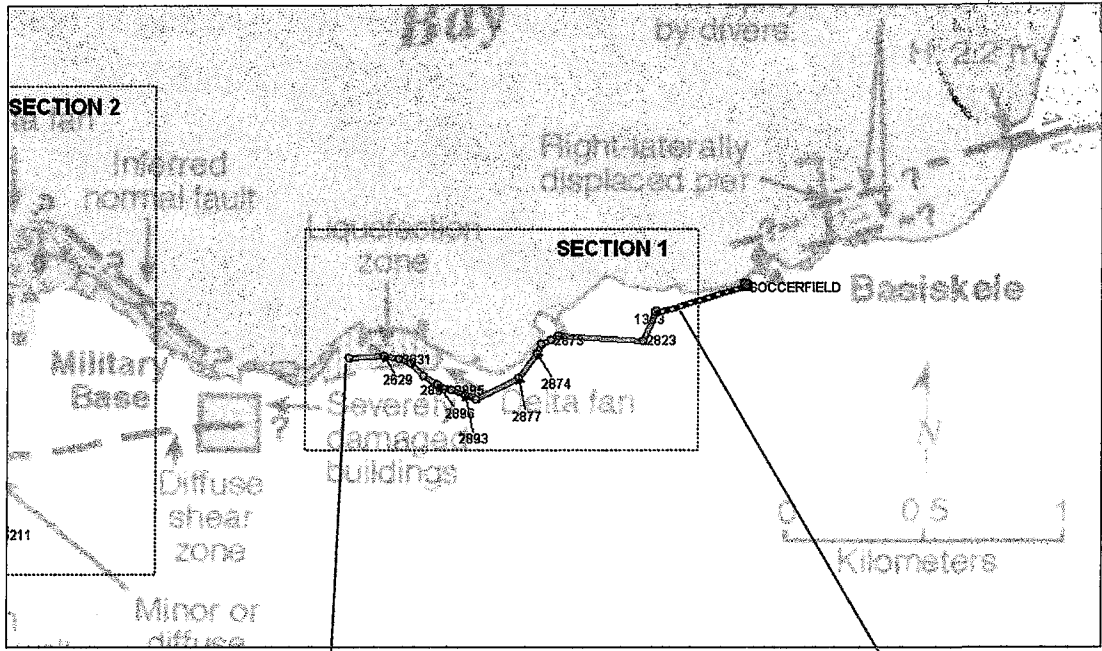
Tablo 3.1. Bahçecik'teki boru çapları ve oluşan hasarlar

BAHÇECİK			
ÇAP	φ1200	φ1000	φ800
PROJE TOPLAM BOYU	717	1680	1200
DEPREM ÖNCESİ BOY	717	1680	1200
HASARLI HAT	717	1443	1200
HASAR ORANI	%100	% 86	%100

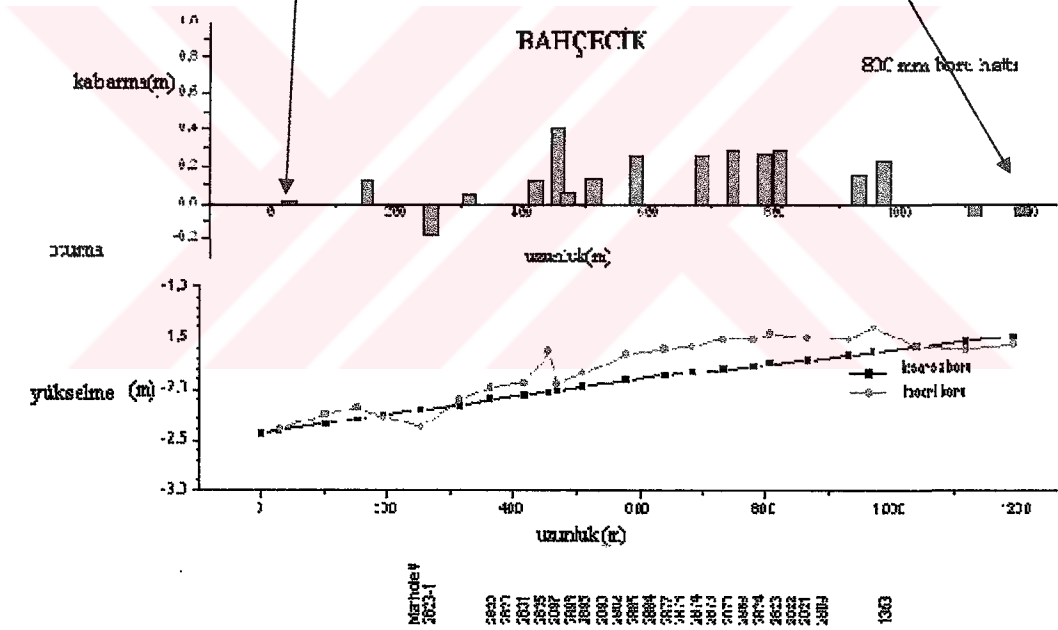
Boru çapı $\phi=300$ mm olan 2050 metre uzunluğundaki hat, $\phi=400$ mm olan 1000 metre uzunluğundaki hat ve de $\phi=500$ mm olan 600 metre uzunluğundaki hatlarda ise hiç hasara rastlanmamıştır.

Bahçecik'te %100 hasarlı olan 800 milimetre çapındaki hattın batısındaki 400 metrelik bölümü sıvılaşma alanı içerisinde geçmekte olup, boru hattının bu bölgesinde ters eğimler oluşmuş ve su akışı sağlanamamıştır. Boru hattının doğu tarafının ise Sapanca segmentinin batı ucuna yakınlığından dolayı doğrultu etkilerine maruz kaldığı ve düzenli bir şekilde kabardığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.2.'de de hem sıvılaşmaya hem de tektonik hareketlere maruz kalan bu boru hattı görülmektedir.

Şekil 3.3'te ise yine bu bölgede elde edilen düşey yöndeki kalıcı yer değiştirmeler (oturma ve kabarmalar) ve nivelman ölçümleri yer almaktadır. Şekil 3.3'te de görüldüğü gibi 1200 metrelik boru hattının 400 metrelik bölümünde sıvılaşmadan kaynaklanan yaklaşık 20 santimetre oturma görülmekte; yaklaşık 475-1050 metreler arasında ise 10 ile 45 santimetre arasında değişen kabarmalar görülmektedir. Ayrıca incelenen bu bölgeye ait geoteknik özellikleri, haritanın en doğusunda yer alan (Gölcük'ten yaklaşık 8.5 kilometre doğuda) ve soccerfield (futbol sahası) olarak görülen bölgeninki ile irtibatlandırabiliriz (Uçkan ve diğ., 2005). Buna göre bölgenin Zemin yapısı Tablo 3.2'deki gibidir. Ayrıca yer altı su seviyesi de 2 ile 2.5 metre arasında değişmektedir.



Şekil 3.2. Bahçecik'teki sivilaşma ve tektonik harekete maruz kalan hasarlı boru hattı (Uçkan ve diğ., 2005).



Şekil 3.3 Bahçecik'te ki düşey yönde kalıcı yer değiştirmeler ve nivelman ölçümleri

Tablo 3.2 Bahçecik'teki tipik zemin profili (Uçkan ve diğ., 2005).

DERİNLİK (m)	ZEMİN CİNSİ	SPT	KIVAM
0 – 0.60	Bitkisel toprak	5	Yumuşak
0.6 – 9.0	Silt	9	Gevşek-Orta Sıkı
9.0 – 14.0	Kil	13	Katı
14.0 – 17.0	Siltli İnce Kum	13	Orta Sıkı-Sıkı
17.0 – 22.0	Kum, KumluSilt	35	Sıkı-Çok sıkı

Ayrıca, inceleme alanının panoramik görüntüsü ve bu profilin en doğu ucunda yer alan bina ile bu binanın zemininde sıvılaşmadan dolayı meydana gelen oturmayı gösteren fotoğraf Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



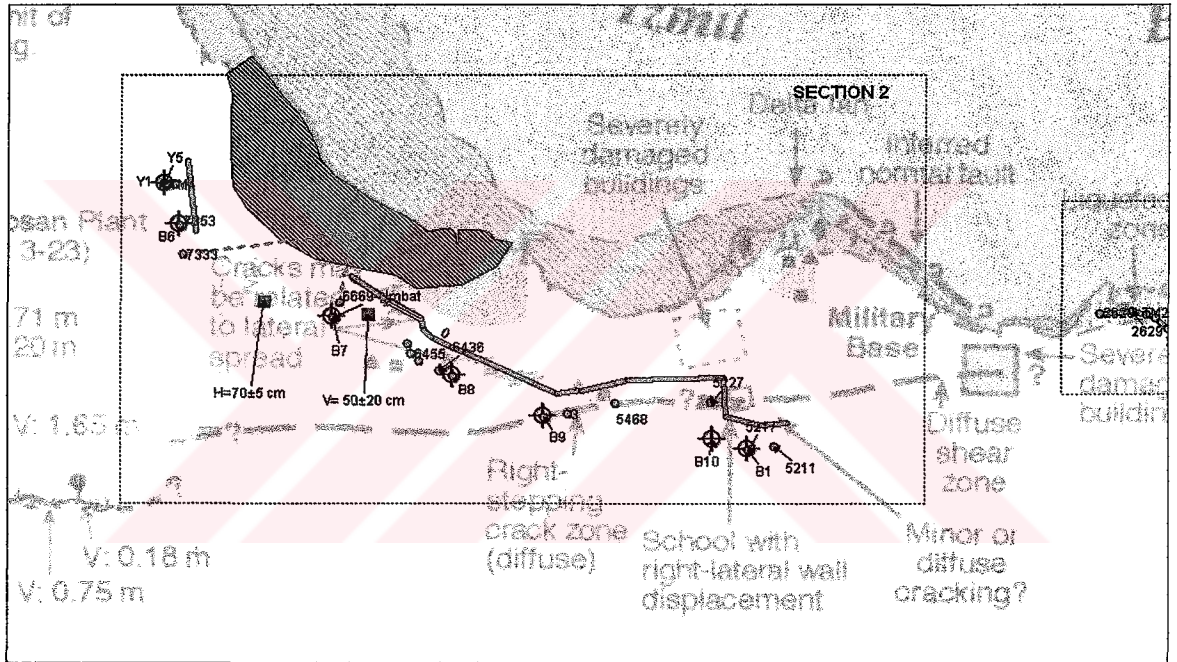
Şekil 3.4. Bahçecikte kollektör hattının geçtiği bölgenin panoramik görüntüsü ve sıvılaşmaya maruz kalan bir binanın zeminini (Uçkan ve diğ., 2005).

3.2. Yeniköy

Bahçecik'in batısında yer alan Yeniköy'de yaklaşık olarak 3 km uzunluğunda çapları 800,1000,1200 milimetre olan boru hatları bulunmaktadır. 1999 depremi sırasında bu boru hatlarından 800 ve 1200 milimetre çapında olanlar %100 oranında 1000 milimetre çapında olan boru hattı ise %86 oranında hasar görmüş ve tamamen yenilenmiştir (Şekil 3.6).

Tablo 3.3 Yeniköy'deki hasarlı boru hatları (Uçkan ve diğ., 2005).

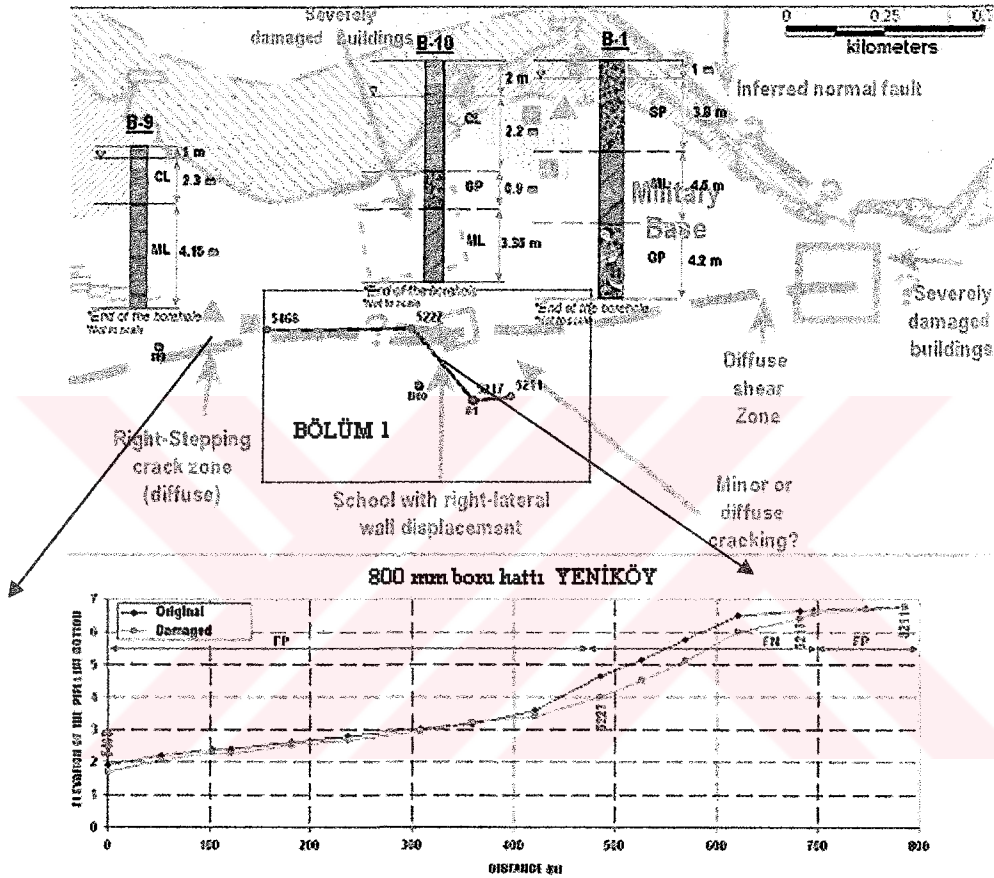
YENİKÖY			
ÇAP	φ1200	φ1000	φ800
PROJE TOPLAM BOYU	717	1680	800
DEPREM ÖNCESİ BOY	717	1680	800
HASARLI HAT	717	1443	800
HASAR ORANI	%100	% 86	%100



Şekil 3.5. Yeniköy'de tektonik harekete, yanal yayılma ve çökmeye maruz kalan bölgedeki hasarlı hatlar (Uçkan ve diğ., 2005).

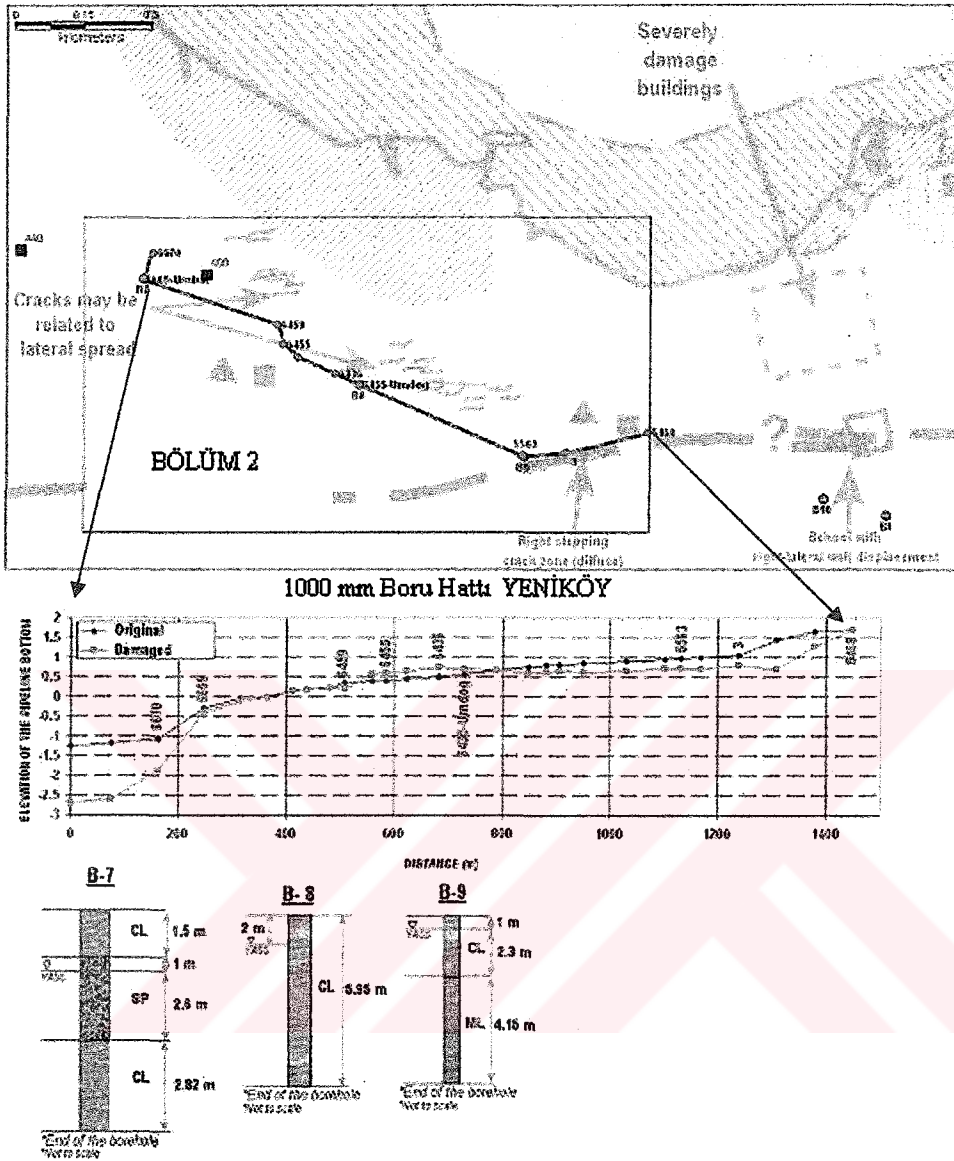
Yeniköy, doğuda 800 milimetrelilik boru hattından başlayarak, batıya doğru 1000 ve 1200 milimetre çapındaki borularla devam eden üç bölümde incelenmektedir. Şekil 3.6'da da görüldüğü gibi, ilk iki bölümdeki boru hattı, kırılan faya paralel olarak, üçüncü bölüm ise faya dik olarak devam etmektedir.

800 milimetrelık boru hattının geçtiği birinci bölümün sol tarafında, yanal yayılma diğer tarafında ise çökme ve suya gmlme alanları yer almaktadır. Bölgeye ait üç adet sondaj verisi (B-1, B-10, B-9) bulunmaktadır. Őeki 3.7’de bu bölümün, genel haritadan alınan, yakınlaştırılmış görüntüsü üzerine yerleştirilmiş sondaj kesitleri ile alınan nivelman ölçümlerinin karşılaştırılması görülmektedir.



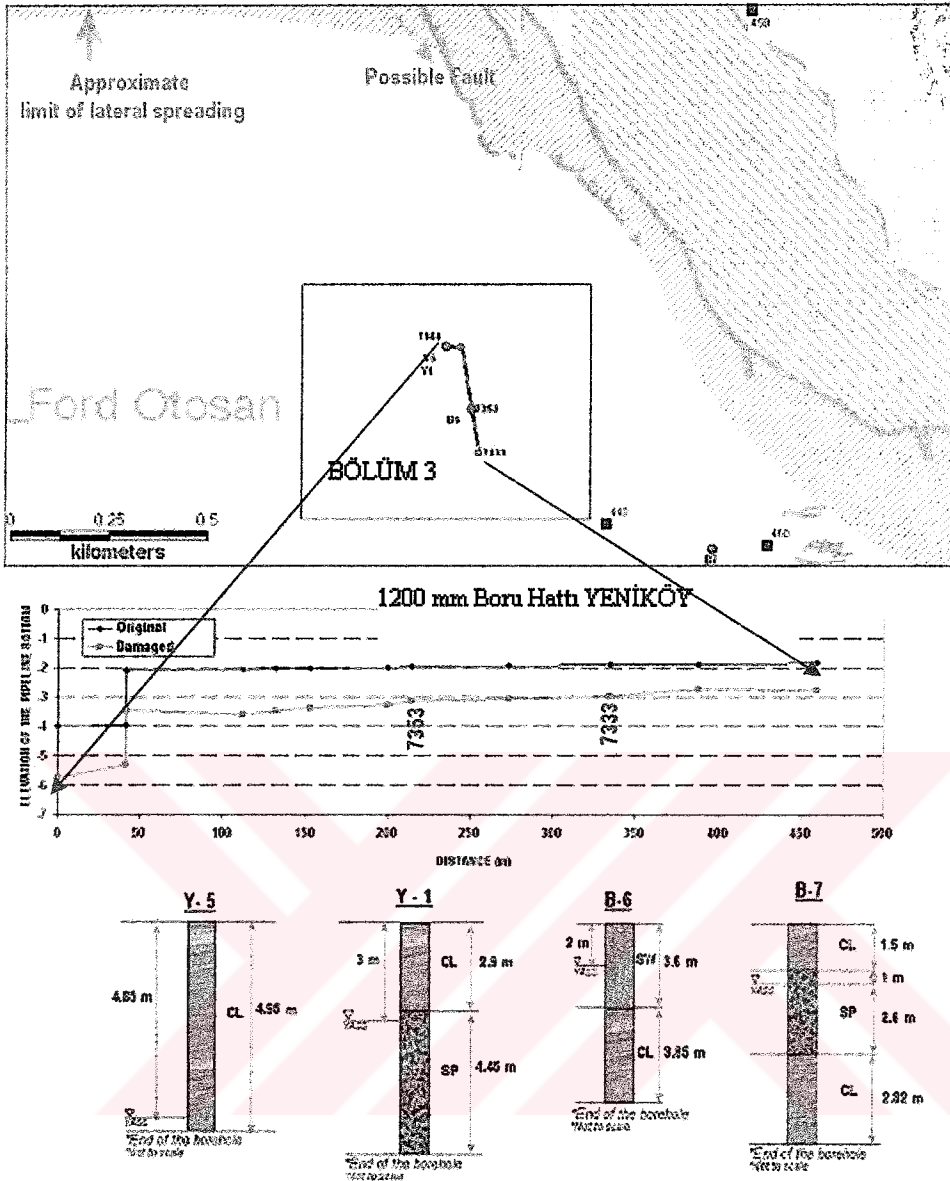
Şekil 3.6. Yeniköy 1. bölüme ait konum haritası ve oturmalar (Uçkan ve diğer., 2005).

1000 milimetrelık boru hattının geçtiği ikinci bölüme ait sınırlar, bu bölümde yapılan nivelman ölçümleri ve burada bulunan üç adet sondaja ait kesitler bir arada Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Soldaki 250 metrelik kısımda 1.5 metrelik bir oturma oluşmuş ve sağa doğru bu miktarın giderek azaldığı görülmüştür. 500 ile 800 metreleri arasında ise 25 santimetre gibi bir kabarma olduğu gözlemlenmektedir. 800 metreden sonra hattın sonuna kadar olan uzun bir kısımda da, ilk bölümdeki kadar fazla olmayan ve en fazla 75 santimetre olan oturma miktarı görülmektedir.



Şekil 3.7. Yeniköy 2. bölüme ait konum haritası, oturmalar, kabarmalar ve Sondaj kesitleri (Uçkan ve diğ., 2005).

1200 milimetre çapındaki boru hattının geçtiği üçüncü bölümdeki boru hattı faya dik olarak yer almaktadır. Bu bölüm de, ilk bölüm gibi tamamı hasar görmüş ve tamamen değiştirilmiştir. Şekil 3.9'da bölümün sınırlarını gösteren harita, oturmalar ve sondaj kesitleri yer almaktadır. Bu bölümdeki boru hattında tektonik harekete bağlı olarak düzenli bir oturma görülmektedir. Bu oturma miktarı boru hattının sol tarafında 2 metre civarında olup giderek azalmış ve 0.75 metreye kadar inmiştir.



Şekil 3.8. Yeniköy 3. bölüme ait konum haritası, oturma ve Sondaj kesitleri (Uçkan ve diğ., 2005).

3.3. Gölcük

Gölcük ilçesi ve İhsaniye yerleşimi, Mesozoik yaşlı iki temel birimin birleşimini içeren Armutlu yarımadasında yer almaktadır. Bu birimler Pamukova ve İznik metamorfikleri olup, kumtaşı-silttaşını ve çakıltaşını içeren Bakacak formasyonunun altında kalan üst Kretase kireçtaşı ile örtülmüştür. Bu birimlerin üzerinde Miyosen yaşlı Kılınç formasyonunun kıltaşı-kumtaşı ve kireçtaşı ile temsil edilen kara ve sahil çökelleri yer almaktadır. Kılınç formasyonunun üstünde diskordan olarak bulunan Pliosen (Senozoik) Aslanbey formasyonu zayıf

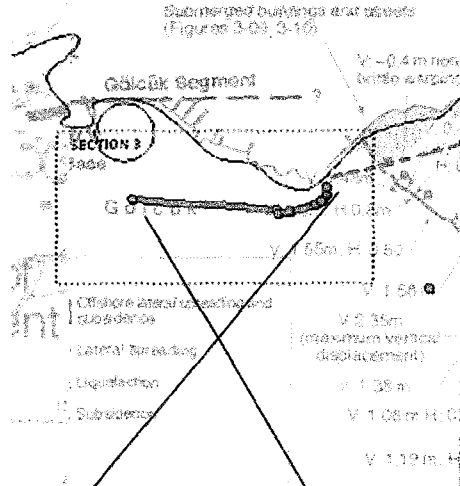
çimentolaşmış kıltaşı-kumtaşı-silttaşı ve çakıltası ile oluşmuştur. Bu formasyonun kalınlığı 700 metrenin üstünde tahmin edilmektedir. Şehri yaklaşık ikiye bölen ana karayolunun kuzeyinde 10-350 m arasında yükselen Pliosenin Aslanbey formasyonu ve Pliosenin üzerinde denize uzanan Kuvaterner çökeller ve Aslanbey formasyonunun kumtaşı-silttaşı-kıltaşı ender olarak çakıltası içerdiği bilinmektedir. Bu formasyon zemin gibi görülmekle birlikte yumuşak kaya olarak tanımlanmaktadır. Kum-silt ve kil içeren kuvaterner çökeller Gölcük'ün güney sınırlarından denize dökülen Selimiye (Kazıklıdere) deresi tarafından taşınmıştır. Gölcük'ün kuzeyindeki düz bölümde açılan sondaj kuyularından organik deniz çökelleri ve yer yer deniz kabukları içeren numuneler elde edilmiştir. Geoteknik değerlendirmeler sonucunda, yüzeyden itibaren 14.00 m derinliğe kadar olan kohezyonsuz tabakalarda sıvılaşma riski ve aynı seviyelere kadar kohezyonlu zeminlerde rijitlik kaybı olacağı tespit edilmiştir. Ayrıca 1999 depreminde büyük yanal yayılmalar gözlenmiştir.

Şekil 3.10'da Gölcük'ün doğusunda yer alan 1200 milmetre çapındaki boru hattı görülmektedir. 1472 metre uzunluğundaki boru hattının, 1324 metresi hasar görmüş ve %90 oranında hasar gören bu hattın tamamı yenilenmiştir. Ayrıca boru hattının geçtiği bölgeyi gösteren bu haritada, boru hattının doğu ucuna yakın bölgelerde düşey yöndeki yer değiştirmelerin ortalama 1.5 metre civarında, yatay yer değiştirmelerin ise 0.5 ile 0.8 metre arasında değiştiği görülmektedir.

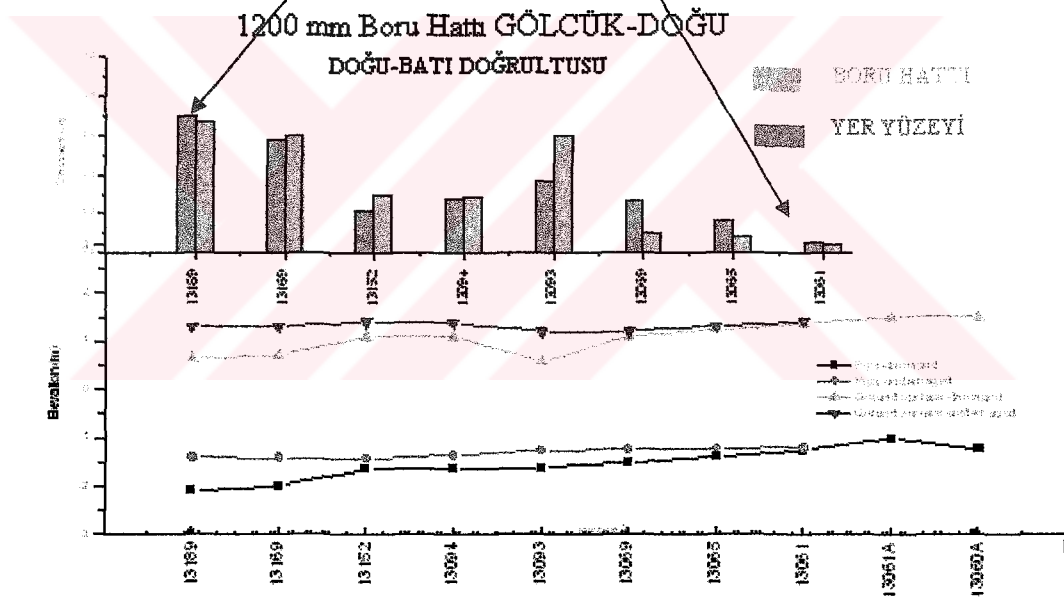
Şekil 3.11'de ise Gölcük-Doğu bölgesine ait nivelman ölçümleri ile boru hattı ve yer yüzeyinde görülen düşey yer değiştirmeler görülmektedir.

Yapılan ölçümlere göre bir değerlendirme yapıldığında ise hattın doğusunda sular altında kalan bölgeye yakın ucunda 1 metre civarında oturmalar görülmekte ve bu miktar batıya doğru azalmaktadır. Yer yüzeyinde de yine aynı şekilde batıda 1 metre ile başlayıp gittikçe azalan miktarda düşey yer değiştirmeler görülmektedir.

GÖLCÜK



Şekil 3.9. Gölcük-Doğu bölgesinden geçen boru hattı (Uçkan ve diğ., 2005).

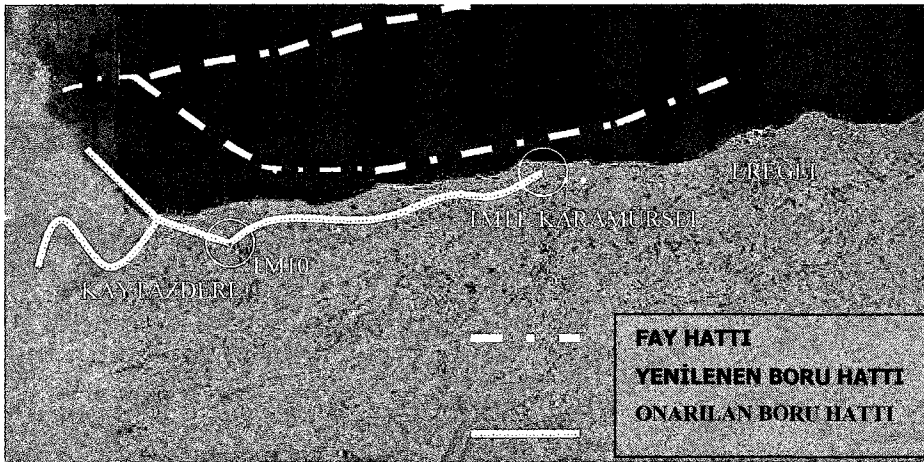


Şekil 3.10. Gölcük'teki hatta ait nivelman ölçümleri ile yeryüzeyi ve boru hattındaki oturmalar (Uçkan ve diğ., 2005).

4. EREĞLİ, KARAMÜRSEL VE KAYTAZDERE'DEKİ BORU HATLARININ DEPREM DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Bir önceki bölümde, 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi sırasında Körfez bölgesi güney-doğu sahil şeridindeki gömülü boru hatlarının deprem davranışları ile ilgili Uçkan ve diğ. 2005, tarafından yapılan çalışmanın bir derlemesi yer almaktaydı. Bu bölümde ise, tez kapsamında yer alan çalışma bölgesinin dışında kalan; İzmit Körfezinin batısındaki Ereğli, Karamürsel ve Kaytazdere bölgelerindeki boru hattının Deprem davranışı incelenecektir. İnceleme alanı olarak bu bölgelerin seçilmesinin amacı, önceki bölümde yer alan ve bu tez çalışmasına konu olan bölgelere nazaran daha fazla hasar verisi içermesidir. Bölgelerdeki hasar sayılarının ve lokasyonlarının bilinmesi, hasara etki eden faktörlerin belirlenmesinde önemli bir parametredir.

İzmit körfezi sahil şeridi boyunca, doğu-batı doğrultusunda yer alan, Ereğli, Karamürsel ve Kaytazdere ayrı başlıklar altında incelenecek. Bu inceleme kapsamında, İller Bankası tarafından depremden sonra araziden alınan ölçümlerden, birim yer deformasyonları hesaplanarak, Bölüm 2'de yer alan hasara etki eden faktörler ile ilgili literatürde yer alan eşitlikler ile karşılaştırmaları yapılacaktır. Şekil 4.1 de inceleme bölgesindeki boru hatlarının uydu haritası üzerindeki konumu yer almaktadır.

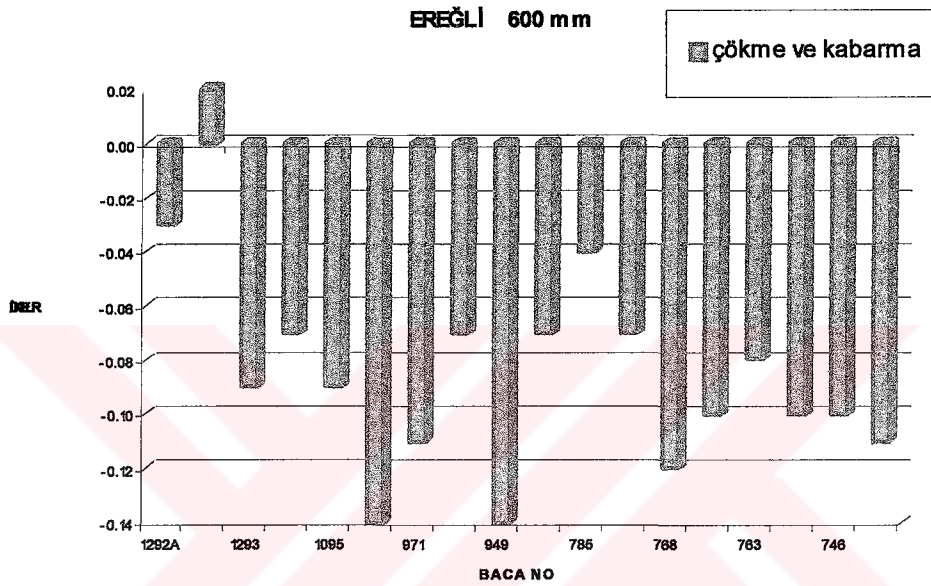


Şekil 4.1 İnceleme bölgesinin uydu haritası ve boru hatlarının konumu



4.1. Ereğli

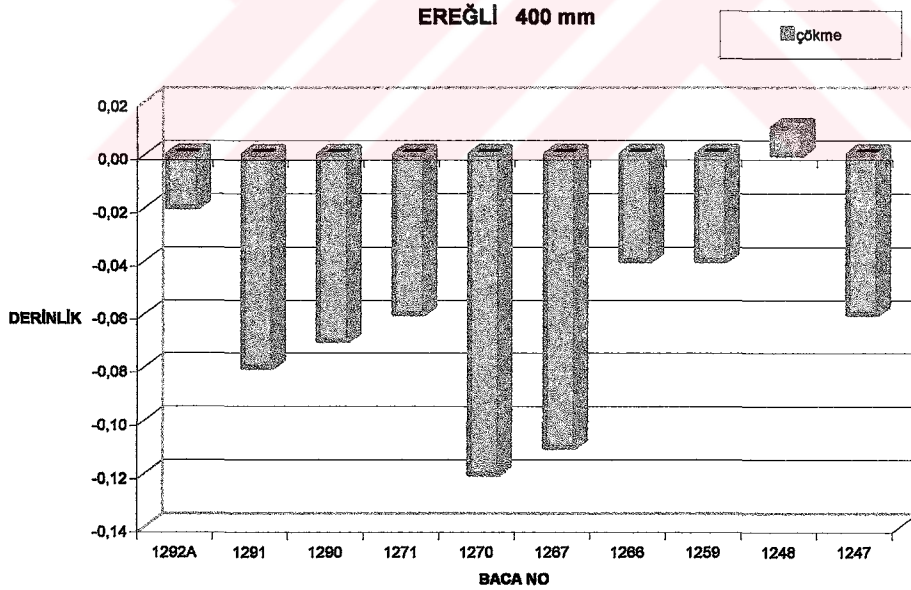
İnceleme alanının doğu ucunda bulunan Ereğli’de, 600mm çapında 657 metre uzunluğunda ve 400 mm çapında , 508 metre uzunluğunda iki tane boru hattı yer almaktadır. Şekil 4.2. ve 4.3 de Ereğli’deki gömülü boru hatlarında meydana gelen çökme ve kabarmalar görülmektedir. Tablo 4.1 ve 4.2 de ise Ereğli boru hatlarına ait baca numaraları, mesafeler, gerilmeler ve hasar sayıları görülmektedir.



Şekil 4.2. Ereğli $\varnothing = 600$ mm çapındaki boru hattında deprem sonucunda oluşan çökme ve kabarmalar

Tablo 4.1. Ereğli 600 mm çapındaki boru hattına ait baca numaraları, mesafeler, birim deformasyonlar ve hasar sayıları

BACA NO	ARA MESAFE (m)	BİRİM DEFORMASYON	HASAR SAYISI
1292A-1292	7.15	$244,51 \cdot 10^{-7}$	-
1292-1293	49.00	$25,2 \cdot 10^{-7}$	-
1293-1096	46.50	$0,92 \cdot 10^{-7}$	-
1096-1095	40.40	$1,17 \cdot 10^{-7}$	2
1095-1094	49.40	$5,12 \cdot 10^{-7}$	2
1094-971	56.40	$1,41 \cdot 10^{-7}$	1
971-950	46.40	$0,04 \cdot 10^{-7}$	1
950-949	50.60	$9,57 \cdot 10^{-7}$	2
949-788	34.60	$20,47 \cdot 10^{-7}$	1
788-785	14.40	$21,7 \cdot 10^{-7}$	-
785-783	24.30	$7,62 \cdot 10^{-7}$	1
783-768	40.10	$7,77 \cdot 10^{-7}$	1
768-764	34.50	$1,68 \cdot 10^{-7}$	2
764-763	16.00	$7,81 \cdot 10^{-7}$	-
763-760	35.50	$1,59 \cdot 10^{-7}$	2
760-746	68.60	0	-
746-719	43.40	$0,27 \cdot 10^{-7}$	2



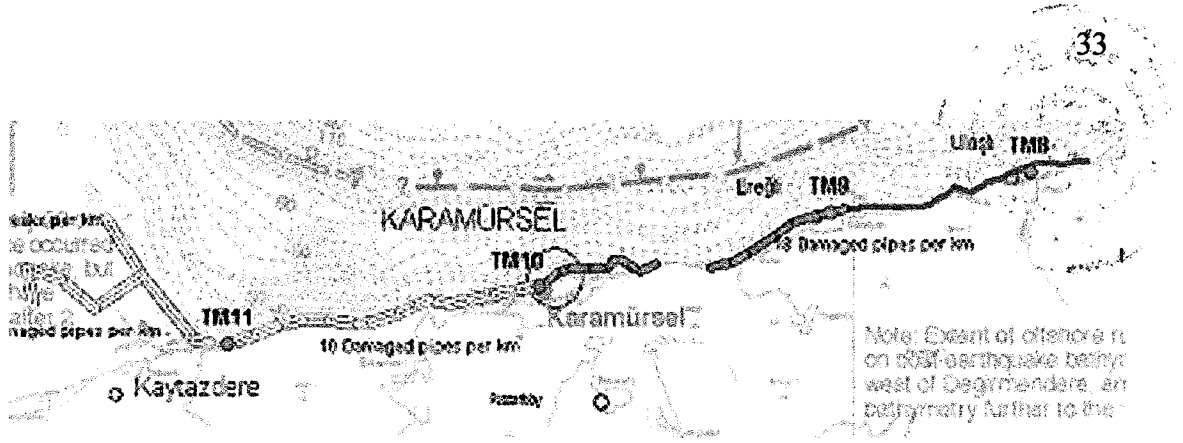
Şekil 4.3. Ereğli $\varnothing = 400$ mm çapındaki boru hattında deprem sonucunda oluşan çökmeler

Tablo 4.2. Ereğli 400 mm çapındaki boru hattına ait baca numaraları, mesafeler, birim deformasyonlar ve hasar sayıları

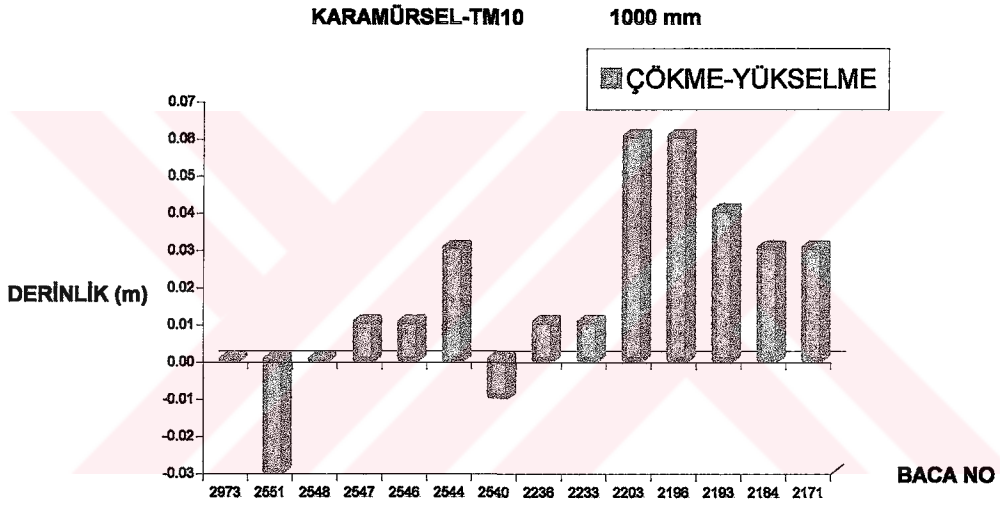
BACA NO	ARA MESAFE (m)	BİRİM DEFORMASYON	HASAR SAYISI
1292A-1291	60.50	$4.92 \cdot 10^{-7}$	3
1291-1290	59.80	$0.14 \cdot 10^{-7}$	4
1290-1271	25.60	$0.76 \cdot 10^{-7}$	
1271-1270	56.10	$5.72 \cdot 10^{-7}$	1
1270-1267	65.80	$0.12 \cdot 10^{-7}$	1
1267-1266	65.90	$5.64 \cdot 10^{-7}$	1
1266-1259	63.90	0	
1259-1248	46.20	$2.11 \cdot 10^{-7}$	1
1248-1247	64.50	$3 \cdot 10^{-7}$	1

4.2. Karamürsel

Karamürsel'deki TM 10 hattında, 1000 mm çapında, 805 metre uzunluğunda ve 500 mm çapında 408 metre uzunluğunda borular; TM 11 hattında ise 1000 mm çapında ve 2921 metre uzunluğunda borular yerleştirilmiştir. Şekil 4.4 'de Karamürseldeki TM 10 ve TM 11 hattının yerleşimi görülmektedir. Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7 de deprem sonrasında oluşan çökme ve yükselmeler; Tablo 4.3, 4.4 ve 4.5 de ise boru hatlarına ait baca numaraları, mesafeler, birim deformasyonlar ve hasar sayıları verilmektedir.



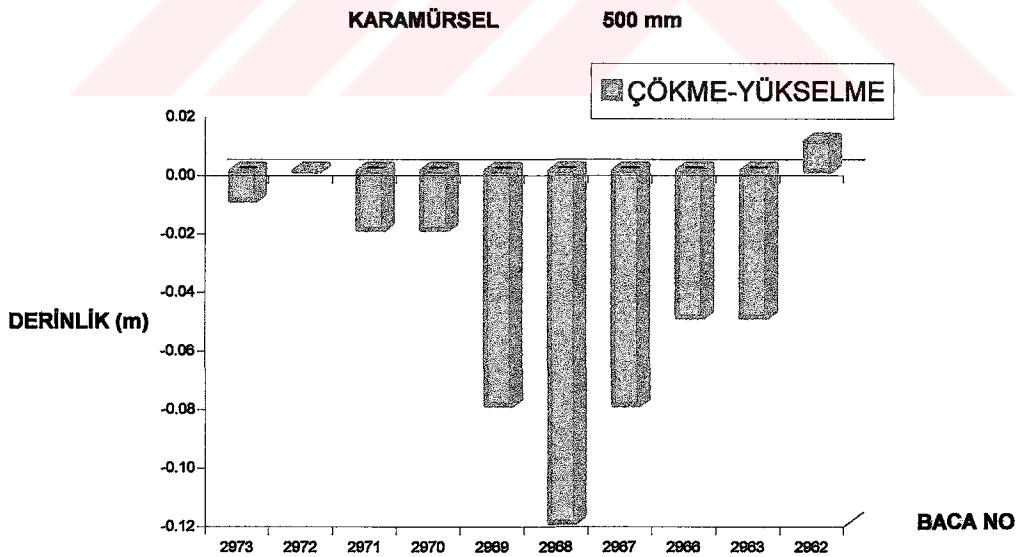
Şekil 4.4. Karamürsel'deki gömülü boru hattının harita üzerindeki yerleşimi (Uçkan ve diğ., 2005).



Şekil 4.5. Karamürsel-TM10 bölgesindeki $\varnothing = 1000$ mm çapındaki boru hattında deprem sonucunda oluşan çökmeler ve yükselmeler

Tablo 4.3. Karamürsel-TM10 bölgesindeki $\varnothing = 1000$ mm çapındaki boru hattına ait baca numaraları, mesafeler, birim deformasyonlar ve hasar sayıları

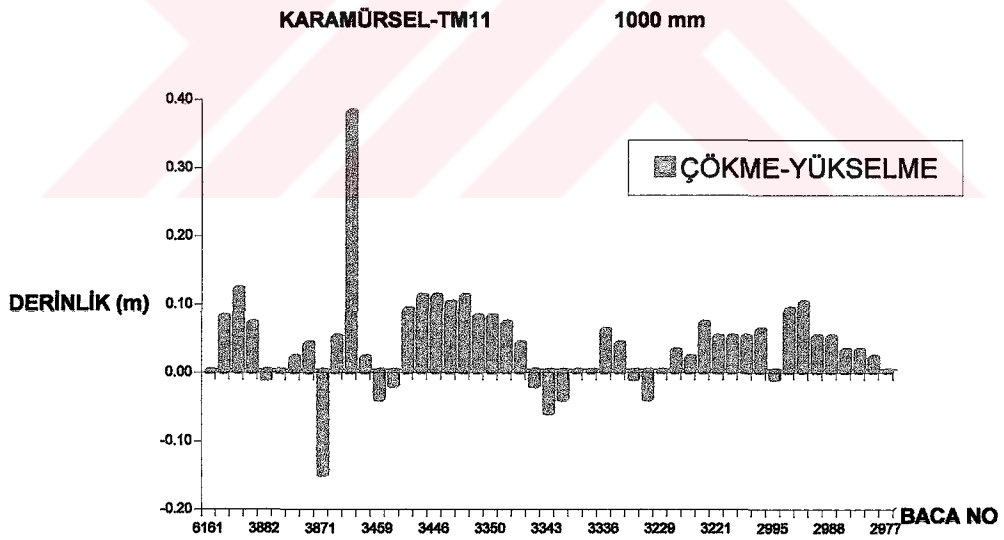
BACA NO	ARA MESAFE (m)	YER GERİLMELERİ	HASAR SAYISI
2973-2551	58.00	0.0000001338	
2551-2548	36.60	0.0000003359	
2548-2547	58.40	0.0000000147	
2547-2546	58.70	0.0000000000	
2546-2544	70.80	0.0000000399	4
2544-2540	82.00	0.0000001190	2
2540-2236	36.40	0.0000001509	1
2236-2233	65.00	0.0000000000	
2233-2203	69.00	0.0000002625	1
2203-2196	83.10	0.0000000000	3
2196-2193	103.60	0.0000000186	
2193-2184	55.00	0.0000000165	
2184-2171	28.30	0.0000000000	



Şekil 4.6. Karamürsel-TM10 bölgesindeki $\varnothing = 500$ mm çapındaki boru hattında deprem sonucunda oluşan çökmeler ve yükselmeler

Tablo 4.4. Karamürsel-TM10 bölgesindeki $\varnothing = 500$ mm çapındaki boru hattına ait baca numaraları, mesafeler, birim deformasyonlar ve hasar sayıları

BACA NO	ARA MESAFE (m)	BİRİM DEFORMASYON	HASAR SAYISI
2973-2972	42.95	0.000000027	
2972-2971	33.65	0.000000177	
2971-2970	35.55	0.000000000	
2970-2969	55.55	0.000000583	1
2969-2968	62.30	0.000000206	
2968-2967	60.10	0.000000221	2
2967-2966	45.33	0.000000219	3
2966-2963	37.33	0.000000000	2
2963-2962	35.50	0.000001428	1



Şekil 4.7. Karamürsel-TM11 bölgesindeki $\varnothing = 1000$ mm çapındaki boru hattında deprem sonucunda oluşan çökmeler ve yükselmeler

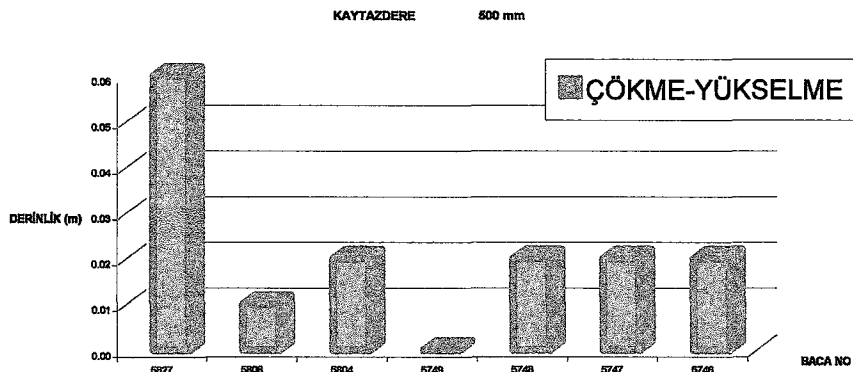
Tablo 4.5. Karamürsel-TM11 bölgesindeki $\varnothing = 1000$ mm çapındaki boru hattına ait baca numaraları, mesafeler, birim deformasyonlar ve hasar sayıları

BACA NO	ARA MESAFE (m)	BİRİM DEFORMASYON	HASAR SAYISI
6161-3879	20.35	0.000007727	
3879-3880	55.00	0.000000264	
3880-3881	58.75	0.000000362	2
3881-3882	34.50	0.000002689	2
3882-3883	35.90	0.000000039	
3883-3878	87.10	0.000000026	
3878-3877	81.10	0.000000030	
3877-3871	26.45	0.000025800	1
3871-3868	36.50	0.000015012	1
3868-3867	76.30	0.000009353	1
3867-3866	75.10	0.000011489	1
3866-3459	26.40	0.000002583	1
3459-3455	86.90	0.000000026	
3455-3448	54.70	0.000002022	1
3448-3447	40.50	0.000000122	5
3447-3446	42.50	0.000000000	1
3446-3353	75.00	0.000000009	3
3353-3353A	30.25	0.000000055	1
3353A-3352	38.90	0.000000297	1
3352-3350	60.70	0.000000000	1
3350-3349	62.75	0.000000013	
3349-3348	58.65	0.000000131	
3348-3344	81.00	0.000000274	3
3344-3343	36.60	0.000000597	
3343-3340	34.40	0.000000169	
3340-3339	38.40	0.000000543	
3339-3337	70.70	0.000000000	1
3337-3336	71.00	0.000000357	1
3336-3331	109.00	0.000000017	
3331-3327	97.00	0.000000133	7
3327-3237	71.00	0.000000089	
3237-3229	91.10	0.000000096	5

3229-3228	93.30	0.000000052	6
3228-3225	105.00	0.000000005	5
3225-3224	91.30	0.000000150	2
3224-3221	63.30	0.000000050	1
3221-3220	50.70	0.000000000	
3220-2997	80.80	0.000000000	1
2997-2996	110.50	0.000000004	
2996-2995	36.50	0.000001839	
2995-2994	54.90	0.000001659	
2994-2993	54.60	0.000000017	
2993-2987	57.00	0.000000385	
2987-2988	71.00	0.000000000	
2988-2985	38.70	0.000000134	
2985-2984	83.00	0.000000000	
2984-2987	42.10	0.000000028	
2978-2977	24.00	0.000000347	

4.3. Kaytazdere

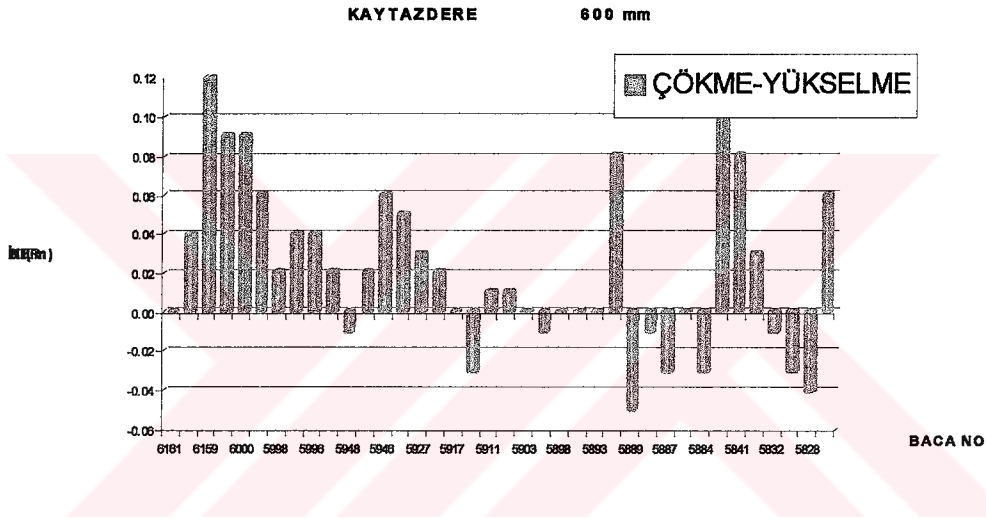
Kaytazdere’de çapı 500 mm olan 226 metre uzunluğunda ve; çapı 600 mm olan 1820 metre uzunluğunda iki hat bulunmaktadır. Şekil 4.7 ve 4.8 de boru hatlarında deprem sonrasında oluşan çökme ve kabarmalar; Tablo 4.6 ve 4.7 de ise boru hatlarına ait baca numaraları, mesafeler, birim deformasyonlar ve hasar sayıları verilmektedir.



Şekil 4.8. Kaytazdere’deki $\varnothing = 500$ mm çapındaki boru hattında deprem sonucunda oluşan çökmeler ve yükselmeler

Tablo 4.6. Kaytazdere'deki $\varnothing = 500$ mm çapındaki boru hattına ait baca numaraları, mesafeler, birim deformasyonlar ve hasar sayıları

BACA NO	ARA MESAFE (m)	BİRİM DEFORMASYONLAR	HASAR SAYISI
5827-5806	48.85	$5.24 \cdot 10^{-7}$	2
5806-5804	23.10	$0.94 \cdot 10^{-7}$	
5804-5749	30.40	$2.16 \cdot 10^{-7}$	
5749-5748	47.80	$0.88 \cdot 10^{-7}$	1
5748-5747	37.60	0	
5747-5746	38.40	0	2



Şekil 4.9. Kaytazdere'deki $\varnothing = 600$ mm çapındaki boru hattında deprem sonucunda oluşan çökmeler ve yükselmeler

Tablo 4.7. Kaytazdere'deki $\varnothing = 600$ mm çapındaki boru hattına ait baca numaraları, mesafeler, birim deformasyonlar ve hasar sayıları

BACA NO	ARA MESAFE (m)	BİRİM DEFORMASYONLAR	HASAR SAYISI
6161-6160	45.90	0.0000000000	
6160-6159	7.90	0.0000128184	1
6159-6001	71.50	0.0000006259	2
6001-6000	67.90	0.0000000976	2
6000-5999	70.20	0.0000000000	
5999-5998	67.80	0.0000000979	
5998-5997	71.80	0.0000001552	
5997-5996	67.60	0.0000000438	2
5996-5949	68.30	0.0000000000	2
5949-5948	67.50	0.0000000439	2
5948-5947	67.60	0.0000000985	1
5947-5946	73.50	0.0000000833	1
5946-5945	24.60	0.0000013220	1
5945-5927	41.00	0.0000000297	
5927-5926	55.50	0.0000000649	1
5926-5917	47.70	0.0000000220	
5917-5916	47.60	0.0000000883	
5916-5911	39.30	0.0000002914	2
5911-5910	30.00	0.0000008889	1
5910-5903	10.00	0.0000000000	2
5903-5900	47.90	0.0000000218	
5900-5898	47.20	0.0000000224	
5898-5896	46.00	0.0000000236	
5896-5893	41.00	0.0000000000	
5893-5891	47.80	0.0000000000	
5891-5889	12.00	0.0000222220	
5889-5888	36.80	0.0000062396	
5888-5887	45.80	0.0000003814	
5887-5885	38.00	0.0000001385	
5885-5884	43.70	0.0000002356	
5884-5883	45.20	0.0000002203	
5883-5841	49.30	0.0000034767	
5841-5836	54.00	0.0000000686	2
5836-5832	54.00	0.0000004287	
5832-5830	51.00	0.0000003076	
5830-5828	59.00	0.0000000575	1
5828-5827	59.00	0.0000000144	1

4.4. Bölgelerde Oluşan Hasarların Değerlendirilmesi

Bu bölüm, bölgelerde oluşan hasarlar ile geçmiş çalışmalardan elde edilen hasar oranı ilişkilerinin karşılaştırmasını içermektedir. Tablolarda yer alan birim deformasyonlar (Ground Starain) “8” numaralı eşitlikten hesaplanmıştır başka bir deyişle, borunun boyundaki uzama miktarının, borunun boyuna (bacalar arası mesafe) oranını vermektedir.

Boru hatlarına ait, baca numaraları, mesafeler, birim deformasyonlar ve hasar sayılarını içeren her üç bölgedeki tablolara bakıldığında, birim deformasyonların çok küçük değerler aldığı buna karşılık borularda oluşan hasar sayılarının oldukça fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca bacalar arası uzaklıklar ile birim deformasyonlar arasında bir ilişki kurulamayacağı da görülmektedir.

Daha önce de bahsedildiği gibi, gömülü boru hattı hasarları ,dalga yayılımı hasarları ve kalıcı yer deformasyonu (PGD) hasarları şeklinde açıklanmış, ayrıca dalga yayılımı ile birim deformasyon ve PGD ile birim deformasyon ilişkileri de verilmişti. İnceleme alanında bulunan boru hatlarında meydana gelen hasarlar, kalıcı yer deformasyonlarına sebep olan sıvılaşma, oturma, faylanma ve tektonik kabarma-çökme gibi olaylar sonucunda meydana gelmiştir. Bunun yanında, bu bölgelerde dalga yayılımı hasarlarına pek rastlanmamıştır; bu yüzden verilmiş olan dalga yayılımı hasar ilişkileri bu çalışma kapsamında, literatür çalışması olarak yer almaktadır.

PGD’ye bağlı olan kırılgenlik ilişkilerinde kullanılan Median kilometre başına onarım oranı (RR) eşitliğine bakıldığında;

$$RR= 1.067(D_{max})^{0,319}$$

olarak verilmiştir. Bu eşitlik Ereğli’den elde edilen veriye uygulandığında $RR= 0.5$ gibi bir sonuç vermektedir. Bu oran da araziden elde edilen küçük deformasyon miktarlarına karşılık oluşan, yüksek hasarlar ile örtüşmemektedir. Bu nedenle Şekil 2.6 da yer alan ve beş ayrı çalışmadan elde edilmiş PGD’ye bağlı hasar görülebilirlik eğrileri üzerinde her hangi bir noktaya, inceleme alanından elde edilmiş sonuçları yerleştirmek mümkün değildir.

Aynı şekilde, birleştirilmiş (dalga yayılımı-PGD) veri seti için uygulanmış olan

$$RR = 724 \text{ } \epsilon^{0.92}$$

eşitliğine baktığımızda, Ereğli için çok küçük değerler elde edilmekte ve bu sonuçlar şekil 2.9 da bir çok deprem verisi kullanılarak oluşturulmuş doğrunun çok dışında kaldığı için bu şekil üzerinde gösterilememektedir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İzmit Körfezi'nin Güney-Doğu sahil şeridinde yer alan Bahçecik, Yeniköy ve Gölcük ilçelerinin atıksu sistemine ait daha önce incelenen hasarların derlenmesi ve gömülü boru hatlarında hasara etki eden faktörlerin incelenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada, hatlarda görülen hasar yoğunluklarının %85 ile %100 civarında olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde hasar yoğunluğu "km başına onarım sayısı" ile ifade edilemeyecek kadar fazla olduğundan boru hatları tamamen yenilenmiştir. Ayrıca çalışma alanındaki bölgelerden yeterli hasar sayısı elde edilemediği için, daha önceki çalışmalardan elde edilen hasar ilişkileri ile karşılaştırma yapmak üzere bu bölgenin dışında kalan Ereğli, Karamürsel, Kaytazdere ile ilgili de bir bölüm oluşturulmuştur.

Kocaeli (1999) depremi sırasında İzmit Körfezi'ndeki çalışma bölgelerinde tespit edilen hasar türleri; boruların lastik contalarından atması, baca ve borularda kırılmalar, ters eğim oluşması, boru hattının düşey, yanal ve boyuna (her üç ekseninde) yönlerdeki rijit hareketleri olarak ifade edilebilir.

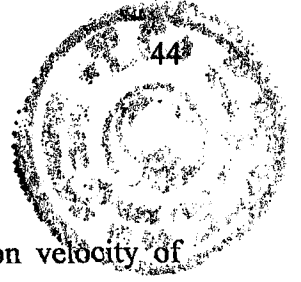
Daha önce yapılan çalışmalarda, deprem dalgasının geçişi sırasında etkin yer hızına (PGV) ile yer sarsıntısı, toprak kayması, sıvılaşma, su basması, faylanma ve oturma gibi sebeplerle zeminde oluşan kalıcı yer deformasyonuna (PGD) bağlı olan ilişkiler geliştirilmiştir.

PGV ve "km başına onarım sayısı" ilişkileri üzerine açıklanan birçok eşitliğin farklılıklar göstermesinin sebeplerinin başında sismik dalganın türü gelmektedir. Çünkü parçalı boru hatlarında oluşan hasarların sebebi yer gerilmesidir, yer gerilmesi ise etkin yer hızının ve sismik dalga türünün bir fonksiyonudur. Ayrıca, eşitliklerin oluşturulmasında baz alınan boruların yapıldığı malzeme türleri, boru çapları, boruların aşınma dereceleri ve istatistiksel verinin doğruluk derecesi de PGV-onarım sayısı eşitliklerinin farklı sonuçlar vermesinin nedenleridir.

Yer sarsıntısı, toprak kayması, sıvılaşma, su basması, faylanma ve oturma gibi sebeplerle zeminde oluşan kalıcı yer deformasyonu (PGD) ve ona bağlı gelişen zemin hasarları ise bölgesel olmalarına rağmen daha yoğun hasar bırakırlar yani,

kalıcı yer deplasmanı parametresi etkin yer hızı parametresinden daha etkindir. Çalışma alanında da görüldüğü gibi oluşan yoğun hasarların sebepleri, kalıcı etkilerden kaynaklanan deformasyonların sebep olduğu sıvılaşma, oturma faktörleri ve boru türleridir. Boru çaplarının büyük olduğu bölümlerde hasar oranının daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Sonuç olarak, literatürde yer alan hasar oranı ve etkin yer hızı (PGV) – kalıcı yer deformasyonu (PGD) ilişkileri üzerine yapılan çalışmalar ile bu çalışma kapsamında yer alan hasar oranları ilişkilendirildiğinde sonuçların birbiriyle örtüşmediği görülmektedir. Birim deformasyonlar daha önceki çalışmalarda elde edilen sonuçlardan çok küçük değerlere sahip olmakta, buna karşılık hasar sayıları çok yüksek değerler almaktadır. Bu farklılığın, boru hattının faya çok yakın mesafede yer alması nedeniyle ortaya çıktığı düşünülmektedir. Bu nedenle, daha önce geliştirilmiş olan eşitliklerden hiç birinin geçerli sonuçlar vermediği düşünülmekte ve faya yakın mesafede yer alan boru hatları için birim deformasyona bağlı yeni hasar oranı ilişkilerinin geliştirilmesi faydalı olacaktır.



KAYNAKLAR

O'Rourke M., Bloom, M., and Dobry, R., 1982. Apparent propagation velocity of body waves, Earthquake Eng. Struct. Dyn. 10, 283-294

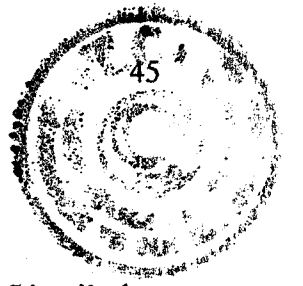
Uçkan E., Kılıç N., Durukal E., Demircioğlu M., Siyahi B., 2005; "1999 Kocaeli Depreminde Gömülü Boru Hatlarında Gözlenen Deprem Hasarları" Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi, Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.

American Society of Civil Engineers, "Seismic Fragility of Formulations for Water Systems" Part 1-Guideline, April 2001.

Bird J., O'Rourke T., Bracegirdle T., Bommer J., Tromans I., 2004 "A Framework for Assessing Earthquake Hazards for Major Pipelines".

O'Rourke M., Deyoe E., 2004. "Seismic Damage to Segmented Buried Pipe", Earthquake Spectra, Vol. 20, No 4.

Isenberg, J., Taylor, C., 1984. Performance of water and sewer lifelines in the May 2, 1983 Coalinga, California Earthquakes, Lifelines Earthquake Engineering: Performance, Design and Construction, ASCE, pp.176-189



ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında İstanbul'da doğdum. 1994 yılında Erenköy Kız Lisesi'nden mezun olduktan sonra, 2002 yılında İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimimi tamamladım. Halen, G.Y.T.E., Deprem ve Yapı Bilimleri Yüksek Lisans Bölümü'nün tez aşamasındaki öğrencisiyim. Ayrıca, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Uluslararası İşletme Bölümü'nde Yüksek Lisans yapmaktayım.

