

T.C.

171105

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ESTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

1999 KOCAELİ DEPREMİ SIRASINDA
İZMİT KÖRFEZİ'NDEKİ KOLLEKTÖR
HATTINDA MEYDANA GELEN
HASARLARIN DERLENMESİ (BATI
BÖLGESİ)

Pelin ÇORUK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI BİLİMLERİ
ANABİLİM DALI

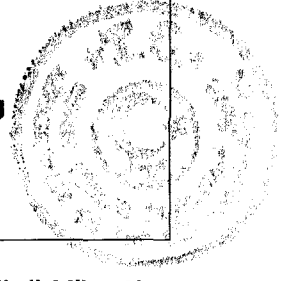
TEZ DANIŞMANI
Yrd. Doç. Dr. Eren UÇKAN

GEBZE
2005



**GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ
ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU



Pelin ÇORUK'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

ÜYE

: Doç.Dr. Bilge SİYAHİ

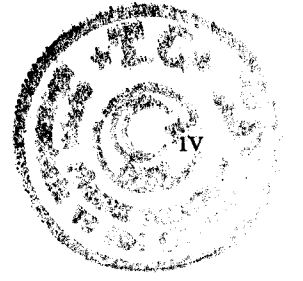
ÜYE

: Yrd.Doç.Dr.Yasin FAHJAN

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
15.11.2005 Tarih ve 2005/39 sayılı kararı.

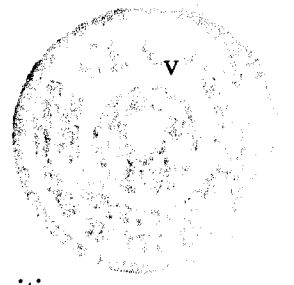
İMZA/MÜHÜR



ÖZET

Türkiye, şiddetli ve yıkıcı depremlerin oluşum sıklığı bakımından, Dünya'nın sarsım etkinliği en çok olan ülkelerden biridir. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi sırasında İzmit Körfezi'nin güney-batısındaki Karamürsel, Kaytazdere ve Ereğli bölgelerinde yer alan gömülü kollektör hattının deprem davranışları, hasar parametreleri, hasar türleri ve hasar ilişkileri incelenmiş; ve yer yer faya paralel ve dik doğrultuda uzanan ve Uçkan ve diğ., 2005, tarafından incelenen Altınova-Hersek, Halıdere ve Değirmendere'deki hatta meydana gelen hasarlar derlenmiştir. Bu çalışma kapsamında, hasar oranı değerleri ile araziden elde edilen hasar verileri karşılaştırılmıştır ve bu karşılaştırma sonucu elde edilen farklılıklar ortaya konulmuştur.

SUMMARY



Turkey is one of the most important countries which seismic activities occur a lot. In the extent of this study, the behaviour of the buried pipelines during 17 August 1999 Kocaeli Earthquake in Karamürsel, Kaytazdere and Ereğli which are on the south-west coastal site of İzmit Bay is investigated; and the damage parameters, damage types and damage relations are determined. Additionally, the damage rates in Altınova-Hersek, Halıdere and Değirmendere which was investigated by Uçkan ve diğ., 2005, are explained. As a result the repair rate relations and the repair rate data collected from the field are correlated; and the differences are determined.



TEŞEKKÜR

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Deprem ve Yapı Bilimleri'ndeki yüksek lisans eğitimim süresince, danışmanlığımı yapan ve her konudaki desteğiyle yanımda olan ve bitirme çalışmama teşvik eden değerli hocam Sayın Yrd.Doç.Dr.Eren Uçkan'a ve jüri üyelerim Sayın Doç.Dr. Bilge Siyahi ile Sayın Yrd.Doç.Dr. Yasin Fahjan'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca hep yanımda olan sevgili anneme, tez çalışmalarım boyunca sevgisini ve desteğini eksik etmeyen Alkan ailesine, sabrını ve motivasyonunu esirgemeyen Fuat Karabulut'a, patronum sayın A.Bora Taştekin'e ve değerli arkadaşım Dilek Karabulut'a sonsuz teşekkür ederim.

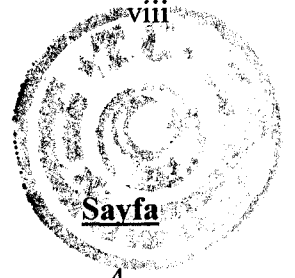
İÇİNDEKİLER DİZİNİ

vii

Sayfa

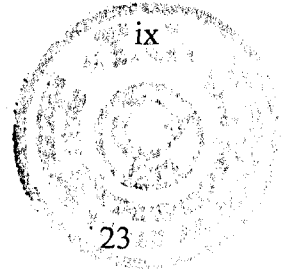
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. GÖMÜLÜ BORU HATTI HASAR PARAMETRELERİ, HASAR TÜRLERİ VE HASAR İLİŞKİLERİ	3
2.1. Hasar Parametreleri	3
2.1.1. Yer Sarsıntısı	3
2.1.2. Yer Kayması	4
2.1.3. Sıvılaşma	5
2.1.4. Oturma	5
2.1.5. Fay Kesişim Zonları	5
2.1.6. Boru Hattının Yaşı ve Korozyon	7
2.2. Hasar Türleri	7
2.2.1. Sürekli Boru Hatları	8
2.2.2. Parçalı Boru Hatları	8
2.3. Hasar İlişkileri	10
3. KOLLEKTÖR HATTI HASARLARI	13
3.1. Karamürsel	16
3.2. Kaytazdere	25
3.3. Ereğli	32
3.4. Altınova – Hersek	39
3.5. Halıdere	42
3.6. Değirmendere	43
3.7. Kollektör Hattında Meydana Gelen Hasarların Değerlendirilmesi	46
4. SONUÇLAR	48
KAYNAKLAR	50
ÖZGEÇMİŞ	51

ŞEKİLLER DİZİNİ



Sekil

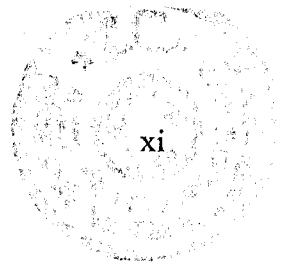
- | | |
|---|----|
| 2.1. Odak noktası, dış merkez ve sismik deprem dalgalarının yayılışı. | 4 |
| 2.2. Fay türleri ile çöküntü ve yükselti. | 6 |
| 2.3. Parçalı boru hatları için hasar mekanizmaları. | 9 |
| 3.1. Çalışma alanının uydu görüntüsü ve boru hattının konumu. | 14 |
| 3.2. Çalışma alanının haritası ve boru hattının konumu. | 15 |
| 3.3. Karamürsel, Kaytazdere ve Ereğli bölgelerindeki gömülü boru hattının harita üzerindeki yerleşimi. | 16 |
| 3.4. Karamürsel-TM10 bölgesindeki $\varnothing = 1000$ mm çapına sahip ve 2973-2171 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattının depremden önceki ve sonraki konumu. | 17 |
| 3.5. Karamürsel-TM10 bölgesindeki $\varnothing = 1000$ mm çapına sahip gömülü boru hattında yer alan 2973-2171 numaraları arasındaki bacaların depremden önceki ve sonraki kotları. | 17 |
| 3.6. Karamürsel-TM10 bölgesindeki $\varnothing = 1000$ mm çapına sahip ve 2973-2171 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattında meydana gelen çökmeler ve yükselmeler. | 18 |
| 3.7. Karamürsel-TM10 bölgesindeki $\varnothing = 500$ mm çapına sahip ve 2973-2962 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattının depremden önceki ve sonraki konumu. | 20 |
| 3.8. Karamürsel-TM10 bölgesindeki $\varnothing = 500$ mm çapına sahip gömülü boru hattında yer alan 2973-2962 numaraları arasındaki bacaların depremden önceki ve sonraki kotları. | 20 |
| 3.9. Karamürsel-TM10 bölgesindeki $\varnothing = 500$ mm çapına sahip ve 2973-2962 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattında meydana gelen çökmeler ve yükselmeler. | 21 |
| 3.10. Karamürsel-TM11 bölgesindeki $\varnothing = 1000$ mm çapına sahip ve 6161-2977 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattının depremden önceki ve sonraki konumu. | 23 |



- 3.11. Karamürsel-TM11 bölgesindeki $\varnothing = 1000$ mm çapına sahip gömülü boru hattında yer alan 6161-2977 numaraları arasındaki bacaların depremde önceki ve sonraki kotları. 23
- 3.12. Karamürsel-TM11 bölgesindeki $\varnothing = 1000$ mm çapına sahip ve 6161-2977 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattında meydana gelen çökmeler ve yükselmeler. 24
- 3.13. Kaytazdere bölgesindeki $\varnothing = 500$ mm çapına sahip ve 5827-5746 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattının depremde önceki ve sonraki konumu. 25
- 3.14. Kaytazdere bölgesindeki $\varnothing = 500$ mm çapına sahip gömülü boru hattında yer alan 5827-5746 numaraları arasındaki bacaların depremde önceki ve sonraki kotları. 28
- 3.15. Kaytazdere bölgesindeki $\varnothing = 500$ mm çapına sahip ve 5827-5746 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattında meydana gelen çökmeler ve yükselmeler. 28
- 3.16. Kaytazdere bölgesindeki $\varnothing = 600$ mm çapına sahip ve 6161-5827 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattının depremde önceki ve sonraki konumu. 29
- 3.17. Kaytazdere bölgesindeki $\varnothing = 600$ mm çapına sahip gömülü boru hattında yer alan 6161-5827 numaraları arasındaki bacaların depremde önceki ve sonraki kotları. 31
- 3.18. Kaytazdere bölgesindeki $\varnothing = 600$ mm çapına sahip ve 6161-5827 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattında meydana gelen çökmeler ve yükselmeler. 31
- 3.19. Ereğli bölgesindeki $\varnothing = 600$ mm çapına sahip ve 1292A-719 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattının depremde önceki ve sonraki konumu. 32
- 3.20. Ereğli bölgesindeki $\varnothing = 600$ mm çapına sahip gömülü boru hattında yer alan 1292A-719 numaraları arasındaki bacaların depremde önceki ve sonraki kotları. 34
- 3.21. Ereğli bölgesindeki $\varnothing = 600$ mm çapına sahip ve 1292A- 719 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattında meydana gelen çökmeler ve yükselmeler. 34



- 3.22. Ereğli bölgesindeki $\varnothing = 400$ mm çapına sahip ve 1292A-1247 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattının depremden önceki ve sonraki konumu. 35
- 3.23. Ereğli bölgesindeki $\varnothing = 400$ mm çapına sahip gömülü boru hattında yer alan 1292A-1247 numaraları arasındaki bacaların depremden önceki ve sonraki kotları. 37
- 3.24. Ereğli bölgesindeki $\varnothing = 400$ mm çapına sahip ve 1292A-1247 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattında meydana gelen çökmeler ve yükselmeler. 37
- 3.25. Altınova – Hersek kollektör hattı. 40
- 3.26. Altınova 1 bölgesine ait kalıcı düşey deformasyonlar. 40
- 3.27. Altınova 2 bölgesine ait kalıcı düşey deformasyonlar. 41
- 3.28. Altınova 3 bölgesine ait kalıcı düşey deformasyonlar. 42
- 3.29. Halıdere'deki kollektör hattında yapılan sondajlara ait loglar. 42
- 3.30. Halıdere'deki hasarlı hattan elde edilen ölçümler. 43
- 3.31. Halıdere, Değirmendere-Doğu ve Değirmendere-Batı kollektör hatları. 44
- 3.32. Değirmendere-Doğu bölgesine ait kalıcı düşey deplasmanlar. 45
- 3.33. Değirmendere-Batı bölgesine ait kalıcı düşey deplasmanlar. 46



TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Karamürsel-TM10 bölgesindeki $\varnothing = 1000$ mm çapına sahip ve 2973-2171 baca numaraları arasındaki mesafe, depremde önceki ve sonraki kotları ile kot farkı değerleri ve gömülü boru hattında meydana gelen birim deformasyon, hasar sayıları ve hasar oranları.	19
3.2. Karamürsel-TM10 bölgesindeki $\varnothing = 500$ mm çapına sahip ve 2973-2962 baca numaraları arasındaki mesafe, depremde önceki ve sonraki kotları ile kot farkı değerleri ve gömülü boru hattında meydana gelen birim deformasyon, hasar sayıları ve hasar oranları.	22
3.3. Karamürsel-TM11 bölgesindeki $\varnothing = 1000$ mm çapına sahip ve 6161-2977 baca numaraları arasındaki mesafe, depremde önceki ve sonraki kotları ile kot farkı değerleri ve gömülü boru hattında meydana gelen birim deformasyon, hasar sayıları ve hasar oranları.	26
3.4. Kaytazdere bölgesindeki $\varnothing = 500$ mm çapına sahip ve 5827-5746 baca numaraları arasındaki mesafe, depremde önceki ve sonraki kotları ile kot farkı değerleri ve gömülü boru hattında meydana gelen birim deformasyon, hasar sayıları ve hasar oranları.	30
3.5. Kaytazdere bölgesindeki $\varnothing = 600$ mm çapına sahip ve 6161-5827 baca numaraları arasındaki mesafe, depremde önceki ve sonraki kotları ile kot farkı değerleri ve gömülü boru hattında meydana gelen birim deformasyon, hasar sayıları ve hasar oranları.	33
3.6. Ereğli bölgesindeki $\varnothing = 600$ mm çapına sahip ve 6161-5827 baca numaraları arasındaki mesafe, depremde önceki ve sonraki kotları ile kot farkı değerleri ve gömülü boru hattında meydana gelen birim deformasyon, hasar sayıları ve hasar oranları.	36
3.7. Ereğli bölgesindeki $\varnothing = 400$ mm çapına sahip ve 1292A-1247 baca numaraları arasındaki mesafe, depremde önceki ve sonraki kotları ile kot farkı değerleri ve gömülü boru hattında meydana gelen birim deformasyon, hasar sayıları ve hasar oranları.	38
3.8. Karamürsel, Kaytazdere ve Ereğli bölgelerine ait birim deformasyonlar, hasar sayıları ve hasar oranları.	47

1. GİRİŞ

Türkiye, şiddetli ve yıkıcı depremlerin oluşum sıklığı bakımından, Dünya'nın sarsım etkinliği en çok olan ülkelerden biridir. 17 Ağustos 1999 tarihinde, Kuzey Anadolu Fay Hattının Adapazarı, Kocaeli, Gölcük segmenti üzerinde, Richter ölçeğine göre $M = 7,4$ büyüklüğünde yaklaşık 45-50 saniye süren bir deprem meydana gelmiştir. Deprem, Marmara Bölgesi'nin tamamı ile Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın doğu yönündeki uzantısında yer alan Düzce ve Bolu şehirlerini de etkilemiştir. 17 Ağustos Kocaeli Depremi'nin ülkemizde endüstrinin ve şehirleşmenin en yoğun olduğu Marmara Bölgesi'nde meydana gelmiş olması, can kaybının ve hasarın çok büyük olmasına sebep olmuştur. İzmit Körfezi'nin iki tarafında ve İzmit-Adapazarı arasında yer alan sanayi tesisleri bölgelerinde ve otoyollarda meydana gelen oturmalar, çekme çatlakları nedeniyle de çeşitli boyutlarda hasarlar meydana gelmiştir.

Depremden kısa bir süre sonra, İller Bankası Genel Müdürlüğü tarafından hasarlı hatların bulunduğu bacalarda ve yüzey kotlarında yapılan ölçümler ile hasar tespit çalışmaları yapılmıştır (Uçkan ve diğ., 2005). Hasar tespit çalışmaları sırasında boru hattı üzerinde GPS (Global Yer Belirleme) ölçümleri yapılarak, bu veriler CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) ortamına aktarılmış ve fay haritaları üzerinde gösterilmiştir; ayrıca, çalışma alanında yapılan sondajlardan elde edilen veriler de haritaya eklenmiş ve borularda meydana gelen hasar türlerini belirlemeye yardımcı olmuştur (Uçkan ve diğ., 2005).

İzmit Körfezi güney sahil şeridindeki Kaytazdere, Karamürsel, Ereğli, Altınova-Hersek, Halıdere ve Değirmendere bölgelerinde yer alan ve 1999 Kocaeli Depremi sırasında kırılan fayı yaklaşık olarak 40 kilometre boyunca 0-5 kilometre mesafeden paralel olarak takip eden ana kollektör hattında da deprem sırasında kalıcı deformasyonlar meydana gelmiştir.

Hasar oranının %50 - %70 aralığında olduğu bölgelerde onarım çalışmaları yapılmış, hasar yoğunluğunun %100 oranına ulaştığı bölgelerdeki boru hatları ise tamamen yenilenmiştir. Hasarlı ve hasarsız hatlar ile onarım yapılan ve tamamen yenilenen

hatlar, çalışmanın üçüncü bölümünde yer alan Şekil 3.1'deki harita üzerinde gösterilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, gömülü boru hattının hasar parametreleri ile hasar türleri tanımlanmış, geçmiş deprem verileri kullanılarak oluşturulan hasar ilişkileri ortaya konmuş, bu ilişkiler ile saha verileri arasında karşılaştırma yapılmış, ve İller Bankası Genel Müdürlüğü'nden alınan Karamürsel, Kaytazdere ve Ereğli bölgelerine ait veriler incelenmiştir. Ayrıca, "1999 Kocaeli Depremi'nde Gömülü Borularda Gözlenen Deprem Hasarları" (Uçkan E., Kılıç N., Durukal E., Demircioğlu M. ve Siyahi B., 2005) çalışmasında incelenen, Altınova-Hersek, Halidere ve Değirmendere'deki ana kollektör hattında meydana gelen hasar verileri literatür olarak çalışmanın sonuna eklenmiştir.



2. GÖMÜLÜ BORU HATTI HASAR PARAMETRELERİ, HASAR TÜRLERİ VE HASAR İLİŞKİLERİ

2.1. Hasar Parametreleri

Gömülü boru hattında deprem sırasında meydana gelen hasarlar genellikle birim deformasyondan (ground strain) kaynaklanmaktadır. Deprem sırasında, dalga geçişinin neden olduğu ve maksimum yer hızına (Peak Ground Velocity – PGV) bağlı olan geçici yer deformasyonları (Transient Ground Deformation – TGD) ve yer kırılması sonucu oluşan kalıcı yer deformasyonları (Permenant Ground Deformation – PGD) gömülü boruların kırılmalık ilişkisini ortaya koyan ana faktörlerdir.

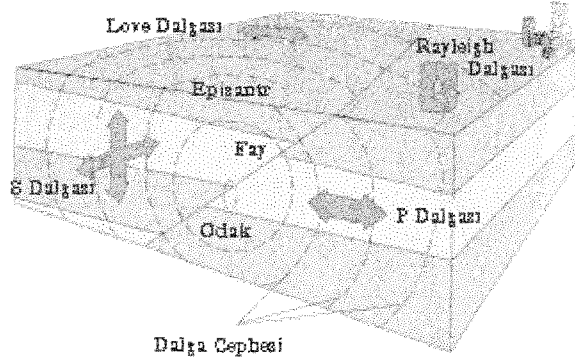
Maksimum yer hızının (PGV) ve kalıcı yer deformasyonunun (PGD) fonksiyonu olan ve diğer, gömülü boru hattı hasar parametreleri aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır;

- Yer Sarsıntısı (PGV'nin fonksiyonu),
- Yer Kaymaları (PGD'nin fonksiyonu),
- Sıvılaşma (PGD'nin fonksiyonu),
- Oturma (PGD'nin fonksiyonu),
- Fay Kesişim Zonları (PGD'nin fonksiyonu),
- Boru Hattının Yaşı ve Korozyon,
- Boru Hattının Sürekli Olması,
- Boru Hattının Parçalı Olması.

2.1.1. Yer Sarsıntısı

Sıkışmanın etkisiyle biriken enerji, deprem olduğunda odak noktasından Yerküre'nin diğer alanlarına doğru yayılmakta ve bu yolculuğunu dalgalar aracılığıyla gerçekleştirmektedir. Ses dalgaları gibi hareket eden ve titreşimler yaratan bu dalgalar “sismik dalgalar” olarak tanımlanmaktadır. Sismik dalgalar temel

olarak cisim dalgaları (P ve S) ve yüzey dalgaları (Rayleigh-R ve Love-L) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Cisim dalgaları, depremin odak noktasından çıkarak her yöne doğru yayılırlar. Yüzey dalgaları ise, P ve S dalgaları gibi Yerküre içinde değil, yüzeyinde görülürler ve daha yavaşlırlar; ancak ileri – geri de hareket yaratabildiklerinden hasar yaratma güçleri daha fazladır. Şekil 2.1’de, odak noktası, dış merkez ve sismik deprem dalgalarının yayılışı gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Odak noktası, dış merkez ve sismik deprem dalgalarının yayılışı.

Yer sarsıntısı, sismik dalga geçişinden kaynaklanan geçici yer deformasyonları olarak tanımlanmaktadır (ALA, 2001). Yer sarsıntıları geniş alanı etkilemekte ve yüksek miktarda kalıcı hasarlara yol açmaktadır. Boru hattında yer sarsıntısından kaynaklanan hasar miktarı, maksimum yer hızına (PGV) bağlı olarak ölçülmektedir (ALA, 2001).

2.1.2. Yer Kayması

Sismik dalgaların yamaçlarda yarattığı titreşimler, yamaç boyunca kayaların ve toprağın kararsız hale gelerek aşağı kaymasına neden olmaktadır. Yer kaymaları eğim, yer altı suyu ve kaygan toprak bileşenlerine bağlıdır. Yer kaymalarını yağış, yükleme, ağaçsızlaştırma, kazı ile yer dengesini bozma, doğal sarsım (yer sarsıntısı) ve yapay sarsımlar (patlatma) tetiklemektedir. Bütün bu bileşenler ve etkenler dahilinde gömülü boru hatlarında da hasarlar meydana gelmektedir. Yer kayması hareketi, kalıcı yer deformasyonunun (PGD) miktarı ile ölçülmektedir (ALA, 2001).

2.1.3. Sıvılaşma

Islak ve kum-kil karışımı gözenekli zeminler, deprem gibi ani sarsıntılarda sarsıntının etkisini arttıracak şekilde davranırlar. Sıvılaşma, uzun süreli ve kuvvetli yer sarsıntılarında, suya doymun ince taneli kum ve siltli katmanların boşluk suyu basıncını arttırması ve maksimum yatay gerilmeyi sıfır yapması sonucunda o katmanın taşıma gücünü yitirerek sıvı gibi davranış göstermesidir. Bunun sonucunda, sıvılaşma bölgelerinde yer alan gömülü boru hatlarında kalıcı yer deformasyonları (PGD) oluşmakta ve oturma meydana gelmektedir.

2.1.4. Oturma

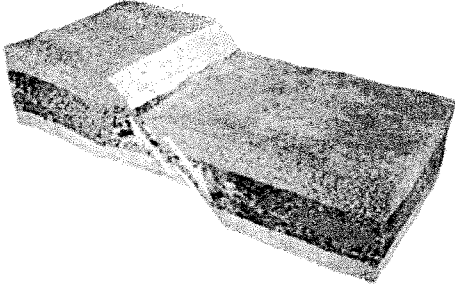
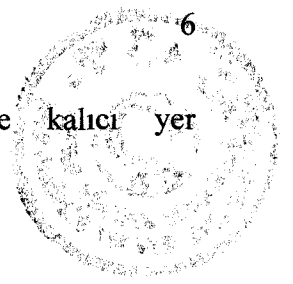
Boru kırıkları, alüvyal topraktan sıvılaşma bölgelerine geçiş zonlarındaki düşey oturmalara bağlı olarak oluşmaktadır. Oturma miktarı kalıcı yer deformasyonuna (PGD) bağlı olarak hesaplanmaktadır (ALA, 2001).

2.1.5. Fay Kesişim Zonları

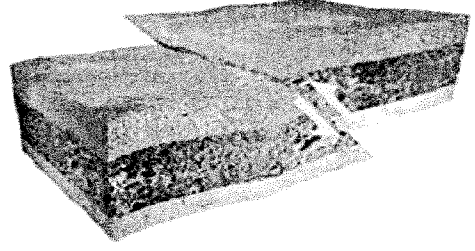
Yerkabuğunun belli bir düzlem boyunca kırılması sonucu oluşan faylar, kırılmanın türüne göre üç ana gruba ayrılmaktadır. Çekme gerilmesi sonucunda oluşan normal faylarda, fay oluşturacak kaya bloklarından aşağıda olan görelî olarak aşağı doğru kayarken diğeri yükselmektedir (Şekil 2.2.a). İtme gerilmesi sonucu oluşan ters faylarda ise, fay oluşturacak kaya bloklarından daha aşağıda olan görelî olarak yükselirken diğeri aşağı kaymaktadır (Şekil 2.2.b). Doğrultu atımlı faylarda, parçaların yer değişimi yataydır; aralarında yükseklik farkı oluşmamaktadır (Şekil 2.2.c). Parçalar, fay düzlemi boyunca zıt yönde hareket etmektedirler. Kuzey Anadolu Fayı ve San Andreas Fayı doğrultu atımlı faylardır. Çöküntü (Graben) iki normal faylanma arasındaki bloğun çökmesi sonucu oluşmaktadır (Şekil 2.2.d). Yükselti (Horst) ise iki normal faylanma arasında yüksekte kalan bloğa denmektedir (Şekil 2.2.e).

Bölgesel kalıcı yer deformasyonları (PGD) fay kırılma zonlarında oluşmaktadır. Fay kesişim zonlarında yer alan boru hatlarında daha yüksek

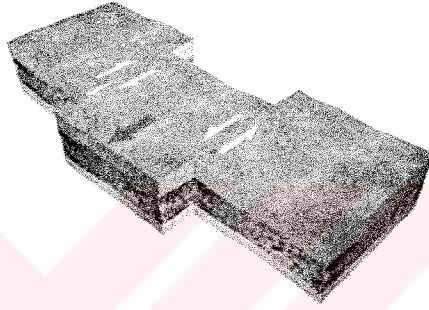
yoğunluklu hasar görülmektedir. Bu zonlardaki hareket de kalıcı yer deformasyonunun (PGD) miktarı ile ölçülmektedir (ALA, 2001).



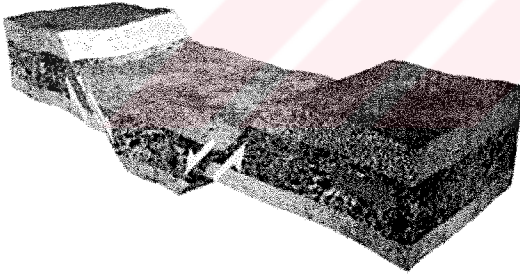
a) Normal Fay



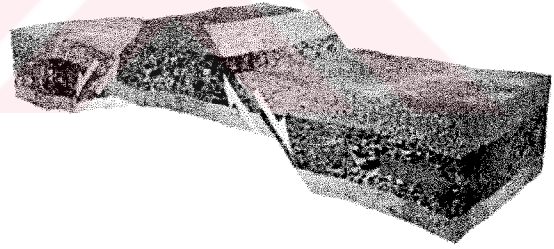
b) Ters Fay



c) Doğrultu Atımlı Fay



d) Çöküntü (Graben)



e) Yükselti (Horst)

Şekil 2.2. Fay türleri ile çöküntü ve yükselti.

Boru hattının fay kesişim noktasındaki fay hattıyla yaptığı açının gerilmeyi azaltmakta büyük etkisi vardır. Sürekli boru hatları ile fay hattı arasındaki açı arttıkça boru hattı dayanım gücü de artmaktadır. Parçalı boru hatlarında optimal fay kesişim açısı bağlantı noktası karakteristiklerine bağlıdır ve bu açı, bağlantı noktalarının özelliklerinden maksimum avantaj sağlayacak şekilde olmalıdır (ALA, 2001). Parçalı

ve sürekli boru hatlarının, ekstra gerilmeye maruz kalmamak amacıyla, faya yakın büküm ve bağlantı noktalarından uzak durmaları da avantaj sağlamaktadır.

Fay kesişim zonlarında, gömülü boru hattının yer aldığı derinlik de önemli bir faktördür. Sığ yüzeylere yerleştirilen boru hatları daha az toprak yüküne maruz kalmakta ve toprağın boru hattı üzerindeki sürtünme kuvvetini azaltmaktadır; sürtünme kuvvetinin azalması, fay kesişim zonlarındaki boru hattının kırılması yerine daha kolay yüzeye çıkmasını sağlamaktadır (ALA, 2001).

Basınçla deforme olan gömülü boru hattında iki tür kırık meydana gelmektedir. Boru hattı bir kiriş gibi davranarak burkulmakta veya boru duvarlarında çökme meydana gelmektedir. Fay kesişim zonlarındaki burkulmalar ani fay hareketine bağlı olarak gerçekleşmektedir. Boru hattının çökmesi ince duvar kalınlığındaki hatlarda yüksek sürtünmeli toprak koşullarına bağlıdır.

2.1.6. Boru Hattının Yaşı ve Korozyon

Boru hattının yaşı ve korozyon özellikle parçalı ve çelik boru hatlarında hasara etkileyen önemli faktörlerdendir. Boru yaşı arttıkça, korozyona maruz kalma olasılığı artmakta, bununla birlikte boru hattının sismik aktivite sırasında dayanım gücü de azalmaktadır.

2.2. Hasar Türleri

Fay zonlarında oluşan sismik aktiviteler sırasında gömülü boru hatlarında meydana gelen hasar türleri, boru hattının sürekli veya parçalı olarak döşenmiş olmasına göre değişmektedir. Bu hasar türleri, “Sürekli Boru Hatları” ve “Parçalı Boru Hatları” başlıkları altında incelenmiştir. Çalışma alanında yer alan kollektör hattının bir kısmını sürekli boru hattı oluştururken, büyük bir bölümü parçalı boru hattı türündendir.



2.2.1. Sürekli Boru Hatları

Sürekli boru hatları rijit bağlantı noktalarına sahiptirler. Modern şartnamelere göre yapılan sürekli boru hatlarının geçmiş depremlerde daha yüksek performans gösterdiği gözlemlenmiştir. İstatiksel verilere göre 1930'larda inşa edilen boru hatlarının şimdiki zamanda inşa edilen hatların kalitesinden çok uzak olduğu görülmektedir; örneğin, 1933 Long Beach Depremi, yüksek basınçlı gaz boru hattında 50'den fazla kırığa yol açmıştır (ALA, 2001).

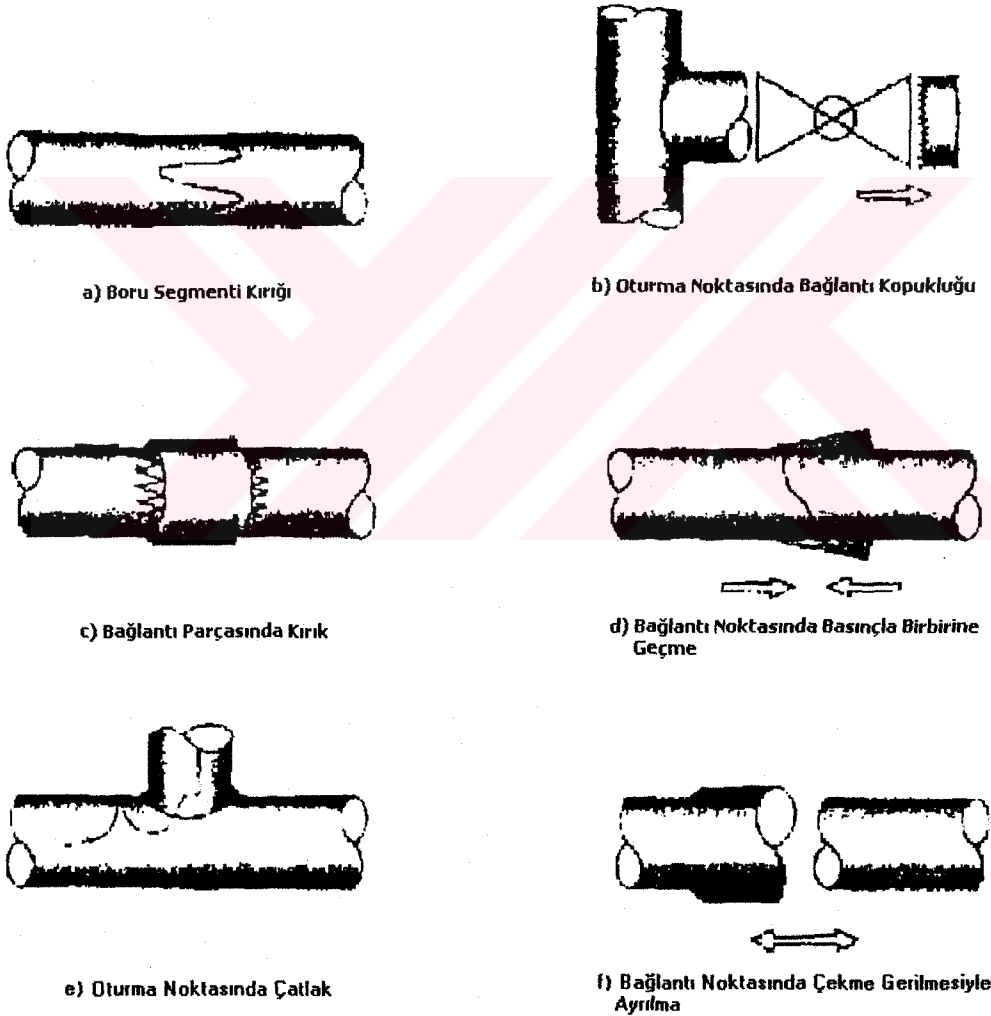
Kalıcı yer deformasyonlarının yarattığı basınç gerilmeleri ile büküm noktalarındaki boru hatları daha yüksek konsantrasyonlu deformasyonlara uğramaktadır. Sürekli boru hatlarında meydana gelen hasar türleri, bükülgenliğe ilişkin çökmeler ve eksenel basınç gerilmesi yoluyla lokal bükülmeler ile eksenel çekme gerilmeleridir. Bu noktadan hareketle, sürekli boru hatları çekme gerilmesiyle kırılabilen veya basınç gerilmesiyle bükülebilmektedirler. 1971 San Fernando Depremi, 49 inç çapındaki atık su boru hattının dokuz büküm ve bağlantı noktalarında büyük hasar yaratmıştır (ALA, 2001).

Uçkan ve diğ., 2005 çalışmasında, sürekli borularda daha çok çekme kırılması veya basınçtan dolayı burkulmalar görülmektedir. Bu tür hasarlar Yalova barajından başlayarak karayolunu takip ederek Bahçecik'e kadar uzanan sürekli isale hattı üzerindeki üç farklı noktada gözlemlenmiştir (Uçkan ve diğ., 2005).

2.2.2 Parçalı Boru Hatları

Parçalı boru hatları, sürekli boru hatlarına göre daha zayıf bağlantı noktalarına sahiptir ve kırılabilir olarak kabul edilirler. Parçalı boru hatlarında meydana gelen hasar türleri, bağlantı noktalarında çekme gerilmesiyle kırılma, basınç gerilmesiyle genişleme ve döngüsel kuvvet etkisiyle ezilme; bağlantı noktalarından uzak boru segmentlerinde ise bükülgenliğe ilişkin çatlaklardır. Esnek kauçuk contalar ile bağlanmış beton borular sismik deformasyonlara daha fazla tolere etmektedir (ALA, 2001). Parçalı boru hatlarında oluşan sismik hasar birim deformasyonun (ground strain) fonksiyonu olmakla birlikte, birim deformasyon da maksimum yer hızı (V_{max}) ve dalga türünün fonksiyonudur (M.O'Rourke ve diğ., 2004).

Hasara maruz kalan bölgeler genellikle bağlantı noktalarıdır. Özellikle geniş çapa ve daha kalın duvara sahip hatlarda gözlenen sismik hasarlar genellikle bağlantı noktalarında oluşmaktadır. Örneğin 1976 Tangshan depreminde, Sun ve Shien, (1983) boru kırıklarının %80'inin bağlantı noktalarında meydana geldiğini gözlemlemişlerdir (M.O'Rourke ve diğ., 1983). M.O'Rourke ve Ballantyne (1992) ise, 1991 Costa Rica depremi sırasında parçalı boru hatlarında oluşan ve Şekil 2.3'te gösterilen altı tür hasar mekanizmasını tanımlamışlardır (M.O'Rourke ve diğ., 1983). Limon bölgesinde yer alan boru hattında meydana gelen hasarların %52'si bağlantı noktalarındaki çekme gerilmelerinden (Şekil 2.3.f), %42'si ise boru segmentlerindeki kırılmalardan oluşmaktadır (Şekil 2.3.a) (M.O'Rourke ve diğ., 1983).



Şekil 2.3. Parçalı boru hatları için hasar mekanizmaları (M.O'Rourke ve diğ., 1983).

Bağlantı noktalarındaki malzemelerin kesme mukavemeti, borunun çekme mukavemetinden daha az olduğundan aksel çekme, bazen bağlantı noktalarındaki dönme ile birleşerek, birim uzamanın olduğu bölgelerde genel bir hasar mekanizmasıdır (M.O'Rourke ve diğ., 1983). Birim kısalmanın olduğu bölgelerdeki örneğin beton borulardaki yaygın hasar mekanizması ise bağlantı noktalarında meydana gelen ezilmelerdir (M.O'Rourke ve diğ., 1983).

Küçük çaplı parçalı borular için, yer kıvrımının olduğu bölgelerde çevresel bükülgenliğe ilişkin hasarlar gözlemlenmektedir (M.O'Rourke ve diğ., 1983). Örneğin T.O'Rourke ve diğ. (1991) tarafından 1989 Loma Prieta depreminden sonra Marina bölgesinde gözlemlenen küçük çaplı (100mm – 200mm) demir borularda meydana gelen kırıkların %80'i bağlantı noktalarına yakın boru segmentindeki çatlaklardır (M.O'Rourke ve diğ., 1983).

Sıvılaşma sonucu bacaların batması (Sapanca gölü çevresi), boşluk suyu basıncının artmasıyla boruların yüzeye çıkmaları, özellikle meyilli tabakalarda boruların akış yönüne bağlı olarak sürüklenmeleri, basınç ve çekme hasarları, farklı oturmalar ve tektonik hareketlerden kaynaklanan hasarların görülmesi muhtemel hasar formları arasındadır (Uçkan ve diğ., 2005).

Çalışma alanı kapsamında incelenen ana kollektör hattı parçalı tür olup 600-1200 mm çaplı, beton, lastik contalı ve bacalı mecralardan oluşmakta ve birbirine lastik contalarla bağlanan bu boru hattı boyunca ortalama 50 metrede 1 muayene bacası bulunmaktadır.

2.3. Hasar İlişkileri

Geçici yer deformasyonları deprem sırasında meydana gelen sismik dalgalardan oluşan dalga geçişi etkileridir. Dalga geçişleri geniş bir coğrafi alan kaplamakta ve her türlü zemin koşulunda boru hattını etkilemektedir. Geçmiş çalışmalarda, gömülü boruların dalga yayılım hasarını tespit etmek için V_{max} (Peak Ground Velocity) kullanılmaktaydı. Örneğin 1993'te O'Rourke ve Ayala, 4 A.B.D. ve 2 Meksika depreminden hasar (km başına onarım sayısı) ve V_{max} arasında ampirik

bir ilişki kurmuştur. American Lifelines Alliance (ALA), 2001 çalışması ise aşağıdaki dalga yayılım hasar ilişkisini ortaya koymuştur;

$$RR = 0,0024 V_{\max} \quad (1)$$

burada, RR (Repair Rate) km başına düşen hasar oranını, $V_{\max}$ ise maksimum yer hızını ifade etmektedir. Bu denklem 12 depremten alınan 81 veri noktası analizine dayanmaktadır. $V_{\max} = 50$ cm/sn için hasar oranı 0,12; $V_{\max} = 10$ cm/sn için ise hasar oranı 0,02 olmaktadır ve bu da 10-50 km arası 1 hasara tekabül etmektedir.

PGD için mevcut kırılgenlik ilişkileri, hasarı kalıcı yer deformasyonun miktarı olarak karakterize etmektedir. Dalga yayılımı hasar oranları, dalga yayılımı sırasında oluşan $V_{\max}$ yerine birim deformasyon ile karakterize edildiğinde, daha küçük olmaktadır. PGD hasarı birim deformasyon ile karakterize edildiğinde, PGD için hasar oranlarının dalga yayılımı için hasar oranları ile uyumlu olduğu görülmektedir.

American Lifelines Alliance, 2001, çalışmasına göre kilometre başına hasar oranı (Repair Rate – RR) aşağıdaki formülasyon kullanılarak ilişkilendirilmiştir;

$$RR = 2,58 (D_{\max})^{0,319} \quad (2)$$

burada, RR (Repair Rate) km başına düşen hasar oranını, $D_{\max}$ ise kalıcı yer deplasmanını (cm) ifade etmektedir. Kalıcı yer deformasyonları, yer kırılması sonucunda boru hattına bölgesel olarak etki etmektedir.

Gömülü boru hatları toprak kütleyle beraber hareket ettiğinden birim deformasyon miktarı azalmaktadır. Dalga yayılımı ve PGD etkileriyle oluşan hasar oranları ilişkileri birleştirildiğinde hasar oranı, taneciğin maksimum hızı ($V_{\max}$) cinsinden ifade edilmektedir. Maksimum birim deformasyon (Peak Ground Strain), dalga yayılım hızının fonksiyonu olduğundan aşağıda M.O'Rourke ve diğ, 2004 tarafından geliştirilen ve dalga türünü içeren ilişkiler sunulmuştur. Eğer birim deformasyon, yüzey dalga yayılımına (R dalgası) bağlı ise, hasar ilişkisi;

$$RR_R = 0.034 V_{\max}^{0.92} \quad (3)$$

ile; cisim dalgalarının (S dalgası) yayılımına bağlı ise, hasar ilişkisi;

$$RR_S = 0.0035 V_{\max}^{0.92}$$

(4)

ile ifade edilmektedir. Bu ilişkilerdeki RR_R yüzey dalgasının hasar oranını, RR_S ise, cisim dalgasının hasar oranını temsil etmektedir. $V_{\max}$ 'ın birimi yine cm/sn'dir.

M.O'Rourke ve diğ., 2004, 1971 San Fernando, 1965 Puget Sound, 1983 Coalinga, 1985 Michoacan ve 19994 Northridge depremlerinden elde edilen 14 veri noktasını kullanarak km başına hasar oranını (RR) birim deformasyonun (ϵ) fonksiyonu olarak aşağıdaki şekilde ifade etmişlerdir;

$$RR = 513 \epsilon^{0.89}$$

(5)

Daha sonra, yine M.O'Rourke ve diğ., 2004, tarafından birleştirilmiş dalga yayılımı ve PGD veri seti kullanılarak oluşturulan;

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

(6)

eşitliğinin km başına düşen hasar oranını ifade etmekte en uygun ilişki olduğu ortaya konmuştur. Eşitlik 5 ve Eşitlik 6'da, RR km başına düşen hasar oranını, ϵ ise birim deformasyonu ifade etmektedir.

Çalışma alanındaki hasar verilerinin verilen eşitliklere uygulanması aşamasında, $V_{\max}$ ve $D_{\max}$ 'ın fonksiyonu olarak Eşitlik 1, Eşitlik 2, Eşitlik 3 ve Eşitlik 4'te ifade edilen RR 'lerin (km başına düşen hasar oranı) uyumlu olmadığı görülmüştür. Çalışma alanına ait $V_{\max}$ ve $D_{\max}$ verileri olmadığından hesaplanan birim deformasyonlar ve tespit edilen hasar sayıları ile Eşitlik 5 ve Eşitlik 6 arasında ilişki kurulmuştur. Eşitliklerden elde edilen RR 'ler (km başına düşen hasar oranı) ile çalışma alanındaki hasar sayılarının karşılaştırılması Bölüm 3.7'de verilmiştir.

3. KOLLEKTÖR HATTI HASARLARI

İzmit Körfezi güney sahil şeridinde yer alan ana kollektör hattı, 1999 Kocaeli Depremi sırasında kırılan fayı yaklaşık olarak 40 kilometre boyunca 0-5 kilometre mesafeden Karamürsel, Kaytazdere, Ereğli, Halıdere ve Değirmendere bölgelerinde faya paralel olarak, Altınova'da ise faya dik olarak takip etmektedir. Şekil 3.1.'de çalışma alanının uydu görüntüsü ve boru hattının konumu gösterilmiştir. Şekil 3.2.'de ise Uçkan ve diğ., 2005 tarafından incelenen boru hattının harita üzerindeki konumu verilmiştir.

Boru hatlarında deprem davranışına bağlı olarak meydana gelen hasarlar, Karamürsel, Kaytazdere ve Ereğli bölgeleri bazında başlıklar halinde incelenmiştir. Altınova, Halıdere ve Değirmendere bölgelerindeki hatlarda meydana gelen hasarlar ise Uçkan ve diğ., 2005 tarafından incelenmiş olup, bu tez içerisinde literatür çalışması olarak yer almaktadır.

Karamürsel, Kaytazdere ve Ereğli bölgelerinde yapılan incelemeler kapsamında, gömülü boru hattının depremden önceki ve sonraki konumları ve kotları ile boru hattında meydana gelen çökmeler ve yükselmeler grafiksel olarak gösterilmiştir. Tablolarda ise baca numaraları, bacalar arasındaki mesafeler, depremden önceki ve sonraki kotlar ile kot farkı değerleri, gömülü boru hattında meydana gelen birim deformasyonlar ve hasar sayıları sunulmuştur.

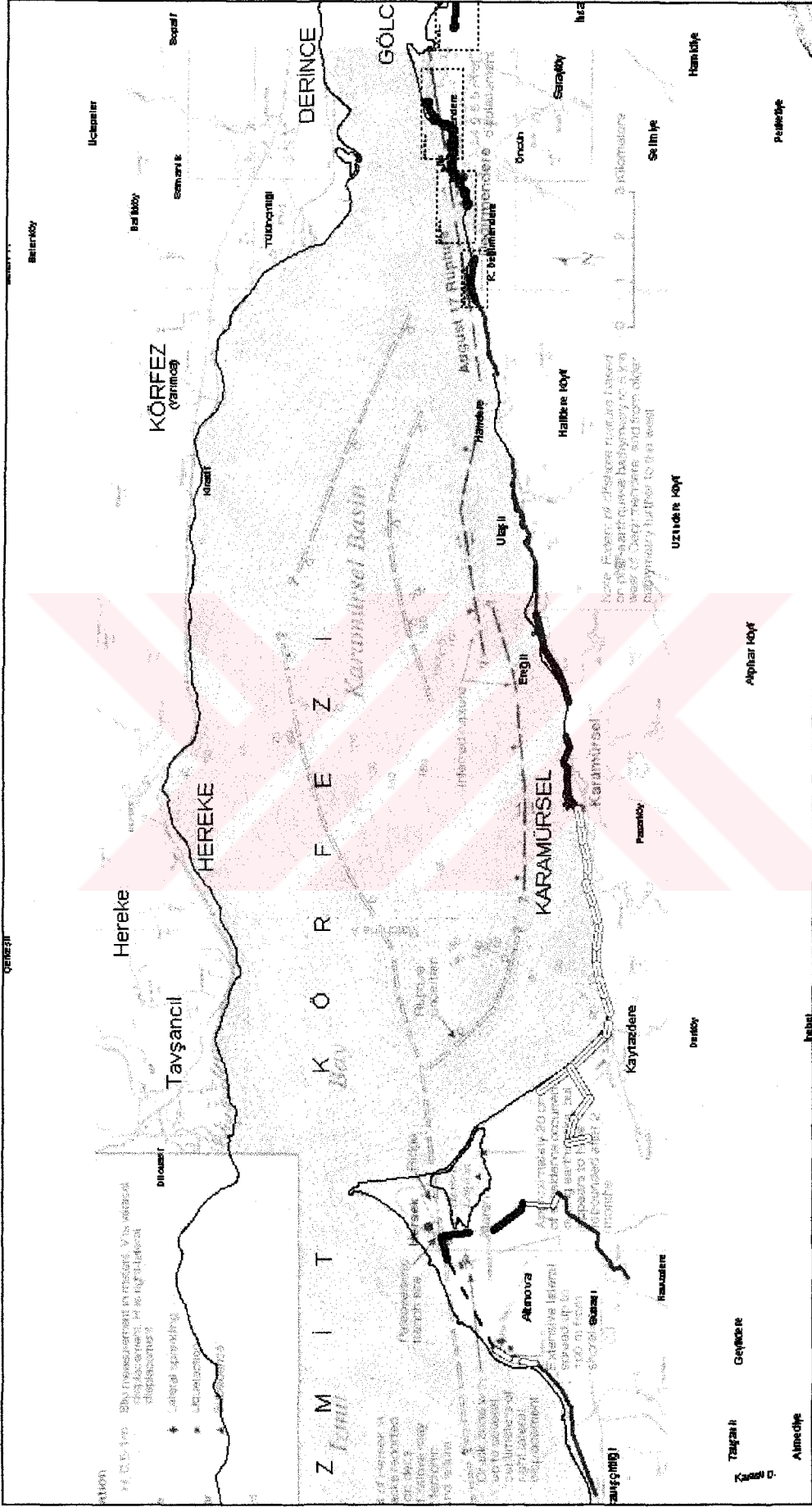
Baca numaralarının depremden önceki ve sonraki kotları ile mesafeler İller Bankası Genel Müdürlüğü'nden alınan paftalardan okunmuş, kot farkları ve ara mesafeler bu veriler kullanılarak hesaplanmış, hasar sayıları ise aynı veriler doğrultusunda tespit edilmiştir. Bacalar arasındaki birim deformasyonlar ise aşağıda verilen formül ile hesaplanmıştır;

$$\varepsilon = \Delta L / L \quad (1)$$

burada, ε birim deformasyonu, L (m) borunun deprem öncesi uzunluğunu, ΔL (m) ise depremden sonra borunun boyunda meydana gelen uzama veya kısalmayı ifade etmektedir.



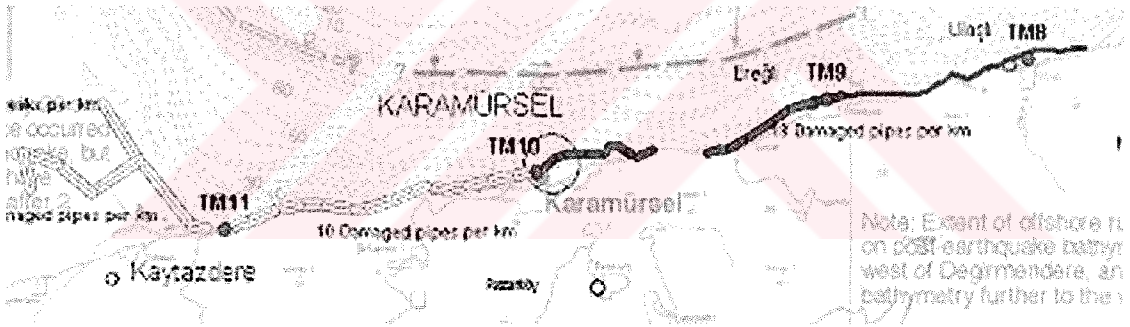
Şekil 3.1. Çalışma alanının uydur görüntüsü ve boru hattının konumu.



Şekil 3.2. Çalışma alanının haritası ve boru hattının konumu (Uçkan ve diğ., 2005).

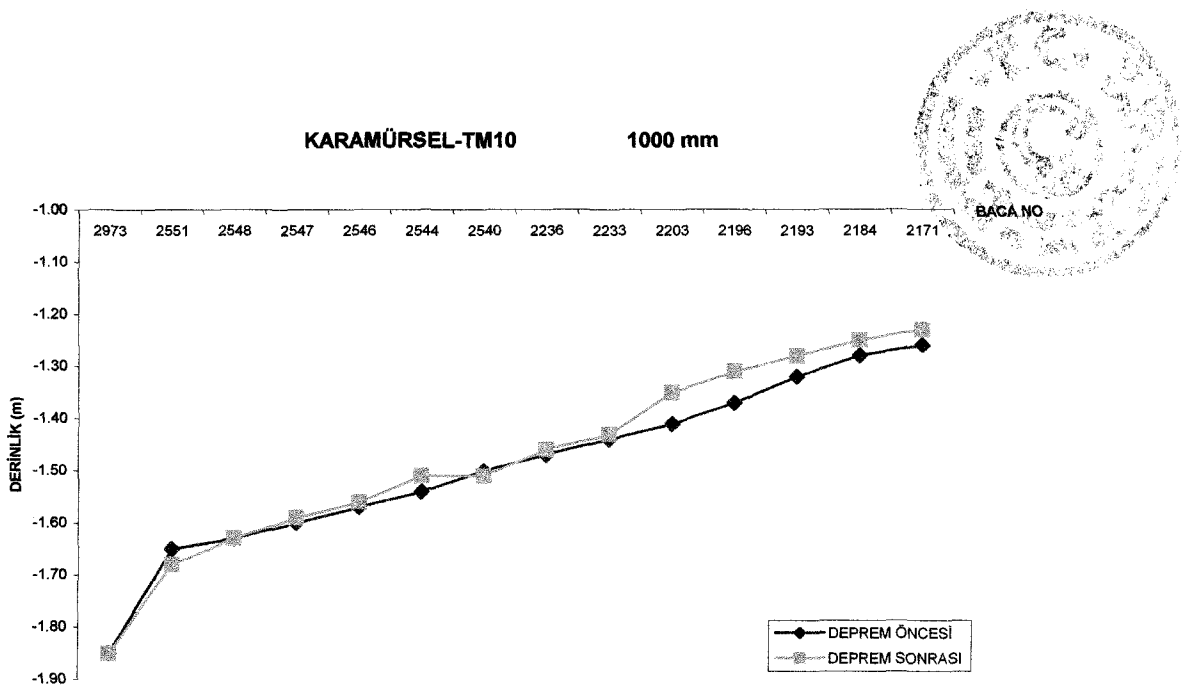
3.1. Karamürsel

İzmit Körfezi'nin ucundan Sapanca Gölü'ne doğru çok az yükselerek devam eden İzmit Ovası ve doğuda Gölcük kıyıları, körfeze dökülen çok sayıdaki akarsuyun getirdiği malzemenin birikmesi sonucu yer yer genişleyen alüvyal bir şerit görünümündedir. Batıya doğru gidildikçe bu alüvyal şerit daralmakta (Ulaşlı, Karamürsel ve Ereğli), Yalova'ya doğru Hersek ve Lale Dere deltalarında tekrar geniş alanları doldurmaktadır. Yalova ve yakın civarında kıyıya dik konumlu dereler boyunca alüvyonlarla örtülü koridorlar mevcuttur. Çakıl, kum, silt ve kil tane boyundaki malzemeden oluşan alüvyal malzemede, özellikle gevşek kumlu ve siltli depolanmalar, 1999 Kocaeli Depremi'ndeki hasarlar üzerinde sivilaşma ve zemin büyütmesi gibi davranışlarla etkili olmuşlardır. Karamürsel bölgesinin zemin profili, yer yüzeyinden yaklaşık 5 – 7,5 metre derinliklere varan az killi-siltli, çakıllı, yer yer ince kil bantlı kum tabakası şeklindedir. Yeraltı su seviyesi 5,5 – 7 metre arasında ölçülmüştür.

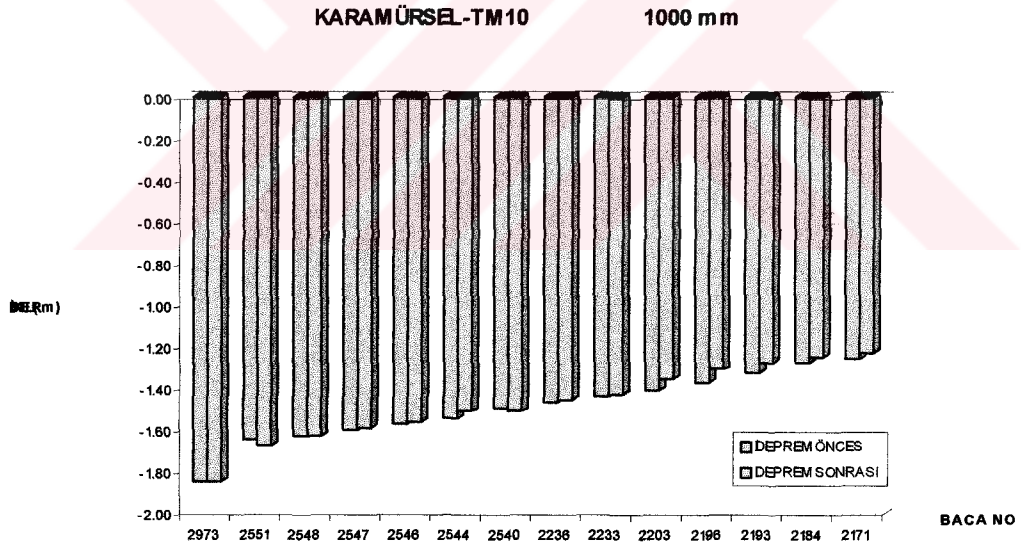


Şekil 3.3. Karamürsel, Kaytazdere ve Ereğli bölgelerindeki gömülü boru hattının harita üzerindeki yerleşimi (Uçkan ve diğ., 2005).

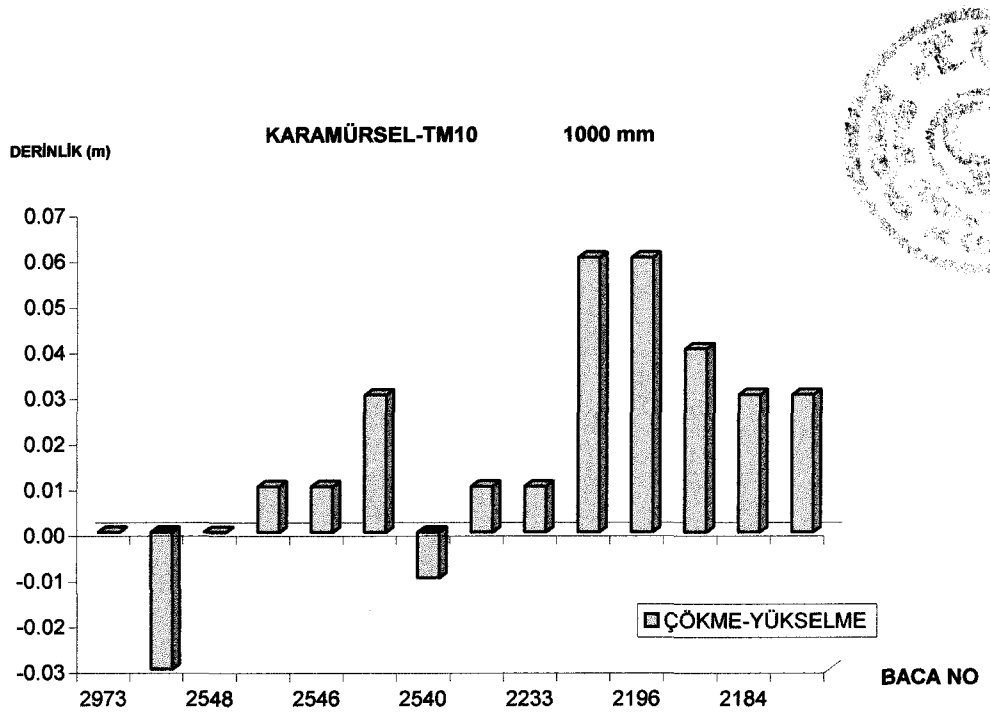
Şekil 3.3.'te Karamürsel, Kaytazdere ve Ereğli bölgelerindeki gömülü boru hattının harita üzerindeki yerleşimi verilmiştir. Faya olan uzaklığı 1000-4000 metre civarında olan Ulaşlı, Ereğli, Karamürsel ve Kaytazdere bölgelerinde sürekli hasarlardan çok yüksek yoğunluklu noktasal hasarlar gözlenmiştir. Toplam 20 kilometrelik sahil şeridini kapsayan bu bölgedeki boru hatlarında yenileme ve onarım çalışmaları yapılmıştır. Harita üzerinde kırmızı ile gösterilen hatlar yenilenen boru hatlarını, çizgili kırmızı ile gösterilen hatlar onarılan hatları, mavi ile gösterilen hatlar ise hasar görmeyen boru hattını temsil etmektedir.



Şekil 3.4. Karamürsel-TM10 bölgesindeki $\varnothing = 1000$ mm çapına sahip ve 2973-2171 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattının depremden önceki ve sonraki konumu.



Şekil 3.5. Karamürsel-TM10 bölgesindeki $\varnothing = 1000$ mm çapına sahip gömülü boru hattında yer alan 2973-2171 numaraları arasındaki bacaların depremden önceki ve sonraki kotları.



Şekil 3.6. Karamürsel-TM10 bölgesindeki $\varnothing = 1000$ mm çapına sahip ve 2973-2171 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattında meydana gelen çökmeler ve yükselmeler.

Şekil 3.4'te ve Şekil 3.5'te Karamürsel-TM10 bölgesindeki $\varnothing = 1000$ mm çapına sahip ve 2973-2171 numaralı bacaları arasındaki gömülü boru hattının depremden önceki ve sonraki konumları ile gösterilmiştir. Şekil 3.6'da ise hatta meydana gelen çökme ve yükselmeler görülmektedir. 2551 ve 2540 no'lu bacalarda çökme, diğer bacalarda ise 0,01 m ile 0,06 m arasında değişen derinliklerde yükselme meydana gelmiştir.

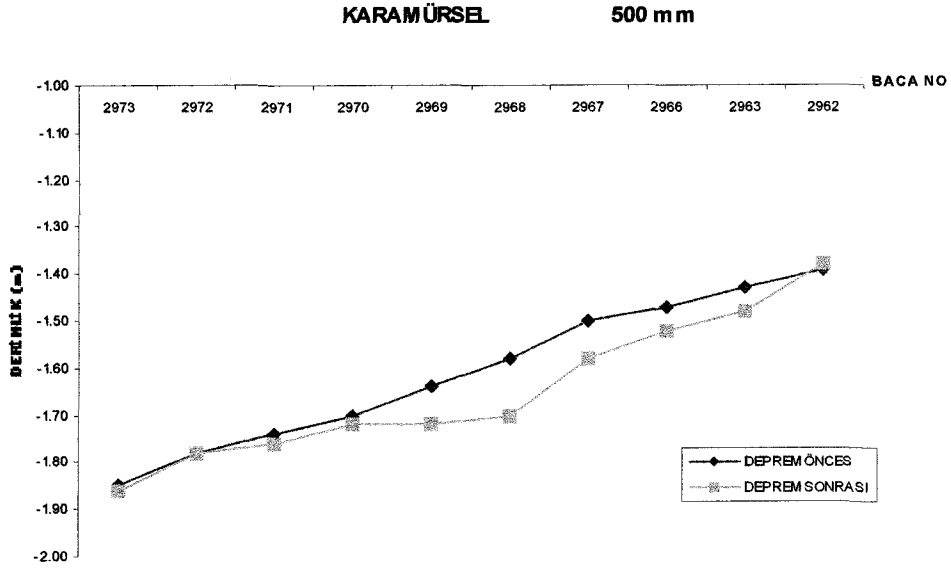
2544 no'lu bacadan 2546 no'lu bacaya doğru 37., 47., 55., ve 61. metrelerde; 2540 no'lu bacadan 2544 no'lu bacaya doğru 37. ve 57. metrelerde; 2236-2540 no'lu bacalar arasında 33. metrede; 2233-2236 no'lu bacalar arasında 37. metrede; ve 2196 no'lu bacadan 2203 no'lu bacaya doğru 5., 25., ve 37. metrelerde kırıklar olduğu tespit edilmiştir. Tablo 3.1'de baca numaraları arasındaki mesafe, boru hattının deprem öncesi ve sonrası kot değerleri ile gömülü boru hattında meydana gelen birim deformasyon, hasar sayıları ve hasar oranları verilmiştir.



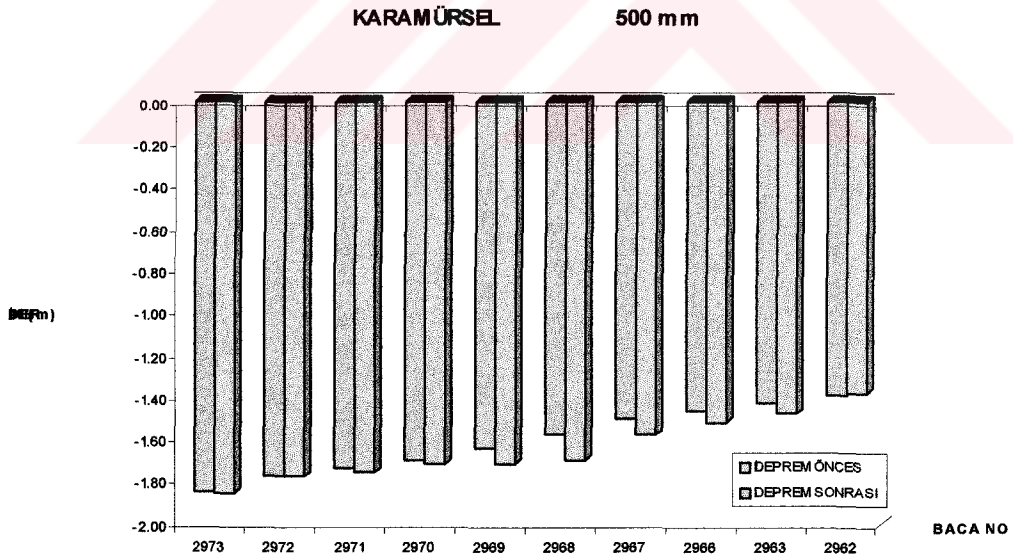
Tablo 3.1. Karamürsel-TM10 bölgesindeki $\varnothing = 1000$ mm çapına sahip ve 2973-2171 baca numaraları arasındaki mesafe, deprem

önceki ve sonraki kotları ile kot farkı değerleri ve gömülü boru hattında meydana gelen birim deformasyon, hasar sayıları ve hasar oranları.

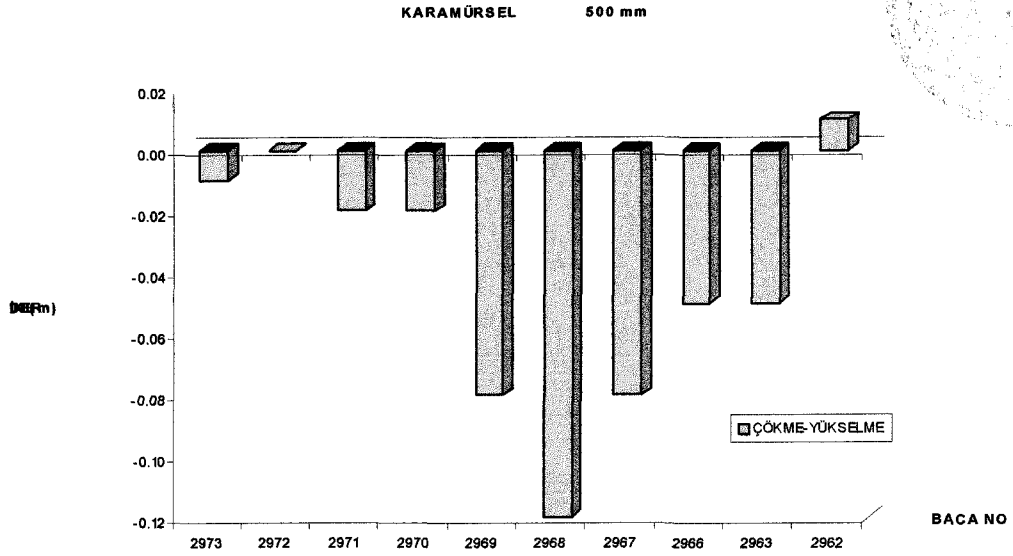
BACA NO	MESAFE (m)	DEPREM ÖNCESİ KOT (m)	DEPREM SONRASI KOT (m)	KOT FARKI (m)	BACA NO	ARA MESAFE (m)	BİRİM DEFORMASYON	HASAR SAYISI
2973	0.00	-1.85	-1.85	0.00	2973-2551	58.00	0.0000001338	
2551	58.00	-1.65	-1.68	-0.03	2551-2548	36.60	0.0000003359	
2548	94.60	-1.63	-1.63	0.00	2548-2547	58.40	0.0000000147	
2547	153.00	-1.60	-1.59	0.01	2547-2546	58.70	0.0000000000	
2546	211.70	-1.57	-1.56	0.01	2546-2544	70.80	0.0000000399	4
2544	282.50	-1.54	-1.51	0.03	2544-2540	82.00	0.0000001190	2
2540	364.50	-1.50	-1.51	-0.01	2540-2236	36.40	0.0000001509	1
2236	400.90	-1.47	-1.46	0.01	2236-2233	65.00	0.0000000000	
2233	465.90	-1.44	-1.43	0.01	2233-2203	69.00	0.0000002625	1
2203	534.90	-1.41	-1.35	0.06	2203-2196	83.10	0.0000000000	3
2196	618.00	-1.37	-1.31	0.06	2196-2193	103.60	0.0000000186	
2193	721.60	-1.32	-1.28	0.04	2193-2184	55.00	0.0000000165	
2184	776.60	-1.28	-1.25	0.03	2184-2171	28.30	0.0000000000	
2171	804.90	-1.26	-1.23	0.03				



Şekil 3.7. Karamürsel-TM10 bölgesindeki $\varnothing = 500$ mm çapına sahip ve 2973-2962 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattının depremden önceki ve sonraki konumu.



Şekil 3.8. Karamürsel-TM10 bölgesindeki $\varnothing = 500$ mm çapına sahip gömülü boru hattında yer alan 2973-2962 numaraları arasındaki bacaların depremden önceki ve sonraki kotları.



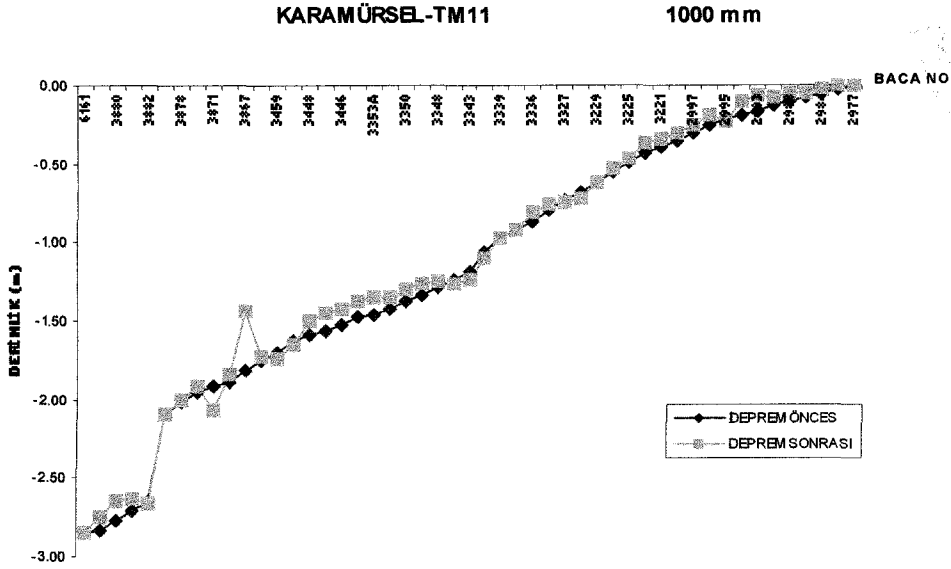
Şekil 3.9. Karamürsel-TM10 bölgesindeki $\varnothing = 500$ mm çapına sahip ve 2973-2962 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattında meydana gelen çökmeler ve yükselmeler.

Şekil 3.7’de ve Şekil 3.8’de Karamürsel-TM10 bölgesindeki $\varnothing = 500$ mm çapına sahip ve 2973-2962 numaralı bacaları arasındaki gömülü boru hattının depremden önceki ve sonraki konumları ile gösterilmiştir. Şekil 3.9’da ise hatta meydana gelen çökme ve yükselmeler görülmektedir. 2962 no’lu bacada yükselme, diğer bacalarda ise 0,01 m ile 0,12 m arasında değişen derinliklerde çökme meydana gelmiştir.

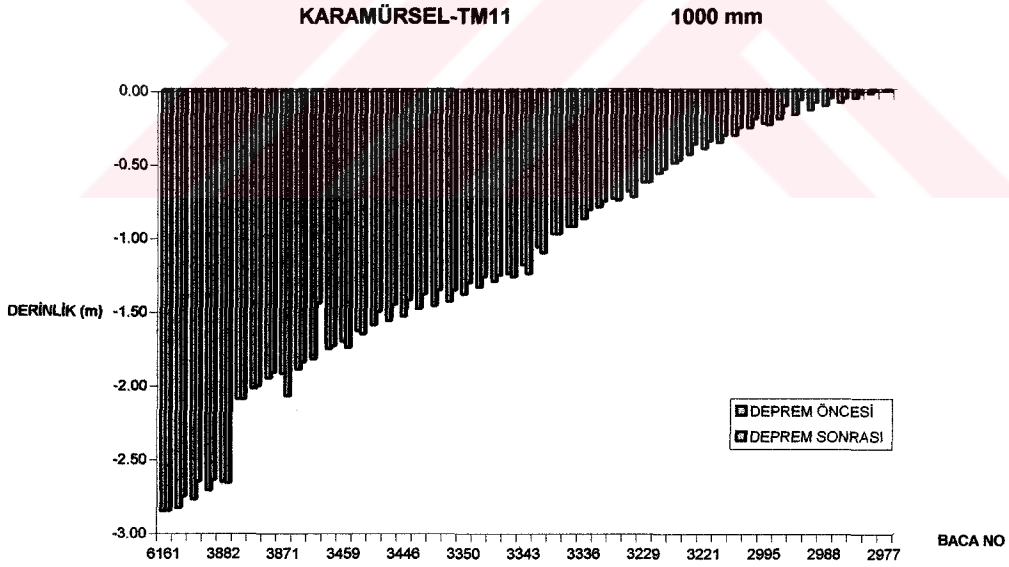
2969 no’lu bacadan 2970 no’lu bacaya doğru 17. metrede; 2967-2968 no’lu bacalar arasında 37. ve 49. metrelerde; 2966 no’lu bacadan 2967 no’lu bacaya doğru 5., 13. ve 37. metrelerde; 2963 no’lu bacadan 2966 no’lu bacaya doğru 11. ve 19. metrelerde; 2962-2963 no’lu bacalar arasında 13. metrede kırıklar olduğu ve 2962-2970 no’lu bacalar arasında oturmaların dalgalanmalı olduğu ve akarın sağlanamadığı tespit edilmiştir. Tablo 3.2’de baca numaraları arasındaki mesafe, boru hattının deprem öncesi ve sonrası kot değerleri ile gömülü boru hattında meydana gelen birim deformasyon, hasar sayıları ve hasar oranları verilmiştir.

Tablo 3.2. Karamürşel-TM10 bölgesindeki $\varnothing = 500$ mm çapına sahip ve 2973-2962 baca numaraları arasındaki mesafe, depremden önceki ve sonraki kotları ile kot farkı değerleri ve gömülü boru hattında meydana gelen birim deformasyon, hasar sayıları ve hasar oranları.

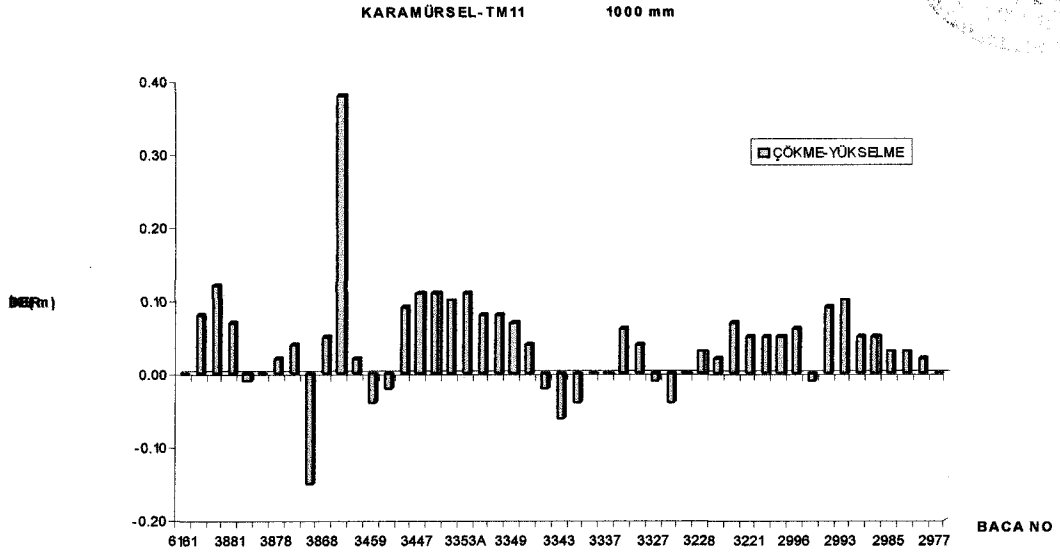
BACA NO	MESAFE (m)	DEPREM ÖNCESİ KOT (m)	DEPREM SONRASI KOT (m)	KOT FARKI (m)	BACA NO	ARA MESAFE (m)	BİRİM DEFORMASYON	HASAR SAYISI
2973	0.00	-1.85	-1.86	-0.01	2973-2972	42.95	0.000000027	
2972	42.95	-1.78	-1.78	0.00	2972-2971	33.65	0.000000177	
2971	76.60	-1.74	-1.76	-0.02	2971-2970	35.55	0.000000000	
2970	112.15	-1.70	-1.72	-0.02	2970-2969	55.55	0.000000583	1
2969	167.70	-1.64	-1.72	-0.08	2969-2968	62.30	0.000000206	
2968	230.00	-1.58	-1.70	-0.12	2968-2967	60.10	0.000000221	2
2967	290.10	-1.50	-1.58	-0.08	2967-2966	45.33	0.000000219	3
2966	335.43	-1.47	-1.52	-0.05	2966-2963	37.33	0.000000000	2
2963	372.76	-1.43	-1.48	-0.05	2963-2962	35.50	0.000001428	1
2962	408.26	-1.39	-1.38	0.01				



Şekil 3.10. Karamürsel-TM11 bölgesindeki $\varnothing = 1000$ mm çapına sahip ve 6161-2977 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattının depremden önceki ve sonraki konumu.



Şekil 3.11. Karamürsel-TM11 bölgesindeki $\varnothing = 1000$ mm çapına sahip gömülü boru hattında yer alan 6161-2977 numaraları arasındaki bacaların depremden önceki ve sonraki kotları.



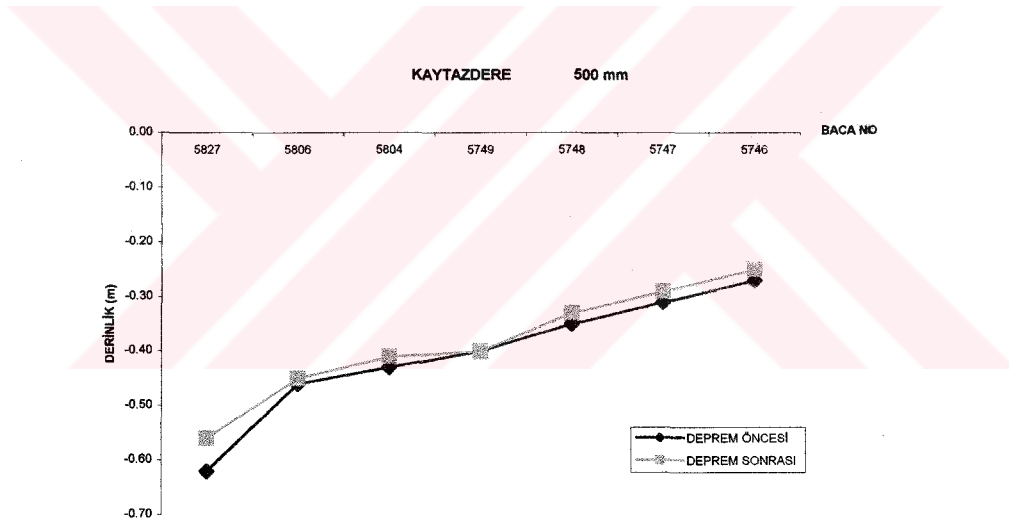
Şekil 3.12. Karamürsel-TM11 bölgesindeki $\varnothing = 1000$ mm çapına sahip ve 6161-2977 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattında meydana gelen çökmeler ve yükselmeler.

Şekil 3.10'da ve Şekil 3.11'de Karamürsel-TM11 bölgesindeki $\varnothing = 1000$ mm çapına sahip ve 6161-2977 numaralı bacaları arasındaki gömülü boru hattının depremden önceki ve sonraki konumları ile gösterilmiştir. Şekil 3.12'de ise hatta meydana gelen çökme ve yükselmeler görülmektedir. 3882, 3871, 3459, 3455, 3344, 3343, 3340, 3327, 3237, 2995 no'lu bacalarda 0,01 m ile 0,06 m arasında çökme, diğer bacalarda ise 0,02 m ile 0,38 m arasında değişen derinliklerde yükselme meydana gelmiştir.

3866, 3867, 3871, 3459, 3448, 3447, 3446, 3352, 3350, 3444, 3336, 3327, 3229, 3228, 3225, 3224, 3221 no'lu bacaların kırık ve hasarlı olduğu, 3881 no'lu bacadan 3880 no'lu bacaya doğru 15. ve 32. metrelerde; 3882 no'lu bacadan 3881 no'lu bacaya doğru 12. ve 28. metrelerde; 3871-3877 no'lu bacalar arasında 25. metrede; 3448 no'lu bacadan 3455 no'lu bacaya doğru 21. metrede; 3447-3448 no'lu bacalar arasında 1., 5. ve 35. metrelerde; 3353 no'lu bacadan 3446 no'lu bacaya doğru 23., 25. ve 63. metrelerde; 3353A-3353 no'lu bacalar arasında 27. metrede; 3344 no'lu bacadan 3348 no'lu bacaya doğru 7. ve 33. metrelerde; 3337-3339 no'lu

bacalar arasında 9. metrede; 3327 no'lu bacadan 3331 no'lu bacaya doğru 47., 53., 57., 61., 77. ve 85. metrelerde; 3229-3237 no'lu bacalar arasında 5., 19., 81. ve 83. metrelerde; 3228 no'lu bacadan 3229 no'lu bacaya doğru 13., 15., 17., 53. ve 83. metrelerde; 3225-3228 no'lu bacalar arasında 7., 13., 61. ve 85. metrelerde; 3224 no'lu bacadan 3225 no'lu bacaya doğru 71. metrede; 2997-3220 no'lu bacalar arasında 13. metrede kırıklar olduğu, 3882-3880, 3866-3877 no'lu bacalar arasında oturmaların dalgalanmalı olduğu ve akarın sağlanamadığı, 3337-3227 no'lu bacalar arasındaki hattın komple kırık olduğu ve 3339-3340 no'lu bacalar arasında komple çökme olduğu tespit edilmiştir. Tablo 3.3'te baca numaraları arasındaki mesafe, boru hattının deprem öncesi ve sonrası kot değerleri ile gömülü boru hattında meydana gelen birim deformasyon, hasar sayıları ve hasar oranları verilmiştir.

3.2. Kaytazdere



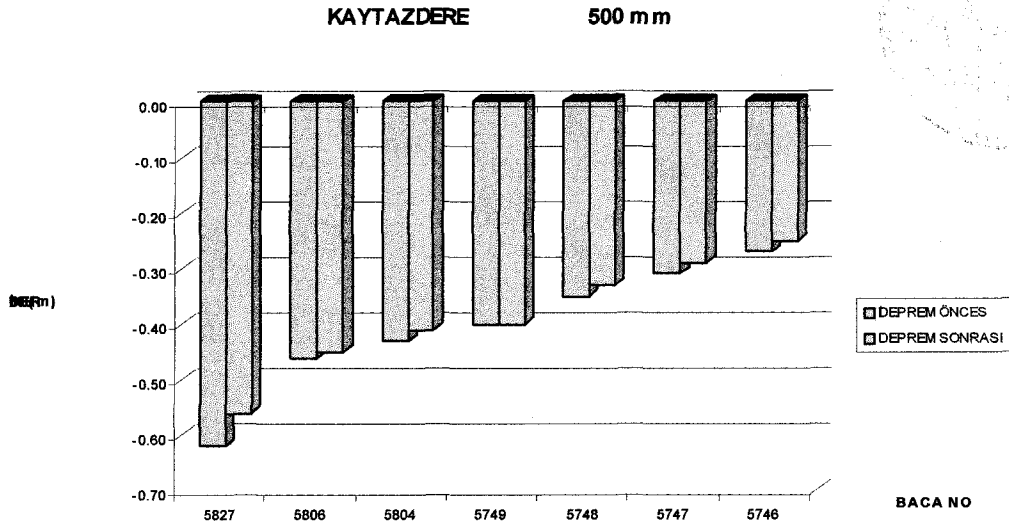
Şekil 3.13. Kaytazdere bölgesindeki $\varnothing = 500$ mm çapına sahip ve 5827-5746 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattının depremden önceki ve sonraki konumu.

Şekil 3.13'te ve Şekil 3.14'da Kaytazdere bölgesindeki $\varnothing = 500$ mm çapına sahip ve 5827-5746 numaralı bacaları arasındaki gömülü boru hattının depremden önceki ve sonraki konumları ile gösterilmiştir. Şekil 3.15'de ise hatta meydana gelen çökme ve yükselmeler görülmektedir. Tüm bacalarda 0,01 m ile 0,06 m arasında değişen derinliklerde yükselme meydana gelmiştir.

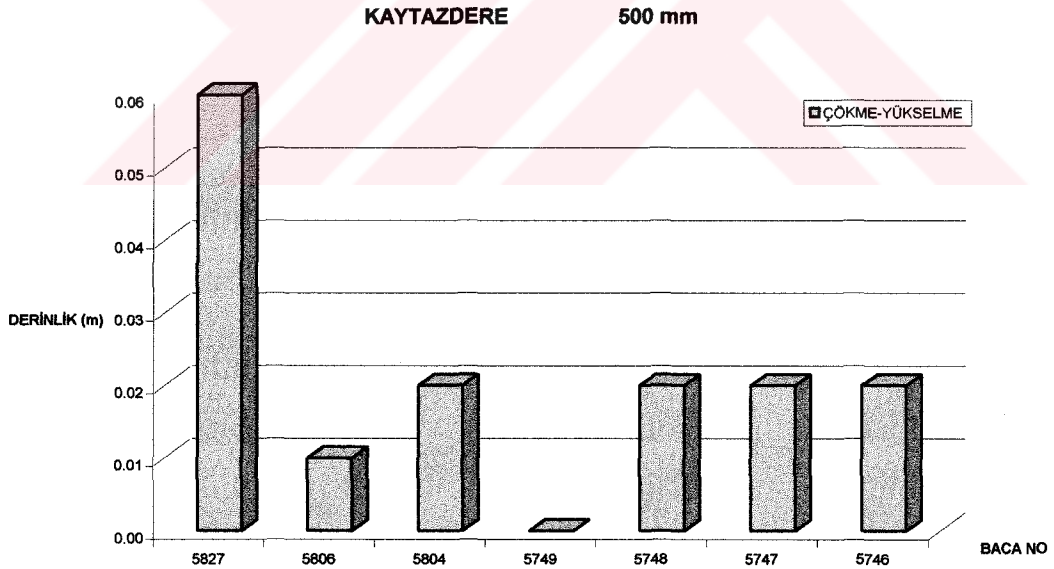
Tablo 3.3. Karamürsel-TM11 bölgesindeki $\varnothing = 1000$ mm çapına sahip ve 6161-2977 baca numaraları arasındaki mesafe, depremden önceki ve sonraki kotları ile kot farkı değerleri ve gömülü boru hattında meydana gelen birim deformasyon, hasar sayıları ve hasar oranları.

BACA NO	MESAFE (m)	DEPREM ÖNCESİ KOT (m)	DEPREM SONRASI KOT (m)	KOT FARKI (m)	BACA NO	ARA MESAFE (m)	BİRİM DEFORMASYON	HASAR SAYISI
6161	0.00	-2.85	-2.85	0.00	6161-3879	20.35	0.000007727	
3879	20.35	-2.83	-2.75	0.08	3879-3880	55.00	0.000000264	
3880	75.35	-2.77	-2.65	0.12	3880-3881	58.75	0.000000362	2
3881	134.10	-2.71	-2.64	0.07	3881-3882	34.50	0.000002689	2
3882	168.60	-2.65	-2.66	-0.01	3882-3883	35.90	0.000000039	
3883	204.50	-2.09	-2.09	0.00	3883-3878	87.10	0.000000026	
3878	291.60	-2.02	-2.00	0.02	3878-3877	81.10	0.000000030	
3877	372.70	-1.95	-1.91	0.04	3877-3871	26.45	0.000025800	1
3871	399.15	-1.92	-2.07	-0.15	3871-3868	36.50	0.000015012	1
3868	435.65	-1.89	-1.84	0.05	3868-3867	76.30	0.000009353	1
3867	511.95	-1.82	-1.44	0.38	3867-3866	75.10	0.000011489	1
3866	587.05	-1.75	-1.73	0.02	3866-3459	26.40	0.000002583	1
3459	613.45	-1.70	-1.74	-0.04	3459-3455	86.90	0.000000026	
3455	700.35	-1.63	-1.65	-0.02	3455-3448	54.70	0.000002022	1
3448	755.05	-1.59	-1.50	0.09	3448-3447	40.50	0.000000122	5
3447	795.55	-1.56	-1.45	0.11	3447-3446	42.50	0.000000000	1
3446	838.05	-1.53	-1.42	0.11	3446-3353	75.00	0.000000009	3
3353	913.05	-1.48	-1.38	0.10	3353-3353A	30.25	0.000000055	1
3353A	943.30	-1.46	-1.35	0.11	3353A-3352	38.90	0.000000297	1
3352	982.20	-1.43	-1.35	0.08	3352-3350	60.70	0.000000000	1
3350	1042.90	-1.38	-1.30	0.08	3350-3349	62.75	0.000000013	
3349	1105.65	-1.33	-1.26	0.07	3349-3348	58.65	0.000000131	
3348	1164.30	-1.29	-1.25	0.04	3348-3344	81.00	0.000000274	3
3344	1245.30	-1.24	-1.26	-0.02	3344-3343	36.60	0.000000597	
3343	1281.90	-1.18	-1.24	-0.06	3343-3340	34.40	0.000000169	
3340	1316.30	-1.06	-1.10	-0.04	3340-3339	38.40	0.000000543	
3339	1354.70	-0.97	-0.97	0.00	3339-3337	70.70	0.000000000	1

BACA NO	MESAFE (m)	DEPREM ÖNCESİ KOT (m)	DEPREM SONRASI KOT (m)	KOT FARKI (m)	BACA NO	ARA MESAFE (m)	BİRİM DEFORMASYON	HASAR SAYISI
3337	1425.40	-0.92	-0.92	0.00	3337-3336	71.00	0.000000357	1
3336	1496.40	-0.87	-0.81	0.06	3336-3331	109.00	0.000000017	
3331	1605.40	-0.79	-0.75	0.04	3331-3327	97.00	0.000000133	7
3327	1702.40	-0.73	-0.74	-0.01	3327-3237	71.00	0.000000089	
3237	1773.40	-0.68	-0.72	-0.04	3237-3229	91.10	0.000000096	5
3229	1864.50	-0.62	-0.62	0.00	3229-3228	93.30	0.000000052	6
3228	1957.80	-0.56	-0.53	0.03	3228-3225	105.00	0.000000005	5
3225	2062.80	-0.49	-0.47	0.02	3225-3224	91.30	0.000000150	2
3224	2154.10	-0.43	-0.36	0.07	3224-3221	63.30	0.000000050	1
3221	2217.40	-0.39	-0.34	0.05	3221-3220	50.70	0.000000000	
3220	2268.10	-0.35	-0.30	0.05	3220-2997	80.80	0.000000000	1
2997	2348.90	-0.30	-0.25	0.05	2997-2996	110.50	0.000000004	
2996	2459.40	-0.25	-0.19	0.06	2996-2995	36.50	0.000001839	
2995	2495.90	-0.22	-0.23	-0.01	2995-2994	54.90	0.000001659	
2994	2550.80	-0.19	-0.10	0.09	2994-2993	54.60	0.000000017	
2993	2605.40	-0.16	-0.06	0.10	2993-2987	57.00	0.000000385	
2987	2662.40	-0.13	-0.08	0.05	2987-2988	71.00	0.000000000	
2988	2733.40	-0.10	-0.05	0.05	2988-2985	38.70	0.000000134	
2985	2772.10	-0.08	-0.05	0.03	2985-2984	83.00	0.000000000	
2984	2855.10	-0.05	-0.02	0.03	2984-2987	42.10	0.000000028	
2978	2897.20	-0.02	0.00	0.02	2978-2977	24.00	0.000000347	
2977	2921.20	0.00	0.00	0.00				

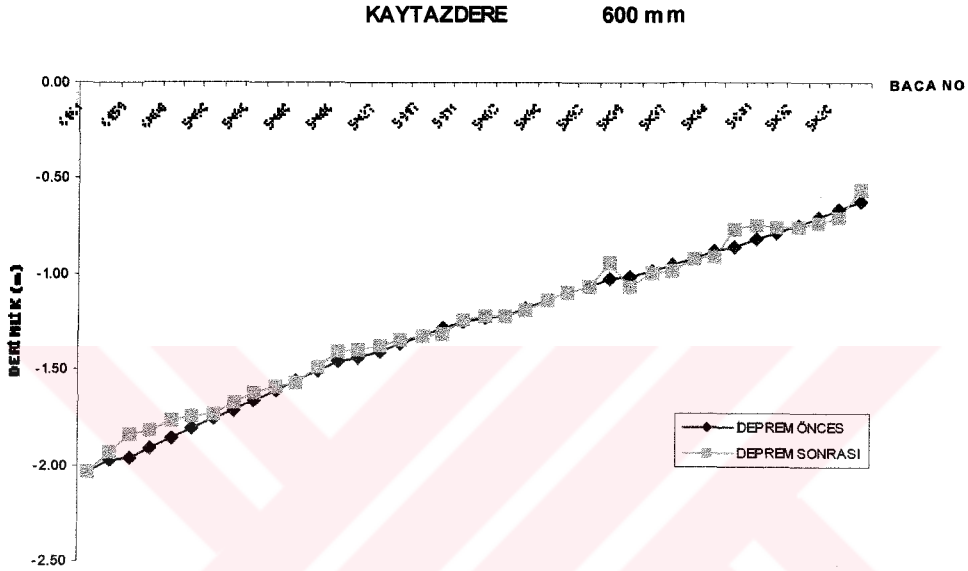


Şekil 3.14. Kaytazdere bölgesindeki $\varnothing = 500$ mm çapına sahip gömülü boru hattında yer alan 5827-5746 numaraları arasındaki bacaların depremden önceki ve sonraki kotları.



Şekil 3.15. Kaytazdere bölgesindeki $\varnothing = 500$ mm çapına sahip ve 5827-5746 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattında meydana gelen çökmeler ve yükselmeler.

5806 no'lu bacadan 5827 no'lu bacaya doğru 5. ve 31. metrelerde; 5748-5749 no'lu bacalar arasında 17. metrede; 5746 no'lu bacadan 5747 no'lu bacaya doğru 1. ve 7. metrelerde kırıklar olduğu tespit edilmiştir. Tablo 3.4'te baca numaraları arasındaki mesafe, boru hattının deprem öncesi ve sonrası kot değerleri ile gömülü boru hattında meydana gelen birim deformasyon, hasar sayıları ve hasar oranları verilmiştir

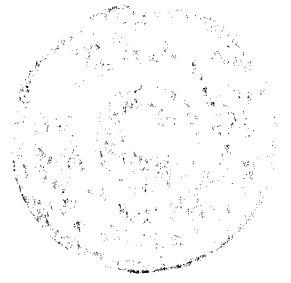


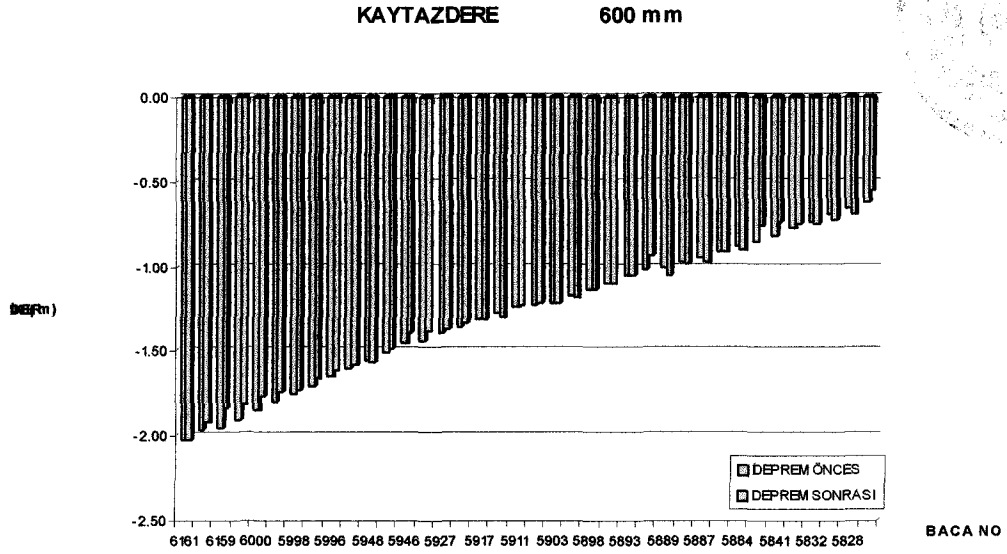
Şekil 3.16. Kaytazdere bölgesindeki $\varnothing = 600$ mm çapına sahip ve 6161-5827 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattının depremden önceki ve sonraki konumu.

Şekil 3.16'da ve Şekil 3.17'de Kaytazdere bölgesindeki $\varnothing = 600$ mm çapına sahip ve 5827-5746 numaralı bacaları arasındaki gömülü boru hattının depremden önceki ve sonraki konumları ile gösterilmiştir. Şekil 3.18'de ise hatta meydana gelen çökme ve yükselmeler görülmektedir. 5948, 5916, 5900, 5889, 5888, 5887, 5884, 5832, 5830 ve 5828 no'lu bacalarda 0,01 m ile 0,05 m arasında çökme, diğer bacalarda ise 0,01 m ile 0,12 m arasında değişen derinliklerde yükselme meydana gelmiştir.

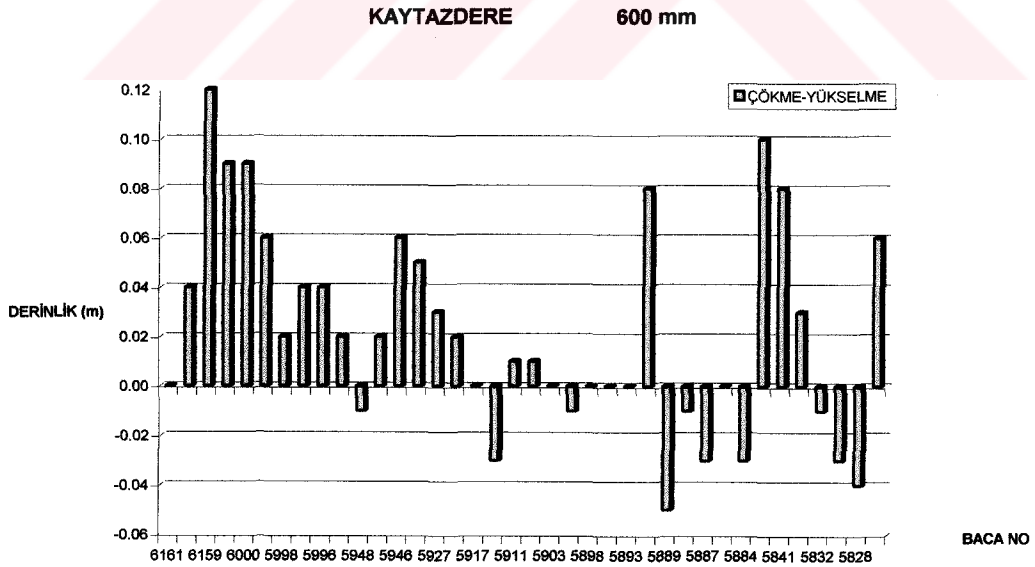
Tablo 3.4. Kaytazdere bölgesindeki $\varnothing = 500$ mm çapına sahip ve 5827-5746 baca numaraları arasındaki mesafe, depremden önceki ve sonraki kotları ile kot farkı değerleri ve gömülü boru hattında meydana gelen birim deformasyon, hasar sayıları ve hasar oranları.

BACA NO	MESAFE (m)	DEPREM ÖNCESİ KOT (m)	DEPREM SONRASI KOT (m)	KOT FARKI (m)	BACA NO	ARA MESAFE (m)	BİRİM DEFORMASYON	HASAR SAYISI
5827	0.00	-0.62	-0.56	0.06	5827-5806	48.85	$5.24 \cdot 10^{-7}$	2
5806	48.85	-0.46	-0.45	0.01	5806-5804	23.10	$0.94 \cdot 10^{-7}$	
5804	71.95	-0.43	-0.41	0.02	5804-5749	30.40	$2.16 \cdot 10^{-7}$	
5749	102.35	-0.40	-0.40	0.00	5749-5748	47.80	$0.88 \cdot 10^{-7}$	1
5748	150.15	-0.35	-0.33	0.02	5748-5747	37.60	0	
5747	187.75	-0.31	-0.29	0.02	5747-5746	38.40	0	2
5746	226.15	-0.27	-0.25	0.02				





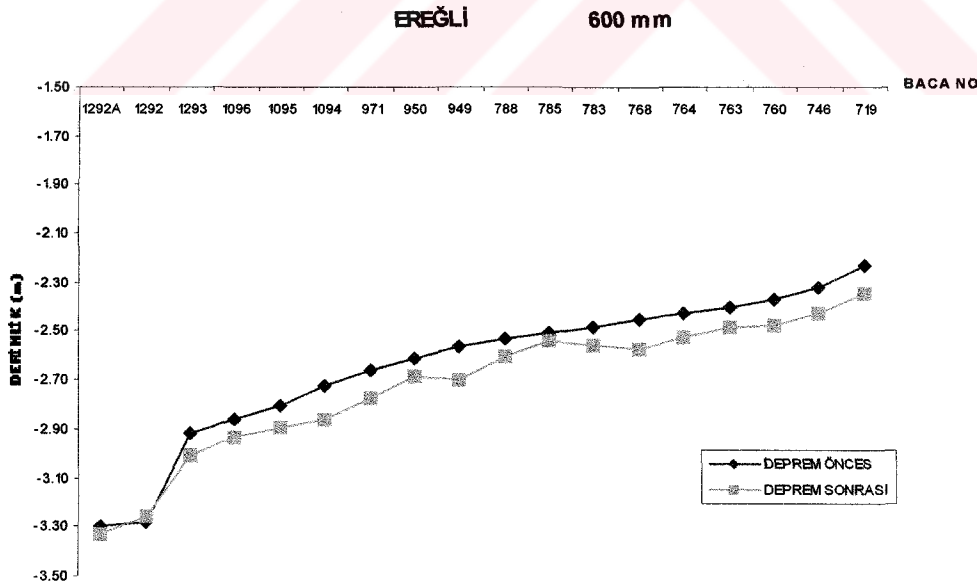
Şekil 3.17. Kaytazdere bölgesindeki $\varnothing = 600$ mm çapına sahip gömülü boru hattında yer alan 6161-5827 numaraları arasındaki bacaların depremden önceki ve sonraki kotları.



Şekil 3.18. Kaytazdere bölgesindeki $\varnothing = 600$ mm çapına sahip ve 6161-5827 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattında meydana gelen çökmeler ve yükselmeler.

6001 no'lu bacanın kırık ve hasarlı olduğu, 5996 no'lu bacadan 5997 no'lu bacaya doğru 5. ve 25. metrelerde; 5949-5996 no'lu bacalar arasında 3. ve 59. metrelerde; 5947 no'lu bacadan 5948 no'lu bacaya doğru 45. metrede; 5948-5949 no'lu bacalar arasında 5. ve 65. metrelerde; 5946 no'lu bacadan 5947 no'lu bacaya doğru 3. metrede; 5945-5946 no'lu bacalar arasında 11. metrede; 5926 no'lu bacadan 5927 no'lu bacaya doğru 7. metrede; 5911-5916 no'lu bacalar arasında 1. ve 5. metrelerde; 5910 no'lu bacadan 5911 no'lu bacaya doğru 7. metrede; 5903-5910 no'lu bacalar arasında 3. ve 9. metrelerde; 5836 no'lu bacadan 5841 no'lu bacaya doğru 7. ve 29. metrelerde; 5828-5830 no'lu bacalar arasında 13. metrede; 5827 no'lu bacadan 5828 no'lu bacaya doğru 29. metrede kırıklar olduğu, 5948-5949, 5945-5947 no'lu bacalar arasında oturumların dalgalanmalı olduğu, hatta çökme ve yükselmeler olduğu ve hattın aksının kaydığı, 5883-5893, 5836-5884 no'lu bacalar arasında oturumların dalgalanmalı olduğu ve akarın sağlanamadığı tespit edilmiştir. Tablo 3.5'te baca numaraları arasındaki mesafe, boru hattının deprem öncesi ve sonrası kot değerleri ile gömülü boru hattında meydana gelen birim deformasyon, hasar sayıları ve hasar oranları verilmiştir.

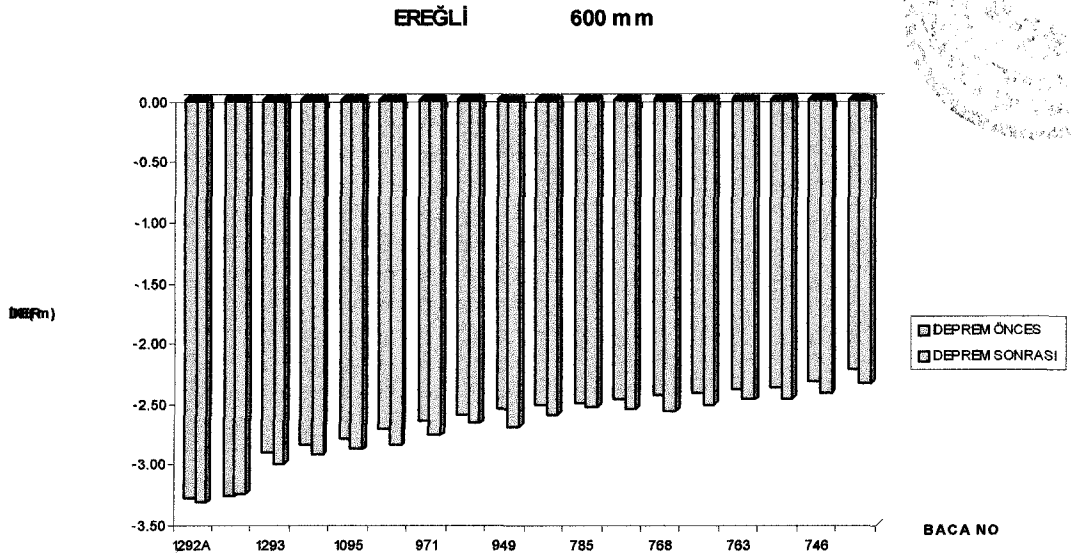
3.3. Ereğli



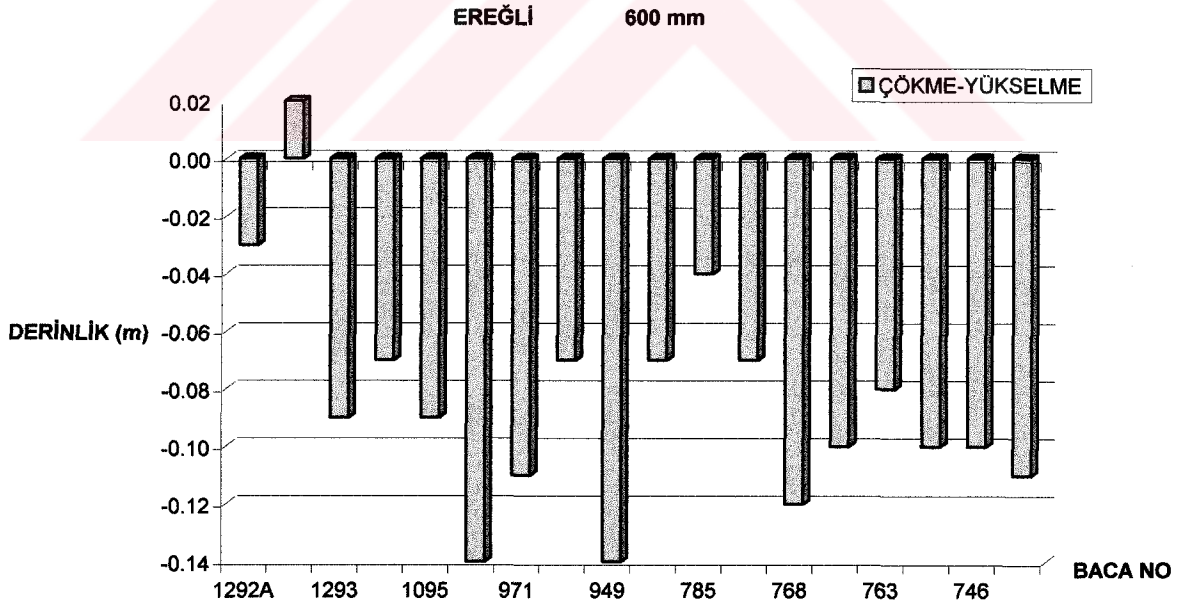
Şekil 3.19. Ereğli bölgesindeki $\varnothing = 600$ mm çapına sahip ve 1292A-719 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattının depremden önceki ve sonraki konumu.

Tablo 3.5. Kaytazdere bölgesindeki $\varnothing = 600$ mm çapına sahip ve 6161-5827 baca numaraları arasındaki mesafe, depremden önceki ve sonraki kotları ile kot farkı değerleri ve gömülü boru hattında meydana gelen birim deformasyon, hasar sayıları ve hasar oranları

BACA NO	MESAFE (m)	DEPREM ÖNCESİ KOT (m)	DEPREM SONRASI KOT (m)	KOT FARKI (m)	BACA NO	ARA MESAFE (m)	BİRİM DEFORMASYON	HASAR SAYISI
6161	45.90	-2.03	-2.03	0.00	6161-6160	45.90	0.0000000000	
6160	7.90	-1.97	-1.93	0.04	6160-6159	7.90	0.0000128184	1
6159	71.50	-1.96	-1.84	0.12	6159-6001	71.50	0.0000006259	2
6001	67.90	-1.91	-1.82	0.09	6001-6000	67.90	0.0000000976	2
6000	70.20	-1.86	-1.77	0.09	6000-5999	70.20	0.0000000000	
5999	67.80	-1.81	-1.75	0.06	5999-5998	67.80	0.0000000979	
5998	71.80	-1.76	-1.74	0.02	5998-5997	71.80	0.0000001552	
5997	67.60	-1.71	-1.67	0.04	5997-5996	67.60	0.0000000438	2
5996	68.30	-1.66	-1.62	0.04	5996-5949	68.30	0.0000000000	2
5949	67.50	-1.61	-1.59	0.02	5949-5948	67.50	0.0000000439	2
5948	67.60	-1.56	-1.57	-0.01	5948-5947	67.60	0.0000000985	1
5947	73.50	-1.51	-1.49	0.02	5947-5946	73.50	0.0000000833	1
5946	24.60	-1.46	-1.40	0.06	5946-5945	24.60	0.0000013220	1
5945	41.00	-1.44	-1.39	0.05	5945-5927	41.00	0.0000000297	
5927	55.50	-1.40	-1.37	0.03	5927-5926	55.50	0.0000000649	1
5926	47.70	-1.36	-1.34	0.02	5926-5917	47.70	0.0000000720	
5917	47.60	-1.32	-1.32	0.00	5917-5916	47.60	0.0000000883	
5916	39.30	-1.28	-1.31	-0.03	5916-5911	39.30	0.0000002914	2
5911	30.00	-1.25	-1.24	0.01	5911-5910	30.00	0.0000008889	1
5910	10.00	-1.23	-1.22	0.01	5910-5903	10.00	0.0000000000	2
5903	47.90	-1.22	-1.22	0.00	5903-5900	47.90	0.0000000218	
5900	47.20	-1.18	-1.19	-0.01	5900-5898	47.20	0.0000000724	
5898	46.00	-1.14	-1.14	0.00	5898-5896	46.00	0.0000000236	
5896	41.00	-1.10	-1.10	0.00	5896-5893	41.00	0.0000000000	
5893	47.80	-1.06	-1.06	0.00	5893-5891	47.80	0.0000000000	
5891	12.00	-1.02	-0.94	0.08	5891-5889	12.00	0.0000222220	
5889	36.80	-1.01	-1.06	-0.05	5889-5888	36.80	0.0000062396	
5888	45.80	-0.98	-0.99	-0.01	5888-5887	45.80	0.0000003814	
5887	38.00	-0.95	-0.98	-0.03	5887-5885	38.00	0.0000001385	
5885	43.70	-0.92	-0.92	0.00	5885-5884	43.70	0.0000002356	
5884	45.20	-0.88	-0.91	-0.03	5884-5883	45.20	0.0000002203	
5883	49.30	-0.86	-0.76	0.10	5883-5841	49.30	0.0000034767	
5841	54.00	-0.82	-0.74	0.08	5841-5836	54.00	0.0000000686	2
5836	54.00	-0.78	-0.75	0.03	5836-5832	54.00	0.0000004287	
5832	51.00	-0.74	-0.75	-0.01	5832-5830	51.00	0.0000003076	
5830	59.00	-0.70	-0.73	-0.03	5830-5828	59.00	0.0000000575	1
5828	59.00	-0.66	-0.70	-0.04	5828-5827	59.00	0.0000000144	1
5827		-0.62	-0.56	0.06				



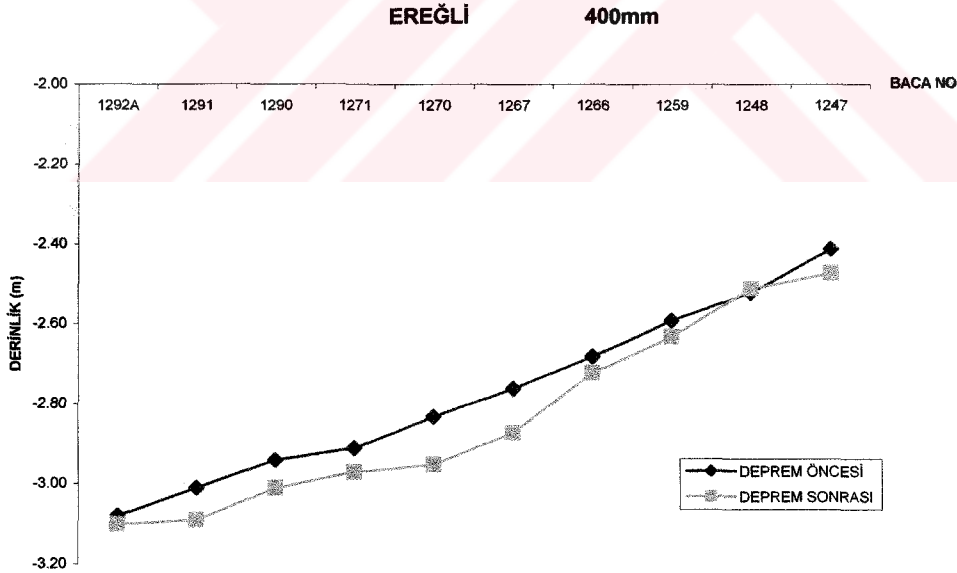
Şekil 3.20. Ereğli bölgesindeki $\varnothing = 600$ mm çapına sahip gömülü boru hattında yer alan 1292A-719 numaraları arasındaki bacaların depremden önceki ve sonraki kotları.



Şekil 3.21. Ereğli bölgesindeki $\varnothing = 600$ mm çapına sahip ve 1292A-719 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattında meydana gelen çökmeler ve yükselmeler.

Şekil 3.19'da ve Şekil 3.20'de Ereğli bölgesindeki $\varnothing = 600$ mm çapına sahip ve 1292A-719 numaralı bacaları arasındaki gömülü boru hattının depremden önceki ve sonraki konumları ile gösterilmiştir. Şekil 3.21'de ise hatta meydana gelen çökme ve yükselmeler görülmektedir. 1292 no'lu bacada 0,02 m yükselme, diğer bacalarda ise 0,03 m ile 0,14 m arasında değişen derinliklerde çökme meydana gelmiştir.

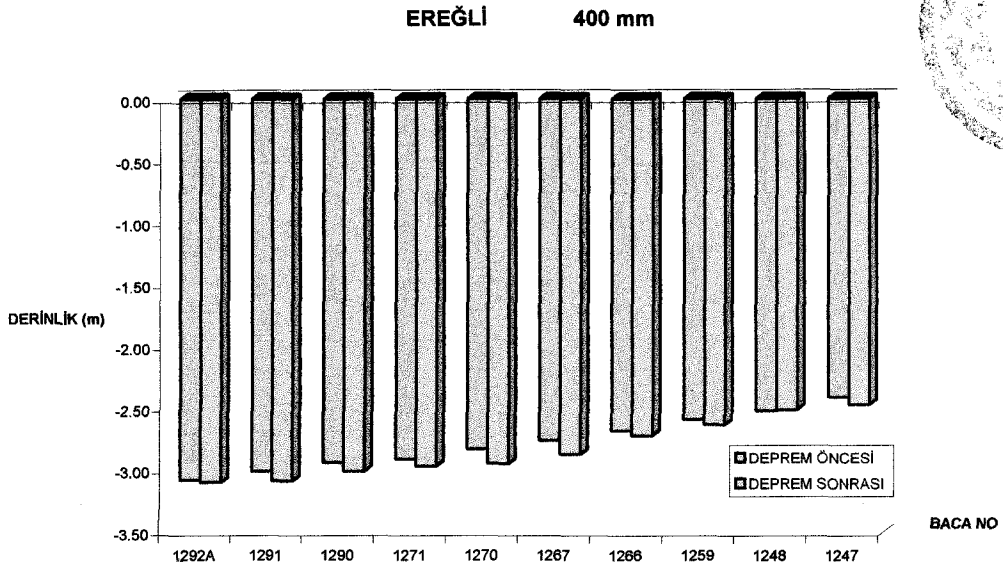
1096, 1094, 949, 950, 783 ve 768 no'lu bacaların kırık ve hasarlı olduğu, 1095 no'lu bacadan 1096 no'lu bacaya doğru 5. metrede; 1094-1095 no'lu bacalar arasında 15. ve 39. metrelerde; 949 no'lu bacadan 950 no'lu bacaya doğru 7. metrede; 950-971 no'lu bacalar arasında 43. metrede; 764 no'lu bacadan 768 no'lu bacaya doğru 27. metrede; 760-763 no'lu bacalar arasında 3. ve 17. metrelerde; 719 no'lu bacadan 746 no'lu bacaya doğru 5. ve 13. metrelerde kırıklar olduğu, 949-971 ve 764-788 no'lu bacalar arasında oturmaların dalgalanmalı olduğu ve akarın sağlanamadığı tespit edilmiştir. Tablo 3.6'da baca numaraları arasındaki mesafe, boru hattının deprem öncesi ve sonrası kot değerleri ile gömülü boru hattında meydana gelen birim deformasyon, hasar sayıları ve hasar oranları verilmiştir.



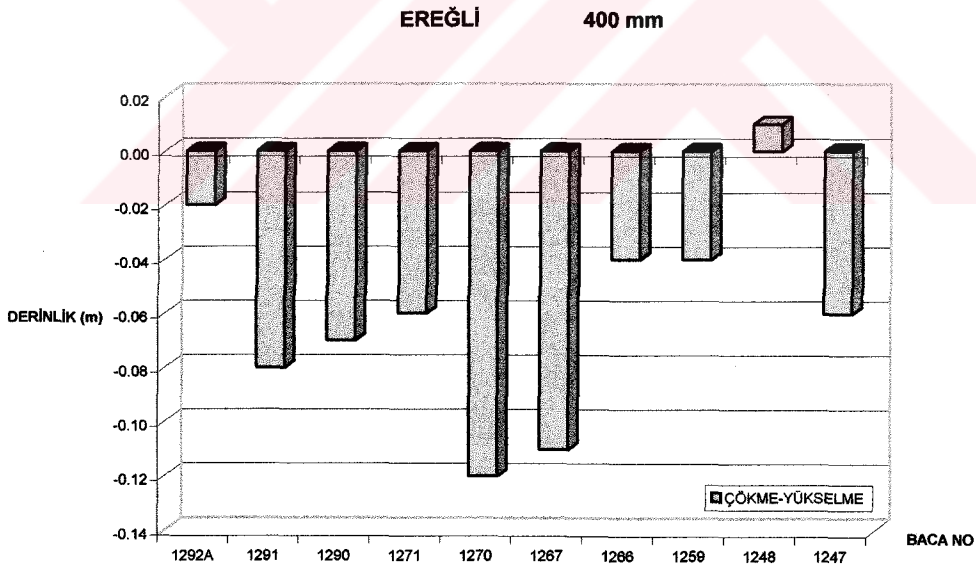
Şekil 3.22. Ereğli bölgesindeki $\varnothing = 400$ mm çapına sahip ve 1292A-1247 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattının depremden önceki ve sonraki konumu.

Tablo 3.6. Ereğli bölgesindeki $\varnothing = 600$ mm çapına sahip ve 6161-5827 baca numaraları arasındaki mesafe, depremden önceki ve sonraki kotları ile kot farkı değerleri ve gömülü boru hattında meydana gelen birim deformasyon, hasar sayıları ve hasar oranları.

BACA NO	MESAFE (m)	DEPREM ÖNCESİ KOT (m)	DEPREM SONRASI KOT (m)	KOT FARKI (m)	BACA NO	ARA MESAFE (m)	BİRİM DEFORMASYON	HASAR SAYISI
1292A	0.00	-3.30	-3.33	-0.03	1292A-1292	7.15	$244,51 \cdot 10^{-7}$	-
1292	7.15	-3.28	-3.26	0.02	1292-1293	49.00	$25,2 \cdot 10^{-7}$	-
1293	56.15	-2.92	-3.01	-0.09	1293-1096	46.50	$0,92 \cdot 10^{-7}$	-
1096	102.65	-2.86	-2.93	-0.07	1096-1095	40.40	$1,17 \cdot 10^{-7}$	2
1095	143.05	-2.80	-2.89	-0.09	1095-1094	49.40	$5,12 \cdot 10^{-7}$	2
1094	192.45	-2.72	-2.86	-0.14	1094-971	56.40	$1,41 \cdot 10^{-7}$	1
971	248.85	-2.66	-2.77	-0.11	971-950	46.40	$0,04 \cdot 10^{-7}$	1
950	295.25	-2.61	-2.68	-0.07	950-949	50.60	$9,57 \cdot 10^{-7}$	2
949	345.95	-2.56	-2.70	-0.14	949-788	34.60	$20,47 \cdot 10^{-7}$	1
788	380.45	-2.53	-2.60	-0.07	788-785	14.40	$21,7 \cdot 10^{-7}$	-
785	394.85	-2.50	-2.54	-0.04	785-783	24.30	$7,62 \cdot 10^{-7}$	1
783	419.15	-2.48	-2.55	-0.07	783-768	40.10	$7,77 \cdot 10^{-7}$	1
768	459.25	-2.45	-2.57	-0.12	768-764	34.50	$1,68 \cdot 10^{-7}$	2
764	493.75	-2.42	-2.52	-0.10	764-763	16.00	$7,81 \cdot 10^{-7}$	-
763	509.75	-2.40	-2.48	-0.08	763-760	35.50	$1,59 \cdot 10^{-7}$	2
760	545.25	-2.37	-2.47	-0.10	760-746	68.60	0	-
746	613.85	-2.32	-2.42	-0.10	746-719	43.40	$0,27 \cdot 10^{-7}$	2
719	657.25	-2.23	-2.34	-0.11				



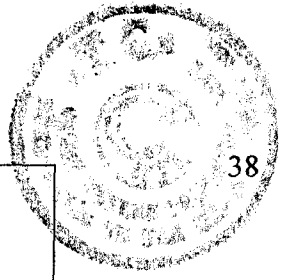
Şekil 3.23. Ereğli bölgesindeki $\varnothing = 400$ mm çapına sahip gömülü boru hattında yer alan 1292A-1247 numaraları arasındaki bacaların depremden önceki ve sonraki kotları.



Şekil 3.24. Ereğli bölgesindeki $\varnothing = 400$ mm çapına sahip ve 1292A-1247 baca numaraları arasındaki gömülü boru hattında meydana gelen çökmeler ve yükselmeler.

Tablo 3.7. Ereğli bölgesindeki $\varnothing = 400$ mm çapına sahip ve 1292A-1247baca numaraları arasındaki mesafe, depremden önceki ve sonraki kotları ile kot farkı değerleri ve gömülü boru hattında meydana gelen birim deformasyon, hasar sayıları ve hasar oranları.

BACA NO	MESAFE (m)	DEPREM ÖNCESİ KOT (m)	DEPREM SONRASI KOT (m)	KOT FARKI (m)	BACA NO	ARA MESAFE (m)	BİRİM DEFORMASYON	HASAR SAYISI
1292A	0.00	-3.08	-3.10	-0.02	1292A-1291	60.50	$4.92 \cdot 10^{-7}$	3
1291	60.50	-3.01	-3.09	-0.08	1291-1290	59.80	$0.14 \cdot 10^{-7}$	4
1290	120.30	-2.94	-3.01	-0.07	1290-1271	25.60	$0.76 \cdot 10^{-7}$	
1271	145.90	-2.91	-2.97	-0.06	1271-1270	56.10	$5.72 \cdot 10^{-7}$	1
1270	202.00	-2.83	-2.95	-0.12	1270-1267	65.80	$0.12 \cdot 10^{-7}$	1
1267	267.80	-2.76	-2.87	-0.11	1267-1266	65.90	$5.64 \cdot 10^{-7}$	1
1266	333.70	-2.68	-2.72	-0.04	1266-1259	63.90	0	
1259	397.60	-2.59	-2.63	-0.04	1259-1248	46.20	$2.11 \cdot 10^{-7}$	1
1248	443.80	-2.52	-2.51	0.01	1248-1247	64.50	$3 \cdot 10^{-7}$	1
1247	508.30	-2.41	-2.47	-0.06				



Şekil 3.22’de ve Şekil 3.23’te Ereğli bölgesindeki $\varnothing = 400$ mm çapına sahip ve 1292A-1247 numaralı bacaları arasındaki gömülü boru hattının deprem öncesi ve sonraki konumları ile gösterilmiştir. Şekil 3.24’te ise hatta meydana gelen çökme ve yükselmeler görülmektedir. 1248 no’lu bacada 0,01 m yükselme, diğer bacalarda ise 0,02 m ile 0,12 m arasında değişen derinliklerde çökme meydana gelmiştir.

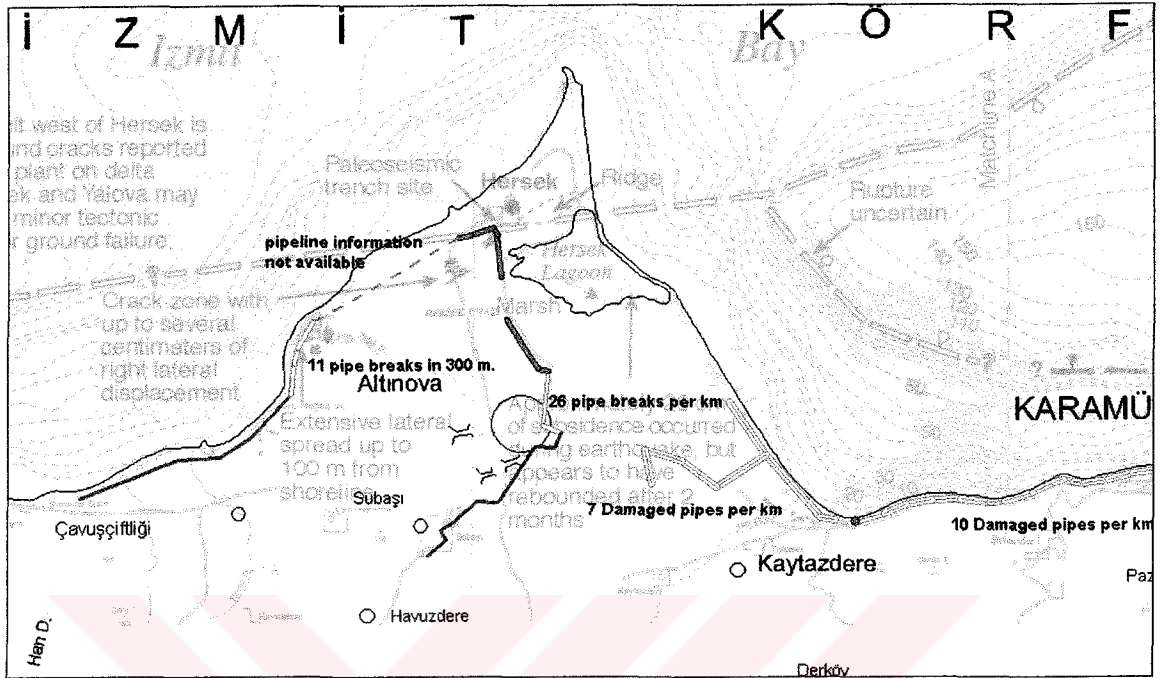
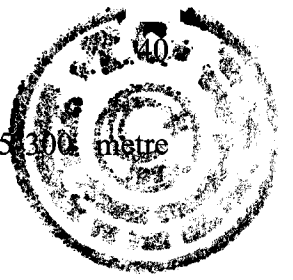
1291, 1290, 1270, 1271 ve 1267 no’lu bacaların kırık ve hasarlı olduğu, 1291 no’lu bacadan 1292A no’lu bacaya doğru ilk 3 borunun kırık olduğu, 1290 no’lu bacadan 1291 no’lu bacaya doğru 5. ve 58. metrelerde; 1248-1259 no’lu bacalar arasında 3. metrede; 1247 no’lu bacadan 1248 no’lu bacaya doğru 3. metrede kırıklar olduğu, 1290-1292A ve 1266-1271 no’lu bacalar arasındaki hatta çökmeler ve yükselmeler olduğu ve hattın aksının kaydığı tespit edilmiştir. Tablo 3.7’de baca numaraları arasındaki mesafe, boru hattının deprem öncesi ve sonrası kot değerleri ile gömülü boru hattında meydana gelen birim deformasyon, hasar sayıları ve hasar oranları verilmiştir

3.4. Altınova – Hersek

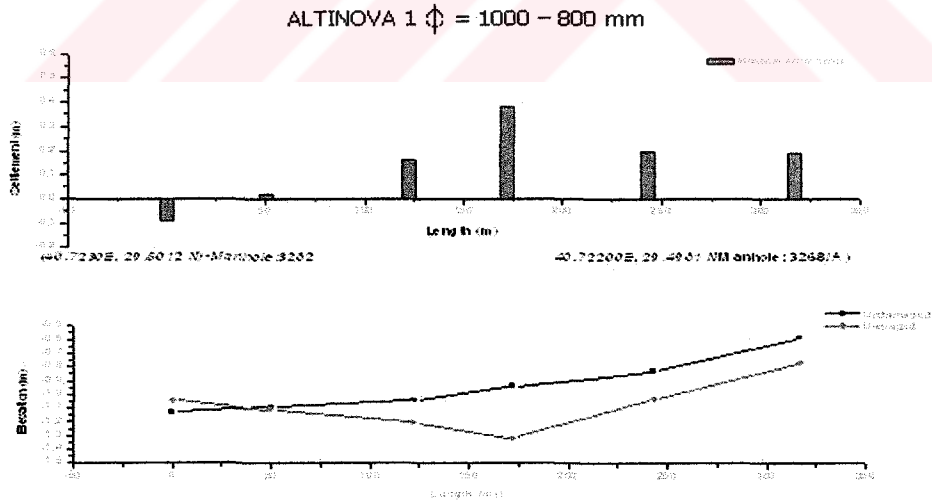
Fay hattına 0-2000 metre uzaklığında yer alan toplam 18 kilometre uzunluğundaki Altınova – Hersek boru hattında %84'lere varan hasar oranı gerçekleştiğinden boru hattının büyük bir kısmı tamamen yenilenmiştir. Bu bölgedeki kollektör hattı, boru çapları ve hasar oranları da göz önüne alınarak kuzeyden güneye doğru Altınova 1 ($\phi = 800-1000$ mm), Altınova 2 ($\phi = 1000$ mm) ve Altınova 3 ($\phi = 800$ mm) isimleri altında üç ayrı hatta incelenmiştir. Altınova bölgesindeki boru hatları faya dik doğrultuda yer almaktadır (Şekil 3.25). Fay ve boru hatları arasındaki mesafenin 0-1 kilometre olduğu Hersek yakınlarındaki detaylı hasar dağılımları Şekil 3.26, Şekil 3.27, ve Şekil 3.28’de gösterilmiştir.

Şekil 3.26’da Altınova 1 bölgesinde yer alan $\phi = 1000 - 800$ mm çaplı boru hattına ait kalıcı düşey deformasyonlar gösterilmiştir. 40,7230 – 40,7220 Doğu meridyenleri, 29,5012 – 29,4981 Kuzey paralelleri arasında 350 metrelik kesit boyunca faya paralel olarak yer alan boru hattının ilk 50 metresinde 0-0,1 metre

yükselme, 50-150 metre aralığında 0,1-0,35 metre çökme ve 175-300 metre aralığında yine 0,2 metre çökme meydana gelmiştir.



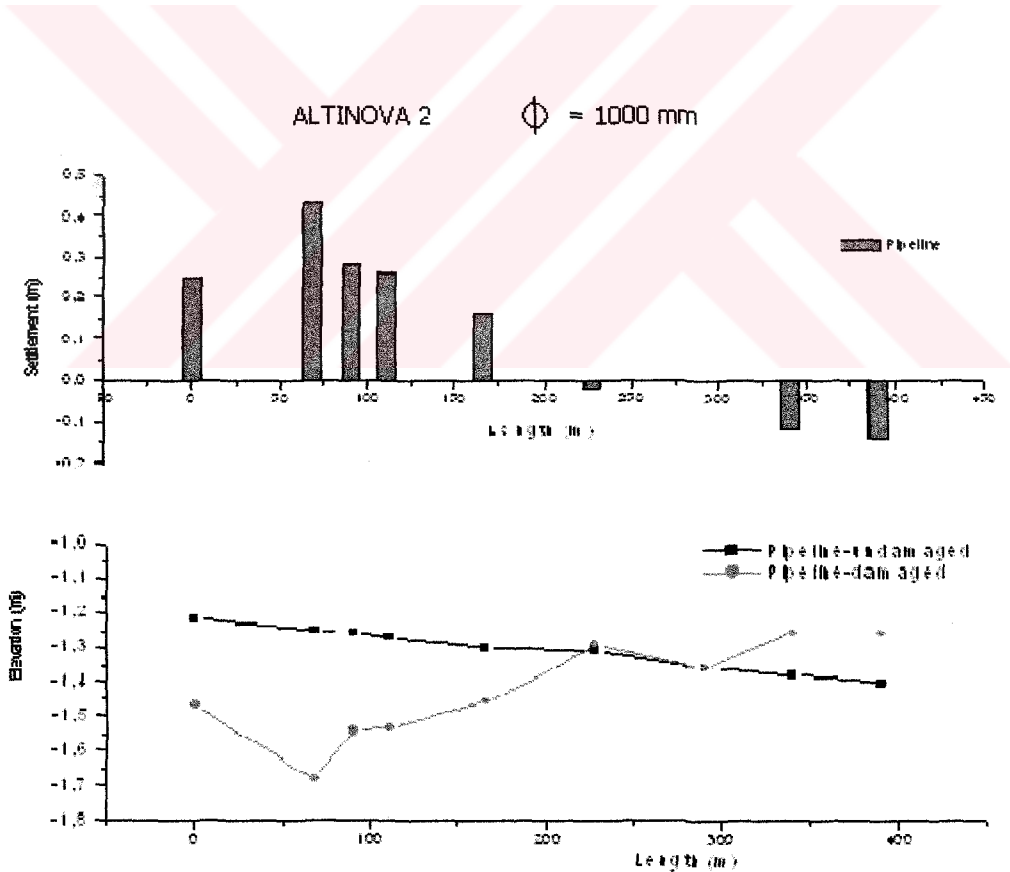
Şekil 3.25. Altınova – Hersek kolektör hattı (Uçkan ve diğ.,2005).



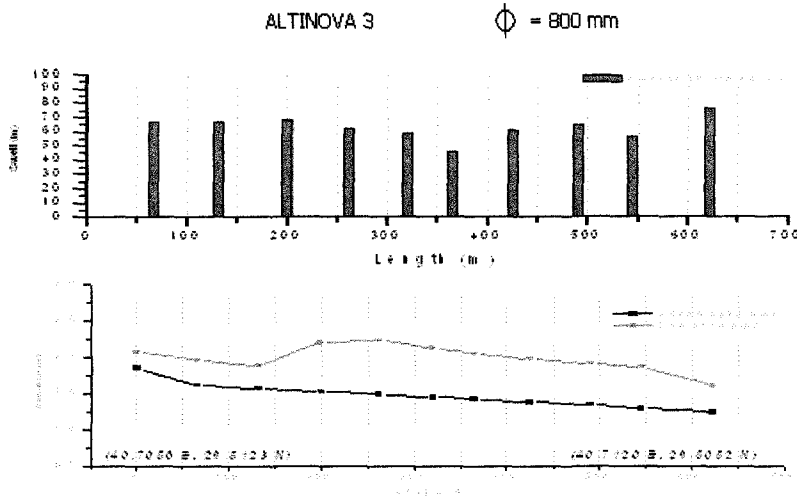
Şekil 3.26. Altınova 1 bölgesine ait kalıcı düşey deformasyonlar (Uçkan ve diğ., 2005).

Şekil 3.27’de Altınova 2 no’lu bölgeye ait kalıcı düşey deformasyonlar yer almaktadır. Bu bölgedeki boru hattı faya dik doğrultuda bulunmaktadır. 400 metre boyunca uzanan hattın ilk 200 metresinde 0-0,5 metre; 300-400 metre aralığında ise 0,2 metre çökme meydana gelmiştir. Yine faya dik doğrultuda yer alan Altınova 3 bölgesindeki kalıcı düşey deformasyonlar Şekil 3.28.’de gösterilmiştir. 40,7056 – 40,7120 doğu, 29,5123-29,5052 kuzey koordinatları arasında kalan bölgedeki boru hattının ilk 150 metresinde 0,5-0,8 metre arasında yükselme; 150-650 metre aralığında uzanan hatta ise 1-1,5 metre civarında yükselme meydana gelmiştir.

Faya olan uzaklığı 0-2000 metre olan Altınova-Hersek bölgesinde hasar oranı %37 ile %84 arasında değişmektedir. Hasar oranına bağlı olarak bazı yerlerde onarım çalışmaları yapılmış, yüksek hasar yoğunluğuna sahip hatlar ise tamamen yenilenmiştir.



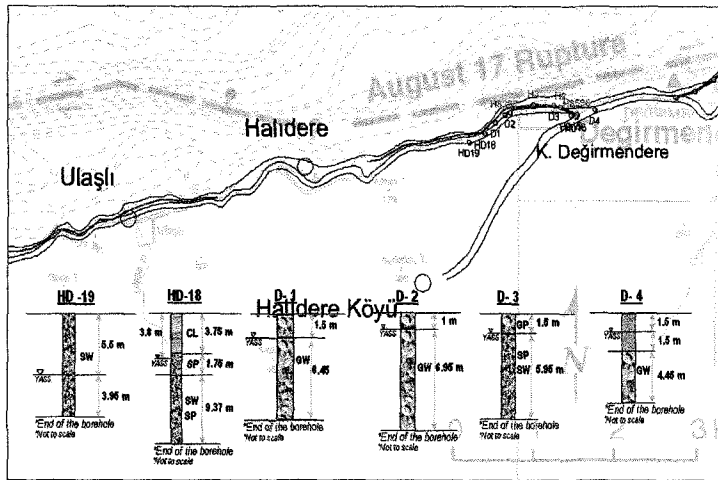
Şekil 3.27. Altınova 2 bölgesine ait kalıcı düşey deformasyonlar (Uçkan ve diğ.,2005).



Şekil 3.28. Altınova 3 bölgesine ait kalıcı düşey deformasyonlar (Uçkan ve diğ.,2005).

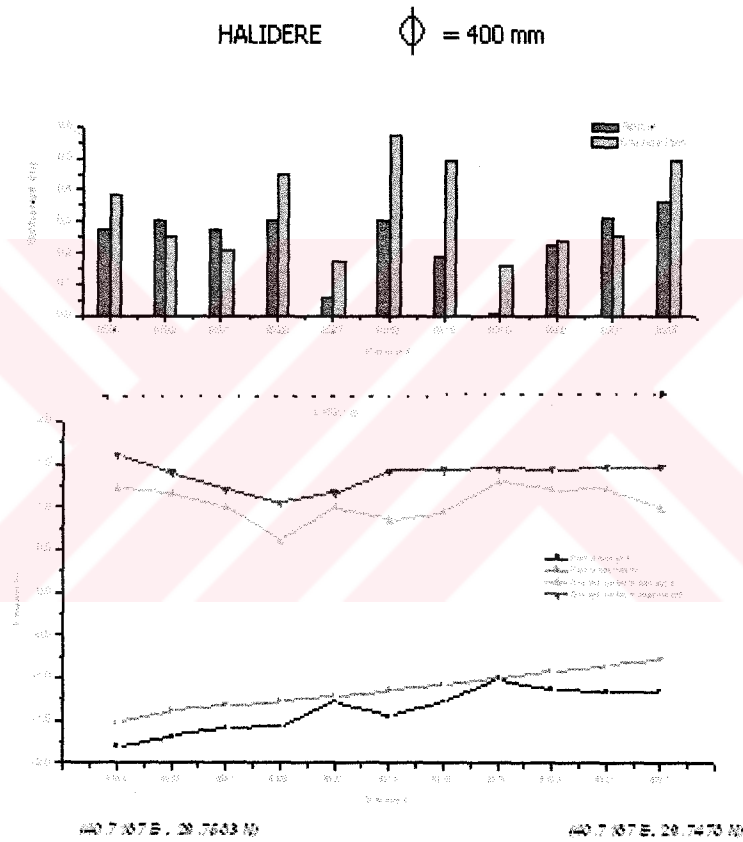
3.5. Halidere

Karamürsel'in doğusunda yer alan Halidere bölgesindeki kollektör hattı boyunca 6 adet sondaj yapılmıştır. Sondajlara ait loglar Şekil 3.29'da verilmiştir. Yer altı su seviyesinin 1-5 metre arasında değiştiği ve killi tabakanın sadece HD18 sondaj bölgesinde 3,75 metreye kadar yer aldığı görülmektedir. Diğer bölgeler ise az killi-siltli, çakıllı kum tabakasından oluşmaktadır.



Şekil 3.29. Halidere'deki kollektör hattında yapılan sondajlara ait loglar. (Uçkan ve diğ.,2005)

Halidere bölgesindeki boru hattı hasarları tektonik harekete bağlı olarak kalıcı deformasyonlardan oluşmaktadır. Halidere'ye ait yüzey ve akar kotlardan elde edilen hasar verileri Şekil 3.30'da gösterilmiştir. 40,7167 Doğu 29,7583-29,7478 Kuzey koordinatları arasında kalan bölgede 0,05 ile 0,3 metre arasında değişen derinliklerde oturma meydana gelmiştir. Faya olan uzaklığı 0-1000 metre arasında olan Halidere'de yer alan 1121 metre uzunluğundaki boru hattının 534 metresi hasar görmüştür. Hasar oranının %47 olduğu 400 milimetre çaplı boru hattı tamamen yenilenmiştir.

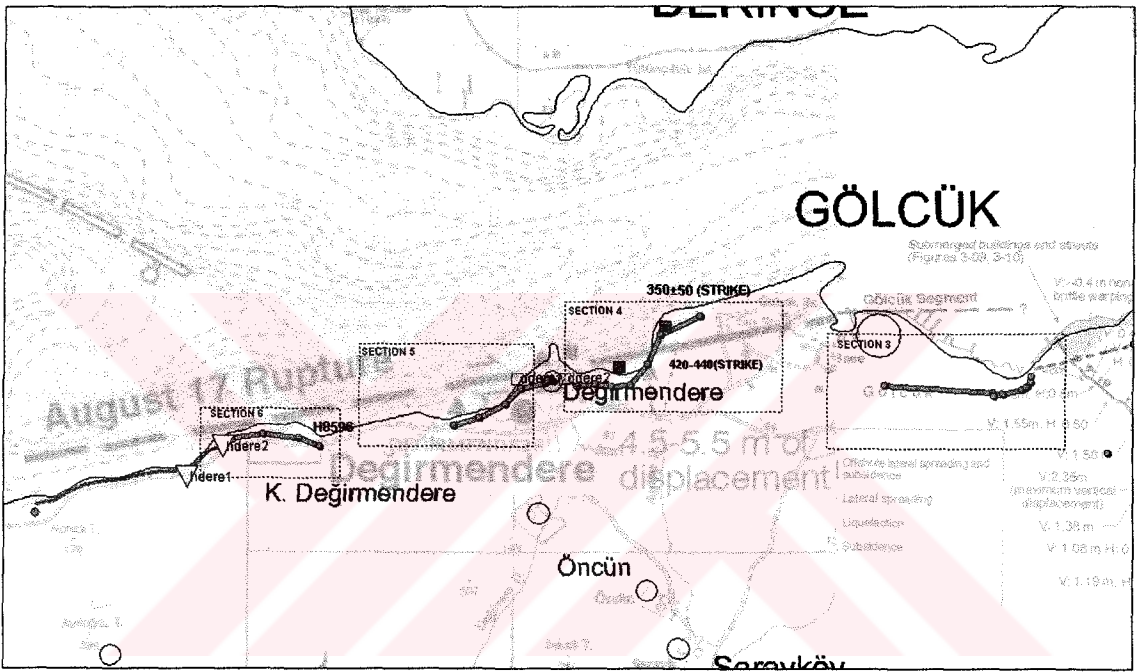


Şekil 3.30. Halidere'deki hasarlı hattan elde edilen ölçümler (Uçkan ve diğ.,2005).

3.6. Değirmendere

İzmit körfezinde en yaşlı birimlerin Paleozoyik yaşlı meta kumtaşları, şeyller, meta volkanitler ve meta granatları içeren Yedigöller formasyonu olduğu bilinmektedir. Bu kayaçlar, Değirmendere'nin güney ve güney-batısında görülmekte,

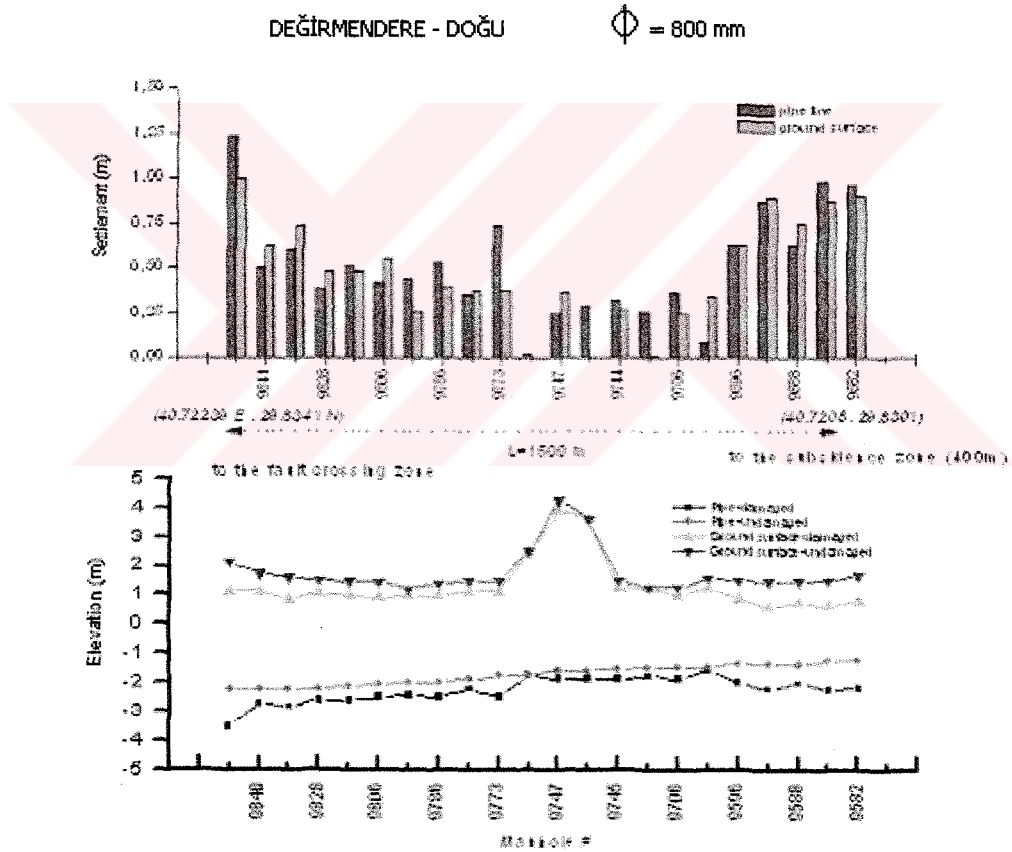
Pontian yaşı, az çimentolaşmış çakıl-kum-kiltaşı-konglomera serilerinin (Örencik formasyonu) ve daha genç yaşı talus ve yamaç çakılları içeren çökellerin altında yer almaktadır. Kasabanın sınırlı bir kısmı Paleozoik Yedigöller formasyonu üzerindedir. Pontian yaşı kırmızımsı veya sarımsı kahverengi kara çökelleri kasabanın merkez ve güneydoğusunu kaplamaktadır. Holosen sahil ve akarsu sedimanları Değirmendere'nin kuzeyinde geniş alanları kaplar. Holosen'de deniz seviyesi daha düşük iken büyük bir alüvyonel fan oluşmuş ve Üst Pleistosen'de Değirmendere ırmağı bu terası aşarak kıyı ve denize çökel taşımıştır.



Şekil 3.31. Halidere, Değirmendere-Doğu ve Değirmendere-Batı kollektör hatları. (Uçkan ve diğ.,2005).

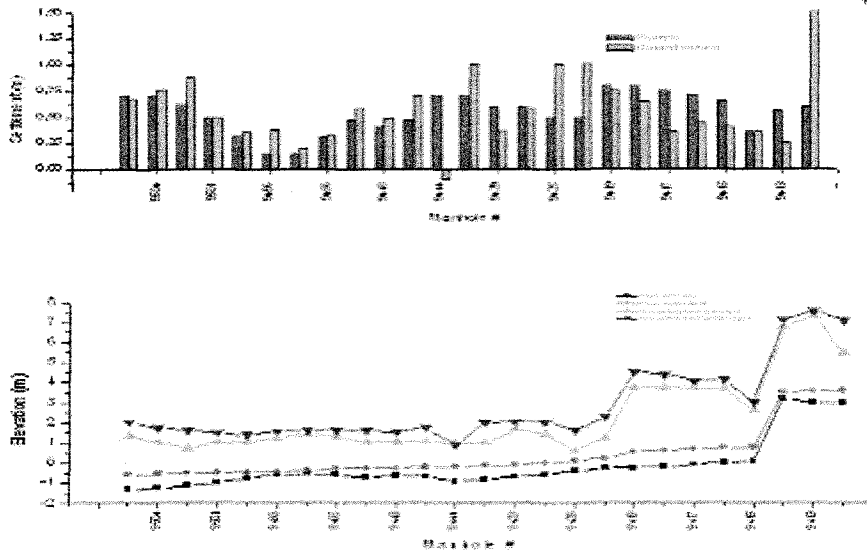
Gölçük'ün batısı Değirmendere'de yer alan boru hattındaki hasar dağılımı Değirmendere-Batı ve Değirmendere-Doğu adı altında iki ayrı bölgede incelenmiştir (Şekil 3.31). Deprem sırasında meydana gelen hasarlar ve çökme miktarları Şekil 3.32 ve Şekil 3.33'de gösterilmiştir. 40,7224–40,7208 Doğu ve 29,8341–29,8301 koordinatları arasında kalan Değirmendere-Doğu kollektör hattı 4110 metre uzunluğundadır (Şekil 3.31). Paftanın her iki ucu da çökme ve fay kesişimi alanlarına komşudur. Bu bölgedeki maksimum düşey kalıcı birim yer değiştirme miktarının 0,002 km olduğu görülmektedir.

Şekil 3.35’de gösterilen Değirmendere-Batı paftasında boru çapları $\phi = 1200$ mm, $\phi = 1000$ mm, $\phi = 600$ mm ve $\phi = 500$ mm olan kollektör hattı yer almaktadır. Değirmendere-Batı kollektör hattının doğu ucu batan bölgeye komşudur. Bu bölgedeki maksimum düşey yer değiştirme miktarı 1 metredir. Çapı $\phi = 1200$ mm olan kollektör hattının uzunluğu 1472 metredir ve 1324 metresi hasara uğramıştır. $\phi = 1000$ mm boru çapına sahip 1115 metrelik boru hattının ise 235 metresi hasar görmüştür. $\phi = 600$ mm boru çaplı 583 metre uzunluğundaki hattın tamamı hasar görmüştür. $\phi = 500$ mm boru çapı olan 965 metre uzunluğundaki kollektör hattının da 105 metresinde hasar tespit edilmiştir. Hasar oranının %100’e ulaştığı bu bölgedeki kollektör hatları tamamen yenilenmiştir.



Şekil 3.32. Değirmendere-Doğu bölgesine ait kalıcı düşey deplasmanlar (Uçkan ve diğ.,2005).

DEĞİRMENDERE - BATI



Şekil 3.33. Değirmendere-Batı bölgesine ait kalıcı düşey deplasmanlar (Uçkan ve diğ.,2005).

3.7. Kollektör Hattında Meydana Gelen Hasarların Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında incelenen Karamürsel, Kaytazdere ve Ereğli bölgelerindeki boru hattının bir kısmını sürekli boru hattı oluştururken büyük bir bölümünü parçalı boru hattı oluşturmaktadır. Bağlantı noktalarında çekme gerilmesiyle kırılmalar ve döngüsel kuvvet etkisiyle oturmalar ve yükselmeler meydana gelmiştir. Bağlantı noktaları arasındaki boru segmentlerinde de burkulma kuvvetiyle çatlaklar ve kırıklar oluşmuştur.

Her iki baca arasında hesaplanan birim deformasyon ortalamalarının, M.O'Rourke ve diğ., 2004 tarafından geliştirilen Eşitlik 5 ve Eşitlik 6'da kullanılmasıyla elde edilen km başına hasar oranı değerleri Tablo 3.8.'de RR_5 ve RR_6 olarak verilmiştir. Bölgelerde tespit edilen hasar sayıları ile boru hattının uzunluğu da Tablo 3.8.'de yer almaktadır.

Tablo 3.8. Karamürsel, Kaytazdere ve Ereğli bölgelerine ait birim deformasyonlar, hasar sayıları ve hasar oranları.

	UZUNLUK (m)	BİRİM DEFORMASYON (ϵ)	HASAR SAYILARI	RR ₅	RR ₆
Karamürsel TM10 ($\Phi=1000\text{mm}$)	804,90	0,000000121	11	0,00036	0,00031
Karamürsel TM10 ($\Phi=500\text{mm}$)	408,26	0,000000409	9	0,00106	0,00096
Karamürsel TM11 ($\Phi=1000\text{mm}$)	2921,2	0,000002073	54	0,00449	0,00428
Kaytazdere ($\Phi=500\text{mm}$)	226,15	0,000000231	5	0,00064	0,00057
Kaytazdere ($\Phi=600\text{mm}$)	1820,90	0,000001633	24	0,00363	0,00348
Ereğli ($\Phi=600\text{mm}$)	657,25	0,000002230	17	0,00479	0,00457
Ereğli ($\Phi=400\text{mm}$)	508,3	0,000000280	12	0,00075	0,00068

Denklemlerden elde edilen değerlerin, saha verilerine göre çok küçük olduğu görülmektedir. Çünkü çalışma alanı için hesaplanan birim deformasyon değerleri de çok küçüktür. Çalışma alanındaki faya yakın boru hattında meydana gelen hasarlara etki eden başlıca faktör birim deformasyon olduğundan, bu farklılığın, çalışma alanındaki gömülü boru hattının fay hattına 1-4 km arasında yakın bir mesafede yer almasından dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ayrıca, mevcut eşitliklerin oluşturulmasında kullanılan hasar verileri yüzlerce km uzunluğundaki gömülü boru hatlarından elde edilmiştir. Çalışma alanındaki boru hattı ise 40 km uzunluğundadır.

Bundan dolayı, diğer çalışmalar kapsamında faydan uzak bölgelerde yer alan boru hatlarının hasar oranları ilişkileriyle karşılaştırıldığında, faya yakın mesafede yer alan bölgelerdeki yer hareketlerinin ve birim deformasyonların farklı karakteristikler gösterebileceği görülmüştür.

4. SONUÇLAR

1999 Kocaeli Depremi sırasında oluşan sismik aktiviteler sonucunda İzmit Körfezi'nin güney batı sahil şeridindeki Kaytazdere, Karamürsel ve Ereğli bölgelerindeki faya paralel olarak yer alan gömülü boru hattında hasarlar meydana gelmiştir. Bu tez kapsamında, gömülü boru hattının hasar parametreleri ve hasar türleri tanımlanmış, İller Bankası Genel Müdürlüğü'nden alınan bölgelere ait veriler işlenmiş ve geçmiş deprem verileri kullanılarak ortaya konan hasar ilişkileri ile çalışma alanındaki hasar sayıları arasında karşılaştırma yapılmıştır.

Faya yakın bölgelerde yer alan gömülü boru hatlarında deprem sırasında meydana gelen hasarlar genellikle birim deformasyondan (ground strain) kaynaklanmaktadır. Dalga geçişi sırasında geçici yer deformasyonlarına yol açan maksimum yer hızının (PGV) fonksiyonu olarak yer sarsıntısı, kalıcı yer deformasyonunun (PGD) fonksiyonu olarak yer kayması, sıvılaşma, oturma ve fay kesişim zonları, bunların yanı sıra boru hattının yaşı ve korozyon ile boru hattının sürekli veya parçalı olması gömülü boru hattı hasar parametrelerini oluşturmaktadır.

Fay zonlarındaki sismik aktiviteler sırasında boru hatlarında meydana gelen hasarlar boru hattının sürekli veya parçalı olmasına göre değişmektedir. Sürekli boru hatlarında oluşan hasar türleri çekme gerilmesiyle kırılma veya basınç gerilmesiyle bükülmedir. Çalışma alanında yer alan boru hattı parçalı boru hattı türündendir. Parçalı boru hatları sürekli boru hatlarına göre daha zayıf bağlantı noktalarına sahip olduklarından, oluşan hasarlar bu noktalarda yoğunlaşmaktadır. Bağlantı noktalarında meydana gelen hasar türleri çekme gerilmesiyle kırılma, basınç gerilmesiyle genişleme ve döngüsel kuvvet etkisiyle ezilmelerdir. Bağlantı noktalarından uzak boru segmentlerinde ise bükülgenliğe ilişkin çatlaklar meydana gelmektedir. Karamürsel, Kaytazdere ve Ereğli'de yer alan boru hattının bağlantı noktalarında çekme gerilmesiyle kırılmalar ve döngüsel kuvvet etkisiyle oturmalar ve yükselmeler meydana gelmiştir. Bağlantı noktaları arasındaki boru segmentlerinde de burkulma kuvvetiyle çatlaklar ve kırıklar oluşmuştur.

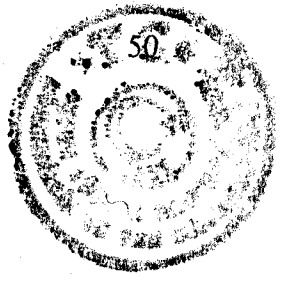
Parçalı boru hatlarında oluşan sismik hasarlar birim deformasyonun fonksiyonudur.

Gömülü boru hatlarının deprem davranışının belirlenmesine yönelik çalışmalarda geçmiş depremlere ilişkin veriler önem taşımaktadır. ALA 2001, ve O'Rourke ve diğ. (2004) tarafından geçmiş deprem verileri kullanılarak geliştirilen Dalga Yayılımı-RR, PGD-RR ve Birim Deformasyon-RR eşitlikleri çalışma kapsamında verilmiştir. Ancak, saha verilerinin V_{max} ve D_{max} 'ın fonksiyonu olarak ifade edilen eşitlikler ile uyumlu olmadığı görülmüştür. M.O'Rourke ve Ayala (2004) tarafından geliştirilen Birim Deformasyon-RR eşitlikleri kullanılarak sahadaki verilerden hareketle RR'ler (km başına düşen hasar oranları) hesaplanmıştır. Ancak, denklemlerden elde edilen değerler çalışma alanındaki hasar sayıları ile karşılaştırıldığında, bu değerlerinden çok küçük olduğu görülmüştür; çünkü, bacalar arasında hesaplanan birim deformasyon değerleri de çok küçüktür.

Çalışma alanındaki boru hattı 1-4 km arasında faya yakın bir mesafede yer almaktadır. Bundan dolayı, diğer çalışmalar kapsamında yer alan faydan uzak bölgelerdeki boru hatları için hasar oranları ilişkileriyle karşılaştırıldığında, yakın mesafede yer alan bölgelerdeki yer hareketleri ve yer gerilmeleri farklı karakteristikler gösterebilmektedir.

Ayrıca, mevcut eşitliklerin oluşturulmasında kullanılan hasar verileri yüzlerce km uzunluğundaki gömülü boru hatlarından elde edilmiştir. Çalışma alanındaki boru hattı ise 40 km uzunluğundadır. Faya yakınlığın yanısıra boru hattının uzunluğu da bu farklılığın oluşmasına etki eden bir faktör olabilir.

Sonuç olarak, deprem sırasında faya yakın mesafede yer alan boru hatlarına ait veriler kullanılarak yapılacak çalışmalarda, hasar oranlarının belirlenmesine yönelik yeni ilişkiler ortaya konabilir. Çalışma alanından çok sayıda veri alınması da doğruluk payını arttıracaktır.



KAYNAKLAR

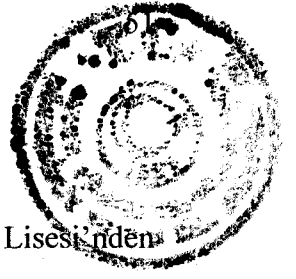
Uçkan E., Kılıç N., Durukal E., Demircioğlu M., Siyahi B., 2005; "1999 Kocaeli Depreminde Gömülü Boru Hatlarında Gözlenen Deprem Hasarları" Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi, Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.

American Lifeline Alliance, 2001. "Seismic Fragility of Formulations for Water Systems", web adress: www.americanlifelinealliance.org

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

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

ÖZGEÇMİŞ



1979 yılında İstanbul'da doğdum. 1997 yılında Eyüboğlu Fen 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 ve TÜBİTAK – MAM, Teknoloji Geliştirme Bölgesi'nde bir Ar-Ge firmasında çalışmaktayım.

