



Project funded by
EUROPEAN UNION



PAYDAŞ BİLGİLENDİRME TOPLANTISI

Hızlı Deprem Hasar Tahmin Konsorsiyumu **Rapid Earthquake Damage Assessment Consortium (BSB 966)**

REDAS Platform Gömülü Boru Hatları Hasar Analizi

Dr. Öğr. Üyesi Okan İlhan (Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi), Doç. Dr. A. Can Zülfikar (Gebze Teknik Üniversitesi), İnş. Müh. Furkan Kanlı (Gebze Teknik Üniversitesi), Doç. Dr. Senem Tekin (Adıyaman Üniversitesi)

Common borders. Common solutions.



Gebze, Haziran 2023

- Çalışma Motivasyonu
- Boru Hattı Hasar Tipleri:
 - Dalga Yayılımı Kaynaklı
 - Kalıcı Deformasyon Kaynaklı
- Boru-Hattı Hasarı Tahmini için Mevcut Kırılgenlık Eğrileri
- Pilot Bölge (Kocaeli) için Boru Hattı Hasar Tahmini:
 - Veri Tanımı
 - Önerilen kırılgenlık eğrileri
 - REDAS Yazılımı ile Boru Hattı Hasar Tahmini Uygulaması
- Sonuçlar

Common borders. Common solutions.

Çalışma Motivasyonu



1989 Loma Prieta Depremi



1999 Kocaeli Depremi



2011 Tohoku Depremi

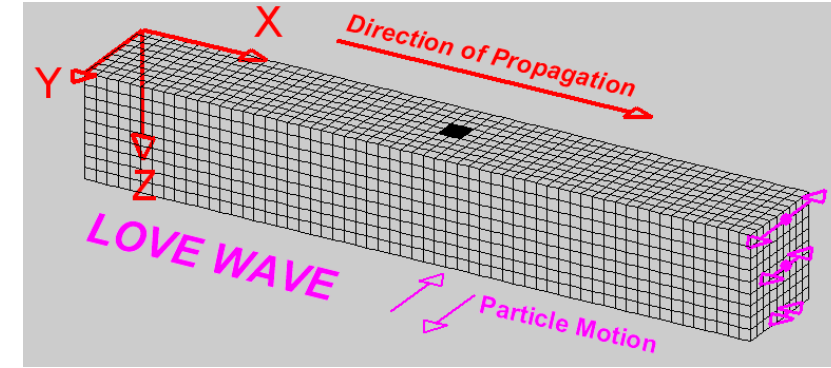
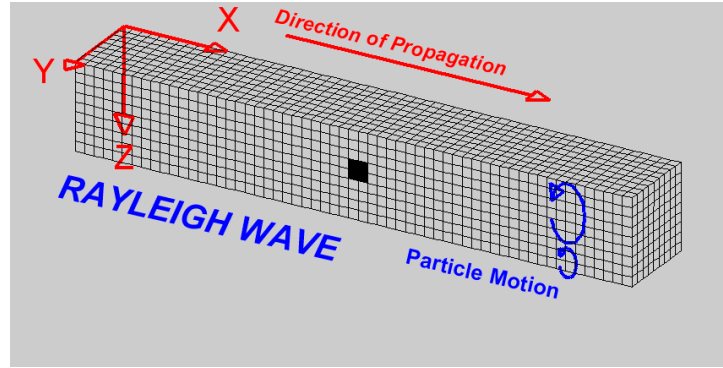
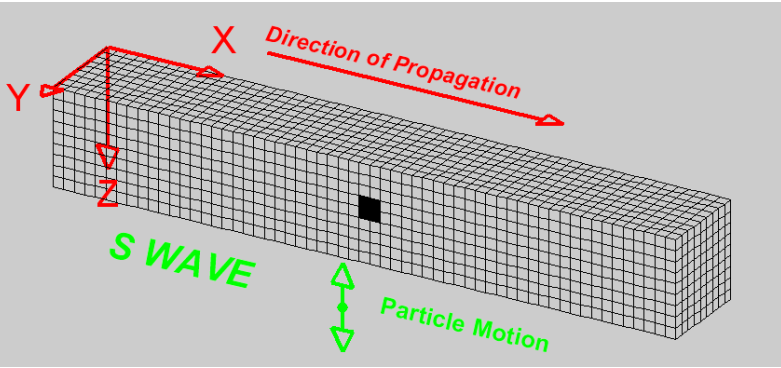


2016 Taiwan Depremi

- Yüksek manyitüdü depremler sonrası doğalgaz boru hatlarında meydana gelen hasarların, gaz sızıntısı dolaylı yangınlara sebep olduğu bilinen bir durumdur.
- REDACT projesi kapsamında, beklenen Marmara Depremi senaryosu dikkate alınarak **pilot bölge Kocaeli' deki BOTAŞ doğalgaz boru hattı için**, mevcut en uygun boru hattı kırılma eğrileri kullanılarak hasar tahmini yapılmıştır.

Common borders. Common solutions.

Boru Hattı Hasar Tipleri: *Dalga Yayılımı Kaynaklı Hasarlar*



<https://web.ics.purdue.edu/~braile/edumod/waves/WaveDemo.htm>

$$\varepsilon_g = \frac{V_m}{C}$$

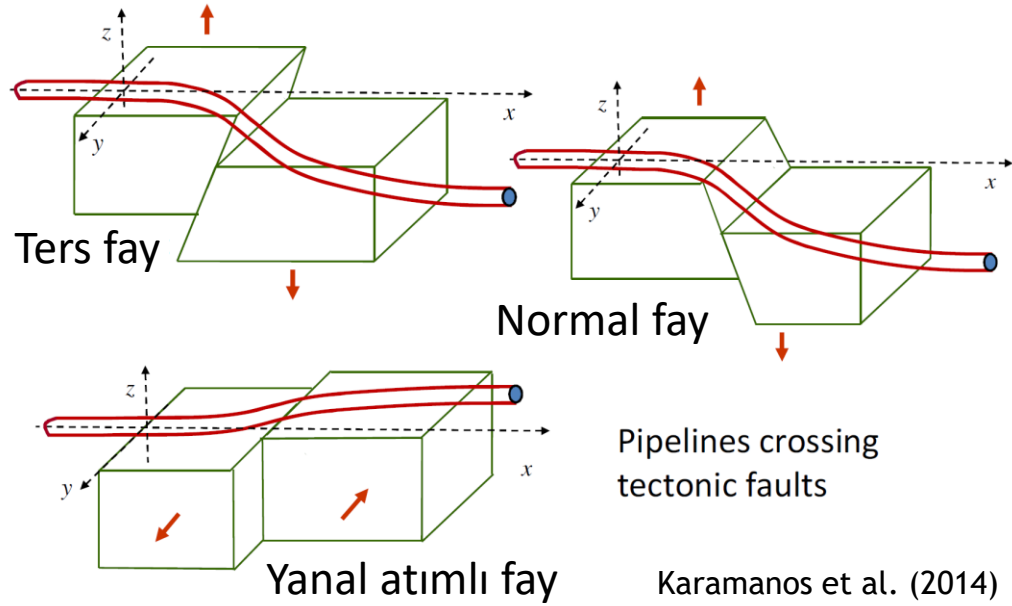
ε_g , yer birim şekil deęiřtirmesi,
 V_m , pik yer hızı
 C , sismik dalganın yayılım hızı

Hasar Tipleri:

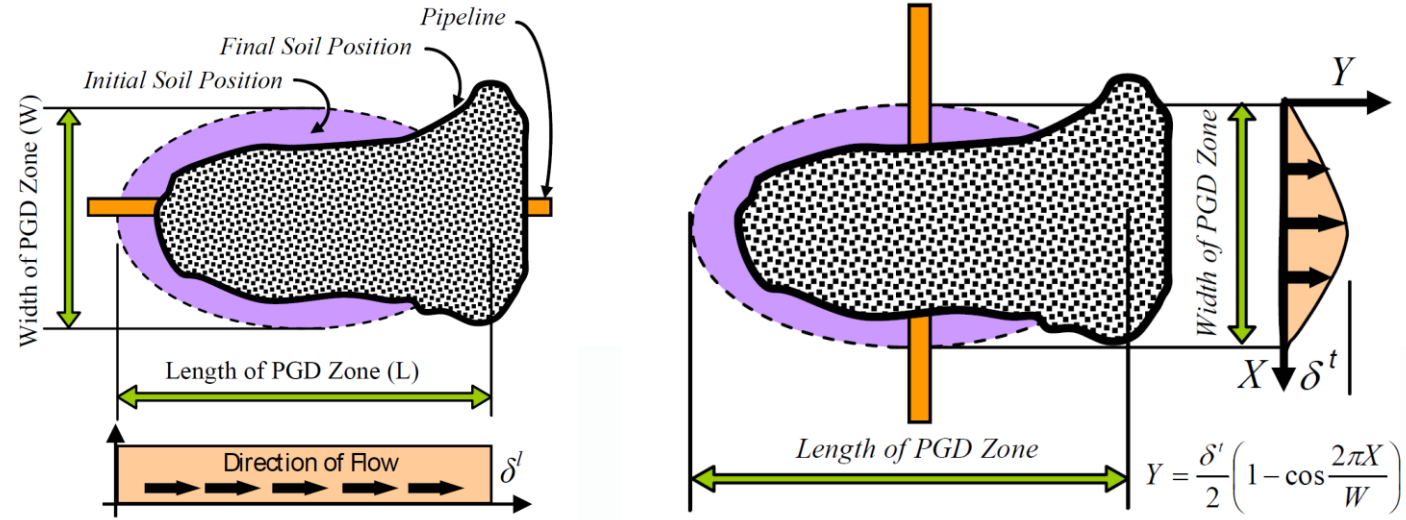
- Kırılma
- Malzeme yorgunluęu kaynaklı bükülme
- Sıkıştırma/bükülme...

Common borders. Common solutions.

Boru Hattı Hasar Tipleri: *Kalıcı Deformasyon Kaynaklı Hasarlar*



Fay lokasyonlarından geçen boru hatları



Boyuna ve enine kalıcı deformasyona maruz kalan boru hatları

Hasar Tipleri:

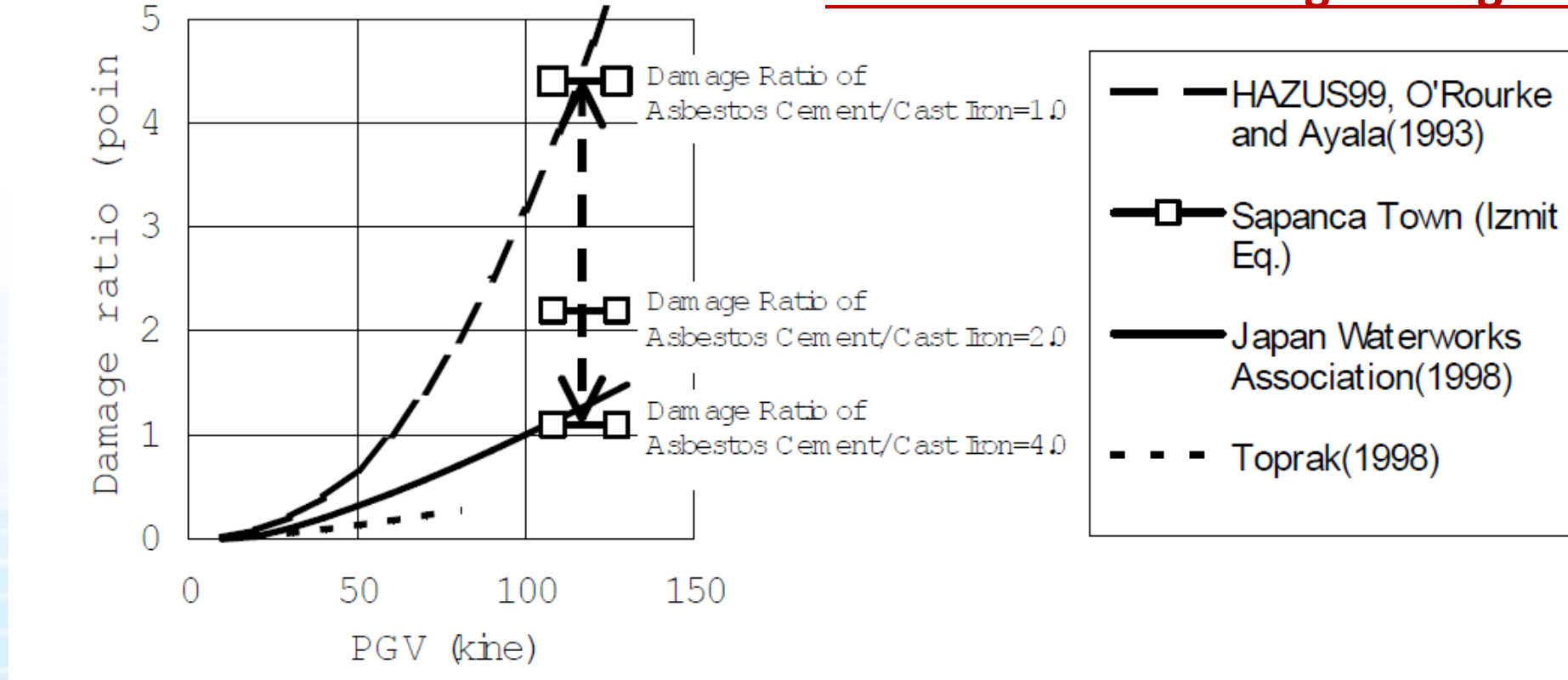
- Burkulma
- Boru hattı deplasmanı
- Boru materyali yırtılması...

Common borders. Common solutions.

Mevcut Kırılmanlık Eğrileri

Japan Water Association (1998):

Su Hattı Borusu - Kırılmanlık Eğrisi



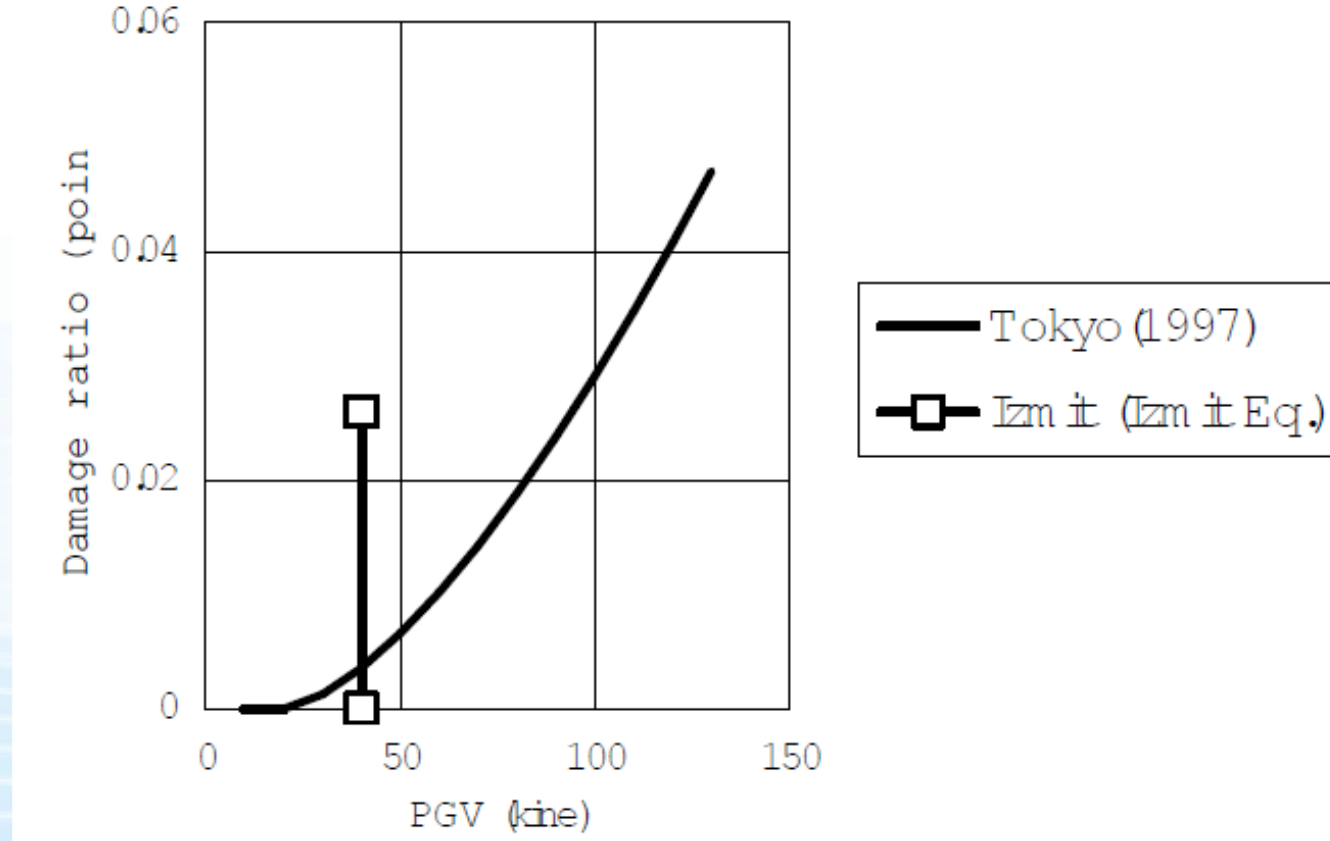
$$R_m = 3.11 \times 10^{-3} \times (PGV - 15)^{1.3} \times C_p \times C_d \times C_g \times C_l$$

Common borders. Common solutions.

Mevcut Kırılmanlık Eğrileri

Japan Water Association (1998):

Doğalgaz Hattı Borusu - Kırılmanlık Eğrileri



$$R_m = 3.11 \times 10^{-3} \times (PGV - 15)^{1.3} \times C_p \times C_g \times C_l$$

Common borders. Common solutions.

Mevcut Kırılma Eğrileri

ALA (2001):

Dalga yayılımı ve kalıcı zemin deformasyonu tehlikesi için O'Rourke ve Ayala (1993), Toprak (1998) ve Isoyama ve diğerleri (2000) tarafından sağlanan verileri kullanarak iki farklı kırılma fonksiyonu önermiştir.

Dalga Yayılımı

Earthquake	Data Points	Percentage
1995 Hyogoken-nanbu (Kobe)	9	11%
1994 Northridge	35	43%
1989 Loma Prieta	13	16%
1971 San Fernando	13	16%
Other Earthquakes (8)	11	14%
Total	81	100%

Kalıcı Deformasyon Tehlikesi

Earthquake	Number of Data Points	Percentage	Ground Failure Type
1989 Loma Prieta	12	28%	Liquefaction vertical settlement
1983 Nihonkai-Chubu	20 ¹	48%	Liquefaction lateral spread
1971 San Fernando	5	12%	Local tectonic uplift
1906 San Francisco	5	12%	Liquefaction lateral spread
Total	42	100%	

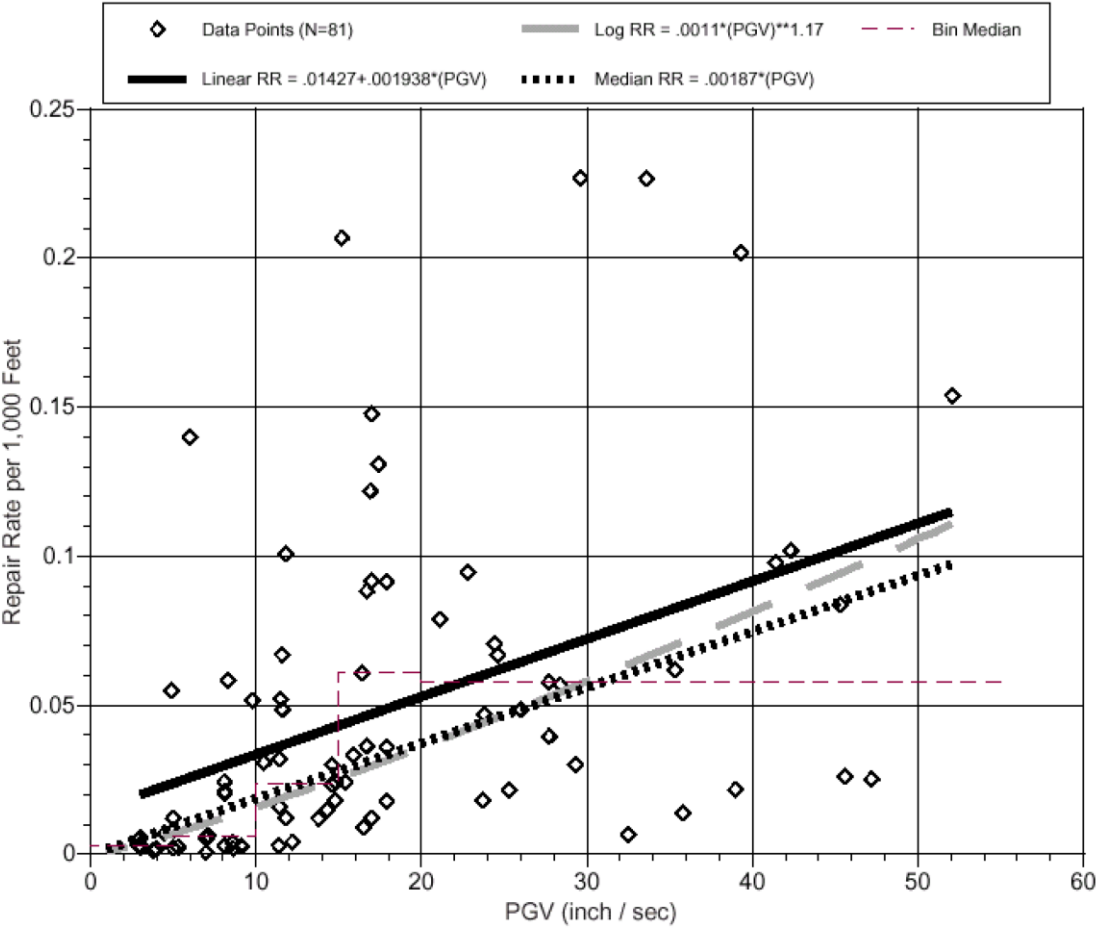
Note 1. Excludes 14 data points for gas pipes listed in database but not used in statistical analysis.

Common borders. Common solutions.

Mevcut Kırılma Eğrileri

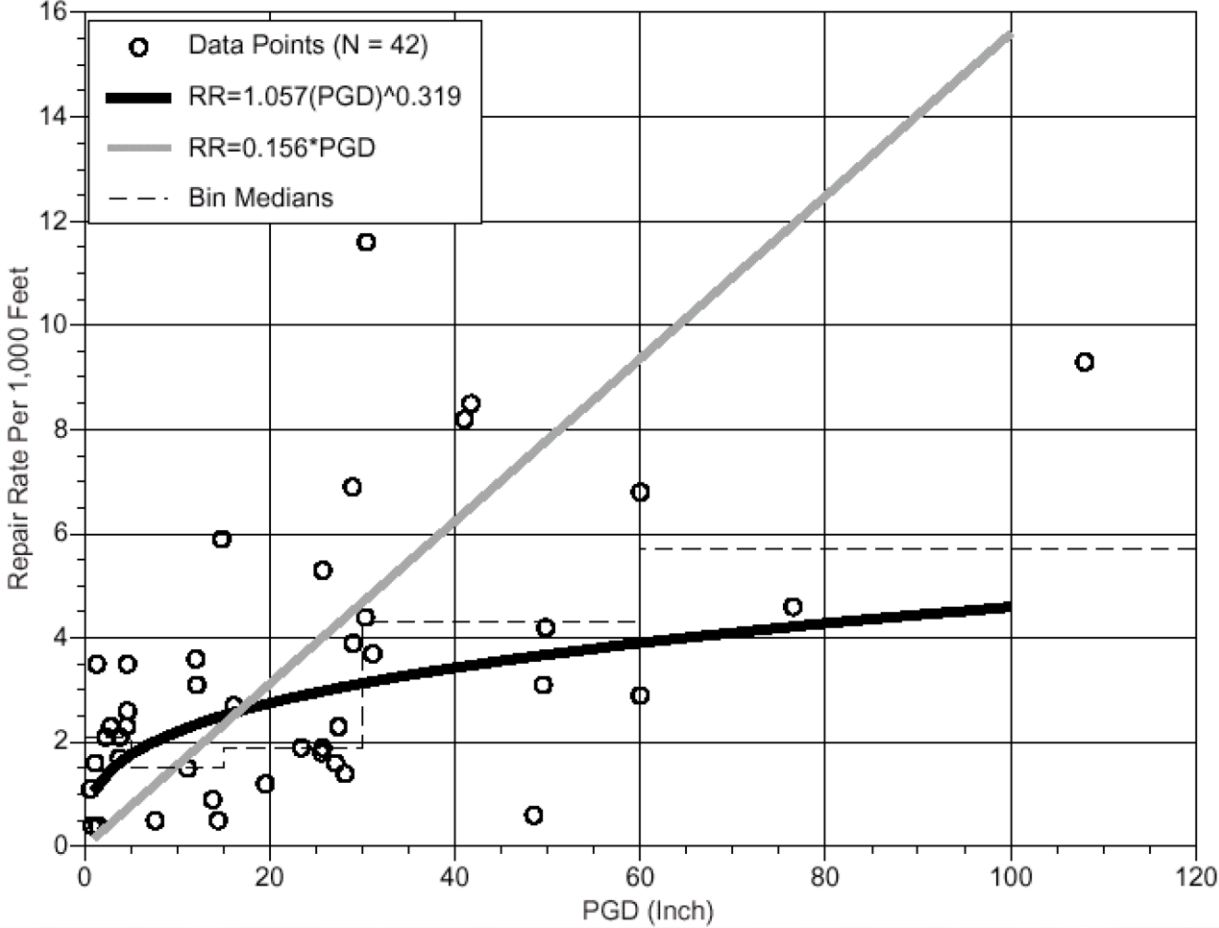
ALA (2001):

Dalga Yayılımı



$$RR \text{ (tamir/1000 ft)} = K_1 \cdot 0.00187 \cdot PGV$$

Kalıcı Deformasyon

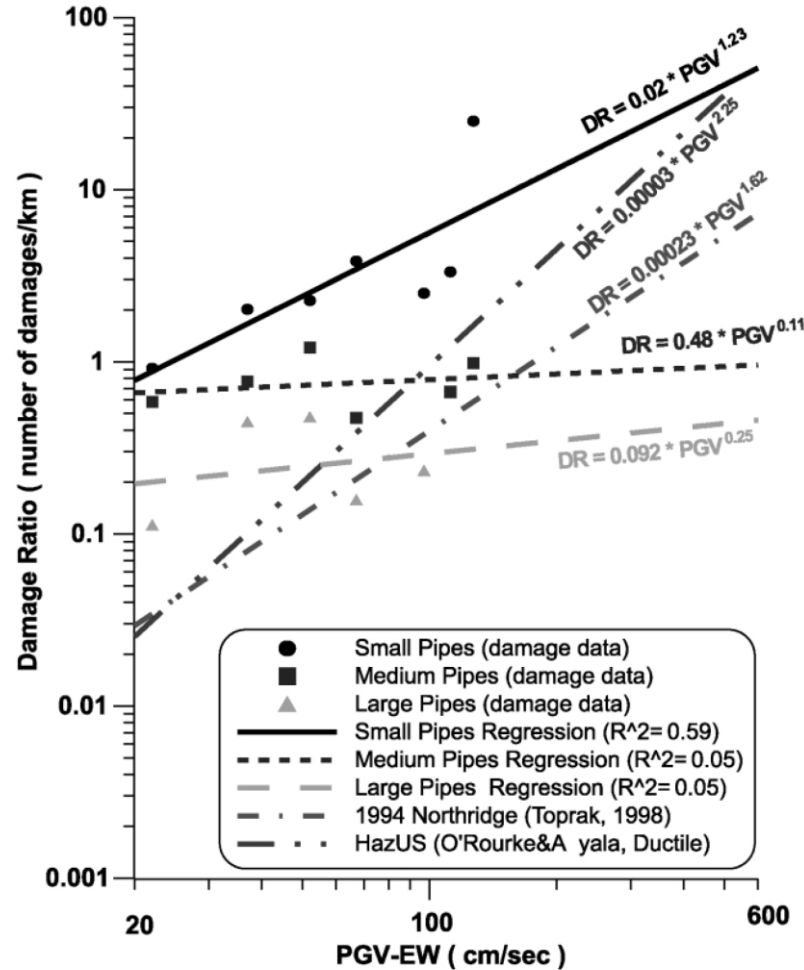


$$RR \text{ (tamir/1000 ft)} = K_2 \cdot 1.06 \cdot PGD^{0.319}$$

Common borders. Common solutions.

Mevcut Kırılma Eğrileri

Chen vd. (2002):



Chi-Chi depremi sırasında doğal gaz (polietilen (PE), çelik ve dökme demir, dökme demir türlerinde) ve su boru hatlarının performansını değerlendirilmiştir.

Doğalgaz Boru Hatları

PGV (cm/sn)	Boru Çapı
$0.02 \times PGV^{1.23}$	$\phi \leq 65$ mm
$0.48 \times PGV^{0.11}$	$65 < \phi < 150$ mm
$0.092 \times PGV^{0.25}$	$\phi \geq 150$ mm

Su Boru Hatları

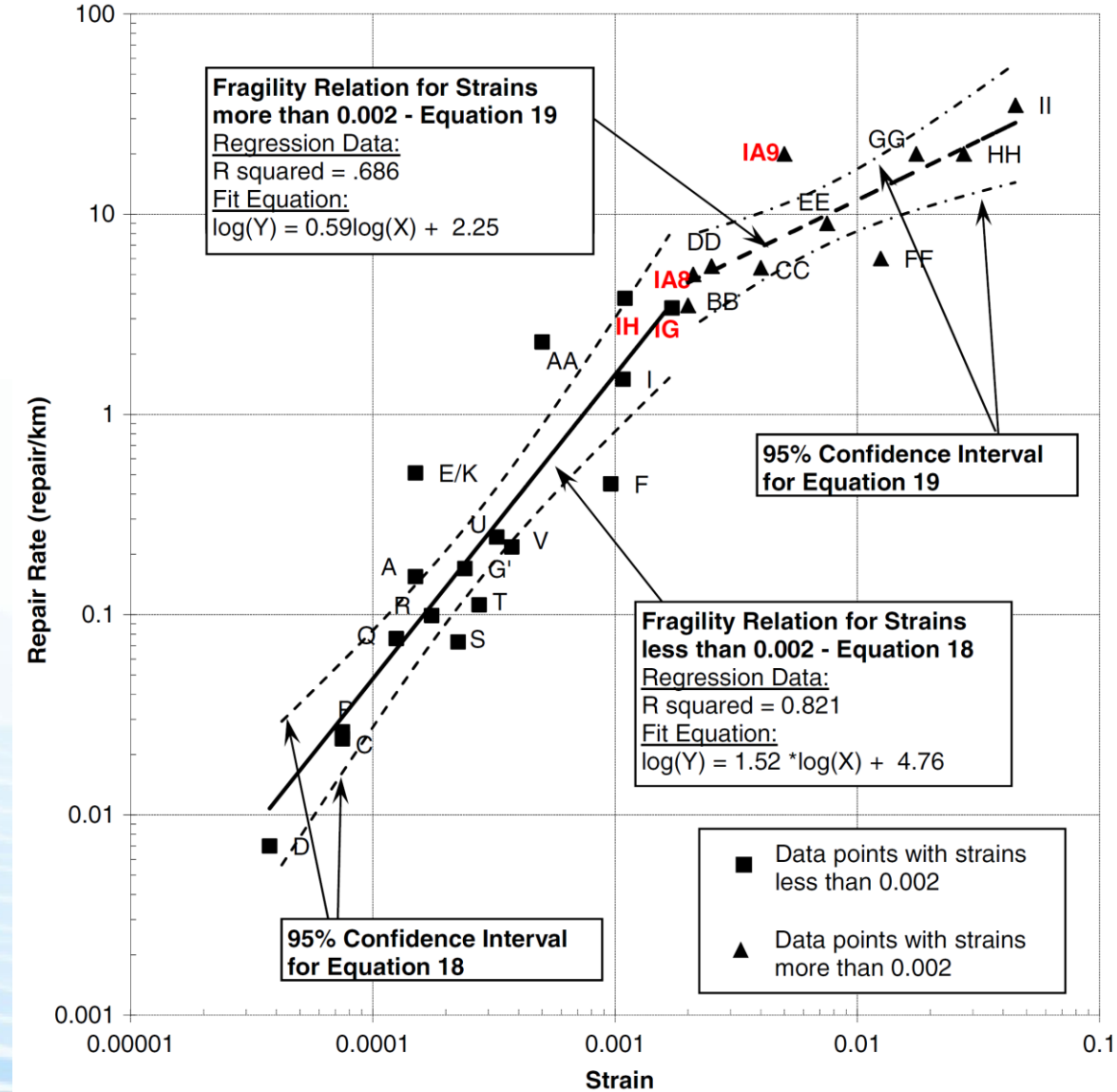
PGV	Boru Çapı
$1.90 \times 10^{-8} \times PGV^{4.42}$	$20 \leq \phi \leq 50$ mm
$2.26 \times 10^{-13} \times PGV^{6.34}$	$65 \leq \phi \leq 600$ mm

Common borders. Common solutions.

Mevcut Kırılgnlık Eğrileri

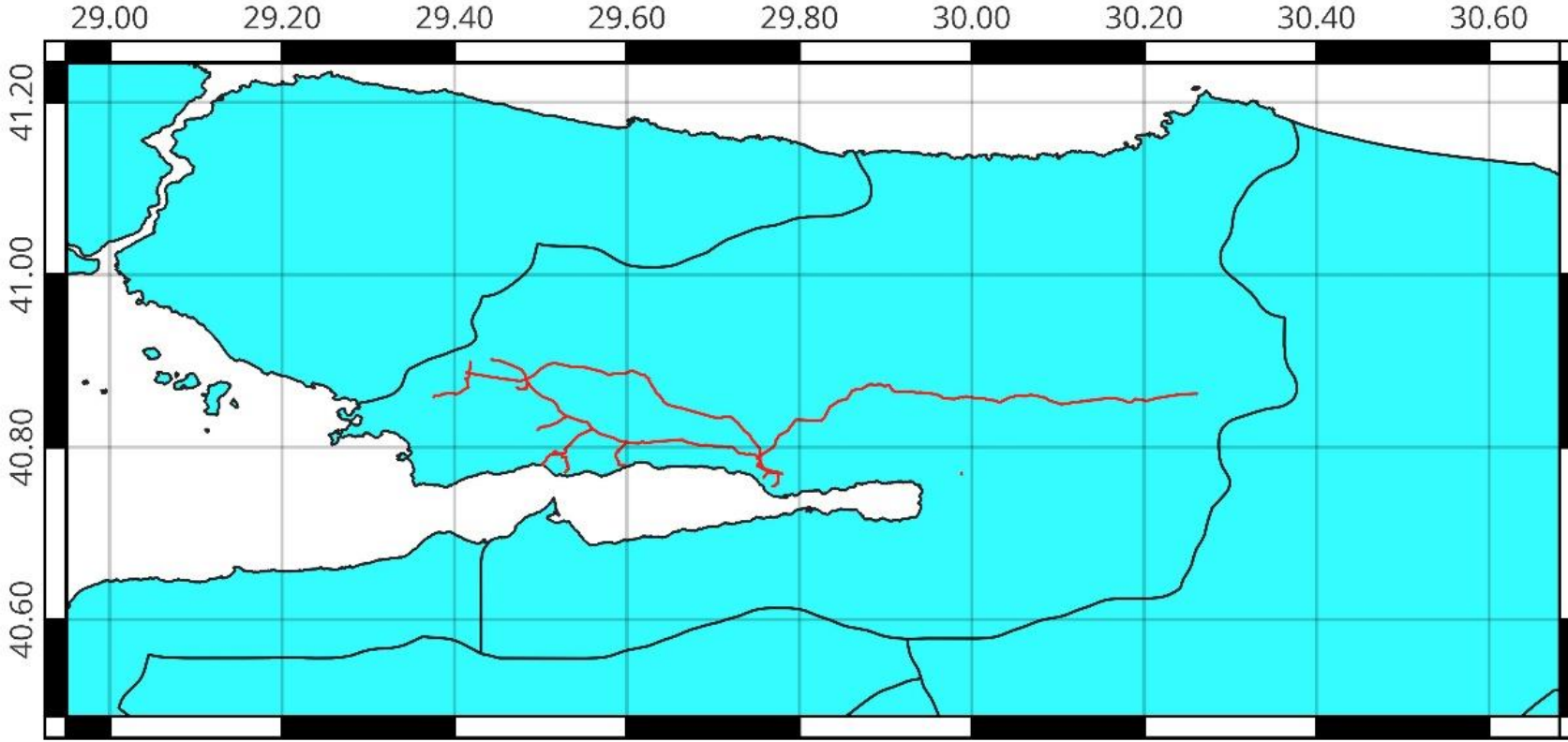
O'Rourke vd. (2015):

- 10 farklı depremden elde edilen veriler kullanılarak gömülü segmentli boru hatlarının zemin birim şekil değiştirme temelli temelli kırılgnlık ilişkileri.
- **1999 Kocaeli Depremi'nde Adapazarı'nda gözlenen** boru hattı hasar verileri dahil edilmiştir.
- Önceki üssel veya log-lineer ilişkilere karşı iki doğrulu savunmasızlık eğrileri.



Common borders. Common solutions.

Pilot Bölge (Kocaeli) için Boru Hattı Hasar Tahmini: *Veri Tanımı*



Hasar tahmini için dikkate alınan Botaş Doğalgaz boru hattı

- **Boru eleman boyları:** 20 m ile 200 km arası
- **Boru eleman çapları:** 3.0 cm, 12.0 cm, 16.0 cm, 24.0 cm ve 36.0 cm

Common borders. Common solutions.

Boru Hattı Hasar Tahmini: *Önerilen Kırılganlık Eğrileri*

REDAS' da Uygulanan:

Hasar oranı

(Hasar sayısı/km)

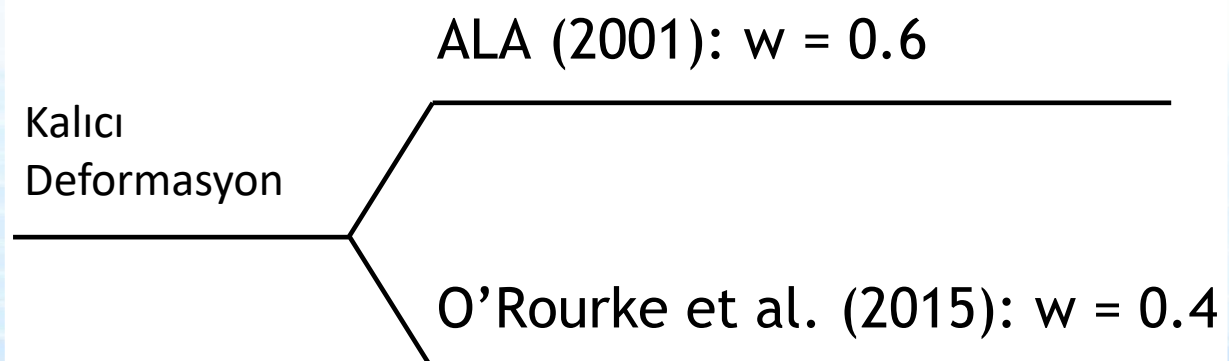
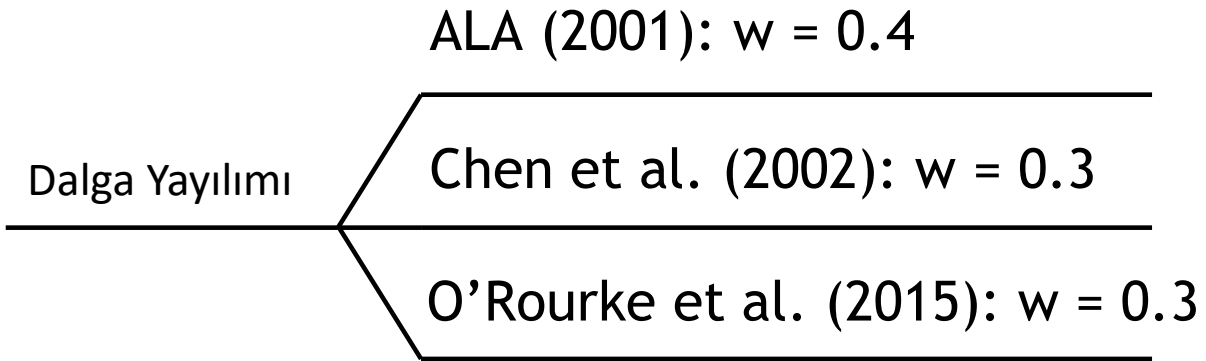
Japan Water Association (1998)

$$R_m = 3.11 \times 10^{-3} \times (PGV - 15)^{1.3} \times C_p \times C_d \times C_g \times C_l$$

Daha önceden
IBB tarafından
kullanılmış

Bir Sonraki Çalışma için Önerilen:

Farklı kırılganlık fonksiyonlarını içeren Mantık Ağacı (Logic Tree)



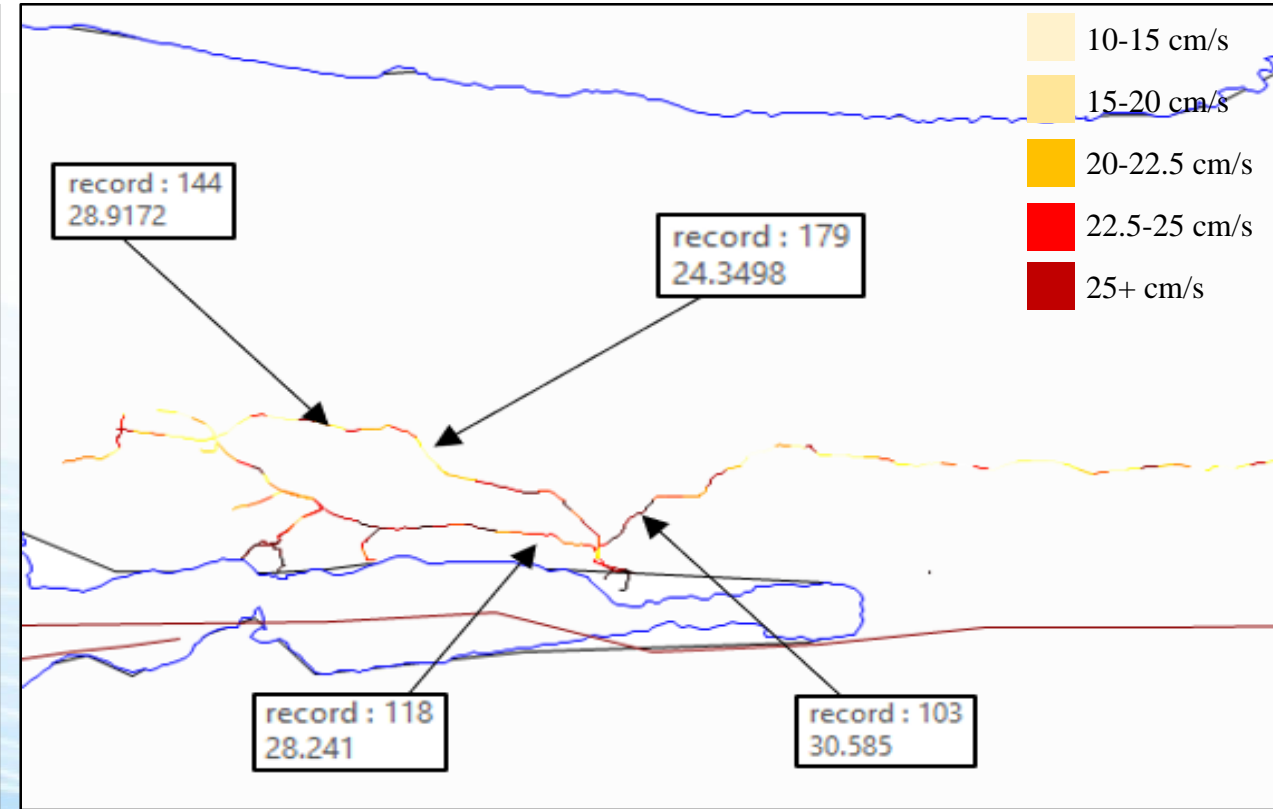
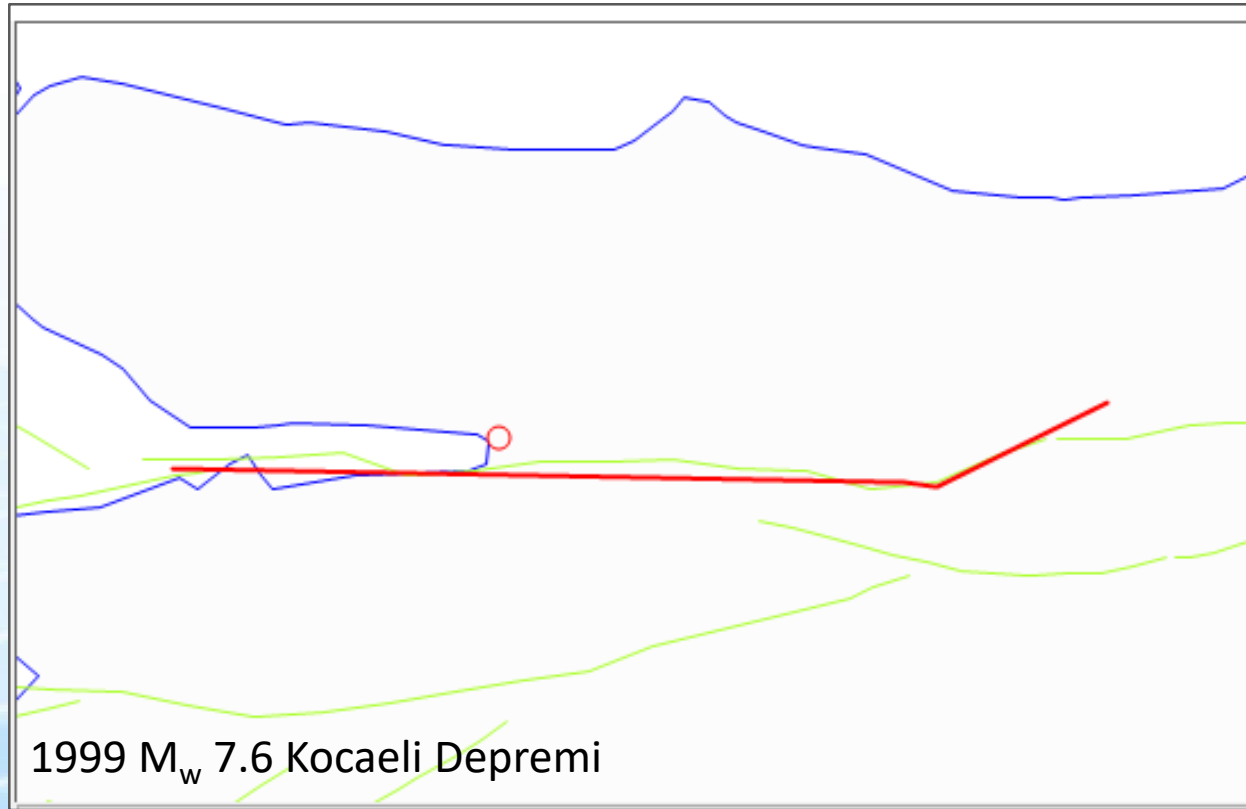
Common borders. Common solutions.

Boru Hattı Hasar Tahmini: *Deprem Senaryosu*

Japan Water Association (1998)

$$R_m = 3.11 \times 10^{-3} \times \underbrace{(PGV - 15)}^{1.3} \times C_p \times C_d \times C_g \times C_l$$

Pik Yer Hızı (PGV) için Deprem Senaryosu (ELER)



Common borders. Common solutions.

Boru Hattı Hasar Tahmini: *Materyal Özelliklerinin ve Zeminin Etkisi*

Japan Water Association (1998)

$$R_m = 3.11 \times 10^{-3} \times (PGV - 15)^{1.3} \times \underbrace{C_p}_{\text{purple}} \times \underbrace{C_d}_{\text{orange}} \times \underbrace{C_g}_{\text{blue}} \times \underbrace{C_l}_{\text{green}}$$

C_p , boru hattı materyali katsayısı:

- Beton ve galvanize çelik için 1.0
- Çelik ve dökme demir için 0.3
- Polietilen için 0.1
- Yüksek yoğunluklu polietilen için 0.0

C_d , boru hattı çapı katsayısı:

- $\phi < 90$ mm için 1.6
- 100 mm $< \phi < 175$ mm için 1.0
- 200 mm $< \phi < 405$ mm için 0.8
- $\phi > 500$ mm için 0.5

C_g , zemin tipi katsayısı:

- Yd, Sd, Ym için 1.5
- Qal, Ksf, Oa, Q için 1.0
- Diğerleri için 0.4

C_l , sıvılaşma katsayısı:

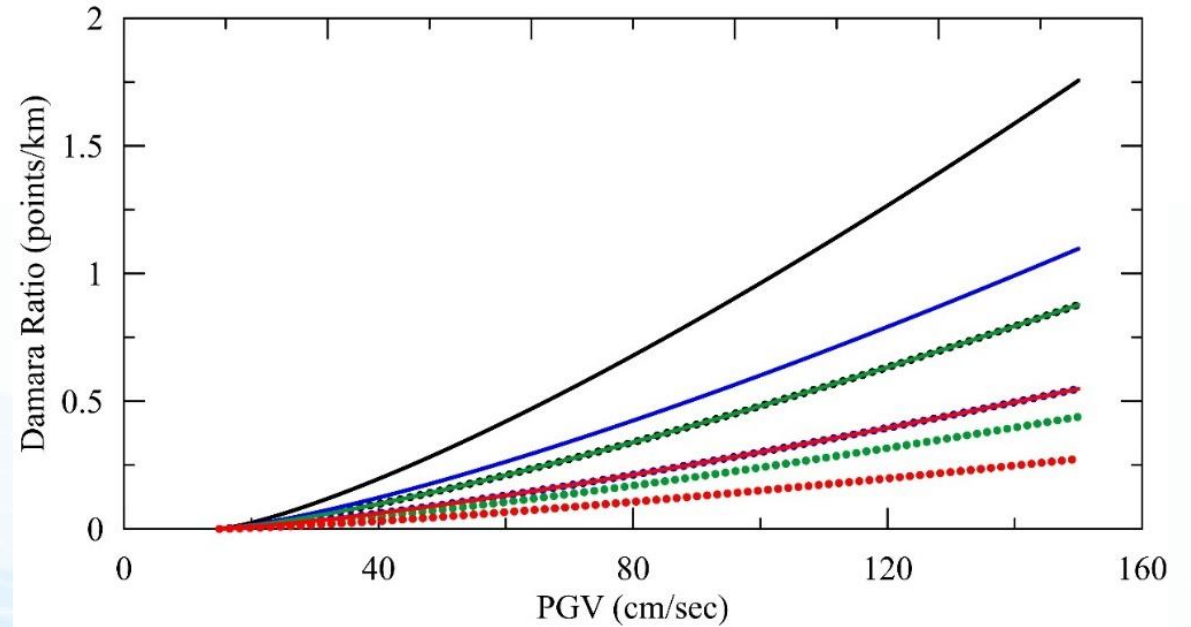
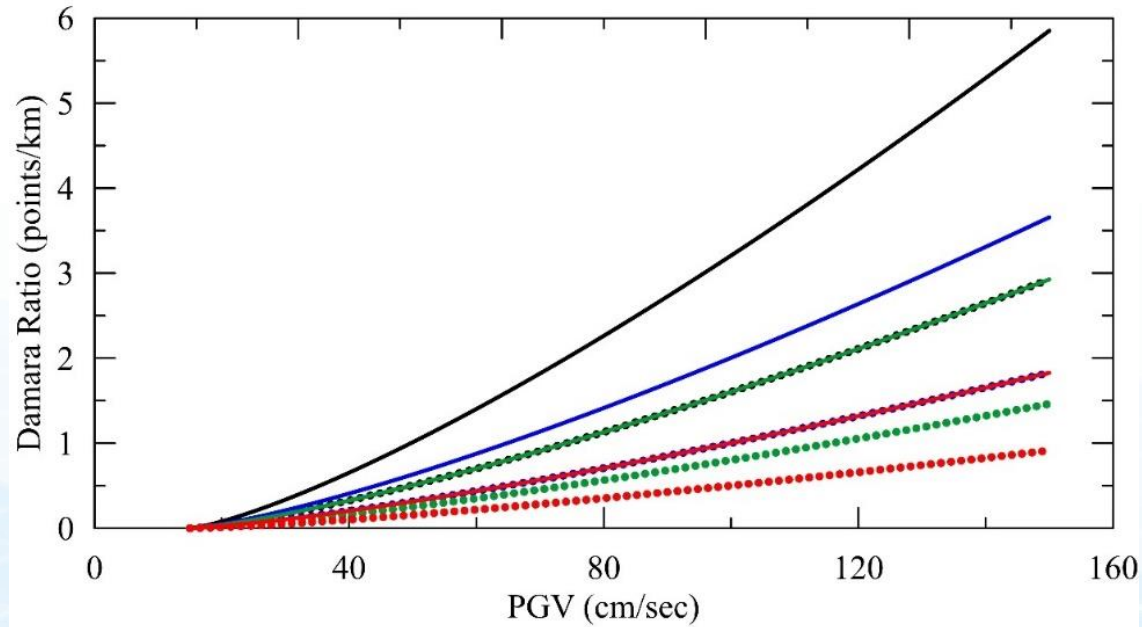
- Tm, Yd, Sd, Qal, Ksf, Oa, Q için 2.0
- Diğerleri için 1.0

Common borders. Common solutions.

Boru Hattı Hasar Tahmini: *Materyal Özelliklerinin ve Zeminin Etkisi*

Japan Water Association (1998)

$$R_m = 3.11 \times 10^{-3} \times (PGV - 15)^{1.3} \times C_p \times C_d \times C_g \times C_l$$

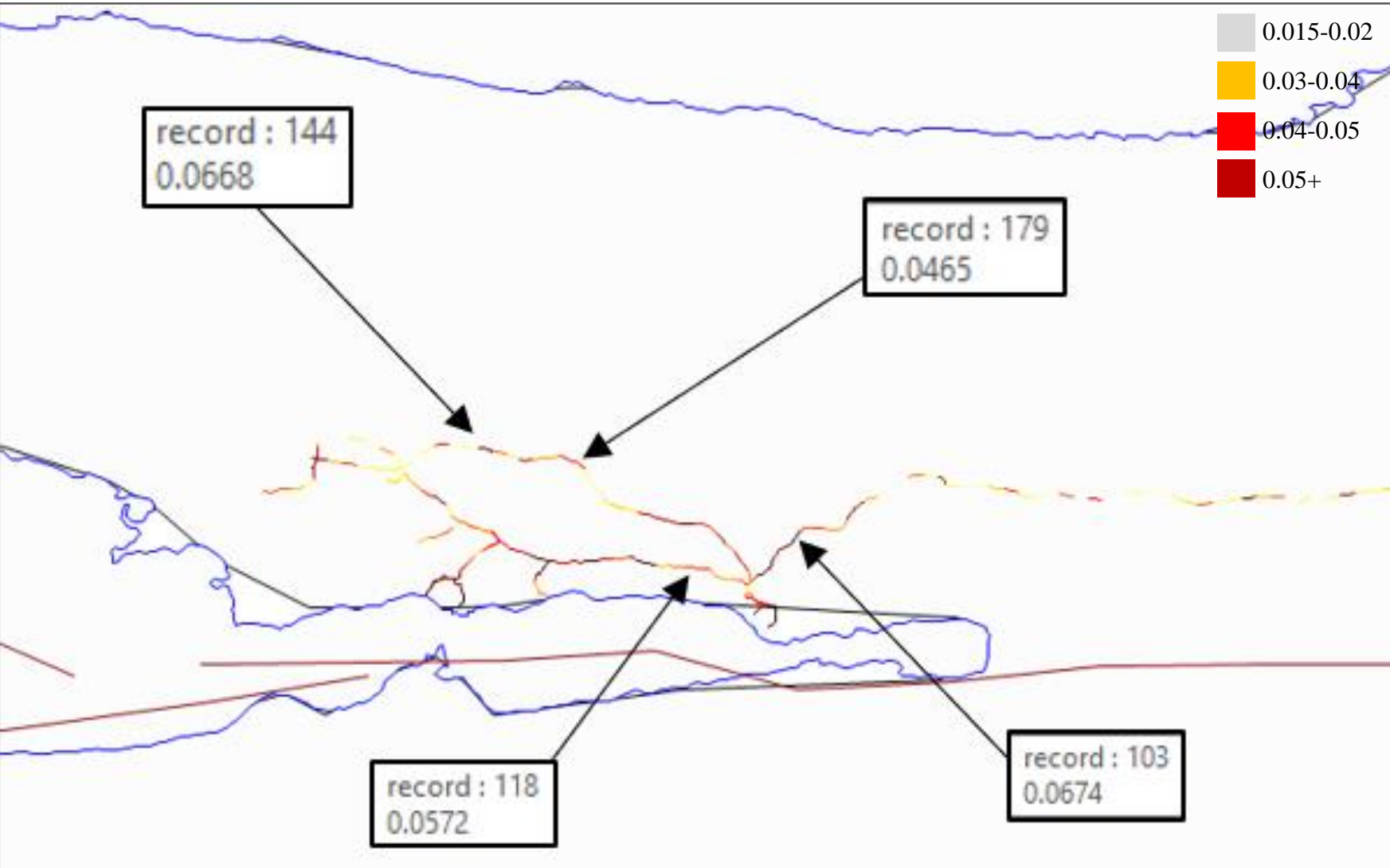


- | | |
|------------------------------|------------------------------|
| — D<90 mm, Liq. | — 200 mm<D<450 mm, Liq. |
| ••• D<90 mm, No Liq. | ••• 200 mm<D<450 mm, No Liq. |
| — 100 mm<D<175 mm, Liq. | — D>500 mm, Liq. |
| ••• 100 mm<D<175 mm, No Liq. | ••• D>500 mm, No Liq. |

- Boru Çapı ↓, Hasar Oranı ↑
- Süneklik (Ductility) ↓, Hasar Oranı ↑
- Sıvılaşma Varlığı ✓, Hasar Oranı ↑

Common borders. Common solutions.

Boru Hattı Hasar Tahmini: *REDAS Yazılımı ile Uygulama*



Common borders. Common solutions.

- **Gösterilen:** REDAS tarafından Kocaeli Depremi senaryosuna göre üretilen hasar oranları (hasar sayısı/km).
- Oldukça düşük hasar oranları (< 0.07 hasar sayısı/km)
- Aynı fonksiyon, Sapanca' da gözlenen boru hattı hasarlarını da olduğundan düşük tahmin etmiştir.

Sonuçlar ve Bir Sonraki Aşama

- Deprem esnasında doğalgaz boru hatlarında meydana gelen hasarların, özellikle yangınlar sebebiyle, ölümlere yol açtığı ve oldukça yüksek maddi hasarlara sebep olduğu gözlenen bir durumdur.
- REDACT projesi kapsamında, pilot bölge Kocaeli' de boru hattı hasarının tayini için kullanılacak kırılma fonksiyonları önerilmiştir.
- İki Farklı Öneri:
 - Japan Water Association (1998): REDAS' da uygulanmış, daha önceden IBB tarafından kullanılmış.
 - Mantık ağacı: ALA (2001), Chen vd. (2002), O'Rourke vd. (2015)
- REDAS ile Japan Water Association (1998)' nin Kocaeli için Uygulanması:
 - Pik yer hızı: 1999 Kocaeli deprem senaryosu
 - BOTAŞ doğalgaz boru hattı
 - Düşük hasar oranları: Beklenen hasardan daha az tahmin ürettiği düşünülmektedir.
- Sonraki Aşama: Mantık Ağacı kullanılarak analizlerin tekrarlanması.

Common borders. Common solutions.

TEŞEKKÜRLER!

Common borders. Common solutions.