

GEÇMİŞ DEPREMLERDEN GÖZLEMLER VE GELİŞMELER IŞIĞINDA DEPREM DİRENÇLİ ALTYAPI SİSTEMLERİNE YOLCULUK VE STRATEJİLER



Prof. Dr. Selçuk TOPRAK
İnşaat Mühendisliği Bölümü



28 Kasım 2024



Prof. Dr.
Selçuk TOPRAK

2024 SONBAHAR-KIŞ
MESLEK İÇİ EĞİTİM
SEMINERLERİ

Geçmiş Depremlerden Gözlemler ve Gelişmeler Işığında Deprem Dirençli Altyapı Sistemlerine Yolculuk ve Stratejiler

Seminer İçeriği İçin Sağa Kaydırın ➡

📅 28 Kasım 2024/Perşembe
Saat 19.00

📍 IMO İstanbul Şubesi
Karaköy Hizmet Binası
Harun Karadeniz Konferans Salonu

imoem.imo.org.tr adresinden
canlı olarak yayımlanacaktır.

İMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI
İSTANBUL ŞUBESİ



Prof. Dr.
Selçuk TOPRAK

2024 SONBAHAR-KIŞ
MESLEK İÇİ EĞİTİM
SEMINERLERİ

Seminer İçeriği;

Seminerde, geçmiş depremlerden elde edilen gözlemler ışığında altyapı sistemlerinin depremlere karşı dayanıklılığını artırmak için geliştirilen yeni teknolojiler, mühendislik yaklaşımları ve stratejiler ele alınacaktır. Kritik altyapıların korunması, modern analiz yöntemleri, yenilikçi malzemelerin kullanımı ve risk yönetimi çerçevesinde sürdürülebilir ve dirençli şehirler oluşturma yolunda atılan adımlar tartışılacaktır. Bu süreç, sadece teknik çözümler değil, aynı zamanda toplumsal farkındalık ve iş birliği stratejilerini de içermektedir.

imoem.imo.org.tr adresinden
canlı olarak yayımlanacaktır.

İMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI
İSTANBUL ŞUBESİ





Dünyada doğal olaylar 4.4 milyar yıllık tarihi içinde hep olmuştur ve olacaktır ancak insanları olumsuz etkilediğinde onlara afet diyoruz.

Doğal olayların afete dönüşmesinde insanlık olarak rolümüz nedir?

Prof. Dr. Selçuk Toprak

DERS ALMAK İÇİN AFETLER mi BEKLENMELİ?



Implications for Earthquake Risk Reduction in the United States from the Kocaeli, Turkey, Earthquake of August 17, 1999



U.S. Geological Survey Circular 1193

U.S. Department of the Interior
U.S. Geological Survey

Contributors

Thomas L. Holzer, Scientific Editor, U.S. Geological Survey
Aykut A. Barka, Istanbul Technical University, Turkey
David Carver, U.S. Geological Survey
Mehmet Çelebi, U.S. Geological Survey
Edward Cranswick, U.S. Geological Survey
Timothy Dawson, San Diego State University and Southern California
James H. Dieterich, U.S. Geological Survey
William L. Ellsworth, U.S. Geological Survey
Thomas Fumal, U.S. Geological Survey
John L. Gross, National Institute of Standards and Technology
Robert Langridge, U.S. Geological Survey
William R. Lettis, William Lettis & Associates
Mark Meremonte, U.S. Geological Survey
Charles Mueller, U.S. Geological Survey
Richard S. Olsen, Engineer Research and Development Center
Oguz Ozel, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute
Tom Parsons, U.S. Geological Survey
Long T. Phan, National Institute of Standards and Technology
Thomas Rockwell, San Diego State University and Southern California
Erdal Safak, U.S. Geological Survey
Ross S. Stein, U.S. Geological Survey
Heidi Stenner, U.S. Geological Survey
Shinji Toda, Earthquake Research Institute, University of Tokyo
Selcuk Toprak, U.S. Geological Survey

Felaketleri acılarını
ile birlikte
yaşadık, yaşıyoruz.

Daha iyisini
yapabiliriz?

Bilgiler, teknikler,
yaklaşımlar
mevcut...

AFETLERE KARŞI TOPLUMSAL DİRENÇLİLİK

DEĞİŞEN KOŞULLARA ve AFETLERE

- HAZIRLIKLIL OLMA
 - UYUM SAĞLAYABİLME
- BECERİSİ ve

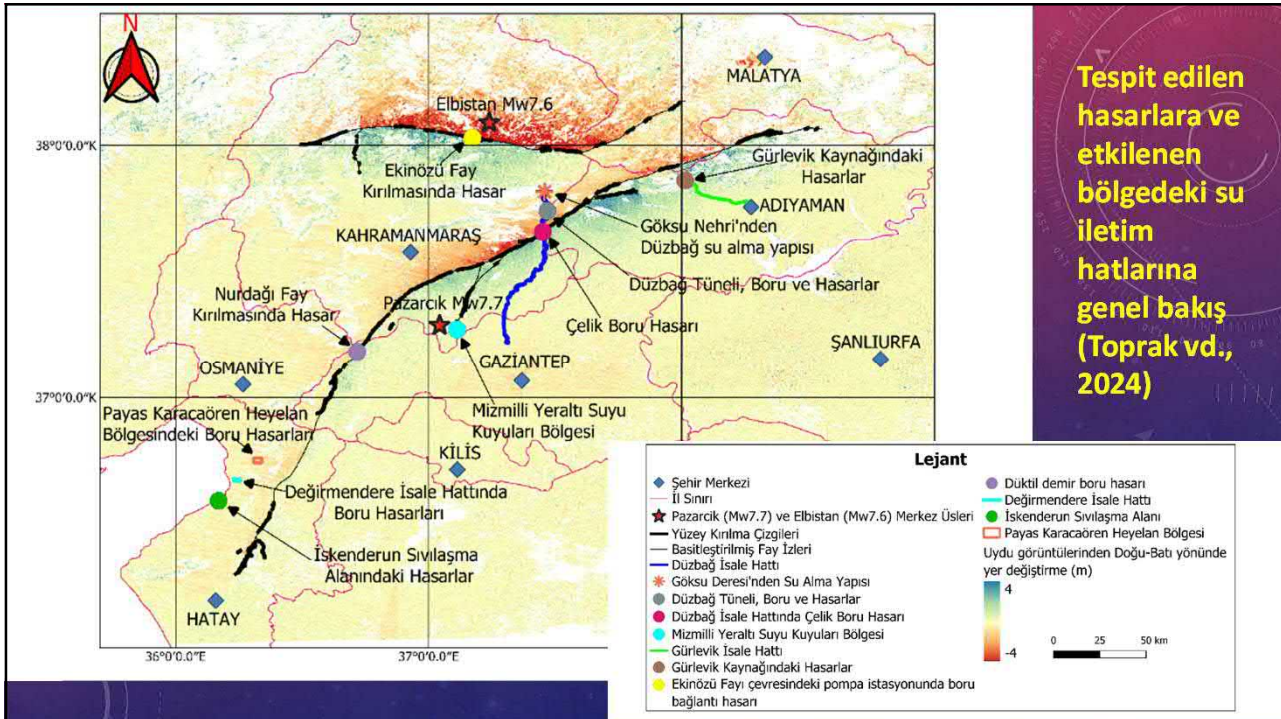
AFETLERE ve KESİNTİLERE KARŞI

- DAYANMA
 - HIZLI İYİLEŞME
- KAPASİTESİ



2023 Kahramanmaraş merkezli depremler geniş bir alanda nadir görülen bir felakete yol açtı ve binalar yanında, hayati altyapı sistemleri, karayolları, köprüler ve endüstriyel tesisler gibi farklı tipteki yapıları etkiledi.



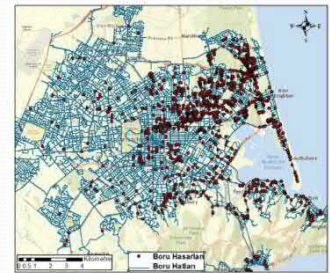


Altyapı Sistemleri

• Dağıtım Sistemleri

- Su
- Atıksu
- Doğalgaz
- Petrol
- Elektrik
- Telekomünikasyon

• Ulaşım Sistemleri



Altyapı ve boru hatları (elektrik, gaz, su, petrol, kanalizasyon, iletişim v.b.)

Deniz yapıları (liman, rıhtım, tersane, dalgakıran)

Enerji santralleri (doğalgaz, petrol, kömür, hidrolik, vs), barajlar

Depolama tesisleri, rafineriler, arıtma tesisleri

Kule yapıları (su deposu, TV, anten, rüzgar v.b.)

Boğaz köprüleri, viyadük, dere köprüleri, altgeçit, üstgeçit köprüleri v.b.

Yeraltı yapıları, tünel, galeri

Prof. Dr. Selçuk Toprak

Güvenilir Altyapı İhtiyacı Artıyor! (TALEP)

- Nüfus artışı
- Şehirleşme oranında yükseliş
- Daha yaygın alana hizmet, 30 Büyükşehir
- Daha kalabalık bölgeye hizmet sunma

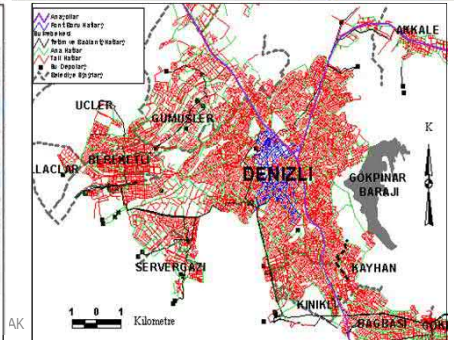
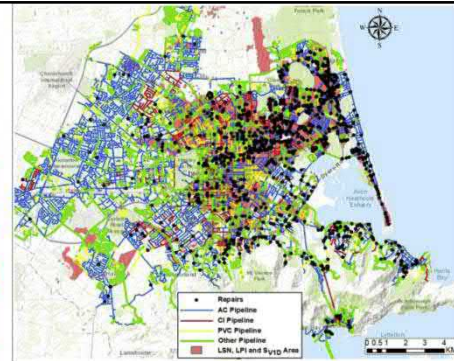
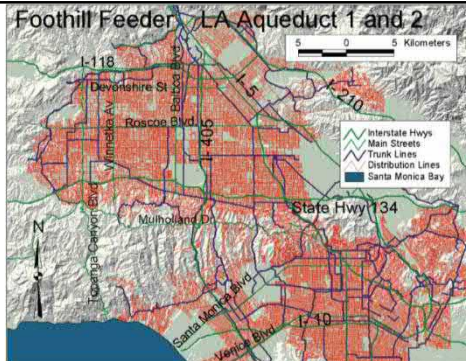


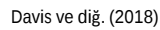
Altyapı Talebinin Karşılanması (ARZ)

- Yeni altyapı gereklilikleri
 - Örneğin doğal gazın daha çok bölgeye ulaştırılması, yeni yerleşim alanlarına su ve atıksu altyapısı
- Mevcut altyapının iyileştirilmesi
 - Yaşlanan yapıların durumu, doğal afetler



Uzun
Bir Hat
ya da
Bir Ağ
Sistemi





Olay Döngüsü

Hazırlılık
Önlem, Azaltma
Tepki
Toparlanma ve Yeniden
İnşa

Sosyal
Ekonomik
Teknik
Kurumsal

Fazlalık (Yedek)
Sürat
Kaynak Zenginliği
Sağlamlık



Sistemi Oluşturan Bileşenler ve Sistemler Arası Bağımlılıklar

- Her bir sistem kendi içinde alt bileşenlerden meydana gelmekte
 - Örneğin, içme suyu için bazı bileşenler: pompalar, depolar, iletim boruları, dağıtım boruları, vana'lar, bağlantılar, vb gibi.
- Sistemler arası etkileşimler
 - Elektriğin olmadığı durumda su pompalarının çalışmaması
- Alternatif sistemlerde de problemler
 - Örneğin, Jeneratörün de zarar görmesi
- Normal şartlarda hızla çözülebilecek sorunlar afet durumlarında kritik olabiliyor



Mw = 9, 2011 Tohoku depremi, Japonya

OLMA İHTİMALİ DÜŞÜK GÖRÜLEN DURUMLARIN GELİŞMESİ: TSUNAMİ ETKİLERİ

Tsunami ve tsunamiye bağlı insan ölümleri ve büyük hasarlar

Fukuşima nükleer santrali felaketi sonrasında tüm nükleer enerji santralleri kapatıldı



Mw = 6.9, 2020 Sisam Adası-Seferihisar açıkları (İzmir) depremi

Tsunami

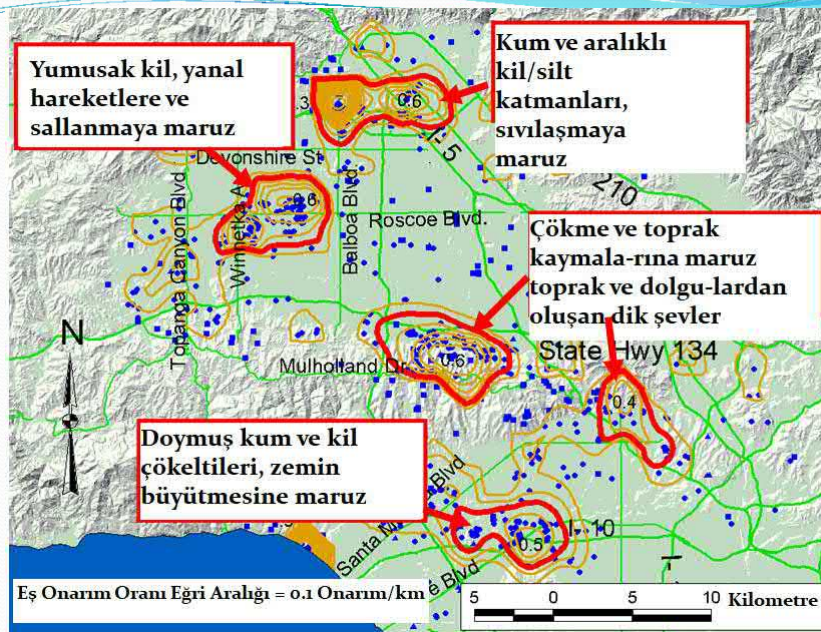
Altyapı sistemleri-zemin-deprem etkileşimi

- Geçici yer deformasyonları (GYD): deprem dalgalarının geçişi esnasında zeminin dinamik tepkisi
- Kalıcı yer deformasyonları (KYD): deprem sonrasında zeminde oluşan ve geri dönmeyen son yer değiştirmelerdir:
 - Örnekler: Fay hatlarının hareketleri, şev kaymaları, sıvılaşma sonucu oluşan yer değiştirmeler, kohezyonsuz topraklarda oluşan farklı oturmalar

Altyapı Sistemleri Neden Zarar Görür?

- Yüklerde meydana gelen değişiklikler:
 - Ek yükler (örneğin, trafik), kazı, ısı değişiklikleri, deprem
- Dirençte oluşan fiziksel değişiklikler
Örneğin:
 - Gömülü altyapı sistemlerinde oluşabilecek hasarlarda; boru cinsi, boru çapı, ek türleri, korozyon ve boru yaşı gibi faktörler önemli rol oynamaktadır. En genel manasıyla boru hatları düktil ve kırılğan olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.
 - Dağıtım sistemlerinde günümüze kadar kullanılan en yaygın boru türleri; dökme demir (font), asbestli çimento (AÇB), çelik, plastik borular (PVC), düktil demir, ve polietilen (PE). Örneğin, günümüzde gaz dağıtım sistemlerinde çelik ve PE borular yaygın olarak kullanılmaktadır.

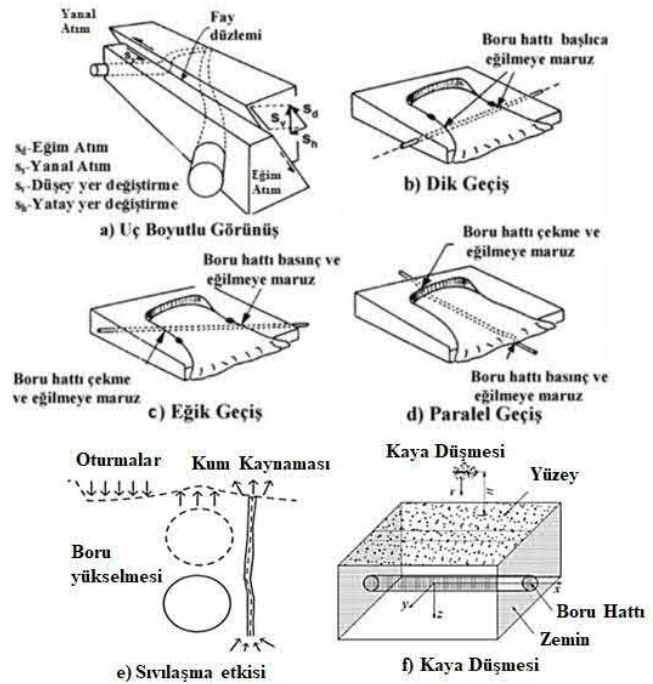
En Çok Zarar Gözlenen Yerlerin Geoteknik Özellikleri



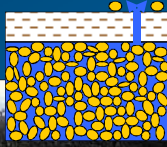
Kalıcı Yer Deformasyonları (KYD)

Toprak, S., Wham, B. P., Nacaroglu, E., Ceylan, M., Dal, O. & Senturk, A.E. (2024). Impact of Seismic Geohazards on water supply systems and pipeline performance: Insights from the 2023 Kahramanmaraş Earthquakes. Engineering Geology, Vol 340, 107681. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2024.107681>.

O'Rourke (1998), Castiglia ve ark. (2020), Rao ve ark. (2022) kaynak alınarak yeniden hazırlanmıştır.



ZEMİN PROBLEMLERİ



12 Mayıs 2008, Mw7.9 büyük Sichuan (Wenchuan), Çin depremi



2016 Mw7.8 Kaikoura, New Zealand, depremi



ZEMİN PROBLEMLERİ



1964 M7.4 Niigata, Japonya ve M9.2 Alaska, A.B.D. depremleri



1999 Kocaeli ve 2011 Yeni Zelanda depremleri

Sıvılaşma, sıvılaşma analizleri ve yapılara etkileri konusunda çok geniş ölçekte çalışmalar



CHRISTCHURCH, YENİ ZELANDA ZEMİN SIVILAŞMASI



Fay Hareketi Nedeniyle
Meydana Gelen Boru Hattı
Hasarı (Eidinger vd., 2002)

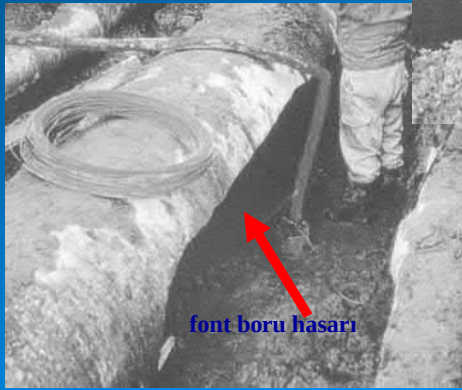
17 Ocak 1994 tarihli Northridge depreminde Balboa Bulvarı'ndaki Halsey bölgesinde yer alan zemin sıkışması olan bölgede 48 inçlik kaynaklı çelik borunun üzerini açan kepçe (Lund, 1995)



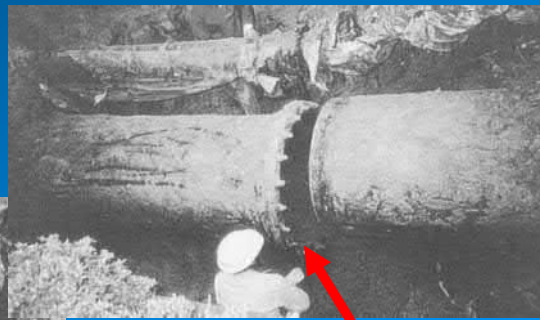
1995 Kobe Depreminde Gözlenen Zararlar



Vida eklemli gaz boru hattı



font boru hasarı



Düktül boruda birleşim noktasında ayrılma

(Editorial Committee for the Report on the Hanshin-Awaji Earthquake Disaster'dan).

Christchurch Şehrinde Hasarlardan Örnekler



Sarmal Perçinlenmiş Çelik Boru Hasarı



Beton Kaplamalı Çelik Boruda Ayrılma
(fotoğraf; P. Free)



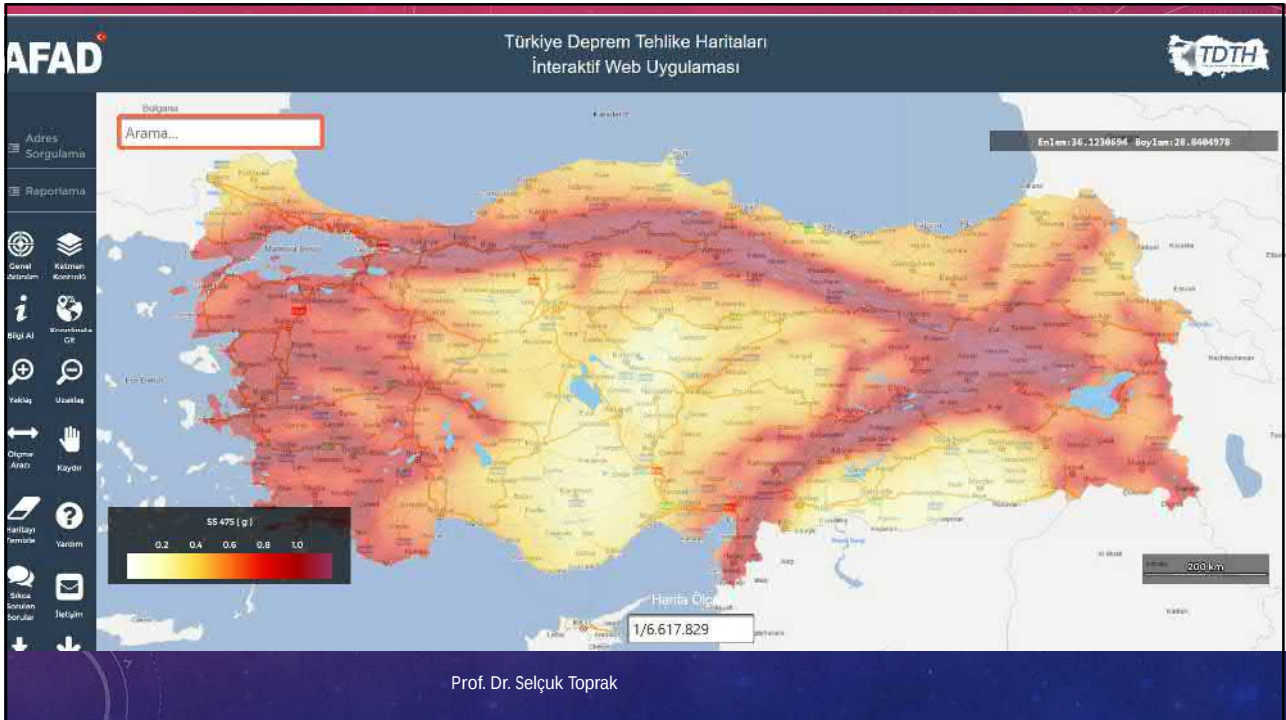
Dökme Demir Boruda Kırılma



Dökme Demir Boruda Kırılma
(temizlendikten sonraki durumu, Black 2013)



AC tipi borularda kırılma
((fotoğraf; F. O'Callaghan), Black 2013)



FARKLI DEPREM YER HAREKETİ DÜZEYLERİ

DD-1 = 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi, çok seyrek veya *gözönüne alınan en büyük deprem yer hareketi*

DD-2 = 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi, *standart tasarım deprem yer hareketi*

DD-3 = 50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi, *sık deprem yer hareketi*

.....

Prof. Dr. Selçuk Toprak

Kuvvetli Yer Hareketi

Yerküre üzerinde her an bir hareket olmaktadır. Ancak mühendis olarak bizleri, bu hareketlerden bizlerin ve yapıların hissedebildikleri ilgilendirmektedir. Kuvvetli yer hareketinin kaydedilmesi deprem mühendisleri için temel veriyi teşkil eder.



T.C. İÇİŞLERİ BAKANLIĞI
Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
Deprem Dairesi Başkanlığı

679 Kuvvetli Yer hareketi istasyonu

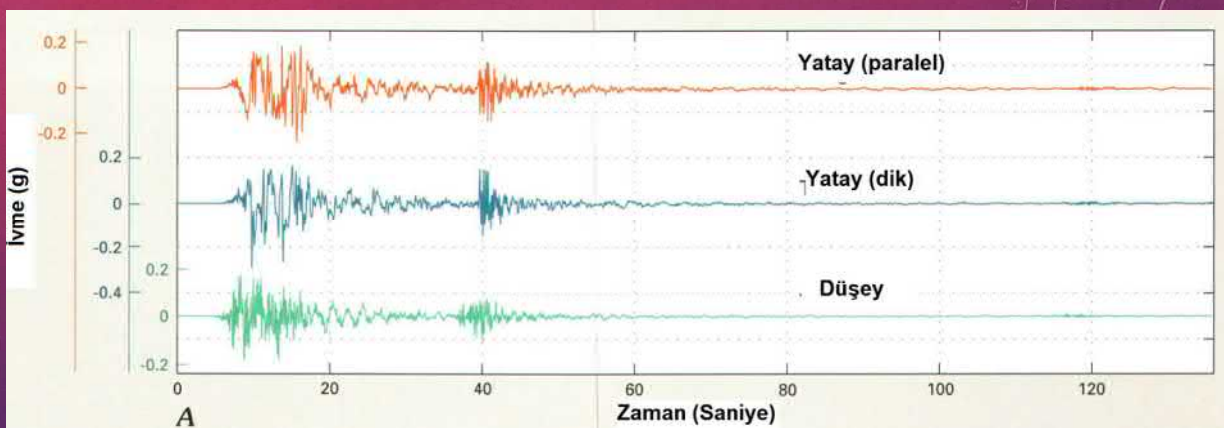
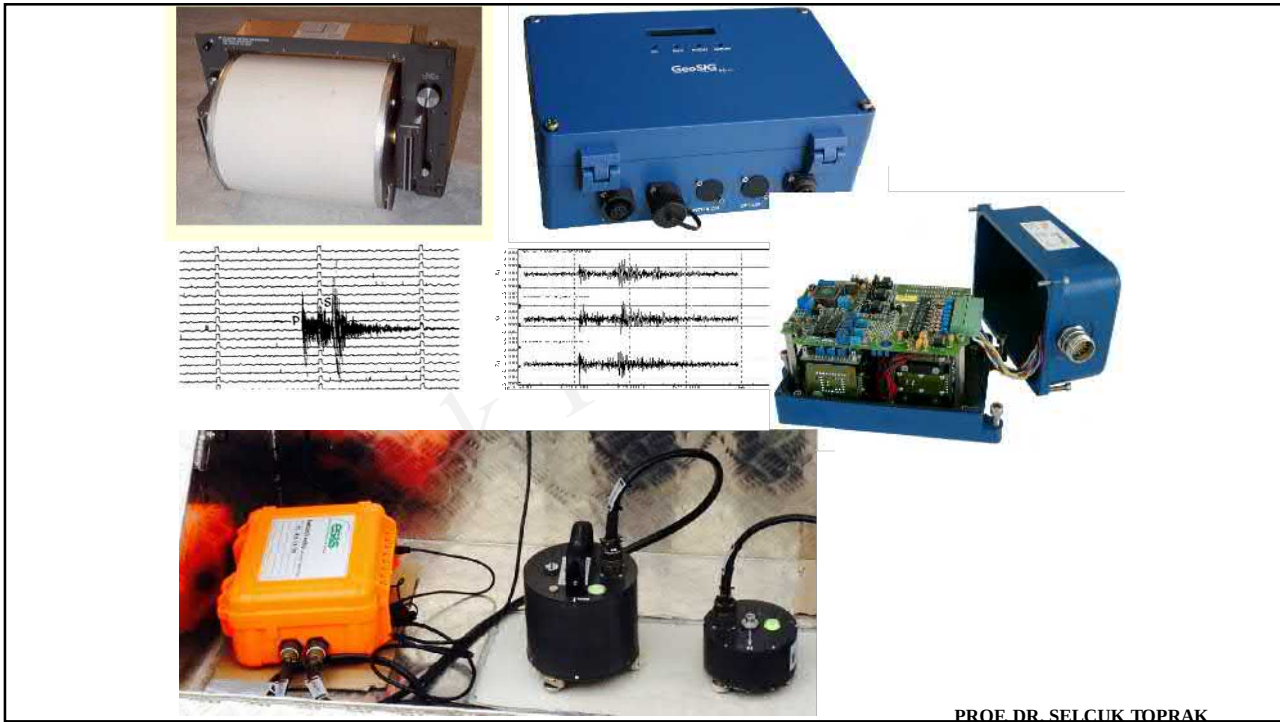
308 Zayıf Yer Hareketi İstasyonu



86 Kuvvetli Yer hareketi istasyonu

129 Geniş Bant İstasyonu

PROF. DR. SELÇUK TOPRAK



PROF. DR. SELÇUK TOPRAK

KUVVETLİ YER HAREKETİ PARAMETRELERİ

Kuvvetli yer hareketinin önemli özelliklerini kısa ve nicel formda tanımlamada yer hareketi parametreleri önemli bir yer tutar. Kuvvetli yer hareketinin genliğini, frekans içeriğini ve süresini belirlemede çok sayıda parametre öne sürülmüştür.

Genlik Parametreleri

Maksimum İvme

Maksimum Hız

Maksimum Yer Değiştirme

Frekans İçeriği Parametreleri

Fourier Spektrumu

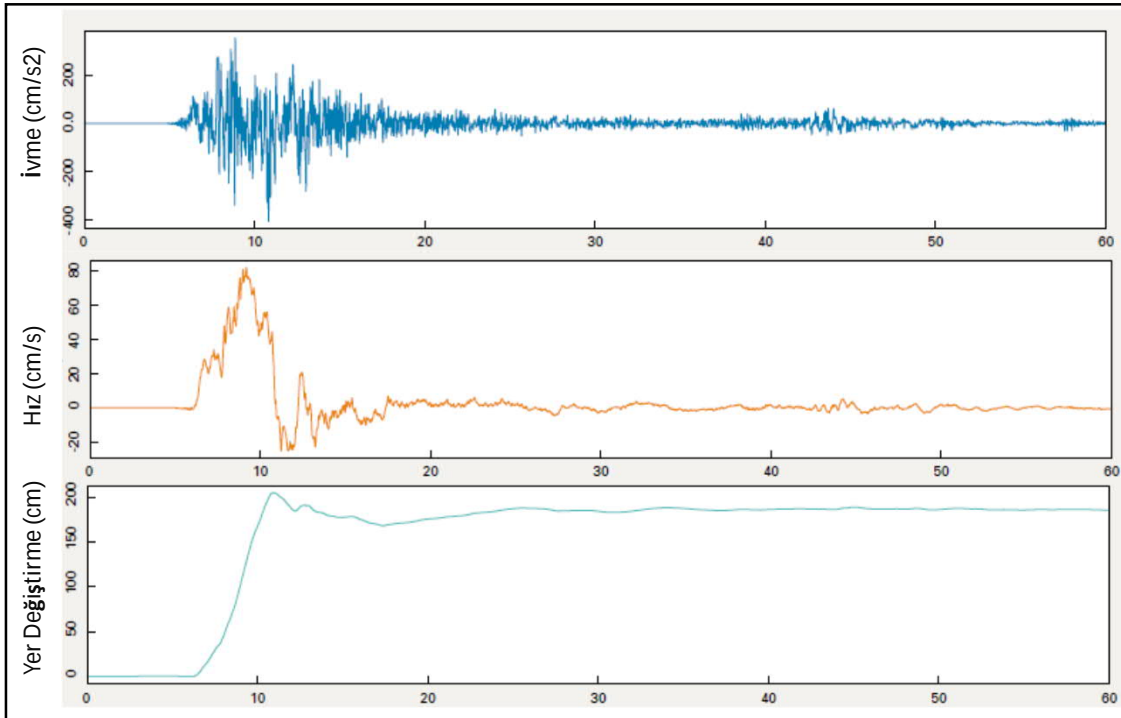
Tepki Spektrumu

Güç Spektrumu

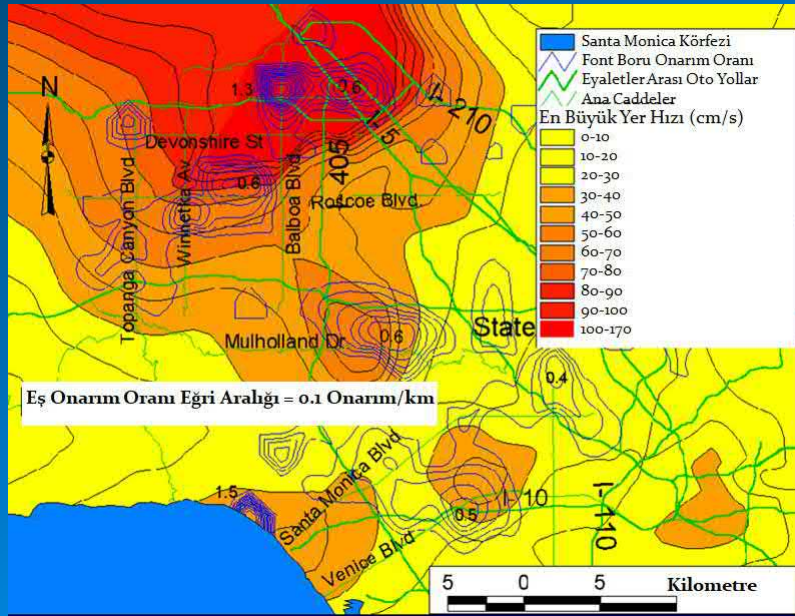
Süre Parametreleri

Ayraçlanmış süre

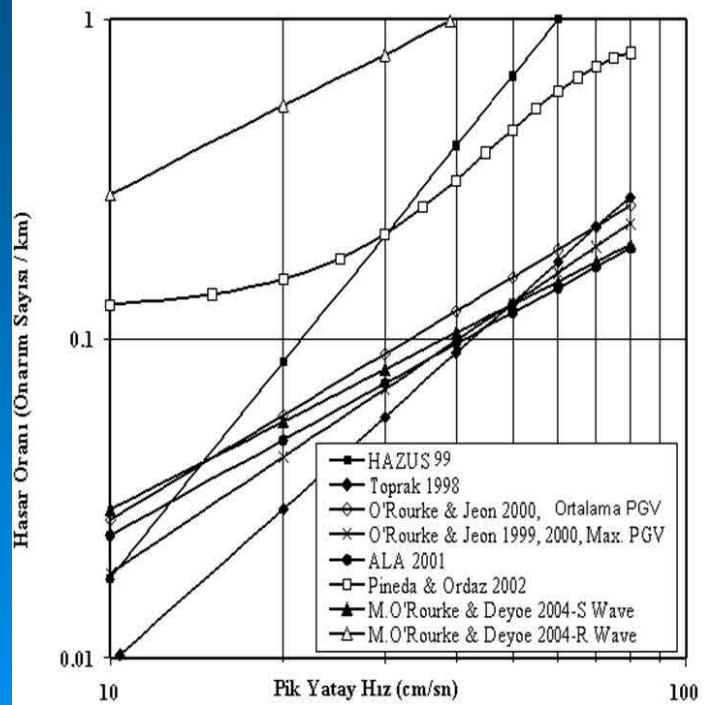
PROF. DR. SELÇUK TOPRAK



Boru Onarım Oranı ve Kaydedilen En Yüksek Yer Hızı



Boru Onarım Oranı ile En Yüksek Yer Hızı Arasındaki İlişkiler



GASKİ SU – MİZMİLLİ SU KAYNAĞI

- 30 kuyunun bulunduğu alan - 120 metre derinliğinde
- Depolama tesisi için 4 pompa istasyonu
- Şehir cazibe ile besleniyor
- 42 km uzunluğunda boru hattı (1.2 m çapında, çelik)

Depre
m
Öncesi



Depre
m
Sonrası

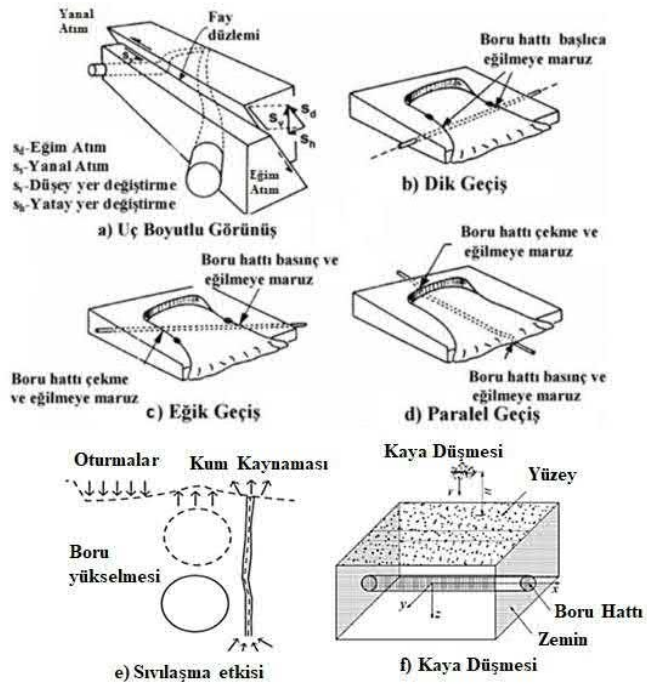


39

Kalıcı Yer Deformasyonları (KYD)

Toprak, S., Wham, B. P., Nacaroglu, E., Ceylan, M., Dal, O. & Senturk, A.E. (2024). Impact of Seismic Geohazards on water supply systems and pipeline performance: Insights from the 2023 Kahramanmaraş Earthquakes. Engineering Geology, Vol 340, 107681. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2024.107681>.

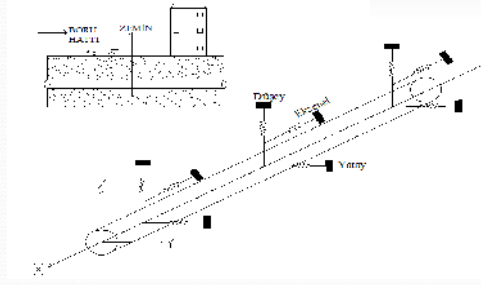
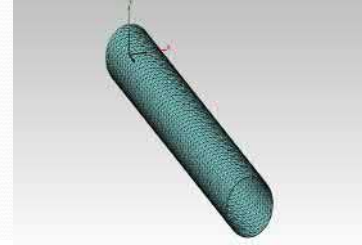
O'Rourke (1998), Castiglia ve ark. (2020), Rao ve ark. (2022) kaynak alınarak yeniden hazırlanmıştır.



ALTYAPI SİSTEMLERİ- ZEMİN ETKİLEŞİMİ MODELLEMELERİ

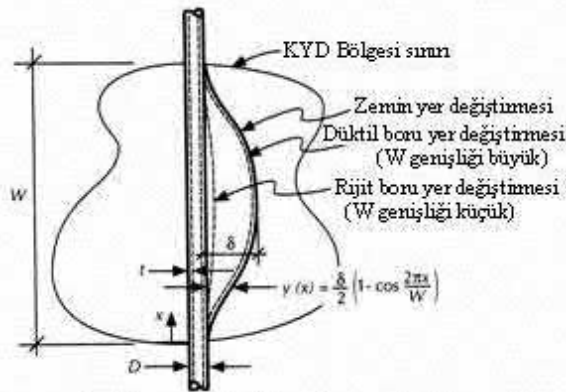
Analiz Araçları

- Analitik Yöntemler
 - Teori ya da geçmiş tecrübelerle dayalı yaklaşımlar
- Sonlu Elemanlar Yöntemleri
 - ABAQUS
 - ANSYS
 - DIANA
 - PLAXIS
- Sonlu Farklar Yöntemleri
 - FLAC



Boru eksenine dik doğrultuda KYD hali için örnek bir analitik model (O'Rourke, 1989)

KYD bölgesinin genişliğinin büyük olması durumunda boru göreceli olarak duktıl gibi davranacak ve zemin hareketine yakın bir yer değiştirmeye maruz kalacaktır. KYD bölgesinin genişliğinin küçük olması durumunda ise boru göreceli olarak rijit gibi davranacak ve zemin hareketine göre çok az bir yer değiştirmeye maruz kalacaktır.



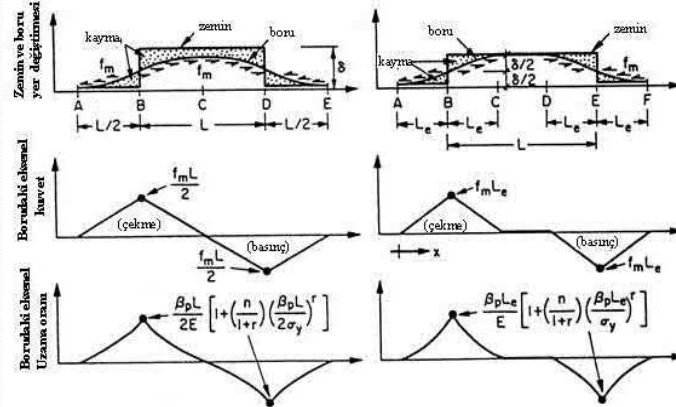
$$\varepsilon_b = \pm \frac{\pi^2 \delta D}{W^2}$$

$$\varepsilon_b = \pm \frac{p_u W^2}{3\pi E t D^2}$$

Boru eksenine paralel doğrultuda KYD: Kayan Blok Analitik Modeli (O'Rourke ve Nordberg (1992))

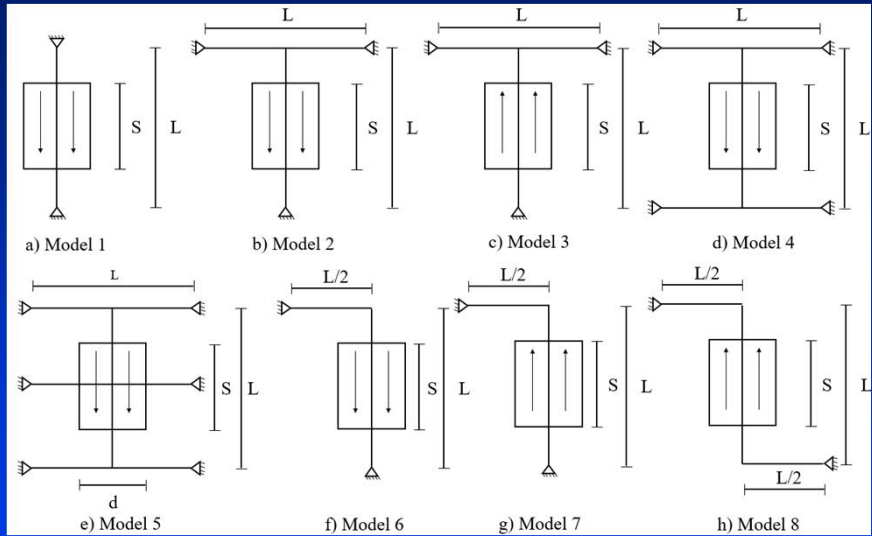
Birim
Sürtünme
kuvveti:
 $f_m = (c + \mu\gamma H)\pi D$

Boru gömme
parametresi:
 $\beta\rho = (c + \mu\gamma H)/t$



Bu modelde iki farklı durum gözönüne alınmaktadır. Durum I'de KYD bölgesinin uzunluğu (L), boru ile KYD bölgesi içinde borunun etrafındaki zemin arasında sıfır-kayma geliştirebilecek yeterlikte büyüklüğe sahiptir. Durum II'de KYD bölgesinin uzunluğu (L), sıfır-kayma oluşturacak değerden büyüktür. Bu nedenle borudaki şekil değiştirme Durum I'de KYD bölgesinin uzunluğu, Durum II'de ise KYD miktarı (δ) tarafından kontrol edilmektedir.

Toprak, S., Nacaroğlu, E., Yağcıoğlu, B., Çetin, O. A. (2024). Depremlerde uzun eksenleri doğrultusunda kalıcı yer hareketlerine maruz kalan gömülü boruların davranışı. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 40(2), 911-922. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1292744>



FAY HAREKETLERİ

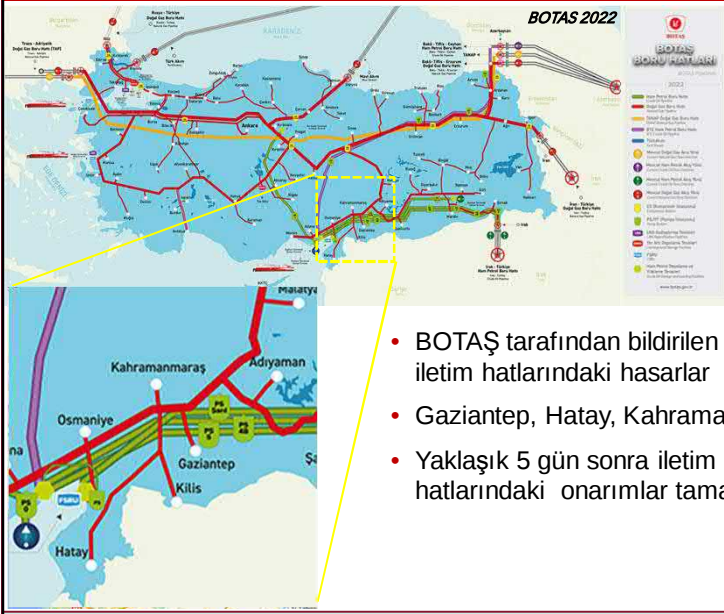
Fay hatları özellikle su ve gaz iletim hatları gibi kritik altyapı unsurlarına ciddi zarar vermektedir. Bu fay hareketleri, yapısal arızalara ve hatlardaki kırılmalara yol açar, gaz ve su gibi iletilen malzemelerin akışını keserek etkilenen toplulukların karşılaştığı zorlukları artırır.

45



ENERJİ BORU HATLARI

Doğal Gaz



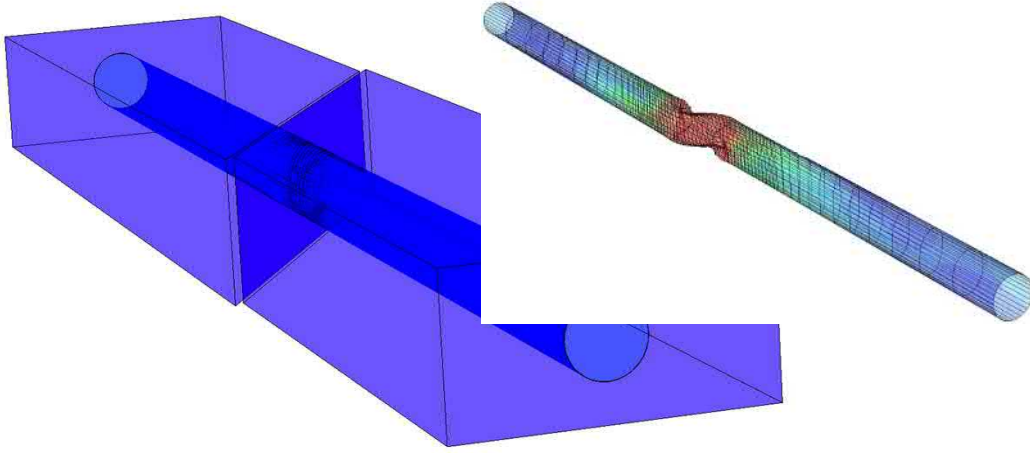
- BOTAS tarafından bildirilen doğalgaz iletim hatlarındaki hasarlar
- Gaziantep, Hatay, Kahramanmaraş
- Yaklaşık 5 gün sonra iletim hatlarındaki onarımlar tamamlandı.



47



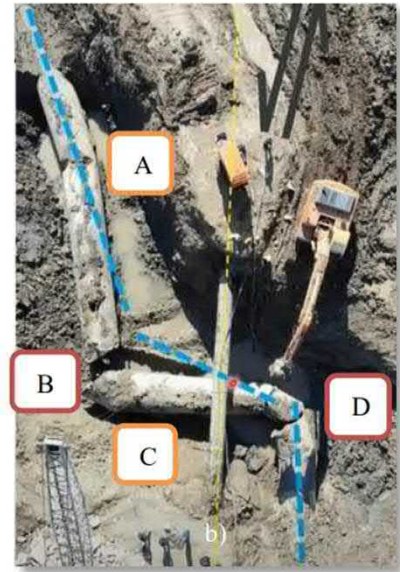
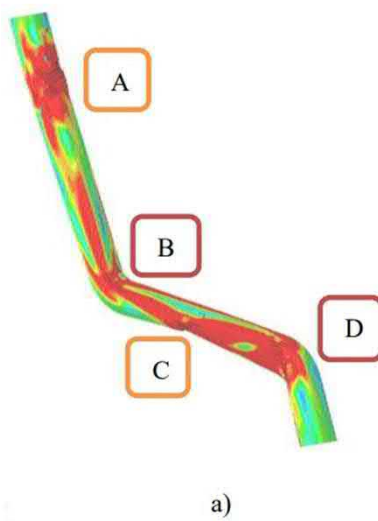
SONLU ELEMENLAR ANALİZLERİ



49

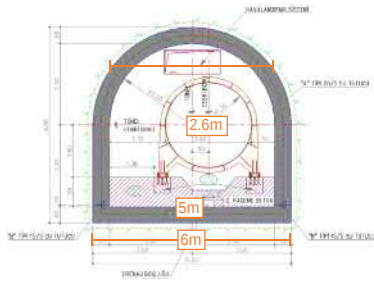
SONLU ELEMENLAR ANALİZLERİ

Uckan, E., Aksel, M., Atas, O., Toprak, S., & Kaya, E. S. (2024). The performance of transmission pipelines on February 6th, 2023 Kahramanmaraş earthquake: A series of case studies. Bulletin of Earthquake Engineering. <https://doi.org/10.1007/s10518-024-01957-2>.



50

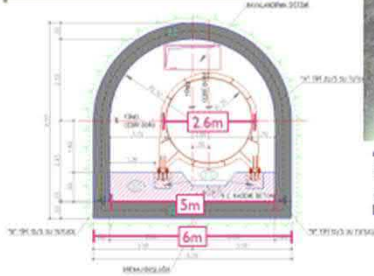
GASKİ SU – Düzbağ SU KAYNAĞI



51



Genleşme Derzleri (± 7 cm)



Boru desteklerindeki artık yer değişimleri



Sabit destek hasarı



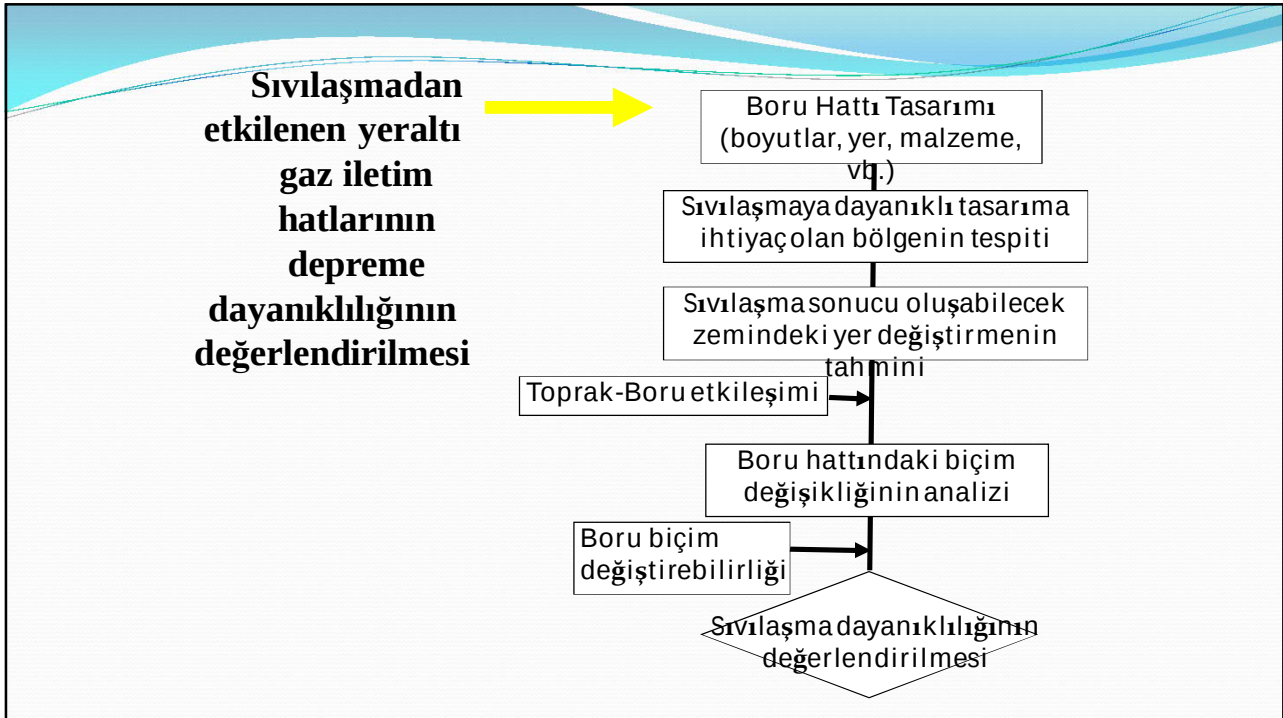
Tünelin ortasına 30 cm'lik bir ekleme kaynaklandı

52

ZEMİN SIVILAŞMASI

Depremle beraber oluşan zemin sıvılaşması, altyapı üzerindeki olumsuz etkileri daha da artırdı. Yerleşim yerleri, pompa istasyonları ve boru hatları gibi kritik tesislere zarar veren zemin sıvılaşması onarım süreçlerini zorlaştırdı ve depremden etkilenen bölgelerde toparlanma sürecini uzattı.

53



Geoteknik Saha Gözlemleri



a) Kum kaynaması



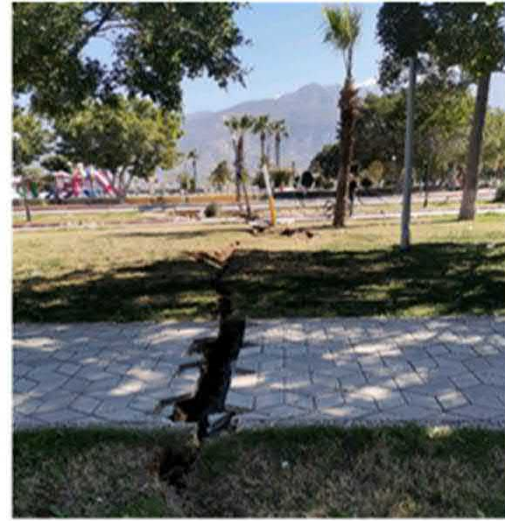
b) Kum kaynaması

55

Geoteknik Saha Gözlemleri



c) Yanal yayılma



d) Yanal yayılma

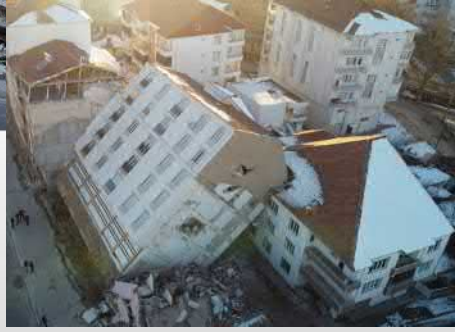
56

Geoteknik Saha Gözlemleri

Bina Temelleri



Gölbaşı,
Adıyaman'da
temellerde
gözlemlenen
problemler



57



(a)



(b)



(c)





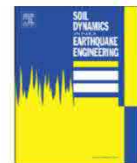
Soil Dynamics and Earthquake Engineering 125 (2019) 105758

Contents lists available at ScienceDirect



Soil Dynamics and Earthquake Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/soildyn



Segmented pipeline damage predictions using liquefaction vulnerability parameters

Selcuk Toprak^{a,*}, Engin Nacaroglu^b, Sjoerd van Ballegooy^c, Abdullah Cem Koc^b, Mike Jacka^d, Yasemin Manav^b, Eric Torvelainen^c, Thomas Denis O'Rourke^e

^a Department of Civil Engineering, Gebze Technical University, Kocaeli, Turkey

^b Department of Civil Engineering, Pamukkale University, Denizli, Turkey

^c Tonkin + Taylor Ltd, 105 Carlton Gore Rd, Auckland, 1023, New Zealand

^d Tonkin + Taylor Ltd, 33 Parkhouse Rd, Christchurch, 8042, New Zealand

^e Civil and Environmental Engineering Department, Cornell University, NY, USA



PROF. SELCUK TOPRAK

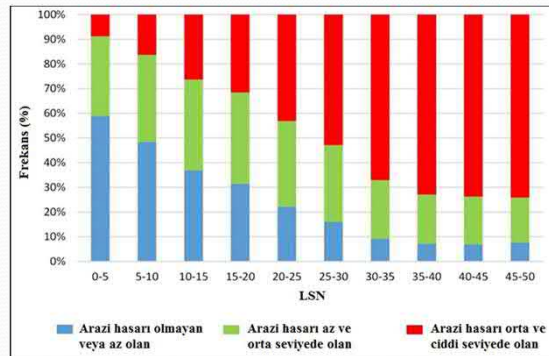
SIVILAŞMA PARAMETRELERİ

Sıvılaşma Şiddeti Katsayısı (LSN)

Sıvılaşma şiddeti katsayısı (LSN), Tonkin & Taylor (2013) tarafından geliştirilmiş olup, denklemi aşağıdaki gibidir.

$$LSN = 1000 \int \frac{\varepsilon_v}{z} dz$$

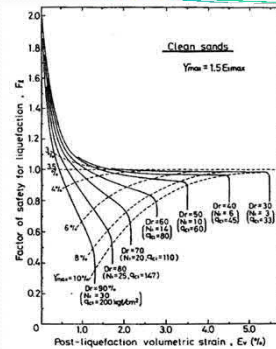
Tonkin ve Taylor (2015) ve Van Ballegooy ve diğ. (2015b) çalışmalarında Ekim 2010, Şubat 2011 ve Haziran 2011 depremlerinden sonra gözlenen arazi hasarlarıyla LSN arasında güçlü ilişkiler bulmuşlardır.



Diğer Sıvılaşma Şiddeti Parametreleri

Hesaplanmış bir boyutlu oturma göstergesi (S_{V1D}) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$S_{V1D} = \int \varepsilon_v dz$$

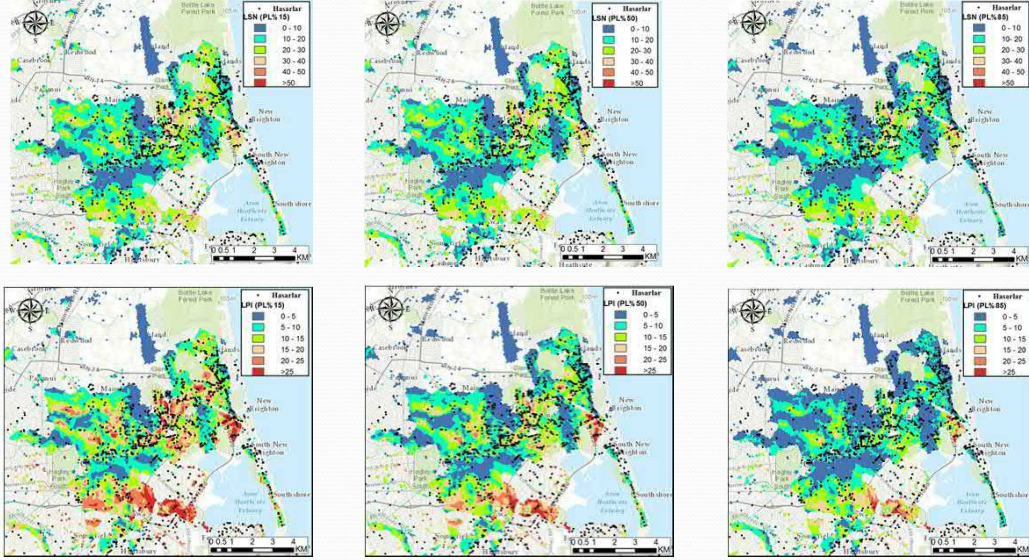


Çeşitli sıvılaşma güvenlik faktörlerine karşılık gelen hacimsel yoğunlaştırılmış şekil değiştirme (Ishihara ve Yoshimine 1992)

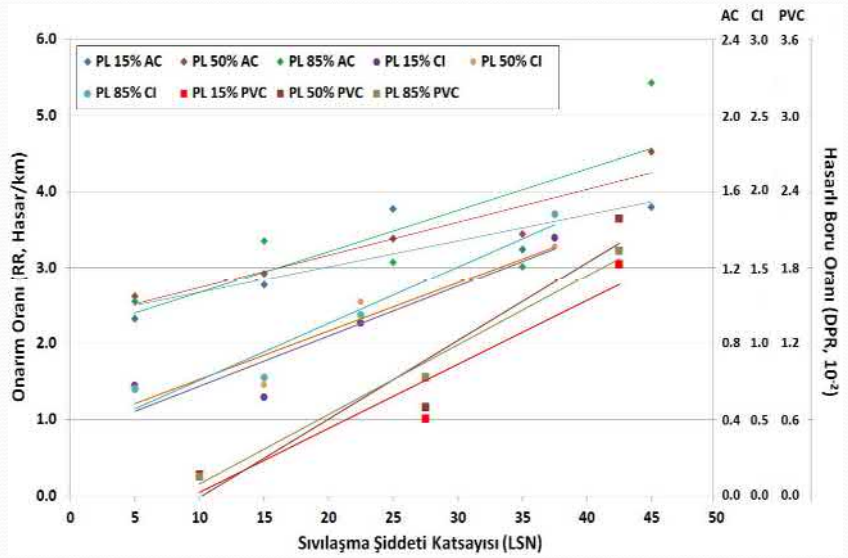
Iwasaki ve diğ. (1978, 1982) tarafından geliştirilip Toprak ve Holzer (2003) kalibre edilen LPI, dünyada en yaygın olarak kullanılan metottur. LPI ile sıvılaşma potansiyeli çok düşükten çok yükseğe kadar değişik derecelere ifade edilebilmektedir.

$$LPI = \int_0^{20} F w(z) dz$$

Christchurch Depremi Boru Hasarları ve Farklı Sıvılaşma Olasılıkları için LSN ve LPI Haritaları



Yeni boru hasar ilişkileri



HEYELANLAR

Deprem tarafından tetiklenen toprak kaymaları, su altyapısının bütünlüğünü etkileyen başka önemli bir tehlike olarak ortaya çıktı. Toprak ve kayaların kademeli hareketi, boru hatları üzerinde ciddi etkiler yaratmış, suyun şehirlere iletilmesini kesintiye uğratmıştır. Toprak kaymaları nedeniyle boru hatlarına gelen geniş çaplı zararlar, temel hizmetleri yeniden sağlama çabalarını zorlaştırmış ve gecikmelere neden olmuştur.

65

ASKIM Gürlevik İsale hattı (Adıyaman)



(a)



(b)



(c)

HATSU Payas Karacaoren İsale hattı



(a)



(b)

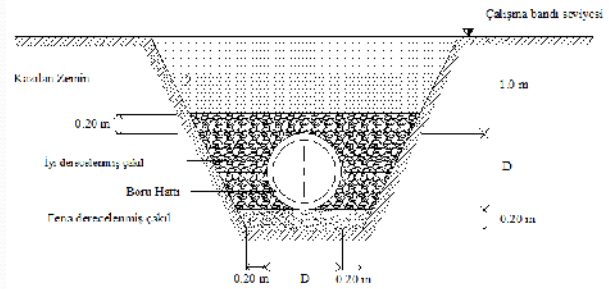


67

68

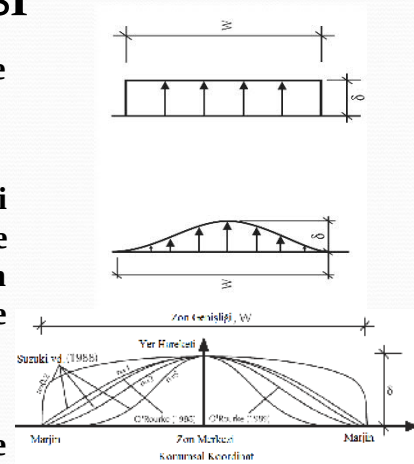
Sonlu Elemanlar Analiz Örneği

- Gömülü bir boru hattının yavaş gerçekleşen bir toprak kayması altındaki davranışı ele alınmıştır.
- Çalışmanın konusu olan boru 1067 mm çapında (42 inç) yaklaşık 10,3 mm et kalınlığında ve boru üstü derinliği 1.00 metre olacak şekilde gömülmüştür.
- Boru malzemesi API 5L X65 standartlarına uygundur. Bu standartlar ile minimum akma dayanımı 440MPa ve borunun nihai çekme dayanımı en az 560 MPa ve en fazla 710 MPa'dır.

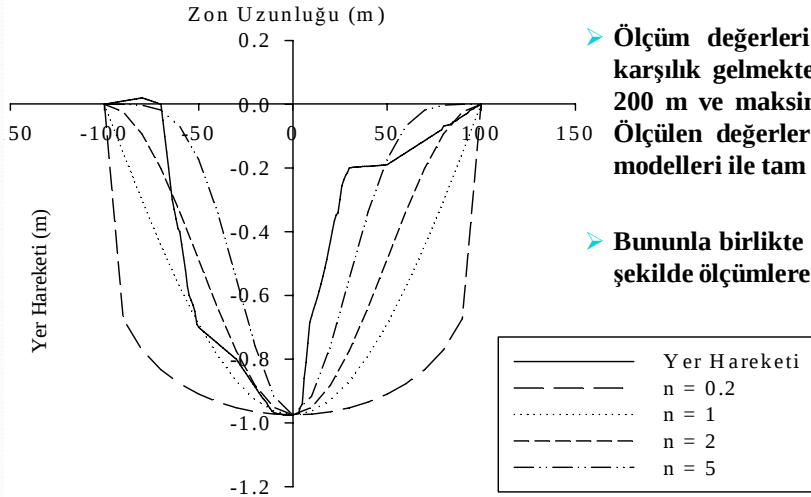


Basitleştirilmiş Modellerin Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçlarıyla Kıyaslanması

- Boruya dik yönde hareket iki genel şekilde modellenebilmektedir.
 - Birincisi W genişliğinde (zon genişliği) bir bölgenin ani blok hareketi şeklinde δ kadar hareket etmesi, diğeri ise W genişliğinde bir hareket bölgesi içerisinde maksimum hareket miktarının δ olduğu ama bölge içerisinde hareket miktarının değişken olduğu durumdur.
 - İkinci durumda yer hareketinin bölge içerisinde değişkenliğini modellemek için farklı araştırmacılar şekilde gösterildiği gibi değişik modeller önermişlerdir.



Çalışma Bölgesindeki Yer Hareketi ve Modellerle Karşılaştırılması



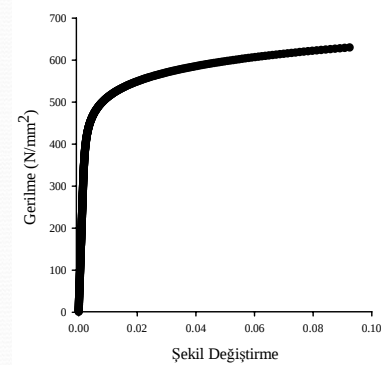
➤ Bu çalışmanın konusu olan bölgede yapılan ölçümler sonucunda elde edilmiş yer hareketi grafiği diğer modellerle birlikte şekilde verilmektedir.

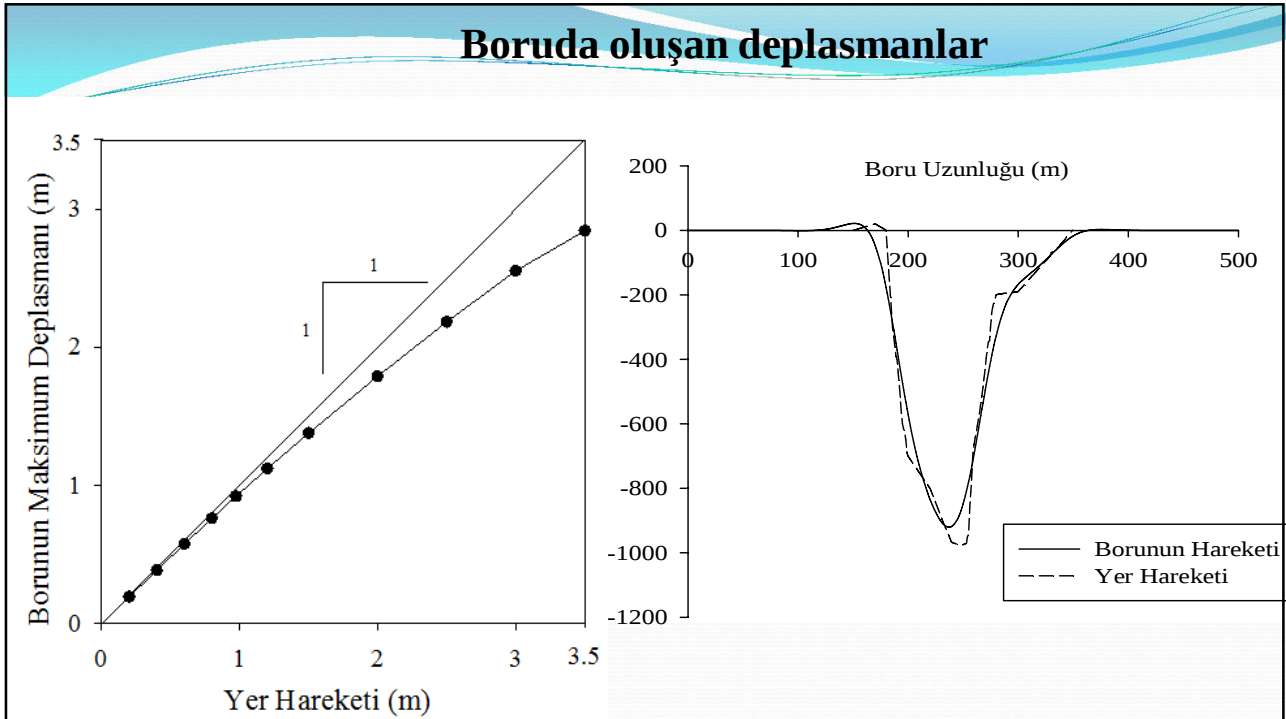
➤ Ölçüm değerleri yaklaşık 5 yıllık hareket miktarına karşılık gelmektedir. Yer hareketinin zon genişliği (W) 200 m ve maksimum yer hareket miktarı 975 mm'dir. Ölçülen değerler simetrik olmaması açısından kosinüs modelleri ile tam uyuşmamaktadır.

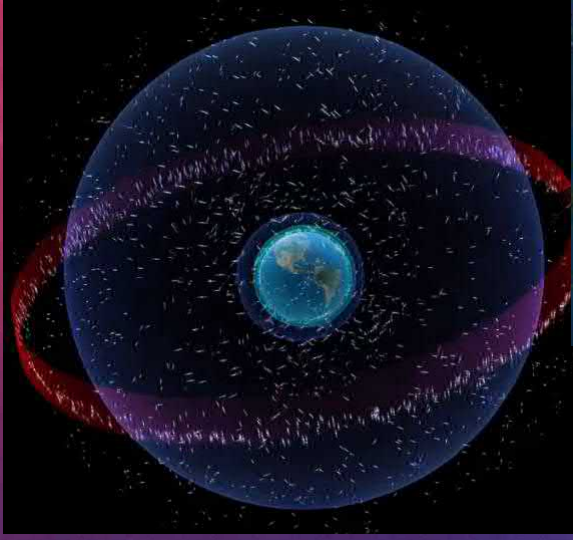
➤ Bununla birlikte n=2 fonksiyonu güvenli tarafta kalacak şekilde ölçümlere en uygun olanı olarak görülmektedir.

➤ Boru hattında maksimum işletme basıncı 62 bar civarındadır. Borunun üstünde kaplama (coating) malzemesi mevcuttur. Kaplama malzemesi olarak üç kat yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) kullanılmıştır. İlk yüzey için sprej, sonraki yüzeyler için ısıtılmış işlem uygulanmıştır.

➤ Analizlerde DIANA sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizleri hem zemin-boru etkileşimini hem de borunun davranışını doğrusal olmayan şekilde modelleme imkanı sunmaktadır.

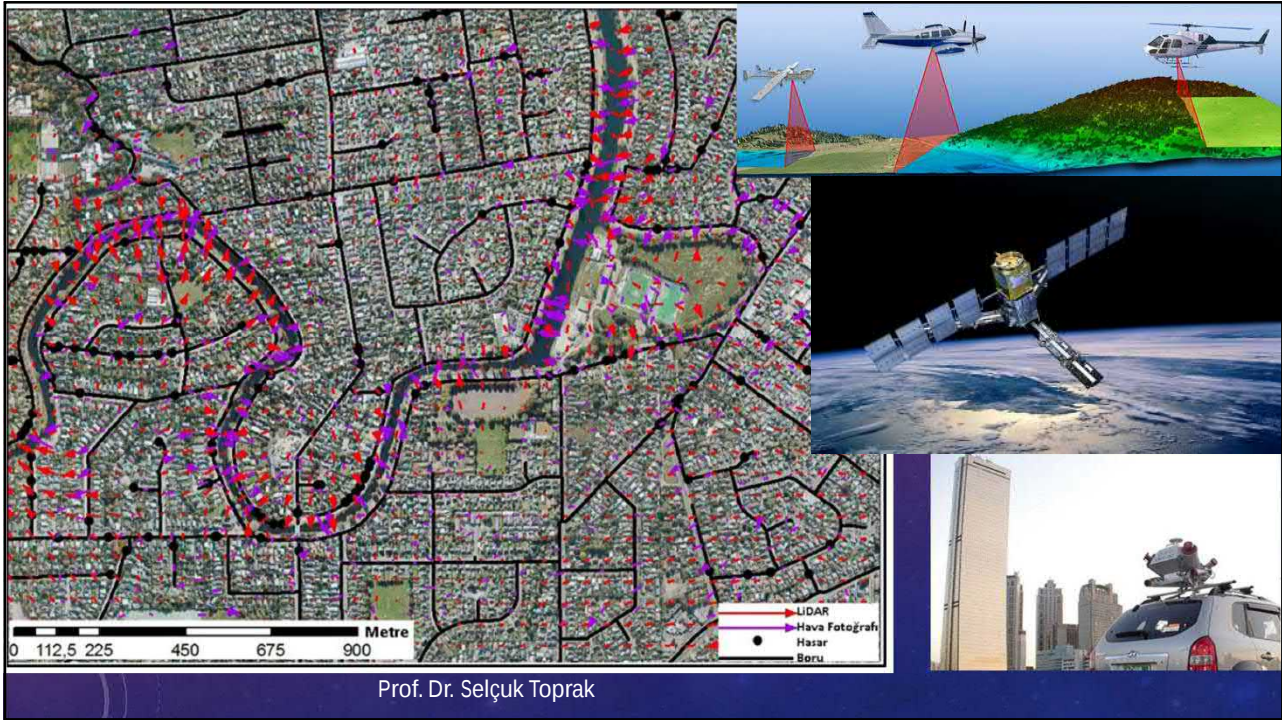




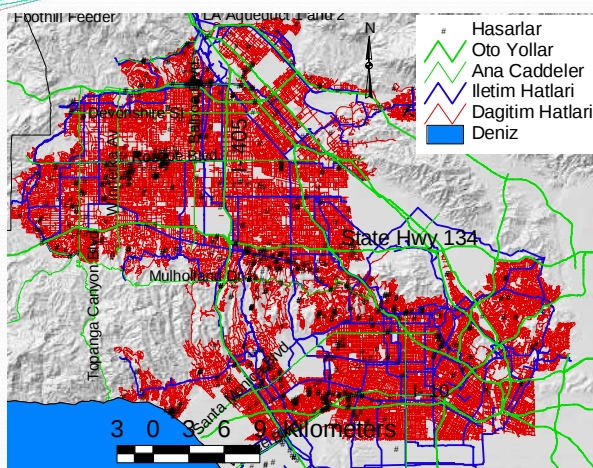



Uzaktan Algılama ile Ölçme, Takip ve Yönetim

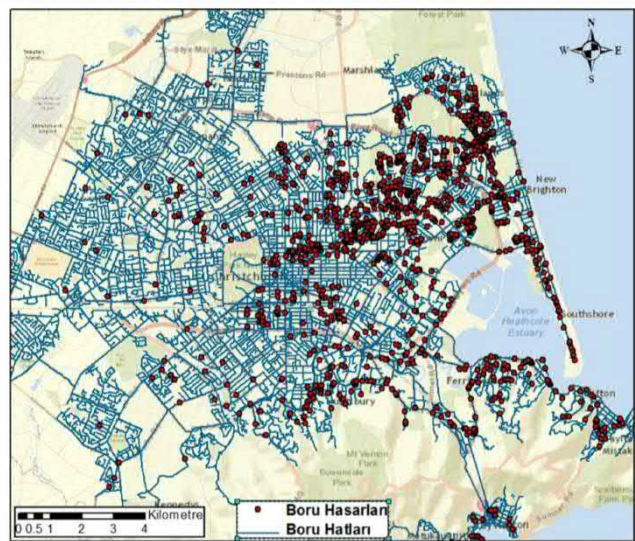
Prof. Dr. Selçuk Toprak



Altyapı Sistemleri Değerlendirmesinde CBS Gerekliliği

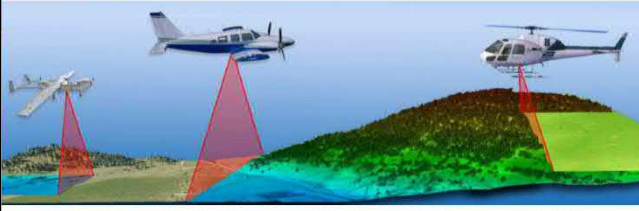


1994 Northridge, A.B.D. Depreminden Etkilenen
Los Angeles Su İletim ve Dağıtım Sistemi



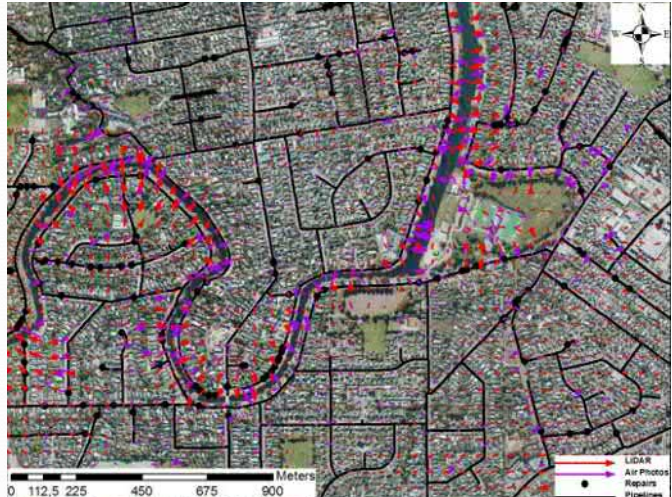
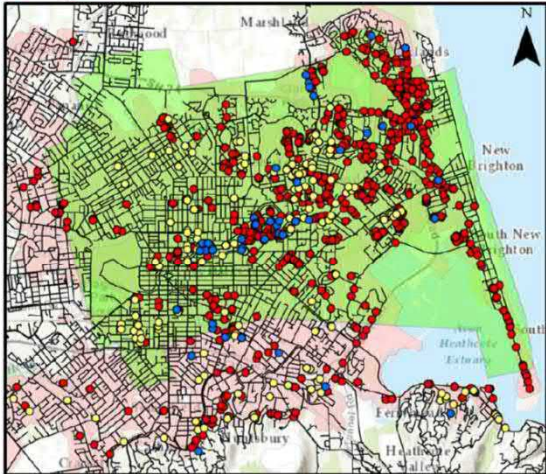
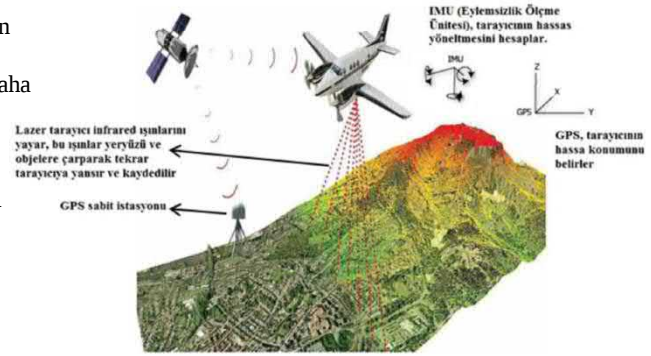
2011 Christchurch, Yeni Zelanda Depreminde Boru Hasarları

Uzaktan Algılama (LiDAR)



En yaygın olarak kullanılan LiDAR hava tarama tekniğinin çalışma prensibi; uçak, helikopter vb. bir hava aracına monte edilen tarayıcı, lazer ışının yol ve gidişdönüş süresini kaydederek yer objeleri ve algılayıcı arasındaki mesafeyi hesaplar. Hesaplanan bu mesafe temel alınarak GPS ile platformun o anki konumu kaydedilirken ataletsel ölçü birimi (IMU) ile uçağın durumu kaydedilerek ölçülen objenin konumu hesaplanmaktadır.

Hava LiDAR sistemleri ile eğer istenirse tarama yapılan alanın sayısal fotoğrafı veya video görüntüsü çekilebilir. LiDAR ile toplanan veriler çeşitli formatlardaki dosyalarda depo edilip daha sonra düzenlenmektedirler. Farklı yüzeyler, kızıl ötesi ışınları farklı şekilde emdiklerinden, alıcının kaydettiği şiddet değerinden yüzeyin tipi veya kimyasal yapısı da belirlenebilmektedir. Pek çok uygulama için, geleneksel arazi çalışmaları ve klasik fotogrametrinin yerini alacak bir sistem olması beklenmektedir.



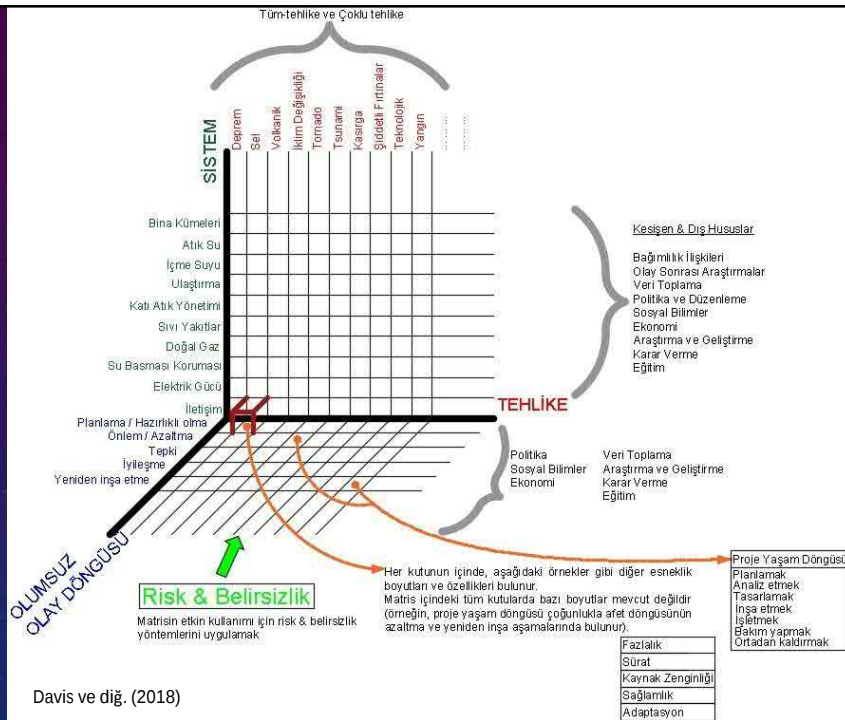
- LiDAR
- Hava fotoğrafları
- Uydu ölçümleri

Öncelikler ne olmalı?

Önce Can Güvenliği
Sonra Mal Güvenliği

Yeni sistemler
Eski sistemler

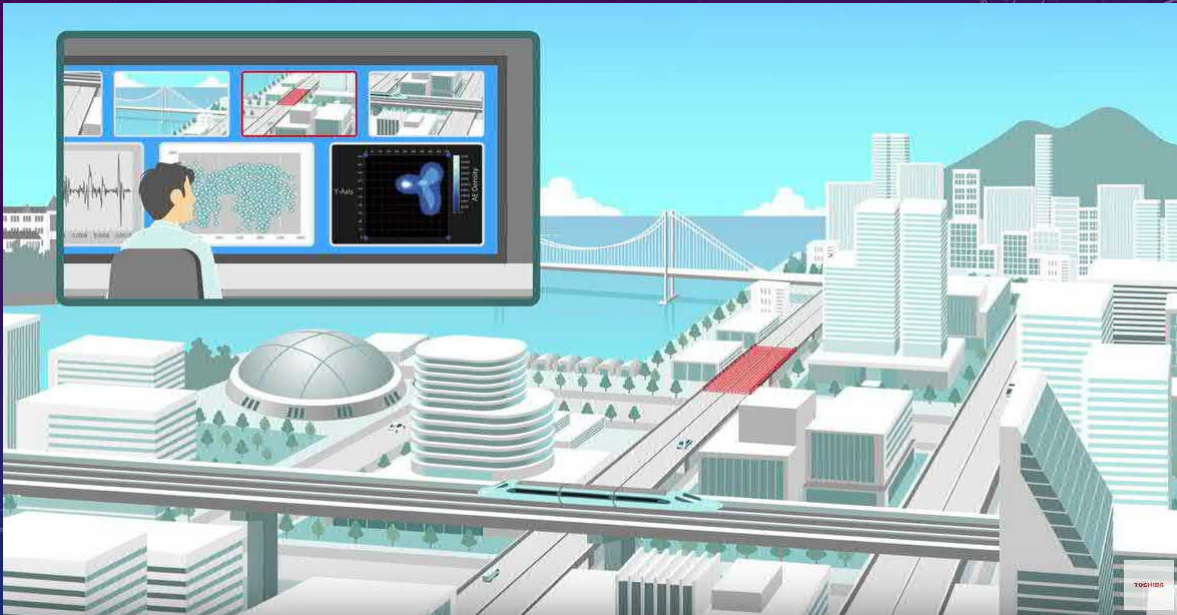
Prof. Dr. Selçuk Toprak

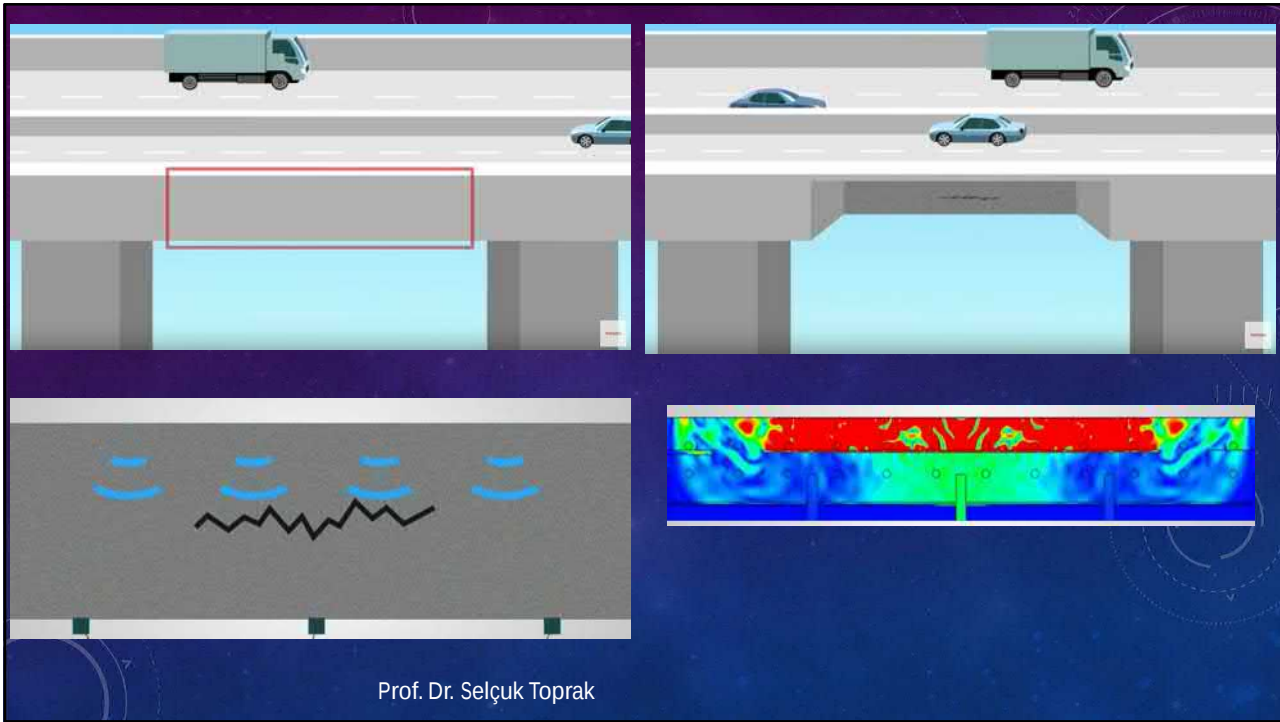


SIFIR ENERJİ VE AKILLI EVLER



Yapı Sağlığı İzleme





ESKİ SİSTEMLERİ GÜÇLENDİRME ve YENİLEME



prak

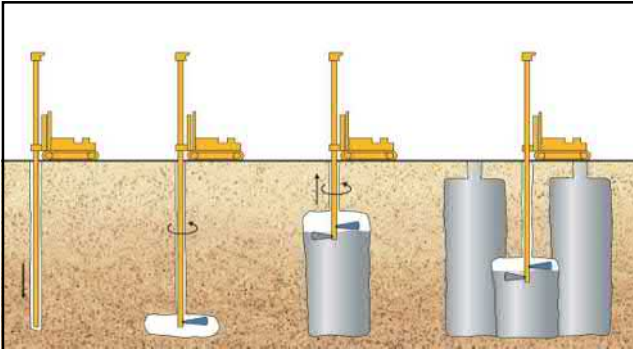


DEPREM YALITIM SİSTEMLERİ



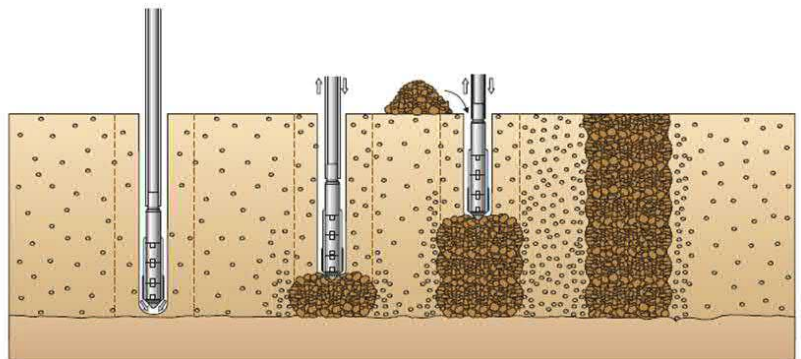
Kauçuk İzolatörler ve Çelik
Sönümleyicilerin detayları (NZ
Elektirik şalt sahası)

Prof. Dr. Selçuk Toprak



ZEMİN İYİLEŞTİRME VE GÜÇLENDİRME

Prof. D



Tasarım Sınıfları ve Hedef Performans Düzeyleri

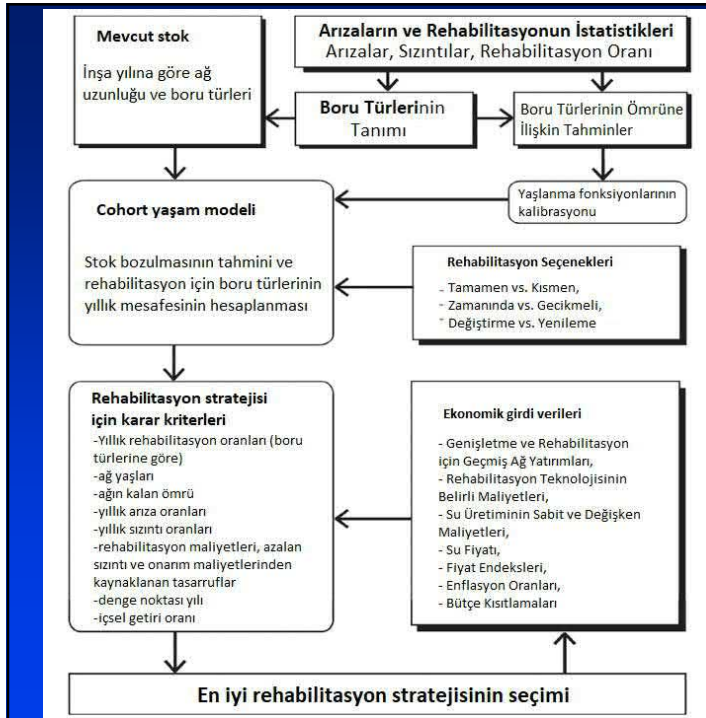
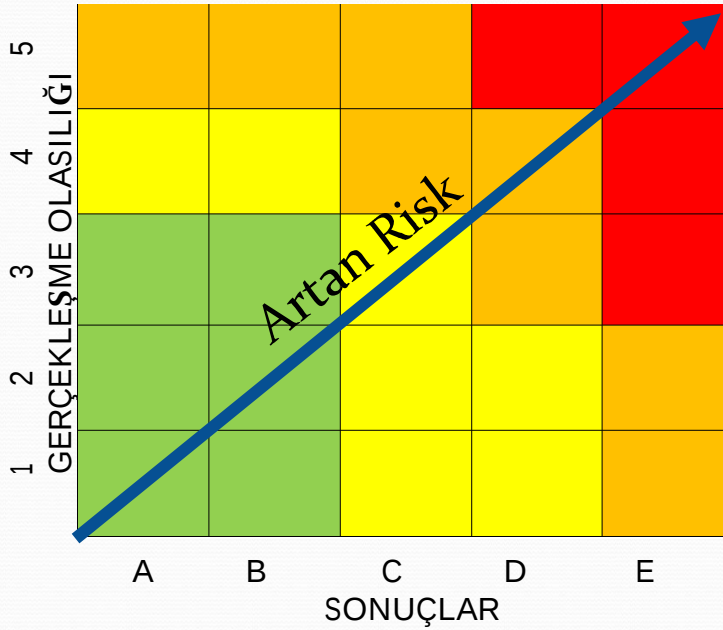
Tasarım sınıfı	Tanım	Deprem Yer Hareketi Düzeyi	Hedef Performans
I	-	-	Kesintisiz Kullanım
II	-	-	Kontrollü Hasar
III	-	-	-
IV	-	-	-

Kontrollü Hasar- örneğin, performans düzeyi hedef yinleme süresini temsil eden yer hareketi ardından kullanıcıların %90'nına 3 ila 7 gün içerisinde %100 servis sunabilme hedefine karşılık gelir.

Performans Hedefleri ve Kriterler

- Belirli aralıklarla güncellenmeli
- Ölçülebilen performans hedefleri
 - 'Sıfır' hasar ve arıza, gerçekçi mi?
 - Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi
 - Kontrollü Hasar Performans Düzeyi
- Vade: Kısa, orta ve uzun dönem
- Öncelikler

RİSK BELİRLEME ve KARAR



Rehabilitasyon ihtiyaçları ve stratejilerini keşfetme çerçevesi (Saegrov vd., 1999)

Proaktif Yönetim (önceden harekete geçen)

Reaktif Yönetim (tepki veren)

Yaşlanan Altyapılar: Denizli Su Temini Sistemi



Değişirme programından önceki
boru hatları (Güngör, 2009)

91

İÇ KAPLAMA

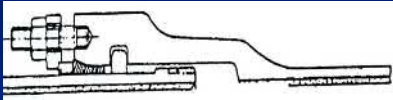
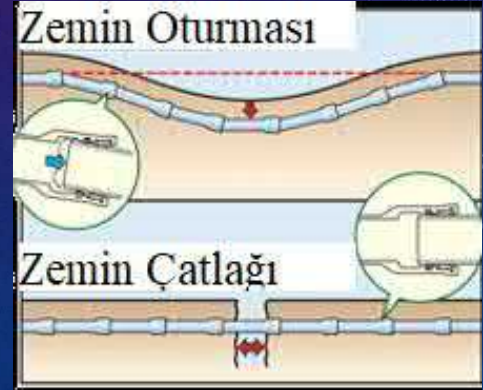


92

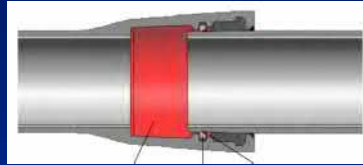
ESNEK BORULAR YA DA ÖZEL BİRLEŞİM NOKTALARI



Prof. Dr. Selçuk Toprak



S Tipi

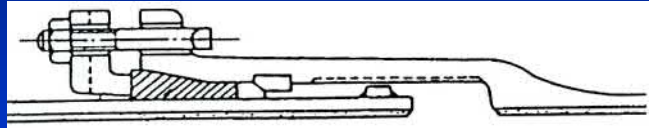


Sismik Ekler

Açılma-Kapanma: $\pm 1\%$ of L
(L: Boru uzunluğu)

Kayma Direnci: $\geq 3D$ kN
(D boru çapı),

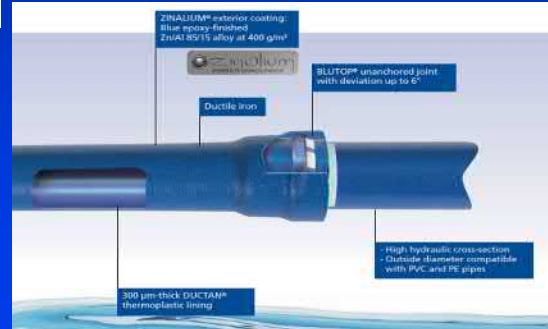
Dönme Açısı: $\pm 7.5^\circ$ to $< 15^\circ$.



SII Tipi



SII Tipi ve K Tipi Ek



94

HRDIP and DIP experiences for PGD

Landslide caused by Heavy rain



HRDIP: No damage



HRDIP: No damage



Advancing Solutions for Resilient and Sustainable Infrastructure and Asset Management



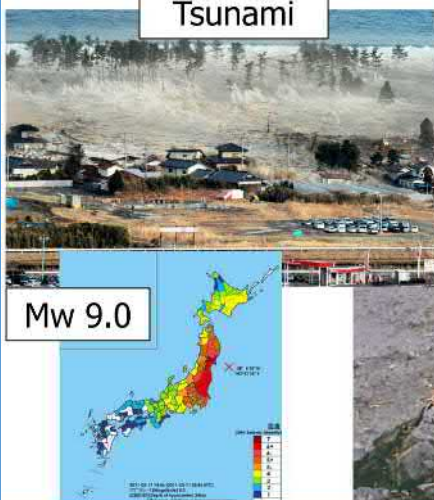
Kagawa ve Hara, 2023

PROF. SELCUK TOPRAK

HRDIP and DIP experiences for PGD

Tsunami

2011 Great East Japan Earthquake



Mw 9.0



HRDIP: No damage



Advancing Solutions for Resilient and Sustainable Infrastructure and Asset Management



Kagawa ve Hara, 2023

PROF. SELCUK TOPRAK

KUBOTA Corporation

Rubber Gasket **Lock Ring**

Spigot Projection **NS-type**

Rubber gasket **Lock ring and Lock ring holder (Pre-Set)** **Socket(Bell)** **Spigot** **Spigot projection**

FINAL DESIGN CONFIGURATION

ERDIP AT 16.4' **ERDIP AT 9.8'** **10' (TYP)** **COLLAR JOINT (TYP)** **ERDIP AT 16.4'**

BYPASS VAULT **WELDED STEEL PIPE** **CONNECTION TO EXISTING PIPE** **BEGIN ERDIP** **THRUST BLOCK** **SECONDARY DEFORMATION** **PRIMARY DEFORMATION ZONE** **PRIMARY/SECONDARY DEFORMATION ZONE**

(ASCE, 2018)

**Santa Clara Valley Water District
Penitencia Water Treatment Plant
Landslide Hazard Zone
72-in.-Diameter ERDIP**

97

AMERICAN CAST IRON PIPE COMPANY

Kubota

IPEX

JFE

McWANE DUCTILE IRON STRONG

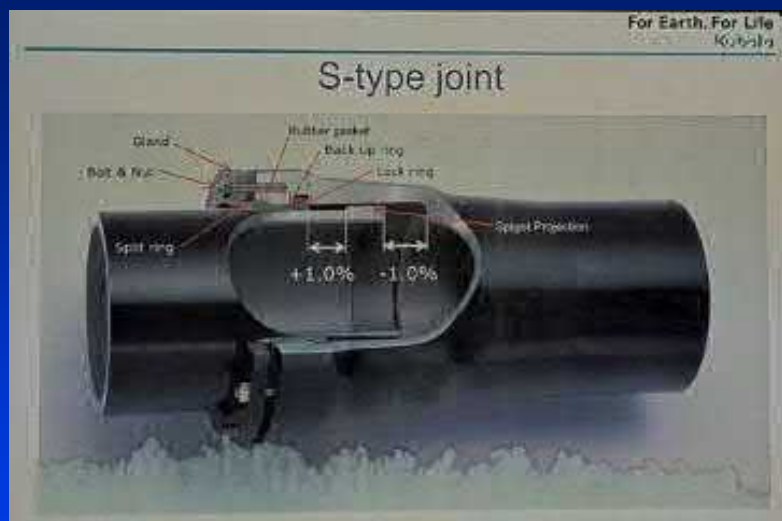
US PIPE

PPI SYSTEM

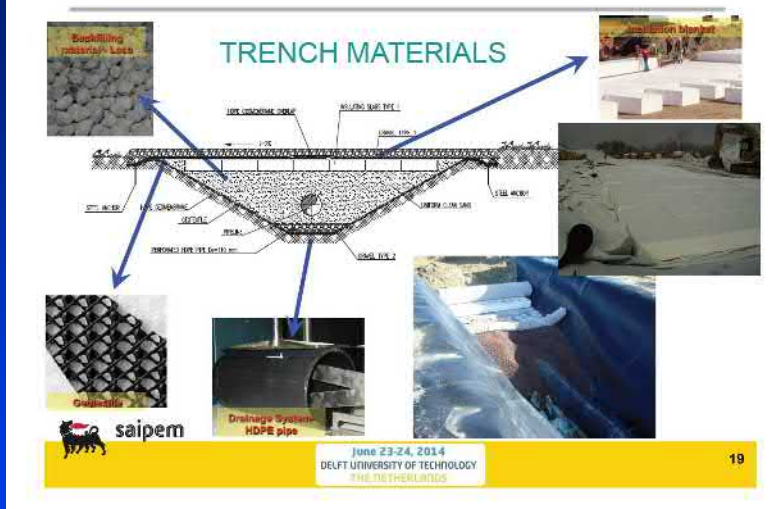
aquapipe

Center for Infrastructure Energy and Space Testing

UNIVERSITY OF CALIFORNIA



Technology Development -Trench Concept Design



Courtesy of Luigino Vitali

101

ALTYAPI SİSTEMLERİNDE DİRENÇLİLİK

Olay Döngüsü

Hazırlılık
Önlem, Azaltma
Tepki
Toparlanma ve Yeniden
İnşa

Olay
Döngüsü

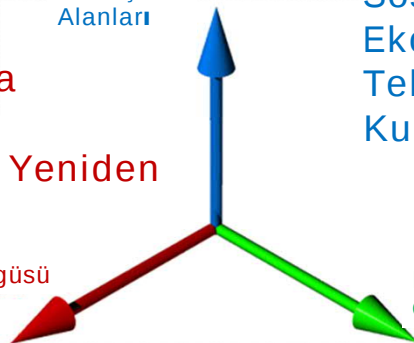
Dirençlilik
Alanları

Dirençlilik Alanları

Sosyal
Ekonomik
Teknik
Kurumsal

Dirençlilik Özellikleri

Fazlalık (Yedek)
Sürat
Kaynak Zenginliği
Sağlamlık



52



READY4DISasters Projesi

Farkındalık ve hazırlık yoluyla yangın, taşkın ve heyelan risklerine karşı dirençli topluluklar

Proje No: 2022-1-TR01-KA220-ADU000087618

Web site: <https://ready4disasters.gtu.edu.tr/>

Proje Yürütücüsü



Ortaklar



Funded by the Erasmus+ Programme of the European Union



İNŞAAT ALANINDA AVRUPA YÖNETİCİLERİ İÇİN ORTAK ÖĞRENME ÇIKTILARI, BÖLÜM VI

CLOEMC VI - 2022-1-PL01-KA220-HED-000087357

(01.12.2022 - 31.05.2025)

Co-funded by the European Union

Proje, inşaat sektöründeki uluslararası birikim ve kuruluş tarafından niteliklerin tanınması, desteklenmesi ve belgelendirilmesiyle ilgili düzenlenmiş olan mesleklerle ilgili AB Direktifi 89/48/EEG ile ilgilidir. İnşaat alanındaki yenilikçi yönetim bilginin geliştirilmesi bir özneni içeren İnşaat Yöneticileri Kütüphanesi (HYK, bölüm VI) Avrupa pazarındaki görünümü, eğitim profilini ilgili piyasasının ihtiyaçlarına göre ayarlanmasıyla ilgili bir sosyal diyaloga teşvik etmektedir. Birinci aşamadan beşinci aşamaya kadar olan kılavuzlar proje web sitesinde mevcuttur. Her kılavuzun içeriğinde giriş, özet, vaka çalışmaları ve geliştirilmiş kaynakça sunulmaktadır.

M33 İNŞAAT YÖNETİCİLERİ İÇİN CEPHE TASARIMI VE UYGULAMASI Cepheler - temel duvarlar, çatılar, montaj, ön glassler, iç teknolojiler, cephelerin montajı, yapı arızaları, Performans kayıpları, CE standartları ve performans değişimlerinin değerlendirilmesi ve değerlendirme sistemleri (AVCP)	M34 İNŞAATTA DİJİTAL KIZ Dijital kiz uygulamaları yönelik teknolojiler, Dijital kiz, riskler, amaçlar ve uygulama, AEC ekosisteminde dijital kiz, dijital kiz ile ilgili standartlar ve hususları	M35 İNŞAATTA KENTSEL MADENCİLİK Tanımlar, Yönetim alanları, teknikler ve teknolojiler, Genişletim ve kullanım farklı maddelerden, Tehditler, madde arınım, Akıllı inşaat / Çevresel boyutlar, Akıllı inşaat, Sağlık ve Güvenlik, Kentsel madencilik, ekonomik, fizibilite, Kentsel madencilik, ESG raporlaması
M36 İNŞAAT YÖNETİCİLERİ İÇİN DEPREM VE MADENLERİN ÇEVRESEL ETKİLERİ Depremlerin Çevresel Etkileri, Madencilik Çevresel Etkileri, Depremlerin Dayanıklılık, Yapı Sağlığının İzlenmesi, Sürük ve Maden İşletiminde Yönetim Faaliyetleri	M37 İNŞAATTA LOJİSTİK Tanımlar, İnşaat taşıma ve taşıma modeli, İnşaat taşıma ve taşıma modeli, İnşaat taşıma ve taşıma modeli, İnşaat taşıma ve taşıma modeli, İnşaat taşıma ve taşıma modeli	M38 İNŞAAT YÖNETİCİLERİ İÇİN YEŞİL TEKNOLOJİ Yeşil Teknolojiye Giriş, Madencilik ve Kaynak Yönetimi, Enerji verimliliği, Su Yönetimi, İç Mekan Çevre Kalitesi, Saha Çerçevesi ve Arazi Kullanımı, Uygulama ve Ölçümler
M39 YETENEK YÖNETİMİ VE İNŞAAT YÖNETİCİLERİNİN GELECEKTEKİ YETERLİLİKLERİ Yetenek kavramı, İnşaat sektöründe yetenek yönetimi, İnşaat sektöründe yetenek yönetimi ve strateji, İnşaat sektöründe yeteneklerin belirlenmesi, Yetenek kazanımı ve seçimi, CDO modeline yetenek geliştirme, Yetenekleri İnşaat sektöründe tutmak, İş yapışları, İnşaat sektöründe yetenek yönetimi sağlayan faktörler, Yetenek yönetimi sürecinde belirlenmesi, İnşaat sektöründe ulusal düzey yetenekler	GTU Proje Ekibi: Prof. Dr. Selçuk Toprak Doç. Dr. Sevilay Demirköken Çakır Doç. Dr. Onur Şeker Ar. Gör. Oğuz Dal Ar. Gör. Emel Sadıkoğlu	

COORDİNATÖR



ORTAKLAR



PROJE WEB SİTESİ

www.cloemcvi.il.pw.edu.pl

Bu proje Erasmus+ Programı kapsamında Avrupa Komisyonu'nun desteğiyle finanse edilmiştir. Bu yayın yalnızca yazarın görüşlerini yansıtmaktadır ve Komisyon burada yer alan bilgilerin herhangi bir şekilde kullanılmasıyla ilgili sorumlulukları tutulamaz. Yayın ücretsizdir.

Net sıfır yarın girişimcileri için Karbon Yönetimi Eğitimi

(<https://www.net0manager.eu>)



Carbon Management Training course for
entrepreneurs of a net zero tomorrow



SUPSI
University of Applied Sciences and Arts
of Southern Switzerland



Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them. This project has received grant support from Movetia funded by the Swiss Confederation. The content reflects the authors' view and Movetia is not responsible for any use that may be made of the information it contains.

107

- **2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında Gebze Teknik Üniversitesi, TÜBİTAK, CLOEMC VI Projesi, GASKİ, HATSU, KASKİ, ASKIM, EERI tarafından sağlanan desteği ve birçok bireyin alandaki yardımına/katkısına teşekkür ediyoruz.**

108

TEŞEKKÜRLER

Buradaki çalışmalar farklı TÜBİTAK ve AB Projeleriyle desteklenmiştir. Çalışmalardaki katkılarından dolayı lisansüstü öğrencilerime ve aşağıda adı geçen tüm meslektaşlarıma teşekkür ederim.

Toprak, S., Wham, B. P., Nacaroglu, E., Ceylan, M., Dal, O. & Senturk, A.E. (2024). Impact of Seismic Geohazards on water supply systems and pipeline performance: Insights from the 2023 Kahramanmaraş Earthquakes. *Engineering Geology*, Vol 340, 107681. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2024.107681>.

Toprak, S., Wham, B.P., Nacaroglu, E., Ceylan, M., & Dal, O. (2024). Performance of water systems during the February 6th Kahramanmaraş Earthquakes. *Earthquake Spectra*, DOI: 10.1177/87552930241293571.

Toprak, S., Zulfikar, C., Mutlu, A., Tugsal, U. M., Nacaroglu, E., Karabulut, S., Ceylan, M., Ozdemir, K., Parlak, S., Dal, O. & Karimzadeh, S. (2024). The aftermath of 2023 Kahramanmaraş earthquakes: evaluation of strong motion data, geotechnical, building, and infrastructure issues. *Natural Hazards*. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06890-w>.

Uckan, E., Aksel, M., Atas, O., Toprak, S., & Kaya, E. S. (2024). The performance of transmission pipelines on February 6th, 2023 Kahramanmaraş earthquake: A series of case studies. *Bulletin of Earthquake Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s10518-024-01957-2>.

Nacaroglu, E., Yağcıoğlu, B., & Toprak, S. (2023). Yer tepki analizlerinde farklı dinamik kayma modülü yaklaşımları kullanılarak belirlenen tepki spektrumlarının karşılaştırılması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 25, 1-12.

Toprak, S., Uckan, M.E., Yilmaz, M.T., Cuceoglu, F., Gumusay, M. U., Nacaroglu, E., Kaya, E. S. & Aksel, M. (2022) Performance of hydraulic structures, lifelines and industrial structures during October 30, 2020 Samos-Aegean sea earthquake. *Bull Earthquake Eng* 20, 7907–7931 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10518-022-01353-8>

Toprak, S., Nacaroglu, E., Ceylan, M., Dundar, G., Cirmiktili, O. Y. (2020) "Pipe type and seismic performance in Christchurch, New Zealand", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 800-012042, IOP Publishing, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/800/1/012042>

Toprak, S., Nacaroglu, E., van Ballegooy, S., Koc, A.C., Jacka, M., Manav, Y., Torvelainen, E., O'Rourke, T.D., "Segmented pipeline damage predictions using liquefaction vulnerability parameters", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Volume 125, 2019, 105758, ISSN 0267-7261, <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105758>.

Toprak, S., Nacaroglu, E., Koc, A. C., O'Rourke, T.D., Hamada, M.; Cubrinovski, M., Ballegooy, S., "Comparison of horizontal ground displacements in Avonside area, Christchurch from air photo, LiDAR and satellite measurements regarding pipeline damage assessment", *Bulletin of Earthquake Engineering*, (2018), <https://doi.org/10.1007/s10518-018-0317-9>

Davis, C. A., Mostafavi, A., & Wang, H. (2018). Establishing Characteristics to Operationalize Resilience for Lifeline Systems. *Natural Hazards Review*, 19(4), 04018014. doi:10.1061/(asce)nh.1527-6996.0000303

O'Rourke, T.D., Jeon, S. S.; Toprak, S., Cubrinovski, M., Hughes, M., Ballegooy, S. and Dimitra Bouziou, "Earthquake Response of Underground Pipeline Networks in Christchurch, NZ", *Earthquake Spectra*, Volume 30, No. 1, pages 183–204, February 2014.

Nacaroglu, E., Toprak, S., Dundar, G., Ceylan, M. (2019). "Investigation of pipeline damages by k-means clustering analysis method", *ENGCEO2019: National Symposium on Engineering Geology and Geotechnics*, pp. 631-638.

Jinguuji, M., and Toprak, S., 2017, "A case study of liquefaction risk analysis based on the thickness and depth of the liquefaction layer using CPT and electric resistivity data in the Hinode area, Itako City, Ibaraki Prefecture, Japan", *Exploration Geophysics* 48, Special Section: Geophysical Surveys After the Great Eastern Japan Earthquake, 28-36, 2017.

Tsakiris G., Vangelis H., Tigkas D., Stathaki A., Sofotasios D., Toprak S, Koç A. C., Güngör M., Kaya M., De Angelis E., Iacovou G., Charalambous B., 2011. Urban water distribution systems: Preventive maintenance. *Water Utility Journal*, 1: 41-48

Toprak, S., Cırmıktılı, O. Y., Koc A. C., İmanlı, G., Tsakiris, G., Vangelis, H. (2018). "Reliability Analyses of Pipelines Under Longitudinal Permanent Ground Deformations", 17th National Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 26-28 September 2018, Istanbul.

Toprak, S., Nacaroglu, E., Koc, A. C., O'Rourke, T.D., Hamada, M.; Cubrinovski, M., Jeon, S. S., "Pipeline Damage Assessment Using Horizontal Displacements from Air Photo and LiDAR Measurements in Avonside Area, Christchurch, NZ.", Paper No 796. In: *Proc. of the Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, 25-29 August, Istanbul, Turkey, 2014.

Toprak, S., V. Helva ve Ö. Ballı, "Çelik Boru Hattının Şev Hareketi Etkisi Altında Davranışı", 6. Geoteknik Sempozyumu, 26-27 Kasım 2015, Çukurova Üniversitesi, Adana

Toprak, S., F. Taşkın ve A. C. Koc, "Prediction of Earthquake Damage to Urban Water Distribution Systems: A Case Study For Denizli, Turkey", *The Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68:499-510, 2009.

Toprak, S. and F. Taşkın (2007), "Estimation of Earthquake Damage to Buried Pipelines Caused by Ground Shaking". *Natural Hazards*, Springer. The Netherlands, 40, 1-24.

GEÇMİŞ DEPREMLERDEN GÖZLEMLER VE GELİŞMELER İŞİĞİNDA DEPREM DİRENÇLİ ALTYAPI SİSTEMLERİNE YOLCULUK VE STRATEJİLER



Prof. Dr. Selçuk TOPRAK
İnşaat Mühendisliği Bölümü



28 Kasım 2024

