

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KOCAELİ İLİ DİLOVASI İLÇESİ GÖMÜLÜ BORU
HATLARININ DEPREM RİSKLERİNİN BELİRLENMESİ

HALİL TURGUT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ FATMA İLKNUR KARA

HAZİRAN 2024

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**KOCAELİ İLİ DİLOVASI İLÇESİ GÖMÜLÜ BORU
HATLARININ DEPREM RİSKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

HALİL TURGUT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ FATMA İLKNUR KARA

HAZİRAN 2024

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

**DETERMINATION OF EARTHQUAKE RISKS OF
BURIED PIPELINES IN DİLOVASI DISTRICT OF
KOCAELİ PROVINCE**

HALİL TURGUT

**A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
EARTHQUAKE AND STRUCTURAL ENGINEERING
PROGRAM**

ADVISOR: ASSIST. DR. FATMA İLKNUR KARA

JUNE 2024



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 04/07/2024 tarih ve 2024/34 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 25/07/2024 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Halil TURGUT 'un tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem ve Yapı Mühendisliği Programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Dr. Öğr. Üyesi Fatma İlknur KARA

ÜYE

: Prof. Dr. Yasin FAHJAN

ÜYE

: Prof. Dr. Ferit ÇAKIR

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

*Anneme, babama, aileme, ilk göz
ağrım kızım Zeyneb'e, oğullarım
Ömer Said ve Ahmed Selim'e ve
hayat ortağım, kıymetli eşim Burcu
Şahin Turgut'a*

ÖZET

Depremler, dünya genelinde önemli can ve mal kayıplarına yol açan doğal afetlerdir. Bu afetler, üstyapılarda ciddi hasar ve yıkımlara neden olmanın yanı sıra, altyapı sistemlerinde de hasarlara yol açabilir. Altyapı hasarları, toplumun günlük yaşamını önemli ölçüde etkileyebilir ve acil durum müdahale süreçlerini zorlaştırabilir. Bu nedenle, depremler öncesinde tehlikelerin değerlendirilmesi ve senaryo çalışmalarının yapılması, risklerin belirlenmesi ve zararın hafifletilmesi için büyük önem taşımaktadır. Yerel yönetimler, bu hazırlık faaliyetlerinin ve acil durum planlamalarının temelini oluşturmaktadır.

1999 Kocaeli depremi sonrasında, Marmara Denizi'ndeki fay hatlarının kırılmasıyla İstanbul'u etkileyebilecek potansiyel depremler için önemli dersler çıkarılmıştır. Ancak, altyapılarla ilgili yapılan çalışmalar sınırlı kalmıştır. Bu bağlamda, tez çalışmamda, içerisinde sanayi ve liman bölgelerinin de bulunduğu, ülke ekonomisine önemli katkılar sağlayan Dilovası İlçesi'nin doğalgaz, içme suyu, atık su ve yağmur suyu gibi gömülü boru hatlarının deprem riski ve olası zararları incelenmiştir. Bu çalışma, gömülü altyapı hatlarının depremler sonrası oluşabilecek hasarlarını tahmin etmeyi ve bu etkileri en aza indirmeyi amaçlamaktadır ve ilçe yöneticileri için önemli bir kaynak sağlayacaktır.

Çalışma bölgesi, Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın yakınında yer almakta olup, yüksek deprem aktivitesine sahiptir. Bu kapsamda, farklı deprem senaryoları belirlenmiş ve REDAS yazılımı kullanılarak sismik tehlike ve risk analizleri yapılmıştır. Analizlerde, kayma dalgası hızı haritası, kabul görmüş yer hareketi tahmin denklemleri ve hasar görülebilirlik fonksiyonları kullanılmıştır.

Sonuç olarak, ilçeyi etkileyebilecek deprem senaryoları altında altyapı sistemlerinde oluşabilecek hasar durumları belirlenmiş ve afetten önce yerel yönetim için hazırlık ve önleme çalışmaları önerilmiştir. Bu yaklaşım, depremin altyapı sistemlerine ve sosyal hayata olumsuz etkilerini ve ekonomik zararlarını azaltarak yaraların hızla sarılmasını hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Deprem Ön Hasar Tahmin Sistemleri, Afet Yönetimi, Altyapı Sistemleri

ABSTRACT

Earthquakes are natural disasters that cause significant loss of life and property on a global scale. In addition to causing serious damage and destruction to buildings and other above-ground structures (superstructures), earthquakes can also inflict damage on infrastructure systems. Such damage can significantly disrupt the daily functioning of society and hinder emergency response efforts. Therefore, assessing seismic hazards and conducting scenario studies prior to earthquakes are critical for identifying risks and mitigating potential damage. Local governments play a central role in these preparedness activities and emergency planning. Following the 1999 Kocaeli earthquake, important lessons were learned regarding potential earthquakes that could affect Istanbul, particularly due to the possible rupture of fault lines in the Marmara Sea. However, studies on the vulnerability of infrastructure have been limited.

In this context, my thesis focuses on the earthquake risk and potential damage to buried pipelines, such as those for natural gas, drinking water, wastewater, and stormwater, in Dilovası District, an area that includes industrial and port facilities and makes significant contributions to the country's economy. The aim of this study is to estimate the damage that may occur in subsurface infrastructure lines as a result of earthquakes, and to suggest strategies for minimizing these impacts. This research will serve as a valuable resource for district administrators in their disaster preparedness and risk mitigation efforts.

The study area is located near the seismically active North Anatolian Fault Line and is characterized by high earthquake risk. As part of this research, different earthquake scenarios were developed, and seismic hazard and risk analyses were conducted using the REDAS software. The analyses incorporated a shear wave velocity map, appropriate ground motion prediction equations, and vulnerability functions.

As a result, the study identified the potential damage to infrastructure systems under different earthquake scenarios affecting the district. Based on these findings, preparation and prevention strategies were recommended for local authorities to implement prior to a potential disaster. This proactive approach aims to reduce the negative impacts of earthquakes on infrastructure systems and social life, thus facilitating a more rapid recovery and minimizing economic losses.

Keywords: Earthquake Damage and Loss Estimation, Disaster Management, Infrastructure Systems

TEŞEKKÜR

Tez süresince tez danışmanlığımı üstlenerek bana yol gösteren, yardımlarını esirgemeyen, bilgilerini paylaşan tezimin ilerlemesinde ve sonuçlanmasında bilgisi ve tecrübeleriyle gelişmeme katkıda bulunan, maddi ve manevi desteğiyle hep yanımda olan çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Sayın Fatma İlknur Kara'ya, bilgisinden ve tecrübesinden yararlandığım, tez eğitimim süresince engin fikirleriyle gelişmeme katkıda bulunan çok değerli hocam Doç. Dr. Sayın Abdullah Can Zülfikar'a, tez çalışmamdaki bilgileri toparlayarak analizlerime katkı sağlayan kıymetli hocam Prof. Dr. Sayın Yasin Fahjan'a, Prof. Dr. Sayın Ferit Çakır'a, tez çalışmamda enstitüsünün imkânlarını kullanmamı sağlayan Dr. Hasan Türkan'a ve Dr. Bihter Şahin hocama, tez çalışmalarımın ilerlemesinde yanımda olan desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşım Süleyman Ok'a, ayrıca hayatımın her aşamasında desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve hayatıma katmış olduğu her şey için değer biçemeyeceğim başta kıymetli annem Esmâ Turgut ve babam Burhan Turgut olmak üzere her zaman varlığını hissettiren çok değerli eşim Burcu Şahin Turgut'a ve evlatlarımıza, aileme ve emeği geçen herkese çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiv
1.GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR TARAMASI VE ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3.DİLOVASI İLÇESİNİN ÖNEMİ	7
4.DİLOVASI İLÇESİNİN DEPREMSELLİĞİ	9
5.TÜRKİYE VE DEPREMLER	11
6.DEPREM ÖN HASAR TAHMİN SİSTEMLERİ	13
6.1. Geliştirilmiş Ön Hasar Tahmin Sistemleri	13
6.2. Ön Hasar Tahmin Sistemleri	14
6.2.1. Sismik Tehlike	15
6.2.1.1. Aktif Fay Hatları	16
6.2.1.2. V_{S30} Haritası	18
6.2.1.3. Yer Hareketi Tahmin Denklemleri	19
6.2.2. Sismik Risk	20
7.GÖMÜLÜ BORU HATLARINDA DEPREM ETKİSİ	22
8.LİTERATÜRDE KABUL GÖRMÜŞ HASAR FONKSİYONLARI	24
8.1. ALA (2001) Hasar Görebilirlik Fonksiyonları	25
8.2. JICA Tarafından Geliştirilmiş Hasar Fonksiyonları	28
8.2.1. Japon Su İşleri Hasar Görebilirlik Fonksiyonları	29
8.2.1.1. Doğalgaz Boru Hatları İçin Hasar Görebilirlik Fonksiyonları	30
8.2.1.2. Su Boru Hatları İçin Geliştirilen Hasar Görebilirlik Fonksiyonları	31
8.3. O'ROUKE ve DEYEO (2004) Hasar Görebilirlik Fonksiyonları	33
9. UYGULANAN YÖNTEM	34
9.1. Alt Yapı Verilerinin Tanımlanması	34
9.2. Çalışmada Kullanılan Hasar Bağlantıları	38
9.3. Senaryo Depremlerin Belirlenmesi	38
10. ANALİZ SONUÇLARI	43
11. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	62

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Cd	: Boru Hattı Çapı Katsayısı
Cg:	: Zemin Durumu Katsayısı
Cl	: Sıvılaşma Katsayısı
Cp	: Boru Hattı Malzemesi Katsayısı
K ₁	: Boru Türü, Boru Çapı, Boruların Bağlantı Şekline Göre Kabul Görmüş Katsayı
Mw	: Moment Magnitüdü
Rm(PGV)	: Hasar Oranı
RR	: Hasar Oranı
SA@	: Spektral İvme
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AÇB	: Asbestli Çimento Borular
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
AFAD-RED	: AFAD Deprem Risk Azaltma Karar Destek Sistemi
ALA	: American Lifelines Alliance
BA	: Betonarme Boru
BB	: Beton Boru
CAPRA	: Central American Probabilistic Risk Assessment
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
DF	: Düktil Font Boru
DI	: Düktil Demir
DIANA	: Displacement Analyzer
E-5 (D-100)	: Karayolu
ELER	: Earthquake Loss Estimation Routine
EMME	: Earthquake Model of Middle East
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
GEM	: Global Earthquake Model Foundation
GLV	: Galvaniz Boru
HAZUS	: Hazards U.S.
ICES	: International Council for the Exploration of the Sea
JICA	: Japonya Uluslararası İşbirliği Ajansı
JWWA	: Japon Su İşleri Birliği
KAF	: Kuzey Anadolu Fay Hattı
KORUGE	: Polietilen ya da Polipropilen Malzemeden Üretilen Borular
Ksf	: Kuşdili Formasyonu
MAEVIZ	: Mid-America Earthquake Center Visualization
MMI	: Modified Mercalli Intensity
MSK	: Medvedev-Sponheuer-Karnik
NERIES	: Network of Research Infrastructures for European Seismology
Netcad	: Coğrafi Bilgi Sitemi Programı
NORSAR	: Norwegian Seismic Array
NSF	: National Science Foundation
Oa	: Kuvaternar Çökeltileri
OQ	: OpenQuake
OSB	: Organize Sanayi Bölgesi

PAGER	: Prompt Assessment of Global Earthquakes for Response
PE	: Polietilen Boru
PE125	: 125 mm çapındaki Polietilen Boru
PERGD	: Kalıcı Yer Deformasyonu
PGA	: Maksimum Yer İvmesi
PGD	: En Yüksek Yer Deplasmanı
PGV	: En Yüksek Yer Hızı
PVC	: Plastik Boru
PVC	: Plastik Borular
Q	: Gevşek Blok
Qal	: Alüvyonlar
QLARM	: QUAKE Loss Assessment for Response and Mitigation
REDACT	: Rapid Evaluation and Damage Assessment for Crisis Training
REDAS	: Rapid Earthquake Damage Assessment System
Sd	: Dolgu Zemin
SELENA	: Seismic Loss Estimation using a Logic Tree Approach
SHARE	: Seismic Hazard Harmonization in Europe
Shp	: Shapefile Coğrafi Bilgi Sitemi Dosya Uzantısı
T.C.	: Türkiye Cumhuriyeti
TBDY 2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018
TEM (E-80)	: Trans-European Motorway, E-80
TUİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
USGS	: Birleşik Devletler Jeoloji Araştırmaları Kurumu
Vs30	: Zemin Yüzünden 30 m Derinlikteki Kayma Dalga Hızı
Yd	: Yapay Dolgu
Ym	: Yamaç Molozu

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1: Kocaeli, Dilovası İlçesi konum haritası.	8
Şekil 4.1: Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun uzanımı ve tarihi deprem yerleri.	10
Şekil 4.2: 17 Ağustos Gölcük (Kocaeli) depreminin hasar boyutu.	10
Şekil 5.1: 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depreminin hasar boyutu.	12
Şekil 6.1: Ön hasar tahmin sistemleri şeması.	14
Şekil 6.2: Çalışma bölgesine ait fay haritaları	18
Şekil 6.3: USGS Vs30 Slope, (Amerikan Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Birimi).	19
Şekil 6.4: Literatürde kabul görmüş azalım ilişki eğrileri	20
Şekil 8.1: PGV' ye bağlı geliştirilen hasar fonksiyonlarının karşılaştırılması (ALA 2001).	27
Şekil 8.2: Kaynaklı çelik gaz boru ve PGV arasındaki ilişki.	30
Şekil 8.3: Dökme Demir (CI) su boru hasarları ile PGV arasındaki ilişki.	32
Şekil 9.1: Doğalgaz boru hatlarının malzeme türlerine göre veri tanımlaması.	34
Şekil 9.2: Doğalgaz boru çaplarına göre veri tanımlaması.	35
Şekil 9.3: İçme suyu boru çaplarına göre veri tanımlaması.	35
Şekil 9.4: İçme suyu boru malzemelerine göre veri tanımlaması.	36
Şekil 9.5: Atık su boru çaplarına göre veri tanımlaması.	36
Şekil 9.6: Atık su boru malzemelerine göre veri tanımlaması.	37
Şekil 9.7: Yağmur suyu boru çaplarına göre veri tanımlaması.	37
Şekil 9.8: Yağmur suyu boru malzemelerine göre veri tanımlaması.	38
Şekil 9.9: JICA Tarafından Geliştirilen 4 Farklı Deprem Senaryosu.	39
Şekil 9.10: 1999 Kocaeli Deprem Senaryosu.	40
Şekil 9.11: JICA Model A Deprem Senaryosu.	40
Şekil 9.12: JICA Model D Deprem Senaryosu.	41
Şekil 9.13: Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Vs ₃₀ Haritası.	41
Şekil 9.14: AFAD, TADAS 4101 istasyonundan alınan Vs30 ve PGV sismik tehlike sonuçları.	42
Şekil 10.1: 1999 Kocaeli Deprem senaryosuna göre PGV sismik tehlike haritası.	43
Şekil 10.2: 1999 Kocaeli Deprem senaryosuna göre PGA sismik tehlike haritası.	44
Şekil 10.3: 1999 Kocaeli Deprem senaryosuna göre sismik tehlike yoğunluk haritası.	44
Şekil 10.4: JICA Model A Deprem senaryosuna göre PGV sismik tehlike haritası.	45
Şekil 10.5: JICA Model A Deprem senaryosuna göre PGA sismik tehlike haritası.	45
Şekil 10.6: JICA Model A Deprem senaryosuna göre yoğunluk sismik tehlike haritası.	46
Şekil 10.7: JICA Model D Deprem senaryosuna göre PGV sismik tehlike haritası.	46

Şekil 10.8: JICA Model D Deprem senaryosuna göre PGA sismik tehlike haritası.	47
Şekil 10.9: JICA Model D Deprem senaryosuna göre yoğunluk sismik tehlike haritası.	47
Şekil 10.10: 1999 Kocaeli deprem senaryosuna göre doğalgaz boru tiplerine göre hasar oranı haritası.	48
Şekil 10.11: 1999 Kocaeli deprem senaryosuna göre içme suyu boru tiplerine göre hasar oranı haritası.	48
Şekil 10.12: 1999 Kocaeli deprem senaryosuna göre atık su boru tiplerine göre hasar oranı haritası.	49
Şekil 10.13: 1999 Kocaeli deprem senaryosuna göre yağmursuyu boru tiplerine göre hasar oranı haritası.	49
Şekil 10.14: JICA Model A deprem senaryosuna göre doğalgaz boru tiplerine göre hasar şekilleri haritası.	50
Şekil 10.15: JICA Model A deprem senaryosuna göre içme suyu boru tiplerine göre hasar şekilleri haritası.	50
Şekil 10.16: JICA Model A deprem senaryosuna göre atık su boru tiplerine göre hasar şekilleri haritası.	51
Şekil 10.17: JICA Model A deprem senaryosuna göre yağmursuyu boru tiplerine göre hasar şekilleri haritası.	51
Şekil 10.18: JICA Model D deprem senaryosuna göre doğalgaz boru tiplerine göre hasar şekilleri haritası.	52
Şekil 10.19: JICA Model D deprem senaryosuna göre içme suyu boru tiplerine göre hasar şekilleri haritası.	52
Şekil 10.20: JICA Model D deprem senaryosuna göre atık su boru tiplerine göre hasar şekilleri haritası.	53
Şekil 10.21: JICA Model D deprem senaryosuna göre yağmursuyu boru tiplerine göre hasar şekilleri haritası.	53

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 8.1: PGV veri tabanını oluşturan depremler ve veri noktaları (ALA 2001).	26
Tablo 8.2: Hasar sayıları için K ₁ sayıları (ALA 2001).	28

1. GİRİŞ

Altyapı sistemleri, bir toplumun yaşam kalitesini ve ekonomik sürdürülebilirliğini doğrudan etkileyen kritik unsurlardır. Depremler, bu sistemlerde ciddi hasarlara yol açarak geniş çaplı kesintilere neden olabilirler. Bu bağlamda, altyapı sistemlerinde deprem öncesi hasar tahmin sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması büyük önem taşımaktadır. Altyapı sistemlerinin zayıf noktalarının önceden tespit edilmesi ve güçlendirilmesi, deprem anında oluşabilecek hasarları minimize etmektedir. Bu yaklaşım, kritik hizmetlerin (su, enerji, ulaşım) kesintiye uğramasını önler veya kesinti süresini kısaltır. Ayrıca, deprem sonrası en fazla hasar görebilecek alanların belirlenmesi, acil durum müdahale planlarının etkinliğini artırır ve ekonomik kayıpları azaltır. Altyapı sistemlerinin güvenilirliğinin artırılması, toplumun genel dayanıklılığını yükseltir ve deprem sonrası toparlanma sürecini hızlandırır.

Dünya genelinde birçok ülke, altyapı sistemlerinde deprem öncesi hasar tahmin sistemlerini kullanmaktadır. Japonya'da, gelişmiş sismik izleme ağları ve yapısal sağlık izleme sistemleri sayesinde köprüler ve enerji hatları gibi kritik altyapı unsurları sürekli olarak izlenmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde, özellikle California gibi deprem riski yüksek bölgelerde, altyapı sistemlerinin deprem dayanıklılığını artırmak için kapsamlı risk değerlendirmeleri ve simülasyon çalışmaları yapılmaktadır. İtalya'da ise, deprem riski altındaki tarihi şehirlerde su ve kanalizasyon sistemlerinin hasar tahminleri ve güçlendirme çalışmaları sürdürülmektedir.

Altyapı sistemlerinde deprem öncesi hasar tahmin sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması, mevcut altyapının korunmasını sağlamakla kalmayıp, gelecekte inşa edilecek altyapılar için de önemli bir rehber niteliğindedir. Teknolojik ilerlemelerle birlikte, bu sistemlerin doğruluğu ve etkinliği artmakta, daha güvenli ve dirençli toplumların oluşmasına katkıda bulunmaktadır.

Türkiye, Alp-Himalaya deprem kuşağında yer almakta olup, bu kuşak dünyanın en aktif ve riskli deprem bölgelerinden biridir. Ülkemizdeki önemli fay hatları arasında Kuzey Anadolu Fay Hattı, Doğu Anadolu Fay Hattı ve Batı Anadolu Graben Sistemi bulunmaktadır. Kuzey Anadolu Fay Hattı, Marmara Denizi'nden başlayarak Doğu Anadolu'ya kadar uzanmakta ve büyük depremlere kaynaklık etme potansiyeline

sahiptir. Doğu Anadolu Fay Hattı, Türkiye'nin doğu ve gúneydođusunu etkilerken, Batı Anadolu Graben Sistemi, Ege Bölgesi'nde sık sık depremlerle sarsılmasına yol açan aktif bir sistemdir.

Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın geçtiği bu bölge, İstanbul gibi büyük şehirleri ve yoğun nüfuslu alanları içermektedir. Marmara Bölgesi'nde meydana gelen 1999 Gölcük Depremi, yaklaşık 17,000 kişinin ölümüne, geniş çaplı ekonomik kayıplara ve sosyal yaralara neden olmuştur. Bu deprem, Türkiye'nin deprem riskine karşı hazırlık düzeyini ve yapı güvenliğini sorgulamasına yol açmış ve ülkenin depreme karşı daha dayanıklı hale gelmesi için atılan adımların temelini oluşturmuştur.

Deprem tehlikesi, bir bölgedeki depremlerin olasılığını ve bu depremlerin yol açabileceği potansiyel zararları ifade eder. Bu tehlikenin anlaşılması ve yönetilmesi, can ve mal kaybının önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Deprem mühendisliği, çeşitli olasılıksal ve tahmini yaklaşımları içerir. Deterministik sismik tehlike analizi, belirli bir deprem senaryosuna dayanarak belirli bir doğruluk sağlar; olası senaryoların belirlenmesi ise deprem risklerinin daha geniş bir kapsamda değerlendirilmesi için kullanılır.

Türkiye'nin önemli sanayi ve ticaret merkezlerinden biri olan Dilovası, 2008 yılında Gebze'den ayrılarak ilçe statüsüne kavuşmuştur. Marmara Bölgesi'nin Çatalca-Kocaeli bölümünde yer alan bu ilçe, 2023 yılı TÜİK verilerine göre 54,391 kişilik bir nüfusa sahiptir. Kuzeyinde ve batısında Gebze, doğusunda Körfez ilçesi, gúneyinde ise İzmit Körfezi bulunmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI VE ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Türkiye gibi sismik olarak aktif bölgelerde, sismik tehlikenin doğru bir şekilde değerlendirilmesi büyük bir önem arz etmektedir. Bu değerlendirme, gelecekteki depremlerin etkilerini azaltmak ve bireylerin can güvenliğini ile yapıların dayanıklılığını artırmak için kritik bir adımdır. Sismik tehlike analizinin ana bileşenleri olan kaynak karakterizasyonu ve yer hareketi denklem modelleri, bu hedeflere ulaşmada belirleyici bir rol oynamaktadır. Sismik tehlike analizlerinin güvenilir verilere dayandırılarak doğru bir biçimde gerçekleştirilmesi, depremlerin yol açabileceği riskleri minimize etmek ve toplum ile yapıların güvenliğini sağlamak açısından hayati bir öneme sahiptir. Bu analizlerin sürekli olarak güncellenmesi ve iyileştirilmesi, gelecekteki depremlere karşı daha iyi bir hazırlık düzeyi sağlamakta katkı sunmaktadır.

Dünya genelinde, altyapı tesislerinin depremler esnasındaki davranışını inceleyen birçok araştırma mevcuttur. Özellikle gömülü boru hatlarının (gaz, içme suyu, atık su vb.) depremlerden kaynaklanabilecek hasarları, araştırmacıların dikkatini çeken önemli bir konu olmuştur. Ancak, Türkiye'de bu alanda gerçekleştirilen çalışmalar oldukça sınırlıdır. Aşağıda, literatürde yer alan bazı önceki çalışmalar özetlenmiştir:

Vural (2012) tarafından gerçekleştirilen doktora tezinde, Adapazarı ilinde alüvyal ve sıvılaşabilen zeminlerde altyapıların deprem risk analizi yapılmış ve elde edilen bulgular, sıvılaşma potansiyeli olan tek tabakalı ve tabakalı zeminlerde yer hareketi sonucunda boru hatlarının deformasyona uğrama olasılığının yüksek olduğunu göstermiştir.

Diğer bir lisansüstü tez çalışmasında, Sakarya ili için altyapı sistemlerinin sismik hasar görebilirlik analizi farklı yöntemlerle ele alınmıştır. Bu çalışma sonucunda, mahallelerdeki boruların büyük bir kısmının yüksek ve çok yüksek düzeyde hasar görebilirlik gösterdiği, özellikle en büyük yer hızının yüksek olduğu bölgelerde bu durumun belirginleştiği tespit edilmiştir. İlçenin kuzeyindeki boru hatlarının ise düşük hasar görebilirliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, içme suyu şebekelerinde kullanılan asbestli çimento boruların kırılğan yapısından dolayı hasar görebilirlik

seviyelerinin çok yüksek olduğu ortaya konmuştur. Kanalizasyon ve yağmur suyu şebekelerinde ise beton ve betonarme boruların yüksek ve çok yüksek hasar görülebilirlik seviyelerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra, doğalgaz şebekelerinde kullanılan duktıl yapıdaki çelik ve polietilen boruların diğeri şebekelere kıyasla daha güvenli olduğu sonucuna varılmıştır (**Şahvelet, 2022**).

Bir yüksek lisans tezinde, Monte Carlo yöntemi kullanılarak Kocaeli ili ve çevresi için olasılıksal deprem tehlike analizi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, aralarında İzmit'in de bulunduğu bölgelerde olasılıksal yaklaşımın farklı bir alternatifi olan Monte Carlo yönteminin simülasyonu ile belirsizliklerin azaltılması amacını gütmektedir. Çalışmada, en güncel yazılımlardan biri olan OpenQuake ve bölge için geliştirilmiş en güncel veriler (**EMME, SHARE, TBDY 2018**) dikkate alınmıştır. Ayrıca, bu tehlike çalışması ileride bölgede yapılacak risk çalışmalarına bir temel oluşturmuştur (**Gündoğdu Gök, 2020**).

Toprak ve Yoshizaki (2003) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, gömülü boru hatları ile çeşitli sismik parametreler arasındaki ilişkiler incelenmiş ve en güçlü korelasyonlar belirlenmiştir. Japonya'da 1995 Kobe depreminden sonra gaz, su ve atık su gibi altyapı sistemleri için geliştirilen ve revize edilen deprem yönetmelikleri de özetlenmiştir.

Ünen (2011) tarafından yapılan çalışmada, karşılıklı bağımlı altyapı ağları için deprem sonrası hasar ve performans değerlendirmeleri amacıyla bir sismik modelleme ve analiz yapıları ele alınmıştır. Bu çalışmada, sistemler arasındaki karşılıklı bağımlı davranışın ve bu davranışın afet sonrası işlevsellik değerlendirmelerindeki önemi vurgulanmış, bu tür analizlerin gerçekleştirilmesi için bir yöntem benimsenmiştir. Bu yöntem çerçevesinde, belirlenen senaryo depremleri modellenmiş, bu senaryolar doğrultusunda elektrik, su ve doğal gaz şebekelerinin yapısal hasar analizleri yapılmış ve hasar durumuna göre topolojik olarak modellenmiş şebekelerin deprem sonrası işlevselliklerinin tahminleri gerçekleştirilmiştir.

Altyapı sistemlerinin deprem güvenliğini artırmak için gereken önlemlerin ve iyileştirmelerin öncelik sırasını belirlemek amacıyla, sistemlerin deprem performansının yanı sıra genel performanslarını etkileyen birçok faktörün değerlendirilmesi önem taşımaktadır (**Toprak et al., 2011**).

Toprak (1998), O'Rourke ve diğeri (1998), O'Rourke ve Toprak (1997) bu verilere dayanarak su şebekelerinin deprem performansının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile

değerlendirilmesi konusunda kapsamlı çalışmalar yürütmüşlerdir. Toprak (1998), kuvvetli yer hareketi verileri ile boru hasarları arasındaki ilişkileri inceleyerek en önemli istatistiksel ilişkiyi belirlemiştir.

PGV tabanlı kullanılarak deprem nedeniyle boru hattı hasarına ilişkin ilk çalışma, kırılabilirlik ilişkisini Barenberg gerçekleştirmiştir. Barenberg'in çalışmasında, borulardaki hasarların hem hızın neden olduğu zemin şekil değiştirmesinden hem de kalıcı etkiden kaynaklandığı varsayılmıştır (**Barenberg, 1988**).

Boru-zemin etkileşimi oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir ve zemin ile boru arasındaki ilişkiyi modellemek amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmış, farklı yaklaşımlar benimsenmiştir. Bu çalışmalardan en yaygın kullanılanı, boru elemanının kiriş eleman olarak ve zeminin yaylarla modellenmesini içeren Winkler zemin modelidir. Bu model, basitleştirilmiş yapısıyla hızlı sonuçlar elde etmeyi mümkün kılmaktadır (**Winkler, 1867**).

Toprak (1998) ve O'Rourke ile Toprak (1995), kayan blok modelini kullanarak bu boruların analizini analitik yöntemlerle gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalarda, DIANA sonlu elemanlar programı ile yer hareketi modellenmiş ve boruların tepkileri incelenmiştir. DIANA sonlu elemanlar programı sayesinde Toprak ve diğerleri (2010a; 2010d) çalışmalarında ileri düzeyde modellemeler yapılmıştır.

2014 yılında gerçekleştirilen yüksek lisans çalışmasında, Monte Carlo simülasyonu ile boru hattı hasar tespiti gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada hem HAZUS-FEMA hem de American Lifeline tarafından önerilen algoritmalar kullanılmıştır. Alliance (ALA), su boru hattı sistemindeki hasar sayısını tahmin edecek deprem ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca Monte Carlo simülasyon tekniği bu algoritmalara dahil edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, HAZUS-FEMA' nın ALA' dan daha büyük onarım sayıları sağladığını göstermektedir (**Bingöl, 2014**).

Enine zemin hareketine maruz kalan gömülü boru hatlarının tepkisi üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, bölgedeki boru hatlarının genel olarak bu zemin hareketine karşı güvenli olduğu, ancak yerel burkulma incelemeleri sonucunda polietilen doğal gaz boru hatlarında (PE125) hasar oluşabileceği belirlenmiştir (**Yiğit, 2023**).

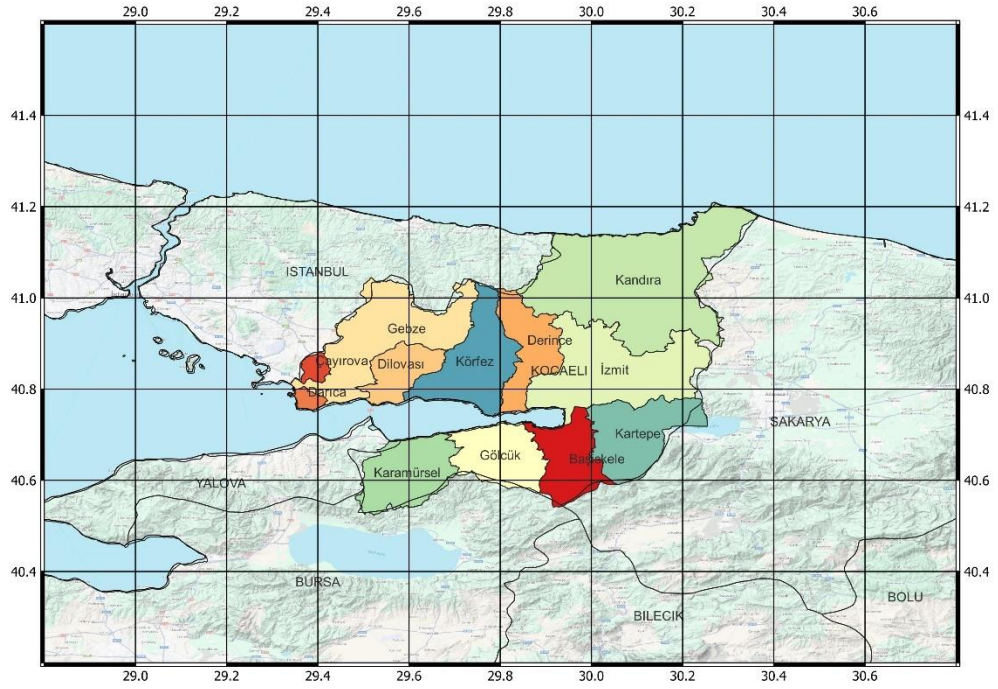
Demiralp (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, depremin kanalizasyon ve içme suyu sistemlerine etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada, depremlerin oluşum şekli,

tipi, kaynağı ve Türkiye'nin deprem potansiyeli ile ilgili detaylar öncelikle açıklanmış, ayrıca aktif fay kuşakları, gömülü boru hatlarının döşenmesi, kazı ve dolgu maddesi mevzuatları detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, ülkemizdeki zemin yapılarının deprem sarsıntılarında kritik bir rol oynadığı ve bu zeminlerde altyapı sistemlerinin, özellikle içme suyu ve kanalizasyon hatlarının, deprem öncesinde zemin iyileştirmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

3. DİLOVASI İLÇESİNİN ÖNEMİ

Dilovası, Asya ile Avrupa'yı birbirine bağlayan üç önemli karayolunun kesişim noktasında stratejik bir konumda yer almaktadır: E-5 (D-100) karayolu, TEM (E-80) Otoyolu ve Kuzey Marmara Otoyolu. Ayrıca, İstanbul'un Anadolu'ya bağlantısını sağlayan demiryolu hattı da bu bölgeden geçmektedir. Marmara Denizi kıyısında bulunan dokuz liman, bölgenin ticari potansiyelini artırmaktadır. 1960'lı yıllarda İstanbul'daki arazi fiyatlarının artışı, sanayicilerin Dilovası'nı tercih etmesine yol açmış ve elverişli coğrafi konumu sayesinde bölge hızla sanayileşmiştir. Osmangazi Köprüsü'nün kuzey ayağının burada yer alması, İzmir ve Bursa ile İstanbul arasındaki kısa karayolu bağlantısını sağlamaktadır. Dolayısıyla, Dilovası, İstanbul – Ankara karayollarının kesiştiği ve İzmit Körfezi'ne kıyısı olması sebebiyle ulaşım açısından merkezi bir konumda bulunmaktadır.

Türkiye'nin en büyük sanayi ve ticaret bölgelerinden biri olan Dilovası, özellikle kimya, petrokimya, otomotiv, metal ve gıda sektörlerinde faaliyet gösteren pek çok fabrika ve tesise ev sahipliği yapmaktadır. Bu durum, bölgenin ekonomik önemini artırmaktadır. **Şekil 3.1**'de de görüldüğü üzere, Dilovası'nın stratejik konumu, İstanbul'a yakınlığı ve limanlara erişimi sayesinde lojistik açıdan büyük bir öneme sahiptir. İstanbul'un ana ulaşım ağlarına kolay erişim sağlayan Dilovası, taşımacılık ve lojistik sektörleri için kilit bir merkez konumundadır. Türkiye'nin ihracatına önemli katkılar sunan bu bölgede üretilen birçok ürün, limanlar aracılığıyla uluslararası pazarlara ihraç edilmektedir; bu da Türkiye'nin dış ticaretindeki önemini artırmaktadır. Sanayi tesislerinin varlığı, Dilovası'nda istihdam potansiyelini yükseltmektedir. Bölgedeki fabrikalar ve işletmeler, birçok bireye iş imkânı sağlayarak ekonomik katkıda bulunmaktadır. Gelişmiş altyapı sistemlerine sahip olan Dilovası, ulaşım ağı, enerji tedariki ve su kaynakları gibi altyapı olanaklarıyla bölgedeki endüstriyel ve ticari faaliyetleri desteklemektedir.



Şekil 3.1: Kocaeli, Dilovası İlçesi konum haritası.

Dilovası'ndaki limanlar ve organize sanayi bölgeleri, Türkiye'nin ekonomik büyümesi ve uluslararası ticareti açısından stratejik bir öneme sahiptir. Modern altyapıları ve geniş sektör yelpazesi ile bu bölgeler, ekonomik kalkınmayı desteklemenin yanı sıra istihdam olanaklarını da artırmaktadır. Dilovası'ndaki limanlar ve organize sanayi bölgeleri, Türkiye'nin sanayi ve ticaretinde merkezi bir rol oynayarak ülke ekonomisine önemli katkılar sunmakta; bu bölgelerin ülke ekonomisine katkısı %7 seviyelerinde seyretmektedir.

4. DİLOVASI İLÇESİNİN DEPREMSELLİĞİ

Dilovası, Türkiye'nin en aktif ve tehlikeli fay hatlarından biri olan Kuzey Anadolu Fay Hattı'na (KAF) yakın bir konumda yer almaktadır. Bu fay hattı, Marmara Denizi'nden başlayarak Batı Anadolu üzerinden Doğu Anadolu'ya kadar uzanmakta olup, tarihsel süreçte büyük depremlere yol açmıştır; bu durum, bölgeyi yüksek deprem riski altına sokmaktadır.

Dilovası'nın jeolojik yapısı, özellikle alüvyon tabakaları ve yumuşak zeminler, bölgenin deprem tehlikesine maruz kalmasına katkı sağlamaktadır. **Şekil 4.1.'de** de görüldüğü üzere, Kuzey Anadolu Fay Hattı'na yakınlığı nedeniyle Dilovası, orta ve büyük ölçekli depremlerle sık sık sarsılma potansiyeline sahiptir. Özellikle 1999 yılında gerçekleşen Gölcük Depremi, bölgenin risk durumunu somut bir şekilde ortaya koymuş ve önemli yapısal hasarlara ve can kayıplarına yol açmıştır (**Şekil 4.2**).

Bölgedeki zemin yapısının, sismik dalgaların amplifikasyonunu artırabileceği, bu durumun da deprem anında hasar riskini yükselttiği belirtilmelidir. Bu nedenle, Dilovası'nda yapılaşma süreçlerinde zemin etütlerinin özenle gerçekleştirilmesi ve uygun zemin iyileştirme yöntemlerinin uygulanması büyük bir önem arz etmektedir.

Deprem tehlikesine karşı alınacak önlemler arasında, yapıların depreme dayanıklı bir şekilde inşa edilmesi ve mevcut yapıların güçlendirilmesi öncelikli hususlardır. Dilovası'ndaki yoğun sanayi tesisleri, bölgenin depremsellik riskini artırmakta; bu tesislerde meydana gelebilecek yapısal hasarlar, ekonomik kayıpların yanı sıra çevresel felaketlere de yol açma potansiyeli taşımaktadır.

Dilovası'nda gerçekleştirilen deprem risk analizi çalışmaları, bölgenin depreme karşı hazırlık düzeyini artırmaya yönelik önemli bir katkı sağlamaktadır. Bu çalışmalar, olası deprem senaryolarını değerlendirerek risk altındaki yapıların tespit edilmesini ve gerekli güçlendirme faaliyetlerinin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, acil durum yönetimi ve halkın bilinçlendirilmesi konularında da fayda sunmaktadır.

Sonuç olarak, Dilovası'nın depremselliği, bölgenin jeolojik yapısı ve Kuzey Anadolu Fay Hattı'na yakınlığı dolayısıyla oldukça yüksektir. Bu nedenle, bölgedeki yapıların depreme dayanıklı olması, zemin etütlerinin dikkatle yapılması ve önleyici tedbirlerin alınması hayati bir önem taşımaktadır. Bu tür çalışmalar, hem can ve mal kaybını

5. TÜRKİYE VE DEPREMLER

Türkiye, coğrafi konumu dolayısıyla sık sık depremlerle karşılaşan bir ülkedir. Özellikle Kuzey Anadolu Fay Hattı ve diğer aktif fay hatları, ülkenin deprem riskini belirleyen önemli unsurlardır. Marmara Bölgesi'nde yer alan İstanbul ve çevresi, yoğun nüfus yapısı ile dikkat çekmekte olup, Marmara Denizi'nin altında bulunan fay hatları, bu alandaki deprem potansiyelini artırmaktadır. Türkiye'de meydana gelen depremler, altyapı sistemlerine ve yapı stoğuna ciddi zararlar verebilmektedir. Bu bağlamda, ülke genelinde deprem risk haritaları oluşturulmuş, yapısal güçlendirme projeleri hayata geçirilmiş ve afet yönetimi konusunda önemli adımlar atılmıştır. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), deprem öncesi hazırlık ile deprem sonrası müdahale konularında koordinasyon sağlayarak kritik bir rol üstlenmektedir. Türkiye'nin deprem gerçeği, sürekli bir risk yönetimi ve toplumsal farkındalık gerektiren bir süreç olarak devam etmektedir.

Son dönemde, 6 Şubat 2023 tarihinde, 9 saat arayla meydana gelen Pazarcık merkezli $M_w=7.7$ ve Elbistan merkezli $M_w=7.6$ büyüklüğündeki depremler, 11 ili etkileyerek "yüzyılın felaketi" olarak adlandırılmıştır (**Şekil 5.1**). Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın 02 Mayıs 2023 tarihli verilerine göre, yıkılmış ve acil yıkılması gereken bina sayısı 58.039, ağır hasarlı bina sayısı ise 205.534 olarak belirlenmiştir. Resmi rakamlara göre, depremler sonucu hayatını kaybeden kişi sayısı 50.783, yaralanan kişi sayısı ise 115.353 olarak açıklanmıştır. T.C. Hazine ve Maliye Bakanlığı tarafından yapılan değerlendirmeye göre, bu felaketin ülke ekonomisine maliyeti yaklaşık 2 trilyon TL (103,6 milyar dolar) olarak belirlenmiştir.

Şubat 2023 Depremleri (7.7 ve 7.6)



Şekil 5.1: 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depreminin hasar boyutu.

6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş Depremi gibi büyük ölçekli depremler, Türkiye'nin deprem afetine karşı hazırlıklı olmasının önemini bir kez daha ortaya koymuştur.

6. DEPREM ÖN HASAR TAHMİN SİSTEMLERİ

Deprem riskine karşı alınacak önlemler, yalnızca can ve mal kayıplarını azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda bölgenin ekonomik sürdürülebilirliğini ve toplumsal dayanıklılığını da artırma potansiyeline sahiptir. Olası bir depremin etkilerini en aza indirmek amacıyla, ön hasar tahmini, acil durum planlaması ve toplumsal bilinçlendirme gibi önlemler kritik bir önem taşımaktadır. Teknolojik ilerlemeler, bu sistemlerin doğruluğunu ve etkinliğini artırmakta, dolayısıyla daha güvenli ve dirençli toplulukların oluşturulmasına katkı sağlamaktadır. Bu sistemler, olası bir deprem afetinden önce gerçekleştirilen senaryo çalışmaları ile hemen sonrasında gerçek verileri kullanarak çevrimiçi biçimde yapısal ve ekonomik hasar tahminleri yapmak için kullanılan analitik ve teknolojik araçlardır. Ön hasar tahmin sistemleri, acil müdahale bölgelerinin belirlenmesine olanak tanıyarak, yardım ve kurtarma ekiplerinin zaman kaybetmeden yönlendirilmesini sağlamaktadır.

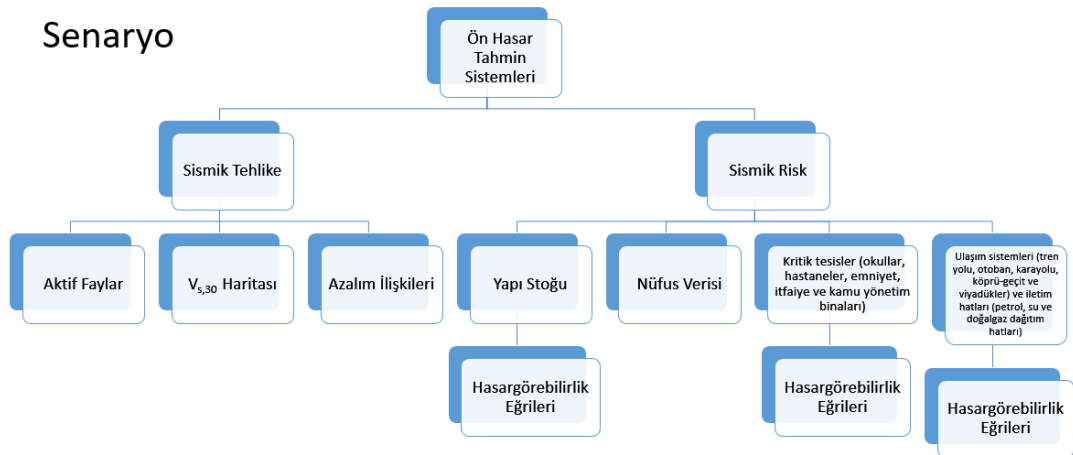
6.1. Geliştirilmiş Ön Hasar Tahmin Sistemleri

Deprem riskinin değerlendirilmesi, hasar tahminlerinin gerçekleştirilmesi ve acil durum müdahale planlarının geliştirilmesi amacıyla çeşitli önemli yazılımlar kullanılmaktadır. Türkiye'de, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından geliştirilen AFAD-RED, deprem öncesi ve sonrası müdahale planlarının oluşturulmasında hayati bir rol üstlenmektedir. Orta Amerika'daki doğal afetleri önlemeye yönelik çalışmalar için tasarlanmış olan CAPRA Software Collection, çeşitli uluslararası kuruluşlar tarafından geliştirilmiştir. NERIES (Network of Research Infrastructures for European Seismology) projesi kapsamında hazırlanan ELER, Avrupa'da deprem kayıplarının tahmin edilmesine yönelik bir araç olarak kullanılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde FEMA tarafından geliştirilmiş olan HAZUS, deprem, sel ve kasırga gibi doğal afetlerin hasar tahminlerini yapabilme yeteneğine sahip bir sistemdir. National Science Foundation (NSF) tarafından desteklenen MAEVIZ, deprem hasar değerlendirmesi ve acil durum müdahale planlaması için önemli bir kaynak olarak öne çıkmaktadır. Global Earthquake Model Foundation (GEM) tarafından geliştirilen OPENQUAKE (OQ), dünya genelindeki deprem risklerini ve hasarlarını modellemek için kullanılan açık kaynaklı bir yazılım

olarak dikkat çekmektedir. USGS tarafından geliştirilen PAGER, deprem sonrası hızlı bir biçimde hasar ve kayıp tahminleri yaparak acil durum müdahale ekiplerine zamanında bilgi sağlamaktadır. ICES Foundation tarafından geliştirilen QLARM, deprem ve diğer doğal afetler için hızlı hasar ve kayıp tahminleri sunma kapasitesine sahiptir. NORSAR tarafından geliştirilen SELINA, deprem hasar değerlendirmesi ve senaryo analizi için kullanılmakta iken, REDACT Black Sea Joint Operational Programme tarafından geliştirilen REDAS, Karadeniz Bölgesi'nde deprem risk değerlendirmesi ve yönetimi açısından önemli bir kaynak oluşturmaktadır.

6.2. Ön Hasar Tahmin Sistemleri

Ön hasar tahmin sistemleri ile hem gerçek hem de senaryo depremlerinin neden olabileceği hasar ve kayıplara ilişkin tahminler üretmekte olup, bu kapsamda yapısal hasar seviyeleri (hafif, orta, ağır ve yıkık), ayakta tedavi gerektiren hasta sayısı, hafif ve ağır yaralı sayıları, can kaybı, geçici barınma ihtiyacı duyabilecek kişi sayısı, sismik şiddet haritaları ile ivme (PGA) ve hız (PGV) haritaları oluşturulabilmektedir. Ayrıca, geliştirilme amaç ve kapasitelerine göre kritik tesisler (okullar, hastaneler, emniyet binaları, itfaiye istasyonları ve kamu yönetim binaları), ulaşım sistemleri (tren yolları, otopanlar, karayolları, köprüler, geçitler ve viyadükler) ve enerji iletim hatlarının (petrol, su ve doğalgaz dağıtım hatları) tahmini hizmet verebilme olasılıklarına yönelik değerlendirmeler de yapılabilmektedir. Senaryo depremlere göre ön hasar tahmin sistemlerinde ihtiyaç duyulan veriler **Şekil 6.1**'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1: Ön hasar tahmin sistemleri şeması.

6.2.1. Sismik Tehlike

Gömülü boru hat bileşenleri, dalga yayılımı ve kalıcı yer deformasyonu (PERGD) gibi etkenlere karşı son derece hassastır. Depremlerle ilgili başlangıç verileri, belirli bir hedef bölge için toplanmakta ve bu veriler, yerel arazi ile zemin özelliklerinin yanı sıra tektonik yapı ve deprensellik durumunun analizinde kullanılmaktadır. Sismik yer hareketinin mekânsal dağılımı, yerel arazi etkileri, jeolojik koşullar ve topoğrafik faktörler dikkate alınarak belirlenmektedir. Sismik yükleme genellikle en yüksek yer ivmesi (PGA), en büyük yer hızı (PGV) ve zaman zaman sismik şiddet (MMI, MSK) ile ifade edilmektedir. Ancak son çalışmalarda, yer sarsıntısı ve dalga yayılımından kaynaklanan sismik yüklemeleri daha iyi tanımlamak için PGV değerlerinin kullanımı tercih edilmektedir; zira bu değerler, yer hareketleriyle daha tutarlı sonuçlar sağlamaktadır.

Dünya genelinde yürütülen araştırmalarda, altyapı sistemlerinin deprem riskinin belirlenmesinde kırılma eğrileri ve çeşitli deprem parametreleri, örneğin belirli bir noktadaki PGV ve PERGD, hasar miktarını tahmin etmek için kullanılmaktadır. Yapı tasarımında sıklıkla kullanılan yer ivmesi değerleri, toprağa gömülü hatların hasar davranışını tam olarak yansıtmayabilir.

Geçmiş depremler incelendiğinde, yer altındaki boruların sismik hasarları hakkında kapsamlı bir bilgi birikimi elde edilmektedir. Bu tür incelemeler, geçmiş olaylardan edinilen verilerin istatistiksel olarak hasar tahmini yapma imkânı sunması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bilgiler, gelecekteki olası depremler ve muhtemel hasarların tahmininde kullanılabilir.

Sismik tehlikeler genellikle kalıcı yer deformasyonu ve sismik dalga yayılımı riski olarak iki ana grup altında incelenmektedir. PERGD hasarları genellikle belirli bölgelerde yoğunlaşırken, sismik dalga yayılımı hasarları daha geniş alanlara yayılabilmektedir; ancak bu tür hasarlar genellikle daha düşük oranlarla kendini göstermektedir.

Deprem dalga yayılımı tehlikeleri, geçici gerilme ve eğilme olarak tanımlanmakta olup, bu durumlar, deprem dalgalarının zemin üzerinde hareket etmesi sırasında zeminin dinamik tepkisi olarak ortaya çıkmaktadır. Kalıcı yer deformasyonu tehlikeleri ise genellikle yanal yayılma, sıvılaşma, yer kaymaları ve deprensellik gibi etkilerle karakterize edilmektedir. Fay kaynaklı PERGD riskleri, kalıcı

yatay ve dikey fay hareketlerinin borularla kesiştiği noktalar etrafında ortaya çıkmaktadır.

Boru hatlarında meydana gelen hasarları çeşitli deprem parametreleri ile coğrafi olarak ilişkilendirmek amacıyla, araştırmacılar tarafından farklı hasar ilişkileri ve yöntemler geliştirilmiştir. Bu ilişkiler genellikle ampirik olup, geçmiş depremlerden elde edilen verilere dayanmaktadır. Son yıllarda meydana gelen kuvvetli depremler, gömülü boru sistemlerinde önemli hasarlara yol açmıştır.

Boru hasarları, genellikle onarım veya hasar oranları ile tanımlanmaktadır. Boru onarım oranı, belirli bir bölgedeki boru hatlarında gerçekleştirilen onarımların, o bölgedeki toplam boru hattı uzunluğuna bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Geçmiş depremlerin incelenmesi, gömülü boru hatlarında sismik dalga yayılımı ve kalıcı yer deformasyonlarından kaynaklanan çeşitli hasarların meydana geldiğini göstermiştir. Birçok araştırma, dalga yayılımı ve kalıcı deformasyonların boru hatlarında meydana gelen hasarlarla çeşitli sismik parametreler arasında güçlü ilişkiler bulunduğunu ortaya koymuştur. Özellikle Northridge depreminden sonra elde edilen veriler, boru hasarları ile sismik parametreler arasındaki ilişkilerin daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmuştur.

Gömülü boru hatlarındaki hasarları etkileyen faktörler arasında borunun türü, çapı, ek yerlerinin tipi, korozyon durumu ve borunun yaşı yer almaktadır. Su dağıtım sistemlerinde kullanılan farklı boru tipleri arasında en yaygın olanları düktil demir, dökme demir (font), çelik, plastik (PVC) ve asbestli çimento (AÇB) borulardır. Boruların yapıldığı malzeme ve ekleniş şekli, deprem esnasındaki performanslarını doğrudan etkilemektedir.

6.2.1.1. Aktif Fay Hatları

Sismik tehlike analizlerinin vazgeçilmez unsurlarından olan aktif fay hatları, geçmişte hareket eden ve gelecekte yeniden harekete geçme potansiyeline sahip yer kabuğu kırıklarıdır. Depremlerin ana kaynağı olan bu yapılar, yer kabuğundaki biriken enerjinin ani serbest kalması sonucu meydana gelen sarsıntılara yol açmaktadır. Bu nedenle, aktif fay hatlarının konum ve özellikleri, sismik risklerin belirlenmesinde kritik bir öneme sahiptir. Bölgemizde bulunan aktif fay hatları **Şekil 6.2'** de gösterilmiştir.

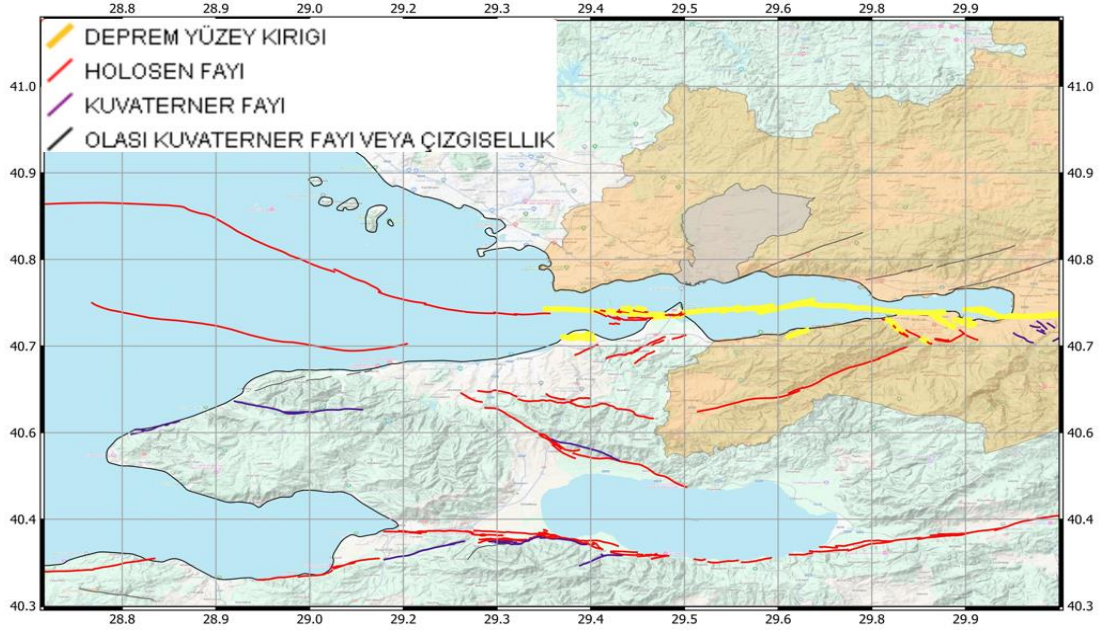
Fay hatlarının haritalandırılması, deprem riski taşıyan bölgelerin tespit edilmesine imkân tanır ve bu veriler, şehir planlaması, yapı tasarımı ve afet yönetimi açısından son derece kıymetlidir. Faylara yakın alanlar, genellikle yüksek sismik risk barındıran bölgeler olarak değerlendirilmekte ve bu bölgelerdeki yapılar, daha katı sismik standartlara uygun bir şekilde inşa edilmelidir.

Aktif fayların analizi, muhtemel deprem senaryolarının oluşturulmasına yardımcı olmaktadır. Fayların geçmiş hareketleri ve jeolojik izleri incelenerek, gelecekteki depremlerin büyüklükleri ve tekrarlama periyotları hakkında tahminlerde bulunulabilmektedir. Bu senaryolar, sismik risk değerlendirmelerinde ve acil durum planlamasında önemli bir yere sahiptir.

Fay hatları, depremler esnasında oluşan zemin hareketlerinin modellenmesinde de önemli bir rol oynamaktadır. Fayların konum, uzunluk, derinlik ve kayma özellikleri, yer sarsıntılarının karakterini belirler. Bu bilgiler, zemin davranış analizi ve yapıların sismik dayanıklılıklarının değerlendirilmesi süreçlerinde kullanılmaktadır.

Aktif faylar hakkındaki veriler, mikro bölgeleme çalışmalarında ve deprem riskini azaltmaya yönelik stratejilerde önemli bir işlev görmektedir. Fay hatlarına yakın bölgelerde zemin güçlendirme yöntemleri ve yapıların güçlendirilmesi gibi risk azaltıcı önlemler planlanabilirken, bu bilgiler yapılaşma ve arazi kullanımı kararlarına da rehberlik etmektedir.

Ayrıca, aktif fayların izlenmesi, deprem erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunur; sismik aktivitelerin izlenmesi, olası depremler için erken uyarı sinyallerinin tespit edilmesine olanak tanır. Bu tür sistemler, can ve mal güvenliğinin sağlanması açısından önemli bir adımdır. Sonuç olarak, aktif fay hatları, sismik tehlike analizleri ve deprem riskinin yönetimi açısından merkezi bir role sahiptir. Fayların konumları, hareket potansiyelleri ve geçmiş davranışlarına dair detaylı bilgiler, sismik tehlike değerlendirmelerinin ve risk azaltma stratejilerinin temelini oluşturur.



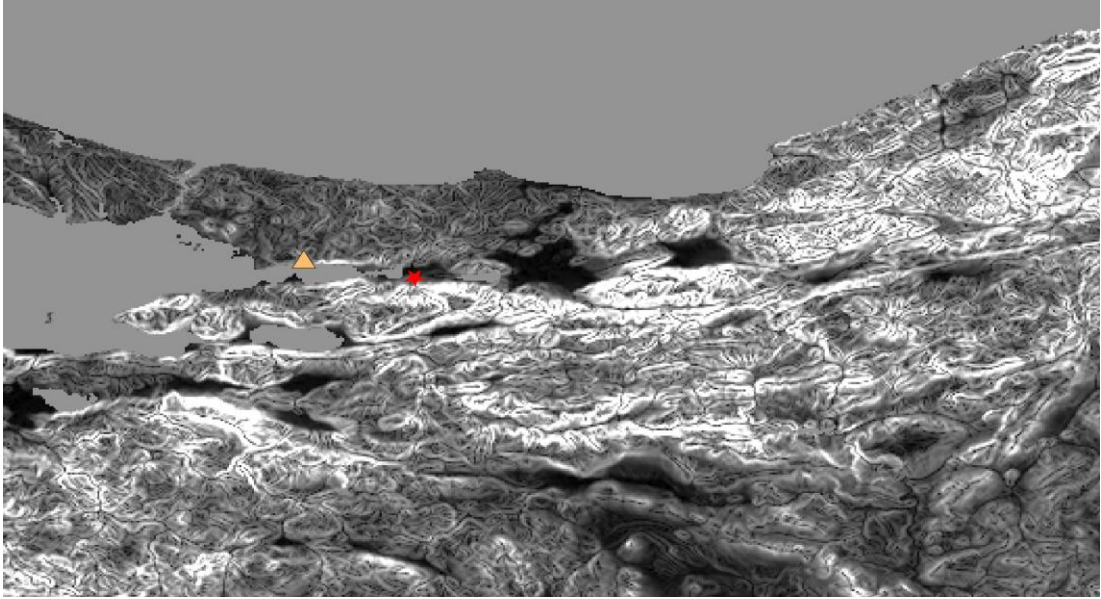
Şekil 6.2: Çalışma bölgesine ait fay haritaları.

6.2.1.2. V_{S30} Haritası

Sismik tehlike analizlerinde V_{S30} haritası, zeminlerin sismik davranışlarını değerlendirmek için kritik bir araçtır. V_{S30} , zeminin ilk 30 metrelik derinliğindeki ortalama kayma dalgası hızını ifade eder ve zemin sınıflandırması ile sismik tehlike analizlerinde yaygın olarak kullanılır. Yüksek V_{S30} değerleri daha sert ve düşük deformasyonlu zeminleri, düşük V_{S30} değerleri ise daha yumuşak ve yüksek deformasyon potansiyeline sahip zeminleri gösterir. Bu parametre, zeminlerin sismik dalgaları iletme kapasitesini ve dalgaların şiddetini değiştirme özelliklerini anlamada kritik bir rol oynar. Bu bilgiler, deprem tasarım spektrumlarının oluşturulmasında ve yapıların sismik taleplerinin belirlenmesinde önemli bir temel oluşturur.

V_{S30} haritaları ayrıca, şehir planlaması ve afet yönetimi çerçevesinde yürütülen mikro bölgeleme çalışmalarında, zemin koşullarını ve sismik riskleri değerlendirmede de kullanılmaktadır. Yerel yönetimler ve mühendisler, bu verileri kullanarak, deprem dayanıklılığını artırmak için stratejik planlar geliştirme fırsatı bulurlar. V_{S30} değerleri, sismik ölçümler, jeoteknik sondajlar ve jeofizik araştırmalar gibi tekniklerle elde edilen verilerle belirlenir. Bunun yanı sıra, ampirik modeller ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) yardımıyla oluşturulan tahmin haritaları da sıklıkla kullanılmaktadır.

Bu haritalar, zeminlerin deprem dalgalarına verdiği tepkinin anlaşılması ve yapıların deprem performanslarının optimize edilmesi için gerekli verileri sunar. Özellikle yapı tasarımı, köprüler, tüneller ve diğer altyapı projelerinde sismik tehlike analizlerinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Dolayısıyla, mühendisler ve şehir planlamacıları için V_{S30} haritaları, deprem risklerinin azaltılmasına yönelik stratejik planlamanın vazgeçilmez bir unsuru olarak değerlendirilmektedir.

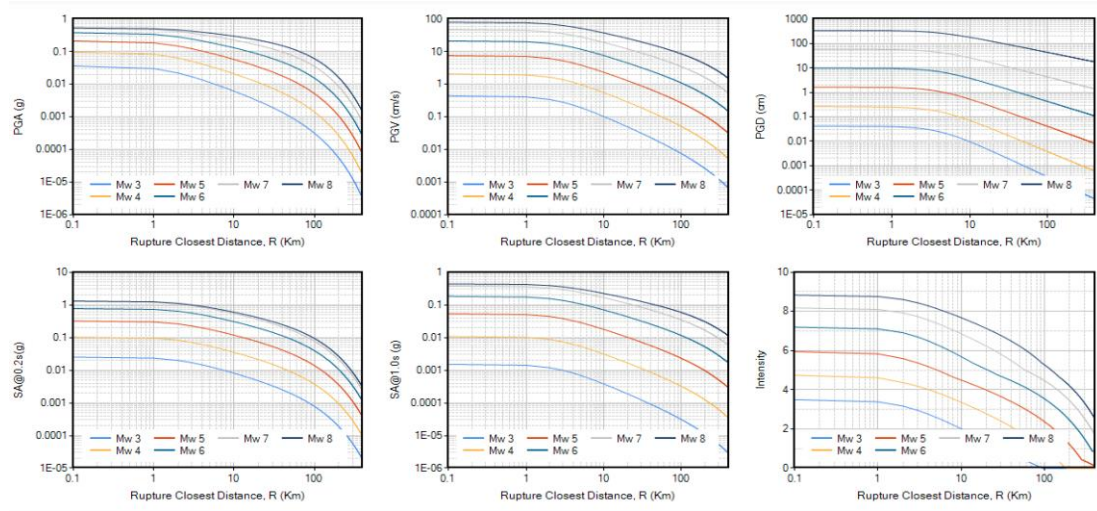


Şekil 6.3: USGS V_{S30} Slope Haritası, (Amerikan Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Birimi).

6.2.1.3. Yer Hareketi Tahmin Denklemleri

Yer hareketi tahmin denklemleri (GMPE' ler), depremler sırasında oluşan yer hareketlerinin şiddetini tahmin etmek amacıyla kullanılan matematiksel modeller olup, depremin büyüklüğü, odak derinliği, kaynak-yer mesafesi ve zemin koşulları gibi değişkenlere bağlı olarak yer ivmesi, hız ve yer değiştirme gibi parametrelerin hesaplanmasını sağlar. GMPE' lerin temel bileşenleri arasında genellikle moment magnitudü ile ifade edilen deprem büyüklüğü, odak derinliği veya fay mesafesi gibi mesafe parametreleri, zemin özellikleri (örneğin V_{S30}) ve fay türü gibi depremin kaynak özellikleri yer almaktadır. Bu denklemler, özellikle deprem mühendisliği, sismik tehlike analizi ve risk yönetimi gibi alanlarda yapıların sismik tasarımında ve deprem risklerinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Abrahamson-Silva (2014), Boore-Atkinson (2008) ve Zhao ve ark. (2006) gibi GMPE modelleri,

farklı bölgeler ve zemin koşullarına yönelik yer hareketi tahminleri sağlamaktadır. GMPE denklemleri, deprem büyüklüğü, mesafe ve zemin koşullarına bağlı olarak yer hareketi parametrelerini tahmin eder ve genellikle depremin büyüklüğü arttıkça yer hareketi şiddetinin artacağı, mesafe arttıkça azalacağı ve zemin koşullarının bu ilişkiyi etkileyebileceği varsayımına dayanmaktadır. Bu modeller, sismik tehlike analizlerinde ve yapı güvenliğinin sağlanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Literatürde kabul görmüş Yer Hareketi Tahmin Denklemlerinden şiddet değerleri en yakın kırılma mesafesine göre PGV, PGA, PGD, SA@0.2Hz(g), SA@1.0Hz(g) ve şiddet değerleri hesap edilebilmektedir. Şekil 6.4’ de gösterilmiştir.



Şekil 6.4: Literatürde kabul görmüş azalım ilişki eğrileri

6.2.2. Sismik Risk

Sismik riskler, belirli bir bölgedeki yapıların ve altyapıların depremlerden kaynaklanan potansiyel zarar ve kayıplarını tanımlayan unsurlardır ve deprem tehlikesi, yapıların hassasiyeti ile olası hasarlar gibi faktörlerden etkilenir. Sismik risk analizlerinin temel amacı, deprem tehlikesini belirlemek, yapı ve altyapıların dayanıklılığını değerlendirmek, hasar ve kayıp tahmini yapmak ve buna uygun risk azaltma stratejileri geliştirmektir. Bu analizler, yer hareketlerinin şiddeti, frekansı ve olasılığı gibi tehlike unsurlarının yanı sıra yapıların malzeme, tasarım ve yapısal durumu gibi özellikleri göz önünde bulundurur. Ayrıca, can ve mal kaybı, ekonomik zararlar ve altyapı hasarları gibi etkilerin tahmin edilmesine olanak tanır. Bu bilgiler, yapıların güçlendirilmesi, yapı yönetmeliklerinin güncellenmesi ve afet yönetimi

planlarının oluşturulmasında önemli bir rol oynar. Aynı zamanda, deprem sonrası kurtarma ve acil müdahale operasyonlarının planlanmasına katkı sağlar. Sigorta şirketleri ve finansal kuruluşlar, bu analizleri deprem sigorta primlerinin belirlenmesinde ve mali risklerin yönetiminde kullanır. Son olarak, toplumun deprem riskleri hakkında bilgilendirilmesi, bireylerin ve toplulukların hazırlıklı olmalarını sağlar. Sismik risk analizleri, deprem tehlikelerinin yönetimi ve dayanıklı yapıların inşasında kritik bir araçtır.

7. GÖMÜLÜ BORU HATLARINDA DEPREM ETKİSİ

Sanayi Devrimi sonrasında artan enerji ihtiyacı, günümüzdeki dünya savaşlarının temel nedenlerinden birini teşkil etmektedir. Bu enerji kaynaklarına erişim sağlamakla birlikte, elde edilen enerji kaynaklarının işlenmesi ve kullanıma hazır hale getirilmesi, ayrıca bu materyallerin gerekli yerlere taşınması için belirli bir teknolojik araştırma gerekmektedir. Günümüzde Mavi Akım ve Bakü-Tiflis-Ceyhan gibi boru hatları, ülkemiz için kritik öneme sahip projeler olup, bu tür projelerde statik ve dinamik etki kriterlerinin belirlenmesi son derece önemlidir. Enerji ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla inşa edilen gömülü boru hatlarının teknik güvenliği büyük bir öncelik taşımaktadır. Üst yapıların dinamik yükler altındaki davranışları ve tasarımıyla ilgili araştırmalar artarken, altyapı sistemleri üzerine yapılan çalışmalar maalesef yetersiz kalmaktadır. Özellikle deprem gibi doğal afetler açısından gömülü boruların tasarımı ve imalatı, şehir hayatının sürdürülebilirliği bakımından kritik bir öneme sahiptir. Depremler sonucunda altyapı sistemlerinde meydana gelen hasarlar, hem ekonomik hem de toplumsal yaşam açısından olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Örneğin, 1995 Kobe ve 1999 Kocaeli depremleri, altyapı sistemlerindeki gömülü boru hatlarının deprem güvenliği açısından tasarlanmasının ve mevcut sistemlerin deprem performanslarının önceden değerlendirilmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Kırsal alanlardan kentsel alanlara olan göç, hızlı nüfus artışı ve ekonomik faktörler nedeniyle artış göstermektedir. Bu durum, kentsel planlama süreçlerini ve mevcut şehirlerin yenileme çalışmalarını etkilemektedir. Altyapı sistemleri, temel yaşam ihtiyaçlarını karşıladığı için kentsel yaşam standartlarının kalitesini belirleyen önemli bir ölçüt olarak değerlendirilmektedir. Bu sistemlerde meydana gelen işlevsellik aksaklıkları, günlük yaşamı olumsuz yönde etkileyebilmektedir. 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi sırasında Adapazarı'nda meydana gelen zemin sıvılaşması ve yumuşaması nedeniyle asbestli çimento boruların ciddi hasar gördüğü belirtilmiştir. Altyapı sistemlerinin depremler sırasında zarar görmesi, günlük yaşamı derinden etkileyerek ciddi ekonomik kayıplara yol açabilmektedir. Bu durum, mevcut altyapı sistemlerinin deprem performanslarının değerlendirilmesi ve yeni altyapı sistemleri için güncellenmiş deprem yönetmeliklerinin geliştirilmesi ihtiyacını ortaya

koymaktadır. Bu çalışmada, olası bir deprem senaryosunda doğalgaz, atık su, yağmur suyu ve içme suyu hatlarında meydana gelebilecek hasar oranları incelenmiştir.

8. LİTERATÜRDE KABUL GÖRMÜŞ HASAR FONKSİYONLARI

Kırılgnlık eğrileri, belirli deprem parametrelerine göre altyapı bileşenlerinin hasar görme olasılıklarını gösteren grafikler olup, deprem mühendisliği ve risk değerlendirme çalışmalarında önemli bir rol oynamaktadır. Eidinger (1998) ve Eidinger ve Avila (1999), su dağıtım sistemleri ve gömülü boru hatları için sismik yüklemeler altında hasar tahmini yapan kırılgnlık eğrileri geliştirmiştir. Pineda ve Porras (2003), gömülü boru hatlarının deprem kaynaklı hasarlarını modelleyerek farklı zemin koşullarındaki davranışlarını değerlendirmiştir. O'Rourke ve Jeon (1999, 2000), gömülü altyapı sistemlerinin deprem performansını inceleyen ve yer hareketi parametreleri ile hasar olasılıklarını ilişkilendiren eğriler oluşturmuştur. O'Rourke ve Deyoe (2004), büyük çaplı boru hatlarının malzeme türü, ekleme yöntemleri ve zemin koşullarına göre hasar olasılıklarını içeren kırılgnlık eğrileri geliştirmiştir. Yoo, Kang ve Kim (2013), gömülü gaz boru hatlarının sismik performansını farklı deprem senaryolarında değerlendiren eğriler tasarlamıştır. Toprak (1998), gömülü su ve atık su boru hatlarının zemin sıvılaşması ve yanal yayılma gibi faktörlerle ilişkili sismik performansını incelemiştir. HAZUS (1999), FEMA tarafından geliştirilen bir yazılım olup, deprem, sel ve kasırğa gibi afetlerin olası etkilerini modellemek için kırılgnlık eğrilerini kullanmaktadır. JICA'nın kırılgnlık eğrileri, altyapı sistemlerinin deprem riskini anlamak ve yönetmek için kritik öneme sahip olup, sismik dayanıklılığı değerlendirmek ve deprem sonrası toparlanma sürecini hızlandırmak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. ALA (2001) ise boru hatları, köprüler ve diğer kritik altyapı bileşenlerinin sismik dayanıklılığını değerlendirmek için kırılgnlık eğrileri geliştirmiştir. Bu eğriler, altyapı sistemlerinin deprem riskini değerlendirmek ve hasar tahminleri yapmak için hayati öneme sahiptir; her bir çalışma, belirli bir altyapı bileşeninin sismik performansını özel metodolojiler ve verilerle değerlendirmektedir. Bu tez çalışmasında, ALA (2001) ve JICA tarafından geliştirilen hasar fonksiyonları kullanılmaktadır.

8.1. ALA (2001) Hasar Görebilirlilik Fonksiyonları

ALA (**American Lifelines Alliance**) 2001 modeli, su, doğalgaz, petrol, kanalizasyon ve diğer gömülü boru hatlarının deprem yükleri altında performansını değerlendirmek amacıyla geliştirilmiş önemli bir modeldir ve bu model, deprem mühendisliği ile risk yönetimi alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Modelin temel amacı, boru hatlarının deprem sırasında maruz kalabileceği hasarları tahmin etmek ve bu bilgiler doğrultusunda risk yönetimi ile acil durum müdahale stratejileri geliştirmektir. ALA modeli, çeşitli boru türleri ve bağlantı yöntemleri için kırılma eğrileri sunmakta olup, bu eğriler ampirik veriler ve geçmiş deprem deneyimlerine dayanarak belirli bir deprem parametresine (örneğin PGA, PGV) karşılık gelen hasar olasılıklarını göstermektedir.

Model, boru hatlarının yer hareketi parametrelerine tepkisini analiz ederken, farklı zemin koşulları ve boru derinliklerini de dikkate alarak çeşitli senaryoları değerlendirmektedir. Ayrıca, çatlaklar, kırılmalar ve yer değiştirmeler gibi boru hatlarında meydana gelebilecek hasar türlerini tanımlamakta ve bu hasar mekanizmalarını belirlemek için zemin hareketi ile boru özelliklerini kullanmaktadır. Model, çeşitli büyüklükteki depremler ve farklı zemin koşulları altında boru hatlarının performansını simüle ederek, farklı deprem yükleri altında boru hatlarının etkilenme durumunu tahmin etmektedir.

ALA modeli, boru hatlarının deprem riskini değerlendirmek, potansiyel hasarları tahmin etmek, acil durum müdahale planları oluşturmak ve mevcut boru hatlarının sismik dayanıklılığını artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Mühendisler tarafından altyapı projelerinde yaygın olarak uygulanan bu model, boru hatlarının tasarımı, inşası ve bakımı sırasında elde edilen bilgileri dikkate alarak, akademik araştırmalar ve eğitim programlarında da altyapı sistemlerinin sismik performansını anlamak ve iyileştirmek için temel bir araç olarak öne çıkmaktadır.

American Lifelines Alliance (ALA) tarafından 2001 yılında önerilen bu hasar tahmin yöntemi, 1998 yılında ABD'de başlatılan bir projede geliştirilmiştir. Bu projede, içme suyu dağıtım sistemlerinin deprem tehlikesi nedeniyle maruz kalabileceği hasarlar incelenmiş ve bu hasarların hesaplanması ile önlenmesine yönelik yöntemler geliştirilmiştir. Tez çalışmasında bu projede ortaya konulan hasar bağıntıları da kullanılmaktadır. ALA (2001) çalışmasında, ABD, Japonya ve Meksika'da meydana

gelen 12 farklı depremden elde edilen veriler analiz edilerek, geçici yer deformasyonlarının boru hatlarında oluşturabileceği hasarları tahmin etmek amacıyla yeni bağıntılar önerilmiştir; bu veriler **Tablo 8.1**'de sunulmuştur.

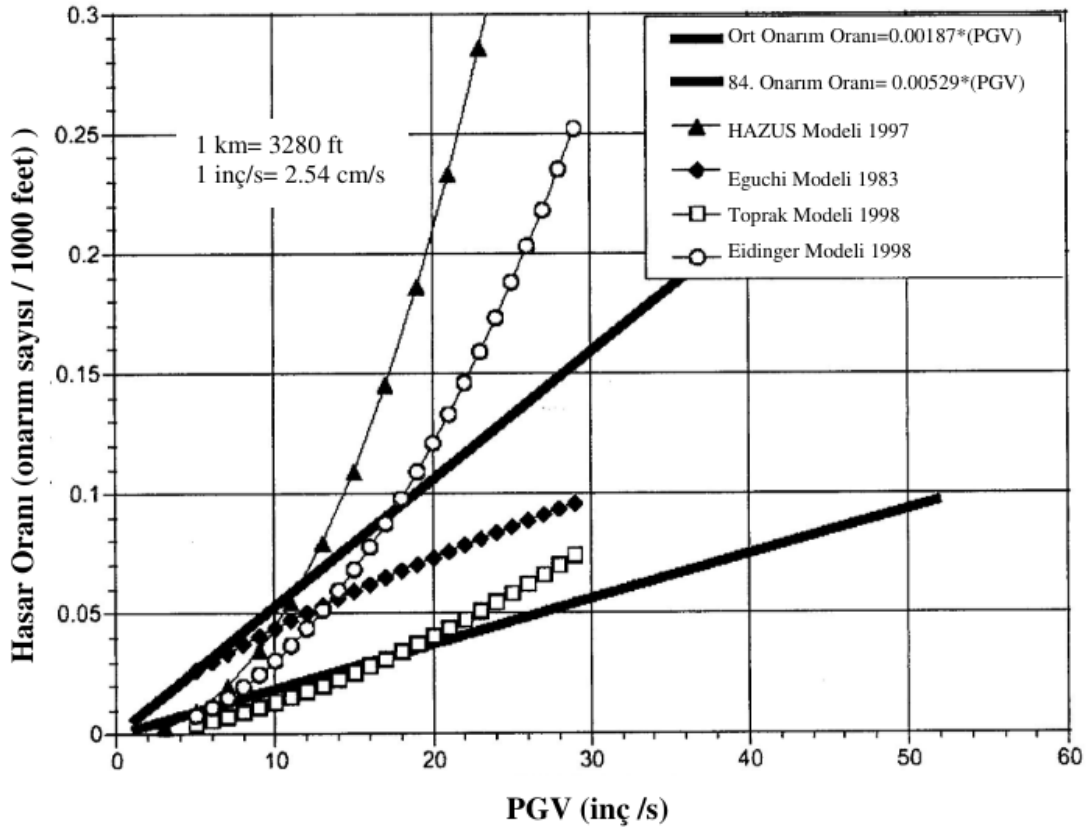
Tablo 8.1: PGV veri tabanını oluşturan depremler ve veri noktaları (ALA 2001).

Depremler	Veri Noktaları	Yüzde%
1995 Hyogoken-Nanbu (Kobe)	9	11
1994 Northridge	35	43
1989 Loma Prieta	13	16
1971 San Fernando	13	16
Diğer Depremler	11	14
Toplam	81	100

Veri tabanında çeşitli malzeme türlerine ait borular bulunmaktadır ve toplam 81 veri noktasından elde edilen verilere göre en geniş dağılıma sahip boru tipi, 38 veri noktasında temsil edilen dökme demir (font) borulardır. Dökme demir borularını, 13 veri noktasıyla çelik borular, 10 veri noktasıyla asbestli çimento (AÇB) borular, 9 veri noktasıyla düktil demir (DI) borular ve 2 veri noktasıyla beton borular izlemektedir. Ayrıca, 9 veri noktası font ve düktil demir boruların birleşim yerlerini temsil etmektedir. Bu boruların büyük bir kısmı ana dağıtım boruları olup, yalnızca 8 veri noktasında çapları 300 mm'den küçüktür.

Veri tabanındaki bilgiler, PGV'ye bağlı olarak hasar oranı eğrilerinde önemli bir değişim olduğunu ortaya koymaktadır. Bu değişimi daha iyi anlamak amacıyla, PGV değişimleri ile onarım oranları gruplandırılmış ve her grup için ortalama hasar oranı belirlenmiştir. PGV değerleri arttıkça hasar oranında belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Bu analizde, iki farklı model geliştirilmiştir: Ortalama Lineer Model ve Üstel Model. Daha yaygın olarak kullanılan Ortalama Lineer Model'de, onarım oranı PGV'nin lineer fonksiyonu olarak hesaplanmakta ve bu model, HAZUS Modeli (1997), Eguchi Modeli (1983), Eidinger Modeli (1998) ve Toprak Modeli (1998) gibi mevcut

modellerle ilişkilendirilmektedir. Bu tez çalışmasında da Ortalama Lineer Model kullanılmış olup, ilgili ilişki Şekil 8.1’de gösterilmiştir.



Şekil 8.1: PGV’ ye bağlı geliştirilen hasar fonksiyonlarının karşılaştırılması (ALA 2001)

ALA (2001) tarafından geliştirilen hasar tahmin ilişkisi, geometrik ortalama olarak hesaplanan ortalama PGV değerini temel almaktadır. Boru hatlarının deprem kaynaklı olası hasarlarını tahmin etmek amacıyla, boru türü, boru çapı, boruların bağlantı şekli ve korozyon gibi faktörler hakkında kesin bilgilere sahip olunması durumunda, bu fonksiyona sabit katsayılar eklenmektedir. **Formül (8.1)**’de belirtilen bu hasar bağıntısı, belirli bir bölgede bulunan boru türü, bağlantı şekli, boru çapı ve korozyon gibi detaylar göz önünde bulundurularak tahminlerde bulunulmasına olanak tanımaktadır.

$$RR=K_1 \times (0,00241) \times PGV \quad (8.1)$$

ALA (2001)’de, ortalama PGV değeri kullanılarak boruların deprem performansını etkileyen faktörlere göre değişen K1 katsayıları ayrıntılı olarak verilmiştir. Buna göre,

K1 değeri dökme demir borular için 1, AÇB borular için 1, çelik borular için 0,15 ve PVC borular için 0,5 olarak belirlenmiştir.

Tablo 8.2: Hasar sayıları için K₁ sayıları (ALA 2001).

Boru Malzemesi	Ek Yeri Bağlantı Şekli	Zemin	Çap	K ₁
Font	Çimento	Tümü	Küçük	1.0
Font	Çimento	<u>Korozif</u>	Küçük	1.4
Font	Çimento	<u>Korozif olmayan</u>	Küçük	0.7
Font	Kauçuk conta	Tümü	Küçük	0.8
Çelik	Kaynak	Tümü	Küçük	0.6
Çelik	Kaynak	<u>Korozif</u>	Küçük	0.9
Çelik	Kaynak	<u>Korozif olmayan</u>	Küçük	0.3
Çelik	Kaynak	Tümü	Büyük	0.15
Çelik	Kauçuk conta	Tümü	Küçük	0.7
Çelik	Vidalı	Tümü	Küçük	1.3
Çelik	Perçinli	Tümü	Küçük	1.3
Asbest beton	Kauçuk conta	Tümü	Küçük	0.5
Asbest beton	Çimento	Tümü	Küçük	1.0
Çelik gömlekli beton boru	Kaynak	Tümü	Büyük	0.7
Çelik gömlekli beton boru	Çimento	Tümü	Büyük	1.0
Çelik gömlekli beton boru	Kauçuk conta	Tümü	Büyük	0.8
PVC	Kauçuk conta	Tümü	Küçük	0.5
<u>Düktül font</u>	Kauçuk conta	Tümü	Küçük	0.5

Tablo 8.2'de yer alan Çap sütununda "küçük" ifadesi, 10 ila 30 cm arasındaki içme suyu borularını, "büyük" ifadesi ise 40 cm ve daha geniş çaplı içme suyu borularını temsil etmektedir.

8.2. JICA Tarafından Geliştirilen Hasar Fonksiyonları

JICA (Japan International Cooperation Agency) tarafından geliştirilen kırılma eğrileri, Japonya ve diğer ülkelerdeki altyapı sistemlerinin deprem riskini değerlendirmede kullanılan önemli araçlardır. Su dağıtım sistemleri, kanalizasyon sistemleri, gaz boru hatları ve elektrik hatları gibi kritik altyapı bileşenlerinin sismik dayanıklılığını belirlemek amacıyla oluşturulan bu eğriler, Japonya'da meydana gelen büyük depremlerden ve uluslararası veri setlerinden elde edilen hasar verileri ile zemin

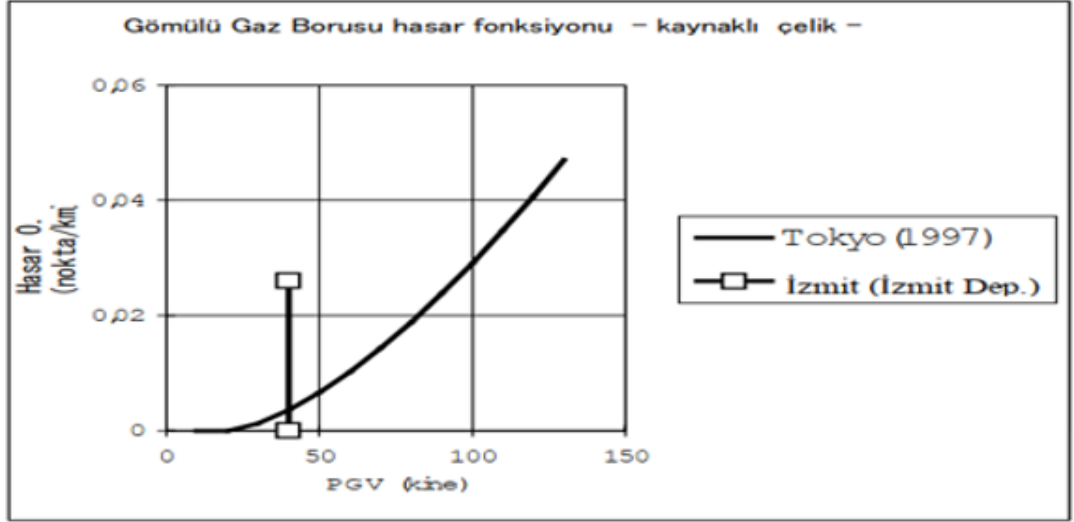
hareketi parametrelerine dayanmaktadır. JICA kırılmalık eğrileri, belirli bir yer hareketi seviyesi (örneğin, PGA, PGV) karşısında altyapı bileşenlerinin belirli bir hasar seviyesine ulaşma olasılığını modellemekte olup, kapsamlı saha incelemeleri, hasar raporları ve sismik ölçümler gibi çeşitli kaynaklardan toplanan geniş çaplı veri setlerine dayanmaktadır. Bu eğriler, deprem risk değerlendirmelerinde, hasar tahminlerinde ve acil durum planlamalarında etkin bir şekilde kullanılmakta; ayrıca altyapı projelerinde risk azaltma stratejilerinin geliştirilmesi ve mevcut sistemlerin güçlendirilmesi süreçlerinde kritik bir rol oynamaktadır. Uluslararası işbirliği yoluyla bilgi ve veri paylaşımını teşvik eden JICA kırılmalık eğrileri, küresel deprem risk yönetimi çalışmalarına da önemli katkılar sunmaktadır. Sonuç olarak, bu eğriler, altyapı sistemlerinin deprem riskini anlamak ve yönetmek için hayati bir öneme sahip olup, sismik dayanıklılığın değerlendirilmesi ve deprem sonrası toparlanma süreçlerinin hızlandırılması açısından yaygın olarak kullanılmakta ve deprem risk yönetimi çerçevesinde önemli bir referans kaynağı olarak kabul edilmektedir.

8.2. 1. Japon Su İşleri Hasar Göretilirlik Fonksiyonları

Japon Su İşleri Birliğı (Japan Water Works Association - JWWA), su dağıtım sistemlerinin depremlerden kaynaklanan hasarlarını değerlendirmek ve tahmin etmek amacıyla çeşitli hasar fonksiyonları geliştirmiştir. Bu fonksiyonlar, boru hatlarının depremlere karşı dayanıklılığını artırmayı ve deprem sonrası oluşabilecek hasarları en aza indirmeyi hedeflemektedir. JWWA'nın geliştirdiğı hasar fonksiyonları, boru türleri, bağlantı şekilleri, boru malzemeleri ve boruların yer aldığı zemin koşulları gibi farklı değişkenleri göz önünde bulundurarak, altyapı sistemlerinin sismik dayanıklılığını analiz etmektedir. Tokyo Büyükşehir Bölgesi Afet Önleme Konseyi (1997) ve Japon Su İşleri Birliğı (1998), özellikle gömülü doğalgaz boru hatları ve su hatları için, yer hareketi parametrelerinden biri olan PGV'ye (Peak Ground Velocity) dayalı iki ayrı hasar fonksiyonu formülü geliştirmiştir. Bu fonksiyonlar, altyapı sistemlerinin deprem risk yönetimi ve dayanıklılık stratejilerinin oluşturulmasında kritik bir rol oynamaktadır.

8.2.1.1. Doğalgaz Boru Hatları İçin Hasar Görebilirlik Fonksiyonları

Tokyo Büyükşehir Bölgesi Afet Önleme Konseyi (1997)'nin hasar fonksiyonu aşağıda Şekil 8.2' de gösterilmiştir.



Şekil 8.2: Kaynaklı çelik gaz boru ve PGV arasındaki ilişki.

İstanbul için hasar fonksiyonu, Tokyo Büyükşehir Bölgesi Afet Önleme Konseyi (1997) temel alınarak aşağıdaki şekilde formüle edilmiştir:

$$R_m(PGV) = R(PGV) \times C_p \times C_g \times C_l \quad (8.2)$$

$R_m(PGV)$: Hasar Oranı (nokta/km)

PGV: En Yüksek Zemin Hızı (kine=cm/sn)

$$R(PGV) = 3.11 \times 10^{-3} \times (PGV-15)^{1.3} \quad (8.3)$$

C_p : Boru Hattı Malzemesi Katsayısı,

0.01 Çelik

0.00 Polietilen

C_g : Zemin Durum Katsayısı,

1.5 Yd, Sd, Ym

0.0 Qal, Ksf, Oa, Q

0.4 Diğer

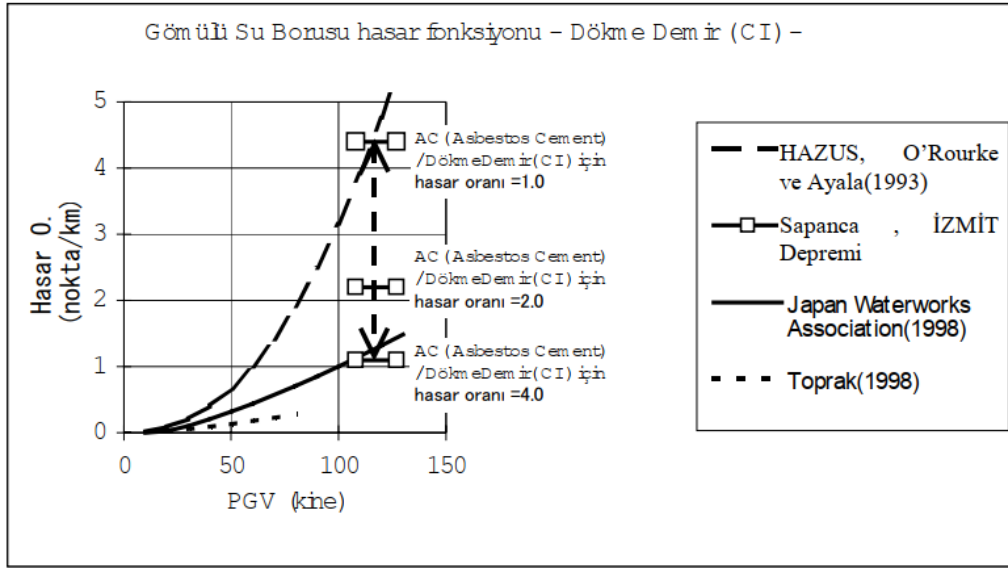
CI: Sıvılaşma Katsayısı,

1.0 Ym, Yd, Sd, Qal, Ksf, Oa, Q

1.0 Diğer

8.2.1.2. Su Boru Hatları İçin Hasar Görebilirlik Fonksiyonları

Boru hatlarındaki hasar ile sismik parametreler, özellikle en yüksek yer hızı (PGV) ve en yüksek yer ivmesi (PGA) arasındaki ilişki, birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Kubo ve Katayama (1975), Japonya, ABD ve Nikaragua'daki içme suyu şebekesi hasar oranları ile PGA arasındaki ilişkiyi araştıran ilk çalışmalardan birini gerçekleştirmiştir. 1995 Kobe Depremi, şehirdeki içme suyu boru hatlarında meydana gelen ciddi hasarlarla, bu ilişkiyi incelemek için bilinen en önemli örneklerden birini sunmuş ve hasar dağılımı ile sismik aktivite detaylı olarak analiz edilmiştir. Isoyama (1998), boru hasarları ile sismik hareket, boru malzemesi ve zemin koşulları arasındaki ilişkiyi inceleyerek PGV'nin, PGA'ya kıyasla daha iyi bir korelasyon gösterdiğini ortaya koymuştur. Japon Su İşleri Birliği (1998), bu bulgular doğrultusunda "İçme Suyu Boru Hatları için Sismik Hasar Hesaplama Prosedürü" başlıklı bir rapor yayınlamıştır. Ayrıca, Toprak (1998), 1994 Northridge Depremi'ni analiz ederek, PGV'nin boru hasar oranları ile en güçlü ilişkiyi gösterdiğini, PGA'nin ise ikinci en iyi ilişkiyi sunduğunu tespit etmiştir. Tüm bu çalışmalar doğrultusunda, boru hasarlarının hesaplanmasında sismik parametre olarak PGV'nin en uygun gösterge olduğu belirlenmiştir. **Şekil 8.3**, Japon Su İşleri Birliği (1998) ve Toprak (1998) tarafından yeraltı dökme demir (CI) su boruları için geliştirilen ve HAZUS99 (FEMA, 1999) hasar fonksiyonlarını içeren modelleri göstermektedir.



Şekil 8.3: Dökme Demir (CI) Su boru hasarları ile PGV arasındaki ilişki.

İstanbul için hasar fonksiyonu, Japon Su İşleri Birliği (1998) tarafından geliştirilen hasar fonksiyonuna dayanarak aşağıdaki gibi formüle edilmiştir:

$$R_m(PGV) = R(PGV) \times C_p \times C_d \times C_g \times C_l \quad (8.4)$$

$R_m(PGV)$: Hasar Oranı (nokta/km)

PGV: En Yüksek Zemin Hızı (kine=cm/sn)

$$R(PGV) = 3.11 \times 10^{-3} \times (PGV-15)^{1.3} \quad (8.5)$$

C_p : Boru Hattı Malzemesi Katsayısı,

1.0 Beton

0.3 Çelik

0.3 Düktil Demir

1.0 Galvanize Demir

0.1 Polietilen

0.0 Yüksek Yoğun Polietilen

C_d : Boru Hattı Çapı Katsayısı,

1.6 90 mm'den az

1.0 100-175 mm arası

0.8 200-450 mm arası

0.5 500 mm'den faz

Cg: Zemin Durum Katsayısı,

1.5 Yd, Sd, Ym

1.0 Qal, Ksf, Oa, Q

0.4 Diğer

Cl: Sıvılaşma Katsayısı,

2.0 Ym, Yd, Sd, Qal, Ksf, Oa, Q

1.0 Diğer

8.3. O'Rourke Ve Deyoe(2004) Hasar Görebilirlik

Fonksiyonları

O'Rourke ve Deyoe'nin 2004 tarihli çalışmasında, 1994 Northridge Depremi sonrasında geliştirilen hasar ilişkileri ile HAZUS hasar ilişkisi arasındaki farklar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmada, veri tabanları arasındaki farklılıkların temel nedeninin sismik dalga türleri olduğu vurgulanmıştır. O'Rourke ve Deyoe, farklı dalga tiplerini tanımlamak için özel bir kriter geliştirmişler ve bu kriterle, 1985 Michoacan Meksika Depremi veri tabanında R dalgalarının baskın olduğunu, boru hatları tahminlerinde ise diğer veri noktalarının genellikle S dalgalarının etkisi altında olduğunu tespit etmişlerdir. Bu bulgu, hasar tahminlerinde dalga türlerinin dikkate alınmasının önemini ortaya koymuştur.

Araştırmada, PGV' ye bağlı olarak R ve S dalgaları kullanılarak yeni hasar ilişkileri oluşturulmuştur.

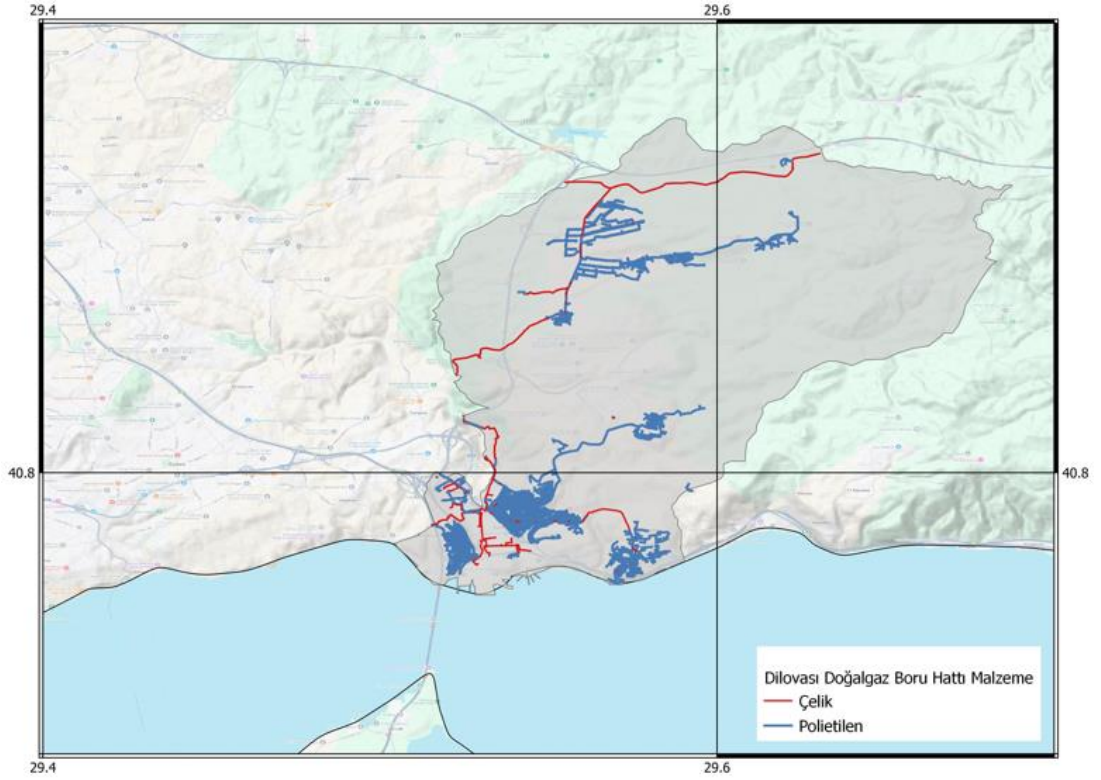
$$RR= 0.0035 \times PGV^{0.92} \quad S \text{ dalgası} \quad (8.6.a)$$

$$RR= 0.0034 \times PGV^{0.92} \quad P \text{ dalgası} \quad (8.6.b)$$

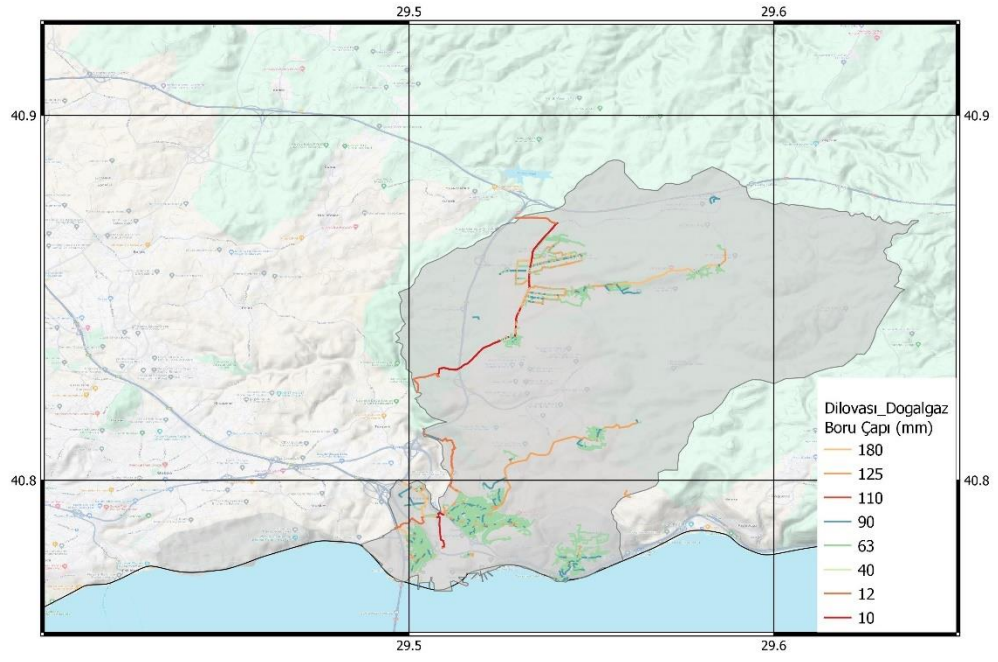
9. UYGULANAN YÖNTEM

9.1. Alt Yapı Verilerinin Tanımlanması

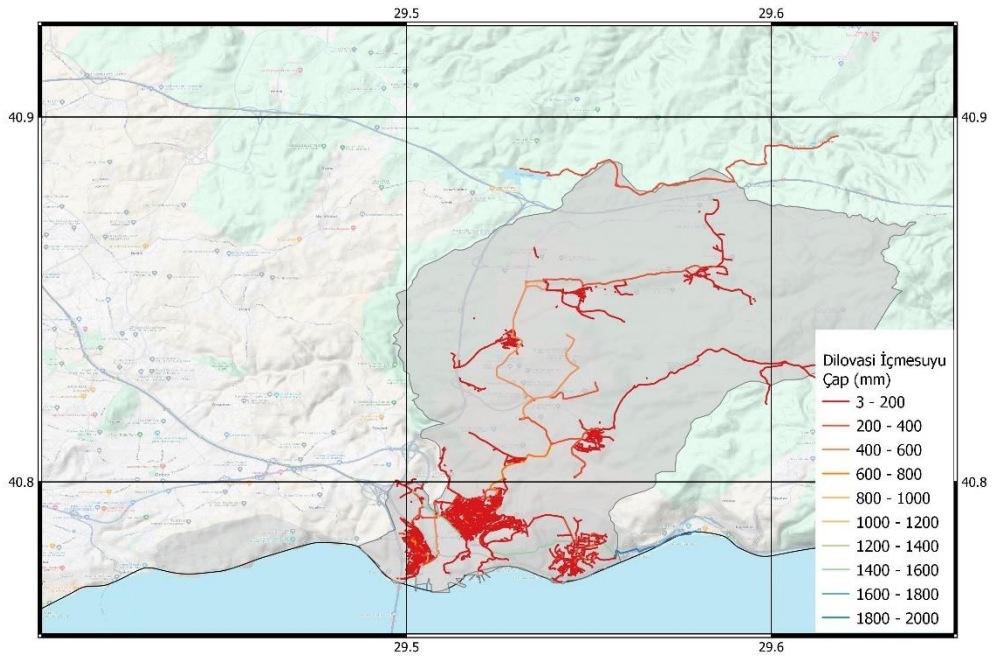
Dilovası ilçesinde bulunan doğalgaz ve su boru hatlarının sayısal verileri ilgili kurumlardan Netcad ortamında temin edilmiştir. Kurumlardan alınan veriler daha sonradan REDAS programında kullanılmak üzere shp dosyalarına çevrilmiştir.



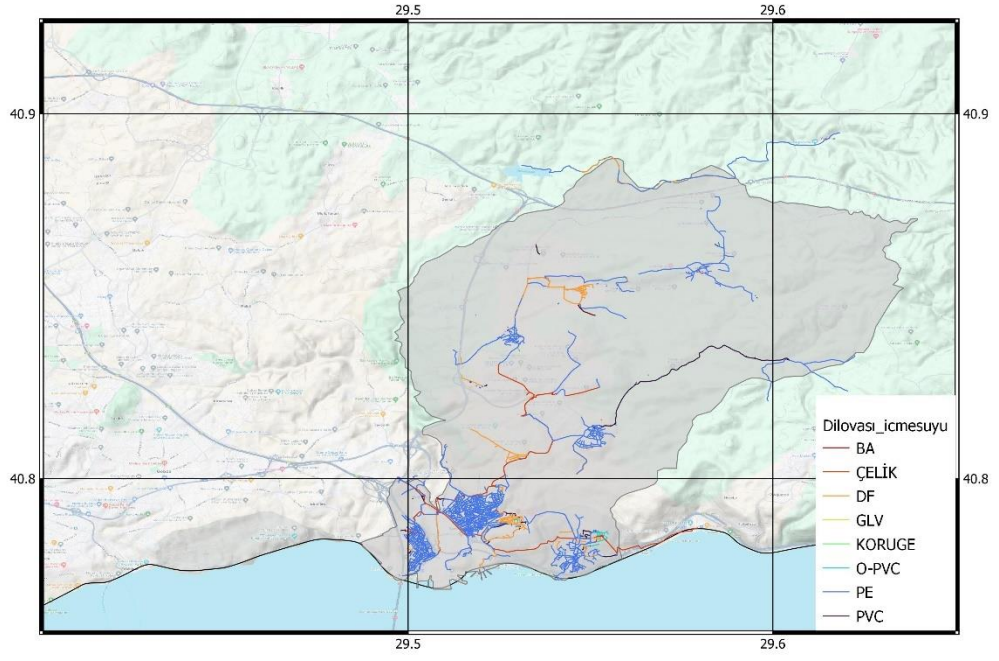
Şekil 9.1: Doğalgaz boru hatlarının malzeme türlerine göre veri tanımlaması.



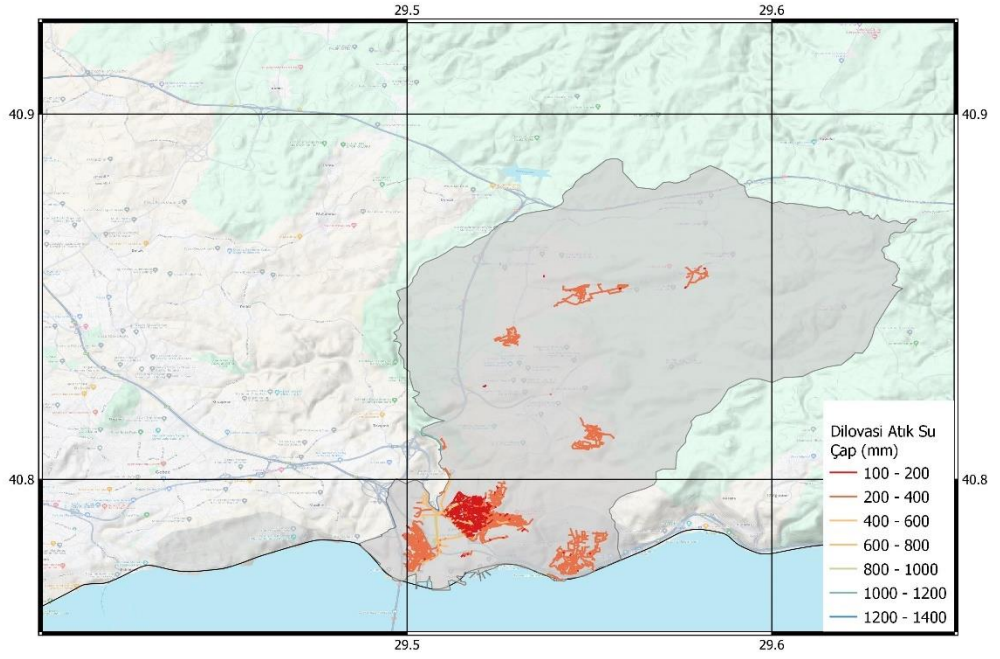
Şekil 9.2: Doğalgaz boru çaplarına göre veri tanımlaması.



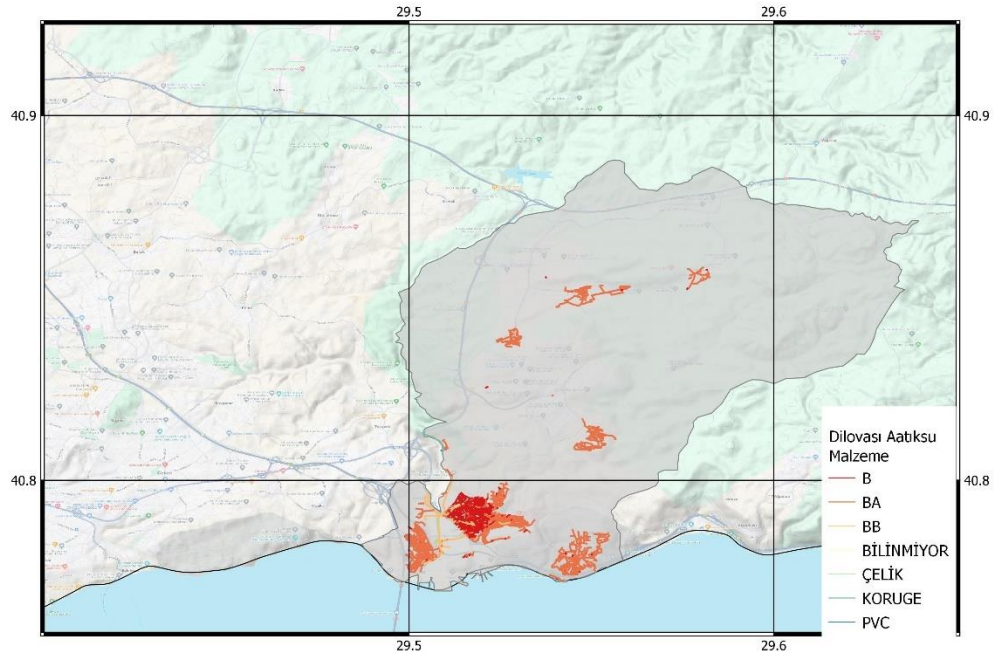
Şekil 9.3: İçme suyu boru çaplarına göre veri tanımlaması.



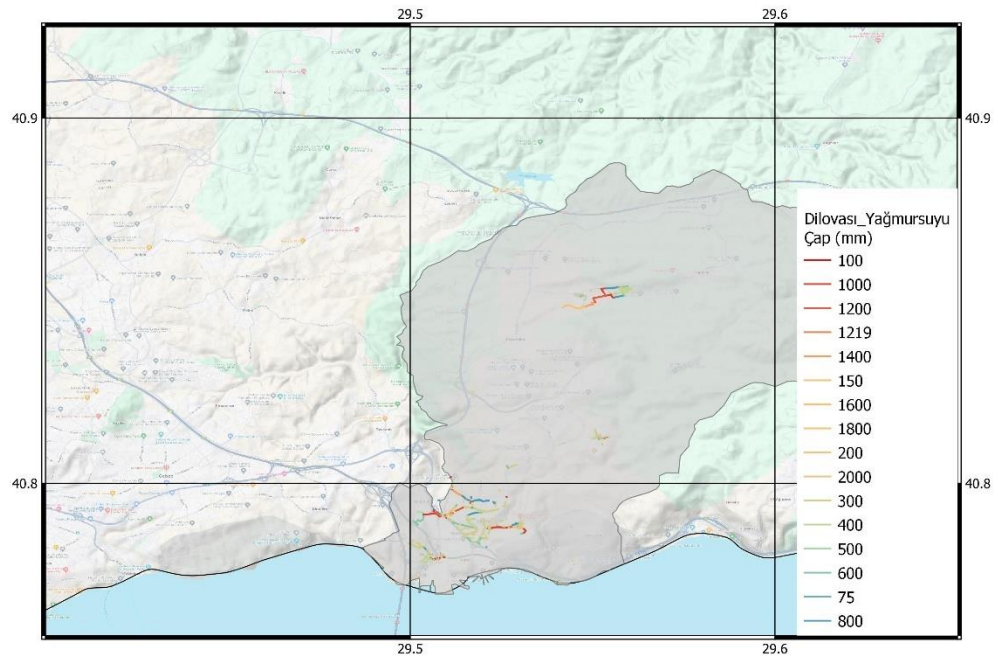
Şekil 9.4: İçme suyu boru malzemelerine göre veri tanımlaması.



Şekil 9.5: Atık su boru çaplarına göre veri tanımlaması.

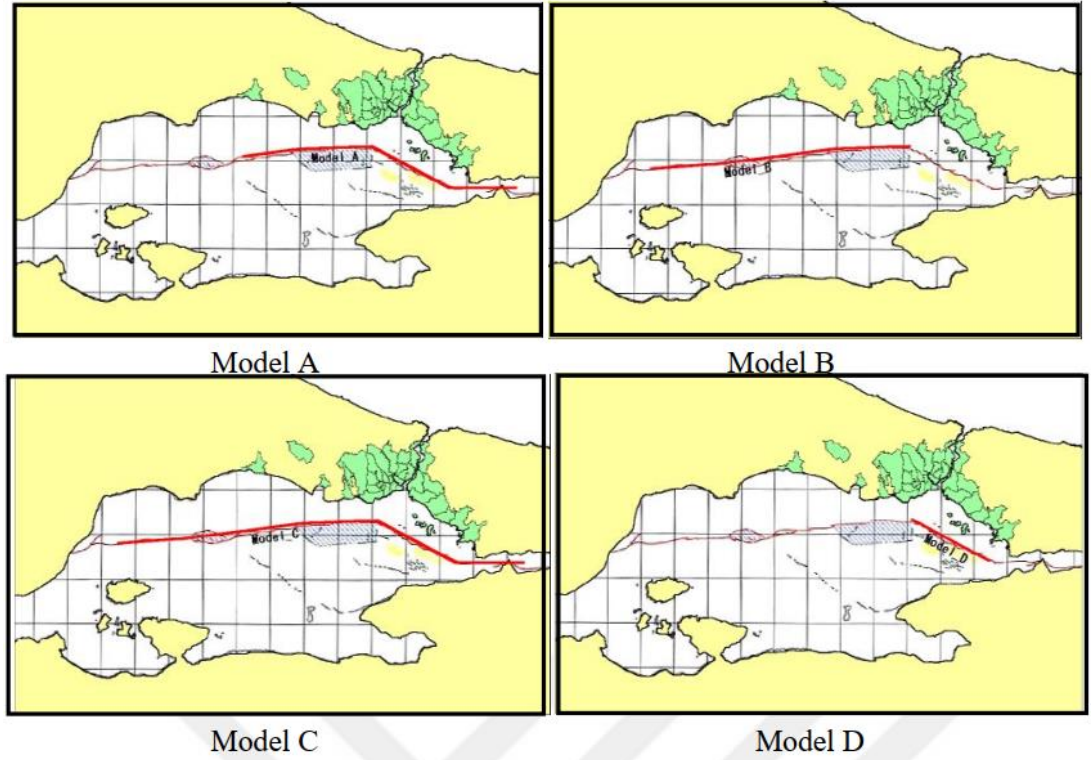


Şekil 9.6: Atık su boru malzemelerine göre veri tanımlaması.



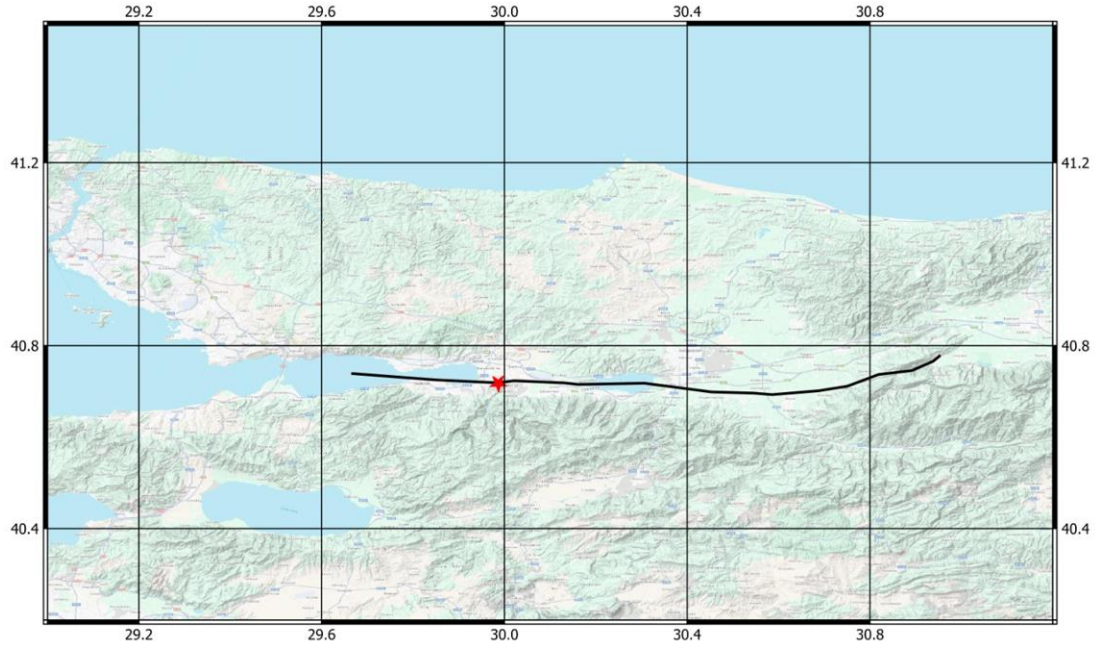
Şekil 9.7: Yağmur suyu boru çaplarına göre veri tanımlaması.

farklı senaryo deprem modeli oluşturulmuştur. Model A: Yaklaşık 120 km uzunluğundaki hat, 1999 İzmit depremi fayının batısından Silivri'ye kadar uzanır. Bu model, sismik aktivitenin batıya doğru ilerlemesi nedeniyle en yüksek olasılığa sahiptir ve moment büyüklüğünün 7.5 civarında olacağı tahmin edilmektedir. Model B: Yaklaşık 110 km uzunluğundaki hat, 1912 Mürefte-Şarköy depremi fayının doğu ucundan Bakırköy açıklarına kadar uzanır ve moment büyüklüğünün 7.4 civarında olacağı tahmin edilmektedir. Model C: Marmara Denizi'ndeki 170 km uzunluğundaki Kuzey Anadolu Fay Hattının aynı anda kırılacağını varsayar ve moment büyüklüğünün 7.7 civarında olacağı tahmin edilmektedir. Gerçekleşmesi durumunda, bu büyüklük bugüne kadar bölgede kaydedilmiş en yüksek aletsel büyüklüğe sahip olacaktır. Model D: Marmara Denizi'nin kuzeyinde devam eden fay hattının Çınarcık Çukuruna kuzeyden dik eğimle girdiği kabul edilmiştir. Yeni araştırmalar temel alınarak, Çınarcık Çukurunun kuzey yamacını izleyen bir normal faylanma modeli oluşturulmuştur. Bu fayın kırılması durumunda, moment büyüklüğünün 6.9 civarında olacağı öngörülmektedir. İstanbul için oluşturulan dört senaryo deprem modeli **Şekil 9.9'** da gösterilmektedir.

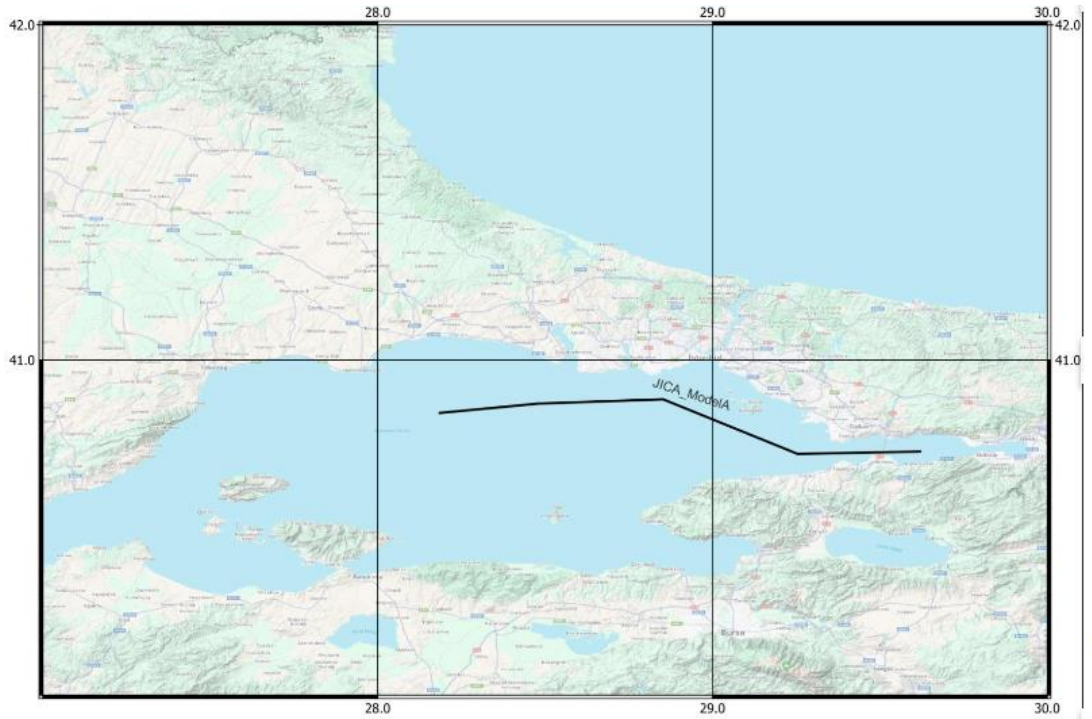


Şekil 9.9: JICA tarafından geliştirilen 4 farklı deprem senaryosu.

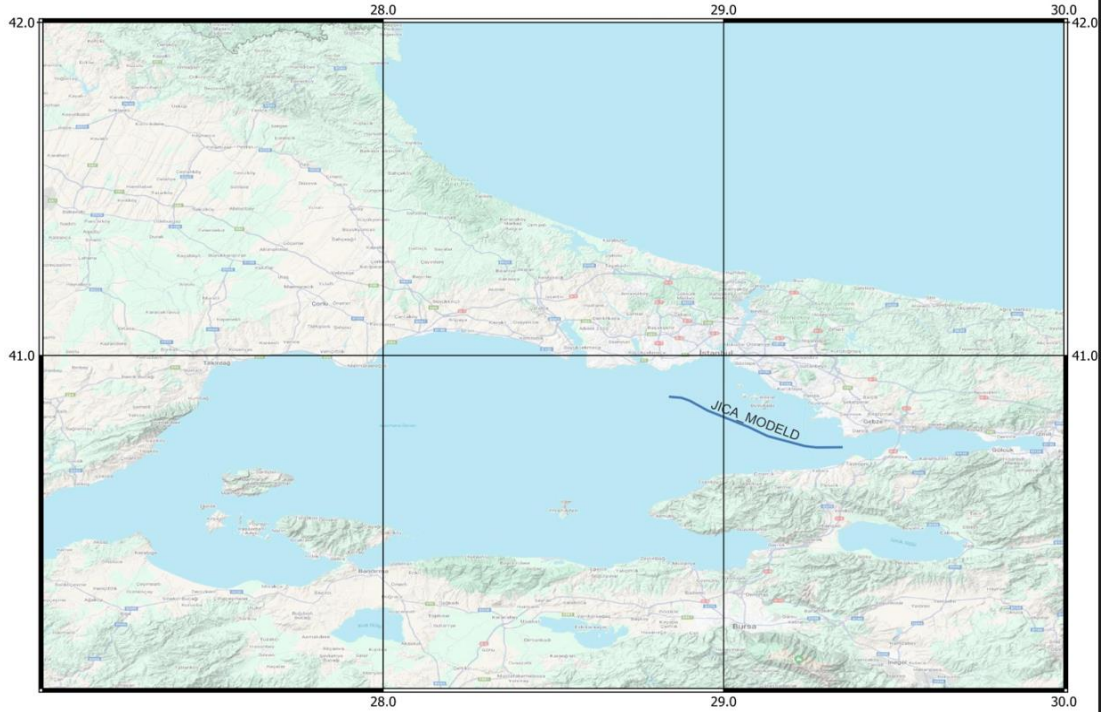
Tez çalışması kapsamında; Kocaeli 1999 depremi, JICA tarafından geliştirilen Model A ve Model D depremleri ile 3 farklı deprem senaryosu çalışılmıştır.



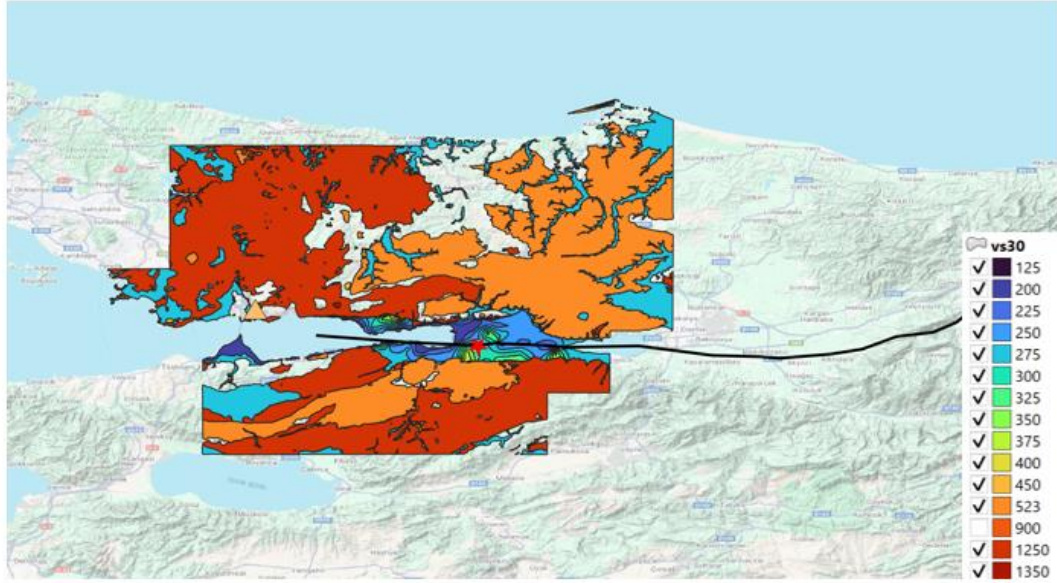
Şekil 9.10: 1999 Kocaeli Deprem Senaryosu.



Şekil 9.11: JICA Model A Deprem Senaryosu.

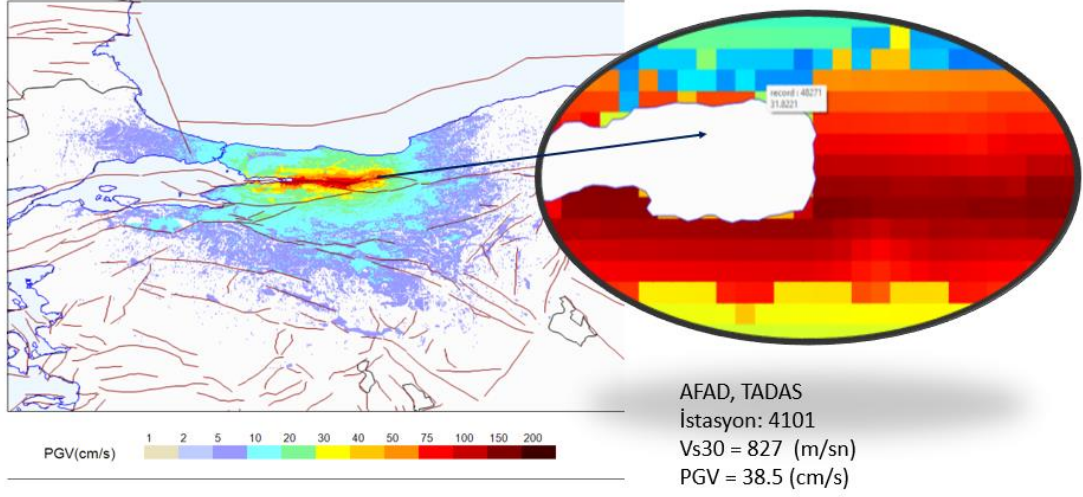


Şekil 9.12: JICA Model D Deprem Senaryosu.



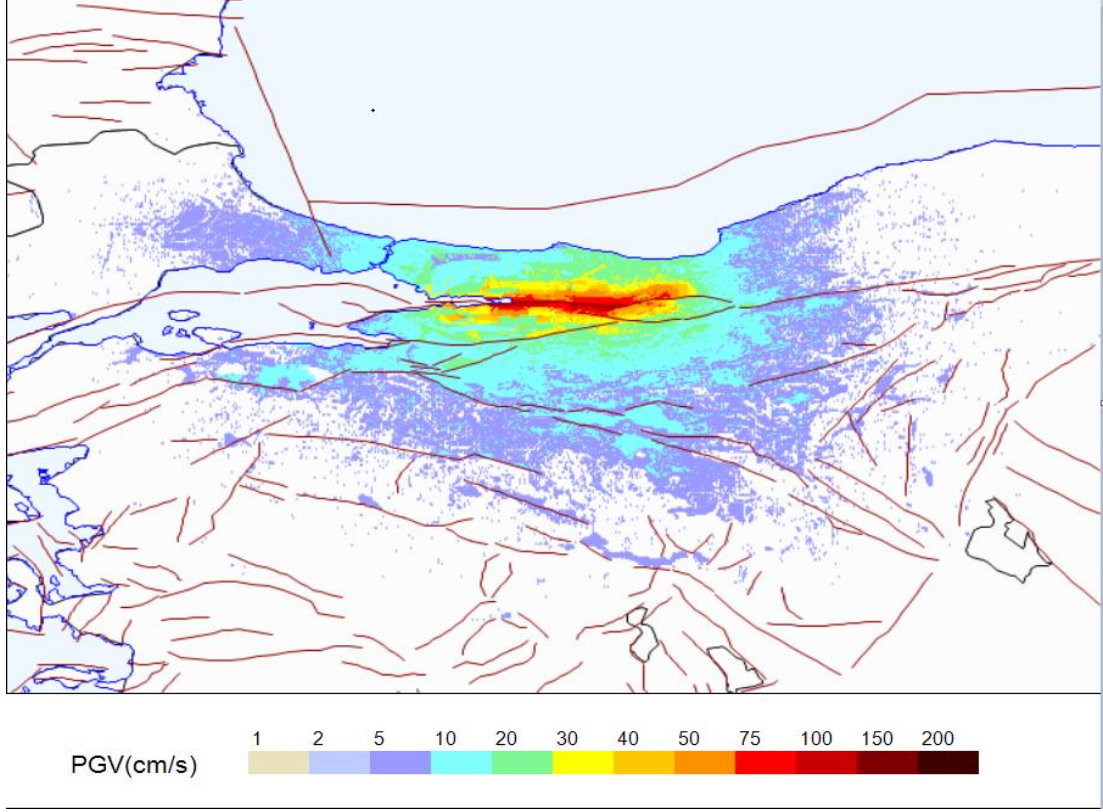
Şekil 9.13: Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Vs₃₀ Haritası.

Bu çalışma kapsamında, literatürde kabul görmüş, aktif tektonik bölgelerdeki yüzeysel depremlerden kaynaklanan yer hareketi parametrelerini tahmin etmek üzere güncellenmiş ASK;2014 (Abrahamson ve diğ. 2014), BSSA;2014 (Boore ve diğ. 2014), CB;2014 (Campbell ve Bozorgnia 2014), CY;2014 (Chiou ve Youngs 2014), Yer Hareketi Tahmin Denklemleri eşit ağırlıkta kullanılmıştır.

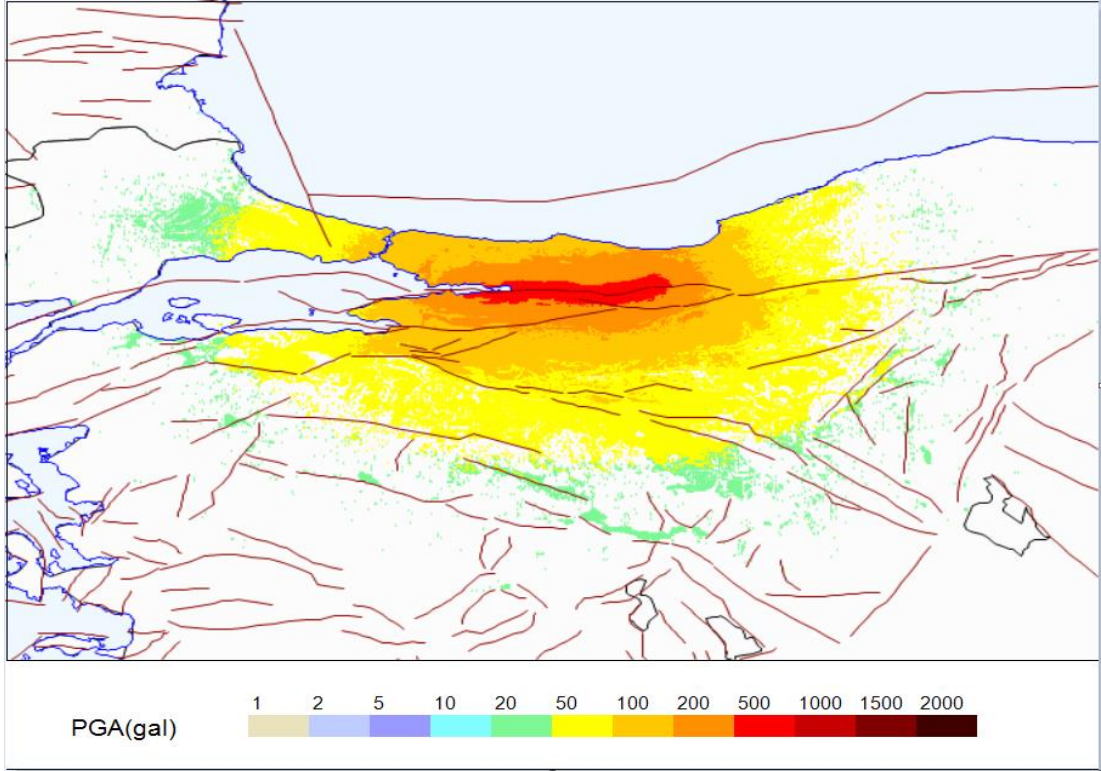


Şekil 9.14: AFAD, TADAS 4101 istasyonundan alınan V_{s30} ve PGV sismik tehlike sonuçları.

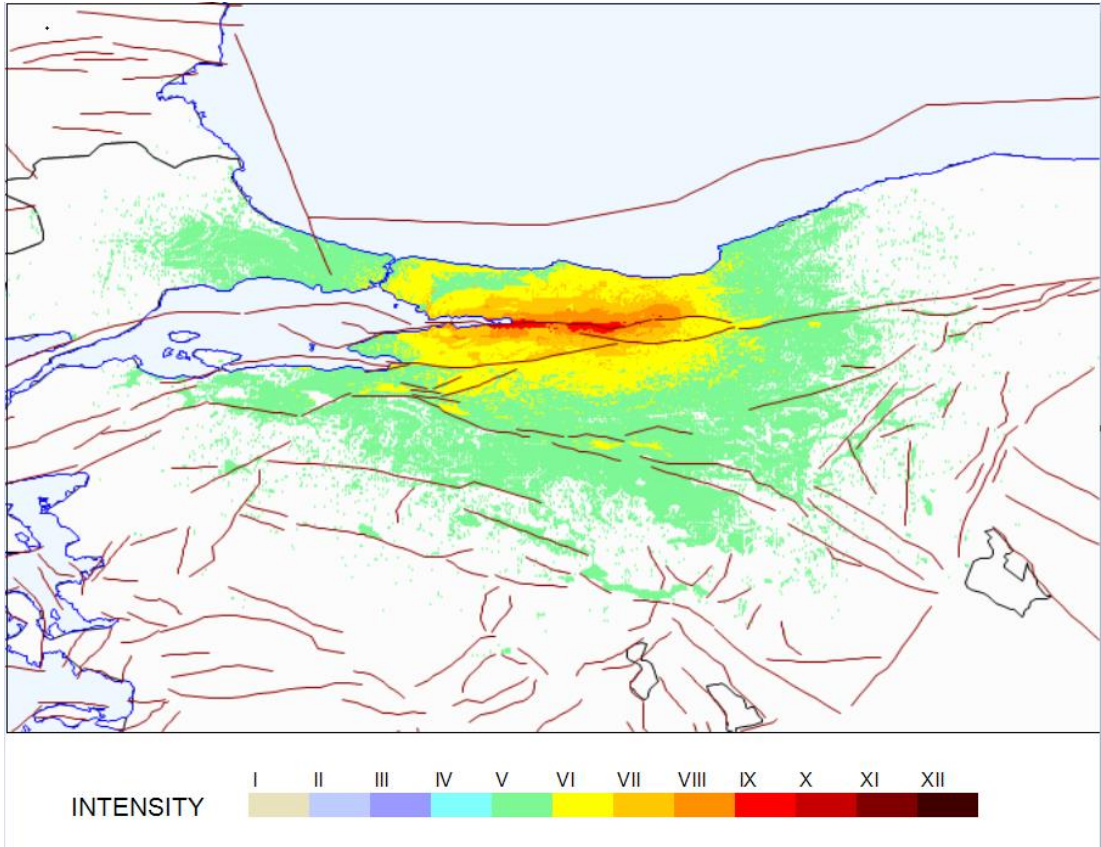
10. ANALİZ SONUÇLARI



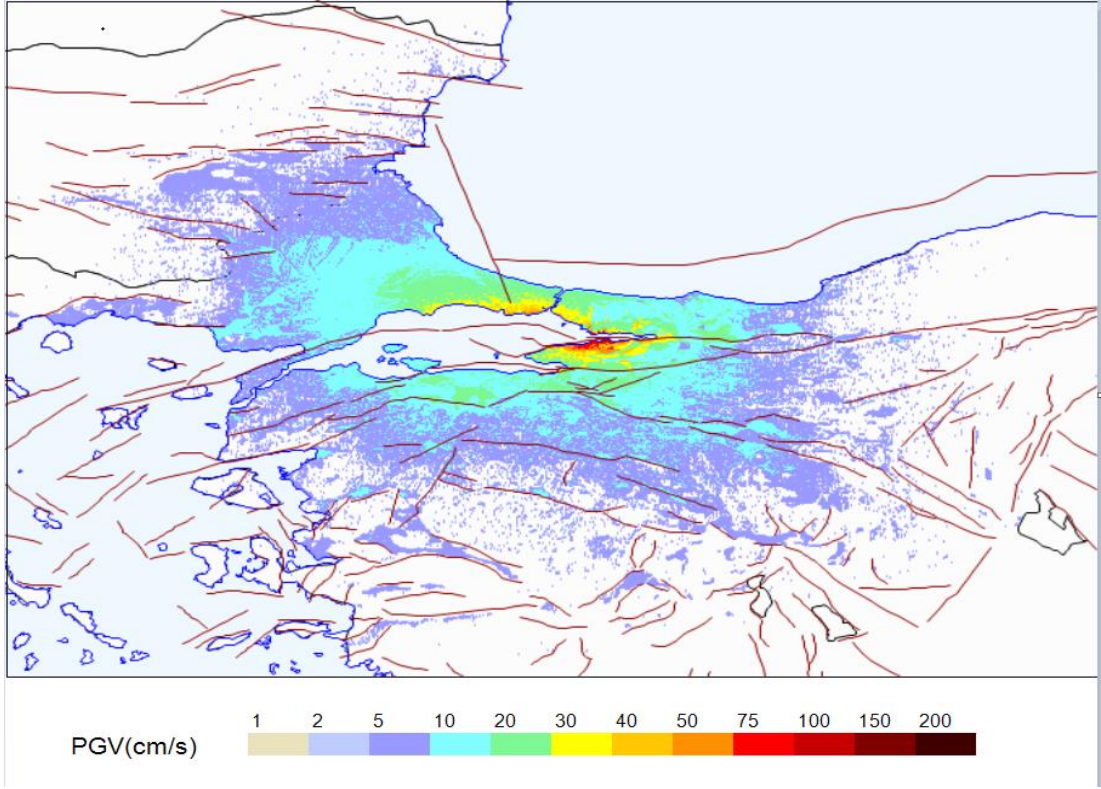
Şekil 10.1: 1999 Kocaeli Deprem senaryosuna göre PGV sismik tehlike haritası.



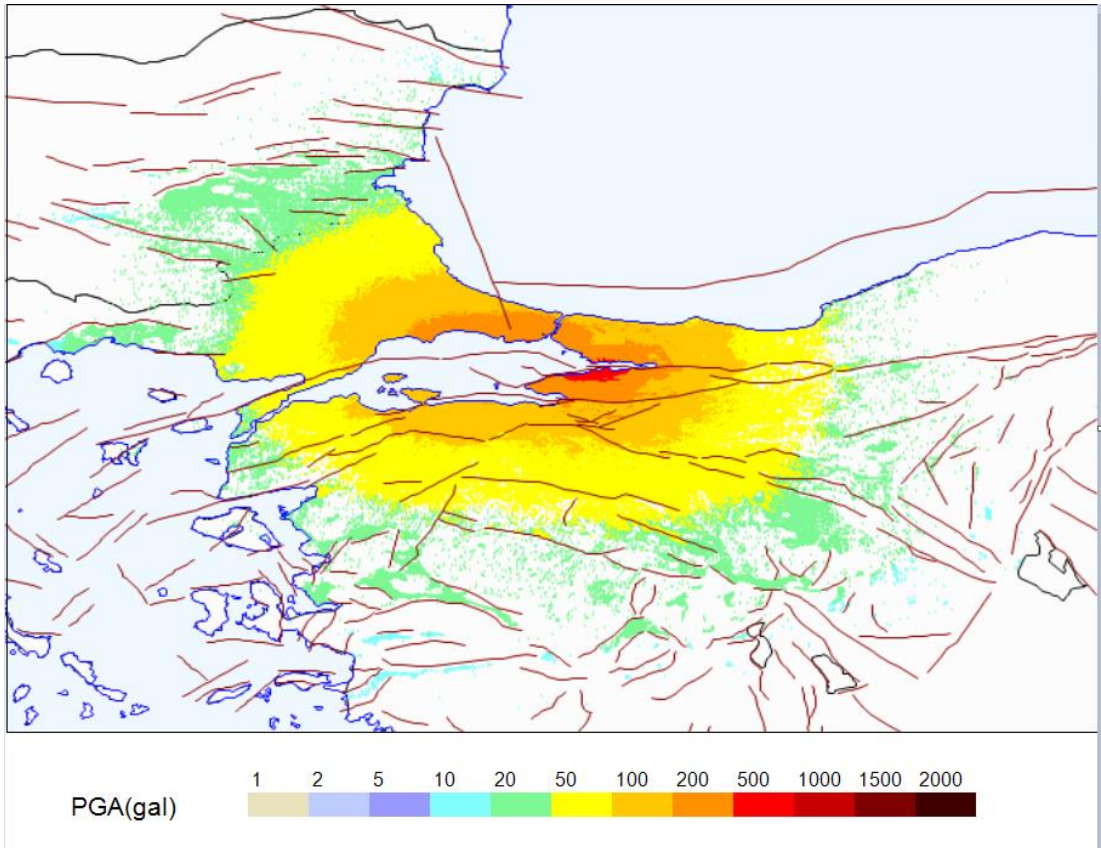
Şekil 10.2: 1999 Kocaeli Deprem senaryosuna göre PGA sismik tehlike haritası.



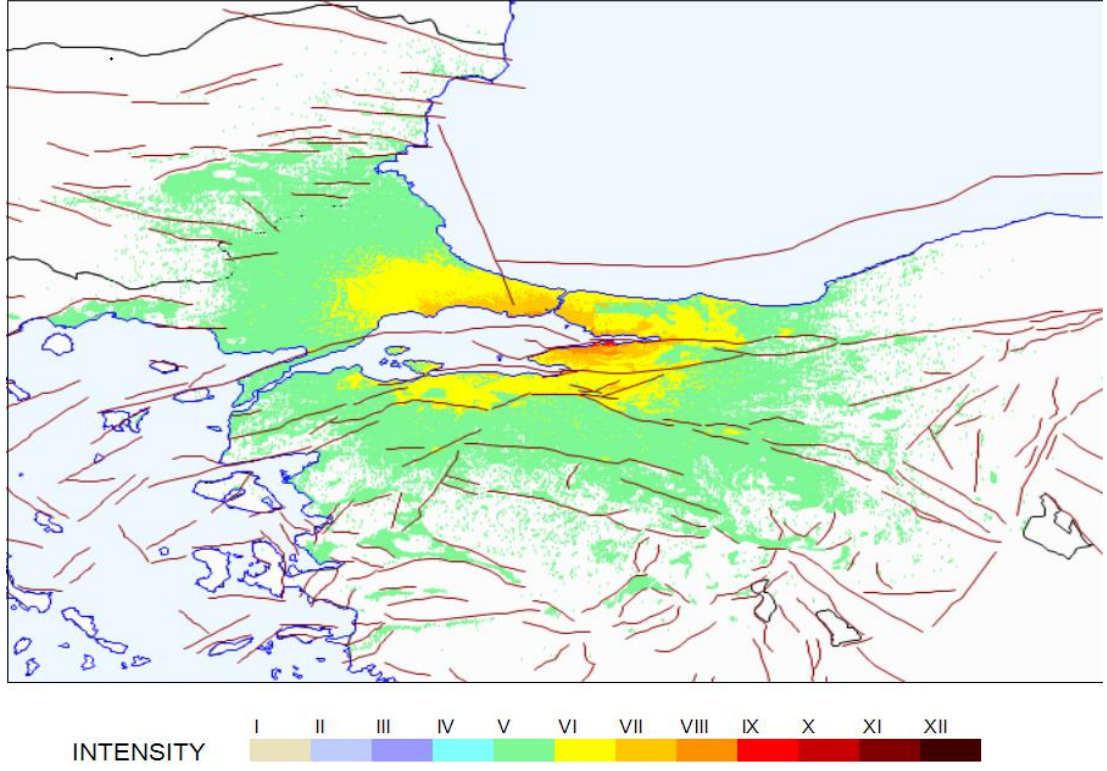
Şekil 10.3: 1999 Kocaeli Deprem senaryosuna göre sismik tehlike yoğunluk haritası.



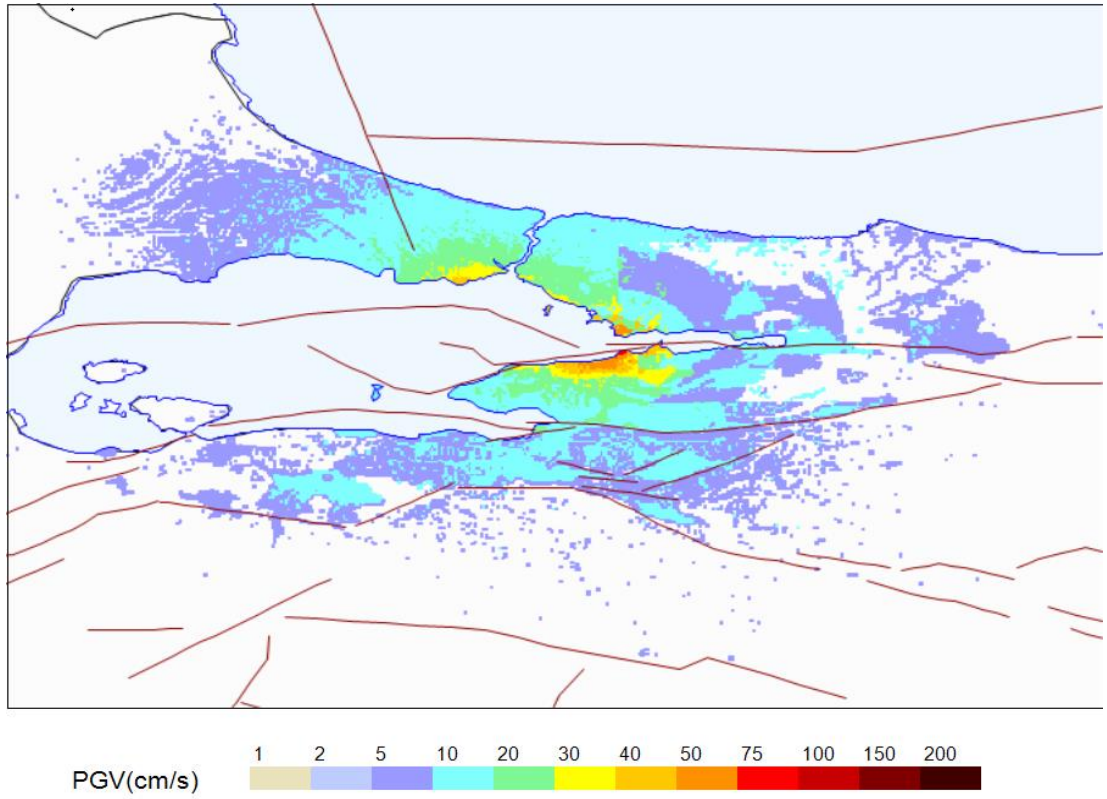
Şekil 10.4: JICA Model A Deprem senaryosuna göre PGV sismik tehlike haritası.



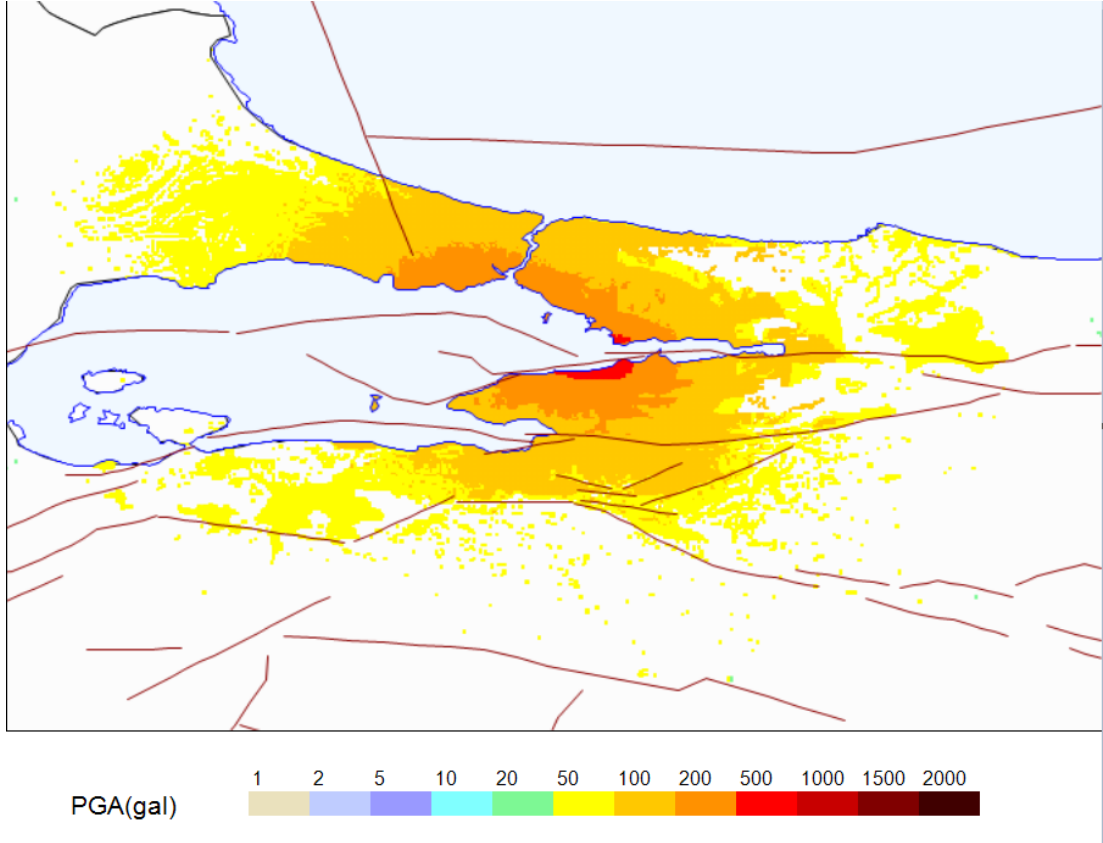
Şekil 10.5: JICA Model A Deprem senaryosuna göre PGA sismik tehlike haritası.



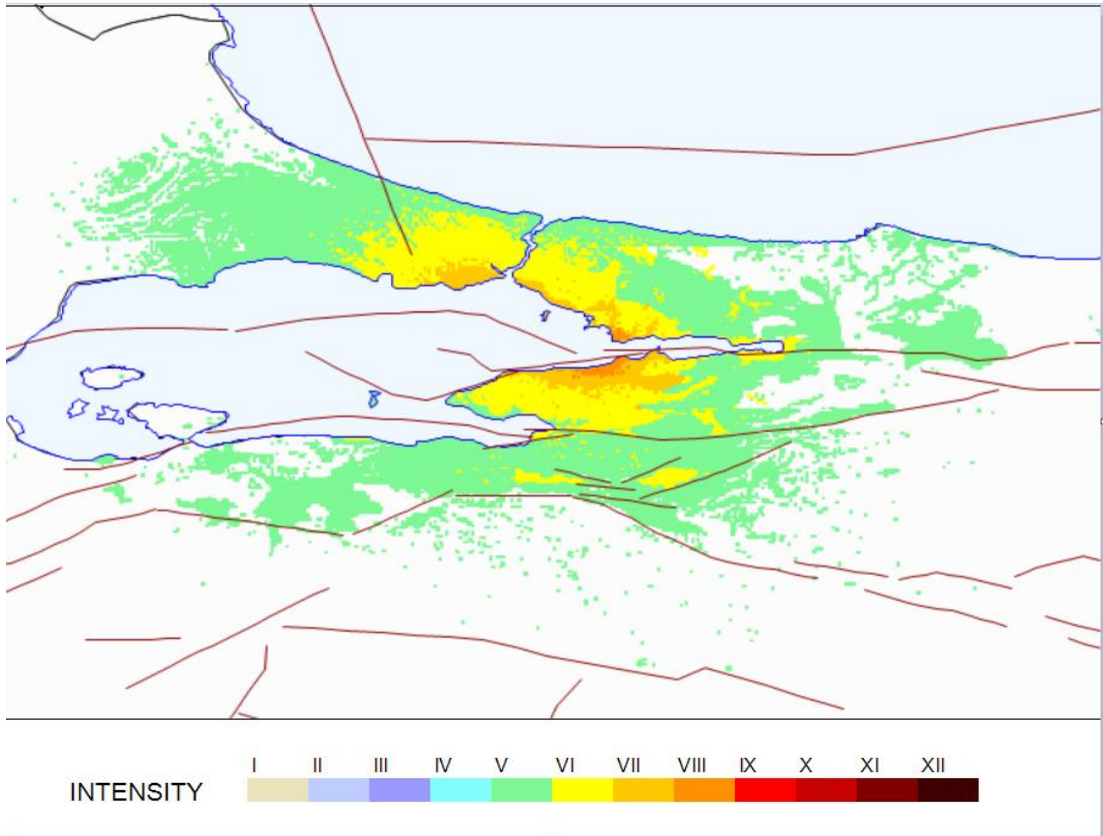
Şekil 10.6: JICA Model A Deprem senaryosuna göre yoğunluk sismik tehlike haritası.



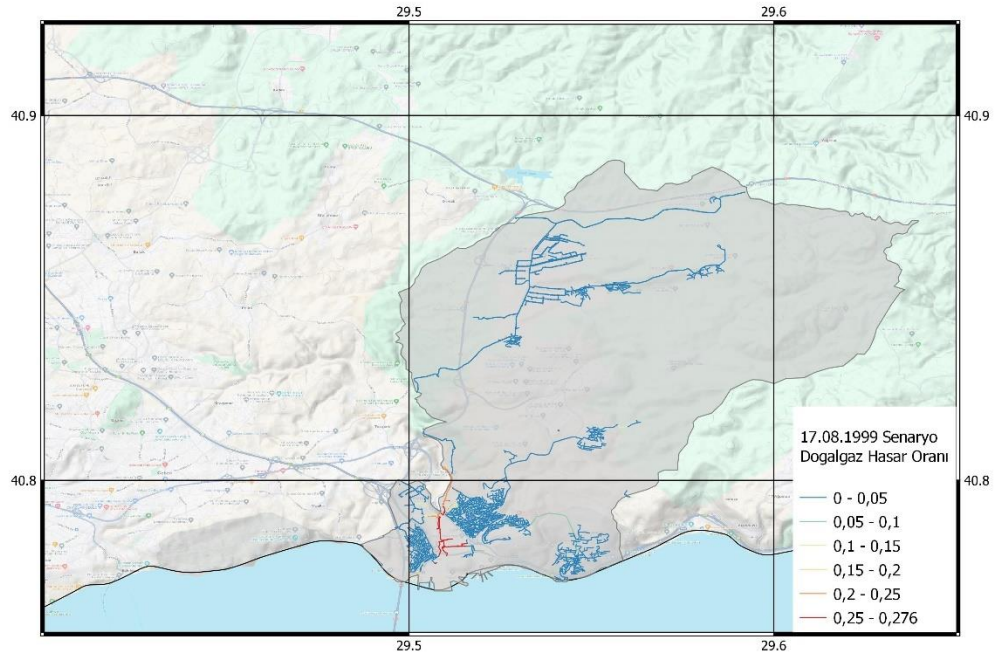
Şekil 10.7: JICA Model D Deprem senaryosuna göre PGV sismik tehlike haritası.



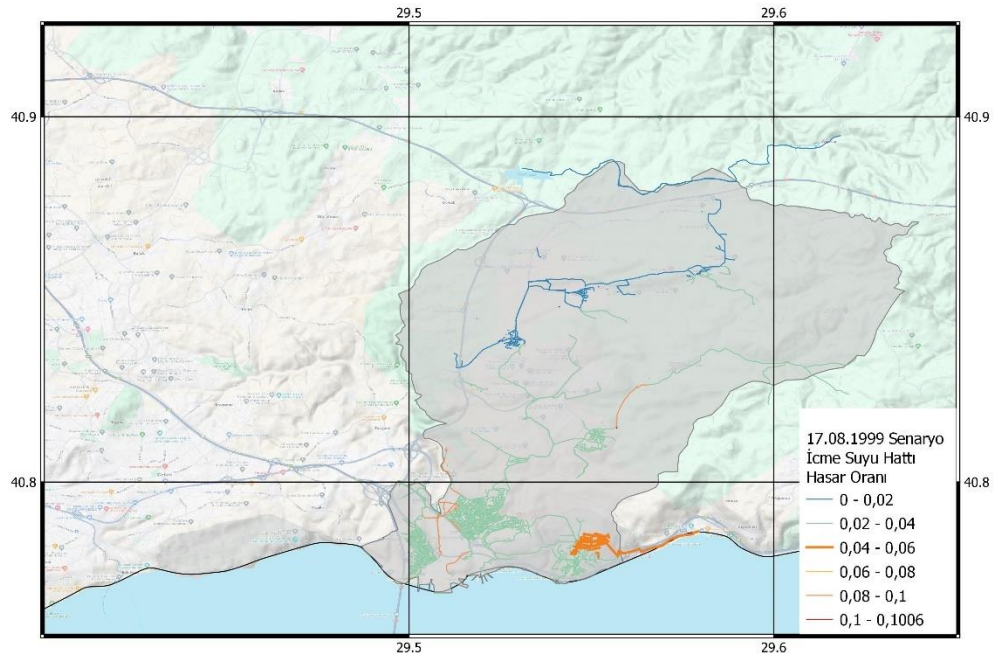
Şekil 10.8: JICA Model D Deprem senaryosuna göre PGA sismik tehlike haritası.



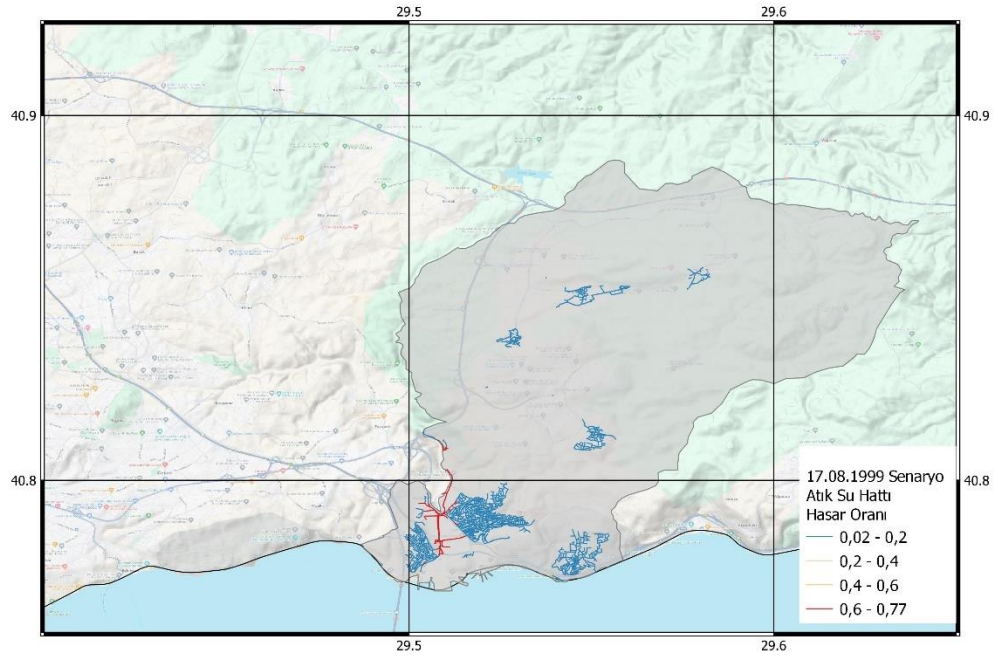
Şekil 10.9: JICA Model D Deprem senaryosuna göre yoğunluk sismik tehlike haritası.



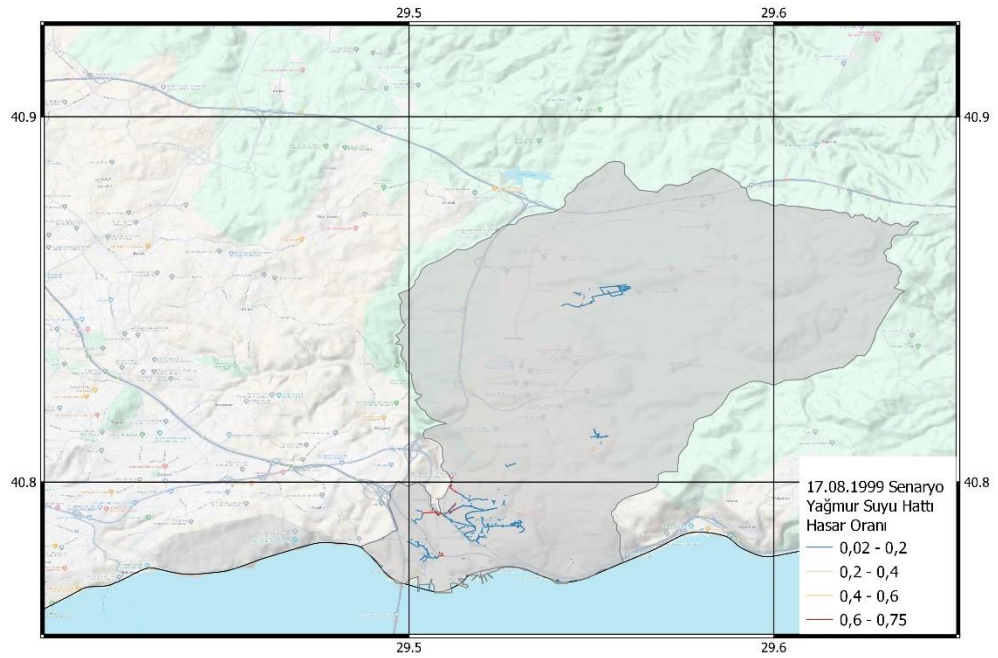
Şekil 10.10: 1999 Kocaeli deprem senaryosuna göre doğalgaz boru tiplerine göre hasar oranı haritası.



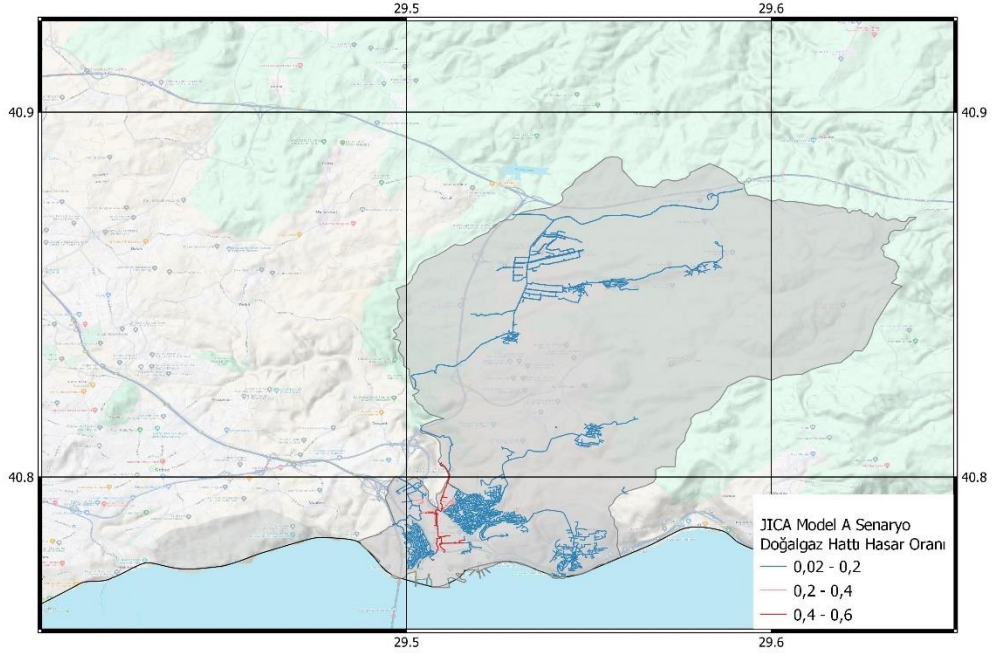
Şekil 10.11: 1999 Kocaeli deprem senaryosuna göre içme suyu boru tiplerine göre hasar oranı haritası.



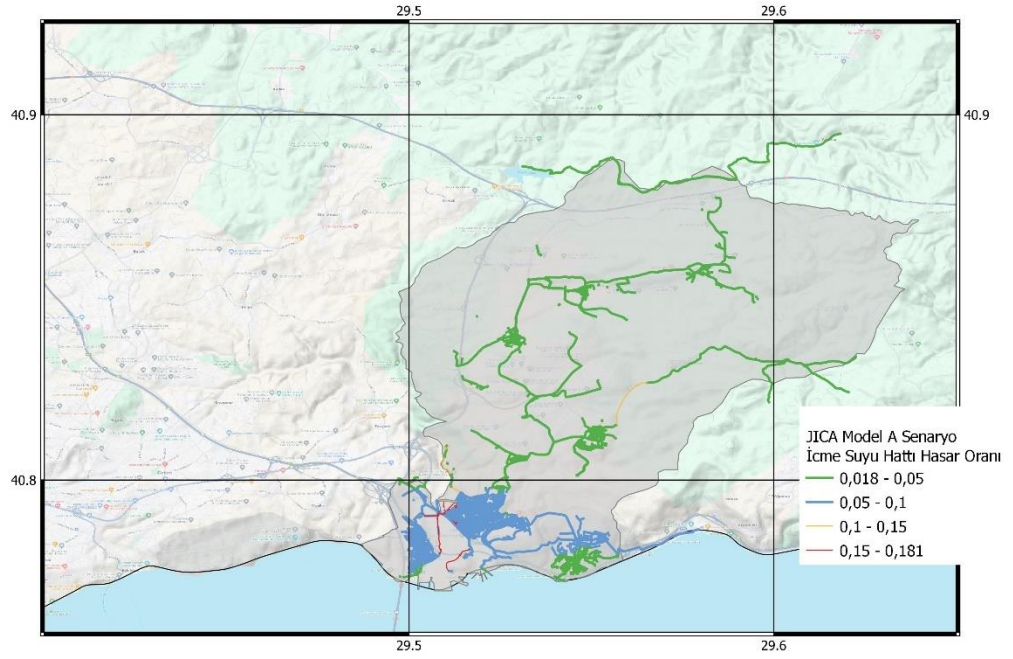
Şekil 10.12: 1999 Kocaeli deprem senaryosuna göre atık su boru tiplerine göre hasar oranı haritası.



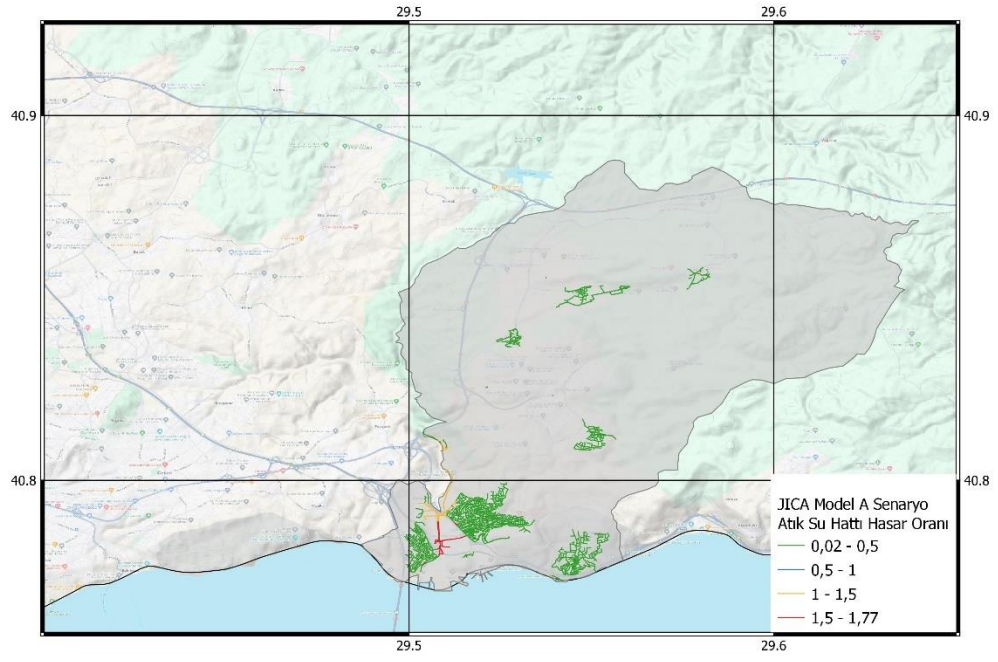
Şekil 10.13: 1999 Kocaeli deprem senaryosuna göre yağmursuyu boru tiplerine göre hasar oranı haritası.



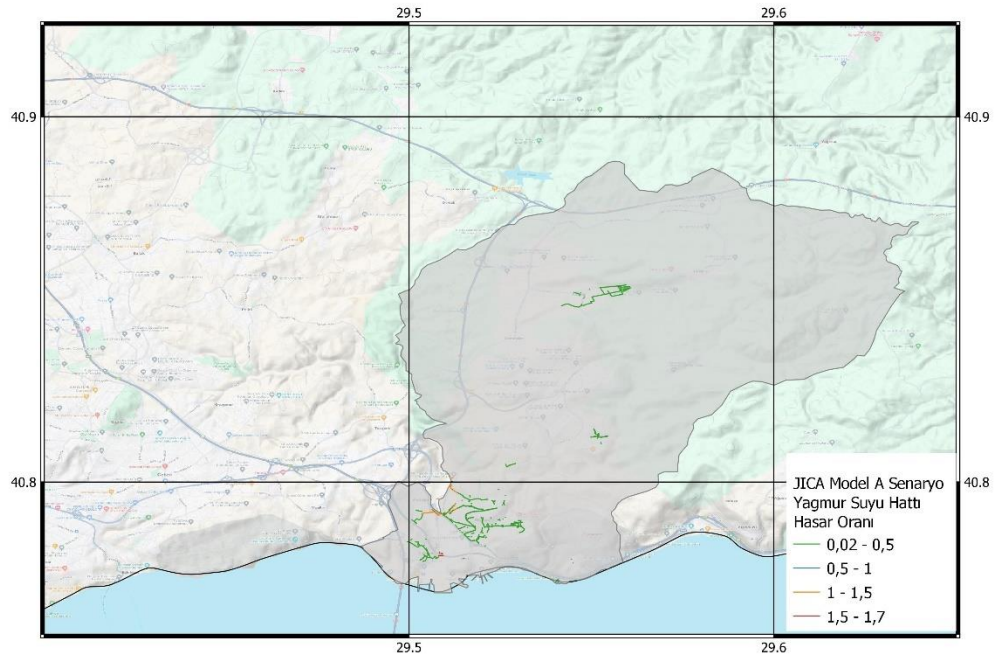
Şekil 10.14: JICA Model A deprem senaryosuna göre doğalgaz boru tiplerine göre hasar şekilleri haritası.



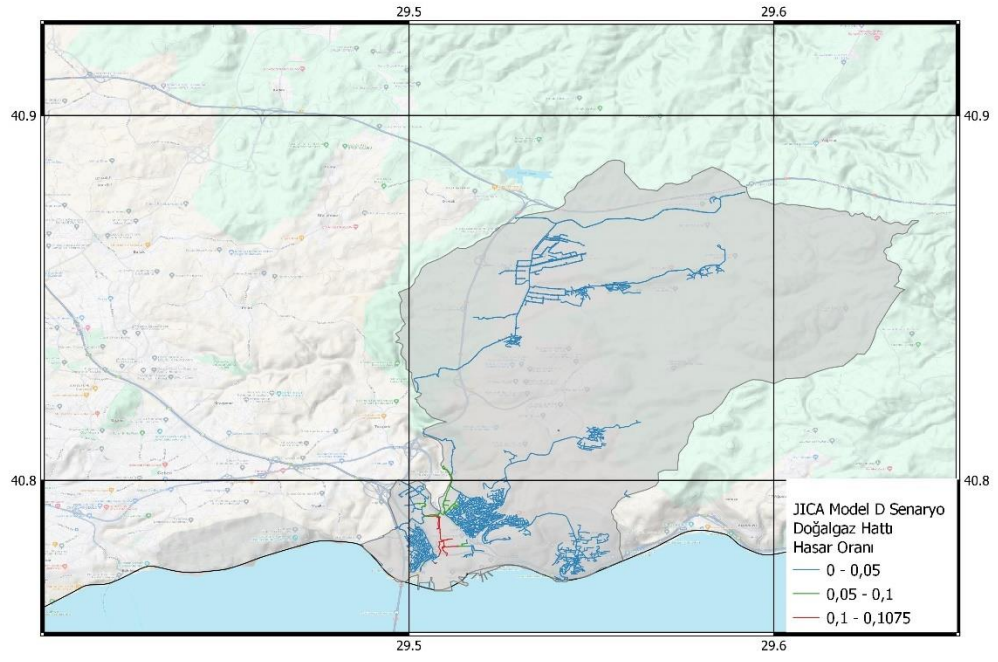
Şekil 10.15: JICA Model A deprem senaryosuna göre içme suyu boru tiplerine göre hasar şekilleri haritası.



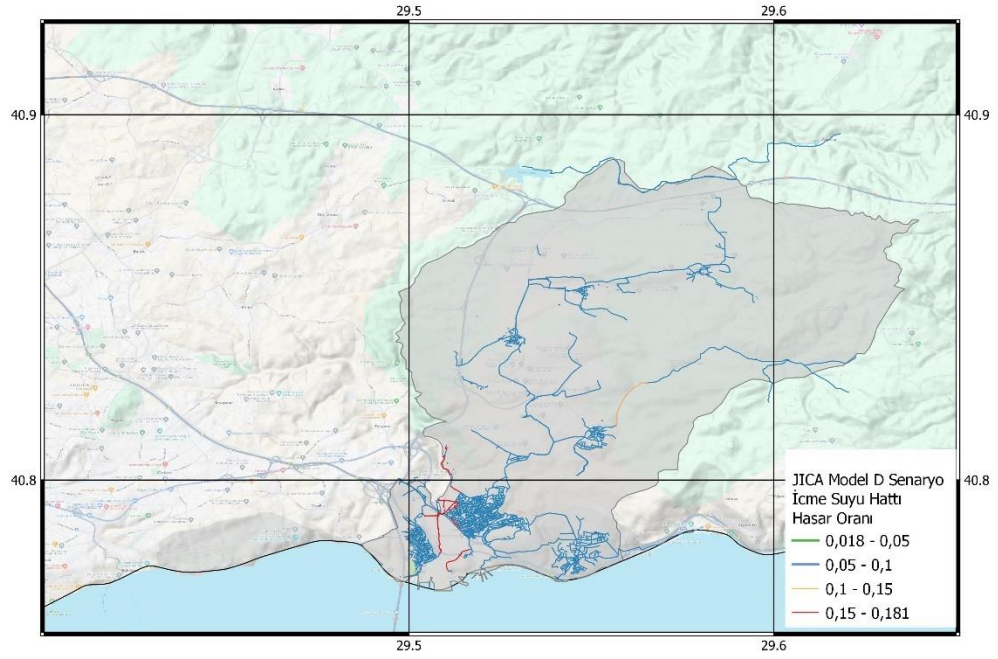
Şekil 10.16: JICA Model A deprem senaryosuna göre atık su boru tiplerine göre hasar şekilleri haritası.



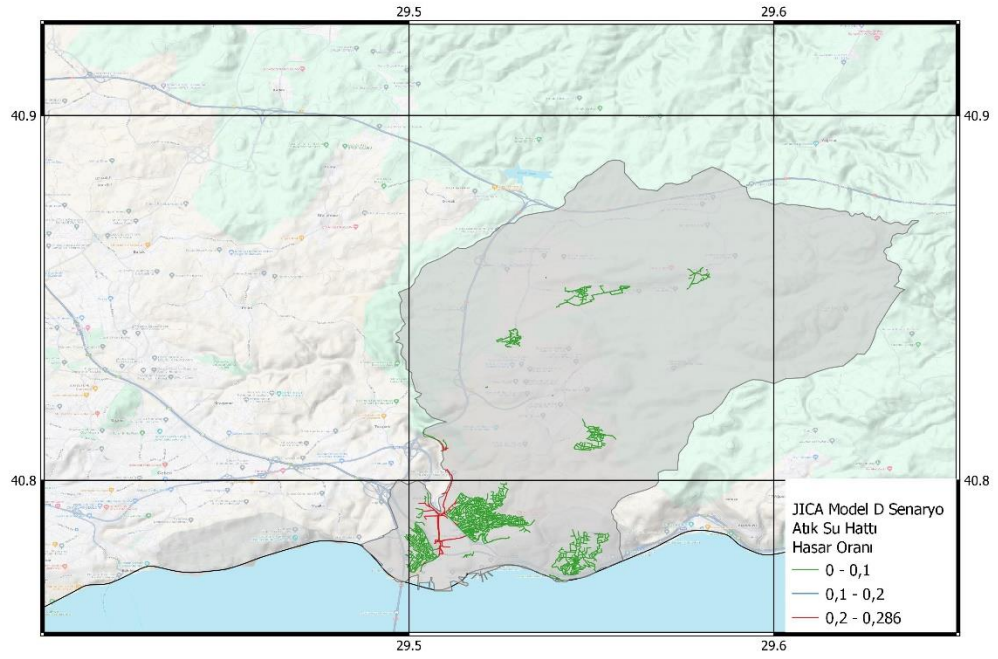
Şekil 10.17: JICA Model A deprem senaryosuna göre yağmursuyu boru tiplerine göre hasar şekilleri haritası.



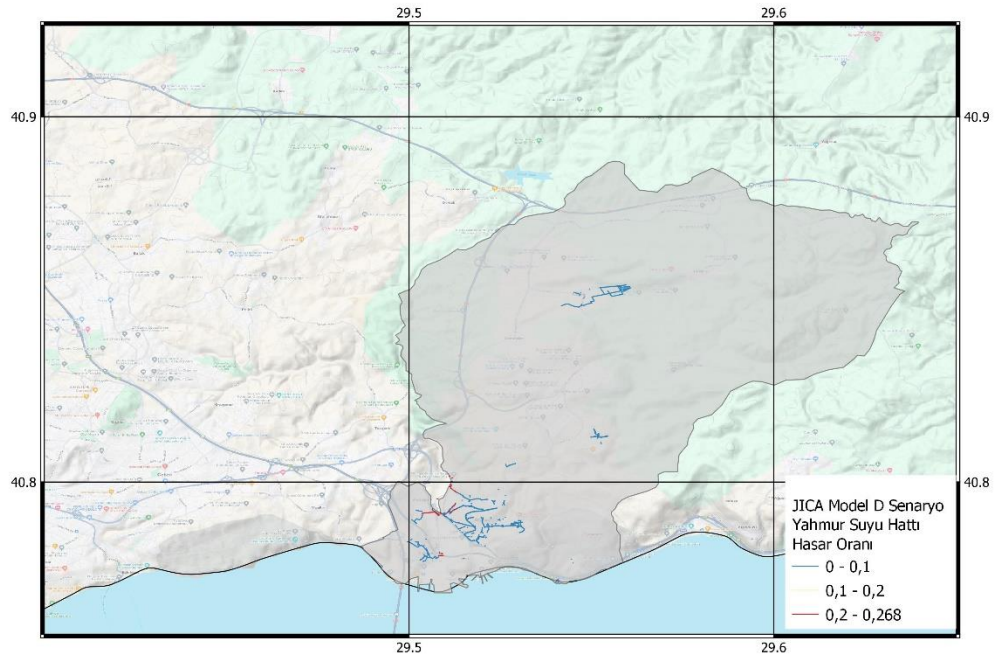
Şekil 10.18: JICA Model D deprem senaryosuna göre doğalgaz boru tiplerine göre hasar şekilleri haritası.



Şekil 10.19: JICA Model D deprem senaryosuna göre içme suyu boru tiplerine göre hasar şekilleri haritası.



Şekil 10.20: JICA Model D deprem senaryosuna göre atık su boru tiplerine göre hasar şekilleri haritası.



Şekil 10.21: JICA Model D deprem senaryosuna göre yağmursuyu boru tiplerine göre hasar şekilleri haritası.

11. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Deprem esnasında doğalgaz boru hatlarında meydana gelen hasarların, özellikle yangınlar sebebiyle, ölümlere yol açtığı ve oldukça yüksek maddi hasarlara sebep olduğu gözlenen bir durumdur.

Bu çalışma kapsamında Kocaeli İli Dilovası İlçesi'nde bulunan gömülü doğalgaz ve su boru hatlarının hasar tayin çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Belirtilen hesaplama yöntemleri kullanılarak, her zemin durumu ve olası depreme göre tahmini en yüksek zemin hızı dikkate alınarak boru hatlarında oluşabilecek hasarlar hesaplanabilir. Bu değerlendirme ve hesaplama yöntemi, İstanbul Deprem Master Planı'nda da benimsenmiştir. Bu hesaplamalar sonucunda yapılacak bölgesel modellemelerle olası bir deprem sonrası meydana gelebilecek hasarlar tespit edilebilir.

En yüksek zemin hızı ve sıvılaşma potansiyeli yüksek bölgelerde hasar miktarı artmaktadır. Kullanılan boru türleri de hasar oranında önemli bir rol oynamaktadır. İçme suyu borularında yaygın olarak kullanılan PVC, GRP ve Polietilen gibi plastik boruların hasar oranı, beton ve çelik borulara kıyasla daha azdır. Atık su kanal sistemlerinde de PVC, GRP ve Polietilen gibi plastik boruların kullanımı daha uygun olacaktır.

Atık su kanalizasyon sistemlerinde kullanılan kil veya beton borular kolayca kırılabilir ve çatlayabilir, bu da yeraltı sularını kirleten sızıntılara neden olabilir. Bu nedenle, özellikle boru seçiminde kırılğan ve depremde hasar görebilecek boru türlerinden kaçınılmalıdır.

Belirtilen boru hasar oranı ne olursa olsun, özellikle basınçlı çalışan içme suyu sistemleri ile serbest yüzeyli akım içeren yağmur suyu ve atık su sistemleri, oluşabilecek tek bir noktadaki hasar nedeniyle altyapı sistemleri işlevlerini yerine getiremeyecek duruma gelir ve çalışmaz hale gelir.

Analiz sonuçları literatür ile uyumlu olarak boru çapı ve süneklik azaldıkça hasar oranının arttığı görülmektedir.

Olası bir afet öncesinde tahmin edilen hasar durumları dikkate alınarak, mevcut boru hatlarının daha sünek malzemelerle yenilenmesi ve boru hatlarının çaplarının

büyütülmesi, doğalgaz ve su boru hatlarının güvenliğini artırmaya yönelik alınması gereken en önemli önlemler arasında yer almaktadır.

Proje esas alınarak boru döşeme işlemi, gerekli dolgu malzemeleri kullanılarak ve şevli veya iksalarla desteklenerek yapılmalıdır. İksalar, zeminin cinsi ve kazı derinliğine göre belirlenmelidir. Malzemeler şartname ve kalite standartlarına göre test edilir, uygun bulunursa kabul edilip tesise nakledilmelidir. Altyapı sistemleri, suyun ve gazın yeterli miktar, basınç ve kalitede sağlanmasını, sürdürülebilirliği ve işletme kolaylığını esas alarak tasarlanmalıdır. Alt yapı borularının fabrika kabulünde, numuneler akredite laboratuvarlarda test edilip uygun bulunursa şantiyeye sevk edilmelidir.

Hendek ve temel kazısı sırasında çıkan, dolguda kullanılmayan malzeme taşıtlara yüklenip kesin depo yerine taşınmalı ve gerekirse tesviye edilmelidir. Hafriyatın inşaat çukuru kenarına yığılması mümkün olmadığında, şantiye koşullarına uygun olarak en yakın uygun dolgu alanına taşınmalıdır. Eksik dolgu malzemesi geçici depodan temin edilmelidir. Hafriyatın hendek kenarına veya geçici depolara bırakılması, fazlasının ise doğrudan kesin depoya taşınması sağlanmalıdır.

Boru hattı malzemelerinin zarar görmemesi için uygun şekilde korunmalı, darbeli zorlanmalardan kaçınılmalı ve boru elemanları kirletici maddelere maruz kalmayacak şekilde depolanmalıdır. Borular, bitki köklerinin zarar vermemesi için doğrudan bitki örtülü zemine depolanmamalı, donma ve ısıya karşı koruma tedbirleri alınmalıdır. Plastik borular, eriten maddelerle temas ettirilmemeli ve uygun şekilde istiflenmelidir.

Boru döşenmeden önce hendek tabanı muayene edilmeli, hendek derinliği, genişliği ve zeminin uygunluğu kontrol edilmelidir. Hendek tabanı, boruların tüm uzunluğu boyunca düzgün bir şekilde oturacak biçimde hazırlanmalı ve gerekli baş yuvaları açılmalıdır. Hendekteki taş, kaya gibi engeller çıkarılmalı, uygun malzeme ile doldurulup sıkıştırılmalıdır. Kayalık zeminlerde derin kazı yapıp granüler malzeme ile dolgu yapılmalıdır. Zemin kohezyonsuz ise borular doğrudan tabana yerleştirilebilir, ancak büyük çaplı borular için taşıyıcı bir yüzey sağlanmalıdır. Oynak zeminlerde borular, drenaj yapılarak güvenlik altına alınmalıdır. Boru yataklamaları, gerilmeleri homojen olarak yayacak şekilde yapılmalıdır.

Boru hattı elemanları hendeğe indirilmeden önce temizlenmeli ve hasar kontrolü yapılmalıdır. Hasarlı bölgeler onarılmalıdır. Borular, zarar görmeyecek şekilde düzenli olarak hendeğe indirilmeli, kaynak yerleri uygun pozisyonda yerleştirilmelidir. Kesim

işlemi düzgün yapılmalı, HDPE ve plastik borular belirli açılarda konikleştirilmelidir. Borular, projenin öngördüğü eğime uygun döşenmelidir. Boru hattı elemanları gerekli durumlarda mesnetlenmeli veya ankraj yapılmalıdır. Boruların içlerine iş molalarında fırça ve tıkaçlarla kapama yapılmalıdır. Hendek dolgu işlemi, TS 7397 normlarına uygun olarak yapılmalı ve boruların etrafı uygun malzeme ile sıkıştırılarak doldurulmalıdır. Eğimli arazide sürüklenme tehlikesine karşı önlemler alınmalı, agresif zeminlerde boru malzemesi uygun şekilde korunmalıdır.

Düğüm noktaları, şebeke inşaat planındaki detaylara göre oluşturulmalı, az parça kullanılarak rijit bağlantılar sağlanmalıdır. Mevcut yeraltı tesisatları dikkate alınmalı, vanalar hat çapına uygun olmalıdır. Yangın musluklarında flanşlı parçalar tercih edilmeli, çap küçültmeleri ayırım noktalarından sonra yapılmalıdır.

Muflu borular (PVC, FONT, DUKTİL FONT) uçlarındaki muflarla birbirine bağlanmalı ve sızdırmazlık için muf içlerine conta konulmalıdır. Çelik borular çelik kaynağı, HDPE borular ise çaplarına göre elektrofüzyon veya alın kaynağı ile birleştirilmelidir. AÇB borular, manşon uçlarına conta yerleştirilerek bağlanırken, arızalanan veya ek yapılan bölümler kayar manşon ile birleştirilmelidir. Flanşlı borular ve özel parçalar ise biritli baş yöntemiyle bağlanmalıdır.

Boru hatları döşendikten sonra sızdırmazlıklarını test etmek için bölüm bölüm basınç deneyine tabi tutulur. Deney hattının uzunluğu, mevsim, çevresel durumlar, trafik engellemeleri, topografik özellikler ve işletme basıncı gibi kriterlere göre belirlenir. Genellikle deney uzunluğu 500 m'yi geçmemelidir.

Deney öncesinde boruların hareket etmemesi için önlemler alınmalıdır. Borular uygun aralıklarla desteklenmeli ve deney hattının sonu kör flanş veya tapa ile kapatılmalıdır. Borular, en alçak noktadan itibaren temiz su ile doldurulmalı ve havanın çıkması sağlanmalıdır. Pompa güvenli bir yere yerleştirilmeli ve borular içindeki hava tamamen boşaltılmalıdır.

Boru izolasyon malzemesi seçilirken borunun yapıldığı malzeme, döşeme ve işletme koşulları dikkate alınmalıdır. Zedelenmiş izolasyonlar mevcut izolasyonla uyumlu malzemelerle onarılmalı ve üretici talimatlarına uyulmalıdır. İç izolasyon malzemeleri suya koku, renk veya tat vermemeli ve sağlığa zararlı olmamalıdır. Font borular ve özel parçaların dış izolasyonları taşıma ve döşeme sırasında zarar görürse onarılmalıdır. Çelik boruların dış izolasyonu genellikle bitüm veya plastik malzeme

ile yapılır ve basınç deneyinden sonra uygulanmalıdır; iç izolasyon ise bitüm, plastik malzeme veya çimento harcı ile yapılır ve izolasyonun zedelenmemesi için gerekli önlemler alınmalıdır. Asbestli çimento boruların zarar gören kısımları onarılmalı. HDPE ve plastik borularda metal bağlantı elemanları korozyondan korunmalı, sıcak veya eritici malzemeler kullanılmamalıdır; polietilen borular koruma maddeleri ile kaplanmalıdır. Flanşlı bağlantılar temizlendikten ve kurutulduktan sonra plastik veya bitümlü bantlarla sarılmalı veya sıcak koruma maddesi sürülmelidir.

Boru hatları, boru yataklama malzemesi ile boru hattının her iki yanına 15-30 cm tabakalar halinde sıkıştırılarak kundaklanır. Kundaklama malzemesi, kesek ve taş içermemeli ve borunun üst düzeyi, boru hattının üst doğurayı 30 cm kadar yukarısında olmalıdır. Taş ve cüruf gibi malzemeler kullanılmamalı, bitki artıkları ve kereste gibi maddeler de dolgu işlerinde yer almamalıdır. Sıkıştırma işlemi, zemin durumuna göre uygun araçlarla yapılmalı ve boru üst doğurayından 1 m yüksekliğe kadar makineli ağır tokmaklar ve titreşimli sıkıştırıcılar kullanılmamalıdır. Dolgu malzemesi, boru yanlarına tepiştilirip sıkıştırılmalı ve boru hattının oynatılmaması için her iki yanda aynı anda sıkıştırılmalıdır. Kundaklamadan sonra, dolgu malzemesi en çok 20 cm'lik tabakalar halinde dökülmeli ve doğrudan taşınmamalıdır. Yoğun trafiğe maruz alanlarda stabilize ve uygun malzeme ile doldurulmalı, kazıdan çıkan malzeme uygun değilse değiştirilmeli ve iksa destekleri dikkatle alınmalıdır. Hendeklerde kalacak ahşap malzeme, yüklenici ve yapı denetim görevlisi tarafından tespit edilmeli ve sözleşme bedeli hesaplanmalıdır. Tünellerde de benzer şekilde iksa kerestesi bırakılabilir. Yol düzenlemesinde, boruların üst doğurayından 30 cm yukarıda dolgu yapılmalı ve yol kaplamalarına uygun olmalıdır; vana ve yangın muslukları trafik güvenliği için yerleştirilmelidir.

Altyapı tesislerinin borulu hatlarında, geri dolgusu yapılmış ve kapatılmış hatların zarar görmemesi için ikaz bantları kullanılmalıdır. Bu bantlar, "Altyapı Tesisleri Boru Hatlarında Kullanılacak Polietilen veya Alüminyum Film Tabakalı Polietilen İkaz Bantları Teknik Şartnamesi"ne uygun olarak, 20 cm genişliğinde ve en az 120 mikron kalınlığında olacak şekilde üretilmelidir. Bantlar aşındırıcı etkiler ve korozyona karşı dayanıklı olmalı, yüzeyinde kabarıklık ve boşluk bulunmamalıdır. İşaretleme, içmesuyu tesisleri için mavi zemin üzerine "BASINÇLI İÇMESUYU BORU HATTI", kanalizasyon tesisleri için yeşil zemin üzerine "KANALİZASYON BORU HATTI", yağmursuyu tesisleri için mor zemin üzerine "YAĞMURSUYU BORU HATTI"

şeklinde kalın siyah yazı ile yapılmalıdır. İkaz bantları, depolama ve nakliye sırasında UV ışınlarından korunmalı ve kirletici unsurlardan etkilenmemesi için uygun şartlarda ambalajlanmalı ve istiflenmelidir. Hendek dolgusuna yerleştirilirken, zemin üst kotundan 40 cm aşağıda olacak şekilde konulmalıdır. Metal dedektör ile tespit edilmesi gereken hatlarda alüminyum film tabakalı polietilen ikaz bandı, diğerlerinde ise polietilen bandı kullanılmalıdır. Hendek genişliğine göre yerleştirilecek hat sayısı belirlenmeli; örneğin, 0-1 m genişliğinde 1 hat, 1.01-2 m genişliğinde 2 hat ve bu şekilde artarak devam etmelidir.

KAYNAKLAR

Aksoy S., (2003), “Dalga Kılavuzlarında Elektromanyetik Zaman Domeni Analizlerinin Yeni Bir Analitik Metotla İncelenmesi”, Doktora Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.

Barenberg, M. E., “Correlation of pipeline damage with ground motions”, Journal of Geotechnical Engineering List of Issues Vol. 114, No. 6.

Bingöl, A.O., (2014) “Pipeline Damage Assessment Through Monte Carlo Simulation”, Master Thesis, Bogazici University.

Cücü, A. (2013) “Dilovası İlçesinin Beşeri ve Ekonomik Coğrafyası”, Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi.

Demiralp H.G., (2017) ”Depremin Kanalizasyon ve İçmesuyu Sistemlerine Etkisi”, Uzmanlık Tezi. İller Bankası Anonim Şirketi.

Ersoy, Ş. (2013). Afet Raporu. Doğa Bilimleri Araştırma Merkezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul. http://www.emdat.be/disaster_list/index.html (Erişim Tarihi: 14.12.2021).

Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu, F., 2013, Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara-Türkiye. ISBN: 978-605-5310-56-1

Gündoğdu Gök M., (2020), “Monte Carlo Yöntemi İle Kocaeli İli Ve Çevresi İçin Olasılıksal Deprem Tehlike Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.

https://eski.jmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=9979&tipi=2&sube=6, Erişim Tarihi: 15.08.2017

<https://m.haber7.com/guncel/haber/3299877-hataydaki-buyuk-yikim-havadan-goruntulendi>, (Erişim Tarihi: 06.02.2023).

<http://www.aym.sakarya.edu.tr/2021/08/18/22-yilinda-17-agustos-1999-izmit-adapazari-depremi-m-7-5-ve-sakarya-universitesi-afet-calismalari/>, Erişim Tarihi: 18.08.2021

<https://www.elbistanpusula.com/haber/14401003/elbistan-ve-pazarcik-depremlerinin-ardindan-18-bin-artci-deprem-oldu>, Erişim Tarihi: 30.03.2023

<https://www.erganihaber.net/haber/6023/yeni-bir-deprem-bekleniyor-istanbul-depreme-hazir-mi.html>, Erişim Tarihi: 17.08.2019

<https://usgs.maps.arcgis.com/>

<http://yerbilimleri.mta.gov.tr/referans.aspx>, (2013). Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu, F., 2013, Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası.

Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara-Türkiye. ISBN: 978-605-5310-56-1

Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Eylül 2002, "Türkiye Cumhuriyeti İstanbul İli Sismik Mikro-Bölgeleme Dâhil Afet Önleme/Azaltma Temel Plan Çalışması, Son Rapor Doküman V"

Kalafat D., (2000), "17 Ağustos 1999 Marmara ve 12 Kasım 1999 Düzce Depremleri Marmara Denizinin Genel Yapısı, Deprem ve İstanbul ", T.C. İstanbul Valiliği Yayını.

Kalafat D., (2003), "Marmara Depremi bir gerçek mi?", Ölçü Dergisi, TMMOB Yayın Organı.

Kalafat D., Tahaoglu T., Işıkara A., (2001), "9 Ağustos 1912 Saros-Marmara Depremi", Türkiye 14. Jeofizik Kurultayı ve Sergisi, Genişletilmiş Sunu Özetleri Kitabı (Extended Abstracts Book), s. 103-106, MTA Kültür Merkezi yayını

O'Rourke TD and Toprak S (1995) "Case History of Pipeline Response to Ground Deformation at Balboa Blvd., 1994 Northridge Earthquake", Proceedings, Sixth U.S. - Japan Workshop on Earthquake Disaster Prevention for Lifeline Systems, Osaka, Japan, July, Pp: 3-20.

O'Rourke TD and Toprak S (1997) "GIS Assessment of Water Supply Damage from The Northridge Earthquake", Frost, JD, Editor, Geotechnical Special Publication, ASCE New York, NY, 117-31.

O'Rourke TD, Toprak S, and Sano Y (1998) "Factors Affecting Water Supply Damage Caused by The Northridge Earthquake", Proceedings, Sixth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Seattle, WA, Pp: 1-12. of geotechnical engineering, Vol. 114, No. 6, pp. 706-711, 1988.

Ö. Emre ve diğ. (2001). 1:250000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Bursa (NK35-12) Paftası, Seri No: 9, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye

Şahvelet M. N., (2022), "Altyapı Sistemlerinin Sismik Hasar Görebilirlik Analizi Sakarya İli Örneği", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi. <http://www.aym.sakarya.edu.tr/category/faaliyetler/bilimsel/rapor/>

Tarı U., (2007), "İzmit Körfezi ve Çevresinin Morfotektoniği", Doktora Tezi, Jeoloji, İTÜ.

Toprak S, Cetin OA, Nacaroglu E and Koc AC (2010a) "Pipeline Performance Under Longitudinal Permanent Ground Deformation", 14th European Conference on Earthquake Engineering, Ohrid, Republic of Macedonia, August 30- September 03.

Toprak S, Nacaroglu E, Koc AC and Cetin OA (2010b) "Use of Subtractive Clustering Analysis in Pipeline Damage Assesment", 14th European Conference on Earthquake Engineering, Ohrid, Republic of Macedonia, August 30- September 03.

Toprak, S., (1998) Earthquake effects on buried lifeline systems, PhD Thesis, Cornell University, Ithaca, NY.

Toprak, S., “Earthquake Resistant Lifelines, Geotechnical Issues And Standarts”, *Seventh National Conference on Earthquake Engineering*, **2011**, Istanbul, Turkey.

Toprak, S., Yoshizaki, K. “Earthquake Effects On Buried Pipelines”, *Fifth National Conference on Earthquake Engineering*, **2003**, Istanbul, Turkey.

Utkucu M., (2011), "Marmara Bölgesinde (KB Türkiye) Depremsellik ve Deprem Tehlikesi Üzerine Bir Tartışma, A Discussion on the Seismicity and Seismic Hazard of the Marmara Region (NW Turkey)", Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, 32(3), 187–212.

Ünen, H. C., (2011), “Karşılıklı Bağımlı Altyapı Şebekelerinin Sismik Performans Analizi”, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi.

Vural İ., (2012), “Alüvyal Ve Sıvılaşılabilen Zeminlerde Altyapıların Deprem Risk Analizi: Adapazarı Örneği”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi.

Winkler E (1867) Die Lehre Von Der Elastizität und Festigkeit.

Yaltrak C., (2014), "Kuzey Anadolu fayının Marmara kolları ve bölgenin tektonik yapısı", TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Güney Marmara Depremleri ve Jeofizik Toplantısı, Bursa, Türkiye, 22 January 2000.

Yiğit, A., (2023) “Enine Zemin Hareketine Maruz Gömülü Boru Hatlarının Tepkisi İçin Örnek Bir Çalışma”, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(2), ss. 485-494.

ÖZGEÇMİŞ

Halil TURGUT ilk ve ortaokul eğitimini Dilovası Solventaş Okulu'nda, lise eğitimini Dilovası Çok Programlı Lisesi'nde tamamladıktan sonra lisans eğitimine 2005 yılında Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde başlayarak 2010 yılında eğitimini tamamlayarak mezun olmuştur. Lisans eğitimini tamamladıktan sonra ise Gebze Teknik Üniversitesi Deprem ve Yapı Mühendisliği yüksek lisans eğitimine başladı. 2010 yılında Dilovası Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü'nde İnşaat Mühendisi olarak işe başlamış 2019-2024 yılları arasında Fen İşleri Müdürü, 2024 yılı Nisan ayından itibaren de Dilovası Belediyesi Plan ve Projeler Müdürü olarak görev yapmaktadır.