

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALTYAPI SİSTEMLERİNİN SİSMİK HASAR
GÖREBİLİRLİK ANALİZİ
SAKARYA İLİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed Nedim ŞAHVELET

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : HİDROLİK

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Emrah DOĞAN

Haziran 2022

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALTYAPI SİSTEMLERİNİN SİSMİK HASAR
GÖREBİLİRLİK ANALİZİ
SAKARYA İLİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed Nedim ŞAHVELET

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : HİDROLİK

Bu tez 21.06.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Prof. Dr.
Emrah DOĞAN
Jüri Başkanı**

**Doç. Dr.
Osman SÖNMEZ
Üye**

**Dr. Öğr. Üyesi
Derya DENİZ
Üye**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Muhammed Nedim ŞAHVELET

21.06.2022

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Emrah DOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmaya katkılarından dolayı, Prof. Dr. Murat UTKUCU, Doç. Dr. Osman SÖNMEZ, Dr. Tuba TATAR ve Dr. Öğr. Üyesi Derya DENİZ hocalarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
SUMMARY	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Literatür Özeti.....	6
BÖLÜM 2.	
ÇALIŞMA ALANI	12
2.1. Sakarya İli	12
2.2. Sakarya İli Nüfusu	13
2.3. Sakarya İli Jeolojik Özellikleri	14
2.4. Sakarya İli Zemin Sınıfları	16
2.5. Sakarya İli Yükselti Özellikleri	19
2.6. Sakarya İli Zemin Sıvılaşma Özellikleri.....	19
2.7. Sakarya İli Deprem Geçmişi.....	20
BÖLÜM 3.	
SAKARYA İLİ ALTYAPI SİSEMLERİ	21
3.1. Sakarya İli İçme Suyu Şebekeleri.....	22
3.2. Sakarya İli İçme Suyu Şebekelerinde Kullanılan Boru Türleri	23
3.2.1. Polietilen borular (PE).....	24

3.2.2. Çelik borular (ÇB).....	24
3.2.3. Asbestli çimento borular (AÇB).....	25
3.2.4. Cam elyaf takviyeli poliestere borular (CTP)	25
3.2.5. PVC borular	25
3.2.6. Duktıl borular	25
3.3. Sakarya İli Yağmur Suyu ve Kanalizasyon Şebekeleri	26
3.3.1. Sakarya ili yağmur suyu ve kanalizasyon şebekelerinde kullanılan boru türleri	28
3.3.1.1. Beton ve betonarme borular.....	28
3.3.1.2. Koroze borular.....	29
3.4. 1999 Marmara Depremi Sakarya Kent Merkezi İçme Suyu Boru Hattı Durumu.....	30
3.5. 1999 Marmara Depremi Sonrası Kanalizasyon ve Yağmursuyu Şebekesi.....	32
3.6. 1999 Marmara Depremi Sonrası İller Bankası Tarafından İçme Suyu, Kanalizasyon ve Yağmur Suyu Hatlarında Yapılan Onarım Faaliyetleri	33
3.7. Sakarya İli Doğalgaz Şebekeleri.....	34
3.7.1. Sakarya ili doğalgaz şebekelerinde kullanılan boru türleri	36
 BÖLÜM 4.	
SİSMİK TEHLİKE	38
4.1. Sismik Tehlike Analizi	39
4.1.1. Deterministik sismik tehlike analizi (DSTA)	40
4.1.2. Olasılıksal sismik tehlike analizi (OSTA).....	41
4.2. Sismik Tehlike Analizi Projeleri	43
4.2.1. Seismic hazard harmonization in europe (SHARE).....	43
4.2.2. Earthquake model of the middle east (EMME).....	43
4.2.3. The 2020 euro-mediterranean seismic hazard model (ESHM-2020)	43
4.3. Sismik Tehlike Analizinde Kullanılan Yazılımlar	44
4.3.1. EQ-RISK	44
4.3.2. EZ-FRISK.....	44

4.3.3. R-CRISIS.....	45
4.3.4. Openquake Engine.....	45
4.4. Yer Hareketi Tahmin Denklemleri	45
4.4.1. Boore ve Atkinson yer hareketi tahmin denklemi (2008)	46
4.5. Sakarya İli Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi.....	47
4.5.1. Çalışma alanı	48
4.5.2. Sismik veri tabanı hazırlanması.....	49
4.5.3. Sismik kaynak modelleri	51
4.5.4. Maksimum magnitüd (Mmax).....	52
4.5.5. Magnitüd – tekrarlanma modelleri ve olasılık dağılımı	52
4.5.6. OpenQuake yazılımı tehlike modülü ile sismik tehlike analizi...	54
4.5.7. Sakarya ili sismik tehlike haritalarının hazırlanması.....	55
4.5.7.1. En büyük yer hızı sonuçları	55
4.5.7.2. En büyük yer ivmesi sonuçları	60
 BÖLÜM 5.	
HASAR GÖREBİLİRLİK ANALİZLERİ	62
5.1. Gömülü Boru Hatlarını Etkileyen Yükler	62
5.2. Gömülü Boru Hatlarının Hasar Görebilirliğini Etkileyen Faktörler	63
5.3. Gömülü Boru Hatlarını Etkileyen Sismik Tehlikeler	63
5.4. Geçici Yer Deformasyonları.....	65
5.5. Boru Hatları Sismik Hasar Görebilirlik İlişkileri	65
5.5.1. HAZUS Hasar görebilirlik metodu	68
5.5.2. Amerikan lifeline alliance (ala) hasar görebilirlik metodu.....	70
5.5.3. Isoyama (2000) hasar görebilirlik metodu	75
5.5.4. Yoo, kang ve kim (2013) hasar görebilirlik metodu	76
5.6. Sakarya İli Altyapı Sistemlerinin Sismik Hasar Görebilirlik Analizleri	78
5.7. İçme Suyu Şebekesi Sismik Hasar Görebilirlik Analizleri.....	81
5.7.1. HAZUS hasar görebilirlik sonuçları.....	82
5.7.2. Isoyama (2000) hasar görebilirlik sonuçları.....	84
5.7.3. ALA hasar görebilirlik sonuçları.....	86
5.7.4. Yoo, Kang ve Kim (2013) metodu hasar görebilirlik sonuçları..	88

5.8. Kanalizasyon Şebekesi Sismik Hasar Görebilirlik Analizleri	91
5.9. Yağmur Suyu Şebekesi Sismik Hasar Görebilirlik Analizleri	93
5.10. Doğalgaz Şebekesi Sismik Hasar Görebilirlik Analizleri	95
5.11. Kalıcı Yer Deformasyonu Tehlikeleri	98
 BÖLÜM 6.	
ARAŞTIRMA BULGULARI	100
6.1. Sonuç ve Öneriler	100
 KAYNAKLAR	
ÖZGEÇMİŞ	106
	111

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AÇB	: Asbestli çimento boru
ALA	: American Lifelines Alliance
CBS	: Coğrafi bilgi sistemleri
CTP	: Cam elyaf takviyeli plastik
DFB	: Duktıl font boru
DSTA	: Deterministik sismik tehlike analizi
EMME	: Earthquake Model Of The Middle East
ESHM	: Euro-Mediterranean Seismic Hazard Model
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
GYD	: Geçici yer deformasyonu
HDPE	: High Density Polyethylene
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
KOSTA	: Klasik olasılıksal deprem tehlike analizi
KYD	: Kalıcı yer deformasyonu
MGD	: Maksimum güvenilir deprem
MTA	: Maden Tetkik Ve Arama
OSTA	: Olasılıksal sismik tehlike analizi
PGA	: Peak ground acceleration
PGV	: Peak ground velocity
SHARE	: Seismic Hazard Harmonization In Europe
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
YHTD	: Yer hareketi tahmin denklemi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Sakarya ili altyapı sistemleri ağ modeli	4
Şekil 1.2. Sakarya ili altyapı sistemleri risk yönetimi aşamaları	5
Şekil 2.1. Çalışma alanı Sakarya ili genel bilgiler	12
Şekil 2.2. Sakarya ili nüfus bilgileri [17].	13
Şekil 2.3. Sakarya ili 1/25000 Jeoloji Haritası [18]	14
Şekil 2.4. Sakarya ili diri fay haritası [20]	15
Şekil 2.5. Sismik veri kazanım noktaları	16
Şekil 2.6. Sakarya ili V_{s30} Haritası	17
Şekil 2.7 . Sakarya ili zemin sınıfı haritası	18
Şekil 2.8. Sakarya ili yükselti haritası	19
Şekil 2.9. Sakarya ili sıvılaşmaya yatkınlık haritası	20
Şekil 3.1. Sakarya ili altyapı sistemleri genel dağılımı	21
Şekil 3.2. Sakarya ili kent merkezi içme suyu sistemi şeması	22
Şekil 3.3. Sakarya ili içme suyu şebekesi dağılım haritası	23
Şekil 3.4. Sakarya içme suyu şebekesi boru türü dağılımı	26
Şekil 3.5. Sakarya kanalizasyon şebekesi dağılımı	27
Şekil 3.6. Sakarya ili yağmur suyu şebekesi dağılımı	28
Şekil 3.7. Sakarya ili kanalizasyon şebekesi boru türü dağılımı	29
Şekil 3.8. Sakarya ili yağmur suyu şebekesi boru türü dağılımı	30
Şekil 3.9. Sakarya ili 1999 Marmara Depremi öncesi boru dağılımı	31
Şekil 3.10. Doğalgaz iletim ve dağıtım modeli	35
Şekil 3.11. 2002-2020 yılları arası döşenen doğalgaz boru uzunlukları [31]	36
Şekil 3.12. Sakarya ili doğalgaz boru türü dağılımı	37
Şekil 4.1. Deterministik Sismik Tehlike Analizi adımları [34]	41
Şekil 4.2. Sakarya İli Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi adımları	42
Şekil 4.3. Klasik olasılıksal sismik tehlike analizinin yapılacağı çalışma alanı	49

Şekil 4.4. Arındırılmış ve homojen deprem kataloğu [43].....	50
Şekil 4.5. Çizgisel Sismik kaynak modeli geometrik yapısı [43].	52
Şekil 4.6. OpenQuake yazılımı tehlike modülü ile Sismik Tehlike Analizi Akış Şeması	55
Şekil 4.7. 475 yıl tekerrür periyodu için noktasal En Büyük Yer Hızı (PGV) sonuçları	56
Şekil 4.8. Natural Neighbor İnterpolasyon aracı hesap yaklaşımı [45]	58
Şekil 4.9. Çalışma alanı için 475 yıl tekerrür periyodu için En Büyük Yer Hızı sonuçları	58
Şekil 4.10. Sakarya ili için 475 yıl tekerrür periyodu için En Büyük Yer Hızı sonuçları	59
Şekil 4.11. 475 yıl tekerrür periyodu için En Büyük Yer Hızı Zonları.....	59
Şekil 4.12. 2475 yıl tekerrür periyodu için Sakarya ili En Büyük Yer Hızı sonuçları	60
Şekil 4.13. 475 yıl tekerrür periyodu için En Büyük Yer İvmesi sonuçları.....	60
Şekil 4.14. Sakarya ili 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan PGA haritası [46].	61
Şekil 5.1. Gömülü boruların maruz kaldığı yükler	62
Şekil 5.2. Kırılgan Borular için PGV algoritması hasar modeli [51].	69
Şekil 5.3. ALA veri tabanı En büyük yer hızı hasar onarım oranı ilişkisi [55].	73
Şekil 5.4. Gridlere atanacak noktasal PGV değerleri.....	79
Şekil 5.5. 2,5 x 2,5 boyutunda gridler	80
Şekil 5.6. Zemin sınıfı tanımlanmış gridler	80
Şekil 5.7. PGV ve içme suyu şebekesi dağılımı.....	81
Şekil 5.8. PGV tanımlanmış gridler ve içme suyu şebekesi dağılımı	82
Şekil 5.9. HAZUS metodu ile içme suyu boruları hasar görebilirlik dağılımı	84
Şekil 5.10. Isoyama (2000) metodu ile içme suyu boruları hasar görebilirlik dağılımı.....	86
Şekil 5.11. ALA metodu ile içme suyu boruları hasar görebilirlik dağılımı.....	88
Şekil 5.12. Yoo Kang Kim (2013) metodu ile içme suyu boruları hasar görebilirlik dağılımı.....	90
Şekil 5.13. HAZUS metodu ile kanalizasyon boruları hasar görebilirlik dağılımı	93
Şekil 5.14. HAZUS metodu ile yağmur suyu boruları hasar görebilirlik dağılımı	95

Şekil 5.15. PGV ve doğalgaz şebekesi dağılımı	96
Şekil 5.16. HAZUS metodu ile doğalgaz boruları hasar görülebilirlik dağılımı	98
Şekil 5.17. Diri faylar ile içme suyu şebekesi boruları kesişimleri.....	99
Şekil 6.1. PE içme suyu borusu hasar onarım oranı kıyaslaması (PGV=67,63 cm/s).....	103
Şekil 6.2. AÇB içme suyu borusu hasar onarım oranı kıyaslaması (PGV=63,08 cm/s).....	104



TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. TBDY-2018 yerel zemin sınıfları [21]	17
Tablo 2.2. Sismik kazanım noktalarına ait zemin sınıflandırması	18
Tablo 2.3. Sakarya ili geçmiş büyük depremleri.....	20
Tablo 3.1. Sakarya ili içme suyu şebeke elemanlarına ait bilgiler.....	23
Tablo 3.2. Sakarya ili yağmur suyu ve kanalizasyon şebeke elemanlarına ait bilgiler	27
Tablo 5.1. Boru hattı hasar görebilirlik fonksiyonlarına yönelik referans çalışmalar [49].	65
Tablo 5.2. HAZUS içme suyu boru hatları hasar algoritması [53].	70
Tablo 5.3. Çeşitli depremlerden alınan boru hasar istatistikleri [54].	71
Tablo 5.4. Çeşitli depremlerden alınan boru hasar istatistikleri [55].	72
Tablo 5.5. GYD kaynaklı hasar görebilirlik eşitliğinin K1 değerleri [55].	74
Tablo 5.6. Isoyama (2000) düzeltme faktörleri [56].	76
Tablo 5.7 . Yoo, Kang ve Kim (2013) düzeltme faktörleri [57].	78
Tablo 5.8. HAZUS metodu içme suyu boruları onarım oranı istatistikleri.....	83
Tablo 5.9. HAZUS metodu ile içme suyu şebekesi hasar görebilirlik sınıfları	83
Tablo 5.10. Isoyama (2000) metodu içme suyu boruları onarım oranı istatistikleri	85
Tablo 5.11. Isoyama (2000) metodu ile içme suyu şebekesi hasar görebilirlik sınıfları	86
Tablo 5.12. ALA metodu içme suyu boruları onarım oranı istatistikleri.....	87
Tablo 5.13. ALA metodu ile içme suyu şebekesi hasar görebilirlik sınıfları	88
Tablo 5.14. Yoo Kang Kim (2013) metodu içme suyu boruları onarım oranı istatistikleri	89
Tablo 5.15. Yoo Kang Kim (2013) metodu içme suyu boruları onarım oranı istatistikleri	90
Tablo 5.16. HAZUS metodu kanalizasyon boruları onarım oranı istatistikleri	91

Tablo 5.17. HAZUS Metodu ile kanalizasyon şebekesi hasar gör�bilirlik sınıfları	92
Tablo 5.18. HAZUS Metodu yağmur suyu boruları onarım oranı istatistikleri.....	94
Tablo 5.19. HAZUS Metodu ile yağmur suyu şebekesi hasar gör�bilirlik sınıfları	95
Tablo 5.20. HAZUS Metodu doğalgaz boruları onarım oranı istatistikleri	97
Tablo 5.21 . HAZUS Metodu ile doğalgaz şebekesi hasar gör�bilirlik sınıfları....	97
Tablo 6.1. PE içme suyu borusu hasar onarım oranları (PGV=67,63 cm/s).....	104
Tablo 6.2. AÇB içme suyu borusu hasar onarım oranları (PGV=63,08 cm/s)....	104



ÖZET

Anahtar kelimeler: Altyapı sistemleri, gömülü borular, sismik tehlike, hasar görebilirlik

1999 Marmara depremi sonrası Sakarya ili içme suyu şebekelerinin bir kısmında ciddi hasarlar oluşmuş, kanalizasyon şebekelerinin ise neredeyse tamamı hizmet veremez duruma gelmiştir. Bu çalışmada, Sakarya ili altyapı sistemlerinden; içme suyu temin ve dağıtım, kanalizasyon, yağmur suyu ve doğalgaz şebekelerinin büyük bir bölümünü oluşturan gömülü boruların sismik tehlikeler karşısındaki hasar görebilirlikleri, literatürdeki boru hasar görebilirlik metotları ile analiz edilmiştir. Gömülü boruların olası depremlere karşı hasar görebilirliklerinin analizinde kullanılan en büyük yer hızı, klasik olasılıksal deprem tehlike analizi yardımıyla belirlenmiştir. Hasar görebilirlik analizlerinde kullanılan zemin sınıfları, il genelinde 2044 adet noktadan alınan sismik veriler yardımıyla hesaplanmıştır.

Sakarya ili altyapı sistemlerinin boru envanteri oluşturulup tüm borulara coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla hasar görebilirlik parametreleri tanımlanmıştır. Boru hasar görebilirlik analizleri için literatürde sıklıkla kullanılan, HAZUS, Isoyama (2000), ALA (2001) ve Yoo, Kang ve Kim (2013) metotları kullanılmıştır. Analizler sonucunda tüm borular için hasar görebilirliği ifade eden hasar onarım oranları elde edilmiş ve borular hasar onarım oranlarına göre sınıflandırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda en büyük yer hızının yüksek olduğu, Adapazarı güneyi, Serdivan, Akyazı, Arifiye, Karapürçek, Erenler, Sapanca, Geyve ve Pamukova ilçelerindeki boruların büyük bir kısmının hasar görebilirlik seviyelerinin yüksek ve çok yüksek olduğu görülmüştür. İl kuzeyindeki Kaynarca, Karasu, Kocaali, Ferizli ve Söğütlü ilçelerindeki boru hatlarının düşük hasar görebilirliklere sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca içme suyu şebekelerinde kullanılan kırılgen yapıdaki asbestli çimento boruların hasar görebilirliklerinin çok yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir. Kanalizasyon ve yağmur suyu şebekelerinde ise kullanılan kırılgen yapıdaki beton ve betonarme boruların hasar görebilirlik seviyelerinin yüksek ve çok yüksek olduğu görülmüştür. Doğalgaz şebekelerinde kullanılan boru türlerinin duktıl yapıda çelik ve polietilen olmasından dolayı diğer şebekelere göre daha güvenli olduğu belirlenmiştir.

SEISMIC VULNERABILITY ANALYSIS OF LIFELINES SYSTEMS SAKARYA PROVINCE EXAMPLE

SUMMARY

Keywords: Lifelines, buried pipelines, seismic hazard, vulnerability

After the 1999 Marmara earthquake, serious damages occurred in some of the potable water networks of Sakarya province, and almost all of the sewerage networks became inoperable. In this study, Sakarya province infrastructure systems; The vulnerability of buried pipes, which constitute a large part of potable water supply and distribution, sewerage, storm water and natural gas networks, against seismic hazards has been analyzed with pipe vulnerability methods in the literature. The peak ground velocity used in the analysis of the vulnerability of buried pipes against possible earthquakes was determined with the help of classical probabilistic seismic hazard analysis. Soil classes used in vulnerability analysis were calculated with the help of seismic data taken from 2044 points throughout the province.

A pipe inventory of the infrastructure systems of Sakarya province was created and vulnerability parameters were defined for all pipes with the help of geographic information systems. HAZUS, Isoyama (2000), ALA (2001) and Yoo, Kang and Kim (2013) methods, which are frequently used in the literature, were used for pipe vulnerability analysis. As a result of the analysis, damage repair rates expressing the vulnerability for all pipes were obtained and the pipes were classified according to their damage repair rates. As a result of the study, it has been observed that the peak ground velocity is high, the vulnerability levels of most of the pipes in the south of Adapazarı, Serdivan, Akyazı, Arifiye, Karapürçek, Erenler, Sapanca, Geyve and Pamukova districts are high and very high. It has been observed that the pipelines in Kaynarca, Karasu, Kocaali, Ferizli and Söğütlü districts in the north of the province have low vulnerability. In addition, it has been determined that the vulnerability of fragile asbestos cement pipes used in potable water networks is at a very high level. It has been observed that the vulnerability levels of the fragile concrete and reinforced concrete pipes used in sewerage and storm water networks are high and very high. It has been determined that the pipe types used in natural gas networks are safer than other networks because they are ductile steel and polyethylene.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı ve ekonomik sebeplerden dolayı kırsal yaşamdan kentsel yaşama göç artmakta bu durum kentsel planlamaya ve mevcut kentlerin yenilenmesi çalışmalarına sebep olmaktadır. Teknolojik gelişmeler ve hammadde kaynaklarının etkin kullanımı ile birlikte hızla gelişen kentlerde doğal ve insan kaynaklı tehlikelerin planlama esnasında değerlendirilmesi sürdürülebilirlik açısından önem arz etmektedir.

Yaşam alanlarındaki yapıları genel olarak üstyapılar ve altyapılar olarak iki ana kategoride incelemek mümkündür. Konutlar, hastaneler, ticarethaneler, kamu binaları, ibadethaneler, alışveriş merkezleri vb. bina türü yapılar genel olarak üstyapılar olarak adlandırılırken, insanların bu üstyapılarda temel ihtiyaçlarını giderebilmesi için gerekli olan, içme suyu temin ve dağıtım, kanalizasyon, yağmur suyu ve doğalgaz şebekeleri, karayolları, demiryolları, köprüler, liman yapıları vb. ulaşım ağları ile elektrik, telekomünikasyon, internet vb. şebekeler ise altyapılar olarak adlandırılmaktadır. Tıpkı insan vücudundaki damarlara benzetilen altyapı sistemleri literatürde sıkça yaşam hatları, can damarı şebekeleri veya enterkonnekte sistemler olarak da ifade edilmektedir. Altyapı sistemleri temel yaşam ihtiyaçlarının gereği olması sebebiyle kentsel yaşam standartlarının kalitesinin bir ölçüsü olarak nitelendirilmektedir. Bu durumda altyapı sistemlerinin işlevselliğinde meydana gelen aksamaların, günlük yaşamı olumsuz etkileyeceği görülmektedir. Yapı mühendisliğinde altyapı sistemlerinin üstyapı sistemlerinden temel bazı farklılıkları bulunmaktadır. Aynı şebekeye ait ve birbirine bağlı tek bir sistem olan altyapılarda, şebeke bileşenleri materyal ve geometrik çeşitliliğe sahiptirler. Üstyapıların aksine altyapı sistemleri, bir bölgedeki yayılı dağılımlarından dolayı farklı konumlarda farklı jeolojik ve geoteknik özelliklere maruz kalırlar. Yüksek nüfus yoğunluklu ve önemli ölçüde bina stokuna sahip, idari, ticari ve endüstriyel aktivitelerin yoğun olarak yer aldığı kentsel alanlarda,

altyapı sistemlerinin hasar görmeleri ve hizmetlerinin aksamasının günlük yaşamı olumsuz etkileyen muhtemel riskler olduğu bilinmektedir.

Son zamanlarda dünyada meydana gelen büyük depremlerde altyapı sistemlerinin aldığı hasarların afetlerin boyutlarını arttırdığı ve ikincil tehlikelere yol açtığı görülmüştür. 1971 San Fernando Depreminde depremin merkez üssüne yaklaşık 18 km uzaklıkta bulunan Newhall Rafineri Tesisinde depolama tankına bağlı iletim borularında ciddi hasarlar meydana geldiği, Sylmar Elektrik Dönüşüm İstasyonunda meydana gelen hasarların yaklaşık 28 \$ milyon dolar olduğu ve depremin merkez üssüne yakın bölgelerdeki su iletim sistemlerinin çoğunluğunun hasar aldığı rapor edilmiştir [1].

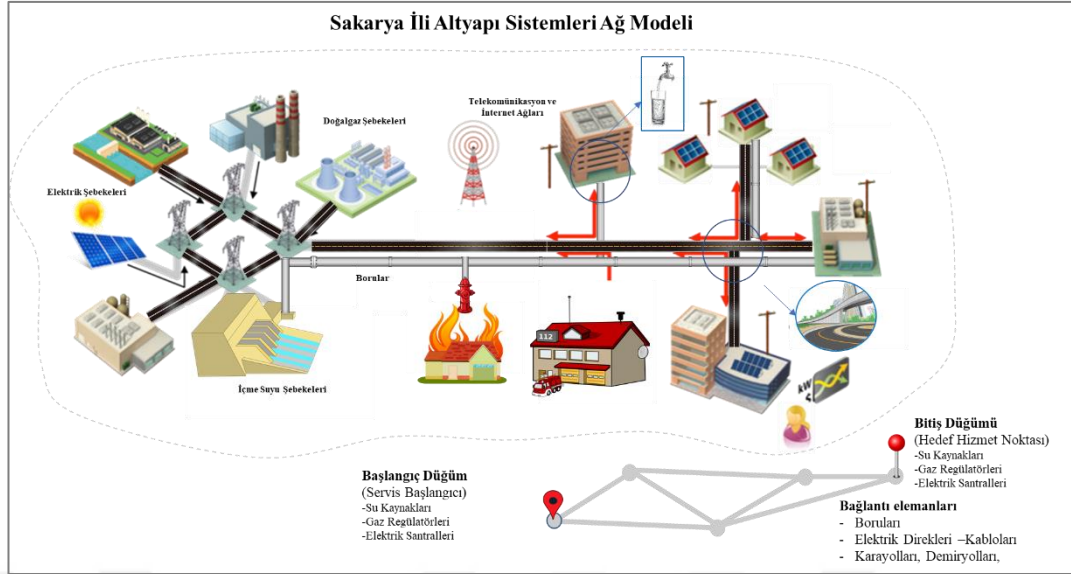
1985 Michoacan Depremi, ulaşım ağları, içme suyu şebekeleri, telekomünikasyon hatları ve enerji santrallerinde büyük hasarın olduğu depremlerden birisi olmuştur. Benzer şekilde 1989 Loma Prieta, 1994 Northridge ve 1995 Hyogoken-Nanbu depremleri kentsel alanlarda altyapı sistemlerinde büyük hasarlara ve ekonomik kayıplara sebep olan depremler olarak raporlanmıştır [2].

17 Ağustos 1999 Marmara Depremi'nde Adapazarı ilçesinde zemin sıvılaşması ve zemin yumuşamasından dolayı kırılğan Asbestli Çimento Boruların %70'lik kısmının kırılma ve çatlama hasarı aldığı geri kalan %30'luk kısmında ise sızma hasarları meydana geldiği rapor edilmiştir. Asbestli çimento boruların hasarlarının çoğunun birleşim bölgelerinde dönme ve kayma etkilerinden olduğu tespit edilmiştir. Elektrik santrallerinde ve trafolarda meydana gelen hasarlar sonucu kentte elektrik kesintisi yaşanmış ve güç alternatif akım ağından tekrar verilmiştir. Telekomünikasyon ağlarında ciddi bir hasar olmasa da sistemin genel performansı beklenenden daha düşük olmuş, depremin ilk 3 gününde kesintiler yaşanmıştır. Su iletim ve dağıtım ağlarında ciddi hasar olmasından dolayı deprem sonrası su iletiminde aksaklıklar yaşanmıştır. Benzer şekilde ulaşım yollarında ve karayolu köprülerinde de servisi aksatan hasarlar meydana gelmiştir. Arifiye ilçesindeki otoyol köprüsü tamamen yıkılarak hizmet veremez duruma gelmiştir [3].

2011 Christchurch Depreminde altyapı sistemlerinde önemli ölçüde hasarlar meydana geldiği ve yaklaşık 1730 km ana kollektör hatlarından oluşan su iletim şebekesinde 1500 civarı boru hasarı meydana geldiği tespit edilmiştir [4].

Yukarıda belirtilen büyük depremlerde görüldüğü üzere altyapı sistemleri depremlerde hasar alarak, günlük yaşamı derinden etkilemiş ve afetin boyutlarını arttırarak ciddi ekonomik kayıplara sebep olmuştur. Bu durum, yöneticilerin afetlerden korunma politikalarında önemli bir yer tutmuş, mevcut altyapı sistemlerinin deprem performanslarını değerlendirme çalışmaları ve yeni yapılacak altyapı sistemlerinin tasarımı için yeni deprem yönetmelikleri geliştirmesine sebep olmuştur. Ülkemizde 7 Mart 2021 tarih ve 31416 sayılı resmî gazetede yayımlanan Türkiye Boru Hattı Sistemleri Ve Sıvı Depolama Tankları Deprem Yönetmeliği ile birlikte altyapı sistemlerinden içme suyu, atık su ve doğalgaz şebekelerinin önemli bir kısmını oluşturan gömülü boru hatları için de bir deprem yönetmeliği çıkarılmıştır. Benzer şekilde 6 Ekim 2020 tarihli ve 31266 sayılı resmî gazetede karayolu ve demiryolu yapıları, hava meydanı yapıları, kıyı ve liman yapıları, köprüler ve viyadükler için de deprem yönetmelikleri çıkarılmıştır.

Sakarya ili altyapı sistemleri, içme suyu temin ve dağıtım şebekeleri, kanalizasyon şebekeleri, yağmur suyu şebekeleri, doğalgaz şebekeleri, karayolu ve demiryolu gibi ulaşım ağları, elektrik ve telekomünikasyon ağlarından oluşmaktadır. Bu çalışmada altyapı sistemleri için hasar görebilirliklerin belirlenmesi amacıyla, tüm şebekeler düğümler ve bağlantı elemanları olarak modellenmiştir. Şekil 1.1.'de görüldüğü üzere altyapı sistemleri hizmet verilecek olan kaynaktan hedef noktaya kadar bağlantı elemanları ile bağlanmaktadır ve bu durum altyapı sistemlerinin büyük kısmının bağlantı elemanlarından oluştuğunu göstermektedir. Bu sebeple bu çalışmada içme suyu temin ve dağıtım, kanalizasyon, yağmur suyu şebekeleri ve doğalgaz şebekelerinin büyük bir kısmını oluşturan boruların hasar görebilirlikleri incelenmiştir.



Şekil 1.1. Sakarya ili altyapı sistemleri ağ modeli

Afet yönetimi, afetler meydana gelmeden önce, önleme ve zarar azaltma çalışmalarının yapıldığı risk yönetimi ve afet meydana geldikten sonra müdahale ve iyileştirme çalışmalarının yapıldığı kriz yönetiminden oluşur. Mevcut altyapı sistemlerinin olası depremlerde hasar görülebilirliklerini değerlendirmek üzere, literatürde birçok çalışma yapılmış ve mevcut altyapı sistemlerinin deprem güvenliği değerlendirilmiştir. Amerikan Acil Durum Yönetimi Ajansı (FEMA) tarafından altyapı ve üstyapılar için tehlike tahmin ve kayıp metodolojilerinin belirlendiği teknik kılavuz yayınlanmıştır. Literatürde birçok bilim insanı tarafından geliştirilmiş hasar görülebilirlik yöntemleri ile mevcut yapıların deprem güvenliği analiz edilip, afet meydana gelmeden önce risklerin ortaya konularak kabul edilebilir seviyelere indirilmesi hedeflenmiştir. Risk yönetimi; riskin değerlendirilmesi, görselleştirilmesi, fayda maliyet analizi ve riskin azaltılması aşamalarından oluşmaktadır. Bu tez çalışmasında Sakarya ili altyapı sistemlerinden; içme suyu temin ve dağıtım, kanalizasyon, yağmur suyu ve doğalgaz şebekelerinin büyük bir bölümünü oluşturan gömülü borular için Şekil 1.2. ile gösterilen aşamalara göre sismik riskler belirlenerek görselleştirilmiştir.



Şekil 1.2. Sakarya ili altyapı sistemleri risk yönetimi aşamaları

Geçmiş depremlerle ilgili yapılan çalışmalarda, gömülü boru hasarları ile deprem parametreleri arasında en yüksek ilişkinin en büyük yer hızı (PGV) parametresi olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada, gömülü boruların olası depremlere karşı hasar görülebilirliklerinin analizinde kullanılan en büyük yer hızı parametresi, Avrupa ve Orta Doğu için geliştirilmiş Earthquake Model of the Middle East (EMME) ve Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE) adlı sismik tehlike modeli projelerinin fay verileri kullanılarak klasik olasılıksal sismik tehlike analizi ile elde edilmiştir. Kullanılan fayların Sakarya ilinde oluşturacağı kuvvetli yer hareketi parametreleri Boore ve Atkinson (2008) yer hareketi tahmin denklemleri yardımıyla hesaplanmıştır. Klasik olasılıksal sismik tehlike analizinde açık kaynak kodlu openquake yazılımının tehlike modülü kullanılmıştır. Gömülü boru hasar görülebilirlik analizlerinde rol oynayan bir diğer parametre ise boruların bulundukları zemin koşullarıdır. Bu sebeple Sakarya il genelinde 2044 noktadan alınan sismik veriler yardımıyla zemin sınıfı haritası oluşturulmuş, sıvılaşmaya yatkınlık verileri ise Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan 1/250.000 ölçekli haritadan elde edilmiştir.

Boru hasar görebilirlik analizlerinde kullanılacak tüm parametreler belirlendikten sonra, coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla Sakarya ili altyapı sistemlerinin boru envanteri oluşturulup tüm borulara hasar görebilirlik parametreleri tanımlanmıştır. Boru hasar görebilirlik parametrelerinin borulara tanımlanması amacıyla 2,5 x 2,5 km'lik gridler oluşturulmuş ve her grid içerisinde kalan boru cinsi, çapı, uzunluğu ve konumu bilinen borulara; en büyük yer hızı, zemin sınıfı, zemin sıvılaşmaya yatkınlığı ve yükselti verileri tanımlanmıştır. Boru hasar görebilirlik analizleri için literatürde sıklıkla kullanılan, HAZUS, Isoyama (2000), ALA (2001) ve Yoo, Kang ve Kim (2013) metodları kullanılmıştır. Analizler sonucunda tüm borular için hasar görebilirliği ifade eden hasar onarım oranları elde edilmiş ve borular hasar onarım oranlarına göre sınıflandırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda en büyük yer hızının yüksek olduğu, Adapazarı ilçesi güneyi, Akyazı, Arifiye, Karapürçek, Erenler, Sapanca, Geyve ve Pamukova ilçelerindeki boruların hasar görebilirlik seviyelerinin yüksek ve çok yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca içme suyu şebekelerinde kullanılan kırılğan yapıdaki asbestli çimento boruların hasar görebilirliklerinin çok yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir. Kanalizasyon ve yağmur suyu şebekelerinde kullanılan kırılğan yapıdaki beton ve betonarme boruların hasar görebilirlik seviyelerinin yüksek ve çok yüksek olduğu görülmüştür. Doğalgaz şebekelerinde kullanılan boru türlerinin duktıl yapıda çelik ve polietilen olmasından dolayı diğer şebekelere göre daha güvenli olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonuçlarının Sakarya ili altyapı sistemlerinden sorumlu kurum ve kuruluşlara risk yönetimi aşamasında katkıda bulunacağı ve yeni projeler için güvenilir planlama yapılmasını sağlayacağı düşünülmektedir.

1.1. Literatür Özeti

Deprem ile ilgili yerbilimciler tarafından depremin çoğunlukla jeolojik ve jeofizik özelliklerinin araştırılmasını elen alan çalışmalar yapılmıştır. İnşaat mühendisliği açısından ise deprem ile ilgili çalışmalar, çoğunlukla depremin; bina, köprü, baraj, ulaşım sistemleri, gömülü boru sistemleri vb. yapılar ve yapı elemanları üzerindeki davranışlarını kapsamaktadır. Bu çalışmada depremin, kentler için can damarı niteliği taşıyan altyapı sistemleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu bölümde konu ile ilgili daha önce yapılmış önemli ve güncel çalışmaların özeti verilmiştir.

O'Rourke ve Palmer (1996) çalışmalarında, 61 yıllık zaman periyodunda, çelik gaz boru hatlarının deprem performanslarını araştırmışlardır. Büyüklüğü $M_L \geq 5.8$ olan 11 adet deprem kullanılarak, en hassas boru türleri, hasar oluşum mekanizmaları, hasar istatistiklerine, hasara sebep olan deprem şiddeti ve yer deformasyonu kaynaklı hasarları incelemişlerdir. Bu çalışmada kullanılan uzun dönmeli ve kapsamlı veriler ile karmaşık ve büyük gaz iletim hatlarının sismik davranışı ortaya konulmuştur. Kaynak tipi, boru hattı yaşı, kalıcı ve geçici yer deformasyonu etkileri birlikte değerlendirilerek hasar istatistikleri ortaya konulmuştur. Ayrıca çalışmada 1933 Long Beach Depremi boyunca aşırı sıvılaşma sonucu gaz iletim hatlarının performansı incelenmiştir. Çalışma sonucunda modern, korumalı elektrik ark kaynaklarının Güney Kaliforniya depremlerinde çok iyi performans gösterdiği görülmüş ve yalnızca çok büyük ve ani kalıcı zemin deformasyonu olan yerlerde deprem hasarına karşı çok yüksek hasarlar alabileceği tahmin edilmiştir. Hasar onarım istatistiklerinden, deprem hasarının ağırlıklı olarak eski boru hattı kaynaklarında meydana geldiğini ve yaştan bağımsız olarak, kaynaklar arasındaki borunun kalıcı zemin deformasyonuna genellikle iyi performans gösterdiği görülmüştür [5].

Toprak (1998) yaptığı çalışmada, 1994 Northridge depremi sonrası yapılan hasar tespit çalışmalarından elde edilen veriler ve daha önceki depremlerden elde edilen veriler yardımıyla boruların sismik hasar görebilirliklerinin analizinde uygun bir ampirik formül geliştirmiştir. Boru hasarları ile sismik tehlike parametreleri arasında en yüksek korelasyonun kuvvetli yer hareketi parametresinin en büyük yer hızı değeri ile olduğunu tespit etmiştir. Çalışmada, boruların çapları ile borularda meydana gelen hasarlar arasında bir ilişki olduğu ortaya konulmuştur. Sismik tehlikenin gömülü borular üzerindeki etkisini, sismik tehlikelere karşı zeminin dinamik tepkisini geçici yer deformasyonları olarak ve sismik tehlikelerde geri dönemeyen etkileri ise kalıcı yer deformasyonları olarak 2 ayrı kategoride incelemiştir [6].

Selçuk ve Yüçemen (1998), iletişim sistemleri, ulaşım ağları, içme suyu ve doğalgaz dağıtım şebekeleri olarak bilinen enterkonnekte sistemlerin deprem güvenliğini istatistiksel yaklaşımlarla incelemişlerdir. Bu yaklaşımlar temel olarak sistemin, sismik tehlikeler karşısındaki güvenilirliğini yani kalım olasılığını içermektedir.

Yapılan analizde, içme suyu şebekesi veya ulaşım ağı gibi bir enterkonnekte sistemin elemanları, sismik tehlikelere karşı dayanımının belirsiz ve konuma bağlı olduğu bir ağ modeline dönüştürülmektedir. Analizde klasik sismik tehlike analizi modeli kullanılmıştır. Sayısal analizler Yoo ve Deo (1988) tarafından geliştirilen algoritma ile birlikte çalışmada geliştirilen LIFEPAK yazılımında yapılmıştır. Geliştirilen yöntem, ABD Boston şehrindeki ana karayolu şebekelerinin deprem güvenliği ve Türkiye doğal gaz iletim boru hattı deprem güvenliği analizleri ile gösterilmiştir. Çalışma sonucunda, enterkonnekte sistemlerin deprem güvenliğinin değerlendirilmesinde ilk olarak sismik tehlike analizlerinin yapılması ve riskli bölgelerdeki elemanlara takviye edilmesi gerektiği önerilmiştir [7].

Sarıkaya ve Koyuncu (1999) 1999 Marmara Depremi'nin Sapanca ve İstanbul'daki içme suyu ve kanalizasyon sistemlerine etkilerini araştırmış ve değerlendirmişlerdir. 17 Ağustos'tan sonra gömülü borularda toplam 400 noktada hasar meydana gelmiş olup, asbestli çimento tipi borularda boru uzunluğunca km başına 4,4 hasar/km boru hasar oranı ortaya çıkmıştır. Deprem bölgelerinde polietilen, duktıl demir ve cam elyaf takviyeli plastik gibi esnek boruların kullanılmasını önermişlerdir. 1999 Marmara Depremi'nin ardından Tuzla Atıksu Arıtma Tesisinden yeraltı suyuna sızan kanalizasyon suları tespit edilmiştir. Sapanca'nın 180 km uzunluğundaki su dağıtım şebekesinin onarılması için 6 ila 12 milyon ABD Doları arasında bir ihtiyaç olduğu tahmin edilmiştir [8].

Toprak ve Taşkın (2007), coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla Denizli kentinin içme suyu şebekelerinin sismik tehlikeler karşısındaki hasar görülebilirliklerini incelemiştir. Bu çalışmada sismik tehlike; kuvvetli yer hareketi parametrelerinin oluşturacağı tehlikeler (PGA, PGV) olarak ele alınan geçici yer deformasyonu ve yüzey kırılmaları, sıvılaşma ve yer kaymaları olan kalıcı yer deformasyonu olarak iki ayrı etki ile incelenmiştir. Çalışmada Denizli şehrinde, iki adet sismik tehlike üretme potansiyeli yüksek kaynağın, dört adet senaryo deprem büyüklüğü ($M=6.0, 6.5, 7.0, 7.5$) ile içme suyu şebekelerinde oluşan hasarları incelenmiştir. Çalışma sonucunda, Denizli şehrinde meydana gelmesi muhtemel depremler sonucunda içme suyu dağıtım şebekelerinde ciddi hasarlar meydana geleceği ve şebekenin hizmet veremez durumda

olacağı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, içme suyu şebekelerindeki muhtemel risklerin azaltılmasına yönelik, sıvılaşma, yüzey kırığı vb. etkilere maruz bölgelerdeki asbestli çimento boru ve beton boruların sünek nitelikteki çelik, polietilen vb. borularla değiştirilmesi ve boru hatlarının içlerinde bulunduğu sismik etkilere dayanıksız zeminlerin iyileştirilmesi gibi risk azaltıcı önerilerde bulunulmuştur [9].

Ansal ve arkadaşları (2008) yaptıkları çalışmada, 1999 Marmara Depremi boyunca, Adapazarı içme suyu dağıtım şebekeleri ve kanalizasyon boru hatlarında meydana gelen hasarları incelemişlerdir. Hasar değerlendirmesi yapılırken deprem raporları ve onarımdan sorumlu birimlerden alınan sözlü verilerin derlenmesi ile oluşturulan envanter kullanılmıştır. Deprem sonrası başlıca hasarların, alüvyonal zemin özelliğine sahip bölgelerde, sıvılaşma ve yüzey kaymalardan dolayı yoğunlukla içme suyu iletim ve dağıtım sistemlerindeki asbestli çimento borularda (AÇB) olduğu gözlemlenmiştir. 1999 Marmara Depremi yer hareketi parametrelerinin, zemin yüzeyindeki değişimlerini tahmin etmek amacıyla 1 boyutlu saha davranış analizleri yapılmıştır. Girdi parametresi olarak depremin doğu-batı bileşenine ait ivme kayıtları kullanılmıştır. Adapazarı ilçesi 500 m x 500 m hücrelere bölünerek, her hücre içine; zemin tabakaları, ana kaya derinliği, yeraltı su seviyesi ve toplam birim hacim değişimleri, kayma dalga hızı, kayma modülü ve sönüm oranı bilgileri tanımlanmıştır. Analizler sonucunda, boru hasarlarında en büyük korelasyona sahip kuvvetli yer hareketi parametresi olan en büyük yer hızı dağılımı elde edilmiştir. Elde edilen en büyük yer hızı değerleri ile literatürdeki 4 adet ampirik formülün ortalaması alınarak Adapazarı içme suyu ve kanalizasyon şebekelerindeki hasar onarım oranları tahmin edilmiştir [10].

Hesari ve arkadaşları (2012) tarafından yapılan çalışmada, İran'ın kuzey batısından geçen ve 2007 yılında inşa edilmiş 3. Azerbaycan Gaz Boru Hattı'nın sismik tehlike ve sismik riski değerlendirilmiştir. Çalışmada, Sismik tehlike analizi, Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi çerçevesinde CRISIS 2007 yazılımında yapılmıştır. Sismik tehlike analizi sonucu elde edilen 475 yıl ve 2475 yıl geri dönüşüm periyoduna sahip en büyük yer hızları HAZUS hasar görülebilirlik ampirik yaklaşımında kullanılarak gaz boru hattında meydana gelen hasar onarım oranları tahmin edilmiştir. HAZUS

yaklaşımına göre gaz boru hattındaki hasar onarım oranlarının %80'i sızma, %20'si çatlama olarak sınıflandırılmaktadır. Çalışmada incelenen 618 km uzunluğundaki gaz hattı 2 km'lik parçalara ayrılarak her parça için km başına düşen hasar onarım oranları tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, gaz hattında meydana gelecek hasarın onarım maliyeti 1,054,500 \$ olarak tahmin edilmektedir [11].

Faraji ve Kiyonon (2012) olasılıksal modeller kullanarak, Endonezya'daki Padang şehrinin içme suyu şebekelerinin sismik tehlikeler karşısındaki güvenliğini değerlendirmişlerdir. Çalışmada, içme suyu şebekesi sismik hasar görebilirlik analizinde nicel veri olarak kullanılacak yer hareketi parametrelerinin belirlenmesi için öncelikle tarihsel ve aletsel kayıtlar ile deprem kataloğu oluşturulup, olasılıksal sismik tehlike analizi yapılmıştır. Altyapı sistemlerini düğümler ve bağlantı hatları olarak ayrı ayrı incelemişlerdir. 475 yıllık geri dönüş periyoduna sahip deprem tehlikesine ait kuvvetli yer hareketi parametreleri kullanılarak sistemin hasar görebilirlik analizleri yapılmıştır [12].

Çalım ve arkadaşları (2019) isale hatlarının deprem riskini olasılıksal hesap yaklaşımıyla belirlemek amacıyla İstanbul ili içme suyu şebekesindeki Ø1000 mm ve Ø2200 mm çapındaki çelik bir boruda meydana gelmesi muhtemel sismik hasar görebilirlikleri, literatürde gömülü boru hatlarının hasar görebilirliği için geliştirilmiş ampirik formüllerle tahmin etmişlerdir. Çalışmada İstanbul ve çevresinde sismik tehlike üretme potansiyeline sahip kaynaklar belirlenmiş ve Yer Hareketi Tahmin Bağlantıları kullanılarak, İstanbul için en büyük yer hızı tahmini yapılmıştır. Elde edilen en büyük yer hızı dağılımı yardımıyla içme suyu kaynağından, terfi merkezi ve arıtma tesisi arasında bulunan 2 adet boru için hasar görebilirlik analizleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem tehlikesine ait hasar görebilirlik sonuçları, 0,12-0,24 onarım/km olarak tahmin edilmiştir. Tahmin edilen değerlerin içme suyu kaynağından arıtma tesisine olan mesafede hasar meydana geleceği ve meydana gelen hasarın içme suyu şebekesinde aksaklık oluşturacağı değerlendirilmiştir [13].

Pavel ve arkadaşları (2021) tarafından yapılan çalışmada, Romanya'nın başkenti Bükreş'te bulunan elektrik, doğalgaz, içme suyu ve kanalizasyon şebekeleri altyapı sistemlerinin sismik performanslarını, SYNER-G projesinde yer alan hasar görülebilirlik bağıntıları kullanılarak onarım oranı cinsinden tespit etmiştir. Çalışmada Vrancea sismik kaynağının Monte Carlo simülasyonu kullanılarak üretilmesi muhtemel deprem büyüklükleri kullanılmıştır. Elde edilen ampirik sonuçları 1977 Vrancea depremindeki altyapı hatlarındaki gözlemsel sonuçlarla kıyaslamışlardır. En büyük hasar onarım oranlarının, $M_w = 7.0$ ve $M_w 7.5$ büyüklüğündeki depremlerde, elektrik dağıtım sistemlerinde meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca doğalgaz şebekelerindeki hasar onarım oranlarının, su dağıtım şebekelerindeki hasar onarım oranlarından daha küçük olduğu gözlemlenmiştir. Gömülü boru hatlarında gözlemlenen en büyük hasar oranlarının kanalizasyon şebekelerinde meydana geldiği gözlemlenmiştir. SYNER-G projesindeki ampirik formüllerle elde edilen hasar onarımlarının içme suyu şebekelerindeki küçük çaplı font borular için gözlemsel hasar onarım oranları ile çok yakın olduğu gözlemlenmiştir [14].

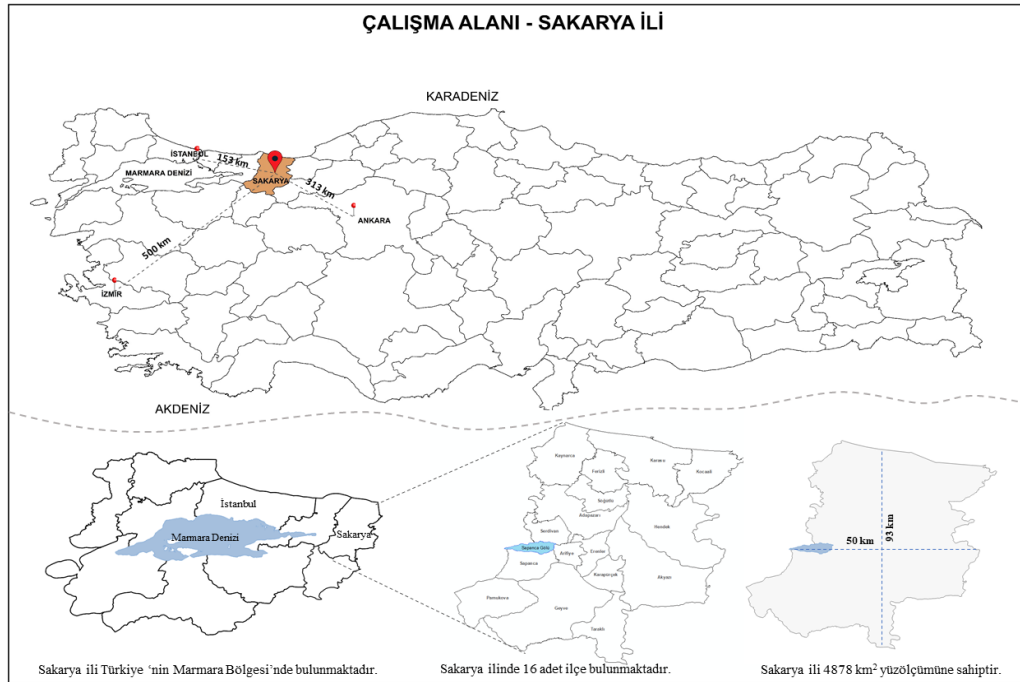
Zohra ve arkadaşları (2012) coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla içme suyu boru hatlarının sismik hasar görülebilirliğini değerlendirmiştir. Bu çalışmada boru hattının sismik davranışına etki eden; yer sarsıntısı, sıvılaşma, oturma, heyelan, fay kesişimleri, boru sürekliliği, boru yaşı, boru çapı ve korozyon parametrelerini kullanarak Cezayir'de bir şehir olan Blida için hasar görülebilirlik analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla görselleştirilmiştir. Sismik olarak yüksek riskli bölgelerde boru çapı ve boru malzemesine bağlı olarak daha fazla hasar oluşmasından dolayı bu bölgelerde boru tipi değişimleri önerilmiştir [15].

Inanloo ve arkadaşları (2016) ulaşım ağları, içme suyu ve kanalizasyon şebekelerinden oluşan altyapı sistemlerinin birbirleri ile etkileşiminin de değerlendirildiği coğrafi bilgi sistemleri tabanlı bütüncül bir hasar görülebilirlik değerlendirme metodu geliştirmişlerdir. Çalışmada, ulaşım ağları, içme ve kanalizasyon hattının birlikte değerlendirildiği bir güzergahta, boru hatlarında meydana gelen hasarın onarımı esnasında meydana gelecek trafik aksamalarını ve bu aksamalardan dolayı etkilenen nüfus tahmin edilmiştir [16].

BÖLÜM 2. ÇALIŞMA ALANI

2.1. Sakarya İli

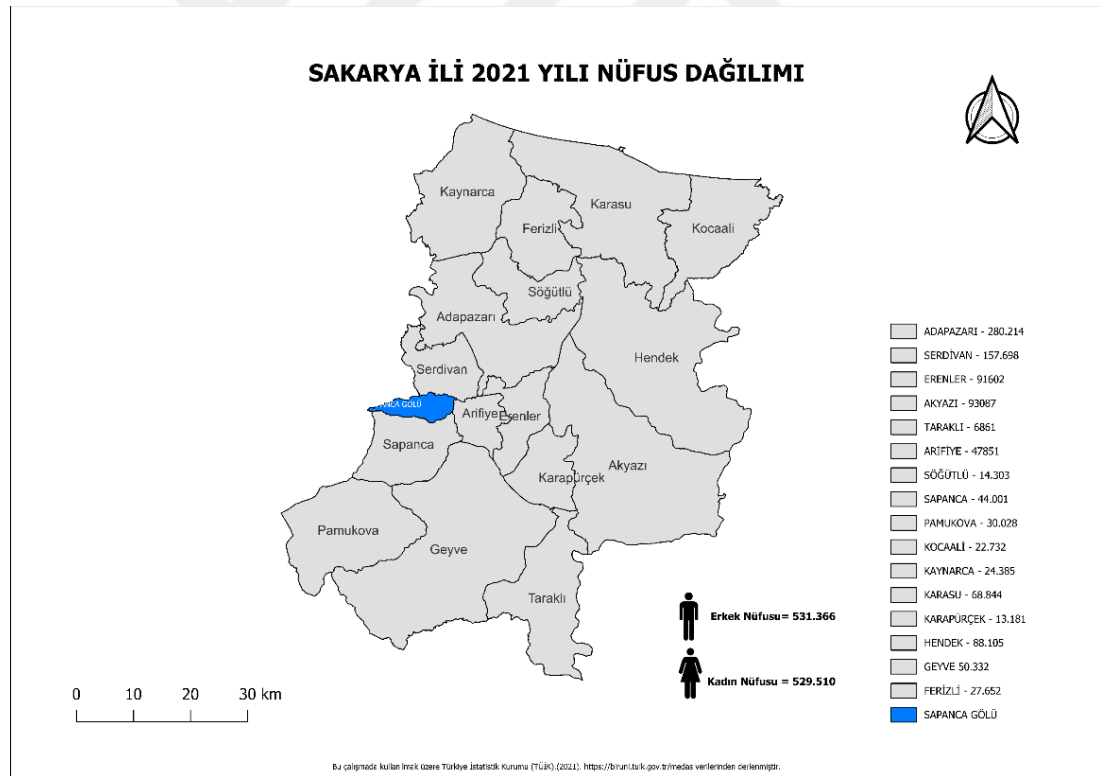
Sakarya ili Marmara Bölgesi'nin doğu kesiminde yer almaktadır. Sakarya ili, kuzeyinde Karadeniz ile sınırlanırken, batısında Kocaeli ili, güneyinde Bursa ve Bilecik illeri, doğusunda ise Düzce ve Bolu illeri ile sınırlanmaktadır. İlin yüzölçümü 4878 km² olup 16 adet ilçeye ayrılmaktadır. İl sınırları içerisinde iki önemli su kaynağı olan Sapanca Gölü ve Sakarya Nehri bulunmaktadır. İl Adapazarı ismiyle Kocaeli iline bağlı bir kaza iken 22 Haziran 1954 tarihli ve 6419 sayılı kanun ile Kocaeli'nden ayrılmış ve Sakarya ismini almıştır. 6 Mart 2000 tarihinde 593 sayılı resmî gazetedeki büyükşehir statüsüne geçmiştir. Sakarya ili ile ilgili genel bilgiler Şekil 2.1. ile gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Çalışma alanı Sakarya ili genel bilgiler

2.2. Sakarya İli Nüfusu

Türkiye İstatistik Kurumu tarafından yapılan son istatistiksel verilere göre Sakarya ili 2021 yılı sonu nüfusu 1.060.876'dır. İl nüfusunun kadın erkek dağılımının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Sakarya nüfus bakımından Türkiye'de 22., yüzölçümü olarak 66. sıradadır. 1954 yılına kadar Kocaeli'ye bağlı bir ilçe olan Adapazarı, 22 Haziran 1954 tarihinde İl olarak Sakarya adını almıştır. 06.03.2000 tarihinde de Büyükşehir Belediyesi statüsüne kavuşturulmuştur. İl sınırlarında 16 ilçe bulunmaktadır. 22 Mart 2008 tarihli Resmî Gazetede yayınlanan 5747 sayılı kanunla; Adapazarı, Erenler, Serdivan ve Arifiye adında 4 yeni ilçe kurulmuş olup il merkezini bu 4 ilçe oluşturmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılmak üzere TÜİK'den elde edilen nüfus verileri coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla haritalanmış ve Şekil 2.2.'de ilçelere göre nüfus dağılımı gösterilmiştir [17].

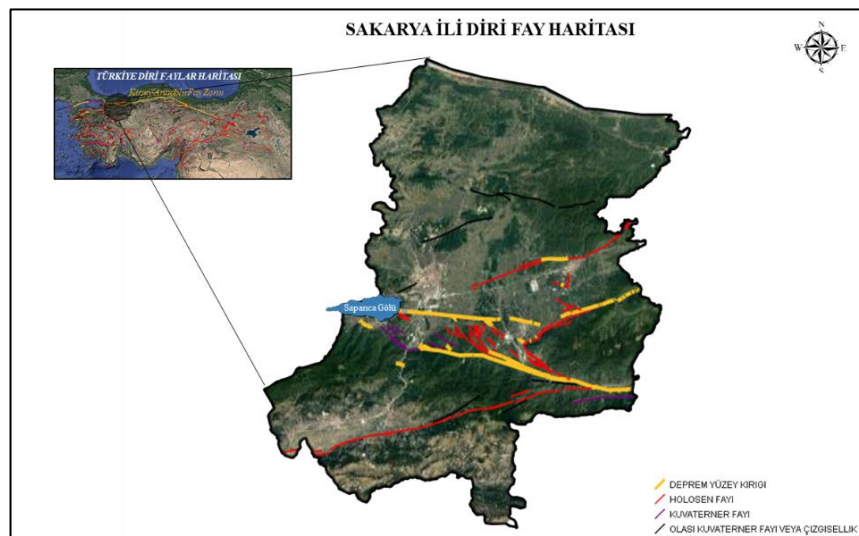


Şekil 2.2. Sakarya ili nüfus bilgileri [17].

sağladığı ulaşım kolaylığı olduğu düşünülmektedir. Ancak gevşek ve sıvılaşma riski yüksek olan bu tip jeolojik özelliklere sahip bölgelerde kuvvetli yer hareketi tehlikelerinin oluşturacağı risklerin yerleşim bölgelerinde afetlere sebep olması beklenmektedir.

Sakarya ili, konumu itibariyle ülkemiz için büyük deprem tehlike kaynağı olan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde bulunmaktadır. Kuzey Anadolu Fay Zonu, dünya üzerindeki en uzun sürekli kıtasal doğrultu atımlı fay sistemlerinden biri olup 1500 km uzunluğa sahiptir. Başlangıcı doğuda Karlıova Üçlü Kavşağı olarak bilinen bölge olup hat Kuzey Ege Denizi'ne kadar uzanır [19].

KAFZ üzerinde geçmişte birçok büyük deprem meydana gelmiştir. Şekil 2.4.'teki haritada Sakarya ilinden geçen ve KAFZ içinde yer alan diri faylar görülmektedir. Bu diri faylar; deprem yüzey kırığı olarak adlandırılan ve 1900 yılından günümüze kadar, yüzey kırılması etkisi oluşturmuş büyükteki depremleri üretmiş faylar, holosen fayı olarak adlandırılan ve son 11.000 yıl'da yüzey kırılmasıyla sonuçlanan büyüklükte depremleri üretmiş faylar, kuvarterner fayı olarak adlandırılan ve son 2.600,00 yıl'da yüzey kırılmasıyla sonuçlanan büyüklükte depremleri üretmiş fayları ve olası kuvarterner fayı veya çizgisellik olarak adlandırılan ve kuvarterner aktivitesi kuşkulu fay veya güncel topoğrafyada belirgin çizgisellik olarak sınıflandırılmaktadır [20].

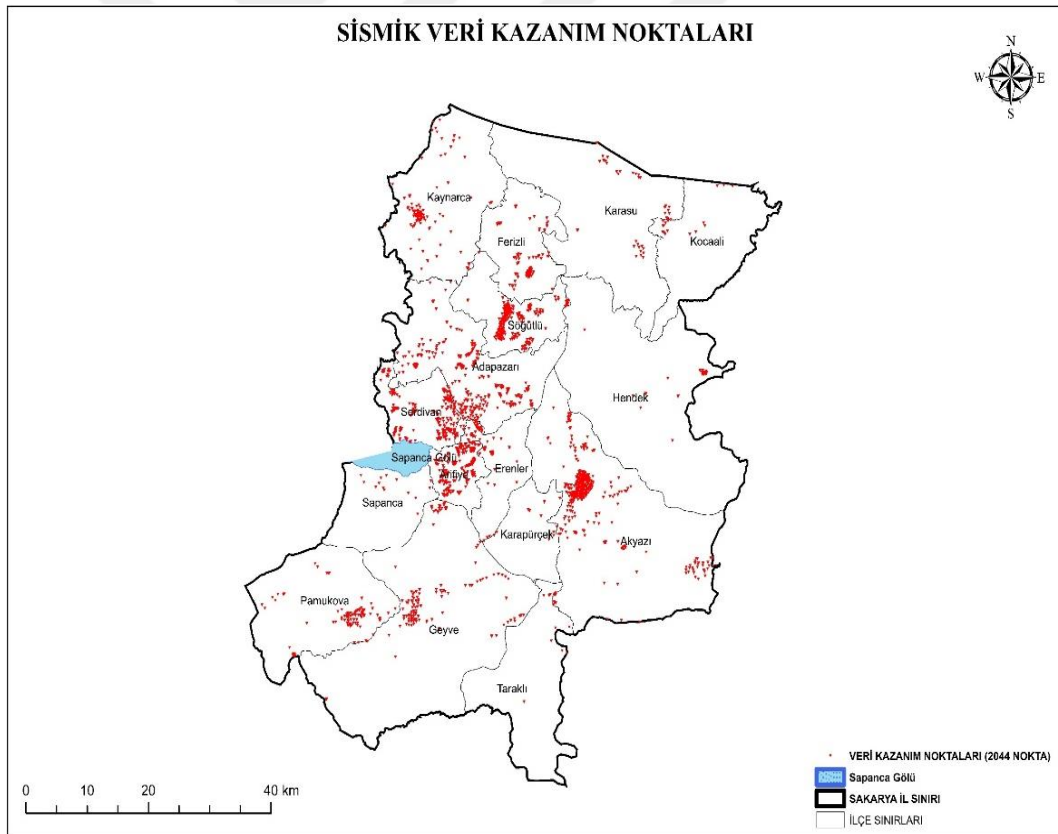


Şekil 2.4. Sakarya ili diri fay haritası [20]

2.4. Sakarya İli Zemin Sınıfları

Sakarya ili zemin özelliklerinin incelenmesi amacıyla, Sakarya ili imar planlamalarında ve yerleşim yerlerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere hazırlanmış raporlardan elde edilen, zemin üst kotundan 30 m derinliğe kadar olan mesafe için ortalama kayma dalga hızı (V_{s30}) verileri yardımıyla Tablo 2.1.'de gösterilen TBDY-2018'e göre yerel zemin sınıflandırması yapılmıştır.

Öncelikle 2044 adet noktadan alınmış sismik veriler coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla noktasal olarak işlenmiş, daha sonra bu nokta verileri enterpolasyon yardımıyla yoğunluk haritalarına dönüştürülmüştür. Veri alınan noktalar Şekil 2.5. ile gösterilmiştir.

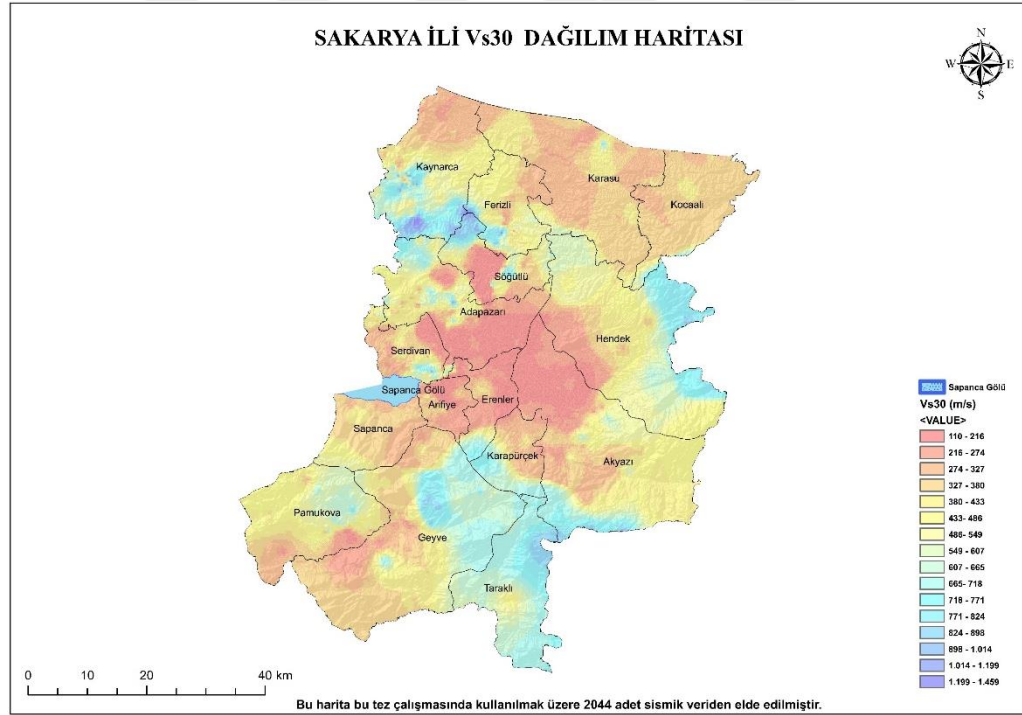


Şekil 2.5. Sismik veri kazanım noktaları

Tablo 2.1. TBDY-2018 yerel zemin sınıfları [21]

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	V_{s30} [m/s]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760-1500
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360-760
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180-360
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180

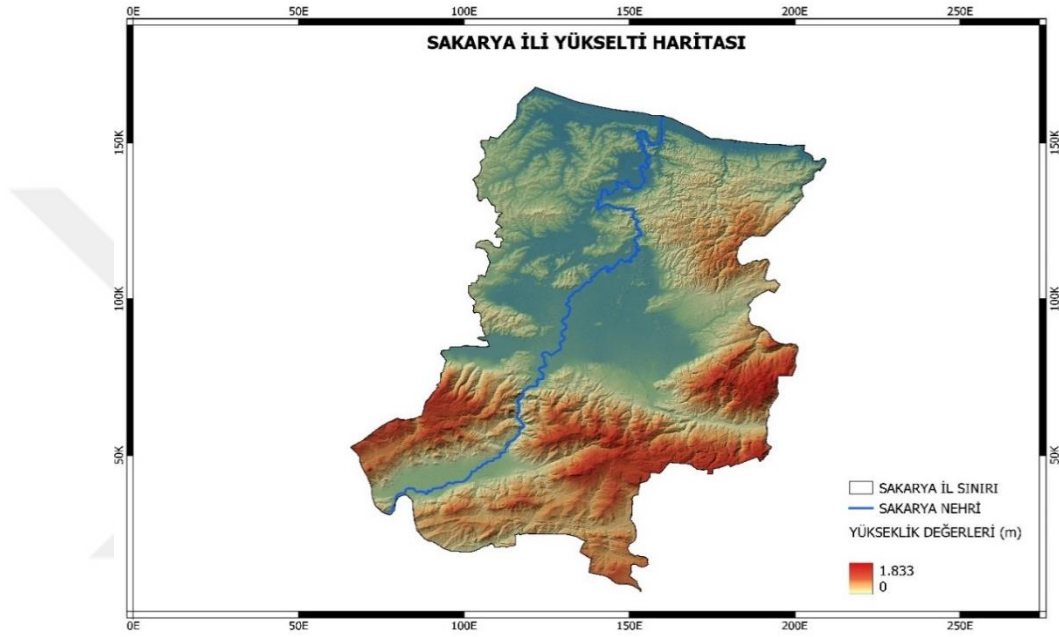
Veri kazanım noktalarındaki veriler yardımıyla oluşturulan Sakarya ili zemin üst yüzeyinden 30 m derinlikte ortalama kayma dalga hızına ilişkin harita Şekil 2.6. ile gösterilmektedir.

Şekil 2.6. Sakarya ili V_{s30} Haritası

Yerel Zemin sınıflarının oluşturulması amacıyla, mevcut tüm V_{s30} verileri TBDY-2018 de belirtilen yerel zemin sınıflandırılması esasıyla gruplandırılmıştır. Toplamda

2.5. Sakarya İli Yükselti Özellikleri

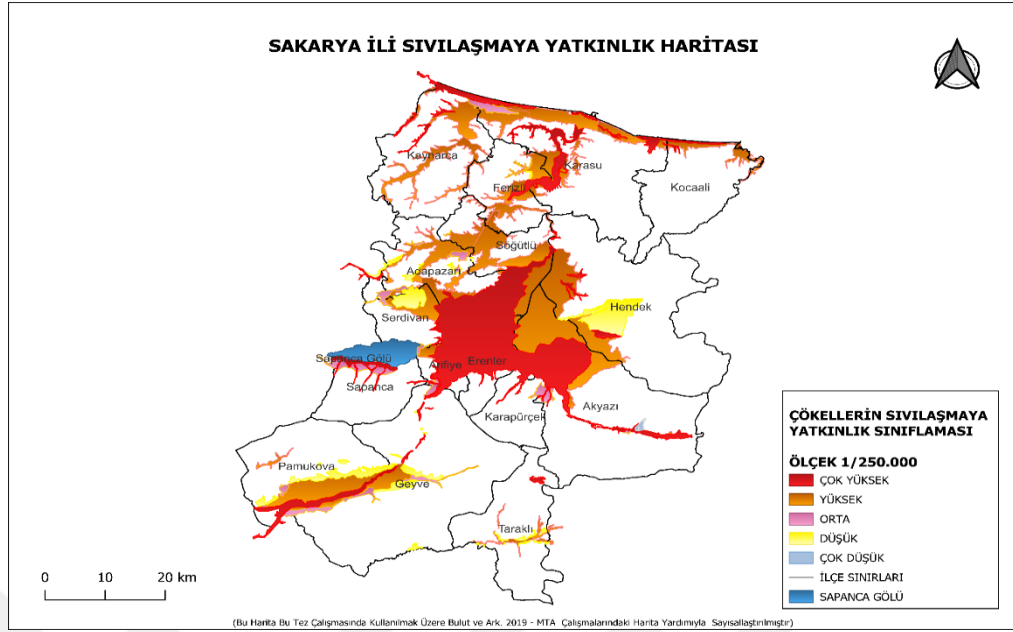
Sakarya ili uydu görüntülerinden elde edilen eş yükselti eğrileri sonucu oluşturulmuş yükseklik haritası aşağıda Şekil 2.7.'de gösterilmiştir. İl nüfusunun yoğun olduğu merkezde yükseltinin düşük olduğu görülmektedir. Aynı zamanda ilin güney batı kesiminden kuzeye gidildikçe yükseltinin azaldığı görülmüştür.



Şekil 2.8. Sakarya ili yükselti haritası

2.6. Sakarya İli Zemin Sıvılaşma Özellikleri

Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan 1/250.000 ölçekli çökellerin sıvılaşmaya yatkınlık haritası bu çalışmada kullanılmak amacıyla sayısallaştırılarak Şekil 2.9.'da gösterilmektedir. Sakarya il nüfusunun yoğun olarak bulunduğu Adapazarı, Erenler, Serdivan ve Arifiye ilçelerinden oluşan kent merkezinin zemin özelliklerinin sıvılaşmaya yatkınlığı çok yüksek ve yüksek çökellerden oluştuğu görülmektedir. Kent nüfusunun yoğun olmasına paralel olarak altyapı sistemlerinin yoğun olduğu bu bölgelerde kuvvetli yer sarsıntılarının sıvılaşma potansiyeli yüksek zeminleri tetikleyeceği ve yapısal hasarlara sebep olabileceği görülmektedir.



Şekil 2.9. Sakarya ili sivilaşmaya yatkınlık haritası

2.7. Sakarya İli Deprem Geçmişi

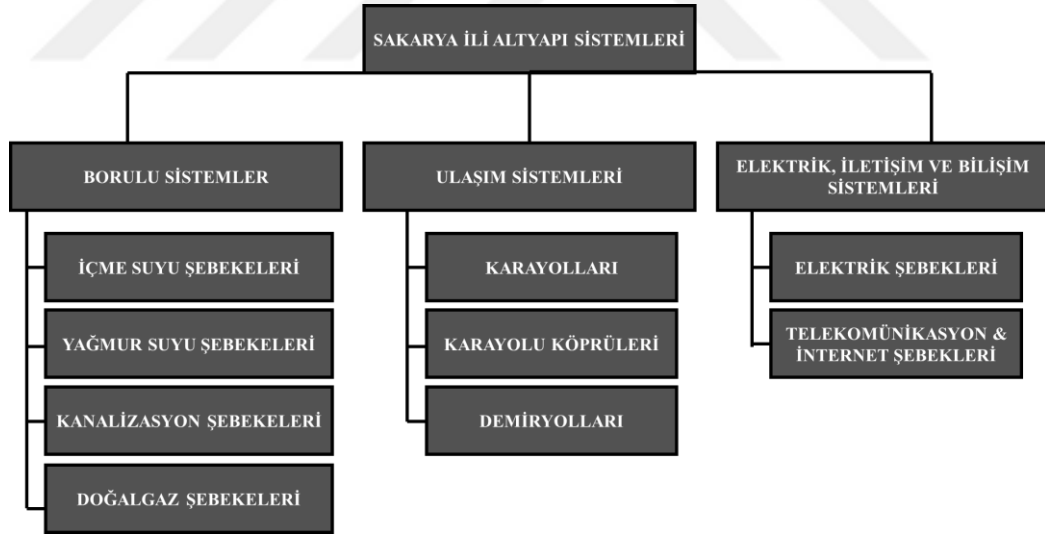
Sakarya ili, konumu itibariyle ülkemiz için büyük deprem tehlike kaynağı olan Kuzey Anadolu Fay Zonunun üzerinde bulunmaktadır. Kuzey Doğu Anadolu Fayı'nda geçtiğimiz yüzyılda doğudan batıya doğru sırasıyla; 1939 yılında Erzincan Depremi, 1942 Tokat Niksar Depremi, 1943 Tosya-Ladik Depremi, 1944 Bolu-Gerede Depremi, 1957 Bolu-Abant Depremi, 1967 Adapazarı-Mudurnu Depremi ve 1999 İzmit Depremi meydana gelmiştir. Sakarya ilinde ise geçmiş üç yüzyılda 9 büyük deprem meydana gelmiş ve bu depremler Tablo 2.3. ile gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Sakarya ili geçmiş büyük depremleri

Sıra No	Tarih	Odak Noktası		Büyüklüğü
		Enlem	Boylam	
1	25.05.1719	40.70	29.80	6.8
2	22.05.1766	40.80	29.00	6.6
3	10.07.1894	40.70	29.60	6.8
4	20.06.1943	40.84	30.73	6.4
5	26.05.1957	40.67	31.00	6.7
6	18.09.1963	40.77	29.12	6.3
7	22.07.1967	40.70	30.70	6.7
8	17.08.1999	40.76	29.97	7.4
9	12.11.1999	40.74	31.21	7.2

BÖLÜM 3. SAKARYA İLİ ALTYAPI SİSEMLERİ

Altyapı sistemleri genel olarak, bir kentsel yaşam alanında, temel yaşam ihtiyaçlarının karşılanması için gerekli sistemlerdir. İçme suyu temin ve dağıtım şebekeleri, kanalizasyon şebekeleri, yağmur suyu şebekeleri, doğalgaz şebekeleri, karayolu ve demiryolu gibi ulaşım ağları, elektrik ve telekomünikasyon ağları genel olarak altyapı sistemleri olarak bilinmektedir. Bir yerleşim alanı planlanırken, inşaat aşamasında gerekli olacak su, elektrik, ulaşım ağı gibi temel altyapı sistemlerinin planı esas alınmaktadır. Yerel idareler, yerleşim yerlerinin, temel altyapı ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla altyapıların planlanması ve inşasından sorumludurlar. Şekil 3.1. ile Sakarya ili için altyapı sistemlerinin genel dağılımı gösterilmektedir.

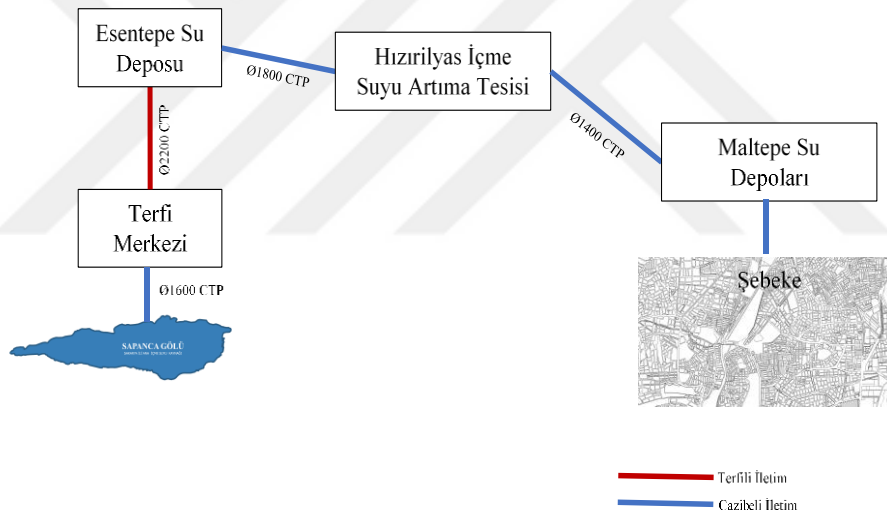


Şekil 3.1. Sakarya ili altyapı sistemleri genel dağılımı

Bu tez çalışmasında genel olarak, Sakarya ili içme suyu temin ve dağıtım şebekeleri, kanalizasyon şebekeleri, yağmur suyu ve doğalgaz şebekelerinin büyük çoğunluğunu oluşturan gömülü borularının hasar görülebilirlikleri değerlendirilecektir.

3.1. Sakarya İli İçme Suyu Şebekeleri

Sakarya ili içme suyu temel kaynağı Sapanca Gölü'dür. Sapanca Gölü kaynağından ilin nüfus yoğunluğunun fazla olduğu merkez ilçelerinin içme suyu ihtiyacı karşılanmaktadır. Su, gölün 1176 m kıyı içinde bulunan su alım ağzından Ø1600 mm çaplı cam elyaf takviyeli poliester malzemeden üretilmiş 2 adet boru ile terfi merkezine alınmaktadır. Terfi merkezinde bulunan motorlu pompalar vasıtasıyla Ø2200 mm çaplı CTP boru ile Esentepe Su Deposuna terfi edilmektedir. Esentepe deposundaki su arıtmak üzere Ø1800 mm çaplı CTP boruda cazibeli iletim ile 113.529.600 m³/yıl kapasiteli Hızırilyas İçme Suyu Arıtma Tesisine aktarılmaktadır. Bu tesiste içme suyu standartlarına uygun hale getirilen su Ø1400 mm çaplı CTP boru ile Maltepe depolarına cazibeli iletim ile aktarılmakta buradan şehir şebekesine iletilmektedir.



Şekil 3.2. Sakarya ili kent merkezi içme suyu sistemi şeması

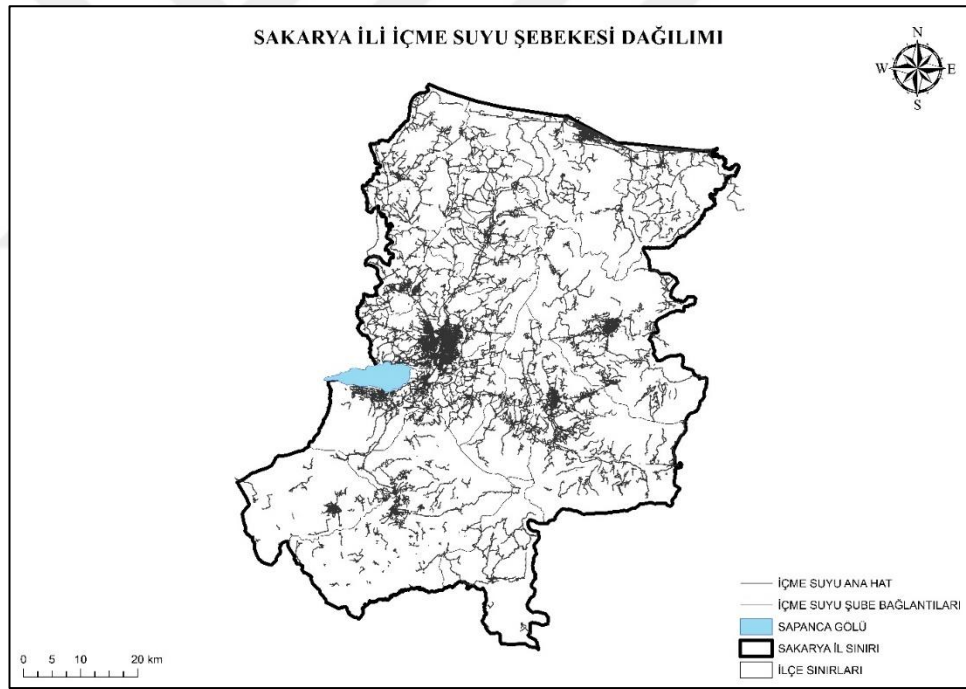
Sakarya ilinde içme suyu, yağmur suyu ve kanalizasyon şebekeleri ile ilgili planlamaları, imalatları ve diğer her türlü hizmetleri yürütmek ile yükümlü kuruluş Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresidir. 2021 yılı sonu itibariyle 4 848 km² alana sahip Sakarya ilinde toplamda 500.841 adet içme suyu abonesi bulunmaktadır [22].

Sakarya ili içme suyu temin ve dağıtım şebekeleri ile ilgili genel bilgiler Tablo 3.1. de verilmiştir.

Tablo 3.1. Sakarya ili içme suyu şebeke elemanlarına ait bilgiler

Sistem Elemanları	Miktar	Birim
Şebeke Uzunluğu	7380,22	km
Arıtma Tesisi	11	Adet
Depo Sayısı	676	Adet
4 Terfi İstasyonu	116	Adet
Kuyu	184	Adet
Depo İçi Terfi Merkezi	65	Adet

Sakarya ili içme suyu temin ve dağıtım sistemi incelendiğinde, içme suyu arıtımı için il genelinde toplamda 11 adet arıtma tesisi, 676 adet depo, 116 adet terfi istasyonu, 184 adet yer altı su kuyusu ve 65 adet depo içi terfi merkezi olduğu görülmektedir. İçme suyu şebekesinin büyük kısmını oluşturan gömülü borular ise toplamda 7380,22 km uzunlukta olup, il genelindeki dağılımı Şekil 3.3.'deki harita ile gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Sakarya ili içme suyu şebekesi dağılım haritası

3.2. Sakarya İli İçme Suyu Şebekelerinde Kullanılan Boru Türleri

Sakarya ili içme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde en sık kullanılan boru türleri; duktıl font boru (DFB), polivinil klorür (PVC) boru, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) boru, çelik boru (ÇB) ve asbestli çimento boru (AÇB) olarak

adlandırılmaktadır. Bunların yanı sıra cam takviyeli plastik (CTP) ve beton borularda kullanılmaktadır. Ülkemizde içme suyu temini ve dağıtım sistemlerinin planlanması, tasarımı, projelendirilmesi, yapımı ve işletilmesi ile ilgili yöntem ve ilkeleri belirlemek amacıyla 12.10.2017 tarihinde resmî gazetede “İçme Ve Kullanma Suyu Temini Ve Dağıtım Sistemleri Hakkında Yönetmelik” yayınlanmıştır. İçme suyu şebekelerinin planlanması ve şebeke borularının teknik şartnamesi hazırlanırken bu yönetmeliğin belirlediği sınırlar esas alınmaktadır. Sakarya ili içme suyu şebekesinde sık kullanılan boru türleri ile ilgili özellikler aşağıda belirtilmiştir.

3.2.1. Polietilen borular (PE)

Sakarya ili içme suyu şebekesinde bulunan polietilen borular, HDPE-100 olarak adlandırılan ve petrokimya ürünü olan yüksek yoğunluklu polietilen malzemeden imal edilmiştir. İsimde yer alan 100 rakamı ile bu malzemeden imal edilmiş boruların dayanımının $\sigma=10.0$ MPa olduğu ifade edilmektedir. Bu malzemeden üretilmiş borular, hafif ve esnektir, darbelere dayanıklıdır, özkütleleri yaklaşık olarak $0,93 \text{ gr/cm}^3$ olduğu için çelik borulardan daha hafiftir. Sünek özellik göstermelerinden dolayı sismik yer hareketlerinden daha az etkilenirler. Polietilen boruların dezavantajları ise, darbe dayanımlarının düşük olması ve aşınmaya karşı hassas olmalarıdır [23].

3.2.2. Çelik borular (ÇB)

Çelik borular dayanımı yüksek, sünek ve servis ömrü uzun özelliktedirler bu sebeple sismik tehlikelerin yüksek olduğu yerlerde kullanılabilirler. Ancak çelik malzemenin korozyon etkilerine karşı düşük dayanımlı olması sebebiyle zeminden gelecek kimyasal etkilere karşı korunması amacıyla Sakarya su iletim sisteminde kullanılan boru imalatlarında boru dış yüzeyi polietilen iç yüzeyi ise epoksi malzemeler ile kaplanmaktadır. Çelik boru hatları uçlarından birbirlerine kaynak yapılarak döşenir. Kullanılan epoksi reçineleri solventsiz olmakta ve içme suyu kalitelerine uygun olmaktadır. Genel olarak çelik boruların dayanımları yüksektir, sünek özellik gösterirler, hafiftirler, ekonomiktirler ancak özel koruyucu kaplama gerektirirler [24].

3.2.3. Asbestli çimento borular (AÇB)

Asbestli çimento boruların özellikleri, üretim süreçleri ve kimyasal bileşenleri ile yakından ilişkilidir. Asbestli çimento boruların üretiminde, asbest elyafı, portlant çimentosu ve su bulunmaktadır. Boru dayanımını asbest elyafları arttırmaktadır. Don dayanımları yüksek olmasına rağmen eğilme dayanımları düşük olduğu için sismik etkilerde gevrek özellik gösterirler [25].

3.2.4. Cam elyaf takviyeli poliester borular (CTP)

CTP borular, polyester reçine, cam elyaf ve silika kum maddelerinin birleştirilmesiyle üretilmektedir. Yapısında bulunan cam elyaflar sayesinde boru basınç dayanımı ve boru rijitliği sağlanmaktadır. CTP borular tabakalar halinde üretilmektedir. Bu tabakalar astar tabakası, dayanım tabakaları ve dış yüzey tabakasıdır. Yüzey pürüzlülüğünün düşük olmasından dolayı sürtünme kayıpları diğer borulara nispeten azdır ve daha az pompa enerjisi harcanmasını sağlamaktadır. CTP boruların genel olarak korozyona ve diğer etkilere dayanımları iyidir fakat maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle ekonomik değildirler [24].

3.2.5. PVC borular

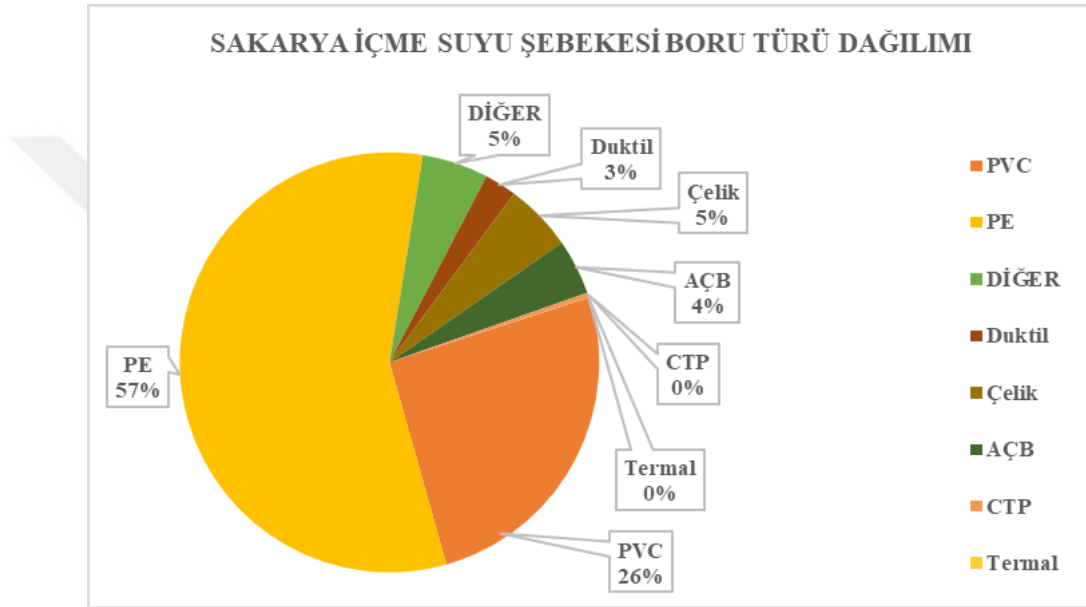
Polivinil klorür adlı hammaddeden üretilen PVC borular, petrol ve doğalgaz gibi hammaddelerin tuz ile karışımıyla üretilir. Maliyetleri düşük ve hafif olmalarına rağmen iç ve dış basınç dayanımları düşük olduğu için içme suyu sistemlerinde genellikle basıncın düşük olduğu uç noktalarda ve bina içi tesisatlarında kullanılmaktadırlar [26].

3.2.6. Duktıl borular

Erimiş demire, kırılma dayanımını azaltacak elementlerin katılmasıyla elde edilen borulardır. Boru iç yüzeyleri çimento kaplı dış yüzeyleri ise çinko ve bitüm kaplıdır. Basınç ve çekme mukavemetleri yüksektir ve sünek özellik gösterirler. Sünek

özelliklerinden dolayı sismik etkilere karşı dayanımları yüksektir. Korozyon etkilerine ve diğer zemin etkilerine dayanıklıdır. Üretim teknikleri ve yapılarında bulunan hammaddelerden dolayı maliyetleri yüksektir [26].

Şekil 3.4.'te Sakarya ili içme suyu şebekesinde kullanılan boru türleri görülmektedir. İçme suyu şebekesinde en çok kullanılan boru türünün polietilen borular olduğu görülmektedir.



Şekil 3.4. Sakarya içme suyu şebekesi boru türü dağılımı

Kullanılan polietilen borular malzeme ve teknik özellik bakımından, TS EN 12201-1 standardına uygun, HDPE PE100 (petrolden elde edilen, yüksek yoğunluklu polietilen malzeme) hammaddeden ve minimum gerekli dayanım değeri 10 MPa olarak imal edilmiştir.

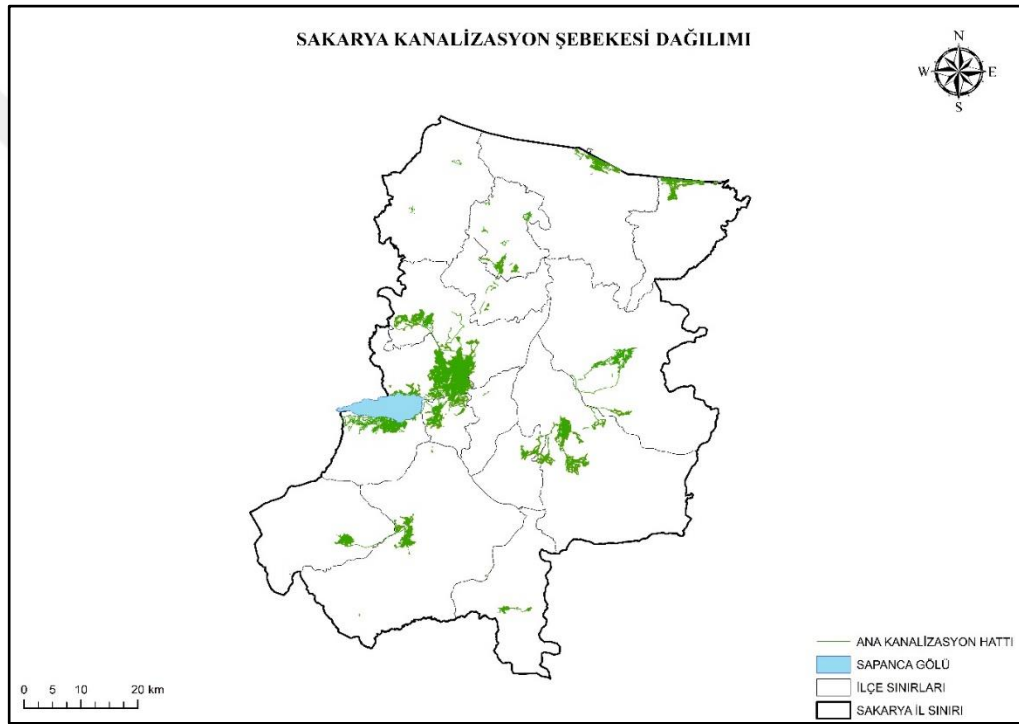
3.3. Sakarya İli Yağmur Suyu ve Kanalizasyon Şebekeleri

Sakarya ili yağmur suyu ve kanalizasyon şebekeleri ile ilgili genel bilgiler Tablo 3.2.'de gösterilmiştir. Sakarya ili kanalizasyon şebekesi incelendiğinde, atıksu arıtımı için il genelinde toplamda 6 adet arıtma tesisi, 49 adet atıksu arıtma tesisi olduğu görülmektedir.

Tablo 3.2. Sakarya ili yağmur suyu ve kanalizasyon şebeke elemanlarına ait bilgiler

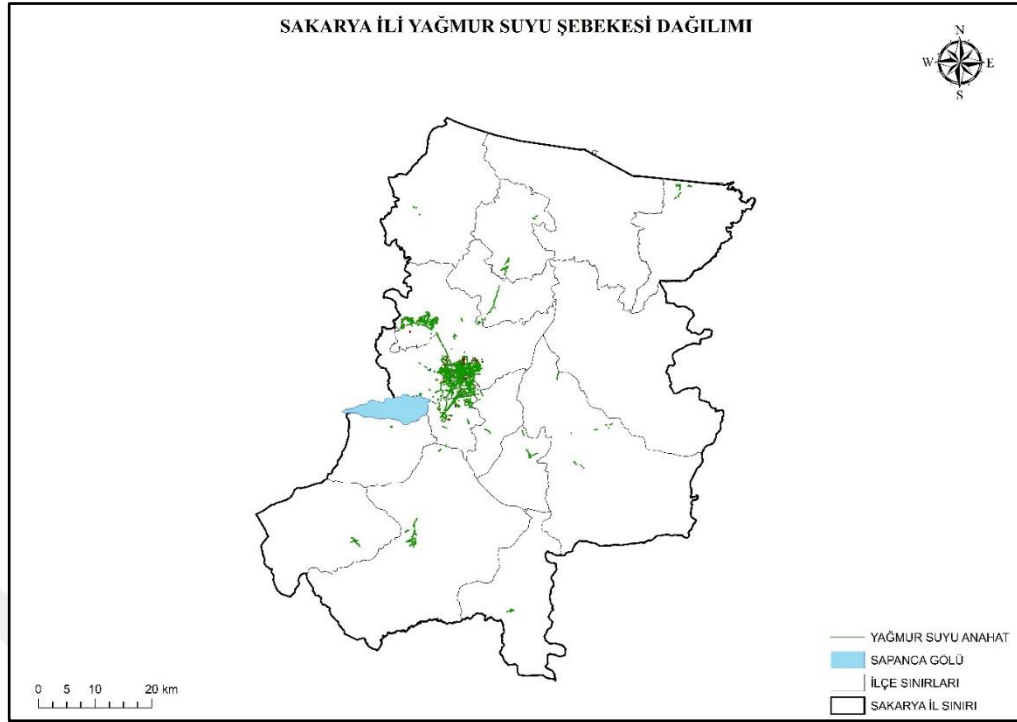
Sistem Elemanları	Miktar	Birim
Şebeke Uzunluğu (Kanalizasyon)	2492	km
Şebeke Uzunluğu (Yağmur Suyu)	445	km
Atık Su Arıtma Tesisi	6	Adet
Atık Su Terfi İstasyonu	49	Adet

Kanalizasyon şebekesinin büyük kısmını oluşturan gömülü borular ise toplamda 2492 km uzunlukta olup, il genelindeki dağılımı Şekil 3.5.'deki harita ile gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Sakarya kanalizasyon şebekesi dağılımı

Sakarya ili yağmur suyu şebekesi yakın zamanlarda inşa edilmeye başladığı için daha çok il nüfusunun yoğun olduğu il merkezinde yoğunlaşmıştır. Yağmur suyu şebekesinin büyük kısmını oluşturan gömülü borular ise toplamda 445 km uzunlukta olup, il genelindeki dağılımı Şekil 3.6.'daki harita ile gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Sakarya ili yağmur suyu şebekesi dağılımı

3.3.1. Sakarya ili yağmur suyu ve kanalizasyon şebekelerinde kullanılan boru türleri

3.3.1.1. Beton ve betonarme borular

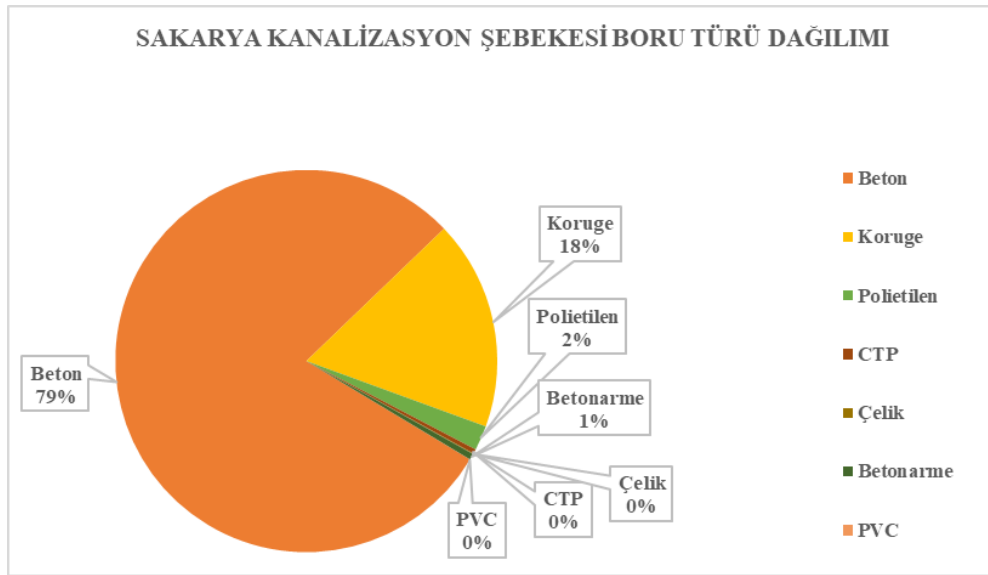
Beton ve betonarme borular agrega ve çimento hammaddelerinin bileşiminden oluşmaktadır. Ø150 mm ile Ø600 mm arası kesitlere sahip borular beton borular olup Ø700 mm ile Ø1600 mm arası çaplar ise çelik donatılı olarak imal edildiklerinden betonarme boru olarak adlandırılmaktadırlar. Ülkemizde agrega ve çimento hammaddenin bulunmasından dolayı üretimi kolaydır. Ağır olmalarından dolayı döşenmesi zordur. Kısa boylarından dolayı çok fazla ek yapılması döşemede zaman kaybına ve servis esnasında kötü sızdırmazlık performansı göstermesine sebep olmaktadır.

3.3.1.2. Koruge borular

Koruge Borular, HDPE olarak adlandırılan ve petrokimya ürünü olan yüksek yoğunluklu polietilen malzemeden imal edilmiştir. Yer altı suyunun yüzeye yakın olduğu bölgelerde beton ve betonarme borulardaki yetersizlikler sebebiyle tercih edilmektedir. Hafif oldukları için döşenmesi kolaydır. Sünek özelliklerinden dolayı sismik tehlikelere daha fazla dayanım gösterebilmektedirler. Ancak hammaddelerinin dışarıdan temin edilmesinden dolayı maliyetleri beton ve betonarme borulara nispeten daha yüksektir.

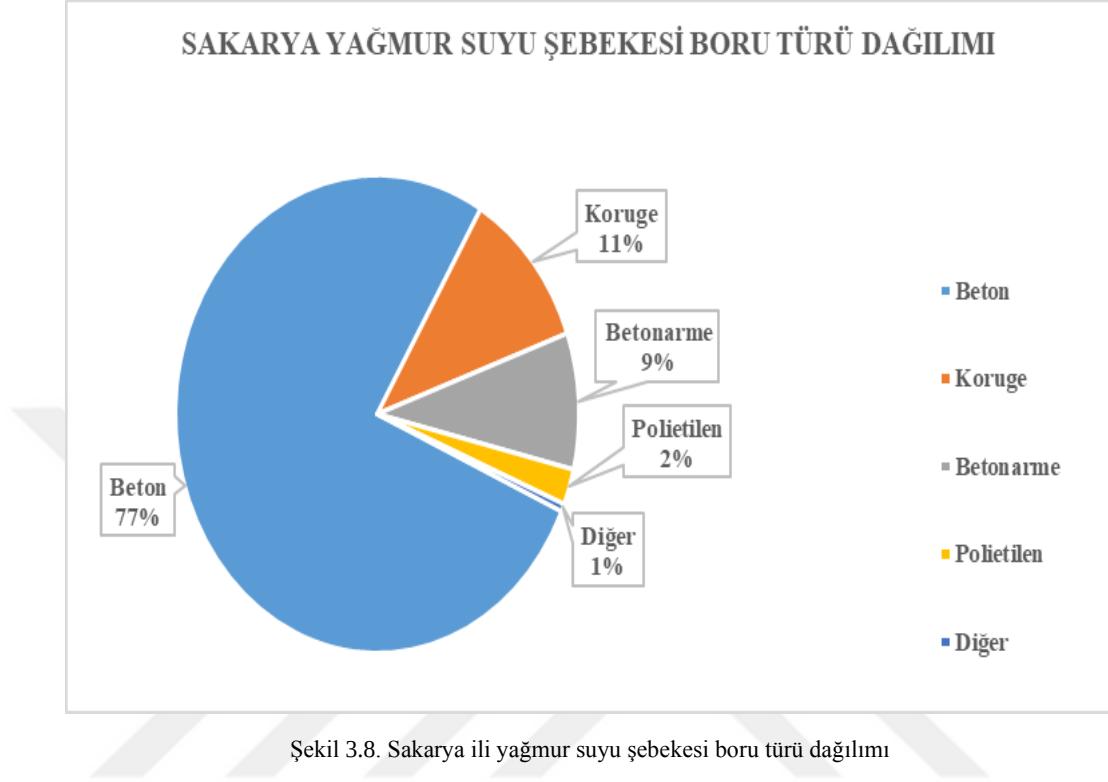
Sakarya ili kanalizasyon şebekesinde kullanılan boru türleri Şekil 3.7.'de görülmektedir. Kanalizasyon şebekesinde en çok kullanılan boru türünün beton boru olduğu görülmektedir. Beton borular gevrek özelliktedir ve deprem performansları iyi değildir.

1999 Marmara depreminde Adapazarı'ndaki beton kanalizasyon boruların neredeyse tamamında hasar meydana gelmesi bu tür boruların kullanılmamasının daha doğru olduğunu göstermiş olmasına rağmen şebekede bu borular kullanılmaya devam edilmiştir.



Şekil 3.7. Sakarya ili kanalizasyon şebekesi boru türü dağılımı

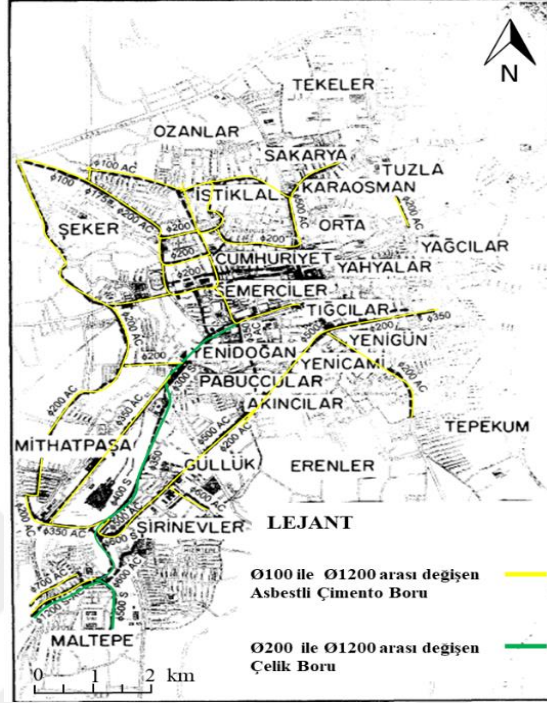
Kanalizasyon şebekesinde kullanılan boru türlerine benzer şekilde yağmur suyu şebekesinde de kırılğan özellikteki beton borular ağırlıklı olarak kullanılmaktadır.



3.4. 1999 Marmara Depremi Sakarya Kent Merkezi İçme Suyu Boru Hattı Durumu

1999 Marmara Depremi öncesi şu anda olduğu gibi Sakarya merkez ilçelerinin temel içme suyu kaynağı Sapanca Gölü'nden temin edilmiştir. Sapanca Gölü'ndeki sekiz pompadan ikisi depremde hasar görmüştür. Sapanca Gölü yüzey rakımı yaklaşık 30 m olup buradan pompalanan su, 3 adet iletim boru hattı ile yaklaşık 122 metre yükseklikteki Esentepe Klorlama Tesisi'ne iletilmektedir. Depremi ardından İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi tarafından gönderilen personelin yardımıyla onarılan santralde hafif hasar meydana geldiği bildirilmiştir. Deprem sonrası 3 adet iletim boru hattından 700 mm çapındaki ve 1200 mm çapındaki 2 iletim hattı hizmet verememiş ve suyu taşımak için yalnızca 1200 mm çapında bir boru hattı kullanıma devam etmiştir. Kent merkezine hizmet veren su arıtma tesisi ve rezervuarlara su Ø1200 mm çaplı kaynaklı birleşimli çelik ve Ø700 mm asbestli çimento boru (AÇB) hatları ile

taşınmaktadır. Şekil 3.9.'da Adapazarı ilçesinin 1999 Marmara Depremi öncesi içme suyu dağıtım şebekesi gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Sakarya ili 1999 Marmara Depremi öncesi boru dağılımı

Arıtma tesisi ve rezervuarlar şehrin hemen güneyinde bulunan ve bir ana kaya üzerinde inşa edilmiş 104 metre rakıma sahip Maltepe Arıtma Tesisi'nde yer almaktadır. Maltepe'de su arıtımı, 9'lu dört set halinde düzenlenmiş 36 filtrasyon tankı ile basınçlı filtrasyon yapılarak gerçekleştirilmekteydi. Tanklar, dolgu duvarları olan iki katlı çelik çerçeveli bir binada yer almaktadır. Arıtma tesisi binasında deprem sonrasında ihmal edilebilir ölçüde hasarı gözlenmiş ve filtreleme tanklarında ise yalnızca küçük hasarlar tespit edilmiştir. Hasar esas olarak, tankların düşük seviyede oturması, devrilmesi ve filtrasyon sistemindeki boru bağlantılarında küçük sızıntılar olarak ortaya çıkmıştı. Arıtılmış suyun depolanması, 5.000 ve 15.000 metre kapasiteli iki yeraltı betonarme rezervuar ile sağlanmaktaydı. Deprem, epoksi enjeksiyonları ile onarılan beton rezervuarların çatlamasına neden olmuştur. 100 metre kapasiteli betonarme su kulesi Maltepe'de yer almaktadır. Bu tesiste herhangi bir hasar gözlenmemiştir. Maltepe'den gelen su, başlangıçta nispeten büyük üç hat ile şehre cazibeli iletim ile taşınmaktadır. Bunlardan ikisi Ø500 ve Ø600 mm çapında çelik hatlar, üçüncüsü ise Ø600 mm

çapında asbestli çimento boru (AÇB) hattıydı. Maltepe'den gelen nispeten küçük uzunluktaki çelik boru hattı dışında, su dağıtım sistemi AÇB hatlarından oluşmaktaydı. Adapazarı içme suyu sisteminde 500 km'den fazla ana hat ve dağıtım boru hattı bulunmaktaydı. Boru hatlarının %70'inin hasar gördüğü, kalan %30'unda ise bir miktar sızıntı tespit edildiği bildirilmiştir. Kapsamlı hasar nedeniyle, tüm boru hattı ağının değiştirilmesine karar verilmiştir. 1906 San Fransisco Depremi'nde olduğu gibi bir su dağıtım sisteminin neredeyse tamamına yakını hasar almıştır. Deprem sonrası Adnan Menderes Caddesi üzerinde 4 m uzunluğunda parçalardan oluşan, 25mm et kalınlığına sahip Ø500mm çaplı asbestli çimento borunun, 4 m uzunluğunda parçalardan oluşan, 12.5 mm et kalınlığında Ø500 asbestli çimento boru ile değiştirildiği görülmüştür. Bu durumun sebebinin, asbestli çimento boruların hali hazırda Sakarya içme suyu idaresinin envanterinde bulunuyor olması olduğu öğrenilmiştir. Kısa kesitler kaynaklı çelik boru hatları ile değiştirilmiş olsa da yeterli miktarda çelik boru hızlı bir şekilde temin edilemediği ve acil bir şekilde su temininin sağlanması gerektiği için, mevcut malzemelerle boru hattı döşenmeye devam etmiştir. Ancak deprem sonrası, ana kriz çözüldükten sonra çelik ve yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) boruların kullanımına başlanmıştır [27].

3.5. 1999 Marmara Depremi Sonrası Kanalizasyon ve Yağmursuyu Şebekesi

1999 Marmara depremi öncesinde Sakarya ili Atık su ve yağmursuyu şebekesi, genişlikleri 1 ile 2 m arasında değişen muflu birleşim bölgelerine sahip beton borular ve kutu kanallar ile sağlanmaktaydı. Beton borular, gevrek özellik göstermektedirler. 1999 Marmara Depremi'nde hasar alan ve yerinden çıkan borular nedeniyle sistem sağlıklı çalışmamıştır. Deprem öncesi şebekelerde harita alımları ve işletme planları olmaması sebebiyle müdahalelerde ve onarımlarda güçlükler yaşanmıştır. İller Bankası tarafından şehir merkezinin bütün atık su şebekesi afet fonu ile yenilenmiştir. Ancak imalatlarda deprem öncesine benzer şekilde beton ve betonarme boru kullanılmıştır. Ø 800 mm çapa kadar beton malzemeli, Ø 800 mm ve üzeri çaplar betonarme olarak imal edilmiştir. En büyük çap Ø 2400 mm en küçük çap Ø 150 mm'dir. Sistemin %70'i Ø 150 ve Ø 200 mm çaplı beton malzemeli borulardan oluşmaktadır. Beton borular, diğer boru cinslerine göre daha kısadır. Bu durum çok

fazla ek bölgesi ve kötü sızdırmazlık performansı anlamına gelmektedir. Deprem öncesi şebeke yüzeye daha yakın iken, deprem sonrası yapılan şebeke minimum 1,5 m derinlikte imal edilmiştir. Şebekedeki en derin imalat 13 m'dir. Yeni şebeke 6 adet terfi merkezi ile çalışmaktadır. 2010 yılından itibaren atık su şebekesi imalatlarında HDPE hammaddeden üretilmiş koruge boru kullanılmaktadır. Koruge borular 6 ile 7 m aralığında uzunluklarda imal edilmektedir. Mevcut şebekedeki beton boru imalatı geçici ve kalıcı yer deformasyonları açısından risk oluşturmaktadır.

3.6. 1999 Marmara Depremi Sonrası İller Bankası Tarafından İçme Suyu, Kanalizasyon ve Yağmur Suyu Hatlarında Yapılan Onarım Faaliyetleri

1999 depremi sonrası afet fonundan sağlanan gelir yardımıyla İller Bankası tarafından Sakarya ilinde altyapı sistemlerindeki afet hasarlarının onarımına yönelik belirli çalışmalar yapılmıştır, bu çalışmalardan önemli bir kısmı aşağıda belirtilmiştir.

- a) Depremden hemen sonra afetzedeler için kurulmuş olan çadır kentlerine içme suyu temini ve kanalizasyon sisteminden oluşan altyapı hizmeti sağlanmıştır.
- b) Şehrin muhtelif yerlerinde geçici kullanıma açılan prefabriklere yaklaşık 6 yıl kullanım sağlayan ulaşım yolları, elektrik ve içme suyu kanalizasyon altyapı hizmetlerinin projelendirme ve imalat yapımı gerçekleştirilmiştir.
- c) Adapazarı ilçesi kuzey kesimindeki yeni yerleşim bölgeleri olan Camili ve Karaman'da yapılan kalıcı konutların imar planları, rekreasyon alanları, ulaşım yolları, içme suyu ve kanalizasyon sistemi altyapı imalatları projelendirilerek, uygulamaya alınmıştır.
- d) Sakarya kent merkezindeki Adapazarı, Erenler ve Serdivan ilçelerinde 500 km içme suyu şebeke hatları ve kanalizasyon sistemi tamamlanmıştır.
- e) Depremden önce ihale edilmeye başlanmış olan ve 120 km ana kolektör hattı olarak planlanan hattın imalatı tamamlanmıştır.
- f) Göl içi su alma hattı (2x1800 mm) Göl Kenarı Terfi Merkezi (3500 l/s kapasite) Terfi hattı (Ø 2200 mm) ara depo, isale hattı Ø 1600mm ve dağıtım depo sistemi imalatları tamamlanmıştır.

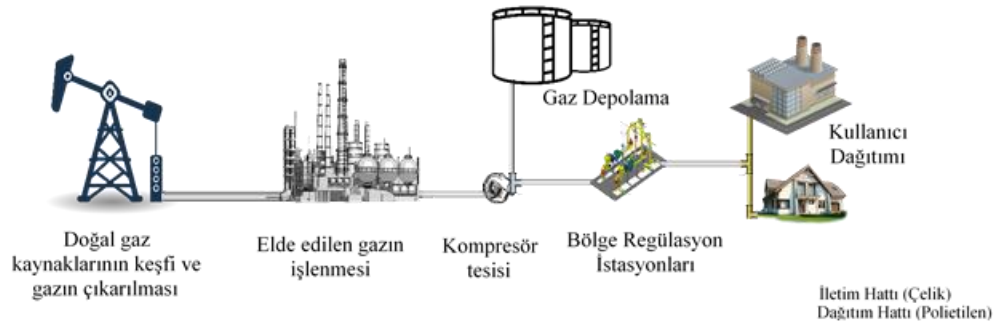
3.7. Sakarya İli Doğalgaz Şebekeleri

Altyapı sistemleri içinde evsel ve endüstriyel kullanımlarda önemli rol oynayan sistemlerin başında doğal gaz şebekeleri gelmektedir. Doğal gaz, doğal olarak meydana gelen, az miktarda inorganik bileşeli hidrokarbonların birleşiminden oluşan yenilenemez bir enerji kaynağıdır. Diğer fosil kaynaklardan daha düşük olan sera gazı emisyonunun yanında zengin kaynaklarıyla doğalgaz evsel ve endüstriyel tüketimlerde yer almaktadır [28].

Doğalgazın, kullanım amacının çoğunlukla evsel ve endüstriyel kullanımlarda ısı enerjisi ihtiyacını karşılamaya yönelik olduğu bilinse de, elektrik enerjisi üretiminde oldukça geniş kapsamda kullanıldığı görülmektedir. Sakarya ilinin Adapazarı ilçesinde bulunan Enka Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali'nin 770 Mw kurulu elektrik gücüne sahip olduğu bilinmektedir. Bu durum elektrik ve doğalgaz gibi farklı altyapı sistemlerinin birbirleriyle enterekte olduğunun bir örneği olarak gösterilebilmektedir [29].

Türkiye'de doğal gazın varlığı 1970 yılında Kırklareli Kurumlar bölgesinde tespit edilerek, 1976 yılında Pınarhisar Çimento Fabrikası'nda kullanılmaya başlanmıştır. 1975 yılında Mardin Çamurlu sahasında bulunan doğal gaz, 1982 yılında Mardin Çimento Fabrikası'na verilmiş ancak kaynaklardaki rezervlerin sınırlı olması tüketimin genişlemesini önlemiştir. Doğal gazın sanayi ve şehir şebekelerinde kullanımı çalışmalarına, 84/8806 sayılı Bakanlar Kurulu kararıyla 1984 yılında SSCB ile imzalanan doğal gaz sevkiyatı anlaşmasının ardından başlanmış, doğal gaz şehir içi evsel ve ticari olarak ilk kez 1988'de Ankara'da kullanılmıştır [30].

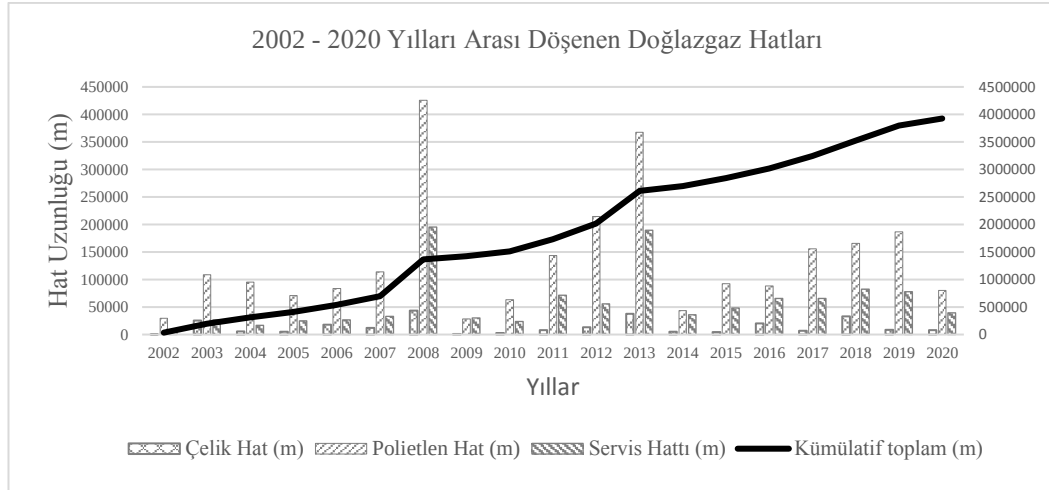
Yenilenemeyen doğal kaynak türlerinden birisi olan doğal gazın yerkürede keşfedilip çıkarılmasından kullanıcılara dağıtımına kadar süren aşamalarının modellenmesi aşağıda Şekil 3.10.'da şematik olarak gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere doğal gazın kullanıcılara ulaştırılması, yüksek basınçlı gazın içinden geçtiği ana iletim hatları olan çelik borularla sağlanırken, kullanıcılara temini daha düşük basınçlı polietilen borularla sağlanmaktadır.



Şekil 3.10. Doğalgaz iletim ve dağıtım modeli

Sakarya ilinde doğal gaz altyapı çalışmalarına ait ilk faaliyet 21 Aralık 1993 tarihinde Adapazarı Belediyesi tarafından Adapazarı Gaz Dağıtım A.Ş'nin (AGDAŞ) kurulması olmuştur. 1995 yılında Adapazarı Gaz Dağıtım A.Ş. Bakanlar Kurulu Kararı ile Sakarya ilinde doğal gaz dağıtım yetkisini almış olup 2003 yılında AGDAŞ, Adapazarı Belediyesi tarafından özel bir firmaya devredilerek “Türkiye’nin ilk özelleştirilen doğal gaz dağıtım şirketi” unvanına sahip olmuştur. Şirket 29 Ekim 2003 tarihinde ilk kez Sakarya ilinde doğal gaz arzına başlamıştır. Günümüzde Sakarya ilinde yaklaşık olarak 300.000 adet doğal gaz abonesi bulunmaktadır [31].

Sakarya ilinin güney kesiminde bulunan Geyve, Pamukova ve Taraklı ilçelerinin doğal gaz iletimi 2011 yılında bir başka özel firma tarafından sağlanmaya başlanmıştır. Sakarya’da 2002 yılına kadar 34.153 m doğal gaz hattı döşenmiş olup 2002 yılından 2020 yılına kadar döşenen boru hattı türü ve uzunlukları Şekil 3.11. ile gösterilmiştir [31].

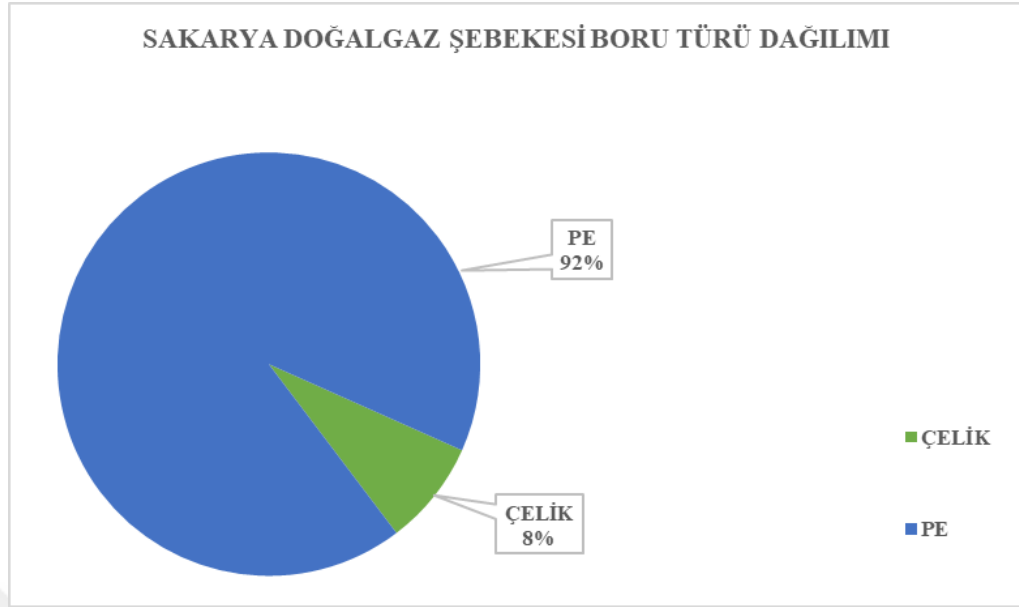


Şekil 3.11. 2002-2020 yılları arası döşenen doğalgaz boru uzunlukları [31]

3.7.1. Sakarya ili doğalgaz şebekelerinde kullanılan boru türleri

Boru hatları genellikle sürekli boru hatları ve parçalı boru hatları olarak sınıflandırılmaktadır. Kaynakla birleştirilen ve basınçlı olan boru hatları sürekli boru hatları, bağlantı noktalarından birbirlerine geçirilerek döşenen ve basınçsız boru hatları ise parçalı boru hatları olarak adlandırılmaktadır.

Doğalgaz boru şebekeleri iletim ve dağıtım şebekeleri olarak iki ana başlığa ayrılmaktadırlar. İletim boru hatları çelik borularla yüksek basınçlı gazı taşıırken, dağıtım boru hatları ise daha düşük basınçta gazı polietilen borularla taşıyıp kullanıcıya ulaştırmaktadır. Sakarya ili doğalgaz şebekelerinde Polietilen ve Çelik borular kullanılmaktadır. Şekil 3.12. de şebekede kullanılan boru türü dağılımı görülmektedir.



Şekil 3.12. Sakarya ili doğalgaz boru türü dağılımı

Kentsel yaşamın en temel enerji ihtiyaçlarından biri olan doğal gaz şebekelerinin büyük depremlerde hasar alarak işlev görememesi, günlük yaşamı derinden etkileyerek afetin boyutunu arttırması ve yangın, patlama vb. ikincil tehlikelere yol açması gibi etkileriyle son zamanlarda afet yönetimi risk tespiti ve zarar azaltma çalışmalarında inceleme konusu olmuştur. Bu tez çalışmasında altyapı sistemlerinden biri olan doğal gaz şebekelerinin deprem hasar görülebilirlik değerlendirilmesi incelenmiştir.

BÖLÜM 4. SİSMİK TEHLİKE

Altyapı sistemlerinin sismik tehlikelere karşı hasar görebilirliklerinin belirlenmesi amacıyla öncelikle tehlikenin tanımlanması gerekmektedir. Bu amaçla bu bölümde hasar görebilirlik analizinde kullanılacak deprem tehlikesi ve tehlike analizi sonucunda hesaplanan kuvvetli yer hareketi parametreleri gösterilmektedir. Sismik tehlike, sismik tehlike analizi ve sismik tehlike analizi türlerinden bahsedilerek OpenQuake yazılımı ile çalışma alanı için sismik tehlike analizi hesaplanmaktadır.

Yer bilimciler tarafından yerkürenin 4 ana katmanlı yapıdan oluştuğu belirlenmiştir. Yerkürenin bu kısımları merkezden yüzeye doğru; iç çekirdek, dış çekirdek, manto ve yer kabuğu olarak adlandırılmıştır. Alfred Wegener'in kıtaların sürüklendiğine dair hipotezinin günümüze kadar gelişmesi ile ortaya atılan levha tektoniği teorisine göre yerkürenin çekirdek kısmındaki aşırı ısı enerjisi mantoda konveksiyon hareketlerine sebep olmaktadır. Bu hareketlerin, kabuk kısmındaki levhaların birleşim bölgelerinde enerji birikimine sebep olması ve biriken enerjinin sürtünme direncini yenmesiyle depremlerin oluştuğunu ileri sürülmektedir. Levhalarda biriken enerjinin açığa çıkmasıyla yayılan enerjinin dalgalar halinde ilerlemesi, yer yüzeyinde bulunan tüm elemanlara tesir etmektedir. Yerkürede meydana gelen bu hareketler çoğunlukla sismik tehlikeler olarak adlandırılmaktadır. Sismik tehlikeleri, yer kürenin iç kısmında gelişen süreçlerini birincil, bu süreçlerin tetiklemesi ile yer yüzeyinde meydana gelen süreçleri ikincil sismik tehlikeler olarak gruplandırmak mümkündür. Birincil sismik tehlikeler, yer sarsıntıları ve kuvvetli yer hareketleri ikincil sismik tehlikeler ise sıvılaşma, yüzey kırılmaları ve tsunamiler olarak adlandırılabilir [32].

Bu tez çalışmasında altyapı sistemlerinin sismik hasar görebilirliğinin belirlenmesinde ihtiyaç duyulan kuvvetli yer hareketi parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Kuvvetli yer hareketinin nicel parametrelerinin tayini genel olarak sismik tehlike analizi olarak adlandırılmaktadır.

4.1. Sismik Tehlike Analizi

Altyapı sistemlerinin sismik hasar görebilirliklerinde kuvvetli yer hareketi parametrelerinden en büyük yer hızı ve en büyük yer ivmesi önemli rol oynamaktadır. Hasar görebilirlik analizlerinde kullanılacak kuvvetli yer hareketi parametrelerini belirlemek amacıyla geçmiş deprem kayıtlarından ve elde edilen fay bilgilerinden faydalanılmaktadır.

Sismik tehlike analizi belirli bir zaman dilimi içerisinde, belirli bir alanda gelecekte oluşabilecek depremlerin tahminini içerir. Bu çalışmadaki sismik tehlike analizi altyapı sistemlerinin sismik risk analizinin tahmini için temel oluşturmaktadır [32].

Sismik tehlike analizi genellikle 5 adımda uygulanmaktadır:

- a) İnceleme alanını etkileyecek sismik kaynakların belirlenmesi
- b) Belirlenen her sismik kaynağın çalışma alanına olan mesafesinin belirlenmesi
- c) Her kaynakta geçmiş depremlerdeki verilerle magnitüd dağılımının yapılması
- d) Depremlerin zamana bağlı olarak oluşum süreçlerinin modellenmesi
- e) Belirlenen kaynakların sahada oluşturacağı yer hareketi parametresinin tahmini için çalışma alanına uygun Yer Hareketi Tahmin Denkleminin (YHTD) belirlenmesi olarak sıralanmaktadır [33].

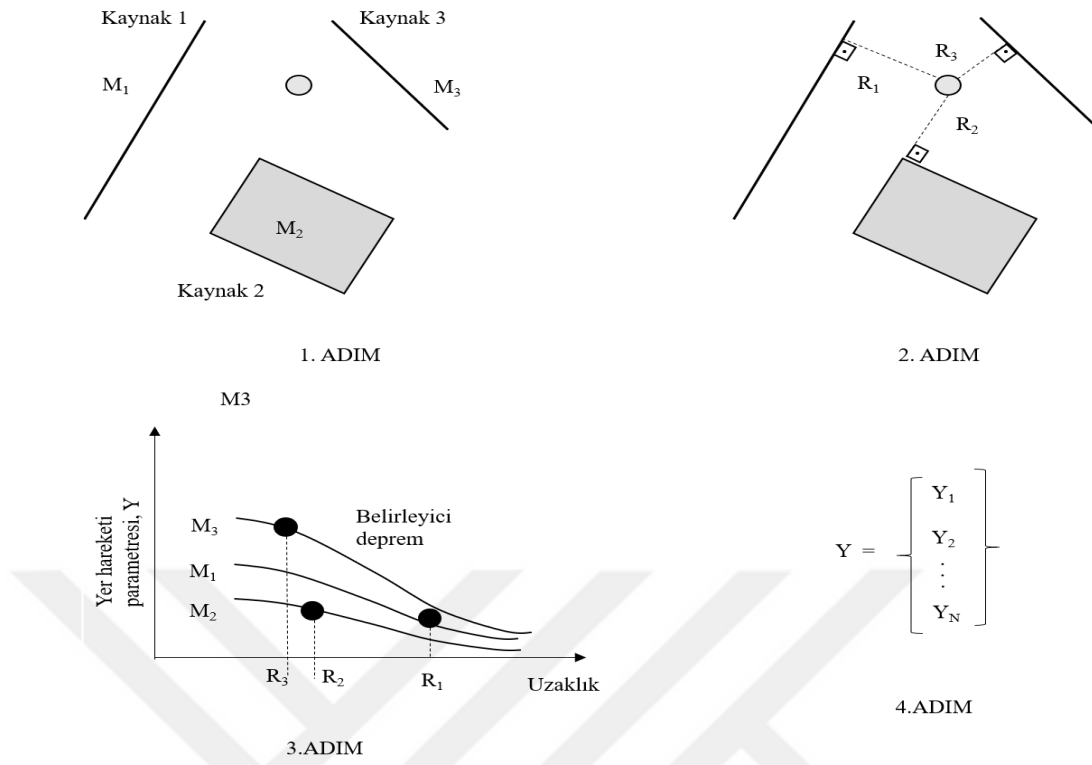
Sismik tehlike analizi ile çalışma alanındaki yer hareketi parametresinin tahmininde Deterministik Sismik Tehlike Analizi (DSTA) ve Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi (OSTA) olmak üzere iki yaklaşım kullanılmaktadır.

4.1.1. Deterministik sismik tehlike analizi (DSTA)

Deterministik Sismik Tehlike Analizi (DSTA), jeolojik ve sismolojik verileri göz önüne alarak oluşması muhtemel en büyük deprem olan Maksimum Güvenilir Depremi (MGD) esas alarak yapılan sismik tehlike analizidir. DSTA ile kuvvetli yer hareketi parametresinin belirlenmesi belirli bir deprem senaryosuna dayandırılmaktadır. DSTA genel olarak dört aşamadan oluşur.

- a) İnceleme alanına önemli ölçüde tesiri olacak tüm kaynakların, geometrisi ve deprem potansiyeli ile birlikte tanımlanması gerekir. (Kaynak 1, Kaynak 2, Kaynak 3)
- b) Tüm kaynakların çalışma alanına olan en yakın mesafeleri belirlenir. (M1, M2, M3)
- c) Tüm kaynaklar arasında oluşturacakları sarsıntılar kıyaslanarak çalışma alanında en büyük yer hareketini oluşturacak belirleyici deprem belirlenir.
- d) İnceleme alanında en büyük yer ivmesi, en büyük hızı ve tepki spektrumları gibi yer hareketleri parametreleri, belirleyici deprem esas alınarak hesaplanır.

Tüm bu adımlar Şekil 4.1.'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Deterministik Sismik Tehlike Analizi adımları [34]

4.1.2. Olasılıksal sismik tehlike analizi (OSTA)

Depremi meydana geleceği zamanın, mekânın ve büyüklüğün belirsizliğe sahip olması yani rastgele özellik göstermesi sebebiyle, sismik analizler istatistiksel ve olasılıksal yaklaşımlara ihtiyaç duymaktadır. İnceleme alanlarında inşa edilmesi planlanan yapıların tasarımında veya mevcut yapıların sismik performanslarının incelenmesinde kullanılacak yer hareketi parametrelerinin belirlenmesi, deprem mühendisliğinde en önemli problemidir.

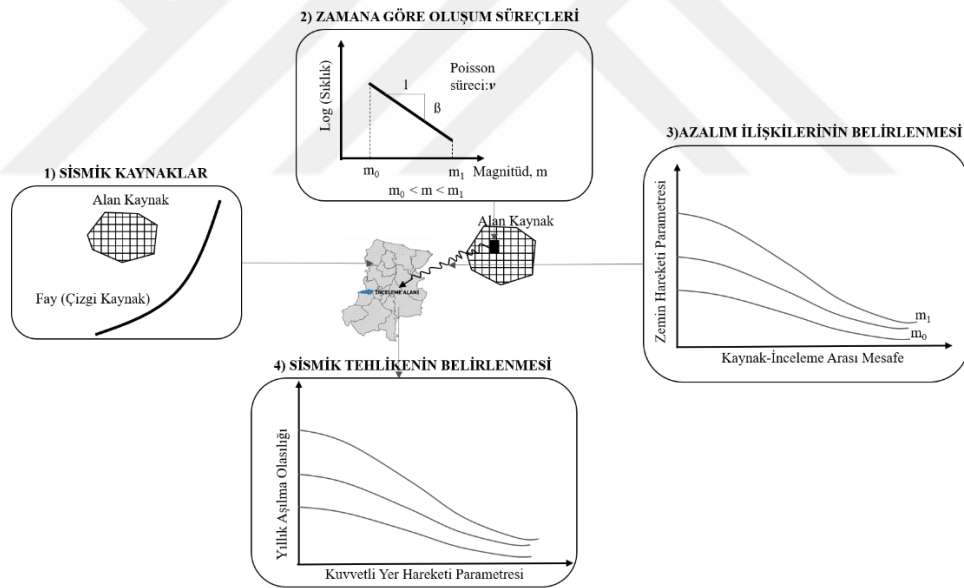
Olasılıksal Sismik Tehlike Analizinin temel amacı, çalışma alanında daha önce meydana gelmiş deprem verilerinin, sismoloji, jeoloji ve istatistiğin yardımıyla gelecekte meydana gelmesi muhtemel sismik tehlikenin olasılığını belirlemektir. OSTA sonucunda, çalışma alanında kuvvetli yer hareketi parametrelerinin veya deprem büyüklüğünün belli sayıdaki yıllar içinde (örneğin 50 yıl), belirli aşılma olasılıklarında (örneğin %10, %5, %2) değerinin belirlenmesidir.

Klasik bir OSTA analizinin temel adımları şu şekildedir:

- İnceleme alanında deprem üretme potansiyeline sahip kaynakların belirlenmesi
- Deprem-magnitüd dağılımının ve tekrarlanma ilişkilerinin tanımlanması
- Azalım ilişkileri yardımıyla sismik kaynakların herhangi bir noktasında oluşacak depremlerin çalışma alanında üreteceği kuvvetli yer hareketlerinin belirlenmesi
- İnceleme alanındaki kuvvetli yer hareketi parametresinin belirlenmesi

olarak sıralanmaktadır [34].

Sakarya ili için klasik olasılıksal sismik tehlike analizi adımları şematik olarak Şekil 4.2. ile gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Sakarya İli Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi adımları

Bu çalışmada çalışma alanı Sakarya ili için il çevresinde sismik tehlike üretme potansiyeli olan kaynakların belirlenip uygun oluşum süreçleri ve zemin özelliklerine göre azalım ilişkileri seçilerek Klasik OSTA yapılmaktadır. Elde edilen kuvvetli yer hareketi parametreleri altyapı sistemlerinin sismik hasar görülebilirlik analizlerinde kullanılacaktır.

4.2. Sismik Tehlike Analizi Projeleri

Çalışmanın bu bölümünde ise Sakarya ilinde sismik tehlike oluşturma potansiyeline sahip kaynaklar belirlenerek bu kaynakların çalışma alanında oluşturmaları muhtemel kuvvetli yer hareketi parametreleri Klasik OSTA ile tespit edilmektedir. Bu amaçla ülkemizin de içinde bulunduğu birçok sismik tehlike analizi projesi yapılmıştır. Bu tez çalışmasında faydalanılan projeler ise şunlardır; Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE), The 2014 Earthquake Model of the Middle East (EMME) ve The 2020 Euro-Mediterranean Seismic Hazard Model (ESHM-2020).

4.2.1. Seismic hazard harmonization in europe (SHARE)

SHARE projesi, Avrupa’da farklı bölgelerde ulusal olarak yapılmış sismik tehlike analizlerini ve analizlerde kullanılan verileri tüm Avrupa için homojen bir uyum halinde referans bir tehlike modeli geliştirmeyi amaçlamış bir projedir. Proje 2007 yılında tasarlanmaya başlanmış olup 2008 yılında paydaş topluluklarına sunulduktan sonra 2009 yılında finanse edilmiştir [35].

4.2.2. Earthquake model of the middle east (EMME)

EMME projesi, 2010 ile 2014 yılları arasında dünyanın en aktif sismik bölgelerinden Avrasya, Afrika, Arap ve Hint plakalarının etkisindeki, Türkiye, Afganistan, Azerbaycan, Ermenistan, Kıbrıs, Gürcistan, İran, Ürdün, Lübnan, Pakistan ve Suriye olmak üzere 11 ülkede uyumlu sismik tehlike analizi sağlamak amacıyla yapılmıştır [36].

4.2.3. The 2020 euro-mediterranean seismic hazard model (ESHM-2020)

ESHM2020 projesi Avrupa ve Akdeniz bölgeleri boyunca yürütülen Olasılıksal Sismik Tehlike Analizinden sonuçlanmıştır. Bu model 2013 yılında hazırlanmış Avrupa Akdeniz Sismik Tehlike Modelinin (ESHM-2013) devamıdır. ESHM tehlike analizi modelinde güncel deprem katalogları, aktif fay verileri ve yer hareketi kayıtları

ile güncel bilimsel gelişmeler göz önüne alınmıştır. Bu tez çalışmasında ESHM-2020 verileri ile KOSTA yapılmıştır [37].

4.3. Sismik Tehlike Analizinde Kullanılan Yazılımlar

Sismik tehlike analizi birçok veri ve hesap yükünden oluşmaktadır. Bu durum çalışma alanına kaynak verilerinin tanımlanması, deprem katalogları, azalım ilişkileri ve diğer tüm adımlarda bilgisayarın hızlı ve çoklu hesap gücünden faydalanılmasını gerektirmektedir. Literatürde birçok sismik tehlike analizi amaçlı yazılım bulunmaktadır. Günümüzde EQ-RISK, EZ-FRISK, R-CRISIS ve OPENQUAKE ENGINE sık kullanılan sismik tehlike analizi yazılımlarıdır. Bu tez çalışmasında ise OPENQUAKE ENGINE (OQ) yazılımı kullanılmıştır.

4.3.1. EQ-RISK

Bu yazılım 1976 yılında McGuire, Robin K tarafından, Fortran dilinde yazılmıştır. Program, kaynak alan geometrisinin serbestçe tanımlanmasına imkân verir. Sahadan bağımsız sismik risk hesabında kullanılabilmektedir. Ayrıca analizde kullanılacak azalım ilişkisinin kullanıcı tarafından tanımlanmasına da imkân vermektedir. Bir ağın düğüm noktası içinde hesap yapabilmesinden dolayı sismik tehlike haritası hazırlanabilmektedir [38].

4.3.2. EZ-FRISK

Fugro USA Land, Inc. tarafından geliştirilmiştir. Program, sismik tehlike analizi, inşaat sahalarında davranış analizleri ve spektral eşleşme gibi sismik analizler yapmaktadır. Program hem rassal hem de epistemik belirsizliklere sahip deterministik ve olasılıksal sismik tehlike analizlerini yapabilmektedir. Program ücretli olup sismologlar ve mühendislerce kullanılmaktadır [39].

4.3.3. R-CRISIS

İlk sürümü CRISIS 2003 olan programda, deprem oluş sıklıkları, azalım ilişkileri ve depremlerin coğrafi dağılımlarını dikkate alan olasılıksal modelle sismik tehlike hesabı yapmaktadır. Visual Basic dilinde yazılmış ve açık kaynak kodlu bir programdır. Deprem oluşumlarını hem poisson süreci hem de karakteristik süreçle modelleyebilmektedir. Kullanıcı tarafından istenilen azalım ilişkisinin tanımlanmasına olanak sağlamaktadır [40].

4.3.4. Openquake Engine

Bu çalışmada sismik tehlike analizinde OpenQuake (OQ) yazılımı kullanılmıştır. OQ Global Earthquake Model (GEM) tarafından geliştirilmiş sismik tehlike ve risk hesaplaması yapan açık kaynak kodlu bir yazılımdır. Python dilinde yazılmış olan bu yazılımda tehlike ve risk olmak üzere iki ayrı modül bulunmaktadır. Hesaplamalarda kullanmak üzere tehlike kütüphanesi (oq-hazardlib) ve risk kütüphanesine (oq-risklib) sahiptir. Program açık kaynak kodlu olup tüm analiz aşamalarını anlatan bir kılavuza sahiptir.

Tehlike modülü yardımıyla;

- a) Klasik Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi
- b) Olay Tabanlı Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi
- c) Senaryo Tabanlı Sismik Tehlike Analizi

yapılabilmektedir [41].

4.4. Yer Hareketi Tahmin Denklemleri

Sismik tehlike analizinde, bir diğer önemli adım ise, sismik kaynaklardan dağılan kuvvetli yer hareketi parametrelerinin çalışma alanı boyunca dağılımının belirlenmesidir. Bu dağılımları belirlemek üzere m büyüklüğündeki bir depremin r

mesafedeki çalışma alanında, araştırılan kuvvetli yer hareketi parametresinin en büyük genlik değerinin bir fonksiyonu olan eşitliklerden faydalanılması gerekmektedir. Yer hareketi tahmin denklemlerinin (YHTD) temel bileşenleri Denklem 4.1.'deki gibi tanımlanabilir.

$$Y = N_y f(M, R, SP, F) \quad (4.1)$$

Bu eşitlikte;

- a) Y = araştırılan kuvvetli yer hareketi parametresinin en büyük genliğini,
- b) N_y = Yer hareketi tahmin bağıntısındaki belirsizlik için düzeltme katsayısını
- c) R = Sismik kaynaktan çalışma alanına olan uzaklık
- d) M = Magnitüd değeri
- e) F = Fay tipi
- f) Sp = Sismik kaynak özelliklerini, yerel zemin özellikleri ve dalga yayılma doğrultusu

özellikleri temsil edilmektedir [42].

Bu tez çalışmasındaki sismik tehlike analizinde Boore ve Atkinson (2008) tarafından önerilmiş YHTD kullanılmıştır.

4.4.1. Boore ve Atkinson yer hareketi tahmin denklemi (2008)

Boore ve Atkinson (2008) yaptıkları çalışmada, Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi'nin Yeni Nesil Azalım İlişkileri projesi tarafından derlenen veri tabanından 0 km ile 400 km arasındaki mesafe aralığındaki 58 ana şoktan 1574 kaydı kullanarak azalım ilişkisi geliştirmişlerdir.

Bu azalım ilişkisinde; bir kaynaktaki deprem magnitüdünü, yerel ortalama kayma dalga hızını, sismik kaynak özelliklerini esas alarak en büyük yer ivmesi (PGA), en büyük yer hızı (PGV) ve spektral ivme gibi kuvvetli yer hareketi parametrelerinin

yatay bileşenleri tahmin edilmektedir. Bu azalım ilişkisi, 0,01 s ile 10 s arasındaki periyotlarda en yüksek yer ivmesi (PGA), en yüksek yer hızı (PGV) ve %5 sönümlü psedo mutlak ivme spektrumu (PSA) içindir. Sismik kaynak ile çalışma alanı arası uzaklığın en çok 200 km olduğu, zemin üst 30 m tabakadaki ortalama kaya dalga hızı V_{S30} değerinin 180-1300 m/s değerleri arasında olan ve deprem moment magnitud değerinin $M_w=5$ ile $M_w=8$ arasında olduğu çalışma alanlarında kullanılmaktadır. Boore ve Atkinson (2008) yer hareketi tahmin denklemi, Denklem 4.2.'de gösterilmiştir.

$$\ln Y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M) + \sigma_T \quad (4.2)$$

Bu denklemde, F_M , F_D ve F_S sırasıyla büyüklük ölçeklemesini, mesafe fonksiyonunu ve zemin büyütmesini ifade eder. Ayrıca M moment büyüklüğü, R_{JB} ise Joyner-Boore mesafesidir ve fayın yüzey izdüşümüne en yakın mesafe olarak tanımlanır, bu değer yaklaşık olarak $M < 6$ olayları için episantral mesafeye eşittir. V_{S30} , yüzeyden 30 m derinliğe kadar ortalama kayma dalgası hızı, $\varepsilon = -1,5$ olarak alınmaktadır. σ_T katsayısını içeren tüm terimler periyot bağımlıdır ve aşağıdaki Denklem 4.3. ile gösterilmektedir.

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} \quad (4.3)$$

Bu denklemde σ olay içi rassal değişkeni τ olaylar arası rassal değişkeni ifade etmektedir. Bu tez çalışmasında da bu azalım ilişkisi kullanılarak Sakarya ili için en büyük yer hızı (PGV) ve en büyük yer ivmesi (PGA) dağılımı belirlenmiştir [44].

4.5. Sakarya İli Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi

Bu tez çalışmasında altyapı sistemlerindeki sismik hasar görülebilirlikleri belirlemek amacıyla çalışma alanında belirlenen tüm sismik kaynakların etkilerinin dikkate alındığı Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi (OSTA), SHARE ve ESHM2020

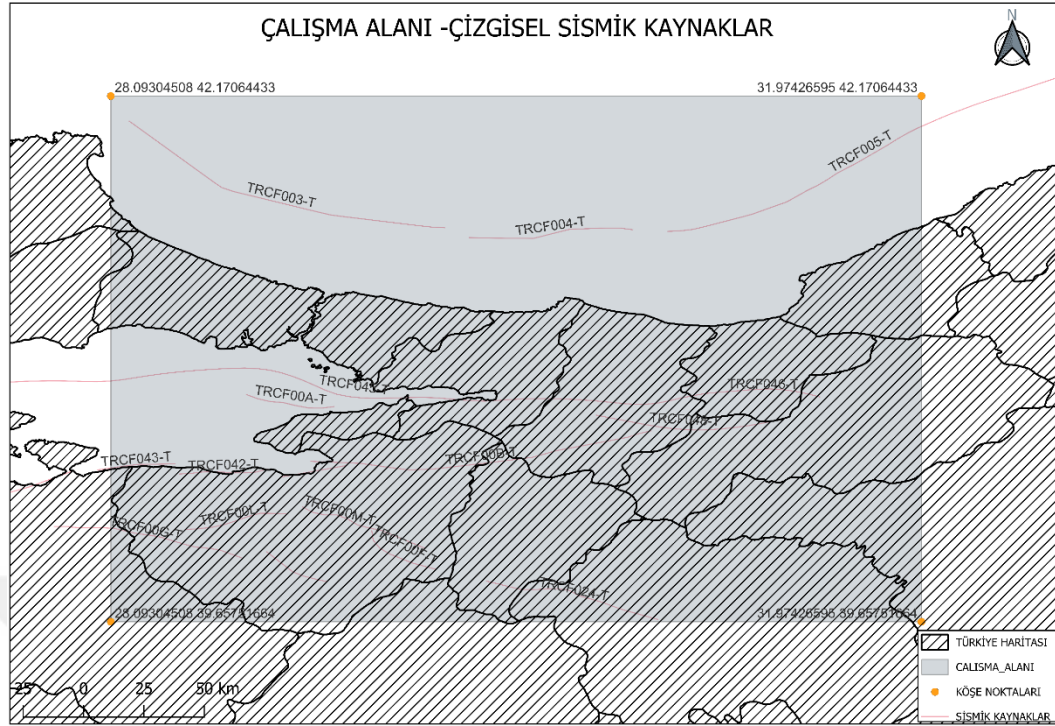
projelerindeki veriler yardımıyla OpenQuake yazılımında yapılmıştır. Hesaplamalar sonucu elde edilen veriler QGIS ve ArcGis CBS yazılımları yardımıyla haritalanmıştır.

Bu çalışmada OpenQuake yazılımı tehlike modülü kullanılarak Sakarya ilini içeren çalışma alanında Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi yapılmıştır. Analizde kullanılmak üzere ilk olarak çalışma alanının ve tehlike analizinde kullanılacak sismik kaynakların mekânsal bilgileri ile birlikte tanımlanması gerekmektedir. Şekil 4.3.'de Sakarya ilini ve sismik tehlike potansiyeline sahip kaynakları içerisine alan çalışma alanı gösterilmektedir. Kullanılan sismik kaynaklar ile ilgili bilgiler tanımlanırken ESHM2020 projesinden faydalanılmıştır.

4.5.1. Çalışma alanı

Sismik tehlike analizinde çalışma alanının sınırları alanının, incelenecek sahayı etkileyecek sismik kaynakları kapsayacak biçimde olması gerekmektedir. İnceleme alanının sınırları ile ilgili belirli bir kural yoktur, ancak inceleme alanı, çalışma sahasını merkezine alan bir daire şeklinde seçilebilir. Bu dairenin çapı inceleme alanını etkileyecek sismik kaynakların; uzunluk, aralık ve mekanizmaları vb. etkiler göz önünde bulundurularak seçilmektedir [42].

Bu çalışmada Türkiye için yüksek sismik tehlike potansiyeline sahip Kuzey Anadolu Fayının Marmara Bölgesi kesimi göz önünde bulundurularak Şekil 4.1. de gösterilen çalışma alanı analizlerde esas alınmıştır. Bu çalışmada EMME VE SHARE projesinden elde edilen sismik kaynaklar kullanılmıştır. Şekil 4.1. de sismik kaynaklar ve Klasik Olasılıksal Sismik Tehlike Analizinin yapılacağı çalışma alanı görülmektedir. KOSTA yapılacak çalışma sahası openquake yazılımına, köşe koordinatları ile tanımlanmaktadır.



Şekil 4.3. Klasik olasılıksal sismik tehlike analizinin yapılacağı çalışma alanı

4.5.2. Sismik veri tabanı hazırlanması

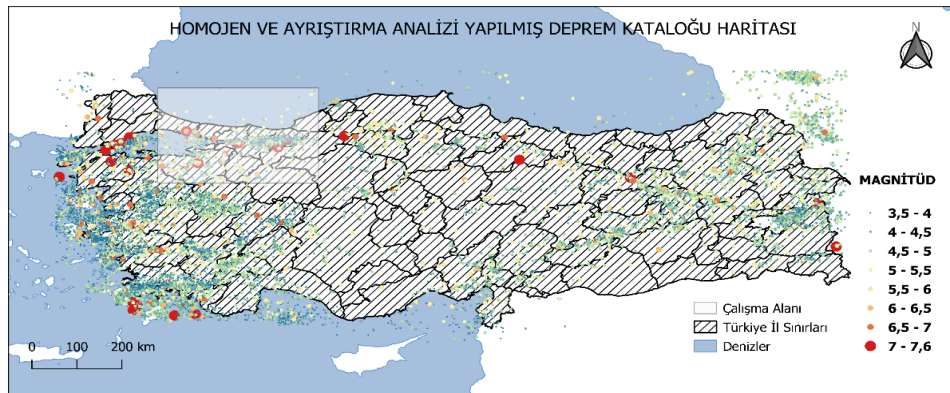
Sismik veri tabanı oluşturulurken bölgede meydana gelmiş geçmiş depremlerin kayıtlarının tutulduğu deprem katalogları kullanılmaktadır. Deprem katalogları, bir depremin meydana geldiği bölgede, belirli bir zaman dilimi içerisindeki depremi;

- Depremin Tarihi-Depremin Oluş Zamanı (uluslararası saat ile)
- Magnitüd Tipi ve Magnitüd Değeri
- Depremin Merkez Üssü Koordinatı (enlem-boylam)
- Depremin Derinliği (km)

gibi bir depremi tanımlayan temel parametrelerin yer aldığı veri tabanıdır. Deprem katalogları bir bölgedeki sismik tehlikenin belirlenmesinde tarihsel ve aletsel deprem kayıtları açısından en önemli kaynak olmuş olur. Ülkemizde Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Ve Deprem Araştırma Enstitüsü ve AFAD tarafından takip edilen istasyonlardan alınan veriler ile deprem katalogları oluşturulmaktadır. Sismik tehlike analizinde kullanılacak deprem kataloglarının, veri tabanındaki ham hali ile

kullanılması uygun olmamaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak için veri tabanının tek bir magnitüd türüne dönüştürülmesi ve böylece homojen hale getirilmesi gerekmektedir [42].

Bu çalışmada yapılan sismik tehlike analizinde ESHM2020 projesi sismik veri tabanı kullanılmıştır. Bu veri tabanı 1000-1089 yılları arası tarihsel ve 1900-2014 yılları arasını kapsayan aletsel kayıtların tek bir magnitüd türüne dönüşmesi ile homojen hale getirilmiş ayrıca öncü ve artçı depremlerden arındırılmıştır. Veri tabanında bulunan tarihsel deprem kayıtları Avrupa Alet Öncesi Katalog olan EPICA (European PreInstrumental Earthquake Catalogue) kataloğudur. Aletsel deprem katalogları ise Avrupa ve Akdeniz Deprem Kataloğu olarak adlandırılan EMEC (European-Mediterranean Earthquake Catalogue) kataloğudur. ESHM2020 projesi veri tabanındaki depremlerin tek bir magnitüd türüne dönüşümü yani homojen hale getirilmesinde Grünthal ve Wahlström tarafından geliştirilen magnitüd dönüşüm formülleri kullanılmıştır. Olasılıksal sismik tehlike analizinde deprem katalogları açısından önemli belirsizliklerden biri de çalışma alanında meydana gelmiş depremlerin tekrarlanma ilişkileri ile ilgili belirsizliklerdir. Bu belirsizliklerin giderilmesi amacıyla sismik tehlike analizinde kullanılan katalogda magnitüd tamamlılık analizleri yapılır. Katalog tamamlılığı deprem magnitüdünün ve episantr (dışmerkez) bilgilerinin bir fonksiyonu olup magnitüd tamamlılığı (Mc) teorik olarak belli zaman diliminde, mekân-zaman hacminde tespit edilen depremlerin %100 olduğu yerde en küçük magnitüd olarak tanımlanır [43].



Şekil 4.4. Arındırılmış ve homojen deprem kataloğu [43].

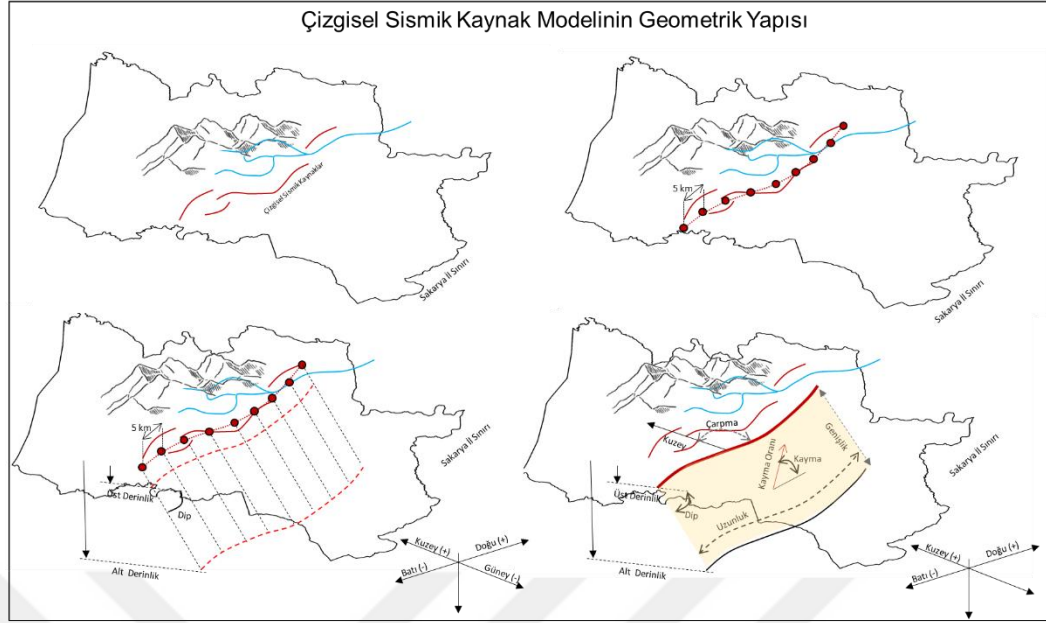
4.5.3. Sismik kaynak modelleri

Sismik tehlike analizi, çalışma alanının daha önceden meydana gelmiş depremlerin mekânsal dağılımları ve tektonik özellikleri incelenerek, çalışma alanındaki aktif sismik kaynakların saptanmasıdır. Geometrik parametreleri esas alınacak şekilde, depremlerin mekânsal dağılımı nokta, çizgi ve alan kaynak olarak modellenmiştir [42].

Nokta kaynak, aktif bir sismik bölge ile veya aktif bir sismik fay ile bağlantısı kurulamayan ve noktasal bir yoğunlaşma özelliği gösteren depremlerin, noktasal bir sismik kaynaktan yayıldığı kabulüne dayandırılan bir kaynak türüdür. Kaynağın boyutunun, çalışma alanına olan mesafesi yanında çok küçük olmasından dolayı nokta kaynak ismi verilmiştir.

Çizgi kaynak, haritalar üzerinde fay segmentlerinin çizgisel görüntülenmesini sağlayan ve çizgisel kaynak üzerinde oluşması muhtemel depremin her yerde aynı olduğu prensibini esas alan kaynak modelidir. Bu çalışmada ESHM2020 çalışmasındaki çizgi kaynaklardan faydalanılmıştır. Bu çizgisel sismik kaynakların geometrik yapısı Şekil 4.5.'de şematik olarak gösterilmiştir.

Alan kaynak, deprem kayıtları ile jeolojik özellikleri arasında bağlantı kurulamayan bölgelerde depremin, bölgenin her yerinde eşit olasılıkla oluşacağı prensibini esas alan kaynak modelidir.



Şekil 4.5. Çizgisel Sismik kaynak modeli geometrik yapısı [43].

4.5.4. Maksimum magnitüd (M_{max})

Sismik veri tabanı oluşturulduktan sonra sismik tehlike hesaplamalarında kullanılan bir diğer önemli parametre ise maksimum magnitüdün tayinidir. Maksimum magnitüd aktif bir sismik kaynakta, olması en muhtemel depremi temsil etmektedir. Sismik kaynakların özelliklerinin bilindiği tektonik olarak aktif bölgelerde M_{max} , toplam kırılma alanı, toplam uzunluk, toplam kırılma uzunluğu, kayma momenti ve eş-sismik kayma gibi fay karakteristiklerinden doğrudan tahmin edilebilmektedir. Bu çalışmada ESHM2020 çalışmasındaki fay verilerinden faydalanılmış olup, belirlenen sismik kaynakların M_{max} değerleri kullanılmıştır [36].

4.5.5. Magnitüd – tekrarlanma modelleri ve olasılık dağılımı

Depremler zaman, mekân ve büyüklük açısından belirsizlik içerirler. Sismik tehlike analizindeki bir diğer önemli adım ise deprem magnitüdlerinin olasılık dağılımlarının belirlenmesidir. Bu olasılık dağılımı ise deprem magnitüdlerinin frekansları ile arasındaki bağıntıdan çıkartılmaktadır. Literatürde en yaygın kullanılan magnitüd-frekans ilişkisi Denklem 4.4. ile belirtilen Richter (1958) tarafından yapılmış doğrusal magnitüd-frekans ilişkisidir.

$$\log_{10} N(m) = a - bm \quad (4.4)$$

Bu denklemde:

$N(m)$: Birim zamanda magnitudü m ye eşit veya m 'den daha büyük ortalama deprem sayısı

a ve b : çalışma alanı için belirlenmiş katsayıları

m : Richter magnitudünü

$\log_{10}$: 10 tabanında logaritmayı

İfade etmektedir. Bu çalışmada kullanılan sismik veriler için çizgisel sismik kaynakların magnetüd-frekans parametrelerinde ESHM2020 çalışmasından faydalanılmıştır. Bu çalışmada budanmış Gutenberg-Richter Modeli kullanılmıştır.

Şekil 4.5.'de çizgisel kaynaklar için belirtilen parametre değerleri bu çalışmada ESHM-2020 projesindeki sismik kaynaklardan faydalanılarak Tablo 4.1.'de gösterilmiştir. Tabloda çizgisel sismik kaynaklara ait; kaynak adı, kaynak üst sismik derinliği, kaynak alt sismik derinliği, yarıлма ve kayma açıları, kırılma en-boy oranı, Gutenberg Richter tekrarlanma parametreleri ve magnitud değerleri gösterilmiştir.

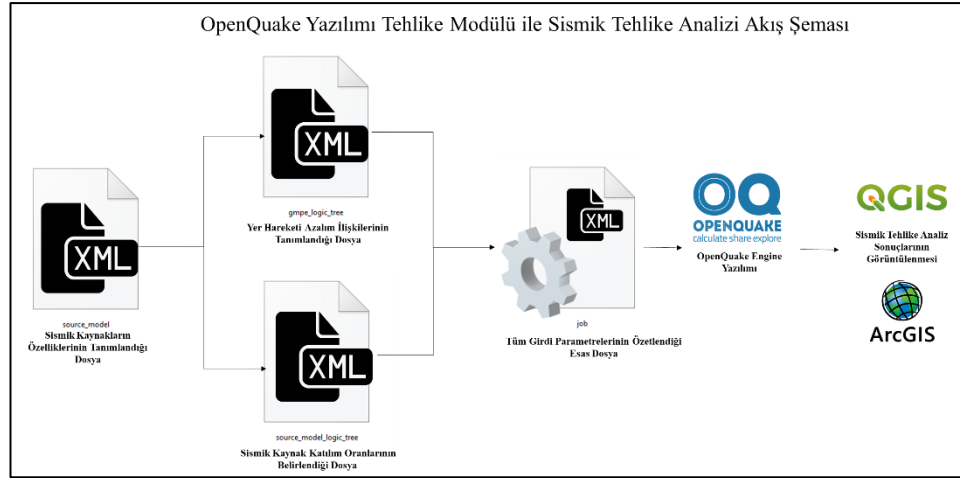
Tablo 4.1. ESHM2020 projesinden alınan çizgisel sismik kaynak verileri

Kaynak Kodu	Kaynak Adı	Üst Sismik Derinlik [Km]	Alt Sismik Derinlik [Km]	Kırılma En Boy Oranı	Dip (Kayma) Açısı	Rake (Yarılma) Açısı	A Katsayısı	B Katsayısı	Mini mum Mag nitüd M _{min}	Maksi mum Magnit üd M _{max}
Trcf003	Trcf003-T	1,50	16,00	2,20	34,00	90,00	4,02	1,00	6,70	7,70
Trcf004	Trcf004-T	1,50	16,00	2,20	34,00	90,00	3,68	1,00	6,70	7,70
Trcf005	Trcf005-T	2,00	16,00	2,16	34,00	90,00	4,36	1,00	6,50	7,50
Trcf00a	Trcf00a-T	1,00	18,00	2,22	40,00	-108,00	3,21	0,85	6,70	7,70
Trcf00b	Trcf00b-T	0,00	18,00	7,10	75,00	-162,50	3,07	0,85	6,70	7,90
Trcf00c	Trcf00c-T	0,00	18,00	2,66	67,00	180,00	2,97	0,85	6,30	7,30
Trcf00f	Trcf00f-T	2,00	20,00	2,34	85,00	0,00	2,02	0,82	6,10	7,10
Trcf00g	Trcf00g-T	1,00	18,00	2,22	40,00	-108,00	3,21	0,85	6,70	7,70
Trcf00k	Trcf00k-T	0,00	18,00	2,42	85,00	180,00	2,41	0,85	6,10	7,10
Trcf00l	Trcf00l-T	0,00	18,00	2,64	85,00	180,00	3,02	0,85	6,30	7,30
Trcf00m	Trcf00m-T	0,00	18,00	2,99	80,00	-161,00	2,40	0,85	6,50	7,50
Trcf024	Trcf024-T	0,00	15,00	2,49	70,00	-146,00	3,67	0,99	6,10	7,10
Trcf042	Trcf042-T	0,00	18,00	2,57	87,00	180,00	2,34	0,85	6,30	7,30
Trcf043	Trcf043-T	0,00	18,00	2,51	87,00	180,00	2,29	0,85	6,30	7,30
Trcf045	Trcf045-T	0,50	18,00	25,78	74,00	-157,00	4,10	0,85	6,70	8,50
Trcf046	Trcf046-T	0,00	18,00	2,75	74,00	-157,00	3,52	0,85	6,30	7,30
Trcf048	Trcf048-T	0,00	18,00	3,56	82,00	-178,00	3,65	0,85	6,50	7,50
Trcf049	Trcf049-T	0,00	18,00	2,46	87,00	180,00	3,87	0,99	6,10	7,10

4.5.6. OpenQuake yazılımı tehlike modülü ile sismik tehlike analizi

Bu çalışmada yapılan sismik tehlike analizinin kullanılan yazılımlardaki aşamaları Şekil 4.6. ile gösterilmiştir. Analiz için ilk olarak sismik tehlike analizinde kullanılacak, çalışma alanı konum bilgileri, sismik kaynakların tüm özellikleri ile yer hareketi tahmin denklemleri gibi temel parametreler belirlendikten sonra, her bir parametre, OQ yazılımının, verileri okuyabileceği şablon dosyalarına işlenip, analize hazır hale getirilmiştir.

Analizler yapıldıktan sonra, analiz sonuçlarının kolayca görüntülenmesini sağlayan QGIS coğrafi bilgi sistemleri yazılımına aktarılmış ve tehlike analizi sonuçları elde edilmiştir.



Şekil 4.6. OpenQuake yazılımı tehlike modülü ile Sismik Tehlike Analizi Akış Şeması

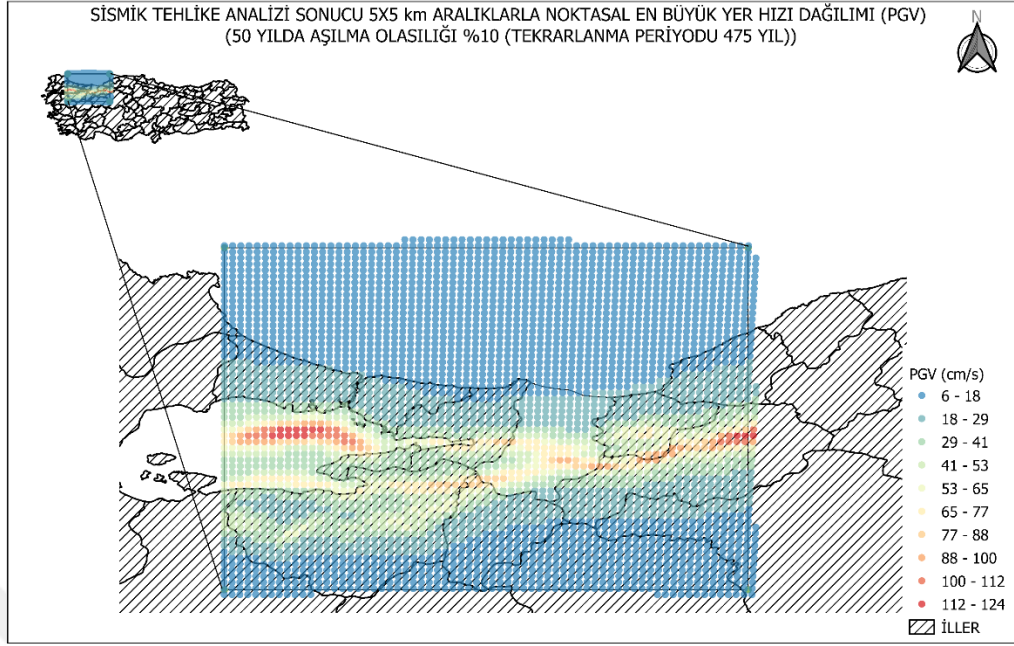
4.5.7. Sakarya ili sismik tehlike haritalarının hazırlanması

Klasik Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi için tüm parametreler belirlenip analizi yapıldıktan sonra kuvvetli yer hareketi parametrelerinin çalışma alanındaki dağılımı CBS yazılımları yardımıyla yapılmaktadır. Bu çalışmada OpenQuake yazılımı yardımıyla tehlike analizi yapılmış analiz sonuçları açık qgis ve arcgis coğrafi bilgi sistemi yazılımları yardımıyla görselleştirilmiştir. Tehlike analizi sonucu, altyapıların hasar görebilirliklerinde kullanılmak üzere en büyük yer hızı ve en büyük yer ivmesi parametrelerinin dağılımını veren haritalar altlık olarak hazırlanmıştır.

4.5.7.1. En büyük yer hızı sonuçları

En büyük yer hızı gömülü boru hatlarının sismik hasar görebilirlik analizinde en sık kullanılan kuvvetli yer hareketi parametresidir.

Olasılıksal Sismik Tehlike Analizinde kuvvetli yer hareketi parametreleri belirli bir tekerrür ve zaman aralığında aşılma olasılıkları cinsinden ifade edilmektedir. Altyapı sistemlerinden, gömülü boru hatlarının sismik hasar görebilirliği ile en büyük ilişkiye sahip olan en büyük yer hızı (PGV) dağılım haritası tüm çalışma alanı için Şekil 4.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. 475 yıl tekerrür periyodu için noktasal En Büyük Yer Hızı (PGV) sonuçları

Openquake yazılımında sismik tehlike analizi için gerekli dosyalar hazırlanırken, istenilen kuvvetli yer hareketi parametrelerinin ne kadar sıklıkta dağılacağına da yazılıma tanıtılması gerekmektedir. Analizlerin sonucunda çalışma alanındaki kuvvetli yer hareketi parametresinin dağılımının çok sık olması daha doğru sonuçlar vermektedir. Ancak her bir nokta için yer hareketi tahmin denklemlerinin ve diğer sismik tehlike analizi hesap adımlarının ciddi bir hesap yükü gerektirdiği göz önünde bulundurulduğunda, bu hesapların yüksek kapasiteli bilgisayarları gerektirdiği görülmektedir. Bu tez çalışmasında, sismik tehlike analizi çalışma alanı 5x5 km noktasal kuvvetli yer hareketi parametrelerinin üretileceği şekilde yapılmıştır. Openquake yazılımı veri çıktıları doğrudan qgis CBS programına aktarılabilir. Şekil 4.7. doğrudan qgis programına aktarılan en büyük yer hızı noktasal dağılımını göstermektedir.

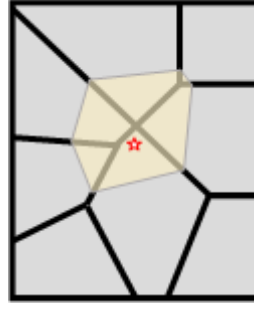
Elde edilen 5x5 m aralıklı noktasal verilerin hasar görülebilirlik analizlerinde kullanılması ve 5 km boşluktaki kuvvetli yer hareketi parametresinin olmaması, o aralıktaki şebeke elemanının maruz kalacağı muhtemel kuvvetli yer hareketi parametresinin olmaması anlamına gelmektedir. Bu sebeple bu çalışmadaki noktasal verilerin, arcgis programı yardımıyla interpolasyonu (ara değer bulma) yapılacaktır.

Arcgis programı arcmap arayüzü, içerisinde mekânsal analizlerde kullanılacak birçok yardımcı araç içermektedir. Özellikle mekânsal analizlerde sıklıkla kullanılan spatial analyst (mekânsal analiz) araç çubuğu birçok ara değer bulma algoritmaları içermektedir. Bunlar, IDW (Inverse Distance Weighted), Kriging, Natural Neighbour, Spline vb. metotlardır. Bu çalışmada, Natural Neighbour İnterpolasyonu kullanılarak, sismik tehlike analizi sonucu elde edilen noktasal kuvvetli yere hareketi parametreleri interpolate edilmiştir.

Natural Neighbor İnterpolasyon aracı, bir sorgu noktasına en yakın girdi örnekleri alt kümesini bulan ve bir değeri interpolate etmek için orantılı alanlara dayalı olarak bunlara ağırlıklar atayan bir algoritma kullanmaktadır. (Sibson 1981). Sibson veya "alan çalma" interpolasyonu olarak da bilinir. Temel özelliklerinin arasında, yalnızca bir sorgu noktasını çevreleyen örneklerin bir alt kümesini kullanması ve interpolasyonlu yüksekliklerin, kullanılan örneklerin aralığında olmasını garanti etmesi bulunmaktadır.

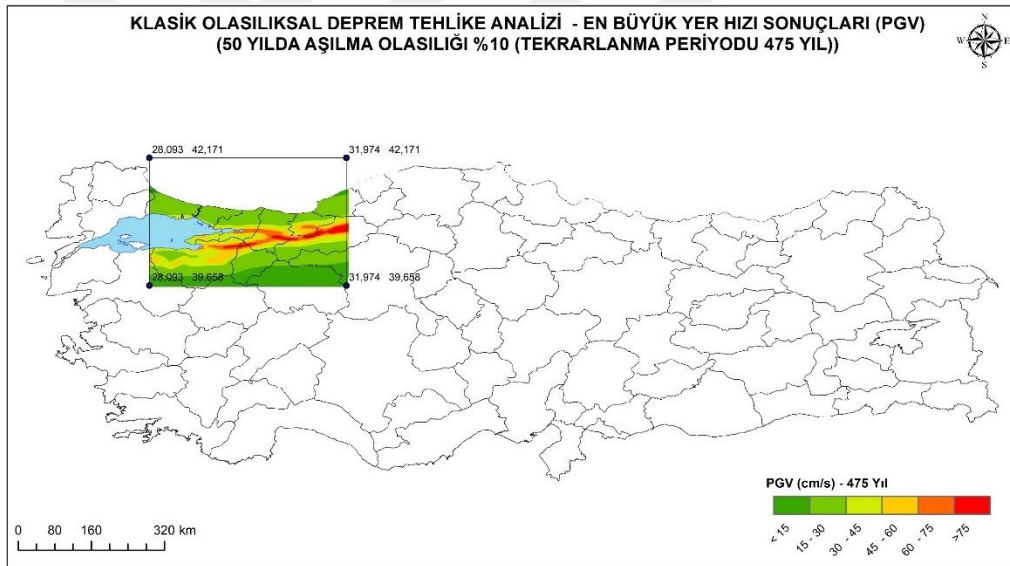
Natural Neighbor İnterpolasyonunun kullandığı Sibson algoritması eğilimler çıkarmaz ve girdi örnekleri tarafından halihazırda temsil edilmeyen tepeler, çukurlar, sırtlar veya vadiler üretmez. Yüzey, girdi örneklerinden geçer ve girdi örneklerinin yerleri dışında her yerde yüzeyseldir.

Natural Neighbor İnterpolasyon aracının hesap yaklaşımı, herhangi bir noktanın doğal komşuları, komşu Voronoi (Thiessen) çokgenleriyle ilişkili olduğu esasına dayanmaktadır. Başlangıçta, çokgenlerle temsil edilen tüm verilen noktalardan bir Voronoi diyagramı oluşturulur. Daha sonra enterpolasyon noktasının (kırmızı yıldız) etrafında sarı renkli yeni bir Voronoi poligonu oluşturulur. Bu yeni çokgen ile ilk çokgenler arasındaki örtüşme oranı daha sonra ağırlık olarak kullanılır. Şekil 4.8. ile Natural Neighbor İnterpolasyon aracı hesap yaklaşımı görülmektedir [45].



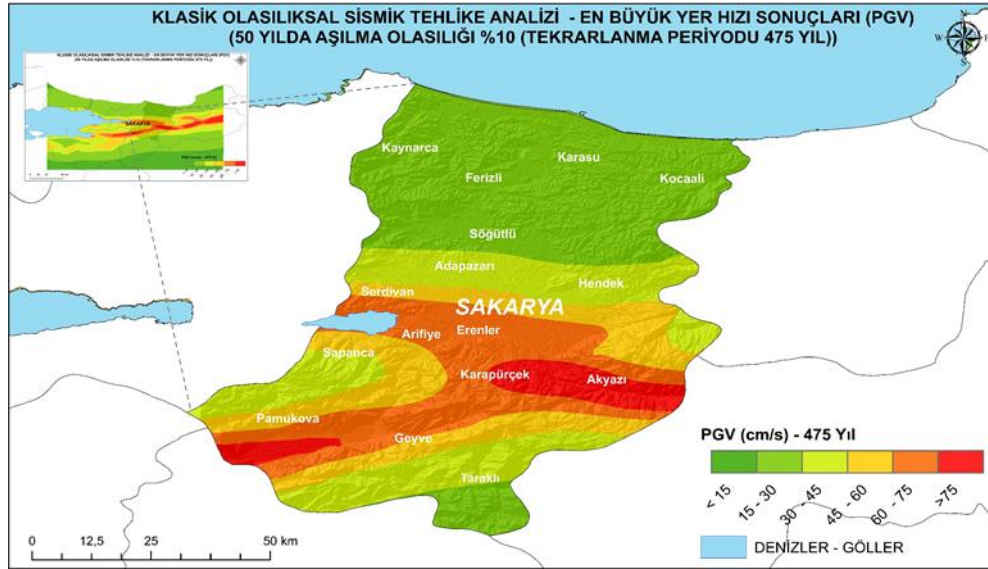
Şekil 4.8. Natural Neighbor İnterpolasyon aracı hesap yaklaşımı [45]

Sismik tehlike analizi sonucu elde edilen 5x5 m aralıklı noktasal verilerin hasar görebilirlik analizlerinde kullanılmak üzere coğrafi bilgi sistemlerindeki ara değer bulma araçları yardımıyla alanlara yayılmıştır. Elde edilen sonuçlardan oluşan en büyük yer hızı haritası Şekil 4.9. ile gösterilmektedir.



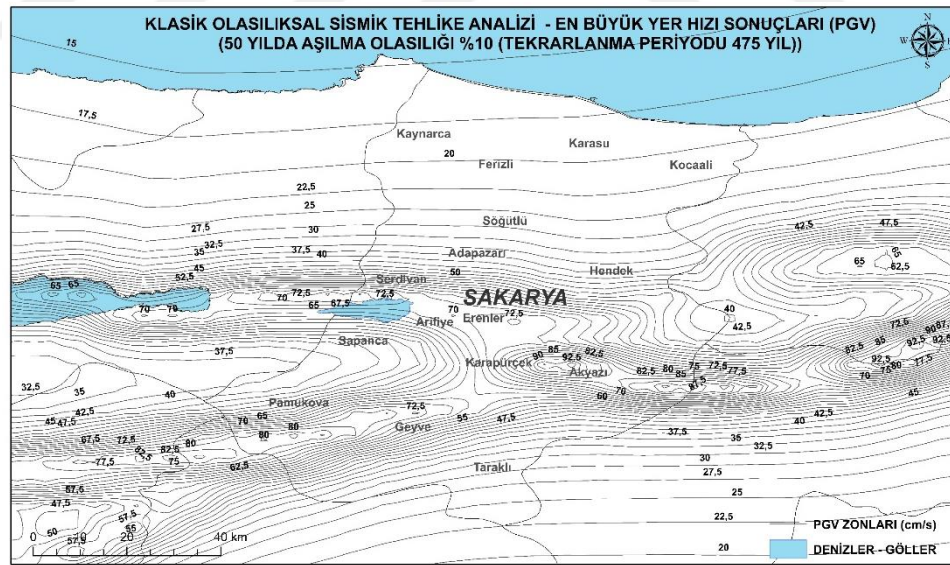
Şekil 4.9. Çalışma alanı için 475 yıl tekerrür periyodu için En Büyük Yer Hızı sonuçları

Bu tez çalışmasında Sakarya ili altyapı sistemlerinin hasar görebilirlikleri incelenmekte olduğu için Şekil 4.10.'da yalnızca Sakarya il genelindeki kuvvetli yer hareket parametrelerinin dağılımı gösterilmiştir.



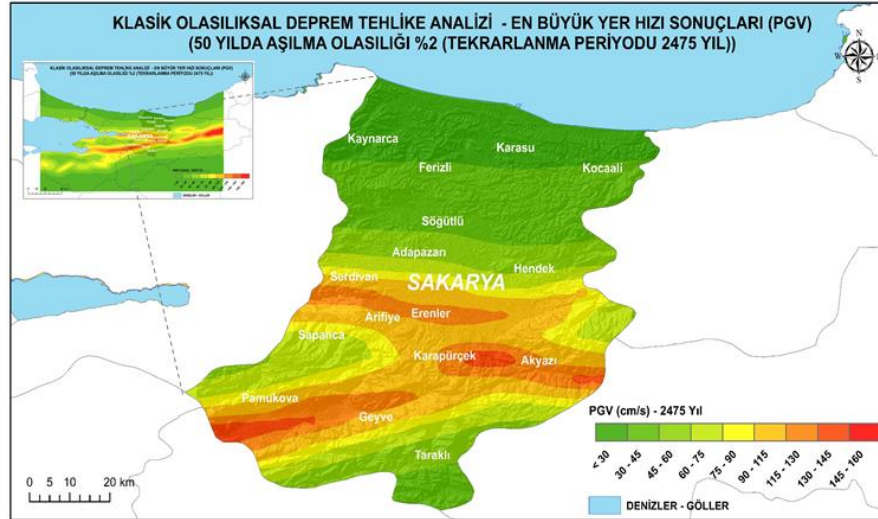
Şekil 4.10. Sakarya ili için 475 yıl tekerrür periyodu için En Büyük Yer Hızı sonuçları

Haritada analizden beklenildiği üzere, çizgisel sismik kaynakların geçtiği güzergahların daha yüksek hız değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.11. ile en büyük yer hızının 2,5 km aralıklarla eş dağılımı görülmektedir.



Şekil 4.11. 475 yıl tekerrür periyodu için En Büyük Yer Hızı Zonları

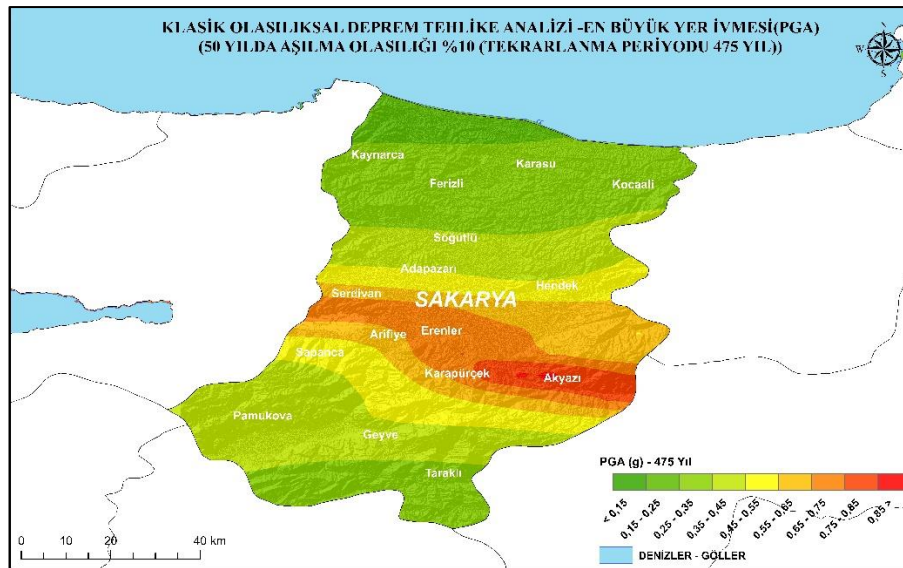
Şekil 4.12.'de elde edilen haritada, 2475 yıl tekrarlanma periyodu ile lejantında görüldüğü gibi daha büyük yer hareketi parametreleri elde edilmiştir.



Şekil 4.12. 2475 yıl tekerrür periyodu için Sakarya ili En Büyük Yer Hızı sonuçları

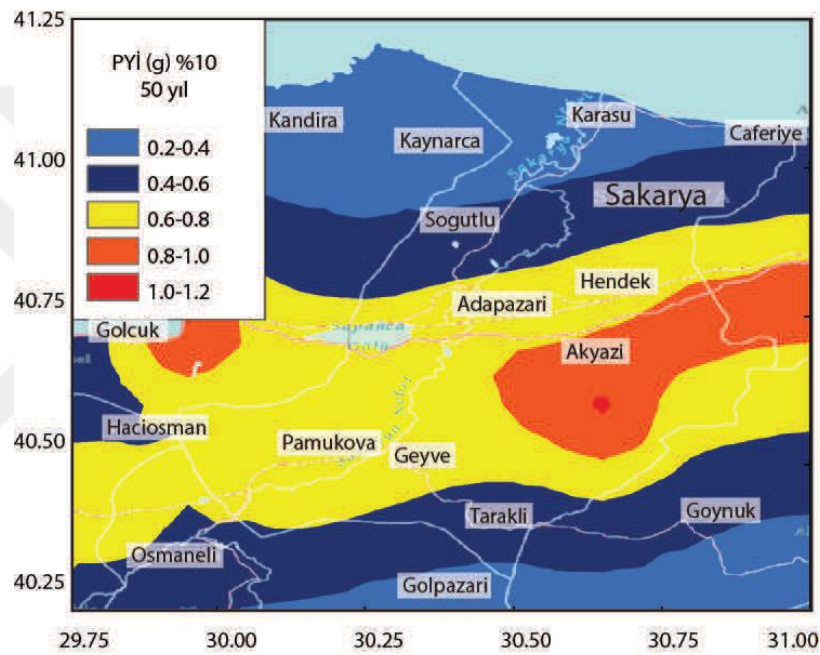
4.5.7.2. En büyük yer ivmesi sonuçları

Bu tez çalışması kapsamında boru hasar görebilirlik analizlerinde kullanılan PGV dağılımı elde edildikten sonra, çalışma alanının sismik tehlikesinin ivme dağılımı bakımından değerlendirmek üzere PGA haritaları elde edilmiştir. Bu tez çalışmasında yapılan sismik tehlike analizi sonucunda elde edilen PGA dağılımı haritası Şekil 4.13. ile gösterilmektedir.



Şekil 4.13. 475 yıl tekerrür periyodu için En Büyük Yer İvmesi sonuçları

Elde edilen PGA dağılımı, çalışma alanında daha önce yapılmış olasılıksal sismik tehlike analizi sonuçları ile kıyaslanmıştır. Harman ve Küyük (2016) yapılan çalışmada Sakarya ilini etkileyen sismik kaynakları kullanarak, en büyük yer ivmesine ait yıllık aşılma oranları, sismik tehlike eğrisi yardımıyla literatürdeki çeşitli azalım ilişkileri kullanılarak elde edilmiştir. Çalışma alanının Sakarya ili için pik yer ivmesinin 50 yılda %10 ve %2 aşılma ihtimaline göre sismik tehlike haritaları elde edilmiştir. Şekil 4.14. ile Harman ve Küyük (2016) çalışmasından elde edilen 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan PGA haritası görülmektedir [46].



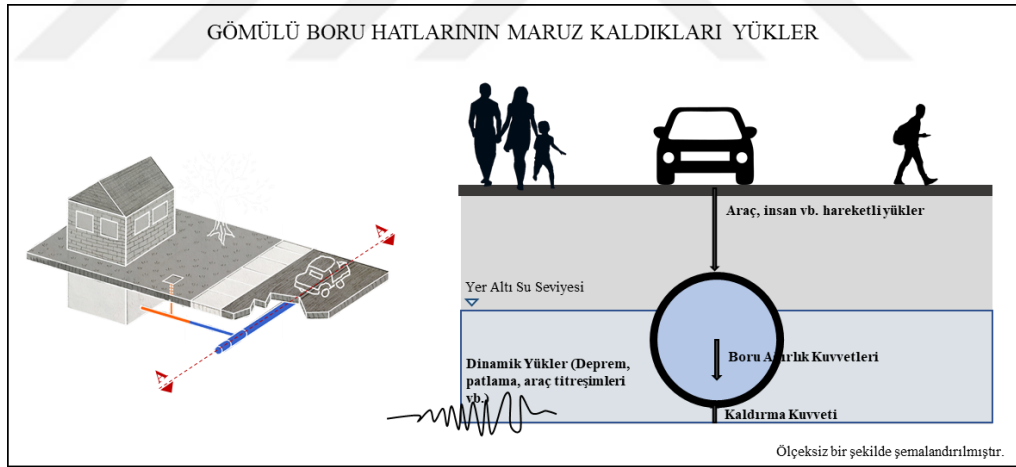
Şekil 4.14. Sakarya ili 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan PGA haritası [46].

Harman ve Küyük (2016) çalışması sonucu elde edilen 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan PGA haritası ile bu çalışma sonucu elde edilen 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan PGA haritası beraber değerlendirildiğinde, bu çalışmada elde edilen PGA değerlerinin Harman ve Küyük (2016) çalışması ile çok yakın olduğu görülmüştür. Bu durum yapılan sismik tehlike analizinin güvenilirliğini göstermektedir.

BÖLÜM 5. HASAR GÖREBİLİRLİK ANALİZLERİ

5.1. Gömülü Boru Hatlarını Etkileyen Yükler

İçme suyu, yağmur suyu ve kanalizasyon sistemlerindeki en önemli iletim elemanları gömülü borulardır. Bunun başlıca sebepleri arasında, sisteme dahil olma veya müdahale aşamalarının kazı ve dolgu gibi süreçleri içermesidir. Gömülü borular, içlerinden geçen sıvı basıncı, yüzeylerinde zemin tabaka yükleri ve zemin üstü hareketli yükler vb. statik yüklere maruzdur. Ayrıca, zemin üstü araçla titreşimleri başta olmak üzere, deprem, patlama vb. sismik yüklere de maruz kalmaktadırlar. Şekil 5.1.'de gömülü boruların maruz kaldığı bazı yükler gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Gömülü boruların maruz kaldığı yükler

Daha önce yaşanmış büyük depremlerde, binalar, köprüler vb. üstyapı elemanlarının yanında, gömülü borularında ağır hasarlar alarak afetin boyutunu arttırdığı görülmüştür. Özellikle ABD’de meydana gelen 1906 San Fransisco depremi, 1994 Northridge depremlerinde su dağıtım şebekeleri ağır hasarlar alarak hizmet veremez duruma gelmiştir. 1999 Marmara depreminde Adapazarı içme suyu, kanalizasyon şebekelerinin hemen hemen tamamı kullanılamaz hale gelmiştir [47].

Bu durum, sismik tehlikeler karşısında mevcut gömülü boru sistemlerinin hasar görebilirliğinin yüksek olduğunu göstermektedir. Gömülü boru hatlarının maruz kalacağı sismik yükler iki ana gruba ayırmak mümkündür. Bunlardan birisi, fay kırılmaları sonucu oluşan sismik dalgaların zemin tanelerine olan dalga etkisi ile meydana gelen yer sarsıntıları olup geçici yer deformasyonları (GYD) olarak adlandırılmaktadır. Bir diğer sismik etki ise, yer yüzeyinde deprem sonrası yüzey kırılmaları ve zemin sıvılaşması gibi kalıcı yer deformasyonlarıdır (KYD) [48].

5.2. Gömülü Boru Hatlarının Hasar Görebilirliğini Etkileyen Faktörler

Gömülü boru hatlarının tasarımında, uygulanmasında ve değerlendirmesinde özellikle dikkate alınması gereken etkiler; boru türü, boru yapım yılı, boru çapı, boru bağlantı biçimi, borunun gömüldüğü zeminin yeraltı su seviyesi, zemin cinsi vb. sismik hasar görebilirliği doğrudan etkilemektedir. 1999 Marmara depreminin ardından yapılan hasar incelemelerinde asbestli çimento tipi borularda 4,4 hasar/km boru hasar oranı olduğu tespit edilmiştir [8].

İçme suyu şebekelerinde kullanılan boru türleri genellikle asbestli çimento borular (AÇB), duktıl font borular (DFB), duktıl demir, çelik borular (ÇB) ve plastik esaslı polivinil klorür borular (PVC) kullanılmaktadır. Bu boru türleri incelendiğinde çelik ve duktıl demir borular sünek özellikler gösterdikleri için duktıl boru grubunda yer alırken, font borular ve asbestli çimento borular (AÇB) ise sahip oldukları gevrek özelliklerden dolayı kırılğan boru grubuna girmektedir. Örneğin Sakarya ili içme suyu boru hattında 1999 depreminde genellikle asbestli çimento boru kullanılmıştır ve bu kırılğan boru grubundaki borularda ciddi hasarlar meydana gelmiş, içme suyu şebekesi neredeyse tamamen kullanılamaz hale gelmiştir.

5.3. Gömülü Boru Hatlarını Etkileyen Sismik Tehlikeler

İçme suyu, yağmur suyu, kanalizasyon ve doğalgaz gibi altyapı sistemlerinde iletim ve dağıtım borularla sağlanmaktadır. Bir içme suyu sisteminde, su kaynağından alınan su, kullanıcılara ulaşmadan önce, arıtma tesisine aktarılmaktadır. Kaynaktan alınan

suyun yüksek kotlara ulaştırılması başta olmak üzere birçok hidrolik etki sebebiyle, sistemde vana odaları, depolar, terfi merkezleri vb. üstyapı elemanları da bulunmaktadır. Ancak boru hatları sistemin bu elemanları gibi yer yüzeyinde değil, birçok sebepten dolayı zemin içerisinden geçmektedir. Zemin içerisinden geçen bu şebeke borularının maruz kaldığı etkilerden daha önce bahsedilmiştir. Ancak bu etkilerden en önemlileri ve kısa sürede büyük hasar verme potansiyeline sahip olanları ise sismik tehlike kaynaklı etkilerdir. Sismik etkiler geçmiş depremlerde boru hatlarında ciddi hasarlara sebep olmuştur. Bu sebeple bu etkilerin tespit edilip, mevcut boru hatlarında iyileştirme uygulamaları ve yeni kentsel planlamalarda risklerin azaltılmasına yönelik çözüm önerileri getirilmesi, afet yönetimi açısından önem arz etmektedir.

Boru hatlarının sismik tehlikeler karşısında alması muhtemel hasarını etkileyen bir diğer faktör ise boru hatlarında boruların birbirleri ile bağlantı biçimidir. 1999 Marmara Depremi sonrası Sakarya ili içme suyu borularında yapılan incelemelerde Sakarya ili su idaresi personelleri, AÇB hatlarındaki hasarın çoğunlukla ek yerlerinde olduğunu tespit etmişlerdir. Bağlantı bölgelerinde dönme ve eksenel kayma sonucu çatlama, sıyrılma ve su geçirmez contanın kaybolması sonucu birleşim bölgesi hasarı meydana geldiği görülmüştür.

Daha önce meydana gelmiş depremlerden edinilen bilgilerle, kauçuk contalı bağlantı özelliğine sahip plastik özellikli PVC borular hatlarının hasar görebilirliğinin yine aynı bağlantı özelliğine sahip asbestli çimento borudan daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun sebebinin, PVC malzemenin sismik tehlike sonucu oluşan gerilmelere karşı daha yüksek dayanıma sahip olduğu görülmüştür.

Boru hatlarının sismik hasar görebilirliğini etkileyen bir diğer önemli parametre ise boru çapıdır. Geçmiş depremlerde meydana gelen boru hattı hasarları incelendiğinde boru çapı ile boru hasarı arasında kuvvetli bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Daha önce yapılan çalışmalarda büyük boru çapına sahip borularda sismik hasar görebilirliğin daha küçük boru çapına sahip borulara kıyasla daha düşük olacağı tespit

edilmiştir. Bu durumun sebebinin büyük çaplı boruların bağlantılarının imalat kalitesinin küçük çaplı borulara kıyasla daha iyi olduğu gösterilmiştir. Bu sebepler göz önünde bulundurularak büyük çaplı çelik boruların hasar onarım oranlarının, küçük çaplı boruların hasar onarım oranlarına kıyasla %75 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

5.4. Geçici Yer Deformasyonları

Gömülü boru hatlarının maruz kalması muhtemel sismik etkilerinden biri geçici yer deformasyonu tehlikeleridir. Deprem mühendisliğinde GYD tehlikeleri çoğunlukla kuvvetli yer hareketi parametreleri ile ifade edilmektedir. Bu sebeple literatürde kuvvetli yer hareketi parametreleri ve boru hasarları arasındaki ilişkilerin tespitine yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar, çoğunlukla geçmiş depremlerde elde edilmiş gömülü boru hatlarındaki hasar envanterleri ile kuvvetli yer hareketi parametreleri arasındaki ilişkilerin ortaya konulmasına yönelik olmuştur. Bu tez çalışmasında boru hattına sahip altyapı sistemlerinin sismik hasar görebilirlikleri literatürde sık kullanılan hasar bağıntıları ile analiz edilmiştir.

5.5. Boru Hatları Sismik Hasar Görebilirlik İlişkileri

Boru hatlarının GYD tehlikelerine karşı hasar görebilirlikleri ile ilgili FEMA (Federal Emergency Management Agency), American Lifelines Alliance (ALA) ve Japan Water Works Association (JWWA) gibi birçok kurumun yanında birçok bilim insanı araştırma yapmıştır.

Tablo 5.1. Boru hattı hasar görebilirlik fonksiyonlarına yönelik referans çalışmalar [49].

Sismik Parametre	Referans Çalışma
PGA	Katayama ve ark. (1975)
	Isoyama ve Katayama (1982)
	ASCE-TLCEE (1991)
	T. D. O'Rourke ve ark. (1991)
	Hamada (1991)
	Hwang ve Lin (1997)
	T. D. O'Rourke ve ark.(1998)
	Isoyama ve ark. (2000)

Tablo 5.1. (Devamı)

MMI	Eguchi (1983) Ballantyne ve ark. (1990) Eguchi (1991) T. D. O'Rourke ve ark. (1998)
PGV	Barenberg (1988) M. J. O'Rourke ve Ayala (1993) Eidinger et al. (1995) Eidinger (1998) T. D. O'Rourke ve ark. (1998) T. D. O'Rourke ve Jeon (1999) Isoyama ve ark. (2000) ALA (2001) Pineda ve Ordaz (2003) M. J. O'Rourke ve Deyoe (2004) Jeon ve O'Rourke T. D. (2005) T. D. O'Rourke ve ark. (1998) M. J. O'Rourke ve Deyoe (2004) Jeon ve O'Rourke T. D. (2005)
PGD, AI, SA ve SI	T. D. O'Rourke ve ark. (1998)
ϵ_g	M. J. O'Rourke ve Deyoe (2004)
PGV2 /PGA	Pineda ve Ordaz (2007) Pineda ve Ordaz (2010)

Porras ve Najafi (2010), gömülü boru hatlarının sismik tehlikeler karşısındaki hasar görebilirlikleri için son 30 yıl içinde geliştirilmiş hasar tahmin ilişkilerini incelemiş ve konuyla ilgili gelecekte yapılacak çalışmalarda karşılaşılabilecek muhtemel zorluklara değinilmiştir. Çalışmada, konuyla ilgili literatürde ilk olarak Katayama ve arkadaşları (1975) tarafından yapılmış çalışmadan başlanarak 2010 yılına kadar hasar ilişkilerinin kuvvetli yer hareketi parametreleri ile ilişkisinin kronolojik bir sınıflandırılması yapılmıştır. Çalışmada hasar bağıntılarının dört adet zayıf özelliği üzerinde durularak bu konuların daha detaylı çalışılması gerektiği ve gelecekteki çalışmalarda oluşturacakları zorluklar üzerinde durulmuştur. Tablo 5.1. ile çalışmada yapılan kronolojik sınıflandırmalar tablo halinde sunulmuştur.

Yapılan derleme çalışmasında görüldüğü gibi, literatürde daha önce yapılmış çalışmalarda sismik hasar görebilirlik etkisi kuvvetli yer hareketi parametreleri ile

ilişkilendirilmiştir. Tablo 5.1.'de görüldüğü üzere yapılan çalışmalarda en fazla, en büyük yer hızı (PGV) ile ilgili hasar ilişkileri geliştirilmiştir. Bu tez çalışmasında da Sakarya ili gömülü boru hatlarının, geçici yer deformasyonu tehlikelerine karşı hasar görebilirliklerinde, en büyük yer hızını (PGV) esas alan ilişkiler kullanılmaktadır.

T. D. O'Rourke ve Toprak (1998), 1994 Northridge depreminden sonra Los Angeles Su ve Enerji Departmanı (LADWP) ve Bölgesel Su İdaresinin içme suyu şebekesi etkileyen faktörleri araştırmak için CBS tabanlı bir metot kullanmıştır. MMI, PGA, PGV, PGD, AI, SA ve SI. MMI, SI, PGA ve PGV gibi 7 adet sismik parametre kullanarak kuvvetli yer hareketi parametreleri ile hasar oranı arasındaki ilişkiyi belirlemeye çalışmışlardır. Çalışma sonucunda en büyük yer hızının (PGV) boru hattı hasarıyla diğer tüm parametrelerden daha iyi ilişkili olduğunu ve çelik, duktıl ve asbestli çimento boru hatları için önerilen PGV tabanlı kırılmalıkların olduğu sonucuna varmıştır [50].

Bu tez çalışmasında Sakarya ili altyapı sistemlerinden, içme suyu temin ve dağıtım şebekeleri, yağmur suyu ve kanalizasyon şebekeleri ile doğalgaz şebekelerine ait gömülü boruların geçici yer deformasyonu etkilerindeki sismik hasar görebilirlikleri, literatürde en büyük yer hızının kullanıldığı çalışmalardan, HAZUS metodu, Isoyama (2000) metodu, ALA (2001) metodu ve Yoo, Kang ve Kim (2013) metodu kullanılarak yapılmıştır. İçme suyu şebekelerinin birçok boru türünü kullanması sebebiyle, boru türünün de hesaba yansıtıldığı Isoyama (2000) metodu, ALA (2001) metodu ve Yoo, Kang ve Kim (2013) metodu HAZUS metoduna ek olarak kullanılmıştır. Ancak Yağmur suyu, kanalizasyon ve doğalgaz şebekelerindeki boru türü çeşitliliğinin az olmasından dolayı yalnızca HAZUS metodu kullanılmıştır. Öncelikle çalışmada kullanılan tüm metotlar açıklanacak daha sonra içme suyu temin ve dağıtım şebekeleri, yağmur suyu ve kanalizasyon şebekeleri ile doğalgaz şebekelerine ait gömülü boruların sismik hasar görebilirlikleri, bu metotlar yardımıyla hesaplanacak ve daha sonra analizler sonucunda elde edilen sonuçlar yorumlanacaktır.

5.5.1. HAZUS hasar görebilirlik metodu

Boru hatlarının sismik hasar görebilirliğine yönelik yaklaşımlardan biri Amerika Birleşik Devletleri Federal Acil Durum Yönetim Kurumu (FEMA) tarafından geliştirilmiş olan ve literatürde HAZUS metodu olarak adlandırılan yaklaşımdır. HAZUS metodunda gömülü boru hatları için iki hasar algoritması kullanılır. İlk algoritma en büyük yer hızı (PGV) ile ilişkilendirilirken, ikinci algoritma kalıcı zemin deformasyonu (PGD) ile ilişkilendirilir. Bu algoritmaların her ikisinde de boru çapı doğrudan bir faktör olarak eşitliğe katılmamıştır. Bu tez çalışmasında PGV parametresinin esas alındığı algoritma kullanılacaktır.

PGV algoritması, O'Rourke ve Ayala (1993) tarafından yapılan bir çalışmada sunulan deneysel verilere dayanmaktadır. Veriler, ABD'de meydana gelen 4 ve Meksika'da meydana gelen 2 depremdeki boru hasarlarından elde edilmiştir. Denklem 5.1.'deki ilişki, bu veriler sonucunda elde edilen ampirik yaklaşımı göstermektedir [51].

$$RR = 0,0001 \times (PGV)^{2,25} \quad (5.1)$$

Bu eşitlikte;

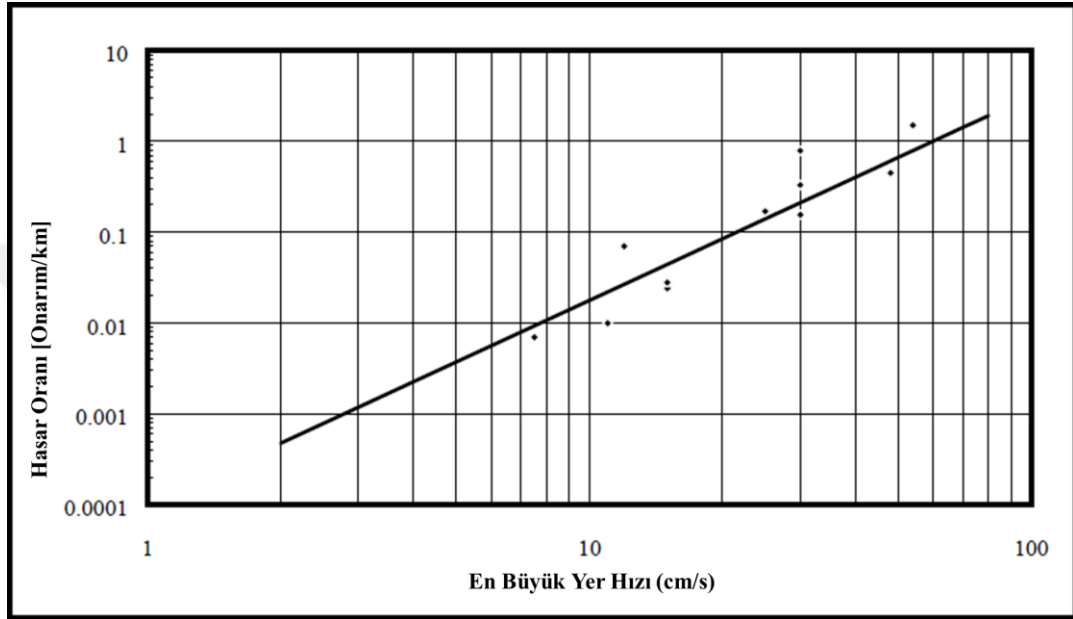
RR: Hasar onarım oranını [Onarım/km] (Repair Rate)

PGV: En büyük yer hızını [cm/s] (Peak Groun Velocity)

göstermektedir.

Verilen eşitlik O'Rourke ve Ayala (1993) tarafından yapılan çalışmada, asbestli çimento boru ile beton ve dökme demir borular için geliştirilmiştir. Dolayısıyla verilen eşitlik kırılğan gruptaki boru hatları için geçerlidir. Çelik, PVC duktıl demir gibi duktıl gruptaki sünek özelliğe sahip boru hatları için verilen eşitlikteki hasar onarım oranı 0,3 ile çarpılarak elde edilebilmektedir.

Bu yaklaşım, duktıl borulardaki hasarın kırılğan borulardaki hasara göre %30 oranında daha az beklendiğinin bir göstergesidir. HAZUS metodu birleşim bölgesinin bağlanmış şekillerine göre çelik boruları duktıl ve gevrek gruba dahil etmektedir. Örneğin, ark kaynaklı birleşime sahip kaynaklı çelik boruların duktıl grupta, gaz kaynaklı birleşime sahip kaynaklı çelik boruların ise kırılğan grupta olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 5.2. Kırılğan Borular için PGV algoritması hasar modeli [51].

Boru hatlarının sismik hasar görebilirliklerini etkileyecek bir diğer sismik etki ise, yer yüzeyinde deprem sonrası yüzey kırılmaları, zemin sıvılaşması ve heyelan gibi kalıcı yer deformasyonlarıdır (KYD). HAZUS metodu kalıcı yer deformasyonu etkilerinin değerlendirilmesi hasar algoritması, Honegger ve Eguchi (1992) tarafından San Diego Su İdaresi (SDCWA) için yürütülen çalışmaya dayanmaktadır [52].

HAZUS metodunun kalıcı yer deformasyonları için geliştirdiği algoritmaya ait ampirik eşitlik;

$$RR = [Sıvılaşma Olasılığı] \times PGD^{0,56} \quad (5.2)$$

Bu eşitlikte;

RR: Hasar onarım oranını [Onarım/km] (Repair Rate)

PGV: En büyük yer deplasmanını [cm] (Peak Ground Displacement) göstermektedir.

Bu çalışmada HAZUS metodunun yalnızca GYD etkilerinin oluşturduğu hasar görülebilirlikler incelenecektir.

Tablo 5.2. HAZUS içme suyu boru hatları hasar algoritması [53].

Boru Grubu	PGV Algoritması		PGD Algoritması	
	$RR=0,0001 \times (PGV)^{2,25}$		$RR= [Sıvılaşma Olasılığı] \times PGD^{0,56}$	
	Çarpan	Boru Türleri	Çarpan	Boru Türleri
Kırılğan Borular	1	Asbestli Çimento Beton Font	1	Asbestli Çimento Beton Font
Duktil Borular	0,3	Duktil Demir Çelik PVC	0,3	Duktil Demir Çelik PVC

5.5.2. Amerikan Lifeline Alliance (ALA) hasar görülebilirlik metodu

American Lifelines Alliance (ALA), 1998 yılında Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği (ASCE) ve Federal Acil Durum Yönetim Ajansı (FEMA) arasındaki iş birliği anlaşması kapsamında kurulmuş bir kuruluştur. ALA tarafından 1999 yılında G&E Engineering Systems Inc. şirketinden su iletim sistemi bileşenlerinin sismik tehlikelerden hasar görme potansiyellerini tanımlayan yöntemler hazırlanmasının talep edilmesi üzerine, hasar görülebilirlik ile ilgili algoritmaları geliştirilmeye başlanmıştır.

ALA metodunun gömülü borular için hasar algoritması, geçici yer deformasyonları olarak ifade edilen en yüksek yer hızı (PGV) ve kalıcı yer deformasyonları olarak ifade edilen en büyük yer deplasmanının (PGD) bir fonksiyonu olarak borunun birim uzunluğu başına onarım oranı olarak ifade edilmiştir. Gömülü borular için hasar algoritmalarının geliştirilmesi, genel olarak deneysel çalışmalarla veya ampirik formüller geliştirilmesiyle sağlanmıştır. Ampirik ifadesi ile, bir depremde sonra, hangi derinlikte gömülü borunun, hangi seviyelerde sismik tehlikeye maruz kaldığı ve

bu seviyedeki sarsıntı nedeniyle ne kadar borunun hasar aldığı ve hasarın türü hakkında (sızma, kırılma vb.) hakkında veriler toplanması ifade edilir.

1989'dan önceki ampirik eşitliklerin çoğu, küçük çaplı yaklaşık Ø30 cm'den küçük font boruların performansı için geliştirilmiştir. Bunun nedeninin, daha mevcut su iletim sistemlerinde yoğunlukla font kullanılması ve depremlerde yapılan hasar incelemelerinde sıklıkla font borular için hasar kayıtlarının tutulmasıdır. Ancak 1989 Loma Prieta ve 1994'te Northridge gibi daha yakın tarihli büyük depremler, asbestli çimento, sünek demir ve kaynaklı çelik boru dahil olmak üzere daha modern boru malzemeleri için yeni ampirik kanıtlar geliştirilmesine sebep olmuştur. Ancak 2001 yılına kadar, henüz tüm seviyelerdeki sismik tehlikelerde ve tüm boru türlerine ait geliştirilmiş bir hasar görebilirlik algoritması bulunmamaktaydı. Bununla birlikte tüm hasar görebilirlik algoritmaları, borunun birim uzunluk başına düşen onarım oranı cinsinden ifade edilmekteydi. ALA tarafından geçici yer deformasyonları etkisi ile hasar görebilirlik algoritmaları, çoğunluğu Kobe, Northridge, Loma Prieta ve San Fernando depremleri olmak üzere 12 depremten alınan 83 hasar kaydının elenerek 81 hasar kaydı ile oluşturulmuş veri tabanından faydalanmıştır. Tablo 5.3. de ALA hasar görebilirlik algoritmalarının geliştirilmesinde kullanılan geçmişte meydana gelmiş çeşitli depremlerden alınan hasar envanterine ait bazı veriler görülmektedir. Tablodan da görüldüğü gibi geçmişte içme suyu boru hatlarında sıklıkla font boru türü kullanılmıştır.

Tablo 5.3. Çeşitli depremlerden alınan boru hasar istatistikleri [54].

Deprem	Boru Türü	Hasar [Nokta]	Boru Uzunluğu [km]
1933 Long Beach	Font	130	592
1949 Puget Sound	Font	24	84,1
1965 Puget Sound	Font	13	112,2
1971 San Fernando	Font	84	536,2
1979 Imperial Valley	Asbestli Çimento	6	100
1989 Loma Prieta	Font	15	1,74

Ayrıca ALA geçici yer deformasyonları kaynaklı hasar görebilirlik algoritmaları oluşturulurken kullanılan 81 veriden bir kısmı Tablo 5.4.'de gösterilmiştir.

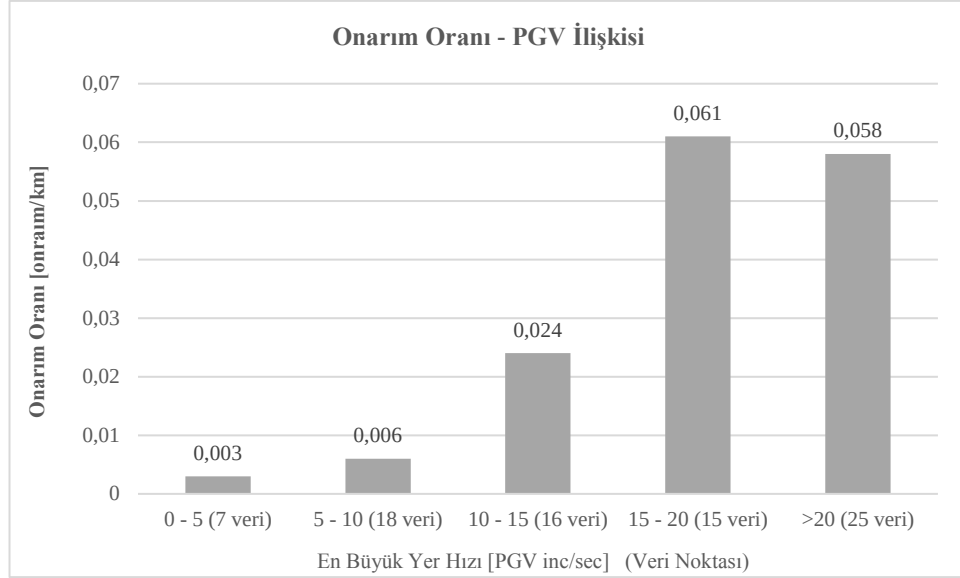
Tablo 5.4. Çeşitli depremlerden alınan boru hasar istatistikleri [55].

Deprem	Magnitüd	Boru Türü	Hasar [Nokta]	PGV (inc/sec)	Onarım Oranı [onarım/1000ft]
1933 Long Beach	6,3	Font	130	24,6	0.0671
1949 Puget Sound	7,1	Font	24	16,7	0.0884
1965 Puget Sound	6,5	Font	13	16,7	0.0366
1971 San Fernando	6,7	Font	84	26,0	0.0488
1979 Imperial Valley	6,5	Asbestli Çimento	6	23,7	0.0183
1989 Loma Prieta	6,9	Font	15	5,3	0.0026

ALA geçici yer deformasyonları kaynaklı hasar görebilirlik algoritmaları için oluşturulmuş veri tabanı incelendiğinde 81 adet veri noktasından en yaygın boru türünün 38 veri noktası ile Font olduğu tespit edilmiştir. Daha sonra 13 veri noktası ile çelik, 10 veri noktası ile asbestli çimento, 9 veri noktası ile duktıl demir ve 2 veri noktası ile beton boru gelmektedir. Diğer 9 veri noktası hem dökme hem de duktıl demir borunun birleşimini temsil etmektedir. Boru çapı açısından, veri tabanı çoğunlukla dağıtım ana sistemlerine ait verilerden oluştuğu için Ø30 cm'den büyük yalnızca 8 adet veri noktası bulunmaktadır.

ALA metodunun gömülü borular için hasar algoritması, geçici yer deformasyonları olarak ifade edilen en yüksek yer hızı (PGV) ile oluşturulmuştur. Şekil 5.3.'de, ALA veri tabanındaki veri noktalarındaki onarım oranları ile en büyük yer hızları gruplandırılarak gösterilmektedir.

Bu şekilden görüldüğü üzere en büyük yer hızı (PGV) değeri arttıkça onarım oranı değeri de artmaktadır. Bu durum PGV ye dayalı hasar görebilirlik ilişkilerinin geliştirilebileceğini göstermiş ve bu ilişkiyi temel alan 2 adet hasar görebilirlik fonksiyonu geliştirilmiştir. Bu fonksiyonlar Doğrusal (Ortalama) Model ve Üstel Model olarak ayrılmıştır. Bu tez çalışmasında Sakarya ili gömülü boru sistemleri için Doğrusal (Ortalama) Modeli kullanılmıştır.



Şekil 5.3. ALA veri tabanı En büyük yer hızı hasar onarım oranı ilişkisi [55].

Doğrusal (Ortalama) Model

Bu model, en büyük yer hızının lineer bir fonksiyonunu esas alarak, boru hattında birim uzunlukta meydana gelen onarım oranını ifade etmektedir.

$$RR = 0,00241 \times PGV \quad (5.3)$$

Bu eşitlikte;

RR: Hasar onarım oranını [Onarım/km] (Repair Rate)

PGV: En büyük yer hızını [cm/s] (Peak Groun Velocity)

göstermektedir. Bu denklemden kullanılan en büyük yer hızı geometrik ortalama PGV değerini ifade etmektedir.

Doğrusal (Ortalama) Modeli, boru çapı, boru türü, zemin özellikleri ve boru hattı bağlantı türlerini de hesaba katılabildiği daha detaylı bir algoritma geliştirmiştir. Bu özellikleri hesaba katmak üzere Denklem 5.3. K_1 katsayısıyla çarpılarak Denklem 5.4.'deki onarım oranı elde edilmiştir.

$$RR = K_1 \times 0,00241 \times PGV \quad (5.4)$$

Bu eşitlikte;

K_1 : Boru çapı, boru türü, zemin özellikleri ve boru hattı bağlantı türlerinin denkleme yansıtıldığı katsayı

RR: Hasar onarım oranını [Onarım/km] (Repair Rate)

PGV: En büyük yer hızını [cm/s] (Peak Groun Velocity)

göstermektedir. Tablo 5.5. ile K_1 değerlerinin boru hattı özelliklerine göre dağılımı verilmiştir.

Tablo 5.5. GYD kaynaklı hasar görülebilirlik eşitliğinin K_1 değerleri [55].

Boru Türü	Bağlantı Tipi	Zemin Özellikleri	Boru Çapı	K_1
Font (Dökme Demir)	Çimento	Tümü	Küçük (Ø10-30 cm)	1,0
Font (Dökme Demir)	Çimento	Korozif	Küçük (Ø10-30 cm)	1,4
Font (Dökme Demir)	Çimento	Korozif Olmayan	Küçük (Ø10-30 cm)	0,7
Font (Dökme Demir)	Kauçuk Conta	Tümü	Küçük (Ø10-30 cm)	0,8
Kaynaklı Çelik	Ark Kaynaklı	Tümü	Küçük (Ø10-30 cm)	0,6
Kaynaklı Çelik	Ark Kaynaklı	Korozif	Küçük (Ø10-30 cm)	0,9
Kaynaklı Çelik	Ark Kaynaklı	Korozif Olmayan	Küçük (Ø10-30 cm)	0,3
Kaynaklı Çelik	Ark Kaynaklı	Tümü	Büyük (<Ø40 cm)	0,15
Kaynaklı Çelik	Ark Kaynaklı	Tümü	Küçük (Ø10-30 cm)	0,7
Kaynaklı Çelik	Vidalı	Tümü	Küçük (Ø10-30 cm)	1,3
Kaynaklı Çelik	Perçinli	Tümü	Küçük (Ø10-30 cm)	1,3
Asbestli Çimento Boru	Kauçuk Conta	Tümü	Küçük (Ø10-30 cm)	0,5

Tablo 5.4. (devamı)

Asbestli Çimento Boru	Çimento	Tümü	Küçük (Ø10-30 cm)	1,0
Çelik Silindirli Beton Boru	Ark Kaynaklı	Tümü	Büyük (<Ø40 cm)	0,7
Çelik Silindirli Beton Boru	Çimento	Tümü	Büyük (<Ø40 cm)	1,0
Çelik Silindirli Beton Boru	Kauçuk Conta	Tümü	Büyük (<Ø40 cm)	0,8
PVC	Kauçuk Conta	Tümü	Küçük (Ø10-30 cm)	0,5
Duktil Font	Kauçuk Conta	Tümü	Küçük (Ø10-30 cm)	0,5

5.5.3. Isoyama (2000) hasar görebilirlik metodu

Isoyama ve arkadaşları (2000) bir deprem meydana geldiğinde su borularındaki hasarı tahmin etmek için pratik bir prosedür sunmak amacıyla, 1995 Hyogoken-Nambu (Kobe) Depremi'nin kuvvetli yer hareketi gözlem verilerine ve gözlem noktalarının etrafındaki hasar verilerine dayanan ampirik bir ilişki geliştirmişlerdir. 1995 Kobe Depremi'nden sonran Ashiya ve Nishinomiya şehirlerindeki boru hattı hasarlarının envanteri ile deprem kayıtlarını 50 x 50 m gridler içinde birlikte değerlendirerek, boru malzemesi, boru çapı, zemin durumu ve sıvılaşma durumu gibi faktörlerin hasar ile ilişkilerini ortaya koymuşlardır. Çalışma sonucunda, boru hasar noktaları ile en büyük yer hızlarının, boru ve zemin özelliklerine göre ilişkisini gösteren eşitlik Denklem 5.5. ile gösterilmiştir [48].

$$RR (PGV) = C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 \times R(PGV) \quad (5.5)$$

Bu eşitlikte

C_1 : Boru Çapı Katsayısı

C_2 : Boru Malzemesi Katsayısı

C_3 : Zemin Durumu Faktörü

C_4 : Sıvılaşma Katsayısı

RR: Hasar onarım oranını [Onarım/km] (Repair Rate)

$$R(PGV): 3,11 \times 10^{-3} \times (PGV-15)^{1,3}$$

PGV: En büyük yer hızını [cm/s] (Peak Groun Velocity)

göstermektedir. Tablo 5.6. ile, Denklem 5.5.'deki düzeltme faktörlerine ait değerler gösterilmiştir.

Tablo 5.6. Isoyama (2000) düzeltme faktörleri [56].

Kategori	Düzeltilme Faktörü
Boru çapı (C ₁)	D < Ø75
	Ø100 ≤ D < Ø150
	Ø200 ≤ D < Ø450
	Ø500 ≤ D
Boru Türü (C ₂)	Asbestli Çimento
	PVC
	Font
	Çelik
	Duktil Font
Topoğrafya (C ₃)	Dar Vadi
	Teras
	Dik Yamaç
	Alüvyon
	Sıkı Alüvyon
Sıvılaşma (C ₄)	Toplam
	Kısmi
	Yok

5.5.4. Yoo, Kang ve Kim (2013) hasar görebilirlik metodu

Yoo, Kang ve Kim (2013), yaptıkları çalışmada, içme suyu iletim sistemlerinin, sismik senaryolar altında hasar görebilirliğini değerlendirmişlerdir. Bu amaçla, tarihsel sismik bilgiler kullanılarak, Güney Kore'deki mevcut bir su şebekesindeki, boru hattı hizmet verebilirliği, düğüm noktalarının hizmet verebilirliği gibi çeşitli sistem elemanlarını olasılıksal deprem simülasyonlarından biri olan Monte Carlo simülasyonu kullanarak incelemişlerdir.

Çalışmada gömülü boru hatlarının sismik hasar görebilirliğini değerlendirmek için, geliştirdikleri modelde Isoyama ve ark (2000) ve ALA (2001) tarafından geliştirilen

hasar görebilirlik metotlarını benimsemişlerdir. Çalışmada boru hatlarının; boru çapı, boru türü, topoğrafya ve sıvılaşma özelliklerine göre düzeltme faktörleri önermişlerdir. Yoo, Kang ve Kim (2013), tarafından geliştirilen eşitlik Denklem 5.6. ile gösterilmiştir [49].

$$RR (PGV) = C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 \times 0,00241 \times (PGV) \quad (5.6)$$

Bu eşitlikte

C_1 = Boru Çapı Düzeltme Faktörü

C_2 = Boru Türü Düzeltme Faktörü

C_3 = Topoğrafya Faktörü

C_4 = Sıvılaşma Faktörü

PGV: En büyük yer hızını [cm/s] (Peak Groun Velocity)

RR: Hasar onarım oranını [Onarım/km] (Repair Rate)

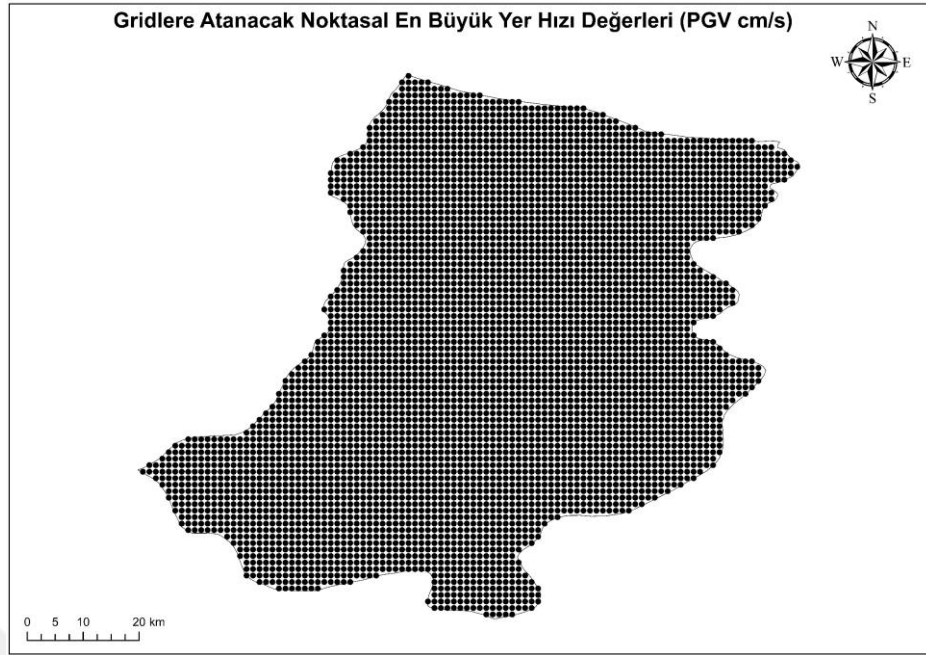
göstermektedir. Tablo 5.7. ile, Denklem 5.6.'daki düzeltme faktörlerine ait değerler gösterilmiştir.

Tablo 5.7 . Yoo, Kang ve Kim (2013) düzeltme faktörleri [57].

Kategori		Düzeltilme Faktörü
Boru çapı (C ₁)	D <100	1,6
	100 ≤ D <200	1,0
	200 ≤ D <500	0,8
	500 ≤ D	0,5
Boru Türü (C ₂)	Asbestli Çimento	1,2
	PVC	1,0
	Font	1,0
	Polietilen	0,8
	Çelik	0,3
	Duktil Font	0,3
Topoğrafya (C ₃)	Dar Vadi	3,2
	Teras	1,5
	Dik Yamaç	1,1
	Alüvyon	1,0
	Sıkı Alüvyon	0,4
Sıvılaşma (C ₄)	Toplam	2,4
	Kısmi	2,0
	Yok	1,0

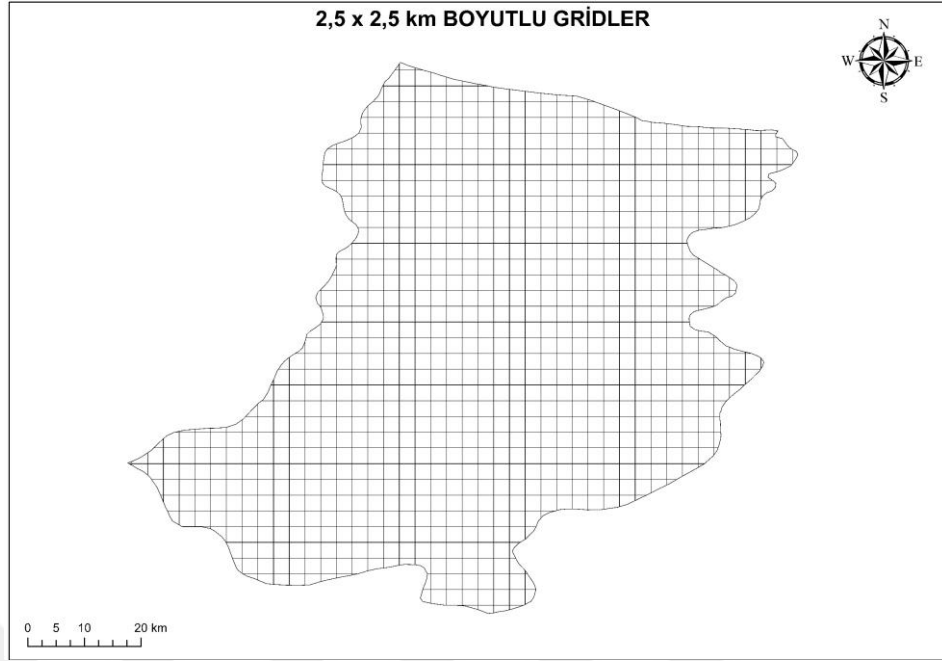
5.6. Sakarya İli Altyapı Sistemlerinin Sismik Hasar Görebilirlik Analizleri

Bu tez çalışmasında Sakarya ili altyapı sistemlerinden, içme suyu temin ve dağıtım şebekeleri, yağmur suyu ve kanalizasyon şebekeleri ile doğalgaz şebekelerine ait gömülü boruların sismik hasar görebilirlikleri incelenmiştir. Öncelikle çalışma alanı Sakarya için sismik tehlike analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda gömülü boruların sismik hasar görebilirliklerinin değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan en büyük yer hızı (PGV) değerleri yer hareketi tahmin bağıntıları yardımıyla elde edilmiş ve noktasal olarak aşağıda Şekil 5.4. ile gösterilmiştir. Analiz sonucunda noktasal olarak elde edilen PGV değerlerinin borulara tanımlanması amacıyla, ilin yüzeyini kaplayacak biçimde Şekil 5.5. ile gösterilen 2,5 x 2,5 km'lik gridler oluşturulmuş ve bu gridler içerisinde kalan noktasal PGV değerlerinin ortalaması gridlere tanımlanmıştır.



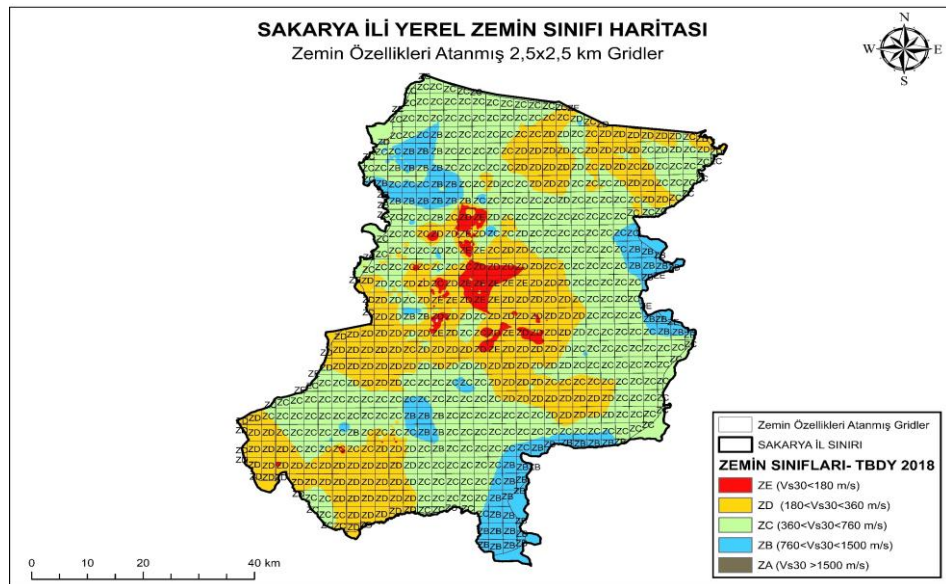
Şekil 5.4. Gridlere atanacak noktasal PGV değerleri

Boru hasar analizlerinde kullanılan parametrelerden biriside zemin özellikleridir. Bu tez çalışmasında Sakarya ilinde 2044 adet noktadan alınmış V_{s30} verileri yardımıyla yaklaşık zemin sınıfı haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan haritadaki zemin sınıfları en büyük yer hızlarındakine benzer şekilde gridlere atanmıştır. Sakarya ili yükselti haritası ve sıvılaşmaya yatkınlık haritalarındaki verilerde gridlere tanımlanmıştır. Tüm gridler içerisinde kalan borulara gridin PGV değeri, zemin sınıfı, yükselti ve sıvılaşma yatkınlık verileri tanımlanmıştır. Tüm boruların PGV, zemin sınıfı, yükselti ve sıvılaşmaya yatkınlık verilerine sahip olup, literatürdeki yöntemler yardımıyla hasar görülebilirlikleri değerlendirilmiştir.



Şekil 5.5. 2,5 x 2,5 boyutunda gridler

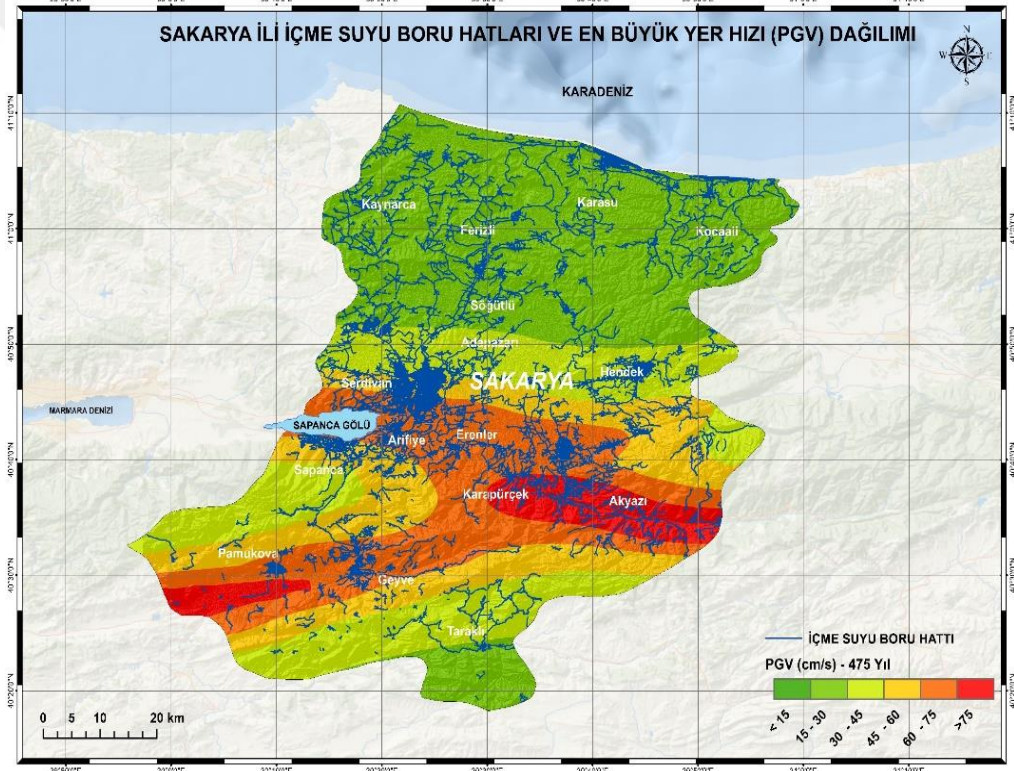
Gridlere PGV değerleri tanımlandıktan sonra, zemin sınıfı haritası yardımıyla her gride zemin sınıfı atanmış ve zemin sınıfları atanmış gridler Şekil 5.6. ile gösterilmiştir. Benzer şekilde yükselti ve sıvılaşmaya yatkınlık verileri de gridlere tanımlanmıştır.



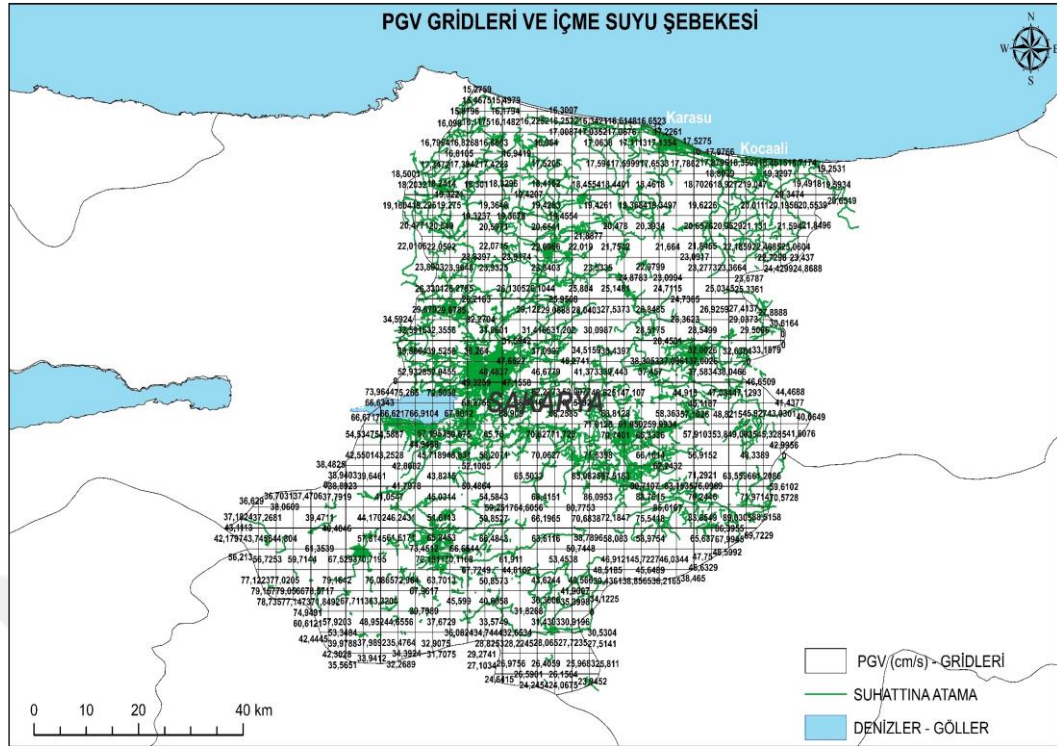
Şekil 5.6. Zemin sınıfı tanımlanmış gridler

5.7. İçme Suyu Şebekesi Sismik Hasar Görebilirlik Analizleri

Sakarya ili içme suyu şebekesindeki boruların, boru türleri, boru çapları, boru uzunlukları ve boruların mekânsal konumları ile veri tabanı oluşturulmuştur. Bu çalışmada yapılmış olasılıksal sismik tehlike analizi yardımıyla elde edilen en büyük yer hızı değerleri gridler yardımıyla borulara tanımlanmıştır. Aynı şekilde zemin sınıfları, yükselti ve sıvılaşmaya yatkınlık verileri de borulara tanımlanmıştır. Şekil 5.7.'de en büyük yer hızı dağılımı ile içme suyu şebekesinin üst üste çakıştırılması gösterilmektedir. En büyük yer hızlarının borulara tanımlanması için oluşturulan grid model ise Şekil 5.8. ile gösterilmiştir.



Şekil 5.7. PGV ve içme suyu şebekesi dağılımı



Şekil 5.8. PGV tanımlanmış gridler ve içme suyu şebekesi dağılımı

5.7.1. HAZUS hasar görülebilirlik sonuçları

ABD Federal Acil Durum Yönetim Kurumu (FEMA) tarafından geliştirilmiş HAZUS metodu yaklaşımıyla Sakarya ili içme suyu temin ve dağıtım şebekelerindeki tüm boru hatları analiz edilmiştir. HAZUS metodu analizinde, borunun maruz kalacağı öngörülen muhtemel en büyük yer hızı değerleri tanımlanmış ve her boru türüne göre borunun kırılma veya duktıl olup olmadığı belirlenmiştir. HAZUS metodu duktıl boruların hasar onarım oranının kırılma borulara göre %30 daha az olduğunu öngörmektedir. Bu sebeple HAZUS metodunun PGV algoritması kullanılarak elde edilen tüm onarım oranları duktıl borular için 0,3 katsayısıyla çarpılmıştır. Sakarya ili içme suyu şebekesi boru hattı envanteri 57757 adet parçadan oluşmaktadır. Her boru parçası için tanımlanmış PGV değerleri ile analiz yapıp sonuçlar değerlendirilmiştir. HAZUS metodu ile gömülü boru hatları için yapılan hasar görülebilirlik analizlerinden elde edilen 57757 adet boru parçasının onarım oranlarının istatistiksel değerleri Tablo 5.8. ile gösterilmiştir.

Tablo 5.8. HAZUS metodu içme suyu boruları onarım oranı istatistikleri

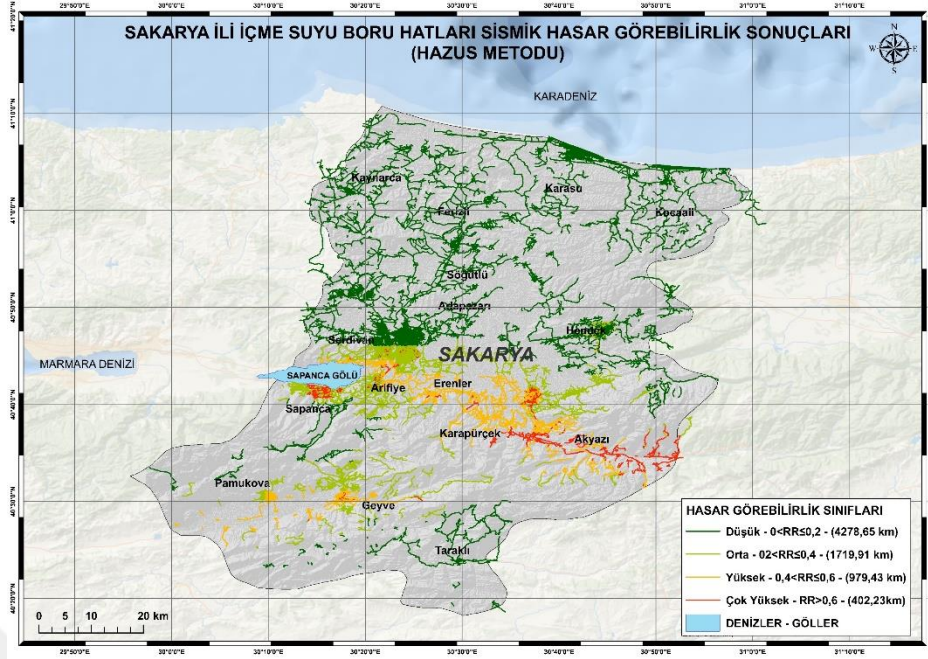
HAZUS Hasar Görebilirlik Analizi Onarım Oranı İstatistiksel Sonuçları	
Onarım Oranı Parametresi	Değer
En Büyük	2.197
En Küçük	0.014
Ortalama (μ)	0.213
Standart Sapma (σ)	0.239

HAZUS Metodu sonucu Sakarya ili içme suyu temin ve dağıtım şebekesindeki 57757 parça gömülü borunun hasar onarım oranlarının en büyük değeri 2,197, en küçük değeri 0,014, ortalama değeri 0,213 ve standart sapma değeri 0,239 olarak elde edilmiştir. Analiz sonucunda en büyük onarım oranına sahip boru türünün Akyazı ilçesinde bulunan Asbestli Çimento Boru olduğu tespit edilmiştir. Akyazı ilçesinden geçen diri faylar sebebiyle sismik tehlikenin yüksek olması ilçedeki gömülü boruların yüksek hasar görebilirliğe sahip olmasına sebep olmuştur. Burada en büyük onarım oranı değerine alan Asbestli Çimento Borunun kırılğan özellikte olması sebebiyle duktıl borulara göre daha büyük risk taşıdığı görülmektedir. En küçük onarım oranına sahip boru türünün ise Sismik Tehlikesi düşük olan Kaynarca ilçesindeki duktıl polietilen boru olduğu gözlenmiştir.

HAZUS metodu sonucu tüm boru parçalarının hasar görebilirliğinin sınıflandırılması amacıyla onarım oranlarına bağlı olarak hasar görebilirlik sınıfları oluşturulmuştur. Bu sınıflar oluşturulurken, 0 ile 0,2 arasında onarım oranına sahip boruların düşük hasar görebilirliğe, 0,2 ile 0,4 arasının orta derece hasar görebilirliğe, 0,4 ile 0,6 arası hasar görebilirliğe sahip boruların yüksek hasar görebilirliğe ve 0,6'dan büyük onarım oranına sahip boruların çok yüksek hasar görebilirliğe sahip olduğu yaklaşımları uygulanmıştır. Hasar görebilirlik sınıfları ve içerdikleri boru uzunlukları Tablo 5.9. ile gösterilmiştir.

Tablo 5.9. HAZUS metodu ile içme suyu şebekesi hasar görebilirlik sınıfları

Hasar Görebilirlik Sınıfı	Onarım Oranı Aralığı	Boru Uzunluğu (km)
Düşük	0-0,2	4278,65
Orta	0,2-0,4	1719,91
Yüksek	0,4-0,6	979,43
Çok Yüksek	>0,6	402,23



Şekil 5.9. HAZUS metodu ile içme suyu boruları hasar görebilirlik dağılımı

Sakarya ili içme suyu temin ve dağıtım şebekelerindeki gömülü borular için HAZUS metodu ile boruların onarım oranına göre hasar görebilirlik sınıfları belirlendikten sonra, hasar görebilirliğin il genelinde dağılışının görülebilmesi ve riskin görselleştirilmesi amacıyla boru hasar görebilirlik sınıfları Şekil 5.9.'daki haritada gösterilmiştir.

5.7.2. Isoyama (2000) hasar görebilirlik sonuçları

Isoyama ve arkadaşları (2000) tarafından geliştirilen metot yaklaşımıyla Sakarya ili içme suyu temin ve dağıtım şebekelerindeki tüm gömülü borular analiz edilmiştir. Bu metot, en büyük yer hızının yanında boru çapı, boru türü, zemin özellikleri ve sıvılaşma özelliklerini de birlikte hesaba katan bir metot olduğu için, tüm boru parçalarına içerisinde bulunduğu gridin, en büyük yer hızı, zemin ve sıvılaşma özellikleri tanımlanmış ve analiz edilmiştir. Sakarya ili içme suyu temin ve dağıtım şebekelerindeki boru türlerinin büyük çoğunluğu polietilen ve pvc borulardan oluşmaktadır. Bu boru türleri analizlerde duktıl olarak kabul edilmiştir. Sakarya ili içme suyu şebekelerindeki tüm borular için. Isoyama (2000) metodunda bulunan boru malzemesi düzeltme katsayısı mevcut değildir ancak bu çalışmada polietilen, CTP ve

termal borular için de PVC boru malzemesi düzeltme katsayısı olan 1,0 değeri kullanılmıştır. İçme suyu şebekesi boru envanterindeki 57757 adet boru parçasının, en büyük yer hızı, boru türü, boru çapı, zemin özellikleri, sıvılaşmaya yatkınlığı birlikte değerlendirilerek Isoyama (2000) yaklaşımıyla hasar onarım oranları elde edilmiştir. Elde edilen hasar onarım oranlarının istatistiksel değerleri Tablo 5.10. ile gösterilmiştir.

Tablo 5.10. Isoyama (2000) metodu içme suyu boruları onarım oranı istatistikleri

Isoyama (2000) Hasar Görebilirlik Analizi Onarım Oranı Sonuçları	
Onarım Oranı Parametresi	Değer
En Büyük	3,605
En Küçük	0,002
Ortalama (μ)	0,608
Standart Sapma (σ)	0,595

Isoyama (2000) Metodu sonucu Sakarya ili içme suyu temin ve dağıtım şebekesindeki 57757 parça gömülü borunun hasar onarım oranlarının en büyük değeri 3,605, en küçük değeri 0,002, ortalama değeri 0,608 ve standart sapma değeri 0,595 olarak elde edilmiştir. Analiz sonucunda en büyük onarım oranına sahip boruların Akyazı, Geyve, Arifiye, Erenler, Adapazarı ilçesinin güney kesimi, Sapanca ve Karapürçek ilçelerindeki asbestli çimento, polietilen ve termal boru çeşitleri olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu ilçelerden geçen diri faylar ve kötü zemin özellikleri sebebiyle sismik tehlikenin yüksek olması ilçedeki gömülü boruların yüksek hasar görebilirliğe sahip olmasına sebep olmuştur. En küçük onarım oranına sahip boru türünün ise Sismik Tehlikesi düşük olan Kaynarca ilçesindeki Polietilen Boru olduğu tespit edilmiştir.

Isoyama (2000) Metodu sonucu tüm boru parçalarının hasar görebilirliğinin sınıflandırılması amacıyla onarım oranlarına bağlı olarak hasar görebilirlik sınıfları oluşturulmuştur. Bu sınıflar oluşturulurken, 0 ile 0,5 arasında onarım oranına sahip boruların düşük hasar görebilirliğe, 0,5 ile 1,0 arasının orta derece hasar görebilirliğe, 1,0 ile 1,5 arası hasar görebilirliğe sahip boruların yüksek hasar görebilirliğe ve 1,5'ten büyük onarım oranına sahip boruların çok yüksek hasar görebilirliğe sahip olduğu yaklaşımı uygulanmıştır. Hasar görebilirlik sınıfları ve içerdikleri boru uzunlukları Tablo 5.11. ile gösterilmiştir.

içerisinde bulunduğu gridin, en büyük yer hızı ve zemin özellikleri tanımlanmış ve analiz edilmiştir. Sakarya ili içme suyu temin ve dağıtım şebekelerindeki gömülü boruların bağlantı özellikleri ile ilgili genel olarak çelik boruların kaynaklı olduğu asbestli çimento ve pvc boruların ise kauçuk conta olarak hesaplara yansıtılmıştır. İçme suyu boru envanterindeki tüm boru parçaları, ALA metodu hasar onarım oranı algoritması ile değerlendirilmiş ve elde edilen onarım oranlarının istatistiksel değerleri Tablo 5.12. ile gösterilmiştir.

Tablo 5.12. ALA metodu içme suyu boruları onarım oranı istatistikleri

ALA Hasar Göretilirlik Analizi Onarım Oranı Sonuçları	
Onarım Oranı Parametresi	Değer
En Büyük	0,205
En Küçük	0,006
Ortalama (μ)	0,053
Standart Sapma (σ)	0,031

ALA Metodu sonucu Sakarya ili içme suyu temin ve dağıtım şebekesindeki 57757 parça gömülü borunun hasar onarım oranlarının en büyük değeri 0,205, en küçük değeri 0,006, ortalama değeri 0,053 ve standart sapma değeri 0,031 olarak elde edilmiştir. Analiz sonucunda en büyük onarım oranına sahip boruların Akyazı, Geyve, Arifiye, Erenler, Adapazarı ilçesinin güney kesimi, Sapanca ve Karapürçek ilçelerindeki borular olduğu tespit edilmiştir. En büyük hasar onarım oranına sahip boru hattının Akyazı ilçesindeki 8637 m uzunluktaki asbestli çimento boru hattı olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu ilçelerden geçen diri faylar ve kötü zemin özellikleri sebebiyle sismik tehlikenin yüksek olması ilçedeki gömülü boruların yüksek hasar göretilirliğe sahip olmasına sebep olmuştur. En küçük onarım oranına sahip boru türünün ise Sismik Tehlikesi düşük olan Karasu ilçesindeki Çelik Boru olduğu tespit edilmiştir. ALA Metodu sonucu tüm boru parçalarının hasar göretilirliğin sınıflandırılması amacıyla onarım oranlarına bağlı olarak hasar göretilirlik sınıfları oluşturulmuştur. Bu sınıflar oluşturulurken, 0 ile 0,025 arasında onarım oranına sahip boruların düşük hasar göretilirliğe, 0,025 ile 0,075 arasının orta derece hasar göretilirliğe, 0,075 ile 0,15 arası hasar göretilirliğe sahip boruların yüksek hasar göretilirliğe ve 0,15'ten büyük onarım oranına sahip boruların çok yüksek hasar göretilirliğe sahip olduğu yaklaşımı uygulanmıştır. Hasar göretilirlik sınıfları ve içerdikleri boru uzunlukları Tablo 5.13. ile gösterilmiştir.

katan bir metot olduğu için, tüm boru parçalarına içerisinde bulunduğu gridin, en büyük yer hızı, zemin ve sıvılaşma özellikleri tanımlanmış ve analiz edilmiştir. Sakarya ili içme suyu temin ve dağıtım şebekelerindeki boru türlerinin büyük çoğunluğu polietilen ve pvc borulardan oluşmaktadır ve bu boru türleri analizlerde duktıl olarak kabul edilmiştir. Sakarya ili içme suyu şebekelerindeki tüm borular için. Yoo, Kang Ve Kim (2013) metodunda bulunan boru malzemesi düzeltme katsayısı mevcut değildir ancak bu çalışmada polietilen, ctp ve termal borular için de pvc boru malzemesi düzeltme katsayısı olan 1,0 değeri kullanılmıştır. İçme suyu şebekesi boru envanterindeki 57757 adet boru parçasının, en büyük yer hızı, boru türü, boru çapı, zemin özellikleri, sıvılaşmaya yatkınlığı birlikte değerlendirilerek Yoo, Kang Ve Kim (2013) yaklaşımıyla hasar onarım oranları elde edilmiştir. Elde edilen hasar onarım oranlarının istatistiksel değerleri Tablo 5.14. ile gösterilmiştir.

Tablo 5.14. Yoo Kang Kim (2013) metodu içme suyu boruları onarım oranı istatistikleri

Yoo Kang Kim (2013) Hasar Göretilirlik Analizi Onarım Oranı Sonuçları	
Onarım Oranı Parametresi	Değer
En Büyük	0,948
En Küçük	0,015
Ortalama (μ)	0,269
Standart Sapma (σ)	0,178

Yoo Kang Kim (2013) Metodu sonucu Sakarya ili içme suyu temin ve dağıtım şebekesindeki 57757 parça gömülü borunun hasar onarım oranlarının en büyük değeri 0,948, en küçük değeri 0,015, ortalama değeri 0,269 ve standart sapma değeri 0,178 olarak elde edilmiştir. Analiz sonucunda en büyük onarım oranına sahip boruların Akyazı, Geyve, Arifiye, Erenler, Adapazarı ilçesinin güney kesimi, Sapanca, Karapürçek ve Pamukova ilçelerindeki asbestli çimento borular olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu ilçelerden geçen diri faylar ve kötü zemin özellikleri sebebiyle sismik tehlikenin yüksek olması ilçedeki gömülü boruların yüksek hasar göretilirliğe sahip olmasına sebep olmuştur. En küçük onarım oranına sahip boru türünün ise Sismik Tehlikesi düşük olan Kaynarca ilçesindeki polietilen boru olduğu tespit edilmiştir.

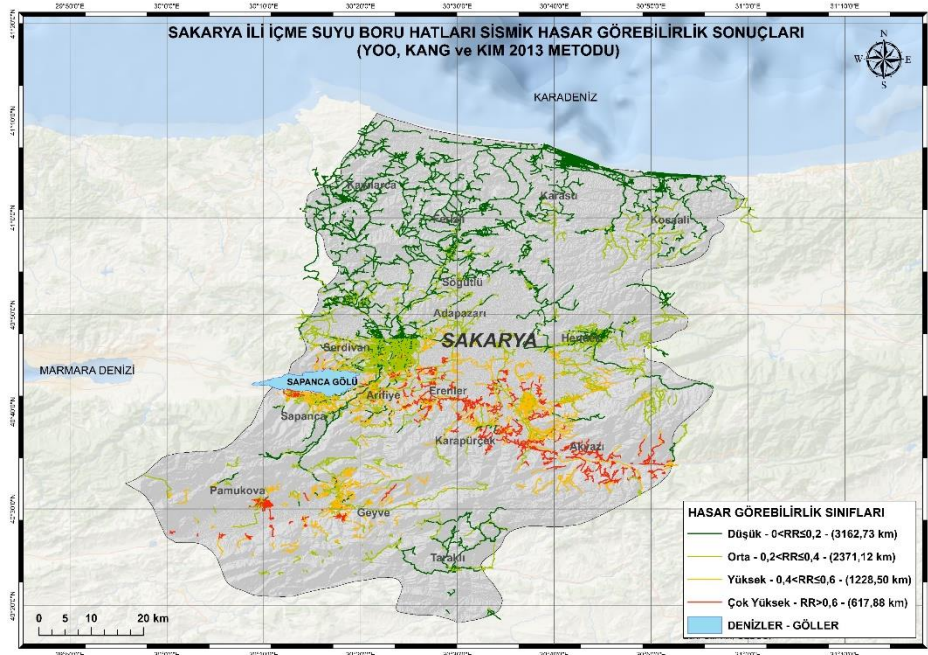
Yoo Kang Kim (2013) Metodu sonucu tüm boru parçalarının hasar göretilirliğinin sınıflandırılması amacıyla onarım oranlarına bağlı olarak hasar göretilirlik sınıfları

oluşturulmuştur. Bu sınıflar oluşturulurken, 0 ile 0,2 arasında onarım oranına sahip boruların düşük hasar görebilirliğe, 0,2 ile 0,4 arasının orta derece hasar görebilirliğe, 0,4 ile 0,6 arası hasar görebilirliğe sahip boruların yüksek hasar görebilirliğe ve 0,6 dan büyük onarım oranına sahip boruların çok yüksek hasar görebilirliğe sahip olduğu yaklaşımları uygulanmıştır. Hasar görebilirlik sınıfları ve içerdikleri boru uzunlukları Tablo 5.15. ile gösterilmiştir.

Tablo 5.15. Yoo Kang Kim (2013) metodu içme suyu boruları onarım oranı istatistikleri

Hasar Görebilirlik Sınıfı	Onarım Oranı Aralığı	Boru Uzunluğu (km)
Düşük	0-0,2	3162,72
Orta	0,2-0,4	2371,12
Yüksek	0,4-0,6	1228,49
Çok Yüksek	>0,6	617,87

Sakarya ili içme suyu temin ve dağıtım şebekelerindeki gömülü borular için Yoo Kang Kim (2013) metodu ile boruların onarım oranına göre hasar görebilirlik sınıfları belirlendikten sonra, hasar görebilirliğin il genelinde dağılışının görülebilmesi ve riskin görselleştirilmesi amacıyla boru hasar görebilirlik sınıfları Şekil 5.12.'deki haritada gösterilmiştir.



Şekil 5.12. Yoo Kang Kim (2013) metodu ile içme suyu boruları hasar görebilirlik dağılımı

5.8. Kanalizasyon Şebekesi Sismik Hasar Görebilirlik Analizleri

Sakarya ili kanalizasyon şebekesindeki boruların, boru türleri, boru çapları, boru uzunlukları ve boruların mekânsal konumları ile veri tabanı oluşturulmuştur. Bu çalışmada yapılmış olasılıksal sismik tehlike analizi yardımıyla elde edilen en büyük yer hızı değerleri gridler yardımıyla borulara tanımlanmıştır. Kanalizasyon borularının sismik hasar görebilirliklerinin belirlenmesi amacıyla HAZUS metodunun gömülü borular için en büyük yer hızı ile hasar onarım oranı arasında geliştirdiği algoritma kullanılmıştır. HAZUS metodu ile Sakarya ili kanalizasyon şebekesindeki gömülü boruların hasar onarım oranları hesaplanmış ve elde edilen hasar onarım oranları ile hasar görebilirlik sınıfları oluşturularak tehlikeye maruz kalan boruların hangi risk seviyelerinde olduğu değerlendirilmiştir.

HAZUS metodu duktıl boruların hasar onarım oranının kırılğan borulara göre %30 daha az olduğunu öngörmektedir. Bu sebeple HAZUS metodunun PGV algoritması kullanılarak elde edilen tüm onarım oranları duktıl borular için 0,3 katsayısıyla çarpılmıştır. Sakarya ili kanalizasyon şebekesi boru envanterinde beton ve betonarme türdeki borular kırılğan boru grubuna dahil edilmişken, koruge, polietilen, pvc, çelik ve ctp borular duktıl boru grubuna dahil edilmiştir. Kanalizasyon şebekesi boru hattı envanteri 62056 adet parçadan oluşmaktadır ve her boru parçası için tanımlanmış PGV değerleri ile onarım oranları hesaplanıp sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen onarım oranlarına ait istatistiksel bilgiler Tablo 5.16. ile gösterilmektedir.

Tablo 5.16. HAZUS metodu kanalizasyon boruları onarım oranı istatistikleri

HAZUS Hasar Görebilirlik Analizi Onarım Oranı Sonuçları	
Onarım Oranı Parametresi	Değer
En Büyük	2,791
En Küçük	0,016
Ortalama (μ)	0,674
Standart Sapma (σ)	0,506

HAZUS metodu sonucu Sakarya ili kanalizasyon şebekesindeki 62056 parça gömülü borunun hasar onarım oranlarının en büyük değeri 2,791, en küçük değeri 0,016, ortalama değeri 0,674 ve standart sapma değeri 0,506 olarak elde edilmiştir. Analiz sonucunda en büyük onarım oranına sahip boruların Akyazı, Geyve, Arifiye, Erenler,

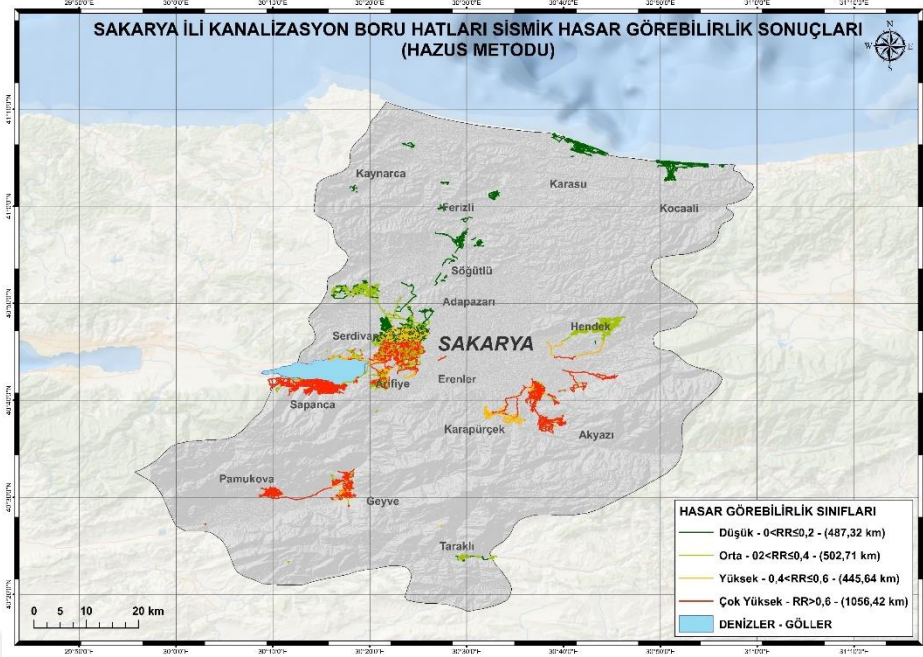
Adapazarı ilçesinin güney kesimi, Sapanca, Karapürçek ve Pamukova ilçelerindeki beton borular olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu ilçelerden geçen diri faylar sebebiyle sismik tehlikenin yüksek olması ilçelerdeki gömülü boruların yüksek hasar görebilirliğe sahip olmasına sebep olmuştur. En küçük onarım oranına sahip boruların ise Sismik Tehlikesi düşük olan Kaynarca, Karasu ve Kocaali ilçelerindeki koruge borular olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada koruge borular beton borulara nispeten duktıl olarak ele alınmış ve onarım oranları 0,3 ile çarpılmıştır.

HAZUS Metodu sonucu tüm boru parçalarının hasar görebilirliğin sınıflandırılması amacıyla onarım oranlarına bağlı olarak hasar görebilirlik sınıfları oluşturulmuştur. Bu sınıflar oluşturulurken, 0 ile 0,2 arasında onarım oranına sahip boruların düşük hasar görebilirliğe, 0,2 ile 0,4 arasının orta derece hasar görebilirliğe, 0,4 ile 0,6 arası hasar görebilirliğe sahip boruların yüksek hasar görebilirliğe ve 0,6 dan büyük onarım oranına sahip boruların çok yüksek hasar görebilirliğe sahip olduğu yaklaşımı uygulanmıştır. Hasar görebilirlik sınıfları ve içerdikleri boru uzunlukları Tablo 5.17. ile gösterilmiştir.

Tablo 5.17. HAZUS Metodu ile kanalizasyon şebekesi hasar görebilirlik sınıfları

Hasar Görebilirlik Sınıfı	Onarım Oranı Aralığı	Boru Uzunluğu (km)
Düşük	0-0,2	487,32
Orta	0,2-0,4	502,71
Yüksek	0,4-0,6	445,65
Çok Yüksek	>0,6	1056,43

Sakarya ili kanalizasyon şebekelerindeki gömülü borular için HAZUS metodu ile boruların onarım oranına göre hasar görebilirlik sınıfları belirlendikten sonra, hasar görebilirliğin il genelinde dağılışının görülebilmesi ve riskin görselleştirilmesi amacıyla boru hasar görebilirlik sınıfları Şekil 5.13.'deki haritada gösterilmiştir.



Şekil 5.13. HAZUS metodu ile kanalizasyon boruları hasar görebilirlik dağılımı

5.9. Yağmur Suyu Şebekesi Sismik Hasar Görebilirlik Analizleri

Sakarya ili yağmur suyu şebekesindeki boruların, boru türleri, boru çapları, boru uzunlukları ve boruların mekânsal konumları ile veri tabanı oluşturulmuştur. Bu çalışmada yapılmış olasılıksal sismik tehlike analizi yardımıyla elde edilen en büyük yer hızı değerleri gridler yardımıyla borulara tanımlanmıştır. Yağmur suyu borularının sismik hasar görebilirliklerinin belirlenmesi amacıyla HAZUS metodunun gömülü borular için en büyük yer hızı ile hasar onarım oranı arasında geliştirdiği algoritma kullanılmıştır. HAZUS metodu ile Sakarya ili yağmur suyu şebekesindeki gömülü boruların hasar onarım oranları hesaplanmış ve elde edilen hasar onarım oranları ile hasar görebilirlik sınıfları oluşturularak tehlikeye maruz kalan boruların hangi risk seviyelerinde olduğu değerlendirilmiştir.

HAZUS metodu duktıl boruların hasar onarım oranının kırılğan borulara göre %30 daha az olduğunu öngörmektedir. Bu sebeple HAZUS metodunun PGV algoritması kullanılarak elde edilen tüm onarım oranları duktıl borular için 0,3 katsayısıyla çarpılmıştır. Sakarya ili yağmur suyu şebekesi boru envanterinde beton ve betonarme türdeki borular kırılğan boru grubuna dahil edilmişken, koruge ve polietilen borular

duktil boru grubuna dahil edilmiştir. Yağmur şebekesi boru hattı envanteri 13238 adet parçadan oluşmaktadır ve her boru parçası için tanımlanmış PGV değerleri ile onarım oranları hesaplanıp sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen onarım oranlarına ait istatistiksel bilgiler Tablo 5.18. ile gösterilmektedir.

Tablo 5.18. HAZUS Metodu yağmur suyu boruları onarım oranı istatistikleri

HAZUS Hasar Görebilirlik Analizi Onarım Oranı Sonuçları	
Onarım Oranı Parametresi	Değer
En Büyük	1.935
En Küçük	0.022
Ortalama (μ)	0.643
Standart Sapma (σ)	0.427

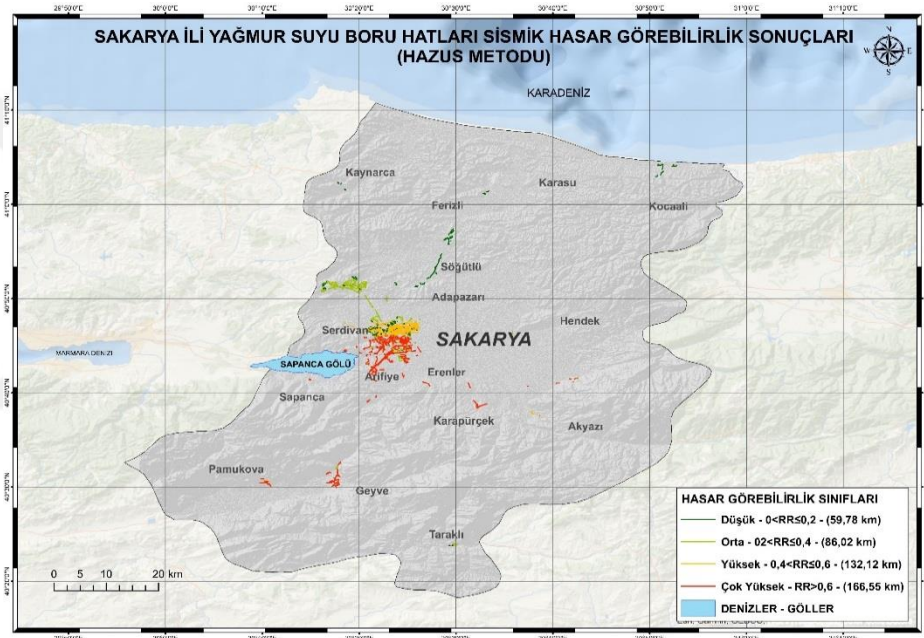
HAZUS metodu sonucu Sakarya ili kanalizasyon şebekesindeki 13238 parça gömülü borunun hasar onarım oranlarının en büyük değeri 1,935, en küçük değeri 0,022, ortalama değeri 0,643 ve standart sapma değeri 0,427 olarak elde edilmiştir. Analiz sonucunda en büyük onarım oranına sahip boruların Adapazarı ilçesinin güney kesimi, Sapanca, Arifiye ve Erenler ilçelerindeki beton ve betonarme borular olduğu tespit edilmiştir. Sakarya ili yağmur suyu şebekesinin yakın zamandan itibaren planlanarak inşa edilmesi dolayısıyla henüz yaygın bir altyapı ağına sahip olmayı, giderek hızlanan bir şebeke imalatı söz konusudur. Yeni yapılacak imalatlar için duktıl özellik gösteren PVC veya koruge yağmur suyu borularının muhtemel deprem tehlikelerine karşı daha iyi performans göstereceği öngörülmektedir.

HAZUS Metodu sonucu tüm boru parçalarının hasar görebilirliğinin sınıflandırılması amacıyla onarım oranlarına bağlı olarak hasar görebilirlik sınıfları oluşturulmuştur. Bu sınıflar oluşturulurken, 0 ile 0,2 arasında onarım oranına sahip boruların düşük hasar görebilirliğe, 0,2 ile 0,4 arasının orta derece hasar görebilirliğe, 0,4 ile 0,6 arası hasar görebilirliğe sahip boruların yüksek hasar görebilirliğe ve 0,6 dan büyük onarım oranına sahip boruların çok yüksek hasar görebilirliğe sahip olduğu yaklaşımı uygulanmıştır. Hasar görebilirlik sınıfları ve içerdikleri boru uzunlukları Tablo 5.19. ile gösterilmiştir.

Tablo 5.19. HAZUS Metodu ile yağmur suyu şebekesi hasar görebilirlik sınıfları

Hasar Görebilirlik Sınıfı	Onarım Oranı Aralığı	Boru Uzunluğu (km)
Düşük	0-0,2	59,78
Orta	0,2-0,4	86,02
Yüksek	0,4-0,6	132,12
Çok Yüksek	>0,6	166,55

Sakarya ili yağmur suyu şebekelerindeki gömülü borular için HAZUS metodu ile boruların onarım oranına göre hasar görebilirlik sınıfları belirlendikten sonra, hasar görebilirliğin il genelinde dağılışının görülebilmesi ve riskin görselleştirilmesi amacıyla boru hasar görebilirlik sınıfları Şekil 5.14.'deki haritada gösterilmiştir.

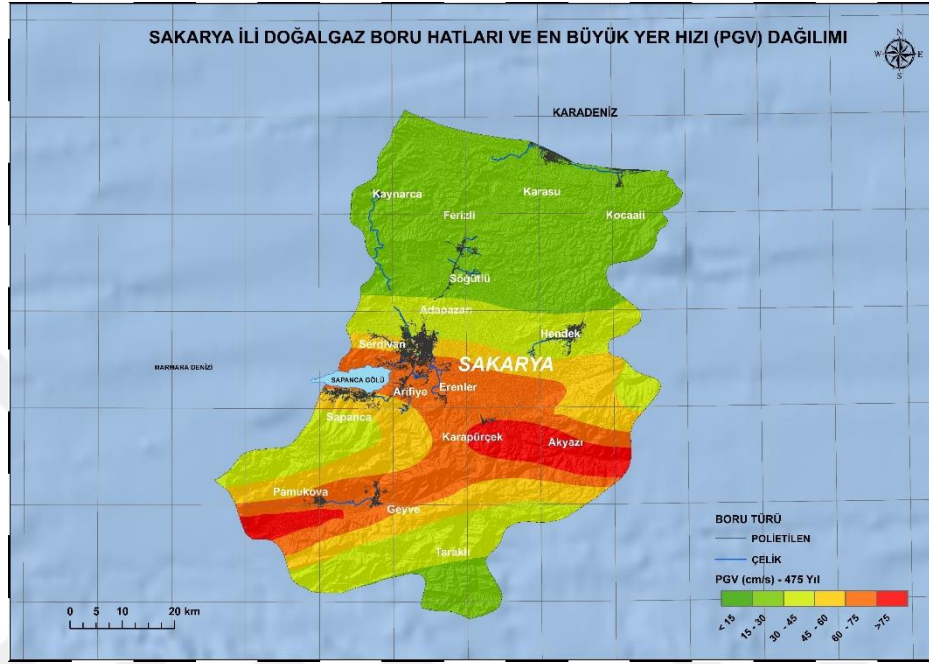


Şekil 5.14. HAZUS metodu ile yağmur suyu boruları hasar görebilirlik dağılımı

5.10. Doğalgaz Şebekesi Sismik Hasar Görebilirlik Analizleri

Sakarya ili doğalgaz şebekesindeki gömülü boruların, boru türleri, boru çapları, boru uzunlukları ve boruların mekânsal konumları ile veri tabanı oluşturulmuştur. Bu çalışmada yapılmış olasılıksal sismik tehlike analizi yardımıyla elde edilen en büyük yer hızı değerleri gridler yardımıyla borulara tanımlanmıştır. Aynı şekilde zemin sınıfları, yükselti ve sıvılaşmaya yatkınlık verileri de borulara tanımlanmıştır. Şekil 5.15.'de en büyük yer hızı dağılımı ile içme suyu şebekesinin üst üste çakıştırılması gösterilmektedir. İçme suyu şebekesi, kanalizasyon ve yağmur suyu şebekesi

borularında olduğu gibi doğalgaz borularında da benzer şekilde boruların maruz kaldıkları en büyük yer hızları ile HAZUS algoritması kullanılarak hasar onarım oranları elde edilmiştir. Doğalgaz şebekesi boru hatlarındaki boru türlerinin polietilen ve çelik olmasından dolayı iki boru türü de duktıl boru olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 5.15. PGV ve doğalgaz şebekesi dağılımı

ABD Federal Acil Durum Yönetim Kurumu (FEMA) tarafından geliştirilmiş HAZUS metodu yaklaşımıyla Sakarya ili doğalgaz şebekelerindeki tüm boru hatları analiz edilmiştir. HAZUS metodu analizinde, borunun maruz kalacağı öngörülen muhtemel en büyük yer hızı değerleri tanımlanmış ve her boru türüne göre borunun kırılğan veya duktıl olup olmadığı belirlenmiştir. HAZUS metodu duktıl boruların hasar onarım oranının kırılğan borulara göre %30 daha az olduğunu öngörmektedir. Bu sebeple HAZUS metodunun PGV algoritması kullanılarak elde edilen tüm onarım oranları duktıl borular için 0,3 katsayısıyla çarpılmıştır. Her boru parçası için tanımlanmış PGV değerleri ile analiz yapıp sonuçlar değerlendirilmiştir.

HAZUS metodu ile gömülü boru hatları için yapılan hasar görebilirlik analizlerinden elde edilen 487998 adet boru parçasının onarım oranlarının istatistiksel değerleri Tablo 5.20. ile gösterilmiştir.

Tablo 5.20. HAZUS Metodu doğalgaz boruları onarım oranı istatistikleri

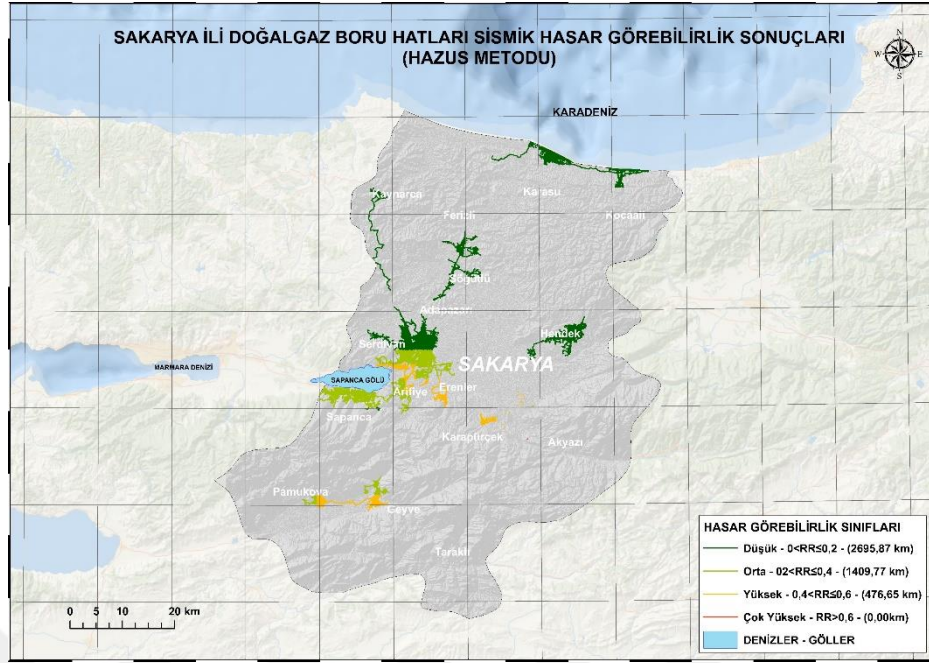
HAZUS Hasar Görebilirlik Analizi Onarım Oranı Sonuçları	
Onarım Oranı Parametresi	Değer
En Büyük	0,837
En Küçük	0,001
Ortalama (μ)	0,201
Standart Sapma (σ)	0,109

HAZUS metodu sonucu Sakarya ili kanalizasyon şebekesindeki 487998 parça gömülü borunun hasar onarım oranlarının en büyük değeri 0,837, en küçük değeri 0,001 ortalama değeri 0,201 ve standart sapma değeri 0,109 olarak elde edilmiştir. HAZUS algoritması ile yapılan bu onarım oranı yaklaşımında boru türlerinin duktıl özellikte olmaları doğalgaz şebekelerindeki boruların hasar onarım oranlarının yalnızca maruz kalacakları muhtemel en büyük yer hızına bağlı olmalarına sebep olmaktadır. Sakarya ili doğalgaz borularının, diri fayların yakın olduğu ve sismik tehlikesi yüksek olan bölgelerde daha yüksek olduğu görülmektedir. HAZUS Metodu sonucu tüm boru parçalarının hasar görebilirliğin sınıflandırılması amacıyla onarım oranlarına bağlı olarak hasar görebilirlik sınıfları oluşturulmuştur. Bu sınıflar oluşturulurken, 0 ile 0,2 arasında onarım oranına sahip boruların düşük hasar görebilirliğe, 0,2 ile 0,4 arasının orta derece hasar görebilirliğe, 0,4 ile 0,6 arası hasar görebilirliğe sahip boruların yüksek hasar görebilirliğe ve 0,6 dan büyük onarım oranına sahip boruların çok yüksek hasar görebilirliğe sahip olduğu yaklaşımı uygulanmıştır. Hasar görebilirlik sınıfları ve içerdikleri boru uzunlukları Tablo 5.21. ile gösterilmiştir.

Tablo 5.21 . HAZUS Metodu ile doğalgaz şebekesi hasar görebilirlik sınıfları

Hasar Görebilirlik Sınıfı	Onarım Oranı Aralığı	Boru Uzunluğu (km)
Düşük	0-0,2	2695,87
Orta	0,2-0,4	1409,77
Yüksek	0,4-0,6	476,65
Çok Yüksek	>0,6	0,00

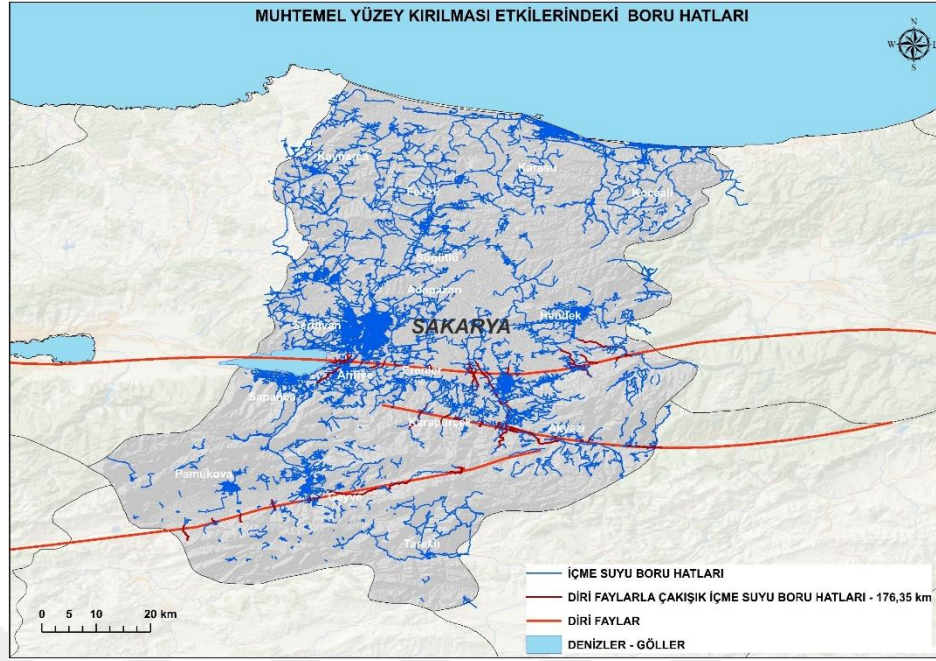
Sakarya ili doğalgaz şebekelerindeki gömülü borular için HAZUS metodu ile boruların onarım oranına göre hasar görebilirlik sınıfları belirlendikten sonra, hasar görebilirliğin il genelinde dağılışının görülebilmesi ve riskin görselleştirilmesi amacıyla boru hasar görebilirlik sınıfları Şekil 5.16.'daki haritada gösterilmiştir.



Şekil 5.16. HAZUS metodu ile doğalgaz boruları hasar görülebilirlik dağılımı

5.11. Kalıcı Yer Deformasyonu Tehlikeleri

Gömülü boru hatlarının maruz kaldıkları bir diğer sismik tehlike ise kalıcı yer deformasyonları olarak bilinen, sıvılaşma, yüzey kırılması ve heyelan gibi tehlikelerdir. Bu tez çalışmasında Sakarya ili içme suyu temin ve dağıtım şebekelerindeki gömülü boruların, diri faylarla çakıştıkları kısımları coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla belirlenmiştir. Şekil 5.17. ile diri faylar ve içme suyu borularının çakışmaları görülmektedir. Muhtemel bir deprem tehlikesinin gerçekleşmesi ile birlikte ortaya çıkacak yüzey kırılmasında içme suyu şebekesi borularında hasarlar meydana geleceği ve servisini aksatacağı öngörülmektedir.



Şekil 5.17. Diri faylar ile içme suyu şebekesi boruları kesişimleri

BÖLÜM 6. ARAŞTIRMA BULGULARI

6.1. Sonuç ve Öneriler

Son zamanlarda dünyada meydana gelen 1971 San Fernando, 1985 Michoacan, 1989 Loma Prieta, 1994 Northridge, 1995 Hyogoken-Nanbu, 1999 Marmara ve 2011 Christchurch Depremi gibi büyük depremlerde bina vb. üstyapıların yanında, içme suyu temin ve dağıtım, kanalizasyon ve yağmur suyu şebekeleri, doğalgaz şebekeleri, karayolu ve demiryolu gibi ulaşım ağları, elektrik ve telekomünikasyon ağları gibi altyapı sistemlerinde ciddi hasarlar meydana gelmiştir. Bu hasarlar, deprem esnasında gaz sızıntıları sebepli yangınların çıkmasına, yangın hidrantlarına bağlanan su şebekelerindeki hasarlar sebebiyle yangına müdahalelerin yapılamamasına, ulaşım ağlarındaki hasarlar sebebiyle afet lojistiğinin sağlanamaması gibi birçok olumsuz ikincil etkilerle afetin boyutunun artmasına sebep olmuşlardır. Bu durum bilim insanlarını ve yerel yönetimleri altyapı sistemlerinin deprem güvenliklerini sağlamaya teşvik etmiştir. Özellikle 17 Ağustos 1999 Marmara depremi sonrası Sakarya ili içme suyu şebekelerinin bir kısmında ciddi hasarlar oluşmuş ayrıca kanalizasyon şebekelerinin neredeyse tamamı hizmet veremez duruma gelmiştir.

Bu çalışmada, Sakarya ili altyapı sistemlerinden; içme suyu temin ve dağıtım, kanalizasyon, yağmur suyu ve doğalgaz şebekelerinin büyük bir bölümünü oluşturan gömülü boruların sismik tehlikeler karşısındaki hasar görülebilirlikleri, literatürdeki boru hasar görülebilirlik metotları ile analiz edilmiştir. Geçmiş depremlerle ilgili yapılan çalışmalarda, gömülü boru hasarları ile deprem parametreleri arasında en yüksek ilişkinin en büyük yer hızı (PGV) parametresi olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, gömülü boruların olası depremlere karşı hasar görülebilirliklerinin analizinde kullanılan en büyük yer hızı parametresi, Avrupa ve Orta Doğu için geliştirilmiş Earthquake Model of the Middle East (EMME) ve Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE) adlı sismik tehlike modeli projelerinin fay verileri kullanılarak klasik

olasılıksal sismik tehlike analizi ile elde edilmiştir. Kullanılan fayların Sakarya ilinde oluşturacağı kuvvetli yer hareketi parametreleri Boore ve Atkinson (2008) yer hareketi tahmin denklemleri yardımıyla hesaplanmıştır. Klasik olasılıksal sismik tehlike analizinde açık kaynak kodlu openquake yazılımının tehlike modülü kullanılmıştır. Gömülü boru hasar görebilirlik analizlerinde rol oynayan bir diğer parametre ise boruların bulundukları zemin koşullarıdır. Bu sebeple Sakarya il genelinde 2044 noktadan alınan sismik veriler yardımıyla zemin sınıfı haritası oluşturulmuş, sıvılaşmaya yatkınlık verileri ise Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan 1/250.000 ölçekli haritadan elde edilmiştir.

Boru hasar görebilirlik analizlerinde kullanılacak tüm parametreler belirlendikten sonra, coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla Sakarya ili altyapı sistemlerinin boru envanteri oluşturulup tüm borulara hasar görebilirlik parametreleri tanımlanmıştır. Boru hasar görebilirlik parametrelerinin borulara tanımlanması amacıyla 2,5 x 2,5 km'lik gridler oluşturulmuş ve her grid içerisinde kalan boru cinsi, çapı, uzunluğu ve konumu bilinen borulara; en büyük yer hızı, zemin sınıfı, zemin sıvılaşmaya yatkınlığı ve yükselti verileri tanımlanmıştır. Boru hasar görebilirlik analizleri için literatürde sıklıkla kullanılan, HAZUS, Iyoyama (2000), ALA (2001) ve Yoo, Kang ve Kim (2013) metotlar kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda tüm borular için hasar görebilirliği ifade eden hasar onarım oranları elde edilmiş ve borular hasar onarım oranlarına göre sınıflandırılmıştır.

İçme suyu temin ve dağıtım şebeklerinde borular, ABD Federal Acil Durum Yönetim Kurumu (FEMA) tarafından geliştirilmiş HAZUS metodu, Iyoyama ve arkadaşları (2000) tarafından geliştirilen eşitlik, American Lifelines Alliance (ALA) tarafından geliştirilen eşitlik ve Yoo, Kang ve Kim (2013) tarafından geliştirilen eşitliklerle ayrı ayrı analiz edilmiştir. Tüm analizler sonucunda elde edilen hasar onarım oranları ayrı ayrı istatistiksel sınıflandırılarak her metot için düşük, orta, yüksek ve çok yüksek hasar görebilirlik sınıfları oluşturulmuştur. Borular bu hasar görebilirlik sınıflarına hasar onarım oranlarına göre dahil edilmiş ve coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla haritalanarak risk görselleştirilmiştir. Sismik tehlike analizi sonucu en büyük yer hızının en yüksek olduğu ilçeler beklenildiği gibi sismik kaynaklara en yakın ilçeler

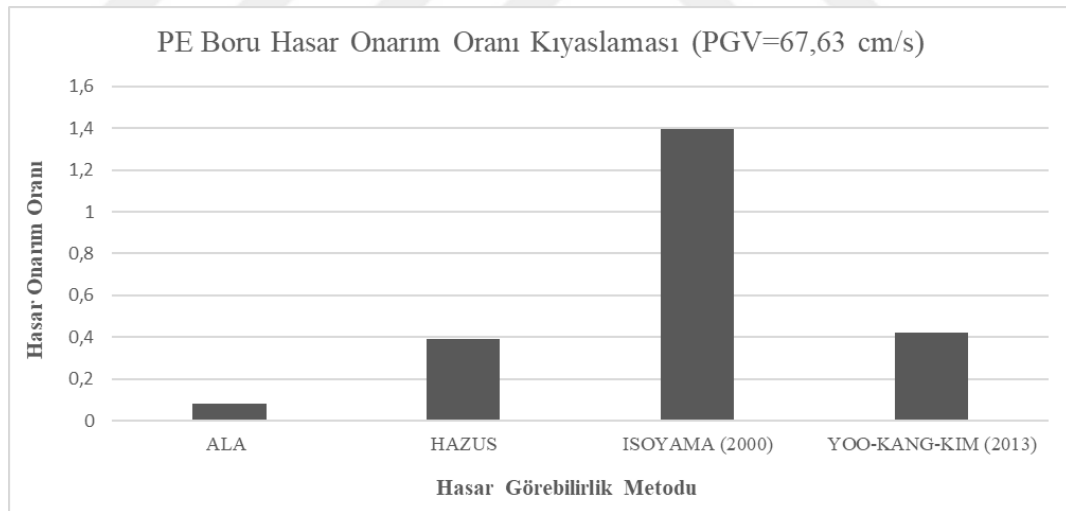
olmuş ve bu durumda söz konusu ilçelerdeki boru hasar onarım oranları daha yüksek çıkmıştır. En büyük yer hızının etkisinin yanında, zemin özellikleri boru malzemesi ve boru çaplarının da hasar görebilirliğe etkileri incelendiğinde özellikle asbestli çimento boruların kırılma özelliklerinden ve büyük çaplarından dolayı yüksek hasar onarım oranına sahip oldukları görülmektedir. Sıvılaşmaya yatkınlığı yüksek olan ve zemini gevşek özelliklere sahip olan bölgelerde hasar onarım oranlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda içme suyu temin ve dağıtım şebekelerindeki en yüksek hasar onarım oranına sahip boruların her dört metotta da Akyazı ilçesindeki 8637 m uzunluktaki asbestli çimento borular olduğu görülmüştür. Söz konusu boru hattının gelecekte meydana gelmesi muhtemel bir depremde ağır hasar alarak su şebekesinde hizmetin aksamasına sebep olacağı öngörülmektedir. Benzer şekilde il nüfusunun yoğun olarak bulunduğu Adapazarı ilçesi güney kesimi, Serdivan, Arifiye, Sapanca ve Erenler ilçelerindeki asbestli çimento boruların yüksek hasar onarım oranlarına sahip olduğu ve gelecekte meydana gelmesi muhtemel bir depremde ağır hasar alarak hizmet veremez hale geleceği ve ikincil tehlikelere yol açacağı öngörülmektedir.

Boru hatları yerleşim yerlerine ulaşabilmek amacıyla yüzey yırtılma bölgeleri olarak adlandırılan sismik kaynakların kesişimi olan bölgelerden geçmek zorunda kalırlar. Bu durumda ana iletim borularının yer altı tünellerinden geçirilmesi önerilmektedir. Ayrıca içme suyu temin ve dağıtım şebekelerindeki boruların sismik kaynaklar ile kesişimi incelendiğinde 176,35 km uzunluktaki boruların yüzey kırılması, sıvılaşma ve toprak hareketleri vb. kalıcı deformasyonlara maruz kalacağı öngörülmektedir. Bu şekildeki tüm şebekelere ait özellikle kırılma boruların sismik hareketlerde sünük özellik gösteren duktal borularla değiştirilmesi, özellikle Adapazarı, Erenler, Serdivan ve Arifiye ilçelerinde zemin özellikleri ve yer altı su seviyesi göz önünde bulundurulduğunda borular döşenirken drenaj görevi görece granüler malzemeden geri dolgu yapılması önerilmektedir.

Kanalizasyon ve yağmur suyu şebekeleri incelendiğinde en büyük hasar onarım oranlarının içme suyu şebekelerine benzer şekilde Akyazı ilçesi başta olmak üzere sismik riski yüksek olan Geyve, Pamukova, Karapürçek Erenler, Arifiye, Sapanca,

Serdivan ve Adapazarı ilçesi güney kesiminde yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca kanalizasyon ve yağmur suyu şebekelerinde kullanılan beton ve betonarme boruların hasar onarım oranlarının koruge borulara göre daha yüksek olduğu bu sebeple bu şebekelerde koruge boruların tercih edilmesi gerektiği önerilmektedir.

İçme suyu borularını çeşitliliğinin diğer şebekelerdeki boru çeşitliliğinden fazla olması sebebiyle içme suyu şebekelerindeki borular literatürdeki 4 farklı yöntemle, Kanalizasyon, yağmur suyu ve doğalgaz boruları ise yalnızca HAZUS metodu ile analiz edilmiştir. HAZUS metodu hasar onarım oranı gömülü borunun maruz kaldığı PGV değeri ile boruların kırılma ve duktıl olması durumunu birlikte değerlendiren bir ampirik formüldür. Ancak diğer üç metot zemin özellikleri, boru çapları ve malzeme türlerini de kullanan ampirik formüllerdir. Elde edilen sonuçları karşılaştırmak amacıyla $PGV = 67,63$ cm/s en büyük yer hızına maruz, içme suyu şebekesindeki duktıl özellikli polietilen boru için hasar onarım oranları kıyaslanmış ve Şekil 6.1. ile gösterilmiştir.



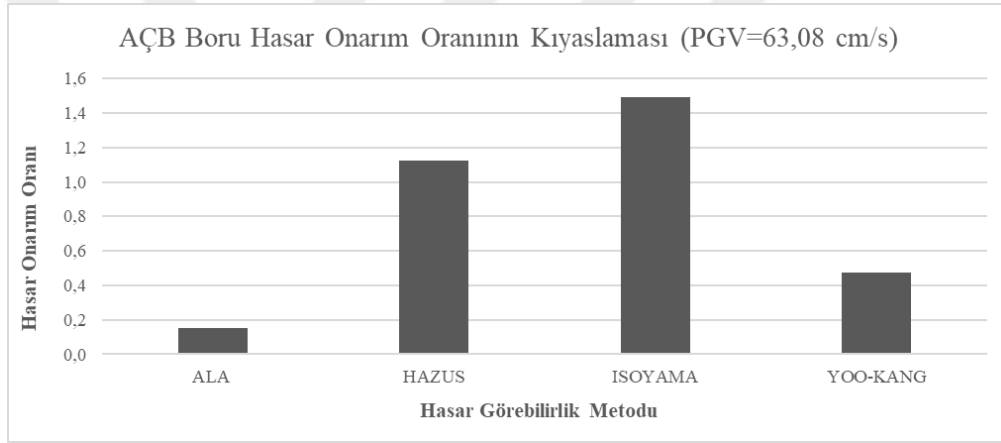
Şekil 6.1. PE içme suyu borusu hasar onarım oranı kıyaslaması ($PGV=67,63$ cm/s)

Ayrıca hasar onarım oranları ve hasar onarım oranlarının ortalaması Tablo 6.1. ile gösterilmiştir.

Tablo 6.1. PE içme suyu borusu hasar onarım oranları (PGV=67,63 cm/s)

PGV [cm/s]	ALA	HAZUS	ISOYAMA (2000)	YOO-KANG-KIM (2013)	ORTALAMA
67,62	0,08	0,39	1,40	0,42	0,57

Şekil 6.1. incelendiğinde $PGV = 67,63 \text{ cm/s}$ en büyük yer hızında içme suyu şebekesinde polietilen boru için en yüksek onarım oranı sonucunu Isoyama (2000) ile elde edilen sonuç olduğu görülmüştür. En düşük onarım oranının ALA metodu sonucu elde edildiği görülmüştür. Yoo, Kang ve Kim (2013) ve HAZUS hasar onarım oranı sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Ancak incelenen polietilen boru HAZUS metodunda duktıl olarak değerlendirilmiştir. Benzer kıyaslama kırılğan özellikteki AÇB borular için yapılmış ve sonuçlar Şekil 6.2. ile verilmiştir.



Şekil 6.2. AÇB içme suyu borusu hasar onarım oranı kıyaslaması (PGV=63,08 cm/s)

Tüm metotlar ile elde edilen sonuçların hasar onarım oranları ve hasar onarım oranlarının ortalaması Tablo 6.2. ile gösterilmiştir.

Tablo 6.2. AÇB içme suyu borusu hasar onarım oranları (PGV=63,08 cm/s)

PGV [cm/s]	ALA	HAZUS	ISOYAMA (2000)	YOO-KANG-KIM (2013)	ORTALAMA
67,62	0,15	1,12	1,49	0,47	0,81

Şekil 6.2. incelendiğinde $PGV = 63,08 \text{ cm/s}$ en büyük yer hızında içme suyu şebekesinde asbestli çimento boru için en yüksek onarım oranı sonucunu yine Isoyama (2000) ile elde edilen sonuç olduğu görülmüştür. En düşük onarım oranında polietilen borudakine benzer şekilde ALA metodu sonucu elde edildiği görülmüştür.

Isoyama (2000) ve HAZUS hasar onarım oranı sonuçlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Tablo 6.1. ve Tablo 6.2. incelendiğinde HAZUS metodunun diğer tüm metotların ortalamasına yakın olması ve zemin özellikleri, boru çapları gibi verilere ihtiyaç duyulmadan hesaplanmasından dolayı, boru hasar görebilirlik analizlerinde yalnızca HAZUS metodunun kullanılmasının yeterli olabileceği görülmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] Grantz, A. 1971. Introduction, The San Fernando, California Earthquake of February 9, U. S. Government Printing Office; Geological Survey Professional Paper 733 edition, January 1, 1971.
- [2] O'Rourke, T. D. 1996. Lessons Learned For Lifeline Engineering From Major Urban Earthquake, Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Elsevier Science, Paper No: 2172.
- [3] O'Rourke, T. D., F. H. Erdogan, W. U. Savage, L. Val Lund, A. Tang, N. Basoz, C. Edwards, G. Tezel, and F. Wong. 1999. Water, Gas, Electric Power, and Telecommunications Performance (2000) Earthquake Spectra, 16(1_suppl), pp. 377–402. doi: 10.1193/1.1586160.
- [4] O'Rourke T. D., Jeon S. S., Toprak S., Cubrinovski M, Hughes M, Ballegooy S, Bouziou D. 2014. Earthquake response of underground pipeline networks in Christchurch, NZ, Earthquake Spectra, 30(1):183–204.
- [5] O'Rourke, T. D. and Palmer, M. C. 1996. Earthquake Performance of Gas Transmission Pipelines, Earthquake Spectra, 12(3), pp. 493–527. doi: 10.1193/1.1585895.
- [6] Toprak S. 1998. Earthquake effects on buried lifeline systems, PhD Thesis, Cornell University, Ithaca, NY.
- [7] Yücemen, S., Selçuk, A. S. 2000. Candamarı Şebekelerinin Deprem Güvenirliği, Tübitak Turk J Engin Environment Sci. 24, 143–160.
- [8] Sarıkaya, H., and Koyuncu, I., 1999. Evaluation of the Effects of Kocaeli Earthquake on Water and Wastewater Systems, International Conference on the Kocaeli Earthquake 17 August 1999, December 2-5, ITU.
- [9] Toprak, S. ve Taşkın, F. 2007. Estimation of Earthquake Damage to Buried Pipelines Caused by Ground Shaking, Natural Hazards, (2007) 40, 1–24.
- [10] Ansal, A. Kurtuluş, A. and Tönük, G., Damage to Water and Sewage Pipelines in Adapazari During 1999 Kocaeli, Turkey Earthquake" (2008). International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering. 5.

- [11] Hesari, M. Mousavi, M., & Azarbakht, A. 2014 Seismic risk assessment of the 3rd Azerbaijan gas pipeline in Iran. *Nat Hazards* 74, 1327–1348. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1244-y>.
- [12] Faraji, M., Kiyono, J. 2012. Seismic Reliability Analysis of Lifeline Systems. 15th World Conference on Earthquake Engineering 2012 Volume 1 of 38 Lisbon, Portugal 24-28 September 2012.
- [13] Çalım, G. Bal, İ. E. ve Gülay, G. İsale hatlarında deprem riskinin olasılıksal hesabı ve bir örnek uygulama, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, c. 10, sayı. 1, ss. 397-408, Mar. 2019, doi:10.24012/dumf.538436.
- [14] Pavel F., Vacareanu R., Arion C., Aldea A., Scupin A. Seismic Risk Assessment Of Lifelines In Bucharest, *International Journal of Disaster Risk Reduction-Volume* 66, 2021, 102629, ISSN 2212-4209, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102629>.
- [15] Zohra H. F., Mahmouda B., Luc D., Vulnerability Assessment Of Water Supply Network, *Energy Procedia*, Volume 18, 2012, Pages 772-783, ISSN 1876-6102, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.05.093>.
- [16] Inanloo B., Tansel B., Shams K., Jin X., Gan A., A Decision Aid GIS-Based Risk Assessment And Vulnerability Analysis Approach For Transportation And Pipeline Networks, *Safety Science*, Volume 84, 2016, Pages 57-66, ISSN 0925-7535, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.11.018>.
- [17] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2021 <https://biruni.tuik.gov.tr/medas>, Erişim Tarihi 03.01.2022.
- [18] Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H. Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F., Yurtsever, A. ve diğerleri, *Türkiye Jeoloji Haritası Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını*. Ankara Türkiye MTA
- [19] Utkucu, M., Kanbur, Z., Alptekin, Ö. et al. Seismic behaviour of the North Anatolian Fault beneath the Sea of Marmara (NW Turkey): implications for earthquake recurrence times and future seismic hazard. *Nat Hazards* 50, 45–71 (2009). <https://doi.org/10.1007/s11069-008-9317-4>
- [20] Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., 2011, 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Adapazarı (NK 36-13) Paftası, Seri No:14, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye.
- [21] TBDY, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018.

- [22] <https://www.sakarya-saski.gov.tr/media/gallery/491c2c71-53a8-45b3-bb46-620664cbd3da.PDF>, Erişim Tarihi: 16.03.2022
- [23] <http://petekboru.com.tr/urun-kategori/hope-100>, Erişim Tarihi: 18.02.2022
- [24] Toplamacı, M. 2017. İçme Suyu İletim Hatlarında Kullanılan Boru Tiplerinin Ekonomik Analizi. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi,
- [25] Şengörür, B. 2006. Su temini ve çevre sağlığı, Sakarya Üniversitesi Müh.Fak. Çevre Müh. Ders Notu, Sakarya.
- [26] Kasap, A. 2016. Kanalizasyon ve içme suyu inşaatlarında kullanılan boru tiplerine göre maliyet analizi. İller Bankası Anonim Şirketi, Uzmanlık Tezi
- [27] O'Rourke, T. D., Erdogan, F.H., Savage, W.L., Lund, L.V., Tang, A, Basoz, N., Edwards, C., Tezel, G., and Wong, F. [2000] "Water, Gas, Electric Power and Telecommunications Performance", 1999 Kocaeli, Turkey, Earthquake Reconnaissance Report, EQ Spectra Supplement A to V.16.
- [28] Gord, F., M., Rahbari, H. R., Chemical and Process Engineering 2011, 32 (4), 435-452 DOI: 10.2478/v10176-011-0035-1
- [29] <https://www.enka.com/t9> Erişim Tarihi: 16.03.2022
- [30] Yardımcı, O. Türkiye Doğal Gaz Piyasası: Geçmiş 25 Yıl, Gelecek 25 Yıl, Ekonomi Bilimleri Dergisi, Cilt 3, No 2, 2011 ISSN: 1309-8020
- [31] Adapazarı Gaz Dağıtım A.Ş (AGDAŞ), Faaliyet Raporu, Rapor Yılı: 2015
- [32] Kramer S., (1996), "Geotechnical Earthquake Engineering", Environmental and Engineering Geoscience, 1th Edition, Prentice Hall.
- [33] Özcan, N. T., Reliability Of Transportation Lifeline Systems Subjected To Earthquake Loads. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2016.
- [34] Reiter, L. 1991. Earthquake Hazard Analysis: Issues and Insights. Columbia University Press.
- [35] Giardini, D., Woessner J., Danciu L., 2014. Mapping Europe's Seismic Hazard. EOS, 95(29): 261-262.
- [36] Danciu L., Şeşetyan K., Demircioglu M., Gülen L., Zare M., Basili R., Elias A., Adamia S., Tsereteli N., Yalçın H., Utkucu M., Khan M., Sayab M., Hessami K., Rovida A., Stucchi M., Burg J., Karakhanian A., Babayan H., Giardini D., 2018, The 2014 Earthquake Model of the Middle East: seismogenic sources, Bulletin of Earthquake Engineering, 16(8), 3465–3496.

- [37] <http://hazard.efehr.org/en/Documentation/specific-hazard-models/europe/eshm2020-overview/> Erişim Tarihi: 06.11.2021
- [38] McGuire, Robin K. (1976), Fortran Computer Program for Seismic Risk Analysis, United States Department Of The Interior Geological Survey, Open-File Report 76-67 1976, Denver, Colorado.
- [39] <https://ez-frisk.org/our-services/why-ez-frisk/> Erişim Tarihi: 19.02.2022
- [40] Yüçemen, S. M., 2020. Yapı Güvenirliği: Belirsizlik Modellemesi, Olasılık, Rassal Süreçler Ve Sismik Tehlike Analizi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi- Ankara,
- [41] The OpenQuake-engine User Manual. Global Earthquake Model (GEM) 2022. OpenQuake Manual for Engine version 3.13.0. doi: 10.13117/Gem Openquake Man Engine.3.13.0, 204 Pages.
- [42] Yüçemen M., (2011), "Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi: Genel Bakış ve İstatiksel Modellemede Dikkat Edilmesi Gerekli Hususlar", 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 1–20, Ankara, Türkiye, 11-14 Ekim 2011.
- [43] Danciu L., Nandan S., Reyes C., Basili R., Weatherill G., Beauval C., Rovida A., Vilanova S., Sesetyan K., Bard P-Y., Cotton F., Wiemer S., Giardini D. (2021)-The 2020 update of the European Seismic Hazard Model: Model Overview. EFEHR Technical Report 001, v1.0.0, <https://doi.org/10.12686/a15>
- [44] Boore D., Atkinson G., (2008), "Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s", Earthquake Spectra, 24(1), 99–138
- [45] Sibson, R. "A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation," chapter 2 in Interpolating Multivariate Data. New York: John Wiley & Sons, 1981. 21–36.
- [46] Harman E, Küyük HS (2016), Sakarya ili için olasılığa dayalı sismik tehlike analizi. SAÜ J Sci 20:23–31
- [47] Toprak, S., Koç, A. C., ve Taskın, F. (2004) Seismic vulnerability assessment of Denizli City, Turkey water supply system, 13th World Conference on Earthquake
- [48] Toprak, S. ve Yoshizaki, K. (2003) Boru hatlarına deprem yüklerinin etkisi, 5. Ulusal Deprem Mühendisliği Kongresi, İstanbul, Bildiri No: AT-025.

- [49] Porras, O. P., Najafi, M. (2010). Seismic damage estimation for buried pipelines: Challenges after three decades of progress, *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, Vol.1, 19-24.
- [50] O'Rourke, T. D., Toprak, S., and Sano, Y. (1998). "Factors affecting water supply damage caused by the Northridge earthquake." *Proc., 6th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, EERI, Seattle
- [51] O'Rourke, M. ve Ayala, G. (1993) Pipeline damage due to wave propagation. *J. Geotechnical Engineering*, 119:1490-8.
- [52] Honegger D.G. and Eguchi R.T., "Determination of Relative Vulnerabilities to Seismic Damage for San Diego
- [53] HAZUS-MH technical manual: Multi Hazard Loss Estimation Methodology, FEMA. (2003). US Homeland, Federal Emergency Management Agency Washington, DC.
- [54] American Lifelines Alliance (ALA) (2001) Seismic fragility formulations for water systems, Part 2- Guideline.
- [55] American Lifelines Alliance (ALA) (2001) Seismic fragility formulations for water systems, Part 1- Guideline.
- [56] Isoyama, R., Ishida, E., Yune, K., Shirozu, T. (2000). Seismic damage estimation procedure for water supply pipelines, *Proc., 12th World Conf. on Earthquake Engineering*, CD-ROM, New Zealand Society for Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 8.
- [57] Yoo, D.G., Kang, D. S. & Kim, J. H. (2013). Seismic Reliability Assessment Model of Water Supply Networks, *World Environmental and Water Congress 2013, Showcasing the future ASCE 2013*, 955-966.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Muhammed Nedim ŞAHVELET

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği	2019
Lise	Körfez Atatürk Anadolu Lisesi	2015

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2022-Halen	Atatürk Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2019-2022	Sakarya Büyükşehir Belediyesi	İnşaat Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce

ESERLER (makale, bildiri, proje vb.)

1. Analysis Of Vulnerability Level With GıS Of Building Stock To Earthquake
2. The Positive Effect Of Covid-19: The Reduction In Traffic Accidents