

**İSALE HATLARINDA DEPREM RİSKİ:
YÖNTEM GELİŞTİRME VE
İSTANBUL İÇİN BİR UYGULAMA**

DOKTORA TEZİ

Gökhan ÇALIM

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

ŞUBAT 2019

**İSALE HATLARINDA DEPREM RİSKİ:
YÖNTEM GELİŞTİRME VE
İSTANBUL İÇİN BİR UYGULAMA**

DOKTORA TEZİ

**Gökhan ÇALIM
(501992322)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fatma Gülten GÜLAY
Eş Danışman: Dr.Öğretim Üyesi İhsanEngin BAL**

ŞUBAT 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501992322 numaralı Doktora Öğrencisi Gökhan ÇALIM, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “İSALE HATLARINDA DEPREM RİSKİ: YÖNTEM GELİŞTİRME VE İSTANBUL İÇİN BİR UYGULAMA” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Fatma Gülten GÜLAY**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Eş Danışman : **Dr. Öğretim Üyesi İhsan Engin BAL**
Hanze Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğretim Üyesi Esra Ece BAYAT**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ercan YÜKSEL
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğretim Üyesi Çağrı MOLLAMAHMUTOĞLU ..
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Serkan BEKİROĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Hasan ÖZKAYNAK
Beykent Üniversitesi

Teslim Tarihi : 17 Aralık 2018
Savunma Tarihi : 18 Şubat 2019





*Havva ve Dudu halalarıma, anneme, babama,
oğullarım Kerem Göktuğ ile Halil Efe ve eşim Gonca'ya*



ÖNSÖZ

Yaşadığımız güzel ülkemizde, depremler yüzünden insanlar çok büyük sıkıntılar ve acılar çekmiştir. 1999 Kocaeli depreminden sonra önemli dersler alınmış ve Marmara Denizi içindeki fay hatlarının kırılmasıyla İstanbul'u vurması beklenen depremin en az zararla atlatmak için bir takım çalışmalar yapılmıştır. Ancak bu çalışmalar genelde üstyapılar için yapılmış olup, altyapılar için yapılan çalışmalar yok denecek kadar azdır. Bu bağlamda, yaptığım doktora tez çalışmasında özgün bir yöntem ile hayati öneme sahip İstanbul'daki içmesuyu boru hatlarının deprem riski ve alabileceği hasarlar açık bir şekilde ortaya konmuştur. Doktora tez çalışmasının, gömülü altyapı hatlarının depremde dolayı alacağı hasarların tahmin edilmesi ve oluşabilecek olumsuz etkilerin azaltılmasıyla ilgili yapılacak çalışmalarda, İstanbul ve diğer şehirlerin yöneticileri için önemli bir başvuru kaynağı olması beklenmektedir.

Sadece doktora çalışmasında değil, bütün üniversite ve yüksek lisans öğrenimim boyunca her türlü desteği veren ve üstümde emeği olan hocam Prof.Dr.F.Gülten GÜLAY'a teşekkür ederim. Tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen, pratik çözümlere yönlendiren ve önemli katkılarda bulunan hocam Prof.Dr.İ. Engin BAL'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca hasar haritaların ArcGIS ile çizilmesinde yardımcı olan Doç.Dr. Himmet KARAMAN'a teşekkür ederim. Deprem kataloglarının hazırlanmasında destek olan EUCENTRE OpenQuake ekibine, özellikle Sevgi Aktaş Özcebe ve Vitor Silva'ya teşekkür ederim.

Yirmi yılı aşkın süredir çalıştığım ve mühendisliğe dair çok şey öğrendiğim kurumum İSKİ'ye teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Özellikle isale hatlarına ait verilere ulaşmamda yardımcı olan Ünal KARTAL'a da teşekkür ederim. Son olarak burada ismini anmadığım, maddi ve manevi destek veren yakınım, arkadaşlarım ve meslektaşlarıma da ayrıca teşekkür ederim.

Şubat 2019

Gökhan ÇALIM
İnşaat Yüksek Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xviii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı	1
1.2 Tezin Özgün Değeri	4
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1 Literatür Özeti	5
3. GÖMÜLÜ BORU HATLARINDA OLUŞABİLECEK HASARLAR.....	17
3.1 Yer Hareketleri ile Meydana Gelen Boru Hattı Hasarları	17
3.2 Boru Hatlarının Deprem Performansını Etkileyen Faktörler	17
3.3 Deprem Riskinin Belirlenmesi İçin Dikkate Alınan Noktalar	22
3.3.1 Envanter çalışması	22
3.3.1.1 İstanbul içmesuyu kaynakları.....	23
3.3.1.2 İstanbul içmesuyu isale hattı sistemi.....	29
3.3.2 Sismik tehlike.....	31
3.3.3 Hasar görülebilirlik	32
4. UYGULANAN YÖNTEM.....	33
4.1 Deprem Hasar Bağlılıkları.....	34
4.1.1 Toprak(1998) modeli	37
4.1.2 O’rourke ve Jeon(1999) modeli	38
4.1.3 HAZUS(1999) modeli.....	39
4.1.4 ALA(2001) modeli.....	39
4.1.5 Eidinger ve Avila(1999) modeli	42
4.1.6 Eidinger (1998) modeli	43
4.1.7 Yoo, Kang ve Kim(2015) modeli	44
4.1.8 Pineda ve Ordaz(2013) modeli	45
4.1.9 O’rourke ve Deyoe(2004) modeli	46
4.1.10 Isoyama(2000) modeli	47
4.1.11 İsale hatlarının hasar sayılarının hesabı için önerilen hasar bağıntısı	48
4.2 İsale Hatlarının Zemin Cinslerinin Belirlenmesi	51
4.2.1 İki doğrunun kesişim problemi	52
4.2.2 İsale hatlarının zemin kutularıyla kesişim noktalarının bulunması	53
4.2.3 İstanbul geneli için zemin cinslerinin belirlenmesi.....	54
4.3 Yer Hareketi Tahmin Bağlılıkları (YTHB)	56

4.3.1 Akkar ve Bommer(2007) yaklaşımı.....	56
4.4 Katalog Deprem Verilerinin Elde Edilmesi	60
4.4.1 Openquake yazılımı.....	61
4.4.2 SHARE Projesi (Seismic Hazard Harmonization in Europe)	64
4.4.3 İstanbul'daki isale hatları için deprem kataloglarının hazırlanması.....	66
4.5 PEER(Pacific Earthquake Engineering Research Center) Olasılıksal Risk Analizi	68
4.6 Mikro Ölçekte Deprem-Hasar İlişkileri Algoritması Oluşturulması.....	70
4.6.1 Kullanılan MATLAB yazılımı	73
4.6.2 Alibeyköy örneği.....	77
4.7 İstanbul Genelindeki İsale Hatları Hasar Sayılarının Hesaplanması.....	78
4.7.1 İçmesuyu hatları için JICA(2002) tarafından yapılan deprem riski çalışması.....	78
4.7.2 ArcGIS yazılımı	83
4.7.3 İsale hatları için 3 farklı risk seviyesine göre hasar haritalarının oluşturulması	87
4.7.4 İsale hatlarındaki hasarların irdelenmesi.....	91
4.7.4.1 C risk seviyesi için hasar sayısı/km 0.52-0.62 adet olan isale hatları	92
4.7.4.2 C risk seviyesi için hasar sayısı/km 0.40 adetten büyük olan isale hatları.....	94
4.7.4.3 C risk seviyesi için hasar sayısı/km 0.30 adetten büyük olan isale hatları.....	94
4.7.4.4 İsale hatlarında oluşan hasarların genel değerlendirilmesi	97
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	99
KAYNAKLAR.....	105
EKLER	111
ÖZGEÇMİŞ	127

KISALTMALAR

AÇB	: Asbestli Çimento Boru
PGA	: En büyük yer ivmesi
PGV	: En büyük yer hızı
PGV_{GM}	: Geometrik ortalama olarak en büyük yer hızı
PGD	: En büyük yer deformasyonu
PERGD	: Kalıcı Yer Deformasyonu
AI	: Arias şiddeti
PVC	: Poli Vinil Klorür
PSA	: Pseudo Mutlak Spektrası
KYD	: Kalıcı yer deformasyonu
GYD	: Geçici yer deformasyonu
PE	: Poli Etilen
MMI	: Modifiye Mercalli Şiddeti
RR	: Onarım oranı
HAZUS	: Hazards U.S.
RISK-UE	: Risk Union of Europe
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
JICA	: Japanese International Cooperation Agency
GIS	: Geographical Information Systems
ALA	: American Lifeline Alliance
PEER	: Pacific Earthquake Research Center
NGA	: Next Generation Attenuation
Vs30	: Yüzeyin ilk 30 metresindeki Ortalama Zaman Kayma Dalga Hızı
WP	: Dalga Yayılımı
NEHRP	: National Earthquake Hazards Reduction Program
NRML	: National Hazards Risk Markup Language
PSHA	: Probabilistic Seismic Hazard Assessment
GEM	: Global Earthquake Model
Prob[liq]	: Sıvılaşma katsayısı
NRML	: National hazards Risk Markup Language
PSHA	: Probabilistic Seismic Hazard Assessment
GEM	: Global Earthquake Model
SHARE	: Seismic Hazard Harmonization in Europe
ESHM13	: 2013 European Seismic Hazard Model
YTHB	: Yer hareketi tahmin bağıntısı
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
HDPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen
CTP	: Cam takviyeli plastik
ÖGBB	: Öngerilmeli betonarme boru
MBB	: Muflu beton boru



SEMBOLLER

S_a	: Spektral ivme
S_v	: Spektral hız
ε_g	: Maksimum Sismik Yer Uzama Oranı
V_{max}	: Maksimum Yer Hızı
C	: Sismik Dalga Yayılma Hızı
K₁	: Malzeme tipi,çap ve birleşime bağlı katsayı
K₂	: Malzeme tipi,birleşime bağlı katsayı
Prob[liq]	: Sıvılaşma katsayısı
D_p	: Boru çapı
C₁	: Boru çapı katsayısı
C₂	: Malzeme tipi katsayısı
C₃	: Topoğrafya katsayısı
C₄	: Sıvılaşma katsayısı
p₁, p₂	: Paralellik sabitleri
d	: Doğru parçası
S_s, S_A	: Zemin tipi katsayıları
F_N, F_R	: Fay tipi katsayıları
R_{epi}	: Merkezsel uzaklık
Magn	: Deprem in aletsel büyüklüğü
R_{jb}	: Fay Düzlemine En Büyük Yatay Uzaklık
DV	: Karar değişkeni
DM	: Hasar ölçeği
IM	: Yer hareketi ölçeği
λ	: Yıllık aşılma olasılığı
P	: Aşılma olasılığı
Y	: Toplam yıl



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : İstanbul içmesuyu temini ve uzaklaştırılması için mevcut tesisler	24
Çizelge 3.2 : İstanbul içmesuyu kaynakları kapasitesi	25
Çizelge 3.3 : İçmesuyu Arıtma Tesisleri Yıl ve Kapasiteleri	29
Çizelge 4.1 : Hasar ilişkileri tarihçesi (Porras ve Najafi, 2010)	36
Çizelge 4.2 : PGV veritabanını oluşturan depremler ve veri noktaları (ALA 2001).	40
Çizelge 4.3 : Hasar sayıları için K_1 sayıları (ALA 2001)	42
Çizelge 4.4 : Hasar sayıları için K_1 sayıları (Eidinger ve Avila, 1999)	43
Çizelge 4.5 : Düzeltme katsayıları (Yoo, Kang ve Kim, 2013)	45
Çizelge 4.6 : Düzeltme katsayıları (Isoyama ve diğ., 2000)	48
Çizelge 4.7 : Çalışmada kullanılan hasar bağıntıları	50
Çizelge 4.8 : NEHRP'ye göre zemin sınıfları	55
Çizelge 4.9 : İstanbul için zemin bilgisine ait örnek veri tablosu	56
Çizelge 4.10 : Regresyon katsayıları (Akkar ve Bommer, 2007)	59
Çizelge 4.11 : İstanbul için deprem kataloğuna ait örnek veri tablosu	67



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Doğalgaz borusunda oluşan hasarlar	19
Şekil 3.2 : Düktil Font ve Font su boru hatlarındaki hasarlar.....	19
Şekil 3.3 : 1979 Guerrero Meksika depreminde hasar (kırık) görmüş asbest boru..	20
Şekil 3.4 : 1985 Michoacan Meksika depreminde asbest boruda bağlantı noktasında meydana gelen kırılma.....	21
Şekil 3.5 : İstanbuldaki ana isale hatlarının çaplara göre boru uzunlukları.....	30
Şekil 3.6 : İsale hatlarının boru malzemesine göre yüzdelik oranlar ı(Uzunluk).....	31
Şekil 3.7 : İsale hatlarının boru malzemesine göre yüzdelik oranları (Hacimsel).....	31
Şekil 4.1 : İsale hatlarının hasar haritalarının elde edilmesi için izlenen yol	34
Şekil 4.2 : En büyük yer hızı (PGV) ile boru hattı onarım oranı arasındaki ilişki	38
Şekil 4.3 : PGV'ye bağlı geliştirilen hasar fonksiyonlarının karşılaştırılması	41
Şekil 4.4 : Meksika şehri gömülü boru hatları için hasar fonksiyonu	46
Şekil 4.5 : Gömülü boru hatları için PGV'ye bağlı hasar ilişkileri	51
Şekil 4.6 : İki doğrunun kesişimi	52
Şekil 4.7 : Zemin kutusu oluşturulması	53
Şekil 4.8 : Kesişim noktalarının bulunması için örnek sistem	54
Şekil 4.9 : Openquake modellerinden Nokta(Sol) ve Kompleks(Sağ)Fay Modelleri	62
Şekil 4.10 : Basit Fay Kırılması Modeli izi	63
Şekil 4.11 : 1000-2006 tarihleri arasında Avrupadaki depremlerden derlenen SHARE Avrupa Deprem Katalogu (SHEEC) ve Orta ve Doğu Türkiye Uzantısı(SHEEC-CET).....	65
Şekil 4.12 : 10000 yıllık stokastik Türkiye deprem kataloğu	66
Şekil 4.13 : Marmara bölgesi deprem katalog çalışma bölgesi	67
Şekil 4.14 : İstanbul isale hatlarının olasılıksal risk değerlendirilmesinde kullanılan çalışma alanları	68
Şekil 4.15 : PEER olasılıksal çerçevesinin bu çalışmaya uyarlanması	69
Şekil 4.16 : Örnek hasar tehlike grafiği	70
Şekil 4.17 : 1.Kod akış diyagramı	74
Şekil 4.18 : 2.Kod akış diyagramı	75
Şekil 4.19 : 3.Kod akış diyagramı	76
Şekil 4.20 : Alibeyköy isale hatları için B risk seviyesine göre hasar sayıları	77
Şekil 4.21 : Senaryo deprem modelleri, (JICA, 2002)	80
Şekil 4.22 : Model A için hasar haritası (JICA, 2002)	81
Şekil 4.23 : Model C için hasar haritası (JICA, 2002)	82
Şekil 4.24 : Biçim dosyalarının oluşturulması	84
Şekil 4.25 : Hasar oranları lejantı	84
Şekil 4.26 : İsale hatlarına hasar sayılarına göre renk atanması	85
Şekil 4.27 : İsale hatlarına çapa göre kalem kalınlığı atanması.....	85
Şekil 4.28 : Hasar sayısı 0.30 adetten büyük olan isale hatlarının filtre edilmesi	86
Şekil 4.29 : Hasar haritalarının resme dönüştürülmesi.....	86

Şekil 4.30 :	A risk seviyesine göre isale hatlarındaki hasar haritası.....	88
Şekil 4.31 :	B risk seviyesine göre isale hatlarındaki hasar haritası	89
Şekil 4.32 :	C risk seviyesine göre isale hatlarındaki hasar haritası	90
Şekil 4.33 :	C risk seviyesine göre hasar sayısı/km 0.52-0.62 olan isale hatları.	93
Şekil 4.34 :	C risk seviyesine göre hasar sayısı/km 0.40 adetden büyük olan isale hatları.	95
Şekil 4.35 :	C risk seviyesine göre hasar sayısı/km 0.30 adetden büyük olan isale hatları.	96
Şekil 4.36 :	Risk senaryo kestirim illüstrasyonu	104



İSALE HATLARINDA DEPREM RİSKİ: YÖNTEM GELİŞTİRME VE İSTANBUL İÇİN BİR UYGULAMA

ÖZET

Yeryüzünde oluşabilecek depremlerden dolayı üstyapı kadar hayat yolları dediğimiz kanalizasyon, içmesuyu, elektrik hatları vb. gibi altyapılarda oluşabilecek hasarların önceden hesaplanması da depremin olumsuz etkilerini azaltabilmek için büyük önem arz etmektedir. Marmara Bölgesinde ve özellikle İstanbul'da yakın zamanda büyük bir deprem beklenmektedir. Normal şartlarda bile İstanbul gibi metropol bir şehre su sağlamak zorluklar içerirken, deprem sonrası içmesuyu dağıtım sisteminin çalışması hayatın devamı, temizlik ve üretime devam edilmesi açısından vazgeçilmez bir unsurdur.

Bu tez çalışmasında, literatürde bulunan gömülü boru hatları için hasar bağıntıları araştırılarak, gömülü boru hatlarının deprem riskinin ortaya konması için olasılıksal bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem İstanbul'da ve civarında meydana gelmesi beklenen depremlere göre Ø300mm çapı ve üzerindeki tüm isale hatlarına uygulanarak borularda meydana gelebilecek hasar sayıları ve yerleri belirlenmiştir. Bu tez olasılıksal yöntem kullanılarak İstanbul için yapılan kapsamlı ve önemli bir çalışmadır. Benzer tek çalışma JICA tarafından 2002 yılında yapılmıştır. Söz konusu çalışma kısıtlı modeller üzerinden yapılmış ve noktasal olarak hasar yerleri belirtilmemiştir.

Dünya üzerinde yapılan çalışmalarda altyapı sistemlerinin deprem riskinin belirlenmesinde kırılma eğrileri, istenen noktadaki En Büyük Yer Hızı - PGV (Peak Ground Velocity), Kalıcı Yer Deformasyonu - PERGD (Permanent Ground Deformation) gibi deprem parametrelerine karşın hasar sayısını veren bağıntılar olarak ifade edilmektedir. Hasar sayılarının hesabında tek bir formüle bağlı kalmak yerine literatürde kullanılan birçok farklı hasar tahmin bağıntısından faydalanılmıştır. Bu çalışmada kırılma eğrilerini kullanarak hasar sayıları ve yerleri ile beraber isale hatlarında deprem riski ve hasar haritası elde edilmiştir. Deprem risk seviyesi olarak üç farklı risk seviyesi dikkate alınmıştır. Bunlar A risk seviyesi: sık olan küçük depremler, B risk seviyesi: nadir olan büyük depremler ve C risk seviyesi: çok nadir olan çok büyük depremler olarak sıralanmaktadır. Hesaplamalarda gömülü boru hatlarında iyi korelasyon gösteren PGV parametresi kullanılmıştır. PGV hesabında ise literatürde zemin cinsi, fay tipi, uzaklığı, depremin aletsel büyüklüğünü dikkate alan Yer Hareketi Tahmin Bağıntılarından (YHTB, veya İngilizce'de GMPE-Ground Motion Prediction Equations) faydalanılmıştır.

Deprem tehlikesinin analizinde PEER (Pacific Earthquake Research Center) tarafından olasılıksal çerçevede önerilen yaklaşımı kullanarak risk seviyesi belirlenmiş ve SHARE projesinde kaydı tutulan depremler arasında İstanbul'a yakın depremler seçilerek etkin bir deprem kataloğu oluşturulmuştur. Ayrıca tüm İstanbul genelindeki boru hatlarının düğüm noktalarıyla belirli alt parçalarının hangi zemin

cinsinde kaldığını belirlemek amacıyla bir algoritma geliştirilmiş ve nihai olarak yaklaşık 400×600 metrelik Vs30 kayma hızlarını bildiğimiz hücreler kullanılmıştır. Tüm İstanbul genelinde verinin çok büyük olması sebebiyle özellikle boru alt parçalarının hangi zemin cinsinde kaldığının belirlenmesi için basit bir sistem üzerinde algoritma geliştirilmiş ve bu algoritma hasar sayılarını hesaplayan hasar bağıntılarını da probleme katarak, Alibeyköy Barajının çıkışındaki Ø1000 mm ve Ø2200 mm çapındaki iki farklı içmesuyu hattı üzerinde denenmiştir.

Tez çalışmasında daha sonra mikro ölçekte başarı sağlayan algoritma kullanılarak, İstanbul genelindeki içmesuyu isale hatlarında yukarıda bahsi geçen hesapları ve haritaları oluşturmak için MATLAB dilinde bir yazılım hazırlanmış ve elde edilen bilgiler üç farklı risk seviyesi için renkli haritalar üzerine aktarılmıştır. Geliştirilen bu yöntem ile İstanbul içmesuyu sistemi için uygulama yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. İstanbul'da ve civarında meydana gelmesi beklenen depremler için oluşturulan deprem senaryolarına göre Ø300mm çapı ve üzerindeki bütün içmesuyu isale hatları için önerilen olasılıksal yöntem ile boru hatlarında oluşabilecek hasar sayıları ve yerleri belirlenmiştir.

Deprem hasar haritaları incelendiğinde tüm isale hatları için hasar sayılarının risk seviyesine göre A'dan C risk seviyesine doğru arttığı görülmüştür. Beklendiği üzere en büyük hasar sayıları C risk seviyesine göre yapılan hesaplamalarda ortaya çıkmıştır. Genel olarak İstanbul'daki isale hatlarının olası depremler karşısında alabileceği hasarların kısıtlı olacağı görülmektedir. En yüksek risk seviyesi olan C risk seviyesine göre en büyük hasar değeri km başına 0.52 ile 0.62 adet aralığında hasar alan isale hattı uzunluğu 11.6 km'dir. Bu uzunluk tüm isale hattı uzunluğunun sadece %0.4'üne tekabül etmektedir. Hasar sayısı km başına 0.40 adet üzerinde olan isale hattı toplam isale hattının %3'üne tekabül etmektedir. Hasar sayısı km başına 0.30 adet üzerinde olan isale hattı ise toplam isale hattının %8.7'sine tekabül etmektedir. Toplam isale hattı uzunluğu 3100 kilometrenin üzerindedir. Tez çalışmasında dikkat çeken diğer bir nokta ise beton, font, HDPE, CTP gibi gevrek malzemelerden oluşan boru hatlarında, esnek olarak kabul ettiğimiz çelik ve düktil font borulardan oluşan boru hatlarına göre daha çok hasar almasıdır.

SEISMIC RISK OF WATER MAINS : METHOD DEVELOPMENT AND APPLICATION TO ISTANBUL

SUMMARY

Strong seismic events damage the built environment that includes also the lifeline systems. Having an earthquake resistant infrastructure system is crucial. One of the most important infrastructures needed in the complex aftermath of a strong earthquake is the water mains that supply potable water to the citizens. Even if the houses are inhabitable after the event, the lack of water jeopardizes the recovery process.

Water main networks are complex structures since they consist of several pipeline systems interconnected to each other and to critical facilities such as dams, water treatment facilities or to water storages. Furthermore, the pipelines may be built by using various material types and connection methods. One of the most important challenges, of course, stems from the fact that these structures are mostly underground constructions, not easily reached and not maintained several decades in most of the cases.

Damage and seismic risk estimation of such complex systems is quite difficult due to the main reasons listed above. In this thesis, a probabilistic approach is proposed for estimating the seismic risk on water main networks. The method is based on the PEER (Pacific Earthquake Research Center) probabilistic framework and involves the use of a stochastic earthquake catalogue, an inventory of pipelines, and high resolution GIS data. The PEER method is generally used for earthquake risk calculations of superstructure, applications to the infrastructure especially for buried pipelines are very rare.

The first step of the approach is to place the layer of pipelines over the layer of geocells in GIS environment. The geocells contain soil data for a high-resolution field, such as 0.005×0.005 degrees as used in this study. Firstly the algorithm is developed on a small sample system and then it is applied for the whole water main networks in İstanbul. This process results in a very high number of pipeline pieces. The second step is to define a stochastic earthquake catalogue, preferably of 10K years long. The analyses then continue running pipeline damage vulnerability functions for every single event in the catalogue as well as for every pipeline piece. This analysis is challenging not only in terms of time of the analysis but also in terms of the available memory usage in the computers. In the software prepared for this study, several optimizations and a parallel computation approach had to be developed. The analyses conducted in 4 computers in parallel and resulted in 4 to 5 days of process for the whole İstanbul.

After the analyses are completed, an annual seismic risk curve is created for every pipeline piece. This curve presents the damage per kilometer versus the probability of exceedance annually. It should be noted that this is a Poisson process which means

that the results are time-independent (i.e. a recent major seismic event would not affect the annual probability of exceedance). Obtaining annual seismic risk curves allows the user to then translate the curve into expected damages for a given return period or for a level of probability of exceedance in certain years. For instance, once the proposed analyses are completed, the user can extract the damage per kilometer for an earthquake level of 475 years return period, or for 2475 etc. As opposed to most of the existing studies, this approach allows the decision maker to be able to check the spatial distribution of the expected damages for varying seismic levels. In this study three different earthquake risk levels for damage estimation are taken into consideration:

A risk level; 50% probability of exceedance in 50 years for small earthquakes (this corresponds to return period of 75 years)

B risk level; 10% probability of exceedance in 50 years for big earthquakes (this corresponds to return period of 475 years)

C risk level; 2% probability of exceedance in 50 years for very big earthquakes (this corresponds to return period of 2475 years)

The risk on the buried pipelines is often given with the risk metric of repair-per-km. The risk assessment on the pipelines are made for whole İstanbul for three risk levels. The results for repair rates of buried water pipelines are colored along the pipelines and shown on maps. By using the holistic approach presented here, it was possible to present the expected damage levels graphically for the selected seismic level. The method is successfully applied to the entire water system of İstanbul and can be applied to similar complex water main networks in another places under seismic threat.

The main difference of the approach proposed for seismic risk of buried pipelines in this thesis from the previous JICA study for İstanbul is the probabilistic representation of the seismic risk, as opposed to the deterministic one, as well as the ability of the method to allocate various vulnerability functions within logic trees. The HAZUS approach, for example, similar to the JICA approach, uses a single set of pipeline vulnerability functions reducing the method to a deterministic one in the vulnerability part.

When the earthquake damage maps are examined, it is seen that the number of damages for all water main networks increased from A risk level to C risk level. As expected, the greatest number of damage occurred in calculations based on the C risk level.

In general, it is seen that the damages for water main networks in İstanbul that can occur in case of the possible earthquakes will be limited. According to the highest risk level C risk level for damages, the length of water main networks which have the highest repair rate value interval 0.52-0.62 damage/per km is 11.6 km. This length corresponds to only 0.4% of the entire length of the water main networks taken into consideration in this study. The length of water main networks which have the repair rate value over 0.40 corresponds to only 3% of the entire length of the water main networks. The length of water main networks which have the repair rate value over 0.30 corresponds to only 8.7% of the entire length of the water main networks. The total length of water main networks in İstanbul is over 3100 kilometers.

Another important point in the thesis study is that the pipelines, which are made of brittle materials such as concrete, font, HDPE and CTP, take more damages than the

pipelines which are made of steel and ductile pipes. Ductile pipes have better performance than brittle ones against earthquakes. It is an expected situation and similar results are reached in the studies done for damage estimations for buried pipelines worldwide.





1. GİRİŞ

Dünya üzerinde insanların içmesuyu kaynaklarına ulaşımı büyük önem arz etmektedir. Yaşamın devam etmesi ve medeniyetin gelişmesi için su, alternatifi olmayan bir doğal kaynaktır. Büyük çoğunluğu şehirlerde yaşayan topluma suyu ulaştırmak yoğun nüfusa sahip yerlerde daha karmaşık bir hal almaktadır. Türkiye'nin en büyük kenti olan İstanbul'da konutlara su temini ana isale hatları ile yapılmakta olup olağan şartlarda bile zorluklar içermektedir. Olağanüstü bir durum olan deprem halinde her ne kadar ilk etapta can kaybının önlenmesi birinci derecede önemli olmakla birlikte, can kaybıyla doğrudan ilişkili olan hayat yolları dediğimiz karayolları, elektrik, doğalgaz, su vb. hatların da deprem sonrası vakit kaybetmeksizin kullanılması hayati önem arz etmektedir. Özellikle deprem sonrasında şehre su verilmesi hayatın devamı, temizlik, salgın hastalıkların önlenmesi ve endüstrinin üretime devam etmesi için vazgeçilmez bir unsurdur. Bu bağlamda tez çalışmasında isale hatlarındaki deprem riski mümkün olduğunca gerçeğe yakın bir biçimde belirlenmesi öngörülmektedir. Bu kapsamda içmesuyu isale hatlarının deprem riskinin belirlenmesinde genelde bu tür çalışmalarda kullanılan deterministik yöntemin aksine, olasılıksal bir yöntem geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, öncelikle İstanbul'da yakın bir gelecekte meydana gelmesi beklenen depreme göre su dağıtım sisteminde olası hasar sayıları ve yerleri belirlenecektir. Bu bilgiler şehri yöneten yetkililerle paylaşılarak şehre su verilmesi için gerekli tedbirleri almaları sağlanacak ve kriz esnasında yaşanacak olan kargaşa minimuma indirilerek, bu krizin doğru yönetilmesinin önü açılacaktır. Böylece onarım çalışmaları hızlı ve etkin bir biçimde yapılarak hasarın ekonomik maliyeti azaltılacak ve deprem sonrası halkın su ihtiyacı sağlanarak en azından bu konuda morali yükseltilecektir.

1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

Yukarda açıklanan nedenlere dayanılarak, sunulan tez çalışmasında kırılma eğrilerini kullanarak İstanbul'daki isale hatlarında deprem riski belirlenecektir. Bu

Çalışmanın kapsamı, temel olarak iki başlıktan oluşur. Bu başlıklardan birincisi olasılıksal deprem tehlike ve risk hesap yöntemlerinin dağılım boru hatlarına uygulanması için yöntem geliştirilmesi, ikincisi ise geliştirilen yöntemin İstanbul'a uygulanarak isale hattı risk haritalarının çıkartılmasıdır.

Dünya üzerinde yapılan çalışmalarda altyapı sistemlerinin deprem riskinin belirlenmesinde kırılma eğrileri, istenen noktadaki en büyük yer hızı PGV (Peak Ground Velocity), kalıcı yer deformasyonu PERGD(Permanent Ground Deformation) gibi deprem parametrelerine karşın hasar sayısını veren bağıntılar olarak ifade edilmektedir. Genel olarak yapı tasarımında kullanılan yer ivmesi değerleri ise, toprağı gömülü hatların hasar davranışı ile iyi korele edilebilen bir yer hareketi parametresi değildir.

Çalışmada öncelikle literatürde önerilen hasar-yer hareketi bağıntıları incelenerek ve İstanbul'da meydana gelmesi beklenen deprem verilerine ve senaryolarına göre İstanbul'un içmesuyu isale hattı üzerinde uygulamalar yapılacaktır. Böylece onarım çalışmalarını hızlı ve etkin bir biçimde yapabilmek için, İstanbul için hayati öneme sahip içmesuyu hatlarının deprem sırasında olası hasar sayıları ve yerleri belirlenecektir. Ayrıca önerilen bu bağıntılar tartışılarak tez çalışmasında isale hatlarında oluşabilecek hasarlar ile ilgili tek bağıntıya bağılı kalmak yerine, birçok farklı bağıntıyı dikkate alan bir yöntem geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Daha önce meydana gelmiş depremler dikkate alındığında gömülü boruların uğradığı sismik hasarlarla ilgili birçok bilgiye ulaşmak mümkündür. Bu incelemeler bize kullanışlı bilgiler sunar. Geçmiş olaylardan edinilen bu tip bilgiler istatistiksel olarak hasar tahmini yapmayı sağlar, olası deprem ve hasarları tahmininde bu bilgiler kullanılabilir.

Sismik tehlikeler, sismik dalga yayılımı riski ve kalıcı yer deformasyonu deformasyonu (Permanent Ground Deformation, PERGD) riski diye iki grupta sınıflandırılabilir. PERGD hasarları tipik olarak belli bir alanda meydana gelirken sismik dalga yayılımı hasarları genellikle daha geniş alanda fakat daha az hasar oranıyla meydana gelmektedirler.

Deprem dalga yayılımı tehlikeleri yayılan dalga tesirleri dolayısıyla, geçici gerilme ve kırılma (eğilme) olarak karakterize edilirler. Bunlar deprem dalgalarının geçişi esnasında oluşan, zeminin dinamik tepkisidir. Zeminde PERGD (yer kayması, yanal

yayılmadan doğan sıvılaşma ve depremesel oturmalar gibi) tehlikeleri, PERGD bölgesinin mekansal boyutu ve miktarı, geometri tarafından karakterize edilirler. Fay kaynaklı PERGD riskleri ise kalıcı yatay ve dikey faydaki denge meydana getirme ve boru-fay kesişme açısı ile tanımlanır.

Boru hatlarında oluşan zararlar ile farklı deprem parametreleri arasında coğrafi etkileşimi tespit edebilmek için değişik araştırmacılar tarafından hasar ilişkileri ve metodlar geliştirilmiştir. Bu ilişkiler temel olarak ampiriktir ve geçmiş depremlerden elde edilen veriler ışığında geliştirilmiştir. Son yıllarda gömülü boru sistemleri kuvvetli depremlerden önemli hasarlar almışlardır.

Boru hasarları genellikle onarım oranları veya hasar oranları ile belirtilir. Boru onarım oranları bir bölgedeki boru onarım sayısının aynı bölgedeki boru hattı uzunluğuna bölünmesiyle elde edilir.

Daha önce meydana gelmiş depremler incelendiğinde gömülü boru hatlarında sismik dalga yayılımı ve kalıcı yer deformasyonlarından dolayı çeşitli hasarlar oluşturduğu gözlemlenmiştir. Geçmişte yapılan pek çok çalışma dalga yayılımı ve kalıcı deformasyonlar etkisiyle meydana gelen boru hattı hasarları ile çeşitli sismik parametreler arasında ilişkilerin varlığını incelemiştir. Özellikle Northridge depreminden sonra elde edilen veriler boru hasarları ile sismik parametreler arasındaki ilişkilerin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Örneğin Mercalli Şiddeti (MMI), en büyük yer hızı (PGV), en büyük yer ivmesi (PGA), kalıcı yer deformasyonu (PERGD), spektral ivme, spektral hız, şiddet spektrumu ve Arias şiddeti bu sismik parametrelerdendir.

Gömülü boru hattı sistemlerinde oluşabilecek hasarlarda; boru cinsi, boru çapı, ek türleri, korozyon ve boru yaşı gibi faktörler önemli rol oynamaktadır. Su dağıtım sistemlerinde çeşitli boru tipleri kullanılmaktadır. Bunların günümüze kadar kullanılan en yaygın türleri; düktil demir ve dökme demir (font) borular, çelik borular, plastik borular (PVC) ve asbest (AÇB) borulardır. Boru hatlarının yapıldığı malzeme ve boruların ekleniş şekli deprem esnasındaki performanslarını etkilemektedir.

En genel manasıyla boru hatları düktil ve kırılğan olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür. Örneğin düktil demir ve günümüzdeki çelik borular düktil borular grubuna dahilken, font ve asbestli çimento (AÇB) borular kırılğan borular grubuna

girmektedir. HAZUS (FEMA 1999) düktil borular için onarım oranı değerlerinin kırılğan borular için olanların üçte biri olarak alınmasını önermektedir.

Boruların ekleniş şekli deprem esnasındaki dayanımlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Geçmiş depremlerde rijit bağlantılı sürekli boruların (örneğin kaynaklı çelik borular) diğer metotlar kullanılarak yapılan bağlantılardan çok daha iyi performans sergilediği gözlenmiştir. Bununla birlikte örneğin vida eklemeli eski çelik borular korozyondan dolayı kötü performans gösterebilmektedir. Bağlantıların ek parçalarla yapıldığı boru sistemlerinde ise, boru birleşimleri esnek yada güçsüz bağlantılar içermektedir. Bağlantıların olası bir depremde güçsüz kalmalarının ise üç farklı sebebi vardır. Bunlar; borulara gelen gerilme ve eğilme deformasyonlarının artması, düğüm noktalarındaki dönmelerin ya da çekme gerilmelerinin artması ve ek yerlerindeki imalat detaylarına ait eksikliklerdir.

1.2 Tezin Özgün Değeri

Tezin özgün değeri, öncelikle farklı modellerin kullanılarak İstanbul gibi deprem tehlikesinin yüksek ve isale hattı şebekesinin karmaşık olduğu bir bölgede isale hattı üzerinde olasılıksal risk analizi yapılacak olmasıdır. Bu derece büyük ve karmaşık, bir o kadar da deprem tehlikesinin yüksek olduğu bir bölgede ve özellikle İstanbul'da bu tip bir çalışma henüz yapılmamıştır.

JICA (2002) tarafından yapılan çalışmada ise kısıtlı modeller kullanılmış, sonuçlar da bölge bölge verilmiş, ilgili isale hattına yönelik olarak verilmemiştir. Dolayısıyla doktora çalışmasında elde edilen sonuçlar hem yakın bir gelecekte deprem beklenen İstanbul ili için yetkililere hayati önem taşıyan bilgiler sunmakta hem de isale hatlarındaki deprem riskinin minimuma indirilmesi için yol gösterici olmaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Literatür Özeti

Dünya üzerinde hayat yolları dediğimiz altyapı tesislerinin deprem karşısındaki davranışlarının inceleyen bir çok çalışma yapılmıştır. Özellikle gömülü boru hatlarının (gaz, içmesuyu, atıksu vb.) olası depremlerden dolayı alabilecekleri hasarlar araştırmacıların ilgi konusu olmuştur. Bu konuda özellikle Türkiye’de yapılan araştırmalar oldukça kısıtlı olup, literatürde daha önce yapılan çalışmaların bazıları aşağıda kısaca özetlenmiştir:

O’rourke ve Palmer (1996) tarafından yapılan çalışmada Güney Kaliforniya gaz şirketinin işlettiği çelik iletim ve dağıtım boru hatlarının deprem performansı gözden geçirilmiştir. Sismik kayıtlar $M_{gn} > 5.8$ olan ve deprem odağı iletim hattı bölgesi içinde olan 11 büyük depremi içermektedir. En hassas boru tiplerine, arıza mekanizmalarına, kırık istatistiklerine, arızaya sebep olan eşik sismik şiddete ve PERGD tarafından oluşan hasara ait bir değerlendirme yapılmıştır. Biraraya getirilen database geniş, kompleks bir gaz iletim hattındaki sismik tepkinin en kapsamlı ve detaylı kayıtlardan birini oluşturmaktadır.

Wang ve diğ. (1998) tarafından yapılan çalışmada GIS teknolojisi yardımıyla bir su dağıtım sisteminin sismik performansını değerlendiren bir yöntem sunulmuştur. Önerilen yöntemde yer sarsıntısından ve zemin sıvılaşmasından oluşan boru hasarı ayrı ayrı hesaplanmıştır. İki farklı boru hasar tipi, kırık ve sızıntı olarak analize dahil edilmiştir. Ayrıca su dağıtım sisteminin işletilebilirliği, Monte Carlo simülasyonundan kurulmuş olan bağlanabilirlik ve sismik hasar görmüş su şebekesinin akış analizinden, elde edilmiştir. Örnek çalışma olarak, Memphis bölgesindeki su iletim sisteminin sismik performansı önerilen yöntem kullanılarak değerlendirilmiştir.

Kameda (2000) tarafından yapılan çalışmada mühendislik harikası olan deprem riski altındaki hayat yollarının idaresi tartışılmıştır. Hayat yollarının deprem mühendisliği ile ilgili spesifik özellikleri ve tarihi bir özeti verildikten sonra, konu ile ilgili

mühendislik uygulamaları sunulmuştur. Bunlar sismik kodun geliştirilmesi, özellikle Kobe 1995 ve daha sonra diğer şehirleri vuran depremlerden alınan dersler ve hayat yolu koruma teknolojilerinin özetlenmesidir. Bu çalışmada iki ana konu işlenmiştir. İlk olarak sistemler arası etkileşim altında sismik güvenilirlik genel bir tertip ve analitik metodolojiyle beraber tartışılmıştır. Daha sonra hayat yolu performans kriterleri işlemleri kısmen ihtiyaç duyulan önemli uygulama miktarlarının belirlenmesine özel bir önem verilerek tartışılmıştır. Genel bir çatı oluşturulduktan sonra iki örnek verilmiştir; birincisi Kobe'deki su müşterisinin tepkisi, ikincisi de Kaliforniya'dan sismik iyileştirme için kaynak bulunmasıdır. Nihai olarak deprem mühendisliğinin gelecekteki düzenlemeleri ve bunun hayat yolu deprem mühendisliği ilişkisi tarif edilmiştir. Kriz idaresi, yapısal ve geoteknik olarak hasar hafifletmenin ve sürdürülebilir gelişmenin disiplinler arası gelişmeler ışığında integre edilebileceği bir üçüncü kuşak deprem mühendisliği anlayışı oluşturulması gerekliliği üstünde durulmuştur. Bazı disiplinler arası araştırma inisiyatif örnekleri verilmiştir.

Porras ve Schroeder (2003) tarafından yapılan çalışmada Mexico City'deki ana su sisteminde depremlerden dolayı oluşabilecek hasarın hesaplanması için ampirik bir bağıntı geliştirilmiştir. Arazi etkilerinin gözlemlerini de içeren Meksika vadisinin yer hareketini ölçme kabiliyetinin önemli ölçüde gelişmesinin avantajını da kullanarak, 1985 Michoacan depreminde oluşan hasar yeniden analiz edilmiştir. Önerilen bağıntının gelecekteki depremlerin hasar ve tamir bedellerinin hesaplanmasında iyi bir araç olduğu düşünülmektedir. Bir ön mikrobölgeleme çalışması, daha iyi tasarım uygulamaları ile birlikte, boru hatlarının performansını arttıracaktır. Mikrobölgeleme çalışmaları su sisteminin tekrar işletmeye alınmasında yardımcı olacaktır.

Shin ve Chang (2006) tarafından yapılan çalışmada 1999 Chi-Chi Taiwan depreminden sonra su iletim hatları, su arıtma tesisleri, rezervuarları ve su depolarını da içeren su dağıtım sistemlerine önemli ölçüde hasarlar rapor edilmiştir. Burada ilk önce hasar tesbiti özetlenmiş yer altı boru hatları için sismik kırılma analizinin sonuçları sunulmuştur. Analiz ve değerlendirme için su iletim hatlarının inşaat projeleri ve felaket anındaki 11 kasaba ve şehrin tamir iş emirleri dijitalleştirilerek GIS sistemine aktarılmıştır. GIS sisteminin yardımıyla çelik, dökme demir, düktil demir, PE ve diğerlerinin arasında PVC boruların %86'yı kapsadığı anlaşılmıştır. Bu yüzden bu çalışmada PVC boruların kırılma analizi üzerinde durulmuştur. 65 mm

nominal çapa veya daha büyük çapa sahip PVC su boruları hasarları ile deprem şiddeti parametrelerinden PGA ve PGV gibi parametreleri arasındaki kırılganlık ilişkilerini elde etmek için üç farklı yöntem uygulanmıştır. Sonuçlar diğer ülkelerdeki sonuçlar ile kar ıla tırılmı tır. Ampirik denklemlerin kullanıldığı HAZUS(FEMA tarafından geliştirilen deprem hasar hesap yazılımı) ile bu çalışmada elde edilen sonuçlar arasında önemli bir farklılık bulunmamaktadır.

Pitilakis ve diğ. (2006) tarafından yapılan çalışmada ulaşım altyapısı ile (liman, havalimanı ve demiryolu sistemi) ve faydalı sistemlerin (su, atıksu, gaz sistemi, telekomünikasyon, elektrik gücü) sismik risk değerlendirmesi için RISK-UE metodolojisini sunulmaktadır. Önerilen metodoloji deprem öncesi ve sonrası öncelik belirleme politikalarını etkili bir hafifletme stratejisi ve uniform bazda hayat yolunun hasar sonuçlarının azaltılmasını sa lar. Güvenilir sismik tehlike değerlendirmesi ile beraber risk altındaki her bir eleman için detaylı bir envanter çalışmasıyla beraber, uygun kırılganlık modellerinin seçilmesi, hayat yolu hasar ve kayıplarının global değeri ve ekonomik itkisinin hesabı önerilen metodolojisinin ana adımlarıdır. Önerilen metodolojide ana amaçlar arasında, sismik senaryoların oluşturulması, Avrupadaki fayda sistemlerinin ve hayat yollarının farklı özeliklerinin düşünülmesi ve kırılganlık eğrilerinin önerilmesi bulunmaktadır. Metodolojide kullanılan ve uygun sonuçlar çıkan farklı modüller Selanik, Katanya, Nice, B kre , Sofya, Barcelona, Manastır gibi yedi farklı  ehre uygulanmıştır. Bu çalışmada birkaç temsili örnek sunularak, metodolojiyi göstermek ve etkinliğini kanıtlamak amaçlanmıştır.

Shibata (2006)  alı masında  ehir sistemlerinde olabilecek deprem hasarının tahmin metodları, 2004 Japonya Miyagi Eyaleti tarafından yapılan deprem hasar hesabı baz alınarak sorgulanmıştır. Deprem  evresinin değerlendirilmesi, senaryo depremlerin seçilmesi ve zemin koşullarını dikkate alan yer hareketi şiddetinin hesabı tartı ılmı tır. Bu çalışmada  ehrin tesislerine ve sistemlerine olabilecek hasarların tahmini üzerinde durulmuştur. Özellikle binaların hasar g rebilirli i üzerine odaklanılmıştır. De i ik bina hasarlarını değerlendiren kırılganlık eğrileri araştırılmıştır. Şehir altyapı sistemlerinde deprem felaketi için alınan önlemlerle ilişkili olarak deprem hasar tahmininin önemli bir rol oynadığı g r lm  tur.

Osorio ve diğ. (2007) tarafından yapılan çalışmada altyapı sistemlerinin birbiriyle etkileşimi de dikkate alınarak hasar g rebilirlikleri araştırılmıştır. Geçen on senelik

süre zarfında elektrik, su dağıtımı, ulaşım ve telekomünikasyon gibi kritik altyapı sistemleri, kayda değer doğal tehlikeler ve yanlış çalışmaya yol açan insan hatalarından dolayı baskı altında tutulmaktadır. Depremler, karartma ve uydu göçmeleri Amerikan ekonomisinin sürekliliğini tehdit eden, büyüyen altyapı sistemlerinin hasar görebileceğinin kanıtıdır. Bu sistemlere kötü amaçlı müdahaleler de diğer önemli bir konudur. Bu çalışma ana hatlarıyla, sismik hareketlerin gerçek ve birbirine bağlı altyapı şebekeleri üzerinde oluşan etkilerini araştırmaktadır. Bakımdan kaynaklı yanlış çalışma ve koordineli saldırılar da bu çalışmaya tamamlayıcı olarak katılmıştır. Altyapı şebekeleri arasında birçok bağıllık derecesi keşfedilmiştir. Birbirine bağlı olarak işletilen şebekelere ait kırılabilirlik eğrileri farklı dayanım çiftlerinin etkisini göstermek için sunulmuştur. Şebekelerin deprem hareketleri karşısındaki performanslarının karakterizasyonu, hasarların olumsuz etkilerinin azaltılması için optimize edilmiştir. Altyapı şebekeleri içinde yapılan stratejik müdahalelerin, birbirine bağlı iletim ve dağıtım hatlarını daha dayanımlı hale getirdiği görülmüştür.

Türk araştırmacıların yaptığı az sayıdaki araştırmalardan biri olan Toprak ve Taşkın (2007) tarafından yapılan çalışmada, depremlerden dolayı mevcut boru hattı sistemi için hasar ilişkileri araştırılmış ve Denizli'nin içme suyu sistemi değerlendirilmiştir. Yakın zamanda olan depremlerden öğrendiğimiz en önemli ders yeterli kaynaklar ve acil tamirat ile restorasyon yapılması için yedek sistemleri de içeren hayat yolları konusunda deprem planlaması acil bir ihtiyaçtır. Deprem planlamasında fiziksel kayıpların hesabı deprem olmadan önce yapılmalıdır. Hayat yollarında yer altı boru hatları hasarının oluşturacağı kayıpların hesabı kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada son gelişmeler ışığında sadece yer sarsıntısı için mevcut içmesuyu boru hatlarının hasar ilişkileri gözden geçirilmiş ve Denizli'nin içme suyu sistemi için değerlendirme yapılmıştır. İki farklı fay kırıkları tarafından oluşan(Pamukkale ve Akhan-Karakova fayları) büyüklüğü M6 ve M7 arasında değişen dört deprem, büyüklüğüne göre 8 farklı deprem senaryosu uygulanmıştır. Analizlerde GIS sisteminden de faydalanılmıştır. Birçok ve farklı sayıdaki senaryo depremler farklı yer sarsıntısı seviyelerinde boru hattı hasar ilişki bağıntılarını karşılaştırma şansı vermiştir. Denizli'nin su sistemi için bu hasar hesapları her bir hasar bağıntısı ve deprem senaryosu için yapılmıştır. Senaryo deprem ve hasar bağıntılarının etkileri karşılaştırılmış ve tartışılmıştır. Sonuçlar gevrek ve düktil bütün boru hatları için

sunulmuştur. Belli bir deprem senaryosu altında hasar bağıntılarından gevrek borular için elde edilen hasar sayılarının, esnek borular için elde edilen hasar sayılarından daha yüksek olduğu gösterilmiştir.

Akkar ve Bommer (2007) tarafından yapılan çalışmada en büyük yer hızı (PGV) hesabı için öngörü denklemleri üzerinde çalışılmıştır. En büyük yer hızının deprem mühendisliğinde birçok uygulaması vardır. Ancak en büyük yer ivmesi ve tepki spektral ordinatları hesabındaki çok sayıdaki denklemlerle karşılaştırıldığında en büyük yer hızı için göreceli olarak az sayıda öngörü denklemi bulunmaktadır. PGV için bu eksiklik, PGV'nin yaygın bir şekilde %5 sönümlü 1 saniyedeki tepki spektral ordinatının ölçeklenmesiyle elde edilmesine yol açmıştır. Bu ihtiyaçtan dolayı bu çalışmada, Avrupa ve Ortadoğudaki sismik olarak aktif bölgelerdeki kuvvetli yer hareketi database'ini kullanarak PGV nin hesaplanması için denklemler üretilmiştir. Toplam 532 kuvvetli yer hareketi ivme ölçerlerin 100 kilometreye kadar uzaklıkta ve moment büyüklüğü 5.5 ile 7.6 arasında değişen 131 depremin değerleri kullanılarak, hem geniş hem de geometrik ortalama için yatay bileşenleri veren denklemler elde edilmiştir. Yapılan öngörülerin daha önceki Avrupa denklemleri ile uyumlu olduğu, ayrıca yer hareketindeki sistematik farklılıkların, Güney Avrupa, Kuzey Batı Amerika ve sığ karasal deprenselliğe sahip aktif alanlarda elde edilen kuvvetli yer hareketi datasının ortak kullanılmasının sakınca olmayacak kadar küçük olmasından dolayı, bu denklemler tavsiye edilerek NGA projesiyle de uyumlu olduğu gösterilmiştir.

Adachi ve Elingwood (2008) tarafından yapılan çalışmada su, elektrik, doğalgaz ve ulaşım sistemleri gibi altyapı sistemlerinin modern toplumların düzgün olarak hayatlarını sürdürmeleri için gerekliliği tartışılmıştır. Kendi aralarında birbiriyle bağlı olmalarından dolayı bir altyapı sistemi depremden hasar gördüğü zaman diğerlerini de etkileyerek düzgün çalışmamasına sebep olabilir. Daha öncede altyapı sistemlerinin depreme dayanıklılıkların değerlendirilme çalışmaları yapılmış ancak bazılarında karşılıklı etkileşimlerden dolayı sonuca ulaşamamıştır. Bu çalışmada, depremden oluşmuş şehir su sistemi hasarı değerlendirilmesiyle en kısa yol algoritması ve hata ağacı analizini kullanarak destekleyici elektrik güç sistemi hasarının oluşturduğu etki de hesaba katılmıştır. Çalışmada bileşenlerin kırılabilirliği ve sismik şiddetin şebeke bütünlüğü üzerindeki belirsizliğinin etkisi gözden geçirilmiştir. Su ve destekleyici elektrik güç çalışmasını ve etkileşiminin önemini

gösteren bir örnek çalışma Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Shellby County TA şehri için yapılmıştır.

Campbell ve Bozorgnia (2008) tarafından yapılan çalışmada 0.01 sn ve 10 sn arasında değişen peryotlar için PGV, PGA, PGD ve %5 sönümlü lineer elastik tepki spektrumları için yeni bir ampirik yer hareketi modeli sunulmuştur. Bu model PEER-NGA projesinin bir parçası olarak geliştirilmiştir. Aktif tektonik rejimlerdeki sığ deprem ana şoklarından bağımsız-alan yer hareketlerini hesaplamak için uygunsuz olduğuna inanılan deprem kayıtları dışarıda bırakılarak, PEER-NGA veritabanının bir alt kümesi kullanılmıştır. Uzaklıkları 0-200 km arasında değişen ve aletsel büyüklükleri 4 ten 7.5-8.5 (fay mekanizmasına bağlı olarak) arasındaki değerler için geçerli olduğu düşünülen, yer hareketinin hem medyan hem de geometrik ortalamanın standard deviasyonunun yatay bileşeni için ilişkiler geliştirilmiştir. Model açıkça büyüklük saturasyonu, büyüklüğe bağlı azaltma, fayın tipi, kırık derinliği, asılan duvar geometrisi, doğrusal olmayan zemin tepkisi, 3D havza tepkisi ve olaylar arası-olaylar içi değişkenliğin etkilerini kapsamaktadır. Zeminin doğrusal olmama durumu, büyüklükten ziyade referans kaya zemindeki PGA'nin büyüklüğüne dayanan olaylar arası standard deviasyona yol açmaktadır. Bu durum, yüksek titreşim potansiyeli olan yerlerdeki zeminlerin şansa bağlı belirsizliklerinin azalmasına yol açmaktadır.

Boore ve Atkinson (2008) tarafından yapılan çalışmada deprem büyüklüğü, zeminden kaynağa olan uzaklık, lokal ortalama kayma hızı ve fay tipinin fonksiyonu olarak yer hareketlerinin yatay bileşenleri için yer hareketi tahmin denklemleri incelenmiştir. İncelenen denklemler 0.01 ve 10 saniye arasındaki peryotlarda pik yer ivmesi(PGA) pik yer hızı ve %5 sönümlü pseudo mutlak spectrası(PSA) içindir. Bunlar PEER-NGA tarafından toplanan geniş bir kuvvetli yer hareketi database nin ampirik regresyonu ile elde edilmiştir. 1 saniyeden den küçük peryotlar için uzaklık sınırı 0 dan 400 km ye kadar değişen 58 ana şoktan 1574 kayıt kullanılmıştır (Peryot arttıkça eldeki data sayısı azalmaktadır). Önde gelen tahmin değişkenleri moment büyüklüğü (Magn), fay düzlemine olan en yakın yatay uzaklık(Rjb), yüzeyin 30. metresindeki ortalama zaman kayma dalga hızı (Vs30) olarak ifade edilir. Bu denklemler $R_{jb} < 200$ km, $V_{s30} = 180-1300$ m/s, $M_{agn} = 5-8$ için uygulanabilir.

Adachi (2009) tarafından yapılan çalışmada şiddetli bir deprem durumunda dağınık altyapı sistemlerinin işletilebilirliğinin tahmini araştırılmıştır. Bu tahmin

alışmasında sistemin çalışması ve işletmesi üzerindeki sismik büyüklüklerin üzerinde uzaysal korelasyonunda etkisinin dikkate alınması gerekir. Yerel zemin koşulları ve sismik dalga ilerlemesi ile ilgili kısıtlı bilgi bu tip tahminlerin yapılmasını güçleştirir ve altyapı sistemlerinin performansı üzerindeki uzaysal korelasyonlu sismik şiddetlerin ve taleplerin etkileri önceki çalışmalarda nadiren adres gösterilmiştir. Bu makalede altyapı şebeke sisteminin çalışabilirliği, sismik şiddet ve talepteki uzaysal korelasyonu dikkate alan bir model ile değerlendirilmiştir. Çalışmada basit kapalı alt ve üst sınır bileşenlerinin arıza olasılıklarına yakınlıktır, depremde hasar görmüş sistemdeki bileşenlerin fonksiyonelliği ve şebekenin işletilebilirliği sunulmuş ve mühendislik karar verme sürecine faydası değerlendirilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Tennessee Shelby County şehri su sisteminin işletilebilirliğine ait bir değerlendirme yapılmıştır.

Adachi ve Elingwood (2010) tarafından yapılan çalışmada ise, bir mühendislik sisteminin hasar görülebilirlik değerlendirmesi yapılmıştır. Sismik talebin şiddeti yıllık olasılığın aşılması veya senaryo deprem şeklinde ifade edilebilir. Olasılığa bağlı bir tehlike analizi (Örneğin; 2475 yıl dönüş periyotuna sahip) birçok depremin birikimini temsil edebilir, fakat bir bölgedeki güçlü bir depremden oluşan sismik şiddetin uzaysal dağılımını doğru bir şekilde temsil etmeyebilir. Bu konu da onun büyük ölçekte dağılmış altyapı sistemine uygulanabilirliğini sorgular hale getirmektedir. Senaryo deprem uzaysal şiddeti doğru olarak modeller, ancak sismik risk ile ilgili miktarsal ölçü verememektedir. Bu alışma, probabilistik sismik tehlike analizini ve ona karşı gelen depremlerin kullanımını şebeke sisteminin hasar görülebilirlik değerlendirmesini baz alarak araştırmaktadır. Seri ve paralel dağıtılmış basit uzaysal modellerin araştırılmasını müteakip; ABD de orta sismisiteye sahip bir bölgede elektrik güç şebekesinin hasar görülebilirlik değerlendirmesi yapılmıştır. Bu durum da konuya ek bir görüş katmaktadır.

Azevedo ve diğ. (2010) tarafından yapılan çalışmada Portekiz Lizbon'daki hayat yolu sistemlerinin hasar görülebilirliklerinin tesbiti çalışması yapılmıştır. Bu alışma, Portekiz Sivil Savunma Otoritesinin acil durum planı ve sismik itkiyi değerlendiren bir araç geliştirmek isteyen teşebbüsünün önemli bir parçasıdır. Nihayi hedef olarak da karayolları, demiryolları, su dağıtım sistemleri, elektrik güç sistemlerini de kapsayan GIS sistemi üzerinde çalışan farklı hayat yolu sistemlerinin hasar hesabı için bir simülatör oluşturmaktır. Bu çalışmadan önce de hem tekil hem bütünleşik

hayat yolu sistemlerinin analiz metodolojisi ve sonuçları üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada ana sonuçlar üzerine odaklanılmış ve çoklu sistemin performansları arasındaki bazı bağımlılıklar gösterilmiştir. Çoklu sistemler arasındaki bazı analiz edilmiş konular ise:

- Kabul edilen sismik giriş ve formatının karşılaştırılması; büyüklük, episentral uzaklık, en büyük yer ivmesi, en büyük yer hızı , kalıcı yer deformasyonu
- Çıktı davranış karakteristiklerinin karşılaştırılması; yanlış çalışma olasılığı, hasar görmüş ekipmanın yüzdesi, farklı hasar durumlarının oluşma olasılığı
- Genel metodoloji ve kriterlerin yardımıyla birlikte farklı sistemlerinin kırılma eğrilerinin oluşturulması
- Farklı sistemlerinin performanslarının karşılaştırılması ve yanlış çalışmanın ana ortak sebeplerinin bulunması; bazı analiz edilmiş farklı sistemlerin çıktısı ve güvenilirliğin tartışılmasıdır.

Christodolou (2011) tarafından yapılan çalışmada ise, su dağıtım şebekelerinin idaresi için stratejiler tartışılmıştır. Şehir su dağıtım şebekelerinin bütüncül ve sürdürülebilir stratejiyle idare edilmesi iki önemli eşit ayaktan oluşmaktadır:

- 1) Yaşlı altyapının izlenmesi, tamiri ve değiştirilmesi
- 2) Şebekelerdeki bozulmanın modellenmesi ve proaktif olarak bileşenlerin hasar görülebilirliğinin değerlendirilmesi, olası arızalardan kaçınmak için önlemler alınmasını sağlamak için etkili araçlar geliştirilmesi

Sözkonusu makale şehir su dağıtım şebekelerinin idaresi için proaktif risk tabanlı bütüncül izlemeli stratejinin tasarlanması için bir çerçeve sunmaktadır. Sunulan çerçeve parametrik ve non-parametrik hayatta kalma analizi ile yapay sinir ağlarının kombinasyonuna dayanmaktadır. Bu çerçeve aynı zamanda boru şebekelerinin zaman-arıza ölçümlerinin hesaplanmasında fayda sağlamıştır.

Winkler ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmada güç doğalgaz ve içmesuyu sağlayan altyapı sistemlerinin güvenlik değerlendirmesi yapılmıştır. Bu çalışmalar öngörülme tehlikelere karşı halkın hazır olmasının tamamlayıcı bir parçasıdır. Elektrik yer altı istasyonlarını su pompa istasyonlarına ve doğalgaz kompresörlerine bağlayan arabirim şebekelerinin topolojik özellikleri araştırılmıştır. Bu bağlantıların operasyon ve durma durumlarında anahtar role sahip olmalarına rağmen literatürde

çok az dikkat çekilmiştir. Burada gerçekçi topolojiyi ve ideal bağlantı arabirimleriyle fiziksel kırılganlık modellerini birbirine bağlayan altyapı çiftleri için performans değerlendirme metodolojisi tanıştırılmaktadır. Arasında olma, kümeleme, verteks derecesi ve Öklit uzaklığı gibi özelliklere dayanan birbirinden ayrı arabirimler, Texas Harris County'deki rasgele ve kasırga olaylarından oluşan arızalar ve fayda sistemleri bağlanmasındaki rollerine göre değerlendirilmiştir. Diğer fayda düğüm noktaları ve elektrik yer altı istasyonları arasında Öklit uzaklığını minimize eden arabirim, rasgele arızalar arttıkça yavaş bir performans azalması göstermekte ve normal operasyon esnasında kısıtlı verimlilik ve kontrol edilebilirlikteki zorluklara rağmen, kasırga olayları altında alternatif arabirime göre büyük ölçüde profesyonelliğini korumaktadır. Hem olayların arka arkaya olması hem de uzaklık özelliklerini kullanan bir uygun hibrit arabirim, rasgele arızalara tolerans gösteren normal zamanda ve artan fırtına olayı kademelerinde de gereken performansı göstermiştir. Bu bulgular birimlerin sahiplerine ve işletmecilerine rutin operasyonları geliştirmek için kompleks sistemler karşındaki arabirim üzerine odaklanmış yeni, kullanımı kolay ve hala yeterli stratejileri sağlamakta ve aksaklığa yol açan olayları takiben oluşan geniş ve birbirine bağlı arızaların olasılığını azaltmaktadır.

Yoo ve diğ. (2013) tarafından yapılan çalışmada su dağıtım altyapılarının depremler karşısındaki modelin sistem sağlamlığı değerlendirilmiştir. Bu amaçla olası sismik senaryoları altında sistem bileşenlerinin rölatif önemini araştırmak için arka arkaya probabilistik sismik simülasyonlar yapılmıştır. Probabilistik simülasyonlar için Monte Carlo simülasyonu kullanılmıştır. Sismik hasarlar sistem işletilebilirliği, düğüm noktası işletilebilirliği ve su varlığı gibi sağlamlık indisleriyle verilmiştir. Önerilen metodoloji tarihi sismik bilgiyi kullanarak Güney Kore'deki gerçek bir şebekeye uygulanmıştır. Önerilen model, sistem dayanıklılığını güçlendirmek ve potansiyel hasarları minimize etmek için depreme karşı dayanıklı sistem tasarımında kullanılabilir.

Fragiadakis ve Christodolou (2014) tarafından yapılan çalışmada normal veya anormal koşullarda işletilen su dağıtım şebekelerinin sismik risk değerlendirmesi araştırılmıştır. Şebeke bileşenlerinin sismik yük altında hasar görebilirliğini ve sismik olmayan geçmiş hasar datasını birleştirerek su borusu hatlarının güvenilirliğinin değerlendirilmesi için bir metodoloji önerilmiştir. Şebeke boyunca günlük bazda oluşan hasar kayıtlarını kullanarak geçmiş datalar elde edilmiş ve

zamana bağılı hesaplanmış hayatta kalma oranlarını tasvir eden hayatta kalma eğrilerini üretmek için bu datalar kullanılmıştır. Şebeke bileşenlerinin hasar görebilirliği ALA(2001) kılavuz çizgilerinde önerilen yaklaşım ile değerlendirilmiştir. Sistem şebeke güvenilirliği Monte Carlo simülasyonu kullanılarak hesaplanan yerlerde, grafik teorisi kullanılarak değerlendirilmiştir. Önerilen yöntem Kıbrıs Limasol'da hem küçük ölçek basit bir şebeke, hem de gerçek ölçekte bir alan üzerindeki su şebekesi üzerinde uygulaması yapılmıştır. Önerilen yöntem şebekenin istenen servis seviyesini sağlayamaması, olasılığının hesaplanması ve güçlendirme işlemlerinin nerelere öncelik verilmesi gerektiğine ve mevcut sistemin kapasitesinin artırılması konuları ışık tutmaktadır.

Lanzano ve diğ. (2014) tarafından yapılan çalışmada yanıcı ve toksik maddeler için boru hatları yer altı depoları gibi yapıların hasar görebilirlikleri incelenmiştir. Büyük miktarlardaki toksik ve yanıcı maddeler ele alındığında endüstriyel ekipmanın emniyeti için sıkı önlemler gereklidir. Başkalarının yanında depremler gibi doğal tehlikelerden kaynaklanan kazasal senaryolar ile ilgili önleme ve azaltma tedbirlerin etkisini işe yarar şekilde sonuçlanması için, iletim ve depolanmasında altyapıların yapısal güvenliğinin sağlanması gereklidir. Burada boru hatları, yer altı depoları ve gömülü hazneler gibi yer altı ekipmanlarının sismik hasar görebilirliği disiplinler arası incelenerek özetlenmiştir. Bu çalışmada boru hatları üzerinde depremden kaynaklanan hasar ile ilgili data koleksiyonu çalışması yapılmıştır. Bu çalışmanın ana amacı endüstriyel nicel risk analizini daha basitleştirmek amacıyla belirli boru hatlarının üzerindeki gözlemsel kırılma eğrilerinin geliştirilmesi ışığında bir database oluşturmaktır.

Yine Uçkan (2014) tarafından yapılan çalışmada 23 Ekim ve 9 Kasım 2011 tarihlerinde Van'daki Doğu vilayeti Van ve Erciş'te yaklaşık 700 kişinin ölümüne neden olan iki depremin ($M_w = 7.2$ ve $M = 5.6$) binalara, endüstriyel yapılara ve altyapı tesislerine zararları açıklanarak saha gözlemleri yoluyla bu zararların kısa bir özeti sunulmuş, kalıcı yer deformasyonları (PERGD) ve dalga yayılımı (WP) etkileri nedeniyle gözlemlenen boru kırılmaları ölçülmüştür. İlgili kodlara göre bölümlere parçalı ve sürekli borular için tahmini ve gözlemlenen onarım oranları için karşılaştırmalar yapılmış, sonuçlar gömülü parçalı ve sürekli borular için kod bazlı onarım oranı formülasyonunun gözlemlerle uyumlu olduğunu ortaya koymuştur.

O'Rourke ve diğ. (2015) tarafından yapılan çalışmada parçalı gömülü boru hatlarının sismik kırılabilirlik ilişkileri, genellikle zemin sarsıntısı veya yer hareketinin bir ölçüsünün bir fonksiyonu olarak birim uzunluktaki boru onarımları açısından tanımlanmaktadır. Bazı güncel ilişkilerde, hem dalga yayılımı (WP) hem de kalıcı yer deformasyonu (PERGD) hasarı tehlikeyi zemin şekil değiştirmesinin birleştirilmiş bir ölçüsü olarak ele almaktadır. Bu kırılabilirlik ilişkilerinin sıkıntılı bir yönü, her yeni olayın, bazı durumlarda, mevcut ilişkilerden önemli ölçüde farklı olan yeni veriler sağlaması gibi gözükmesidir. Burada, bu ifadelerin güçlülüğü, 1999 Marmara depreminden yeni veriler kullanarak araştırılmıştır. Çalışmada boru hattının eksenini boyunca rölatif PERGD'yi dikkate alarak, yer şekil değiştirmelerini hesaplamak için bir metodoloji sunulmuştur. Sonuçlar, ilgili şekil değiştirme/ hasar aralığı için, lineer bir fonksiyonun (log-log ölçeğinde) gömülü parçalı borular için nispeten güçlü bir kırılabilirlik ilişkisi sağladığını göstermektedir.



3. GÖMÜLÜ BORU HATLARINDA OLUŞABİLECEK HASARLAR

3.1 Yer Hareketleri İle Meydana Gelen Boru Hattı Hasarları

Deprem nedeniyle gömülü boru hatlarında oluşturduğu hasarlar, kalıcı yer deformasyonlarıyla (KYD), veya geçici yer deformasyonlarıyla (GYD) ortaya çıkmaktadır (O'Rourke, 1998; Toprak ve Yoshizaki, 2003). Geçici yer deformasyonları deprem dalgalarının oluşturduğu, zemin tarafından verilen dinamik tepkidir. Kalıcı yer deformasyonları ise depremin ardından zeminde geri dönüşü olmayan nihai yer değiştirmelerdir. GYD genel olarak zemin boyunca ilerleyen deprem dalgalarının toprak altındaki boru hattını geçerken sinüs eğrisi şeklinde hareket ettiği kabul edilerek tespit edilir. Boru hattı güzergahı boyunca zeminde oluşan uzama oranlarının, boyuna (P), enine (S) ve Rayleigh (R) dalgaları için ayrı ayrı hesabı yapılabilir. Bu durumda yer uzama oranlarının boru hattındaki uzama oranları ile aynı olduğu kabul edilir. GYD ve KYD değerlerinin rölatif büyüklüklerinden hangisi daha büyükse boru hattında o yer hareketinin etkisi daha fazladır. Örneğin eğer KYD değeri GYD'den daha büyükse, o zaman KYD gömülü boru hatlarında daha fazla hasar oluşturur. GYD bazı durumlarda küçük miktarda kalıcı deformasyonlara yol açabilir, fakat bunlar sıklıkla yüzeysel etkilerdir. Boru hatları üzerinde GYD genellikle KYD'e göre daha az uzama oranlarına ve deformasyonlara neden olmaktadır. Ancak GYD'nin etki ettiği bölge, KYD'nin etki ettiği bölgeden çok daha geniştir. Bu nedenle zayıf kısımların bulunduğu yada korozyon gibi nedenlerle parçaların mukavemetinin azaldığı gömülü boru hattı sistemlerinde GYD oldukça yaygın etkiler gösterebilir (Toprak ve Yoshizaki, 2003).

3.2 Boru Hatlarının Deprem Performansını Etkileyen Faktörler

Gömülü boru hatlarında meydana gelebilecek hasarlarda birçok faktör rol oynamaktadır. Bunların arasında; boru çapı, boru malzeme cinsi, ek türleri, zemin korozyonu, boru yaşı, zemin cinsi, deprem büyüklüğü ve uzaklığı önde gelmektedir.

Su dağıtım hatlarında birçok farklı boru tipi kullanılmaktadır. Genel olarak boru tipi olarak kullanılan türler; çelik borular, düktil demir ve dökme demir (font) borular, beton borular, plastik borular (PVC) ve asbest (AÇB) borulardır. Gömülü boru hatlarının yapıldığı malzeme ve boruların ek tipi deprem performanslarını önemli ölçüde etkilemektedir.

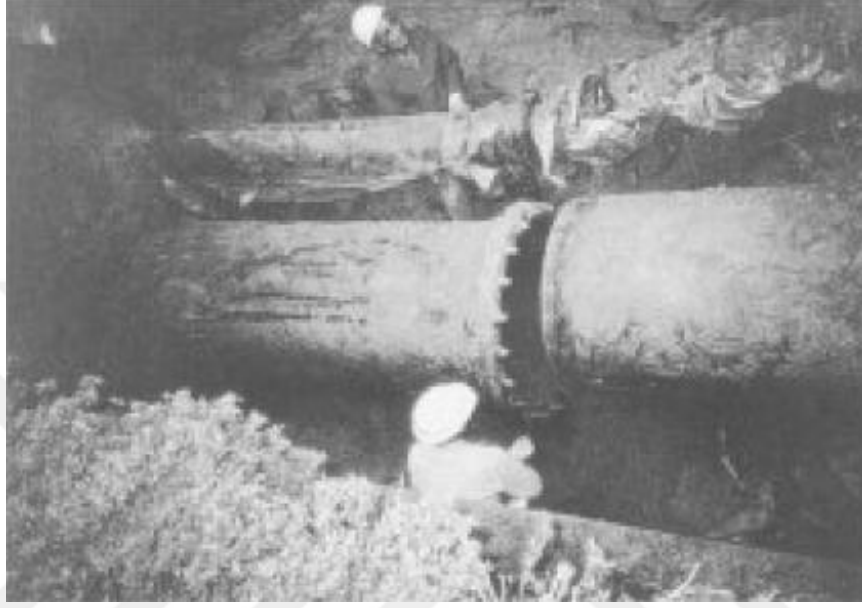
Genel olarak boru hatları düktil ve kırılğan olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. Bu duruma örnek olarak düktil demir ve çelik borular düktil borular grubuna girerken, font ve asbestli çimento borular (AÇB), kırılğan borular grubuna girmektedir. HAZUS (1999) tarafından düktil borular için onarım oranı değerlerinin kırılğan borular için hesaplanan değerin üçte biri olarak alınması öngörülmektedir.

Boruların ek tipi deprem sırasındaki dayanımlarını büyük ölçüde etkilemektedir. Geçmiş depremlerde rijit bağlantılı sürekli boru hatlarının; örneğin ek tipi kaynaklı çelik borularda, diğer bağlantı tiplerinden çok daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Ancak vida eklemeli eski çelik borular korozyondan dolayı iyi performans göstermeyebilir. Bağlantıların ek parçalarla yapıldığı gömülü boru hatlarında ise, boru birleşimleri esnek ya da güçsüz bağlantılar içerebilmektedir. Bağlantıların olası bir deprem karşısında yeterli performansı gösterememesinin sebepleri arasında imalat hataları, borulara gelen gerilme ve eğilme deformasyonlarının artması ve düğüm noktalarındaki dönmelerin ya da çekme gerilmelerinin artması sayılabilir.

ALA (2001)'de deprem sonrası yapılan çeşitli incelemelere dayanılarak, kauçuk contalı PVC boruların deprem performansının, gene kauçuk contalı asbest boruların deprem performansından daha iyi olduğu ifade edilmiştir. Bu durum plastik malzemenin gerilme kuvvetleri karşısındaki dayanımının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Kauçuk contalı esnek bağlantılı borular sismik deformasyona izin verdiğinden, daha rijit çimento bağlantılı borulara göre deprem sırasında daha iyi performans gösterirler. Şekil 3.1'de depremde vida eklemeli bir çelik gaz borusunun aldığı hasar görülmektedir. Ayrıca boru hattının yanındaki rijit yapılara (su deposu, binalar, köprüler) olan bağlantılarında lokal olarak yüksek gerilmeler oluşabilmektedir. Los Angeles şehrinde 1971 San Fernando depremi esnasında su dağıtım sisteminin servis bağlantılarında oluşan hasarların büyük çoğunluğunun sebebinin bu durumdan olduğu rapor edilmiştir. Japonya 1995 Kobe depreminden sonra bölgedeki boru hatlarında çeşitli hasarlar gözlemlenmiştir. Bu hasarlar

incelendiğinde özellikle eski borular ek yerleri daha esnek ve düktil olan yeni borulara nazaran daha fazla hasar almışlardır (Toprak ve Yoshizaki, 2003).

Şekil 3.2’de Kobe depreminde deprem sonrasında düktil ve font borularda oluşan hasar örnekleri görülmektedir. Burada düktil boruda birleşim noktasında ayrılma gözlenirken font boruda gövdede kırılma meydana gelmiştir.



Şekil 3.1 : Doğalgaz borusunda oluşan hasarlar (Editorial Committee for the Report on the Hanshin – Awaji Earthquake Disaster, 1997; Matsushita, 1995).



Şekil 3.2 : Düktil Font ve Font su boru hatlarındaki hasarlar (Editorial Committee for the Report on the Hanshin – Awaji Earthquake Disaster, 1997; Matsushita, 1995).

Kırılman olarak kabul edilen font boruların bağlantılarının yapıldığı ek paręa tiplerine göre sismik performansları farklılık göstermektedir. Bazı gömülü boru hatlarında olduğu olduğu gibi, font boruların ek bağlantısında kauçuk conta kullanılırsa, hasarın yaklaşık %80'i GYD ile ve %20'si KYD ile oluştuğu kabul edildiği durumda, tüm boru türleri için (Asbest ve düktıl demir borular dahil) kauçuk contalı ekli boruların hasar oranları, çimento veya kurşun bağlantılı font borulardan daha az olacaktır (ALA 2001).

Asbest (AÇB) boru hatlarında ek türleri deprem performansını etkilemektedir. Örneğin; kauçuk contalı asbest boru font borudan daha iyi performans gösterirken, çimento ekli asbest borunun performansı font borunun performansı ile benzerdir. Çimentolu eklerin boruların esnekliğini kısıtladığı ise kabul edilen bir gerçektir. Şekil 3.3'te 1979 Guerrrero Meksika depreminde asbest borunun aldığı hasar görölmektedir. Şekil 3.4'de ise, 1985 Michoacan Meksika depreminde asbest boruda ek noktasında meydana gelen kırılma görölmektedir.



Şekil 3.3 : 1979 Guerrrero Meksika depreminde hasar (kırık) görmüş asbest boru (Ayala ve O'Rourke, 1989).



Şekil 3.4 : 1985 Michoacan Meksika depreminde asbest boruda bağlantı noktasında meydana gelen kırılma (Ayala ve O'Rourke, 1989).

Gömülü boru hatlarında oluşan hasarlarda iki önemli unsur boru çapı ve zemin korozyonudur. Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalarda boru çapının boru hatlarının deprem performansını etkilediği görülmüştür. Geçmiş depremlerin boru hattında oluşturduğu hasarlar incelendiğinde, boru çapları ile onarım oranları arasında bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir.

Toprak (1998) bu ilişkiyi boruları dağıtım (çapı 600 mm'den küçük) ve iletim hatları (çapı 600 mm'den büyük) olarak iki gruba ayırarak analiz etmiştir. Boru çapı büyüdükçe hasar sayısı da düşmektedir. Bu konuyla ilgili çalışma yapan O'Rourke ve Jeon (1999, 2000), hem yatay yer hızını hem de boru çapını, hasar sayısı ile ilişkilendiren bir ampirik bağıntı geliştirmiştir.

Ayrıca Sato ve Myurata (1990) ile O'Rourke ve Jeon (1999); çalışmalarında büyük çaplı çelik borularda depremden dolayı oluşan hasarın, küçük çaplı borulara göre daha az miktarda olacağını ifade etmişlerdir. Bu duruma sebep olarak, büyük çaplı borularda inşaat ve imalatın küçük çaplı borulara göre daha kaliteli olması, daha az bağlantı olması, büyük çaplı boruların döşenmesi sırasında zemin ıslahı yapılması gösterilebilir. Yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı büyük çaplı çelik boruların onarım oranlarının, küçük çaplı boruların onarım oranlarına göre %75 azaldığı görülmektedir (ALA 2001). Ancak boru çapının, içmesuyu sistemleri içindeki tüm boru türlerinin deprem performansı üzerine olan etkisini tam olarak ortaya koyacak

düzeyde deneysel çalışma ve veri bulunmamaktadır. Bununla birlikte 300 mm üzerindeki büyük çaplı borulardaki hasarın, 100 ile 300 mm arasındaki daha küçük çaplı borulardaki hasar oranından daha az olduğu ALA (2001)'de ifade edilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda boru hatları için korozyonlu zeminlerdeki küçük çaplı çelik borularda, korozyonsuz zeminlerdeki küçük çaplı çelik borulardan üç kat daha fazla hasar oluşabileceği ifade edilmiştir (ALA 2001). Zemin korozyonu etkisi büyük çaplı çelik boruları küçük çaplı borulara göre daha az etkilemekle beraber, ayrıca gerilme artışına bağlı kıvrılma ve bükülmeler büyük çaplı borularda daha az miktarda olmaktadır. Artan basınç ve zemin yüküne karşı büyük çaplı çelik boruların dayanımı daha iyi olmaktadır.

Zemin korozyonu; gerek metaryallerin kesit kalınlıklarını azaltarak, gerekse de gerilme yoğunluklarını artırarak gömülü boruların dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir. Geçmiş yıllardan elde edilen tecrübeler font borularda da korozyona bağlı birçok hasarın oluştuğunu göstermiştir (Isenberg, 1978; Isenberg, 1979 ve Isenberg ve Taylor, 1984). Altyapı sistemleri için oluşturulacak veri tabanlarının, gömülü boru hatlarında oluşabilecek hasarlarda rol oynayan faktörleri de kapsayacak şekilde olması önem arz etmektedir.

3.3 Deprem Riskinin Belirlenmesi İçin Dikkate Alınan Noktalar

Diğer tüm sismik risk değerlendirme yöntemlerinde olduğu gibi, bu tür çalışmalarda birçok kabul yapılmakta ve değerlendirmenin başarısı sismik yükleme, envanter ve hasar değerleri için seçilen kırılma eğrilerinin doğru seçilmesine bağlı olmaktadır.

İsale hatlarındaki deprem riskinin belirlenmesi ile ilgili tez çalışması üç aşamadan oluşturulmuştur. Bunlar:

- i) Envanter çalışması,
- ii) Sismik tehlike,
- iii) Hasar Görebilirlik,

aşamalarıdır.

3.3.1 Envanter çalışması

İsale şebekesinin envanteri sözkonusu hatta ait bileşenlerin ayırt edici özelliklerini göstermektedir (geometri, malzeme, yaşı vb.). Şebekenin envanterinin çıkartılması

hem zaman alıcı, hem de maliyetli bir işlemdir. Hatlara ait eksik ve kifayetsiz bilgi, şebekenin uzaysal dağılımı ve mal sahibinin bilgi paylaşmaktaki gönülsüzlüğü bu işlemi daha zahmetli bir hale getirmektedir.

3.3.1.1 İstanbul içmesuyu kaynakları

İstanbul'da içmesuyu temin etmek için ana kaynak olarak göl, baraj ve su bentleri kullanılmaktadır. Ana su kaynaklarından alınan ham su içmesuyu arıtma tesislerinde arıtılmakta ve içmesuyu ana isale hatları ve şebeke hatlarıyla şehre su verilmektedir. İstanbul gibi 15 milyona yakın metropol bir şehirde içmesuyu temin etmek türlü zorluklar içermektedir. Ayrıca tüm şehre dağıtılan suyun kullanıldıktan sonra uzaklaştırılması için atıksu hatları ve atıksu arıtma tesisleri inşa edilmiştir. İstanbul'a su temin etmek işi resmi olarak ilgili kanun ile 1981 yılında kurulan İSKİ adlı kuruluşa verilmiş olup, İSKİ İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı bağımsız bütçeli bir kamu kuruluşudur. İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) içmesuyunu temin etmek, kullanılmış suları toplamak, uzaklaştırmak ve arıtmak ve içmesuyu havzalarını korumak için her türlü tedbir, yapım ve işletme faaliyetlerini yürütmekle yükümlüdür. İstanbul'un su kaynaklarının %98'i yüzeysel su kaynağı niteliğindedir. Yağışlarla gelen sular, baraj ve doğal göl dediğimiz alanlarda biriktirilmekte, regülatörlerle toplanarak içmesuyu arıtma tesislerine ulaştırılmaktadır. İstanbul'a su sağlayan 1 doğal göl, 8 baraj, 8 regülatör ve bentler olmak üzere muhtelif kapasitede toplam 18 adet yüzeysel su kaynağı bulunmaktadır. Ayrıca barajlardaki mevcut su miktarını maksimum faydada kullanmak ve mevcut su miktarının daha uzun süre şehri beslemesine imkan sağlamak için, su kuyuları ve kaynak suları hizmete alınmaktadır. İçmesuyu kaynaklarının yıllık toplam verimi 1 milyar 660 milyon metreküptür. İçmesuyu kaynaklarının su toplama havzaları; Melen ile birlikte 6157 kilometrekareye ulaşmaktadır. Su kaynaklarının %60'ı Anadolu Yakası'nda, %40'ı Avrupa Yakası'ndadır. Buna karşılık nüfusun %60'ı Avrupa Yakası'nda, %40'ı Anadolu Yakası'nda ikamet etmektedir. İstanbul'a ait içmesuyu temini ve uzaklaştırmasına ait tesis bilgileri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : İstanbul içmesuyu temini ve uzaklaştırılması için mevcut tesisler.

Hizmet Verilen Nüfus	15 milyon 67 bin 724
Toplam Hizmet Alanı	5 bin 461 km ²
Abone Sayısı	5 milyon 207 bin 732
Su Şebeke Uzunluğu	18 bin 610 km
İsale Hattı Uzunluğu	2 bin 495 km
Su Kaynaklarının Verimi	1 milyar 660 milyon m ³ /yıl
Şehre Verilen Ortalama Su	2 milyon 642 bin 907 m ³ /gün
İçmesuyu Arıtma Tesisleri Sayısı	18 adet
İçmesuyu Arıtma Tesisleri Kapasitesi	4 milyon 395 bin 600 m ³ /gün
Su Depolarının Sayısı	125
Su Depolarının Hacmi	1 milyon 544 bin 580 m ³
Kanal Şebeke Uzunluğu	15 bin 342 km
Kolektör Uzunluğu	1002 km
Tünel Uzunluğu	202 km
Atıksu Arıtma Tesisleri Sayısı	80 adet
Atıksu Arıtma Tesisleri Kapasitesi	5 milyon 753 bin 215 m ³ /gün

Su Kaynakları

İstanbul yüzeysel su kaynakları ile beslenmektedir. Yağışlı mevsimlerde gelen sular baraj ve regülatörlerde toplanarak gerekli arıtma işlemlerinden sonra şehre verilmektedir. İstanbul'un nüfusunun artması ve coğrafi olarak hizmet alanının genişlemesi sebebiyle artan su talebini karşılamak için Avrupa Yakası'nda Tekirdağ'a, Anadolu Yakası'nda Düzce'ye kadar uzanan farklı su havzalarından içmesuyu temin edilmektedir.

İstanbul'da günlük ortalama (4 aylık ortalama) 2 milyon 642 bin 907 metreküp su kullanılmaktadır. Son yıllarda İstanbul'un su kaynakları arasına katılan Melen,

Sakarya Nehri ve Yeşilçay Sistemi'nden de su alınmaktadır. İstanbul içmesuyu kaynakları kapasitelerine ait özet bilgiler Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 : İstanbul içmesuyu kaynakları kapasitesi.

Su Kaynağı	Yıllık Verim (Milyon metreküp)	Azami Biriktirme Hacmi (Milyon metreküp)	Yılı
Ömerli Barajı	220	235.371	1972
Darlık Barajı	97	107.500	1989
Elmalı 1 ve 2 Barajları	15	9.600	1893-1950
Terkos Barajı	142	162.241	1883
Alibeyköy Barajı	36	34.143	1972
Büyükçekmece Barajı	100	148.943	1989
Sazlıdere Barajı	55	88.730	1998
Istrancalar (Düzdere Barajı, Kuzuludere Barajı, Büyükdere Barajı, Sultanbahçedere Barajı, Elmalıdere Barajı)	75	6.231	1995-1997
Kazandere Barajı	100	17.424	1997
Pabuçdere Barajı	60	58.500	2000
Yeşilçay Regülatörü	145	-	2004
Melen 1 ve 2 Regülatörleri	575	-	2007-2014
Yeşilvadi Regülatörü	10	-	1992
Şile Keson Kuyuları	30	-	1996
Toplam	1 Milyar 660 Milyon Metreküp/Yıl	868.683	

Ömerli Barajı:

Yıllık 220 milyon metreküplük kapasitesiyle İstanbul'un en büyük su kaynağı olan Ömerli Barajı 1972 yılında hizmete açılmıştır. Anadolu Yakası'nın neredeyse tamamına Ömerli Barajı'ndan su verilmektedir. Barajın suları Ömerli İçmesuyu Arıtma Tesislerinde arıtılarak şehre ulaştırılmaktadır. Ayrıca; Sarayburnu–Salacak arasında bulunan isale hatlarıyla günlük 500 bin metreküp içmesuyunu Avrupa Yakası'na ulaştırma imkanı bulunmaktadır. Baraj, 621 kilometrekarelik havza alanına sahiptir.

Darlık Barajı:

1989 Yılında hizmete alınan Şile'deki Darlık Barajı'nın kapasitesi yıllık 97 milyon metreküptür. Anadolu Yakası'nın su kaynaklarından biri olan Darlık Barajı'nın suları Emirli İçmesuyu Arıtma Tesislerinde arıtılarak İstanbullulara ulaştırılmaktadır. Baraj, 207 kilometrekarelik havza alanına sahiptir.

Elmalı 1 ve 2 Barajları:

Anadolu Yakası'nın su ihtiyacının bir kısmını karşılamak üzere Üsküdar-Kadıköy Su Şirketi, 1893 yılında Elmalı Deresi üzerinde Elmalı Barajı'nı inşa etmiştir. Daha sonar Elmalı 2 Barajı, Çavuşbaşı Çayı üzerinde 1950 yılında inşa edilmiştir. Yıllık 15 milyon metreküplük kapasiteye ve 81 kilometrekarelik havza alanına sahiptir.

Terkos Barajı:

1868 Yılında İstanbul'da hem yetersiz kalan su ihtiyacını karşılamak hem de yeni yapılan modern binalara basınçlı su vermek gayesiyle Sultan Abdülaziz tarafından Fransız şirketine imtiyaz verilerek Dersaadet Anonim Su Şirketi (Terkos Şirketi) kurulmuştur. Böylece Terkos Şirketi'nin menba, dere ve yeraltı sularını toplayıp Terkos Gölü'ne ulaştırması ve Terkos Gölü'nün suyunu da arıtarak şehre vermesi kabul edilmiştir. İlk tesis 1883'de inşa edilen Terkos Gölü kenarındaki Terfi Merkezi'dir. 1926 yılında ise Kağıthane sırtlarında ilk su arıtma tesisi yapılmış ve bu su arıtılıp klorlandıktan sonra şehre verilmiştir.

Halk arasında Terkos Şirketi olarak bilinen Dersaadet Anonim Su Şirketi Terkos Gölü kenarında çok katlı binaların basınçlı su ihtiyacını karşılamak için terfi merkezi de kurmuştur. 1967 yılına kadar çalıştırılan bu pompa istasyonu bugün sanayi müzesi olarak korunmaktadır. Terkos Barajı, yıllık 142 milyon metreküplük kapasiteye ve 619 kilometrekarelik havza alanına sahiptir.

Alibeyköy Barajı:

Baraj, 50 km uzunluğundaki Alibey Deresi üzerinde kurulmuştur. Yıllık 36 milyon metreküp kapasiteye sahip olan ve toprak dolgu tipinde inşa edilen Alibeyköy Barajı 1972 yılında hizmete alınmıştır. Baraj, 160 kilometrekarelik havza alanına sahiptir.

Büyükçekmece Barajı:

Baraj, 1989 yılında hizmete alınmıştır. Büyükçekmece Gölü'nün denizle olan bağlantısı kesilerek baraj gölü oluşturulmuştur. İstanbul'a uzaklığı 50 km olan

Büyükçekmece Barajı'nın suları Büyükçekmece  emesuyu Arıtma Tesislerinde arıtıldıktan sonra  ehre verilmektedir. Baraj yıllık 100 milyon metreküplük su verme kapasitesine ve 620 kilometrekarelik havza alanına sahiptir.

Sazlıdere Barajı:

1998 Yılında Sazlıdere üzerinde kurulan baraj K    ekmece Gölü'ne yaklaşık 6 km uzaklıktadır. Yıllık 55 milyon metreküp kapasitesiyle  stanbul'un önemli su kaynakları arasında yer alan Sazlıdere Barajı, doğu-batı yönünde 20 km uzunluğa, kuzey-güney yönünde ise 9 km geni li e sahiptir. Normal su kotunda göl alanı 11.81 kilometrekare'dir . Baraj, 165 kilometrekarelik havza alanına sahiptir.

D zdere Barajı:

Istrancalar Projesi'nin ilk hamlesi olan ve 1995 yılında tamamlanarak işletmeye alınan D zdere Barajının yıllık verimi 4.5 milyon metreküptür.

Kuzuludere Barajı:

Istrancalar Projesi'nin 2. kademesi içinde yeralan ve yıllık 11.3 milyon metreküp hacme sahip olan Kuzuludere Barajı 1995 yılında hizmete alındı. Baraj, 34 kilometrekarelik havza alanına sahiptir.

Büyükdere Barajı:

Büyükdere Barajı 1995 yılında tamamlanarak işletmeye alındı. Büyükdere'nin tamamlanmasıyla  stanbul, yıllık 28.4 milyon metreküp kapasiteli su kaynağına kavu tu. Baraj yapımında ileri teknolojiler kullanılarak, 15 m derinlikte su geçirmeyen beton perde oluşturulmuştur. Baraj, 81 kilometrekarelik havza alanına sahiptir.

Sultanbah edere Barajı:

Istranca Dereleri  zerine kurulan barajlardan biri olan Sultanbah edere Barajı, 1997 yılında tamamlanarak işletmeye alındı. Sultanbah edere Barajı yıllık 19.4 milyon metreküplük kapasiteye ve 46.5 kilometrekarelik havza alanına sahiptir.

Elmalıdere Barajı:

Istranca Projesi kapsamında 1997 yılında hizmete alınan Elmalıdere Barajı, yıllık 11.6 milyon metreküp hacme sahiptir. Barajın suları, Fatih Sultan Mehmet  emesuyu Arıtma Tesisi'nde arıtılmaktadır. Baraj, 24 kilometrekarelik havza alanına sahiptir.

Kazandere Barajı:

1997 yılında tamamlanan Kazandere Barajı, yıllık 100 milyon metreküp kapasiteye sahiptir. Kazandere Barajı'nın temeli alüvyon zemine oturmuştur. Baraj, 313 kilometrekarelik havza alanına sahiptir.

Pabuçdere Barajı:

Pabuçdere Barajı, 2000 yılında hizmete alınmıştır. Baraj, dünyada ilk kez gerçekleştirilen bir teknolojinin ürünüdür. Kazandere ve Pabuçdere Barajları 2507 m uzunluğunda ve 4.5 m çapında tünelle birbirine bağlanarak Kazandere'nin fazla sularının Pabuçdere'deki rezerv hacmine aktarılması sağlanmıştır. Yıldız Dağlarındaki bu barajın hizmete alınması sayesinde İstanbul'a yıllık 60 milyon metreküp su kazandırılmıştır.

Yeşilçay Regülatörü:

Yeşilçay Projesi ile Ömerli'ye 60 km mesafedeki Göksu ve Çanak Dereleri üzerinde yapılan Sungurlu ve İsaköy Regülatörleri ile yılda 145 milyon metreküp su, İstanbul'a kazandırılmıştır. 2004 yılında hizmete alınan regülatörler vasıtasıyla Yeşilçay Bölgesi'nde toplanan sular Emirli İçmesuyu Arıtma Tesislerine aktarılmaktadır.

Melen 1 ve 2 Regülatörleri:

İlk aşaması 2007 yılında tamamlanan Melen Projesi'yle İstanbul'a yılda 268 milyon metreküp ilave su sağlanmıştır. 2. Aşaması 2015 yılında bitirilen Melen Projesi'nde, alınan su miktarı yılda 575 milyon metreküpe ulaşmıştır.

Yeşilvadi Regülatörü:

1992 yılında hizmete alınan Yeşilvadi Regülatörü'nün günlük kapasitesi 28 bin metreküptür.

İçmesuyu Arıtma Tesisleri

Bugün İstanbullulara hizmet veren 18 içmesuyu arıtma tesisi mevcuttur. Son teknolojiyle donatılmış bu tesislerde ülkemizde ilk defa ozon ve aktif karbon uygulamaları yapılmıştır. Ham sudaki kalite değişimleri ve tesis çıkış suyu sürekli incelenmekte ve gerekli müdahaleler anında yapılmaktadır. İstanbul'daki içmesuyu arıtma tesislerine ait genel bilgiler Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3 : İçmesuyu Arıtma Tesisleri Yılı ve Kapasiteleri.

İçmesuyu Arıtma Tesisleri		Yılı	Kapasite (m ³ /gün)
Ömerli İçmesuyu Arıtma Tesisleri	Orhaniye İçmesuyu Arıtma Tesis	1977	1540000
	Muradiye İçmesuyu Arıtma Tesis	1995	
	Osmaniye İçmesuyu Arıtma Tesis	1997	
	Yavuz Sultan Selim İçmesuyu Arıtma Tesis	2001	
Kağıthane İçmesuyu Arıtma Tesisleri	Çelebi Mehmet Han İçmesuyu Arıtma Tesis	1972	728000
	Yıldırım Beyazıt Han İçmesuyu Arıtma Tesis	1956	
Büyükçekmece İçmesuyu Arıtma Tesis		1989	400000
Elmalı İçmesuyu Arıtma Tesis		1994	50000
İkitelli İçmesuyu Arıtma Tesisleri	Fatih Sultan Mehmet İçmesuyu Arıtma Tesis	1998	840000
	2. Beyazıt İçmesuyu Arıtma Tesis	2004	
Taşoluk İçmesuyu Arıtma Tesis		2007	50000
Şile İçmesuyu Arıtma Tesis		1994	11000
Ağva İçmesuyu Arıtma Tesis		2008	17000
Bıçkıdere İçmesuyu Arıtma Tesis		2009	4320
Hacı Osman İçmesuyu Arıtma Tesis		1975	6000
Yalıköy İçmesuyu Arıtma Tesis		2010	17280
Danamandra İçmesuyu Arıtma Tesis		2003	12000
Cumhuriyet İçmesuyu Arıtma Tesis		2012	720000
Toplam			4.395.600

3.3.1.2 İstanbul içmesuyu isale hattı sistemi

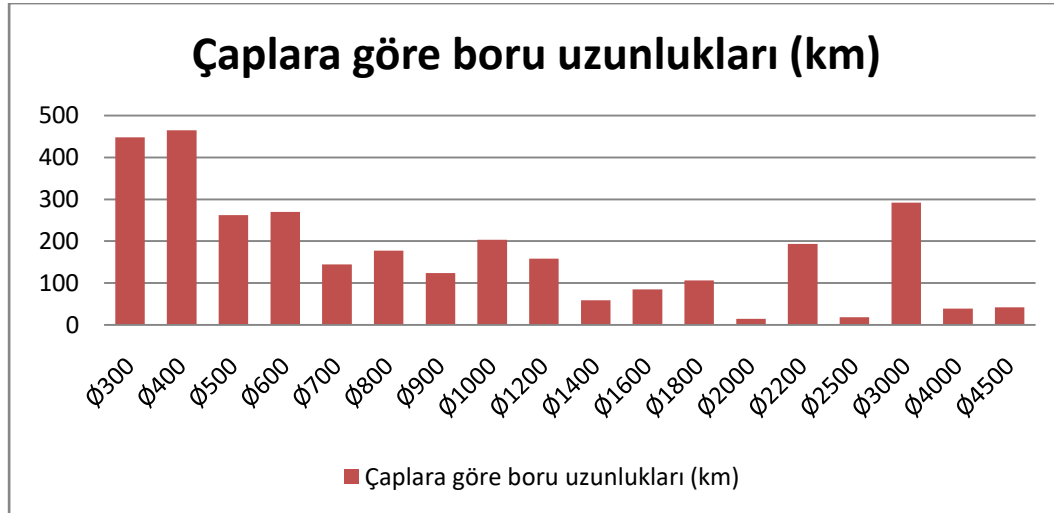
İstanbul genelinde farklı kaynaklardan şehre su ulaştıran ana isale ve şebeke dağıtım hattı olarak 21000 km'nin üzerinde boru hattı bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında üzerinde yoğunlaşılana ana isale hatları(Ø300 mm'den büyük çaplı) ve uzunluğu 3100 km'nin üzerindedir. Ana isale hatlarında en fazla kullanılan boru tipi çelik borulardır. Hacimsel olarak ana isale hatlarının %82.3'ünü kapsamaktadır (Şekil 3.7). Düktil font, font borularda çok kullanılan borular arasındadır. Font borular kırılana olduklarından ve asbest beton borular sağlaık yönünden içmesuyu borularında artık tercih edilmemektedir.

İsale hatlarında kullanılan boru tipleri aşağıda sıralanmıştır.

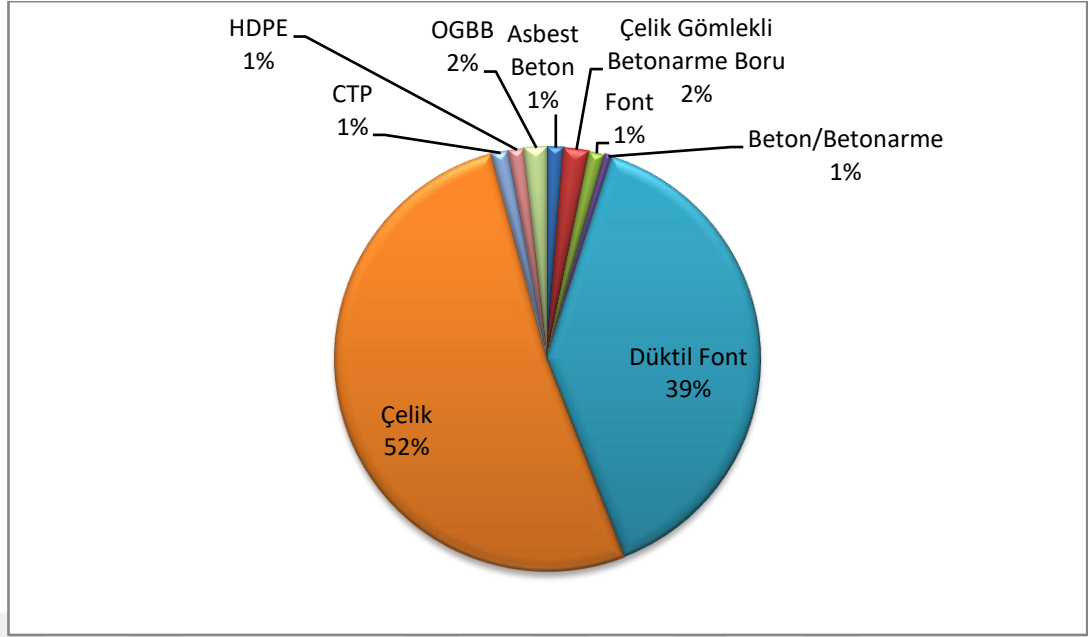
1. Asbest Boru [AC]

2. Çelik gomlekli betonarme [RCC]
3. Font [CI]
4. Beton / Betonarme [C]
5. Düktil Font [DI]
6. Çelik [S]
7. Polivinil klorür esaslı boru [PVC]
8. Polietilen [PE]
9. Cam takviyeli plastik boru [CTP]
10. Yüksek yoğunluklu polietilen boru [HDPE]
11. Muflu beton boru [MBB]
12. Öngerilmeli betonarme boru [ÖGBB]
13. Pik boru [PIK]

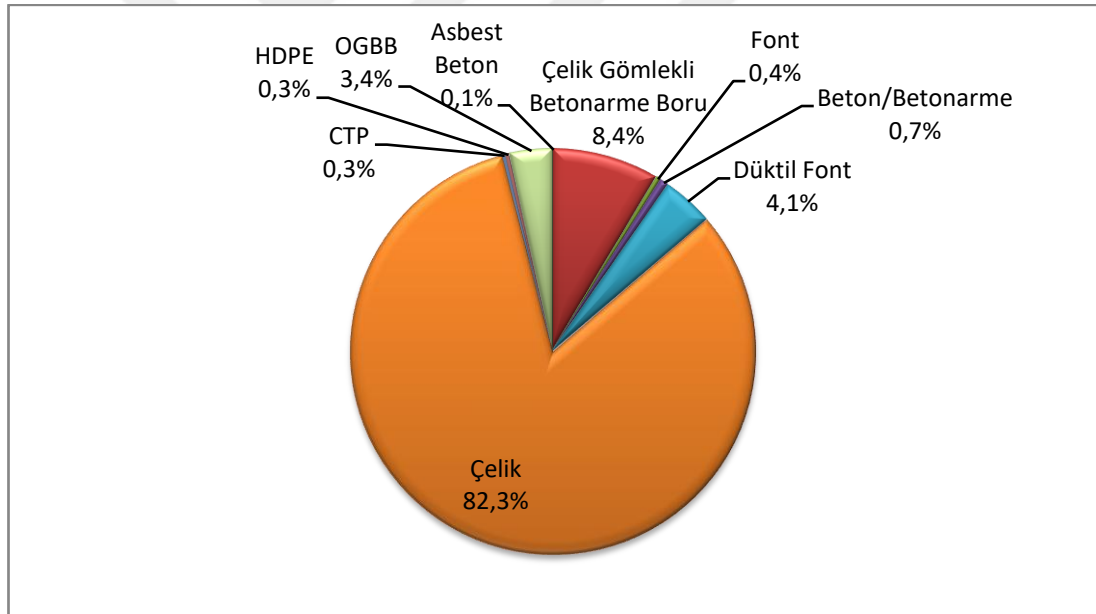
İsale hatlarının hasar hesabı için geliştirdiğimiz MATLAB ile yazılan programda mevcut boru tipleri yukarıda verilen numara ve kısaltmalarla aynı şekilde kullanılmıştır (EKA). Tez çalışmasında hesabı yapılan İstanbuldaki ana isale hatlarına ait çaplara göre uzunluklar Şekil 3.5’de, boru malzeme tipine göre uzunluk olarak oranlar Şekil 3.6’da, boru malzeme tipine göre hacimsel olarak oranlar Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.5 : İstanbuldaki ana isale hatlarının çaplara göre boru uzunlukları.



Şekil 3.6 : İsale hatlarının boru malzemesine göre yüzdelik oranları (Uzunluk).



Şekil 3.7 : İsale hatlarının boru malzemesine göre yüzdelik oranları (Hacimsel).

3.3.1 Sismik tehlike

İçmesuyu sistemi bileşenleri dalga yayılımı ve kalıcı yer deformasyonu (PERGD) veya ikisinin birden kombinasyonu sonucu oluşan hasarlara karşı açıktır. Depreme ait giriş bilgileri istenen bölge için alınır ve yerindeki etki yerel arazi ve zemin koşullarına, tektoniğe ve depremsellikğe uygun olarak hesaba girer. Sismik yer hareketinin uzaysal dağılımı yerel arazi etkileri, jeolojik koşullar ve topoğrafya etkilerini dikkate almak zorundadır. Sismik yükleme genellikle en büyük yer ivmesi

(PGA), en büyük yer hızı (PGV) ve bazen de sismik şiddetle (MMI,MSK) tarif edilir. Fakat yer sarsıntısı ve dalga yayılımı durumlarından oluşan sismik yüklemeleri karakterize etmek için son çalışmalarda yerde gözlemlenen şekil değiştirmelerle doğrudan orantılı ve daha iyi korelasyon gösteren PGV değerlerinin tercih edildiği görülmektedir.

3.3.1 Hasar görebilirlik

İçmesuyu sistemlerinin deprem riskinin hesaplamasında çalışılan içmesuyu güzergahı boyunca bütün hattın göz önüne alınması gerekmektedir. Hasar görebilirlik, sismik yüklemeyle korelasyon gösteren hasar sayıları (Hasar Sayısı/km) şeklinde, temel olarak ampirik uygun bağıntılarla hesap edilmektedir. Kırılabilirlik eğrileri verilen bir yer hareketi veya kalıcı yer deformasyonu üreten yer göçmesi seviyesine göre her bir hasar durumuna ulaşılması veya aşılması olasılığını tarif eder.

Bu tez çalışmasında Eidinger (1998), Eidinger ve Avila (1999), Pineda ve Porras (2003), O'Rourke ve Jeon (1999), O'Rourke ve Jeon (2000), O'Rourke ve Deyoe (2004), Yoo, Kang ve Kim (2013), Toprak (1998), HAZUS (1999) ve ALA (2001) tarafından kullanılan kırılabilirlik eğrileri incelenecektir.

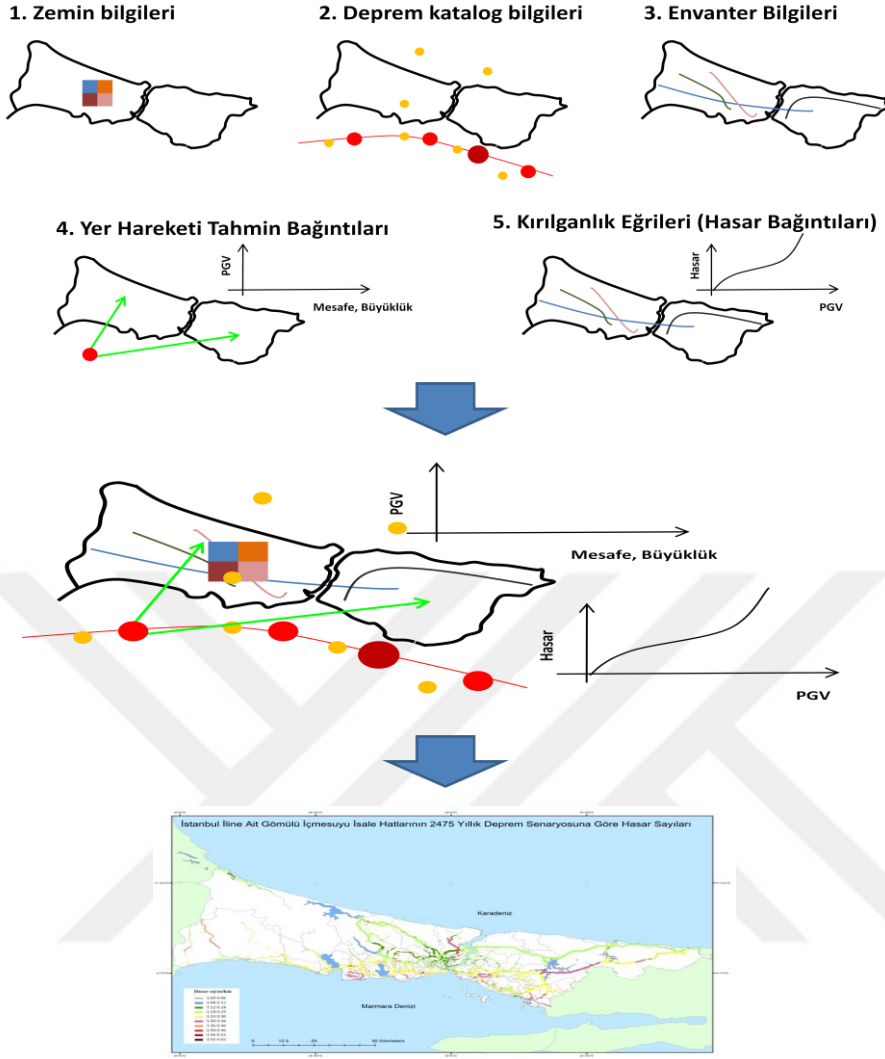
Deprem dalga yayılımı tehlikeleri yayılan dalga tesirleri dolayısıyla geçici gerilme ve kıvrılma (eğilme) olarak karakterize edilirler. Bunlar deprem dalgalarının geçişi esnasında oluşan, zeminin dinamik tepkisidir. Zeminde PERGD (yer kayması, yanal yayılmadan doğan sıvılaşma ve sismik oturmalar gibi) tehlikeleri, PERGD bölgesinin mekansal boyutu ve miktarı ile geometrisi tarafından karakterize edilirler. Fay kaynaklı PERGD riskleri ise, kalıcı yatay ve dikey faydaki denge meydana getirme ve boru-fay kesişme açısı ile tanımlanırlar.

4. UYGULANAN YÖNTEM

Tez çalışmasında gömülü boru hatlarında, farklı hasar bağıntılarını kullanarak İstanbul gibi deprem tehlikesinin yüksek ve isale hattı şebekesinin karmaşık olduğu bir bölgede, belli deprem senaryolarına göre isale hatları üzerinde olasılıksal risk analizi yapılmıştır. Bu risk analizi kapsamında isale hatlarında meydana gelen hasar sayıları hesaplanarak, PEER yöntemi esasları çerçevesinde tüm İstanbul için üç farklı risk seviyesine göre hasar haritaları elde edilmiştir. Bu tip çalışmalar dünyada genelde deterministik deprem senaryoları ile yapılırken, burada 10000 yıllık sentetik deprem kataloğu kullanılarak tamamen olasılıksal bir risk yöntemi geliştirilmiştir. Ayrıca isale hatlarının hasar sayılarının hesabında tek bir hasar bağıntısı yerine ağırlıklı ortalamaları dikkate alan, literatürdeki birçok farklı hasar bağıntısı kullanılmıştır.

Sözkonusu yöntem ile hasar sayılarının hesaplanarak hasar haritalarının oluşturulması için farklı veri ve hesap modellerinin bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir. İstanbul ili sınırları içindeki isale hatlarının deprem riskinin belirlenerek, hasar haritaların oluşturulmasına ait izlenen genel yol Şekil 4.1’de verilmiştir. Burada deprem hasar bağıntıları, zemin bilgisi, isale hatlarına ait envanter bilgisi, deprem katalogları, PGV hesabı için yer hareketi tahmin bağıntısı ve kırılgenlik eğrileri için kullanacağımız hasar bağıntıları belirlenmiştir. Bütün bu veriler ve bağıntılar bir arada kullanılarak isale hatları için hasar haritaları elde edilmiştir.

İstanbul genelindeki isale hatlarının olası depremlere göre alabilecekleri hasarların hesaplanması için MATLAB’de kod yazılmıştır. Yazılan koda ait algoritma, hesaplarda kullanılan verilerin çok büyük olması sebebiyle mikro ölçekte Alibeyköy’deki iki isale hattında denenmiş ve sonrasında tüm İstanbul’daki isale hatları için uygulanmıştır. Örnek olarak alınan Alibeyköy’deki isale hatları için tek bir risk seviyesine göre hasar sayıları hesaplanırken, tüm İstanbul’daki isale hatları için üç farklı risk seviyesine göre hasar sayıları hesaplanmış ve hasar haritaları oluşturulmuştur.



Şekil 4.1 : İsale hatlarının hasar haritalarının elde edilmesi için izlenen yol.

4.1 Deprem Hasar Bağlantıları

Gömülü boru hatlarında meydana gelen hasarlar ile farklı deprem parametreleri arasında konum etkileşimini tespit edebilmek için değişik araştırmacılar tarafından hasar ilişkileri ve yöntemleri önerilmiştir. Bu ilişkiler genel olarak ampiriktir ve daha önceki depremlerden elde edilen veriler ışığında geliştirilmiştir. Boru hasar sayıları genellikle onarım oranları veya hasar oranları ile belirtilir. Boru onarım oranları belli bir bölgedeki boru onarım sayısının aynı bölgedeki boru hattı uzunluğuna bölünmesiyle elde edilmektedir.

Geçmişte yapılan çalışmalarda geçici yer deformasyonları etkisiyle meydana gelen boru hattı hasarları ile farklı deprem parametreleri arasındaki ilişkilerin varlığı araştırılmıştır. Altyapı sistemlerinin deprem riskinin belirlenmesinde kırılabilirlik

eğrileri, istenen noktadaki Mercalli şiddeti (MMI), en büyük yer hızı (PGV), en büyük yer ivmesi (PGA), kalıcı yer deformasyonu (PERGD), spektral ivme (S_a), spektral hız (S_v), şiddet spektrumu (SI), Arias şiddeti (AI), maksimum yer şekil değiştirmesi (ϵ_g), bileşik parametre (PGV^2/PGA) gibi deprem parametrelerine karşın hasar sayısını veren bağıntılar olarak ifade edilmektedir.

Gömülü boru hatları ve yer hareketi parametreleri arasındaki ampirik bağıntılar 1970’li yılların ortalarından beri çalışılmaya başlanmıştır. Font ve asbest beton boruların PGA cinsinden hasar bağıntılarını araştıran kayda değer ilk çalışma Katayama ve diğ. (1975) çalışmasıdır. Bu çalışmada Japonya’daki altı ve ABD den bir depremin senaryoları kullanılmıştır. Bundan sonra birçok araştırmacı boru hatları için farklı deprem parametreleriyle hasar bağıntılarını çalışmış ve bunların bir tarihçesi Porras ve Najafi (2010) tarafından Çizelge 4.1’de özetlenmiştir.

Literatürde boru hatları için sismik hasar bağıntıları açısından 1993 yılından itibaren dikkate değer bir değişim olmuştur. Bu yıldan itibaren PGV hasar bağıntılarında tercih edilen parametre olmaya başlamış ve PGA ve MMI birkaç istisna dışında kullanılmamıştır. Bu çalışmalar arasından O’Rourke ve Ayala (1993) Barenberg (1988), üç farklı depremin veri noktalarını kullanarak PGV cinsinden boru hatları için yeni bir bağıntı önermiştir.

Bu tez çalışmasında son yıllarda da tercih edilen boru hatları için hasar hesaplamalarında daha iyi korelasyon gösteren PGV kullanılmıştır. PGV değeri olarak birkaç adet farklı yaklaşım yapılabilmektedir. Birinci yaklaşıma göre ölçülen en büyük iki yatay hız bileşeninden en büyüğü alınabilir. İkinci olarak en büyük iki yatay hız bileşenin geometrik ortalaması alınır veya üçüncü bir yaklaşım olarak da yatay hızların en büyük vektörel değerleri alınabilir.

Çizelge 4.1 : Hasar ilişkileri tarihçesi (Porras ve Najafi, 2010).

Sismik Şiddet Parametresi	Referans
PGA	Katayama et al. (1975) Isoyama ve Katayama (1982) ASCE-TLCEE (1991) T.D.O'Rourke et al. (1991) Hamada (1991) Hwang and Lin (1991) T.D.O'Rourke et al. (1998) Isoyama et al. (2000)
MMI	Eguchi (1983) Ballantyne et al (1990) Eguchi (1991) T.D.O'Rourke et al. (1998)
PGV	Barenberg (1983) M.J.O'Rourke ve Ayala(1993) Eidinger et al. (1995) Eidinger (1998) T.D.O'Rourke et al. (1998) T.D.O'Rourke ve Jeon (1999) Isoyama et al. (2000) ALA(2001) Pineda ve Ordaz (2003) M.J.O'Rourke ve Deyoe (2004) Jeon ve O'Rourke T.D. (2005)
PGD, AI ,SA ve SI	T.D.O'Rourke et al. (1998)
ϵ_g	M.J.O'Rourke ve Deyoe (2004)
PGV^2/PGA	Pineda ve Ordaz (2007) Pineda ve Ordaz (2010)

Sismik dalga yayılmalarına bağlı olarak zemin içindeki boyuna gerilmeler PGV ile ilişkilendirilmiştir. Bu ilişki denklem 4.1'de verilmiştir (Committee on Gas and Liquid Fuel Lifelines 1984).

$$\epsilon_g = V_{max} / C \quad (4.1)$$

Yukarıda verilen denklemde ϵ_g maksimum sismik yer uzama oranı, V_{max} maksimum yer hızı ve C ise sismik dalga yayılma hızıdır. Deprem dalgalarının geçişi sırasında boru hattını kaplayan zemin ile boru hattı arasındaki ilişkiden yola çıkarak

zemin gerilmelerinin önemli bir oranı boru hattına transfer olmaktadır. Bu ilişki sebebiyle PGV ile boru hasarları arasında iyi bir korelasyon beklenmektedir.

Bu bölümde verilen hasar ilişkilerinde RR onarım oranı (onarım sayısı/km) ve PGV (cm/s) ortalama PGV (geometrik ortalama) veya maksimum PGV'dir. Onarım oranı hasar oranı olarak da ifade edilebilmektedir. Onarım oranı yerine hasar oranı ifadesi de kullanılmaktadır.

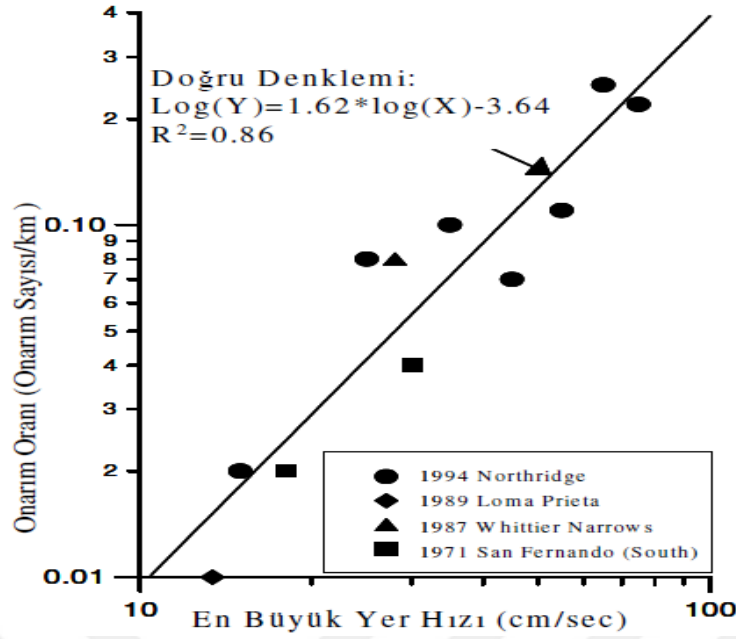
4.1.1 Toprak(1998) modeli

İçmesuyu sistemlerinin Toprak (1998) tarafından önerilen boru hasar ilişkisi aşağıdaki gibidir (4.2).

$$RR= 10^{(1.62 \times \log(PGV)-3.64)} \quad (4.2)$$

Burada PGV (cm/s) maksimum yer hızı, RR (onarım sayısı/km) onarım oranıdır. Burada verilen bağıntı; başta 1994 Northridge depreminde olmak üzere, bazı geçmiş depremlerden elde edilen güvenilir hasar bilgileri doğrultusunda geliştirilmiştir. Bu bilgilerden hesaplanan onarım oranları ile PGV arasında geliştirilen bu korelasyon Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

Bu çalışmada hız kriteri olarak korelasyon 75 cm/s yer hızına kadar geçerlidir. Bu ilişki esas olarak font borular için geliştirilmiştir. Toprak (1998) aynı zamanda boru çaplarıyla hasar oranları arasında bir ilişki ortaya çıkarmıştır. Burada gömülü boru hatlarındaki hasar ilişkisi çaplara göre dağıtım (boru çapı < 600 mm) ve iletim hatları (boru çapı > 600 mm) olarak iki gruba ayrılarak analiz edilmiştir. Şekil 4.2'deki ilişki 600 mm den küçük çaplı borular için geçerlidir.



Şekil 4.2 : En büyük yer hızı (PGV) ile boru hattı hasar onarım oranı arasındaki ilişki (Toprak, 1998).

4.1.2 O'Rourke ve Jeon(1999) modeli

O'Rourke ve Jeon (1999, 2000) çalışmalarında ise en büyük yatay yer hızının maksimum değeri kullanılmıştır. Bu hasar ilişkisi formülleri 4.3'de verilmiştir.

$$RR = e^{(1.84 \times \ln(PGV) - 9.40)} \quad \text{Düktıl font} \quad (4.3.a)$$

$$RR = e^{(1.21 \times \ln(PGV) - 6.78)} \quad \text{Font} \quad (4.3.b)$$

Bu hasar bağıntılarında çapı 600 mm den küçük font borular için 4.3a formülü, 600 mm den küçük düktıl demir borular için 4.3.b formülünün kullanılması önerilmiştir.

Daha önce olan depremler gözlemlenerek boru çapı ve onarım oranları arasında bir ilişki olduğu görülmüştür. Geçmiş depremlerde boru hatlarının performansı değerlendirildiğinde boru çaplarıyla onarım oranları arasında bir ilişki gözlenmiştir. O'Rourke ve Jeon (2000) çalışmalarında hem yatay yer hızını hem de boru çapının, boru hattı onarım oranı ile ilişkili olduğunu belirterek aşağıda verilen (4.4) bağıntıları önerilmiştir.

$$RR = 0.004 \times (PGV/D_p^{0.468})^{1.378} \quad \text{Düktıl font} \quad (4.4.a)$$

$$RR = 0.036 \times (PGV/D_p^{1.021})^{0.989} \quad \text{Font} \quad (4.4.b)$$

Burada PGV en büyük yer hızını ve D_p ise boru çapını ifade etmektedir. Önerilen bu ilişkide düktıl ve font borular için ayrı ayrı denklemler bulunmaktadır. Formül 4.4.a'da font borular için, 4.4.b'de ise düktıl borular için geliştirilen boru çapıyla

ölçeklendirilmiş hasar oranları verilmiştir. Her iki formülde de maksimum PGV kullanılmıştır.

4.1.3 HAZUS(1999) modeli

Bu tez çalışmasında incelenen hasar tahmin bağıntılarında en yaygın kullanılan bağıntılarından biri de HAZUS (1999) tarafından önerilen bağıntıdır. Bu bağıntılar 1994 Northridge depreminden önce geliştirilmiş olmasına rağmen, araştırmacılar tarafından geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Esas olarak Amerika Birleşik Devletlerinde meydana gelen depremler sebebiyle oluşan hasarların tahmini için geliştirilmiş HAZUS (1999) yazılımı ve metodolojisi, 1989 ve öncesi olan deprem verilerinden elde edilmiş ve O'Rourke ve Ayala (1993) tarafından geliştirilmiş hasar bağıntılarını kullanmaktadır.

$$RR=0.0001 \times (PGV)^{2.25} \quad (4.5)$$

Burada verilen bağıntı farklı çaptaki kırılğan borular için geliştirilmiştir ve maksimum PGV kullanılmıştır. Düktil boruların hasar sayılarında yukarıda belirtilen formülle elde edilen sonuçların 0.3 ile çarpılması öngörülmektedir. Gömülü boru hatları için iki hasar durumu göz önünde bulundurulur. Bunlar çatlak ve kırıklardır. HAZUS(1999) çalışmasında genellikle, PERGD'den dolayı oluşan hasarın kırık, sismik dalga yayılımını gösteren PGV'den dolayı oluşan hasarın, ek yerlerinde çıkma ve başlıklardaki ezilme olacağını ifade etmektedir. Hasar sayıları hesaplamalarında, PERGD'ye bağlı hasarın %80 kırık ve %20 çatlak, PGV'ye bağlı hasarın %20 kırık ve %80 çatlak olacağını öngörmektedir. Ayrıca HAZUS(1999) 300mm çapından küçük boruları küçük çaplı borular olarak değerlendirmektedir.

4.1.4 ALA(2001) modeli

Araştırmacılar tarafından kullanılan yaygın ve güvenilir olan diğer bir hasar tahmin bağıntısı da American Lifelines Engineering ALA (2001) tarafından önerilen bağıntıdır. 1998 yılında Amerika Birlesik Devletleri'nde başlatılan bir projede, içmesuyu dağıtım sistemlerinde deprem tehlikesinden dolayı oluşabilecek hasarları araştıran ve bu hasarların hesaplanması ve önlenmesi ile ilgili metotlar geliştirilmiştir. Bu tez çalışmasında hasar hesabı için bu projede ortaya konulan hasar bağıntıları da dikkate alınmıştır. ALA (2001) çalışmasında; ABD, Japonya ve Meksika'da meydana gelen toplam 12 adet farklı depremden elde edilen veriler

gözönüne alınarak, geçici yer deformasyonları etkisiyle ortaya çıkabilecek boru hattı hasarlarını tahmin etmek için yeni hasar bağıntıları önermiştir. Çalışmada gelebilecek hasarları tahmin etmek için hasar ilişkileri geliştirilmiştir. Çizelge 4.2’de 12 adet depremden elde edilen veriler sunulmuştur.

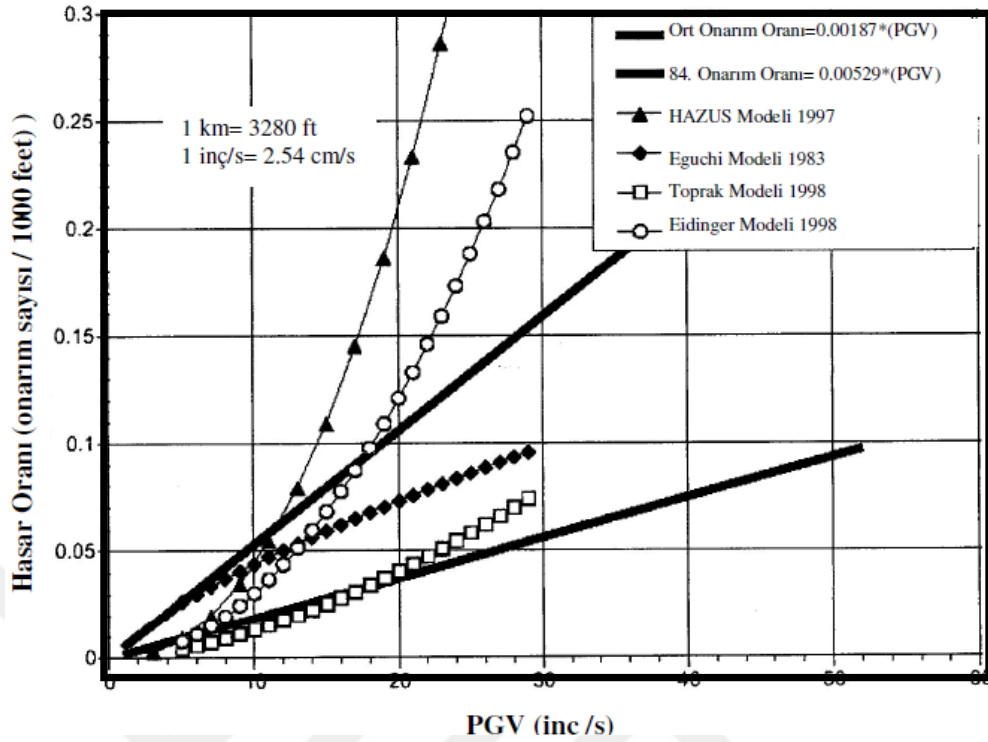
Çizelge 4.2 : PGV veri tabanını oluşturan depremler ve veri noktaları (ALA 2001).

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

Toplam 81 noktada elde edilen veri tabanında çeşitli malzeme tipleri bulunmaktadır. Bunlardan 38 veri noktasıyla font (cast iron) boru türü en geniş dağılıma sahip olanıdır. Daha sonra 13 veri ile çelik boru türü, 10 veri ile asbestli çimento (AÇB) boru türü, 9 veri ile düktil demir (DI) boru türü ve 2 veri ile de beton boru türü sıralanmaktadır. Diğer 9 veri noktası ise font ve düktil boruların birleşim yerleridir. Bu veri tabanındaki borular büyük bir çoğunlukla ana dağıtım borularından oluşmakla beraber, 8 veri noktasında 300 mm den küçük çaplı borular bulunmaktadır.

Bu veri tabanı farklı veri noktalarında PGV’ye bağlı hasar oranı eğrileri içinde önemli bir değişim olduğunu göstermektedir. Bu dağılımı daha iyi fark edebilmek için PGV değişimleri ve onarım oranları değerlerine bağlı olarak gruplandırılma yapılmıştır. Her gruptaki ortalama hasar oranı belirlenmiş ve artan PGV değeri değişikliğine bağlı olarak hasar oranındaki artış gözlemlenmiştir. Bu yaklaşımdan yola çıkarak 2 farklı model, Ortalama Lineer Model ve Üstel Model geliştirilmiştir.

Daha yaygın olarak kullanılan Ortalama Lineer Model’in (onarım oranı PGV’nin lineer fonksiyonudur) Şekil 4.6’da HAZUS Modeli 1997 (FEMA, 1997), Eguchi Modeli 1983 (Eguchi, 1983), Eidinger Modeli 1998 (Eidinger, 1998) ve Toprak Modeli 1998 (Toprak, 1998) ile olan ilişkisi verilmiştir.



Sekil 4.3 : PGV'ye bağlı geliştirilen hasar fonksiyonlarının karşılaştırılması (ALA 2001).

ALA(2001) tarafından önerilen hasar ilişkisinde ortalama PGV (geometrik ortalama) değeri kullanılmıştır. Boru hatlarının olası depremler sebebi ile oluşacak hasarların tahmininde; boru çapı, boru cinsi, boruların bağlantı şekli ve korozyon gibi faktörler hakkında net bilgilere sahip olunması halinde önerilen fonksiyona sabit katsayılar eklenmiştir. ALA (2001) tarafından geliştirilen hasar bağıntısı formül 4.6 ile verilmiştir.

$$RR=K_1 \times (0,00241) \times PGV \quad (4.6)$$

K_1 değeri için ALA(2001) tarafından önerilen katsayı değerleri Çizelge 4.3'de ifade edilmiştir.

Çizelge 4.3 : Hasar sayıları için K_1 sayıları (ALA 2001).

Boru Malzemesi	Ek Yeri Bağlantı şekli	Zemin	Çap	K_1
Font	Çimento	Tümü	Küçük	1.0
Font	Çimento	Korozif	Küçük	1.4
Font	Çimento	Korozif olmayan	Küçük	0.7
Font	Kauçuk conta	Tümü	Küçük	0.8
Çelik	Kaynak	Tümü	Küçük	0.6
Çelik	Kaynak	Korozif	Küçük	0.9
Çelik	Kaynak	Korozif olmayan	Küçük	0.3
Çelik	Kaynak	Tümü	Büyük	0.15
Çelik	Kauçuk conta	Tümü	Küçük	0.7
Çelik	Vidalı	Tümü	Küçük	1.3
Çelik	Perçinli	Tümü	Küçük	1.3
Asbest beton	Kauçuk conta	Tümü	Küçük	0.5
Asbest beton	Çimento	Tümü	Küçük	1.0
Çelik gömlekli beton boru	Kaynak	Tümü	Büyük	0.7
Çelik gömlekli beton boru	Çimento	Tümü	Büyük	1.0
Çelik gömlekli beton boru	Kauçuk conta	Tümü	Büyük	0.8
PVC	Kauçuk conta	Tümü	Küçük	0.5
Düktül font	Kauçuk conta	Tümü	Küçük	0.5

Çizelge 4.3'teki Çap sütununda ifade edilen küçükten kasıt 10 ile 30 cm'e kadar olan içmesuyu boruları, büyüktten kasıt ise 40 cm ve daha büyük çaplı içmesuyu borularıdır.

4.1.5 Eidinger ve Avila(1999) modeli

Lome Prieta ve daha önceki depremlerin verilerini kullanan Eidinger ve Avila (1999) tarafından formül 4.7 önerilmiştir.

$$RR = K_1 \times 0.001 \times (PGV)^{1.98} \quad (4.7)$$

Eidinger ve Avila (1999) çalışmasında farklı tipteki gömülü boruların geçici ve kalıcı yer değiştirmeler açısından performansını değerlendiren basitleştirilmiş bir yöntem

önermiştir. ALA(2001)'dekine benzer şekilde geçici yerdeğiştirmeler için elde edilen K_1 katsayıları Çizelge 4.4'de verilmiştir. Eidinger ayrıca kırılğanlık eğrisinin dayandığı ampirik kanıtın güvenilirliğine göre B'den D' ye değişen bir kalite faktörü de kullanmıştır. Burada B en güvenilir, D ise en az güvenilir olarak kabul edilmektedir.

Çizelge 4.4 : Hasar sayıları için K_1 sayıları (Eidinger ve Avila, 1999).

Boru Malzemesi	Ek Yeri Bağlantı şekli	Zemin	Çap	K_1	Kalite
Font	Çimento	Tümü	Küçük	0.8	B
Font	Çimento	Korozif	Küçük	1.1	C
Font	Çimento	Korozif olmayan	Küçük	0.5	B
Font	Kauçuk conta	Tümü	Küçük	0.5	D
Çelik	Kaynak	Tümü	Küçük	0.5	C
Çelik	Kaynak	Korozif	Küçük	0.8	D
Çelik	Kaynak	Korozif olmayan	Küçük	0.3	B
Çelik	Kaynak	Tümü	Büyük	0.15	B
Çelik	Kauçuk conta	Tümü	Küçük	0.7	D
Asbest beton	Kauçuk conta	Tümü	Küçük	0.5	C
Asbest beton	Çimento	Tümü	Küçük	1.0	B
Asbest beton	Çimento	Tümü	Büyük	2.0	D
Çelik gömlekli beton boru	Kaynak	Tümü	Büyük	1.0	D
Çelik gömlekli beton boru	Çimento	Tümü	Büyük	2.0	D
Çelik gömlekli beton boru	Kauçuk conta	Tümü	Büyük	1.2	D
PVC	Kauçuk conta	Tümü	Küçük	0.5	C
Düktıl font	Kauçuk conta	Tümü	Küçük	0.3	C

4.1.6 Eidinger(1998) modeli

Eidinger (1998) çalışmasında asbest beton, font ve düktıl font içmesuyu boruları farklı hasar sayıları için aşağıdaki bağıntıları vermiştir (4.8).

$$RR = 1.2 \times 10^{-3} \times (PGV)^{0.7677} \quad \text{Asbest beton} \quad (4.8.a)$$

$$RR = 6 \times 10^{-4} \times (PGV)^{1.5542} \quad \text{Font} \quad (4.8.b)$$

$$RR = 6 \times 10^{-5} \times (PGV)^{2.2949} \quad \text{Düktül Font} \quad (4.8.c)$$

4.1.7 Yoo, Kang ve Kim(2013) modeli

Yoo ve diğ. (2013) tarafından su dağıtım altyapılarının depremler karşısındaki modeli üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada önerilen metodoloji olası sismik tehlikelerde dikkate alınarak Güney Kore'deki gerçek bir şebekeye uygulanmıştır. Söz konusu çalışmada ALA(2001) ve Isoyama ve diğ. (2000) tarafından onarım oranı için önerilen hasar bağıntılarını kombine eden bir hasar bağıntısı geliştirilmiştir (4.9).

$$RR = C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 \times 0.00241 \times (PGV) \quad (4.9)$$

PGV : Pik yer hızı (cm/s)

C_1 : Boru çapı katsayısı

C_2 : Malzeme tipi katsayısı

C_3 : Topoğrafya katsayısı

C_4 : Sıvılaşma katsayısı

Yoo ve diğ. (2013) bu veri elde etme sürecindeki sıkıntılar nedeniyle onarım oranı hesaplamalarında sadece boru çapı katsayısı değişimini dikkate almıştır. Formül 4.9'da verilen tüm düzeltme katsayıları Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Düzeltme katsayıları (Yoo, Kang ve Kim, 2013).

Kategori		Düzeltme Faktörü
Boru çapı (C ₁)	D < 100	1.6
	100 ≤ D < 200	1.0
	200 ≤ D < 500	0.8
	500 ≤ D	0.5
Boru malzemesi (C ₂)	Asbest beton	1.2
	PVC	1.0
	Font	1.0
	PE	0.8
	Çelik	0.3
	Düktül Font	0.3
Topoğrafya (C ₃)	Dar vadi	3.2
	Teras	1.0
	Dik yamaç	1.1
	Alüvyon	1.0
	Sıkı alüvyon	0.4
Sıvılaşma (C ₄)	Toplam	2.4
	Kısmi	2.0
	Hiç yok	1.0

4.1.8 Pineda ve Ordaz(2003) modeli

Pineda ve Ordaz (2003) çalışmasında Mexico-city şehrine ait su dağıtım sisteminde olası bir deprem etkisiyle oluşabilecek hasarların hesabı için ampirik bir hasar bağıntısı geliştirilmiştir. 1985 Michoacan depreminden elde edilen veriler kullanılarak Mexico-city şehri vadisindeki yer ve arazi hareketleri incelenmiş,

gömülü boru hatlarında görülen deprem hasarının dalga yayılması ya da kalıcı zemin deformasyonları ile ilişkili olduğu ifade edilmiştir.

Pineda ve Ordaz (2003) tarafından yapılan çalışmada olası depremler sonrası su dağıtım sisteminde meydana gelebilecek ortalama hasar sayısını hesaplamak, kümülatif dağılım gösteren normal bir fonksiyon önerilmiştir. Sözü geçen bu fonksiyon Şekil 4.4'te görülmektedir. Eğrinin eğiminin arttığı zon hasarın hızla arttığı bölgedir. Sözkonusu hasar fonksiyonu en büyük yer hızı PGV'nin aldığı değere göre üç farklı bağıntı şeklinde sunulmuştur (4.10).

$$0 < PGV < 5.35 ;$$

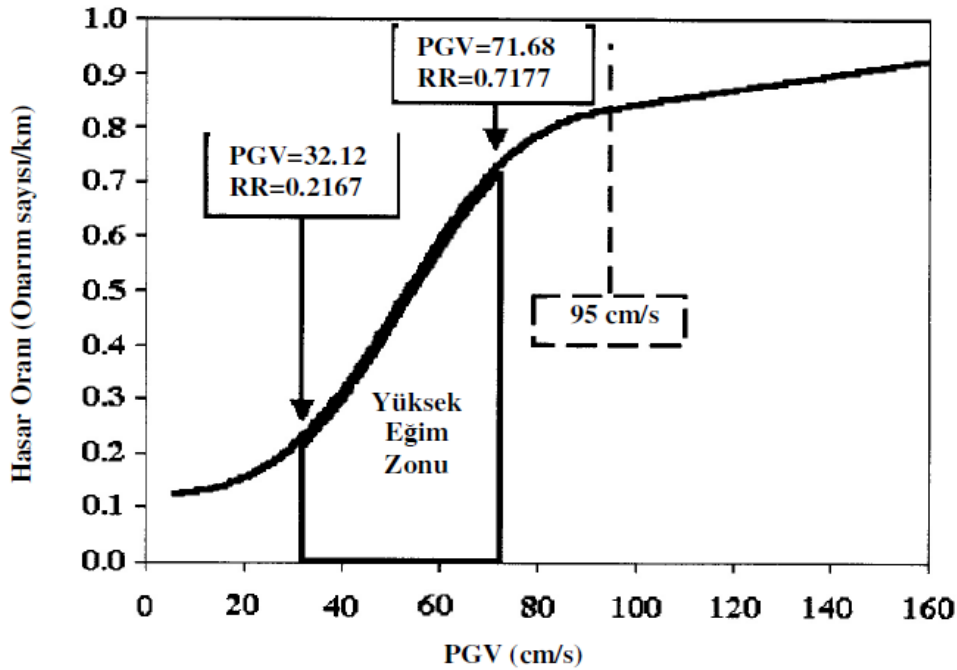
$$RR=0 \quad (4.10.a)$$

$$5.35 \leq PGV < 95 ;$$

$$RR= 0.1172+0.7281 \times \int_{-\infty}^{PGV} \frac{1}{\sqrt{2\pi \times 19.7811}} \times e^{-1/2[(PGV-51.8964)/19.7811]^2} d PGV] \quad (4.10.b)$$

$$PGV \geq 95 ;$$

$$RR= 0.00137 \times (PGV) \times 0.70458 \quad (4.10.c)$$



Sekil 4.4 : Meksika şehri gömülü boru hatları için hasar fonksiyonu (Pineda ve Ordaz, 2003).

4.1.9 O'Rourke ve Deyoe(2004) modeli

O'Rourke ve Deyoe (2004) çalışmasında geliştirilen HAZUS hasar ilişkisiyle, 1994 Northridge depreminden sonra geliştirilen hasar ilişkileri arasındaki farklılıklar

araştırılmıştır. Yapılan araştırmada veri tabanlarındaki farklılığın sismik dalga türünden kaynaklandığı anlaşılmıştır.

O'Rourke ve Deyoe (2004) çalışmasına göre dalga tiplerini saptamak için basit bir kriter geliştirmişlerdir. Bu kritere göre R dalgaları muhtemelen 1985 Michoacan Meksika depreminden elde edilen veri tabanında etkin halde olduğu ve boru hattı tahmini için diğer ilişkilerin geliştirilmesinde kullanılan veri noktaları da S dalgasının muhtemel etkisi altında kaldığı ifade edilmiştir. O'Rourke ve Deyoe (2004) çalışmasında PGV'ye dayanarak R ve S dalgalarını kullanmak suretiyle yeni hasar bağıntıları geliştirmişlerdir. Bu hasar bağıntıları aşağıda verilmiştir (4.11).

$$RR = 0.0035 \times PGV^{0.92} \quad \text{S dalgası} \quad (4.11.a)$$

$$RR = 0.034 \times PGV^{0.92} \quad \text{R dalgası} \quad (4.11.b)$$

4.1.10 Isoyama(2000) modeli

Isoyama ve diğ. (2000) tarafından yapılan çalışmada, su dağıtım hatlarının depremler karşısında alabilecekleri hasarlar araştırılmıştır. Söz konusu çalışmada boru çapı, malzeme, zemin koşulları ve sıvılaşma derecesiyle beraber deprem yer hareketi şiddetini de dikkate alan hasar bağıntıları geliştirilmiştir. Bu bağıntılar esas olarak 1995 Kobe depreminde, Japonya'daki şehirlerin su dağıtım hatlarında oluşan hasarların analiz edilerek değerlendirilmesi sonucunda elde edilmiştir. Isoyama ve diğ., (2000) tarafından en büyük yer hızı PGV cinsinden hasar sayılarını veren hasar bağıntısı aşağıda verilmiştir (4.12).

$$RR = C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 \times 3.11 \times 10^{-3} \times (PGV-15)^{1.3} \quad (4.12)$$

PGV : Pik yer hızı (cm/s)

C₁ : Boru çapı katsayısı

C₂ : Malzeme tipi katsayısı

C₃ : Topoğrafya katsayısı

C₄ : Sıvılaşma katsayısı

Formül 4.12'de verilen bağıntıya ait tüm düzeltme katsayıları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 : Düzeltme katsayıları (Isoyama ve diğ., 2000).

Kategori		Düzeltme Faktörü
Boru çapı (C ₁)	D < 75	1.6
	100 ≤ D < 150	1.0
	200 ≤ D < 450	0.8
	500 ≤ D	0.5
Boru malzemesi (C ₂)	Asbest beton	1.2
	PVC	1.0
	Font	1.0
	Çelik	0.3
	Düktül 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
	Hiç yok	1.0

4.1.11 İsale hatlarının hasar sayılarının hesabı için önerilen hasar bağıntısı

Bu bölümde anlatılan geçici yerdeğiştirme parametresi PGV'ye göre hesaplanan tüm hasar bağıntıları Çizelge 4.7'de düzenlenmiştir. Isoyama ve diğ. (2000) tarafından önerilen hasar bağıntısı hesaplamalarda kullanılmamıştır. Literatürde gömülü boruların hasar tahmininde kullanılan iki parametere olarak PGV ve PERGD değerleri kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında gerek PERGD hesaplanmasında

uygun yer hareketi tahmin bağıntısı bulunamaması gerekte PGV'nin gömülü boru hatlarında iyi korelasyon vermesi sebebiyle, geçici yer değiştirme veya dalga yayılımını ifade eden PGV'ye ait ampirik bağıntılar kullanılmıştır. Deprem mühendisliğinde ivme kaydından deplasmana nümerik integrasyonla geçilmektedir. Kalıcı deplasmalarda ise bu işlem tutarlı sonuçlar vermemektedir. Literatürde yapılan gömülü boru hattı hasar çalışmalarında PERGD değerleri genellikle depremden sonra oluşmuş deformasyonların arazide ölçümüyle elde edilmektedir. Ayrıca PERGD fay hattı, sıvılaşma, zemin oturması ve heyelan olmak üzere dört farklı sebepten oluşmaktadır. Bu dört farklı duruma göre tüm istanbul için elimizde yeterli veri bulunmamaktadır.

Gömülü boru hatlarının hasar sayılarının hesabında literatürde kullanılan hasar bağıntıları ampirik formüllerdir. Hasar bağıntıları daha önce meydana gelmiş belli depremlere göre boru hatlarındaki hasar yerleri ve sayılarını istatistiksel yaklaşımlarla analiz yapılarak elde edilmektedir. Yukarıda anlatılan hasar bağıntıları benzer yöntemlerle elde edilmiş olup, herbirinin veri seti farklıdır. Örneğin Toprak (1998) tarafından önerilen hasar bağıntısı sadece font borular için önerilmiştir. Diğer yandan ALA (2001) tarafından boru tipi, ek tipi, boru çapı gibi parametreleri de dikkate alan daha kapsamlı bir hasar bağıntısı tavsiye etmiştir.

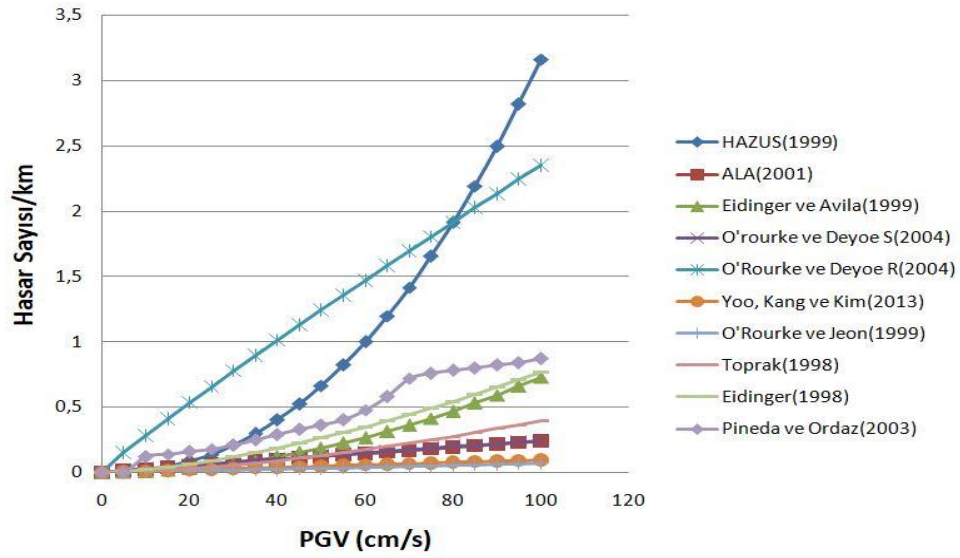
Şekil 4.5'te tezde kullanılan hasar bağıntılarının PGV'ye bağlı değişimi gösterilmiştir. Burada özellikle PGV'nin 20 cm/s üzerindeki değerleri için HAZUS (1999), R dalgalarını için O'Rourke ve Deyoe (2004) ile Pineda ve Ordaz (2003) modelleri daha yüksek hasar sayıları vermektedir. Yoo, Kang ve Kim (2013), O'Rourke ve Jeon (1999), S dalgalarını için O'Rourke ve Deyoe (2004) ve ALA (2001) modelleri en az hasar sayılarını vermektedir. Eidinger ve Avila (1999), Eidinger (1998) ve Toprak (1998) modellerinde ortalama hasar sayıları hesaplanmaktadır. O'Rourke Jeon (2000) ve Isoyama (2000) modeline Şekil 4.5'te yer verilmemiştir.

Gerek hasar bağıntılarında farklı parameterler kullanılması, gerekse de aynı PGV için farklı hasar sayıları bulunması sebebiyle, bu tez çalışmasında içmesuyu boru hatlarının hasar sayılarının hesabında tek bir hasar bağıntısı kullanmak yerine Çizelge 4.6'da verilen tüm hasar bağıntıları dikkate alınmıştır. Böylece literatürde önerilen hasar bağıntılarını daha geniş ve gerçekçi bir yöntemle birleştirilmesi sağlanmıştır. Dikkate alınan her bir hasar bağıntısına yaygın ve güvenilirliğine göre

ağırlık katsayıları atanmıştır. Belli deprem senaryolarına göre isale hatlarının hasar sayılarının hesabında bu ağırlık katsayılarına göre hasar bağıntılarının ağırlıklı ortalaması alınarak, ilgili isale hattı için tek bir hasar sayısı hesaplanmıştır.

Çizelge 4.7 : Çalışmada kullanılan hasar bağıntıları

Referans	Boru Cinsi	Hasar Sayısı (Onarım sayısı/km)
HAZUS(1999)	Karışık	$0.0001 \times (PGV)^{2.25}$
ALA2001(2001)	Karışık	$K_1 \times 0.00241 \times (PGV)$
Eidinger ve Avila(1999)	Karışık	$K_1 \times 0.001 \times (PGV)^{1.98}$
Pineda ve Ordaz(2003)	Karışık	$0.1172 + 0.7281 \times \int_{-\infty}^{PGV} \frac{1}{\sqrt{2\pi \times 19.7811}} \times e^{-1/2[(PGV-51.8964)/19.7811]^2} d PGV]$
O'Rourke ve Deyoe(2004)	Karışık	$0.0035 \times (PGV)^{0.92}$ S dalgası $0.034 \times (PGV)^{0.92}$ R dalgası
Yoo.Kang ve Kim(2013)	Karışık	$C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 \times 0.00241 \times (PGV)$
O'Rourke ve Jeon (1999)	Font Düktül Font	$e^{(1.21 \times \ln(PGV) - 6.78)}$ $e^{(1.84 \times \ln(PGV) - 9.40)}$
O'Rourke ve Jeon(2000) (Ölçekli)	Font Düktül Font	$0.036 \times (PGV/d_p)^{1.021 \times 0.989}$ $0.004 \times (PGV/d_p)^{0.468 \times 1.378}$
Toprak(1998)	Font	$10^{1.62 \times \log(PGV) - 3.64}$
Eidinger (1998)	Asbest Beton Font Düktül Font	$1.2 \times 10^{-3} \times (PGV)^{0.7677}$ $6 \times 10^{-4} \times (PGV)^{1.5542}$ $6 \times 10^{-5} \times (PGV)^{2.2949}$



Şekil 4.5 : Gömülü boru hatları için PGV'ye bağlı hasar ilişkileri.

4.2 İsale Hatlarının Zemin Cinslerinin Belirlenmesi

Tez çalışmasında İSKİ Genel Müdürlüğünden alınan altyapı bilgisine ait envanterin işlenmesi, isale hatlarının geçtiği zemin cinslerinin belirlenmesi ve bu envanteri kullanılacak deprem senaryolarında oluşacak hasar tahminlerini hesaplayacak yazılıma uygun hale getirilme işlemi yapılmıştır.

İlk olarak isale hatlarının karışık halde verilen düğüm noktalarının sıralanması yapılarak İstanbul genelindeki adlandırılmış isale hatlarının sürekliliği sağlanmıştır. Daha sonra İstanbul a ait mikrobölgeleme verileri toplanmıştır. Bu aşamada 24144 noktaya ait koordinat ve zemin tipleri elde edilmiştir. +0.005/2 ve -0.005/2 derecelik kaymalarla zemin kutularına ait tablolar oluşturulmuştur. Böylece İstanbul sınırları içindeki içmesuyu isale hatlarının hasar sayılarının hesaplanmasına olanak verilmiştir.

Yukarıdaki işlemler yapıldıktan sonra tüm isale hatlarının hangi zemin kutusunun içine denk düştüğünün bulunması gerekmektedir. Bunun için ilk önce tüm isale hatlarının zemin kutularıyla hangi noktada kesiştiklerinin bulunması gerekmektedir. Bu işlem için bir algoritma geliştirilmiştir. İsale hattını oluşturan çubukları oluşturan her iki düğüm noktasının hangi noktada hangi zemin kutusunu kestiği hesaplanarak yeni düğüm noktaları oluşturulmuştur. Böylece isale hattındaki iki düğüm noktasını oluşturan çubuğun bir zemin kutusuna atanmasına olanak sağlanmıştır.

Bundan sonra işleme MATLAB ile yazılan program yardımıyla düğüm noktalarının orta noktaları bulunarak, bu noktaların hangi zemin kutusu içinde olduğu tespit edilmiş, böylece düğüm noktalarını oluşturan çubuğun hangi zemin kutusuna ait olduğu belirlenerek, isale hattının ilgili kısmının hangi zemin tipinde olduğu belirlenmiştir (EKA).

4.2.1 İki doğrunun kesişim problemi

Geometrik olarak iki doğru birbirine paralel değilse kesişir. Ancak genel olarak grafik programlamada iki doğrunun değil iki doğru parçasının kesişimi önemlidir. İki doğrunun kesişiminin genel ifadesi (4.13, 4.14),

$$Ax + By + C = 0 \quad (4.13)$$

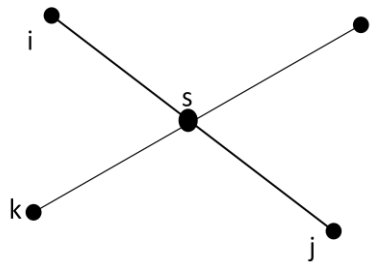
$$Ex + Fy + G = 0 \quad (4.14)$$

olmak üzere;

$$\begin{bmatrix} x_s \\ y_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (GB - FG)/(FA - EB) \\ (CE - AG)/(FA - EB) \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

İki doğru paralel ise, $FA - EB = 0$ olur (4.15). Bu durumda kesişim mevcut değildir.

Paralel olmama durumunda ise yukarıdaki gibi lineer denklem formu ile çözüm yapılırsa kesişim noktasının iki doğrunun üzerinde olup olmadığı araştırılır. Çeşitli özel durumların dikkate alınmasını gerektiren bu yaklaşım yerine, programlama açısından daha kullanışlı olan ve nokta koordinatlarına dayanan yöntem tercih edilebilir.



Şekil 4.6 : İki doğrunun kesişimi.

Doğru parçalarının paralel olup olmadığını belirlemek için aşağıdaki formülle d parametresi hesaplanır (4.16).

$$d = (x_j - x_i)(y_k - y_l) - (x_k - x_l)(y_j - y_i) \quad (4.16)$$

$d=0$ ise doğru parçaları paralel olup kesişim hesaplanamaz. $d \neq 0$ ise p_1 ve p_2 parametreleri hesaplanır (4.17, 4.18).

$$p_1 = \frac{(x_k - x_l)(y_i - y_k) - (x_i - x_k)(y_k - y_l)}{d} \quad (4.17)$$

$$p_2 = \frac{(x_i - x_k)(y_j - y_i) - (x_j - x_i)(y_i - y_k)}{d} \quad (4.18)$$

$0 \leq p_1 \leq 1$ ve $0 \leq p_2 \leq 1$ ise kesişim noktası doğru parçalarının üzerindedir.

Kesişim noktasının koordinatları formül 4.19 ve 4.20 ile verilmiştir.

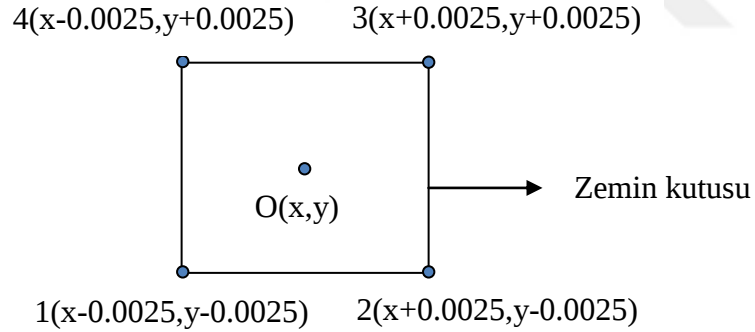
$$x_s = x_i + p_1 (x_j - x_i) \quad (4.19)$$

$$y_s = y_i + p_1 (y_j - y_i) \quad (4.20)$$

olarak hesaplanır (Bildirici, 2003).

4.2.2 İsale hatlarının zemin kutularıyla kesişim noktalarının bulunması

Bu aşamada isale hatlarına gelen hasarları tesbit etmek için isale hatların ilgili kısımlarının hangi zemin tipinde gömülü olduğunun tesbit edilmesi gerekmektedir. Bunun için 24144 noktaya ait koordinatlar ve zemin tipleri elde edilmiştir. Bu noktalardan $+0.005/2$ ve $-0.005/2$ derecelik kaymalarla zemin kutuları oluşturulmuştur.



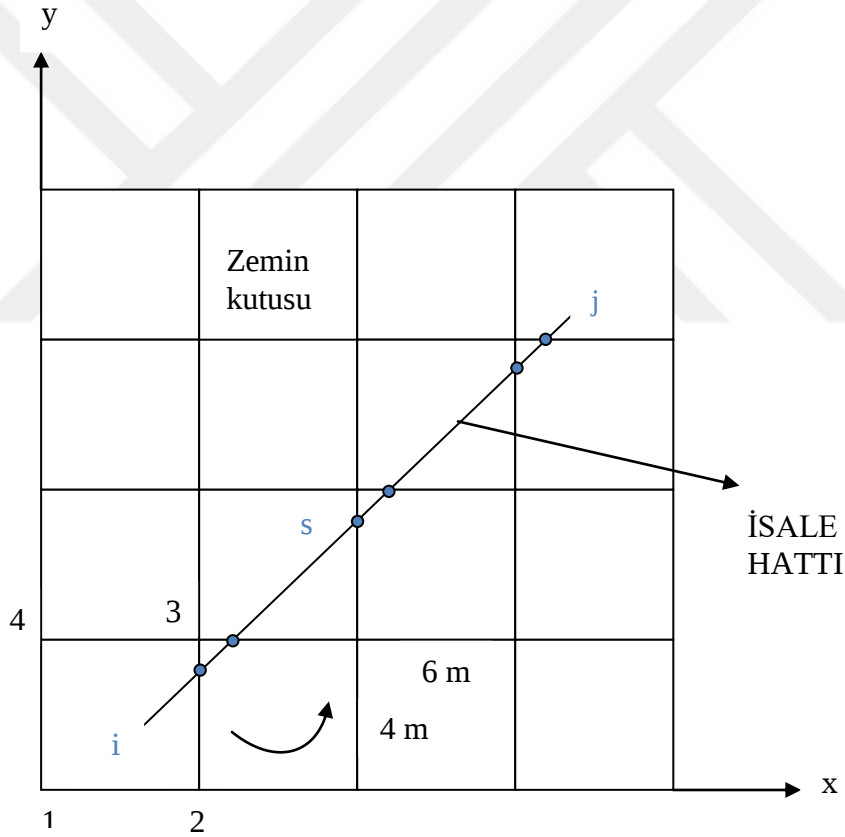
Şekil 4.7 : Zemin kutusu oluşturulması.

Daha sonra tüm isale hatlarının zemin kutularını hangi noktada kesiştiklerinin bulunması için bir algoritma geliştirilmiştir. İsale hattını oluşturan çubukları oluşturan her iki düğüm noktasının hangi noktada hangi zemin kutusunu kestiği hesaplanarak yeni düğüm noktaları oluşturulmuştur.

Bu algoritma ilk önce Şekil 2.3’de gösterilen sistem üzerinde denenmiş ve daha sonrasında asıl büyük sistem olan İstanbuldaki isale hatları üzerinde uygulanmıştır. Şekil 4.8’de $4m \times 6m$ ye karelajlar oluşturularak i ve j düğüm noktaları arasındaki temsili isale hattı örnek alınmıştır.

Burada i ve j noktaları arasındaki doğru parçası isale hattının iki düğüm noktası arasındaki kısmını göstermektedir. i ve j arasındaki doğru parçasının yakınında bulunan 16 adet zemin kutusu ile teker teker kesişim noktaları araştırılmıştır. Herbir zemin kutusu (1-2) , (2-3), (3-4),(4-1) şeklinde belirtilen 4 adet doğrudan oluşmaktadır. (i-j) doğru parçası saatin aksi yönünde dönülerek bu doğrular ile kesişim olup olmadığına bakılır. Bunun için (4.16), (4.17), (4.18) nolu denklemler kullanılır ve $0 \leq p_1 \leq 1$ ve $0 \leq p_2 \leq 1$ ise kesişim şartını sağlayan durumlar aranır.

Kesişim olmayan kutularda p_1 ve p_2 farklı değerler alacaktır. Böylece her bir s noktasının koordinatları hesaplanarak, bu elde edilen kesim noktalarından (i-j) doğru parçası alt parçalara ayrılır ve yeni düğüm noktalarından oluşan herbiri öngörülen zemin kutularıyla sınırlı doğru parçaları oluşturulur.



Şekil 4.8 : Kesişim noktalarının bulunması için örnek sistem.

4.2.3 İstanbul geneli için zemin cinslerinin belirlenmesi

Gömülü hatlarda meydana gelen hasarların hesaplanmasında öne çıkan diğer bir önemli özellik de hasar hesabı yapılması istenen borunun ne tür bir zemin içinde kaldığının tesbit edilmesidir. Gömülü boru hatlarında, tahmin edileceği üzere, sert

zeminlerde daha az, gevşek zeminlerde daha fazla hasar beklenmektedir. Tez çalışmasında İstanbul için daha önceki deprem çalışmalarında elde edilen 24144 noktaya ait zemin bilgisi kullanılmıştır. Bu noktalar üzerinden yaklaşık 400×600 metrelik karelej(zemin kutusu) oluşturularak, o alana ait zemin tipi belirlenmiştir. Zemin tipinin belirlenmesinde Vs30 kayma hızı değerleri kullanılmıştır. Vs30 deprem dalgaları etkisiyle zeminin ilk 30 metresinde oluşan yer hızıdır. Dolayısıyla genelde yüzeye yakın pozisyonda olan içmesuyu isale hatlarının hasar hesaplamalarında kullanılması uygundur. Kayma hızı sert zeminlerde yüksek, gevşek zeminlerde daha düşük değerler almaktadır. Söz konusu zemin kutuları için göre Vs30 kayma hızlarına göre İstanbul genelinde hangi zemin sınıflarını barındırdığı elimizde veri olarak bulunmaktadır (Çizelge 4.9). Literatürde yaygın olarak kullanılan NEHRP' ye göre zemin sınıfları harflerle ifade edilmektedir. A,B,C,D,E,F olarak toplam 6 farklı zemin sınıfı tanımlanmıştır (Çizelge 4.8). NEHRP kayaçların Vs30 hızlarına göre ne tür zemin olduğunu sınıflandırmıştır. İsale hattı parçasının hangi zemin kutusu içinde kaldığı belirlendikten sonra söz konusu isale hattının hangi zemin sınıfının veya sınıflarının içinden geçtiği kolayca tespit edilir.

Çizelge 4.8 : NEHRP'ye göre zemin sınıfları.

NEHRP Zemin Sınıfı	Tanım	Vs30(m/s)
A	Sert Anakaya	>1500
B	Kaya	760-1500
C	Yumuşak Kaya/ Çok Sıkı Zemin	360-760
D	Sert Zemin/Sıkı Zemin	180-360
E	Yumuşak Zemin	<180
F	Özel Çalışma Gerektiren Zeminler	<180

İstanbul genelindeki boru hatlarında her bir boru parçasının hangi tip zeminde olduğu belirlenmiş ve buna göre hasar sayıları hesaplanmıştır. Zemin tipi Akkar ve Bommer (2007) tarafından önerilen yer hareketi tahmin bağıntısında S_s ve S_A katsayıları ile dikkate alınmaktadır. İstanbul geneli için zemin bilgisine ait ilk 10 noktaya ait tablo aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9 : İstanbul için zemin bilgisine ait örnek veri tablosu.

No	İlçe	Mahalle	Boylam	Enlem	Vs30
1	TUZLA	POSTANE	29.255	40.81	688.74
2	TUZLA	POSTANE	29.26	40.81	688.74
3	TUZLA	POSTANE	29.265	40.81	499.81
4	TUZLA	POSTANE	29.27	40.81	518.34
5	TUZLA	ASKERİ BÖLGE	29.33	40.835	789.83
6	TUZLA	ASKERİ BÖLGE	29.335	40.835	789.83
7	TUZLA	ASKERİ BÖLGE	29.34	40.835	695.15
8	TUZLA	ASKERİ BÖLGE	29.345	40.835	421.93
9	TUZLA	ASKERİ BÖLGE	29.35	40.835	350.85
10	TUZLA	ASKERİ BÖLGE	29.355	40.835	350.85

4.3 Yer Hareketi Tahmin Bağlılıları (YTHB)

Deprem parametrelerinin belirlenmesinde yer hareketi modelleri oluşturularak hız, ivme, deformasyon vb. değerlerin tahmin edilmesi gerek altyapı gerekse de üstyapıda oluşabilecek deprem hasarlarının hesaplanması açısından önem arz etmektedir. Akkar ve Bommer (2007) çalışmasında en büyük yer hızını (PGV), Campbell ve Bozorgnia (2008) çalışmasında en büyük yer ivmesi (PGA), en büyük yer hızı (PGV) ve en büyük yer deformasyonu (PGD), Boore ve Atkinson (2008) çalışmasında en büyük yer ivmesi (PGA), en büyük yer hızı (PGV) ve pseudo mutlak spectrası (PSA) değerleri esas alınarak yer hareketi tahmin bağıntıları önerilmiştir.

Bu tez çalışmasında Akkar ve Bommer (2007)'in çalışmasında öngörülen en büyük yer hızını (PGV) parametresini kullanan yer hareketi tahmin bağıntısı dikkate alınmıştır.

4.3.1 Akkar ve Bommer(2007) yaklaşımı

Akkar ve Bommer (2007) tarafından yapılan çalışmada önerilen yer hareketi tahmin bağıntısı Avrupa, Ortadoğu ve Türkiye' de olan depremleri de içeren veri seti kullanarak modellemenin yapılmış olması, İstanbul'daki gömülü boru hatlarının hasar hesabında kullanılan en büyük yer hızının (PGV) daha gerçekçi ve özgün olmasını sağlamaktadır.

En büyük yer hızının (PGV) deprem mühendisliği alanında birçok alternatif uygulaması bulunmaktadır. Ancak en büyük yer ivmesi ve tepki spektral ordinatları için çok sayıda tahmin bağıntısı olmasına rağmen, en büyük yer hızı (PGV) için

nispeten az sayıda tahmin bağıntısı bulunmaktadır. Bu eksiklikten dolayı PGV'nin genellikle %5 sönümlü 1 saniyedeki tepki spektral ordinatının ölçeklendirilmesi ile hesaplanma yoluna gidilmiştir. Bu sebeplerden dolayı Akkar ve Bommer (2007) tarafından yapılan çalışmada Avrupa ve Ortadoğu'daki sismik aktif bölgelerdeki kuvvetli yer hareketi verisetlerini kullanarak PGV hesabı için tahmin bağıntısı önerilmiştir. Ayrıca 532 kuvvetli yer hareketi ölçerlerin 100 km'ye kadar uzaklıkta moment büyüklüğü 5.5 ve 7.6 arasında değişen 131 adet depremin değerleri kullanılarak hem büyük hem de geometik ortalama için hızın yatay bileşenlerini veren bağıntılar elde edilmiştir.

PGV'nin mühendislik sismolojisi ve deprem mühendisliğinde birçok uygulaması bulunmaktadır. PGV'nin gömülü boru hatlarında oluşan hasar sayısı ile iyi bir korelasyon oluşturduğu görülmektedir. PGV cinsinden ifade edilmiş gömülü boru hatlarına ait kırılma bağıntıları ALA(2001) ve HAZUS(1999) manuaılarında yer verilmiştir. Ayrıca PGV yapısal hasar ile ilgili çalışmalarda da geniş olarak kullanılmaktadır. PGV parametre olarak hem altyapı hem de üstyapı hasarlarının hesabında yaygın olarak kullanılmasına rağmen özellikle PGA ve spektral ivme ordinatları ile karşılaştırıldığında PGV'nin kendisini hesaplayan az sayıda bağıntı bulunmaktadır. PGV genellikle Newmark ve diğ. (1973) tarafından önerilen 1 saniyedeki pseudo spektral hızın 1.65'e bölünmesiyle elde edilmektedir. PGV'nin hesabı için başka yaklaşımlarda vardır. Fakat genelde bütün bu yaklaşımlar yaklaşık teknikler olup, bu parametrenin direkt hesabını yapan bağıntılar tercih edilmesi uygun olacaktır.

Akkar ve Bommer (2007) tarafından yapılan çalışmada kayıtlar tekrar gözden geçirilerek Ambraseys ve diğ. (2005) çalışmasındaki PGA ve spektral ivme ordinatlarını elde etmek için kullanılan bağıntılardaki verisetlerinin neredeyse aynısı kullanılmıştır. Buradaki amaç sismik olarak aktif Avrupa ve Ortadoğu bölgeleri için güçlü bir PGV hesap bağıntısı önermektir. Ayrıca Avrupa ve diğer bölgeler için yer hareketi hesaplamalarındaki benzerlik derecesini keşfetmek için bu bağıntı başka bölgeler, özellikle batı Amerika ve NGA (Next generation of Attenuation) projesindeki etkili global bağıntılar ile karşılaştırılmasına izin verilmiştir. NGA denklemlerinin Avrupaya uygulanabilirliğinin ön çalışması Campbell ve Bozorgnia (2008) tarafından yapılmıştır. Akkar ve Bommer (2007) çalışmasında konuyu daha genişleterek yeni PGV denkleminin Batı Amerika ve Avrupada birbirinin yerine

kullanılıp kullanılamayacağı ve aynı zamanda Avrupa ve NGA kuvvetli yer hareketi verisetleri birleştirilerek daha güçlü bir global bağıntının aktif karasal bölgelerde kullanılıp kullanılamayacağı irdelenmiştir.

Akkar ve Bommer (2007) çalışmasında PGV için bulunan bağıntının diğer bir avantajı da aletsel büyüklük cinsinden geometrik ortalama PGV'yi, kaynak arazi uzaklığı , zemin sınıflandırılması ve fay tipi parametreleriyle, anlamlı olarak NGA projesinde üretilen değerler ile karşılaştırılmasına imakan sağlamasıdır. NGA projesiyle yeni bağıntı değerleri arasındaki en bariz fark kısa mesafelerde ortaya çıkmaktadır. Bu fark da kaynağa 5 km'den az uzaklıklarda verinin eksik olması ve zemin nonlineerliliğinin Avrupa bağıntılarında dikkate alınmaması sebebiyle ortaya çıkmaktadır. Bu karşılaştırmalar Akkar ve Bommer (2007) ile NGA bağıntılarında kullanılan parametrelerin hesabında sistematik bir fark olmadığını göstermiştir. Ayrıca Avrupada kullanılan kuvvetli yer hareketi veriseti ile NGA'nın veri tabanı birleştirilerek dünya genelinde aktif karasal bölgelerde kullanılmak için daha etkili güçlü bağıntılar elde edilebilir.

PGA'nın ve %5 sönümlü spektral ivme ordinat bağıntıların elde edilmesi için bu çalışmada kullanılan kuvvetli yer hareketi veritabanı Ambraseys ve diğ., (2005) ile hemen hemen aynıdır. Fakat sadece filtrelenmiş iz olarak bulunan kayıtlar dikkate alınmamıştır. Frolich ve Asperon (1992) ve Ambraseys ve diğ. (2005) çalışmalarından farklı olarak fay kırıklarının olağandışı tanımlayıp ve bu tanımlamayı yer hareketi modelinde tahmin değişkeni olarak tanımlamak yerine, olağandışı kırıklar için yeniden sınıflandırma yapılmıştır.

Kayıt istasyonları gözlem yerinin 30 m üzerinde ortalama kayma dalga hızına (V_{s30}) göre sınıflandırılmıştır. Burada 750 m/s üzerinde hıza sahipse kaya ve 360 m/sn altında ise gevşek zemin, ara değerler ise sıkı zemin olarak dikkate alınmıştır.

Depremin büyüklüğünü ifade etmek için aletsel büyüklük (M_{agn}), metrik uzaklık Joyner-Boore uzaklığı (R_{jb}) fay kırığının yüzeysel projeksiyonuna en yakın yatay uzaklık kullanılmıştır. Küçük depremler için çoğunlukla fay kırığının yerini tam olarak tesbit etmek mümkün olmadığı için, merkezsel uzaklık (R_{epi}) kullanılmıştır. Aletsel büyüklüğü 5.5'den küçük depremlerde bu iki metrik uzaklık eşit alınabilir.

Akkar ve Bommer (2007) tarafından yapılan çalışmada veritabanındaki filtrelemenin önemli olduğu, işlem düzeninde bu sismik özelliklerin de (aletsel büyüklük ve zemin

sınıfı vb.) etkileri dikkate alınır, neticedeki yer hareketi parametrelerinin daha güvenilir olması sağlanacaktır.

Depremin aletsel büyüklüğü, Joyner-Boore uzaklığı, fayın şekli ve zemin sınıfı Akkar ve Bommer (2007) tarafından önerilen ve PGV için önerilen yer hareketi tahmin bağıntısının açıklayıcı parametreleridir. Her bir ivme kaydından elde edilen iki yatay bileşenin analiziyle hesaplanan PGV'nin hem geometrik ortalama, hem de maksimum değerleri için tahmin bağıntısı elde edilmiştir. Akkar ve Bommer (2006) çalışmasında bir çok fonksiyonel form kullanmış, hem depremin aletsel büyüklüğünün quadratik terimi, hem de depremin aletsel büyüklüğünden bağımsız geometrik dağılımın optimal bir model olduğu görülmüştür. Birçok çalışma kısmen düşük frekanslı yer hareketleri parametreleri ile domine edilmiş yer hareketi parametre değişimini yeterince dikkate almak için, yer hareketi ölçekleri için yüksek dereceden terimleri bağıntılarına dahil etmişlerdir.

Akkar ve Bommer (2007) tarafından PGV'nin geometrik ortalama (PGV_{GM}) ve maksimum (PGV_{max}) için verilen tahmin bağıntısı aşağıda verilmiştir:

$$\text{Log}(PGV_{xx}) = b_1 + b_2 \times \text{Magn} + b_3 \times \text{Magn}^2 + (b_4 + b_5 \times \text{Magn}) \times \log(R_{jb}^2 + b_6^2)^{0.5} + b_7 \times S_s + b_8 \times S_A + b_9 \times F_N + b_{10} \times F_R \quad (4.21)$$

PGV_{xx} : En büyük yer hızı cm/s, (xx değişkeni GM veya max durumunu ifade eder)

Magn : Depremin aletsel büyüklüğü

R_{jb} : Deprem odağına olan uzaklık km

F_N, F_R : Fay tipi katsayısı (Normal ve ters faylar için 1 diğerleri için 0)

S_s, S_A : Zemin tipi katsayısı (Sıkı ve gevşek zeminler için 1 diğerleri için 0)

Çizelge 4.10 : Regresyon katsayıları (Akkar ve Bommer, 2007).

	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8	b_9	b_{10}
GM	-1.36	1.063	-0.079	-2.948	0.306	5.547	0.243	0.087	-0.057	0.0245
MAX	-1.26	1.103	-0.085	-3.103	0.327	5.504	0.226	0.079	-0.083	0.0116

Bu tez çalışması kapsamında gömülü boru hatlarının hesabında geometrik ortalama cinsinden en büyük yer hızı parametresi tercih edilmiştir (PGV_{GM}). Zemin tipi katsayıları; $760 < V_s30 < 1500$ için $S_s=0$ $S_A=1$, $V_s30 < 760$ için $S_s=0$ $S_A=1$ alınmıştır. Ayrıca fay tipi katsayıları; $F_N=1$, $F_R=0$ olarak hesaplamalarda dikkate alınmıştır.

Akkar ve Bommer (2007) 'in çalışmasında sonuç olarak sismik olarak aktif alanlarda kullanılmak üzere analog ve dijital ivme ölçerlerin kuvvetli yer hareketi

veritabanının dikkatli bir şekilde işlenmesiyle elde edilen yeni bir en büyük yer hızı (PGV) bağıntısı ortaya çıkarılmıştır. Burada yeni bir denklem arayışına en büyük sebep olarak daha öncede belirtildiği üzere PGV hesabını veren bağıntıların azlığı ve PGV'nin tatmin edici olmayan tepki spektral ordinatının ölçeklendirilmesiyle bulunmasıdır. Bu yeni bağıntı Tromans ve Bommer (2002) tarafından Avrupa için elde edilen bağıntının yerine kullanılabilir. Bu yeni bağıntının oluşturulmasında Akkar ve Bommer (2006) çalışmasındaki gibi tarif edilmiş ve yeniden tasnif edilmiş , genişletilmiş Avrupa kuvvetli yer hareketi veriseti kullanılmıştır.

Yeni bağıntı Tromans ve Bommer (2002)'de olduğu gibi hem geometrik ortalama ve hem de büyük yatay bileşenler için verilmiştir. Bağıntının fonksiyonel formu daha karmaşıktır. Bağıntıda bir depremin aletsel büyüklük quadratik terimi ve aletsel büyüklükten bağımsız azaltma miktarı ve fay tipinin etkisi de (Tromans ve Bommer'de yoktur) dikkate alınmıştır. Burada elde edilen bağıntının bir kusuru olarak gevşek ve sıkı zeminlerin büyütme etkisinin nonlineerliğini dikkate almaması ifade edilebilir. Eldeki mevcut verilerle zemin nonlineerliğinin çok az etkisi olduğunu ancak kullanılan verisetinin bu etkinin anlaşılması için yeterli olmadığını belirtmek gerekir. Bu açıdan Avrupa'daki kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonlarının sayısının az olmasından ve zemin sınıflandırılmasında daha çok yüzeysel jeolojiyle ilgilenilmesinden dolayı, elde edilen geoteknik bilginin geliştirilmesine önem verilmelidir. Akkar ve Bommer (2007) tarafından yapılan çalışmada elde edilen en büyük yer hızı (PGV) bağıntısı diğer bağıntılara göre boru hatların hesabında daha uygun ve güvenilir bir bağıntı olarak seçilmiştir.

4.4 Katalog Deprem Verilerinin Elde Edilmesi

İçmesuyu hatlarında deprem hasar sayılarının gerçekçi bir şekilde belirlenmesinde çalışması yapılan isale hattını etkileyebilecek senaryo depremlerin doğru bir şekilde üretilmesi önemli rol oynamaktadır. Bunun için tez çalışmasında Küresel Deprem Modeli GEM'in bir parçası olan OpenQuake yazılımı kullanılarak katalog deprem verisi oluşturulmuştur (Silva ve diğ., 2013). Bu veri oluşturulurken İstanbul sınırları dört köşe nokta olarak belirlenmiş ve bu noktalardan 150 şer km dışa gidilerek sınırlar çizilmiştir. Bu alan içerisinde deprem üretebilecek 66014 nokta bulunarak deprem kataloğu elde edilmiştir. Deprem kataloğunun oluşturulmasında kullanılan Openquake yazılımı ile ilgili ve dayandığı esaslar aşağıda açıklanmıştır.

4.4.1 Openquake yazılımı

Küresel Deprem Modeli (GEM), son teknoloji bilimi, küresel işbirliğini, şeffaflık ve girişimde açıklığın ana özelliklerini dünya çapında deprem riskini hesaplamak ve iletişimde bulunmak için birleştirmeyi amaçlamaktadır. Bu hedefin ilk adımları OpenQuake olarak adlandırılan açık kaynaklı sismik tehlike ve risk değerlendirmesi yapan yazılımın çıkarılması ve geliştirilmesi olmuştur (Silva ve diğ., 2013). Bu yazılım verilen senaryo olay sebebiyle veya belli bir zaman aralığında belli bir bölgede olabilmesi mümkün olayların olasılığını dikkate alarak insan ve ekonomik kayıpları hesaplayabilen bir dizi hesap modülleri bir araya getirir.

Küresel Deprem Modeli(GEM)'in bir parçası olan Openquake projesi beş ana hesaplama modülünden oluşmaktadır.

1. Senaryo risk
2. Senaryo hasar değerlendirmesi
3. Probabilistik olay tabanlı risk
4. Klasik PSHA tabanlı risk
5. Maliyet- fayda oranı

Küresel Deprem Modeli(GEM) projesinin IT altyapısını geliştirmek amaçlı bir pilot projesi olan GEM1 kapsamında mevcut tehlike ve risk yazılımları gözden geçirilmiştir. Burada yazılımların doğruluğunu ispatlamaktan ziyade, becerilerini ve sınırlarının anlaşılması istenmiştir. Böylece Openquake yazılım şartnamesinin ilk bilimsel gereklilikleri ortaya konmuştur. Burada ticari yazılımlar kapsam dışında tutulmuştur. Öncü ve kullanışlı sismik risk değerlendirme amaçlı HAZUS yazılımında GEM1 kapsamında dikkate alınmıştır.

Phyton programlama dilinde yazılan Openquake yazılımı tehlike ve risk hesaplamalarında *oq-hazardlib* ve *oq-risklib* adlı iki bilimsel kütüphaneyi kullanmaktadır. Openquake geçerlilik ve kalibrasyon konusunda da kendini ispatlamıştır. Ayrıca konuyla ilgili açık kaynaklı projelerden de faydalanılmaktadır. Bu projelerde kullanılan modelleri Openquake de kullanmaktadır. Bu modeller aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

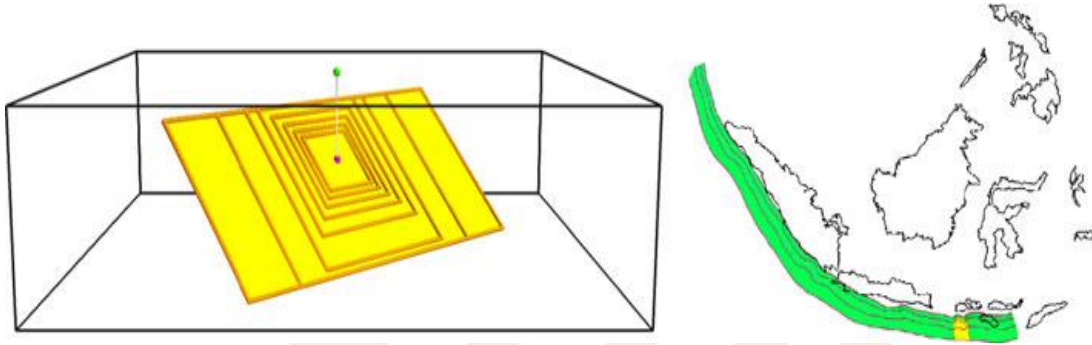
1. Sismik kaynak modeli:

Sismik kaynak modeli yer, geometri ve sismik kaynağın aktivitesi (büyüklük frekans dağılımları arasından tanımlanır) hakkında bilgi sağlar. Bir sismik model sismik

kaynakların sıralanması olarak da tanımlanır. Openquake in faydalandığı projenin yazılımı olan NRML’de her bir sismik kaynak dört farklı tipolojide tanımlanır:

- Alan: Uniform sismisite alanını tanımlayan poligon bölge
- Nokta: Bir noktaya toplanmış sismisiteyi tanımlayan tekil yer
- Basit (Geometri) fay: Basit bir fay düzleminde tanımlanan 3D yüzey
- Kompleks (Geometri) fay: Kompleks fay düzleminde oluşabilen sismisiteyi tanımlamaya izin veren 3D yüzey.

Şekil 4.9’da nokta ve kompleks fay modelleri çizilmiştir.



Şekil 4.9 : Openquake modellerinden nokta(sol) ve kompleks(sağ) fay modelleri.

Yukarıda sıralanan dört kategorinin hepsi de GEM1 projesinde sismik tehlike modellerinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi sonucunda elde edilmiştir. Bu sismik kaynak modelleri farklı projelerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

2. Mantık ağacı modeli

Mantık ağacı modelleri modern probabilistik sismik tehlike(PSHA) değerlendirmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Mantık ağacının amacı sismik tehlike/risk analizinde dikkate alınacak epistemik belirsizlikleri (örneğin bir noktadaki bilgi veya veri eksikliği) sistematik olarak tanımlamaktır.

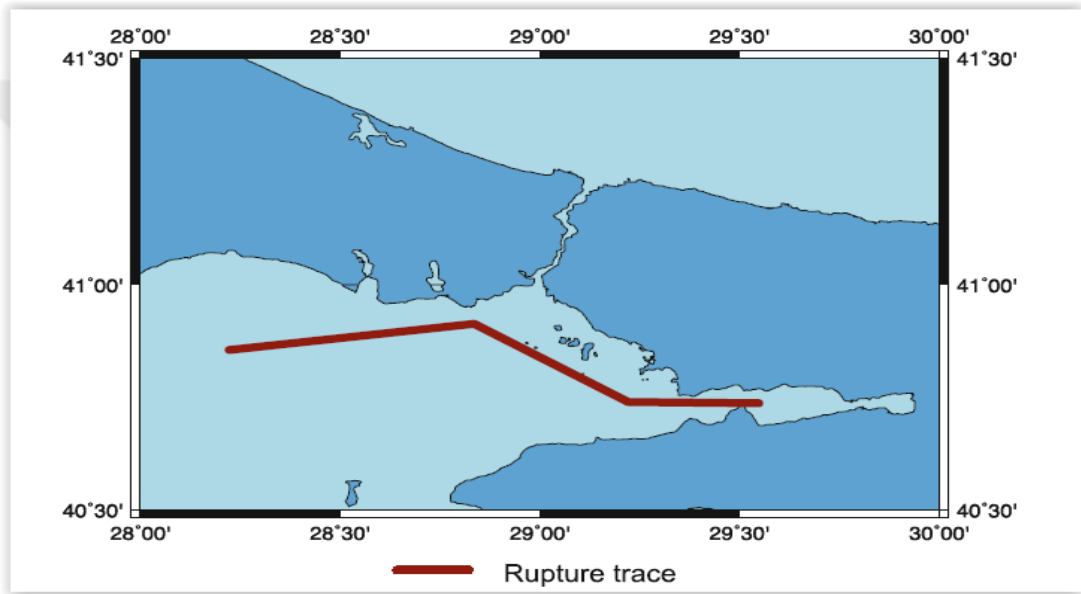
Yukarıda sıralanan dört kategorinin hepsi de GEM1 projesinde sismik tehlike modellerinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi sonucunda elde edilmiştir. Bu sismik kaynak modelleri farklı projelerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

3. Kırılma modeli

Openquake in de faydalandığı Natural Hazards Risk Markup Language (NRML) projesinde kırılma modellerinin tanımlamasına izin verilmektedir. Kırılma modelleri özellikle senaryo risk ve hasar analizinde anahtar bir girdi rolündedir. ID, isim ve tanımlama ile birlikte kırılma modeli aşağıda verilen seçeneklerle tanımlanabilir.

- Nokta Kırılması (Bir fokal mekanizma ve hipocenter yeri ile tanımlanır)
- Basit (geometri) Fay Kırılması (Basit fay geometrik atıf ve tırmık açısıyla tanımlanır), (Şekil 4.10)
- Kompleks (geometri) Fay Kırılması (Kompleks fay geometrik atıf ve tırmık açısıyla tanımlanır)

Yukarıdaki seçenekler bize kırılma modelleri için birçok olasılıkları kullanma imkanı verir. Örneğin yer hareketi hipocentral uzaklığı metrik uzaklık olarak adapte eden yer hareketi tahmin denklemleri ile ifade edildiğinde, nokta kırılma modeli kullanılabilir. Bu üç seçenek de eldeki fay yüzeyi bilgisinin detayına göre tercih edilebilir.



Şekil 4.10 : Basit fay kırılması modeli izi.

4. Fiziksel hasar görebilirlik modeli

Fiziksel ve yapısal hasar görebilirlik verilen bir şiddet seviyesi için kayıp oranının dağılım olasılığı olarak ifade edilebilir. Bunu Openquake'de mevcut kütüphanelerindeki ayırık hasar görebilirlik fonksiyonlarını, kayıpları (örneğin ölümler veya hasar bedellerini) direkt olarak modellemek için kullanmaktadır.

5. Kırılma modeli

Kırılma modeli belli bir şiddet ölçüm seviyesi aralığı için limit durumlar kümesinin aşılma olasılığı olarak tanımlanır. Openquake yazılımı limit durumlar kümesi için herhangi bir sayı veya adlar dizinini kullanan kırılma modellerini kabul edebilir.

6. Exposure modeli

Exposure modeli çalışılan bölgedeki varlıklar ile ilgili bilgi içerir. Burada varlık bir şeyin değerini tanımlamak için kullanılır. Openquake bu tür modellerin sismik tehlike hesaplarında kullanılmasına imkan tanımaktadır.

Openquake yazılımı giriş datasındada faydalandığı Natural Hazards Risk Markup Language (NRML)'in çıkış datasını kullanır. Bu çıkış datasında tehlike eğrileri, yer hareketleri alanları, tehlike haritaları, kayıp eğrileri ve kayıp haritaları, ile hasar dağılımları sonuçlarını içermektedir.

Openquake yazılımı sismik tehlike ve riskin hesaplanması konusunda faydalanmak için halihazırda birçok enstitü ve araştırma projesinde kullanılmaktadır. (Örneğin Avrupa daki tehlikeyi hesaplamak için Avrupa Komisyonu destekli SHARE projesi)

4.4.2 SHARE projesi (Seismic Hazard Harmonization in Europe):

Toplumsal tabanlı olasılıksal sismik tehlike değerlendirmesi “Avrupadaki Sismik Tehlike Uyumluluğu (SHARE)” projesi sonuçlarından ortaya çıkan 2013 Avrupa Sismik Tehlike Modeli (ESHM13), belirsizlikleri sayılara döken ve ulusal sınır kısıtlamasını ortadan kaldıran Avrupa ve Türkiye için tutarlı bir sismik tehlike modelidir (Woessner ve diğ., 2015). Aynı zamanda Küresel Deprem Modeli(GEM) insiyatifine katkı sağlayan ilk bitirilmiş bölgesel çalışmadır. Avrupa'daki bina tasarımı için sismik düzenleme Eurocode8 güncellenmesi de dahil olmak üzere, depreme karşı hazırlıklı olma düzeyinden risk azaltma stratejilerine kadar çeşitli uygulamalar için bir referans model görevi görebilir. Sonuçları bir referans oluştursa da, mevcut Avrupa Sismik dizayn ve binaların inşası ulusal yönetmeliklerinin yerine geçmezler. Bu çalışmalarda farklı mühendislik ve bilim disiplinlerinden bilgiler kullanılmış ve konu hakkındaki birçok uzman bir araya getirilmiştir. Ayrıca dokümanların şeffaf bir şekilde ortaya konması ve her türlü veri, sonuç ve metodlara kolay ulaşılabilmesi için azami çaba sarfedilmiştir (www.efehr.org).

Olasılıksal sismik tehlike değerlendirmesi (PSHA) en yaygın ve toplumun karşı karşıya kaldığı sismik tehlide karşı standartlaştırılmış bir prosedürdür. Olasılıksal sismik tehlike değerlendirmesinde yer hareketi şiddet ölçüsünün, örneğin en büyük yer ivmesi PGA'nın, verilen zaman dilimi içinde bir eşik değer seviyesini aşma olasılığını araştırır.

Herhangi bir olasılıksal sismik tehlike değerlendirmesi (PSHA); ilgilenilen alanın sismisitesini karakterize eden bir deprem kaynak modeli ve yer hareketi tahmin bağıntıları (YTHB) aracılığıyla yer hareketi genliklerinin azaltılmasını ele alan bir yer hareketi modelinden oluşur. SHARE de kullanılan ESHM13'in yazılımı zamandan bağımsız bir tehlike modeli üzerine kurulmuştur (Woessner ve diğ., 2015). Başka bir deyişle incelenen depremlerin diğer depremlerin nerede ve ne zaman olduğuyla ilgili hafızaları yoktur.

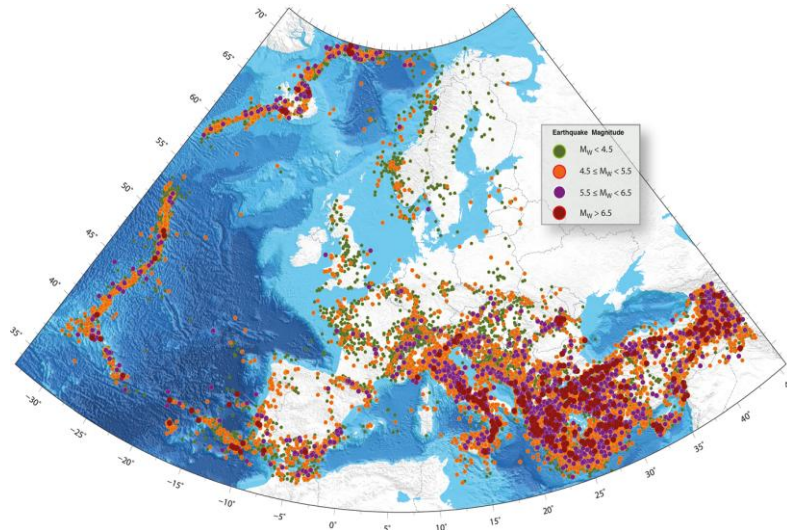
Bu projede çalışılan alan Orta Atlantik sırtlarından Doğu Avrupa platformuna, Akdeniz'deki dalma zonlarından ve Türkiye'deki geniş dönüşüm faylarından Baltık kalkanına kadar uzanmaktadır.

SHARE projesi kapsamında yeni homojen bir deprem katalogu bir araya getirilmiştir.

Bu katalog iki bölümden oluşmaktadır:

- a)1000-1899 yılları arasındaki tarihsel arşivlerden elde edilen deprem veri ve bilgileri,
- b)1900-2006 mevcut ulusal kodlardan harmonize edilmiş ve çok sayıda özel çalışmadan alınmış veriler.

Katalog daha homojen bir tehlike analizi için Orta ve Doğu Türkiye'ye kadar uzatılmıştır (şekil 4.11).

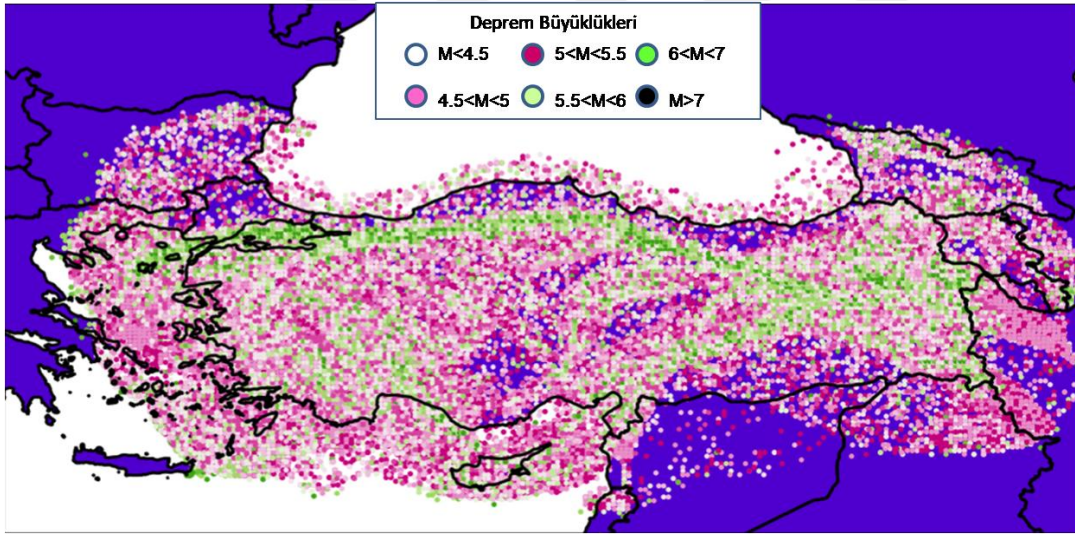


şekil 4.11 : 1000-2006 tarihleri arasında Avrupadaki depremlerden derlenen SHARE Avrupa Deprem Kataloğu (SHEEC) ve Orta ve Doğu Türkiye Uzantısı (SHEEC-CET). Katalog -32-44 boylam 35-72 enlem ile sınırlıdır.

4.4.3 İstanbul'daki isale hatları için deprem kataloglarının hazırlanması

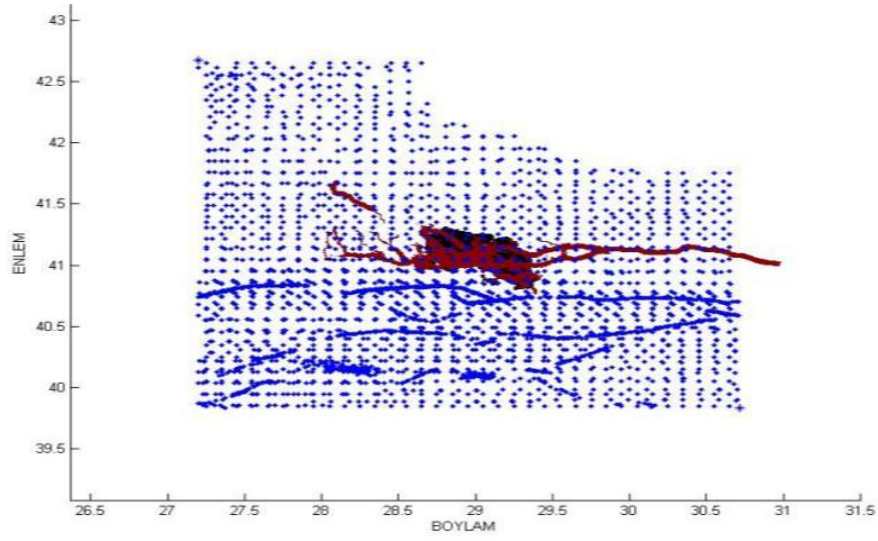
Gömülü hatlarda meydana gelebilecek hasarların hesaplanmasında öne çıkan diğer bir önemli özellik de olası depremlerin büyüklüğü ve kaynak uzaklıklarıdır. Dünya üzerinde farklı bölgelerde oluşacak depremlerden dolayı yapılarda oluşacak hasarların hesaplanmasında tek bir deprem verisi kullanılabileceği gibi, birçok deprem verisini içinde barındıran deprem senaryoları da kullanılabilir. Yapıların deprem hasarlarının tahmininde çok sayıda deprem verisini kullanan deprem senaryoları üzerinden çözüme gidilmesi daha gerçekçi bir yaklaşımdır. Deprem senaryolarını da oluşturmak için tarih içinde çalışılan bölge yakınlarında kaydı tutulmuş deprem kataloglarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu tez çalışmasında İstanbul'daki içmesuyu isale hatlarının hasar hesabında SHARE projesinde Avrupa, Ortadoğu ve Türkiye için geliştirilmiş olan sentetik 10000 yıllık deprem kayıtlarından faydalanılmıştır. Openquake yazılımı ile 498000 deprem için bir deprem kataloğu elde edilmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 : 10000 yıllık stokastik Türkiye deprem kataloğu.

Türkiye için üretilen deprem kataloğunda tekrar filtreleme yapılarak Marmara bölgesini etkileyebilecek çevredeki 66014 noktanın koordinatları (enlem–boylam olarak), derinliği ve üretebileceği depremin aletsel büyüklükleri oluşturulmuştur (Şekil 4.13). Bu şekilde kapsamlı bir deprem katalog verisi elde edilmiştir. Söz konusu katalog deprem verisinin ilk on noktası örnek olarak Çizelge 4.11'de verilmiştir.



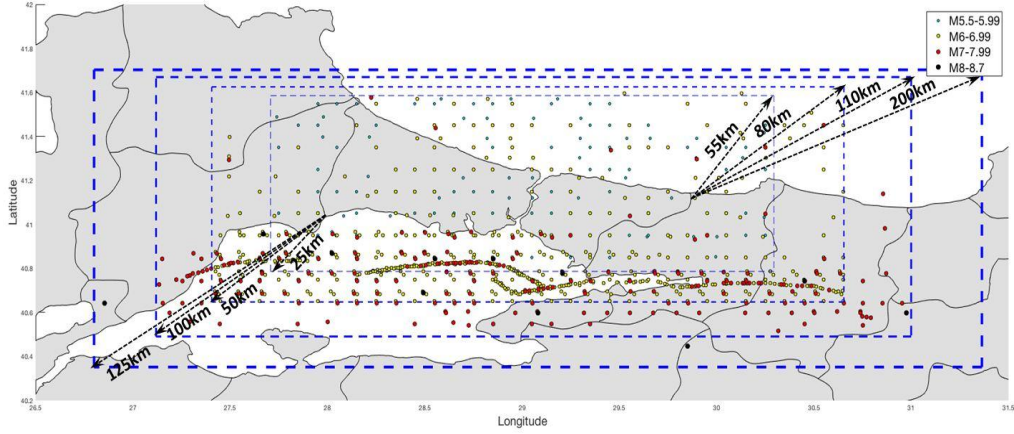
Şekil 4.13 : Marmara bölgesi deprem katalog çalışma bölgesi.

Çizelge 4.11 : İstanbul için deprem kataloğuna ait örnek veri tablosu.

No	Aletsel büyüklük	Enlem	Boylam	Derinlik(km)
1	6.7	34.42	34.579	15.71
2	5.1	28.424	42.62	13.2
3	5.1	28.424	42.62	13.2
4	5.3	28.424	42.62	13.2
5	5.5	28.424	42.62	13.2
6	5.5	28.424	42.62	13.2
7	6.1	28.424	42.62	13.2
8	6.9	28.424	42.62	13.2
9	5.1	28.546	42.62	13.2
10	5.1	28.446	42.586	13.2

Nihai olarak İstanbul'a yakın olası tüm depremler içine alan bir deprem kataloğu oluşturularak, farklı risk seviyelerine göre tüm isale hattı için beklenen hasar oranları hesaplanmıştır.

Deprem kataloğu oluşturulurken 4 farklı çalışma alanı üzerinden modelleme yapılmıştır. Buradaki amaç hem işlem adedinin optimize edilmesi hem de küçük uzak depremlerin daha az dikkate alındığı bir yaklaşım yapılmıştır. İstanbul'daki içmesuyu isale hatlarının bulundukları yerlerde dikkate alınarak idari il sınırlarının iki köşe noktasından 25 ile 200 km arasındaki dört farklı çalışma alanındaki çeşitli aletsel büyüklükteki depremlerden oluşan deprem kataloğu oluşturulmuştur. İsale hatlarının hasar sayıları hesaplamalarında kullanılan deprem kataloğunda toplam 6673 deprem ve tekrarlar dikkate alındığında 2475 adet depremin bilgisi bulunmaktadır (Şekil 4.14).



Şekil 4.14 : İstanbul isale hatlarının olasılıksal risk değerlendirmesinde kullanılan çalışma alanları (işlem adedini ve bilgisayar hafıza kullanımını optimize edebilmek için uzak küçük depremlerin daha az dikkate alındığı dereceli 4 farklı çalışma alanı boyutu seçilmiştir).

4.5 PEER(Pacific Earthquake Engineering Research Center) Olasılıksal Risk Analizi

Bu çalışmada gerek envanter bilgileri ve gerekse de depremsellik bilgileri, olasılıksal tabanda bir araya getirilerek risk değerlendirme yöntemi oluşturulmuştur. Burada PEER (Pasific Earthquake Engineering Research Center) yaklaşımı isale hatları problemine uyarlanmıştır (Krawinkler, 2002). Bu olasılıksal çerçeve dünyada risk değerlendirme çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır.

PEER yaklaşımı kısaca iç içe integraller ile temsil edilen bir denklemden ibarettir (4.22).

$$\lambda(DV) = \iint G(DV|DM) dG(DM|IM) d\lambda(IM) \quad (4.22)$$

Burada $G(DV|DM)$ belirli bir karar değişkeninin (Decision Variable - DV) belirli bir hasar ölçeği (Damage Measure – DM) için aşılma olasılığını, örneğin isale hatlarında hasar oluşturan boru deformasyonlarından daha fazla deformasyonların oluşma olasılığını verir. $G(DM|IM)$ ise, belirli bir yer hareketi ölçeği (Intensity Measure - IM) için hasar ölçeğinin (DM) aşılma olasılığıdır. Bu tez çalışmasında, örneğin belirli bir PGV değeri için hasar oluşma olasılığını tarif eden bağıntıdır. Son olarak, $\lambda(IM)$ ise yıllık olarak belirli yer hareketi şiddetinin (örneğin PGV değerinin) beklenen oluşma frekansıdır. Buna benzer şekilde $\lambda(DV)$ parametresi de beklenen yıllık hasar olasılığıdır.

İsale hatlarının olasılıksal deprem risk hesabında, genel deprem risk çalışmalarından farklı olarak, yer hareketi parametresi (IM) ile hasar parametresi (DM) arasında doğrudan bir ilişki vardır, zira mevcut gömülü boru hattı kırılma bağıntılarının tamamı bu doğrudan ilişkiye dayalı ampirik yaklaşımlardır. Bu durumu PEER olasılıksal çerçevesine uygulayabilmek için, Şekil 4.15’de verilen akış diyagramı izlenmiştir.



Şekil 4.15 : PEER olasılıksal çerçevesinin bu çalışmaya uyarlanması

Bu çalışmada A,B ve C olmak üzere üç adet risk seviyesi belirlenmiştir.

A Risk Seviyesi:

50 yılda aşılma olasılığı %50 olan küçük depremler (75 yıllık dönüş periyodu)

B Risk Seviyesi:

50 yılda aşılma olasılığı %10 olan büyük depremler (475 yıllık dönüş periyodu)

C Risk Seviyesi:

50 yılda aşılma olasılığı %2 olan çok büyük depremler (2475 yıllık dönüş periyodu)

Yıllık aşılma olasılığını hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılmaktadır (4.23).

$$\lambda = -\ln (1-P)/Y \quad (4.23)$$

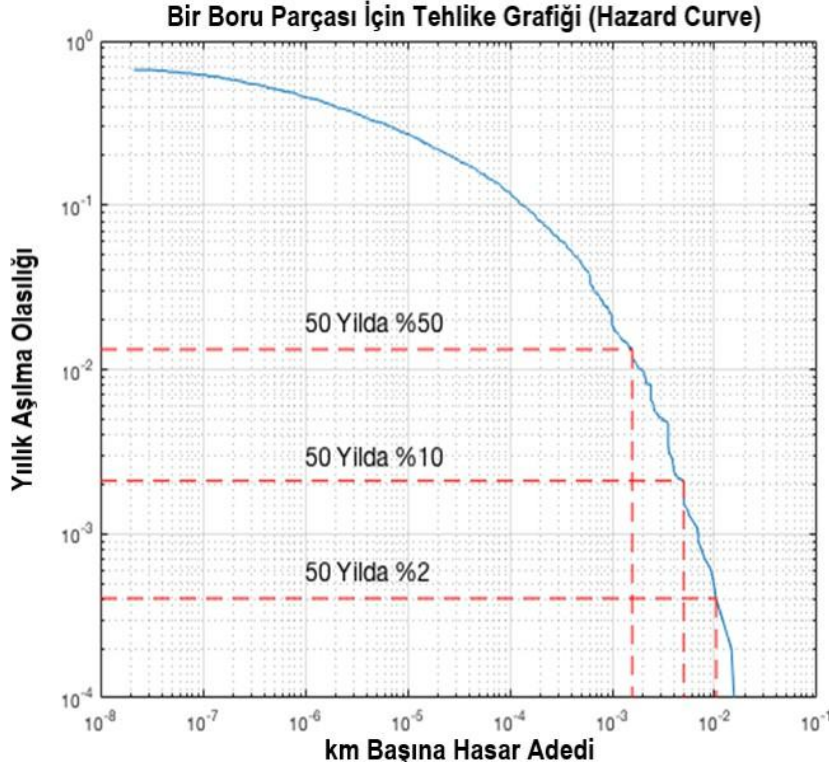
λ :Yıllık Aşılma Olasılığı

P : Aşılma Olasılığı

Y: Toplam Yıl

Tez çalışmasında yukarıda belirtilen üç adet farklı risk seviyesi işveren veya yetkililerin isteği doğrultusunda değiştirilebilir. Risk seviyesi yetkili kişilerin ne

kadarlık bir sürede tanımlanan tehlikenin istenen risk seviyesi altında kalması durumunda oluşacak hasar adedine göre belirlenerek hasar tahmini için hesaplamalar tekrar edilebilir. Şekil 4.16’da örnek bir boru için hasar tehlike grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.16 : Örnek hasar tehlike grafiği.

4.6 Mikro Ölçekte Deprem Hasar İlişkileri Algoritmasının Oluşturulması

Tez çalışmasında öncelikle mikro ölçekte çalışmalara başlanarak İSKİ Genel Müdürlüğü sorumluluğunda bulunan ana isale hatları içinden iki adet isale hattı seçilerek, sözkonusu hatlar üzerinde deprem hasar ilişkilerinin araştırılması yapılmıştır. Böylece mikro ölçekte hem deprem hasar ilişkilerini hesaplayan yazılımın sonuçlarını kontrol etmiş, hem de elde edilen sonuçların görsel olarak anlaşılır ve doğru bir şekilde sunulmasının yolları aranmıştır. Ayrıca İstanbul genelindeki tüm isale hatları düşünüldüğünde verinin büyük olması sebebiyle önerdiğimiz algorithmadan bulunan hesaplardaki yanlışlıkların, seçilen iki hat üzerinde yoğunlaştırılması ile ortadan kaldırılması veya minimuma indirilmesi amaçlanmıştır. Küçük sistem üzerinde elde edilen sonuçların doğrulanmasıyla tüm İstanbuldaki isale hatlarının deprem hasar ilişkileri ve sayıları doğru bir şekilde bulunacak ve değerlendirilmesi yapılacaktır.

İlk olarak örnek olarak seçilen iki hatta ait envanter bilgisi tablo olarak oluşturulmuştur. Daha sonra Bölüm 4.2’de anlatıldığı gibi isale hatlarının parçalarının hangi zemin cinsinde kaldığı belirlenir. Böylece Bölüm 4.3’te verilen Akkar ve Bommer (2007) tarafından önerilen yer hareketi tahmin bağıntısındaki S_s ve S_A zemin tipi katsayısı kolaylıkla hesaplanabilir. Olası deprem senaryolarının örnek hatlar içinde geçerli olmasından dolayı, Bölüm 4.4’te verilen katalog deprem verileri aynı şekilde kullanılmıştır. Katalog deprem verisinde bu noktaların koordinatları (enlem–boylam olarak), derinliği ve üretebileceği depremin aletsel büyüklüğü bilgileri bulunmaktadır. Deprem yer hareketi tahmin bağıntıları kullanılarak PGV değerleri elde edilir. Buradan da literatürde kullanılan deprem hasar bağıntılarıyla, isale hattının ilgili kısmındaki katalogda öngörülen tüm depremlere göre deprem hasar sayıları hesaplanmıştır. Bölüm 4.5’te yer verilen PEER olasılıksak risk analizini kullanarak, B risk seviyesine göre, her bir isale boru hattı parçası için tek bir hasar sayısı elde edilmiştir. Nihai olarak bütün parçalar için hasar sayıları hesaplanmış ve isale hattının tamamı için hasar haritaları üretilmiştir. Görsel olarak daha iyi anlaşılması için, hasar büyüklüğüne göre renklendirme ve boru çapına göre de kalınlık ayarı yapılmıştır.

Literatürde kullanılan gömülü boru hatlarının hasar sayısını hesaplayan bağıntılar ampirik formüllerdir. Bu formüller genellikle belli bir deprem veya deprem senaryosu sonrasında belli bir bölgedeki boru hatlarında oluşan hasar ile boru hattının malzeme cinsi, boru çapı, zemin tipi vb. değişkenler ile PERGD ve PGV gibi deprem parametreleri arasında bağıntıyı istatistiksel yöntemleri kullanarak araştırmaktadır.

Sunulan tez çalışmasında İstanbul ili sınırları içindeki isale hatlarının hasar sayılarının tahmin edilmesinde kullanılan bağıntılar Bölüm 4.1.11’de Çizelge 4.7’de verilmiştir. 1970’li yıllardan beri birçok farklı araştırmacı ve kuruluş hasar sayılarının hesabı için farklı bağıntılar önermiştir. Bu bağıntıların bazıları farklı boru malzemeleri, ek tipi, boru çapı, zemin durumu gibi değişkenleri dikkate alan dolayısıyla daha kapsamlı olurken, bazıları da boru hatlarıyla ilgili tek bir parametre üzerinden daha kısıtlı ve spesifik olmaktadır. Burada gömülü boru hatlarına ait envanterin detaylı bilgisinin ve sahadaki hasar gözlem noktalarının sayıca çokluğu, doğru ve güvenilir olması önem kazanmaktadır. Örneğin Toprak (1998) çalışmasında

gömülü boru hatlarının hesabı için önerilen formül kırılğan kabul edilen font borular içindir.

Bu tez çalışmasında deprem etkisini gösteren parametre olarak PGV kullanılmıştır. Ayrıca Bölüm 4.1.11’de Çizelge 4.7’de kullanılan tüm hasar bağıntılarına yaygın kullanım ve güvenilirliğine göre w ağırlık katsayıları verilerek birçok farklı çalışmada önerilen hasar bağıntılarının ağırlıklı ortalaması alınmış ve bu sayede tek bir formüle bağımlı kalınmamıştır. Tez çalışmasında hasar sayılarının hesabında kullanılan formül 4.24 aşağıdaki gibidir:

$$R. R_{aort} = (w_1 \times R. R._1 + w_2 \times R. R._2 + w_3 \times R. R._3 + w_4 \times R. R._4 + w_5 \times R. R._5 + w_6 \times R. R._6 + w_7 \times R. R._7 + w_8 \times R. R._8 + w_9 \times R. R._9 + w_{10} \times R. R._{10}) / (w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 + w_6 + w_7 + w_8 + w_9 + w_{10}) \quad (4.24)$$

Burada:

$R. R_{aort}$: Hasar oranının ağırlıklı ortalaması (km/adet)

$R. R._1$: HAZUS(1999) Hasar oranı denklemi

$R. R._2$: ALA(2001) Hasar oranı denklemi

$R. R._3$: Eidinger ve Avila(1999) Hasar oranı denklemi

$R. R._4$: Pineda ve Ordaz(2003) Hasar oranı denklemi

$R. R._5$: Orourke ve Deyoe(2004) Hasar oranı denklemi

$R. R._6$: Yoo, Kang, Kim(2013) Hasar oranı denklemi

$R. R._7$: Orourke ve Jeon(1999) Hasar oranı denklemi

$R. R._8$: Orourke ve Jeon(2000) Hasar oranı denklemi

$R. R._9$: Toprak(1998) Hasar oranı denklemi

$R. R._{10}$: Eidinger(1998) Hasar oranı denklemi

$w_1 = 1$ (HAZUS(1999) Hasar oranı denklemi ağırlık katsayısı)

$w_2 = 1$ (ALA(2001) Hasar oranı denklemi ağırlık katsayısı)

$w_3 = 1$ (Eidinger ve Avila(1999) Hasar oranı denklemi ağırlık katsayısı)

$w_4 = 0.6$ (Pineda ve Ordaz(2003) Hasar oranı denklemi ağırlık katsayısı)

$w_5 = 0.8$ (Orourke ve Deyoe(2004) Hasar oranı denklemi ağırlık katsayısı)

$w_6 = 0.4$ (Yoo, Kang, Kim(2013) Hasar oranı denklemi ağırlık katsayısı)

$w_7 = 0.8$ (Orourke ve Jeon(1999) Hasar oranı denklemi ağırlık katsayısı)

$w_8 = 0.8$ (Orourke ve Jeon(2000) Hasar oranı denklemi ağırlık katsayısı)

$w_9 = 0.9$ (Toprak(1998) Hasar oranı denklemi ağırlık katsayısı)

$w_{10} = 0.8$ (Eidinger(1998) Hasar oranı denklemi ağırlık katsayısını

ifade etmektedir.

Literatürde önerilen formüllerde gömülü boruların hasar hesabında hasar sayıları 1000 feet/adet veya km/adet olarak hesaplanmaktadır. Bu çalışmada tek birim kullanması amacıyla, bütün formüllerde tüm hasar sayıları km/adet olarak hesaplanmıştır.

4.6.1 Kullanılan MATLAB yazılımı

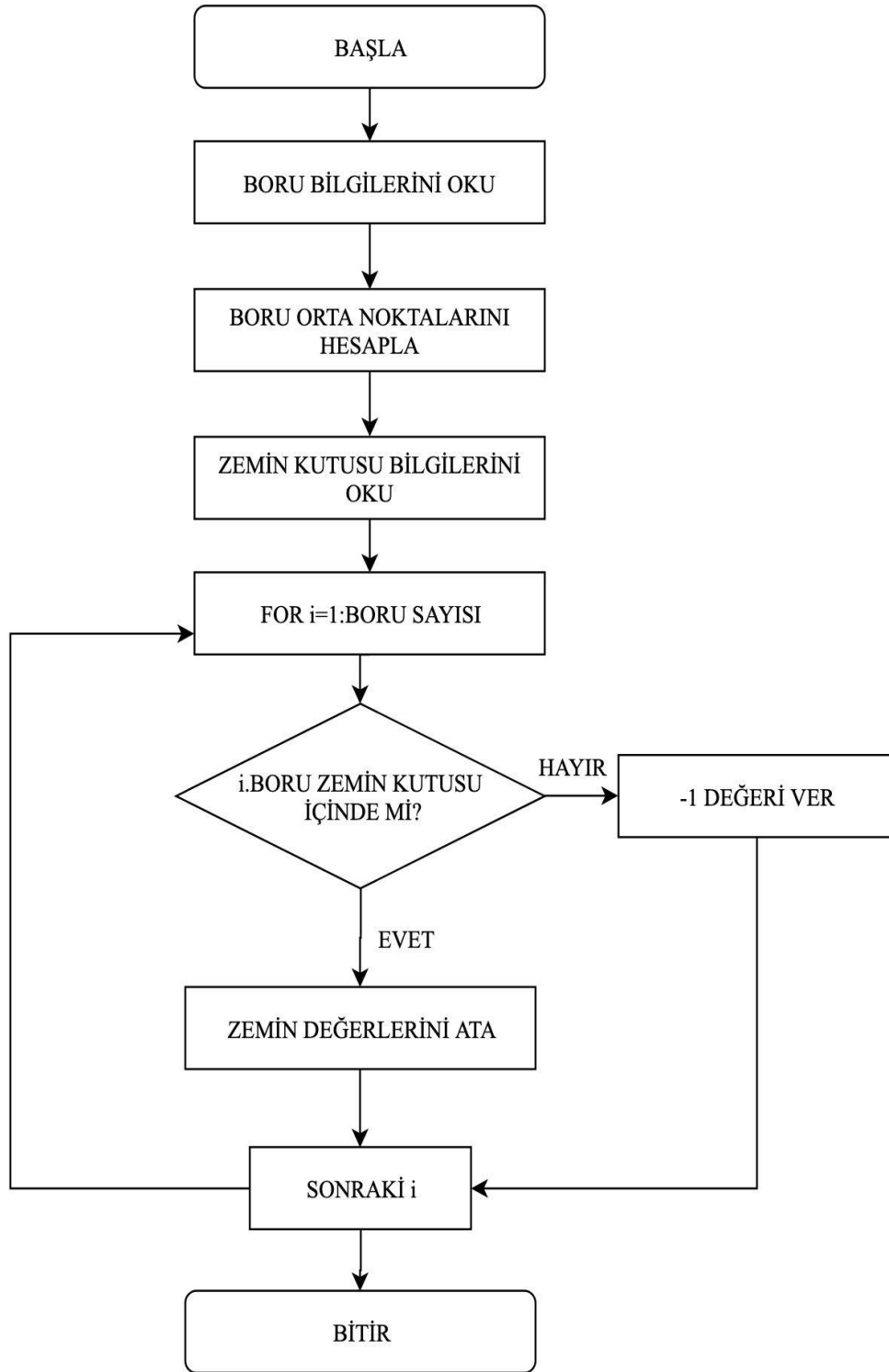
MATLAB temelde bilimsel hesaplamalar yapmak için yüksek performanslı bir yazılımdır. Çok sayıda farklı modül içeren MATLAB; matematik, istatistik, yapay sinir ağları, genetik algoritma, bulanık mantık, işaret ve görüntü işleme, kontrol tasarımları, tıbbi araştırmalar, finans ve uzay araştırmaları gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Ayrıca MATLAB uygulamaya yönelik kullanıcıya özel kodlar yazılmasına da imkan sağlamaktadır.

Tez çalışmasının bu kısmında örnek seçilen Alibeyköydeki iki adet ana isale hattının deprem hasar sayılarının belirlenmesinde MATLAB’de üç adet ana kod yazılmıştır (EKA). Sonrasında yazılan bu kodlar tüm İstanbul genelindeki isale hatları için kullanılmıştır.

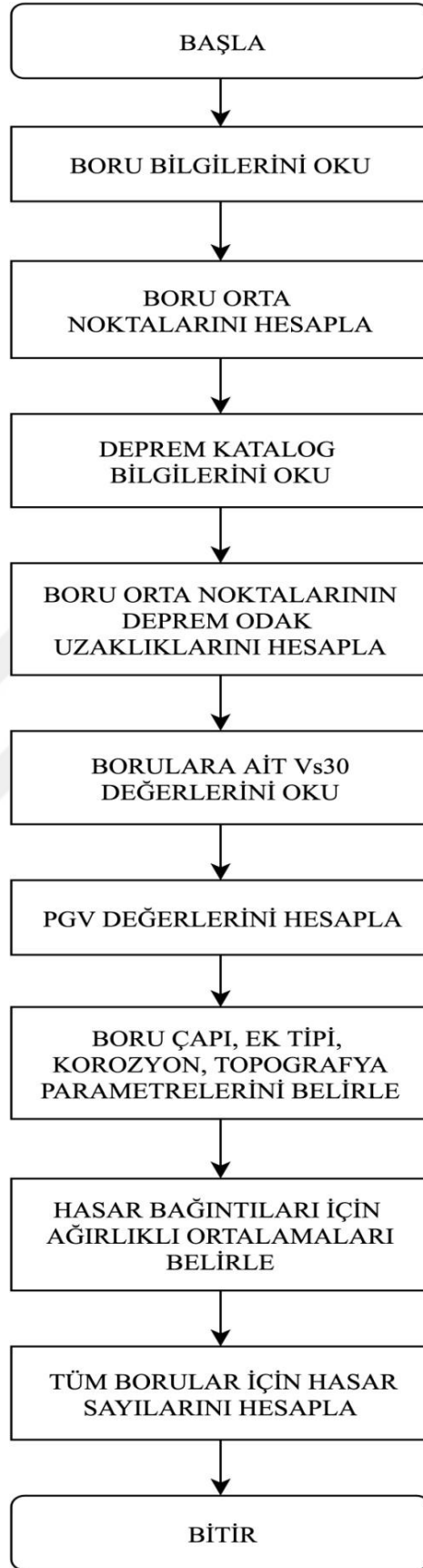
Yazılan ilk kod, isale boru hattı parçalarının orta noktalarını bularak hangi zemin kutusu içinde kaldığını bulmaya yaramaktadır (Şekil 4.17). Böylece ilgili boru hattı parçasının ait olduğu zeminin Vs30 değerleri belirlenmektedir.

İkinci kod oluşturulan deprem kataloğundaki tüm depremlere göre isale hatların hasar sayılarını hesaplamaktadır (Şekil 4.18). İşlem süresini kısaltmak için adına deprem kataloğu dört parçaya bölünerek, dört farklı bilgisayarda kod koşturularak hasar sayıları elde edilmiştir.

Üçüncü kod ise bu hasar sayılarıyla, PEER olasılıksal risk yöntemiyle isale hatlarının hasar sayılarını ve hasar haritalarını oluşturmaktadır (Şekil 4.19). Ancak hasar haritalarının nihai çizimi, görsel olarak daha iyi sonuç veren ArcGIS programında yapılmıştır.



Şekil 4.17 : 1. Kod akış diyagramı.



Şekil 4.18 : 2. Kod akış diyagramı.



Şekil 4.19 : 3. Kod akış diyagramı.

4.6.2 Alibeyköy örneği

Mikro ölçekte hasar agoritmasını oluşturmak için Alibeyköy’de, Alibeyköy barajı çıkışındaki iki adet isale hattı seçilmiştir. Bu hatların biri 4249 metre uzunluğunda, Ø1000mm çapında çelik, diğeri ise 4502 metre uzunluğunda, Ø2200 mm çapında çelik malzemeden ibarettir. İki hattın toplam uzunluğu 8751 metre olup, boru hattı parçaları 325 adet düğüm noktasından oluşmaktadır.

Bu çalışmada tüm İstanbul için isale hatlarının 153352 adet düğüm noktasından oluştuğu düşünülürse, örnek alınan sisteme ait veriler oldukça küçük ve kontrol edilebilir seviyededir. Ayrıca tek bir malzeme tipi ve iki farklı çap bulunmaktadır. Bölüm 4.6.1’de bahsi geçen MATLAB yazılımları Alibeyköy’de örnek alınan iki hat için çalıştırılmış ve bir problemle karşılaşılmamıştır. Alibeyköy deki iki çelik isale hattı için deprem hasar sayıları farklı bağıntılar yardımıyla hasar sayıları hesaplanmıştır. Hasar sayısının büyüklüğüne göre de renklendirme yapılmıştır. Ancak bu aşamada tüm İstanbul için kullandığımızdan farklı renk tonlaması yapılmıştır. Renklendirme tek renk üzerinden koyudan açığa doğru yapılmıştır. Ayrıca boru çaplarına göre farklı çizgi kalınlıkları atanmıştır. Söz konusu hatlara ait tek bir risk seviyesi için hesap yapılmıştır.

Alibeyköy’deki iki farklı isale hattına ait 475 yıllık dönüş periyotuna göre yani B risk seviyesine göre hasar haritası verilmiştir (Şekil 4.20). Burada hasar sayıları km başına 0.12-0.24 arasında değişmektedir.



Şekil 4.20 : Alibeyköy isale hatları için B risk seviyesine göre hasar sayıları.

4.7 İstanbul Genelindeki İsale Hatları Hasar Sayılarının Hesaplanması

Bölüm 4.6’da anlatılan Alibeyköy’deki iki hat üzerinde yapılan çalışmalar genişletilerek, İSKİ Genel Müdürlüğü sorumluluğunda bulunan ana isale hatları üzerinde deprem hasar ilişkilerinin araştırılması yapılmıştır. Bu iki örnek hat üzerinden geliştirilen algoritma İstanbul genelindeki tüm isale hatları üzerinde uygulanmış ve hasar haritaları elde edilmiştir. PEER yöntemine göre üç farklı risk seviyesine için, İstanbul’ a yakın olası tüm depremler içine alan bir deprem kataloğu oluşturularak 75, 475, 2475 yıllık dönüş peryotlarına göre tüm isale hatları için beklenen hasar oranları hesaplanmıştır. Böylece olasısal risk analizi kullanılarak İstanbul’daki içmesuyu isale hatlarının deprem riski gerçekçi bir biçimde ortaya çıkarılmıştır.

Gerek İstanbul’daki 3100 km uzunluğu aşan isale hattı envanter verisinin büyüklüğü, gerekse de İstanbul çevresinde olabilecek tüm deprem riskini dikkate almak adına geniş bir deprem kataloğu olması sebebiyle, hesaplamalar sırasında çok büyük bir işlem yükünün üstesinden gelinmiştir. Bunun için birden fazla bilgisayar da veriler bölünerek yazılan kodlar çalıştırılmıştır. Ayrıca isale hatlarının hasar haritalarının oluşturulmasında görsel olarak daha iyi sonuçlar veren ArcGIS programından faydalanılmıştır.

4.7.1 İçmesuyu hatları için JICA(2002) tarafından yapılan deprem risk çalışması

İstanbul’daki içmesuyu boru hatlarının deprem riskini belirlenmesi ile ilgili önemli ve tek çalışma İstanbul Büyükşehir Belediyesi’nin JICA (2002)’ya yaptırdığı çalışmadır. Söz konusu çalışmada sismik mikro-bölgeleme de dahil afet önleme ve azaltmaya yönelik geniş kapsamlı bir sonuç raporu sunulmuştur, JICA (2002). Bu raporda, İstanbul genelindeki tüm altyapı ve üstyapılar için olası depremlere göre oluşabilecek hasarlar tesbit edilmiş ve alınabilecek tedbir ve düzenlemeler hakkında tavsiyelerde bulunulmuştur.

JICA (2002) tarafından yapılan çalışmada şebeke hatları da dahil edilerek 7568 km boru hattı için hasar hesabı yapılmıştır. Hasar sayılarının hesaplanmasında HAZUS (1999), Toprak (1998) ve Isoyama ve diğ. (2000) tarafından önerilen hasar bağıntıları araştırılmış, nihai olarak Japon Su İşleri Birliği’nin de tavsiye ettiği Isoyama ve diğ. (2000) tarafından önerilen tek hasar bağıntısı kullanılmıştır. JICA (2002)

alışmasında genel olarak dört farklı senaryo deprem modeli oluşturulmuştur. Ancak içmesuyu boru hatlarının hasar hesabında Model A ve Model C'ye ait iki deprem senaryosu dikkate alınmıştır. Deprem modelleri aşağıda sıralanmıştır.

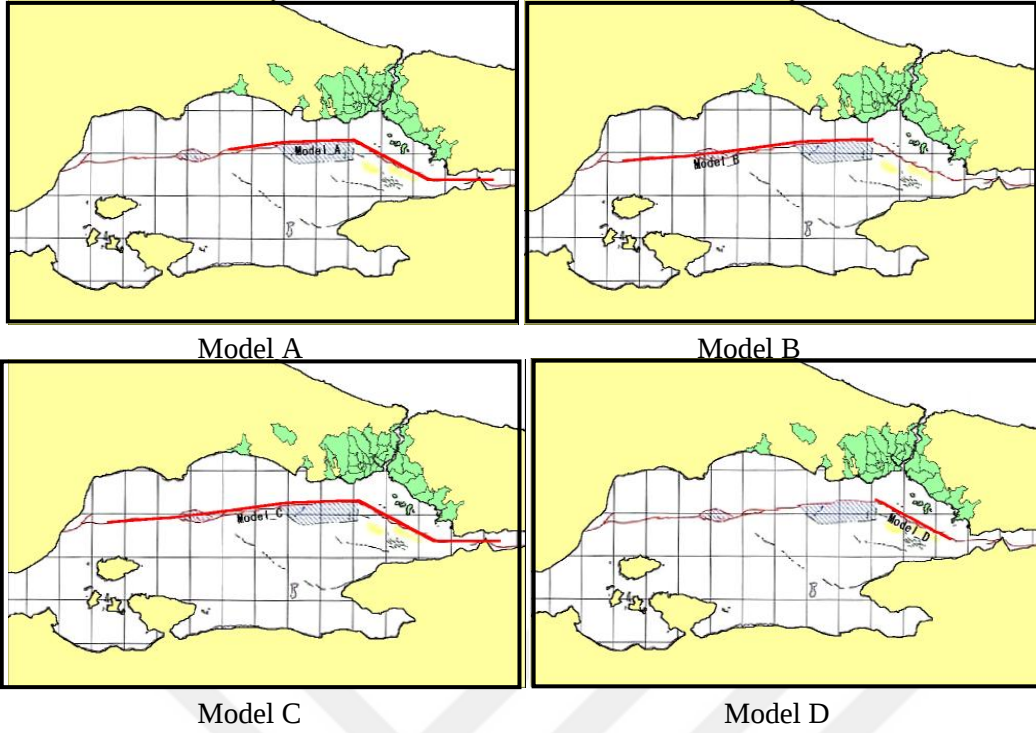
Model A: Yaklaşık 120 km. uzunluğundaki hat 1999 İzmit depremi fayının tam batısından Silivri'ye kadar uzanan hattır. Bu model dört senaryo deprem içinde meydana gelme olasılığı en yüksek olandır, zira sismik aktivite batıya doğru ilerlemektedir. Moment büyüklüğünün 7.5 civarında olacağı tahmin edilmektedir.

Model B: Yaklaşık 110 km. uzunluğundaki hat 1912 Mürefte-şarky depremi fayının doğu ucundan Bakırköy açıklarına kadar uzanan hattır. Moment büyüklüğünün 7.4 civarında olacağı tahmin edilmektedir.

Model C: Bu model Marmara Denizindeki 170 km.uzunluğundaki Kuzey Anadolu Fay Hattının aynı anda kırılacağını varsaymaktadır. Moment büyüklüğünün 7.7 civarında olacağı tahmin edilmektedir. Gerçekleşmesi halinde bu büyüklük bugüne kadar bölgede meydana gelmiş olan en yüksek aletsel büyüklüğe ve şiddete sahip deprem olacaktır.

Model D: Marmara Denizi'nin kuzeyinde devam eden fay hattı ınarcık ukuruna kuzeyden dik eğimle girmektedir. Birçok yeni araştırmalar referans alınarak, ınarcık çukurunun kuzey yamacını takip eden normal faylanma modeli oluşturulmuştur. Söz konusu fayın kırılması halinde, moment büyüklüğünün 6.9 civarında olacağı tahmin edilmektedir.

Yukarıda İstanbul için verilen dört senaryo deprem modeli şekil 4.21'de gösterilmiştir.

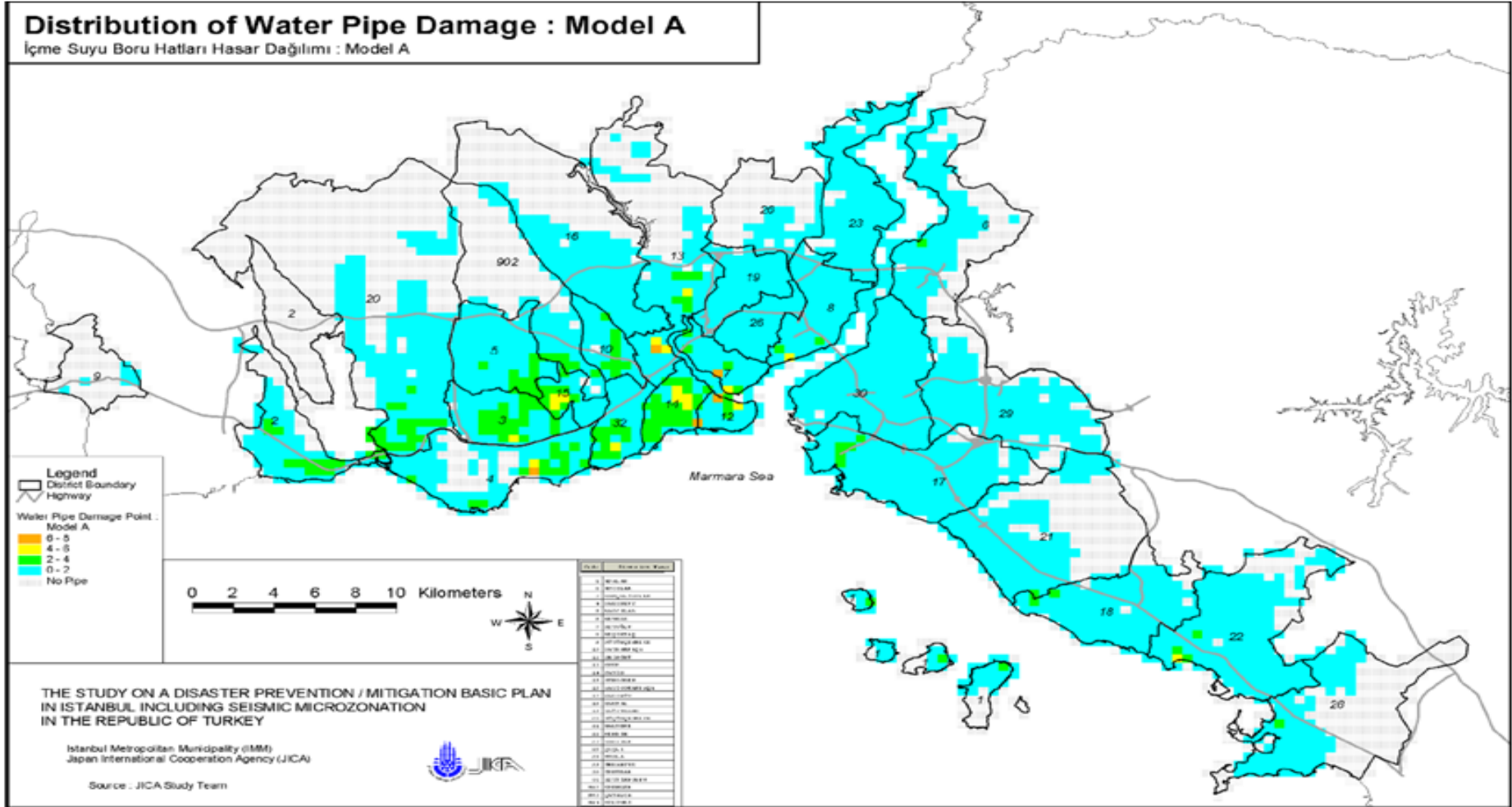


Şekil 4.21 : Senaryo Deprem Modelleri (JICA, 2002).

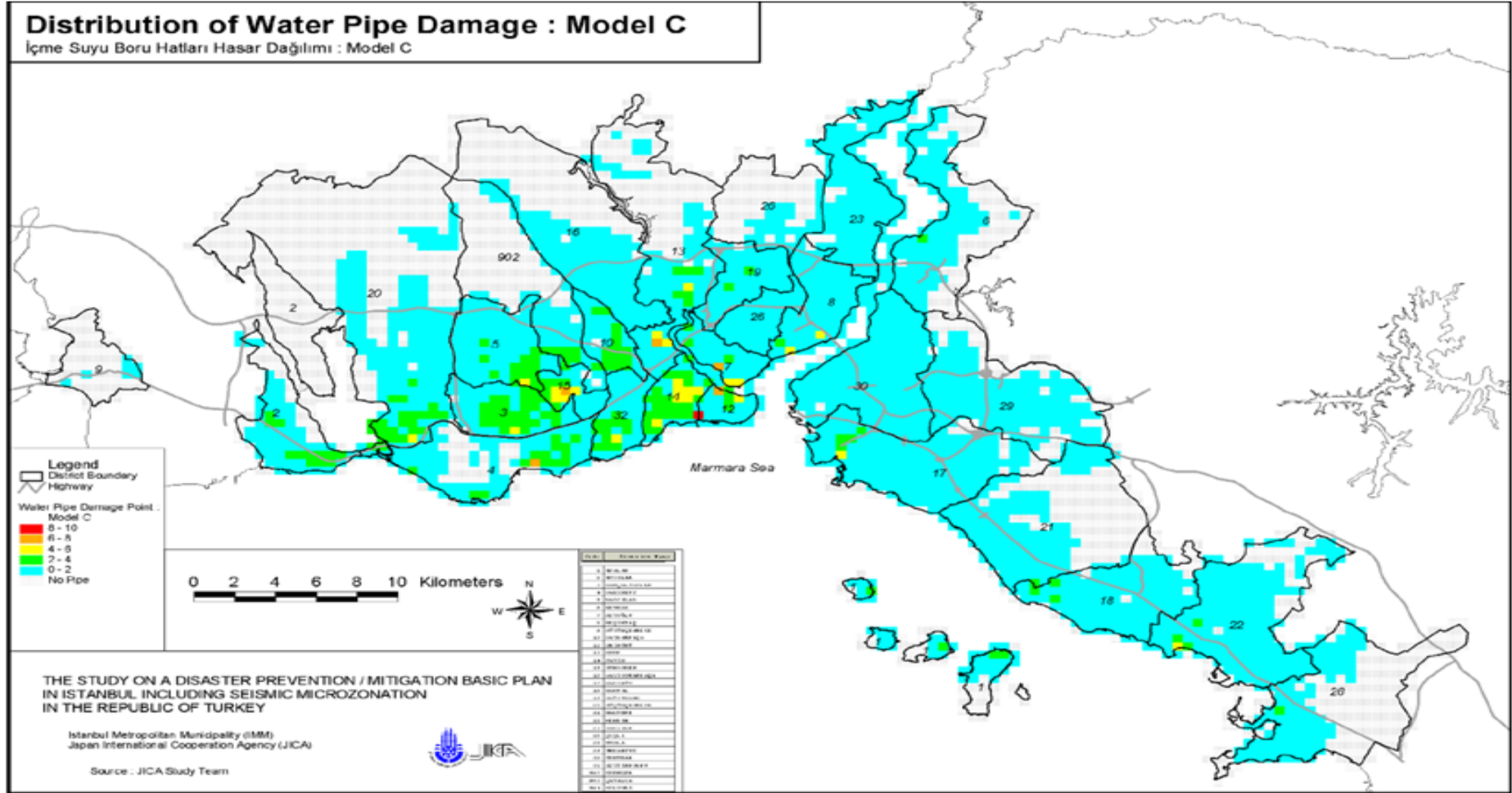
JICA (2002) çalışmasında içmesuyu Model A' ya göre hasar haritası Şekil 4.22'de, Model C 'ye göre hasar haritası ise Şekil 4.23'de gösterilmiştir. Sonuçlar ilçe bazında verilmiş olup, sonuç raporunda hangi içmesuyu hattının ne kadar hasar aldığı bilgisine yer verilmemiştir. Ayrıca isale ve şebeke hattı ayırımı yapılmamıştır. İstanbul genelindeki içmesuyu boru hatları hasarlarının Avrupa yakasında yoğunlaştığı ve en büyük hasarın Fatih ile Güngören ilçelerinde ortaya çıktığı ifade edilmiştir.

Distribution of Water Pipe Damage : Model A

İçme Suyu Boru Hatları Hasar Dağılımı : Model A



Şekil 4.22 : Model A için hasar haritası (JICA, 2002).



Şekil 4.23 : Model C için hasar haritası (JICA, 2002).

4.7.2 ArcGIS yazılımı

Bu çalışmada kullanılan ArcGIS yazılım paketi, ESRI firması tarafından geliştirilmiş olup, entegre bir coğrafi bilgi sistemidir. ESRI Firması değişik özellikler içeren birçok yazılım paketine sahip olsa da bu paketlere genel olarak “ArcGIS” adını vermektedir. Söz konusu yazılım paketi yazılım paketi bir çok ek özellik ve modül içerse de, bu çalışmada ağırlıklı olarak ArcGIS içindeki ArcMap modülü kullanılmıştır. ArcMap veri setlerini düzenleme, araştırma ve sayısallaştırma imkanı sağlamaktadır.

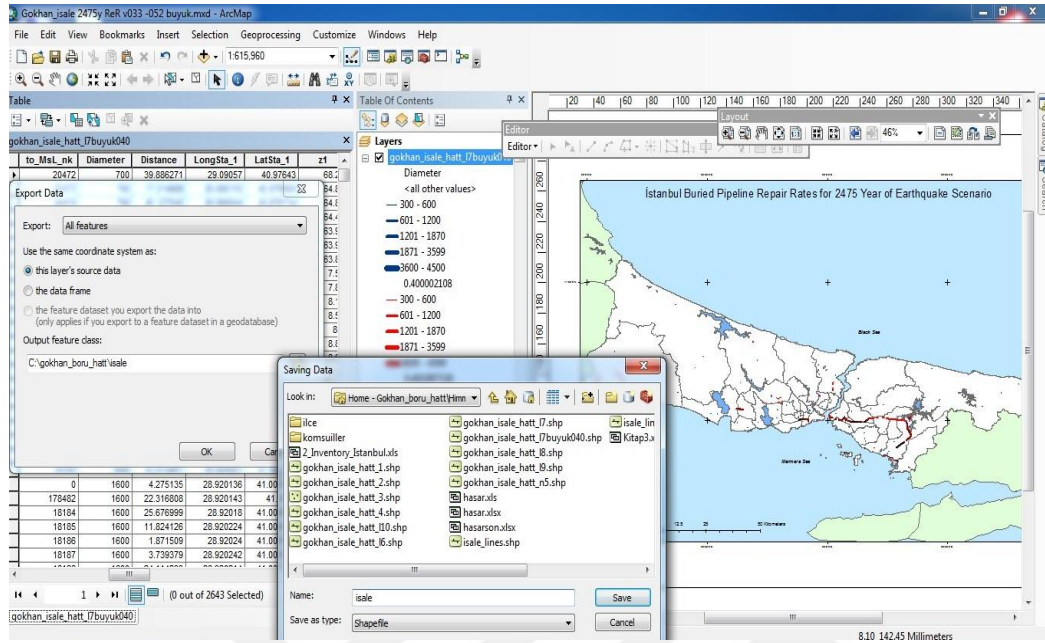
ArcMap ile yeni bir proje (harita) oluşturulduğu zaman, sadece eklenen veriler ve sembololoji verileri harita içine kaydedilir. Diğer tüm bilgiler katmanlar olarak saklanır ve ayrı dosyalarda tutulur. ArcGIS ile çalışma alanlarına (sabit diskteki proje dizinleri, ağ dizinleri) ve veritabanlarına bağlantı kurabiliriz. ArcGIS standart veritabanı olarak MDB(Microsoft Access Veritabanı) formatını kullanır.

ArcGIS ile çalışmaya başladığımızda öncelikle ArcMap içinden bir proje oluşturmamız gerekir. Bu proje dosyası diğer tüm dosyalara ait bilgileri barındıracak bir harita olacaktır. Projede kullanacağımız dosyaların bilgisayarın diski üzerinde dağılmaması için tek bir merkezi klasör içinde yer alması projenin bütünlüğünü sağlar.

ArcMap uygulaması sayısal verileri işlemek için kullanılabileceği gibi, doğrudan sayısal veri üretmek içinde kullanılabilir. Coğrafi bilgi sistemlerinde kullanılan sayısal veriler genel olarak “mekansal” olarak adlandırılırlar. Mekansal veri, koordinat sistemleri, harita üzerinde konumlandırabileceğimiz nokta, poligon, çoklu çizgi (polyline) gibi vektörel verileri kısacası yeryüzüne ait sayısal her tür veriyi içerir. Çalışılan veri, projeksiyonu yapılmış vektörel olmayan (raster resim) bir veri de olabilir.

ArcMap uygulaması, verileri katmanlar halinde saklar. Bu sayede oluşturulan harita çeşitli dallara ayrılıp yeni özellikler rahatça eklenip çıkartılabilir. Katmanlarda raster veriler, sayısal haritalar, mekansal veri içeren resim, genel veritabanı ve biçim (shape) dosyaları bulunabilmektedir. Biçim (shape) dosyaları, ArcGIS tarafından geliştirilmiş bir dosya türü olup, vektörel verileri de içerebilen bir tür veritabanıdır. Bu tez çalışmasında isale hatlarına ait çap, koordinat, malzeme, hasar sayıları, il

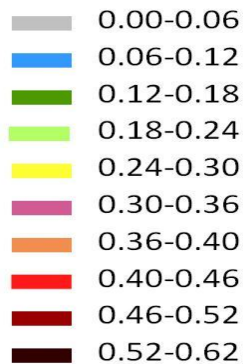
sınırları, deniz, göller, akarsular vb. bilgiler biçim dosyaları olarak ArcMAP'te tanımlanmıştır (Şekil 4.24).



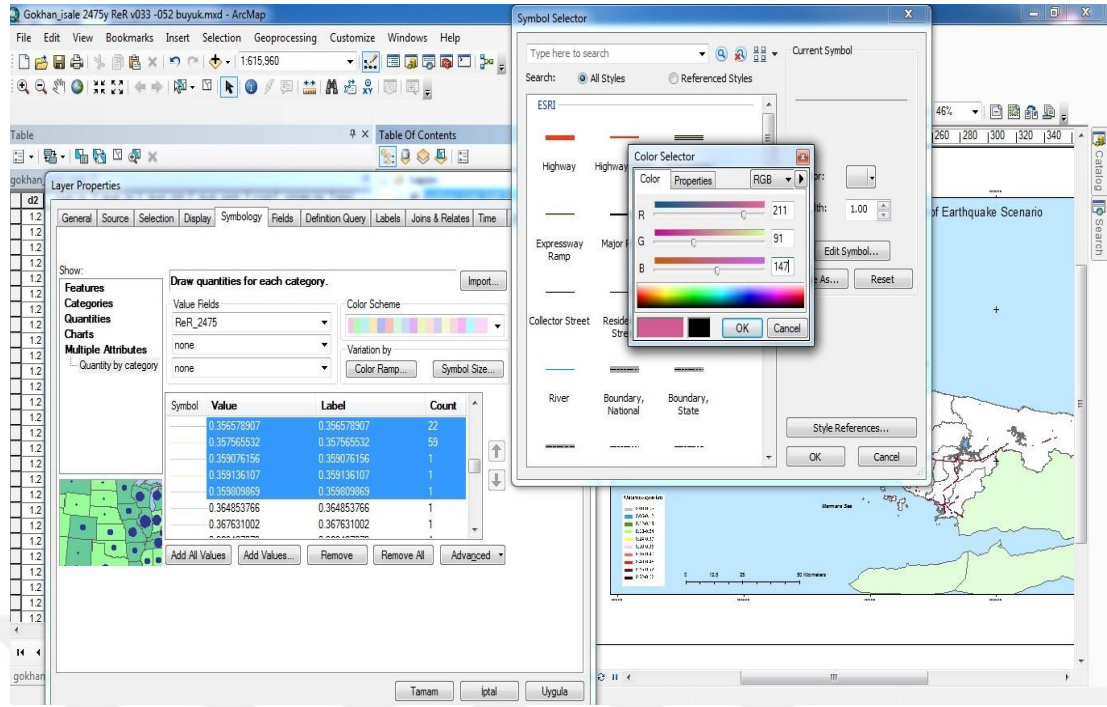
Şekil 4.24 : Biçim dosyalarının oluşturulması.

ArcMap'te oluşturulan verilere semboller atanabilir. İstanbul genelindeki hasar sayılarını görsel olarak daha iyi ifade edebilmek için belli hasar sayıları aralığı için renklendirme lejantı yapılmıştır (Şekil 4.25). Bu işlem Arcmap'te Symbology sekmesini kullanarak uygulanmıştır (Şekil 4.26). Ayrıca boru çaplarına göre de isale hatları için farklı kalem kalınlıkları atanmıştır (Şekil 4.27). Symbology sekmesine Layer Properties bölümünden ulaşılmaktadır.

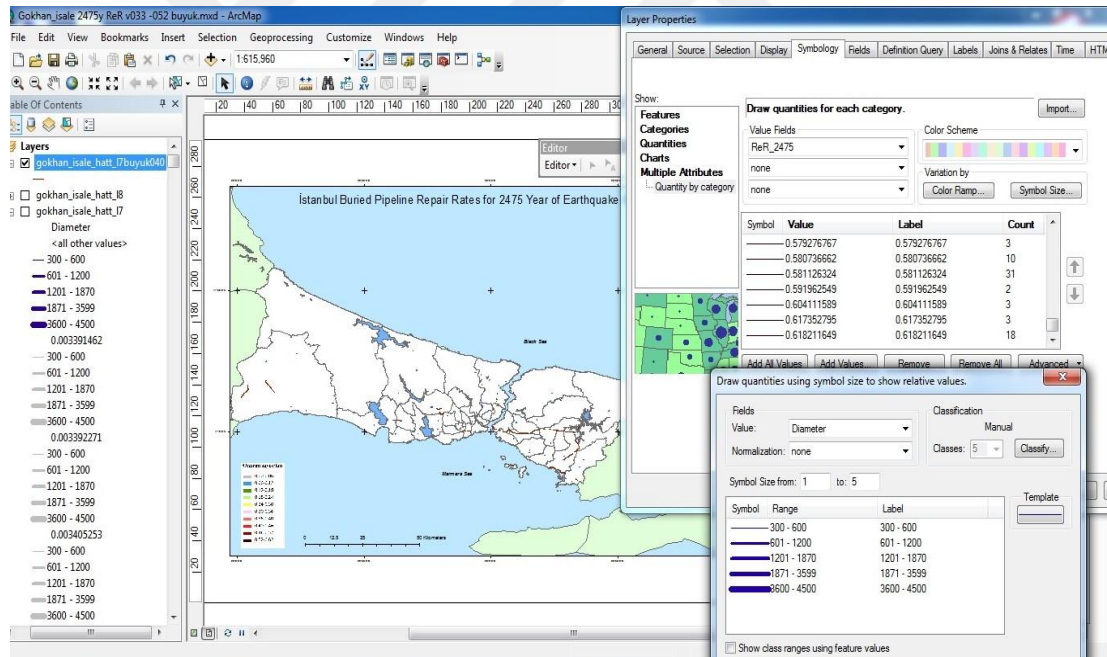
Hasar sayısı/km



Şekil 4.25 : Hasar oranları lejantı.



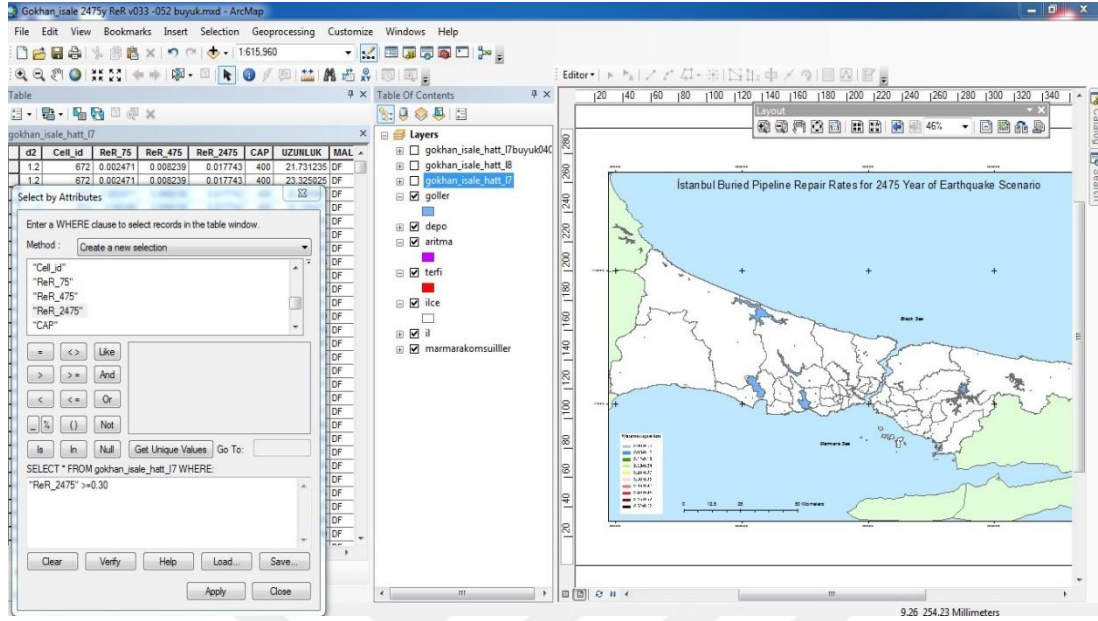
Şekil 4.26 : İsale hatlarına hasar sayılarına göre renk atanması.



Şekil 4.27 : İsale hatlarına çapa göre kalem kalınlığı atanması.

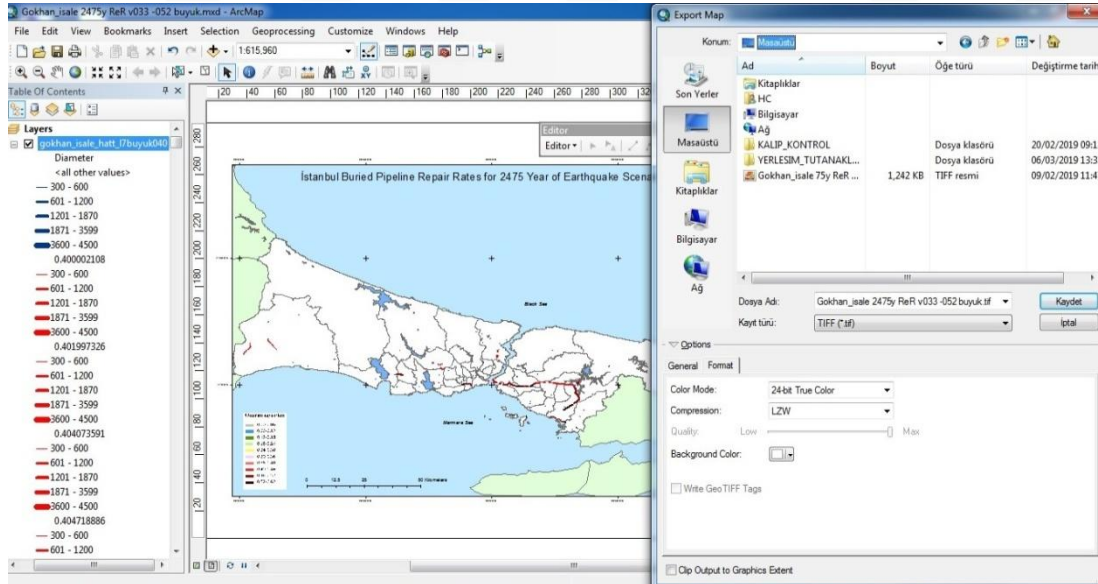
ArcMap veritabanı esaslı çalıştığından tüm verileri tablo halinde de görülebilir. İstenen hasar seviyesine göre tüm isale hatları için hasar haritaları çizilebilir. Ayrıca bu tabloda seçilen parameterlere göre gerekli filtreleme yapmaya imkan sağlanır. Select by Attribute komutuyla tablodaki istenen değere göre sıralanma yapılır. Örneğin C risk seviyesi için 2475 yıllık dönüş peryotuna göre, km. başına hasar

sayısı 0.30'dan büyük isale hatları filtre edilerek çizimi yapılabilmektedir (Şekil 4.28).



Şekil 4.28 : Hasar sayısı 0.30 adetten büyük olan isale hatlarının filtre edilmesi.

ArcMap'in diğer bir özelliği ise çizilen haritaları, Export Map sekmesiyle istenilen resim formatına dönüştürülmesine imkan sağlamasıdır (Şekil 4.29).

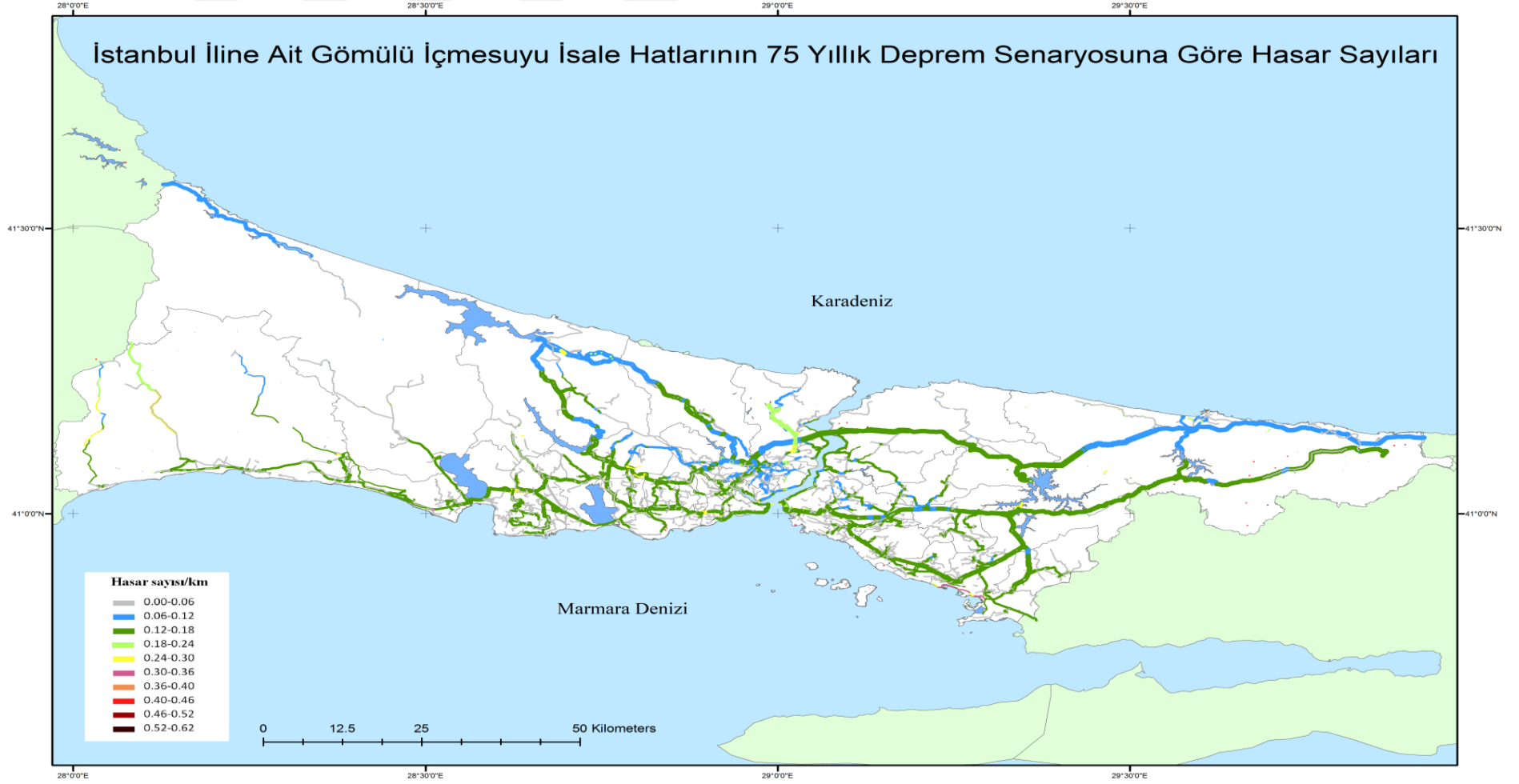


Şekil 4.29 : Hasar haritaların resime dönüştürülmesi.

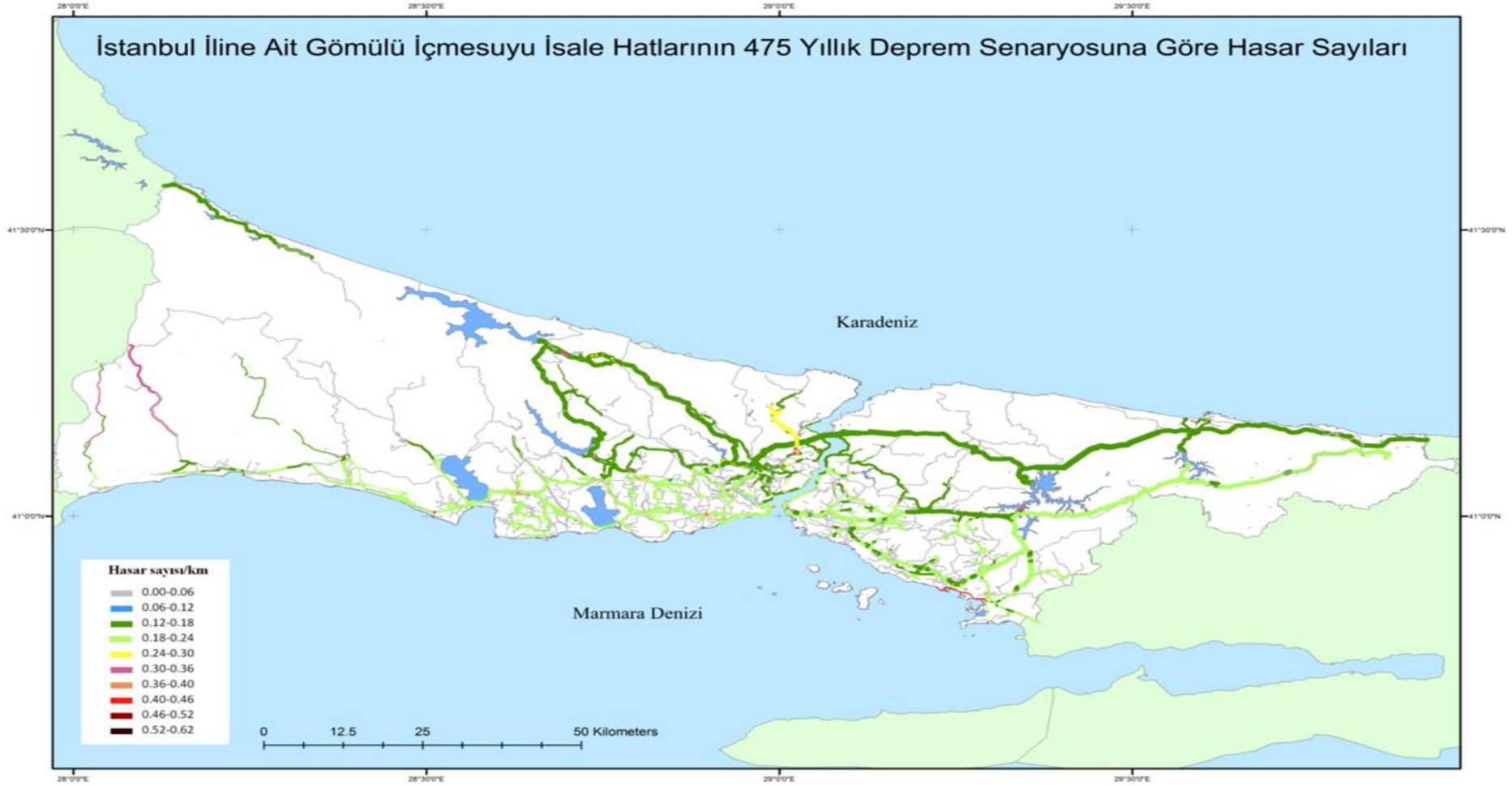
4.7.3 İsale hatları için 3 farklı risk seviyesine göre hasar haritalarının oluşturulması

İstanbul sınırları içindeki içmesuyu isale hatları için, olası depremlere göre, üç farklı risk seviyesi için hasar haritaları elde edilmiştir. Birinci risk seviyesi, A Risk Seviyesi: 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan küçük depremler (75 yıllık dönüş periyodu) olarak dikkate alınmıştır. İkinci risk seviyesi, B Risk Seviyesi: 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan büyük depremler (475 yıllık dönüş periyodu) olarak dikkate alınmıştır. Üçüncü risk seviyesi, C Risk Seviyesi: 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan çok büyük depremler (2475 yıllık dönüş periyodu) olarak dikkate alınmıştır. İstanbul genelinde Ø300 mm çapından büyük tüm içmesuyu isale hatları için km başı hasar adetleri hesaplanmış ve sözkonusu hatlara ait hasarlar büyüklüklerine göre renklendirilerek harita üzerinde işaretlenmiş, böylece görsel olarak daha anlaşılır bir gösterim gerçekleştirilmiştir. Ayrıca boru çaplarına göre de farklı çizgi kalınlıkları verilmiştir.

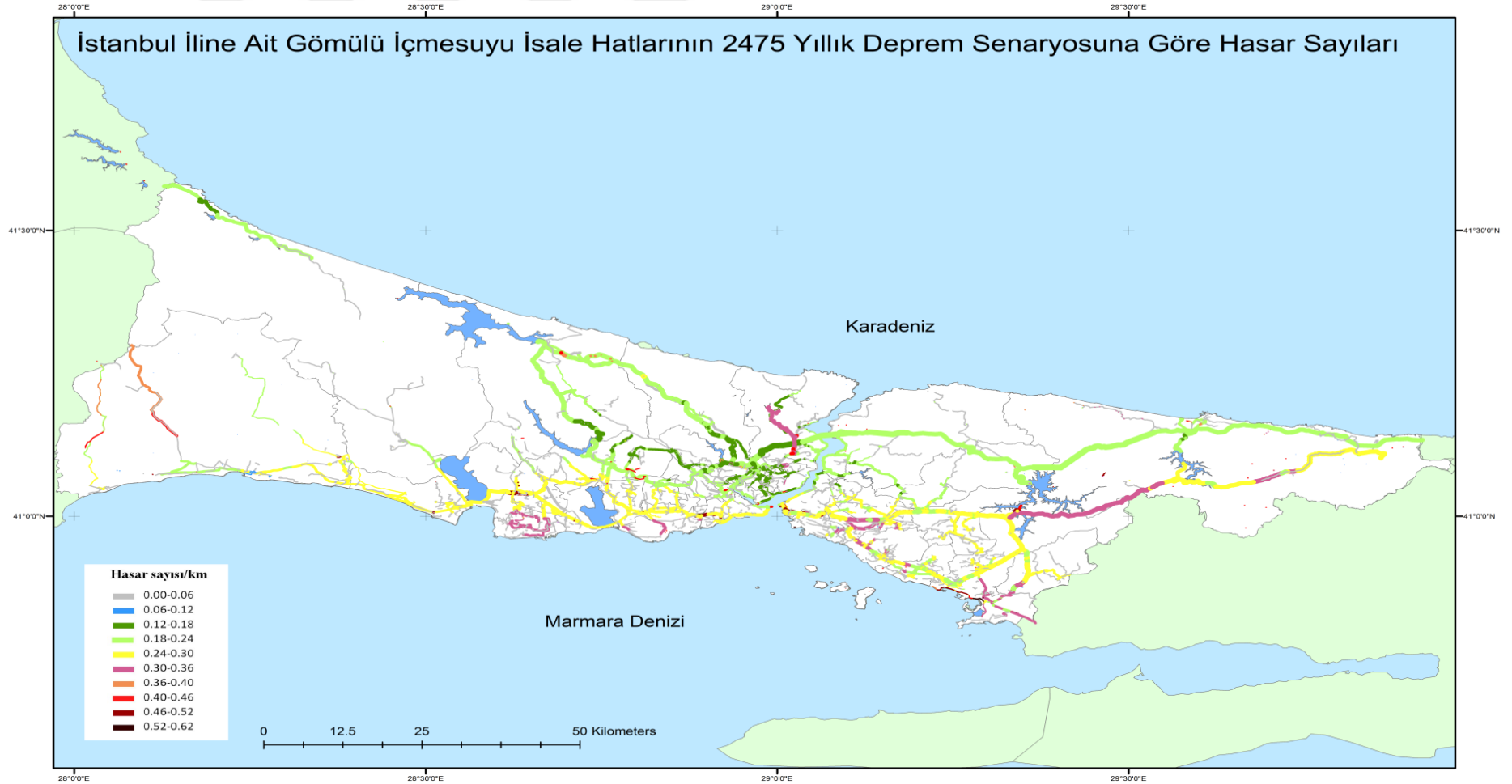
İstanbul genelindeki isale hatlarına ait hasar haritaları ArcGIS programı kullanılarak çizilmiştir. Sözkonusu hatlara ait üç farklı risk seviyesine göre hasar haritaları aşağıda verilmiştir (Şekil 4.30, Şekil 4.31, Şekil 4.32).



Şekil 4.30 : A risk seviyesine göre isale hatlarındaki hasar haritası.



Şekil 4.31 : B risk seviyesine göre isale hatlarındaki hasar haritası.



Şekil 4.32 : C risk seviyesine göre isale hatlarındaki hasar haritası.

4.7.4 İsale hatlarındaki hasarların irdelenmesi

Doktora tez çalışmasında isale hatları için üç farklı risk seviyesine göre hesap yapılarak, hasar haritaları oluşturulmuştur. Hasar sayılarının ve yerlerinin görsel olarak daha anlaşılır hale gelmesi için hasar sayıları hasar büyüklüklerine göre renklendirilerek, boru hatları üzerine işlenmiş ve renkli haritalar üzerinde gösterilmiştir. Böylece hasar sayılarının ve yerlerinin görsel olarak daha anlaşılır hale gelmesi sağlanmıştır. Önerilen olasılıksal risk analiz sayesinde, bu çalışmada dikkate alınan risk seviyelerinden farklı bir risk seviyesi için de hesap yapılabilmektedir. Bu durum şehri yönetenlere ve kullanıcılara önemli bir esneklik sağlamaktadır. Ayrıca elde edilen hasar haritaları depremde sonra içmesuyu hatlarının aksaksız çalıştırılması için gerekli tedbirlerin alınması adına, yetkililer için önemli bir veri kaynağı oluşturmaktadır.

Hasar haritaları incelendiğinde tüm isale hatlarında hasar sayıları risk seviyesine göre A'dan C risk seviyesine doğru artmaktadır. Beklendiği üzere en büyük hasar sayıları C risk seviyesine göre yapılan hasar haritasında görülmektedir.

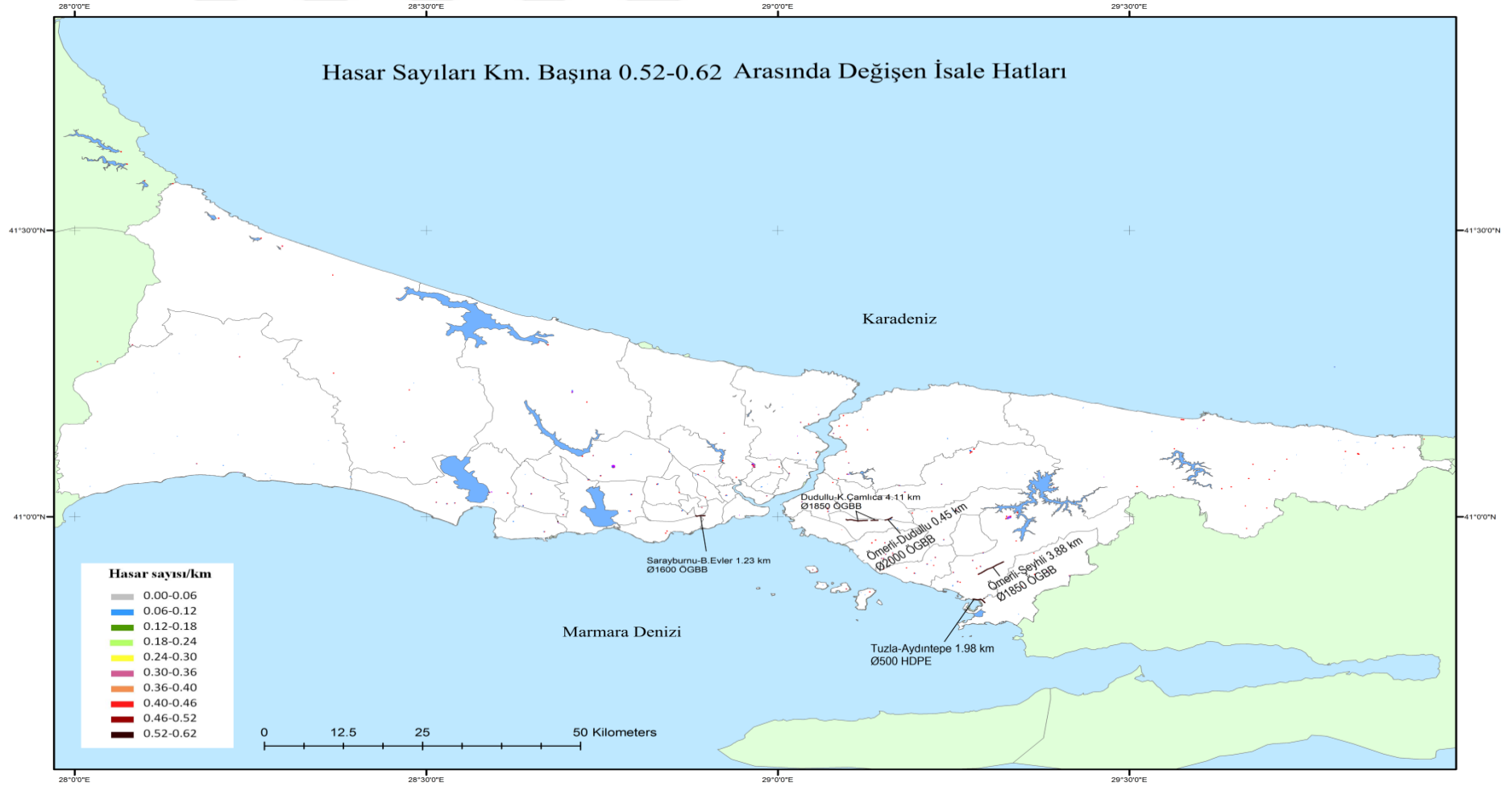
Hasar haritalarında dikkat çeken diğer bir husus ise İstanbul'un güneyine denk gelen Avrupa ve Asya yakasındaki sahil ve sahile yakın yerlerdeki isale hatlarında kentin kuzeyine göre daha büyük hasar değerleri aldığı görülmektedir. Kuzey Anadolu fay hattının daha büyük depremler üretmesi ve deprem odağının mesafe olarak sahil bölgelerine yakın olması sebebiyle sahil bölgesi ve civarındaki isale hatlarında PGV değerleri yüksek çıkmakta ve hasar değerleri yükselmektedir.

C risk seviyesine göre en büyük hasar değerinin km başına 0.62 adet ile ÖGBB Ø1850 mm çapındaki Dudullu-K.Çamlıca isale hattı üzerinde meydana geldiği görülmüştür. Söz konusu hat yan yana Ø2200 mm çelik ve Ø1850 mm çapında öngerilmeli beton boru malzemedan yapılmıştır. Dudullu-K.Çamlıca isale hattının öngerilmeli beton boru kısmı 8.27 km uzunluğundadır. Hasar sayısı da km başına 0.37-0.62 adet arasında değişmektedir. Öngerilmeli beton boru hattı yanından geçen çelik isale hattı da yaklaşık aynı uzunlukta ve hasar sayısı da km başına 0.21-0.32 adet arasında değişmektedir. Gömülü boru hatlarında deprem karşısında çelik boruların daha esnek bir malzeme olmasından dolayı kırılğan olarak kabul edilen beton borulara göre daha az hasar almaktadır.

4.7.4.1 C risk seviyesi için hasar sayısı/km 0.52-0.62 adet olan isale hatları

C risk seviyesi için, hesaplamalar sonucunda elde ettiğimiz hasar değeri km başına 0.52-0.62 adet olan isale hatları Şekil 4.33'te verilmiştir. Tez çalışmasında, en yüksek hasar aralığı değeri km başına 0.52-0.62 adet olup, siyah renkle gösterilmiştir. Bu hasar aralığında olan toplam 11.6 km üzerinde isale hattı bulunmaktadır. Hesaplamalar sonucunda en yüksek hasar aralığı değerine sahip isale hatları aşağıda sıralanmıştır.

- 1-) Dudullu- K.Çamlıca isale hattının 4.11 km'lik kısmı (Ø1850 ÖGBB)
- 2-) Ömerli-Dudullu isale hattının 0.45 km'lik kısmı (Ø2000 ÖGBB)
- 3-) Ömerli-Şeyhli isale hattının 3.88 km'lik kısmı (Ø1850 ÖGBB)
- 4-) Tuzla-Aydıntepe isale hattının 1.98 km'lik kısmı (Ø500 HDPE)
- 5-) Sarayburnu-Bahçelievler isale hattının 1.23 km'lik kısmı (Ø1600 ÖGBB)



Şekil 4.33 : C risk seviyesine göre hasar sayısı/km 0.52-0.62 olan isale hatları.

4.7.4.2 C risk seviyesi için hasar sayısı/km 0.40 adetten büyük olan isale hatları

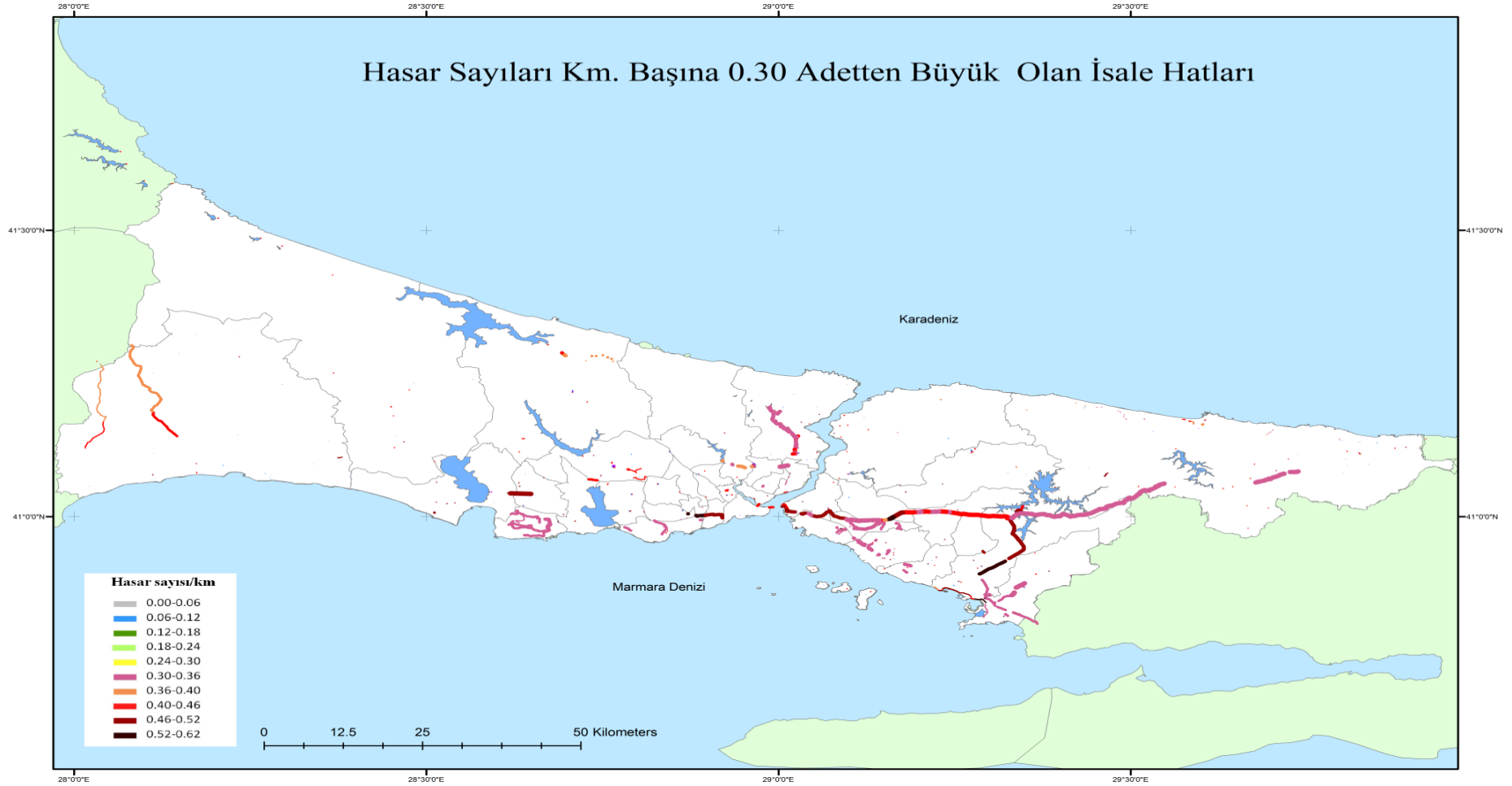
C risk seviyesi için, hesaplamalar sonucunda elde ettiğimiz hasar değeri km başına 0.40 adetten büyük olan olan isale hatları Şekil 4.34'te verilmiştir. Hasar sayıları için km başına 0.40 adetten fazla olan isale hattı uzunluğu toplam 96.15 kilometredir. Toplam isale hattı uzunluğunun %3'üne tekabül etmektedir. Buradaki bütün borular gevrek olarak nitelendirdiğimiz beton, öngerilmeli betonarme, HDPE ve CTP malzemeden oluşmaktadır. Beton, font, HDPE, CTP gibi gevrek malzemelerden oluşan boru hatlarında, esnek olarak kabul ettiğimiz çelik ve düktil font borulardan oluşan boru hatlarına göre daha çok hasar aldığı görülmüştür. Halihazırda tez çalışmasında kullandığımız ampirik hasar bağıntılarında da öngörülen bir durumdur.

4.7.4.3 C risk seviyesi için hasar sayısı/km 0.30 adetten büyük olan isale hatları

C risk seviyesi için hasar sayısı için km başına 0.30 adet üzerinde olan toplam isale hattı uzunluğu 271.30 kilometredir. C risk seviyesi için, hesaplamalar sonucunda elde ettiğimiz hasar değeri, ortalama bir değer olarak kabul edebileceğimiz km başına 0.30 adetten büyük olan isale hatları Şekil 4.35'de verilmiştir. Hasar sayıları için km başına 0.30 adetten fazla olan isale hattı uzunluğu toplam isale hattı uzunluğu 271.30 kilometredir. Toplam isale hattı uzunluğunun %8.7'sine tekabül etmektedir. Burada gevrek olarak nitelendirdiğimiz beton, öngerilmeli betonarme, HDPE ve CTP malzemeden oluşan boru hattı 175.86 km'dir. 95.44 kilometrelik hat esnek olarak nitelendirdiğimiz çelik malzemeden oluşmaktadır.



Şekil 4.34 : C risk seviyesine göre hasar sayısı/km 0.40 adetten büyük olan isale hatları.



Şekil 4.35 : C risk seviyesine göre hasar sayısı/km 0.30 adetten büyük olan isale hatları.

4.7.4.4 İsale hatlarında oluşan hasarların genel değerlendirilmesi

Tez çalışmasında, isale hatlarına ait olasılıksal risk analizi kullanılarak elde edilen hasar haritaları deprem riskinin azaltılması ve afet yönetimi için önemli bir veri kaynağı oluşturmaktadır. Yerel yönetimler bu veriler ışığında, deprem sonrasında şehre su sağlayamamanın getirebileceği olumsuz etkileri en aza indirmek için gerekli tedbir ve düzenlemeleri yapabileceklerdir. Ayrıca isale hatlarının deprem riskinin belirlenmesi için önerilen yöntem dünyadaki diğer şehirler için de uygulanabilir. Bunu için ilgili şehrin altyapı hattı bilgileri, zemin cinsi ve olası deprem senaryolarının bilinmesi gerekmektedir.

İstanbul'daki içmesuyu boru hatlarının deprem riskini belirlenmesi ile ilgili önemli ve tek çalışma İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin JICA (2002)'ya yaptırdığı çalışmadır. JICA (2002) tarafından yapılan çalışmada ise kısıtlı modeller kullanılmış, sonuçlar ilçe bazında verilmiştir. JICA (2002) çalışması ile bu tez çalışması bir takım sebeplerden dolayı doğrudan karşılaştırılamamaktadır. Bu sebeplerden birisi JICA (2002) çalışmasının deterministik yöntem kullanması, bu tez çalışmasında ise olasılıksal bir yöntem kullanılmasıdır. Diğer bir sebep hangi içmesuyu hattının ne kadar hasar aldığı ve koordinat bilgisine yer verilmemiştir. Ayrıca JICA (2002) çalışmasında isale ve şebeke hattı olmak üzere toplam 7568 km içmesuyu hattı kullanılırken, bu tez çalışmasında 3100 km uzunluğundaki isale hattı dikkate alınmıştır.

Hasar haritaları incelendiğinde, genel olarak İstanbul'daki isale hatlarının olası depremler karşısında alınan hasarların kısıtlı olacağı görülmektedir. Risk seviyesi arttıkça normal olarak hasar sayıları da artmaktadır. En yüksek risk seviyesi olan C risk seviyesine göre en büyük hasar değeri km başına 0.52 ile 0.62 adet aralığında hasar alan isale hattı uzunluğu 11.6 km'dir. Bu uzunluk tüm isale hattı uzunluğunun sadece %0.4'üne tekabül etmektedir. Hasar sayısı km başına 0.40 adet üzerinde olan isale hattı toplam isale hattının %3'üne tekabül etmektedir. Hasar sayısı km başına 0.30 adet üzerinde olan isale hattı ise toplam isale hattının %8.7'sine tekabül etmektedir.

İsale hatlarına ait hasar haritaları incelendiğinde dikkat çeken diğer bir husus ise Avrupa ve Asya yakasındaki sahil ve sahile yakın yerlerdeki isale hatlarında kentin diğer yerlerine göre, Marmara Denizi içinden geçen Kuzey Anadolu fay hattına

yakın olmasından dolayı daha büyük hasar değerleri aldığı gör÷lmektedir. Tez çalışmasında dikkat çeken diğer bir nokta ise beton, font, HDPE, CTP gibi gevrek malzemelerden oluşan boru hatlarında, esnek olarak kabul ettiğimiz elik ve d÷ktil font borulardan oluşan boru hatlarına g÷re daha çok hasar almasıdır.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu doktora tez çalışmasında, yaygın olarak kullanılan gömülü boru hatları için hasar bağıntıları araştırılarak, boru hatlarının deprem riskinin ve hasarlarının belirlenmesi için olasılıksal bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem ile İstanbul içmesuyu sistemi için uygulama yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. İstanbul'da ve civarında meydana gelmesi beklenen depremler için oluşturulan deprem senaryolarına göre Ø300mm çapı ve üzerindeki bütün içmesuyu isale hatları için önerilen olasılıksal yöntem ile boru hatlarında oluşabilecek hasar sayıları ve yerleri belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucunda elde edilen hasar sayıları hasar büyüklüklerine göre renklendirilerek boru hatları üzerine işlenmiş ve renkli haritalar üzerinde gösterilmiştir. Bu şekilde oluşacak hasar sayılarının ve yerlerinin görsel olarak daha anlaşılır hale gelmesi sağlanmıştır.

Çalışmada İstanbul'daki içmesuyu isale hatları için deprem riskinin gerçeğe yakın bir biçimde belirlenmesi öngörülmüştür. Bu yüzden öncelikle isale hatlarının hangi zemin tipinde kaldığı belirlenmiştir. Sonrasında İstanbul için kapsamlı bir deprem kataloğu oluşturulmuştur. Olası depremlere göre YTHB (Yer Hareketi Tahmin Bağıntıları) yardımıyla en büyük yer hızı PGV hesaplanmış ve bu değerler hasar bağıntılarında kullanılarak PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) tarafından önerilen olasılıksal yöntem çerçevesinde hasar sayıları ve haritaları elde edilmiştir. Hasar sayılarının hesaplanmasında Çizelge 4.6'da verilen hasar bağıntılarının ağırlıklı ortalaması alınarak literatürde kullanılan birçok farklı bağıntının da dikkate alınması sağlanmıştır. PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) olasılıksal risk analizi çerçevesinde deprem risk seviyesi olarak üç farklı risk seviyesi dikkate alınmıştır. Bunlar A risk seviyesi: sık olan küçük depremler, B risk seviyesi: nadir olan büyük depremler ve C risk seviyesi: çok nadir olan çok büyük depremler olarak sıralanmaktadır.

Bu tez çalışmasında içmesuyu isale hatlarındaki hasarın hesaplanması için üç adet farklı ve büyük ölçekte veri seti kullanılmıştır. Bunlardan birincisi isale hatlarının koordinat, malzeme, uzunluk, çap vb. bilgilerinin bulunduğu veri setidir. Burada

3100 km'in üzerinde ve çapı Ø300 mm'den büyük isale hatlarının bilgileri bulunmaktadır. Bu verilerden ikincisi ise İstanbul ili sınırları içerisinde kapsayan zemin bilgilerini içeren zemin veri setidir. Bu veri setinde 24144 noktaya ait zemin bilgisi zemin kayma hızı Vs30 cinsinden ifade edilmiştir. Çalışmada kullanılan diğer bir veri seti ise oluşturduğumuz deprem kataloğudur. Söz konusu deprem kataloğu SHARE (Seismic Hazard Harmonization in Europe) projesi kapsamında Türkiye için kaydı tutulan depremler arasından İstanbul civarı için filtre edilerek elde edilen deprem kayıtlarının toplanmasından oluşturulmuştur. Bu veri setinde ise 66014 noktaya ait koordinat, derinlik ve aletsel büyüklük bilgisi bulunmaktadır.

Yukarıda bahsi geçen veriler kullanılarak hasar sayılarının hesabında ve hasar haritalarının oluşturulmasında farklı yazılımlardan faydalanılmıştır. Öncelikle isale hatlarının düzenlenmesi, zemin kutularını kestiği noktaları bulunmuştur. İsale hattı parçalarının hangi zemin tipinde kaldığını bulmak için MATLAB de kod hazırlanmıştır. Hasar sayılarının hesabında ve hasar haritalarının çiziminde de MATLAB programında farklı kodlar yazılmıştır. Ayrıca hasar haritalarının görsel olarak daha iyi ve anlaşılır bir hale getirilmesi için ArcGIS programından yararlanılmıştır.

Tez çalışmasında arzu edilen sonuçlara ulaşmak için bir takım zorluklarla karşılaşmıştır. Bu zorlukların en önemlisi veri setlerinin çok büyük olmasıdır. Bu yüzden özellikle zemin cinslerinin belirlenmesi ve hasar sayılarının hesaplanmasında kullanılan algoritma küçük örnek üzerinde denenerek tüm İstanbul için uygulanmıştır. Ayrıca hasar sayılarının hesaplanmasında kullanılan veri setlerinin farklı formatlarda olması verilerinin tekrar düzenlenmesini gerekli kılmıştır. MATLAB'in algortima ve hesaplamalar konusunda etkin bir yazılım olmasına rağmen görsel haritalandırma konusunda kısıtlı olmasından dolayı daha iyi görsel imkanlar sunan bir GIS programı kullanılmıştır.

Hasar sayılarının hesaplanmasında zamanı kısaltmak için işlemler belirli parçalara bölünerek farklı bilgisayarlarda yapılmıştır. İşlem yükünün bölünmesine rağmen bilgisayarlarda yapılan hesaplamalar haftalarca sürmüştür. İşlem süresinin kısaltılması adına bir takım optimizasyon çalışması da yapılmıştır. Örneğin deprem kataloğunda tekrar eden depremler tekrar sayısı dikkate alınarak, tek bir deprem olarak hesaba katılmıştır.

Gömülü boru hatlarının hasar sayılarının hesabında literatürde gözleme dayalı farklı deprem parametreleri ile hasar sayıları elde edilen ampirik formüller kullanılmaktadır. Tez çalışmasında son yıllarda da tercih edilen gömülü boru hatları için hasar hesaplamalarında daha iyi korelasyon gösteren en büyük yer hızı PGV kullanılmıştır. Hasar sayılarının tahmin edilmesinde kalıcı yer deformasyonu PERGD parametresi gerek hesaplanmasında uygun yer hareketi tahmin bağıntısı bulunamaması ve gerekse de elde edilmesindeki zorluklardan dolayı tercih edilmemiştir.

Doktora tez çalışmasında içmesuyu hatlarının risk analizi çerçevesinde oluşabilecek hasarın belirlenmesinde özgün bir olasılıksal yöntem geliştirilmiştir. Önerilen olasılıksal risk analizi belirli bir sürede istenilen hasar seviyesinin aşılma olasılığını tanımlama olanağı sağlamaktadır. Bu durum hesap yapan kullanıcılara önemli bir esneklik sağlamaktadır. Bu çalışmada üç farklı risk seviyesine göre hesap yapılmıştır. Her üç farklı risk seviyesine göre hasar haritaları görsel olarak verilmiştir. Böylece şehri yöneten yetkililerin seçeceği risk seviyesine göre içmesuyu isale hatlarında oluşacak tehlikeyi görmeleri ve olası bir deprem öncesi hayat kaynağı olan suyun şehre sağlıklı bir şekilde dağıtılması için gerekli tedbirleri almaları hedeflenmiştir. İstendiği takdirde sözkonusu hasar sayılarını gösteren hasar haritaları farklı bir risk seviyesi için hesaplar tekrarlanarak elde edilebilecektir.

Bu tez çalışmasında elde edilen hasar sayılarının gösteren üç harita incelendiğinde, A risk seviyesi; 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan küçük depremlere göre elde edilen haritada isale hatlarının renkledirmeye göre en az hasarı aldığı, B risk seviyesi; 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan büyük depremlere göre elde edilen haritada renkledirmeye göre biraz daha fazla hasar aldığı ve C risk seviyesi; 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan çok büyük depremlere göre elde edilen haritada renkledirmeye göre en fazla hasarı aldığı görülmektedir. Burada A risk seviyesi 75 yıllık dönüş peryotuna, B risk seviyesi 475 yıllık dönüş peryotuna, C risk seviyesi ise 2475 yıllık dönüş peryotuna denk gelmektedir.

Sözkonusu haritalar incelendiğinde dikkat çeken diğer bir husus ise İstanbul'un güneyine denk gelen Avrupa ve Asya yakasındaki sahil ve sahile yakın yerlerdeki isale hatlarında kentin kuzeyine göre daha büyük hasar değerleri almasıdır. Bunun sebebi bu hatların Marmara Denizi içinden geçen Kuzey Anadolu fay hattıdır. Kuzey Anadolu fay hattının daha büyük depremler üretmesi ve deprem odağının

mesafe olarak sahil bölgelerine yakın olması sebebiyle sahil bölgesi ve civarındaki isale hatlarında PGV değerleri yüksek çıkmakta ve bunun sonucu olarak da hasar sayıları değeri yükselmektedir.

İstanbul için Ø300 mm ve daha büyük çaplı içmesuyu isale hatlarında hasar sayılarının hesabı sonucunda C risk seviyesine göre en büyük hasar değerinin km başına 0.62 adet ile ÖGBB Ø1850 mm çapındaki Dudullu-K.Çamlıca isale hattı üzerinde meydana geldiği görülmüştür. Dudullu-K.Çamlıca isale hattı Anadolu yakasının önemli isale hatlarından olup, yan yana Ø2200 mm çelik ve Ø1850 mm çapında önerilmeli beton boru olması nedeniyle dikkat çekicidir. Dudullu-K.Çamlıca isale hattının önerilmeli beton boru kısmı 8.27 km uzunluğundadır. Hasar sayısı da km başına 0.37-0.62 adet arasında değişmektedir. Önerilmeli beton boru hattı yanından geçen çelik isale hattı da yaklaşık aynı uzunlukta ve hasar sayısı da km başına 0.21-0.32 adet arasında değişmektedir. Gömülü boru hatlarında deprem karşısında çelik boruların daha esnek bir malzeme olmasından dolayı beton borulara göre daha iyi performans sergilemektedir.

Ayrıca hasar haritalarında C risk seviyesi için hesaplamalar sonucunda elde ettiğimiz hasar sayılarına göre belirlediğimiz siyah renkle gösterdiğimiz en yüksek hasar aralığı değeri km başına 0.52-0.62 adettir. Bu hasar aralığında olan toplam 11.6 km uzunluğunda isale hattı bulunmaktadır. Bu uzunluk toplam isale hattı uzunluğunun sadece %0.4'üne tekabül etmektedir. En yüksek hasar aralığı değerine sahip isale hatları aşağıda sıralanmıştır:

- 1-) Dudullu- K.Çamlıca isale hattının 4.11 km'lik kısmı (Ø1850 ÖGBB)
- 2-) Ömerli-Dudullu isale hattının 0.45 km'lik kısmı (Ø2000 ÖGBB)
- 3-) Ömerli-Şeyhli isale hattının 3.88 km'lik kısmı (Ø1850 ÖGBB)
- 4-) Tuzla-Aydıntepe isale hattının 1.98 km'lik kısmı (Ø500 HDPE)
- 5-) Sarayburnu-Bahçelievler isale hattının 1.23 km'lik kısmı (Ø1600 ÖGBB)

Sözkonusu isale hatlarının olası bir deprem esnasında en büyük hasarı alması beklenmektedir.

Tez çalışmasında dikkat çeken diğer bir nokta ise beton, font , HDPE, CTP gibi gevrek malzemelerden oluşan boru hatlarında, esnek olarak kabul ettiğimiz çelik ve düktil font borulardan oluşan boru hatlarına göre daha çok hasar almasıdır. Literatürde yapılan çalışmalar ve gerçek hayattaki tecrübelerden de benzer sonuçlara

varılmıştır. C risk seviyesi için hasar sayıları için km başına 0.40 adetten fazla olan isale hattı uzunluğu toplam 96.15 kilometredir. Toplam isale hattı uzunluğunun %3'üne tekabül etmektedir. Buradaki bütün borular gevrek olarak nitelendirdiğimiz beton, öngerilmeli betonarme, HDPE ve CTP malzemeden oluşmaktadır. Halihazırda tez çalışmasında kullandığımız ampirik hasar bağıntısı formüllerinin birkaçında gevrek malzemeden oluşan boru hatlarında daha fazla hasar oluşması durumu direkt olarak dikkate alındığından hasar sayısındaki bu dağılım beklenen bir durumdur. HAZUS tarafından önerilen hasar bağıntısında esnek olan çelik ve düktil font borular için bulunan hasar sayısının doğrudan 0.3 ile çarpılarak azaltılması öngörülmektedir. Aynı şekilde ALA (2001) de verilen hasar bağıntısında esnek borular için hasar sayılarının 0.3-0.9 arasında değerler alan K_1 katsayısı ile azaltılması önerilmiştir. Eidinger ve Avila (1999) tarafından da benzer K_1 katsayısı önerilmiş ve esnek borular için 0.15-0.8 arasında değerler alması tavsiye edilmiştir.

C risk seviyesi için hasar sayısı için ortalama bir değer olarak kabul edebileceğimiz km başına 0.30 adet üzerinde olan toplam isale hattı uzunluğu 271.30 kilometredir. Toplam isale hattı uzunluğunun %8.7'sine tekabül etmektedir. Burada gevrek olarak nitelendirdiğimiz beton, öngerilmeli betonarme, HDPE ve CTP malzemeden oluşan boru hattı 175.86 kilometredir. Geri kalan 95.44 kilometrelik hat esnek olarak nitelendirdiğimiz çelik malzemeden oluşmaktadır. Genel olarak İstanbul'daki isale hatlarının olası depremler karşısında alınan hasarların kısıtlı olacağı görülmektedir.

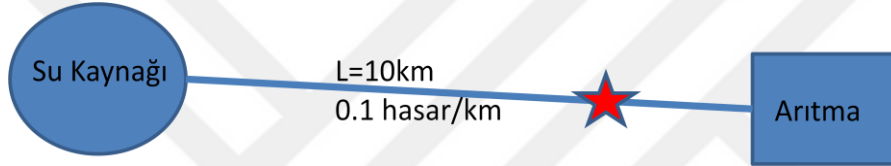
Doktora tez çalışmasında olasılıksal risk analizi çerçevesinde içmesuyu hatlarının çeşitli deprem senaryolarına göre hasar haritalarının hazırlanması yöntemi geliştirilmiş ve İstanbul örneğine başarıyla uygulanmıştır. Benzer şekilde diğer şehirler ve bölgeler için de içmesuyu hattı, zemin ve deprem bilgileri derlenerek hasar haritaları hazırlanabilir. Böylece diğer şehirlerdeki altyapılar için deprem hasarlarını azaltmak için gerekli tedbirlerin alınması sağlanabilir.

Yapılan hesaplamalarda en yüksek hasar sayılarına ulaşan ve büyük risk altında olan toplam 11.6 km uzunluğundaki Ø1850 mm çapında ÖGBB Dudullu-K.Çamlıca, Ø2000 mm çapında ÖGBB Ömerli-Dudullu, Ø1850 mm çapında ÖGBB Ömerli-Şeyhli, Ø500 mm çapında HDPE Tuzla-Aydıntepe ve Ø1600 mm çapında ÖGBB Sarayburnu-Bahçelievler isale hatlarının ilgili bölümlerinin en kısa zamanda depreme karşı daha iyi performans sergileyen çelik veya font düktil borularla değiştirilmesi önerilmektedir. Hasar sayısı km başına 0.40 üzerinde olan 96.15 km

uzunluğundaki tamamı gevrek malzemeden oluşan isale hatlarının da zaman içinde çelik veya düktil font boru ile değişimi tavsiye edilmektedir.

İstanbul'un önemli tarihi ve turistik bölgesi olan Adalar ilçesine içmesuyu deniz altından HDPE boru hattı ile sağlanmaktadır. Adalar hattının deprem riski zemin bilgisi olmadığından dolayı belirlenememiştir. Ancak sözkonusu hat fay hattına çok yakın olması nedeniyle olası bir depremde ağır hasar alması beklenmektedir. Bu yüzden yetkililerin deprem sonrası Adalar ilçesine su sağlamak için hazırlık yapmalı ve gerekli önlemleri almalıdır.

İçmesuyu hatlarındaki hasar dağılımları, su kaynağı, baraj, arıtma, pompa istasyonu gibi kritik tesisler de GIS sisteminde oturtularak, işletmeye yönelik risk senaryo kestirimleri yapılabilir (Şekil 4.36).



Şekil 4.36 : Hasar oranı düşük olmasına rağmen, 10km'lik bir hatta tek bir hasar suyun kesilmesi için yeterlidir ! Bu durumda hattın görevi önemli bir hal alır.

İçmesuyu isale hatları için yapılan olası deprem senaryolarına göre oluşturulan hasar haritaları, atıksuların uzaklaştırılması için önemli rol oynayan kanalizasyon hatları için de aynı şekilde hazırlanabilir.

Deprem sonrası oluşan altyapı hasarları kayıt altına alınmalıdır. Bu hasar kayıtları deprem hasar ilişkilerini anlamak ve geliştirmek adına önemli bir veri kaynağı olacaktır. Ayrıca yapılan çalışmaların doğruluğunu kontrol etme imkanı da sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Adachi, T.** (2009). Serviceability Assessment of a Municipal Water System Under Spatially Correlated Seismic Intensities *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 24, 237–248.
- Adachi, T. & Elingwood, B.R.** (2008). Serviceability of earthquake-damaged water systems: Effects of electrical power availability and power backup systems on system vulnerability, *Reliability Engineering and System Safety*, 93, 78–88.
- Adachi, T. & Elingwood, B.R.** (2010). Comparative Assessment of Civil Infrastructure Network Performance under Probabilistic and Scenario Earthquakes Estimation of earthquake damage to urban systems, *Journal of Infrastructure Systems*, 16, 1-10.
- Akkar, S. & Bommer J. J.** (2006). Prediction of peak ground velocity for Europe and surrounding countries, in *Proc. of the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Geneva Switzerland, 3–8 September, paper no. 631.
- Akkar, S. & Bommer, J.J.** (2007). Empirical prediction equations for peak ground velocity derived from strong-motion records from Europe and Middle East, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.97 no.2, 511-530.
- ALA** (2001). *Seismic fragility formulations for water systems*, American Society of Civil Engineers (ASCE) and Federal Emergency Management Agency (FEMA), www.americanlifelines.org, Jan.2002.
- Ambraseys, N.N., Douglas, J., Sarma, S.K. & Smit, P.M.** (2005). Equations for the estimation of strong ground motions from shallow crustal earthquakes using data from Europe and the Middle East: horizontal peak ground acceleration and spectral acceleration, *Bull. Earthquake Eng.* 3, no.1, 1–53.
- ASCE-TCLEE** (1991). *Seismic loss estimation for a hypothetical water system*, Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering(TCLEE) of the American Society of Civil Engineers (ASCE), Monograph.
- Ayala, A. G. & O'Rourke, M. J.** (1989). *Effect of the 1985 Michoacan Earthquake on water system and other buried lifelines in Mexico*, Technical Report NCEER, 89009, Buffalo, NY.
- Azevedo, J., Guerrerriog, L., Bento, R. & Proenca, J.** (2010). Seismic Vulnerability of Lifelines in the Greater Lisbon, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8, 157–180.
- Ballantyne, D. B., Berg, E., Kennedy, J., Reneau, R. & Wu, D.** (1990). *Earthquake loss estimation modeling for the Seattle water system*,

Report to U.S. Geological Survey under Grant 14-08-0001-G1526, Technical Rep. Prepared for Kennedy/Jenks/Cilton, Federal Way, Wash.

- Barenberg, M. E.** (1988). Correlation of pipeline damage with groundmotions, *J. Geotech. Engrg.*, 114(6), 706–711.
- Bildirici, İ.Ö.** (2003) Mekansal Veri Analizinde Point in Polygon Testi , *TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı: CBS ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı* 24-25-26 Eylül 2003, 209-214 , Konya
- Boore, D.M. & Atkinson, G.M.** (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*, Vol.24, No. 1, p. 99–138.
- Campbell, K. W.** (1997). Empirical near-source attenuation relationships for horizontal and vertical components of peak ground acceleration, peak ground velocity, and pseudo-absolute acceleration response spectra, *Seismological Research Letters*, 68 (1): 154-179.
- Campbell, K.W. & Bozorgnia, Y.** (2008). NGA Ground Motion Model for the Geometric Mean Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and %5 Damped Linear Elastic Respponse Spectra for Periods Ranging from 0.01 to 10 s, *Earthquake Spectra*, Volume 24, No. 1, pages 139–171.
- Christodolou, S.E.** (2011). Water Network Assessment and Reliability Analysis by Use of Survival Analysis, *Water Resources Management*, 25, 1229–1238.
- Committee on gas and liquid fuel lifelines** (1984). Guidelines for the seismic design of oil and gas pipeline systems, ASCE, New York, NY.
- Eguchi, R. T.** (1983). Seismic vulnerability models for underground pipes, *Proc., Earthquake Behavior and Safety of Oil and Gas Storage Facilities, Buried Pipelines and Equipment*, ASME, New York, 368–373.
- Eguchi, R. T.** (1991). Seismic hazard input for lifeline systems, *Struct. Safety*, 10, 193–198.
- Eidinger, J.** (1998) .*Water distribution system*, The Loma Prieta, California, Earthquake of October 17, 1989—Lifelines, A. J. Schiff, ed.,U.S. GPO, Washington, D.C., A63–A78.
- Eidinger, J., Avila, E.** (1999). *Guidelines for the Seismic Upgrade of Water Transmission Facilities*, Monograph, No. 15, TCLEE/ASCE.
- Eidinger, J., Maison, B., Lee, D., & Lau, B.** (1995). East Bay municipal district water distribution damage in 1989 Loma Prieta earthquake, *Proc.,4th U.S. Conf. on Lifeline Earthquake Engineering*, ASCE, New York, 240–247.
- FEMA**, (1999). *Earthquake loss estimation methodology HAZUS-MH—Technical manual*, <http://www.fema.gov/hazus>, 2001.
- Fragiadakis, M., Christodolou, S.E.** (2014). Seismic Reliability Assessment of Urban Water Networks, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 43(3), 357-374.

- Frolich, C., & Apperson K. D.** (1992). Earthquake focal mechanisms, moment tensors, and the consistency of seismic activity near plate boundaries, *Tectonics*, 11, 279–296.
- Hamada, M.** (1991). Estimation of earthquake damage to lifeline systems in Japan, *Proc.3rdJapan-US Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures for Soil Liquefaction, Technical Rep*, NCEER-91-0001, Buffalo:National Center for Earthquake Engineering Research, San Francisco, 6-22.
- Hwang, H. & Lin, H.** (1997). *GIS-based evaluation of seismic performance of water delivery systems*, Technical Rep. Prepared for CERI, Univ. of Memphis, Memphis, Tenn.
- Isenberg, J.** (1978) . *Seismic performance of underground water pipelines in the Southeast San Fernando Valley in the San Fernando Earthquake*, Grant Peport No. 8, Weidlinger Associates, New York.
- Isenberg, J.** (1979) . Role of corrosion in water pipeline performance in three U.S. earthquakes, *Proceedings 2nd US National Conference on Earthquake Engineering*, Stanford, California.
- Isenberg, J. & Taylor, C. E.** (1984) . Performance of water and sewer lifelines in the May 2, 1983, Coalinga California Earthquake, *Lifeline Earthquake Engineering: Design and Construction*, ASCE, New York, 190-211.
- Isoyama, R., Katayama, T.** (1982). *Reliability evaluation of water supply systems during earthquakes*, Rep.Prepared for Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Tokyo.
- 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.
- Jeon, S. S. & O'Rourke, T. D.** (2005). Northridge earthquake effects on pipelines and residential buildings, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 95(1), 294–318.
- JICA** (2002). *İstanbul ili sismik mikro-bölgeleme dahil afet önleme/azaltma temel planı çalışması son rapor*. <http://www.ibb.gov.tr/>.
- Kameda H.** (2000). *Engineering Management of Lifeline Systems Under Earthquake Risk*, 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand. New Zealand Society for Earthquake Engineering.
- Katayama, T., Kubo, K., Sato, N.** (1975). Earthquake damage to water and gas distribution systems, *Proc., U.S. National Conf. On Earthquake Engineering*, EERI, Oakland, Calif., 396–405.
- Krawinkler, H.** (2002). A general approach to seismic performance assessment, In *International Conference on Advances and New Challenges in Earthquake Engineering Research*, August, 19–20. Hong Kong, China: First Annual Meeting of ANCER.
- Lanzano, G., Magistris, F.S., Fabbrocino, G., Saizano, E.** (2014). Integrated Approach to the Seismic Vulnerability Assessment, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, Vol. 55, no.1, pp. 215-226.

- Matsushita, M.** (1995) . *Damage to Kobe water system by the Hanshin Awaji Great Earthquake and restoration plan*, Technical Memorandum of PWRI, No. 3415, s. 109-127.
- Newmark, N. M., Blume, J. A., & Kapur, K. K.** (1973). Seismic design spectra for nuclear power plants, *J. Power Division ASCE* 99, PO2, 287–303.
- O'Rourke, T.D., Palmer, M.C.** (1996). Earthquake Performance of Gas Transmission Pipelines *Earthquake Spectra* Vol.12, No.3.
- Osorio, L.D., Craig, J.I., Goodno, B.J.** (2007). Seismic Response of Critical Interdependent Networks, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 36, 285–306.
- O'Rourke, M., Filipov, E., Uçkan, E.** (2015). Towards Robust Fragility Relations for Buried Segmented Pipe in Ground Strain Areas, *Earthquake Spectra*, Vol.31, No.3, p. 1839-1858.
- O'Rourke, T. D. & Jeon, S.S.** (1999). Factors affecting the earthquake damage of water distribution systems, *Proc., 5th U.S. Conf. on Lifeline Earthquake Engineering*, ASCE, Reston, Va., 379–388.
- O'Rourke, T. D. & Jeon, S.S.** (2000). Seismic zonation for lifelines and utilities, Invited keynote paper on lifelines, *Proceedings sixth international conference on seismic zonation*, Palm Springs, CA, EERI CDROM.
- O'Rourke, M. J. & Deyoe, E.** (2004). Seismic damage to segmented buried pipe, *Earthquake Spectra*, 20(4), 1167–1183.
- O'Rourke, M. J. & Ayala, G.** (1993). Pipeline damage due to wave propagation, *J. Geotech. Engrg.*, 119(9), 1490–1498.
- O'Rourke, T.D., Stewart H.E., Gowdy, T.E., Pease J.W.** (1991). Lifeline and geotechnical aspects of the 1989 Loma Prieta earthquake, *Proc.2nd Int.Conf. on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, University of Missouri Rolla, Rolla, Mo., 1601-1612.
- O'Rourke, T.D., Toprak, S., Sano, Y.** (1998). Factors affecting water supply damage caused by Northridge earthquake, *Proc.6th U.S. National Conf. On Earthquake Engineering*, EERI, Seattle.
- Pineda, O., & Ordaz, M.** (2007). A new seismic intensity parameter to estimate damage in buried pipelines due to seismic wave propagation, *J. Earthquake Eng.*, 11(5), 773–786.
- Pineda, O., & Ordaz, M.** (2010). Seismic fragility formulation for segmented buried pipeline systems including the impact of differential ground subsidence, *J. Pipeline Syst. Eng. Pract.*, ASCE, Vol.1, No. 4, pp. 141-146.
- Pitilakis, K., Alexoudi, M., Argyroudis, S., Monge, O., Martin, C.** (2006). Earthquake Risk Assessment of Lifelines, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 4, 365–390.

- Porras, O.P. & Schroeder, M.O.** (2003). Seismic Vulnerability Function for High-Diameter Pipelines: Mexico-city's Primary Water System Case *ASCE Int. Conf. Pipeline Eng. Construction*, 2, 1145–1154.
- 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.
- Sato, R. & Myurata, M.** (1990). *GIS-based interactive and graphic computer system to evaluate seismic risks on water delivery networks*, Dept. of Civil Engineering and Operations Research, Princeton University.
- Shibata, A.** (2006). Estimation of earthquake damage to urban systems, *Structural Control and Health Monitoring*, 13, 454–471.
- Shin, B.J., Chang, C.H.** (2006). Damage Survey of Water Supply Systems and Fragility Curve of PVC Water Pipelines in the Chi-Chi Taiwan Earthquake, *Natural Hazards*, 37, 71–85.
- Silva, V., Crowley, H., Pagani, M., Monelli, D., Pinho, R.** (2013). Development of the OpenQuake engine, the Global Earthquake Model's open-source software for seismic risk assessment, *Natural Hazards*. DOI: 10.1007/s11069-013-0618-x.
- Toprak, S.** (1998). *Earthquake Effects on Buried Lifeline Systems*, (Ph.D. Thesis). Cornell University, Ithaca, NY.
- Toprak, S. ve Taşkın, F.** (2007). Estimation of Earthquake Damage to Buried Pipelines Caused by Ground Shaking, *Natural Hazards*, (2007) 40, 1–24.
- Toprak, S. ve Yoshizaki, K.** (2003). Boru hatlarına deprem yüklerinin etkisi, 5. *Ulusal Deprem Mühendisliği Kongresi*, İstanbul, No: 025. CDROM.
- Tromans, I. J. & Bommer J. J.** (2002). The attenuation of strong-motion peaks in Europe, in *Proc. of the Twelfth European Conf. on Earthquake Engineering*, London, paper no. 394.
- Uçkan, E.** (2014). Lifeline Damage Caused In the 23 October (Mw=7.2) 2011 and 9 November (M=5.6) 2011, Van Earthquakes in Eastern Turkey, *International efforts in Lifeline earthquake Engineering*, p.51-58.
- Wang, H.M., Lin, H. & Shinozuka, M.** (1998). Seismic Performance Assessment of Water Delivery Systems, *Journal of Infrastructure Systems*, 4, 118-125.
- Winkler, J., Osorio, L.D., Stein, R. & Subramanian, D.** (2011). Interface Network Models for Complex Urban Infrastructure Systems, *Journal of Infrastructure Systems*, 17, 138-150.
- Woessner, J., Danciu, L., Giardini, D., Crowley, H., Cotton, F., Grunthal, G., Valensise, G., Arvidsson, R., Basili, R., Demircioglu, M., Hiemar, S., Meletti, C., Musson, R., Rovida, A., Sesetyan, K. and Stucchi, M.** (2015). The 2013 European Seismic Hazard Model – Key Components and Results, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 13, 3553–3596.

Yoo, D.G., Kang, D. S. & Kim, J. H. (2013). Seismic Reliability Assessment Model of Water Supply Networks, *World Enviromental and Water Congress 2013, Showcasing the future ASCE 2013*, 955-966.



EKLER

EK A: Kodlar



EK A

1.İsale hatlarına zemin cinslerinin atanması

```
clear all
clc

data_gokhan=dlmread('1-sonboslukdusulumsmavilerdusulumusmatlabiçinsade.txt');
%% Orta noktaları bul
dp=size(data_gokhan,1);

lat_ortalar=0.5*(data_gokhan(:,10)+data_gokhan(:,13));
long_ortalar=0.5*(data_gokhan(:,9)+data_gokhan(:,12));
data_soil=dlmread('BuildingPopGroundModel_vE_Gokhan_withDayandNight_Populations.txt');
ds=size(data_soil,1);

counter=0;
a_check=0;

tic

gokhan_soil=zeros(dp,6);

% boru parçalarını say
for i=1:dp
% Zemin kutularını say
a_check=0;
for j=1:ds

%Boru parçaları ile zemin kutularını karşılaştır
if lat_ortalar(i)<(data_soil(j,3)+0.0025)&&lat_ortalar(i)>(data_soil(j,3)-0.0025)&&long_ortalar(i)<(data_soil(j,2)+0.0025)&&long_ortalar(i)>(data_soil(j,2)-0.0025)
a_check=1;
gokhan_soil(i,:)=data_soil(j,1:6);
elseif a_check==0;
gokhan_soil(i,:)=[-1 -1 -1 -1 -1 -1 ];
end

counter=counter+1;

shw=counter/(dp*ds)*100

end
end
toc
```

2.Hasar sayılarının hesaplanması

```
clear all  
clc
```

```
% Hangi catalogue dosyasinin kosulacagi: 1, 2, 3 veya 4  
run_catalogue=3;
```

```
% Ana program  
% Son degisiklik: 20.02.2017
```

```
%% SUTUN NUMARALARI ve VERILER
```

```
% INVENTORY OZELLIKLERI *****
```

```
% 1: MSLINK  
% 2: FROM_MSLINK  
% 3: TO_MSLINK  
% 4: CAP (mm)  
% 5: UZUNLUK (m)  
% 6: LONG(derece)  
% 7: LAT(derece)  
% 8: z1  
% 9: d1  
%10: LONG(derece)  
%11: LAT(derece)  
%12: z2  
%13: d2
```

```
% BORU PARCASININ ICERISINE DUSTUGU GEOCELL OZELLIKLERI
```

```
% 14: cell id  
% 15: LONG(derece)  
% 16: LAT(derece)  
% 17: Gece Nufusu  
% 18: Gunduz Nufusu  
% 19: Vs-30
```

```
% 20: Malzeme Cinsi
```

```
%% Boru verilerini oku
```

```
data_inventory=dlmread('1_Inventory_Istanbul.txt');  
dp=size(data_inventory,1); % Boru parca adedi
```

```
%% Boru orta noktalarini bul
```

```
lat_ortalar=0.5*(data_inventory(:,7)+data_inventory(:,11));  
long_ortalar=0.5*(data_inventory(:,6)+data_inventory(:,10));
```

```
% i=1 to ds :katalog deprem adedi
```

```
%1 : longt
```

```
%2 : lat
```

```

%3 : Magn
%4 : derinlik km

if run_catalogue==1
data_depremcats=dlmread('catalogue_1.txt');
elseif run_catalogue==2
data_depremcats=dlmread('catalogue_2.txt');
elseif run_catalogue==3
data_depremcats=dlmread('catalogue_3.txt');
elseif run_catalogue==4
data_depremcats=dlmread('catalogue_4.txt');
end

ds=size(data_depremcats,1);
tekrar_adetleri=data_depremcats(:,1);
data_depremcats(:,1)=[];

%% Burada her bir senaryonun her bir boru parçasının merkezine uzaklığı
bulunacak
% Daha sonra her bir boru parçasındaki PGV hesaplanacak
tic
counter_m=0;

% Boru satır sayısı (dp) kadar döngü
for borusay=1:dp

% Zemin Vs30 bul
Vs= data_inventory(borusay,19);

% Boru parçası orta noktaları
long_boru=long_ortalar(borusay);
lat_boru=lat_ortalar(borusay);

DTYPE=data_inventory(borusay,20);
% Bir geocell içerisine düşmeyen boru hatlarını atla
% PE ve HDPE boru tiplerini de atla
if Vs~-1 || DTYPE~=8 || DTYPE~=10 || DTYPE~=0 || DTYPE~=9

Diam=data_inventory(borusay,4);

for depremsay=1:ds

Magn=data_depremcats(depremsay,1);

% r mesafesi hesapla
long_deprem=data_depremcats(depremsay,2);
lat_deprem=data_depremcats(depremsay,3);
[km nmi mi]=haversine([lat_deprem long_deprem], [lat_boru long_boru]);
r_dist(depremsay)=km;

```

```

% Akkar-Bommer denkleminde gelen sonuclari 3D matrise yazdir
% Vs, Magn ve r girerek en yakin degeri sec
% Vs_ler=(150:30:1000);
% Magn_ler=[5 5.1 5.2 5.3 5.4 5.5 5.6 5.7 5.8 5.9 6 6.1 6.2 6.3 6.4 6.5 6.6 6.7
6.8 6.9 7 7.1 7.2 7.3 7.4 7.5 7.6 7.7 7.8 7.9 8 8.1 8.2 8.3 8.4 8.5 8.6];
% r_ler=(0:1.5:360);
load PGVMAX
vs_ind=round(max(150,Vs)/30)-4;
Magn_ind=round((Magn-4.9)/0.1);
r_ind=round(r_dist(depremsay)/1.5);

if Vs<150
    vs_ind=1;
end
if r_dist(depremsay)>360
    r_ind=241;
end
if r_dist(depremsay)<1.5
    r_ind=1;
end

PGV=PGVMAX(vs_ind,Magn_ind,r_ind);

% Envanter -----

%DTYPE=data_inventory(borusay,20);
% 1: Asbest Boru [AC]
% 2: Celik gomlekli betonarme [RCC]
% 3: Font [CI]
% 4: Beton / Betonarme [C]
% 5: Duktıl Font [DI]
% 6: Celik [S]
% 7: PVC
% 8: Polietilen [PE]
% 9: CTP
% 10: HDPE
% 11: MBB
% 12: OGGB
% 13: PIK

% Large diameter: Diam_Type=2 if Diameter>12"
Diam_Type=2;
% Bizdeki tum borular zaten 12" captan buyuk

% Sıvılaşma katsayısı
LIQPROB=3;

if DTYPE==1||DTYPE==4||DTYPE==11
    JTYPE=2;

```

```

elseif DTYPE==2||DTYPE==6||DTYPE==12
    JTYPE=3;
elseif DTYPE==3||DTYPE==5||DTYPE==7||DTYPE==13
    JTYPE=4;
end

% Asbest, Beton/Betonarme ve MBB (Muflu beton boru) kauçuk conta
% Çelik gömlekli betonarme, Çelik ve OGEBB'de kaynaklı
% Font, Duktal font ve Pk boruda mekanik birleşim kabul edildi

% 1: Çimento
% 2: Kauçuk conta
% 3: Kaynaklı
% 4: Mekanik birleşim

STYPE=1;
% 1: hepsi
% 2 : Korozyon
% 3: Non-corrosive

%Topografik katsayı
% önce boru eğimini bul
egim=abs((data_inventory(borusay,8)-
data_inventory(borusay,12)))/data_inventory(borusay,5);
if Vs<=100
    TOP=4;
elseif Vs>100&&Vs<200
    TOP=5;
else
    if egim>=1
        TOP=1;
    elseif egim<1&&egim>0.577
        TOP=3;
    else
        TOP=2;
    end
end

% 1: Dar vadi
% 2: Teras
% 3: Dik yamaç
% 4: Alüvyon
% 5: Sıkı alüvyon

%% Hasar sayılarını hesapla

% Kırılma fonksiyonu # 1: Hazus PGV Kırılma Eğrisi [weight 1.0]
% # 2: Hazus PGD Kırılma Eğrisi [w: 1.0]
% # 3: Ala, 2001 PGV Kırılma Eğrisi [w: 1.0]
% # 4: Ala, 2001 PGD Kırılma Eğrisi [w: 1.0]

```

```
% # 5: Eidinger & Avila PGV Kırılganlık Eğrisi [w: 1.0]
% # 6: Eidinger & Avila PGD Kırılganlık Eğrisi [w: 1.0]
% # 7: Honegger & Eguchi Kırılganlık Eğrisi [w: 0.9]
% # 8: Pineda & Ordaz Kırılganlık Eğrisi [w: 0.6]
% # 9: O'Rourke & Deyoe R-waves Kırılganlık Eğrisi [w: 0.8]
% # 10: O'Rourke & Deyoe S-waves Kırılganlık Eğrisi [w: 0.8]
% # 11: Yoo Kırılganlık Eğrisi [w: 0.4]
% # 12: Orourke & Jeon Kırılganlık Eğrisi [w: 0.8]
% # 13: Orourke & Jeonboru Kırılganlık Eğrisi [w: 0.8]
% # 14: Toprak PGV Kırılganlık Eğrisi [w: 0.9]
% # 15: Eidinger Kırılganlık Eğrisi [w: 0.8]
% # 16: Isoyama Kırılganlık Eğrisi [w: 0.9]
```

```
% out degerlerine baslangic degeri ekle
```

```
out1=-1;
out2=-1;
out3=-1;
out4=-1;
out5=-1;
out6=-1;
out7=-1;
out8=-1;
out9=-1;
out10=-1;
out11=-1;
out12=-1;
out13=-1;
out14=-1;
out15=-1;
```

```
weightsall=[1 1 1 1 1 1 0.9 0.6 0.8 0.8 0.4 0.8 0.8 0.9 0.8];
```

```
damages0=zeros(1,100);
```

```
weights0=zeros(1,100);
```

```
counter(borusay)=0;
```

```
%% 1. HazusPGV risk datasını üret
```

```
if
```

```
DTYPE==1||DTYPE==2||DTYPE==3||DTYPE==5||DTYPE==6||DTYPE==7||DTYP
E==11||DTYPE==12||DTYPE==13
weight=weightsall(1);
out1=hazusPGV(PGV,DTYPE);
kk=size(out1,2);
```

```

for m=1:kk
counter(borusay)=counter(borusay)+1;
damages0(counter(borusay))=out1(m);
weights0(counter(borusay))=weight;
end
end

%% 3. Ala2001PGV risk datasını üret

if DTYPE==1||DTYPE==2||DTYPE==3||DTYPE==5||DTYPE==6||DTYPE==7
weight=weightsall(3);
out3=Ala2001PGV(PGV,DTYPE,Diam_Type,JTYPE,STYPE);
kk=size(out3,2);
for m=1:kk
counter(borusay)=counter(borusay)+1;
damages0(counter(borusay))=out3(m);
weights0(counter(borusay))=weight;
end
end

%% 5. Eidinger&AvilaPGV risk datasını üret
if
DTYPE==1||DTYPE==2||DTYPE==3||DTYPE==5||DTYPE==6||DTYPE==7
weight=weightsall(5);
out5=eidingeravilaPGV(PGV,DTYPE,Diam_Type,JTYPE,STYPE);
kk=size(out5,2);
for m=1:kk
counter(borusay)=counter(borusay)+1;
damages0(counter(borusay))=out5(m);
weights0(counter(borusay))=weight;
end
end

%% 8. Pineda&Ordaz risk datasını üret

weight=weightsall(8);
out8=PinedaPorras_2004(PGV);
kk=size(out8,2);
for m=1:kk
counter(borusay)=counter(borusay)+1;
damages0(counter(borusay))=out8(m);
weights0(counter(borusay))=weight;
end

%% 9. Orourke&DeyoeR risk datasını üret

weight=weightsall(9);
out9= orourkedeyoeR(PGV);
kk=size(out9,2);
for m=1:kk

```

```

counter(borusay)=counter(borusay)+1;
damages0(counter(borusay))=out9(m);
weights0(counter(borusay))=weight;
end

```

%% 10. Orourke&DeyoeS risk datasını üret

```

weight=weightsall(10);
out10= orourkedeyoeS(PGV);
kk=size(out10,2);
for m=1:kk
counter(borusay)=counter(borusay)+1;
damages0(counter(borusay))=out10(m);
weights0(counter(borusay))=weight;
end

```

%% 11. Yoo risk datasını üret

```

if DTYPE==8||DTYPE==3||DTYPE==5||DTYPE==6||DTYPE==7
weight=weightsall(11);
out11=yoo( PGV,DTYPE,Diam,LIQPROB, TOP);
kk=size(out11,2);
for m=1:kk
counter(borusay)=counter(borusay)+1;
damages0(counter(borusay))=out11(m);
weights0(counter(borusay))=weight;
end
end

```

%% 12. Orourke&jeon risk datasını üret

```

if DTYPE==3||DTYPE==5;
weight=weightsall(12);
out12=orourkejeon(PGV,DTYPE, Diam);
kk=size(out12,2);
for m=1:kk
counter(borusay)=counter(borusay)+1;
damages0(counter(borusay))=out12(m);
weights0(counter(borusay))=weight;
end
end

```

%% 13. Orourke&Jeonboru risk datasını üret

```

if DTYPE==3||DTYPE==5;
weight=weightsall(13);
out13=orourkejeonboru(PGV,DTYPE,Diam);
kk=size(out13,2);
for m=1:kk
counter(borusay)=counter(borusay)+1;
damages0(counter(borusay))=out13(m);
weights0(counter(borusay))=weight;
end
end

```

```

%% 14. ToprakPGV risk datasını üret
weight=weightsall(14);
out14=toprakPGV(PGV);
kk=size(out14,2);
for m=1:kk
counter(borusay)=counter(borusay)+1;
damages0(counter(borusay))=out14(m);
weights0(counter(borusay))=weight;
end

```

```

%% 15. Eidinger risk datasını üret
if DTYPE==1||DTYPE==3||DTYPE==5;
weight=weightsall(15);
out15= eidinger(DTYPE,PGV);
kk=size(out15,2);
for m=1:kk
counter(borusay)=counter(borusay)+1;
damages0(counter(borusay))=out15(m);
weights0(counter(borusay))=weight;
end
end

```

```

%% En sonunda hepsinin bir arada OUT'a yazilmasi

```

```

% eger hic hasar olusmadi ise hasar degerini sifir yap
if damages0(1)==0
damages=0;
else
% damages vektorune kac adet hasar verisi yazildigini bul
zerostart=find(damages0==0);
% kullanılan tum agirlik oranlarini topla
sumw=sum(weights0);
% agirlikli ortalama bolenini bul
wfact=1/sumw;
% tum agirlik faktorlerini normalize et (toplami 1.0 olsun)
weightsfact=wfact*weights0;
% normalize edilmiş agirlik faktorleri ile ilgili fargility denkleminde
% bulunan hasarlari carp
damages=weightsfact(1:min(zerostart)-1).*damages0(1:min(zerostart)-1);

end

```

```

repairperkm(borusay,depremsay)=sum(damages);

```

```

end

```

```

end

```

```

if borusay/dp>0.01&&counter_m==0

```

```

string1='%1 tamamlandi'
counter_m=counter_m+1;
toc
elseif borusay/dp>0.25&&counter_m==1
string1='%25 tamamlandi'
counter_m=counter_m+1;
toc
elseif borusay/dp>0.5&&counter_m==2
string1='%50 tamamlandi'
counter_m=counter_m+1;
toc
elseif borusay/dp>0.75&&counter_m==3
string1='%75 tamamlandi'
counter_m=counter_m+1;
toc
elseif borusay/dp>1&&counter_m==4
string1='%100 tamamlandi'
counter_m=counter_m+1;
toc
    end
end

toplam_analiz_zamani_saniye=toc

if run_catalogue==1
repair_per_km_catalogue1=repairperkm;
save repair_per_km_catalogue1
elseif run_catalogue==2
repair_per_km_catalogue2=repairperkm;
save repair_per_km_catalogue2
elseif run_catalogue==3
repair_per_km_catalogue3=repairperkm;
save repair_per_km_catalogue3
elseif run_catalogue==4
repair_per_km_catalogue4=repairperkm;
save repair_per_km_catalogue4
end

```

3. PEER yöntemine göre hasar sayılarının bulunması ve haritaların çizdirilmesi

```
clear all
clc

depremseviyesi=1;
% Donus periyotlari
% YRP1=75;
% YRP2=475;
% YRP3=2475;

%% Çalışma alanlarını yükle
rpk_1a=load('repair_per_km_catalogue1_1_80000.mat');
rpk_1b=load('repair_per_km_catalogue1_80001_dp.mat');
rpk_2=load('repair_per_km_catalogue2.mat');
rpk_3a=load('repair_per_km_catalogue3_1_70000.mat');
rpk_3b=load('repair_per_km_catalogue3_70001_dp.mat');
rpk_4=load('repair_per_km_catalogue4.mat');

%% km başına hasar oranlarını oluştur
data1a=rpk_1a.repairperkm;
data1b=rpk_1b.repairperkm;
data2=rpk_2.repairperkm;
data3a=rpk_3a.repairperkm;
data3b=rpk_3b.repairperkm;
data4=rpk_4.repairperkm;

data1b(1:80000,:)=data1a;
data3b(1:70000,:)=data3a;

%% Bazı değişkenleri temizle
clear rpk_1a
clear rpk_1b
clear rpk_2
clear rpk_3a
clear rpk_3b
clear rpk_4
clear data1a;
clear data3a;

%%
data1=data1b;
clear data1b

data3=data3b;
clear data3b

%% Katalogları birleştir
data_all=horzcat(data1,data2,data3,data4);
```

```

clear data1
clear data2
clear data3
clear data4

data_all=data_all';

%% Katlog datasını oku
load catalogue_run_all.txt

%% Her boruya ait sonuçları al ve sırala, yıllık tehlike eğrilerini oluştur
% Define the return periods
YRP1=75;
YRP2=475;
YRP3=2475;
% Yıllık aşılma olasılıklarını bul
prob1=1-exp(-1/YRP1);
prob2=1-exp(-1/YRP2);
prob3=1-exp(-1/YRP3);

%% Herbir olasılık için km başına hasarları al
%for k=pickup:pickup
for k=1:12228
    [RpKmSorted ii]=sort(data_all(:,k),'descend');
    probs=1/10000*catalogue_run_all(ii,1);
    probscum=cumsum(probs);
    clear probs
    proind1(k)=interp1(probscum,RpKmSorted,prob1);
    proind2(k)=interp1(probscum,RpKmSorted,prob2);
    proind3(k)=interp1(probscum,RpKmSorted,prob3);
end

%% Istanbul Haritasında Goster
load 1_Inventory_Istanbul.txt
invdata=X1_Inventory_Istanbul;

%%
figure(2)
S1=shaperead('il.shp');
plot([S1.X],[S1.Y], 'k');
axis equal tight
hold on

S2=shaperead('ilce.shp');
plot([S2.X],[S2.Y], 'k');
axis equal tight
hold on

S3=shaperead('goller.shp');

```

```
fill([S3.X],[S3.Y], 'b');
axis equal tight
hold on
```

```
S4=shaperead('depo.shp');
plot([S4.X],[S4.Y], 'or','MarkerSize',4,'MarkerFaceColor','y');
axis equal tight
hold on
```

```
S5=shaperead('terfi.shp');
plot([S5.X],[S5.Y], 'sb','MarkerSize',4,'MarkerFaceColor','w');
axis equal tight
hold on
```

```
S6=shaperead('aritma.shp');
plot([S6.X],[S6.Y], 'sr','MarkerSize',4,'MarkerFaceColor',[160 160 160]/256);
axis equal tight
hold on
```

```
% long lim
xlim([27.8 30])
```

```
% lat lim
ylim([40.7 41.6])
hold on
```

```
for m=1:12228
    hold on
    tk=invdata(m,4);
    if tk<600
        tktk=1;
    elseif tk>=600&&tk<1200
        tktk=2;
    elseif tk>=1200&&tk<2400
        tktk=3;
    elseif tk>=2400&&tk<3600
        tktk=4;
    elseif tk>=3600
        tktk=5;
    end
```

```
% Deprem seviyesini belirle
if depremseviyesi==1
    pro= proind1(m);
elseif depremseviyesi==2
    pro= proind2(m);
elseif depremseviyesi==3
    pro= proind3(m);
end
```

```

if pro>=0&&pro<0.06
    % gri
    col=[192 192 192]/256;
elseif pro>=0.06&&pro<0.12
    % mavi
    col=[51 153 255]/256;
elseif pro>=0.12&&pro<0.18
    % yesil
    col=[76 153 0]/256;
elseif pro>=0.18&&pro<0.24
    % acik yesil
    col=[178 255 102]/256;
elseif pro>=0.24&&pro<0.30
    % sari
    col=[255 255 51]/256;
elseif pro>=0.30&&pro<0.36
    % turuncu
    col=[244 142 78]/256;
elseif pro>=0.36&&pro<0.40
    %magenta
    col=[211 91 147]/256;
elseif pro>=0.40&&pro<0.46
    % kirmizi
    col=[255 0 0]/256;
elseif pro>=0.46&&pro<0.52
    % koyu bordo
    col=[153 0 0]/256;
elseif pro>=0.52&&pro<0.62
    % siyah
    col=[51 0 0 ]/256;
end

plot([invdata(m,6) invdata(m,10)],[invdata(m,7) invdata(m,11)],'-
r','LineWidth',tktk,'Color',col)
end
grid on

```



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Gökhan ÇALIM
Doğum Tarihi ve Yeri : 23.09.1974 - Antakya
E-posta : gcalim@yahoo.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 1996, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 1999, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 1996 yılından beri İSKİ Genel Müdürlüğünde görev yapmaktadır.
- 2001 yılında Japonya’da JICA tarafından verilen “Disaster Mitigation and Restoration Systems for Infrastructure (for civil engineers)” adlı teknik eğitim kursuna katıldı.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Çalım, G., Bal İ.E., Gülay, G.** (2019). İsale hatlarında deprem riskinin olasılıksal hesabı ve bir örnek uygulama, *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(1), 397-403.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Çalım, G.** (2019). *Çok katlı perde çerçeve tipi yapılarda burulma düzensizliğinin incelenmesi* (Yüksek Lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gülay F.G., **Çalım, G.** (2003). A Comparative Study of Torsionally Unbalanced Multi-Storey Structures under Seismic Loading, *Turkish Journal Of Engineering & Enviromental Sciences*, 27, 11-19, Tübitak.



