

SAKARYA İLİ İÇME SUYU BORULARININ SİSMİK HASAR GÖREBİLİRLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Muhammed Nedim ŞAHVELET *^{ID}
Emrah DOĞAN **^{ID}

Alınma: 07.06.2022 ; düzeltme: 01.08.2022 ; kabul: 22.01.2023

Öz: 1999 Marmara depremi sonrası Sakarya ili içme suyu şebekelerinin bir kısmında ciddi hasarlar oluşmuş, kanalizasyon şebekelerinin ise neredeyse tamamı hizmet veremez duruma gelmiştir. Bu çalışmada, Sakarya ili altyapı sistemlerinden içme suyu temin ve dağıtım şebekelerinin büyük bir bölümünü oluşturan gömülü boruların sismik tehlikeler karşısındaki hasar görebilirlikleri, Hazards US (HAZUS) metodu ile analiz edilmiştir. Gömülü boruların olası depremlere karşı hasar görebilirliklerinin analizinde kullanılan en büyük yer hızı, klasik olasılıksal deprem tehlike analizi yardımıyla belirlenmiştir. Hasar görebilirlik analizlerinde kullanılan zemin sınıfları, il genelinde 2044 adet noktadan alınan sismik veriler yardımıyla hesaplanmıştır. Sakarya ili içme suyu boru envanteri oluşturulup tüm borulara coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla hasar görebilirlik parametreleri tanımlanmıştır. Analizler sonucunda tüm borular için hasar görebilirliği ifade eden hasar onarım oranları elde edilmiş ve borular hasar onarım oranlarına göre sınıflandırılmıştır.

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

Investigation of Seismic Damage of Sakarya Provincial Potable Water Pipes

Abstract: After the 1999 Marmara earthquake, serious damages occurred in some of the drinking water networks of Sakarya province, and almost all of the sewerage networks became inoperable. In this study, the vulnerability of buried pipes, which constitute a large part of the potable water supply and distribution networks of the infrastructure systems of Sakarya province, against seismic hazards were analyzed by the Hazard US (HAZUS) method. The maximum ground velocity used in the analysis of the vulnerability of buried pipes against possible earthquakes was determined with the help of classical probabilistic earthquake hazard analysis. Soil classes used in vulnerability analysis were calculated with the help of seismic data taken from 2044 points throughout the province. Sakarya province potable water pipe inventory was created and vulnerability parameters were defined for all pipes with the help of geographic information systems. The HAZUS method, which is frequently used in the literature, was used for pipe vulnerability analysis. As a result of the analysis, damage repair rates expressing the vulnerability of all pipes were obtained and the pipes were classified according to their damage repair rates.

Keywords: Lifelines, buried pipelines, seismic hazard, vulnerability

* Atatürk Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Acil Yardım ve Afet Yönetimi Bölümü, Oltu Yerleşkesi, Oltu, Erzurum, 25400.

** Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Esentepe Kampüsü, Serdivan, Sakarya, 54187.

İletişim Yazarı: Muhammed Nedim ŞAHVELET (msahvelet@atauni.edu.tr)

1. GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı ve ekonomik sebeplerden dolayı kırsal yaşamdan kentsel yaşama göç artmakta bu durum kentsel planlamaya ve mevcut kentlerin yenilenmesi çalışmalarına sebep olmaktadır. Yaşam alanlarındaki yapıları genel olarak üstyapılar ve altyapılar olarak iki ana kategoride incelemek mümkündür. Konutlar, hastaneler, ticarethaneler, kamu binaları, ibadethaneler, alışveriş merkezleri vb. bina türü yapılar genel olarak üstyapılar olarak adlandırılırken, insanların bu üstyapılarda temel ihtiyaçlarını giderebilmesi için gerekli olan, içme suyu temin ve dağıtım, kanalizasyon, yağmur suyu ve doğalgaz şebekeleri, karayolları, demiryolları, köprüler, liman yapıları vb. ulaşım ağları ile elektrik, telekomünikasyon, internet vb. şebekeler ise altyapılar olarak adlandırılmaktadır. Altyapı sistemleri temel yaşam ihtiyaçlarının gereği olması sebebiyle kentsel yaşam standartlarının kalitesinin bir ölçüsü olarak nitelendirilmektedir. Bu durumda altyapı sistemlerinin işlevselliğinde meydana gelen aksamaların, günlük yaşamı olumsuz etkileyeceği görülmektedir.

17 Ağustos 1999 Marmara Depremi'nde Adapazarı ilçesinde zemin sıvılaşması ve zemin yumuşamasından dolayı kırılğan Asbestli Çimento Boruların %70'lik kısmının kırılma ve çatlama hasarı aldığı geri kalan %30'luk kısmında ise sızma hasarları meydana geldiği rapor edilmiştir. Asbestli çimento boruların hasarlarının çoğunun birleşim bölgelerinde dönme ve kayma etkilerinden olduğu tespit edilmiştir (O'Rourke ve diğ., 2000).

Marmara Depremi'nde görüldüğü üzere altyapı sistemleri depremlerde hasar alarak, günlük yaşamı derinden etkilemiş ve afetin boyutlarını arttırarak ciddi ekonomik kayıplara sebep olmuştur. Bu durum, yöneticilerin afetlerden korunma politikalarında önemli bir yer tutmuş, mevcut altyapı sistemlerinin deprem performanslarını değerlendirme çalışmaları ve yeni yapılacak altyapı sistemlerinin tasarımı için yeni deprem yönetmelikleri geliştirmesine sebep olmuştur. Bu çalışmada altyapı sistemleri için hasar görebilirliklerin belirlenmesi amacıyla, Sakarya ili içme suyu temin ve dağıtım şebekelerindeki gömülü boruların hasar görebilirlikleri, Amerikan Acil Durum Yönetimi Ajansı (FEMA) tarafından altyapı için tehlike tahmin ve kayıp metodolojilerinin belirlendiği HAZUS teknik kılavuzundaki ampirik metot yardımıyla hesaplanmıştır. Bu metot geçmiş depremlerle ilgili yapılan çalışmalarda, gömülü boru hasarları ile deprem parametreleri arasında en yüksek ilişkinin en büyük yer hızı (PGV) parametresi olduğunu esas almıştır. Bu sebeple gömülü boruların olası depremlere karşı hasar görebilirliklerinin analizinde kullanılan en büyük yer hızı parametresi, Avrupa ve Orta Doğu için geliştirilmiş Earthquake Model of the Middle East (EMME) ve Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE) adlı sismik tehlike modeli projelerinin fay verileri kullanılarak klasik olasılıksal sismik tehlike analizi ile elde edilmiştir. Kullanılan fayların Sakarya ilinde oluşturacağı kuvvetli yer hareketi parametreleri Boore ve Atkinson (2008) yer hareketi tahmin denklemleri yardımıyla hesaplanmıştır. Klasik olasılıksal sismik tehlike analizinde açık kaynak kodlu Openquake yazılımının tehlike modülü kullanılmıştır. Gömülü boru hasar görebilirlik analizlerinde rol oynayan bir diğer parametre ise boruların buldukları zemin koşullarıdır. Bu sebeple Sakarya il genelinde 2044 noktadan alınan sismik veriler yardımıyla zemin sınıfı haritası oluşturulmuş, sıvılaşmaya yatkınlık verileri ise Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan 1/250.000 ölçekli haritadan elde edilmiştir. Boru hasar görebilirlik analizlerinde kullanılacak tüm parametreler belirlendikten sonra, coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla Sakarya ili içme suyu temin ve dağıtım şebekelerindeki boru envanteri oluşturulup tüm borulara hasar görebilirlik parametreleri tanımlanmıştır. Boru hasar görebilirlik parametrelerinin borulara tanımlanması amacıyla 2,5 x 2,5 km'lik gridler oluşturulmuş ve her grid içerisinde kalan boru cinsi, çapı, uzunluğu ve konumu bilinen borulara; en büyük yer hızı, zemin sınıfı, zemin sıvılaşmaya yatkınlığı ve yükselti verileri tanımlanmıştır.

Deprem ile ilgili yer bilimciler tarafından depremin çoğunlukla jeolojik ve jeofizik özelliklerini inceleyen çalışmalar yapılmıştır. İnşaat mühendisliği açısından ise deprem ile ilgili

çalışmalar, çoğunlukla depremin; bina, köprü, baraj, ulaşım sitemleri, gömülü boru sistemleri vb. yapılar ve yapı elemanları üzerindeki davranışlarını kapsamaktadır. Bu çalışmada depremin, kentler için can damarı niteliği taşıyan altyapı sistemleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu bölümde konu ile ilgili daha önce yapılmış önemli ve güncel çalışmaların özeti verilmiştir.

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

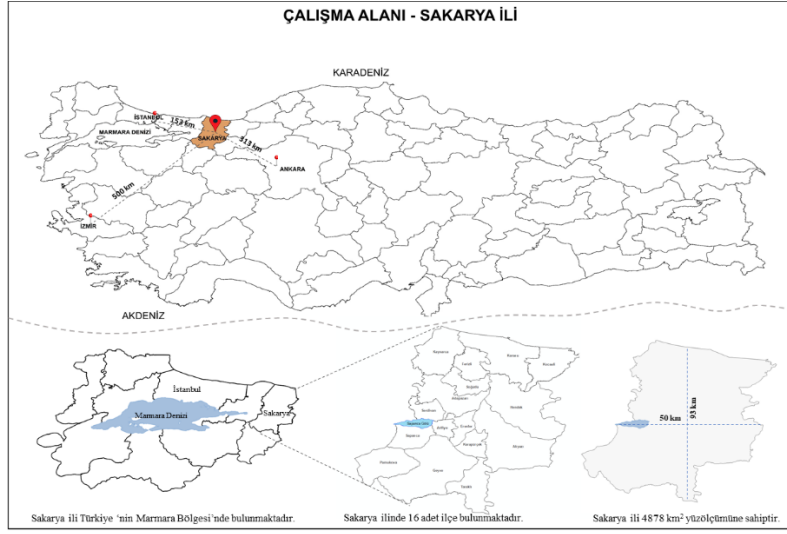
Sarıkaya ve Koyuncu (1999) 1999 Marmara Depremi'nin Sapanca ve İstanbul'daki içme suyu ve kanalizasyon sistemlerine etkilerini araştırmış ve değerlendirmişlerdir. 17 Ağustos'tan sonra gömülü borularda toplam 400 noktada hasar meydana gelmiş olup, asbestli çimento tipi borularda boru uzunluğunca km başına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

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

2. MATERYAL ve METOT

2.1. Çalışma Alanı Sakarya İli

Sakarya ili Marmara Bölgesi'nin doğu kesiminde yer almaktadır. Sakarya ili, kuzeyinde Karadeniz ile sınırlanırken, batısında Kocaeli ili, güneyinde Bursa ve Bilecik illeri, doğusunda ise Düzce ve Bolu illeri ile sınırlanmaktadır. İlin yüzölçümü 4878 km² olup 16 adet ilçeye ayrılmaktadır. İl sınırları içerisinde iki önemli su kaynağı olan Sapanca Gölü ve Sakarya Nehri bulunmaktadır. İl Adapazarı ismiyle Kocaeli iline bağlı bir kaza iken 22 Haziran 1954 tarihli ve 6419 sayılı kanun ile Kocaeli'nden ayrılmış ve Sakarya ismini almıştır. 6 Mart 2000 tarihinde 593 sayılı resmî gazetede büyükşehir statüsüne geçmiştir. Sakarya ili ile ilgili genel bilgiler aşağıdaki harita ile gösterilmiştir (Şekil 1).

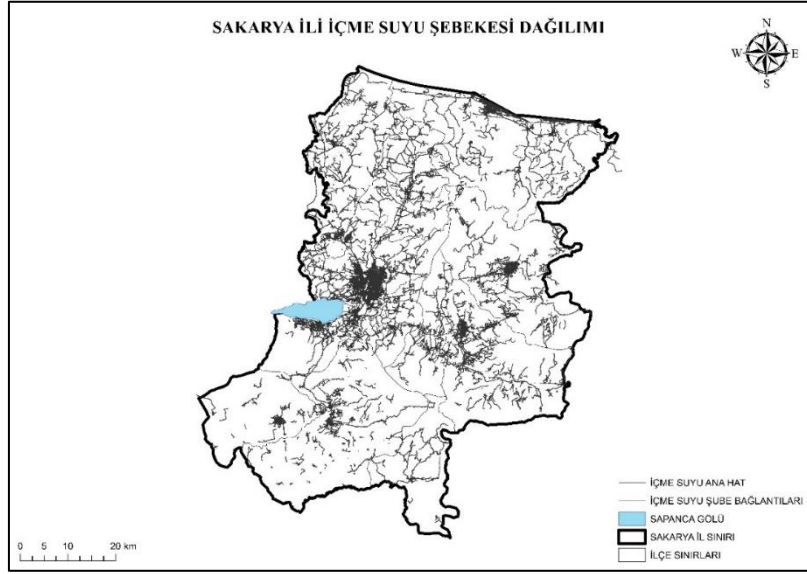


Şekil 1:
Çalışma alanı Sakarya ili genel bilgiler

Türkiye İstatistik Kurumu tarafından yapılan son istatistiksel verilere göre Sakarya ili 2021 yılı sonu nüfusu 1.060.876'dır. İl nüfusunun kadın erkek dağılımının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Sakarya nüfus bakımından Türkiye'de 22., yüzölçümü olarak 66. sıradadır. 1954 yılına kadar Kocaeli'ye bağlı bir ilçe olan Adapazarı, 22 Haziran 1954 tarihinde İl olarak Sakarya adını almıştır. 06.03.2000 tarihinde de Büyükşehir Belediyesi statüsüne kavuşturulmuştur. İl sınırlarında 16 ilçe bulunmaktadır. 22 Mart 2008 tarihli Resmî Gazetede yayınlanan 5747 sayılı kanunla; Adapazarı, Erenler, Serdivan ve Arifiye adında 4 yeni ilçe kurulmuş olup il merkezini bu 4 ilçe oluşturmaktadır (URL 1).

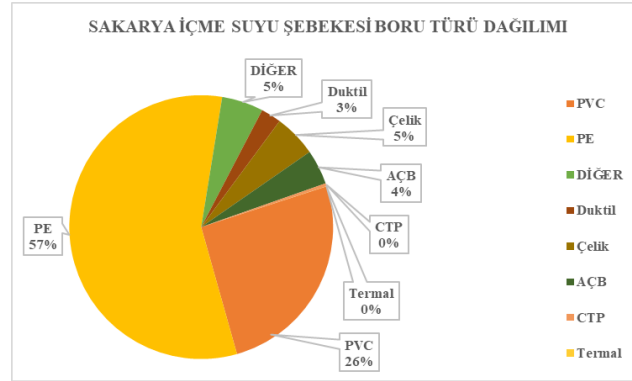
2.2. Sakarya İli Jeolojik Özellikleri

Sakarya ili Türkiye'nin kuzeybatısında yer almaktadır. Sakarya Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin Araştırma Şube Müdürlüğü tarafından temin edilen verilerden elde edilmiş Sakarya ili 1/25000 ölçekli jeoloji haritasında, Sakarya genel jeolojik özelliği incelendiğinde ilin büyük bir kısmını akarsuların taşıyarak oluşturduğu alüvyonlar oluşturmaktadır (Şekil 2). Akarsuların taşıdığı alüvyonların birikmesiyle oluşan bu geniş düzlükler, gevşek ve sıkışmamış zeminler, zemin hâkim titreşim periyodunu büyüterek depremin yıkıcı etkisini arttırmaktadır. Sakarya ilinde beş büyük ova bulunmaktadır. Aşağı Karasu Ovası, Ferizli Ovası, Pamukova Ovası, Sakarya Ovası ve Söğütlü Ovası olmakla beraber en büyük ova Sakarya Ovası'dır. İl nüfusunun yaklaşık yarısının ikamet ettiği Adapazarı, Erenler, Serdivan ve Arifiye ilçelerinin jeolojik özellikleri sismik risk oluşturma potansiyeline sahip gevşek alüvyonal birimlerden oluşmaktadır (Akbaş ve diğ., 2012).



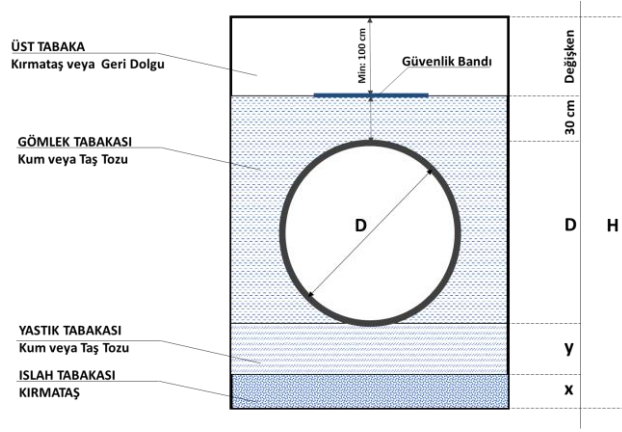
Şekil 3:
Sakarya ili içme suyu şebekesi dağılım haritası

Sakarya ili içme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde en sık kullanılan boru türleri; duktıl font boru (DFB), polivinil klorür (PVC) boru, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) boru, çelik boru (ÇB) ve asbestli çimento boru (AÇB) olarak adlandırılmaktadır. Bunların yanı sıra cam takviyeli plastik (CTP) ve beton borular da kullanılmaktadır. Şekil 4'te Sakarya ili içme suyu şebekesinde kullanılan boru türleri görülmektedir. İçme suyu şebekesinde en çok kullanılan boru türünün polietilen borular olduğu görülmektedir.



Şekil 4:
Sakarya içme suyu şebekesi boru türü dağılımı

İçme suyu şebekesine ait gömülü borular aşağıda belirtilen tipik enkesitte belirtilen esaslara göre inşa edilir. Enkesitte gösterilen ölçülerle ilgili detaylar ise Tablo 1 ile gösterilmiştir.



Şekil 5:
Sakarya içme suyu boruları tipik enkesiti

Tablo 1. Sakarya ili içme suyu boruları tipik enkesit detayları

	Hendek Kazı Genişliği; genellikle D boru dış çapı esas alınarak aşağıda tarif edildiği gibi yapılmaktadır.	
X: İslah Tabakası (cm)	D < 40 cm	İksasız kazılarda : D + (2 x 20) cm İksalı kazılarda : D + (2 x 25) cm
Y: Yastık Tabakası (cm) (D/10 + 10 cm)	40 cm ≤ D ≤ 70 cm	İksasız kazılarda : D + (2 x 35) cm İksalı kazılarda : D + (2 x 40) cm
H: Hendek Derinliği	70 cm < D	İksasız kazılarda : D + (2 x 60) cm İksalı kazılarda : D + (2 x 65) cm

2.4. Sakarya İli Sismik Tehlike Analizi

Sakarya ili içme suyu borularının sismik tehlikelere karşı hasar görebilirliklerinin belirlenmesi amacıyla öncelikle tehlikenin tanımlanması gerekmektedir. Bu amaçla hasar görebilirlik analizinde kullanılacak deprem tehlikesi ve tehlike analizi sonucunda hesaplanan kuvvetli yer hareketi parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir.

2.5. Sismik Tehlike Analizi

Altyapı sistemlerinin sismik hasar görebilirliklerinde kuvvetli yer hareketi parametrelerinden en büyük yer hızı ve en büyük yer ivmesi önemli rol oynamaktadır. Hasar görebilirlik analizlerinde kullanılacak kuvvetli yer hareketi parametrelerini belirlemek amacıyla geçmiş deprem kayıtlarından ve elde edilen fay bilgilerinden faydalanılmaktadır. Sismik tehlike analizi belirli bir zaman dilimi içerisinde, belirli bir alanda gelecekte oluşabilecek depremlerin tahminini içerir. Bu çalışmadaki sismik tehlike analizi gömülü içme suyu borularının sismik risk analizinin tahmini için temel oluşturmaktadır.

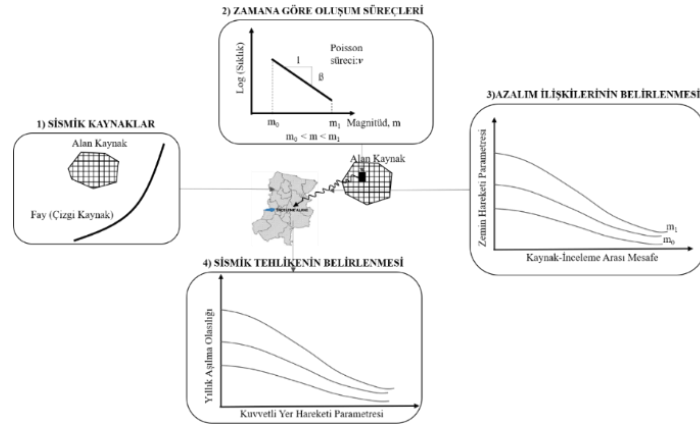
Sismik tehlike analizi genellikle 5 adımda uygulanmaktadır:

İnceleme alanını etkileyecek sismik kaynakların belirlenmesi

Belirlenen her sismik kaynağın çalışma alanına olan mesafesinin belirlenmesi

Her kaynakta geçmiş depremlerdeki verilerle magnitüd dağılımının yapılması
Depremlerin zamana bağlı olarak oluşum süreçlerinin modellenmesi
Belirlenen kaynakların sahada oluşturacağı yer hareketi parametresinin tahmini için
çalışma alanına uygun Yer Hareketi Tahmin Denkleminin (YHTD)
belirlenmesi olarak sıralanmaktadır (Özcan, 2016).

Sismik tehlike analizi ile çalışma alanındaki yer hareketi parametresinin tahmininde Deterministik Sismik Tehlike Analizi (DSTA) ve Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi (OSTA) olmak üzere iki yaklaşım kullanılmaktadır. Sismik tehlikesi araştırılan bir bölgede sismik tehlike belirli bir kaynak tarafından tetikleniyorsa deterministik tehlike analizinin kullanılması uygun görülürken farklı türde sismik kaynakların tehlike oluşturma ihtimalinin olması durumunda olasılıksal sismik tehlike analizinin tercih edilmesi uygun olmaktadır. Sakarya ili çevresinde tehlike oluşturma potansiyeline sahip birden fazla sismik kaynak olması sebebiyle bu çalışmada Sakarya ili içme suyu borularının sismik hasar görebilirlik analizlerinde kullanılmak üzere Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi (OSTA) kullanılmıştır. Sakarya ili için olasılıksal sismik tehlike analizi adımları şematik olarak Şekil 6 ile gösterilmiştir.



Şekil 6:
Sakarya İli Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi adımları

2.6. Sismik Tehlike Analizi Projeleri

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

SHARE projesi, Avrupa’ da farklı bölgelerde ulusal olarak yapılmış sismik tehlike analizlerini ve analizlerde kullanılan verileri tüm Avrupa için homojen bir uyum halinde referans bir tehlike modeli geliştirmeyi amaçlamış bir projedir. Proje 2007 yılında tasarlanmaya başlanmış olup 2008 yılında paydaş topluluklarına sunulduktan sonra 2009 yılında finanse edilmiştir (Giardini, 2014).

EMME projesi, 2010 ile 2014 yılları arasında dünyanın en aktif sismik bölgelerinden Avrasya, Afrika, Arap ve Hint plakalarının etkisindeki, Türkiye, Afganistan, Azerbaycan, Ermenistan, Kıbrıs, Gürcistan, İran, Ürdün, Lübnan, Pakistan ve Suriye olmak üzere 11 ülkede uyumlu sismik tehlike analizi sağlamak amacıyla yapılmıştır (Danciu ve diğ., 2018).

ESHM2020 projesi Avrupa ve Akdeniz bölgeleri boyunca yürütülen Olasılıksal Sismik Tehlike Analizinden sonuçlanmıştır. Bu model 2013 yılında hazırlanmış Avrupa Akdeniz Sismik Tehlike Modelinin (ESHM-2013) devamıdır. ESHM tehlike analizi modelinde güncel deprem katalogları, aktif fay verileri ve yer hareketi kayıtları ile güncel bilimsel gelişmeler göz önüne alınmıştır. Bu çalışmada ESHM-2020 verileri ile KOSTA yapılmıştır (URL 3).

2.7. Sismik Tehlike Analizinde Kullanılan Yazılımlar

Sismik tehlike analizi birçok veri ve hesap yükünden oluşmaktadır. Bu durum çalışma alanına kaynak verilerinin tanımlanması, deprem katalogları, azalım ilişkileri ve diğer tüm adımlarda bilgisayarın hızlı ve çoklu hesap gücünden faydalanılmasını gerektirmektedir. Literatürde birçok sismik tehlike analizi amaçlı yazılım bulunmaktadır. Günümüzde Eq-Rısk, Ez-Frık, R-Crisis Ve Openquake Engine sık kullanılan sismik tehlike analizi yazılımlarıdır. Bu çalışmada ise Openquake Engine yazılımı kullanılmıştır.

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

Tehlike modülü yardımıyla;

- Klasik Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi
- Olay Tabanlı Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi
- Senaryo Tabanlı Sismik Tehlike Analizi

yapılabilmektedir.

2.8. Yer Hareketi Tahmin Denklemleri

Sismik tehlike analizinde, bir diğer önemli adım ise, sismik kaynaklardan dağılan kuvvetli yer hareketi parametrelerinin çalışma alanı boyunca dağılımının belirlenmesidir. Bu dağılımları belirlemek üzere M büyüklüğündeki bir depremin r mesafedeki çalışma alanında, araştırılan kuvvetli yer hareketi parametresinin en büyük genlik değerinin bir fonksiyonu olan eşitliklerden faydalanılması gerekmektedir. Yer hareketi tahmin denklemlerinin (YHTD) temel bileşenleri Eşitlik 1'deki gibi tanımlanabilir.

$$Y = N_y f(M, R, SP, F) \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

Y = araştırılan kuvvetli yer hareketi parametresinin en büyük genliğini,

N_y = Yer hareketi tahmin bağıntısındaki belirsizlik için düzeltme katsayısını

R = Sismik kaynaktan çalışma alanına olan uzaklık

M = Magnitüd değeri

F = Fay tipi

Sp = Sismik kaynak özelliklerini, yerel zemin özellikleri ve dalga yayılma doğrultusu özellikleri temsil edilmektedir (Yüçemen, 2011).

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

Boore ve Atkinson (2008) yaptıkları çalışmada, Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi'nin Yeni Nesil Azalım İlişkileri projesi tarafından derlenen veri tabanından 0 km ile 400 km arasındaki mesafe aralığındaki 58 ana şoktan 1574 kaydı kullanarak azalım ilişkisi geliştirmişlerdir. Bu azalım ilişkisinde; bir kaynaktaki deprem magnitudünü, yerel ortalama kayma dalga hızını, sismik kaynak özelliklerini esas alarak en büyük yer ivmesi (PGA), en büyük yer hızı (PGV) ve spektral ivme gibi kuvvetli yer hareketi parametrelerinin yatay bileşenleri tahmin edilmektedir. Bu azalım ilişkisi, 0,01 s ile 10 s arasındaki periyotlarda en yüksek yer ivmesi (PGA), en yüksek yer hızı (PGV) ve %5 sönümlü pseudo mutlak ivme spektrumu (PSA) içindir. Sismik kaynak ile çalışma alanı arası uzaklığın en çok 200 km olduğu, zemin üst 30 m tabakadaki ortalama kaya dalga hızı V_{s30} değerinin 180-1300 m/s değerleri arasında olan ve deprem moment magnitud değerinin $M_w=5$ ile $M_w=8$ arasında olduğu çalışma alanlarında kullanılmaktadır. Boore ve Atkinson (2008) yer hareketi tahmin denklemi, Eşitlik 2'de gösterilmiştir.

$$\ln Y = F_M (M) + F_D (R_{JB}, M) + F_S (V_{S30}, R_{JB}, M) \quad (2)$$

Bu eşitlikte, F_M , F_D ve F_S sırasıyla büyüklük ölçeklemesini, mesafe fonksiyonunu ve zemin büyütmesini ifade eder. Ayrıca M moment büyüklüğü, R_{JB} ise Joyner-Boore mesafesidir ve fayın yüzey izdüşümüne en yakın mesafe olarak tanımlanır, bu değer yaklaşık olarak $M < 6$ olayları için episantral mesafeye eşittir. V_{s30} , yüzeyden 30 m derinliğe kadar ortalama kayma dalgası hızı olarak alınmaktadır.

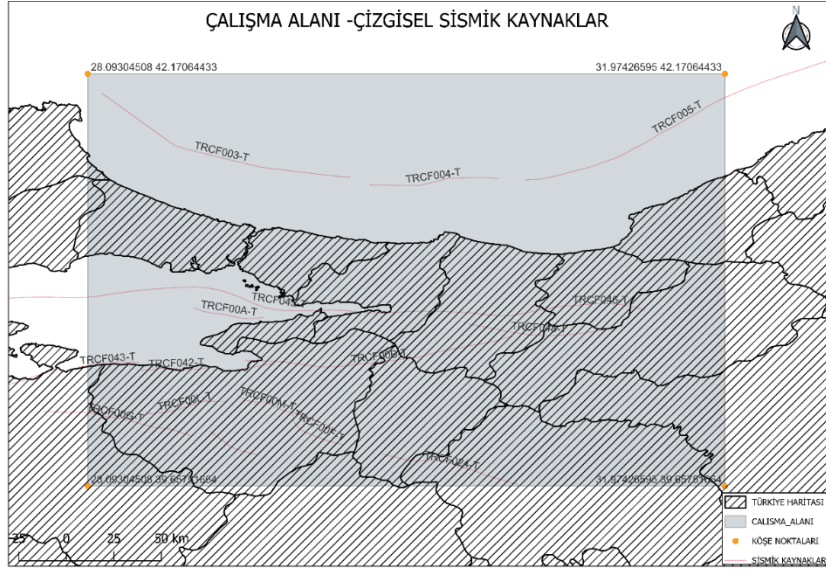
2.9. Sakarya İli Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi

Bu çalışmada Sakarya ili içme suyu şebekelerindeki gömülü boruların sismik hasar görebilirlikleri belirlemek amacıyla çalışma alanında belirlenen tüm sismik kaynakların etkilerinin dikkate alındığı Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi (OSTA), SHARE ve ESHM2020 projelerindeki veriler yardımıyla OpenQuake yazılımında yapılmıştır. Hesaplamalar sonucu elde edilen veriler QGIS ve ArcGis CBS yazılımları yardımıyla haritalanmıştır. Analizde kullanılmak üzere ilk olarak çalışma alanının ve tehlike analizinde kullanılacak sismik kaynakların mekânsal bilgileri ile birlikte tanımlanması gerekmektedir. Kullanılan sismik kaynaklar ile ilgili bilgiler tanımlanırken ESHM2020 projesinden faydalanılmıştır.

2.9.1. Sismik Tehlike Analizi Çalışma Sahası

Sismik tehlike analizinde çalışma alanının sınırları alanının, incelenecek sahayı etkileyecek sismik kaynakları kapsayacak biçimde olması gerekmektedir. İnceleme alanının sınırları ile ilgili belirli bir kural yoktur, ancak inceleme alanı, çalışma sahasını merkezine alan bir daire şeklinde seçilebilir. Bu dairenin çapı inceleme alanını etkileyecek sismik kaynakların; uzunluk, aralık ve mekanizmaları vb. etkiler göz önünde bulundurularak seçilmektedir (Yücemen, 2011).

Bu çalışmada Türkiye için yüksek sismik tehlike potansiyeline sahip Kuzey Anadolu Fayının Marmara Bölgesi kesimi göz önünde bulundurularak Şekil 7'de gösterilen çalışma alanı analizlerde esas alınmıştır. Bu çalışmada EMME ve SHARE projesinden elde edilen sismik kaynaklar kullanılmıştır. Şekil 7'de sismik kaynaklar ve Klasik Olasılıksal Sismik Tehlike Analizinin yapılacağı çalışma alanı görülmektedir. KOSTA yapılacak çalışma sahası openquake yazılımına, köşe koordinatları ile tanımlanmaktadır.



Şekil 7:
Olasılıksal sismik tehlike analizinin yapılacağı çalışma alanı

2.9.2. Sismik Veri Tabanının Hazırlanması

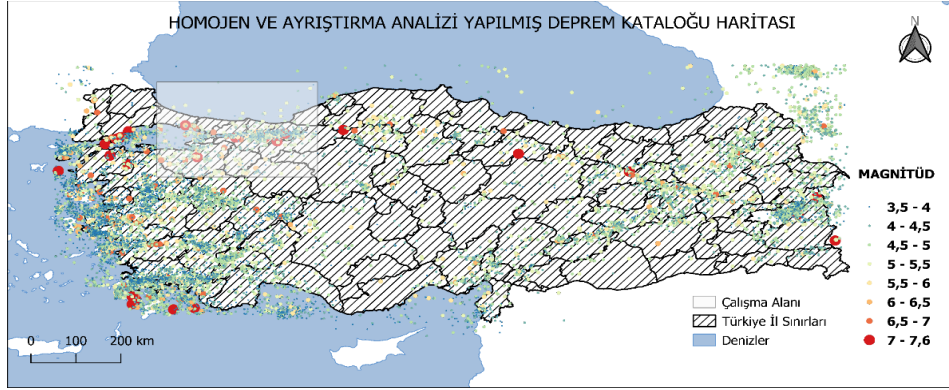
Sismik veri tabanı oluşturulurken bölgede meydana gelmiş geçmiş depremlerin kayıtlarının tutulduğu deprem katalogları kullanılmaktadır. Deprem katalogları, bir depremin meydana geldiği bölgede, belirli bir zaman dilimi içerisindeki depremi;

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

gibi bir depremi tanımlayan temel parametrelerin yer aldığı veri tabanıdır. Deprem katalogları bir bölgedeki sismik tehlikenin belirlenmesinde tarihsel ve aletsel deprem kayıtları açısından en önemli kaynak olmuş olur. Ülkemizde Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Ve Deprem Araştırma Enstitüsü ve AFAD tarafından takip edilen istasyonlardan alınan veriler ile deprem katalogları oluşturulmaktadır. Sismik tehlike analizinde kullanılacak deprem kataloglarının, veri tabanındaki ham hali ile kullanılması uygun olmamaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak için veri tabanının tek bir magnitüd türüne dönüştürülmesi ve böylece homojen hale getirilmesi gerekmektedir (Yücemen 2011).

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

(Mc) teorik olarak belli zaman diliminde, mekân-zaman hacminde tespit edilen depremlerin %100 olduğu yerde en küçük magnitüd olarak tanımlanır (Danciu ve diğ., 2021).



Şekil 8:

Olasılıksal sismik tehlike analizinin yapılacağı çalışma alanı

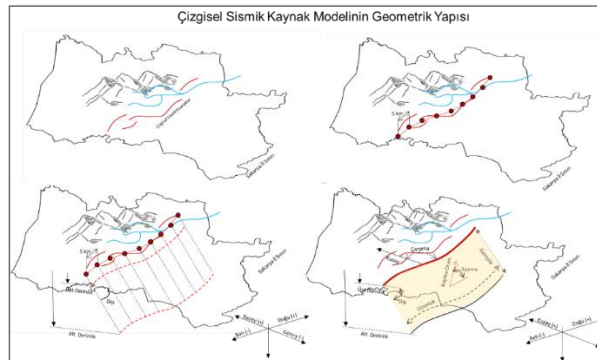
2.9.3. Sismik Kaynak Modelleri

Sismik tehlike analizi, çalışma alanının daha önceden meydana gelmiş depremlerin mekânsal dağılımları ve tektonik özellikleri incelenerek, çalışma alanındaki aktif sismik kaynakların saptanmasıdır. Geometrik parametreleri esas alınacak şekilde, depremlerin mekânsal dağılımı nokta, çizgi ve alan kaynak olarak modellenmiştir (Danciu ve diğ., 2021).

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

Çizgi kaynak, haritalar üzerinde fay segmentlerinin çizgisel görüntülenmesini sağlayan ve çizgisel kaynak üzerinde oluşması muhtemel depremin her yerde aynı olduğu prensibini esas alan kaynak modelidir. Bu çalışmada ESHM2020 çalışmasındaki çizgi kaynaklardan faydalanılmıştır. Bu çizgisel sismik kaynakların geometrik yapısı Şekil 9'da şematik olarak gösterilmiştir.

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



Şekil 9:

Çizgisel Sismik kaynak modeli geometrik yapısı

2.9.4. Maksimum Magnitüd (Mmax)

Sismik veri tabanı oluşturulduktan sonra sismik tehlike hesaplamalarında kullanılan bir diğer önemli parametre ise maksimum magnitüdün tayinidir. Maksimum magnitüd aktif bir sismik kaynaktan, olması en muhtemel depremi temsil etmektedir. Sismik kaynakların özelliklerinin bilindiği tektonik olarak aktif bölgelerde Mmax, toplam kırılma alanı, toplam uzunluk, toplam kırılma uzunluğu, kayma momenti ve eş-sismik kayma gibi fay karakteristiklerinden doğrudan tahmin edilebilmektedir. Bu çalışmada ESHM2020 çalışmasındaki fay verilerinden faydalanılmış olup, belirlenen sismik kaynakların Mmax değerleri kullanılmıştır (Danciu ve diğ., 2018).

2.10. Sakarya İli Sismik Tehlike Haritalarının Hazırlanması

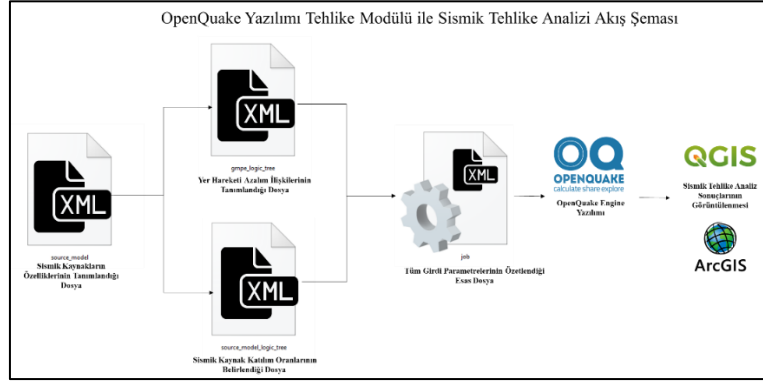
Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi için tüm parametreler belirlenip analizi yapıldıktan sonra kuvvetli yer hareketi parametrelerinin çalışma alanındaki dağılımı CBS yazılımları yardımıyla yapılmaktadır. Bu çalışmada openquake yazılımı yardımıyla tehlike analizi yapılmış analiz sonuçları açık qgis ve arcgis coğrafi bilgi sistemi yazılımları yardımıyla görselleştirilmiştir. Tehlike analizi sonucu, altyapıların hasar görülebilirliklerinde kullanılmak üzere en büyük yer hızı ve en büyük yer ivmesi parametrelerinin dağılımını veren haritalar altlık olarak hazırlanmıştır. Şekil 9'da çizgisel kaynaklar için belirtilen parametre değerlerinin bir kısmı bu çalışmada ESHM-2020 projesindeki sismik kaynaklardan faydalanılarak Tablo 2'de gösterilmiştir. Tabloda çizgisel sismik kaynaklara ait; kaynak adı, kaynak üst sismik derinliği, kaynak alt sismik derinliği, yarılma ve kayma açıları, kırılma en-boy oranı, Gutenberg Richter tekrarlanma parametreleri (A ve B katsayıları) ve magnitüd değerleri (minimum ve maksimum magnitüd) gösterilmiştir.

Tablo 2. ESHM2020 projesinden alınan çizgisel sismik kaynak verileri

Kaynak Kodu	Kaynak Adı	Üst Sismik Derinlik [Km]	Alt Sismik Derinlik [Km]	Kırılma En Boy Oranı	Dip (Kayma) Açısı	Rake (Yarılma) Açısı	A Kats.	B Kats.	Min. Mag. M _{min}	Maks. Mag. M _{max}
Trcf003	Trcf003-T	1,50	16,00	2,20	34,00	90,00	4,02	1,00	6,70	7,70
Trcf004	Trcf004-T	1,50	16,00	2,20	34,00	90,00	3,68	1,00	6,70	7,70
Trcf005	Trcf005-T	2,00	16,00	2,16	34,00	90,00	4,36	1,00	6,50	7,50
Trcf00a	Trcf00a-T	1,00	18,00	2,22	40,00	-108,00	3,21	0,85	6,70	7,70
Trcf00b	Trcf00b-T	0,00	18,00	7,10	75,00	-162,50	3,07	0,85	6,70	7,90
Trcf00c	Trcf00c-T	0,00	18,00	2,66	67,00	180,00	2,97	0,85	6,30	7,30
Trcf00f	Trcf00f-T	2,00	20,00	2,34	85,00	0,00	2,02	0,82	6,10	7,10
Trcf00g	Trcf00g-T	1,00	18,00	2,22	40,00	-108,00	3,21	0,85	6,70	7,70
Trcf00k	Trcf00k-T	0,00	18,00	2,42	85,00	180,00	2,41	0,85	6,10	7,10
Trcf00l	Trcf00l-T	0,00	18,00	2,64	85,00	180,00	3,02	0,85	6,30	7,30
Trcf00m	Trcf00m-T	0,00	18,00	2,99	80,00	-161,00	2,40	0,85	6,50	7,50
Trcf024	Trcf024-T	0,00	15,00	2,49	70,00	-146,00	3,67	0,99	6,10	7,10
Trcf042	Trcf042-T	0,00	18,00	2,57	87,00	180,00	2,34	0,85	6,30	7,30
Trcf043	Trcf043-T	0,00	18,00	2,51	87,00	180,00	2,29	0,85	6,30	7,30

2.10.1. Openquake Yazılımı Tehlike Modülü İle Sismik Tehlike Analizi

Bu çalışmada yapılan sismik tehlike analizinin kullanılan yazılımlardaki aşamaları Şekil 10 ile gösterilmiştir. Analiz için ilk olarak sismik tehlike analizinde kullanılacak, çalışma alanı konum bilgileri, sismik kaynakların tüm özellikleri ile yer hareketi tahmin denklemleri gibi temel parametreler belirlendikten sonra, her bir parametre, openquake yazılımının, verileri okuyabileceği şablon dosyalarına işlenip, analize hazır hale getirilmiştir. Analizler yapıldıktan sonra, analiz sonuçlarının kolayca görüntülenmesini sağlayan qgis coğrafi bilgi sistemleri yazılımına aktarılmış ve tehlike analizi sonuçları elde edilmiştir.

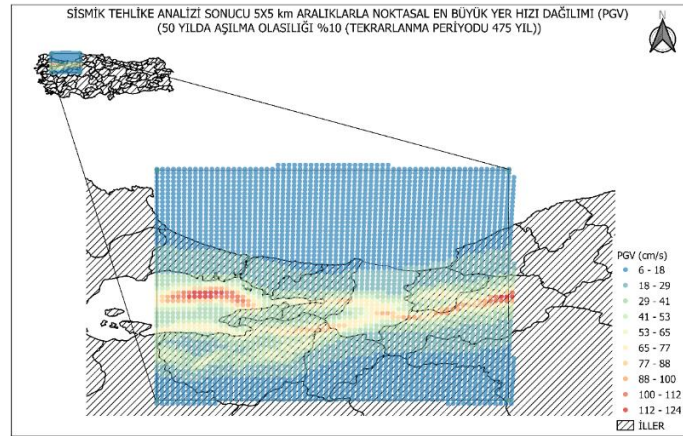


Şekil 10:

Openquake yazılımı tehlike modülü ile Sismik Tehlike Analizi Akış Şeması

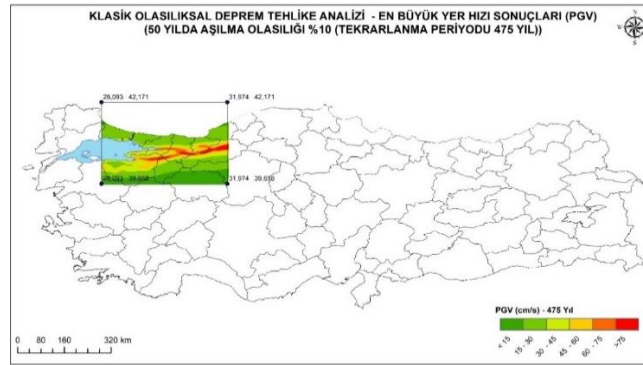
2.10.2. En Büyük Yer Hızı (PGV) Sonuçları

En büyük yer hızı gömülü boru hatlarının sismik hasar görebilirlik analizinde en sık kullanılan kuvvetli yer hareketi parametresidir. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizinde kuvvetli yer hareketi parametreleri belirli bir tekerrür ve zaman aralığında aşılma olasılıkları cinsinden ifade edilmektedir. Sismik tehlike analizlerinde, risk analizlerinde kullanılan tekerrür süresi 475 yıldır ve bu 50 yılda % 10 aşılma olasılığına karşılık gelmekte olup bu tekerrür süresi literatürde tasarım deprem tekerrürü olarak dikkate alınır. Altyapı sistemlerinden, gömülü boru hatlarının sismik hasar görebilirliği ile en büyük ilişkiye sahip olan en büyük yer hızı (PGV) dağılım haritası tüm çalışma alanı için Şekil 11’de gösterilmiştir.



Şekil 11:

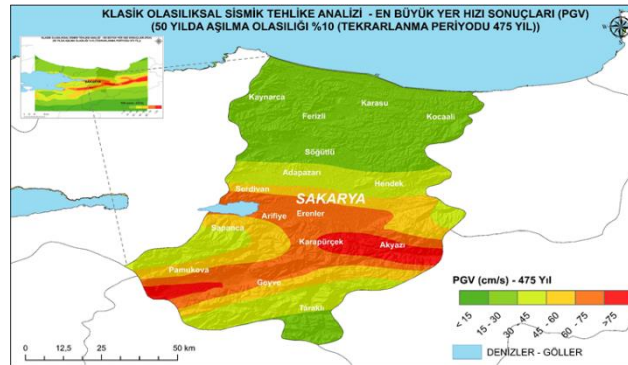
475 yıl tekerrür periyodu için noktasal En Büyük Yer Hızı (PGV) sonuçları elde edilen nokta verileri coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla yoğunluk haritalarına dönüştürülmüştür (Şekil 12).



Şekil 12:

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

Sakarya ili içme suyu gömülü borularının hasar görebilirlik analizlerinde kullanılmak üzere, çalışma alanında yalnızca Sakarya ili için en büyük yer hızı dağılımının bulunduğu harita elde edilmiştir (Şekil 13).



Şekil 13:

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

2.11. Hasar Görebilirlik Analizleri

Boru hatlarının Geçici Yer Deformasyonları (GYD) tehlikelerine karşı hasar görebilirlikleri ile ilgili FEMA (Federal Emergency Management Agency), American Lifelines Alliance (ALA) ve Japan Water Works Association (JWWA) gibi birçok kurumun yanında birçok bilim insanı araştırma yapmıştır. Bu çalışmada Sakarya ili altyapı sistemlerinden, içme suyu temin ve dağıtım şebekeleri, şebekelerine ait gömülü boruların geçici yer deformasyonu etkilerindeki sismik hasar görebilirlikleri, literatürde en büyük yer hızının kullanıldığı çalışmalardan, HAZUS metodu ile analiz edilmiştir.

2.11.1. HAZUS Hasar Görebilirlik Metodu

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

PGV algoritması, O'Rourke ve Ayala (1993) tarafından yapılan bir çalışmada sunulan deneysel verilere dayanmaktadır. Veriler, ABD' de meydana gelen 4 ve Meksika'da meydana gelen 2 depremdeki boru hasarlarından elde edilmiştir. Eşitlik 3'deki ilişki, bu veriler sonucunda elde edilen ampirik yaklaşımı göstermektedir (O'Rourke ve Ayala, 1993).

$$RR = 0,0001 \times (PGV)^{2,25} \quad (3)$$

Bu eşitlikte;

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

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

göstermektedir.

Verilen eşitlik O'Rourke ve Ayala (1993) tarafından yapılan çalışmada, asbestli çimento boru ile beton ve dökme demir borular için geliştirilmiştir. Dolayısıyla verilen eşitlik kırılğan gruptaki boru hatları için geçerlidir. Çelik, PVC duktıl demir gibi duktıl gruptaki sünek özelliğe sahip boru hatları için verilen eşitlikteki hasar onarım oranı 0,3 ile çarpılarak elde edilebilmektedir. Bu yaklaşım, duktıl borulardaki hasarın kırılğan borulardaki hasara göre %30 oranında daha az beklendiğinin bir göstergesidir.

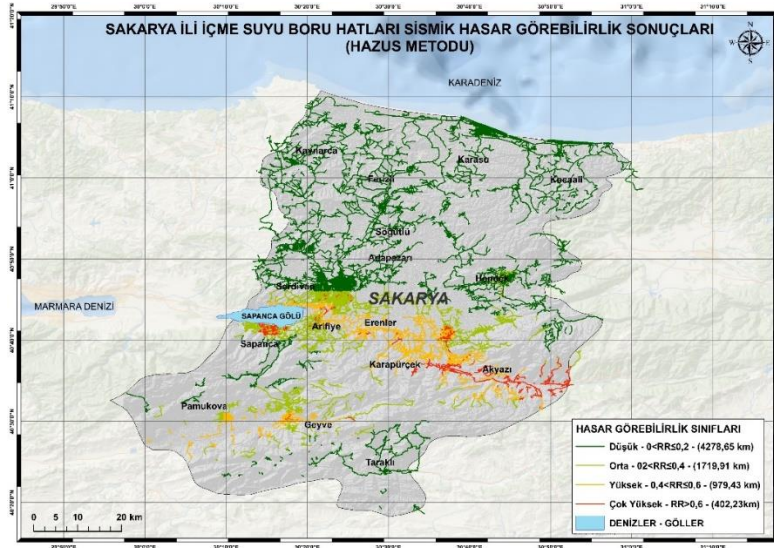
HAZUS metodu birleşim bölgesinin bağlantı şekillerine göre çelik boruları duktıl ve gevrek gruba dahil etmektedir. Örneğin, ark kaynaklı birleşime sahip kaynaklı çelik boruların duktıl grupta, gaz kaynaklı birleşime sahip kaynaklı çelik boruların ise kırılğan grupta olduğu kabul edilmiştir. Boru hatlarının sismik hasar görebilirliklerini etkileyecek bir diğer sismik etki ise, yer yüzeyinde deprem sonrası yüzey kırılmaları, zemin sıvılaşması ve heyelan gibi kalıcı yer deformasyonlarıdır(KYD).

HAZUS metodu kalıcı yer deformasyonu etkilerinin değerlendirilmesi hasar algoritması, Honegger ve Eguchi (1992) tarafından San Diego Su İdaresi (SDCWA) için yürütülen çalışmaya dayanmaktadır (Honegger ve Eguchi, 1992).

HAZUS Metodu sonucu Sakarya ili içme suyu temin ve dağıtım şebekesindeki 57757 parça gömülü borunun hasar onarım oranlarının en büyük değeri 2,197, en küçük değeri 0,014, ortalama değeri 0,213 ve standart sapma değeri 0,239 olarak elde edilmiştir. Analiz sonucunda en büyük onarım oranına sahip boru türünün Akyazı ilçesinde bulunan Asbestli Çimento Boru olduğu tespit edilmiştir. Akyazı ilçesinden geçen diri faylar sebebiyle sismik tehlikenin yüksek olması ilçedeki gömülü boruların yüksek hasar görebilirliğe sahip olmasına sebep olmuştur. Burada en büyük onarım oranı değerine alan Asbestli Çimento Borunun kırılğan özelliğe olması sebebiyle duktıl borulara göre daha büyük risk taşıdığı görülmektedir. HAZUS metodu sonucu tüm boru parçalarının hasar görebilirliğinin sınıflandırılması amacıyla onarım oranlarına bağlı olarak hasar görebilirlik sınıfları oluşturulmuştur. Bu sınıflar oluşturulurken, 0 ile 0,2 arasında onarım oranına sahip boruların düşük hasar görebilirliğe, 0,2 ile 0,4 arasında orta derece hasar görebilirliğe, 0,4 ile 0,6 arası hasar görebilirliğe sahip boruların yüksek hasar görebilirliğe ve 0,6'dan büyük onarım oranına sahip boruların çok yüksek hasar görebilirliğe sahip olduğu yaklaşımları uygulanmıştır. Hasar görebilirlik sınıfları ve içerdikleri boru uzunlukları Tablo 4 ile gösterilmiştir.

Tablo 4. HAZUS metodu ile içme suyu şebekesi hasar görebilirlik sınıfları

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



Şekil 15:

HAZUS metodu ile içme suyu boruları hasar görebilirlik dağılımı

Sakarya ili içme suyu temin ve dağıtım şebekelerindeki gömülü borular için HAZUS metodu ile boruların onarım oranına göre hasar görebilirlik sınıfları belirlendikten sonra, hasar görebilirliğin il genelinde dağılışının görülebilmesi ve riskin görselleştirilmesi amacıyla boru hasar görebilirlik sınıfları Şekil 15'deki haritada gösterilmiştir. Analiz sonucunda en büyük

onarım oranına sahip boru türünün Akyazı ilçesinde bulunan Asbestli Çimento Boru olduğu tespit edilmiştir. Akyazı ilçesinden geçen diri faylar sebebiyle sismik tehlikenin yüksek olması ilçedeki gömülü boruların yüksek hasar görebilirliğe sahip olmasına sebep olmuştur. Burada en büyük onarım oranı değerini alan Asbestli Çimento Borunun kırılğan özellikte olması sebebiyle duktıl borulara göre daha büyük risk taşıdığı görülmektedir. Akayazı ilçesindeki yüksek ve orta hasar görebilirliğe sahip boruların ise genellikle PVC ve polietilen borular olduğu tespit edilmiştir. Bu durum duktıl özelliklere sahip olmuş olmalarında rağmen yerel zemin koşulları ve sismik tehlikenin büyük olduğu ilçedeki gömülü boruların tehlikeye maruziyet kaynaklı olarak hasar görebilirliklerinin yüksek olmasına sebep olmuştur.

4. SONUÇLAR

Yapılan çalışma sonucunda gömülü boruların sismik tehlikeler karşısında hasar görebilirliklerini tespit etmek için sıklıkla kullanılan yöntemlerden HAZUS yöntemi ile Sakarya ilindeki içme suyu şebekesine ait gömülü borular analiz edilmiş ve elde edilen analiz sonuçları istatistiksel olarak sınıflandırılıp coğrafi bilgi sistemleri ile tematik olarak görselleştirilmiştir. Çalışma sonucunda en yüksek hasar görebilirliğinin, sismik aktivitenin yüksek olduğu Akyazı ve Karapürçek ilçelerinde olduğu gözlemlenmiştir. İl nüfusunun yoğun olarak yer aldığı Adapazarı, Erenler, Serdivan, Arifiye ve Sapanca ilçelerindeki gömülü borularında orta ve yüksek hasar görebilirliğe sahip olduğu görülmüştür. Bu durumun gerçekleşmesi muhtemel büyük bir depremde şehrin nüfusunun yoğun bulunduğu ilçelerde üstyapılarda meydana gelen hasarların yanında yaşam kaynağı olan su iletim sistemlerinde de meydana gelen hasarlar ile afetin boyutunu arttıracacağı düşünülmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Bu çalışmanın yazarları olarak, herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile çıkar çatışması bulunmadığını onaylarız.

YAZAR KATKISI

Muhammed Nedim ŞAHVELET ile Emrah DOĞAN, çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetimi, fikrinsel içeriğin eleştirel incelemesi ile son onay ve tam sorumluluk kısımları, veri toplama, veri analizi ve yorumlama, makale taslağının oluşturulması, son onay ve tam sorumluluk kısımlarına katkı sağlamıştır.

KAYNAKLAR

1. Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H. Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F., Yurtsever, A. ve diğerleri, Türkiye Jeoloji Haritası Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını. Ankara Türkiye MTA, 2012.
2. Çalım, G. Bal, İ. E. ve Gülay, G. İsale hatlarında deprem riskinin olasılıksal hesabı ve bir örnek uygulama, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, c. 10, sayı. 1, ss. 397-408, Mar. 2019. doi:10.24012/dumf.538436.
3. Danciu L., Şeşetyan K., Demircioğlu M., Gülen L., Zare M., Basili R., Elias A., Adamia S., Tsereteli N., Yalçın H., Utkucu M., Khan M., Sayab M., Hessami K., Rovida A., Stucchi M., Burg J., Karakhanian A., Babayan H., Giardini D., 2018, The 2014 Earthquake Model

- of the Middle East: seismogenic sources, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(8), 3465–3496.
4. Danciu L., Nandan S., Reyes C., Basili R., Weatherill G., Beauval C., Rovida A., Vilanova S., Sesetyan K., Bard P-Y., Cotton F., Wiemer S., Giardini D. 2021-The 2020 update of the European Seismic Hazard Model: Model Overview. EFEHR Technical Report 001, v1.0.0, <https://doi.org/10.12686/a15>.
 5. Giardini, D., Woessner J., Danciu L., 2014. Mapping Europe's Seismic Hazard. EOS, 95(29): 261-262. doi:10.1002/2014EO290001
 6. Honegger, D.G. and R.T. Eguchi 1992. Determination of Relative Vulnerabilities to Seismic Damage for San Diego County Water Authority Water Transmission Pipelines. Prep for San Diego County Water Authority, doi.org/10.1145/3423455.3430304
 7. O'Rourke, M. ve Ayala, G. 1993 Pipeline damage due to wave propagation. *J. Geotechnical Engineering*, 119:1490-8. doi:10.1061/(ASCE)0733-9410(1993)119:9(1490)
 8. O'Rourke, T. D., F. H. Erdogan, W. U. Savage, L. Val Lund, A. Tang, N. Basoz, C. Edwards, G. Tezel, and F. Wong. 1999. Water, Gas, Electric Power, and Telecommunications Performance 2000 Earthquake Spectra, 16(1_suppl), pp. 377–402. doi: 10.1193/1.1586160.
 9. Özcan, N. T., Reliability Of Transportation Lifeline Systems Subjected To Earthquake Loads. Orta Doğu Teknin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2016.
 10. Sarıkaya, H., and Koyuncu, I., 1999. Evaluation of the Effects of Kocaeli Earthquake on Water and Wastewater Systems, International Conference on the Kocaeli Earthquake 17 August 1999, December 2-5, ITU.
 11. Toprak S. 1998. Earthquake effects on buried lifeline systems, PhD Thesis, Cornell University, Ithaca, NY.
 12. The OpenQuake-engine User Manual. Global Earthquake Model (GEM) 2022. OpenQuake Manual for Engine version 3.13.0. doi: 10.13117/Gem Openquake Man Engine.3.13.0, 204 Pages.
 13. URL 1, TÜİK, 2022. Türkiye İstatistik Kurumu, Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Veri Tabanı. Erişim adresi: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/#> (Erişim Tarihi: 03.01.2022).
 14. URL 2, <https://www.sakarya-saski.gov.tr/media/gallery/491c2c71-53a8-45b3-bb46620664cbd3da.PDF>, Erişim Tarihi: 16.03.2022.
 15. URL 3, [http://hazard.efehr.org/en/Documentation/specific-hazard models/europe/eshm2020-overview/](http://hazard.efehr.org/en/Documentation/specific-hazard%20models/europe/eshm2020-overview/) Erişim Tarihi: 06.11.2021.
 16. Yücemem M., (2011), "Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi: Genel Bakış ve İstatiksel Modellemede Dikkat Edilmesi Gerekli Hususlar", 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 1–20, Ankara, Türkiye, 11-14 Ekim 2011.