



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Van İli Kanalizasyon Boru Hatlarının Deprem Performansının Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Değerlendirilmesi

Ülker Cem KAPLAN^{*1}, Osman Seyit ÖZDAMAR¹, Gamze ERKALAY¹, Ali ÖZVAN²,
Müci TAPAN³, Levent SELÇUK²

¹Van Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, 65080, Van, Türkiye

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 65080, Van, Türkiye

³Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 65080, Van, Türkiye
Ülker Cem KAPLAN, ORCID No: 0009-0005-1650-6641, Osman Seyit ÖZDAMAR, ORCID No: 0000-0003-1457-9116, Gamze ERKALAY, ORCID No: 0009-0002-6264-2810,

Ali ÖZVAN, ORCID No: 0000-0001-5459-3989, Müci Tapan, ORCID No: 0000-0003-4403-4408,

Levent SELÇUK, ORCID No: 0000-0002-7060-8260

*Sorumlu yazar e-posta: ulkercem@hotmail.com

Makale Bilgileri

Geliş: 04.05.2023
Kabul: 14.05.2023
Online Aralık 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1291969

Anahtar Kelimeler

Alt yapı sistemleri,
Coğrafi bilgi sistemi (CBS),
Çok kriterli karar analizi
(ÇKKA),
Duyarlılık,
Van

Öz: Van ili depremlerin sıklıkla gözlemlendiği şehirlerimizden birisidir. Son 100 yıl içerisinde Van ili ve çevresinde beşten fazla yıkıcı deprem meydana gelmiş, önemli can ve mal kayıpları yaşanmıştır. Hem 2011 yılında Van ilinde yaşanan depremlerde hem de 2023 yılında yaşadığımız Pazarcık-Elbistan merkez üslü depremlerde kanalizasyon sistemlerinden meydana gelen deformasyonun afetin boyutunu ve etkisini çok fazla artırdığı görülmüştür. Bu çalışmanın amacı, Van merkez ilçelerinde yer alan kanalizasyon alt yapısındaki boruların deprem performansını coğrafi bilgi sistemlerinin kullanarak çok kriterli karar analizi ile değerlendirilmesidir. Çalışmada oluşturulan model üç ayrı faktörü içerir, bunlar; aktif fay hatlarına mesafe, boru tipleri ve zemin özellikleridir. Kanalizasyon boru sistemlerinin deprem duyarlılık haritası, tüm tanımlı faktörlerin birbiri ile kıyaslanmasından oluşan karşılaştırma matrisi kullanılarak elde edilmiştir. Duyarlılık haritasına göre, fay hattına 4 km'den daha yakın mesafede konumlanmış kanalizasyon alt yapısında yer alan boruların, fay hatları tarafından üretilen depremlerde %45'nin yüksek veya çok yüksek hasar görebileceği şeklindedir. Özellikle Van Gölü'ne yakın kesimlerde yer alan İskele Mahallesi ve Edremit ilçe sınırlarının kuzey kesimlerinde yer alan kanalizasyon sistemleri yüksek risk altındadır. En önemlisi kentleşmenin en yoğun olduğu İpekyolu ilçesinin batı kesimleri, Tuşba ilçesinin güney kesimleri ile Edremit ilçesinin kuzeydoğu alanları ise yüksek risk altında olup, bu alanlar toplam kanalizasyon alt yapısının %39'unu oluşturmaktadır. Çalışmada uygulanan yöntem deprem esnasında gelişen deformasyonlara karşı güvenilir ve doğru bilgilerin elde edilmesine imkân tanımıştır. Bu bağlamda üretilen duyarlılık modeli ile hasar görebilirlik analizi, özellikle yüksek duyarlı alanlarda, alt yapı borularının depremden önce yapılacak olan uygulamaların çok daha düzenli ve planlı bir şekilde yürütülmesinde önemli rolleri olacaktır.

Evaluation of Earthquake Performance of Van Sewer Pipelines Using Geographic Information Systems

Article Info

Received: 04.05.2023
Accepted: 14.05.2023
Online December 2023

Abstract: Van is one of the city that earthquakes has been observed frequently in Turkey. In the last century more than five earthquakes has happened around the city, and significant loss of life and property occurred. Earthquake that caused deformation of the sewage - drinking water systems, in Van at 2011, Pazarcık-Elbistan epicenters earthquakes at 2023, once again showed us importance of these

DOI:10.53433/yyufbed.1291969

Keywords

Geographic information system (GIS),
Infrastructure systems,
Multi-criteria decision analysis (MCCA),
Sensitivity,
Van

systems and negative effects during their losses. The aim of this study is to evaluate earthquake performance of the pipes in the sewerage infrastructure in the central districts of Van, by using geographic information system (GIS) based multi-criteria decision analysis (MCDA). The model created in the study includes three separate factors, these are; distance to active fault lines, pipe types and soil properties. The earthquake susceptibility map of the sewer pipe systems was obtained by using the comparison matrix, which consists of comparing all defined factors with each other. According to the susceptibility map, %45 of the pipe lines close up to 4 km to the fault lines, may suffer high or very high damage by earthquakes produced by these fault lines. Especially the sewerage systems located near to the Lake Van in İskeleköy, and close to Edremit district northern border are in high risk. Most importantly, the western parts of İpekyolu district, the southern parts of Tusba district, and the northeastern areas of Edremit district, where urbanization is most intense, and which contains constitute 39% of the total sewerage infrastructure are at high risk. The method applied in the study allowed to obtain reliable and healthy information against natural disasters. The vulnerability model produced in this context will play an important role in the implementation of the infrastructure pipes before the earthquake in a much more planned and healthy way, especially in highly sensitive areas.

1. Giriş

Yeraltı boru sistemleri, insanlar için hayati önem taşıyan petrol, gaz, elektrik, içme suyu ve kanalizasyon boru sistemlerini içerir ve yerleşim alanının yaşam hatları ve/veya can damarları olarak kabul edilir. İçme suyu ve kanalizasyon boru hatlarının diğer boru hatlarına göre en önemli özelliği, şehir alt yapısı içerisinde ağ şeklinde yayılmasıdır. Diğer petrol ve doğal gaz boruları ise genellikle doğrusaldır, dolayısıyla bu hattın herhangi bir yerindeki hasarın onarım maliyeti toplam maliyetin küçük bir kısmını oluşturur.

Boru hattı sistemlerinin gelecekte olası depremlere karşı değerlendirilmesi, depreme dayanıklı altyapılar oluşturma çabaları için ayrıca önemlidir. Yaşam alanları için boru hattı sistemlerinin sürekli hizmet vermesi ve/veya depremden hemen sonra işlevselliğinin hızla geri kazandırılması hayati bir konudur. Doğa kaynaklı afetler sonrası ağ şeklinde şehir besleyen bu kritik alt yapının hasar görmesi büyük ekonomik ve çevresel kayıplara neden olabilmektedir (Şekil 1). Ağustos 1999 İzmit depreminde çoğunlukla endüstriyel hasarlar nedeniyle yaklaşık 17 milyar dolar zarar meydana gelmiştir. Zararın en önemli nedeni boru hatlarındaki sıvı akışının devam etmemesi olarak öngörülmüştür. Su boru hattında ve pompa istasyonunda meydana gelen hasarlar su transferini engellediği için çıkan yangınlarla birlikte hasar boyutu çok daha fazla artmıştır. San Salvador 2001 depreminde, su rezervuarlarına bağlantı yoluyla şehir suyunu sağlayan ana boru hatları hasar gördüğü için, San Francisco 1906 depreminde olduğu gibi 21 milyon \$ üzerinde ekonomik kayıp yaşanmıştır (Manshoori, 2011). 6 Şubat 2023 Pazarcık depremi (Kahramanmaraş) konut dışında altyapı stoğunda büyük yıkıma ve deformasyona yol açmıştır. Bu örneklerde olduğu gibi, geçmişte yaşanan depremlerde zemin yapısı içerisinde gömülü boru hatlarında yüksek derecede hasarları meydana getirdiği iyi bilinmektedir. 1983 Coalinga, 1987 Norveç, 1989 Loma Prieta, 1994 Northridge ve 1995 Kobe depremlerinde olduğu gibi birçok depremde iyi tasarlanmış boru hatlarının genel yapılarını koruduğu, ancak afet sonrası içme suyu ve atık su kaçakları ve kısmi hasarlar nedeniyle şehir ve çevre yaşamının olumsuz yönde etkilendiği görülmüştür (O'Rourke ve ark., 1991; Shinozuka ve ark., 1995; Schiff, 1997; Manshoori, 2011) (Şekil 1).

Deprem kaynaklı tehlikelere bağlı olarak homojen ve yatay devamlılığı olmayan zeminlerde meydana gelen deformasyonların değerlendirilmesine yönelik çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu davranışların değerlendirilmesinde deneysel çalışmalardan ve/veya sayısal analizlerden yararlanılmıştır (Bruton ve ark., 2006; Kokavessis & Anagnostidis, 2006; Lin ve ark., 2012). Sayısal analizler belirli deprem kuvveti içerisinde boru özelliklerine bağlı olarak tasarıma yönelik önemli bilgiler sağlamaktadır. Lin ve ark. (2012) gevşek ve sıkı kumlu zeminlerde ve farklı gömülme derinliklerinde fay hattına bağlı kalıcı deformasyonların boru hatları üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada gömülü derinliğin artması, boru hattının deformasyonuna neden olan maksimum toprak basıncının artmasına neden olduğu ve sıkı kumun daha yüksek toprak basıncına katkıda bulunduğu görülmüştür.



Şekil 1. 1985 Meksika ve 1988 Tennant Creek depremlerinde gömülü içme suyu ve gaz boru hatlarının depremlerle ilişkili yapısal hasarları (Flores-Berrones & Liu, 2003; Maddocks & Dunlevie, 2016).

Tsai ve ark. (2001) 21 Eylül 1999'da meydana gelen güçlü deprem şoku ($M=7.3$) nedeniyle orta Tayvan bölgesindeki kamu su tedarik boru hatlarında meydana gelen hasarın nedenlerini şu şekilde özetlenmiştir: (1) yoğun faylanma hareketi boru hattı için karşı konulmazdı; (2) boru hattı hasarı, indüklenen yer sarsıntısı ile yakından ilişkiliyken, hasar derecesi esas olarak boru hattı çapının boyutuna bağlıydı; (3) hasar, zayıf yerel zemin koşullarından dolayı yer sarsıntısının ve sıvılaşmanın saha büyütmesinden etkilenmiştir; (4) farklı boru hattı malzemeleri farklı hasar türleri sergilemiştir. Araştırma, boru bağlantı bağlantılarının hasar görmeye yatkın olduğunu ve boru bağlantısının depreme karşı dayanıklılığın kilit noktası olduğunu göstermiştir. Liang & Sun (2000) deprem sonrası incelemelerin önemli olduğunu ifade etmektedir. Araştırmacı yerel saha koşullarının boru hatlarının sismik davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Gömülü boru hatlarına verilen neredeyse tüm sismik hasarlar ya fay hareketi, heyelan ve yanıl yayılma gibi kalıcı zemin deformasyonundan kaynaklanmıştır ya da zayıf zeminde bulunmuştur.

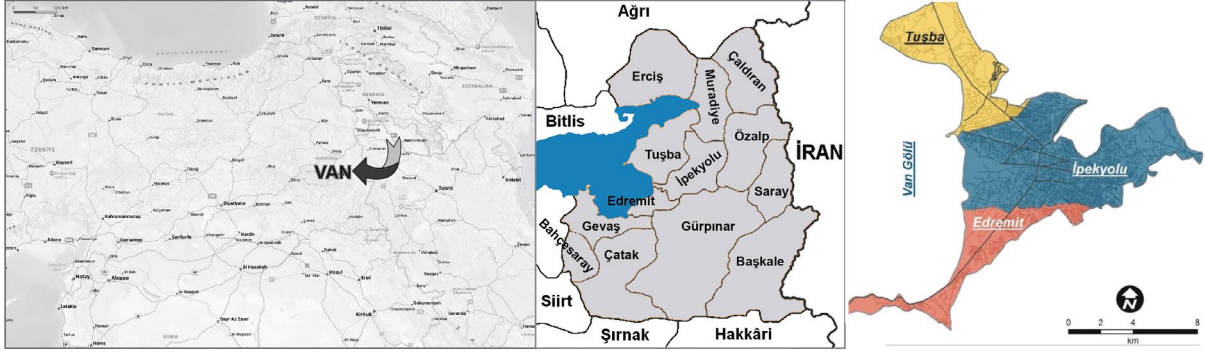
Depremi neden olduğu tekrarlı gerilmeler ve kalıcı deformasyonlar boru hatlarının kısmen hasar alması veya kullanılmamasına neden olmaktadır. Ayrıca afetler sonrası suyun kent alanlarına sürekli olarak sağlanamaması, sanitasyon problemleri, salgın hastalıklar ve kontrol edilemeyen yangınlar ile kent yaşamını dolaylı olarak olumsuz yönde etkilemektedir. Dolayısıyla olası bir afete yönelik olarak kentsel alanlarda yaşamı sürekli kılan yeraltı gömülü boru sistemlerinin performanslarının incelenmesi ve önceden tedbirlerin alınması esastır. Bu kapsamda zemin koşulları, aktif faylara olan uzaklık, bölgenin ivme değerleri gibi birçok faktör boru sistemlerinin dinamik koşullardaki etkisini değerlendirmek için birer kriterdir. Gömülü boruların zemin ile olan etkileşimini incelemek için zemin özelliklerinin belirlenmesi gerekir. Çünkü gömülü yapı ile etkileşimde bulunan zeminler dinamik şartlarda farklı tepkiler (zemin büyütmesi, sıvılaşması gibi) sergilerler. Diğer taraftan, bir depremin neden olduğu yer değiştirme özelliklerinin esas olarak gömülü boru hatlarının tepkisini etkilediği sonucuna varılmıştır (Lee, 2010). Bu nedenle, gömülü boru hatları ile zemin arasındaki nispi sismik yer değiştirmelerin incelenmesi, hasar tahmini için uygulanan en etkin yöntemlerden biridir.

Bu çalışma yaklaşık nüfusu 1.000.000'nun üzerinde olan ve doğa kaynaklı afetlerin sıklıkla yaşandığı Van ili yerleşim alanı için planlanmıştır. Bu çalışmada, yukarıda vurgulandığı gibi gömülü kanalizasyon hatlarının olası deprem hasarlarını belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı deprem hasarlarını engellemek veya minimize etmek için il risk azaltma planlarında kullanılmak üzere taban bir harita üretilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Van ili Doğu Anadolu Bölgesi'nin en doğusunda ve rakımı 1646 m ile 1850 m kotları arasında yer almaktadır. Karmaşık tektonik yapısı, topoğrafik yüksekliği ve son yıllarda bölgede yaşanan çığ, deprem vb. doğa kaynaklı afetler nedeniyle Van ili sıkça adını duyduğumuz bir yerleşim alanıdır. Van ilinin doğu ve güney kesimlerinde eğim değerleri 6° ile 16° arasında değişirken, batı sınırını oluşturan Van Gölü kıyısında doğru gelindikçe bu değer 1° ile 2° 'ye kadar düşmektedir. Van il merkez sınırları içerisinde yer alan merkez ilçeleri düşük eğimli geniş düzlüklerden oluşmaktadır. Çalışma alanı

İpekyolu, Edremit ve Tuşba merkez ilçelerini kapsamaktadır (Şekil 2). 2022 nüfus verilerine göre, ilçe merkezlerindeki toplam nüfus 639.166 olup, en kalabalık ilçe 348.046 ile İpekyolu ilçesidir (TİK, 2023). Nüfusun %54'i Van eski kent merkezinde yerleşim sağlamaktadır.



Şekil 2. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

2.1. Materyal

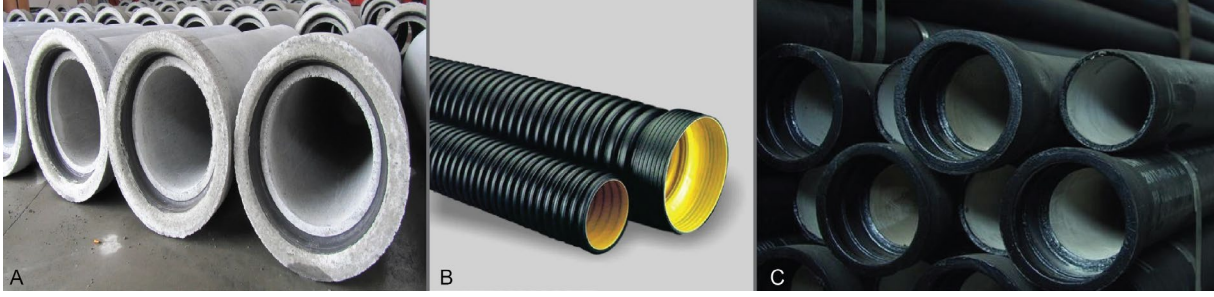
2.1.1. Aktif faylar

Gelişimini aktif tektonizma ve volkanizma belirleyiciliğinde sürdüren Van Gölü Havzası'nın da içinde bulunduğu Doğu Anadolu Yüksek Platosu'nda tektonik hatlar, kuzey-güney doğrultulu egemen sıkışma sonucunda doğu-batı doğrultulu ters, kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu sağ yönlü ve kuzeydoğu-güneybatı yönelimli sol yönlü doğrultu atımlı faylar ile kuzey-güney doğrultulu genişleme yapıları tarafından temsil edilmektedir (Şaroğlu & Yılmaz, 1986; Bozkurt, 2001; Koçyiğit ve ark., 2001; Dhont & Chorowicz, 2006; Sağlam-Selçuk ve ark., 2020) (Şekil 3). Van Gölü Havzası'nın genel olarak doğu kesiminin deformasyonu güneyden kuzeye doğru Gürpınar, Beyüzümü, Van, Yeni köşk, Alaköy ve Çolpan bindirme fayları tarafından kontrol edilmektedir (Şekil 3). Havzanın kuzey ve batı kesimlerinde ise Erziş, Özalp, Çaldıran, Bulamaç ve Süphan gibi doğrultu atımlı faylar hakimdir (Şekil 3). Havza'nın kuzey sınırında yer alan sağ yönlü doğrultu atımlı Çaldıran Fayı üzerinde 1976 yılında gerçekleşen depremden (Mw 7.3; Toksöz ve ark., 1978) sonra göl çevresindeki en önemli sismik etkinlik olan 23 Ekim 2011 (Mw 7.2) depremi, gölün doğu kesiminde, kıyı ötesinden başlayıp kara alanına DKD doğrultu ile devam eden düşük açılı bir ters fay üzerinde gerçekleşmiştir (Doğan & Karakaş, 2013) (Şekil 3B). Yapılan modelleme çalışmalarında Van'ın kuzeyinde kalan tavan bloğun yaklaşık 55–70 cm arası yükseldiği belirtilmiştir (Toker, 2013; Utkucu, 2013). Bu depremin ardından, yakın geometride ancak sol yönlü doğrultu atımlı karakterde bir fay üzerinde Edremit Depremi (Mw 5.6) meydana gelmiştir.

Tektonik açıdan oldukça aktif olan Van Gölü havzası içerisinde tarihsel ve aletsel dönemde farklı büyüklüklerde yıkıcı birçok deprem kaydedilmiştir. Bu depremlerin can kayıpları ve yaralanmalara sebep olmasının yanı sıra, konut, hayvancılık ve altyapı stokunda büyük yıkımlara ve hasara yol açtığı görülmektedir. 2011 Van depreminde, Van'ın kuzeyinde bir su iletim ve atık su boru hattı boyunca boru hasarları gözlemlenmiştir (Şekil 4). Hasar, sıvılaşmanın neden olduğu yanal yayılmadan kaynaklanmıştır (Uçkan, 2013; Uçkan ve ark., 2016).

Havzanın güncel deformasyonu kontrol eden fayların farklı kayma hızlarına sahip olmaları ve deprem olay seviyesi zaman aralıklarının farklı olması oluşan deformasyonun boyutunu da değiştirmektedir. Bölge içerisinde yakın zamanlarda hasar yapıcı birden fazla deprem meydana gelmiştir. Zamansal olarak 1941 ile 2020 yılları arasında bu havza içerisinde geometrik özellikleri farklı 5 yıkıcı deprem meydana gelmiş ve 5700'den fazla insan hayatını kaybetmiştir. Bununla birlikte yaklaşık 60.000 yapı kullanılamaz hale gelmiştir. Bu çalışma kapsamında 2011 yılında deprem üretmiş Edremit ve Van Fayı, 1945 yılında deprem üretmiş Beyüzümü Fayı ve aletsel dönemde deprem kaydı bulunmayan Gürpınar Fayı dikkate alınmıştır. Bu fayların etken olarak kullanılmasının nedeni, Van il merkezinden direk veya kuzeyden/güneyden sınırlamalarından dolayıdır. Bununla birlikte, her ne kadar etken olarak kullanılan fayların deprem tekrarlanma aralıkları ile ilgili bir bilgi olmasa da, bu havza

pürüzsüz ve yüksek basınç yüklerine ve su basıncına dayanıklıdır. Kanalizasyon sistemlerinde kullanılan beton borunun genel görünüşü Şekil 5a’da verilmiştir (Saka & Ortakçı, 2022).



Şekil 5. A. Beton boru, B. Korega Boru, C. Duktıl borunun genel kesit görünümü.

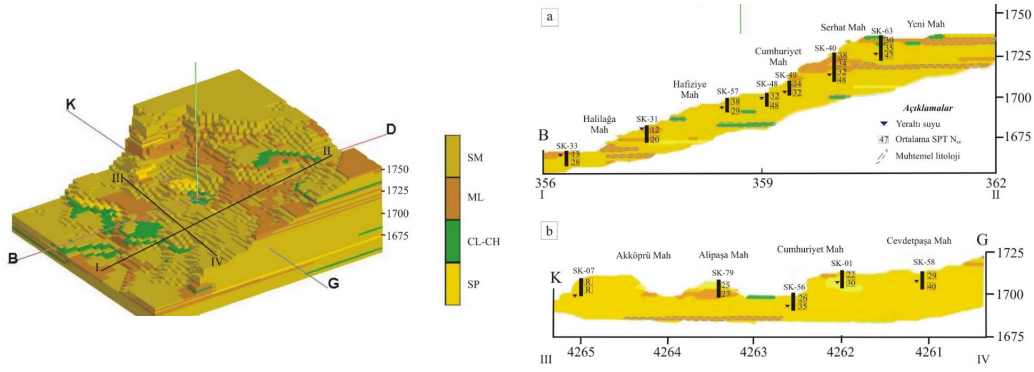
Fakat malzeme teknolojisinin gelişmesine bağlı olarak ağırlık bakımından çok hafif ve darbelere karşı yüksek mukavemetinden dolayı korega boru kullanımı yaygınlaşmaktadır. Korega borular polietilen ve polipropilen malzemelerden oluşmaktadır. Bu boru tipinin iç yüzünün pürüzsüz olması hidrolik pürüzlülüğü düşürmektedir. Bundan kaynaklı kanalizasyonlarda düşük çap seçilerek maliyeti düşürmektedir. Ayrıca kanalizasyon sisteminin içerisindeki katı ve diğer parçacıkların boru yüzeyinde tabaka oluşmasını engelleyerek zamanla oluşabilecek tıkanmaları önlemektedir. Kullanılan diğer yaygın boru çeşidi ise korega boru olup, genel görünüşü Şekil 5b’ de verilmiştir (Saka & Ortakçı, 2022).

Altyapı sistemlerinde kullanılan diğer bir boru çeşidi ise duktıl borulardır. Bu borular santrifüj döküm tekniği ile üretilen sfero dökme demir boru çeşididir. Üretim şekli sayesinde küresel bir grafitli yapıya sahiptir. Bu sayede diğer dökme demir borulara göre daha esnek bir yapı ve yüksek mukavemete sahiptir. Duktıl borular genellikle içme suyu hatlarında kullanılmaktadır. Altyapı sistemlerinde kullanılan duktıl borunun genel görünüşü Şekil 5c’de verilmiştir (Saka & Ortakçı, 2022).

2.1.3. Van ili zemin özellikleri

Van ili merkez mahalleleri genel olarak Pliyosen-Kuvaterner yaşlı kıyı kum, gölsel ve akarsu çökelleri üzerinde yer alır. Van şehri için sondajlardan elde edilen verilere dayanan zemin modeli (Şekil 6), akarsu çökellerinin üst ve alt bölümünün genellikle siltli kum ve killi tabakalardan oluştuğunu, orta kesimin ise daha çok siltli kum birimlerden oluştuğunu göstermektedir (Selçuk & Aydın, 2012) (Şekil 6).

Kent merkezinin doğusu (Erek Dağı) ve batısına (Van Gölü) doğru gidildikçe kumlu birimler, anlık fasiyes değişimleri göstermektedir. Genel olarak bu birimler, killi-siltli ve killi birimlerle birlikte aralanmalı olarak yer almaktadır. İpek Yolu'nun batısında kalan mahallelerde (Selimbey ve Halılağa mahalleleri) ise genel olarak üst birimlerin kil ve silt içerikli olduğu, bu tabakaların altında ise yine benzer özellikte siltli kum birimlerin olduğu belirlenmiştir. Kil ve siltten oluşan birimlerin kalınlıkları yaklaşık olarak 3,5 m ile 560 m arasında değişmektedir. İl merkezinin doğusunda yer alan, Şerefiye, Serhat, Esenler ve F. Avrasi mahallelerinde ise yine siltli ve killi birimlerin genelde yüzeyde yer aldığı, kalınlık değerlerinin ise 2.0 ile 4.0 m arasında değiştiği, bu birimlerin altında ise kumlu birimlerin olduğu belirlenmiştir. Van ili merkez mahallelerin batı ve kuzey batısında yer alan Yalı, Altıntepe, Abdurrahman ve İskele mahallelerinin baskın litolojisini ise gri, yeşil renkli göl çökellerine ait killer oluşturmaktadır. Selçuk ve Aydın (2012), yumuşak zemin çökellerinin büyütme etkilerini belirlemek için 30 m derinlikler için ortalama SPT N ve Vs değerleri deneysel ilişkiler içerisinde değerlendirilmişlerdir. Tahmini büyütme değerleri, yer hareketi etkisinin şehir merkezinde yaklaşık 2,2 kat artabileceğini göstermektedir. Tahmin edilen bu zemin büyütmesi değerleri Van depremleri sırasında yapısal hasarın artmasında çok önemli bir rol oynamıştır.



Şekil 6. Van ili yerleşim alanına ait yeraltı zemin modeli, (b) D-B ve K-G hatlı jeolojik kesitler (Selçuk ve Aydın, 2012).

Bu çalışmada Van il merkezinde yer alan birimler üç ana grup olmak üzere beş birim altında incelenmiştir. Kaya zeminler temel olarak, Kuvaterner birimleri ise, alüvyon yelpazesi çökelleri, eski göl ve akarsu çökelleri ve bataklı çökelleri olmak üzere değerlendirilmiştir.

2.2. Yöntem

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), yeryüzüne ait bilgileri belirli bir amaca yönelik olarak toplama, bilgisayar ortamında depolama, güncelleştirme, kontrol etme, analiz etme ve görüntüleme gibi işlemlere olanak sağlayan bir karar destek sistemidir. Bu sistem, son yıllarda oluşan sorunların çözümünde etkin olarak kullanılmaktadır. Çünkü mekânsal verileri tüm bilgileri ile depolayan ve sorgulanması ile analiz edilmesine imkân vermektedir. CBS birçok afet risk tahmininde kullanıldığı gibi son yıllarda sıklıkla deprem tahminlerinde ve depremlerin oluşturacağı zararların belirlenmesinde kullanılmaktadır. CBS'ye sorgulama için temel olacak veriler; meydana gelmiş afet türleri gibi istatistiksel bilgiler ile, konuma bağlı çalışma alanının yerüstü ve yeraltı yapısı, fay hatları, alt yapı tesislerinin dağılımı gibi harita temelindeki bilgilerden oluşabilir. Bu tip verilerin deney ve gözlemlerle saptanmış denklemler (örneğin yapı tiplerinde depremler sonucu gözlenen hasar denklemleri, zemin durumunun davranış denklemleri vs.) üzerinde işlenmesiyle hasar dağılımı ortaya konulabilir (Nurlu ve ark., 1995).

Coğrafi Bilgi Sistemleri'ne bağlı olarak yapılan risk analizlerinde ortaya çıkan en önemli bilgiler arasında, geçmişte oluşan deprem büyüklüklerine bağlı olarak yapılarda oluşabilecek risklerin ortaya konulmasıdır. Bu analizler sadece, risk durumunu değil aynı zamanda oluşabilecek bu durumlar karşısında önceden tedbir alınmasını sağlamaktadır. Tehlike haritalarının oluşturulmasında en önemli faktörlerin başında risk analizleri gelmektedir. Bu analizlerde, (i) tehlikeler, (ii) güvenlik açıkları ve (iii) risk altındaki unsurlar önemli bileşenlerdir (Van Westen ve ark., 2008). Tehlikelerin zamansal/mekânsal ve oluşum sıklığına bağlı olarak ifade edilmesi bölge için en önemli kaynaklardan biridir (Van Westen, 2013). Van kanalizasyon boru hatlarının deprem performansının belirlenmesi CBS tabanlı çok kriterli karar analizi (Çkka) (Carver, 1991; Malczewski, 1996) kullanılarak değer atama yöntemi ile belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada yöntem beş farklı basamaktan oluşmaktadır.

- Çalışma alanında yer alan boruların performansını etkileyecek kriterlerin belirlenmesi
- Bu kriterlerin sayısal ortama aktarılması
- Vektör verilerin Raster'a formatına dönüştürülmesi, Raster verilerin değer atanarak tekrardan sınıflandırılması ve tüm kriterlerin üst üste çakıştırılması
- Analitik Hiyerarşi yöntemiyle (AHP) ağırlık değerlerinin belirlenmesi
- Çok kriterli karar analizi (ÇKKA) ile tehlike haritasının oluşturulması

Oluşacak her bir tehlikenin risk durumunu belirleyen farklı kriterler bulunmaktadır. Van ili genelinde yer alan kanalizasyon borularını etkileyecek kriterler ve risk durumları dikkate alınan değerler Çizelge 1'de detaylı olarak verilmiştir (Çizelge 1). Çalışmada üç farklı kriter kullanılmıştır. Bu kriterler; (i) fay hatlarına uzaklık, (ii) zemin özellikleri ve (iii) boru tipleri şeklindedir. Her bir veri kendi

içerisinde risk durumuna bağlı olarak sınıflara ayrılmış ve her bir CBS katmanına ağırlık değeri verilmiştir.

Çok kriterli karmaşık karar problemlerinin analizinde genel olarak kullanılan matematiksel yöntemlerden biri Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) olup, ağırlık değerlerinin belirlenmesi bu yöntemle bağlı olarak yapılmıştır. AHP, 1/5 (az önem derecesi) ile 5 (çok önem derecesi) değerleri arasında bir karşılaştırma ölçeği kullanarak, matris içerisinde tanımlı her bir kriterin birbiriyle kıyaslanmasına ve her bir kriter için yüzde cinsinden ağırlık değerlerinin belirlenmesine olanak tanır (Saaty & Vargas, 1991).

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan kriterler

Kanalizasyon Borularını Etkileyecek Olan Kriterler					
Kriterler ve puanları					
Fay hatlarına uzaklık (m)	Boru Tipleri	Zemin tipi			
0-500	Çok yüksek	Beton	Yüksek	Qgb-Qayd(bataklık-yelpaze)	çok yüksek
500-1000	yüksek	Ductile	Orta	Qay (yelpaze)	yüksek
1000-2500	orta	Koruge	Düşük	Qeay (eski göl-yelpaze düzlüğü)	orta
2500-4000	düşük			Temel	düşük

CBS ve çok kriterli karar analizinin (ÇKKA) beraber kullanımı ile, bir bölgede var olan problemlerin çözümünde, projelendirilmesinde, değerlendirilmesinde ve hatta farklı kararların çözüm uygulamaları üzerine zengin bir derleme sağlar (Malczewski, 2006). ÇKKA ile bağımsız ve birbirinde farklı faktörleri birlikte değerlendirme imkânı sunar. Dolayısıyla daha güvenilir sonuçların elde edilmesi ve bu sonuçlara bağlı olarak karar verme sürecinde birden fazla alternatifin değerlendirilmesi sağlanır. Kanalizasyon borularının deprem performans duyarlılık değerlendirmesinde, ÇKKA sayesinde üç farklı faktör birlikte değerlendirilmiştir.

3. Bulgular

2011 yılında Van ilinde meydana gelen depremlerde (23 Ekim ve 9 Kasım depremleri) kanalizasyon boru hatlarında deformasyonlar meydana gelmiştir. Bu deformasyonların özellikle fay hattına yakın kesimlerde yoğunlaştığı bilinmektedir. Bu nedenle fay hatlarına yakın kesimler yüksek riskli alanlar olarak ele alınmıştır. Ayrıca bölgede yer alan boru tipleri ağırlıklı olarak üç tip altında toplanmaktadır. Bu boru tiplerinin deprem yüküne karşı gösterdikleri performans değerlerine bağlı olarak sınıflamalar yapılmıştır. Van il merkezinde yüzeyleyen zemin tipi genel olarak bataklık, alüvyon yelpaze düzlüğü çökelleri ve alüvyon yelpazesi çökelleri şeklindedir. Bu zemin tiplerinin deprem esnasındaki davranışları göz önünde bulundurularak puanlama değerleri atanmıştır.

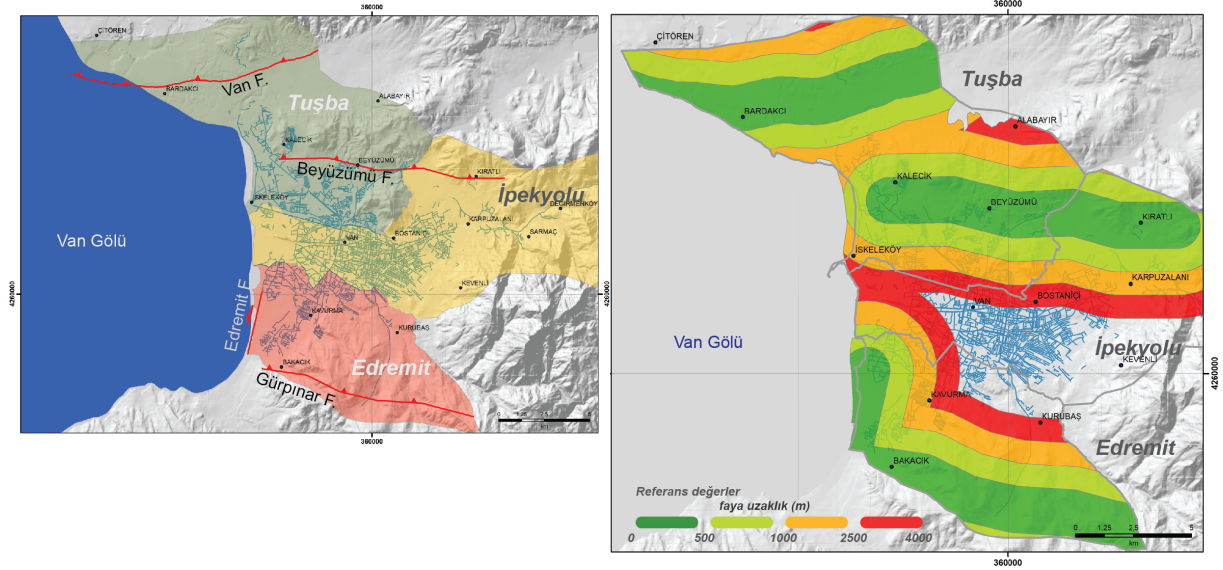
3.1. Faylara uzaklık

Bölgede yer alan deprem üretme potansiyeline sahip faylara olan uzaklık mesafeleri, kanalizasyon sisteminin deprem performansının değerlendirilmesinde önemli bir parametredir. Sismik etkinliği olan fayların özellikleri bu değerlendirmedeki diğer önemli parametrelerden biri durumundadır. Bindirme faylarında deformasyonun büyük çoğunluğu tavan blokta yoğunlaşırken, doğrultu atımlı faylarda ise deformasyon genel olarak hareket eden blokta yoğunlaşmaktadır.

Geçmişten günümüze birden fazla yıkıcı deprem ile etkilenen Van İl kent merkezi için birden fazla aktif fayın oluşturacağı depremler halen risk oluşturmaktadır. Bu faylar, kuzeyden güneye doğru Erciş Fayı, Ermişler Fayı, Yeniköşk Fayı, Van Fay Zonu, Beyüzümü Fayı, Edremit Fayı ve Gürpınar Fayıdır. Erciş Fayı ve Edremit Fayı sadece doğrultu atımlı olup, diğer faylar bindirme karakterine sahiptirler. Bindirme faylarının eğim yönleri farklı olup, bu çalışmada değerlendirilen bindirme fayları kuzeye eğimlidirler.

Bu çalışmada, Van il merkezini etkileyebilecek aktif faylar dikkate alınmıştır. Bunlar kuzeyde Van ile Beyüzümü Fayı, batıda Edremit fayı ve güneyde ise Gürpınar fayıdır (Şekil 7A). Bindirme faylarının eğim yönleri farklı olup, bu çalışmada değerlendirilen bindirme fayları kuzeye eğimlidirler. Aktif faylara olan mesafe aralıkları 500 m'den küçük, 500-1000 m, 1000-2500 m ile 2500-4000 olacak şekilden tampon bölgelere ayrılmıştır (Şekil 7B) (Çizelge 2).

Bardakçı mahallesinden geçen Van fayını dik kesen kanalizasyon boruları bu bölgedeki en riskli alandır. Özellikle şehir merkezinin kuzey kesiminde yer alan Beyüzümü fayı Tuşba ilçesinde yer alan borularının kuzey kesimlerini dik bir şekilde kesmektedir (Şekil 7B).



Şekil 7. A. Van ili kentini denetleyen aktif faylar, B. faylara ait tampon bölgeleri.

Çizelge 2. Her bir katman içerisindeki kriterlerin ağırlık değerleri

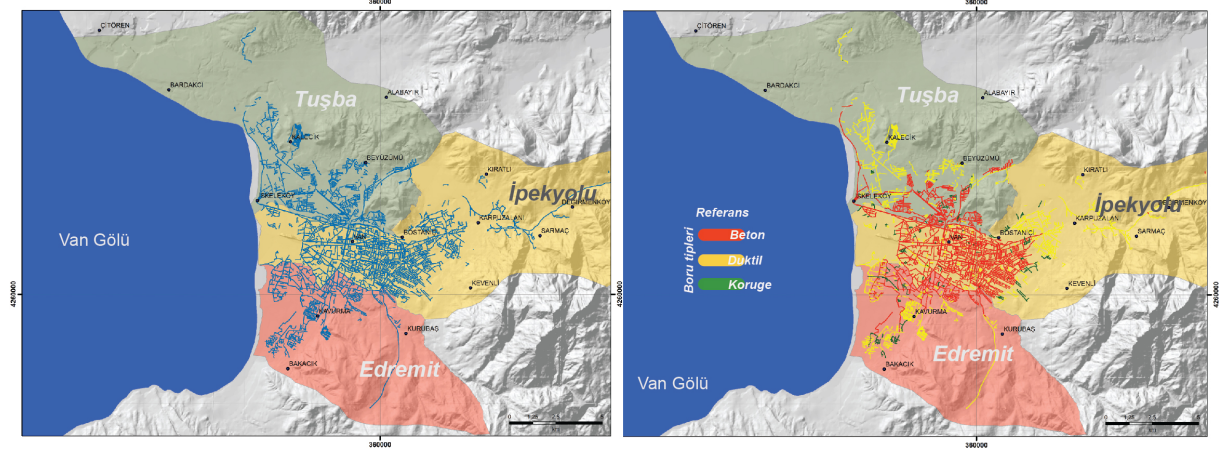
Katmanlar	Ağırlık	Kriter	Değerler	
Faya uzaklık	0.3925	< 500	0.1472	
		500-1000	0.2307	
		1000-2500	0.2951	
		2500-4000	0.327	
		Tutarsızlık oranı	0.026975	
Boru tipi	0.4041	Beton	0.5747	
		Duktil	0.0533	
		Koruge	0.372	
		Tutarsızlık oranı	0.017842	
Zemin	0.2034	T	0.4917	
		Qeb	0.0871	
		Qay	0.184	
		Qeay	0.2372	
		Tutarsızlık oranı	0.0123590	

3.2. Boru tipleri

Boru tipleri, kent planlamasında kanalizasyon sistemlerinde oluşabilecek bir deformasyonun değerlendirilmesinde önemli parametrelerden biridir. Çünkü oluşan depremlerde kanalizasyon sistemlerinde meydana gelen deformasyonlar sonucunda bu sular içme sularına karışmaktadır. Van il sınırlarında kanalizasyon hattı yapımı 1980'li yıllarda başlamıştır. Şehrin büyümesine bağlı olarak bu hatların yapımına devam edilmiştir (Şekil 8A). Ancak Van ili ve Erciş ilçelerinin merkezinde yer alan kanalizasyon hatlarının yaklaşık %30'u ömrünü doldurmuştur. Günümüzde yapılan ve devam eden tüm kanalizasyon sistemleri İller Bankası genelgesine uygun bir şekilde yapılmaktadır.

Van ili genelinde baskın olarak kanalizasyon sistemlerinde beton borular kullanılmaktadır (Şekil 7B). Şehirleşmenin daha yoğun olduğu İpekyolu ilçesinde beton boruların fazla olduğu ancak yenilenme çalışmalarının yapıldığı alanlarda ise koruge borularının kullanıldığı görülmektedir. İpekyolu ve Edremit ilçesinde ise Duktil borular daha baskın bir şekilde kullanılmıştır (Şekil 8B).

Çalışma alanında yer alan betonarme borular beton borular, HDPE (Yüksek yoğunluklu polietilen), PE (Polietilen boru) borular Koruge borular içerisinde değerlendirilmiştir. Deprem performans değerlerine bağlı olarak borular üç ana grupta değerlendirilmiştir. Deprem oluşturduğu deplasmanlarda, koruge borular düşük, duktıl borular orta ve beton borular yüksek deformasyon sınıfına ayrılmıştır (Çizelge 2).

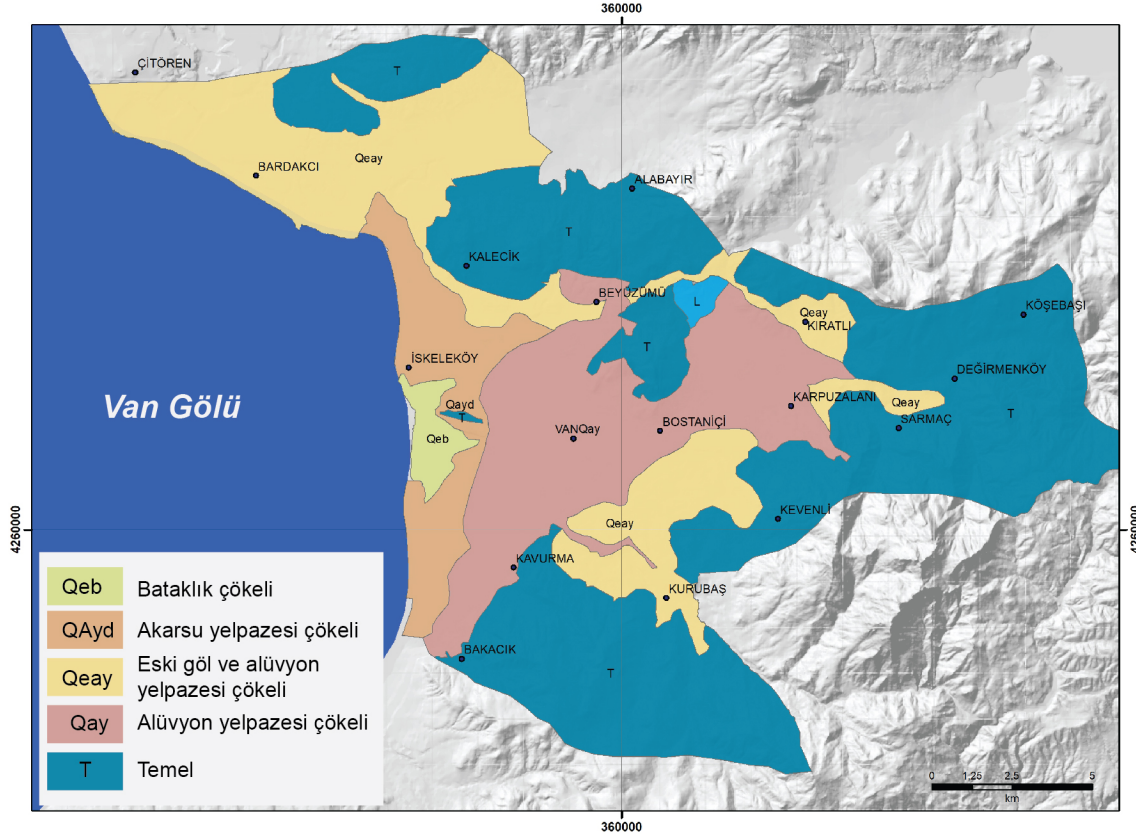


Şekil 8. A. Van ili merkezinde yer alan kanalizasyon şebekesi, B. şebekenin boru tiplerine bağlı olarak sınıflandırılması.

3.3. Zemin özellikleri

Zemini oluşturan litoloji deprem esnasında oluşan deformasyonu belirlenmesi anlamında önemli bir faktördür. Örneğin, 2011 yılında hem Van ilinde yaşanan depremlerde hem de 2023 yılında Kahramanmaraş-Pazarcık merkez üssü depremlerde zemin özelliklerinin önemli bir parametre olduğu görülmektedir.

Çalışmada, bölgede yüzeleyen Kuvaterner öncesi birimler temel birim yani kaya zemin olarak değerlendirilmiştir. Kuvaterner birimler ise sıklık oranlarına bağlı olarak üç sınıfta değerlendirilmiştir. Eski alüvyon yelpazesi çökelleri (Qeay) genel olarak az tutturulmuş siltli ve killi birimlerden oluşmaktadır. Bu birim Bardakçı, Kurubaş ve Sarmaç köyleri civarında yaygın olarak yüzelemektedir (Şekil 9). Birim diğer Kuvaterner birimlere göre daha sağlam zemin sınıflaması içerisinde değerlendirilmiştir. Bostaniçi köyünde yaygın olarak yüzeleyen alüvyon yelpazesi (Qay) çökelleri tutturulmamış, dağınık, kötü boylanmalı çakıl, siltli, killi kumdan oluşmaktadır (Ateş ve ark., 2007) (Şekil 8). Bu birim orta zemin sınıflaması içerisinde değerlendirilirken, bataklık (Qeb) ve akarsu çökelleri (Qayd) zayıf zemin sınıflaması içerisinde değerlendirilmiştir (Çizelge 2).



Şekil 9. Van ili merkez ve çevresinin geliştirilmiş jeoloji haritası (Ateş ve ark., 2007'den değiştirilerek alınmıştır).

3.4. Duyarlılık haritası

Faya uzaklık, boru tipi ve zemin özellikleri katmanları içerisinde ikili karşılaştırma matrisi kullanılarak her bir katmanın ağırlık değeri belirlenmiştir. Her bir kriterin kanalizasyon borularının deprem performansını etkileme düzeyi mühendislik bakış açısı üzerinden değerlendirilmiştir. Çizelge 2'de, her bir katman içerisinde tanımlanan faktörlerin karşılaştırma matrisi içerisinde elde edilen değerleri verilmiştir. Bu matristen elde edilen tutarsızlık oranları 0.05'den küçük olup, Saaty (1980) tarafından önerildiği üzere 0.10 değerinden küçüktür.

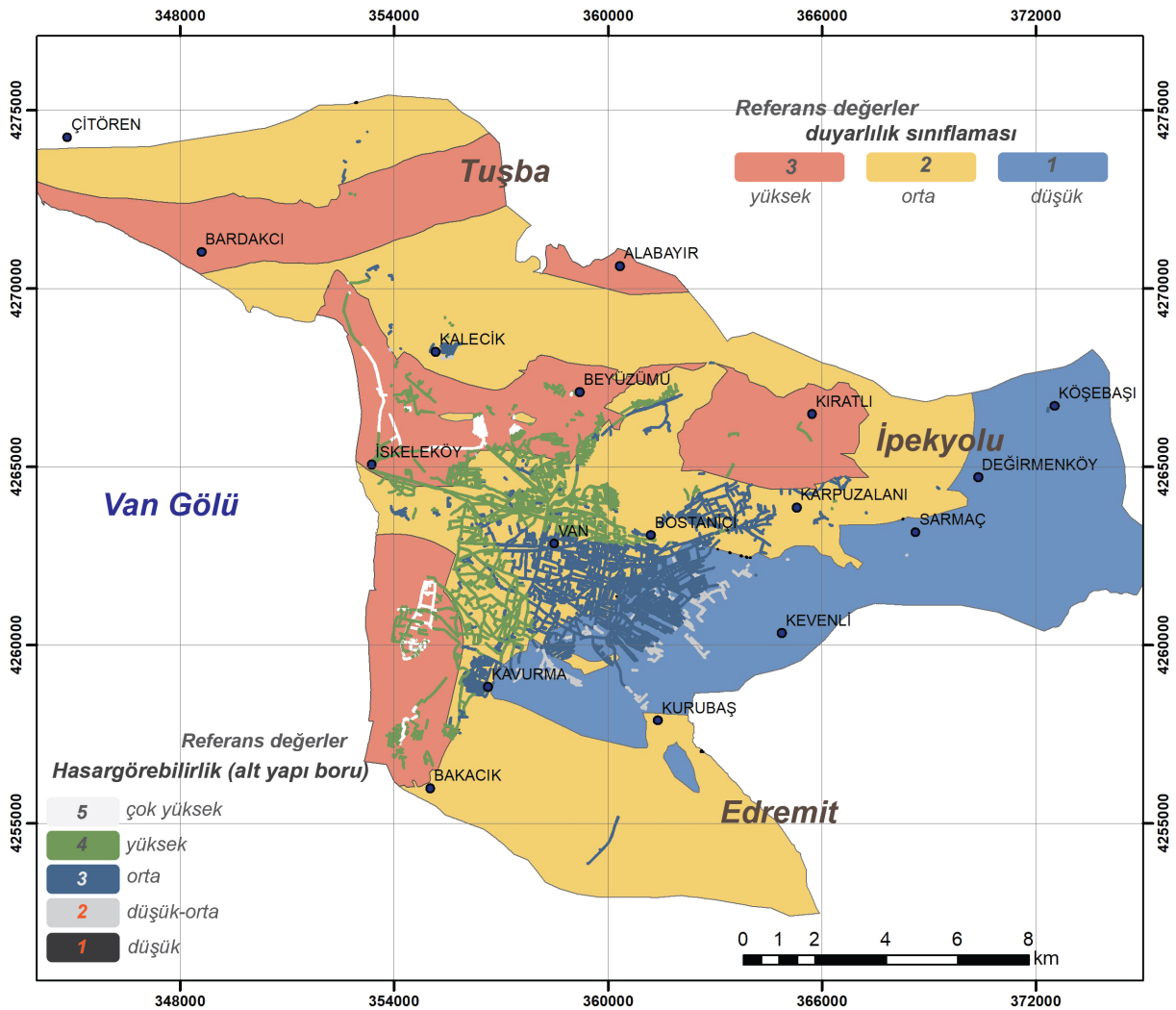
Bu çalışmada ağırlık değerleri tanımlanırken, CBS katmanlarında yer alan her bir kriterin tanımlı gerçek verisine bağlı olarak değerlendirilmektedir. Fakat, önceki AHP yöntemlerinde de belirtildiği üzere, uzman kişinin mühendislik yargısına bağlı olarak kriterlerin önem derecesi değiştiğinden dolayı oldukça sübjektiftir (Selçuk ve ark., 2016). Bu kişisel öngörüğü ortadan kaldırmak için, Çizelge 2'de görüldüğü üzere her bir katman için ağırlık değerlerinin atanmasında, konuya hâkim, depreme bağlı gelişen deformasyonunun nedenleri hakkında bilgi sahibi, farklı uzmanların kriterlere verdiği puanlar dikkate alınmıştır. Boruların deprem performans duyarlılık değerlendirmesinde uzmanların vermiş olduğu en yüksek değer boru tipleri olup, diğer bir yüksek derecesi ise aktif faylar üzerinedir. Her iki katmanın ağırlık değerleri zemin katmanına oranla daha yüksektir. Zemin katmanı üzerinde ise genel olarak uzmanlar hemen hemen aynı fikirdedirler ve eşit derecede bir değerlendirme yapmışlardır. Uzmanlar tarafından verilen ağırlık değerlerinin ortalaması alınarak duyarlılık modeli oluşturulmaya çalışılmıştır. Ortalama ağırlık değerlerine göre söz konusu faktörlerin önem sırası; boru tipleri, aktif faylara mesafe ve zemin özellikleri şeklindedir.

Çalışmada tanımlanan her bir CBS katmanı kendi içerisinde farklı alt kriterlere ayrılmıştır. Dolayısıyla, boru performans modelinin elde edilmesinde 3 ayrı CBS katman içerisinde, tanımlı 11 ayrı kriterin ağırlık değerlerinin belirlenmesi gereklidir. Bu modelin oluşturulmasında belirlenen kriterlerin ağırlık değerleri aşağıdaki ilişki ile belirlenmiştir (Jenks, 1967).

$$H_i = \sum W_i X_i \quad (1)$$

Burada, H_i model haritanın piksel ağırlık değeridir. W_i her bir CBS katmanı için belirlenen ağırlık değeri, X_i ise her bir CBS katmanında tanımlı alt kriterlerin (i) ağırlık değeridir.

Çalışma alanı için oluşturulan duyarlılık modeli üç ayrı bölgeye ayrılmıştır (Şekil 8); Yüksek Duyarlılık, Orta Duyarlılık, ve Düşük Duyarlılık. Bununla birlikte Van ili alt yapısında kullanılan borular depremlerde oluşabilecek hasar durumlarına bağlı olarak beş sınıfa ayrılmıştır; Yüksek, yüksek-orta, orta, orta-düşük ve düşük şeklindedir (Şekil 10). Modelde bölgelerinin sınır ağırlık değerleri belirlenirken, doğal kesiklik sınıflaması (Natural Breaks Classification) yöntemi kullanılmıştır. Jenks optimizasyonu olarak bilinen yöntem, veriyi en ideal ayırım ile sınıflara ayırmaktadır. Yöntemdeki sınır değerlerin elde edilmesinde, her sınıfta gözlenen değerler ile ortalama değerler arasındaki farkların kareler toplamalarının tekrarlı karşılaştırması dikkate alınmaktadır (Jenks, 1967). Bölgeleri tanımlayan bu sınır değerlerin uygunluğu, söz konusu faktörlerin önem derecesine bağlı olarak ayrıca değerlendirilmiştir.



Şekil 10. Çalışma alanının deprem duyarlılık ve alt yapı sistemlerinin hasar görebilirlik modeli.

4. Tartışma ve Sonuçlar

Kanalizasyon alt yapısında kullanılan boruların deprem performans analizi için Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı çok kriterli karar analizi kullanılmıştır. Bu yöntem var olan problemlerin çözümünde birçok faktörün birlikte değerlendirilmesine olanak sağladığı için yaygın kullanılan ana yöntemlerden

biridir. Ayrıca kriterlerin ağırlık değerlerinin atanmasında ve çok sayıdaki verinin bütünleştirilmesinde yöntemin kapasitesi ve kolaylığı, oluşabilecek risklerin daha önceden belirlenmesine farklı faktörler içerisinde olanak tanımaktadır.

Bu kapsamda oluşturulan duyarlılık modelinde, Tuşba ilçesi tamamı ile Edremit ilçesinin güney ve Batı kesimleri yüksek-orta duyarlı alanlar içerisinde yer almaktadır. İpekyolu ilçesinin güney ile güneybatı kesimleri düşük duyarlılık alanları içerisinde yer alır (Şekil 8). Üç ayrı merkez ilçe dikkate alındığında, toplam alanın %23'ünü yüksek duyarlı alanlar oluşturmaktadır. Bu alanlardan Bardakçı, İskele Mahallesi ve Edremit yerleşim alanları dikkat çekmektedir. Bununla birlikte İpekyolu ilçesinde yer alan Kıratlı yerleşim alanı ve güneyi yine yüksek duyarlılık sınıfı içerisinde yer alır (Şekil 8). Orta duyarlılık alanı toplam alanın yarısından fazlasını oluşturmaktadır. Kalecik bölgesi düşük duyarlılık sınıfında kalmasına rağmen, etrafında yer alan diğer kesimler orta duyarlılık alanı içerisinde yer alır. Aynı şekilde Kurubaş yerleşim alanı ve civarı düşük sınıfta yer almasına rağmen, güney kesimleri orta duyarlılık sınıfında yer alır (Şekil 8).

Çalışma kapsamında kanalizasyon alt yapısında yer alan boruların hasar görebilirlik haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan haritaya bağlı olarak kanalizasyon alt yapısında yer alan boruların 4 km'den daha yakın herhangi bir fayda oluşan depremlerde %45'nin yüksek veya çok yüksek hasar görebileceği şeklindedir (Şekil 8). Özellikle Van Gölü'ne yakın kesimlerde yer alan İskele Mahallesi ve Edremit ilçe sınırlarının kuzey kesimlerinde yer alan kanalizasyon sistemleri yüksek risk altındadır. En önemlisi kentleşmenin en yoğun olduğu İpekyolu ilçesinin batı kesimlerinde, Tuşba ilçesinin güney kesimleri ile Edremit ilçesinin kuzeydoğu alanları ise yüksek risk altında olup, bu alanlar toplam alanının %39'unu oluşturmaktadır. Van il merkezinin doğu kesimleri yani İpekyolu ilçesinin doğu kesimlerinde yer alan kanalizasyon borularının çoğunluğu orta-düşük risk grubu içerisinde yer alır. Bu değerler merkez ilçelerin önemli bir kesimin olası bir deprem olayında alt yapı sistemlerinin yüksek derecede etkilenebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, 2011 Van depremlerinde deformasyona uğrayan alt yapı sistemleri, oluşturulan modelde yüksek duyarlılığa sahip alanlar ile doğruluk göstermektedir. Büyük bir kesimi meydana gelen deprem olaylarından etkilenmiştir (Yıldız Teknik Üniversitesi, 2011). Dolayısıyla, kanalizasyon borularının hasar görebilirlik oranlarının yüksek olan bölgelerde etkin bir planlama için, oluşturulan duyarlılık modeli sağlıklı ve yararlı bilgiler sağlayabilir. Bu nedenle, yapılacak olan yenileme çalışmalarında öncelik bu alanlara ve özellikle yerleşimin fazla olduğu ilçe merkezlere verilmelidir.

Geliştirilen model, 2011 yılında meydana gelen deprem ile hasar gören kanalizasyon boru sistemleri ile karşılaştırıldığı zaman tutarlı sonuçlar sağlamaktadır (Şekil 8). Ayrıca modelde olası bir deprem olayında çok daha geniş alanlarda yer alan kanalizasyon borularının deforme olacağı görülmektedir. Her ne kadar modelde aktif fay mesafesi ve boru tipleri önemli faktörler olsa da merkez ilçelerindeki zemin özellik değerleri de duyarlılığın tanımlamada gerçeğe yakın sonuçların elde edilmesini sağlamıştır. 4 km'ye kadar kademeli olarak tanımlanan aktif fay mesafesi ile boru tiplerinin farklı deprem yüklerindeki deprem davranışlarına göre modellenen bu haritada orta-yüksek duyarlı alanların çok daha geniş alanları kapsayacağı görülmektedir. Boru tiplerinden koruge borularda depreme yakın alanlarda bile deformasyonun en düşük seviyede olduğu görülmektedir (Şekil 8). Özellikle modellemeye göre en yüksek deformasyona uğrayan boru tipi beton boru olup, borular ile ilgili deformasyon yükleri altındaki davranışları ile uyumludur.

Van Bölgesi her 34 yılda bir kez can ve mal kaybına neden olabilecek 6 ve üzeri büyüklükte depremler yaşamaktadır. Bu durum göz önüne alındığında oluşturulan hem duyarlılık haritası hem de boru tiplerine bağlı olarak deprem performanslarının CBS ile analizi, oluşabilecek bir depremden önce hasar görebilirlik durumunu ortaya koymaktadır. Oluşturulan her iki haritada dijital formda oluşturulmuştur. Bazı bölgelerdeki veri eksikliklerinin giderilmesi ile çok daha sağlıklı sonuçlar elde edilecektir. Dolayısıyla bu çalışma ile ortaya çıkarılan sonuçların ve eksik verilerin (kanalizasyon alt yapı sistemleri) birlikte yeniden değerlendirilmesiyle, yeni yerleşim alanlarında "Planlı Kentleşme" kavramına uygun olarak alt yapı sistemlerine yeni bir bakış açısı sağlayabileceği de açıkça görülmektedir.

Sonuç olarak, Van ili merkez ilçelerinin kanalizasyon hatlarının deprem duyarlılık değerlendirmesi, boru tipleri, Van kent merkezini etkileyebilecek deprem üretme potansiyeline sahip aktif faylar ve zemin özellikleri göz önüne alınarak coğrafi bilgi sistemleri tabanlı olarak sayısal ortamda gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, deprem performans değerlendirilmesinde boru tipleri ve aktif faylar

önemli katmanlar olarak değerlendirilmiştir. Oluşturulan duyarlılık modeli ve boru hasar görebilirlik oranlarına göre,

- i. Yüksek duyarlı alanlar toplam alanın %23'ünü oluşturduğu, Bardakçı, İskele Mahallesi ve Edremit yerleşim alanlarının bazı kesimlerinin yüksek duyarlı alanlar içerisinde yer aldığı,
- ii. Oluşabilecek bir depremde özellikle Van Gölü kıyı kesiminde yer alan kanalizasyon sistemlerinde yoğun bir deformasyonun meydana gelebileceği,
- iii. Van kent merkezinin yer aldığı şehir yaşamının yoğun olduğu İpekyolu ilçesinde ki alt yapı borularında yüksek-orta bir deformasyonun meydana gelebileceği,
- iv. Boru tiplerinin farklı deprem yükleri altındaki davranışını sayısal modelleme üzerine kurulu doktora tez çalışmasının belirli bölümünü kapsayan bu çalışmada hasar görebilirlik oranlarının boru tipleri ile bağlantılı olduğu modelleme ile elde edilen sonuçlar ile benzerdir.

Çalışmada uygulanan yöntem deprem esnasında gelişen afetlere karşı güvenilir ve doğru bilgilerin elde edilmesine imkân tanımıştır. Bu kapsamda üretilen duyarlılık modeli ile hasar görebilirlik analizi, özellikle yüksek duyarlı alanlarda, alt yapı borularının depremden önce yapılacak olan uygulamaların çok daha düzenli ve planlı bir şekilde yürütülmesinde önemli rolleri olacaktır. Bununla birlikte, veri yetersizliğinin olduğu alanlar VASKİ Genel Müdürlüğü tarafından güncellendiğinde, veri olmayan alanlar ile ilgili çok daha güvenilir sonuçlar elde edilecektir. Oluşturulan hasar görebilirlik modeli ile deprem afetlerinde ilk anlarda meydana gelebilecek olan alt yapı deformasyonlarının boyutlarını belirlemek amacıyla ilgili kurumlar tarafından kullanılmalıdır.

Kaynakça

- Ateş, Ş., Mutlu, G., Özerk, O.Ç., Çiçek, İ., Karakaya Gülmez, F., Bulut Üstün, A., Karabıykoğlu, M., Çelebioğlu, R., Özata, A., & Aksoy, A. (2007). Van Bölgesinin Yerbilimleri Verileri. MTA Rapor No:10961, 152s (yayınlanmamış).
- Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey – a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14(1-3), 3-30. doi:10.1080/09853111.2001.11432432
- Bruton, D., White, D., Cheuk, C., Bolton, M., & Carr, M. (2006, Mayıs). *Pipe-soil interaction behavior during lateral buckling, including large-amplitude cyclic displacement tests by the SAFEBUCK JIP*. Offshore Technology Conference. Houston, Texas, USA. doi:10.4043/17944-MS
- Carver, S. J. (1991). Integrating multi criteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, 5(3), 321-339. doi:10.1080/02693799108927858
- Dhont, D., & Chorowicz, J. (2006). Review of the neotectonics of the Eastern Turkish-Armenian Plateau by geomorphic analysis of digital elevation model imagery. *International Journal of Earth Sciences*, 95, 34-49. doi:10.1007/s00531-005-0020-3
- Doğan, B., & Karakaş, A. (2013). Geometry of co-seismic surface ruptures and tectonic meaning of the 23 October 2011 M w 7.1 Van earthquake (East Anatolian Region, Turkey). *Journal of Structural Geology*, 46, 99-114. doi:10.1016/j.jsg.2012.10.001
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, S., & Şaroğlu, F. (2013). *Active Fault Map of Turkey with an Explanatory Text 1: 1.250.000 scale*. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Special Publication Series, 30.
- Flores-Berrones R & Li Liu X. (2003). "Seismic Vulnerability of Buried Pipelines". *Geofisica Internacional*, 42(2), 237-246.
- Jenks, G. F. (1967). The Data Model Concept in Statistical Mapping. *International Yearbook of Cartography*, 7, 186-190.
- Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, S., & Kuloshvili, S. (2001). Neotectonic of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: Implication for transition from thrusting to strike-slip faulting. *Geodinamica Acta*, 14, 177-195. doi:10.1080/09853111.2001.11432443
- Kokavessis, N. K., & Anagnostidis, G. S. (2006, Haziran). *Finite element modelling of buried pipelines subjected to seismic loads: Soil structure interaction using contact elements*. Proceedings of the ASME 2006 Pressure Vessels and Piping/ICPVT-11 Conference, Vancouver, BC, Canada. doi:10.1115/PVP2006-ICPVT-11-93228

- Lee, H., (2010). Finite element analysis of a buried pipeline. School of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering. The University of Manchester, yüksek lisans tezi, 199s.
- Liang, J., & Sun, S., (2000). Site effects on seismic behavior of pipelines: A review. *Journal of Pressure Vessel Technology*, 122(4), 469-475. doi:10.1115/1.1285974
- Lin, T. J., Liu, G. Y., Chung, L. L., & Chou, C. H. (2012). *Verification of numerical modeling in buried pipelines under large fault movements by small-scale experiments*. 15. WCEE, Lisboa.
- Maddocks, T., & Dunlevie, J. (2016). *Tennant Creek 1988 earthquake now Australia's biggest after geoscience revises list, ABC news*. <https://www.abc.net.au/news/2016-05-12/northern-territory-1988-quake-now-rated-australias-biggest/7406988> Erişim tarihi: 04.11.2023.
- Malczewski, J. (1996) A GIS-based approach to multiple criteria group decision making. *International Journal of Geographical Information Systems*, 10(8), 955-971. doi:10.1080/02693799608902119
- Manshoori, M. R. (2011). Evaluation of seismic vulnerability and failure modes for pipelines. *Procedia Engineering*, 14, 3042-3049. doi:10.1016/j.proeng.2011.07.383
- Nurlu, M., Özmen, B., & Güler, H. (1995). *Deprem zararlarının azaltılmasında coğrafi bilgi sistemi*. Deprem Zararlarının Azaltılması Çalışmaları Semineri, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- O'Rourke, T. D., Gowdy, T. E., Stewart, H. E., & Pease, J. W. (1991, Mart). *Lifeline and geotechnical aspects of the 1989 Loma Prieta Earthquake*. Proceedings of the 2nd International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics. University of Missouri-Rolla, Rolla, Mo, USA.
- Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (1991). *Prediction, Projection and Forecasting*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.
- Sağlam Selçuk, A., Erturac, M. K., Sunal, G., & Çakır, Z. (2020). Evaluation of the Plio-Quaternary tectonic stress regime from fault kinematic analysis in the lake Van Basin (Eastern Anatolia). *Journal of Structural Geology*, 140, 104157.
- Saka, F., & Ortakçı T. (2022). Beton boruların zemin yükleri altında tasarımları. *Konya Journal of Engineering Sciences*, 10(2), 425-441. doi:10.36306/konjes.1062886
- Schiff, A. J. (1997). *Northridge Earthquake: Lifeline Performance and Post-Earthquake Response*. Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering ASCE.
- Selcuk, L., & Aydın, H. (2012). Kuvaterner yaşlı alüvyal zeminlerin kuvvetli yer hareketine etkisi: 2011 Van depremleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 36(2), 75-98.
- Selcuk, L., Sağlam Selçuk, A., & Kasapoğlu, D. (2016). Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı çok kriterli karar analizi (Çkka) kullanılarak, Van ili merkez ilçelerinin kentsel taşkın duyarlılık değerlendirmesi, Van/Türkiye. *Yerbilimleri*, 37(1), 1-18.
- Shinozuka, M., Ballantyne, D., Borchardt, R., Buckle, I., O'Rourke, T., & Schiff, A. (1995). *The Hanshin-Awaji earthquake of January 17, 1995. Performance of Lifeline*, Tech. Rep., NCEER, Buffalo, NY, USA.
- Şaroğlu, F., & Yılmaz, Y. (1986). Doğu Anadolu'da neotektonik dönemdeki jeolojik evrim ve havza modelleri. *Maden Tektik ve Arama Dergisi*, 107, 73-94.
- TİK (Türkiye İstatistik Kurumu), (2023). Temel istatistiksel veriler, nüfus ve demografi, <https://www.nufusu.com/ilceleri/van-ilceleri-nufusu> Erişim tarihi: 30 Nisan 2023.
- Toker, M. (2013). Time-dependent analysis of aftershock events and structural impacts on intraplate crustal seismicity of the Van earthquake (Mw 7.1, 23 October 2011), E Anatolia. *Central European Journal of Geosciences*, 5, 423-434. doi:10.2478/s13533-012-0141-8
- Toksöz, M. N., Nábělek, J., & Arpat, E. (1978). Source properties of the 1976 earthquake in east Turkey: A comparison of field data and teleseismic results. *Tectonophysics*, 49(3-4), 199-205. doi:10.1016/0040-1951(78)90178-6
- Tsai, Yi-B., Yu, T. M., Chao, H. L., & Lee, C. P. (2001). Spatial distribution and age dependence of human-fatality rates from the Chi-Chi, Taiwan, Earthquake of 21 September 1999. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 91(5), 1298-1309. doi:10.1785/0120000740
- Uckan, E., Akbas, B., Kaya, E. S., Cakir, F., Ipek, C., Makaraci, M., & Ataoglu, S. (2016). Design issues of buried pipelines at permanent ground deformation zones. *Disaster Science and Engineering*, 2(2), 53-58.

- Uçkan, E. (2013). Lifeline Damage Caused in the 23 October (Mw=7.2) 2011 and 9 November (M=5.6) 2011, Van Earthquakes in Eastern Turkey. In C. Davis, M. Miyajima, L. Yan (Eds.) *International Efforts in Lifeline Earthquake Engineering, Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering*, Monograph no: 38, ASCE. doi:10.1061/9780784413234.007
- Utkucu, M. (2013). 23 October 2011 Van, Eastern Anatolia, earthquake (Mw 7.1) and seismotectonics of Lake Van Area. *Journal of Seismology*, 17, 783-805. doi:10.1007/s10950-012-9354-z
- Van Westen, C. J., Castellanos, E., & Kuriakose S. L. (2008). Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Engineering Geology*, 102(3-4), 112-131. doi:10.1016/j.enggeo.2008.03.010
- Van Westen, C. J. (2013). Remote sensing and GIS for natural hazards assessment and disaster risk management. *Treatise on Geomorphology*, 40, 259-298. doi:10.1016/B978-0-12-374739-6.00051-8