



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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



Derleme Makale

Van Gölü Havzası ve Civarının Depremselliğine Genel Bir Bakış

Hamdi ALKAN*, Mustafa TOKER, İsmail AKKAYA

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 65080, Van, Türkiye
Hamdi ALKAN, ORCID No: 0000-0003-3912-7503, Mustafa TOKER, ORCID No: 0000-0001-9981-6605,
İsmail AKKAYA, ORCID No: 0000-0002-7682-962X

*Sorumlu yazar e-posta: hamdialkan@yyu.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 30.06.2022
Kabul: 07.10.2022
Online Nisan 2023

DOI: [10.53433/yyufbed.1138320](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1138320)

Anahtar Kelimeler

Deprem riski,
Sismik hasar indisi,
Van Gölü havzası,
Yapı-zemin etkileşimi

Öz: Bu çalışma kapsamında, Van Gölü Havzası ve civarı için özellikle aletsel dönemde meydana gelmiş depremler ve bunların artçı şok verileri kullanılarak yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Farklı sismolojik parametrelerin kullanıldığı bu çalışmaların bulguları derlenerek, bölgenin gelecekteki deprem riski/tehlikesi karşısındaki durumu ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Aletsel ve tarihsel dönemde büyüklüğü 5.0 ve üzerinde olan birçok depremin meydana geldiği bölgede, son olarak 23 Ekim 2011 ($M_w=7.1$) ve 09 Kasım 2011 ($M_w=5.8$) tarihlerinde Van şehir merkezi civarında meydana gelen yıkıcı/hasar verici iki deprem bölgenin farklı özelliklerdeki aktif fay mekanizmalarına sahip olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, özellikle Van Gölü'nün hemen doğusu ile Çaldıran, Muradiye, Özalp, Saray ve Erciş civarında yakın gelecekte deprem tehlikesi diğer bölgelere göre büyük olarak ifade edilebilir. Ayrıca, Van Gölü Havzası ve civarının gerek jeofizik yöntemlere gerekse yapısal incelemelere dayalı farklı parametreler (zemin büyütmesi ve sismik hasar indisi gibi) kullanılarak zemin mühendislik özellikleri ve yapı-zemin etkileşimi açısından değerlendirmesi de bu çalışmada incelenmiştir.

An Overview of the Seismicity of Lake Van Basin and Its Surrounding Area

Article Info

Received: 30.06.2022
Accepted: 07.10.2022
Online April 2023

DOI: [10.53433/yyufbed.1138320](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1138320)

Keywords

Lake Van basin,
Seismic risk,
Seismic vulnerability index,
Soil-structure interaction

Abstract: In the scope of this study, the findings obtained from the previous studies using the main shocks with their aftershocks that occurred mainly in the instrumental period are evaluated for the Van Lake Basin. Using the different seismological parameters, the results of these previous studies are compiled to reveal the future earthquake hazard/risk. Many destructive earthquakes with magnitudes greater than 5.0 occurred in the region during the instrumental and historical periods. Finally, two destructive/damaging earthquakes that occurred around the city center of Van on 23 October 2011 ($M_w=7.1$) and 9 November 2011 ($M_w=5.8$) showed that the region has active fault mechanisms with different characteristics. As a result, the earthquake hazard evaluation and forecasting in the near future show a higher seismic risk in the east of Lake Van, especially around Çaldıran, Muradiye, Özalp, Saray, and Erciş, than in other regions. In addition to seismic risk analyses, the evaluation of the Van Lake Basin and its surroundings, in terms of soil engineering properties and soil-structure interaction, using different parameters (soil amplification and soil-structure interaction, etc.) based on geophysical methods and structural investigations, are also examined in this study.

1. Giriş

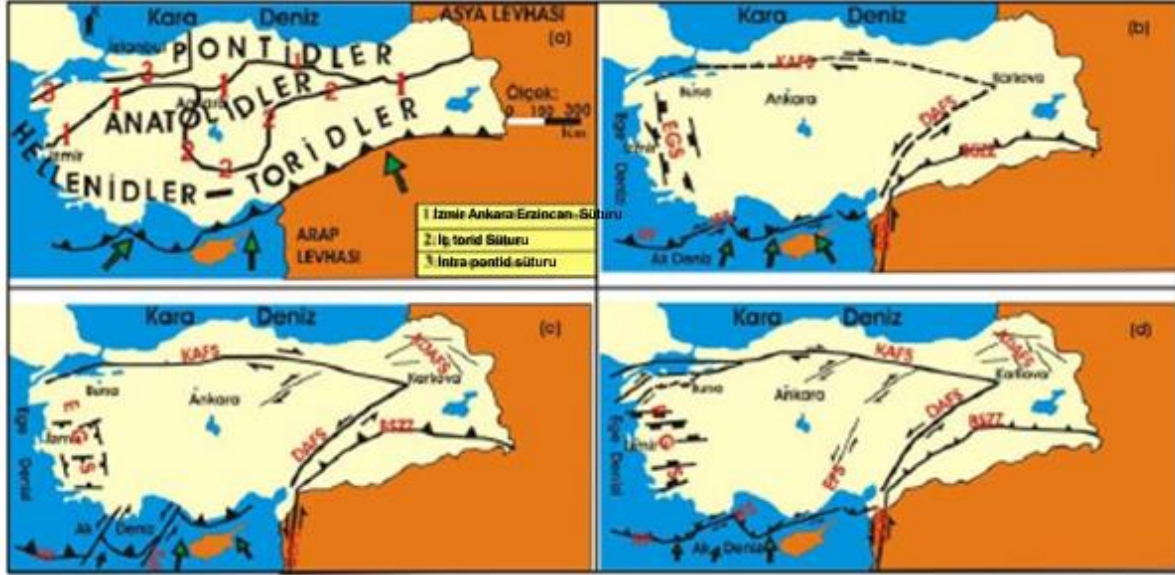
Yerküre içerisindeki kırılmalar nedeniyle bir kaynaktan ani olarak çıkan enerjinin sismik dalgalar şeklinde ve titreşimler halinde yayılarak geçtikleri ortamı ve yeryüzünü sarsması olayı *deprem* olarak tanımlanmaktadır. *Deprem*, kayaç kırılmaları boyunca blokların birbirlerine göre farklı hareket ettiği zayıf yerler yani *faylar* boyunca meydana gelir. Tarih boyunca ülkemizde birçok yıkıcı deprem meydana gelmiş olmasına rağmen, özellikle 17 Ağustos 1999 Gölcük depremi ($M_w=7.4$), 12 Kasım 1999 Düzce depremi ($M_w=7.2$), 23 Ekim 2011 Van depremi ($M_w=7.2$), 24 Ocak 2020 Elâzığ depremi ($M_L=6.7$) ve 30 Ekim 2020 İzmir depremi ($M_w=6.9$) gibi depremler ülkemizin sismotektonik yapısı itibarıyla bu doğa olayının vazgeçilmez olduğunu bize bir kez daha göstermiştir (Koeri, 2022). Diğer taraftan, Doğu Anadolu platosu da sahip olduğu tektonik mekanizmalardan dolayı, sismik etkinliği oldukça yüksek bir bölgedir. Bu plato içerisinde ve Bitlis-Zagros bindirme kuşağının hemen kuzeyinde bulunan Van Gölü havzası yaklaşık olarak 20.000 km²'lik yüz ölçüme sahiptir ve deprem üretme ya da tekrarlama açısından oldukça aktiftir. Özellikle yakın geçmişte meydana gelen 1976 Çaldıran depremi ($M_s=7.3$) ve 2011 Van depremi ($M_w=7.1$) bölgenin ürettiği sismik aktiviteyi açıkça göstermektedir. Bu bakış açısı ile Van Gölü havzası ve civarı yer bilimcilerin dikkatini her zaman çekmeyi başarmıştır. Bölgenin sismik tehlike/risk durumu ya da olası gelecek deprem tahmini için gerilme değişimi, sismik durgunluk, jeodezik ölçümler, magnitüd-frekans ilişkisi ya da tekrarlama zamanı gibi farklı sismotektonik parametreler ile ortaya koyulmaya çalışılmaktadır. Diğer taraftan, geçmişte meydana gelmiş depremleri üreten fay ve fay mekanizmalarının yapısal nitelikleri de detaylı olarak incelenmektedir. Bu çalışmada, Van Gölü havzası ve civarındaki son yıllarda yapılmış olan bazı sismolojik makaleler derlenerek, bölgenin depremselliği hakkında genel çıkarımlar yapılmıştır.

2. Van Gölü Havzası ve Civarının Tektoniği ve Jeolojisi

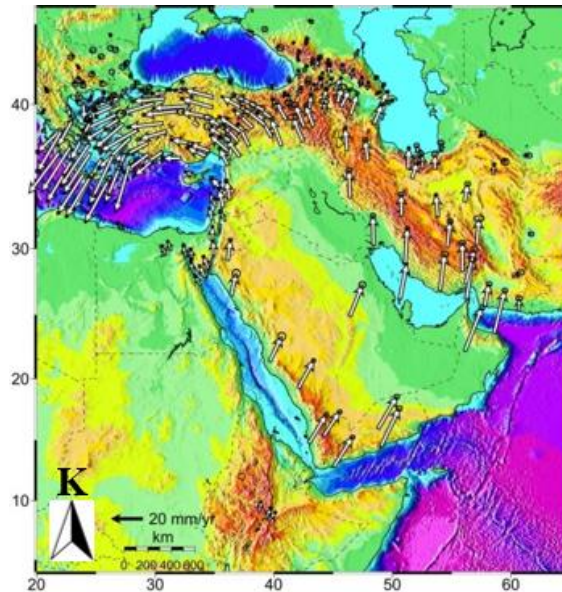
Alpine-Himalayan orojenik sisteminin Doğu Akdeniz kuşağı içerisinde yer alan Anadolu plakası Avrasya, Arap ve Afrika plakalarının birbirleri ile göreceli hareketlerinden etkilenmektedir. Anadolu'nun doğu kısmını Doğu Anadolu plakası oluşturmaktadır. Bölgede yaklaşık olarak 13 milyon yıl önce (orta Miyosen dönem) Avrasya plakası ile Arap plakasının çarpışması sonucu Neotetis okyanusunun güney kolu tükenmiştir. Bu kıta-kıta çarpışma dinamiği, Doğu Anadolu fay zonu ve Bitlis-Zagros bindirme kuşağı (BZBK) boyunca meydana gelmiştir (Şekil 1). Ayrıca, K-G yönlü kıta-kıta çarpışma geç Miyosen döneme ve sıkışma-genişleme tektoniği ise erken Pliyosenden güncel döneme kadar devam etmektedir. BZBK boyunca devam eden kıtasal çarpışma neticesinde, Doğu Anadolu plakası 2000 m civarında topografik bir yükselmeye maruz kalmıştır. Bu esnada, bölgede kabuksal kılma ve kalınlaşma, çarpışma sonrası meydana gelen magmatizma ile birlikte ters fay, sağ ve sol yönlü doğrultu atımlı fay mekanizmaları gelişmeye devam etmiştir. K-G yönlü bu tektonik sıkışma Anadolu plakasını saat yönünün tersine doğru bir rotasyon hareketi yapmasına ve batıya doğru göç etmesine sebep olmuştur (Şekil 2). Bu seyahat iki önemli transform fay mekanizması boyunca meydana gelmiştir. Bunlar sağ yönlü doğrultu atımlı fay mekanizmasına sahip Kuzey Anadolu fay zonu (KAFZ) ve sol yönlü doğrultu atımlı fay mekanizmasına sahip Doğu Anadolu fay zonu (DAFZ)'dur. KAFZ ve DAFZ Karlıova üçlü kesişim bölgesinde (KÜK) birleşmektedir (Şekil 3). Bölgedeki diğer önemli tektonik yapılar sol yönlü doğrultu atımlı mekanizmaya sahip Ölü Deniz fay zonu (ÖDFZ) ve Kuzey Doğu Anadolu fay zonu (KDAFZ)'dur (McKenzie, 1970; Şengör & Yılmaz, 1981; Şengör ve ark., 1985; McClusky ve ark., 2000; Bozkurt, 2001; Koçyiğit ve ark., 2001; Keskin, 2003; Şengör ve ark., 2003; Reilinger ve ark., 2006; Bayrak ve ark., 2013 ve 2015; Emre ve ark., 2018; Alkan ve ark., 2020 ve 2021 Çoban & Sayıl, 2020; Alkan, 2022).

KAFZ dünyanın önemli ve aktif fay zonlarından bir tanesidir (Şengör ve ark., 1985; Şaroğlu ve ark., 1992; Emre ve ark., 2013) ve KAFZ, KÜK'den Ege denizine kadar yaklaşık 1400 km'lik bir uzunluğa sahiptir. Emre ve ark. (2013) KAFZ'nu sismik davranış ve geometrilerine göre 38 farklı segmente ayırmıştır. KAFZ'nun kayma hızı batıya doğru artacak şekilde 5 ile 25 mm/yıl arasında değişmektedir (Reilinger ve ark., 2006). KAFZ aletsel dönemde $M \geq 7.0$ olan 10 adet deprem üretmiştir. Bu depremler oldukça büyük can ve mal kayıplarına neden olmuştur. 1912'de $M_s=7.4$ büyüklüğündeki depremden sonra doğudan batıya bir deprem göçü başlamış ve 1939'da $M_s=7.9$ depreminden sonra 60 yıl içerisinde 8 adet $M \geq 7.0$ deprem meydana gelmiştir.

DAFZ, KÜK'den Antakya yakınlarındaki Kahramanmaraş üçlü eklemine kadar yaklaşık 600 km uzunluğa sahiptir ve bu noktadan sonra güneye doğru ÖDFZ ile birleşmektedir (Şengör ve ark., 1985; Över ve ark., 2002; Westaway, 2004; Yılmaz ve ark. 2006). Fayın kayma hızı, 6 ile 10 mm/yıl civarındadır (Taymaz ve ark., 1991; McClusky ve ark., 2000). DAFZ tarihsel deprem kataloğunda yer alan $M \geq 7.0$ olan birçok deprem üretmiştir (AFAD, 2022). Ancak 20. yüzyılda sadece bir adet yıkıcı deprem (2020 Elâzığ depremi, $M_w=6.8$) meydana gelmiştir. 1500'lü yıllardan günümüze doğru DAFZ'nda meydana gelen yıkıcı depremler; 1513 Pazarcık, 1822 Kahramanmaraş, 1866 Karlıova, 1872 Antakya, 1874 Gezin, 1875 Sivrice, 1893 Çelikhhan, 1905 Pötürge, 1971 Bingöl, 1977 Palu ve Haziran-Temmuz 1986 Sürgü depremleridir (Ateş & Bayülke, 1977; Şaroğlu ve ark., 1987).

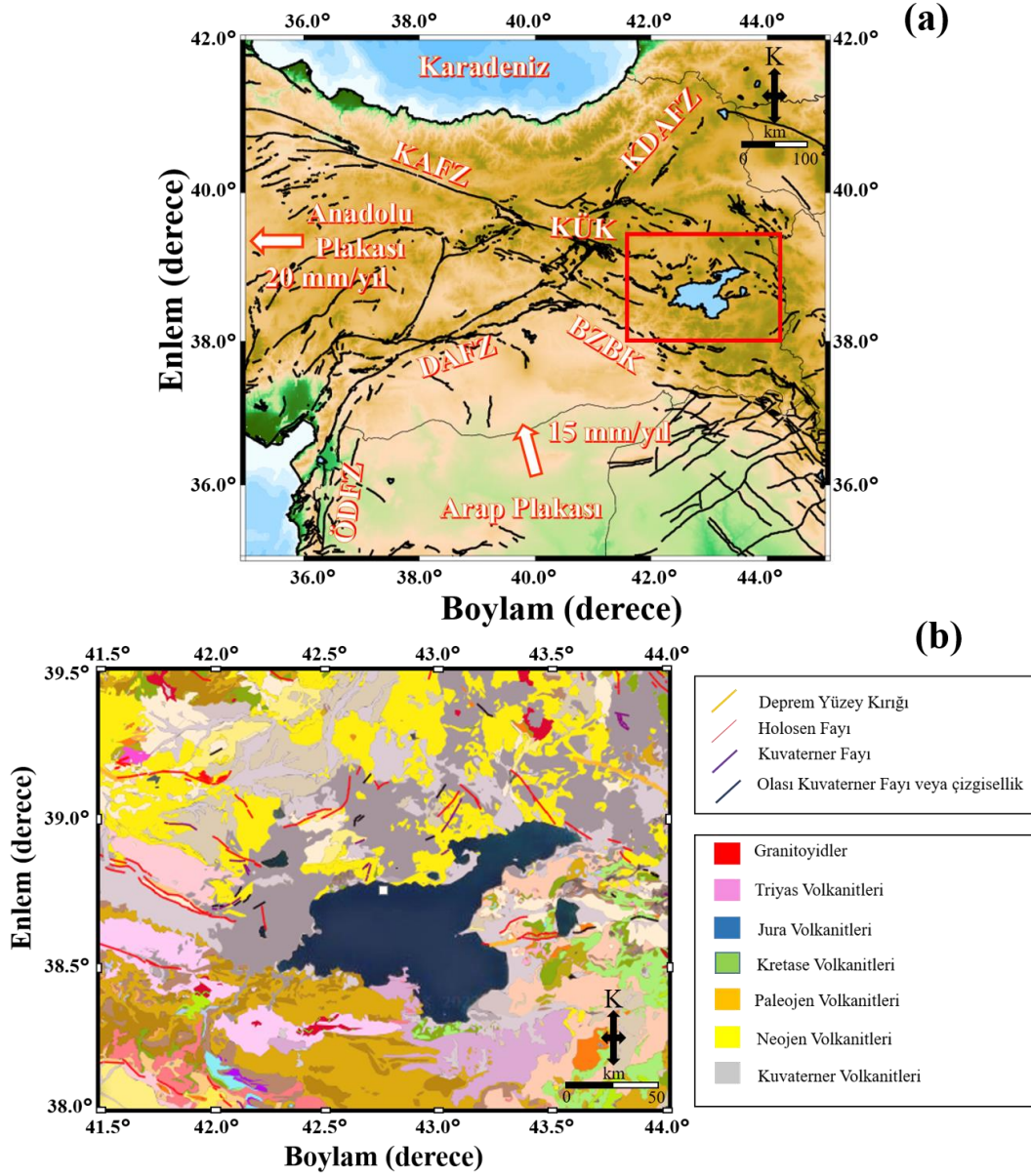


Şekil 1. Anadolu'nun Paleotektonik-Güncel dönem evrimi (a) Miyosen dönem öncesi, (b) Orta-Geç Miyosen dönem, (c) Pliyosen dönem, (d) Holosen dönem (Okay & Tüysüz, 1999). Kısaltmalar; KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, KDAFZ: Kuzey Doğu Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, BZSZ: Bitlis-Zagros Sütur Zonu, ÖDFZ: Ölü Deniz Fay Zonu, EGS: Ege Graben Sistemi.



Şekil 2. Güneyde Arap levhası ve buna bağlı olarak Anadolu ve çevresindeki levhaların oklar ile belirlenmiş hareket yönleri ve GPS hızları (Reilinger ve ark., 2006).

KÜK'nin güney doğusunda ve BZBK'nın kuzeyinde deniz seviyesinden 1650 m yükseklikte bulunan Van Gölü (38.5°K, 43°D) bölgedeki önemli tektonik yapılardan bir tanesidir (Şekil 3). Kapalı havza yapısına sahip Van Gölü güncel şeklini Kuvaterner dönemdeki etkin volkanizma ile almıştır. Van Gölü havzası, Muş rampa havzasının doğuda hem sedimentolojik ve hem de tektonik devamı olup, Nemrut volkanı ile ayrılmıştır (Şengör ve ark., 1985). Van Gölü içerisinde birçok havza ve sırt ile birlikte farklı mekanizmalara sahip fay bileşenleri ve modal morfolojik yapılar bulunmaktadır (Selçuk, 2016; Çukur ve ark., 2017; Toker ve ark., 2017a; Toker, 2021).

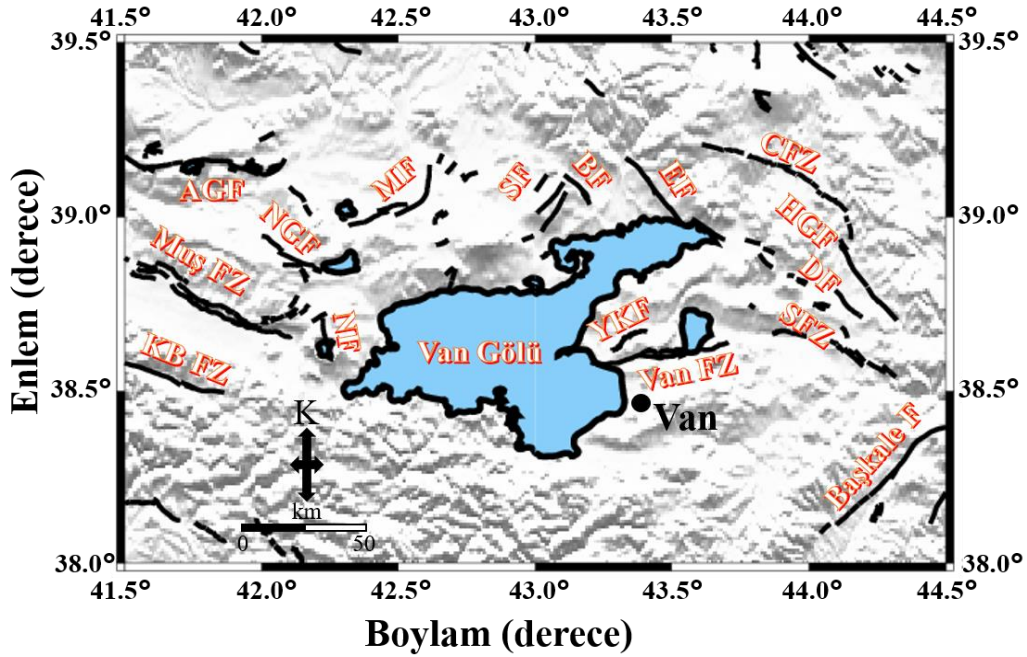


Şekil 3. (a) Doğu Anadolu ve civarındaki ana tektonik birimler (Bozkurt (2001) ve Emre ve ark. (2018)'den değiştirilerek çizilmiştir). İncelenen bölge kırmızı dikdörtgen ile gösterilmiştir. Oklar plaka hız ve yönlerini göstermektedir (Reilinger ve ark., 2006). Kısaltmalar; KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, KDAFZ: Kuzey Doğu Anadolu Fay Zonu, KÜK: Karlıova Üçlü Kesişim, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, BZBK: Bitlis-Zagros Bindirme Kuşağı, ÖDFZ: Ölü Deniz Fay Zonu. (b) Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nden alınan Van Gölü havzası ve civarının Jeoloji haritası (Akbaş ve ark., 2011; Emre ve ark., 2013).

Geç Pliyosende oluşan Van Gölü havzasında genel olarak Paleozoyik dönemden günümüze kadar birçok farklı kayaç birliği yerleşik haldedir. Havzanın güney batısında Bitlis masifi ile ilişkili

Mezozoyik yaşlı metamorfik kayalar, doğusunda Yüksekova karmaşığına ait ofiyolitler, volkanikler ve kırıntılı çökel birimler bulunmaktadır. Van formasyonu olarak isimlendirilen bölgede ise Oligosen-Miyosen yaşlı denizel çökeller ve genel olarak kırıntılı kayalar bulunmaktadır. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nden elde edilen bölgenin jeoloji haritasına göre (Akbaş ve ark., 2011; Emre ve ark., 2013), Van Gölünün batısında Triyas, Paleojen ve Kuvaterner volkanitleri yerleşik durumdadır. Van Gölünün doğusunda ayrılmamış Kuvaterner birimler, Oligosen-Alt Miyosen kırıntılılar, ofiyolitik melanj, Üst Kretase-Paleosen yaşlı bazaltlar ve Pliyosen yaşlı karasal kırıntılılar bulunmaktadır. Van Gölünün güneyinde Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı mermerler ve şistler, kuzeyinde Pliyosen-Kuvaterner yaşlı Piroklastik kayalar hâkimdir (Şekil 3). Diğer taraftan, Doğu Anadolu bölgesindeki kıta-kıta çarpışma ile ilişkili Erzurum-Kars platosundan Arap plakasına kadar devam eden bir volkanik kuşak bulunmaktadır. Bölgede, Van Gölü yakınlarında litolojisi, morfolojisi ve volkanolojik karakterleriyle belirgin stratovolkanlar vardır. Bunlardan başlıcaları Nemrut, Süphan ve Tendürek volkanlarıdır. Tendürek volkanı biraz kuzeyde kalmaktadır. Van Gölü havzasının hemen batısında ve kuzeyinde Kuvaterner yaşlı Nemrut ve Süphan volkanları bu kuşağın bir parçasıdır. Van Gölünün oluşumunu ele alan çalışmalarda, gölün oluşumunda volkanizmanın ve volkanlardan atılan çökelin birinci derecede önemli rol oynadığı belirtilmektedir (Acarlar ve ark., 1991; Çukur ve ark., 2013 ve 2017; Özdemir ve ark., 2019; Ersayar, 2021).

Van Gölü havzası ve civarında birçok aktif fay ve fay zonu bulunmaktadır. Sağ yönlü doğrultu atımlı fay mekanizmasına sahip Dorutay fayı, Hasantimur Gölü fayı, Erciş fayı, Bulamaç fayı, Nazik Gölü fayı, Saray fay zonu, Çaldıran fay zonu ve Kavakbaşı fay zonu iken, sol yönlü doğrultu atımlı fay mekanizmasına sahip Başkale fayı, Malazgirt fayı ve Süphan fayı mevcuttur (Şekil 4). Diğer taraftan havzanın batısında bulunan Nemrut fayı normal fay mekanizmasına sahip iken, doğuda bulunan ve Van yerleşim merkezinde olan Yeniköşk fayı ve Van fay zonu ve havzanın batısında bulunan Muş fay zonu ters fay mekanizmasına sahiptir (Emre ve ark., 2018).

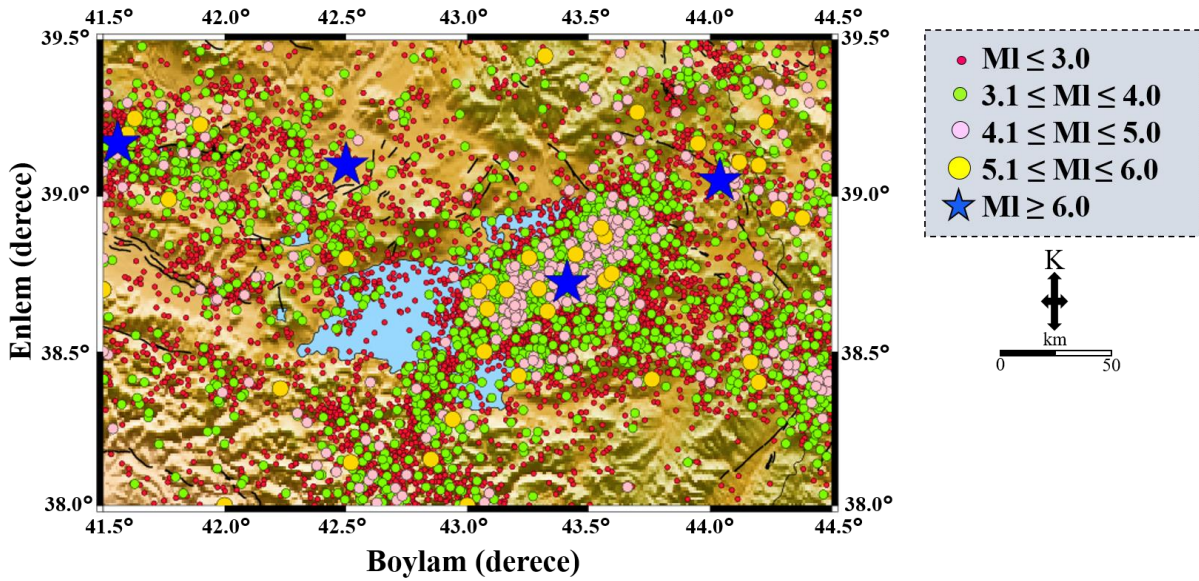


Şekil 4. Van Gölü havzasındaki aktif tektonik faylar (Emre ve ark. (2018)'den değiştirilerek alınmıştır). Kısaltmalar; AGF: Akdoğan Gölü Fayı, NGF: Nazik Gölü Fayı, MF: Malazgirt Fayı, SF: Süphan Fayı, BF: Bulamaç Fayı, EF: Erciş Fayı, CFZ: Çaldıran Fay Zonu, HGF: Hasantimur Gölü Fayı, DF: Dorutay Fayı, SFZ: Saray Fay Zonu, YKF: Yeniköşk Fay Zonu, NF: Nemrut Fayı, KBFZ: Kavakbaşı Fay Zonu.

Tarihsel ve aletsel dönemde bu faylarda meydana gelen depremlerin odak derinlikleri genellikle sığ olmakla birlikte şiddetleri hasar verici ya da yıkıcı düzeydedir. Tarihsel dönemde, 1111 Van depremi (IX), 1276 Erciş depremi (VIII), 1441 Nemrut volkanik aktivitesi, 1646 Van depremi (IX), 1715 Van-

Erciş depremi (VIII), 1881 Nemrut depremi bölgedeki önemli ve yıkıcı depremlerdir (AFAD, 2011). Özellikle aletsel dönemde meydana gelen 1903 Malazgirt depremi ($M=6.3$), 1930 Salmas depremi ($M=7.2$), 1964 Erciş depremi ($M=5.3$), 1976 Çaldıran depremi ($M_s=7.3$), 2011 Van depremi ($M_w=7.1$), 2011 Edremit depremi ($M_w=5.6$), 2020 Khoy depremi ($M_w=5.9$) ve 2020 Saray depremi ($M_w=5.4$) bölgenin tektonik olarak oldukça aktif olduğunun göstergesidir (AFAD, 2011). Bu depremler bölgede ağır hasarlara ve can kayıplarına neden olmuştur. Şekil 5’de aletsel dönemde meydana gelen depremlerin episantr dağılımları gösterilmiştir. Bu depremlerin katalog bilgileri Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü web sayfasından alınmıştır (Koeri, 2022). 1900-2022 yılları için magnitüdüleri $1.0 \leq M_L \leq 8.0$ arasında seçilen sığ depremler (derinlik ≤ 70.0 km) için tarama yapılarak 16920 adet deprem lokasyonu elde edilmiştir.

Aletsel dönemde büyüklüğü 5.0 ve daha büyük olan yaklaşık 50 adet yıkıcı/hasar verici deprem Van Gölü havzasında meydana gelmiştir (Şekil 5). 1976 yılında Çaldıran fay zonu üzerinde meydana gelen deprem, yaklaşık olarak 50 km yüzey kırığı ile bölgedeki bu zamana kadar meydana gelen en büyük deprem olarak kayıtlara geçmiştir (Selçuk ve ark., 2016). 23 Ekim 2011 ve 09 Kasım 2011 tarihlerinde meydana gelen Van depremi ($M_w=7.1$) ve Edremit depremi ($M_w=5.6$) ve bunlarla ilişkili meydana gelen artçı şoklar neticesinde, yaklaşık olarak 644 vatandaşımız hayatını kaybetmiş ve binlerce yapı kullanılamaz hale gelmiştir. 2011 Van depreminin odak mekanizması ters fay karakterinde iken, 09 Kasım 2011 tarihinde Edremit ilçesi yakınlarında meydana gelen depremin odak mekanizması sol yönlü doğrultu atımlıdır (AFAD, 2011). Başka bir ifadeyle, bu iki deprem birbirinden bağımsızdır. Diğer taraftan, bölgede 23 Şubat 2020 tarihinde, Başkale fayı üzerinde doğrultu atımlı mekanizmaya sahip iki adet deprem ($M_w=5.9$) meydana gelmiştir. Son olarak, Saray fay zonu üzerinde 25 Haziran 2020 tarihinde odak mekanizması çözümü normal fay olan bir deprem ($M_w=5.4$) meydana gelmiştir. Sadece bu depremlerin yapısal karakterleri bile bir kez daha göstermiştir ki Van Gölü ve civarı yıkıcı deprem üretme açısından oldukça aktif bir bölge olup, çok sayıda farklı fay sistemine sahiptir (AFAD, 2020a ve 2020b).



Şekil 5. Van Gölü havzası ve civarı için 1900-2022 yılları arasında meydana gelen 16920 adet depremin episantr dağılımı. Depremlerin aletsel büyüklükleri (M_L) yandaki sembollerle gösterilmiştir. Deprem katalog verisi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü web sayfasından alınmıştır (Koeri, 2022).

3. Van Gölü Havzasındaki Deprem Verileri Kullanılarak Yapılan Parametre ve Kestirim Çalışmaları

Van Gölü havzası ve civarı depremsellik açısından her yönüyle ilginç bir bölgedir. Özellikle Doğu Anadolu plakası Arap ve Avrasya plakalarının terslenmesinden dolayı bir sıkışma mekanizması

altındadır. Bölgenin bu aktif tektonik karakteri farklı türde fay mekanizmalarına ve dolayısıyla da aktif depremselliğe sebep olmaktadır. Sismik durağanlık, InSAR, GPS, Gutenberg-Richter (frekans-magnitud) b -değeri, Coulomb gerilme değeri gibi farklı parametreler kullanılarak, birçok bilim insanı Van Gölü havzası için çalışmalar yapmışlardır. Aşağıda, bu çalışmaların önemli bir kısmı verilmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen bulgular, bir sonraki bölümde değerlendirilmiştir.

Taymaz ve ark. (2004), Doğu Akdeniz Bölgesi'nin aktif faylanma ve kabuksal deformasyonunu incelemiştir. Bu tematik çalışma Akdeniz ve civarındaki deniz jeofiziği araştırmaları, Batı Anadolu açıkları için araştırmalar, doğrultu atımlı fay sistemleri ile ilişkili yapısal unsurlar, özellikle Batı Anadolu için sismisite ve İstanbul'daki kuvvetli yer hareketi simülasyonunu içermektedir.

Sayıl (2005), Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki dokuz farklı deprem kaynağı için uzun vadede deprem tekrarlama zamanını ve büyüklüğünü belirlemeye çalışmıştır. Çalışmada, Van Gölü'nün kuzeyi ve güneyi için 10 yıllık olasılıkta (P_{10} , probability) ana şoku takiben büyüklüğü $M_f=6.7$ olan bir depremin meydana gelme ihtimalini $P_{10}=0.46$ olarak belirlemiştir. Diğer taraftan, 30 yıllık olasılıkta (P_{30} , probability) ana şoku takiben büyüklüğü $M_f=6.7$ olan bir depremin meydana gelme ihtimalini ise $P_{30}=0.83$ olarak hesaplamıştır.

Irmak ve ark. (2012), 23 Ekim 2011 Van depreminin ($M_w=7.1$) kırılma sürecini ve artçı şoklarını incelemiştir. Çalışmada, fay düzlem çözümleri ile yüzey kırık geometrisini karşılaştırmışlardır. Van depreminin Doğu Anadolu sıkıştırma zonu üzerinde Van ve Erçek arasında kuzeydoğu-güneybatı eğilimli ters bir fay düzlemi üzerinde meydana geldiğini göstermişlerdir. Fay düzlemi üzerinde büyük atımlı bir asperite "kırılma" bölgesi belirlenmiş ve güneybatı - kuzeydoğu yönlü yayılan ve düz bir kırık yapısı ortaya koymuşlardır.

Bulut ve ark. (2012), DAFZ boyunca meydana gelen sismik aktiviteyi ve fay kinematığını araştırmışlardır. Elde ettikleri hiposantr çözümlerine göre, DAFZ'nun KD-GB ve D-B yönlü alt segmentlerden meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Sol yönlü doğrultu atımlı fay mekanizması ile GPS verilerinden elde ettikleri deformasyon yönlerinin uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Diğer taraftan, lokal ters ve normal faylanmaya sahip odak mekanizması çözümlerini de gözlemlemişlerdir. Hiposantrların gözlemlenen uzaysal-zamansal değişiminin fay zonu üzerindeki ana segmentler boyunca mikro ve orta büyüklükteki depremlerin göçüne karşılık geldiğini belirtmişlerdir.

Öztürk & Bayrak (2012), Doğu Anadolu'da gözlemlenen sismik durağanlığın değişimini incelemiştir. Van Gölü havzası civarında bulunan Başkale Fayı için düşük b -değeri (<0.7) elde etmişlerdir. Diğer taraftan 2009 yılı itibarıyla Z -değerinin değişimini de incelemiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre, Erzurum, Tunceli, Elâzığ-Bingöl ve Van Gölü civarı olmak üzere dört farklı bölge için sismik durağanlıktan ve gelecekteki deprem potansiyelinin bu bölgeler için yüksek olduğundan bahsetmişlerdir.

Bayrak ve ark. (2013), 2011 Van depremi esnasında ortaya çıkan deprem tetikleme Gutenberg-Richter (frekans-magnitud) ilişkisinden hesaplanan b -değeri, artçı şokların azalım ilişkisinden hesaplanan p -değeri, fraktal analizinden hesaplanan D -değeri ve Coulomb gerilme değişiminden hesaplanan gerilme değerinden faydalanarak incelemiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre, ana şokun kosismik kaymasından dolayı, pozitif gerilme transferi artçı şok aktivitesini tetiklemiştir.

Doğan & Karakaş (2013), 2011 Van depreminin ($M_w=7.1$) tektonik yapısını ve kosismik yüzey yırtılma geometrisini incelemiştir. Ana ters fay üzerinde meydana gelen bu depremin gömülü (buried) ya da kör (blind) bir yapı tarafından üretildiğini ve Erciş-Van arasındaki bloklarda olduğunu ifade etmişlerdir. Birincil ters yırtılma ile birlikte ikincil ters bindirme fayı KD doğrultulu sol yanal ve KB doğrultulu sağ yanal bir fay meydana getirmiştir. Ayrıca, yüzey yırtılmasının toplam boyunu 8 km civarında hesaplamışlardır.

Elliott ve ark. (2013), InSAR, cisim dalgası verisi, uydu görüntüleri ve saha çalışması verilerinden faydalanarak 2011 Van depreminin ($M_w=7.1$) fay parametrelerini belirlemeye çalışmışlardır. Van depreminin kuzeye eğimli bir çift ters fay ekseninde meydana geldiğini ve 11 km civarındaki bir alanın yırtıldığını ifade etmişlerdir. Diğer taraftan, fayın kayma yapısının yaklaşık olarak 9 km derinlikte ve yüzey kırığı ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Fielding ve ark. (2013), P - ve SH -dalga analizi, InSAR, GPS ve jeodezik verileri kullanarak 2011 Van depreminin kaynak modellerini karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, ana şok orta kabuk derinliklerinde (~ 25 km) meydana gelmiş ve sığ bölgede kayma daha kısa gerçekleşmiştir.

Görgün (2013), 2011 Van depreminin ($M_w=7.1$) öncesi ve sonrası için Gutenberg-Richter (frekans-magnitud) ilişkisinden elde edilen b -değeri değişimi analizini yapmıştır. 23 Ekim 2011'den

önce Van-Erciş ana şok bölgesinde b -değerlerinin önemli ölçüde daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bununla ilişkili olarak, ana şokun yüksek gerilme ya da düşük b -değerine sahip olan asperite bölgesinde olduğunu ifade etmiştir. Van-Erciş depremi artçı şokları ile ilişkili düşük b -değerlerinin Van Gölü havzasında orta ya da büyük depremlerin gelecekte olabileceği gerçeğini işaret etmiştir.

Utkucu ve ark. (2013), 23 Ekim 2011 Van depreminin ($M_w=7.1$) öncesi ve sonrası için Coulomb statik gerilme değişimlerini incelemişlerdir ve gelecekte meydana gelebilecek olan deprem tehlikesi etkilerinin azaltılması hakkında çalışmışlardır. 2011 Van depreminin ardından Gürpınar fayı üzerindeki sığ gerilme yapısının daha belirgin hale geldiğini ve 1646 Van depreminin tekrarlanmasının bastırıldığını ifade etmişlerdir. Utkucu ve ark. (2013), ana şok yırtılma bölgesiyle ilişkili olarak artçı şokların kaynak mekanizması ve dağılımının dört farklı bölgede toplandığını belirtmişlerdir. Buna ek olarak, artçı şokların bölgenin daha çok kuzeydoğusunda yoğunlaştığını ifade etmişlerdir. Bu yoğunlaşmanın gelecekteki artçı şoklar ve deprem tehlikesinin azaltılması için önemli bir fikir vereceğini belirtmişlerdir.

Degori ve ark. (2014), 2011 Van depreminin ($M_w=7.1$) artçı şok aktivitesinin mekânsal ve zamansal özelliklerini, fay ekseninin yüzey görüntüsünden elde edilen parametreler ve Gutenberg-Richter b -değeri değişiminden faydalanarak incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, Van fay zonu boyunca 0.9-1.5 arasında değişen b -değeri değişimlerini hesaplamışlardır. Yüksek b -değerleri ana şokun episantr bölgesi civarında ve düşük b -değerleri fayın civar bölgelerinde elde edilmiştir.

Doğan ve ark. (2014), asismik fay aktivitesini kanıtlamak için 23 Ekim 2011 Van depremini takiben meydana gelen post-sismik deformasyonu incelemişlerdir. Jeodezik gözlemlere göre, kosismik bindirme fayının taban bloğu ana şokun ardından yeniden aktif hale gelmiştir. Elde edilen sonuçlarda, InSAR modellerden oluşturulan kosismik fayın sığ kısmındaki kayma miktarı asismik kayma ile ilişkilendirilmiştir. Asismik kaymanın neden olduğu gerilme transferi aktif faylar için deprem risk değerlendirmesinde dikkate alınabileceğini belirtmişlerdir.

Kalafat ve ark. (2014), 23 Ekim 2011 Van depreminin ve artçı şoklarının odak mekanizması çözümlerini, gerilme rejimi ve deformasyon karakteristiği açısından incelemişler ve genel olarak, DB ve KD-GB yönlü fayların bölgedeki deprem aktivitesine sebep olduğunu belirtmişlerdir. Odak mekanizması çözümlerinin, ana şokun ters fay karakteristiğinde olduğunu gösterdiğini ve deprem aktivitesinin sıkışma rejimi ile ilişkili olarak devam ettiğini ifade etmişlerdir. Sonuç olarak Kalafat ve ark. (2014)'na göre, Van depreminin bölgesel gerilme değişimine neden olduğunu ve civar faylarda meydana gelebilecek orta büyüklükteki depremleri tetikler nitelik taşıdığını belirtmişlerdir.

Gutenberg-Richter b -değeri, sismik durağanlık Z -değeri, yıllık olasılık ve tekrarlama zamanı parametrelerine bağlı olarak, Öztürk (2017) Doğu Anadolu bölgesi için gelecek deprem potansiyeli varsayımında bulunmuştur. Van Gölünün kuzeyi ve Malazgirt fayı civarı için düşük b -değeri ve Z -değeri hesaplanmıştır. Bu düşük değerlerin gelecekte güçlü deprem oluşumu için bir kanıt olabileceğini ifade etmiştir. Bölge için aletsel büyüklüğü 5.0 ve üzeri olan depremlerin geri dönüş periyodunun 13 yıl civarında olduğunu hesaplamıştır.

Işık ve ark. (2017), 2011 Van depreminin artçı şoklarının uzaysal-zamansal dağılımını ve mekanizmasını incelemişlerdir. Artçı şok aktivitesinin, ana şokun D-B yönlü sağ yönlü bir fay ve kosismik yırtılmanın sonlanmasıyla ilişkili sol yönlü bir fayın tetiklenmesiyle ortaya çıktığını ifade etmişlerdir. Ayrıca, ana şokla ilişkili pozitif Coulomb gerilme değişiminin de bu aktivitelerle uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Işık ve ark. (2017), Van fay zonunun K-G doğrultulu sol yönlü bir fay tarafından kesildiğini belirtmişlerdir.

Çoban & Sayıl (2018), DAFZ ve yakın çevresinin depremselliğini Poisson ve Üstel dağılım modelleri ile araştırmışlardır. Çalışma bölgesi için Poisson modeline göre, gelecek 10 yıl içerisinde büyüklüğü ($M_s \geq 5.0$) olan bir depremin olma olasılığı %100'e yakın ve tekrarlama periyodu 2 yıl olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan Üstel dağılım modeline göre, büyüklüğü ($M_s \geq 5.2$) olan bir depremin olma olasılığı %30'a yakın ve tekrarlama periyodu 4 yıl olarak belirlenmiştir.

Öztürk (2018), b -değeri, D_c -değeri ve Z -değeri parametrelerini kullanarak, Doğu Anadolu bölgesi için deprem aktivitesinin bölge-zaman analizini incelemiştir. Çalışmada, yüksek Z -değeri ve düşük b -değerine sahip bölgelerin gelecek depremler için riskli bölgeler olduğunu ifade etmiştir. Buna göre, büyük Z -değeri ve küçük b -değeri olan bölgeler çalışma bölgesinde mevcuttur. Van Gölü havzası ve civarı için Erciş fayı, Yeniköşk fayı, Van fay zonu ve Saray fay zonunu içeren bölgelerin yüksek riskli bölgeler olduğunu ifade etmiştir.

Toker ve ark. (2021), telesismik dalga formlarından faydalanarak, 23 Ekim 2011 Van depreminin tetiklediği fay dışı doğrultu atımlı hareketleri incelemiştir. Çalışmada, kabuksal yapıların gerilme dağılımlarındaki yanal değişimlerini etkilediği ifade edilmiştir. Van Gölü ve Erçek Gölü altındaki kabuksal uzanım nedeniyle fay alanı dışında yeni bir transfer fayın gerilme etkileşimine katkısı olduğunu belirtmişlerdir ki bu etkileşim Erçek Gölü tabanında tek kanallı, yüksek çözünürlüklü sismik yansıma verileriyle de ortaya konulmuştur (Toker & Tur, 2018). Ayrıca Tokar & Şahin (2019), Van Gölünün tabanını teşkil eden kabuk yapısında, magmatik birikim ve bu birikim dahilinde olmak üzere, lokal kabuksal kalınlaşmaların varlığından bahsetmişlerdir. Tokar ve ark. (2017a) ise, bu magmatik oluşumların sismik yansıma görüntülerini Van Gölü tabanında göstermişlerdir.

Alkan & Bayrak (2022), Van Gölü havzasının Coulomb gerilme değişimi ve *b*-değeri dağılımını farklı derinlik seviyeleri için incelemiştir. Gerilme transferi ve *b*-değeri değişimi arasındaki ters orantıdan faydalanarak bölge için yüksek riskli bölgelerin varlığını ortaya koymuşlardır. Buna göre, Van Gölünün doğusunda bulunan Başkale fayı, Çaldıran fay zonu, Van fay zonu ve Yeniköşk fayı civarında deprem üretme potansiyelinin daha yüksek olduğunu, fakat batı ve kuzey bölgelerinde özellikle Nemrut ve Süphan volkanları civarında riskin daha düşük olduğunu ifade etmişlerdir.

4. Van Gölü Havzasındaki Yerleşim Alanlarında Mühendislik Parametrelerine Bağlı Jeofizik ve Yapı-Zemin İlişkisi Çalışmaları

Mühendislik yapılarının kurulu olduğu alanlarda bölgenin büyük ve yıkıcı deprem üretme potansiyeli ile birlikte bölgedeki bina kalitesi ve zemin özellikleri de depremlere bağlı hasar oranını arttıran etkilerin başında gelmektedir. Deprem dalgaları zemin tabakalarından geçerken dayanım azalması, sıvılaşma, zemin büyütmesi ve zemin yenilmeleri gibi problemlere neden olabilir.

Van Gölü havzasındaki yerleşim alanlarının çoğu genel itibariyle gevşek ve suya doymuş alüvyon karakteristiğindeki güncel göl ve akarsu tortullarının düzlükleri üzerinde kuruludur. Dolayısıyla, deprem dalgalarının karakteristiğini değiştirerek farklı şiddet derecelerinde hasara yol açabilecek bu tür yerel zemin koşullarının farklılığından kaynaklı etkilerin detaylı olarak ortaya konulması gerekmektedir. Bu amaçla yapılan çalışmaların başında jeofizik yöntemlere dayalı elde edilen mühendislik parametreleri ve bunların yapısal unsurlar üzerine etkilerinin incelenmesi gerekmektedir. Yerel zemin koşullarının statik ve dinamik yükler altındaki davranışları, deprem kaynak özellikleri, yapı-zemin etkileşimi ve yapı kalitesi hasar derecesini etkileyen ana faktörlerdir ve bir arada bütünleşik olarak değerlendirilmelidir. 23 Ekim 2011 ($M_w=7.1$) Van depremi sonrası meydana gelen büyük hasar ve can kayıpları bu durumun bölge için son göstergelerindendir. Van Gölü havzası ve civarında gerek jeofizik ve gerekse jeolojik yöntemlerle yapısal incelemelere dayalı farklı parametreler kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır.

Tapan ve ark. (2013), 23 Ekim 2011 ve 9 Kasım 2011 Van ve Edremit depremleri sonrasında depremlerin yapı türlerine etkilerini incelemiştir. Çalışmada gözlemlenen yapısal hasarların taşıyıcı sistemdeki düzensizliklerin boyutu, işçilikteki yetersiz kalite düzeyi ve yetersiz yapı malzemesi kullanımı ile doğrudan ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Kalkan & Gülkan (2013), jeolojik, tektonik ve sismolojik verileri kullanarak Van ili ve çevresi için yuvarlatılmış karelej depremsellik modeli oluşturmuşlar ve bu modeli dikkate alarak, deprem riski hesaplamaya çalışmışlardır. Çalışmada, Van şehir merkezi için deprem yer hareketinden kaynaklanan yer ivmesinin ortalama 475 yıl için 0.44 g ve ortalama 2475 yıl için ise 0.76 g olduğunu hesaplamışlardır.

Akinci & Antonioli (2013), 23 Ekim 2011 Van depreminin temel özelliklerini inceleyerek, ana şokun yer hareketi özelliklerini analiz etmişlerdir. En büyük yer ivmesi (PGA), hızı (PGV) ve spektral ivme açısından (SA) Van depreminin yer hareketi özelliklerini incelemiştir. Zengin & Caktı (2014), stokastik sonlu fay yöntemini kullanılarak 23 Ekim 2011 Van depreminin kuvvetli yer hareketi simülasyonlarını incelemiştir.

Akkaya ve ark. (2015), 23 Ekim 2011 ($M_w=7.1$) Van depreminden sonra Van ili ile Erciş ilçesi arasında kalan ve yüksek derecede hasara uğramış köylerdeki yapıları ve zemin koşullarını mikrotremor yöntemi ile incelemiştir. Köy konutlarındaki hasar derecelerinde yerel zemin koşullarının ve topoğrafik değişimlerin önemli derecede etkili olduğunu ifade etmişlerdir. Elde ettikleri periyot ve büyütme sonuçlarının bu durumu destekler nitelikte olduğunu ve hasarlarla yüksek derecede korelasyon gösterdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, hasar derecesinde yamaç etkisinin önemini ortaya koymuşlardır.

Akkaya ve ark. (2018a ve 2018b), Van ili Erciş ilçesinin kayma dalga hızı (V_s) ve *SPT* değerlerine bağlı sıvılaşma potansiyelini incelemişlerdir. Bölgede meydana gelebilecek farklı büyüklükteki depremlerin üreteceği farklı ivme değerlerine bağlı analizler yapmışlardır. Jeofizik ve jeolojik verilere dayalı analizler sonucunda Erciş yerleşim alanı ve çevresinde sıvılaşma olabilecek alanlar ortaya konulmuştur.

Erdil ve ark. (2018), 23 Ekim 2011 Van depreminden ($M_w=7.1$) sonra hasar görmüş Van kalesi civarındaki tarihi yapılardan Ulu Cami'yi hem mikrotremor ölçümleriyle hem de modal analizle incelemişlerdir.

Akkaya & Özvan (2019), Van ili yerleşim alanı ve çevresi için jeofizik yöntemlere (sismik kırılma, yüzey dalgalarının çok kanallı analizi ve mikrotremor) ve jeoteknik sondaj verilerine dayalı mühendislik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma alanı için Coğrafi Bilgi sistemine (GIS) dayalı mühendislik parametrelerini (V_{s30} , zemin sınıfı, baskın periyot ve zemin büyütmesi) içeren veri tabanları oluşturmuşlardır. Yüzeyden ilk 30 m'ye kadar ki ortalama kayma dalga hızının (V_{s30}) Van ili yerleşim alanı ve çevresinde 180 m/s ile 850 m/s arasında değiştiğini, buna bağlı olarak da bölgenin farklı alanlarında farklı zemin sınıflarının hâkim olduğunu belirlemişlerdir. Elde ettikleri zemin hakim titreşim periyot değerlerinin (0.11-1.5 sn) göreceli olarak yerleşim alanında yüksek değerler sergilediğini, bunun bölge için kalın alüvyon yapısına ve yapısal unsurlarla farklı bölgelerde farklı derecelerde etkileşime neden olabileceğini ifade etmişlerdir. Diğer taraftan, düşük periyot değerleri çalışma alanının kuzey ve doğusunda, yüksek periyot değerleri ise yerleşimin yoğun olduğu merkez bölgelerde elde edilmiştir. Bu bulgularında, bölgedeki jeoteknik sonuçlarla doğrulandığı çalışma da ayrıca belirtilmiştir.

Şengül ve ark. (2019), Edremit ilçesi ve Van ilinin güney kesiminde yer alan traverten birimlerindeki deformasyon modelini araştırmışlardır. Çalışmada, iki boyutlu (2-D) elektrik öz direnç tomografi (ERT) profilleri kullanılarak, yüzeydeki ve yüzey altındaki fayların yapısal ve stratigrafik ilişkileri incelenmiştir.

Erdil & Ceylan (2019a), 2011 Van depremi, 2003 Bingöl depremi ve 2002 Afyon depreminde hasar görmüş 192 bina verilerini dikkate alarak sismik hasar analizi yapmışlardır. Binalara ilişkin kullanılan parametrelerin etkisi, sismik performans, her parametrenin ağırlık faktörleri ve hasar seviyesini tahmin etme başarısını incelemişlerdir.

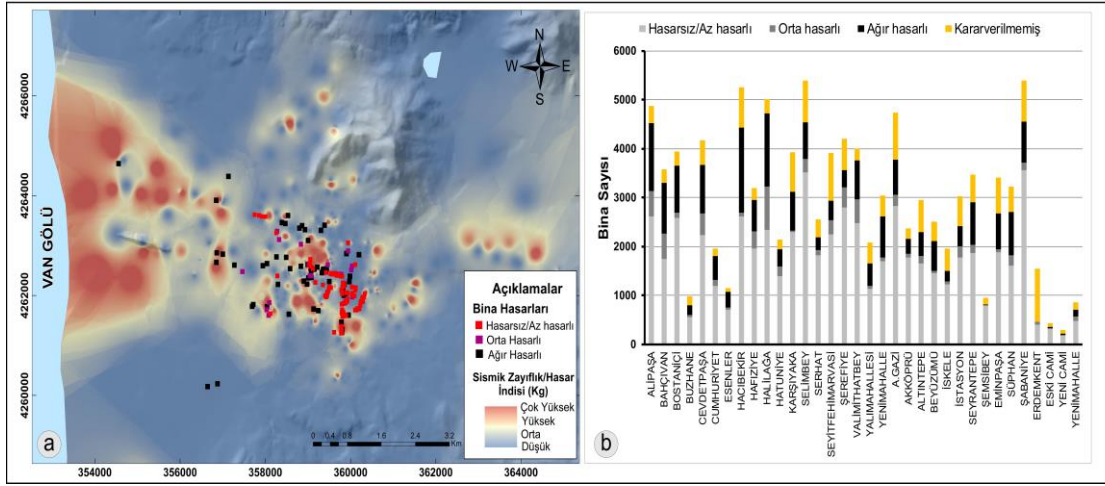
Erdil & Ceylan (2019b), 2011 Van depreminde hasar görmüş binalarda olmak üzere moment, kesme kuvveti ve eksenel yük (MVP) etkileşim tabanlı yeni bir yöntemle binaların sismik performanslarını incelemişlerdir. Çalışmada kullanılan yöntemle detaylı değerlendirme tekniklerine göre daha az zaman harcanarak binaların ön sismik hasar değerlendirmesinde kullanılabilir basit denklemler önermişlerdir.

Mikrotremor kayıtlarının spektral oranını kullanan Akkaya (2020a), Van ili yerleşim alanı ve çevresi için zemin hâkim titreşim periyodu, büyütme değeri ve sismik hasar indisi (K_g) değerlerini hesaplamıştır. Çalışmada elde ettiği K_g değerleri ile Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından üretilen 23 Ekim 2011 Van depreminden sonra meydana gelen bina hasarlarını bir arada değerlendirmiştir (Şekil 6). İncelenen binaların hasar durumlarının hasar indisi ile ilişkili olduğunu ifade etmiştir.

Akkaya (2020b), yüksek sismik hasar indisi (K_g) değerleri ile muhtemel büyük bir deprem ile ilişkili yüksek ivme değerlerinin hasara neden olan plastik davranış ve göçme davranışını tetikleyeceğini ifade etmiştir. Aynı zamanda, zemin dinamik davranışının da oldukça etkili olduğu sonucuna varmıştır.

Aktif ve pasif kaynaklı yüzey dalgası yöntemlerini kullanan Alkan & Akkaya (2021), Van ili Çaldıran ilçesi ve civarının zemin özelliklerini incelemişlerdir. V_s hızlarına dayalı olarak, çalışma bölgesinin mühendislik özelliklerini belirlemiş ve yapı-zemin ilişkisini değerlendirmişlerdir.

Erdeve Özvan ve ark. (2021), AFAD tarafından yürütülen İl Afet Risk Azaltma Planı (İRAP) çerçevesinde, Van Gölünün doğusunda yer alan eski göl ve akarsu tortullarından oluşan Bardakçı yerleşkesindeki Pleistosen-Holosen yaşlı kil çökellerini ve bu bölgede bulunan bindirme fayının etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, fayın tavan bloğunun zemin özelliklerinin taban bloğuna göre daha düşük dayanımda olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, bu tür faylarda tampon bölgenin fayın taban bloğuna göre tavan bloğunda daha geniş tutulması gerekliliğinden bahsetmişlerdir.



Şekil 6. (a) Van ve civarının sismik hasar indisi (K_g) haritası. (b) 2011 Van depremi hasarlı binaların dağılımı (Akkaya (2020a)’dan değiştirilerek alınmıştır).

5. Tartışma ve Sonuç

Doğu Anadolu önemli tektonik fay ve fay sistemlerine sahip Türkiye'nin önemli sismik bölgelerinin başında gelmektedir. Doğu Anadolu plakasında oldukça özel bir konuma sahip olan Van Gölü havzası da depremsellik açısından oldukça aktif bir bölgedir. Aletsel ve tarihsel dönemde bu bölgede birçok büyük ve yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Bu depremler bölge halkının yaşam koşullarını oldukça zor hale getirmiştir. Özellikle son zamanlarda meydana gelen 1976 Çaldıran depremi, 1999 Erciş depremi, 2000 Gevaş depremi, 2011 Van depremi, 2011 Edremit depremi ve 2020 Hoy depremi için hesaplanan odak mekanizması çözümleri de genellikle birbirinden farklı fay sistemlerinin bölgede hâkim olduğunu göstermiştir. Diğer taraftan, 2011 Van depremi ($M_w=7.1$) için ayrı bir parantez açmak gerekmektedir. Van depremi ana ve artçı şokları Van şehir merkezinde ve çevre yerleşkelerde büyük kayıplara neden olmuştur. Sadece Van depremi ana şokunun ürettiği enerji 15000 ton TNT x 33.2 (1 Ton TNT=4.2x10⁹ jul) (AFAD, 2011) olduğu düşünüldüğünde, ortaya çıkan riskin ne kadar büyük olduğunun anlaşılması için yeterlidir. Bu depremin ana şokundan sonraki ilk üç ay içerisinde farklı büyüklüklere sahip yaklaşık 6200 adet artçı şok meydana gelmiştir (Bayrak ve ark., 2013). Bu artçı şok aktivite sayısı bile insanların yaşadığı travmanın büyüklüğünü ispatlar niteliktedir. Bu doğa olayının afete dönüşmemesi için farklı disiplinlerdeki bilim insanları yoğun mesai harcamaktadır. Bu duruma bir çözüm üretmek için depremlerin önceden kestirilmesi, tehlike/risk çalışmaları ve yapı-zemin ilişkileri gibi çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

Doğu Anadolu sıkışma bölgesinde, büyük/yıkıcı deprem üretme ihtimali bulunan dört adet sismik boşluktan bir tanesi "Doğu Van Segmenti" dir. Bu bölgede, sağ yanallı fay mekanizması genellikle bulunmakla birlikte, sık mikro-deprem aktivitesi gözlenmektedir. Van Gölünün doğusunda yer alan bu bölge sismik boşluk olarak nitelendirilmekte ve zamansal boşluk modeliyle benzerlik göstermektedir. Az sayıda büyük magnitüdü ve çok sayıda küçük magnitüdü deprem aktivitesi ile temsil edilen bu bölgenin sismik karakterini anlama açısından kabuk yapısı oldukça önemlidir. Astenosferin yükselmesine bağlı olan yüksek ısı akışı, kısmi magmatik füzyon ve yoğun volkanotektonik etkileşim, kabuğun reolojik özelliklerini etkileyerek alt-üst kabuk sınırı arasındaki makaslama dayanımını düşürmüştür. Bu nedenle alt kabuk sünek davranarak sismojenik olarak etkisizleşmiş, astenosfer ile üst kabuk arasındaki sınır sığ düzeylere (10 km) taşınmıştır. Bunun sonucunda astenosferden bir sıyrılma düzlemi ile ayrılan üst kabuk dilimleri astenosferden bağımsız karmaşık bir tektonik rejim geliştirmiştir. Bu tektonik rejim, nispeten sığ odak derinliklerine sahip yoğun deprem aktivitesine neden olmaktadır (Toker & Şahin, 2019; Toker ve ark., 2021).

Van Gölü yükselmesine neden olan lokal olarak yukarı çekme yükselimi, kabuk altı derinliklerdeki düşük yoğunluklu kayaların oluşumuna dair izostatik bir tepki olarak gelişebilmektedir (Şengör ve ark., 2003). Bu düşük yoğunluklu lokal yükselimi alanı, ince kabuk kaynaklı yüksek sıcaklıklardan kaynaklanan düşük yoğunluklu üst manto yapısıyla karşılaştırılabilir. Yukarı çekme yükselimi, düşük yoğunluklu akışkan malzemeden (kabuk içindeki kütle yetersizliği, "mass deficiency")

ya da denge durumundan büyük sapmalarla (large deviations in crustal equilibrium) ya da düşük hız zonunun (low velocity zone) varlığıyla desteklenir. Bu sonuçlar, Van Gölünün sıkışmalı kabuk yapısının ince olduğunu, üst manto tarafından yukarı çekildiğini ve üst kabuğu oluşturan bindirme-ters fay kontrollü blok-dilimlerinin yeniden hareketlenerek organize olduğunu göstermektedir, bu durum Van Gölü depremselliğini ciddi bir şekilde etkilemektedir (örn., Erçek Gölü, Toker ve ark., 2017b). Burada ifade edilen bulgular, son yıllarda yapılan, sismik (Toker ve ark., 2017a ve 2017b; Toker & Tur, 2018) ve sismolojik (Çınar & Alkan, 2017; Toker & Şahin, 2019; Toker ve ark., 2021; Alkan ve ark., 2020) çalışmalarla da desteklenmektedir.

Çalışma bölgesindeki yerleşim alanları genellikle alüvyon birimler üzerine kuruludur. Olası hasar verici depremlerde bu birimler deprem dalgalarının yüzeye yakın bölgelerde ve yapısal unsurlarda etkilerini arttırabilmektedir. Özellikle 2011 Van depreminden sonra gerçekleştirilen jeofizik ve yapı-zemin ilişkisi çalışmalarında zayıf zemin karakteristiğinin önemi vurgulanmıştır (Tapan ve ark., 2013; Kalkan & Gülkan, 2013; Akkaya ve ark., 2015; Erdil ve ark., 2018; Erdil & Ceylan, 2019a; Akkaya & Özvan, 2019; Akkaya, 2020a ve 2020b; Özvan ve ark., 2021). Depreme bağlı yapısal hasarların azaltılması için depremlerin özellikleri, zemin yapısı ve yapı kalitesi birlikte değerlendirilmelidir. Bunun için; depremin büyüklüğü, ivmesi, depremi üreten fayın tipi, yırtılma hızı, fayın yapılarla olan uzaklıkları ile birlikte zeminin yanal ve düşey yöndeki mühendislik özelliklerinin detaylı olarak belirlenmesi son derece önemlidir. Ayrıca, taşıyıcı sistemdeki düzensizlikler, işçilikteki yetersiz kalite düzeyi ve yetersiz yapı malzemesi kullanımı da yapısal hasarlarda doğrudan etken parametrelerdendir (Tapan ve ark., 2013). Bununla birlikte hem zemin hem de bina için hesaplanabilen sismik hasar indisi yapının olası depremler sonrası performansının değerlendirmesinde kullanılabilir parametrelerden biridir (Akkaya, 2020a). Özellikle inşaat mühendisleri tarafından geliştirilen yapı değerlendirme yöntemleri yapıların deprem performanslarının irdelenmesinde son derece önemli bilgiler vermektedir.

Bu çalışmada, Van Gölü havzası ve civarının depremselliği ve gelecek için deprem tehlikesi olan bölgeler incelenmeye çalışılmıştır. Literatürde, Van Gölü havzası ve civarı için farklı sismolojik parametreler kullanılarak yapılan çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmaların bir kısmından elde edilen bulgular değerlendirilip, çıkarımlar yapılmıştır. Oldukça kısa geri dönüş periyoduna sahip tahminler (~13 yıl) bölgede aletsel büyüklüğü 5.0 ve üstü olan depremlerin olabileceği gerçeğini ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, Başkale fayı, Erciş fayı, Çaldıran fay zonu, Van fay zonu, Saray fay zonu ve Yeniköşk fayı civarında deprem üretme potansiyelinin daha yüksek olduğu, bunun aksine Van Gölünün batısında ve kuzeyinde genel olarak riskin daha düşük olduğu ifade edilmiştir.

Teşekkür

Çalışma da bazı şekiller Generic Mapping Tools (GMT) programı kullanılarak çizilmiştir (Wessel ve ark., 2013).

Kaynakça

- Acarlar, M., Bilgin, A. Z., Elibol, E., Erkan, T., Gedik, İ., Güner, E., Hakyemez, Y., Şen, A. M., Uğuz, M. F., & Umut, M. (1991). *Van Gölü Doğusu ve Kuzeyinin Jeolojisi*. Ankara, Türkiye: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi Yayını, Rapor No: 9469.
- AFAD (T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı) (2011). *Van Depremi (23 Ekim 2011) Raporu*. Ankara, Türkiye: Deprem Dairesi Başkanlığı.
- AFAD (T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı) 2020a. *23 Şubat 2020 Hoy (İran) Mw 5.9 Depremlerine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu*. Ankara, Türkiye: Deprem Dairesi Başkanlığı.
- AFAD (T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı) (2020b). *25 Haziran 2020 Saray (İran) Mw 5.4 Depremlerine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu*. Ankara, Türkiye: Deprem Dairesi Başkanlığı.
- AFAD. (2022). Afet ve Acil Durum Yönetmeliği Başkanlığı (AFAD) Tarihsel Dönem Deprem Kataloğu. [AFAD | deprem.gov.tr](https://www.afad.gov.tr). Erişim tarihi: 26.09.2022.
- Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., & Altun, İ. E. (2011). *1:1.250.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası*. Ankara, Türkiye: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını.

- Akıncı, A., & Antonioli, A. (2013). Observations and stochastic modelling of strong ground motions for the 2011 October 23Mw 7.1 Van, Turkey, Earthquake. *Geophysical Journal International*, 192(3), 1217-1239. doi:10.1093/gji/ggs075
- Akkaya, İ., Özvan, A., Tapan, M., & Şengül, M. A. (2015). Determining the site effects of 23 October 2011 earthquake (Van province, Turkey) on the rural areas using HVSR microtremor method. *Journal of Earth System Science*, 124(7), 1429-1443. doi:10.1007/s12040-015-0626-1
- Akkaya, İ., Özvan, A., Akın, M., Akın, M. K., & Övün, U. (2018a). Comparison of SPT and Vs-Based liquefaction analyses: A case study in Erciş (Van, Turkey). *Acta Geophysica*, 66, 21-38. doi:10.1007/s11600-017-0103-0
- Akkaya, İ., Özvan, A., Övün, U., Akın, M., & Akın, M. (2018b). Kayma Dalgası Hızı (Vs) Kullanılarak Erciş (Van) Yerleşim Alanının Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 55-68. doi:10.21605/cukurovaummfd.357197
- Akkaya, İ., & Özvan, A. (2019). Site characterization in the Van settlement (Eastern Turkey) using surface waves and HVSR microtremor methods. *Journal of Applied Geophysics*, 160, 157-170. doi:10.1016/j.jappgeo.2018.11.009
- Akkaya, İ. (2020a). Availability of seismic vulnerability index (Kg) in the assessment of building damage in Van, Eastern Turkey. *Earthquake Engineering Vibration*, 19(1), 189-204. doi:10.1007/s11803-020-0556-z
- Akkaya, İ. (2020b). Jeofizik verilerinden elde edilen sismik zayıflık indisinin yapı hasar dağılımının belirlenmesinde kullanılabilirliği. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(4), 1711-1723. doi:10.17798/bitlisfen.668611
- Alkan, H., Çınar, H., & Oreshin, S. (2020). Lake Van (southeastern Turkey) experiment: Receiver function analyses of lithospheric structure from teleseismic observations. *Pure and Applied Geophysics*, 177, 3891-3909. doi:10.1007/s00024-020-02447-7
- Alkan, A., & Akkaya, İ. (2021). Aktif tektonizma etkisi altındaki Çaldıran (Van) yerleşim alanının yüzey dalgası yöntemleriyle incelenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(4), 1435-1447. doi:10.17798/bitlisfen.959503
- Alkan, H., Büyüksaraç, A., Bektaş, Ö., & Işık, E. (2021). Coulomb stress change before and after 24.01.2020 Sivrice (Elazığ) Earthquake (Mw=6.8) on the East Anatolian Fault Zone. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 2648. doi:10.1007/s12517-021-09080-1
- Alkan, H. (2022). Crustal structure in and around the East Anatolian volcanic belt by using receiver functions stacking. *Journal of African Earth Sciences*, 191, 104532. doi:10.1016/j.jafrearsci.2022.104532
- Alkan, H., & Bayrak, E. (2022). Coulomb stress changes and magnitude-frequency distribution for Lake Van region. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 168, 141-156. doi:10.19111/bulletinofmre.990666
- Ateş, R., & Bayülke, N. (1977). *26 Mart 1977 Palu Elazığ Depremi*. Ankara, Türkiye: Deprem Araştırma Daire Başkanlığı.
- Bayrak, Y., Yadav, R. B. S., Kalafat, D., Tsapanos, T. M., Çınar, H., Singh, A. P., Bayrak, E., Yılmaz, Ş., Öcal, F., & Koravos, G. (2013). Seismogenesis and earthquake triggering during the Van (Turkey) 2011 seismic sequence. *Tectonophysics*, 601, 163-176. doi:10.1016/j.tecto.2013.05.008
- Bayrak, E., Yılmaz, Ş., Softa, M., Türker, T., & Bayrak, Y. (2015). Earthquake hazard analysis for East Anatolian fault zone, Turkey. *Natural Hazards*, 76(2), 1063-1077. doi:10.1007/s11069-014-1541-5
- Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey - A synthesis. *Geodinamica Acta*, 14(1-3), 3-30. doi:10.1080/09853111.2001.11432432
- Bulut, F., Bohnhoff, M., Eken, T., Janssen, C., Kılıç, T., & Dresen, G. (2012). The East Anatolian fault zone: Seismotectonic setting and spatiotemporal characteristics of seismicity based on precise earthquake locations. *Journal of Geophysical Research*, 117(B7), B07304. doi:10.1029/2011JB008966
- Çınar, H., & Alkan, H. (2017). Crustal S-wave structure around the Lake Van region (eastern Turkey) from interstation Rayleigh wave phase velocity analyses. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 26(1), 73-90. doi:10.3906/yer-1605-13

- Çoban, K. H., & Sayıl, N. (2018). Investigation of the seismicity of East Anatolian fault zone (EAFZ) according to Poisson and Exponential distribution models. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(2), 491-500.
- Çoban, K. H., & Sayıl, N. (2020). Different probabilistic models for earthquake occurrences along the North and East Anatolian fault zones. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 971. doi:10.1007/s12517-020-05945-z
- Çukur, D., Krastel, S., Demirel-Schlüter, F., Demirbağ, E., İmren, C., Niessen, F., Toker, M., & PaleoVan-Working Group (2013). Sedimentary evolution of Lake Van (Eastern Turkey) reconstructed from high-resolution seismic investigations. *International Journal of Earth Sciences*, 102, 571-585. doi:10.1007/s00531-012-0816-x
- Çukur, D., Krastel, S., Tomonaga, Y., Schmincke, H. U., Sumita, M., Meydan, A. F., Çağatay, M. N., Toker, M., Kim, S. P., Kong, G. S., & Horozal, S. (2017). Structural characteristics of the Lake Van Basin, eastern Turkey, from high-resolution seismic reflection profiles and multibeam echosounder data: geologic and tectonic implications. *International Journal of Earth Sciences*, 106, 239-253. doi:10.1007/s00531-016-1312-5
- Degori, P., Akinci, A., Lucente, F. P., & Kılıç, T. (2014). Spatial and temporal variations of aftershock activity of the 23 October 2011 Mw 7.1 Van, Turkey, Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 104(2), 913-930. doi:10.1785/0120130118
- Doğan, B., & Karakaş, A. (2013). Geometry of co-seismic surface ruptures and tectonic meaning of the 23 October 2011 Mw 7.1 Van earthquake (East Anatolian Region, Turkey). *Journal of Structural Geology*, 46, 99-114. doi:10.1016/j.jsg.2012.10.001
- Doğan, U., Demir, D. Ö., Çakır, Z., Ergintav, S., Özener, H., Akoğlu, A. M., Nalbant, S. S., & Reilinger, R. (2014). Postseismic deformation following the Mw 7.2, 23 October 2011 Van earthquake (Turkey): Evidence for aseismic fault reactivation. *Geophysical Research Letters*, 41(7), 2334-2341. doi:10.1002/2014GL059291
- Elliott, J. R., Copley, A. C., Holley, R., Scharer, K., & Parsons, B. (2013). The 2011 Mw 7.1 Van (Eastern Turkey) earthquake. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 118(4), 1619-1637. doi:10.1002/jgrb.50117
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., & Şaroğlu, F. (2013). *Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000*. Ankara, Türkiye: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H., & Çan, T. (2018). Active fault database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16, 3229-3275. doi:10.1007/s10518-016-0041-2
- Erdeve Özvan, E., Çetin, H., Özvan, A., & Akkaya, İ. (2021). Van bindirme fayı tampon zonunun il afet risk azaltma planı (İRAP) çerçevesinde değerlendirilmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(3), 1036-1046. doi:10.17714/gumusfenbil.933740
- Erdil, B., Tapan, M., Akkaya, İ., & Korkut, F. (2018). Effects of structural parameters on seismic behaviour of historical masonry minaret. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 62(1), 148-161. doi:10.3311/ppci.10687
- Erdil, B., & Ceylan, H. (2019a). A detailed comparison of preliminary seismic vulnerability assessment methods for RC buildings. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 43, 711-725. doi:10.1007/s40996-019-00234-6
- Erdil, B., & Ceylan, H. (2019b). MVP interaction based seismic vulnerability assessment of RC buildings. *Gradevinar*, 71, 489-503. doi:10.14256/JCE.2441.2018
- Ersayar, I. (2021). *Determination of the geological properties of the Quaternary fluvial and lacustrine deposits in the Engil Valley (se part of Lake Van)*. (MSc), Yuzuncu Yıl University, Institute of Natural and Applied Science Van, Turkey.
- Fielding, E. J., Lundgren, P. R., Taymaz, T., Yolsal-Çevikbilen, S., & Owen, S. E. (2013). Fault-Slip source models for the 2011 M 7.1 Van earthquake in Turkey from SAR interferometry, pixel offset tracking, GPS, and seismic waveform analysis. *Seismological Research Letters*, 84(4), 579-593. doi:10.1785/0220120164
- Görgün, E. (2013). Analysis of the b-values before and after the 23 October 2011 Mw 7.2 Van-Erciş, Turkey earthquake. *Tectonophysics*, 603, 213-221. doi:10.1016/j.tecto.2013.05.030

- Irmak, T. S., Doğan, B., & Karakaş, A. (2012). Source mechanism of the 23 October 2011, Van (Turkey) earthquake (M= 7.1) and aftershocks with its tectonic implications. *Earth, Planets and Space*, 64, 991-1003. doi:10.5047/eps.2012.05.002
- Işık, S. E., Konca, A. Ö., & Karabulut, H. (2017). The seismic interactions and spatiotemporal evolution of Seismicity following the October 23, 2011 Mw 7.1 Van, Eastern Anatolia, earthquake. *Tectonophysics*, 702, 8-18. doi:10.1016/j.tecto.2017.02.024
- Kalafat, D., Kekovalı, K., Akkoyunlu, F., & Ögütçü, Z. (2014). Source mechanism and stress analysis of 23 October 2011 Van Earthquake (Mw=7.1) and aftershocks. *Journal of Seismology*, 18, 371-384. doi:10.1007/s10950-013-9413-0
- Kalkan, E., & Gülkan, P. (2013, Eylül). 2011 depreminin ışığında Van ve çevresi için deprem hesabı parametrelerinin tayini. 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Hatay.
- Keskin, M. (2003). Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction–accretion complex: An alternative model for collision-related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Geophysical Research Letters*, 30(24), 8046. doi:10.1029/2003GL018019
- Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, S., & Kuloshvili, S. (2001). Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: Implication for transition from thrusting to strike-slip faulting. *Geodinamica Acta*, 14(1-3), 177-195. doi:10.1080/09853111.2001.11432443
- Koeri, (2022). Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Merkezi (KOERI) Deprem Sorgulama Sistemi. [KOERI DB search \(boun.edu.tr\)](https://www.koeri.boun.edu.tr/). Erişim tarihi: 26.09.2022.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Samli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M. N., & Veis, G. (2000). Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B3), 5695-5719. doi:10.1029/1999JB900351
- McKenzie, D. P. (1970). Plate tectonics of the Mediterranean Region. *Nature*, 226, 239-243. doi:10.1038/226239a0
- Okay, A. I., & Tüysüz, O. (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. *Geological Society, London, Special Publications*, 156(1), 475-515. doi:10.1144/GSL.SP.1999.156.01.22
- Över, S., Can Ünlügenç, U., & Bellier, O. (2002). Quaternary stress regime change in the Hatay region (SE Turkey). *Geophysical Journal International*, 148(3), 649-662. doi:10.1046/j.1365-246X.2002.01621.x
- Özdemir, Y., Mercan, Ç., Oyan, V., & Atakul Özdemir, A. (2019). Composition, pressure, and temperature of the mantle source region of quaternary nepheline-basanitic lavas in Bitlis Massif, Eastern Anatolia, Turkey: A consequence of melts from Arabian lithospheric mantle. *Lithos*, 328-329, 115-129. doi:10.1016/j.lithos.2019.01.020
- Öztürk, S., & Bayrak, Y. (2012). Spatial variations of precursory seismic quiescence observed in recent years in the eastern part of Turkey. *Acta Geophysica*, 60(1), 92-118. doi:10.2478/s11600-011-0035-z
- Öztürk, S. (2017). Space-time assessing of the earthquake potential in recent years in the Eastern Anatolia region of Turkey. *Earth Sciences Research Journal*, 21(2), 67-75. doi:10.15446/esrj.v21n2.50889
- Öztürk, S. (2018). Earthquake hazard potential in the Eastern Anatolian Region of Turkey: Seismotectonic b and Dc-values and precursory quiescence Z-value. *Frontiers of Earth Science*, 12(1), 215-236. doi:10.1007/s11707-017-0642-3
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Çakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydurs, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrotsa, A., Filikov, S. V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., & Karam, G. (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(B5), B05411. doi:10.1029/2005JB004051

- Sayı, N. (2005). An application of the time- and magnitude-predictable model to long-term earthquake prediction in eastern Anatolia. *Journal of Seismology*, 9, 367-379. doi:10.1007/s10950-005-0037-x
- Selçuk, A. S. (2016). Evaluation of the relative tectonic activity in the eastern Lake Van basin, East Turkey. *Geomorphology*, 270, 9-21. doi:10.1016/j.geomorph.2016.07.009
- Selçuk, A. S., Erturaç, M. K., & Nomade, S. (2016). Geology of the Çaldıran Fault, Eastern Turkey: Age, slip rate and implications on the characteristic slip behaviour. *Tectonophysics*, 680, 155-173. doi:10.1016/j.tecto.2016.05.019
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., & Boray, A. (1987). *Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri*. Ankara, Türkiye: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 8174.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., & Kuşçu, İ. (1992). *Active Fault Map of Turkey. 2 sheets, scale 1:2,000,000*. Ankara, Türkiye: Publication of General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA).
- Şengör A. M. C., & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75(3-4), 181-241. doi:10.1016/0040-1951(81)90275-4
- Şengör, A. M. C., Görür, N., & Şaroğlu, F. (1985). Strike-Slip Faulting and Related Basin Formation in Zones of Tectonic Escape: Turkey as a Case Study. In K. T. Biddle, N. Christie-Blick (Eds.), *Strike-Slip Deformation, Basin Formation and Sedimentation Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication*. San Antonio, Texas, USA: SEPM Society for Sedimentary Geology. doi:10.2110/pec.85.37.0211
- Şengör, A. M. C., Özeren, S., Genç, T., & Zor, E. (2003). East Anatolian high plateau as a mantle-supported, north-south shortened domal structure. *Geophysical Research Letters*, 30(24), 8045. doi:10.1029/2003GL017858
- Şengül, M. A., Gürboğa, Ş., Akkaya, İ., & Özvan, A. (2019). Deformation patterns in the Van region (Eastern Turkey) and their significance for the tectonic framework. *Geologica Carpathica*, 70(3), 193-208. doi:10.2478/geoca-2019-0011
- Tapan, M., Comert, M., Demir, C., Sayan, Y., Orakcal, K., & İlki, A. (2013). Failures of structures during the October 23, 2011 Tabanlı (Van) and November 9, 2011 Edremit (Van) earthquakes in Turkey. *Engineering Failure Analysis*, 34, 606-628. doi:10.1016/j.engfailanal.2013.02.013
- Taymaz, T., Eyidoğan, H., & Jackson, J. (1991). Source parameters of large earthquakes in the East Anatolian Fault Zone (Turkey). *Geophysical Journal International*, 106(3), 537-550. doi:10.1111/j.1365-246X.1991.tb06328.x
- Taymaz, T., Westaway, R., & Reilinger, R. (2004). Active faulting and crustal deformation in the eastern mediterranean region. *Tectonophysics*, 391(1-4), 1-9. doi:10.1016/j.tecto.2004.07.005
- Toker, M., Şengör, A. M. C., Demirel-Schluter, F., Demirbağ, E., Çukur, D., İmren, C., Niessen, F., & PaleoVan-Working Group. (2017a). The structural elements and tectonics of the Lake Van basin (Eastern Anatolia) from multi-channel seismic reflection profiles. *Journal of African Earth Sciences*, 129, 165-178. doi:10.1016/j.jafrearsci.2017.01.002
- Toker, M., Pınar, A., & Tur, H. (2017b). Source mechanisms and faulting analysis of the aftershocks in the Lake Erçek area (Eastern Anatolia, Turkey) during the 2011 Van event (Mw 7.1): Implications for the regional stress field and ongoing deformation processes. *Journal of Asian Earth Sciences*, 150, 73-86. doi:10.1016/j.jseaes.2017.09.017
- Toker, M., & Tur, H. (2018). Structural patterns of the Lake Erçek Basin, eastern Anatolia (Turkey): Evidence from single-channel seismic interpretation. *Marine Geophysical Research*, 39, 567-588. doi:10.1007/s11001-017-9333-4
- Toker, M., & Şahin, Ş. (2019). Crustal Poisson's ratio tomography and velocity modeling across tectono-magmatic lake regions of Eastern Anatolia (Turkey): New geophysical constraints for crustal tectonics. *Journal of Geodynamics*, 131(101651), 1-28. doi:10.1016/j.jog.2019.101651
- Toker, M. (2021). The structural coupling to rupture complexity of the aftershock sequence of the 2011 earthquakes in Lake Van Area (Eastern Anatolia, Turkey). *Journal of Engineering Sciences and Design*, 9(1), 27-51. doi:10.21923/jesd.861520
- Toker, M., Pınar, A., & Hoşkan, N. (2021). An integrated critical approach to off-fault strike-slip motion triggered by the 2011 Van mainshock (Mw 7.1), Eastern Anatolia (Turkey): New stress field constraints on subcrustal deformation. *Journal of Geodynamics*, 147, 101861. doi:10.1016/j.jog.2021.101861

- Utkucu, M., Durmuş, H., Yalçın, H., Budakoğlu, E., & Işık, E. (2013). Coulomb static stress changes before and after the 23 October 2011 Van, Eastern Turkey, earthquake (Mw=7.1): Implications for the earthquake hazard mitigation. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(7), 1889-1902. doi:10.5194/nhess-13-1889-2013
- Wessel, P., Smith, W. H. F., Scharroo, R., Luis, J., & Wobbe, F. (2013). Generic mapping tools: Improved version released. *EOS, Transactions American Geophysical Union*, 94(45), 409-410. doi:10.1002/2013EO450001
- Westaway, R. (2004). Kinematic consistency between the Dead Sea Fault Zone and the Neogene and Quaternary left-lateral faulting in SE Turkey. *Tectonophysics*, 391(1-4), 203-237. doi:10.1016/j.tecto.2004.07.014
- Yılmaz, H., Over, S., & Ozden, S. (2006). Kinematics of the East Anatolian Fault Zone between Turkoglu (Kahramanmaras) and Celikhan (Adiyaman), eastern Turkey. *Earth, Planets and Space*, 58(11), 1463-1473. doi:10.1186/BF03352645
- Zengin, E., & Cakti, E. (2014). Ground motion simulations for the 23 October 2011 Van, Eastern Turkey earthquake using stochastic finite fault approach. *Bulletion of Earthquake Engineering*, 12, 627-646. doi:10.1007/s10518-013-9527-3