



Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi
Van Yüzüncü Yıl University
The Journal of Social Sciences Institute
Yıl / Year: 2021 - Sayı: Van Özel Sayısı
Issue: Van Special Issue
ISSN: 1302-6879 - Sayfa/Page: 783-802



**Van İli Çevresi Kabuk Deformasyon Analizi ve
Deprem Tehlike Değerlendirmesi**
*Crustal Deformation Analysis and Earthquake Hazard Assessment of
Van Province and Its Surrounding*

• **Fatih SÜNBÜL***
Hüseyin Mert ARSLAN**
Enes KARADENİZ***

*Dr. Öğr. Üyesi, İzmir Bakırçay Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İzmir/Türkiye.
Asst. Prof., İzmir Bakırçay University, Faculty of Arts & Science, Department of Geography, İzmir/Turkey.
fatih.sunbul@bakircay.edu.tr

ORCID: 0000-0002-3590-374X

**Arş. Gör., İzmir Bakırçay Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İzmir/Türkiye.

Res. Assist., İzmir Bakırçay University, Faculty of Arts & Science, Department of Geography, İzmir/Turkey.

mert.arslan@bakircay.edu.tr

ORCID: 0000-0001-5121-2351

***Arş. Gör., İnönü Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Malatya/Türkiye.

Res. Assist., İnönü University, Faculty of Arts & Science, Department of Geography, Malatya/Turkey.

enes.karadeniz@inonu.edu.tr

ORCID: 0000-0003-0757-8553

Makale Bilgisi | Article Information

Makale Türü / Article Type:

Araştırma Makalesi/Research Article

Geliş Tarihi / Date Received:

31/01/2021

Kabul Tarihi / Date Accepted:

02/04/2021

Yayın Tarihi / Date Published:

20/04/2021

Atrf: Sunbul, F., Arslan, H. M. & Karadeniz, E. (2021). Van İli Çevresi Kabuk Deformasyon Analizi ve Deprem Tehlike Değerlendirmesi. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Van Özel Sayısı, 783-802

Citation: Sunbul, F., Arslan, H. M. & Karadeniz, E. (2021). Crustal Deformation Analysis and Earthquake Hazard Assessment of Van Province and Its Surrounding. *Van Yüzüncü Yıl University the Journal of Social Sciences Institute*, Van Special Issue, 783-802

Öz

Van ili ve çevresi, bölgesinde var olan güçlü tektonik hareketler ve deformasyonların etkisi altındadır. Bu deformasyonların esas kaynağını Arabistan levhasının Anadolu levhasına göre göreceli kuzey ve kuzey batı yönlü hareketi oluşturur. Bu bağlı hareket sonucunda Bitlis Zagros Kenet Kuşağı, Doğu Anadolu ve Kuzey Anadolu Fay sistemleri bölgenin depremselliğinde önemli rol oynamaktadır. Bölgede var olan gerilme analizlerinin belirlenmesi, Van ili ve çevresinde oluşacak deprem tehlikesini daha net ortaya çıkaracaktır. Bu bağlamda bölgede var olan GPS verileri ve Global CMT kataloğundan elde edilen depremsellik verileri kullanılarak çalışma alanında deformasyon oranı tespit edilmiştir. Buna göre çalışma alanında 40 n gerinim/yıl deformasyon alanı elde edilmiş, bölgesel gerilim içerisindeki bu küçük KB-GD sıkışma bileşeninin, 2011 Van depreminde olduğu gibi deprem mekanizmasında beklenenden daha büyük bir rol oynayabileceği saptanmıştır. Bölgede hâkim olan dilatasyon mekanizması incelendiğinde ise; Van ili ve çevresinde 25 n gerinim/yıl olan kesme bileşeni Karlıova bölgesine yaklaşıldıkça 170 n gerinim/yıl mertebesine erişmektedir. 2003 yılında bu bölgede meydana gelen M_w 6.4 Bingöl depreminin sağ yanal bir yapıda olması, Kuzey Anadolu Fay mekanizmasının Van ili civarına kadar uzanabileceğini işaret etmektedir. Bu alanda meydana gelebilecek büyük ölçekli deprem, Van Ovası'nda yerel zemin koşullarına bağlı olarak, yerleşim yerlerinde potansiyel tehlike oluşturabileceği ön görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Van İli, Deformasyon Analizi, GPS Verisi, CMT Katalog, Deprem Tehlike

Abstract

Van Province and its surroundings are under the influence of strong tectonic movements and deformations in its region. The main source of these deformations is the north and northwest movement of the Arabian plate relative to the Anatolian plate. As a result of this relative movement, Bitlis Zagros Suture Zone, East Anatolia, and North Anatolian Fault systems play an important role in the seismicity of the region. Determining the stress analysis existing in the region will reveal the earthquake hazard that will occur in the province of Van and its surroundings more clearly. In this context, the deformation rate in the study area was determined by using the GPS data available in the region and the seismicity data obtained from the Global CMT catalogue. Accordingly, a 40 n strain/year deformation area was obtained in the study area, and it was determined that this small NW-SE compression component in regional tension could play a greater role than expected in the earthquake mechanism, as in the 2011 Van earthquake. Since the valuation of the prevailed dilatation mechanism across the region; the shear component, which is 25 n strain / year in the province of Van and its surroundings, reaches up to 170 n strain/year as moving towards the Karlıova region. The fact that the M_w 6.4 Bingöl earthquake that occurred in this region in 2003 has a right-lateral mechanism indicates that the North Anatolian Fault mechanism can extend to the vicinity of Van. It is predicted that a large-scale earthquake that may occur in this area may pose a potential danger in settlements, depending on the local soil conditions in the Van Plain.

Keywords: Van Province, Deformation Analysis, GPS Data, CMT Catalogue, Earthquake Hazard

1.Giriş

Levha tektoniğinin anlaşılması, aktif fayların oluşma veya fayların ilişkili gerilim birikimine tepki verme şekli, deprem bölgelerinin karakteristiğini anlamada en önemli parametreler arasındadır. Bu parametrelerin bilinmesi yalnızca aktif bir fay bölgesinin uzun vadeli davranışını anlamak için değil, aynı zamanda fayları ve/veya sismik tehlike alanlarını belirlemek için de önemlidir (Scholz, 2019). Bir fay zonu üzerindeki gerilimin uzun bir süre boyunca tekrar tekrar biriktiği ve daha sonra büyük bir depremde hızla serbest bırakıldığı bir sismik döngü kavramı hem faylanmanın temel fiziği çalışmalarını hem de deprem tehlikelerini tahmin etmeyi amaçlayan uygulamalı araştırmaların temelini oluşturur. Reid (1910) elastik model teorisine göre; elastik gerilmenin levhalar arası göreceli hareket mekanizmasına bağlı olarak zamanla yavaşça biriktirdiği gerilme inter-sismik süreci olarak değerlendirilir. Ortamda depolanan bu elastik gerilme aniden serbest bırakıldığında ko-sismik süreç başlar. Bu süreçte yıkıcı depremler meydana gelir. İnter-sismik süreç uzun yıllar sürebilirken, ko-sismik süreç birkaç saniye veya onlarca saniye

içerisinde gerçekleşir. Bu kavram fay hatlarında biriken elastik enerjinin maksimumlara ulaştığında büyük depremlerin meydana gelebileceğini ifade eder (Freed, 2005).

Arabistan levhasının, Avrasya levhasının altına dalarken oluşturduğu Bitlis Bindirme Kuşağı'nın hemen kuzeyinde bulunan Van deprem yöresi, 37.50° / 40.00°K enlemleri ile 41.00° / 45.00°D boylamları arasında kalan alanı kapsamaktadır (Sezer, 2010). Van deprem yöresi Güney Anadolu Fayı, Bitlis Fay Zonu ve Van Fay Zonu'nun etkisi altındadır (Kalkan ve Gülkan, 2013). Sahada bu aktif fay zonlarından kaynaklanan birçok tektonik kökenli deprem meydana gelmiştir. Sezer (2010)'e göre sahada M.S. 11 yılından, 2011 Van depremi öncesine kadar $M_w > 4$ yaklaşık 544 deprem gerçekleşmiştir. Bu depremlerden bazılarının büyüklüğü $M_w > 7$ 'dir. Çalışma bölgesinde 1647 yılında $M_w 7$ ve 1976 yılında $M_w 7.3$ büyüklüğünde depremler meydana gelmiştir (Özdoğan, 1993; Ambraseys ve Jackson, 1998). 1976 Çaldıran depreminden sonra meydana gelen 23 Ekim 2011 $M_w 7.2$ Van depremi, şaşırtıcı bir şekilde Türkiye'nin mevcut aktif fay haritasında yer almayan bir fay üzerinde (Van fayı) Van Gölü bölgesinin KD kesiminde meydana gelmiştir (Erdik vd., 2012). Ancak bölgede bu kadar büyük bir depremin meydana gelmesi, bölgenin tarihsel deprenselliği açısından şaşırtıcı değildir. Tarihsel deprem modellerinin yorumlanması, yaşanan depremin büyük olasılıkla 1715 Van depreminin bir tekrarı olduğuna işaret etmektedir.

Günümüzde dünya nüfusunun büyük bir bölümü kentsel alanlarda yaşamaktadır. Ekonomik faaliyetlerin çoğu kentlerde gerçekleşmektedir. Öyle ki, ülkelerin sosyal, ekonomik, siyasi, çevresel, kültürel değişimleri büyük kentlerde şekillenmektedir (Hatt ve Reiss, 2002). Belli bir yerde yaşayan nüfusun artması şeklinde gerçekleşen kentleşme süreci, küreselleşme, sanayileşme ve modernleşme nedeniyle sosyal hayatta gerçekleşen yapısal bir dönüşümü ifade etmektedir (Ertürk ve Sam, 2009). Kentleşmenin doğası, doğal afetlerin "riskini" ve "savunmasızlığını" da çeşitli şekillerde etkiler. Bunlar arasında artan çevresel bozulma ve jeolojik olayların riski, artan nüfus kırılganlığı ve konsantrasyonu nedeniyle zaman zaman azalmış direnç (Lankao ve Qin 2011), sosyo-kültürel, ekonomik ve kurumsal koşulların değişimine yol açar (Gencer 2013). Bugün 1.136.757'e ulaşan nüfus ve 53.3 km²'lik nüfus yoğunluğu (TÜİK, 2020) ile Doğu Anadolu Bölgesi'nin önemli merkezlerinden biri olan Van ili, tarih boyunca birçok medeniyete ev sahipliği yapmıştır. Gelecek planları ve kalkınma politikaları mevcut duruma ve trende uyum sağlamalıdır. Ancak yapılan tüm alternatifler afetler nedeniyle öngörülememektedir.

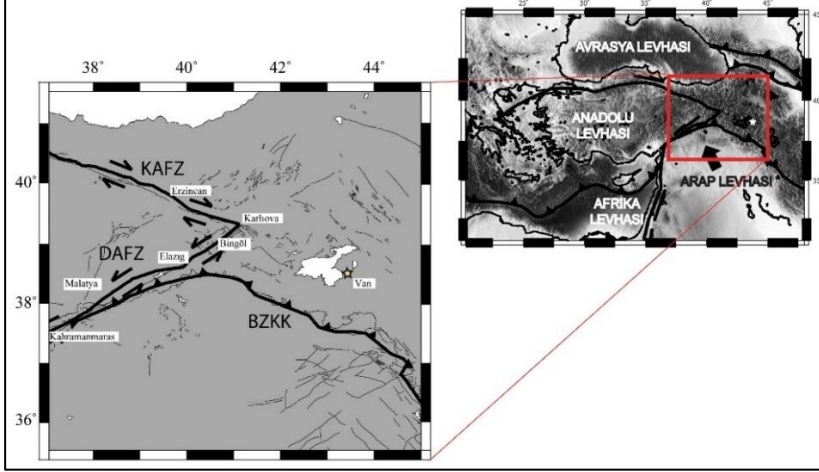
Son yirmi yılda, dünya genelinde 7.348 afet meydana gelmiş olup (UNDRR, 2020) bunlar EM-DAT (Acil Durumlar Veri Tabanı) tarafından kaydedilmektedir (EM-DAT, 2020). Afetler nedeniyle etkilenebilirlik; “koşulları fiziksel, sosyal, ekonomik ve çevresel faktör ve süreçlerle belirlenen, toplulukların tehlike etkilerine karşı hassasiyetini artıran koşullar bütünü” olarak tanımlanmaktadır (UNDP, 2004). Doğal afetlerdeki tehlikelere karşı riskin azaltılması, kentlerin ve toplumların sürdürülebilir gelişiminin önemli bir parçası haline gelmiştir (Tian vd., 2015). Türkiye’de her yıl farklı doğa olayları meydana gelmekte olup, can kayıplarının en fazla olduğu afet türü ise depremlerdir. 2000-2018 tarihleri arasında Türkiye’de meydana gelen depremlerde 950 kişi yaşamını yitirmiş ve 655.358 kişi oluşan depremlerden dolayı olarak etkilenmiştir. 2000-2020 yılları arasındaki en ölümcül afet olayı, merkezi Van iline 17 km uzaklıktaki Tabanlı Köyü olan ve 644 kişinin hayatını kaybettiği 23 Ekim 2011 Van depremidir (EM-DAT, 2020).

Bu çalışmada bölgede kaydedilen GPS verileri ve Global CMT katalog deprem verileri kullanılarak, Van bölgesi ve çevresinde meydana gelen deformasyonlar ve gerilme analizleri değerlendirilmiştir. 2011 yılında meydana gelen depremde kentin genelinde gözlemlenen yıkım ve hasar raporları, kente ait yerleşim yerlerinde mevcut zemin yapısının genç alüvyonel tabakalardan meydana geldiğini ifade etmektedir. Son yıllarda Van ili genelinde nüfusun 1 milyonu geçmesiyle birlikte, yerleşim yerlerinin ova kesiminde yoğunlaşmasından dolayı, deprem tehlikesi bağlamında da Van ili ve çevresi ele alınmıştır.

2. Çalışma Alanı

Van ili Türkiye’de aktif tektonik yapıların bulunduğu ve bu sebeple deprem üretme potansiyelinin yüksek olduğu bir bölgede yer alır. Van ili ve çevresinde deprem oluşturma potansiyeli taşıyan önemli aktif faylar, Çaldıran Fayı, Erciş Fayı, Hasan Timur Gölü Fayı, Süphan Fayı, Malazgirt Fayı, Tutak Fayı, Balık Gölü Fayı, Doğubayazıt Fayı, Başkale Fayı ve Beyüzümü Fayı’dır. Ayrıca, Bitlis Zagros Kenet Kuşağı aktif bir yapı olarak kabul edilmektedir (DAKA, 2014). Bu depremlerin son yirmi yıldaki en şiddetlisi 23.10.2011 tarihinde 7.2 büyüklüğünde gerçekleşmiştir. 604 kişinin hayatını kaybettiği ve 1651 kişinin yaralandığı depremde yaklaşık 30000’e yakın yapı zarar görmüştür. Meydana gelen bu şiddetli deprem sonrası bir ay boyunca günlük ortalama 180, toplamda 11000’in üzerinde artçı deprem kaydedilmiştir (AFAD, 2014). 2011 Van depremi, 1976 yılında meydana gelen Çaldıran depremine göre, nüfus, yerleşim sayısı ve

ekonomik etkileri göz önüne alındığında daha fazla hasarlar meydana getirmiştir. İki tarih arası nüfusun yaklaşık üç katına kadar çıkmasıyla deprem 664000 kişiyi etkilemiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı

6 Aralık 2012 tarihinde “6360 Sayılı On Üç İlde Büyükşehir Belediyesi ve Yirmi Altı İlçe Kurulması ile Bazı Kanun ve Kanun Hükmünde Kararnemelerde Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun” düzenlenmesiyle (Resmî Gazete, 2012), Van ilinde özellikle deprem sonrası kentin yeniden yapılandırılması ve ekonominin canlandırılması için afet odaklı kentsel dönüşüm faaliyetleri ve önemli rehabilitasyon çalışmaları yapılmıştır (İzci ve Turan, 2013). Van’ın yasa öncesi belediye nüfusu 598.931 ve il nüfusu 1.035.418’dir (TÜİK, 2011). Yeni Büyükşehir Yasası ile idari, siyasi, mali, planlama gibi birçok alanda yapısal değişikliğe neden olmuştur. Yasa kapsamında Van’da Tuşpa ve İpekyolu ilçeleri kurulmuştur. Bazı idari bağıllık ve sınır değişikliklerinden söz etmek gerekirse; Van’ın merkez ilçesine bağlı köyler ile bazı mahallelerin Edremit belediyesine bağlanması, merkez ilçeye bağlı Hacıbekir Mahallesi’nin bir bölümünün Şabaniye Mahallesi’ne dahil edilmesi. Buna benzer yapısal değişikliklerle Van’da mekânsal bir değişim gerçekleşmiştir. Van merkeze 112 km uzaklıkta bulunan Başkale ilçesinin en uç noktasındaki mahallesine hizmet sorumluluğu verilmiştir (Kaypak ve Yılmaz, 2017).

3. Sismotektonik

Doğu Anadolu, Arap levhasının Anadolu levhası ile çarpışarak K-G yönlü kabuk incelmeye ve kalınlaşmasına neden olduğu belirtilmektedir. Bu süreçte boyut ve yön olarak değişen birçok

doğrultu atımlı faylar meydana gelmiştir. Pliyosen'den günümüze kadar volkanizmaya bağlı tektonizma bölgede aktif durumdadır (Şengör ve Yılmaz, 1981; Dewey vd., 1986; Keskin, 2003). Anadolu-Arap plakası çarpışması, Bitlis Bindirme Zonu olarak bilinen bir deformasyon zonu boyunca gerçekleşir (Reilinger vd., 2006). Çarpışma, Anadolu levhasının, farklı kayma mekanizmalarına sahip iki büyük doğrultu atımlı fay boyunca batıya doğru ortaya çıkmasına neden olur. Sağ yanal doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve sol yanal doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fayı (DAF) zonları, Doğu Anadolu'da Karlıova Üçlü Fay Eklimi'nde birleşirler (Şekil 1). Karlıova'nın doğusunda ise, çarpışma kaynaklı deformasyon, Kafkasya bindirme zonları boyunca kabuk kalınlaşması ve bindirmesi şeklinde gözlemlenir (Barka ve Kadinsky-Cade 1988; McClusky vd., 2000; Reilinger vd., 2006). Küresel konumlandırma sistemi (GPS) çalışmaları, Bitlis Bindirme Zonu'nun güneyindeki Arabistan levhası için K24°B yönünde 18 ± 2 mm / yıl hızında olduğunu ve Arabistan levhasının kuzeybatı yönlü hareketinin çoğunlukla Doğu Anadolu'ya aktarıldığını göstermektedir (McClusky vd., 2000; Reilinger vd., 2006). Doğu-Batı yönlü Muş- Van Gölü ve Pasinler havzaları bölgede göze çarpan diğer tektonik özelliklerdir ve bu bölge tipik K-G yönlü sıkışma karakteristiği taşımaktadır (Şengör vd., 1985).

4. Jeoloji

Van Gölü Havzası'nda Paleozoyik dönemden günümüze kadar uzanan süreçte oluşan kayaç türleri ve alüvyonel depozitler yüzlek vermektedir. Havza güneyine uzanan kesimlerde Bitlis masifine ait başkalaşım kayaçlar, kuzey ve batı kesimlerde Nemrut ve Süphan volkanik aktivitesine bağlı piroklastik malzemeler, doğu kesiminde Yüksekova kompleksine ait volkanik kayaç türleri, günümüz döneme yakın güncel akarsu ve göl kıyıları ve karbonat bileşenleri yüzey vermektedir (MTA, 2008).

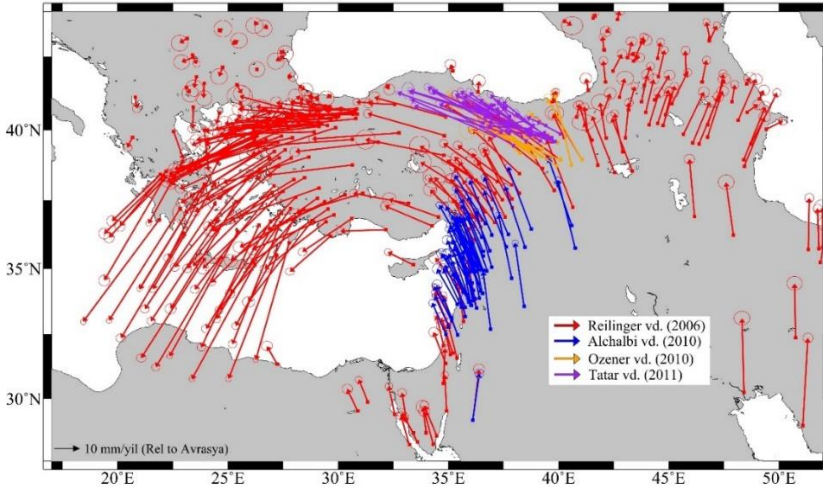
Son buzul çağı ile Van Gölü'nün su seviyesindeki değişiklikler sonucu oluşan yükselme-çekilme süreci ile eski göl ve akarsu çökelleri oluşarak daha eski oluşumları uyumsuz şekilde örtmüştür (Özkaymak, 2003). Bunlar, Alabayır Düzlüğü'nde ve Edremit karayolu çevresinde farklı düzeylerde gözlenen eski kıyı ve göl tabanı çökelleri ile karışmış çökelleri içermektedir. Bu çökeller, tortul oluşukları kapsamakta olup, göl kıyısından karaya doğru akarsu ortamı çökelleri ile geçişlidir (Özkaymak, 2003). Buradaki delta çökelleri ince boyutlu sedimanlar, fan delta çökelleri ise ince kum-silt-kil ve bazı yerlerde çakıl-kum boyu malzemeler olarak gözlenir. Göl çökellerinden genç olanlar bölgede bulunan daha yaşlı çökellerle uyumsuz bir şekilde örtüşür ve genellikle

bej ve kahverenginden oluşan bu birim, ince-kaba kırıntılar oluşturur. Bazı seviyelerde bitki ve hayvan fosillerini de içermekte olup, çökellerin içerisinde çapraz ve yatay laminalanmalar sıkça görülmektedir (Özkaymak, 2003).

5. Deformasyon Analizi

GPS Verisi

Bu çalışmada, GPS hızlarının ve depremsellik verilerinin enterpolasyonu yoluyla, rijit blokların geometrisini önceden tanımlamaya gerek kalmadan sürekli hız ve gerinim oranı alanları Haines ve Holt (1993) ve Kreemer vd. (2000) yaklaşımı ile türetilmiştir. Ülkemizde uzun yıllardır kaydedilen GPS verileri; geniş spatial (uzamsal) kapsama alanıyla, büyük veri kümesi, plaka sınırları boyunca yavaş bir şekilde deforme olan bölgelerde gerinim oranı ve bunlara karşılık gelen hız alanlarının güvenli bir şekilde türetilmesine olanak sağlamaktadır. Bu analizde, Reilinger vd. (2006) GPS hız vektörleri tutarlı bir veri seti oluşturması amacıyla kullanılmıştır (Şekil 2). Bu veri setine ek olarak Alchabi vd. (2010), Özener vd. (2010) ve Tatar vd. (2012) veri setleri ile hataların ortalama karekökü (RMS) en düşük değere sahip iyileştirmeler yapılarak dönüşüm yapılmıştır. Analizlerde sadece standart sapmaları (σ_{Ve} , σ_{Vn}) ≤ 4 mm / yıl olan hız vektörleri kullanılmıştır (Tablo 1).



Şekil 2. Deformasyon analizlerinde kullanılan GPS veri setleri

Tablo 1. Reilinger vd. (2006) veri setinde minimum RMS hatası elde edilmesi için Avrasya Referans Çerçevesine göre değerlendirilen açılmal hızlar

	Enlem (°)	Boylam (°)	ω Kutup (°/Ma)	İstasyon Sayısı	Orjinal RMS (mm/yıl)	Rotasyon Sonu RMS (mm/yıl)
(Alchalbi vd., 2010)	vd., 36.90	25.66	0.079	11	2.78	1.33
(Ozener vd., 2010)	vd., 22.03	51.45	-0.026	3	4.48	4.37
(Tatar vd., 2012)	11.05	0.19	0.007	14	2.39	2.33

Gerinim hız alanları elde etmek için interpolate hız gradyen tensörleri çift-kübik (bi-cubic) splinler şeklinde kullanılır. Sürekli hız alanları, yer yüzündeki deformasyon alanının bir fonksiyonu olarak parametrelendirilir;

$$\bar{u} = r [\bar{W}(\hat{x}) * \hat{x}] \quad (1)$$

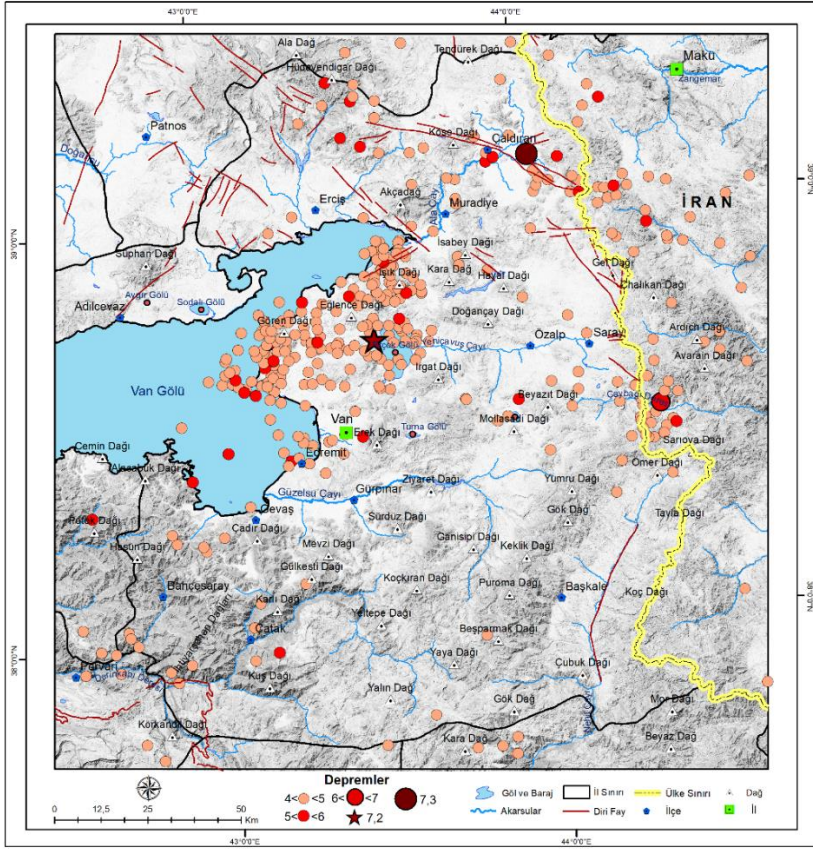
Bağıntı (1)'de \hat{x} birim radyal konum vektörü, r Yerkürenin yarıçapı ve $\bar{W}(\hat{x})$ ise dönme vektörü fonksiyonudur. Model gerinim hızı, vektör fonksiyonunun $\bar{W}(\hat{x})$ uzamsal türevlerini içerir (Haines ve Holt, 1993). Çift kübik Bessel enterpolasyonu kullanılarak, dönme vektör fonksiyonu eğrisel gridler üzerinde genişletilir (De Boor, 1978). Bu sayede model gerinim hızı alanından boyut değişimlerine izin verilir. $\bar{W}(\hat{x})$ dağılımı gözlenen ve model hızları arasındaki en küçük kareler minimizasyonu ile grid alanları içinden gözlenen ve model gerinim hızları belirlenir.

Deprem Verisi

Deprem verileri Global CMT kataloğundan elde edilmiştir (Ekström vd., 2012). Bu katalogda Magnitüd tamamlılık (M_c) 5.2 olarak belirlenmiştir. Gerinim analizlerinde bu değer sınır kabul edilmiştir. Ayrıca katalogda yer alan moment tensör belirsizlikleri Frohlich (1999) yöntemi ile elimine edilmiştir. Herhangi bir grid alanı içinde gözlemlenen ortalama sismik gerinim oranları, grid alanının çarpımı ile tanımlanan hacimdeki moment tensörlerinin ve varsayılan sismojenik kalınlığının toplanmasıyla elde edilir (Kostrov, 1974);

$$\dot{\epsilon}_{ij} = \frac{1}{2\mu VT} \sum_{k=1}^N M_o m_{ij} \quad (2)$$

Bağıntı (2)'de N grid alanındaki deprem sayısı, μ kayma modülü, V hücre hacmi, T depremin kaydedildiği zaman, M_o sismik moment ve m_{ij} moment tensör birimidir.



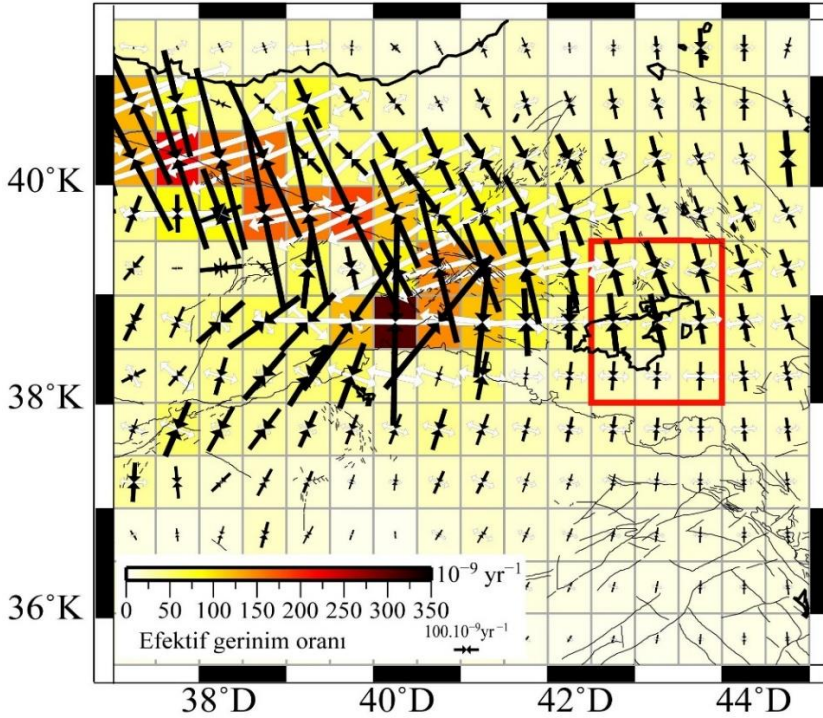
Şekil 3. Çalışma alanında aletsel dönemde meydana gelmiş depremlerin dağılımları (USGS, 2021)

Analiz

Türkiye'nin bölgesel gerinim oranı alanına, Türkiye'nin doğusundaki Karlıova bölgesinden batıda Selanik Yarımadası'na uzanan sağ yanal doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay hattı deformasyonları hakimdir (Reilinger vd., 2006; Shaw ve Jackson, 2010). Bu, göreceli deformasyon zonu, yavaş hareket eden Avrasya levhası ile batıya doğru daha hızlı hareket eden Anadolu levhası arasında bir sınır görevi görür. Van ilinin de yer aldığı Doğu Anadolu kesiminde oluşan deformasyon Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve Doğu Anadolu Fayı (DAF) etkisindedir (Doğan ve Karakaş, 2013; Elliott vd., 2013; Doğan vd., 2014).

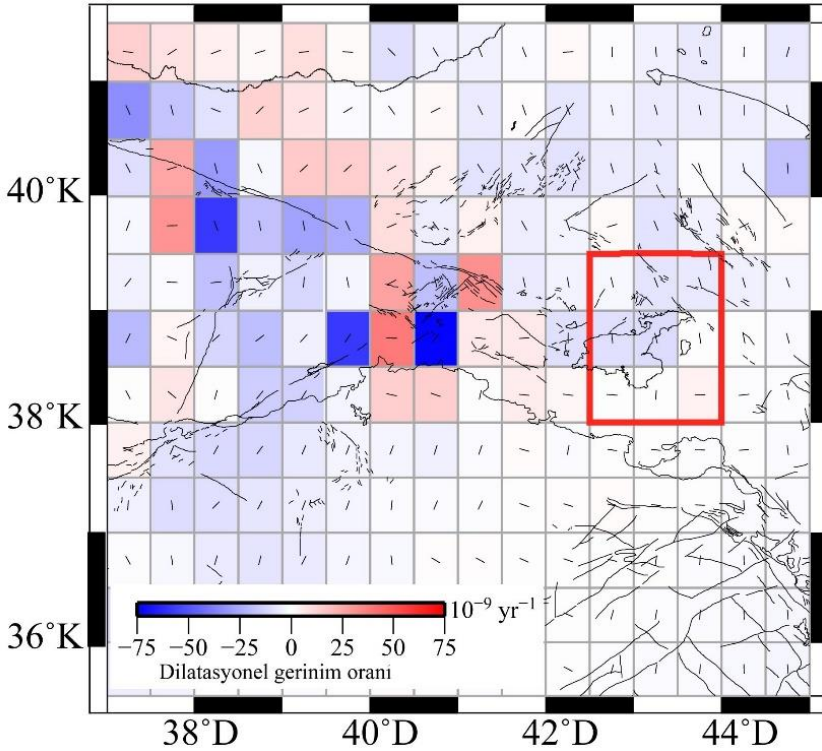
Çalışma alanı, Bingöl Zagros Kenet Kuşağı (BZKK)'nın hemen kuzeyinde bulunan Van Gölü'nü çevrelemektedir. Bu bölge, Van bölgesinde Bardakçı Köyü'nden Saray'a uzanan Bardakçı-Saray

kör bindirme fay zonunun batı kesiminin kırılmasından kaynaklanan $M_w7.2$ depremiyle harekete geçmiştir (Doğan ve Karakaş, 2013). Bu alan 1646 yılında $7.0 \leq M_s \leq 7.8$ büyüklüğünde meydana gelen depremin odak noktasıdır ve dolayısıyla sismik olarak aktif bir bölgede yer alır (Ambraseys ve Jackson, 1998). Bu depremin tarihsel doğası nedeniyle, yazarlar kırılmaya neden olan yapıyı tanımlamak için yeterli bilgiye sahip değildi. Gerinim oranı yaklaşık 40 n gerinim/yıl değerindedir (Şekil 4). Bununla birlikte, bu alan, güneyindeki alana kıyasla sıkışma gerilmesinde bir artış göstermektedir. Bölgesel gerilim içerisindeki bu küçük KB-GD sıkışma bileşeni, 2011 Van depreminde olduğu gibi deprem mekanizmasında beklenenden daha büyük bir rol oynamış olabilir. Ayrıca Doğu Türk-Ermeni Platosu'nun büyük depremler üretebildiği de literatürde yer almaktadır (Ambraseys ve Jackson, 1998; Dhont ve Chorowicz, 2006). Ancak bu çalışmada Anadolu'nun aktif diğer bölgelerine kıyasla (Karlıova Bölgesi) Van ili çevresinde nispeten düşük gerinim oranları elde edilmiştir. Deformasyon oranlarında oluşan değişimler, bölgede birkaç yüz yıldan, 3000 yıla kadar uzayabilen depremlerin tekrarlanma sürelerini (recurrence times) değiştirebileceği ifade edilmektedir (Philip vd., 2001).



Şekil 4. Çalışma alanında elde edilen efektif gerinim oranı dağılımı

KAF ve DAF'ın kesişim alanları çok karmaşık ve sismik olarak aktif bir bölgedir (Ambraseys ve Jackson, 1998; Milkereit vd., 2004; Tan vd., 2011). Araştırmalara göre Erzincan Yedisu segmenti iyi tanımlanmış sismik bir boşluk (Aktuğ vd., 2013) veya $M > 6.8$ deprem üretebilecek gerilme artışına sahip bir fay zonudur (Sünbül, 2019). Bu alan Doğu Anadolu ile karşılaştırıldığında, bölgesel olarak en yüksek oranda deforme olduğunu göstermektedir. Bingöl ili ve çevresinde aletsel dönemde orta ve büyük ölçekte depremler meydana gelmiştir ve bu bölge >300 n gerinim/yıl oranında yüksek deformasyona sahiptir. Bu alan DAF Zonunun bir parçası olmasına rağmen, kayma deformasyonunun yönü KAF Zonuna benzer genel KB-GD eğilimini takip ettiği tespit edilmiştir. Buna kanıt niteliğinde, 2003 yılında meydana gelen M_w 6.4 depremi Bingöl ilinin kuzeyinde sağ-yanal atımlı bir yapıda kırılmıştır. Bu alan güçlü bir kesme bileşeni (170 n gerinim/yıl) ve nispeten yüksek seviyelerde sıkıştırma ile doğu ve batıya bağlanan bir miktar uzama deformasyonu ile yüksek seviyelerde gerinim oranını (~ 310 n gerinim/yıl) ortaya koymaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Çalışma alanında elde edilen dilatasyonel gerinim oranı dağılımı

Van ili ve çevresinde yapılan sismik analizler sonucunda, nispeten sıcak bir üst mantoyu kaplayan göreceli kalın ve sıcak bir kabuk (düşük sismik hız anomalisi) ile karakterize edildiği ileri sürülmüştür (Gök vd., 2007; Mutlu ve Karabulut, 2011; Vanacore vd., 2013). Bunun nedeni, Doğu Anadolu Platosu'nun (40-50 km) kalınlığının, platonun yüksek kotunu izostatik olarak telafi etmek için yeterli olmaması ve dolayısıyla izostatik kompanzasyonun sıcak sığ bir manto ile yapılmasıdır (Gök vd., 2007; Şengör vd., 2003). Bu alan aynı zamanda litosferik manto üzerinde (Mutlu ve Karabulut, 2011) deformasyon hızına bağlı yüzeye yansımayan güçlü bir anizotropi ve düşük hız pertürbasyonunu göstermektedir (Şekil 4). Ancak bu bölge, kuzeydoğudaki Pambak-Sevan-Sunik fay zonu bölgesi gibi, uzun tekrarlıma periyotları ile büyük depremler meydana getirme potansiyeline sahiptir (Philip vd., 2001). Özeren (2012) bu uyumsuzluğun muhtemelen Bitlis Zagros Kenet Kuşağı ve kuzeydeki bölge boyunca kabuk-manto ayrışmasından kaynaklandığını öne sürmektedir.

6. Tartışma ve Sonuçlar

Arabistan levhasının, Avrasya levhasına doğru göreceli KB yönlü hareketi sonrasında, Doğu Anadolu Bölgesinde farklı mekanizmalara sahip fay zonları ve depresyonlar oluşmuştur. Bunlar Bitlis Kenet Kuşağı, aktif Doğu Anadolu Fayı ve Kuzey Anadolu Fayı'dır. Van ili bu aktif sismik alanların birleşim alanlarında yer alır. Tarihsel ve aletsel deprem kayıtları incelendiğinde, çalışma alanı birçok depreme odak noktası teşkil etmiştir. Bu depremlerde önemli ölçüde can ve mal kayıpları yaşanmıştır. Özellikle son yüzyılda oluşan iki büyük deprem; 1976 ve 2011 depremleri bölgede büyük hasarlar meydana getirmiştir.

Bölgeden elde edilen GPS verilerine bağlı gerinim oranları Van bölgesinde önemli sayılabilecek gerilme değişimlerini işaret etmektedir. Bu çalışmada bölgeden elde ettiğimiz gerinim oranı yaklaşık 40 n gerinim/yıl değerindedir. Bununla birlikte, bu alan, güneyindeki alana kıyasla sıkışma gerilmesinde bir artış göstermektedir. Bölgesel deformasyon içerisindeki bu küçük KB-GD sıkışma bileşeni, 2011 Van depreminde olduğu gibi deprem mekanizmasında önemli etkiye sahip olabilmektedir. Çalışma alanı Doğu Anadolu Fay Zonu'nun bir parçası olmasına rağmen, kayma deformasyonunun yönü Kuzey Anadolu Fay Zonu'na benzer genel KB-GD eğilimini takip ettiği tespit edilmiştir. Buna kanıt niteliğinde, 2003 yılında meydana gelen M_w 6.4 depremi Bingöl ilinin kuzeyinde sağ-yanal bir yapıda kırılmıştır. Bu alan güçlü bir kesme bileşeni (170 n

gerinim/yıl) ve nispeten yüksek seviyelerde sıkıştırma ile doğu ve batıya bağlanan bir miktar uzama deformasyonu ile yüksek seviyelerde gerinim oranını (~ 310 n gerinim/yıl) ortaya koymaktadır. Çalışma alanı çevresinde 20. ve 21. yy. civarında önemli depremler oluşmuştur (Ambraseys ve Jackson, 1998; Sünbül, 2019). Bu alanda meydana gelen depremlerden açığa çıkan ko-sismik elastik ve post-sismik viskoelastik gerilmeler deformasyonlara pozitif veya negatif etkiler yapabilmektedir. Deprem tehlike çalışmalarında bu alanda meydana gelen depremlerin etkilerinin incelenmesi de konu bütünlüğü açısından önem arz etmektedir (Freed, 2005).

Sismotektonik bölümünde detaylı olarak bahsedildiği üzere, çalışma sahası tektonik ve volkanik oluşumları nedeniyle geçmişten günümüze kadar aktif bir alanı kapsamaktadır. Dolayısıyla depremsellik açısından da Türkiye'nin en aktif yerlerinden biridir. Depremlerin yıkım gücü, her ne kadar depremin şiddetine bağlı olsa da yerleşmelerin kurulduğu yerin litolojik özellikleri de etkilemektedir. Van ili kent merkezindeki yerleşim yerleri, jeolojik açıdan değerlendirildiğinde büyük ölçüde genç malzemeden oluşan alüvyonların bulunduğu alanlar üzerine kurulmuştur. Bu alanlarda büyük oranda alüvyon çökelleri, eski göl ve akarsu çökelleri bulunmaktadır. Bu da depremin yıkıcı gücünü artırarak daha fazla ölüme ve hasara yol açmıştır. Jeolojik yapının yanında aynı zamanda binaların eski ve kat sayılarının fazla olması, bina inşasında yanlış ve eksik malzeme kullanılması ve denetimlerin yapılmaması da depremin etkisini artıran faktörlerdendir (Alaeddinoğlu vd., 2016).

Deprem öncesi Sihke Gölü'nün güneybatısında üçüncü zaman arazisine ait neritik kireçtaşlarının oluşturduğu örtülü tortul kütleler bulunmaktadır. Bu alanda yerleşim oldukça seyrek iken deprem sonrası Sihke Toplu Konut Evleri bu alana inşa edilmiştir. Ayrıca kent merkezinin güneyinde üçüncü zaman arazisine ait formasyonlara sahip alanlara da inşa edilmiş yapılar mevcuttur. Deprem sonrası inşa edilen diğer konutlar, ovalık alanların üzerine değil, daha çok yaşlı kütlelerden oluşan yüksek ve sağlam zeminlere inşa edilmiştir (Alaeddinoğlu vd., 2016). Bu da gelecekteki depremlerin yol açacağı hasarı en aza indirmek için alınan önlemlerden biridir.

Depremin oluşturduğu hasar, ilin bir dönem nüfus kaybetmesine ve önemli miktarda nüfus hareketine yol açmıştır. Ortalama nüfus artış oranı binde 13 olan ve her yıl bir önceki yıla göre nüfusunu artıran Van ili, 2010 yılında nüfusu 1.035.418 iken, depremin gerçekleştiği yıl olan 2011'de 1.022.532'ye gerileyerek 2009 yılı nüfusuna (1.022.310) yaklaşmıştır (TÜİK, 2020). Van ili 2012 yılından itibaren nüfus artış eğilimini sürdürmeye devam etmiştir. 2012 yılında

aldığı göç oranı, önceki yıla göre iki katın üzerinde olması, deprem sonrası ili terk edenlerin geri dönmesi ve yapılan yatırımların olumlu etkisinin bir yansıması olarak yorumlanabilir. Bu süreçten sonra, nüfus değişimi pozitif yönde gerçekleşmiş ve Cevdet Paşa (%46), Şemsibey (%34) ve Şabaniye (%30) Mahalleleri başta olmak üzere, mahalle bazında nüfus göreceli olarak artmıştır. Bunun sonucunda il içinden ve çevre illerden göç almış bu yerler nüfus artışına neden olmuştur. Nüfus değişiminin negatif yönde olduğu yerler ise Hacıbekir (%36), Bahçıvan (%18) ve Halılağa (%9) Mahalleleri olmuştur. Buralardaki nüfus kaybının sebebi, hasarın yüksek olması ve deprem sonrası yeni konutlara göçün en fazla bu mahallelerden olmasıdır. Bölgede meydana gelebilecek büyük ölçekte bir deprem için bu alanlarda zemin iyileştirme veya kentsel dönüşüm çalışmalarının yapılması önerilmektedir.

Kaynakça

- AFAD. (2014). <https://www.afad.gov.tr/van-depremi-hakkinda>. (Erişim Tarihi: 24.01.2021).
- Alaeddinoğlu, F., Sargın, S. & Okudum, R. (2016). 2011 Van Depremi ve Kentsel Nüfusta Mekânsal Farklılaşmalar. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (39), 133-149.
- Alchalbi, A., Daoud, M., Gomez, F., McClusky, S., Reilinger, R., Romeyeh, M. A., Alsouod, A., Yassminh, R., Ballani, B., Darawcheh, R., Sbeinati, R., Radwan, Y., Masri, R. A., Bayerly, M., Ghazzi, R. A., Barazangi, M. (2010). Crustal deformation in northwestern Arabia from GPS measurements in Syria: Slow slip rate along the northern Dead Sea Fault. *Geophys. J. Int.*, 180, 125–135. doi:10.1111/j.1365-246X.2009.04431.x
- Aktuğ, B., Dikmen, U., Dogru, A., Ozener, H. (2013). Seismicity and strain accumulation around Karlioiva Triple Junction (Turkey). *J. Geodyn*, 67, 21–29. doi:10.1016/j.jog.2012.04.008
- Ambraseys, N. N., & Jackson, J. A. (1998). Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region. *Geophysical Journal International*, 133(2), 390-406.
- Barka, A. A., and K. Kadinsky-Cade, (1988). Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity, *Tectonophysics*, 7, 663 – 684.
- DAKA. (2014). Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı. Afet Yönetimi, TRB2 Bölgesi Mevcut Durum Analizi.
- Dewey, J. F vd. (1986). Shortening of continental lithosphere: the tectonics of Eastern Anatolia-young collision zone. *In Collision*

- Tectonics*, Edited by: J. Coward&A.C. Ries. Spec. Publ. Geol. Soc. London, 19, 3-36.
- De Boor, C. (1978). A Practical Guide to Splines, p. 392, Springer-Verlag, New York.
- Dhont, D., Chorowicz, J., Yürür, T., Froger, J.-L., Köse, O., Gündoğdu, N., (1998). Emplacement of volcanic vents and geodynamics of Central Anatolia, Turkey. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 85, 33–54. doi:10.1016/S0377-0273(98)00048-1.
- 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). *J. Struct. Geol.*, 46, 99–114. doi:10.1016/j.jsg.2012.10.001
- Dogan, U., Demir, D. Ö., Çakir, Z., Ergintav, S., Ozener, 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. *Geophys. Res. Lett.*, 41, 2014GL059291. 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. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 118, 1619–1637. doi:10.1002/jgrb.50117
- Ekström, G., Nettles, M., Dziewonski, A. (2012). The global CMT project 2004–2010: centroid- moment tensors for 13,017 earthquakes. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 200–201, 1–9.
- EM-DAT. (2020). The International Disaster Database. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters- CRED. https://www.emdat.be/emdat_atlas/sub_html_pages/sub_html_TUR.html. (Erişim Tarihi: 23.01.2021).
- Erdik, M., Kamer, Y., Demircioğlu, M. vd. (2012). 23 October 2011 Van (Turkey) earthquake. *Nat Hazards*, 64, 651–665. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0263-9>.
- Ertürk, H. & Sam, N. (2009). *Kent Ekonomisi*. (Güncellenmiş 3. Baskı). Bursa: Ekin Basım Yayın Dağıtım.
- Freed, A. M. (2005). Earthquake Triggering By Static, Dynamic, And Postseismic Stress Transfer. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33(1), 335–367. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.33.092203.122505>
- Frohlich, C. and Davis, S. D. (1999). How well constrained are well-constrained T, B, and P axes in moment tensor catalogues? *J. Geophys. Res.*, VOL. 104, NO. B3, PAGES 4901-4910.

- Gencer, E. A. (2013). The interplay between urban development, vulnerability, and risk management: A case study of the Istanbul metropolitan area (Vol. 7). Springer Science & Business Media.
- Gök, R., Pasyanos, M.E., Zor, E. (2007). Lithospheric structure of the continent–continent collision zone: eastern Turkey. *Geophys. J. Int.*, 169 (3), 1079–1088, 00062.
- Haines, A. J., Holt, W.E. (1993). A procedure for obtaining the complete horizontal motions within zones of distributed deformation from the inversion of strain rate data. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 98, 12057–12082. doi:10.1029/93JB00892.
- Hatt, P. K. & Reiss, A. J. (2002). “Kentsel Yerleşimlerin Tarihi”, 20. Yüzyıl Kenti, (Derleme ve Çeviri: Bülent Duru, Ayten Alkan). Ankara: İmge Kitabevi.
- İzci, F., & Turan, M. (2013). Türkiye'de Büyükşehir Belediyesi Sistemi ve 6360 Sayılı Yasa ile Büyükşehir Belediyesi Sisteminde Meydana Gelen Değişimler: Van Örneği. *Suleyman Demirel University Journal of Faculty of Economics & Administrative Sciences*, 18(1).
- Kalkan, E. & Gülkan, P. (2013). Depreminin Işığında Van ve Çevresi İçin Deprem Hesabı Parametrelerinin Tayini, 2. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Hatay.
- Kaypak, Ş., & Yılmaz, V. (2017). Yeni Büyükşehir uygulamasının yerel halk üzerindeki etkileri: Van örneği. *Van Yüzyüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 124-135.
- Keskin, M., (2003). Magma generation by slab steepening and break off beneath a subduction–accretion complex: an alternative model for collision related volcanism in eastern Anatolia, Turkey, *Geophys. Res. Lett.*, 30, 8046.
- Kreemer, C., Holt, W. E., Goes, S., Govers, R. (2000). Active deformation in eastern Indonesia and the Philippines from GPS and seismicity data. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 105, 663–680. doi:10.1029/1999JB900356.
- Kostrov, V. V. (1974). Seismic moment and energy of earthquakes, and seismic flow of rock. *Izv. Acad. Sci. USSR Phys. Solid Earth, Engl. Transl.*, 1, 23-44.
- Lankao, P. R., & Qin, H. (2011). Conceptualizing urban vulnerability to global climate and environmental change. *Current opinion in environmental sustainability*, 3(3), 142-149.
- McClusky, S. et al. (2000). Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus, *J. Geophys. Res.*, 105, 5695-5720, doi:10.1029/1999JB9000351.

- Milkereit, C., Grosser, H., Wang, R., Wetzel, H.-U., Woith, H., Karakisa, S., Zünbül, S., Zschau, J. (2004). Implications of the 2003 Bingöl Earthquake for the Interaction between the North and East Anatolian Faults. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 94, 2400–2406. doi:10.1785/0120030194.
- MTA. (2008). 100.000 Ölçekli Jeoloji Paftaları Açıklamaları, Maden Tetkik Arama Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Mutlu, A.K., Karabulut, H., (2011). Anisotropic Pn tomography of Turkey and adjacent regions. *Geophys. J. Int.*, 187, 1743–1758. doi:10.1111/j.1365-246X.2011.05235.x
- Özdoğan, S. (1993). Türkiye'nin deprem bölgeleri. *Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, 2, 53-68.
- Özener, H., Arpat, E., Ergintav, S., Dogru, A., Cakmak, R., Turgut, B., Dogan, U. (2010). Kinematics of the eastern part of the North Anatolian Fault Zone. *J. Geodyn.*, 49, 141–150. doi: 10.1016/j.jog.2010.01.003.
- Özeren, M. S. (2012). Crust-mantle mechanical coupling in Eastern Mediterranean and Eastern Turkey. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 109, 8429–8433. doi:10.1073/pnas.1201826109.
- Özkaymak, Ç. (2003). *Van Şehri ve Yakın Çevresinin Aktif Tektonik Özellikleri*. (Yüksek Lisans Tezi). Yüzüncü Yıl Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Philip, H., Avagyan, A., Karakhanian, A., Ritz, J.-F., Rebai, S. (2001). Estimating slip rates and recurrence intervals for strong earthquakes along an intracontinental fault: example of the Pambak–Sevan–Sunik fault (Armenia). *Tectonophysics*, 343, 205–232. doi:10.1016/S0040-1951(01)00258-X
- Reid, H. F. (1910). The mechanics of the earthquake, the California earthquake of April 18, 1906. Report of the State Investigation Commission, Vol.2, Carnegie Institution of Washington, Washington, D.C.
- Reilinger, R., et al. (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions, *J. Geophys. Res.*, 111, B05411, doi: 10.1029/ 2005JB004051.
- Resmi Gazete. (2012). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/12/20121206.pdf>. (Erişim Tarihi: 29.01.2021).
- Scholz, C. H. (2019). *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*, Cambridge University Press. doi: 10.1017/9781316681473.
- Sezer, L. İ. (2010). Van Yöresinin Depremselliği. *Ege Coğrafya Dergisi*, 19(1), 67-84.

- Shaw, B., Jackson, J. (2010). Earthquake mechanisms and active tectonics of the Hellenic subduction zone. *Geophys. J. Int.*, 181, 966–984. doi:10.1111/j.1365-246X.2010.04551.x
- Sunbul, F. (2019). Time-dependent stress increase along the major faults in eastern Turkey. *Journal of Geodynamics*, 126, pp. 23–31. doi: 10.1016/j.jog.2019.03.001.
- Şengör, A. M. C. & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- 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.
- Şengör, A. M. C., Özeren, S., Genç, T., Zor, E. (2003). East Anatolian high plateau as a mantle-supported, north-south shortened domal structure. *Geophys. Res. Lett.*, 30, 8045. doi:10.1029/2003GL017858
- Tan, O., Pabuçcu, Z., Tapırdamaz, M. C., İnan, S., Ergintav, S., Eyidoğan, H., Aksoy, E., Kuluöztürk, F. (2011). Aftershock study and seismotectonic implications of the 8 March 2010 Kovancılar (Elazığ, Turkey) earthquake (MW = 6.1). *Geophys. Res. Lett.*, 38, L11304. doi:10.1029/2011GL047702.
- Tatar, O., Poyraz, F., Gürsoy, H., Cakir, Z., Ergintav, S., Akpınar, Z., Koçbulut, F., Sezen, F., Türk, T., Hastaoğlu, K. Ö., Polat, A., Mesci, B. L., Gürsoy, Ö., Ayazlı, İ. E., Çakmak, R., Belgen, A., Yavaşoğlu, H. (2012). Crustal deformation and kinematics of the Eastern Part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) from GPS measurements. *Tectonophysics*, 518–521, 55–62. doi:10.1016/j.tecto.2011.11.010.
- Tian, Q., Brown, D. G., Bao, S. & Qi, S. (2015). Assessing and mapping human well-being for sustainable development amid flood hazards: Poyang Lake Region of China. *Applied Geography*, 63, 66-76.
- TÜİK. (2011). <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=nufus-ve-demografi-109&dil=1>. (Erişim Tarihi: 28.01.2021).
- TÜİK. (2020). <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=nufus-ve-demografi-109&dil=1>. (Erişim Tarihi: 26.01.2021).
- UNDP. (United Nations Development Programme). (2004). Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development-a Global Report. United Nations.
- UNDRR. (United Nations Office for Disaster Risk Reduction). (2020). The Human Cost of Disasters: a Review of the Last Twenty Years (2000-2019). <https://www.undrr.org/publication/human-cost-disasters-overview-last-20-years-2000-2019>.

USGS. (2021). Earthquake Catalog. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2021).

Vanacore, E. A., Taymaz, T., Saygin, E., (2013). Moho structure of the Anatolian Plate from receiver function analysis. *Geophys. J. Int.*, doi:10.1093/gji/ggs107.

Ek Beyan

1. yazar %60 oranında, 2. yazar %20 oranında, 3. Yazar %20 oranında katkı sağlamıştır.

