

Bu makale aşağıda atıf bilgisi verilen makalenin Türkçe çevirisidir.
Atıf bilgisi: 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. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.990666>.



Maden Tetkik ve Arama Dergisi

<http://dergi.mta.gov.tr>

MADEN TETKİK VE ARAMA
D E R G İ S İ



KONULAR

Van Gölü bölgesi için Coulomb gerilme değişimi ve büyüklük-frekans dağılımı

Coulomb stress changes and magnitude-frequency distribution for Lake Van region

Hamdi ALKAN^{a*} ve Erdem BAYRAK^b

^aVan Yüzcüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği, Van, Türkiye

^bAtatürk Üniversitesi, Deprem Araştırma Merkezi, Erzurum, Türkiye

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:

Doğu Türkiye, Van Gölü Havzası, Coulomb Gerilme, *b*-değeri, Sismotektonik.

ÖZ

Türkiye ve civarının tektoniği Arap, Avrasya, Afrika ve Anadolu levhalarının etkisindedir ve yüksek deprenselliğe sahiptir. Türkiye'nin doğusunda bulunan Van Gölü ve civarı ise tarihsel ve aletsel dönemde yıkıcı etkiye sahip orta ve büyük birçok depreme maruz kalmıştır. Bu çalışmada Van Gölü ve civarında meydana gelen depremler kullanılarak bölgenin tektonik gerilme durumu Coulomb gerilme değişimi ve *b*-değeri dağılımı kullanılarak araştırılmıştır. Coulomb gerilme değişimini hesaplamak için 2000 ile 2020 arasında meydana gelen ($M \geq 4,0$) 83 adet deprem kullanılmıştır. *b*-değerini hesaplamak için ise 1903 ile 2021 yılları arasında meydana gelen 17815 deprem kullanılmıştır. Coulomb gerilme değişimi ile depremler sonrası oluşan enerjinin yakın faylara transferi hakkında fikir sahibi olunabilir. Gerilmenin derinlikle değişimini modellemek için farklı derinliklerde Coulomb gerilme değişimi ve *b*-değeri haritaları oluşturulmuştur. Özellikle Van Gölü'nün doğusunda bulunan Van ve Yeniköşk fayları civarında pozitif Coulomb gerilme değerleri ile birlikte düşük *b*-değerleri gözlenmiştir. Bunun aksine, Süphan ve Nemrut volkanları civarında Coulomb gerilme değişiminde önemli bir değişim gözlenmemiş ve bu bölgede yüksek *b*-değerleri elde edilmiştir. Coulomb gerilme değişimi ile deprem episantr dağılımının da uyum içinde olduğu ve meydana gelen depremlerin büyük bir kısmının pozitif Coulomb alanlarında meydana geldiği görülmüştür. Sonuç olarak, Coulomb gerilme ve *b*-değeri değişimi birlikte yorumlanarak gerilme seviyesinin yüksek olduğu bölgeler ortaya konulmuştur.

Geliş Tarihi: 02.07.2021

Kabul Tarihi: 01.09.2021

Keywords:

Eastern Turkey, Van Lake Region, Coulomb Stress, *b*-value, Seismotectonic.

ABSTRACT

The tectonic structure of Türkiye is under the influence of Arabian, Eurasian, African, and Anatolian plates. Lake Van region, located in eastern Türkiye, has been exposed to many devastating earthquakes in historical and instrumental periods. In this paper, using regional earthquakes, the tectonic stress variation of Lake Van region was investigated using the Coulomb stress change and the *b*-value distribution. 83 earthquakes that occurred between 2000 and 2020 are used to calculate the Coulomb stress change, while 17815 earthquakes that occurred between 1903 and 2021 are used to calculate the *b*-value distribution. Coulomb stress change gives an idea about the transfer of energy to nearby faults. Coulomb stress change and *b*-value distribution maps were created at different depths to model the variation of stress. The low *b*-values and positive Coulomb stress values were especially observed around the Van and Yeniköşk faults. On the contrary, no significant variation in stress change was observed around Süphan and Nemrut volcanoes, and high *b*-values were calculated in this region. Coulomb stress change and earthquake epicentral distribution are compatible and most events occurred in positive stress regions. In conclusion, stress change and *b*-value distribution were interpreted together and positive stress regions were revealed in the region.

*Başvurulacak yazar: Hamdi ALKAN, hamdialkan@yyu.edu.tr

1. Giriş

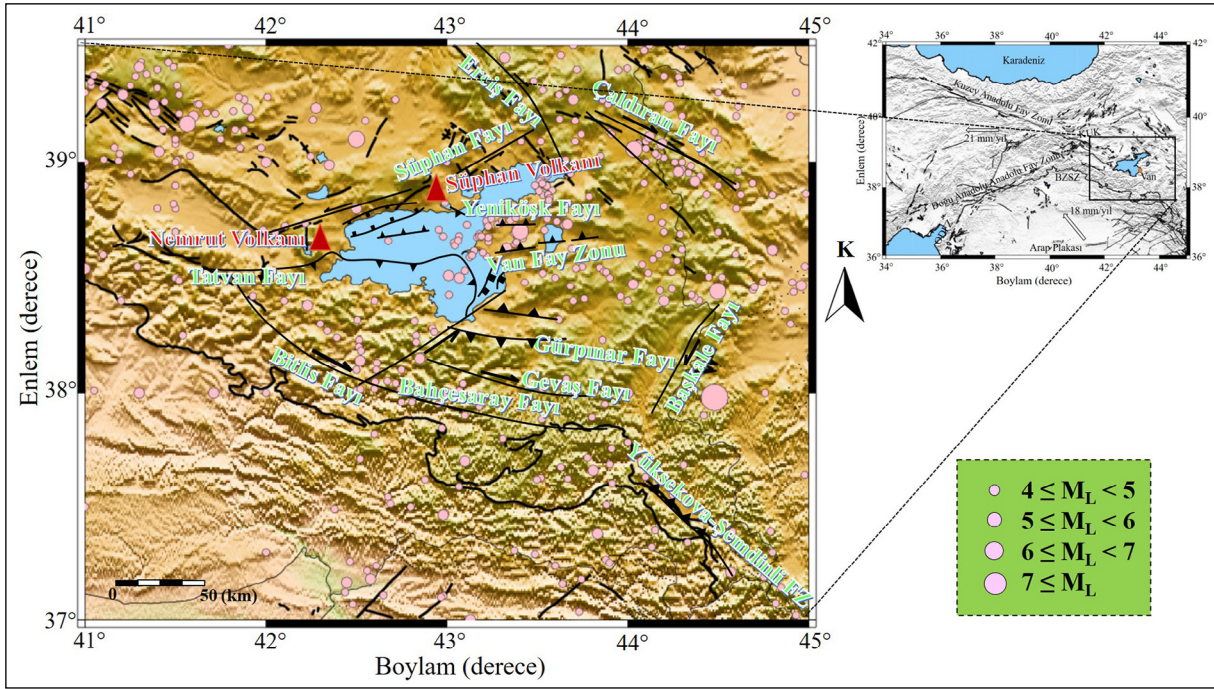
Doğu Anadolu platosu Alp-Himalaya Orojenik Kuşağı üzerinde yer alan bir bölgedir ve deprensellik açısından oldukça aktiftir. Bölgenin aktif tektoniği, genel olarak Arap Levhası'nın kuzeye doğru ~15 mm/yıl'lık ve Avrasya Levhası'nın güneye doğru ~5 mm/yıl'lık hareketi neticesinde meydana gelen aktif çarpışma kuşağından etkilenmektedir (Şengör vd., 2003; Reilinger vd., 2006; Keskin, 2007; Irmak vd., 2012; Toker vd., 2017a, b). Bu çarpışma yaklaşık olarak 11 milyon yıl önce başlamış ve çarpışma ile ilişkili sınır Bitlis-Zagros Kenet Kuşağı (BZKK) olarak tanımlanmıştır (Doğan ve Karakaş, 2013). Çarpışmayı takiben gelişen yeni bir tektonik rejim ile eşzamanlı olarak magmatik aktivite de başlamıştır (Alan vd., 2011). Avrasya ve Arap Levhaları'nın sebep olduğu sıkıştırma deformasyonu sonucunda, Anadolu Levhası saat yönünün tersine dönme ve batıya doğru kaçma eğilimindedir. Bu deformasyon özellikle doğrultu atımlı fay karakteristiği gösteren Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) boyunca baskındır (Keskin, 2003; Şengör vd., 2003; Bayrak vd., 2013; Reilinger vd., 2006). Sağ yönlü KAFZ ve sol yönlü DAFZ Karlıova üçlü-ekleminde çakışmaktadır (Toker, 2014). Karlıova ekleminin doğusunda, çarpışmayla ilişkili olarak dağılık bir deformasyon mevcuttur. Bu deformasyon, Doğu Anadolu Bloğu içinde kaçış tektoniğini ve Kafkas Bindirme Zonu boyunca kıtasal litosferik kısılmayı temsil eden KB-GD doğrultulu sağ yönlü faylar ve KD-GB doğrultulu sol yönlü faylar boyunca toplanmaktadır (Toker, 2014). Çarpışma sonrası kıta-kıta birleşmesini takip eden dönemde etkin deformasyon, kabuk kısılması ve kalınlaşması dolayısıyla da bölgenin yükselmesine neden olmuştur (Şaroğlu ve Yılmaz, 1986; Yılmaz vd., 1987; Alan vd., 2011). Van Gölü Havzası BZKK'nın kuzeyinde ve Karlıova üçlü-ekleminin güney doğusunda yer almaktadır (Bayrak vd., 2013).

Van Gölü Havzası Doğu Anadolu sıkışma rejiminde bulunan normal, ters ve doğrultu atımlı fayların tektonik aktivitesi sonucu meydana gelmiş kubbe şeklindeki bir havzadır. Bu faylanma hidrotermal aktivite, yoğun deprensellik ve bölgesel volkanizmaya neden olmaktadır (Toker vd., 2017a; 2017b). Van Gölü Havzası deniz seviyesinden

yaklaşık olarak 1650 m yüksektedir ve maksimum 450 m su derinliğine sahiptir. Süphan Volkanı ~4400 m yüksekliği ile Van Gölü'nün hemen kuzeyinde ve ~3500 m yüksekliği ile Nemrut Volkanı ise gölün hemen batısında yer almaktadır. Bu iki volkan Holosen döneminde aktivite göstermiş genç jeolojik yapılarıdır (Şekil 1). Ayrıca Van Gölü'nün güneyinde Bitlis Masifi'ne ait metamorfik kayalar ve Paleozoik yaşlı ofiyolitik birimler, doğusunda ise Yüksekova Karmaşığı'na ait volkanik kayalar ve ofiyolit bileşenleri, genç-güncel akarsu ve gölsel kırıntılar ile karbonatlar yüzeylenmektedir (Alan vd., 2011; Akıncı vd., 2014; Çukur vd., 2017). Van Gölü'nün batısında ve kuzeyinde volkanik ve volkano-klastik kayalar ve Van şehir merkezi civarında ise Pliyosen çökelleri, Kuvaterner göl sedimanları yerleşik haldedir (Sumita ve Schminke, 2013; Mackenzie vd., 2016).

Kuzey, Tatvan ve Deveboynu havzaları olmak üzere Van Gölü üç derin havzadan meydana gelmiş olup, Göl tabanında bulunan birkaç sırt yapısı ile birbirlerinden ayrılmaktadır (Çukur vd., 2017). Van Gölü Havzası'nın formasyonu ve kesin oluşum zamanı ile ilgili olarak, Lahn (1948) ve Degens vd. (1984) Nemrut Volkanı'ndan gelen lav akışının Muş Havzası boyunca bir baraj görevi gördüğü ve Murat Nehri'nin drenajının kesilmesi ile oluştuğunu öne sürmüşlerdir. Fakat yapılan son çalışmalara göre, bunun bir lav akışı olmadığını, muhtemelen bir tür piroklastik akış olduğunu ve Van Gölü'nün ortaya çıkışının çok daha önce (yaklaşık 600.000 yıl önce) engellendiğini göstermektedir (Çukur vd., 2014).

Van Gölü Havzası yakın çevresinde bulunan birkaç aktif tektonik yapının etkisi altında kalmaktadır (Şekil 1, Görür vd., 2015). Gevaş ve Gürpınar kasabaları arasında bulunan Gevaş Fayı ve Süphan Fayı, gölün kuzey doğusunda yer alan Çaldıran Fayı ve Erciş Fayı sağ yönlü doğrultu atımlı fay karakterine sahiptir (Bayrak vd., 2013). Van şehir merkezine çok yakın konumda bulunan Van Fay Zonu ve Yeniköşk Fayı doğu-batı yönlü ters fay özelliği göstermektedir (Emre vd., 2013). Gürpınar Fayı Van'ın güneyinde yerleşik olan ve üç farklı parçadan meydana gelen bir faydır. Bu fay sismik olarak aktif, doğu-batı yönlü ters ve doğrultu atımlı mekanizmaya sahiptir (Selçuk, 2016). Bölgenin güneydoğusunda yer alan Başkale Fayı ve Yüksekova-Şemdinli Fay Zonu önemli tektonik yapılarıdır. Doğrultu atımlı faylanma mekanizması



Şekil 1- Van Gölü Havzası'nın sismotektonik haritası (Selçuk, 2016; Emre vd., 2018 ve Alkan vd., 2020'den değiştirilerek). Holosen volkanları, kırmızı üçgenlerle gösterilmiştir.

gösteren bu aktif faylar önemli depremlere sebep olmuşlardır (Akkaya, 2015).

Van Gölü Havzası ve yakın civarı tarihsel ve aletsel dönemde birçok yıkıcı depreme maruz kalmıştır. Tarihsel dönemde, 5'den büyük ve şiddeti V-IX arasında değişen 24 adet depremin lokasyonu belirlenmiştir (Alan vd., 2011). Aletsel dönem verilerine göre, Van Gölü Havzası ve yakın civarında büyüklükleri 3 ile 7,3 arasında değişen çok sayıda deprem meydana gelmiştir. Bunlardan en önemlileri; 1908 yılında meydana gelmiş Başkale Depremi ($M=6,0$), 1941 yılında meydana gelmiş Erciş Depremi ($M_s=5,9$), 1976 yılında meydana gelmiş Çaldıran Depremi ($M_s=7,3$), 2005 yılında meydana gelmiş Sütlüce Depremi ($M=5,9$) ve 2011 yılında meydana gelmiş Van Depremi' dir ($M_w=7,2$) (Akkaya, 2015; Özer, 2019; Alkan vd., 2020). 2011 Van depremi; 600'den fazla insanın hayatını kaybetmesine ve yüzlerce yapının kullanılmaz hale gelmesine sebep olmuştur (Işık vd., 2017). Odak mekanizması çözümü ters fay olan Van depreminden hemen sonra, 09.11.2011 tarihinde Van Gölü'nün güney batısında $M_l=5,6$ olan bir deprem daha meydana gelmiştir. Söz konusu bu depremin birinci depremin olduğu Van

Fay Zonu'ndan bağımsız olduğu ve Edremit Fayı üzerinde sol yönlü doğrultu atımı bir mekanizmaya sahip olduğu belirlenmiştir (Akıncı vd., 2014; Işık vd., 2017; Öztürk, 2017). Ayrıca bölgede 23.10.2011-09.12.2011 tarihleri arasında büyüklükleri 1,7-5,8 arasında değişen 6284 adet artçı şok meydana gelmiştir (AFAD, 2011). 23.02.2020 tarihinde, Başkale Fayı'nın kuzeydoğu ucunda merkez üssü Hoy (İran) olan bir deprem ($M_w=5,9$) meydana gelmiştir. Aynı gün içerisinde, aynı bölgede bir deprem ($M_w=5,9$) daha meydana gelmiştir (AFAD, 2020a). Son olarak 25.06.2020 tarihinde merkez üssü Saray (Van) olan bir deprem ($M_w=5,4$) meydana gelmiştir ve çevredeki yerleşim yerlerinde şiddetli bir şekilde hissedilmiştir (AFAD, 2020b).

Coulomb gerilme değişimi deprem etkileşimleri, gelecek depremlerin yorumlanması ve sismik tehlikenin değerlendirilmesi için oldukça önemlidir. Bununla birlikte, Gutenberg-Richter ilişkisinden hesaplanan b -değeri herhangi bir fay zonu boyunca meydana gelen gerilmenin durumunu görüntülemek için sıklıkla kullanılmaktadır (Ansari, 2016). Bu çalışmada; Van Gölü Havzası ve civarında 4,5'ten büyük güçlü depremlerin (Çizelge 1) odak mekanizma

çözümlerinin kullanılmasıyla, Coulomb gerilme değişimi modellenmiş ve en büyük olasılık yöntemi ile *b*-değerleri hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen bu haritalar ile bölgesel tektonik gerilme durumunun saptanması ve gelecekte deprem üretme potansiyeline sahip alanların belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Veri

Coulomb gerilme değişimi için çalışma bölgesinde 2000-2020 yılları arasında meydana gelen 83 adet depreme ait odak mekanizması sonuçları kullanılmıştır. Çizelge 1 bu depremlerin oluş zamanı, büyüklük

Çizelge 1- Çalışma alanında (37,0° - 42,0°K Enlem ve 41,5° - 47,0°D Boylam) meydana gelen depremlere ait odak mekanizması çözümleri. (Depremlere ait odak mekanizma çözümleri AFAD web sitesinden alınmıştır).

No	Tarih (dd mm yy)	Enlem (°K)	Boylam (°D)	Büyükük (M)	Derinlik (km)	Doğrultu (°)	Eğim (°)	Dalım (°)
1	14/12/2020 21:58:45	38,901	43,487	4,7	9,20	212,0	82,0	8,0
2	03/12/2020 05:45:19	37,999	41,712	5,0	14,02	155,0	88,0	166,0
3	16/09/2020 14:48:19	38,705	41,981	4,7	17,08	231,0	64,0	40,0
4	07/08/2020 19:20:13	38,131	42,613	4,6	6,99	331,0	83,0	171,0
5	25/06/2020 10:03:29	38,472	44,028	5,4	7,48	167,0	49,0	-85,0
6	03/04/2020 05:44:24	38,909	43,529	4,7	12,99	175,0	85,0	3,0
7	23/02/2020 16:00:29	38,450	44,502	5,9	8,10	120,0	83,0	-160,0
8	23/02/2020 05:52:57	38,436	44,489	5,9	14,90	187,0	50,0	-61,0
9	21/07/2018 06:15:13	39,038	44,153	4,5	7,52	75,0	85,0	-148,0
10	23/06/2018 03:50:03	38,623	44,300	4,7	8,48	201,0	77,0	-7,0
11	14/06/2018 15:42:21	38,941	43,555	4,5	13,66	187,0	45,0	36,0
12	01/05/2017 16:30:40	38,265	42,928	4,5	12,44	308,0	88,0	177,0
13	23/11/2016 12:14:36	38,539	43,870	4,6	9,97	305,0	76,0	167,0
14	23/01/2016 07:53:44	38,049	42,670	4,5	15,21	279,0	42,0	163,0
15	29/10/2015 09:46:39	39,119	43,743	4,8	4,90	119,0	61,0	-167,0
16	23/06/2015 22:35:20	38,681	43,179	4,5	30,45	268,0	44,0	97,0
17	18/02/2014 21:51:35	38,836	43,563	4,6	11,67	224,0	81,0	34,0
18	21/09/2013 02:15:44	38,673	43,418	4,5	17,03	252,0	42,0	50,0
19	12/06/2013 19:02:51	38,624	43,690	4,6	15,91	232,0	23,0	87,0
20	24/11/2012 16:04:28	38,833	43,572	4,5	17,53	93,0	66,0	145,0
21	05/08/2012 20:37:21	37,463	42,979	5,3	12,94	326,0	58,0	154,0
22	24/06/2012 20:07:21	38,733	43,667	5,0	23,62	96,0	42,0	89,0
23	14/06/2012 05:52:51	37,157	42,443	5,5	11,68	329,0	44,0	79,0
24	26/03/2012 10:35:33	39,234	42,276	5,0	16,96	116,0	67,0	168,0

MTA Dergisi

Çizelge 1- Devamı.

25	24/02/2012 13:07:10	38,827	43,565	4,5	22,09	22,0	82,0	-10,0
26	17/02/2012 09:32:57	38,743	43,216	4,6	7,02	258,0	50,0	56,0
27	20/01/2012 09:57:37	38,703	43,497	4,5	21,32	244,0	37,0	62,0
28	06/12/2011 15:46:25	37,263	43,876	4,6	3,19	312,0	83,0	-166,0
29	06/12/2011 02:55:59	38,833	43,616	4,7	15,36	119,0	58,0	172,0
30	04/12/2011 22:15:03	38,481	43,299	4,9	12,22	32,0	86,0	2,0
31	30/11/2011 00:47:21	38,470	43,290	5,0	19,79	166,0	56,0	-58,0
32	24/11/2011 00:48:07	38,633	43,028	4,5	15,90	253,0	53,0	47,0
33	22/11/2011 03:30:35	38,609	43,207	4,5	22,95	55,0	88,0	6,0
34	21/11/2011 21:00:35	38,691	43,139	4,6	1,91	238,0	90,0	4,0
35	21/11/2011 20:55:56	38,669	43,205	4,6	22,74	82,0	42,0	97,0
36	18/11/2011 17:39:39	38,802	43,852	5,2	8,00	201,0	90,0	20,0
37	17/11/2011 12:38:31	38,867	43,569	4,5	17,10	92,0	78,0	-166,0
38	14/11/2011 22:08:14	38,703	43,083	5,1	23,32	256,0	41,0	66,0
39	14/11/2011 16:47:16	38,624	43,075	4,7	18,98	103,0	49,0	105,0
40	14/11/2011 16:31:31	38,621	43,040	4,5	19,21	95,0	45,0	90,0
41	12/11/2011 18:20:01	38,632	43,173	4,6	19,15	71,0	47,0	73,0
42	09/11/2011 20:45:38	38,464	43,253	4,5	17,74	39,0	77,0	-9,0
43	09/11/2011 19:23:34	38,438	43,282	5,6	21,47	163,0	52,0	-44,0
44	08/11/2011 22:05:50	38,719	43,077	5,4	8,36	255,0	43,0	59,0
45	07/11/2011 22:14:12	38,935	43,483	4,5	14,63	156,0	69,0	-14,0
46	07/11/2011 15:54:48	38,663	43,632	4,8	4,43	31,0	69,0	5,0
47	06/11/2011 02:43:12	38,939	43,554	4,6	11,66	9,0	81,0	30,0
48	05/11/2011 19:19:15	38,814	43,513	4,6	22,03	191,0	74,0	17,0
49	02/11/2011 11:43:02	37,253	43,900	4,8	7,78	156,0	80,0	-179,0
50	02/11/2011 04:34:21	38,884	43,590	4,8	18,03	25,0	84,0	0,0
51	01/11/2011 21:10:44	38,846	43,609	4,5	5,06	237,0	54,0	56,0
52	30/10/2011 01:55:04	38,729	43,612	4,6	22,36	31,0	73,0	-23,0
53	29/10/2011 22:24:22	38,924	43,543	4,8	16,67	199,0	90,0	-18,0
54	29/10/2011 18:45:49	38,622	43,152	4,6	13,97	80,0	42,0	110,0

MTA Dergisi

Çizelge 1- Devamı.

55	28/10/2011 16:34:10	38,897	43,583	4,5	12,44	198,0	86,0	-18,0
56	27/10/2011 08:04:22	37,380	43,834	5,6	21,61	267,0	48,0	110,0
57	26/10/2011 16:19:44	38,659	43,285	4,5	1,45	35,0	89,0	-3,0
58	26/10/2011 03:16:18	38,692	43,200	4,8	20,62	222,0	57,0	70,0
59	26/10/2011 02:59:05	38,828	43,506	4,6	14,81	58,0	75,0	22,0
60	25/10/2011 15:27:13	38,826	43,566	4,5	16,01	55,0	83,0	21,0
61	25/10/2011 14:55:06	38,823	43,585	5,4	17,44	36,0	89,0	-9,0
62	24/10/2011 23:55:15	38,787	43,390	4,6	26,37	21,0	89,0	-22,0
63	24/10/2011 22:13:30	38,713	43,097	4,5	19,24	239,0	52,0	65,0
64	24/10/2011 15:28:06	38,693	43,147	4,8	18,71	215,0	70,0	25,0
65	24/10/2011 08:49:19	38,706	43,582	5,0	17,27	231,0	43,0	73,0
66	24/10/2011 04:18:45	38,680	43,310	4,5	12,58	145,0	57,0	141,0
67	23/10/2011 20:45:34	38,644	43,127	5,8	6,79	137,0	55,0	147,0
68	23/10/2011 19:43:24	38,697	43,150	4,5	7,55	228,0	52,0	-119,0
69	23/10/2011 19:06:05	38,735	43,328	5,0	22,09	252,0	34,0	65,0
70	23/10/2011 18:53:47	38,724	43,302	4,8	6,08	129,0	74,0	124,0
71	23/10/2011 18:10:44	38,629	43,192	5,0	19,81	106,0	30,0	102,0
72	23/10/2011 16:05:10	38,751	43,508	4,8	20,85	175,0	43,0	57,0
73	23/10/2011 15:57:59	38,717	43,326	4,6	21,78	63,0	43,0	100,0
74	23/10/2011 15:24:29	38,590	43,149	4,7	21,55	77,0	22,0	153,0
75	23/10/2011 13:17:03	38,811	43,467	4,7	15,41	140,0	68,0	128,0
76	23/10/2011 11:32:40	38,777	43,394	5,5	22,61	213,0	51,0	99,0
77	23/10/2011 10:56:48	38,782	43,363	5,8	19,92	305,0	71,0	-140,0
78	23/10/2011 10:41:20	38,689	43,465	6,7	19,02	98,0	66,0	88,0
79	29/05/2011 11:02:29	37,216	42,560	4,6	11,25	58,0	78,0	4,0
80	30/04/2011 15:26:03	38,183	42,525	4,5	5,00	125,0	86,0	-176,0
81	14/03/2011 18:57:09	38,601	44,171	4,7	12,47	225,0	74,0	-30,0
82	25/01/2005 16:44:16	37,622	43,703	5,9	41,2	301,0	78,0	-169,0
83	15/11/2000 15:05:37	38,410	42,950	5,2	18,0	100,0	64,0	111,0

ve derinlik ile doğrultu, eğim ve dalım değerlerini göstermektedir. Odak mekanizma çözümlerine bakıldığında doğrultu atımlı ve ters fayların etkin olduğu görülmektedir (Şekil 2).

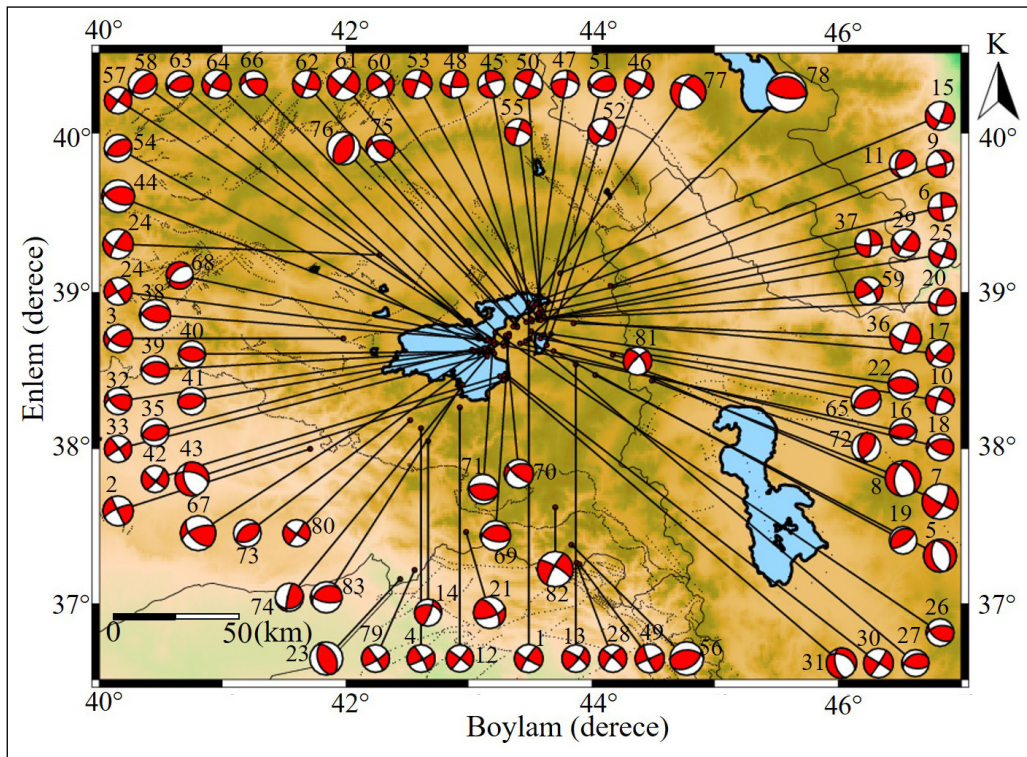
2.1. Gutenberg-Richter Yöntemi için Kullanılan Veri

DDA deprem kataloğu (AFAD, 2021) kullanılarak b -değeri hesaplanmıştır. Katalog 28.04.1903-09.06.2021 tarihleri arasında meydana gelen büyüklükleri (M_L) 0,7 ile 7,0 arasında değişen 31976 adet depremi içermektedir. b -değeri hesaplamak için kullanılan katalogun homojen yani aynı büyüklük türünden olması gerekmektedir (Bayrak vd., 2009; Öztürk ve Bayrak, 2012; Öztürk, 2015, 2018). AFAD kataloğu M_L büyüklük türünden açıklamakta ve bu yüzden herhangi bir büyüklük dönüştürme işlemi yapılmamıştır.

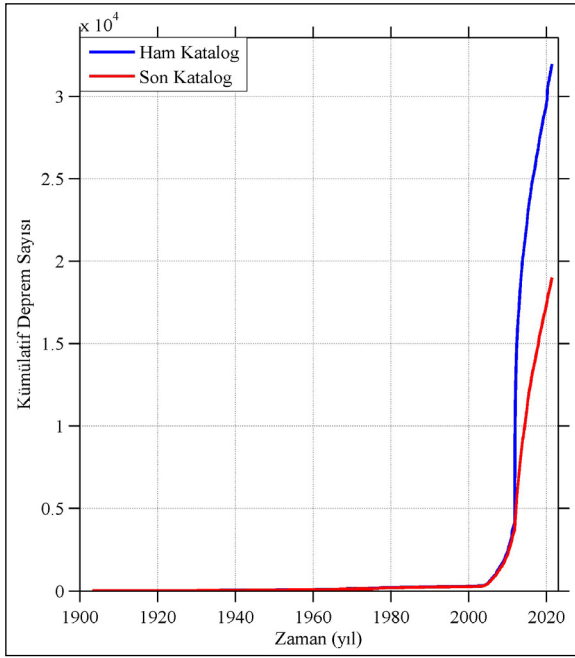
Katalogun hesaplamaya hazır hale getirilmesindeki diğer önemli bir husus ise içerisindeki öncü ve artçı şokların katalogdan uzaklaştırılmasıdır. Bir deprem kataloğunda bulunan öncü ve artçı şokların katalogdan çıkarılması işlemi yeniden kümeleme (decluster)

analizi olarak bilinmektedir. Bu analizde bir uzay penceresi ve zaman penceresi belirlenerek kümeleme işlemi yapılmaktadır. Yeniden kümeleme işlemi için farklı yöntemler bulunmakta olup, bu çalışmada en sık kullanılan yöntemlerden biri olan Reasenberg (1985) yöntemi uygulanmıştır. Reasenberg yöntemi ile katalogdan 14161 öncü ve artçı deprem uzaklaştırılarak final kataloğu toplam 17815 depremden oluşmuştur (Şekil 3). Bu depremlere ait episantr dağılımı ise Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 3'de ilksel katalog ve son kataloğa ait yıl-deprem sayısı grafiği gösterilmiştir. Bu grafik incelendiğinde özellikle 2000 yılından sonra deprem sayısında önemli derecede artış olduğu görülmekte ve bunun da bölgedeki deprem istasyonlarının artması ile birlikte kaydedilen deprem sayısının artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

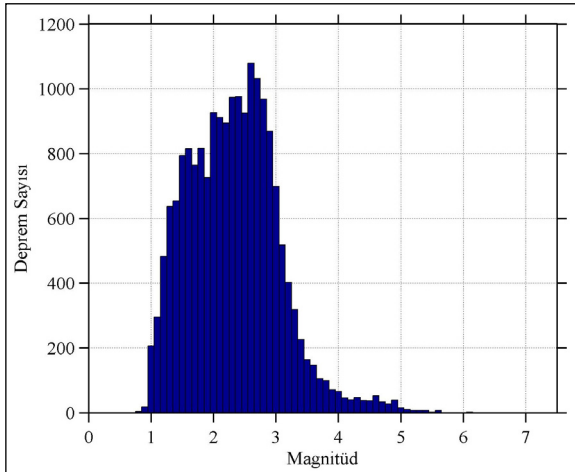
Final kataloğuna ait büyüklük-deprem sayısı histogram grafiği incelendiğinde (Şekil 4), çalışma alanında meydana gelen depremlerin çoğunluğunun büyüklüğünün 4,0'den düşük olduğu görülmektedir. Çalışma alanında meydana gelen en büyük deprem ise 1930 yılında meydana gelen $M_L=7,0$ büyüklüğündeki depremdir.



Şekil 2- Van Gölü ve çevresini etkileyen önemli depremlerin fay kinematik çözümleri. Odak mekanizma çözümleri parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 3- Öncü ve artçı şokların katalogdan uzaklaştırılmadan önce ve sonraki kümülatif deprem sayıları.



Şekil 4- Final kataloğuna ait büyüklük histogramı.

3. Yöntem

3.1. Coulomb Gerilme Değişimi

Statik gerilme değişimi nokta kaynağın ya da bir fayın yer değiştirmesinden kaynaklanmaktadır ve gerilme değişimini elde etmek için elastik sertlik ile çarpmak gerekmektedir. Bir fay düzlemi bir kaynak tarafından sağlanan gerilmenin çözüldüğü, belirli bir doğrultu, eğim ve dalıma sahip bir düzlemdir. Gerilme değişiminin hesaplanmasında, fayın geometrisine

bağlı olan kesme gerilme bileşeni ve fayın dalımına bağlı olan normal gerilme bileşeni dikkate alınır (Toda vd., 2011). Coulomb gerilme değişimi bir depremin geometrisine ve kaymasına ve etkin sürtünme katsayısına bağlıdır (Ansari, 2016; Çirmik vd., 2017). Coulomb yenilme kriteri (Coulomb failure criterion) gerilme değişiminin pozitif olduğu durum için düşünlür ve Denklem 1 ile ifade edilir:

$$\Delta\sigma_{cfc} = \Delta\tau_s + \mu' \Delta\sigma_n \quad (1)$$

$\Delta\sigma_{cfc}$ kaynak faydaki kaymanın neden olduğu yenilme gerilmesinin (failure stress) değişimi, $\Delta\tau_s$ kesme gerilmesi değişimi, $\Delta\sigma_n$ normal gerilme değişimi ve μ' fay üzerindeki etkin sürtünme katsayısıdır. Sürtünme katsayısı boyutsuzdur, 0-1 arasında değişmektedir. Poisson oranı 0,25, Young modülü $8 \cdot 10^5$ (bar) ve sürtünme katsayısı 0,4 olarak seçilmiştir. Coulomb yenilme kriterinin pozitif değerleri bir deprem anındaki yırtılma olasılığının artışına karşılık gelmekteyken, negatif değerler gerilmenin azalışına karşılık gelmektedir (Mogi, 1962). -0,1 ile +0,1 bar arasındaki Coulomb gerilme değişikliklerinin gelecekteki depremleri kestirmek için yeterli olduğu varsayılmaktadır (Yadav vd., 2012). Sismik tehlike haritalarının yorumlanmasında deprem gerilme değişimlerinden yararlanılabilir (Ahadov ve Jin, 2019). Bu çalışmada, Coulomb gerilme değişimi hesaplamaları için Coulomb 3.3 yazılımı kullanılmıştır (Toda vd., 2011).

3.2. En Büyük Olasılık Yöntemi

Büyüklik-frekans bağıntısı olarak da bilinen Gutenberg-Richter (1944) yasası Denklem 2 ile gösterilmektedir. Bu denklemin doğrudan deprem oluşumunun fiziği ile ilgili olduğu belirtilmiştir (Mogi, 1962) ve

$$\log N = a - bM \quad (2)$$

şekindedir. Burada, M ; deprem büyüklüğünü, N ; kümülatif deprem sayısını, a ve b sabit regresyon katsayılarını göstermektedir.

Yapılan çalışmalarda b -değerinin birçok farklı parametreye bağlı olarak değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Bunlardan başlıcaları; b -değerinin gerilim (stress) ile ters orantılı (Scholz, 1968; Wyss, 1973), fayın heterojenitesi ile doğru orantılı (Mogi, 1962), ısı akışı ile doğru orantılı (Warren ve Latham, 1970)

olması, b -değeri ile P-dalgası hızı arasında ters orantı olduğu (Ogata vd., 1991) ve artçı şoklarda yüksek b -değeri gözlenirken bunun aksine öncü şoklarda ise düşük b -değer gözleendiği rapor edilmiştir (Suyehiro, 1964). Sonuç olarak, düşük b -değerinin yüksek gerilim (stress) ve gerinim (strain), yüksek P-dalgası hızı, düşük heterojenite ile ilişkili olduğu söylenebilir.

Gutenberg ve Richter (1944) tarafından tanımlanan b -değerini hesaplamak için farklı yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan en önde gelenleri en küçük kareler ve en büyük olasılık yöntemleridir. Dünya çapında sıklıkla kullanılan yöntemlerden olan en büyük olasılık yöntemi ile b -değeri aşağıdaki formül ile hesaplanır (Aki, 1965):

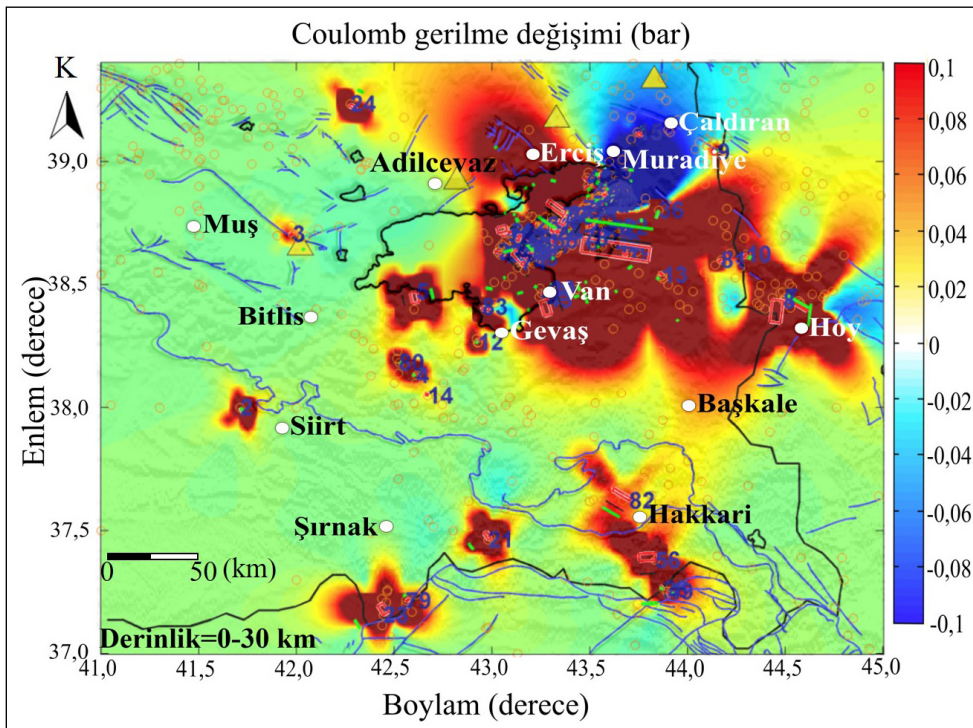
$$b = \frac{1}{\log_{10}[\bar{M} - (M_{\min} - \Delta m/2)]} \quad (3)$$

M_{\min} kesme büyüklüğü, \bar{M} ortalama büyüklüğü ve Δm ise büyüklük aralığını ifade etmektedir. Gutenberg-Richter ilişkisinin belirlenmesi için ZMAP programı (Wiemer, 2001) kullanılmıştır.

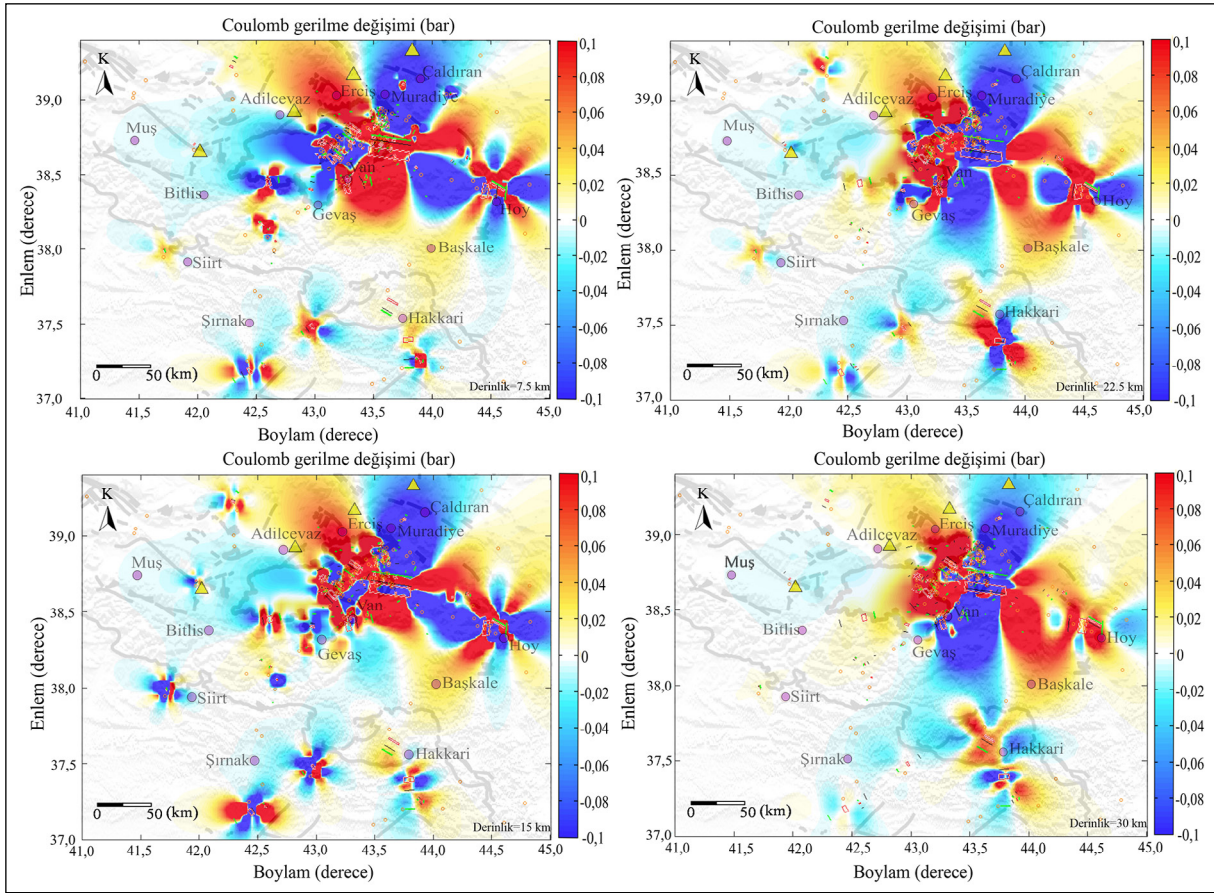
4. Tartışma

Şekil 5'de ilk 30 km'deki Coulomb gerilme değişimi modellenmiştir. Özellikle Van ve Yenişehir fayları arasında kalan alandaki pozitif Coulomb gerilme değerleri dikkati çekmektedir. Ayrıca Hoy ve Başkale arasında kalan alanda da pozitif değerler göze çarpmaktadır. Çaldıran fayı civarında ise negatif Coulomb gerilme değerleri hesaplanmıştır. Coulomb gerilme değişimi ile depremlerin episantrları arasındaki ilişkiyi araştırmak için $M_L \geq 4,0$ depremler de harita üzerinde gösterilmiştir. Deprem yoğunluğunun olduğu alanlar genellikle pozitif Coulomb değerlerine denk gelmektedir.

Şekil 6'da farklı derinlikler (7,5, 15, 22,5, 30 km) için Coulomb gerilme değişimi sonuçları gösterilmiştir. Coulomb gerilmesi sonucu elde edilen pozitif değerler artan gerilimi ifade ederken negatif değerler ise gerilimin azaldığını ifade etmektedir (Olsson, 1999). Tüm derinlik seviyelerindeki gerilme değişimleri dikkate alındığında, ilk olarak özellikle Van Gölü'nün kuzeyinde bulunan Erciş ve Adilcevaz civarında pozitif Coulomb gerilme değerleri gözlenmiştir. Bu



Şekil 5- 0-30 km derinliği için hesaplanan Coulomb gerilme değişimi (Turuncu yuvarlaklar 4,0'dan büyük depremlerin konumunu göstermektedir). Depremlere ait odak mekanizma çözümleri Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE, 2021) web sitesinden alınmıştır.



Şekil 6- Farklı derinlikler için hesaplanan Coulomb gerilme haritaları. Sarı üçgenler Holosen döneminde aktif olan volkanları temsil etmektedir.

bölge Süphan Fayı ve Erciş Fayı'nın olduğu yerdir. Bu faylar üzerinde yakın zamanda yıkıcı bir deprem meydana gelmemiştir. Bunun aksine, hemen bu bölgenin doğusunda bulunan Muradiye ve Çaldıran civarında ise negatif değerler göze çarpmaktadır. Özellikle geçmişte Çaldıran Fayı yıkıcı depremlere ev sahipliği yaptığı için negatif gerilme değerlerinin sebebi de açıklanmaktadır. Şekil 3'de bir başka dikkat çeken bölge ise Van şehir merkezinin yani Van Gölü'nün hemen doğusundaki lokasyondur. Bu bölge için 7,5 ve 15 km derinliklerinde pozitif değişimler gözlenirken, artan derinliklerde negatif değerler açık olarak gözlenebilmektedir. Elde edilen bu sonuçlara göre, Yeniköşk Fayı ve Van Fay Zonu'nun bulunduğu bu bölgede sığ derinliklerde sismik aktivite beklemek oldukça mantıklıdır. Fakat Van ve Hoy arasında kalan bölge için tam tersi bir durumdan söz edilebilir. 7,5 ve 15 km derinliklerinde negatif değerler göze çarparken, 22,5 ve 30 km derinliklerinde ise pozitif değerler gözlenmiştir. Başkale Fayı'nın hemen kuzey-doğusunda 23.02.2020 tarihinde aynı büyüklüğe

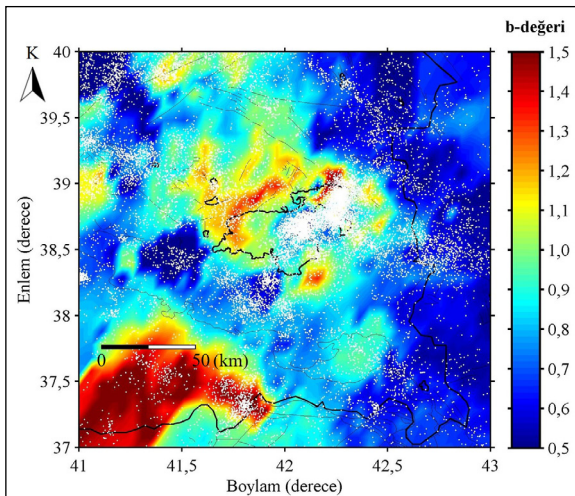
sahip ($M_w=5,9$) iki deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin derinlikleri 14,9 km ve 8,1 km'dir (AFAD, 2020a). Van Gölü'nün batısı ile ilişkili olan bölge her derinlik değeri için genellikle negatif anomalilere sahiptir. Tatvan Fayı ve Bitlis Fayı'nın bulunduğu bu bölgede son olarak büyüklüğü $M_w=4,7$ olan bir deprem meydana gelmiştir (Çizelge-1, No:3). Buna ek olarak, Şekil 2'deki odak mekanizması çözümlerine bakıldığında bu fayların deprem üretkenliklerinin az olduğu görülebilmektedir. Çalışma alanının güneyinde bulunan Şırnak ve Hakkâri civarında ise tüm derinlik değişimleri için küçük ölçekte pozitif ve negatif anomaliler gözlenmektedir. Bu durum Coulomb gerilme değerinin Yüksekova-Şemdinli Fay Zonu ve Güneydoğu Anadolu Kenet Kuşağı'nda meydana gelen küçük ve orta büyüklükteki depremlerle ilişkili olduğunu göstermektedir.

$0,1^\circ \times 0,1^\circ$ grid aralığı kullanılarak b -değerinin bölgesel olarak değişimi haritalanmış ve her grid için en yakın 300 deprem sayısı ve hesaplama yapılacak

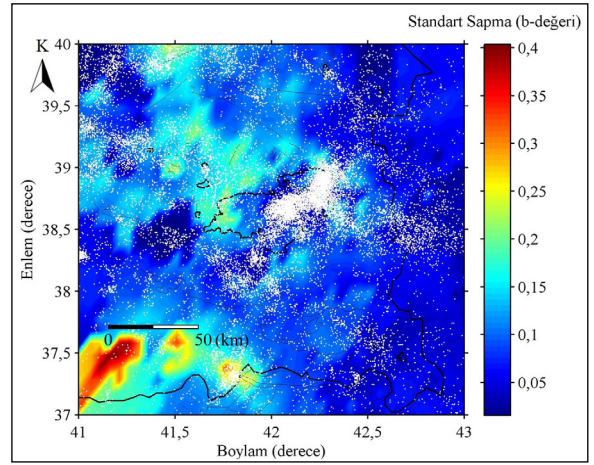
minimum deprem sayısı ise 20 olarak seçilmiştir. b -değerinin hesaplanmasındaki önemli hususlardan bir tanesi ise kesme büyüklüğü (M_c) değerinin doğru olarak belirlenmesidir. M_c değerinin hesaplanmasında Wiemer ve Wyss (2002) tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemle göre büyüklük değerlerine karşılık meydana gelen deprem sayıları elde edilir ve en çok deprem sayısına ait büyüklük değeri M_c olarak belirlenir (Wiemer ve Wyss, 2002).

Dünya'nın farklı bölgelerindeki aktif sismik zonlarda b -değeri genel olarak 1,0 değerine yakındır (Frohlich ve Davis, 1993). Dünya'nın farklı yerlerinde b -değerinin 0,5-1,5 arasında değişim gösterdiği ifade edilmiştir (Wiemer ve Wyss, 1997; Olsson, 1999; Öztürk ve Bayrak, 2012; Öztürk, 2015, 2018).

Bu çalışmada da elde edilen b -değerleri 0,5 ile 1,5 arasında değişmektedir (Şekil 7). Şekil 8'de ise en büyük olasılık yöntemine göre hesaplanan b -değerlerinin standart sapmaları gösterilmektedir. Şekil 8'de açıkça görüldüğü gibi çalışma alanının büyük bir kısmı için 0,1'den daha küçük standart sapma değerleri elde edilmiştir. Bu durum elde edilen b -değerlerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ifade etmektedir. Çalışma alanının güney batısında kalan alan için 1,0'dan büyük standart sapma değerleri elde edilmiştir. Bu durum bölgedeki deprem yoğunluğunun az olmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 7- Çalışma alanı için hesaplanan b -değerleri değişim haritası [beyaz noktalar çalışmada kullanılan katalogdaki depremlerin episantr dağılımını göstermektedir (AFAD, 2021)].



Şekil 8- Elde edilen b -değerlerine ait standart sapma değerleri [beyaz noktalar çalışmada kullanılan katalogdaki depremlerin episantr dağılımını göstermektedir (AFAD, 2021)].

Çalışma alanı için genel olarak b -değerinin 1,0'dan daha küçük olarak elde edildiği açıkça görülmektedir. Ayrıca en yüksek b -değerleri (~1,5) çalışma alanının güneybatısında elde edilmiştir. Fakat deprem episantr dağılımına ve b -değerinin standart sapma haritasına bakıldığında, çalışma alanının güneybatısında az sayıda deprem olduğu için elde edilen değerlerin güvenli aralıkta olmadığı söylenmelidir. Van Gölü'nün KKB bölgesinde bulunan Süphan ve Nemrut volkanları civarında ise nispeten yüksek b -değerleri elde edilmiştir. Cirmik (2018), yapmış olduğu çalışmada bu bölge için yüksek ısı akısı değerleri hesaplamıştır. Maden ve Öztürk (2015), yapmış oldukları çalışmada düşük b -değerleri gözlenen alanlarda yüksek negatif gravite değerlerinin olduğunu ifade etmiştir. Mahatsente vd. (2018), Anadolu'nun doğusu için gravite anomali değerlerini haritalamıştır. Yapmış oldukları çalışmada bu bölge için yüksek pozitif gravite anomalileri hesaplamış ve bu bölgedeki yüksek b -değerleri ile uyum içindedir. Sonuç olarak bu bölgenin düşük gerilme seviyesine sahip olduğu söylenebilir.

Çalışma alanının doğusunda bulunan Çaldıran, Başkale ve Yüksekova-Şemdinli fayları civarında düşük b -değerleri yine dikkati çekmektedir. Mahatsente vd. (2018), bu bölgede yüksek negatif gravite anomalileri gözlemiş ve bu düşük b -değerleri ile uyumludur. Aydemir vd. (2014) yapmış oldukları çalışmada, bu bölge için negatif yüksek gravite

anomalileri elde etmiştir. Bu bölgenin b -değeri değişimine göre yüksek gerilme seviyesine sahip olduğu söylenebilir. Aydemir vd. (2014), Nemrut yanardağı civarından başlayarak Van Gölü'nün doğusuna kadar uzanan doğu-batı uzanımlı bir süreksizlik belirlemiştir. Bu süreksizliğin doğu kısmında batı kısmına nispeten daha düşük b -değerleri elde edilmiştir. Büyüksaraç vd. (2021), Van şehir merkezi ve ilçeleri için olasılıksal sismik tehlike analizi yapmıştır. En büyük yer ivmesi değerlerinin 0,24 ile 0,43 g arasında değiştiğini belirlemiştir ve en büyük tehlikenin Çaldıran ilçesinde, en düşük tehlikenin ise Gürpınar ilçesinde olduğunu belirtmişlerdir.

Van Gölü'nün doğusunda bulunan Van Fay Zonu ve Yeniköşk Fayı civarında düşük b -değerleri dikkati çekmektedir. Cirmik (2018) bu bölge için nispeten yüksek P dalga hızı değerleri ve düşük ısı akısı değerleri elde etmiştir. Alkan vd. (2020), Van Gölü ve civarı için yapmış oldukları çalışmada, Moho derinliğini yaklaşık olarak 41-47 km arasında değiştiğini ifade etmişlerdir. Van Fay Zonu ve Yeniköşk Fayı civarında Moho süreksizliğinin daha sık olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu bölgede Moho'nun daha sıkda olması ve düşük b -değerlerinin elde edilmiş olması, gerilme seviyesinin büyük olmasına işaret etmektedir.

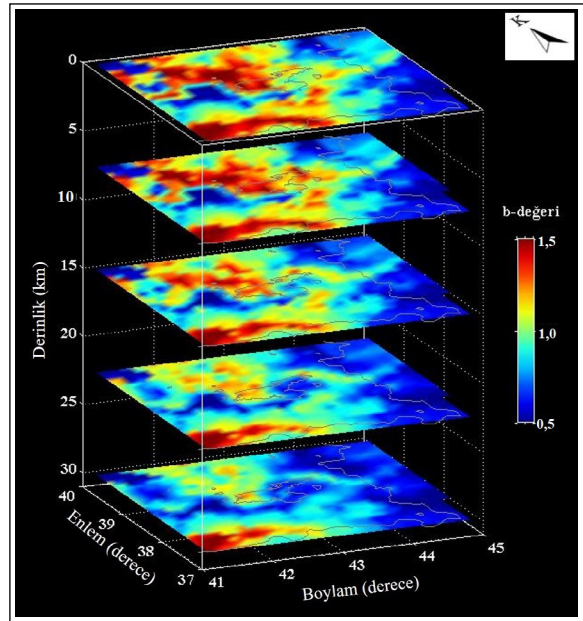
Bitlis Bindirme Zonu ile Van Gölü arasında kalan bölge için de düşük b -değerleri elde edilmiştir. Cirmik (2018), bu bölge için düşük ısı akısı değerleri ile nispeten düşük P dalgası hızları elde etmiştir. Bu bölgede elde edilen b -değerleri ısı akısı ile uyumluken, P dalgası hızları ile yakın bir uyum göstermemektedir. Mahatsente vd. (2018), bu bölge için negatif yüksek gravite değerleri gözlemlemiştir.

Tektonik gerilmeye bağlı olan b -değeri ile Coulomb gerilme değişimi arasındaki ilişkisi oldukça önemlidir. Bu amaç için Coulomb gerilme değişimi, Çizelge 1'deki deprem odak mekanizmaları kullanılarak 0-30 km derinlik aralığı için hesaplanmıştır (Şekil 5). Özellikle Van ve Yeniköşk Fayları civarında pozitif gerilme değişimi ve küçük b -değerleri elde edilmiştir. Bu durum bölgenin yüksek gerilme seviyesine sahip olduğuna işaret etmektedir. Ayrıca Başkale ve Çaldıran fayları arasında kalan zonda pozitif değerler dikkati çekmektedir ve yine bu alanda da küçük b -değerleri gözlenmektedir. Süphan Volkanı ve Nemrut Volkanı civarında Coulomb gerilme değişiminde ciddi bir değişim gözlenmemiştir ve bu bölgede yüksek

b -değerleri ($>1,2$) elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler düşük gerilme seviyesini işaret etmektedir.

Çalışma alanındaki 3-boyutlu b -değeri haritası, ZMAP yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Her bir grid için en az 20 ve en yakın 200 olay seçilerek $0,1^\circ \times 0,1^\circ \times 5$ km grid aralığı için harita elde edilmiştir. Şekil 9'da gösterilen 3-boyutlu b -değeri haritası, en büyük olasılık yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. b -değerinin derinlikle değişimini incelemek için 0, 7,5, 15, 22,5 ve 30 km derinliklerde beş adet yatay harita çizilmiştir. Elde edilen b -değerleri 0,5 ile 1,5 arasında değişmektedir. Şekil 9 incelendiğinde, b -değerinin genellikle artan derinlikle azaldığı dikkat çekmektedir.

Van Fay Zonu ve Yeniköşk Fayı civarında 7,5 km derinliğe kadar b -değerinin artmaktadır. Fakat bu derinlikten sonra azalım göstermektedir. Van Gölü'nün kuzeybatısında bulunan Nemrut ve Süphan volkanlarının bulunduğu bölgede b -değeri 1,5 olarak elde edilmiştir. Fakat 30 km derinliğinde 1,0 olarak elde edilmiştir. Özacar vd. (2010), bu bölgede genç volkanik birimlerden meydana gelen kısmi ergimenin varlığına işaret etmiştir. Cirmik (2018), bu bölgede deprenselliğin düşük olduğu ve kabuksal rijiditenin düşük olması sonucunu doğurduğunu ifade etmiştir.



Şekil 9 – b -değerinin 3 boyutlu değişimi (haritalar yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla 0; 7,5; 15; 22,5 ve 30 km derinliklerine karşılık gelmektedir).

Tüm bu sonuçlara göre, bu bölgenin stress seviyesinin düşük olduğu söylenebilir.

Bitlis Bindirme Zonu ve Van Gölü arasında kalan bölgede, b -değerinin genel olarak 0,6 olarak 15 km'ye kadar sabit olarak devam etmektedir ve bu derinlikten sonra biraz düşerek 0,5 değerine gerilediği gözlenmektedir. Alkan vd. (2020), yapmış oldukları çalışmada bu bölge için P-dalgası hızının ilk 30 km'de derinlikle kısmen arttığını belirtmiştir. Elde edilen yüksek P-dalgası hızları, düşük b -değerleri ile uyumlu olduğu söylenebilir.

Çalışma alanının doğusunda bulunan Çaldıran Fayı, Başkale Fayı ve Yüksekova-Şemdinli Fayı ve civarında genel olarak küçük b -değerleri (<0,9) elde edilmiştir. Zhu (2018) Anadolu ve civarı için yapmış olduğu tomografi çalışmasında, bu bölgeyi Doğu Anadolu volkanik sahası olarak ifade etmiştir. Zhu (2018), bu bölge için V_p/V_s değerinin derinlikle arttığını göstermiştir. Ayrıca bu bölgede 1930 depremi ($M_L=7,0$), 1976 depremi ($M_L=6,1$) ve 2020 depremi ($M_L=6,2$) rapor edilmiştir ve bu depremler de bu bölgedeki gerilmenin yüksek olduğuna işaret etmektedir.

Bu çalışmada, Coulomb gerilme değişimi ve b -değerinin farklı derinliklerdeki davranışı da karşılaştırılmıştır. Coulomb gerilme değerleri genellikle artan derinlikle birlikte negatif değerden pozitif değere doğru değişiklik göstermektedir. Çalışma alanının büyük bir kısmında artan derinliklerde küçük b -değerleri gözlenmiştir. Yani her iki değere göre de derinlik arttıkça gerilme seviyesinin arttığı söylenebilir. Fakat Van Gölü'nün hemen doğusunda bulunan Yeniköşk Fayı civarında ilk 15 km'de pozitif Coulomb değerleri gözlenirken, bu derinlikten sonra negatif değerler elde edilmiştir. Bu duruma rağmen, b -değeri bu alan için derinlikle birlikte azalmaktadır. Bu fay için gerilme seviyesinin farklı yöntemler kullanılarak da belirlenmesi ve karşılaştırılması faydalı olabilir.

5. Sonuçlar

Van Gölü ve civarında can ve mal kaybına neden olan birçok deprem hem tarihsel hem de aletsel dönem de rapor edilmiştir. Bir depremin neden olduğu statik gerilme değişikliği civar faylar üzerinde gelecekte olabilecek olan başka bir depremin tahmin edilmesinde

yararlı olacaktır. Coulomb gerilme değişimleri deprem etkileşimleri ve sismik tehlike değerlendirmesi için önemlidir. Bu çalışmada, Van Gölü ve civarında meydana gelen 83 adet depremin Coulomb gerilme değişimleri incelenmiştir. Coulomb gerilme değişimi sonuçlarına göre: Van, Yenişehir, Başkale ve Çaldıran fayları civarında gerilmenin arttığı gözlenmiştir ve bu fayların gelecekte deprem üretme potansiyelinin bölgedeki diğer faylara göre daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, tektonik gerilme ile uyumlu bir parametre olan b -değeri değişimi de bu çalışma kapsamında ortaya koyulmuştur. Pozitif Coulomb gerilme değerlerinin elde edildiği bölgelerde düşük b -değerleri elde edilmiştir ve gerilmenin yüksek olduğu faylar ortaya koyulmuştur. Ayrıca gerilmenin düşük olduğunu ifade eden yüksek b -değerleri, negatif Coulomb gerilme değerleri ile uyumlu bir şekilde elde edilmiştir. Son olarak gerilmenin derinlikle değişimini modellemek için farklı derinliklerde bu parametreler hesaplanmıştır ve ilgili haritalar oluşturulmuştur. Gerilmenin derinlikle genel olarak arttığı ve yine bu iki parametrenin uyumlu olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, çalışma sonucunda elde edilen pozitif Coulomb gerilme değerleri ile düşük b -değerlerinin uyum içinde olduğu ve gelecekte deprem üretme potansiyeline sahip bölgelerin ortaya koyulmasında bu parametrelerin başarılı bir şekilde kullanılabilceği gösterilmiştir.

Katkı Belirtme

Yazarlar, bu çalışmaya veri desteği sağlayan T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Deprem Dairesi Başkanlığı'na teşekkür eder. Şekil 1 ve 2 GMT programı (Wessel vd., 2013) kullanılarak hazırlanmıştır. Şekillerde kullanılan fay verileri MTA çizim editöründen (Emre vd., 2018) sayısallaştırılmıştır.

Değinen Belgeler

AFAD (T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı). 2011. Van Depremi (23 Ekim 2011) raporu, Ankara.

AFAD (T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı). 2020a. 23 Şubat 2020 Hoy (İran) Mw 5.9 depremlerine ilişkin ön değerlendirme raporu, Ankara.

AFAD (T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı).

- 2020b. 25 Haziran 2020 Saray (İran) Mw 5.4 depremlerine ilişkin ön değerlendirme raporu, Ankara.
- AFAD (T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı). <https://deprem.afad.gov.tr/ddakatalogu>. 01 June 2021.
- Ahadov, B., Jin, S. 2019. Effects of Coulomb stress change on Mw > 6 earthquakes in the Caucasus region. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 297-106326.
- Akıncı, A., Malagnini, L., Herrmann, B., Kalafat, D. 2014. High-frequency attenuation in the Lake Van region, Eastern Turkey. *Bulletin of the Seismological Society of America* 104(3), 1400-1409.
- Aki, K. 1965. A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the Earth's crust. *Geophysics* 30, 665-666.
- Akkaya, I. 2015. The application of HVSR microtremor survey method in Yüksekova (Hakkari) region, Eastern Turkey. *Journal of African Earth Sciences* 109, 87-95.
- Alan, H., Bozkurt, E., Çağlan, D., Dirik, K., Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Topal, T. 2011. Van Depremleri (Tabanlı-Edremit) Raporları. *Türk Mühendis ve Mimar Odalar Birliği, Jeoloji Mühendisleri Odası*, 110.
- 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.
- Ansari, S. 2016. Co-seismic stress transfer and magnitude-frequency distribution due to the 2012 Varzaqan-Ahar earthquake doublets (Mw 6.5 and 6.4), NW Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 132, 129-137.
- Aydemir, A., Ateş, A., Bilim, F., Büyüksaraç, A., Bektaş, O. 2014. Evaluation of gravity and aeromagnetic anomalies for the deep structure and possibility of hydrocarbon potential of the region surrounding Lake Van, Eastern Anatolia, Turkey. *Surveys in Geophysics* 35(2), 431-448.
- Bayrak, Y., Öztürk, S., Çınar, H., Kalafat, D., Tsapanos T.M., Koravos, G.C., Leventakis, A. 2009. Estimating earthquake hazard parameters from instrumental data for different regions in and around Turkey. *Engineering Geology* 105(3-4), 200-210.
- 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.
- Büyüksaraç, A., Işık, E., Harirchian, E. 2021. A case study for determination of seismic risk priorities in Van (Eastern Turkey). *Earthquakes and Structures* 20(4), 445-455.
- Çırmık, A. 2018. Examining the crustal structures of eastern Anatolia, using thermal gradient, heat flow, radiogenic heat production and seismic velocities. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata* 59, 2, 117-134.
- Çırmık, A., Doğru, F., Gönenç, T., Pamukçu, O. 2017. The stress/strain analysis of kinematic structure at Gülbahçe Fault and Uzunkuyu Intrusive (İzmir, Turkey). *Pure and Applied Geophysics* 174(3), 1425-1440.
- Çukur, D., Krastel, S., Schmincke, H. U., Sumita, M., Tomonaga, Y., Çağatay, M. N. 2014. Water level changes in Lake Van, Turkey, during the past ca. 600 ka: climatic, volcanic and tectonic controls. *Journal of Paleolimnology* 52, 201-214.
- 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.
- Degens, E. T., Wong, H. K., Kempe, S. 1984. A geological Study of Lake Van, Eastern Turkey. *Geologische Rundschau* 73, 701-734.
- 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.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, S., Şaroğlu F. 2013. 1/1.250.000 scale Turkey Active Fault Map. General Directorate of Mineral Research and Exploration Special Publication.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, S., Elmacı, H., Can, T. 2018. Active fault database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering* 16(8), 3229-3275.
- Frohlich, C., Davis, S. D. 1993. Teleseismic b values; or, much ado about 1.0. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 98(B1), 631-644.

- Görür, N., Çağatay, M., Zabcı, C., Sakıncı, M., Akkök, R., Şile, H., Örcen, S. 2015. The late Quaternary tectono-stratigraphic evolution of the Lake Van, Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 151, 1-46.
- Gutenberg, B., Richter, C. F. 1944. Frequency of earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological Society of America* 34(4), 185-188.
- 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 Space* 64, 991-1003.
- Işık, S. E., Konca, A. Ö., Karabulut, H. 2017. The seismic interactions and spatiotemporal evolution of seismicity following the October 23, 2011 $M 7.1$ Van, Eastern Anatolia, earthquake. *Tectonophysics* 702, 8-18.
- 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, 9-4.
- Keskin, M. 2007. Eastern Anatolia: A hotspot in a collision zone without a mantle plume. *Geological Society of America Special Paper* 430, 693–722.
- KOERI (Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute). <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>. 01 June 2021.
- Lahn, E. 1948. Türkiye göllerinin jeolojisi ve jeomorfolojisi hakkında bir etüd. *MTA Yayınları*, B(12).
- Mackenzie, D., Elliott, J. R., Altunel, E., Walker, R. T., Kurban, Y.C., Schwenninger, J. L., Parsons, B. 2016. Seismotectonics and rupture process of the $M 7.1$ 2011 Van reverse-faulting earthquake, eastern Turkey, and implications for hazard in regions of distributed shortening. *Geophysical Journal International* 206, 501–524.
- Maden, N., Öztürk, S. 2015. Seismic b -values, bouguer gravity and heat flow data beneath Eastern Anatolia, Turkey: tectonic implications. *Surveys in Geophysics* 36(4), 549-570.
- Mahatsente, R., Önal, G., Çemen, I. 2018. Lithospheric structure and the isostatic state of Eastern Anatolia: Insight from gravity data modelling. *Lithosphere* 10(2), 279-290.
- Mogi, K. 1962. Study of elastic shocks caused by the fracture of heterogeneous materials and its relations to earthquake phenomena. *Bulletin of the Earthquake Research Institute University of Tokyo* 40(1), 125-173.
- Ogata, Y., Imoto, M., Katsura, K. 1991. 3-D spatial variation of b -values of magnitude–frequency distribution beneath the Kanto District, Japan. *Geophysical Journal International* 104, 135-146.
- Olsson, R. 1999. An estimation of the maximum b -value in the Gutenberg-Richter relation. *Geodynamics* 27, 547-552.
- Özacar, A. A., Zandt, G., Gilbert, H., Beck, S. L. 2010. Seismic images of crustal variations beneath the East Anatolian Plateau (Turkey) from teleseismic receiver functions. *Geological Society of London, Special Publications* 340(1), 485-496.
- Özer, Ç. 2019. Investigation of Soil Amplification in Lake Van Basin. *Research Reviews in Engineering*. Gece Kitaplığı, Türkiye.
- Öztürk, S. 2015. Depremselliğin fraktal boyutu ve beklenen güçlü depremlerin orta vadede bölgesel olarak tahmini üzerine bir modelleme Doğu Anadolu Bölgesi, Türkiye. *Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 5(1), 1-23.
- 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.
- 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.
- 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.
- Reasenbergl, P. 1985. Second-order moment of central California seismicity, 1969–1982. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 90(B7), 5479-5495.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, 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.

- Scholz, C. H. 1968. The frequency-magnitude relation of microfracturing in rock and its relation to earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America* 58(1), 399-415.
- Selçuk, A. S. 2016. Evaluation of the relative tectonic activity in the eastern Lake Van basin, East Turkey. *Geomorphology* 270, 9-21.
- Sumita, M., Schmincke, H. U. 2013. Impact of volcanism on the evolution of Lake Van II: temporal evolution of explosive volcanism of Nemrut Volcano (eastern Anatolia) during the past ca. 0.4 Ma. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 253, 15-34.
- Suyehiro, S. 1964. Foreshocks and aftershocks accompanying a perceptible earthquake in central Japan. *Papers in Meteorology and Geophysics* 15, 71-88.
- Şaroğlu, F., Yılmaz, Y. 1986. Doğu Anadolu'da Neotektonik Dönemdeki Jeolojik Evrim ve Havza Modelleri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- 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, 4.
- Toda, S., Stein, R. S., Sevilgen, V., Lin, J. 2011. Coulomb 3.3 graphic-rich deformation and stress-change software for earthquake, tectonic and volcano research and teaching-user guide. United State Geological Survey, Open-File Report, 1060.
- Toker, M. 2014. Discrete characteristics of the aftershock sequence of the 2011 Van Earthquake. *Journal of Asian Earth Sciences* 92, 168-186.
- Toker, M., Şengör, A. M. C., Schluter, F. D., Demirbağ, E., Çukur, D., Imren, 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.
- 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.
- Warren, N. W., Latham, G. V. 1970. An experimental study of thermally induced microfracturing and its relation to volcanic seismicity. *Journal of Geophysical Research* 75(23), 4455-4464.
- Wessel, P., Smith, W. H. F., Scharroo, R., Luis, J. F., Wobbe, F. 2013. Generic Mapping Tools: Improved version released. *EOS, Transactions American Geophysical Union* 94, 409-410.
- Wiemer, S. 2001. A software package to analyze seismicity: ZMAP. *Seismological Research Letters* 72(3), 373-382.
- Wiemer, S., Wyss, M. 1997. Mapping the frequency-magnitude distribution in asperities: An improved technique to calculate recurrence times?. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 102(B7), 15115-15128.
- Wiemer, S., Wyss, M. 2002. Mapping spatial variability of the frequency-magnitude distribution of earthquakes. In *Advances in Geophysics* 45, 259.
- Wyss, M. 1973. Towards a physical understanding of the earthquake frequency distribution. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 31(4), 341-359.
- Yadav, R. B. S., Gahalaut, V. K., Chopra, S., Shan, B. 2012. Tectonic implications and seismicity triggering during the 2008 Baluchistan, Pakistan earthquake sequence. *Journal of Asian Earth Sciences* 45, 167-178.
- Yılmaz, Y., Şaroğlu F., Güner Y. 1987. Initiation of the Neomagmatism in East Anatolia. *Tectonophysics* 134, 177-199.
- Zhu, H. 2018. High Vp/Vs ratio in the crust and uppermost mantle beneath volcanoes in the Central and Eastern Anatolia. *Geophysical Journal International* 214(3), 2151-2163.