

Earthquake Monitoring Network of Erzurum: ATANET

Caglar Ozer (Corresponding author)
Earthquake Research Centre, Ataturk University
PO box 25240, Erzurum, Turkey
E-mail: caglarozero@atauni.edu.tr

Mustafa Engin Kocadagistan
Metallurgical and Materials Engineering, Ataturk University
PO box 25240, Erzurum, Turkey
E-mail: mengink@atauni.edu.tr

Sukran Perk
Earthquake Research Centre, Ataturk University
PO box 25240, Erzurum, Turkey
E-mail: sukran.perk@atauni.edu.tr

This work was supported by Research Fund of the Ataturk University. Project Number: FAD-2019-7180.

Abstract

The main aim of this study is to introduce Ataturk University Earthquake Research Center and to announce the studies carried out to the scientific world. Erzurum Earthquake Monitoring Network (ATANET), which consists of 16 weak ground motion sensors established with the facilities of Ataturk University Earthquake Research Center, is an important institution where routine analysis of earthquakes occurred in the Eastern Anatolia region. The Ataturk University Earthquake Research Center, which plays an active role in the Eastern Anatolia Region, conducts earthquake analyzes in the area between 38.00 ° - 42.00 ° N latitudes and 38.00 ° - 44.50 ° E longitudes surrounding the main tectonic elements that produce earthquake. In this study, 668 earthquakes recorded by ATANET between 2014-2015 were analyzed. The focal depths of most earthquakes ranging in magnitude from 1.0 to 5.0 are concentrated in the first 25 km. It was determined that most of the earthquakes were clustered in Askale fault and Horasan-Senkaya fault zone. According to the fault plane results, it is observed that the region is dominated by faults, which are predominantly strike slip component and reverse faults. The results support the known tectonic structure in the Eastern Anatolia Region under the influence of compression tectonic regime.

Keywords: Ataturk University, ATANET, earthquake, tectonic.

DOI: 10.7176/JSTR/5-8-04

Erzurum Deprem İzleme Ağı: ATANET

Özet

Atatürk Üniversitesi Deprem Araştırma Merkezinin tanıtılması ve yürüttüğü çalışmaların bilim dünyası ile paylaşılması bu çalışmanın ana hedefidir. Atatürk Üniversitesi Deprem Araştırma Merkezinin imkanları ile kurulmuş 16 adet zayıf yer hareketi sensörlerinden oluşan Erzurum Deprem İzleme Ağı (ATANET), Doğu Anadolu bölgesinde meydana gelen depremlerin rutin analizlerinin yapıldığı önemli bir araştırma merkezidir. Doğu Anadolu Bölgesinde etkin bir rol üstlenen Atatürk Üniversitesi Deprem Araştırma Merkezi, deprem üreten ana tektonik unsurları çevreleyecek şekilde 38.00° - 42.00°K enlemleri ile 38.00° - 44.50°D boylamları arasında kalan alanda faaliyet göstermektedir. Bu çalışmada ATANET tarafından 2014-2015 yılları arasında kayıt edilen 668 deprem analiz edilmiştir. Büyüklükleri 1.0 ile 5.0 arasında değişen depremlerin birçoğunun odak derinlikleri ilk 25 km'de yoğunlaşmaktadır. Depremlerin büyük çoğunluğunun Aşkale fayında ve Horasan-Şenkaya fay zonunda kümelenildiği

belirlenmiştir. Fay düzlemi sonuçlarına göre, bölgenin özellikle baskın doğrultu atım bileşeni olan faylar ve ters faylar tarafından domine edildiği gözlenmiştir. Elde edilen çözümler, sıkışma tektoniği rejimi etkisi altındaki Doğu Anadolu Bölgesindeki bilinen tektonik yapıyı desteklemektedir.

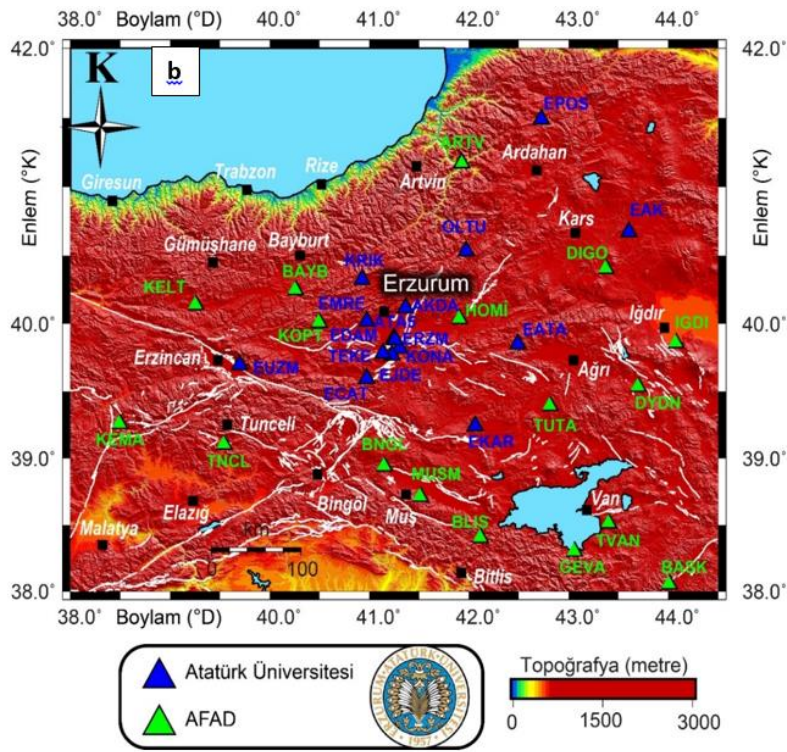
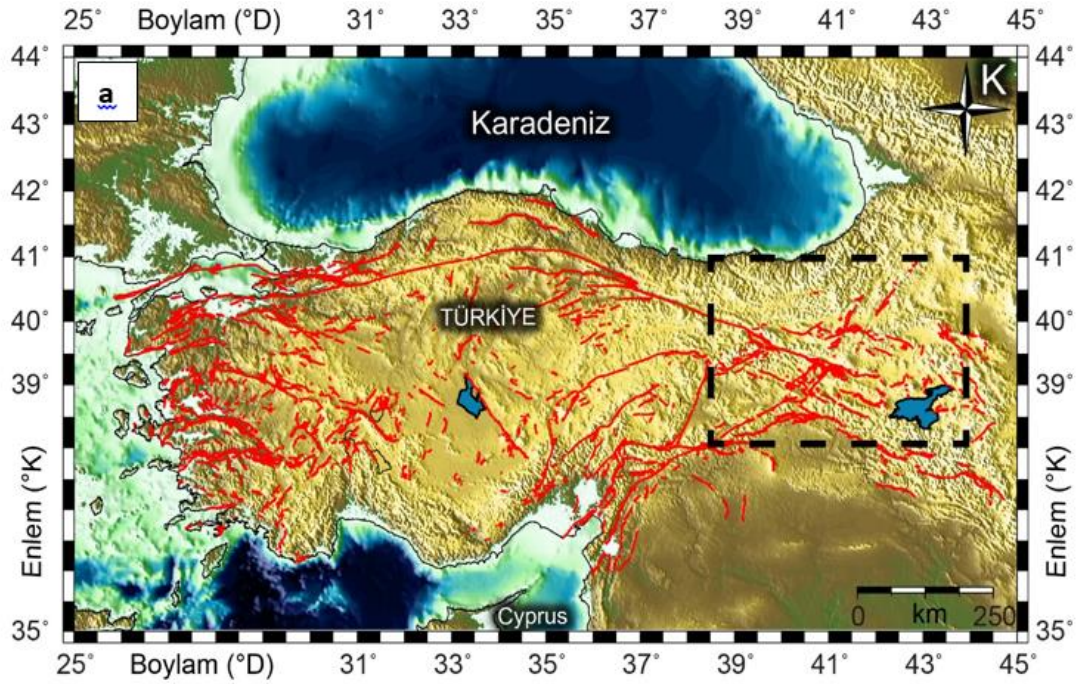
Anahtar Kelimeler: Atatürk Üniversitesi, ATANET, deprem, tektonik

1. Giriş

1989 yılında kurulan Atatürk Üniversitesi Deprem Araştırma Merkezi (ATA-DAM) tarafından işletilen toplam 16 adet zayıf yer hareketi deprem istasyonundan oluşan Erzurum Deprem İzleme Ağı (ATANET), Doğu Anadolu bölgesinde ileri düzey sismoloji araştırmaların yapılmasına imkân sağlamaktadır (Çizelge 1). 2013 yılında Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) ile yapılan protokol ile AFAD ile ATA-DAM arasında deprem verileri paylaşarak toplam 31 adet istasyon verisi ATA-DAM'e gelmektedir. Ayrıca beş istasyon verisi Uluslararası Sismoloji merkezi (ISC) ile paylaşılmakta olup, ISC tarafından da merkezimize Gürcistan, İran ve Azerbaycan'da bulunan bazı deprem istasyonlarının verisi aktarılmaktadır. Böylelikle Doğu Anadolu Bölgesinde etkin bir rol üstlenen ATA-DAM, deprem üreten ana tektonik unsurları çevreleyecek şekilde 38.00° - 42.00°K enlemleri ile 38.00° - 44.50°D boylamları arasında kalan alanda rutin deprem analizlerini yürütmektedir (Şekil 1). Depremlerin kesintisiz, eş zamanlı olarak gözlenmesi ve kayıtlarının alınması deprem sonuçlarının kontrol altına alınabilmesi açısından önemlidir. Erzurum ve Doğu Anadolu bölgesinde yapılan sismik tehlike çalışmaları ATA-DAM çalışma alanının büyük bir risk altında olduğunu göstermektedir (Bayrak vd. 2013, Bayrak vd. 2015, Bayrak, 2019). Ayrıca deprem parametrelerinin doğru şekilde belirlenmesi afet yönetimi ve sismik risk açısından da büyük önem arz etmektedir. Erzurum şehir merkezi ve yakın çevresinde her gün 10'un üzerinde deprem meydana gelmektedir. Bu depremlerin parametrelerinin güvenilir olarak belirlenmesi, lokasyonlarının tespit edilmesi ve ileri bilimsel araştırmaların yapılması ATANET sismik ağı ile mümkün olmaktadır. Bu zayıf yer hareketi ağı, Erzurum ve çevresinde geçmişte meydana gelen depremler dikkate alınarak, Erzurum ve çevre illerini kapsayacak şekilde geliştirilmiş ve bu ağda bulunan sismik istasyonlardan sürekli veri alınabilir duruma getirilmiştir. ATANET sismik istasyonlarından gelen veriler ATA-DAM'da eş zamanlı kaydedilip değerlendirilmektedir.

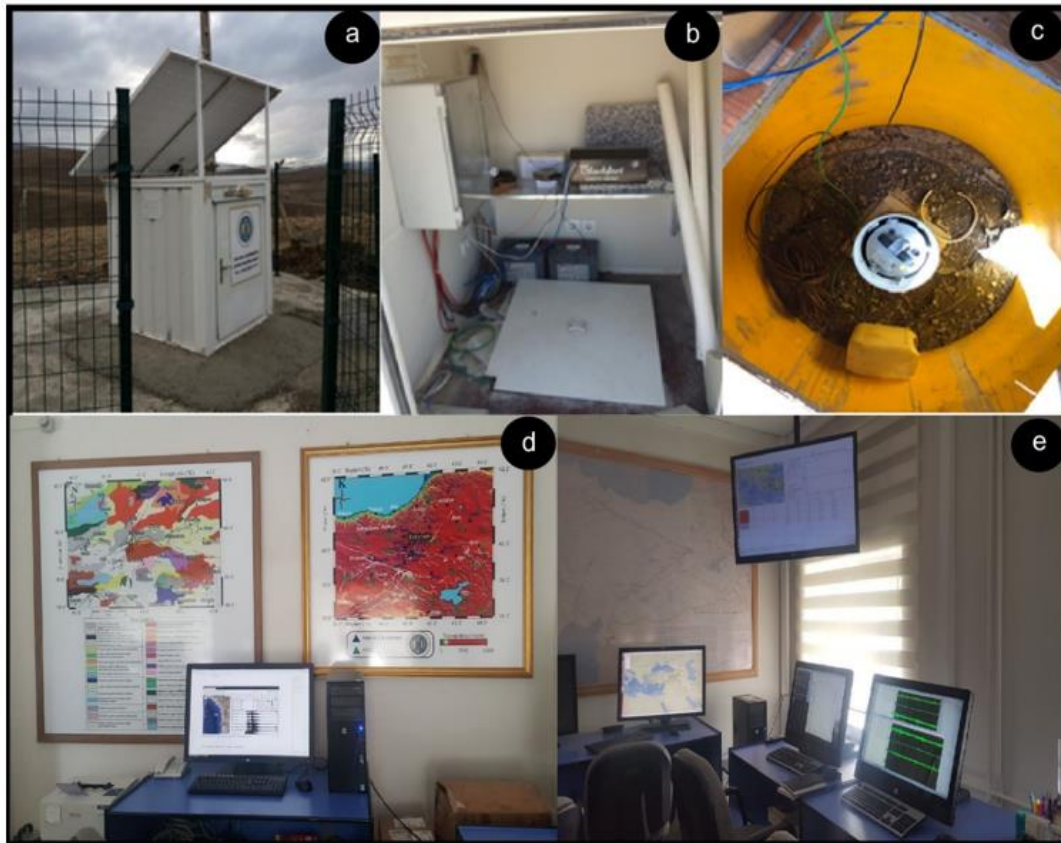
Çizelge 1. ATANET deprem istasyonlarına ait konum ve cihaz bilgileri

No	İstasyon Kodu	Boylam (°)	Eylem (°)	Yükseklik (metre)	Cihaz	İletişim
1	AKDA	41.3636	40.1035	1883	CMG-3T	GPRS Modem
2	ATA5	41.2447	40.9046	1950	CMG- 3T	Kablolu İnternet
3	EAK	43.6069	40.6862	1613	CMG- 3T	Uydu
4	EATA	42.2950	39.5173	2770	CMG- 6TD	Uydu
5	ECAT	40.9742	39.6062	1910	CMG- 3T	Uydu
6	EDAM	41.2587	39.8955	1950	CMG-5TD	Kablolu İnternet
7	EJDE	41.3035	39.8330	3185	CMG-6TD	GPRS Modem
8	EKAR	42.0640	39.2559	2129	CMG- 3T	Uydu
9	EMRE	40.9762	40.0302	2071	CMG-6TD	GPRS Modem
10	EPOS	42.7279	41.5035	1583	CMG- 3T	Kablolu İnternet
11	ERZM	41.3622	39.9044	2397	Geotech S13	GPRS Modem
12	TEKE	41.1370	39.7940	2128	CMG-6TD	GPRS Modem
13	EUZM	39.6977	39.7075	1250	CMG- 3T	GPRS Modem
14	KONA	41.2280	39.7792	3099	CMG-6TD	Kablolu İnternet
15	KRIK	40.9271	40.3374	2050	CMG- 3T	GPRS Modem
16	OLTU	41.9735	40.5461	1400	CMG-6TD	Uydu

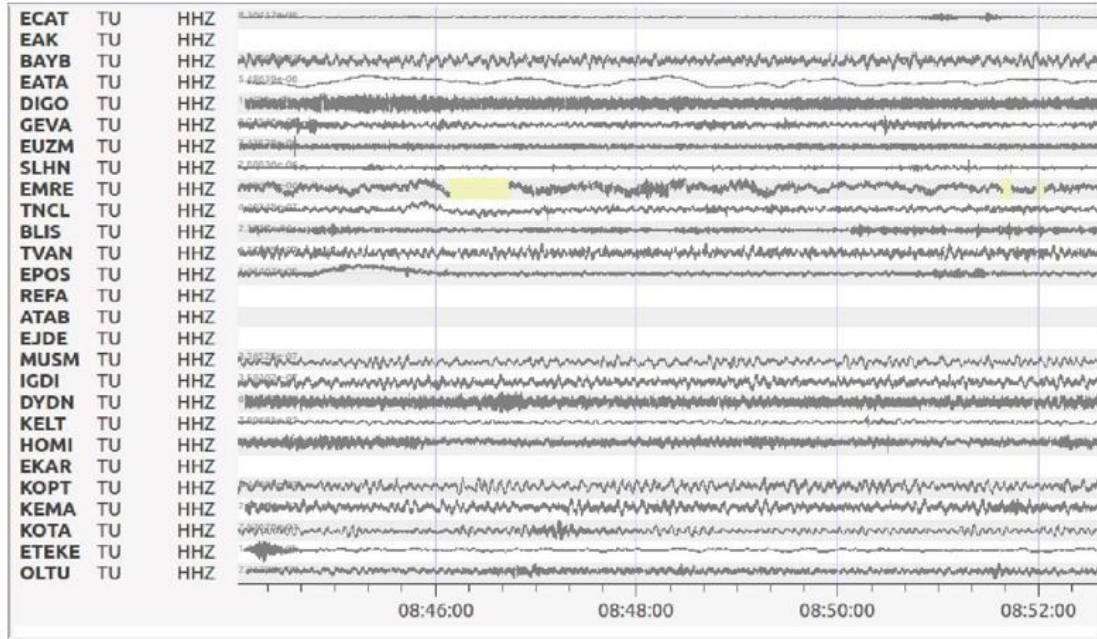


Şekil 1.a. Türkiye tektonik haritası. Şekil 1.b. Erzurum'un yerel sismik ağı olan ATANET ve AFAD deprem kayıtçılarının dağılımı. Mavi üçgenler ATA-DAM tarafından kurulan kayıtçıları simgelerken, yeşil üçgenler AFAD tarafından kurulan sensörleri göstermektedir. Fay bilgileri Maden Tetkik ve Arama (MTA) çizim editöründen sayısallaştırılmıştır (Emre vd. 2013 ve Emre vd. 2018).

ATANET, bir zayıf yer hareketi deprem istasyon ağıdır ve Erzurum ve yakın çevresinde deprem parametrelerinin ve bölgenin mevcut tektonik yapısını aydınlatmaya yönelik araştırmalar yapmaktadır. Ayrıca bu yerel ağ kullanılarak temel sismolojik araştırmalar (Havskov et al. 2016), zemin araştırmaları (Ozer, 2019a, b) ve tomografik çalışmalar (Ozer vd. 2019, Ozer ve Ozyazıcıoğlu, 2019) yürütülmektedir. ATANET yaklaşık 221,778 km² alana yayılmaktadır ve AFAD ile yapılan protokol ile paylaşılan veriler ışığında ATA-DAM bu alanda söz sahibidir. Tüm deprem istasyonların altyapısı uluslararası standartlar gözetilerek kurulmuştur. Erzurum ve çevresinde -40 dereceye ulaşan soğuklara karşı özel galvaniz kulübeler ve özel güneş panelleri kullanılmıştır. Sensörler 24-bit sayısallaştırıcı ve GPS zaman algılayıcısına sahip olup saniyede 100 örnek almaktadır. Kesintisiz gözlem Erzurum-ATADAM ve Ankara-AFAD sistem laboratuvarlarında 7/24 prensibinde yapılmaktadır (Şekil 2). ATANET’de bulunan sismik istasyonlarının lokasyonları belirlenirken; gürültüden uzak ve sağlam zemin üzerinde olması, elektrik ve telefon hattının bulunması, GAP (azimut) gibi faktörler dikkate alınarak belirlenmiştir. ATANET kapsamındaki tüm istasyonlarda veri iletimi; uydu, ADSL (kablolu internet) ya da GPRS modemler ile gerçekleştirilmektedir. Bu istasyonlardan GCF (Güralp Compressed Format) uzantılı kayıtlar AFAD’a eş zamanlı gönderilmektedir. AFAD üzerinden de paylaşılan veriler merkezimize SeisComp yazılımı (<https://www.seiscomp3.org/>) ile ATA-DAM’a mseed formatında aktarılmaktadır (Şekil 3). 24 saat takip edilen deprem verileri ilk etapta SEISAN yazılımı (Havskov ve Ottemoller, 1999) aracılığıyla konumları belirlenip, deprem parametreleri tespit edilmektedir.



Şekil 2. ATANET ve ATA-DAM’a ait görseller. a. ETEKE istasyonunun uzaktan görünümü. b. ETEKE istasyonunun iç görünümü. c. ETEKE istasyonuna ait sensörün görünümü. d. ATA-DAM sistem odasının görünümü. e. ATANET veri işlem bilgisayarlarının görünümü



Şekil 3. Üç bileşenli deprem istasyonlardan gelen eş-zamanlı verilerin, veri-işlem odasındaki SeisComp yazılımına ait temsili ekran görüntüsü

Doğu Anadolu Bölgesi, Arap-Avrasya levhasının yaklaşmasının (McQuarrie vd., 2003) gerçekleştiği alanda yer aldığından sismik olarak aktif bir bölgededir. Bölge önemli fay sistemlerini içerir. Yüzyıllar boyunca yıkıcı büyük depremlerin meydana geldiği Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) bu tektonik birimlerin en önemli unsurlarıdır (Sengor, 1979; Orgulu vd. 2003; Fichtner vd. 2013; Vanacore vd. 2013; Simao vd. 2016). Binalarda hasarlara ve ölümlere yol açan 27 Aralık 1939 Erzincan ve 23 Ekim 2011 Van depremleri (sırasıyla, $M_w = 7.8$ ve $M_w = 7.2$) bu bölge içinde meydana gelmiştir. Türkiye'de aletsel dönemde kaydedilen en büyük deprem olan 1939 Erzincan depremi aktif bir sağ yanal atımlı fay olan KAFZ üzerinde gerçekleşmiştir. Bu deprem, 360 km uzunluğundaki bir yüzeyde yırtılmaya neden olmuştur (Barka, 1996). 23 Ekim 2011 Van depreminde ise yırtığın 8-9 km ve kayma derinliğinin 14 km olması depremin yarattığı etkiyi açıkça göstermektedir (Elliott vd. 2013). Tarihsel dönemde (1900'lü yılların öncesi) Erzurum ve yakın çevresinde meydana gelmiş depremler incelendiğinde on şiddetine kadar depremler rapor edilmiştir (Çizelge 2). Aletsel dönemde ise Erzurum il sınırlarında meydana gelmiş en büyük depremler kronolojik sırayla 1901 Pasinler ($M=6.1$), 1906 Oltu ($M=6.0$), 1924 yılı Köprüköy ($M=6.8$) ve 1983 yılı Şenkaya-Horasan ($M=6.6$) depremleridir (Çizelge 3). Erzurum Havzası, Doğu Anadolu'daki sismik olarak oldukça aktif olan ve 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe giren AFAD tarafından hazırlanan deprem tehlike haritasında yüksek ivme değerlerine ($>0.5g$) sahip olan bir bölgedir. 25 Mart 2004 tarihinde büyüklüğü 5.1 ve 28 Mart 2004 tarihinde büyüklüğü 5.3 olan iki deprem meydana gelmiştir. Orta büyüklük olarak tanımlanan bu depremler sol yönlü doğrultu atımlı olan Aşkale Fay Zonunda gerçekleşmiştir. Öte yandan Horasan-Şenkaya Fay Zonu; birbirine paralel KKD-GGB ve KB-GD gidişli ve uzunluğu 10 km'ye kadar uzanan kırıklardan oluşmaktadır. Sol yönlü doğrultu atımlı fay olan Horasan-Şenkaya Fay Zonu, 30 Ekim 1983 tarihinde, $M_w=6.6$ büyüklüğünde bir deprem üretmiştir. Bu deprem sonrasında 1.155 kişi hayatını kaybetmiş ve 537 kişi yaralanmış, 3.241 konut ağır, 3.000 konut orta ve 4.000 konut hafif hasar görmüş, 30.000'i aşkın hayvan telef olmuştur (AFAD Deprem Raporu, 2018).

Çizelge 2. Erzurum ve çevresini etkileyen tarihsel depremlerin listesi (AFAD Deprem Daire Başkanlığı verilerinden derlenmiştir)

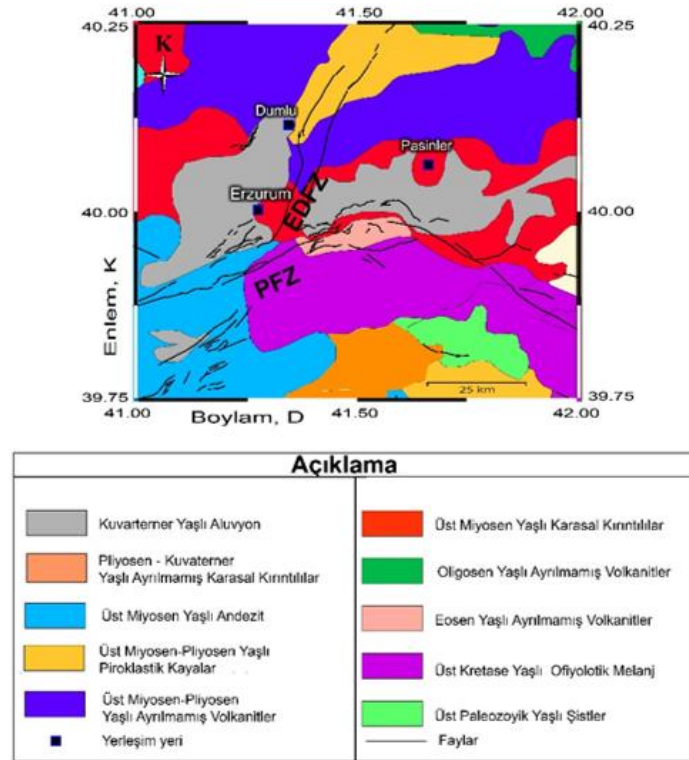
Tarih	Enlem	Boylam	Şiddet	Yer
M.S. 1268	40.00	40.00	IX	Erzincan, Erzurum
M.S. 1458	40.00	40.00	X	Erzincan, Erzurum
M.S. 1482	40.00	40.00	IX	Erzincan, Erzurum
M.S. 1584	40.00	40.00	IX	Erzincan, Erzurum
M.S. 1659	40.00	41.00	VI	Erzurum
M.S. 1781	40.00	41.00	VII	Erzurum
M.S. 1784	40.00	40.00	VIII	Erzincan, Pülümür, Erzurum
M.S. 1790	40.00	41.00	VIII	Erzurum
M.S. 1794	40.00	41.00	VI	Erzurum
M.S. 1844	40.00	41.00	VII	Erzurum
M.S. 1850	40.00	41.00	VII	Erzurum
M.S. 1852	40.00	41.00	IX	Erzurum
M.S. 1852	40.00	41.00	VI	Erzurum
M.S. 1859	40.00	41.00	VII	Erzurum
M.S. 1859	40.00	41.00	IX	Erzurum
M.S. 1859	40.00	42.00	VIII	Pasinler - Erzurum
M.S. 1860	40.00	41.00	VII	Erzurum
M.S. 1866	40.00	41.00	VIII	Erzurum
M.S. 1868	41.00	44.00	VIII	Kars, Erzurum, Ardahan, Tiflis
M.S. 1868	40.00	42.00	VIII	Pasinler - Erzurum
M.S. 1868	40.00	42.00	IX	Erzurum, Kars
M.S. 1875	40.00	41.00	X	Erzurum
M.S. 1877	40.00	41.00	VI	Erzurum
M.S. 1886	40.00	41.00	VI	Erzurum

Çizelge 3. Erzurum ve çevresini etkileyen aletsel deprem listesi (M>6.0) (AFAD Deprem Daire Başkanlığı verilerinden derlenmiştir)

Oluş Tarihi	Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Tür	Büyüklik	Yer
30/10/1983	04:12:29	40.331	42.173	15	Mw	6.6	Şenkaya, Narman, Horasan-Erzurum
20/08/1966	11:59:09	39.420	40.980	14	Ms	6.2	Karlıova-Bingöl
19/08/1966	12:22:11	39.170	41.560	26	Ms	6.9	Varto-Muş
17/08/1949	18:44:20	39.570	40.620	40	Ms	6.7	Tercan-Erzincan
13/09/1924	14:34:14	39.960	41.940	10	Ms	6.8	Köprüköy-Erzurum
28/12/1906	00:00:00	40.500	42.000	30	Ms	6.0	Oltu-Erzurum
28/04/1903	23:46:00	39.100	42.500	30	Ms	6.3	Malazgirt-Muş
08/11/1901	10:18:00	40.030	41.530	10	Ms	6.1	Pasinler-Erzurum

2. Tektonik ve Jeoloji

Erzurum, kuzeyden Dumludağı (3169 m), kuzeydoğudan Kargapazarı Dağları (3120 m), güneyden ise Palandöken Dağları (3176m) tarafından çevrelenen tektonik bir oluşumdur. Bu dağların birçoğu volkanik kökenli olup daha sonra tektonik olaylara maruz kalarak oluşmuşlardır (Keskin vd. 1998 ve Yarbaşı vd. 2004). Bu tektonik olaylar; Arap plakasının Kuzey'e, Afrika plakasının Kuzeydoğuya, Avrasya plakasının ise Güney yöndeki hareketi Anadolu levhasının doğusunu sıkıştırmaktadır. Bu bağlı hareketler sonucu Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) oluşmuştur. Yine bu tektonik olaylar ile gelişen birçok mikro çatlak Erzurum ve çevresinin tektoniğini yönetmektedir. Bu fayların başında; sol yönlü doğrultu atımlı Erzurum-Dumlu Fay Zonu (EDFZ), sol yanallı ters faylardan oluşan Palandöken Fay Zonu (PFZ), Başköy-Kandilli Fay Zonu (BKFZ) ve sol yönlü doğrultu atımlı fayı Aşkale Fay Zonu (AFZ) gelmektedir (Koçyiğit ve Canoğlu, 2017). Şehrin Batısında Karasal kırıntılılar, Güney Batısında Andezitler, Güneyde Palandöken dağının kapladığı alanda Ofiyolitik Melanj, Kuzey ve Kuzey Batıda Volkanitler ile çevrilidir (Şekil 4) (Ozer, 2019a).



Şekil 4. Erzurum ve çevresinin basitleştirilmiş jeolojik ve tektonik birimler (Akbaş vd. 2013, Emre vd. 2013 ve Emre vd. 2018). EDFZ: Erzurum-Dumlu Fay Zonu, PFZ: Palandöken Fay Zonu

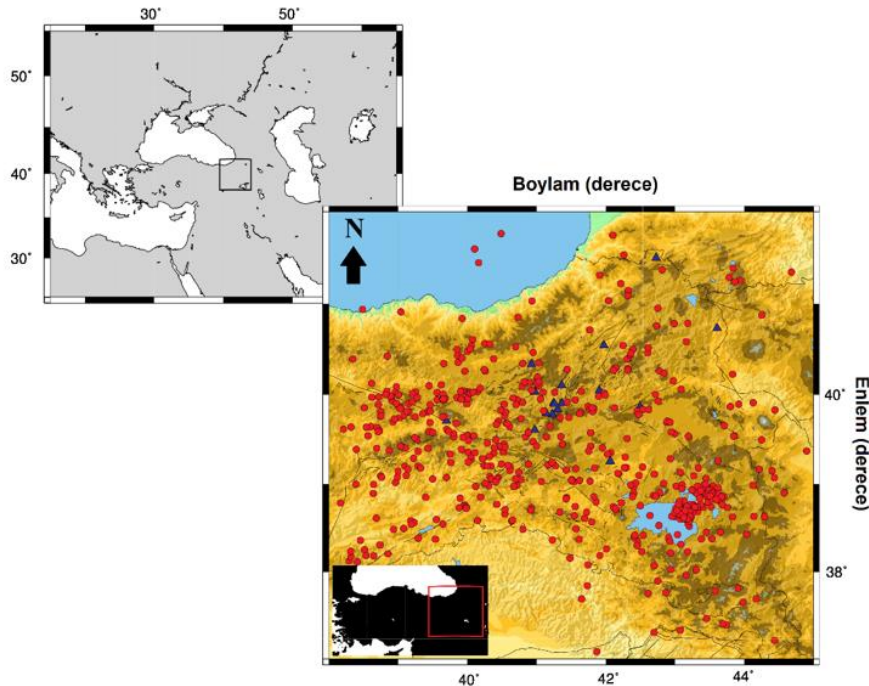
3. Yöntem

Sistematik olarak deprem verileri ilk etapta Linux tabanlı iş istasyonlarında SEISAN algoritması (Havskov ve Ottemoller, 1999) altında kataloglanmaktadır. Sonrasında her istasyona ait 3 bileşenli deprem kayıtlarında düşey bileşenlerde P- fazı, K-G ve D-B bileşenlerde S-fazı manuel olarak sismoloji alanında uzman personel tarafından tespit edilmektedir. Böylelikle deprem konumlamaları ilk etapta bu bilgiler ile gerçekleştirilebilecek hale getirilmektedir. D-B veya K-G bileşenlerdeki genliklerinden (M_L) ve düşey bileşenlerdeki depremin başlangıç ve bitiş noktalarının tespiti (M_C) ile de klasik magnitud hesaplamaları her deprem için standart olarak yapılmaktadır. Sonrasında düşey bileşen kayıtlarında, deprem sinyalinin ilk hareketi baz alınarak kompresyon ve dilatasyonlar belirlenmekte ve odak mekanizma çözümleri yapılmaktadır. Böylelikle, deprem aktivitesinin hangi tür faylar aracılığıyla oluştuğu, eğim atım- doğrultu atım bileşenleri ile tektonik birimlerin hakim doğrultuları ve birbirleri ile ilişkileri hesaplanmaktadır. Deprem lokasyonları, ilk olarak Hypo71 yazılımı (Lee vd., 1972) ile gerçekleştirilmektedir. Tomografik hesaplamalarda mevcut konumların doğruluğunu kontrol etmek ve iyileştirmek için HYPOCENTER (Lienert vd., 1986; Lienert, 1991; Lienert ve Havskov, 1995),

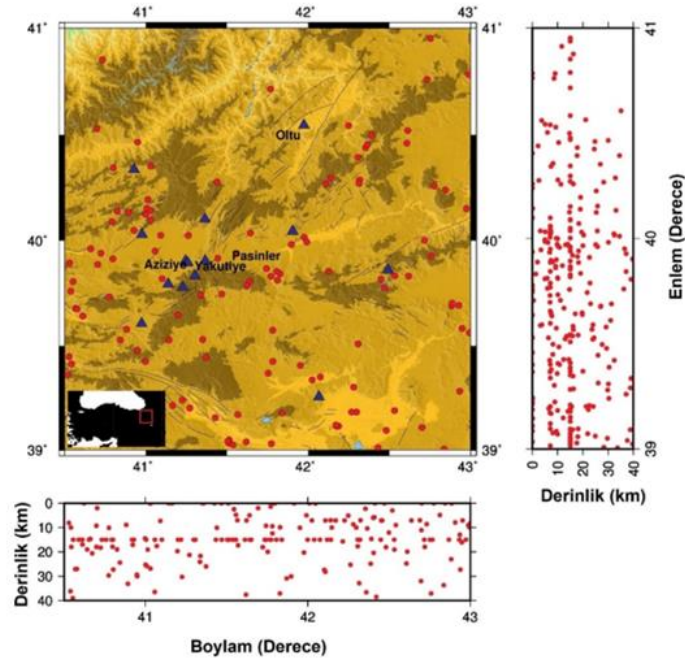
HYPOINVERSE (Klein, 2014), HYPODD (Waldhauser, 2001; Waldhauser ve Ellsworth, 2002) gibi algoritmalarla yararlanılmaktadır. Odak mekanizması çözümlerinde SEISAN altında çalışan FOCMEC (Snoke vd., 1984) ve P- dalgası ilk hareket yönünü dikkate alarak analiz yapan FPFIT (Reasenber ve Oppenheimer, 1985) algoritmaları kullanılmaktadır. Ayrıca ihtiyaç halinde yine SEISAN ile birlikte çalışabilen PINV (Suetsugu, 1998) ve HASH (Hardebeck ve Shearer 2002, 2003) gibi yazılımlardan yararlanılmaktadır. Böylelikle ATA-DAM' da analiz edilen her olay; enlem, boylam, derinlik, magnitüd ve odak mekanizma çözümleri için hazır hale getirilmektedir. İleri düzey akademik çalışmalar için ise ATA-DAM; bu rutin analizler dışında kaynak parametreleri, bir boyutlu sismik hız yapısı, tomografik hesaplamalar, deprem tehlike analizleri, zemin büyütmeleri, Coulomb stres değişimleri ve azalım ilişkileri gibi konularda çalışma yürütebilecek teknik ve bilimsel altyapıya sahiptir.

4. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışma kapsamında Doğu Anadolu Bölgesinde meydana gelen ve ATANET ağına 2014-2015 yılları arasında kaydedilen 660'dan fazla deprem verisi analiz edilmiştir. Bu veri seti kullanılarak depremlerin lokasyonları (enlem, boylam ve derinlik) belirlenmiştir. Lokasyonu yapılan bütün depremlerin RMS hata oranı 0.5'den küçük değerdedir (Şekil 5). Erzurum bölgesinde 2014-2015 yılları arasında meydana gelen depremlerin birçoğunun odak derinlikleri ise 25 km'den düşüktür. Depremlerin büyük bir yoğunlukta Aşkale fayında ve Horasan-Şenkaya Fay zonunda kümelenmiştir (Şekil 6). 2014-2015 yılları arasında kayıt edilen 668 deprem içinden 10 adet deprem seçilerek odak mekanizma çözümleri yapılmıştır (Çizelge 4). Odak mekanizması çözümleri incelendiğinde normal, ters ve doğrultu atımlı fayları temsil eden bulgulara ulaşılmıştır (Şekil 7). Fay düzlemi çözümlerinde esas fay düzlemi; sismik etkinlik, fay çizgiselliği gibi hususlar dikkate alınarak seçilmiştir. Erzurum ve çevresindeki odak mekanizma çözümleri bölgedeki doğrultu atım bileşeni baskın fayların hakim olduğunu, Van gölü ve çevresinde ise ters fayların etkisi altında olduğunu göstermektedir. KAFZ ve DAFZ'nun kesişim noktasında bulunan Karlıova ve çevresindeki çözümler, ters ve doğrultu atım bileşenleri hakim olan faylar tarafından bölgenin tektoniği yönetildiğini göstermektedir (Çizelge 5). Elde edilen çözümler, sıkışma tektoniği rejimi etkisi altındaki Doğu Anadolu Bölgesindeki bilinen tektonik yapıyı desteklemektedir. Fay düzlemi sonuçları analizleri halen ATA-DAM'da devam etmekte olup, yeteri sayıda çözüme ulaşıldığında elde edilen veriler ışığında bölgenin tektonik özelliklerinin daha iyi anlaşılması için Gerilme Tensörü Analizleri yapılacaktır.



Şekil 5. 2014 - 2015 tarihleri arasında ATANET tarafından kayıt edilen ve analizleri tamamlanan 668 depremin lokasyon dağılımı



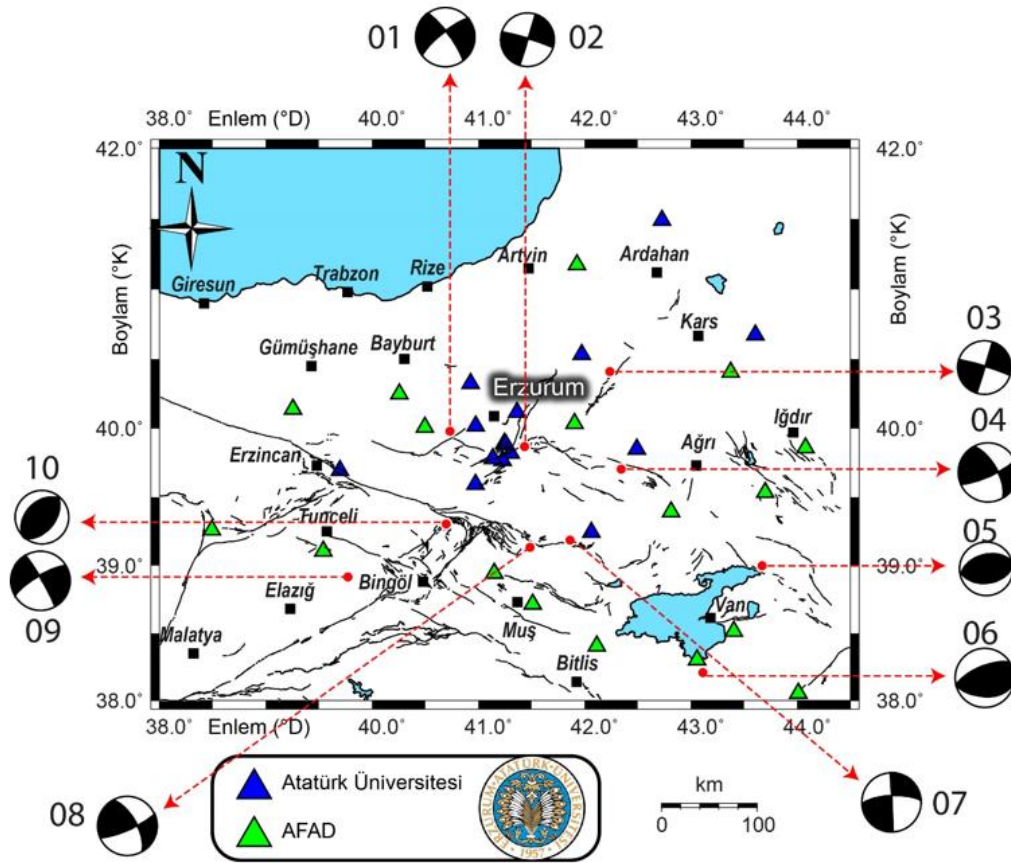
Şekil 6. 2014 - 2015 tarihleri arasında ATANET tarafından Erzurum ve çevresinde kayıt edilen ve analizleri tamamlanan depremlerin lokasyon dağılımı

Çizelge 4. 2014 -2015 tarihleri arasında ATANET ağından elde edilen 10 adet depremin ($2.9 \leq M_L \leq 4.0$) odak mekanizması çözüm parametreleri

No	Enlem(°)	Boylam(°)	Derinlik	M_L	Doğrultu(°)	Dahım(°)	Kayma(°)
1	40.12	40.75	7	3.2	234	74	-12
2	39.82	41.46	10	3.5	319	65	-175
3	40.42	42.21	12	3.1	285	84	177
4	39.61	42.18	8	2.9	330	65	164
5	39.05	43.62	10	3.7	80	45	98
6	38.21	43.17	9	4.0	100	35	125
7	39.24	41.72	6	3.6	265	70	180
8	39.19	41.30	8	2.8	325	64	170
9	38.91	39.64	5	3.3	241	79	-8
10	39.37	40.69	7	3.1	227	39	98

Çizelge 5. Odak mekanizması çözüm yorumları

Deprem No	Yorum
1	Normal atım bileşeni olan baskın sol yönlü doğrultu atımlı fay
2	Normal atım bileşeni olan baskın sol yönlü doğrultu atımlı fay
3	Baskın sol yönlü doğrultu atımlı fay
4	Ters atım bileşeni olan baskın sağ yönlü doğrultu atımlı fay
5	Ters fay
6	Doğrultu atım bileşeni olan baskın ters fay
7	Ters atım bileşeni olan baskın sağ yönlü doğrultu atımlı fay
8	Ters atım bileşeni olan baskın sağ yönlü doğrultu atımlı fay
9	Normal atım bileşeni olan baskın sol yönlü doğrultu atımlı fay
10	Ters fay



Şekil 7. ATANET deprem kayıtlarından yararlanarak yapılan 10 adet depremin odak mekanizması çözümleri. Mekanizma üzerindeki numaralar Çizelge 4 ve 5’de sunulmuştur. Fay bilgileri Maden Tetkik ve Arama (MTA) çizim editöründen sayısallaştırılmıştır (Emre vd. 2013 ve Emre vd. 2018).

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, ATANET tarafından 2014-2015 yılları arasında kayıt edilen RMS hata değeri 0.5’den küçük 668 deprem analiz edilmiştir. Değerlendirilen depremlerin birçoğunun odak derinlikleri ise 25 km’den düşüktür. Depremlerin birçoğunun, Aşkale fayında ve Horasan-Şenkaya Fay zonunda kümelendiği gözlemlenmiştir. Magnitudu 3’den büyük ve tüm deprem istasyonlarında kayıt edilen 10 adet deprem seçilmiş ve odak mekanizma çözümlenmeleri ile bölgenin sismotektonik özellikleri

irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlar bölgenin özellikle baskın doğrultu atım bileşeni olan faylar tarafından domine edildiği gözlenmiştir. Van gölü ve çevresinin ters fayların etkisi altında olduğu, KAFZ ve DAFZ'nun kesişim noktasında bulunan Karlıova ve çevresindeki çözümler de, ters ve doğrultu atım bileşenleri hakim olan faylar tarafından bölgenin tektoniğinin yönetildiği göstermektedir. Elde edilen çözümler, sıkışma tektoniği rejimi etkisi altındaki Doğu Anadolu Bölgesindeki bilinen tektonik yapıyı desteklemektedir.

Teşekkürler

Yazarlar deprem istasyonların kurulumunda büyük emeği olan Mehmet Salih Bayraktutan ve Mehmet Özyazıcıoğlu'na, istasyonların işletilmesi sırasında kesintisiz desteklerini esirgemeyen Afet ve Acil Durum Yönetimi Deprem Dairesi Başkanlığı personeline ve Atatürk Üniversitesi Deprem Araştırma Merkezi çalışanlarına teşekkür eder. Şekillerin bazıları GMT (Wessel vd. 2013) algoritması kullanılarak hazırlanmıştır. Deprem faz okumaları ve kataloglama işlemleri SEISAN programı (Havskov ve Ottemoller, 1999) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Veri transferi ve analizlerinde SeisComP yazılımından (<https://www.seiscomp3.org/>) yararlanılmıştır. Bu araştırmaya veri desteği, T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi (AFAD) Deprem Dairesi Başkanlığı ve Atatürk Üniversitesi Deprem Araştırma Merkezi (ATA-DAM) tarafından sağlanmıştır. Çalışma alanındaki tektonik birimler MTA Diri Fay haritasından (Emre vd. 2013 ve Emre vd. 2018) sayısallaştırılmıştır. Jeolojik birimler MTA Çizin editörü (<http://yerbilimleri.mta.gov.tr/>) ile sayısallaştırılmıştır. Bu çalışma Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: FAD-2019-7180.

KAYNAKLAR

- AFAD Deprem Raporu, (2018). 30 Ekim 1983 Şenkaya/Erzurum-Sarıkamış/Kars depremi. Available: <https://deprem.afad.gov.tr/tarihteBuAy?id=40> (July 2, 2019)
- AFAD Deprem Daire Başkanlığı. Available: <https://deprem.afad.gov.tr/> (July 2, 2019)
- Akbas, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, I., Balci, V., Bilginer E., et al. 2013. Turkey Geological Map, *General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara-Turkey*. <http://yerbilimleri.mta.gov.tr> (July 2, 2019).
- Barka, A. (1996). Slip distribution along the North Anatolian fault associated with the large earthquakes of the period 1939 to 1967. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 86 (5), 1238-1254.
- Bayrak, E., Yılmaz, Ş., Softa, M., Türker, T., Bayrak, Y. (2015). Earthquake hazard analysis for East Anatolian Fault Zone, Turkey. *Natural Hazards*, 76 (2), 1063-1077.
- Bayrak, Y., Yadav, R.B.S., Kalafat, D., Tsapanos, T.M. et al. (2013). Seismogenesis and earthquake triggering during the Van (Turkey) 2011 seismic sequence. *Tectonophysics*, 601, 163-176.
- Bayrak E, 2019, Earthquake Hazard Analysis for Erzurum, 4. International Conference on Civil and Environmental Geology and Mining Engineering, 20-22 Nisan 2019, Trabzon, Turkey.
- Elliott, J.R., Copley, A.C., Holley, R., Scharer, K., Parsons, B. (2013). The 2011 Mw 7.1 Van (Eastern Turkey) earthquake. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 118 (4), 1619-1637.
- Emre, O., Duman, T. Y., Ozalp, S., Elmaci, H., Olgun, S., Saroglu, F. (2013). 1/1.250.000 scaled Turkey active fault map, *General Directorate of Mineral Research and Exploration special publication*. Available: <http://www.mta.gov.tr/> (July 2, 2019)
- Emre, O., Duman, T. Y., Ozalp, S., Saroglu, F., Olgun, S., Elmaci, H. et al. (2018). Active fault database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16, 3229-3275.
- Fichtner, A., Saygin, E., Taymaz, T., Cupillard, P., Capdeville, Y., Trampert, J. (2013). The deep structure of the North Anatolian Fault Zone. *Earth and Planetary Science Letters*, 373, 109-117.

- Hardebeck, J. L. and Shearer, P. M. (2002). A new method for determining estimation focal mechanisms. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92, 2264-2276.
- Hardebeck, J. L. and Shearer, P. M. (2003). Using S/P Amplitude Ratios to Constrain the Focal Mechanisms of Small Earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93, 2434-2444.
- Havskov, J. and Ottemoller, L. (1999). SeisAn Earthquake analysis software, *Seismological Research Letters*, 70. Available: http://www.seismosoc.org/publications/SRL/SRL_70/srl_70-5_es.html (July 2, 2019)
- Havskov, J., Sorensen, M.B., Vales, D., Ozyazicioglu, M., Sanchez, G., Li, B. (2016). Coda Q in Different Tectonic Areas, Influence of Processing Parameters, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 106 (3): 956-970.
- Keskin, M., Pearce J.A, Mitchell, J.G. (1998). Volcano-Stratigraphy and Geochemistry of Collision-Related Volcanism on the Erzurum-Kars Plateau, Northeastern Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 1-4, 355-404.
- Klein, F. W. (2014). User's Guide to HYPOINVERSE-2000, a Fortran Program to Solve for Earthquake Locations and Magnitudes. *Open File Report 02-171*, USGS.
- Koçyiğit, A. ve Canoğlu, M.C. (2017). Neotectonics and Seismicity of Erzurum Pull-apart Basin, East Turkey, *Russian Geology and Geophysics*, 58, 99-122.
- Lee, W. H. K., Bennett, R. E., Meagher, L. (1972). A method for estimating magnitude of local earthquakes from signal duration. *Open le report*, USGS.
- Lienert, B. R. E., Berg, E., Frazer, L. N. (1986). Hypocenter: An earthquake location method using centered, scaled, and adaptively least squares. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 76:771-783.
- Lienert, B. R. E. (1991). Report on modications made to Hypocenter. *Technical report*, Institute of Solid Earth Physics, University of Bergen, Bergen, Norway.
- Lienert, B. R. E. and Havskov, J. (1995). HYPOCENTER 3.2: A computer program for locating earthquakes locally, regionally and globally. *Seismological Research Letters*, 66 (5), 26-36. <https://doi.org/10.1785/gssrl.66.5.26>.
- McQuarrie, N., Stock, J.M., Verdel, C., Wernicke, B.P. 2003. Cenozoic evolution of Neotethys and implications for the causes of plate motions. *Geophysical Research Letters*, 30 (20), doi:10.1029/2003GL017992.
- Orgulu, G., Aktar, M., Türkelli, N., Sandvol, E., Barazangi, M. (2003). Contribution to the seismotectonics of eastern Turkey from moderate and small size events. *Geophysical Research Letters*, 30(24), doi:10.1029/2003GL018258.
- Ozer, C. (2019a). Investigation of the Local Soil Effects of Erzurum and Its Surroundings Using SSR and HVSR Methods. *Dokuz Eylul University faculty of engineering journal of science and engineering*, 21(61), 247-257.
- Ozer, C. (2019b). Investigation of Soil Amplification in Lake Van Basin. *Research reviews in engineering* (Book Chapter), ISSN: 978-605-7631-38-1.
- Ozer, C. and Ozyazicioglu, M. The Local Earthquake Tomography of Erzurum (Turkey) Geothermal Area, *Earth Sciences Research Journal*, accepted.

- Ozer, C., Ozyazicioglu, M., Gok, E., Polat, O. (2019). Imaging the Crustal Structure Throughout the East Anatolian Fault Zone, Turkey, by Local Earthquake Tomography. *Pure and Applied Geophysics*, 176 (6), 2235-2261.
- Reasenber, P. and Oppenheimer, D. (1985). FPFIT, FPLOT and FPPAGE; Fortran computer programs for calculating and displaying earthquake fault-plane solutions. *Technical report*, U.S. Geol. Survey
- Sengor, A. M. C. (1979). The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonic significance. *Journal of the Geological Society*, 136, 269-282, <https://doi.org/10.1144/gsjgs.136.3.0269>.
- SeisComP software. (<https://www.seiscomp3.org/>)
- Simao, N. M., Nalbant, S. S., Sunbul, F., Mutlu, A. K. (2016). Central and eastern Anatolian crustal deformation rate and velocity fields derived from GPS and earthquake data. *Earth and Planetary Science Letters*, 433, 89–98.
- Snoke, J. A., Munsey, J. W., Teague, A. G., Bollinger, G. A. (1984). A program for focal mechanism determination by combined use of polarity and SV-P amplitude ratio data. *Earthquake notes*, 55.
- Suetsugu, D. (1998). Practice on source mechanism, IISEE lecture note. *Technical report*, Tsukuba, Japan.
- Vanacore, E.A., Taymaz, T., Saygin, E. 2013. Moho structure of the Anatolian Plate from receiver function analysis. *Geophysical Journal International*, 193, 1, 329–337, <https://doi.org/10.1093/gji/ggs107>.
- Waldhauser, F. (2001). HypoDD-A Program to Compute Double-Difference Hypocenter Locations. *Technical report*, U.S. Geol. Survey, Menlo Park, CA.
- Waldhauser, F. and Ellsworth, W. L. (2002). Fault structure and mechanics of the Hayward Fault, California from double-difference earthquake locations. *Journal of Geophysical Research B: Solid Earth*, 107.
- 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.
- Yarbaşı, N., Kadirov, A., Bayrakturan, M.S. (2004). Erzurum Şehir Merkezi Batı Kesimi Jeoteknik Haritasında Kullanılan Kriterlerin İstatistiksel Analizi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(2), 211-219.