



EstuNet: A new Weak/Strong-Motion Network with Geodatabase for Metropolitan Eskisehir and Bursa, West Anatolia, Turkey

Muammer Tun¹, Sunay Mutlu¹ and Emrah Pekkan¹

¹ Eskisehir Technical University, Institute of Earth and Space Sciences, Department of Earth Sciences and Earthquake Engineering, Tepebasi 26555 Eskisehir
ORCID: 0000-0002-7118-9977, 0000-0002-3350-696X, 0000-0002-9414-8887

Keywords

EstuNet Seismic Network, Eskisehir-Bursa, Geodatabase, Seismometer, Accelerometer

Highlights

- * EstuNet Seismic Network
- * Eskisehir and Bursa
- * Geodatabase

Acknowledgements

Anadolu University (Project No: 0802000040, 1105F107 and 1401F026), Disaster and Emergency Management Authority (AFAD), Bogazici University, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI), Bursa/Osmangazi Municipality.

Aim

Sharing the experience of establishing and developing the Seismic Network in Eskisehir and Bursa basins.

Location

Eskisehir and Bursa, Turkey.

Methods

Establishment, development and data analysis processes of EstuNet Seismic Network.

Results

Planning the establishment additional stations near the Eskisehir and Bursa Basins and developing the EstuNet Seismic Network.

Supporting Institutions

Eskisehir Technical University, Institute of Earth and Space Sciences.

Manuscript

Research Article

Received: 26.08.2020

Revised: 10.12.2020

Accepted: 10.12.2020

Printed: 30.12.2020

DOI

10.46464/tdad.785892

Corresponding Author

Sunay Mutlu

Email: sunaymutlu@eskisehir.edu.tr

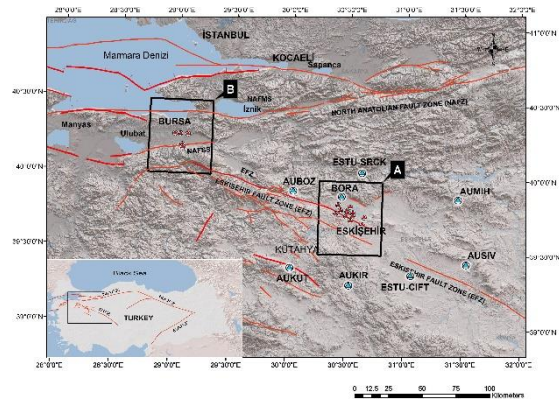


Figure
Regional map showing the active faults in Western Anatolia, Turkey and the location of EstuNet Seismic Network Stations

How to cite

Tun M., Mutlu S., Pekkan E., 2020. EstuNet: A new Weak/Strong-Motion Network with Geodatabase for Metropolitan Eskisehir and Bursa, West Anatolia, Turkey, *Turk. J. Earthq. Res.* 2(2), 193-208, <https://doi.org/10.46464/tdad.785892>



EstuNet: Eskişehir ve Bursa Büyükşehirleri için Konumsal Veritabanlı Yeni Bir Zayıf/Kuvvetli Yer Hareketi Ağı, Batı Anadolu, Türkiye

Muammer Tün¹, Sunay Mutlu¹ ve Emrah Pekkan¹

¹ Eskişehir Teknik Üniversitesi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, Yer Bilimleri ve Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı, Tepebaşı
26555 Eskişehir

ORCID: 0000-0002-7118-9977, 0000-0002-3350-696X, 0000-0002-9414-8887

ÖZET

Eskişehir ve Bursa illerinde meydana gelebilecek büyük bir deprem, bölgenin ulusal ekonomiye endüstriyel katkısı, sosyo-ekonomik koşulları, endüstriyel üretim, yüksek nüfus gibi nedenlerden dolayı maddi ve manevi kayıplara neden olacaktır. Bu çalışmanın temel amacı, Eskişehir ve Bursa Basenleri içindeki yer tepkisi özelliklerinin ve dalga yayılım biçimlerinin belirlenmesidir. 26 adet sismometre ve ivmeölçerden oluşan EstuNet Sismik Ağı'nın Eskişehir ve Bursa Basenleri üzerindeki mekânsal dağılımı, yarım graben yapıdaki basen üzerinde farklı jeolojik formasyonlar ve farklı sediman kalınlıklarının yer tepkilerini ölçebilecek niteliktedir. İstasyonların konumları faylar, yerel zemin koşulları ve yerleşim yoğunluğu dikkate alınarak belirlenmiştir. Ayrıca bu istasyonlar aktif fay segmentlerinin yakınında konumlandırılmıştır. EstuNet Sismik Ağı kayıtları, depremin merkezinden istasyonlara gelen deprem dalgalarının varış zamanını ve yer hareketinin en yüksek ivme/hız (PGA/PGV) değerlerini göstermektedir.

Anahtar kelimeler

EstuNet Sismik Ağı, Eskişehir-Bursa, Konumsal Veritabanı, Sismometre, İvmeölçer

Öne Çıkanlar

- * EstuNet Sismik Ağı
- * Eskişehir ve Bursa
- * Konumsal Veritabanı

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 26.08.2020
Düzeltilme: 10.12.2020
Kabul: 10.12.2020
Basım: 30.12.2020

DOI

10.46464/tdad.785892

Sorumlu yazar

Sunay Mutlu
Eposta:
sunaymutlu@eskisehir.edu.tr

EstuNet: A new Weak/Strong-Motion Network with Geodatabase for Metropolitan Eskisehir and Bursa, West Anatolia, Turkey

Muammer Tun¹, Sunay Mutlu¹ and Emrah Pekkan¹

¹ Eskisehir Technical University, Institute of Earth and Space Sciences, Department of Earth Sciences and Earthquake Engineering, Tepebaşı 26555 Eskisehir

ORCID: 0000-0002-7118-9977, 0000-0002-3350-696X, 0000-0002-9414-8887

ABSTRACT

A major earthquake induced financial and moral losses that may occur in Bursa and Eskisehir could be quite large for the reasons such as the high population, industrial production, socio-economic conditions and the industrial contribution to national economy of the region. The main purpose of this study, is to determine wave propagation and site response properties of both Eskisehir and Bursa Basins. EstuNet Seismic Network comprised 26 seismometers and accelerometers were spatially distributed in Eskisehir basin to represent the behaviors of different sediment thickness and different geologic formations of the half graben structured basin. The location of the stations was chosen according to faults, local soil conditions and settlement density. Also, these stations were located near the active fault segments. The recording on EstuNet Seismic Network Stations show the arrival time of the earthquake from the epicenter to the stations and the peak ground acceleration/velocity (PGA/PGV) values.

Keywords

EstuNet Seismic Network, Eskisehir-Bursa, Geodatabase, Seismometer, Accelerometer

Highlights

- * EstuNet Seismic Network
- * Eskisehir and Bursa
- * Geodatabase

Manuscript

Research Article

Received: 26.08.2020
Revised: 10.12.2020
Accepted: 10.12.2020
Printed: 30.12.2020

DOI

10.46464/tdad.785892

Corresponding Author

Sunay Mutlu
Email:
sunaymutlu@eskisehir.edu.tr

1. GİRİŞ

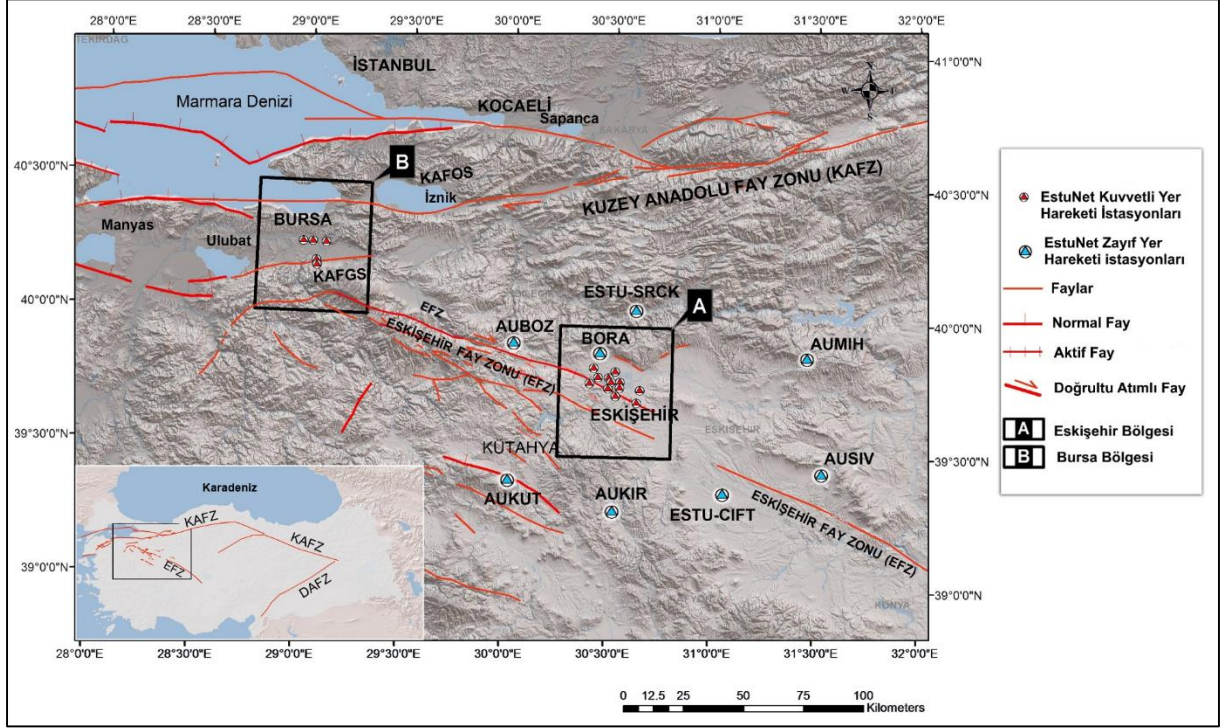
Eskişehir ve Bursa illerinde 01.04.2005-08.02.2014 tarihleri arasında toplam 26 adet istasyondan oluşan kuvvetli/zayıf-hareket sismik görüntüleme ağı kurulmuştur. Sismik ağı kurulum ve işletme çalışmaları Eskişehir Teknik Üniversitesi Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü koordinatörlüğünde, T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı ve Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü iş birliğinde yürütülmektedir. EstuNet Sismik Ağı kurulum ve işletme çalışmaları, ilk olarak 5 istasyon kurulumu ile 2005 yılında başlatılmış ve 01/03/2014 tarihli "Eskişehir Yerleşim Yerinde, CBS Teknikleri Kullanılarak Geoteknik, Yapı ve Jeofizik Bilgi Sisteminin Oluşturulması" başlıklı "080240" nolu, 08/02/2014 tarihli "Yeraltı ve Sismik Görüntüleme Altyapısının Oluşturulması" başlıklı "1105F107" nolu Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri destekleri ile istasyon sayısı 13 kuvvetli-hareket, 8 zayıf-hareket olarak 21'e çıkarılmıştır. Son olarak Bursa ili Osmangazi Belediyesi desteğiyle sismik ağa 5 adet kuvvetli-hareket istasyonu eklenerek, toplam kuvvetli yer hareketi istasyon sayısı 18'e çıkarılmış, ağdaki toplam istasyon sayısı da 26'ya yükselmiştir. 2018 yılında tamamlanan "Eskişehir Ovası Basen-Anakaya Sınır Geometrisinin Belirlenmesi ve AnaNet Sismik Ağı Deprem Bilgi Sisteminin Kurulması" başlıklı "1401F026" nolu Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında EstuNet Sismik Ağı altyapısının iyileştirilmesi ve sunucu hizmetlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Türkiye'nin, Bursa ve Eskişehir illeri olmak üzere iki farklı bölgesinde kurulan EstuNet sismik ağı, özellikle Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Eskişehir Fay Zonu (EFZ) kaynaklı deprem tehlikelerinin belirlenmesi açısından önemlidir. Ayrıca, her iki bölgede de oldukça derin basen yapısı nedeniyle, yer hareketi büyütme etkisi altında kalacak yoğun yerleşim ve sanayi alanları bulunmaktadır. Bursa ve Eskişehir'de, yüksek nüfus oranı, endüstriyel yoğunluk, sosyo-ekonomik koşullar, ulusal ekonomiye katkısı nedeniyle, bölgede oluşabilecek büyük bir deprem kaynaklı maddi ve manevi kayıplar oldukça büyük olabilecektir. Bu projelerin öncelikli amaçlarından birisi, 50m-700m aralığında değişen derinlikteki yarım graben yapıya sahip Eskişehir Baseni boyunca ve yaklaşık 300-350m ana kaya derinliğine sahip Bursa kent merkezindeki bölgede dalga yayılım ve yer tepkisi özelliklerini ortaya koymaktır. Eskişehir ve Bursa kent merkezi boyunca Kuvaterner ve Neojen sedimanların zemin büyütmesi ve sıvılaşma gibi riskler üretebileceği daha önceki çalışmalarda belirlenmiştir (Gök ve Polat 2012, Ocakoglu ve Acikalin 2010, Orhan ve diğ. 2007, Oztürk ve diğ. 2009, Tün 2013). Eskişehir yerleşim alanının bütünlük sismik risk analizine göre, nüfus yoğunluğunun potansiyel bir deprem sırasında genellikle orta/yüksek risk altında olduğu ortaya konmuştur (Pekkan ve diğ. 2014).

2. SİSMOTEKTONİK KONUM

Altunel ve Barka (1998), İnönü ve Sultandere arasındaki Eskişehir Fay Zonu'nu, alan gözlemlerini ve 20.02.1956 (M=6.5) Eskişehir depreminin odak mekanizması çözümünü kullanarak üç boyutlu bir yapı olarak belirlemiştir (McKenzie, 1972). Eskişehir Fay Zonu, Bursa-İnegöl'den Cihanbeyli'ye uzanan Türkiye'nin önemli neotektonik yapılarından biridir (Şekil 1). Fay zonu, Eskişehir yerleşkesi için önemli bir sismik risk oluşturmaktadır. Eskişehir bölgesinde, yardımcı yapılar yaklaşık K60B doğrultusuna sahip olan esas Eskişehir Fayının konumunu göstermektedir. Bu yön Sarısu Çayı'nın kademeli kıvrımlarına uymaktadır. Bu nedenle, aralıklı ve aşamalı Bahçehisar ve Çukurhisar-Sultandere segmentleri öne sürülmüştür (Seyitoglu ve diğ. 2015). Okay ve diğ. (2008)'e göre, Eskişehir Fay Zonu Batı'da kıta içi makaslama zonu olan Kuzey Anadolu Fay Zonu'na katılır ve bu olayın tarihi Uludağ masifinin Geç Oligosen kalıntlarına kadar uzanmaktadır.

20. yüzyılda Eskişehir Fay Zonu üzerinde büyüklüğü 4'ün üzerinde olan 16 deprem meydana gelmiştir ve bunlardan en önemli olanı ise 20 Şubat 1956 (M=6.5) Eskişehir depremidir (Öcal 1959, McKenzie 1972). Ana şokun Merkez üssü konusu halen literatürde tartışmalıdır (Ocakoglu ve Acikalın 2010).



Şekil 1: Batı Anadolu'daki aktif fayları gösteren bölgesel harita (Şaroğlu ve diğ. (1992), Emre ve diğ. (2013), Ocakoglu (2007), Ocakoğlu ve diğ. (2005), Tokay ve Altunel (2005) ve Yaltırak (2002)'den türetilmiştir.) ve EstuNet Sismik Ağı istasyonları (KAFZ-Kuzey Anadolu Fay Zonu, KAFOS-Kuzey Anadolu Fayı Orta Segmenti, KAFGS-Kuzey Anadolu Fayı Güney Segmenti, EFZ-Eskişehir fay zonu, DAFZ-Doğu Anadolu Fay Zonu.)

1500 km uzunluğundaki Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Marmara Denizi'nin doğusunda üç fay bölümüne ayrılmıştır (Emre ve diğ. 2013). Bu üç bölüm Marmara bölgesinde farklı kinematik ve sismik özellikler göstermektedir. Kuzey Kuzey Anadolu Fayı'nın Orta Segmenti (KAFOS), İznik Gölü, Gemlik Körfezi ve ardından Bandırma Körfezi boyunca doğu-batı yönünde uzanır. Güney-batı yönünde Bandırma Körfezi'nin batı kesiminde birçok faydan oluşan bir fay bölgesine döner. Kuzey Anadolu Fayının Güney Segmenti (KAFGS) Pamukova'dan kuzeydoğu-güneybatı yönüne uzanmaktadır. KAFGS Bursa'dan Manyas'a uzanır ve Uluabat Gölü'nün güney kıyısından güneybatı kıyılarına kıvrır ve BKB-DGD yönüyle Manyas Gölü'nün güney kısmına kadar ulaşmaktadır (Şekil 1) (Yaltırak 2002).

3. EstuNet SİSMİK AĞI

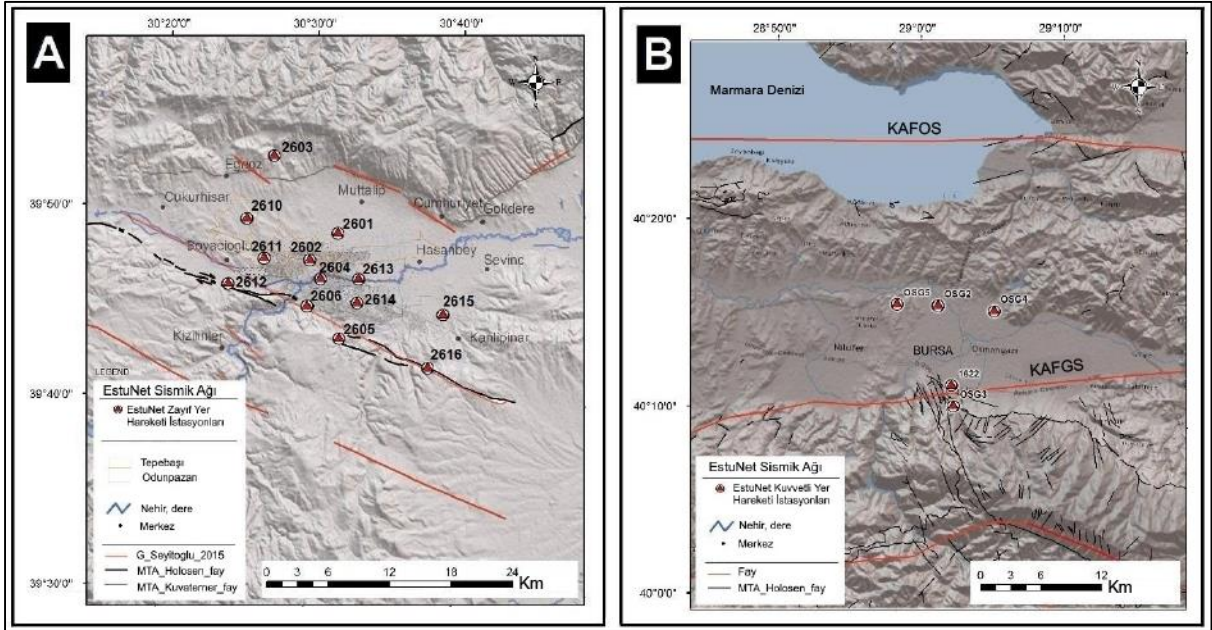
EstuNet Sismik Ağı 18 kuvvetli-hareket ve 8 zayıf-hareket istasyonundan oluşmaktadır. Bu iki şehirde kurulan sismik ağın başlıca amaçlarından birisi Eskişehir ili ve yakın çevresindeki deprem aktivitesinin izlenmesidir. İstasyon dağılımı, Eskişehir kent merkezinde yarım graben bir yapıdaki (Tün 2013) farklı kalınlardaki sediman ortamlarını ve farklı jeolojik birimleri temsil edebilecek özellikte kurulmuştur. İstasyon yerleri aktif fay segmentlerinin yakınındadır. İstasyon konumları elektrik bağlantısı, telefon bağlantısı, güvenlik ve ulaşım lojistiği bakımından problem yaşanmayacak yerlerde seçilmiştir. Elektrik ve telefon bağlantısı

sağlanamayan yerlerde güneş enerji sistemleri ve 3G-EDGE veri iletişim hizmetlerinden yararlanılmaktadır.

Kuvvetli yer hareketi ağları aşağıdaki nedenlerden dolayı işletilmektedir;

- Binalara hasar veren ivmenin ve kuvvetlerin ölçümü
- Depreme dayanıklı yapıların yapım yöntemlerinin geliştirilmesi,
- Mikrobölgeleme haritalarının hazırlanması için istenilen verilerin toplanması
- Deprem tehlikesi ve risk çalışmaları, deprem master planları, Eskişehir ve Bursa kentsel alanlarının deprem senaryosunun tanımlanması için veritabanı oluşturulması.

Serbest-alan kayıt özelliğine sahip istasyonlar uzaktan veri iletişimi, cihaz yapılandırma, güç kontrolü gibi özelliklere sahiptir. Hem istasyonların sağlıklı olarak izlenmesi hem de küçük depremlerin tüm istasyonlar tarafından kaydedilmesi amacıyla cihazlar sürekli kayıt modunda çalıştırılmakta ve istasyonlar ile merkez arasında gerçek zamanlı veri transferi sağlanmaktadır. EstuNet sismik ağı Eskişehir kent merkezinde 13 kuvvetli yer hareketi istasyonundan oluşmakta ve yaklaşık olarak 35x25 km'lik bir alanı kaplamaktadır. Bursa kent merkezinde ise 5 kuvvetli-hareket istasyonu işletilmektedir (Şekil 2). Tüm istasyonlar için istasyon parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 2: Eskişehir (A) ve Bursa (B) şehir merkezindeki EstuNet kuvvetli yer hareketi istasyonlarının konumu ve aktif faylar (Şaroğlu ve diğ. (1992), Emre ve diğ. (2013), Ocakoglu (2007), Ocakoglu ve diğ. (2005), Tokay ve Altunel (2005) ve Yaltirak (2002)'den türetilmiştir.). (KAFOS-Kuzey Anadolu Fayı Orta Segmenti, KAFGS-Kuzey Anadolu Fayı Güney Segmenti, EFZ-Eskişehir Fay Zonu.)

Her istasyon yapıların etkilerinden kaçınmak için onlara uzak kurulmuştur. Sismik istasyonların altyapısı belli bir plana göre inşa edilmiştir (Şekil 3). Konteynerin üzerine monte edildiği temel betonun boyutu 220x220x30 cm ve sensörlerin monte edildiği orta betonun boyutu ise 40x40x60 cm ölçülerindedir. Orta betonun yarısı zeminde, diğer yarısı zeminin altında bulunmaktadır. Taban ve orta beton arasında 20 cm boşluk bulunmaktadır. Aralarındaki boşluk kum-çakıl karışımı ile doludur (Şekil 3).

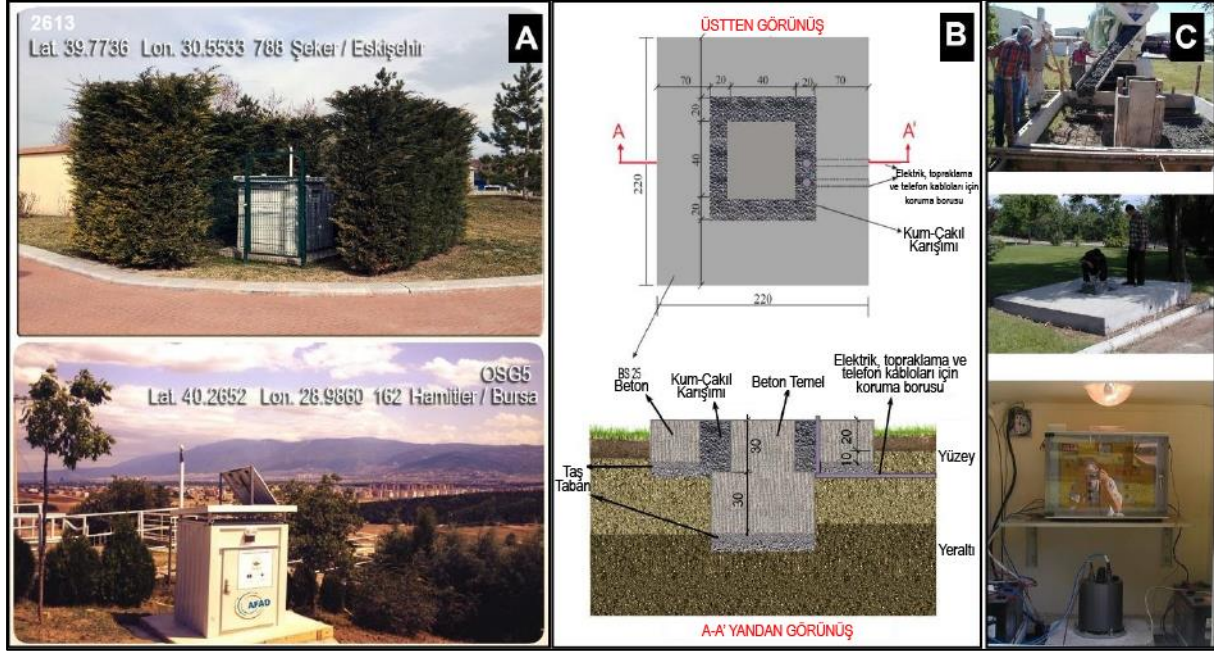
Tablo 1: EstuNet Kuvvetli / Zayıf Hareket Ağı istasyon parametreleri

No	Şehir	İstasyon Kodu	Enlem N	Boylam E	Yük. (m)	Lokasyon	Cihaz Kodu	Cihaz Tipi	Kurulum Tarihi	Bağlantı tipi
Zayıf Yer Hareketi İstasyonları										
1		BORA	39.8801	30.4534	930	Alınca	3L86	Guralp 3T 120sn	09.03.2005	Uydu
2	Eskişehir	AUMIH	39.8733	31.4621	1458	Mihaliççik Yelken Tepe	6763	Guralp 6TD	29.09.2010	Uydu
3		AUSIV	39.4398	31.5395	1150	Sivrihisar Tombak Kaya	6753	Guralp 6TD	28.01.2010	Uydu
4		AUKIR	39.2878	30.5306	1130	Kırka	6762	Guralp 6TD	27.01.2010	Uydu
5	Kütahya	AUKUT	39.3955	30.0213	1126	Kent Ormanı	6760	Guralp 6TD	27.01.2010	Uydu
6	Bilecik	AUBOZ	39.9103	30.0323	893	Bozüyük Höyük Tepe	6761	Guralp 6TD	26.01.2010	Uydu
7	Eskişehir	ESTU-SRCK	40.0416	30.6259	331	Sarıcakaya	SRC K	Guralp 3TDE 120sn	06.03.2013	3G/EDGE
8		ESTU-CIFT	39.3612	31.0625	892	Çifteler	CIFT	Guralp 3TDE 120sn	07.03.2013	3G/EDGE
Kuvvetli Yer Hareketi İstasyonları										
1		2601	39.8135	30.5284	787	İki Eylül Kampüsü	5CL9	Guralp 5TCDE	07.12.2005	3G/EDGE
2		2602	39.7893	30.4972	815	Yeşiltepe	5815	Guralp 5TD	14.03.2005	3G/EDGE
3		2603	39.8801	30.4534	930	Alınca	5816	Guralp 5TD	09.03.2005	Uydu
4		2604	39.7732	30.5101	770	Kırmızıtoprak	5CN0	Guralp 5TCDE	09.12.2005	3G/EDGE
5		2605	39.7211	30.5326	936	Asri Mezarlık	5CM6	Guralp 5TCDE	11.09.2012	3G/EDGE
6		2606	39.7463	30.4964	842	Büyükdere	5814	Guralp 5TD	10.12.2005	3G/EDGE
7	Eskişehir	2610	39.8245	30.4243	837	Yukarisögütönü	5G81	Guralp 5TD	14.06.2010	3G/EDGE
8		2611	39.7899	30.4454	813	Batıkent	5L89	Guralp 5TCDE	30.09.2014	3G/EDGE
9		2612	39.7669	30.4049	833	Karabayır	5G80	Guralp 5TD	15.09.2012	3G/EDGE
10		2613	39.7736	30.5533	788	Şeker	5G78	Guralp 5TD	07.09.2012	3G/EDGE
11		2614	39.7529	30.5521	860	Erenköy	5G72	Guralp 5TD	08.09.2012	3G/EDGE
12		2615	39.7473	30.6530	811	Organize Sanayi	5L84	Guralp 5TD	14.06.2010	3G/EDGE
13		2616	39.7099	30.6193	918	Sultandere	5G76	Guralp 5TD	15.06.2010	3G/EDGE
14		1622	40.1953	29.0534	156	Merinos	5CM1	Guralp 5TCDE	22.07.2013	3G/EDGE
15		OSG2	40.2656	29.0336	78	Armutköy	5CA0	Guralp 5TCDE	23.07.2013	3G/EDGE
16	Bursa	OSG3	40.1770	29.0567	366	Mollafenari	5CA1	Guralp 5TCDE	24.07.2013	3G/EDGE
17		OSG4	40.2630	29.0992	106	Demirtaş	5BZ9	Guralp 5TCDE	25.07.2013	3G/EDGE
18		OSG5	40.2652	28.9860	162	Hamitler	5BZ8	Guralp 5TCDE	26.07.2013	3G/EDGE

3.1) İstasyonların Donanım Özellikleri

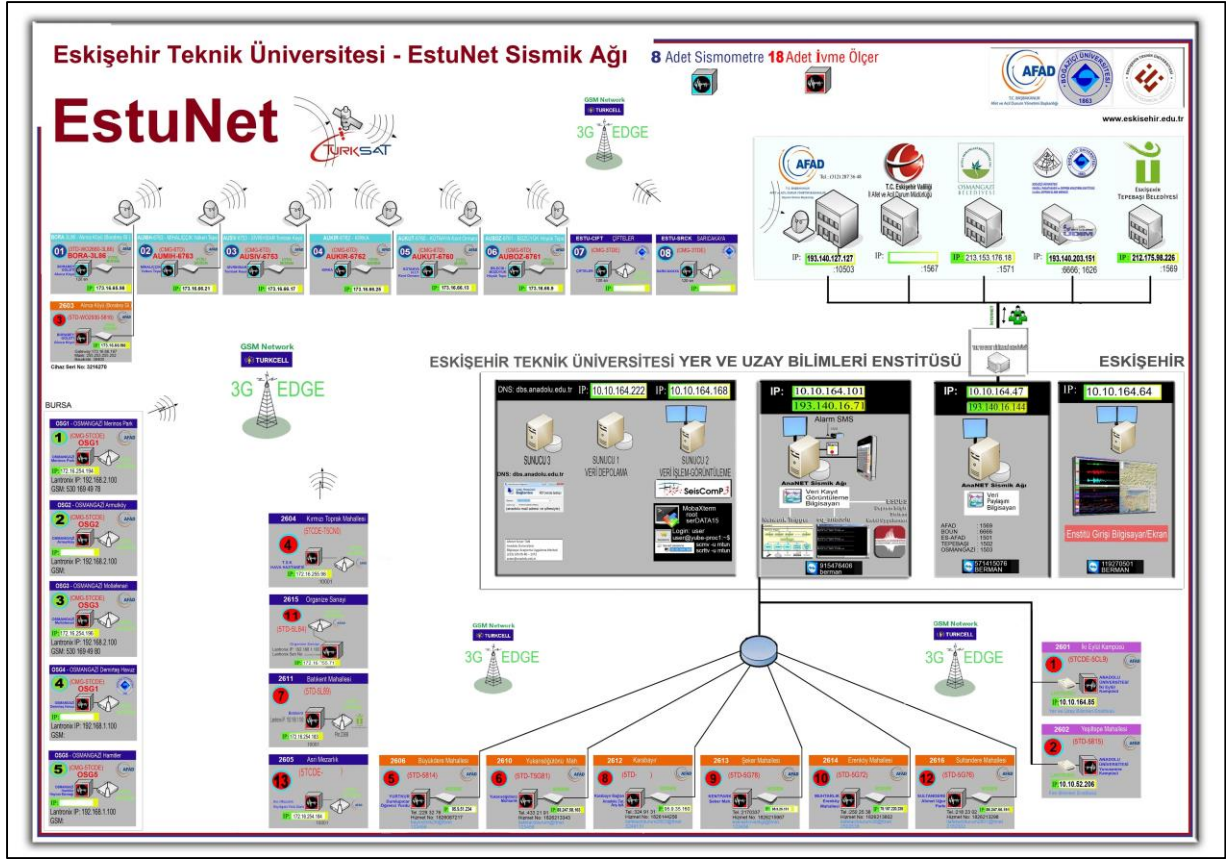
Tüm istasyonlar alandan bağımsız şekilde üç bileşen sensörleri, 24 bitlik sayısallaştırıcıları ve veri depolama birimleri ile donatılmıştır. Sistemler, iletişimin ve gücün kesilmemesi için çift beslemeli şekilde tasarlanmıştır. İletişim GPRS veya uydu modem ile yapılmaktadır (Şekil 3). Veri aktarımı çoğunlukla GPRS/EDGE üzerinden sağlanmaktadır. EDGE, 3G veya uydu iletişim sistemleri sismik istasyonları kontrol eder ve gerçek zamanlı sürekli veri iletişimini sağlamaktadır (Şekil 4). Sismik ağ üzerinde; Scream, SeisComP, Network Trigger yazılımları kullanılmaktadır (SeisComP 2020). Scream, Guralp Systems tarafından Windows ve Linux platformları için geliştirilen veri toplama, kontrol, konfigürasyon, gerçek zamanlı veri elde etme ve izleme yazılımıdır (Guralp Systems 2020). 100 sps'de örneklenen sürekli dalga formu verileri (saniye başına örnek), zaman ve istasyon bilgilerini de içeren Guralp sıkıştırılmış format (GCF) dosya formatında saklanır. Kayıt dosyası adı Tarih (yyyyaagg) + saat (ssdds) +

istasyonun kısaltması olarak oluşturulur. Değerlendirmeden sonra tüm veriler ASCII formatları «.txt» dosyasına dönüştürülür ve hemen web sitesine atanır. Temel düzeltilmesi hariç, ivme verileri üzerinde herhangi bir işlem uygulanmaz. Diğer bir deyişle, web sayfasındaki kayıtlar tamamen Ham verilerdir. Eskişehir Teknik Üniversitesi sunucularında depolanan tüm deprem verileri AFAD, KOERI, Eskişehir Valiliği, Bursa/Osmangazi Belediyesi, Eskişehir/Tepebaşı Belediyesi ile gerçek zamanlı olarak paylaşılmaktadır (Şekil 4).



Şekil 3: EstuNet kuvvetli / zayıf yer hareket ağıının tipik kurulumu a) Kayıt istasyonları, 2613, OSG5 konumlarında gösterildiği gibi standart küçük galvanizli kulübede çevrelenmiştir, b) Kuvvetli yer hareketi istasyonlarının altyapısı şemaya göre inşa edilmiştir, c) İnşaat aşamaları, tipik bir serbest alan istasyonu kurulumu ile bir kabın iç görünümü. Guralp CMG-5TCDE yerleşik sistemi beton bir tabana monte edilmiştir.

SeisComP, Helmholtz Center Potsdam, GFZ Alman Geosciences Araştırma Merkezi ve gempa GmbH'deki GEOFON Programı tarafından geliştirilen veri toplama, işleme, dağıtım ve etkileşimli analiz için yaygın olarak kullanılan bir sismoloji yazılımıdır. SeisComP, son 10 yılda saf alım modüllerinden tam özellikli gerçek zamanlı deprem izleme yazılımına dönüşmüştür. Sismik veri iletimi için SeedLink protokolü SeisComP'nin çekirdeğidir. SeisComp'a yakın zamanda basit, tamamen otomatik olay algılama, konum ve büyüklük belirleme özellikleri eklenmiştir (URL 1). Guralp Systems'in Network Trigger yazılımı, birden fazla istasyonun dizilerindeki olayların tanımlanmasını ve tespit edilmesini sağlamaktadır. Algılanan olaylar SMS, eMail ve donanım röleleri aracılığıyla harici olayları tetikleyebilir, olay verileri çıkarılabilir ve dosyalanabilir (Guralp Systems 2020). Ek olarak, 1401F026 sayılı Anadolu Üniversitesi bilimsel projesi kapsamında Eq_Anadolu yazılımı geliştirilmiştir. En büyük yatay yer ivmesi (PGA) ve en büyük yatay yer değiştirmesinin (PGD) gerçek zamanlı otomatik hesaplaması için Eq_Anadolu kullanılmaktadır. Yazılım, oluşturulan 'txt.file' dosyasının ilk satırına deprem bilgilerini yazmakta ve EstuNet kuvvetli hareket istasyonları tarafından ölçülen PGA ve PGA değerleri sonraki satırlara işlenmektedir.



Şekil 4: EstuNet Sismik Ağı'nın gerçek zamanlı iletişim altyapısı ve istasyonların özellikleri için şematik diyagram

3.2) Alan Özellikleri

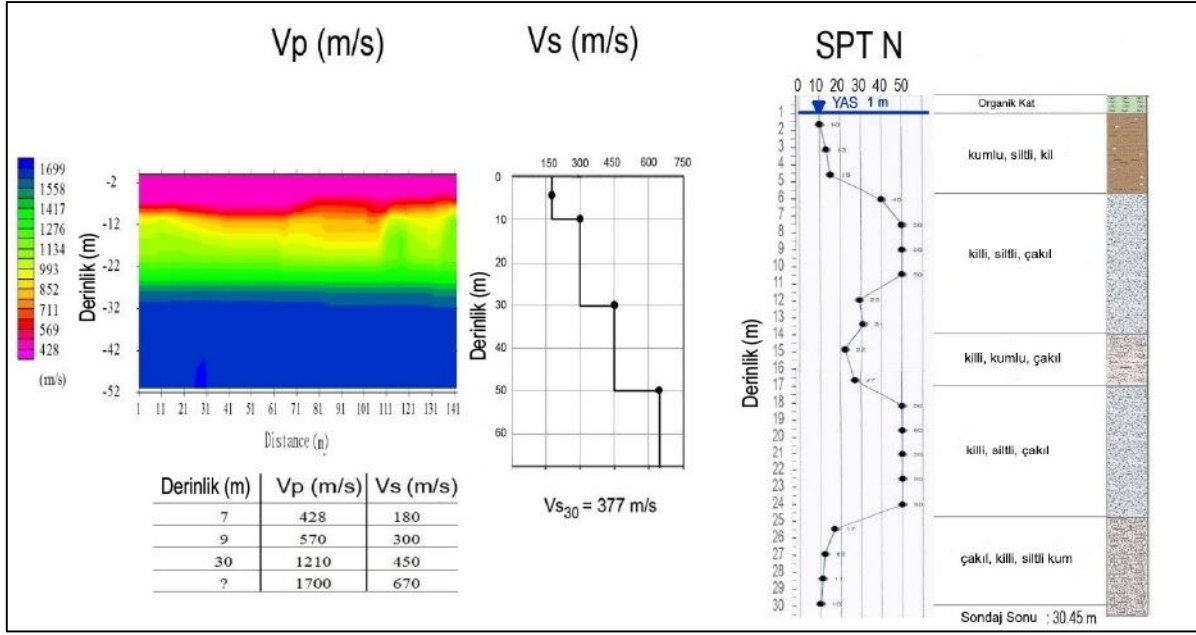
Sismik dalgaların özellikleri yerel zemin koşullarından önemli ölçüde etkilenir ve genellikle deprem hasarının potansiyeli üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Zemin tepkisi özellikle yumuşak zeminler için çok önemlidir çünkü tüm diğer durumlar eşit tutulduğunda zemin üzerindeki hareket genellikle kayadan daha büyüktür. Genel olarak, zemin tepki tahmini aleysel kayıtlardan elde edilebilir ancak bunun deprem sırasında kuvvetli yer hareketlerinin doğrudan ölçülmesinden ve daha sonra kuvvetli yer hareketi verilerinin analizinden elde edilebileceği anlaşılmaktadır (Polat ve diğ. 2009). Kentsel alandaki zemin tepki özelliklerini hesaplamak için EstuNet sismik ağı kurulmuştur.

Sığ bir kırılma çalışması için sismik kaynağın seçilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada sığ sismik yöntemler için farklı sismik kaynaklar kullanılmıştır. Sismik kırılma yönteminde 16 fişekli S-Gun, 36 fişekli P-Gun ve MASW sismik yönteminde ise 500 kg Ağırlık düşürmeli sismik enerji kaynakları kullanılmıştır (Şekil 5). 500 kg kütlelin 2m yükseklikten düşmesine izin verilir ve metal plaka üzerinde tek bir atış yapar. Sismik kırılma yönteminde ise değişken aralıklı bir dizilim uygulanmıştır. Bunun sebebi ise hem sığ derinliklerden daha doğru hız bilgisi alabilmek ve hem de daha derinlere nüfus edebilmektir. Şekil 5, sismik kırılma yöntemi için uygulama şeması ve çalışmada kullanılan sismik kaynaklar gösterilmiştir.



Şekil 5: a) OSG_Sismik kırılma yönteminde 48 kanal sismik kayıt sisteminin dizilim diyagramı, b) S-Gun fotoğrafı, c) P-Gun fotoğrafı, d) 14 Hz P ve S jeofonları, e) 500 kg Ağırlık düşürme cihazı.

İç Anadolu Bölgesi'nin batısında yer alan Eskişehir ve Bursa şehirleri, Türkiye'nin en gelişmiş ve sanayileşmiş şehirlerinden ikisidir. Her ikisi de aktif faylara çok yakındır ve kalın Kuvaterner-Neojen çağı çökelleri üzerine oturtulmuştur. Eskişehir ve Bursa havzasındaki konsolide olmayan tortullar (taneleri arasında su olmayan sedimanlar), yer hareketlerinin yüzeye yayılmasını önemli ölçüde değiştirebileceğinden, Eskişehir ve Bursa kentsel alanı için sismik tehlikenin değerlendirilmesi önemli bir konudur. İstasyonların yerel zemin özellikleri, yerinde yapılan jeoteknik ve jeofizik araştırmalarla elde edilmiştir. Bu kapsamda sismik kırılma, sismik yansıma, sondaj ve mikrotremor teknikleri uygulanmıştır. EstuNet istasyonları lokasyonundaki yerel zemin özellikleri SPT-N değerlerine bağlı olarak araştırılmıştır. Ayrıca üst 30m zemin tabakası (V_{S30}) için kayma dalgası hızının ortalaması, her yer hareket istasyonunda yüzey dalgalarının çok kanallı analizi (MASW) ve sismik kırılma yöntemleri kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6: OSG2 istasyonu için yerel zemin bilgisi örneği; Bursa, Armutköy (SPT: Standart Penetrasyon Deneyi, Vp: P-dalgası hızı, Vs: S/kayma-dalgası hızı, Vs₃₀: Kayma dalgası hızınının 30m derinliğe kadar ortalama değeri, YAS: Yeraltı su seviyesi)

İvmeölçerler esas olarak bölgedeki ana jeolojik birimler olan Trias ve Eosen ile sınırlanan kalın Kuvaterner yaşlı birimlere kurulmuştur. İstasyonlar ağırlıklı olarak Eskişehir Havzası ve Bursa Havzası'ndaki Kuvaterner ve Neojen yaşlı birimlere dağıtılmıştır. Porsuk Nehri ve Sarısu Deresi'nin sedimanter malzemesi tarafından oluşturulan Eskişehir Havzası'nda Kuvaterner alüvyon genel olarak kuzeyden güneye daha yumuşak bir geçişle uzanmakta ve Eskişehir Havzası'nda maksimum 700 m derinliğe ulaşmaktadır. Böylece ortaya çıkan ana kaya sınırı Eskişehir Grabeni'nin yarım graben konfigürasyonunu tanımlamaktadır (Tün 2013). Ayrıca bölgedeki kaya birimlere ise OSG3, 2603, 2612, 2616, 2605 istasyonları kurulmuştur.

3.3) Veri ve Kaynak

Bu dizimdeki tüm istasyonlar, Eskişehir Teknik Üniversitesi ile AFAD ve KOERI arasındaki protokol kapsamında mevcut Türk Ulusal Kuvvetli Hareket ve Zayıf Hareket ağına dahil edilmiştir. EstuNet istasyonları ve EstuNet Sismik Ağı tarafından ölçülen deprem veri kaynakları hakkında genel bilgi ve verilere, dünyadaki araştırmacılar için mevcut olan web sitelerinden ulaşılabilir (AFAD 2020a, AFAD 2020b, AFAD 2020c, KOERİ 2020).

4. VERİTABANI UYGULAMASI

Veritabanı, düzenli bir veri koleksiyonudur. Tipik veritabanları, çeşitli sayısal ve karakter türlerindeki verileri yönetmek için tasarlanmıştır, ancak mekansal veritabanları, mekansal veri türlerini verimli bir şekilde işlemek için geometri adı verilen ek bir işlevselliğe ihtiyaç duymaktadır.

Tablo 2: Sismik istasyonunun konumsal veritabanı modeli



Konumsal Nesne
Sismikistasyon

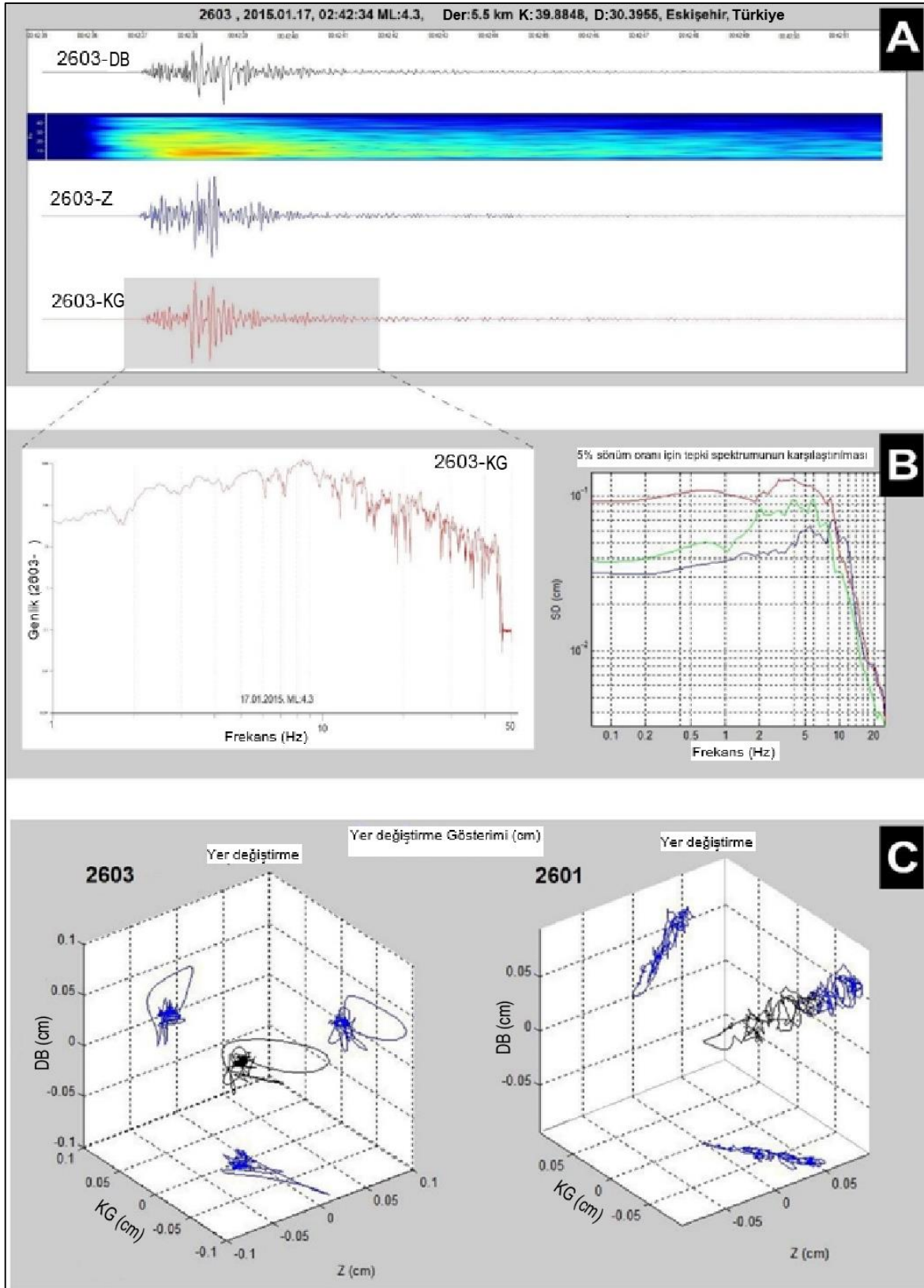
Geometri Tipi: Nokta

Alan Adı	Veri Tipi	Null veri		Etki Alanı	Hassasiyet		Uzunluk
		izni	On Tanımlı Deger		Skala	Skala	
Sismikistasyon	Akış						30
Xkoordinat	Çift				0	0	
Ykoordinat	Çift				0	0	
Zkoordinat	Çift				0	0	
Sehir	Akış						10
IstasyonKodu	Akış						10
Durumu	Akış		Aktif				10
Adres	Akış						50
CihazKodu	Akış						10
CihazTipi	Akış						10
KurulumTarihi	Tarih				0	0	8
BaglantiTipi	Akış						10
Vs30	Çift				0	2	
ZeminSinifi	Çift				0	0	
SondajProfili	Akış						30
Frekans	Çift				0	2	
SensorTipi	Akış						30

Coğrafi veritabanı anlamına gelen “Konumsal Veritabanı” terimi ESRI (Çevre Sistemleri Araştırma Enstitüsü) tarafından ortaya atılmıştır. Konumsal veritabanı, coğrafi verileri yönetmek için hizmet sağlamak üzere coğrafi özellikleri ve nitelikleri temsil eden bir ArcGIS veri depolama formatı tanımlamaktadır. Konumsal veritabanında girdiler, özellikleri, davranış ve ilişkileri olan nesnelere olarak temsil edilirler (Vandegraft 2011). Daha basit tanımlama ise bir konumsal veritabanının, çeşitli türlerde coğrafi verilerin ve coğrafi veri kümelerinin bir koleksiyonunu tanımlamak için kullanıldığını belirtir (Peters 2012). Konumsal veritabanı, ilişkisel bir veritabanındaki noktaları, çizgi veya çokgen geometrilerini içeren şekil alanlarıyla tabloları genişletir (Zeiler 2010). Konumsal veritabanı, Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin (CBS) bir parçasıdır. Konumsal veritabanları, CBS'nin devam eden araştırmalarda bir iletişim aracı olarak kullanılmasına izin verir. Tablo 2, sismik istasyon özellik sınıfının niteliklerini göstermektedir.

4.1) Örnek Veri

Şekil 7'de 17 Ocak 2015 tarihinde meydana gelen deprem ($M_L=4.3$) için zaman ve frekans analizinden bir örnek gösterilmektedir. Seçilen olayın zemin ve kaynak özelliklerini analiz etmek için ivmeölçerin yatay bileşeni (2603-KG) kullanılmıştır. İki istasyondaki (2601, 2603) hareket, parçacık hareket özelliklerini çıkarmak için ekran projeksiyonunda birleştirilmiştir. Parçacık hareketinin esas yönü 2601 ve 2603 istasyonları için KB-GD'dur. 17 Ocak 2015 tarihli seçilen deprem için 2601 ve 2603 istasyonları için en yüksek yer ivmesi sırasıyla 11.8 gal ve 80.9 gal'dir.



Şekil 7: 17 Ocak 2015 tarihli olayın örnek analizi ($M_L=4.3$) a) 2603 istasyonunun zaman alanındaki iki yatay ve dikey bileşeni, b) Genlik spektrumları ve 3 bileşen için %5 sönümlemede yanıt spektrumlarının karşılaştırılması, c) Ekran projeksiyonunda 2601 ve 2603 istasyonlarında parçacık hareketi analizi örnekleri

5. GELECEK PLANLARI

EstuNet sismik ağında gelişmiş veri toplama ve veri iletim teknolojileri kullanılmaktadır. Bu nedenle EstuNet, Eskişehir ve Bursa b6lgesinde Hızlı M6dahale ve Hasar Tahmin Sistemi'nin altyapısını oluşturacağı d6ř6n6lmektedir. EstuNet, sismik ağ verilerini kullanarak Eskişehir ve Bursa'daki depremlerle ilgili bilgiler içeren mobil uygulamalar geliştirilmesi planlanmaktadır. Ayrıca, mobil uygulama aracılığıyla kitle kaynak kullanımını hedeflenmektedir. Dolayısıyla, EstuNet kamu yararına 6nem vermekte ve sosyal yaşam ile yakından ilgilenmektedir.

Eskişehir ve Bursa Havzasında 14 adet kuvvetli yer hareketi ve 3 derin kuyu deprem istasyonu kurulması ayrıca y6ksek 6z6n6rl6kl6 sismik çalışmaların yapılması planlanmaktadır. Eskişehir Fay Zonu (EFZ) yakınında çok amaçlı bir derin kuyu sismometre ağı sistemi ve y6zey dizilimi oluşturulacaktır. Batı Anadolu'daki KAFGS EstuNet tarafından kaydedilecek ve EFZ, KAFGS'yi çevreleyen fay b6lgesinin stres durumunun, depremlerden 6nce meydana gelebilecek herhangi bir anormallik veya değişimi 6l6lerek kaydedilecektir. Ayrıca EstuNet, b6lgedeki istasyon sayısını artırarak yakın gelecekte farklı jeolojik sedimanlardan kaynaktan istasyona dalga yayılımının tahmininde Eskişehir ve Bursa Havzası'nda Q-fakt6r analizi çalışmalarına ve acil durum m6dahalesine katkıda bulunacaktır. Veri toplama ve işleme sistemi, deprem konumlarını ve b6y6kl6klerini bildirmek ve sarsıntı haritalarını hesaplamak için ek sunucularla birlikte geliştirilecektir. EstuNet projesi, deprem sonrası birkaç dakika içinde hızlı tepki için kullanılan yer sarsıntı haritaları, fiziksel hasar ve kayıplar haritaları ile b6lgedeki 35 kuvvetli yer hareketi kayıtısını içeren deprem hızlı tepki sisteminden doğrudan faydalanacaktır. Zararın hızlı bir şekilde tahmin edilmesi, etkili acil durum m6dahalesi ve halkın bilgilendirilmesini sağlayacaktır. Bu yerel dizilim, deprem sırasında PGA değerlerinin dağılımından tam olarak yararlanmak ve şehrin kritik yerleşim alanlarını ortaya çıkarmak için kullanılacaktır (Ulusay ve diğ. 2004).

6. SONUÇLAR

Eskişehir ve Bursa b6lgesinde, Mart 2005- Eyl6l 2014 tarihleri arasında EstuNet g6l6 ve zayıf hareket ağı kurulmuştur. Bu ağ, m6hendislik ve g6l6 / zayıf hareket sismolojisinde araştırma ve uygulamalar için oldukça faydalı veriler sağlamaktadır. Eskişehir, Bursa ve çevresinde meydana gelen ve EstuNet istasyonları tarafından kaydedilen bazı depremlerin konum parametreleri Tablo 3'te listelenmiştir. Depremlerin çoğu d6ř6k PGA ve magnit6d değerleri g6stermektedir.

B6lgede meydana gelen g6l6 bir deprem sonrasında doğru merkez 6ss6 yerleri oluşturmak ve hasar tahmin haritaları 6retmek için Eskişehir ve Bursa Havzası yakınlarında ek istasyonlar kurulması planlanmaktadır. EstuNet, AFAD'ın ulusal kuvvetli/zayıf hareket ağının bir parçasıdır. Gelecek planları kapsamında ulusal ağın gelişimine ve iyileştirilmesine 6nemli katkılar sağlayacaktır.

Tablo 3: EstuNet kuvvetli/zayıf yer hareketi ağı tarafından kaydedilen seçilmiş deprem konumları (M: Büyüklük, PGA: En büyük yer ivmesi)

No	Tarih (G.A.Y)	Zaman (sa:dk)	M	Derinlik (km)	Enlem (°, K)	Boylam (°, D)	PGA (gal)	İstasyon Kodu
1	09.03.2008	18:40	3.1	2.5	39.7582	30.5368	17.2	2604
2	07.02.2010	17:21	3.7	5.0	39.7450	30.5085	79.4	2601
3	14.02.2010	20:24	3.3	18.8	39.7360	30.5440	29.9	2601
4	12.12.2010	12:20	3.0	7.5	39.7535	30.4868	51.3	2601
5	19.05.2011	12:32	3.0	5.0	39.8382	30.3770	23.7	2610
6	19.05.2011	20:15	5.7	24.5	39.1328	29.0820	14.7	2606
7	28.05.2011	05:47	4.7	23.0	39.1215	29.0408	2.1	2611
8	27.06.2011	21:13	5.0	44.5	39.1108	29.0820	3.5	2606
9	16.04.2012	10:11	4.7	6.0	39.1368	29.1527	2.4	2611
10	19.04.2012	19:53	4.5	3.5	39.1260	29.1448	1.4	2606
11	27.04.2012	22:05	4.9	7.5	39.1192	29.0815	2.4	2606
12	03.05.2012	15:20	5.1	3.1	39.1747	29.0918	2.8	2606
13	04.05.2012	21:46	4.7	11.6	39.1572	29.0840	3.1	2611
14	16.11.2012	01:53	3.3	19.8	39.7700	30.3770	18.5	2601
15	01.03.2013	12:37	3.5	8.1	39.7287	30.6437	5.8	2615
16	10.05.2013	20:16	3.5	8.1	39.8180	30.5051	19.7	2602
17	14.06.2013	17:13	3.0	5.0	39.8500	30.5525	41.3	2601
18	25.07.2013	05:00	3.4	5.4	39.8248	30.5222	98.4	2601
19	07.08.2013	05:20	4.4	7.6	39.1968	29.4495	2.2	2606
20	17.08.2013	18:16	4.1	5.7	40.4095	29.1213	71.6	OSG4
21	24.05.2014	09:25	6.5	25.5	40.3035	25.2801	8.0	2601
22	11.12.2014	05:01	3.9	5.5	39.8257	30.5222	176.6	2601
23	17.01.2015	00:42	4.3	4.3	39.8848	30.3955	80.7	2603

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, proje numaraları 080240, 1105F107 ve 1401F026 olan projeler kapsamında Anadolu Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir. AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı ve Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü çalışanlarına istasyon çalışmalarında gösterdikleri yardımlar için teşekkür ediyoruz.

KAYNAKLAR

AFAD, 2020a. Erişim adresi: <https://deprem.afad.gov.tr/istasyonlar>

AFAD, 2020b. Erişim adresi: <https://tadas.afad.gov.tr>

AFAD, 2020c. Erişim adresi: <https://tdvms.afad.gov.tr>

Altunel E., Barka A., 1998. Eskişehir fay zonunun İnönü-Sultandere arasında neotektonik aktivitesi, *Geological Bulletin of Turkey* 41-52.

Emre Ö., Duman T.Y., Özalp S., Elmacı H., Olgun Ş., Şaroğlu F., 2013. Active Fault Map of Turkey with Explanatory Text., in: Special Publication Series-30, General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara, Turkey.

Gok E., Polat O., 2012. Microtremor HVSr Study of Site Effects in Bursa City (Northern Marmara Region, Turkey), INTECH Open Access Publisher.

Guralp Systems, 2020. Erişim adresi: <https://www.guralp.com>

KOERİ, 2020. Erişim adresi: <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/tr>

McKenzie D., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 30, 109-185.

Ocakoglu F., 2007. A re-evaluation of the Eskisehir Fault Zone as a Recent extensional structure in NW Turkey, *Journal of Asian Earth Sciences* 31, 91-103.

Ocakoglu F., Altunel E., Yalçiner Ç., 2005. Eskişehir bölgesinin neotektonik dönemdeki tektono-stratigrafik ve sedimantolojik gelişimin: Final Raporu, Osmangazi Üniversitesi, Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu, pp. 122.

Ocakoglu F., Acikalin S., 2010. Field evidences of secondary surface ruptures occurred during the 20 February 1956 Eskisehir earthquake in the NW Anatolia, *Journal of Earth System Science* 119, 841-851.

Okay A.I., Satir M., Zattin M., Cavazza W., Topuz G., 2008. An Oligocene ductile strike-slip shear zone: The Uludağ Massif, northwest Turkey-Implications for the westward translation of Anatolia, *Geological Society of America Bulletin* 120, 893-911.

Orhan A., Seyrek E., Tosun H., 2007. A probabilistic approach for earthquake hazard assessment of the Province of Eskisehir, Turkey, *Natural Hazards and Earth System Science* 7, 607-614.

Ozturk K., Yaltirak C., Alpar B., 2009. The relationship between the tectonic setting of the Lake Izmir Basin and the Middle Strand of the North Anatolian Fault, *Turkish Journal of Earth Sciences* 18, 209-224.

Öcal N., 1959. 20 Şubat 1956 Eskişehir Zلزeli'sinin Makro ve Mikrosismik Etüdü, in, T.C. İstanbul Teknik Üniversitesi, İrfan Matbaası İstanbul, pp. 45.

Pekkan E., Tun M., Guney Y., Mutlu S., 2015, Integrated seismic risk analysis using simple weighting method: the case of residential Eskisehir, Turkey, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 15, 1123-1133, <https://doi.org/10.5194/nhess-15-1123-2015> , 2015.

Peters D., 2012. Building a GIS: System architecture design strategies for managers, ESRI, Inc. (second edition).

Polat O., Ceken U., Uran T., Gok E., Yilmaz N., Beyhan M., Koc N., Arslan B., Yilmaz D., Utku M., 2009. IzmirNet: a strong-motion network in metropolitan Izmir, Western Anatolia, Turkey, *Seismological Research Letters* 80, 831-838.

SeisComP, 2020. Erişim adresi: www.seiscomp3.org

Seyitoglu G., Ecevitoglu G.B., Kaypak B., Guney Y., Tun M., Esat K., Avdan U., Temel A., Cabuk A., Telsiz S., 2015. Determining the main strand of the Eskisehir strike-slip fault zone using subsidiary structures and seismicity: a hypothesis tested by seismic reflection studies, *Turkish Journal of Earth Sciences* 24, 1-20.

Şaroğlu F., Emre Ö., Kuşcu İ., 1992. Active Fault Map of Turkey with Explanatory Text., in, Mineral Research and Exploration General Directorate, Ankara, Turkey.

Tokay F., Altunel E., 2005. Neotectonic activity of Eskişehir fault zone in vicinity of İnönü-Dodurga area, *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey* 130, 1-15.

Tün M., 2013. Interpretation of Ground Response and Shear-Wave Velocity (Vs) Structure In Microzonation Studies: A Case Study İn Eskişehir, in: Graduate School of Sciences, İstanbul University, İstanbul, pp. 353.

Ulusay R., Tuncay E., Sonmez H., Gokceoglu C., 2004. An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey, *Engineering Geology* 74, 265-291.

Vandegraft D.L., 2011, A Cadastral Geodatabase for the US Fish and Wildlife Service, *Cartography and Geographic Information Scienc*, 38, 313-319.

Yaltirak C., 2002, Tectonic evolution of the Marmara Sea and its surroundings, *Marine Geology* 190, 493-529.

Zeiler M., 2010. Modeling our world: the ESRI guide to geodatabase concepts, ESRI press.