

Gümüşhane ilinde deprem ivme ve manyetik alan istasyonlarının kurulumu ve işletilmesi

Installation and operation of earthquake acceleration and magnetic field stations in Gümüşhane

Nafiz MADEN*¹ , Serkan ÖZTÜRK¹ , Levent PEHLİVAN¹ , Mahmut SARI² 
Yasemin BEKER¹ 

¹Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

²Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, 29100, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 04.12.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 25.03.2024

Öz

Bu çalışmada, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde meydana gelen bir depremden Gümüşhane ilinin etkilenme derecesini belirlemek üzere deprem ivme kayıt cihazlarının yerleştirilmesi ve Güneşte meydana gelen fırtınalar nedeniyle yer Manyetik alanındaki değişimleri gözlemlemek amacıyla 3 bileşen Flux-Gate manyetometrenin kurulumu amaçlanmıştır. Deprem ivme kayıt cihazlarının (3 adet); Gümüşhane ili için önem taşıyan Karaca Mağarası ve Kürtün hidroelektrik santrali ile KAFZ'na yakınlığından dolayı Şiran MYO'na kurulması uygun görülmüştür. Flux-gate Manyetometresi ise Gümüşhane Merkez ilçede kurulmuştur. KAFZ üzerinde meydana gelen bir depremden Kelkit, Şiran ve Köse ilçeleri daha çok etkilenirken Torul ve Kürtün ilçeleri daha az etkilenmektedir. Gümüşhane'nin 17 km kuzeybatısında yer alan Karaca Mağarası bölgemizin önemli turizm merkezlerinden birisidir. Kürtün ilçesinde, Harşit nehri üzerinde kurulu olan Kürtün Hidroelektrik santrali enerji amaçlı olarak hizmet vermesi yanında baraj gölü üzerinde balık üretimine ve su sporları yapılmasına imkân sunmaktadır. Güneşte aniden gelişen çok şiddetli patlamalar dünyaya ulaştıklarında elektrik ve iletişim hatlarını kesilebilmekte, radyo haberleşmesinde bozulmalara ve radyasyona sebep olmaktadır. Gümüşhane kurşun, çinko, bakır, altın ve gümüş gibi değerli metaller açısından oldukça yüksek bir potansiyele sahiptir. Bu tür maden yataklarının belirlenmesinde Jeofizik yöntemlerden bir tanesi olan Manyetik yöntem oldukça başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yöntemde arazide ölçü alınırken yer manyetik alanının sürekli kaydedilmesine hizmet edecektir.

Anahtar kelimeler: Deprem, Flux-Gate manyetometre, Gümüşhane, İvme ölçer, Jeofizik

Abstract

In this study, it is aimed to establish three accelerometers and Flux-Gate magnetometer to estimate the affection level of Gümüşhane province from an earthquake occurred in the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) zone and to observe the changes in earth magnetic field due to sun storms. It is considered that the accelerometers (3 units) must be installed in Karaca Cave which is an important place of Gümüşhane for its tourism; in hydroelectric station of Kürtün dam which is an important engineering structure in terms of energy production, agriculture, and water sports, and in Şiran which is a close to the NAFZ. Flux-gate magnetometer is built in Gümüşhane. The Torul and Kürtün towns are less affected whereas the Kelkit, Şiran and Köse towns are more affected from an earthquake which is occurred in the NAF zone. Karaca Cave, 17 km northwest of Gümüşhane, is one of the most important tourism in this region. The Kürtün Hydroelectric Power Plant, built on the Harşit River in Kürtün district, not only serves for energy purposes, but also provides the opportunity for fish production and water sports on the dam lake. Storms which are due to the sudden and severe explosions in the sun may cut the electricity and communications line, may cause the shortcomings in radio communications, and may cause radiation on humans. Gümüşhane has a great potential in terms of lead, zinc, copper, gold, and silver. Magnetic method, one of the Geophysical methods, has been successfully used to search such kind of mineral deposits. In this method, it will serve to continuously record the ground magnetic field while taking measurements in the field.

Keywords: Accelerometer, Earthquake, Flux-Gate magnetometer, Geophysics, Gümüşhane

*Nafiz MADEN; nmaden@gumushane.edu.tr

1. Giriş

1. Introduction

Deprem esnasında oluşan etkin yer ivmesi kuvvetli yer hareketi ölçümleri ile gerçekleştirilmektedir. Bilimsel ve mühendislik uygulamalarında ivme kayıtları en önemli parametrelerden birisidir. Depreme dayanıklı büyük mühendislik yapılarının tasarımında kullanılan bu ivme değerleri, uzaklıkla azalım ilişkisi tespitinde de kullanılmaktadır. Deprem bölgesindeki hasarın durumunu en hızlı ve etkin bir şekilde belirlemenin yolu da ivme kayıtlarını kullanmaktan geçmektedir. Deprem oluşturduğu tehlikenin belirlenmesinde, deprem ivmesi en önemli dinamik parametreyi oluşturmaktadır. Zemin yüzeyindeki yatay yer ivmesi, bir mühendislik yapısının depreme dayanıklı olarak tasarlanmasında kullanılan taban kesme kuvvetinin iki önemli ögesinden birisidir. Deprem esnasında yapıyı etkileyen yüklerinin belirlenmesi için kullanılan değişkenlerden biri olan “Etkin Yer İvmesi” değerinin güvenli bir şekilde tespiti, temel kayada oluşabilecek en büyük yatay yer ivmesinin sağlıklı bir şekilde hesaplanmasına bağlıdır (Çeken, 2007).

Yer hareketini tanımlamak için yaygın olarak hareketin zaman içindeki değişimi incelenmektedir. Bu değişim parametresi ivme, hız, yer değiştirmeden herhangi biri olabileceği gibi bu üç parametrenin hepsi birden olabilmektedir. Yer hareketinin büyüklüğünü ölçmek amacıyla Pik yatay ivmesi (PHA) kullanılmaktadır. Hareketin herhangi bir bileşen için PHA değeri ivme kaydının bileşeninden gözlenen en büyük yatay ivme değerinden yararlanılarak belirlenir. Zemin hareketlerini açıklayabilmek için, yaygın olarak iç kuvvetlerle olan doğal ilişkilerinden dolayı yatay ivmeler kullanılmaktadır. Gerçekten, belirli türlerdeki mühendislik yapılarını etkileyen dinamik kuvvetlerin en büyüğü PHA ile doğrudan ilişkilidir. Aynı zamanda, deprem şiddeti ile PHA kolayca ilişkilendirilebilir. Bu ilişki gerçeği tam yansıtmamasına rağmen, sadece şiddet bilgisinin bulunduğu durumlarda PHA'nın tahmini için oldukça kullanışlı olabilir. Mühendislik amaçlı çalışmalar için, pik düşey ivme (PVA) PHA'nın 2/3' ü olarak alınır. Bununla birlikte, yakın zamanlarda PVA/PHA oranı daha çok kullanılmaktadır (Kramer, 2003). Ayrıca dünyada ve ülkemizde kurulan deprem kayıt istasyonlarında kaydedilen yer hareketi ile elde edilen pek çok zemin parametresi farklı mühendislik uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Bansal vd. 2021; Walter vd. 2021; Gupta ve Satyam, 2022; Çelik, 2023; Liu vd. 2024). Benzer şekilde Priyanto vd. (2023) tarafından deprem risk tehlikesini belirlemek amacıyla farklı istasyonlarda kaydedilen Sumbawa deprem verileri kullanılmıştır.

Dünyayı sarmalayan manyetik alan çizgileri Güneş yönünde güneş rüzgârının etkisiyle bastırılmış, ters yönde ise gezegenler arası ortama doğru uzanmıştır. Dünyanın manyetik alanı güneş rüzgârının manyetik alanının, yoğunluğunun ve hızının artışlarına da duyarlı olarak dinamik bir yapıya sahiptir. Güneşten gelen güneş rüzgârıyla enerji kazanan manyetosferin içerisinde dinamizmi harekete geçiren süreçler başlamaktadır. Bu sürecin Dünya'da gözlenen sonucu manyetik fırtınalardır. Ayrıca güneş aktivitesinin değişimine bağımlı olarak kutup ışması (Aurora) ve proton olayları da gözlenen sonuçlardır. Ayrıca manyetik fırtınalar, zaman ve konum belirlenmesinde kullanılan GPS (Global Positioning System) sinyallerini, uyduların hareketinin yavaşlamasına atmosfere girerek yanmalarına, insan yaşamı için tehlikeli düzeyde radyasyona sebep olmalarına, iklim değişikliklerine, elektrik dağıtım hatlarında arızalara, petrol veya doğal gaz boru hatlarında metal korozyonuna, biyolojik sistemlerde bozulmalara sebep olmaktadır. Güneş fırtınalarının, koronal (taçküre, güneş plazma bulutu) kütle atımlarının ve manyetik fırtınaların insanı ve insan faaliyetlerini önemli oranda etkilediğinin farkına varılmıştır. Teknolojik sistemlere olan bağımlılığımız bu etkileşimin sonuçlarını giderek önemli kılmaktadır. Bu nedenle sağlık, güvenlik ve ticari nedenlerle uzay çevresi ile ilgili hizmet veren merkezlerin hizmet sürekliliği ve kalitelerinin geliştirilmesi dünyada vazgeçilemeyecek bilimsel etkinliklerden biri haline gelmiştir (KOERİ, 2023). Yerden yapılan manyetik çalışmalarda genellikle toplam şiddeti (T) ölçen proton manyetometreleri ile yer manyetik alanının yatay (H) ve düşey (Z) bileşenlerini ölçen flux-gate manyetometreleri kullanılmaktadır.

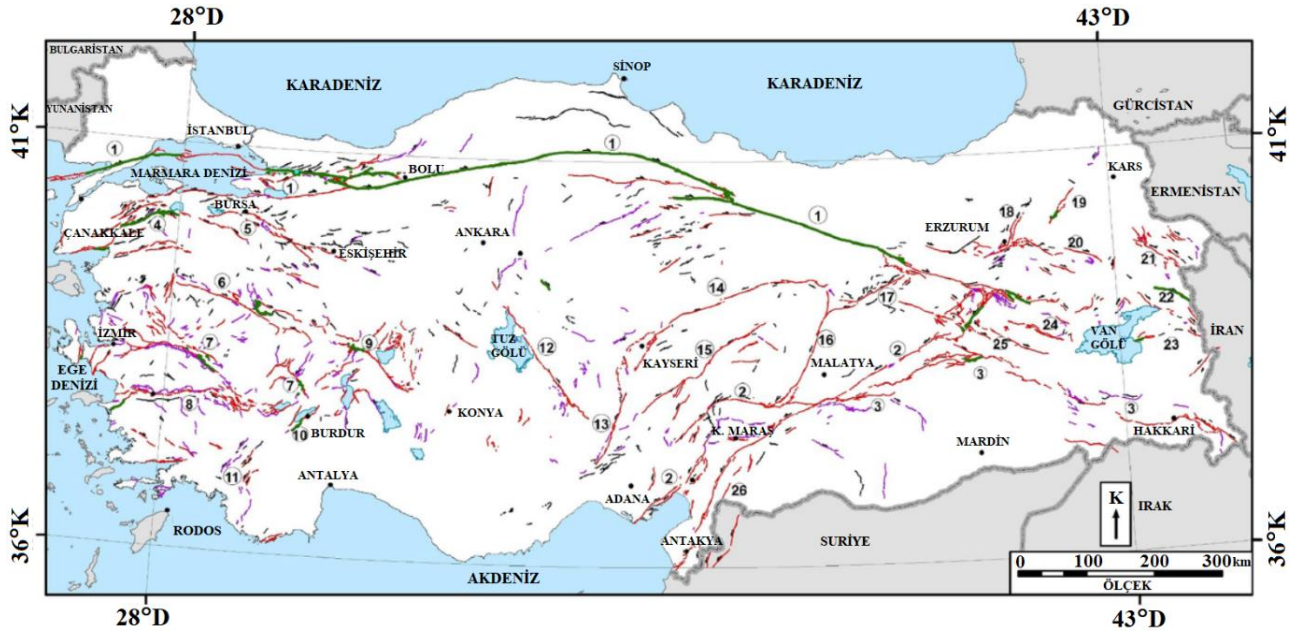
Bu çalışma kapsamında, Gümüşhane ilinde deprem ivmelerini ölçmek amacıyla 3 adet ivme kayıt ve manyetik fırtınaları gözlemek üzere 1 adet Flux-gate manyetometre istasyonları kurulması ve işletilmesi amaçlanmıştır. Kurulan ivme kayıt istasyonları yardımıyla Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde oluşacak depremlerin turizm açısından önemi büyük olan Karaca Mağarasına, Torul ve Kürtün barajı Hidroelektrik santrallerine olan etkisi sürekli gözlemlenecektir. Böylece istasyon ve yakın çevresindeki zeminin deprem sırasında nasıl etkilendiği ve hangi ivme değeriyle sarsıldığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Kurulan manyetik istasyon ile Güneşteki fırtınalar sebebiyle Yer Manyetik alanı üzerindeki ani değişimlerinin izlenmesi ve olası etkilerinin tespitine çalışılmıştır.

1.1. Türkiye'nin ve Gümüşhane'nin tektonik yapısı

1.1. Tectonic structure of Türkiye and Gümüşhane

Türkiye, tektonik olarak Alpin Kuşağı içinde oldukça aktif sismik bölgede yer almaktadır. Batı Anadolu Graben Sistemi (BAGS), Ege Yayı, Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Bitlis-Zağros Bindirme Zonu (BZBZ) bu kuşağın en önemli aktif tektonik yapılarıdır. Ayrıca, Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ), Kıbrıs Yayı ve Orta Anadolu Fay Sistemi (OAFS) diğer önemli tektonik birimlerdir (Şekil 1). Kuzey Anadolu Fay Zonu, Doğu'da Karlıova ile Batı'da Mudurnu vadisi arasında doğu-batı doğrultusunda bir yay gibi uzanır. Dünyanın en aktif ve en önemli kırık hatları arasında yer alan Kuzey Anadolu Fay Zonunun üzerinde oluşan depremler sığ odak derinliğine sahip olup bu fay boyunca meydana gelen sağ yönlü doğrultu atım hareketleri ile ilişkilidir. Uzunluğu yaklaşık 1500 km'dir, genişliği ise 100 m ile 10 km arasında değişmektedir. Doğu Anadolu Fay Zonu, Antakya'dan Karlıova'ya kadar uzanan yaklaşık KD-GB uzanımlı bir faydır. Bu sol yönlü doğrultu atımlı fay zonu, yaklaşık olarak KD yönünde 550 km uzunluğu sahip, birbirlerine paralel olan eğik fay serilerinden oluşmaktadır. Kahramanmaraş ile Yüksekova arasında yer alan Bitlis-Zağros Bindirme Zonu, 1500 km uzunluğunda, 60 km genişlikte ve güneye eğimli ters faylardan oluşmaktadır (Gülkan vd., 1993; Bozkurt, 2001).

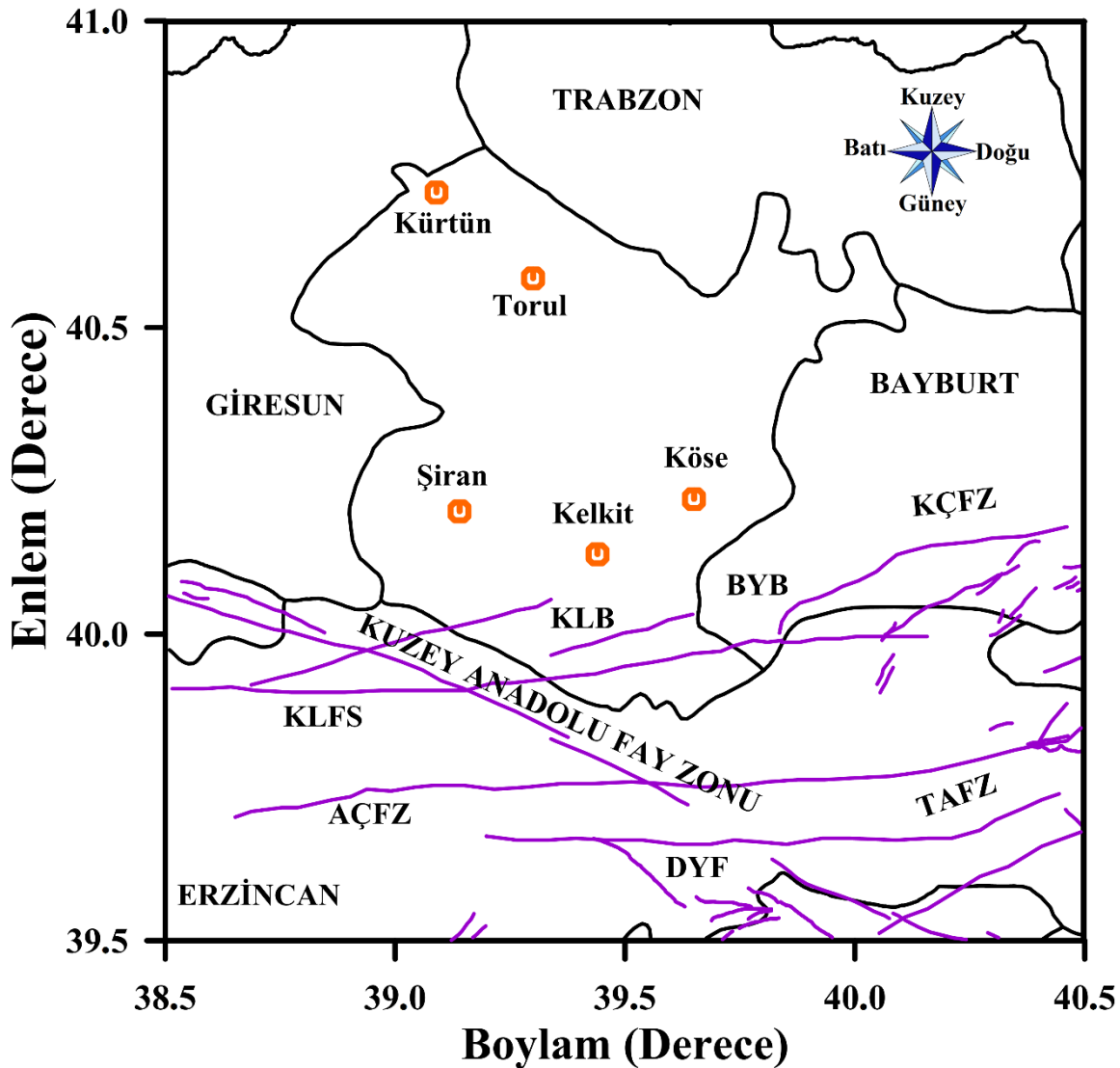
Orta Anadolu Fay Sistemi, 730 kilometrelik uzunluğuyla Erzincan'ın kuzeydoğusundan Akdeniz'in doğusuna uzanan geniş bir makaslama kuşağı olup, doğrultu atımlı fay zonunun karakteristik özelliklerini göstermektedir. Ölü Deniz Fay Zonu ise yaklaşık 1000 km uzunlukta ve K-G doğrultuda yayılan sol yönlü plaka içi doğrultu atımlı fay zonedir. ÖDFZ'nun Arap plakasının doğusunda ve Afrika plakasının ise batısında bulunduğu kabul edilir (Şengör & Yılmaz, 1981). Batı Anadolu Graben Sistemi, dünyadaki en hızlı genişleyen ve sismik aktivitenin en fazla olduğu bölgelerden birini temsil etmektedir. Genel olarak K-G yönlü kıtasal açılma oranı 30-40 mm/yıl'dır (Le Pichon vd., 1995; Oral vd., 1995). Batı Anadolu'da graben sistemi ile ilişkili olarak depremsellik oldukça fazladır. Bölgede zamana bağlı olarak küçük magnitüdü deprem grupları gözlenmiştir (Üçer vd., 1985; Eyidoğan, 1988). D-B yönlü grabenler (Bakırçay, Kütahya, Edremit, Gediz, Simav, Büyük Menderes, Küçük Menderes ve Gökova) ile normal faylarla sınırlanmış havzalar Neotektonik sistemin en belirgin özellikleridir (McKenzie, 1978; Le Pichon & Angelier, 1979).



Şekil 1. Türkiye'nin tektonik yapısı (Emre vd. 2013'ten değiştirilerek alınmıştır). Yeşil renk yüzey kırıklarını, kırmızı renk Holosen yaşlı aktif fayları, mor renk Kuvaterner fayları, siyah renk Kuvaterner öncesi ve çizgisellikleri göstermektedir. FZ: Fay Zonu, GS: Graben Sistemi. 1: KAFZ, 2: DAFZ, 3: GABZ (Güneydoğu Anadolu Bindirme Zonu), 4: Kuzey Anadolu fayının güney şeridi, 5: Bursa fayı, 6: Simav FZ, 7: Gediz GS, 8: Büyük Menderes GS, 9: Afyon-Akşehir GS, 10: Burdur GS, 11: Dinar FZ, 12: Tuz Gölü FZ, 13: Ecemiş FZ, 14: Deliler FZ, 15: Sarız FZ, 16: Malatya FZ, 17: Ovacık FZ, 18: Erzurum FZ, 19: Horasa-Şenkaya FZ, 20: Tutak fayı, 21: Balıklıgölü FZ, 22: Çaldıran FZ, 23: Van FZ, 24: Muş FZ, 25: Kırkkavak fayı, 26: ÖDFZ.

► **Figure 1.** Tectonic structure of Turkey (modified from [Emre et al. 2013](#)). Green color indicates surface fractures, red color indicates Holocene active faults, purple color indicates Quaternary faults, and black color indicates pre-Quaternary and lineaments. FZ: Fault Zone, GS: Graben System. 1: NAFZ, 2: EAFZ, 3: GABZ (Southeast Anatolian Thrust Zone), 4: Southern strip of the North Anatolian fault, 5: Bursa fault, 6: Simav FZ, 7: Gediz GS, 8: Büyük Menderes GS, 9: Afyon -Akşehir GS, 10: Burdur GS, 11: Dinar FZ, 12: Tuz Gölü FZ, 13: Ecemiş FZ, 14: Deliler FZ, 15: Sarız FZ, 16: Malatya FZ, 17: Ovacık FZ, 18: Erzurum FZ, 19: Horasa-Şenkaya FZ, 20: Tutak fault, 21: Balıklıgölü FZ, 22: Çaldıran FZ, 23: Van FZ, 24: Muş FZ, 25: Kırkkavak fault, 26: ÖDFZ.

Gümüşhane ve civarının tektonik yapısı Şekil 2’de verilmiştir. Bölgenin tektonik yapısı, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ile ilişkili Kelkit Fay segmenti (KLFS), Kelkit baseni (KLB), Bayburt baseni (BYB), Kelkit-Çoruh Fay zonu (KÇFZ), Akdağ-Çayırlı Fay zonu (AÇFZ), Tercan-Aşkale Fay zonu (TAFZ) ve Dağyolu fayı gibi birçok fay segmenti ve fay zonundan oluşmaktadır. KÇFZ yaklaşık olarak 600 km uzunluktadır ve sol yönlü doğrultu atımlı bir fay zonudur. Bu fay zonu güney batıdan kuzey doğuya doğru Kelkit, Çoruh, Posof ve Borjomi-Kasbeg fay segmentleri olmak üzere dört segmentten oluşur. KLFS yaklaşık 100 km’lik bir uzunlukla KAFZ’den ayrılır. Kelkit civarında bu fay segmenti iki kola ayrılır ve bir basen ile sonuçlanır ([Bozkurt, 2001](#)). TAFZ yaklaşık 150 km uzunlukta ve 2-4 km genişlikte olup sol yönlü doğrultu atımlı bir fay zonudur. Bu fay zonu KAFZ’ye yakın bir şekilde Erzurum’un batısından geçer ve yaklaşık 2-20 km uzunluğa sahip birbirine paralel çok sayıda fay segmentini içerir ([Bozkurt, 2001](#)).



Şekil 2. Gümüşhane ve civarındaki tektonik yapılar ([Öztürk ve Kaya, 2019](#)’dan değiştirilerek alınmıştır). Fay isimleri metin içerisinde verilmiştir.

Figure 2. Tectonic structures in and around Gümüşhane (modified from [Öztürk and Kaya, 2019](#)). The name of faults were given in the text.

2. Materyal ve yöntem

2. Material and method

Bu çalışmanın amacı, Gümüşhane ilinde 3 adet deprem ivme kayıt istasyonu ile 1 adet manyetik istasyonun kurulup çalışır hale getirilmesidir. Deprem ivme kayıt istasyonlarının KAFZ'na çok yakın olan Şiran MYO'na, Kürtün HES'ne ve Karaca Mağarasına kurulumu sağlanacaktır. Bu istasyonlardan toplanacak deprem ivme kayıtları sürekli takip edilerek bölgenin depremselliğinin gerçek zamanlı olarak izlenmesi planlanmıştır. Böylece KAFZ'nun deprem etkinliği ile depremlerin Kürtün HES'ne, Karaca Mağarasına olan etkileri anlık olarak tespit edilecektir. Ayrıca, Gümüşhane Merkezde bir adet Manyetik istasyon kurularak yer manyetik alanı sürekli olarak gözlemlenecektir.

2.1. İvme istasyonlarının kurulması ve İşletilmesi

2.1. Establishment and operation of acceleration stations

İvme kayıt istasyonları için Gümüşhane ilinde üç adet yer tespit edilmiştir. Yer seçiminde öncelikli olarak sismik etkinliği yüksek olan KAFZ izlenmesi esas alınmıştır. Dolayısıyla KAFZ'na en yakın nokta olarak Şiran MYO seçilmiştir. Diğer istasyon yeri ise bölgemizde turizm açısından önemli bir yer olan Karaca Mağarasıdır. 3. istasyonun yeri, inşası 2003 yılında tamamlanmış olan Kürtün HES olarak seçilmiştir. İstasyonların seçiminde dikkat edilen hususlar arasında çevrenin sismik hasar görebilirliği, kayıt cihazlarını barındıracak yapının kurulması, gerekli izinlerin alınması, kalıcılığı ve güvenliği gibi konular yer almıştır.

Şiran MYO istasyonu yönetim binasının zemin katında yer alan bir oda içine kurulmuştur. Bu odada ivme kayıt cihazı ile bir adet GPS, elektrik kesintilerine karşı önlem amacıyla bir adet UPS, bir adet akü ve bir adet akü şarj cihazı yerleştirilmiştir. Odanın elektrik hattı mevcut olup internet hattı tarafımızdan yaptırılmıştır. İlgili cihazların kurulumu yapılarak istasyon çalıştırılmış ve sürekli kayıt olarak verileri merkez laboratuvarına internet hattı ile konum ve cihazın sıcaklık bilgisi de dahil olmak üzere gerçek zamanlı olarak göndermesi sağlanmıştır. Şiran MYO istasyonunun kurulumu ile ilgili resimler Şekil 3'de verilmektedir.



Şekil 3. Şiran MYO ivme kayıt istasyonunun kurulumu.

Figure 3. Installation of Şiran Vocational School acceleration recording station.

İkinci ivme kayıt istasyonu Kürtün HES'de Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından baraj gövdesi üzerinde yapılmış olan ölçüm odasına kurulmuştur. İlgili binaya cihaz yerleştirilmesi için DSİ, 22. Bölge Müdürlüğünden yazılı izin alınmıştır. Bu binada da yine benzer şekilde bir adet GPS, elektrik kesintilerine karşı önlem amacıyla bir adet UPS, 1 adet akü ve 1 adet akü şarj cihazı bulunmaktadır. Aşırı rüzgâr nedeniyle kırık bir durumda olan ölçüm odasının kapı ve camları tarafımızdan sac levha ile kapatılmış ve bina güvenli bir hale getirilmiştir. Cihazlarını kurulumu yapılarak 3G internet bağlantısıyla veriler konum bilgisi ve cihazın sıcaklık bilgisi ile gerçek zamanlı olarak merkezimize iletilmesi sağlanmıştır. Kürtün HES ivme kayıt istasyonunun kurulumu ile ilgili resimler Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Kürtün HES ivme kayıt istasyonunun kurulumu.

Figure 4. Installation of Kürtün HES acceleration recording station.

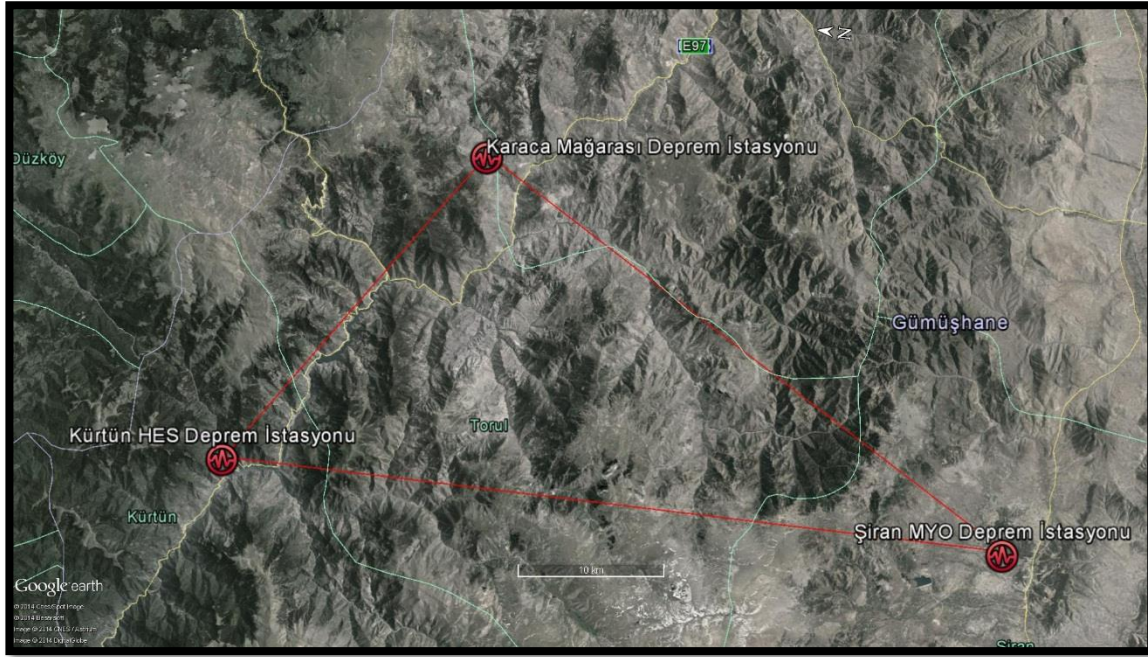
Son ivme kayıt istasyonu Karaca mağarası hizmet binası yanında kurduğumuz konteyner içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 5). Karaca mağarasına cihaz yerleştirebilmek amacıyla Gümüşhane Valiliği, İl Özel İdaresinden yazılı izin alınmıştır. Konteyner içerisine Karaca Mağarası yönetim binasından elektrik hattı çekilmiştir. Bu istasyonumuzda da bir adet GPS, elektrik kesintilerine karşı önlem amacıyla bir adet UPS, bir adet akü ve bir adet akü şarj cihazı bulunmaktadır. Veriler 3G internet bağlantısı yardımıyla gerçek zamanlı konum bilgisi ve cihazın sıcaklık bilgisi ile iletilmektedir.



Şekil 5. Karaca Mağarası ivme kayıt istasyonunun kurulumu.

Figure 5. Installation of the Karaca Cave acceleration recording station.

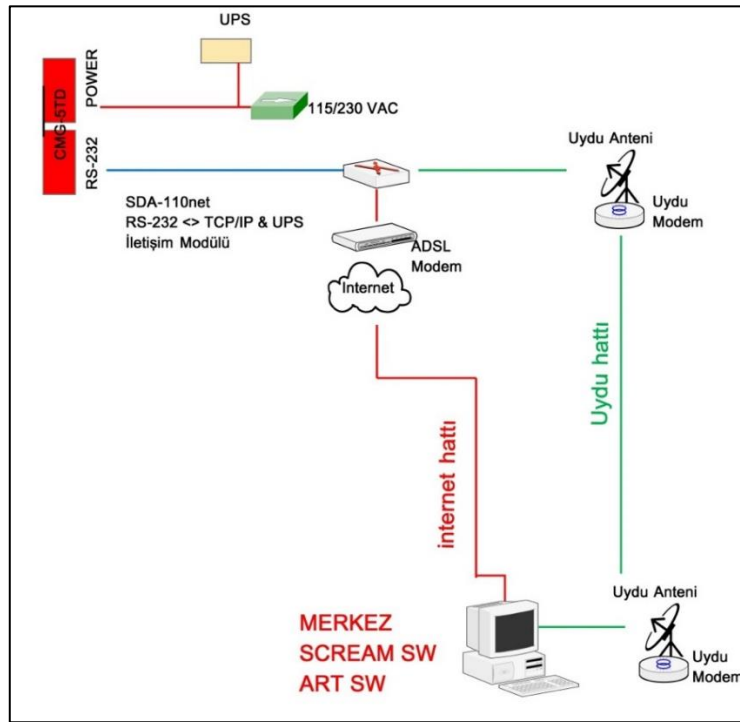
Tüm ivme kayıt istasyonlarının konumları Şekil 6'da görülmektedir. İstasyonlarda kullanılan ivme kayıt cihazları CMG-5TD model cihazlar olup 24 bit çözünürlüğe, yüksek duyarlılığa ve kapasiteye sahip, modern iletişim (GPRS, ADSL vb.) araçlarıyla veri transferi sağlayabilen cihazlardır. Veriler, merkez ofise sürekli veya trigger modda (Dial-up, Internet, ADSL, GPRS/EDGE) iletişim araçları sayesinde ulaşmaktadır.



Şekil 6. Deprem ivme kayıt istasyonlarının yerlerini gösterir harita.

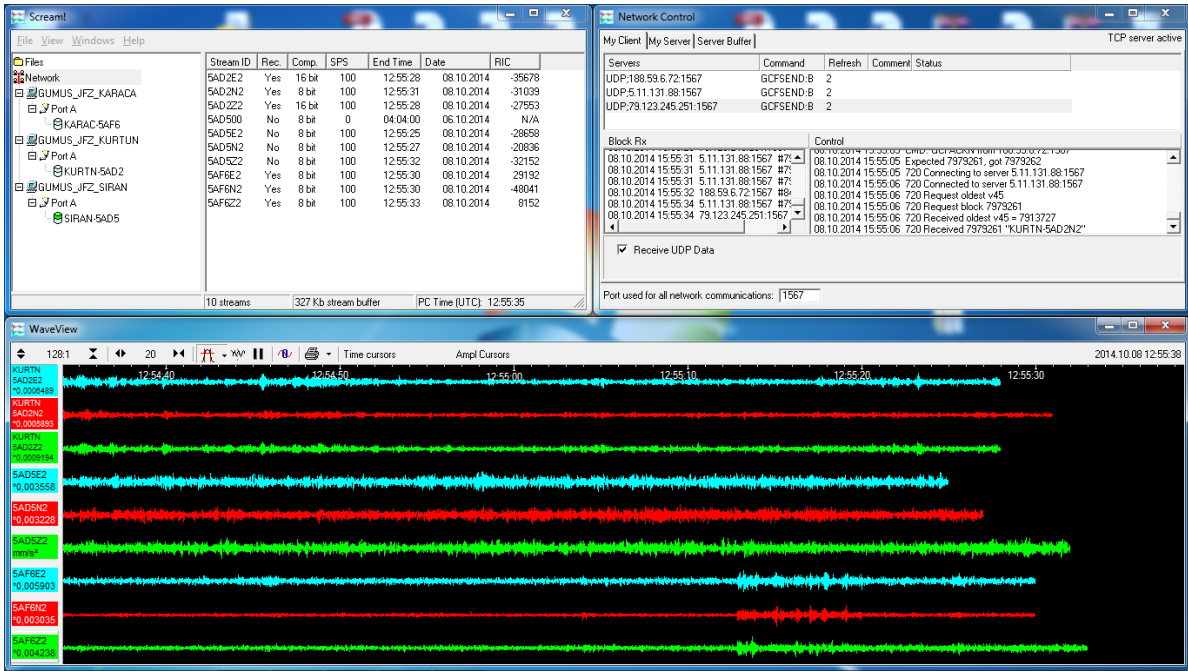
Figure 6. Map showing the locations of earthquake acceleration recording stations.

İstasyonlardan gerçek zamanlı veri göndermek üzere tasarlanmış internet ya da uydu bağlantılı deprem ivme kayıt istasyonu şeması Şekil 7'de gösterilmektedir. İstasyonlar ile merkez arasındaki veri iletişimini sağlayan Scream 4.5 yazılımının ekran görüntüsü Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 7. Deprem ivme kayıt istasyonu gerçek zamanlı veri iletim şeması

Figure 7. Earthquake acceleration recording station real-time data transmission scheme



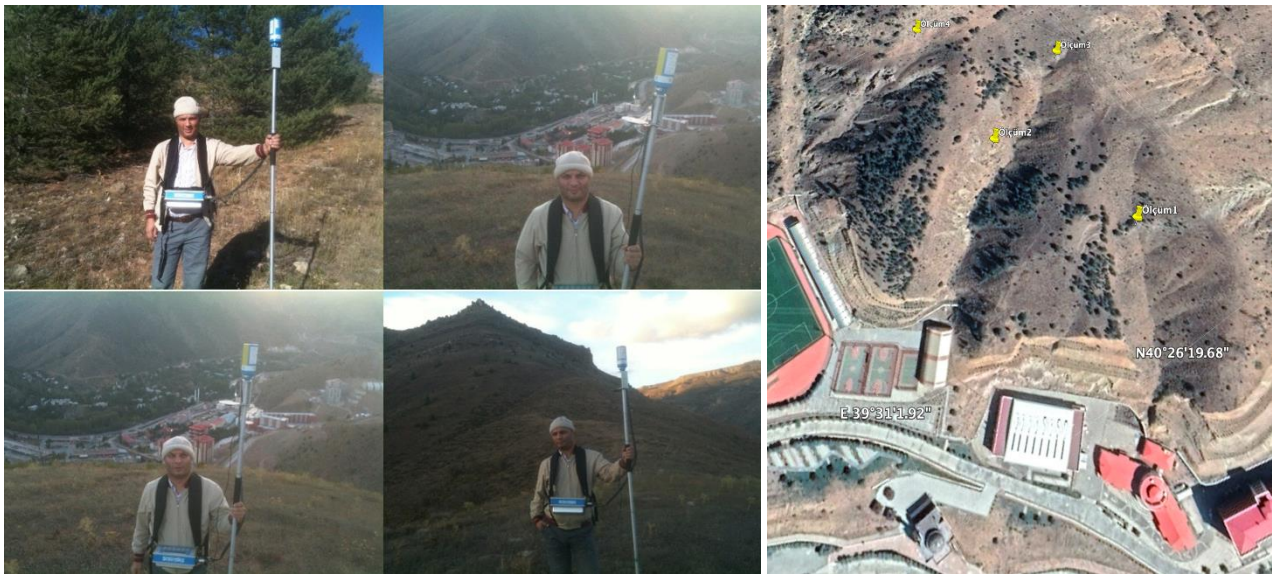
Şekil 8. Tüm deprem ivme kayıt istasyonlarından veri toplam için kullanılan yazılımın görünümü.
Figure 8. View of the software used to collect data from all earthquake acceleration recording stations.

Scream yazılımı sayesinde ilgili istasyonlardaki cihazlara müdahale edilmekte ve programlanabilmektedir. İlgili yazılım ile istasyonlardan gelen veriler veri tabanına “tarih_zaman_istasyonadı” şeklinde dosya isimleri ile kaydedilmektedir. Veri tabanına kaydedilen verilere daha sonra kullanılmak üzere “yıl_ay_gün” şeklinde hiyerarşiye sahip klasörler yoluyla ulaşılabilir. Dosyalara kaydedilen veriler cm/sn^2 (gal) cinsindedir.

2.2. Manyetik İstasyonun Kurulumu

2.2. Magnetic Station Installation

Manyetik istasyonun kurulumu için öncelikle sensörün yerleştirilebileceği sakin bir yerin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle merkez kampüsünde Proton Manyetometresi ile ölçüm alınmıştır (Şekil 9). İstasyon yer seçiminde büyük ferromanyetik cisimlerden ya da aktif yollardan 100 m, yüksek gerilim hatlarından 200-500 m uzakta olması gerekmektedir.



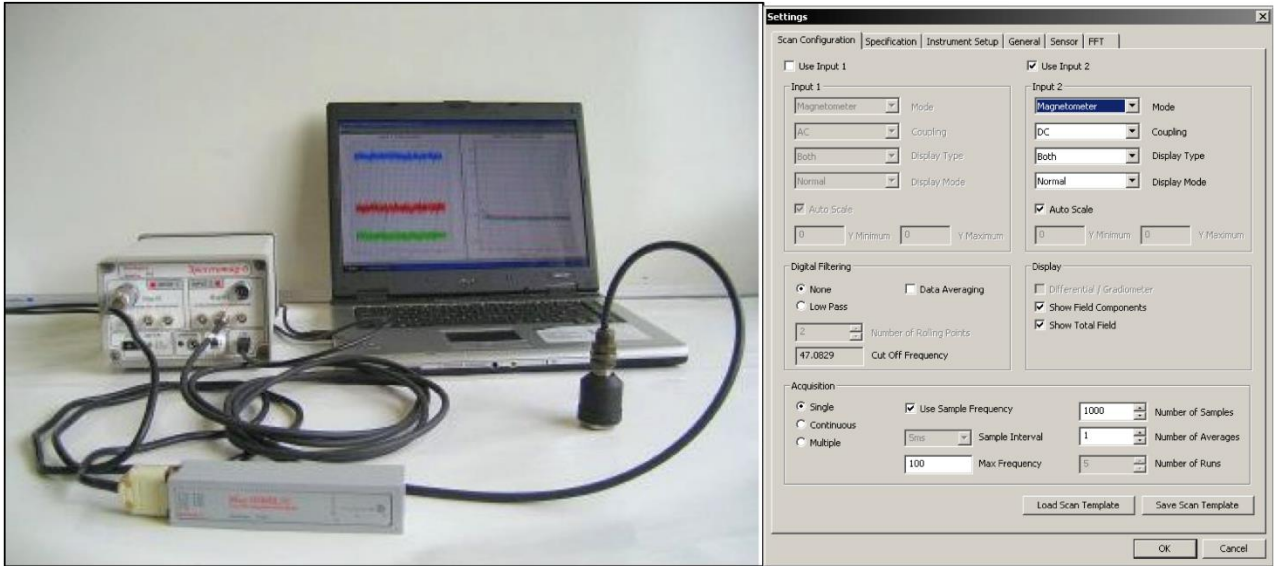
Şekil 9. Manyetik istasyon yeri seçimi için Proton Manyetometresi ile ölçüm alınması ve ölçüm yerleri.
Figure 9. Taking measurements with a Proton Magnetometer for magnetic station location selection and measurement locations.

Uygun bir yer seçimi yapıldıktan sonra GPS yardımı ile zaman senkronizasyonu yapılmalıdır. Baz istasyonu olarak 3 bileşen flux-gate manyetometre sistemi kullanılmıştır. Sistemi bir adet 3 bileşen manyetik algılayıcı ve bir adet veri toplama modülünden oluşmaktadır. Algılayıcı çok düşük gürültü hassasiyetine sahip olup $\pm 70\mu T$ 'dan $\pm 1000\mu T$ 'ya ölçüm imkânına sahiptir. $-40^{\circ}C$ - $+70^{\circ}C$ ortamlarda cihaz çalışabilmektedir. Algılayıcı birim ve veri toplama modülü veri toplamak amacıyla kurulumu yapılmış olarak Şekil 10'da görülmektedir.

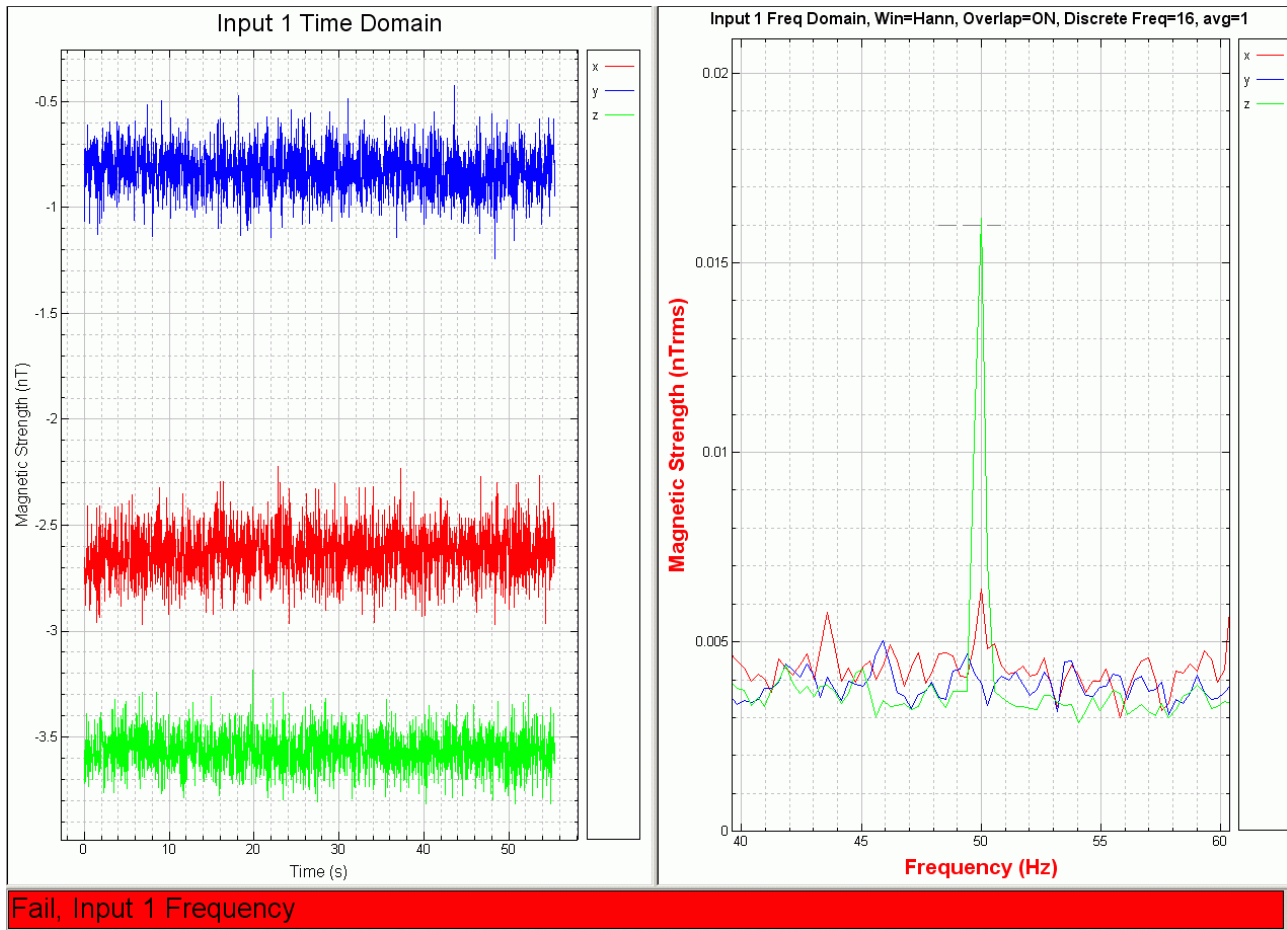


Şekil 10. Flux-Gate manyetometre veri toplama modülü, algılayıcı birim ve sistemin kurulu hali.
Figure 10. Flux-Gate magnetometer data acquisition module, sensor unit and the installed state of the system.

Veri toplama modülü bilgisayara bağlanarak ilgili yazılım (Spectramag-6) ile veriler bilgisayar ortamına anlık olarak aktarılmaktadır. Veriler tek, sürekli ve çoklu veri toplama modlarında kaydedilebilmektedir. Veri toplama modülü 700.000 veriyi kaydedebilmektedir. Manyetometre sistemi kurulduktan ve bilgisayara bağlandıktan sonra Spectramag-6 yazılımı kullanılarak verilerin sistemden bilgisayar ortamına aktarılması sağlanabilir, veri alma şekli ve birçok konfigürasyon programlanabilir (Şekil 11). Spectramag-6 yazılımı ile alınan veriler zaman ve frekans spektrumu olmak üzere iki farklı pencerede görülebilmektedir (Şekil 12).



Şekil 11. Flux-Gate manyetometre sistemi kurulumu ve veri toplama yazılımı Spectramag-6'ın yüklenmesi.
Figure 11. Flux-Gate magnetometer system setup and installation of data acquisition software Spectramag-6.



Şekil 12. Toplanan manyetik verilerin anlık olarak zaman ve frekans ortamındaki görünümleri.
Figure 12. Real-time magnetic data acquisition in time and frequency environment.

3. Bulgular

3. Results

İstasyonlar kurulduktan ve işletilmeye başlandıktan sonra deprem ivme ve manyetik veriler merkeze internet bağlantısı yardımıyla anlık olarak ulaşmaya başlamıştır. Çalışma süresi içinde bölgemizde oluşmuş ya da bölgeyi etkilemiş olan 25 adet deprem, ivme kayıt istasyonları tarafından kaydedilmiş ve Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde büyüklüğü $M < 3.5$ olan depremler 50 km yarıçaplı bir çember içerisinde meydana geldiğinde kaydedilirken büyüklüğü $M > 3.5$ olan depremler 50 km’den daha uzak yerlerde olsalar dahi kaydedilmektedirler.

Kaydedilen depremler kullanılarak depremlerin yaklaşık olarak episantır uzaklığı ve süre büyüklükleri (MD) hesap edilebilmektedir. Episantır hesaplanırken 3 farklı istasyonda kaydedilen depremin P ve S dalgası varış zamanları arasındaki zaman farkı kullanılmaktadır. Büyüklük hesabı yapılırken $MD = -2.46 + 2.82 \log(T)$ bağıntısı kullanılmıştır. 26.06.2015 tarihinde yerel saat ile 09.02.42’de Erzincan ili Refahiye ilçesinde $ML = 2.9$ (yerel magnitüd) ve yerel saat 09.11.35’te yine Erzincan ili Kemah ilçesinde $ML = 2.6$ büyüklüklerinde meydana gelen iki farklı deprem Şiran MYO, Kürtün HES ve Karaca Mağarasında bulunan 3 farklı istasyon tarafından kaydedilmişlerdir (Şekil 13).

Deprem ivme kayıtları incelendiğinde istasyon yerlerinin gürültüsüz oluşu göze çarpmaktadır. Ayrıca istasyonlarda kaydedilen ivme kayıt değerlerinden cihazların konulduğu zemin özellikleri hakkında fikir sahibi olunabilmektedir. Örneğin Erzincan ili Refahiye ilçesinde büyüklüğü $ML = 2.9$ olan depremin en yakın istasyondaki maksimum ivme değeri düşeyde 0.84 cm/sn^2 iken Karaca Mağarasındaki istasyondaki ivme değeri daha yüksek olup düşeyde 6.84 cm/sn^2 olarak ölçülmüştür. Yerel zemin koşullarının deprem ivme değerlerini ne derece büyüttüğü bu örnekte açıkça görülmektedir. Karaca Mağarasının yer aldığı kireçtaşlarının deprem dalgalarını daha fazla büyüttüğü net bir şekilde gözlenmektedir.

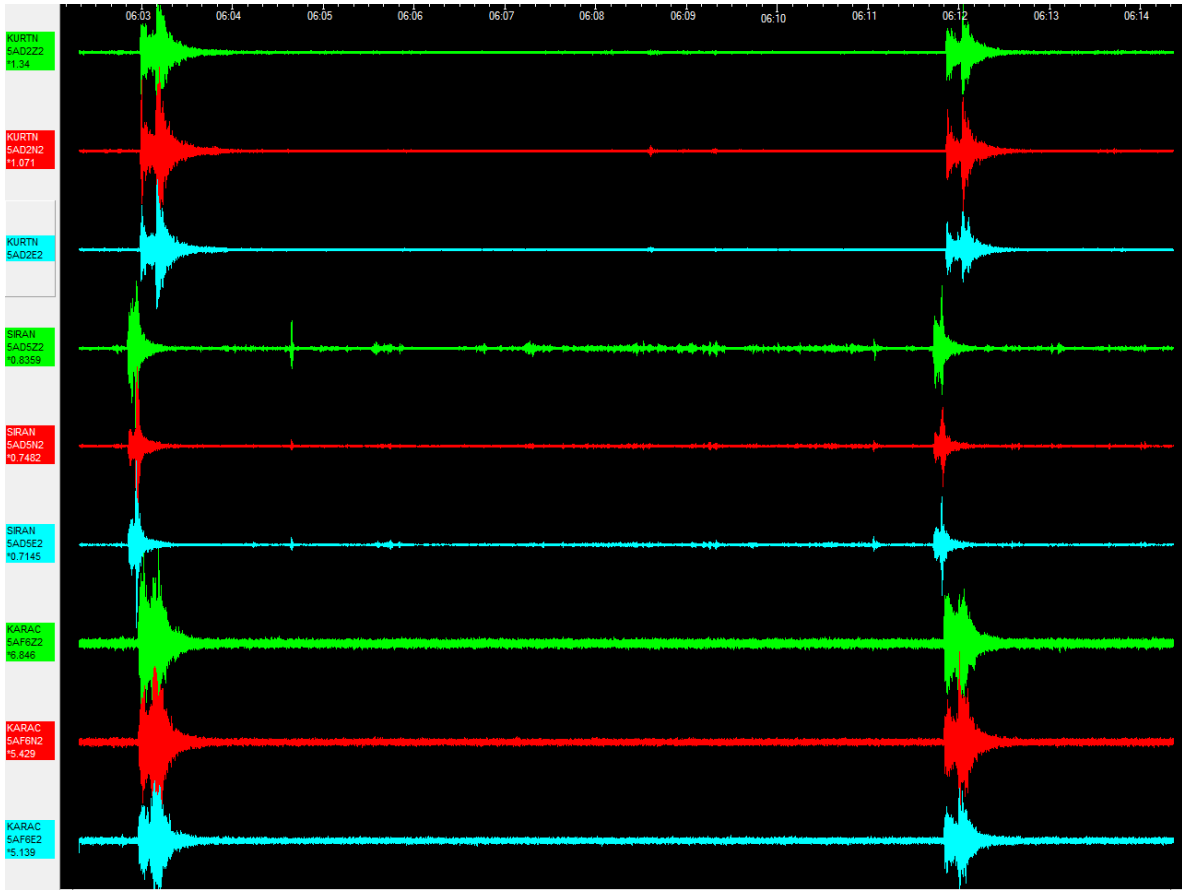
Deprem ivme kayıtları yapıya gelecek yük ile doğru orantılı olduğundan bir bölgedeki yıkımın tespitinde kullanılması mümkündür. Böylece bölgemizde oluşacak yıkıcı bir deprem sonucunda deprem ivme kayıtları kullanılarak depremin en fazla hissedildiği ve yıkıma uğrattığı bölgeler tespit edilerek lojistik destek sağlanması mümkün olacaktır. Çalışma süresince alınan deprem ivme kayıtlarından ilimizde yüksek magnitudü bir deprem meydana gelmediği görülmüştür. Bölgemizi etkileyen depremlerden en büyüğünün magnitudü $M=4.5$ iken en yüksek ivme değeri ise 6.84 cm/sn^2 olarak ölçülmüştür.

Tablo 1. Deprem ivme kayıt istasyonları tarafından kaydedilen depremlerin listesi.

Table 1. List of earthquakes recorded by earthquake acceleration recording stations.

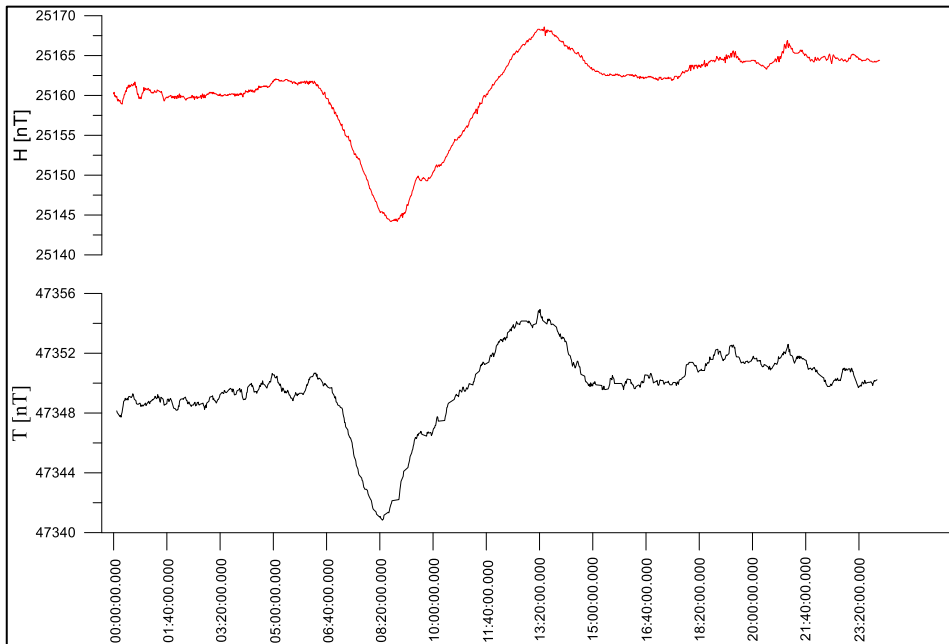
Tarih	Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik	Büyüklik	Yeri
2013.01.23	12:17:07.20	40.7735	39.5358	7.8	2.0	KOPRUYANI-MACKA (TRABZON)
2013.01.26	10:01:54.20	40.6163	39.8422	14.7	2.0	CORAK- (GUMUSHANE)
2013.01.31	12:11:37.39	40.6268	39.8762	9.9	1.9	AKOCAK- (GUMUSHANE)
2013.02.06	10:16:38.07	40.6442	39.9310	14.5	2.5	KAYAICI-ARAKLI (TRABZON)
2013.03.20	14:26:22.31	40.7643	39.5245	15.6	2.1	KOPRUYANI-MACKA (TRABZON)
2013.05.15	07:09:57.98	39.0192	41.1815	6.0	4.4	BILEK- (MUS)
2013.07.17	01:40:31.95	40.5225	41.9113	5.0	4.1	KALEBOGAZI-OLTU (ERZURUM)
2013.09.16	10:31:39.75	39.0167	41.4477	4.9	4.5	TUTEN- (MUS)
2013.09.17	20:40:49.41	39.0462	41.4552	12.9	5.1	SUDURAGI- (MUS)
2013.09.18	18:22:41.27	39.6877	41.6900	5.0	4.5	CATAK-TEKMAN (ERZURUM)
2014.02.27	12:19:23.84	40.6528	39.8840	10.0	2.2	KAYAICI-ARAKLI (TRABZON)
2014.04.28	13:55:10.67	40.7133	39.9322	22.0	2.0	KUKURTLU-ARAKLI (TRABZON)
2014.05.01	07:36:08.75	39.4730	37.3525	5.0	4.3	SENYURT-ULAS (SIVAS)
2014.05.03	01:33:40.29	39.7185	38.8595	5.3	3.6	HAKBILIR-KEMAH (ERZINCAN)
2014.06.03	11:54:56.07	40.4813	40.0593	4.7	2.3	SORKUNLU-AYDINTEPE (BAYBURT)
2014.07.01	03:59:30.63	39.9618	39.8933	6.6	3.5	AVCICAYIRI-OTLUKBELI (ERZINCAN)
2014.07.01	14:58:24.64	40.0090	39.5497	7.6	2.3	ASAGIOZLUCE-KELKIT (GUMUSHANE)
2014.09.20	02:52:57.27	39.1615	38.7350	4.4	4.3	SAHINLER-KEMALIYE (ERZINCAN)
2014.10.21	12:01:46.38	39.9942	39.6635	4.5	3.9	DOGANKAVAK-KELKIT (GUMUSHANE)
2014.11.03	19:29:27.59	40.0163	39.6358	13.6	3.5	DOGANKAVAK-KELKIT
2015.01.10	09:14:01.31	40.0297	39.3287	15.5	2.2	CAMBASI-KELKIT (GUMUSHANE)
2015.02.09	22:52:49.45	39.4237	40.1490	4.7	4.1	AGASENLIGI-PULUMUR (TUNCELI)
2015.03.26	19:01:43.82	39.9645	39.6682	5.0	3.6	OGUZ-KELKIT (GUMUSHANE)
2015.04.18	06:54:10.90	39.9912	39.7062	5.3	3.6	ELMALI-DEMIROZU (BAYBURT)
2015.06.11	08:08:47.10	40.4437	40.0523	16.7	2.0	SULUDERE-AYDINTEPE (BAYBURT)

Gümüşhane manyetik istasyonundan elde edilen Yer manyetik alanının Yatay ve Toplam şiddetine ait değerler Şekil 14’te verilmektedir. Şekil 14 incelendiğinde Gümüşhane için toplam bileşenin 47340 nT ile 47354 nT ve yer manyetik alanının yatay bileşenin ise 25143 nT ile 25168 nT arasında değiştiği görülmüştür. Yatay bileşenin ortalama değeri 25160 nT , toplam bileşenin ortalama değeri 47349 nT olarak hesap edilmiştir. Hem yatay bileşen hem de toplam bileşenin en düşük değerleri saat 08.20 civarında elde edilmiştir. Bundan sonra değerler artış trendine girmiştir. En yüksek değerler ise saat 13.20’de gözlemlenmiştir. Elde edilen değerlere göre manyetik fırtına izlenmemiştir. Değerler olağan seyrinde ölçülmüştür. Toplam bileşekte günlük olarak 14 nT değerinde bir anomali elde edilmiştir. Yatay bileşende ise anomalinin genliği 25 nT olarak tespit edilmiştir. Yatay bileşen ve Toplam bileşke değerleri üzerinde yüksek frekanslı değişimler izlenmektedir.



Şekil 13. 26.06.2015 tarihinde saat 09.02.42’de Erzincan ili Refahiye ilçesinde $ML=2.9$ ve saat 09.11.35’de yine Erzincan ili Kemah ilçesinde $ML=2.6$ büyüklüklerinde meydana gelen depremlerin 3 farklı istasyonda kaydedilen ivme kayıtları.

Figure 13. Acceleration records recorded at 3 different stations of the earthquakes that occurred on 26.06.2015 at 09.02.42 in Refahiye district of Erzincan province with a magnitude of $ML=2.9$ and at 09.11.35 in Kemah district of Erzincan province with a magnitude of $ML=2.6$.



Şekil 14. 01.01.2013 tarihinde kaydedilen Yer manyetik alanının Yatay bileşen (H) ve Toplam bileşke (T) değerleri.

Figure 14. Horizontal component (H) and Total resultant (T) values of the Earth magnetic field recorded on 01.01.2013.

4. Tartışma ve sonuçlar

4. Discussion and conclusions

Bu çalışmada karşılaşılan en büyük sorun bölgemizde sık sık yaşanan elektrik kesintileri olmuştur. İstasyonların uzak oluşu elektrik kesintileri nedeniyle kapanan cihazların yeniden açılmasını zorlaştırmıştır. Her ne kadar elektrik kesintilerinden kaçınmak amacıyla istasyonlarda akü ve UPS bulunmasına rağmen uzun süreli kesinti durumunda yine de çözümsüz kalmıştır. Ayrıca elektrik kesintileri sebebiyle modemlerin hafızası gitmekte elektrik gelse dahi veri gönderimi sağlanamamaktadır.

Bölgemizde yer alan mühendislik yapılarının oluşacak büyük bir depremden etkilenme derecesi sürekli kontrol edilmelidir. Ayrıca mevsimsel su artışları sebebiyle ya da rüzgârlar sonucu oluşan dalgaların baraj gövdesine olası etkileri de ancak deprem ivme kayıtları ile mümkündür.

Karaca Mağarası'nda kurulu bulunan deprem kayıt istasyonu ülkemizde ilk olmuştur. İlk defa olarak turizm açısından önemli bir mağara jeofizik cihazla sürekli gözlenir olmuştur. Bu yöremizde yol ve tünel yapımı sırasında yapılan patlatmalar düşünülünce önemi daha da artmaktadır.

Bölgemiz İran'dan gelerek Trabzon limanına yük taşıyan tırların geçiş güzergâhı üzerinde bulunmaktadır. İlimizde son zamanlarda yoğun bir karayolu inşası sürmektedir. Halen yapımı süren ve yapılmakta olan tünel ve karayollarının deprem ve yapay patlatmalardan ne derece etkilendiği ya da etkilenebileceği kesintisiz bir ulaşım için elzem durumdadır. Bu nedenle karayolu ve tünellerin ivme kayıt cihazları ile sürekli izlenmesi bölgemizin ve ülkemizin ekonomisi açısından önemli olacaktır.

Halen Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından yapılan yaklaşık 14 km uzunluğundaki yeni Zigana tünelinin sürekli gözlenmesi ve karayolu ağımızın deprem anında jeoteknik güvenliği açısından önem arz etmektedir.

Şiran MYO'da bulunan ivme kayıt istasyonunun KAFZ'nun deprem etkinliğinin gözlenmesi açısından önemi büyüktür. Dünyanın sismik aktivitesi en yüksek fay hatlarından birinin ivme kayıt ağı ile gözlenmesi hem güvenli yapılaşma hem de deprem tahmin çalışmalarında veri sağlaması açısından hizmet verecektir.

Manyetik istasyonumuz bölgemizde güneş patlamaları nedeniyle yer manyetik alanda meydana gelen düzensizliklerin izlenmesi açısından yararlı olmuştur. Ayrıca bölgemizin maden açısından önemi yadsınamaz bir gerçektir. Bu nedenle metalik maden aramalarında kullanılacak manyetik yöntem için manyetik istasyonun baz istasyonu olarak kullanılması mümkün olacaktır.

Manyetik fırtınalı dönemlerde yaşlı vatandaşlarımız çeşitli sağlık sorunlarıyla karşılaşmaktadırlar. Ülkemizde manyetik değişimlerle sağlık arasındaki ilişkiyi ortaya koyan çalışmalar çok az düzeydedir. Bu nedenle ilimizde ileriye dönük olarak yer manyetik alanı ile sağlık arasındaki ilişkiyi ortaya koyan çalışmalar yapılmalıdır.

Bu çalışma ile ilimizde üç adet deprem ivme kayıt istasyonu ve bir adet manyetik istasyon kurulumu gerçekleştirilmiştir. Başlangıçta öngörülen hedeflere çok büyük oranda ulaşılmıştır. Ancak maddi olanakların yetersizliği nedeniyle Manyetik istasyonumuz uluslararası manyetik istasyon ağına (INTERMAGNET) bağlanamamıştır.

Bölgemizde halen yapılmakta ve planlanmakta olan karayolu ve demiryolu ağımız ile bunlar üzerindeki tünellerin bir deprem anında deprem ivme kayıt cihazları yoluyla erken uyarı sistemleri geliştirilerek jeoteknik güvenliğinin sağlanması mümkün olabilir. Bunun yanı sıra deprem ve taş ocaklarında yapılan yapay patlatmalarına karşı ilimizde yer alan büyük mühendislik yapıları ile turizm alanlarının güvenliğinin sürekli izlenmesi ülkemizin ekonomisi ve halkımızın sağlığı açısından önemli olacaktır.

Teşekkür

Acknowledgement

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nce desteklenmiştir. Proje No: 13.F5117.02.2. Çalışmanın gerçekleşmesinde gösterdikleri anlayış ve özveri için Gümüşhane Üniversitesi, BAP komisyonu üyeleri ve personellerine teşekkür ederiz. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde üstün gayret

ve yardımları bulunan Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Teknisyeni Hakkı YOKUŞ'a şükran borçluyuz. İstasyonların kurulumu sırasında bizlere lojistik destek sunan Şiran MYO Müdürlüğüne Gümüşhane valiliğine, İl Özel İdaresi Genel Sekreteri Ekrem AKDOĞAN'a, Elektrik Mühendisi Burak ARSLAN'a, DSİ 22 Bölge Müdürü Adil Erdoğan YAŞAROĞLU'na, DSİ, 223 Şube Müdürü Ümit YAYLA'ya, Karaca Mağarasında görevli Personel Saffet NAS'a, Özkürtün beldesinden Şakir YAVUZ'a müteşekkirimiz. Bu çalışmanın yayımlanması aşamasında gösterdikleri üstün gayret ve çabaları nedeniyle Dergi Editörü Doç. Dr. Mehmet Ali GÜCER'e, Alan Editörü Prof. Dr. Enver AKARYALI'ya ve hakemlere teşekkür ederiz.

Yazar katkısı

Author contribution

Nafiz MADEN, Serkan ÖZTÜRK ve Levent PEHLİVAN, araştırma konusunun seçiminde, araştırma kurgusunun oluşturulmasında, literatür taraması, istasyonların çalışır hale getirilmesi, lojistik ve makalenin yazım aşamalarında, Mahmut SARI ve Yasemin BEKER makalenin son yazım aşamalarında katkı sunmuşlardır.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Bansal, B. K., Pandey, A. P., Singh, A. P., Suresh, G., Singh, R. K., & Gautam, J. L. (2021). National seismological network in India for real-time earthquake monitoring. *Seismological Society of America*, 92(4), 2255-2269.
- Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey—a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14, 3-30. <https://doi.org/10.1080/09853111.2001.11432432>
- Çeken, U. (2007). Marmara Bölgesinin Kuvvetli Yer Hareketi Azalım İlişkisi Modeli [Yüksek Lisans Tezi Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Çelik, M. O. (2023). 23.11. 2022 Tarihli MW= 5.9 Düzce depreminin kuvvetli yer hareketi verileri ile analizi ve bölgenin tektonik yapısı [Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi].
- Emre, Ö., Duman, T.Y, Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, S. & Şaroğlu, F. (2013). Active fault map of Turkey with an explanatory text 1:1,250,000 scale. *General Directorate of Mineral Research and Exploration*, Special Publication Series 30.
- Eyidoğan, H. (1988). Rates of crustal deformation in western Turkey as deduced from major earthquakes. *Tectonophysics*, 148, 83-92. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(88\)90162-X](https://doi.org/10.1016/0040-1951(88)90162-X)
- Gupta, K., & Satyam, N. (2022). Estimation of Arias intensity and peak ground acceleration (PGA) using probabilistic seismic hazard assessment of Uttarakhand state (India). *Arabian Journal of Geosciences*, 15(5), 437.
- Gülkan, P., Koçyiğit, A., Yüçemen, M., S., Doyuran, V. & Başöz, N. (1993). Earthquake zoning map of Turkey based on the most recent data (En son verilere göre hazırlanan Türkiye deprem bölgeleri haritası): METU Earthquake Engineering Research Center, Report No. 93-01, 156.
- KOERİ, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Astronomi Laboratuvarı (2023, Kasım 18) <https://astronomi.bogazici.edu.tr/gunes-dunya-ya-etkileri>

- Kramer, S.L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice_Hall Int. Series.
- Le Pichon, X. & Angelier, J. (1979). The hellenic arc and trench system: a key to the neotectonic evolution of the eastern Mediterranean area. *Tectonophysics*, 60, 1-42. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(79\)90131-8](https://doi.org/10.1016/0040-1951(79)90131-8)
- Le Pichon, X., Chamot-Rooke, N., Lallemand, S., Noomen, R., & Veis, G. (1995). Geodetic determination of the kinematics of central Greece with respect to Europe: Implications for eastern Mediterranean tectonics. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 100(B7), 12675-12690. <https://doi.org/10.1029/95JB00317>
- Liu, Y., Zhao, Q., & Wang, Y. (2024). Peak ground acceleration prediction for on-site earthquake early warning with deep learning. *Scientific Reports*, 14(1), 5485.
- Mckenzie, D.P. (1978). McKenzie, D. (1978). Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. *Geophysical Journal International*, 55(1), 217-254.
- Oral, M. B., Reilinger, R. E., Toksöz, M. N., Kong, R. W., Barka, A. A., Kınık, I. & Lenk, O. (1995). Global positioning system offers evidence of plate motions in eastern Mediterranean. *EOS, Transactions American Geophysical Union*, 76(2), 9-11. <https://doi.org/10.1029/EO076i002p00009-01>
- Priyanto, D., Triwijoyo, B. K., Jollyta, D., Hairani, H., & Dasriani, N. G. A. (2023). Data Mining Earthquake Prediction with Multivariate Adaptive Regression Splines and Peak Ground Acceleration. *MATRIK: Jurnal Manajemen, Teknik Informatika dan Rekayasa Komputer*, 22(3), 583-592.
- Öztürk, S. & Kaya, A. (2019). A study on the characteristics of Gümüşhane seismicity: Analyses of region-time parameters. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 37(2), 551-561.
- Şengör, A.M.C. & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181–241. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(81\)90275-4](https://doi.org/10.1016/0040-1951(81)90275-4)
- Üçer, S. B., Crampin, S., Evans, R., Miller, A., & Kafadar, N. (1985). The MARNET radiolinked seismometer network spanning the Marmara Sea and the seismicity of Western Turkey. *Geophysical Journal International*, 83(1), 17-30. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1985.tb05153.x>
- Walter, J. I., Ogwari, P., Thiel, A., Ferrer, F., & Woelfel, I. (2021). easyQuake: Putting machine learning to work for your regional seismic network or local earthquake study. *Seismological Research Letters*, 92(1), 555-563.