

24 Ocak 2020 Sivrice-Elazığ Depreminin Jeomorfolojiye Yansımaları ve Karakaya Baraj Gölünde Oluşan Çizgisel Hatların Analizi

Murat SUNKAR^{1*}, Vedat AVCI², Cevdet CANPOLAT³

¹ Coğrafya Bölümü, İnsani ve Sosyal Bilimler Fakültesi Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² Coğrafya Bölümü, Fen-Edebiyat Fakültesi Bingöl Üniversitesi, Bingöl, Türkiye

³ Millî Eğitim Bakanlığı, Balakgazi Anadolu Lisesi, Elazığ, Türkiye

*¹ msunkar@firat.edu.tr, ² vavci@bingol.edu.tr, ³ cevcanpol@hotmail.com

(Geliş/Received: 28/05/2023;

Kabul/Accepted: 22/08/2023)

Öz: Bu çalışmada, Sivrice-Elazığ depreminin jeomorfolojiye yansımaları ve depremden sonra Karakaya Baraj Gölü'nde oluşan çizgisel hatlar analiz edilmiştir. 24 Ocak 2020 tarihinde, Elazığ'ın güneybatısında, merkez üssü Sivrice ilçesine bağlı Çevrimtaş köyünde 6.8 büyüklüğünde şiddetli bir deprem yaşanmıştır. Bu depremde 37'si Elazığ'da, 4'ü Malatya'da olmak üzere 41 kişi hayatını kaybetmiş ve on binlerce bina ağır hasar almıştır. Depremden sonra, sahada araştırma yapan bir grup araştırmacı tarafından 30 Ocak 2020 tarihinde, Doğanöl kuzeyinde Karakaya Baraj Gölü üzerinde gözlenen ve fayla çakışan beyaz çizgisellikler, su veya gaz çıkışı olarak rapor edilmiştir. Ancak bu rapordan sonra farklı tarihlerde aynı alanlarda yapılan arazi çalışmalarında bu çizgiselliklerin tekrar oluştuğu görülmüştür. İlk arazi gözlemlerinde faylarla çakışan beyaz çizgisel hatların içerisinde köpük ve bitki parçalarının varlığı, beyaz çizgiselliklerin gaz çıkışı olduğunu şüpheli hale getirmiştir. Bu amaçla Doğu Anadolu Fayı'nın Fırat Vadisi'ni ötelediği alanlarda baraj gölü üzerine saman ve köpük bırakılarak deney yapılmıştır. Deney sonucunda dalganın olmadığı dönemde bırakılan malzemenin şekilsiz dağıldığı, dalganın başlaması ile oluşan köpükler ve su yüzeyine bırakılan malzemenin fayla aynı doğrultuda dizilerek beyaz çizgisel hatlar oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu veriler göl yüzeyinde oluşan beyaz çizgisel hatların gaz çıkışı dışında morfoloji ve hava hareketlerine bağlı, dalga etkisiyle oluşan özel bir oluşum olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: 24 Ocak 2020 Sivrice-Elazığ depremi, Fırat Vadisi, Karakaya Baraj Gölü, Gaz çıkışı.

Reflections of the Sivrice-Elazığ Earthquake on 24th January 2020 on Geomorphology and Analysis of the Linear Lines in the Karakaya Dam Lake

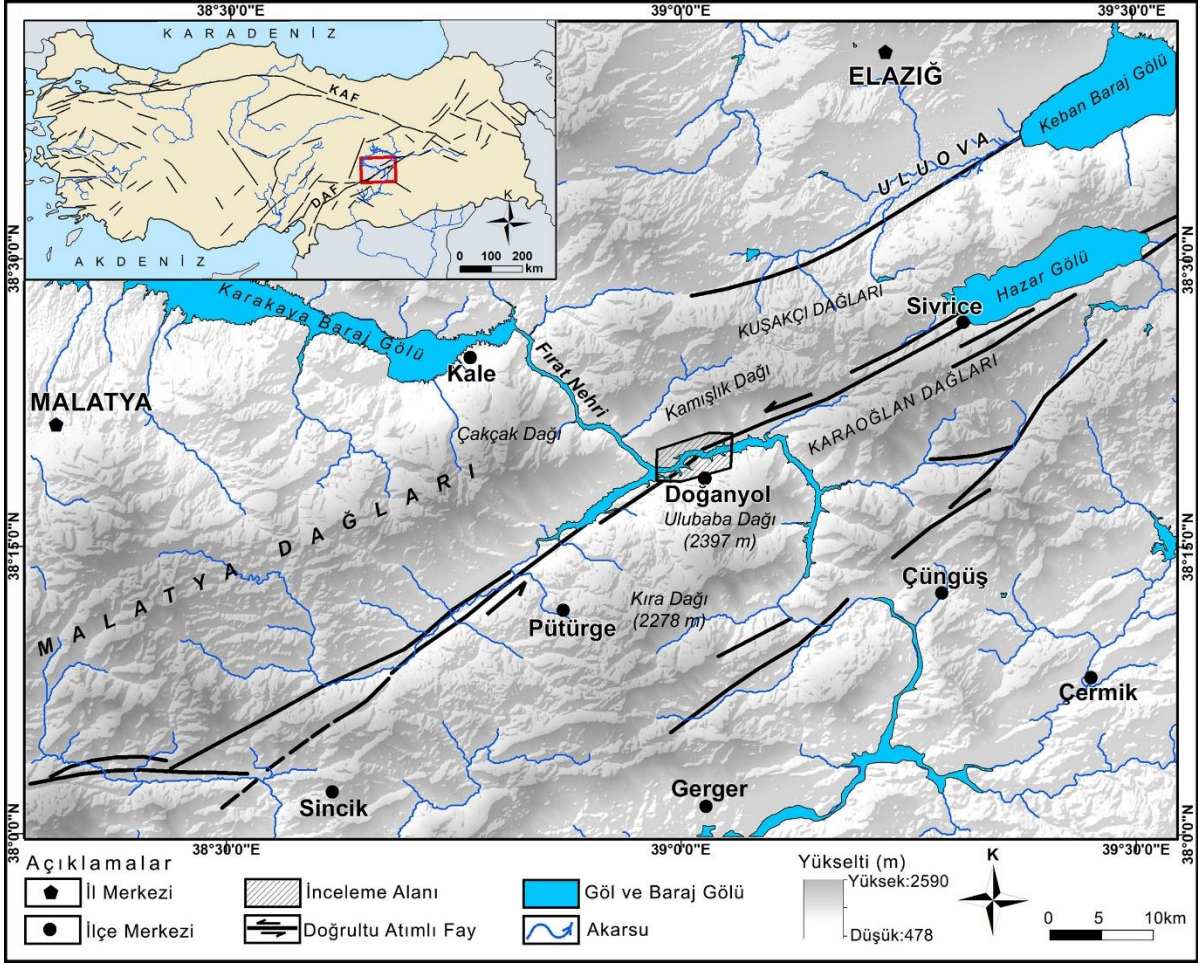
Abstract: In this study, the reflections of the Sivrice-Elazığ earthquake on geomorphology and the linear lines formed in the Karakaya Dam Lake after the earthquake have been analysed. On 24th 2020, a 6.8 magnitude earthquake occurred in the village of Çevrimtaş, the epicenter of which is located in Sivrice district to the south of Elazığ. In the earthquake, 41 people lost their lives, 37 of them in Elazığ and 4 of them in Malatya, and tens of thousands of buildings were heavily damaged. After the earthquake on 30th January 2020, it was reported as water or gas outflow by a group of researchers doing research in the field that white lineaments on the dam were observed overlapping with the fault. However, after this report, it has been observed through field studies that these lineaments have recurred in the same areas on different dates. In the first field observations, the presence of foam and plant fragments in the white linear lines coinciding with faults that the white lineaments are outgassing have been found suspicious. For this reason, in the areas where East Anatolian Fault zone offsets Euphrates Valley, an experiment has been done by leaving straws and foam on the dam lake. According to the experiment's results, it was observed that the material left in the absence of the wave was randomly dispersed, and that foam formed by the wave onset and the material left on the surface of the water were aligned in the same direction with the fault and formed white linear lines. These data show that the white linear lines formed on the lake surface are a special form caused by the wave effect, depending on the morphology and air movements, apart from the gas outflow.

Key words: 24th January 2020 Sivrice-Elazığ Earthquake, Euphrates Valley, Karakaya Dam Lake, Gas outflow.

1. Giriş

24 Ocak 2020 tarihinde saat 20:55'de Elazığ'ın Sivrice ilçesine bağlı Çevrimtaş köyü yakınlarında 6.8 büyüklüğünde şiddetli bir deprem meydana gelmiştir. Çevrimtaş köyü Sivrice ilçesinin batısında, Kömürhan Boğazı içerisinde, Karakaya Baraj Gölü kıyısında yer almaktadır. Köy ayrıca tektonik açıdan çok aktif olan Doğu Anadolu Fay Zonunun (DAFZ) segmenti üzerinde kurulmuştur (Şekil 1).

* Sorumlu yazar: msunkar@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹0000-0002-4479-5023, ²0000-0003-1439-3098, ³0000-0002-0490-4376



Şekil 1. Sivrice (Elazığ) ve Sincik (Adıyaman) arasındaki aktif faylar ve 24 Ocak Sivrice-Elazığ depremi sonrası su üzerinde oluşan çizgiselliklerin lokasyonu (Aktif faylar Emre vd. [1], Duman vd. [2], Emre vd. [3]'den alınmıştır.

Sivrice depreminden sonra, bu deprem ve etkileri ile ilgili olarak çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu araştırmaların bir bölümü saha çalışmalarına [4], [5], [6], [7], [8], [9] bir bölümü ise sayısal analizlere [10], [11] yönelik olarak hazırlanmıştır. Bu araştırmaların hepsinde bu depremde önemli yüzey deformasyonlarının geliştiği belirtilmektedir. Ayrıca DAF'ın bu kesimi üzerinde "creep" hareketi olduğu ve dolayısıyla yüzey kırığının gelişmediği pek çok izlemsel yöntemle desteklenmiştir [12]. Kürçer vd. [4] Pütürge segmentinin yaklaşık 50 km'lik bölümü üzerinde yüzey deformasyonları dışında, Karakaya baraj gölü üzerinde yüzey kırığı izinin kaydıyla ilgili paylaşmış olduğu veriler dikkat çekmektedir.

Kürçer vd. [4], 24 Ocak 2020 Sivrice-Elazığ depreminden sonra bölgede yapmış oldukları arazi çalışmalarında DAF'ın Fırat vadisini kestiği alanda, Çevrimtaş ile Doğanyol arasında Karakaya Baraj Gölü üzerinde, 30 Ocak 2020 tarihinde gaz çıkışı olarak rapor edilen 3 dakika 37 saniyelik bir görüntü yayınlamışlardır [42]. İncak güneyinde oluşan bu çizgiselliklerin, Fırat Vadisi'ni kesen fayla örtüşmesi nedeniyle gaz veya su çıkışı şeklinde yorumlanmıştır. Bu yorumlar ulusal ve uluslararası platformlarda tartışılarak büyük ilgi çekmiştir. Gaz çıkışı olarak kaydedilen çizgiselliklerin, depremin merkez üssüne çok yakın olması ve fayın göl içerisinde kalan bölümü ile çakışması, olayın anlık oluştuğunun belirtilmesi bu oluşumun önemini artırmıştır. Depreme bağlı oluşan bu şekildeki gaz çıkışlarının anlık olması ve o anda gözlenmesi doğal olarak kabul edilmektedir [13], [14], [15], [16]. Kürçer ve diğerlerinin [4] baraj gölü üzerindeki gözlem ve tespitlerinden sonra, tarafımızdan aynı sahada farklı tarihlerde saha gözlemleri yapılmıştır. İlk saha gözleminin yapıldığı 26 Şubat 2020 tarihinde fayın göl içerisinde kalan bölümü üzerinde Kürçer ve diğerlerinin [4] kaydettiği görüntülere benzer beyaz çizgiselliklerin görülmesi dikkatimizi gaz çıkışı konusuna yöneltmiştir. Aynı oluşumun yaklaşık bir ay sonra tekrar görülmesi, ilk oluşumun gaz çıkışı dışında farklı bir oluşum olduğu düşüncesini doğurmuştur. Bu oluşumun gerçek

nedeni ile depremin jeomorfolojiye yansımaları belirlemek amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Sahanın depremselliği ile jeomorfolojik gözlemler ve analizler sonucunda elde edilen bulgular aşağıda detaylandırılmıştır.

1.1. Doğu Anadolu Fayı Zonu (DAFZ)

DAFZ, Türkiye'nin en aktif diri fay kuşaklarından birini oluşturmaktadır olup Karlıova-Antakya arasında KD-GB doğrultusunda sol yanal doğrultu atımlı bir fay zonudur. Arap-Afrika levhası ile Avrasya levhası arasında kıta-kıta çarpışması sonucu oluşmuş, toplam 580 km uzunluğundadır [17], [18], (Şekil 1). Bu zon daha kapsamlı olarak Aksoy vd. [19] tarafından Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS) olarak adlandırılmıştır. Bu sistem, Arap-Afrika levhaları arasında kuzeydoğuda Karlıova ile güneybatıda Karataş (Adana)-Samandağ (Antakya) arasında, 30 km genişlik, 700 km uzunlukta sol yanal atımlı ve KD gidişli bir makaslama kuşağı olarak tanımlanmıştır.

Barka ve Kadinsky-Cade [20], DAFZ'nin, doğuda Karlıova, batıda Türkoğlu (Kahramanmaraş) arasında 14 segmentten oluştuğunu belirtmiştir. Şaroğlu vd. [21] ise DAFZ'ı, uzunlukları 45–145 km arasında değişen 6 ana yapısal bölüme ayırmışlardır. Son olarak Duman ve Emre [22], DAFZ'ı, kuzeydoğuda Karlıova'dan, güneybatıya doğru Karlıova, Ilıca, Palu, Pütürge, Erkenek, Pazarcık ve Amanos segmentleri olarak 7 ana segmente ayırmış ve haritalamışlardır.

24 Ocak 2020 tarihinde meydana gelen depremle Sivrice-Sincik arasında kalan segment kırılmıştır. Bu alanda kalan segment için Hazar Gölü-Sincik, Sivrice-Doğanyol, Doğanyol-Pütürge ve Pütürge adları kullanılmaktadır. Fakat Herece [23] ise Sivrice-Sincik arasındaki segment için Şiro Bölütü ifadesini kullanmıştır. Bu bölütün yaklaşık 90 km uzunluğunda olduğu, Hazar Gölü'nden Doğanyol batısına kadar 35 km'lik kuzey bölümünün 064° ve Doğanyol batısından Sincik'e kadar olan 55 km'lik uzunluğundaki güney bölümünün 055° doğrultusunda olduğu belirtilmiştir. Bütün bunlarla birlikte bu segment için Sivrice-Pütürge ismi yaygın olarak kullanılmaktadır.

Sivrice-Sincik arasında kalan sahada fay morfolojisi belirgin olup topografyaya damgasını vurmuş durumdadır. Bu alanda geniş bir zonda fay vadileri, fay diklikleri, geniş alanlı kütle hareketleri ve Fırat vadisindeki belirgin ötelenme en dikkat çekici morfolojik unsurlardır. Fırat Nehri vadisi DAF tarafından 13 km sol yanal ötelenmiştir [24], [25], [26], [27]. Bu ötelenme miktarı bu alandaki fayın çok aktif olduğunu ve büyük depremlerin yaşanmış olduğunu göstermektedir.

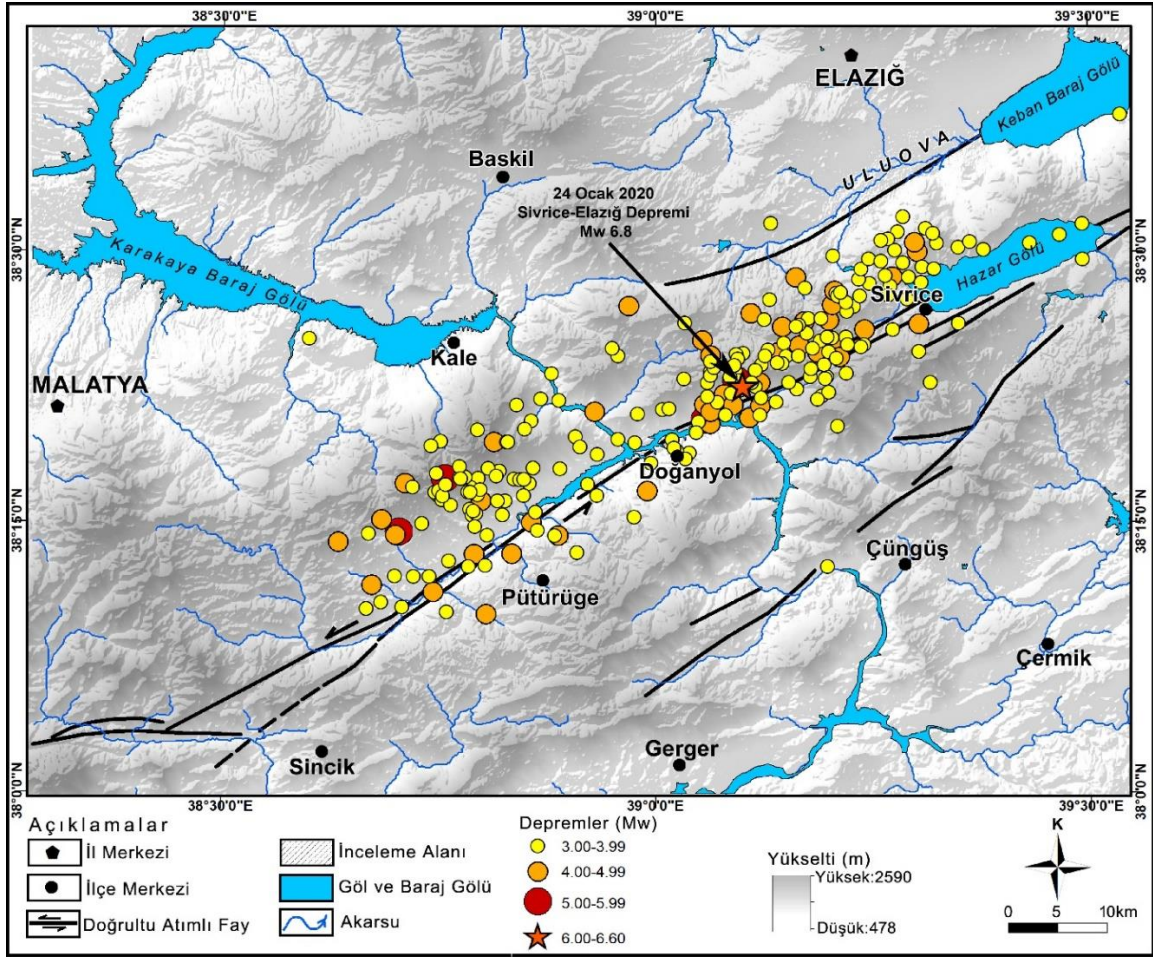
Fayın morfolojiye yansımaları dışında tarihsel ve aletsel döneme ait deprem kayıtları DAFZ üzerinde çok sayıda yıkıcı depremin yaşandığını göstermektedir. Tarihi kayıtlar dışında aletsel dönem kayıtlarına ait depremler Sivrice-Sincik arasında yoğunlaşmaktadır. 2000 yılından 2020 yılına kadar Sivrice çevresinde deprem yoğunluğu artarak, 24 Ocak 2020 tarihinde 6.8 büyüklüğündeki deprem ile zirve yapmıştır. Bu depremde 37'si Elazığ, 4'ü Malatya olmak üzere 41 kişi hayatını kaybetmiştir [28]. Depremde yaşanan panik ve diğer nedenlerle Kahramanmaraş, Diyarbakır ve Adıyaman illerinde birer kişi hayatını kaybetmiştir. Böylece deprem nedeniyle toplam 44 kişi yaşamını yitirmiş ve 1600'den fazla yaralanma olmuştur. Can kaybı dışında başta Elazığ ve Malatya olmak üzere bölgede on binlerce bina ağır hasar görmüştür.

1.2. 24 Ocak 2020 Sivrice-Elazığ depremi

Depremler genelde meydana geldikleri yere göre adlandırılmaktadır. Bu deprem de Sivrice ilçesi sınırlarında meydana gelmiştir. Ancak depremin merkez üssü ile birlikte Elazığ'da da etkisinin yüksek olması nedeniyle Sivrice-Elazığ depremi şeklinde adlandırılmanın uygun olacağı düşünülmektedir.

24 Ocak 2020 tarihinde yaşanan 6.8 büyüklüğündeki depremin merkez üssü Elazığ'a bağlı Sivrice ilçesinin Çevrimtaş köyüdür (Şekil 2). DAFZ'da, Sivrice-Sincik segmenti üzerinde meydana gelen bu deprem, $38^\circ 35'39''$ kuzey enlemi ve $39^\circ 06'30''$ doğu boylamı üzerinde Çevrimtaş köyüne 0.81 km uzaklıkta, yerin 8.06 km derinliğinde yaşanmıştır [28]. Deprem, Türkiye ile birlikte komşu ülkelerde de hissedilmiş olup, 100 milyondan fazla insanı etkilediği tahmin edilmektedir.

Depremin meydana geldiği Çevrimtaş köyü, Elazığ'ın Sivrice ilçesi ile Adıyaman'ın Sincik ilçesi arasında DAFZ üzerinde yer almaktadır. Sivrice-Sincik arası tektonik açıdan çok hareketli olup tarihsel ve aletsel dönemde büyük depremlerin yaşandığı bir sahadır. Bu alanda hem tarihsel hem de aletsel dönemde çok büyük ve yıkıcı depremler kayıtlara geçmiştir. Tarihsel dönem içerisinde yakın dönem olarak nitelendirilecek 1875 yılında 6'dan büyük yıkıcı deprem yaşanmıştır. Bu depremde en büyük yıkımın Çevrimtaş köyü ve çevresinde görülmesi, bu deprem ile 24 Ocak 2020 tarihindeki depremin aynı fayın hareketine bağlı oluştuğunu göstermektedir. Aletsel dönem depremlerinde kayıtlar daha sağlıklı olup bu dönemde de Sivrice-Sincik arasında magnitüd değeri 6 ve üzeri olan 2 büyük deprem kayıtlara geçmiştir (Tablo 1). Bunlardan sonuncusu ve en şiddetli olanı 24 Ocak 2020 tarihindeki 6.8 büyüklüğündeki depremdir.



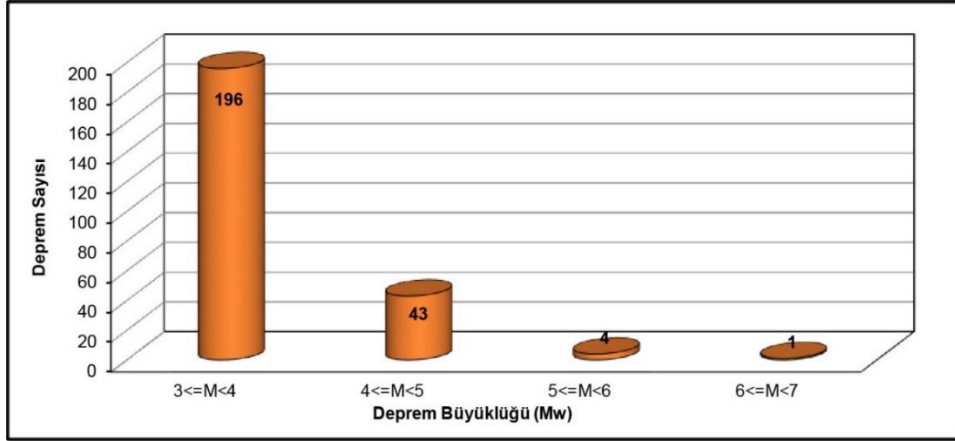
Şekil 2. 24 Ocak 2020 Sivrice-Elazığ depreminde ana şok ve artçı depremlerin dağılışı (Deprem verileri Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'ne [29] ait olup 19.06.2020 saat 14:38'e kadar oluşan depremleri ($m \geq 3$) kapsamaktadır).

Tablo 1. Sivrice-Sincik Arasında Tarihsel ve Aletsel Dönemde (1875-2019) Görülen Büyük Depremler ($M \geq 6.0$).

Sıra No	Tarih	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Elazığ'a Uzaklık (km)	Magnitüd	Lokasyon
1	27.03.1875	-	-	-	-	6.7	Keban-Hazar-Sincik
2*	14.06.1964	38.13	38.51	3	86	6.0	Aksu-Sincik (Adıyaman)
3*	24.01.2020	38.35	39.06	8.06	40	6.8	Sivrice (Elazığ)

* KANDİLLİ B.Ü. KRDAE Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi, Basın Bülteni'nden [29] alınmıştır.

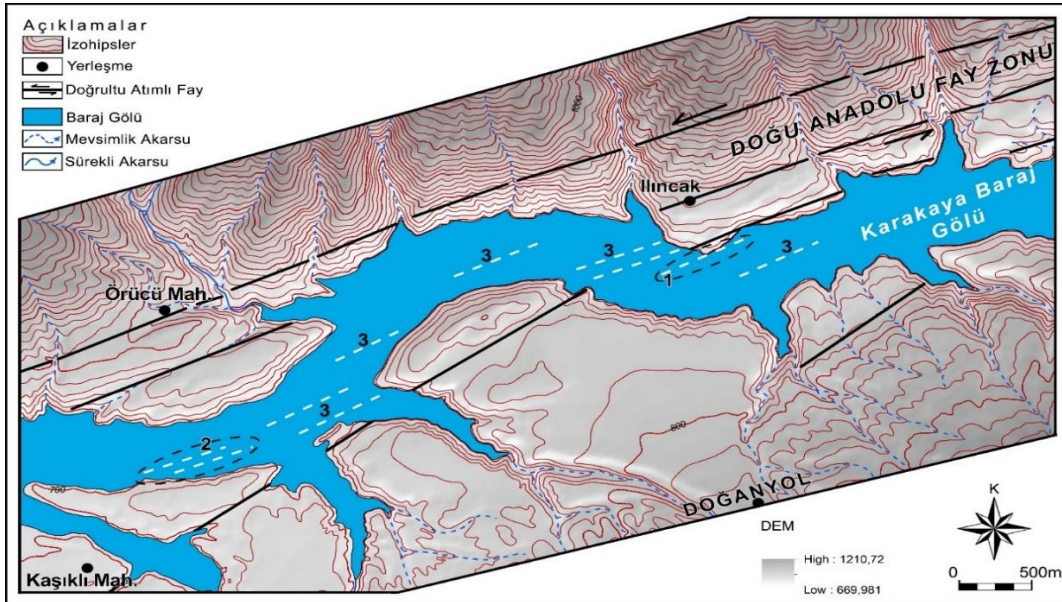
Sivrice-Sincik arasında aletsel dönem depremleri, Sivrice'nin batısında kümelenmekte olup, iki yerleşme arasındaki fay zonunda magnitüd değeri 4 ve üzeri ($M \geq 4.0$) olan çok sayıda deprem yaşanmıştır. 24 Ocak 2020 Sivrice depremi ise sismik açıdan kendi içerisinde çok iyi analiz edilmesi gereken bir deprem özelliğindedir. 24 Ocak 2020 saat 20:55'ten sonra 19.06.2020 saat 14:38'e kadar magnitüdü 3 ve üzeri 244 artçı deprem kaydedilmiştir (Şekil 3). Artçıların büyük bölümü depremin yaşandığı gün ve sonrasında meydana gelmiştir. Büyük depremden sonraki 15 gün içerisinde meydana gelen depremlerin 136 tanesinin büyüklüğü 3 ile 4 arasında iken, 4'ün üzerinde 28 artçı deprem kaydedilmiştir. İlk 15 günden sonra artçıların frekansı düşmekle birlikte sonraki 4.5 aylık sürede magnitüdü 3 ve üzeri 80 deprem daha yaşanmıştır (Şekil 3). Artçılardan 3'ü 5 ve üzerinde olup ana şokla etkilenen yapılarda hasarın artmasına neden olmuştur.



Şekil 3. 24 Ocak 2020 Sivrice-Elazığ depremi ve sonrasında oluşan depremlerin ($m \geq 3$) sayı-magnitüd ilişkileri (Deprem verileri Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'ne [29] ait olup 19.06.2020 saat 14:38'e kadar oluşan depremleri ($m \geq 3$) kapsamaktadır).

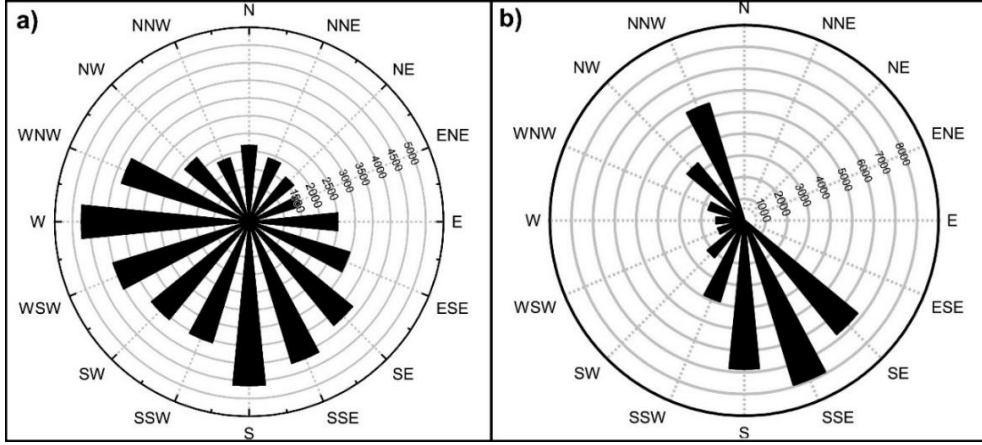
2. Materyal ve Metot

Sivrice depreminden hemen sonra, Sivrice-Pütürge arasında DAFZ boyunca fayın jeomorfolojiye yansımaları belirlemeye yönelik arazi çalışmaları yapılmıştır. Saha çalışmalarında depreme bağlı oluşan heyelan, kaya düşmesi ve yüzey deformasyonları gibi şekillerin dağılımlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç dışında Kürçer vd. [4] tarafından hazırlanan raporda, baraj gölü üzerinde oluşan çizgisel hattın fayın yüzey kırığı izine karşılık geldiğinin belirtilmiş olması dikkate alınarak, böyle bir oluşumun tekrar gerçekleşme ihtimali araştırılmıştır. Bu amaçla farklı tarihlerde Doğanyol ile Çevrimtaş arasında baraj gölü ve çevresinde gözlemler yapılmıştır. 26 Şubat 2020 tarihinde DAF'ın Karakaya Baraj Gölü içerisinde kalan bölümü üzerinde gözlenen bulguların doğrulanması amacıyla 29 Mayıs 2020 tarihinde Koldere (Doğanyol)-İlincak (Sivrice) arasında baraj gölü üzerinde deneyler yapılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. 24 Ocak 2020 Sivrice-Elazığ depreminin meydana geldiği alanın topografya ve tektonik haritası. 1) 30 Ocak 2020 tarihinde Kürçer vd. [4] tarafından Doğanyol kuzeyinde Karakaya Baraj Gölü üzerinde görüntülemiş oldukları, fay ile kesişen beyaz çizgiselliklerin lokasyonu. 2) 26 Şubat 2020 tarihinde Kaşıklı Mahallesi kuzeydoğusunda su üzerinde gözlenen beyaz çizgisel hatların lokasyonu. 3) 29 Mayıs 2020 tarihinde İlincak Kaşıklı Mahallesi arasında baraj gölü üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre su üzerinde faya paralel ve fayla kesişen beyaz çizgiselliklerin lokasyonu.

Baraj gölü üzerindeki deney için su yüzeyine malzeme bırakma işlemine sabah saat 09:00 gibi başlanmış ve yaklaşık bir-bir buçuk saatlik süre içerisinde parça parça devam edilmiştir. Kaşıklı ile Ilıncak arasında su yüzeyine malzeme döküldüğünde havanın sakin olduğu gözlemlenmiştir. Bir iki saat beklendikten sonra bırakılan malzemenin dağılımını gözlemek amacıyla aynı hattan tekrar geri dönülmüştür. Fakat geri dönüşle birlikte saat 11:00 gibi hafif bir rüzgarın başladığı, oluşan bu rüzgarla birlikte bırakılan malzemenin bir hat boyunca dizildiği görülmüştür. Bu dizilimin hakim rüzgar yönü ve morfoloji ile ilişkili olabileceği düşüncesiyle sahaya ait rüzgar verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınarak analiz edilmiştir ([30]; Şekil 5). Bu deneyde ortalama 30 kg saman ve bir miktar köpük kullanılmıştır. Dalganın olmadığı sabah saatlerinde üç farklı alana saman, dar bir alana ise köpük (strafor parçaları) dökülerek bırakılan malzemenin davranışı gözlemlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 5. Doğançayol (a) ve Pütürge (b) meteoroloji istasyonlarının uzun yıllar (Doğançayol 2014-2019; Pütürge 2013-2019) toplam rüzgar esme sayılarına göre hazırlanmış rüzgar gülleri. Bu verilere göre Doğançayol’da hakim rüzgar yönü SW, Pütürge’de SSE’dir (Meteoroloji 13. Bölge Müdürlüğü, Doğanşehir ve Pütürge meteoroloji istasyonu verilerine göre hazırlanmıştır [30].



Şekil 6. Doğançayol kuzeyinde Karakaya Baraj Gölü’nde suyun sakin olduğu dönemde su üzerine farklı alanlara saman (a, c, d) ve köpük (strafor parçası) (b) bırakılmıştır. Suyun sakin olduğu dönemde su üzerindeki parçaların düzensiz bir dağılım sergilediği dikkati çekmektedir.

3. Bulgular

3.1. 24 Ocak 2020 Sivrice-Elazığ depreminin jeomorfolojiye yansması

Sivrice-Elazığ depreminden sonra Sivrice-Sincik arasında DAFZ boyunca, depreme neden olan fayın morfolojiye yansmasını belirlemeye yönelik gözlemlerde, depreme neden olan ve iki bölümden oluşan Sivrice-Sincik segmentinde yüzey deformasyonları belirlenmiştir. Akbayram vd. [8] bu depremin Pütürge Segmenti boyunca ~54 km uzunluğunda bir yüzey deformasyonu oluşturduğunu, bu zonun yoğun zemin çatlakları, kaya düşmeleri, heyelanlar, çeşitli uzunluklarda sıvılaşmalardan oluştuğunu belirtmiştir. Sivrice merkezde yol ve yapılarda belirgin yüzey deformasyonları ve çatlaklar gözlenmiştir. Bu çatlak ve deformasyonlar, Sivrice-Pütürge arasında daha yoğun bir şekilde gelişmiştir. Hatta bu alanda yer yer heyelan kütlelerinde ve yol şevlerinde kaymalar, çok sınırlı alanlarda sıvılaşma ve yanal yayılma hareketleri de gözlemlenmiştir (Şekil 7).

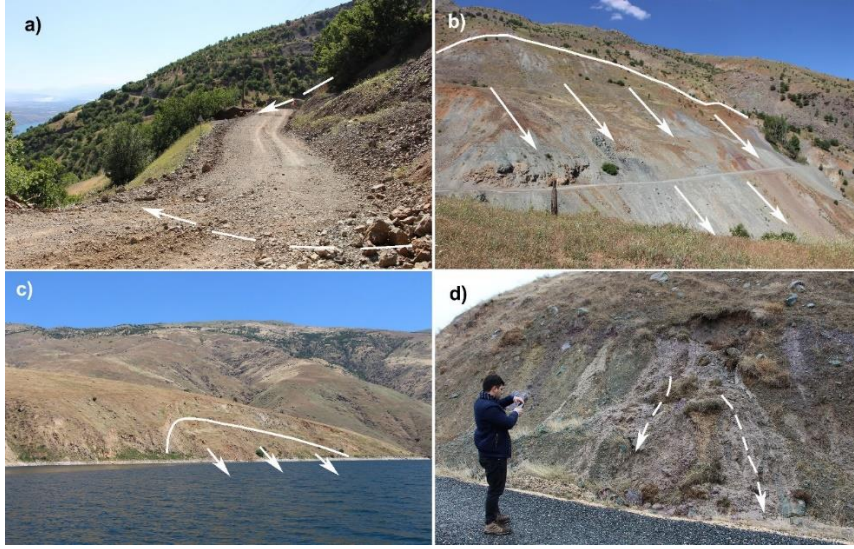
Uslu-Çevrimtaş arasında depremlerle tetiklenen çok sayıda kaya düşmesi ve heyelan meydana gelmiştir. Ancak depremin olduğu dönemdeki mevsimsel özellikler nedeniyle zemin kısmen kuru olduğundan heyelanların hareketi belirgin değildir. Buna karşın baraj gölü kıyısı, Kalaba çevresi ve Uslu kuzeyinde meydana gelen heyelanlarda belirgin kaymalar yaşanmıştır (Şekil 8). Bu alanların dışında tetiklenen heyelanların büyük bölümünün üst bölümlerinde hafif çatlaklar oluşmuştur. Bu durum depremden sonra deprem bölgesi ile ilgili hazırlanan çalışmalarda da teyit edilmiştir. Karakaş vd. [10], [11] deprem öncesi ve sonrası hava fotoğrafları kullanılarak elde etmiş oldukları yüksek çözünürlüklü 3B dijital yüzey modellerine göre yeni gelişen kütle hareketlerinin mekânsal dağılımlarının oldukça sınırlı olduğu, bunların genellikle yol yarmalarında, göl kıyılarında olduğu, kütleli göçmelere ek olarak, çok sayıda kaya düşmesinin de meydana geldiği belirtilmiştir. Köküm [9] depremlerle yaklaşık 55 km²'lik bir alanda heyelanların tetiklendiğini, depremin zeminde yırtılmalara, yüzey çatlaklarının açılmasına ve düz zeminde (>%5 zemin eğimi) çatlaklara neden olduğunu belirtmiştir. Tatar vd. [5], [6] göre bu deformasyonların büyük bölümü deprem sırasında gelişen sismik sarsılma ve yer çekimi (gravite) ile ilişkilidir.



Şekil 7. 24 Ocak 2020 Sivrice-Elazığ depreminde DAFZ üzerinde görülen deformasyonlar. a) Sivrice merkezde görülen yüzey deformasyonları, b) Sivrice batısında fay zonu üzerinde yol boyunca görülen deformasyon, c) Pütürge Ormaniçi köyü güneyinde yüzeye yansıyan deformasyonlar.

Arazi gözlemleri ve literatüre göre bu deprem jeomorfolojiye heyelan, kaya düşmesi, yanal yayılma ve yüzey çatlakları meydana getirerek yansmıştır. Uslu kuzeyi ve Kalaba çevresinde heyelan kütlelerinde yaşanan kaymalar ve kaya düşmeleri sonucunda Kalaba yolu kapanmıştır (Şekil 8).

Bu morfolojik yansımalar dışında, 24 Ocak 2020 Sivrice-Elazığ depreminde Pütürge'ye bağlı Taşmış köyü kuzeyinde çıkan Çermik sıcak suyunun debisi 10 kata yakın artış göstermiştir. Debi artışı ile birlikte ince kumlu çamur ve gaz çıkışları yaşanmıştır (Şekil 9). Bu oluşumun fay üzerinde meydana gelmesi çamur ve gaz çıkışının doğrudan fayın aktivitesi ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Özdemir [24] yapmış olduğu araştırmalarda yöre halkının ifadelerine göre bu sıcak su kaynağının bulunduğu alanda, 1900'lü yıllarda gaz patlamaları ile çamur bloklarının geniş alanlara yayıldığını belirtmektedir. Tarih net olmazsa da bu olayın 1874-75 yıllarındaki depremlerle birlikte yaşanmış olması ihtimali bulunmaktadır. Büyük çamur bloklarının çevreye yayılmış olması büyük gaz çıkışının yaşandığına işaret etmektedir.



Şekil 8. Sivrice-Pütürge arasında depremle tetiklenen heyelanlar ve sıvılaşma olayı. a) Uslu kuzeyinde Kalaba yolu şevlerinde meydana gelen küçük çaplı kayma ve kaya düşmeleri. b) Kalaba doğusunda depremle tetiklenen en belirgin kaymanın yaşandığı Kalaba heyelanı. c) Ilıncak kuzeybatısında göl kıyısında oluşan heyelan ve d) Çevrimtaş doğusunda yol şevlerinde görülen küçük çaplı sıvılaşma olayları.

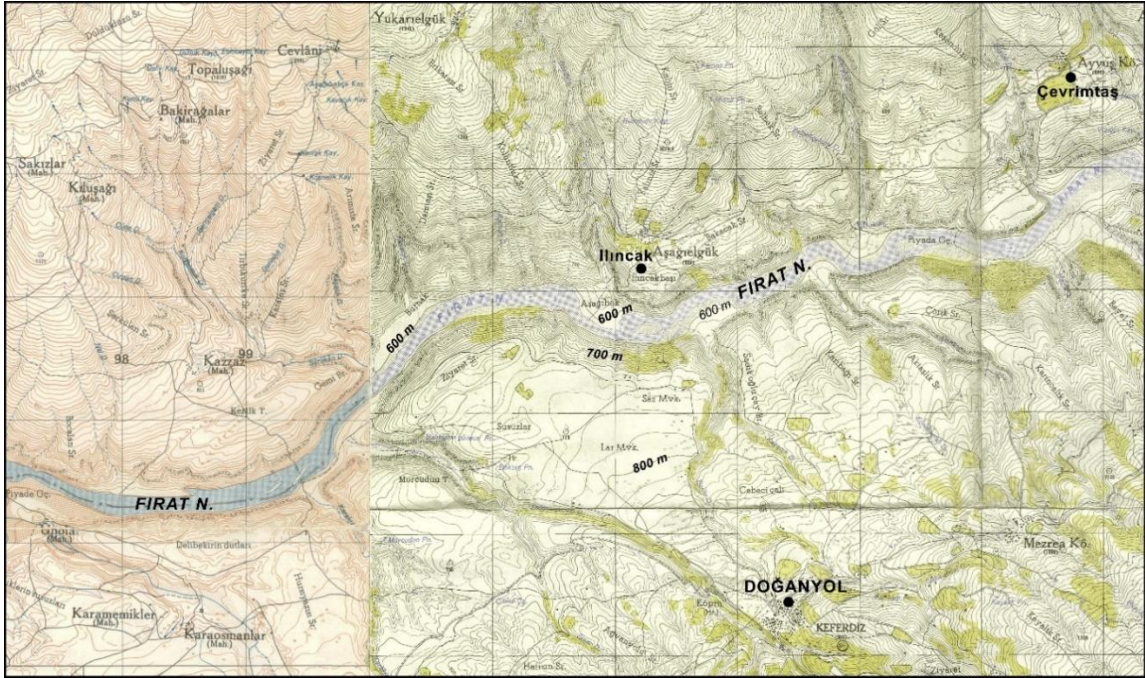


Şekil 9. 24 Ocak 2020 Sivrice-Elazığ depreminden sonra Taşmış köyü kuzeyinde fay hattı üzerindeki Çermik sıcak su kaynağındaki çamur, ince kum, sıvı ve gaz çıkışları. a) Çermik sıcak su kaynağının debisi depremle birlikte 10 kata kadar artmıştır. b) 25 Ocak sabahı kaynaktan basınçlı su ve katı malzeme çıkmıştır. c) 26 Şubat 2020 tarihinde kaynak çevresinde dairesel kabarcıklar halinde sıvı ve gaz çıkışlarının devam ettiği gözlemlenmiştir.

3.2. Karakaya Baraj Gölü’nde gözlenen çizgisel hatlar

Doğanyol-Pütürge arasında fayın morfoloji üzerindeki etkileri dışında, Çevrimtaş doğusunda Ilıncak ile Doğanyol arasında Karakaya Baraj Gölü üzerinde depremden sonra oluşan beyaz çizgisellikler dikkati çekmektedir (Şekil 4). Su yüzeyindeki beyaz çizgiselliklerin fay hatları ile olan ilişkisini incelemek amacıyla Doğanyol kuzeyinde Fırat vadisinin çok iyi analiz edilmesi gereklidir. Çünkü baraj gölü üzerindeki çizgiselliklerin oluşumunda hava hareketleri ve morfoloji öne çıkmaktadır. Bu alanda, Fırat Nehri vadisi DAF tarafından 13 km sol yanal ötelenmiştir [24], [25], [26], [27]. Fırat Vadisi baraj gölü suları altında kalmasına rağmen bu morfoloji belirgin bir şekilde gözlenmektedir. Doğanyol kuzeyinde baraj gölünün kuzey ve güney sahilinde fay tarafından kesilen yüzeyler sahil çizgisini oluşturmaktadır. Fay dikliklerine karşılık gelen yüzeyler güney yamaçlarda daha geniş alan kaplamakta olup su üzerindeki çizgisel hatların oluşumunda anahtar rolü üstlenmektedir (Şekil 4).

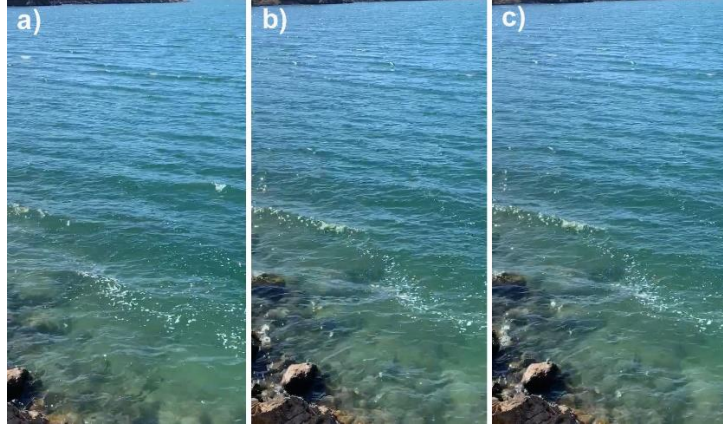
Kürçer vd. [4] tarafından 30 Ocak 2020 tarihinde su üzerinde oluşan beyaz çizgiselliklerin gözleendiği lokasyonlarda, 26 Şubat 2020 tarihinde saat 14:30 civarında yapılan saha araştırmalarında benzer görüntüler kaydedilmiştir. İlk kayıttan 27 gün sonra fayın baraj gölü altında kaldığı lokasyonda aynı görüntünün olması dikkate alınarak bu oluşumun deprem dışında farklı bir nedene bağlı olarak meydana geldiği değerlendirilmiştir. Çünkü baraj öncesinin topografya haritasına göre derinliği 100 m’den fazla bir su kolununun üzerinde sıklıkla yüzeye yansıyacak gaz çıkışı imkânsız görülmektedir (Şekil 10).



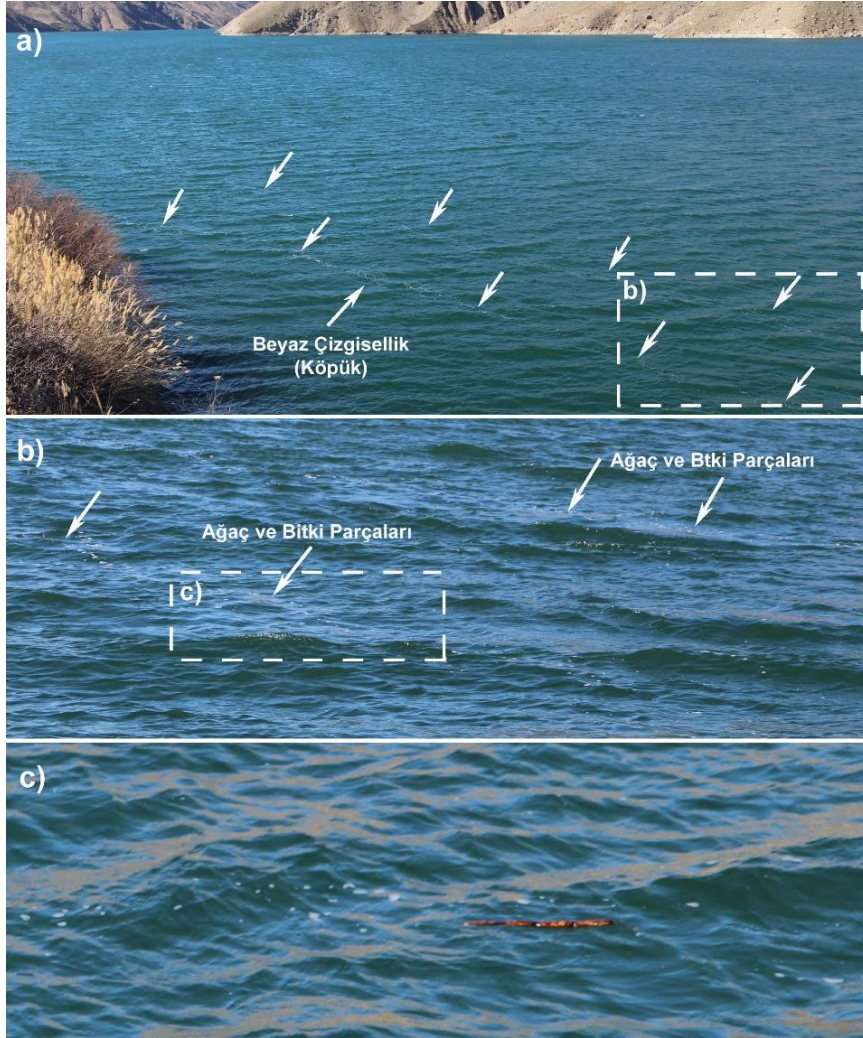
Şekil 10. Doğanyol kuzeyinde Fırat Nehri Vadisi’nin baraj gölü öncesine ait topografya haritası (Harita Genel Müdürlüğü [31], 1/25.000 ölçekli Malatya L41 b3 paftası (1958) ile Elazığ L42 a4 (1953) paftalarından alınmıştır).

İlk gözlemede Kaşıklı Mahallesi kuzeydoğusunda göl kıyısında fayın su altında kalan bölümünün su yüzeyine karşılık gelecek hatta, su üzerinde beyaz bir çizgiselliğin varlığı belirlenmiştir. Bu beyaz hattın oluşumunu anlamak amacıyla su üzerinde suni dalga oluşturulduğunda beyaz hattın bozulduğu görülmüştür. Bu ilk denemede çizgiselliği sağlayan beyazlığın köpük olduğu belirlenmiştir. Bu denemede beyazlığı su üzerindeki köpüklerin sağladığı, suni dalgada köpüklerin dağıldığı alanlarda beyazlığın kaybolduğu ve kısa sürede de tekrar köpük birikiminin olmadığı görülmüştür. Ayrıca suyun sığ olduğu alanlarda da beyaz hattın olmasına rağmen zeminden herhangi bir su veya gaz çıkışı görülmemiştir. Bütün bu gözlemlerin dışında Kaşıklı Mahallesi kuzeybatısındaki lokasyonda kıyıya çarpan dalganın etkisiyle belirgin bir köpüklenme oluştuğu, oluşan bu köpüklerin de rüzgâr etkisiyle fay doğrultusunda sürüklenerek çizgisel hatlar oluşturduğu belirlenmiştir (Şekil 11).

Kaşıklı mahallesi kuzeydoğusunda kıyının hemen önünde 300-500 m uzunluğundaki beyaz çizgisel hat içerisinde bitki parçalarının varlığı ve bunların çizgisel hattın içerisinde aynı doğrultuda bulunması, bu oluşumun dalga etkisiyle olduğunu göstermektedir (Şekil 12).



Şekil 11. 26 Şubat 2020 tarihinde Kaşıklı mahallesi kuzeydoğusunda Karakaya Baraj Gölü üzerinde, faya paralel olarak görülen beyaz çizgiselliklerin gelişiminde etkili olan dalga hareketleri (a, b, c).



Şekil 12. 26 Şubat 2020 tarihinde Kaşıklı Mahallesi kuzeydoğusunda baraj gölü üzerindeki köpükler dalga etkisi ile toplanarak beyaz bir çizgisel hat oluşturmuştur (a). Birden fazla olan çizgisel hatların her biri ortalama 500 m uzunluğunda olup 1-2 km'lik bir mesafede görülmüştür. Doğu Anadolu Fayı'nın göl altında kalan bölümü üzerinde görülen bu çizgiselliklerin içerisinde ağaç parçası ve bitki kökleri çizgisel hatlara paralel durmaktadır (b, c).

3.3. Karakaya Baraj Gölü'nde deney sonucuna göre oluşan çizgisel hatlar

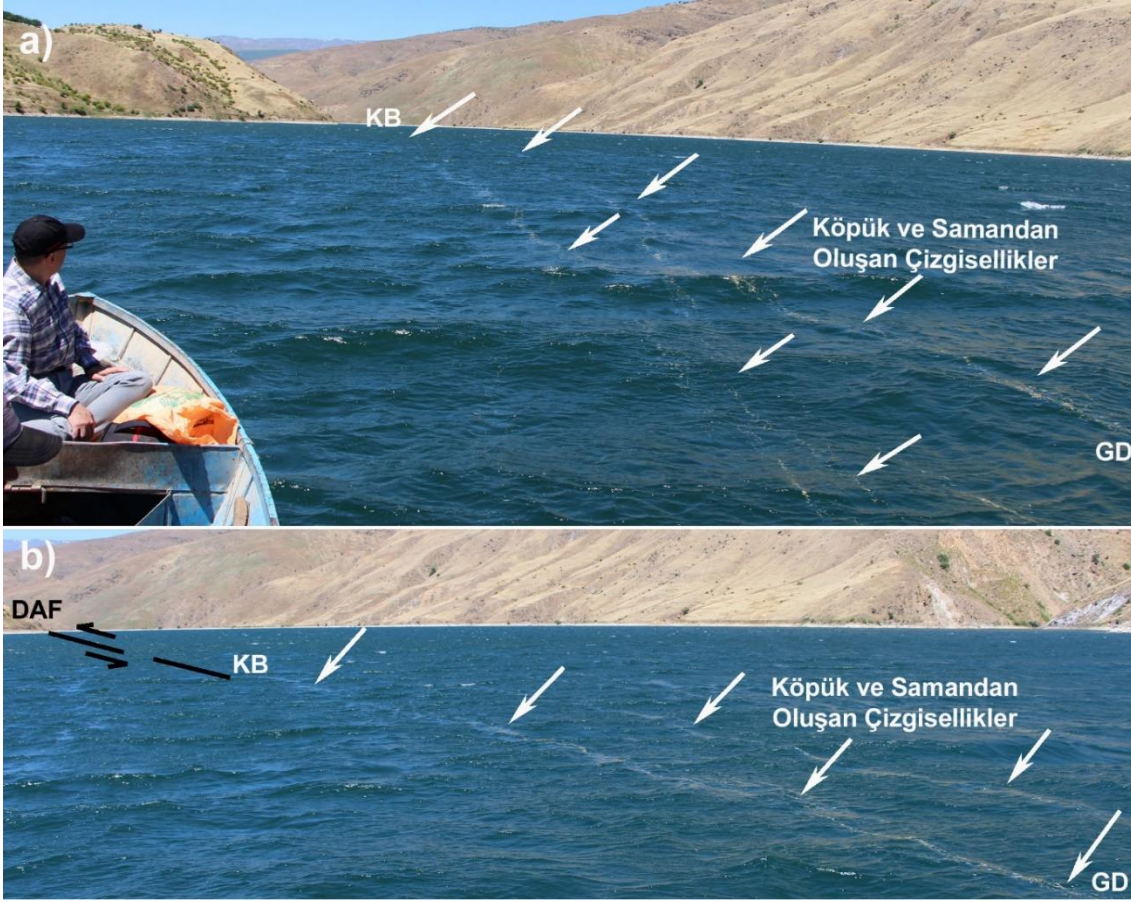
Saha gözlemlerinde tespit edilen bulguların doğruluğunu test etmek amacıyla, Fırat Vadisi'nin DAF tarafından ötelenen bölümünde, baraj gölü üzerinde, 29 Mayıs 2020 tarihinde deneyler yapılmıştır. Rüzgârın olmadığı sabah saatlerinde su üzerinde farklı lokasyonlara saman dökülmüştür. Bu madde hafif olduğu için su üzerinde uzun süre kalmakta ve ışığı yansıtmaktadır. Havanın sakin olduğu, dalganın olmadığı dönemde bırakılan malzemenin rastgele yayılım sergilediği görülmüştür (Şekil 6). Öğlene doğru başlayan hafif rüzgarla oluşan dalgalar, bırakılan malzemeyi sürükleyerek fay doğrultusunda beyaz çizgisel hatların oluşumunu sağlamıştır. Bu durum ikinci defa gözlem yapılan Kaşıklı mahallesi kuzeydoğusundaki Örücü mahallesi güneyinde çok net gözlenmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. 29 Mayıs 2020 tarihinde Örücü Mahallesi güneyinde baraj gölü yüzeyinde havanın durgun, suyun dalgasız olduğu dönemdeki sakin yüzey görüntüsü (a). Aynı lokasyonda havanın rüzgarlı, suyun dalgalı olduğu dönemde dalga etkisiyle su yüzeyinde faylara paralel beyaz çizgisel hatlar oluşmuştur (b).

İlncak güneyinde su üzerine bırakılan samanlar ve dalga etkisiyle oluşan köpükler, DAF'ın su altında kalan bölümü üzerinde fayla çakışan bir durum sergilemiştir (Şekil 14). Oluşan çizgisel hatlar karadaki gibi birbirine paralel ve faya uyumlu bir gidiş göstermektedir. Belki de en önemli sonuç Kürçer vd. [4] tarafından kaydedilen ve gaz çıkışı olarak rapor edilen oluşumun görüldüğü yer ile deney sonucunda oluşan çizgiselliğin aynı hatta oluşmasıdır. Eski kayıtlar ile 29 Mayıs tarihinde deney sonucunda oluşan çizgiselliklerin aynı lokasyonda olması bu oluşumun, bu alana ait özel bir durum olduğunu göstermektedir.

Doğanyol çevresinde hâkim rüzgâr yönü güneybatıdır. Frekansın en yüksek olduğu bu yönden esen rüzgarlar Şiro ve Fırat vadisinde kanalize olarak kuzeydoğuya doğru esmektedir. Kuzeydoğudan ve güneyden esen rüzgarlar da yine aynı vadiye kanalize olarak güneybatıya doğru esmektedir. Bu sistemin ortaya çıkmasında da Fırat vadisinin DAF tarafından ötelenmesi etkilidir. Kısaca Fırat vadisinin DAF tarafından ötelenmesi, bu alanda KD-GB doğrultusunda derin bir vadi oluşturmuştur. Bu morfoloji nedeniyle hâkim rüzgâr yönü güneybatıdan kuzeydoğuya doğru gelişmiştir. Sonuçta Doğanyol kuzeyinde Karakaya Baraj Gölü üzerinde oluşan ve fayla çakışan beyaz çizgiselliklerin oluşmasında DAF'ın morfolojiyi şekillendirmesi etkili olmuştur.



Şekil 14. 29 Mayıs 2020 tarihinde Doğan yol kuzeyinde, İlinçak güneyinde baraj gölü üzerinde yapılan deney sonucunda İlinçak batısında su üzerinde oluşan ve DAF ile çakışan köpük ve saman birikiminden oluşan beyaz çizgisel hatlar (a, b).

4. Tartışma

Karada ve deniz tabanındaki gaz çıkışları genelde aktif faylar boyunca görülmekte olup aktif faylar gazın yukarı doğru çıkışında önemli rol oynamaktadır [13], [14], [15], [16], [32]. Aktif fay hatları boyunca, depremlerin olmadığı dönemlerde fay hatlarında yaygın olarak soğuk ve sıcak su çıkışları görülmektedir. Depremlerde sıvı madde ile birlikte kil, mil, ince kum ve diğer bazı maddelerle gaz çıkışları da yaşanabilmektedir. Ancak depremlerle birlikte çıkan sıvı maddenin fiziksel ve kimyasal yapısında ciddi değişiklikler ortaya çıkmaktadır.

Fay hatları boyunca gaz çıkışı konusu ile ilgili dünyada ve Türkiye’de önemli çalışmalar yapılarak sürecin gelişimi net olarak ortaya konulmuş durumdadır. Fay hatları boyunca gözlenen gaz çıkışları, genelde olumsuz göç süreçlerinden kaynaklanmakta olup yeraltı gaz basıncı gradyanları, gazın kaldırma kuvveti ve fayın kestiği kayaların geçirgenliği ile ilişkilidir. Bu ilişki aktif tektonikle belirlenmekte olup [33], [34], [35], depremlerle bağlantılı olarak gaz göçü ve yüzey gazı değişimlerinin önemli ölçüde artabileceği öne sürülmüştür [35], [36], [37]. Sonuç olarak, aktif fay hatları, depremlerle ilişkili olarak yüzeydeki gaz değişiminin gözlemlendiği ideal alanlar olarak kabul edilmektedir [38].

Türkiye’de de 1999 Marmara depreminden sonra özellikle Marmara Denizi üzerinde yapılan sismik çalışmalarda gaz çıkışları ile faylar arasındaki ilişki analiz edilerek önemli sonuçlara ulaşılmıştır [32], [35], [39], [40], [41]. Bu gözlemlerden ilki 1999 İzmit depreminde kırılan segment üzerinde, İzmit Körfezi gibi sığ su alanlarından yapılmıştır [39]. Bu araştırmadan sonra İzmit Körfezi’nde yapılan jeofizik araştırmaları sonucunda hazırlanan morfo-batimetri haritalarında gaz çıkışları ve gaz basıncını gösteren tortul yapılarındaki basınç sırtları belirlenmiştir. Yapılan analizlerde de deniz suyunun alt bölümünde metan gazı birikimi ile toplanan su örneklerinde CH₄, N₂ ve CO₂ konsantrasyonları ile anormal çözülmüş gaz içerikleri tespit edilmiştir [35].

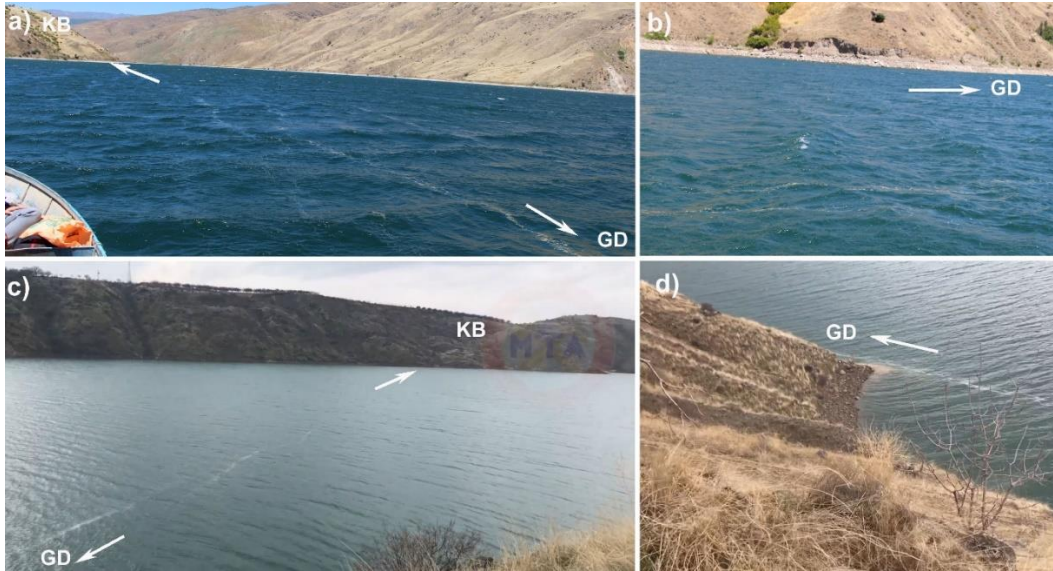
Aktif fay hatları boyunca depremlerden sonra gaz anomalilerine yönelik çalışmalarda fiziksel ve kimyasal bulguların ön planda olduğu görülmektedir. Fakat 24 Ocak 2020 Sivrice-Elazığ depreminde Karakaya Baraj Gölü

üzerinde görülen beyaz çizgiselliğin bunlardan farklı bir oluşum özelliği göstermektedir. Elde edilen bulgular ve literatüre göre 30 Ocak 2020 tarihinde su üzerinde gözlenen beyaz çizgiselliğin gaz çıkışı dışında morfoloji ve rüzgar ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Elde edilen deneysel veriler dışında beyaz çizgiselliğin gaz çıkışı olamayacağını 4 maddede özetlemek mümkündür.

- 1- Gaz çıkışının raporlandığı alanda Fırat vadisi derinliği 100 m'den fazla olan baraj gölü suları ile doldurulmuştur. Çıkan gazın yüzeyde çizgisel bir hat oluşturması için bu kalınlıktaki su kütlelerini çok hızlı geçmesi gerekmektedir. Gazların sıvı maddeler içerisindeki hareketi ve suyun derinliği düşünüldüğünde böyle bir çizgisel hattın oluşması mümkün görülmemektedir.
- 2- Yüksek gaz basıncı ile bu kalınlıktaki su kolonunun kesilerek gazın yüzeye çıktığı düşünüldüğünde su üzerinde farklı hareketlerin görülmesi beklenir. Çünkü bu oluşumun görüldüğü alan Fırat vadisinde derin bir boğaza karşılık gelmektedir. Su altı topografyasının farklı olduğu düşünüldüğünde gaz çıkışının sahile yakın alanlarda farklı duruş sergilemesi gereklidir. Çünkü 100 m'den fazla kalınlığa sahip su ile 1-3 m derinliğindeki su yüzeyindeki hareketin doğal olarak aynı olması beklenmez. Sığ su alanlarında gazın suyu adeta fukurdatarak çıkarması gereklidir. Fakat kaydedilen görüntüde beyaz çizgisellik sahilden açığa kadar hep aynı özellikte olup bu yönü ile tartışmalıdır.
- 3- 30 Ocak 2020 tarihinde oluşan çizgiselliğin gaz çıkışı olarak değerlendirilmesi halinde bu hattın çevresinde farklı alanlarda beyaz kabarcıkların görülmesi gereklidir. Halbuki raporlanan beyaz çizgisellik çok net ve çevresinde gaz çıkışını gösteren bir görüntü yoktur.
- 4- Bu tip özel gaz çıkışlarının oluşturacağı beyaz çizgisellikler deprem ve sonrasında sınırlı zaman dilimlerinde görülebilir. Ancak bu alanda farklı tarihlerde benzer oluşumun görülmesi bu oluşumun gaz çıkışı olmadığını göstermektedir.

5. Sonuçlar

Sivrice depreminden sonra Sivrice-Pütürge arasında DAFZ buyunca heyelan, kaya düşmesi, yanal yayılma gibi deformasyonlar meydana gelmiştir. Bu deformasyonların en önemlisini Sivrice-Çevrimtaş arasındaki heyelanlar oluşturmaktadır. Bu alandaki deformasyonlar ile kütle hareketlerinin yoğunluğu, Fırat Vadisi'nin batısından çok yüksektir. Yüzey deformasyonları dışında Pütürge Taşmış köyünde Çermik su kaynağındaki katı ve gaz çıkışı dikkat çekmektedir.



Şekil 15. 29 Mayıs 2020 tarihinde Ilıncak batısında baraj gölü (Eski Fırat vadisi) üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre oluşan beyaz çizgisellikler (a, b). 30 Ocak 2020 tarihinde Kürçer vd. [4] tarafından aynı lokasyonda görüntülenen ve gaz çıkışı olarak değerlendirilen beyaz çizgisellikler (c, d).

Depremim morfolojiye yansımaları dışında Doğanyol kuzeyinde Fırat Vadisi'nde farklı tarihlerde yapılan gözlem ve deneylerde baraj gölü üzerinde fayla çakışan beyaz çizgisellikler gözlemlenmiştir. Su yüzeyine bırakılan saman ile birlikte su üzerinde dalga etkisiyle oluşan beyaz köpüklerin birleşerek çizgisel hatlar

oluşturduğu görülmüştür. Birbirine paralel birden fazla beyaz hatlar halinde görülen çizgisellikler adeta fayın su altında kalan bölümü ile çakışarak gaz çıkışı izlenimi vermiştir. Fakat bu durum, bu alanda rüzgar hızının 10 m/sn'den fazla olduğu günlerde gözlenen rüzgar, dalga ve morfoloji etkisiyle oluşan özel bir oluşumdur. Bu çizgisel hatlar Kürçer vd. [4] tarafından gaz çıkışı olarak raporlanan çizgiselliklerin görüldüğü hat ile adeta çakışmaktadır (Şekil 15). Doğanyol meteoroloji istasyonu verilerine göre hâkim rüzgâr yönü güneybatıdır. Mevsimlik olarak hâkim rüzgâr yönü kış mevsiminde kuzeydoğudan esmektedir. Her iki yönde de esen rüzgarlar Doğanyol kuzeyinde baraj gölü üzerinde köpüklerden oluşan beyaz çizgisel hatların oluşumunu sağlamaktadır.

Şekil 15(a) ile gösterilen alan ile Kürçer vd. [4] tarafından çizgiselliklerin kaydedildiği alan birebir örtüşmektedir. Video kayıtlarında (d) bu çizgiselliğin su üzerindeki köpük birikimi olduğu, görüntünün 3. dakikasında çok belirgin olarak görülmektedir. Sonuç olarak deprem sonrasında fayların su altında kalan bölümleri üzerindeki bu tip oluşumların sismik, sedimentolojik, jeomorfolojik ve klimatolojik verilerin analizi ile açıklanması gerekmektedir.

Teşekkür

Makalenin olgunlaşması için katkı sunan Editör Kurulu ve Hakemlere teşekkür ederiz. Bu çalışmada Murat Sunkar: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Arazi gözlemleri, Deneyler, Orijinal taslak yazma ve hakem önerilerine göre değerlendirme ve düzenlemeleri yapmıştır. Vedat Avcı: Arazi çalışmaları ve deneylerin yapımına katılmış, taslak metin hazırlamış, harita ve şekilleri hazırlayıp düzenlemiştir. Cevdet Canpolat: Arazi çalışmalarına ve deneylerin yapımına katılmış, taslak metin hazırlamış ve fotoğraf düzenlemelerini yapmıştır.

Kaynaklar

- [1] Emre Ö. Duman T. Y, Elmacı H, Özalp S, Olgun Ş. 1:250.000 ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası serisi No: 42 2012, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye
- [2] Duman T. Y, Emre Ö, Özalp S, Elmacı H, Olgun Ş. 1:250.000 ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası serisi No: 45 2012, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye
- [3] Emre Ö, Duman TY, Özalp S, Elmacı H, Olgun Ş. Şaroğlu, F. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, 2013, Ankara-Türkiye. ISBN: 978-605-5310-56-1
- [4] Kürçer, A., Elmacı, H., Yıldırım, N. Özalp, S. 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Depremi (Mw=6,8) Saha Gözlemleri ve Değerlendirme Raporu, 2020, https://www.mta.gov.tr/images/duyuru_ek/belgeler/609_07-02-2020_2b82a14b.pdf Son erişim (26.06.2020)
- [5] Tatar O, Sözbilir H, Bozkurt E, Aksoy E, Koçbulut F, Özmen B, Alan H, Metin Y. 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ)-Doğanyol (Malatya) Depremi: Arazi Gözlemleri ve Değerlendirmesi, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları 2020a, No: 145
- [6] Tatar O, Sözbilir H, Koçbulut F, Bozkurt E, Aksoy E, Eski S, Özmen B, Alan H, Metin Y. Surface deformations of 24 January 2020 Sivrice (Elazığ)-Doğanyol (Malatya) earthquake (Mw= 6.8) along the Pütürge segment of the East Anatolian Fault Zone and its comparison with Turkey's 100-year-surface ruptures. *Mediterranean Geoscience Reviews*, 2020b, 2, 385-410.
- [7] Sayın E, Yön B, Onat O, Gör M, Öncü M. E. Tunç E. T. Bakır D. Karaton M, Calayır, Y. 24 January 2020 Sivrice-Elazığ, Turkey earthquake: geotechnical evaluation and performance of structures. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2021, 19, 657-684.
- [8] Akbayram K, Kıranşan K, Özer Ç, Varolüneş S. The surface deformation of the 2020 Doğanyol-Sivrice earthquake (Mw 6.8) and the earlier events suggest Mw< 7.0 earthquakes do not create significant surface slip along the East Anatolian Fault Zone. 2021. <https://doi.org/10.31223/X5QP5Q>
- [9] Köküm M. Landslides and lateral spreading triggered by the 24 January 2020 Sivrice earthquake (East Anatolian Fault). *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2021, 11(3), 751-760.
- [10] Karakaş G, Nefeslioğlu H. A, Kocaman S, Büyükdemircioğlu M, Yürür T, Gökçeoğlu C. Derivation of earthquake-induced landslide distribution using aerial photogrammetry: the January 24, 2020, Elazığ (Turkey) earthquake. *Landslides* 2021, 18, 2193-2209.
- [11] Karakaş G, Kocaman S, Gökçeoğlu C. Comprehensive performance assessment of landslide susceptibility mapping with MLP and random forest: a case study after Elazığ earthquake (24 Jan 2020, Mw 6.8), Turkey. *Environmental Earth Sciences* 2022, 81, 144.
- [12] Cakır Z, Doğan U, Akoğlu A M, Ergintav S, Özarpacı S, Özdemir A, Nozadkhalil T, Çakır N, Zabcı C, Erkoç M H, Basmenji M, Köküm M, Bilham, R. Arrest of the Mw 6.8 January 24, 2020 Elazığ (Turkey) earthquake by shallow fault creep. *Earth and Planetary Science Letters* 2023, 608, 118085.
- [13] Lepichon X, Henry P. Erosion and accretion along subduction zones - a model of evolution. *Proc. K. Ned. Akad. Wetensc* 1992, 95 (3), 297-310.

- [14] Sahling H, Masson D G, Ranero C R, Huhnerbach V, Weinrebe W, Klaucke I, Bürk D, Brückmann W, Suess E. Fluid seepage at the continental margin offshore Costa Rica and southern Nicaragua. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 2008, 9(5), 1-22.
- [15] Ranero C.R, Grevemeyer I, Sahling H, Barckhausen U, Hensen C, Wallmann K, Weinrebe W, Vannucchi P, von Huene R, McIntosh K. Hydrogeological system of erosional convergent margins and its influence on tectonics and interplate seismogenesis. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2008, 9 (3), 1-18.
- [16] Henry P, Lallemand S, Nakamura Ko-ichi, Tsunogai U, Mazzotti S, Kobayashi K. Surface expression of fluid venting at the toe of the Nankai wedge and implications for flow paths. *Marine Geology*. 2002, 187 (1–2), 119–143.
- [17] Arpat E, Şaroğlu F. Doğu Anadolu Fayı ile İlgili Bazı Gözlemler ve Düşünceler. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 1972, 78, 44-50.
- [18] Şengör A M C, Görür N, Şaroğlu F. Strike slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape; Turkey as a case study, *The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (SEPM), Strike-Slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation* 1985, 37, 227-264
- [19] Aksoy E, İnceöz M, Koçyiğit A. Lake Hazar basin: A negative flower structure on the East Anatolian Fault System (EAFS), SE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences* 2007, 16(3), 319-338.
- [20] Barka A. A, Kadinsky-Cade K. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 1988, 7(3), 663-684.
- [21] Şaroğlu F, Emre Ö, Kuşçu İ. The East Anatolian Fault Zone of Turkey. *Annales Tectonicae* 1992, 6, 99-125.
- [22] Duman T Y, Emre Ö. The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics. *Geological Society, London, Special Publications* 2013, 372(1), 495-529.
- [23] Hecce E. Doğu Anadolu Fayı (DAF) Atlası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi, 13. 359 Sayfa. Ankara, 2008.
- [24] Özdemir M A. Örmeli Çayı Havzasının (Pütürge-Malatya) Genel ve Uygulamalı Jeomorfolojisi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Elazığ, 1994.
- [25] Özdemir M A. Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Sincik (Adıyaman) ile Hazar Gölü (Elazığ) Arasındaki Jeomorfolojik Özellikleri Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 1996, 8(1), 191-217.
- [26] Özdemir M A, Tonbul S. Kömürhan Boğazı (Malatya-Elazığ), Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 1996, 8(1), 239-262
- [27] Özdemir M A, İnceöz M. Doğu Anadolu Fay Zonunda (Karlhova-Türkoğlu Arasında) Akarsu Ötelenmelerinin Tektonik Verilerle Karşılaştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 2003, 5(1), 89-114.
- [28] AFAD, 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Mw 6.8 Depremine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu 2020, T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara
- [29] KANDİLLİ B.Ü. KRDAE Bölgesel Deprem-Tsunami İzlem ve Değerlendirme Merkezi, Basın Bülteni, 24 Ocak Sivrice-Elazığ Depremi 2020, <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/24-ocak-sivrice-elazig-depremi-2/> (26.06.2020)
- [30] MGM (Meteoroloji 13. Bölge Müdürlüğü). Doğanşehir ve Pütürge Meteoroloji İstasyonu, Meteorolojik Verileri. 2020.
- [31] Harita Genel Müdürlüğü, 1/25.000 ölçekli Malatya L41 b3 paftası (1958) ve Elazığ L42 a4 (1953) paftası
- [32] Grall C, Henry P, Dupré S, Géli L, Scalabrin C, Zitter T. A, Şengör A. M.C, Çağatay M. N, Cifci G. Upward migration of gas in an active tectonic basin: An example from the sea of Marmara. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2018, 153, 17-35.
- [33] Macgregor D. S. Relationships between seepage, tectonics and subsurface petroleum reserves. *Marine and Petroleum Geology*, 1993, 10(6), 606-619.
- [34] Etiope G, Martinelli G. Migration of carrier and trace gases in the geosphere: an overview. *Physics of the earth and planetary interiors*, 2002, 129(3-4), 185-204.
- [35] Gasperini L, Polonia A, Del Bianco F, Etiope G, Marinaro G, Favali P, Italiano F, Çağatay M. N. Gas seepage and seismogenic structures along the North Anatolian Fault in the eastern Sea of Marmara. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2012, 13(10), 1-19.
- [36] Cicerone R. D, Ebel J. E, Britton J. A systematic compilation of earthquake precursors. *Tectonophysics*, 2009, 476(3-4), 371-396.
- [37] Heinicke J, Italiano F, Koch U, Martinelli G, Telesca L. Anomalous fluid emission of a deep borehole in a seismically active area of Northern Apennines (Italy). *Applied Geochemistry*, 2010, 25(4), 555-571.
- [38] Yang T. F, David R Hilton, Italiano F, Heinicke J. Applications of fluid and gas geochemistry for geohazards investigation, *Applied Geochemistry*, 2010, 25, 503–504, doi:10.1016/j.apgeochem.2010.01.007.
- [39] Kuşçu İ, Okamura M, Matsuoka H, Gökaşan E, Awata Y, Tur H, Şimşek M, Keçer M. Seafloor gas seeps and sediment failures triggered by the August 17, 1999 earthquake in the eastern part of the Gulf of İzmit, Sea of Marmara, NW Turkey. *Marine Geology*, 2005, 215(3-4), 193-214.
- [40] Bourry C, Chazallon B, Charlou J.L, Donval J.P, Ruffine L, Henry P, Geli L, Çağatay M.N, Inan S, Moreau M, Free gas and gas hydrates from the Sea of Marmara, Turkey Chemical and structural characterization. *Chemical Geology*. 2009, 264 (1–4), 197–206.
- [41] Dupre S, Scalabrin C, Grall C, Augustin J.M, Henry P, Sengor A M C, Görür N, Çağatay M.N, Geli L. Tectonic and sedimentary controls on widespread gas emissions in the Sea of Marmara: results from systematic, shipborne multibeam echo sounder water column imaging. *J. Geophys Res-Solid Earth* 2015, 120 (5), 2891–2912.
- [42] [URL-1] <https://www.mta.gov.tr/v3.0/mta/ilan/609> Son erişim 24.06.2020