



MTA Yerbilimleri ve Madencilik Dergisi

<https://www.mta.gov.tr/mtayerbilimleri/>



23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) Depremi (Mw 6,0) arazi gözlemleri ve kaynak faya ilişkin değerlendirmeler

Selim ÖZALP^{a,*}, Akın KÜRÇER^a, İrem AVCU^b ve Tayfun GÜLER^b

^aMaden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara

^bTurkish Petroleum International (TPIC) A.Ş., Ankara

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:

Kuzey Anadolu Fay Zonu,
Karadere Segmenti, Aktif
Tektonik, Deprem

ÖZ

23 Kasım 2022 tarihinde merkez üssü, Düzce ilinin Gölyaka ilçesi yakınına rastlayan bir alanda orta büyüklükte (Mw 6,0) bir deprem meydana gelmiştir. Depremde 2 kişi hayatını kaybetmiş, 93 kişi yaralanmış ve 800 dolayında da yapı hasar görmüştür. Gölyaka (Düzce) Depremi, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun batıda Akyazı doğusu ile doğuda Gölyaka batısı arasında kalan Karadere Segmenti'nden kaynaklanmıştır. 34 km uzunluğunda olan segment, K71°D doğrultulu ve sağ yanal doğrultu atımlı karakterdedir. Karadere Segmenti, kuzeyinde yüzeyleyen Eosen ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı litolojiler ile güneyindeki Almacık Dağı'nı oluşturan Pontid-İçi Kenet Kuşağı kaya birimleri arasında tektonik bir dokanak oluşturmaktadır. Arazi gözlemleri, ana ve artçı şokların meydana geldiği Düzce ile Gölyaka arasında kalan kesimde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda, depreme kaynaklık eden faya ilişkin bir yüzey kırılması gözlenmemiştir. Bununla birlikte, Karadere Segmenti'nin Büyük Melen Çayı'nı kestiği alanda, taşkın ovası çökelleri üzerinde yanal yayılma şeklinde gözlenen deprem kökenli yüzey deformasyonları gelişmiştir. Jeolojik olarak zemin büyütmesine elverişli alanlar üzerine inşa edilen binalarda ise yapısal hasar gelişmiştir. Karadere Segmenti'nin KD ucunda 17 Ağustos 1999 İzmit Depremi sırasında tamamı kırılmayan yaklaşık 8 km uzunluğundaki kesiminin, 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) Depremi'ni ürettiği değerlendirilmektedir.

Gönderim Tarihi: 19.04.2023

Kabul Tarihi: 08.05.2023

Keywords:

North Anatolian Fault Zone,
Karadere Segment, Active
Tectonics, Earthquake

ABSTRACT

On 23 November 2022, a moderate (Mw 6.0) earthquake occurred in an area which epicenter was close to the Gölyaka district of Düzce province. In the earthquake, 2 people lost their lives, 93 people were injured and around 800 buildings were damaged. The Gölyaka (Düzce) Earthquake originated from the Karadere Segment of the North Anatolian Fault Zone between the east of Akyazı in the west and the west of Gölyaka in the east. The segment, which is 34 km long, strikes N71°E and has a right lateral strike-slip character. The Karadere Segment forms a tectonic contact between the Eocene and Plio-Quaternary lithologies outcropping to the north and the Intra-Pontide Suture Belt rock units forming the Almacık Mountain to the south. Field observations were made in the area between Düzce and Gölyaka, where the main and aftershocks occurred. As a result of these studies, a surface rupture related to the fault that caused the earthquake was not observed. However, in the area where the Karadere Segment cuts the Büyük Melen Stream, earthquake-induced surface deformations observed as lateral spreading on the flood plain deposits have developed. Structural damage has developed in buildings constructed in areas that are geologically suitable for the magnification of ground. It is considered that the 8 km long section of the Karadere Segment, which was not completely ruptured during the 17 August 1999 İzmit Earthquake at the NE termination, produced the 23 November 2022 Gölyaka (Düzce) Earthquake.

Received Date: 19.04.2023

Accepted Date: 08.05.2023

Atf Bilgisi: Özalp, S., Kürçer, A., Avcu, İ., Güler, T. 2023. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) Depremi (Mw 6,0) arazi gözlemleri ve kaynak faya ilişkin değerlendirmeler. MTA Yerbilimleri ve Madencilik Dergisi 3, 61-79.

*Başvurulacak Yazar: Selim ÖZALP, selim.ozalp@mta.gov.tr

1. Giriş

Çeşitli ulusal ve uluslararası sismoloji merkezlerinin kayıtlarına göre, 23 Kasım 2022 tarihinde, Türkiye saati ile 04.08'de, merkez üssü Düzce ilinin yaklaşık 10 km batısı, Gölyaka ilçesinin ise 5 km kuzeydoğusu olan, 5,9 - 6,1 büyüklüğünde (Mw), 6-19 km odak derinliğinde, sığ odaklı bir deprem meydana gelmiştir (AFAD, KRDAE, USGS, GFZ; Şekil 1 ve Şekil 2). Deprem başta Düzce, Adapazarı, Kocaeli, Bolu, İstanbul, Eskişehir ve Ankara olmak üzere pek çok il ve ilçede hissedilmiştir.

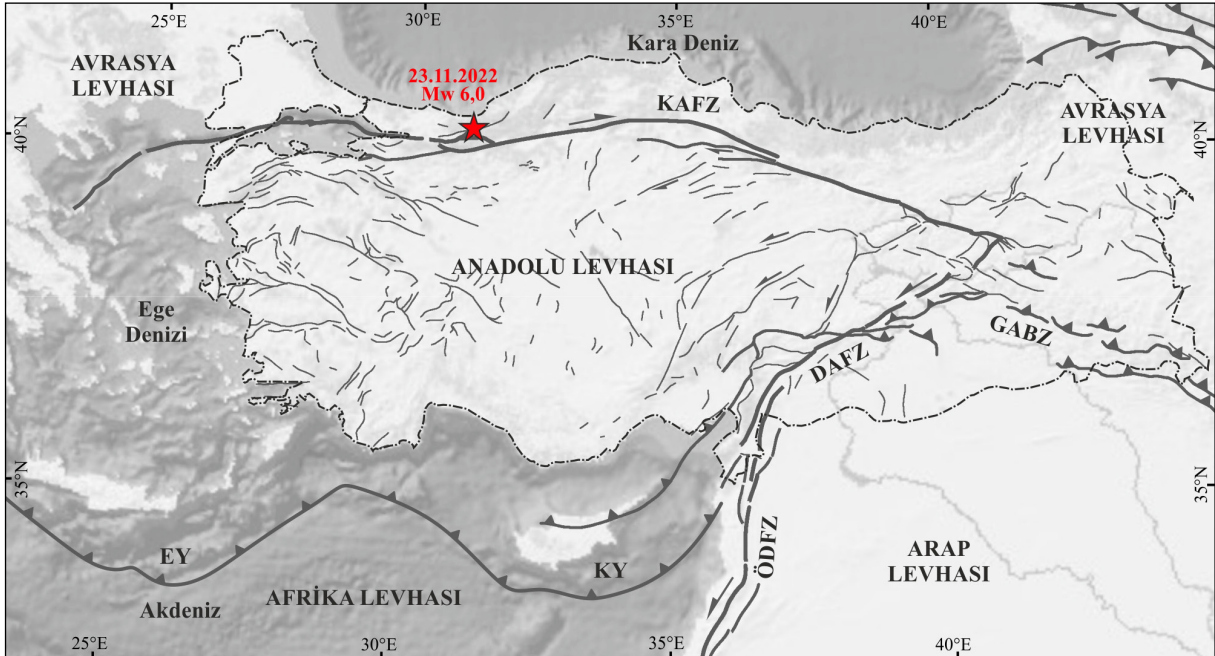
Sağlık Bakanlığı tarafından yapılan açıklamaya göre depremde 2 kişi hayatını kaybederken, Düzce'de 37, Sakarya'da 26, Bolu'da 14, Zonguldak'ta 10, Bursa'da 4 ve İstanbul'da 2 kişi olmak üzere toplam 93 kişi yaralanmıştır. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yapılan açıklamaya göre ise Düzce genelinde acil yıkılacak ağır hasarlı 791 yapı tespit edilmiştir.

Depreme kaynaklık eden fayın tanımlanması ve meydana gelen hasarın jeolojik yapıyla olası ilişkisinin araştırılması amacıyla MTA Genel

Müdürlüğü tarafından afet bölgesinde arazi çalışması gerçekleştirilmiştir. Arazi gözlemleri hasarın yoğunlaştığı ana ve artçı şokların meydana geldiği, Düzce ile Gölyaka arasında kalan kesimde gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda söz konusu depreme kaynaklık eden faya ilişkin bir yüzey kırılması gözlenmemiştir. Bununla birlikte, özellikle Karadere Segmenti'nin Büyük Melen Çayı'nı kestiği alanda, taşkın ovası çökelleri üzerinde gelişmiş yanal yayılma türünde deprem kökenli yüzey deformasyonları gözlenmiştir.

2. Bölgesel Tektonik ve Jeoloji

Avrasya Levhası ile Arabistan-Afrika levhaları arasında meydana gelen kıtasal yakınsama sonucunda, Neotetis Okyanusu'nun güney kolu Geç Kretase'den itibaren kapanmaya başlamıştır (McKenzie, 1978; Şengör ve Yılmaz, 1981; Dewey vd., 1986). Arabistan Levhası, Afrika Levhası'na oranla kuzeye doğru daha hızlı hareket ettiği için, Doğu Anadolu'da meydana gelen kıtasal çarpışma Serravaliyen-Tortoniyen (Orta-Üst Miyosen) aralığında gerçekleşmiştir (Şengör, 1980; Şengör ve Yılmaz, 1981). Doğu Akdeniz'in güncel kinematığında önemli rol oynayan bu kıtasal



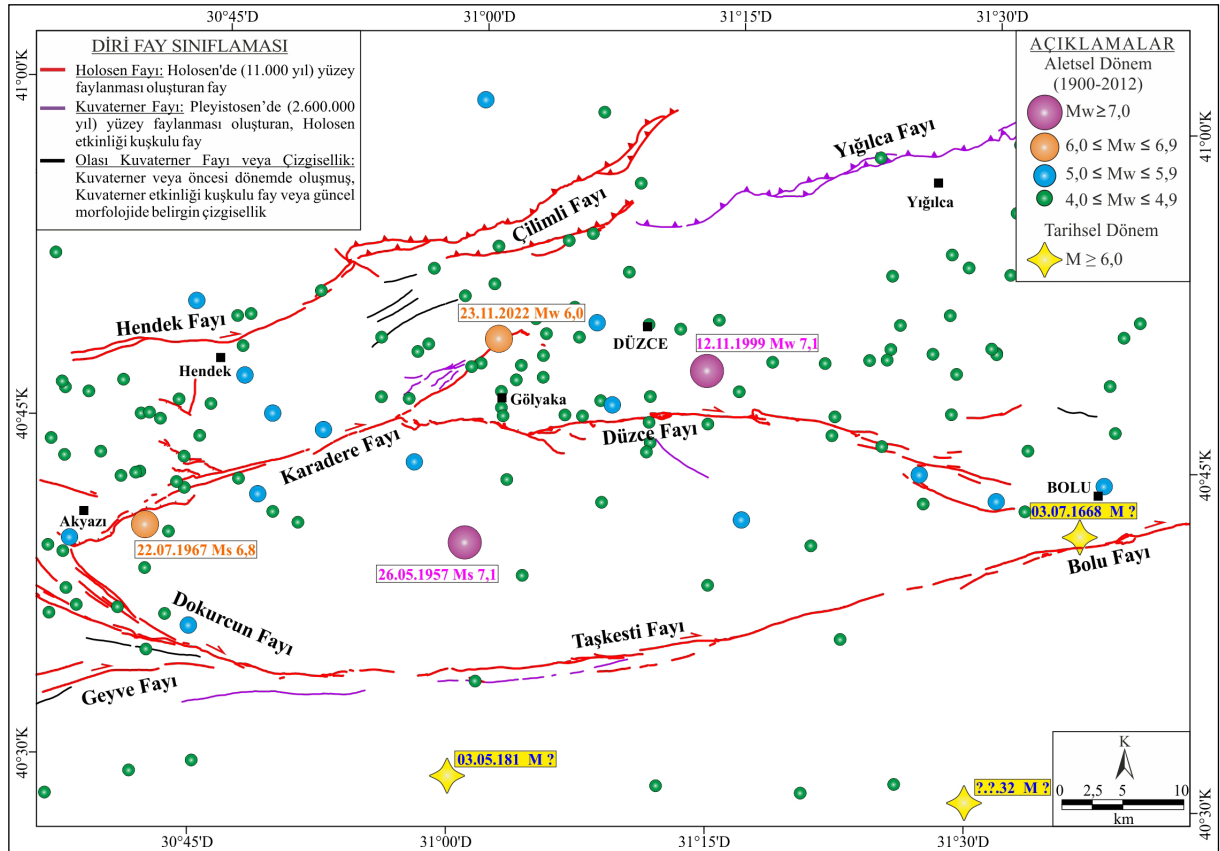
Şekil 1- Anadolu ve çevresinin başlıca aktif tektonik unsurları (Emre vd., 2018'den değiştirilerek alınmıştır) ve 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) Depremi'nin konumu. Kısaltmalar: EY Ege yayı, KY Kıbrıs yayı, KAFZ Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ Doğu Anadolu Fay Zonu, ÖDFZ Ölü Deniz Fay Zonu, GABZ Güneydoğu Anadolu Bindirme Zonu. Kalın çizgiler levha sınırlarını göstermektedir.

çarpışma, Anadolu'nun doğusunda yaklaşık 12 milyon yıl önce meydana gelmiştir. Doğu Anadolu'daki yaklaşık K-G yönlü bu kıtasal yakınsama, sağ yanal doğrultu atım nitelikli Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ile sol yanal doğrultu atım nitelikli Doğu Anadolu Fay Zonu'nun (DAFZ) gelişmesine neden olmuştur (McKenzie, 1978; Şengör, 1980; Şengör ve Yılmaz, 1981; Jackson ve McKenzie, 1984; Şengör vd., 1985). Anadolu Levhası, bu iki ana fay zonu boyunca batıya doğru kaçarken, batıda Ege-Kıbrıs yitim kuşağı boyunca saatin tersi yönünde bir hareketle Afrika Levhası üzerine itilmektedir (Şengör, 1980; Şengör vd., 1985; Armijo vd., 1999).

Batı kesiminde Erken Kretase'de Pontid-İçi Okyanusu'nun kapanmasıyla oluşan kenet zonuna yerleşen KAFZ, İstanbul ve Sakarya zonlarına ait paleotektonik dönem kaya birimlerini tektonik olarak karşı karşıya getirmektedir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Yılmaz vd., 1982, 1995; Okay, 1989; Aksay vd., 2002). Fayın kuzey bloğunda yer alan İstanbul Zonu,

Ordovisiyen-Paleojen yaşlı tortul kayalardan oluşur. Güney blokta yer alan Sakarya Zonu ise metamorfik bir temel ve Jura-Kretase yaşlı bir tortul örtü ile temsil edilmektedir. Pontid-İçi kenedini oluşturan farklı metamorfik kayalar ve ofiyotli melanaj ile bunları örten Eosen yaşlı kayalardan meydana gelen Almacık ve Armutlu blokları ise genelde fayın iki kolu arasındaki morfolojik yükselimleri oluşturmaktadırlar. Armutlu Yarımadası'nın kuzeybatısı hariç, Bolu-Marmara Denizi arasında yer alan KAFZ'nin iki ana kolu, adı geçen kenet zonu ile kuzey ve güneydeki tektonik birlikler arasında yer almaktadır.

Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System, GPS) çalışmalarından elde edilen veriler, Anadolu Levhası'nın KAFZ boyunca batıya doğru yılda yaklaşık 25 mm hızla hareket ettiğini göstermektedir (McClusky vd., 2000; Reilinger vd., 2000, 2006). Karlıova ile Bolu arasında nispeten daha dar bir zonda gözlenen KAFZ, Bolu'dan itibaren batıya doğru daha geniş bir zonda izlenir (Barka ve



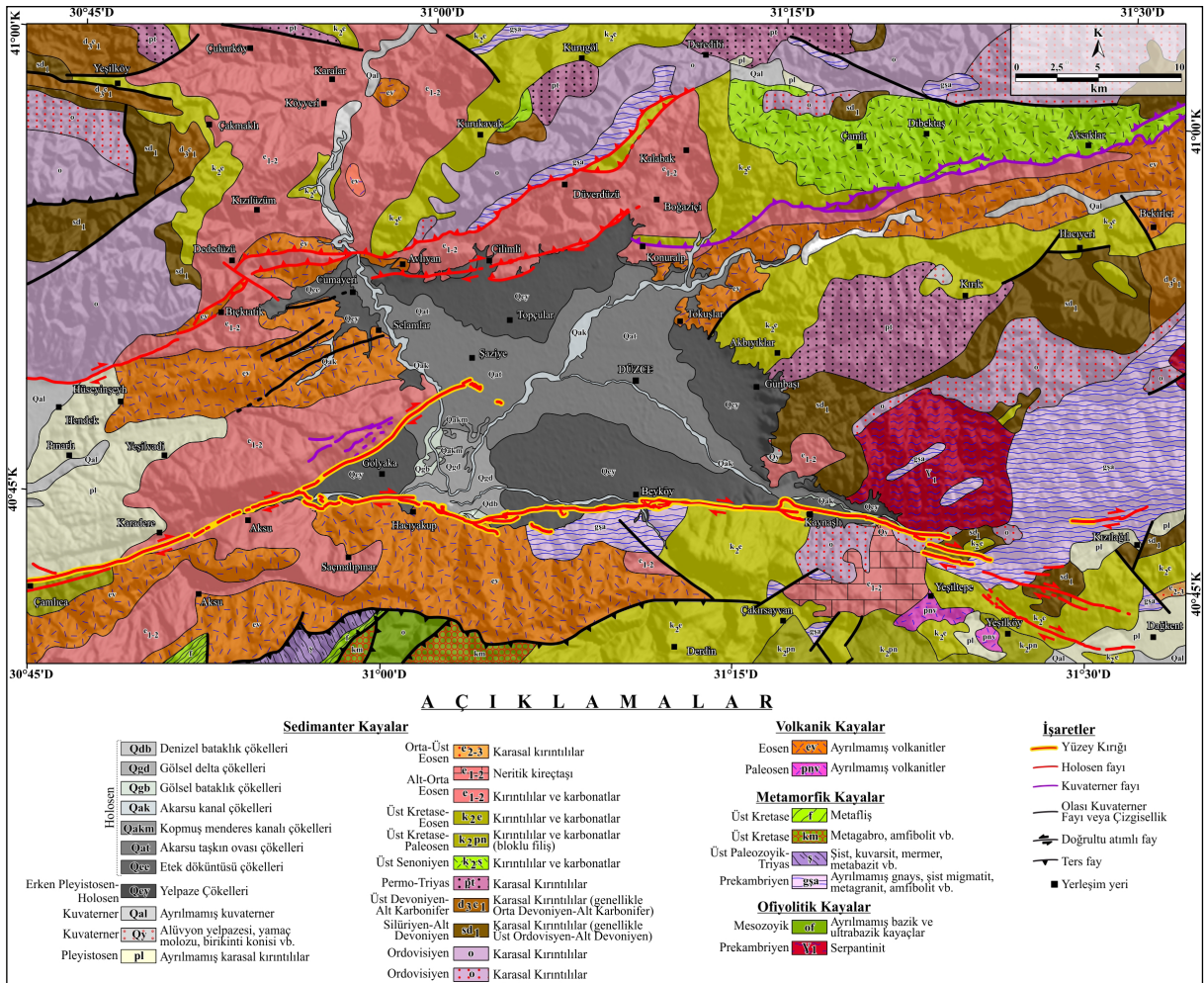
Kadinsky-Cade, 1988; Barka, 1992, 1997; Armijo vd., 1999). KAFZ, Bolu ile Marmara Denizi arasında kalan Doğu Marmara Bölgesi'nde ise kuzey ve güney olmak üzere iki ana koldan oluşur. Fayın batıya doğru olan devamında, doğu-batı genel doğrultusunda birbirinden uzaklaşan kuzey ve güney ana kolları arasında gelişen tektonik çukurluklara Marmara Denizi yerleşmiştir.

23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) Depremi (Mw 6,0)'nin meydana geldiği alan, tarihsel dönem (1900 öncesi) ve aletsel dönemde (1900 ve sonrası) yoğun deprem etkinliğinin yaşandığı bir bölgedir (Şekil 2). Aletsel dönemde Gölyaka (Düzce) Depremi'nin olduğu alana en yakın büyük depremler, en doğusunda Karadere Segmenti'nin de kırıldığı 17 Ağustos 1999 İzmit Depremi (Mw 7,4) (Hartleb vd., 2002; Awata

vd., 2003) ile Düzce Segmenti üzerinde yüzey kırığının geliştiği 12 Kasım 1999 Düzce Depremi'dir (Mw 7,2) (Akyüz vd., 2002; Hartleb vd., 2002; Duman vd., 2005, 2014).

KAFZ'nin D-B doğrultulu Düzce ve K71°D doğrultulu Karadere segmentleri ile K60°D doğrultulu Çilimli Fayı arasında gelişmiş Düzce Havzası, tektonik kökenli bir havzadır. Orta kesiminde Düzce şehir merkezinin yer aldığı Düzce Havzası ve çevresinde Prekambriyen'den Holosen'e kadar değişen yaş aralığına sahip kaya birimleri ve çökeller yüzeylemektedir (Şekil 3).

Düzce Havzası ve çevresinde; Prekambriyen yaşlı metamorfik birimler, Paleozoyik yaşlı kırıntılı ve karbonatlı birimler, Mezozoyik yaşlı volkanitler,



Şekil 3- Düzce Havzası ve yakın dolayının jeoloji haritası [Kuvaterner öncesi jeolojik birimler Aksay vd. (2002), Kuvaterner jeolojisi Bulut Üstün vd. (2019)'den basitleştirilerek alınmıştır].

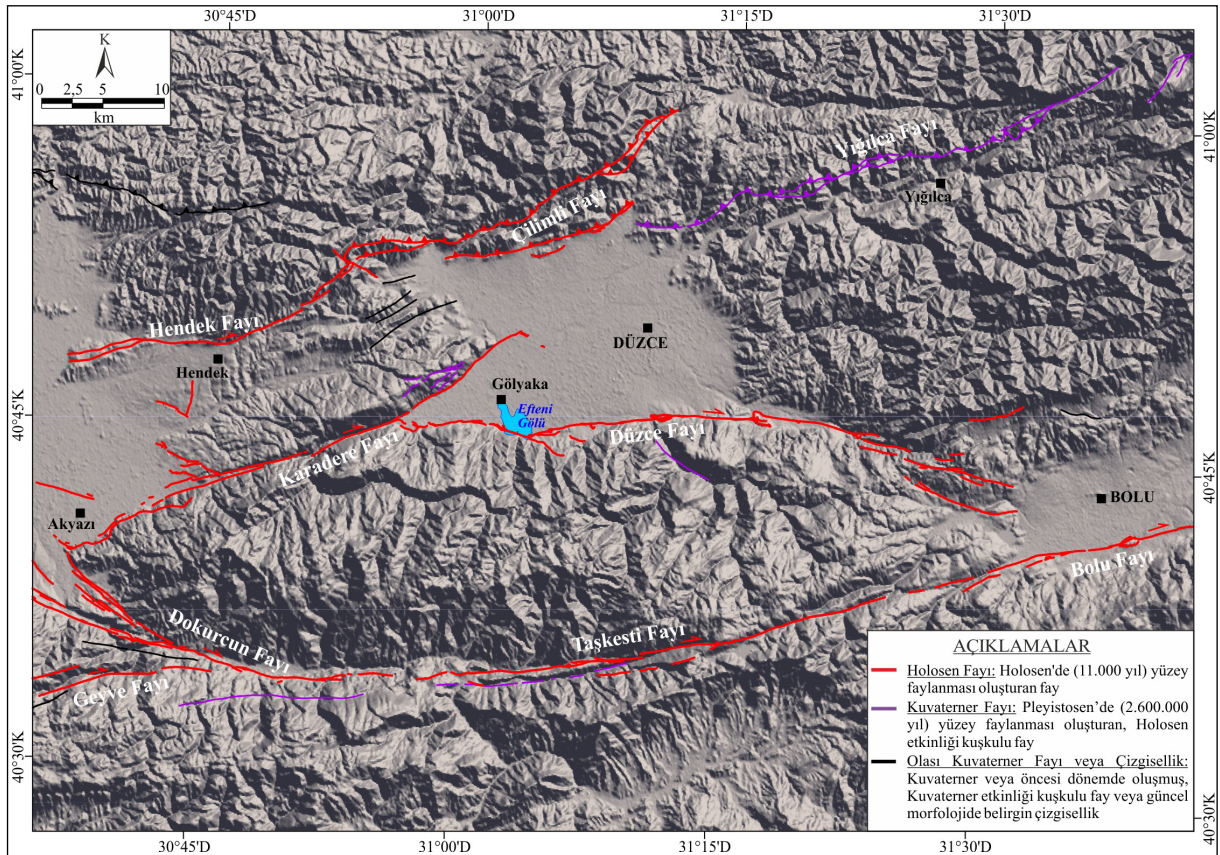
kırıntılılar ve karbonatlar yüzlek vermektedir (Şekil 3). Bu birimler Düzce Havzası'nın çevresini kuşatmış olmakla beraber, KAFZ'nin güney ve kuzey bloğunda yüzeyleyen aynı birimlerin kısmen farklı litolojik özellikler sergilediği yorumlanmaktadır.

Bulut Üstün vd. (2019)'ne göre, Pliyo-Kuvaterner yaşlı birimler genel olarak iri taneli havza kenarı ve ince taneli havza içi çökeller olarak iki gruba ayrılmıştır (Şekil 3). Havza kenarı çökelleri çoğunlukla akarsu sekisi çökelleri, alüvyon yelpazesi çökelleri ve döküntü çökellerinden oluşmakta ve genişlikleri 1-5 km arasında değişen kuşaklar şeklinde izlenmektedir. Basamaklı bir morfoloji sunan yelpazelerin oluşturduğu dağ eteği düzlükleri, genellikle bir miktar eğim atım bileşeni olan doğrultu atımlı faylar tarafından kesilmiştir. Başlıca menderesli nehir, taşkın ovası, bataklık ortamı ile göllerde çökelmiş olan havza içi birimler ise göreceli olarak daha ince taneli çökellerden meydana gelmektedir (Emre vd.,

1999). Çoğunlukla Holosen yaşlı bu çökeller, havza içlerine doğru etek, akarsu ve göl çökelleri ile yanal ve düşey yönde geçiş göstererek depolanmaktadır. Tektonizmanın bölgesel olarak etkisi, erozyonla deşilerek oluşan vadi sistemleri boyunca gelişen çökeller tarafından temsil edilmektedir. Ayrıca bölgede birkaç alanda izlenen traverten oluşumları, Kuvaterner süresince KAFZ üzerinde gelişimini sürdürmektedir (Bulut Üstün vd., 2019).

3. Karadere Segmenti'nin Genel Özellikleri

KAFZ Karadere Segmenti (Emre vd., 2013, 2018), Almacık bloğunu güneye doğru içbükey bir geometri ile kuzeybatısından sınırlandırmaktadır. Batıda Akyazı doğusundan başlayan, 34 km uzunluğundaki Karadere Segmenti K71°D doğrultuludur (Şekil 4). 17 Ağustos 1999 İzmit Depremi sırasında Karadere Segmenti üzerinde gelişen yüzey kırığında 1 ile 2,1 m arasında değişen yer değiştirme değerleri ölçülmüştür (Duman vd., 2003). Segment, genel doğrultusu ve



Şekil 4- 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depreminin meydana geldiği bölge ve çevresinin diri fay haritası (Diri faylar Emre vd., 2013'ten alınmıştır).

daha küçük yer değiştirme değerleri bakımından, 1999 depreminde üzerinde yüzey kırığı gelişmiş diğer segmentlerden farklı özellikler sunmaktadır.

Segment, kuzeyinde yüzeyleyen Eosen ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı litolojiler ile güneyindeki Almacık Dağı'nı oluşturan kenet kuşağı kaya birimleri arasında tektonik bir sınır oluşturmaktadır. Düzce ve Karadere segmentleri Gölyaka'nın batısında 30°'lik bir açı ile kesilmektedir. Aynı zamanda sağa sekmeli bir aşmanın da olduğu bu alana Efteni Gölü yerleşmiştir (Şekil 4; Emre ve Awata, 2003). Düzce Havzası'nın yüzey morfolojisi ve akarsu ağı özellikleri, havzanın kuzeydoğudan güneybatıya doğru gençleştiğini ve güncel çökmenin Efteni Gölü kesiminde yoğunlaştığını göstermektedir (Emre vd., 2000; Akyüz vd., 2002; Duman vd., 2005).

4. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) Depremi (Mw 6,0)

4.1. Sismolojik Bilgiler

Ulusal ve uluslararası sismoloji merkezlerinden elde edilen bilgilere göre, 23 Kasım 2022 tarihinde, Türkiye saati ile 04.08'de, merkez üssü Düzce il merkezinin yaklaşık 10 km batısına, Gölyaka ilçe merkezinin ise 5 km kuzeydoğusuna rastlayan alanda bir deprem meydana gelmiştir (Çizelge 1). Yayımlanan

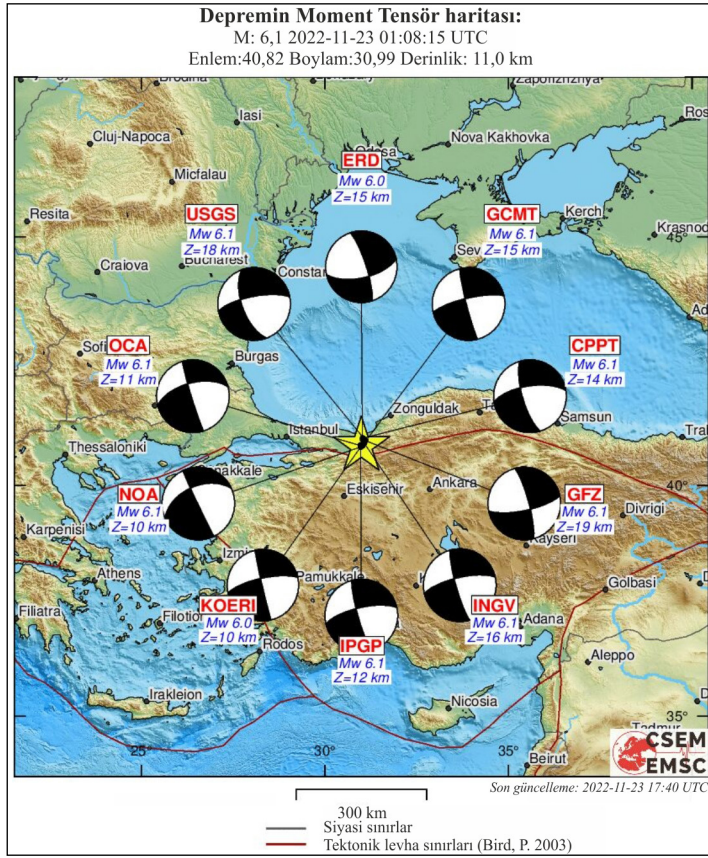
ilksel moment tensör çözümlerine göre depremin, baskın olarak doğrultu atım nitelikli bir faydan kaynaklandığı yorumlanmaktadır (Şekil 5). Sismoloji merkezlerinden edinilen bilgilere göre, depremin büyüklüğü (Mw) 5,9 - 6,1 (AFAD, KRDAE, USGS, GFZ), derinliği ise 6,8 km - 19 km (AFAD, KRDAE, USGS, GFZ) arasında değişmektedir (Çizelge 1, Şekil 5). Merkez üssü Düzce ile Gölyaka arasında bir alana rastlayan deprem; Düzce, Adapazarı, Kocaeli, Bolu, Ankara, İstanbul ve Eskişehir başta olmak üzere, çevredeki birçok il ve ilçede de hissedilmiştir (AFAD; Şekil 6).

Ana şok sonrası meydana gelen artçı depremlerin dağılımları incelendiğinde, genel olarak Karadere Segmenti'ne uyumlu olarak KD-GB yönünde bir hat oluşturacak şekilde kümelendikleri izlenmektedir (Şekil 7). Ayrıca görgül (ampirik) bağıntılara göre 6,0 büyüklüğünde bir depremin oluşabilmesi için 7,76 km uzunluğunda bir fay parçasının kırılmış olması gerekmektedir (Wells ve Coppersmith, 1994). 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) Depremi'nin büyüklüğü, artçı şokların dağılımı ve diri fay verisi ile Karadere Segmenti üzerinde 17 Ağustos 1999 İzmit Depremi'nde ölçülen yer değiştirme dağılımı (Duman vd., 2003) birlikte değerlendirildiğinde, segment üzerinde 1999 depreminde kırılmayan yaklaşık 8 km uzunluğundaki kesimin son depremde kırıldığını yorumlamaktayız.

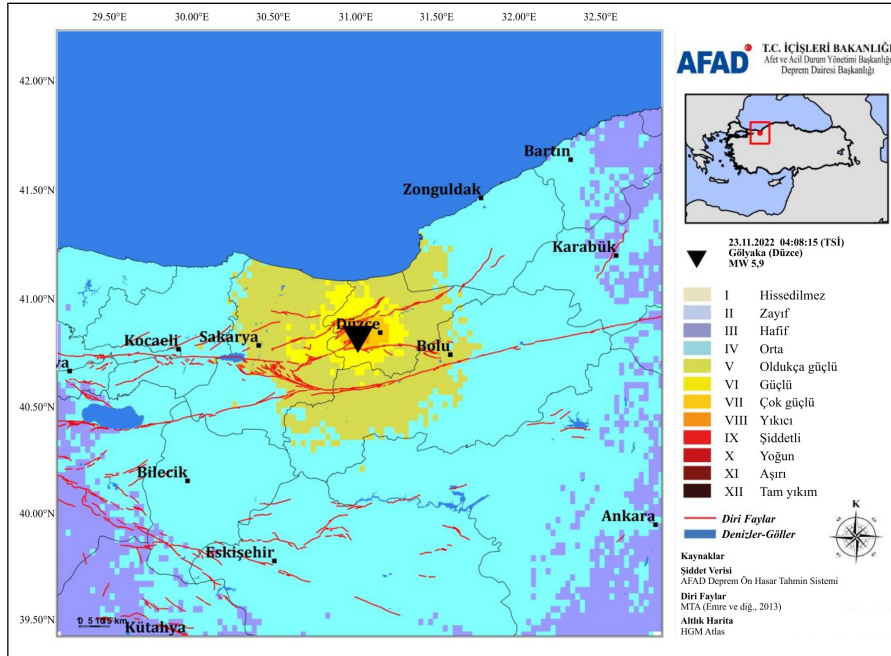
Çizelge 1- 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) Depremi ana şokunun sismolojik parametreleri.

Kaynak*	Koordinat		Derinlik (km)	Düğüm Düzlemleri			Büyüklik (M _w)
	Enlem (K)	Boylam (D)		Doğrultu	Eğim	Kayma Açısı	
AFAD	40,823	31,025	6,81	DD1 77° DD2 342°	65° 79°	-168° -26°	5,9
KRDAE	40,8175	30,9868	10,6	DD1 167° DD2 257°	88° 73°	-16° -178°	6,0
USGS	40,836	30,983	10,0	DD1 160° DD2 259°	63° 73°	-19° -152°	6,1
GFZ	40,95	31,03	19,0	DD1 345° DD2 78°	80° 74°	-16° -169°	6,1

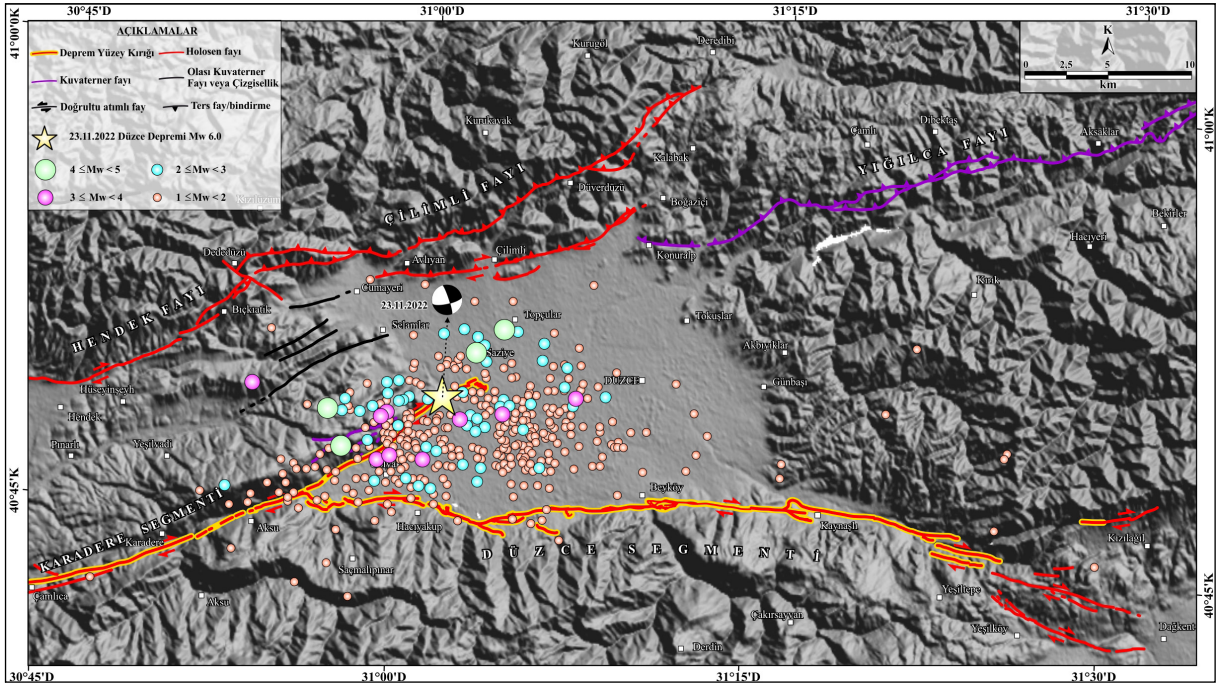
* AFAD: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem ve Risk Azaltma Genel Müdürlüğü; KRDAE: Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü; USGS: United States Geological Survey; GFZ: German Research Center for Geosciences



Şekil 5- Sismoloji merkezleri tarafından 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) Depremi için önerilen dış merkez, odak derinliği ve hızlı moment tensör çözümleri (EMSC, <https://static2.emsc.eu/Images/EVID/119/1191/1191966/1191966.MT.jpg>).



Şekil 6- 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) Depremi'nin tahmini eş şiddet haritası (AFAD).



Şekil 7- 23 Kasım 2022 tarihinde Gölyaka (Düzce)'da meydana gelen ana şokun ve artçı depremlerin Türkiye Diri Fay Haritası (Emre vd., 2013) üzerindeki dağılımı. Sismolojik veri AFAD (<https://deprem.afad.gov.tr/>)'tan alınmıştır.

4.2. Saha Gözlemleri

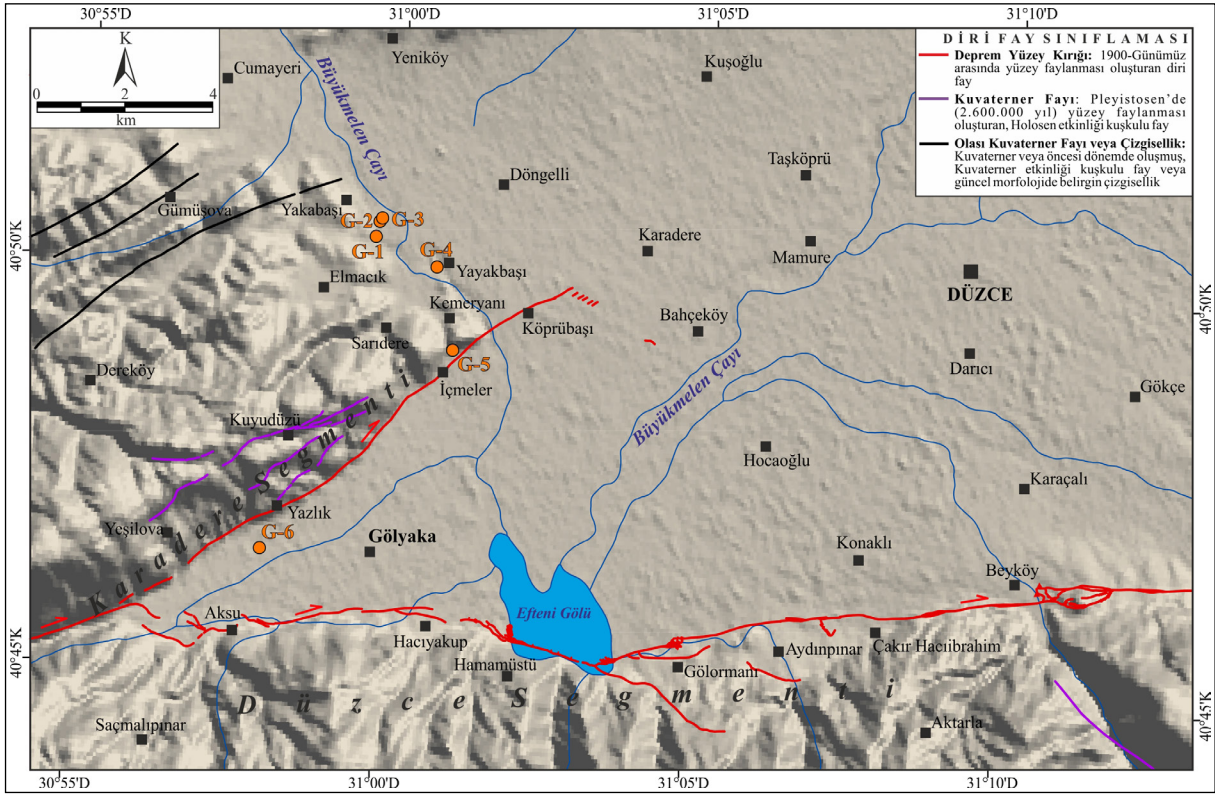
Deprem sonrası gerçekleştirilen arazi çalışmaları sırasında, 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) Depremi'nin kaynak fayı olarak değerlendirilen KAFZ Karadere Segmenti'nin yanı sıra bölgede haritalanmış diğer diri faylar üzerinde herhangi bir deprem yüzey kırığı izine rastlanmamıştır. Bununla birlikte, Karadere Segmenti'nin Büyük Melen Çayı'nı kestiği alana yakın kesimlerde, taşkın ovası çökelleri üzerinde yanal yayılma türü deprem kökenli bazı yüzey deformasyonları gözlenmiştir (Şekil 8). Yanal yayılma, deprem sırasında genellikle çok az eğimli ($0,3^{\circ}$ - 3° arası) yamaçlarda veya su kütlelerine komşu yerlerde gelişmektedir (Sert vd., 2018). Bu tür yapılar, altta bulunan zeminin sıvılaşmasını ve yüzeysel çökel paketlerinin yanal olarak birkaç metre ötelenmesini temsil etmektedir. Yanal yayılma hareketi deprem sırasında genel olarak dolgulara, boru hatlarına, köprülere, yüzeysel temellere ve istinat duvarı gibi yapılara zarar vermektedir.

Doğuda Düzce ile batıda Gölyaka arasında kalan bölge ve yakın dolayında gerçekleştirilen arazi çalışmaları ışığında, deprem sırasında en fazla hasarın

Düzce il merkezi, Gölyaka ilçe merkezi, Cumayeri ve Gümüşova beldeleri ile Sarıdere, Yeşilova, İçmeler, Kemeryanı, Köprübaşı ve Yayakbaşı köylerinde meydana geldiği gözlenmiştir. Deprem bölgesinde gerçekleştirilen gözlemlere ilişkin bilgi aşağıda sunulmaktadır.

Gözlem 1 (G-1, 36T 330888D/4522946K): Sarıdere (Gölyaka-Düzce) köyünün 1,90 km kuzeyinde, Büyük Melen Çayı'nın batı sahiline paralel uzanan stabilize yol üzerinde deprem sırasında gelişmiş yanal yayılmaya bağlı kılcal çatlaklar izlenmiştir (Şekil 9). 30 m kadar takip edilebilen kılcal çatlakların genel doğrultusu yaklaşık K-G olup, en fazla 4 cm açıklığa ulaşmaktadır.

Gözlem 2 (G-2, 36T 330963D/4523294K): Yakabaşı (Gümüşova-Düzce) köyünün 1,20 km güneydoğusunda, otoban köprüsünün kuzey tarafında, Büyük Melen Çayı'nın batı sahiline paralel uzanan stabilize yol üzerinde, deprem sırasında gelişmiş yanal yayılmaya bağlı kılcal çatlaklar izlenmiştir (Şekil 10). Sağa ve sola sıçramalı olarak yaklaşık 30 m kadar takip edilebilen kılcal çatlakların genel doğrultusu $K10^{\circ}D$ olup, en fazla 5 cm açıklığa sahiptir.



Şekil 8- 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) Depremi sonrasında gözlem noktalarının konumları (Diri faylar: Emre vd., 2013'ten alınmıştır).

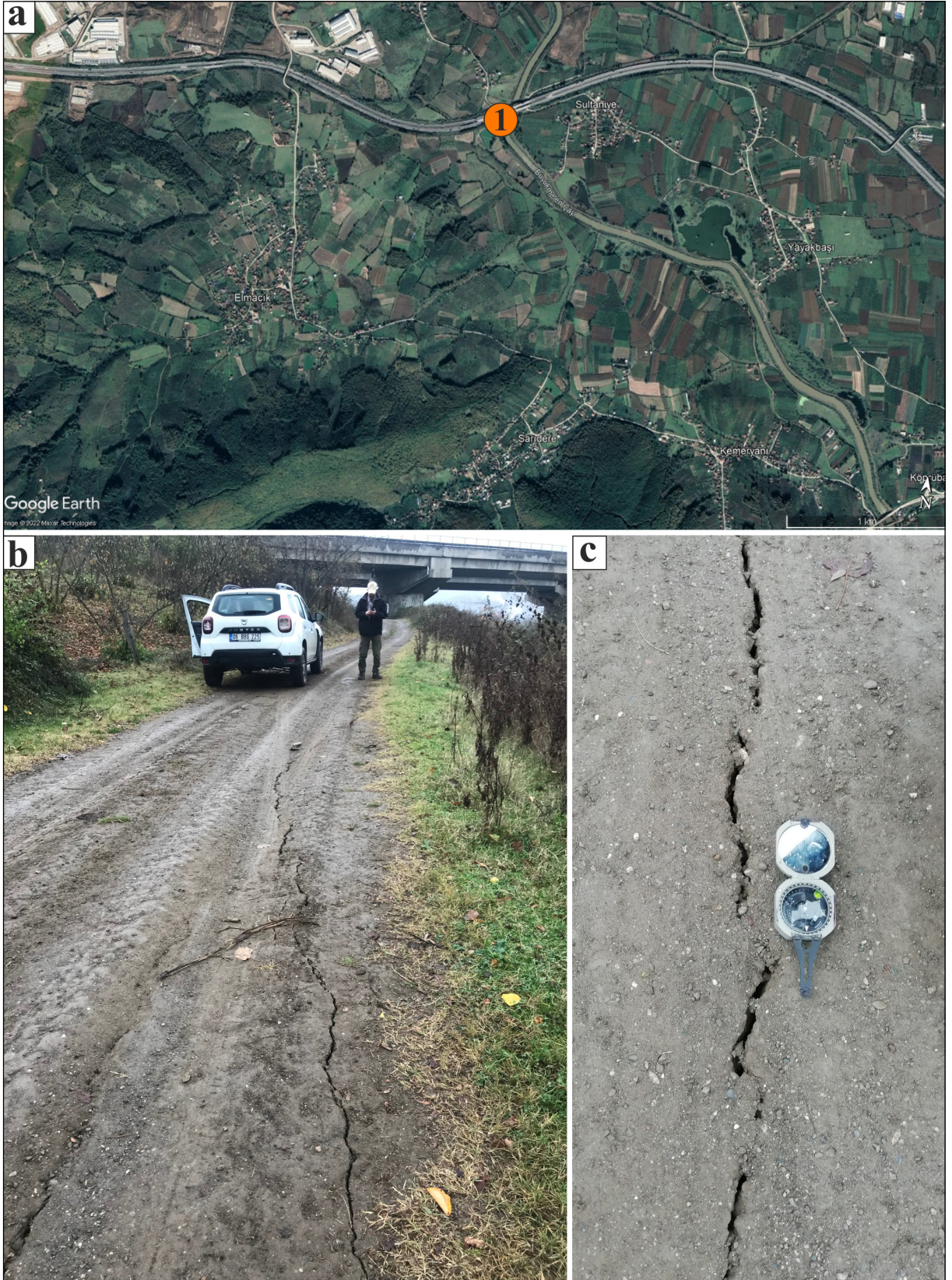
Gözlem 3 (G-3, 36T 330992D/4523374K): Yakabaşı (Gümüşova-Düzce) köyünün 1,10 km güneydoğusunda, otoban köprüsünün kuzey tarafında, Büyük Melen Çayı'nın batı sahiline paralel uzanan stabilize yol üzerinde, Gözlem 2'deki yapılara benzer şekilde, deprem sırasında gelişmiş yanıl yayılmaya bağlı kılcal çatlaklar izlenmiştir (Şekil 11). Sağa ve sola sıçrayan, bükümlü bir geometri sunan ve yaklaşık 20 m kadar takip edilebilen kılcal çatlakların genel doğrultusu K08°D olup, en fazla 7 cm açıklığa sahiptir.

Gözlem 4 (G-4, 36T 332294D/4522302K): Yayakbaşı (Merkez-Düzce) köyünün 550 m batısında, Yayakbaşı Göleti yer almaktadır. Yaklaşık kuzeye doğru akan Büyük Melen Çayı'nın kuzeybatıya doğru büküldüğü alanda bulunan gölet, günümüzde Büyük Melen Çayı'ndan yaklaşık 10 m genişliğinde stabilize yol olarak da kullanılan yapay bir set ile ayrılmış durumdadır. Göletin çoğunlukla Büyük Melen Çayı'na bakan güney kıyılarındaki yanıl yayılma yapıları gözlenmiştir (Şekil 12). Gölet kıyısına koşut ve göle doğru eğimli bu yapılar üzerinde yer yer

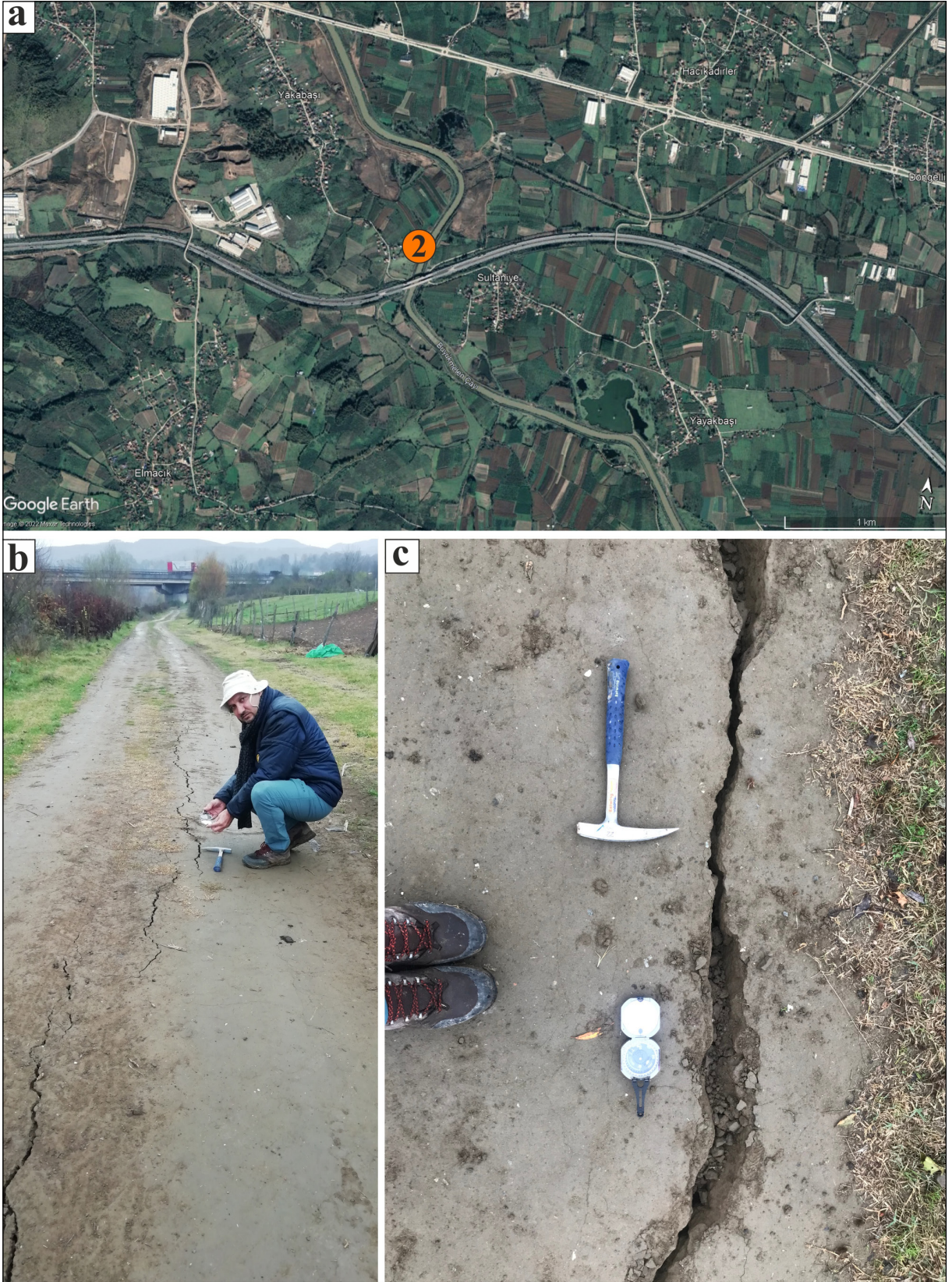
40-50 cm düşey yönde yer değıştirmeler ve 20-25 cm açılmalar ölçülmüştür.

Gözlem 5 (G-5, 36T 332695D/4520420K): Düzce-Gölyaka karayolunun İçmeler köyü mevkiinde, yolun batı yarmasında yüzeyleyen Eosen yaşlı volkanitler K70°D doğrultulu ve 68°GD'ya eğimli fay tarafından kesilmektedir (Şekil 13). Karadere Segmenti'nin genel yapısal özellikleriyle oldukça uyumlu olan bu fay düzlemi, zon içerisinde gelişmiş bir yapı olarak yorumlanmıştır. Karadere Segmenti'nin aktif olan bölümü, gözlem noktasından yaklaşık 200 m daha güneydoğudaki İçmeler köyünün içinden geçmektedir.

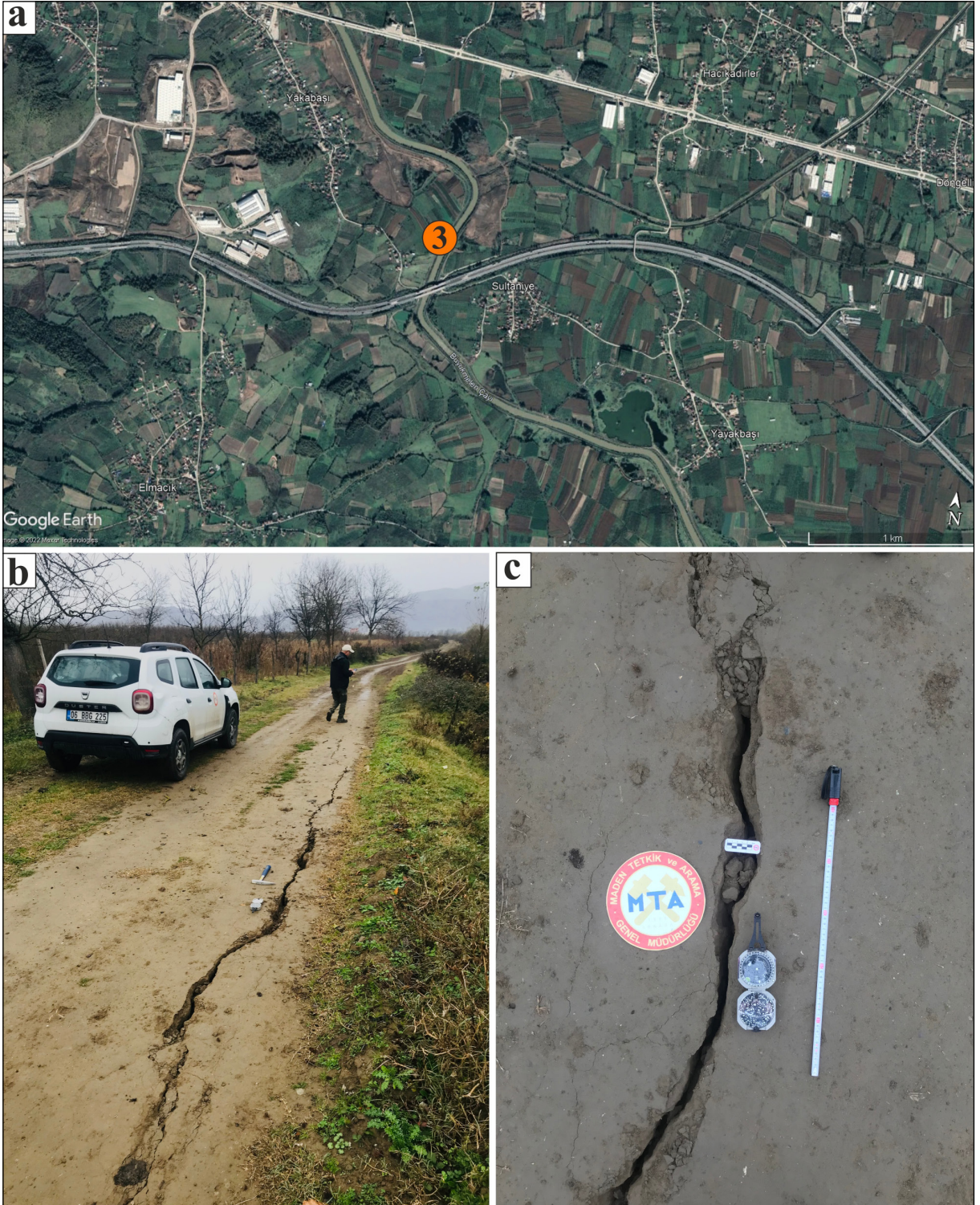
Gözlem 6 (G-6, 36T 332695D/4520420K): Yeşilova köyü, KAFZ'nin Karadere Segmenti üzerinde, Gölyaka Havzası'nın kapanan güneybatı köşesinde yer alır. Yöre halkının ifadesine göre, Yeşilova köyünün yaklaşık 1 km DGD'sunda, yaklaşık 10 yıl önce, tarımsal sulama amaçlı 80-100 m derinliğinde açılan bir kuyudan artezyen şeklinde sarımsı renkli, kükürt kokan, yanıcı özellikte gazlı su çıkmıştır (Şekil 14). Herhangi bir amaçla kullanılmayan kuyudan, deprem sonrası su çıkışının biraz arttığı belirtilmektedir. Kuyu



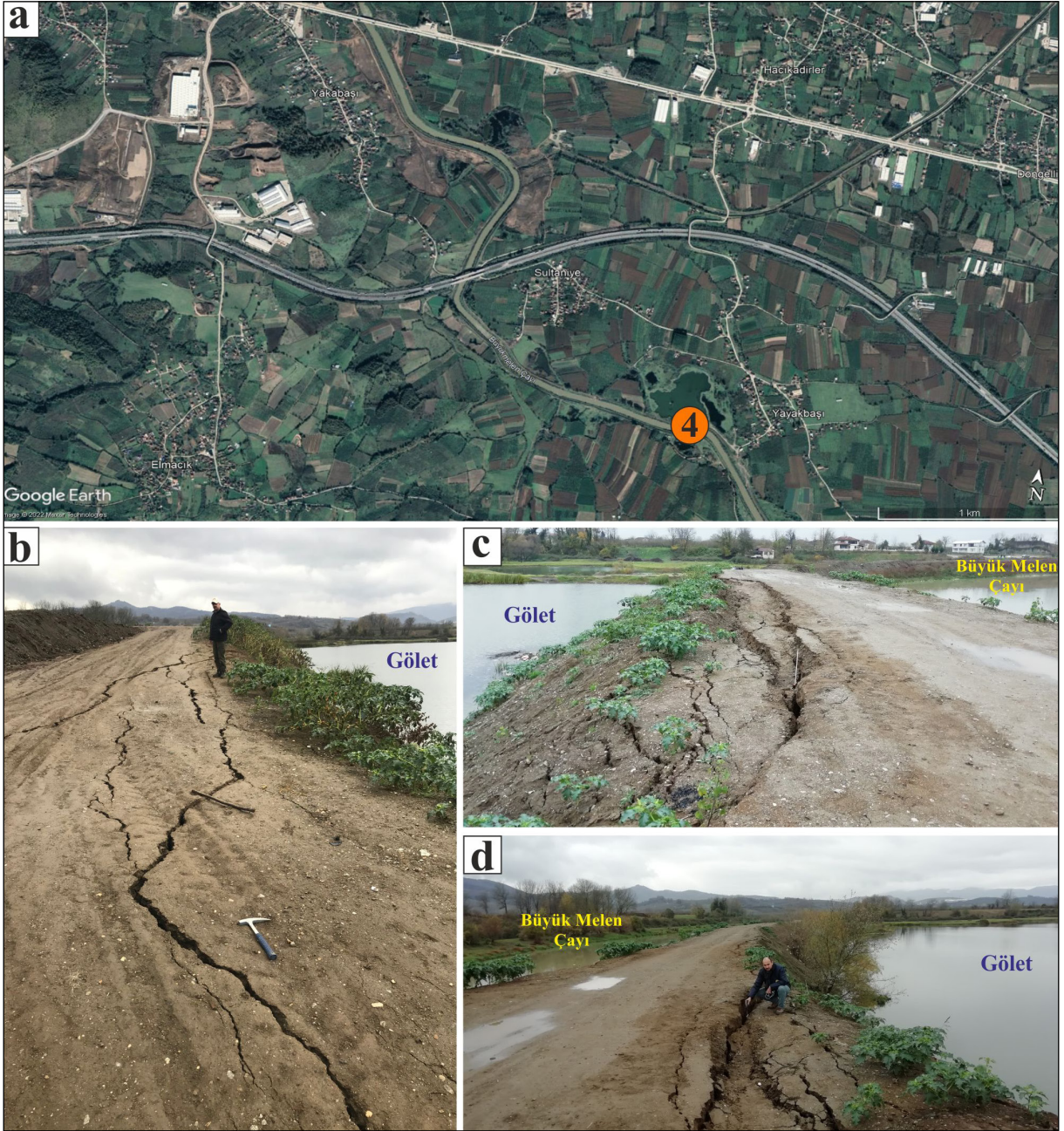
Şekil 9- Sarıdere köyünün 1,9 km kuzeybatısında, Büyük Melen Çayı'nın batı sahili boyunca, stabilize yol üzerinde yanıl yayılmaya bağlı olarak meydana gelen, yaklaşık K-G doğrultulu kılcal çatlakların; a) Google Earth uydü görüntüsü üzerindeki yeri, b) kuzeye doğru genel bakış ve c) yakın plan görünümü.



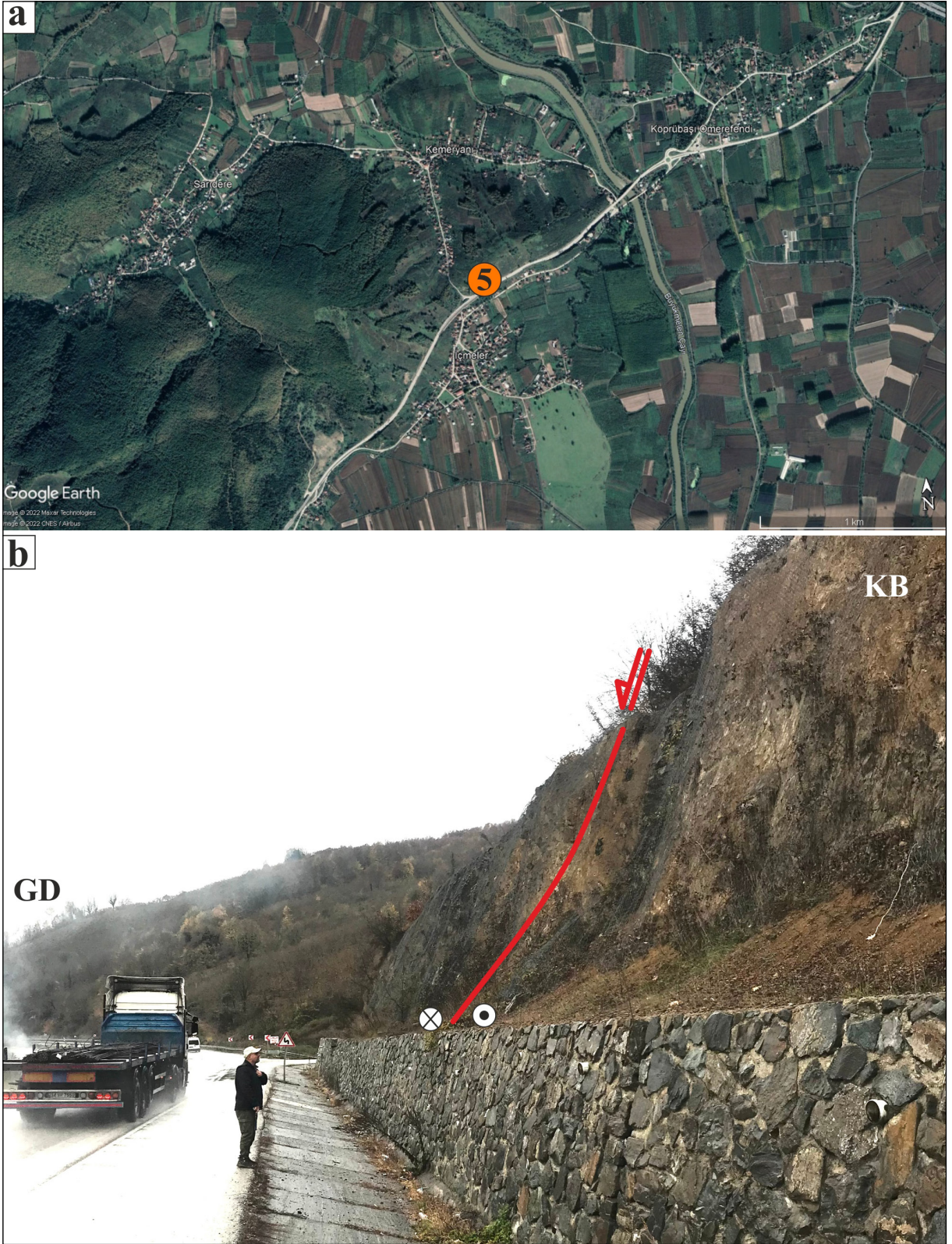
Şekil 10- Yakabaşı köyünün 1,2 km güneydoğusunda, Büyük Melen Çayı'nın batı sahili boyunca, stabilize yol üzerinde yanıl yayılmaya bağlı olarak gelişen, K10°D doğrultulu kılcal çatlakların; a) Google Earth uydü görüntüsü üzerindeki konumu, b) güneye doğru genel bakış ve c) yakın plan görünümü.



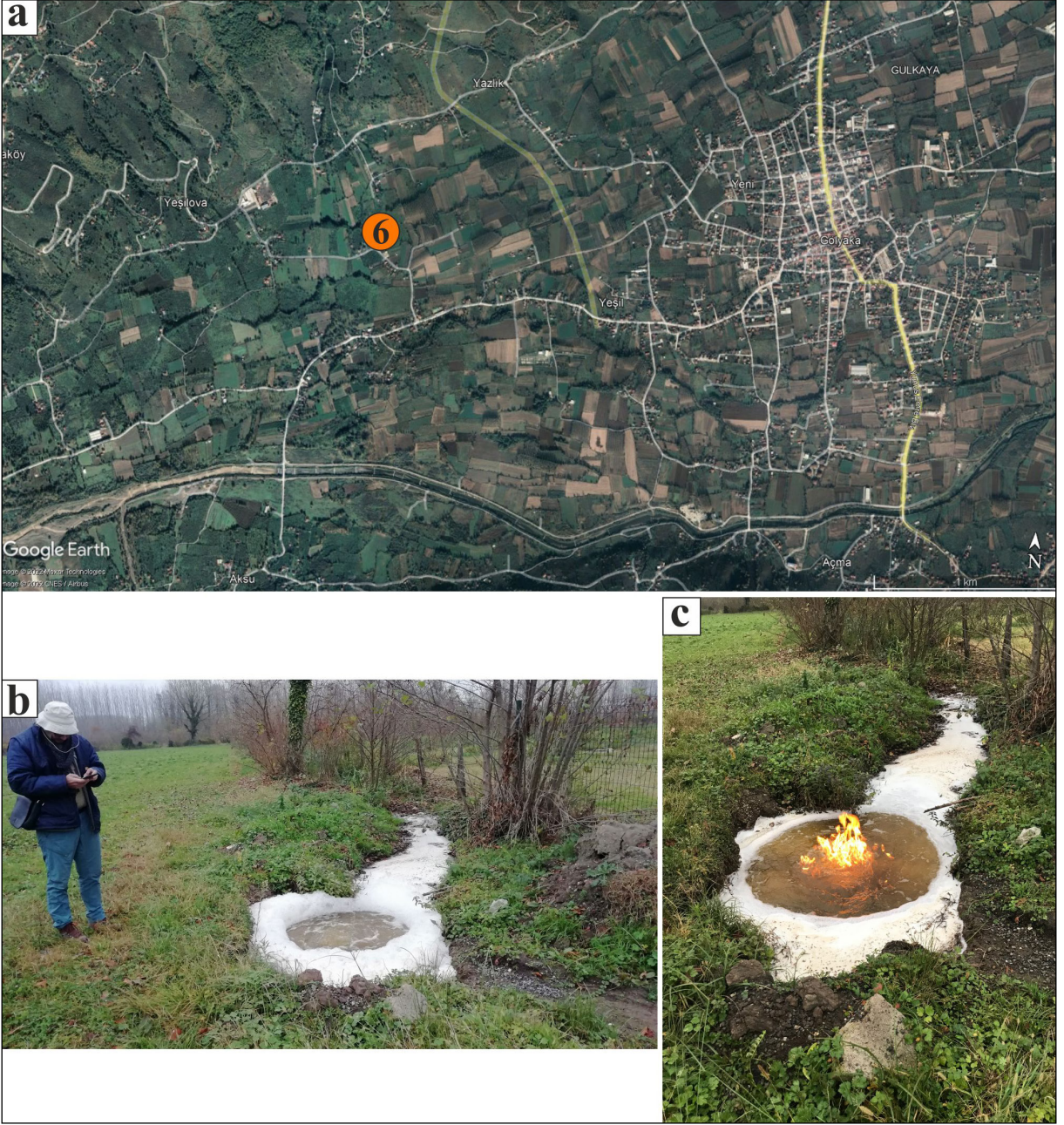
Şekil 11- Yakabaşı köyünün 1,1 km güneydoğusunda, Büyük Melen Çayı'nın batı sahili boyunca, stabilize yol üzerinde yanal yayılmaya bağlı olarak gelişen, K08°D doğrultulu kılcal çatlakların; a) Google Earth uydü görüntüsü üzerindeki konumu, b) kuzeye doğru genel bakış ve c) yakın plan görünümü.



Şekil 12- Yavakbaşı köyünün 550 m batısındaki göletin çevresinde görülen yanal yayılma yapılarının; a) Google Earth uydü görüntüsü üzerindeki konumu, b) batıya doğru genel görünümü, c) doğuya ve d) batıya doğru yakın plan görünümü.



Şekil 13- Düzce-Gölyaka karayolunun Içmeler köyü mevkiinde Eosen yaşlı volkanitleri kesen Karadere Segmenti'nin; a) Google Earth uydü görüntüsü üzerindeki konumu ve b) güneybatı yönünde arazi görünümü.



Şekil 14- Yeşilova (Gölyaka-Düzce) köyünün 1 km DGD'sunda artezyen yapan su ile birlikte yanıcı gaz çıkan kuyunun; a) Google Earth uydu görüntüsü üzerindeki konumu ile b) ve c) doğu yönünde arazi görünümü.

sahibinin yakınlarından edinilen bilgilere göre, gazlı su yakıldığında söndürülene kadar günlerce yanabilme özelliğine sahiptir. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı'na lokasyonla ilgili ihbarda bulunulmuştur. Edinilen bilgiye göre söz konusu yanıcı gazın %100 CH₄ (metan) olduğu bildirilmiştir (Dr. Oktay Çelmen (MTA) ile sözlü görüşme, 2023).

4.3. Yapısal Hasarlar

Yapısal hasar, genel anlamda jeolojik olarak zemin büyütmesine elverişli alanlar üzerine inşa edilen binalarda gözlenmiştir. Tutturulmamış kum, silt ve kil boyu malzemelerden oluşan ve yeraltı su seviyesinin oldukça sığ olduğu bu tür çökellerde, deprem sırasında sıvılaşma, yanal yayılma, zemin

büyütmesi gibi deprem kökenli ikincil deformasyonlar gelişebilmektedir.

23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depreminde, Düzce şehir merkezinde, Gölyaka ve Cumayeri ilçelerinde ve faya yakın yerlerdeki bazı köylerde hafif, orta ve yer yer ağır yapısal hasar meydana gelmiştir. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'ndan yapılan açıklamalara göre, Düzce il merkezi, Gölyaka, Gümüşova ve Cumayeri ilçeleri ile köylerinde toplam 791 yapıda acil yıkılacak ağır hasar tespit edilmiştir. Ayrıca, deprem dış merkez lokasyonuna oldukça yakın olan Sarıdere köyünde ve Karadere Segmenti'ne yakın olan Yeşilova, İçmeler, Kemeryanı, Köprübaşı ve Yayakbaşı köylerinde hafif ve orta dereceli hasar meydana gelmiştir (Şekil 15).



Şekil 15- 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) Depremi'nde meydana gelen yapısal hasarlara ilişkin fotoğraflar. a) Düzce şehir merkezinde ağır hasarlı bir işyeri, b) Düzce Adliyesi'nde meydana gelen yapısal hasar, c) Cumayeri ilçesi (Düzce) Belediye Ek Hizmet Binası'nda meydana gelen yapısal hasar (Kaynak: Anadolu Ajansı, <https://www.aa.com.tr/tr/gundem/duzcedeki-depremdede-cumayeri-ilcesindeki-kamu-binalari-hasar-gordu/2746297>), d) Sarıdere köyü (Gölyaka-Düzce) Cami'sinde meydana gelen yapısal hasar.

23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) Depremi'nde meydana gelen yapısal hasarın en önemli jeolojik nedeni, Düzce şehir merkezinin, deprem dalgalarını büyütme etkisine sahip olan Büyük ve Küçük Melen çaylarının silt, kumlu silt, siltli kum, ince kum ve kilden oluşan akarsu taşkın ovası çökelleri üzerine kurulmuş olmasıdır (Şekil 3). Gölyaka ilçesi ise Geç Pleyistosen-Holosen yelpaze çökelleri üzerinde yer almaktadır. Ayrıca, Gölyaka ilçe merkezi, Karadere Segmenti'ne 1,5 km mesafede yer almaktadır. En genç yelpaze çökelleri, pekişmemiş ve su içeriği yüksek birimler oldukları için deprem dalgalarını büyütme etkisine sahiptir (Bulut Üstün vd., 2019).

Karadere Segmenti'ne yakın köylerdeki yapısal hasarın bir diğer nedeni ise, jeolojik koşullardan çok yapı tarzı ile ilişkilidir. Hasar alan binalar çoğunlukla yığma taş ya da kâgir türde geleneksel yapı stili ile inşa edilmiş binalardır. Düzce, 17 Ağustos 1999 İzmit (Mw 7,4) ve 12 Kasım 1999 Düzce (Mw 7,2) depremlerini yaşamış ve bu nedenle deprem hafızası taze bir şehirdir. 1999 depremlerinde hasar gören ve yıkım kararı alınan binaların yerine yapılan yeni binalarda genel olarak yapı denetimi kurallarına uyulduğu anlaşılmaktadır. Düzce şehir merkezinde binaların çoğunlukla 3-5 katlı ve yatay yapılaşmaya özen gösterilerek inşa edildiği gözlenmiştir.

5. Sonuçlar ve Değerlendirmeler

1. Ulusal ve uluslararası sismoloji merkezleri tarafından yayınlanan ilksel moment tensör çözümlerine göre deprem, baskın olarak doğrudan atım nitelikli bir faydan kaynaklanmıştır.

2. Farklı sismoloji kurumları tarafından sunulan veriler, depremin büyüklüğünün (Mw) 5,9 ile 6,1, derinliğinin ise 6,8 km ile 19 km arasında olduğunu ifade etmektedir.

3. 17 Ağustos 1999 İzmit Depremi sırasında Karadere Segmenti üzerinde ölçülen yer değiştirme değerleri ile son depremin büyüklüğü, artçı şokların dağılımı ve diri fay verisi birlikte değerlendirildiğinde; 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) Depremi'nin, Karadere Segmenti'nin KD ucundaki enerjisini tamamen boşaltamayan yaklaşık 8 km uzunluğundaki kesiminden kaynaklanmış olabileceği sonucuna varılmıştır.

4. Arazi çalışmalarındaki gözlemlerimize göre depremde en yoğun yapısal hasarın Düzce il merkezi, Gölyaka, Cumayeri ve Gümüşova ilçe merkezleri ile Sarıdere, Yeşilova, İçmeler, Kemeryanı, Köprübaşı ve Yayakbaşı köylerinde meydana geldiği değerlendirilmiştir. Arazide ise genel anlamda jeolojik olarak zemin büyütmesine elverişli zeminlerde yanal yayılma kaynaklı yüzey deformasyonları gözlenmiştir.

5. Sağlık Bakanlığı, depremde 2 kişinin hayatını kaybettiğini, Düzce'de 37, Sakarya'da 26, Bolu'da 14, Zonguldak'ta 10, Bursa'da 4 ve İstanbul'da 2 kişi olmak üzere toplam 93 kişinin ise yaralandığını bildirmiştir.

6. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, deprem sonrasında gerçekleştirilen hasar tespit çalışmaları sonrasında, Düzce genelinde acil yıkılacak ağır hasarlı 791 yapının belirlendiğini açıklamıştır.

Katkı Belirtme

Depremden hemen sonra, bu çalışmanın gerçekleştirilmesine olanak sağlayan Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı'na, çalışma süresince sağlamış oldukları arazi aracı desteği nedeniyle Maden Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı'na, lojistik destek nedeniyle Çevre Araştırmaları Dairesi Başkanlığı bünyesinde yürütülen "MAPEG Adına Düzce İli Agregat Kaynak Planlama" Projesi Başkanı Serkan Palas ile proje personeline ve makalenin değerlendirilmesinde çok değerli öneri ve eleştirileriyle katkı sağlayan hakemlere teşekkür ederiz.

Değinilen Belgeler

AFAD, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem ve Risk Azaltma Genel Müdürlüğü, <https://deprem.afad.gov.tr/event-detail/0;eaEventId=536492> (erişim tarihi: 26.05.2023).

Aksay, A., Pehlivan, Ş., Gedik, İ., Bilginer, E., Duru, M., Akbaş, B., Altun, İ. 2002. 1:500.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Zonguldak Paftası. Türkiye 1/500.000 Ölçekli Jeoloji Haritaları, No: 2. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

Akyüz, H. S., Hartleb, R., Barka, A., Altunel, E., Sunal, G., Meyer, B., Armijo, R. 2002. Surface Rupture and

- Slip Distribution of the 12 November 1999 Düzce Earthquake (M 7.1), North Anatolian Fault, Bolu, Turkey. *Bulletin of the Seismological Society of America* 92, 1, 61–66.
- Anadolu Ajansı, <https://www.aa.com.tr/> (erişim tarihi: 26.05.2023)
- Armijo, R., Meyer, B., Hubert-Ferrari, A., Barka, A. 1999. Westward propagation of North Anatolian Fault into the Northern Aegean: timing and kinematics. *Geology* 27, 267-270.
- Awata, Y., Yoshioka, T., Emre, Ö., Duman, T. Y., Doğan, A., Tsukuda, E., Okamura, M., Matsuoka, H., Kuşçu, İ. 2003. 1999 İzmit depremi yüzey kırığının genel özellikleri. 17 Ağustos 1999 İzmit Depremi Yüzey Kırığı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi: 1, 11-21, Ankara.
- Barka, A. A. 1992. The North Anatolian Fault. *Annales Tectonicae* 6, 174-195.
- Barka, A. A. 1997. Neotectonics of the MARMARA Region in active tectonics of northwest Anatolia. The Marmara Poly-Project, Hochschul-verlag AG an der ETH, Zürich, 55-87.
- Barka, A. A., Kadinsky-Cade, K. 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics* 7, 663-684.
- Bulut Üstün, A., Özata, A., Özerk, O. C., Osmançelebioğlu, R., Esirtgen, T., Kazancı, N., Gürbüz, A. 2019. 1/250.000 Ölçekli Türkiye Sıvılaşmaya Yatkınlık Haritaları Adapazarı (NK 36-13) Ereğli (NK 36-9) Zonguldak (NK 36-10) Bolu (NK 36-14) Paftaları. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Türkiye Sıvılaşmaya Yatkınlık Haritaları Serisi-1, Ankara.
- Dewey, J. F., Hempton, M. R., Kidd, W. S. F., Şaroğlu, F., Şengör, A. M. C. 1986. Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of eastern Anatolia: a young collision zone. *Collision Tectonics*. Geological Society London Special Publications, 19, 3–36.
- Duman, T. Y., Awata, Y., Yoshioka, T., Emre, Ö., Doğan, A., Özalp, S. 2003. 1999 İzmit depremi yüzey kırığının ayrıntılı haritaları ve envanter bilgisi. 17 Ağustos 1999 İzmit Depremi Yüzey Kırığı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi: 1, 23-28, Ankara.
- Duman, T.Y., Emre, Ö., Doğan, A., Özalp, S. 2005. Step-Over and Bend Structures along the 1999 Duzce Earthquake Surface Rupture, North Anatolian Fault, Turkey. *Bulletin of the Seismological Society of America* 95, 4, 1250–1262.
- Duman, T. Y., Emre, Ö., Özalp, S., Doğan, A. 2014. 12 Kasım 1999 Düzce Depremi yüzey kırığı. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-31, 209s., Ankara.
- Emre, Ö., Awata, Y. 2003. Doğu Marmara bölgesinde Kuzey Anadolu Fay Sistemi'nin neotektonik özellikleri. 17 Ağustos 1999 İzmit Depremi Yüzey Kırığı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi: 1, 1-9, Ankara.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Keçer, M., Ateş, Ş., Erkal, T., Doğan, A., Durmaz, S., Karakaya, F., Osmançelebioğlu, R., Varol, B., Kazancı, N., Gökten, E., Kılıç, R., Çemen, İ., Kayabalı, K., Alçıçek, C., Sözeri, K., İleri, Ö., Koçbay, A., Bilgehan, R.P., Kırman, E., Ulaş, K. 1999. 17 Ağustos 1999 Depremi sonrası Düzce (Bolu) İlçesi Alternatif Yerleşim Alanlarının Jeolojik İncelemesi. MTA Genel Müdürlüğü-Ankara Üniversitesi-TÜBİTAK Ortak Araştırma Proje Raporu, 59 s., Ankara.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Awata, Y., Doğan, A., Özalp, S. 2000. Surface Ruptures of November 12 1999 Düzce Earthquake, NW Turkey. XXVII General Assembly of the European Seismological Commission (ESC-2000), Book of Abstracts and Papers, 10-15 September 2000, 247-252, Lisbon, Portugal.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F. 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara-Türkiye.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H., Çan, T. 2018. Active fault database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering* 16 (8), 3229-3275.
- EMSC, European-Mediterranean Seismological Centre, <https://static2.emsc.eu/Images/EVID/119/1191/1191966/1191966.MT.jpg>
- GFZ, German Research Center for Geosciences, <http://geofon.gfz-potsdam.de/eqinfo/event.php?id=gfz2022wxsg> (erişim tarihi: 26.05.2023).
- Hartleb, R. D., Dolan, J. F., Akyüz, H. S., Dawson, T. E., Tucker, A. Z., Yerli, B., Rockwell, T. K., Toraman, E., Çakır, Z., Dikbaş, A., Altunel, E. 2002. Surface Rupture and Slip Distribution along the Karadere Segment of the 17 August 1999 İzmit and the Western Section of the 12 November 1999 Düzce, Turkey, Earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America* 92, 1, 67–78.

- Jackson, J., McKenzie, D. 1984. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt between western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 77, 185-264.
- Kadirioğlu, F. T., Kartal, R. F., Kılıç, T., Kalafat, D., Duman, T. Y., Eroğlu Azak, T., Özalp, S., Emre, Ö. 2017. Türkiye ve yakın çevresi için geliştirilmiş aletsel dönem (1900 - 2012) deprem Kataloğu ($M \geq 4,0$). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-34, 59-83, Ankara-Türkiye.
- KRDAE, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/wp-content/uploads/2022/11/20221123_0108_GOLYAKA_DUZCE_V5.pdf (erişim tarihi: 26.05.2023).
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksoz, M. N., Veis, G. 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research* 105, B3, 5695-5719.
- McKenzie, D. P. 1978. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. *Geophysical Journal of the Royal Astronomic Society* 55, 217-254.
- Okay, A. İ. 1989. Tectonic units and sutures in the Pontides, northern Turkey. Tectonic evolution of the Tetyhan Region, Dordrecht/Boston/London, Kluwer Academic Publishers, 109-116.
- Reilinger, R. E., Ergintav, S., Bürgman, R., McClusky, S., Lenk, O., Barka, A., Gürkan, O., Hearn, L., Feigl, K. L., Çakmak, R., Aktuğ B., Özener, H., Toksöz, M. N. 2000. Coseismic and postseismic fault slip for the 17 August 1999, $M = 7.4$ İzmit, Turkey earthquake. *Science* 289, 1519-1524.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrotsa, A., Filikov, S. V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., Karam, G. 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research*, 111, B05411.
- Sert, S., Bol, E., Özocak, A. 2018. Sıvılaşma ve yanal yayılmanın coğrafi bilgi sistemleri ile değerlendirilmesi. 2nd International Symposium on Natural Hazards and Disaster Management, Sakarya Üniversitesi Kültür ve Kongre Merkezi, 4 - 6 Mayıs 2018, Sakarya, 943 - 954.
- Şengör, A. M. C. 1980. Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları. TJK Konferans Serisi: 2.
- Şengör, A. M. C., Yılmaz, Y. 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach: *Tectonophysics* 75, 181-241.
- Şengör, A. M. C., Görür, N., Şaroğlu, F. 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. *Strike-slip Faulting and Basin Formation, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists* 37, 227-264.
- Tan, O., Tapırdamaz, M. C., Yörük, A. 2008. The earthquake catalogues for Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences* 17, 405-418.
- USGS, United States Geological Survey, <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000irp8/executive> (erişim tarihi: 26.05.2023).
- Wells, D., Coppersmith, K. 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America* 84, 974-1002.
- Yılmaz, Y., Gözübol, A. M., Tüysüz, O. 1982. Geology of an area around the Northern Anatolian Transform Fault Zone between Bolu and Akyazı. *Multidisciplinary Approach to Earthquake Prediction, Proceedings of International Symposium On Earthquake Prediction in the North Anatolian Fault Zone*, Wieweg, Braunschweig 45-67.
- Yılmaz, Y., Genç, Ş. C., Yiğitbaş, E., Bozcu, M., Yılmaz, K. 1995. Geological evolution of the Late Mesozoic continental margin of the northwestern Anatolia. *Tectonophysics* 243, 155-171.

