

# 23 Kasım 2022

## M<sub>w</sub>5.9 Gölyaka-Düzce Depremi

### Ön Gözlem ve Değerlendirme Raporu



#### HAZIRLAYAN KURUM

Dokuz Eylül Üniversitesi (DEÜ)  
Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi (DAUM)

<https://daum.deu.edu.tr>

Ocak 2023

İZMİR

## RAPORA KATKI KOYANLAR

Prof. Dr. Hasan SÖZBİLİR (DEÜ-Jeoloji Mühendisliği Bölümü)  
Doç.Dr. Mehmet UTKU (DEÜ-Jeofizik Mühendisliği Bölümü)  
Prof.Dr. Oya ANKAYA (DEÜ-Jeofizik Mühendisliği Bölümü)  
Doç. Dr. Ayça ÇIRMIK (DEÜ-Jeofizik Mühendisliği Bölümü)  
Öğr.Gör. Dr. Özkan Cevdet ÖZDAĞ (DEÜ-Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi)  
Araş.Gör.Dr. Mustafa SOFTA (DEÜ-Jeoloji Mühendisliği Bölümü)  
Öğr.Gör. Semih ESKİ (DEÜ-Jeoloji Mühendisliği Bölümü)  
Dr. Öğr. Üyesi Hüsnü ERONAT (DEÜ-Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü)  
Hüseyin YAŞAR (DEÜ-Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı Öğrencisi)  
Prof.Dr. Gürkan ÖZDEN (DEÜ-İnşaat Mühendisliği Bölümü)  
Okan TATAR (DEÜ-İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğrencisi)  
Dr. Recep ÇAKIR (Olympia, WA, USA, Sismolog)  
Ahmet DEMİR ve Gökhan ARSLAN (AFAD -Deprem ve Risk Azaltma Genel Müdürlüğü)  
Özkan AKSOY (AFAD-Düzce İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü)

### Atıf için kullanılacak referans:

Sözbilir, H., Utku, M., Ankaya, O., Çırmık, A., Özdağ, Ö.C., Softa, M., Eski, S., Eronat, A.H., Yaşar, H., Özden G., Tatar, O., Çakır, R., Demir, A., Arslan, G., Aksoy, Ö. (2023). 23 Kasım 2022 Mw5.9 Gölyaka-Düzce Depremi Ön Gözlem ve Değerlendirme Raporu, 27 sayfa. Dokuz Eylül Üniversitesi (DEÜ), Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi (DAUM), İzmir.

### **TEŞEKKÜR**

*Bu çalışma; Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Deprem ve Risk Azaltma Genel Müdürlüğü'nün sağladığı olanaklarla gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda AFAD Başkanı Sayın Vali Yunus SEZER ve Deprem ve Risk Azaltma Genel Müdürü Sayın Prof.Dr. Orhan TATAR'a destekleri nedeniyle teşekkür ederiz.*

**İletişim için:** Hasan SÖZBİLİR: [hasan.sozbilir@deu.edu.tr](mailto:hasan.sozbilir@deu.edu.tr) - DEÜ-DAUM Müdürü

## İÇİNDEKİLER

<b>RAPORA KATKI KOYANLAR</b> .....	2
<b>KISALTMALAR</b> .....	4
<b>1. GİRİŞ</b> .....	5
<b>2. SİSMOLOJİK ÇALIŞMALAR</b> .....	7
<b>2.1. KAYNAK MEKANİZMA (Faylanma Hareketi) ÇÖZÜMLERİ</b> .....	7
<b>2.2. COULOMB GERİLME BOŞALIMI</b> .....	9
<b>2.3. İVME VERİLERİ</b> .....	10
<b>3. YEREL ZEMİN KOŞULLARI</b> .....	12
<b>4. UZAKTAN ALGILAMA (InSAR ANALİZİ)</b> .....	17
<b>5. SAHA GÖZLEMLERİ</b> .....	18
<b>6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER</b> .....	23
<b>KAYNAKLAR</b> .....	25
<b>EK-1. DEÜ-DAUM Batı Anadolu moment tensör kataloglama ve Deprem Bilgi Sistemi test sayfası.</b> 26	
<b>EK-2. Mw5.9 23.11.2022 Gölyaka-Düzce Depreminin Test Aşamasındaki Sanal Deprem Bilgi Destek Odası (Virtual Earthquake Clearinghouse)</b> .....	27



## KISALTMALAR

- DEU-DAUM – Dokuz Eylül Üniversitesi-Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi  
DEU-ERC – Dokuz Eylül University-Earthquake Research Center  
AFAD – T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı  
AFAD-TADAS– T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Türkiye İvme Veri Tabanı ve Analiz Sistemi  
KOERI – Boğaziçi University-Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute  
KRDAE – Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü  
NOA – National Observatory of Athens  
GFZ – GeoForschungsZentrum (German Research Centre for Geosciences)  
ORC – GéoAzur, Université de Nice Sophia-Antipolis, Valbonne  
USGS – United States Geological Survey  
INVG – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (National Institute of Geophysics and Volcanology)  
EMSC – Euro-Mediterranean Seismological Center  
EIDA – Avrupa Birleşik Veri Arşivi (European Integrated Data Archive).



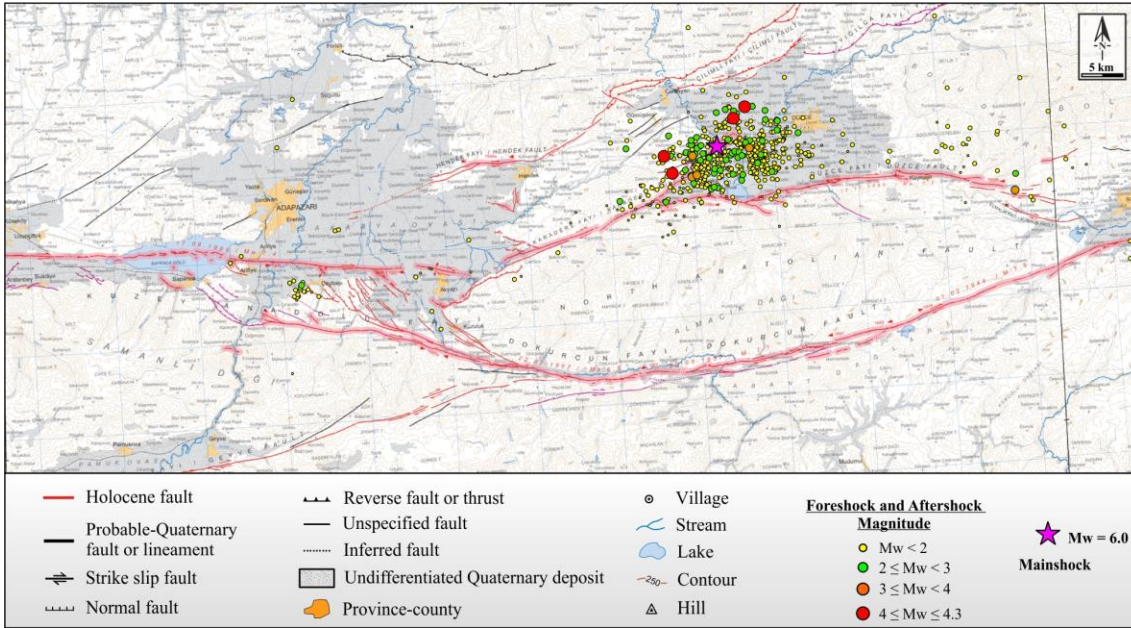
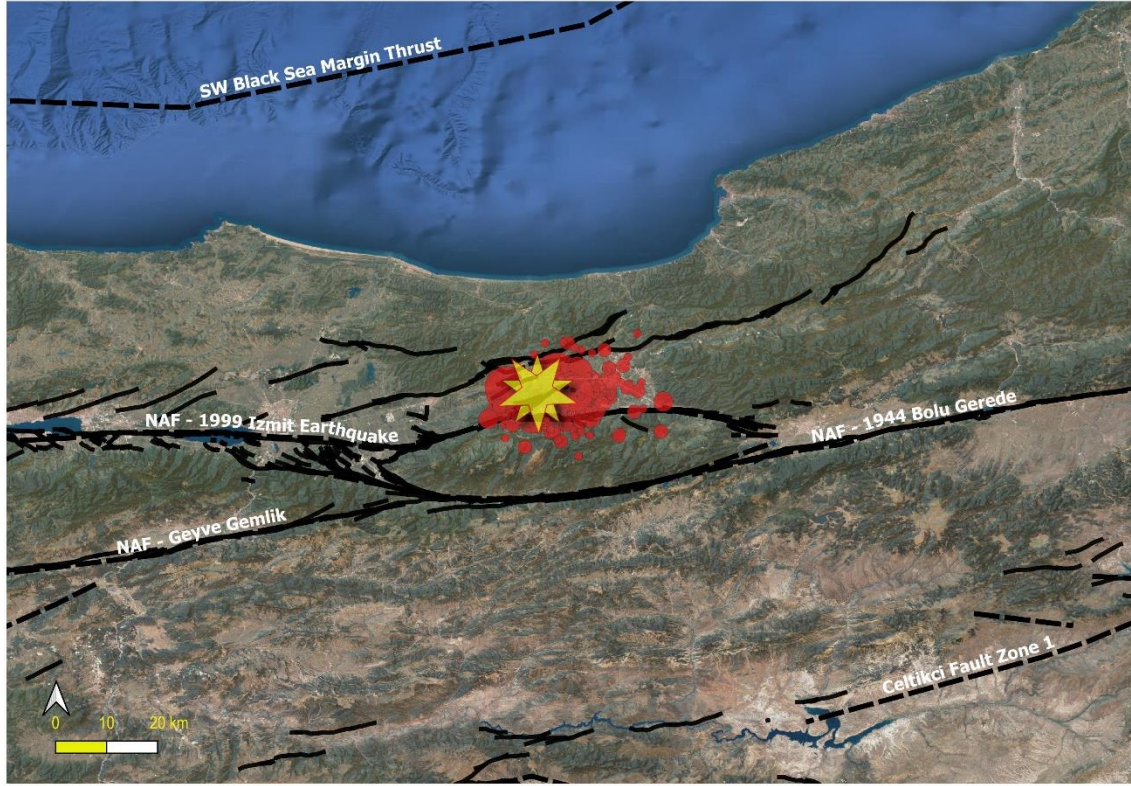
## 1. GİRİŞ

23 Kasım 2022 tarihinde yerel saatle 04:08:15'de Gölyaka-Düzce 40.823°K ve 31.025°D merkez üssünden 6.8 km derinde 5.9 ( $M_w$ ) büyüklüğünde (VIII şiddetinde; AFAD, USGS) hasar yapıcı bir deprem meydana gelmiştir. Bu deprem 791 binanın ağır hasar görmesine ve 2 kişinin panik nedeniyle ölümüne ve 93 kişinin yaralanmasına neden olmuştur. Depremin 1999 Kocaeli ve Düzce Depremlerine neden olan sismik kaynaklar ile 1944 Bolu-Gerede depremine neden olan fay arasındaki bölgede oluşması dikkat çekicidir (Şekil 1).

Dokuz Eylül Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi (DEÜ-DAUM) ve AFAD yetkilileriyle birlikte bölgede deprem hemen sonrası yerinde incelemelerde bulunulmuştur. Depreme ait veriler [lokasyon, büyüklük, derinlik, sayısal deprem kayıtları (sismogramlar)], KRDAE-Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, AFAD-Deprem Dairesi Başkanlığı ile uluslararası sismoloji ajanslarının (EMSC, NOA, ORFEUS-EIDA, IRIS) verileri kullanılarak elde edilmiş ve DEÜ-DAUM tarafından yapılmış olan fay mekanizma çözümü diğer veri merkezleriyle karşılaştırmalı olarak bu raporda verilmiştir.

Arazi çalışmaları sırasında deprem sırasında ve hemen sonrasında gelişmiş yüzey deformasyonları yerinde incelenmiş ve drone çekimleri yapılarak kayıt altına alınmıştır. Bunun yanında Düzce Şehir Merkezi ve yakın çevresinde depremi kaydeden kuvvetli yer hareketi (KYH) istasyonlarının altında bulunan zeminin modellenmesi amacıyla tek istasyon titreşimcik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda 8101, 8102, 8104, 8105, 8107 ve 8109 kodlu KYH istasyonlarında Guralp Systems CMG-6TD sismometrelerle süresi 45-65 dk aralığında değişen genişbant titreşimcik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Arazide elde edilen veriler ve bu verilerin yorumu izleyen bölümlerde verilmiştir.

Düzce kenti morfolojik anlamda temel kayalardan uzak (en yakını 5 km.) güneybatıya doğru 0.5-3 derecelik eğime sahip ovaya yerleşmiştir. Kent yerleşimi Holosen yaşlı akarsu, kanal ve taşkın ovası çökel alanları üzerinde bulunmakta ve genişlemektedir. Üzerinde yerleştiği litoloji büyük ölçüde silt ve kil, daha az oranda kum ve çakıllardan oluşur. Buralarda yüzeyden itibaren su tablası derinliği 2.5-3.5 arasındadır ve güneye doğru gittikçe sığlaşır (<http://www.duzce.gov.tr/jeolojik-yapi>).



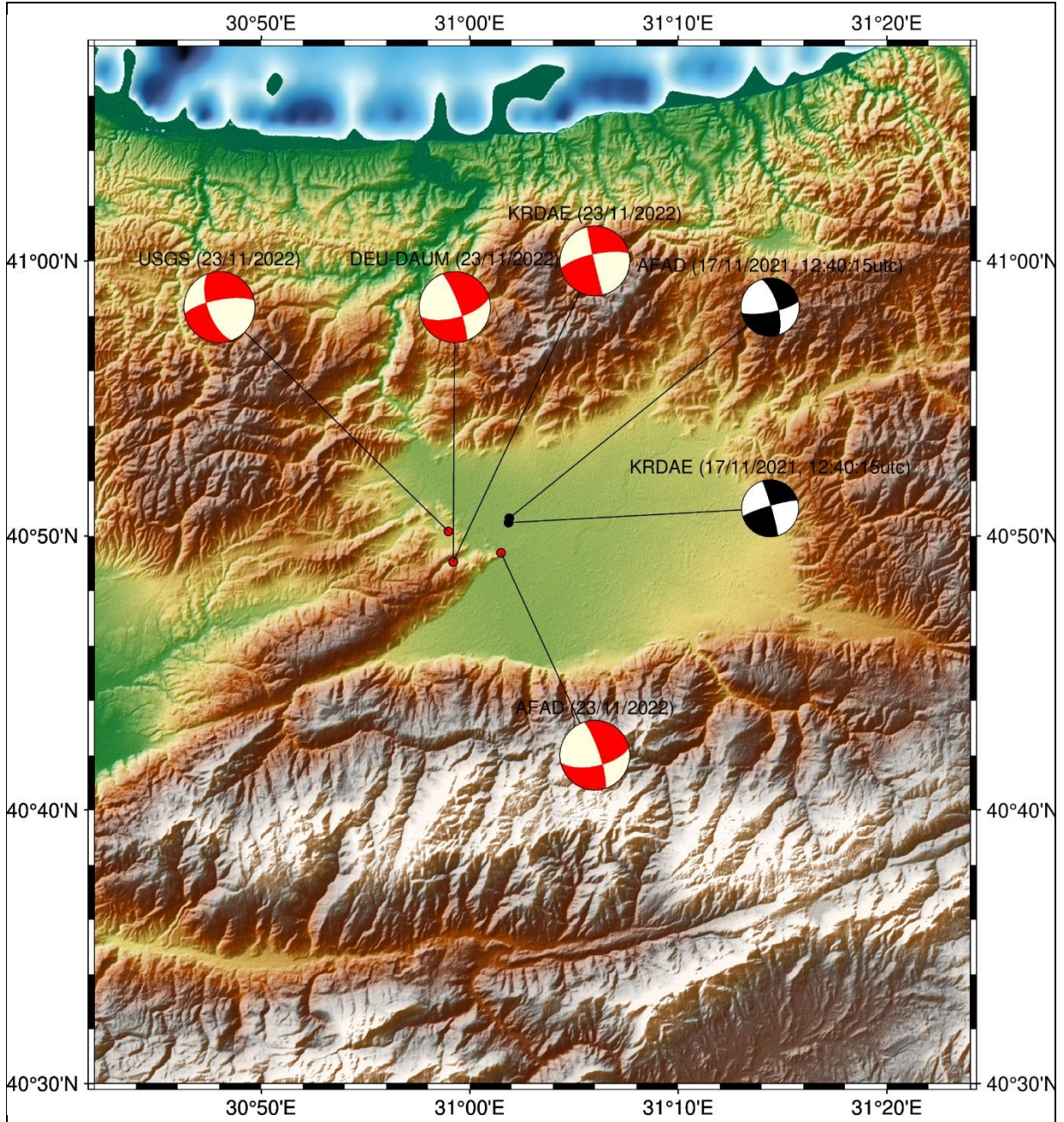
Şekil 1. 23/11/2022 (04:08:15TS Mw5.9) ana şoku (sarı yıldız) ve 24 Kasım–4 Aralık, 2022 aralığındaki artçı (kırmızı daireler) depremlerin dağılımı, ve bunları çevreleyen genelleştirilmiş aktif fay ve fay zonları [siyah çizgiler; <http://www.share-eu.org/> ve aktif fayları Emre vd. (2011)'den uyarlanmıştır].

## 2. SİSMOLOJİK ÇALIŞMALAR

### 2.1. KAYNAK MEKANİZMA (Faylanma Hareketi) ÇÖZÜMLERİ

DEU-DAUM bölgesel moment tensör (MT) çözümü (Herrmann, 2013), en iyi dalga biçimi ters çözümünden elde edilen çift-kuvvet makaslama (Double-Couple, DC) fay yönelim parametreleri Şekil 2’de verilmiştir. Bu analize göre: Sismik moment ( $M_0$ ),  $1.91 \times 10^{25}$  dyne-cm; en iyi DC çözümü veren moment büyüklüğü ( $M_w$ ), 6.1’dir. Düğüm düzlemleri NP1\_ ve NP2\_(doğrultu, eğim, kayma açısı), derece cinsinden: NP1\_(340, 80, -25) ve NP2\_(75, 65, -169) şeklinde kestirilmiştir. Burada tüm organizasyonlar tarafında verilen çözümlerin DEU-ERC (DEU-DAUM) tarafından hazırlanan MT çözümüyle uyumluluğu görülmektedir. Buradaki baskın faylanma (kırık) mekanizması, sağ yanal faylanma mekanizmasıdır. Burada faylanmanın eğim yönü yüksek olasılıkla 45 derece güneye doğrudur. DEU-ERC (DEU-DAUM) moment tensör çözümü, ayrıca özet olarak <https://daum.deu.edu.tr/wp-content/uploads/2022/11/20221123010814.txt> URL adresinden indirilebilir.

Şekil 1 ve 2’deki sismolojik veriler birlikte değerlendirildiğinde, düzce depremine neden olan sismik kaynağın Karadere Fayı’nın KD-ucundaki fay segmenti olduğu sonucuna varılmıştır (Özalp ve Kürçer, 2022). Bu deprem 17 Ağustos 1999-Kocaeli ve 12 Kasım 1999 Düzce depremlerinden sonra 23 yıldır biriken enerjinin bir kısmını karşılayan bir deprem olarak değerlendirilebilir. Adapazarı ile Düzce arasında son 100 yılda kırılmamış olan Hendek Fayı, Çilimli ve Yığılca Fayı gibi fayların bulunması, bu bölgenin sismik tehlike ve risk açısından yeniden değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bunun yanında Düzce Havzası’nın doğrultu atımlı faylar arasında kalan bir çek-ayır havzası niteliğinde olması, jeolojik evrim gereğince, gelecekte Karadere Fayı ile Yığılca Fayı’nın birleşerek Düzce kenti için önemli bir sismik tehlike ve risk boyutuna ulaşma olasılığının test edilmesi yerinde olacaktır. Bu bağlamda, havzanın jeolojik modelleme çalışmaları kapsamında incelenmesi ve havza taban topoğrafyası ile faylanma mekanizmasının ortaya çıkarılması amacıyla sismik yansıma ve MT gibi jeofizik yöntemlerin uygulanması önerilmektedir.

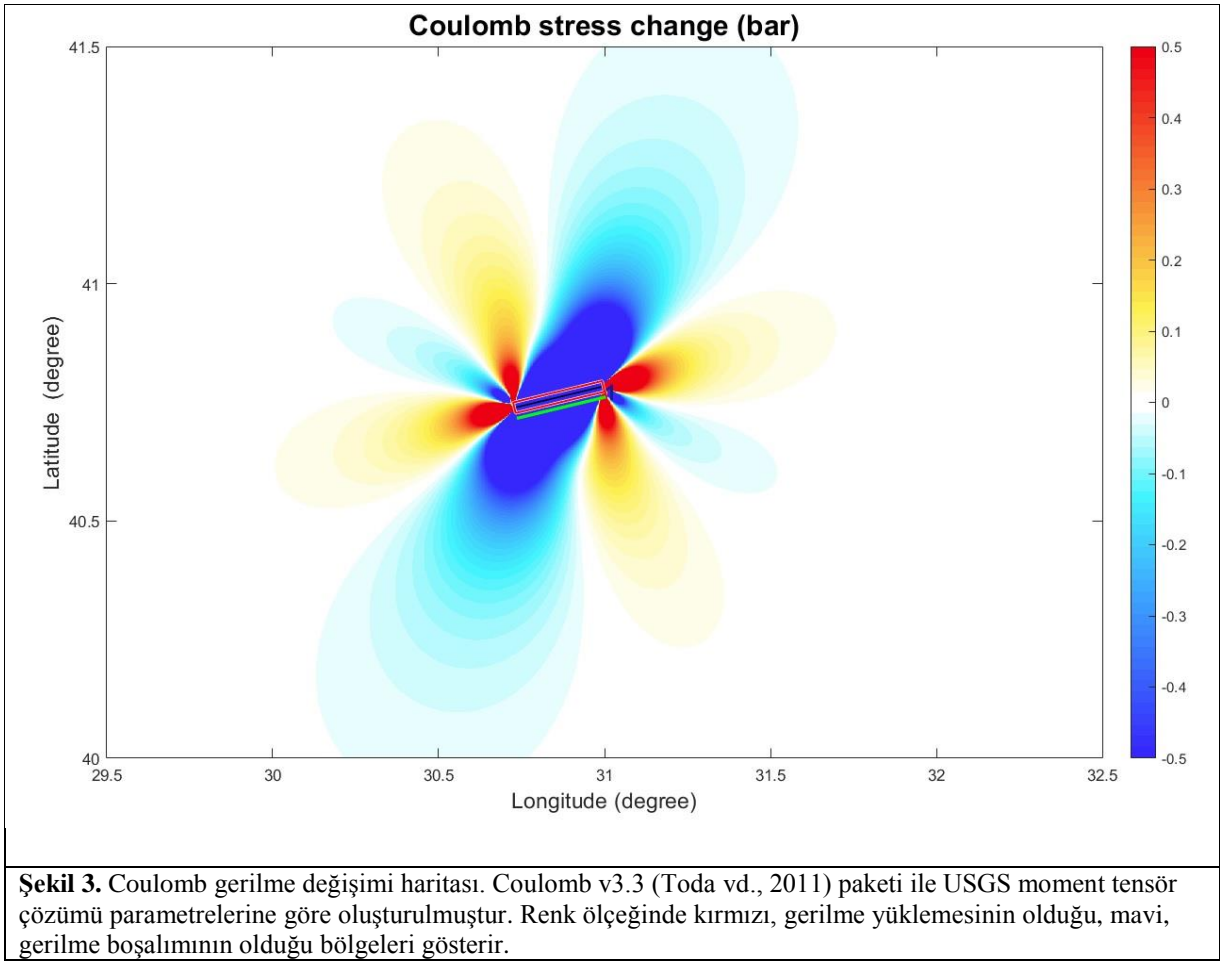


**Şekil 2.** Mw5.9 23/11/2022 depremi (kırmızı) ve Mw5.0 17/11/2021 depremi (siyah) DEÜ-DAUM moment tensör kaynak mekanizma çözümleri; diğer ulusal ve uluslararası sismoloji veri merkezlerinin hızlı MT çözümleri ile karşılaştırılmış olarak hazırlanmış kaynak mekanizma diyagramları haritası.



## 2.2. COULOMB GERİLME ANALİZİ

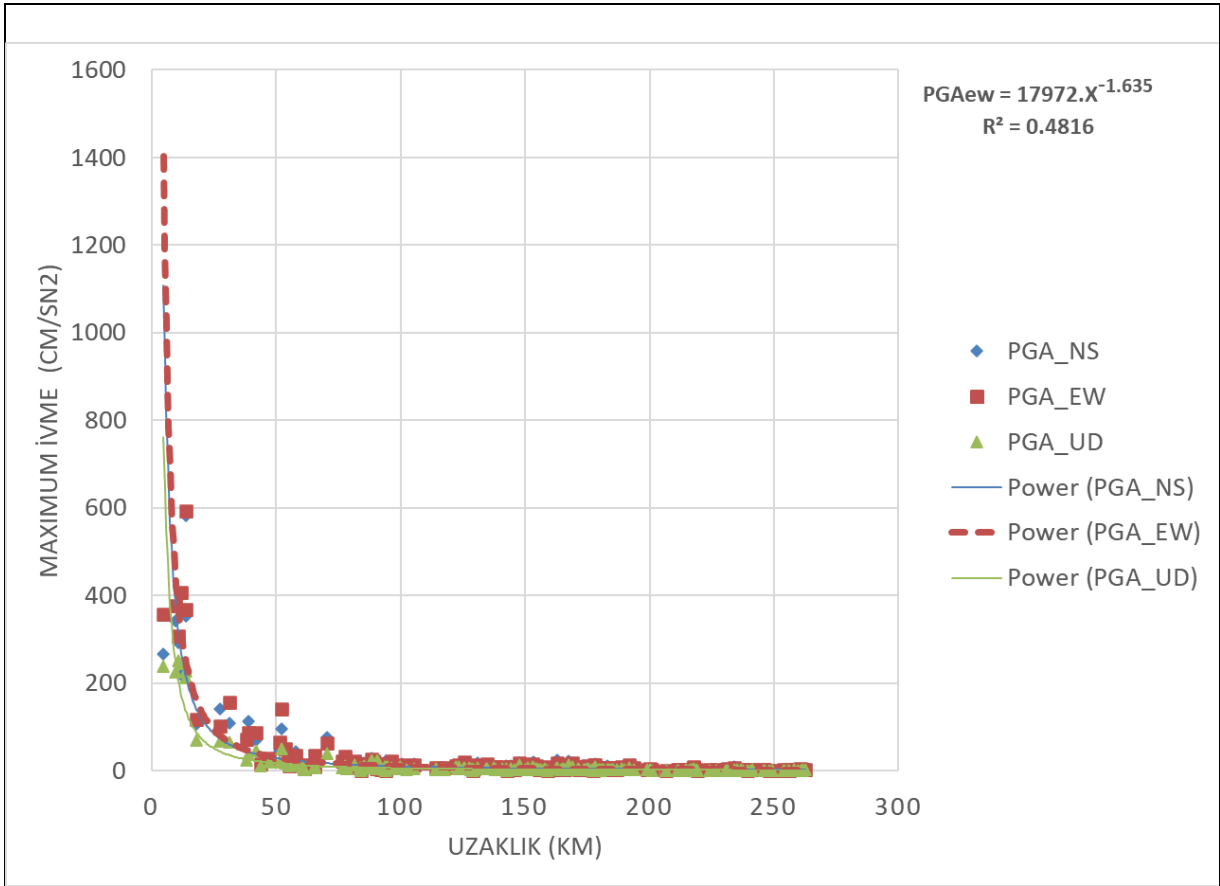
Mw5.9 ana şok USGS (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000irp8/moment-tensor>) fay düzlemi çözümü kullanılarak, Coulomb gerilme değişimi DEÜ-DAUM araştırmacıları tarafından haritalanmıştır (Şekil 3). Deprem, KAFZ'deki Karadere fayının (Görgün vd., 2010) kuzeydoğu ucunda meydana gelmiştir ve Coulomb gerilme değişimi hesaplamasında, bu fay göz önüne alınmıştır (Şekil 3). Hesaplamalarda, Coulomb 3.3 (Toda vd., 2011) paketi kullanılarak, bir ön çalışma olarak yapılmıştır. Şekil-3'den de görüldüğü gibi fay izinin doğu ve batı uçlarında gerilme aktarımı vardır ve artçı şokların bu gerilmenin aktarıldığı yönlerde gelişmesi beklenmektedir.



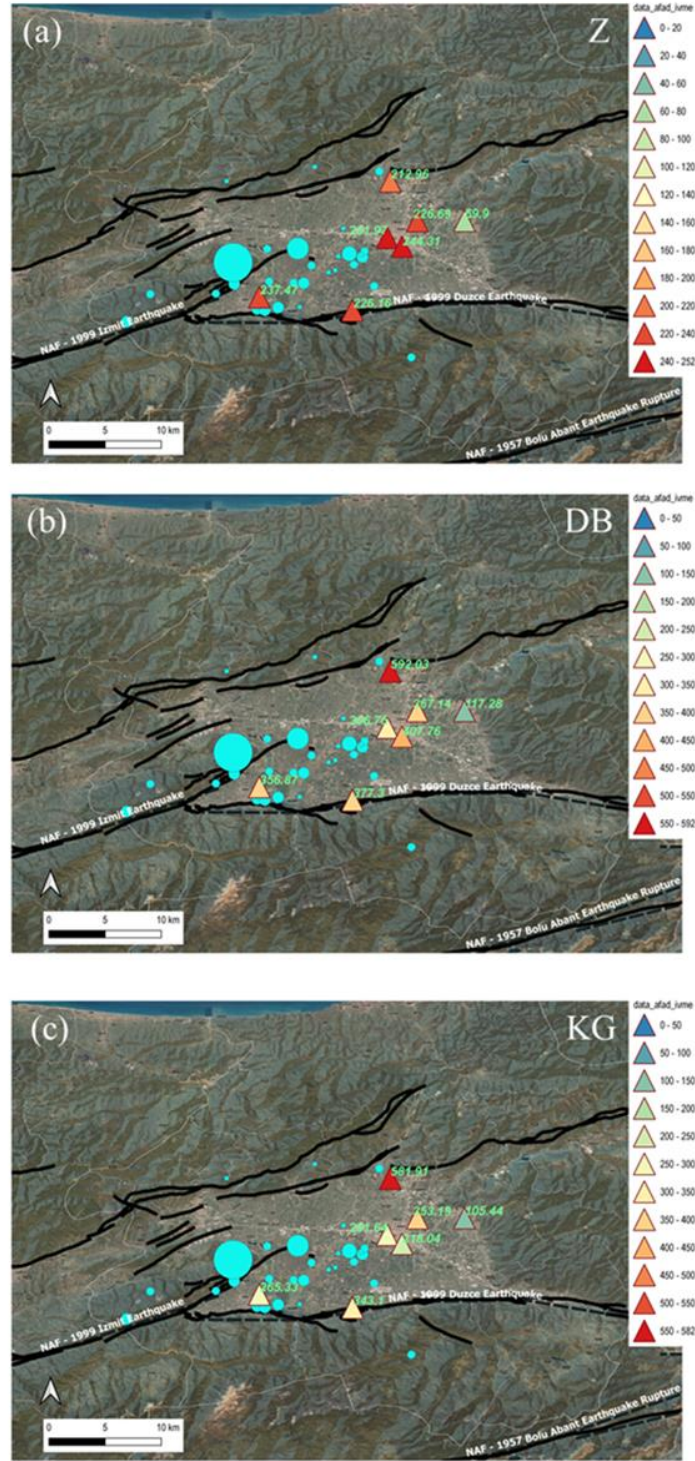
### 2.3. İVME VERİLERİ

Bu depremin Düzce ve civarındaki havzada oluşturduğu yerel yer hareketi, AFAD kuvvetli yer hareketi istasyonlarında kaydedilen maksimum ivme değerlerinin uzaklıkla değişimi (ivme azalım grafiği), Şekil 4'te verilmiştir.

Şekil 5, deprem sırasında oluşan maksimum ivme değerlerini göstermektedir. Düzce ve civarındaki AFAD ivme istasyonlarında kaydedilen maksimum ivmelere göre en yüksek ivme değeri, 592 cm/sn<sup>2</sup> (~0.6g) olarak kaydedilen DB (doğu-batı) bileşenindedir (Şekil 5b). Maksimum şiddet (intensity), yaklaşık 8 civarında olup, depremin merkez üssü civarındaki yerleşim alanlarını etkilediği görülmektedir.



**Şekil 4.** Mw5.9 depremi için maksimum ivmelerin uzaklıkla değişimi. İvme verisi, AFAD (<https://tadas.afad.gov.tr/>). PGA, maksimum yer ivmesi; NS, yer ivmesinin kuzey-güney bileşeni; EW, doğu-batı bileşeni; UD, düşey bileşenidir. Kesik çizgiler, ortalama davranış eğrilerini gösterir.

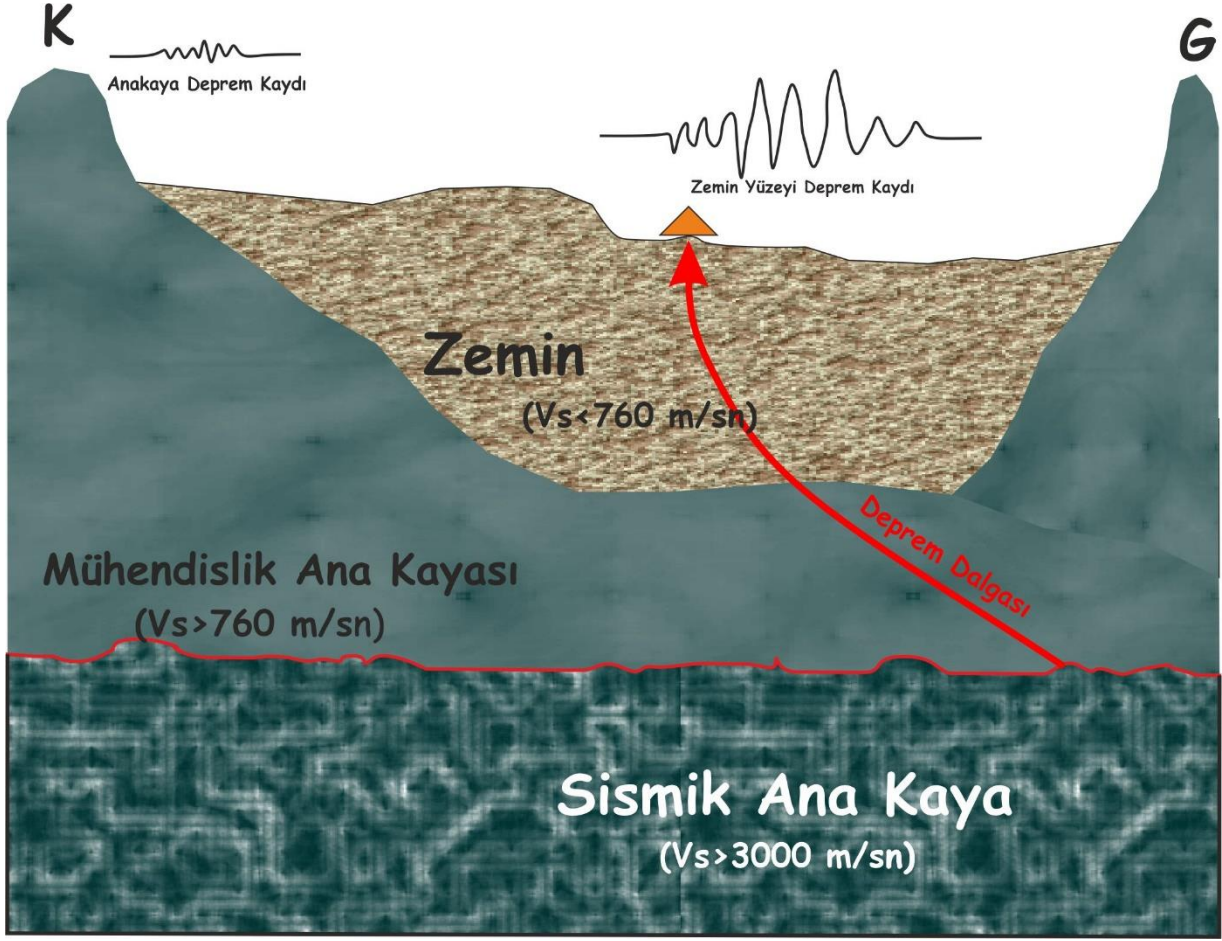


Şekil 5. Mw5.9 Düzce depreminin en yakın AFAD kuvvetli yer hareketi istasyonlarında kaydedilen maksimum ivme değerleri (<https://tadas.afad.gov.tr/>). Mavi daireler, ana şok ile ilk birkaç saatteki artçı şokların dağılımını gösterir.

### 3. YEREL ZEMİN KOŞULLARI

Depreme dayanıklı yapı tasarımında en önemli parametre yanal deprem kuvvetinin ön kestirimidir. Bu ön kestirime bağlı olarak elde edilen deprem kuvveti etkisi ile zemin-yapı ortak davranışının zemin içindeki yaratacağı gerilim/deformasyon değişimlerinin irdelenmesi gerekir. Bunun için yapı statik yükü, yapı yüksekliği ile zemin-mühendislik ana kayası ( $V_s > 760 \text{ m/sn}$ ) ve sismik ana kaya ( $V_s > 2600-3000 \text{ m/sn}$ ) modelinin (Nath, 2007) değişik deprem kuvvetleri etkisindeki gerilim/deformasyon değişimleri hesaplanabilir (Şekil 6).

Mühendislik ana kayasının çok derin olması koşulunda zemin sondajlarının maliyetleri, laboratuvar deneyleri için örselenmemiş numune almanın zorluğuna bağlı olarak yukarıda tanımlanan parametrelerin belirlenememesi durumunda zemin tabakalarının kalınlığı, derinliği, P ve S dalga hızları ile yoğunluk parametrelerinin arazide in-situ jeofizik yöntemlerle elde edilmesi gerekir. Çeşitli araştırmacılar kalın sedimanter (tortul) tabakaların bulunduğu ovalar ve vadilerde S dalgasının 30 ve 100 metreye kadar olan eşdeğer sismik hız verisi olarak kullanılmasının dahi, zeminin deprem sırasında gerçek hareketini hesaplamada yeterli olmadığını ve bu tür alanlarda ayrıntılı araştırmalar yapılmasını önermişlerdir. Zemin-mühendislik ana kayası modeli oluşturulurken jeoloji, jeofizik ve jeoteknik mühendislerinin ortak çalışması esastır. Düzce şehir merkezini içeren ovanın bu kapsamdaki şematik modeli Şekil 6'de tanımlanmıştır.

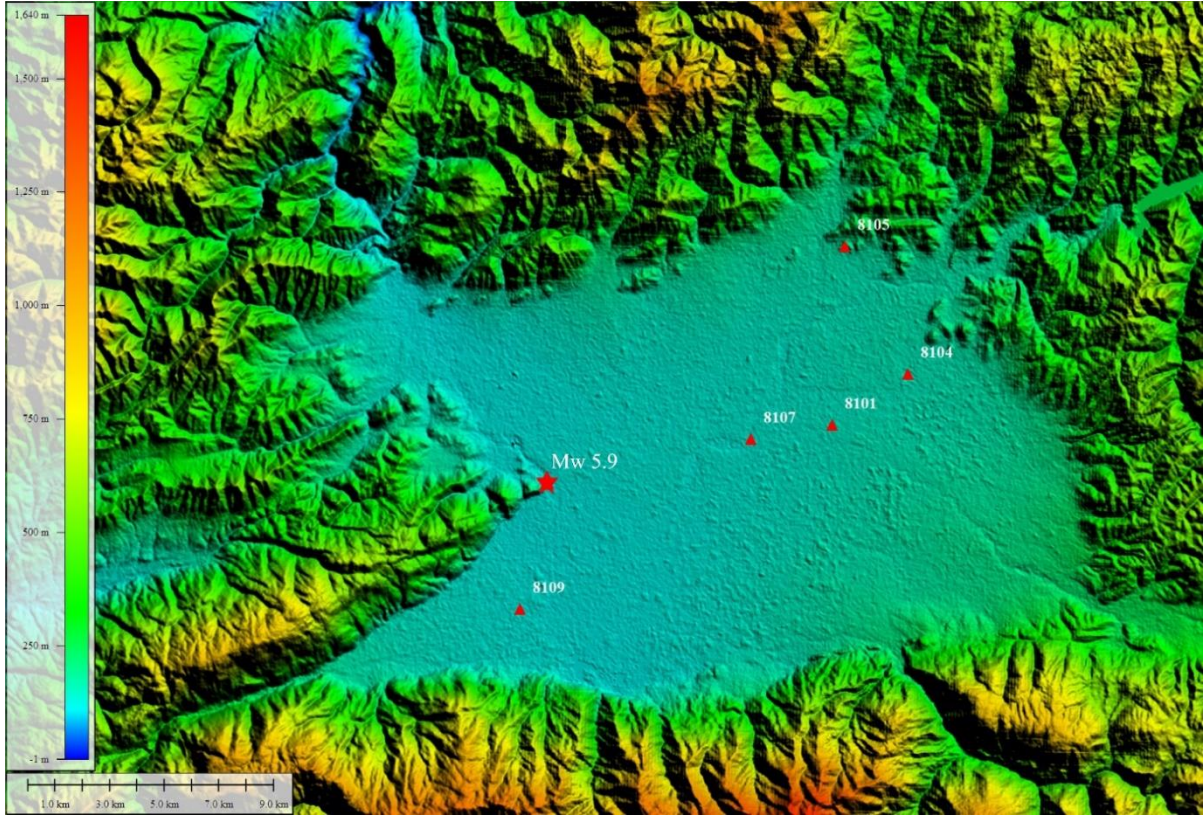


Şekil 6. Düzce Ovası Şematik Zemin Modeli

Son yıllarda gelişen hem bilgisayar hem de veri değerlendirmede kullanılan program olanaklarına bağlı olarak bir adet geniş frekans bant özelliğine sahip hız sismometresi ile yapılan 3bileşen gürültü ölçümlerinin bilgisayar ortamında değerlendirilmesi sonucunda düşey yönde Sismik S dalga hızı derinlik kesitleri başarılı olarak elde edilmektedir. Böylece daha düşük maliyetli ekipmanlar kullanılarak hem yerleşim alanları için kablo serimine ihtiyaç duyulmadan ölçü alma ve  $V_s$  Hız Derinlik kesitlerine ulaşma olanağı sağlanmıştır (Özdağ, 2022).

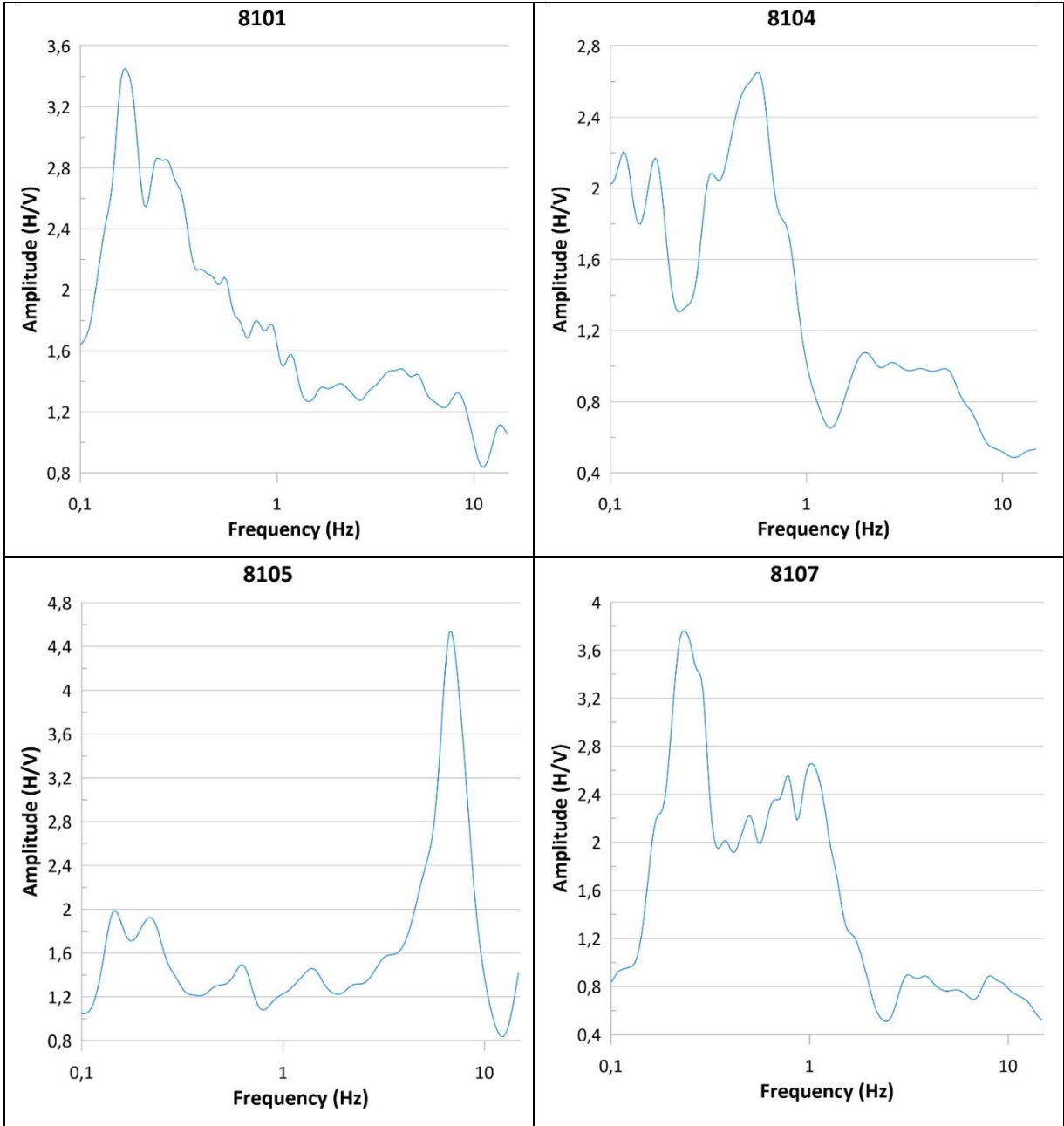
Bu kapsamda, 23 Kasım 2022 tarihinde yerel saatle 04:08:15'de gerçekleşen deprem akabinde, deprem sırasında meydana gelen ivme değerleri incelenmiştir. Yapılan ilksel incelemelerde ova içerisinde deprem episantrına olan uzaklık ile uyum içerisinde olmayan ivme değerleri gözlenmiştir. Bu duruma neden olan zemin yapısının hızlı bir şekilde belirlenebilmesi için

depremi kaydeden 8101, 8102, 8104, 8105, 8107 ve 8109 kodlu Kuvvetli Yer Hareketi (KYH) istasyonlarında Guralp Systems CMG-6TD sismometrelerle süresi 45-65 dk aralığında değişen geniş bant titreşimcik ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 7).

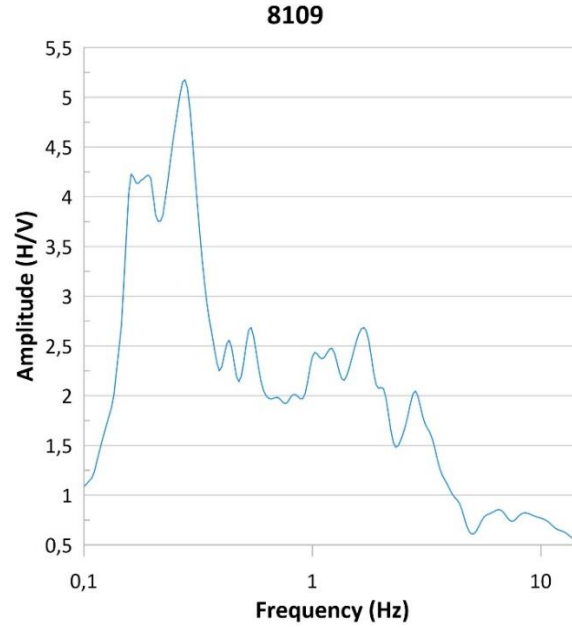


Şekil 7. Titreşimcik Ölçümleri Gerçekleştirilen KYH İstasyonları

Elde edilen titreşimcik verilerinden yarı (‘quasi’) transfer spektrumları (QTS) yatay-düşey spektral oran eğrileri hesaplanarak (Şekil 8 ve 9) de verilmiştir.



**Şekil 8.** 8101-104-105-107 KYH İstasyonları yatay-düşey spektral oran (QTS) eğrileri; Genlik (Amplitude), Yatay (H)/Düşey(V) olarak düşey eksen, frekans ("Frequency") ise yatay eksen olarak verilmiştir.



**Şekil 9.** 8109 KYH İstasyonu QTS Hesaplama Sonucu

Bu verilerden elde edilen sonuçlara göre ölçüm yapılan noktaların zemin hakim titreşim periyodu  $T_0=0,3-4,4$  sn aralığında görece zemin büyütmesi  $A_0=2,8-6,7$  aralığında ve dinamik kuvvetler altında oluşacak zemin deformasyonunun elastik sınırlar içerisinde kalıp kalmayacağı ile ilgili önbilgi sağlayan  $K_g$  parametresi 13-54 aralığında değişmektedir.  $K_g$ 'nin 20'den büyük olduğu alanlarda zeminin elasto-plastik veya plastik deformasyonların oluşma olasılığı bulunmaktadır.

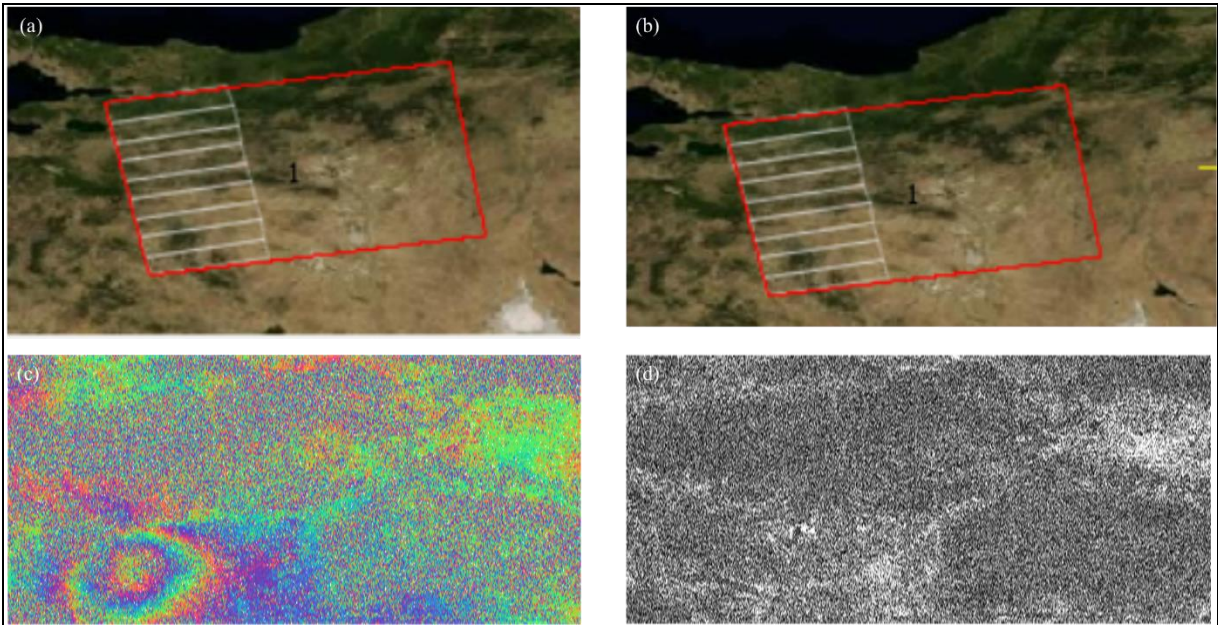
Alınan verilerin ön değerlendirmeleri sonucunda Düzce Şehir Merkezinin de içerisinde bulunduğu havzanın ortalama zemin kalınlığının 200 m'den fazla olduğu hesaplanmıştır. Bu sonuç, Ulutaş vd. (2021)'nin Düzce Havzası altındaki alüvyon kalınlığı için bulduğu 215-255 m derinlik değeri ile uyumludur.

Ayrıca KYH istasyonlarında yapılan ilk gözlemlerde  $592,03 \text{ cm/sn}^2$  olarak en yüksek yatay ivme değerini veren 8105 kodlu istasyonun yüksek eğimli bir şevin kenarında yamaç molozu üzerinde kurulduğu gözlenmiştir. Sismometrenin beton bloğa montajı anlamında bir aplikasyon hatası olmamasına karşın, elde edilen yüksek değer istasyonun kurulduğu yerin jeolojik yapısıyla ilgili olduğu değerlendirilmiştir.



#### 4. UZAKTAN ALGILAMA (InSAR ANALİZİ)

Mw 5.9 ana şokunun neden olduğu deformasyon, DEÜ-DAUM araştırmacıları tarafından ESA SNAP bilgisayar yazılımı (<https://step.esa.int/>) kullanılarak hesaplanmıştır. ESA (European Space Agency) Sentinel-1 verilerinden (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) elde edilen iki farklı zamanda alınmış (15.11.2022/27.11.2022) radar görüntüleri kullanılarak interferogram oluşturulmuş (Şekil-10) ve yüzey deformasyonu ("co-seismic") elde edilmiştir. Buna göre yaklaşık 5 cm'lik yanal bir ötelenme izlenmektedir.



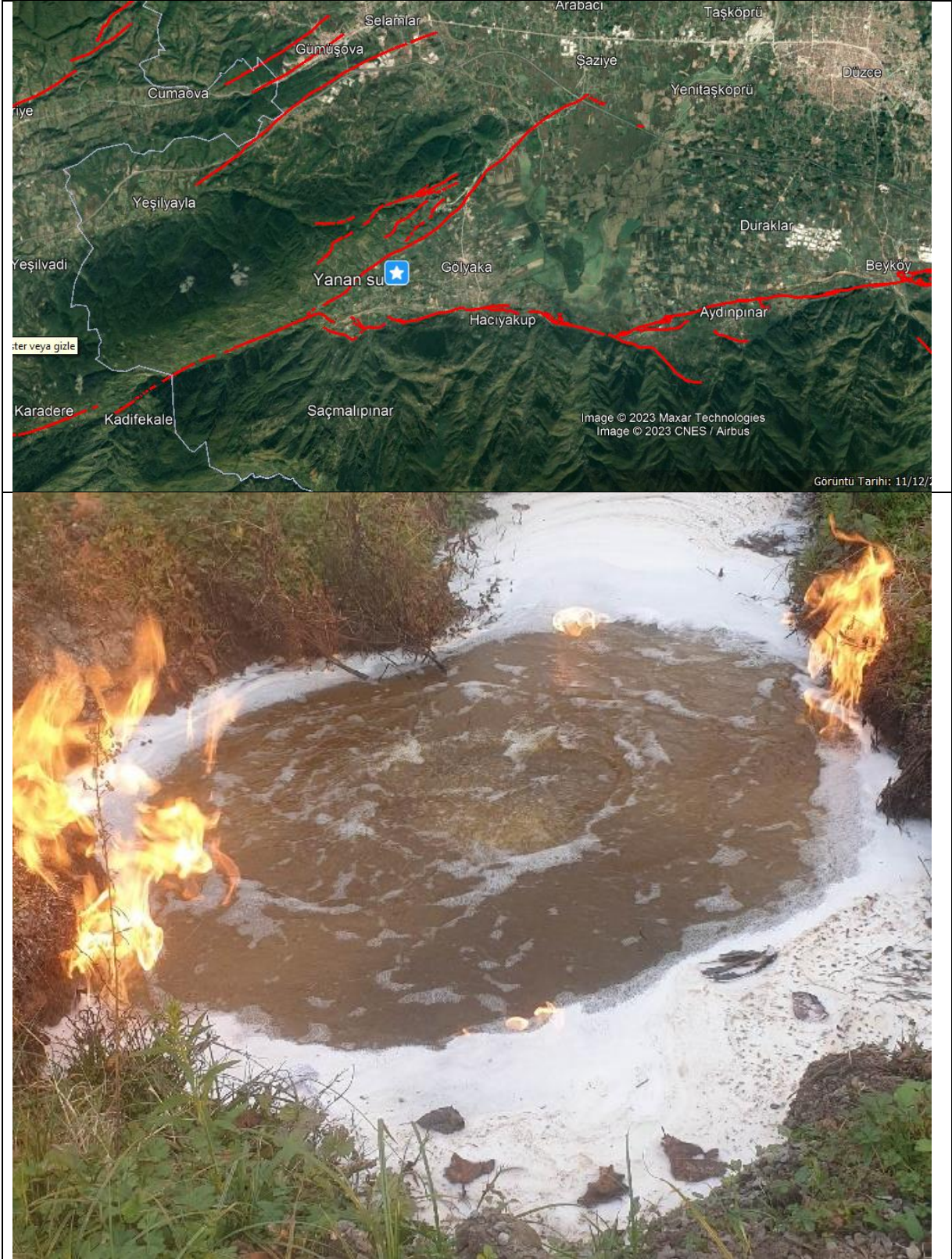
**Şekil 10.** Mw5.9 Düzce anaşokunun neden olduğu InSAR deformasyon (yamulma) görüntüsü. (a) deprem öncesi (S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20221115T155131\_20221115T155158\_045907\_057E25\_6D28), (b) deprem sonrası (S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20221127T155131\_20221127T155158\_046082\_05840F\_BA7E), (c) Interferometri faz, (d) koherens görüntüleridir.

## 5. SAHA GÖZLEMLERİ

Düzce depremi sonrasında DAUM tarafından oluşturulan ekip, Düzce’de gözlemsel veri toplamak için arazi çalışmaları gerçekleştirmiştir. Bu çalışmalar sırasında sismik sarsılmanın şiddet derecesini (Şekil 11-14) belgeleyen yüzey deformasyonları gözlenmiştir. Bunlar yüzey çatlakları, zemin sıvılaşma izleri, kum volkanları, yanal yayılma, çamur volkanı, heyelan ve kaya düşmesi şeklinde gelişmiştir. Oluşan yüzey deformasyonlarının tam olarak haritalanabilmesi amacıyla insansız hava aracı (İHA) ile saha modellemeleri gerçekleştirilmiştir. Bu saha modellemeler fotogrametrik yöntemlerle oluşturulmuştur (Şekil 13-14). İHA uçuşları sonucunda oluşturulan ortofotolar değerlendirilerek oluşan yüzey deformasyonları haritalanmıştır. Bina hasarları (Altunışık vd. (2022) ile birlikte değerlendirilen bu veriler, depremin mercalli ölçeğine göre VIII şiddetinde geliştiğini belgelemektedir.

Arazi çalışmaları sırasında, yerel halk tarafından “yanan su” olarak isimlendirilen alanda yapılan incelemelerde, 1999 depremlerinden sonra açılan bir kuyunun artezyen yapması nedeniyle oluşan su çıkışının gaz kabarcıklarıyla birlikte beyaz köpük şeklindeki gaz ve kükürt içerikli bir malzeme ile çevrelendiği gözlenmiştir. Bu malzeme ateşle temas ettirildiğinde yanmaktadır. Su çıkışının olduğu yer Karadere Fayı ile Düzce Fayı arasında ve Karadere Fayı’na 670 metre uzaklıktadır (Şekil 11). DAUM olarak söz konusu çıkışın, bölgedeki diri faylar ve deprem ile ilişkisi, su çıkışının niteliği, çıkan suyun ve biriken köpüğün fiziksel ve kimyasal özellikleri ve sistemin derinlikle değişimi konusunda bir proje üzerinde çalışmalara başlanmıştır.

Yapılan incelemelerde Sarıdere ile Yayakbaşı Mahallelerinde, özellikle Melen Çayı boyunca yanal yayılma ve sıvılaşma izleri yoğun bir şekilde gözlenmiştir (Şekil 12). Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu bu bölgelerdeki taşkın alanlarında bulunan gölcüklerin kenar zonları boyunca da yanal yayılmalar gelişmiştir (Şekil 13). Bunun yanında İcmeler-Karadere yolu boyunca yeralan Karadere Fayı’nın önünde, bazı kesimlerde kaya düşmelerinin geliştiği gözlenmiştir (Şekil 14). Benzer veriler ayrıntılı bir şekilde Özalp ve Kürçer (2022) raporunda verilmiştir.



Şekil 11. Yanan su lokasyonunu gösteren Google Earth haritası ve arazideki görüntüsü



**Şekil 12.** Düzce depremi sırasında/hemen sonrasında gelişen zemin sıvılaşması (sol) ve yanıl yayılmaya (sağ) ait arazi fotoğrafları



**Şekil 13.** Düzce depremi sırasında/hemen sonrasında gelişen zemin sıvılaşması ve yanıl yayılmaya ait drone görüntüsü. Otlar arasındaki gri renkli kesimler sıvılaşma sırasında yüzeye gelmiş kum boyutundaki malzemeyi göstermektedir.



**Şekil 14.** Düzce depremi sırasında/hemen sonrasında Melen Çayı içinde gelişen yanal yayılma ve Karadere Fay şevi önünde gelişen kaya düşmesine ait arazi fotoğrafları. Kırmızı kalem Melen Çayı kıyısı boyunca gelişen yanal yayılma izlerini göstermektedir.

## 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Türkiye’de 1939 yılındaki Erzincan depremi ( $M_w=7.9$ ) ile başlayan son 83 yıllık sürede yaşanan yıkıcı depremler, yer seçiminin ve depreme dayanıklı bina tasarımının deprem hasarlarının azaltılmasında en önemli role sahip olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda, deprem kuvvetlerini sönmüleyecek, depremin yıkıcı gücüne karşı koyabilecek, daha doğrusu olası dış kuvvetlerin etkisi altında zemin ile iyi uyum gösterebilecek yapıların projelendirilmesi, deprem felaketinin en aza indirgenmesi için çok büyük bir avantajdır. Bu avantajı yakalamak için jeoloji jeofizik ve inşaat mühendislerinin etkili bir biçimde işbirliği yapması gerekmektedir. Binanın yapılacağı zeminin jeolojik özellikleri ve fiziksel parametrelerinin bilinmesi, deprem sırasında zeminin ve üzerindeki yapının nasıl davranacağını ortaya konulması, yapının zemin özelliklerine uygun olarak inşa edilmesi depreme karşı dirençli yapı stoğu için önemli bir adımı oluşturmaktadır.

Düzce kentinin alüvyonal bir zemine kurulmuş olması nedeniyle kenti etkileyecek depremlerin yerel zemin koşullarına bağlı olarak ova genelinde farklı etkiler göstereceği açıktır. Bu düşünceden hareketle Düzce ovasında ölçüm yapılan noktaların zemin hakim titreşim periyodu  $T_0=0,3-4,4$  sn aralığında görece zemin büyütmesi  $A_0=2,8-6,7$  aralığında ve dinamik kuvvetler altında oluşacak zemin deformasyonunun elastik sınırlar içerisinde kalıp kalmayacağı ile ilgili ön bilgi sağlayan  $K_g$  parametresi 13-54 aralığında değişmektedir.  $K_g$ ’nin 20’den büyük olduğu alanlarda zeminin elastoplastik veya plastik deformasyonların oluşma olasılığı bulunmaktadır. Alınan verilerin ön değerlendirmeleri sonucunda Düzce Şehir Merkezinin de içerisinde bulunduğu havzanın ortalama zemin kalınlığının 200 m’den fazla olduğu tahmin edilmiştir.

Gölyaka-Düzce (23.11.2022 04:08:15TS  $M_w=5.9$ ) depreminin ekibimiz tarafından yapılan moment tensör (fay mekanizması) çözümü, DAUM Sismolojik Veriler – Ege Bölgesi Deprem Mekanizma Çözümleri (<https://daum.deu.edu.tr/>) web sayfasında verilmektedir. Buna göre depremin en iyi ikili kuvvet-çifti çözümü; doğrultu, eğim, kayma açısı olarak (NP1: 340, 80, -25; NP2: 75, 65, -169) şeklinde olup moment büyüklüğü 6.1( $M_w$ ), sismik momenti  $1.91 \times 10^{25}$  dyne-cm’dir.

Deprem parametrelerinin kestirilmesi sırasında veri sağlayıcılar (AFAD, KRDAE, GFZ, NOA vb.), farklı hız modelleri kullanarak hesaplama yapmaktadırlar. Bu da deprem yeri, derinliği ve mekanizma parametrelerinin bazen farklı değerler almasına yol açmaktadır. Ayrıca yerel zemin koşullarının olası depremler üzerindeki etkisini hesaplayabilmek için Düzce Havzasını oluşturan jeolojik yapının 2- ve 3-boyutlu olarak modellenmesi gereklidir. Bu modellemenin mühendislik (sismik kesme-dalgı hızı ( $V_s$ )>760 m/sn) ve sismik ( $V_s$ >3000 m/sn) ana kaya ya kadar yeraltı tabaka hız ve yoğunluk parametreleri bağlamında yapılması gereklidir. Bu modellerin oluşturulması ve kabuk hız modelleri ile birleştirilmesiyle, hem deprem lokasyon ve derinlik hesaplamaları daha hassas yapılabilecek, hem de depremlerin yaratacağı etkilerin depremler olmadan önce hesaplanmasında, (simülasyonunda) örneğin yerinde tasarım spektrumu hesaplamaları gibi bir çok çalışmada, kullanılabilir. Bu konuda, Türkiye’de diğır deprem bölgelerine örnek olacağını düşündüğümüz, (DEÜ-DAUM) tarafından bir hız modelleri çalışma grubu kurulmuştur. Bu grup diğır araştırmacılarla koordineli olarak Ege Bölgesi ve civarının sığ ve derin sismik hız ve yoğunluk modellerinin geliştirilmesi ve değerlendirilmesi için çalışmalarını yürütmektedir.

Bu deprem de göstermiştir ki, ülkemizde bölgesel deprem destek bilgi sistemi (“Earthquake Clearinghouse”) kurulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Böyle bir sistem, depremin hemen sonrasında yapılacak planlı ve düzenli saha gözlemleri ile aletsel kestirim sonuçlarının birlikte hızlı değerlendirilmesi ve verilerin araştırmacılara sunulması ile, bir sonraki aşama olan depreme hazırlık çalışmalarına temel bilgi oluşturacaktır. Bu sürecin en önemli yanı, toplanan verilerin ve ulaşılan sonuçların gerçek gözlemlere dayalı olarak etkin bir şekilde araştırmacılara ve afet yönetim birimlerine, bir sonraki depreme hazırlık aşamalarında destek olacak şekilde servis edilmesidir. Bu servis, yerel deprem bilgi sisteminin (fiziksel ve sanal deprem bilgi ve destek odası (“earthquake clearinghouse”) kurulmasını gerektirir. Bu deprem için örnek sanal bilgi ortamı, EK-2’deki gibidir. Bu tür ortamların AFAD koordinasyonunda yerel üniversiteler ve sivil deprem organizasyonları tarafından kurulmasında yarar vardır.

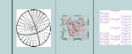
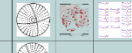
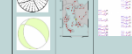


## KAYNAKLAR

- AFAD (2022a). T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, <https://deprem.afad.gov.tr/>, 23/11/2022.
- AFAD (2022b). 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) Mw 5.9 Depremine ilişkin ön değerlendirme raporu. <https://deprem.afad.gov.tr/assets/pdf/23kasim2022GolyakaDuzceMW59.pdf>
- Altunışık, A.C., Arslan, M.E. ve Aykanat, B., 2022. 23 Kasım 2022 Düzce (Gölyaka) Depremi (Mw=5.9) Saha Gözlemleri ve Değerlendirme Raporu, Karadeniz Teknik Üniversitesi ve Düzce Üniversitesi, Türkiye.
- DEU-DAUM (2022). Dokuz Eylül üniversitesi- Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi, <https://daum.deu.edu.tr/>, 23/23/2022.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., 2011. 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Adapazarı (NK 36-13) Paftası. Seri No: 14, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye. ISBN: 978-605-5310-00-4
- EMSC (2022). Euro-Mediterranean Seismological Center, <https://seismicportal.eu/>, 11/23/2022.
- GFZ (2022). GeoForschungsZentrum (German Research Centre for Geosciences), <https://www.gfz-potsdam.de/>, 11/23/2022.
- Görgün, E., Bohnhoff, M., Bulut, F. & Dresen, G. (2010). Seismotectonic setting of the Karadere–Düzce branch of the North Anatolian Fault Zone between the 1999 Izmit and Düzce ruptures from analysis of Izmit aftershock focal mechanisms. *Tectonophysics*, 482(1-4), 170-181.
- KRDAE (2022). Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, <http://www.koeri.boun.edu.tr/>, 23/11/2022.
- Nath, S. K. (2007). Seismic microzonation framework–principles and applications. In Proceedings of Workshop on Microzonation, Indian Institute of Science, Bangalore (pp. 9-35).
- Özalp S. ve Kürçer A. (2022). 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremi (mw 6,0) saha gözlemleri ve değerlendirme raporu. MTA, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı. Ankara.
- Özdağ, Ö. C. (2022). Depreme Dayalı Yerde Tasarım Spektrum Oluşturulmasında Jeofizik Yöntemlerin Kullanılması:İzmir Körfezi Çevresi Örneği, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.
- QGIS (2022). Quantum GIS, <https://www.qgis.org/>, 07/09/2022.
- Toda, S., Stein, RS., Sevilgen, V., Lin, J., (2011). Coulomb 3.3 Graphic-rich deformation and stress-change software for earthquake, tectonic, and volcano research and teaching—user guide: U.S. Geological Survey Open-File Report 2011–1060, 63p., <https://pubs.usgs.gov/of/2011/1060/>.
- Ulutaş E., Coruk, Ö. & Karataş A. 2021. Local geology effects on soil amplification and predominant period in Düzce Basin, NW Turkey. *Kocaeli Journal of Science and Engineering*. 4(2): 160-170.
- USGS (2022), M 6.1 - 15 km W of Düzce, Turkey, <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000irp8/moment-tensor>, 23/11/2022.
- Wessel, P., Luis, J F., Uieda, L., Scharroo, R., Wobbe, F., Smith, W H F., & Tian, D, (2019). The Generic Mapping Tools version 6. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 20, 5556–5564. <https://doi.org/10.1029/2019GC008515>, <https://www.generic-mapping-tools.org/>.

## EK-1. DEÜ-DAUM Batı Anadolu moment tensör kataloglama ve Deprem Bilgi Sistemi test sayfası.

DEÜ-DAUM moment tensör kataloglama ve dikkate değer önemli depremlerin bilgi sistemi URL sayfası görüntüsü (sol panel, <https://daum.deu.edu.tr/>).

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi																	
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ - EARTHQUAKE RESEARCH CENTER (DEÜ-ERC) SEISMOLOGICAL INFORMATION OF NOTICEABLE EARTHQUAKES IN AEGEAN REGION (UNDER CONSTRUCTION)																	
DEÜ-ERC PRELIMINARY REPORT (EĞİLİM YÖNÜ EKŞİLİM AÇIĞI)	DEU-ERC EVENT_ID	DATE ORIGIN TIME (UTC) (YYMMDDHH)	LATITUDE LONGITUDE (D.Deg)	DEPTH (KM) AGENCY	MAGNITUDE_TYPE_AGENCY (Mag-Moment, Mw, Local)	LOCATION	EVENT HYPOCENTER PARAMETERS FROM VARIOUS AGENCIES	SHAKEMAP	DEU-ERC REGIONAL MOMENT TENSOR (MT) SPEED PRIORITY POLARITY (PP) SOLUTIONS (MT_SolNoB9)	DEU-ERC HEADLINE REPRESENTATION AND ELATION DISTRIBUTION MAP OF MT EMOFF PP SOLUTIONS	DEU- ERC MT WAVEFORM INVERSION FILE	DEU-ERC Rotations Patterns and Other MT Data	DEU-ERC originated and Other Reports and/or Publications from Other Agencies	DEU-ERC ORIGINATED or OTHER RELEVANT PUBLICATIONS (Reports, papers etc.)	MT and PP of MURDOCH (MD) SOURCE MEDIA RESULTS BY OTHER AGENCIES	CURRENT REPORTS BY DEU-ERC AND OTHER AGENCIES	MEDIA CIVILIANSH
2022																	
	DEU1002141303352	2022.12.15 00:29:32	37.7980N 27.1850E	5.4 (KOERI)	• 5.0M <sub>w</sub> _3.5Mw (KOERI)	KIRAZADAĞ KORFEZ (Ege Denizi)	• AFAD • SENC										
	DEU1002140223344	2022.12.07 22:55:44	37.8800N 27.2307E	11.4 (KOERI)	• 4.9M <sub>w</sub> _3.5Mw (KOERI)	KIRAZADAĞ KORFEZ (Ege Denizi)	• AFAD • KOLAR • FEMSC		• PP_ICARU_Sol								
DEU-ERC Report (in preparation)	DEU1002142301084	2022.11.23 01:08:14	40.8203E 36.3975E	• 6.5 (KOERI)	• 6.0M <sub>w</sub> _3.5Mw (KOERI)	SARICIK GÖZ YAKA (KOERCI)	• USGS • AFAD • KOERI	• USGS_Intensity • DEU_ShakeMap; Proc. (Retrievn USGS_Bookmark)	• MT_SolNoB_SolNoB				• 1999 Intert and Doris • Earthquake USGS Report (CERI et al. 2001)	• FEMSC_MT	• KANDILI KOERI • AFAD		
	DEU1002140606746	2022.11.19 05:17:19	38.3200N 27.1217E	• 0.1 (KOERI)	• 3.3M <sub>w</sub> _3.1Mw (KOERI)	GARFEMER (LİNKİ)											
	DEU100221100909356	2022.11.09 01:09:36	38.3070N 27.0750E	• 4.3 (KOERI)	• 3.3M <sub>w</sub> _3.4Mw (KOERI)	BUCA (ZEMER)			• PP_ICARU_Sol								
	DEU1002140013260	2022.11.05 15:26:01	38.3400N 27.1877E	• 11.1 (KOERI)	• 5.6_M <sub>w</sub> _3.5Mw (KOERI)	GARFEMER (ZEMER)	• AFAD • FEMSC		• PP_ICARU								
	DEU1002140400200	2022.11.04 00:20:20	38.3050N 27.1907E	• 4.5 (KOERI)	• 5.1_M <sub>w</sub> and 4.8_Mw (KOERI) • 4.8_Mw (AFAD)	Buca (ZEMER)	• AFAD • SENC	• NOA • DEU-ERC_report_of_NOA	• MT_SolNoB_SolNoB					• SENC • USGS	• KOBİT (Kandilli)	• 188yrt	
	DEU100214010102055	2022.10.10 10:20:55	37.8972N 27.2370E	• 4.0 (KOERI)	• 4.2_M <sub>w</sub> _KOERI	KIRAZADAĞ KORFEZ (Ege Denizi)	• AFAD • FEMSC		• MT_SolNoB_SolNoB					• FEMSC			

## EK-2. Mw5.9 23.11.2022 Gölyaka-Düzce Depreminin Test Aşamasındaki Sanal Deprem Bilgi Destek Odası (Virtual Earthquake Clearinghouse)

Test aşamasındaki sanal Deprem Bilgi Destek Odası (Clearing House; [https://daum.deu.edu.tr/?page\\_id=1193](https://daum.deu.edu.tr/?page_id=1193)).



DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ  
Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi

Hakkımızda Faaliyetler Çalışma / Araştırma Grupları Sismolojik Veriler Yayınlar Projeler İletişim

### DEPREM BİLGİ DESTEK ODASI (EARTHQUAKE CLEARINGHOUSE) ARŞİVİ

EGE BÖLGESİ ve CİVARI  
GEÇMİŞ DEPREM BİLGİ ARŞİVİ

Bu sayfaya, geçmiş depremlerden daha iyi faydalanabilmek için Ege Bölgesi ve civarındaki depremler için çeşitli kurum, kuruluş ve araştırmacıların farklı ortamlarda bulunan bilgilerinin bir araya getirilip, araştırmacıların kolayca ulaşabileceği bir durumda servis edebilmek amacıyla hazırlanmıştır.

Deprem Adı	Tarih	Aletsel Büyüklük	Bölge	Deprem Bilgi Destek Odası (Clearinghouse)	DEÜ-DAUM Ön Raporu	Fotoğraf ve Video	Diğer Kaynaklar
Mw5.9 Gölyaka-Düzce	23 Kasım 2022	ML6.0	Marmara	Link			

( [https://daum.deu.edu.tr/?page\\_id=1190](https://daum.deu.edu.tr/?page_id=1190))



DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ  
Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi

Hakkımızda Faaliyetler Çalışma / Araştırma Grupları Sismolojik Veriler Yayınlar Projeler İletişim

## 23 Kasım 2022 Mw5.9 Gölyaka-Düzce Depremi – Destek Bilgi Odası ( Virtual Clearinghouse)

### 23 Kasım 2022 Mw5.9 Gölyaka-Düzce Depremi Destek Bilgi Odası (Clearinghouse)

**ÖZET:**  
23 Kasım 2022 tarihinde yerel saatle 04:08:15'de Gölyaka-Düzce 40.823°K ve 31.025°D merkezüssünden 6.8 km derinde 5.9 (M<sub>w</sub>) orta büyüklüğünde hasar yapıcı bir deprem meydana gelmiştir. Bu deprem can ve ekonomik olarak hasarın yanında, ayrıca yerel heyelan ve zemin sıvılaşmasına neden olmuştur. Bu deprem ile ilgili araştırma merkezimiz ve diğer kurum ve araştırmacıları tarafından ilk ulaşılabılır bilgiler ve linkleri bu sayfada sunulmuştur.  
Bu deprem ile ilgili gözlem ve değerlendirme: [Link- DEÜ-DAUM Raporu \(çok yakında\)](#)

<b>VERİ, HARİTA ve RAPOR/MAKALE KAYNAKLARI</b>	<b>FOTOĞRAFLAR VİDEOLAR</b>	<b>DEPREM HEMEN SONRASI DEÜ-DAUM ve AFAD EKİPLERİNİN BULGULARI</b>	<b>MEDYA: DEPREM HAKKINDAKİ HABERLER, RÖPORTAJLAR</b>
--	-----------------------------	--	---