

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

23.11.2022 TARİHLİ $M_w=5.9$ DÜZCE DEPREMİNİN KUVVETLİ
YER HAREKETİ VERİLERİ İLE ANALİZİ VE BÖLGENİN
TEKTONİK YAPISI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat Orhun ÇELİK

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

AĞUSTOS 2023

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

23.11.2022 TARİHLİ $M_w=5.9$ DÜZCE DEPREMİNİN KUVVETLİ
YER HAREKETİ VERİLERİ İLE ANALİZİ VE BÖLGENİN
TEKTONİK YAPISI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat Orhun ÇELİK

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Günay BEYHAN

AĞUSTOS 2023

Murat Orhun ÇELİK tarafından hazırlanan “23.11.2022 Tarihli Mw=5.9 Düzce Depreminin Kuvvetli Yer Hareketi Verileri İle Analizi Ve Bölgenin Tektonik Yapısı ” adlı tez çalışması 22.08.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : Dr. Öğr. Üyesi Şerafeddin ÇAKIR
Kocaeli Üniversitesi

Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Günay BEYHAN (Danışman).....
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Ayhan KESKİNSEZER
Sakarya Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “23.11.2022 TARİHLİ MW=5.9 DÜZCE DEPREMİNİN KUVVETLİ YER HAREKETİ VERİLERİ İLE ANALİZİ VE BÖLGENİN TEKTONİK YAPISI” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(22/08/2023).

Murat Orhun ÇELİK



TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez çalışmam sırasında bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, kıymetli bilgilerini benimle paylaşan, çalışmamın her aşamasında doküman ve destek konusunda bana yardımcı olan tez danışmanım Sayın Dr. Öğrt. Üyesi Günay BEYHAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamda fikri ve manevi desteğini esirgemeyen hayat arkadaşım Av. Neşe SAYGIN ÇELİK'e teşekkür ederim.

Murat Orhun ÇELİK



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SİMGELER	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ.....	1
2. DÜZCENİN JEOLJİK VE TEKTONİĞİ.	5
2.1. Düzce ve Çevresinin Jeolojisi	5
2.2. Düzce ve Çevresinin Aktif Tektonizması	6
2.3. Neotektonik Yapılar	10
2.4. Düzce Bölgesinin Sismotektoniği ve Depremselliği.....	11
3. 23 KASIM 2022 DÜZCE DEPREMİNİN ODAK MEKANİZMA ÇÖZÜMÜ	17
4. 23 KASIM 2022 DÜZCE DEPREMİNE AİT KUVVETLİ YER HAREKETİ	21
KAYITLARI	21
4.1. Maksimum İvme Değerleri	30
4.2. Kuvvetli Hareketin Süresi	31
4.3. Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtlarına ait Tepki Spektrumları	39
5. SONUÇLAR	45
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ.....	51



KISALTMALAR

AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
DAK	: Düzce Akçakoca
DB	: DoğuBatı
DGÖ	: Düzce Gölyaka
DM1	: Düzce Merkez 1
DM2	: Düzce Merkez 2
KAFH	: Kuzey Anadolu Fay Hattı
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
KRDAE	: Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
KG	: KuzeyGüney
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
SKA	: Sakarya Karasu



SİMGELER

cm	: Santimetre [Birim]
F	: Frekans
gal	: CGS Ölçü Sistemi [İvme Birimi]
Hz	: Frekans [Sıklık Birimi]
KM	: Kilometre [Birim]
Mw	: Moment Magnitüd [Birim]
PHA	: Maksimum Yatay İvme [Birim]
PVA	: Maksimum Düşey İvme [Birim]
sn	: Saniye
Te	: Time [Zaman Birimi]



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1. AFAD Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Gözlem ağına ilişkin İstasyonlardan, 22.11.2022 Düzce Depremi esnasında ivme değeri 100cm/sn ² üzerinde veri kaydı almış istasyonlara dair bilgi ve ölçümler (AFAD).....	22
---	----





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. 23 Kasım 2022 Düzce Gölyaka Depremi Türkiye Diri Fay Haritasındaki yeri (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2022).	2
Şekil 2.1. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) Depremi ve çevresinin tarihsel dönemi deprem etkinliği (1900 öncesi) (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2022).	8
Şekil 2.2. Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) Depremi ve çevresinin aletsel dönemi deprem etkinliği (1900 sonrası) (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2022).	8
Şekil 2.3. Düzce ve çevresinin jeoloji haritası (Maden Tetkik ve Arama Genel.....	9
Şekil 2.4. 23 Kasım 2022 Düzce (Gölyaka) Depremi'nin tahmini eş şiddet haritası (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2022).	12
Şekil 2.5. 23 Kasım 2022 Düzce (Gölyaka) Depremi'nin 25.11.2022 tarihi (saat 08:00) itibarıyla deprem oluş sayısı ve büyüklük dağılımı grafiği (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2022).	13
Şekil 2.6. 23 Kasım 2022 tarihinde Gölyaka (Düzce)'da meydana gelen depremin ve artçı şoklarının MTA Yerbilimleri Harita konumu. Diri faylar MTA tarafından yayınlanmış Türkiye Diri Fay Haritası(Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2022), sismolojik veri AFAD-DDB (http://www.deprem.gov.tr/) tarafından eş zamanlı olarak MTA Yerbilimleri Harita Görüntüleyicisine aktarılan bilgilerden alınmıştır (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2022).	13
Şekil 2.7. Çalışma alanının tektonik yapısı ve Düzce Fayının kolları (MTA ve A.U, 1999).	15
Şekil 3.1. Moment tensör çözümü (AFAD, 2022).	18
Şekil 3.2. Ulusal ve uluslararası sismoloji merkezleri tarafından 23 Kasım2022 Gölyaka (Düzce) Depremi dışmerkez, odak derinliği ve hızlı moment tensör çözümleri (EMSC) (EMSC, 2022).	19
Şekil 4.1. Kuvvetli yer hareketi istasyon yerleri (https://deprem.afad.gov.tr/stations) (AFAD, 2022).	21
Şekil 4.2. Düzce Merkez 1, 8105 istasyonu üç bileşenli ivme kaydı.....	23
Şekil 4.3. Düzce Merkez 2, 8106 istasyonu üç bileşenli ivme kaydı.....	23
Şekil 4.4. Düzce Gölyaka, 8109 istasyonu üç bileşenli ivme kaydı.	24
Şekil 4.5. Düzce Akçakoca, 8110 istasyonu üç bileşen ivme kaydı.	24
Şekil 4.6. Karasu, 5414 istasyonu üç bileşenli ivme kaydı.....	25
Şekil 4.7. Düzce Merkez 1, 8105 istasyonu ivme kaydı hız bileşeni.....	25
Şekil 4.8. Düzce Merkez 2, 8106 istasyonu ivme kaydı hız bileşeni.....	26
Şekil 4.9. Düzce Gölyaka, 8109 istasyonu ivme kaydı hız bileşeni.	26
Şekil 4.10. Düzce Akçakoca, 8110 istasyonu ivme kaydının hız bileşenleri.	27
Şekil 4.11. Sakarya Karasu, 5414 istasyonu ivme kaydı hız bileşeni.....	27
Şekil 4.12. Düzce Merkez 1, 8105 istasyonu ivme kaydının yer değiştirme bileşenleri.	28

Şekil 4.13. Düzce Merkez 2, 8106 istasyonu ivme kaydının yer değiştirme bileşenleri.	28
Şekil 4.14. Düzce Gölyaka, 8109 istasyonu ivme kaydının yer değiştirme bileşenleri.	29
Şekil 4.15. Düzce Akçakoca, 8110 istasyonu ivme kaydının yer değiştirme bileşenleri.	29
Şekil 4.16. Sakarya Karasu, 5414 istasyonu ivme kaydının yer değiştirme bileşenleri.	30
Şekil 4.17. Düzce Merkez istasyonunun ana şok kaydının düşey bileşenindeki ani pik	31
Şekil 4.18. Düzce kaydının, 8105 Düzce Merkez istasyonun her üç bileşenine ait... 33	
Şekil 4.19. Düzce kaydının, 8106 Düzce Merkez 2 istasyonun her üç bileşenine ait 34	
Şekil 4.20. Düzce kaydının, 8109 Gölyaka istasyonun her üç bileşenine ait Arias... 35	
Şekil 4.21. Düzce kaydının, 8110 Akçakoca istasyonun her üç bileşenine ait Arias 36	
Şekil 4.22. Düzce kaydının, 5414 Karasu istasyonun her üç bileşenine ait Arias 37	
Şekil 4.23. Düzce ivme kaydının 8105 Düzce Merkez 1 istasyonun her üç bileşenine	39
Şekil 4.24. Düzce ivme kaydının 8106 Düzce Merkez 2 istasyonun her üç bileşenine	40
Şekil 4.25. Düzce ivme kaydının 8109 Gölyaka istasyonun her üç bileşenine 41	
Şekil 4.26. Düzce ivme kaydının 8110 Akçakoca istasyonun her üç bileşenine 42	
Şekil 4.27. Düzce ivme kaydının 5414 Karasu istasyonun her üç bileşenine..... 43	

23.11.2022 TARİHLİ Mw=5.9 DÜZCE DEPREMİNİN KUVVETLİ YER HAREKETİ VERİLERİ İLE ANALİZİ VE BÖLGENİN TEKTONİK YAPISI

ÖZET

Düzce, Türkiye'nin Batı Karadenizinde yer alan ilimizdir. Kuzey Anadolu Fay Hattının (KAFH) etkisindedir. Uluslararası merkezlerin sismoloji verilerine göre, 23 Kasım 2022 tarihinde, Türkiye saati ile 04.08'de, merkezi Düzce ili, Gölyaka ilçesinin 6 km kuzeydoğusu olan büyüklüğü Mw 5,9 ve 6-19 km odak derinliğine sahip sığ odaklı bir deprem oluşmuştur.

Deprem sonrası saat 09.05 anına kadar; Büyüklüğü en fazla 4.3 olan 220 artçı şok değeri kaydedilmiştir. Deprem; Düzce İli, olmak üzere Ankara, İstanbul, Kocaeli, Bolu, Sakarya, Kütahya, Bilecik, Bursa, Eskişehir ve çevredeki birçok il ve ilçede hissedilmiştir.

Ölçülmüş en büyük ivme değeri Düzce Merkez istasyonu D-B yönü 593,56 cm/sn², KG bileşeninde ise 590.42 cm/sn² değeri kaydedilmiş olup; Bu istasyonlarda ölçülen ivme değerleri 100 gal'ın üzerinde bulunan 5 istasyonun ivme verileri bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Deprem merkez üssü noktasına en yakın mesafede Düzce-Gölyaka istasyonunun dalga formuna bakıldığında, DB bileşen değerinin KG bileşeninden daha büyük olduğu görülmüştür. Yakındaki istasyonlar da fayda oluşan kırılma yönünün yayılması, istasyona doğru olup, faya dik bulunan bileşende uzun periyotlu enerji birikimine yol açabilir. Bu noktada paralel bileşende ki dalganın genliği büyük olduğu için depremin süresi daha kısa olarak kaydedilmektedir. KG bileşeninin ivme kayıtlarının büyük genlikli olması durumunda, depremin yüksek frekansı kısa etkili süresi dikkate alındığında, ileriye doğru (forward directivity) bir etkiden söz edilebileceği varsayılabilir.

Deprem kayıt verilerinin işlenmesinde, ana şoku zaman alanında kaydetmek için eksen kayması düzeltme işlemi (baseline-offsets-correction) ve 0.2 ile 25 Hz aralığında değişen bir Butterworth band geçişli filtre uygulandı. Bu dönüştürülmüş hız ve yer değiştirme dalga formlarını üretmiştir.

Çalışmamıza konu Deprem kaynak (odak) mekanizması çözümüne göre fay hareketinin sağ yönlü ve doğrudan atımlı olduğu anlaşılmaktadır.



ANALYSIS OF THE MW = 5.9 DÜZCE EARTHQUAKE WITH STRONG GROUND MOVEMENT DATA AND THE TECTONIC STRUCTURE OF THE REGION FORM 23.11.2022

SUMMARY

Düzce is our province located in the Western Black Sea of Turkey. It is the influence of the North Anatolian fault Line (KAFH). According to the seismology data of the international centers, on November 23, 2022, at 04.08, Turkey time, a shallow-focused earthquake occurred with a focal depth of MW 5.9 and 6-19 km, with a focal depth of 6 km northeast of the central Düzce province, Golyaka district.

After the earthquake until 09.05:00; 220 aftershock values with a maximum size of 4.3 were recorded. Earthquake; And Anchorage. It was felt in Sakarya, Kütahya, Bilecik, Bursa, Eskişehir and many provinces and districts around it.

When we look at the relationship of the fault affecting the formation of the earthquake and the relationship of the damage to the geological structure, the main and aftershocks where the damage intensified occurred in the sector between Düzce and Golyaka. As a result of possible studies, no surface fracture related to the fault affecting the quake was observed. At this point, especially in the area where the Karadere segment cut the Great Melen Tea, surface deformations of earthquake origin of the type of advanced lateral spread on flood plain sediments were observed.

The largest measured acceleration value is 593.56 cm/s² in the Düzce Central Station D-B direction and 590.42 cm/s² in the QA component; The acceleration data of 5 stations whose acceleration values measured at these stations are above 100 gal were evaluated within the scope of this study. Looking at the wave form of the Düzce-Golyaka station at the closest distance to the earthquake EPICENTER point, it was seen that the component value of DB was greater than the component of KG. In nearby stations, the diffusion of the benefit direction towards the station can lead to long-term energy accumulation in the component perpendicular to the fault. The length of time of the earthquake is shorter because the amplitude of the wave in the parallel component is greater. If the acceleration records of the QA component are large amplitude, it can be assumed that a forward directivity effect can be mentioned, given the short duration of the earthquake's high frequency.

In the processing of earthquake log data, a baseline-offset-correction process was applied to record the main shock in the time space, and a Butterworth band-pass filter ranging from 0.2 to 25 Hz was applied. It produced these converted velocity and displacement waveforms.

As seen in the Düzce-Golyaka station speed diagram, the greatest speed amplitude of each component is $V_{max} = 30.66$ cm/s in the KG direction, $V_{max} = 16.80$ cm/s in the DB direction and $V_{max} = 7.11$ cm/s in the vertical direction. Displacements are the largest values of displacements in the QA, DB and Vertical directions when viewed in the waveform; 10.90 cm, 4.29 cm and 2.34 cm are determined.

The Akyazı section is observed in pre-quaternary basic rocks. During the 17 August and 12 November earthquakes, activity on the Düzce fault system was observed. The earthquake that occurred on August 17 ($M = 7.4$) developed 130 km. The eastern part of the surface crack of 30 km in length is located in the Düzce fault line. It is known to be the East-Southwest stretch fault between Sapanca Lake-Cumayeri-Trench on the west side of Düzce Basin. The length of this right-directional pulsing fault is 50 km.

The fault mapped on the Adazazarı plain shows morphologically in the 25 km section between Çammayeri and Hendek. The Plio-Quaternary old Karapurcek formation, its morphology is interrupted by the fault of this zone, which consists of right lateral movements and wide pressure ridges, and the fault forms the dove between this formation and the mainland and is basically located.

The 1994 Düzce-Trench earthquake ($M = 6.5$) probably occurred on the mentioned fault. In the northwest of the ditch, surface cracks have been observed in recent earthquakes. This is the right-hand path. Shape changes in small sizes during fracture, 2-5 cm in the range, the right direction progress is achieved.

In the historical period (1800 BC – 1900 AD), the Northern and Southern branches of the Northern Anatolian fault Line area followed by 358 and 715 earthquakes with a violent value of $I_0 = IX$ were experienced in the region. In addition, many earthquakes with a magnitude of $I_0 = VIII$ occurred on the North Anatolian Line area in the southeast and west of Düzce.

The rapid fault levels separation made by our center indicates that the earthquake occurred on a downward pulsed fault.

The most precise measure against earthquakes is that the people living in the region should live in earthquake-resistant structures and the houses they buy should be earthquake-resistant.

The source (focus) mechanism solution of the earthquake shows that there is a fault movement with a right-hand and directional pulses (Şekil 3.1).

Historical and instrumental earthquakes, it is seen that a large number of destructive earthquakes have occurred in the region and that these earthquakes have caused a large number of lives and property loss. The seismicity of the region is determined by the North Anatolian fault Zone. Different researchers measured the surface fracture length of the Düzce earthquake and the highest right lateral displacement. The length of the surface fracture is between 30 – 45 km, and the right lateral displacement is between 380 – 490 cm.

This earthquake, which occurred in Düzce on November 23, 2022 and whose magnitude is $M_I=5.9$, contains very important parameters for seismological studies. The right lateral direction with KD-GB direction is caused by a pulsed fault. According to the AFAD data, the greatest acceleration value of the earthquake was measured as 8105-coded gal, one of the 5 accelerometers closest to the earthquake zone. In this earthquake, which occurred at an average depth of 10 km, the acceleration of 593.56 in the East-West component, measured from the largest horizontal earth-level Central accelerometer station, was generally below the expected empirical value. The most damage during the earthquake occurred in Düzce provincial center, Golyaka, Cumayeri and Gümüşova district centers, Saridere, Yeşilova, Icmeler, Kemeryani, Koprubaşı and Yayakbaşı villages. Structural damage has generally been observed in

buildings built with a traditional building style of stone or a creepy type on the ground that is geologically suitable for ground augmentation.

One of the most critical factors in the formation of structural damage in an earthquake is the frequency content of the earthquake. The frequency values measured at the stations where high amplitude acceleration values of 4.6 Hz to 11.4 Hz are recorded and calculated in this earthquake show the basic characteristics of this magnitude and the fault structure. In this context, according to the results of Fourier analysis applied to the data of the stations whose records were evaluated; 8105 0.17 s at QA component at Düzce Central Station. 0.21 sec on DB component. And 0.08 sec on the vertical component. Waves with wavelength were effective. 8106 0.54 s at QA component at Düzce Center 2 station. 0.46 sec on DB component. And 1.63 sec on the vertical component. Waves with wavelength were effective. 8109 1.42 s in QA component at Düzce Golyaka Station. 1.23 sec on DB component. And 1.65 sec on the vertical component. Waves with wavelength were effective. 8110 Düzce Akçakoca station 0.25 sec in KG component. 0.22 sec on DB component. And 0.09 sec on the vertical component. And the jokes are impactful. 0.18 s in the KG component of the 5414 Sakarya Karasu station located at the most distant distance from the earthquake. 0.28 sec on DB component. And 0.22 sec on the vertical component. And the jokes are impactful.

It is known that if the period of the floor and the structure are of the same value, resonance will occur and therefore damage the structure. Similarly, if we take the values of the building vibration period for both the Düzce and the earthquake-affected region as an average of 0.1 sec per floor, the vibration period values of all the above stations are seen to be in the range of 0.08 s to 1.65 s.



1. GİRİŞ

Düzce, Türkiye'nin Batı Karadenizinde yer alan ilimizdir. Kuzey Anadolu Fay Hattının (KAFH) etkisindedir. Uluslararası merkezlerin sismoloji verilerine göre, 23 Kasım 2022 tarihinde, Türkiye saati ile 04.08'de, merkezi Düzce ili, Gölyaka ilçesinin 6 km kuzeydoğusu olan büyüklüğü Mw 5,9 ve 6-19 km odak derinliğine sahip sığ odaklı bir deprem oluşmuştur. (Şekil 1.1) (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2022).

Deprem sonrası saat 09.05 anına kadar; Büyüklüğü en fazla 4.3 olan 220 artçı şok değeri kaydedilmiştir. Deprem; Düzce İli, olmak üzere Ankara, İstanbul, Kocaeli, Bolu, Sakarya, Kütahya, Bilecik, Bursa, Eskişehir ve çevredeki birçok il ve ilçede hissedilmiştir.

Sağlık Bakanlığının yaptığı açıklamaya göre 24.11.2022 tarihi saat 16.00 itibarıyla depremde 2 kişi hayatını kaybetmiş, Düzce'de 37, Sakarya'da 26, Zonguldak'ta 10, Bolu'da 14, Bursa'da 4 ve İstanbul'da 2 kişi olarak toplamda 93 kişi yaralanmıştır.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının açıklamasına göre Düzce ilinde acil yıkılması gereken 181 ağır hasarlı yapı olduğu tespit edilmiştir.

Depremin oluşumunu etkileyen fayın belirlenmesi ve oluşan hasarın jeolojik yapıyla olan ilişkisine arazide bakıldığında hasarın yoğunlaştığı ana ve artçı şokların meydana geldiği, Düzce ile Gölyaka arasında bulunan kesimde gerçekleşmiştir. Olası çalışmalar sonucunda anılan depreme etki eden faya ilişkin bir yüzey kırılması gözlenmemiştir. Bu noktada, bilhassa Karadere Segmenti'nin Büyük Melen Çayı'nı kestiği alanda, taşkın ovası çökelleri üzerinde gelişmiş yanal yayılma türünde deprem kökenli yüzey deformasyonları gözlenmiştir (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2022).



Şekil 1.1. 23 Kasım 2022 Düzce Gölyaka Depremi Türkiye Diri Fay Haritasındaki yeri (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2022).

23.11.2022 günü meydana gelen depremin büyüklüğü MW= 5.9 olarak ölçülmüştür. AFAD'ın ivme-ölçer istasyonlarında kaydedilmiştir. Ölçülmüş en büyük ivme değeri Düzce Merkez istasyonu D-B yönü 593,56 cm/sn², KG bileşeninde ise 590.42 cm/sn² değeri kaydedilmiş olup; Bu istasyonlarda ölçülen ivme değerleri 100 gal'ın üzerinde bulunan 5 istasyonun ivme verileri bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Deprem merkez üssü noktasına en yakın mesafede Düzce-Gölyaka istasyonunun dalga formuna bakıldığında, DB bileşen değerinin KG bileşeninden daha büyük olduğu görülmüştür. Yakındaki istasyonlar da fayda oluşan kırılma yönünün yayılması, istasyona doğru olup, faya dik bulunan bileşende uzun periyotlu enerji birikimine yol açabilir. Bu noktada paralel bileşende ki dalganın genliği büyük olduğu için depremin süresi daha kısa olarak kaydedilmektedir (Somerville ve ark, 1997). KG bileşeninin ivme kayıtlarının büyük genlikli olması durumunda, depremin yüksek frekansı kısa etkili süresi dikkate alındığında, ileriye doğru (forward directivity) bir etkiden söz edilebileceği varsayılabilir.

Deprem kayıt verilerinin işlenmesinde, ana şoku zaman alanında kaydetmek için eksen kayması düzeltme işlemi (baseline-offsets-correction) ve 0.2 ile 25 Hz aralığında değişen bir Butterworth band geçişli filtre uygulandı. Bu dönüştürülmüş hız ve yer değiştirme dalga formlarını üretmiştir.

Düzce-Gölyaka istasyonu hız diyagramında görüldüğü gibi, her bileşenin en büyük hız genliği, KG yönünde $V_{max}=30.66$ cm/sn, DB yönünde $V_{max}=16.80$ cm/sn ve düşey yönde, $V_{max}=7.11$ cm/sn'dir. Yer değiştirmeler dalga formuna bakıldığında KG, DB ve Düşey yönlerdeki yer değiştirmelerin en büyük değerleri; 10.90 cm, 4.29 cm ve 2.34 cm olarak belirlenmiştir.

22.11.2022 tarihinde meydana gelen deprem, büyüklüğü $MW= 5.9$ olarak ölçülmüştür. Deprem dış merkezine 4.75 - 41.96 km mesafede bulunan 146 adet AFAD'ın ivmeölçer istasyonları tarafından kayıt altına alınmıştır.

Ölçülen en yüksek ivme değeri, Düzce Merkez istasyonunda D-B yönünde 593,56 cm/sn², K-G bileşeni ise 590.42 cm/sn² olarak kayıt yapılmıştır. Bu çalışma 100 gal'dan daha büyük ivme değerleri ile veri kaydeden alan 5 istasyondan gelen bilgiler değerlendirilmiştir.

Deprem merkez üs noktasına en yakın olan Düzce-Gölyaka istasyonunun dalga formunda D-B bileşen değerinin K-G bileşeninden daha büyük değer olduğu görülüyor.



2. DÜZCENİN JEOLJİK VE TEKTONİĞİ

2.1. Düzce ve Çevresinin Jeolojisi

Düzce ve çevresinde bulunan Prekambriyen (Pey) en yaşlı birim olup bölgede ki Efteni Gölünün güney-doğusunda yer alan Kuvaterner yaşında sedimanter birimler ile sınır halde bulunan Düzce Fayının güney kesiminde yüzlek verirler. Ayrıca Düzcenin kuzeybatısında bulunan Çilimli fayının kuzeyinde ve kuzeybatısında da gözlenir. Genel olarak ayrılmış granit, granodiyorit özelliklerini gösterir. Bu birim Yedigöller Formasyonu da denilmektedir (MTA ve A.U., 1997; Şaroğlu ve ark, 1992).

Paleozoyik; Kocatöngel Formasyonu (Ok); kum taşı ara seviyeli silisli çamur taşından oluşmuş formasyon Erken Ordovisiyen zaman dilimlidir. Düzcenin Kuzey bölümünde Gürcühüseyinağa-Karacaören köylerinin aralığında, Bolu Masifinin ana kayalıkları üzerinde düzensiz olarak yer alır.

Kurtköy Formasyonu (Ok); siltaşı, çakıltası, çamurtaşı, orta kumtaşından meydana gelen formasyon Erken Ordovisiyen zaman dilimine aittir. Düzce'nin güneydoğusunda bulunan Kaynaşlı bölgesinde yer almaktadır. Ereğli Formasyonu (Ode); Şeyl-Kumtaşı kireçtaşı formasyonu Ordovisiyen-Aşağı Devoniyen zamanına aittir. Kaynaşlı'nın kuzey bölümünde oluşur. Yılanlı Formasyonu (DCy); dolomitten ve dolotomitik kireçtaşından meydana gelen formasyon Genç Devoniyen ve Erken Karbonifer yaşlıdır. Çilimli'nin kuzeybatısındaki dokuzlar köyünde belirli bir bölgede görülür. Mesozoyik; Çakraz formasyonu (Ptkç); Çamurtaşı, Kumtaşı, Çakıltaşından oluşmuş formasyon Permian ve Triyas yaşındadır. Düzcenin doğu bölümünde yer alan Ereğli formasyonu ile birlikte görülmektedir. Yemişliçay Formasyonu (Ky); Aglomera, Volkanik Kumtaşı, Tüfit, Andezitik ve Bazaltik lav, Mikritik Kireçtaşı ve Kiltaşından oluşmuş formasyon Kretase ve Paleosen yaşındadır. Yılanlı formasyonu ile birlikte Düzce'nin kuzeydoğusunda sınırlı yayılımlı şekilde görülür. Akveren formasyonu (Kta); Resifal Kireçtaşından, marn, killi kireçtaşı ve çamurtaşından meydana gelen formasyon Paleosen - Geç Kretase yaşındadır. Kaynaşlı bölgesinin kuzey bölümünde Çapakbey ile Kaynaşlı arasında, kuzeydoğuda Yukarıbayır, Nalbantoğlu, Sallar köyleri civarında, Kurtköy-Ketenciler arasında ve Domuzgözü

tepesinin kuzeybatı bölgesinde yüzeyler (MTA ve A.U., 1997; Ateş, 2013). Senozoyik; Çaycuma Formasyonu (Tç) ve Yığılca Üyesi (Tçy); marn – konglomera – kumtaşı - Tüfit'ten oluşmuş Çaycuma formasyonlu Erken ve Orta Eosen zaman yaşlıdır. Düzce'nin batısı ve kuzeyinde net şekilde görülmektedir. Burada bulunan geniş alanlı volkanitler Yığılca Üyesi olarak ayırt edilir. Yığılca Üyesi Andezit-Bazaltik lavlar, Tüfit/Tüf, Volkanik Kumtaşı ya da volkanik breşlerden oluşmaktadır. Erken Orta Eosen zaman dilimine aittir. Düzce'nin kuzeydoğusunda, güneyinde ve batısında görülür. Karapürçek Formasyonu (PIQk); çakıltaşı, çamurtaşı ve zayıf tutturulmuş kumtaşından meydana gelen formasyon Erken Kuaterner zaman dilimine aittir. Düzce'nin doğusunda etek düzlüklerini oluşturan temel kayaların önünde yer alır. Genç Çökeller (Q); Düzce Havzasını dolduran kırıntılı çökellerin (Geç Pleyistosen-Holosen), çökelim yeri ne olursa olsun kum – silt – kil ve çakıllardan meydana geldiği görülmüştür. Özellikle havza kenarlarındaki çok az miktarda moloz veya kaya dışında, taşkın yataklarında ve göl alanlarında birikmişlerdir. Düzce Havzası'ndaki sediman kalınlığına ilişkin veriler, çoğunluğu keofizik veri olmak üzere sınırlı sayıda sondaj kuyusuna dayanmaktadır ve ortalama 260 metre civarındadır (Wilson ve Mikkelsen, 1977).

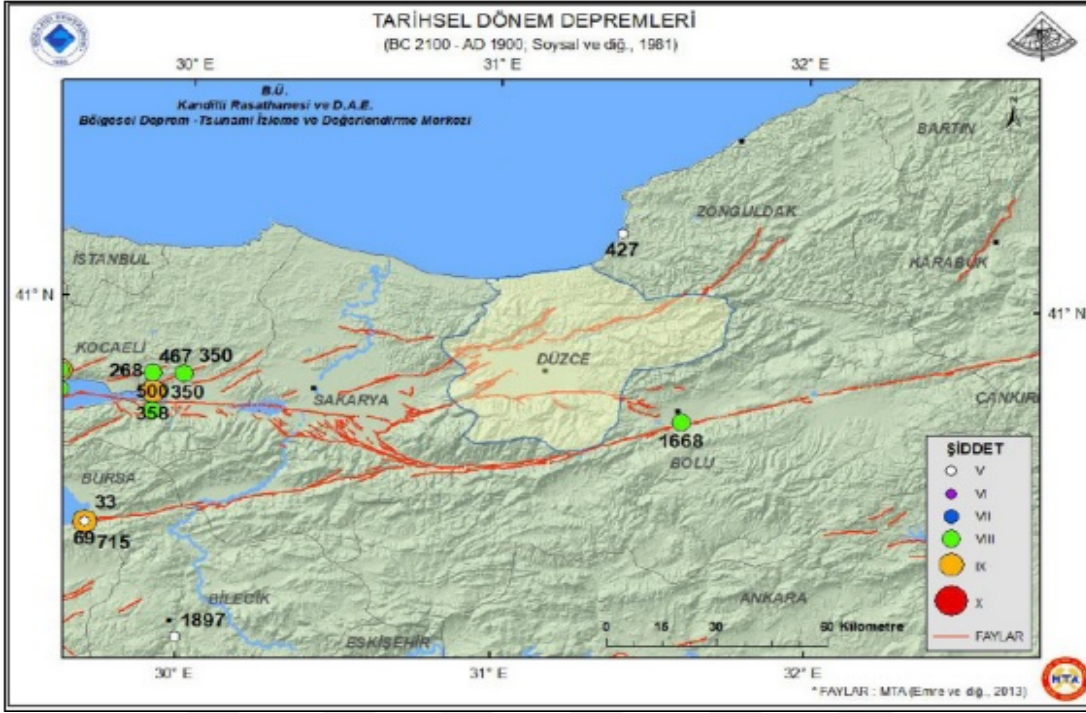
2.2. Düzce ve Çevresinin Aktif Tektonizması

Arap-Afrika Plakası ile Avrasya plakasının kıtasal yakınsaması sebebiyle, Geç Kretase'den itibaren Neotetis Okaysnusunun Güney tarafı kapanmaya başladı (McKenzie, 1972; McKenzie 1978; Şengör ve Yılmaz, 1981; Dewey ve ark, 1986). Arap levhasının Afrika levhasından kuzeye doğru hareketi daha hızlıdır bu nedenle, Doğu Anadolu'da Serravaliyen Tortoniyen (Orta-Üst Miyosen) döneminde iki levha arasında kıtasal bir çarpışma oluşmuştur (Şengör ve Yılmaz, 1981; Şengör 1980). 12 milyon yıl önce Doğu Anadolu'da oluşan kıta çarpışması, Doğu Akdeniz'in modern kinematığı de mühim bir görev almaktadır.

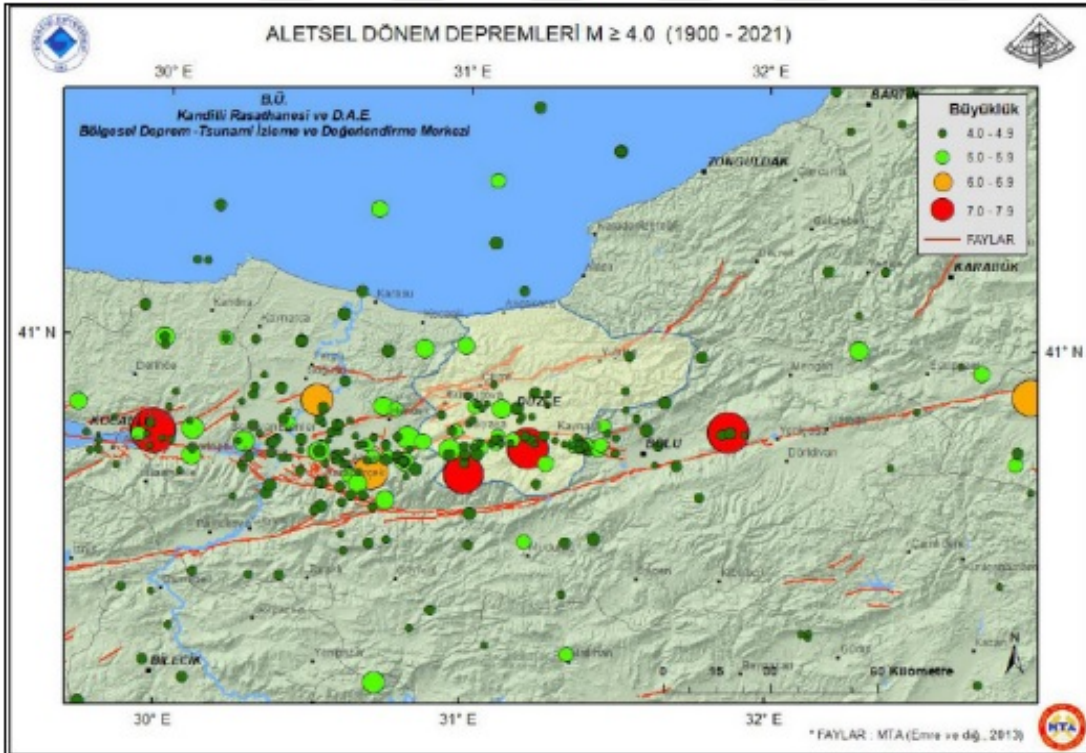
Doğu Anadolu'nun Kuzey-Güney kıtasal yakınsaması ile sağ yönlü yanal doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve sol yönlü doğrultulu Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) oluşmuştur (McKenzie 1972; McKenzie 1978; Şengör ve Yılmaz, 1981; Dewey, 1986; Jackson ve McKenzie 1984; Şengör ve ark, 1985). KAFZ ve DAFZ boyunca batıya doğru hareketi olan Anadolu Levhası, Ege ve Kıbrıs dalma zonları sırasında Ege bölgesinde saat yönünün tersine dönen hareketle Afrika levhasına doğru

gitmektedir (Şengör 1980; Şengör ve ark, 1985; Armijove ark, 1999). Güncel GPS verileri, KAF boyunca Anadolu Levhacığının batıya doğru 25 mm/yıllık hızla hareket etmekte olduğunu göstermektedir (McClucky ve ark, 2000; Reilinger ve ark, 2000; Reilinger ve ark, 2006). Bolu-Karlıova arasında dar bir zonda izlenen KAFZ, Bolu'dan itibaren batıya doğru genişleyen bir yapı oluşturur (Armijo ve ark, 1999; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Barka, 1992, 1997).

Bolu ile Marmara Denizi arasında bulunan Doğu Marmara Bölgesinde ise kuzey ve güney olarak iki ana koldan oluşmaktadır. Fayın batıya doğru devamında Marmara Denizi, birbirinden doğu-batı genel doğrultusunda uzaklaşan kuzey ve güney ana kolları arasında gelişen tektonik çukurluklara oluşmuştur. İntra-Pontid okyanusu'nun Erken Eosen-Oligosen kapanmasıyla ortaya çıkan kenet zonunda yer alan KAFZ'ye göre, İstanbul ve Sakarya zonlarının kaya birimleri paleotektonik zamanda buluşur (Şengör ve Yılmaz, 1981; Yılmaz ve ark, 1982; Yılmaz ve ark, 1995; Okay, 1989; Aksay ve ark, 2002). Fayın kuzeyinde bulunan, Neojen öncesinde birimlerden oluşmuş İstanbul alanı, Ordovisiyen ve Erken Tersiyer yaşlı tortul kayalardan oluşmaktadır. Güneyde bulunan Sakarya alanı da metamorfik bir temel ve Jura-Kretase çökellerinden teşekkül eder. Fayın iki çatalı arasında morfolojik olarak yüksek noktalar oluşturan Almacık ve Samanlı 5 dağları, genellikle Intra-Pontid kenedini meydana getiren farklı metamorfik kayalar ve ofiyotli melanj ile bunları örten Eosen yaşlı kayalardan oluşmaktadır. Armutlu yarımadası'nın kuzeybatı kesimine yakın Bolu-Marmara Denizi arasında KAFZ'nun iki büyük kolu kenet kuşağı ile tektonik birlikler arasında yer almaktadır. 23.11.2022 Düzce (Gölyaka) Depremi (Mw 6,0)'nin meydana geldiği bölge, tarihsel olarak (1900'den önce) ve aletsel olarak (1900'den sonra) dönemlerde şiddetli depremlerin görüldüğü sismojenik bir bölgedir (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2). Aletsel Dönemde son depremin olduğu alana en yakın büyük depremler, en doğusunda Karadere Segmenti'nin de kırıldığı 17.08.1999 Kocaeli (İzmit) Depremi (Mw 7,4) Awata ve ark, (2003), ile Düzce Segmenti üzerinde yüzey kırığının geliştiği 12.11.1999 Depremi'dir (Mw 7,2) (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2022; Duman ve ark, 2014).

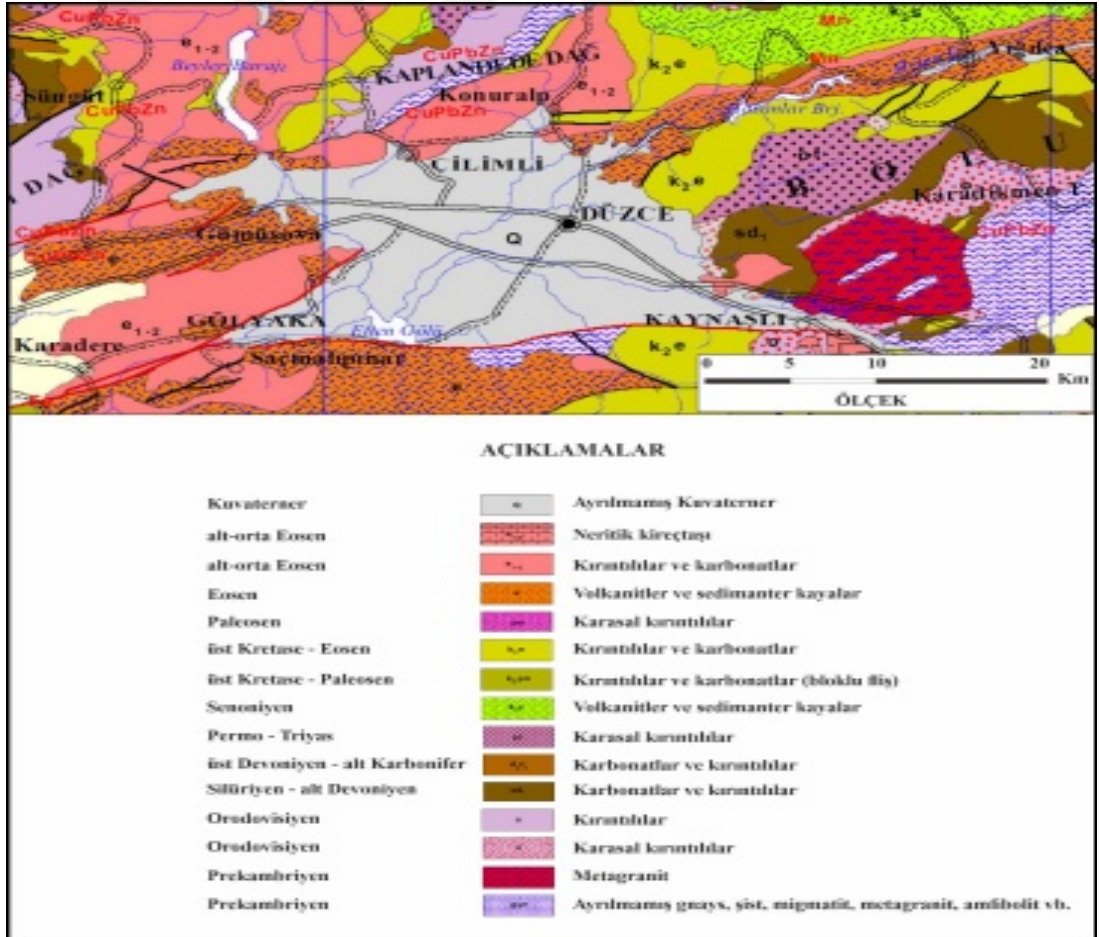


Şekil 2.1. 23 Kasım 2022 Gölük (Düzce) Depremi ve çevresinin tarihsel dönemi deprem etkinliği (1900 öncesi) (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2022).



Şekil 2.2. Kasım 2022 Gölük (Düzce) Depremi ve çevresinin aletsel dönemi deprem etkinliği (1900 sonrası) (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2022).

Düzce Ovası, KAFZ'nun K71°D doğrultulu Karadere Segmenti ile D-B doğrultulu Düzce Segmentleri arasında gelişen kama biçimli bir fay havzasıdır. Düzce Havzası ve çevresinde Prekambriyen'den bu zamana kadar değişen yaş aralığına sahip kaya ve çökeller yüzeylemektedir (Şekil 2.3). Düzce Havza'sı ve civarındaki en yaşlı birimler, Düzce Segmenti'nin güney bloğunda ve Kaynaşlı'nın doğusunda yüzeyleyen Prekambriyen yaşlı şist, gnays, metagranit, migmatit ve amfibolitlerdir. Ordovisiyen yaşlı karasal kıvrıntılar Kaynaşlı'nın güneyinde belirli bir bölgede yüzlek verirken, aynı yaşlı kıvrıntılı birimler Düzce Havzası'nın batı ve kuzeybatısında geniş alanlarda yayılım gösterir. Silüriyen-alt Devoniyen yaşlı karbonatlar ve kıvrıntılar ile üst Devoniyen-alt Karbonifer yaşlı karbonatlar ve kıvrıntılar ise Düzce Havzası'nın çoğunlukla doğu, kısmen de batı ve kuzey kesimlerinde yüzeylemektedirler. Permo-Triyas yaşlı karasal kıvrıntılar yalnızca Düzce Havzası'nın doğusunda izlenir (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2022).



Şekil 2.3. Düzce ve çevresinin jeoloji haritası (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2022).

Pliyo-Kuvaterner yaşlı birimleri iki gruba ayırabilir, kaba taneli havza civarında ve ince taneli havza içi çökeller. Ağırlıkla alüvyon yelpazesi çökelleri, döküntü çökelleri ve akarsu sekisi çökellerinden oluşan havza kenarı çökelleri, genişlikleri 1-5 km arasında değişen kuşaklar halinde uzanır. Çoğunlukla, eğim atım bileşenine sahip faylar ve bir doğrultu atımlı bileşen tarafından kesilmiş olan bu yelpazelerin oluşturduğu dağ eteği düzlükleri basamaklı bir morfolojiyi temsil etmektedir.

Havza içi birimler ise genellikle kıvrımlı nehirlerde, taşkın yataklarında, göl ve bataklıklarda biriken nispeten ince taneli çökeltilerdir (Emre, 1999). Bu çökellerin büyük kısmı Holosen istifleri şeklindedir. Havza içerisinde etek, akarsu ve göl çökelleri yanal ve düşey yönde geçiş göstererek hızla depolanırken, kıyı kuşağında delta, plaj ve rüzgâr egemen tortullar çökelimlerini sürdürmektedir. Geçiş ortamlarını oluşturan lagüner ortamlar, siltlenme süreciyle karalaşma eğilimindedir. Bölgesel tektonizma sonucu erozyonla değilerek oluşan vadi sistemleri ise akarsu süreçlerinde gelişen tortullardan oluşmaktadır. KAFZ boyunca birkaç alanda gözlenen travertenler Kuvaterner boyunca oluşumunu sürdürmektedir (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2022).

2.3. Neotektonik Yapılar

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), ortalama 11 milyon yıldır devasa ve harab edici depremlerle günümüzde sismik aktivitesini sürdürmektedir (Şengör, 1980; Ketin, 1969; Şaroğlu ve ark, 1987; Şaroğlu ve ark, 1992). Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) batıda Saros körfezin'den doğuda Karlıova'ya, kadar 1200 km'lik bir uzunluğundadır. Bölgede bulunan zonun tarihsel ve aletsel zamanda oluşan büyük depremlere baktığımızda, doğudan batıya genel bir sismik hareketin gerçekleştiği izlenmektedir (Barka, 1996). Aletsel dönem de ilk önce 1939 yılında 7.9 şiddetinde Erzincan depremi oluşmuş ve 350 km lik bir yüzey kırığı meydana gelmiş ve daha sonrasında bu fay alanı üzerinde sırasıyla 1942'de 7,4'lük büyüklüğünde ki Niksar-Erbaa, 1943'de 7,6 şiddetinde Tosya, 1944'de 7,3 lük Bolu-Gerede, 1957'de 7,0 şiddetinde Abant, 1967'de 7.1'lik büyüklüğündeki Mudurnu depremini son olarakta 17 Ağustos 1999'da 7,4 büyüklüğündeki Kocaeli depremi yaşanmıştır. Belirtilen depremlerden 17.08.1999 tarihinde olan Kocaeli depremiyle birlikte ortalama 250 yıldır kırılmamış KAFZ'nun bir bölümü kırılarak ve neticeten 130 km mesafede bir yüzey kırılması ve 5 m kadar sağ yanal atımlar meydana gelmiştir.

Anılan deprem sonrasında büyüklüğü 5.8'i bulan artçı şoklar oluşmuştur. Ülkemiz de oluşan ve yüzyılımızın en büyük doğal afetlerinden biri olan 17.08.1999 Kocaeli Depreminden sonra, yüzey kırılmasının her iki ucunda oluşan gerilme enerjisi önemli ölçüde artmıştır. Kocaeli depreminden sonra KAFZ üzerinde kırılmamış segmentlerden olan Düzce - Bolu arasında bulunan Düzce fayı üzerindeki gerilme enerjisi 12.11.1999'da açığa çıkmış ve Düzce depremini oluşturmuştur. Düzce fayının uzunluğu ortalama 75 km olup; bu fay üzerinde oluşan deprem sonucunda 30 km'lik yüzey kırığı meydana gelmiştir. Ancak Düzce fayında halen kırılmamış bir bölümün var olması, az da olsa bir deprem tehlikesinin varlığına işaret ediyor. Diğer taraftan 17.08.1999 Çamurtaşlı Kocaeli Depreminin yüzey kırığı Gölyaka'ya civarlarına uzanmakta olup henüz Kuzey Doğuya devam eden Akyazı fayını takip etmemiştir. 12.11.1999 Düzce depreminin yüzey kırılması da bu kesimden doğuya devam etmiştir. Sonuç olarak KD-GB uzanımlı Akyazı faylarında enerji salınımının olmaması o fayı sismik açıdan önemli kılmaktadır.

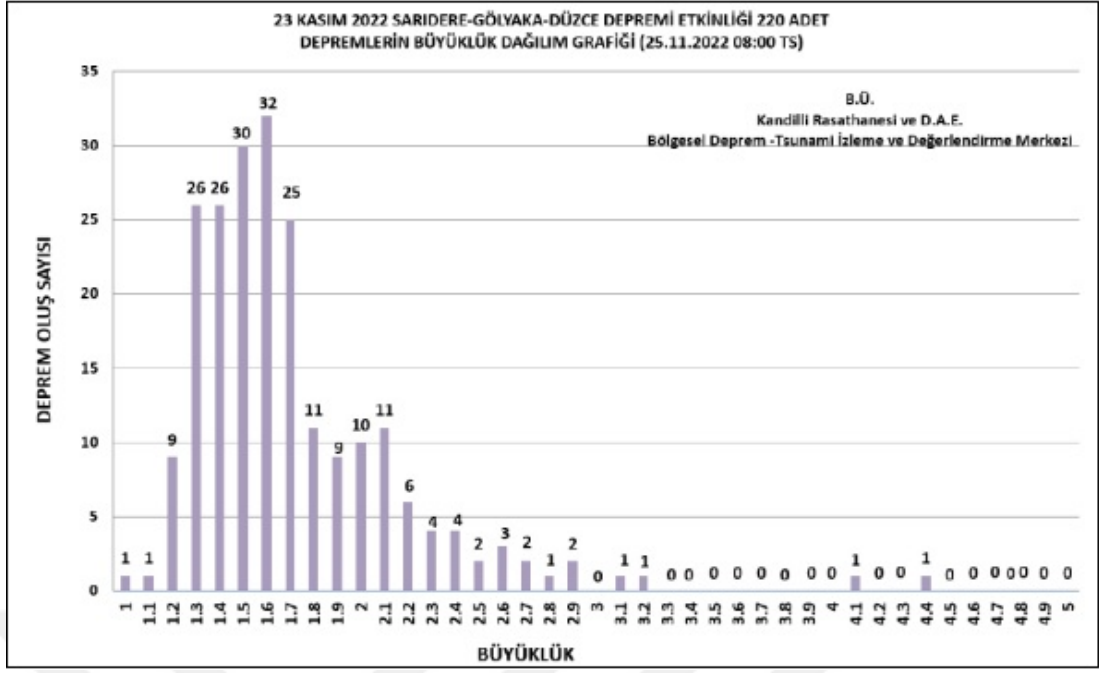
2.4. Düzce Bölgesinin Sismotektoniği ve Depremselliği

Ulusal ve uluslararası sismoloji merkezlerinden bildirilen ilksel moment tensör çözümlerine göre, depremin nedeni KD - GB doğrultulu sağ yanal doğrultu atımlı bir faydan kaynaklanmaktadır. Yapılan çözümlere bakıldığında depremin büyüklüğü (Mw) 6,0 ile 6,1, derinliği ise 10 km ile 19 km aralığının da olup fay düzleminin eğim yönü bazı çözümlerde KB bazılarında ise GD yönünde verilmiştir (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2022).

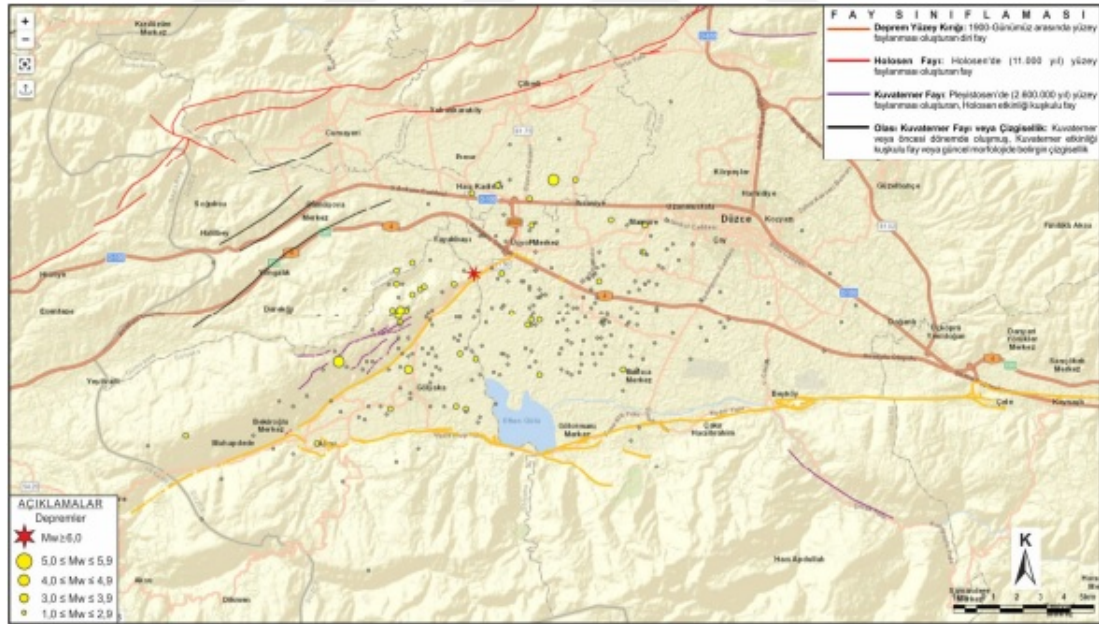
AFAD kayıtlarına göre söz konusu depremin koordinatı 40,823K - 31,025D olarak verilmiştir. Deprem; Düzce, Ankara, Kütahya, İstanbul, Sakarya, Bolu, Kocaeli, Bursa, Bilecik ve Eskişehir başta olmak üzere, çevredeki birçok il ve ilçede de hissedilmiştir (Şekil 2.4) (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2022).

Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) kayıtlarından alınan verilere göre 25.11.2022 tarihi saat 08.00'a kadar 2'si 4'ten büyük olmak üzere toplam 220 adet artçı depremi oluşmuştur. (Şekil 2.5).

MTA Genel Müdürlüğü Yerbilimleri Harita Görüntüleyicisi üzerinden artçı depremlerin dağılımlarına bakıldığında, genel olarak Karadere Segmenti'ne uyumlu olarak KD-GB yönünde bir hat oluşturacak şekilde kümelenedikleri izlenmektedir (Şekil 2.6). 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) Depremi'nin büyüklüğü, artçı şokların



Şekil 2.5. 23 Kasım 2022 Düzce (Gölyaka) Depremi'nin 25.11.2022 tarihi (saat 08:00) itibarıyla deprem oluş sayısı ve büyüklük dağılımı grafiği (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2022).



Şekil 2.6. 23 Kasım 2022 tarihinde Gölyaka (Düzce)'da meydana gelen depremin ve artçı şoklarının MTA Yerbilimleri Harita konumu. Diri faylar MTA tarafından yayınlanmış Türkiye Diri Fay Haritası (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2022), sismolojik veri AFAD-DDB (<http://www.deprem.gov.tr/>) tarafından eş zamanlı olarak MTA Yerbilimleri Harita Görüntüleyicisine aktarılan bilgilerden alınmıştır (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2022).

Düzce ili depremsellik açısından Türkiye'nin ve Dünyanın en aktif ve tehlikeli bölgesi olan Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun etkisinde bulunmaktadır. Avrasya levhası, Anadolu levhası ve Arap levhası'nın etkisinde, Helenik Yay tarafına doğru saat yönünün tersine doğru hareket eder; Afrika Levhası da Helenik Yayı ile Kıbrıs Yayı beraberince Anadolu levhasının tabanına hareket eder (Şengör ve Yılmaz, 1981). Ülkemiz için oluşturulan Diri Fay haritasında bölgeyi etkilediği düşünülen 3 tane diri fay bulunduğu biliniyor; (MTA ve A.U, 1999).

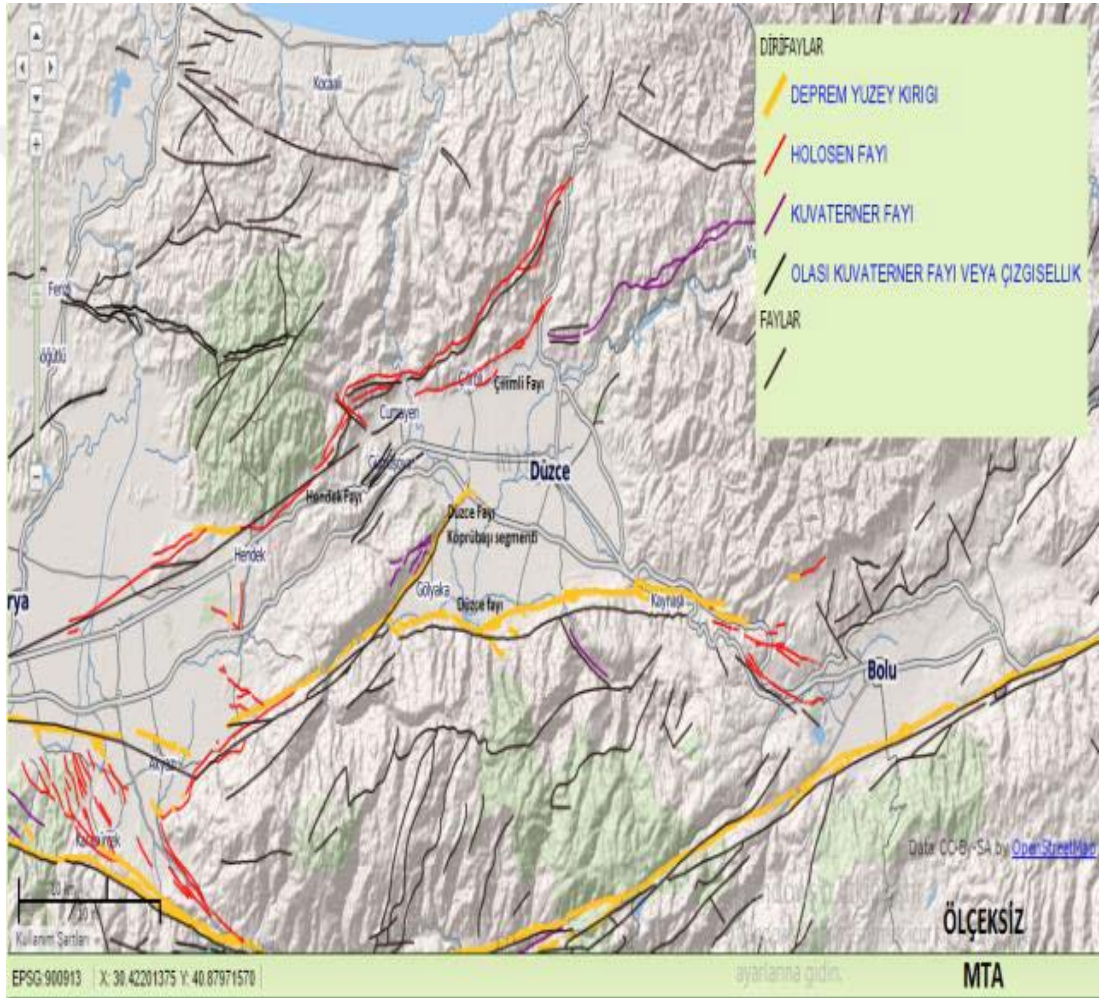
Bunlar; Asya - Avrupa levhasını Güney Anadolu levhasından ayıran Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), ortalama 1200 km uzunluğunda orta doğrultu atımlı bir fay olarak Türkiye'nin en kritik tektonik yapılarından biridir. Bu fayın bölge üzerinde ki etkisi deprem gerçeği olarak bilinmektedir. Bölgede meydana gelen 17.08.1999 ve 12.11.1999 tarihlerinde, bölgenin faaliyetinin devam ettiğinin kanıtını gösteren depremler meydana gelmiştir. Bu zon Düzce ilinin depremselliğini belirlemede ve bu fayın neden olduğu depremin parametrelerine göre risk analizleri yapılmıştır (MTA ve A.U, 1999).

Düzce Fayı ise; Düzce Havzasını güneyden Düzce İli'ne kadar morfolojik olarak sınırlayan bu fayın Akyazı-Düzce Arası toplam uzunluğu 70 km'dir. Birbirini tamamlayan üç alt kısımdan meydana gelen Düzce Fayı, sismik olarak aktif sağ yönlü doğrultu atımlı faydır.

Akyazı bölümünün Kuvaterner öncesi temel kayalar içinde gözlenmektedir. 17 Ağustos ve 12 Kasım depremlerinde Düzce fay sistemi üzerindeki aktivite gözlenmiştir. 17 Ağustos'ta meydana gelen depremde (M=7.4) gelişen 130 km. uzunluğundaki yüzey çatlağının 30 km'lik doğu kısmı Düzce Fayı hattında bulunmaktadır. Hendek Çilimli Fayı Düzce Havzasının batı yakasında Sapanca Gölü – Cumayeri-Hendek arasındaki Doğu-Güneybatı uzanımlı fay Hendek Fayı olduğu bilinir. Bu sağ yönlü doğrultu atımlı fayın uzunluğu 50 km'dir.

Adapazarı Ovasında haritalanan fayın Cumayeri - Hendek arasındaki 25 km'lik kesitte morfolojik olarak görüntü vermektedir. Pliyo-Kuvaterner yaşlı Karapürçek formasyonu, morfolojisini sağ yanal hareketler ve geniş basınç sırtlarından oluşan bu zonun fayı tarafından kesilir, fay bu formasyon ile anakaya arasındaki dokanağı oluşturur ve temelde yer alır.

1994 Düzce - Hendek depreminin (M=6.5) ihtimalle bahsi geçen fay üzerinde meydana gelmiştir. Hendek'in kuzeybatısında son depremlerde yüzey çatlakları gözlenmiştir. Bu kırılma sağ yönlü doğrultu atımlı olup; Kırık süresince küçük boyutlarda şekil değişiklikleri, 2 - 5 cm. aralığında sağ yönlü ilerleme gerçekleşmiştir. Fayda belirlenen ve boyutuyla orantısız olan yüzey kırılması 17.08.1999 depreminde Hendek fayında aşırı gerilme biriktiğinin bir göstergesi olduğu düşünülmektedir (MTA ve A.U, 1999). Düzce etkisinden kaynaklanan tektonik yapı ve aktif faylar Şekil 2.7.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Çalışma alanının tektonik yapısı ve Düzce Fayının kolları (MTA ve A.U, 1999).



3. 23 KASIM 2022 DÜZCE DEPREMİNİN ODAK MEKANİZMA ÇÖZÜMÜ

23.11.2022 Tarihli Düzce, Gölyaka, Sarıdere (40.8175 Kuzey 30.9868 Doğu) merkez üs noktasında Türkiye saati ile 04:08'de şiddeti $M_l=6.0$ ($M_w=6.0$) olan güçlü bir deprem olmuştur. Deprem odak derinliği ortalama 10.6 km olup deprem sığ odaklıdır. Deprem Düzce, Ege, Batı Karadeniz, Marmara ve İç Anadolu Bölgelerinde hissedilmiştir (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, 2022).

23.11.2022 tarihli Düzce, Gölyaka, Sarıdere (40.8175 K 30.9868 D) merkez üs noktasında Türkiye saati ile 04:08'de şiddetinde $M_l=6.0$ ($M_{ws}=6.0$) olan deprem sonrası 6. dakika da tsunami uyarı haberi AFAD'a ve sisteme üye olan ülkelerin ilgili birimlerine bildirilmiştir. Yerel saat 06:46 itibarı ile tsunami bilgisinin iptal edildiği de son bilgi mesajı bildirilmiştir (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, 2022).

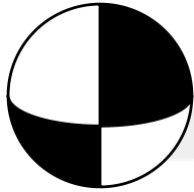
Düzce ve tüm bölgeleri Türkiye Cumhuriyeti Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nün 1996 Deprem Bölgeleri Haritasında 1. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. 1996 yılında yürürlüğe giren Türkiye Deprem Bölgesi Haritası, AFAD Deprem Daire Başkanlığı'na güncellenerek 18 Mart 2018 tarih ve 30364 sayılı ile Resmi Gazete'de yayımlandı. Yeni harita "Türkiye Deprem Tehlike Haritası" 1 Ocak 2019'da yürürlüğe girmiştir. Eski haritadan farklı olarak yeni haritada deprem bölgesi yerine maksimum yer ivmesi değerleri (PGA) belirtilmiştir. Türkiye Deprem Tehlike Haritasında Düzce'de PGA 475 (yıl) en büyük ivme değerleri 0.3 - 0.7g arasındadır. Bu da bölgenin deprem riskinin nispeten yüksek olduğunu göstermektedir. İl sınırlarının güney ve güneybatısı kesimleri genellikle Kuzey Anadolu Fay Hattı Alanı'nın etkisi altındadır. MTA'nın 2011 Türkiye Diri Fay Haritasında da görüldüğü gibi Kuzey Anadolu Fay Zonu il sınırlarının güneyinden geçmektedir. Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Düzce, Çilimli ve Keradere, kuzeydoğuda Devrek Fayı, Yığılca fayları, D-B uzanımlı Bolu, Kuzey Anadolu Fay Zonunda Taşkest fay segmentleri Kuzey Anadolu fay zonunda Dokurcan, Arifiye, Keradere fay segmentleri ve Hendek Fayı bölgede bulunan kritik tektonik yapılardır.

Genel olarak ana yapıların yönleri D-B ve KD-GB şeklindedir (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, 2022).

Tarihsel dönemde (M.Ö. 1800 - M.S. 1900) Kuzey Anadolu Fay Hattı Alanı'nın Kuzey ve Güney kolları devamında şiddet değeri $I_0=IX$ olan 358 ve 715 depremler bölgede yaşanmıştır. Ayrıca Düzce'nin güneydoğu ve batısında Kuzey Anadolu Hattı Alanı üzerinde değeri $I_0=VIII$ şiddetinde birçok deprem oluşmuştur (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, 2022).

Merkezimizce yapılan hızlı fay seviyeleri ayrımı, depremin doğrultu atımlı bir fay üzerinde oluştuğunu işaret etmektedir. (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, 2022).

Depreme karşı en kesin önlem, bölgede yaşayan insanların depreme dayanıklı yapılarda yaşaması ve aldıkları evlerin depreme dayanıklı olmalıdır (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, 2022).



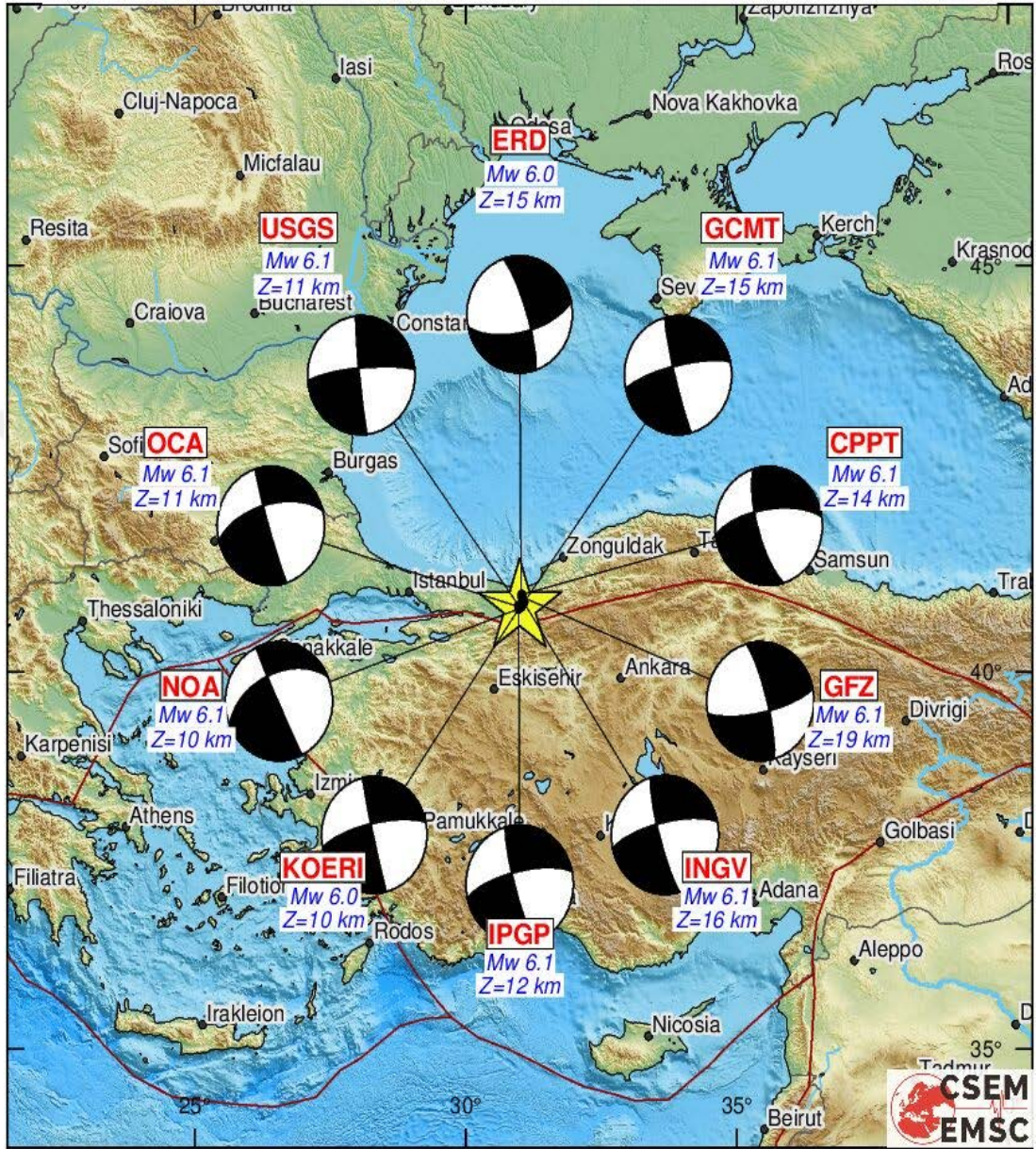
Strike 1	Dip 1	Rake 1	Strike 2	Dip 2	Rake 2
77	65	-168	342	79	-26

Şekil 3.1. Moment tensör çözümü (AFAD, 2022).

Depremin kaynak (odak) mekanizma çözümü, sağ yönlü ve doğrultu atımlı bir fay hareketi olduğunu gösteriyor (AFAD, 2022).

Moment Tensor map of earthquake:

Mag: 6.1 2022-11-23 01:08:15 UTC
Lat: 40.82 Lon: 30.99 Depth: 11.0 km



300 km
— Political boundaries
— Tectonic plates boundaries (Bird, P. [2003])

Şekil 3.2. Ulusal ve uluslararası sismoloji merkezleri tarafından 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) Depremi dışmerkez, odak derinliği ve hızlı moment tensör çözümleri (EMSC) (EMSC, 2022).



4. 23 KASIM 2022 DÜZCE DEPREMİNE AİT KUVVETLİ YER HAREKETİ KAYITLARI



Şekil 4.1. Kuvvetli yer hareketi istasyon yerleri (<https://deprem.afad.gov.tr/stations>) (AFAD, 2022).

23 Kasım 2022 tarihinde Düzce Gölyaka da oluşan ve büyüklüğü $M_I = 5.9$ olarak belirlenen deprem sonrası saat 09.05 itibarıyla; 23.11.2022 16:08'ye kadar geçen sürede, şiddeti 0.9 - 4.3 arasında değişen 146 artçı şok kaydedilmiştir.

Deprem, Kuzey Anadolu fay içerisinde bulunan Karadere Fayı'nın kuzeydoğu kesiminde oluşmuştur. Karadere Fayı ortalama uzunluğu 35-40 km'dir. 1999 İzmit ve Düzce depremlerinde Karadere Fayı'nın ortalama uzunluğu 10 km olup kuzeydoğu ucunda tam bir kırılma oluşmamıştır, 23 Kasım 2022'de oluşan depremin fayın bu kısmından kaynaklandığı düşünülmektedir (AFAD, 2022).

İvmeyi deprem dalgalarının hızlanma oranı şeklinde tanımlayabiliriz. Bu lokasyonda oluşan depremlerden kaynaklanan yapısal hasar, maksimum ivme değeri ile kontrol edilmektedir.

23.11.2022 Düzce Depremi ($M_W = 5.9$), AFAD Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Tespit ağına ait 146 adet ivme - ölçer istasyonlarından kayıt edilmiştir (AFAD, 2022).

İstasyonlar arasında ölçülen en yüksek ivme değeri Doğu-Batı yönünde Düzce Merkez istasyonunda kaydedilmiştir (593.56 cm/sn²).

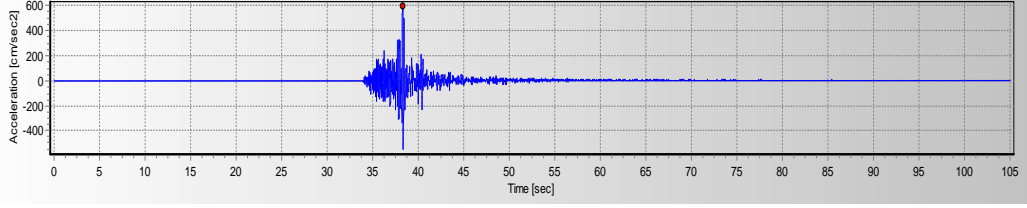
Aşağıdaki tabloda ivme değerleri 100 gal üzerindeki veri kaydı mevcut olan 5 istasyonun bilgileri ve ölçümleri verilmiştir (Tablo 4.1.).

Tablo 4.1. AFAD Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Gözlem ağına ilişkin İstasyonlardan, 22.11.2022 Düzce Depremi esnasında ivme değeri 100cm/sn² üzerinde veri kaydı almış istasyonlara dair bilgi ve ölçümler (AFAD)

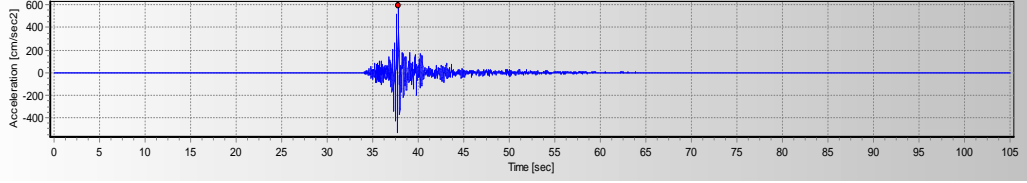
Kodu	İstasyon				Ölçülen İvme Değerleri (gal)			Uzaklık (km)
	İl	İlçe	Enlem	Boylam	K-G	D-B	Düşey	
8105	Düzce	Merkez-1	40.9027	31.1519	581.91	592.03	212.96	13.88
8106	Düzce	Merkez-2	40.7670	31.1124	343.10	377.30	226.16	9.63
8109	Düzce	Gölyaka	40.7810	31.0144	265.33	356.87	237.47	4.75
8110	Düzce	Akçakoca	41.0900	31.1427	108.35	156.73	64.26	31.29
5414	Sakarya	Karasu	41.0975	30.6821	70.27	86.30	44.65	41.96

8105 (Düzce Merkez), 8109 (Düzce Gölyaka), 8110 (Düzce Akçakoca) ve 5414 (Karasu) istasyonlarının ivme değerlerini incelediğimizde D-B yönünde ivme kayıtlarının daha büyük olduğu görülmektedir.

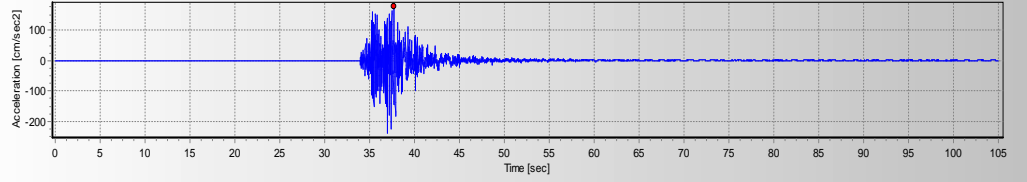
Deprem anında diğer ivme-ölçer istasyonlarında kayda alınan en yüksek yatay ivme değerleri; DM1 581.91, DM2 343.10, DGÖ 265.33, DAK 108.35, ve SKA 70.27 cm/sn² olarak ölçülmüştür. Tablo 4.1’de de depremin ana şoku esnasında kayıta olan istasyonlara ait koordinatlar ve en büyük yer hareketine ilişkin üç bileşenli ivme genlik değerleri gösterilmektedir.



K-G İvme 590.42 cm/sn2 ve Zaman 38.290 sn

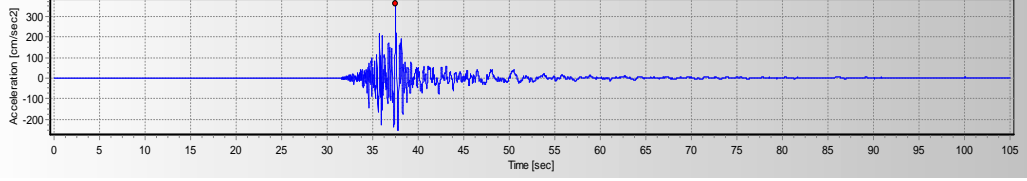


D-B İvme 593.56 cm/sn2 ve Zaman 37.840 sn

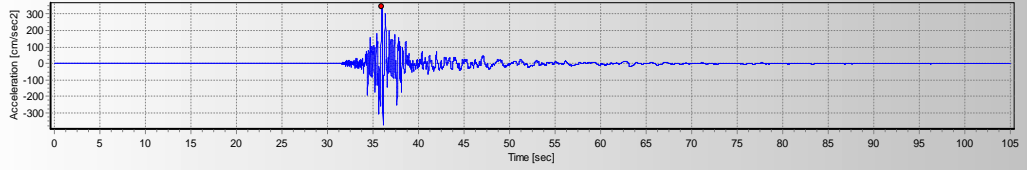


Düsey İvme 175.81 cm/sn2 ve Zaman 37.73 sn

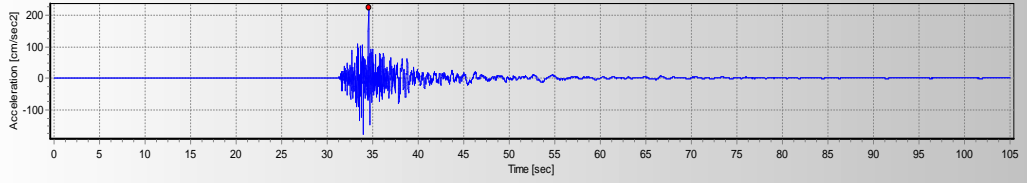
Şekil 4.2. Düzce Merkez 1, 8105 istasyonu üç bileşenli ivme kaydı.



K-G İvme 360.206 cm/sn2 ve Zaman 37.500 sn

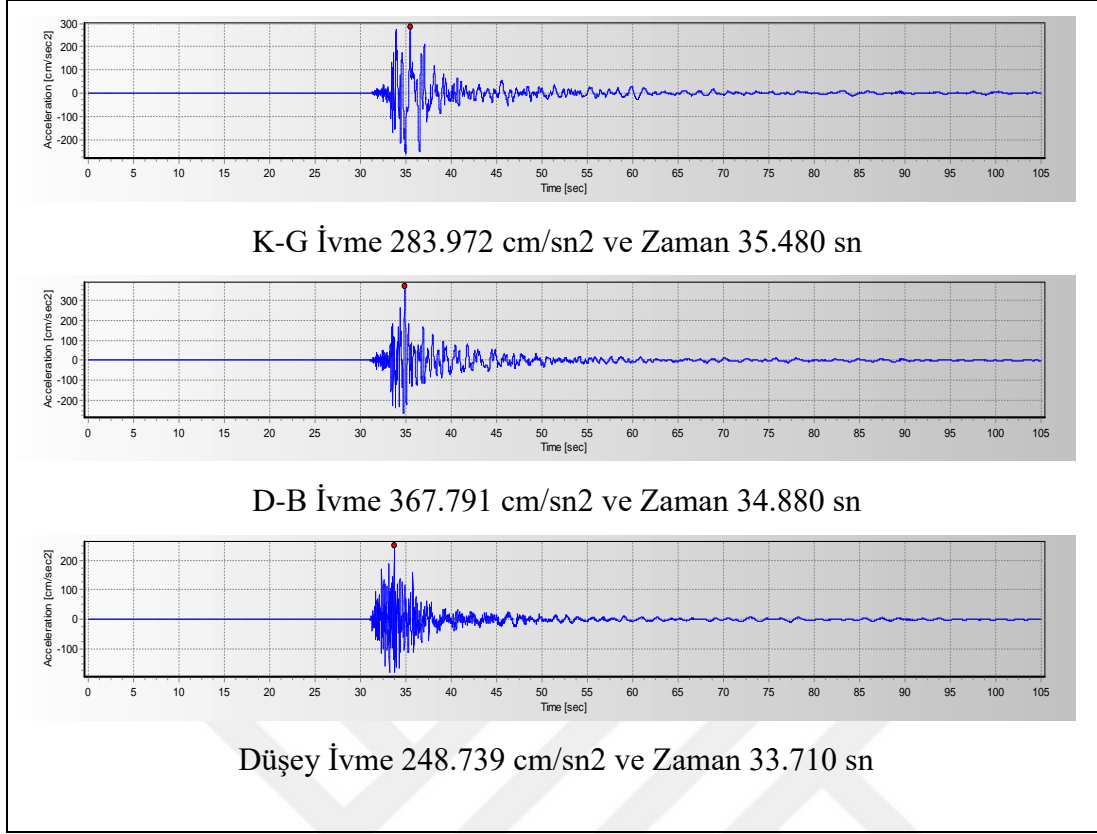


D-B İvme 344.644 cm/sn2 ve Zaman 35.980 sn

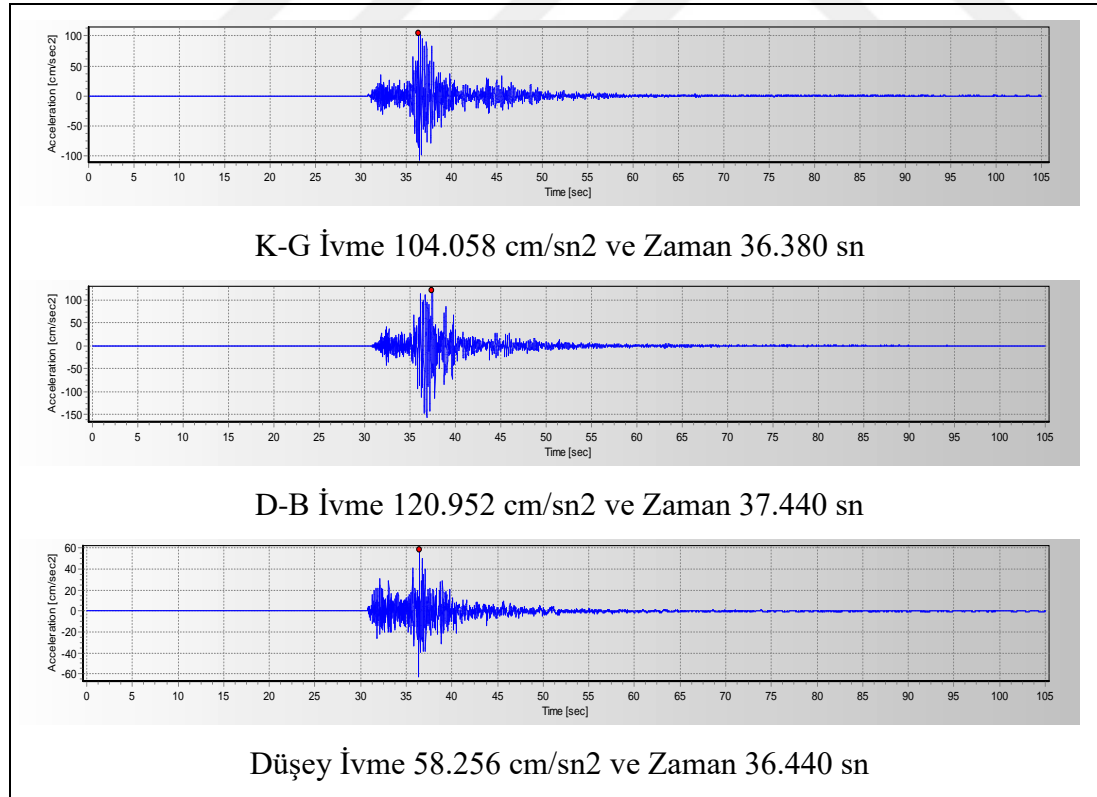


Düsey İvme 224.194 cm/sn2 ve Zaman 34.540 sn

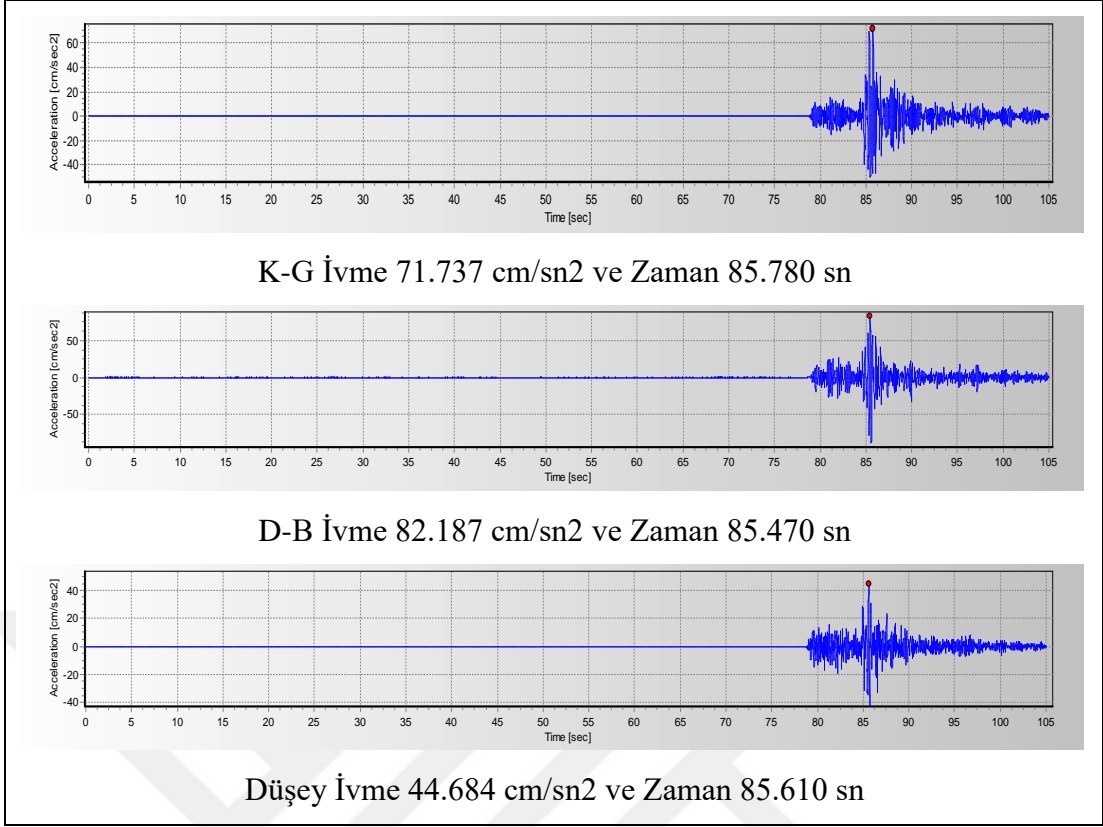
Şekil 4.3. Düzce Merkez 2, 8106 istasyonu üç bileşenli ivme kaydı.



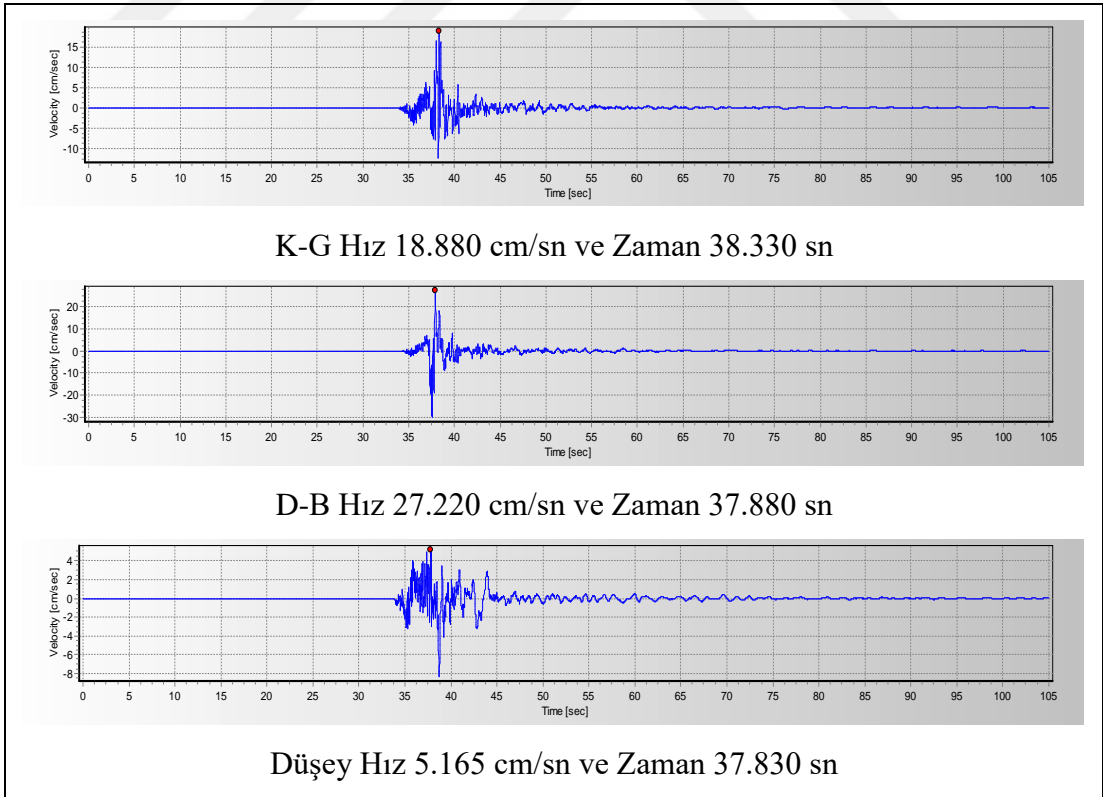
Şekil 4.4. Düzce Gölyaka, 8109 istasyonu üç bileşenli ivme kaydı.



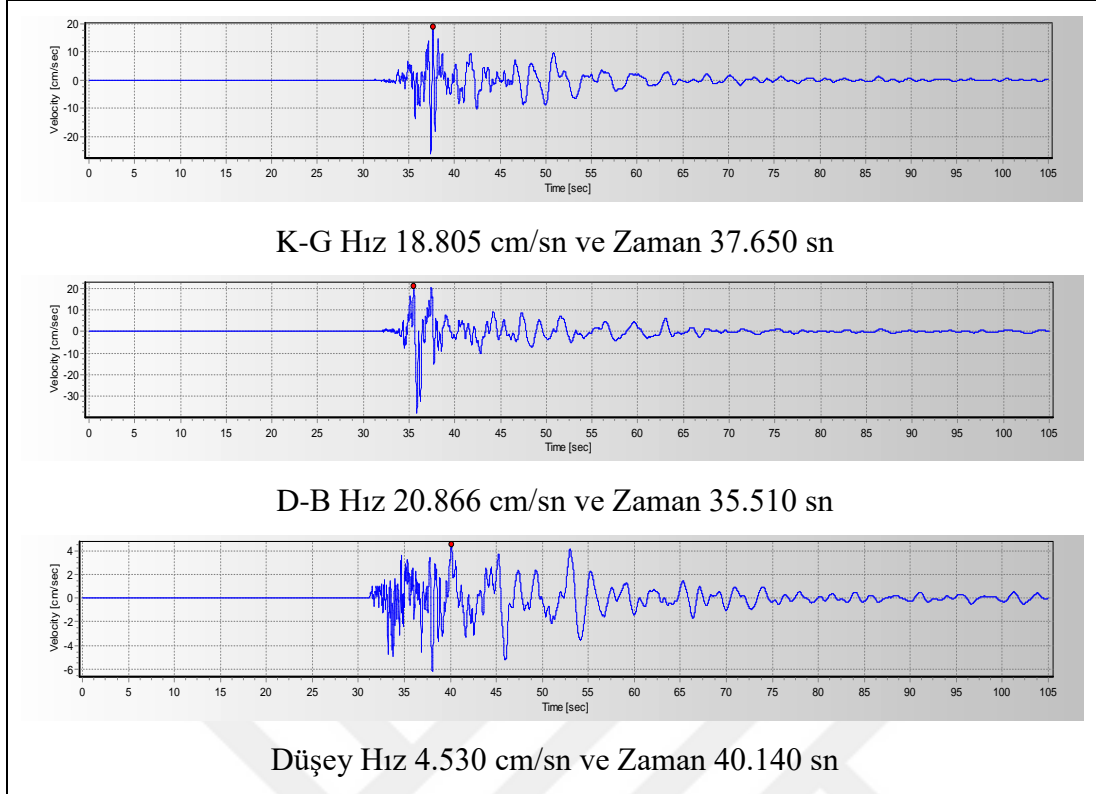
Şekil 4.5. Düzce Akçakoca, 8110 istasyonu üç bileşen ivme kaydı.



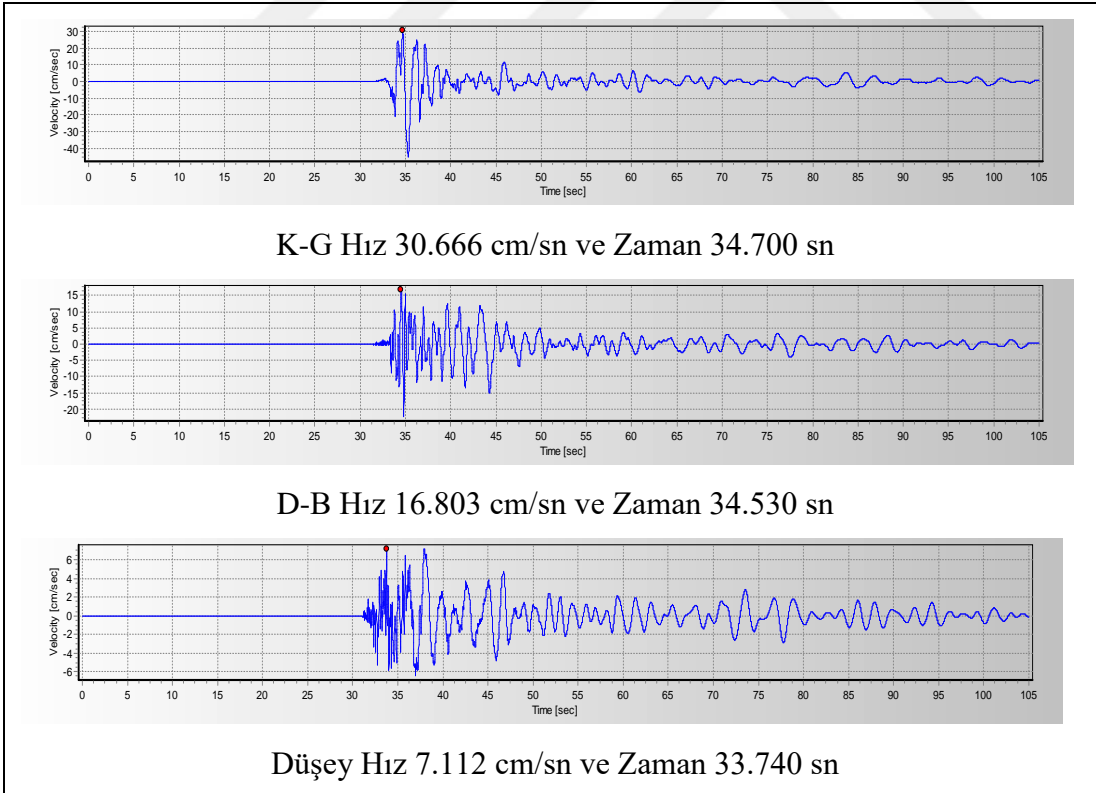
Şekil 4.6. Karasu, 5414 istasyonu üç bileşenli ivme kaydı.



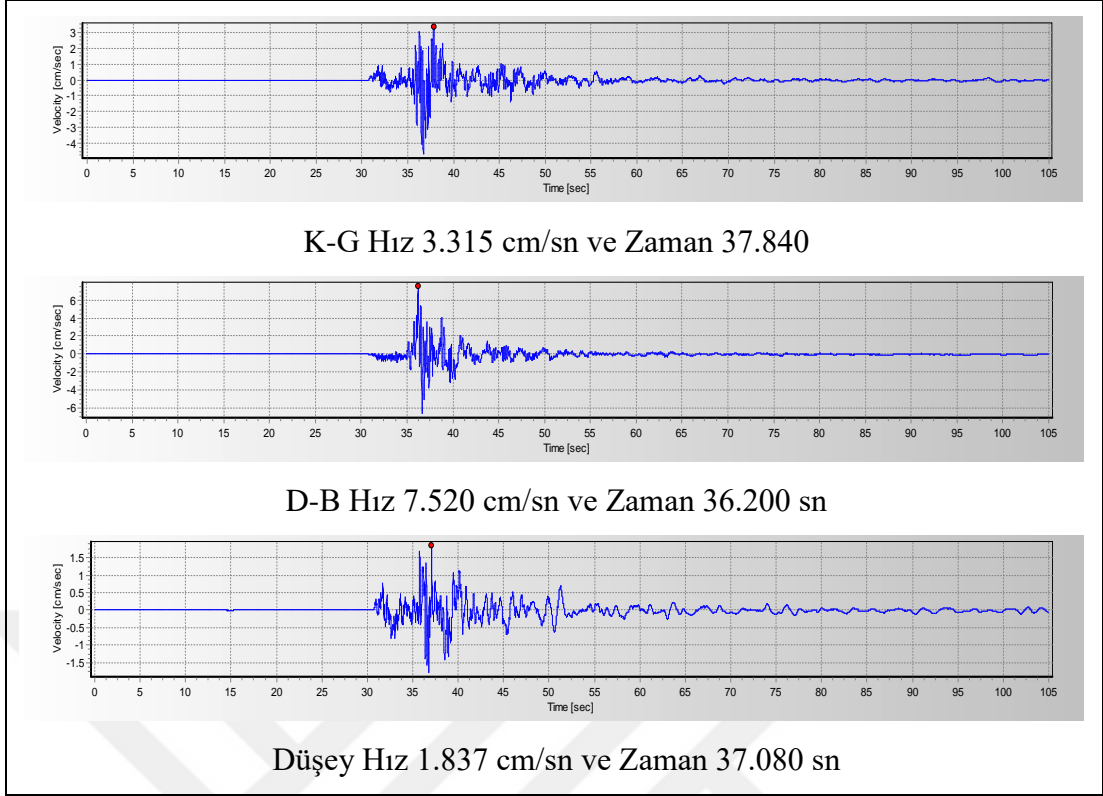
Şekil 4.7. Düzce Merkez 1, 8105 istasyonu ivme kaydı hız bileşeni.



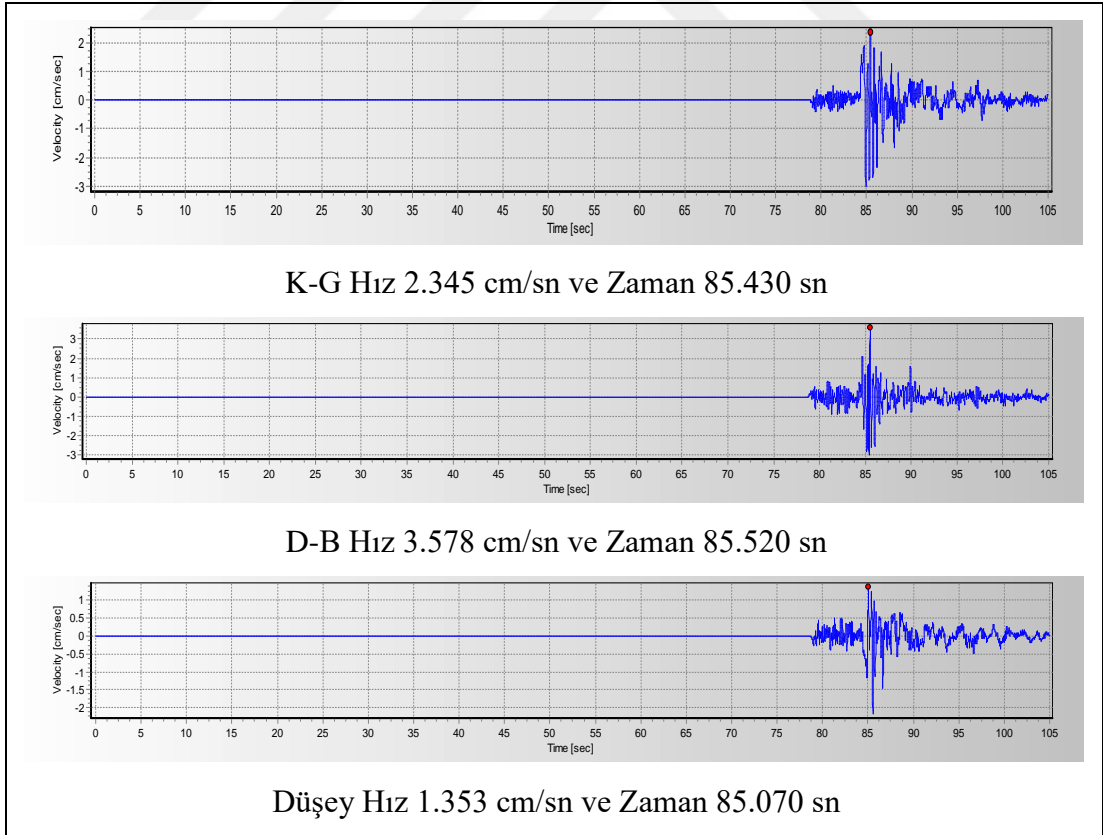
Şekil 4.8. Düzce Merkez 2, 8106 istasyonu ivme kaydı hız bileşeni.



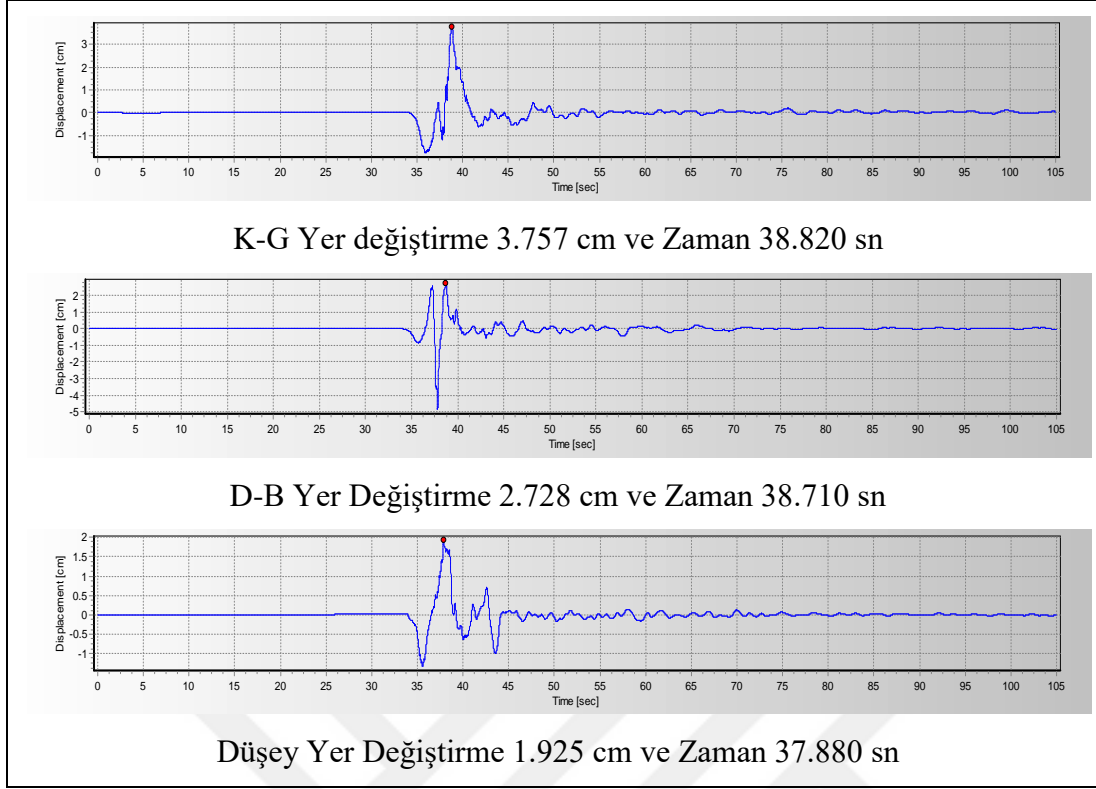
Şekil 4.9. Düzce Gölyaka, 8109 istasyonu ivme kaydı hız bileşeni.



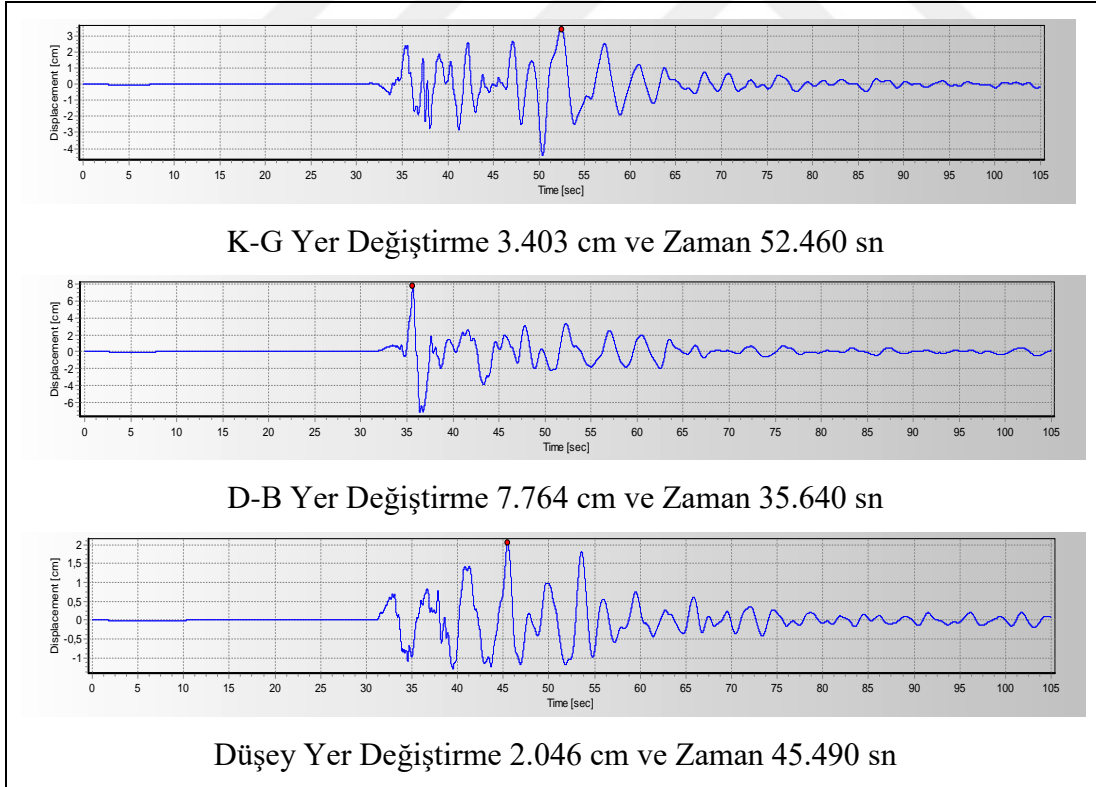
Şekil 4.10. Düzce Akçakoca, 8110 istasyonu ivme kaydının hız bileşenleri.



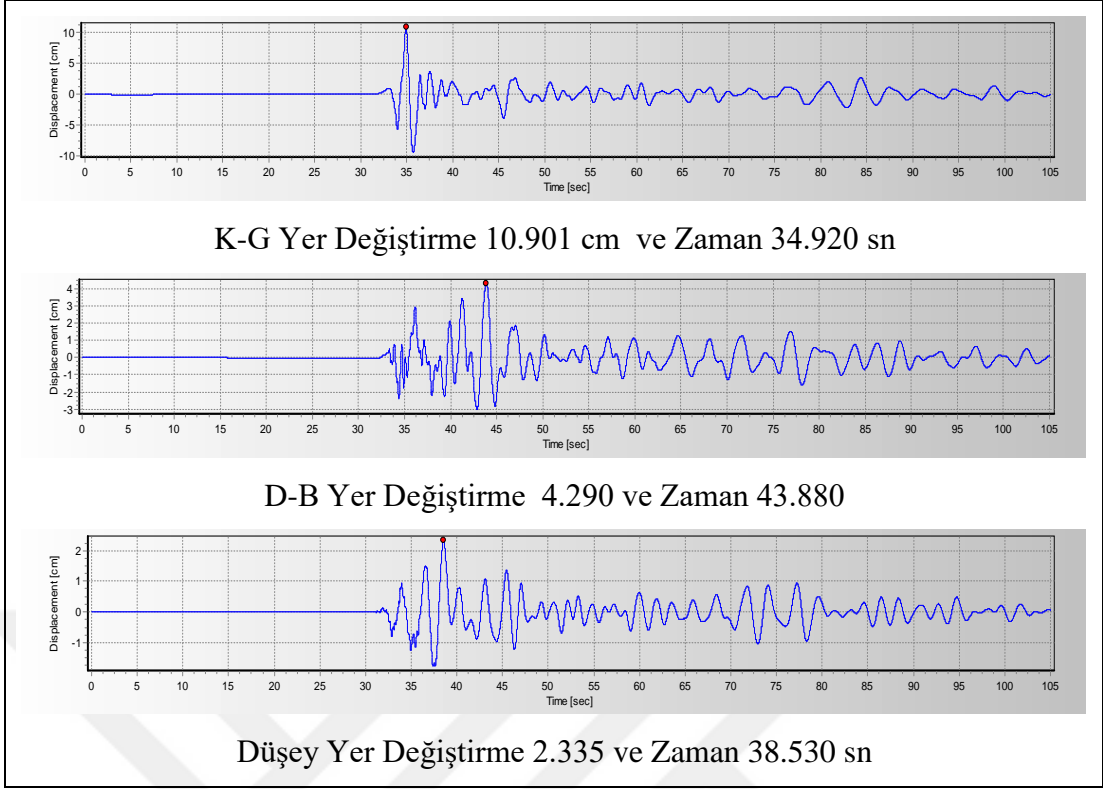
Şekil 4.11. Sakarya Karasu, 5414 istasyonu ivme kaydı hız bileşeni.



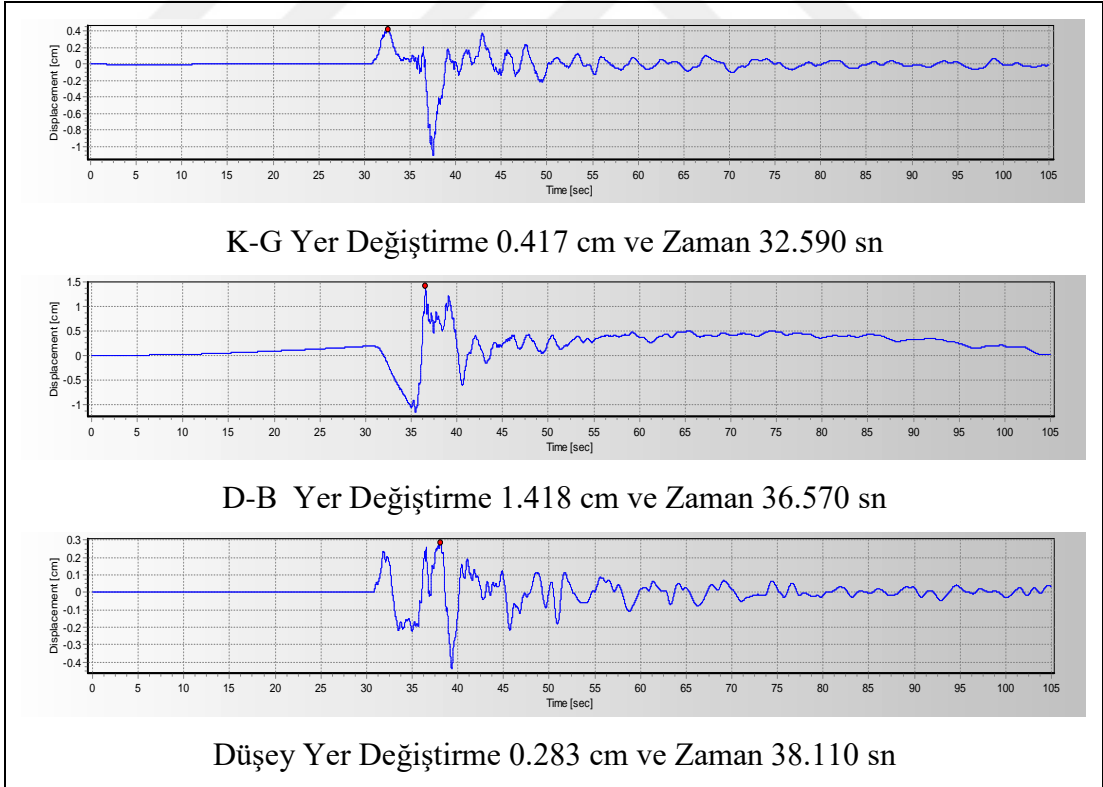
şekil 4.12. Düşce Merkez 1, 8105 istasyonu ivme kaydının yer değiştirme bileşenleri.



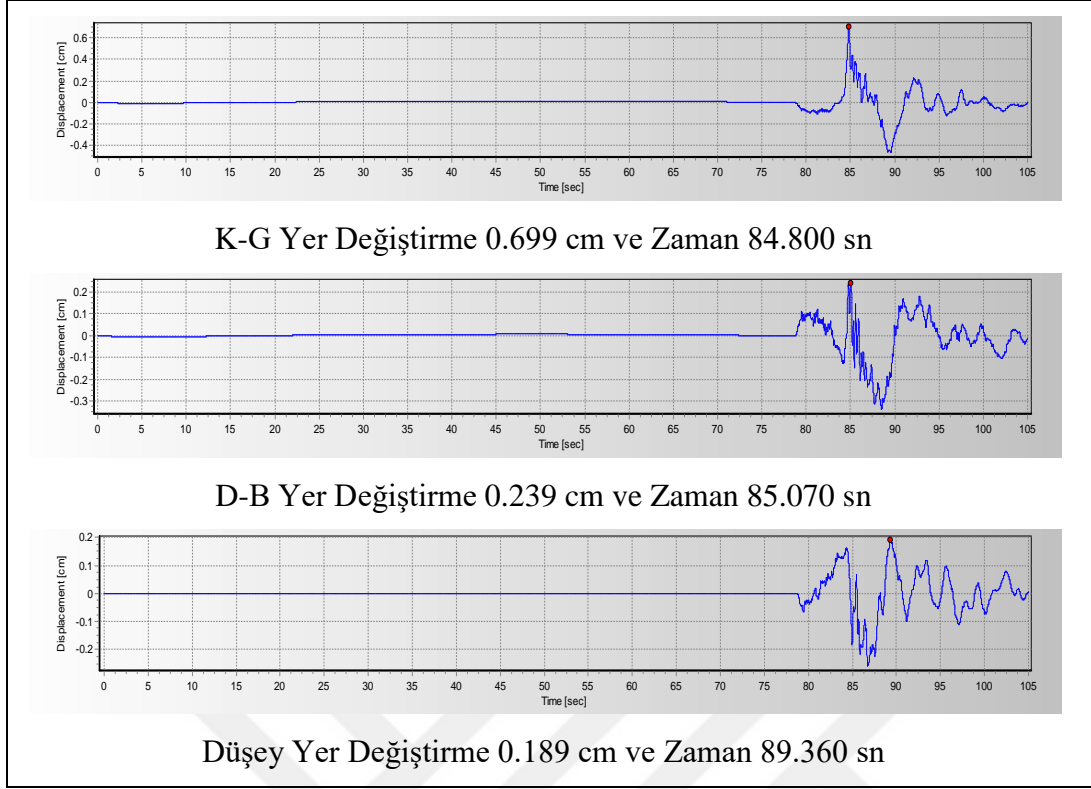
şekil 4.13. Düşce Merkez 2, 8106 istasyonu ivme kaydının yer değiştirme bileşenleri.



Şekil 4.14. Düzce Gölyaka, 8109 istasyonu ivme kaydının yer değiştirme bileşenleri.



Şekil 4.15. Düzce Akçakoca, 8110 istasyonu ivme kaydının yer değiştirme bileşenleri.



Şekil 4.16. Sakarya Karasu, 5414 istasyonu ivme kaydının yer değiştirme bileşenleri.

Düzce depreminin çeşitli istasyonlardan alınan ivme değerleri dikkate alındığında, bilhassa jeolojik yapı ve mesafenin bir işlevi olarak depremin dalgasında ciddi oranda azalma olduğu görülmüştür.

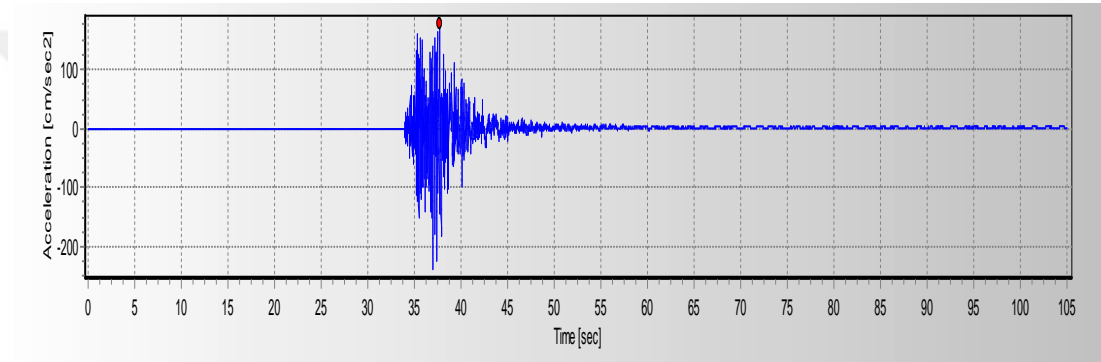
İstasyonların depremin odak noktasına bulunan kuş uçuşu uzaklıkları 4.75-41.96 km arasında değişmektedir. Bu beş istasyonun kaydedilen ivme değerlerinin, ivme-azalım bağıntılılarına göre tahmin edilen değerlerden daha düşük bulunması, depremin dalga enerjisinin büyük bir alana dağılarak indirgendini ve alandaki soğurulma düzeyinin yüksek olduğunu gösterir.

4.1. Maksimum İvme Değerleri

Mühendislik planlamalarında en yüksek düşey ivmenin (PVA) genel olarak en yüksek yatay ivmenin (PHA) üçte ikisi olduğu varsayılır (Newmark ve Hall, 1982). Bununla birlikte, son yapılan araştırmalar, PVA'nın PHA'ya olan oranının değişkenlik gösterdiği fakat üçte ikiden fazlasının orta ve büyük ölçekteki deprem kaynaklarına yakın, üçte ikiden azı çok uzakta olacak şekilde büyük ölçüde değiştiğini göstermiştir (Campbell, 1985; Abrahamson ve Litehiser, 1989). Maksimum ivme değerine Düzce Merkez istasyonunun düşey bileşeninin 37. saniyede görüldüğü üzere umulanın

üzerine (175.81 cm/sn²) ulaşmıştır. Yakındaki bir kaynaktan elde edilen kuvvetli yer hareket kayıtlarının düşey bileşenlerinin değerleri, yatay bileşenlerinin değerine yakın olabilir. Fakat düşey bileşen kaydına bakarsak (Şekil 4.2.) depremi kaydeden istasyonda belirtilen değerde ani pik (pulse) ve ani sıçramalar ortaya çıkmıştır.

Yer hareketinin yüksek frekanslı bileşenlerine karşı daha az duyarlı olduğundan, yer hareketini ara frekans seviyelerinde pik ivmeden daha doğru karakterize eder. Dolayısıyla, tüm kaydın bir örneği olan bu pik değeri elemine edildiğinde Düzce Merkez istasyonunun maksimum ivme değerlerinin yaklaşık 80cm/sn² olduğu görülmektedir. Görülen bu ani sıçramaların ivme spektrumu üzerinde hiç bir etkisi söz yoktur.



Şekil 4.17. Düzce Merkez istasyonunun ana şok kaydının düşey bileşenindeki ani pik (pulse) etkileri.

4.2. Kuvvetli Hareketin Süresi

Depremin yıkıcı etkisindeki en dikkat çekici faktörlerinden biri de sarsıntı süresidir. Uzun süre devam eden sarsıntıların binalara ciddi zararlar verebileceği bilinmektedir. Kısa süreli fakat büyük genlikli sarsıntılar, yapılarda yıkıcı hasara sebep olmasa da; uzun süreli ancak genliği orta düzeyde oluşan sarsıntılarda önemli hasarlar oluşabilmektedir. Bir diğer yandan, kuvvetli yer hareketinin süresi depremin büyüklüğü ile doğru orantılı şekilde artmakta olup; deprem odağına olan uzaklık, Dobry ve ark. (1978) sarsıntının büyüklüğü ve jeolojik koşullarda depremin süresi üzerinde büyük oranda etkili olacaktır (Trifunaç ve Westermo, 1977). Depremin süresi arttıkça yapılarda olası hasar birikimleri oluşur. Bu sebeple bir depremin süresel uzunluğu, yer hareketlerinin gücünü gösteren bir ölçüt olarak kullanılır. Anılan konuya ilişkin literatürde farklı görüşler de mevcuttur. Bu görüşlerden ilkinine göre, ivme kaydında 50 gal (0.05 g) ile bundan yüksek şiddetlere sahip salınımlarda ilk pik veson

pik ivme değerlerine ilişkin olarak bu değerler arasında geçen süre tespit edilebilir (Page ve ark, 1975). İkinci tanımlamada ise, maksimum ivmenin karesinin integrali ile elde edilen birikmiş enerjiye bağlı olarak, önerilen hızda toplam enerjii biriktirmek için gereken süre olup, yer hareketinin bir yer partikülü üzerinde yaptığı toplam işin (Arias intensity) %5'den %95'e Husid ve ark. (1969) veya %90'a Trifunac ve Brady (1975) kadar yükseldiği zaman, “etkili süre” şeklinde tanımlanmaktadır. Arias intensity (IA), (Arias, 1970).

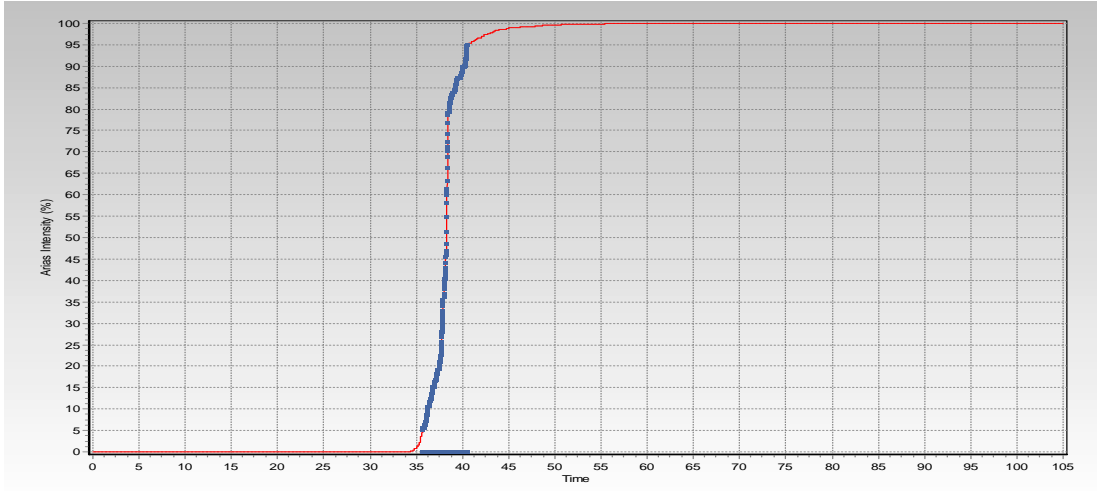
$$I_A = \frac{\pi}{2g} \int_0^{tf} a^2(t) dt \quad (4.1)$$

(4.1) formülüyle ifade edilmektedir. Burada g = yer çekimi ivmesi, a = ivme

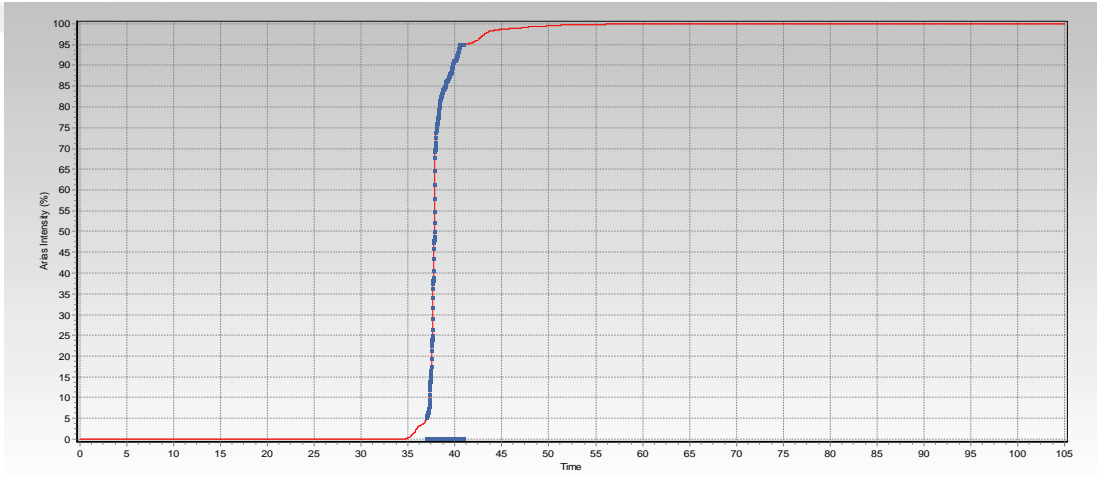
t = zaman ve tf = kayıt uzunluğunun toplamıdır. Bahsi geçen ifadeler için Düzce depreminin analizine yönelik olarak belirlenen istasyonlarda kayda alınan ivme değerlerinin her bir bileşeninin hesap edilen Arias intensity değerinin %5'den %95'e kadar yükselmesi sırasında devam eden “etkili süre”ye ilişkin grafikler (Husid plot) Şekil 4.22.'de verilmiştir. İşbu şemadan anlaşıldığı gibi en yüksek etkili süre (14.5 - 5.2 sn) değerleri istasyonlardan alınan verilerdeki düşey bileşenlerde görülmüştür. Bahsedilen istasyonları genel haliyle değerlendirecek olursak; K-G bileşenlerinde 13.6 -4.8 sn, D-B bileşenlerde ise 14.7 - 4.0 saniye “etkili süre” hesap edilmiştir. Uzun zamanlı yer hareketleri, bina sistemlerine büyük ölçüde enerji yükleyebilir (Sucuoğlu ve ark, 1999).

Düzce'deki kuvvetli yer hareketi yüksek olmasına karşın, az miktarda yapısal hasar meydana gelmesini; 1999 depremleri sonrasında Düzce'de yapı denetim kurallarına genel olarak uyulması ve kentsel dönüşüm mekanizmasının başarılı şekilde işletilmesi, Düzce'de ki yerleşim alanlarının sıkı zeminlerde bulunmasına, bölgedeki binaların alçak katlı olması ve depremin 10.6 km derinde meydana gelmesi ile açıklayabiliriz. Bu derinlikte gerçekleşen depremlerin enerjisi büyük bir alana dağıldığı için, depremin etkin süresi uzun olmasına rağmen hasar verme niteliği minimum düzeydedir.

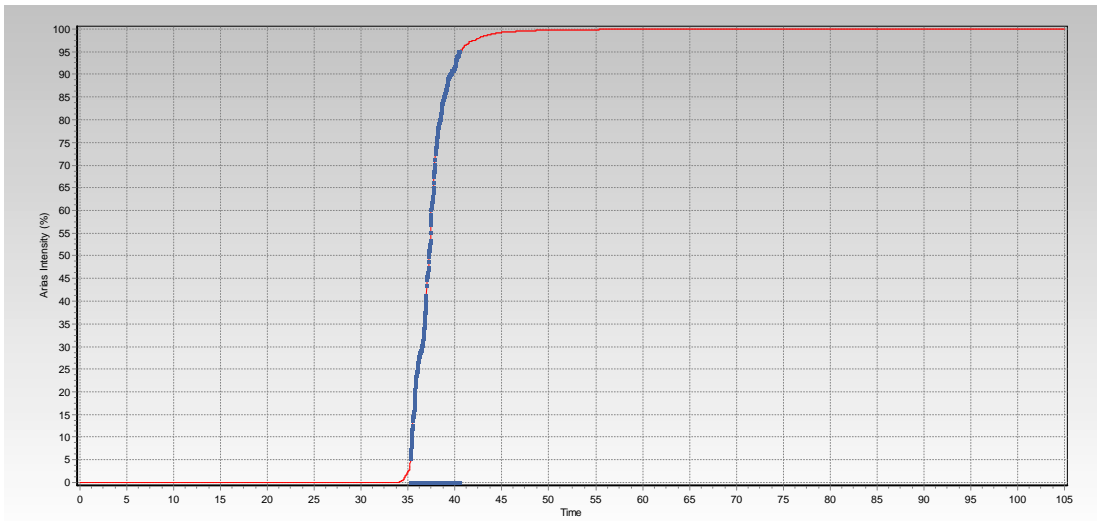
ARIAS INTENSITY K-G, $T_e=4.830$ sn



ARIAS INTENSITY D-B, $T_e=4.040$ sn

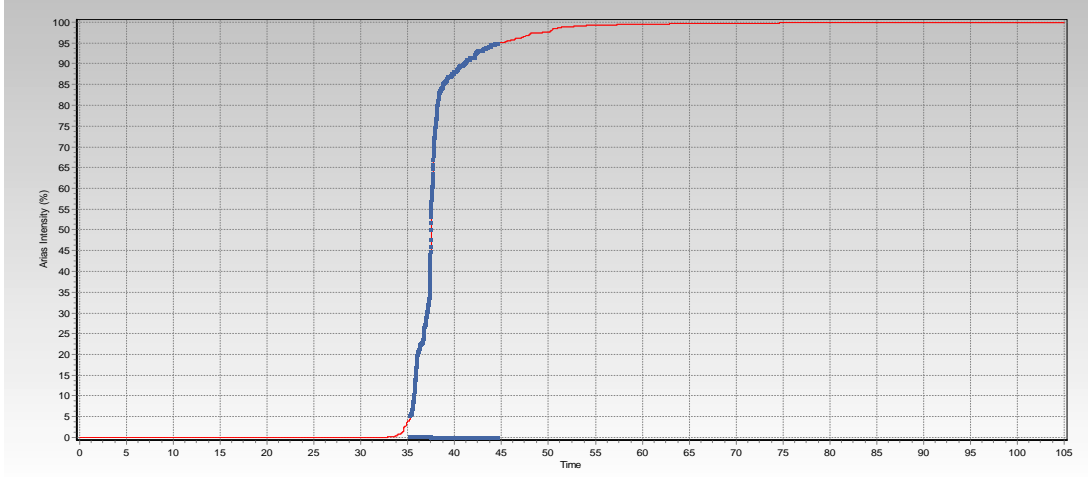


ARIAS INTENSITY Düşey, $T_e=5.260$ sn

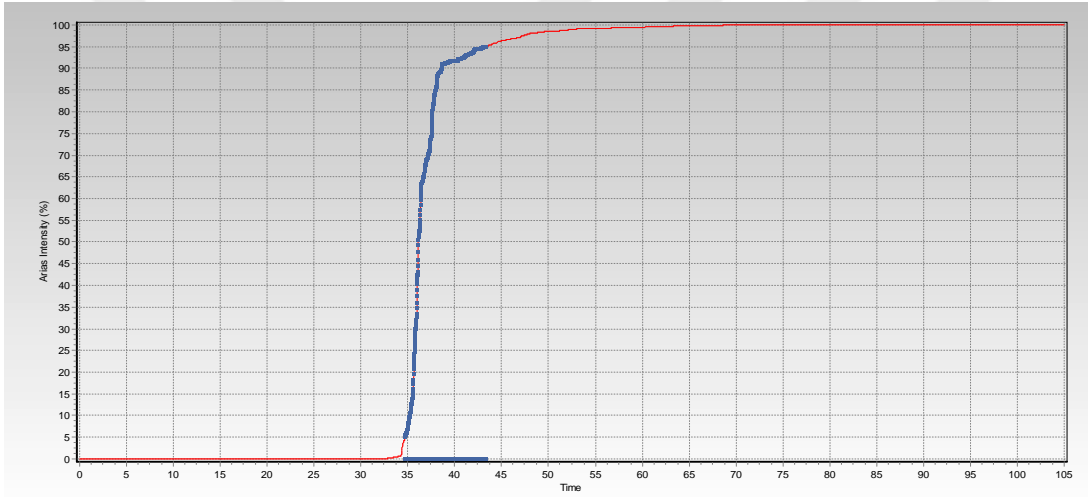


Şekil 4.18. Düzce kaydının, 8105 Düzce Merkez istasyonunun her üç bileşenine ait Arias şiddetinin %5-95 arasında hesaplanan etkili süreler.

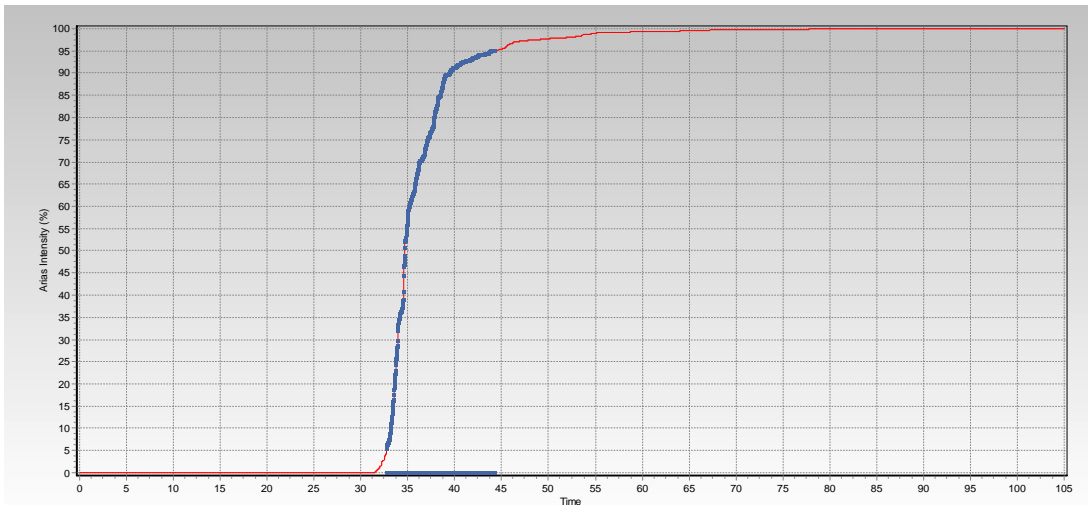
ARIAS INTENSITY K-G, $T_e=9.320$ sn



ARIAS INTENSITY D-B, $T_e=8.640$ sn

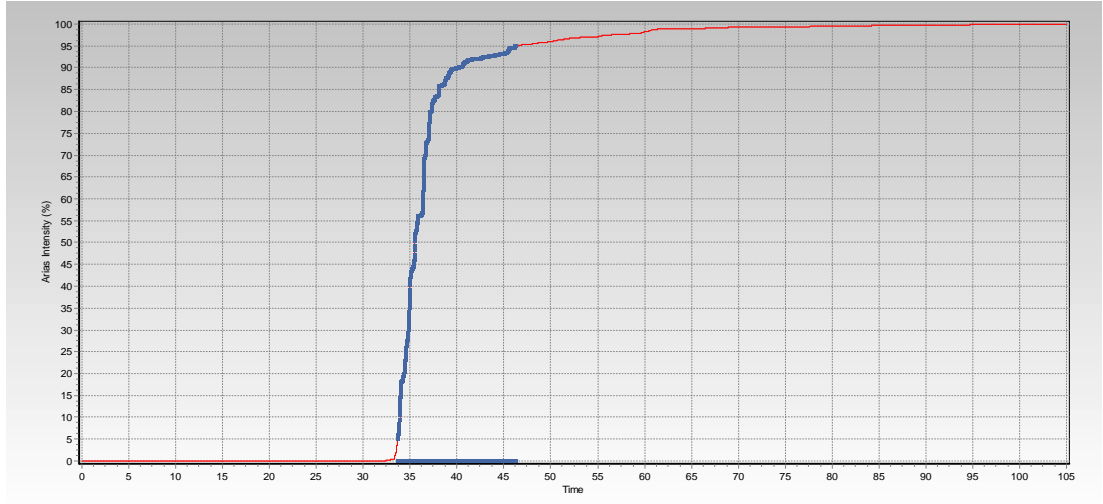


ARIAS INTENSITY Düşey, $T_e=11.530$ sn

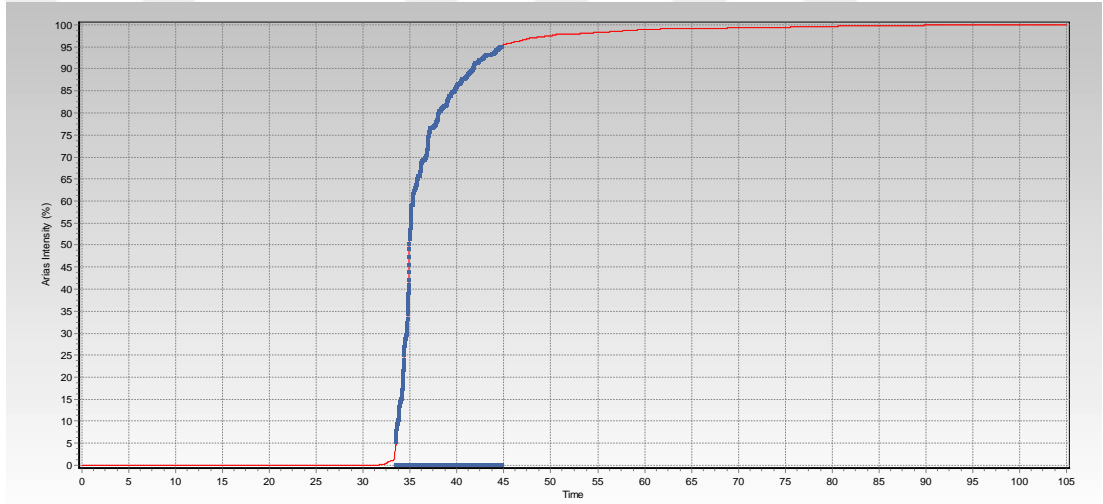


Şekil 4.19. Düzce kaydının, 8106 Düzce Merkez 2 istasyonunun her üç bileşenine ait Arias şiddetinin %5-95 arasında hesaplanan etkili süreler.

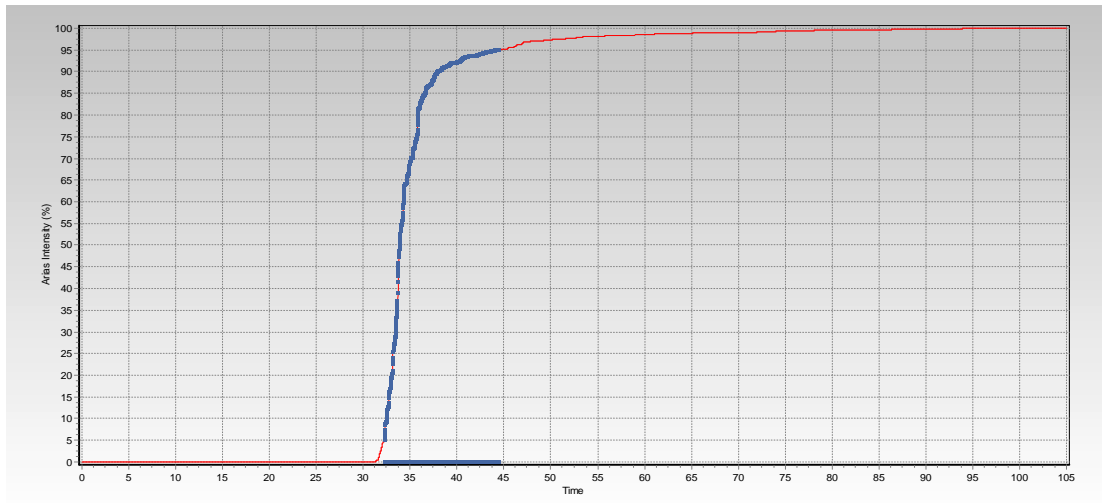
ARIAS INTENSITY K-G, $T_e=12.630$ sn



ARIAS INTENSITY D-B, $T_e=11.230$ sn

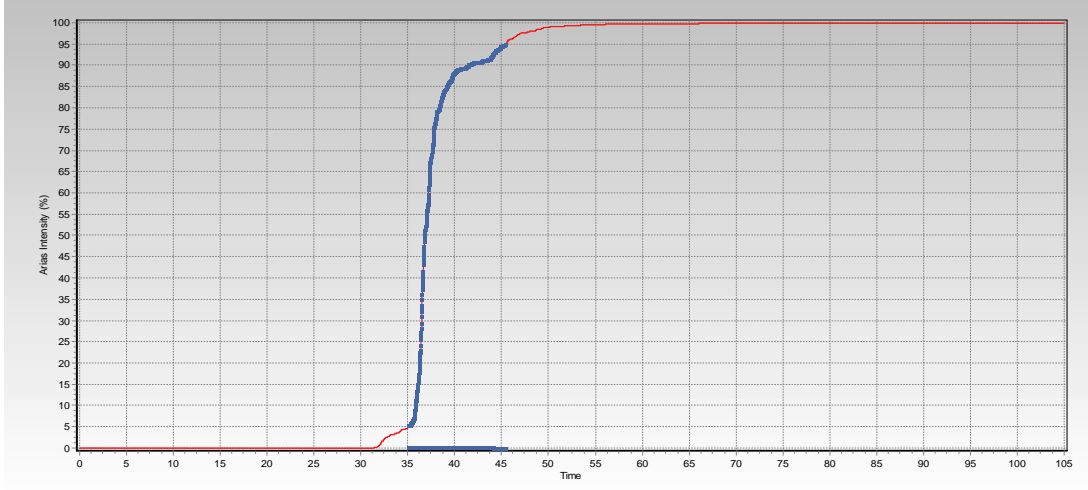


ARIAS INTENSITY Düşey, $T_e=12.200$ sn

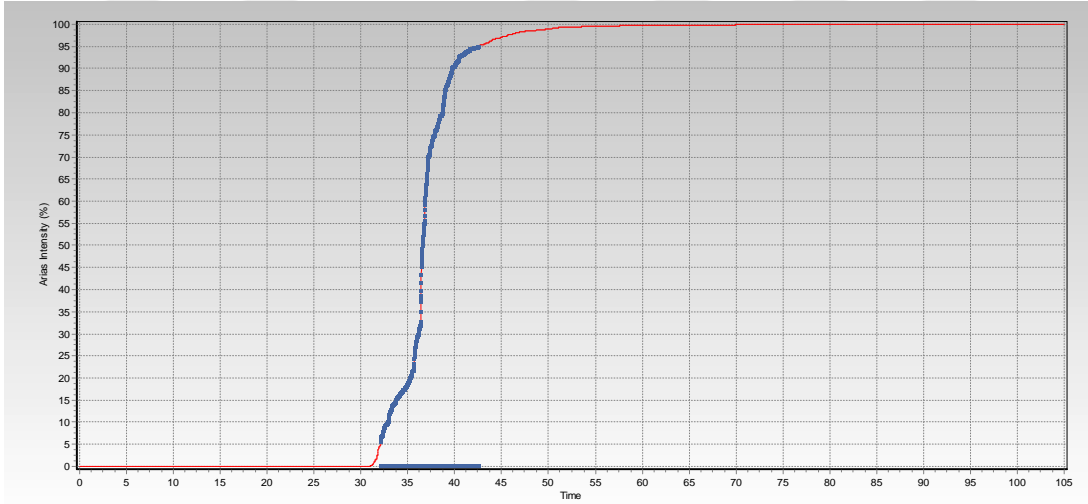


Şekil 4.20. Düzce kaydının, 8109 Gölyaka istasyonunun her üç bileşenine ait Arias şiddetinin %5-95 arasında hesaplanan etkili süreler.

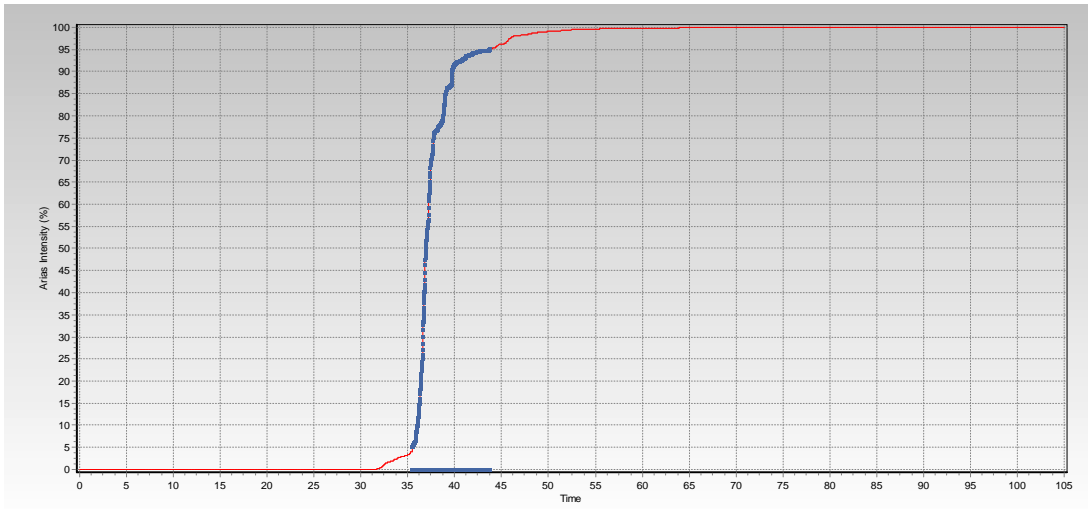
ARIAS INTENSITY K-G, $T_e=10.330$ sn



ARIAS INTENSITY D-B, $T_e=10.560$ sn

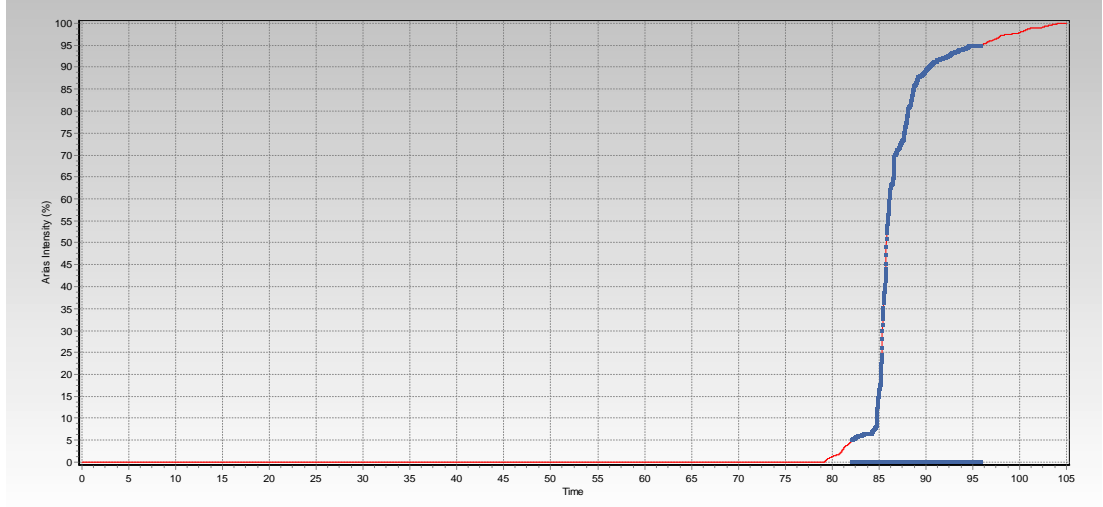


ARIAS INTENSITY Düşey, $T_e=12.200$ sn

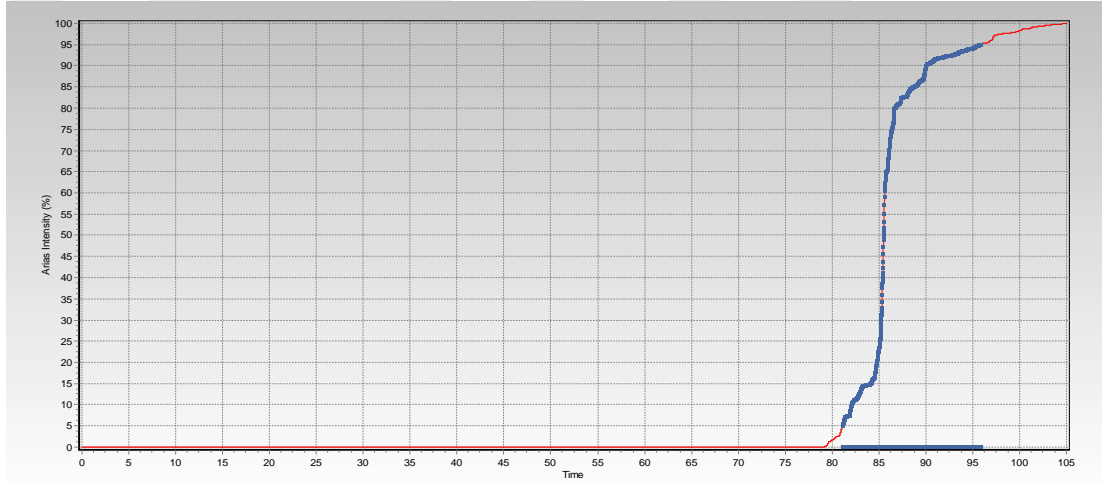


Şekil 4.21. Düzce kaydının, 8110 Akçakoca istasyonunun her üç bileşenine ait Arias şiddetinin %5-95 arasında hesaplanan etkili süreler.

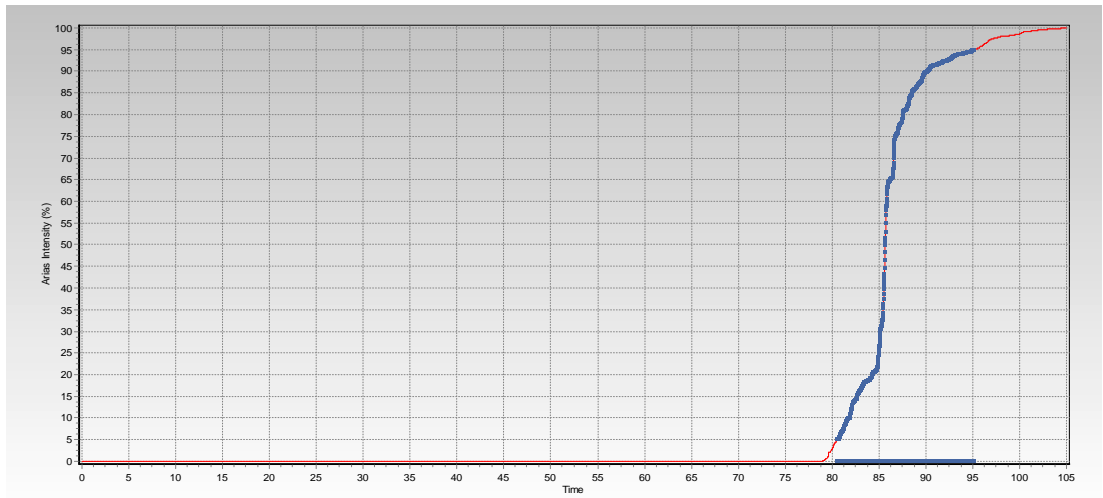
ARIAS INTENSITY K-G, $T_e=13.650$ sn



ARIAS INTENSITY D-B, $T_e=14.740$ sn



ARIAS INTENSITY Düşey, $T_e=14.580$ sn



Şekil 4.22. Düzce kaydının, 5414 Karasu istasyonunun her üç bileşenine ait Arias şiddetinin %5-95 arasında hesaplanan etkili süreler.

Frekans içeriği deprem açısından çok önemli bir parametredir. Depremin oluşturduğu dalgaların sarsıntısının frekansı yapının yıkımını belirleyen önemli bir faktördür. Çünkü deprem dalgalarının frekans içeriğinin ve yer hareketinin boyutunun farklı frekanslar arasındaki dağılımını önemlidir.

Fourier spektrumu ile deprem frekans içeriğini belirleriz. Bu nedenle yer hareketlerinin frekans, genlik, faz spektrumları ve yapısal hasarlar doğrudan ilişkilidir. Bahsedilen sebeple kuvvetli yer hareketlerinin Fourier spektrum karakteristiğinin belirlenmesi, depreme ve yapısal hasara dayanıklı binaların tasavvurunda önemli bir noktadır. Depremi oluşturan dalga türlerinin Fourier genlik spektrumu, hem hangi dalganın hem de hangi frekans bileşenini içerdiğini ve hangi bileşenlerin yüksek genlikli olduğunu anlamada, hem de deprem dalgasının yapılar üzerindeki etkisini değerlendirmede çok önemli bilgilere sahiptir (Ohsaki, 1976).

Düzce depreminin ana şokunun ivme kaydının yatay bileşenlerinin Fourier genlik spektrumları hesaplanan ve bilhassa yüksek ivme değerlerinin meydana geldiği 8105 Düzce Merkez istasyonuna ait KG ve DB bileşenlerinde 5.8 Hz, 4.6 Hz Düşey bileşeninde ise 11.4 Hz baskın frekans değerleri görülmektedir. (şekil 4.23.). 8106 Düzce Merkez 2 istasyonunun baskın frekans değerleri ise KG, DB ve Düşey bileşenleri için sırayla 1,83, 2.14 ve 1.63 Hz civarında hesaplanmıştır (şekil 4.24.).

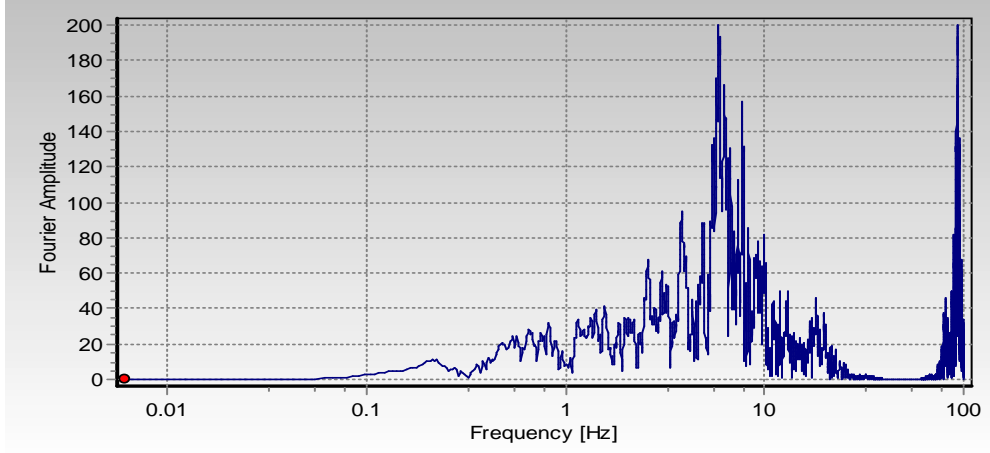
8109 Düzce Gölyaka istasyonunun baskın frekans değerlerinin incelenmesi KG bileşeni için 0.70 Hz, DB için 0.81 Hz düşey için ise 0.60 Hz değerleri hesaplanmıştır. (şekil 4.25.).

8110 Düzce Akçakoca istasyonunun baskın frekans değerleri ise K-G bileşeninde 4.00 Hz, D-B bileşeninde 4.13 ve Düşey bileşeninde 11.12 Hz olarak hesaplanmıştır. (şekil 4.26.).

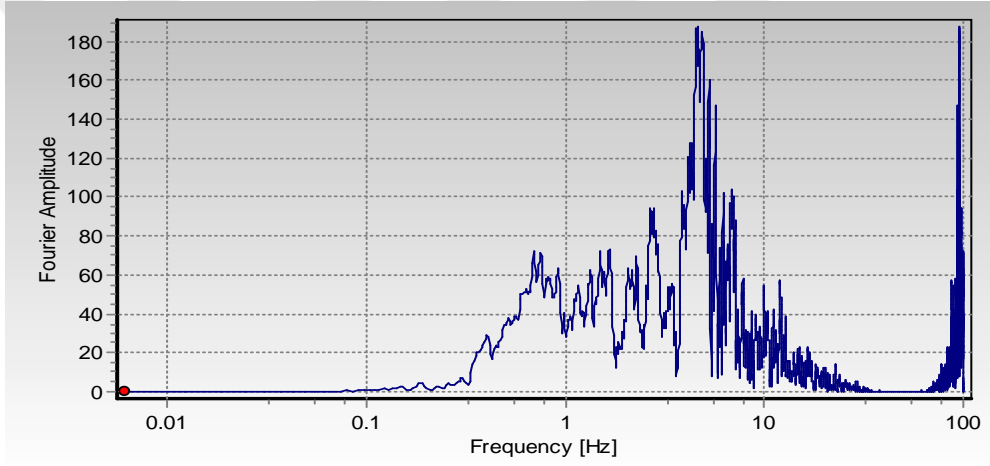
Deprem ss noktasına mesafesi en uzak olan 5414 Sakarya Karasu istasyonunun baskın frekans değerlerinin incelenmesi KG bileşeni için 5.27 Hz, DB için 3.47 Hz düşey için ise 4.51 Hz değerleri hesaplanmıştır. (şekil 4.27.).

4.3. Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtlarına ait Tepki Spektrumları

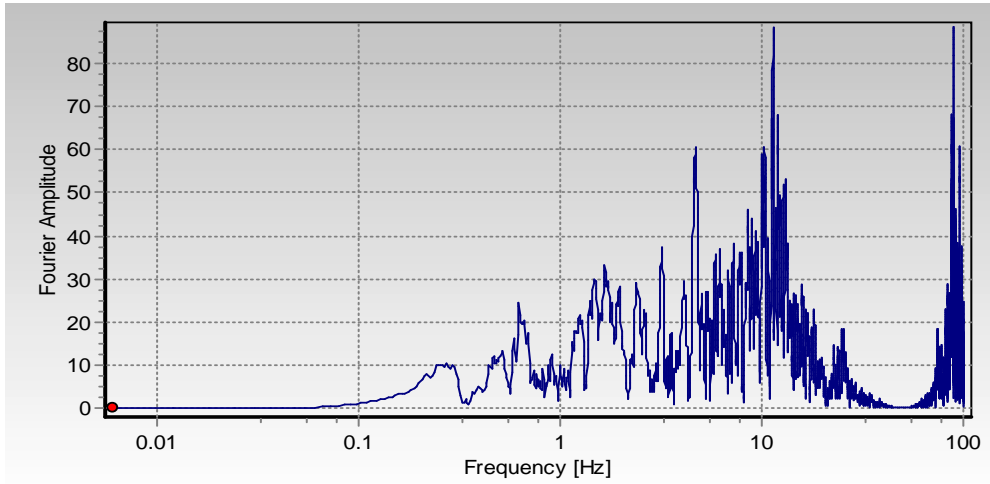
K-G, $F=5.8$ hz



D-B, $F=4.6$ hz

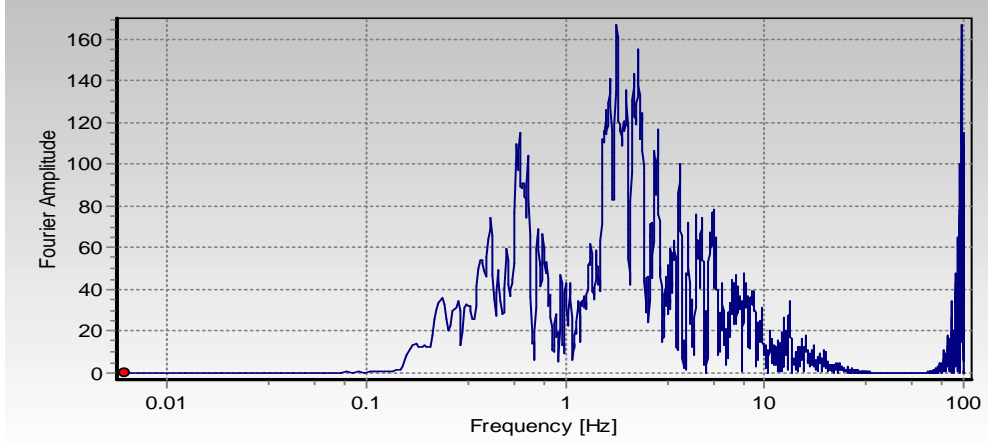


Düşey, $F=11.4$ hz

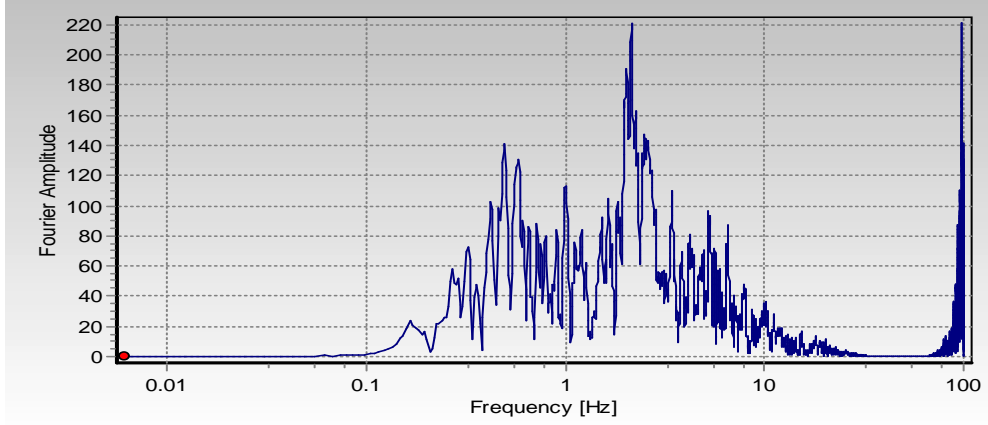


Şekil 4.23. Düzce ivme kaydının 8105 Düzce Merkez 1 istasyonunun her üç bileşenine ait Arias şiddetinin %5-95 arasında hesaplanan etkili süreler.

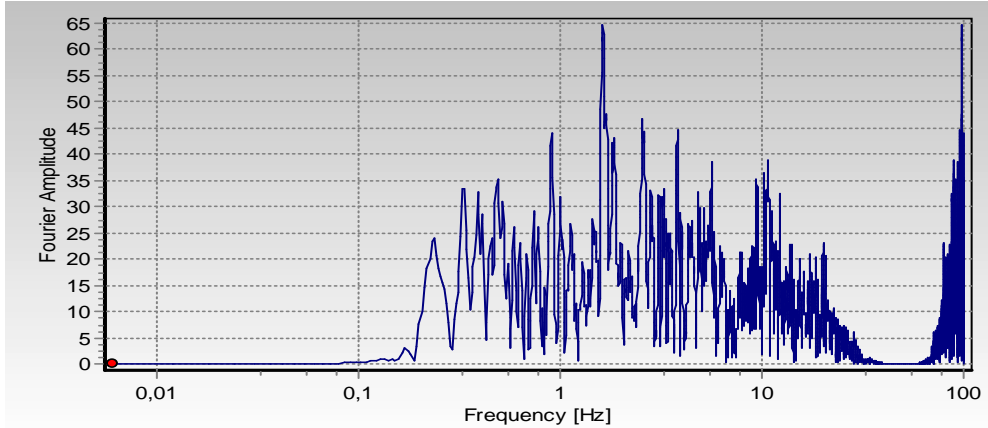
K-G, $F=1.83$ hz



D-B, $F=2.142$ hz

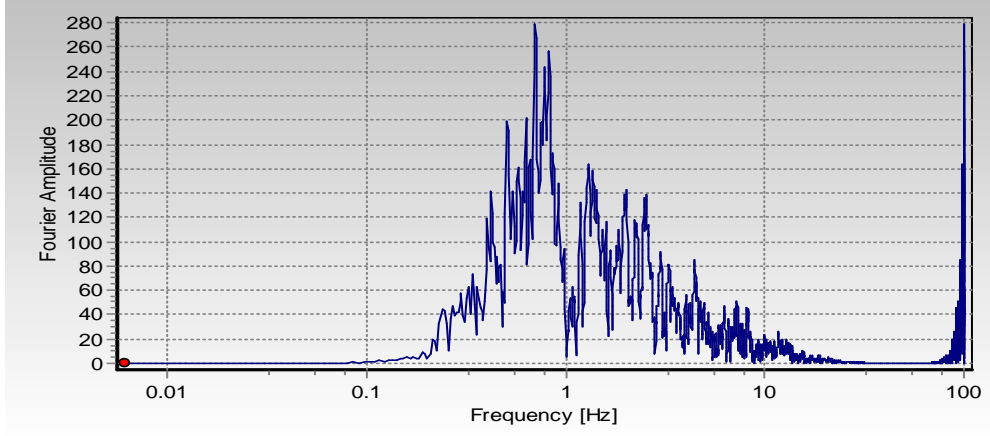


DüŖey, $F=1.636$ hz

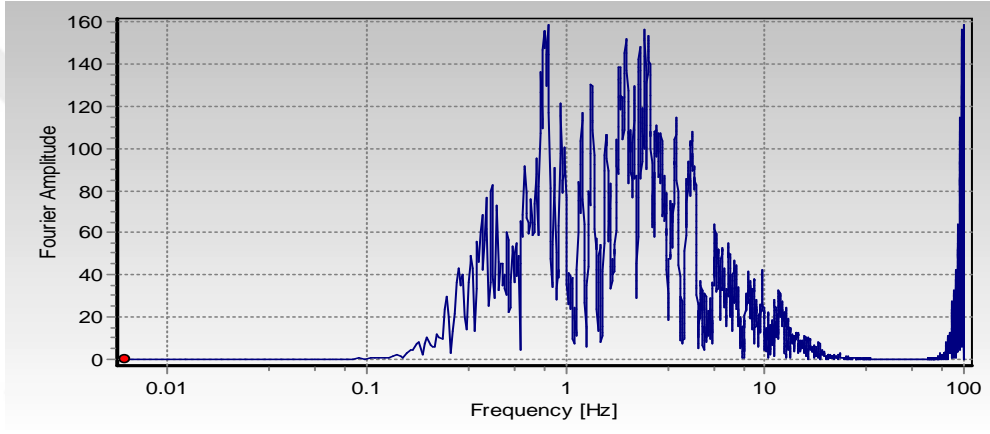


Ŗekil 4.24. Düzce ivme kaydının 8106 Düzce Merkez 2 istasyonunun her üç bileŖenine ait Arias Ŗiddetinin %5-95 arasında hesaplanan etkili süreler.

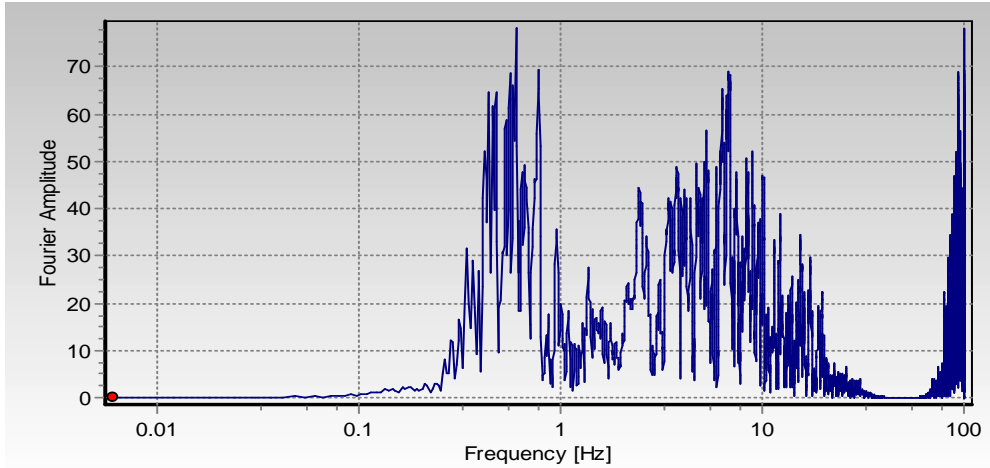
K-G, F=0.702 hz



D-B, F=0.812 hz

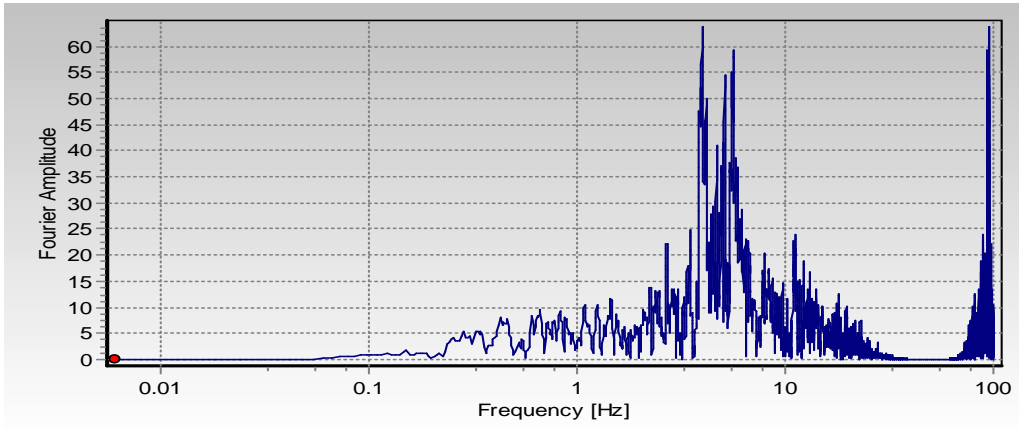


Düsey, F=0.604 hz

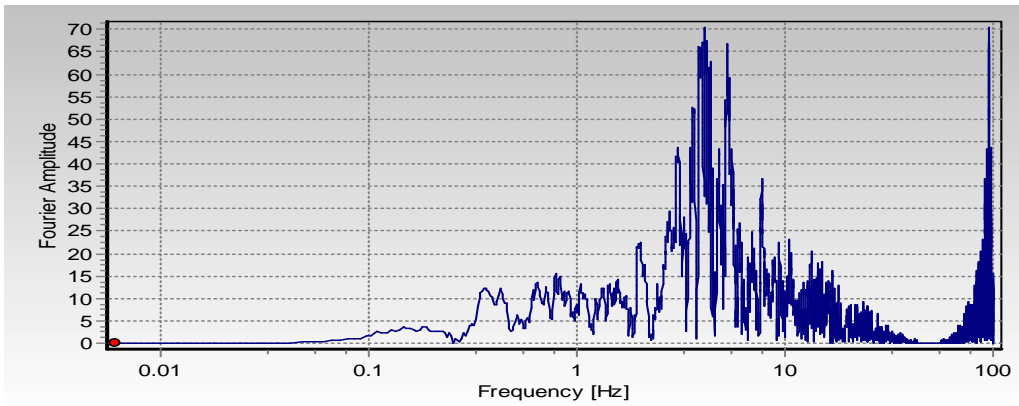


Şekil 4.25. Düzce ivme kaydının 8109 Gölyaka istasyonunun her üç bileşenine ait Arias şiddetinin %5-95 arasında hesaplanan etkili süreler.

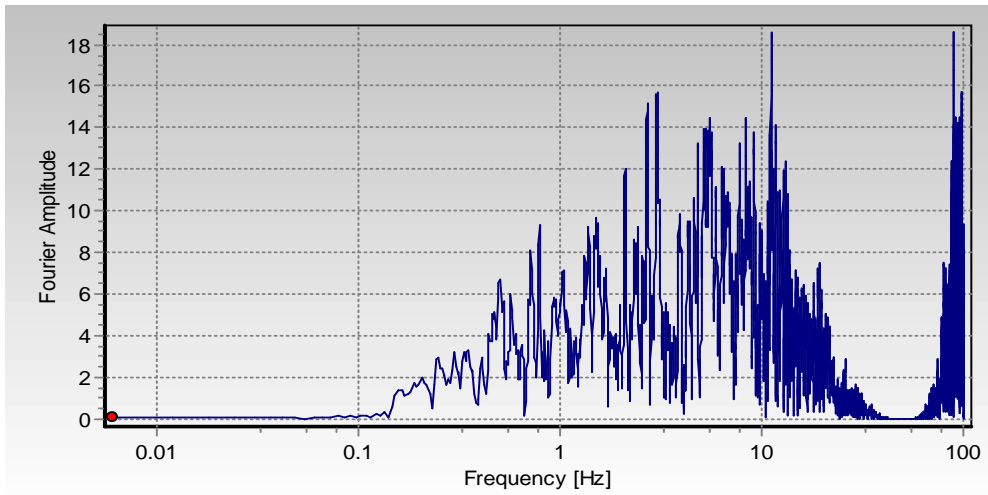
K-G, F=4.004 hz



D-B, F=4.138 hz

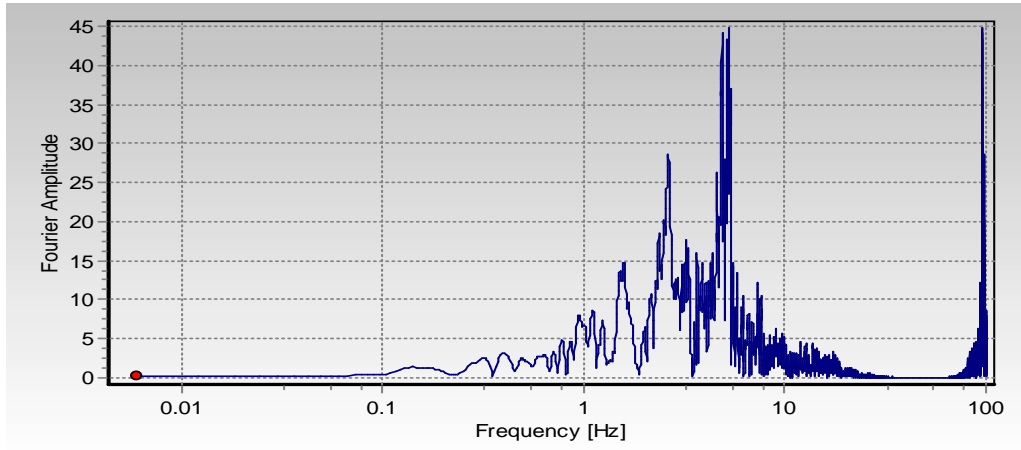


Düşey, F=11.127 hz

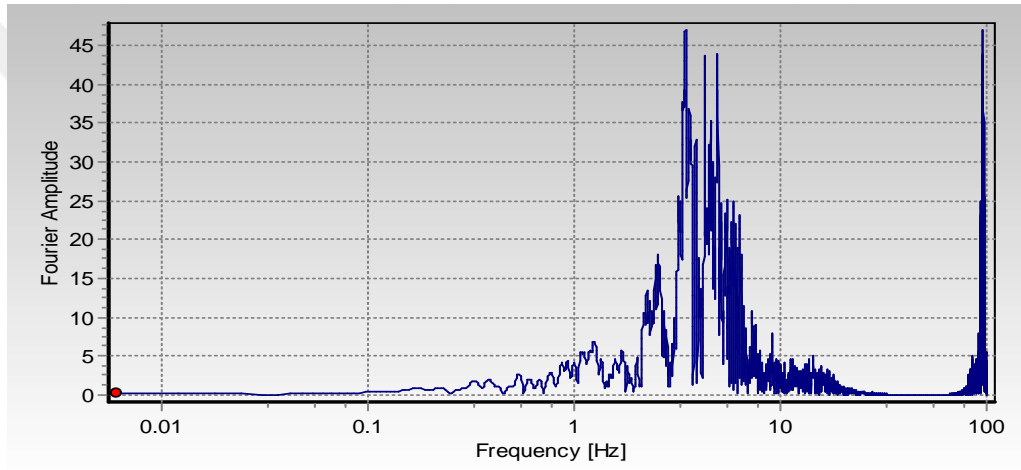


Şekil 4.26. Düzce ivme kaydının 8110 Akçakoca istasyonunun her üç bileşenine ait Arias şiddetinin %5-95 arasında hesaplanan etkili süreler.

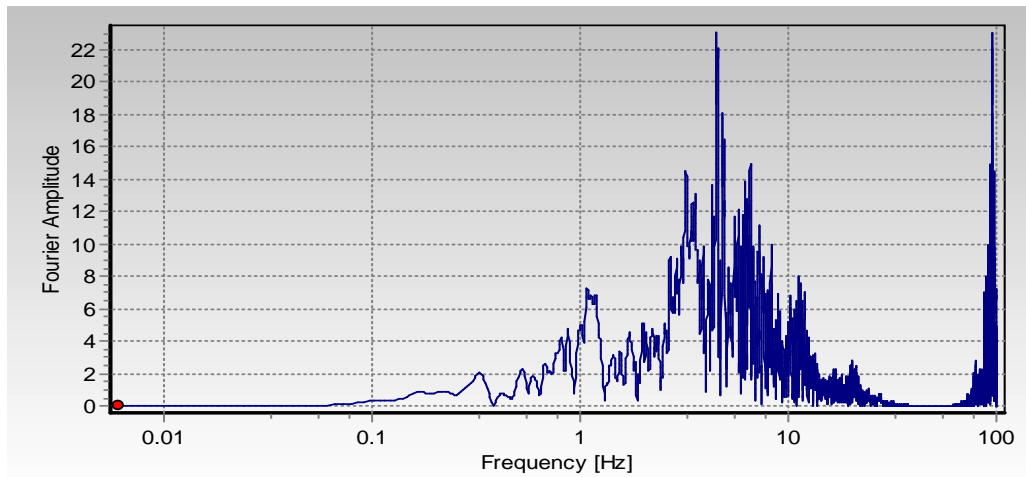
K-G, F=5.273 hz



D-B, F=3.479 hz



Düsey, F=4.517 hz



Şekil 4.27. Düzce ivme kaydının 5414 Karasu istasyonunun her üç bileşenine ait Arias şiddetinin %5-95 arasında hesaplanan etkili süreler.



5. SONUÇLAR

Tarihsel ve aletsel depremler, bölgede çok sayıda yıkıcı depremin meydana geldiğini ve bu depremlerin çok sayıda can ve mal kaybına sebep olduğu görülmektedir. Bölgenin depremselliği Kuzey Anadolu Fay Zonu tarafından belirlenir. Farklı araştırmacılar, Düzce depremi yüzey kırılma uzunluğunu ve en yüksek sağ yanal yer değiştirmesi ölçülmüştür. Karadere fay yüzey kırığının uzunluğu 30–45 km arasında olup, sağ yanal yer değiştirme ise 5 cm kadardır.

23 Kasım 2022 tarihinde Düzce’de meydana gelen ve büyüklüğü $M_I = 5.9$ olan bu deprem sismolojik çalışmalar için çok önemli parametreleri içerir. KD-GB doğrultulu sağ yanal doğrultu atımlı bir faydan kaynaklanmıştır. AFAD verilere göre, depremin en büyük ivme değeri deprem bölgesine en yakın 5 ivmeölçerden biri olan 8105 kodlu Düzce Merkez ivmeölçer istasyonundan ölçülen Doğu-Batı bileşeninde 593.56 gal olarak ölçülmüştür. Ortalama 10 km derinde oluşan bu depremde, en büyük yatay yer ivmeleri genellikle beklenen ampirik değerlerin altında olmuştur. Deprem sırasında en fazla hasar Düzce il merkezi, Gölyaka, Cumayeri ve Gümüşova ilçe merkezleri ile Saridere, Yeşilova, İçmeler, Kemeryanı, Köprübaşı ve Yayakbaşı köylerinde meydana gelmiştir. Yapısal hasar, genel anlamda jeolojik olarak zemin büyütmesine elverişli zemin üzerine yığma taş ya da kâgir türde geleneksel yapı stili ile inşa edilmiş binalarda gözlenmiştir.

Sağlık Bakanlığı tarafından yapılan açıklamaya göre depremde 2 kişi hayatını kaybetmiş, Düzce’de 37, Sakarya’da 26, Zonguldak’ta 10, Bolu’da 14, Bursa’da 4 ve İstanbul’da 2 kişi olmak üzere toplam 93 kişi yaralanmıştır.

Depremde yapısal hasarın oluşmasında en kritik faktörlerden biri depremin frekans içeriğidir. Bu depremde 4.6 Hz ile 11.4 Hz’lik yüksek genlikli ivme değerlerinin kaydedildiği ve hesaplandığı istasyonlarda ölçülen frekans değerleri bu büyüklüğün temel özelliklerini ve fay yapısını göstermektedir. Bu bağlamda kayıtları değerlendirilen istasyonların verilerine uygulanan fourier analizi sonuçlarına göre; 8105 Düzce Merkez istasyonunda KG bileşeninde 0.17 sn. DB bileşeninde 0.21 sn. ve Düşey bileşeninde 0.08 sn. dalga boyuna sahip dalgalar etkili olmuştur. 8106 Düzce

Merkez 2 istasyonunda KG bileşeninde 0.54 sn. DB bileşeninde 0.46 sn. ve Düşey bileşeninde 1.63 sn. dalga boyuna sahip dalgalar etkili olmuştur. 8109 Düzce Gölyaka istasyonunda KG bileşeninde 1.42 sn. DB bileşeninde 1.23 sn. ve Düşey bileşeninde 1.65 sn. dalga boyuna sahip dalgalar etkili olmuştur. 8110 Düzce Akçakoca istasyonunda KG bileşeninde 0.25 sn. DB bileşeninde 0.22 sn. ve Düşey bileşeninde 0.09 sn. dalga boyları etkili olmuştur. Depreme en uzak mesafede bulunan 5414 Sakarya Karasu istasyonunun KG bileşeninde 0.18 sn. DB bileşeninde 0.28 sn. ve Düşey bileşeninde 0.22 sn. dalga boyları etkili olmuştur.

Zeminin ve yapının periyodu aynı değerde olursa rezonans oluşacağı ve dolayısıyla yapıya zarar vereceği bilinmektedir. Benzer şekilde hem Düzce hem de depremden etkilenen bölge için bina titreşim periyodu değerlerini kat başına ortalama 0.1 sn olarak alırsak, yukarıdaki tüm istasyonların titreşim periyodu değerlerine bakıldığında bunların spektrumu 0.08 sn ile 1.65 sn aralığında olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abrahamson, N.A. and Litehiser, J.J., (1989), Attenuation of Vertical Peak Acceleration, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 79, 32-46.
- AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı) - Deprem Ve Risk Azaltma Genel Müdürlüğü Deprem Dairesi Başkanlığı, 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) Mw 5.9 Depremine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu
- 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.
- Arias, A., (1970), A Measure of Earthquake Intensity, *Design of Nuclear Power Plants*, MIT Press, Cambridge, MA, 438-483
- 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.
- Ateş, A., (2013), Düzce İli Karaçörtlen Köyü Yolu Hattı Heyelan Riskinin Jeofizik Yöntemlerle Araştırılması, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1 (1), 96-109
- 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*, Ankara. ISBN: 975-6595-53-1, 11-21.
- Barka, A.A., Kadinsky-Cade, K., (1988), Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7, 663-684.
- Barka, A.A., (1992), The North Anatolian Fault. *Annales Tectonicae*, 6, 174-195.
- Barka, A. A., (1996), Slip distribution along the North Anatolian Fault associated with the large earthquakes of the period 1939 to 1967, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 86 (5), 1238-1254.
- Barka, A.A., 1997. Neotectonics of the MARMARA Region in active tectonics of northwest Anatolia, *The Marmara Poly-Project*, Hochschulverlag AG an der ETH, Zürich, 55-87.
- Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi, (23 Kasım 2022), Sarıdere-Gölyaka-Düzce Depremi, *Basın Bülteni, İstanbul*.
- Campbell, K.W., (1985), Strong Ground Motion Attenuation Relations: A Ten-Year Perspective, *Earthquake Spectra*, Vol. 1, No. 4, 759-804.

- 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. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, *Özel Yayın Serisi: 1*, Ankara. ISBN: 975-6595-53-1, 23-28.
- 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*, Ankara. ISBN: 978-605-5310-66-0, 209.
- Dobry, R., Idriss, I. M. and Ng, E., (1978), Duration Characteristics of Horizontal Components of Strong Motion Earthquake Records, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.68.
- Emre, Ö., Ateş, Ş., Duman, T.Y., Keçer, M., Erkal, T., Doğan, A., Durmaz, S., Osmançelebioğlu, R., Karakaya, F., Özalp, S., Koçyiğit, A., Göncüoğlu, C., Toprak, V., Bozkurt, E., Dirik, K., Rojay, B., Yılmaz, Ö., Teksöz, B., Cihan, M., Özacar, A., (1999), *17 Ağustos 1999 Gölcük-Arifiye (KD Marmara) Depremleri Sonrası Sakarya İli ve Ona Bağlı Yerleşkeler İçin Yeni Yerleşim Alanları Araştırma Raporu*. TÜBİTAK-ODTÜMTA, Ankara
- EMSC (European - Mediterranean Seismological Centre), <https://static2.emsc.eu/Images/EVID/119/1191/1191966/1191966.MT.jpg> adresinden 02.05.2023 tarihinde alınmıştır.
- Husid, R., Medina, H. and Rios, J., (1969), Analysis de Terremotos Norteamericanos y japoneses, *Revista IDIEM*, 8(2), 55.
- 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.
- Ketin, İ., (1969), Kuzey Anadolu fayı Hakkında. *MTA Dergisi*, 72, 1-28.
- Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü ve Ankara Üniversitesi (A.U), (1997), *TÜBİTAK Yer Deniz Atmosfer Bilimleri ve Çevre Araştırma Grubu Raporu*, 59.
- Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü ve Ankara Üniversitesi (A.U), (1999), *17 ağustos 1999 depremi sonrası düzce (bolu) ilçesi alternatif yerleşim alanlarının jeolojik incelenmesi*, TÜBİTAK Yer Deniz Atmosfer Bilimleri ve Çevre Araştırma Grubu Raporu, Ankara.
- Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, (2022), *23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) Depremi (Mw 6,0) Saha Gözlemleri ve Değerlendirme Raporu*, www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/deprem/pdf/23.11.2022_Duzce_Golyaka.pdf
- McKenzie, D.P., (1972), Active tectonics of the Mediterranean region, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30, 109-185.
- McKenzie D.P., (1978), Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions, *Geophys. J. Royal Astron. Soc.*, 55, 217-254

- 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., ... 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.
- Newmark, N.M. and Hall, W.J. (1982), Earthquake Spectra and Design, *EERI Monograph*, Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, California, 103.
- Ohsaki, Y., (1976). *Introduction to spectral analysis of seismic motion*, Kajima, Shuppan-kai, 82-102.
- 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.
- Page, R. A. , Bore, D. M., and Dietrich, J. H., (1975), Estimation of Bedrock Motion at the Ground Surface, *USGS Professional Paper 941-A*
- 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., ... 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, doi:10.1029/2005JB004051
- Somerville, P. G., Smith, N. F., Graves, R. W., and Abrahamson, N. A., (1997), Modification of empirical strong ground motion attenuation relations to include the amplitude and duration effects of rupture directivity. *Seismological Research Letters*, 68, 199-222.
- Sucuoğlu, H., Erbrik, A., ve Akkar, S., (1999), *Kuvvetli Yer Hareketi Özellikleri*.
- Şaroğlu, R., Emre, Ö. ve Boray, A., (1987), *Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri*, MTA raporu 8174, 394.
- Şaroğlu, E, Emre, Ö. ve Kuşçu, L, (1992), *Türkiye Diri Fay Haritası*. MTA Yayını.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, İ., (1992), *Türkiye Diri Fay Haritası, 1/2.000.000*, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü-Ankara.
- 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*, v. 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*, Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Sp. Pub., 37, 227-264.
- Trifunac, M.D. and Brady, A.G., (1975), A study on the duration of strong earthquake ground motion, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 65 (3), 581-626.
- Trifunac, M. D. And Westermo, B., (1977), A Note on the Correlation of Frequency Dependent Duration of Strong Earthquake Ground Motion with the Modified Mercalli Intensity and the Geologic Conditions at the Recording Stations, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.67, 917-927.
- 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.
- Wilson, S.D., P.E. Mikkelsen, (1977), *Foundation instrumentation: Inclometers*, U.S. Department of Transportation FHWA, 77-219.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Murat Orhun ÇELİK

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Ön Lisans** : 2019, Uludağ Üniversitesi, İnegöl MYO, İnşaat Teknolojisi
- **Ön Lisans** : 2021, Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi, Web Tasarımı ve Kodlama
- **Lisans** : 2013, Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği
- **Yükseklisans** : Devam Ediyor, Sakarya Üniversite, Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı,

MESLEKİ DENEYİM:

- 2017- Halen Karayolları 14. Bölge Müdürlüğü

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Çelik M.O., Beyhan G. (2023, 22-23, Haziran). 11'inci Uluslararası Hakemli ve Katılımlı Avrasya Zirvesi Bilimsel Araştırmalar ve Güncel Gelişmeler Kongresi. Göreme, Nevşehir.