



**23 KASIM 2022 DÜZCE (GÖLYAKA) DEPREMİ (M_w=5.9)
SAHA GÖZLEMLERİ
VE
DEĞERLENDİRME RAPORU**

HAZIRLAYANLAR

Prof. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK

Doç. Dr. Mehmet Emin ARSLAN

Arş. Gör. Batuhan AYKANAT

**TRABZON – DÜZCE
ARALIK - 2022**



Bu raporun basımı ve dağıtımı Karadeniz Teknik Üniversitesi ve Düzce Üniversitesi tarafından yapılmıştır.

Bu raporda bulunan her türlü, bilgi, veri ve görsel ancak aşağıdaki şekilde atıfta bulunularak kullanılabilir:

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.

ÖNSÖZ

23.11.2022 günü, Türkiye yerel saati ile 04:08'de merkez üssü Gölyaka (Düzce) ve odak derinliği 6.81km olan Mw 5.9 büyüklüğünde sığ bir deprem gerçekleşmiştir. Deprem, Düzce ili ve ilçeleri başta olmak üzere İstanbul, Bolu, Ankara, Eskişehir, Kütahya, Bursa, Kocaeli, Edirne, Çankırı, Zonguldak, Sakarya, Yalova çevre illeri ve ilçelerinde de hissedilmiştir. Deprem hasarlarına bağlı can kaybı yaşanmamıştır. Ancak çok sayıda yapıda hasar oluşmuş ve 93 vatandaşımız yaralanmıştır.

Depremden kısa bir süre sonra Karadeniz Teknik Üniversitesi ve Düzce Üniversitesi öğretim üyeleri deprem kaynaklı yapı hasarlarını ve depremin etkilerini yerinde incelemek için bölgeye intikal etmişlerdir. Düzce il merkezi, ilçeleri ve köyleri ziyaret edilmiş ve yapısal hasarlar detaylı bir şekilde incelenerek bu rapor hazırlanmıştır.

Ülkemiz karmaşık jeolojik yapısı ve jeodinamik konumu nedeniyle önemli ölçüde aktif sismik kaynak içermekte ve bu durum depremi Türkiye'nin gerçeği haline getirmektedir. Ülkemizin deprem geçmişi incelendiğinde, son yüzyıl içerisinde meydana gelen büyük depremler nedeniyle büyük can ve mal kayıpları yaşandığı görülmektedir. Ülke nüfusunun ve yapı stokunun önemli bir kısmı deprem tehlikesi ile karşı karşıyadır ve bu durum depreme karşı önlemler alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Bu raporun amacı, depremle ilgili inceleme ve araştırmalar yaparak başta Düzce ili olmak üzere ülkemizde, yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen tecrübenin kalıcı ve kullanılabilir hale getirilmesini sağlamaktır. Bu rapor hazırlanırken Düzce ili ve çevresinde oluşmuş yıkıcı etkiye sahip eski depremler, 23 Kasım Gölyaka (Düzce) depremi, depremin nedenleri, depremin yapılar üzerinde neden olduğu hasarlar ve bu hasarların oluşmaması için alınabilecek önlemler ayrıntılı bir şekilde sunulmaya çalışılmıştır.



Prof. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK
Karadeniz Teknik Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Öğretim Üyesi



Doç. Dr. Mehmet Emin ARSLAN
Düzce Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Öğretim Üyesi



Arş. Gör. Batuhan AYKANAT
Düzce Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Öğretim Elemanı

TEŐEKKÖRLER

Deprem sonrasında, meydana gelen yapı hasarlarının değerlendirilmesi ve depremin etkilerinin belirlenmesine yönelik bir raporun hazırlanması, sadece saha incelemeleri ile mümkün olmamaktadır. Binalara ait verilerin elde edilmesi ve saha incelemeleri sırasında gerekli olan yardım ve izinler alınması bu raporun hazırlanmasında kritik önem arz etmektedir. Bu nedenle çalışma sürecinde desteklerini esirgemeyen T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Yapı İşleri Genel Müdürü Sayın Banu ARSLAN, Genel Müdür Yardımcısı Sayın Murat AKINBİNGÖL, Afet Koordinasyon Daire Başkanı Sayın Emrah SÜME ve Afet Hasarları Tespiti Daire Başkanı Sayın Tuęrul SEZDİRMEZ'e teşekkürlerimizi sunarız. Ayrıca, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem ve Risk Azaltma Genel Müdürü Sayın Prof. Dr. Orhan TATAR hocamıza sağladıkları destek için teşekkürü borç biliriz.

Saha incelemeleri sonucu elde edilen verilerin değerlendirilmesinde ve raporun hazırlanma sürecinde emeği geçen Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünden Arş. Gör. Esin ERTÖRK, İnşaat Mühendisi Yasin GÖRPİNAR ve İnşaat Mühendisi Muhammed Cihat ŞAHİN'e teşekkürlerimizi sunarız.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	3
TEŞEKKÜRLER	4
İÇİNDEKİLER.....	5
1. GİRİŞ	6
2. DÜZCE İLİ VE DEPREMSELLİĞİ.....	7
2.1. Düzce İlinin Genel Tanıtımı, Tektonik ve Jeolojik Yapısı	7
2.2. Geçmişte Meydana Gelmiş Büyük Depremler ve Etkileri	10
3. 23 KASIM 2022 GÖLYAKA (DÜZCE) DEPREMİNE AİT YER HAREKETİ KAYITLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	14
4. BİNALARDA GÖZLEMLenen HASARLAR	28
4.1. Betonarme Binalarda Gözlenen Hasarlar	28
4.1.1. Tasarımdan Kaynaklanan Eksiklikler	28
4.1.1.1. Kısa Kolon Oluşumu	29
4.1.1.2. Yetersiz Derz Boşluğuna Bağlı Çarpışma Etkisi	31
4.1.1.3. Kolon-Kiriş Birleşim Bölgesi Hataları	33
4.1.1.4. Yetersiz Bindirme Boyu	36
4.1.1.5. Zayıf Dolgu Duvar	37
4.1.1.6. Düzensizlikler.....	38
4.1.1.7. Yetersiz Enine Donatı	42
4.1.2. Yapım Aşamasından Kaynaklanan Eksiklikler	44
4.1.2.1. Nervürsüz Donatı ve Korozyon.....	44
4.1.2.2. İşçilik Hataları	47
4.1.2.3. Düşük Beton Kalitesi	48
4.1.2.4. Zayıf Kalkan Duvarı.....	50
4.2. Yığma Binalarda Gözlenen Hasarlar.....	51
4.3. Betonarme ve Yığma Camilerde Gözlenen Hasarlar	61
5. SONUÇLAR	63
6. KAYNAKLAR.....	65

1. GİRİŞ

23.11.2022 günü, Türkiye yerel saati ile 04:08'de İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'na (AFAD) göre merkez üssü Gölyaka (Düzce) ve odak derinliği 6.81km olan Mw 5.9 büyüklüğünde bir deprem gerçekleşmiştir. Meydana gelen deprem sığ odaklı olup en yakın yerleşim birimi olan Düzce ilinin Gölyaka ilçesine bağlı Kemeryanı köyüne 0.82km uzaklıktadır [1]. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) ile Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM) verilerine göre ise merkez üssü Sarıdere-Gölyaka (Düzce) ve büyüklüğü Mw 6.0 olan depremin odak derinliği yaklaşık 10.6km'dir [2]. Deprem, Düzce ili ve ilçeleri başta olmak üzere İstanbul, Bolu, Ankara, Eskişehir, Kütahya, Bursa, Kocaeli, Edirne, Çankırı, Zonguldak, Sakarya, Yalova çevre illeri ve ilçelerinde de hissedilmiştir.

Merkez üssü Gölyaka ilçesi olan depremin ardından Sağlık Bakanlığı'ndan alınan bilgilere göre Düzce'de 37 kişi, İstanbul'da 2 kişi, Bolu'da 14 kişi, Zonguldak'ta 10 kişi, Sakarya'da 26 kişi ve Bursa'da 4 kişi olmak üzere toplam 93 yaralı olduğu bildirilmiştir [3]. Evleri hasar gören ve deprem korkusu yaşayan vatandaşlar için kentin 10 farklı noktasına 128 çadır kurulmuş ve 627 kişi geceyi çadırlarda geçirmiştir. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın yaptığı açıklamaya göre Düzce ili genelinde acil olarak yıkılması gereken ağır hasarlı 181 adet yapı tespit edilmiştir [4].

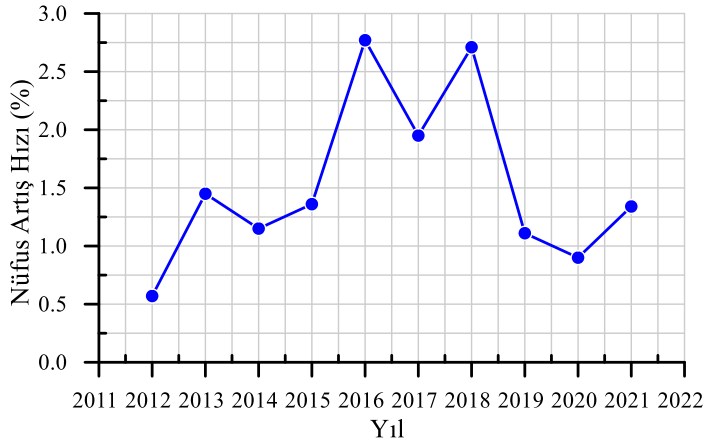
Meydana gelen deprem sonrası, depremin oluşmasına neden olan fay tanımlanmış, Düzce ilinin jeolojik yapısının oluşan hasarla ilişkisi irdelenmiş, saha incelemeleri gerçekleştirilmiş ve bu incelemeler sonucunda yapılarda oluşan yapısal hasarların nedenleri değerlendirilmiştir. Kurumsal arşiv bilgileri ve literatür çalışmaları ışığında aşağıdaki rapor hazırlanmıştır.

2. DÜZCE İLİ VE DEPREMSELLİĞİ

Bu bölümde Düzce ili hakkında bilgi verilmiş, il merkez ve ilçelerinin jeolojik yapısına değinilmiştir. Geçmişte meydana gelen depremler ve bu depremlerin etkileri irdelenmiştir.

2.1. Düzce İlinin Genel Tanıtımı, Tektonik ve Jeolojik Yapısı

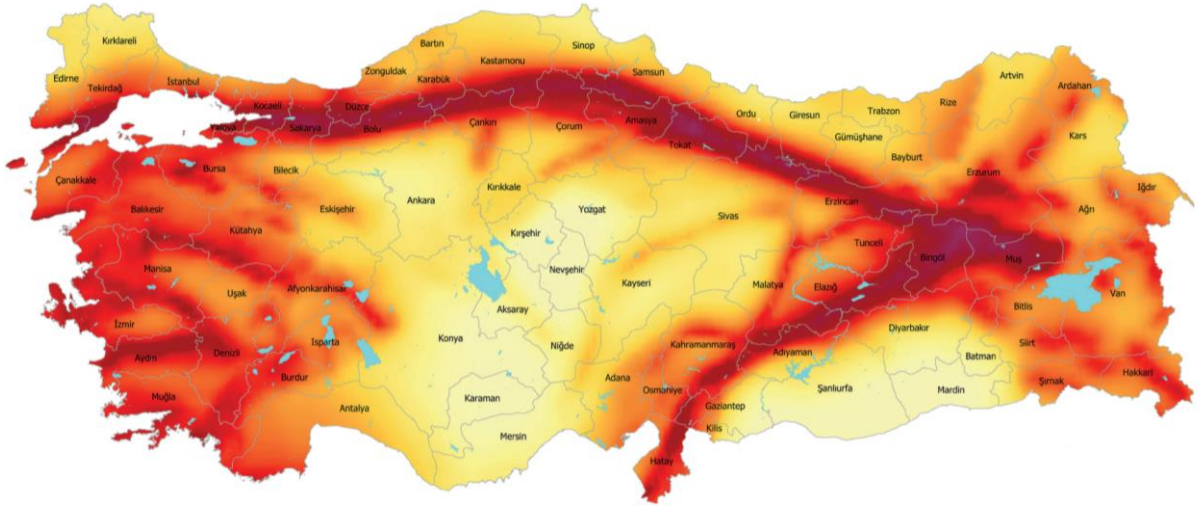
Düzce ili Karadeniz Bölgesi'nin Batı Karadeniz bölümünde yer almaktadır. Yüz ölçümü 2593km² ve ortalama rakımı 160m olan Düzce ili 7 ilçe, 2 belde ve 278 köyden oluşmaktadır. 1999 yılında 17 Ağustos ve 12 Kasım depremlerini yaşayan Düzce, aynı yıl il olmuş ve nüfusu yıllara bağlı olarak artış göstermiştir. Son on yıllık periyod için nüfusun yıllara göre değişimi ve nüfus artış hızı Şekil 1'de verilmiştir.



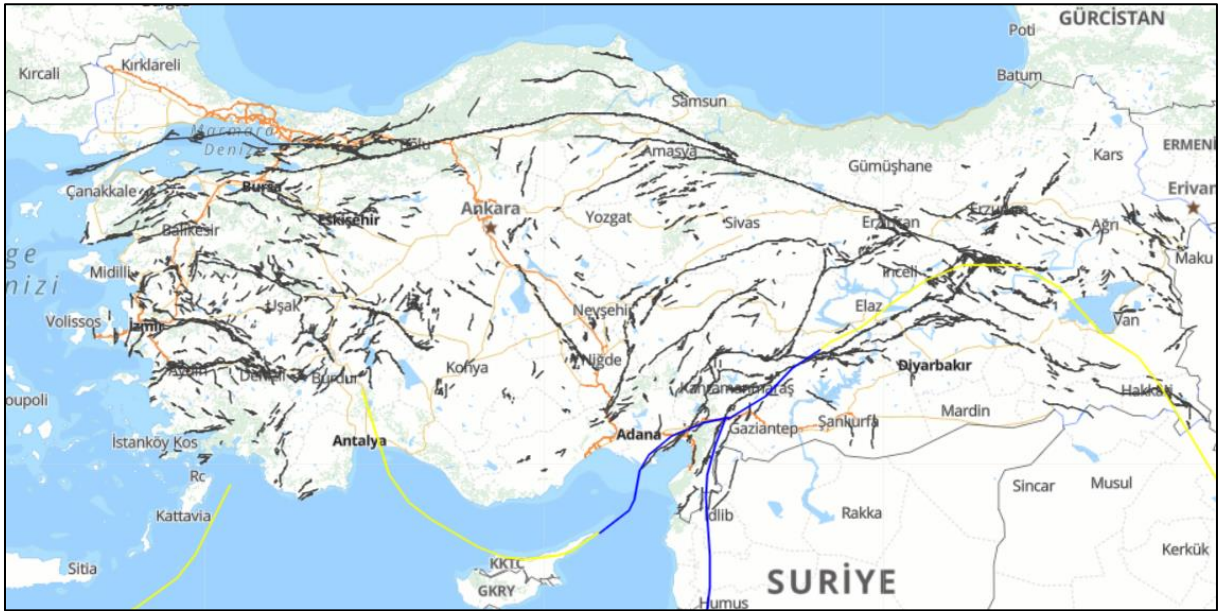
Yıl	Düzce Nüfusu	Artış Hızı (%)
2012	349.509	0.57
2013	351.509	1.45
2014	355.549	1.15
2015	360.388	1.36
2016	370.371	2.77
2017	377.610	1.95
2018	387.844	2.71
2019	392.166	1.11
2020	395.679	0.90
2021	400.976	1.34

Şekil 1. Düzce ili nüfusunun yıllara göre artışı ve nüfus artış hızı

AFAD tarafından hazırlanan ve 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Deprem Tehlike Haritasına (Şekil 2) göre, Düzce ili maksimum yer ivmesi (PGA) 475yıl değeri 0.3g-0.7g arasında değişmektedir. Ayrıca Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından 2011 yılında hazırlanan Türkiye Diri Fay Haritasında da (Şekil 3) görülebileceği gibi il sınırları içerisinde Kuzey Anadolu Fay Zonu geçmektedir.



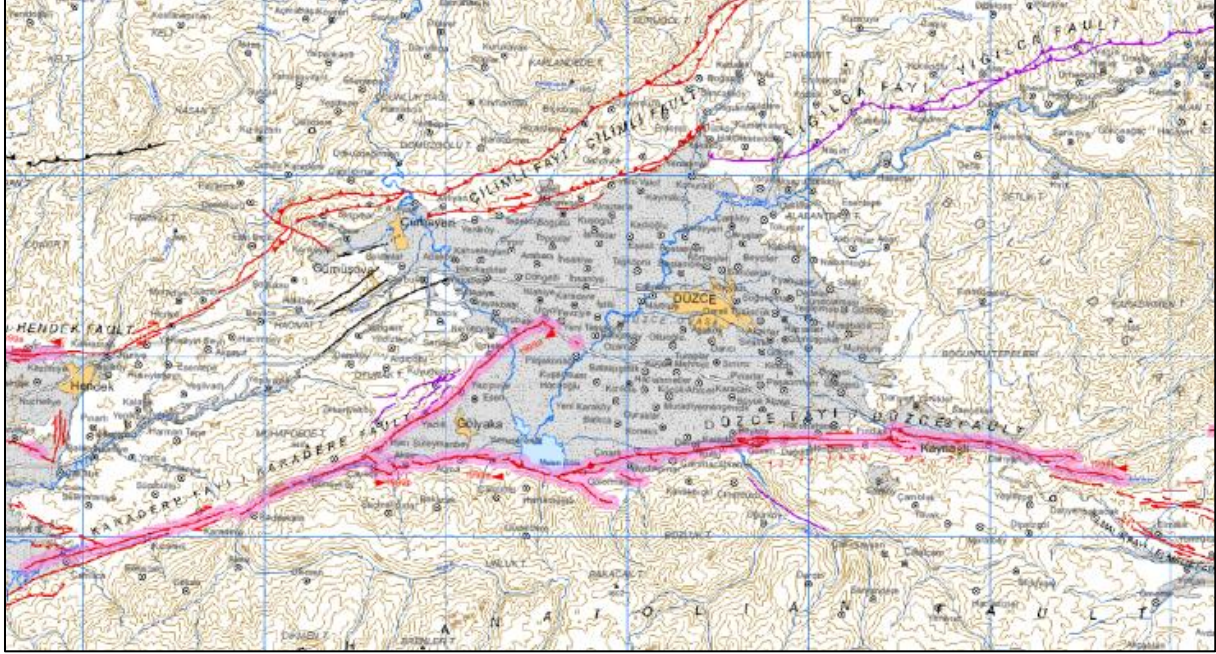
Şekil 2. Türkiye Deprem Tehlike Haritası [5]



Şekil 3. Türkiye Diri Fay Haritası [6]

12 milyon yıl önce Anadolu'nun doğusunda Afrika Levhası ile Arabistan Levhasının kıtasal çarpışması gerçekleşmiştir. Bu çarpışma Doğu Akdeniz'in aktif kinematığında etkili olmuştur. Doğu Anadolu'da yaklaşık K-G yönlü yaklaşan levha sınırları sonucunda, sol yanal doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve sağ yanal doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) gelişmiştir. Bu zonlar boyunca hareketi batıya doğru olan Anadolu Levhası, Ege-Kıbrıs yitim kuşağı boyunca saatin tersine doğru dönel bir hareket ile Afrika Levhası üzerine çıkmaktadır. Elde edilen GPS verilerine göre, Anadolu Levhası batıya doğru KAFZ boyunca yaklaşık 25 mm/yıllık bir hızla hareket etmektedir. Bolu'dan başlayıp batıya doğru nispeten geniş bir zonda gözlenen KAFZ, Karlıova-Bolu arasında genellikle dar bir

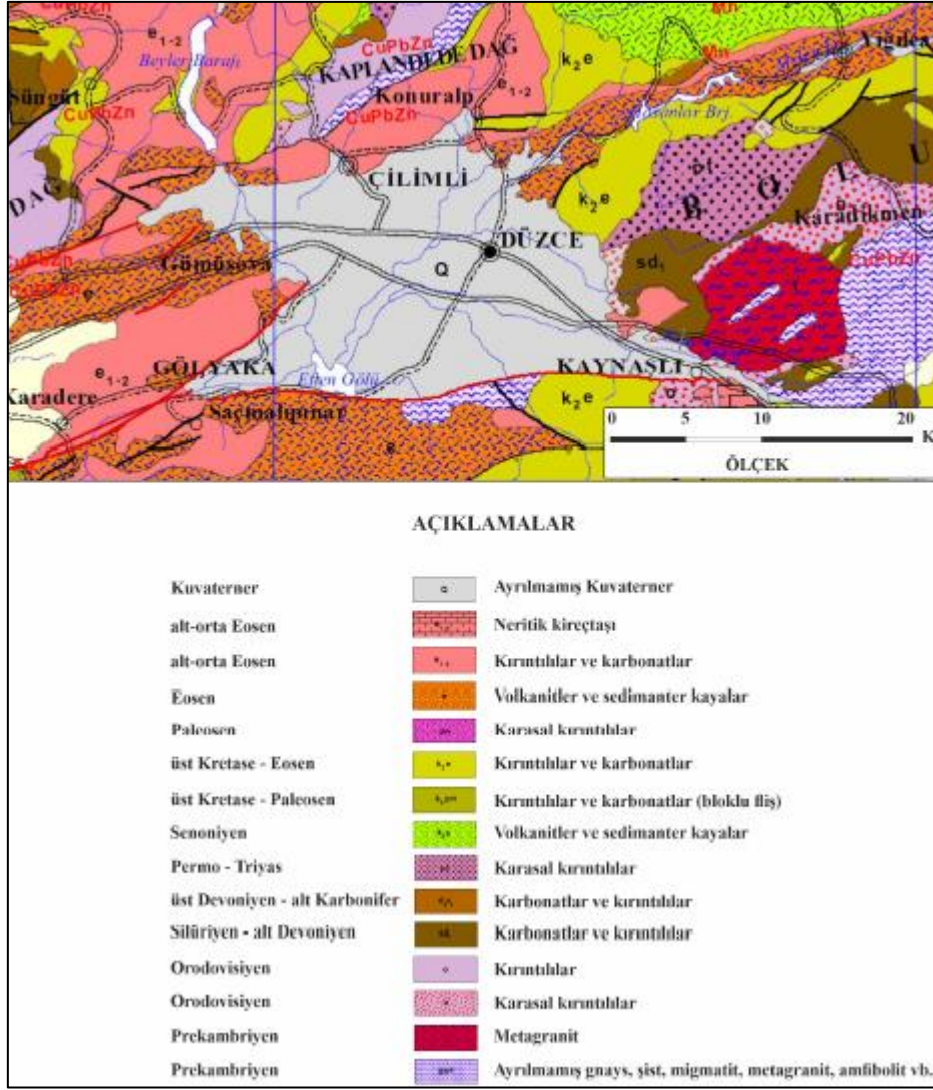
yapı kazanır. Doğu Marmara Bölgesi, Marmara Denizi ile Bolu arasında yer almaktadır. Burada fay kuzey ve güney olarak iki koldan oluşmaktadır (Şekil 4) [7].



Şekil 4. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depreminin (Mw 5,9) meydana geldiği bölge ve çevresinin diri fay haritası [8]

Düzce Ovası, D-B doğrultulu 40 km uzunluğundaki Düzce Segmenti (Segment no:1--25) ile KAFZ'nun K71D doğrultulu 33,5 km uzunluğundaki Karadere Segmentleri (Segment no:1--26) arasında gelişmiş bir fay kaması havzasıdır [9]. Prekambriyen 'den günümüze farklı zamanlarda biriken kaya birimleri ve çökeller Düzce Havzası ve çevresini yüzeylemektedir. (Şekil 5) [10].

Düzce'nin içerisinde yer alan fay segmentlerinden Karadere Segmenti (1-26); 17 Ağustos 1999 depreminin gerçekleştiği yerdir. K71D doğrultulu bu segment yaklaşık 35km uzunluğundadır [9,11]. Güneye içbükey bir şekilde ilerleyip Almacık bloğunu kuzeyden sınırlandırmaktadır. Efteni Gölü, Karadere ve Düzce segmentleri arasında 30°'lik bir açığa sahip sağa sekmeli aşamanın olduğu alanda yer almaktadır [12]. Yapılan tetkiklerde çökmenin bu kesimde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni de yüzey morfolojisi ve drenaj özellikleri dikkate alındığında Düzce Havzası'nın kuzeydoğudan güneybatıya doğru gençleşmesidir. 17 Ağustos 1999 depreminin üzerinde gerçekleştiği bu segmentte meydana gelen yer değiştirme miktarı 1,0m ile 2,1m arasında değişmektedir [13].



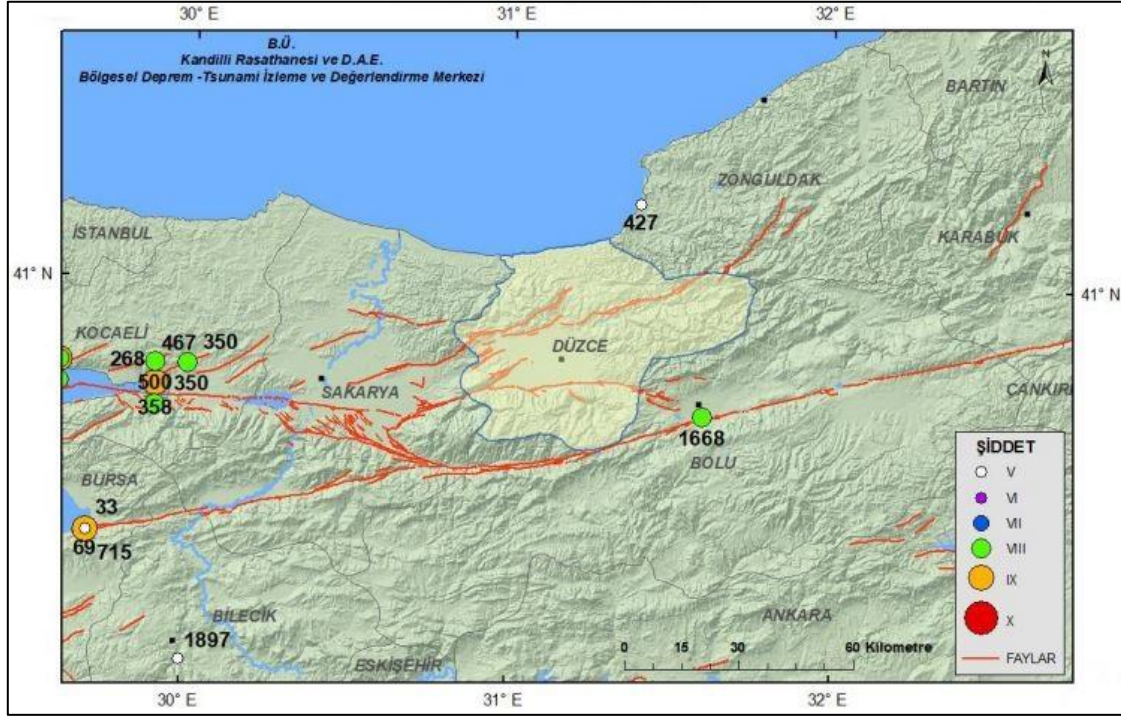
Şekil 5. Düzce ve çevresinin jeoloji haritası. [10]

Bölgenin sahip olduğu tektonik yapısı ve diri faylar düşünüldüğünde deprem tehlikesi oldukça yüksektir. Ayrıca nüfusun yıllara göre artışı ve mevcut yapı stoku göz önüne alındığında, bölgede meydana gelecek herhangi bir deprem, özellikle 1999 öncesi yapılmış ve iyi mühendislik hizmeti almamış yapılarda, 1999 sonrasında yapılan yapılarda ise yer seçimi, taşıyıcı sistem seçimi ve uygulama aşamasında yeterli özenin gösterilmediği yapılarda, can ve mal kaybı açısından yıkıcı etkiye sahip olabilecektir. Bu nedenle il ve bölge genelinden depremlere karşı alınabilecek tedbirler önem kazanmaktadır.

2.2. Geçmişte Meydana Gelmiş Büyük Depremler ve Etkileri

23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depreminin meydana geldiği bölgede, tarihsel (1900 öncesi) ve aletsel (1900 ve sonrası) dönemlerde de yoğun deprem etkinliği yaşanmıştır. Bölgede,

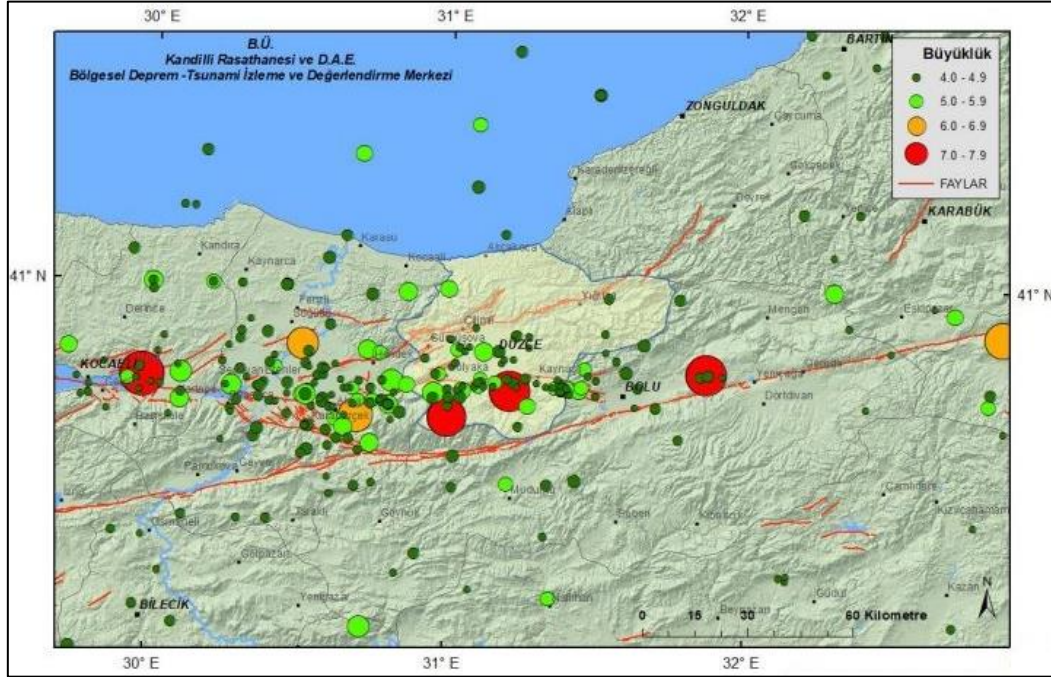
tarihsel dönemlerde Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde çok sayıda deprem gerçekleşmiş ve Düzce ilinde etkili olmuştur (Şekil 6). AFAD verilerine göre bahsi geçen bölgede 52 adet tarihsel dönem deprem kaydı mevcuttur.



Şekil 6. Bölgede meydana gelen tarihsel dönem depremleri [2]

Aletsel Dönemde ise bölgede meydana gelen ve $M_w=4.0$ 'dan büyük depremler Şekil 7'de verilmiştir. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depreminin meydana geldiği alana en yakın yıkıcı depremler, Karadere Segmenti'nin de kırıldığı 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi ($M_w 7,4$) [12] ve Düzce Segmenti üzerinde yüzey kırığının geliştiği 12 Kasım 1999 depremidir ($M_w 7,2$) [14]. Ayrıca bölgede 1900-2021 tarihleri arasında meydana gelen ve büyüklüğü $M_w \geq 6.0$ olan depremler Tablo 1'de verilmiştir. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminden yaklaşık üç ay sonra Düzce segmenti üzerinde gerçekleşen 12 Kasım 1999 Düzce depreminin büyüklüğü $M_w=7.2$, odak derinliği yaklaşık 11km ve merkez üssü 40.79 K-31.21 D olarak saptanmıştır. Deprem 30 saniye sürmüştür ve birçok ilde etkili olmuştur. Söz konusu depremde, Düzce'de 710 kişi hayatını kaybetmiş, 2678 kişi yaralanmış ve binlerce kişi evsiz kalmıştır. Deprem nedeni ile Düzce ilinde yapı stokunun neredeyse %70'i hasar görmüştür. Hasar gören yapılara ait sayısal veriler Tablo 2'de ve Düzce ili hasarlı konut dağılımı Şekil 8'de verilmiştir.

Düzce Afet ve Acil Durum Müdürlüğü verilerine göre ise, 1999'daki depremlerde Düzce genelinde 16666 konut ve 3837 iş yeri ağır hasar görmüştür. 10968 konut ile 2573 iş yerinde orta hasar, 13070 konut ve 1606 iş yerinde ise az hasar tespit edilmiştir.



Şekil 7. Bölgede meydana gelen aletsel dönem depremleri [2]

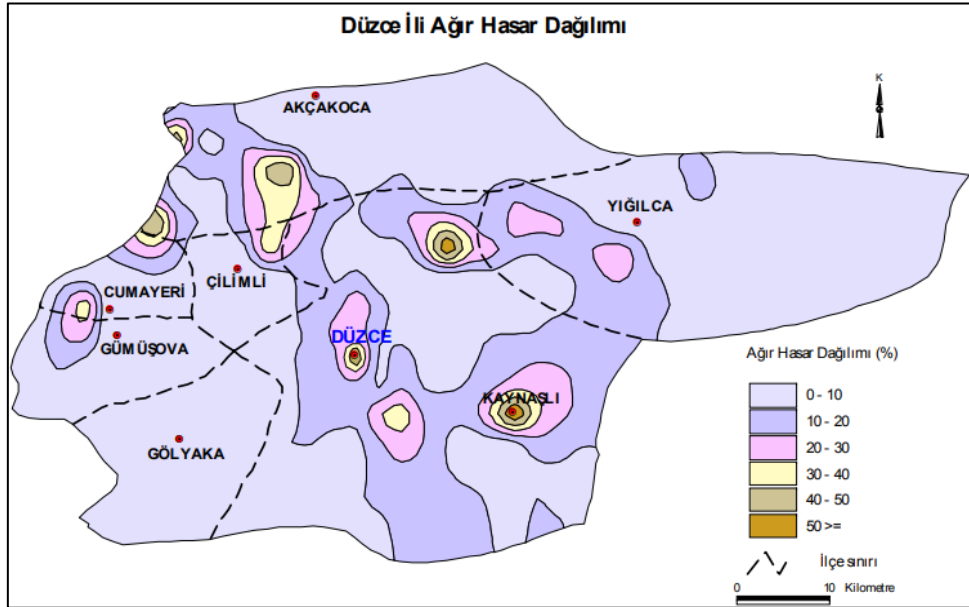
Tablo 1. 1900-2021 tarihleri arasında büyüklüğü $M_w \geq 6.0$ olan depremler [2]

Tarih	Saat (UTM)	Enlem	Boylam	Derinlik (Km)	Düzce'ye Uzaklık (Km)	Büyüklik (M_w)	Yer	
1	25.06.1910	19:26:01.00	41.00	34.00	5	240	6.2	Ermelik-Tosya (Kastamonu)
2	02.05.1928	21:54:32.20	39.64	29.14	10	217	6.1	İshaklar-Harmancık (Bursa)
3	20.06.1943	15:32:54.00	40.85	30.51	10	55	6.6	Türkbeylikkışla-Söğütlü
4	26.11.1943	22:20:40.80	41.05	33.72	10	217	7.2	Cömert-İlgaz (Çankırı)
5	01.02.1944	03:22:39.90	41.41	32.69	10	144	7.2	İnceçay-Safranbolu (Karabük)
6	13.08.1951	18:33:33.60	40.88	32.87	10	144	6.9	Kuzören-Çerkeş (Çankırı)
7	07.09.1953	03:59:04.10	41.09	33.01	40	158	6.0	Soğanlı-Ovacık (Karabük)
8	20.02.1956	20:31:43.80	39.89	30.49	40	119	6.4	Sulukaraağaç-Tepebaşı
9	26.05.1957	06:33:35.10	40.67	31.00	10	22	7.1	Güzeldere-Gölyaka (Düzce)
10	18.09.1963	16:58:14.80	40.77	29.12	40	172	6.3	Adalar (İstanbul)
11	22.07.1967	16:56:58.00	40.67	30.69	33	43	6.8	Güzlek-Akyazı (Sakarya)
12	03.09.1968	08:19:52.60	41.81	32.39	5	150	6.5	Amasra (Bartın)
13	28.03.1970	21:02:23.50	39.21	29.51	18	228	7.0	Kızık-Çavdarhisar (Kütahya)
14	25.05.1971	05:43:26.10	39.05	29.71	16	233	6.0	Tokul-Aslanapa (Kütahya)
15	08.07.1978	09:24:50.90	39.68	29.42	0	196	6.0	Bozbelen-Tavşanlı (Kütahya)
16	13.07.1978	12:38:43.00	39.10	29.90	10	220	6.0	Yağcılar-Aslanapa (Kütahya)
17	17.08.1999	00:01:37.60	40.76	29.97	18	101	7.4	Başiskele (Kocaeli)

18	12.11.1999	16:57:20.80	40.74	31.21	25	11	7.2	Uğur (Düzce)
19	03.02.2002	07:11:28.60	38.58	21.25	10	250	6.1	Taşköprü-Sultandağı
20	03.02.2002	09:26:44.10	38.68	30.82	5	240	6.0	Çobanlar (Afyonkarahisar)

Tablo 2. 12 Kasım 1999 Düzce depremi sonrası hasarlı yapı bilgisi [15]

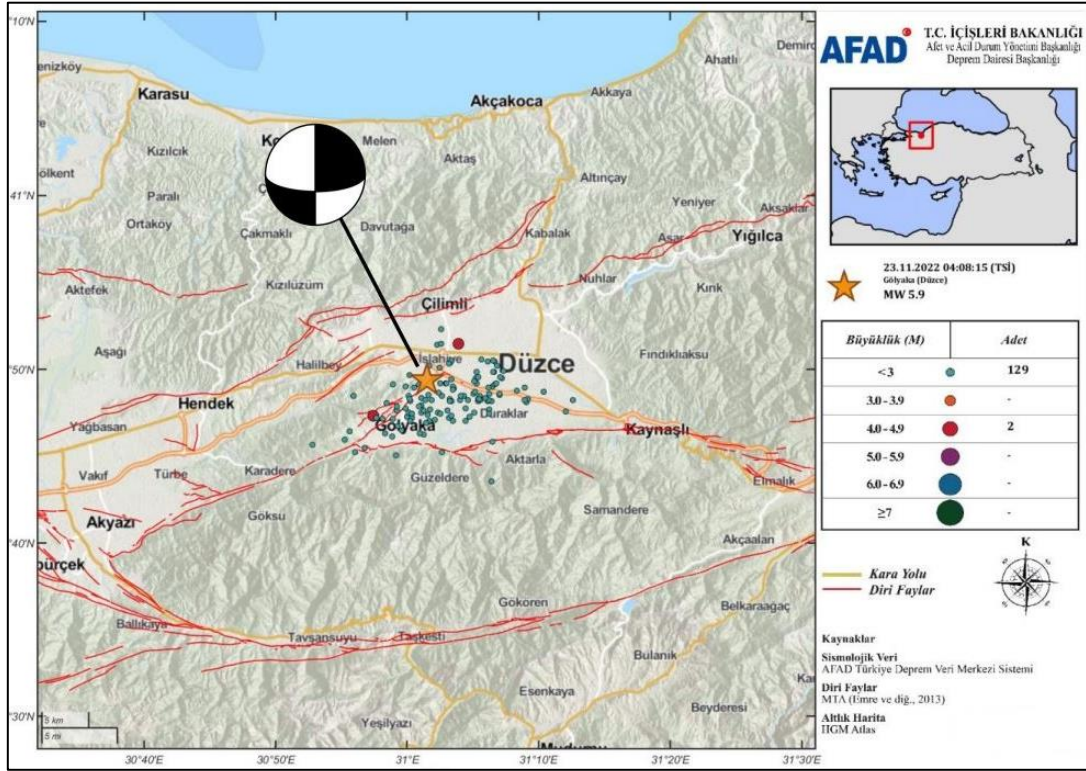
Düzce İli	Hasar Seviyesi								
	Toplam Ağır H.	Toplam Orta H.	Toplam Az H.	Ağır (Şehir)	Orta (Şehir)	Az (Şehir)	Ağır (Köy)	Orta (Köy)	Az (Köy)
Düzce (M)	9928	6876	6816	8490	5184	3970	1438	1692	2846
Akçakoca	272	303	629	51	92	252	221	211	377
Cumayeri	122	242	249	80	147	100	42	95	149
Çilimli	119	294	287	23	139	109	96	155	178
Gölyaka	123	89	299	65	70	75	58	19	224
Gümüşova	54	191	446	20	75	81	34	116	365
Kaynaşlı	1537	429	1058	1173	207	451	364	222	607
Yığılca	358	641	438	2	13	42	356	628	396
TOPLAM	12513	9065	10222	9904	5927	5080	2609	3138	5142



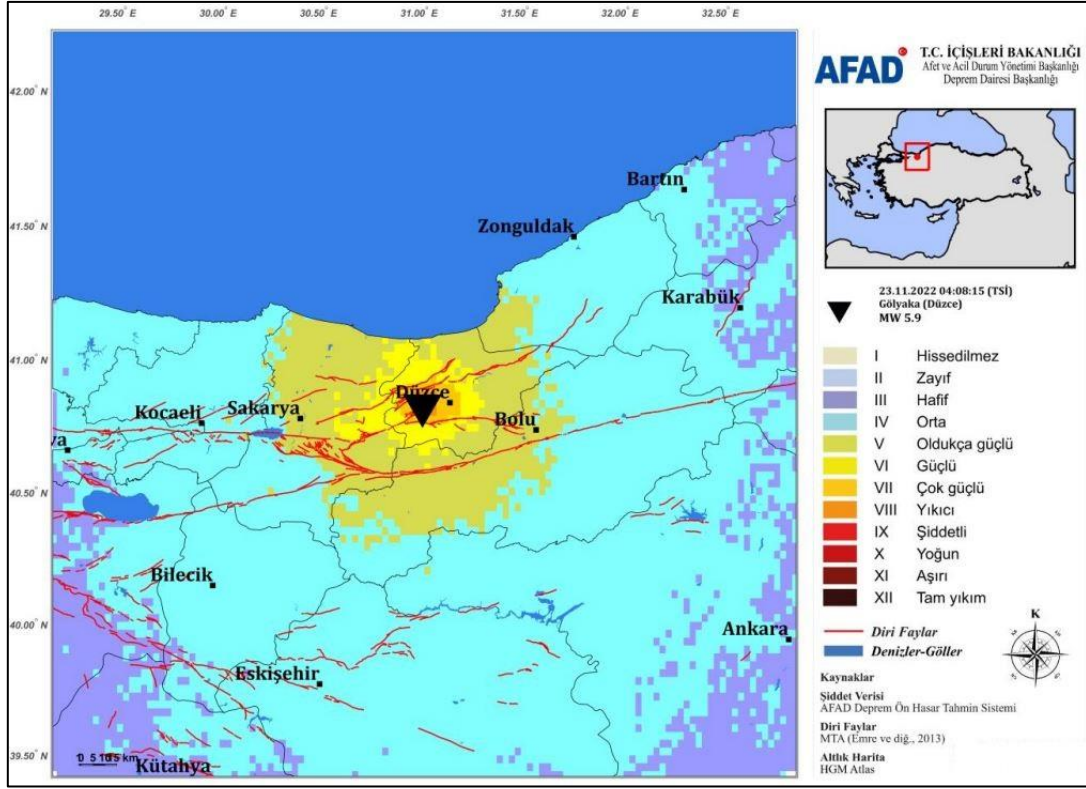
Şekil 8. 12 Kasım 1999 Düzce depremi sonrası Düzce ili ağır hasarlı yapı dağılımı [15]

3. 23 KASIM 2022 GÖLYAKA (DÜZCE) DEPREMİNE AİT YER HAREKETİ KAYITLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

23 Kasım 2022 Düzce depremi, AFAD verilerine göre Kuzey Anadolu fay sistemi içerisinde yer alan Karadere Fayının kuzeydoğu ucunda, Düzce ili Gölyaka ilçe merkezinin kuzeydoğusunda 40.8230K - 31.0250D koordinatında meydana gelmiştir (Şekil 9). Meydana gelen depremin, toplam uzunluğu yaklaşık 35km olan Karadere Segmenti'nin 1999 İzmit ve Düzce depremlerinde tam kırılma gerçekleşmeyen yaklaşık 10km uzunluğundaki kuzeydoğu ucundaki bölümden kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Deprem, Düzce ili ve ilçeleri başta olmak üzere çevre illerde de etkili olmuştur (Şekil 10). Depremin merkez üssüne en yakın il merkezleri ve mesafeleri Tablo 3'te verilmiştir. Ayrıca, Tablo 4 depremin moment tensör çözümü göstermektedir.



Şekil 9. 23 Kasım 2022 04:08:15 (TSİ), Gölyaka (Düzce) MW 5.9 depremi [1]




Şekil 10. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremini eş şiddet haritası [1]

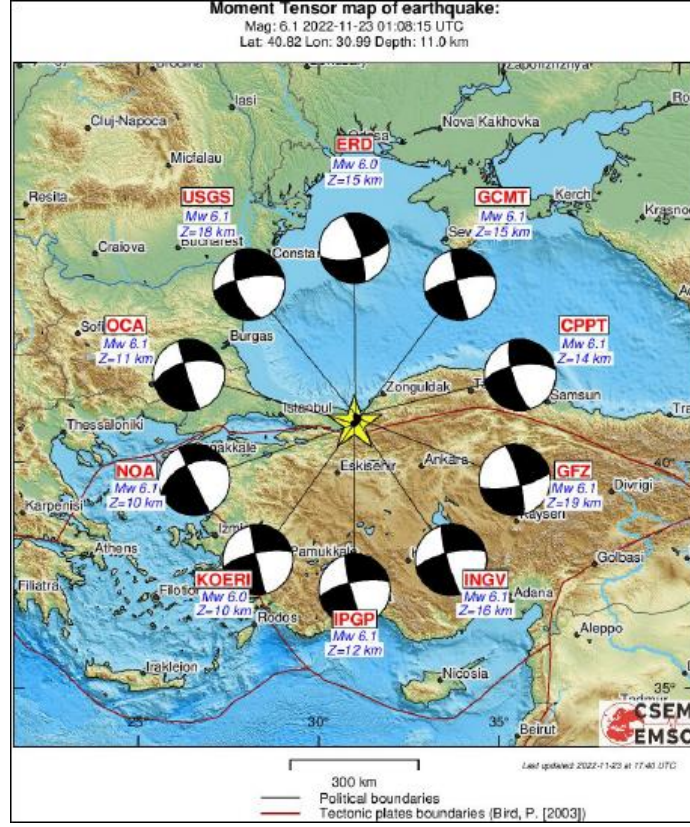
Tablo 3. Depremin merkez üssüne en yakın il merkezleri [1]

İl	İlçe	Mesafe (km)
Düzce	Merkez	11.59
Bolu	Merkez	48.83
Sakarya	Merkez	51.60
Kocaeli	Merkez	93.05
Zonguldak	Merkez	94.45

Tablo 4. Depremin moment tensör çözümü [1]

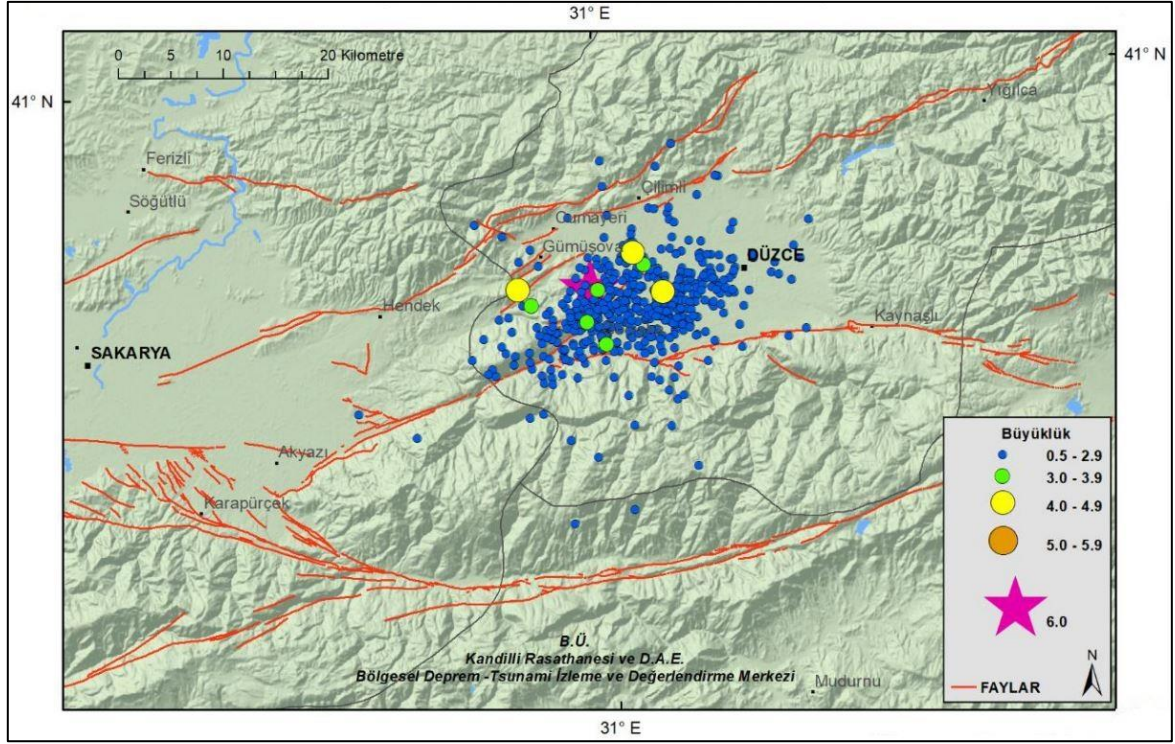
	Strike 1	Dip 1	Rake 1	Strike 2	Dip 2	Rake 2
		77	65	-168	342	79

Farklı ulusal ve uluslararası deprem izleme merkezlerinden alınan ilksel moment tensör çözümlerine göre, KD-GB doğrultulu sağ yanal atımlı bir fayın kırılması sonucunda meydana gelen depremin büyüklüğü Mw 6.0-6.1, derinliği ise 10-19 km arasında değişmektedir. Bazı çözümlerde fay düzleminin eğim yönü KB, bazılarında ise GD yönünde verilmiştir (Şekil 11) [7].

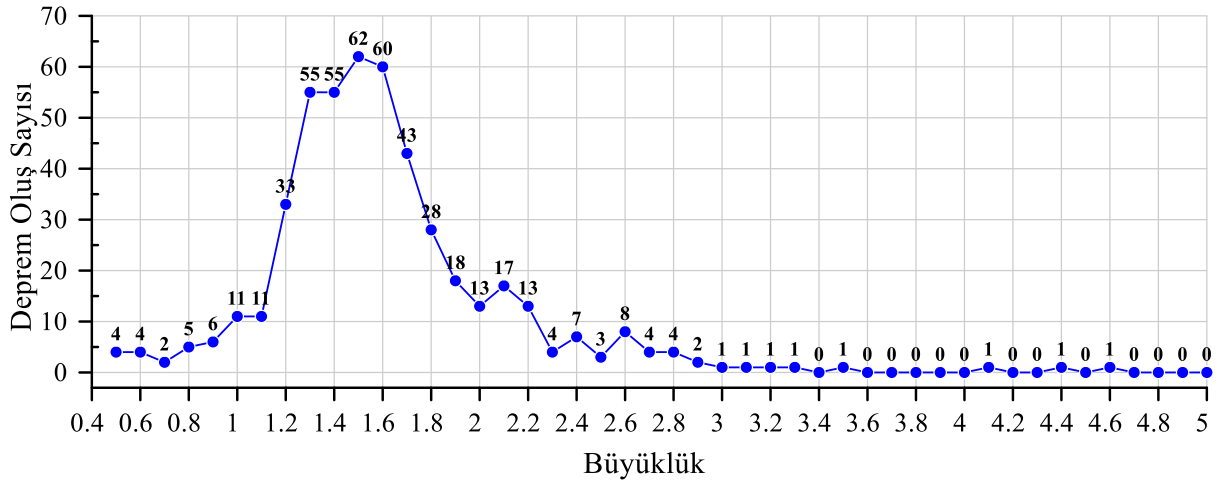


Şekil 11. Farklı deprem izleme istasyonlarından 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) Depremi için önerilen dışmerkez, odak derinliği ve hızlı moment tensör çözümleri (EMSC) [7]

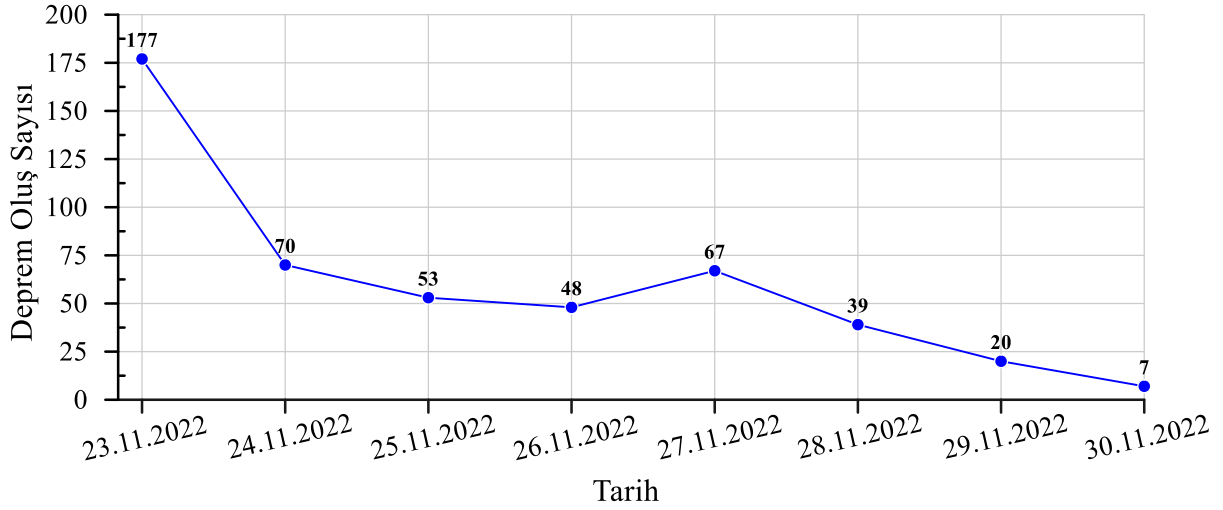
KRDAE verilerine göre deprem bölgesinde 30 Kasım 2022 günü saat 09:00'a kadar üç tanesi M_w 4.0'ten büyük olmak üzere 481 adet artçı deprem meydana gelmiştir (Şekil 12). Şekil 13 ve Şekil 14'te meydana gelen artçı depremlerin büyüklük dağılımı ve günlük oluş sayısı verilmektedir.



Şekil 12. 23.11.2022 Gölyaka (Düzce) depremi ve artçıları (30.11.2022 saat 09:00'a kadar) [2]

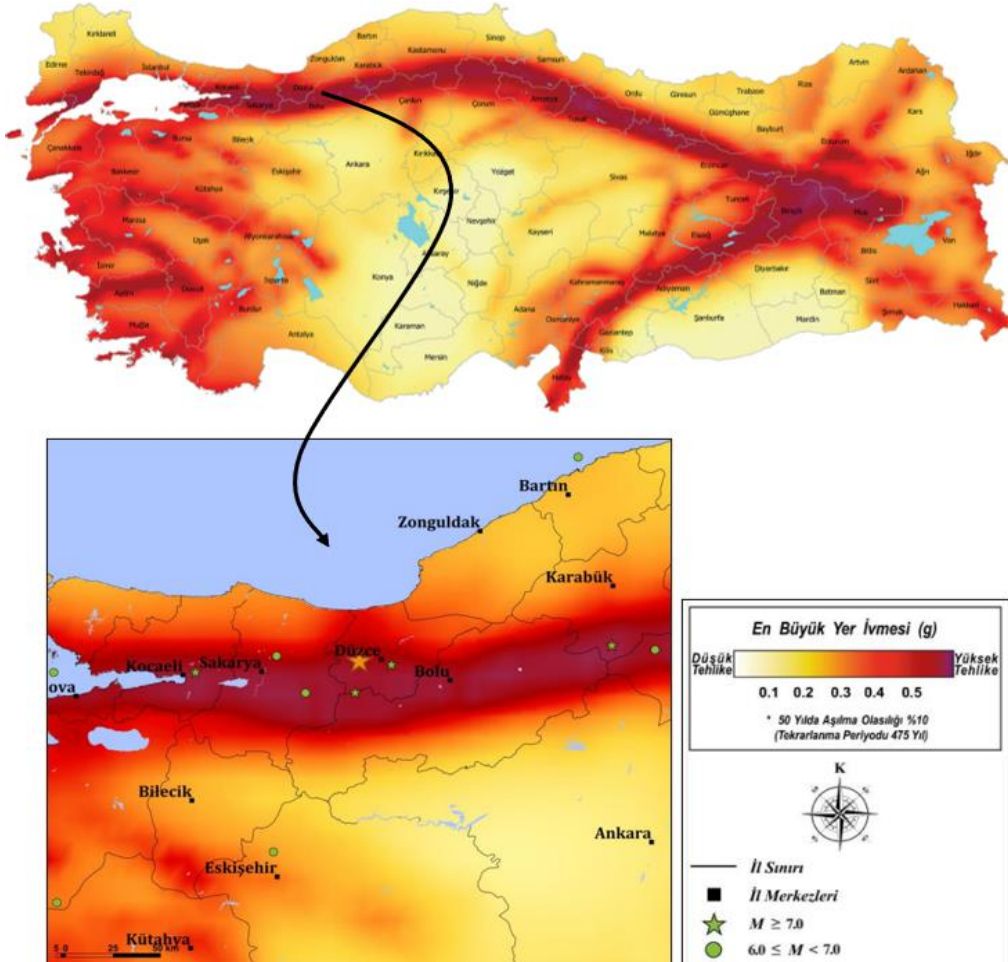


Şekil 13. Artçı depremlerin büyüklük dağılımı [2]



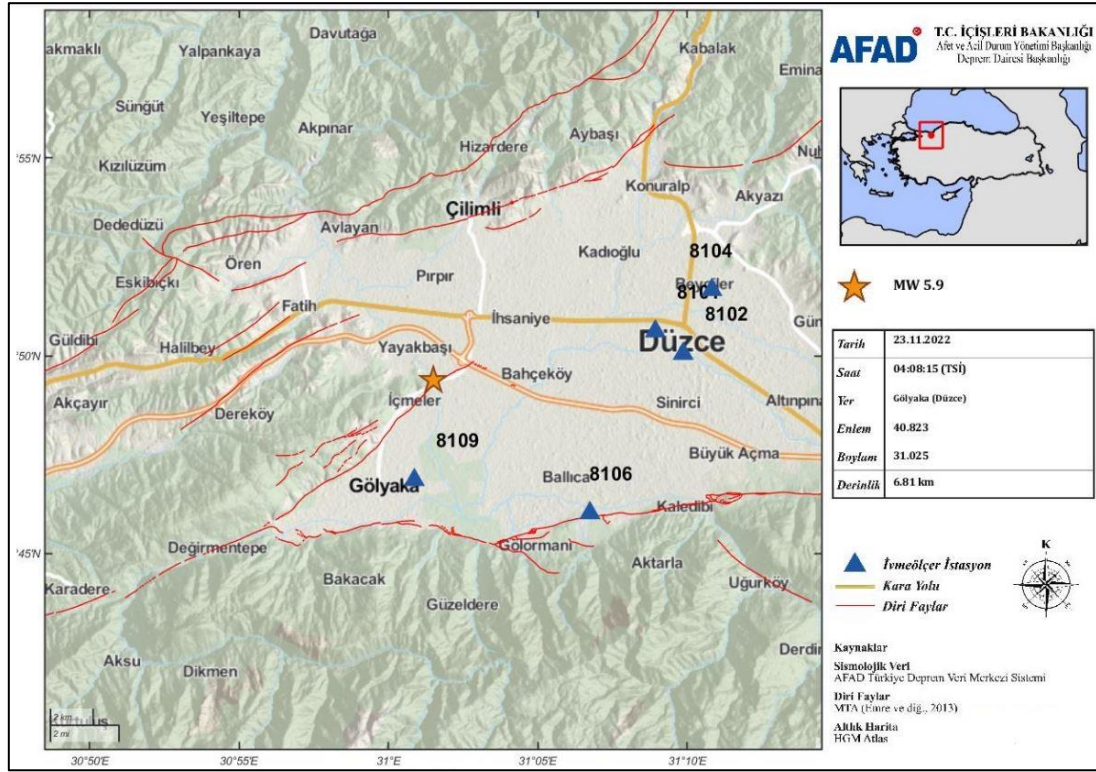
Şekil 14. Artçı depremlerin günlük oluş sayısı [2]

23 Kasım 2022 Düzce depreminin meydana geldiği noktanın PGA 475(yıl) ivme değeri Türkiye Deprem Tehlike Haritasına göre 0.593g'dir (Şekil 15). Bu değer depremin meydana geldiği noktanın deprem tehlikesinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 15. Türkiye Deprem Tehlike Haritasına göre bölgenin deprem tehlikesi [1]

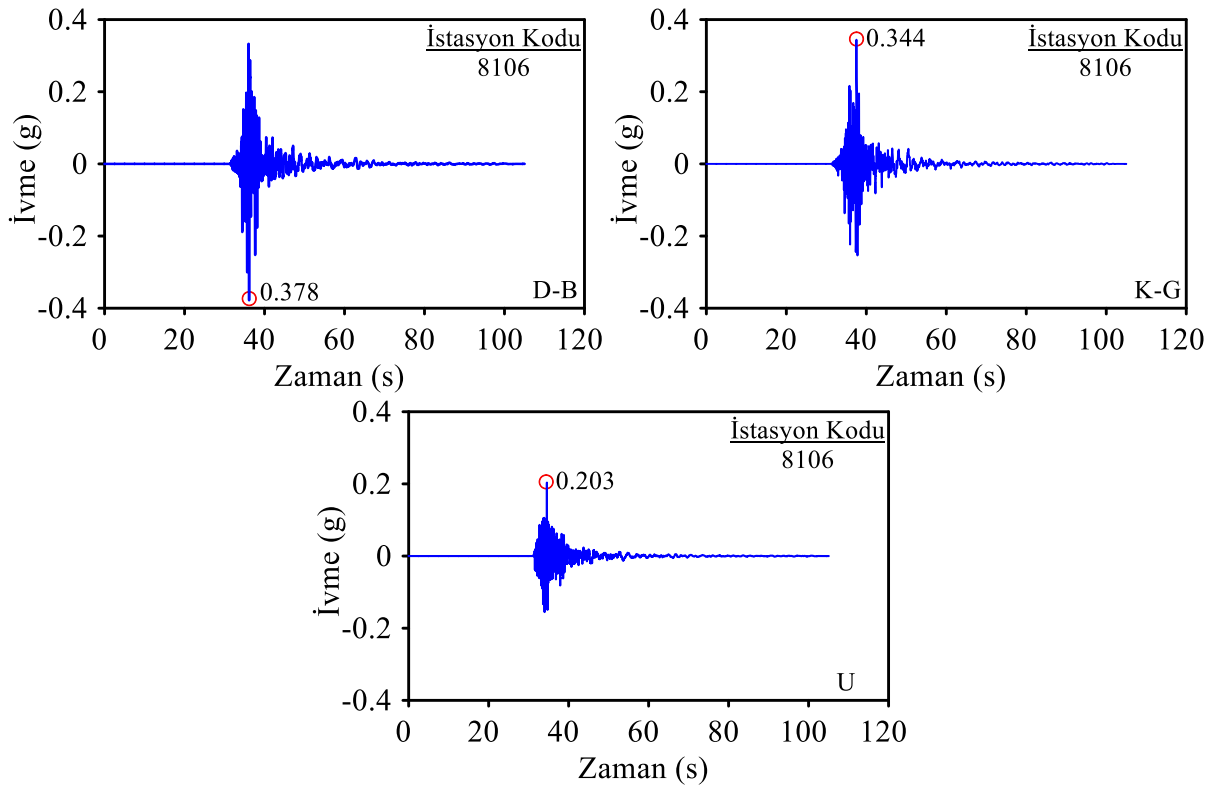
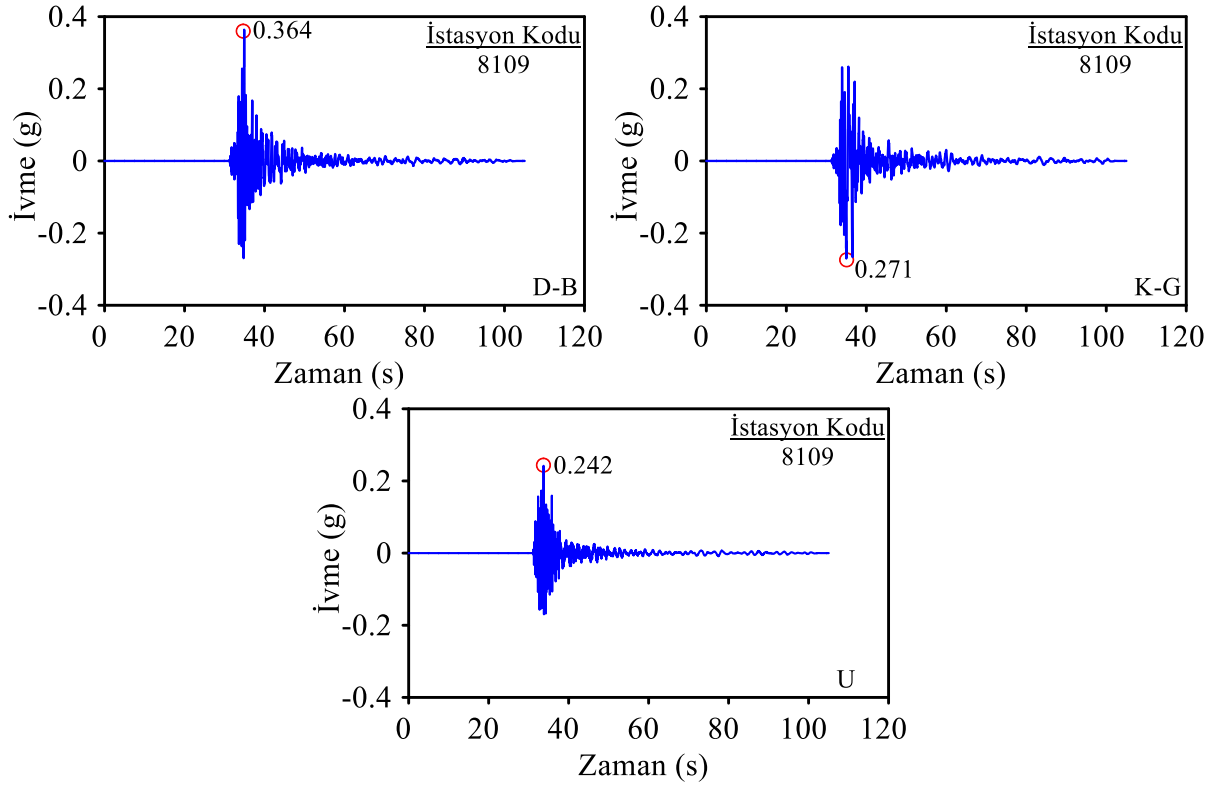
AFAD verilere göre, depremin en büyük ivme değeri deprem bölgesine en yakın 5 ivmeölçerden biri olan 8102 kodlu Düzce Merkez ivmeölçer istasyonundan ölçülen Doğu-Batı bileşeninde 407.76gal (0.410g) olarak ölçülmüştür. Depremin episantrına (dış merkezine) en yakın 5 adet ivmeölçer istasyonunun ölçüm konumları Şekil 16’da bu istasyonlardan elde edilen yer hareketi kayıtlarına ait bilgi ve sonuçlar ise Tablo 5’te verilmiştir.

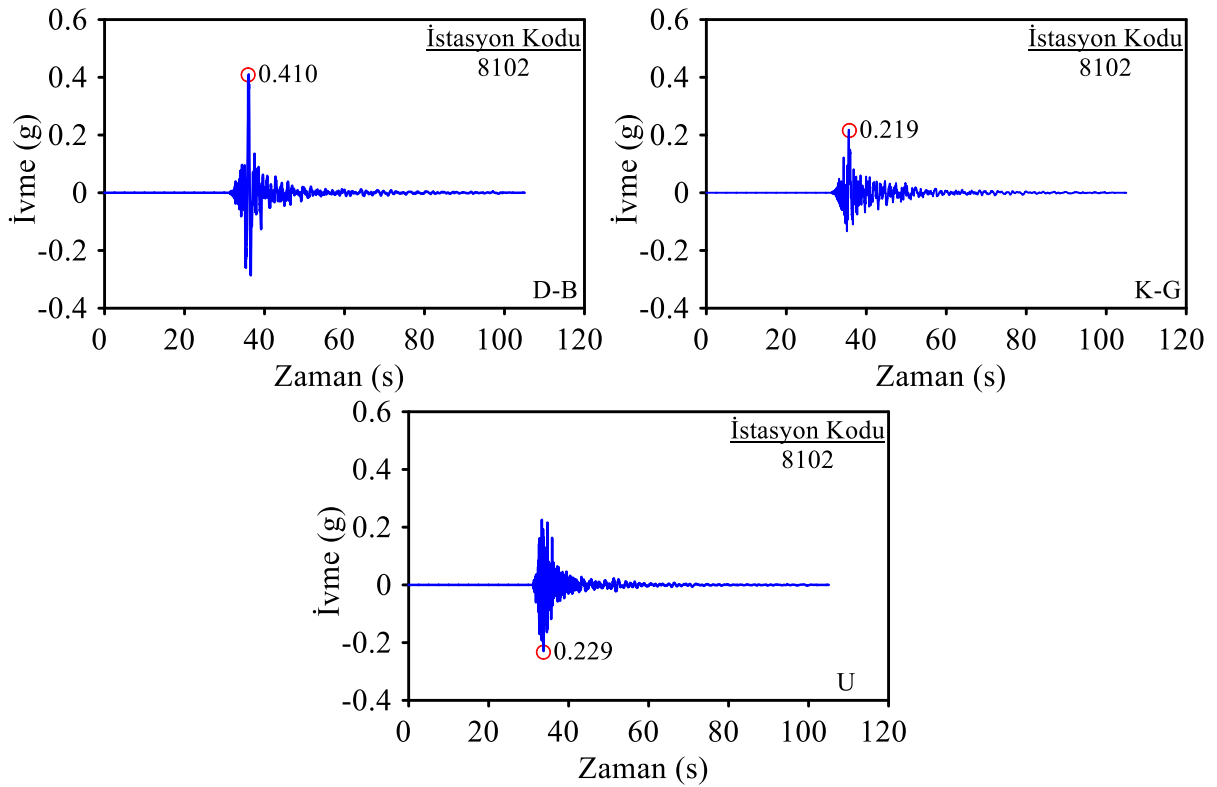
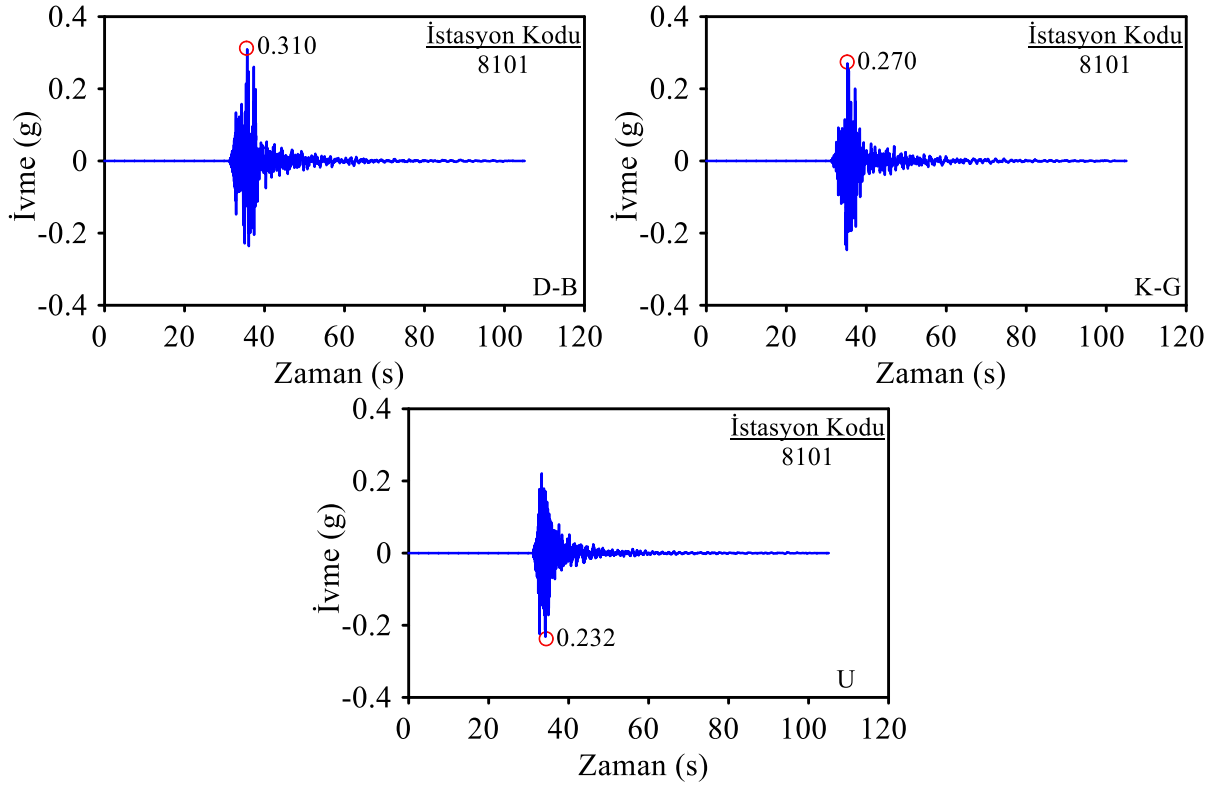


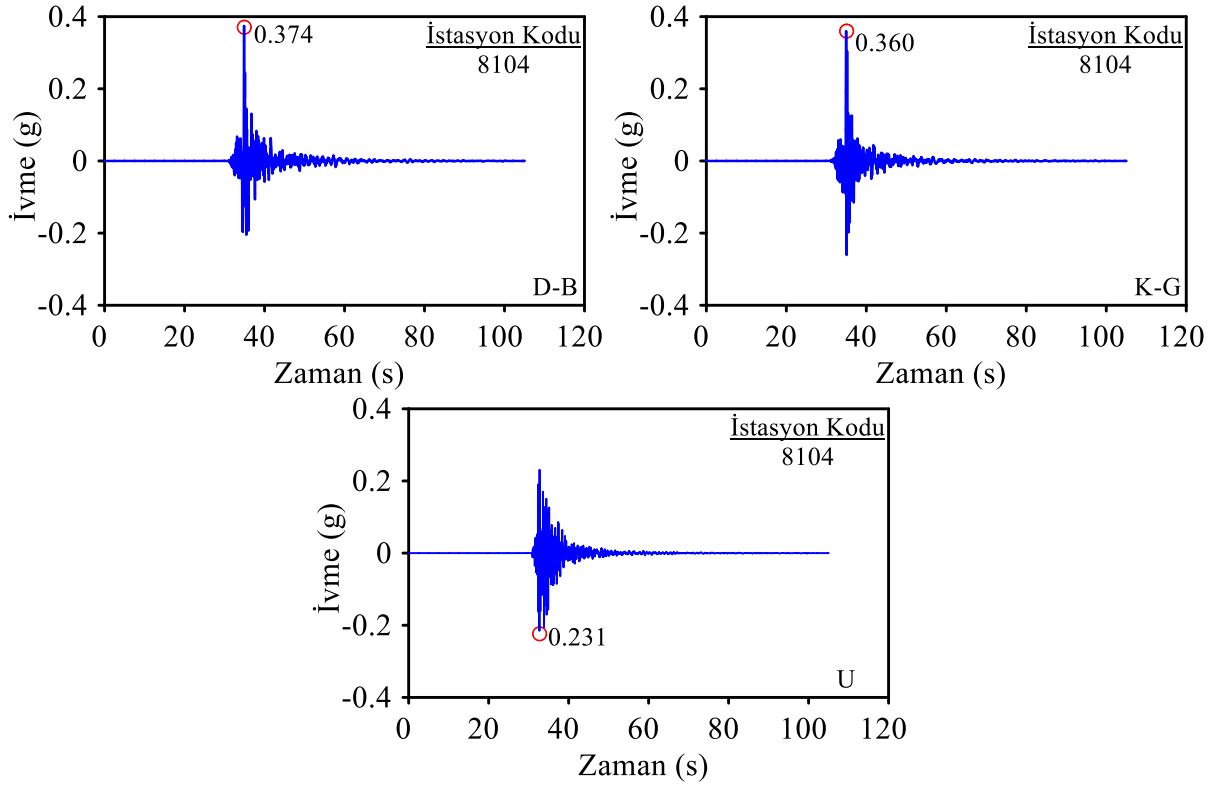
Şekil 16. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremini kaydeden en yakın 5 ivmeölçer istasyonunun konumu [1]

Tablo 5. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremini kaydeden en yakın 5 ivmeölçer istasyonundan ölçülen ivme değerleri [1]

Kod	İstasyon			Ölçülen İvme Değerleri (g)			Uzaklık R _{epi} (km)
	İl	İlçe	Koordinat Bilgisi	K-G	D-B	Düşey	
8109	Düzce	Gölyaka	40.7810K – 31.0144D	0.271	0.364	0.242	4.75
8106	Düzce	Merkez	40.7670K – 31.1124D	0.344	0.378	0.203	9.63
8101	Düzce	Merkez	40.8436K – 31.1489D	0.270	0.310	0.232	10.62
8102	Düzce	Merkez	40.8342K – 31.1644D	0.219	0.410	0.229	11.79
8104	Düzce	Merkez	40.8611K – 31.1804D	0.360	0.374	0.231	13.74

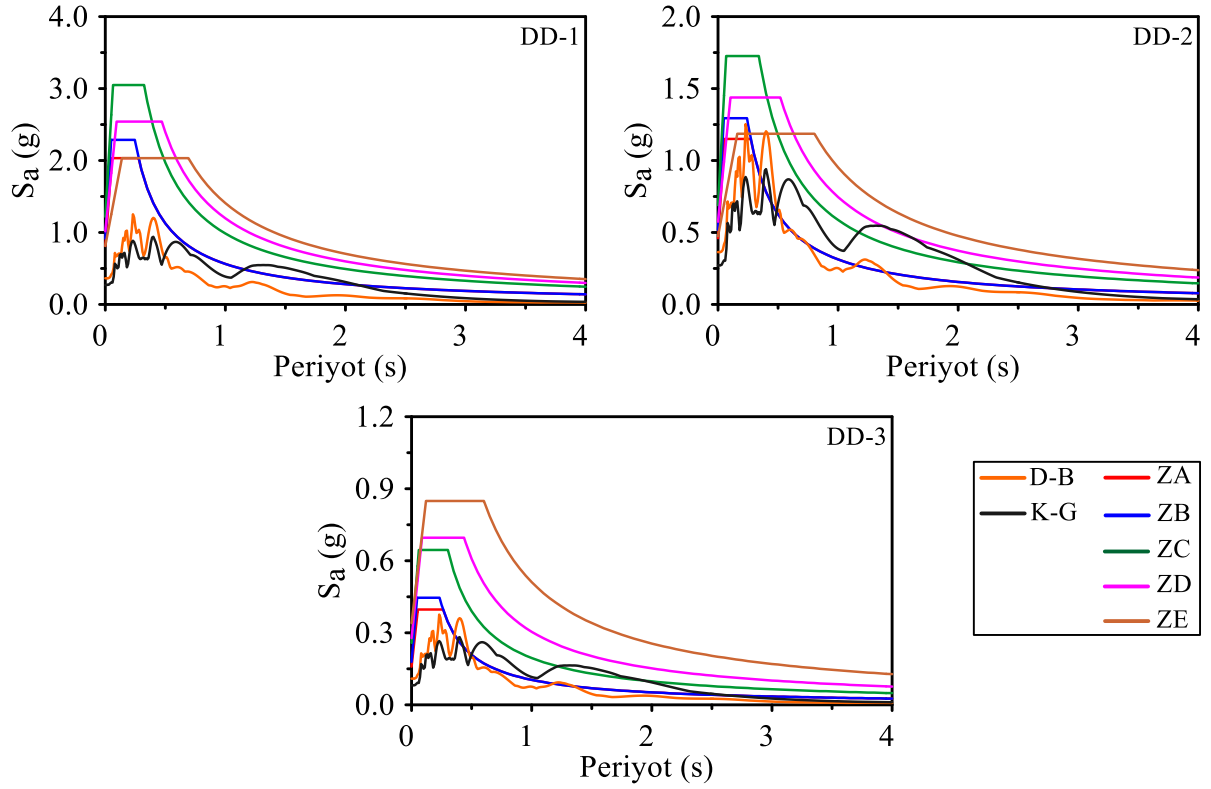




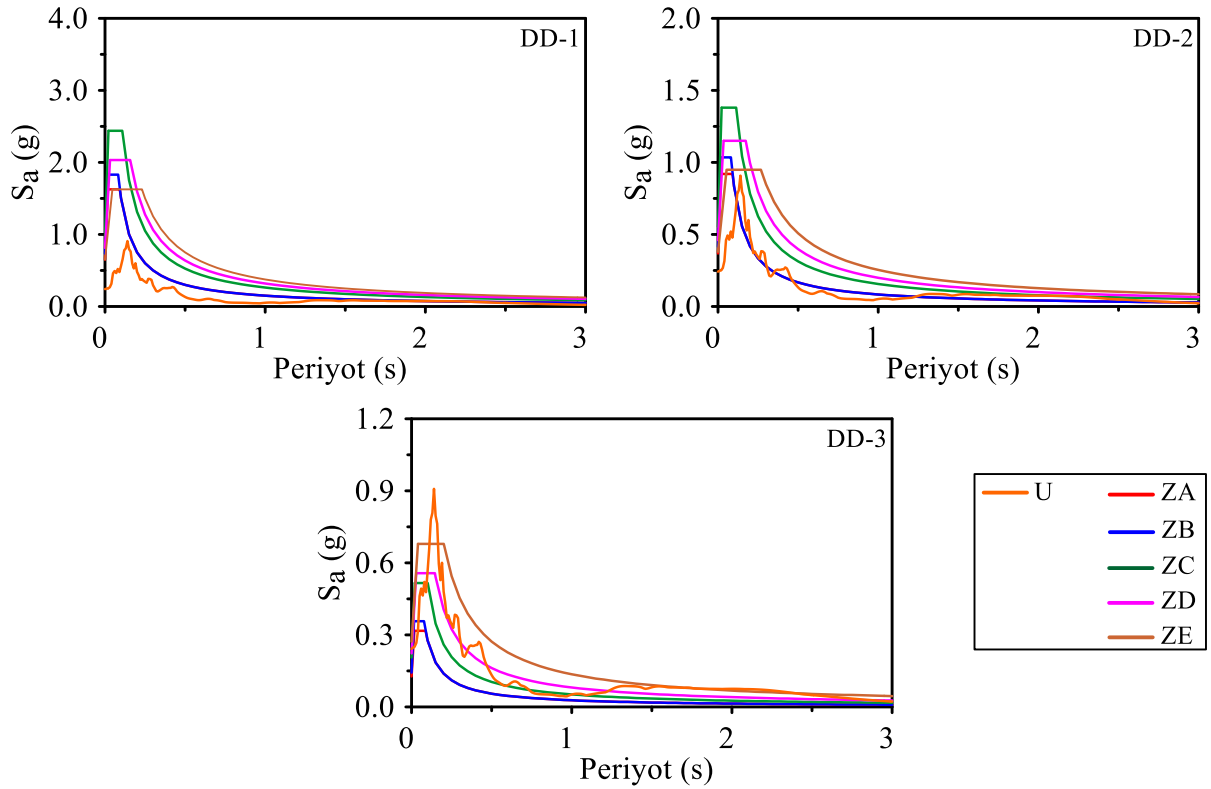


Şekil 21. 8104 kodlu istasyona ait ivme-zaman grafiği

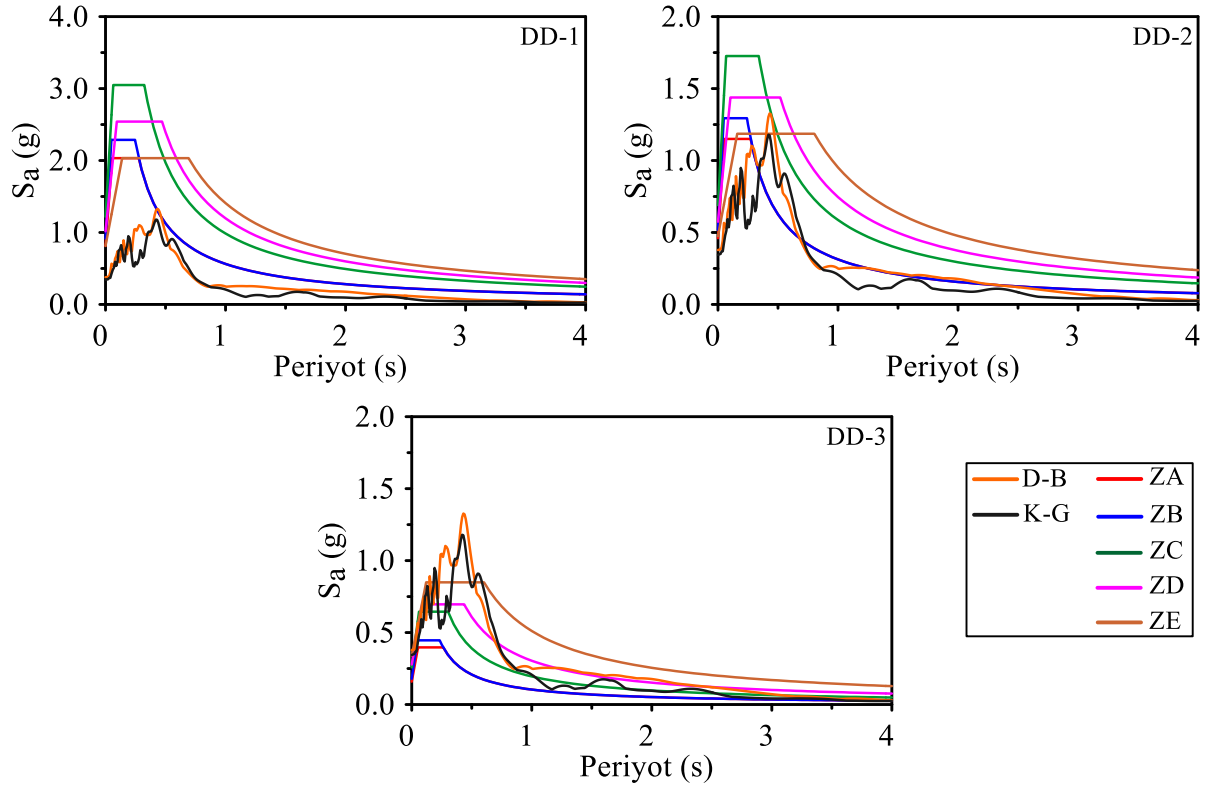
Tablo 5’te verilen istasyonlardan elde edilen yatay ve düşey doğrultudaki yer hareketi kayıtlarının ivme tepki spektrumları, TBDY-2018’e göre hesaplanan tasarım spektrumları ile karşılaştırılmıştır. Tasarım spektrumların elde edilmesinde farklı deprem yer hareketi düzeyleri (DD-1, DD-2 ve DD-3) ve zemin sınıfları dikkate alınmıştır. TBDY-2018’e göre, DD-1 tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini nitelendirmekte ve dikkate alınan en büyük deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır. DD-2 tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelendirmekte ve standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır. DD-3 ise tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketini nitelemektedir. Yapılan değerlendirme sonucu, istasyonlardan elde edilen düşey tepki spektrumları spektral ivme değerlerinin, DD-3 yer hareketi düzeyi için zemin sınıflarına bağlı olarak tasarım spektral ivme değerlerinden daha büyük olduğu belirlenmiştir. DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyleri için ise düşey tepki spektral ivme değerlerinin tasarım spektral ivme değerlerinin altında kaldığı gözlemlenmiştir. İstasyonlardan elde edilen yatay tepki spektrumları spektral ivme değerleri ise DD-1 yer hareketi düzeyinde farklı zemin sınıfları için tasarım spektral ivme değerlerinden daha küçük elde edilmiştir. DD-2 ve DD-3 deprem yer hareketi düzeylerinde istasyona ve zemin sınıfına bağlı olarak tasarım spektral ivme değerlerinden daha büyük yatay spektral ivme değerleri olduğu gözlemlenmiştir.



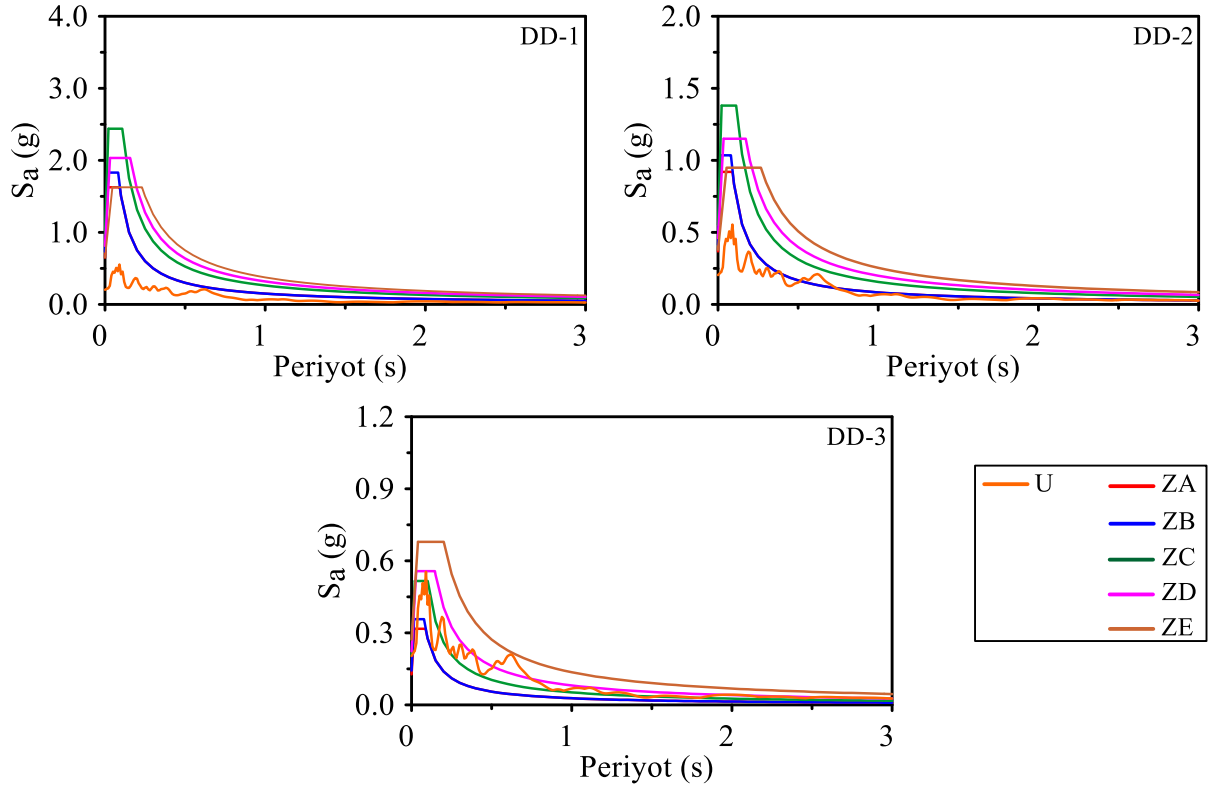
Şekil 22. 8109 kodlu istasyona ait yatay ivme tepki spektrumlarının TBDY-2018'e göre DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem yer hareketi düzeyinde farklı zemin sınıfları için tasarım spektrumları ile karşılaştırılması



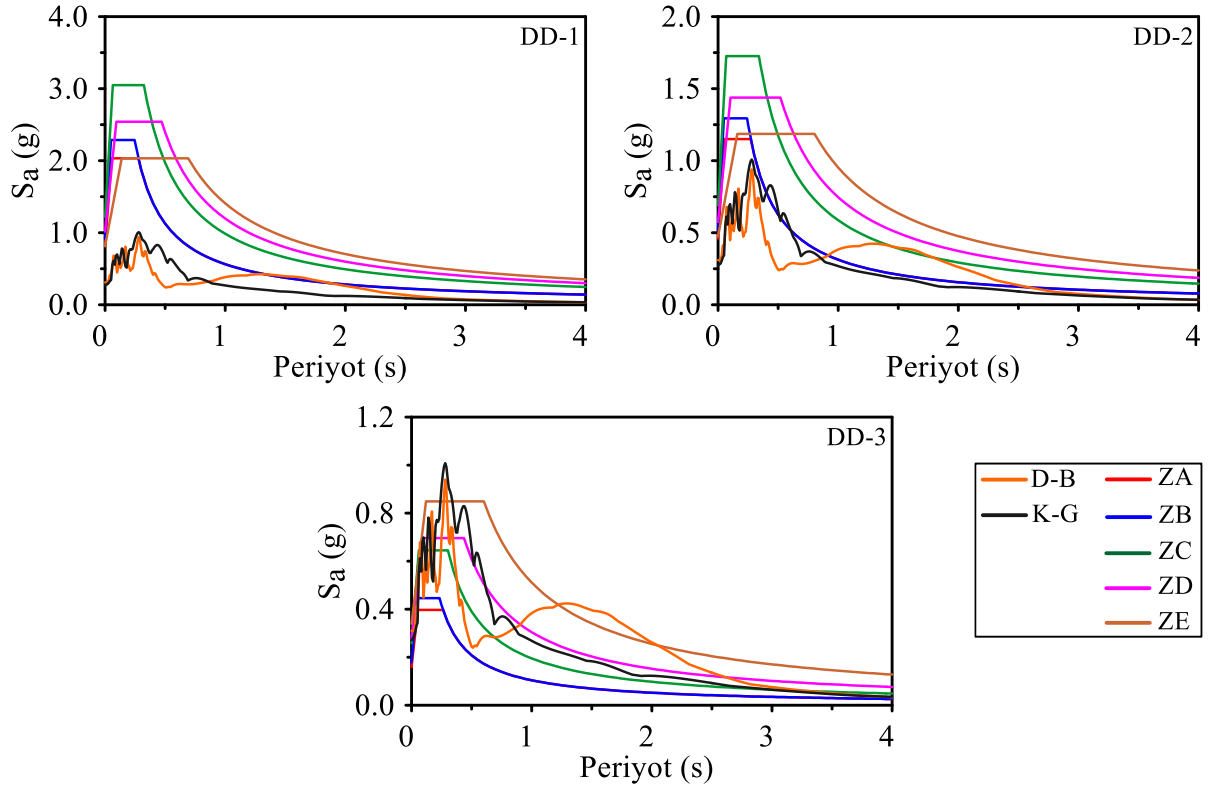
Şekil 23. 8109 kodlu istasyona ait düşey ivme tepki spektrumlarının TBDY-2018'e göre DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem yer hareketi düzeyinde farklı zemin sınıfları için tasarım spektrumları ile karşılaştırılması



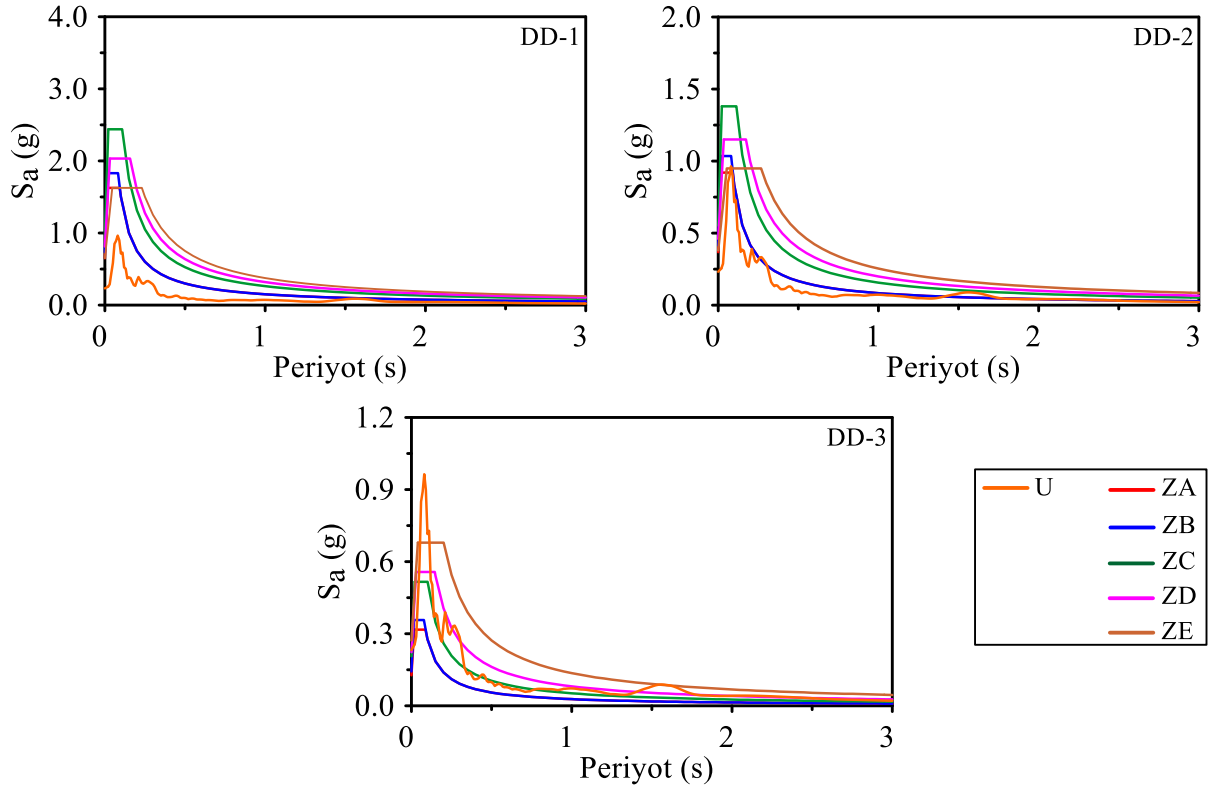
Şekil 24. 8106 kodlu istasyona ait yatay ivme tepki spektrumlarının TBDY-2018'e göre DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem yer hareketi düzeyinde farklı zemin sınıfları için tasarım spektrumları ile karşılaştırılması



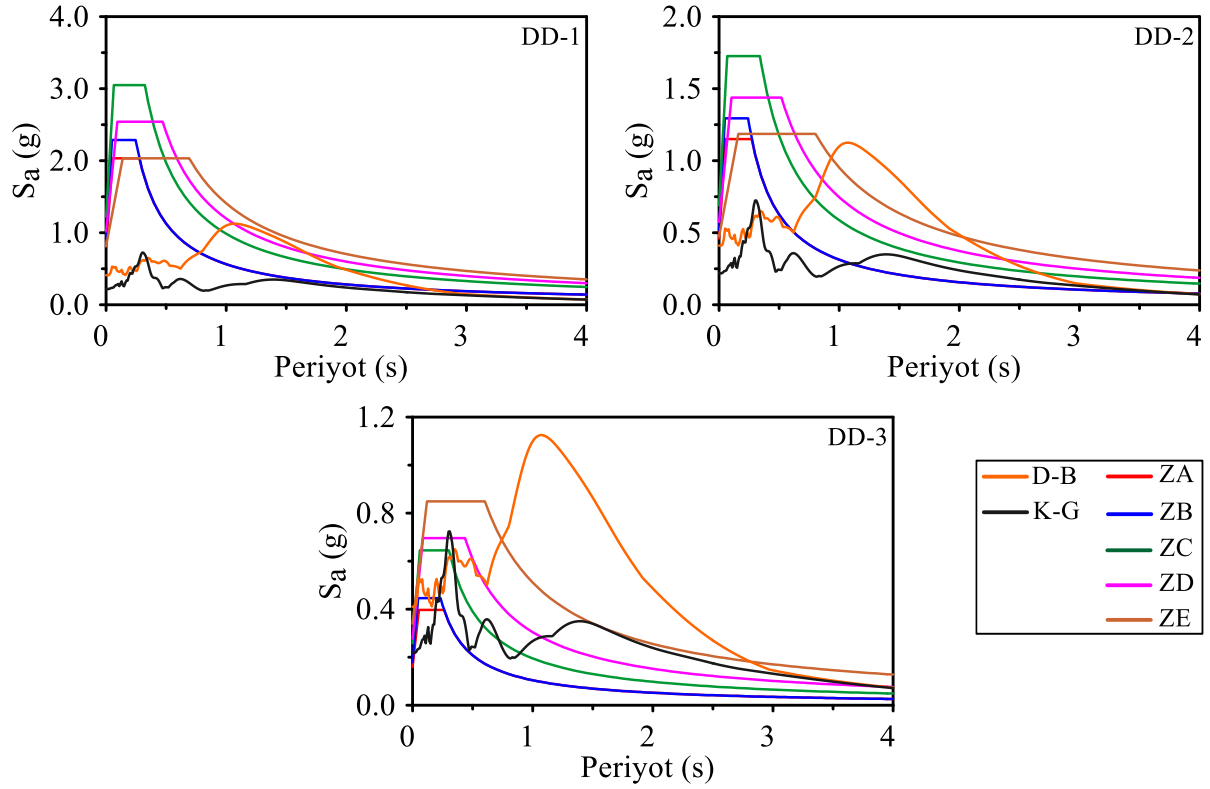
Şekil 25. 8106 kodlu istasyona ait düşey ivme tepki spektrumlarının TBDY-2018'e göre DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem yer hareketi düzeyinde farklı zemin sınıfları için tasarım spektrumları ile karşılaştırılması



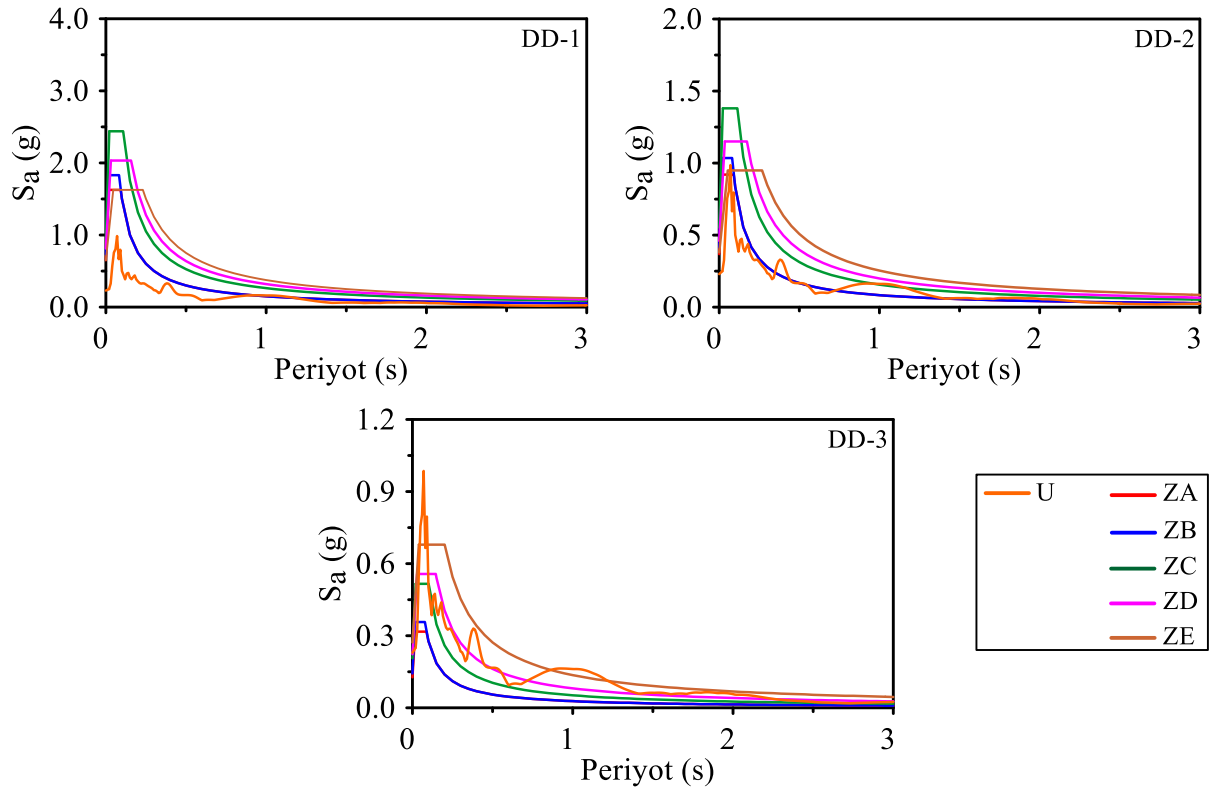
Şekil 26. 8101 kodlu istasyona ait yatay ivme tepki spektrumlarının TBDY-2018'e göre DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem yer hareketi düzeyinde farklı zemin sınıfları için tasarım spektrumları ile karşılaştırılması



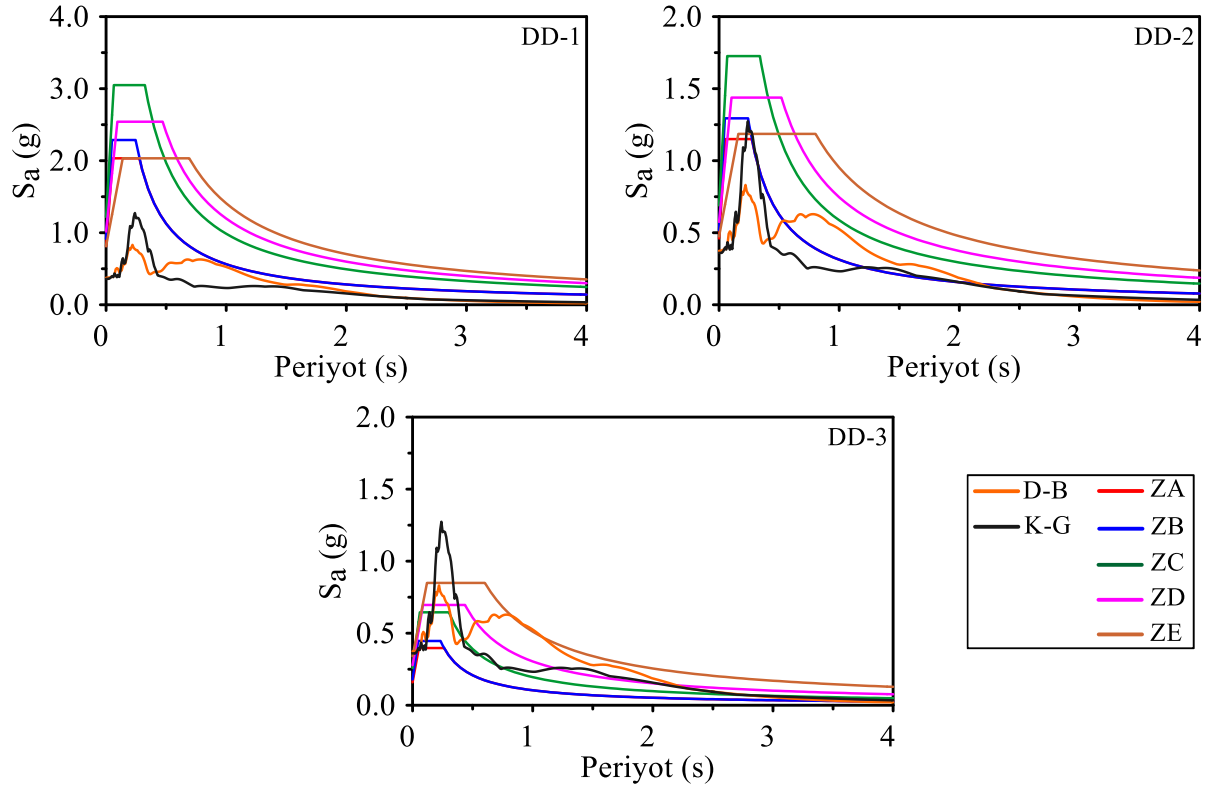
Şekil 27. 8101 kodlu istasyona ait düşey ivme tepki spektrumlarının TBDY-2018'e göre DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem yer hareketi düzeyinde farklı zemin sınıfları için tasarım spektrumları ile karşılaştırılması



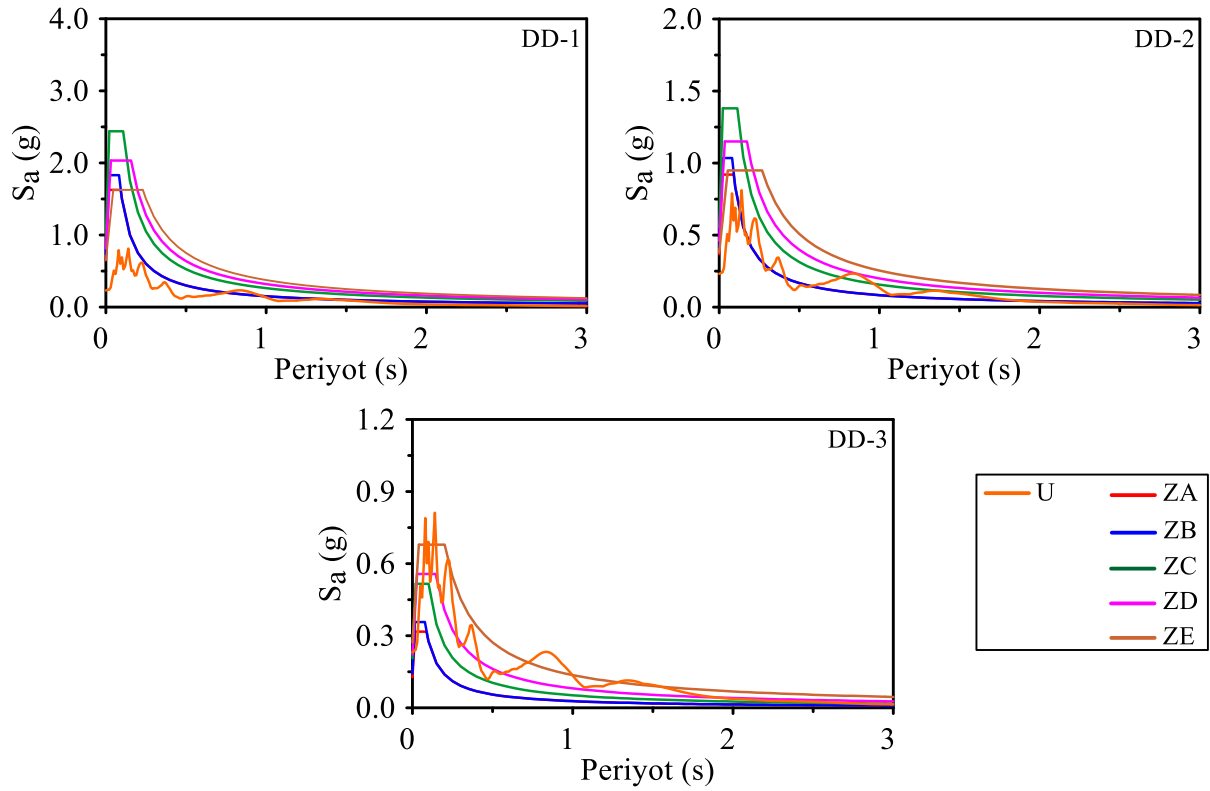
Şekil 28. 8102 kodlu istasyona ait yatay ivme tepki spektrumlarının TBDY-2018'e göre DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem yer hareketi düzeyinde farklı zemin sınıfları için tasarım spektrumları ile karşılaştırılması



Şekil 29. 8102 kodlu istasyona ait düşey ivme tepki spektrumlarının TBDY-2018'e göre DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem yer hareketi düzeyinde farklı zemin sınıfları için tasarım spektrumları ile karşılaştırılması



Şekil 30. 8104 kodlu istasyona ait yatay ivme tepki spektrumlarının TBDY-2018'e göre DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem yer hareketi düzeyinde farklı zemin sınıfları için tasarım spektrumları ile karşılaştırılması



Şekil 31. 8104 kodlu istasyona ait düşey ivme tepki spektrumlarının TBDY-2018'e göre DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem yer hareketi düzeyinde farklı zemin sınıfları için tasarım spektrumları ile karşılaştırılması

4. BİNALARDA GÖZLEMLenen HASARLAR

4.1. Betonarme Binalarda Gözlenen Hasarlar

23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremi sonrası Düzce ili merkez mahallelerinde ve ilçelerde çok sayıda betonarme binada farklı seviyelerde deprem hasarı meydana gelmiştir. Yapılan saha incelemeleri sonucunda betonarme binalarda hasar oluşumuna neden olan eksiklikler (i) tasarımdan kaynaklanan ve (ii) yapım aşamasından kaynaklanan eksiklikler olmak üzere başlıca iki sınıfa ayrılmıştır. Yapım aşamasından kaynaklanan eksikliklerde birçok faktör etkili iken tasarımdan kaynaklanan eksiklikler büyük ölçüde teknik kısımdan sorumlu mühendis ve mimarlardan kaynaklanmaktadır. Tasarımdan kaynaklanan eksikliklere, yapımdan kaynaklanan eksiklikler ve denetimsizliğin de eklenmesiyle olası depremlerde yapı stokunda hasarın meydana gelmesi kaçınılmaz olmaktadır.

23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremi sonrası betonarme binalarda tasarımdan ve yapım aşamasından kaynaklanan eksiklikler saha gözlemleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. İncelenen binalardaki deprem hasarlarına neden olan eksiklikler raporda ayrıntılı olarak sunulmuştur.

4.1.1. Tasarımdan Kaynaklanan Eksiklikler

Geçmiş depremler betonarme binalarda tasarımdan kaynaklı eksikliklerin farklı düzeyde hasarlara neden olabileceğini göstermektedir. Tasarımdan kaynaklı bu eksiklikler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Kısa kolon oluşumu
- Yetersiz derz boşluğuna bağlı çarpışma etkisi
- Kolon-kiriş birleşim bölgesi hataları
- Yetersiz bindirme boyu
- Zayıf dolgu duvar
- Düzensizlikler
- Yetersiz enine donatı

23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremi sonrası gerçekleştirilen saha gözlemleri sonucu, binalarda belirlenen tasarımdan kaynaklı eksikliklerin neden olduğu hasarlar alt başlıklarda verilmektedir.

4.1.1.1. Kısa Kolon Oluşumu

Mevcut binaların önemli bir kısmında dolgu duvarlar arasında bırakılan boşluklar, pencere üstü hatıllar, dış çerçeve dolgu duvarlarında aydınlatma ve havalandırma amacıyla bırakılan bant pencereler, kapı boşlukları, bodrum ve zemin katlarda örülen yarım duvarlar vb. durumlar kısa kolon oluşumuna neden olmaktadır. Kısa kolonlar yüksek rijitlik ve düşük sünekliğe sahiptirler. Yüksek rijitliğe sahip oldukları için deprem etkisi altında büyük yatay kuvvetlere karşı küçük deplasmanlar göstermektedirler. Dolayısıyla bu durum kısa kolonların kesme kırılmasıyla güç kaybederek hasar görmesine neden olmaktadır. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremi sonrasında yapılan saha gözlemlerinde, bazı betonarme binalarda kısa kolon oluşumlarından kaynaklı yapısal hasarlar tespit edilmiştir (Şekil 32). Betonarme binalarda bu tip hasarlar geçmiş depremlerde de gözlemlenmiştir (Şekil 33).

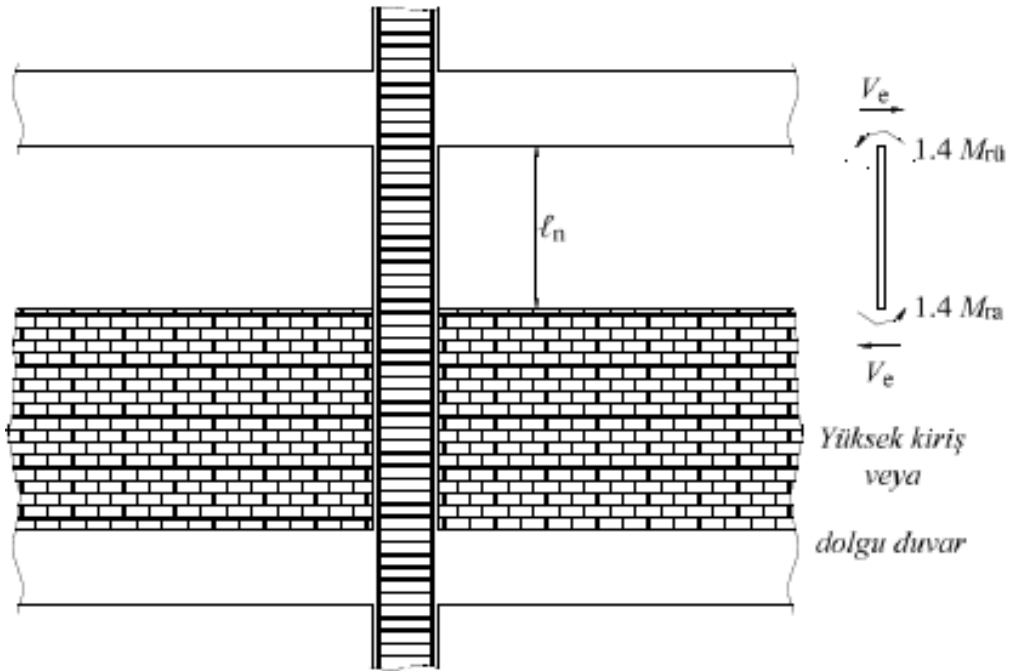


Şekil 32. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depreminde tespit edilen kısa kolon oluşumundan kaynaklı yapısal hasarlar



Şekil 33. (a) 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) [16] ve (b) 17 Ağustos 1999 [17] Kocaeli depreminde tespit edilen kısa kolon oluşumuna bağlı yapısal hasarlar

Kısa kolon hasarlarının oluşumuna engel olmak için kolon ve dolgu duvar / pencere açıklıkları arasına sıkıştırılabilir köpük benzeri malzeme kullanılabilir veya kolon kenarları yeterli miktarlarda duvar ile örülebilir. Ancak kısa kolon oluşumunun engellenemediği durumlarda Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018’de (TBDY-2018) belirtilen kurallar sağlanmalıdır. Kısa kolon boyunca, kolonların sarılma bölgeleri için tanımlanan minimum enine donatı ve yerleştirme koşulları uygulanmalıdır. Dolgu duvarlar ve kolonların tamamen bitişik olması durumunda ise kısa kolon durumuna dönüşen kolonlarda, enine donatılar tüm kat yüksekliği boyunca Şekil 34’te verildiği devam ettirilmelidir [18].



Şekil 34. Dolgu duvarlar ve kolonların tamamen bitişik olması durumunda enine donatıların uygulanması [18]

4.1.1.2. Yetersiz Derz Boşluğuna Bağlı Çarpışma Etkisi

Deprem anında komşu binaların yatay hareketlerinin birbirleri üzerindeki etkilerini ortadan kaldırmak için binalar arasında yeterli boşluk mesafesinin bırakılması gerekmektedir. Ancak, ülkemizde özellikle büyük şehirlerde sınırlı arazi kullanımı ve ekonomik nedenlerden dolayı bitişik nizam yapılanma görülmektedir. Dolayısıyla, deprem anında blokların bütün doğrultularda birbirlerinden bağımsız olarak çalışmasını sağlayan derz boşluklarının uygulanması gerekmektedir. TBDY-2018’de, farklı zemin oturmalarına bağlı temel ötelenme ve dönmeleri ile sıcaklık değişmelerinin etkisi dışında sadece deprem etkisi için bırakılacak derz boşlukları ile ilgili iki koşul belirtilmiştir. Bu koşullar aşağıda verilmektedir;

“Bırakılacak minimum derz boşluğu, 6 m yüksekliğe kadar en az 30 mm olacak ve bu değere 6 m’den sonraki her 3 m’lik yükseklik için en az 10 mm eklenecektir.”

“Derz boşlukları, her bir kat için komşu blok veya binalarda elde edilen yer değiştirmelerin karelerinin toplamının karekökü ile aşağıda tanımlanan α katsayısının çarpımı sonucunda bulunan değerden az olmayacaktır. Göz önüne alınacak kat yer değiştirmeleri, kolon veya perdelerin bağlandığı düğüm noktalarında hesaplanan azaltılmış $u_i(x)$ yer değiştirmelerinin kat içindeki ortalamaları olacaktır. Mevcut eski bina için hesap yapılmasının mümkün olmaması durumunda eski binanın yer değiştirmeleri, yeni bina için aynı katlarda hesaplanan değerlerden daha küçük alınmayacaktır.

(a) Komşu binaların veya bina bloklarının kat döşemelerinin bütün katlarda aynı seviyede olmaları durumunda $\alpha = 0.25 (R / I)$ alınacaktır.

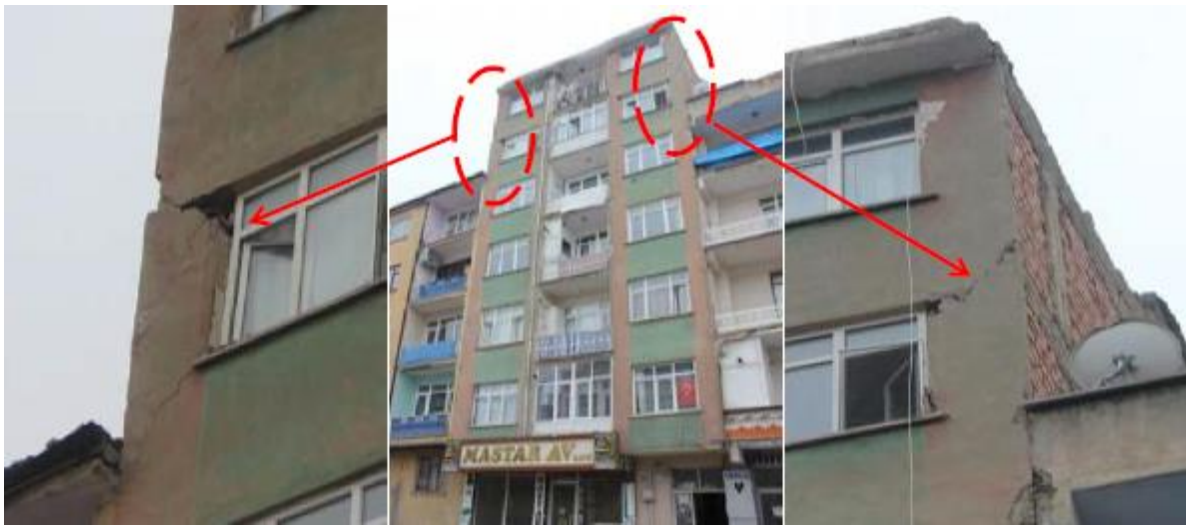
(b) Komşu binaların veya bina bloklarının kat döşemelerinin, bazı katlarda olsa bile, farklı seviyelerde olmaları durumunda, tüm bina için $\alpha = 0.5 (R / I)$ alınacaktır.”

Derz boşluğunun seçilmesinde belirlenen bu iki koşuldaki en elverişsiz olanı dikkate alınmalıdır. Derz boşluklarının yeterli olmadığı ve blokların kat seviyelerinin farklı olduğu durumlarda, deprem etkisi ile çarpışmadan kaynaklı hasarlar oluşmaktadır. Binaların birinden diğerine uygulanan yatay kuvvet, kat seviyelerinin farklı olması nedeniyle kolon kiriş birleşim bölgeleri yerine kolon orta açıklığına etkimektedir. Bu durum, serbest açıklıktan uygulanan yatay yüke göre projelendirilmeyen kolonlarda ağır hasarların oluşmasına ya da kolonların tamamen kırılmasına neden olmaktadır. Nitekim, 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremi sonrasında yapılan saha gözlemlerinde bazı betonarme binalarda çarpışma etkisinden kaynaklı yapısal hasarların olduğu tespit edilmiştir (Şekil 35). Benzer şekilde geçmiş depremlerde de

çarpışma etkisi ile oluşan hasarlar gözlenmiştir (Şekil 36). Bu tür hasarların oluşumunun engellenmesi için bitişik nizam binalar arasında yönetmelik koşullarına uygun derz boşluğu bırakılmalıdır.



Şekil 35. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depreminde gözlemlenen yetersiz derz boşluğuna bağlı çarpışma sonucunda oluşan yapısal hasarlar



Şekil 36. 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depreminde tespit edilen çarpışma hasarları [19]

4.1.1.3. Kolon-Kiriş Birleşim Bölgesi Hataları

Deprem etkisi altında kolon-kiriş birleşim bölgeleri büyük zorlamalara maruz kalmaktadır. Birleşim bölgelerinde oluşan kesme kuvvetleri ve asal çekme gerilmeleri çatlamalara ve birleşim bölgesindeki betonun dağılmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla bu bölgelerin deprem güvenliğinin sağlanması gerekmektedir. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremi sonrasında yapılan saha gözlemlerinde, kolon-kiriş birleşim bölgesi hatalarından kaynaklı yapısal hasarlı betonarme binalar tespit edilmiştir (Şekil 37). Benzer hasar türü geçmiş depremlerde de gözlenmemiştir (Şekil 38). Betonarme yapılarda bu tip hasarların oluşmasını engellemek için ilgili yönetmelik kısıtlamaları dikkate alınmalıdır.



Şekil 37. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depreminde tespit edilen kolon-kiriş birleşim bölgesi hasarları

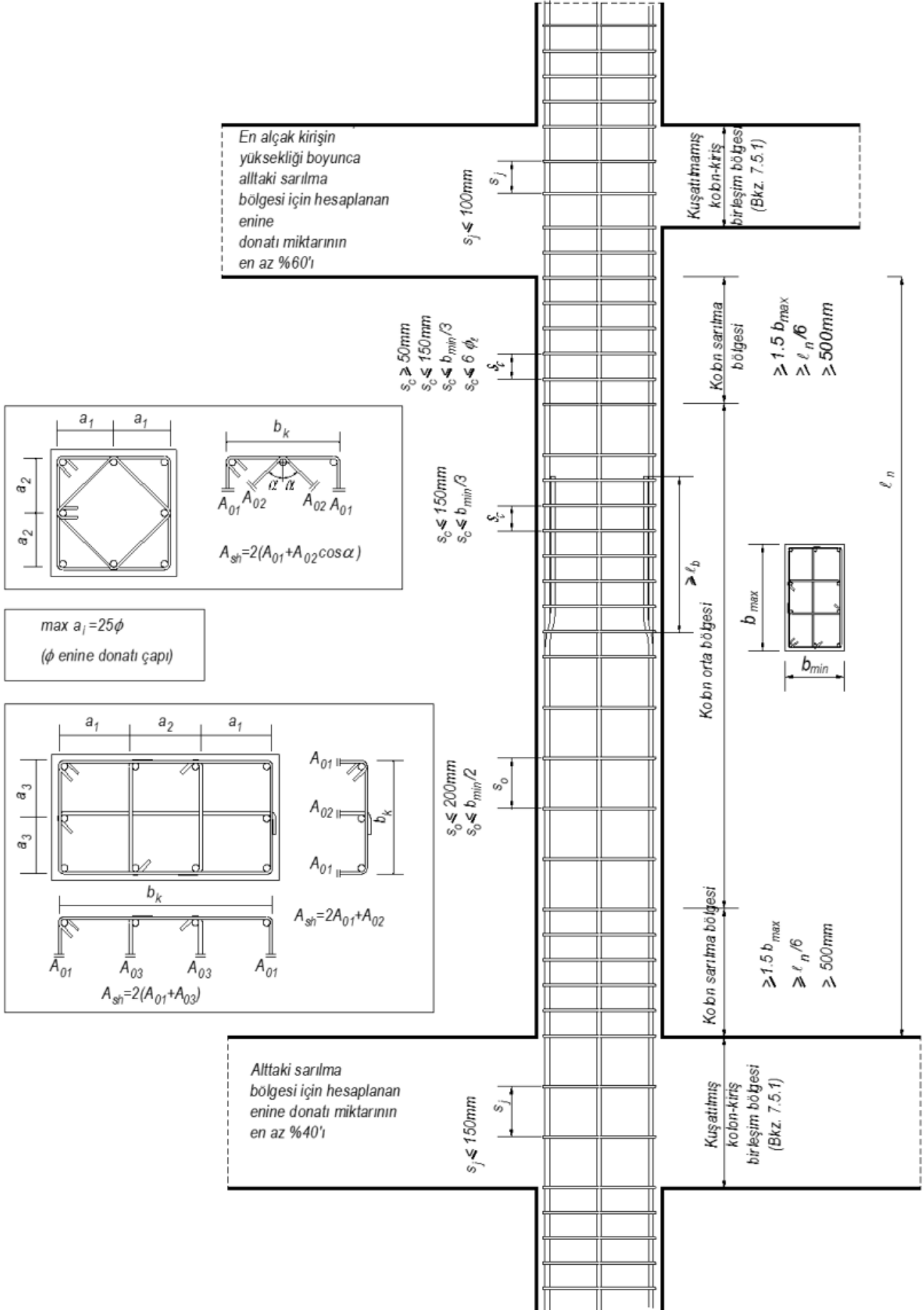


(a)

(b)

Şekil 38. (a) 9 Kasım 2011 Van [20] ve (b) 17 Ağustos 1999 [21] Kocaeli depreminde tespit kolon-kiriş birleşim bölgesi hasarları

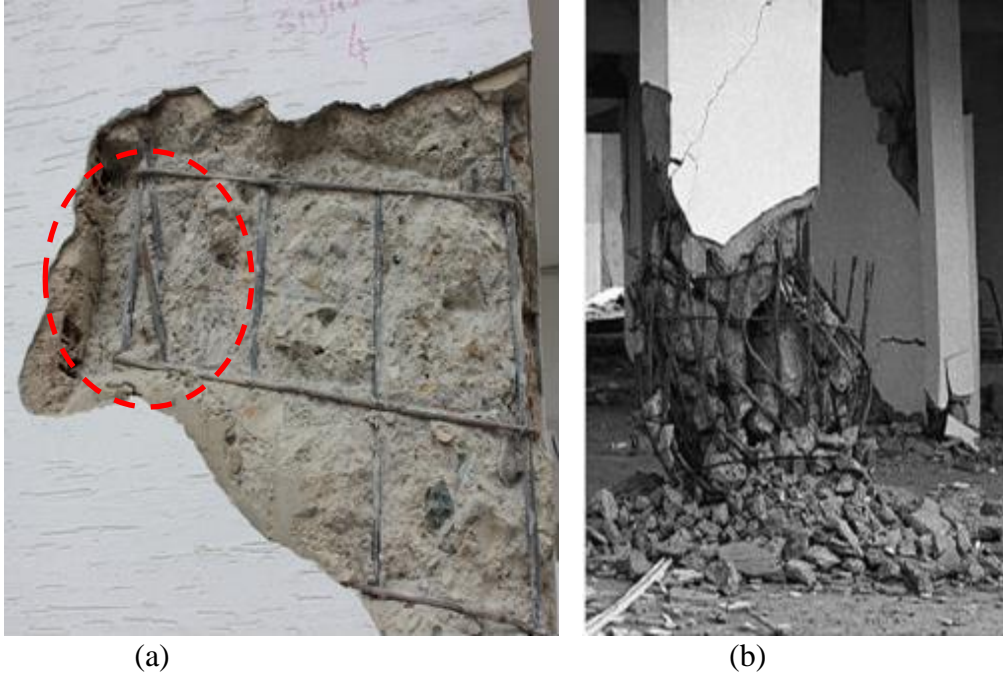
TBDY-2018’de süneklik düzeyi yüksek kolon ve kirişlerin oluşturduğu çerçeve sistemlerde, kolon-kiriş birleşimleri kuşatılmış ve kuşatılmamış birleşim olarak tanımlanmaktadır. Kolon-kiriş birleşimlerinde yeterli rijitliği sağlamak için sarılma bölgesinde enine donatı sıklaştırması yapılmalıdır. Uygulanacak enine donatının çapı 8mm’den küçük olmamalı ve aralığı kuşatılmış birleşimlerde 150mm’yi, kuşatılmamış birleşimlerde ise 100mm’yi aşmamalıdır. TBDY-2018’e göre kolon-kiriş birleşim bölgesindeki enine donatı yerleşim koşulları Şekil 39’da verilmiştir. Ayrıca, TBDY-2018’de betonarme kolon-kiriş birleşim bölgelerinin, lifli polimer sargı ile (lifler asal çekme gerilmelerine paralel doğrultuda yapıştırılarak) uygulanacak güçlendirme detaylarının etkinliği deneysel olarak kanıtlandıktan sonra güçlendirilebileceği ifade edilmektedir.



Şekil 39. Kolon-kiriş birleşim bölgesindeki minimum enine donatı koşulları [18]

4.1.1.4. Yetersiz Bindirme Boyu

Birbirine bindirmeli ek yapılan iki donatının ortak bölgedeki uzunluğunu olan bindirme boyunun yetersiz olması betonarme yapıların deprem performansını olumsuz olarak etkilemektedir. Geçmişte meydana gelen depremlere bakıldığında, kolonlardaki yetersiz bindirme boyunun betonarme çerçeve binaların göçmesine ve hasar görmesine neden olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 40). 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremi sonrasında yapılan saha gözlemlerinde de benzer hasarlarla karşılaşılmıştır (Şekil 41). Bu tür hasarların önlenmesi için yönetmeliklerde belirtilen şartlara uyulması gerekmektedir. DBYBHY-2007'ye göre kolon boyuna donatı bindirmeleri kolon alt ucunda yapılırken, TBDY-2018'de kolon orta bölgesinde bindirme yapılmasının gerektiği ve ek yapılan kesitlerde toplam boyuna donatı oranının %6'yı geçmemesi ifade edilmektedir. Bindirme boyu kenetlenme boyundan küçük olmamalıdır. Ayrıca, TBDY-2018'de kolonlarda yetersiz bindirme boyu için lifli polimer sargı yöntemi önerilmektedir.



Şekil 40. (a) 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) [16] ve (b) 17 Ağustos 1999 [21] Kocaeli depreminde tespit edilen yetersiz donatı bindirme boyları



Şekil 41. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depreminde tespit edilen yetersiz donatı bindirme boyları

4.1.1.5. Zayıf Dolgu Duvar

Zayıf dolgu duvar hasarları düşük dayanımlı malzemelerle örülmüş duvarlarda daha çabuk ortaya çıkmaktadır. Dolgu duvarlarda X-şeklinde ifade edilebilecek çatlaklar oluşmakta ve sıvada dökülmeler görülmektedir. Bu tür hasar oluşumları geçmiş depremlerde de gözlemlenmiştir (Şekil 42). Dolgu duvarlarda meydana gelen hasarlarda duvarın mesnetlenme şekline de oldukça önemlidir. Yüksekliği fazla olan dolgu duvarlarda, çatlak genişliğinin artmasıyla duvarın üst kısmı yıkılabilir, kapı pencere boşluklarının çevresinde parça kopmaları oluşabilir ve bir tarafa kayarak devrilebilir. Nitekim, 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremi sonrasında yapılan saha gözlemlerinde betonarme binalarda benzer dolgu duvar hasarları tespit edilmiştir (Şekil 43). TBDY-2018'e göre, temel üstünden yukarıya kadar üst üste süreklilik gösteren betonarme çerçeve içindeki dolgu duvarlarının rijitliği ve kesme dayanımı, hasır çelik donatılı özel sıva veya lifli polimerler ile güçlendirilerek deprem etkisi altında hasar görmeleri engellenebilir.



Şekil 42. 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depreminde oluşan zayıf dolgu duvar hasarları [19]



Şekil 43. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depreminde oluşan zayıf dolgu duvar hasarları

4.1.1.6. Düzensizlikler

Depreme karşı davranışlarındaki olumsuzluklar nedeni ile tasarım ve yapım aşamasında düzensiz binalardan kaçınılması gerekmektedir. TBDY-2018’de, binalarda planda ve düşey doğrultuda düzensizlik meydana getiren durumlar tanımlanmıştır. Planda düzensizlik durumları burulma düzensizliği (A1), döşeme süreksizlikleri (A2) ve planda çıkıntılar bulunması (A3) olarak sınıflandırılırken zayıf kat (B1), yumuşak kat (B2) ve taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği (B3) düşeyde düzensizlik durumları olarak sınıflandırılmaktadır. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremi sonrasında yapılan saha gözlemlerinde bazı binalarda düzensizlik durumlarının neden olduğu hasarlar tespit edilmiştir (Şekil 44 ve Şekil 45).



Şekil 44. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depreminde oluşan ağır çıkma hasarları



Şekil 45. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depreminde oluşan yumuşak kat hasarları

Bina kat planlarında, çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her birinin, o katın aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumunda A3 düzensizlikleri oluşmaktadır. Ülkemizde genellikle şehir merkezlerinde inşa alanlarının kısıtlı olması nedeniyle zemin kotunun üzerinde artan plan çıkıntıları sıklıkla tercih edilmektedir. Ağır konsol oluşumuna ve binanın düşey kütle merkezinin kaymasına neden olan bu düzensizlik bina üzerindeki deprem etkisi arttırmaktadır. Geçmiş depremlerde de planda A3 düzensizliklerinden kaynaklı olarak binaların hasar aldığı gözlemlenmiştir (Şekil 46).



Şekil 46. 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depreminde tespit edilen ağır çıkma hasarları [19]

Düşeyde B2 düzensizlikleri, rijitlik düzensizliği katsayısının (birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bodrum katlar dışında herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile elde edilen) 2.0'den büyük olması durumunda oluşmaktadır. Genellikle konut tipi binalarda giriş katlarda sıkça karşılaşılan bir düzensizlik türüdür. Bina giriş katlarının yüksek yapılması ve ticari amaçlar doğrultusunda yapıların daha fonksiyonel olması için dolgu duvarların yapılmaması sonucu oluşan B2 düzensizliği, deprem sırasında alt katların daha fazla yatay yer değiştirme yapmasına ve taşıyıcı sistemin ağır hasar görmesine neden olmaktadır. Geçmiş depremlerde de düşeyde B2 düzensizliklerinden kaynaklı olarak binaların hasar aldığı gözlemlenmiştir (Şekil 47).



(a)



(b)

Şekil 47. (a) 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) [16] ve (b) 9 Kasım 2011 Van [22] depreminde tespit edilen yumuşak kat hasarları

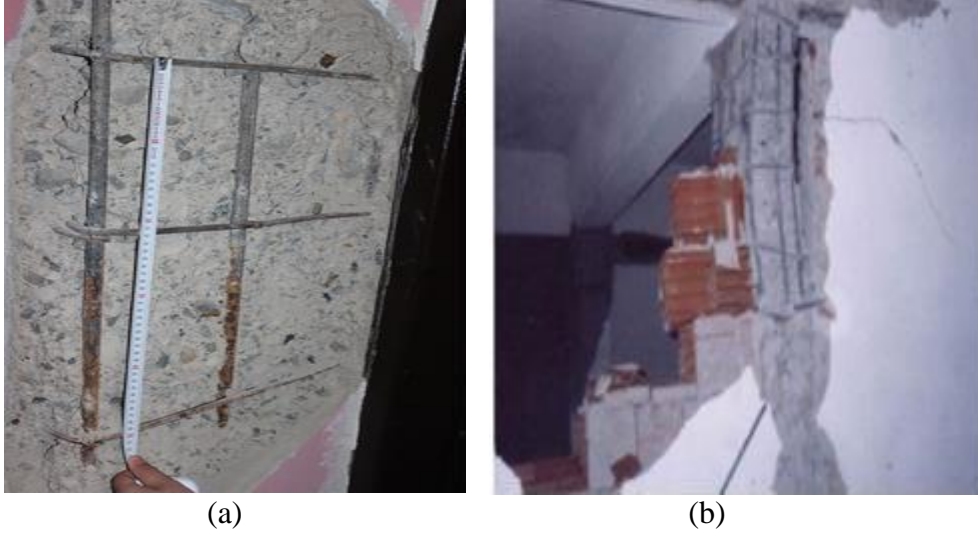
4.1.1.7. Yetersiz Enine Donatı

Betonarme yapı elemanlarında kullanılan ve sargı etkisi oluşturan enine donatıların başlıca işlevleri, boyuna donatıların burkulmasını önlemek, çekirdek betonun sünekliğini artırmak ve kesme kuvvetine karşılamaktır. TBDY-2018'e göre süneklik düzeyi yüksek veya süneklik düzeyi sınırlı olan tüm betonarme sistemlerin kolonlarında, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, perde uç bölgelerinde ve kiriş sarılma bölgelerinde kullanılan enine donatılar özel deprem etriyesi, çirozlar ise özel deprem çirozu olarak düzenlenmek zorundadır. Ayrıca, kolon ve kiriş sarılma bölgelerinde $\phi 8$ 'den küçük çaplı enine donatının kullanılmasına izin verilmemektedir. Ancak 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremi sonrasında yapılan gözlemler, hasar görmüş bazı betonarme binalarda bu gerekliliklerin dikkate alınmadığını göstermiştir (Şekil 48). Benzer hasarlar geçmiş depremlerde de tespit edilmiştir (Şekil 49). Bu tip hasarların önlenmesi ve enine donatıların yapısal elemanlarda beklenen performansı karşılayabilmesi için yönetmeliklerde verilen detaylandırma ve boşluk kısıtlamalarına uyulması gerekmektedir.





Şekil 48. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depreminde tespit edilen yetersiz enine donatı kullanımının neden olduğu hasarlar



Şekil 49. (a) 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) [16] ve (b) 1 Mayıs 2003 Bingöl [23] depreminde tespit edilen yetersiz enine donatı kullanımının neden olduğu hasarlar

4.1.2. Yapım Aşamasından Kaynaklanan Eksiklikler

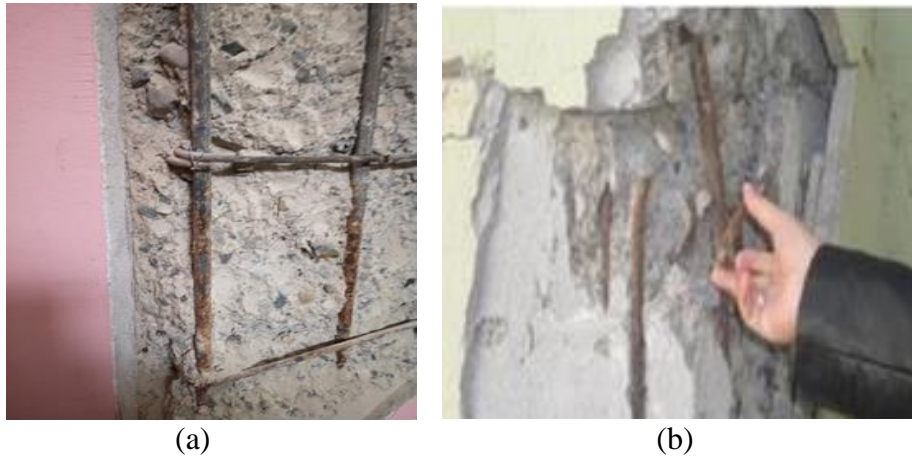
Geçmiş depremler betonarme binalarda yapım aşamasından kaynaklanan eksikliklerin farklı düzeyde hasarlara neden olabileceğini göstermektedir. yapım aşamasından kaynaklan bu eksiklikler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Nervürsüz donatı ve korozyon
- İşçilik hataları
- Düşük beton kalitesi
- Zayıf kalkan duvar

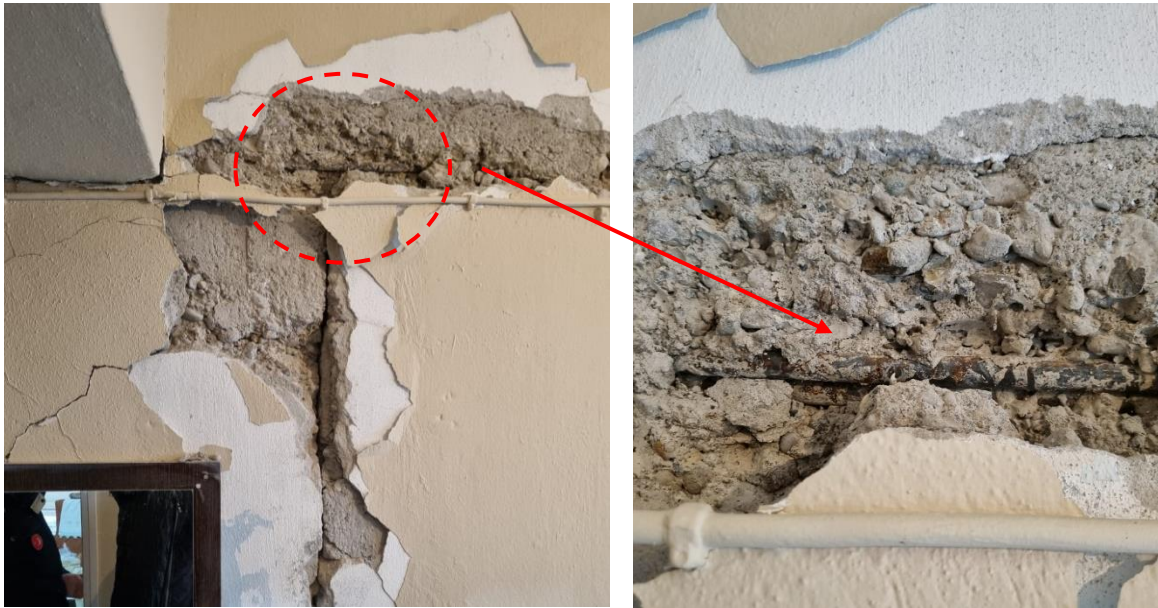
4.1.2.1. Nervürsüz Donatı ve Korozyon

Beton ve inşaat çeliği arasındaki aderans, betonarmenin kompozit bir yapı malzemesi olarak kullanılmasını sağlamaktadır. Beton ve donatı arasındaki aderansı arttırmak için donatı üzerine belirli açılarla girintiler oluşturulmakta ve nervürlü donatılar üretilmektedir. Ülkemizde, ABYYHY-1975'te nervürsüz donatının kullanımına izin verilmiş, ancak nervürsüz donatının kalitesiz betonla birleşmesi daha zayıf aderans kuvveti oluşturacağından ABYYHY-1998'de nervürlü donatının kullanımı zorunlu hale getirilmiştir. DBYBHY-2007'de ise etriye, çiroz ve döşeme donatıları dışında nervürsüz donatı kullanımı yasaklanmıştır. Beton ve donatı arasındaki aderansın zayıflamasına neden olan bir diğer

faktörler ise donatının korozyona uğramasıdır. Korozyon, donatının hem kesit alanı hem de taşıma kapasitesi azalmaktadır. Kötü beton kalitesi, yetersiz beton örtüsü ve bodrumlarda su yalıtımının olmaması geçirimsizliği artırarak donatının korozyona uğramasına ve beton örtü tabakasında donatılara paralel çatlaklar ya da kütle ayrışmalarına neden olmaktadır. Geçmiş depremlerde nervürsüz donatı kullanımının ve donatı korozyonunun betonarme yapısal elemanlarda hasara neden olduğu tespit edilmiştir (Şekil 50). 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremi sonrasında yapılan saha gözlemlerinde de betonarme binalarda nervürsüz donatı kullanımı ve korozyon nedeniyle oluşan hasarlar tespit edilmiştir (Şekil 51).



Şekil 50. (a) 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) [16] ve (b) 17 Ağustos 1999 Kocaeli [22] depreminde tespit edilen nervürsüz donatı ve korozyon hasarları





Şekil 51. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depreminde tespit edilen nervürsüz donatı ve korozyon hasarları

4.1.2.2. İşçilik Hataları

Betonarme binalar, tasarım açısından yönetmelik ve standartlara uygun olsa bile yapım aşamasındaki işçilik de oldukça önemlidir. Yapım aşamasındaki kötü işçilik ve hatalar, binaların beklenen performansı karşılayamamasına neden olmaktadır. Geçmiş depremlerde işçilik hatalarından kaynaklı hasar gören veya yıkılan betonarme bina örnekleri mevcuttur (Şekil 52). 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremi sonrasında yapılan saha gözlemlerinde de betonarme binalarda işçilik hataları tespit edilmiştir (Şekil 53). Bu tür hatalardan kaynaklı hasarların önlenmesi için binaların yapım aşamasının nitelikli işçiler tarafından projeye uygun olarak özenle gerçekleştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 52. 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depreminde tespit edilen işçilik hataları [16]



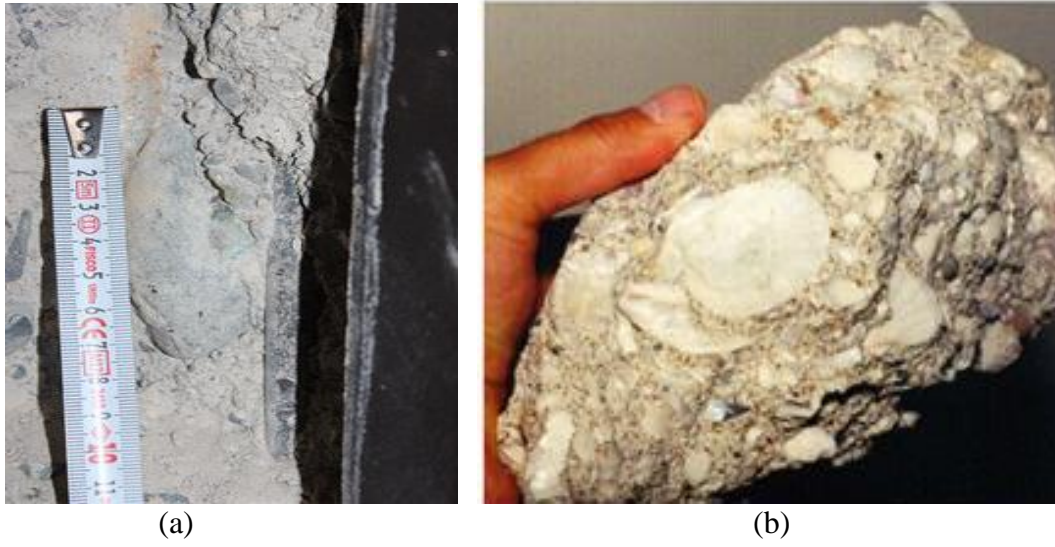


Şekil 53. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depreminde tespit edilen işçilik haraları

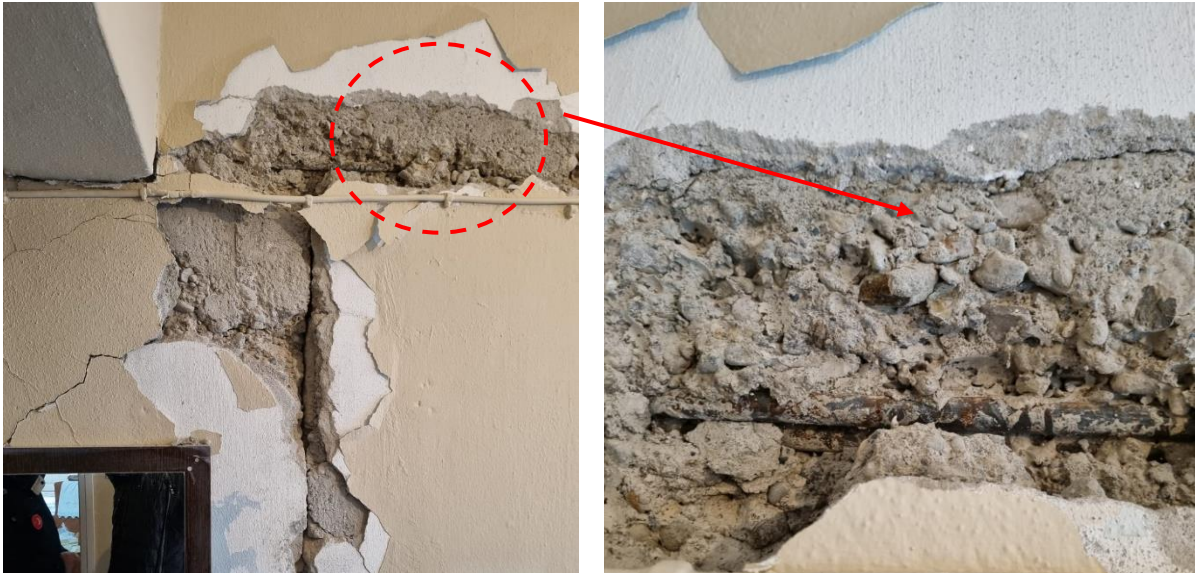
4.1.2.3. Düşük Beton Kalitesi

Betonarme binaların yapısal performanslarında etkili parametrelerden birisi de beton kalitesidir. Bu nedenle eski ve güncel yönetmeliklerde kullanılan betonun kalitesi ile ilgili sınırlandırmalar getirilmiştir. İnşa edilen binalarda kullanılan betonun söz konusu minimum yönetmelik koşullarını sağlaması gerekmektedir. ABYYHY-1998 ve DBYBHY-2007'e göre betonun minimum karakteristik basınç dayanımı 20MPa iken TBDY-2018 ile bu değer 25MPa'a yükseltilmiştir. Ancak, beton kalitesi ile ilgili yönetmeliklerde limitler mevcut olsa da geçmiş depremlerde hasar gören veya yıkılan binalar incelendiğinde beton kalitesinin bu limitlerin altında kaldığı açıkça görülmektedir (Şekil 54). Bu hasarların başlıca nedenleri

betonu oluşturan malzemelerin uygun oranlarda birleştirilmemesi, özensiz agrega dağılımı, betonun uygun yükseklikten dökülmemesi, yeterli vibrasyonun uygulanmaması, uygun sıcaklıkta döküm yapılmaması vb. etkenler ile beton kalitesinin önemli ölçüde düşmesi ve betonu oluşturan malzemelerin birbirinden ayrılarak homojen yapının kaybolmasıdır. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremi sonrasında yapılan saha gözlemlerinde de binalarda agregaların boyut dağılımlarının özensiz hazırlanmış olduğu ve segregasyonun olduğu, dolayısıyla beton kalitesinin de düşük olduğu tespit edilmiştir (Şekil 55).



Şekil 54. (a) 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) [16] ve (b) 17 Ağustos 1999 [24] Kocaeli depreminde tespit edilen düşük beton kalitesi





Şekil 55. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depreminde düşük beton kalitesinden kaynaklanan hasarlar

4.1.2.4. Zayıf Kalkan Duvarı

Bazı betonarme binaların çatı katları genellikle tuğla veya briket benzeri malzemelerle örülerek kalkan duvarlarla kapatılmaktadır. Bu kalkan duvarlar yeterince çevrelenmediği durumlarda deprem etkisi altında yıkılabilmekte, can ve mal kaybına neden olabilmektedir. DBYBHY-2007'e göre göre en üst katta yatay hatıl üzerine oturan kalkan duvarların yüksekliğinin 2m'yi geçmesi durumunda düşey ve eğik hatılların yapılması zorunludur. Ancak bu yükseklik değeri TBDY-2018 ile 0.8m olarak sınırlandırılmış ve kalkan duvarların 0.8m'den yüksek olması durumunda düşey ve eğik hatılların yapılması zorunlu tutulmuştur. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremi sonrasında yapılan saha incelemelerinde kalkan duvar hasarının bulunduğu betonarme binalar tespit edilmiştir (Şekil 56). Ayrıca benzer hasar

türlerinin geçmiş depremlerde de yaşandığı bilinmektedir (Şekil 57). Bu tür hasarların önlenmesi için yönetmelikte verilen ilgili sınırlandırmalara uyulması gerekmektedir.



Şekil 56. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depreminde zayıf kalkan duvarlarında oluşan hasarlar



(a)

(b)

Şekil 57. (a) 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) [16] ve (b) 9 Kasım 2011 Van [22] depreminde tespit edilen kalkan duvar hasarları

4.2. Yığma Binalarda Gözlenen Hasarlar

İnşaat malzemeleri olarak beton, çelik veya diğer modern malzemelerin kullanılmasından önce, yapılar genellikle taş, tuğla, kerpiç ve ahşap gibi doğal veya daha az işlenmiş malzemeler ile yığma olarak inşa edilmekteydi. Günümüzde de yığma yapılar özellikle kırsal kesimlerde konut ve hayvan barınağı olarak sıklıkla tercih edilen bir yapı türüdür. Sadece birkaç malzemedен oluşmasına rağmen, yığma yapıların deprem etkisi altındaki davranışını belirlemek malzeme özelliklerinin homojen olmaması ve anizotropik formları nedeniyle oldukça zordur.

23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremi sonrasında yığma binalarda tespit edilen hasarlar, saha gözlemleri dikkate alınarak bu bölüm altında değerlendirilmiştir. Tespit edilen hasarlı yığma yapıların büyük bölümü kırsal alanlarda köy merkezinde bulunmaktadır.

Yığma binalarda, dikey dik duvar birleşimlerinde uygun bağlantı detayının yapılmaması düşey ya da eğik çatlaklar oluşmasına ve duvar ünitelerinin birbirinden ayrılmasına neden olabilmektedir. Bu tür hasarlar, deprem anında duvar düzlemine dik ve düzlemi doğrultusundaki kuvvetlerin birlikte etkimesi sonucu ortaya çıkmaktadır. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremi sonrasında yapılan saha gözlemlerinde yığma binaların dikey duvarlarının birleşim bölgelerinde hasarlar tespit edilmiştir (Şekil 58). 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depreminde de yığma binalarda benzer hasarlar gözlemlenmiştir (Şekil 59). Bu tip hasarların önüne geçmek için taş bloklarla oluşturulmuş duvar birleşimleri daha dayanımlı bir taş ile tuğla ve kerpiç duvar birleşimleri ise ahşap ile sağlamlaştırılmalıdır [25].





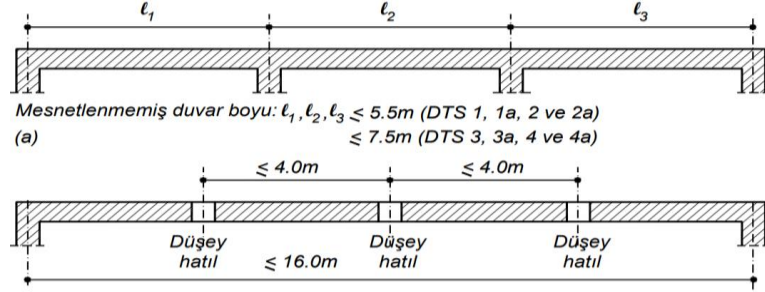
Şekil 58. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depreminde dikey duvarlarının birleşim bölgelerinde uygun bağlantı detayının yapılmaması nedeni ile oluşan hasarlar



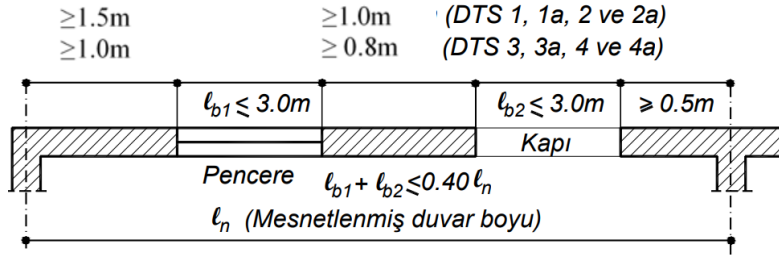
Şekil 59. 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depreminde dikey duvarlarının birleşim bölgelerinde uygun bağlantı detayının yapılmaması nedeni ile oluşan hasarlar [26]

TBDY-2018’de belirtilen, donatısız ve kuşatılmış yığma binalarda taşıyıcı duvarların desteklenmemiş en büyük uzunlukları ve düşey hatıllar arası mesafeleri Şekil 60’ta verilmektedir. Ayrıca taşıyıcı duvarlarda bırakılacak kapı ve pencere boşluklarının mesafeleri de yönetmelikte belirtilmektedir (Şekil 61). 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremi

sonrasında yapılan saha gözlemlerinde uygun olmayan kapı ve pencere boşluk mesafeleri nedeniyle binalarda hasarlar oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 62). Benzer hasarlar 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depreminde de gözlemlenmiştir (Şekil 63).



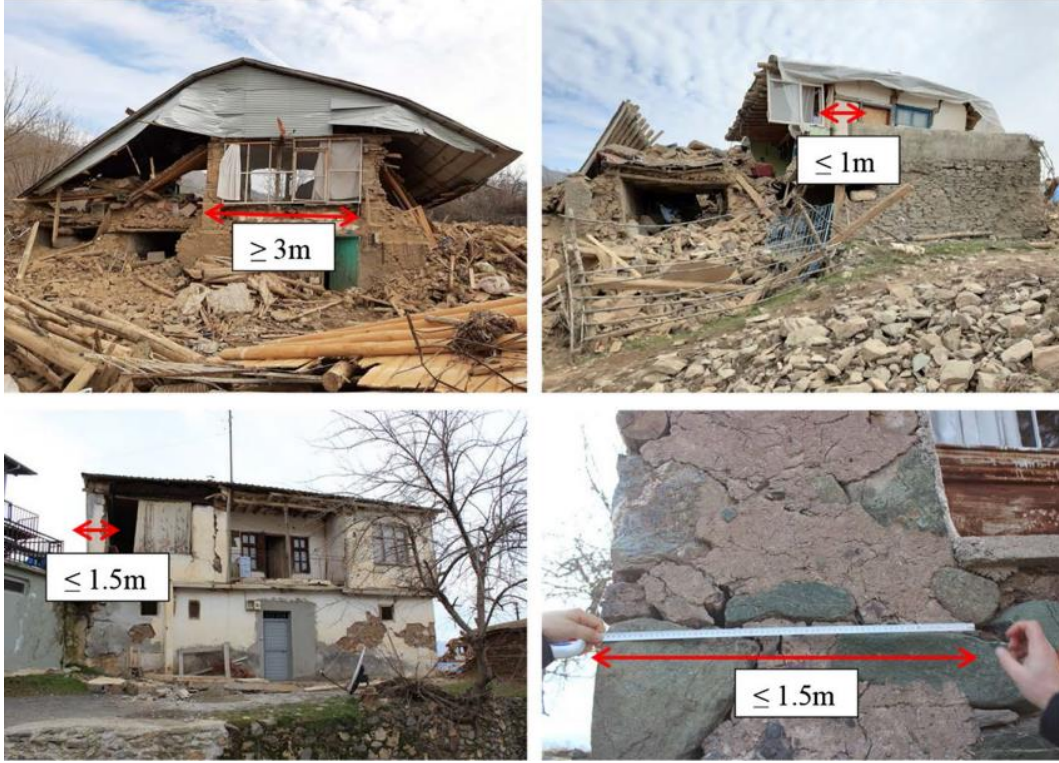
Şekil 60. Donatısız ve kuşatılmış yığma binalarda taşıyıcı duvarların desteklenmemiş en büyük uzunlukları ve düşey hatıllar arası mesafeler [18]



Şekil 61. Taşıyıcı duvarlarda bırakılacak kapı ve pencere boşluklarının mesafeleri [18]



Şekil 62. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depreminde uygun olmayan kapı ve pencere boşluklarının neden olduğu hasarlar



Şekil 63. 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depreminde uygun olmayan kapı ve pencere boşluklarının neden olduğu hasarlar [26]

Doğal taş, tuğla, harç ve beton gibi gevrek malzemelerden oluşan yığma yapıların plastik şekil değiştirme yeteneği yok denecek kadar az ve çekme dayanımı basınç dayanımından oldukça küçüktür. Yığma duvarların kesme dayanımının büyük ölçüde harç ile yığma birimleri arasındaki aderansa bağlı olduğu kabul edilmektedir. DBYBHY–2007’e göre taşıyıcı duvarlarda bağlayıcı harç olarak çimento veya çimento harcı ile takviye edilmiş kireç harcı kullanılmalıdır. TBDY-2018’e göre ise kullanılacak harcın en küçük küp basınç dayanımı değeri donatısız ve kuşatılmış yığma için $f_{m,min}=5.0$ MPa’dan küçük olmamalıdır. Ayrıca, boşluklu beton briketler, dolgu duvarları için üretilmiş diğer tuğlalar, kerpiç, moloz taş, ponza taşı ve benzeri biçim verilmiş bloklar, hiçbir zaman taşıyıcı duvar malzemesi olarak kullanılmamalı ve kargir birimlerin en küçük basınç dayanımı, yatay derzlere dik doğrultuda $f_{b,min}=5.0$ MPa değerinden küçük olmamalıdır. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremi sonrasında yapılan saha gözlemlerinde yığma binalarda düşük mukavemetli kerpiç ve yığma birimlerinde hasarlar olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 64 ve Şekil 65). Kerpicing basınç dayanımı düşük ve yapıda kullanımı sınırlıdır. Mekanik etkiler dışındaki kerpiç hasarlarının en önemli nedeni, suyun ve nemin bulunduğu ortamlarda suyu emerek yumuşaması ve tekrar plastik özellik kazanarak taşıyıcılık özelliğini yitirmesidir [25]. Benzer hasarlar 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depreminde de gözlemlenmiştir (Şekil 66 ve Şekil 67).



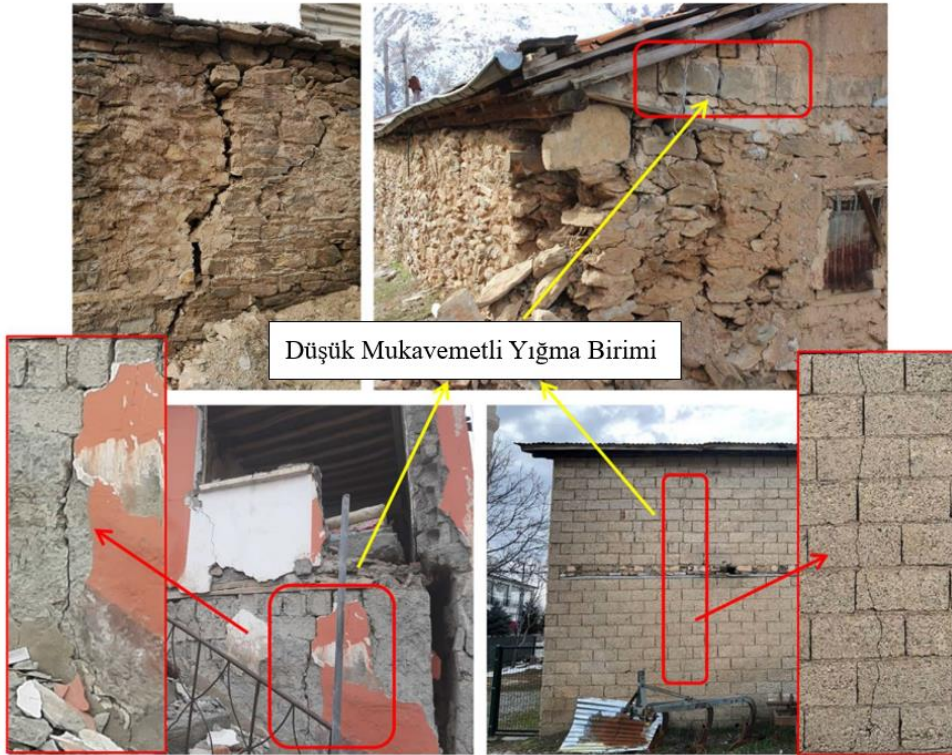
Şekil 64. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depreminde düşük mukavemetli kerpiç birimlerinde oluşan dikey çatlak hasarları



Şekil 65. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depreminde düşük mukavemetli yığma birimlerinde oluşan dikey çatlak hasarları



Şekil 66. 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depreminde düşük mukavemetli kerpiç birimlerinde oluşan dikey çatlak hasarları [26]



Şekil 67. 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depreminde düşük mukavemetli yığma birimlerinde oluşan dikey çatlak hasarları [26]

Eksik veya yetersiz lento boyu nedeniyle yığma binalarda pencere ve kapı köşelerinde ciddi hasarlar oluşabilmektedir. Lento, tek parça ahşap, taş vb. malzemelerin boşluk kenarlarına uygun şekilde sıralanmasıyla oluşturulmaktadır. TBDY-2018'e göre kapı ve pencere

boşluklarının üstüne betonarme lentolar yapılmalıdır. Lentoların duvara oturan bölümlerinin boyu ve lento yüksekliği sırasıyla 0.2m ve 0.15m'den az olmamalıdır. Ayrıca taşıyıcı duvarlarda bırakılacak kapı ve pencere boşluklarında yönetmelik kurallarına uyulması gerekmektedir. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremi sonrasında yapılan saha gözlemlerinde yığma binaların kapı ve pencere boşluklarında yetersiz lento boyu nedeniyle hasarların oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 68). 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depreminde de yığma binalarda benzer hasarlar gözlemlenmiştir (Şekil 69). Bu tip hasar oluşumlarında hasarlara bağlı olarak yerel göçmenin engellenebilmesi için kapı ve pencere boşlukları ahşap destek elemanları ile doldurularak duvarın düzlem içi rijitlik artırılabilir. Tek tip ve kare kesitli ahşap elemanların kullanılması uygulama basitliği açısından tavsiye edilmektedir [25].



Şekil 68. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depreminde yetersiz lento boyu nedeniyle oluşan hasarlar



Şekil 69. 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depreminde eksik veya yetersiz lento boyu nedeniyle oluşan hasarlar [26]

Yığma binalarda taşıyıcı duvarların, deprem etkisi altında düzlem içi yanal kuvvetlere karşı perde duvar gibi davrandığı kabul edilmektedir [27]. Taşıyıcı yığma duvarlarda meydana gelen kesme çatlakları, tipik olarak yatak derzi boyunca düz bir çatlak ve diyagonal çekme çatlakları şeklinde oluşur. Bu çatlakların oluşmasında niteliksiz işçilik, zayıf malzeme özellikleri, büyük pencere veya kapı açıklıkları, duvar birimleri arasında yetersiz kilitleme vb. durumlar etkili olmaktadır. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremi sonrasında yapılan saha incelemelerinde yığma binalarda taşıyıcı duvar hasarlarının oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 70). 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depreminde de yığma binalarda benzer hasarlar gözlemlenmiştir (Şekil 71).

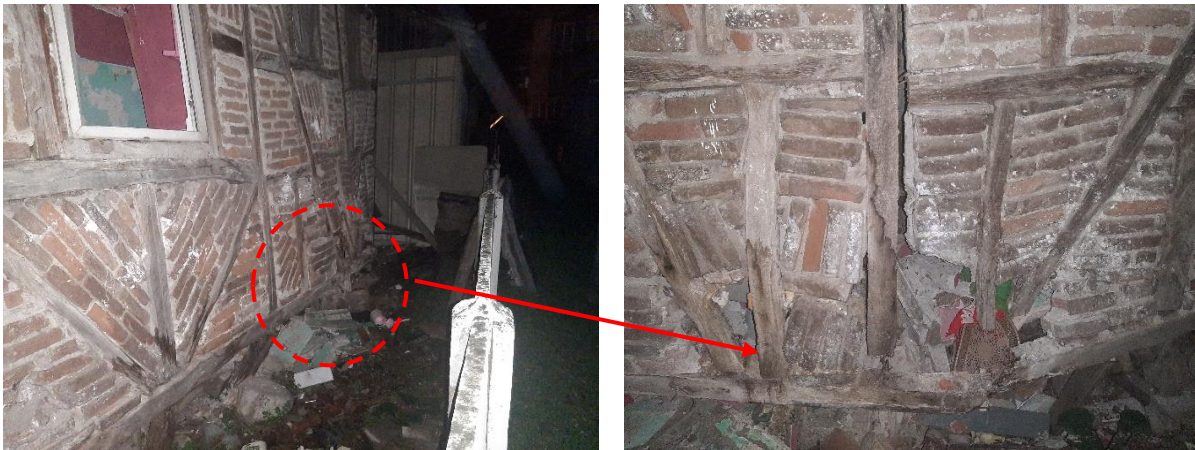


Şekil 70. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depreminde oluşan duvar hasarları



Şekil 71. 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depreminde tespit edilen duvar hasarları [26]

Yığma binalarda hasar oluşum nedenlerinde biri de temel tasarımındaki hatalar ve farklı temel oturmaları olarak ele alınabilir. Düşük çekme dayanımına sahip olan ve gevrek davranış sergileyen yığma duvarlar, öncelikle basınç dayanımını karşılayacak şekilde tasarlanmaktadır. Bu nedenle en ufak bir temel probleminden dolayı kolayca zarar görebilir hatta çökebilirler. Zemin alanının düşük mukavemeti veya homojen olmaması yığma binaların temellerinde dönmelere ve farklı oturmalara neden olmaktadır. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremi sonrasında yapılan saha incelemelerinde, temel hasarından kaynaklı ağır hasar gören yığma binalar tespit edilmiştir (Şekil 72). Bu binalarda temel görevi gören ve altı boşalan yatay destekler deprem etkisinde hasar görmüş ve yapılar oturmadan kaynaklı hasar almıştır.





Şekil 72. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depreminde temel hareketinden kaynaklı hasarlar

4.3. Betonarme ve Yiğma Camilerde Gözlenen Hasarlar

23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremi sonrası gerçekleştirilen saha gözlemleri sonucu, birçok betonarme ve yiğma camide yapısal hasarlar tespit edilmiştir (Şekil 73). Camilerdeki yapısal hasarlar başlıca (i) kolon, kiriş, perde vb. taşıyıcı sistem elemanlarındaki yapısal çatlaklar ve mafsallaşma durumları, (ii) kolon-kiriş birleşim bölgesi hasarları, (iii) kubbe kasnağında açılmalar, (iv) kubbelerin oturduğu kenar tonozlardaki hasarlar, (v) minare hasarları, (vi) yetersiz malzeme kalitesi, (vii) duvarlar üzerindeki boşluk etrafı çatlaklar, (viii) döşeme sehimleri, (ix) donatı detaylandırma eksikliği, (x) önceki deprem geçmişine bağlı hasarlar olarak sıralanabilmektedir.





(a) Betonarme camii hasarları



(b) Yığma camii hasarları

Şekil 73. 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depreminde betonarme ve yığma camilerde tespit edilen yapısal hasarlar

5. SONUÇLAR

23.11.2022 günü, Türkiye yerel saati ile 04:08'de merkez üssü Gölyaka (Düzce) ve odak derinliği 6.81km olan Mw 5.9 büyüklüğünde sığ bir deprem gerçekleşmiştir. Çevre il ve ilçelerde de hissedilen depremden sonra meydana gelen yapı hasarları ve depremin etkileri yerinde incelenerek bu rapor hazırlanmıştır. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- KRDAE verilerine göre, deprem bölgesinde 30 Kasım 2022 günü saat 09:00'a kadar üç tanesi M_w 4.0'ten büyük olmak üzere 481 adet artçı deprem meydana gelmiştir.
- AFAD verilere göre, depremin en büyük ivme değeri deprem bölgesine en yakın 5 ivmeölçerden biri olan 8102 kodlu Düzce Merkez ivmeölçer istasyonundan ölçülen Doğu-Batı bileşeninde 407.76 gal (0.410g) olarak ölçülmüştür.
- İstasyonlardan elde edilen düşey tepki spektrumları spektral ivme değerlerinin DD-3 yer hareketi düzeyi için zemin sınıflarına bağlı olarak tasarım spektral ivme değerlerinden daha büyük olduğu belirlenmiştir. DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyleri için ise düşey tepki spektral ivme değerlerinin tasarım spektral ivme değerlerinin altında kaldığı gözlemlenmiştir.
- İstasyonlardan elde edilen yatay tepki spektrumları spektral ivme değerleri ise DD-1 yer hareketi düzeyinde farklı zemin sınıfları için tasarım spektral ivme değerlerinden daha küçük elde edilmiştir. DD-2 ve DD-3 deprem yer hareketi düzeylerinde istasyona ve zemin sınıfına bağlı olarak tasarım spektral ivme değerlerinden daha büyük yatay spektral ivme değerleri olduğu gözlemlenmiştir.
- Deprem sonrası Düzce ili merkez mahallelerinde ve ilçelerde çok sayıda betonarme ve yığma binada farklı seviyelerde deprem hasarı meydana gelmiştir.
- Yapılan saha incelemeleri sonucunda betonarme binalarda hasar oluşumuna neden olan eksiklikler tasarımdan kaynaklanan ve yapım aşamasından kaynaklanan eksiklikler olmak üzere başlıca iki sınıfa ayrılmıştır.
- Betonarme binalarda oluşan hasarların başlıca nedenlerinin kısa kolon oluşumu, yetersiz derz boşluğuna bağlı çarpışma etkisi, kolon-kiriş birleşim bölgesi hataları, yetersiz bindirme boyu, zayıf dolgu duvar, düzensizlikler, yetersiz enine donatı, nervürsüz donatı ve korozyon, işçilik hataları, düşük beton kalitesi ve zayıf kalkan duvar olduğu tespit edilmiştir.

- Yığma binalarda oluşan hasarların başlıca nedenlerinin uygun olmayan dikey duvar birleşim detayları, kapı ve pencere boşluk mesafeleri, düşük mukavemetli yığma birimler, eksik veya yetersiz lento boyu ve temel hareketi olduğu tespit edilmiştir.

Binalarda gözlenen hasar türlerine ait görseller, ilgili yönetmelik kuralları ve bu hasarların oluşumunu engelleyecek öneriler ilgili başlıklar altında verilmiştir. Geçmiş depremlerde de olduğu gibi 23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depremi sonrasında tespit edilen ağır hasarlı binalar, mevcut yapı stokumuzun özellikle 2000’li yıllardan önce inşa edilmiş yapılar özelinde depremlere hazır olmadığını göstermiştir.

23 Kasım 2022 Gölyaka (Düzce) depreminde can kaybı yaşanmaması oldukça önemlidir. Bu durum özellikle geçmiş depremlerde yıkılan binalar yerine inşa edilen yapı stokunun belirli düzeyde depreme dayanıklı olduğunu göstermiştir. Bundan sonra oluşabilecek depremlerin büyüklük ve ivmelerini tahmin etmek ve şimdiden ileriye dönük bir değerlendirme yapmak mümkün olmasa dahi yapı inşasında 2000’li yıllardan sonra detaylı olarak başlatılan Yapı Denetimi Uygulama Usul ve Esasları ile hazır betondaki gelişmeler bizlere umut olmaktadır.

Bunun yanında Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığımız ile İç İşleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığının son yıllarda yapmış oldukları eğitimler, yürüttükleri projeler, üniversiteler ile işbirlikleri, teknolojik ölçüm sistemi ekipman kurulumları gibi gelişmelerin de bu sürece gelinmesinde oldukça yararlı olduğu görülmektedir.

Yukarıda açıklanan hususlar göz önünde bulundurulduğunda, deprem zararlarının en aza indirilmesi için 2000’li yıllardan inşa edilmiş yapılar başta olmak üzere mevcut yapıların depreme karşı güvenli hale getirilmesi, yeni yapılacak binaların depreme dayanıklı olacak şekilde tasarlanması ve nitelikli işçilikle inşa edilmeleri gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem ve Risk Azaltma Genel Müdürlüğü), <https://deprem.afad.gov.tr/assets/pdf/23kasim2022GolyakaDuzceMW59.pdf> 01.12.2022
2. KRDAE (Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü), http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/wp-content/uploads/2022/12/20221123_0108_GOLYAKA_DUZCE_V11.pdf 03.12.2022
3. URL-1 <https://www.haberturk.com/duzce-de-5-9-luk-deprem-23-kasim-2022-duzce-depreminde-olu-ve-yaralilar-var-mi-duzce-depreminde-kac-kisi-yaralandi-3541115/3> 26.11.2022
4. URL-2 <https://csb.gov.tr/bakan-kurum-duzcede-181-yapimiz-agir-hasarli-hepsini-hizla-yikacagiz-bakanlik-faaliyetleri-36313> 28.11.2022
5. AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem ve Risk Azaltma Genel Müdürlüğü), <https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi> 29.11.2022
6. MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü), <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx> 30.11.2022
7. MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü), https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/deprem/pdf/23.11.2022_Duzce_Golyaka.pdf 01.12.2022
8. URL-3 https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/doc/yenilenmis_diri_fay_haritalari/adapazari.pdf 01.12.2022
9. Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. Ve Şaroğlu, F., Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası, Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara, 2013.
10. Aksay, A., Pehlivan, Ş., Gedik, İ., Bilginer, E., Duru, M., Akbaş, B. Ve Altun, İ., Editör: Şenel, M., 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, 2002.
11. Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H. Ve Çan, T., Active fault database of Turkey Bulletin of Earthquake Engineering, 16 (8), 3229-3275, doi:10.1007/s10518-016-0041-2, 2018.
12. Awata, Y., Yoshioka, T., Emre, Ö., Duman, T.Y., Doğan, A., Tsukuda, E., Okamura, M., Matsuoka, H. Ve Kuşçu, İ., Editörler: Emre, Ö., Awata, Y. Ve Duman, T.Y., 1999 İzmit depremi yüzey kırığının genel özellikleri, 17 Ağustos 1999 İzmit Depremi Yüzey Kırığı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-1, 11-21, ISBN 975-6595-53-1 Ankara, 2003.
13. Emre, Ö., Duman, T.Y., Awata, Y., Doğan, A. Ve Özalp, S., Surface Ruptures of November 12 1999 Düzce Earthquake, NW Turkey XXVII General Assembly of the European Seismological Commission (ESC-2000), Book of Abstracts and Papers 10-15 247-252, Lisbon, Portugal, September, 2000.

14. Duman, T.Y., Emre, Ö., Özalp, S. Ve Doğan, A., 12 Kasım 1999 Düzce Depremi yüzey kırığı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-31, Ankara, ISBN: 978-605-5310-66-0, 2014.
15. Özmen, B., Editörler: Özmen, B. Ve Bağcı, G., 12 Kasım 1999 Düzce Depreminin Konut ve İşyeri Hasarları (Rakamsal Verilerle) s: 155-214, 12 Kasım Düzce Depremi Raporu, Deprem Araştırma Dairesi, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 2000.
16. Atmaca, B., Demir, S., Günaydın, M., Altunışık, A.C., Hüsem, M., Ateş, Ş., Adanur, S. ve Angın, Z., Lessons learned from the past earthquakes on building performance in Turkey, Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics, 3(2), 61-84, 2020.
17. Arslan, M.H. ve Korkmaz, H.H., What is to be learned from damage and failure of reinforced concrete structures during recent earthquakes in Turkey, Engineering Failure Analysis 14:1-22, 2007.
18. TBDY, (2018), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2018.
19. Demir, S., Günaydın, M., Atmaca, B., Altunışık, A.C., Hüsem, M., Adanur, S. ve Angın, Z., Performance Evaluation of Reinforced Concrete Buildings During the Sivrice-Elazığ Earthquake (Mw=6.8, January 24, 2020) in Accordance with Turkish Earthquake Code, Journal of Earthquake and Tsunami, 15(04), 2150018, 2021.
20. Ateş, Ş., Kahya, V., Yurdakul, M. Ve Adanur, S., Damages on reinforced concrete buildings due to consecutive earthquakes in Van, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 53:109-118, 2013.
21. Sezen, H., Whittaker, A.S., Elwood, K.J. ve Mosalam, K.M., Performance of reinforced concrete buildings during the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey earthquake and seismic design and construction practice in Turkey, Engineering Structures, 25:103-114, 2003.
22. Bayraktar, A., Altunışık A.C. ve Pehlivan, M., Performance and damages of reinforced concrete buildings during the October 23 and November 9, 2011 Van, Turkey Earthquakes Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 53:49-72, 2013.
23. Doğançün, A., Performance of reinforced concrete buildings during the May 1, 2003 Bingöl Earthquake in Turkey Engineering Structures, 26:841-856, 2004.
24. Çağatay, İ.H., Experimental evaluation of buildings damaged in recent earthquakes in Turkey, Engineering Failure Analysis, 12:440-452, 2005.
25. VGM (Vakıflar Genel Müdürlüğü), Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu, Ankara
https://cdn.vgm.gov.tr/organizasyon/organizasyon12_030619/kilavuz.pdf
26. Günaydın, M., Atmaca, B., Demir, S., Altunışık, A.C., Hüsem, M., Adanur, S., Ateş, S. ve Angın, Z., Seismic damage assessment of masonry buildings in Elazığ and Malatya following the 2020 Elazığ-Sivrice earthquake, Turkey, Bulletin of Earthquake Engineering, 19(6), 2421-2456, 2021.
27. Adanur, S., Performance of masonry buildings during the 20 and 27 December 2007 Bala (Ankara) earthquakes in Turkey, Natural Hazards and Earth System Sciences, 10(12), 2547-2556, 2010.