

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri Sonrasında Betonarme Kolonlarda Enine Donatı Kusurlarının İncelenmesi

Muhammed ATAR¹, Ozan İNCE², Ömer Faruk TAŞ^{3*}, Alper ÖZMEN⁴, Erkut SAYIN⁵

^{1,2,3,5} İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

⁴ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

¹ matar@firat.edu.tr, ² oince@firat.edu.tr, ³ oftas@firat.edu.tr, ⁴ alper.ozmen@inonu.edu.tr, ⁵ esayin@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 27/09/2023;

Kabul/Accepted: 19/02/2024)

Öz: Türkiye’de bulunan bina stokunun büyük kısmını betonarme binalar oluşturmaktadır. Yıkıcı depremlerin yaşandığı Türkiye’de betonarme binaların hasar almasında beton kalitesinin düşük olması, donatı detaylarındaki hatalar, statik tasarım hataları ve zemin özelliklerinin iyi belirlenememesi gibi nedenler etkindir. Bu çalışma kapsamında 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında Malatya ilinde deprem kaynaklı hasar incelemeleri yapılmıştır. Enine donatı kusurlarından kaynaklı oluşan hasarlar incelenmiştir. İncelenen betonarme yapılarda tespit edilen enine donatı aralıklarının yetersiz olması, kolon giriş birleşim bölgelerinde enine donatı kullanılmaması veya yetersiz kullanılması, enine donatı kanca boylarının yetersiz olması ve kanca boyu açısının 135° yerine 90° olması ve çiroz kullanılmaması gibi uygulama hataları görseller ile verilmiştir. Ayrıca incelenen enine donatı uygulamalarının Türkiye Deprem Yönetmeliklerinde bulunan enine donatı kuralları ile uygunlukları değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Betonarme, deprem hasarı, enine donatı, kolon hasarı.

Investigation of Transverse Reinforcement Defects in Reinforced Concrete Columns After the 6 February 2023 Kahramanmaraş Earthquakes

Abstract: The majority of the building stock in Türkiye consists of reinforced concrete buildings. In Türkiye, where destructive earthquakes are experienced, there are reasons such as low concrete quality, defects in reinforcement details, static design mistakes and poor determination of soil properties in the damage of reinforced concrete buildings. Within the scope of this study, earthquake-related damage inspections were carried out in Malatya province after the Kahramanmaraş earthquakes of February 6, 2023. Application defects such as inadequate transverse reinforcement spacing in the examined reinforced concrete structures, not using or insufficient use of transverse reinforcement in column-beam connections, insufficient hook lengths of transverse reinforcement, hook angle of 90° instead of 135°, and not using crossties are given with figures. In addition, the compatibility of the examined transverse reinforcement applications with the transverse reinforcement rules in the Turkish Earthquake Regulations were evaluated.

Key words: Reinforced concrete, earthquake damage, transverse reinforcement, column damage.

1. Giriş

Ülkemizde nüfusun büyük çoğunluğunun şehir merkezlerine yoğunlaşması yüksek katlı binaların tercih edilmesine neden olmaktadır. Kat sayısı arttıkça binaya etki eden deprem kuvvetleri artmakta dolayısıyla tasarım ve uygulama aşamalarında daha dikkatli olunması gerekmektedir. Türkiye’de yıkıcı depremler sürekli yaşanmakta ve binaların tasarımında depremler en önemli dış tehdit olarak karşımıza çıkmaktadır.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’e (TBDY-2018) göre betonarme bina tasarımı yapılırken, tasarım depremi etkisinde binanın hiç hasar almaması değil, hasarların kontrollü olarak ve enerji sönümleyecek şekilde olması hedeflenmektedir [1]. Betonarme binalardaki tamamen göçmelerin veya gevrek hasarların önüne geçmek için kolonların girişlerden daha güçlü tasarlanması, kolon giriş uç bölgelerinde enine donatı sıklaştırmasının yapılması gibi tasarım kuralları bulunmaktadır. Deprem sırasında betonarme elemanların eğilme kapasitelerine tam olarak ulaşabilmesi için kesme hasarı almayacak şekilde tasarımlarının yapılması gerekmektedir.

Betonarme binalarda sünek davranışın sağlanmasında enine donatılar büyük rol oynamaktadır. Kolonlarda kullanılan enine donatılar ekstenel kuvvet etkisinde, genişlemeye çalışan betonu kısıtlayarak sargı etkisi oluşturmakta ve böylece betonun dayanım ve sünekliğini önemli ölçüde arttırmaktadır. Literatürde betonun sargı etkisini dikkate alan sargılı beton modelleri ve bu modeller ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır [2-4]. Doğrusal

* Sorumlu yazar: oftas@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-7812-0086, ² 0000-0002-6319-1129, ³ 0000-0002-1431-5316, ⁴ 0000-0003-1335-3780, ⁵ 0000-0003-0266-759X

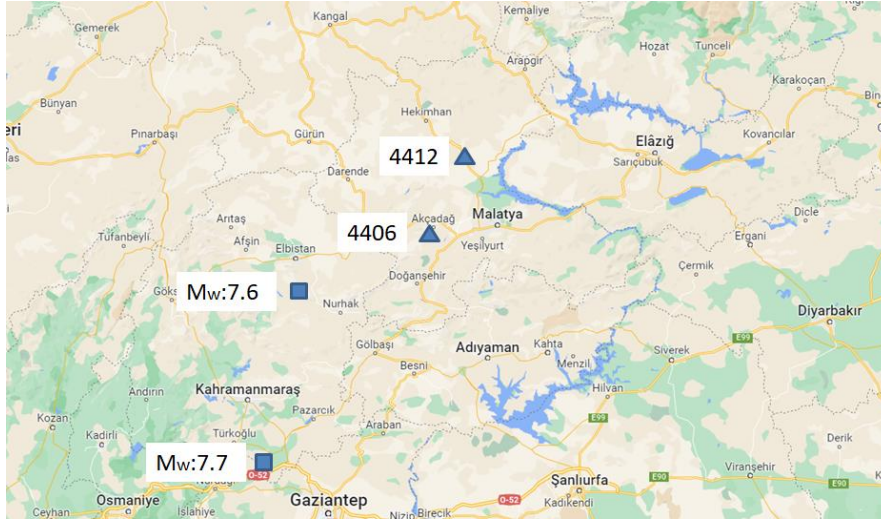
olmayan betonarme bina davranış analizlerinde betondaki sargı etkisi dikkate alındığında gerçeğe daha yakın sonuçlar alınmaktadır. Betonda oluşan sargı etkisi enine donatı aralığına, çapına, dayanımına ve enine donatı düzenine bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca kolondaki eksenel yük miktarı beton davranışını etkilemektedir.

Betonarme kolonlarda kullanılan enine donatı aralıkları kolon uç bölgelerinde sıklaştırılmaktadır. Plastik mafsalların oluşabileceği bu bölgelerde etriye sıklaştırması kolon sünekliliğini ve dayanımını arttırmaktadır. Betonarme binaların depreme dayanıklı tasarımında kolon giriş birleşim bölgelerinde hasar oluşmaması hedeflenmektedir. Bu amaçla kolon enine donatılarının birleşim bölgesi içerisinde de devam ettirilmesi ve birleşim bölgelerinin dayanımının artırılması gerekmektedir. Betonarme elemanların tasarımında kullanılan enine donatılar, boyuna donatıların burkulma boylarının kısalmasını sağlamaktadır. Ayrıca, enine donatıların deprem sırasında etkili olarak çalışabilmesi için kanca boylarının yeterli olması ve kanca açılarının 135° olması gerekmektedir. Fakat Türkiye’de yaşanan depremler sonrası betonarme binalar incelendiğinde yetersiz enine donatıdan veya hatalı enine donatı detayından kaynaklanan deprem hasarlarına sıklıkla rastlanmaktadır [5-8].

Bu çalışma kapsamında 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında Malatya ilinde bulunan betonarme çok katlı binalarda enine donatı kusurlarından kaynaklanan deprem hasarları incelenmiştir. İncelenen binalardaki enine donatı koşullarının, Türkiye Deprem Yönetmeliklerine uygunlukları değerlendirilmiştir.

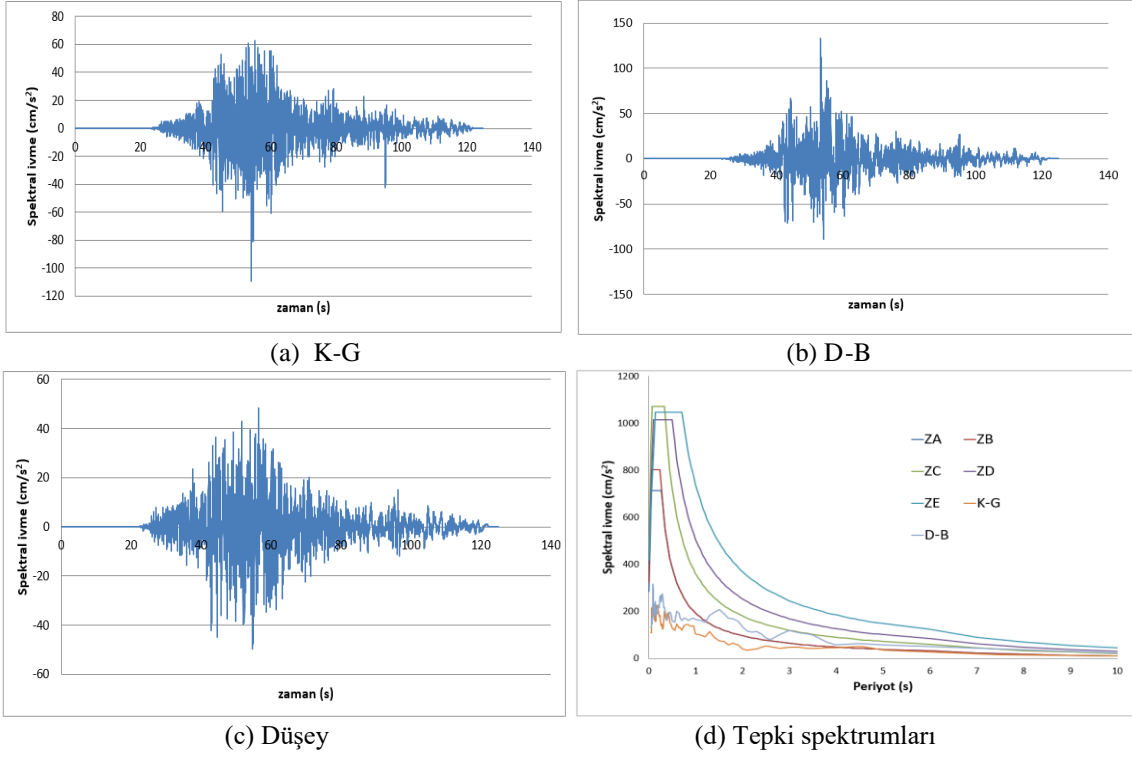
2. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri

6 Şubat 2023 tarihinde Türkiye’de merkez üssü Pazarcık (saat 04:17, Mw: 7.7 ve 8.6 km derinlik) ve Elbistan (saat 13:24, Mw: 7.6 ve 7.0 km derinlik) olan iki yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerden sonra 6 Şubat ve 6 Mayıs tarihleri arasında 33591 deprem (büyüklüğü 0.2-6.6 arasında değişen) meydana geldiği belirtilmiştir [9]. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde, Malatya ilinde bulunan binalarda ciddi hasarlar meydana gelmiş veya göçmeler yaşanmıştır [10]. Şekil 1’de Malatya ilinde bulunan 4406 ve 4412 numaralı istasyonların yeri ve yaşanan depremlerin merkez üstleri verilmiştir.

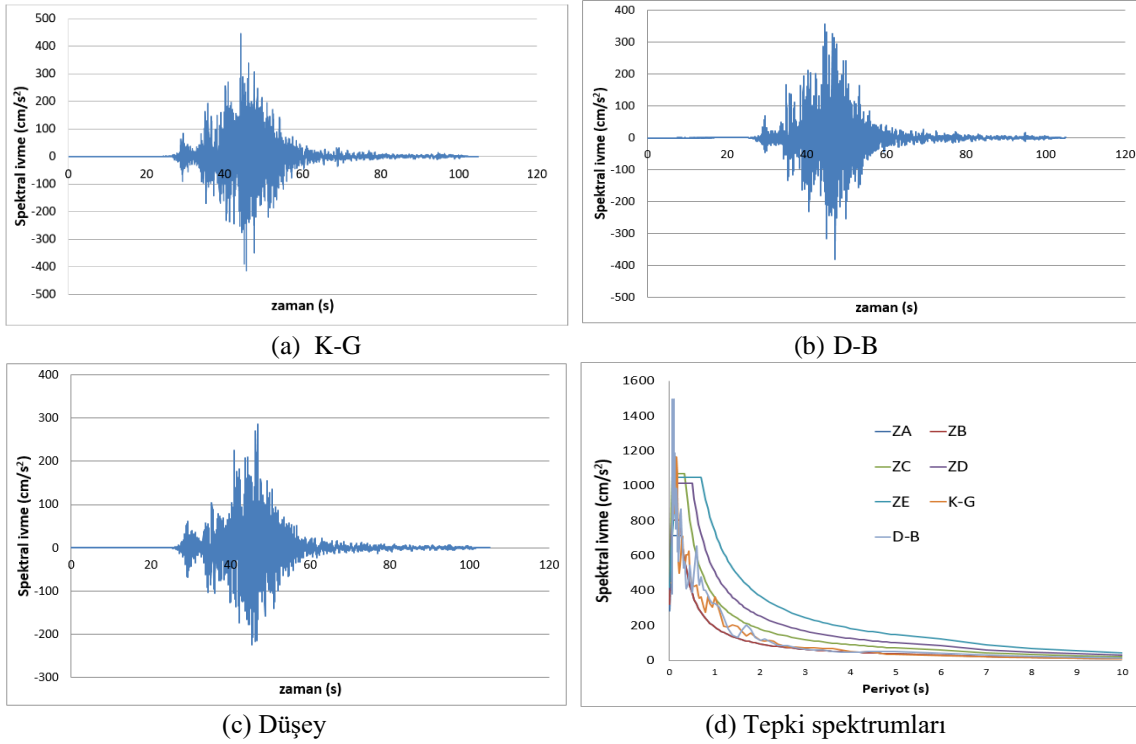


Şekil 1. Kahramanmaraş depremleri ve Malatya ilinde bulunan ivme kayıt istasyonları

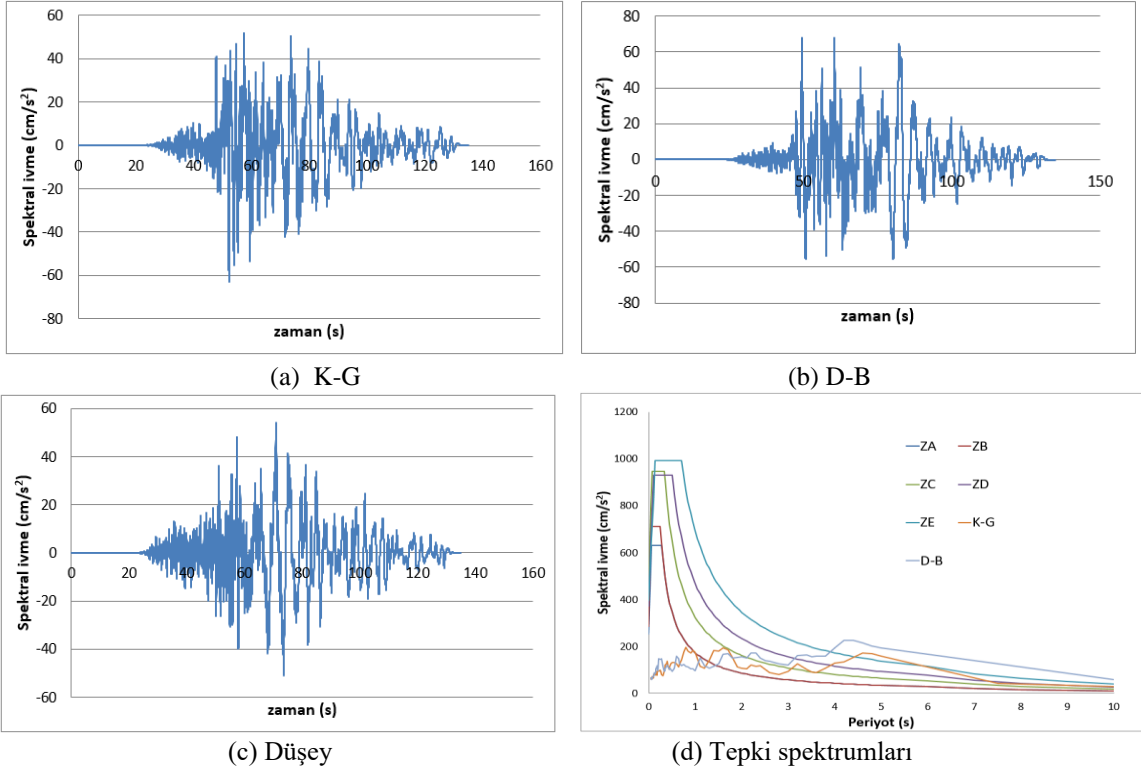
Malatya ilinde bulunan 4406 numaralı ivme kayıt istasyonuna ait Pazarcık depremi ivme kayıtları ile bu istasyondan elde edilen tepki spektrumlarının TBDY-2018 ile karşılaştırılması Şekil 2’de verilmiştir. Şekil 3’de ise Elbistan depremine ait ivme kayıtları ve tepki spektrumları verilmiştir. Tepki spektrum grafikleri incelendiğinde, 4406 numaralı istasyona ait Elbistan depremi (Mw:7.6) tepki spektrumlarının tasarım spektrumlarından büyük olduğu görülmektedir. 4412 numaralı ivme kayıt istasyonuna ait Pazarcık depremi ivme kayıtları ve tepki spektrumlarının TBDY-2018 ile karşılaştırılması ile yine aynı istasyona ait Elbistan depremi ivme kayıtları ve tepki spektrumlarının TBDY-2018 ile karşılaştırılması ise sırasıyla Şekil 4 ve 5’de verilmiştir. Şekil 2–5’de verilen grafiklerin verileri Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Türkiye İvme Veri Tabanı ve Analiz Sisteminden alınmıştır.



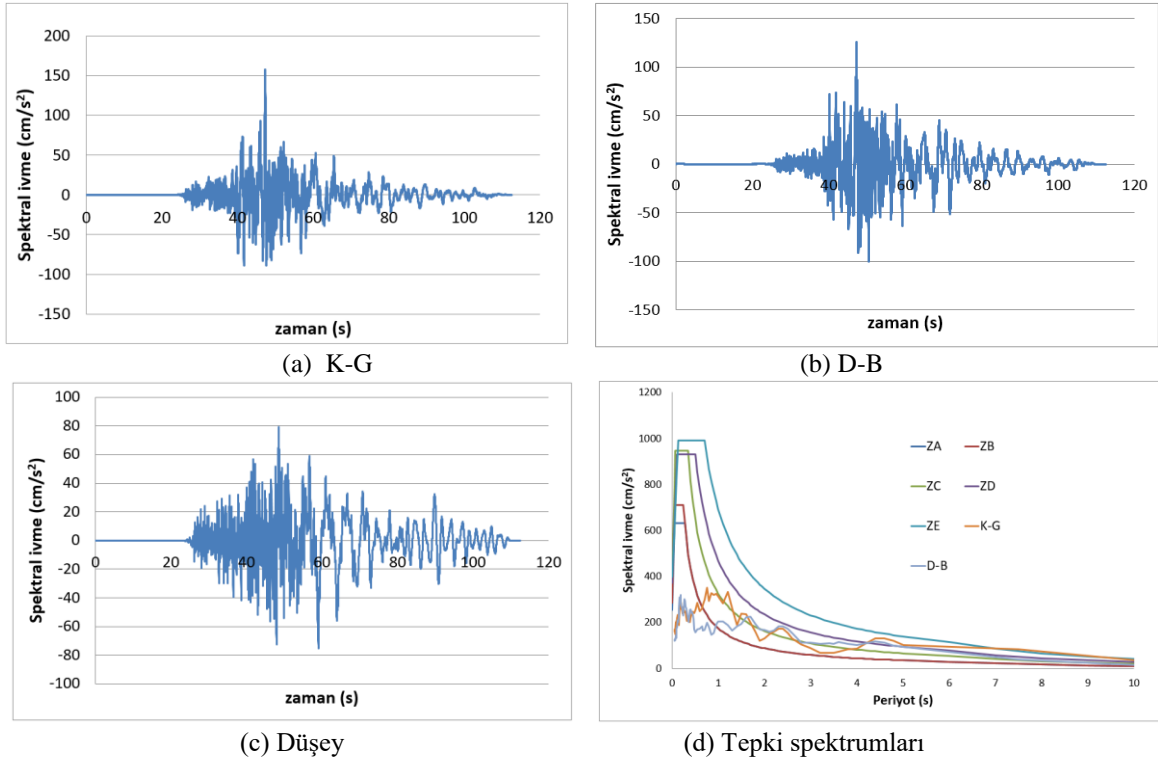
Şekil 2. 4406 ivme istasyonuna ait Pazarcık depremi kayıtları ve tepki spektrumları



Şekil 3. 4406 ivme istasyonuna ait Elbistan depremi kayıtları ve tepki spektrumları



Şekil 4. 4412 ivme istasyonuna ait Pazarcık depremi ivme kayıtları ve tepki spektrumları

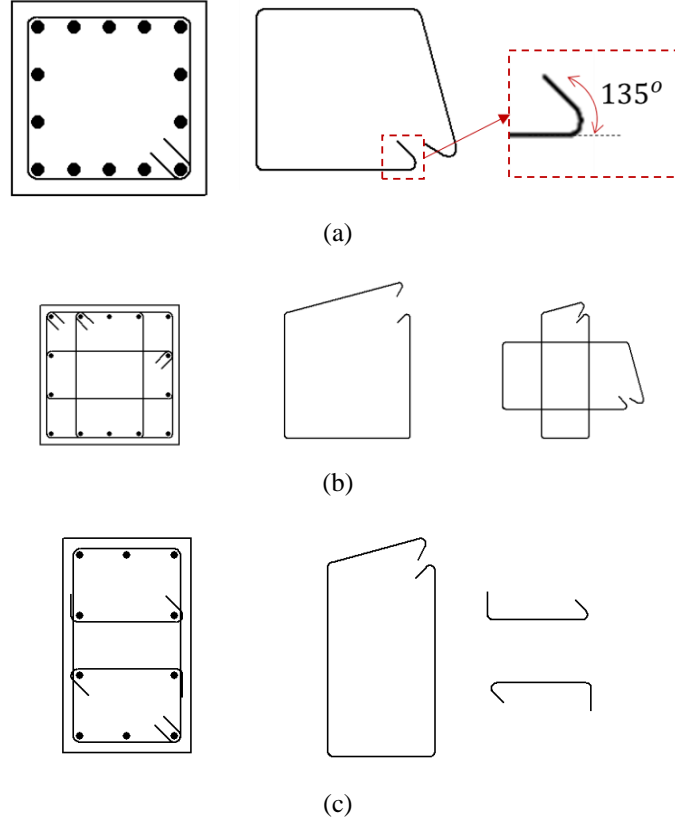


Şekil 5. 4412 ivme istasyonuna ait Elbistan depremi ivme kayıtları ve tepki spektrumları

3. Betonarme Kolonlarda Enine Donatı Kullanılması

Betonarme elemanların kesme kuvvet dayanımlarının artırılması için enine donatılar (etriyeler) kullanılmaktadır. Ayrıca enine donatılar, betonda sargı etkisi oluşturarak beton dayanımını ve sünekliliğini artırmakta, boyuna donatıların burkulma boylarını kısaltmaktadır.

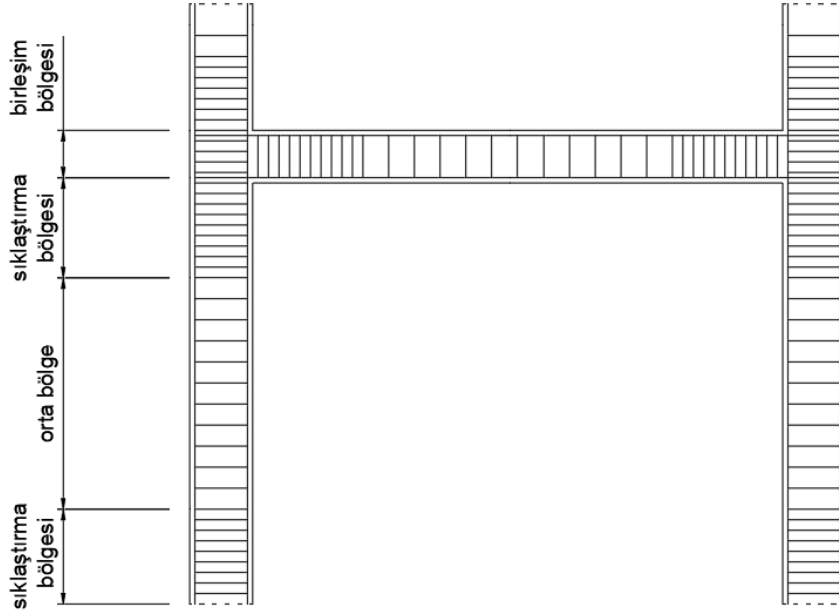
TBDY-2018'e göre enine donatı kolları arası mesafenin enine donatı çapının 25 katından fazla olmaması gerekmektedir. Bu durumun sağlanması için enine donatılar çirozlarla veya farklı enine donatı düzenleri ile bağlanabilirler. Ayrıca dairesel kolonlarda etriyeler belirli aralıklarla atılmak yerine sürekli fret olarak da tasarlanabilirler. Farklı etriye düzenleri Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. Örnek enine donatı düzenleri (enine donatı kanca açıları 135° olarak tasarlanmalıdır)

3.1. Türkiye deprem yönetmeliklerinde enine donatı kuralları

Türkiye'de uygulanan deprem yönetmeliklerinde betonarme elemanların tasarımında etriye kuralları üç bölge dikkate alınarak belirtilmiştir [1, 11-13]. Taşıyıcı elemanların birleşimlerine yakın bölgelerinde sıklaştırma bölgesi tanımlanmış ve bu bölgelerde enine donatı aralıkları azaltılmıştır. Ayrıca kolon giriş birleşim bölgesi içerisinde kolon enine donatılarının devam ettirilmesi gerekmektedir (Şekil 7). Tablo 1'de Türkiye Deprem Yönetmeliklerinde yer alan enine donatı aralıkları özetlenmiştir. Tabloda, h: kolon uzun kenar uzunluğunu, b: kolon kısa kenar uzunluğunu, H_{net} , kolon net yüksekliğini, \emptyset ise boyuna donatı çapını ifade etmektedir. Kolon sıklaştırma bölgesi uzunluğu için Tablo 1'de belirtilen en büyük değerin, enine donatı aralıkları için ise küçük değerin kullanılması gerekmektedir.



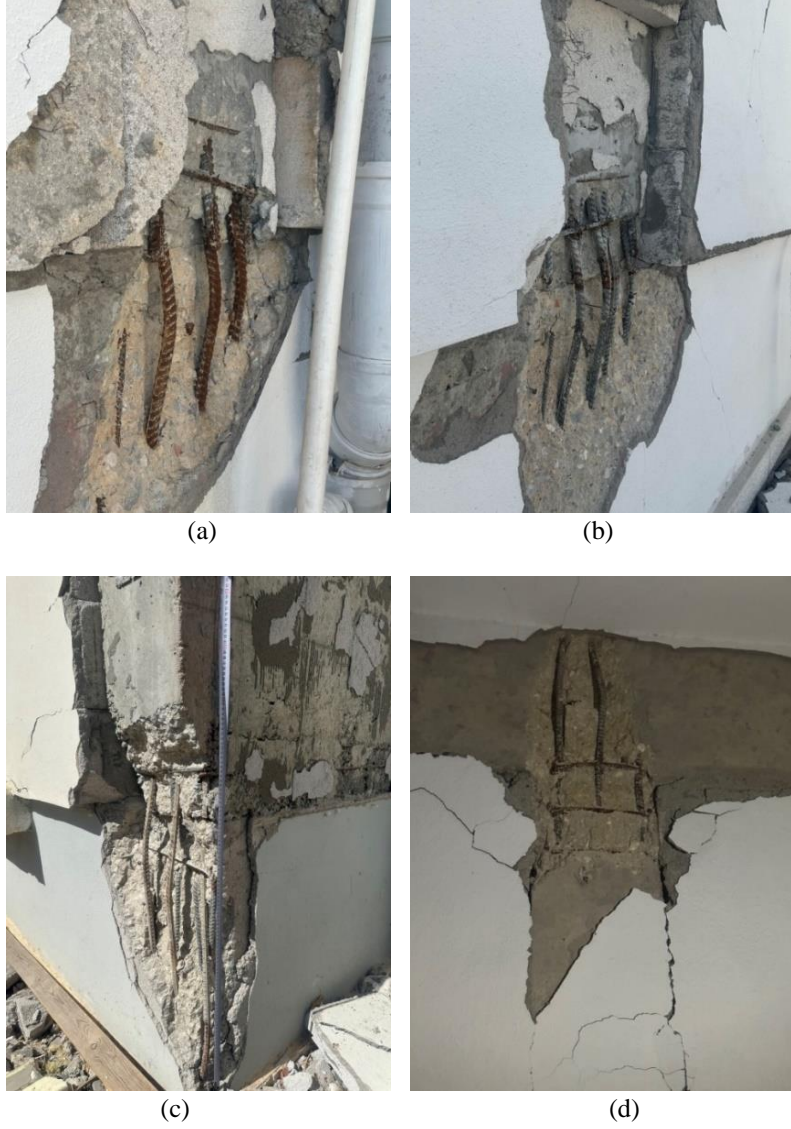
Şekil 7. Betonarme çerçevelerde etriye kullanım bölgeleri

Tablo 1. Türkiye Deprem Yönetmeliklerinde enine donatı kuralları

Yönetmelik	Kolon sıklaştırma bölgesi uzunluğu	Sıklaştırma bölgesi enine donatı aralığı	Orta bölge enine donatı aralığı	Birleşim bölgesi donatı aralığı
1975	$h; H_{net}/6; 45 \text{ cm}$	10 cm	$h/2; 20 \text{ cm}; 12\emptyset$	$h/2; 20 \text{ cm}; 12\emptyset$
1998	$h; H_{net}/6; 50 \text{ cm}$	10 cm; $b/3$	$b/2; 20 \text{ cm}$	10 cm (kuşatılmamış kolon)- 15 cm (kuşatılmış kolon)
2007	$h; H_{net}/6; 50 \text{ cm}$	10 cm; $b/3$	$b/2; 20 \text{ cm}$	10 cm (kuşatılmamış kolon)- 15 cm (kuşatılmış kolon)
2018	$1.5h; H_{net}/6; 50 \text{ cm}$	15 cm; $b/3; 6\emptyset$	$b/2; 20 \text{ cm}$	10 cm (kuşatılmamış kolon)- 15 cm (kuşatılmış kolon)

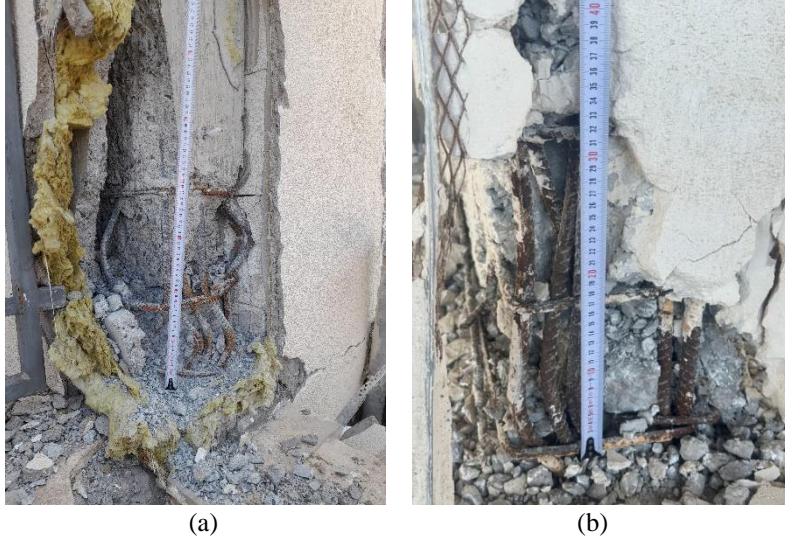
4. Enine Donatı Yetersizliğinden Kaynaklanan Deprem Hasarları

Kolonlar içerisinde kullanılan enine donatıların birleşim bölgesi içerisinde devam ettirilmesi gerekmektedir [1, 11-13]. Fakat yapılan saha incelemelerinde bu kurala uyulmadığı yaygın olarak gözlemlenmiştir. Birleşim bölgesi içerisinde enine donatı olmaması bu bölgede bulunan boyuna donatıları burkulmaya zorlamakta ve dayanımı ciddi ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca, saha incelemelerinde birleşim bölgelerinde etriye aralığının 90 cm'ye kadar çıktığı gözlemlenmiştir (Şekil 8).



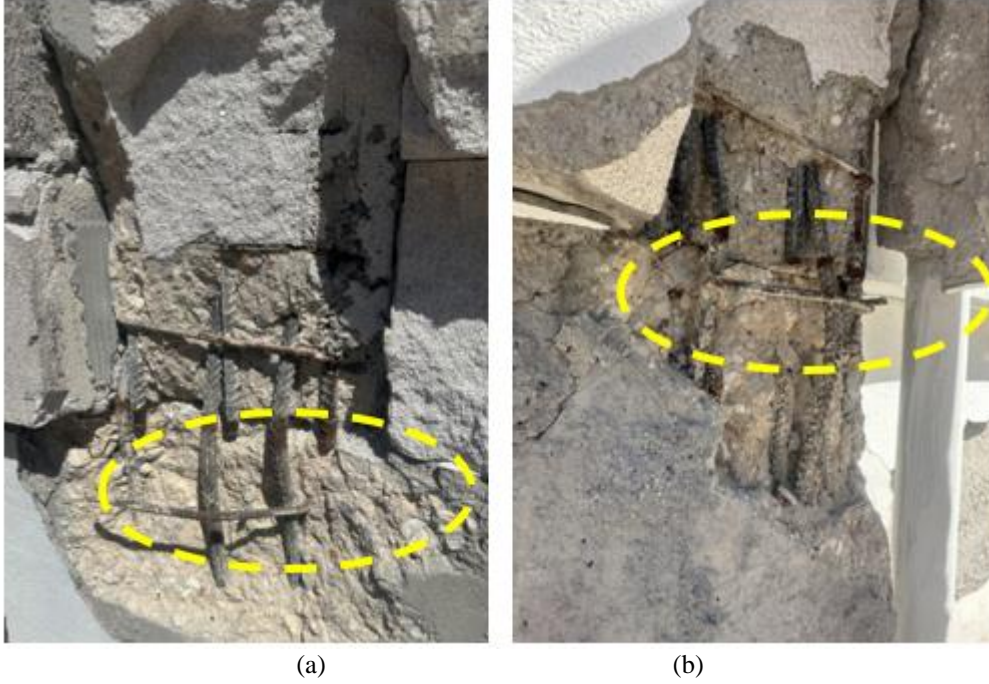
Şekil 8. Birleşim bölgesi içerisinde enine donatı kullanılmaması

Deprem sırasında kolon uçlarında meydana gelen momentler artmakta ve plastik mafsallı bölgeleri olarak adlandırılan bu bölgelerde hasarlar meydana gelebilmektedir. Bu nedenle Türkiye Deprem Yönetmeliklerinde sıklaştırma bölgesi boyunca etriye sayısı artırılarak kolonların dayanımının ve sünekliğinin artırılması hedeflenmektedir. Fakat yapılan saha incelemelerinde kolonlarda sıklaştırma yapılmadığı yaygın olarak gözlemlenmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Kolonlarda yetersiz enine donatı aralığı

Kolon enine donatılarının yetersiz olması durumunda, enine donatılar donatı burkulmasını engelleyememekte ve Şekil 10’ da görüldüğü gibi enine donatılarda kopma meydana gelebilmektedir.



Şekil 10. Enine donatıda kopma durumu

Enine donatıların etkili olarak çalışabilmesi için kanca boylarının yeterli olması ve kanca açılarının 135° olması gerekmektedir. Şekil 11’de kısa kolon etkisiyle kesme hasarı alan bir kolonda, etriye kanca açılarının 90° olması nedeniyle enine donatıların açıldığı görülmektedir.



Şekil 11. 90° kanca açısına sahip kolon enine donatılarında açılma

Türkiye Deprem Yönetmeliklerinde etriye kolları arası mesafe sınırlandırılmıştır (etriye çapının 25 katı). Etriye kolları arası mesafenin fazla olması durumunda etriye düzeni değiştirilmeli veya çirozlar kullanılmalıdır. Fakat saha incelemelerinde etriyelerin sadece kolon etrafında bulunduğu yani uygun olmayan etriye düzenleri yaygın olarak gözlemlenmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. Enine donatı kolları arası mesafenin yetersiz olması

5. Sonuçlar

Türkiye’de 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş merkezli iki deprem (Mw: 7.7 ve Mw: 7.6) meydana gelmiş ve bu depremler betonarme yapıların ciddi hasarlar almasına veya göçmesine neden olmuştur. Yaşanan bu yıkıcı depremlerin Malatya ili üzerine etkisi incelendiğinde, Elbistan depreminin daha fazla etkili olduğu görülmektedir. Bu çalışma kapsamında, Malatya ili özelinde betonarme yapıların detaylı incelenmesi yapılmış ve imalat kusurları dikkate alınmıştır. İnceleme sonucu betonarme binaların hasar alma nedenleri arasında olan enine donatı yetersizlikleri ve uygulama hataları ile yaygın olarak karşılaşmıştır. Özellikle kolon kiriş birleşim bölgesi

içerisinde enine donatı bulunmaması veya kolonlarda etriye sıklaştırılmasının yapılmaması nedeniyle boyuna donatıların burkulması ve kabuk betonunun dökülmesi gözlemlenmiştir. Ayrıca enine donatı kancalarının yetersiz boyda olması veya kanca açılarının 135° olarak yapılmaması nedeniyle, enine donatılarda açılma görülmüştür. Ayrıca Türkiye Deprem yönetmeliklerinde yer alan çirozların kullanılmadıkları, başka bir ifade ile etriye kol aralıklarının yetersiz olduğu görülmüştür. Depreme dayanıklı bina tasarımı için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde verilen enine donatı kurallarına özellikle uygulama aşamasında daha fazla dikkat edilmesi ve yukarıda bahsedilen kusurlardan kaçınılması büyük önem arz etmektedir.

Kaynaklar

- [1] TBDY-2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, Türkiye.
- [2] Saatcioglu M., Razvi S. R. Strength and ductility of confined concrete. *Journal of Structural Engineering* 1992; 118(6): 1590-1607.
- [3] Mander J. B., Priestley M. J., Park R. Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of Structural Engineering* 1988; 114(8): 1804-1826.
- [4] Taş Ö.F., Sayın E., Öncü M.E. Yeni betonarme binalar için etkin kesit rijitlikleri ve statik itme analizleri. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2022; 34(2): 505-516.
- [5] Doğangün A. Performance of reinforced concrete buildings during the May 1, 2003 Bingöl Earthquake in Türkiye. *Engineering Structures* 2004; 26(6): 841-856.
- [6] Taşkın B., Sezen A., Tugsal U. M., Erken A. The aftermath of 2011 Van earthquakes: evaluation of strong motion, geotechnical and structural issues. *Bulletin of Earthquake Engineering* 2013; 11(1): 285-312.
- [7] Sayın E., Yön B., Onat O., Gör M., Öncü M.E., Tuğrul Tunç E., Bakır D., Karaton M., Calayır Y. 24 January 2020 Sivrice Elazığ Turkey earthquake: geotechnical evaluation and performance of structures. *Bulletin of Earthquake Engineering* 2021; 19(2): 657-684.
- [8] İnce O. Structural damage assessment of reinforced concrete buildings in Adıyaman after Kahramanmaraş (Türkiye) Earthquakes on 6 February 2023. *Engineering Failure Analysis* 2024; 156, 107799.
- [9] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 06 Şubat 2023 Pazarcık-Elbistan Kahramanmaraş (Mw: 7.7 – Mw: 7.6) Depremleri Raporu, 2023.
- [10] Atar M., İnce O., Taş Ö.F., Özmen A., Sayın E. Betonarme prefabrik endüstri yapılarının 6 Şubat 2023 depremleri sonrası hasarlarının incelenmesi. *Türk Deprem Araştırma Dergisi* 2023; 5(2): 291-300.
- [11] ABYBHY-1975, Afet Bölgelerine Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, İmar ve İskân Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- [12] ABYBHY-1998, Afet Bölgelerine Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- [13] DBYBHY-2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, Türkiye.