

Türkiye'deki Depreme Dayanıklı Betonarme Çerçevesel Bina Tasarımına Retrospektif Bir Bakış

Alper ALDEMİR*¹ ORCID 0000-0003-2425-9685

Barış ERDİL² ORCID 0000-0001-5282-3568

Ömer Burak YÜCEL³ ORCID 0000-0001-9297-2939

¹Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara

²Van Yüzcüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Van

³DAS Construction Experts, Ankara

Geliş tarihi: 05.07.2023

Kabul tarihi: 28.03.2024

Atıf şekli/ How to cite: ALDEMİR, A., ERDİL, B., YÜCEL, Ö.B., (2024). Türkiye'deki Depreme Dayanıklı Betonarme Çerçevesel Bina Tasarımına Retrospektif Bir Bakış. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(1), 271-285.

Öz

Bu çalışma, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Pazarcık ($M_w=7.7$) ve Kahramanmaraş Elbistan ($M_w=7.6$) depremlerinin, depremlerden etkilenen yapı stokunun üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamıştır. Bu maksatla, depremlerden en çok etkilenen illerden olan Hatay pilot il olarak seçilmiştir. Bu doğrultuda, deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı dört katlı bir betonarme düzlem çerçeve, binaları temsilen ele alınmış olup, çerçeveyi oluşturan yapısal elemanlar (kolon ve kirişler) 1968, 1975, 1998 ve 2007 Deprem Yönetmelikleri ile 1975, 1984 ve 2000 betonarme standartlarına (TS500) uygun olarak tasarlanmıştır. Ardından; bu çerçevelerin sayısal modelleri oluşturulmuştur. Tasarlanan binalar Hatay ilindeki 11 farklı konumda tanımlanmıştır. Hatay ilinde seçilen farklı konumlar, kaydedilen yer hareketlerinin konumlar arası taşıma işlemine tabi tutulmaması için AFAD'a bağlı TADAS istasyonlarıyla aynı pozisyonda seçilmiştir. İvmeölçerlerden alınan 2×11 adet kayıt (Doğu-Batı ve Kuzey-Güney Yatay Bileşenleri) ayrı ayrı uygulanırken kaydedilen düşey ivmelerde numerik analizlerde dikkate alınmıştır. Her bir bina tipi için seçilen 11 farklı konum ve doğrultu dikkate alınarak, doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler yapılmıştır. Çalışma kapsamında toplam 88 adet farklı bina tasarımı ve deprem senaryosu için, sismik performanslar elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, ülkemizde geçmiş yıllarda kullanılmış olan tasarım ve deprem yönetmeliklerine uygun olarak tasarlanmış betonarme çerçevesel orta yükseklikteki binaların sismik dayanımlarının Kahramanmaraş merkezli depremlerde yetersiz kaldığını ve göçme durumunun önlenmesinin mümkün olmadığını ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Deprem, Betonarme, Bina tasarımı, Sismik dayanım

A Retrospective View on Earthquake Resistant Design of Reinforced Concrete Frame Structures in Türkiye

Abstract

This study aims to investigate the effects of the February 6, 2023 Kahramanmaraş Pazarcık ($M_w=7.7$) and Kahramanmaraş Elbistan ($M_w=7.6$) earthquakes on the affected building stock. For this purpose, Hatay,

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Alper ALDEMİR, alperaldemir@hacettepe.edu.tr

one of the most affected provinces by these earthquakes, was selected as the pilot province. Accordingly, a four-story reinforced concrete frame, where all seismic loads are carried by the frames, was considered to represent the buildings. The structural elements (columns and beams) forming the frame were designed in accordance with the 1968, 1975, 1998, and 2007 Earthquake Regulations, as well as the 1975, 1984, and 2000 reinforced concrete standards (TS500). Subsequently, numerical models of these frames were created. The designed buildings were defined at 11 different locations in Hatay province. The different locations selected in Hatay province were chosen in the same positions as the TADAS stations affiliated with AFAD to avoid the process of transferring recorded ground motions between locations. A total of 2×11 records (East-West and North-South Horizontal Components) obtained from accelerometers were individually applied, while the recorded vertical accelerations were considered in the numerical analyses. Nonlinear time history analyses were performed considering the 11 different positions and directions for each building type. Within the scope of this study, seismic performances were obtained for a total of 88 different building designs and earthquake scenarios. The results indicate that medium-rise reinforced concrete frame buildings designed in accordance with the design and earthquake regulations used in the past years in our country are inadequate in terms of seismic resistance during earthquakes centered in Kahramanmaraş and the collapse cannot be prevented.

Keywords: Earthquake, Reinforced concrete, Structural design, Seismic performance

1. GİRİŞ

06 Şubat 2023 tarihinde saat 04:17'de Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) üzerinde merkez üssü Kahramanmaraş Pazarcık olan büyük bir deprem meydana gelmiştir. Depremin moment büyüklük (M_w) cinsinden büyüklüğü Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından 7.7 olarak açıklanmıştır (Enlem: 37.288 N, Boylam: 37.043 E). İlk verilere göre depremin derinliği yaklaşık 8.6 km olarak belirlenmiştir [1]. Depremin en yakın yerleşim birimi olan Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ilçesine bağlı Akdemir köyüne uzaklığı 2.72 km'dir [1]. İlk depremden yaklaşık olarak altı saat sonra saat 13:24'de Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde merkez üssü Kahramanmaraş Elbistan olan bağımsız büyük bir deprem daha meydana gelmiştir. Depremin moment büyüklük (M_w) cinsinden büyüklüğü AFAD tarafından 7.6 olarak açıklanmıştır (Enlem: 38.089 N, Boylam: 37.239 E). İlk verilere göre depremin derinliği yaklaşık 7.6 km olarak belirlenmiştir. Depremin en yakın yerleşim birimi olan Kahramanmaraş ilinin Elbistan ilçesine bağlı Gümüşdöven köyüne uzaklığı 1.70 km'dir [1].

AFAD Deprem dairesi verilerine göre [2] 6 Şubat – 19 Mart 2023 tarihleri arasında deprem büyüklüğü olarak 6'dan büyük 3 adet, 5'ten büyük 44 adet ve 4'ten büyük 510 adet olmak üzere binlerce artçı

sarsıntı kaydedilmiştir. 20 Mart 2023 tarihi itibarıyla yaklaşık 255.000 binanın hasar aldığı veya yıkılmış olduğu ifade edilmiş, 50 binin üzerinde vatandaşımızın vefat ettiği ve 107.000'den fazla yaralı vatandaşımızın olduğu belirtilmiştir.

6 Şubat 2023'te Kahramanmaraş'ta meydana gelen depremler; Adana, Adıyaman, Diyarbakır, Elazığ, Gaziantep, Hatay, Kahramanmaraş, Kilis, Malatya, Osmaniye ve Şanlıurfa gibi birçok ili etkileyerek altyapı ve binalarda önemli hasara yol açmış ve çok sayıda can kaybına neden olmuştur. Depremlerde kaydedilen en büyük yer ivmeleri Hatay, Kahramanmaraş ve Gaziantep illerindedir [1].

Ülkemizde deprem yönetmelikleri sırasıyla 1940, 1944, 1949, 1953, 1962, 1968, 1975, 1998, 2007 ve 2018 yıllarında; Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları (TS 500) ise 1969, 1970, 1971, 1972, 1973, 1975, 1984 ve 2000'de yayınlanmıştır [3]. 1984'ten önceki betonarme standartlarında elastik teori kullanılmış olup, 1984'te yayınlanan standartla beraber dönemin bilimsel gelişmelerine paralel olarak [4] taşıma gücü teorisine geçilmiştir. Yapı güvenliği için deterministik yöntem terk edilerek, yarı-olasılıksal çağdaş yapı güvenliği benimsenmiştir [5,6]. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Pazarcık ($M_w=7.7$) ve Kahramanmaraş Elbistan ($M_w=7.6$) depremlerinden etkilenen bölgelerdeki yapı stokunun büyük bir

kısmını oluşturan binaların bu yönetmelikler uyarınca tasarlandıkları açıktır. Bu bakımdan yakın zamanda yaşadığımız bu yıkıcı depremlerin etkilerinin ve sonuçlarının geçmişe yönelik bir bakış açısıyla teorik düzlemde de incelenmesi büyük bir önem arz etmektedir. Bu çalışma 1968, 1975, 1998 ve 2007 deprem yönetmelikleri (kısaca TDY) ile 1975, 1984 ve 2000 betonarme standartlarına (kısaca TS500) uygun olarak tasarlanmış ve deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşıdığı binaların sismik yeterliliklerini Hatay bölgesindeki 11 ivme ölçerlerden alınan kayıtların özelinde değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Literatürde, Öztürk, tarafından yapılan bir başka çalışmada, üç farklı tasarıma sahip (i. 1953 Betonarme-1961 Deprem Yönetmeliği, ii. 1967 Betonarme-1968 Deprem Yönetmeliği ve iii. 1975 Betonarme-1975 Deprem Yönetmeliği) iki boyutlu çerçeve taşıyıcı sistemin, TDY2007 şartnamesine göre sismik performansı irdelenmiştir. Çalışmada, TDY2007 şartnamesine göre 2. derece deprem bölgesinde olduğu varsayılan bu üç farklı tasarıma sahip çerçeve sisteme sahip binaların TDY2007 şartnamesindeki kriterlere göre yapılan performans değerlendirmesi sonucunda, öngörülen can güvenliği performans düzeyinde olmadığı öne sürülmüştür [7].

Bu çalışmada ise 4 katlı bir betonarme bina çerçevesinin TDY1968+TS500-1975 [8,9], TDY1975+TS500-1975 [9,10], TDY1975+TS500-1984 [10,11], ve TDY1998&2007+TS500-1984&2000 [11-14] yönetmelik ve standartlarına uygun boyutlandırma ve tasarımı yapılmıştır. TDY1998 ile TDY2007'nin deprem hesabı ve betonarme tasarım kısımlarındaki koşullar aynıdır. TS500-1984 ve TS500-2000'de ise küçük farklar olup, tasarım yapılırken iki standardın koşullarına da uyulmuştur. Bilindiği üzere, TDY2007'ye, TDY1998'de olmayan "Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi" bölümü eklenmiştir.

Literatürde, deprem etkileri altında hasar almış ve güncel şartnamelerle tasarlanmış binaların detayları hakkında analizler oldukça ilgi çekmektedir. Bu konuda son yıllarda Kazaz ve arkadaşları tarafından

Kahramanmaraş depremi etkisi altında yıkılmış bir binanın neden yıkıldığına yönelik analizler gerçekleştirilmiştir [15]. Ayrıca, Cortez ve arkadaşları da sismik etkilerden kaynaklı hasar dağılımlarını numerik olarak incelemiştir. Çalışma deprem ve diğer afetlerin etkileşimini irdelemektedir [16]. Ozturk ve arkadaşları, Maras depremi etkisi altında okul binalarında gözlemlenen hasarları ve hasarların kaynaklarını incelemiştir [17]. Bu çalışmada perde duvar kullanılmayan okul binalarının oldukça fazla hasar aldığı öne sürülmüştür.

Belirtilen şartname ve standartlara uygun olarak bu çalışma kapsamında dizayn edilmiş olan çerçeveler, en yoğun yıkımın gerçekleştiği Hatay bölgesindeki ivmeölçerlerden alınan ivme kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemine göre SAP2000 v.21 programı ile analiz edilmiştir [18]. Boyutlandırılması ve donatılandırılması yapılan ve tamamen projesine göre inşa edildiği varsayılan binaların deprem etkisi altında değerlendirilmesi, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY2018) kurallar çerçevesinde yapılmıştır [19].

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Bina Özellikleri

Bu çalışma kapsamında boyutlandırılması ve donatılandırılması yapılan bina Öztürk (2009) tarafından yapılan yüksek lisans tezinde dikkate alınan binanın geometrisine benzer olup, kat sayısı ve döşeme yükleri değiştirilmiştir [7]. Ek olarak, yapının 1. Derece Deprem Bölgesi'nde inşa edildiği varsayılmıştır.

Bu tipik çerçeve dört farklı tasarım ve deprem yönetmeliği kombinasyonu düşünülerek ayrı ayrı tasarlanmıştır. İlgili dönemlere ait yönetmeliklere bağlı olarak, TDY1968+TS500-1975, TDY1975+TS500-1975 ve TDY1975+TS500-1984 kombinasyonlarında tasarlanan çerçevelerde C14 (B160) beton ile StI (S220) donatı çeliği kullanılması; TDY1998&2007+TS500-1984&2000'e göre tasarlanan çerçevede ise C20 ve StIII (S420) donatı çeliği kullanılması durumuna göre tasarım gerçekleştirilmiştir. Betonarme

Çizelge 1. Katlara etkiyen deprem kuvvetleri

Yönetmelikler	1.Kat (kN)	2.Kat (kN)	3.Kat (kN)	4.Kat (kN)	Toplam (kN)
TDY1968+ TS500-1975	23.6	46.7	69.0	63.4	202.7
TDY1975+TS500-1975	30.1	59.5	87.8	82.4	259.8
TDY1975+TS500-1984	30.1	59.5	87.8	82.4	259.8
TDY1998&2007+TS500-1984&2000	47.2	93.4	138.8	130.3	409.7

Çizelge 2. TDY1968+TS500-1975 / Kolon tasarım özeti

Kolonlar	Kolon boyutları (cm)	Boyuna donatı adedi ve çapı (mm)	Enine donatı çapı ve aralığı (mm)
S102-S103-S104-S202-S203-S204	45x45	8φ18	φ6/100
S101-S105-S201-S205	30x30	4φ25	φ6/100
S302-S303-S304	35x35	4φ20	φ6/100
S301-S305	30x30	4φ25	φ6/100
S402-S403-S404	30x30	4φ18	φ6/100
S401-S405	25x25	4φ18	φ6/100

Çizelge 3. TDY1968+TS500-1975 / Kiriş tasarım özeti

Kirişler	Kiriş boyutları (cm)	Boyuna donatı adedi ve çapı (mm)	Enine donatı çapı ve aralığı (mm)
1.Kat	30x60	Üst: 4φ22+1φ16 – Alt: 3φ22	φ6/140
2.Kat	30x60	Üst: 4φ22+1φ14 – Alt: 3φ22	φ6/140
3.Kat	30x60	Üst: 4φ22+1φ8 – Alt: 3φ22	φ6/140
4.Kat	20x60	Üst: 2φ22 – Alt: 2φ20	φ6/140

Çizelge 4. TDY1975+TS500-1975 / Kolon tasarım özeti

Kolonlar	Kolon boyutları (cm)	Boyuna donatı adedi ve çapı (mm)	Enine donatı çapı ve aralığı (mm)
S102-S103-S104-S202-S203-S204	45x45	12φ22	Φ8/100
S101-S105-S201-S205	30x30	8φ24	Φ8/100
S302-S303-S304	35x35	8φ22	Φ8/100
S301-S305	30x30	8φ24	Φ8/100
S402-S403-S404	30x30	4φ22	Φ8/100
S401-S405	25x25	4φ22	Φ8/100

Çizelge 5. TDY1975+TS500-1975 / Kiriş tasarım özeti

Kirişler	Kiriş boyutları (cm)	Boyuna donatı adedi ve çapı (üst ve alt)	Enine donatı çapı ve aralığı (cm)
1.Kat	30x60	Üst: 6φ22 – Alt: 3φ22	Φ8/140
2.Kat	30x60	Üst: 5φ22+1φ14 – Alt: 3φ22	Φ8/140
3.Kat	30x60	Üst: 4φ22+1φ18 – Alt: 3φ22	Φ8/140
4.Kat	20x60	Üst: 3φ20 – Alt: 2φ20	Φ8/140

Çizelge 6. TDY1975+TS500-1984 / Kolon tasarım özeti

Kolonlar	Kolon boyutları (cm)	Boyuna donatı adedi ve çapı (mm)	Enine donatı çapı ve aralığı (mm)
S102-S103-S104-S202-S203-S204	45x45	8φ20	Φ8/100
S101-S105-S201-S205	30x30	8φ18	Φ8/100
S302-S303-S304	35x35	8φ18	Φ8/100
S301-S305	30x30	8φ18	Φ8/100
S402-S403-S404	30x30	4φ22	Φ8/100
S401-S405	25x25	4φ20	Φ8/100

Çizelge 7. TDY1975+TS500-1984/ Kiriş tasarım özeti

Kirişler	Kiriş boyutları (cm)	Boyuna donatı adedi ve çapı (üst ve alt)	Enine donatı çapı ve aralığı (mm)
1.Kat	30x60	Üst: 6φ22 – Alt: 3φ22	Φ8/140
2.Kat	30x60	Üst: 5φ22+1φ14 – Alt: 3φ22	Φ8/140
3.Kat	30x60	Üst: 4φ22+1φ18 – Alt: 3φ22	Φ8/140
4.Kat	20x60	Üst: 3φ20 – Alt: 2φ22	Φ8/140

Çizelge 8. TDY1998&2007+TS500-1984&2000 / Kolon tasarım özeti

Kolonlar	Kolon boyutları (cm)	Boyuna donatı adedi ve çapı (mm)	Enine donatı çapı ve aralığı (mm)
S102-S103-S104-S202-S203-S204	45x45	8φ25	Φ8/100 + Φ8 Çiroz
S101-S105-S201-S205	35x35	8φ22	Φ8/100 + Φ8 Çiroz
S302-S303-S304	35x35	8φ25	Φ8/100 + Φ8 Çiroz
S301-S305	35x35	8φ22	Φ8/100 + Φ8 Çiroz
S402-S403-S404	35x35	8φ24	Φ8/100 + Φ8 Çiroz
S401-S405	35x35	8φ20	Φ8/100 + Φ8 Çiroz

Çizelge 9. TDY1998&2007+TS500-1984&2000 / Kiriş tasarım özeti

Kirişler	Kiriş boyutları (cm)	Boyuna donatı adedi ve çapı (üst ve alt)	Enine donatı çapı ve aralığı (mm)
1.Kat	30x60	Üst: 4φ20+ 1φ8 – Alt: 3φ18	Φ8/140
2.Kat	30x60	Üst: 4φ20 – Alt: 3φ18	Φ8/140
3.Kat	30x60	Üst: 3φ20+1φ10 – Alt: 3φ16	Φ8/140
4.Kat	20x60	Üst: 2φ20 – Alt: 2φ16	Φ8/140

2.2. Model Detayları

Çerçeveler 2 boyutlu olarak SAP2000 v.21 programı ile modellenmiştir. Modellemede kolonlar ve kirişler ilgili kesit boyutları ile çubuk eleman olarak dikkate alınmıştır. Bütün kolonlar zemine rijit bir şekilde bağlanmıştır. Modellerde bölme duvarlar dikkate alınmamıştır.

Kirişler tablasız dikdörtgen kesit, kolonlar kare kesitli ve simetrik donatılı olarak tasarlanmıştır. 12 cm kalınlığa sahip döşeme için döşeme yükleri normal katlarda ölü yükler $g=4\text{kN/m}^2$, hareketli yükler $q=2\text{kN/m}^2$ olarak; çatı katında ise ölü yükler $g=3.6\text{kN/m}^2$, hareketli yükler $q=0.75\text{kN/m}^2$ olarak alınmıştır. Binada düzlem içindeki iç akslardaki tüm açıklıklarda duvar olduğu düşünülmüş, düzleme dik akslardaki çerçevelerde ise sadece en dış akslarda duvar olduğu varsayılmıştır. Duvar yükleri 2.5kN/m^2 olarak dikkate alınmıştır. Katlara etkiyen deprem yükleri ise yönetmeliklerin ilgili maddelerine uygun olarak hesaplanmış ve Çizelge 1'de sunulmuştur.

2.3. Yer Hareketleri

Çerçevelerin deprem performansları zaman tanım alanında analizler vasıtasıyla belirleneceğinden yer hareketlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, 6 Şubat 2023 Depremlerinde, Şekil 2'de gösterildiği üzere, Hatay bölgesinde 11 istasyonda doğu-batı ve kuzey-güney doğrultusunda kaydedilen yatay ivme kayıtları ile düşey doğrultuda kaydedilen ivme kayıtları kullanılmıştır [26]. Bütün ivme kayıtlarının tasarım ivme spektrumları doğu-batı yönü için Şekil 3'te, kuzey-güney yönü için Şekil 4'te ve düşey doğrultu için Şekil 5'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 3'ten görüleceği üzere doğu-batı yönünde incelenen binanın salınım periyodunun bulunduğu aralıkta (0.2-0.4s) gerçekleşen en büyük spektral ivme 3129 nolu istasyonda 4.69g, en düşük spektral ivme ise 3124 nolu istasyonda 1.09g ile hesaplanmıştır. Kuzey-güney doğrultusu dikkate alındığında ise en büyük spektral ivme yine 3129 nolu istasyonda 5.35g olarak, en düşük spektral ivme ise 3136 nolu

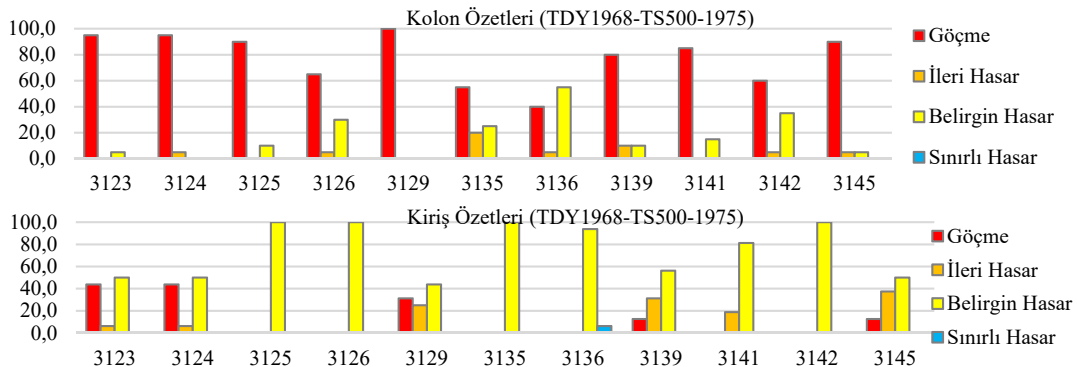
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Analiz sonuçları Çizelge 10-13'te özetlenmiş, Şekil 6-9'da ise grafiksel olarak gösterilmiştir. Çizelge 9 ve Şekil 6'da TDY1968 ve TS500-1975'e göre tasarlanmış çerçevenin deprem performans özeti her bir istasyon verisi için ayrı ayrı verilmiştir. Sonuçlar 11 istasyonda kaydedilen ivmeler dikkate alındığında kolonların çoğunluğunun Göçme bölgesinde yer aldığını göstermektedir. Kiriş performansları dikkate alındığında ise sadece 3123 nolu istasyon verisine göre kirişlerin %43.8'i Göçme bölgesinde, geri kalanı ise Belirgin Hasar ve İleri Hasar bölgesinde bulunmaktadır. 6 Şubat 2023 depremlerinde Hatay'da 11 istasyonda kaydedilen ivme kayıtları kullanılarak yapılan analizlerin tamamı için global performans değerlendirmesi yapıldığında bütün ivme kayıtları altında ele alınan çerçevenin Göçme Performans Seviyesinde olduğu ve hedeflenen Kontrollü Hasar Performans Seviyesini karşılayamadığı belirlenmiştir.

Çizelge 10 ve Şekil 7'de TDY1975 ve TS500-1975 kullanılarak tasarlanan çerçevenin deprem performans özeti 11 istasyon verisi için ayrı ayrı sunulmuştur. Bir önceki tasarımdan farklı olarak bu tasarımda deprem yüklerinin bir miktar artması ile kolon ve kiriş donatılarında artışlar gözlenmiştir. TDY1975 ve TS500-1975 kombinasyonunda kapasitelerde bir miktar artışlar yaşandığından öncelikle kirişler hasar almakta ve nihayetinde kolon hasarları ile sistem stabilitesini yitirmektedir. Bu sebepten ötürü Şekil 7'den görüleceği üzere kirişlerin büyük bir bölümü Göçme bölgesinde bulunmaktadır. Kolon performanslarının da TDY1968+TS500-1975 kombinasyonuna göre bir miktar iyileştiği fakat yine de kolonların genel olarak Göçme performans seviyesinde yer aldığı söylenebilir. Sonuç olarak TDY1975 ve TS500-1975 kombinasyonunda her ne kadar tasarım bir miktar iyileşmişse de bu tasarım sonucunda yapısal elemanların 6 Şubat 2023 depremlerini Kontrollü Hasar Performans Seviyesi ile karşılayamayacağı, aksine Göçme Performansı göstereceği belirlenmiştir.

Çizelge 10. TDY1968+TS500-1975 sonuçları

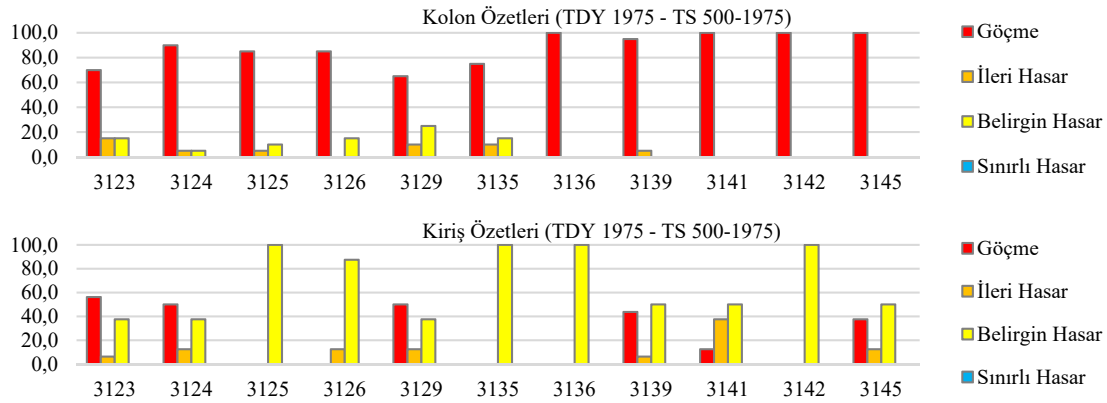
Deprem kaydı	3123	3124	3125	3126	3129	3135	3136	3139	3141	3142	3145	
KOLON%	Göçme	95.0	95.0	90.0	65.0	100.0	55.0	40.0	80.0	85.0	60.0	90.0
	İleri hasar	0.0	5.0	0.0	5.0	0.0	20.0	5.0	10.0	0.0	5.0	5.0
	Belirgin hasar	5.0	0.0	10.0	30.0	0.0	25.0	55.0	10.0	15.0	35.0	5.0
	Sınırlı hasar	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
KİRİŞ %	Göçme	43.8	43.8	0.0	0.0	31.3	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0	12.5
	İleri hasar	6.3	6.3	0.0	0.0	25.0	0.0	0.0	31.3	18.8	0.0	37.5
	Belirgin hasar	50.0	50.0	100.0	100.0	43.8	100.0	93.8	56.3	81.3	100.0	50.0
	Sınırlı hasar	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0



Şekil 6. Kolon ve kirişlerin deprem performans özetleri (TDY1968+TS500-1975)

Çizelge 11. TDY1975+TS500-1975 sonuçları

	Deprem Kaydı	3123	3124	3125	3126	3129	3135	3136	3139	3141	3142	3145
KOLON %	Göçme	70.0	90.0	85.0	85.0	65.0	75.0	100.0	95.0	100.0	100.0	100.0
	İleri Hasar	15.0	5.0	5.0	0.0	10.0	10.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0
	Belirgin Hasar	15.0	5.0	10.0	15.0	25.0	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Sınırlı Hasar	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
KİRİŞ %	Göçme	56.3	50.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	43.8	12.5	0.0	37.5
	İleri Hasar	6.3	12.5	0.0	12.5	12.5	0.0	0.0	6.3	37.5	0.0	12.5
	Belirgin Hasar	37.5	37.5	100.0	87.5	37.5	100.0	100.0	50.0	50.0	100.0	50.0
	Sınırlı Hasar	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

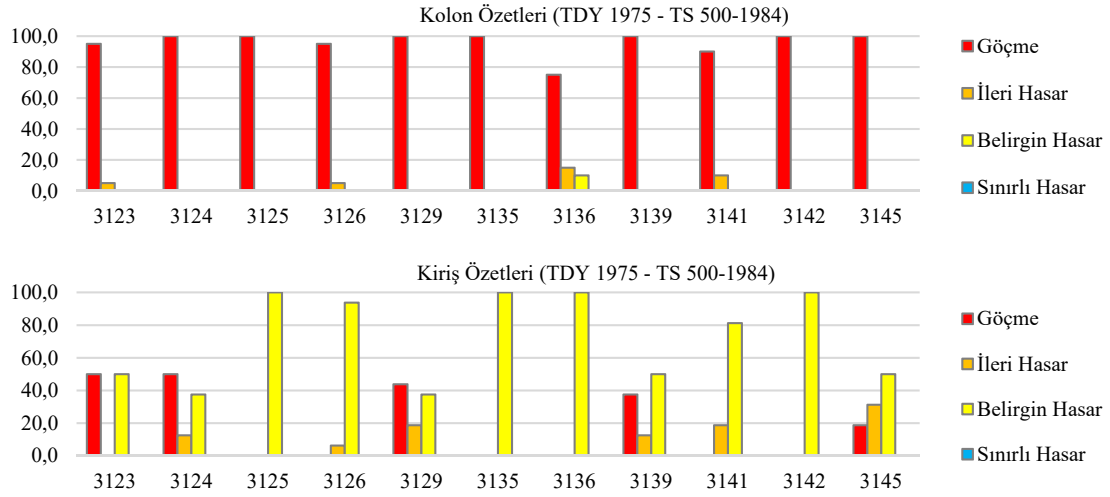
**Şekil 7.** Kolon ve kirişlerin deprem performans özetleri (TDY1975+TS500-1975)

TS500 1984 yılında önemli bir revizyona uğramış ve betonarme tasarımda taşıma gücü yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. TS500-1984'ün sadece tasarım kurallarını içermesi, deprem yüklerinin TDY1975 dikkate alınarak hesaplanması sebebi ile TDY1975 ve TS500-1984 kombinasyonunda kolon boyuna donatılarında bir miktar azalma gerçekleşmiş ve kolon kapasitelerinde düşüş gözlenmiştir. Bu durum kolon performanslarının diğer kombinasyonlara nazaran daha kötü olması ile

sonuçlanmıştır. Bu tasarım kombinasyonunda 11 istasyonun hepsi için kolonların çoğunluğunun Göçme bölgesinde olduğu belirlenmiştir. Her ne kadar kiriş kapasitelerinde bir miktar artış olsa da kolonların kötü performansları sebebi ile kirişlerin de performansları olumsuz etkilenmiştir. TDY1975 ve TS500-1984 kombinasyonu ile yapılan tasarımda da zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde ele alınan çerçevenin Göçme Performans Seviyesinde olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 12. TDY1975+TS500-1984 sonuçları

	Deprem Kaydı	3123	3124	3125	3126	3129	3135	3136	3139	3141	3142	3145
KOLON %	Göçme	95.0	100.0	100.0	95.0	100.0	100.0	75.0	100.0	90.0	100.0	100.0
	İleri Hasar	5.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	15.0	0.0	10.0	0.0	0.0
	Belirgin Hasar	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Sınırlı Hasar	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
KİRİŞ %	Göçme	50.0	50.0	0.0	0.0	43.8	0.0	0.0	37.5	0.0	0.0	18.8
	İleri Hasar	0.0	12.5	0.0	6.3	18.8	0.0	0.0	12.5	18.8	0.0	31.3
	Belirgin Hasar	50.0	37.5	100.0	93.8	37.5	100.0	100.0	50.0	81.3	100.0	50.0
	Sınırlı Hasar	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



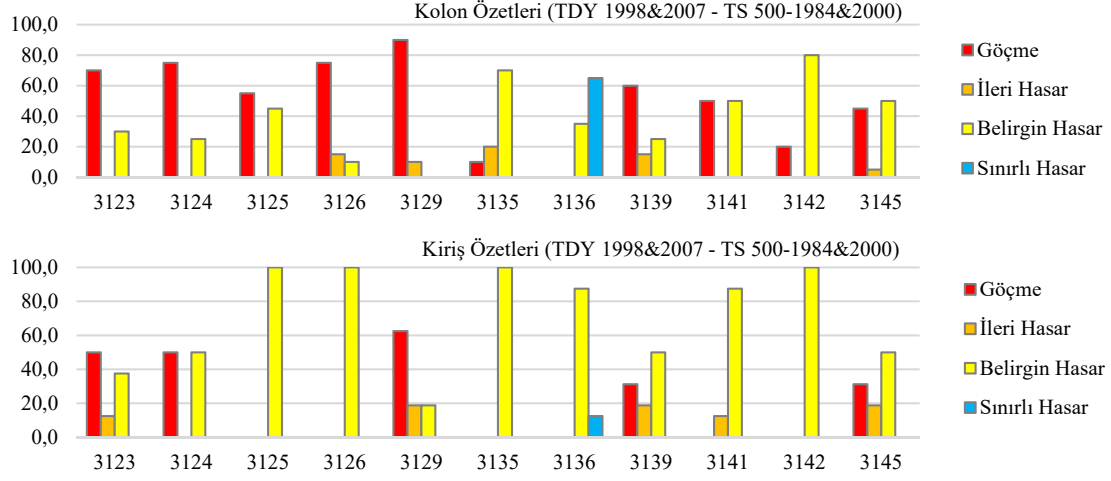
Şekil 8. Kolon ve kirişlerin deprem performans özetleri (TDY1975+TS500-1984)

TS500'ün 1984 versiyonu ile 2000 versiyonu arasında taşıma gücü yöntemi bakımından önemli farklılıkların bulunmaması, TDY1998 ile TDY2007'nin de betonarme tasarımı ve deprem yüklerinin hesabı açısından aynı olması sebebi ile TDY1998&2007+TS500-1984&2000 tasarım kombinasyonları bir kombinasyon olarak ele alınarak çerçeve tasarlanmıştır. Çerçeveye etkileyen deprem yüklerinin çok fazla artması sebebi ile yapısal eleman boyutlarında artışlar meydana gelmiş ve nihayetinde donatılar artarak kapasiteleri büyümüştür. Tasarımın iyileşmesi sebebi ile kolon performanslarının iyileştiği, diğer tasarım

kombinasyonlarından farklı olarak bu tasarım kombinasyonunda hiçbir istasyon verisinde kolonların tamamının Göçme bölgesinde olmadığı, 3123, 3124, 3126 ve 3129 istasyonlarından alınan ivme kayıtları altında yapılan analizlerde kolonların %50'nin üzerinde Göçme bölgesinde yer aldığı belirlenmiştir. Global değerlendirme yapıldığında ise yine bütün istasyonlar için kolonların Göçme Performans Seviyesinde bulunduğu gözlenmiştir. Her istasyon verisi altında Göçme bölgesinde yer alan kirişlerin bulunduğu Çizelge 11 ve Şekil 9'da görülebilir.

Çizelge 13. TDY1998&2007+TS500-1984&2000 sonuçları

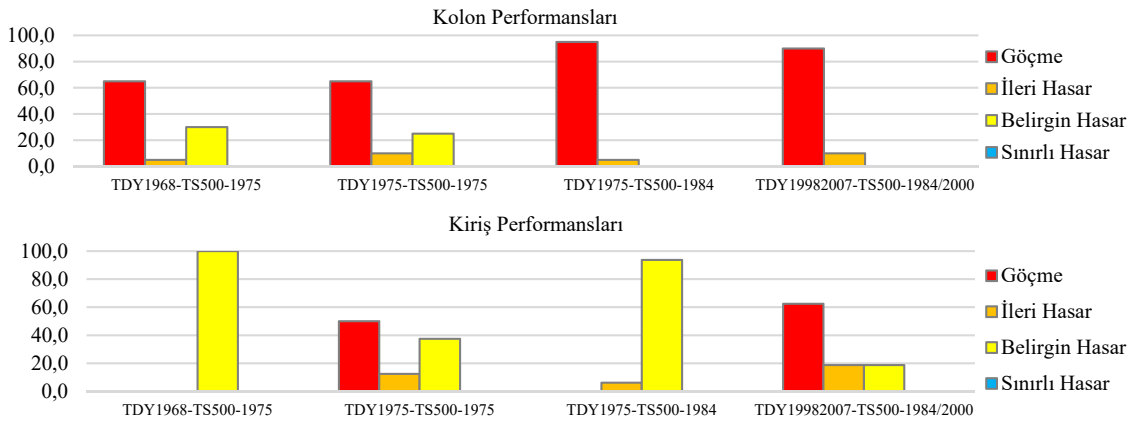
Deprem Kaydı	3123	3124	3125	3126	3129	3135	3136	3139	3141	3142	3145	
KOLON %	Göçme	70.0	75.0	55.0	75.0	90.0	10.0	0.0	60.0	50.0	20.0	45.0
	İleri Hasar	0.0	0.0	0.0	15.0	10.0	20.0	0.0	15.0	0.0	0.0	5.0
	Belirgin Hasar	30.0	25.0	45.0	10.0	0.0	70.0	35.0	25.0	50.0	80.0	50.0
	Sınırlı Hasar	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	65.0	0.0	0.0	0.0	0.0
KİRİŞ %	Göçme	50.0	50.0	0.0	0.0	62.5	0.0	0.0	31.3	0.0	0.0	31.3
	İleri Hasar	12.5	0.0	0.0	0.0	18.8	0.0	0.0	18.8	12.5	0.0	18.8
	Belirgin Hasar	37.5	50.0	100.0	100.0	18.8	100.0	87.5	50.0	87.5	100.0	50.0
	Sınırlı Hasar	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0



Şekil 9. Kolon ve kirişlerin deprem performans özetleri (TDY1998&2007+TS500-1984&2000)

Yukarıda açıklanan tasarım kombinasyonlarında tespit edilen olumsuz performanslar Şekil 10'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Sonuçlara göre, 1998 yılına kadar minimum koşullara göre tasarlanan kolonların tamamının 6 Şubat 2023 depremlerinde Göçme Performans Seviyesinde yer alacağı, TDY1998'den sonra tasarımın ve performansın nispeten iyileştiği fakat yine 6 Şubat 2023 depremlerinde yeterli performansın gösterilemediği ortaya konulmaktadır. Dolayısıyla 2007 Yönetmeliği de dahil olmak üzere, 2007 yılına kadar Deprem Yönetmeliği ile Betonarme Tasarım Standardı kullanılarak tamamen minimum

koşullarda çalışan bir bina inşa edilmesi durumunda binaların 6 Şubat 2023 depremlerinde kendisinden beklenen davranışı sergileyemeyeceği, binaların genel olarak Göçme Performans Seviyesinde olabileceği belirlenmiştir. Kirişlerin kolonlardan nispeten daha iyi davranış sergilediği, bu durumun deprem yönetmeliklerinin tasarım ilkesine uygun olmadığı çünkü ele alınan çerçevelerde öncelikli olarak kolonların uç bölgelerinde plastik mafsalların oluştuğu ve global deprem performansının bu sebeple yeterli seviyede olamadığı gözlenmiştir



Şekil 10. Tasarım kombinasyonlarının karşılaştırması

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada 1968 yılından bu yana yürürlüğe girmiş Deprem Yönetmelikleri ile Betonarme Tasarım Standartları kullanılarak minimum koşullarda tasarlanmış 4 katlı düzlem çerçevenin 6 Şubat 2023 depremlerinde Hatay Bölgesi'nde kaydedilen 11 adet ivme kaydı altındaki deprem performansı ayrıntılı bir biçimde irdelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- 1968 yılından itibaren Deprem Yönetmelikleri her büyük depremden sonra güncellenmiş ve binalara etkiyen deprem yükü sürekli olarak artırılmıştır. Örneğin ele alınan çerçevede TDY1998 veya TDY2007'de ön görülen deprem yükleri TDY1968'in iki katından fazladır. TDY1975 ile kıyaslandığında ise bu oran 1,58 olmaktadır. Tasarım deprem yüklerinin artması ile kolon ve kiriş kesit boyutları ve nihayetinde kullanılan donatılarda artışlar gözlenmiştir.
- TS500-1984 ile TS500-1975 standartları arasında tasarım farklılıkları olması sebebi ile TDY1975'teki düşük deprem yüklerinden kaynaklı olarak TS500-1984'te kolonlarda daha az donatı ihtiyacı ortaya çıkmıştır.
- En kötü çerçeve performansı TDY1975+TS500-1984 tasarım kombinasyonunda gözlenmiştir. Fakat 1998 yılına kadar yürürlükte olan yönetmelik ve standartların tamamında kolonların yetersiz performansla sahip olduğu, Hatay Bölgesi'nde kaydedilen 11 ivme kaydı altında da ele alınan çerçevelerin Göçme Performans Seviyesi'nde olduğu belirlenmiştir.
- Her ne kadar TDY1998 ile deprem yüklerindeki artışlara ilave olarak kolon ve kiriş kapasiteleri ile sünekliklerinde iyileşmeler gözlenirse de nihai performansın hedef performans olan can güvenliği veya kontrollü hasar performans seviyesine ulaşmadığı belirlenmiştir. Hatay'da kaydedilen 11 adet ivme kaydı altında yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan

analizlerde kolonların büyük bir bölümünün göçme bölgesinde yer aldığı veya kesme kuvveti kapasitesinin yetersiz olduğu gözlenmiştir.

- Kuvvetli kolon - zayıf kiriş felsefesine göre tasarlanan binalarda bile göçme performans seviyesinin meydana gelmesinin sebeplerinden biri olarak 6 Şubat 2023 depremlerinde ortaya çıkan ivmelerin deprem yönetmeliklerinin öngördüğü ivmelerden büyük olması ve moment-kesme kuvveti taleplerinin karşılanmasında mevcut yapısal elemanların yetersiz kalması gösterilebilir.

Sonuç olarak deprem yönetmeliklerinin ve ilgili standartlarının minimum koşulları da gözetilerek yapılan tasarımların yeterli deprem performansı sergileyemeyeceği görülmüştür. Kolon boyutları ve donatıları belirli bir kapasiteyi garanti etse de kolonların yeterli deprem performansını sağlayamadığı, bu hususun kolon boyutlarından kaynaklı olduğu belirlenmiştir. Kolon boyutları çerçeve rijitliğini etkileyen en önemli parametrelerden biri olduğundan çerçevenin yatay deplasmanlarının artması ile kolonların moment ve kesme taleplerinde artışlar olmaktadır. Bu taleplerin bu çalışmada ele alınan yeterli minimum kesitlerle karşılanamayacağı bir kez daha gözlemlendiğinden, deprem performansının salt donatı ile iyileştirilemeyeceği sonucuna varılmıştır. 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde yapılan yapılara mutlaka perde duvar yapıma zorunluluğu yönetmeliklere eklenmelidir.

5. KAYNAKLAR

1. Hacettepe Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2023. 06 Şubat 2023-Kahramanmaraş Pazarcık (Mw=7,7) ve Kahramanmaraş Elbistan (Mw=7,6) Depremleri İnceleme Raporu, 170.
2. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), 2020. 06 Şubat 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) Mw 7.7 ve Elbistan (Kahramanmaraş) Mw 7.6 Depremlerine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu, 12.

3. Sinan, C., 2022. Türkiye’de Kullanılan Deprem Yönetmeliklerinin Özellikleri ve Eşdeğer Deprem Yüklü Hesabının Değişimi. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi (UMAGD), 14(1), 58-71.
4. Boyd, A.G., 1983. Neden Taşıma Gücü Yöntemini Kullanmalıyız? Türkiye Mühendislik Haberleri, 1983(3), 3-16.
5. Ersoy, U., 2000. TS500-2000. Türkiye Mühendislik Haberleri, 2000(3), 406-407.
6. Ersoy, U., Tankut, T., (1996). Deprem Yönetmeliği-Uygulamaya Yönelik Kuşular ve Bazı Öneriler. Türkiye Mühendislik Haberleri, 1996(1), 33-39.
7. Öztürk, M.T., 2009. Eski Deprem Yönetmeliklerine Göre Boyutlandırılan Betonarme Binaların Güncel Yönetmeliğe Göre Deprem Performansının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 168.
8. ABYYHY, 1968. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. Resmi Gazete, Sayı: 12801.
9. Türk Standartları TS 500., 1975. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları. Resmi Gazete, Sayı: 19054.
10. ABYYHY, 1975. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. Resmi Gazete, Sayı: 15260.
11. Türk Standartları TS 500., 1984. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları. 90.
12. ABYYHY, 1997. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. Resmi Gazete, Sayı: 23098.
13. DBYBHY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Resmi Gazete, Sayı: 26454.
14. Türk Standartları TS 500., 1975. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, 81.
15. Kazaz, I., Bilge, I.H., Gürbüz, M., 2024. Near-Fault Ground Motion Characteristics and its Effects on a Collapsed Reinforced Concrete Structure in Hatay During the February 6, 2023 M_w 7.8 Kahramanmaraş Earthquake. Engineering Structures, 298(1), 23.
16. Cortez, C., Jünemann, R., Fernández, C., Urrutia, A., Crempien, J.G.F., Cienfuegos, R. 2022. Performance of an RC Building under Seismic and Tsunami Actions in Sequence via Nonlinear Dynamic Analysis Including Soil-Structure Interaction. Engineering Structures, 272(1), 18.
17. Ozturk, M., Arslan, M.H., Dogan, G., Ecemis, A.S., Arslan, H.D. 2023. School Buildings Performance in 7.7 M_w and 7.6 M_w Catastrophic Earthquakes in Southeast of Turkey. Journal of Building Engineering, 79(1), 33.
18. Computers and Structures Inc., 2023. SAP 2000 Advanced Version 21.1.0.
19. TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Resmi Gazete, Sayı: 30364.
20. Ersoy, U., 2003. Betonarme, Dördüncü Basım, Evrim Yayınevi.
21. Ersoy, U., Güney, Ö., 2001. Betonarme. Geliştirilmiş Yeni Baskı, Evrim Yayınevi.
22. Sabis, T., 1972. Betonarme. Beşinci Baskı, Çağlayan Basımevi.
23. Kınacı, Z., 1978. İki Yönlü Eğilmeli Kolonlar. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Yayınları.
24. Kınacı, Z., 1977. Kiriş ve Döşeme Donatı Çizelgeleri. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Yayınları.
25. Kınacı, Z., Onarlı, F., 1977. Kolon ve Perde Donatı Çizelgeleri. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Yayınları.
26. AFAD Türkiye İvme Veri Tabanı ve Analiz Sistemi. <https://tadas.afad.gov.tr>, Erişim tarihi: 01.03.2023.
27. PEER-NGA strong motion database. <https://ngawest2.berkeley.edu/>, Erişim tarihi: 01.02.2023.

