

Türkiye’deki Depreme Dayanıklı Çelik Çerçevesel Bina Tasarımına Retrospektif Bir Bakış

Altan ZERVENT*¹ ORCID 0009-0006-9035-1710

Ömer Burak YÜCEL² ORCID 0000-0001-9297-2939

Alper ALDEMİR³ ORCID 0000-0003-2425-9685

Barış ERDİL⁴ ORCID 0000-0001-5282-3568

¹Mitaş Endüstri ARGE Bölümü, Ankara

²DAS Construction Experts, Ankara

³Hacettepe Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara

⁴Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Van

Geliş tarihi: 29.03.2024

Kabul tarihi: 27.06.2024

Atıf şekli/ How to cite: ZERVENT, A., YÜCEL, Ö.B., ALDEMİR, A., ERDİL, B., (2024). Türkiye’deki Depreme Dayanıklı Çelik Çerçevesel Bina Tasarımına Retrospektif Bir Bakış. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(2), 453-466.

Öz

Bu çalışma, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Pazarcık (Mw=7.7) ve Kahramanmaraş Elbistan (Mw=7.6) depremlerinin, bölgedeki çelik yapı stokunun üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamıştır. Bu maksatla, depremlerden en çok etkilenen illerden olan Hatay pilot il olarak seçilmiştir. Bu doğrultuda, beş katlı bir çelik çerçeve bina, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanan “Deprem Bölgelerinden Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik Eğitimi Ders Notları” kitabından temsili olarak seçilmiş olup, 2007 Deprem Yönetmeliği ile 1980 Çelik Standardına (TS648) 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 11 adet kayıt uygulanırken kaydedilen düşey ivmeler de 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 11 adet deprem senaryosu için, sismik performanslar elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, ülkemizde geçmiş yıllarda kullanılmış olan tasarım ve deprem yönetmeliklerine uygun olarak tasarlanmış çelik çerçevesel orta yükseklikteki binaların sismik dayanımlarının Kahramanmaraş merkezli depremlerde ele alınan 11 farklı konumun hepsinde yetersiz kaldığı ve göçme durumunun önlenmesinin mümkün olmadığı ortaya konmuştur.

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

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Altan ZERVENT, azervent@mitasindustry.com

A Retrospective View on Earthquake Resistant Design of The Steel 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 steel building stock in the region. For this purpose, Hatay, one of the most affected provinces by these earthquakes, was selected as the pilot province. Accordingly, a five-story steel frame building taken from the book "Training Lecture Notes for the Buildings in Earthquake Zones" published by Ministry of Environment and Urbanization was designed in accordance with the 2007 Earthquake Regulations and the 1980 steel standards (TS648). Subsequently, numerical models of these frames were generated. 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 from the positions of stations to the building sites. A total of 11 records 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. In the scope of this study, seismic performances were obtained for a total of 11 different earthquake scenarios. The results indicate that medium-rise steel frame buildings designed in accordance with the design and earthquake regulations used in the past years in our country are all inadequate in terms of seismic resistance during earthquakes centered in Kahramanmaraş and the collapse cannot be prevented.

Keywords: Earthquake, Steel, 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. 7.7 ve 7.6 büyüklüğünde iki depremin aynı bölgede ve yaklaşık 9 saat arayla meydana gelmesi dünyada örneğine pek rastlanmayan bir durumdur [1,2]. 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 [3,4]. Depremlerden sonra yürütülen birçok saha hasar çalışmalarına göre ağır hasar alan veya yıkılmış oldukça fazla miktarda yığma ve betonarme bina bulunduğu [5,6] gözlemlenmiştir. Fakat, çelik yapıların veya çelik ile güçlendirilmiş prefabrik yapıların görece olarak daha az hasar aldığı gözlemlenmiştir [7-10]. Kahramanmaraş'ta meydana gelen depremler; 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 [3]. Ölçülen yer hareketi kayıtlarının bazı bölgelerde Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen değerlerin çok üzerinde olduğu ifade edilmiştir [1].

Ülkemizde Deprem Yönetmelikleri sırasıyla 1940, 1944, 1949, 1953, 1962, 1968, 1975, 1998, 2007 ve 2018 yıllarında; Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları ise 1980 ve 2016'da yayınlanmıştır. Aralık 1980'de yayınlanan TS 648 "Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları" Amerikan AISC/ASD (1978) yönetmeliğinin esaslarına dayanmaktadır. Şubat 2016'da yayınlanıp, Eylül 2016'da yürürlüğe giren "Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik" AISC 360-10 yönetmeliğinin esaslarına dayanmaktadır. [11,12]. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Pazarcık ($M_w=7.7$) ve Kahramanmaraş Elbistan ($M_w=7.6$) depremlerinden etkilenen bölgelerdeki çelik binalar bu yönetmeliklerdeki kurallar çerçevesinde tasarlanmıştır. Bu sebepten dolayı yaşadığımız bu

yıkıcı depremlerin etkilerinin ve sonuçlarının geçmişe yönelik bir bakış açısıyla teorik düzlemde değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışma 2007 deprem yönetmelikleri (TDY 2007) ile 1980 çelik standardına (TS648) uygun olarak tasarlanmış ve deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı bir binanın sismik yeterliliklerini Hatay bölgesindeki 11 ivme ölçerlerden alınan kayıtların özelinde değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

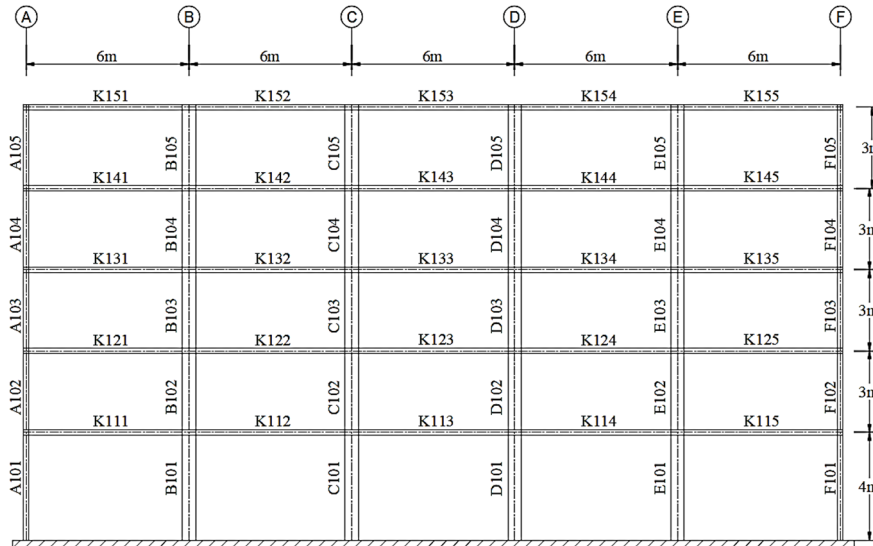
Bu çalışmada TDY 2007 [13] ve TS 648 yönetmeliklerine uygun yapılmış 5 katlı bir çelik bina ele alınacaktır. İlgili 5 katlı çelik bina 2012’de Zekai Celep, Erkan Özer ve Nuray Aydınolu tarafından yazılmış olan “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik Açıklamalar ve Örnekler Kitabı” isimli eserde hesabı yapılmış bir yapıdır [14]. Belirtilen şartname ve standarda uygun olarak bu çalışma kapsamında dizayn edilmiş olan çelik yapı, en yoğun yıkımın gerçekleştiği Hatay bölgesindeki ivmeölçerlerden alınan ivme kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemine göre SAP2000 V.25.1 programı ile analiz edilmiştir [15]. Boyutlandırması ve detaylandırılması yapılmış ve tamamen projesine göre inşa edildiği varsayılan binanın deprem etkisi altında değerlendirilmesi, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018

(TBDY2018) kuralları çerçevesinde yapılmıştır [16].

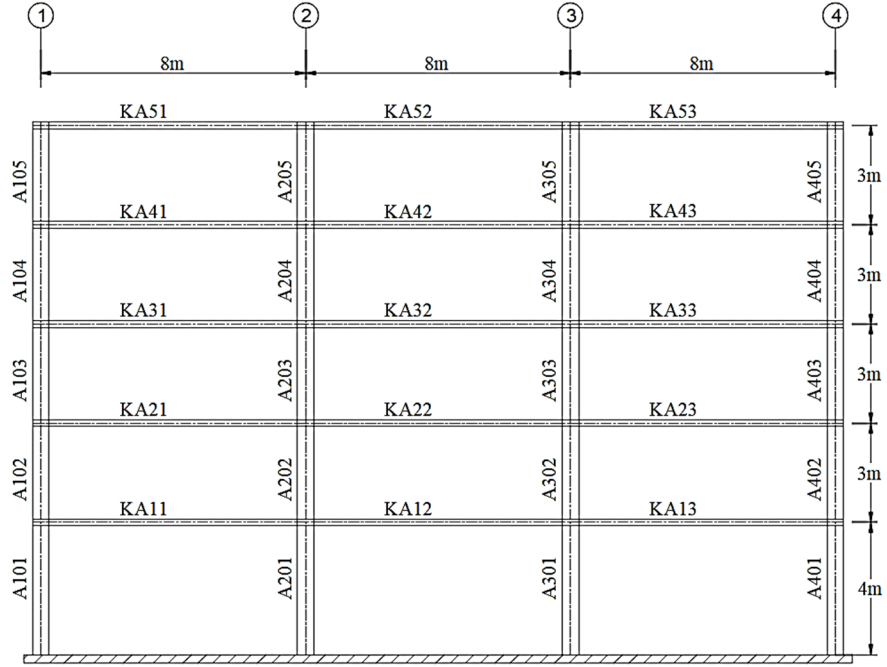
2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Bina Özellikleri

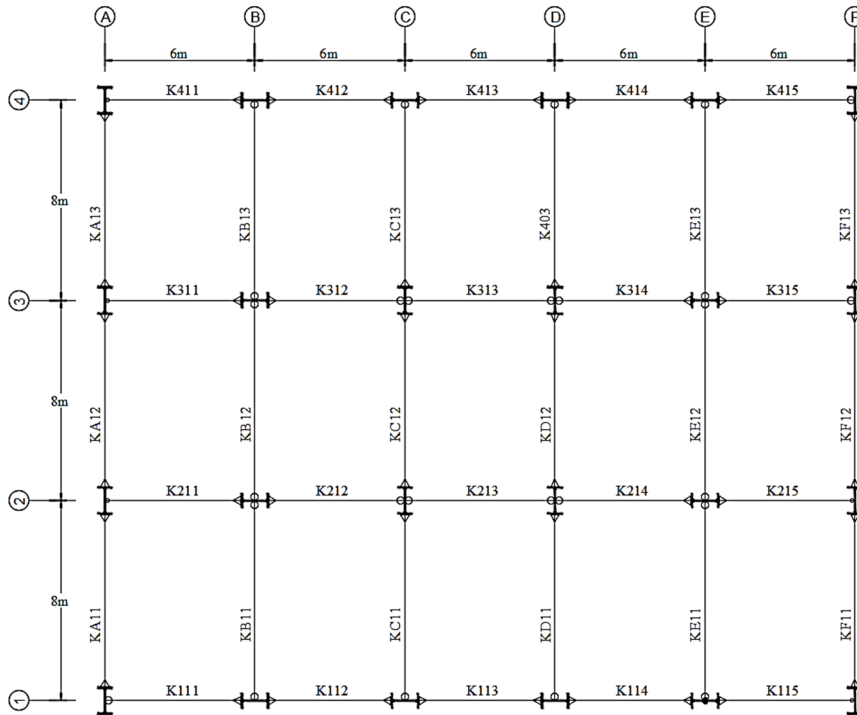
Binanın Hatay’da TDY 2007 esas alınarak Z2 zemin sınıfına sahip bir arazide inşa edildiği varsayılmış olup yapının kullanım amacının konut olduğu düşünülmüştür. Etkin yer ivmesi katsayısı $A_0=0.4$, bina önem katsayısı $I=1.0$, spektrum karakteristik periyotları $T_A=0.15s$ $T_B=0.40s$, taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=8$, hareketli yük katılım katsayısı, $n=0.30$ olarak dikkate alınmıştır [8]. Bina, 6’şar metrelik beş açıklıklı, 8’er metrelik üç açıklıklı ve yükseklikleri, ilk katı 4m sonraki katları 3’er metre olan, beş katlı kolon ve kirişlerden oluşan çelik bina olarak TDY 2007 ve TS 648 kriterlerine göre tasarlanmıştır. Çerçeve doğrultusuna dik düzlemdeki akslar arası mesafe 8 m’dir. Çalışmada binayı temsilen dikkate alınan çerçeveler Şekil 1 ve 2’de, kat planı ise Şekil 3’te görülebilir. Ayrıca, binanın taşıyıcı elemanlarının kesitleri Şekil 1-3’te belirtilmektedir. Çizelge 1’de katlara etkileyen deprem yükleri verilmiştir. Çizelge 2’de ise tasarım sonucunda bulunan yapı elemanlarının profilleri ve malzemeleri verilmiştir.



Şekil 1. Taşıyıcı sistem geometrisi- 1 Aksı



Şekil 2. Taşıyıcı sistem geometrisi – A aksı



Şekil 3. Bina kat planı (İkincil kirişler gösterilmemiştir)

Çizelge 1. Katlara etkiyen deprem kuvvetleri TDY2007+TS648-1980

Deprem doğrultusu	1.Kat (kN)	2.Kat (kN)	3.Kat (kN)	4.Kat (kN)	5.Kat (kN)	Toplam (kN)
F_{ix}	98.51	172.37	246.11	319.97	349.04	1186.0
F_{iy}	91.72	160.48	229.14	297.90	324.96	1104.2

Çizelge 2. Taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit profilleri ve malzemesi (TDY2007+TS648-1980)

Taşıyıcı sistem elemanı	Enkesit profili	Yapı çeliği
İkincil kirişler (tüm katlarda)	IPE 360	Fe37
Ana kirişler (tüm katlarda)	HE 400 A	Fe37
+0.00 / + 7.00 kotları arasındaki tüm kolonlar	HE 550 B	Fe37
+7.00 / + 16.00 kotları arasındaki tüm kolonlar	HE 550 A	Fe37

2.2. Model Detayları

Yapının sonlu elemanlar modelleme ve analizi 3 boyutlu olarak SAP2000 v.25.1 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kolonlar, birincil ve ikincil kirişler ilgili kesit boyutları programa girilerek çubuk eleman olarak modellenmiştir. Bütün kolonlar zemine rijit bir şekilde bağlanmıştır.

Kat döşemeleri, çelik kirişlere mesnetlenen ve trapez profil sac levhalar üzerinde yerinde dökme betonarme olarak inşa edilen kompozit döşeme sisteminden meydana gelmektedir. Düzlemi içinde rijit bir diyafram oluşturan betonarme döşemelerin çelik kirişlere bağlantısı için, boyutları ve yerleşimi konstrüktif olarak seçilen kayma çivilerinden faydalanılmıştır. Döşeme yükleri normal katlarda zati yükler (çelik konstrüksiyon hariç) $g=3.8\text{kN/m}^2$, hareketli yükler $q=2.0\text{kN/m}^2$ olarak; çatı katında ise zati yükler (çelik konstrüksiyon hariç) $g=4.1\text{kN/m}^2$, hareketli yükler $q=1.0\text{kN/m}^2$ olarak alınmıştır. Normal katlardaki duvar yükleri 3.0kN/m olarak dikkate alınmıştır. Katlara etkiyen deprem yükleri ise yönetmeliklerin ilgili maddelerine uygun olarak hesaplanmış ve bu değerler Çizelge 1’de sunulmuştur. [8]

2.3. Yer Hareketleri

İncelenen çelik çerçevelerin deprem performansları zaman tanım alanında analizler yoluyla belirleneceğinden yer hareketlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, 6 Şubat 2023

depremlerinde, Şekil 4’te gösterildiği üzere, Hatay bölgesinde 11 istasyonda doğu-batı ve kuzey-güney doğrultusunda kaydedilen yatay ivme kayıtları ile düşey doğrultuda kaydedilen ivme kayıtları kullanılmıştır [11]. Bütün ivme kayıtlarının tasarım ivme spektrumları doğu-batı yönü için Şekil 5’te, kuzey-güney yönü için Şekil 6’da ve düşey doğrultu için Şekil 7’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 5’te 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 istasyonda $1.08g$ olarak hesaplanmıştır. Spektrum görsellerinde ayrıca istasyonların ortalama, ortalama+standart sapma ve ortalama-standart sapma grafikleri de gösterilmektedir. Sunulan spektrumlardan görüleceği üzere ilgili bölgede 2007 Deprem Yönetmeliği’nin 1.5 kat artırılmış spektrum eğrisi ile 2018 Deprem Yönetmeliği’nin DD1 düzeyi için belirlediği tasarım spektrumları 11 ivme kaydının ortalama-standart sapma değerine karşılık gelmektedir. DD2 düzeyi dikkate alındığında ise Deprem Yönetmeliklerinin tasarım spektrumlarının ivme kayıtlarından elde edilen spektrumların altında olduğu belirlenmiştir. 1975 Deprem Yönetmeliği’nin tasarım spektrumlarının hem 6 Şubat 2023 depremlerinin ivme spektrumlarından, hem de 2007 ile 2018 Deprem Yönetmeliği’nin

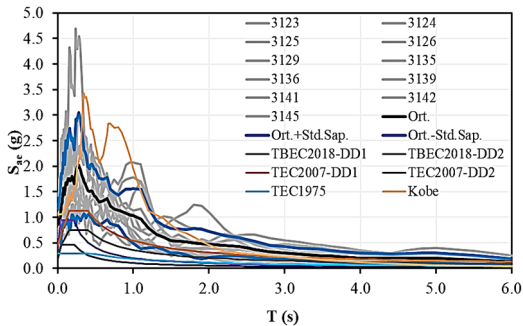
tasarım spektrumlarının altında kaldığı gözlenmiştir. Ayrıca, kıyaslamak amacıyla 1995 yılında gerçekleşmiş olan Kobe Depremi'ne ait kayıtlar da [12] spektrumlarına eklenmiş olup, 6 Şubat depremlerine ilişkin ivme değerlerinin büyük kısmının Kobe Depremi'nde ortaya çıkan değerlerden daha büyük olduğu ortaya koyulmuştur.



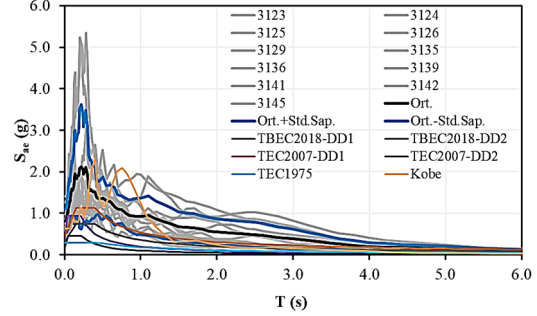
Şekil 4. Çalışmada kullanılan istasyonlar

2.4. Yöntem

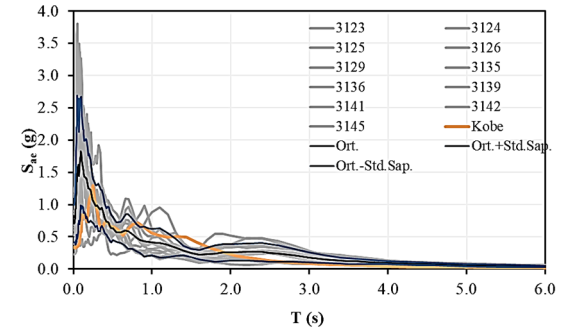
3 boyutlu çerçeve olarak modellenen yapı TBDY2018 Bölüm 5.7 kurallarına göre [10] daha önce belirtilen 11 adet ivme kaydı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntem ile analiz edilmiş ve TBDY2018 Bölüm 15 ile Ek 5C kurallarına göre her bir taşıyıcı elemanın deprem performans analizleri yapılmıştır.



Şekil 5. Doğu-Batı yatay deprem spektrumları



Şekil 6. Kuzey-Güney yatay deprem spektrumları



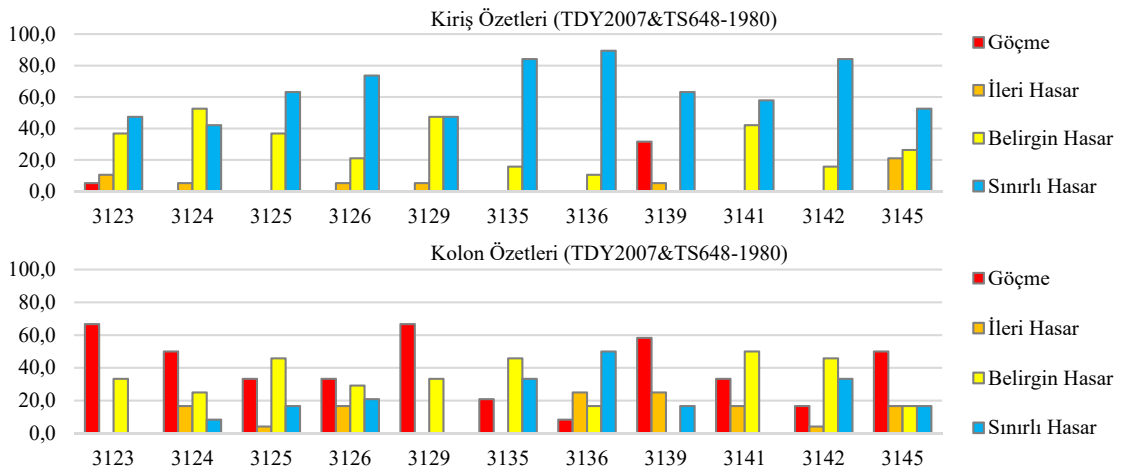
Şekil 7. Düşey Deprem Spektrumları

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Analiz sonuçları kat bazlı olarak Çizelge 3 ile 7 arasında özetlenmiş, Şekil 8 ile 13 arasında ise grafiksel olarak gösterilmiş ve detaylı analiz sonuçları ise ekte verilmiştir. Şekil 13'te TDY 2007 ve TS 648-1980'e göre tasarlanmış binanın tüm elemanlarının deprem performans özeti her bir istasyon verisi için ayrı ayrı verilmiştir. Sonuçlar, 11 istasyon verisine göre yapılan değerlendirmede kolonların bir kısmının Göçme bölgesinde yer aldığını göstermektedir. Birinci kat kiriş performansları dikkate alındığında ise sadece 3123 nolu istasyon verisine göre kirişlerin %5.3'ü Göçme bölgesinde, geri kalanı ise Belirgin Hasar ve Sınırlı Hasar bölgesinde bulunmaktadır. 3139 nolu istasyonda %31.6'sı Göçme bölgesinde; geri kalanı ise, İleri Hasar, Belirgin Hasar ve Sınırlı Hasar bölgelerinde bulunmaktadır. Diğer istasyon kayıtlarına göre yapılan analizlerde ise kirişlerde göçme görülmemektedir. Birinci kat kolonlarında ise tüm istasyonlarda göçme performansına ulaşan kolonlar bulunmaktadır.

Çizelge 3. Birinci kat sonuçları (TDY2007+TS648-1980)

	Deprem Kaydı	3123	3124	3125	3126	3129	3135	3136	3139	3141	3142	3145
KİRİŞ %	Göçme	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.6	0.0	0.0	0.0
	İleri Hasar	10.5	5.3	0.0	5.3	5.3	0.0	0.0	5.3	0.0	0.0	21.1
	Belirgin Hasar	36.8	52.6	36.8	21.1	47.4	15.8	10.5	0.0	42.1	15.8	26.3
	Sınırlı Hasar	47.4	42.1	63.2	73.7	47.4	84.2	89.5	63.2	57.9	84.2	52.6
KOLON %	Göçme	66.7	50.0	33.3	33.3	66.7	20.8	8.3	58.3	33.3	16.7	50.0
	İleri Hasar	0.0	16.7	4.2	16.7	0.0	0.0	25.0	25.0	16.7	4.2	16.7
	Belirgin Hasar	33.3	25.0	45.8	29.2	33.3	45.8	16.7	0.0	50.0	45.8	16.7
	Sınırlı Hasar	0.0	8.3	16.7	20.8	0.0	33.3	50.0	16.7	0.0	33.3	16.7

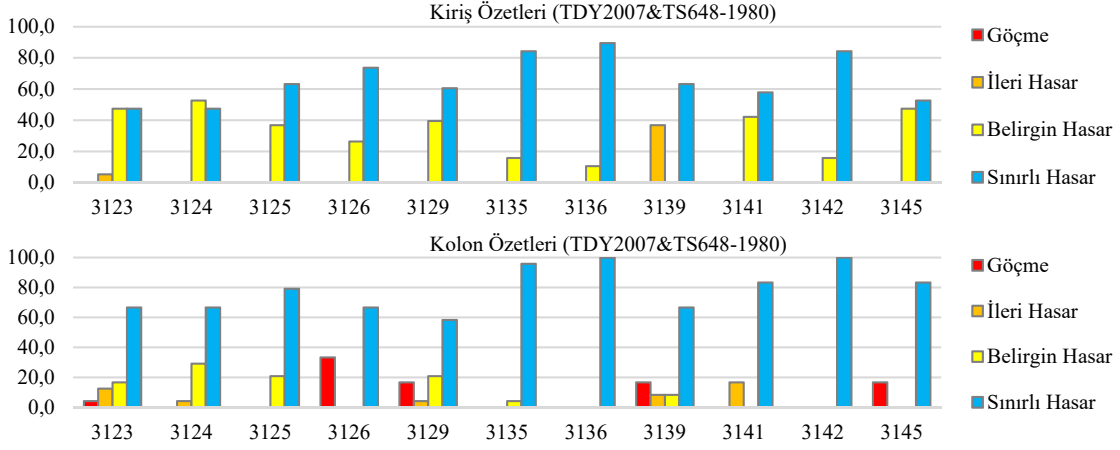
**Şekil 8.** Birinci Kat Kolon ve kirişlerin deprem performans özetleri (TDY2007+TS648-1980)

İkinci kat kiriş performansları dikkate alındığında ise sadece 3129 nolu istasyon verisine göre kirişlerin %36.8'i İleri Hasar bölgesinde, geri kalanı ise Belirgin Hasar ve Sınırlı Hasar bölgesinde bulunmaktadır. Diğer istasyon kayıtlarına göre

yapılan analizlerde ise kirişlerde göçme veya ileri hasar görülmemektedir. İkinci kat kolonlarında 3123, 3126, 3129, 3139 ve 3145 istasyonlarında kolonların bir kısmı göçme performansına ulaşmaktadır.

Çizelge 4. İkinci kat sonuçları (TDY2007+TS648-1980)

	Deprem Kaydı	3123	3124	3125	3126	3129	3135	3136	3139	3141	3142	3145
KİRİŞ %	Göçme	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	İleri Hasar	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.8	0.0	0.0	0.0
	Belirgin Hasar	47.4	52.6	36.8	26.3	39.5	15.8	10.5	0.0	42.1	15.8	47.4
	Sınırlı Hasar	47.4	47.4	63.2	73.7	60.5	84.2	89.5	63.2	57.9	84.2	52.6
KOLON %	Göçme	4.2	0.0	0.0	33.3	16.7	0.0	0.0	16.7	0.0	0.0	16.7
	İleri Hasar	12.5	4.2	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0	8.3	16.7	0.0	0.0
	Belirgin Hasar	16.7	29.2	20.8	0.0	20.8	4.2	0.0	8.3	0.0	0.0	0.0
	Sınırlı Hasar	66.7	66.7	79.2	66.7	58.3	95.8	100	66.7	83.3	100	83.3

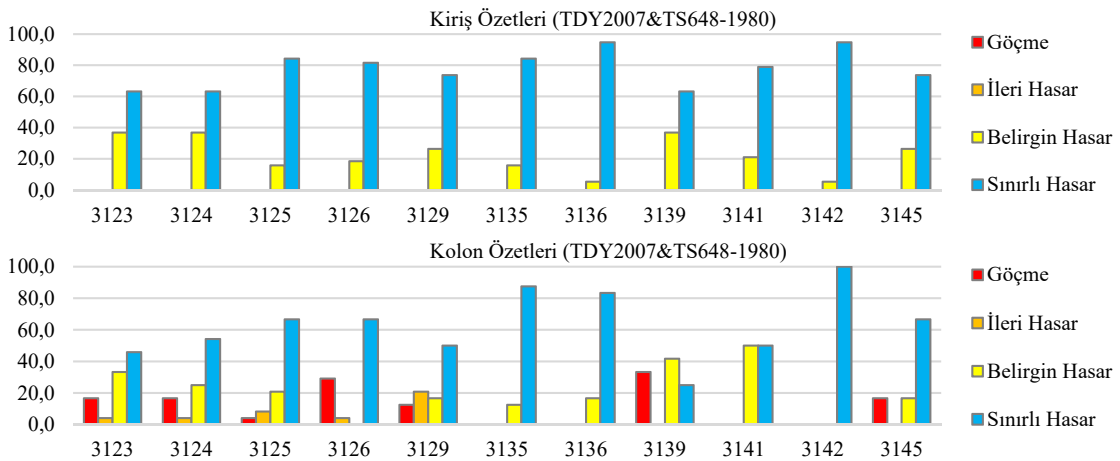


Şekil 9. İkinci Kat Kolon ve kirişlerin deprem performans özetleri (TDY2007+TS648-1980)

Üçüncü kat kirişlerindeki hasar seviyeleri tüm istasyonlarda Belirgin Hasar ve Sınırlı Hasar bölgesindedir. Üçüncü kat kolonlarında ise 3123, 3124, 3125, 3126, 3129, 3139 ve 3145 istasyonlarında göçme performansına ulaşanlar vardır.

Çizelge 5. Üçüncü kat TDY2007+TS648-1980 sonuçları

	Deprem Kaydı	3123	3124	3125	3126	3129	3135	3136	3139	3141	3142	3145
KİRİŞ %	Göçme	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	İleri Hasar	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Belirgin Hasar	36.8	36.8	15.8	18.4	26.3	15.8	5.3	36.8	21.1	5.3	26.3
	Sınırlı Hasar	63.2	63.2	84.2	81.6	73.7	84.2	94.7	63.2	78.9	94.7	73.7
KOLON %	Göçme	16.7	16.7	4.2	29.2	12.5	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0	16.7
	İleri Hasar	4.2	4.2	8.3	4.2	20.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Belirgin Hasar	33.3	25.0	20.8	0.0	16.7	12.5	16.7	41.7	50.0	0.0	16.7
	Sınırlı Hasar	45.8	54.2	66.7	66.7	50.0	87.5	83.3	25.0	50.0	100	66.7



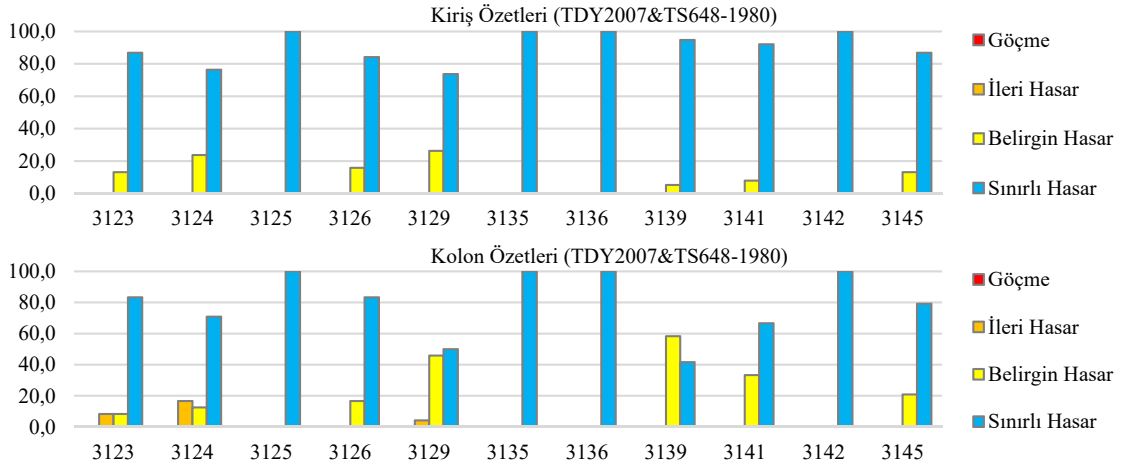
Şekil 10. Üçüncü kat kolon ve kirişlerin deprem performans özetleri (TDY2007+TS648-1980)

Dördüncü kat kiriş performansları incelendiğinde, tüm istasyonlarda kirişlerin Belirgin Hasar ve Sınırlı Hasar bölgesinde bulunduğu tespit edilmiştir. Dördüncü kat kolonlarında sadece 3123,

3124 ve 3129 istasyonunda kolonların bir kısmının İleri Hasar performansına ulaştığı gözlemlenmektedir. Diğer kolonlar ise Belirgin Hasar ve Sınırlı Hasar bölgelerindedir.

Çizelge 6. Dördüncü kat TDY2007+TS648-1980 sonuçları

Deprem Kaydı		3123	3124	3125	3126	3129	3135	3136	3139	3141	3142	3145
KİRİŞ %	Göçme	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	İleri Hasar	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Belirgin Hasar	13.2	23.7	0.0	15.8	26.3	0.0	0.0	5.3	7.9	0.0	13.2
	Sınırlı Hasar	86.8	76.3	100	84.2	73.7	100	100	94.7	92.1	100	86.8
KOLON %	Göçme	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	İleri Hasar	8.3	16.7	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Belirgin Hasar	8.3	12.5	0.0	16.7	45.8	0.0	0.0	58.3	33.3	0.0	20.8
	Sınırlı Hasar	83.3	70.8	100	83.3	50.0	100	100	41.7	66.7	100	79.2



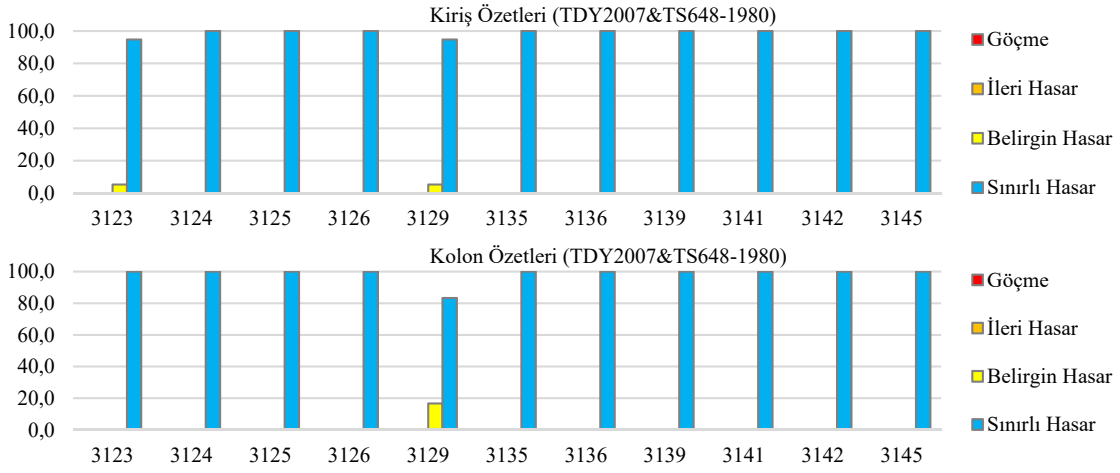
Şekil 11. Dördüncü kat kolon ve kirişlerin deprem performans özetleri (TDY2007+TS648-1980)

Beşinci kat kiriş performansları dikkate alındığında tüm istasyonlarda kirişler Belirgin Hasar ve Sınırlı Hasar bölgesinde bulunmaktadır. Beşinci kat kolonları incelendiğinde ise sadece 3129

istasyonunda kolonların bir kısmının Belirgin Hasar performansına ulaştığı, diğerlerinin ise Sınırlı Hasar bölgesinde kaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 7. Beşinci kat TDY2007+TS648-1980 sonuçları

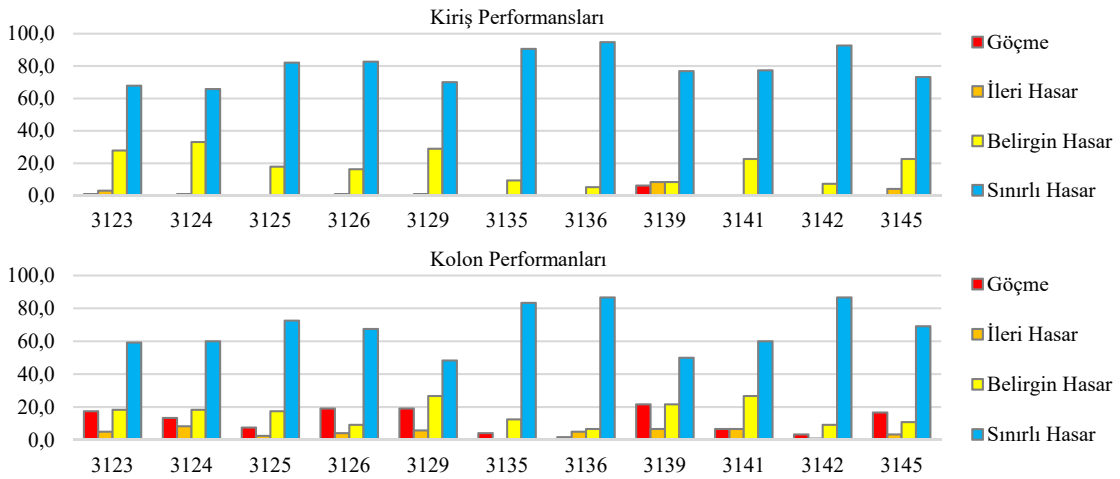
Deprem Kaydı		3123	3124	3125	3126	3129	3135	3136	3139	3141	3142	3145
KİRİŞ %	Göçme	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	İleri Hasar	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Belirgin Hasar	5.3	0.0	0.0	0.0	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Sınırlı Hasar	94.7	100	100	100	94.7	100	100	100	100	100	100
KOLON %	Göçme	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	İleri Hasar	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Belirgin Hasar	0.0	0.0	0.0	0.0	16.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Sınırlı Hasar	100	100	100	100	83.3	100	100	100	100	100	100



Şekil 12. Beşinci kat kolon ve kirişlerinin deprem performans özetleri (TDY2007+TS648-1980)

Sonuçlara göre, 1998 ve 2007 yılı Deprem Yönetmelikleri kullanılarak TS 648'deki minimum koşullara göre tasarlanan kolonların, 3136 istasyonu hariç, tamamının 6 Şubat 2023 Depremlerinde Göçme Performans Seviyesinde yer alacağı ve 6 Şubat 2023 Depremlerinde yeterli performansı gösteremediği ortaya çıkmıştır. Kirişlerin kolonlardan çok 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 olmadığı gözlenmiştir. Ekler bölümünde örnek olarak bir kolon hesabı sunulmuştur.



Şekil 13. Tüm bina elemanları

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada 2007 Deprem Yönetmeliği ile TS 648 kullanılarak minimum koşullarda tasarlanmış 5 katlı çelik binanın 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:

• 6 Şubat 2023 Depremlerinde Hatay'da 11 istasyonda kaydedilen ivme kayıtları kullanılarak yapılan analizlerin tüm istasyonlar için global performans değerlendirmesi yapıldığında ele alınan çerçevenin Göçme Performans Seviyesinde olduğu ve hedeflenen Kontrollü Hasar Performans Seviyesini karşılayamadığı belirlenmiştir.

• Hatay'da kaydedilen 11 adet ivme kaydından tümünde yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde kolonların bir bölümünün göçme bölgesinde yer aldığı gözlenmiştir. 3129 ve 3123 istasyonları kaydı ile yapılan analizlerde bina en kötü performansı sergilemiştir.

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

• Deprem kayıtlarında görülen çok yüksek düzey ivme değerlerinin, güçlü kolon – zayıf kiriş davranışı oluşmaksızın, kolonların eksenel yük altında plastikleşmesiyle göçme durumu oluşmasına yol açtığı gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak deprem yönetmeliğinin ve çelik yapılar standardının minimum koşulları gözetilerek deprem yüklerinin sadece çerçeveye taşındığı yapılarda yeterli deprem performansı sergileyemeyeceği görülmüştür. Kolon boyutları 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 taleplerinde artışlar olmaktadır. Bu taleplerin bu çalışmada ele alınan yeterli minimum kesitlerle karşılanamayacağı gözlenmiştir. 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde yapılan orta yükseklikteki çelik yapılara, çelik çapraz kullanıma zorunluluğu yönetmeliklere eklenmelidir.

5. KAYNAKLAR

1. Yakut, A., Binici, B., 2023. Ülkemizdeki Riskli Yapıların Genel Özellikleri ve Deprem Performansı. Çevre, Şehir ve İklim Dergisi Deprem ve Kentsel Dönüşüm, 4, 220-237.
2. Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. 2023 Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri Raporu (Mart 2023), 142.
3. Hacettepe Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2023. 06 Şubat 2023-Kahramanmaraş Pazarcık (Mw=7,7) ve Kahramanmaraş Elbistan (Mw=7,6) Depremleri İnceleme Raporu (Mart 2023), 170.
4. 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.
5. Vuran, E., Serhatoğlu, C., Timurağaoğlu, M.Ö., Smyrou, E., Bal, İ.E., Livaoğlu, R., 2024. Damage Observations of RC Buildings From 2023 Kahramanmaraş Earthquake Sequence and Discussion on the Seismic Code Regulations. Bulletin of Earthquake Engineering.
6. Oztürk, S., Altunsoy, E., Günes, O., Sarı, A. 2024. Investigation of Industrial Structure Performances in the Hatay and Gaziantep Provinces During the Türkiye Earthquakes on February 6, 2023. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 179(1).
7. Altunsoy, E., Günes, O., Oztürk, S., Sorosh, S., Sarı, A., Beeson, S.T., 2024. Investigating the Structural Damage in Hatay Province after Kahramanmaraş,-Türkiye Earthquake Sequences. Engineering Failure Analysis 157(1).
8. Atmaca, B., Arslan, M.E., Emiroğlu, M., Altunışık, A.C., Adanur, S., Demir, A., Günaydın, M., Kırtel, O., Tatar, T., Kahya, V., Sunca, F., Okur, F.Y., Hacıfendioğlu, K., Dok, G., Öztürk, H., Vural, İ., Güleş, O., Genç, A.F., Demirkaya, E., Yurdakul, M., Nas, M., Akbulut, Y.E., Baltacı, A., Temel, B.A., Başağa, H.B., Sarıbıyık, A., Şen, F., Aykanat, B., Öztürk, İ.Ş., Navdar, M.B., Aydın, F., Öntürk, K., Utkucu, M., Akgül, T., 2023. On the Earthquake-Related Damages of Civil Engineering Structures within

- the Areas Impacted by Kahramanmaraş Earthquakes. *Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics*, 6(2).
9. Arslan, M.H., Dere, Y., Ecemiş, A.S., Doğan, G., Öztürk, M., Korkmaz, S.Z. 2024. Code-Based Damage Assessment of Existing Precast Industrial Buildings Following the February 6th, 2023 Kahramanmaraş Earthquakes (Pazarcık Mw 7.7 and Elbistan Mw7.6). *Journal of Building Engineering*, 86(1).
 10. Demir, A., Celebi, E., Ozturk, H., Ozcan, Z., Ozocak, A., Bol, E., Sert, S., Sahin, F.Z., Arslan, E., Yaman, Z.D., Utkucu, M., Mert, N., 2024. Destructive Impact of Successive High Magnitude Earthquakes Occurred in Türkiye's Kahramanmaraş on February 6, 2023. *Bulletin of Earthquake Engineering*.
 11. TS 648 (Türk Standartları). (Aralık 1980). Çelik Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, 49.
 12. Yorgun C., Topkaya C., Vatansever C., 2016. Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016 Eğitim Notları. T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 472.
 13. DBYBHY, 1997. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. (Mayıs 2007), Resmi Gazete.
 14. Aydınöğlü N., Celep Z., Özer E., Sucuoğlu H., 2009. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik Açıklamalar ve Örnekler Kitabı. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, 643.
 15. Computers and Structures Inc., 2023. SAP 2000 Advanced Version 25.1.0.
 16. TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Resmi Gazete, Sayı: 30364.
 17. AFAD Türkiye İvme Veri Tabanı ve Analiz Sistemi. <https://tadas.afad.gov.tr>, Erişim Tarihi: 01.03.2023.
 18. PEER-NGA Strong Motion Database. <https://ngawest2.berkeley.edu/>, Erişim Tarihi: 01.02.2023.

6. EKLER

Eksenel yüklerdeki yüksek basınç değerlerinden biri B301 numaralı kolondaki 3129 İstasyon kayıtlarının analizinden ölçülen 3223.32 kN'dur. Kolonun eksenel yük kapasitesi 5112.5 kN'dur. Kolonun kuvvetli yönünde oluşan plastik dönmesi 0.014 radyan, zayıf yönde oluşan plastik dönmesi ise 0.047 radyandır. TBDY2018 Ek 5C.1.2'deki kurala göre çelik elemandaki eksenel yük, plastikleşme anında çelik elemanın beklenen eksenel basınç dayanımının yarısından fazla ise kolonlarda doğrusal olmayan şekil değiştirmelere müsaade edilmemektedir.

$$K_x = 1.0$$

$$\frac{K_x * L}{i_x} = \frac{1.0 * 4000mm}{232mm} = 17.24 < 4.71 * \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$= 4.71 * \sqrt{\frac{200000MPa}{235MPa}}$$

$$= 137.4$$

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{L}{i_x}\right)^2} = \frac{\pi^2 * 200000MPa}{\left(\frac{4000mm}{232mm}\right)^2}$$

$$= 6633.5MPa$$

$$\frac{F_y}{F_{ex}} = \frac{235MPa}{6633.5MPa} = 0.035 \leq 2.25$$

$$F_{crx} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_{ex}}\right] * F_y$$

$$= \left[0.658 \frac{235MPa}{6633.5MPa}\right] * 235MPa$$

$$= 231.5MPa$$

$$K_y = 1.0$$

$$\frac{K_y * L}{i_y} = \frac{1.0 * 4000mm}{71.7mm} = 55.78 < 4.71 * \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$= 4.71 * \sqrt{\frac{200000MPa}{235MPa}} = 137.4$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{L}{i_y}\right)^2} = \frac{\pi^2 * 200000MPa}{\left(\frac{4000mm}{71.7mm}\right)^2} = 633.5MPa$$

$$\frac{F_y}{F_{ey}} = \frac{235MPa}{633.5MPa} = 0.37 \leq 2.25$$

$$F_{cry} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_{ey}}\right] * F_y$$

$$= \left[0.658 \frac{235MPa}{633.5MPa}\right] * 235MPa = 201.2MPa$$

$$K_z = 1.0$$

$$F_{ez} = \left[\frac{\pi^2 * E * C_w}{(L)^2} + G * J\right] * \frac{1}{I_x + I_y}$$

$$F_{ez} = \left[\frac{\pi^2 * 200000MPa * 8.856 * 10^{12}mm^6}{(4000mm)^2} + 77200MPa * 6003000mm^4\right]$$

$$* \frac{1}{(1367 + 130.8)10^6 * mm^6} = 1038MPa$$

$$\frac{F_y}{F_{ez}} = \frac{235MPa}{1038MPa} = 0.226 \leq 2.25$$

$$F_{crz} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_{ez}}\right] * F_y$$

$$= \left[0.658 \frac{235MPa}{1038MPa}\right] * 235MPa = 213.7MPa$$

$$P_n = A_g * F_{cr,min} = 25410mm^2 * 201.2MPa$$

$$= 5112.5kN$$

$$P = 3223.32 kN > \frac{P_n}{2} = \frac{5112.5kN}{2}$$

$$= 2556.25kN$$

olduğundan dolayı doğrusal olmayan şekil değiştirmelere müsaade edilmez. Dolayısı ile kolon göçme bölgesindedir.

Ek Çizelge: Yapısal bileşenlerin tüm kayıtlar altında gösterdikleri performans seviyeleri

Eleman Tipi	Eleman	Kat	Deprem										
			3123	3124	3125	3126	3129	3135	3136	3139	3141	3142	3145
Kiriş	K211	1	KH	KH	KH	KH	KH	SH	SH	GÖCME	KH	SH	GÖ
Kiriş	K212	1	KH	KH	KH	SH	KH	SH	SH	GÖCME	KH	KH	GÖ
Kiriş	K214	1	KH	KH	KH	KH	KH	SH	SH	GÖCME	KH	SH	GÖ
Kiriş	K215	1	KH	KH	KH	SH	KH	SH	SH	GÖCME	KH	KH	GÖ
Kiriş	K311	1	KH	KH	KH	KH	KH	SH	SH	GÖCME	KH	SH	GÖ
Kiriş	K312	1	KH	KH	KH	SH	KH	SH	SH	GÖCME	KH	KH	GÖ
Kiriş	K314	1	KH	KH	KH	KH	KH	SH	SH	GÖCME	KH	SH	GÖ
Kiriş	K315	1	KH	KH	KH	SH	KH	SH	SH	GÖCME	KH	KH	GÖ
Kiriş	KC11	1	GÖ	KH	KH	KH	KH	SH	SH	GÖCME	SH	SH	KH
Kiriş	KC12	1	GÖCME	GÖ	KH	GÖ	GÖ	SH	KH	GÖCME	KH	KH	KH
Kiriş	KC13	1	GÖ	KH	KH	KH	KH	SH	SH	GÖ	SH	SH	SH
Kiriş	KD11	1	GÖ	KH	KH	KH	KH	SH	SH	GÖCME	SH	SH	KH
Kiriş	KD12	1	GÖCME	GÖ	KH	GÖ	GÖ	SH	KH	GÖCME	KH	KH	KH
Kiriş	KD13	1	GÖ	KH	KH	KH	KH	SH	SH	GÖ	SH	SH	SH
Kiriş	K221	2	KH	KH	KH	KH	SH	SH	SH	GÖ	KH	SH	KH
Kiriş	K222	2	KH	KH	KH	SH	SH	SH	SH	GÖ	KH	KH	KH
Kiriş	K224	2	KH	KH	KH	KH	KH	SH	SH	GÖ	KH	SH	KH
Kiriş	K225	2	KH	KH	KH	SH	SH	SH	SH	GÖ	KH	KH	KH
Kiriş	K321	2	KH	KH	KH	KH	KH	SH	SH	GÖ	KH	SH	KH
Kiriş	K322	2	KH	KH	KH	SH	SH	SH	SH	GÖ	KH	KH	KH
Kiriş	K324	2	KH	KH	KH	KH	KH	SH	SH	GÖ	KH	SH	KH
Kiriş	K325	2	KH	KH	KH	SH	SH	SH	SH	GÖ	KH	KH	KH
Kiriş	KC21	2	KH	KH	KH	KH	KH	SH	KH	GÖ	SH	SH	KH
Kiriş	KC22	2	GÖ	KH	KH	KH	KH	SH	SH	GÖ	KH	KH	KH
Kiriş	KC23	2	KH	KH	KH	KH	KH	SH	SH	GÖ	SH	SH	SH
Kiriş	KD21	2	KH	KH	KH	KH	KH	SH	SH	GÖ	SH	SH	KH
Kiriş	KD22	2	GÖ	KH	KH	KH	KH	SH	KH	GÖ	KH	KH	KH
Kiriş	KD23	2	KH	KH	KH	KH	KH	SH	SH	GÖ	SH	SH	SH
Kolon	A201	1	KH	KH	KH	KH	KH	SH	SH	GÖ	KH	SH	GÖCME
Kolon	A301	1	KH	KH	KH	KH	KH	SH	SH	GÖCME	KH	SH	GÖCME
Kolon	B101	1	GÖCME	GÖCME	KH	KH	GÖCME	KH	SH	GÖ	KH	KH	GÖ
Kolon	B201	1	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖ	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME
Kolon	B301	1	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME
Kolon	B401	1	GÖCME	GÖCME	KH	KH	GÖCME	KH	SH	GÖ	GÖ	KH	GÖ
Kolon	C101	1	GÖCME	GÖ	KH	GÖ	GÖCME	KH	SH	GÖCME	KH	KH	KH
Kolon	C201	1	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖ	GÖCME	GÖCME	KH	GÖCME
Kolon	C301	1	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	KH	GÖ	GÖCME	GÖCME	KH	GÖCME
Kolon	C401	1	GÖCME	GÖ	KH	GÖ	GÖCME	KH	KH	GÖCME	KH	KH	KH
Kolon	D101	1	GÖCME	GÖ	KH	GÖ	GÖCME	KH	KH	GÖCME	KH	KH	KH
Kolon	D201	1	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	KH	GÖ	GÖCME	GÖCME	GÖ	GÖCME
Kolon	D301	1	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	KH	GÖ	GÖCME	GÖCME	KH	GÖCME
Kolon	D401	1	GÖCME	GÖ	KH	GÖ	GÖCME	KH	KH	GÖCME	KH	KH	KH
Kolon	E101	1	GÖCME	GÖCME	KH	KH	GÖCME	KH	SH	GÖ	GÖ	KH	GÖ
Kolon	E201	1	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖ	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME
Kolon	E301	1	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME
Kolon	E401	1	GÖCME	GÖCME	GÖ	KH	GÖCME	KH	SH	GÖ	GÖ	KH	GÖ
Kolon	F201	1	KH	KH	KH	SH	KH	SH	SH	GÖ	GÖ	SH	GÖCME
Kolon	F301	1	KH	KH	KH	KH	KH	SH	SH	GÖCME	KH	SH	GÖCME
Kolon	B202	2	KH	KH	KH	GÖCME	GÖCME	SH	SH	KH	GÖ	SH	GÖCME
Kolon	B302	2	KH	KH	SH	GÖCME	GÖCME	SH	SH	GÖ	GÖ	SH	GÖCME
Kolon	C202	2	GÖ	KH	SH	GÖCME	KH	SH	SH	GÖCME	SH	SH	SH
Kolon	C302	2	GÖ	KH	SH	GÖCME	GÖ	SH	SH	GÖCME	SH	SH	SH
Kolon	D202	2	GÖCME	KH	KH	GÖCME	KH	SH	SH	GÖCME	SH	SH	SH
Kolon	D302	2	GÖ	GÖ	KH	GÖCME	KH	SH	SH	GÖCME	SH	SH	SH
Kolon	E202	2	KH	KH	KH	GÖCME	GÖCME	SH	SH	KH	GÖ	SH	GÖCME
Kolon	E202	2	KH	KH	KH	GÖCME	GÖCME	KH	SH	GÖ	GÖ	SH	GÖCME
Kolon	B203	3	KH	KH	KH	GÖ	GÖ	KH	SH	GÖCME	KH	SH	GÖCME
Kolon	B303	3	KH	GÖ	KH	GÖCME	GÖ	SH	SH	GÖCME	KH	SH	GÖCME
Kolon	C203	3	GÖCME	GÖCME	KH	GÖCME	GÖCME	SH	KH	GÖCME	KH	SH	KH
Kolon	C303	3	GÖCME	GÖCME	GÖ	GÖCME	GÖ	SH	KH	GÖCME	KH	SH	KH
Kolon	D203	3	GÖCME	GÖCME	GÖ	GÖCME	GÖCME	SH	KH	GÖCME	KH	SH	KH
Kolon	D303	3	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖCME	GÖ	SH	KH	GÖCME	KH	SH	KH
Kolon	E203	3	GÖ	KH	KH	GÖCME	GÖ	KH	SH	GÖCME	KH	SH	GÖCME
Kolon	E303	3	KH	KH	KH	GÖCME	GÖCME	KH	SH	GÖCME	KH	SH	GÖCME
Kolon	B204	4	SH	KH	SH	SH	GÖ	SH	SH	KH	KH	SH	KH
Kolon	C204	4	KH	GÖ	SH	KH	KH	SH	SH	KH	SH	SH	SH
Kolon	C304	4	KH	GÖ	SH	KH	KH	SH	SH	KH	SH	SH	SH
Kolon	D204	4	GÖ	GÖ	SH	KH	KH	SH	SH	KH	SH	SH	KH
Kolon	D304	4	GÖ	GÖ	SH	KH	KH	SH	SH	KH	SH	SH	SH

Not: Üstteki tabloda kayıtların tamamında Sınırlı Hasar ve Kalıcı Hasar performansı gösteren bileşenler sunulmamıştır.