



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

Bir Betonarme Bina ile Bu Binanın Kolonlarına Birer I Profili Yerleştirilerek Elde Edilen Kompozit Kolonlu Binanın Deprem Direnci ve Maliyet Açısından Karşılaştırılması

A Comparison of a Reinforced Concrete Building and a Building with Composite Columns in terms of Earthquake Resistance and Cost

Yazar(lar) (Author(s)): S. Batuhan ORHAN¹, M. Arif GÜREL², Rabia İZOL³

¹ ORCID ID: 0000-0002-2701-1047

² ORCID ID: 0000-0002-1046-4410

³ ORCID ID: 0000-0002-7568-3817

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Orhan S.B., Gürel M.A., İzol R., “Bir Betonarme Bina ile Bu Binanın Kolonlarına Birer I Profili Yerleştirilerek Elde Edilen Kompozit Kolonlu Binanın Deprem Direnci ve Maliyet Açısından Karşılaştırılması”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 7(2): 60-70, (2022).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>



Bir Betonarme Bina ile Bu Binanın Kolonlarına Birer I Profili Yerleştirilerek Elde Edilen Kompozit Kolonlu Binanın Deprem Direnci ve Maliyet Açısından Karşılaştırılması

S. Batuhan ORHAN^{1,*}, M. Arif GÜREL¹, Rabia İZOL²

¹Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 63050, ŞANLIURFA

²Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 63050, ŞANLIURFA

³Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 63050, ŞANLIURFA

Öz

Deprem davranışı ve yük taşıma kapasitesi açısından kompozit taşıyıcı sistemler, betonarme sistemlere göre daha iyi performans göstermektedir. Bu çalışmada, ele alınan bir betonarme bina ile kompozit kolonlu bir bina yatay deprem direnci ve maliyet açısından karşılaştırılmıştır. Hem doğrusal hem de doğrusal olmayan analizler yapılmış, hesaplamalarda ProtaStructure programının akademik versiyonu ve ETABS programlarından yararlanılmıştır. Analizler sonucunda kompozit binanın betonarme binaya göre çok daha sünek davrandığı gözlenmiştir. Ayrıca kolonlara birer profil yerleştirilmesiyle binaya getirilen ek maliyetin bina toplam maliyetinin %20' sini aşmadığı görülmüştür.

Makale Bilgisi

Başvuru: 02/06/2022

Kabul: 26/08/2022

Anahtar Kelimeler

Kolon - kiriş birleşim bölgesi

Kompozit kolon

Yatay deprem direnci

Maliyet

Keywords

Column-beam joint

Composite column

Lateral seismic resistance

Cost

A Comparison of a Reinforced Concrete Building and a Building with Composite Columns in terms of Earthquake Resistance and Cost

Abstract

In terms of earthquake behavior and load carrying capacity, composite structural systems outperform reinforced concrete systems. In this study, a reinforced concrete building and a composite column building were compared in terms of horizontal earthquake resistance and cost. Both linear and non-linear analyzes were performed and academic version of ProtaStructure program and ETABS programs were used in calculations. As a result of the analyses, it was observed that the composite building behaves much more ductile than the reinforced concrete building. In addition, it has been observed that the additional cost brought to the building by placing a profile on each column does not exceed 20% of the total cost of the building.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kolon - kiriş birleşim bölgeleri çerçeve türü yapılarda en kritik bölgelerdir. Geçmişten günümüze kadar meydana gelen depremlerin binalar üzerindeki etkileri incelendiğinde, hasar gören binaların önemli bir çoğunluğunda kolon - kiriş birleşim bölgesi hasarlarının büyük bir yer tuttuğu görülmüştür. Şekil 1' de 1999 Marmara Depreminden iki örnek verilmiştir. Birleşim bölgeleri binalar için hayati öneme sahiptir, çünkü statik ve dinamik yükler altında iç kuvvetlerin elemanlar arasındaki geçişi (dağılımı) bu bölgelerde gerçekleşmektedir. Buralar yönetmeliklerin koşullarına uygun tasarlanıp inşa edilirse binalar depremleri hasarsız ya da az hasarla atlatacaktır.

Kolon - kiriş birleşim bölgeleri ve kompozit yapı elemanları konusunda yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır.

Hasaballa [1], çalışmasında betonarme dış kolon-kiriş birleşimlerinin deprem davranışına cam lif takviyeli polimer kullanımının etkisini nümerik olarak incelemiştir. Çalışma sonucunda dış kolon - kiriş

*İletişim yazarı, e-mail: sbatuhanorhan@gmail.com

birleşimlerine cam lif takviyeli polimerler dahil edildiğinde, betonarme kolon - kiriş birleşimlerine göre az bir katkısının olduğu belirlenmiştir.

Paulay [2], kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kesme gerilmesi üzerine çalışmış ve diyagonal basınç alanı sağlayarak kesme dayanımının artışı nümerik olarak incelemiştir. Çıkan sonuçlara bağlı olarak kolon - kiriş birleşim bölgelerinde etriye güçlendirmesi yapmak yerine, çapraz donatı çubuklarıyla diyagonal basınç alanı sağlayarak kesme dayanımının artırılmasının daha iyi olabileceğini öne sürmüştür. Çalışma bu özellikleri ile kolon - kiriş birleşim bölgelerinde alışılmamış aksine etriye kullanımı yerine çapraz donatı çubukları ile kesme dayanımının artmasına yönelik önemli bir çalışmadır.

Hakuto ve ark. [3], dış ve iç kolon-kiriş birleşimlerinin deprem davranışları üzerinde donatı detaylandırmasının etkilerini deneysel olarak incelemiştir. İki özdeş numune üzerinde çalışmış ve numunelerden birinde boyuna kiriş donatıları kancaların birleşme noktasının dışına doğru bükülmüş, diğer numunede boyuna donatılar bağlantı noktasının içine doğru bükülerek sabitlenmiştir. Kiriş donatılarının kancaları kolon - kiriş birleşim bölgesinde içe doğru büküldüğünde bu bölgenin sünekliğinin önemli ölçüde arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Elde edilen bulgular göz önünde bulundurulduğunda kolon - kiriş birleşim bölgeleri konusunda önemli bir çalışma olduğu belirtilebilir.

Das ve Choudhury [4], kolon-kiriş birleşimlerine farklı liflerle ek güçlendirme uygulayarak performans iyileştirilmesi konusunda deneysel çalışmalar yapmışlardır. Deneysel sonuçta karbon lif takviyesi uygulamasının kolon - kiriş birleşim bölgesini güçlendirdiği ve sünekliğini önemli ölçüde arttırdığını görmüşlerdir. Çalışma, karbon lif takviyesinin kolon - kiriş birleşim bölgesinin sünekliğini arttırmak için önemli bir seçenek olduğunu göstermiştir.

H. Said ve ark. [5], tersinir tekrarlı yük altında dış kolon-kiriş birleşimlerinin davranışı üzerinde ultra-sünek çimentolu kompozitlerin kullanımının etkisini deneysel olarak incelemiştir. Sade (donatısız) beton, normal donatılı beton ve kompozit betondan oluşan 3 farklı kolon - kiriş birleşim bölgesini değerlendirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, kompozit betondan oluşturulan kolon - kiriş birleşim bölgesinin, diğer birleşimlere kıyasla, bütün özellikleri bakımından daha iyi performans sergilediğini görmüşlerdir. Çalışmanın sonucu dikkate alındığında kompozit malzemenin diğer malzemelere kıyasla daha üstün olduğu bir kez daha görülmüştür.

Bharti ve ark. [6], kolon-kiriş birleşimini, plastik bölgeye geçen tekrarlı yükleme altında, farklı lif katkılı beton kullanarak, deneysel olarak incelemiştir. Lif katkılı beton kullanımıyla kolon - kiriş birleşim bölgesinde rijitlik kaybının daha az olmasının yanı sıra, bu bölgenin yük taşıma ve enerji sönümleme kapasitesinin de arttığı sonucunu elde etmişlerdir. Çalışma, kompozit malzemelerin kolon - kiriş birleşim bölgesini daha rijit bir hale getirdiğini gösteren önemli bir çalışmadır.

Liang ve ark. [7], kolon-kiriş birleşim bölgesi üzerine deneysel ve sayısal olarak çalışmalar yapmış ve ana malzeme olarak lif takviyeli beton kullanmışlardır. OpenSees programını kullanarak elde ettikleri sayısal sonuçları, deneysel çalışmalarla desteklemişlerdir. Lif takviyeli beton uygulamasının kolon - kiriş birleşim bölgesinde diyagonal çatlaklar oluşmadan önce taşıma kapasitesini ve sünekliğini arttırdığını belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda kompozit malzemelerin kolon - kiriş birleşim bölgesini daha rijit bir hale getirdiği bir kez daha görülmüştür.

Borghini ve ark. [8], çalışmalarında kolon-kiriş birleşiminin kesme göçmesini incelemiş ve mevcut betonarme binaların deprem performansını bu bağlamda değerlendiren bir yaklaşım sunmuşlardır. Çalışma sonucunda aşırı rijit birleşim bölgelerinin kapasite eğrilerinin, yatay kesme kuvveti ve süneklik açısından uygun olmadığını vurgulamışlardır. Kolon - kiriş birleşim bölgelerinin rijitliğinin yönetmeliklerin belirlediği sınırlar arasında kalması gerektiği vurgulanmıştır.

Bindhu ve ark. [9], kolon-kiriş birleşim bölgesine ilave çapraz donatı ekleyerek birleşim bölgesinin çevrimsel yükleme altındaki davranışını deneysel ve nümerik olarak incelemiştir. Çalışmada kullanılmak üzere 1/3 ölçekli numuneler hazırlanmış ve bu numuneler kolon - kiriş birleşim bölgelerine ilave çapraz donatı eklenerek incelenmiştir. Deneysel sonuçta çapraz donatı takviyesinin dış betonarme kolon - kiriş birleşim bölgesinin performansını arttırdığını gözlemlemişlerdir. Çalışma bu özellikleri ile kolon - kiriş birleşim bölgelerinde çapraz donatı çubuklarının rijitliğe olan faydasını göz önüne sermiştir.

Avcil ve Pekgökgöz [10], çeşitli miktarlarda çelik lifler içeren kendiliğinden yerleşen beton ve normal beton karışımları kullanarak kolon - kiriş birleşimlerinin enerji sönümleme kapasitesini belirlemek için

deneysel ve nümerik çalışmalar yapmışlardır. Çalışma sonucunda çelik lif takviyeli kendiliğinden yerleşen beton numunelerinin lif miktarı arttıkça normal beton karışımlarına kıyasla daha fazla enerji sönmüledikleri sonucuna varmışlardır.

Siddika ve ark. [11], lif takviyeli polimerli kompozitlerin hasarlı ve aşınmış kirişlerin eski dayanımlarını kazanmaları üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda lif takviyeli polimerli kompozitlerle güçlendirilen betonarme kirişlerin normal dayanımlarının çok üstüne çıkabildikleri sonucuna varmışlardır. Çalışma, kompozit malzemelerle güçlendirme işleminin dayanıma katkısını ortaya koymuştur.

Papavasileiou ve Charmpis [12], çalışmalarında çelik ve çelik - beton kompozit kolonlardan oluşan iki binanın deprem tasarımında maliyet karşılaştırmasını yapısal optimizasyon çerçevesinde yapmışlardır.

Şermet ve Arısoy [13], betonarme kolon-kiriş birleşimi ile kompozit kolon-kiriş birleşiminin tersinir tekrarlı yükler altındaki davranışlarını nümerik olarak incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda kompozit kolon-kiriş birleşiminin, betonarme birleşime göre hem dayanım hem de yer değiştirme kapasitesi açısından belirgin derecede üstün olduğunu görmüşlerdir. Çalışma bu özellikleri ile normal kolon - kiriş birleşim bölgeleri ile kompozit kolon - kiriş birleşim bölgelerini karşılaştıran önemli bir çalışma niteliğindedir.



Şekil 1. 1999 Marmara Depreminde kolon – kiriş birleşim bölgeleri dağıldığı için tümünden yıkılmış iki betonarme bina (Fotoğraflar: M. Arif Gürel)

Sunulan bu çalışmada öncelikle seçilen bir betonarme bina ile bu binanın kolonlarına S235 çeliğinden birer W150x150x20 profili yerleştirilerek elde edilen halinin, yani kompozit kolonlu halinin 3 boyutlu modellemeleri yapılmış ve başta bir doğrusal analiz, sonrasında ise doğrusal olmayan statik itme analizleri gerçekleştirilmiştir. İtme analizleri ile binalara ait kapasite eğrileri elde edilip, karşılaştırılmıştır. Çalışmanın son kısmında ise binaların maliyet analizleri yapıp, profil kullanımının binaya getirdiği ek maliyet belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Binaların hem statik hem de dinamik yükler altında ayakta durabilmesi için taşıyıcı elemanlara ihtiyaç vardır. Düşey taşıyıcı elemanlardan biri olan kolonlar, üst katlardan gelen yükleri ve kendi katından aldığı yükü bir alt katın kolonuna iletirler ve en son kolonlar toplam yükü temele aktarırlar. Kolonların statik ve dinamik yükler altında sürekliliklerini koruyabilmesi hayati bir öneme sahiptir.

Kolonlar sargı donatıları bakımından ‘etriyeli’ ve ‘spiralli’ olmak üzere ikiye ayrılır. Kare, dikdörtgen ve çokgen kolonlarda etriyeler, dairesel kolonlarda ise spiraller boyuna donatıları bağlamak, sargı etkisi oluşturmak ve kayma gerilmelerinden kaynaklanan asal çekme gerilmelerini karşılamak için kullanılırlar. Çerçevelerin diğer taşıyıcı elamanları eksenleri yatay olan kirişlerdir. Bu elemanlar sadece döşeme ve duvarlardan gelen yükleri kolonlara aktarmakla kalmayıp, deprem etkileri altında kolonları ve perde duvarları birbirine bağlayıp, birlikte çalışmayı sağlarlar.

Binalarda kolon ve kirişlerin birbiriyle birleştiği bölgeler ‘kolon-kiriş birleşim bölgesi’ olarak adlandırılır. Bu bölgelerde kolon ve kirişlerin iç kuvvetleri denge durumları oluştururlar. Depremler sırasında birleşim

bölgeleri ciddi şekilde zorlanır ve yönetmeliklerin esaslarına göre tasarlanıp inşa edilmemiş binalarda bu bölgeler önemli hasarlar görür. Birleşim bölgelerinin hasar görmesi ise yapının ayakta kalamayıp, kısmen veya tamamen göçmesine yol açar. Bu durum ise büyük can ve mal kaybına sebep olur. Dolayısıyla, birleşim bölgelerinin dağılmaması, özellikle kolonların sürekliliğinin korunabilmesi son derece önemlidir.

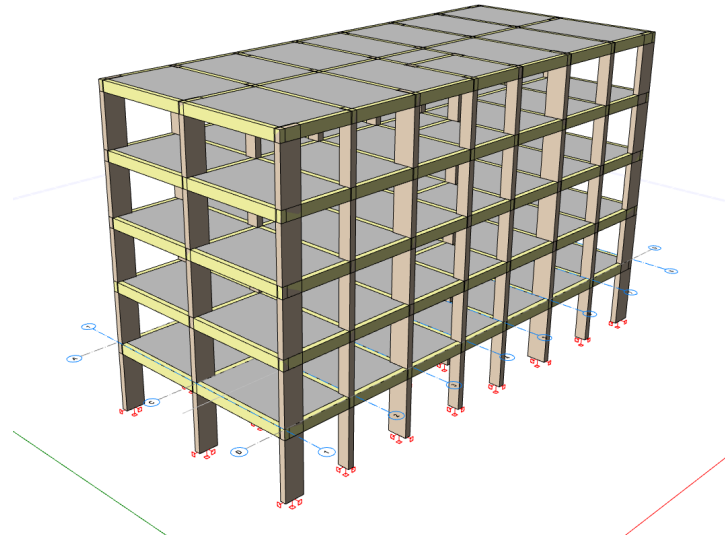
Boyuna ve enine donatıları olan betonarme kolonlara çelik profiller eklenmesi ile meydana gelen düşey taşıyıcı elemanlara ‘kompozit kolon’ adı verilir. Betonarme bir kirişin içerisinde, normal donatılarına ek olarak çelik profil eklenmesi ile oluşan yatay taşıyıcı elemanlara ‘kompozit kiriş’ denir. Kompozit kolon ile kompozit kirişlerin birleşim noktalarına ise ‘kompozit kolon-kiriş birleşim bölgesi’ adı verilir. Özellikle Şermet ve Arısoy’ un [13] çalışmalarının da gösterdiği gibi kompozit kolon-kiriş birleşim bölgeleri tersinir tekrarlı yükler altında, betonarme kolon-kiriş birleşimlerine göre çok daha iyi bir performans sergilemektedir. Bu gerçekten yola çıkarak bu çalışmada bir betonarme bina ile bu binanın yalnızca kolonlarına basitçe birer I profili yerleştirilmiş hali yatay deprem dirençleri ve maliyetleri açısından karşılaştırılmıştır.

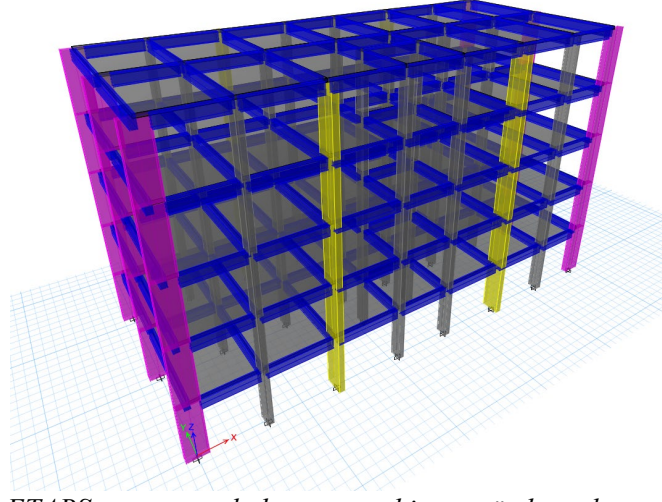
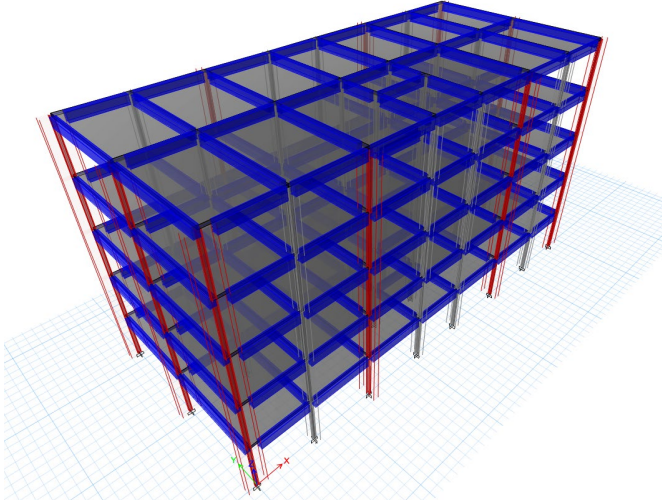
Çalışmada ele alınan bina Hatay ili, İskenderun ilçesinde yer alan, zemin ve 4 normal kattan oluşan, 5 katlı betonarme bir konut binasıdır. ‘Kompozit bina’ ise ele alınan betonarme binanın her bir kolonuna birer I profili yerleştirilmek suretiyle elde edilen binadır. Şekil 2’ de gösterildiği gibi betonarme bina modeli ProtaStructure [14] programında modellenmiş ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018’e (TBDY-2018) [15] göre doğrusal analizi yapılmıştır. Daha sonra doğrusal olmayan analiz için ETABS [16] programında da betonarme bina modeli oluşturulmuş (Şekil 3) ve TBDY-2018’ e göre doğrusal olmayan itme analizi yapılmıştır. Son olarak Şekil 4’ te kompozit bina modeli ETABS programında oluşturulmuş ve TBDY-2018’ e göre doğrusal olmayan itme analizi yapılmıştır. Betonarme bina ve kompozit bina için ETABS programı ile yapılan itme analizlerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Göz önüne alınan betonarme bina, dolayısıyla kompozit binanın kat yüksekliği 3 m’ dir ve binalarda bodrum kat bulunmamaktadır. Binalar için yükseklik sınıfı TBDY-2018’ e göre 6 olarak belirlenmiştir. Kullanılan beton sınıfı C30/37, çelik sınıfı ise B420C dir. Kirişlerde hareketli ve sabit yükler dikkate alınmamış, binadaki tüm döşemelerde ise hareketli ve sabit yükler 2 kN/m² olarak dikkate alınmıştır. Betonarme binanın toplam kütlesi $m_t = 1159,2$ ton olarak hesaplanmıştır. Binalarda normal kat perdeleri bulunmamaktadır, tüm kirişler 25/50 boyutlarında ve tüm kat döşemeleri 15 cm kalınlığındadır.

Doğrusal olmayan analizlerde kullanılan kolon ve kirişlerin kesit rijitlikleri ASCE41-17 [17] yönetmeliğinde yer alan Tablo10-5’ ten yararlanılarak hesaplanmıştır. Kolonlar ve kirişler çubuk eleman olarak modellenip, uç kısımlarında yığılı plastik mafsal kabulü yapılmıştır. Döşemeler ise rijit diyafram olarak modellenmiştir.

Kompozit kolonların içerisinde S235, W150x150x20 çelik profili kullanılmıştır. Bu çelik profiller kolonların merkezinde ve gövdeleri kolonların kesit uzun eksenine paralel olacak şekilde yerleşimi yerleştirilmiştir.



Şekil 2. ProtaStructure programında betonarme binanın üç boyutlu perspektif görünümü**Şekil 3.** ETABS programında betonarme binanın üç boyutlu perspektif görünümü**Şekil 4.** ETABS programında kompozit binanın üç boyutlu perspektif görünümü

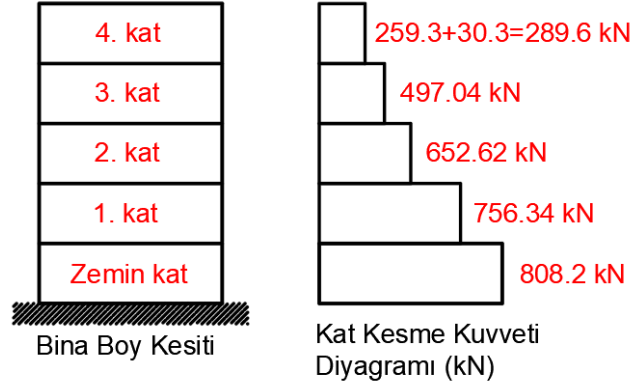
3. BULGULAR VE TARTIŞMA (OBTAINED RESULTS AND DISCUSSION)

ProtaStructure programında göz önüne alınan betonarme binanın, dayanıma göre tasarım yöntemi kullanılıp, eşdeğer deprem yükü hesabına göre doğrusal analizi yapılmıştır. Eşdeğer deprem doğrultusunda, deprem yükü (taban kesme kuvveti) $V_{TE}^{(X)} = 808,2$ kN olarak belirlenmiştir. Bu kuvvet belirlendikten sonra binanın en üst katına etkiyen, ek eşdeğer deprem yükü, $\Delta F_{NE}^{(X)} = 30,3$ kN olarak bulunmuştur. Her bir kata etkiyen eşdeğer deprem yükü ve kat kesme kuvvetleri hesaplanmış Tablo 1' de verildiği gibi elde edilmiş, eşdeğer deprem yükleri bu tabloya göre Şekil 5' te görsel olarak sunulmuştur.

Tablo 1. Eşdeğer deprem yükü yöntemi hesap sonuçları

Kat No	h_i (m)	H_i (m)	m_i (t)	$m_i \times H_i$	$\frac{m_i H_i}{\sum m_i H_i}$	F_{iE} (kN)	$V^{(x)}$ (kN)
4	3	15	231,838	3477,57	0,333	259,3	$259,3 + 30,3 = 289,6$
3	3	12	231,838	2782,06	0,266	207,44	$289,6 + 207,44 = 497,04$
2	3	9	231,838	2086,54	0,199	155,58	$497,04 + 155,58 = 652,62$
1	3	6	231,838	1391,03	0,133	103,72	$652,62 + 103,72 = 756,34$
Zemin	3	3	231,838	695,51	0,066	51,86	$756,34 + 51,86 = \mathbf{808,2}$

Σ				10432,7		777,9	Kontrol = 777,9+30,3 = 808,2
----------	--	--	--	---------	--	-------	-------------------------------------



Şekil 5. Her bir kata etkiyen eşdeğer deprem yükleri

Modal analiz için her katta x ve y doğrultularında ötelenme ve z ekseninde dönme serbestlikleri dikkate alınarak toplamda 15 adet mod sonucu Tablo 2’ de verilmiştir. Tabloya göre binanın hâkim periyodu 0,763 s’dir, ancak 0,763 s değerindeki kütle katılım değerlerine bakıldığında, kütle katılım oranlarının oldukça düşük olduğu görülmektedir. Binanın bu 1. modu, burulma modudur. 2. mod incelendiğinde, x ekseninde kütle katılım oranının %80,44 olduğu görülmekte ve bu modun x eksenine için hâkim periyoda ait mod olduğu anlaşılmaktadır. 3. mod incelendiğinde ise y ekseninde kütle katılım oranının %80,68 olduğu görülmekte ve 3. modun y eksenine için hâkim mod olduğu görülmüş olmaktadır.

Tablo 2. Betonarme binanın ilk 15 moduna ait periyot ve frekans değerleri ile kütle katılım oranları

Mod	Periyot [s]	Frekans [Hz]	Modal Kütle Katılım Oranları			Modal Kütleler		
			U _x	U _y	U _z	U _x [t]	U _y [t]	U _z [t]
1	0,763	1,311	0,009	0,0002	0	0,009	0,0002	0
2	0,74	1,352	0,8044	2,58E-05	0	0,8134	0,0002	0
3	0,73	1,369	1,27E-05	0,8068	0	0,8134	0,807	0
4	0,235	4,252	0,0012	1,38E-06	0	0,8146	0,807	0
5	0,229	4,365	0,1103	0	0	0,9248	0,807	0
6	0,221	4,519	0	0,1151	0	0,9248	0,9222	0
7	0,123	8,104	0,0002	0	0	0,925	0,9222	0
8	0,12	8,313	0,0456	0	0	0,9706	0,9222	0
9	0,114	8,81	0	0,0472	0	0,9706	0,9694	0
10	0,077	12,987	9,76E-06	1,71E-06	0	0,9706	0,9694	0
11	0,075	13,312	0,0221	0	0	0,9927	0,9694	0
12	0,07	14,307	0	0,0228	0	0,9927	0,9922	0
13	0,056	17,705	0	0	0	0,9927	0,9922	0
14	0,055	18,19	0	0	0	0,9999	0,9922	0
15	0,051	19,628	0,0073	0,0078	0	0,9999	0,9999	0

Yapılan analizler sonucunda x ve y doğrultuları için elde edilen burulma düzensizliği katsayıları Tablo 3’ te gösterilmiştir. Tablodan anlaşıldığı üzere binada burulma düzensizliği bulunmamaktadır.

Tablo 3. Betonarme binanın katlarındaki burulma düzensizliği kontrolü

Kat No	X Eksenine η_{bi}	$\eta_{bi} < 1,2$	Y Eksenine η_{bi}	$\eta_{bi} < 1,2$
4	1,042	Sağlandı	1,160	Sağlandı
3	1,044	Sağlandı	1,167	Sağlandı
2	1,045	Sağlandı	1,172	Sağlandı
1	1,045	Sağlandı	1,177	Sağlandı

Zemin	1,046	Sağlandı	1,182	Sağlandı
-------	-------	----------	-------	----------

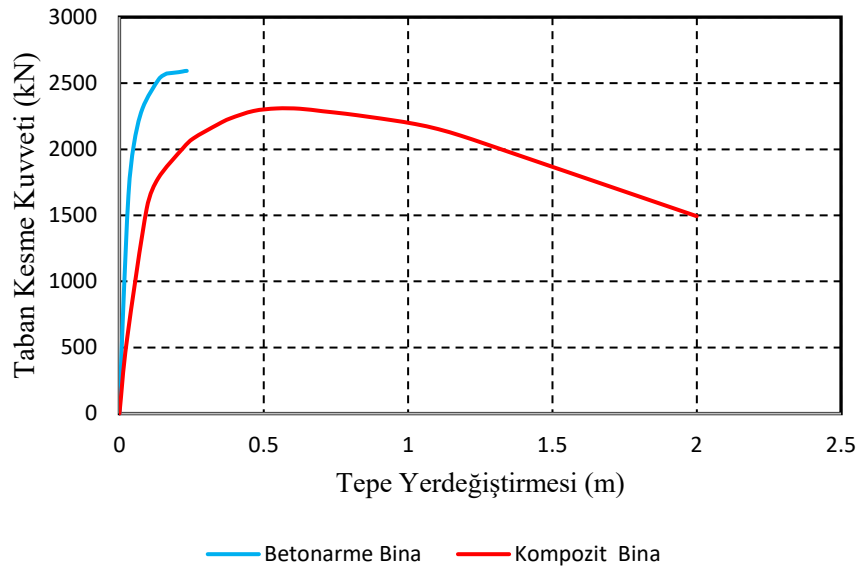
Bina yükseklik sınıfı 6 olduğu, burulma düzensizliği söz konusu olmadığı için ve x ve y eksenlerindeki kütle katılım oranları Tablo 2'ye bakıldığında %70'in üzerinde olduğu için sabit tek modlu itme yöntemini kullanıp, binanın doğrusal olmayan analizinin yapılabilmesi için bir engel bulunmamaktadır.

ETABS programında kompozit betonarme binanın da modal analizleri yapılmış ve Tablo 4' te çıkan sonuçlar gösterilmiştir. Daha sonra doğrusal olmayan statik itme analizi için ETABS programında şekil değiştirmeye göre tasarım yöntemi kullanılmış ve sabit tek modlu itme yöntemi uygulanarak betonarme bina ile kompozit binanın doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir.

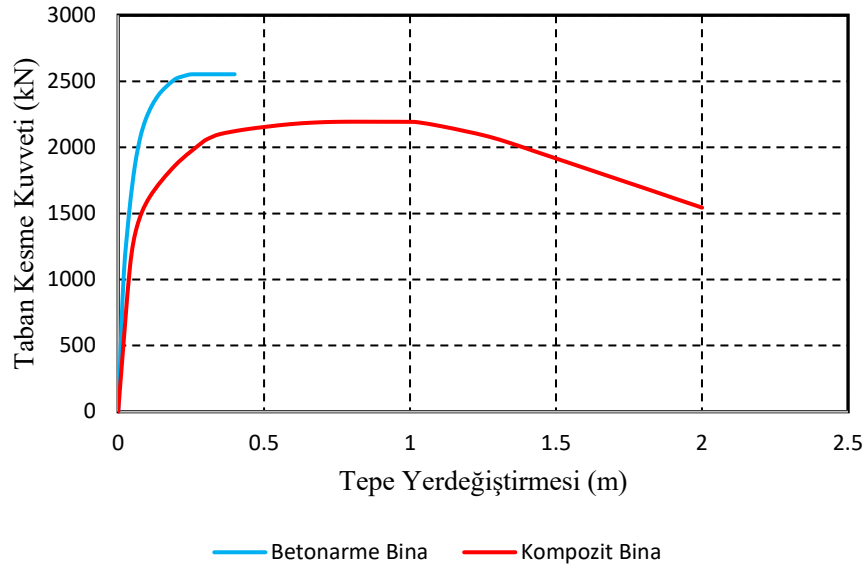
Tablo 4. Kompozit bina modal sonuçları

Mod	Periyot [s]	Frekans [Hz]	Modal Kütle Katılım Oranları			Modal Kütleler		
			U _x	U _y	U _z	U _x [t]	U _y [t]	U _z [t]
1	1,19	0,84	0,8254	0	0	0,8254	0	0
2	1,049	0,953	0	0,8265	0	0,8254	0,8265	0
3	1,003	0,997	0,0002	0,0007	0	0,8256	0,8272	0
4	0,381	2,621	0,1057	0	0	0,9313	0,8272	0
5	0,336	2,972	0	0,1054	0	0,9313	0,9326	0
6	0,328	3,046	1,974E-05	2,229E-05	0	0,9313	0,9326	0
7	0,212	4,716	0,0416	0	0	0,9729	0,9326	0
8	0,19	5,254	4,85E-06	8,243E-07	0	0,9729	0,9326	0
9	0,189	5,296	0	0,0408	0	0,9729	0,9735	0
10	0,14	7,156	0,0201	0	0	0,993	0,9735	0
11	0,132	7,598	0	1,276E-05	0	0,993	0,9735	0
12	0,127	7,902	0	0,0195	0	0,993	0,993	0
13	0,107	9,389	0,0069	0	0	0,9999	0,993	0
14	0,104	9,578	3,058E-06	7,974E-07	0	0,9999	0,993	0
15	0,098	10,16	0	0,0069	0	0,9999	0,9999	0

İlk olarak betonarme binanın x doğrultusundaki hâkim modu olan 2. mod, daha sonra y doğrultusundaki hâkim modu olan 3. mod esas alınarak yük kombinasyonları belirlenmiş ve itme analizleri yapılmıştır. Daha sonra kompozit binanın x doğrultusundaki hâkim modu olan 1. mod, daha sonra y doğrultusundaki hâkim modu olan 2. mod esas alınarak yük kombinasyonları belirlenmiş ve itme analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti - tepe yer değiştirmesi grafikleri yani kapasite eğrileri Şekil 6 ve 7' de gösterilmiştir.



Şekil 6. İki binanın x doğrultusundaki itme eğrileri



Şekil 7. İki binanın y doğrultusunda itme eğrileri

Şekillerden görüldüğü gibi kompozit bina, betonarme binaya göre dayanım ve rijitlik açısından bir kazanım sağlamamış gibi gözükse de, yer değiştirme kapasitesi ve dolayısıyla sünekliliği bakımından daha üstün durumdadır. Çalışmada kompozit bina için profillerin kolon merkezlerine yerleştirilmiş olduğu düşünöldüğünde özellikle dayanım açısından profillerden pek de bir fayda görölmemiş olması normaldir. Eğer kolon boyutları uygun olan bir bina ele alınıp, kolonların iki başlarına profil yerleştirilmiş olsaydı dayanım yönünden de belirgin katkılarının olacağını tahmin etmek mümkündür. Ancak yukarıda belirtildiği gibi kolonlarına profil yerleştirilen bina beklendiği üzere çok daha sünek bir davranış sergilemiştir. Bu kazanımın ise tartışmasız bir şekilde, binaların depremlerde ayakta kalarak, can ve önemli mal kaybı olmadan depremlerin atlatabilmesi sağlayacağı için son derece önemlidir.

Binaların maliyet analizlerine gelince, burada önce betonarme binanın, sonra da kompozit binanın maliyetleri hesaplanmıştır. Çalışmada ele alınan binanın toplam inşaat alanı $981,75 \text{ m}^2$ dir. Binanın her bir katına ve elemanlarına ait donatı, kalıp ve beton miktarları Tablo 5' te detaylı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 5. Betonarme binanın katlarına ve elemanlarına ait metrajlar

Katlar	Açıklama	Kalıp Miktarları	Donatı Miktarları	Beton Miktarları
4. Kat	Döşemeler	234,24 m ²	1459,20 kg	35,136 m ³
	Kirişler	141,36 m ²	1638,02 kg	17,363 m ³
	Kolonlar	154,40 m ²	3040,43 kg	17,640 m ³
3. Kat	Döşemeler	234,24 m ²	1459,20 kg	35,136 m ³
	Kirişler	141,36 m ²	1675,65 kg	17,363 m ³
	Kolonlar	154,40 m ²	3603,07 kg	17,640 m ³
2. Kat	Döşemeler	234,24 m ²	1459,20 kg	35,136 m ³
	Kirişler	141,36 m ²	1699,49 kg	17,363 m ³
	Kolonlar	154,40 m ²	3603,07 kg	17,640 m ³
1. Kat	Döşemeler	234,24 m ²	1459,20 kg	35,136 m ³
	Kirişler	141,36 m ²	1717,46 kg	17,363 m ³
	Kolonlar	154,40 m ²	3603,07 kg	17,640 m ³
Zemin Kat	Döşemeler	234,24 m ²	1459,2 kg	35,136 m ³
	Kirişler	141,36 m ²	1702,8 kg	17,363 m ³
	Kolonlar	154,40 m ²	3603,07 kg	17,640 m ³
Toplam Miktarlar		2650 m ²	33182,13 kg	350,695 m ³

Bu tabloda, toplam kalıp, donatı ve beton miktarları son satırda görölmektedir. Binanın 1 m^2 'sine toplam 33,798 kg donatı düşmektedir. Bilindiği gibi donatı imalatlarında her zaman %10 zayıyat göz önünde

bulundurulmalıdır. Zayıt, donatı miktarına eklenerek toplam donatı miktarı $33\ 182,13 \times 1,10 = 36\ 500,343$ kg olarak hesaplanmıştır.

2022 yılı Mayıs ayı piyasa malzeme ve işçilik fiyatları binanın inşa edildiği düşünülen yer olan Hatay ili, İskenderun ilçesi esas alınarak Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Güncel malzeme ve işçilik fiyatları

Kalıp Malzemesi, İşçilik ve Beton Döküm Fiyatı	1 m ² kalıp işçiliği beton dökümü ile birlikte 100 TL
B420C Donatı Fiyatı	1 ton donatı fiyatı 14 500 TL
Donatı İmalatı İşçilik Fiyatı	1 kg donatı imalatı işçilik bedeli 0,90 TL
C30/37 Beton Fiyatı	Binanın inşa edileceği yere uzaklığına göre değişiklik göstermekle birlikte beton fiyatı m ³ başına 930 TL

Tablo 5 ve 6’ da yer alan değerlerin birlikte göz önüne alınmasıyla binanın 3 ana bileşeni olan kalıp, donatı ve beton maliyetleri Tablo 7’deki gibi elde edilmiştir. Binanın toplam maliyeti 1 153 251,64 TL olarak hesaplanmıştır.

Tablo 7. Gözönüne alınan betonarme binanın malzeme ve işçilik fiyatlarına göre maliyet analizi

Toplam Kalıp Miktarı	Kalıp Malzeme, İşçilik ve Beton Döküm Fiyatı		Toplam Maliyet
2650 m ²	100 TL/m ²		265 000 TL
Toplam Beton miktarı	C30/37 Beton Fiyatı		Toplam Maliyet
350,695 m ³	930TL/m ³		326 146,35 TL
Toplam Donatı miktarı	B420C Donatı Fiyatı	Donatı İmalatı İşçilik Fiyatı	Toplam Maliyet
36 500,343 kg	14 500 TL/ton	0,90 TL/kg	562 105,29 TL
	Toplam Maliyet		1 153 251,64 TL

Başta belirtildiği gibi göz önüne alınan betonarme binanın her bir kolonuna S235 çeliğinden birer W150x150x20 profil eklenerek kompozit bina elde edilmişti. Bu binanın maliyeti ise betonarme binanın yukarıda hesap edilmiş olan maliyetine profillerden gelen ilave maliyet eklenerek belirlenmiştir. Binanın her katında 26 adet kolon bulunduğu ve kat yüksekliklerinin 3 m olduğu dikkate alındığında, her kat için kullanılan toplam profil uzunluğu 78 m olarak belirlenir. Bina 5 katlı olduğu için toplam çelik profil uzunluğu ise $78 \times 5 = 390$ m’ dir.

Her bir katın birleşim bölgesinde çelik profillerin basitçe, aralarına konan yatay plakalar yardımıyla kaynaklanarak birleştirildikleri düşünülmüştür. Elbette başka birleştirme seçenekleri de göz önüne alınabilir. Birleştirme sonucunda zemin kattan en üst kata kadar, aynı düşeydeki kolonlar içerisinde sürekli devam eden bir profil elde edilmiş olacaktır. Birleşimler için kullanılan çelik plakaların boyutları $20 \times 20 \times 1$ cm olarak seçilmiş ve profiller ile plakaların maliyeti ağırlık üzerinden hesaplanmıştır. Kompozit bina için çelik profiller ve çelik plakaların oluşturduğu maliyet Tablo 8’ deki gibi hesaplanmıştır.

Tablo 8. Kompozit binanın malzeme fiyatlarına göre maliyet analizi

Çelik Profil Tipi	Çelik Profil Uzunluğu	Çelik Profil Ağırlığı	Çelik Profil Toplam Ağırlığı	Çelik kg Fiyatı	Toplam Maliyet
W150x150x20	390 m	29,8 kg/m	11622 kg	14,8 TL/kg	172 005,6 TL
Çelik Plaka Tipi	1 Adet Çelik Plaka Ağırlığı	Toplam Çelik Plaka Adedi	Çelik Plaka Toplam Ağırlığı	Çelik kg Fiyatı	Toplam Maliyet
$20 \times 20 \times 1$ cm	3,15 kg	104	327,6 kg	14,8 TL/kg	4848,48 TL
				Toplam	176 854,08 TL

Tablodan görüldüğü gibi çelik profil ve plakaların toplam maliyeti 176 854,08 TL dir. Çelik üretiminde kilogram başına işçilik ücreti, binanın bulunduğu konum ve 2022 yılı Mayıs ayı esas alındığında 4 TL/kg’dır. Binadaki toplam çelik profil ve birleşim plakası ağırlığı yukarıda görüldüğü gibi 11622 kg +

327,6 kg = 11949,6 kg' dır. Buna göre bu çelik inşaatın işçilik maliyeti $11949,6 \times 4 \text{ TL/kg} = 47798,4 \text{ TL}$ olarak hesaplanmıştır. Buna göre kompozit binanın toplam maliyeti $1\ 153\ 251,64 \text{ TL} + 176\ 854,08 \text{ TL} + 47\ 798,4 \text{ TL} = 1\ 377\ 904,12 \text{ TL}$ olarak ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada göz önüne alınmış olan betonarme binanın her bir kolonuna S235 çeliğinden birer W150x150x20 profil yerleştirilmesi suretiyle elde edilmiş olan kompozit bina için ilave maliyet $176\ 854,08 \text{ TL} + 47798,4 \text{ TL} = 224\ 652,48 \text{ TL}$ olarak belirlenmiş olmaktadır. Buna göre, kompozit binanın maliyeti, betonarme binanın maliyetinden $\% [(1\ 377\ 904,12 \text{ TL} - 1\ 153\ 251,64 \text{ TL}) / 1\ 153\ 251,64 \text{ TL}] \times 100 \cong \%19,5$ kadar yüksektir. Depremlerde binanın ayakta kalıp, özellikle can kaybının önlenmesi bakımından üstünlüğü görülmüş olan kompozit kolonlu binanın bu ilave maliyeti takdir edileceği üzere çok da büyütülecek bir maliyet değildir.

Bir betonarme bina inşa edilirken kolonların donatı kafesi içerisine profil yerleştirilmesi elbette belirli zorluklar oluşturacaktır. Sunulan çalışma büyük kesitli profiller yerine, orta ve hatta küçük kesitli profillerin kullanımıyla bina deprem direncinde elde edilecek kazanımı görmeye yönelik bir çalışmadır. Bunun amacı, büyük profil kullanılması durumunda uygulamada kaçınılmaz olarak ortaya çıkabilecek zorlukları en aza indirmek yanında, binayı tümüyle kompozit bir yapıya dönüştürmemek ve maliyet artışını asgari düzeyde tutmaktır.

Kolonlara profil yerleştirilirken, profiller ile beton arasında yeterli aderansın oluşmasını sağlayacak ön işlemlerin yapılması gerektiği unutulmamalıdır. Profillere, yerlerine yerleştirilmeden önce yükseklikleri boyunca hem başlık hem de gövde kısımlarında olmak üzere, belirli aralıklarla ve yeterli uzunlukta (örneğin 4-5 cm uzunluğunda) çelik çubukların kaynaklanması aderansın sağlanabilmesi için önerilebilecek basit ve etkili bir seçenektir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada toplam 5 katlı betonarme bir bina ile bu binanın kolonlarına birer I profili yerleştirilerek oluşturulan kompozit binanın doğrusal olmayan statik itme analizleri ve maliyet analizleri yapılmıştır. Bulgular kompozit binanın betonarme binaya göre çok daha yüksek sünekliliğe sahip olduğunu göstermiştir. Bu, ülkemiz ve diğer tüm deprem ülkeleri için önemli bir sonuçtur. Çünkü, tüm dünyadaki depremler sonrası incelemeler, kolon-kiriş birleşim bölgelerinin hasar görmesi nedeniyle ayakta duramayan ve buna bağlı olarak kısmen veya tamamen göçen binaların önemli bir yüzde oluşturduğunu göstermektedir. Sunulan bu çalışma, kolonlara profil yerleştirilmesiyle kolon-kiriş birleşim bölgelerinin hasar görmesinin büyük ölçüde önüne geçileceğini ve yüksek süneklilikli binalar inşa edilmiş olacağını gözler önüne sermiştir. Profil kullanımıyla binaya gelen ek maliyetin ise abartılmayacak bir düzeyde olduğunu göstermiştir.

Çalışmanın çeşitli yönlerden geliştirilme potansiyeli vardır. Örneğin kolon boyutları bakımından olanak sağlayan binalarda, kolonların iki başına profil yerleştirilmesi ile benzer bir çalışma yapılabilir. Ayrıca, perde duvarlı yapılarda perdelerin uç kısımlarına profil yerleştirilmesinin bina deprem davranışına etkileri araştırılabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] M. Hasaballa, GFRP-Reinforced Concrete Exterior Beam-Column Joints Subjected to Seismic Loading. The University of Manitoba, Faculty of Graduate Studies, PhD, Manitoba, Canada. 393p. 2014.
- [2] T. Paulay, Equilibrium criteria for reinforcement concrete beam-column joints. ACI Structural Journal, 86: 653-643. 1989.
- [3] S. Hakuto, R. Park, and H. Tanaka, Seismic Load Tests on Interior and Exterior Beam-Column Joints with Substandard Reinforcing Details. ACI Structural Journal, 97 (1): 11-25. 2000.
- [4] P. Das and S. Choudhury, Experimental Study on Fibre-Reinforced Concrete Beam-Column Joint with Ductile Detailing Under Reverse Cyclic Loading. International Journal of Engineering & Technology, 7: 85-89. 2018.
- [5] S.H. Said and H.A. Razak, Structural behavior of RC engineered cementitious composite (ECC) exterior beam-column joints under reversed cyclic loading, Construction and Building Materials 107: 226-234. 2016.

- [6] R. Bhartia, R.S. Chidambaram, N. Kwatrac, Influence of Fiber Reinforced Concrete on Plastic Behavior on Exterior Beam Column Joint under Cyclic Loading, *Procedia Engineering* 173: 1122 - 1129. 2017.
- [7] X-w. Liang, Y-j. Wang, Y. Tao, M-k. Deng, Seismic performance of fiber-reinforced concrete interior beam-column joints, *Engineering Structures* 126: 432-445. 2016.
- [8] A. Borghini, F. Gusella, A. Vignolli, Seismic vulnerability of existing R.C. buildings: A simplified numerical model to analyse the influence of the beam-column joints collapse, *Engineering Structures* 121: 19-29. 2016.
- [9] K.R. Bindhu, K.P. Jaya and V.K. Manicka Selvam, Seismic resistance of exterior beam column joints non-conventional reinforcement detailing. *Structural Engineering and Mechanics*, 30(6): 733-761. 2008.
- [10] Pekgökgöz, R. K., and Avcil F. "Effect of steel fibres on reinforced concrete beam-column joints under reversed cyclic loading." *Grđevinar* 73.12. (2021): 1185-1194.
- [11] Siddika A., et al.: Strengthening of reinforced concrete beams by using fibre-reinforced polymer composites: A review, *Journal of Building Engineering*, 25 (2019), pp. 100798
- [12] Papavasileiou, Georgios S., and Dimos C. Charmpis. "Earthquake-resistant buildings with steel or composite columns: Comparative assessment using structural optimization." *Journal of Building Engineering* 27 (2020): 100988.
- [13] F. Şermet, B. Arısoy, Kompozit kolon-betonarme kiriş birleşim noktasının tersinir tekrarlı yükler altındaki davranışının nümerik olarak incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 20(58): 138-149. 2018.
- [14] ProtaStructure, 2022, Prota A.Ş., İstanbul, Türkiye.
- [15] TBDY, 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- [16] ETABS v.18.1, Computers and Structures Inc., USA.
- [17] ASCE 41-17. Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings; American Society of Civil Engineers: Reston, USA