



DEPREM ETKİLERİNİN BETONARME ÇERÇEVELER İLE BAĞ KİRİŞLİ BETONARME PERDELER TARAFINDAN BİRLİKTE KARŞILANDIĞI BİNALARDA BAĞ KİRİŞİ MODELLERİNİN YAPI PERFORMANSINA ETKİSİ

Ömer ÖZER^{1*}, S. Bahadır YÜKSEL²

¹Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

²Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Betonarme Bağ Kirişi, Doğrusal Olmayan Analiz, TBDY (2018), Performans Hedefleri, Kesit Hasar Sınırları.

Öz

Betonarme yapıların birçoğunda deprem etkileri, kolon ve kirişlerin oluşturduğu çerçeveler ile bağ kirişli perdeler tarafından birlikte karşılanmaktadır. Betonarme perdeleri birbirine bağlayan bağ kirişleri ise kullanılan malzeme ve donatı düzeniyle farklılık göstermektedir. Bu çalışmanın amacı, farklı betonarme bağ kirişli modellerinin, yapı performansına olan etkilerinin incelenmesidir. Çalışmada 14 katlı, düşey taşıyıcı olarak kolon ve bağ kirişli perdelerin beraber kullanıldığı yapı modelinin, İstanbul Atatürk Havaalanı bölgesinin yer ivmesine göre doğrusal olmayan itme analizleri yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçları incelendiğinde kompozit ve diyagonal bağ kirişli modelinin yüksek yatay yük dayanımı sağladığı, ancak çift bağ kirişli modeline göre deplasman yapabilme kapasitesinin daha düşük olduğu görülmüştür.

THE EFFECT OF COUPLING BEAM MODELS IN BUILDINGS WHERE EARTHQUAKE LOADS ARE JOINTLY RESISTED BY R/C FRAMES AND R/C COUPLED SHEAR WALLS ON STRUCTURAL PERFORMANCE

Keywords

R/C Coupled Beam, Nonlinear Analysis, TBEC (2018), Targeted Performance Levels, Limits of Damage in Construction Elements.

Abstract

In many reinforced concrete structures, the effects of earthquakes are jointly resisted by reinforced concrete (R/C) frames and reinforced concrete (R/C) coupled shear walls. The coupling beams connecting the R/C shear walls differ in used material and reinforcement steel bar layout. The aim of this study is to examine the effects of different R/C coupling beam models on structural performance. In this study, nonlinear pushover analyses were performed on 14-storey structure model in which columns and coupled shear walls are used together as vertical carriers according to the ground acceleration of the İstanbul Atatürk Airport region. When the results of the analyses were examined, it was observed that the composite and diagonally reinforced coupling beam models provided high horizontal load resistance but had a lower displacement capacity than the double beam – coupling beam model.

Alıntı / Cite

Özer, Ö., Yüksel, S. B., (2022). Deprem Etkilerinin Betonarme Çerçeveler ile Bağ Kirişli Betonarme Perdeler Tarafından Birlikte Karşılandığı Binalarda Bağ Kirişli Modellerinin Yapı Performansına Etkisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(1), 161-179.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Ö. Özer, 0000-0002-5126-6832
S. B. Yüksel, 0000-0002-4175-1156

Makale Süreci / Article Process

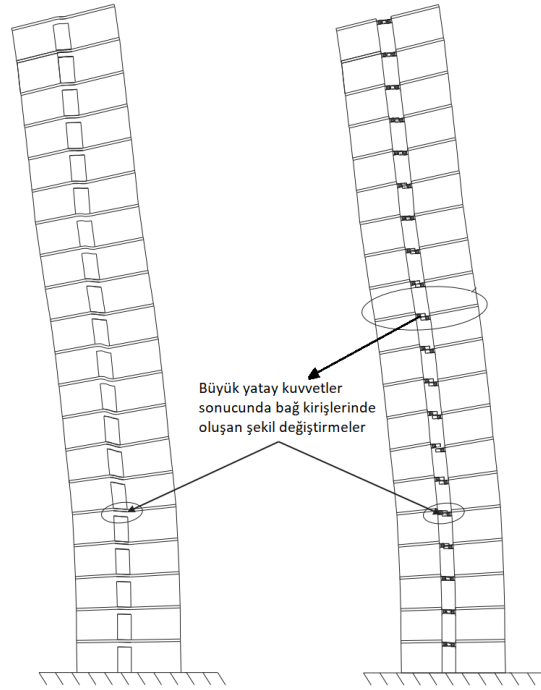
Başvuru Tarihi / Submission Date	16.02.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	10.09.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	30.09.2021
Yayın Tarihi / Published Date	23.03.2022

* İlgili yazar / Corresponding author: omer@anahtarmuhendislik.com, +90-332-238-2727

1. Giriş (Introduction)

Yapıların tasarlanmasında, taşıyıcı sistem seçimi depreme dayanıklı yapı tasarımında büyük önem taşımaktadır. Bağ kirişli betonarme perdeler ile kolon ve kirişlerin kullanıldığı çerçeveler statik projelendirmelerde sıklıkla beraber kullanılmaktadır.

Betonarme perde duvarlar, yapıların yatay yük dayanımını önemli ölçüde arttırmaktadır (Özsoy Özbay ve Kaya, 2019). Özellikle deprem yükleri altında perdelerde büyük kesit zorlanmaları ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple betonarme perdeler birbirine bağlanırken özel tasarlanmış bağ kirişlerinin kullanılması gerekmektedir. Şekil 1'de bu tip bağ kirişli-boşluklu betonarme perde uygulaması ve büyük yatay yüklemeler sonucu oluşabilecek şekil değiştirmeler gösterilmiştir (Montgomery, 2013).



Şekil 1. Betonarme Bağ Kirişli Perdelerde Yük Deformasyon Etkisi (Montgomery, 2013) (Load Deformation Effect on R/C Coupled Shear Walls)

Bağ kirişli perdeli sistemlerde en sık görülen hasar durumları, rijit bodrum katlardan sonra gelen katlardaki perde tabanlarında ve bağ kirişlerinde görülmektedir. Kapı ve pencere boşlukları üzerindeki bağ kirişlerinde hasar şekilleri ve perdelerde meydana gelen yatay yük kaynaklı hasarlar durumları ise bağ kirişlerinde kullanılacak malzeme ve donatılara yön vermektedir.

Bu çalışmanın amacı, deprem etkilerinin kolon ve kirişlerin oluşturduğu çerçeveler ile bağ kirişli perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalarda, bağ kirişlerinin yapı performansına olan etkilerini araştırmaktır. Çalışmada, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'in önerdiği bağ kirişi modellerinin yanında literatürde yer edinmiş bağ kirişi modellerine de yer verilmiştir (TBDY, 2018).

Bu çalışmada daha önceki çalışmalardan farklı olarak, birçok uygulama projesinde tercih edilen, bağ kirişli perdelerin ve çerçeve elemanlarının kat içinde homojen dağıldığı bir analiz modelinde bağ kirişi modelinin yapı performansına olan etkileri incelenmiştir. Çalışmada kullanılacak 4 farklı bağ kirişi modellerinin, çerçeveler ve bağ kirişli perdelerin beraber bulunduğu analiz modellerinde, literatürde daha önce tercih edilmemiş çok çeşitli ve detaylı değerlendirme başlıkları altında yapı performansına sağladıkları avantaj ve dezavantajlar belirlenecektir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Literatürde betonarme bağ kirişi modellerinin yapı performansına olan etkilerinin incelendiği birçok araştırma yapılmıştır. 2014 yılında yapılan bir çalışmada, bağ kirişli perdeli yapıların, sadece binadaki deformasyon taleplerini azaltmakla kalmayıp aynı zamanda elastik olmayan deformasyonu sınırlandıran yatay yüke dayanıklı sistemler olduğunun üzerinde durmuştur (Eljadei ve Harries, 2014). Bir diğer çalışmada çapraz donatılı bağ kirişlerinin hesaplama formüllerine eleştiri getirilmiş ve beton katkısının da dikkate alındığı farklı formüller

önerilmiştir (Budiono vd., 2019). Gong ve Shahrooz'un 2001 yılında yayınlanan makalelerinde, çelik ve çelik – beton malzemelerin beraber kullanıldığı bağ kirişlerinin, yapıların deprem performansına olan etkilerini incelemişlerdir (Gong ve Shahrooz, 2001). 2017 yılında yapılan bir diğer çalışmada, diyagonal donatılar yerine sadece düz donatıların kullanıldığı dört tam ölçekli bağ kirişinin deneysel sonuçları karşılaştırılmıştır (Seo vd., 2017). Kompozit bağ kirişlerinin incelendiği bir diğer çalışmada, çelik levha ile güçlendirilmiş kompozit bağ kirişlerinde yüksek dayanımlı betonların kullanıldığı bağ kirişleri önerilmiştir (Hou vd. 2019). Çelik profillerle güçlendirilmiş betonarme bağ kirişlerinin kullanıldığı 7 yarı ölçekli modelin kullanıldığı bir çalışmada, bu tip bağ kirişleri ile toplam bağ kirişi yüksekliğinin azaltılabileceği ve bu tip bağ kirişlerinin yüksek mukavemet ve yatay yük dayanımı gösterdiğinin üzerinde durmuşlardır (Li vd., 2019). Bir başka çalışmada, çapraz donatılı bağ kirişleri için diyagonal donatı takviyesinin miktarının belirlenmesinde farklı öneriler sunmuştur. Ayrıca, yapılan çalışmada, ortaya çıkan kesme kuvvetinin karşılanmasında diyagonal çubuklara ek olarak betonun da katkıda bulunduğunu göstermişlerdir (Lim vd., 2016). 2020 yılında yapılan bir çalışmada, doğrusal olmayan analizlerde çubuk elemanların modellenmesinde dikkat edilmesi gereken hususlar üzerinde durulmuştur (Foroughi vd., 2020). 2020 ve 2021'de yapılan 2 farklı çalışmada, tünel kalıp formundaki yapılarda ve bağ kirişli perdelerin çekirdekte yoğunlaştığı yapılarda, bağ kirişi modellerinin yapı performansına olan etkileri araştırılmıştır (Özer ve Yüksel, 2020a; 2020b; 2021).

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

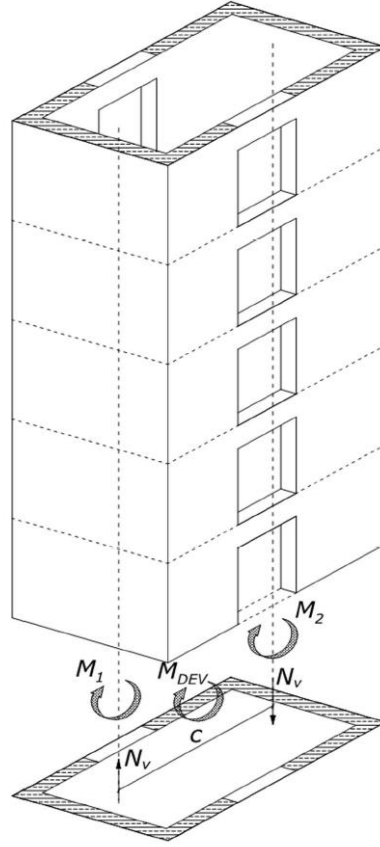
3.1. Bağ Kirişi Modelleri (Coupled Beam Models)

TBDY (2018) 4.5.4'te ise bağ kirişli (boşluklu) perdelerin tanımlanmasında esas alınan bağ derecesi katsayısı olan Ω 'nın, Eşitlik (1)'e göre elde edilmesi önerilmiştir (TBDY, 2018). Burada M_{DEV} perdenin tabanındaki toplam devrilme momentini, M_1 ve M_2 birbirine bağlanan perdelerin tabanında oluşan eğilme momentini, N_v deprem etkisinde bağ kirişlerindeki çekme ve basınç eksenel kuvvetlerini, c ise her bir perdenin ağırlık merkezleri arasındaki uzaklığı belirtir (Şekil 2). TBDY (2018) 7.4.1.1'de kiriş enkesit koşullarında uyulması gereken sınırlar belirtilmiştir. Ancak aynı maddenin son kısmında ise bağ kirişlerinin bu sınırlamalara tabi olmadığından bahsedilmiştir. Dolayısıyla Eşitlik (2)'nin sağlandığı durumlarda, perdeleri birbirine bağlayan kiriş elemanı bağ kirişi olarak kabul edilecek ve TBDY (2018) 7.4.1.1'de belirlenen kiriş enkesit koşullarına uyma zorunluluğu bulunmayacaktır. Modellemede kullanılan X ve Y Yönündeki bağ kirişlerinin Ω değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

$$\Omega = \frac{cN_v}{M_{DEV}} = \frac{cN_v}{M_1 + M_2 + cN_v} \quad (1)$$

Bulunan Ω değerinin Eşitlik (2)'yi sağlaması durumunda ise birbirine bağ kirişleriyle bağlanan perdelerin bağ kirişli (boşluklu) perde olarak kabul edilmesi öngörülmüştür (TBDY, 2018).

$$\Omega \geq 1/3 \quad (2)$$



Şekil 2. Bağ Derecesi Katsayısının Saptanmasında Kullanılan Parametrelerin Şematik Gösterimi (ideYAPI, 2020) (Schematic Representation of the Parameters Used to Determine the Coupling Degree Coefficient)

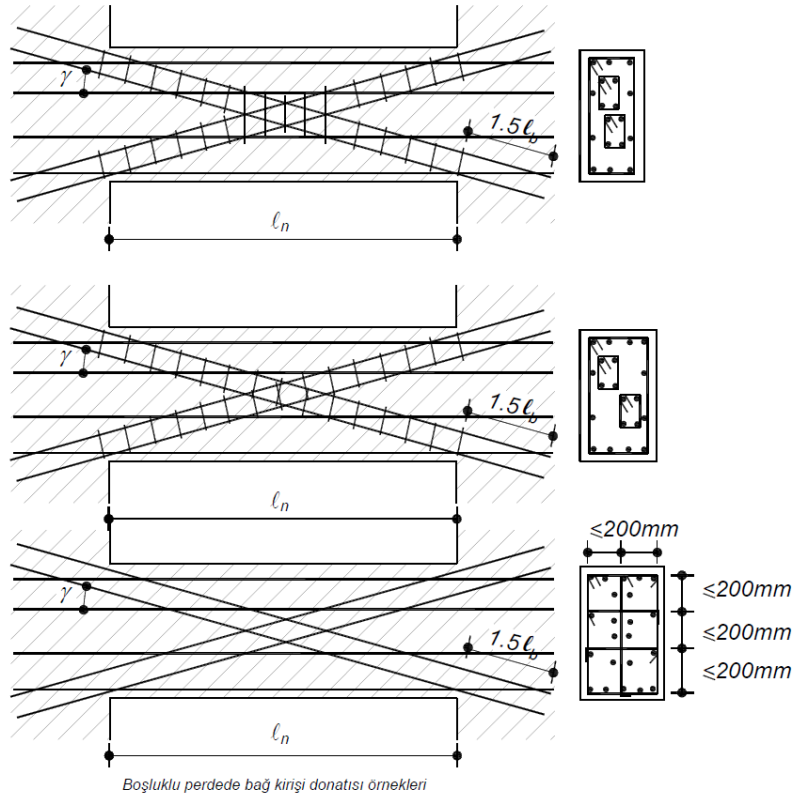
Tablo 1. Analiz Modelinin Lokasyon ve Deprem Parametreleri (Location and Earthquake Parameters of the Analysis Model)

Yön	c	N_v (kN)	M_1 (kNm)	M_2 (kNm)	Ω
Y	4	13658	7910	7912	$0.775 > 1/3$
X	4,65	11214	5084	13209	$0.74 > 1/3$

Bağ kirişlerinde çapraz donatı kullanılması, birçok yönetmelikte belli şartlar oluştuğunda zorunlu tutulmuştur. ACI-318 (2019) bölüm 18.10.7'de de Eşitlik (3)'ün sağlandığı durumlarda çapraz donatıların kullanılması gerekmektedir (ACI, 2019). Benzer şekilde TBDY (2018)'de ise Eşitlik (3) ve Eşitlik (4)'ün aynı anda sağlandığı durumlarda, düz donatıların yanında çapraz donatıların Şekil 3'teki gibi kullanılması zorunlu tutulmuştur (TBDY, 2018).

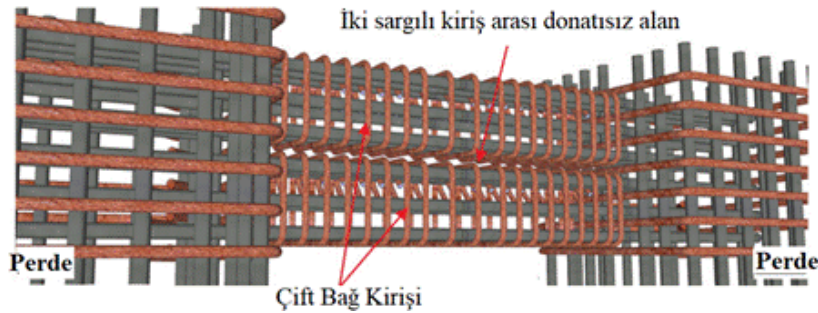
$$l_n \leq 2 h_k \quad (3)$$

$$V_d > 1.5 b_w d f_{ctd} \quad (4)$$



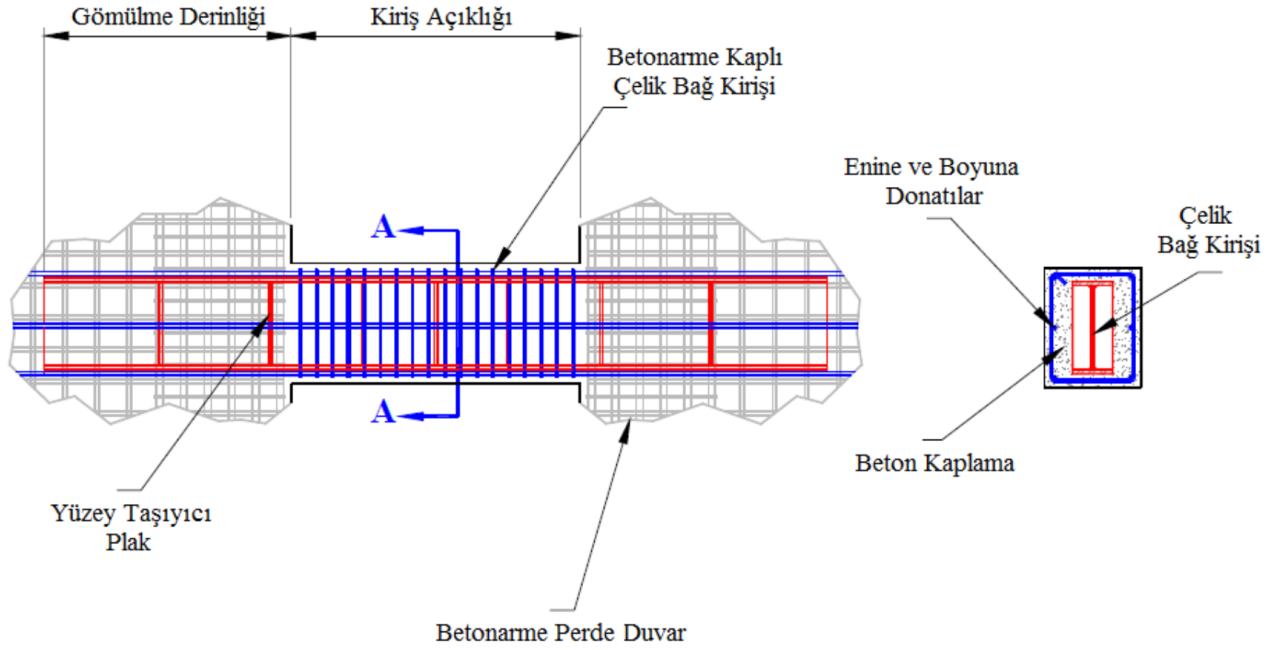
Şekil 3. TB DY (2018)'de Ba ğ Kirişlerinde Uygulanması Önerilen Çapraz Donatıların Şematik Gösterimi (TB DY, 2018)
(Schematic Representation of Diagonal Reinforcements Recommended to be Applied in Coupling Beams in TBEC (2018))

Literatürde deprem yönetmeliklerinin önerdiği çapraz donatıların alternatifi olabilecek birçok çalışma yapılmıştır. Çok sık donatıların kullanıldığı ba ğ kirişlerinde, etriyelerle sarılmış çapraz donatıların perdelerle mesnetlenmesi oldukça zor bir uygulamadır. Bu zorluğun önüne geçebilmek için literatürde ba ğ kirişlerinde farklı donatılandırma modelleri üzerinde çalışılmıştır. Ba ğ kirişinin Şekil 4'teki gibi iki ayrı kiriş şeklinde etriyelerle sarıldığı model, donatıların bağlanması ve perde içine yerleşim kolaylığıyla dikkat çekicidir (Choi vd., 2018; Li vd., 2020).



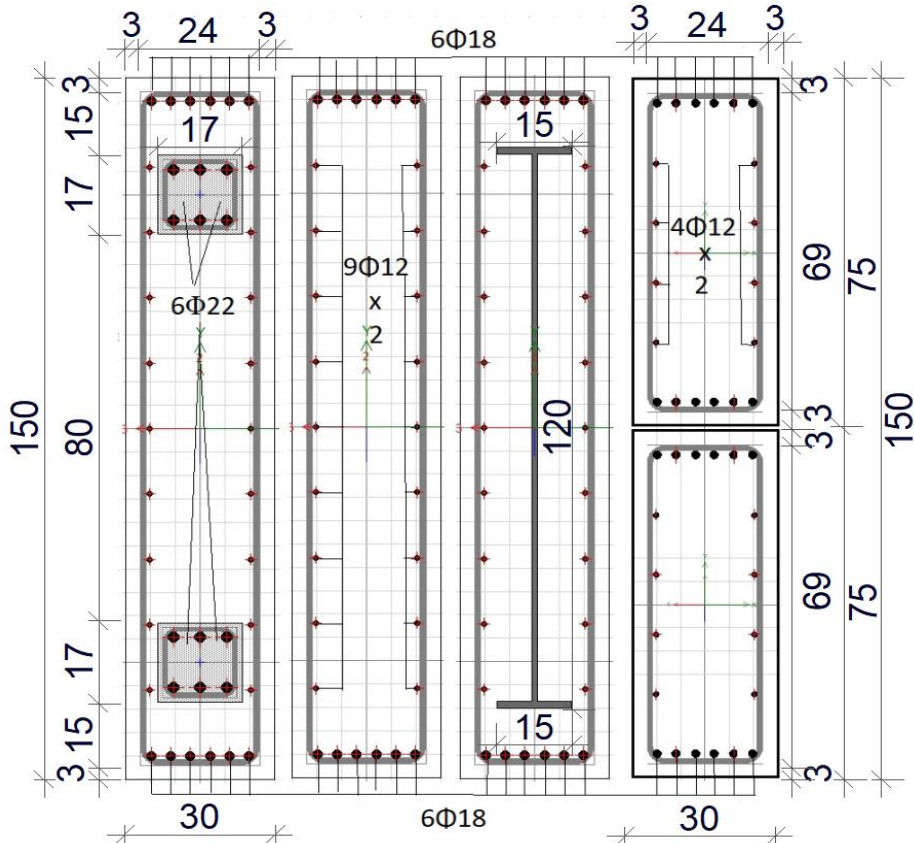
Şekil 4. Ba ğ Kirişlerinde Çift Kiriş Modeli (Choi vd., 2018) (Double Beam Model on Coupling Beams)

Ba ğ kirişlerinde, büyük zorlanmaların olduğu durumlarda, yüksek mukavemet ihtiyacını karşılamak için çapraz donatılı ba ğ kirişlerinin yerini alabilecek modeller araştırılmış ve Şekil 5'te gösterildiği gibi düz donatılı ba ğ kirişlerinin çekirdek kısmına yerleştirilen çelik profillerle oluşturulan kompozit ba ğ kirişi modelleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır (Fortney, 2005). Yapılan bu çalışmalar sonucunda, kompozit ba ğ kirişleri, çapraz donatılı ba ğ kirişinin alternatifi olabileceği kanısına varılmıştır (Chairunnisa vd., 2017).



Şekil 5. Kompozit Bağ Kirişi Modeli (Fortney, 2005) (Composite Coupling Beam Model)

Analiz modelinde kullanılacak bağ kirişi modelleri seçilirken literatürde kabul görmüş modellemeler tercih edilmiştir. Tüm bağ kirişi modelleri 30×150 cm boyutunda, tüm etriyeler ise $\Phi 10/10$ cm aralığında seçilmiştir. Kompozit kesitte kullanılan I profilin alt ve üst kesiti 15 cm genişliğinde ve 1.5 cm kalınlığında, gövde genişliği ise 1 cm'dir. I profilin yüksekliği 120 cm olarak seçilmiştir. Bu kadar yüksek bir profil kullanılmasında ilk sebebi 150cm yüksekliğindeki bağ kirişinde yer alması diğer sebebi ise bağ kirişinin dayanımını önemli ölçüde artırıp yapı performansına olan etkilerini incelemektir. Tüm modellerde alt ve üst donatılar $6\Phi 18$, gövde donatısı olarak ise $2 \times 9\Phi 12$ tercih edilmiştir. Çapraz donatıların kullanıldığı kesitte ise çapraz donatılar $6\Phi 22$ seçilmiş, donatılar 16 cm genişlik ve yükseklikteki etriyeler ile sarılmıştır. Çift kiriş şeklinde donatıların kullanıldığı kesitte ise alt ve üst donatı olarak $6\Phi 18$ seçilmiş gövde donatısı olarak ise $2 \times 4\Phi 12$ tercih edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Analiz Modelinde Kullanılan Bağ Kirişi Modelleri (cm) (Coupling Beam Models Used in the Analysis Model)

3.2. Analiz Modeli (Analysis Model)

Analiz yöntemleri TBDY (2018)'de dayanıma göre tasarım (DGT) ve şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım (ŞGDT) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. DGT'de doğrusal analiz yöntemleri, ŞGDT'de ise doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Analiz modellerinin ön tasarımları İdestatik v10 (ideYAPI, 2020) analiz programıyla ve DGT yöntemiyle yapılmıştır. DGT yöntemiyle bulunan donatılar kullanılarak taşıyıcılar modellenmiş ve yapının doğrusal olmayan analizleri ETABS v18 programı yardımıyla yapılmıştır (ETABS, 2020).

TBDY (2018)'le beraber her bir koordinatın kendine ait deprem parametreleri bulunmaktadır. Bu çalışmada İstanbul Atatürk Havaalanı'nın bulunduğu koordinatların deprem parametreleri kullanılmıştır (Tablo 2). Tablo 1'deki S_s kısa periyot harita spektral ivme katsayısını, S_1 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısını, S_{D1} 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısını, S_{DS} kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını, T_A ve T_B ise yatay elastik tasarım ivme spektrumunun iki köşe periyodunu simgelemektedir. Analiz modeli parametreleri ise Tablo 3'te verilmiştir

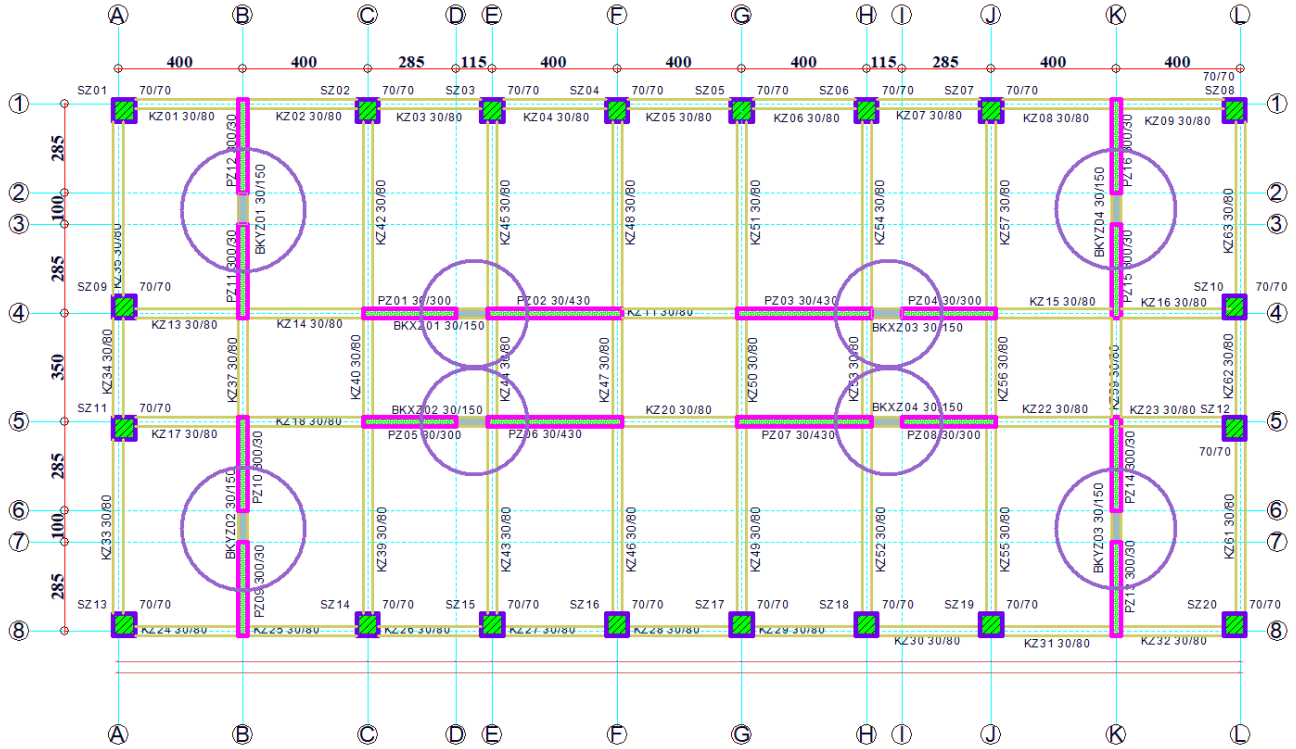
Tablo 2. Analiz Modelinin Lokasyon ve Deprem Parametreleri (Location and Earthquake Parameters of the Analysis Model)

Analiz Modeli Lokasyonu	İstanbul Atatürk Havaalanı
Bina Konumu Enlem	40.982214
Bina Konumu Boylam	28.828068
S_s	1.218
S_1	0.325
S_{D1}	0.488
S_{DS}	1.262
T_A	0.067
T_B	0.334
Periyot (Mod 1 - Y Yönü) (sn)	1.5765
En Büyük Yer İvmesi PGA (g)	0.501
En Büyük Yer Hızı PGV(cm/sn)	33.574

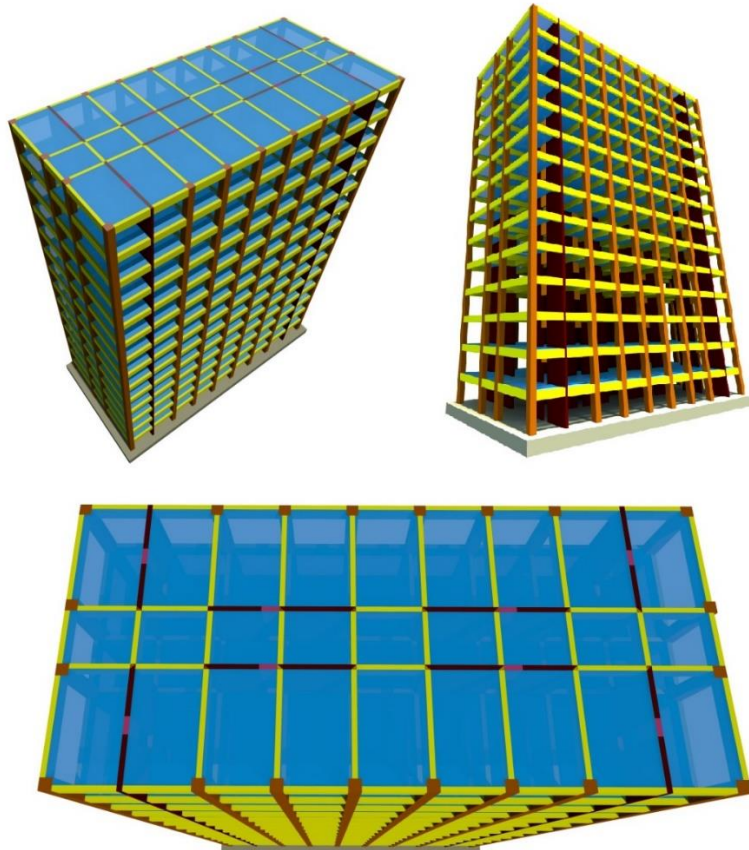
Tablo 3. Analiz Modeli Genel Parametreleri (Analysis Model General Parameters)

Analiz Modeli Parametreleri			
Genel Parametreler		Taşıyıcı Sisteme Ait Parametreler	
Kat Sayısı	14	Perde Kalınlığı	30 cm
Kat Yüksekliği	3.5 m	Perde Uç Düşey Donatı-Etr.	11Φ18 Φ12/11
Yapı Ebatları	36 m x 16.9 m	Perde Gövde Donatı-Etr.	Φ18/17 Φ10/10
Yapı Yüksekliği	49 m	Kolon Kesiti	70 x 70 cm
Bina Yükseklik Sınıfı	BYS 3	Kolon Donatısı- Etriye	16Φ20 Φ10/10 Etr
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	8	Kiriş Kesiti	30 x 80
Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	2.5	Kiriş Donatısı -Etriye	5Φ18 - Üst 5Φ18 - Alt Φ10/10 Etr.
Beton Sınıfı	C40	Deprem Tasarım Sınıfı	DTS 1
Çelik Sınıfı	B420C		
Bina Kullanım Sınıfı	BKS 3	Döşeme Kalınlıkları	15 cm
		Döşeme Ölü / Hareketli Yük	2,06 / 3,43 kN/m ²
		Yapı Toplam Ağırlığı (G+0.3Q)	116121 kN
Yapı Süneklik Düzeyi	Yüksek	Hesap Yöntemi	ŞGDT
		Zemin Sınıfı	ZC

Yapılan bu çalışmada, deprem yükleri kolon ve kirişlerin oluşturduğu çerçeveler ile bağ kirişli perdeler tarafından birlikte karşılanmaktadır. Taşıyıcıların boyutları, tüm katlarda aynı seçilmiştir. Şekil 7'de kat planı verilen analiz modelinde bağ kirişleri daire içine alınmıştır. Ayrıca analiz modelinde bağ kirişli perdeler, kolon ve kirişlerden oluşan çerçeveler kat içinde homojen dağılım göstermektedir. Analiz modellerinin 3 boyutlu görüntüsü ise Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Analiz Modeli Kat Planı (Floor Plan of Analysis Model)



Şekil 8. Analiz Modelinin 3 Boyutlu GörSELLERİ (3D Views of the Analysis Model)

3.3. Doğrusal Olmayan Analiz (Nonlinear Analysis)

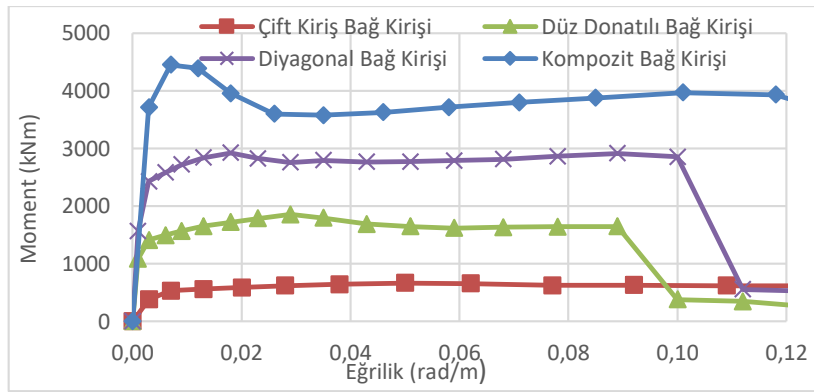
Bu çalışmada doğrusal olmayan analizde, iki farklı mafsal modellemesi kullanılmıştır. Bunlardan birincisi çubuk elemanlar olan kolonlarda, çerçeve kirişlerinde ve bağ kirişlerinde kullanılan yığılı mafsal modeli, ikincisi ise kabuk eleman olan perdelerde kullanılan yayılı mafsal modelidir.

Yığılı mafsal modellemeleri yapılırken, DGT yöntemiyle analizi yapılan ve donatıları seçilen taşıyıcı elemanların, moment eğrilik grafikleri elde edilmiştir (Şekil 9-10-11). Şekil 12’de verilen yapı elemanlarının Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi (GÖ) kesit hasar sınırları ise TBDY (2018)’de önerildiği şekilde, Eşitlik (5)-(6) ve (7)’den faydalanılarak bulunmuştur (Şekil 13). Eşitlik (5)-(6) ve (7)’de geçen θ_p ilgili performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırını, Φ_u göçme öncesi eğriliği, Φ_y akma eğriliğini, L_p plastik mafsal boyunu, L_s kesme açıklığını, d_b boyuna donatı çapını sembolize etmektedir.

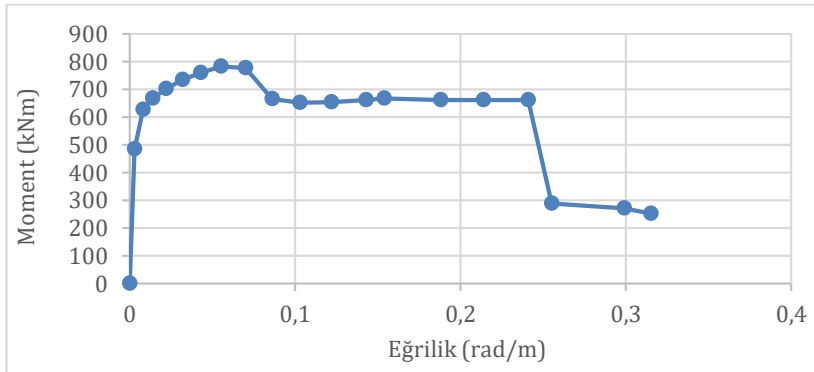
$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[(\Phi_u - \Phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \Phi_u d_b \right] \quad (5)$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(GÖ)} \quad (6)$$

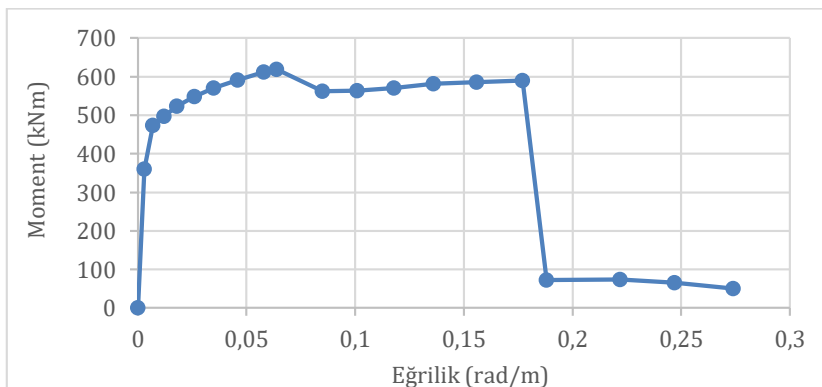
$$\theta_p^{(SH)} = 0 \quad (7)$$



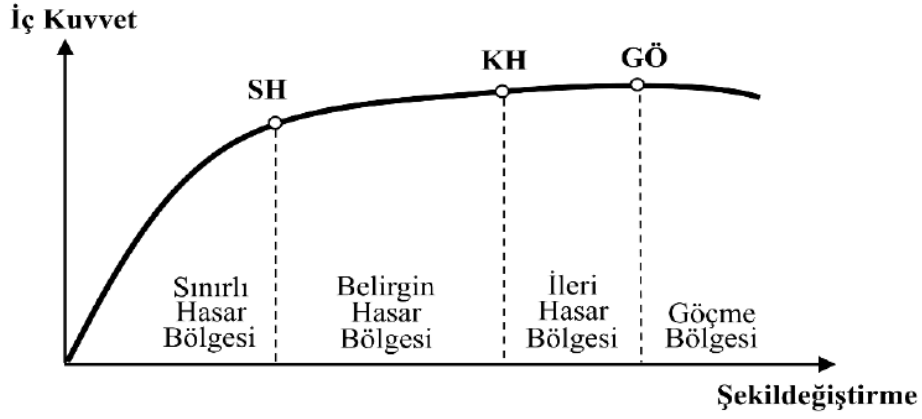
Şekil 9. Bağ Kirişleri Moment-Eğrilik Grafikleri (Coupling Beams Moment Curvature Graphics)



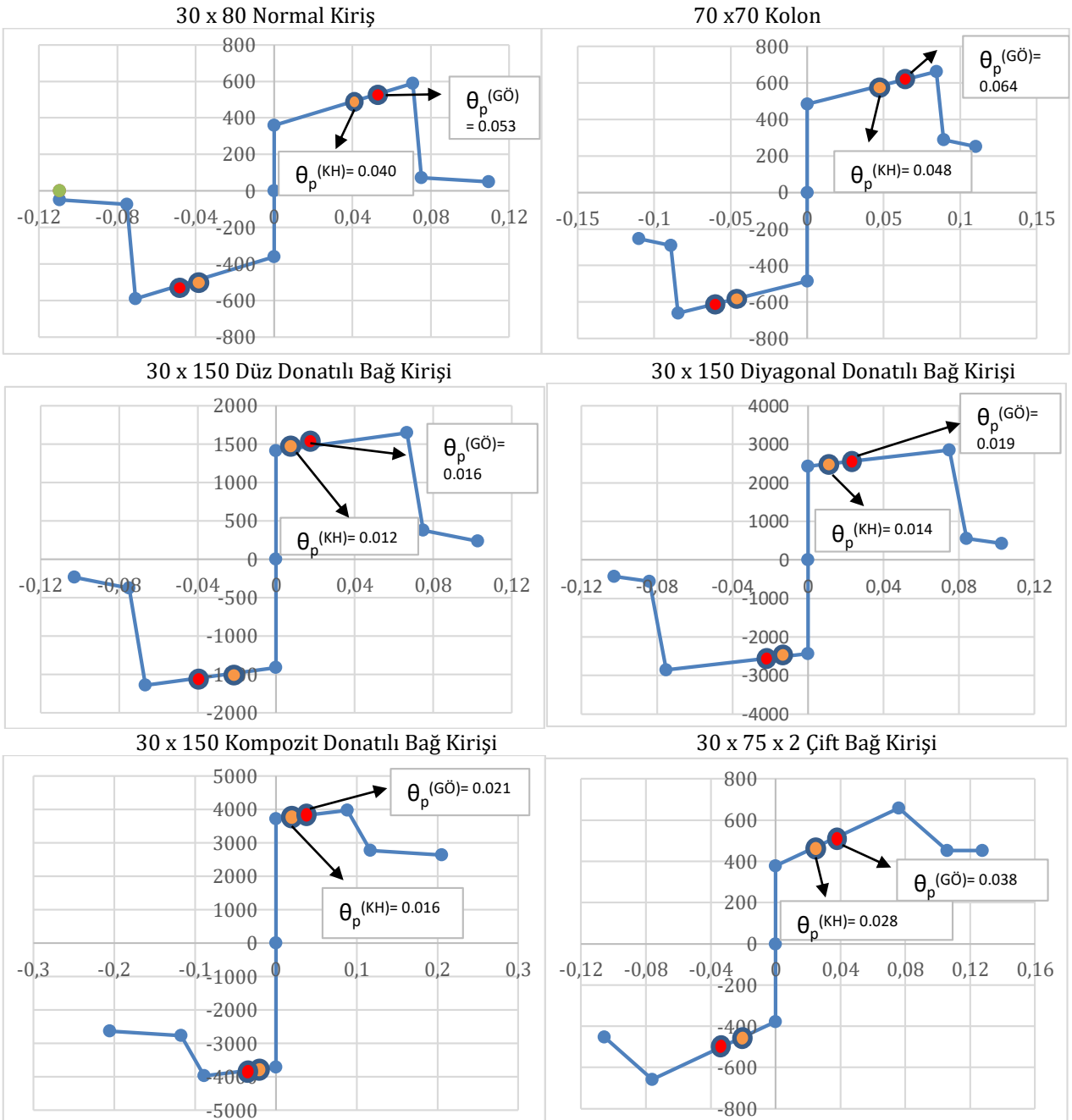
Şekil 10. 70 x 70 Kolon Moment-Eğrilik Grafikleri (70 x 70 Column Moment-Curvature Graphics)



Şekil 11. 30 x 80 Çerçeve Kirişi Moment-Eğrilik Grafikleri (30 x 80 Frame Beam Moment-Curvature Graphics)



Şekil 12. Kesit Hasar Bölgeleri (TBDY, 2018) (Limits of Damage in Construction Elements)



Şekil 13. Yiğili Mafsallar Moment - Dönme Eğrileri ve KH-GÖ Noktaları (kNm) (Plastic Hinges Moment - Rotation Curves and LS (Life Safety)-CP (Collapse Prevention) Points)

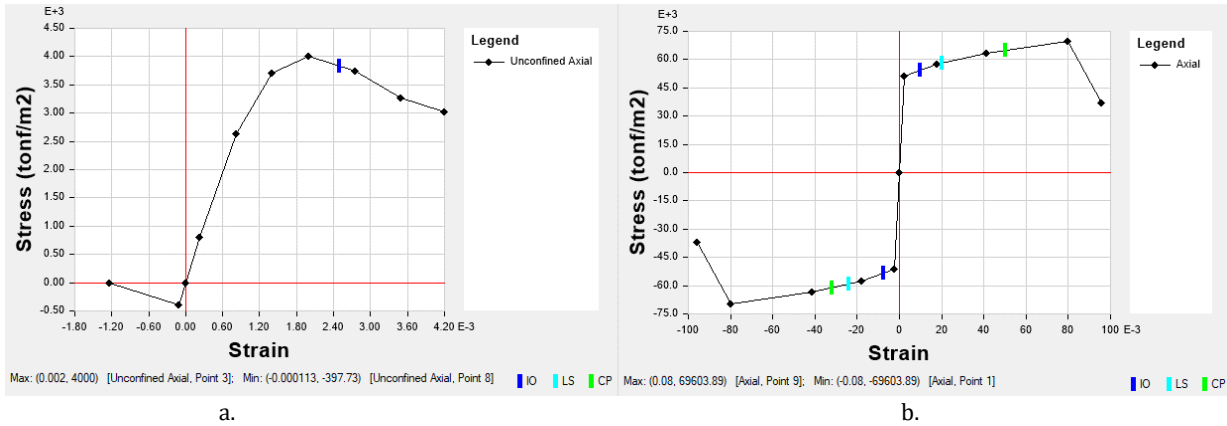
Perdelerde kullanılan yayılı mafsal modellemesi ise TBDY (2018) 5.8.1.1'e göre yapılmıştır. Yayılı plastik davranış modeline göre hesaplanan beton ve donatı çeliği toplam birim şekildeğiştirmeleri $\varepsilon_c^{(GÖ)}$ ve $\varepsilon_s^{(GÖ)}$ için izin verilen sınırlar Eşitlik (8)-(9)- (10)ve(11)'e göre elde edilmiştir. Eşitlik (8)-(9)- (10) ve (11)'de geçen ε_c ilgili performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırını, ω_{we} etkin sargı donatısının mekanik donatı oranını, ε_s ilgili performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi sınırını sembolize etmektedir. Etabs v18'de yayılı mafsal modellemesinde kullanılan beton ve çelik gerilme-şekildeğiştirme grafikleri ise Şekil 14'te gösterilmiştir.

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (8)$$

$$\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0.4 \varepsilon_{su} \quad (9)$$

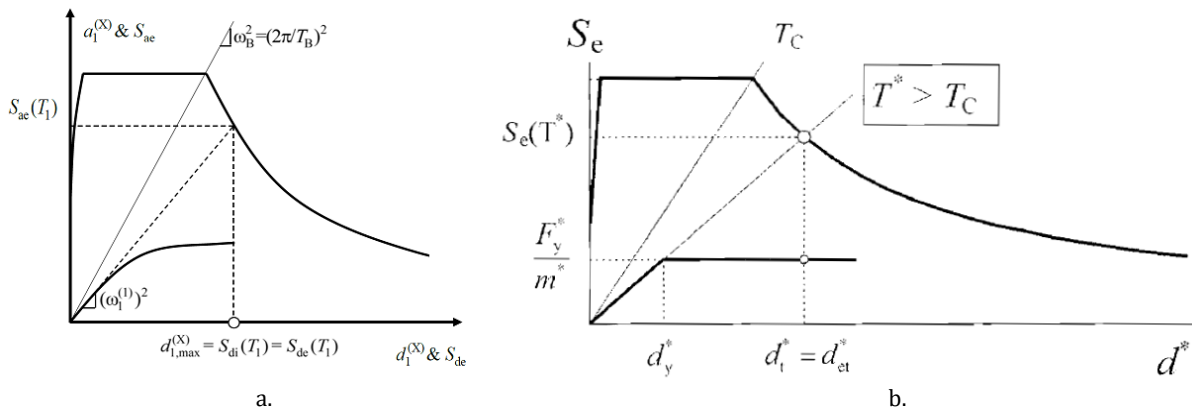
$$\varepsilon_c^{(KH)} = 0.75 \varepsilon_c^{(GÖ)} \quad (10)$$

$$\varepsilon_s^{(KH)} = 0.75 \varepsilon_s^{(GÖ)} \quad (11)$$



Şekil 14. Yayılı Mafsal Gerilme – Şekildeğiştirme Eğrileri ve Kontrollü Hasar (KH) – Göçme Öncesi (GÖ) Noktaları (Fiber Hinges Stress - Strain Curves and Life Safety (LS) – Collapse Prevention (CP) Points
a. Beton b. Donatı Çeliği (a. Concrete b. Steel)

Çalışmada statik itme yöntemiyle yapılan doğrusal olmayan analizler sonucunda, analiz modelinin performans noktaları hem Eurocode B.4 bölümünde, hem de TBDY (2018) 5B.3. bölümünde yer alan yapı yer değiştirme talebi formüllerinden yararlanılarak hesaplanmıştır (Eurocode8, 2004). Şekil 15'e göre hesaplanan hedef yer değiştirme talebinin statik itme analizinde karşılık gelen hesap adımına göre yapı performansı belirlenmiştir.



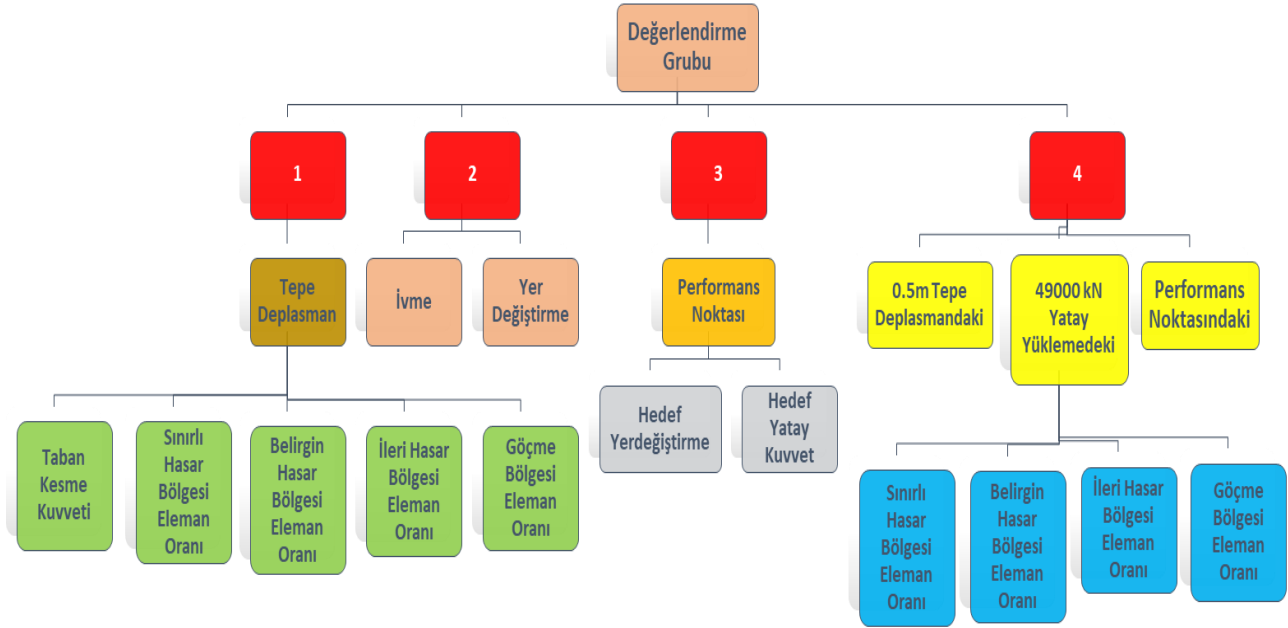
Şekil 15. TBDY (2018) ve Eurocode 8'de Performans Noktası Grafikleri (TBEC (2018) and Eurocode 8 Performance Point Graphics)

a. TBDY (2018) Şekil 5B.3. b. Eurocode 8 Şekil B.2 (TBEC (2018) Figure 5B.3. b. Eurocode 8 Figure B.2)

4. Analitik Sonuçlar (Analytical Results)

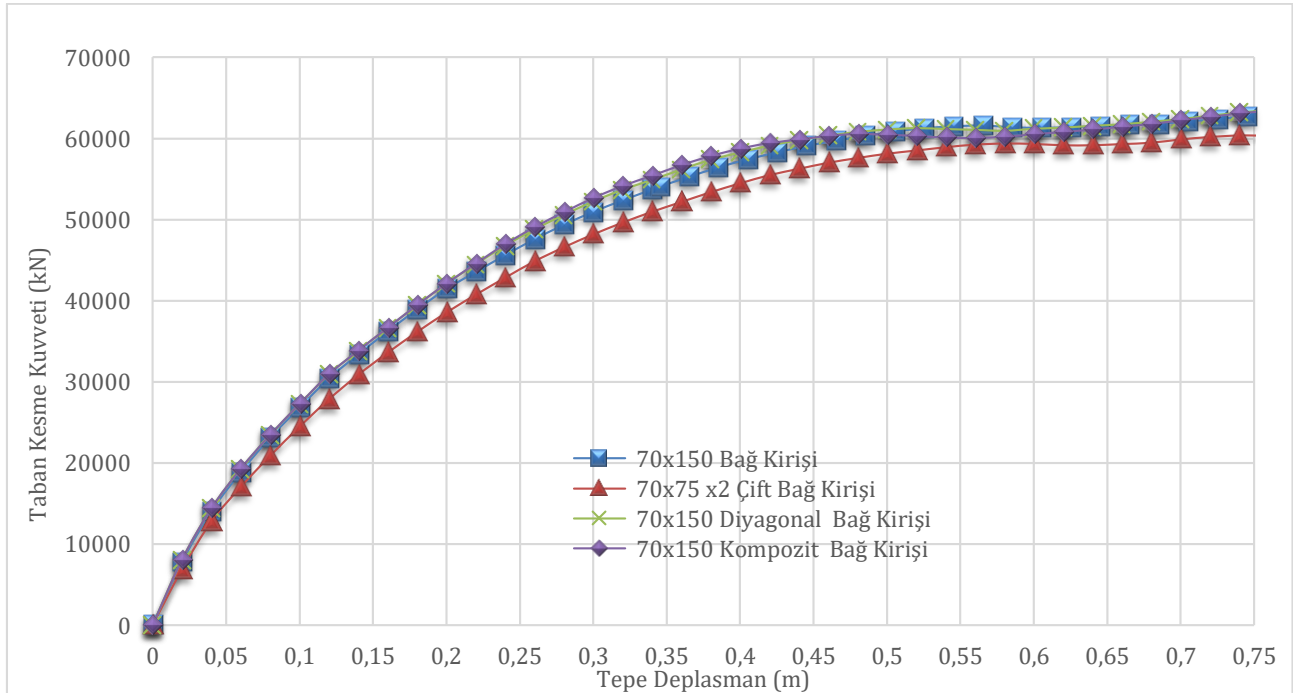
Bu çalışmada 14 katlı, deprem etkileri, kolon ve kirişlerin oluşturduğu çerçeveler ile bağ kirişli perdeler tarafından birlikte karşılandığı analiz modeli, TBDY (2018) 5.6'da bahsedildiği şekilde statik itme analizleri yapılmıştır. Bulunan analiz sonuçları, normal donatılı model, çapraz donatılı model, betonarme ve çeliğin bir arada kullanıldığı

kompozit model ve çift kiriş model olmak üzere 4 farklı bağ kirişi modelleri için, Şekil 16'daki gösterildiği gibi 4 ana değerlendirme başlığı altında ayrıntılı şekilde incelenmiştir.



Şekil 16. Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarının Karşılaştırma Başlıkları (Comparison Titles of Nonlinear Analysis Results)

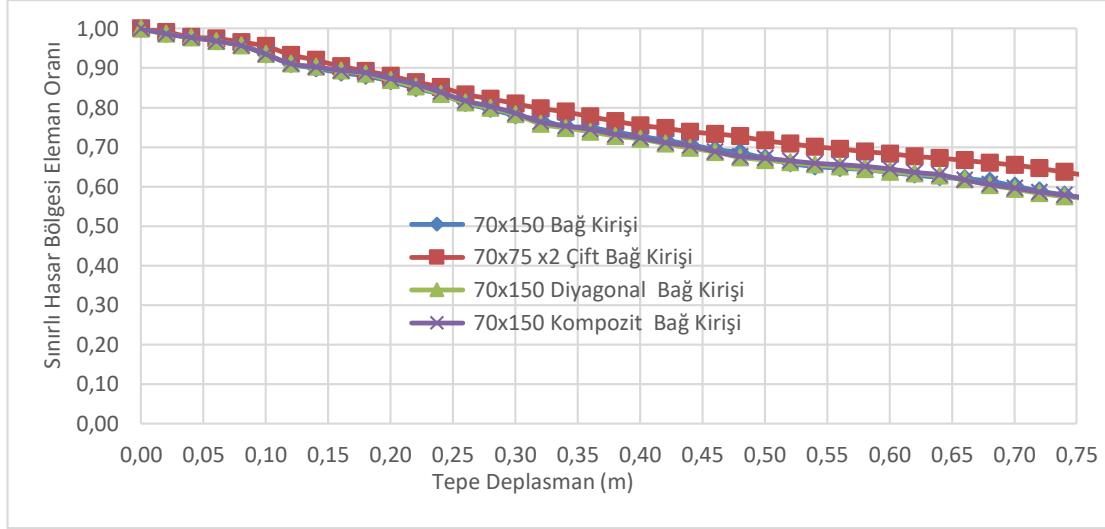
1. Değerlendirme grubundaki analiz sonuçları incelenirken ilk önce taban kesme kuvveti - tepe deplasman değerleri karşılaştırılmıştır. Tüm analiz modellerinin performans noktası 0.15m tepe deplasman değerleri civarında hesaplandığı için statik itme analizleri, performans noktası tepe deplasman değerinin 5 katı bir değer olan 0.75m de sonlandırılmıştır. Yapı güç tükenme durumları daha yüksek deplasmanlarda gerçekleştiği için grafikte ani bir düşüş gözükmemektedir. Deprem yüklerinin betonarme perdeler ve çerçeveler tarafından karşılandığı yapılarda, bağ kirişi modellerindeki değişiklik yapının taban kesme kuvveti - tepe deplasman değerlerinde ciddi farklılıklara yol açmamışsa da çift bağ kirişi modeli diğer modellerle aynı tepe deplasmana daha düşük taban kesme kuvvetinde ulaşmıştır. (Şekil 17).



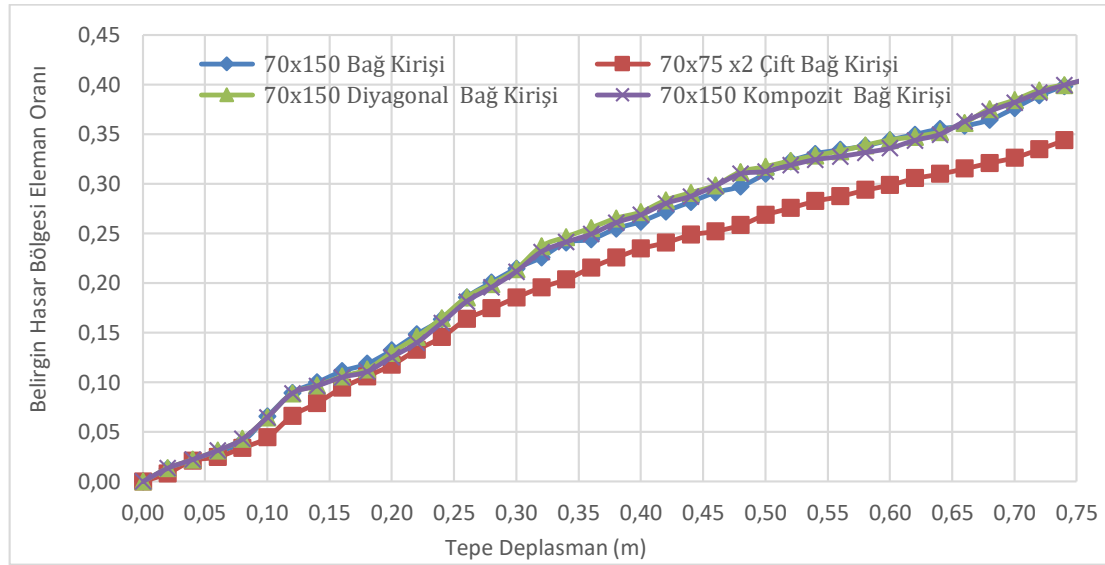
Şekil 17. Taban Kesme Kuvveti - Tepe Deplasman Grafiği (Base Shear - Monitored Roof Displacement Graph)

Sınırlı hasar bölgesindeki eleman oranları incelendiğinde, çift bağ kirişi modelinin, 75 cm tepe deplasmanı yaptığı anda, elemanlarının %63'ü sınırlı hasar bölgesinde kaldığı görülmüştür. Diğer modeller ise aynı tepe

deplasmana ulaştığında elemanlarının %57'si sınırlı hasar bölgesindeki kalabilmiştir (Şekil 18). Belirgin hasar bölgesindeki eleman oranları incelendiğinde ise çift bağ kirişi modelinin, 75 cm tepe deplasmanı yaptığında, elemanlarının %35'i belirgin hasar bölgesinde olduğu diğer modellerin ise aynı tepe deplasmanda elemanlarının %40'ının belirgin hasar bölgesinde olduğu görülmüştür (Şekil 19).

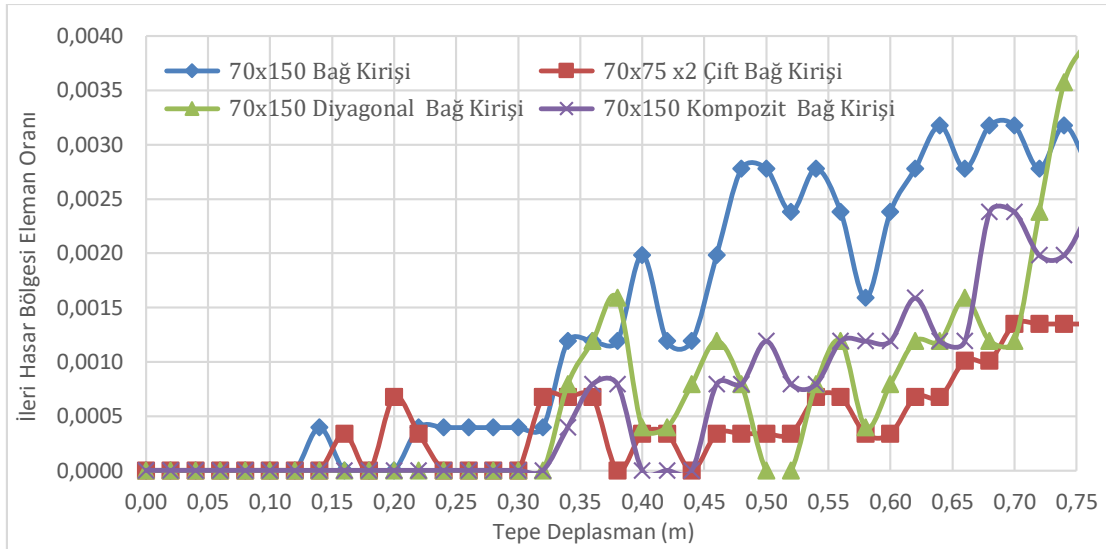


Şekil 18. Sınırlı Hasar Bölgesi Eleman Oranı - Tepe Deplasman Grafiği (Minimum Damage Region Element Ratio - Monitored Roof Displacement Graph)

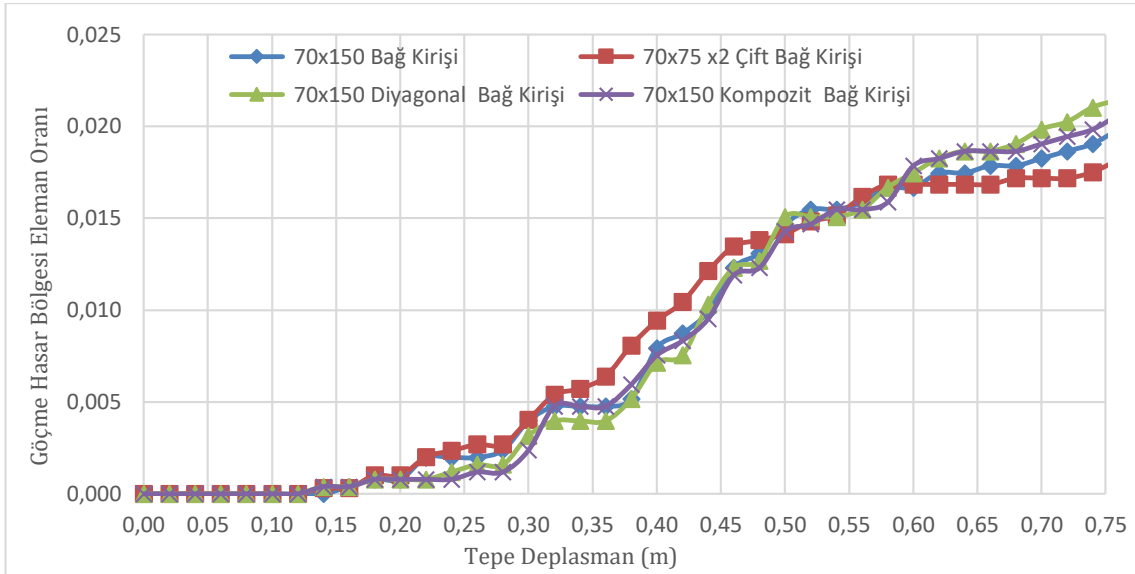


Şekil 19. Belirgin Hasar Bölgesi Eleman Oranı - Tepe Deplasman Grafiği (Marked Damage Region Element Ratio - Monitored Roof Displacement Graph)

İleri hasar bölgesi eleman oranları incelendiğinde 0,3 - 0,7m tepe deplasman aralığında düz donatılı modelin diğer modellerden daha fazla elemanının ileri hasar bölgesine geçtiği görülmüştür (Şekil 20). Göçme bölgesi eleman oranları incelendiğinde ise çift bağ kirişi modelinin başlangıçta daha fazla elemanının göçme bölgesine geçtiği görülse de 0,6m tepe deplasmandan sonra diğer modellerin göçme bölgesine geçen eleman sayısı çift bağ kirişi modelinden fazla olmuştur (Şekil 21).

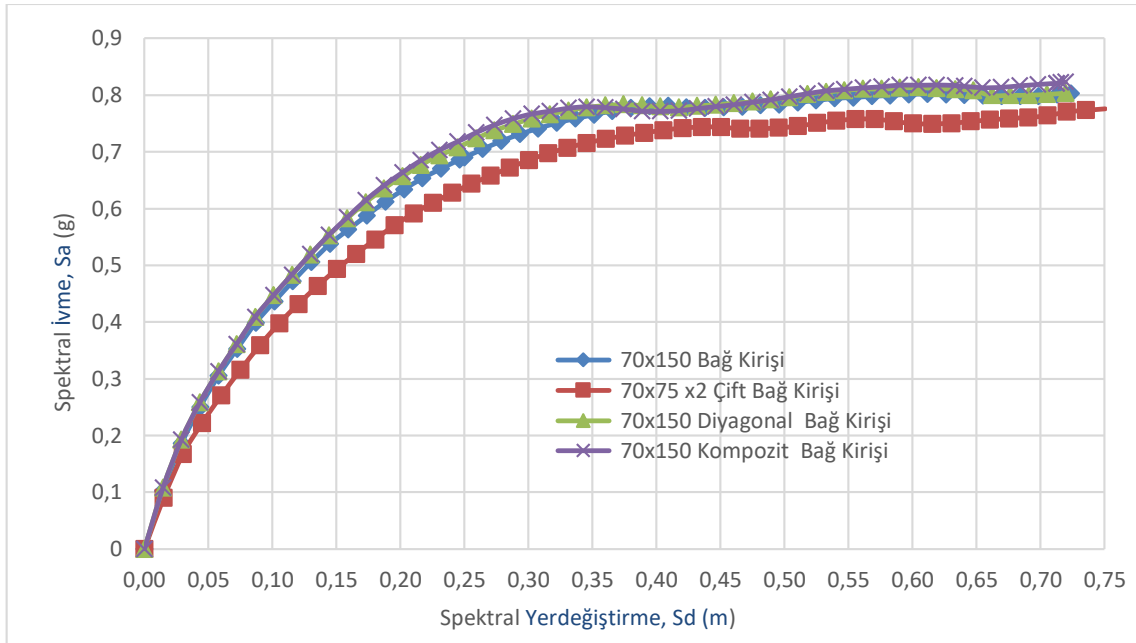


Şekil 20. İleri Hasar Bölgesi Eleman Oranı – Tepe Deplasman Grafiği (Advanced Damage Region Element Ratio – Monitored Roof Displacement Graph)



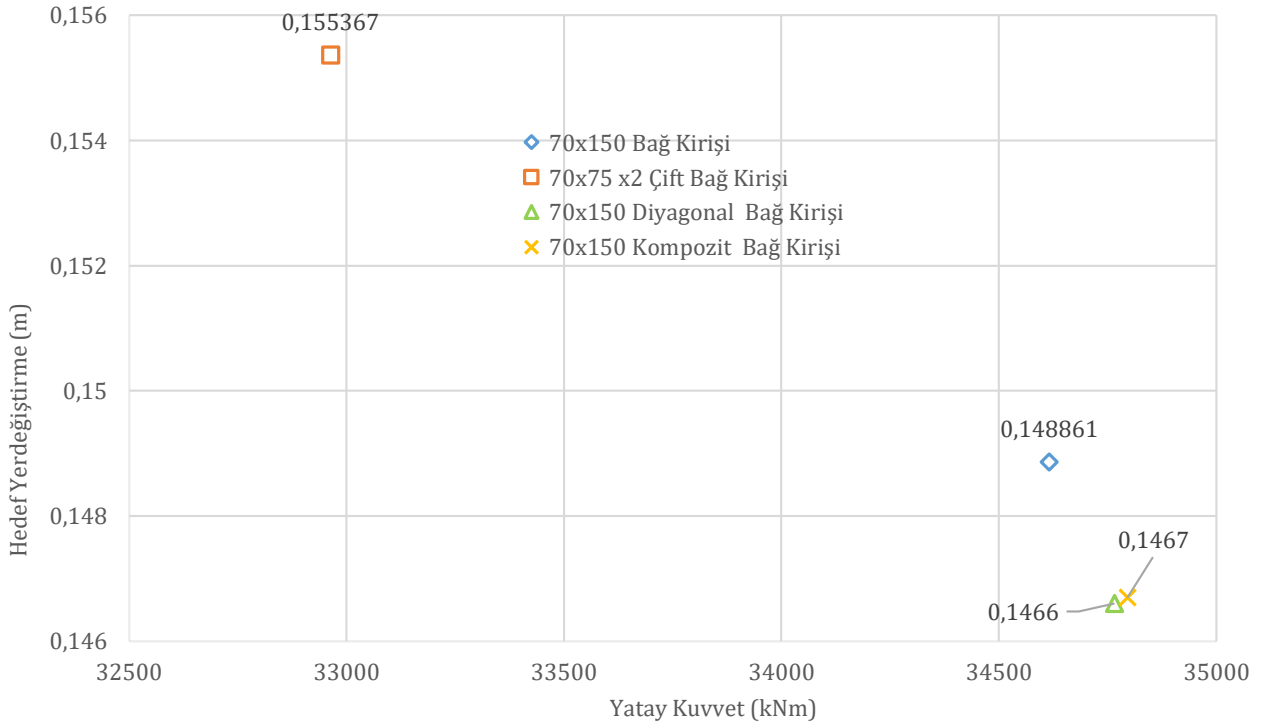
Şekil 21. Göçme Hasar Bölgesi Eleman Oranı – Tepe Deplasman Grafiği (Collapsing Region Element Ratio – Monitored Roof Displacement Graph)

Bir diğer araştırma başlığı olan spektral ivme – spektral yerdeğiştirme grafikleri 2. değerlendirme başlığı altında incelenmiştir. Şekil 22 incelendiğinde, çift bağ kirişi modelinin diğer modellerle aynı yerdeğiştirmeyi daha düşük spektral ivmelerde yaptığı görülmektedir. Kompozit bağ kirişi modeli ise diğer modellerle aynı spektral yerdeğiştirmeye daha yüksek spektral ivmelerde ulaşmıştır.



Şekil 22. Spektral İvme – Spektral Yerdeğiştirme Grafiği (Spectral Acceleration – Spectral Displacement Graph)

Yapı performansının belirlenmesi için TBDY (2018) 5B.3.'e göre her bağ kirişi modeli için hedef yerdeğiştirme değerleri bulunmuştur. 3. değerlendirme başlığında analiz modellerinin yapı performans noktasındaki hedef yerdeğiştirme ve hedef yatay kuvvet değerleri verilmiştir (Şekil 23). Sonuçlar incelendiğinde, kompozit ve diyagonal donatılı modelinin yatay yük taşıma kapasitesinin daha yüksek olduğu, çift bağ kirişli modelin ise diğer modellere göre daha yüksek hedef yerdeğiştirme değerine sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 23. Bağ Kirişi Modellerinin Performans Noktasındaki Hedef Yerdeğiştirme – Yatay Kuvvet Değerleri (Coupling Beam Models' Performance Point Target Displacement – Horizontal Force Values)

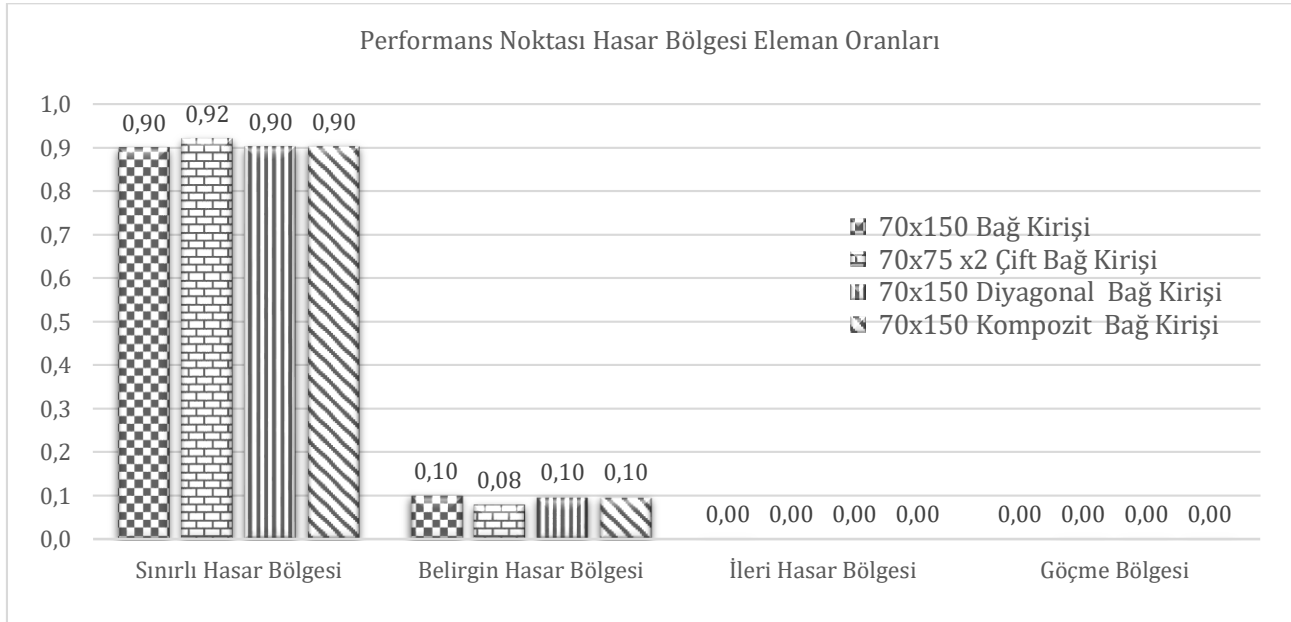
4. değerlendirme grubunda tüm bağ kirişi modellerinin performans noktasındaki hasar bölgesi eleman oranlarının yanında çok ciddi yatay yüklemeler altındaki davranışını inceleyebilmek adına yapı toplam ağırlığının yaklaşık 0.42 katına denk gelen 49000 kN yatay yükleme altındaki hasar bölgesi eleman oranları incelenmiştir. Ayrıca bu değerlendirme grubunda analiz modellerin büyük yerdeğiştirmeler altındaki davranışını inceleyebilmek adına

yapı yüksekliğinin yaklaşık %1'ine denk gelen 0.5m tepe deplasman değerindeki hasar bölgesi eleman oranları ile incelenmiştir.

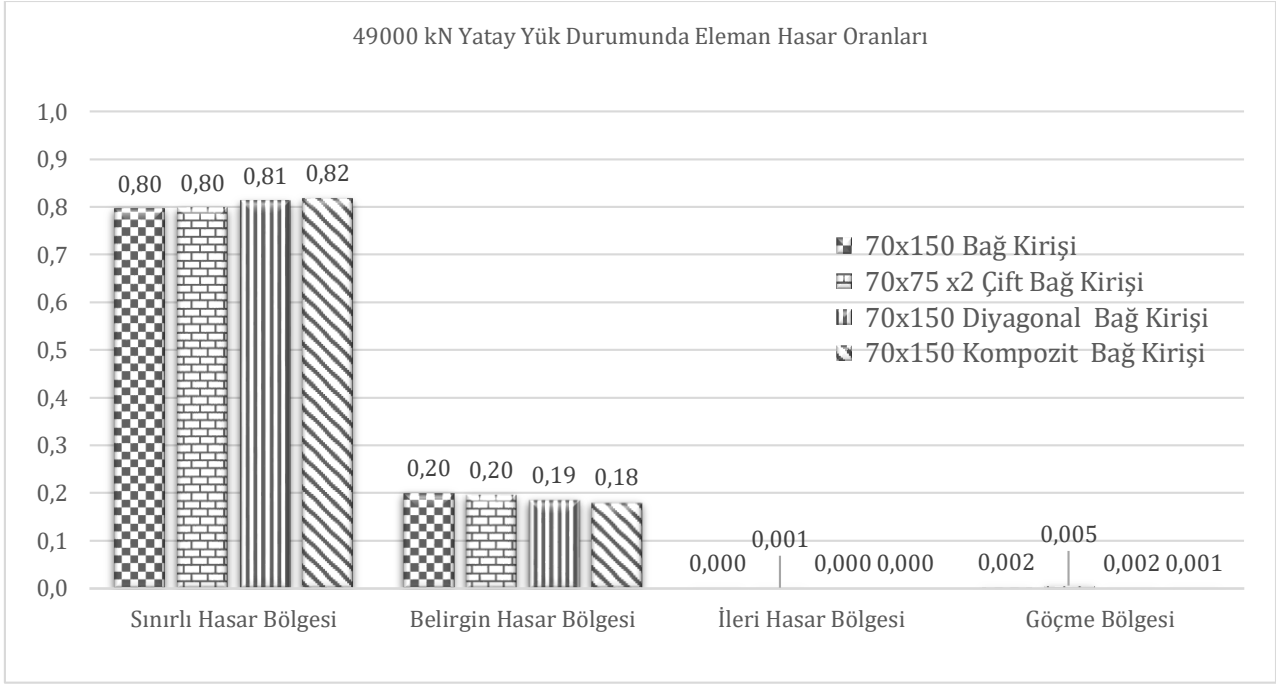
Performans noktasında, çift bağ kirişi modelinin elemanlarının %92'si sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır. Bu oran diğer bağ kirişi modellerinde ise %90 seviyesinde kalmıştır. Ayrıca performans noktasında hiçbir modelin ileri ve göçme hasar bölgesinde elemanı bulunmamaktadır (Şekil 24).

Çift bağ kirişi modelinin performans noktasındaki yatay kuvvet kapasitesi 32962 kN iken diğer bağ kirişlerinin hedef yatay kuvvet değeri 34335 kN civarında olduğu 3. değerlendirme grubunda görülmüştür. Bu değer yapı toplam ağırlığının %30'undan daha az bir değere tekabül etmektedir. Bu sebeple analiz modellerinin ciddi yatay yüklemeye altındaki davranışlarını incelemek için yapı modellerine, yapı toplam ağırlığının yaklaşık %42'sine tekabül eden 49050 kN yatay yüklemeye uygulanmış ve analiz modellerinin davranışları incelenmiştir. Şekil 25 incelendiğinde kompozit bağ kirişi modelinin %82'sinin sınırlı hasar bölgesinde kaldığı görülmüştür. Göçme bölgesi eleman oranları incelendiğinde ise en fazla göçme bölgesine toplam elemanlarının %0.5'i ile çift bağ kirişi modelinin elemanlarının geçtiği görülmüştür. Bu değer kompozit modelde ise %0.1'de kalmıştır.

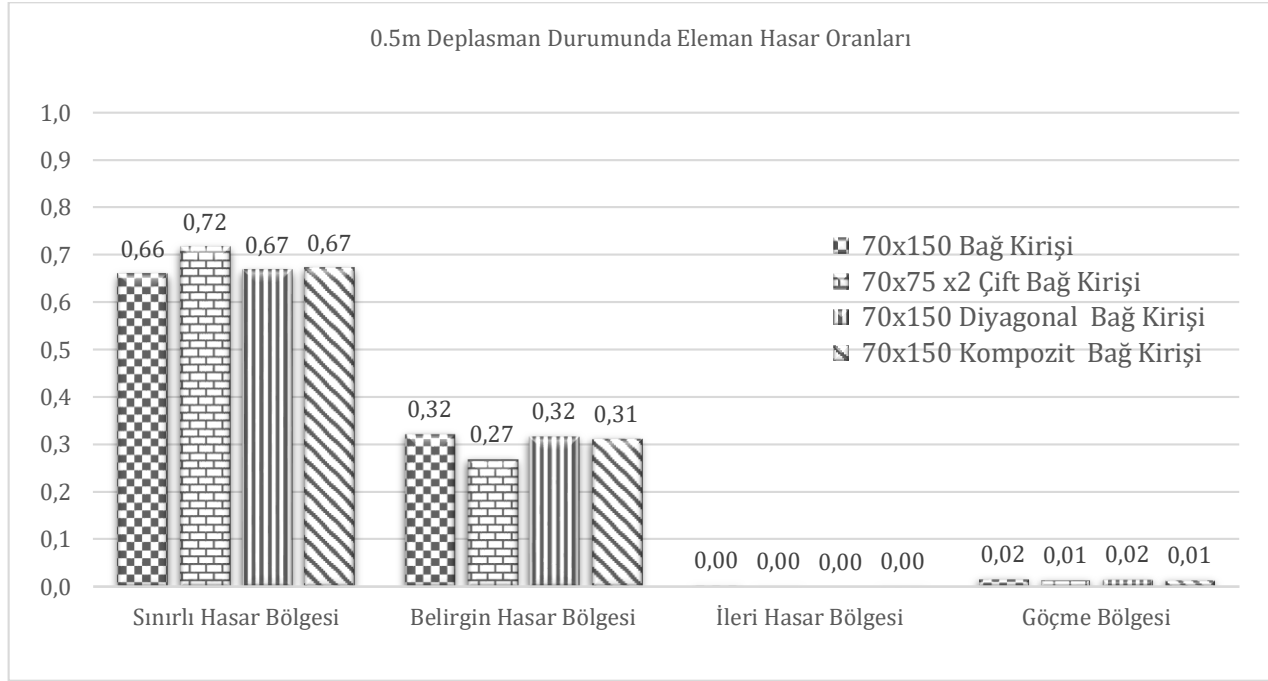
Analiz modellerinin hedef yerdeğiştirme değerlerinin 0.15m civarında olduğu 3. değerlendirme grubu incelendiğinde görülmüştür. Bu değer analiz modellerinin toplam yüksekliğinin %0.3'üne denk gelmektedir. Analiz modellerinin büyük yerdeğiştirmelerdeki davranışını incelemek için yapı toplam yüksekliğinin %1'ine denk gelen 0.5m yatay yerdeğiştirme durumu Şekil 26'da incelenmiştir. 0.5m'lik tepe deplasman değerinde çift bağ kirişi modelinin %72'si sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır. Bu oran diyagonal ve kompozit bağ kirişi modelinde %67, düz donatılı modelde ise %66'dır. Göçme bölgesindeki eleman oranları incelendiğinde, düz donatılı ve diyagonal bağ kirişi modellerinin %2'si göçme bölgesindeyken, çift bağ kirişi ve kompozit bağ kirişi modellerinde ise bu oran %1'dir. Çok büyük yerdeğiştirmeler ve yatay yüklemelerde ileri hasar bölgesi ve göçme bölgesine geçecek eleman sayısı artacaktır ancak 4. değerlendirme grubunda, performans noktası değerleri belli katsayılarla artırılarak tepe deplasman ve yatay yük durumlarının incelenmesi tercih edilmiştir. Bu sebeple analiz modellerinin Şekil 24-25 ve 26'da ileri hasar bölgesi ve göçme bölgesindeki eleman sayıları çok sınırlı kalmıştır.



Şekil 24. Performans Noktası Hasar Bölgesi Eleman Oranları (Performance Point Damage Area Element Ratios)



Şekil 25. 49000 kN Yatay Yük Durumunda Hasar Bölgesi Eleman Oranları (Damage Area Element Ratios at 49050 kN Horizontal Load)



Şekil 26. 0.5m Deplasman Durumunda Hasar Bölgesi Eleman Oranları (Damage Area Element Ratios at 0.5m Roof Displacement)

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Yapılan bu çalışmada, deprem etkilerinin kolon ve kirişlerin oluşturduğu çerçeveler ile bağ kirişli perdeler tarafından birlikte karşılandığı yapılarda bağ kirişi modellerinin yapı performansına olan etkileri incelenmiştir. TBDY (2018)'de geçen çapraz donatılı ve normal donatılı bağ kirişlerinin yanında literatürde kendine yer edinmiş, çift kiriş şeklinde donatılandırılan ve I profil ile güçlendirilmiş kompozit modeller 4 farklı değerlendirme başlığı altında incelenmiştir. Yapılan doğrusal olmayan analizler ışığında elde edilen sonuçlar ise şu şekilde özetlenebilir:

- Taban kesme kuvveti – tepe deplasman grafiği incelendiğinde 4 farklı bağ kirişi modelinde de birbirine yakın değerler görülmüştür.
- Çift bağ kirişi modelinin, 75 cm tepe deplasmanı yaptığında, elemanlarının %63'ü sınırlı hasar bölgesinde kaldığı görülmüştür. Diğer modeller ise aynı tepe deplasmana diğer modeller ulaştığında elemanlarının %57'si

sınırlı hasar bölgesindeki kalabilmiştir. Göçme bölgesi eleman oranların incelendiğinde ise 0.5m tepe deplasman değerine kadar çift bağ kirişi modelinin daha fazla elemanın göçme bölgesine geçtiği ancak 0.75m tepe deplasman değerine ulaşıldığında ise çift bağ kirişinin göçme bölgesi eleman hasar oranları %1.75'de kalırken diğer modellerin göçme bölgesi eleman hasar oranları %2 civarında olmuştur.

- Yapı performans noktası grafikleri incelendiğinde çift bağ kirişi modelinin performans noktasındaki yatay kuvvet kapasitesi 32962 kN olduğu görülmüştür bu değer diğer modellerden %5 daha azdır. Analiz modellerinin performans noktasındaki tepe deplasman değerleri incelendiğinde ise çift bağ kirişi modelinin 0.155m tepe deplasmanı yaptığı ve bu değer diğer modellerin tepe deplasman değerlerinden %5 daha fazladır.
- Modellerin 49000 kN yatay yüklemdeki davranışları incelendiğinde en fazla elastik bölgede kompozit ve diyagonal modeldeki taşıyıcı elemanların kaldığı görülmüştür. 0.5m tepe deplasman altındaki davranışlar incelendiğinde ise çift kiriş modelin elastik bölgede en fazla elemana sahip olduğu görülmüştür.

Tüm bu analiz sonuçları ışığında, deprem etkilerinin kolon ve kirişlerin oluşturduğu çerçeveler ile bağ kirişli perdeler tarafından birlikte karşılandığı büyük yer değiştirmeler ve yüksek yatay yüklemeler incelendiğinde, kompozit ve diyagonal bağ kirişli modelinin daha rijit davranış gösterdiği ve daha yüksek yatay yük kapasitesinin olduğu görülmüştür. Çift bağ kirişi modeli ise diğer bağ kirişi modellerinden daha sünek davranış gösterdiği görülmüştür.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- ACI, 2019, ACI 318-19 Building Code Requirements for Structural Concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills MI.
- Budiono, B., Dewi, N. T. H. ve Lim, E., 2019, Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Coupling Beams, *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 51 (6), 762-771.
- Chairunnisa, N., Satyarno, I., Muslikh ve Aminullah, A., 2017, Analysis and design of shear wall coupling beam using hybrid steel truss encased in reinforced mortar, 3rd International Conference on Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Materials - Sustainable Structures for Future Generations, 171, 940-947.
- Choi, Y., Hajyalikhani, P. ve Chao, S. H., 2018, Seismic Performance of Innovative Reinforced Concrete Coupling Beam-Double-Beam Coupling Beam, *ACI Structural Journal*, 115 (1), 113-125.
- Eljadei, A. A. ve Harries, K. A., 2014, Design of coupled wall structures as evolving structural systems, *Engineering Structures*, 73, 100-113.
- ETABS, 2020, Integrated Building Design Software, Computers and Structures, Inc., Berkeley, CA.
- Eurocode8, 2004, Design of Structures For Earthquake Resistance, Nemetschek.
- Foroughi, S., Jamal, R. ve Yüksel, B., 2020, ŞEKİL DEĞİŞTİRME ESASLI HASAR SINIRLARININ BELİRLENMESİNDE SARGI DONATISININ VE EKSENEL YÜKÜN ETKİSİ, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8 (4), 1042-1052.
- Fortney, P., J., 2005, The Next Generation of Coupling Beams, Doctor of Philosophy, University of Cincinnati, USA.
- Gong, B. G. ve Shahrooz, B. M., 2001, Steel-concrete composite coupling beams - behavior and design, *Engineering Structures*, 23 (11), 1480-1490.
- Hou, W., Xu, S. L., Ji, D. S., Li, Q. H. ve Zhang, P., 2019, Seismic performance of steel plate reinforced high toughness concrete coupling beams with different steel plate ratios, *Composites Part B-Engineering*, 159, 199-210.
- ideYAPI, 2020, İdeYapı Ltd Şti, Şişli - İstanbul.
- Li, G. Q., Pang, M. D., Sun, F. F., Jiang, J. ve Hu, D. Z., 2018, Seismic behavior of coupled shear wall structures with various concrete and steel coupling beams, *Structural Design of Tall and Special Buildings*, 27 (1).
- Li, X., Sun, Y. S., Ding, B. D. ve Xia, C. Z., 2020, Cyclic Behavior of Deep RC Coupling Beams with Different Reinforcement Layouts, *Journal of Earthquake Engineering*, 24 (1), 155-174.
- Li, Y. H., Jiang, H. J. ve Yang, T. Y., 2019, Damage Deformation of Flexure-Yielding Steel-Reinforced Concrete Coupling Beams: Experimental and Numerical Investigation, *Advances in Civil Engineering*, 2019, 1-15.
- Lim, E. W., Hwang, S. J., Wang, T. W. ve Chang, Y. H., 2016, An Investigation on the Seismic Behavior of Deep Reinforced Concrete Coupling Beams, *ACI Structural Journal*, 113 (2), 217-226.
- Montgomery, M. S., 2013, Fork Configuration Damper (FCDs) for Enhanced Dynamic Performance of High-rise Buildings, University of Toronto, Doctor of Philosophy.
- Özer, Ö. ve Yüksel, S. B., 2020a, Farklı Betonarme Bağ Kirişi Modellerinin TBDY (2018)'e Göre Yapı Performansına Etkisi, *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, 25, 1169 - 1188.
- Özer, Ö. ve Yüksel, S. B., 2020b, Deprem Etkilerinin Betonarme Çerçeveler İle Boşluklu Betonarme Perdeler Tarafından Birlikte Karşılandığı Yüksek Binaların Analiz Sonuçlarının TBDY, (2018) ve DBYBHY, (2007) 'ye Göre Karşılaştırılması, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9, 931 - 945.
- Özer, Ö. ve Yüksel, S. B., 2021, Deprem Yüklerinin Tamamının Betonarme Perde Duvarlarla Karşılandığı Binalarda Bağ Kirişi Modellerinin Yapı Performansına Etkisi, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8, 346-362.
- Özsoy Özbay, A. ve Kaya, G., 2019, PERDE VE ÇERÇEVELİ BETONARME YAPILARDA PERDE KONUMUNUN PLANDA DÜZENLENMESİ VE YAPISAL DAVRANIŞA ETKİSİ, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7 (1), 7-17.

- Park, W. S. ve Yun, H. D., 2006, The bearing strength of steel coupling beam-reinforced concrete shear wall connections, *Nuclear Engineering and Design*, 236 (1), 77-93.
- Seo, S. Y., Yun, H. D. ve Chun, Y. S., 2017, Hysteretic Behavior of Conventionally Reinforced Concrete Coupling Beams in Reinforced Concrete Coupled Shear Wall, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 11 (4), 599-616.
- TBDY, 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Ankara, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.