

FARKLI BETONARME BAĞ KİRİŞİ MODELLERİNİN TBDY (2018)'E GÖRE YAPI PERFORMANSINA ETKİSİ

Ömer ÖZER *^{ID}
S.Bahadır YÜKSEL **^{ID}

Alınma: 07.08.2020; düzeltme: 10.10.2020; kabul: 30.10.2020

Öz: Boşluklu perdeli sistemlerin kullanıldığı betonarme yapılarda, bağ kirişleri yapı performansının belirlenmesinde ciddi rol oynamaktadır. Bu çalışmanın amacı, boşluklu perdelerin kullanıldığı yapı modellerinde kullanılan farklı betonarme bağ kirişli tiplerini, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e (TBDY, 2018) göre yapılan doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre karşılaştırıp, sonuçlarının incelenmesidir. Çalışmada 19 katlı kolon-kiriş çerçeve sisteminin, boşluklu perdelerle bir arada kullanıldığı bina modeli, TBDY (2018)'e göre, İstanbul Atatürk Havaalanı bölgesinin yer ivmesine göre her bir betonarme bağ kirişli modeli için ayrı ayrı analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarında farklı betonarme bağ kirişli tiplerinin yapının performans noktasında ve performans hedeflerinde ciddi etkilerinin olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: TBDY (2018), Betonarme Bağ Kirişi, Perdeli Sistem, Doğrusal Olmayan İtme Analizi, Yapı Performansı, Performans Hedefleri

The Effect of Different Concrete Coupled Beam Models on Structural Performance According to TBEC (2018)

Abstract: Coupling beams have a significant role in determining structure performance in reinforced concrete structures where coupled structural shear wall systems are used. The purpose of this study is to compare the different types of reinforced concrete coupling beams used in coupled structural shear walls models with the results of nonlinear analysis according to Turkish Building Earthquake Code 2018 (TBEC, 2018). According to TBEC (2018), the building model in which the 19 floor buildings in which seismic loads are jointly resisted by frames and coupled structural shear walls was analyzed separately for each reinforced concrete coupling beam model based on the ground acceleration of the Istanbul Atatürk Airport region. The results of the analysis showed that different types of reinforced concrete coupling beams have serious effects on the performance point and performance targets of the structure.

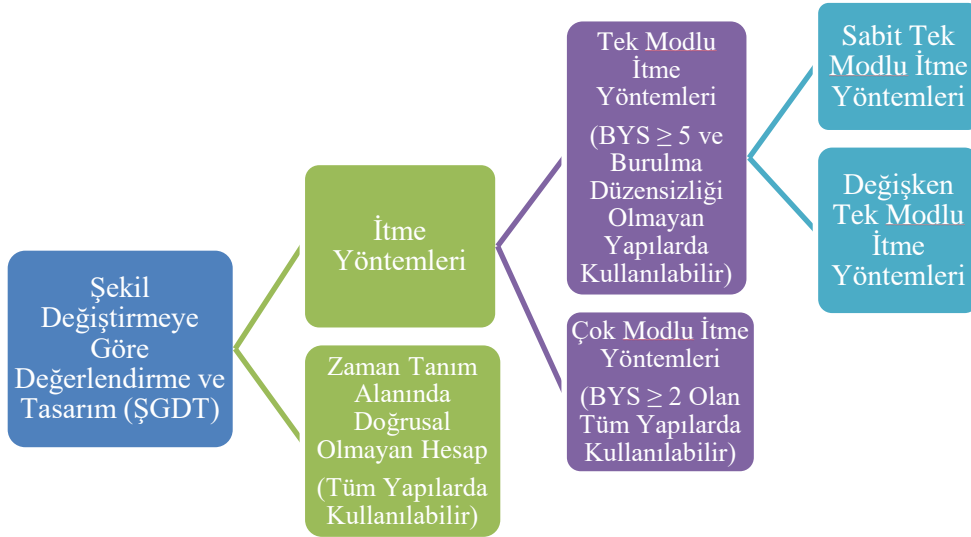
Keywords: TBEC (2018), R/C Coupling Beams, Shear Wall System, Nonlinear Pushover Analyses, Structural Performance, Performance Targets

* Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ardıçlı Mahallesi Rauf Orbay Caddesi Alaeddin Keykubat Yerleşkesi, 42250, Selçuklu/Konya
İletişim Yazarı: Ömer Özer (omer@anahtarmuhendislik.com)

1. GİRİŞ

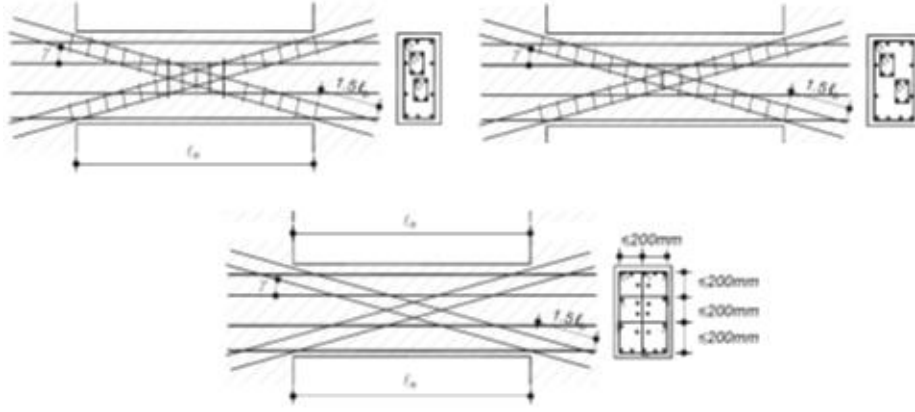
Yapıların imalatı, projelendirme süreciyle başlayıp, uygulama süreciyle tamamlanmaktadır. Projelendirme sürecinin en büyük sınır koyucuları ise hiç kuskusuz yönetmeliklerdir. Ülkemizde yürürlükte olan önceki deprem yönetmeliklerinde, doğrusal analiz yöntemleri tüm yapılar için kullanılabilirdi. Günümüzde yürürlükte olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 ile doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin deprem tasarım sınıfı (DTS) ne olursa olsun, bina yükseklik sınıfı (BYS) 1 olan tüm yapılarda, ayrıca BYS 2 ve 3, DTS 1a ve 2a olan yapılarda kullanılması zorunlu tutulmuştur (TBDY, 2018). TBDY (2018) ile gelen bir diğer önemli yenilik ise önceki deprem yönetmelikleri gibi Türkiye coğrafyasını belli ana deprem bölgelerine ayırmak yerine, her bir koordinat için ayrı bir etkin yer ivmesinin belirlenmesi olmuştur. Böylelikle her bir parselin kendine has deprem parametreleri belirlenmiş ve daha doğru analiz sonuçlarının önü açılmıştır.

TBDY (2018)'de doğrusal olmayan analiz yöntemleri şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım (ŞGDT) başlığı altında detaylandırılmıştır. Doğrusal olmayan analizler için 2 farklı yöntem belirlenmiştir. Bunlardan birincisi itme yöntemleridir. İtme yöntemleri de kendi içinde tek modlu ve çift modlu olmak üzere ikiye ayrılır. İkinci doğrusal olmayan analiz yöntemi ise zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemidir. TBDY (2018)'e göre doğrusal olmayan analiz yöntemleri ve ne şartlarda kullanılacağı Şekil 1'de gösterilmiştir.



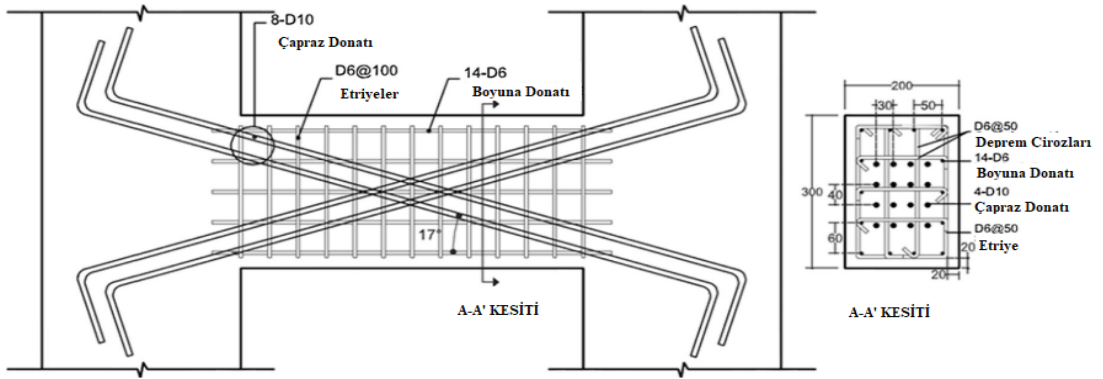
Şekil 1:
TBDY (2018)'deki doğrusal olmayan analiz yöntemleri

Günümüzde, yüksek yapılarda yaygın kullanılan sistemlerden bir tanesi birbirlerine bağ kirişleri ile bağlı betonarme perde duvarlı sistemlerdir. Bağ kirişlerinin yüksek mertebede yatay yüklere ve buna bağlı olarak doğrusal olmayan kesme ve eğilme şekil değiştirmelerine maruz kalmaları beklenebilir. TBDY (2018)'de bağ kirişlerinin donatılarının düzenlenmesine dair birtakım tavsiyeleri olmuştur (Şekil 2).

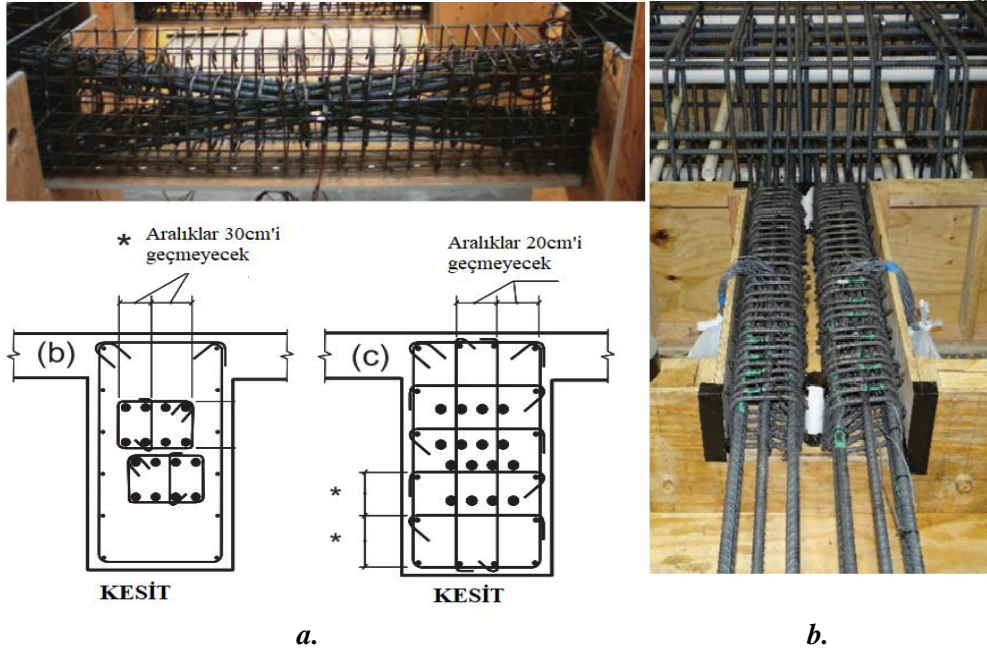


Şekil 2:
TBDY (2018)'de bağ kirişi donatısı

Çapraz donatılı betonarme bağ kirişlerine alternatif olacak veya bu kirişlerin sargı detaylarını Şekil 3'deki gibi alternatif sunacak birçok çalışma yapılmıştır (Kwan ve Zhao, 2002; Su ve Zhu, 2005; Park ve Yun, 2006; Doran, 2009; Vo ve Lee, 2009; Lequesne ve diğ., 2013; Meftah ve diğ., 2013; Yeter, 2013; Vu ve diğ., 2014; Mahmoudi ve diğ., 2016; Fisher ve diğ., 2017; Deng ve diğ., 2018; Jang ve diğ., 2018; Wang ve diğ., 2018; Budiono ve diğ., 2019; Chen ve diğ., 2019; Du ve diğ., 2019; Han ve diğ., 2019; Li ve diğ., 2019a; Li ve diğ., 2019b; Mihaylov, 2019). Yapılan bu çalışmalardan Wallace (2007) ve Fortney ve diğ. (2008) tarafından yapılan çalışmalar ACI 318-08 yönetmeliğine ve TBDY (2018)'e dâhil edilmiştir (Şekil 4a). Yapılan çalışmalar betonarme çapraz donatıların etrafını saran yatay donatı uygulamasına alternatif olarak tüm kirişin etrafını saracak yatay donatı uygulaması önerilmiştir. TBDY (2018)'de verilen bağ kirişi donatılarına alternatif olarak, Şekil 4b'deki gibi çift kiriş oluşturacak şekilde donatıların ayrı ayrı etriyelerle sarıldığı ve dayanımlarının araştırıldığı çalışmalara da literatürde rastlamak mümkündür (Choi ve diğ., 2018).

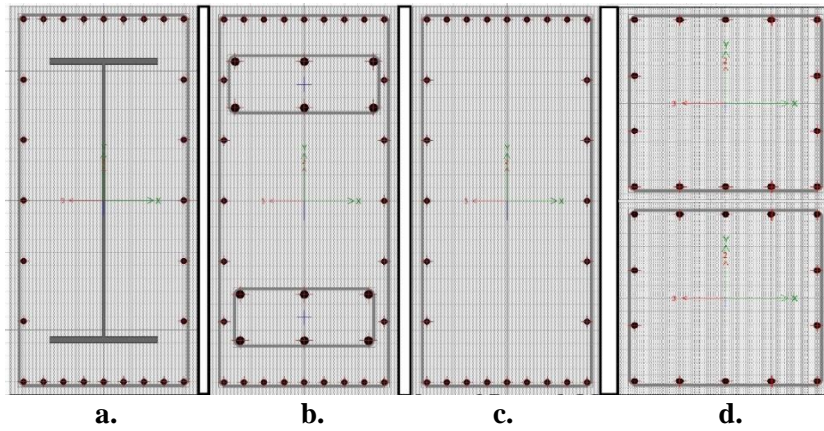


Şekil 3:
Çapraz şekilde donatılan betonarme bağ kirişi (Jang ve diğ., 2018)



Şekil 4:
Bağ kirişi modelleri
a. Çapraz şekilde donatılan betonarme bağ kirişi uygulaması (Wallace, 2007) **b.** Çift kiriş modeli (Choi ve diğ., 2018)

Bu çalışmada 19 katlı kolon-kiriş çerçeve sisteminin, boşluklu perdelerle bir arada kullanıldığı bina modeli, İstanbul Atatürk Havaalanı bölgesinin yer ivmesine göre analiz edilmiştir. Yapıların ön tasarımı TBDY (2018)'de bahsi geçen dayanıma göre tasarım (DGT) yöntemine göre İdestatik v10 programıyla yapılmıştır. Bulunan donatılar ve tasarlanan taşıyıcı elaman kesitleri Etabs v18 paket programında modellenerek bu program yardımıyla yapının doğrusal olmayan analizi yapılmıştır. Analiz modelinde normal donatılı model, çapraz donatılı model, betonarme ve çeliğin bir arada kullanıldığı kompozit model ve çift kiriş modeli olmak üzere 4 farklı betonarme bağ kirişi kullanılmıştır (Şekil 5). Her bir betonarme bağ kirişi modeli için ayrı ayrı doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarında farklı betonarme bağ kirişi tiplerinin yapının performans noktasına ve performans hedeflerine olan etkisi incelenmiştir.



Şekil 5:
Bağ kirişi modelleri
a. Kompozit **b.** Çapraz (diyagonal) donatılı **c.** Düz donatılı **d.** Çift kiriş

DGT ve ŞGDT yöntemlerinde kullanılan malzeme dayanımları, TBDY (2018)'in önerdiği doğrultuda Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. DGT ve ŞGDT'de kullanılan malzeme dayanım katsayıları

	DGT	ŞGDT
Beton	$1.5 f_{cd} = f_{ck}$	$f_{ce} = 1.3 f_{ck}$
Donatı çeliği	$1.15 f_{yd} = f_{yk}$	$f_{ye} = 1.2 f_{yk}$

Seçilen modele ait parametreler, Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 4'te ise yapının lokasyonu ve o lokasyonun TBDY (2018)'e göre deprem parametreleri verilmiştir.

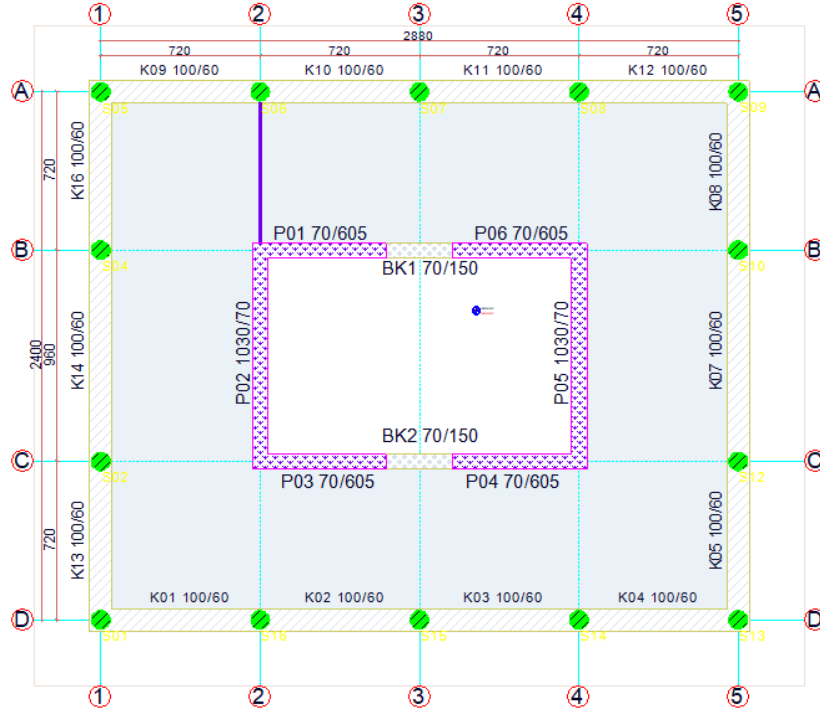
Tablo 3. Analiz modeli genel parametreleri

Analiz Modeli Parametreleri			
Genel Parametreleri		Taşıyıcı Parametreleri	
Kat Sayısı	19	Perde Genişliği	70 cm
Kat Yüksekliği	3.5 m	Perde Uç Düşey Donatı-Etr.	26Φ22 - 38Φ22 Φ12/10
Yapı Ebatları	29.4m × 24.6m	Perde Gövde Donatı-Etr.	2x13Φ22/23 Φ12/11
Yapı Yüksekliği	66.5 m	Kolon Çapı	150 cm
Bina Yükseklik Sınıfı	BYS 2	Kolon Donatısı - Etriye	18Φ18 Φ10/9 Etr
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	8	Kiriş Kesiti	100 × 60
Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	2.5	Kiriş Donatısı -Etriye	6Φ22 - Üst 6Φ22 - Alt Φ10/9 Etr.
Beton Sınıfı	C40	Normal Donatılı Bağ Kirişi Kesiti	70 × 150
Çelik Sınıfı	B420C	Çapraz Donatılı Bağ Kirişi Kesiti	70 × 150
Deprem Tasarım Sınıfı	DTS 1	Normal Donatılı Bağ Kirişi Donatısı	9Φ22 - Üst 9Φ22 - Alt 2x5Φ22 Gövde Φ10/9 Etr.
Bina Kullanım Sınıfı	BKS 3	Çapraz Donatılı Bağ Kirişi Donatısı	9Φ22 - Üst 9Φ22 - Alt 6Φ32 - Çapraz 2x5Φ22 Gövde Φ10/9 Etr.
Hesap Yöntemi	ŞGDT	Çift Kirişli Bağ Kirişi Kesiti	70 × 75 × 2
Yapı Süneklik Düzeyi	Yüksek	Çift Kirişli Bağ Kirişi Donatısı	5Φ22 - Üst 5Φ22 - Alt 2x2Φ22 Gövde Φ10/9 Etr.
Zemin Sınıfı	ZC	Döşeme Kalınlıkları	25 cm
Yapı Toplam Ağırlığı	21336 ton	Döşeme Ölü / Hareketli Yük	0.21 / 0.35 t/m ²

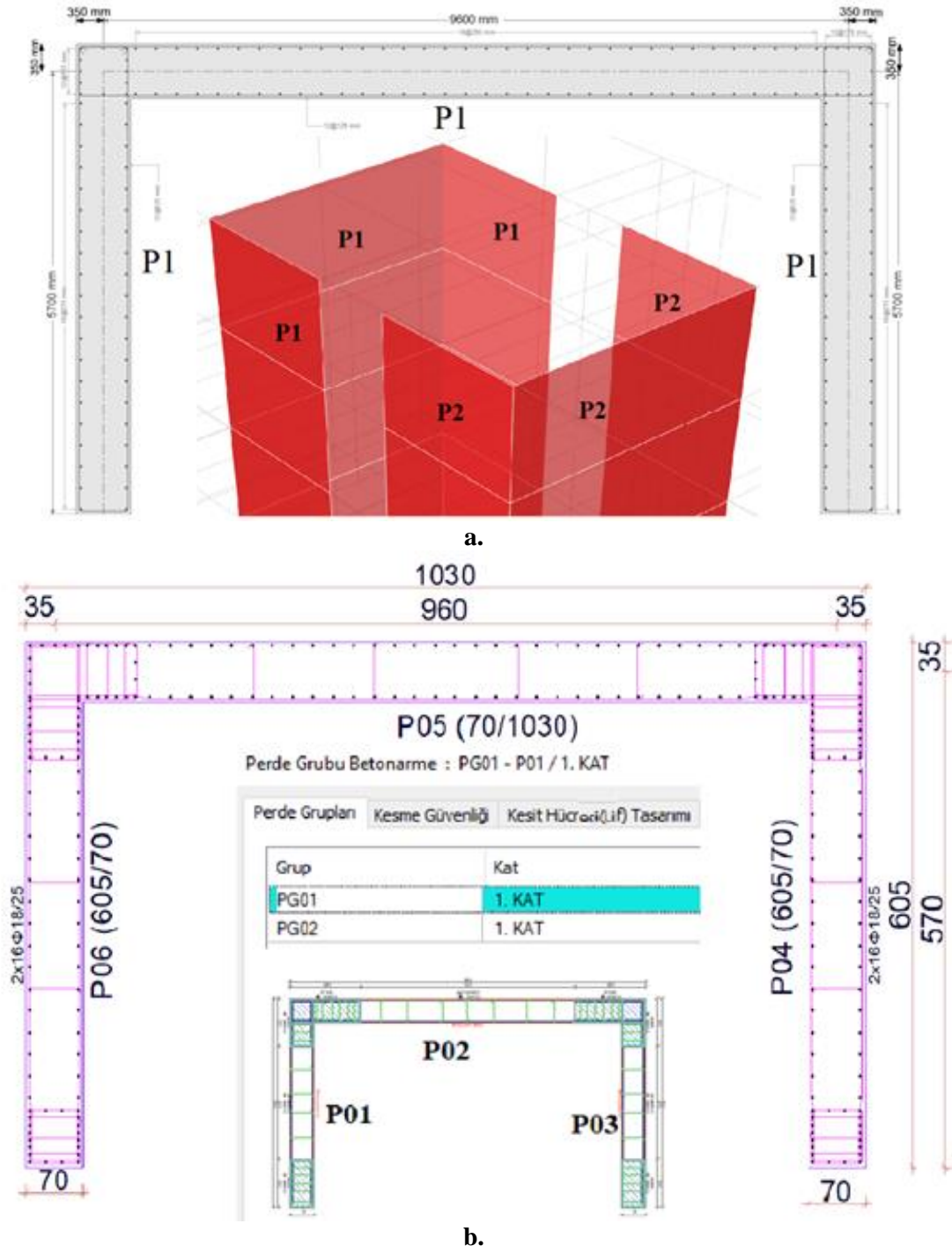
Tablo 4. Analiz lokasyon ve deprem parametreleri

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	0.067s
T_B	0.334s
Periyot	1.5765s
En Büyük Yer İvmesi PGA (g)	0.501
En Büyük Yer Hızı PGV(cm/sn)	33.574

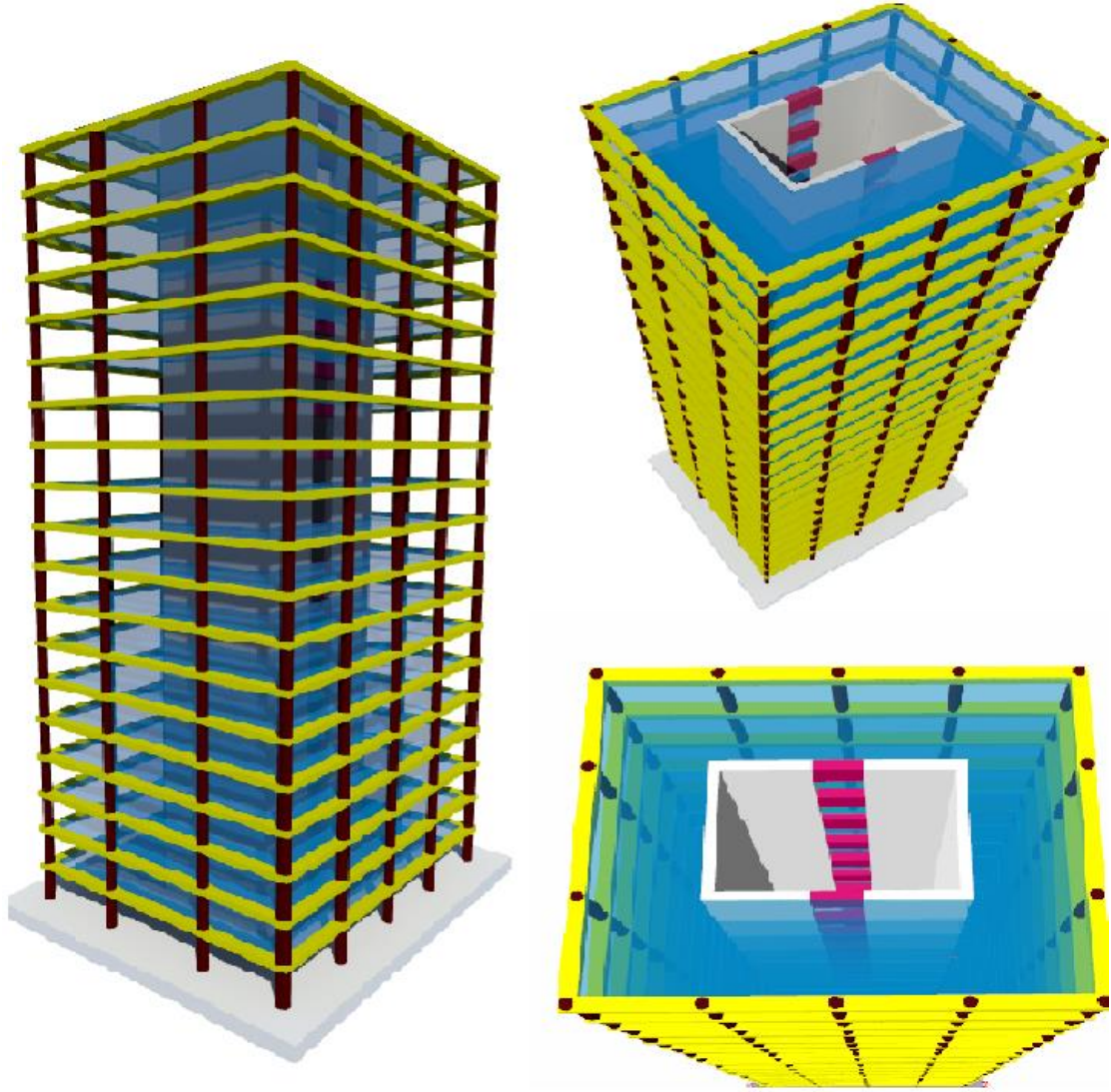
Analiz modelinin kalıp planı Şekil 7’de verilmiştir. Yapıda perdeler çekirdekte toplanmışken dış çerçevede kolon giriş sistemi mevcuttur. Perdeler kalıp planında da görüldüğü gibi U formda olup birbirlerine bağ girişleriyle bağlıdır. Her iki analiz programında da TBDY (2018) 4.5.3.7’de istendiği şekilde U formdaki perdeler kabuk sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmiştir. Perdelerin 3 ayrı parça olarak değerlendirilmemesi ve U formda tek bir kabuk eleman olarak dikkate alınması için Etabs v18’de P01-P02 ve P03 perdeleri P1, P04-P05 ve P06 perdeleri ise P2 şeklinde aynı “pier” isimlendirilmesi yapılmıştır (Şekil 8a). İdestatik v10’da ise P01-P02 ve P03 perdeleri PG01 ile P04-P05 ve P06 perdeleri ise PG 02 aynı perde grubunda isimlendirilmiştir (Şekil 8b). Dış çerçeve ile çekirdekteki perdeler birbirine 25 cm kalınlığındaki döşeme ile bağlanmaktadır. Analiz modelinin 3 boyutlu görüntüsü ise Şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 7:
Analiz modeli kalıp planı (boyutlar cm olarak verilmiştir)



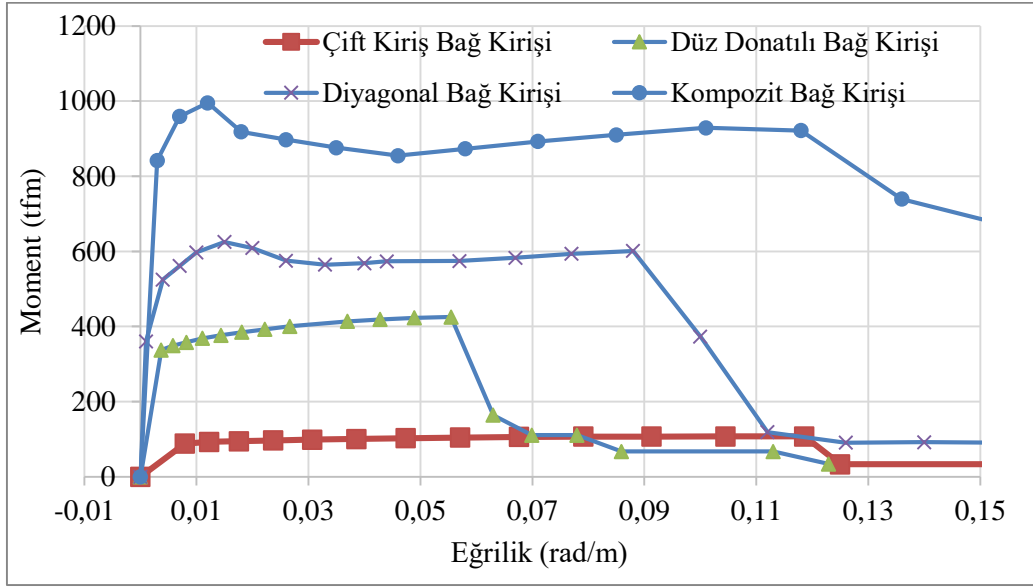
Şekil 8:
U formdaki perdelerin analiz programlarında modellenmesi
a. Etabs v18 b. İdestatik v10



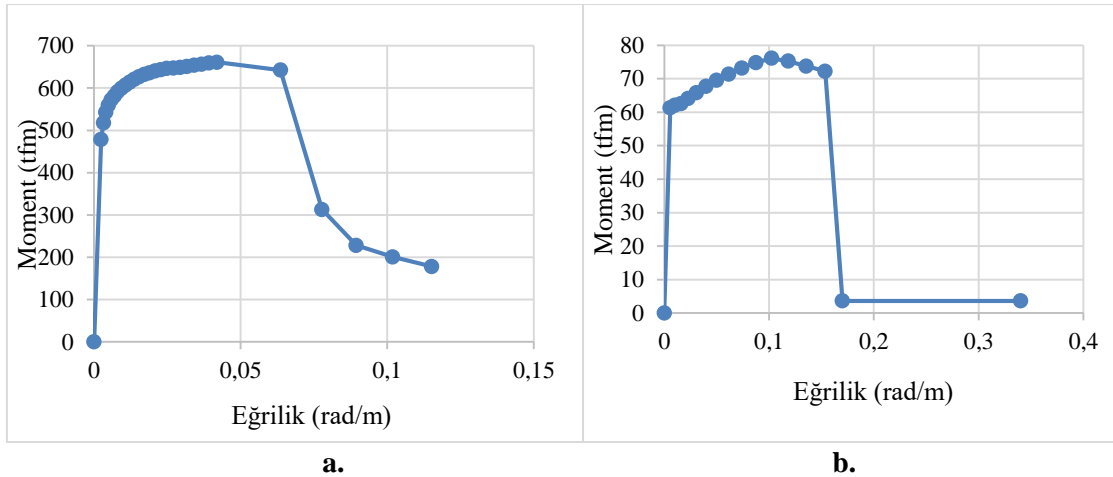
Şekil 9:
Analiz modelinin 3 boyutlu görüntüsü

2.2. Plastik Mafsal Modellemesi

Doğrusal olmayan analiz yaparken, TBDY (2018) 5.3 maddesinde belirtildiği şekilde doğrusal olmayan davranış modellemeleri yapılmıştır. Bağ kirişleri modellenirken doğrusal olmayan davranış modeli olarak yığılı plastik davranış modeli (plastik mafsal) kullanılmıştır. Aynı şekilde dış çerçeve kolon ve kirişlerinde de yığılı mafsal modeli kullanılmıştır. Bağ kirişlerinin moment eğrilik grafiklerini Şekil 10’de verilmiştir. Dış çerçeve kolon ve kirişlerin moment eğrilik grafikleri ise Şekil 11’de paylaşılmıştır.



Şekil 10:
Bağ kirişi moment eğrilik grafikleri



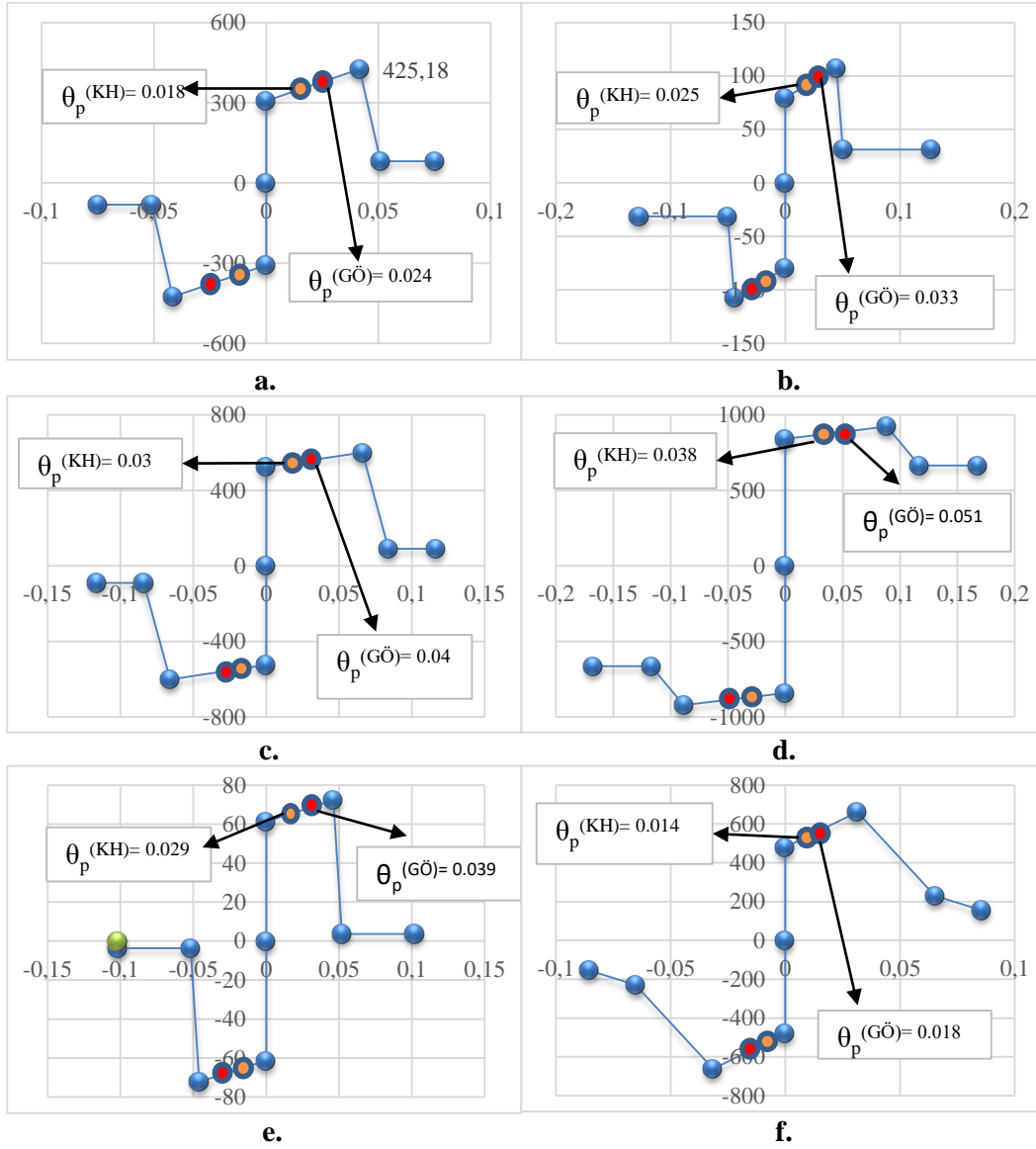
Şekil 11:
Dış çerçeve elemanlarının moment eğrilik grafikleri
a. Dairesel kolon b. Kiriş

Yığılı plastik davranış modelinde dair performans sınırları Denklem 1-3 yardımıyla hesaplanmıştır. Denklemler yardımıyla elde edilen sınırlı hasar (SH), kontrollü hasar (KH) ve göçme öncesi (GÖ) hasar sınırları ise Etabs v18 programında, Şekil 12'deki gibi tüm çubuk elemanların yığılı plastik davranış modeline tanıtılmıştır. TBDY (2018)'deki kesit hasar bölgeleri ise Şekil 13'de verilmiştir.

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

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(GÖ)} \quad (2)$$

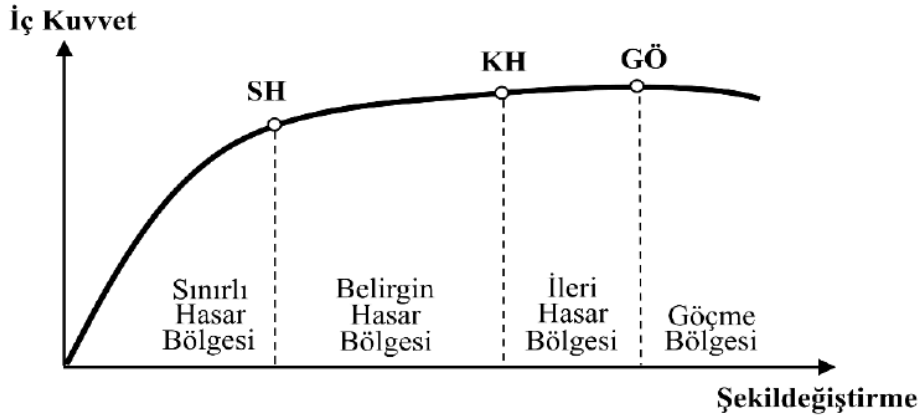
$$\theta_p^{(SH)} = 0 \quad (3)$$



Şekil 12:

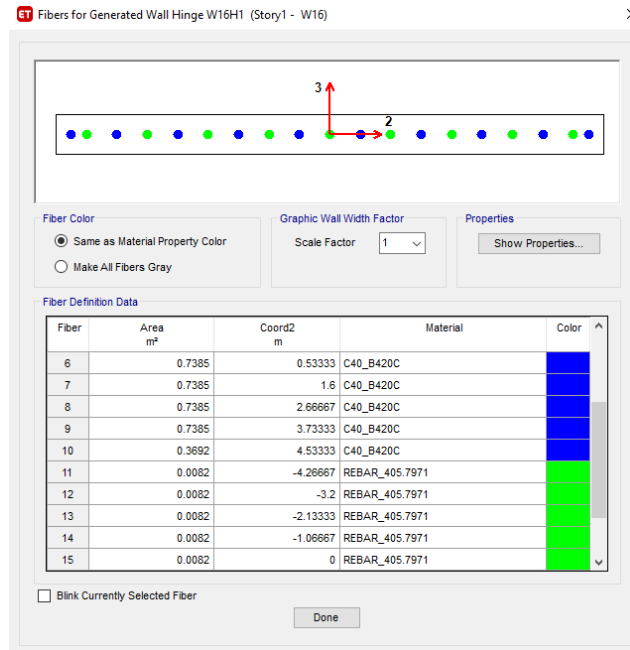
Yığılı mafsal moment – dönme eğrileri ve KH ve GÖ noktaları

- a. Düz donatılı b. Çift kiriş c. Çapraz (diyagonal) donatılı d. Kompozit bağ kirişi
e. Çerçeve kirişi f. Çerçeve kolonu*



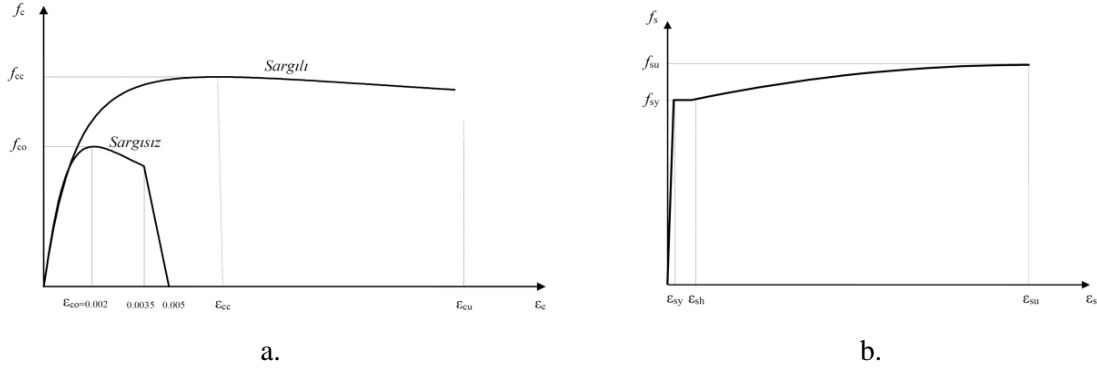
Şekil 13:
TBDY (2018) Kesit hasar bölgeleri

Boşluklu perde modellemesinde ise kesit içinde betonun veya yapısal çeliğin yeteri kadar küçük hücrelerle, çelik donatı çubuklarının ise tekil olarak modellendiği ve her bir hücrede doğrusal olmayan aksenal gerilme birim şekil değiştirme bağıntılarının çevrimsel olarak göz önüne alınabildiği kesit hücresi (lif) modeli kullanılmıştır (Şekil 14).

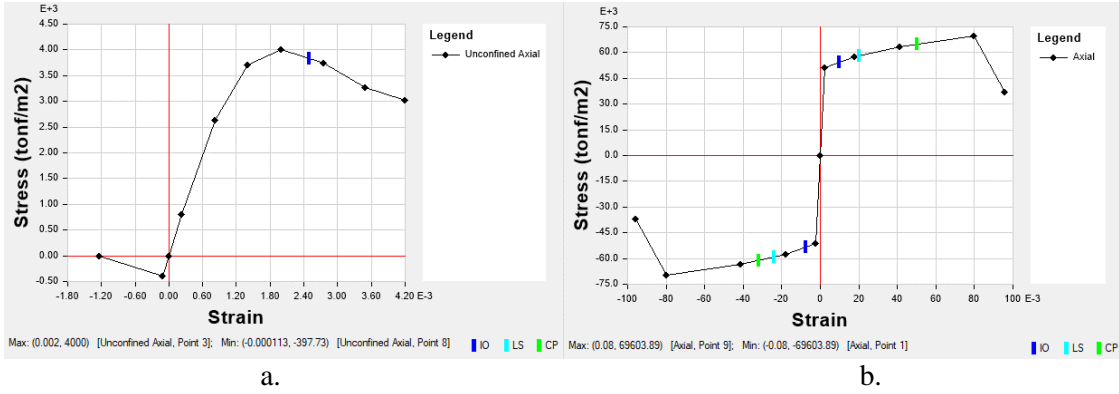


Şekil 14:
Etabs v18 yayılı plastik davranış modeli

TBDY (2018)'in Ek 5A bölümünde doğrusal olmayan yöntemler ile şekil değiştirmeye göre değerlendirmede, başkaca bir modelin seçilmediği durumlarda kullanılmak üzere, sargılı ve sargısız beton ve donatı çeliği için gerilme-şekil değiştirme bağıntıları tanımlanmıştır. Bu bağıntılar ve sonuçları TBDY 2018'de Şekil 15'deki gibi verilmektedir. Elde edilen sonuçların Etabs v18'de tanıtılması sonucu elde edilen beton ve çelik gerilme-şekil değiştirme grafikleri ise Şekil 16'de gösterilmiştir.



Şekil 15:
TBDY (2018) ŞGDT'ye göre kesit ve malzeme özellikleri
a. Beton b. Donatı Çeliği



Şekil 16:
Etabs v18'de ŞGDT'ye göre kesit ve malzeme özellikleri
a. Beton b. Donatı Çeliği

2.3. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi

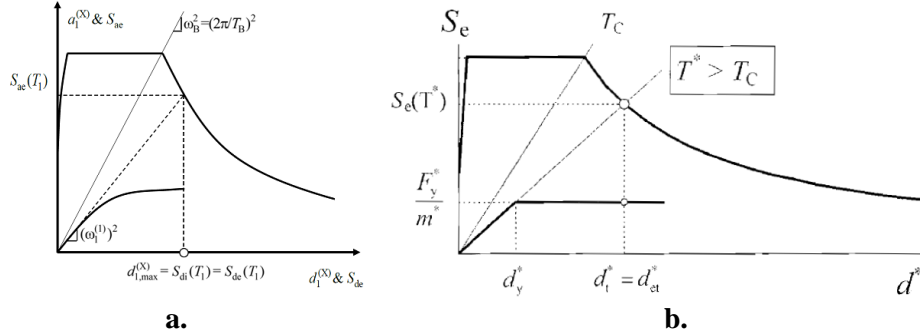
Doğrusal olmayan statik itme analizleri, yapıların yatay yükler altındaki performans seviyelerinin ve davranış özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır, adım adım artırılan deprem yükleriyle, yapı elemanlarındaki elastik olmayan davranış özelliklerinin hesaplandığı ve bu hesapların belli performans seviyeleri için değerlendirildiği sayısal bir inceleme yöntemidir (İnel ve diğ., 2007).

Doğrusal olmayan analiz sırasında yüklerin oranları ve doğrultuları analiz boyunca değişmez. Yatay yük analizinden önce Denklem 4 yardımıyla düşey yükleme yapılır. Burada G sabit yük etkisini, Q hareketli yük etkisini $E_d^{(Z)}$ ise düşey deprem etkisini göstermektedir. Düşey yük hesabını izleyen her bir itme adımında, taşıyıcı sistemde meydana gelen iç kuvvet, yerdeğiştirme ve plastik şekildeğiştirme artımları belirlenmiş, ardından deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanmıştır (Yeter, 2013).

$$G + 0.3 Q + 0.3 E_d^{(Z)} \quad (4)$$

Eurocode B.4 bölümünde, TBDY (2018) 5B.3. bölümünde yapı yerdeğiştirme talebi formül gösterimlerinde ufak farklılıklar olsa da tamamen aynı şekilde hesaplanmaktadır (Şekil 17). Bir sonraki adımda yapının lokasyonunun spektral ivme katsayısına uygun şekilde yerdeğiştirme talebi hesaplanmıştır. Bulunan hedef yerdeğiştirme talebi statik itme analizinin kaçınıcı adımına

denk geldiği bulunduktan sonra o adımdaki mafsalsal hasar durumuna göre yapı performansı belirlenmiştir.



Şekil 17:
TBDY (2018) ve Eurocode 8'de performans noktasının tayini
a. TBDY (2018) Şekil 5B.3. b. Eurocode 8 Figure B.2

3. SAYISAL UYGULAMA

Çalışmada kullanılan 19 katlı model normal donatılı model, çapraz donatılı model, betonarme ve çeliğin bir arada kullanıldığı kompozit model ve çift kiriş model olmak üzere 4 farklı bağ kirişi modellerine TBDY (2018) 5.6'da önerildiği şekilde statik itme analizleri uygulanmıştır. Yapılan analizler sonucunda 4 farklı bağ kirişi için bulunan sonuçlar Tablo 5'de gösterilen başlıklar altında incelenmiştir.

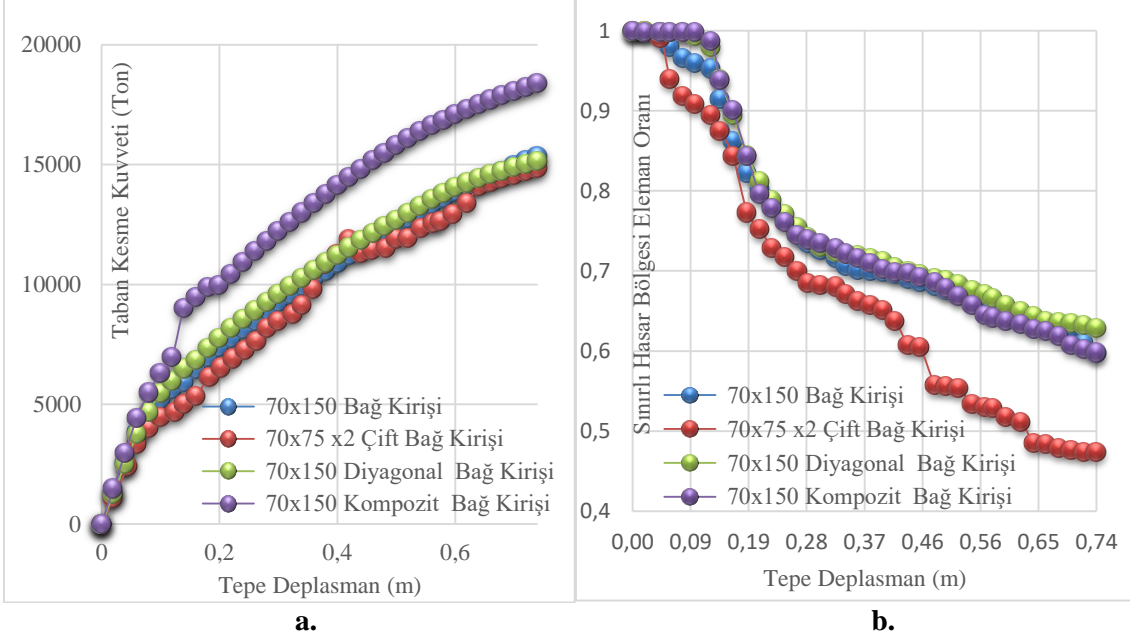
Tablo 5. Çalışmadaki karşılaştırma başlıkları

Değerlendirme Grubu	Parametre 1	Parametre 2
1	Tepe	Taban Kesme Kuvveti
		Sınırlı Hasar Bölgesi Eleman Oranı
	Deplasmanı	Belirgin Hasar Bölgesi Eleman Oranı
		İleri Hasar Bölgesi Eleman Oranı
		Göçme Bölgesi Eleman Oranı
2	İvme	Yerdeğiştirme
3	Performans Noktası	Kesme Kuvveti
		Şekil Değiştirme
4	Performans Noktasındaki	Sınırlı Hasar Bölgesi Eleman Oranı
	0.5m Tepe Deplasmandaki	Belirgin Hasar Bölgesi Eleman Oranı
	10000 Ton Yatay Yüklemedeki	İleri Hasar Bölgesi Eleman Oranı Göçme Bölgesi Eleman Oranı

Bağ kirişi modellerindeki eleman sayıları farklılık göstermektedir. Çift kiriş modelindeki eleman sayısı diğer modellerden daha fazladır. Bu sebeple hasar bölgelerindeki eleman sayısı yerine hasar bölgesindeki eleman sayısının tüm eleman sayısına oranları karşılaştırılmıştır.

1. Değerlendirme grubunda doğrusal olmayan statik itme sonuçları, tepe deplasman – taban kesme kuvveti ve hasar bölgeleri eleman oranlarıyla olan karşılaştırılmalı grafikleri incelenmiştir. Taban kesme kuvveti – tepe deplasman grafiği incelendiğinde kompozit bağ kirişi modeli diğer modellerden daha yüksek dayanım gösterdiği gözlemlenmiştir (Şekil 18a). Diğer 3 bağ kirişi

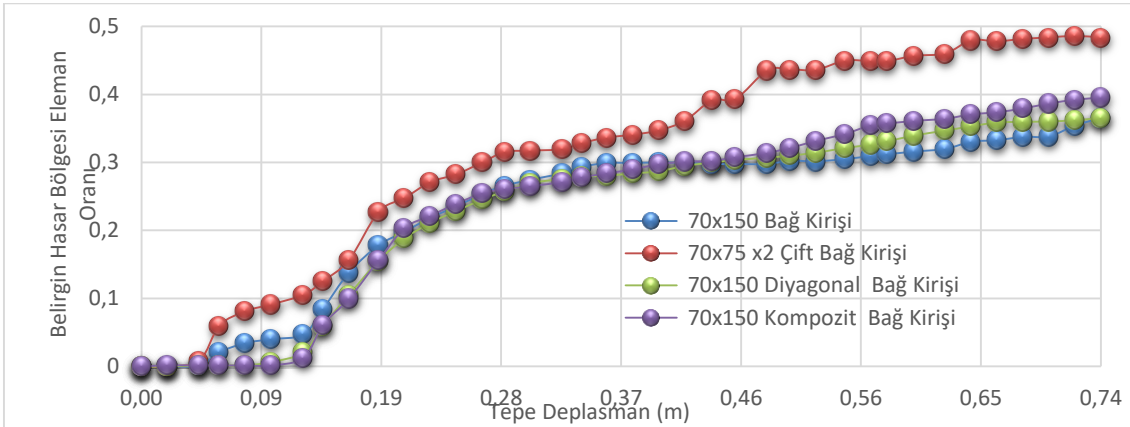
modeli ise birbirine yakın dayanımlar göstermiştir. Şekil 18b’de sınırlı hasar bölgesindeki (elastik bölge) eleman oranları, Şekil 19’de ise belirgin hasar bölgesindeki eleman oranları verilmiştir. Bu şekillerden anlaşılacağı gibi çift kiriş modelinde plastikleşmenin diğer modellerden önce ve daha fazla elemanla olduğu ve diğer modellerden bu hasar bölgelerinde ayrıştığı gözlenmiştir.



Şekil 18:

Statik itme analiz sonucu

a. Taban kesme kuvveti – tepe deplasman grafiği b. Sınırlı hasar bölgesi eleman oranı – tepe deplasman grafiği

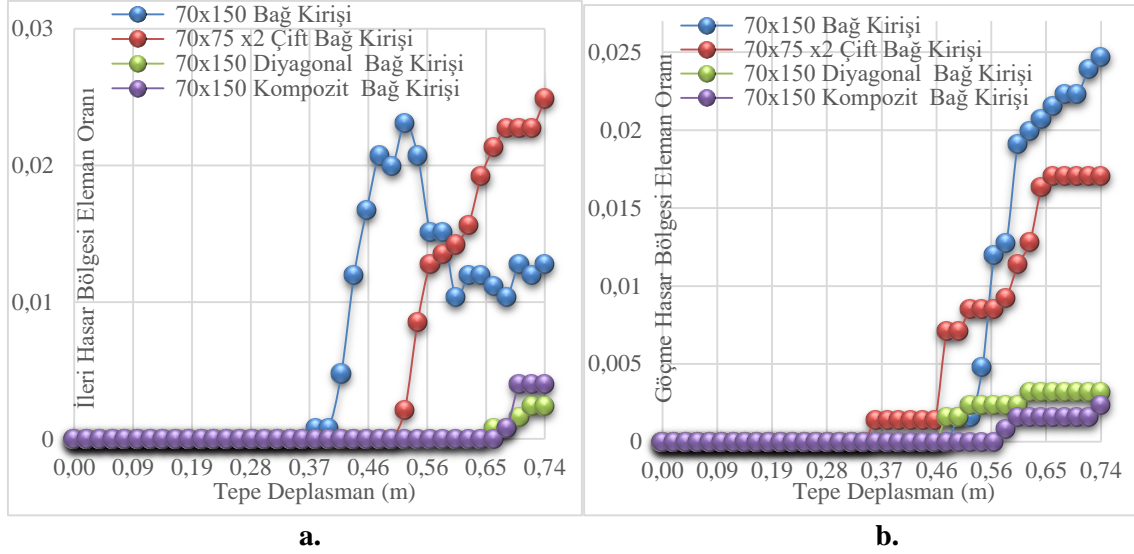


Şekil 19:

Belirgin hasar bölgesi eleman oranı – tepe deplasman grafiği

İleri ve göçme bölgesindeki eleman oranları incelendiğinde ise diyagonal donatılı bağ kirişi ve kompozit bağ kirişi modellerindeki taşıyıcı elemanların bu hasar bölgesine diğer iki modele

göre çok daha az elemanla geçtiği görülmektedir (Şekil 20). Çift bağ kirişli modeldeki göçme bölgesine geçen eleman oranının ise normal donatılı modelden daha fazla olduğu belirlenmiştir.

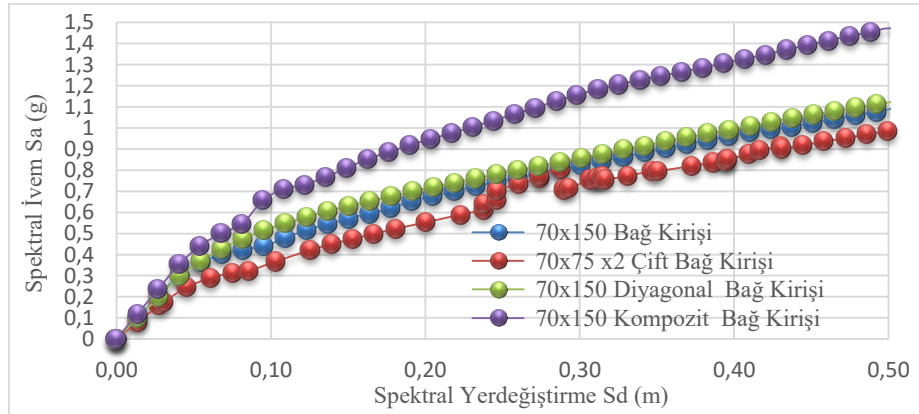


Şekil 20:

Statik itme analiz sonucu

a. Göçme hasar bölgesi eleman oranı – tepe deplasman grafiği **b.** İleri hasar bölgesi eleman oranı – tepe deplasman grafiği

2. Değerlendirme grubunda spektral ivme – spektral yerdeğiştirme grafikleri incelenmiştir. Kompozit modelde diğer modellerle aynı yerdeğiştirmeyi çok daha yüksek spektral ivmelerde yapmaktadır. Normal donatılı model ile diyagonal bağ kirişi modeli birbirine yakın davranış gösterirken çift kiriş modeli ise diğer modellerle aynı spektral yerdeğiştirmeyi yapabilmek için daha az spektral ivmeye ihtiyaç duymaktadır. (Şekil 22). Grafikten çıkarılacak bir diğer yorum ise kompozit modelin diğer modellerden çok daha rijit davranış gösterdiğidir.



Şekil 21:

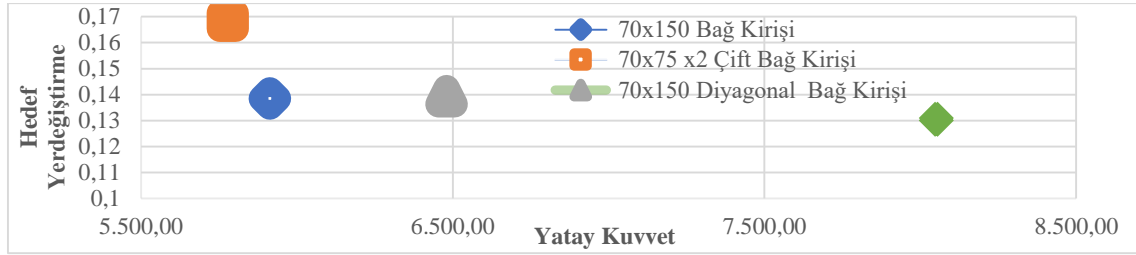
Spektral ivme – spektral yerdeğiştirme grafiği

3. Değerlendirme grubunda TBDY (2018) 5B.3.'e göre her bağ kirişi modeli için hedef yerdeğiştirme değerleri ve kesme kuvveti değerleri bulunmuştur (Tablo 6). Bulunan bu değerler ile birlikte her bir modelin yapı performansına olan etkisi incelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde

çift bağ kirişli modelin diğer modellere göre daha sünek davranış gösterdiği, kompozit modelin ise diğer modellerden çok daha yüksek yatay yük taşıma kapasitesinin olduğu görülmüştür (Şekil 22).

Tablo 6. Performans noktası yatay kuvvet – yerdeğiştirme değerleri

	Yatay Kuvvet (ton)	Hedef Yerdeğiştirme (m)
70x150 Bağ Kirişi	5913.9409	0.138501
70x75 x2 Çift Bağ Kirişi	5779.0954	0.168363
70x150 Diyagonal Bağ Kirişi	6480.3374	0.139457
70x150 Kompozit Bağ Kirişi	8051.0194	0.130478

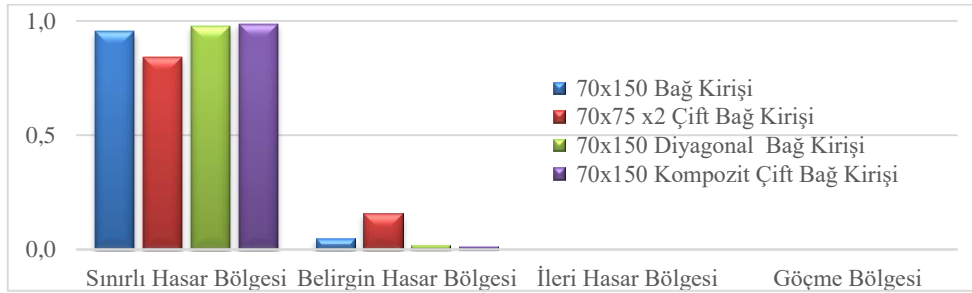


Şekil 22:

4 model için hesaplanan performans noktaları

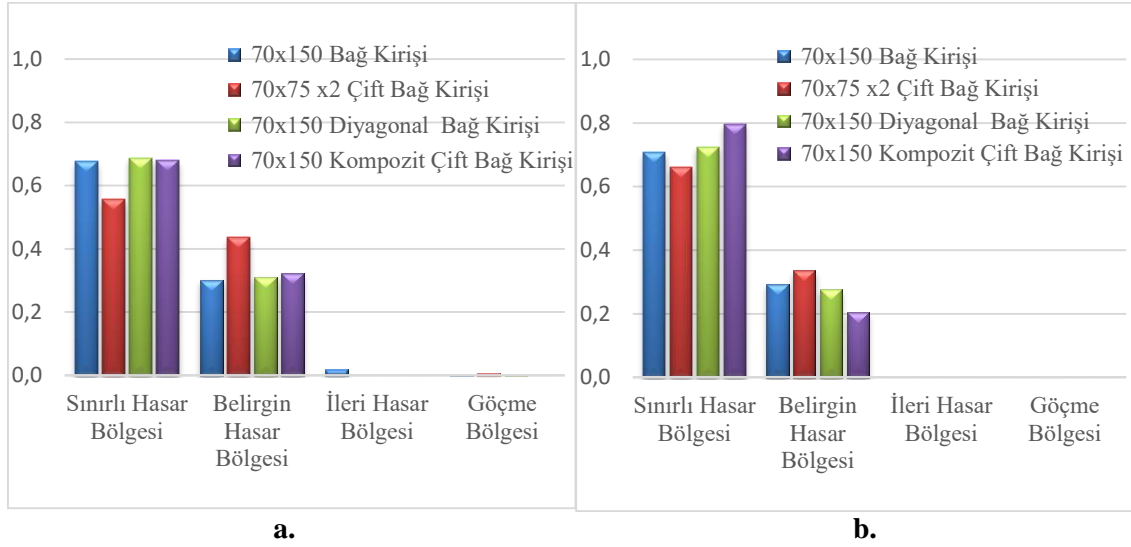
4. Değerlendirme grubunda modellerin performans noktasındaki – 0.5m tepe deplasman yaptığı andaki ve 10000 ton yatay yükleme aldığı andaki hasar bölgesi eleman oranları incelenmiştir.

Modellerin hesaplanan performans noktalarındaki hasar durumları incelendiğinde hiçbir modelin ileri ve göçme hasar bölgesinde olmadığı görülmüştür. Diğer analizlerde olduğu gibi en fazla plastikleşme çift bağ kirişli modelde gözlemlenmiştir. Diyagonal ve kompozit modeldeki performans noktası hasar durumları ise birbirine yakınlık göstermektedir (Şekil 23). Modellerin sünekliğini incelemek için çalışmada kullandığımız bir diğer parametre ise 0.5m tepe deplasman altındaki eleman hasar durumu oranlarıdır. Bu durumda göçme hasar durumunda olmayan tek model kompozit model olmuştur. İleri hasar bölgesinde en fazla eleman oranı normal donatılı model olurken, en fazla belirgin hasar bölgesine çift donatılı model geçmiştir (Şekil 24a). Karşılaştırma yapılırken modellere ciddi yatay yükleme altındaki davranışlarını da karşılaştırmak adına 10000 ton yatay yükleme maruz bırakılmış ve davranışları incelenmiştir. Normal donatılı, diyagonal donatılı ve kompozit modelde göçme durumunda eleman bulunmazken, çift bağ kirişli modelde göçme hasar durumunda yer alan eleman gözlenmiştir. En fazla plastikleşme çift bağ kirişinde olurken, yüksek yatay yüklemelerde bile kompozit ve diyagonal modelde plastikleşme sınırlı düzeyde kalmıştır (Şekil 24b).



Şekil 23:

Performans noktası hasar bölgesi eleman oranları



Şekil 24:

Yapı performans noktası

a. 0.5m tepe deplasman altındaki hasar bölgesi eleman oranları **b.** 10000 ton yatay yüklemeye altındaki hasar bölgesi eleman oranları

4. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada ülkemizde ve dünyada kullanımı gittikçe yaygınlaşan bağ kirişli boşluklu perdeli yapılarda kullanılan betonarme bağ kirişi modellerinin yapı performansına etkisi incelenmiştir. Betonarme modellemede TB DY (2018)'de geçen diyagonal donatılı ve normal donatılı bağ kirişlerinin yanında literatürde yer almış çift kiriş şeklinde donatılandırılan ve çelik I profil ile güçlendirilmiş kompozit modeller de alternatif modeller olarak sunulmuştur. Yapılan analizlerin sonuçları incelendiğinde elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Taban kesme kuvveti – tepe deplasman grafiği incelendiğinde kompozit bağ kirişi modelinin diğer modellerden daha yüksek dayanım gösterdiği, çift kirişli modelin ise diğer modellerden önce ve daha fazla elemanla plastik bölgeye geçtiği gözlemlenmiştir.
- İleri ve göçme bölgesindeki eleman oranları incelendiğinde diyagonal donatılı bağ kirişi ve kompozit bağ kirişi modellerindeki taşıyıcı elemanların bu hasar bölgesine diğer iki modele göre çok daha az geçtiği görülmektedir.
- Spektral ivme – spektral yerdeğiştirme grafikleri incelenmiştir. Kompozit modelde diğer modellerle aynı yerdeğiştirmeyi çok daha yüksek spektral ivmelerde yapmaktadır ve daha rijit davranış göstermektedir.
- TB DY 5B.3.'e göre yapı performansları belirlendiğinde ise çift bağ kirişli modelin diğer modellere göre daha sünek davranış gösterdiği, kompozit modelin ise diğer modellerden çok daha yüksek yatay yük taşıma kapasitesinin olduğu görülmüştür.
- Modeller 10000 ton yatay yüklemeye normal donatılı ve çift bağ kirişli modellerde ciddi plastikleşme görülürken, kompozit ve diyagonal modelde plastikleşme sınırlı düzeyde kalmıştır.
- Modellerin 0.5m tepe deplasman altındaki davranışları incelendiğinde göçme hasar durumunda olmayan tek model kompozit model olmuştur.

Tüm bu sonuçlar ışığında bağ kirişi modellemesinin, sadece birbirine bağladığı perdeler değil tüm yapı performansına olan etkisinin çok ciddi olduğu görülmüştür. Uygulaması nispeten daha kolay olan normal donatılı ve çift bağ kirişli model deprem performansında daha sünek

davranış göstermektedir. Her ne kadar uygulaması daha zor olsa da diyagonal donatılı modelin ise normal donatılı ve çift bağ kirişli modele göre daha fazla yatay yük dayanımı gösterdiği görülmüştür. Tüm modeller arasında ise en yüksek dayanımı kompozit model sağlamıştır.

KAYNAKLAR

1. Budiono, B., Dewi, N. T. H., & Lim, E. (2019). Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Coupling Beams. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 51(6), 762-771. doi:10.5614/j.eng.technol.sci.2019.51.6.2
2. Chen, Y., Li, J. Z., & Lu, Z. (2019). Experimental Study and Numerical Simulation on Hybrid Coupled Shear Wall with Replaceable Coupling Beams. *Sustainability*, 11(3). doi:ARTN 86710.3390/su11030867
3. Choi, Y., Hajyalikhani, P., & Chao, S. H. (2018). Seismic Performance of Innovative Reinforced Concrete Coupling Beam-Double-Beam Coupling Beam. *Aci Structural Journal*, 115(1), 113-125. doi:10.14359/51700951
4. Deng, Z. H., Xu, C. C., Hu, Q., Zeng, J., & Xiang, P. (2018). Investigation on the Structural Behavior of Shear Walls with Steel Truss Coupling Beams under Seismic Loading. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018, 1-16. doi:ArtN 560234810.1155/2018/5602348
5. Doran, B. (2009). A Magnified Beam Algorithm to Determine the Coupling Ratios of R/C Coupled Shear Wall. *Structural Design of Tall and Special Buildings*, 18(8), 921-929. doi:10.1002/tal.508
6. Du, K., Luo, H., Bai, J. L., & Sun, J. J. (2019). Integrating of Nonlinear Shear Models into Fiber Element for Modeling Seismic Behavior of Reinforced Concrete Coupling Beams, Wall Piers, and Overall Coupled Wall Systems. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 13(1). doi:UNSP 3410.1186/s40069-019-0346-z
7. ETABS. (2020). Integrated Building Design Software (Version 18.1.1): Computers and Structures, Inc., Berkeley, CA.
8. Fisher, A. W., Bentz, E. C., & Collins, M. P. (2017). Response of Heavily Reinforced High-Strength Concrete Coupling Beams. *Aci Structural Journal*, 114(6), 1483-1494. doi:10.14359/51689501
9. Fortney, P. J., Rassati, G. A., & Shahrooz, B. M. (2008). Investigation on Effect of Transverse Reinforcement on Performance of Diagonally Reinforced Coupling Beams. *Aci Structural Journal*, 105(6), 781-789. doi: 10.14359/20106
10. Han, S. W., Kim, S. B., & Kim, T. (2019). Effect of transverse reinforcement on the seismic behavior of diagonally reinforced concrete coupling beams. *Engineering Structures*, 196. doi:UNSP 10930710.1016/j.engstruct.2019.109307
11. İdeYAPI. (2020): İdeYapı Ltd Şti, Şişli – İstanbul.
12. İnel, M., Bilgin, H., & Özmen, H. B. (2007). Orta Yükseklikteki Betonarme Binaların Deprem Performanslarının Afet Yönetmeliğine Göre Tayini. *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 13(1), 81-89.
13. Jang, S. J., Jeong, G. Y., & Yun, H. D. (2018). Use of steel fibers as transverse reinforcement in diagonally reinforced coupling beams with normal- and high-strength concrete. *Construction and Building Materials*, 187, 1020-1030. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.08.063

14. Kwan, A. K. H., & Zhao, Z. Z. (2002). Cyclic behaviour of deep reinforced concrete coupling beams. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings*, 152(3), 283-293. doi:DOI 10.1680/stbu.2002.152.3.283
15. Lequesne, R. D., Parra-Montesinos, G. J., & Wight, J. K. (2013). Seismic Behavior and Detailing of High-Performance Fiber-Reinforced Concrete Coupling Beams and Coupled Wall Systems. *Journal of Structural Engineering*, 139(8), 1362-1370. doi:10.1061/(ASCE)St.1943-541x.0000687
16. Li, S. R., Jiang, H. J., & He, L. S. (2019). Study of a new type of replaceable coupling beam in reinforced concrete shear wall structures. *Structural Design of Tall and Special Buildings*, 28(10). doi:ARTN e162010.1002/tal.1620
17. Li, Y. H., Jiang, H. J., & 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. doi:Artn 707124310.1155/2019/7071243
18. Mahmoudi, M., Mortazavi, S. M. R., & Ajdari, S. (2016). The Effect of Spandrel Beam's Specification on Response Modification Factor of Concrete Coupled Shear Walls. *Civil Engineering Infrastructures Journal-Ceij*, 49(1), 33-43. doi:10.7508/ceij.2016.01.003
19. Meftah, S. A., Mohri, F., & Daya, E. M. (2013). Seismic behavior of RC coupled shear walls with strengthened coupling beams by bonded thin composite plates. *Ksce Journal of Civil Engineering*, 17(2), 403-414. doi:10.1007/s12205-013-1286-9
20. Mihaylov, B. (2019). A kinematics-based approach for the shear strength of short fibre-reinforced concrete coupling beams. *Engineering Structures*, 182, 501-509. doi:10.1016/j.engstruct.2018.11.066
21. Park, W. S., & Yun, H. D. (2006). Seismic behaviour and design of steel coupling beams in a hybrid coupled shear wall systems. *Nuclear Engineering and Design*, 236(23), 2474-2484. doi:10.1016/j.nucengdes.2006.03.008
22. Su, R. K. L., & Zhu, Y. (2005). Experimental and numerical studies of external steel plate strengthened reinforced concrete coupling beams. *Engineering Structures*, 27(10), 1537-1550. doi:10.1016/j.engstruct.2005.04.012
23. Vo, T. P., & Lee, J. (2009). Flexural-torsional coupled vibration and buckling of thin-walled open section composite beams using shear-deformable beam theory. *International Journal of Mechanical Sciences*, 51(9-10), 631-641. doi:10.1016/j.ijmecsci.2009.05.001
24. Vu, N. S., Li, B., & Beyer, K. (2014). Effective stiffness of reinforced concrete coupling beams. *Engineering Structures*, 76, 371-382. doi:10.1016/j.engstruct.2014.07.014
25. Wallace, J. W. (2007). Modelling issues for tall reinforced concrete core wall buildings. *Structural Design of Tall and Special Buildings*, 16(5), 615-632. doi:10.1002/tal.440
26. Wang, T., Shang, Q. X., Wang, X. T., Li, J. C., & Kong, Z. (2018). Experimental validation of RC shear wall structures with hybrid coupling beams. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 111, 14-30. doi:10.1016/j.soildyn.2018.04.021
27. Yeter, E. (2013). Dbybhy-07 Ve Asce 41-06'da Tanımlanan Doğrusal Olmayan Performans Değerlendirme Yöntemlerinin Perde-Çerçeve Sistemlerde Karşılaştırılması. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi*.