



Makale / Research Paper

Deprem Yüklerinin Tamamının Betonarme Perde Duvarlarla Karşılandığı Binalarda Bağ Kirişi Modellerinin Yapı Performansına Etkisi

Ömer ÖZER^{1a*}, Süleyman Bahadır YÜKSEL^{1b}

¹Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Konya/TÜRKİYE
omer@anahtar mühendislik.com

Received/Geliş: 00.00.2020

Accepted/Kabul: 00.00.2020

Öz: Deprem yüklerinin tamamının betonarme perde duvarlarla karşılandığı yapıların çekirdeğinde yer alan merdiven ve asansör boşluklarının çevresindeki perdeler genellikle birbirlerine bağ kirişleri ile bağlanmaktadır. Bu çalışmanın amacı, farklı betonarme bağ kirişi tiplerinin, deprem yüklerinin tamamının betonarme perde duvarlarla karşılandığı analiz modellerinin yapı performansına olan etkilerinin incelenmesidir. Bu çalışmada 16 katlı, düşey taşıyıcı olarak tamamen perdelerin kullanıldığı bina modelinin, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'e göre, İstanbul Atatürk Havaalanı bölgesinin yer ivmesine göre her bir betonarme bağ kirişi modeli için doğrusal olmayan itme analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçları incelendiğinde farklı betonarme bağ kirişi tiplerinin yapı performans hedeflerinde ciddi etkilerinin olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Perdeli sistem; Betonarme bağ kirişi; Doğrusal olmayan itme analizi; Yapı performans hedefleri; TBDY (2018).

The Effect of Coupled Beam Models in Buildings Where Earthquake Loads are Fully Resisted by R/C Shear Walls on Structural Performance

Abstract: Reinforced concrete shear walls around the stairs and elevator shafts, which are at the core of the structures where earthquake loads are fully resisted R/C shear walls, are generally connected to each other with coupling beams. The aim of this study is to examine the effects of different reinforced concrete coupling beam types and analysis models whose earthquake loads are fully resisted by R/C shear walls on the performance of the building. In this study, nonlinear pushover analysis was performed for each R/C coupling beam model according to the ground acceleration of the Istanbul Atatürk Airport region according to the Turkish Building Earthquake Code (2018) of the 16-storey building model, which uses fully shear walls as vertical carrier. When the analysis results are examined, it has been seen that different reinforced concrete coupling beam types have serious effects on structural performance targets.

Keywords: Shear wall system; R/C coupled beam; Nonlinear pushover analysis; Structural performance targets; TBEC (2018).

1. Giriş

Yüksek yapıların birçoğunda düşey taşıyıcı eleman olarak betonarme perde duvarlar tercih edilmektedir. Perde duvarlar yapı için gerekli olan yanal rijitliğin sağlanmasında önemli rol oynarlar. Günümüzde, yüksek yapılarda kullanılan en yaygın sistemlerden bir tanesi, birbirlerine bağ kirişleri ile bağlı betonarme perde duvarlı sistemlerdir.

Bu makaleye atıf yapmak için

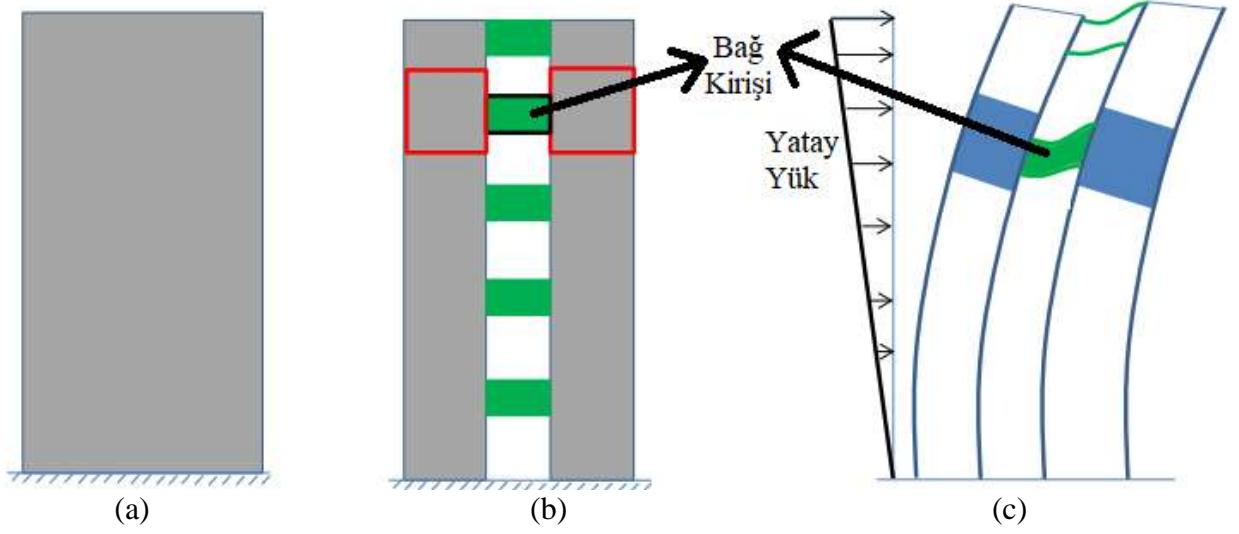
Özer, Ö., Yüksel, S.B., "Deprem Yüklerinin Tamamının Betonarme Perde Duvarlarla Karşılandığı Binalarda Bağ Kirişi Modellerinin Yapı Performansına Etkisi" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2021, 8(1); 346-362.

How to cite this article

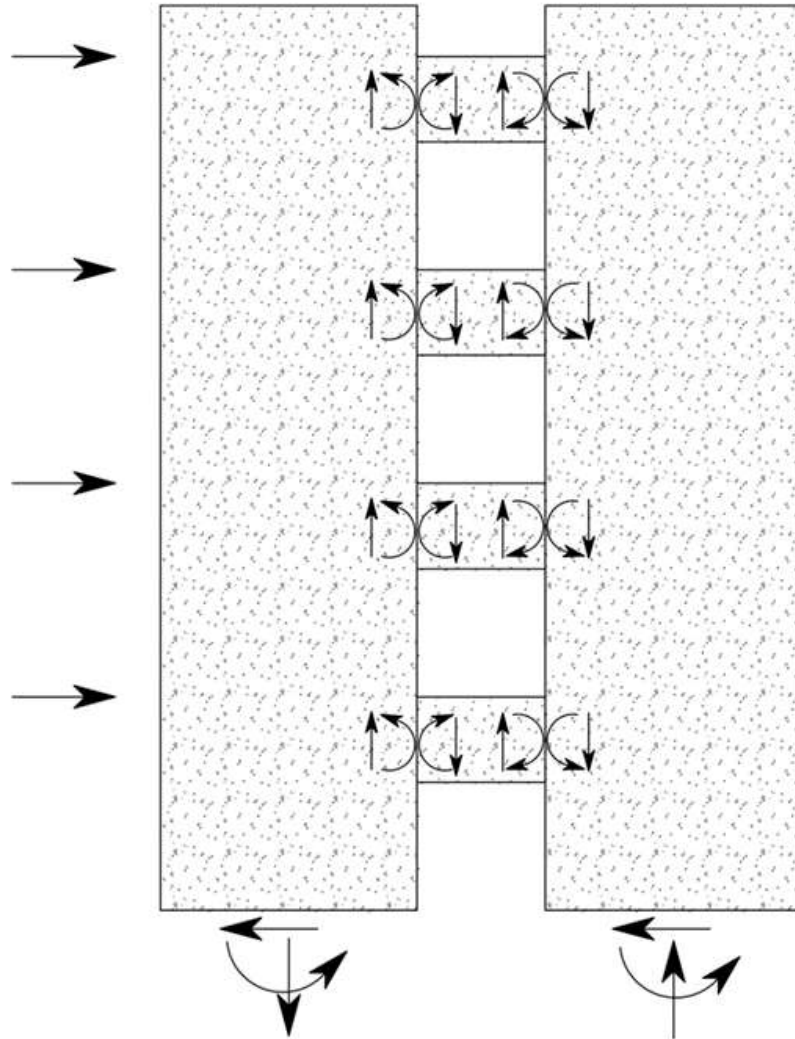
Özer, Ö., Yüksel, S.B., "The Effect of Coupled Beam Models in Buildings Where Earthquake Loads are Fully Resisted by R/C Shear Walls on Structural Performance" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2021, 8(1); 346-362.

ORCID ID: ^a0000-0002-5126-6832; ^b0000-0002-4175-1156

Betonarme perde duvarlar, rijitlik özellikleri ve yanal direnç kapasiteleri nedeniyle etkin bir şekilde sismik etkilere karşı koymak için yüksek katlı betonarme bina sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1. a) Boşluksuz perde duvar; b) bağ kirişli perde duvar; c) bağ kirişlerindeki yük deformasyon etkisi [1]

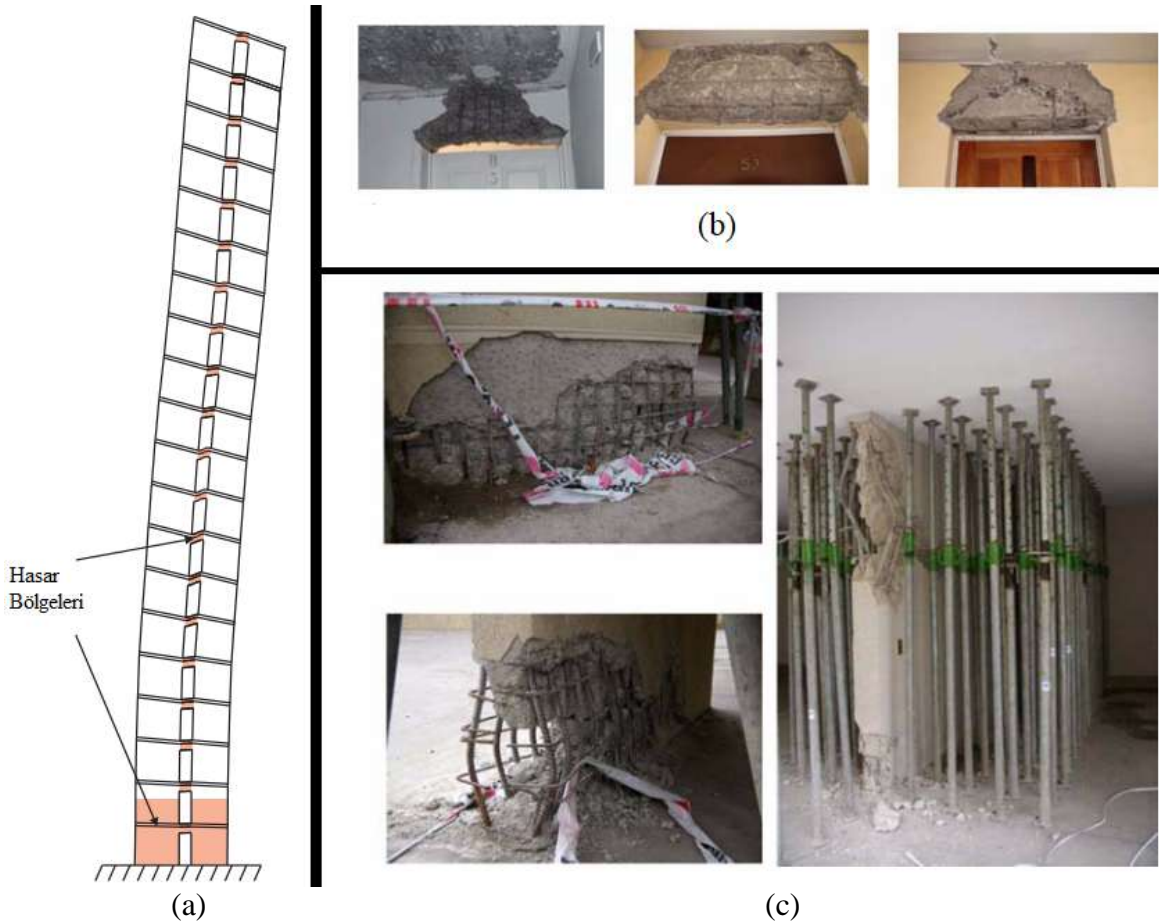


Şekil 2. Bağ kirişli perde duvarlarda meydana yatay yük etkisiyle ortaya çıkan kesit tesirleri [2]

Bununla birlikte, perde duvar sistemlerinde, açıklıkların veya kapı-pencere boşluğu gibi gereksinimlerin bağ kirişi gibi bağlantı elemanlarının ortaya çıkmasına neden olur. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) (2018)'de betonarme bağ kirişleri; bağ kirişli-boşluklu ve bağ kirişsiz-boşluksuz olmak üzere ikiye ayrılmıştır [3]. Şekil 1.a'da bağ kirişsiz-boşluksuz betonarme perde duvar, Şekil 1.b'de bağ kirişli-boşluklu betonarme perde duvar, Şekil 1.c'de ise bağ kirişlerindeki yük deformasyon etkisi verilmiştir. Deprem sırasında, bağ kirişlerinin temel amacı, iki betonarme perde duvar arasında etkili bir kesme kuvveti aktarımı gerçekleştirmektir. Bağ kirişli perde duvarlarda meydana gelen kesit tesirleri Şekil 2'de verilmiştir. İyi tasarlanmış boşluklu betonarme perde duvar sistemi, genellikle boşluksuz betonarme perde sistemlerinden daha yüksek mukavemet, daha iyi rijitlik özellikleri ve enerji dağıtma kapasitesi sunar.

Boşluklu perdelerde, bağ kirişlerinin modellenmesinde belirleyici parametreler arasında deprem yükleri bulunmaktadır. Perdelerde deprem yükleri etkisinde büyük zorlanmalar ve yer değiştirmeler meydana gelebilmektedir. Dolayısıyla bağ kirişleri yatay yük dayanımı açısından, yapıda büyük önem arz etmektedir.

Bağ kirişli perdeli sistemlerde en sık görülen hasar mekanizmaları, rijit katlardan sonra gelen katlardaki perde tabanlarında ve bağ kirişlerinde gözükmemektedir (Şekil 3.a). Kapı ve pencere boşlukları üzerindeki bağ kirişlerinde hasar şekilleri Şekil 3.b'de gösterilmiştir. Şekil 3.c'de ise perdelerde meydana gelen yatay yük kaynaklı hasarlar gösterilmiştir. Oluşan bu hasar mekanizmalarına göre de bağ kirişlerinde seçilecek malzeme ve donatılandırma şekli büyük önem arz etmektedir.



Şekil 3.a) Bağ kirişli perde hasar bölgeleri; b) kapı pencere üstünde meydana gelen bağ kirişi hasarları; c) perdelerde meydana gelen yatay yük hasarları [4]

Bu çalışmanın amacı, farklı betonarme bağ kirişi tiplerinin, deprem yüklerinin tamamının betonarme perde duvarlarla karşılanan analiz modellerinin yapı performansına olan etkilerinin incelenmesidir. Çalışmanın amacı doğrultusunda kalıp planları verilen bağ kirişli (boşluklu) perdelerle sahip olan betonarme binalar, TBDY (2018)'e göre analiz edilmiştir. Bağ kirişlerinin tasarımında TBDY (2018)'de verilen boşluklu perde bağ kirişi donatısı ve literatürdeki alternatifleri arasında karşılaştırmalar yapılmıştır.

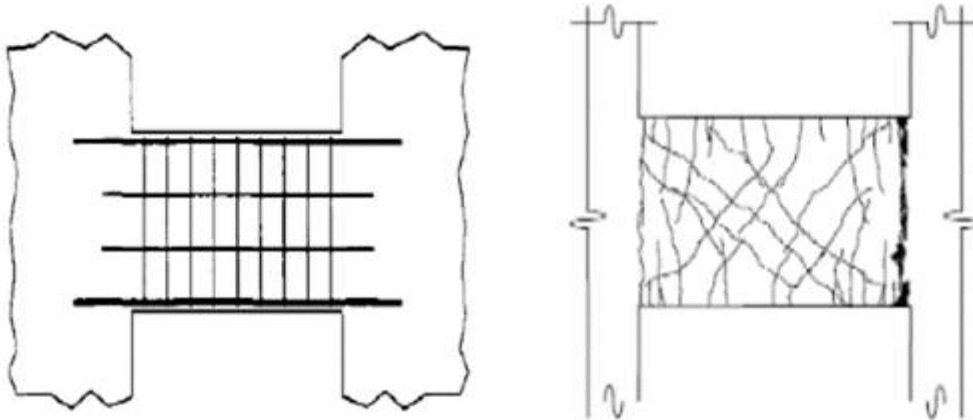
2. Materyal ve Metot

2.1. Bağ Kirişi Modelleri

Bağ kirişli perdelerin dayanım ve kesit ihtiyacını karşılamak için birden çok bağ kirişi modeli bulunmaktadır. Deprem yönetmelikleri ve literatürde en yaygın olarak kullanılan bağ kirişi modelleri bu bölümde detaylıca işlenmiştir.

2.1.1. Düz Donatıların Kullanıldığı Bağ Kirişleri

Düz donatılı bağ kirişlerinin uygulaması, diğer bağ kirişi uygulamalarına kıyasla daha kolaydır. Ancak düz donatılı bağ kirişlerindeki üst ve alt donatılar, yatay yükleme sonucu oluşan çapraz çatlama sonucunda aynı anda gerilebilir [5]. Düz donatılı bağ kirişlerinin donatılarının şematik gösterimi ve hasar mekanizmaları Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Düz donatılı bağ kirişlerinin gösterimi ve hasar mekanizmaları [5, 6]

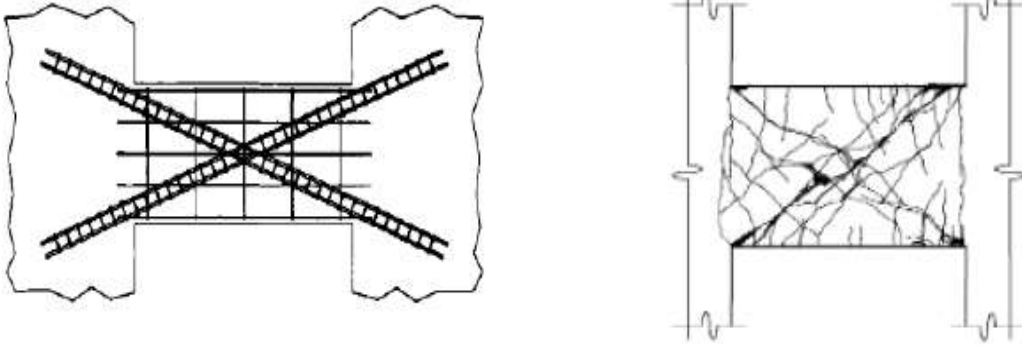
2.1.2. Çapraz (Diagonal) Donatıların Kullanıldığı Bağ Kirişleri

TBDY (2018)'de [3] Denklem (1) ve Denklem (2)'nin aynı anda sağlanması durumunda çapraz donatıların kullanılması zorunlu tutulmuştur.

$$l_n < 2 h_k \quad (1)$$

$$V_d \geq 1.5 b_w d f_{ctd} \quad (2)$$

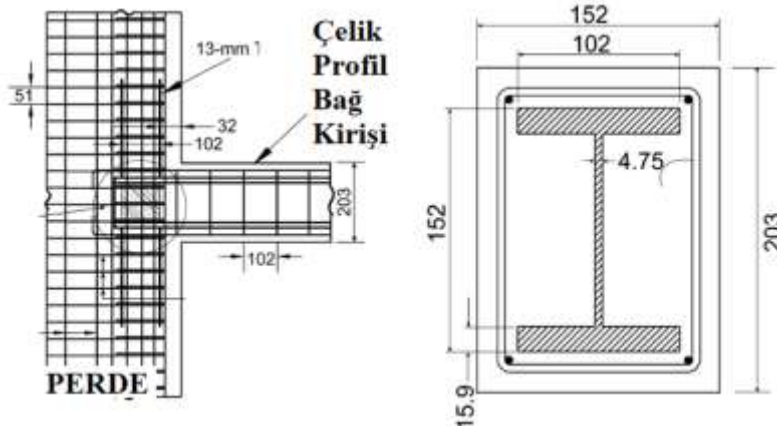
Benzer şekilde American Concrete Institute (ACI)-318 (2019) Bölüm 18.10.7'de [7] $l_n/h_k < 2$ olan kirişlerde çapraz donatı zorunlu tutulmuştur. Ayrıca l_n/h_k oranı 4'e kadar olan kirişlerde de çapraz donatı tavsiye edilmektedir. Çapraz donatılı bağ kirişlerinin donatıları ve hasar mekanizmaları ise Şekil 5'de gösterilmiştir. Bu tip bağ kirişlerinde nihai kırılma, tek bir baskın diagonal kesme çatlaklarının büyümesi sonucu kaynaklanır. Ancak bu, büyük bir hasar ve enerji kaybı gerçekleştikten sonra meydana gelir [8].



Şekil 5. Çapraz donatılı bağ kirişlerinin hasar mekanizmaları [5, 6].

2.1.3. Çelik ve Betonarmenin Beraber Kullanıldığı Kompozit Bağ Kirişleri

Çelik ve betonarmenin beraber kullanıldığı kompozit bağ kirişleri, düz donatılı bağ kirişlerinin çekirdek kısmına yerleştirilen çelik profillerle oluşturulur. Bu tip bağ kirişlerinde çelik profilin betonarme perde içinde yeterince gömülmesi büyük önem arz etmektedir [9]. Gong ve Shahrooz'un 2001 yılında yaptığı çalışmada ise Şekil 6'da kesiti verilen kompozit bağ kirişinin, sistem rijitliğini ve bağ kirişinin dayanım mukavemetini büyük oranda arttırdığı sonucuna varmıştır [10].



Şekil 6. Kompozit bağ kirişi modeli [10].

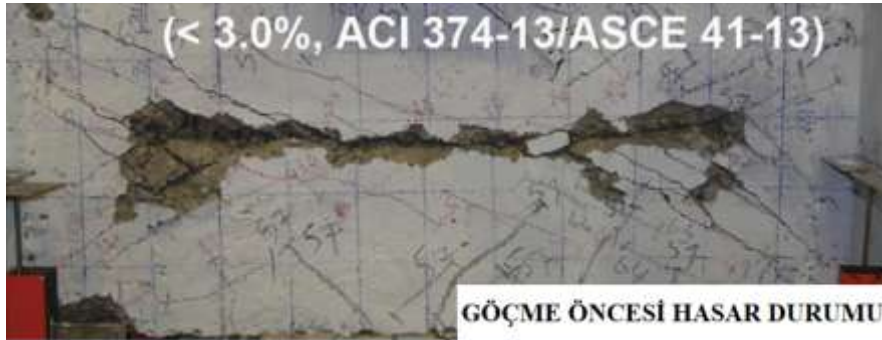
2.1.4. Çift Kiriş Şeklinde Donatılan Bağ Kirişleri

Yönetmeliklerde sıklıkla üstünde durulan çapraz donatılı bağ kirişlerine alternatif olarak, Şekil 7'deki gibi çift kiriş oluşturacak şekilde, donatıların ayrı ayrı etriyelerle sarıldığı çalışmalara da literatürde rastlamak mümkündür [11].



Şekil 7. Çift kiriş modeli [11].

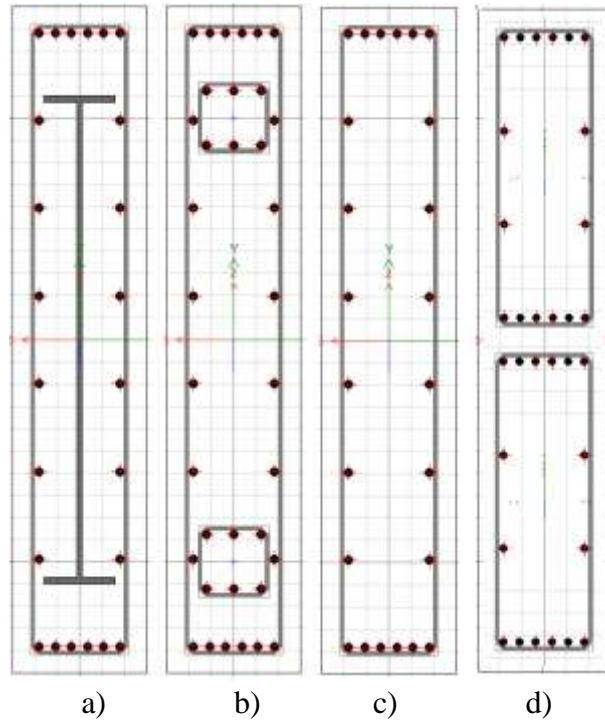
Donatı yerleşimi, çapraz donatılı kirişlere göre daha kolay olan bu bağ kirişi tiplerinin bir diğer avantajı ise yüksek yatay yükler altında hasar bölgelerinin iki kirişin arasında meydana gelmesidir (Şekil 8). Bu durum küçük orta ölçekli depremlerde hasarın tamirini kolaylaştırmaktadır.



Şekil 8. Çift kiriş modeli göçme öncesi hasar durumu [11].

2.1.5. Analiz Modelinde Kullanılan Bağ Kirişleri

Yönetmeliklerde ve literatürde yaygın olarak kullanılan bağ kirişi modelleri, analiz modellerine de tanıtılmıştır. Tüm kirişler 30×150 cm boyutunda, tüm etriyeler ise $\Phi 10/10$ cm aralığında seçilmiştir. Kompozit kesitte kullanılan I profilin alt ve üst kesiti 16 cm genişliğinde ve 1.5 cm kalınlığındadır. I profilin yüksekliği 110 cm olarak seçilmiştir. Gövde genişliği ise 1 cm'dir. Kompozit kesitte alt ve üst donatı olarak $6\Phi 18$ seçilmiş, gövde donatısı olarak ise $2 \times 6\Phi 18$ tercih edilmiştir (Şekil 9.a). Çapraz donatıların kullanıldığı kesitte ise alt ve üst donatı olarak $6\Phi 18$, gövde donatısı olarak ise $2 \times 6\Phi 18$ tercih edilmiştir. Çapraz donatılar için alt ve üst donatı olarak $3\Phi 18$ seçilmiş, donatılar 16 cm genişlik ve yükseklikteki etriyeler ile sarılmıştır (Şekil 9.b). Düz donatıların kullanıldığı kesitte ise alt ve üst donatı olarak $6\Phi 18$ seçilmiş gövde donatısı olarak ise $2 \times 6\Phi 18$ tercih edilmiştir (Şekil 9.c). Çift kiriş şeklinde donatıların kullanıldığı kesitte ise alt ve üst donatı olarak $6\Phi 18$ seçilmiş gövde donatısı olarak ise $2 \times 2\Phi 18$ tercih edilmiştir (Şekil 9.d).



Şekil 9. a) Kompozit; b) çapraz (diagonal) donatılı; c) düz donatılı; d) çift kiriş

2.2. Analiz Modeli

TBDY (2018) analiz metotları dayanıma göre tasarım (DGT) ve şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım (ŞGDT) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. DGT’de doğrusal analiz yöntemleri kullanılırken, bu yöntem Tablo 1’de gösterildiği gibi her tür yapıda kullanılamamaktadır. ŞGDT yönteminde ise doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılmakta olup bu yöntem her tür yapıda kullanılabilir.

Tablo 1. TBDY (2018)’de DGT’nin kullanılamayacağı yapı sınıfları

Dayanıma Göre Tasarımın (DGT) Kendi Başına Kullanılmadığı Ancak Ön Tasarım Olarak Kullanıldığı Yapı Sınıfları	Kullanılabilecek Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi
BYS = 1 Olan Tüm Yapılar	Zaman Tanım Alanında
BYS = 2 BYS = 3 Olan DTS = 1a ve DTS = 2a Olan Yapılar	Zaman Tanım Alanında ve Çok Modlu Statik İtme Yöntemi

Hem DGT hem de ŞGDT analizlerini yapmak için bilgisayar yazılımlarından yararlanılmıştır [12]. Çalışmada TBDY (2018)’de önerildiği gibi ön tasarım yöntemi olarak (DGT) yöntemi kullanılmıştır. DGT yöntemi kullanılırken ülkemizde yaygın olarak kullanılan İdeStatik V10 paket programı tercih edilmiştir [13]. İdeStatik V10 programıyla doğrusal analiz yöntemleriyle bulunan eleman kesitleri ve donatıları ise Etabs v18 paket programına girilmiş ve modelin doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır [14].

Ülkemizde bir önceki deprem yönetmeliği olan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007)’de Türkiye coğrafyası dört ana deprem bölgesinden oluşmaktaydı (DBYBHY, 2007). TBDY (2018)’de ise her bir deprem bölgesi için ayrı bir etkin yer ivmesi belirlenmiş, böylelikle daha gerçekçi analiz sonuçlarının önü açılmıştır [15]. Bu çalışmada seçilen analiz modelinde İstanbul Atatürk Havaalanı’nın bulunduğu koordinatların deprem parametreleri kullanılmıştır (Tablo 2). Modelin analiz parametreleri ise detaylı olarak Tablo 3’de verilmiştir.

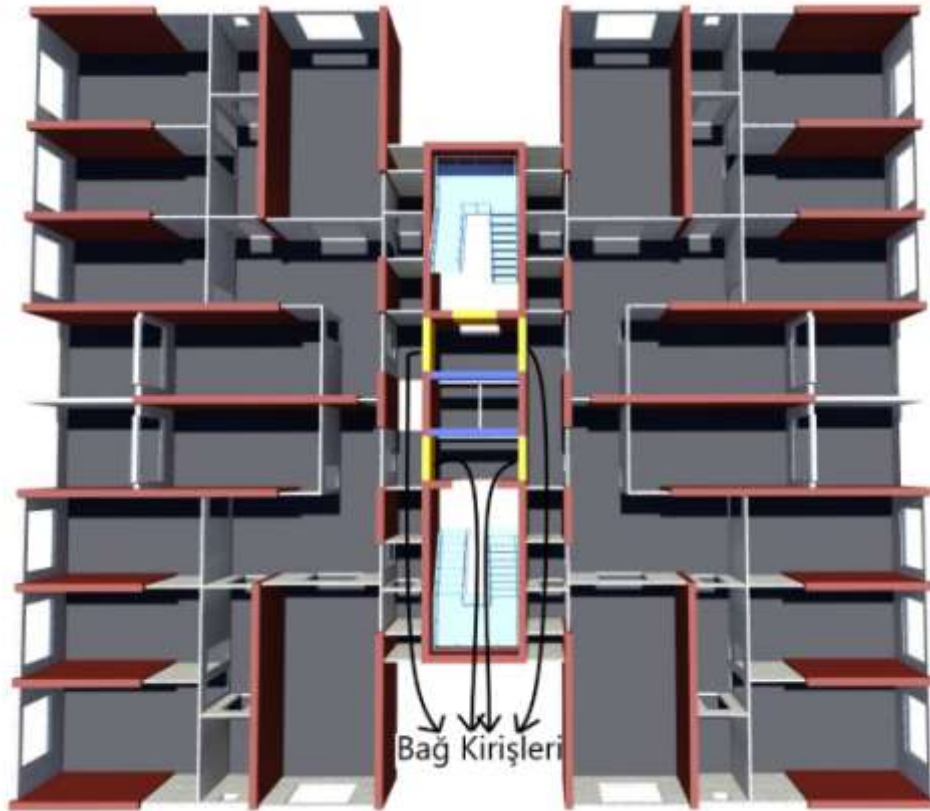
Tablo 2. Analiz modellerinin lokasyon ve deprem parametreleri [3]

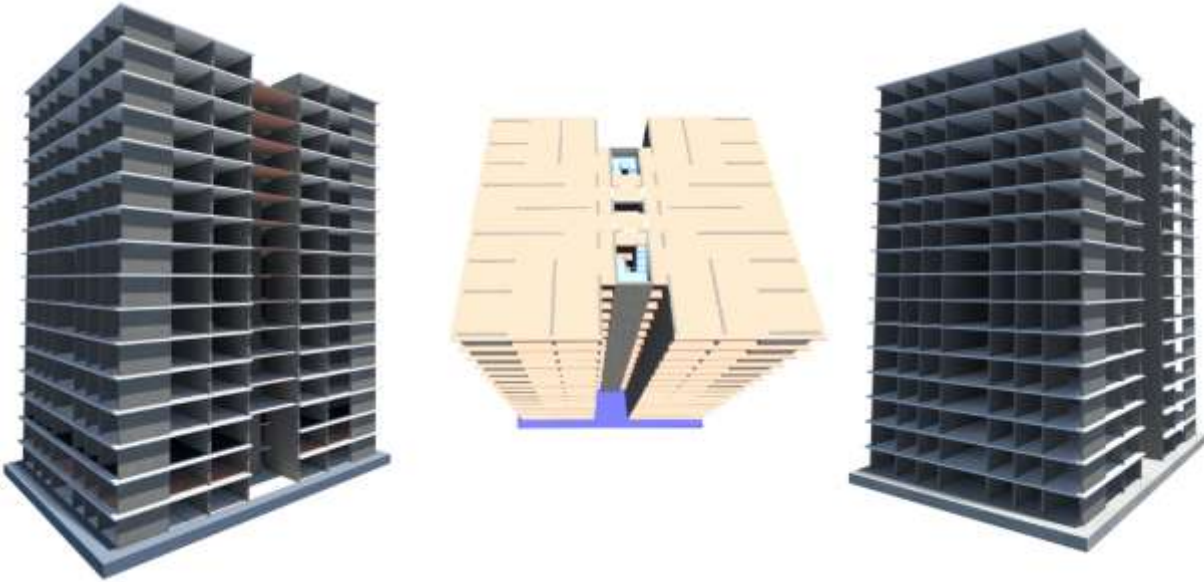
Analiz Modeli Lokasyonu	İstanbul Atatürk Havaalanı
Bina Konumu Enlem	40.982214
Bina Konumu Boylam	28.828068
S_S	1.218
S_1	0.325
S_{D1}	0.488
S_{DS}	1.262
T_A	0.067
T_B	0.334
Periyot	1.5765
En Büyük Yer İvmesi PGA (g)	0.501
En Büyük Yer Hızı PGV(cm/sn)	33.574

Çalışmada deprem yüklerinin tamamının betonarme perdelerle karşılandığı bir analiz modeli seçilmiştir. Yapıda bağ kirişleri sadece çekirdekte olup diğer kısımlar kirişsiz döşeme şeklinde tasarlanmıştır. Ülkemizde ve dünyada genellikle tünel kalıp formunda tasarlanan bu tip modeller üst düzey deprem mukavemeti sunmaktadır. Analiz modelinin kat planı Şekil 10’da verilmiştir. Analiz modellerinin 3 boyutlu görüntüsü ise Şekil 11’de gösterilmiştir.

Tablo 3. Analiz modeli parametreleri

Analiz Modeli Parametreleri			
Genel Parametreleri		Taşıyıcı Parametreleri	
Kat Sayısı	16	Perde Genişliği	45 cm
Kat Yüksekliği	3 m	Perde Uç Düşey Donatı-Etr.	Φ18/16 - Φ12/9
Yapı Ebatları	35.1m × 31.2m	Perde Gövde Donatı-Etr.	Φ18/25 Φ12/25
Yapı Yüksekliği	48 m	Normal Donatılı Bağ Kirişi Kesiti	30 × 150
Bina Yükseklik Sınıfı	BYS 3	Çapraz Donatılı Bağ Kirişi Kesiti	30 × 150
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	7	Normal Donatılı Bağ Kirişi Donatısı	9Φ22 - Üst 9Φ22 -Alt
Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	2.5	Çapraz Donatılı Bağ Kirişi Donatısı	2×6Φ18 Gövde Φ10/10 Etr. 6Φ18 - Üst 6Φ18 -Alt
Beton Sınıfı	C40	Çift Kirişli Bağ Kirişi Kesiti	30 x75 x 2 6Φ18 - Üst 6Φ18 - Üst
Çelik Sınıfı	B420C	Çift Kirişli Bağ Kirişi Donatısı	2×2Φ18 Gövde Φ10/10 Etr.
Deprem Tasarım Sınıfı	DTS 1	Döşeme Kalınlıkları	20 cm
Bina Kullanım Sınıfı	BKS 3	Döşeme Ölü / Hareketli Yük	0.21 / 0.35 t/m ²
Hesap Yöntemi	ŞGDT	Zemin Sınıfı	ZC
Yapı Süneklik Düzeyi	Yüksek	Yapı Toplam Ağırlığı	225856 kN

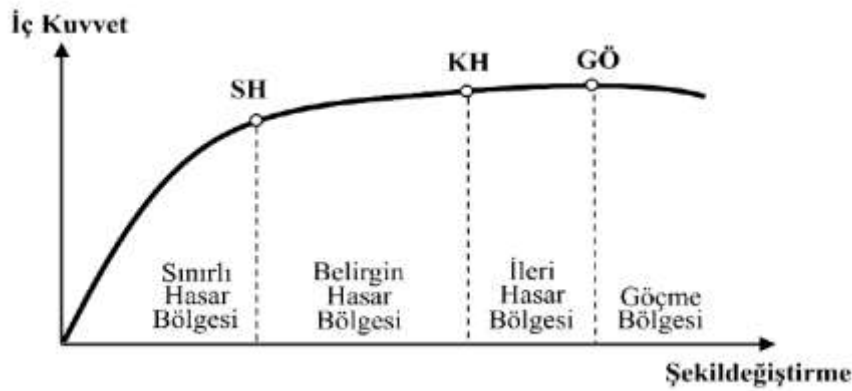
**Şekil 10.** Analiz modeli kat planı



Şekil 11. Analiz modelinin 3 boyutlu görüntüsü

2.3. Doğrusal Olmayan Analiz

TBDY (2018) 5.3 maddesinde doğrusal olmayan davranış modellemelerinde izlenilecek adımlardan bahsedilmektedir. TBDY (2018)'de yapı elemanlarının kesit hasar sınırları Şekil 12'deki gibi belirlenmiş ve bu sınırların tayininde Denklem (3)-(4) ve (5)'ten faydalanılması istenmektedir. Bu çalışmada TBDY (2018)'de belirtilen mafsal modelleme yöntemleri kullanılmıştır.



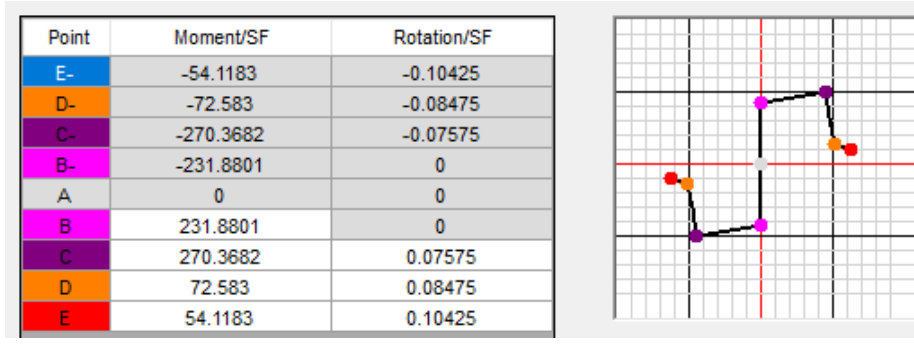
Şekil 12. TBDY (2018) kesit hasar bölgeleri

Analiz modelindeki bağ kirişleri için Şekil 13'deki gibi yığılı mafsal modeli (plastik mafsal) kullanılırken, perdeler için yayılı plastik davranış modeli kullanılmıştır (Şekil 14). Ayrıca aksel yük ve sargı donatısını seçimi de taşıyıcı kesitlerin moment-eğrilik davranışı üzerinde önemli etkisi vardır [16]. Bu yüzden tüm taşıyıcıların moment-eğrilik grafikleri DGT'la elde edilen aksel yüklere ve donatılara göre seçilmiştir.

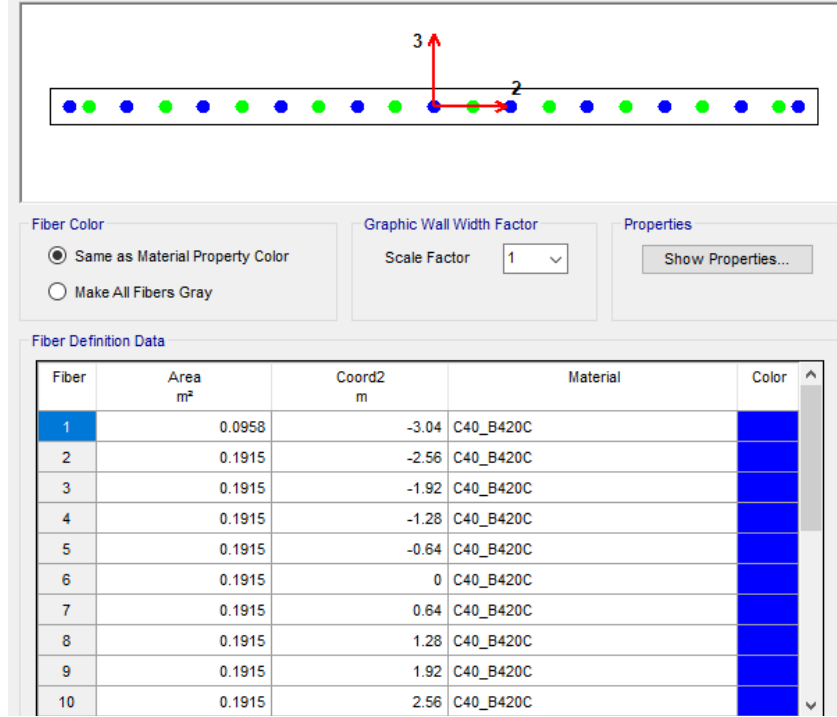
$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[(\Phi_u - \Phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \Phi_u d_b \right] \quad (3)$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(GÖ)} \quad (4)$$

$$\theta_p^{(SH)} = 0 \quad (5)$$

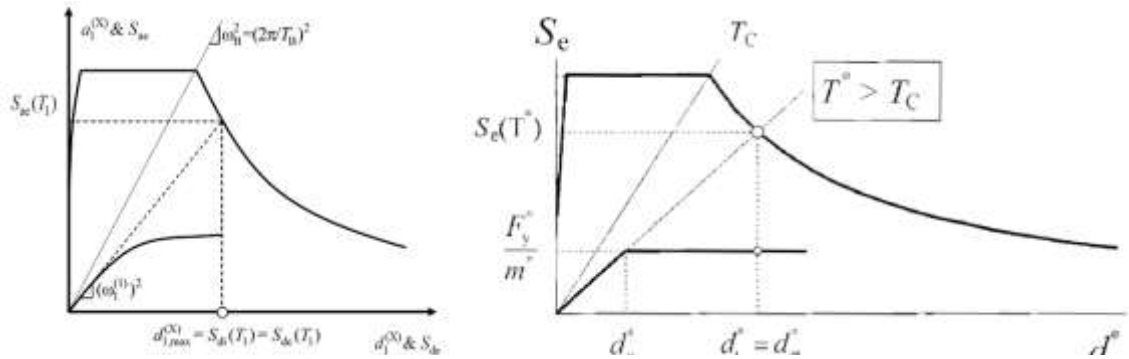


Şekil 13. Etabs v18 bağ kirişi yığılı plastik davranış modeli



Şekil 14. Etabs v18 perde yayılı plastik davranış modeli

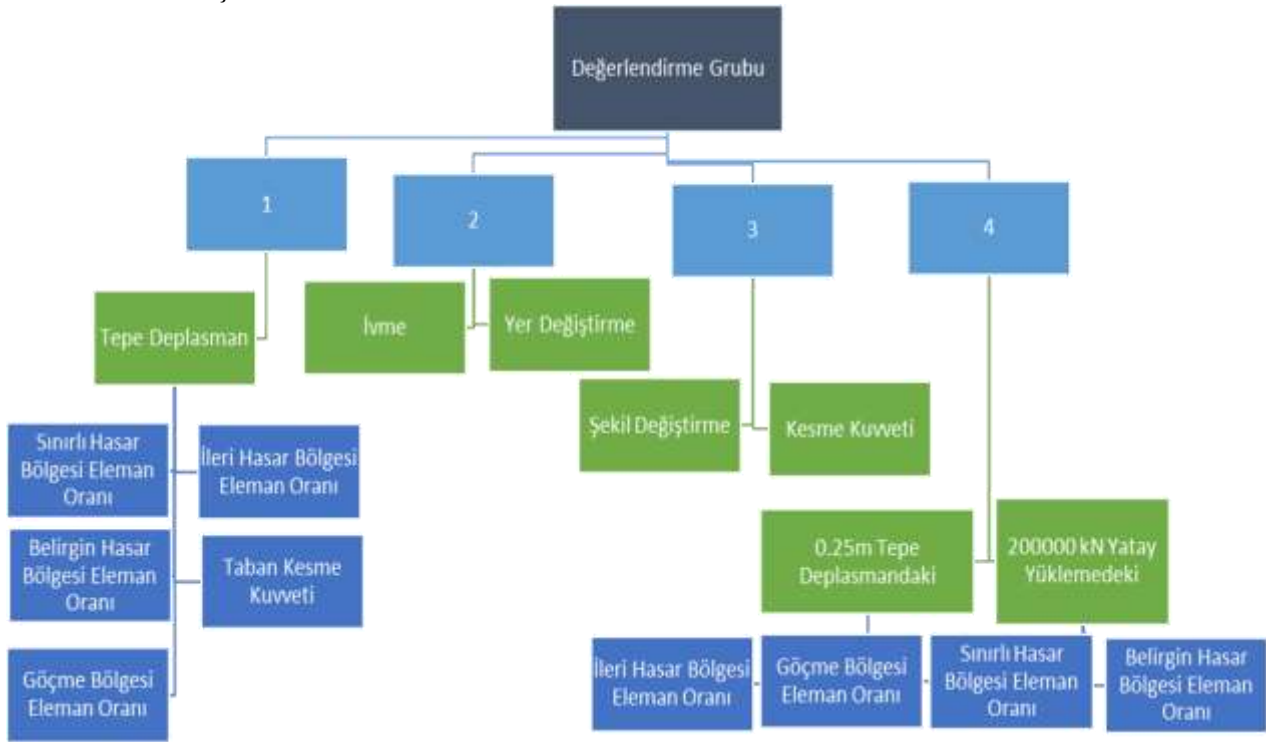
Çalışmada yapılan doğrusal olmayan analizler sonucunda analiz modelinin performans noktaları hem Eurocode B.4 bölümünde, hem de TBDY (2018) 5B.3. bölümünde yer alan yapı yer değiştirme talebi formüllerinden yararlanılarak hesaplanmıştır [17]. Şekil 15'e göre hesaplanan hedef yer değiştirme talebinin statik itme analizinde karşılık gelen adımına göre yapı performansı belirlenir.



Şekil 15. TBDY (2018) ve Eurocode 8'de performans noktasının tayini

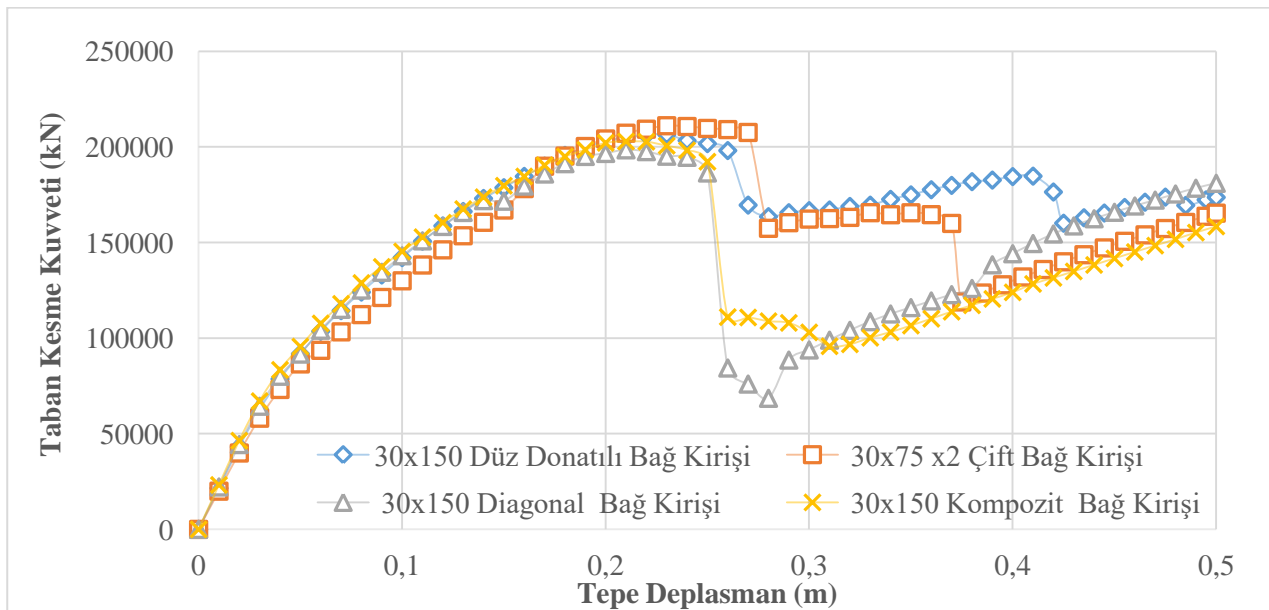
3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada 16 katlı analiz modelinin TBDY (2018) 5.6’da bahsedildiği şekilde statik itme analizleri yapılmıştır. Bulunan analiz sonuçları ise Şekil 16’daki gösterildiği gibi 4 ana değerlendirme başlığı altında incelenmiştir.



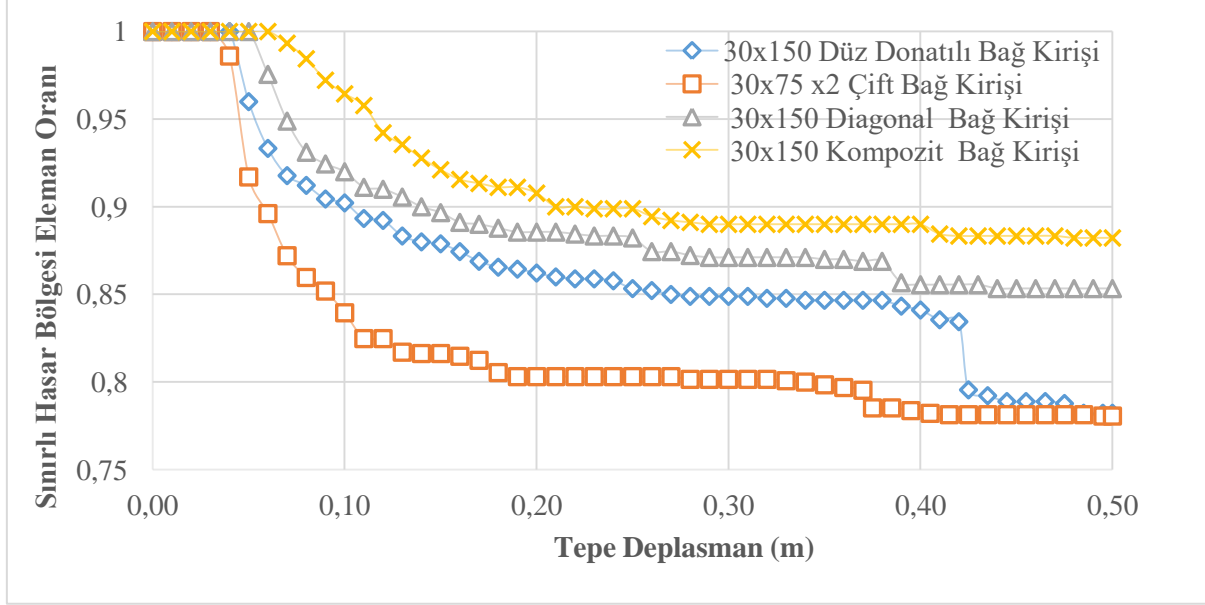
Şekil 16. Analiz sonuçları değerlendirme başlıkları

Doğrusal olmayan statik itme analiz sonuçları incelenirken ilk önce taban kesme kuvveti – tepe deplasman değerleri arasında karşılaştırma üzerinde durulmuştur. Şekil 17’de görüldüğü gibi deprem yüklerinin tamamının betonarme perdeler tarafından karşılandığı yapılarda, bağ kirişi modellerindeki değişiklik yapının başlangıç performansında ciddi farklılıklara yol açmamıştır. 4 farklı bağ kirişi modelinde de 0.25 m tepe deplasmanına kadar birbirine yakın taban kesme kuvveti değerleri görülmüştür (Şekil 17).



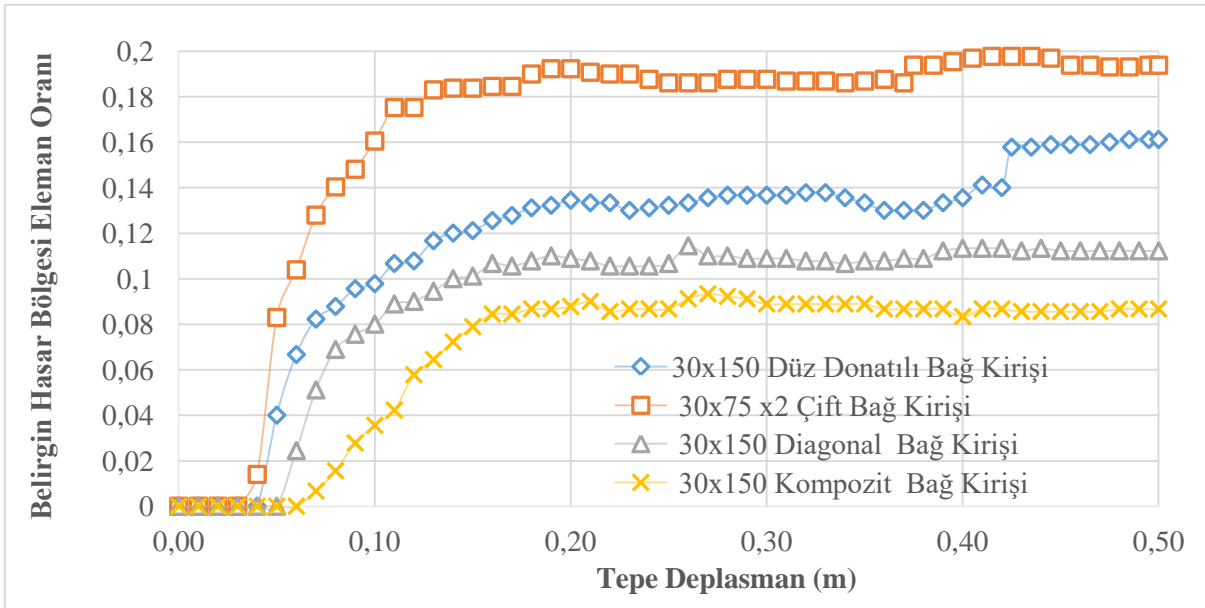
Şekil 17. Taban kesme kuvveti – tepe deplasman grafiği

1. değerlendirme grubunda incelenen bir diğer başlık ise, analiz modellerinin Şekil 12’de bahsedilen hasar bölgelerine hangi tepe deplasman değerinde geçtiğidir. Analiz modellerinin 0.5m tepe deplasman değerine kadar olan sınırlı hasar bölgesindeki eleman oranları incelendiğinde, kompozit bağ kirişli analiz modelindeki elemanların %88’inin sınırlı hasar bölgesinde kaldığı ve diğer modellerden pozitif ayrıştığı görülmektedir (Şekil 18). Şekil 19 ve Şekil 20’de ise ileri ve belirgin hasar bölgesine geçen eleman oranları verilmiştir.



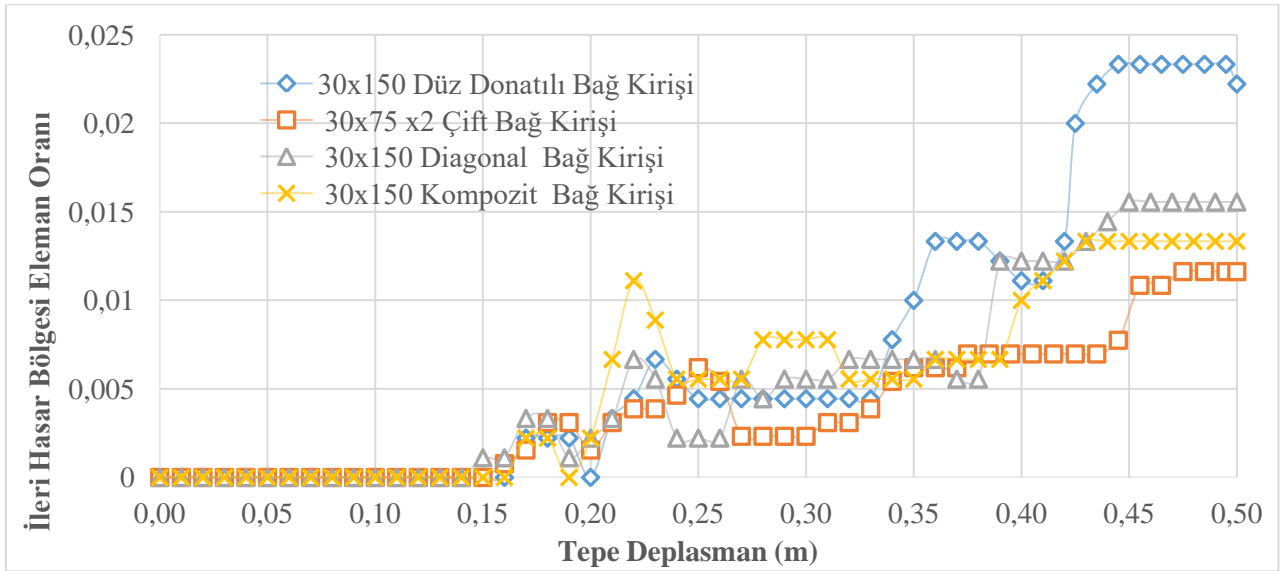
Şekil 18. Sınırlı hasar bölgesi eleman oranı – tepe deplasman grafiği

Grafikler incelendiğinde 0.5m tepe deplasman değerinde en fazla belirgin hasar bölgesine çift bağ kirişli modelindeki elemanların geçtiği, en fazla ileri hasar bölgesine ise düz donatılı bağ kirişli elemanların geçtiği görülmüştür.

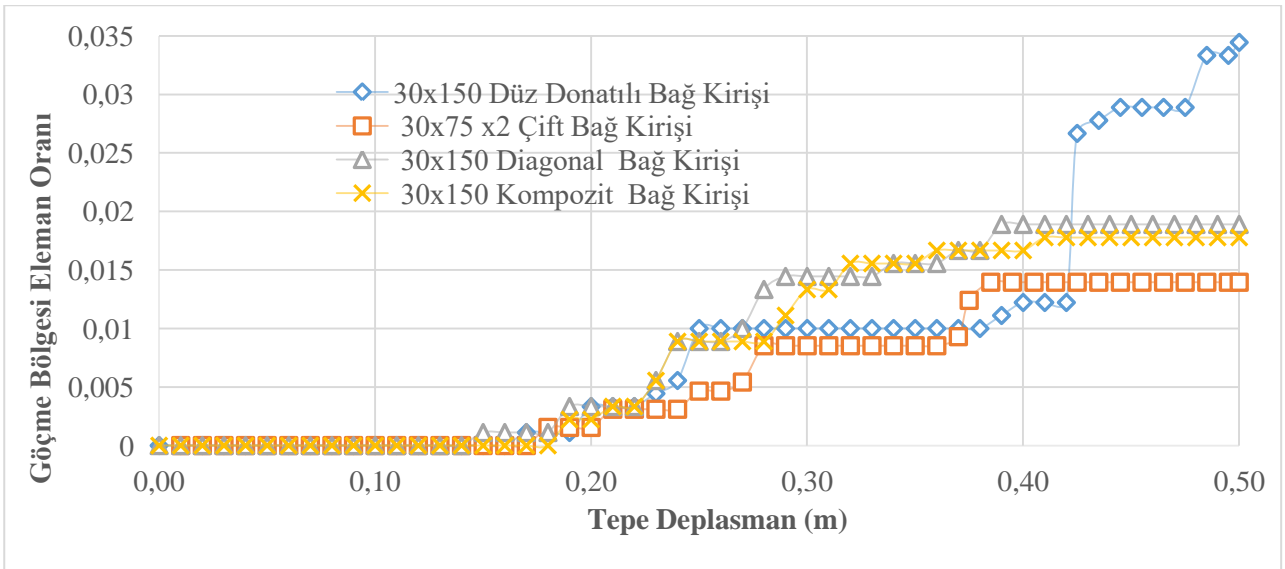


Şekil 19. Belirgin hasar bölgesi eleman oranı – tepe deplasman grafiği

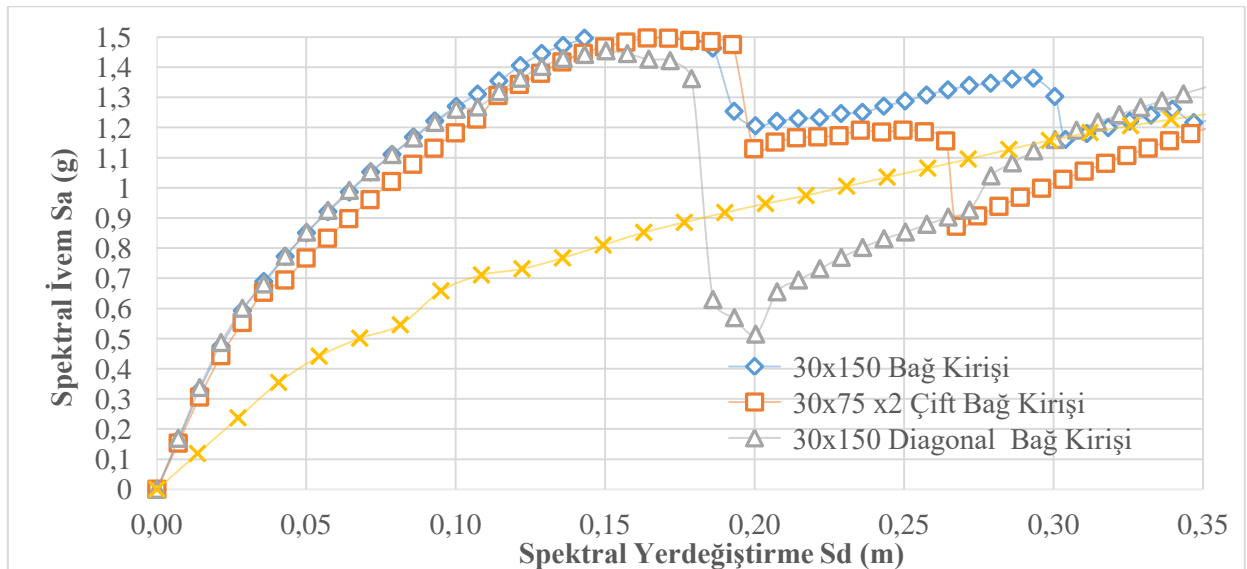
1. değerlendirme grubunda incelenen bir diğer başlık ise göçme hasar bölgesine geçen eleman oranlarının karşılaştırılmasıdır. Şekil 21 incelendiğinde, en fazla elemanı göçme bölgesine geçen analiz modelinin düz donatılı bağ kirişli modeli olduğu görülmüştür.



Şekil 20. İleri hasar bölgesi eleman oranı – tepe deplasman grafiği



Şekil 21. Göçme hasar bölgesi eleman oranı – tepe deplasman grafiği

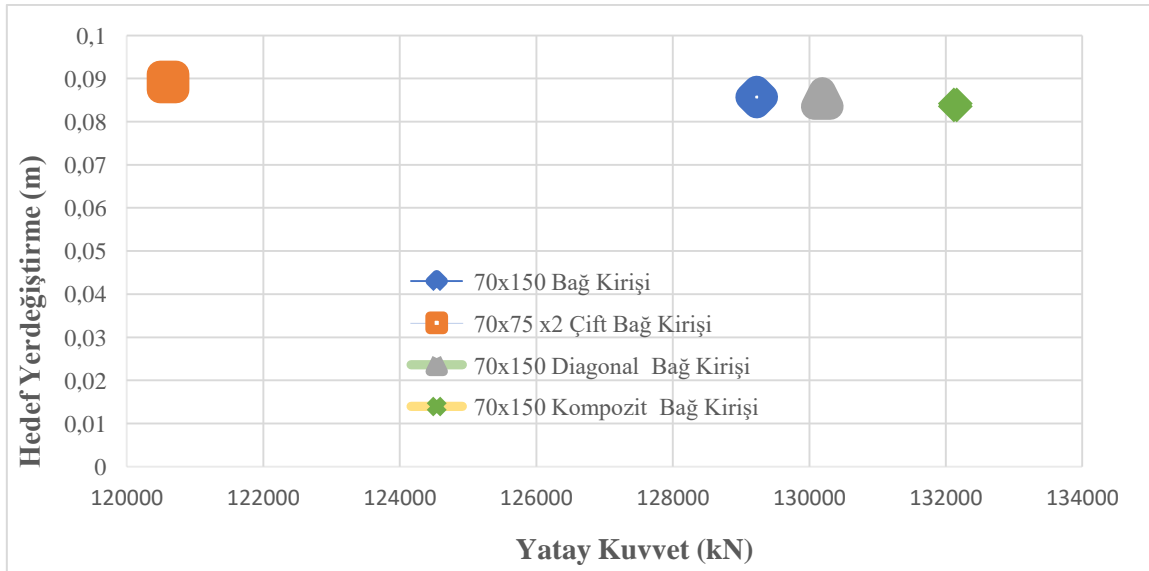


Şekil 22. Spektral ivme – spektral yer değiştirme grafiği

2. Değerlendirme grubunda doğrusal olmayan statik itme analizleri sonucunda elde edilen spektral ivme – spektral yer değiştirme grafikleri incelendiğinde düz donatılı model, çift kiriş modeli ile diagonal donatılı bağ kirişi modelleri birbirine yakın davranış gösterirken kompozit modelin spektral ivme değerinin herhangi spektral yerdeğiştirme değerini azalmayıp doğrusal olarak sürekli arttığı görülmüştür. (Şekil 22).

3. Değerlendirme grubunda Şekil 15’de bahsedildiği gibi her bağ kirişi modeli için hedef yer değiştirme değerleri ve kesme kuvveti değerleri bulunmuştur. Sonuçlar incelendiğinde kompozit modelin diğer modellerden daha yüksek yatay yük taşıma kapasitesinin olduğu, çift bağ kirişli modelin ise daha sünek davranış gösterdiği görülmüştür (Şekil 23).

4. Değerlendirme grubunda ilk olarak bağ kirişi modellerinin performans noktasındaki hasar bölgesi eleman oranları incelenmiştir. Analiz sonucunda bulunan performans noktasında, analiz modellerinin hiçbir taşıyıcı elemanı, ileri ve göçme hasar bölgesine geçmemiştir. En fazla plastik bölgeye geçen taşıyıcı eleman çift bağ kirişinde olurken, en fazla elastik bölgede taşıyıcı elemanı olan model kompozit bağ kirişi modeli olmuştur (Şekil 24).

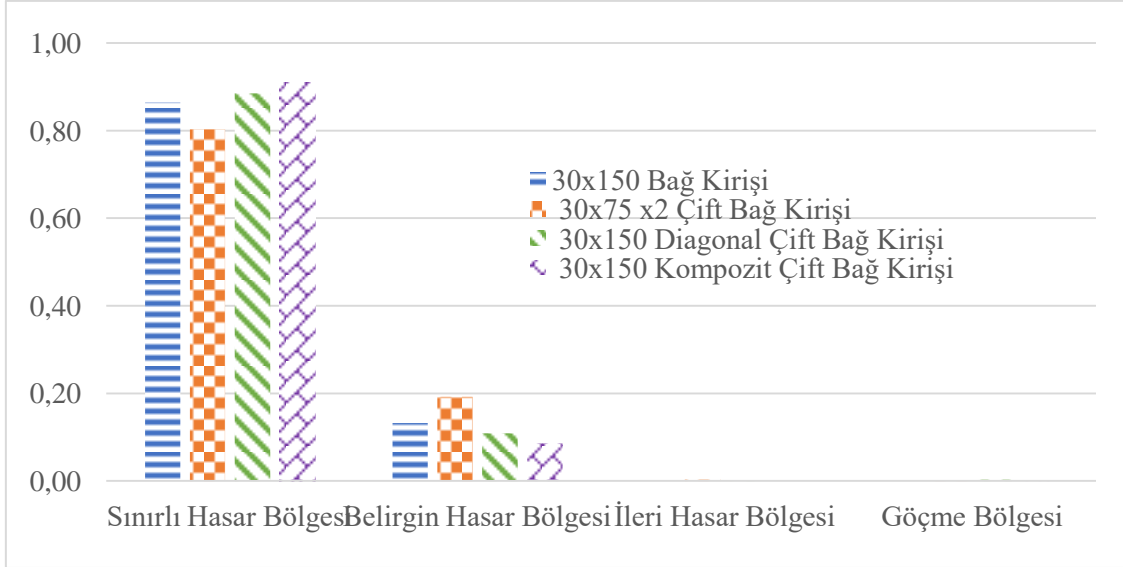


Şekil 23. Analiz modellerinin performans noktaları

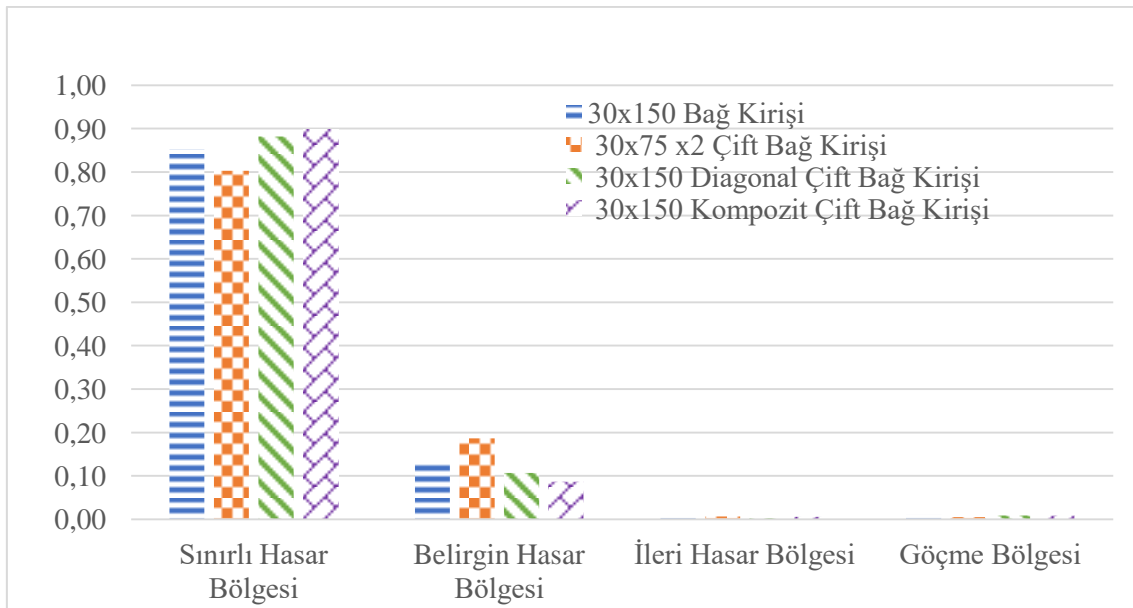


Şekil 24. Performans noktası hasar bölgesi eleman oranları

4. değerlendirme grubunda, modellerin çok yüksek yatay yük altındaki davranışlarını incelemek adına modellere 200000 kN yatay yük etkilmiştir. Modellerin sünekliklerini incelemek için ise analiz modellerinin 0.25m tepe deplasman altındaki eleman hasar durumu oranları incelenmiştir. Her iki karşılaştırma başlığında da en fazla sınırlı hasar bölgesinde taşıyıcı elemanı kalan modelin kompozit bağ kirişi modeli olduğu görülmüştür. En fazla taşıyıcı elemanında plastikleşme görülen modelin ise çift bağ kirişi modeli olduğu görülmüştür (Şekil 25-26).



Şekil 25. 200000 kN yatay yükleme altındaki hasar bölgesi eleman oranları



Şekil 26. 0.25m tepe deplasman altındaki hasar bölgesi eleman oranları

4. Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan bu çalışmada deprem yüklerinin tamamının betonarme perdeler tarafından taşınılan tünel kalıp formundaki analiz modellerinin doğrusal olmayan analiz sonuçları incelenmiştir. Bağ kirişleri modellenirken TBDY (2018)'de geçen çapraz donatılı ve normal donatılı bağ kirişlerinin yanında bu modellere alternatif olarak birçok çalışmada sunulan, çift kiriş şeklinde donatılandırılan ve çelik I profil ile güçlendirilmiş kompozit modeller tercih edilmiştir. Yapılan analizler sonuçları ise şu şekilde özetlenebilir:

- Taban kesme kuvveti – tepe deplasman grafiği incelendiğinde 4 farklı bağ kirişi modelinde de 0.25m tepe deplasmana kadar yakın taban kesme kuvveti değerleri görülmüştür.
- Eleman hasar sınırları incelendiğinde en fazla göçme hasar sınırına geçen modelin düz donatılı bağ kirişi modeli olduğu, en fazla elastik bölgede kalan modelin ise kompozit bağ kirişi modeli olduğu görülmüştür.
- Bir diğer karşılaştırma başlığı olan spektral ivme – spektral yerdeğiştirme grafikleri incelendiğinde ise modellerin birbirine yakın davranışlar gösterdiği ancak en doğrusal davranışı kompozit bağ kirişi modelinin gösterdiği görülmüştür.
- Şekil 12'ye göre analiz modellerinin yapı performansları belirlendiğinde ise çift bağ kirişli modelin diğer modellere göre daha sünek davranış gösterdiği, kompozit modelin ise diğer modellerden daha yüksek yatay yük taşıma kapasitesinin olduğu görülmüştür.
- Modeller 200000 kN yatay yüklemeye ve 0.25 m tepe deplasman altındaki davranışları incelendiğinde kompozit ve diagonal modeldeki taşıyıcı elemanların diğer modellere göre daha fazla elastik bölgede kaldığı görülmüştür.

Tüm bu analiz sonuçları incelendiğinde, deprem yüklerinin tamamının betonarme perdeler tarafından karşılandığı yapılarda çekirdekte yer alan bağ kirişi modellerinin yapı performansına etkisi düşük yer değiştirmelerde sınırlı kalmıştır. Ancak büyük yer değiştirmeler ve yüksek yatay yüklemeler incelendiğinde, kompozit bağ kirişli modelin daha rijit davrandığı ve diğer modellerle aynı yer değiştirmeyi daha yüksek yatay yükler altında yaptığı görülmüştür. Bağ kirişi modelleri arasında en sünek davranışı ise çift bağ kirişi modeli göstermiştir. Büyük yer değiştirmeler altında en fazla göçme hasar bölgesinde taşıyıcı elemanı bulunan model ise düz donatılı bağ kirişi modeli olmuştur.

Kaynaklar

- [1]. Cai, G. C., Zhao, J., Degee, H. ve Vandoren, B., Shear capacity of steel fibre reinforced concrete coupling beams using conventional reinforcements, *Engineering Structures*, 2016, 128, 428-440.
- [2]. Du, K., Luo, H., Bai, J. L. ve Sun, J. J., 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*, 2019, 13 (1).
- [3]. TBDY, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018). Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2018.
- [4]. Montgomery, M. S., Fork Configuration Damper (FCDs) for Enhanced Dynamic Performance of High-rise Buildings, University of Toronto, Doctor of Philosophy, 2013.
- [5]. FEMA, "FEMA 306 Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall," (in English), Federal Emergency Management Agency, Washington DC., 1998.
- [6]. Boivin, Y., Assessment of the seismic performance of a 12-storey ductile concrete shear wall system designed according to the nbcc 2005 and the csa a23.3 2004 standard, *Université de Sherbrooke*, 2006.
- [7]. ACI, "ACI 318-19 Building Code Requirements for Structural Concrete," (in English), American Concrete Institute, Farmington Hills MI., 2019.
- [8]. Eljadei, A., Performance Based Design of Coupled Wall Structures, University of Pittsburgh, Doctor of Philosophy, 2012.
- [9]. Hou, W., Xu, S. L., Ji, D. S., Li, Q. H. ve Zhang, P., Seismic performance of steel plate reinforced high toughness concrete coupling beams with different steel plate ratios, *Composites Part B-Engineering*, 2019, 159, 199-210.
- [10]. Gong, B. G. ve Shahrooz, B. M., Steel-concrete composite coupling beams - behavior and design, *Engineering Structures*, 2001, 23 (11), 1480-1490.

- [11]. Choi, Y., Hajyalikhani, P. ve Chao, S. H., Seismic Performance of Innovative Reinforced Concrete Coupling Beam-Double-Beam Coupling Beam, *Acı Structural Journal*, 2018, 115 (1), 113-125.
- [12]. Keleş, A., E. ve Kaya Keleş, M., İnşaat Sektöründe Kullanımı Artan Bilgisayar Yazılımları ve Bilgi Teknolojilerinin İrdelenmesi, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 2018, 5, 610-617.
- [13]. İdeYapı Ltd Şti, Şişli – İstanbul. 2020
- [14]. ETABS, Integrated Building Design Software, Computers and Structures, Inc., Berkeley, CA, 2020.
- [15]. Özer, Ö. ve Yüksel, S. B., Deprem Etkilerinin Betonarme Çerçevesel 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, 2020, 9, 931 - 945.
- [16]. Foroughi, S., Jamal, R. ve Yüksel, S. B., Sargı Donatısı ve Eksenel Yük Seviyesinin Betonarme Kolonların Eğrilik Süneklik ile Etkin Kesit Rijitliğe Etkisi, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 2020, 7, 1309 - 1319..
- [17]. Eurocode8, Design of Structures For Earthquake Resistance, Nemetschek, 2004.