



TBDY 2018' e göre farklı döşeme tiplerinin yüksek bina sınıfındaki yapıda doğrusal olmayan davranışa olan etkilerinin incelenmesi

Investigation of the effects of different floor types on non-linear behavior in high-rise building class according to TBDY 2018

İlker Fatih Kara¹ , Yunus Emre Akkaş^{2*} 

^{1,2}Mersin Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çifilikköy Kampüsü 33343, Yenişehir/Mersin Türkiye

Öz

Bu çalışmada, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018'e göre yüksekliği 72 m olan ve Deprem Tasarım Sınıfı 1 (DTS) kategorisine giren yüksek bir betonarme yapının, yönetmelikte belirtilen Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT) kriterleri altında doğrusal olmayan analiz göz önünde bulundurularak farklı döşeme tiplerinde performans ve yapısal davranışına ait karşılaştırmaları yapılmıştır. Aynı düşey taşıyıcı sistem içerisinde, betonarme yapılarda sıklıkla kullanılan kirişli plak döşeme, mantar döşeme, asmolen döşeme ve döşemenin sistemle birlikte modellenmediği (plak döşemeli) yapı sisteminden oluşan 4 farklı model dikkate alınmıştır. Her yapı sistemi için kullanılan beton ve donatıya ait malzeme seçimlerinde aynı dayanım özelliklerine yer verilmiştir. Analizlerden elde edilen elastik ötesi şekil değiştirmeler birbirleri ile karşılaştırılmış ve farklı döşeme tiplerine göre performans düzeyleri belirlenmiştir.

Sonuç olarak doğrusal olmayan davranış analizlerinde döşeme modellemesinin eleman hasar seviyelerini ve yapı davranışını değiştirebildiği, yapı sistemlerinin katlara ait düzlem içi rijitliğine katkı sağlayarak, düşey elemanların daha çok zorlanmalarına sebep olabileceği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: TBDY 2018, Doğrusal olmayan analiz, Yüksek yapılar, Mantar döşeme, Plak döşeme, Dişli döşeme

1 Giriş

Depremlerin bilinmeyen, öngörülemeyen ve karmaşık yapısı, mühendislerin üstesinden gelmesini gerektiren zorlu problemleri de beraberinde getirmektedir. Dolayısıyla deprem anında yapılara etki edecek dinamik zorlamalara karşın, birtakım çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Yaşanan tecrübeler göstermiştir ki, oluşturulan taşıyıcı sistemlerin servis ömrü boyunca sadece kendi düşey ağırlıklarına göre değil, deprem ve rüzgar, hatta bazı durumlarda ani darbe etkilerine karşı da tasarlanması gerektiği sonucunu doğurmuştur. Bu gibi etkenlerden dolayı, yapılarda taşıyıcı sistem, malzeme ve hesap yöntemlerinin seçimi, yapı tasarımlarında oldukça önemli bir yere sahip olmuştur.

Abstract

In this study, non-linear analysis is considered under the Evaluation and Design Based on Strain (ŞGDT) criteria specified in the regulation, of a high reinforced concrete structure with a height of 72 m according to the Turkish Building Earthquake Code (TBDY) 2018 under the Earthquake Design Class 1 (DTS) category. Considering the performance and structural behavior of different flooring types, comparisons were made. Within the same vertical support system, 4 different models, commonly used in reinforced concrete structures, consisting of conventional slab system, ribbed hardy slab system, flat slab system and non-modeled floor conventional slab system were considered. The same strength properties are included in the material selection of the concrete and reinforcement used for each building system. Inelastic strains obtained from the analyses were compared with each other and performance levels were determined according to different flooring types.

As a result, in non-linear behavior analysis, it has been observed that modeling of slabs can change the element damage levels and building behavior, contributing to the horizontal in-plane rigidity of the building systems and causing more strain on the vertical elements.

Keywords: TBDY2018, Non-linear analysis, Tall buildings, Conventional slab, Ripped slab, Flat slab

Gelişen teknoloji, mühendislik çalışmalarında önemli bir yol kat etme aracıdır. Bu gelişmeler, yapı sistemlerinde kullanılan 2 boyutlu basit hesaplamaların yerini, 3 boyutlu sonlu eleman modellemelerine bırakabilmiştir. Böylece karmaşık geometrideki yapı sistemlerinin teorik çözüm yapısı, pratikteki yapı davranışına daha çok benzeşerek, aralarında oluşabilecek farklar minimize edebilmiştir.

Bu teknolojik ilerlemeler, çeşitli ülke yönetmeliklerini de destekleyerek, güncelliklerine yön vermiştir. İlerleyen hesap yöntemleri arasında, tarihte yaşanmış depremlerin bire bir etkisini yapı analizlerine dahil edebilen yöntemler de geliştirilmiştir. Bu şekil ileri seviye analizler, yapıların doğrusal olmayan davranış yapısıyla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda geri dönüşü olmayan hasar mekanizmalarını da

* Sorumlu yazar/ Corresponding author, e-posta / e-mail: yunusemreakkas@hotmail.com (Y. E. Akkaş)
Geliş / Received: 09.08.2022 Kabul / Accepted: 25.11.2022 Yayınlanma / Published: 15.01.2023
doi: 10.28948/ngumuh.1159150

dikkate alabilmektedirler. Bu sayede yapıların, yatay kuvvetler etkisinde, deprem enerjisinin kontrollü şekil değiştirmeler ile sönmülenip sönmülenmediği ve süneklik taleplerinin karşılanıp, karşılanmadığı gibi taşıyıcı sistem için önem arz eden bulgulara ulaşım imkanı sağlayabilmektedirler.

Teknolojik gelişimlerden fayda sağlanabilecek bir diğer husus ise döşeme sistemlerinin çerçeve yapı elemanları ile birlikte modellenebilmesidir. Yapı sistemlerinde mimari veya statik gereksinimlerden dolayı birçok farklı döşeme tipi kullanılabilir. Yatay yük etkisi altındaki yapı sistemlerinin döşeme tiplerindeki bu çeşitlilikler, yapının çerçeve davranışının ve sistem içerisindeki kuvvet dağılımlarının farklı şekilde oluşmasına sebep olabilmektedir. TBDY 2018'e göre tasarlanan yüksek yapı sistemleri başta olmak üzere, farklı döşeme tiplerinin, yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışlarına olan etkileri üzerine yapılmış sınırlı düzeyde de olsa çalışmalar bulunmaktadır[1-10].

Uzun [1] çalışmasında, 3 Bodrum, 1 zemin ve 29 normal kat olmak üzere, toplamda 33 katlı yüksek bir betonarme yapıda, farklı döşeme tiplerinin etkisini Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) 2007' ye göre yapılan doğrusal analiz sonuçlarını göz önünde bulundurarak irdelemiştir. Çalışmada, kirişli plak döşeme, bir doğrultuda çalışan dişli döşeme, kirişsiz plak döşeme, bina çevresinde kirişleri bulunan, kirişsiz plak döşeme ve rijit bodrum katı bulunan kirişli plak döşeme sistemi olmak üzere toplamda 5 Farklı döşeme tipini ele almıştır. Doğrusal analizden elde edilen sonuçların karşılaştırmalarından, yüksek bir yapının döşeme tipi seçimindeki farklılıklar yapının deprem davranışında önemli derecede farklılıklar oluşturduğu sonucuna ulaşmıştır.

Ahmed ve Gunesekekan [2], betonarme çerçevelerin sismik performansında döşemelerin etkisini araştırmışlardır. Kat yüksekliği 3,5 m olan 5 katlı ve 4 açıklıklı çerçeve sistemli bir yapıda, örnek olarak seçilen orta akstaki bir çerçeveye ait kolon kiriş birleşim bölgesinde, analitik ve deneysel çalışmalar yapmışlardır. Deneysel çalışma, birleşim bölgesine ait kesitlerin yarısı olacak şekilde ölçeklendirilip, döşemeli ve döşemesiz sistemler olarak hazırlanmıştır. Elde edilen bulgular sonucunda yazarlar, yapılarda döşeme etkisini ihmal etmenin, yapının dayanımını önemli ölçüde göz ardı etmek olduğunu ve yapının mekanizma oluşumunda öngörülen davranışının, gerçek davranışından uzaklaşabileceği sonucuna ulaşmıştır.

Abera [3] çalışmasında, dikdörtgen, U, L ve ortasında boşluk bulunan, değişken plan geometrilerine sahip yapı tiplerinde, döşemelerde rijit ve esnek diyafram kabulünün etkilerini araştırmıştır. 4, 5 ve 6 kattan oluşan yapı sistemlerinin, plan geometrisinde perde eleman bulunma durumları ile bulunmayan durumlar için karşılaştırmalar yapılmıştır. Karşılaştırmalarında çeşitli yönetmeliklerin (UBC-97, ASCE7, EC8) döşemeler için verilen esnek ve rijit diyafram kabul yaklaşımlarını dikkate almıştır. Sonuçta U ve L tipindeki yapıların perde içermediği durumlarında, rijit ve esnek diyafram kabulü ile elde edilen sonuçların benzer olduğu sonucuna varmıştır.

Nandeesh ve diğ. [4] 30 katlı bir yapıda döşeme sistemlerine ait esnek ve rijit diyafram kabulündeki farklılıkları irdelemişlerdir. Yapının ayrıca dış çerçevesinde sadece bir yön boyunca perde duvarlar eklenerek, çalışma çeşitlendirilmiştir. Doğrusal analiz yöntemlerinin kullanıldığı çalışmada, rijit diyafram kabulüne göre hesaplanan çerçeve sistemdeki deformasyonların, esnek diyafram kabulüne göre yapılan hesaplamalardan %30 daha büyük olduğu belirtilmiştir. Aynı hesaplamaların kenar bölgelere eklenen perde duvarlı çerçeve sisteme uyarlanması, bu fark %3,5' e gerilemiştir. Rijit diyafram kabulü yapılan çerçeve sistemli yapının görel kat öteleme oranların esnek diyaframa göre %42 daha fazla olduğu, perde duvar eklenmiş sistemlerde ise bu farkın %5' te kaldığı belirtilmiştir.

Bu çalışmada ise farklı döşeme modellerinin, yapının doğrusal olmayan dinamik davranışa olan etkileri incelenmiştir. Döşeme tiplerinin seçiminde, yapı sektöründe sıklıkla kullanılan kirişli plak döşeme, asmolen döşeme ve mantar döşeme sistemleri tercih edilmiştir. Önceki yapılan çalışmaların genelinde, aynı düzey taşıyıcı sistem elemanlarda kullanılan farklı döşeme tiplerinin doğrusal analiz yöntemleriyle karşılaştırılmalarına yer verilmiştir. Bu çalışmada, hesaplar detaylandırılarak doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yöntemleri kullanılmıştır. Hesaplamalar, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği [11] (TBDY 2108) kriterleri eşliğinde hazırlanarak, hem güncel deprem yönetmeliğinden, hem de yapıların tahmin edilmesi güç olan doğrusal olmayan davranış biçimlerinden faydalanılmıştır. Böylece hesaplamalarda gelişmiş yönetmelik, donanım ve yazılım destekleriyle daha detaylı sonuçlara ulaşılabilmiştir.

2 Materyal ve metod

2.1 Materyal

TBDY 2018' e göre Bina Yükseklik Sınıfı 1 (BYS1) kategorisine giren 72 m yüksekliğindeki bir yapının, farklı döşeme sistemlerinde doğrusal olmayan davranışlarının karşılaştırması yapılmıştır. Seçilen döşeme tipleri ve kesitleri projelendirme süreçlerinde sıkça karşılaşılan özelliklere sahip olacak şekilde belirlenmiştir. Kesitlerde minimum donatı oranları dikkate alınarak tasarım yapılmıştır. Her katın 4 m yüksekliğe sahip olduğu yapıda, toplamda 18 adet kat bulunmaktadır. Farklı döşeme tipindeki sistem modelleri sınıflandırılarak aşağıdaki şekilde isimlendirilmiştir;

- Sistem 1, Plak döşemeli yapı sistemi.
- Sistem 2, Asmolen döşemeli yapı sistemi.
- Sistem 3, Mantar döşemeli yapı sistemi.
- Sistem 4, Döşeme modellemesiz (plak döşemeli) yapı sistemi.

Döşeme modellerinin sistem ile birlikte çözümlendiği yapılarda yarı-rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Döşeme modellenmeyen "döşeme modelsiz (kirişli plak döşeme)" durum için ise tam rijit diyafram kabulü yapılmıştır.

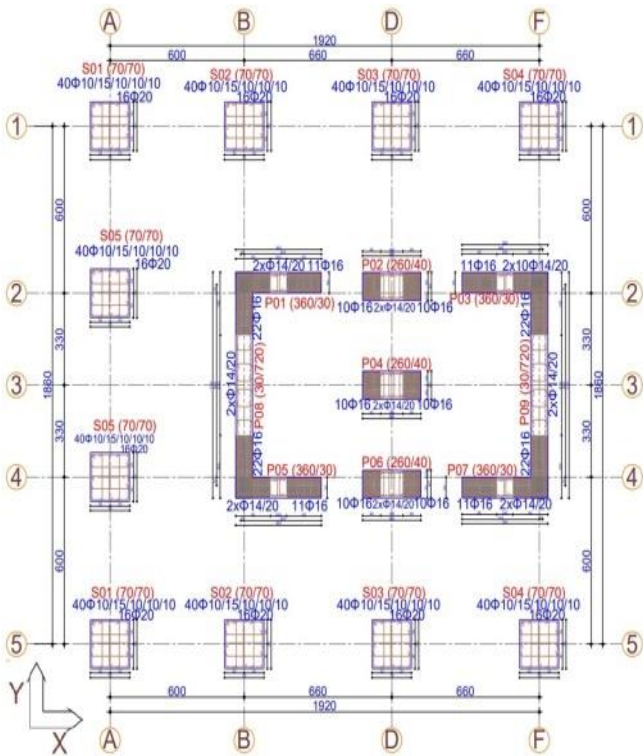
Yapının, Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölüm Binasının konumunda olduğu varsayımı yapılmıştır. Konumun seçimindeki sebep, yapıdaki dinamik zorlamaların belirgin derecede yüksek olabilmesini sağlamaktır. Zemin değerleri için de aynı amaç izlenilmiş olup, zemin sınıfı

olarak TBDY 2018' e göre ZD zemin sınıfı seçilmiştir. Bu sayede yapıda yüksek iç kuvvet değerleri, deformasyonlar ve mafsallaşmalar elde edilmeye çalışılmıştır. Gerekli koordinat değerleri ve depremsellik verileri belirtilen konum üzerinden alınmıştır. Zaman tanım alanına göre yapılan analizlerde, deprem kaydı verileri için PEER [12] web uygulamasından yararlanılmıştır. Yine aynı uygulama üzerinden Deprem Düzeyi 1 (DD1) tasarım spektrumuna göre ölçeklendirme işlemleri yapılmıştır. Analizlerde, her bir deprem ivme kaydı birleşeni 90° döndürülerek, yapının her iki doğrultusu içinde deprem etkisi uygulanabilmektedir. Döşemeler ile birlikte modellenen yapı sistemlerinin doğrusal olmayan analiz sürelerinin oldukça uzun sürmesinden dolayı 11 x 2 adet deprem ivme kaydı yerine, 7 x 2 adet deprem ivme kaydı kullanılmıştır. Doğrusal olmayan çözümlemelerde SAP2000 V19 [13] hesap yazılımından faydalanılmıştır. Sistemlerin karşılaştırılmalarında ortak sonuçlar verebilecek davranış etkileri üzerinde durulmuştur. Bunun sağlanabilmesi için de yapılar aynı yüklemeler altında zorlamalara tabi tutulmuşlardır.

2.2 Metot

2.2.1 Sistemlerde kullanılan ortak veriler

Şekil 1' de, kolon aplikasyon planı verilen sistem, tüm farklı döşeme tiplerinde kullanılacak olan düşey taşıyıcı eleman kesitlerini ve donatı detaylarını içermektedir.



Şekil 1. Kolon aplikasyon planı

Yapıya ait özellikler kısaca Tablo 1' de belirtilmiştir.

Tablo 1. Yapı özellikleri

Toplam Kat Adedi	18
Kat Yüksekliği	4 m
Plan Alanı	19.20x18.6 m

Tüm farklı yapı sistemleri için malzeme özellikleri Tablo 2' de belirtilmiştir.

Tablo 2. Malzeme özellikleri

Beton Sınıfı	C35
Donatı Kalitesi	B420C
Plan Alanı	19.20x18.6 m

Kolon, perde ve kiriş elemanlarda enine donatı aralığı ve şekilleri farklı olduğu için, 2 farklı beton sargı modeli kullanılmıştır. Sargısız beton modeli, donatı pas payı bölgesinde kullanılacağından dolayı, ayrıca sargısız beton etkisi de hesaplarda dikkate alınmıştır.

Yapıya etki eden düşey yükler belirlenirken, yapının bir işyeri ofisi kullanımına uygun nitelikte olması amaçlanmıştır. Kaplamaların tesviye betonu + seramik, duvarların ise mimari fonksiyonlara göre yarım veya tam tuğla duvar olabilme ihtimaline karşın tüm kiriş ve döşeme elemanlara aynı yükleme değerleri verilmiştir. Ofis kullanımlarında zaman içerisinde mekânsal işlevlerin değişebileceği düşünülerek, hareketli yüklerde standart 2 kN/m² yerine artırım yapılarak, 3 kN/m² değeri kullanılmıştır.

Tablo 3. Servis yükleri

Yapı Kendi Ağırlığı (Dead)	Döşeme tipine göre değişken
Kaplama Yüğü (G)	1.7 kN/m ²
Duvar Yüğü (G)	4 kN/m ²
Hareketli Yüğü (Q)	3 kN/m ²

Tablo 4' de depremsellik ile ilgili bilgilere, Tablo 5 ise yapılara ait kesit özelliklerine yer verilmiştir.

Tablo 4. Depremsellik bilgileri

Bina Yükseklik Sınıfı	BYS 1
Bina Kullanım Sınıfı	BKS 3
Deprem Tasarım Sınıfı	DTS 1
Yapı Koordinat Bilgileri	40.7424 30.3277
Deprem Düzeyi	DD-1
Kısa Periyot Harita	2.921
Spektral İvme Katsayısı (S _s)	0.835
Spektral İvme Katsayısı (S ₁):	
En Büyük Yer İvmesi (PGA)	1.148 g
En Büyük Yer Hızı (PGV)	99.58 cm/sn ²
Yerel Zemin Sınıfı	ZD
Kısa Periyot Tasarım	2.921
Spektral İvme Katsayısı (S _{Ds})	
1 Sn Periyot İçin Tasarım	1.419
Spekt. İvme Katsayısı (S _{D1}):	

Tablo 5. Kesit özellikleri

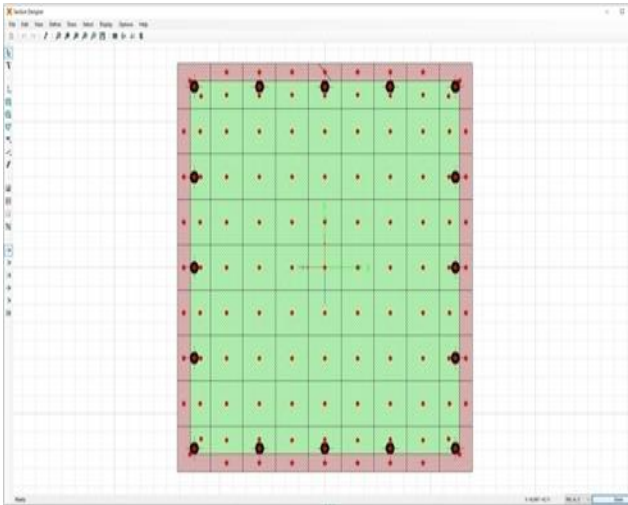
Tüm Kolonlar	70x70 (cm)
P08–P09 Perdeleri	30x720 (cm)
P01–P03–P05–P07 Perdeleri	30x360 (cm)
P02–P04 –P06 Perdeleri	40x260 (cm)
Kirişler (Döşeme Çeşidine Göre Değişken)	30x60 (cm) 40x60 (cm) 60x32 (cm)
Döşemeler	Sistem Bazında Değişken

Tablo 6’ da farklı kesitlerde kullanılan donatı miktarları gösterilmiştir.

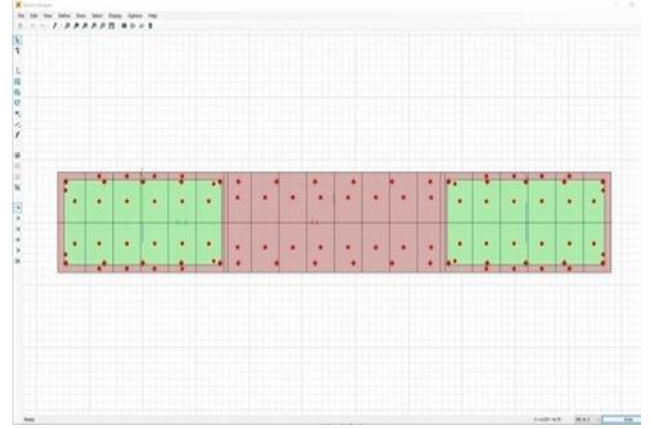
Tablo 6. Donatı kullanımı

70x70 Kolon	16ø20
30x720 Perde Başlık	22ø16
30x720 Perde Gövde	ø14/20
30x360 Perde Başlık	11ø16
30x360 Perde Gövde	ø14/20
40x260 Perde Başlık	11ø16
40x260 Perde Gövde	ø14/20
30x60 Kiriş	3ø20 Üst 3ø20 Alt
40x60 Kiriş	4ø16 Üst 4ø16 Alt
60x32 Kiriş	6ø16 Üst 6ø16 Alt

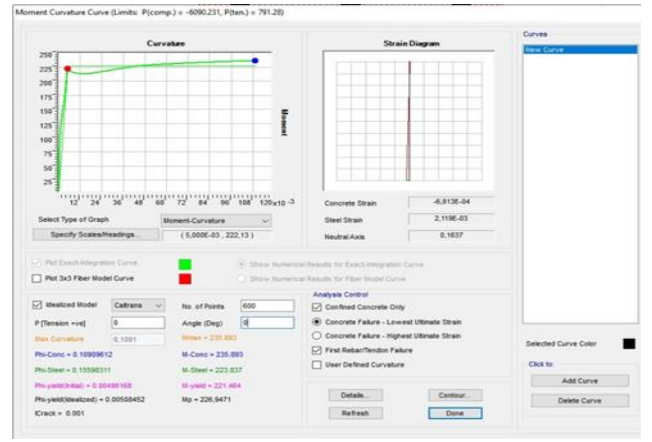
Şekil 2 ve Şekil 3’ te sırasıyla 40x260 cm boyutlarındaki perde ve 70x70 cm boyutlarındaki kolon elemanlarının kesit (lif) hücrelerine bölünüş şekillerinin gösterimi yapılmıştır. Diğer yandan Şekil 4’ te 30x60 cm boyutlarına sahip kirişin yığılı plastik mafsal tanımlanması için gerekli olan moment eğrilik grafiği, Şekil 5’ te ise moment-eğrilik grafiğinden elde edilen plastik mafsal tanıtımı gösterilmiştir.



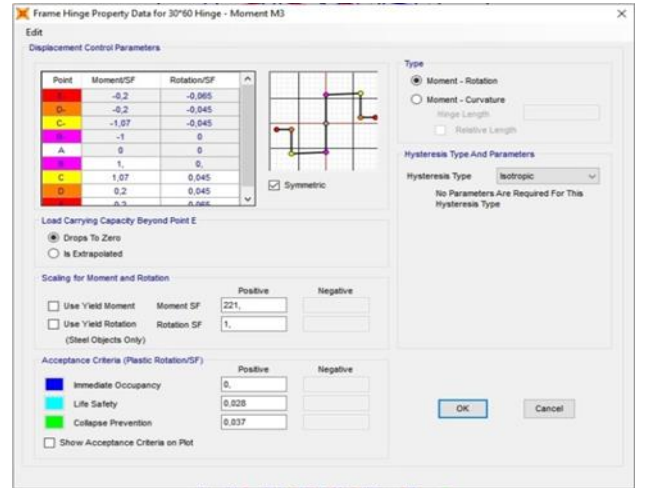
Şekil 2. 70x70 Kolon kesit (lif) hücreleri tanıtımı



Şekil 3. 40x260 cm perde kesit (lif) hücreleri tanıtımı



Şekil 4. 30x60 kiriş moment-eğrilik ilişkisi



Şekil 5. Kiriş elemanlarda plastik mafsal tanıtımı

Deprem ivme kayıtları seçilirken olabildiğince farklı depremlerden ve ivme kayıtlarından yararlanılmaya çalışılmıştır. Toplamda 11 adet ivme kaydı seçilmiş ve seçimlerde PEER web uygulamasından yararlanılmıştır. Birleşimi yapılan 11 kaydın ortalaması yine aynı web uygulaması üzerinden ölçeklendirilmiştir (Tablo 7). Benzer deprem etkilerinin oluşabilmesi için, tüm sistemlere aynı deprem ölçek katsayıları uygulanmıştır.

Tablo 7. DD1' e göre ölçeklendirilmesi yapılmış 11 kayıt ve ölçek katsayıları

Kayıt Sıra Numarası	Deprem	Yıl	İstasyon	Büyüklik (Mw)	Vs30(m/s)	Ölçek Katsayısı
143	Tabas, Iran	1978	Tabas	7.35	766.77	1.10
779	LomaPrieta	1989	LGPC	6.93	594.83	1.13
828	Cape Mendocino	1992	Petrolia	7.01	422.17	1.59
963	Northridge-01	1994	Castaic - OldRidgeRoute	6.69	450.28	1.89
1106	Kobe, Japan	1995	KJMA	6.9	312.0	1.17
1158	Kocaeli, Turkey	1999	Duzce	7.51	281.86	1.91
1197	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY028	7.62	542.61	1.27
1602	Duzce, Turkey	1999	Bolu	7.14	293.57	1.59
1605	Duzce, Turkey	1999	Duzce	7.14	281.86	1.45
5837	El Mayor-Cucapah, Mexico	2010	El Centro - Imperial&Ross	7.2	229.25	2.21
6911	Darfield, New Zealand	2010	HORC	7.0	326.01	1.42

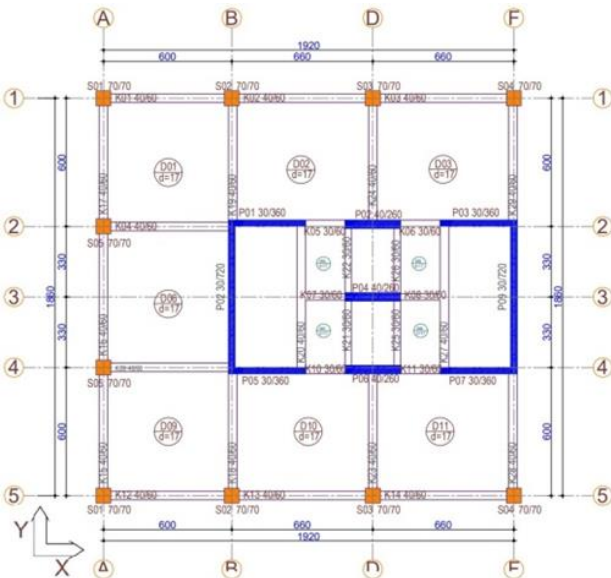
Yapının periyot değerlerinde her iki doğrultu için de %95 kütle katılım oranı sağlanarak, bu değere ulaşılabilmesi için de 18 adet mod sayısının yeterli olduğu görülmüştür.

Döşemelerde yarı rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Böylece döşeme rijitliklerinin düşey taşıyıcı elemanlara olan etkileri gözlenmeye çalışılmıştır. Karşılaştırmalarda döşeme modeli oluşturulmayan plak döşemeli yapı sisteminde ise geleneksel rijit diyafram kabulü yapılarak analizlere dahil edilmiştir.

Zaman tanım alanı analizlerinde doğrusal entegrasyon yöntemleri kullanılmıştır. Yönetmelik gereği %2.5 sönüm oranı göz önünde bulundurulmuştur. Tüm analizlerde TBDY 2018' de belirtilen etkin kesit rijitlikleri kullanılmıştır.

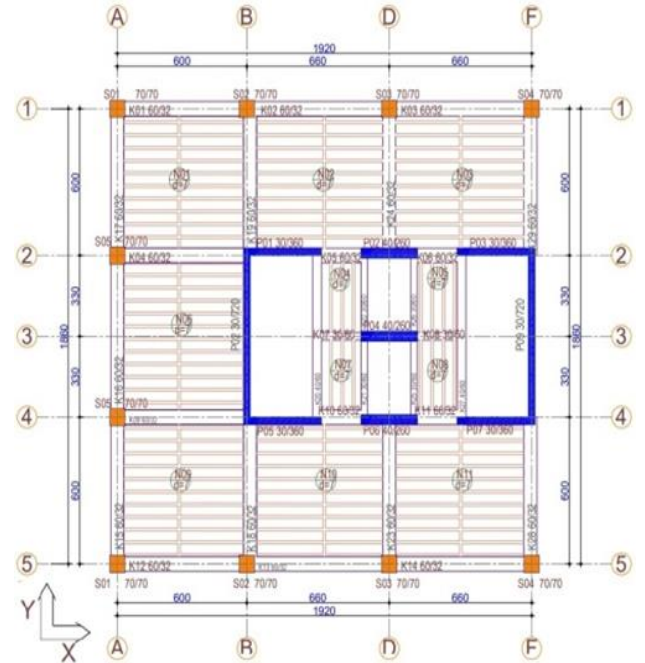
2.2.2 Farklı döşeme sistemlerine ait özellikler

Şekil 6' da kalıp planı verilen kirişli plak döşemeye sahip sistemde, 40x60 cm, 30x60 cm kiriş elemanları ile 17 cm kalınlığında betonarme döşeme elemanı kullanılmıştır. 18 kat adedine sahip yapıda toplam ağırlık 101.937.5 kN' dur.



Şekil 6. Plak döşemeli yapı sistemi kalıp planı

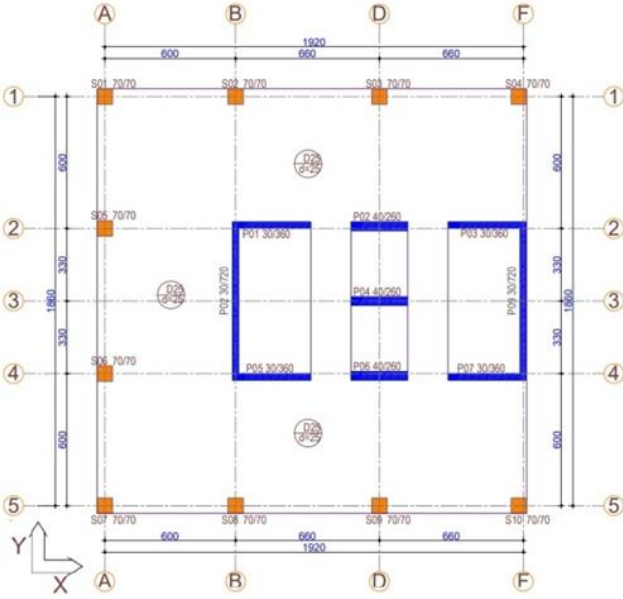
Şekil 7' de kalıp planı verilen asmolen döşemeli yapı sisteminde 60x32 cm' lik kesite sahip kirişler, 12x32 cm kesitindeki nervür dışları ve 7 cm kalınlığındaki tabliye kullanılmıştır. Yapının toplam ağırlığı 105.758.4 kN' dur.



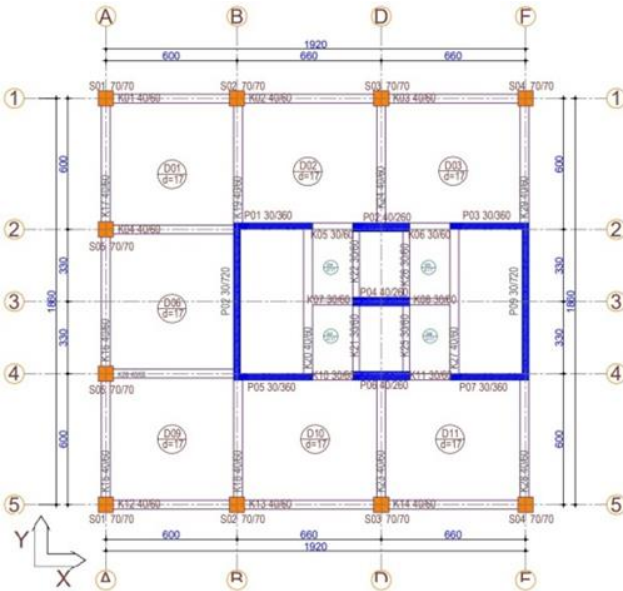
Şekil 7. Asmolen döşemeli yapı sistemi kalıp planı

Şekil 8' de kalıp planı verilen mantar döşemeli yapı sisteminde de 25 cm kalınlığında betonarme döşeme kullanılmıştır. Yapının toplam ağırlığı 97.558.55 kN' dur.

Şekil 9' da kalıp planı verilen döşeme modelsiz yapı sisteminde 40x60 cm ve 30x60 cm kesitlerinde kiriş elemanları bulunmaktadır. Sistemin modellenmesinde döşeme göz önünde bulundurulmamış olup 17 cm kalınlığındaki plak döşemeye ait ölü ve hareketli yükler kirişlere aktarılmıştır. Söz konusu yapı sisteminin toplam ağırlığı 102.369.92 kN' dur.



Şekil 8. Mantar döşemeli yapı sistemi kalıp planı



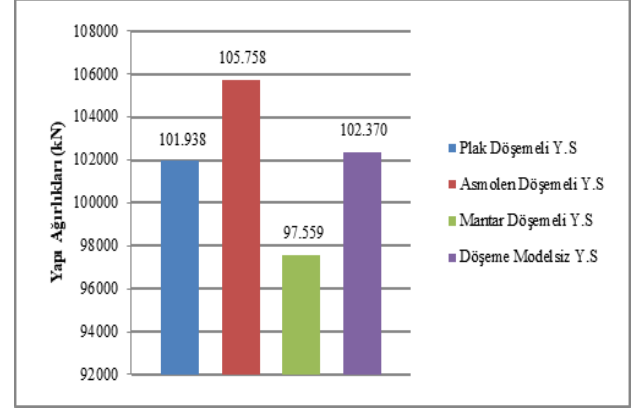
Şekil 9. Döşeme modellemesiz (plak döşemeli) yapı sistemi kalıp planı

3 Bulgular ve tartışma

3.1 Yapı ağırlıkları

Farklı tiplerde döşeme içeren yapı sistemleri aynı düzey servis yükleri etkisi altındadır. Yapı ağırlıklarındaki farklılıklar Şekil 10' da gösterilmektedir.

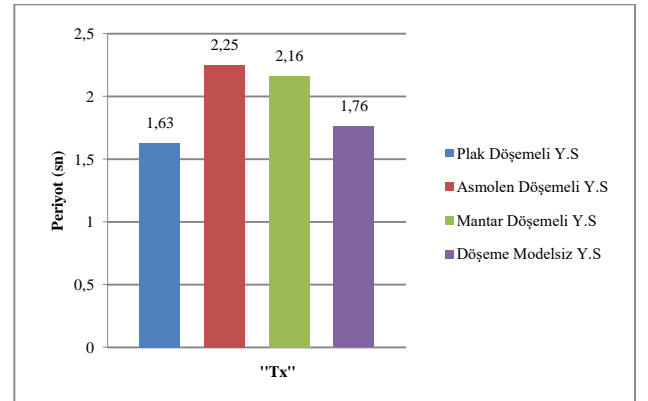
Şekil 10' dan görüldüğü üzere 105.758 kN ile asmolen döşemeli sistem en ağır yapı sistemdir. Onu sırasıyla 101.938 kN ile plak döşemeli yapı sistemi ve 97.559 kN ile mantar döşemeli yapı sistemi takip etmektedir. Döşeme modelsiz yapı sisteminde, sistem ile birlikte modellenmeyen döşeme elemanlarının yük dağılımları, döşeme ölçülerine göre kiriş elemanlara aktarılmış olup, Yapı ağırlığı, 102.370 kN olarak elde edilmiştir.



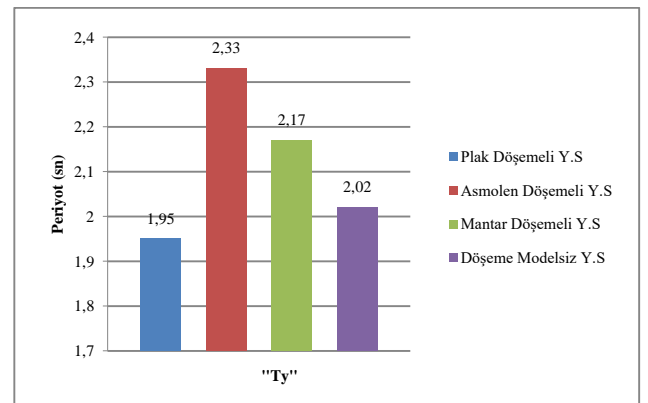
Şekil 10. Farklı döşeme sistemlerine sahip yapı ağırlıkları (kN)

3.2 Yapı periyotları

Yapı sistemlerinin periyot değerleri karşılaştırıldığında "X" doğrultusunda en uzun periyot değeri, 2.25 sn ile asmolen döşemeli yapı sistemine ait olup, bunu 2.16 sn ile mantar döşemeli yapı sistemi, 1.76 sn ile döşeme modelsiz yapı sistemi ve 1.63 sn periyot değeri ile plak döşemeli yapı sistemi izlemektedir. "Y" doğrultusunda da benzer şekilde, asmolen döşemeli yapı sisteminde 2.33 sn, mantar döşemeli yapı sisteminde 2.17 sn, döşeme modelsiz yapı sisteminde 2.02 sn ve plak döşemeli yapı sisteminde ise 1,95 sn değerlerine ulaşılmıştır.



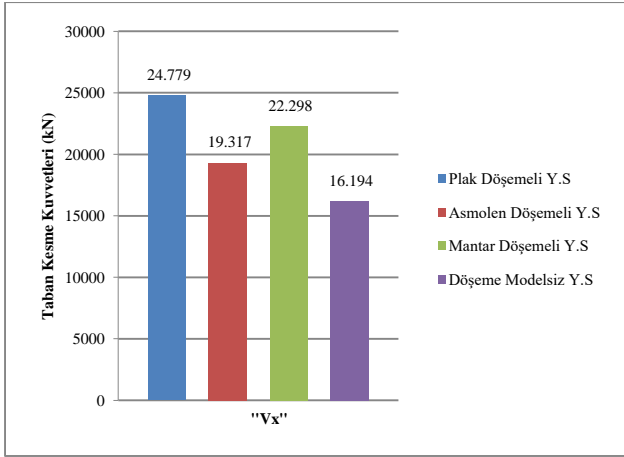
Şekil 11. "X" doğrultusu yapı periyotları (sn)



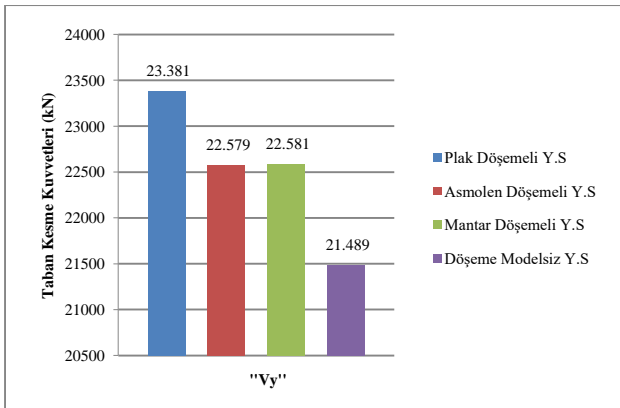
Şekil 12. "Y" doğrultusu yapı periyotları (sn)

3.3 Taban kesme kuvvetleri

14 farklı deprem kaydının yapı sistemlerine uygulanması neticesinde elde edilen ortalama taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılmaları Şekil 13 ve 14’ de verilmiştir. Her iki durum için de en yüksek taban kesme kuvveti değeri plak döşemeli yapı sistemine ait olurken, en düşük değer ise döşeme modelsiz yapı sistemine ait olmuştur. Sistemlerin daha rijit doğrultusu olan “X” yönünde plak döşemeli yapı sistemi, mantar döşemeli yapı sistemine göre %11, asmolen döşemeli yapı sistemine göre %22, döşeme modelsiz yapı sistemine göre %35 daha yüksek deprem kuvveti almaktadır. Tüm sistemlerde periyot değerlerinin 2 sn’ ye yakın ve üzerinde olan “Y” doğrultusunda ise, plak döşemeli yapı sistemi, asmolen döşemeli yapı sistemine göre %3, mantar döşemeli yapı sistemine göre %4, döşeme modelsiz yapı sistemine göre %9 daha yüksek deprem etkisine maruz kalmaktadır. Kayıtlardan oluşan ortalama taban kesme kuvveti değerlerinde, her iki doğrultuda da en yüksek değerleri plak döşemeli yapı sistemi, en düşük taban kesme kuvveti değeri ise döşeme modelsiz yapı sistemine ait olmuştur. Farklı döşeme sistemleri arasında döşeme modellenmeyen yapı sisteminin en düşük taban kesme kuvveti değerini alması dikkat çekmektedir.



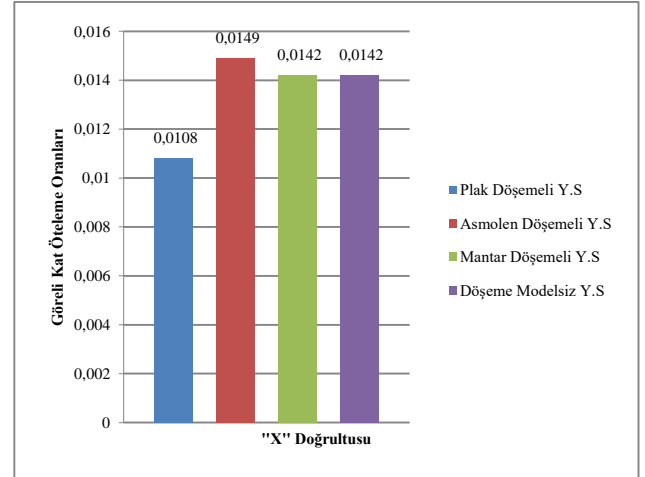
Şekil 13. "X" doğrultusu 14 kayıt ortalaması taban kesme kuvveti değerleri (kN)



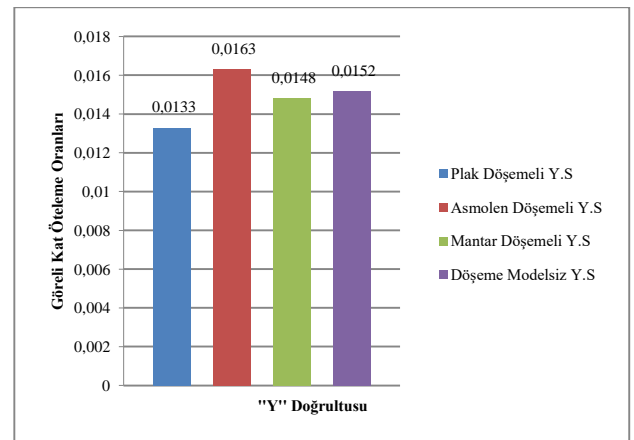
Şekil 14. "Y" doğrultusu 14 kayıt ortalaması taban kesme kuvveti değerleri (kN)

3.4 Görelî kat öteleme oranları

Şekil 15 ve 16’ da farklı sistemlere ait ilgili deprem doğrultusundaki maksimum ortalama görelî kat öteleme oranı değerleri verilmiştir. Depremin “X” yönü görelî kat öteleme oranları, en düşük değere sahip olan plak döşemeli yapı sistemiyle kıyaslandığında, mantar döşemeli yapı sisteminin %32, döşeme modelsiz yapı sisteminin %32 ve asmolen döşemeli yapı sisteminin de %38 daha yüksek olduğu görülmektedir. Aynı durum depremin “Y” yönü için değerlendirildiğinde plak döşemeli yapı sistemine göre sırasıyla, mantar döşemeli yapı sistemde %11, döşeme modelsiz yapı sistemde %14 ve asmolen döşemeli yapı sistemde de %22 daha yüksek görelî kat öteleme oranları oluşmuştur. Ortalama görelî kat ötelemelerinde en rijit davranışı plak döşemeli yapı sistemi göstermekte olup, onu sırasıyla mantar döşemeli yapı sistemi, döşeme modelsiz yapı sistemi ve asmolen döşemeli yapı sistemi takip etmektedir. Asmolen döşemeli yapı sistemi görelî kat ötelemelerinde en düşük performansı gösteren sistem olmuştur.



Şekil 15. "X" doğrultusu ortalama görelî kat öteleme oranları



Şekil 16. "Y" doğrultusu ortalama görelî kat öteleme oranları

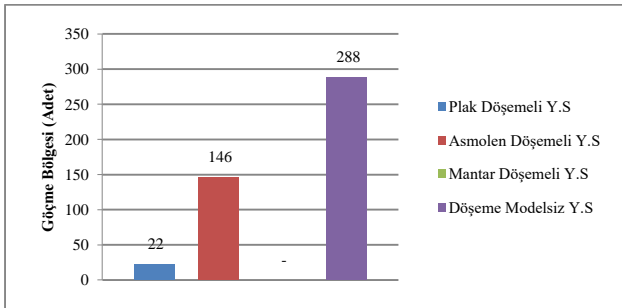
3.5 Kiriş dönme değerleri

Farklı döşeme sistemlerine sahip yapıların kiriş elemanlarında oluşan maksimum dönme değerlerinin karşılaştırması Şekil 17 ve 18’ de gösterilmiştir.

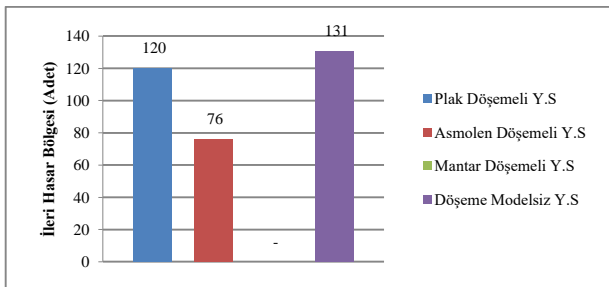
Değerlendirmelerde herhangi bir kiriş elemanı içermeyen mantar döşemeli yapı sistemi karşılaştırmalara dâhil edilmemiştir.

Kiriş elemanlarda en yüksek dönme değerlerinin dikkate alındığı karşılaştırmalar yapılmıştır. Her bir sistemde toplam 558 adet kiriş elemanı mevcuttur. Plak döşemeye sahip yapı sisteminde toplam 22 adet kiriş göçme bölgesinde, 120 adet kiriş ileri hasar bölgesinde ve kalan 416 adet kiriş belirgin hasar ve sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır. Asmolen döşemeli yapı sisteminde ise 146 adet kiriş göçme bölgesinde, 76 adet ileri hasar bölgesinde ve kalan 336 adet kiriş belirgin hasar ve sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır. Döşeme modelsiz yapı sisteminde toplam 288 adet kiriş göçme bölgesinde, 131 adet kiriş ileri hasar bölgesinde ve kalan 139 adet kiriş belirgin ve sınırlı hasar bölgesinde kaldığı görülmektedir. Bu doğrultuda hasar oluşumu en düşükten en yükseğe doğru, plak döşemeli yapı sistemi, asmolen döşemeli yapı sistemi ve döşeme modelsiz yapı sistemi şeklinde olmuştur.

Elde edilen sonuçlara bağlı kalınarak, döşeme modellemesinin çerçeve sistemle birlikte tasarlanması, kiriş elemanların hasar düzeylerinde önemli ölçüde azalışa sebep olmuştur. En yüksek kiriş göçme durumu sayısı döşeme modelsiz plak döşemeli yapı sisteminde olurken, bu konuda en düşük hasar sayısına plak döşemeli yapı sistemi ulaşmıştır. Bu doğrultuda plak döşemeye sahip yapı sisteminin doğrusal döşeme elemanlarıyla birlikte modellenmesi, döşeme elemanlarının kiriş elemanlarına olan katkısını belirgin bir şekilde ortaya koymuştur.



Şekil 17. 14 kayda ait maksimum dönme değerlerinin, tüm kiriş elemanlarda oluşturduğu göçme bölgesi sayısı



Şekil 18. 14 kayda ait maksimum dönme değerlerinin, tüm kiriş elemanlarda oluşturduğu ileri hasar bölgesi sayısı

3.6 Kolon-perde şekil değiştirme (uzama-kısalma) değerleri

Tüm kolon elemanlardaki donatıdaki birim uzama ve betondaki birim kısalma şekil değiştirme değerleri sınırlı hasar bölgesinde kalmaktadır. Tüm sistemlerde önemli ölçüdeki deprem etkileri çekirdek perdeler tarafından karşılandığı için kolon elemanlardaki hasar düzeyleri de oldukça sınırlı kalmıştır. Dolayısıyla karşılaştırmalardan etkin bir sonuç alınamayacağı için kolonlardaki birim uzama ve kısalma şekil değiştirme değerleri dikkate alınmamıştır. Perde elemanların birim uzama ve birim kısalma şekil değiştirme değerlerine göre en yüksek hasar düzeyi, belirgin hasar bölgesinde kalmıştır. Bu doğrultuda plak döşemeli yapı sisteminde 5 adet, asmolen döşemeli yapı sisteminde 6 adet, mantar döşemeli yapı sisteminde 6 adet ve döşeme modelsiz yapı sisteminde 3 adet perde elemanı belirgin hasar bölgesinde kalmıştır.

Belirgin hasar bölgesi seviyelerine ulaşan perdeler, çekirdekteki “U” tipi perdeler olmaktadır. Elde edilen sonuçlara bağlı kalınarak, döşeme ile birlikte modellenen sistemlerde çekirdek perdeler daha yüksek eğilme momenti etkileri olmaktadır. Dolayısıyla döşeme elemanlarıyla birlikte modellenen sistemlerin, perde elemanlarında oluşan deformasyon değerleri de yüksek çıkmaktadır.

“Perdelerde en düşük şekil değiştirme değerleri döşeme modelsiz yapı sistemine ait olurken, en yüksek değerlere mantar döşemeli yapı sisteminde ulaşılmıştır.”

Bu sonuçlar göz önüne alındığında, sistemlerde döşemelerin birlikte modellenmesi, perde elemanların hasar düzeyinde artışa sebep olduğunu göstermiştir.

3.7 Perde elemanlarındaki kesme kuvveti

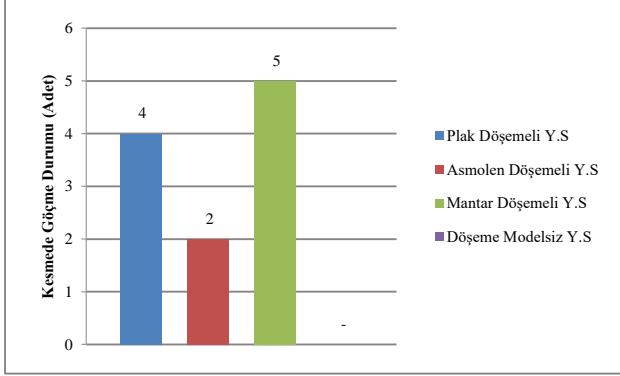
Perde kesme dayanımları hesaplanırken, yönetmelikte belirtilen diyagonal basınç gerilmelerine karşı dayanım kullanılmıştır. Bu dayanımın üstüne çıkan kesme kuvveti değerleri, perde elemanlar için göçme bölgesi olarak dikkate alınmıştır.

Tüm yapı sistemlerinde deprem kaynaklı olarak çekirdek bölgeyi oluşturan “U” tipi perdelerde daha yüksek kesme kuvveti değerlerine ulaşılmıştır. Şekil 19 incelendiğinde kirişli plak döşeme sisteminde 4 adet perde, asmolen döşemeli yapı sisteminde 2 adet perde, mantar döşemeli yapı sisteminde 5 adet perde elemanı göçme bölgesinde kalmaktadır. Tüm göçme bölgesinde kalan perdeler, çekirdek yapıyı oluşturan “U” tipi perdelerden oluşmaktadır. Döşeme modelsiz yapı sisteminde ise perdelerin hiçbirinde gevrek düzeyde kesme kırılması oluşmamıştır.

Farklı sistemler içerisinde, perdelerin en yüksek kesme kuvvetlerine maruz kaldığı sistem, mantar döşemeli yapı sistemi, daha sonra plak döşemeli yapı sistemi ve onu asmolen döşemeli yapı sistemi izlemektedir. Döşeme modelsiz yapı sisteminde ise perde elemanlara gelen kesme etkisi, diğer sistemlere kıyasla daha düşük seviyelerdedir.

Elde edilen bu sonuçlara bağlı olarak, döşemelerin modellendiği sistemlerin, perdelerle iletilen kesme kuvvetlerini etkilediği ve artışlara sebep olduğu görülmüştür. Ayrıca mantar döşemeli yapı sistemine ait sonuçlardan, döşeme kalınlığından kaynaklanan rijitlik artışına paralel

olarak, perde elemanlara gelen kesme kuvveti etkilerinin de arttığı görülmüştür.



Şekil 19. Kesme kuvvetleri etkisindeki perde elemanlarda göçme durumu sayısı

4 Sonuçlar

Bu çalışmada, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018'e göre yüksekliği 72 m olan ve Deprem Tasarım Sınıfı 1 (DTS) kategorisine giren yüksek bir betonarme yapının, yönetmelikte belirtilen Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT) kriterleri altında doğrusal olmayan analiz göz önünde bulundurulurken farklı döşeme tiplerinde performans ve yapısal davranışına ait karşılaştırmaları yapılmıştır. Bu kapsamda elde edilen sonuçlar kısaca özetlenmiştir.

- Plak döşeme, asmolen döşeme, mantar döşeme ve döşeme modelsiz sistemlerinin kullanıldığı 4 farklı yapıda, en ağır yapı asmolen döşemeye sahip sistem olmuştur.
- 4 farklı sistemin X ve Y doğrultusundaki en uzun yapı periyod değerleri asmolen döşemeli yapı sistemine ait olmuştur.
- Farklı deprem ivme kayıtlarının ortalamalarından oluşan en yüksek taban kesme kuvveti değerleri plak döşemeli yapı sistemine ait olmuştur.
- X ve Y doğrultusundaki 14 ivme kaydına ait ortalama görel kat ötelemelerinin en yüksek değerleri asmolen döşemeli yapı sisteminde oluşmuştur. Görel kat ötelemesi oranlarına göre en iyi performansı plak döşemeli yapı sistemi göstermiştir.
- 14 ivme kaydından alınan en yüksek giriş dönme değerlerinden, en çok göçme bölgesinde çıkan giriş adedinin, döşeme modelsiz yapı sistemine ait olduğu görülmüş olup, döşemelerin sistem ile birlikte modellenmesi, giriş hasar düzeyinde önemli ölçüde azalışa sebep olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- İncelenen yapı sisteminde, döşeme elemanlarının doğrusal olarak modellenmesi, giriş deformasyonlarında önemli ölçüde azalışa sebep olarak, yatay elemanların daha rijit çalışmasını sağlamıştır. Bu durum, çekirdekteki perde elemanlara daha yüksek kesme hasarı ve eğilme deformasyonları olarak yansımıştır. Özellikle kesme kuvvetlerindeki belirgin artış ve hasar

durumlarındaki farklar, döşemelerin sistem ile birlikte modellenip, modellenmemesi durumlarından görülebilmektedir.

- Döşemelerin birlikte modellendiği ve modellenmediği plak döşemeye sahip yapı sistemleri birlikte incelendiğinde, döşemelerin yapı ile birlikte modellendiği plak döşeme sisteminin perde elemanlarında gevrek düzeyde kesme hasarlarının oluştuğu, aynı sistemin döşeme modellenmeden, rijit diyafram kabulü çerçevesinde yapılan analiz sonuçlarında ise kesme hasar durumunun hiç oluşmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Elde edilen bulgular, bu çalışma kapsamında incelenen yapı sistemine ait olup, söz konusu sonuçların farklı taşıyıcı sistemler için de değerlendirilmesi gerektiği ve bu çalışmada elde edilen sonuçların tasarımlara ve bundan sonra bu konuda yapılacak çalışmalara ışık tutabileceği düşünülmektedir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): % 10

Kaynaklar

- [1] D. Uzun, 33 katlı betonarme yüksek bir binanın deprem davranışına farklı döşeme sistemlerinin etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2014.
- [2] S. M. Ahmed, U. Guneseckaran, Effect of floor slabs on the seismic performance of RC frames. NZSEE Conference, sayfa. 10, India, 2014.
- [3] S. Abera, Effects of floor diaphragm flexibility in reinforced concrete structures and code provision. Yüksek Lisans Tezi, AddisAbaba Institute of Technology School of Civil and Environmental Engineering, 2015.
- [4] N. H. Nandeesh, C. G. Shivanand, R. Kiran, Comparative study of rigid and flexible floor diaphragm. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 5(1), 67-71.2018.
- [5] J. Vielma, A. H. Barbat, S. Oller, Seismic performance of waffled-slab floor buildings. Structures and Buildings , 3, 169-182, 2008.<https://doi.org/10.1680/stbu.2009.162.3.169>
- [6] Ö. Özlem, Doğrusal olmayan taşıyıcı sistemlerde rijit diyafram kabulünün araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2006.
- [7] T. Nyome, T. K. T. Htun, Comparative study of seismic behavior of reinforced concrete building with flat slab and conventional slab floor system. International Journal of Engineering Trends and Applications (IJETA). 5(5), 13-17. Department of Civil Engineering West Yangon Technological University: Myanmar, 2018.
- [8] S. K. Moon, D. G. Lee, Effects of inplane floor slab flexibility on the seismic behaviour of building structures. EngngStruct , 16(2), 129-

- 144,1994.[https://doi.org/10.1016/01410296\(94\)90038-8](https://doi.org/10.1016/01410296(94)90038-8)
- [9] H. Rezaeian, C. G. Clifton, J. Lim, Inertial forces from floor diaphragms in braced multi-story buildings. NZSEE Conference, .2017.
- [10] Y.E. Akkaş, TBDY 2018' e göre farklı döşeme tiplerinin yüksek bina sınıfındaki bir yapıda doğrusal olmayan davranışa olan etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin, 2021.
- [11] TBDY. 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Başkanlığı. Ankara,2018.
- [12] PEER, NGA Strong Motion Database. <http://peer.berkeley.edu/nga> , 2020
- [13] SAP2000. Integrated Software forStructural Analysis and Design Program. Berkeley, California: Computers and Structures Inc.

