



Betonarme Binaların Fiber Eleman Yöntemiyle Burulma Davranışının İncelenmesi

An Investigation of Torsional Behaviour of Reinforced Concrete Buildings by using Fiber Element Method

Muhammet Karaton^{1*}, İsra Yılmaz²

¹ Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, TÜRKİYE

² Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bilecik, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: mkaraton@firat.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 06.11.2021

Araştırma Makalesi/Research Article

Kabul Tarihi / Accepted: 10.04.2022

DOI:10.21205/deufmd.202247208

Atıf şekli/How to cite: KARATON, M., YILMAZ, İ. (2022). Betonarme Binaların Fiber Eleman Yöntemiyle Burulma Davranışının İncelenmesi. DEÜ FMD 24(72), 773-785.

Öz

Bu çalışmada, 15×15 m boyutlarına sahip 24 katlı betonarme üç tip yüksek binanın (Tip-1, Tip-2, Tip-3) zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Perdeler, Tip-1 binasında çekirdekte, Tip-2 binasında köşelerde ve Tip-3 binasında ise dış kenarların ortalarında konumlandırılmıştır. Tüm binalarda dört farklı perde alanı seçilmiştir. Betonarme taşıyıcı elemanların kesitleri Kuvvete Dayalı Fiber Eleman Yöntemi ile modellenmiştir. Dinamik analizlerde her katın döşemesi rijit diyafram kabul edilmiştir. Deprem yükü için TBDY-2018'e göre yapay olarak üretilmiş 11 adet ivme kaydı kullanılmış olup bu ivme kayıtları tüm binaların her iki doğrultusunda etki ettirilmiştir. Karşılaştırmalar, binalardaki hasar bölgesi, bina tepesinin burulma açısı, açılal hız ve açılal ivme tepkilerinin mutlak maksimumlarının maksimum değerleri için yapılmıştır. Kolon ve perde elemanların farklı hasar bölgelerine geçen oranları karşılaştırıldığında en az hasara sahip olan binanın Tip-2 olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda, burulma açısı, açılal hız ve açılal ivme tepkilerinin mutlak maksimumlarının maksimum değerleri dikkate alındığında en düşük değerleri veren bina tipinin Tip-2 olduğu görülmüştür. Sonuç olarak burulma davranışı açısından en uygun bina tipinin Tip-2 olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme Bina, Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz, Fiber Eleman Yöntemi ve Burulma Davranışı

Abstract

In this study, nonlinear time history analyses of three type high reinforced concrete building (Type-1, Type-2, Type-3) that has 15x15m dimensions and 24 stories, are obtained. Shear walls are located in the core of the building for the Type-1, at the corners of the building for the Type-2, and in the middle of the exterior edges of the building for the Type-3. Four different shear wall areas are selected for whole building types. The cross-sections of the reinforced concrete elements are modeled by using the Force-Based Fiber Element Method. In the nonlinear dynamic analyses, the floor of each story is assumed as a rigid diaphragm. 11 artificial earthquake acceleration records are used according to TBDY-2018 for the earthquake loading and, are applied to both directions of each type of buildings. Comparisons are obtained for the damage region of buildings, the maximum of

absolute maximum values of the torsional angle, angular velocity, and angular acceleration responses of the top of the building. When the ratios of column and shear wall elements that have different damage regions are compared, it has been determined that the least damaged building is Type-2. At the same time, when the absolute maximum values of torsional angle, angular velocity, and angular acceleration responses are taken into account, it has been concluded that the building giving the lowest responses is Type-2. As a result, it has been determined that the most applicable building type is Type-2 with regard to torsional behavior.

Keywords: Reinforced Concrete Building, Nonlinear Time History Analysis, Fiber Element Method and Torsional Behavior

1. Giriş

Ülkemizde günümüze kadar çok sayıda şiddetli depremler meydana gelmiş olup gelecekte de bu depremlerin meydana gelmesi beklenmektedir. Bu sebeple depremin yıkıcı etkilerinden korunmak için binaların depreme dayanıklı olarak tasarlanıp inşa edilmesi gerekmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı yapıya etkileyen deprem yükleri altında yapının burulma davranışı önemli bir parametre olup bina maliyetini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Deprem etkisi altında binalarda ortaya çıkan atalet kuvvetleri yapının kütle merkezinde meydana gelmektedir. Bina ise rijitlik merkezinde atalet kuvvetlerine karşı direnç göstermektedir. Bu iki merkezin çakışmaması durumunda bina, rijitlik merkezi etrafında dönerek burulma momenti etkisi altına girmektedir. Kütle ve rijitlik merkezlerinin üst üste çakıştığı binalarda ise yapının kütle dağılımından kaynaklı küçük bir burulma etkisi de görülebilmektedir. Yapılarda burulma etkisi, birim dönme açısına bağlı olarak bina yüksekliğinin artışıyla yüksek binalarda daha belirgin hale gelmektedir. Bu nedenle binanın hem taşıyıcı hem de taşıyıcı olmayan elemanlarında hasarlar meydana getirebilmektedir. Tüm bu sebeplerden yüksek burulma dayanımına sahip binaların tasarlanması önemli bir araştırma konusu olmuştur.

Binalarda burulma konusunda birçok araştırma yapılmış olup bunlardan, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-2007 (DBYHY-2007) [1] e göre çok katlı yapılarda burulma düzensizliğine etki eden faktörler araştırılmıştır [2]. Burulma düzensizlik katsayısının simetrik binalarda 1.13'ten küçük olduğu ve simetrik olmayan binalarda ise 2'ye varan değerler aldığı belirlenmiştir [2]. Planda perde yerleşiminin betonarme binaların deprem davranışına etkisi incelenmiştir. Simetrik binalar içerisinde en uygun planın

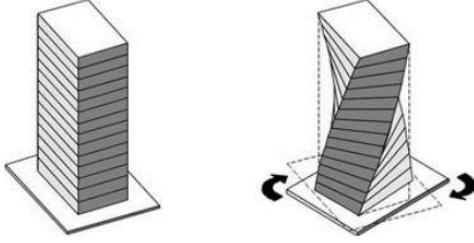
köşelere yerleştirilen perdeli binalarda elde edildiği görülmüştür [3-12]. Nümerik analizler sonucunda; yapının köşelerine yerleştirilen L şeklindeki perdeli yapılarda burulma katsayısı değerlerinin en küçük olduğu ve perdelerin yapının kütle merkezine yaklaşması durumunda burulma düzensizliği katsayısının büyüdüğü sonuçlarına ulaşılmıştır [4-5]. Aynı zamanda, perdelerin, yapının kütle merkezinden uzağa, simetrik olarak her iki eksen doğrultusunda yerleştirilmesinin burulma açısından uygun sonuçlar verdiği görülmüştür [3,6-8]. Simetrik yapılarda ise yapının orta bölgesine bırakılan perde durumunda burulma düzensizliği katsayısının büyüdüğü, binanın kenar bölgesine yerleştirilmiş perde durumunda ise bu katsayının küçüldüğü görülmüştür [9]. Bununla birlikte, perde yerleşiminin burulmaya yol açmayacak şekilde simetrik, dış kenarlara yakın ve devrilme momentinin büyük kısmını tek başına almayacak şekilde yerleştirilmesinin uygun sonuçlar verdiği belirtilmiştir [10]. Düzensiz binalarda ise kolonlarda meydana gelen kat kesme kuvvetlerinin düzenli binalara göre daha büyük olduğu sonucuna ulaşılmıştır [11]. Aynı zamanda binalarda perde duvarların köşelere yerleştirildiği durumda, daha düşük kat yer değiştirme değerleri görülmüştür [12-14].

Bu çalışmada, 15×15 m boyutlarındaki 24 katlı (84 m) betonarme üç tip binanın (Tip-1, Tip-2, Tip-3) zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri üç farklı perde yerleşimi ve dört farklı perde alanı dikkate alınarak elde edilmiştir. Doğrusal olmayan davranış için Yayılı Plastik Davranış Modellerinden "Kuvvete Dayalı Fiber Eleman Yöntemi" ile betonarme taşıyıcı elemanların kesitleri modellenmiştir. Yapılan dinamik analizlerde, her katın döşemesi rijit diyafram olarak temel ortamı ise rijit olarak hesaba katılmıştır. Analizlerde HHT- α integrasyon metodu kullanılmış olup integrasyon zaman adımı 0.01 s olarak seçilmiştir. TBDY-2018 [15]'e göre yapay olarak

11 adet deprem ivme kaydı üretilmiş olup bu ivme kayıtları tüm binaların her iki doğrultusunda etki ettirilmiştir. Karşılaştırmalar, binalardaki hasar bölgesi, bina tepesinin burulma açısı, açılal hız ve açılal ivme tepkilerinin mutlak maksimumlarının maksimum değerleri için yapılmış ve en uygun perde yerleşimine sahip bina tasarımı önerilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Binalardaki yapısal düzensizlikler, binaların deprem etkisi altındaki davranışlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle depreme dayanıklı yapı tasarımında, yapısal düzensizliklerin önlenmesi, emniyetli ve ekonomik çözümlerin elde edilmesi için gereklidir.



Şekil 1. Yapılardaki burulma davranışı [16]

TBDY-2018 [15]' e göre A1 burulma düzensizliği, planda düzensizlik durumlarından biridir. Deprem etkisi altındaki yapının burulma davranışı Şekil 1' de görülmektedir. Kütle merkezi, düşey taşıyıcı elemanlara etki eden yüklerin toplandığı yerdir. Rijitlik merkezi ise düşey taşıyıcı elemanların yatay ötelenme rijitliklerinin toplandığı yerdir. Tasarım sırasında binaların rijitlik ve kütle merkezleri birbirlerine yaklaştırıldığı durumda burulma etkisi azalmaktadır.

TBDY-2018' de binanın birbirine dik iki deprem doğrultusundan herhangi biri için, herhangi bir kattaki en büyük görel kat ötelemesinin, ortalama görel kat ötelemesine oranı Burulma Düzensizliği Katsayısı, η_{bi} olarak adlandırılmaktadır [15]. Bu katsayı,

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{\max} / (\Delta_i)_{\text{ort}} > 1.20 \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. η_{bi} ' nin herhangi bir katta 1.2' den büyük olması halinde, burulma düzensizliği meydana gelmektedir. Burada, $(\Delta_i)_{\max}$ ve $(\Delta_i)_{\text{ort}}$ sırasıyla, binanın i'

inci katındaki maksimum ve ortalama görel kat ötelemesini ifade etmekte olup,

$$(\Delta_i)_{\max} = (d_i)_{\max} - (d_{i-1})_{\max} \quad (2.a)$$

$$(\Delta_i)_{\text{ort}} = 1/2[(\Delta_i)_{\max} + (\Delta_i)_{\min}] \quad (2.b)$$

denklemleri ile elde edilmektedir. Burada, d_i , binanın i' inci katında deprem yükleri altında hesaplanan yer değiştirmeyi ifade etmektedir. $(\Delta_i)_{\text{ort}}$ hesabında kullanılan $(\Delta_i)_{\min}$ ise binanın i' inci katındaki minimum görel kat ötelemesini belirtmekte olup

$$(\Delta_i)_{\min} = (d_i)_{\min} - (d_{i-1})_{\min} \quad (3)$$

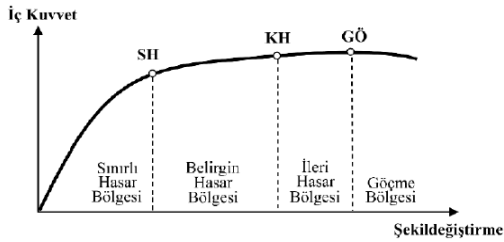
bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

TBDY-2018' de deprem etkisi altındaki bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımında; Dayanıma (Kuvvete) Göre Tasarım (DGT) ve Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞDGD) olmak üzere iki yaklaşım mevcuttur. DGT yaklaşımı, doğrusal davranışı esas almakta olup Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde ve Modal Hesap Yöntemlerinde (Mod Birleştirme Yöntemi ve Mod Toplama Yöntemi) kullanılmaktadır. Modal Hesap Yöntemleri bütün binalar için kullanılabilirken Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, deprem etkisinin az olduğu yerlerde ve bina yüksekliğinin düşük olduğu binalarda kullanılır. Çalışmada, ŞDGT esas alınmış olup söz konusu yaklaşımda deprem etkisiyle taşıyıcı elemanlarda meydana gelen hasar, çatlama, ezilme olayları hesaba katılmaktadır. Bu nedenle söz konusu bu elemanların doğrusal olmayan davranışları dikkate alınmaktadır. Deprem yüklemesi ise Statik İtme (Tek Modlu ve Çok Modlu İtme Yöntemleri) ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemlerinden biri kullanılarak hesaba katılmaktadır. Taşıyıcı sistemler, üzerindeki yüklerin etkisi ile doğrusal davranış gösterecek şekilde tasarlanırlar. Deprem etkisi altında ise doğrusal davranışa göre yapılan hesaplar gerçekçi sonuçlar vermeyebilir. Doğrusal olmayan hesap yöntemleri doğrusal hesap yöntemlerine göre malzemelerin davranışını ve geometri değişimini daha kesin hesapladığı için daha gerçekçi sonuçlar vermektedir.

TBDY-2018' de Sınırlı Hasar Bölgesi; kritik kesitlerindeki hasarı Sınırlı Hasar (SH)' a ulaşmayan elemanlar, Belirgin Hasar Bölgesi; SH ile Kontrollü Hasar (KH) arasında kalan

elemanlar, İleri Hasar Bölgesi; KH ile Göçmenin Önlenmesi (GÖ) arasında kalan elemanlar ve Göçme Bölgesi ise GÖ' ni geçen elemanlar için kullanılmaktadır (Şekil 2).

TBDY-2018' de GÖ için Yayılı Plastik Davranış Modelinin kullanıldığı betonarme kesitlerde betonun GÖ hasar sınırı, dikdörtgen kesitli kolon, kiriş ve perde elemanlar için Denklem (4), dairesel kesitli elemanlar için Denklem (5) eşitliği ile elde edilmekte olup çalışmada betonarme dikdörtgen kesitli elemanlar dikkate alınmıştır.



Şekil 2. Betonarme binaların kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri [15]

$$\sum_C^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{w_{we}} \leq 0.018 \quad (4)$$

$$\sum_C^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.07\sqrt{w_{we}} \leq 0.018 \quad (5)$$

Burada, w_{we} , etkin sargı donatısına ait mekanik donatı oranını ifade etmekte olup,

$$w_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh, \min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (6)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte α_{se} ve $\rho_{sh, \min}$ sırasıyla sargı donatısı etkinlik katsayısını ve dikdörtgen kesitlerde iki yatay doğrultu için hacimsel enine donatı oranının küçük olanını göstermektedir. f_{ywe} ve f_{ce} ise sırasıyla enine donatının ortalama akma dayanımını ve betonun ortalama basınç dayanımını ifade etmektedir [15]. Aynı zamanda donatı çeliği için göçme öncesi hasar sınırı,

$$\varepsilon_S^{(GÖ)} = 0.4\varepsilon_{su} \quad (7)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada, ε_{su} çekme dayanımına karşılık gelen birim uzamayı

göstermektedir. Kontrollü hasar sınırı için beton ($\varepsilon_C^{(KH)}$) ve donatı çeliğine ($\varepsilon_S^{(KH)}$) izin verilen toplam birim şekil değiştirmeler sırasıyla Denklem (8.a) ve Denklem (8.b) eşitliği ile elde edilmektedir.

$$\varepsilon_C^{(KH)} = 0.75\varepsilon_C^{(GÖ)} \quad (8.a)$$

$$\varepsilon_S^{(KH)} = 0.75\varepsilon_S^{(GÖ)} \quad (8.b)$$

eşitlikleri ile hesaplanmaktadır. SH performans düzeyi için kolon, kiriş ve perde elemanlarının beton ve donatı çeliğine ait şekil değiştirme sınırları sırasıyla Denklem (9.a) ve Denklem (9.b) ile elde edilmektedir.

$$\varepsilon_C^{(SH)} = 0.0025 \quad (9.a)$$

$$\varepsilon_S^{(SH)} = 0.0075 \quad (9.b)$$

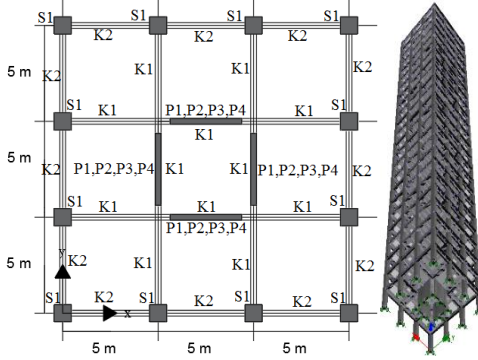
3. Bulgular

Bu çalışmada, perde yerleşiminin binanın burulma davranışına etkisini incelemek için 3 tip bina tasarlanmıştır. Perdeler, Tip-1 binasında çekirdekte, Tip-2 binasında köşelerde ve Tip-3 binasında dış kenarların ortalarında konumlandırılmıştır. Tüm bina tipleri için toplam kolon ve perde kesit alanları aynı olacak şekilde kesit boyutlandırılmaları yapılmıştır. Tüm bina tipleri 24 katlı olarak tasarlanmış olup her tip binanın planı ve sonlu eleman modeli Şekil 3-5' te verilmiştir. Binaların x ve y doğrultularındaki boyutları 15×15 m olup kat yükseklikleri 3.5 m seçilmiştir. Her tip binada 4 farklı perde eleman boyutu esas alınmıştır. Tip-1 binasının sonlu eleman modelinde; 500 adet düğüm noktası, 96 adet perde, 288 adet kolon ve 480 adet kiriş eleman kullanılmıştır. Tip-2 binasının sonlu eleman modelinde; 400 adet düğüm noktası, 96 adet perde, 288 adet kolon ve 576 adet kiriş eleman kullanılmıştır. Tip-3 binasının sonlu eleman modelinde; 500 adet düğüm noktası, 96 adet perde, 192 adet kolon ve 480 adet kiriş eleman kullanılmıştır. Binaların yatay ve düşey taşıyıcı elemanlarının donatıları ise Şekil 6' da görülmektedir. Binaların doğrusal olmayan davranışları için Yayılı Plastik Davranış Modellerinden "Kuvvete Dayalı Fiber Eleman Yöntemi" kullanılmıştır. Perde, kolon ve kiriş elemanlar 150 adet fiber elemana ayrılmıştır. Eleman rijitlik matrislerinin hesabında 5 adet integrasyon

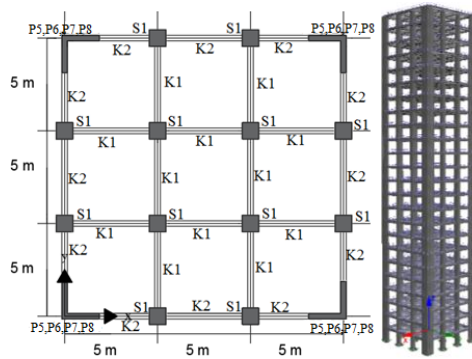
noktası kullanılmış olup her bir integrasyon noktasında bir kesit dikkate alınmıştır. Betonarme kesitlerde sargılı ve sargısız beton bölgeleri dikkate alınmıştır. Sargılı bölgelerin sargılama etki katsayıları Tablo 1’ de verilmektedir. Beton malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı 25 MPa seçilmiştir. Betonun elastisite modülü ve tek eksenli çekme dayanımı ise ACI-318 [17]’ e göre (10.a) ve (10.b) denklemleri ile sırasıyla 23500 MPa ve 2.782 MPa olarak hesaplanmıştır. Donatı S420 seçilmiş, donatının elastisite modülü ve akma dayanımı ise sırasıyla 200000 MPa ve 420 MPa’ olarak alınmıştır. Beton ve donatının çevrimsel davranışları için “Mander, Pristley ve Park modeli” [18] ile “Menegetto ve Pinto modeli” [19] kullanılmıştır.

$$E_c = 4700\sqrt{f_{cc}} \text{ (MPa)} \quad (10.a)$$

$$f_{ct} = 0.5563\sqrt{f_{cc}} \text{ (MPa)} \quad (10.b)$$



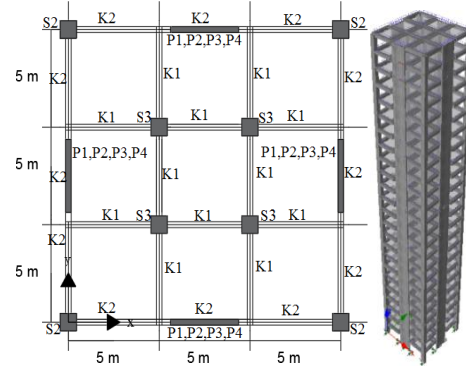
Şekil 3. Tip-1 binasının planı ve sonlu eleman modeli



Şekil 4. Tip-2 binasının planı ve sonlu eleman modeli

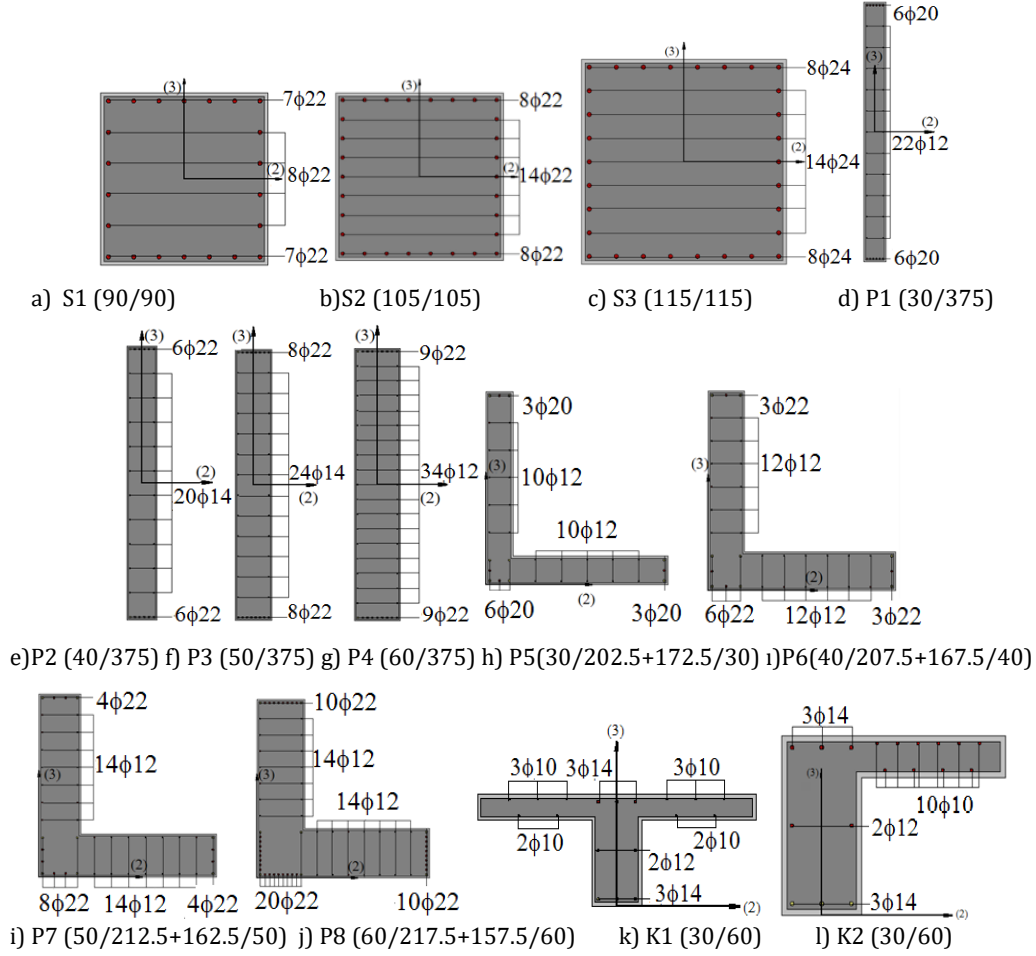
Tablo 1. Betonarme kesitlerin sargılama etki katsayıları.

Taşıyıcı Eleman Adı	Sargılama Etki Katsayısı
P1 (30/375)	1.238
P2 (40/375)	1.249
P3 (50/375)	1.320
P4 (60/375)	1.400
P5 (30/202.5+172.5/30)	1.162
P6 (40/207.5+167.5/40)	1.191
P7 (50/212.5+162.5/50)	1.268
P8 (60/217.5+157.5/60)	1.305
S1 (90/90)	1.353
S2 (105/105)	1.414
S3 (115/115)	1.393
K (30/60)	1.021

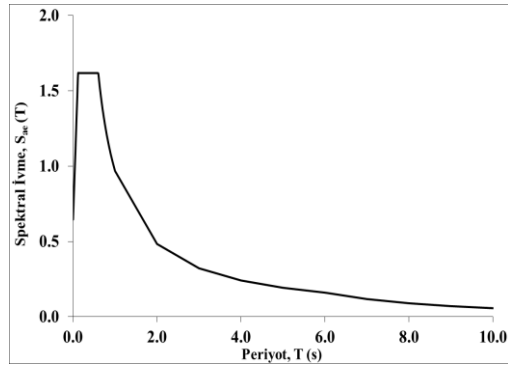


Şekil 5. Tip-3 binasının planı ve sonlu eleman modeli

Doğrusal olmayan tüm dinamik analizlerde her katın döşemesi rijit diyafram kabul edilmiş olup, ölü ve hareketli yükler ise kirişlere yayılı olarak etki ettirilmiştir. Çözümler, Seismo&Struct [20] programı ile elde edilmiştir.



Şekil 6. Binalara ait yatay ve düşey taşıyıcı elemanlar



Şekil 7. TBDY-2018'e göre seçilen tasarım spektrum-ivme grafiği

Deprem yükü olarak, TBDY-2018 [15]' de belirtilen spektrum grafiği ile uyumlu ZA grubu

zemin sınıfı için üretilmiş, 11 adet yapay deprem ivme kayıtları kullanılmış olup kayıtlara ait frekans özellikleri Tablo 2' de verilmiştir. Bu spektrum eğrisine ait S_{DS} ve S_{D1} değerleri sırasıyla 1.6176 ve 0.968 olarak seçilmiştir (Şekil 7). Söz konusu bu parametreler Türkiye Deprem Tehlike Haritası-2018 [15]' de 50 yılda %10 aşılma olasılığı olan depremler içerisindeki en büyük değerler olarak tespit edilmiştir. Yapay deprem ivme kayıtları Seismo&Artif [21] programı ile elde edilmiştir (Şekil 8-18).

Her tip binanın modal analizleri 10 mod için elde edilmiştir. Bu modlara ait bina periyotları Tablo 3' te verilmiştir. Yapının viskoz sönümü %5'lik sönüm oranını sağlayacak şekilde rijitlik orantılı olarak hesaplanmıştır. Binaların zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılırken betonarme kesitteki hasar sınırları

kesitin en dış kısmındaki beton basınç şekil değiştirme değerleri kullanılarak tanımlanmış olup Tablo 4' te verilmiştir.

Tablo 2. Yapay deprem ivme kayıtlarına ait frekans özellikleri.

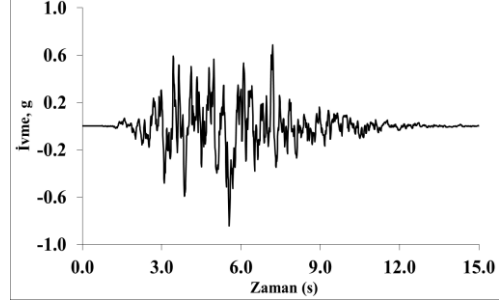
İvme No	PGA ,g	PGV (cm/s)	PGD (cm)	Arias Yoğ.	Anlamlı Süre (Sig. Dur., s)
1	0.843	94.082	32.498	5.546	4.80
2	0.862	95.527	27.132	4.990	5.26
3	0.818	102.674	25.069	5.155	5.37
4	0.685	78.083	26.515	6.442	6.23
5	0.781	104.177	23.836	5.276	5.25
6	0.747	110.708	55.927	4.727	3.52
7	0.710	112.474	60.867	4.798	3.44
8	0.852	98.306	53.685	4.066	3.20
9	0.701	64.689	19.323	6.547	7.91
10	0.804	86.249	25.176	6.763	7.35
11	0.807	86.492	26.930	6.676	7.31

Tablo 3. Her tip binanın en yüksek modal kütle oranlarına karşılık gelen periyotları (s).

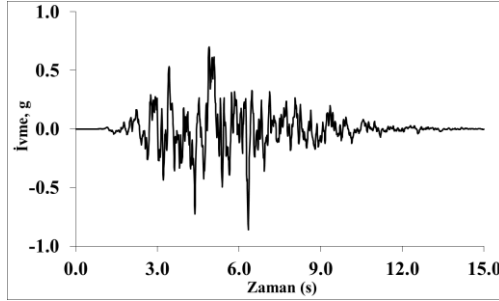
Perde Boyutları	Tip-1	Tip-2	Tip-3
30/375	1.689	2.116	1.909
40/375	1.696	2.134	1.899
50/375	1.703	2.156	1.902
60/375	1.712	2.176	1.915

Binaların ilk katları dikkate alınarak binalarda meydana gelen hasarlar Tablo 5-8' de verilmiştir. Tablo 5' te Tip-1 için çözümler 15.00 s' e kadar elde edilmiş olup tüm çözümlerde hasar durumu Göçme Bölgesi (GB) olarak elde edilmiştir. Tip-2' nin Dep-4 deprem yüklemesi altındaki çözümü 6.71 s' e kadar elde edilmiş olup binada SH' lar meydana gelmiştir. Diğer tüm çözümlerde ise binada BH' lar meydana gelmiştir. Tip-3 çözümlerinin tümü 15.00 s' e kadar elde edilmiş olup binadaki hasar

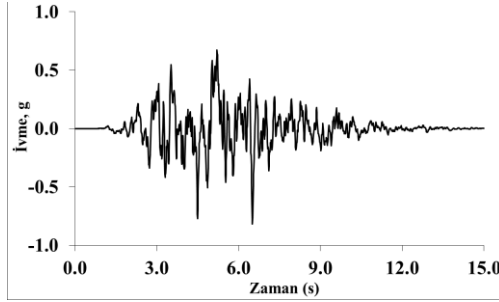
durumları GB, BH ve İH şeklinde belirlenmiştir. Bu bina tipi için en olumsuz durum olan GB dikkate alınmıştır.



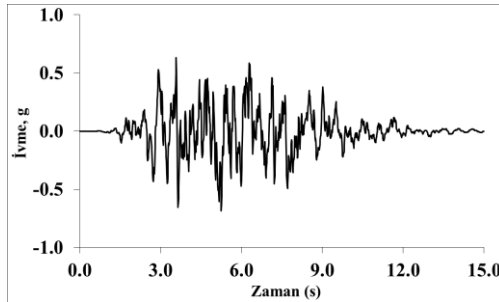
Şekil 8. Yapay deprem ivme kaydı-1 (Dep-1)



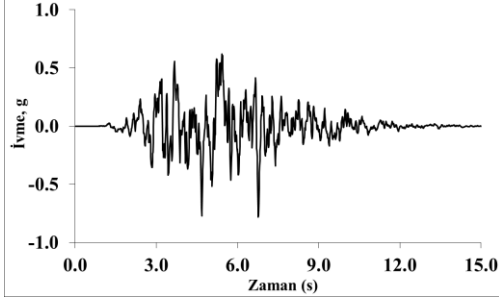
Şekil 9. Yapay deprem ivme kaydı-2 (Dep-2)



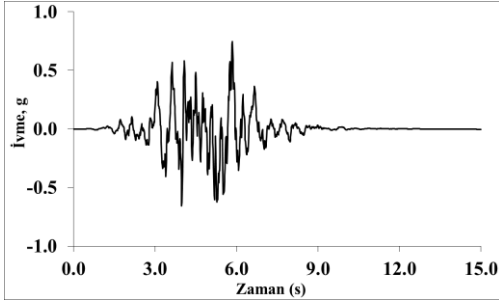
Şekil 10. Yapay deprem ivme kaydı-3 (Dep-3)



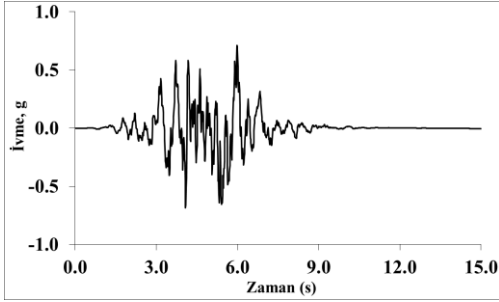
Şekil 11. Yapay deprem ivme kaydı-4 (Dep-4)



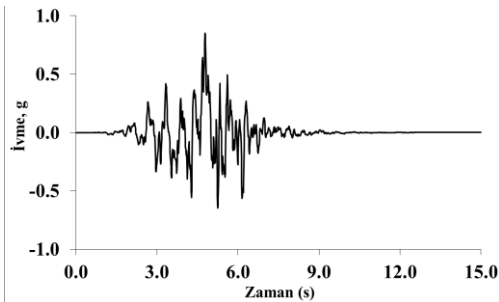
Şekil 12. Yapay deprem ivme kaydı-5 (Dep-5)



Şekil 13. Yapay deprem ivme kaydı-6 (Dep-6)



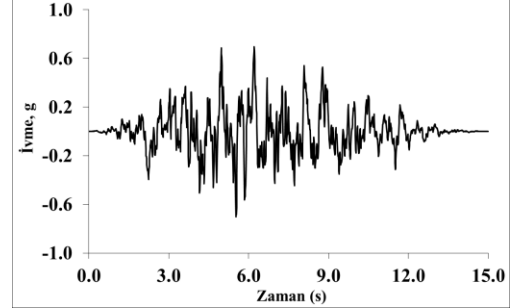
Şekil 14. Yapay deprem ivme kaydı-7 (Dep-7)



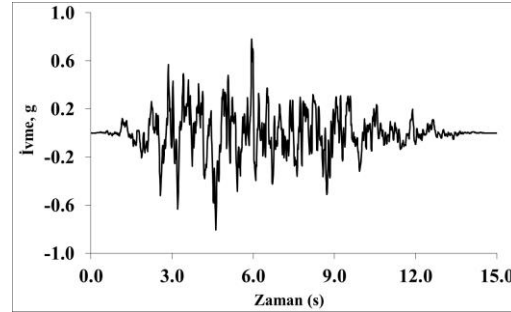
Şekil 15. Yapay deprem ivme kaydı-8 (Dep-8)

Perde boyutunun 40/375 seçilmesi durumunda, Tip-1 ve Tip-2' nin Dep-4 deprem yüklemesi altında çözümleri sırasıyla 13.22 s ve 8.95 s' e kadar diğer deprem yüklemelerinde ve Tip-3'

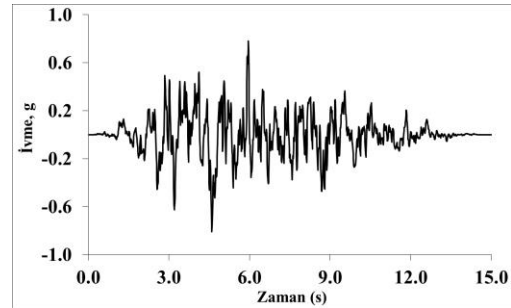
ün tüm çözümlerinde 15.00 s' e kadar elde edilmiştir. Tip-1, Tip-2 ve Tip-3 için elde edilen hasar durumları sırasıyla GB, BH ve GB olarak belirlenmiştir (Tablo 6).



Şekil 16. Yapay deprem ivme kaydı-9 (Dep-9)



Şekil 17. Yapay deprem ivme kaydı-10 (Dep-10)



Şekil 18. Yapay deprem ivme kaydı-11 (Dep-11)

Tablo 7' de Tip-2' nin Dep-4 deprem yüklemesi altında çözümü 9.03 s' e kadar diğer deprem yüklemelerinde, Tip-1 ve Tip-3' ün tüm çözümlerinde ise 15.00 s' e kadar elde edilmiştir. Tip-1, Tip-2 ve Tip-3 için hasar durumları sırasıyla GB, GB ve İH olarak belirlenmiştir.

Tablo 4. Betonarme kesitlerdeki hasar eşik değerleri.

Taşıyıcı Eleman	SH	KH	GÖ
P1	0.0025	0.0066	0.0088
P2	0.0025	0.0066	0.0088
P3	0.0025	0.0074	0.0098
P4	0.0025	0.0078	0.0104
P5	0.0025	0.0092	0.1230
P6	0.0025	0.0091	0.1210
P7	0.0025	0.0099	0.1320
P8	0.0025	0.1020	0.1360
S1	0.0025	0.0113	0.0150
S2	0.0025	0.0120	0.0160
S3	0.0025	0.0115	0.0154
K	0.0025	0.0080	0.0107

Tablo 5. Perde boyutu 30/375 iken üç tip binada meydana gelen hasarlar.

Deprem	Tip-1	Tip-2	Tip-3
Dep-1	GB	BH	BH
Dep-2	GB	BH	İH
Dep-3	GB	BH	GB
Dep-4	GB	SH	BH
Dep-5	GB	BH	GB
Dep-6	GB	BH	GB
Dep-7	GB	BH	GB
Dep-8	GB	BH	İH
Dep-9	GB	BH	BH
Dep-10	GB	BH	BH
Dep-11	GB	BH	GB

Tablo 8' de görüldüğü gibi perde boyutu 60/375 olduğu durumda Tip-1, Tip-2 ve Tip-3 için elde edilen hasar durumları sırasıyla GB, BH ve BH olarak belirlenmiştir. Tüm bina tipleri için

çözümler 15.00 s' e kadar elde edilmiştir. Perde boyutunun artışına bağlı olarak Tip-1 binası için GB hasar durumunda bir değişim gözlenmezken Tip-3 binasının hasar durumunda GB' den BH' ye doğru bir azalım görülmüştür. Tip-2 binasında ise 50/375 perde boyutu çözümlerinde GB, diğer tüm perde boyutlarında BH elde edilmiştir. Bu üç bina tipi içerisinde hasar bölgesi açısından en olumsuz bina Tip-1 olarak belirlenmiştir.

Tablo 6. Perde boyutu 40/375 iken üç tip binada meydana gelen hasarlar.

Deprem	Tip-1	Tip-2	Tip-3
Dep-1	GB	BH	BH
Dep-2	GB	BH	BH
Dep-3	İH	BH	İH
Dep-4	BH	BH	BH
Dep-5	GB	BH	GB
Dep-6	GB	BH	GB
Dep-7	GB	BH	GB
Dep-8	GB	BH	BH
Dep-9	İH	SH	BH
Dep-10	BH	BH	BH
Dep-11	GB	BH	İH

Tablo 9-12' de hasar gören elemanların yüzdelerinin en büyük değerleri verilmiştir. Tüm perde boyutları ve yapı tipleri için İH ve GB hasar bölgesine geçen kolon oranları % 0.00' dir. Tüm bina tipleri için perde boyutunun artışına bağlı olarak BH bölgesine geçen kolon oranlarında azalimler görülmüştür. Binalardaki perde boyutunun artışına bağlı olarak Tip-1 ve Tip-3 için İH ve GB hasar bölgesine geçen perde oranlarında azalimler görülmüştür. Ancak, Tip-2' de tüm çözümler için İH ve GB hasar bölgesine geçen perde oranı % 0.00' dir. Binalardaki perde boyutunun artışına bağlı olarak Tip-2 ve Tip-3 için BH bölgesine geçen perde oranlarında azalimler görülmüştür. Bu durum Tip-1 için elde edilmemiştir.

Binalardaki perde boyutunun artışına bağlı olarak tüm bina tipleri için GB hasar bölgesine geçen kiriş oranlarında artışlar görülürken BH

ve İH bölgesine geçen kiriş oranlarında böyle bir durum belirlenmemiştir. Düşey taşıyıcı elemanların GB ve İH bölgelerine geçen oranları dikkate alındığında Tip-2 binasının en az hasara sahip olduğu görülmüştür.

Tablo 7. Perde boyutu 50/375 iken üç tip binada meydana gelen hasarlar.

Deprem	Tip-1	Tip-2	Tip-3
Dep-1	İH	BH	BH
Dep-2	BH	BH	BH
Dep-3	BH	İH	BH
Dep-4	BH	BH	SH
Dep-5	BH	GB	BH
Dep-6	GB	GB	İH
Dep-7	GB	GB	İH
Dep-8	İH	BH	BH
Dep-9	BH	BH	BH
Dep-10	BH	BH	BH
Dep-11	İH	İH	BH

Her bir yapı tipi ve perde boyutu değişimi dikkate alınarak 11 farklı yapay deprem ivme kaydı altında elde edilen binanın tepe noktası için x ve y doğrultularındaki yer değiştirme, hız ve ivme değerleri ile z eksenini etrafındaki binanın tepe dönme açısı, açılal hız ve açılal ivme değerlerinin mutlak maksimumlarının maksimumları Tablo 13-15' te verilmiştir.

Tablo 13' te x ve y doğrultularındaki yer değiştirmeler sırasıyla u_x ve u_y olarak, z eksenini etrafındaki dönme açısı değeri (burulma açısı) ise θ_z olarak adlandırılmıştır. Perde boyutunun artması ile bina tepe düğüm noktasından elde edilen u_x , u_y ve θ_z değerlerinin her bir bina tipi için arttığı görülmüştür. Bu durumun sadece Tip-3 için θ_z değerlerinde geçerli olmadığı görülmüştür. Her bir perde boyutu için u_x ve u_y değerlerinin büyükten küçüğe doğru sıralaması Tip-2, Tip-3 ve Tip-1 olarak belirlenmiştir. Burulma açısı bakımından değerlendirilirse, θ_z değerlerinin büyükten küçüğe doğru sıralaması Tip-3, Tip-1 ve Tip-2 olarak tespit edilmiştir. Böylece, en az yer değiştiren yapı tipinin Tip-1, en az burulma

açısına sahip yapı tipinin ise Tip-2 olduğu belirlenmiştir.

Tablo 8. Perde boyutu 60/375 iken üç tip binada meydana gelen hasarlar.

Deprem	Tip-1	Tip-2	Tip-3
Dep-1	BH	SH	BH
Dep-2	BH	BH	BH
Dep-3	BH	BH	BH
Dep-4	BH	SH	SH
Dep-5	BH	BH	BH
Dep-6	GB	BH	BH
Dep-7	GB	BH	BH
Dep-8	BH	SH	BH
Dep-9	BH	SH	BH
Dep-10	BH	BH	BH
Dep-11	BH	BH	BH

Tablo 14' te x ve y doğrultularındaki hızlar sırasıyla V_x ve V_y olarak, z eksenini etrafındaki açılal hız değeri ise ω_z olarak adlandırılmıştır. Her bir perde boyutu için v_x ve v_y değerlerinin büyükten küçüğe doğru sıralaması Tip-1, Tip-2 ve Tip-3 olarak tespit edilmiştir. Ancak bu durum, 30/375 ve 40/375 perde boyutları için görülmemiştir. ω_z değerlerinin büyükten küçüğe doğru sıralaması ise Tip-1, Tip-3 ve Tip-2 olarak belirlenmiştir. Bu durum 30/375 perde boyutu için görülmemiştir. Böylece, en düşük hıza sahip yapı tipinin Tip-3, en düşük açılal hıza sahip yapı tipinin ise Tip-2 olduğu belirlenmiştir.

Tablo 15' te x ve y doğrultularındaki ivmeler sırasıyla a_x ve a_y olarak, z eksenini etrafındaki açılal ivme değeri ise α_z olarak adlandırılmıştır. Her bir perde boyutu için a_x , a_y ve α_z değerlerinin büyükten küçüğe doğru sıralamasının Tip-1, Tip-3 ve Tip-2 olduğu görülmüştür. Bu durum sadece α_z değeri için 50/375 perde boyutu çözümlerinde görülmemiştir. Böylece, en düşük ivmeye ve açılal ivmeye sahip yapı tipinin Tip-2 olduğu belirlenmiştir.

Tablo 9. P30/375 için binaların hasar bölgelerine geçen elemanların en büyük oranları.

30/375	Kolon			Perde			Kiriş		
	BH(%)	İH(%)	GB(%)	BH(%)	İH(%)	GB(%)	BH(%)	İH(%)	GB(%)
Tip-1	3.82	0.00	0.00	4.17	2.08	4.17	55.00	18.33	48.54
Tip-2	4.51	0.00	0.00	5.21	0.00	0.00	36.46	10.07	57.29
Tip-3	3.65	0.00	0.00	10.42	2.08	4.17	23.96	11.67	53.96

Tablo 10. P40/375 için binaların hasar bölgelerine geçen elemanların en büyük oranları.

40/375	Kolon			Perde			Kiriş		
	BH(%)	İH(%)	GB(%)	BH(%)	İH(%)	GB(%)	BH(%)	İH(%)	GB(%)
Tip-1	3.82	0.00	0.00	8.33	2.08	4.17	54.79	17.08	50.83
Tip-2	2.78	0.00	0.00	5.21	0.00	0.00	39.76	14.58	58.51
Tip-3	3.65	0.00	0.00	8.33	2.08	2.08	23.33	9.38	55.21

Tablo 11. P50/375 için binaların hasar bölgelerine geçen elemanların en büyük oranları.

50/375	Kolon			Perde			Kiriş		
	BH(%)	İH(%)	GB(%)	BH(%)	İH(%)	GB(%)	BH(%)	İH(%)	GB(%)
Tip-1	3.47	0.00	0.00	6.25	2.08	2.08	56.25	13.75	53.33
Tip-2	2.78	0.00	0.00	3.13	0.00	0.00	43.06	13.89	60.94
Tip-3	3.13	0.00	0.00	8.33	2.08	2.08	22.71	8.75	56.04

Tablo 12. P60/375 için binaların hasar bölgelerine geçen elemanların en büyük oranları.

60/375	Kolon			Perde			Kiriş		
	BH(%)	İH(%)	GB(%)	BH(%)	İH(%)	GB(%)	BH(%)	İH(%)	GB(%)
Tip-1	1.74	0.00	0.00	6.25	0.00	2.08	56.25	14.58	54.17
Tip-2	2.78	0.00	0.00	3.13	0.00	0.00	43.23	12.85	63.19
Tip-3	2.60	0.00	0.00	8.33	0.00	0.00	22.71	9.38	57.71

Tablo 13. Farklı perde boyutları için binaların mutlak maksimum tepe deplasman değerlerinin maksimum değerleri.

Perde	Tip-1			Tip-2			Tip-3		
	Boyutu	u_x (m)	u_y (m)	θ_z (rad)	u_x (m)	u_y (m)	θ_z (rad)	u_x (m)	u_y (m)
30/375	0.832	0.833	0.0042	1.010	1.015	0.0026	0.884	0.886	0.0073
40/375	0.852	0.853	0.0046	1.030	1.036	0.0033	0.891	0.892	0.0070
50/375	0.868	0.870	0.0046	1.050	1.057	0.0039	0.902	0.903	0.0063
60/375	0.881	0.882	0.0052	1.066	1.072	0.0047	0.915	0.916	0.0068

Tablo 14. Farklı perde boyutları için binaların mutlak maksimum tepe hız değerlerinin maksimum değerleri.

Perde	Tip-1			Tip-2			Tip-3		
	v_x (m/s)	v_y (m/s)	ω_z (rad/s)	v_x (m/s)	v_y (m/s)	ω_z (rad/s)	v_x (m/s)	v_y (m/s)	ω_z (rad/s)
30/375	2.358	2.360	0.0163	2.220	2.232	0.0084	2.219	2.245	0.0181
40/375	2.389	2.390	0.0185	2.242	2.256	0.0111	2.242	2.262	0.0179
50/375	2.421	2.422	0.0211	2.264	2.283	0.0125	2.263	2.282	0.0185
60/375	2.452	2.452	0.0221	2.291	2.313	0.0153	2.279	2.296	0.0195

Tablo 15. Farklı perde boyutları için binaların mutlak maksimum tepe ivme değerlerinin maksimum değerleri.

Perde	Tip-1			Tip-2			Tip-3		
	a_x (m/s ²)	a_y (m/s ²)	α_z (rad/s ²)	a_x (m/s ²)	a_y (m/s ²)	α_z (rad/s ²)	a_x (m/s ²)	a_y (m/s ²)	α_z (rad/s ²)
30/375	5.950	6.389	0.5054	3.740	3.760	0.2402	5.062	5.235	0.2848
40/375	6.220	7.054	0.5044	3.688	3.721	0.1966	5.142	5.328	0.3350
50/375	6.496	7.587	0.5360	3.736	3.714	0.3367	5.216	5.367	0.3157
60/375	6.598	7.593	0.5485	3.685	3.654	0.2207	5.058	5.242	0.4009

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, deprem etkisi altındaki binaların perde yerleşiminin burulma davranışına etkisi zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yardımı ile incelenmiştir. Bu amaçla 15×15 m boyutlarına, farklı perde yerleşimine ve alanına sahip 24 katlı betonarme üç tip bina (Tip-1, Tip-2, Tip-3) incelenmiştir. Analizler sonucunda karşılaştırmalar, binalardaki hasar bölgesi, bina tepesinin yer değiştirmesi, burulma açısı, hız, açısız hız, ivme ve açısız ivme tepkilerinin mutlak maksimumlarının maksimum değerleri için yapılmış olup aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir;

- Tüm bina tipleri için perde boyutunun artışına bağlı olarak Belirgin Hasar (BH) bölgesine geçen kolon oranlarında azalmalar görülmüştür. Ancak, İleri Hasar (İH) ve Göçme Bölgesi (GB)' ye geçen kolon eleman belirlenmemiştir.
- Binalardaki perde boyutunun artışına bağlı olarak Tip-1 ve Tip-3 için İH ve GB hasar bölgesine geçen perde oranlarında azalmalar görülmüştür. Ancak, Tip-2' de İH ve GB hasar bölgesine geçen perde eleman belirlenmemiştir. Binalardaki perde boyutunun artışına bağlı

olarak Tip-2 ve Tip-3 için BH bölgesine geçen perde oranlarında azalmalar görülmüştür. Bu durum Tip-1 için elde edilmemiştir.

- Binalardaki perde boyutunun artışına bağlı olarak tüm bina tipleri için GB hasar bölgesine geçen giriş oranlarında artışlar görülürken BH ve İH bölgesine geçen giriş oranlarında böyle bir durum belirlenmemiştir. Düşey taşıyıcı elemanların GB ve İH bölgelerine geçen oranları dikkate alındığında Tip-2 binasının en az hasara sahip olduğu görülmüştür.
- Yer değiştirmelerin mutlak maksimumlarının maksimum değerleri dikkate alındığında en düşük değerleri veren yapı tipinin Tip-1 olduğu görülmüştür. Bu yapı tipinin diğerlerine göre daha rijit davrandığı belirlenmiştir.
- Hızların mutlak maksimumlarının maksimum değerleri dikkate alındığında en düşük değerleri veren yapı tipinin Tip-3 olduğu görülmüştür.
- İvmelerin mutlak maksimumlarının maksimum değerleri dikkate alındığında en düşük değerleri veren yapı tipinin Tip-2 olduğu belirlenmiştir. Bu yapı tipinde en az atalet kuvvetleri oluşacağından yapısal ve yapısal olmayan elemanlar en az zarar görecektir.
- Burulma açısı, açısız hız ve açısız ivme tepkilerinin mutlak maksimumlarının

maksimum değerleri dikkate alındığında en düşük değerleri veren yapı tipinin Tip-2 olduğu görülmüştür. Tüm bu sonuçlar dikkate alındığında burulma davranışı açısından en uygun bina tipinin Tip-2 olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kaynakça

- [1] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Resmi Gazete No.: 26454, 2007.
- [2] Demir, A., Dönmez, D. 2008. Çok Katlı Yapılarda Burulma Düzensizliğine Etki Eden Faktörler, C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, Cilt. 4, s. 31 – 36.
- [3] Uçar, T., Merter, O. 2009. Planda Perde Yerleşiminin Betonarme Perde-Çerçeve Binaların Deprem Davranışına Etkisi, DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt. 11, s. 11-18.
- [4] Aktan, S., Kırac, N. 2010. Betonarme Binalarda Perdelerin Davranışa Etkileri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt. 23, s. 15-32.
- [5] Başlı, D., Çağatay, İ. H. 2011. 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre Yapı Düzensizliklerinin Betonarme Binaların Deprem Davranışlarına Olan Etkilerinin İncelenmesi, Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt. 26, s. 163-172.
- [6] Urtimür, S. 2012. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi Kullanılarak Binalarda Deprem Perdesi Etkilerinin DBYBHY-2007'ye Göre İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 176s, Adana.
- [7] Eswaramoorthi, P., Sylviya, B. 2018. Analysis of RCC Building with Shear Walls at Various Locations and in Different Seismic Zones, International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, Cilt. 8, s. 336-339.
- [8] Sherkhane, V. B., Manjunath, G. S. 2020. Parametric Analysis of Multistory RC Buildings with Columns Replaced by Shear Walls Using ETABS, International Research Journal of Engineering and Technology, Cilt. 7, s. 7471-7475.
- [9] Demirci, H. Y. 2016. Asimetrik Betonarme Yapıların Deprem Davranışı. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 122s, Erzurum.
- [10] Kınık, K. E. 2019. Betonarme Binaların Taşıyıcı Sistem Seçiminde Perde Yerleşiminin Davranışa Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 157s, İstanbul.
- [11] Hussain, S. M., Tengli, S. K. 2018. Study on Torsional Effects of Irregular Buildings under Seismic Loads, International Journal of Applied Engineering Research, Cilt. 13, s. 55-60.
- [12] Ahamad, S. A., Pratap, K. V. 2020. Dynamic Analysis of G + 20 Multi Storied Building by Using Shear Walls in Various Locations for Different Seismic Zones by Using ETABS, Materials Today: Proceedings, Cilt. 43, s. 1043-1048.
- [13] Behera, S., Parhi, P. K. 2017. Studies on Location of Shear Wall in Buildings for Structural Stability, International Journal of Research in Engineering and Technology, Cilt. 6, s. 116-122.
- [14] Mallika, K., Nagesh Kumar, G. 2016. Analysis of Shear Wall in High Rise Unsymmetrical Building Using ETABS, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Cilt. 5, s. 19951-19960. DOI:10.15680/IJRSET.2016.0511056.
- [15] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Resmi Gazete No.: 30364, 2018.
- [16] Yorulmaz, A., M. 2018. Betonarme Yapılarda A1 Düzensizlik Durumunu Değişik Deprem Bölgelerinde Araştırılması. KTO Karatay Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 67s, Konya.
- [17] Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-95) and Commentary (ACI318R-95), American Concrete Institute Committee 318, 1995.
- [18] Mander, J. B., Priestley, M. J. N., Park, R. (1984). Seismic Design of Bridge Piers, Research Report No. 84-2, University of Canterbury, New Zealand.
- [19] Menegotto, M., Pinto, P. E., Method of analysis for cyclically loaded reinforced concrete plane frames including changes in geometry and non-elastic behavior, Symposium on the Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well Defined Repeated Loads, International Association for Bridge and Structural Engineering, 1973, pp. 15-22. Zurich, Switzerland.
- [20] SeismoStruct 2018. version 2018 Earthquake Engineering Software Solutions, Seismosoft Ltd., Pavia, Italy.
- [21] SeismoArtif 2018. versiyon 2018 Earthquake Engineering Software Solutions, Seismosoft Ltd., Pavia, Italy.