

Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi :21.10.2024
Kabul Tarihi :27.12.2024

Received Date : 21.10.2024
Accepted Date : 27.12.2024

FARKLI KAT ADETLERİNE SAHİP BETONARME YAPILARIN BURULMA DAVRANIŞININ DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF TORSIONAL BEHAVIOUR OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WITH DIFFERENT STORY NUMBERS

Dilara TURSUN¹ (ORCID: 0009-0003-1501-6961)

Ömer Faruk TAŞ^{2}* (ORCID: 0000-0002-1431-5316)

Erkut SAYIN³ (ORCID: 0000-0003-0266-759X)

^{1, 2, 3} Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ömer Faruk TAŞ, oftas@firat.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada farklı kat adetlerine sahip (3, 5, 7 ve 9) konut tipi betonarme binalar incelenmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) esas alınarak doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yöntemi ile analizler gerçekleştirilmiştir. 4 tip kat planı esas alınarak kat adetleri ve perde elemanların yerleşim düzenleri ve sayıları değiştirilerek toplam 16 tip modelin burulma davranışı üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Dikkate alınan binalar perde duvar + çerçeve sistemlidir. ETABS programından yararlanılarak tasarım ve analiz yapılmıştır. Analizlerde kullanılmak üzere esas alınan 1999 Kocaeli depremi ivme kayıtları olup bu kayıtlar tüm binalara x ve y yönlerinde uygulanmıştır. Uygulanan analizler sonucunda periyot ve burulma düzensizliği katsayıları elde edilerek kat adedi değişimine etkisi irdelenmiştir. Periyot değerlerinin kat sayısının artışıyla arttığı gözlenmiştir. İncelenen yapılarda perde sayısının minimum olduğu Tip-1 binasında en yüksek periyot değerleri tespit edilmiştir. Tip-1, 3 katlı bina modelinde en yüksek burulma düzensizliği katsayıları, Tip-2, 7 katlı bina modelinde ise en düşük burulma düzensizliği katsayıları görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Betonarme yapılar, zaman tanım alanında analiz, ETABS, burulma davranışı, TBDY-2018

ABSTRACT

This study analyzes residential reinforced concrete buildings with different numbers of stories (3, 5, 7, and 9). A nonlinear time history analysis method was used based on the Turkish Building Earthquake Code (TBEC-2018). Based on four types of story plans, the number of stories and the layout number of shear wall elements were changed, and the effect of 16 models on torsional behaviour was examined. The buildings considered are a shear wall + frame system. ETABS program was used for design and analysis. The acceleration records of the 1999 Kocaeli earthquake were taken as the basis for the analysis, and these records were applied to all buildings in the x and y directions. As a result of the applied analyses, period and torsional irregularity coefficients were obtained, and their effect on the change in the number of stories was examined. It is observed that the period values increase with the increase in the number of storeys. The highest period values were found in the Type-1 building, where the number of shear walls was minimal. The highest torsional irregularity coefficients were observed in Type-1, 3-storey building model, and the lowest torsional irregularity coefficients were observed in Type-2, 7-storey building model.

Keywords: Reinforced concrete structures, time history analysis, ETABS, torsional behaviour, TBEC-2018

GİRİŞ

2023 yılı şubat ayında Pazarcık ve Elbistan ilçelerinde meydana gelen 7.8 Mw ve 7.5 Mw büyüklüklerindeki depremler, ciddi yıkımlara ve kayıplara neden olmuştur. Depremlerin ardından yapılan çalışmalarda betonarme binalarda perde elemanların işlevsel ve doğru kullanılmaması sonucunda yapıların yeterli rijitliğe sahip olmadığı ve bu yapıların ciddi hasarlar aldığı tespit edilmiştir (Taş vd., 2022; Tursun vd., 2023; Atar vd., 2024; İnce 2024; Özmen vd. 2024). Tasarımda ve uygulamada yapılan bu kusurlar nedeniyle Kahramanmaraş depremlerinde az katlı hatta çok katlı yapılarında yıkıldığı gözlemlenmiştir. Bu depremlerde oluşan burulma düzensizlikleri sonucunda oluşan kayıpları azaltmak, daha güvenli binalar inşa etmek için tasarım aşamasında bazı tedbirler alınması önem arz etmektedir.

Burulma etkisine maruz betonarme binalar ile ilgili çalışmalar araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Demir & Dönmez (2008) yaptıkları çalışmada çok katlı binalarda burulma düzensizliğine etki eden unsurları incelemek için farklı perde yerleşimleri olacak şekilde kat sayıları 6, 8, 10 ve 12 olan 6 farklı bina modeli tasarlamışlardır. Bu çalışma sonucunda simetrik binalar için burulma düzensizliği katsayısının değerlerinin 1.20'den daha düşük olduğu görülürken, simetrik olmayan yapılarda 2.00'ye yakın değerlere ulaştığı gözlenmiştir. Uçar & Merter (2009) çalışmalarında perde yerleşim düzenlerini değiştirerek deprem performansına etkisini irdelemişlerdir. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-2007 (DBYYHY-2007) esas alınarak eşdeğer deprem yükü yöntemi ile performans analizlerini yapmışlardır. Bu amaç doğrultusunda, SAP2000 programı kullanılarak 8 katlı 2 tip yapı modelinde perdeler yapının iç ve dış akslarına koyulacak şekilde tasarlanmıştır. Yapılan çalışma neticesinde yapıda dış akslara perde konulmasının burulma rijitliğini artırdığı belirlenmiştir. Derdiman & Mirkelam (2011) çalışmalarında 10, 15 ve 20 kat adedine sahip binaları modelleyerek zaman tanım alanında analiz yöntemi ile farklı deprem kayıtları altında analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Planda düzensiz binalarda burulmanın yapı davranışına etkisini belirlemek için viskoz sönümleyici kullanılmıştır. 10, 15 ve 20 katlı binaları modelleyerek zaman tanım alanında analizlerini yapmışlardır. Sonuçları değerlendirerek viskoz sönümleyici kullanımının düzensizlik nedeni burulma olumsuzluklarını azalttığını tespit etmişlerdir. Sağlıyan vd. (2012) çalışmalarında çok katlı sürekli tablalı kirişsiz döşemeli ve kirişli döşemeli yapıları ele alarak burulma davranışını nasıl etkilediğini incelemişlerdir. Yapılan analizler sonucunda sürekli tablalı kirişsiz döşemeli binaların burulma düzensizliğinden daha fazla etkilendiği saptanmıştır. Baral & Yajdani (2015) yapmış oldukları çalışmada perde yerleşim yerleri farklı kat sayısı 10 olan 5 tip binayı ele almışlardır. Hindistan Standardı IS-1893 (2002) dikkate alınarak ETABS programı ile eşdeğer statik ve tepki spektrum yöntemleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Perde konumunun deprem davranışına etkisi irdelenmiştir. Uygulanan analiz sonuçlarına göre kütle katılım oranı, yer değiştirme, kat ötelemesi ve periyotlar elde edilerek mukayese edilmiştir. Betonarme perde duvarların köşelere yerleştirildiği durumda kat ötelemesi ve yer değiştirme değerlerinin en iyi neticeler verdiği sonucuna varılmıştır. Mallika & Nagesh (2016) çalışmalarında seçtiği farklı perde yerleşimine sahip T şeklindeki 20 katlı betonarme binaya ETABS programından yararlanılarak eşdeğer statik kuvvet yöntemini uygulamışlardır. Çalışmada IS-1893 (2002)'e göre yapının taban kesme kuvveti, kat yer değiştirmeleri ve periyot değerleri iki farklı zemin sınıfı ve deprem bölgesi için elde edilerek incelenmiştir. İncelemeler sonucunda yapıda deprem bölgesinin ikisinde de perdelerin köşelerde yer aldığı sert zemin sınıfı için minimum yer değiştirme değerleri gözlenirken, yumuşak zemin sınıfında taban kesme kuvveti değerlerinde önemli bir artma elde edilmiştir. Erdem (2016) çalışmasında betonarme binalarda burulma düzensizliğinin meydana gelmediği ve gelebileceği farklı rijitliklere sahip sekiz taşıyıcı sistemi İdeCAD programı ile tasarlamıştır. Farklı kolon boyutları kullanılarak çözümler yapılmıştır. Taşıyıcı sistem tercihinden kaynaklı A1 ve B2 düzensizlikleri oluşmuştur. Komşu katlar arası rijitlik düzensizliğinin burulma düzensizliğine çok fazla etki etmediği tespit edilmiştir. Kolonların konumlarına göre yapıda burulmaların görüleceği sonucuna ulaşılmıştır. Yapının rijitliğine bağlı olarak periyot değerlerinin farklılaşacağı gözlenmiştir. Işık & Öztürk (2017) çalışmalarında, farklı kat yükseklikleri ve kat adedine sahip betonarme yapıların deprem performansları analiz edilmiş, kat yüksekliğinin yapı taban kesme kuvveti, tepe yer değiştirme ve periyot değerleri üzerindeki etkileri incelenerek ideal kat yüksekliği için öneriler sunulmuştur. Hussain & Tengli (2018) yaptıkları çalışmada simetrik olmayan yapılarda burulma davranışının etkilerini değerlendirmişlerdir. 14 katlı bina modellerinin tasarımı düzenli ve düzensiz olarak yapılmıştır. Çözümler IS 1893:2002 (Bölüm 1)'e göre tepki spektrum yöntemi kullanılarak ETABS programı ile elde edilmiştir ve sonuçlar mukayese edilmiştir. Düzensiz binada burulma kaynaklı kolonlardaki kesme kuvvetlerinde önemli bir artış gözlenmiştir. Deprem etkisinin fazla olduğu bölgelerde düzensiz binalarda kat ötelemesi ve yer değiştirmeler daha büyük değerler verdiği için hasarların daha fazla olduğu gözlenmiştir. Kaya & Özbay (2019) çalışmalarında perdeleri farklı boyut ve konumlarda olan 10 farklı tip yapının deprem analizlerini yapmışlardır. Analizler sonucunda periyot değerleri, taban kesme kuvvetleri, kat yer değiştirmeleri ve görelî kat ötelemeleri için kıyaslamalar yapılmıştır. Perdelerin yapının yatay rijitliğini ve taban kesme kuvvetini artırdığını yapının periyodunu ise azalttığını

saptamışlardır. Döker (2020) çalışmasında taban yalıtımlı yapılarda burulma düzensizliğinin deprem davranışına etkisini belirlemeyi hedeflemiştir. Bu amaçla incelenen yapı simetrik hale getirilmiş ve karşılaştırmalar farklı zemin profilleri için yapılmıştır. Taban yalıtımlı sistemlerin burulmanın etkilerini artırdığını tespit etmiştir. Çetin vd. (2020) yaptıkları çalışmada farklı perde kombinasyonları ve farklı yapı geometrisi olan 5 tip yapının, farklı yerel zemin sınıfları seçerek burulma düzensizliğini nasıl etkilediğini incelemiştir. Deprem hesabı için mod birleştirme yöntemi ve eşdeğer deprem yükü yöntemini seçmişlerdir. Elde edilen analiz sonuçları güncel ve önceki Türk deprem yönetmeliklerine göre kıyaslanmıştır. Düzenli yapılardaki burulma düzensizliği katsayısının düzenli yapılarda TBDY-2018'de TDY-2007'e göre azaldığı sonucuna varılmıştır. Düzensiz yapılarda ise bu katsayıda önemli bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Haskılıç (2022) tez çalışmasında kirişsiz döşeme sistemli yapıları yeni yönetmeliğe göre ETABS programı ile modellemiştir. Perde oranı ve uzunlukları değiştirilerek 48 model oluşturulmuştur ve analizler uygulanmıştır. Uygulanan analizler neticesinde kesme kuvvetleri, deplasmanlar ve periyot değerleri elde edilerek karşılaştırılmıştır. Mohammed (2023) yaptığı tez çalışmasında ETABS programını kullanarak 16 modelin tasarımını perde duvarların yerlerini değiştirerek yapmıştır. TBDY-2018 ve Amerikan yönetmeliği ASCE 7-16 analizler uygulanırken kullanılmıştır. Burulma düzensizliği her iki yönetmelikte de kontrol edilerek elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır.

Bu çalışmada, betonarme yapılarda kat sayısı ve perde yerleşim düzenlerinin burulma davranışı üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Literatürde genellikle yalnızca kat sayısına veya perde yerleşimine odaklanan sınırlı sayıda modelleme çalışması mevcut olup, bu çalışmada dört farklı kat planı ve kat sayısı temel alınarak toplam 16 model üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. 1999 Kocaeli Depremi'ne ait ölçeklendirilmiş ivme kayıtları ile gerçekleştirilen analizler, yerel koşulları ve güncel yönetmelik gerekliliklerini dikkate alarak özgün bir yaklaşım sunmuştur. Çalışmada burulma modunun ilk modlarda ortaya çıkmasının yapı güvenliği üzerindeki olumsuz etkileri detaylı bir şekilde ele alınmış ve simetrik perde yerleşim düzeninin burulma düzensizliğini azaltmadaki kritik rolü vurgulanmıştır. Farklı kat adedine sahip yapılar (3, 5, 7 ve 9 katlı) arasındaki burulma davranışları üzerindeki etkisi analiz edilmiş ve tasarım sürecinde rijitlik merkezi ile kütle merkezi uyumunun sağlanmasının gerekliliği somut önerilerle vurgulanmıştır.

İZLENEN YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018 (TBDY-2018)'e göre toplam 16 farklı tip modelden oluşan 4 farklı kat planı incelenmiştir. Bu modeller, kat sayıları farklı olan (3, 5, 7 ve 9) konut tipi betonarme binaları içermektedir. Kolon ve kiriş elemanları, çubuk sonlu eleman olarak modellenmiştir. Tasarım ve analizler, ETABS sonlu elemanlar programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İlgili yönetmelik kapsamında, kat adedi, perde sayısı ve yerleşim düzenleri değiştirilerek burulma davranışına olan etkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. 16 farklı tip binanın güncel dinamik analizleri yönetmelikte belirtilen, zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bu modellerin uygulanması için ETABS programı kullanılmıştır. Deprem ivme kayıtlarının seçimi, AFAD veri tabanı (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2023) dikkate alınarak yapılmıştır ve ölçeklendirme işlemi TBDY-2018 tasarım spektrumuna uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

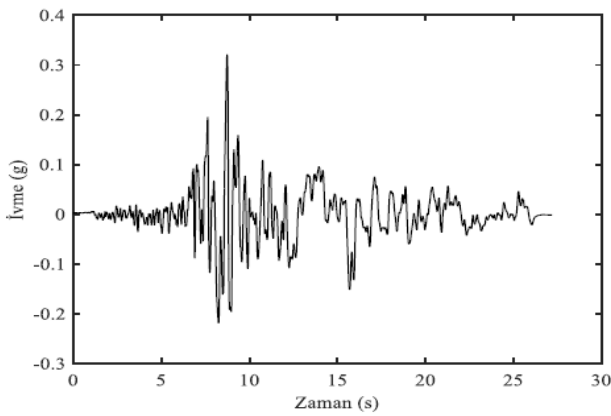
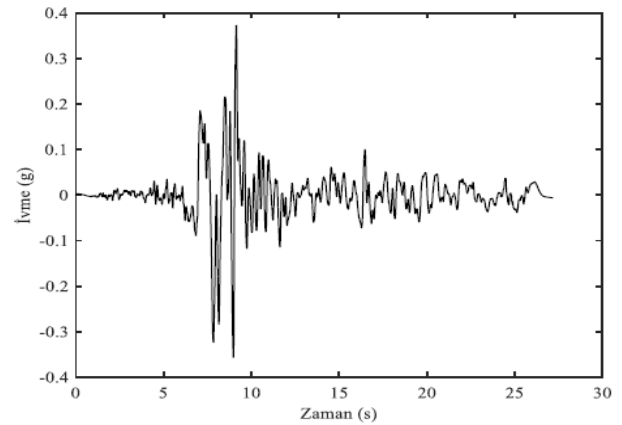
SAYISAL ÇALIŞMA

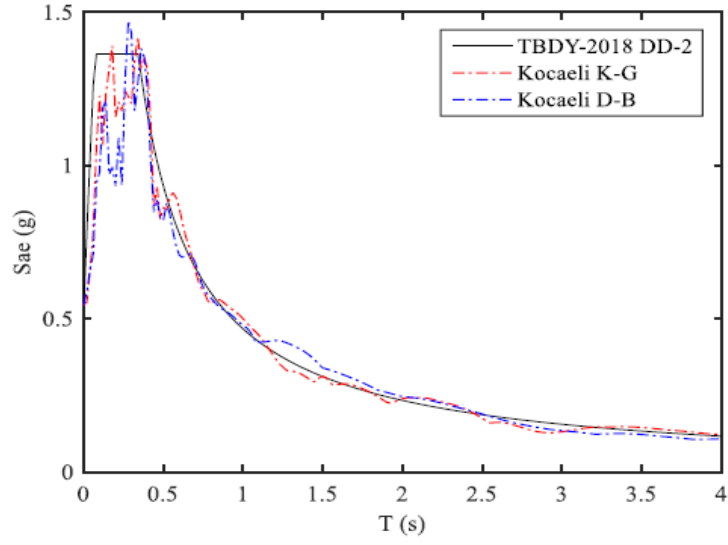
Bu çalışmada güncel yönetmelik dikkate alınarak deprem etkisi altındaki betonarme yapıların kat adetleri ve perdelerin plandaki konumları değiştirilerek bu parametrelerin burulma davranışını nasıl etkilediğini araştırmak amaçlanmıştır. Perde elemanlar planda düzensiz konumlandırılırsa kütle ve rijitlik merkezinin çakışmasını engellemektedir. Dış merkezlik kütle ve rijitlik merkezi arasında oluşmakta ve yapıda deprem yönüne bağlı kalınarak ötelenme meydana gelmekte, rijitlik merkezi çevresinde burulma kaynaklı dönme hareketi olmaktadır. Bu olay yapıda burulmaya sebep olmaktadır. Bu çalışmada, kat adetleri 3, 5, 7 ve 9 olan farklı perde kombinasyonlarının olduğu toplam 16 tip model ETABS sonlu elemanlar programı ile tasarlanmıştır. Bütün modellerde normal kat ve zemin kat yükseklikleri sırasıyla 2.8 m ve 5 m olarak seçilmiştir. İncelenen binalarda kat planları x ve y doğrultuları için 3 açıklıklı ve tasarımları simetriktir. Tasarımı yapılan binaların plandaki boyutları 18 m x 18 m, aks aralıkları her iki doğrultuda 6 m olarak ele alınmıştır. Toplam bina taban alanları 324 m² dir. Modellerin tamamında kolonlar 0.55 m x 0.55 m, kirişler ise 0.25 m x 0.50 m, perdelerin kalınlığı 0.25 m olarak dikkate alınmıştır. Katların tamamına rijit diyafram ataması yapılmıştır. Döşeme kalınlıkları 0.15 m kabul edilmiştir. Kesitlerin tümü için beton sınıfı C30, donatı çeliği ise B420C, yerel zemin sınıfı ZC esas alınmıştır. Deprem tasarım sınıfı (DTS) 1 olarak dikkate alınmıştır. Tablo 1'de incelenen bina modellerinin özellikleri özetlenmiştir. Betonarme binalar TBDY-2018 deprem yönetmeliğine göre zaman tanım alanında analiz yöntemine tabi tutulmuşlardır. Analizler, 1999 Kocaeli Depremi'nin doğu-batı ve kuzey-güney doğrultularındaki ivme kayıtları kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 1-2).

Bu çalışmada, analiz edilen model sayısının fazlalığı ve kapsamlı veri setleriyle çalışmanın gerektirdiği yüksek zaman ve hesaplama gücü nedeniyle, Kocaeli Depremi'nin kuzey-güney ve doğu-batı doğrultularına ait iki temsil gücü yüksek ivme kaydı tercih edilmiştir. Bu yaklaşım, hem kaynakların verimli kullanılması hem de analiz sürelerinin makul seviyede tutulması açısından uygun görülmüş; seçilen kayıtların, yapıların burulma davranışını değerlendirmek için yeterli temsiliyeti sağladığı düşünülmüştür. Bu bağlamda, 1999 Kocaeli Depremi'ne ait Düzce İvme İstasyonu'ndan kaydedilen deprem verileri kullanılmıştır. Şekil 3'te tasarım spektrumu ve ölçeklendirme işlemi yapılmış ivme kayıtlarının tepki spektrumları verilmiştir. Doğrusal olmayan zaman tanım alanında gerçekleştirilen analizlerde kullanılan deprem kayıtları, Türk Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY-2018) esaslarına uygun olarak ölçeklendirilmiştir. Tip-1, Tip-2, Tip-3 ve Tip-4 kalıp planları sırasıyla Şekil 4-7'de verilmiştir. Tip-1, Tip-2, Tip-3 ve Tip-4'e ait 3, 5, 7 ve 9 katlı binaların ilk üç mod şekli ve periyot değerleri sırasıyla Tablo 2-5'te verilmiştir. Şekil 8-11'de ise bu 4 farklı tip yapının periyot değerlerinin binaların kat adetlerine göre değişimi verilmiştir.

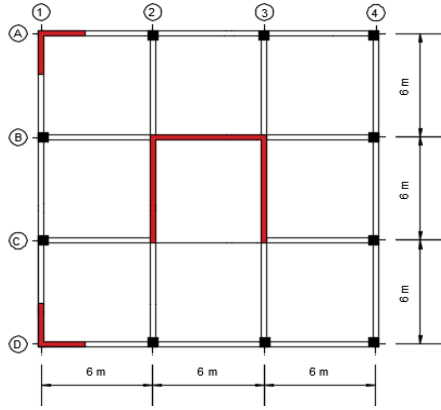
Tablo 1. İncelenen Bina Modellerinin Özellikleri

Binaların kat sayıları	3, 5, 7 ve 9
Binanın boyutları	18 m * 18 m
Normal kat yüksekliği	2.8 m
Zemin kat yüksekliği	5 m
Döşeme kalınlığı	0.15 m
Perde kalınlığı	0.25 m
Beton sınıfı	C30
Donatı sınıfı	B420C
Kolon boyutları	0.55 m * 0.55 m
Kiriş boyutu	0.25 m * 0.50 m
Zemin sınıfı	ZC
S_{DS}	1.0
S_{D1}	0.35

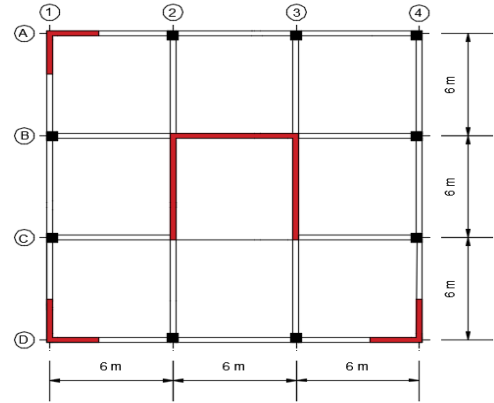
**Şekil 1.** Kocaeli Depremi Kuzey-güney Doğrultusu İvme Kaydı (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2023)**Şekil 2.** Kocaeli Depremi Doğru-batı Doğrultusu İvme Kaydı (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2023)



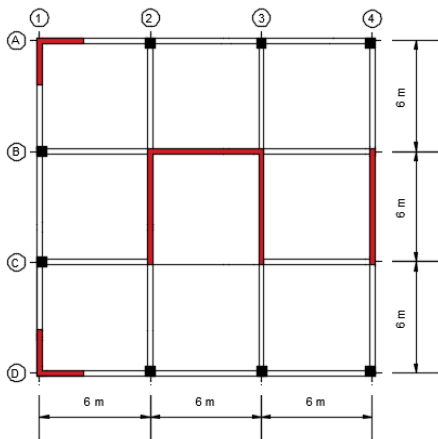
Şekil 3. Tasarım Spektrumu ve Ölçeklendirme İşlemi Yapılmış Deprem İvme Kayıtlarının Tepki Spektrumları



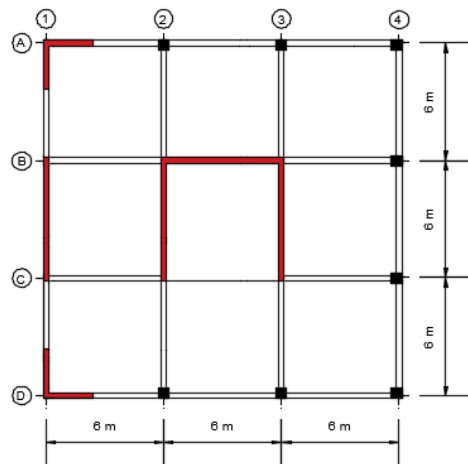
Şekil 4. Tip-1 Planı



Şekil 5. Tip-2 Planı

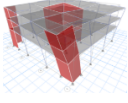
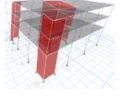
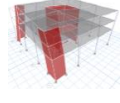
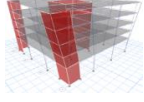
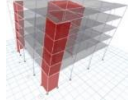
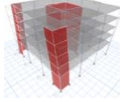
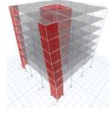
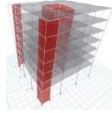
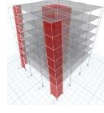
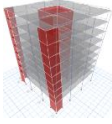
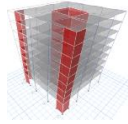
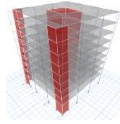


Şekil 6. Tip-3 Planı

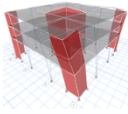
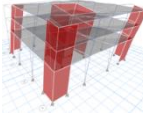
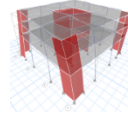
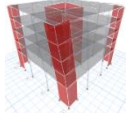
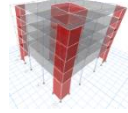
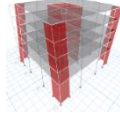
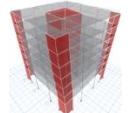
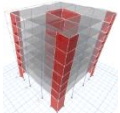
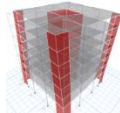
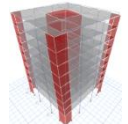
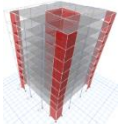
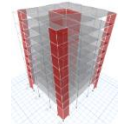


Şekil 7. Tip-4 Planı

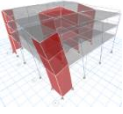
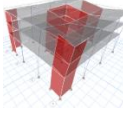
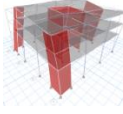
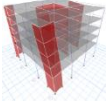
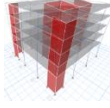
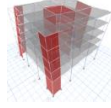
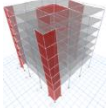
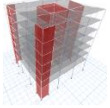
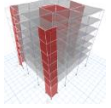
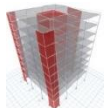
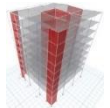
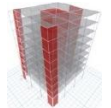
Tablo 2. Tip-1'e ait 3,5,7 ve 9 Katlı Binaların İlk Üç Mod Şekli ve Periyot Değerleri

Kat Plan Tipi	Kat Adedi	Mod 1	Mod 2	Mod 3
Tip-1	3	 $T_b = 0.251$ s (burulma)	 $T_y = 0.173$ s (y)	 $T_b = 0.15$ s (burulma)
Tip-1	5	 $T_b = 0.449$ s (burulma)	 $T_y = 0.319$ s (y)	 $T_b = 0.266$ s (burulma)
Tip-1	7	 $T_b = 0.668$ s (burulma)	 $T_y = 0.495$ s (y)	 $T_b = 0.404$ s (burulma)
Tip-1	9	 $T_b = 0.903$ s (burulma)	 $T_y = 0.692$ s (y)	 $T_b = 0.558$ s (burulma)

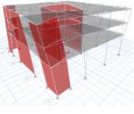
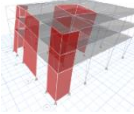
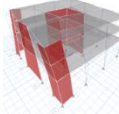
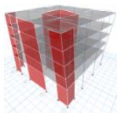
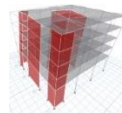
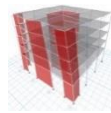
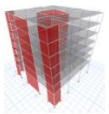
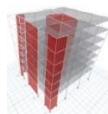
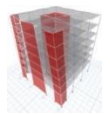
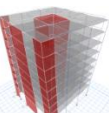
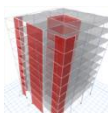
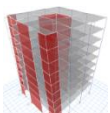
Tablo 3. Tip-2'ye ait 3,5,7 ve 9 Katlı Binaların İlk Üç Mod Şekli ve Periyot Değerleri

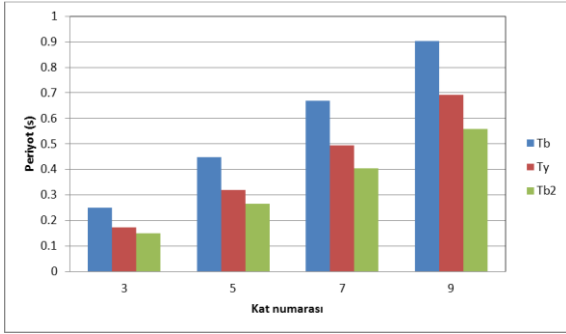
Kat Plan Tipi	Kat Adedi	Mod 1	Mod 2	Mod 3
Tip-2	3	 $T_x = 0.197$ s (x)	 $T_y = 0.167$ s (y)	 $T_b = 0.149$ s (burulma)
Tip-2	5	 $T_x = 0.358$ s (x)	 $T_y = 0.311$ s (y)	 $T_b = 0.265$ s (burulma)
Tip-2	7	 $T_x = 0.539$ s (x)	 $T_y = 0.484$ s (y)	 $T_b = 0.4$ s (burulma)
Tip-2	9	 $T_x = 0.735$ s (x)	 $T_y = 0.676$ s (y)	 $T_b = 0.552$ s (burulma)

Tablo 4. Tip-3'e ait 3,5,7 ve 9 Katlı Binaların İlk Üç Mod Şekli ve Periyot Değerleri

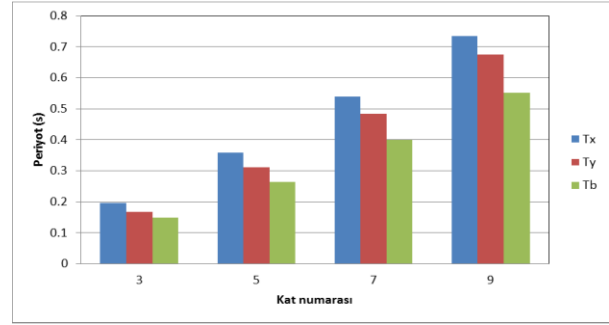
Kat Plan Tipi	Kat Adedi	Mod 1	Mod 2	Mod 3
Tip-3	3	 $T_x = 0.217$ s (x)	 $T_y = 0.154$ s (y)	 $T_b = 0.146$ s (burulma)
Tip-3	5	 $T_x = 0.393$ s (x)	 $T_y = 0.292$ s (y)	 $T_b = 0.259$ s (burulma)
Tip-3	7	 $T_x = 0.591$ s (x)	 $T_y = 0.461$ s (y)	 $T_b = 0.393$ s (burulma)
Tip-3	9	 $T_x = 0.809$ s (x)	 $T_y = 0.655$ s (y)	 $T_b = 0.547$ s (burulma)

Tablo 5. Tip-4'e ait 3,5,7 ve 9 Katlı Binaların İlk Üç Mod Şekli ve Periyot Değerleri

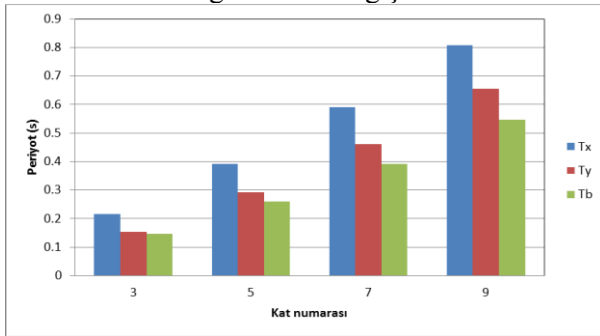
Kat Plan Tipi	Kat Adedi	Mod 1	Mod 2	Mod 3
Tip-4	3	 $T_b = 0.241$ s (burulma)	 $T_x = 0.168$ s (x)	 $T_b = 0.128$ s (burulma)
Tip-4	5	 $T_b = 0.433$ s (burulma)	 $T_x = 0.302$ s (x)	 $T_b = 0.23$ s (burulma)
Tip-4	7	 $T_b = 0.65$ s (burulma)	 $T_x = 0.461$ s (x)	 $T_b = 0.348$ s (burulma)
Tip-4	9	 $T_b = 0.884$ s (burulma)	 $T_x = 0.643$ s (x)	 $T_b = 0.478$ s (burulma)



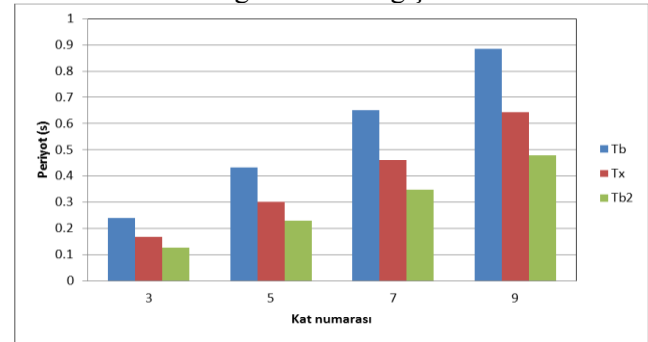
Şekil 8. Tip-1 Binasında Katlara Göre Periyot Değerlerinin Değişimi



Şekil 9. Tip-2 Binasında Katlara Göre Periyot Değerlerinin Değişimi



Şekil 10. Tip-3 Binasında Katlara Göre Periyot Değerlerinin Değişimi



Şekil 11. Tip-4 Binasında Katlara Göre Periyot Değerlerinin Değişimi

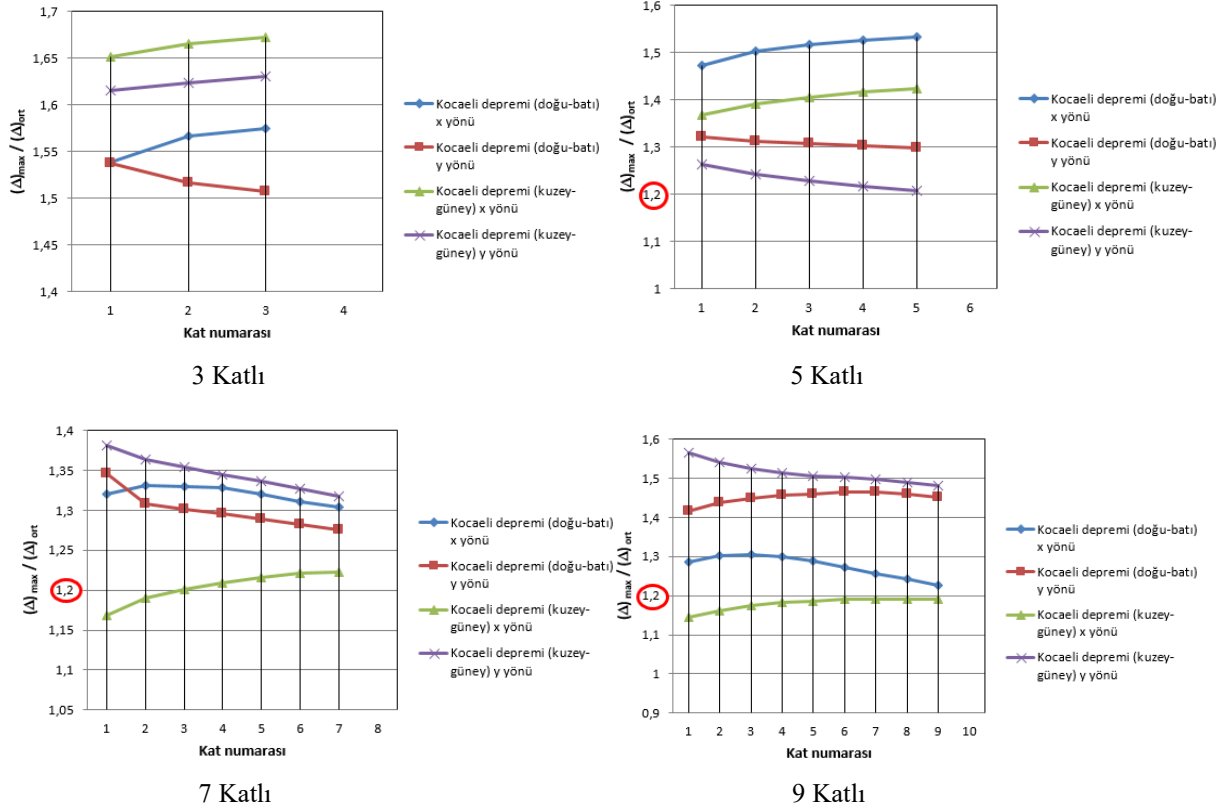
Kat sayılarının farklı olduğu 4 tip modelde ulaşılan periyot değerleri irdelendiğinde kat adedinin artışıyla birlikte periyot değerlerinde artış meydana gelmiştir. Tip-1, 9 katlı binada en büyük periyot değeri gözlenmiştir. Kat sayıları farklı olan betonarme binalarda perdelerin planda farklı yerleşiminin burulma düzensizliğini nasıl etkilediği irdelenerek yönetmelikte ifade edilen değerle kıyaslanmıştır. Tasarımı yapılan modellerin burulma düzensizliği katsayılarındaki değişimi incelemek amacıyla Kocaeli depreminin ivme kayıtları kullanılmıştır. İkinci bir parametre olarak burulma modunun ilk modlarda ortaya çıkması istenilmemektedir. Tip-1 ve Tip-4 modellerde 1. ve 3. modun burulma modu, Tip-2 ve Tip-3'te ise 3. modun burulma modu olduğu belirlenmiştir. Burulma modunun ilk modlarda çıkması binaların burulma davranışını ortaya koymak açısından önemli bir parametredir. TBDY-2018'de yüksek yapılar için verilen taşıyıcı sistemin hâkim burulma modu periyodunun hâkim öteleme modunun periyodundan daha uzun olmaması koşulu sağlanmalıdır (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).

Bu çalışmada, farklı bina modelleri üzerinde yapılan analizlerde, Kocaeli depremi doğu-batı ve kuzey-güney doğrultularındaki ivme kayıtlarının etkileri detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Analizler, tüm bina tiplerinde burulma düzensizliği katsayılarının (η_{bi}), TBDY-2018 yönetmeliğinde belirtilen 1.2 sınır değerini çoğu durumda aştığını ortaya koymuştur. Doğru-batı doğrultusundaki ivme kayıtları, çoğunlukla her iki yön için sınır değerlerin üzerinde bulunmuş, kuzey-güney doğrultusundaki ivme kayıtları ise özellikle y yönünde yüksek değerler göstermiştir. Bu durum, burulma düzensizliğinin, incelenen bina modellerinin yapısal özelliklerine ve doğrultulara bağlı olarak değişiklik gösterdiğini ortaya koymaktadır.

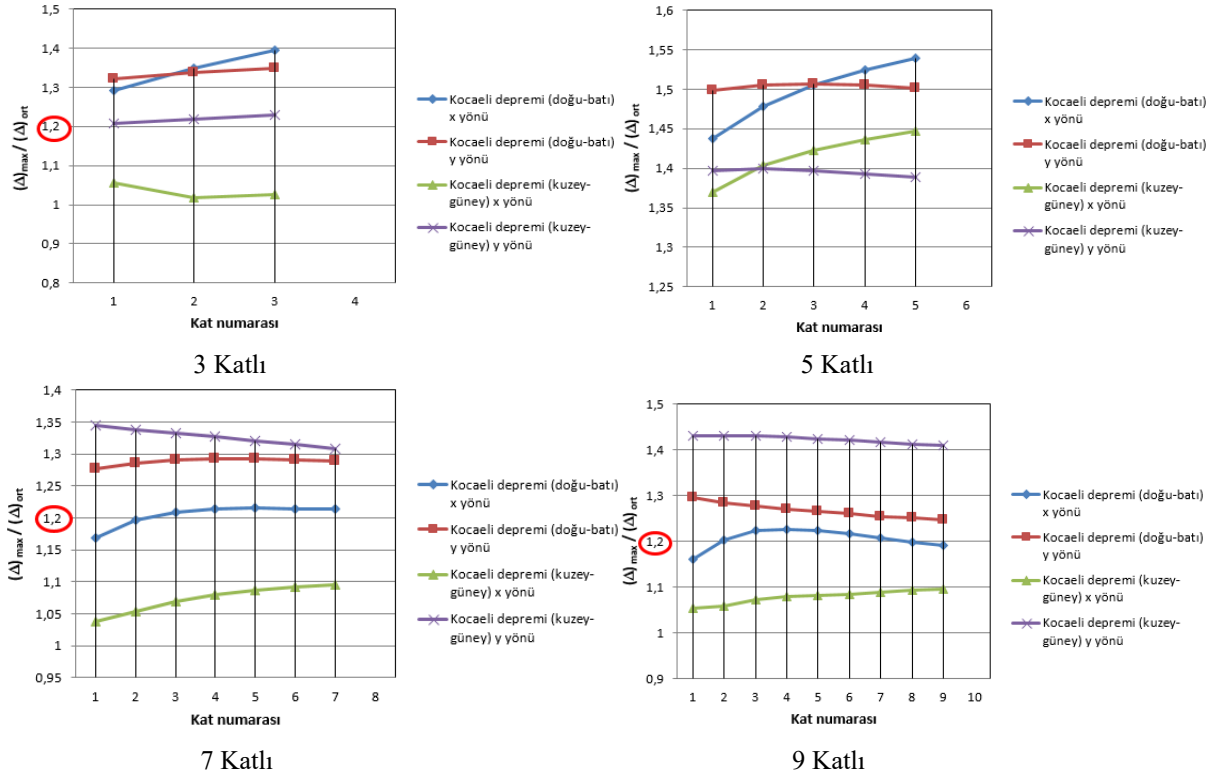
Düşük katlı bina modellerinde burulma düzensizlikleri genellikle tüm katlarda görülürken, yüksek katlı binalarda bu düzensizlikler belirli katlarla sınırlı kalmıştır. Üç ve beş katlı modellerde η_{bi} değerleri tüm katlarda 1.2 sınırını aşarken, yedi ve dokuz katlı modellerde bazı alt veya üst katlarda bu sınırın altında kalmıştır. Özellikle kuzey-güney doğrultusundaki ivme kayıtlarının x yönü için alt katlarda düzensizlik oluşmazken, diğer katlarda sınır değerlerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Doğu-batı doğrultusundaki ivme kayıtlarının x ve y yönlerinde, yüksek katlı modellerde bile η_{bi} değerlerinin 1.2'yi sıklıkla aştığı görülmektedir. Bu durum, bu doğrultunun binalardaki yapısal düzensizliklere daha fazla etki ettiğini göstermektedir. Öte yandan, kuzey-güney doğrultusunda y yönünde kaydedilen ivme etkilerinin ise çoğu durumda sınır değerleri aşarak binalarda önemli bir burulma etkisi oluşturduğu belirlenmiştir. Bu bulgular, farklı bina

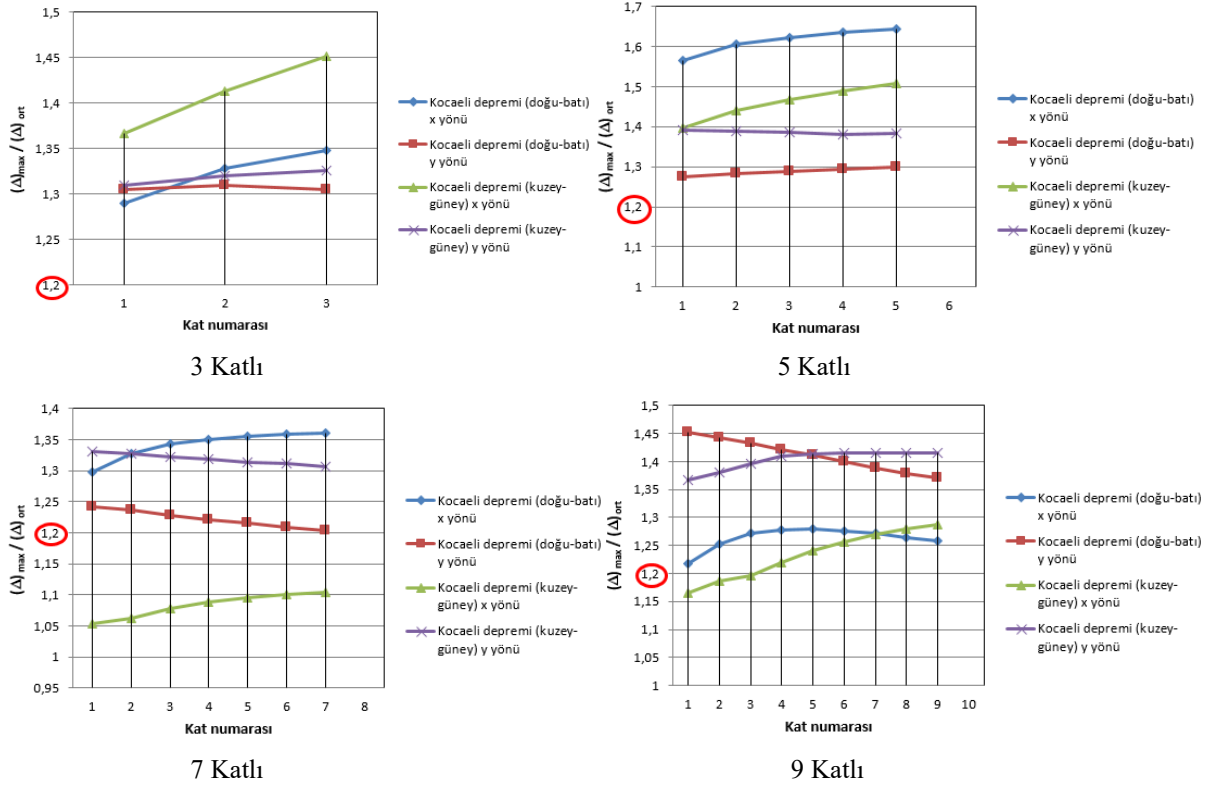
modelleri için doğrultu ve yükseklik değişkenlerinin etkisinin göz ardı edilmemesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Sonuçlar, burulma düzensizliğinin düzenli bir örüntü sergilediğini, ancak kat yükseklikleri ve doğrultular arasında farklılıklar olduğunu göstermektedir. η_{bi} değerlerine ait grafikler Şekil (12-15)'te sunulmuştur.



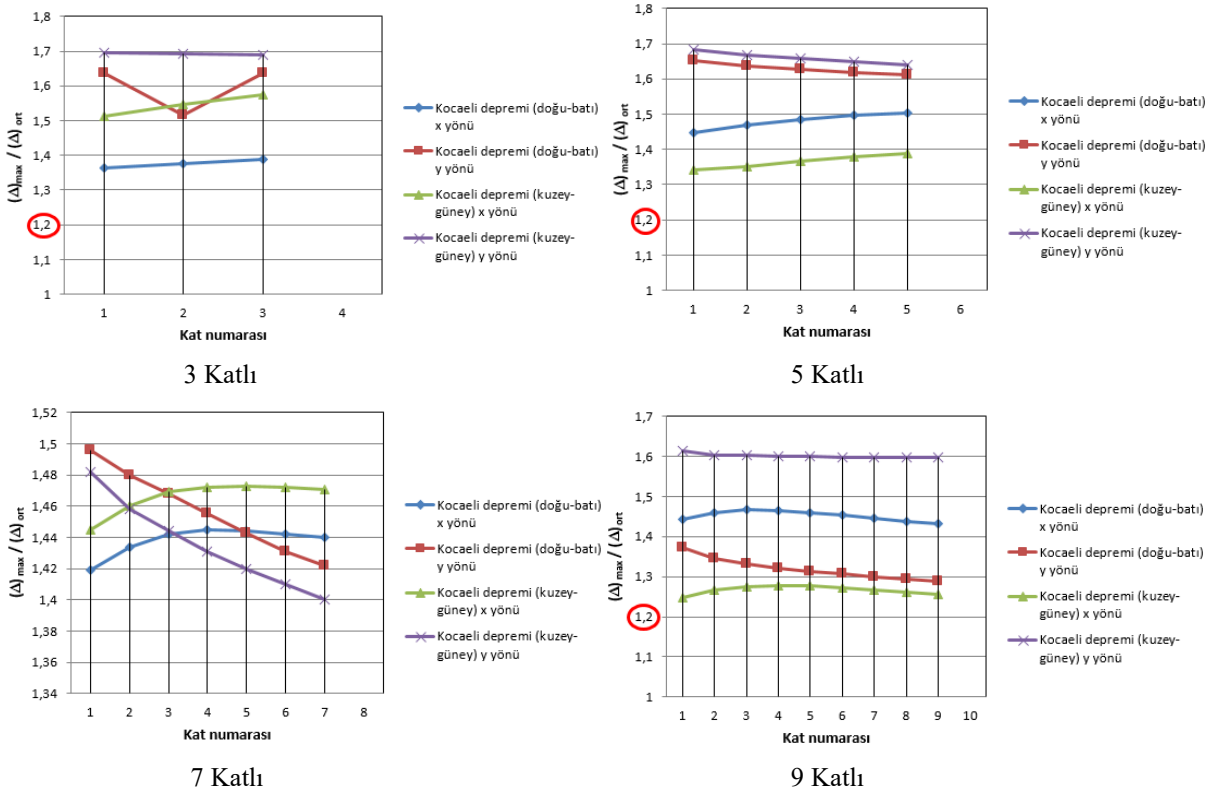
Şekil 12. Tip-1, 3,5,7 ve 9 Katlı Bina Modelleri İçin Elde Edilen η_{bi} Değerleri



Şekil 13. Tip-2, 3,5,7 ve 9 Katlı Bina Modelleri İçin Elde Edilen η_{bi} Değerleri



Şekil 14. Tip-3, 3,5,7 ve 9 Katlı Bina Modelleri İçin Elde Edilen η_{bi} Değerleri



Şekil 15. Tip-4, 3,5,7 ve 9 Katlı Bina Modelleri İçin Elde Edilen η_{bi} Değerleri

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, farklı kat sayılarına ve perde konumlarına sahip betonarme binaların burulma davranışları TBDY-2018 yönetmeliği kapsamında incelenmiştir. Bu amaçla, 3, 5, 7 ve 9 katlı betonarme binaların 4 farklı kat planı üzerinden perde konumları değiştirilerek toplam 16 model oluşturulmuş ve dinamik analizleri doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yöntemi ile yapılmıştır. Analizlerde 1999 Kocaeli depremine ait ivme kayıtları kullanılarak periyot değerleri ve burulma düzensizliği katsayıları hesaplanmıştır. Çalışmanın bulguları ve önerileri aşağıda sunulmuştur:

- Bina tipleri ve perde yerleşim düzenleri burulma davranışını doğrudan etkilemiştir. Perdelerin rijitlik ve kütle merkeziyle olan uyumsuzluğu, burulma düzensizliği katsayısını artırmaktadır.
- Özellikle Tip-1 ve Tip-4 binalarında burulma modunun ilk modlarda olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, rijitlik dağılımındaki dengesizliklerin bir sonucu olarak değerlendirilebilir.
- Kat sayısının artmasıyla periyot değerlerinde artış gözlenmiş, ancak burulma düzensizliği katsayıları genellikle düşüş eğilimi göstermiştir. Bu durum, perde yerleşim geometrisinin az katlı yapılarda daha kritik bir rol oynadığını göstermektedir.
- Kocaeli depremi ivme kayıtlarına dayalı analizler, maksimum burulma düzensizliğinin deprem yönüne ve perde konumlarına bağlı olarak değişiklik gösterdiğini ortaya koymuştur. Y yönündeki burulma düzensizlikleri üst katlarda azalma eğilimi gösterirken, x yönünde artış eğilimi tespit edilmiştir.
- Perdelerin rijitlik merkezine yakın ve simetrik olarak yerleştirilmesi, burulma davranışını olumlu etkilemiştir. Tip-2 binasının daha düşük burulma düzensizliği katsayılarına sahip olması, bu yerleşim düzeninin önemini vurgulamaktadır.
- Az katlı binalarda maksimum burulma genellikle üst katlarda, yüksek katlı binalarda ise alt katlarda yoğunlaşmıştır. Bu durum, bina yüksekliği ve perde yerleşim geometrisinin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Sonuçların analizinden elde edilen bulgular ışığında, burulma düzensizliğini azaltmaya ve yapı performansını iyileştirmeye yönelik tasarım ve uygulama stratejilerini içeren öneriler aşağıda sunulmuştur:

- Perdelerin iki yönlü simetrik ve rijitlik merkeziyle uyumlu şekilde yerleştirilmesi sağlanmalıdır.
- Yönetmelik kapsamında belirtilen burulma düzensizliği kriterlerine uygun olarak taşıyıcı sistem tasarımı yapılmalıdır. Burulma modunun ilk modlarda oluşmasının önlenmesi için rijitlik dağılımı optimize edilmelidir.
- Burulma düzensizliğini azaltmak için perde alanlarının az katlı yapılarda aşırı büyük seçilmemesi ve rijitlik dağılımının optimize edilmesi gerekmektedir.
- Doğrusal olmayan zaman tanım alanında yapılan analizlerin farklı ivme kayıtları ile tekrarlanarak burulma davranışı daha kapsamlı incelenebilir.

KAYNAKLAR

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Veri Tabanı. <https://deprem.afad.gov.tr/home-page/> Erişim tarihi: 2024.

Atar, M., İnce, O., Taş, Ö. F., Özmen, A., & Sayın, E. (2024). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrası Malatya ilinde bulunan betonarme binaların ve çelik yapıların hasar durumlarının incelenmesi. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 6(1), 60-80. <https://doi.org/10.46464/tdad.1394039>

Baral, A., & Yajdani, S. K. (2015). Seismic analysis of RC framed building for different position of shear wall. *International Journal of Innovative Research in Science. Engineering and Technology*, 4(5), 3346-3353. <https://doi.org/10.15680/IJRSET.2015.0405055>

Çetin, K., Demir, A., & Altıok, T. Y. (2020). 2007 ve 2018 Türk Deprem Yönetmeliklerine göre yerel zemin sınıflarının yapılardaki burulma düzensizliğine etkisi. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 282-290. <https://doi.org/10.36306/konjes.578184>

DBYBHY. (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Ankara: Bayındırlık ve İskân Bakanlığı.

- Demir, A., & Dönmez, D. (2008). Çok katlı yapılarda burulma düzensizliğine etki eden faktörler. C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 4(1), 31-36.
- Derdiman, M. K., & Mirkelam, Z. A. (2011). Planında asimetric betonarme yapıların deprem davranışının enerji sönmüleyicilerle iyileştirilmesi. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7(2), 15-30.
- Döker, A. T. (2020). Burulma düzensizliğine sahip taban izolasyonlu yapıların deprem davranışının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa 106s.
- Erdem, H. (2016). Burulma Düzensizliğinin Betonarme Yapı Davranışına Etkileri. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(1), 459-468. <https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.319360>
- ETABS Version 18.1.1, Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, 2020.
- Hussain, S. M., & Tengli, S. K. (2018). Study on torsional effects of irregular buildings under seismic loads. International Journal of Applied Engineering Research, 13(7), 55-60.
- Haskılıç, S. (2022). TBDY-2018'e göre kirişsiz döşeme sistemli betonarme yapıların deprem davranışının perde oranına göre incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya 143s.
- Işık, E., & Öztürk, G. (2017). Betonarme binalarda kat yüksekliğinin yapı performansına etkisi. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 7(1), 299-305.
- İnce, O. (2024). Structural damage assessment of reinforced concrete buildings in Adıyaman after Kahramanmaraş (Türkiye) Earthquakes on 6 February 2023. Engineering Failure Analysis, 156, 107799. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107799>
- Kaya, G., & Özsoy Özbay, A. E. (2019). Perde ve çerçevesiz betonarme yapılarda perde konumunun planda düzenlenmesi ve yapısal davranışa etkisi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(1), 7-17. <https://doi.org/10.21923/jesd.429880>
- Mallika, K., & Nagesh Kumar, G. (2016). Analysis of shear wall in high rise unsymmetrical building using ETABS. International Journal of Innovative Research in Science, 5(11), 19951-19960. <https://doi.org/10.15680/IJRSET.2016.0511056>
- Mohammed, B. H. (2023). Burulma düzensizliği bulunan binaların deprem performanslarının değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Diyarbakır 145s.
- Özmen, A., İnce, O., Taş, Ö. F., Atar, M., Özbulut, O. E., & Sayın, E. (2024). Seismic performance assessment of structures in Malatya Province after 6 February 2023 Turkey earthquake sequences. Natural Hazards, 1-34. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-07017-x>
- Sağlıyan, S., Yön, B., & Sayın, E. (2012). Burulma düzensizliğinin çok katlı sürekli tablalı kirişsiz ve kirişli döşemeli yapılara etkisinin incelenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 28(2), 73-87.
- Taş, Ö. F., Sayın, E., & Öncü, M. E. (2022). Yeni betonarme binalar için etkin kesit rijitlikleri ve statik itme analizleri. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 34(2), 505-516. <https://doi.org/10.35234/fumbd.1074221>
- TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- Tursun, D., Taş, Ö. F., & Sayın, E. (2023). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e (TBDY-2018) göre betonarme bir binanın perde elemanlarının hasar sınır bölgelerinin tespit edilmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 35(2), 581-595. <https://doi.org/10.35234/fumbd.1287311>
- Uçar, T., & Merter, O. (2009). Planda perde yerleşiminin betonarme perde-çerçevesiz binaların deprem davranışına etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 11(2), 11-18.