



Investigation of The Effect of Different Layouts of Reinforced Shear Walls On Building Behavior

Elif BORU^{1,*} ¹Sakarya University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Department of Civil Engineering, 54050, Serdivan/SAKARYA

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Research article
Received: 24.01.2022
Revision: 08.04.2022
Accepted: 15.04.2022

Highlights

- The effect of 6 different shear wall layouts on building behavior was investigated.
- Modal and equivalent seismic load analyzes were performed
- Comparisons were made taking into account the strength and stiffness parameters.

Keywords

Reinforced concrete
Shear Wall
Layout of shear walls
TBEC 2019
Interstory drift

In this study, the effect of different layouts of reinforced concrete shear walls on building behavior was investigated. The change in the behavior of the ten storey building was investigated by using six different shear wall layouts.

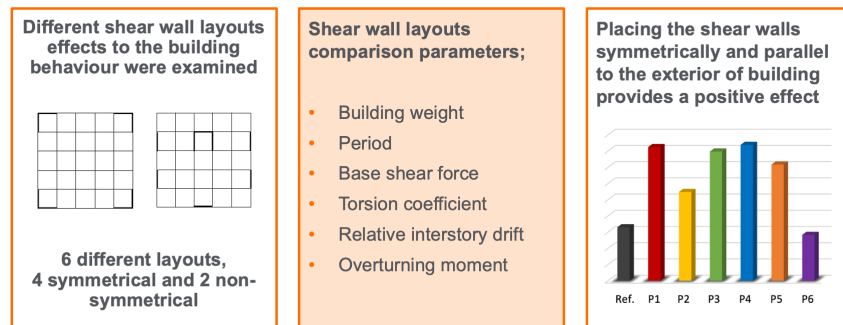


Figure A. General concept of study

Purpose: Considering the design and evaluation criteria of the Turkey Building Earthquake Code (TBDY) 2019, the effect of the different layout and geometry of the shear walls on the building behavior was investigated. In the study, six different building models with a 10-storey, 5-span structural system with shear walls were compared with the reinforced concrete frame system building model, taking into account the building weights, periods, base shear forces, torsion coefficients, interstory drifts and overturning moments.

Theory and Methods: The changes in the behavior of the building as a result of the shear wall layouts were decided by considering the parameters obtained by the modal and equivalent seismic load analysis.

Results: Frame system building was accepted as a reference in comparison. When the weight and period results are examined, the P1 model has a 4% higher weight than the reference building, and the P6 model has a 0.3% lower weight. Considering the periods, P2 building has the lowest period with 44% and P4 building has the highest period with 13%. When the base shear force results are examined, the highest base shear force was obtained with 130% in the P5 model. The highest torsion coefficient in the P1 model is 22% higher than the reference building. The highest decrease in the relative interstory drifts compared to the reference building was obtained in the P2 model with 67%. The highest overturning moment increase was in the P6 model (110%), and the lowest increase was in the P4 model (76%).

Conclusion: As a result of the study, is possible to say that placing the shear walls as symmetrically as possible in the plan and parallel to the exterior has a positive effect on the building behavior.



Investigation of The Effect of Different Layouts of Reinforced Shear Walls on Building Behavior

Elif BORU^{1,*} 

¹Sakarya University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Department of Civil Engineering, 54050, Serdivan/SAKARYA

Abstract

It is expected that the designed structures will behave at a certain level of performance under design loads. The effects of structural system properties on the behavior of the structure are quite high. For this reason, the arrangement of the structural system of the structures, the dimensioning and placement of the carrier elements greatly affect the behavior of the structure under the effect of earthquakes. With today's technology, it is not possible to predict the time of earthquakes before a certain period of time. However, it is possible to build earthquake-resistant structures. It is important for multi-storey reinforced concrete buildings to have sufficient rigidity and strength and to limit displacements under the influence of earthquakes. At this stage, the use of shear walls in building design is used as an alternative. The geometry of the shear walls in the carrier system and their position in the plan affect the behavior under earthquake loads. In this study, the effect of the geometry of reinforced concrete shears and their different layouts in the plan on the structural behavior was investigated. For this purpose, the results obtained from the modal and earthquake analysis of seven different buildings, whose structural system is reinforced concrete frame and shear wall frame, were compared. In the comparison, the weight, period, base shear force, torsion coefficient, relative interstory drift and overturning moment values of the buildings were taken into account. In the parameters examined, it is possible to say that placing the shear walls as symmetrically as possible in the plan and parallel to the exterior has a positive effect on the building behavior.

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 24.01.2022
Düzeltilme: 08.04.2022
Kabul: 15.04.2022

Keywords

Reinforced concrete
Shear Wall
Layout of shear walls
TBEC 2019
Interstory drift

Anahtar Kelimeler

Betonarme perde
Perde yerleşimi
TBDY 2019
Görel kat ötelemesi

Betonarme Perdelerin Planda Farklı Yerleşiminin Bina Davranışına Etkisinin İncelenmesi

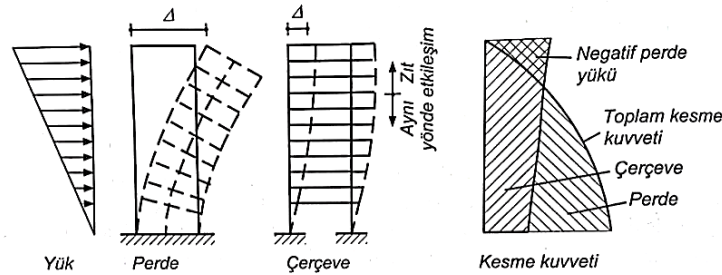
Öz

Tasarlanan yapıların etki eden yükler altında belli bir performans düzeyinde davranış göstermesi beklenir. Taşıyıcı sistem özelliklerinin yapı davranışı üzerinde etkisi oldukça fazladır. Bu sebeple yapıların taşıyıcı elemanlarının boyutlandırılması ve planda yerleşimi deprem etkisi altındaki yapı davranışını büyük ölçüde etkilemektedir. Günümüz teknolojisinde depremlerin zamanını belli bir süre öncesinde tahmin etmemiz mümkün değildir. Ancak depreme dayanıklı yapılar inşa etmek mümkündür. Deprem etkisi altında çok katlı betonarme binaların yeterli rijitlik ve dayanıma sahip olması, yer değiştirmelerin sınırlandırılması önem arz etmektedir. Bu aşamada bina tasarımında perde elemanların kullanılması bir alternatif olarak kullanılmaktadır. Perdelerin taşıyıcı sistemdeki geometrisi ve planda yerleşimi yatay yükler etkisindeki bina davranışını etkilemektedir. Bu çalışmada, betonarme perdelerin geometrisinin ve plandaki farklı yerleşiminin yapısal davranışa olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla taşıyıcı sistemi betonarme çerçeve ve perdeli çerçeve olan yedi farklı binanın modal ve deprem analizi yapılmış elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada binaların ağırlık, periyod, taban kesme kuvveti, burulma katsayısı, görel kat ötelemesi ve devrilme momenti değerleri dikkate alınmıştır. İncelenen parametrelerde perde elemanların planda olabildiğince simetrik ve dış cepheye paralel olacak şekilde yerleşirmenin bina davranışına olumlu etkisi olduğunu söylemek mümkündür.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ülkemiz aktif fay hatları üzerindedir ve nüfusun büyük çoğunluğu belirli periyodlarla deprem gerçeği ile yüz yüze gelmektedir. Deprem etkilerini en aza indirebilme hedefi depreme dayanıklı yapı tasarımının ülkemizdeki önemi arttırmaktadır. Bu tasarım mantığında ana hedef, bir yapının ömrü boyunca etkisi altında kalacağı dış yüklere karşı yeterli dayanımı gösterebilmesidir. Binaya tabandan etkileyen yer hareketleri karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu nedenle tasarıma esas olacak deprem etkilerini tahmin etmek oldukça zordur. Deprem etkisiyle oluşan yatay ve düşey kuvvetler yapı kütleleri ile doğru orantılı artmaktadır. Depremler, tasarımda ekstra kuvvet oluşturmak dışında deformasyon ve burulma etkisine de neden olmaktadır. Bir yapının depreme dayanıklı olabilmesi için ilk şart, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan sistem elemanlarının bir bütün olarak davranabilmesidir. Kolon ve perdeler düşey taşıyıcı elemanlar olmakla birlikte deprem etkisiyle meydana gelen yanıl ötelenmeyi sınırlandırmak için de kullanılır. Şiddetli deprem etkisinde çok katlı binalarda görel kat ötelemeleri önemli hasarlara neden olmaktadır. Yapıların deprem güvenliğini sağlamak amacıyla hemen hemen her ülkenin deprem yönetmeliğinde görel kat ötelemelerine sınırlamalar getirilmiştir. Özellikle yüksek katlı binalarda kolon elemanların tek başına görel kat ötelemelerini sınırlandırması mümkün değildir. Kolon elemanlarla beraber kullanılan perdeler görel kat ötelemelerinin sınırlandırılmasına önemli katkı sağlamaktadır. Perdelerin atalet momentleri uzun kenarları doğrultusunda daha büyük olduğu için, bu doğrultuda deprem veya rüzgârdan oluşan yatay yüklerin büyük çoğunluğunu rijitlikleriyle orantılı olacak şekilde taşır.

Taşıyıcı sistem yüksekliği arttıkça tasarımda perde kullanımının önemi de artmaktadır. Özellikle yüksek binalarda, perdelerin dayanım katkısının yanında yanıl ötelenmeyi sınırlandırması da tasarımda bir tercih sebebidir. Sistemin ani ve toptan yıkılmasına engel oldukları gibi, yapısal olmayan hasarları da sınırlandırmaktadır. Perde elemanlar çerçevelerle beraber kullanıldığında daha sünek sistemler tasarlanabilir. Eğilme momenti etkisi ile perde elemanlarda katlar arası en büyük yer değiştirme üst katlarda meydana gelirken, çerçevelerde, kat rijitliğine bağlı olarak yatay yer değiştirmeler kesme etkisinin en yüksek olduğu alt katlarda meydana gelir, üst katlara gidildikçe yer değiştirme miktarı azalmaktadır. İki farklı davranış gösteren çerçeve ve perde sistemler tasarım aşamasında birlikte kullanıldığında, elemanların birlikte çalışmasının sonucu olarak taşıyıcı sistemin yatay ötelenmesi hem kayma, hem de eğilme davranışı etkisi altında oluşur. Karma sistem olarak adlandırılan bu tasarım türünde binanın üst katlarındaki perde eğilmesi çerçeve sistem tarafından, çerçevelerin alt katlardaki kayma etkisi ise perdeler tarafından engellenmiş olur [1].



Şekil 1. Perde ve çerçevenin etkileşimi [1]

Binanın deprem performansında yetersizlik saptanması halinde ekonomik bir çözüm ise uygun bir teknikle güçlendirilmesi gerekir. Binaların taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarının güçlendirilmesi için literatürde birçok farklı yöntem kullanılmaktadır [2-16]. Perdelerin farklı bir kullanımı ise binaların güçlendirilmesi aşamasıdır. Yüksek rijitliğe sahip olmaları nedeniyle perde elemanlar taşıyıcı sistem davranışını büyük ölçüde etkilemektedir. Binaların performansını arttırmak için ilave perde eklemek taşıyıcı sistemi iyileştirme seçeneği olarak kullanılır.

Perde duvarların yatay etkiler altında etkin bir biçimde çalışabilmeleri, kat planı içindeki yerleşimleri ile doğrudan ilişkilidir. Literatürde, planda farklı perde yerleşimlerinin bina davranışına ve performansına olan etkisi üzerine yapılmış çalışmalar görmek mümkündür [17-26]. Çavdar, çalışmada mevcut bir okul binasının TBDY 2019'e göre yapısal düzensizliklerini incelemiş ve perde yerleşiminin bina düzensizlikleri üzerindeki etkisinden bahsetmiştir [27]. Bozdoğan ise çalışmada iki farklı perdeli çerçeve sistem

modeli kullanarak kayma ve rijitlik merkezinin bulunması için bir yaklaşım önermiştir. Elde ettiği sonuçları bilgisayar yazılımı ile karşılaştırmalı olarak sunmuştur [28]. Perdelerin binaların burulma davranışına olan etkisi göz ardı edilemeyecek seviyededir. Literatürde burulma düzensizliğine etki eden sebeplerin bulunması amacıyla yapılan çalışmalarda farklı yerleşim düzenlerine sahip perdeli çerçeveli sistemler kullanılmış ve perdelerin burulma düzensizliğine olan etkisi üzerine değerlendirmeler yapılmıştır [29-31].

Bu çalışmada, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2019 tasarım ve değerlendirme kriterleri göz önüne alınarak perdelerin plandaki farklı yerleşim ve geometrisinin bina davranışına olan etkisi araştırılmıştır. Literatürde önceki deprem yönetmeliklerindeki kriterler dikkate alınarak yapılmış, inceleme kapsamı daha az olan çalışmalar mevcuttur. Yapılan çalışmada bir çok farklı parametre üzerinden karşılaştırma yapılmıştır. Yeni deprem yönetmeliği kriterleri dikkate alınarak yapılan tasarım ve kullanılan karşılaştırma parametreleri çalışmaya özgünlük katmaktadır. Çalışmada 10 katlı, 5 açıklıklı taşıyıcı sistemi perdeli çerçeve sistem olan altı farklı bina modeli, betonarme çerçeveli bina modeli ile modal ve deprem analizi sonuçları dikkate alınarak karşılaştırılmıştır. Perdelerin bina davranışına olan katkıları detaylı bir şekilde sunulmuştur.

2. PERDE TASARIMINA AİT GENEL İLKELER (GENERAL PRINCIPLES OF SHEAR WALL DESIGN)

TBDY 2019’da planda uzun kenarının kalınlığına oranı minimum altı olan düşey taşıyıcı sistem elemanları perde olarak tanımlanmıştır. Betonarme perdelerde L, T, C, I veya U en kesitli olanların, her bir doğrultuda en az bir perde kolunun bu şartı sağlaması gerekliliği belirtilmiştir. Şartın sağlanmadığı durumda o doğrultuda taşıyıcı sistem elemanı perde olarak değerlendirilemez ibaresi yer almaktadır. Düşey bir taşıyıcı elemanın perde olarak kabul edilmesi için en güvenilir parametre perdenin deprem kuvvetleri altındaki moment diyagramına bakmaktır. Taşıyıcı elemanın moment diyagramının bir konsol davranışı gibi görünmesi, yani bina boyunca tabana doğru gittikçe artan bir grafik sergilemesi o taşıyıcı elemanın perde olarak davrandığının kanıtıdır. Ancak kat içerisinde moment yön değiştiriyor ise bu durumda taşıyıcı eleman bir kolon olarak değerlendirilir. Dikdörtgen ve U, L ve T tipi perdelerin gövde bölgesinde kalınlığı kat yüksekliğinin 1/16’sından ve 250 mm’den küçük olmamalıdır. Her iki ucundan yanal doğrultuda bir perde ile tutulu olan perde kolunun kalınlığı kat yüksekliğinin 1/20’sinden ve 250 mm’den küçük olmamalıdır. Perde kolunun veya dikdörtgen perdenin kalınlığı, perdenin veya perde kolunun plandaki yanal doğrultuda tutulmamış boyunun 1/30’undan küçük olmamalıdır. Perde en kesit ve donatı tasarımı ile ilgili bilgiler TBDY 2019 Bölüm 4.5 ve 7.6 ‘da detaylandırılmıştır [32].

3. NÜMERİK ÇALIŞMALAR (NUMERICAL STUDIES)

Çalışmada, kat yüksekliği 2,8 metre olan 10 katlı, taşıyıcı sistemi çerçevelerden oluşan, kat oturma alanı 625 m² ve planda simetrik bir bina kullanılmıştır. Perdeler planda simetrik olan ve simetrik olmayan 6 farklı şekilde binaya yerleştirilmiştir. Perde yerleşiminde toplam perde en kesit alanının tüm modellerde eşit olmasına dikkat edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda binaların ağırlıkları, hakim periyotları, taban kesme kuvvetleri, burulma düzensizlikleri, görelî kat ötelemeleri ve devrilme momentleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 2. Binaların deprem parametreleri

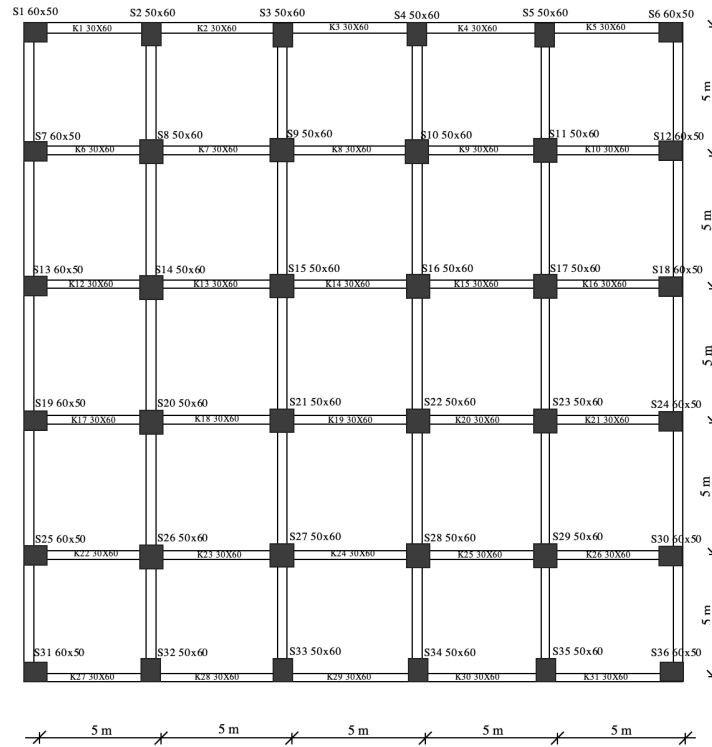
Deprem Parametreleri	
Zemin sınıfı	ZC
Deprem yer hareket düzeyi	DD-2
Bina kullanım sınıfı (BKS)	3
Bina önem kat sayısı (I)	1.0
Deprem tasarım sınıfı (DTS)	1

Bina yükseklik sınıfı (BYS)	5
-----------------------------	---

Gerçek davranışı temsil etmesi amacıyla binaların Kocaeli'nin Çayırova ilçesinde zemin etüt raporu mevcut olan bir arsa üzerinde yapıldığı kabul edilmiştir. Deprem parametreleri zemin etüt raporundaki bilgiler dikkate alınarak AFAD'ın hazırlamış olduğu Türkiye Deprem Haritaları kullanılarak belirlenmiştir (Tablo 2). Tasarımda TBDY 2019'da belirtilen yerinde dökme betonarme binalar için belirtilen minimum kesit ve malzeme şartlarını sağlayacak şekilde C35 beton ve B420C inşaat çeliği kullanılmıştır. Kirişler 30/60 cm, kolonlar ise 60/60cm ve 50/60 cm olarak kullanılmıştır. Tasarım için TS500 [33], TS 498 [34] ve TBDY 2019 yönetmelikleri dikkate alınmıştır.

3.1. Referans Bina (Reference Building)

Referans binanın taşıyıcı sistemi çerçevelerden oluşmaktadır, planda her iki doğrultuda simetrik ve aks açıklıkları 5m'dir (Şekil 2). Tasarımda binanın kontrollü hasar deprem performansını sağlaması dikkate alınmıştır. Yapılan modal analiz ve eşdeğer deprem yükü analizi sonucunda elde edilen veriler Tablo 3'te sunulmuştur. Deprem yükleri etkisindeki yapısal performansın belirlenmesinde hem referans binada hem de perdeli bina modellerinde TBDY 2019 Tablo 4.2'de verilen etkin kesit rijitlikleri dikkate alınmıştır. Yani çatlamış kesite ait rijitlik çarpanları kolonlar için 0.7, kirişler için 0.35, perdeler ve döşemeler için 0.25 olarak alınmıştır.



Şekil 2. Referans bina normal kat planı

Sonuçlar incelendiğinde maksimum burulma katsayısı, $\eta_{bi} < 1,2$ koşulu sağlandığından binada burulma düzensizliği olmadığı, her iki yönde maksimum etkin görel kat ötelemesi $\delta_{max} \leq 0,008$ koşulu sağlandığından görel kat ötelemelerinin maksimum sınırı aşmadığını söylemek mümkündür.

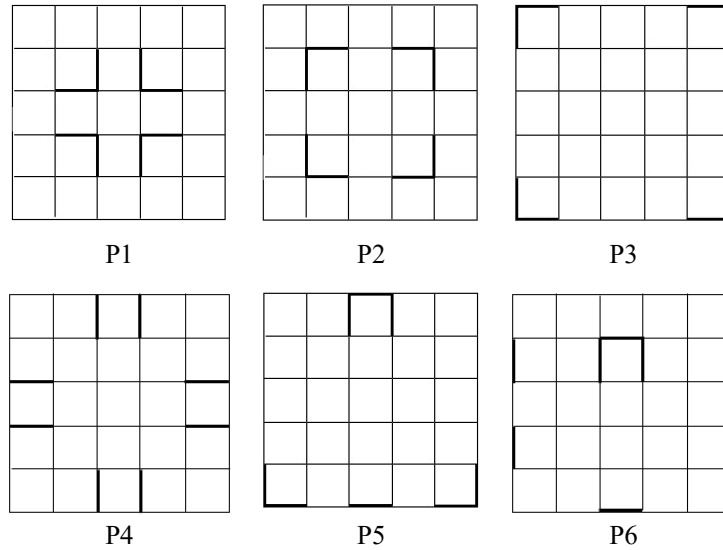
Tablo 3. Modal ve deprem analizi sonuçları

Referans Bina	
Bina ağırlığı (kN)	65148
Hakim period (s)	1,20

Hakim mod yönü	x
Taban kesme kuvveti (kN)	2732
Maksimum burulma katsayısı	1,13
Etkin görelî kat ötelemesi	0,0045

3.2. Perdeli Binalar (Shear Wall Buildings)

Perdeler yapıda yatay yer değiştirmeyi sınırlandırmak, yatay kuvvet etkisiyle yapıda oluşan kesme kuvvetinin önemli kısmını taşımak, dolayısıyla kolon ve kirişlere gelen yatay yükü azaltmak, son olarak da burulmayı önlemek amacıyla tercih edilmektedir. Tasarımdaki rolü dikkate alınarak, perdelerin yapıda etkin kullanılması için en uygun yerleşimi belirlemek amacıyla 6 farklı perdeli bina modeli oluşturulmuştur. İlk 4 modelde (P1, P2, P3, P4) iki deprem doğrultusunda eşit alana sahip simetrik yerleşimde perdeler kullanılmıştır. Bunların ikisinde perdeler binanın dış cephesine yerleştirilmiş, diğer iki modelde binanın merkezine yakın bir şekilde yerleştirilmiştir. Beşinci modelde (P5) simetrik olmayan fakat iki doğrultuda eşit perde alanı, altıncı modelde ise simetrik olmayan ve iki doğrultuda eşit olmayan perde alanı kullanılarak altı farklı bina modeli oluşturulmuştur (Şekil 3).



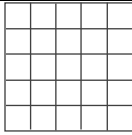
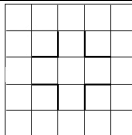
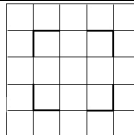
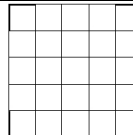
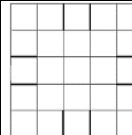
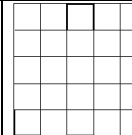
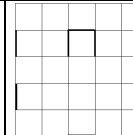
Şekil 3. Tasarlanan perdeli bina modelleri

TBDY 2019’da perdelerin kesit uzunluğunun kalınlığına oranı en az 6 olarak belirtilmiş ve kalınlığının 25cm’den az olmaması istenmiştir. Modellerde perde kalınlığı ilgili şartları sağlayacak şekilde 30cm olarak seçilmiştir. Modellerin tasarımında binaya gelen tüm yüklerin güvenle taşınması, yönetmeliklerin öngördüğü kapasite ve tasarım ilkelerinin sağlanması hedeflenmiştir. Eleman boyutları aynı olmakla birlikte kapasite ve tasarım ilkelerinin sağlanmadığı durumlarda eleman bazında güncellemeler yapılmıştır (kesit veya donatı değişiklikleri). Bu değişiklikler bina tasarımlarında farklar oluşmasına neden olmuştur. Bu farkları ortaya çıkartmak amacıyla bina modellerine modal ve eşdeğer deprem yükü analizleri yapılmıştır.

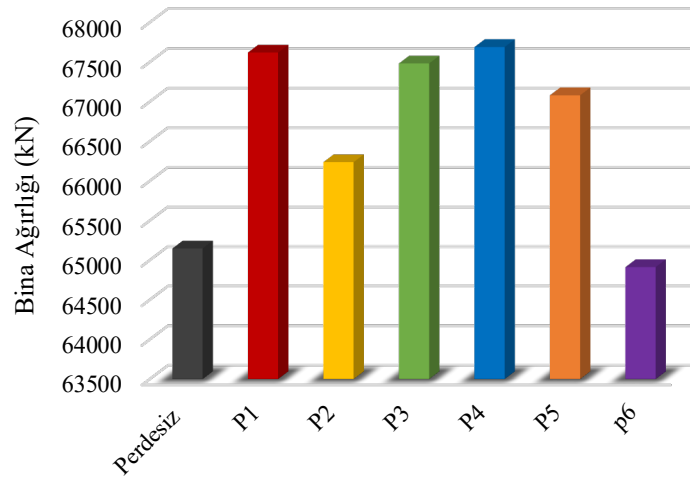
TBDY 2019’da deprem tasarım sınıfı 1, 1a, 2, 2a olan betonarme perdeli binalarda, herhangi bir deprem doğrultusunda tek bir perdenin taşıdığı taban devrilme momentinin (M_{dev}), ilgili doğrultuda tüm binada deprem etkisiyle oluşan toplam taban devrilme momentinin (M_o) 1/3’ünden fazla olmaması gerekliliği vurgulanmıştır. İkinci bir şart olarak da ilgili deprem doğrultusunda binanın kenar akslarında bulunan perde

veya perdelere gelen M_{DEV} veya toplam M_{DEV} , o doğrultuda tüm bina için deprem etkisiyle oluşan M_o 'ın $1/6$ 'sından az olmaması belirtilmiştir. Şartlar sağlanmazsa analizlerde taşıyıcı sistem davranış katsayısı R yerine $(4/5)R$ olarak kullanılmalıdır. Yapılan kontrollerde Model 3 ikinci şartı, Model 5 ve 6'da ilk şartı sağlamadığından 7 olan taşıyıcı sistem davranış katsayısı bu modellerde 5,6 olarak değiştirilmiştir. Referans ve perdeli bina modellerinin sonuçları daha kolay karşılaştırılması amacıyla hem tablo ve hem de grafik halinde sunulmuştur. İlk karşılaştırma hareketli yük katılım katsayısı 0,3 kullanılarak $(G+n.Q)$ ifadesi ile hesaplanmış bina ağırlıkları üzerinden yapılmıştır (Tablo 4, Şekil 4). Bina ağırlığının hesabında sabit yük olarak kolon, giriş, perde, döşeme ve bölme duvar kütlesi dikkate alınmıştır.

Tablo 4. Bina ağırlıkları

	Referans	P1	P2	P3	P4	P5	P6
							
Ağırlık (kN)	65148	67620	66237	67482	67689	67081	64913

Tüm modellerin ağırlıkları birbirine yakın çıkmasına karşın, karşılaştırmada ağırlığı en yüksek bina 67689 kN ile planda simetrik P4 modeli, ağırlığı en düşük bina ise 64913 kN ile planda simetrik olmayan P6 modelidir.



Şekil 4. Bina ağırlıklarının grafiksel karşılaştırması

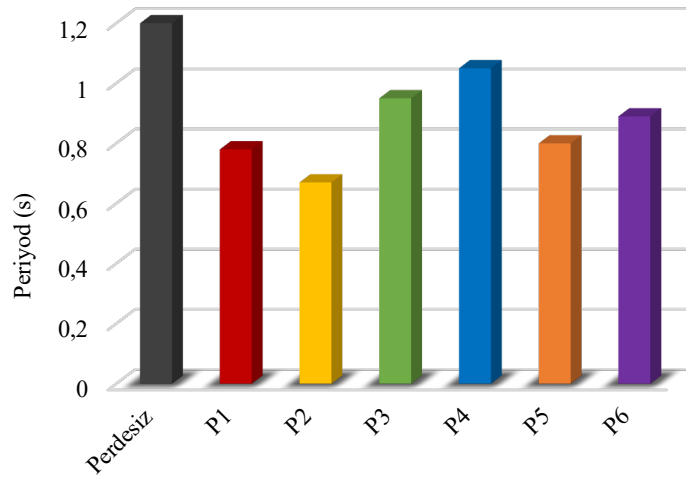
Grafiksel karşılaştırmaya bakıldığında da ağırlıklar arasında büyük farklar olmadığı görülmektedir. En yüksek ve düşük bina ağırlıkları arasında %4 fark vardır (Şekil 4).

Binaların kütle ve rijitliklerinde farklılıklar söz konusudur. Bu nedenle, modal analiz sonucunda elde edilen bina periyodlarında da farklı sonuçlar beklenmektedir. Bina periyodları x ve y olarak iki farklı yön için sunulmuştur (Tablo 5, Şekil 5). Planda simetrik binalarda her iki yönde periyod eşit çıkarken, simetrik olmayan binalarda bu eşitlik bozulmuştur. Referans bina 1,20s ile en yüksek hakim titreşim periyodu değerine sahiptir. Bunun sebebi olarak binanın dayanımını ve yatay yüklere karşı rijitliğini arttıran, binaya gelen kesme kuvvetinin büyük kısmını karşılayan perde elemanların binada bulunmaması söylenebilir. Perdeli binalar arasında ise en yüksek periyod değeri P4 modelinde, en düşük periyod değeri ise P2 modelinde elde edilmiştir (Tablo 5).

Tablo 1. Binaların periyodları

	Perdesiz		P1		P2		P3		P4		P5		P6	
T_x, T_y (s)	1,2	1,2	0,78	0,78	0,67	0,67	0,95	0,95	1,05	1,05	0,80	0,92	0,89	0,75

Grafiksel karşılaştırmada tüm modellerin x yönündeki periyodları dikkate alınmıştır. Bitişik nizamdaki binanın merkezine yakın şekilde yerleştirilen modellerin periyodlarının daha düşük olduğu sonucuna varmak mümkündür. Bina kütleleri birbirine yakın değerlerde olduğu için buradan kütle merkezine yakın tasarlanan bitişik perdelerin bina rijitliğine daha fazla katkı sağladığını söylemek mümkündür (Şekil 5).

**Şekil 5.** Bina periyodlarının grafiksel karşılaştırması

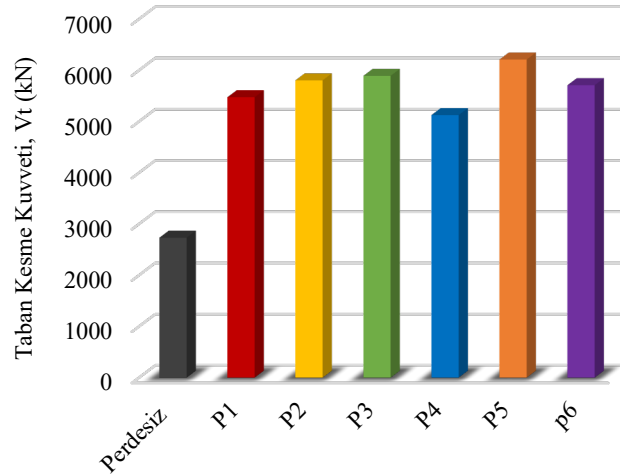
Tüm modellerin zemin parametreleri aynı kabul edildiği için, taban kesme kuvvetinin farklı çıkmasında bina kütlesi, taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve periyodlar etkindir. Binaların taban kesme kuvvetleri karşılaştırmasında simetrik modellerin x ve y yönü aynı çıktığı için sadece bir değer, simetrik olmayan modellerin ise x ve y yönü değerleri verilmiştir (Tablo 6).

Tablo 2. Binaların taban kesme kuvvetleri

	Perdesiz	P1	P2	P3	P4	P5		P6	
V_t (kN)	2732	5474	5804	5892	5126	6210	5788	5709	6396

Taban kesme kuvvetleri karşılaştırıldığında en yüksek kütleyle sahip P5 modelinde taban kesme kuvveti değerinin de yüksek çıktığı, referans modelde ise taban kesme kuvveti değerinin en düşük çıktığı belirlenmiştir. En düşük kütleli bina P6 olmasına rağmen, en düşük taban kesme kuvveti bu binada elde edilmemiştir. Bu sonuç taban kesme kuvvetinde yalnız kütle değil bina periyodu ve taşıyıcı sistem davranış katsayısının da etkili olduğunu göstermektedir. Grafiksel karşılaştırmada P5 ve P6 modelinin

sadece x yönü sonuçları dikkate alınmıştır. P4 modelindeki taban kesme kuvvetinin diğer modellerden çok daha düşük olduğu belirgin bir şekilde görülmektedir (Şekil 6).



Şekil 1. Bina taban kesme kuvvetlerinin grafiksel karşılaştırması

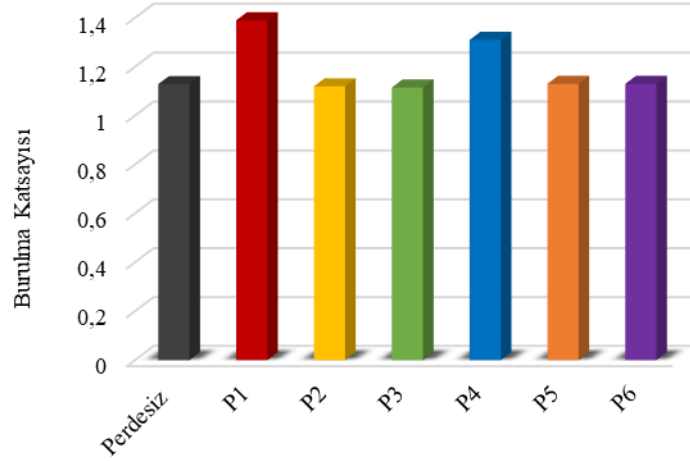
TBDY 2019'a göre, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük kat görelî ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama kat görelî ötelemesine oranı olarak ifade edilen burulma düzensizliği katsayısı, η_{bi} 'nin 1,2'den büyük olması durumunda binada burulma düzensizliği olduğu kabul edilir [29]. Yapılan burulma düzensizliği kontrolleri sonucunda elde edilen burulma katsayıları simetrik modellerde tek bir değer olarak, simetrik olmayan P5 ve P6 modellerinde her iki deprem doğrultusu için Tablo 7 ve Şekil 7'de verilmiştir.

Tablo 3. Binaların her kattaki burulma katsayıları

	Perdesiz	P1	P2	P3	P4	P5 _x	P5 _y	P6 _x	P6 _y
10	1,096	1,134	1,095	1,067	1,142	1,055	1,118	1,139	1,140
9	1,102	1,153	1,092	1,067	1,153	1,028	1,132	1,131	1,130
8	1,105	1,163	1,093	1,061	1,163	1,019	1,132	1,137	1,140
7	1,107	1,179	1,093	1,058	1,171	1,012	1,131	1,142	1,140
6	1,108	1,193	1,093	1,055	1,179	1,006	1,131	1,147	1,150
5	1,108	1,206	1,093	1,052	1,185	1,004	1,130	1,148	1,150
4	1,108	1,220	1,094	1,051	1,195	1,006	1,128	1,148	1,140
3	1,107	1,234	1,094	1,050	1,206	1,013	1,134	1,136	1,130
2	1,110	1,250	1,098	1,049	1,212	1,034	1,155	1,110	1,100
1	1,129	1,375	1,122	1,115	1,304	1,236	1,352	1,102	1,130

P6 hariç tüm modellerde en yüksek burulma katsayısı değerleri 1. katta elde edilmiştir. Üst katlara doğru burulma düzensizliği katsayısı azalmıştır. Referans, P2, P3 ve P6 modellerinde burulma düzensizliği katsayısı TBDY 2019'un koyduğu 1,2 sınır şartının altındadır. P5 binasında ise sadece alt katlarda burulma düzensizliği katsayısının 1,2 sınırını aştığı görülmektedir (Tablo 7). Bu durumda ek dış merkezlik katsayısı (%5) TBDY 2019 4.7.4'te açıklanan ek dışmerkezlik büyütme katsayısı ile çarpılarak büyütülmüştür. Yapılan ekstra dışmerkezlik uygulaması ile deprem yüklerinin kat kütle merkezlerinin yanı sıra bu merkezlerin belirli oranda kaydırılması ile ortaya çıkabilecek ilave burulma momenti ve dönme yer değiştirmeleri de dikkate alınmış olur. Grafik gösterim her binanın maksimum burulma katsayısını

göstermektedir. Grafikten net bir şekilde P1 ve P4 binalarında burulma katsayısının en yüksek değerde olduğu görülmektedir (Şekil 7). Bu durum dışa dönük birleşik ve ayrıık perdelerin burulma düzensizliğini arttırdığını göstermektedir.



Şekil 7. Bina maksimum burulma katsayılarının grafiksel karşılaştırması

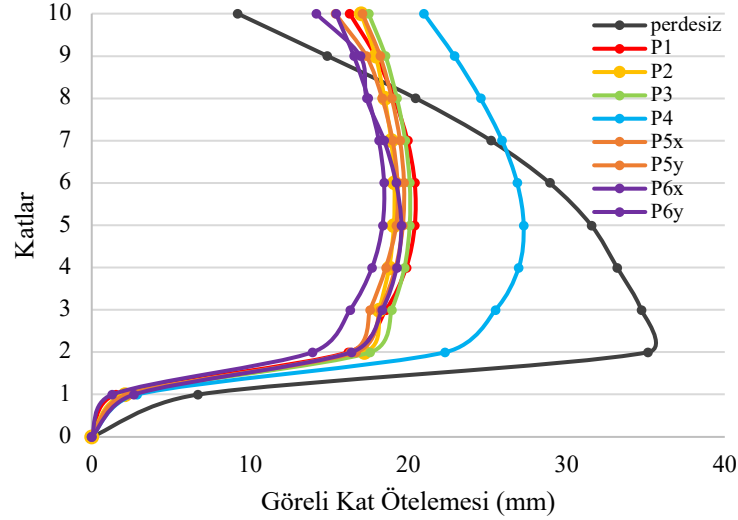
Perdelerin çok katlı binalarda şiddetli deprem etkisinde önemli hasarlar oluşmasına sebep olan görel kat ötelemesi değerlerini büyük oranda azalttığı bilinmektedir. Bu sebeple bina davranış özelliklerini incelerken görel kat ötelemesi değerleri dikkat edilmesi gereken bir parametredir. Çalışmada dolgu duvarların esnek derz veya bağlantı olmaksızın çerçeve elemanlarına bitişik olduğu kabul edildiği için TBDY 2019’da betonarme binalarda maksimum görel kat ötelemesi 0,008 ile sınırlandırılmıştır. Bu şart dikkate alınarak binaların etkin görel kat ötelemelerinin verilen 0,008 şartını sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir (Tablo 8, Şekil 8).

Tablo 4. Binaların her kattaki etkin görel kat ötelemesi değerleri

	Perdesiz	P1	P2	P3	P4	P5 _x	P5 _y	P6 _x	P6 _y
10	0,0012	0,0022	0,0018	0,0023	0,0030	0,0018	0,0022	0,0021	0,0020
9	0,0019	0,0023	0,0020	0,0024	0,0032	0,0019	0,0023	0,0024	0,0021
8	0,0027	0,0024	0,0022	0,0025	0,0034	0,0020	0,0024	0,0026	0,0023
7	0,0033	0,0026	0,0023	0,0026	0,0035	0,0021	0,0025	0,0028	0,0024
6	0,0038	0,0026	0,0024	0,0026	0,0036	0,0022	0,0026	0,0029	0,0024
5	0,0041	0,0026	0,0023	0,0026	0,0035	0,0021	0,0025	0,0028	0,0024
4	0,0043	0,0025	0,0022	0,0025	0,0034	0,0020	0,0025	0,0028	0,0023
3	0,0045	0,0023	0,0019	0,0024	0,0032	0,0019	0,0023	0,0026	0,0020
2	0,0046	0,0020	0,0015	0,0022	0,0028	0,0018	0,0021	0,0023	0,0017
1	0,0009	0,0002	0,0002	0,0003	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002

Etkin görel kat ötelemelerinin 2. kat değerleri dikkate alındığında en yüksek etkin görel kat ötelemesi değerleri referans binada elde edilmiştir. En düşük etkin görel kat ötelemesi değerleri ise P2 modelinde elde edilmiştir. Perdeli binalar arasında ise en yüksek etkin görel kat ötelemesi değeri P4 modelinde elde edilmiştir (Tablo 8). Görel kat ötelemesi değerleri etkin görel kat ötelemesi sıralamasına benzer şekilde en yüksek referans binada, perdeli binalardan ise P4 modelinde elde edilmiştir. En düşük görel kat ötelemesi değerleri ise P2 modelinde elde edilmiştir. Çerçeve binada alt katlarda görel kat ötelemesi farkı

yüksekken, perdeli binalarda üst katlarda görel kat ötelemesi değerleri çerçeve bina kadar azalmamıştır. Bunun sebebi olarak perde elemanlarda moment etkisi ile katlar arası yer değiştirmenin en çok üst katlarda, çerçeve sistemde ise kesme etkisinin en fazla olduğu alt katlarda meydana gelmesi, üst katlara doğru yer değiştirmenin azalması söylenebilir [1] (Şekil 8).



Şekil 8. Bina görel kat ötelemelerinin grafiksel karşılaştırması

Binalarda TBDY 2019'da 4.3.2 ve 4.3.4'te belirtilen devrilme momenti kontrolleri yapılmış ve tüm binalar belirtilen şartları sağlamıştır. Binalarda perdelerin tabanında depremden dolayı oluşan devrilme momenti (M_{dev}) ve tüm bina için deprem etkisinden ötürü bina tabanında oluşan toplam devrilme momenti (M_o) değerleri incelendiğinde en büyük değerler P5 modelinde elde edilmiştir. Perdeli binalar arasında en düşük M_{dev} P4 modelinde elde edilirken, en düşük M_o değeri P6 modelinin y doğrultusunda elde edilmesine rağmen perdeli binalarda sonuçlar birbirine yakın çıkmıştır. Birleşik perdelerin bulunduğu modellerde M_{dev} 'in daha büyük çıktığı belirlenmiştir (Tablo 9).

Tablo 5. Binaların devrilme momentleri

	Perdesiz	P1	P2	P3	P4	P5 _x	P5 _y	P6 _x	P6 _y
M_{dev} (kN.m)	69965	128276	133465	138753	123292	140087	147385	126981	140538
M_o (kN.m)	1077109	1109177	1107392	1110580	1131691	1147917	1145877	1109354	117465

4. SONUÇ VE ÖNERİLER ((CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS))

Çalışmada betonarme perdelerin plandaki farklı yerleşim ve geometrisinin yapısal davranışa olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla 10 katlı taşıyıcı sistemi betonarme çerçeve ve perdeli çerçeve olan yedi farklı binanın modal ve deprem analizinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada binaların ağırlık, periyod, taban kesme kuvveti, burulma katsayısı, görel kat ötelemesi ve devrilme momenti değerleri dikkate alınmıştır. Yapılan karşılaştırmalar ve elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

Ağırlık ve periyod sonuçları referans bina ile karşılaştırıldığında P1 modeli referans binadan %4 daha yüksek, P6 modeli ise %0,3 daha düşük ağırlığa sahiptir. Periyodlara bakıldığında %44 ile P2 binası en düşük, %13 ile P4 binası en yüksek periyoda sahiptir. Sonuçlar değerlendirildiğinde en yüksek bina rijitliği P2 modelinde sonrasında sırayla P1, P5'in x doğrultusu ve P6'nın y doğrultusunda elde edilmiştir. Buradan bina merkezine daha yakın konumlandırılan ve bitişik şekilde tasarlanan perdelerin bina rijitliğine daha fazla katkı sağladığını söylemek mümkündür.

Taban kesme kuvveti sonuçları incelendiğinde ise P5 modelinde referans binaya oranla %130 ile en yüksek, P4 modelinde ise %88 ile referans binaya oranla en düşük taban kesme kuvveti elde edilmiştir. Bu parametre üzerinde binanın ağırlık, rijitlik ve spektral ivme değerinin etkisini görmek mümkündür. Perdeler konulduğu doğrultunun rijitliği arttırdığı için periyod düşmektedir, bu durumda binaya etki eden taban kesme kuvveti artmaktadır.

P1 modelinde en yüksek burulma katsayısı referans binadan %22 daha fazla, P6 modelinin x yönünde ise %2 daha düşüktür. Binanın dış cephesine ve aksa paralel yerleştirilen perdelerin burulma etkisini azaltmaktadır. Aksa dik yerleştirilen perdelerin burulma üzerindeki olumsuz etkisini görmek mümkündür.

Görelî kat ötelemesi karşılaştırması referans binanın maksimum öteleme oluşan 2. kat verileri dikkate alınarak yapılmıştır. Tüm modellerde bir azalma söz konusu olmakla birlikte referans binaya göre en yüksek düşüş %67 ile P2 modelinde, en az ise %40 ile P4 modelinde elde edilmiştir. Tüm modeller karşılaştırıldığında rijitlik ve kütle merkezinin birbirinden uzaklaştığı perde yerleşimlerinde kat görelî ötelemesi değerlerinin arttığı söylenebilir.

Tüm modellerin devrilme momenti değerleri referans binadan daha yüksek çıkmıştır. En yüksek artış P6 modelinde (%110), en düşük artış ise P4 modelinde (%76) görülmüştür. Binaya yerleştirilen bitişik nizamdaki perdelerle depremde dolayı daha fazla devrilme momentinin etki ettiğini söylemek mümkündür. Ayrık yerleştirilen perdelerde devrilme momenti etkisi daha düşüktür. Binanın tabanına etkiyen toplam devrilme momenti değerleri ise tüm binalarda birbirine çok yakın çıkmıştır.

Perdelerin bina davranışına olan olumlu etkisi göz ardı edilemeyecek bir gerçektir. Perdelerin plandaki toplam en kesit alanının yanı sıra plandaki yerleşiminin bina davranışında etkin rol oynadığı tüm sonuçlarda ön plana çıkmıştır. Perdeleri planda olabildiğince simetrik ve dış cepheye paralel olarak yerleştirmenin bina davranışına olumlu katkı sağladığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Celep, Z. (2015). Betonarme Yapılar. Yenibosna/İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş.
- [2] Baran, M. (2020). Comparison of seismic performances of reinforced concrete frames strengthened by different techniques. Latin American Journal of Solids and Structures.
- [3] Aksoylu C, Kara N. (2020). Strengthening of RC frames by using high strength diagonal precast panels. Journal of Building Engineering, 31(10) 13-38.
- [4] Baran, M., Aktaş, M., Aykaç, S. (2014). Sıvanmış tuğla dolgu duvarların şerit beton/betonarme panellerle güçlendirilmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29(1).
- [5] Kalkan, İ., Aykaç, B., Baran, M., Babayani, R., Aykaç, S. (2013). Delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş dolgu duvarların deprem davranışı.
- [6] Aksoylu, C., Sezer, R. (2018). Investigation of precast new diagonal concrete panels in strengthened the infilled reinforced concrete frames. KSCE Journal of Civil Engineering, 22(1) 236-246.
- [7] Aksoylu, C., Mobark, A., Arslan, M.H., Erkan, İ.H. (2020). A comparative study on ASCE 7-16, TBEC-2018 and TEC-2007 for reinforced concrete buildings. Revista de la construcción, 19(2), 282-305.
- [8] Aykaç, B., Özbek, E., Babayani, R., Baran, M., Aykaç, S. (2017). Seismic strengthening of infill walls with perforated steel plates. Engineering Structures, 152, 168-179.
- [9] Aksoylu, C., Arslan, M.H. (2019). Çerçeve türü betonarme binaların periyod hesaplarının farklı ampirik bağıntılara göre irdelenmesi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8(2), 569-581.

- [10] Aksoylu, C., Arslan, M.H. (2021). 2007 ve 2019 Deprem Yönetmeliklerinde Betonarme Binalar İçin Yer Alan Farklı Deprem Kuvveti Hesaplama Yöntemlerinin Karşılaştırılması Olarak İrdelenmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 13(2), 359-374.
- [11] Aksoylu, C., Arslan, M.H. (2019). Çerçeve+ Perde Türü Betonarme Binaların Periyod Hesaplarının TBDY-2019 Yönetmeliğine Göre Ampirik Olarak Değerlendirilmesi. *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, 24(3), 365-382.
- [12] Aydın, E., Boru, E. (2020). Betonarme Bir Çerçevenin Farklı Yerleşim Düzenlerine Sahip Merkezi Çelik Çaprazlarla Güçlendirilmesi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 8-2, 286-294.
- [13] Aksoylu, C., Kara, N. (2019). Güçlendirme tekniği olarak yeni nesil ön üretimli beton panel uygulamasının araştırılması. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2), 346-361.
- [14] Baran, M. (2020). Comparison of seismic performances of reinforced concrete frames strengthened by different techniques. *Latin American Journal of Solids and Structures*.
- [15] Aksoylu, C., Kara, N. (2020). Strengthening of RC frames by using high strength diagonal precast panels. *Journal of Building Engineering*, 31, 101338.
- [16] Baran, M., Aktaş, M., Aykaç, S. (2014). Sıvanmış tuğla dolgu duvarların şerit beton/betonarme panellerle güçlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(1).
- [17] Aracı, E. (2012). Betonarme Perde Konumlarının Bina Deprem Performansına Olan Etkisinin bilgisayar Destekli İrdelenmesi, Akdeniz Üniversitesi, FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [18] Eken, S., (2012) Betonarme Yapıların Taşıyıcı Sistem Seçiminde Perde Yerleşiminin Davranışa Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi / FBE/ İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [19] Güneş, B.E. (2017). Betonarme Yapılarda Perde Yeri Seçiminin Yapısal Davranış Üzerine Etkilerinin İrdelenmesi, Sakarya Üniversitesi / FBE / İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [20] Kalaycı, A. (2018). Betonarme Binalarda Perde Yerleşiminin Performansa Etkisi, T.C.Süleyman Demirel Üniversitesi FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı,
- [21] Kaya, G. (2018) Betonarme Perde ve Çerçeveli Yapılarda Perde Boyutlandırması ve Yerleşiminin Deprem Davranışına Etkisi, Beykent Üniv. FBE,.
- [22] Kınık, K.E. (2019). Betonarme Binaların Taşıyıcı Sistem Seçiminde Perde Yerleşiminin Davranışa Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi FBE İnşaat Müh.
- [23] Kasap, H., Akyüncü V. (2002). Perde Boyut Oranı Değişiminin Perdeler ve Çerçeve Arasında Kesme Kuvveti Dağılımına Etkisi, *Sau Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*.
- [24] Uçar, T., Merter, O. (2009). Planda Perde Yerleşiminin Betonarme Perde-Çerçeveli Binaların Deprem Davranışına Etkisi, *Deü Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 11, No. 2, Pp. 11-18.
- [25] Demir, S., Yaman, H., Teke, F. (2019). Betonarme Binalarda Perde Yeri Değişiminin Bina Performansına Etkisi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, No. 16, Pp. 194-204.

- [26] Yüksel, M., Çağlar, N., Dok, G., Demir, A. (2017). Betonarme Yüksek Yapıların Deprem Performansına Betonarme Perde Oranın Etkisi, Fifth International Symposium On Innovative Technologies In Engineering And Science, Bakü-Azerbaycan.
- [27] Çavdar, Ö., Yolcu, A. (2018). Mevcut Bir Okul Binasının Türk Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e Göre Yapısal Düzensizliklerinin İncelenmesi, Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, Cilt 8, No. 2, Pp. 153-164.
- [28] Bozdoğan, K.B., Aydın, S. (2020). Perde-Çerçeve Sistemlerde Rijitlik ve Kayma Merkezi, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, Cilt 6, No. 2, Pp. 405-414.
- [29] Özmen, G. (2004). Çok Katlı Yapılarda Aşırı Burulma Düzensizliği 1, İmo Teknik Dergi, Pp. 3131-3144.
- [30] Özmen, G. (2001). Rijitlik Dağılımının Burulma Düzensizliğine Etkisi, Türkiye Mühendislik Haberleri, Cilt 1, No. 411, Pp. 37-40.
- [31] Demir, A., (2008). Dönmez, D. Çok Katlı Yapılarda Burulma Düzensizliğine Etki Eden Faktörler, C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 4, No. 1, Pp. 31-36.
- [32] Afad, (2019). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY).
- [33] Türk Standartları, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım (TS 500), (2000). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [34] Türk Standartları, (1997). Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri (TS 498), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.