

## ORTA YÜKSEKLİKTEKİ BİNALAR İÇİN TBDY 2018 YÖNETMELİĞİNDE VERİLEN TAŞIYICI SİSTEM TİPLERİNİN DOĞRUSAL ANALİZ YÖNTEMİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

**İsmail ÜNSAL<sup>1\*</sup>, Nurullah BALCA<sup>2</sup>, Mehmet Fatih ŞAHAN<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup>Adiyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adiyaman, 02040, Türkiye

<sup>2</sup>Adiyaman Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adiyaman, 02040, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 25.03.2022 Kabul Tarihi/Accepted Date: 16.05.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1093363

### ÖZET

Bu çalışmada, ülkemizde yapılabilecek 14 katlı betonarme bir konut binası için deprem yönetmeliğinde verilen tasarıma esas olabilecek taşıyıcı sistem türleri karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Süneklik düzeyi yüksek olan salt çerçevesel, salt perdeli ve plandaki perde oranı düşük ve yüksek olan iki adet çerçevesel-perdeli model tasarlanmıştır. Bunlara ilaveten beşinci model olarak süneklik düzeyi karma çerçevesel-perdeli bir taşıyıcı sistem modeli tasarlanmıştır. Deprem yönetmeliğimizde belirtildiği şekilde dayanıma göre tasarım yaklaşımı ile doğrusal analizler yapılmıştır. Modeller arasında taban kesme kuvveti ve tepe deplasmanı dağılımları karşılaştırılmıştır. Her iki büyüklük için de dağılımların çok büyük oranda 1/R ilişkisine benzer şekilde gerçekleştiği görülmüştür. Çalışma kapsamındaki modeller arasında perde oranı arttıkça maksimum deprem deplasmanları artış göstermiştir. Zemin katlardaki hasar durumuna göre, en fazla hasar salt çerçevesel modelde, en az hasar ise salt perdeli modelde gözlenmiştir. En düşük maliyet salt perdeli model için hesaplanmış olup bu model salt çerçevesel modelin kaba yapı maliyetinden yaklaşık olarak %5 daha ekonomiktir.

**Anahtar Kelimeler:** TBDY 2018, Betonarme Taşıyıcı Sistemler, Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, Deprem

## COMPARISON OF STRUCTURAL SYSTEM TYPES GIVEN IN TBEC 2018 CODE FOR MID-RISE BUILDINGS WITH LINEAR ANALYSIS METHOD

### ABSTRACT

In this study, the types of structural systems that can be the basis for the design given in the earthquake code for a 14-story reinforced concrete residential building that can be built in our country are examined comparatively. A high ductility level of models is designed, which comprised of frames only, of walls only, and combinations of frames and walls one with a low wall ratio and the other with a high wall ratio in the plan. In addition, a fifth structural model -with a mixed ductility level- with the combinations of frames and walls is designed. Linear analyzes are carried out with the strength-based design approach as specified in our earthquake code. The base shear force and peak displacement distributions among the models are compared. It has been seen that the distributions for both parameters are very similar to the 1/R relationship. Maximum seismic displacements increased as the wall ratio in the plan increased, within the scope of the study. According to the damage status of ground floors, the maximum damage is observed for the model comprised of frames only, and the least damage is for the model comprised of walls only. The lowest cost is obtained for the model comprised of walls only, which is approximately 5% more economical than the construction cost of the model comprised of frames only.

**Keywords:** : TBEC 2018, Reinforced Concrete Structural Systems, Structural System Behavior Factor, Earthquake

\* e-posta<sup>1</sup> : [junsal@adiyaman.edu.tr](mailto:junsal@adiyaman.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6324-7209> (Sorumlu Yazar)

e-posta<sup>2</sup> : [nurullah.balca1@gmail.com](mailto:nurullah.balca1@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6886-9595>

e-posta<sup>3</sup> : [mfs@adiyaman.edu.tr](mailto:mfs@adiyaman.edu.tr) ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-3334-3945>

## 1. Giriş

Depreme dayanıklı yapıların tasarımı ve inşa edilmesi, mevcut yapıların deprem güvenliğinin incelenmesi ve gerekli durumlarda güçlendirilmesi konuları ülkemiz için halen hayati önemini koruyan hususlardır [1]. 24 Ocak 2020 tarihinde Elazığ'da ( $M_w=6.8$ ) ve 30 Ekim 2020 tarihinde İzmir'de ( $M_w=6.6$ ) yaşadığımız depremler geçmişte tecrübe ettiğimiz gibi büyük kayıplara neden olmuş ve konunun önemini gündemde tutmaya devam etmiştir. Gerek Elazığ'da gerekse İzmir'de bulunan ivme ölçüm istasyonlarının kayıtlarına ait spektral ivme değerleri, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007) [2] ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'in (TBDY - 2018) [3] tasarım ivme spektrumları ile karşılaştırmış ve bu istasyonlarda alınan kayıtların her iki tasarım spektrumunun da altında kaldığı görülmüştür [4, 5]. Buna rağmen yaşanan can ve mal kayıpları; yapı ve deprem mühendisliği, geoteknik deprem mühendisliği, afet yönetimi alanlarında ulaşılmış olan akademik bilgi seviyesinin uygulamaya ve günlük hayata yansıtılması konularında hala kat etmemiz gereken uzun bir yol olduğunu göstermektedir. Bu alandaki yönetmeliklerin ve mevzuatta yapılan değişikliklerin proje ve saha uygulamalarında sorumluluk alan mühendislerce iyi anlaşılması ve uygulamaya yansıtılabilmesi, belirli bir kalite standardında mühendislik hizmetini ülke geneline yayabilmek ve depreme dayanıklı yapıları garanti edebilecek bir mekanizma oluşturabilmek adına son derece önemlidir [1].

Depreme dayanıklı yapıların tasarımı için en önemli başucu kaynaklarından olan TBDY-2018 yönetmeliğinin anlaşılması ve uygulanmasına yönelik olarak literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur. Şahan [6] çalışmasında Türk Deprem Yönetmeliği (TDY-1998) ile ABD (UBC-1997) ve Avrupa Deprem Yönetmeliklerini (Eurocode-8-1994) karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Farklı bina modelleri üzerinde yaptığı analizlerle, bina tabanında deprem etkisinde meydana gelen taban kesme kuvvetlerini her üç yönetmeliğe göre de hesaplayarak karşılaştırmalar yapmıştır. Eşdeğer Deprem Yüku Yöntemini esas alarak yaptığı çalışmalar neticesinde ortak bir deprem yönetmeliğinin oluşturulmasının mümkün olabileceği hususunu vurgulamıştır.

Öncel ve ark. [7] deprem parametrelerinin yapı yüksekliğine bağlı olarak değişimini incelemişlerdir. Yapı yüksekliğinin deprem davranışına etkisi TBDY-2018 yönetmeliğine göre ETABS programı yardımıyla tepki spektrumu kullanılarak irdelenmiştir. Farklı deprem lokasyonları esas alınarak elde edilen analiz sonuçları, yapılarda kat adedine bağlı olarak yükseklik 15.5 metreden 90.5 metreye kadar artarken taban kesme kuvvetinin önemli oranda azaldığını göstermiştir. Bu sonucun elde edilmesinde, yönetmelikte verilen yatay elastik tasarım ivme spektrum fonksiyonlarının önemli rol oynadığı belirtilmiştir.

Ünsal ve ark. [8], yapıdaki kat adedine bağlı olarak bina yüksekliğinin, taban kesme kuvvetine ve maksimum tepe deplasmanına etkisini 2007 ve 2018 deprem yönetmelikleri kapsamında irdelenmişlerdir. Betonarme çerçeve ve perdelerden oluşan bir bina modelini ETABS programında, 5 kat ila 30 kat arasında değişen 26 farklı şekilde oluşturularak taban kesme kuvvetlerini ve tepe deplasmanlarını hesaplamışlardır. Analizler neticesinde, DBYBHY-2007 yönetmeliğine göre taban kesme kuvvetlerinin, yapı yüksekliği arttıkça yaklaşık olarak sabit değerde kaldığını, TBDY-2018 yönetmeliğine göre ise yapı yüksekliği arttıkça taban kesme kuvvetlerinin doğrusal olarak azaldığını gözlemlemişlerdir.

Ünsal ve Şahan [9], betonarme çerçeve bir taşıyıcı sistem modeli ile taşıyıcı sistemi sadece perdelerden oluşan farklı bir taşıyıcı sistemi kaba yapı maliyeti ve deprem performansı yönüyle karşılaştırmalı olarak irdelenmişlerdir. 18 katlı bu iki model üzerinden yapılan karşılaştırmada perdeli modelin az farkla daha ekonomik tarafta kaldığını gözlemlemişlerdir. Çok modlu itme analizleriyle yapılan performans hesaplarında zemin kattaki hasar durumu dikkate alındığında yine perdeli modelin deprem performansının daha iyi olduğu gözlenmiştir.

Doğan ve ark. [10] perde oranı az olan perdeli-çerçeve sistemlerde, konsol perde davranışıyla çerçeve davranışı arasındaki uyumsuzluğunun giderilmesi ve binanın perde duvar davranışı

gösterebilmesi için, bir kattaki perde alanının tüm katların alanına oranının minimum değeri tespit edilmeye çalışılmıştır. Perdelerin ön tasarımı aşamasında, donatı artış oranına bağlı olarak bina maliyetindeki artış ve perde-çerçeve davranış uyumluluğu dikkate alınmıştır. 5 katlı 10 adet model SAP2000 ve STA4Cad yazılımları ile analiz edilmiştir. Perde oranı az olan bu sistemlerde taşıyıcı sistem davranışına perdelerin yön verilmesi amacıyla geliştirilen modellerin analizleri sonucunda, perdelerin deprem etkilerinin %75'ini karşılaması için,  $R_2=0.9903$  regresyonla tüm katların alanına bağlı perde alanı oranı %0.438 olarak tespit edilmiştir.

Çapa ve ark. [11] deprem yönetmeliklerinde verilen doğrusal hesap yöntemlerinde deprem yüklerinin, yapının elastik ötesi bölgede tüketeceği enerji kapasitesine bağlı olarak azaltıldığını ve bu azaltmanın farklı yükseklikteki yapılar için aynı oranda yapıldığını belirtmişler ve bu analiz yöntemlerinin, genel olarak yapıların kontrollü hasar performansı için aynı seviyede in-elastik davranış yaptığını kabul etmesinden yola çıkarak, bu kabulün geçerliliğini farklı kat adedine (üç, beş ve yedi katlı binalar) sahip bina modelleri üzerinde irdelenmişlerdir. Sayısal sonuçlar, doğrusal olmayan yük kapasitesinin azaltılmış deprem yüklerine oranının binadaki kat adedine bağlı olduğunu göstermiştir. Az katlı binaların, orta katlı binalara kıyasla, azaltılmış eşdeğer deprem yüklerine göre nispeten daha büyük yatay yük taşıma kapasitesine sahip oldukları belirtilerek deprem yönetmeliklerinin ise deprem yükü azaltma katsayısını belirlerken bu katsayının ilişkili olduğu kat adetlerini dikkate almadığı vurgulanmıştır.

Ülkemizde 10-15 katlı konut binaları yaygın olarak inşa edilmektedir. Bu çalışmada 14 katlı betonarme bir konut binası için deprem yönetmeliğinde tasarıma esas olabilecek taşıyıcı sistem türleri karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Yönetmelikte Bölüm 4, Tablo 4.1'de taşıyıcı sistemin perde içerip içermediğine ve süneklik düzeyine bağlı olarak bina yüksekliklerine üst sınır getirilmiştir. Deprem ivmelerinin yüksek olduğu bölgelerde (DTS=1-2) süneklik düzeyi yüksek binaların perde içerip içermediğine bağlı olarak bu sınır sırasıyla 70 metre ve 56 metre olarak belirlenmiştir. Süneklik düzeyi karma olan kirişli plak döşemeli sistemler için ise bu yükseklik 42 metre ile sınırlandırılmıştır. Bu çalışmada yüksekliği 41 metre olan, bodrum, zemin, 11 normal kat ve asansör makine daire katından oluşan bir konut binası için yönetmelikte verilen 5 farklı taşıyıcı sistem modeli hazırlanmıştır. Yapılan deprem analizlerinde modeller deprem performansı ve kaba yapı maliyetleri açısından karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, bodrum kat ve asansör dairesi katı dahil olmak üzere 14 katlı konut türü bir bina ele alınmış olup bina, deprem yönetmeliğinde önerilen süneklik düzeyi yüksek ve karma taşıyıcı sistemler esas alınarak 5 farklı şekilde modellenmiştir. Deprem yönetmeliğinin 4. Bölümünde Tablo 4.1'de verilen A11 (süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevesiz sistem), A13 (süneklik düzeyi yüksek betonarme boşluksuz perdeli sistem), A15 (süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevesiz ve perdeli sistem) ve A22 (süneklik düzeyi karma betonarme çerçevesiz ve perdeli sistem) esas alınmıştır. Salt perdeli sistem olan A13 taşıyıcı sisteminde toplam perde alanının kat alanına oranı  $X$  ve  $Y$  yönleri için yaklaşık olarak 0.017'dir. A15 sistemi, toplam perde alanının kat alanına oranı ( $X$  ve  $Y$  yönlerinin her ikisi için de) yaklaşık olarak 0.007 ve 0.012 olmak üzere iki farklı şekilde (A15\_1 ve A15\_2) modellenmiştir. A15\_2 modelinden taşıyıcı sistem davranış katsayısı değeri ( $R=4$ ) alınarak süneklik düzeyi karma olan A22\_2 sistemi türetilmiştir. Deprem yönetmeliği gereğince A22 türü taşıyıcı sistemlerde perdelerin, binanın tabanında oluşacak toplam devrilme momentinin en az %75'ini karşılaması gerekmektedir. Bu çalışmada ele alınan A22\_2 modelinde bu oran için %63'ün üzerine mimari nedenlerle çıkılamamış olup ele alınan diğer taşıyıcı sistemlerle karşılaştırılmak üzere çalışmada bu modele de yer verilmiştir.

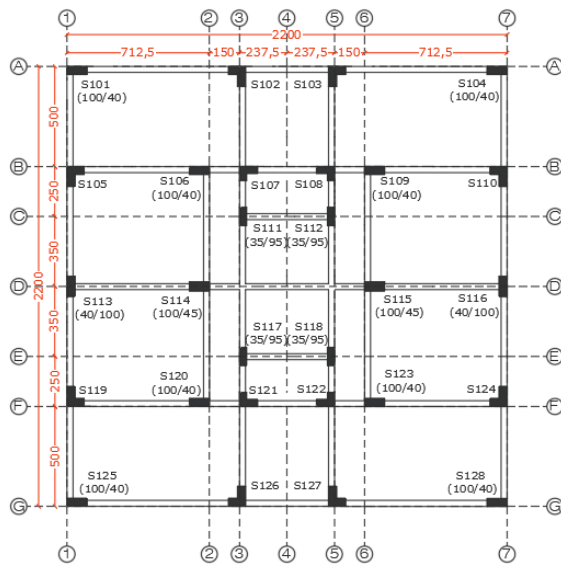
Ele alınan tüm modellerde bodrum kat rijitliği sağlanmış olup bina yükseklikleri, deprem yönetmeliğinde A22 sistemleri için verilen  $BYS \geq 4$  (DTS-1 ve DTS-2 için 42 metre) şartını sağlamak üzere bodrum perdelerinin üst kotundaki kat döşemesi seviyesinden itibaren 41 metre olarak tasarlanmıştır. Modellerde normal kat alanı yaklaşık 484 m<sup>2</sup> olup kat ağırlıkları ve kat yükseklikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Bina kullanım sınıfı ve bina önem katsayısı sırasıyla BKS=3 ve I=1 olarak alınmıştır. ZD zemin sınıfı için  $S_{DS}$  (kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı) değeri AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi) Başkanlığı'nın yayınladığı Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması üzerinden [12] 0.785 olarak elde edilmiştir. Bu ivme değeri Adıyaman Üniversitesi merkez yerleşkesi içerisindeki bir lokasyon için elde edilmiş olup deprem tasarım sınıfı olarak DTS=1 değerine karşılık gelmektedir.

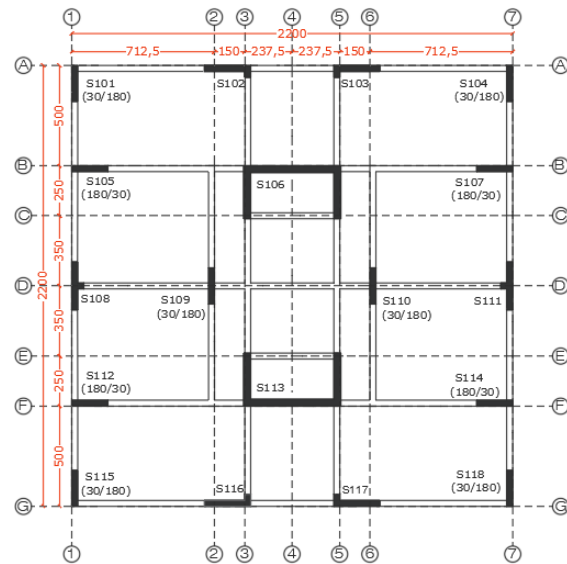
Depreme dayanıklı yapı tasarımı için pek çok yazılım kullanılabilir [9-11, 13-18]. Bu çalışmada taşıyıcı sistem tiplerini karşılaştırmak üzere STA4-CAD bilgisayar programında [19] beş farklı model hazırlanmıştır. Modellere ait kat planları Şekil 1'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Modellerin ağırlık bilgileri ve kat yükseklikleri.

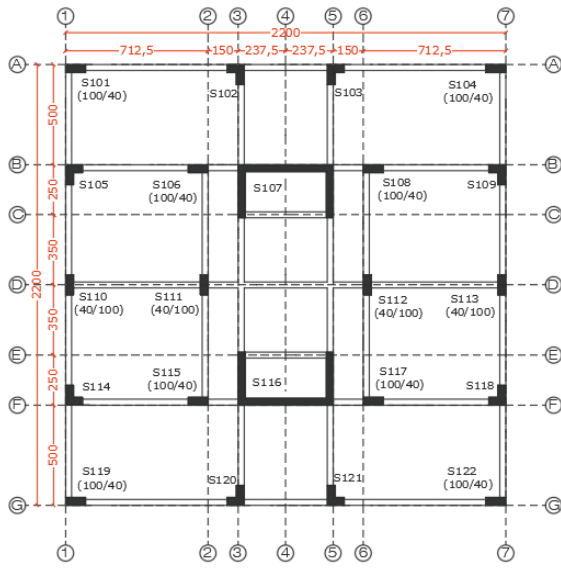
Kat	Yükseklik (metre)	Ağırlık (ton)				
		A11 Salt Çerçevesel Model	A13 Salt Perdeli Model	A15_1 Çerçevesel ve Perdeli Model	A15_2 Çerçevesel ve Perdeli Model	A22_2 Çerçevesel ve Perdeli Model
Bodrum Kat	3.5	734.09	715.78	755.36	741.33	743.58
Zemin Kat	3.5	553.51	570.35	576.04	570.62	572.04
1. Normal Kat	3.2	544.10	558.3	563.87	558.95	558.58
2-10. Normal Katlar	3.2	544.10	558.3	563.87	558.95	557.32
11. Normal Kat	3.2	495.77	506.96	517.53	509.29	509.29
12. Asansör Dairesi	2.3	52.83	69.04	69.33	69.33	69.33
TOPLAM		7277.14	7445.10	7556.97	7480.03	7468.71



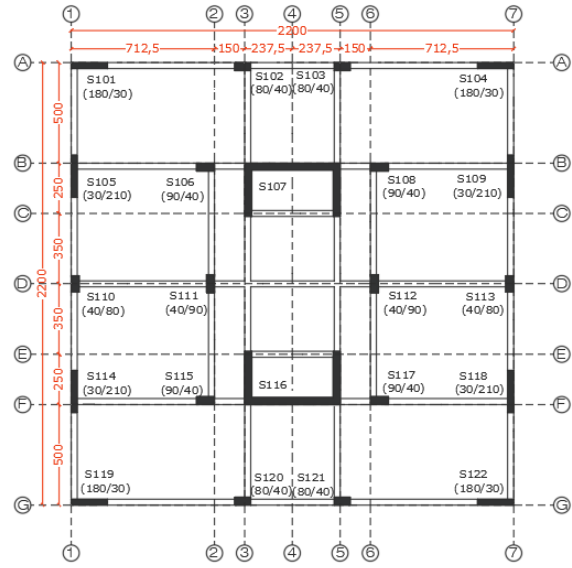
a) A11 kalıp planı



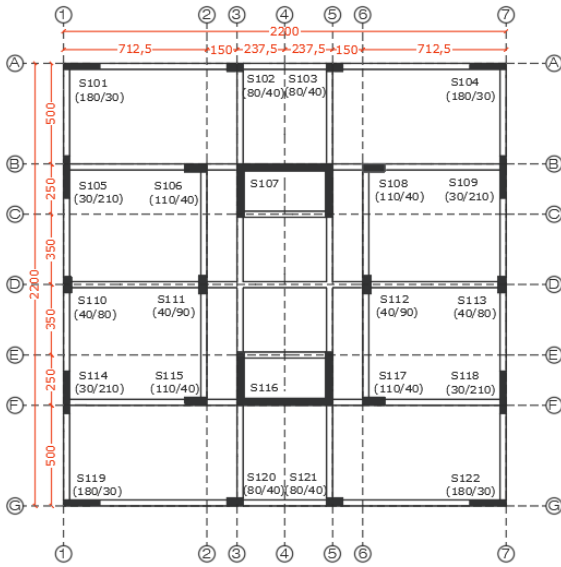
b) A13 kalıp planı



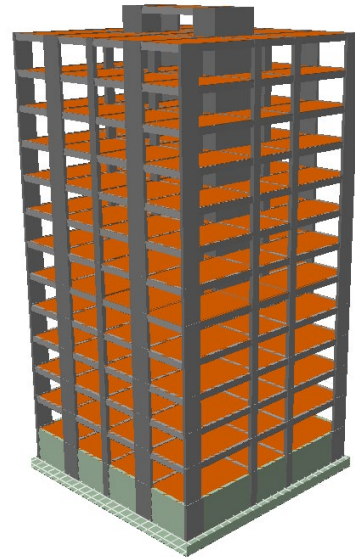
c) A15\_1 kalıp planı



d) A15\_2 kalıp planı



e) A22\_2 kalıp planı



f) A22\_2 perspektif görünüşü

Şekil 1. Modellerin normal kat kalıp planı ve perspektif görselleri

Ön tasarım aşamasında kolon ve perdelerin enkesit ölçüleri belirlenirken TS 500'de [20] ve TBDY-2018'de verilen maksimum aksenal yük düzeyi kriterleri dikkate alınmıştır. Bu kriter TS 500'de Denklem 1'de verilen bağıntı ile sağlanmaktadır. Burada  $N_d$  artırılmış düşey yüklerin etkisi altında hesaplanan tasarım aksenal kuvvetidir.  $f_{cd}$  betonun tasarım basınç dayanımı ve  $A_c$  ise elemanın tüm kesit beton alanıdır. Deprem yönetmeliğinde ise kolonlar ve perdeler için bu kriterler sırasıyla Denklem 2 ve Denklem 3'te verilmiştir. Burada  $N_{dm}$ , düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan aksenal basınç kuvvetlerinin en büyüğü ve  $f_{ck}$  betonun karakteristik silindirik basınç dayanımıdır. Modellerde planda ve düşeyde herhangi bir düzensizlik bulunmamaktadır. Her bir modelde düşey elemanlar simetrik olarak yerleştirilmiş olup X ve Y yönlerinde benzer yanıl öteleme rijitliğini sağlanmaya çalışılmıştır.

$$N_d \leq 0,9 f_{cd} A_c \quad (1)$$

$$A_c \geq N_{dm} / (0.40 f_{ck}) \quad (2)$$

$$A_c \geq N_{dm} / (0.35 f_{ck}) \quad (3)$$

Perdeli modellerde (A13, A15\_1, A15\_2 ve A22\_2), deprem yönetmeliğinin 4.3.2.4. maddesini sağlamak üzere her bir perdenin alacağı taban devrilme momenti, bina tabanında ilgili doğrultuda oluşacak toplam devrilme momentinin 1/3'ünün altında tutulmuştur. Perdeli modellerin ön tasarım aşamalarında elde edilen bu oranlar X ve Y yönleri için Çizelge 2'de verilmiştir. Yönetmeliğin bu maddesinden, depreme dayanıklı yapı tasarımında büyük enkesite sahip az sayıda perde yerine daha küçük enkesite sahip olan çok sayıda perdenin kullanılmasının teşvik edildiği anlaşılmaktadır. Az sayıda büyük kesitli perde kullanıldığında, yatay deprem kuvvetlerini üzerine alması beklenen perdelerden herhangi birisinin devreden çıkması durumunda yapının gerek deprem davranışının ve gerekse hasar durumunun kontrolden çıkabileceği kaygısı ile böyle bir düzenlemeye gidilmiş olabileceği düşünülmektedir. Deprem yönetmeliğinde ayrıca, deprem etkisinde binanın tamamında oluşan taban devrilme momentinin 1/6'sından fazlasının kenar akslardaki perdeler tarafından karşılanması istenmektedir. Perdeli modellerde bu koşul mimari nedenlerle sağlanamamıştır. Ön tasarım aşamasında yapılan deneme analizlerinden, bu koşulu sağlayabilmek için kenar akslarda oldukça büyük en kesitlere sahip betonarme perdeler ihtiyacı olduğu anlaşılmıştır. Yönetmelik böyle bir durumda taşıyıcı sistem davranış katsayısının 4/5 oranında azaltılarak yapıya etkiyen deprem kuvvetlerinin büyütülmesini istemektedir. Bu nedenle tüm perdeli modellerde R değeri 4/5 oranında azaltılarak analizlere dahil edilmiş olup R değerleri; A11 için 8, A13 için 4.8, A15\_1 ve A15\_2 için 5.6 ve A22\_2 için 4 olarak esas alınmıştır. Dayanım fazlalığı katsayısı yönetmeliğe uygun şekilde A11 sistemi için 3, diğer modeller için ise 2.5 olarak dikkate alınmıştır. Tüm modellerde radye temel kalınlığı 100 cm olup çalışmada asıl amacın yönetmelikte verilen üstyapı modellerini kıyaslamak olması nedeniyle analizler, yapı – temel ayrı statik şekilde yürütülmüştür. Tüm modeller Sonlu Elemanlar Yöntemi ile analiz edilmiştir.

**Çizelge 2.** En büyük perde taban momentinin toplam taban devrilme momentine oranı.

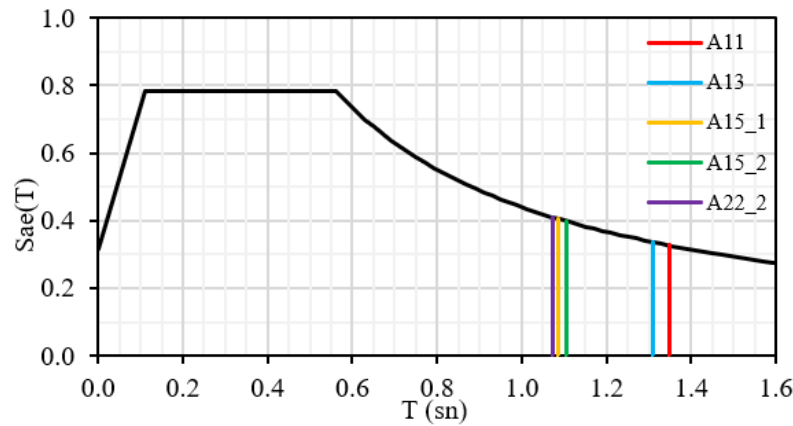
	En büyük perde taban momenti / Toplam taban devrilme momenti				
	A11	A13	A15_1	A15_2	A22_2
X Yönü	-	0.302	0.295	0.309	0.305
Y Yönü	-	0.224	0.187	0.187	0.186

### 3. Bulgular ve Tartışma

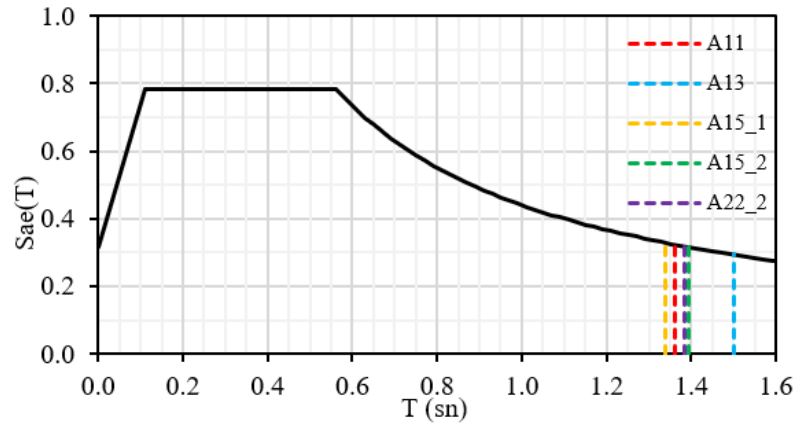
Taşıyıcı sistem modelleri için elde edilen hakim doğal titreşim periyotları ile kütle katılım oranları, taban kesme kuvvetleri ve bina ağırlığına oranları Çizelge 3'te verilmiştir. Ayrıca AFAD'tan ivme değerleri alınan ilgili parsel için yatay elastik tasarım ivme spektrum grafiği hazırlanarak Şekil 2'de doğal titreşim periyotları ile birlikte verilmiştir. Böylece taşıyıcı sistemlerin ilgili yönlerdeki doğal titreşim periyotlarına bağlı olarak deprem etkisinden alacakları ivme büyüklükleri spektrum grafiğinden karşılaştırılabilir olarak görülebilmektedir [21].

**Çizelge 3.** Doğal titreşim periyotları, taban kesme kuvvetleri ve R katsayıları.

Karşılaştırılan Büyüklükler	A11	A13	A15_1	A15_2	A22_2
Doğal Titreşim Periyodu ( $T_x$ )	1.35 s	1.31 s	1.03 s	1.10 s	1.07 s
Kütle Katılım Oranı ( $M_{xr}$ )	%72.5	%66.9	%69.2	%68.2	%65.6
Doğal Titreşim Periyodu ( $T_y$ )	1.36 s	1.49 s	1.34 s	1.39 s	1.39 s
Kütle Katılım Oranı ( $M_{yr}$ )	%72.6	%70.2	%71.5	%70.7	%70.7
Taban Kesme Kuvveti ( $V_{te}^{(X)}$ ) (ton)	240.45	436.30	460.1	436.3	599.5
Taban Kesme Kuvveti ( $V_{te}^{(Y)}$ ) (ton)	238.66	374.77	358.7	345.4	473.6
$(V_{te}^{(X)})$ /Bina Ağırlığı Oranı	3.3%	5.9%	6.1%	5.8%	8.0%
$(V_{te}^{(Y)})$ /Bina Ağırlığı Oranı	3.3%	5.0%	4.7%	4.6%	6.3%



a) X yönünde doğal titreşim periyotları



b) Y yönünde doğal titreşim periyotları

**Şekil 2.** Yatay elastik tasarım ivme spektrum grafiği ve doğal titreşim periyotları

Modeller arasında salt perdeli sistem olan A13 sisteminde Y yönündeki doğal titreşim periyodu ( $T_y=1.49$  s) yönetmelikte üst sınır olarak verilen ampirik hâkim doğal titreşim periyodunu ( $T_{pA}$ ) aşmıştır ve 1.49 s değeri yerine hesaplarda 1.42 s kullanılmıştır. Diğer tüm modellerin her iki yönde elde edilen periyot değerleri bu sınırın altındadır. Yapıların periyodu genel formda Denklem 4’te verilen bağıntı ile elde edilebilmektedir. Burada  $T$  periyot,  $m$  kütle ve  $k$  rijitliktir.

$$T=2\pi\sqrt{(m/k)} \quad (4)$$

Bağıntıdan görüleceği gibi periyod değeri (m) kütlesi ile doğru orantılı ve (k) rijitliği ile ters orantılı olup artan yapı rijitliğine karşılık doğal titreşim periyodunun azalması beklenmektedir. Doğal titreşim periyotlarını incelemek üzere salt çerçevesel A11 ile salt perdeli A13 sistemleri karşılaştırıldığında X yönünde eklenen perdelerin yapının rijitliğini az da olsa artırarak periyodu 1.35s'den 1.31s'ye düşürdüğü görülmektedir. Y yönünde ise durum tamamen farklı gelişmiş olup bu yönde eklenen perdelerle rağmen periyodun arttığı görülmektedir (1.36s'den 1.49s değerine). Bu durum DBYBHY-2007'ye göre beklenen mertebelerden oldukça farklıdır. Bu farklılık, TBDY 2018'de perdeler için verilen etkin kesit rijitlik çarpanlarının kolonlar için verilen etkin kesit rijitlik çarpanlarından daha düşük olması ile açıklanabilir. Elde edilen bu bulgular daha önceki çalışmalarla benzerlik arz etmektedir [9]. Periyodun X yönünde azalırken Y yönünde artması ise ilgili yöndeki atalet momentlerine bağlı olarak X yönünde eklenen 2 adet perdenin yatay ötelenme rijitliklerinin Y yönünde eklenen 4 adet perdenin toplam yatay ötelenme rijitliğinden daha yüksek olması ile ( $I_x \sim 4.5 I_y$ ) açıklanabilir. Birbirlerine daha çok benzeyen A11 ve A15\_1 sistemleri karşılaştırıldığında ise Y yönünde eklenen 4 adet perdeye rağmen bu yöndeki periyotların oldukça yakın çıktığı (sırası ile 1.36s ve 1.34s) görülmekte ve X yönünde eklenen perdelerin ise yapının rijitliğini artırarak periyodu 1.35s değerinden 1.03s değerine indirdiği gözlenmektedir. A15\_1'e göre perde oranının daha yüksek olduğu A15\_2 sistemine geçildiğinde ise X ve Y yönleri için elde edilen 1.10s ve 1.39s değerleri her iki yönde de periyotların arttığını göstermektedir. A22\_ ile A15\_2 sistemleri kalıp planı açısından oldukça benzer olup temel fark R katsayılarıdır. Bu nedenle bu iki modelde periyot değerleri için oldukça benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 3'te her bir taşıyıcı sistem modeli için elde edilen taban kesme kuvveti değerleri de verilmiştir. Binalara etkiyen deprem kuvvetleri yaklaşık olarak bina ağırlıklarının %3'ü ile %8'i arasında değişmektedir. En düşük değerler salt çerçevesel A11 modeli için  $V_{tE}^{(X)}=240.45$  ton ve  $V_{tE}^{(Y)}=238.66$  ton olarak elde edilirken, en yüksek yatay deprem kuvvetleri süneklik düzeyi karma olan A22\_2 modeli için  $V_{tE}^{(X)}=599.50$  ton ve  $V_{tE}^{(Y)}=473.60$  ton olarak elde edilmiştir. Diğer perdeli modellerde de (A13, A15\_1 ve A15\_2) taban kesme kuvveti değerleri çerçevesel modele kıyasla 1.5 – 2 kata kadar artmış olup kendi aralarında kıyaslandıklarında ise birbirine yakın sonuçların elde edildiği görülmektedir. Perdelerin deprem etkilerini karşılama oranları DBYBHY-2007'de taban kesme kuvvetleri üzerinden hesaplanırken TBDY-2018'de perde taban momentleri üzerinden hesaplanmaktadır. A15\_1 modelinde, deprem etkisinde perde tabanlarında oluşan moment, bina tabanında oluşacak toplam devrilme momentinin X yönü için %54'ü ve Y yönü için %37'si seviyelerindedir. A15\_2 modelinde ise bu oranlar sırasıyla %65 ve %62 seviyelerindedir.

$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) \quad (5a)$$

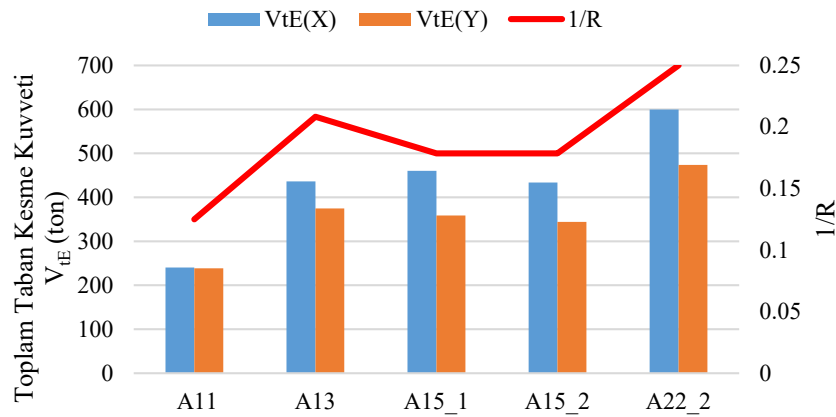
$$S_{aR}(T) = S_{ae}(T)/R_a(T) \quad (5b)$$

$$R_a(T) = R/I \quad T > T_B \quad (5c)$$

Denklem 5'ten de anlaşılacağı üzere eşdeğer deprem yüklerinin hesabında bina kütlesi ve doğal titreşim periyotları önemli etkenler olsa da bu çalışmada elde edilen taban kesme kuvvetlerinin modeller arasında bu kadar değişmesindeki en önemli parametre taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) olmuştur. Spektrum grafiğinden elde edilen deprem ivmeleri, yapının süneklik kapasitesine göre tüketebileceği deprem enerjisi dikkate alınarak konut türü binalar için R katsayısına bölünmek suretiyle önemli oranda azaltılmaktadır. Bu ters orantılı ilişkiye bağlı olarak taşıyıcı sistem davranış katsayısının taban kesme kuvvetleri üzerindeki etkisini göstermek üzere Şekil 3'teki grafik hazırlanmıştır. Özellikle Y yönündeki taban kesme kuvveti ( $V_{tE}^{(Y)}$ ) değerlerinin 1/R grafiği ile olan benzerliği dikkat çekicidir.

Çizelge 4'te her modele ait görelî kat ötelemeleri, ikinci mertebeye gösterge değerleri ve burulma düzensizliği katsayıları verilmiştir. Tüm modellerde burulma düzensizliği katsayısı yönetmelikte verilen 1.20 değerinin altında kalmaktadır. Benzer şekilde etkin görelî kat ötelemeleri ve ikinci mertebeye göstergeleri tüm modellerde sınır değerinin altında olup bu durum modellerin yönetmelik kapsamında yeterli rijitliğe sahip olduğunu göstermektedir.





Şekil 3. R katsayısının taban kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi

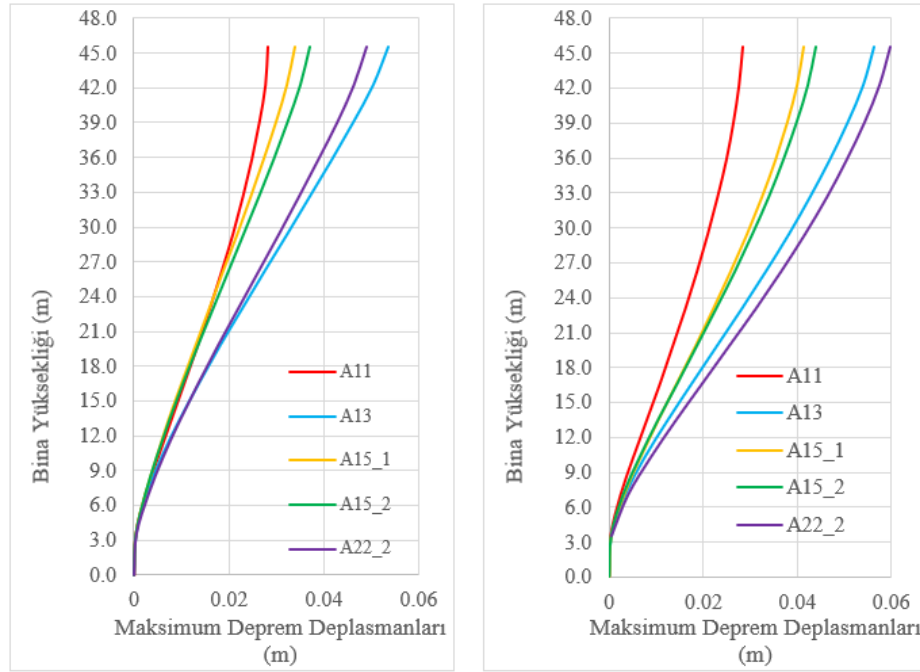
Çizelge 4. Göreli kat ötelemeleri, ikinci mertebeye göstergeleri ve burulma düzensizliği katsayıları.

Karşılaştırılan Büyüklükler	A11	A13	A15_1	A15_2	A22_2
En Büyük Burulma Düzensizliği Katsayısı ( $\eta_{bi}$ )	1.115	1.124	1.153	1.138	1.146
En Büyük Etkin Göreli Kat Ötelemesi Kontrolü ( $\delta_{i,max}^{(X)}$ )	0.0030	0.0030	0.0022	0.0024	0.0023
En Büyük Etkin Göreli Kat Ötelemesi Kontrolü ( $\delta_{i,max}^{(Y)}$ )	0.0030	0.0033	0.0029	0.0030	0.0029
En Büyük İkinci Mertebeye Gösterge Kontrolü ( $\theta_{II,max}^{(X,Y)}$ )	0.023	0.026	0.021	0.023	0.022
	<0.090	<0.125	<0.107	<0.107	<0.150

Çizelge 5'te her model için hesaplanan maksimum deprem deplasmanları verilmiş olup Şekil 4'te bu değerler grafik halinde gösterilmiştir. Tüm modellerde en büyük tepe deplasmanları Y yönünde elde edilmiştir. Bu yöndeki periyotların büyük olması modellerin bu yöndeki rijitliklerinin X yönüne göre daha düşük olduğu anlamına gelebilir. Bu durum bu yönde daha büyük deplasmanlar olarak kendini göstermiştir. Modeller arasında en küçük tepe deplasmanları aynı zamanda en küçük taban kesme kuvvetlerine sahip olan salt çerçevesel A11 modeli için X yönünde 0.0284 ve Y yönünde 0.0286 m olarak elde edilmiştir. En büyük yer değiştirme değerleri ise X ve Y yönleri için sırasıyla 0.0537 m ve 0.0563 m olmak üzere A13, ve 0.0492 ve 0.0600 olmak üzere A22\_2 sistemlerinde gözlenmiştir. Aslında çalışmada ele alınan 5 model arasında en büyük tepe deplasmanlarının en çok perde oranına sahip olan modellerde gözlenmesi ilgi çekicidir. Buradan yola çıkarak, çalışma kapsamındaki modeller arasında perde oranı arttıkça maksimum deprem deplasmanlarının artış gösterdiği söylenebilir. Salt çerçevesel sistemden yaklaşık 0.007 perde oranına (her iki yönde) sahip olan A15\_1 modeline geçildiğinde tepe deplasmanları X ve Y yönleri için sırasıyla %20 ve %45 oranında artmıştır. 0.012 perde oranına sahip olan A15\_2 modeline geçildiğinde ise bu artış sırasıyla %30 ve %53 olarak elde edilmiştir. Salt perdeli A13 modelinde ise bu artış sırasıyla %89 ve %97 olmuştur. Periyot hesabına benzer şekilde, etkin kesit rijitliği çarpanları etkisinin buradaki sonuçlara da yansıdığı söylenebilir. Diğer taraftan, A15\_2 modelinden süneklik düzeyi karma olarak türetilen A22\_2 modelinde ise tepe deplasmanındaki artışlar X yönü için %73 olurken Y yönü için %110'a ulaşmıştır. A15\_2 sistemine kıyasla bu modelde çok büyük yer değiştirmelerin görülmesinde, R=4 katsayısının ve buna bağlı olarak yapının çok büyük yatay yüklerle ( $V_{tE}^{(X)} = 599.5$  ton) yüklenmiş olmasının etkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, R katsayısının tepe deplasmanları üzerindeki etkisini vurgulamak üzere Şekil 5'de verilen grafik hazırlanmıştır.

Çizelge 5. Maksimum deprem deplasmanları.

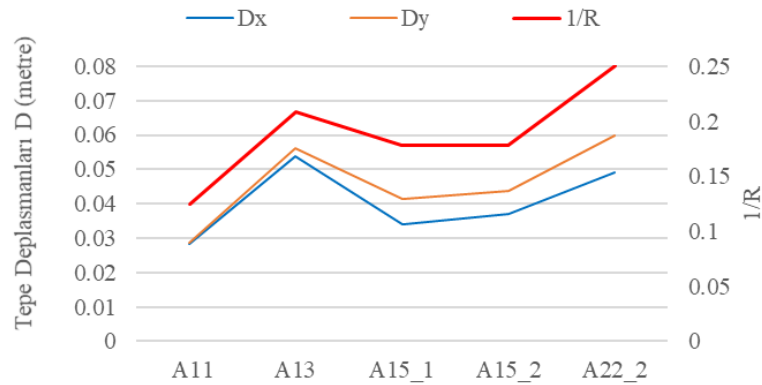
Kat	A11		A13		A15 1		A15 2		A22 2	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
12. Asansör D.	0.0284	0.0286	0.0537	0.0563	0.0339	0.0415	0.0370	0.0439	0.0492	0.0600
11. Normal Kat	0.0279	0.0278	0.0505	0.0540	0.0322	0.0401	0.0350	0.0422	0.0465	0.0577
10. Normal Kat	0.0266	0.0266	0.0463	0.0507	0.0299	0.0380	0.0323	0.0398	0.0430	0.0545
9. Normal Kat	0.0250	0.0251	0.0418	0.0469	0.0273	0.0355	0.0294	0.0370	0.0390	0.0507
8. Normal Kat	0.0231	0.0232	0.0371	0.0427	0.0246	0.0326	0.0263	0.0339	0.0349	0.0465
7. Normal Kat	0.0210	0.0211	0.0324	0.0382	0.0218	0.0294	0.0231	0.0304	0.0307	0.0418
6. Normal Kat	0.0186	0.0188	0.0276	0.0333	0.0188	0.0259	0.0199	0.0267	0.0264	0.0367
5. Normal Kat	0.0161	0.0163	0.0229	0.0282	0.0159	0.0222	0.0167	0.0227	0.0221	0.0313
4. Normal Kat	0.0135	0.0136	0.0182	0.0229	0.0130	0.0184	0.0135	0.0186	0.0178	0.0256
3. Normal Kat	0.0107	0.0109	0.0138	0.0176	0.0101	0.0144	0.0104	0.0145	0.0137	0.0199
2. Normal Kat	0.0079	0.0080	0.0096	0.0124	0.0073	0.0104	0.0075	0.0103	0.0098	0.0142
1. Normal Kat	0.0051	0.0051	0.0058	0.0075	0.0048	0.0066	0.0048	0.0064	0.0062	0.0088
Zemin Kat	0.0024	0.0024	0.0027	0.0034	0.0024	0.0031	0.0024	0.0029	0.0031	0.0040
Bodrum Kat	0.0003	0.0003	0.0004	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0005	0.0005



a) X yönü

b) Y yönü

Şekil 4. Maksimum deprem deplasmanları



Şekil 5. R katsayısının tepe deplasmanları üzerindeki etkisi

Deprem yönetmeliğimizde konut türü yapılar için hedeflenen performans düzeyi Kontrollü Hasar (KH) seviyesidir. Bu performans düzeyi DD-2 deprem yer hareketi seviyesinde sağlanmalıdır. Tüm performans analizleri dayanıma göre tasarım (DGT) yaklaşımına uygun olarak doğrusal hesap yöntemi ile yapılmıştır. Elde edilen hasar durumları kolon ve perdeler için Çizelge 6’da kirişler için ise Çizelge 7’de verilmiştir. Binalarda genel olarak bodrum ve zemin katlarda eksenel yükler fazla olduğundan bu katlar düşey elemanların hasar durumu açısından kritik olmaktadır. Tüm modellerde zemin katlardaki düşey taşıyıcı elemanların hasar durumlarının bodrum katlara kıyasla daha kritik olduğu gözlenmiştir.

**Çizelge 6.** Performans analizi sonucunda düşey elemanlarda elde edilen hasar durumları.

Kolon - Perde Hasar Adetleri	A11			A13			A15_1			A15_2			A22_2		
	SH	BH	İH	SH	BH	İH	SH	BH	İH	SH	BH	İH	SH	BH	İH
Bodrum Kat	6	22	-	16	2	-	4	18	-	4	18	-	4	18	-
Zemin Kat	-	26	2	4	14	-	2	20	-	2	20	-	2	20	-
1. Normal Kat	-	24	4	12	6	-	2	20	-	8	14	-	10	12	-
2. Normal Kat	-	28	-	8	10	-	2	20	-	10	12	-	10	12	-
3. Normal Kat	-	28	-	8	10	-	4	18	-	10	12	-	10	12	-
4. Normal Kat	2	26	-	8	10	-	6	16	-	10	12	-	10	12	-
5. Normal Kat	4	24	-	8	10	-	6	16	-	10	12	-	10	12	-
6. Normal Kat	10	18	-	6	12	-	8	14	-	8	14	-	10	12	-
7. Normal Kat	10	18	-	2	16	-	10	12	-	8	14	-	10	12	-
8. Normal Kat	14	14	-	2	16	-	10	12	-	10	12	-	12	10	-
9. Normal Kat	5	23	-	6	12	-	10	12	-	12	10	-	14	8	-
10. Normal Kat	28	-	-	6	12	-	18	4	-	14	8	-	16	6	-
11. Normal Kat	28	-	-	6	12	-	18	4	-	10	12	-	14	8	-
12. Asansör D.	8	-	-	2	-	-	2	-	-	2	-	-	-	2	-

**Çizelge 7.** Performans analizi sonucunda kirişlerde elde edilen hasar durumları.

Kiriş Hasar Yüzdeleri	A11		A13		A15_1		A15_2		A22_2	
	SH %	BH %	SH %	BH %	SH %	BH %	SH %	BH %	SH %	BH %
Bodrum Kat	100	-	100	-	100	-	100	-	100	-
Zemin Kat	-	100	27	73	27	73	27	73	27	73
1. Normal Kat	-	100	7	93	7	93	7	93	7	93
2. Normal Kat	-	100	-	100	-	100	-	100	-	100
3. Normal Kat	-	100	-	100	-	100	-	100	-	100
4. Normal Kat	-	100	-	100	-	100	-	100	-	100
5. Normal Kat	-	100	-	100	-	100	-	100	-	100
6. Normal Kat	-	100	-	100	-	100	-	100	-	100
7. Normal Kat	-	100	-	100	-	100	-	100	-	100
8. Normal Kat	2	98	-	100	-	100	2	98	2	98
9. Normal Kat	2	98	-	100	-	100	2	98	2	98
10. Normal Kat	43	57	-	100	-	100	2	98	2	98
11. Normal Kat	100	-	7	93	7	93	2	98	2	98
12. Asansör D.	100	-	-	100	-	100	-	100	-	100

Deprem yönetmeliğinde tanımlanan sınırlı hasar (SH) seviyesinde plastik mafsallaşma söz konusu olmayıp, elemanın ilgili kesitinde sınırlı miktarda elastik ötesi davranış söz konusudur. Belirgin hasar (BH), kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranışı tanımlamaktadır. İleri hasar (İH) durumu ise kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışı tanımlamaktadır. Salt çerçeveli A11 modelinde bodrum katta kolonların sayıca yaklaşık %79’u belirgin hasar (BH) bölgesinde kalırken,

%21'i sınırlı hasar (SH) bölgesindedir. Zemin katta ise kolonların tamamı SH seviyesini geçerek %93 oranla BH ve %7 oranla İH bölgesinde kalmıştır. Beş model arasından sadece bu modelde ileri hasar (İH) bölgesine geçen düşey elemanlar bulunmuş olup bunlar, ikisi zemin katta ve dördü 1. Normal katta olmak üzere 6 adettir. Diğer modellerde İH düzeyine geçen kolon veya perde bulunmamaktadır. Salt perdeli A13 modelinde perdelerin BH ve SH durumları bodrum katta sırası ile %11 ve %89, zemin katta ise %78 ve %22'dir. A15\_1, A15\_2 ve A22\_2 modellerinde düşey eleman hasarları birbirlerine oldukça benzer durumdadır. Bu modellerde bodrum katta BH bölgesine geçen düşey elemanların miktarı sayıca %82 olup diğer düşey elemanlar (%18) SH bölgesindedir. Zemin katlarda ise bu oran BH ve SH için sırasıyla %91 ile %9'dur. Çizelge 7'de kiriş hasarları incelendiğinde, A11 modelinde zemin kat kirişlerinin tamamı BH bölgesinde kalırken diğer modellerde bu katlardaki kirişlerin SH ve BH dağılımları sırayla %27 ve %73 olarak tespit edilmiştir. Tüm modellerde normal katlara geçildiğinde kirişlerin tamamına yakınının BH bölgesinde kaldığı söylenebilir.

Çizelge 8 ve 9'da modeller için temel hariç olmak üzere hesaplanan donatı, C35/45 hazır betonu ve kalıp metrajları verilmiştir. STA4CAD programından alınan verilere göre en yüksek donatı miktarları salt çerçevesel olan A11 ve perde oranının en düşük olduğu A15\_1 modelleri için sırasıyla 205,528 kg ve 207,186 kg olarak elde edilmiştir. En düşük donatı metrajı ise salt perdeli olan A13 modeli için 170,806 kg olarak hesaplanmıştır. Bu taşıyıcı sistem modeli tamamen perdelerden oluştuğu için deprem yönetmeliğinin 7.6.3.2. maddesi gereği perdelerin boyuna ve enine gövde donatısı porsantajları 0.002'ye düşürülmüş (diğer perdeli modellerde porsantaj oranı 0.0025) ve donatı metrajı yaklaşık 6,000 kg kadar azalmıştır. En düşük etriye ve çiroz işçiliği A13 modeli için beklenmekte olup diğer modellerde etriye ve çiroz metrajları birbirine yakın çıkmıştır.

**Çizelge 8.** Kaba yapı metrajları.

İş Kalemleri	A11	A13	A15_1	A15_2	A22_2
Betonarme İnce Demiri 8-12 mm (kg)	122,954	113,309	126,342	129,209	124,811
Betonarme Kalın Demiri 14-28 mm (kg)	82,571	57,497	80,845	63,964	71,601
C35/45 Hazır Betonu (m <sup>3</sup> )	1,937	2,072	2,070	2,033	2,036
Düz Yüzeyle Bet. Kalıbı (m <sup>2</sup> )	12,197	13,205	12,750	12,796	12,813

**Çizelge 9.** Donatı metrajları

İş Kalemleri	A11	A13	A15_1	A15_2	A22_2
Etriye ve Çiroz İmalatları (kg)	63,689	40,533	64,563	61,998	59,103
Betonarme İnce Demir 8-12 mm (kg)	122,954	113,309	126,342	129,209	124,811
Betonarme Kalın Demiri 14-28 mm (kg)	82,571	57,497	80,845	63,964	71,601
TOPLAM	205,528	170,806	207,186	193,173	196,411

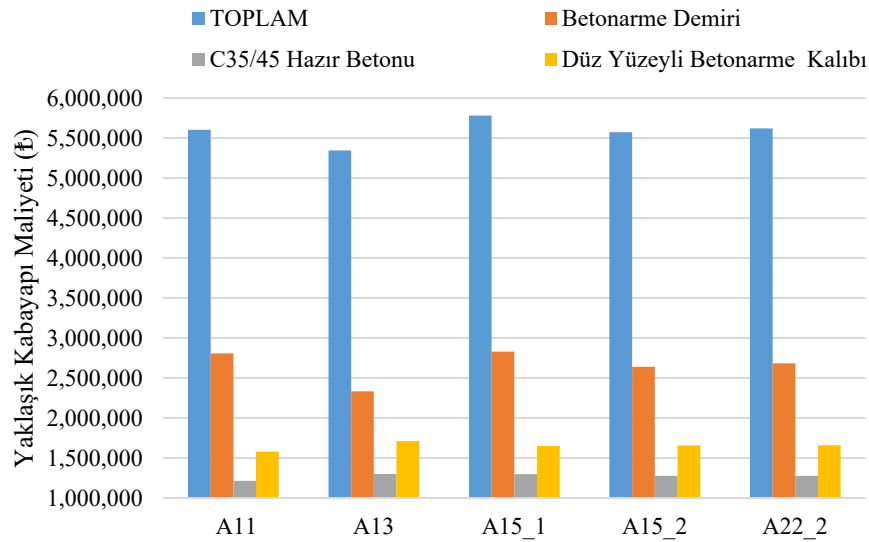
Kaba yapı maliyeti için en önemli iş kalemlerinden olan demir, beton ve kalıp maliyetleri Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nca yayınlanan 2022 Birim Fiyatları [22] esas alınarak Çizelge 10 ve 11'de verilmiştir. En düşük maliyet salt perdeli A13 sistemi için hesaplanmış olup bu maliyetin salt çerçevesel A11 modeline göre yaklaşık %5 oranında daha ekonomik olduğu görülmektedir. Diğer tüm modellerin maliyetleri A11 modelinin maliyetine oldukça yakın olup farklar %3 değerinin altındadır. Burada elde edilen maliyetler için en belirleyici parametre, birim fiyatı en yüksek olan betonarme inşaat demiri kalemleri olmuştur. Maliyetleri oluşturan alt iş kalemleri ile birlikte yaklaşık kaba yapı maliyetlerinin toplam değerleri Şekil 6'da verilmiştir.

Çizelge 10. Demir, beton ve kalıp poz no ve birim fiyatları.

İş Kalemleri	Poz No	Birim Fiyat (₺)
Betonarme İnce Demiri (8-12mm)	15.160.1003	13,678.13
Betonarme Kalın Demiri (14-28mm)	15.160.1004	13,630.00
C35/45 Hazır Betonu	15.150.1007	627.71
Düz Yüzeyle Bet. Kalıbı	15.180.1003	129.53

Çizelge 11. Kaba yapı yaklaşık maliyetleri.

İş Kalemleri	A11	A13	A15_1	A15_2	A22_2
Betonarme İnce Demiri (₺)	1,681,780.8	1,549,855.2	1,728,122.3	1,767,337.5	1,707,181.1
Betonarme Kalın Demiri (₺)	1,125,442.7	783,684.1	1,101,917.4	871,829.3	975,921.6
C35/45 Hazır Betonu (₺)	1,215,874.3	1,300,615.1	1,299,359.7	1,276,134.4	1,278,017.6
Düz Yüzeyle Bet. Kalıbı (₺)	1,579,877.4	1,710,443.7	1,651,507.5	1,657,465.9	1,659,667.9
TOPLAM (₺)	5,602,975.2	5,344,598.1	5,780,906.9	5,572,767.1	5,620,788.2



Şekil 6. Yaklaşık kaba yapı maliyetleri

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, ülkemizde herhangi bir lokasyon üzerinde yapılabilecek olan bodrum, zemin ve 11 adet normal kattan oluşan konut türü betonarme bir bina için deprem yönetmeliğinin (TBDY 2018) 4. Bölümündeki Tablo 4.1'de önerilen 5 farklı taşıyıcı sistem tipi modellenmiş ve bu modeller karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Süneklik düzeyi yüksek olan; A11 modeli salt çerçevelerden, A13 modeli salt perdelerden, yaklaşık 0.007 perde oranı ile A15\_1 ve 0.012 perde oranı ile A15\_2 modelleri çerçeve ile perdelerden oluşmaktadır. A22\_2 sistemi ise A15\_2 modelinden süneklik düzeyi karma olarak türetilmiştir. Deprem yönetmeliğinin ilgili maddeleri gereği A11, A13, A15\_1, A15\_2 ve A22\_2 modelleri için taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) sırası ile 8, 4.8, 5.6, 5.6 ve 4 şeklinde seçilmiştir. Yönetmelikte verilen bazı koşulların (deprem etkilerinin betonarme çerçeve ve perdelerle karşılandığı binalarda kenar akslardaki perdelerin, deprem etkisinde binanın tamamında oluşacak taban devrilme

momentinin 1/6'sından fazlasını karşılaması koşulu) sağlanamamasından dolayı perdeli modellerde taşıyıcı sistem davranış katsayıları 4R/5 şeklinde azaltılmış ve bu R değerleri zorunlu olarak elde edilmiştir. Ön tasarım aşamasında yapılan deneme analizlerinden, kenar akslarda oldukça büyük en kesitlere sahip betonarme perdelerin düzenlenmesinin mimari nedenlerle çok zor olduğu ve dolayısıyla 4R/5 azaltmasından kaçınmanın da hayli güç olduğu anlaşılmıştır. Çalışma kapsamında irdelenen modeller özelinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

DBYBHY 2007 deprem yönetmeliğinde alışlagelen mertebelerle uyumlu olarak taşıyıcı sisteme eklenen perdelerin yapıyı rijitleştirmesi ve daha küçük doğal titreşim periyotları beklenirken, tüm perdeli modellerde bu beklenti perde rijitliklerinin çok büyük olduğu X yönlerinde kısmen karşılanmış fakat çok sayıda ama daha küçük kesitli perdelerin olduğu (salt perdeli A13 modeli başta olmak üzere) Y yönlerinde daha büyük periyotlar elde edilmiştir. Bu durum deprem yönetmeliğinde perdeler için verilen etkin kesit rijitlik çarpanlarının çerçeve kolonları için verilen etkin kesit rijitlik çarpanlarından çok daha düşük olması ile açıklanabilir.

Modeller arasında taban kesme kuvveti ve tepe deplasmanı dağılımları karşılaştırıldığında, her iki büyüklük için de dağılımların çok büyük oranda 1/R ilişkisine benzer şekilde gerçekleştiği görülmüştür. En küçük eşdeğer deprem yükleri R=8 olan A11 modeli için, en büyük eşdeğer deprem yükleri ise R=4 olan A22\_2 modeli için elde edilirken A13 (R=4.8), A15\_1 (R=5.6) ve A15\_2 (R=5.6) modelleri 1/R oranı ile ilişkili olarak ortalama değerler almışlardır. Ayrıca en küçük yatay yerdeğiştirmelerin salt çerçevesel A11 modeli için elde edilmesinden R=8 katsayısının yansırı yine kolon ve perdelerin etkin kesit rijitlik çarpan değerlerinin etkili olduğu anlaşılmaktadır. En büyük yatay yerdeğiştirmeler ise salt perdeli A13 (R=4.8) ve perde oranı yüksek olan ve süneklik düzeyi karma A22\_2 (R=4) modeli için hesaplanmıştır. Çalışma kapsamındaki modeller arasında perde oranı arttıkça maksimum deprem deplasmanlarının artış gösterdiği söylenebilir.

Modeller arasında kütle ve periyot değerlerinin yakın olması nedeniyle R katsayılarının bu parametrelere kıyasla eşdeğer deprem yükleri ve deprem deplasmanları üzerinde çok daha baskın bir etkisinin olduğu gözlenmiştir. Bu durumda, yönetmelikte R katsayısının seçimiyle ilgili verilen yaptırımların, binalarda elde edilen taban kesme kuvveti ve maksimum deprem deplasmanları büyüklükleri için çok önemli oranda belirleyici olduğu söylenebilir.

Binalara etkiyen deprem kuvvetlerinin bina ağırlıklarının yaklaşık olarak %3'ü ile %8'i arasında olduğu gözlenmiştir.

Modellerde burulma düzensizliği mevcut olmayıp düzensizlik katsayısı 1.2 sınır değerinin altındadır. Görelî kat ötelemeleri ve ikinci merteye etkileri de yönetmelikte verilen sınır değerlerin altında kalmış olup bu durum modellerin yönetmelik kriterlerine göre yeterli rijitliğe sahip olduğunu göstermektedir.

Dayanıma göre tasarım (DGT) yaklaşımına uygun olarak doğrusal hesap yöntemiyle yapılan performans analizlerinde tüm modeller DD-2 yer hareketi düzeyinde kontrollü hasar (KH) performansını sağlamıştır. Eksenel yüklerin maksimum olduğu bodrum ve zemin katlar incelendiğinde hasar durumlarının zemin katlarda daha fazla olduğu görülmüştür. Bu durumda tüm modeller için kritik kat olan zemin katlar incelendiğinde, BH bölgesinde kalan düşey taşıyıcı elemanlar A11 için sayıca yaklaşık %93 (ve diğer %7 İH bölgesinde), A13 için %78, A15\_1, A15\_2 ve A22\_22 için ise %91 olarak hesaplanmıştır. Diğer düşey elemanlar SH bölgesinde kalmıştır. Performans analizleri sonucunda elde edilen bu verilere göre kritik kat olan zemin katlarda en fazla hasar salt çerçevesel A11 modelinde, en az hasar ise salt perdeli A13 modelinde gözlenmiştir.

Perdeli modellerin tamamında rijitliği her iki yönde de çok yüksek olan asansör perdeleri tüm katlarda SH bölgesinde kalmış olup BH bölgesine geçilmemiştir. Genel olarak perdeli modellerde bazı perdelerin deprem esnasında alacağı hasar nedeniyle yaşayacağı rijitlik kaybının yapıda rijitlik merkezini kaydırarak burulmaya neden olabileceği ve dolayısıyla deprem performansının kontrolden çıkabileceği unutulmamalıdır. Bu kapsamda çalışmada ele alınan perdeli modellerde tüm katlardaki perde hasarları incelenmiş, SH ve BH seviyesindeki perde hasarlarının burulmaya neden olmayacak şekilde simetrik olarak geliştiği gözlenmiştir.

Zemin katlardaki kiriş hasarları incelendiğinde, A11 modelinde zemin kat kirişlerinin tamamının BH bölgesinde kaldığı ve diğer modellerde ise kirişlerin SH ve BH dağılımlarının sırasıyla %27 ve %73 olarak geliştiği gözlenmiştir. Tüm modellerde normal katlara geçildiğinde kirişlerin tamamına yakınının BH bölgesinde kaldığı gözlenmiştir.

En yüksek donatı metrajı salt çerçeveli olan A11 modeli ve perde oranının en düşük olduğu A15\_1 modeli için sırasıyla 205,528 kg ve 207,186 kg olarak elde edilmiştir. En düşük donatı miktarı ise salt perdeli olan A13 modeli için 170,806 kg olarak hesaplanmıştır. Kaba yapı maliyeti için en belirleyici iş kalemi donatı metrajları olup kaba yapı maliyet hesaplarına hazır beton ve betonarme kalıbı imatları da dahil edilmiştir. En düşük maliyet 5,344,598.1 ₺ tutar ile salt perdeli A13 modeli için hesaplanmış olup bu tutar salt çerçeveli A11 modelinin kaba yapı maliyetinden yaklaşık olarak %5 daha ekonomiktir. En yüksek maliyet ise 5,780,906.9 ₺ tutar ile A15\_1 modeli için hesaplanmıştır.

## Kaynaklar

- [1] İlki A. 9. Türkiye Deprem Mühendisliği Konferansı, Sunuş konuşması, İstanbul, Türkiye; 2021.
- [2] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007.
- [3] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2018.
- [4] 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Depremi Raporu. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2020.
- [5] 30 Ekim 2020 Sisam Adası Depremi Raporu. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2020.
- [6] Şahan MF, Tanrikulu AH. Çeşitli Deprem Yönetmeliklerinin Yeni Türk Deprem Yönetmeliği (TDY-1998) ile Karşılaştırılması. Ç.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 2005; 20:(2)169–183.
- [7] Öncel FA, Ünsal İ, Şahan MF. Değişen Yapı Yükseklikleri İçin TBDY 2018 Spektrum Analizlerine Göre Elde Edilen Taban Kesme Kuvvetleri Değişimlerinin İncelenmesi. In: 6th International Conference On Engineering & Natural Sciences, Şanlıurfa, TURKEY; 2020.
- [8] Ünsal İ, Öncel FA, Şahan MF. TDY 2007 ve TBDY 2018 yönetmeliklerine göre yapı yüksekliğinin taban kesme kuvveti ve tepe deplasmanı üzerindeki etkisinin incelenmesi. Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi 2020; 8(4), 930-942.
- [9] Ünsal İ, Şahan MF. TBDY 2018 yönetmeliğinde verilen süneklik düzeyi yüksek betonarme taşıyıcı sistemler için maliyet ve deprem performansı bakımından bir karşılaştırma. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi 2021; 36(2), 509-522.
- [10] Dogan O, Genç, Y, Odacıoğlu, OG. Betonarme taşıyıcı sistemlerin depreme dayanıklı tasarımında uyumlu perde-çerçeve davranışı için minimum perde oranının belirlenmesi . Politeknik Dergisi 2021; 1-1. DOI: 10.2339/politeknik.871889
- [11] Çapa YU, Özuygur AR, Celep Z. A study on earthquake performances of reinforced concrete buildings with various number of stories. Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics 2021; 4(2), 083-098.
- [12] Türkiye Deprem Tehlike Haritası. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018. <http://tdth.afad.gov.tr/TDTH>
- [13] Ünsal İ. Türk deprem yönetmeliğinde verilen deprem analiz yöntemlerinin yapı geometrisine bağlı olarak irdelenmesi. Yüksek lisans tezi. Adana: Çukurova Üniversitesi; 2013.
- [14] Öncel FA, Duman C, Şahan MF. Yüksekliğin ve Şerefe Sayısının Yığma Minarelerin Serbest Titreşimlerine Etkisinin İncelenmesi. 6th International Conference on Engineering & Natural Sciences, Şanlıurfa, TURKEY;2020.
- [15] Maras MM, Özmen A, Sayın E, Ayaz Y. Seismic assessment of the historical sütlü minaret mosque. Periodica Polytechnica Civil Engineering 2022. <https://doi.org/10.3311/PPci.19400>
- [16] Pala M, Şaşmaz Z. Kat seviyeleri farklı bitişik nizam yapılarda kat kütlelerinin çarpışma kuvvetine etkisi. Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2019; 6 (10), 47-63.
- [17] Çetin K, Demir A. Investigation of pounding effect in mid-rise adjacent structures. Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2021; 8(15), 283-293

- [18] Firar LE, Günaydın İB. Analysis and comparison of reinforced concrete structures with different package programs. *Sciennovation* 2021; 3(1), 15-38.
- [19] STA4-CAD. Structural Analysis for Computer Aided Design (version 14.1), İstanbul, 34718.
- [20] Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, TS 500; 2000.
- [21] Atımtay E. Depremde çökmeyen bina nedir? Nasıl projelendirilir? Ankara 2009.
- [22] 2022 yılı inşaat ve tesisat birim fiyatları. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2022.