

**T.C.
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DEPREM ETKİSİNDEKİ BETONARME YAPILARDA
MEYDANA GELEN HASARLARA DOLGU DUVAR ETKİSİNİN
İNCELENMESİ 30 EKİM 2020 İZMİR DEPREMİ ÖRNEĞİ**

Özge ONAT

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Pınar USTA**

ISPARTA - 2022



© 2022 [Özge ONAT]

ETİK BEYANI

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak ve bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın hazırladığım bu tez çalışmasında;

Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

14/03/2022

Özge ONAT

.....

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	13
3.1. Dolgu Duvarların Bina Davranışına Etkisi	13
3.1.1. Dolgu duvar modelleme yöntemleri.....	13
3.1.2. Dolgu duvarların eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmesi.....	14
3.1.3. Dolgu duvarlardaki boşlukların eşdeğer basınç çubuğu rijitliğine etkisi.....	16
3.2. Türkiye Depremselliği	17
3.2.1. Türkiye’deki önemli fay sistemleri	17
3.2.2. İzmir ili depremselliği	19
3.2.3. 30 Ekim 2020 İzmir depremi	21
3.3. Tez Çalışması Kapsamında Dolgu Duvar Davranışının Örnek Bir Bina Üzerinde İncelenmesi.....	24
3.3.1. Çalışmada modellemesi yapılan binanın genel bilgileri	24
3.3.2. Binanın mevcut malzeme dayanımları.....	28
3.4. Binanın Sonlu Elemanlar Modellemesi	29
3.4.1. Analizlerde kullanılan malzeme modelleri	29
3.4.2. Bina taşıyıcı sistem elemanlarının tanımlanması.....	33
3.4.3. Binaya etki eden yükler.....	39
3.4.3.1. Ölü yükler	40
3.4.3.2. Duvar yükü.....	41
3.4.3.3. Hareketli yük.....	42
3.4.4. Plastik mafsallık özellikleri	42
3.4.4.1. Kiriş plastik mafsallık özellikleri	42
3.4.4.2. Kiriş plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanması ve atanması.....	43
3.4.4.3. Kolon moment eğriliği.....	45
3.4.5. Dinamik analizler için kütle kaynağı tanımlanması.....	46
3.4.6. Dolgu duvar tanımlanması	47
3.5. Zaman Tanım Alanında Deprem Hesabı.....	50
4. BULGULAR.....	54
4.1. Modal Analiz Sonuçları	54
4.2. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemine Ait Analiz Sonuçları.....	58
4.2.1. Göreli kat öteleme sonuçlarının karşılaştırılması.....	58
4.2.2. Bina toplam taban kesme kuvveti sonuçlarının karşılaştırılması.....	60
4.2.3. Bina toplam kat kesme kuvveti sonuçlarının karşılaştırılması.....	62
4.2.4. Bina toplam kat momenti sonuçlarının karşılaştırılması.....	64
4.2.5. Bina zemin kat kolon momenti sonuçlarının karşılaştırılması.....	67
4.2.6. Bina perde kesme kuvveti sonuçlarının karşılaştırılması.....	69
4.2.7. Bina perde birim uzama-birim kısalma sonuçlarının karşılaştırılması	75
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	80
KAYNAKLAR	82

ÖZGEÇMİŞ	87
----------------	----



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DEPREM ETKİSİNDEKİ BETONARME YAPILARDA MEYDANA GELEN HASARLARA DOLGU DUVAR ETKİSİNİN İNCELENMESİ 30 EKİM 2020 İZMİR DEPREMİ ÖRNEĞİ

Özge ONAT

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Pınar USTA

30 Ekim 2020 tarihinde Ege Denizi Sisam Adası açıklarında gerçekleşen depremde İzmir ilinin Bayraklı ilçesinde betonarme binalarda göçmeler, Karşıyaka ve Bornova ilçelerindeki betonarme binalarda ise yapısal hasarlar olduğu gözlemlenmiştir. Deprem sonrası Bayraklı ilçesinde bulunan binaların hasar düzeyleri gözlemsel olarak değerlendirilmiştir. Deprem hasarı alan binalar arasında 12 adet bina tamamen veya kısmen göçmüştür.

Geçmiş depremlerde yıkılan binalara dikkat edildiğinde, hasar alan binaların çok yüksek katlı olmayan, genellikle alt katlarında otopark, ticari işletme olan ve zemin katlarında dolgu duvar bulunmayan binalar olduğu görülmektedir. Bu durum 30 Ekim 2020 İzmir depreminde yıkılan binalarda da karşımıza çıkan bir durum olmuştur.

Bu çalışmada, deprem etkisi altındaki betonarme binalarda dolgu duvar etkileri incelenmiştir. Bu amaçla çalışmada 2020 İzmir depreminde hasar alan bir bina ele alınmıştır. Çalışmada ele alınan bina SAP2000 V22 sonlu elemanlar programında dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olmak üzere iki farklı şekilde, binaya ait gerçek parametreler kullanılarak modellenmiştir.

Dolgu duvarlar eşdeğer yay modeli kullanılarak taşıyıcı sisteme yansıtılmıştır. Modelin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri 2020 İzmir depremi ivme kayıtları kullanılarak yapılmıştır. Analiz sonuçlarından sistemin maksimum yer değiştirmeleri, kat kesme, kat moment, kolon taşıma kapasite, perde kesme kuvveti ve perde birim şekil değiştirme değerleri elde edilmiştir. Çalışma sonucunda analiz sonuçları karşılaştırılarak incelenmiş dolgu duvarların binanın periyot, zemin kat kesme kuvveti, kolon taşıma kapasitesi, zemin katlarda oluşan görelî kat ötelemesi ve perde kesme kuvvetleri gibi özelliklerini olumlu ölçüde etkilediği, taban kesme kuvvetini arttırdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Betonarme yapı, Dolgu duvar, İzmir depremi, Zaman tanım alanı, Nonlinear analiz, SAP2000

2022, 87 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF FILLING WALL EFFECT ON DAMAGES IN REINFORCED CONCRETE BUILDINGS AFFECTED BY EARTHQUAKES; 30 EKİM 2020 İZMİR EARTHQUAKE CASE STUDY

Özge ONAT

**Isparta University of Applied Sciences
The Institute of Graduate Education
Department of Civil Engineering Department**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Pınar USTA

On October 30th of 2020, 14:51, İzmir city was hit by an earthquake of $M_w = 6.6$ magnitude. This earthquake caused significant damage Bayraklı, Karşıyaka and Bornova districts. Structural damage and life losses were observed to be concentrated in Bayraklı region of İzmir. 12 reinforced concrete buildings were collapsed in Bayraklı.

Once we pay attention to the buildings that were destroyed in the past earthquakes, it is seen that the damaged buildings are not very high-rise buildings, generally the lower floors of which are car parks, commercial enterprises and there are no infill walls on the ground floors. This situation has also been encountered in the buildings destroyed in the 30 October 2020 İzmir earthquake.

In this study, the effects of infill walls in reinforced concrete buildings under earthquake effect were investigated. For this purpose, a building damaged in the 2020 İzmir earthquake was examined. The building discussed in the study was modeled in the SAP2000 V22 finite element program in two different ways, with and without infill walls, using the real parameters of the building. As a result of the study, the results of the analysis were compared and it was observed that the infill walls positively affected the features of the building such as period, ground story shear force, column bearing capacity, inter-story drift ratio, and Base shear forces on the ground floors, and increased the base shear force.

Key Words: Reinforced concrete structure, Infill wall, İzmir earthquake, Time history analysis, Nonlinear analysis, SAP2000

2022, 87 pages

TEŞEKKÜR

Tezimin yürütülmesinde desteğini ve emeğini hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım sayın Dr. Pınar USTA'ya, sayın hocam Dr. Özgür Bozdağ'a çalışma süresince bana desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

2021-YL1-0114 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan arkadaşım Mustafa Doğukan KARABUĞA ve aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Özge ONAT
ISPARTA, 2022



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Yatay yük etkisi altında dolgu duvar	14
Şekil 3.2. Eşdeğer basınç çubuğu detay	15
Şekil 3.3. Açıklık oranı ile rijitlik azaltma faktörü arasındaki ilişki	17
Şekil 3.4. Türkiye deprem tehlike haritası	18
Şekil 3.5. Türkiye 2020 yılı deprem aktiviteleri	19
Şekil 3.6. İzmir deprenselliği a) İzmir fay hatları b) İzmir çevresinde gerçekleşen tarihsel depremler	20
Şekil 3.7. 30 Ekim 2020 İzmir depremi konumu	22
Şekil 3.8. Bayraklı ilçesinde birbirlerine yakın olarak deprem sonrası hasar almış bazı binalar	23
Şekil 3.9. Binanın zemin kat planı	24
Şekil 3.10. Zemin kat kalıp planı	26
Şekil 3.11. Normal kat kalıp planı	27
Şekil 3.12. Deney için alınmış karot numuneleri	28
Şekil 3.13. Donatı numune örnekleri	29
Şekil 3.14. C8.27 malzeme dayanımı	30
Şekil 3.15. SAP2000 C8.27 malzeme dayanımı	30
Şekil 3.16. Donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme grafiği	31
Şekil 3.17. S420 donatı malzeme dayanımı	32
Şekil 3.18. S220 donatı malzeme dayanımı	32
Şekil 3.19. SAP2000 S420 malzeme dayanımı tanımı	33
Şekil 3.20. Kolon elemanı kesit rijitliği tanımlaması	34
Şekil 3.21. Kiriş elemanı kesit özellikleri tanımlaması	34
Şekil 3.22. Kiriş elemanı kesit rijitliği tanımlaması	35
Şekil 3.23. Döşeme elemanı kesit rijitliği tanımlaması	35
Şekil 3.24. Perde elemanı kesit rijitliği tanımlaması	36
Şekil 3.25. SAP2000 Zemin kat planı	37
Şekil 3.26. SAP2000 Normal kat planı	37
Şekil 3.27. SAP2000 3-d görüntüsü	38
Şekil 3.28. Perde duvar nonlinear kesit özellikleri	39
Şekil 3.29. Yük tanımlaması	39
Şekil 3.30. Döşeme elemanlarının üzerine gelen ölü yükler	40
Şekil 3.31. Kiriş elemanlarının üzerine gelen yayılı dolgu duvar yükleri	41
Şekil 3.32. Döşeme elemanlarının üzerindeki hareketli yükler	42
Şekil 3.33. Kiriş moment eğriliği kesit çizimi	43
Şekil 3.34. Kiriş plastik mafsallık özellikleri	44
Şekil 3.35. XY düzleminde plastik mafsallık ataması	44
Şekil 3.36. 3-d model görünümü ve plastik mafsallık ataması	45
Şekil 3.37. Kolon moment eğriliği kesit çizimi	46
Şekil 3.38. SAP2000 kütle kaynağı tanımlaması	46
Şekil 3.39. Dolgu duvar tanımlaması	47
Şekil 3.40. Boşluklu dolgu duvar modelleri	48
Şekil 3.41. Dolgu duvarlı model yz görüntüsü	48
Şekil 3.42. 3-d dolgu duvarlı model	49
Şekil 3.43. 3-d dolgu duvarlı model çubuk elemanlar ile gösterim	49
Şekil 3.44. Doğu-Batı doğrultusu ivme zaman grafiği	50
Şekil 3.45. Kuzey-Güney doğrultusu ivme zaman grafiği	51

Şekil 3.46. Düşey doğrultu ivme zaman grafiği.....	51
Şekil 3.47. Deprem kaydı dosyalarının SAP2000 programında tanımlanması.....	52
Şekil 3.48. Bayraklı E deprem kaydının tanımlanması.....	52
Şekil 3.49. Analiz 1'in tanımlanması.....	53
Şekil 3.50. Analiz 2'nin tanımlanması.....	53
Şekil 4.1. Modeller ve periyot değerleri.....	54
Şekil 4.2. X-doğrultusu için kütle katılım oranları	55
Şekil 4.3. Y-doğrultusu için kütle katılım oranları	55
Şekil 4.4. Dolgu duvarsız modelin MODAL analizinden elde edilen ilk 4 Mod değeri ve mod şekilleri	56
Şekil 4.5. Dolgu duvarlı modelin MODAL analizinden elde edilen ilk 4 Mod değeri ve mod şekilleri	57
Şekil 4.6. ANALİZ 1 için x-doğrultusu görelî kat öteleme oranı	59
Şekil 4.7. ANALİZ 1 için y-doğrultusu görelî kat öteleme oranı	59
Şekil 4.8. ANALİZ 2 için x-doğrultusu görelî kat öteleme oranı	59
Şekil 4.9. ANALİZ 2 için y-doğrultusu görelî kat öteleme oranı	60
Şekil 4.10. X-doğrultusu için modellerin taban kesme kuvveti	61
Şekil 4.11. Y-doğrultusu için modellerin taban kesme kuvveti	61
Şekil 4.12. Modellerin katlara göre ANALİZ 1 X doğrultusu için kesme kuvveti (kN)	62
Şekil 4.13. Modellerin katlara göre ANALİZ 1 Y doğrultusu için kesme kuvveti (kN)	62
Şekil 4.14. Modellerin katlara göre ANALİZ 2 X doğrultusu için kesme kuvveti (kN)	63
Şekil 4.15. Modellerin katlara göre ANALİZ 2 Y doğrultusu için kesme kuvveti (kN)	63
Şekil 4.16. Modellerin katlara göre ANALİZ 1 x-doğrultusu için moment kuvvetleri (kN.m)	64
Şekil 4.17. Modellerin katlara göre ANALİZ 1 y-doğrultusu için moment kuvvetleri (kN.m)	65
Şekil 4.18. Modellerin katlara göre ANALİZ 2 x-doğrultusu için moment kuvvetleri (kN.m)	65
Şekil 4.19. Modellerin katlara göre ANALİZ 2 y-doğrultusu için moment kuvvetleri (kN.m)	66
Şekil 4.20. ANALİZ 1 için zemin kat kolonlarının taşıma kapasiteleri.....	67
Şekil 4.21. ANALİZ 2 için zemin kat kolonlarının taşıma kapasiteleri.....	67
Şekil 4.22. ANALİZ 1 için zemin kat kolonlarının taşıma kapasite oranı	68
Şekil 4.23. ANALİZ 2 için zemin kat kolonlarının taşıma kapasite oranı	68
Şekil 4.24. P1'in katlara göre kesme kuvveti.....	70
Şekil 4.25. P2'nin katlara göre kesme kuvveti.....	70
Şekil 4.26. P3'ün katlara göre kesme kuvveti.....	71
Şekil 4.27. P4'ün katlara göre kesme kuvveti.....	71
Şekil 4.28. P5'in katlara göre kesme kuvveti.....	72
Şekil 4.29. P6'nın katlara göre kesme kuvveti.....	72
Şekil 4.30. P7'nin katlara göre kesme kuvveti.....	73
Şekil 4.31. P8'in katlara göre kesme kuvveti.....	73
Şekil 4.32. P9'un katlara göre kesme kuvveti.....	74
Şekil 4.33. P1'in sol ve sağ ucunda oluşan birim şekil değiştirme	75
Şekil 4.34. P2'nin sol ve sağ ucunda oluşan birim şekil değiştirme	76
Şekil 4.35. P3'ün sol ve sağ ucunda oluşan birim şekil değiştirme	76

Şekil 4.36. P4'ün sol ve sağ ucunda oluşan birim şekil değiştirme	77
Şekil 4.37. P5'in sol ve sağ ucunda oluşan birim şekil değiştirme	77
Şekil 4.38. P6'nın sol ve sağ ucunda oluşan birim şekil değiştirme	78
Şekil 4.39. P7'nin sol ve sağ ucunda oluşan birim şekil değiştirme	78
Şekil 4.40. P8'in sol ve sağ ucunda oluşan birim şekil değiştirme	79
Şekil 4.41. P9'un sol ve sağ ucunda oluşan birim şekil değiştirme	79



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. E_d , f_d ve τ_d için farklı tuğla türlerinde göre değerler.....	16
Çizelge 3.2. İzmir ilinde son 18 yılda gerçekleşen 5 ve 5'ten büyük depremler	20
Çizelge 3.3. Donatı çeliklerine ait bilgiler	31
Çizelge 3.4. Analiz kombinasyonları	53



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_{ch}	Boşluksuz perdenin, bağ kirişli perdede her bir perde parçasının, döşemenin veya boşluklu döşemede her bir döşeme parçasının brüt enkesit alanı
A_d	Dolgu duvarının yatay kesit alanı
a_d	Eşdeğer basınç çubuğunun genişliği (mm)
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
d	Eksenel dayanıma karşı gelen yer değiştirme
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
E_c	Çerçeve betonunun elastisite modülü
E_d	Çerçeve betonunun elastisite modülü
E_{sec}	Betonun sekant elastisite modülü
f_{co}	Sargısız betonun basınç dayanımı
f_{ctd}	Betonun tasarım çekme dayanımı
f_d	Dolgu duvarının basınç dayanımını
f_{max}	Kesitteki çekme donatısının maksimum eğriligi
f_s	Donatı çeliğinde gerilme
f_{su}	Donatı çeliğinde kopma dayanımı
f_{sy}	Donatı çeliğinde akma dayanımı
f_y	Kesitteki çekme donatısının aktığı andaki eğrilik
f_{yd}	Hasır donatı çeliğinin tasarım akma dayanımı
f_{ywd}	Enine donatının tasarım akma dayanım
g	Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
h_d	Dolgu duvarının yüksekliğini (mm)
h_i	i'inci katın yüksekliği [m]
h_k	Kolon boyu (mm)
I	Bina önem katsayısı
I_k	Kolonun atalet momenti (mm^4)
k_d	Eşdeğer basınç çubuğunun eksenel rijitliği
M_{max}	Kesitteki çekme donatısının maksimum momenti
m_t	Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölüm'ünün toplam kütlesi
M_w	Tasarım depreminin moment büyüklüğü
M_y	Kesitteki çekme donatısının aktığı andaki moment
N_d	Dolgu duvarın eksenel dayanımını
r	Normalize edilmiş beton birim şekil değiştirmesi
r_d	Dolgu duvarının köşegen uzunluğunu (mm)
S_{aR}	Azaltılmış tasarım spektral ivmesi (g)
S_{DS}	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
t_d	Dolgu duvarının kalınlığı (mm)
$T_P^{(X)}$	(X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodu (s)
TS EN	Türk Standardı European Norm
V_d	Dolgu duvarının kesme kuvveti dayanımı
$V_{tE}^{(X)}$	(X) deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
V_r	Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme kuvveti dayanımı
ZD	Yerel zemin sınıfı
ε_s	Donatı çeliğinin birim şekil değiştirmesi
ε_{sh}	Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekil değiştirmesi

ϵ_{su}	Donatı çeliğinin kopma birim şekil değıştirmesi
ϵ_{sy}	Donatı çeliğinin akma birim şekil değıştirmesi
θ	Eşdeğer basınç çubuğunun yatay ile olan açısı
κ	İzin verilen görelî kat ötelemelerinin tanımında betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler için farklı olarak kullanılan katsayı
λ	Görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayı
λ_d	Eşdeğer basınç çubuğu katsayısı
λ_{grafik}	Dolgu duvarın rijitlik azaltma faktörü
ρ_{sh}	Perdede ve duvarda yatay gövde donatılarının perde gövdesi brüt en kesit alanına oranı
ρ_{sh}	Perdede yatay gövde donatılarının hacimsel oranı $[(\rho_{sh})_{min}=0.0025]$
τ_d	Dolgu duvarının kayma dayanım
$\delta_{i,max}^{(X)}$	(X) deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri [m]

1. GİRİŞ

Ülkemizin büyük bir bölümü dünyanın sismik olarak en aktif deprem kuşaklarından olan Alp-Himalaya Deprem Kuşağında yer almaktadır. Bu nedenle bu deprem kuşağında yer alan diğer birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de yüzyıllar boyunca yıkıcı birçok deprem meydana gelmiştir. Depremin yıkıcı etkilerinden kaçınmak için ülkemizde inşa edilecek binaların depreme karşı güvenli olması gerekmektedir (Şahin ve Kılınç, 2016).

Ülkemizdeki yapı stoğunu yoğunluklu olarak betonarme binalar oluşturmaktadır. Bu betonarme binaların deprem yüklerini güvenli karşılayabilmesi ve kendilerinden beklenen yapı performanslarını karşılayabilmesi için yapıların mevcut durumunun bilinmesi ve deprem etkileri altında yapı davranışlarının nasıl olacağını belirlenmesi gerekmektedir (Yüksel, 2008).

Betonarme binaların tasarımında döşeme, kiriş, kolon ve perde gibi yapısal elemanlar kullanılmaktadır. Dolgu duvarlar ise sisteme yük olarak etki ettirilmekte ve sisteme olan etkisi yok sayılmaktadır. Oysaki depremlerde yıkılan binaların çok yüksek katlı olmayan, alt katlarında otopark veya ticari işletme olan ve zemin katlarında dolgu duvar bulunmayan binalar olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca kolon ve kiriş arasında kalan dolgu duvar modellenmesinin yapıldığı akademik araştırmalar da dolgu duvarların yıkılma anına kadar binaya olumlu etkide bulunduğu görülmüştür (Tekin vd., 2007; Akyürek vd., 2018). Örneğin; Korkmaz ve Uçar (2006), dolgu duvarı konu olan çalışmalarında; yanal yük etkisi altındaki binaların dolgu duvarlı olarak modellenmesi ile ilk mafsallaşmanın dolgu duvarlar üzerinde olacağını belirtmiştir. Bazı araştırmacılar ise deprem analizleri sonucunda dolgu duvarların çerçeve sistemin periyot, yanal ötelenme ve kolon kesme kuvvetlerini azalttığını; binanın yatay yük taşıma kapasitesi, kapasite kuvveti ve taban kesme kuvvetini arttırdığını tespit etmişlerdir (Tekin vd., 2007; Öztürkoğlu vd., 2015; Akyürek vd., 2018; Sağlıyan, 2018). Dolgu duvarların yapı kat planında farklı yerleşimlerde olması da sistem davranışını farklı etkilemektedir. Yapı kat planında simetrik olarak yapılan dolgu duvar yerleşimi binanın deprem davranışını olumlu olarak etkilemektedir (Akyürek vd., 2018).

Dolgu duvarların betonarme binaların deprem performansına etkisinin göz ardı edilemeyeceği yapılan araştırmaların sonuçları ile görülmektedir. Bu nedenle yeni yapılacak bina tasarımlarında dolgu duvarların binaya olan etkisi dikkate alınmalı ve binaların mevcut durumu ve dolgu duvarlı durumu karşılaştırılmalıdır. Yalnızca yeni binalar değil mevcut betonarme binalar içinde dolgu duvarların önemi büyüktür. Zemin katlarda ticari amaçlarla veya otopark yapmak amacı ile yıkılan dolgu duvarların, normal katlarda ise dairenin genişletilmesi için yıkılan dolgu duvarların binaya olan etkisi oldukça kritiktir. Bu durumun binaya olan etkisi araştırılarak yeterli ve gerekli önlemler alınmalıdır.

Bu tez çalışmasında; depremde hasar almış bir bina depremden önceki mevcut durumu ve dolgu duvara sahip olması halindeki durumu olmak üzere iki farklı şekilde modellenmiş ve deprem etkisi altındaki betonarme binalarda dolgu duvar etkisi incelenmiştir. Bu amaçla çalışmada 30 Ekim 2020 yerel saat: 14:51'de meydana gelmiş ve sonucunda birçok kayıplar verilmiş Mw 6.7 büyüklüğündeki İzmir depreminde hasar gören gerçek bir bina ele alınmıştır. Yapı SAP2000 V22 sonlu elemanlar programı ile çeşitli şekillerde modellenerek (Dolgu duvarlı ve Dolgu duvarsız) zaman tanım alanında doğrusal olmayan (Nonlinear) deprem analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde betonarme yapının gerçek malzeme özellikleri ve parametre değerleri kullanılmıştır.

Deprem analizi için gerekli ivme-zaman kayıtları (İzmir depremi kayıtları) AFAD'ın resmi sitesinden alınmıştır ve binanın SAP2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan deprem analizi yapılmıştır. Analizler neticesinde dolgu duvarların sismik yükler altındaki yapıların davranışını nasıl etkilediği incelenmiştir. Modellere ait analiz sonuçları karşılaştırılarak incelenmiş ve sunulmuştur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Literatürde dolgu duvara sahip betonarme yapıların deprem yükleri altındaki yapısal davranışlarını konu alan çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda dolgu duvarların yapılar üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Korkmaz ve Uçar (2006), çalışmalarında çerçeve ve dolgu duvarlı betonarme yapıların deprem davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında 10 katlı çerçeve sistemi dolgu duvar etkisi olmadan ve 10 katlı çerçeve sistemi dolgu duvar etkisini dikkate alarak SAP2000 Yapı Analiz programında modellemişlerdir. Yapıların analizleri için elastik ötesi statik itme analizi yöntemini kullanmışlardır. Modelleme sonrası yaptıkları analizlerde yapıların kapasite eğrileri ve plastikleşen kesitlerin dağılımı gibi sonuçları belirlemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda dolgu duvar etkisini dikkate alarak modelledikleri yapıda ilk mafsallaşmanın dolgu duvar üzerinde başladığını, dolgu duvar etkisini dikkate almadan modelledikleri yapıda ise ilk mafsallaşmanın kirişlerin üzerinde başladığını belirlemişlerdir.

Tekin vd. (2007), çalışmalarında dolgu duvarların yatay kuvvetler etkisindeki betonarme binalarda gerçekçi bir çözümleme için yanal taşıma kapasitesi ve rijitliğe etkisini incelemişlerdir. Performans değerlendirmesi için 3 açıklıklı, 4 katlı betonarme bir yapıyı SAP2000 programında dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olarak modellemişlerdir. Modellenen betonarme binaların pushover analizlerini SAP2000 programında yapmışlardır. Yapılan analizler sonucunda dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olarak modellenen binaların pushover eğrilerini incelemişlerdir. Dolgu duvar ile modellenen binada kapasite kuvvetinin, dolgu duvarsız olarak modellenen binanın kapasite kuvvetine oranla %40 değerinde arttığını bulmuşlardır. Dolgu duvarların binaya önemli derecede katkı sağladığı ve bu nedenle yapının mimarisini değiştirmek için dolgu duvarların yıkılmaması gerektiğine dikkat çekmişlerdir.

Dolsek ve Fajfar (2008), çalışmalarında çerçeve yapı ile dolgu duvarlı yapının deprem davranışını incelemişlerdir. 4 katlı betonarme binayı çerçeve, boşluklu dolgu duvarlı ve boşluksuz dolgu duvarlı olarak modellemiş ve modellenen binaların dinamik analizlerini yapmışlardır. Analizler sonucunda dolgu duvarların yapının rijitliğini ve

mukavemetini arttırdığını tespit etmişlerdir. Dolgu duvarların çökmeye yakın sınır durumunda bina davranışına olumlu etkisi olduğunu belirtmişlerdir.

Sattar ve Liel (2010), çalışmalarında dolgu duvarlı çerçevelerin yapısal çökme riskinin olasılıklarını tahmin etmek için doğrusal olmayan analizler yapmışlardır. Bu amaçla 4 ve 8 katlı farklı dolgu duvar yerleşimlerine sahip binaların itme analizini yapmışlardır. Yaptıkları analizler sonucunda dolgu duvarlı çerçeve sistemin dolgu duvarsız sisteme göre rijitlik ve mukavemetinde artış olduğunu tespit etmişlerdir. Buna ek olarak dolgu duvarlı çerçeve sistemin en düşük çökme riskine, dolgu duvarsız çerçeve sistemin en yüksek çökme riskine sahip olduğunu bulmuşlardır.

Mulgund ve Kulkarni (2011), çalışmalarında deprem etkisine maruz kalmış betonarme binalarda bulunan dolgu duvar yerleşiminin yapının deprem performansına etkisini incelemişlerdir. Çerçeve sistem ve 4 farklı dolgu duvar yerleşimi olacak şekilde 5 adet yapı modellemesi yapmışlardır. Modellemeleri ETABS programında yaparak modellere statik itme analizi uygulamışlardır. Analizler sonucunda dolgu duvarlı sistemin çerçeve sisteme kıyasla yapının deprem performansında değişikliğe yol açtığını tespit etmişlerdir. Yapı periyodunun ve yer değiştirmenin dolgu duvarlı modellerde daha az olduğunu, taban kesme kuvvetinin ise dolgu duvarlı modellerde arttığını tespit etmişlerdir.

Stavridis vd. (2011), çalışmalarında boşluklu ve boşluksuz dolgu duvarların çerçeve sisteme etkisini incelemişlerdir. 1920 yılında Kaliforniya’da inşa edilmiş mevcut yapının 2/3 ölçekli çerçeve sisteminin sarsma tablası ile testlerini yapmışlardır. Deney için inşa ettikleri çerçeve sistem 3 katlı ve 2 açıklıklıdır. Sarsma tablası deneyi için çerçeve sistemi artan şiddette deprem yer hareketlerine tabi tutmuşlardır. Yaptıkları testler sonucunda dolgu duvarların çerçeve sistemin güçlü depremler etkisi altında davranışını olumlu yönde etkilediklerini tespit etmişlerdir. Boşluklu dolgu duvarın boşluksuz dolgu duvara göre daha dayanıksız olduğunu saptamışlardır.

Misir vd. (2012), çalışmalarında dolgu duvarların deprem yükü etkisi altında olan betonarme çerçeve sisteme etkisini incelemek için deneysel çalışma yapmışlardır. Deneysel çalışmada kullanmak için dolgu duvarsız, standart tuğla ve kilitli tuğladan oluşan 3 farklı betonarme çerçeve inşa etmişlerdir. Çerçeve sistemlerin dinamik

analizlerini yaptıktan sonra standart tuğla duvarların betonarme çerçevelerin deprem davranışını önemli ölçüde arttırmadığını tespit etmişlerdir. Kilitli tuğla duvarın betonarme çerçevelerin deprem davranışını önemli ölçüde arttırdığını tespit etmişlerdir.

Nwofor ve Chinwah (2012), çalışmalarında sonlu elemanlar metodu ile modellenen tuğla duvar dolgulu betonarme bir çerçeve yapının kesme kuvveti altındaki davranışını incelemişlerdir. Mikro modelleme tekniğini kullanarak modelledikleri dolgu duvarlı çerçevelere farklı yerlerde boşluklar açmışlar ve boşluksuz tuğla duvarlı çerçeve modelin yanal ötelemeyi azalttığını tespit etmişlerdir.

Wakchaure ve Ped (2012), çalışmalarında Zemin+9 katlı bir betonarme binanın deprem davranışına dolgu duvarların etkisini incelemişlerdir. Betonarme binayı ETABS programı ile modellemiş ve dolgu duvarların modellenmesinde eşdeğer basınç çubuğu yöntemini kullanmışlardır. Modelledikleri yapının zaman tanım alanında analizini yapmış ve analizler sonucunda dolgu duvarların en üst kat yer değiştirmesini azalttığı, taban kesme kuvvetini ise arttırdığını tespit etmişlerdir. Dolgu duvarların betonarme yapıda farklı şekillerde konumlandırılmasının da bu değerleri değiştirdiğini tespit etmişlerdir.

Chrysostomou vd. (2013), çalışmalarında gerçek bir betonarme çerçeve binanın belirli yerlerine dolgu duvar inşa ederek güçlendirmenin sismik açıdan etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Sismik deneyler sonrası binanın önemli bir hasar almadığını tespit etmişlerdir. Binadaki bazı kolon bindirme bölgelerinde ve dolgu duvarlarda çatlaklar olduğunu tespit etmişlerdir. Binanın güçlendirilmesi için dolgu duvar tasarımının yapılabileceğini önermişlerdir.

Hermanns vd. (2014), çalışmalarında 2011 Lorca depremi sonrası hasar gören binaları incelemişlerdir. Yaptıkları incelemeler sonrasında 8 katlı bir yapıyı dolgu duvarlı olarak modellemiş ve modellenen yapının statik itme analizini yapmışlardır. Analiz sonucunda elde edilen kat ötelenmesi ve kolon kesme kuvveti değerlerini karşılaştırmışlardır. Hasar gören bina incelemeleri ve analizler sonucunda dolgu duvar yerleşiminin yapının deprem davranışına olumlu etkisinin olduğunu ve modelleme sırasında dikkate alınması gerektiğini tespit etmişlerdir.

Mert (2015), çalışmasında artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemini kullanarak dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız binaların deprem performansını incelemiştir. Bu amaçla 5 ve 7 katlı betonarme binaları 2007 (DBYBHY, 2007) yönetmeliğine uygun olarak SAP2000 sonlu elemanlar programında modellemiş ve dolgu duvarların modellenmesi için eşdeğer basınç çubuğu yöntemini kullanmıştır. Statik itme analizlerinden elde ettiği verileri kullanarak statik itme eğrilerini ve kesit hasar bölgelerini karşılaştırmıştır. Yaptığı karşılaştırmalar sonucunda dolgu duvarlı modellerde kolon hasarlarının dolgu duvarsız modellere göre daha az olduğunu belirlemiştir.

Öztürkoğlu vd. (2015), çalışmalarında dolgu duvarların yapı modeline etkisini araştırmak için SAP2000 sonlu elemanlar programını kullanmış, çerçeve yapı modellerini 2 açıklıklı, 4 katlı - 3 açıklıklı, 4 katlı, her bir yapıyı iki farklı yaklaşım ile modellemişlerdir. Dolgu duvar modellenmesinde eşdeğer basınç çubuğu metodunu ve sonlu elemanlar yaklaşımını kullanmışlardır. Modellenen yapıların modal analizini yapmış ve analizler sonucunda iki farklı dolgu duvar modellemesi arasında bir denklik bulamamışlardır. Duvar ile çerçeve etkisinin dikkate alınmadığı modelde diğer modellere göre daha küçük yer değiştirme ve periyot değerleri hesaplamışlardır.

Bolea (2016), çalışmasında dolgu duvarların betonarme çerçeve sisteme etkisini incelemiştir. Bu amaçla 3 ve 6 katlı betonarme çerçeve yapıları dolgu duvarsız ve 2 farklı dolgu duvar yerleşimi modellemiştir. Modellenen binaların deprem davranışını incelemek için doğrusal olmayan analizler yapmıştır. Analizler sonucunda dolgu duvarların betonarme yapının deprem davranışına olumlu katkıda bulunduğunu tespit etmiştir. Betonarme binalarda simetrik olarak yerleştirilen dolgu duvarların deprem davranışına etkisinin göz ardı edilebileceğini belirtmiştir.

Misir vd. (2016), çalışmalarında betonarme çerçevelerin dinamik analizlerini deneysel olarak yapmışlardır. Deneyde kullanmak üzere bims, ısı yalıtımlı pişmiş kil tuğlalı, otoklavlanmış gazbeton, z bağısız çift kanatlı, z bağlı çift kanatlı dolgu duvarlara sahip 5 farklı büyük ölçekli betonarme çerçeveler inşa etmişlerdir. Dinamik analizler sonrasında dolgu duvarların çerçevenin rijitliğini ve mukavemetini arttırdığını tespit etmişlerdir. Z bağlı çift kanatlı olarak inşa edilmiş çerçeve sistemin büyük deprem kuvvetlerinde bütünlüğünü koruduğunu tespit etmişlerdir.

Morfidis ve Kostinakis (2016), çalışmalarında 9 adet simetrik, 9 adet asimetrik olmak üzere 3, 5 ve 7 katlı betonarme bina modeli ele almış ve dolgu duvarların binalardaki hasar ve hasar dağılımına etkisini incelemişlerdir. 18 adet betonarme binanın dolgu duvar modellemesi için 3 farklı yerleşim dikkate alınmış toplamda 54 adet model oluşturmuşlardır. Modellenen binaların zaman tanım alanında analizleri yapılmış ve analizler sonucunda dolgu duvarlı olan modellerde deprem hasarlarının azaldığını belirtmişlerdir.

Asteris vd. (2017), çalışmalarında betonarme binaların temel periyodunu etkileyen parametreler üzerinde incelemeler yapmışlardır. Modelledikleri çerçeve sistemin kat sayısı, açıklık sayısı, açıklık uzunluğu ve dolgu duvar rijitliğini değiştirerek temel periyodunu nasıl etkilediğini incelemişlerdir. Yaptıkları analizler sonrasında açıklık sayısının periyot değeri üzerinde etkisinin olmadığını tespit etmişlerdir. Dolgu duvar rijitliğinin artması ile temel periyodu değerinin düştüğünü tespit etmişlerdir. Yapının yüksekliğinin ise temel periyodunu önemli ölçüde etkilediğini belirtmişlerdir.

Mahmoud vd. (2017), çalışmalarında dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız betonarme binaların deprem davranışını incelemişlerdir. Modelleme için çerçeve sistem, tüm katları dolgu duvarlı, 3. katı dolgu duvarsız, 6. katı dolgu duvarsız, 9. katı dolgu duvarsız ve 12. katı dolgu duvarsız olacak şekilde 7 farklı modeli ETABS programında oluşturmuşlardır. Modellenen binaların zaman tanım alanında analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Analizler sonucunda dolgu duvarların sisteme eklenmesinin kat yer değiştirmelerini azalttığını, kat moment ve kat kesme kuvvetlerinin arttığını, çerçeve sistemin rijitliğini arttırdığını tespit etmişlerdir.

Ning vd. (2017), çalışmalarında dolgu duvarların betonarme binalara etkisini incelemişlerdir. Modelleme için ABAQUS programını kullanmış ve statik itme analizi ile binada meydana gelen kolon kesme kuvvetlerini, taban kesme kuvvetlerini, kolon dönme momentlerini ve plastik mafsall oluşma yerlerini belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda dolgu duvarların deprem davranışını değiştirdiğini tespit etmişlerdir.

Qian ve Li (2017), çalışmalarında dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız çerçevelerin sismik yük altında davranışlarını deneysel olarak incelemek ve dolgu duvarların bina göçme durumuna etkisini belirlemek için bir ofis binasını ele almışlardır. Bu amaçla

çalışmadaki binada bulunan iç çerçevelerden birini çıkarıp çerçevede yer alan orta kolonun patlamada kaldırıldığını kabul etmiş ve binayı dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı olarak analiz etmişlerdir.

Akyürek vd. (2018), çalışmalarında deprem etkisi altındaki betonarme binalarda bulunan dolgu duvarların yapı davranışına etkisini incelemişlerdir. Betonarme binaları SAP2000 sonlu elemanlar programında dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olarak, 3 açıklıklı - 3 katlı ve 5 açıklıklı - 5 katlı olarak modellemişlerdir. Dolgu duvar modellemesinde eşdeğer basınç çubuğu yöntemini kullanmış ve dolgu duvar yerleşimini her 2 bina için 4'er farklı şekilde yapmışlardır. Modellenen binalarda statik itme analizi yapmış ve analizler sonucunda dolgu duvarların kat planında simetrik olarak yerleştirilmesinin deprem davranışını olumlu etkilediğini ve binanın yatay yük taşıma kapasitesini arttırdığını, periyot değerini azalttığını belirtmişlerdir.

Aydın (2018), çalışmasında bina çerçeve sisteminde yer alan dolgu duvarların deprem yükü altındaki bir betonarme binaya etkisini araştırmıştır. Duvar sistemi olarak dolgu duvarsız bir boş çerçeve sistemi, dolgu duvarlı bir çerçeve sistemi ve ankraj çubuklu dolgu duvarlı bir çerçeve sistemi ele almıştır. Yazarın hazırladığı çerçeve sistemi tüm deney sistemlerinde özdeş olup betonarme yapıdadır. Dolgu duvarların hazırlanması için yerinde dökme beton kullanmıştır. Çerçeve sistemin malzeme özellikleri için 150 kN'luk yük taşıdığını düşünerek elle betonarme hesabı yapmıştır. Hazırlanan deney sisteminin bilgisayar modellemesi için SAP2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak analizler yapmıştır. Deney ve analizler sonucunda dolgu duvarın sistem rijitliğini arttırdığı ve sistem davranışına olumlu etkisinin olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca, ankraj çubuklarının dolgu duvara eklenmesi ile rijitlik ve sistem davranışına etkisinin dolgu duvarlı sisteme göre daha da olumlu yönde arttığını belirtmiştir.

Baghi vd. (2018), çalışmalarında yığma dolgu duvarlar ile inşa edilen betonarme çerçevenin statik yük etkisi altındaki davranışını incelemişlerdir. Betonarme çerçeveyi Eurocode 2 ve Eurocod 8'e göre tasarlamışlardır. Güçlü kolon zayıf kiriş ilkesine göre hazırladıkları çerçeve sisteme yığma dolgu duvar ekleyerek deneysel çalışma yapmışlardır. OpenSees yazılımı kullanarak sayısal simülasyon gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda dolgu duvarların çerçevenin sertliğini ve yük taşıma

kapasitesini arttırdığını tespit etmişlerdir. Bu nedenle dolgu duvarların yapısal modele dahil edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Bal (2018), çalışmasında betonarme yapılarda dolgu duvar-çerçeve etkileşimini incelemiştir. Bu amaçla 3, 5, 7 ve 9 kata sahip betonarme binaları dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olmak üzere SA2000 sonlu elemanlar programında modellemiştir. Dolgu duvarların modellenmesinde eşdeğer basınç çubuğu modelleme yöntemini kullanmıştır. Modellediği yapıların zemin kat yüksekliklerini ve zemin sınıfını değiştirmiştir. Modellenen yapıların analizinde eşdeğer deprem yükü yöntemini kullanmıştır. Analiz sonuçlarına dayanarak modellenen yapıların dolgu duvar değişikliklerine göre analiz sonuçlarının da değiştiğini belirtmiştir. Bu sebeplerden dolayı bina modellemesi yapılırken dolgu duvarların da modellenmesi gerektiği sonucunu vurgulamıştır.

Cengiz (2018), çalışmasında dolgu duvarların betonarme çerçeve sisteme olan etkilerini incelemiştir. Aynı plana sahip 3, 5 ve 7 katlı olan binaları SAP2000 programında modellemiştir. Çalışmasında çerçeve sistemle karşılaştırma yapmak için öncelikli olarak dolgu duvarları sisteme yük olarak dahil etmiş ve dolgu duvarları eşdeğer basınç çubuğu yöntemini kullanarak modellemiştir. Sonrasında ise eşdeğer basınç çubuğunun hesabında duvar sıvasının lifli katkı ile yapıldığını kabul ederek modelleme yapmıştır. Eşdeğer basınç çubuğu yöntemi ile modellediği binaların zemin katında dolgu duvar olmadığını ve kat yüksekliğinin fazla olduğunu düşünerek farklı modellemeler yapmıştır. Modellediği binalara SAP2000 sonlu elemanlar programında statik itme analizi yapmıştır ve analizler sonucunda binanın rijitliğinin dolgu duvar eklenince arttığını, dolgu duvarlara polimer katkılı sıva yapıldığında daha çok arttığını tespit etmiştir. Ayrıca kat sayısının artması ve yumuşak kat olmasına rağmen dolgu duvarların yıkılana kadar bina rijitliğine etkisi olduğunu tespit etmiştir.

Çelebi (2018), çalışmasında betonarme bir binada kullanılan dolgu duvarların binanın deprem performansına nasıl bir katkı sağlayacağını incelemiştir. Çalışmasında karşılaştırma yapmak için Erzurum ilinde yer alan 3 açıklıklı ve 4 katlı bir binayı dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olmak üzere 2 farklı şekilde ele almıştır. Bina modellemesi ve deprem analizleri için SAP2000 sonlu elemanlar programını kullanmıştır. Dolgu duvarları tek eşdeğer basınç çubuğu, üç eşdeğer basınç çubuğu ve kabuk eleman olarak

3 farklı şekilde modellemiştir. Binaların analizleri için SAP2000 programında eşdeğer yük yöntemi, mod birleştirme yöntemi, statik itme yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemlerini kullanarak 4 farklı analiz yöntemi ile analiz yapmıştır. Yaptığı analizleri 3 farklı yönetmeliğe göre incelemiştir. Analizler sonucunda dolgu duvarların binada sönümleyici etkisinin olduğunu tespit etmiştir. Analiz yöntemleri ve yönetmelikler değişse bile dolgu duvarın binaya olan etkisinin çok değişmediğini tespit etmiştir.

Kaçım (2018), çalışmasında eşdeğer basınç çubuğu metodu ile modellenen dolgu duvarların binanın deprem performansına etkisini incelemiştir. Çalışmasında modellenecek binaların performansı için Betonarme Elemanlarda Sargı ve Modelleme Programı'nı ve Doğrusal Elastik Olmayan Program'ını kullanmıştır. Binaların modellemesini SAP2000 sonlu elemanlar programında yapmıştır. Önceki çalışmalarda yapılan 12 adet betonarme binayı alarak bunları çerçeve model ve dolgu duvarlı model olarak modellemiştir. Binaların analizi için artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemini kullanmıştır. Analizlerde çıkan değerlere göre binaların performanslarını ve kapasite eğrilerini belirlemiştir. Yaptığı karşılaştırmalar sonucunda dolgu duvarların kalınlıklarının ve dayanımlarının artmasının binaların performansları ve kapasitelerini olumlu yönde değiştirdiğini tespit etmiştir.

Özkaya (2018), çalışmasında farklı yaklaşımlarla modellenen dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız modellerin binaların deprem davranışına etkisini incelemiştir. Farklı dolgu duvar modellemesine ait 4 katlı 9 farklı binanın modelleme ve doğrusal analizinde SAP2000 sonlu elemanlar programını kullanmıştır. Statik itme analizlerinden elde edilen sonuçlara göre binaların periyotlarını, burulma düzensizliklerini, yumuşak kat düzensizliklerini ve zayıf kat düzensizliklerini karşılaştırmıştır. Analizler sonucunda zemin katın yüksek yapılması ve zemin katta dolgu duvar kullanılmaması durumunun yapıda zayıf kat oluşumuna sebep olduğunu tespit etmiştir.

Sağlıyan (2018), çalışmasında betonarme çerçeve sistem üzerinde eşdeğer basınç çubuğu ile modellenen dolgu duvarların deprem yükü etkisindeki davranışlarını incelemek için 3 açıklıklı 5, 9 ve 12 katlı binaları Z1 ve Z3 zemin sınıfında olmak üzere SAP2000 programında modellemiştir. Modellediği çerçeve sistemlerin dolgu duvarlarını yük olarak ve eşdeğer basınç çubuğu olarak 2 farklı şekilde ele almış ve

eşdeğer deprem yükü yöntemini kullanarak sistemlerin analizlerini yapmıştır. Analizler sonucunda dolgu duvarların yapının periyot, görelî kat ötelemesi ve kolonlara gelen kesme kuvveti değerlerini azalttığını, taban kesme kuvvetini ise arttırdığını tespit etmiştir.

Durğut (2019), çalışmasında betonarme bir binayı dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olmak üzere çoklu eşdeğer basınç çubuğu metodu ile modellemiş ve yapının sismik davranışını incelemiştir. Çalışmasının ilk aşamasında çoklu eşdeğer basınç çubuğu metodu için dolgu duvarları tekli eşdeğer basınç çubuğu, ikili çapraz eşdeğer basınç çubuğu, üçlü eşdeğer basınç çubuğu, ikili eşdeğer basınç çubuğu, beşli paralel basınç çubuğu ve çalışmada önerilen ikili eşdeğer basınç çubuğu olarak 6 farklı şekilde modellemiştir. Çalışmasının ikinci kısmında ise çoklu eşdeğer basınç çubuğu metodu için dolgu duvarları tekli eşdeğer basınç çubuklu, ikili eşdeğer basınç çubuklu ve üçlü eşdeğer basınç çubuklu olarak 3 farklı şekilde modellemiştir. Modelleme ve doğrusal olmayan analizlerde SAP2000 sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Analizler sonucunda binaların elastik spektral tasarım ivme değerleri, görelî kat ötelemesi oranları, kat ivmeleri, kat kesme kuvvetleri, plastik mafsalları dağılımları ve kolondaki kesme kuvveti değerlerini elde etmiş ve karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda ikili eşdeğer basınç çubuğu ya da üçlü çapraz eşdeğer basınç çubuğu ile modellenen binaların sismik davranışlarının gerçeğe en yakın olarak bulunduğu belirtilmiştir.

Kömür vd. (2019), çalışmalarında dolgu duvarlı betonarme çerçeve sistemlerin dinamik özelliklerini daha iyi anlamak için deneysel bir araştırma yapmışlardır. Deneylerde kullanmak için 3 adet 1/3 ölçekli, tek açıklıklı, üç katlı betonarme çerçeveler inşa etmişlerdir. Bu çerçeveleri dolgu duvarsız, hasarsız dolgu duvarlı ve hasarlı dolgu duvarlı olarak inşa etmişlerdir. Yapılan deneyler sonrasında dolgu duvar sisteminin rijitliği arttırdığını, dolgu duvarların hasar almasının rijitliği azalttığını tespit etmişlerdir.

Çavdar vd. (2020), çalışmalarında dolgu duvarların kat planı içerisindeki farklı sayı ve yerleşimlerinin binanın deprem davranışına etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla 5 açıklıklı, 5 katlı simetrik bir betonarme binayı dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olmak üzere SAP2000 sonlu elemanlar programında modellemişlerdir. Eşdeğer basınç çubuğu yöntemi kullanarak modellenen dolgu duvarlar için 4 farklı yerleşim ele

alınmıştır. Bina deprem analizinde 11 adet deprem ivmesi kullanılarak binaların zaman tanım alanında analizini yapmışlardır. Analiz sonucunda dolgu duvarların binanın davranışına olumlu etki sağladığını tespit etmişlerdir. Taşıyıcı eleman boyutlandırması yaparken dolgu duvarsız modelleme yapmayı, yer değiştirme hesabı yaparken ise dolgu duvarların etkisini göz önüne almayı önermişlerdir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Dolgu Duvarların Bina Davranışına Etkisi

Deprem yükü etkisi altındaki binalarda dolgu duvarların taşıyıcı sisteme olumlu ya da olumsuz yönde etkileri olabilmektedir. Dolsek ve Fajfar (2008), dolgu duvarların yapının rijitliğini attırdığını tespit etmişlerdir. Mulgund ve Kulkarni (2011), Wakchaure ve Ped (2012), yapı periyodunun, yer değiştirmenin dolgu duvarlı modellerde daha az olduğunu, taban kesme kuvvetinin arttığını tespit etmişlerdir.

3.1.1. Dolgu duvar modelleme yöntemleri

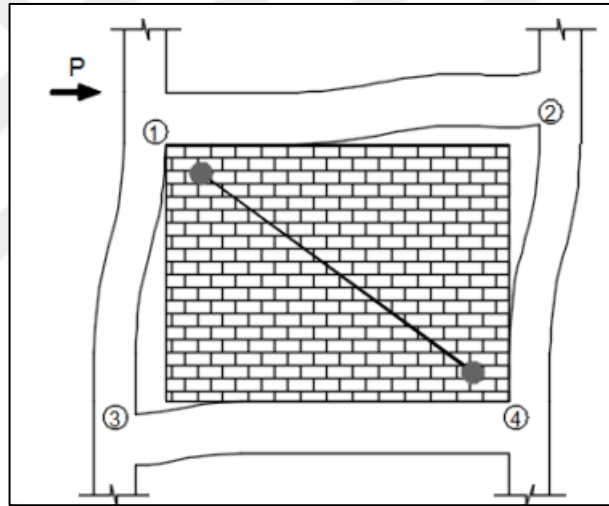
Günümüzde statik proje çözümlerinde dolgu duvarların taşıyıcı sistemin rijitliğine olan etkisi dikkate alınmadan hesaplama yapılmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar ise dolgu duvarların betonarme binaların deprem davranışına etkisi olduğunu ve buna dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu çalışmada 2020 İzmir depreminde hasar gören bir binanın gerçek ölçü ve parametreleri dikkate alınarak modellenmesi ve analizi yapılmıştır. Daha sonra aynı binanın dolgu duvara sahip olması durumundaki yapısal davranış ve dayanımının belirlenmesi için aynı bina dolgu duvarlı olarak modellenmiş ve analizi yapılmıştır.

Dolgu duvarların modellenmesinde iki farklı metot kullanılmaktadır. Bunlar mikro ve makro modellerdir. Mikro modeller için sonlu elemanlar metodu kullanılmaktadır. Bu metotta dolgu duvarlar tuğla ve harç malzemesi olarak modellenip yapının deprem yükü altındaki davranışı hesaplanabilmektedir. Makro modeller için eşdeğer basınç çubuğu yöntemi kullanılmaktadır. Bu metotta dolgu duvarlar diyagonal çubuk olarak modellenip yapının deprem yükü altındaki davranışı hesaplanabilmektedir (Özkaya, 2018).

3.1.2. Dolgu duvarların eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmesi

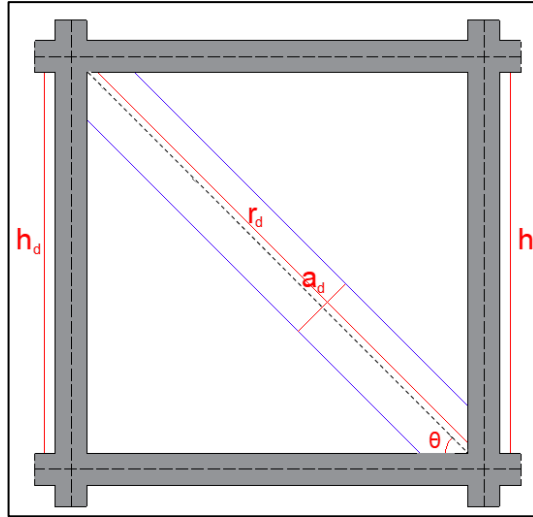
Dolgu duvarların modellenmesi ve yapı davranışına etkisini görmek için deneysel ve analitik çalışmalar 1950'li yıllarda başlamıştır. Polyakov (1956), dolgu duvarların taşıyıcı sisteme yük aktarımını dolgu duvarın köşegeni hizasında gerçekleştirdiği için dolgu duvarları diyogonal basınç çubuğu ile temsil etmiştir.

Yatay yük etkisi altında olan betonarme çerçeve içerisindeki dolgu duvarın şekil değiştirmesi Şekil 3.1'de görülmektedir. Dolgu duvar üzerine gelen yük 1 ve 4 numaralı noktalar üzerinden çerçeveye aktarılırken, 2 ve 3 numaralı noktaların çerçeve ile bağlantısı kesilmektedir. Dolgu duvarlar 1 ve 4 numaralı noktalar arasında kuvvet aktarabilen diyogonal basınç çubuğu ile tanımlanabilmektedir (Öztürkoğlu vd., 2015).



Şekil 3.1. Yatay yük etkisi altında dolgu duvar (Sunca, 2019)

Bu çalışmada, dolgu duvarların modellemesinde makro modelleme tekniği kullanılmış ve dolgu duvarlar basınca çalışan eşdeğer link elemanı ile modellenmiştir. Eş değer basınç çubuğu hesaplanan rijitliği sağlayacak şekilde link eleman olarak modellenmiştir. Dolgu duvarların eşdeğer basınç çubuğu genişliği, eşdeğer basınç çubuğunun aksel rijitliği ve dolgu duvarların kesme kuvveti dayanımının hesabı için TBDY (2018)'nin EK 15C'de yer alan denklemler kullanılmıştır. Eşdeğer basınç çubuğu yöntemi için detaylar Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Eşdeğer basınç çubuğu detay

$$a_d = 0.175(\lambda_d \times h_k)^{-0.4} r_d \quad (3.1)$$

Yukarıdaki denklemde; a_d : Eşdeğer basınç çubuğunun genişliği (mm), λ_d : Eşdeğer basınç çubuğu katsayısı, h_k : Kolon boyu (mm), r_d : Dolgu duvarının köşegen uzunluğunu (mm) göstermektedir.

$$\lambda_d = \left(\frac{E_d \times t_d \times \sin 2\theta}{4 \times E_c \times I_k \times h_d} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (3.2)$$

Yukarıdaki denklemde; λ_d : Eşdeğer basınç çubuğu katsayısı, E_d : Çerçeve betonunun elastisite modülü, t_d : Dolgu duvarının kalınlığı (mm), θ : Eşdeğer basınç çubuğunun yatay ile olan açısı, E_c : Çerçeve betonunun elastisite modülü, I_k : Kolonun atalet momenti (mm⁴), h_d : Dolgu duvarının yüksekliğini (mm) göstermektedir.

$$k_d = \frac{a_d \times t_d \times E_d}{r_d} \quad (3.3)$$

Yukarıdaki denklemde; k_d : Eşdeğer basınç çubuğunun eksenel rijitliği, a_d : Eşdeğer basınç çubuğunun genişliği (mm), t_d : Dolgu duvarının kalınlığı (mm), E_d : Çerçeve betonunun elastisite modülü, r_d : Dolgu duvarının köşegen uzunluğunu (mm) göstermektedir.

$$V_d = A_d(\tau_d + f_{yd} \times \rho_{sh}) \leq 0.22 \times A_d \times f_d \quad (3.4)$$

Yukarıdaki denklemde; V_d : Dolgu duvarının kesme kuvveti dayanımı, A_d : Dolgu duvarının yatay kesit alanı, τ_d : Dolgu duvarının kayma dayanımı, f_{yd} : Hasır donatı

çeliğinin tasarım akma dayanımı, ρ_{sh} : Perdede ve duvarda yatay gövde donatılarının perde gövdesi brüt en kesit alanına oranı, A_d : Dolgu duvarının yatay kesit alanı, f_d : Dolgu duvarının basınç dayanımını göstermektedir.

Yukarıdaki denklemlerde yer alan E_d (Çerçeve betonunun elastisite modülü), f_d (Dolgu duvarının basınç dayanımı) ve τ_d (Dolgu duvarının kayma dayanımı) değerleri için TBDY (2018)'nin EK 15C.2.2'de verilen malzeme özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. E_d , f_d ve τ_d için farklı tuğla türlerinde göre değerler

Boşluklu fabrika tuğlası	$E_d = 2000 \text{ MPa}$	$f_d = 3.0 \text{ MPa}$	$\tau_d = 0.20 \text{ MPa}$
Dolu harman tuğlası	$E_d = 2000 \text{ MPa}$	$f_d = 5.0 \text{ MPa}$	$\tau_d = 0.25 \text{ MPa}$
Gazbeton blok	$E_d = 1000 \text{ MPa}$	$f_d = 2.5 \text{ MPa}$	$\tau_d = 0.20 \text{ MPa}$

$$N_d = \frac{V_d}{\cos \theta} \quad (3.5)$$

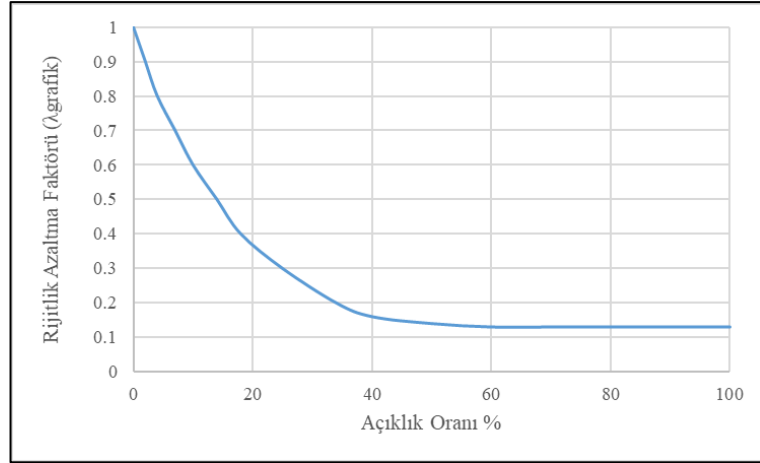
Yukarıdaki denklemde; N_d : Dolgu duvarın eksenel dayanımı, V_d : Dolgu duvarının kesme kuvveti dayanımı, θ : Eşdeğer basınç çubuğunun yatay ile olan açısını göstermektedir.

$$d = \frac{N_d}{k_d} \quad (3.6)$$

Yukarıdaki denklemde; d : Eksenel dayanıma karşı gelen yer değiştirme, N_d : Dolgu duvarın eksenel dayanımı, k_d : Eşdeğer basınç çubuğunun eksenel rijitliğini göstermektedir.

3.1.3. Dolgu duvarlardaki boşlukların eşdeğer basınç çubuğu rijitliğine etkisi

Dolgu duvarlarda bulunan kapı ve pencere için bırakılan boşlukların eksenel rijitliği azaltması beklenmektedir bu nedenle rijitlik azalmasının ne oranda olacağını belirlemek oldukça önemlidir. Asteris (2003), çalışmasında dolgu duvarlarda olan boşlukların eksenel rijitliğe nasıl etki edeceğini araştırmıştır. Araştırması sonucunda dolgu duvarlardaki boşluk oranını hesaplayarak bu orana bağlı olan Rijitlik Azaltma Faktörü (λ_{grafik})'nü hesaplamıştır. Rijitlik Azaltma Faktörü ve Açıklık Oranı grafiği Şekil 3.3'te görülmektedir.



Şekil 3.3. Açıklık oranı ile rijitlik azaltma faktörü arasındaki ilişki (Bayrak ve Bikçe, 2019)

Köse ve Karslıoğlu (2007), Bayrak ve Bikçe (2019) çalışmalarında Rijitlik Azaltma Faktörünü kullanmış ve Rijitlik Azaltma Faktörünü eşdeğer basınç çubuğu genişliği denkleminde çarpan olarak getirerek boşluklu dolgu duvarın eksenel rijitliğini hesaplamışlardır. Aşağıda eşdeğer basınç çubuğu genişliği denkleminin dolgu duvarlarda boşluk olması durumundaki hali verilmiştir.

$$a_d = 0.175 \times \lambda_{grafik} (\lambda_d \times h_k)^{-0.4} r_d \quad (3.7)$$

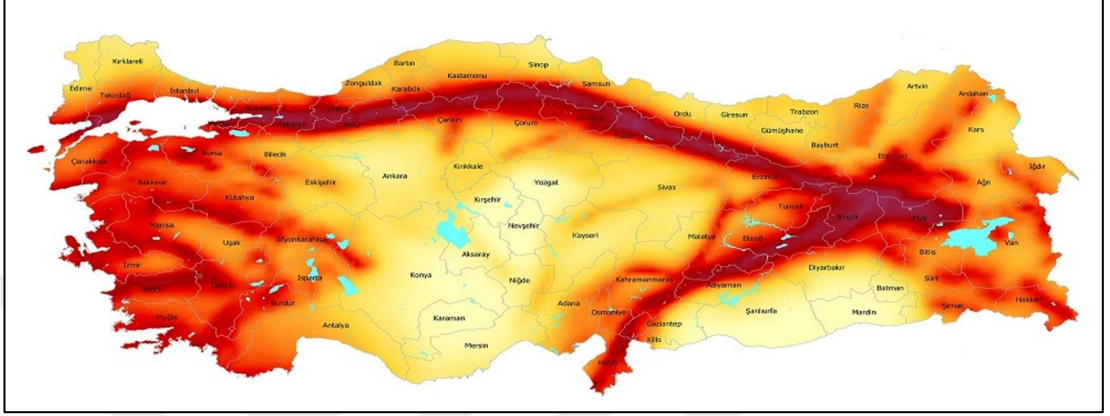
Yukarıdaki denklemde; a_d : Eşdeğer basınç çubuğunun genişliği (mm), λ_{grafik} : Dolgu duvarın rijitlik azaltma faktörü, λ_d : Eşdeğer basınç çubuğu katsayısı, h_k : Kolon boyu (mm), r_d : Dolgu duvarının köşegen uzunluğunu (mm) göstermektedir.

3.2. Türkiye Depremselliği

3.2.1. Türkiye'deki önemli fay sistemleri

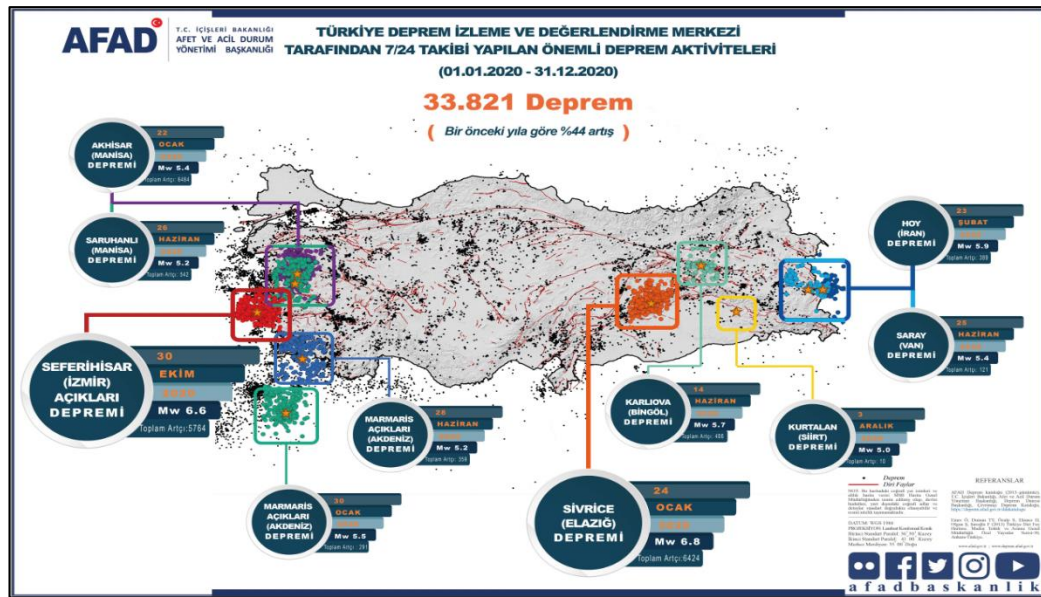
Dünyada en önemli deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya Deprem Kuşağı Endonezya'dan Atlas Okyanusu'na kadar giden büyük bir alanı kapsamaktadır. Sismik olarak oldukça aktif olan Alp-Himalaya deprem kuşağında geçmişten günümüze kadar çok sayıda yıkıcı deprem meydana gelmiş ve gelmeye de devam etmektedir. Türkiye de bu deprem kuşağının içerisinde yer almaktadır ve bu nedenle Türkiye topraklarının yaklaşık %93'ü sismik açıdan riskli olarak kabul edilmektedir.

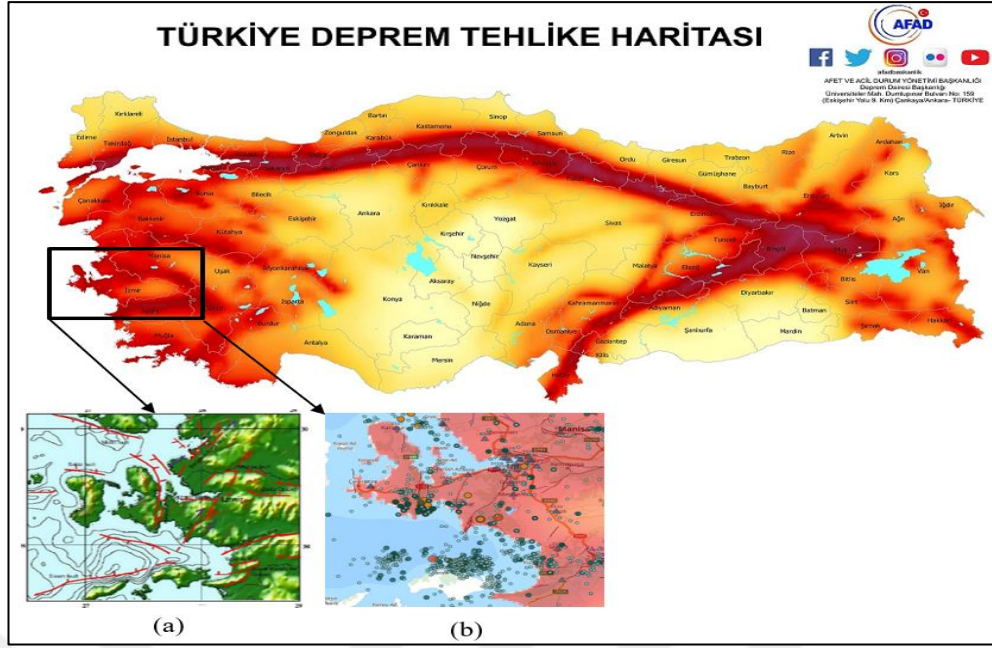
Ülkemiz toprakları Kuzey Anadolu Deprem Kuşağı, Güneydoğu Anadolu Deprem Kuşağı ve Batı Anadolu Deprem Kuşağı olmak üzere başlıca 3 adet büyük deprem kuşağı tarafından çevrelenmiştir (Şahin ve Kılınç, 2016). Aktif sismik risk taşıyan ve Türkiye’deki depremlerin nedeni olan bu hatların da belirgin bir şekilde görüldüğü Türkiye Deprem Haritası Şekil 3.4’te görülmektedir.



Şekil 3.4. Türkiye deprem tehlike haritası (AFAD, 2018)

Özellikle aktif deprem kuşağı üzerinde yer alan bölgelerde inşa edilen binalar yapı ömürleri boyunca hafif veya şiddetli çok sayıda depreme maruz kalmaktadır. Bu durum yapının mevcut durumu ve depremin şiddetine bağlı olarak binalarda hasara veya yıkımlara neden olmaktadır. Her yıl milli gelirimizin %0.8’i deprem nedenli yapı hasarlarının karşılanması için kullanılmaktadır (Usta ve Bozdağ, 2021). Bu tez çalışmasında 2020 yılında meydana gelmiş İzmir depreminde hasar alan bir bina incelenmiştir. 2020 yılında Türkiye’de meydana gelmiş İzmir depremini de içeren yıllık tüm deprem aktiviteleri Şekil 3.5’te verilmiştir.





Şekil 3.6. İzmir depremselliği a) İzmir fay hatları (İzmir Büyükşehir Belediyesi, 2018)
b) İzmir çevresinde gerçekleşen tarihsel depremler (AFAD, 2020b)

İzmir ilinde diri fay sayısı fazla olmakla birlikte bölgede meydana gelen depremler de bu faylardan kaynaklanmaktadır. Fay hatlarının 30 km'den daha uzun olması sonucunda 6.5'ten daha büyük depremler meydana gelmektedir. İzmir ilinde bulunan fay hatları 10 km'den daha uzundur yani fayların kırılması durumunda bölgede 6'dan büyük depremler meydana gelebilmektedir (Emre vd., 2005). İzmir ilinde son 18 yılda gerçekleşen 5 ve 5'ten büyük depremler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. İzmir ilinde son 18 yılda gerçekleşen 5 ve 5'ten büyük depremler

Tarih	Tip	Büyükölük	Derinlik	Yer
10.04.2003 00:40	M _w	5.7	11.3 km	Urla(İzmir)
17.04.2003 22:34	M _w	5.2	11.5 km	Seferihisar(İzmir)
17.10.2005 09:46	M _w	5.8	18.6 km	Urla(İzmir)
17.10.2005 09:55	M _w	5.2	11 km	Urla(İzmir)
17.10.2005 12:43	M _w	5.0	21.4 km	Urla(İzmir)
18.10.2005 16:00	M _w	5.0	25.5 km	Urla(İzmir)
21.10.2005 11:47	M _w	5.0	19.2 km	Urla(İzmir)

Çizelge 3.2. İzmir ilinde son 18 yılda gerçekleşen 5 ve 5'ten büyük depremler (Devam)

12.06.2017 12:28	M _w	6.2	15.86 km	Ege Denizi, Karaburun (İzmir)
17.06.2017 19:50	M _w	5.3.	9.11 km	Ege Denizi, Karaburun (İzmir)
22.06.2017 02:48	M _w	5.0	13.5 km	Ege Denizi, Karaburun (İzmir)
30.10.2020 11:51	M _w	6.6	14.9 km	Ege Denizi, Seferihisar (İzmir)
31.10.2020 05:31	M _w	5.0	7.33 km	Ege Denizi, Seferihisar (İzmir)
01.02.2021 05:46	M _w	5.1	20.69 km	Ege Denizi, Karaburun (İzmir)
01.02.2021 08:35	M _w	5.1	17.62 km	Ege Denizi, Karaburun (İzmir)

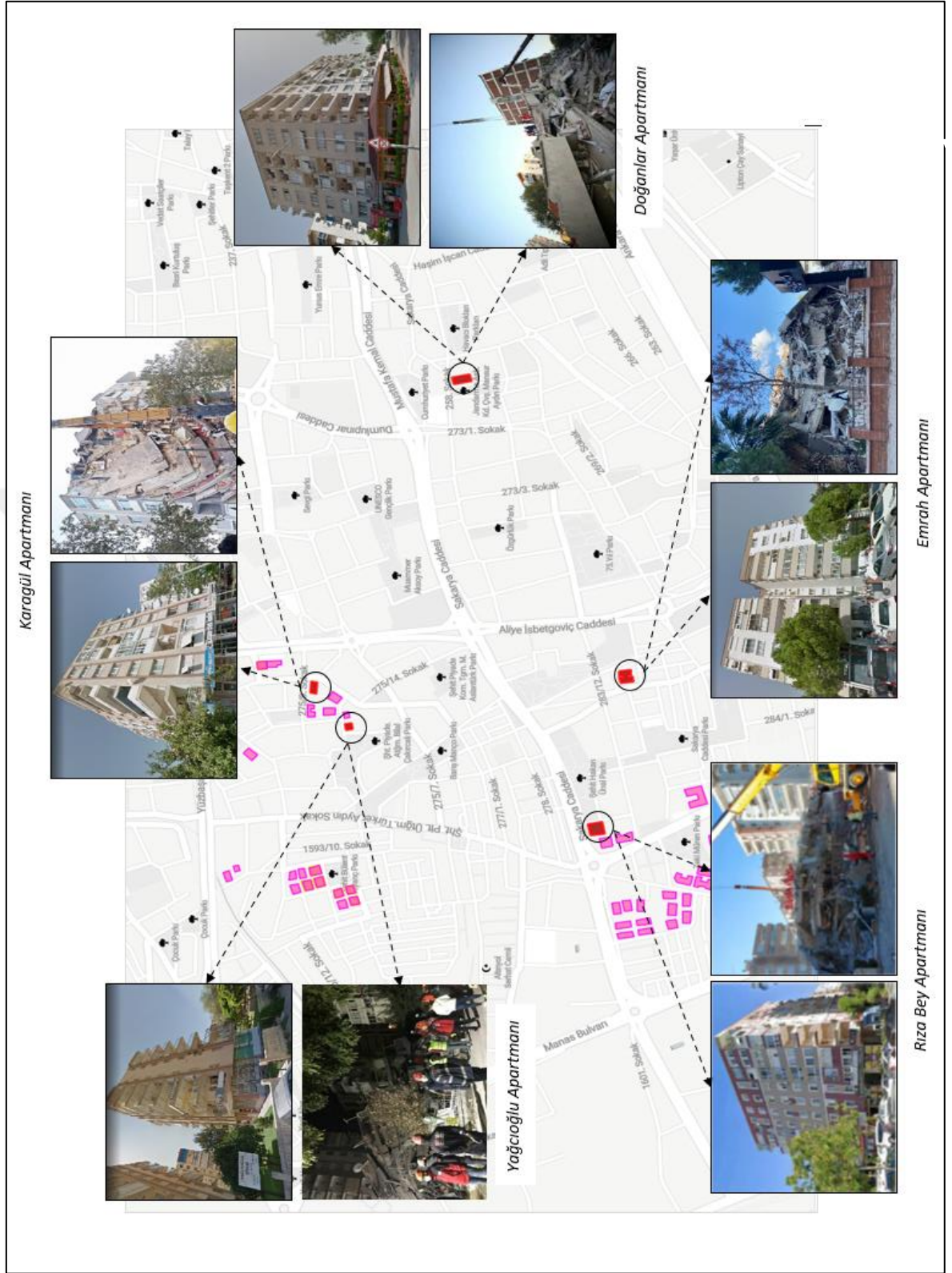
3.2.3. 30 Ekim 2020 İzmir depremi

30 Ekim 2020 tarihinde Ege Denizi Sisam Adası açıklarında saat 14:51'de Mw 6.6 büyüklüğünde deprem meydana gelmiştir. İzmir'in Seferihisar ilçesine 23 km uzaklıkta meydana gelen deprem yaklaşık 16 saniye sürmüştür. Şekil 3.7'de depremin konumu gösterilmektedir. Deprem sonrasında 117 kişinin hayatını kaybettiği ve 1000 kişinin üzerinde yaralının olduğu tespit edilmiştir. Deprem sonrasında başlayan hasar tespit çalışmalarında öncelikle tamamen/kısmen göçen, acil yıkım gerektiren ve ağır hasar alan binaların belirlenmesine çalışılmıştır. Deprem hasarı alan binalar arasında 12 adet bina tamamen veya kısmen göçmüş ve bu binalarda arama-kurtarma çalışmaları yürütülmüştür.



Şekil 3.7. 30 Ekim 2020 İzmir depremi konumu (AFAD, 2020c,)

Geçmiş depremler ve deprem sonrasında hasar gören binalar incelendiğinde bina türlerinin bölgelerde yaygın olarak bulunan çok yüksek katlı olmayan ve genellikle alt katlarında otopark, ticari işletme olan ve zemin katlarında dolgu duvar bulunmayan binalar olduğu dikkat çekmektedir. Bu durum 30 Ekim 2020 tarihli İzmir depreminde hasar gören binalarda da karşımıza çıkmıştır. Bayraklı ilçesinde birbirlerine yakın konumlarda deprem sonrası hasar almış binalardan bazıları Şekil 3.8’de görülmektedir.



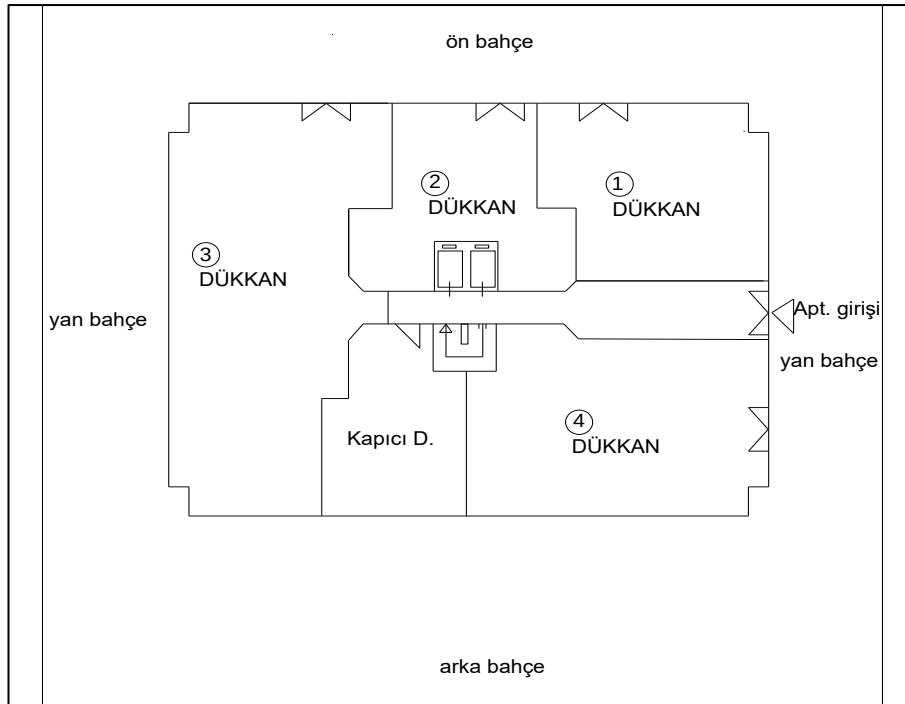
Şekil 3.8. Bayraklı ilçesinde birbirlerine yakın olarak deprem sonrası hasar almış bazı binalar (Anonim, 2020a; Anonim, 2020b; Er, 2020)

3.3. Tez Çalışması Kapsamında Dolgu Duvar Davranışının Örnek Bir Bina Üzerinde İncelenmesi

Tez çalışması kapsamında, İzmir ilinde yer alan 30 Ekim İzmir depreminde hasar almış gerçek bir betonarme binanın deprem davranışına dolgu duvarların etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, incelenen örnek binanın dolgu duvar etkisinin dikkate alındığı ve alınmadığı durum için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

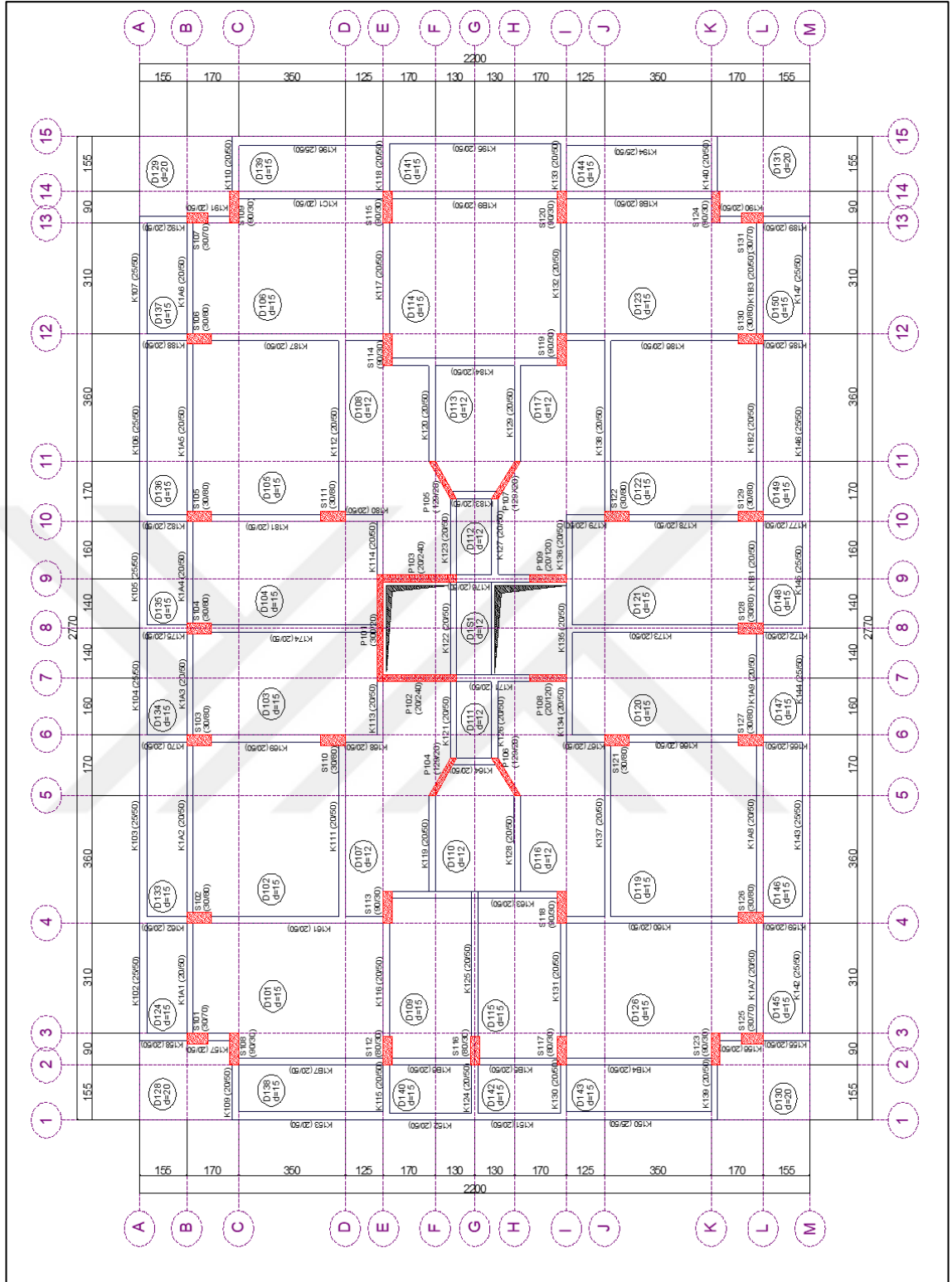
3.3.1. Çalışmada modellenmesi yapılan binanın genel bilgileri

Bu tez kapsamında ele alınan bina 1993 tarihli ruhsata sahiptir. Bina Zemin + 8 normal kattan oluşan gerçek betonarme bir binadır. Binanın parsel alanı 1613 m²'dir. Apartmanın bahçe alanı 1151 m²'dir. Apartmanın zemin katında 4 dükkan ve 1 kapıcı dairesi yer almaktadır. Binaya ait zemin kat planı Şekil 3.9'da verilmiştir. Her normal katta 4 daire olmak üzere binada toplam 32 daire bulunmaktadır. Apartmanın arka bahçesi otopark olarak düzenlenmiş ve 22 arabalık park yeri ayrılmıştır.

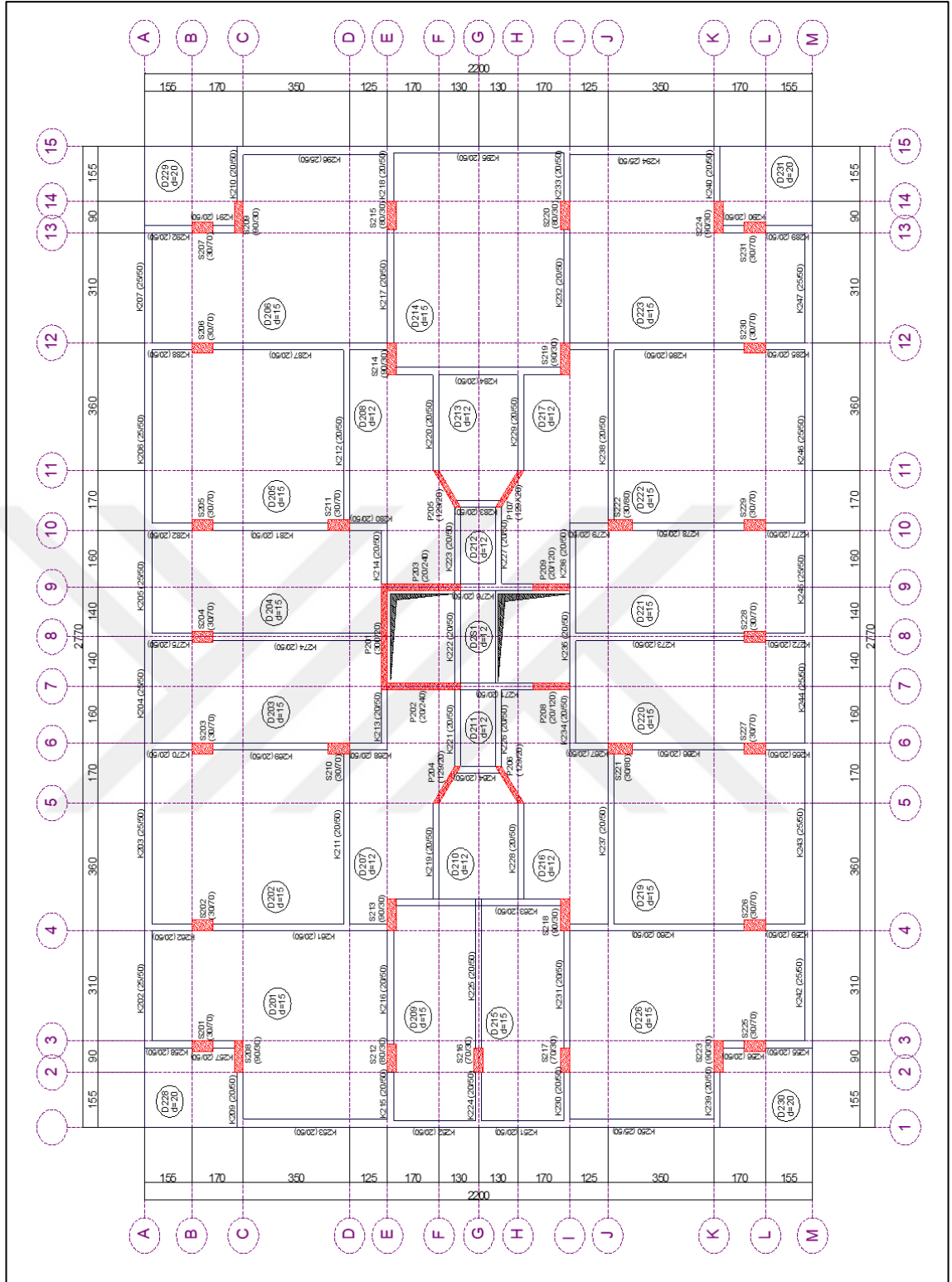


Şekil 3.9. Binanın zemin kat planı

Binanın zemin kat yüksekliği 3.65 m, normal kat yükseklikleri 2.70 m olmak üzere toplam bina yüksekliği 25.25 m'dir. Binada bodrum kat bulunmamaktadır. Temel tipi sürekli temeldir. Binanın bulunduğu zemin ZD yerel zemin sınıfı olarak tanımlanmaktadır. Projedeki bütün perde duvarlar 20 cm boyutundadır ve her katta 9 adet perde duvar bulunmaktadır. Projede. 30x70 cm, 30x80 cm ve 30x90 cm' olmak üzere 3 farklı kolon kesiti bulunmaktadır. Mevcut kolon boyutları zemin kattan normal kata geçildiğinde 10 cm azalmaktadır. Azalan kolon boyutu 8. kata kadar devam etmektedir. Projedeki kiriş kesitleri 25x50 cm ve 20x50 cm olmak üzere 2 farklı boyuttur. Binanın dış kısmında yer alan kirişler 25 cm, orta kısmında yer alan kirişler ise 20 cm boyutundadır. Projedeki döşeme kesitleri ise 20 cm, 15 cm ve 12 cm olarak 3 farklı şekildedir. Binanın balkon döşemeleri 20 cm boyutundadır. Binanın orta kısmında yer alan döşemeler 12 cm boyutundadır. Geri kalan döşemeler 15 cm boyutundadır. Binaya ait zemin ve normal kat kalıp planları Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.10. Zemin kat kalıp planı



Şekil 3.11. Normal kat kalıp planı

3.3.2. Binanın mevcut malzeme dayanımları

Bu tez çalışması kapsamında yapılan model ve tanımlamalarda daha önce de bahsedildiği gibi gerçek malzeme özellikleri kullanılmıştır. Malzeme özelliklerinin belirlenmesinde TS EN 12504-1 standardı dikkate alınmıştır ve 15 adet karot numunesine uygulanan basınç deneyi sonrasında beton basınç dayanımına karar verilmiştir. Basınç deneylerinde kullanılan silindir numunelerin bir örneği Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.12. Deney için alınmış karot numuneleri

Betonun karakteristik basınç dayanımı belirlenmesinde TS EN 13791-Eylül 2019 standardı kullanılmıştır. Deney verilerinin değerlendirmesinde tüm numune sonuçları hesaplama dahil edilmiş olup hesaplama dışı bırakılan deney sonucu bulunmamaktadır.

Binanın onaylanan betonarme projesine göre beton basınç dayanımının C20, $f_{co}=20\text{MPa}$ olması gerekmesine rağmen yapılan deney ve gerekli hesaplamalar sonucunda binanın mevcut ortalama beton basınç dayanımı C8.27, $f_{co}=8.27\text{MPa}$ olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değer SAP2000 Sonlu Elemanlar Programı’nda malzeme tanımlaması kısmında kullanılmıştır.

Bina donatı malzeme özelliklerinin belirlenmesinde 6 adet betonarme donatısı numunesi kullanılarak çekme deneyi yapılmıştır. Deneyde kullanılan donatı numunelerinin bir örneği Şekil 3.13’te gösterilmektedir. Binanın onaylı betonarme projesinde bina boy donatılarında nervürlü donatı olarak S420 çeliği, sargı

donatılarında ise nervürlü donatı olarak S220 çeliği yer almaktadır. Deney sonucunda da S220 düz donatıların ve S420 nervürlü donatıların TS708’de verilen koşulları sağladığı görülmüştür ve bu değerler modellemede kullanılmıştır.



Şekil 3.13. Donatı numune örnekleri

3.4. Binanın Sonlu Elemanlar Modellemesi

3.4.1. Analizlerde kullanılan malzeme modelleri

SAP2000’de modellemede beton malzemesinin tanımlanması için TBDY (2018)’de yer alan 5A.1. Sargılı ve Sargısız Beton Modellerinde verilen aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

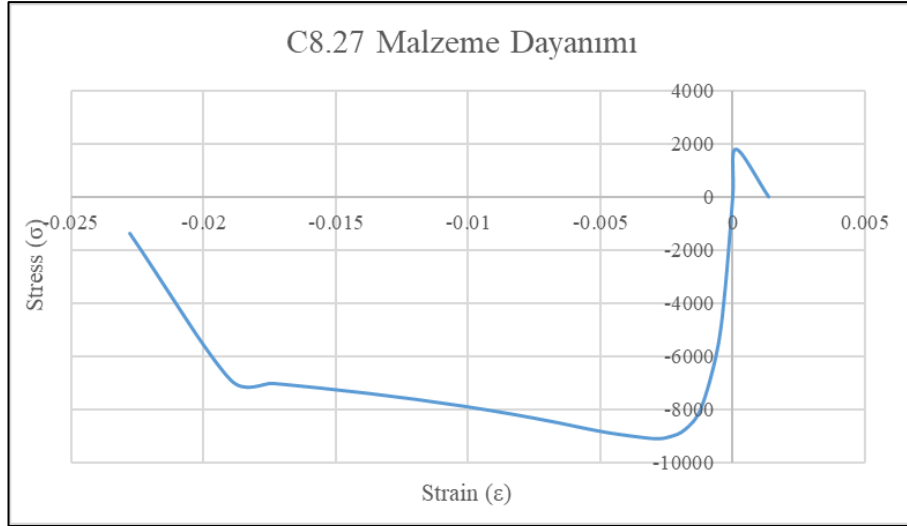
$$5000 \times \sqrt{f_{co}} = E_c \quad (3.8)$$

Yukarıdaki denklemde; f_{co} : Sargısız betonun basınç dayanımı, E_c : Betonun elastisite modülü ’nü göstermektedir.

$$r = \frac{E_c}{(E_c - E_{sec})} \quad (3.9)$$

Yukarıdaki denklemde; r : Normalize edilmiş beton birim şekil değiştirmesi, E_c : Betonun elastisite modülü, E_{sec} : Betonun sekant elastisite modülü ’nü göstermektedir.

Beton malzemesinin şekil değiştirmesini gösteren Gerilme (stress)- Gerinim (strain) grafiğinin elde edilmesinde 3.8 ve 3.9 denklemleri kullanılmış ve Şekil 3.14’te gösterilen grafik elde edilmiştir.



Şekil 3.14. C8.27 malzeme dayanımı

Beton malzemesi için elde edilen Gerilme (stress) – Gerinim (strain) değerleri elde edildikten sonra değerlerin SAP2000 sonlu elemanlar programına tanımlaması yapılmıştır. Programa yapılan tanımlamanın ekran görüntüsü Şekil 3.15’te verilmektedir.

S Nonlinear Material Data

Edit

Material Name: C8.27 Material Type: Concrete

Hysteresis Type: Takeda

Drucker-Prager Parameters: Friction Angle: 0. Dilatational Angle: 0.

Units: KN, m, C

Stress-Strain Curve Definition Options: ☐ Parametric ☒ User Defined

User Stress-Strain Curve Data: Number of Points in Stress-Strain Curve: 19

	Strain	Stress	Point ID
1	-0.0228	-1373.6	
2	-0.019	-6873.	-E
3	-0.0174	-7015.1	
4	-0.0156	-7191.4	
5	-0.0138	-7389.5	
6	-0.012	-7613.9	
7	-0.0102	-7870.2	
8	-8.377E-03	-8164.6	
9	-6.582E-03	-8499.8	
10	-4.787E-03	-8857.2	
11	-2.992E-03	-9090.2	-C
12	-2.393E-03	-9027.1	

Order Rows Show Plot...

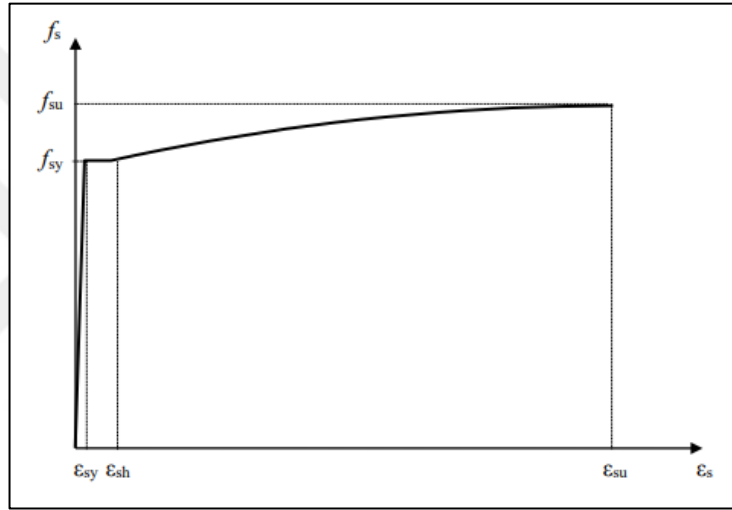
OK Cancel

Şekil 3.15. SAP2000 C8.27 malzeme dayanımı

SAP2000 sonlu elemanlar programından donatı çeliği tanımlaması için TBDY (2018)'de 5A.2. Donatı Çeliği Model'inde verilen aşağıdaki formül kullanılmıştır. Donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 3.16'da verilmiştir.

$$f_s = f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\epsilon_{su} - \epsilon_s)^2}{(\epsilon_{su} - \epsilon_{sh})^2} \quad (3.10)$$

Yukarıdaki denklemde; f_s : Donatı çeliğinde gerilme, f_{su} : Donatı çeliğinde kopma dayanımı, f_{sy} : Donatı çeliğinde akma dayanımı, ϵ_{su} : Donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi, ϵ_s : Donatı çeliğinin birim şekil değiştirmesi, ϵ_{sh} : Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekil değiştirmesini göstermektedir.



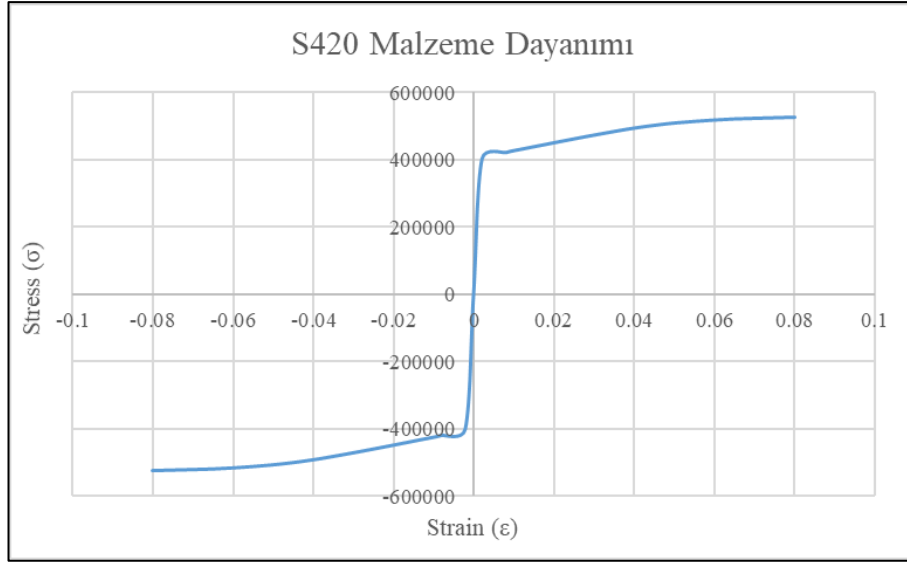
Şekil 3.16. Donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme grafiği

TBDY (2018)'de yer alan 5A.2. Donatı Çeliği Model'inde verilen donatı çeliğine ait bilgiler Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

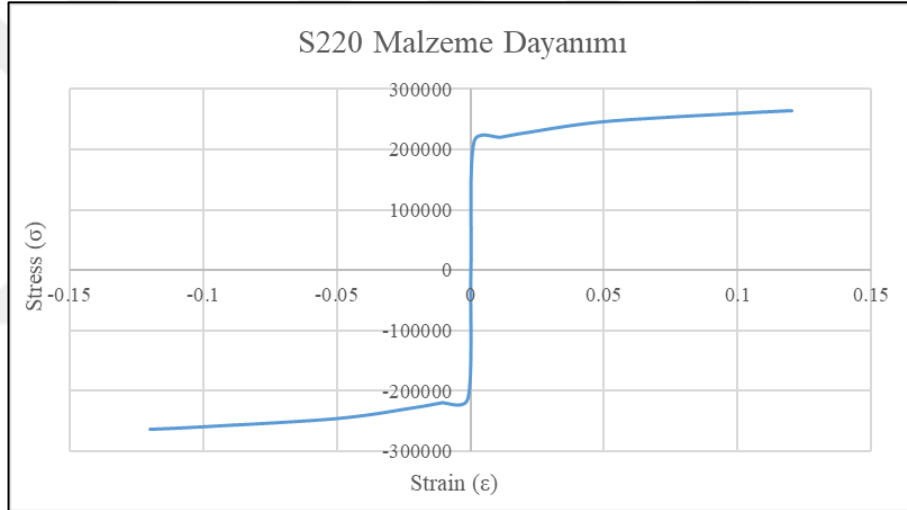
Çizelge 3.3. Donatı çeliklerine ait bilgiler (TBDY-2018)

Kalite	f_{sy} (Mpa)	ϵ_{sy}	ϵ_{sh}	ϵ_{su}	f_{su}/f_{sy}
S220	220	0.0011	0.011	0.12	1.20
S420	420	0.0021	0.008	0.08	1.15-1.35
B420C	420	0.0021	0.008	0.08	1.15-1.35
B500C	500	0.0025	0.008	0.08	1.15-1.35

Çelik donatı malzemesinin şekil değiştirmesini gösteren Gerilme (stress) - Gerinim (strain) grafiğini elde etmek için 3.10'daki formül kullanılmıştır. Formülünden hesaplanan değerler kullanılarak S420 çeliği ve S220 çeliği için elde edilen grafikler sırasıyla Şekil 3.17 ve Şekil 3.18'de verilmiştir.



Şekil 3.17. S420 donatı malzeme dayanımı



Şekil 3.18. S220 donatı malzeme dayanımı

Donatı çeliği malzemesi için elde edilen Gerilme (stress) – Gerinim (strain) grafik değerleri elde edildikten sonra değerlerin SAP2000 sonlu elemanlar programına tanımlaması yapılmıştır. Tanımlamaya ait ekran görüntüsü Şekil 3.19’da verilmiştir.

S Nonlinear Material Data

Edit

Material Name: S420 Material Type: Rebar

Hysteresis Type: Kinematic

Drucker-Prager Parameters: Friction Angle: Dilatational Angle:

Units: KN, m, C

Stress-Strain Curve Definition Options: Parametric User Defined

User Stress-Strain Curve Data: Number of Points in Stress-Strain Curve: 13

	Strain	Stress	Point ID
1	-0.08	-525000.	
2	-0.06	-516915.	-E
3	-0.04	-492660.	
4	-0.01	-425780.	
5	-8.000E-03	-420000.	
6	-2.100E-03	-402150.	-B
7	0.	0.	A
8	2.100E-03	402150.	B
9	8.000E-03	420000.	
10	0.01	425780.	
11	0.04	492660.	
12	0.06	516915.	E

Order Rows Show Plot...

OK Cancel

Şekil 3.19. SAP2000 S420 malzeme dayanımı tanımı

3.4.2. Bina taşıyıcı sistem elemanlarının tanımlanması

SAP2000 yazılımında; kolon ve kirişler çubuk eleman, perdeler kabuk eleman, dolgu duvarlar ise link eleman olarak modellenmiştir. Dolgu duvarları sadece yük olarak modellenen bina modelinde 1366 düğüm noktası, 1180 çubuk eleman ve 793 kabuk eleman kullanılmıştır. Dolgu duvarları basınca çalışan eşdeğer link elemanı olarak modellenen bina modelinde ise 1370 düğüm elemanı, 1180 çubuk eleman, 793 kabuk eleman ve 172 link elemanı kullanılarak modelleme tamamlanmıştır.

Bina kolon elemanlarının modellenmesinde çubuk elemanlar kullanılmıştır ve deney sonuçlarından elde edilen değerler ile kolonların malzeme tanımlamaları yapılmıştır.

Kolonların boy donatısı için S420, etriye donatısı için ise S220 çeliği seçilmiştir. Boy donatısı ve etriye donatısı aralıkları bina projesine uygun olarak tanımlanmıştır. Kolon malzeme özelliklerinin tanımlanmasından sonra kolon elemanların kesit rijitlikleri tanımlanmıştır. Kolon elemanı kesit rijitlik tanımlamalarına ait ekran görüntüsü Şekil 3.20’de verilmiştir.

S Frame Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.7
Moment of Inertia about 3 axis	0.7
Mass	1
Weight	1

OK Cancel

Şekil 3.20. Kolon elemanı kesit rijitliği tanımlaması

Bina kirişlerinin modellenmesinde bina statik projesi dikkate alınmış ve bütün kirişlerin donatı alanları sağ, sol ve üst, alt olmak üzere 4 ayrı kısımda hesaplanıp excel tablosuna aktarılmıştır. Kirişler SAP2000 sonlu elemanları programında çubuk eleman olarak modellenmiş ve kiriş olarak seçilen elemanın donatı alanları m^2 olarak tanımlanmıştır. Kiriş elemanına ait tanımlamanın ekran görüntüsü Şekil 3.21’de gösterilmiştir.

S Reinforcement Data

Rebar Material

Longitudinal Bars: + S420

Confinement Bars (Ties): + S220

Design Type

☐ Column (P-M2-M3 Design)

☒ Beam (M3 Design Only)

Concrete Cover to Longitudinal Rebar Center

Top: 0.03

Bottom: 0.03

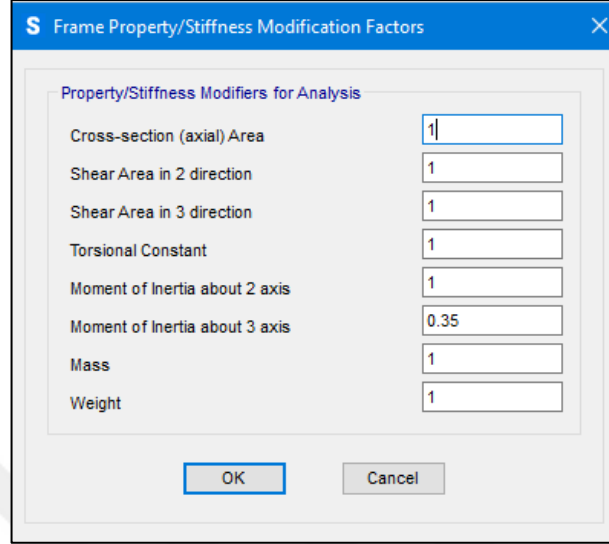
Reinforcement Overrides for Ductile Beams

	Left	Right
Top	9.500E-04	7.600E-04
Bottom	8.400E-04	5.700E-04

OK Cancel

Şekil 3.21. Kiriş elemanı kesit özellikleri tanımlaması

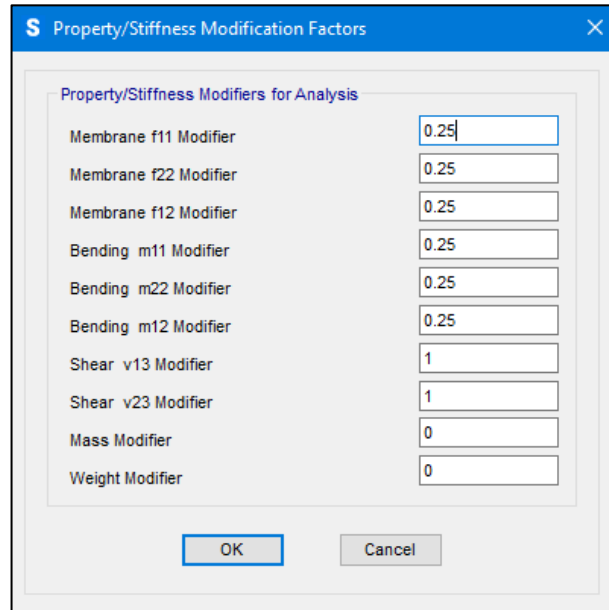
Kiriş elemanda boy donatısı için S420, etriye donatısı için S220 malzemesi seçilmiştir. Kiriş elemanı kesit rijitlik tanımlamalarına ait ekran görüntüsü Şekil 3.22’de verilmiştir.



Property/Stiffness Modifiers for Analysis	Value
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	1
Moment of Inertia about 3 axis	0.35
Mass	1
Weight	1

Şekil 3.22. Kiriş elemanı kesit rijitliği tanımlaması

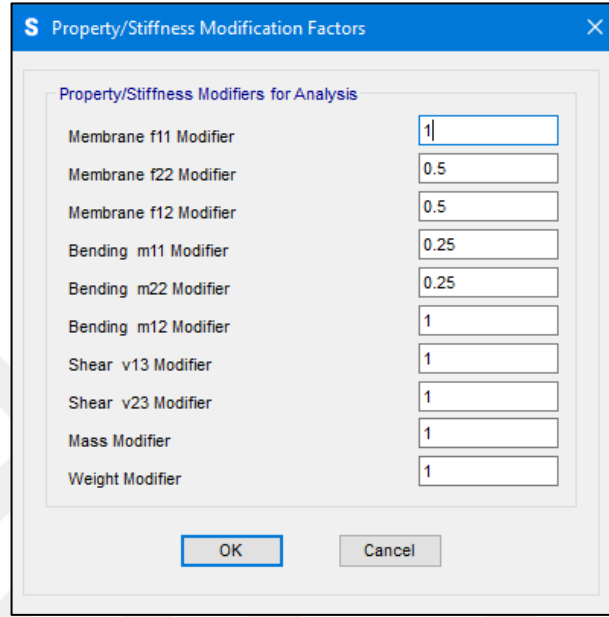
Bina döşeme elamanlarının modellenmesinde kabuk eleman (Shell-Thin) kullanılmıştır. Projeye uygun döşeme kalınlıkları ve deneylerden elde edilen malzeme değerleri girilerek döşeme ve döşeme rijitlik tanımlamaları yapılmıştır. Döşeme elemanı kesit rijitlik tanımlamalarına ait ekran görüntüsü Şekil 3.23’te verilmiştir.



Property/Stiffness Modifiers for Analysis	Value
Membrane f11 Modifier	0.25
Membrane f22 Modifier	0.25
Membrane f12 Modifier	0.25
Bending m11 Modifier	0.25
Bending m22 Modifier	0.25
Bending m12 Modifier	0.25
Shear v13 Modifier	1
Shear v23 Modifier	1
Mass Modifier	0
Weight Modifier	0

Şekil 3.23. Döşeme elemanı kesit rijitliği tanımlaması

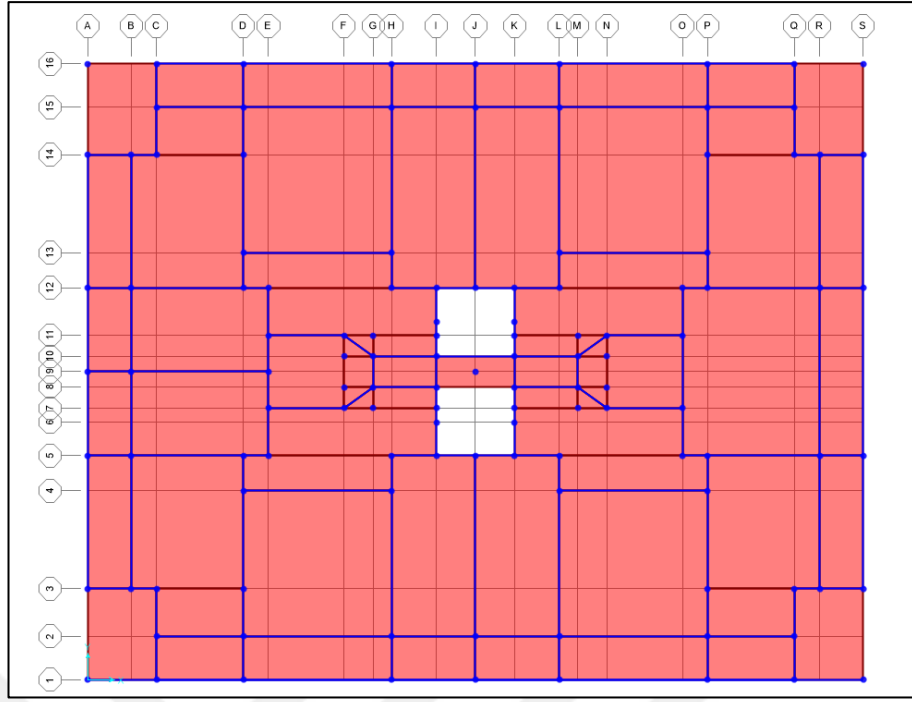
Bina perde duvar elemanlarının modellenmesinde kabuk eleman (Shell-Thin) kullanılmıştır. Projeye uygun perde duvar kalınlığı ve deneylerden elde edilen malzeme değerleri girilerek perde ve perde rijitlik tanımlamaları yapılmıştır. Perde duvar elemanı kesit rijitlik tanımlamalarına ait ekran görüntüsü Şekil 3.24'te verilmiştir.



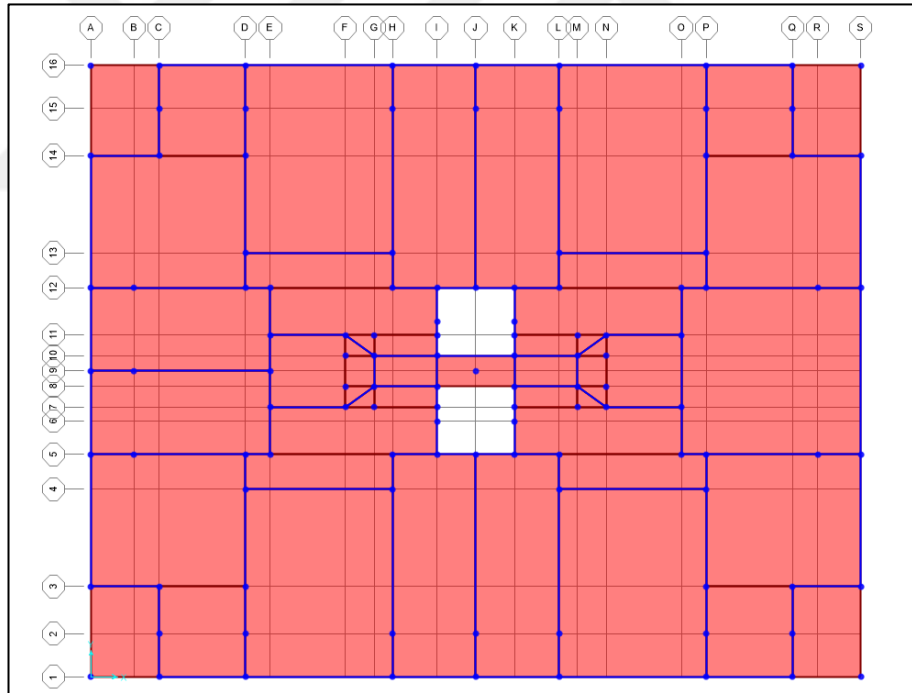
Property/Stiffness Modifiers for Analysis	
Membrane f11 Modifier	1
Membrane f22 Modifier	0.5
Membrane f12 Modifier	0.5
Bending m11 Modifier	0.25
Bending m22 Modifier	0.25
Bending m12 Modifier	1
Shear v13 Modifier	1
Shear v23 Modifier	1
Mass Modifier	1
Weight Modifier	1

Şekil 3.24. Perde elemanı kesit rijitliği tanımlaması

Tüm bina elemanlarının tanımlamaları yapıldıktan sonra binaya ait zemin kat ve normal kat modellenmiştir. SAP2000 sonlu elemanlar programında modellenen zemin kat ve normal kat görünümü Şekil 3.25 ve Şekil 3.26'da verilmiştir.



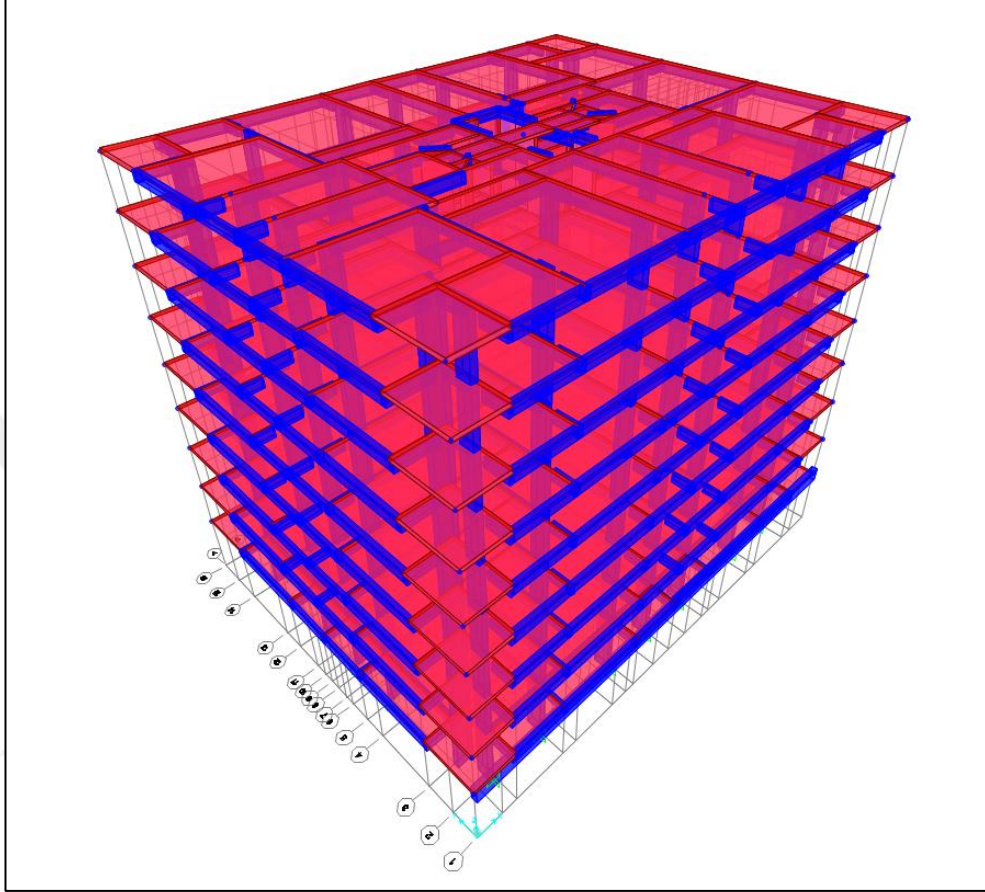
Şekil 3.25. SAP2000 Zemin kat planı



Şekil 3.26. SAP2000 Normal kat planı

Binanın statik projesindeki konum ve yerlerine göre kat planlarında bulunan elemanlara SAP2000 sonlu elemanlar programında kaçıklık verilmiştir. Modellemesi tamamlanan 2 katın son katı seçilerek kat kopyalaması yapılmış ve binanın modellemesi tamamlanmıştır. Modellemesi tamamlanan binanın üç boyutlu görünümü Şekil 3.27’de verilmiştir. Modelde rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Bina temeli

ankastre mesnetli olarak modellenmiştir. Kolon kiriş birleşiminin rijit olarak tanımlanması için End Offsets komutu kullanılmış ve bütün elemanlar seçilerek Rijitlik Faktörü 0.5 olacak şekilde atama yapılmıştır.



Şekil 3.27. SAP2000 3-d görüntüsü

Modellemesi ve atamaları tamamlanan bina modelinin MODAL analizleri yapılmış ve analiz sonucunda çıkan hatalar düzeltilmiştir. Modelleme çalışır hale getirildikten sonra perde duvarlar için Shell-Layer/Nonlinear sekmesinden tanımlama ve modelleme ayarları yapılmıştır. Bu kısımda perde duvarların beton ve donatı malzeme özellikleri girilmiş, düzlem içi kuvvetlerden S22 (boy donatısı) ve S12 (kayma gerilmesi) seçilmiştir. Düzlem dışı kuvvetler linear olarak seçilmiştir. Sonrasında donatı yerleşimi tanımlaması yapılmış ve döşemenin plate (dışa doğru eğilme) davranışı hariç tüm plate tanımlamaları silinmiştir. Betonun membrane S11 bölümü nonlinear olarak, donatıların S12 bölümü ise linear olarak seçilmiştir. Tanımlanan perde duvarın nonlinear kesit özellikleri Şekil 3.28’de gösterilmiştir.

S Shell Section Layer Definition

Layer Definition Data

Layer Name	Distance	Thickness	Type	Num Int. Points	Material	Material Angle	Type	Material Component S11	Behavior S22	S12
ConcM	0.	0.2	Membrane	1	C8.27	0.	Directional	Nonlinear	Nonlinear	Nonlinear
TopBar1M	0.066	0.000251	Membrane	1	S220	0.	Directional	Linear	Inactive	Linear
TopBar2M	0.064	0.000565	Membrane	1	S420	90.	Directional	Nonlinear	Inactive	Linear
BotBar1M	-0.066	0.000251	Membrane	1	S220	0.	Directional	Linear	Inactive	Linear
BotBar2M	-0.064	0.000565	Membrane	1	S420	90.	Directional	Nonlinear	Inactive	Linear
ConcP	0.	0.2	Plate	2	C8.27	0.	Directional	Linear	Linear	Linear

Quick Start

☐ Highlight Selected Layer

Transparency Control < >

Section Name: P1-1

Order Layers By Distance

Order Ascending Order Descending

Calculated Layer Information

Number of Layers: 6

Total Section Thickness: 0.2

Sum of Layer Overlaps: 0.2033

Sum of Gaps Between Layers: 0.

OK Cancel

Şekil 3.28. Perde duvar nonlinear kesit özellikleri

3.4.3. Binaya etki eden yükler

Binanın statik projesinde verilen yüklerin SAP2000 sonlu elemanlar programında modellenen yapıya tanımlamasında ölü yükler için öz ağırlık çarpanı “1”, hareketli yükler için öz ağırlık çarpanı ise “0” olarak alınmıştır. SAP2000 yük tanımlaması Şekil 3.29’da verilmiştir.

S Define Load Patterns

Load Patterns

Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern
DEAD	Dead	1	
DEAD	Dead	1	
G DOSEME	Dead	1	
Q DOSEME	Live	0	
G DUVAR	Dead	1	

Click To:

Add New Load Pattern

Add Copy of Load Pattern

Modify Load Pattern

Modify Lateral Load Pattern...

Delete Load Pattern

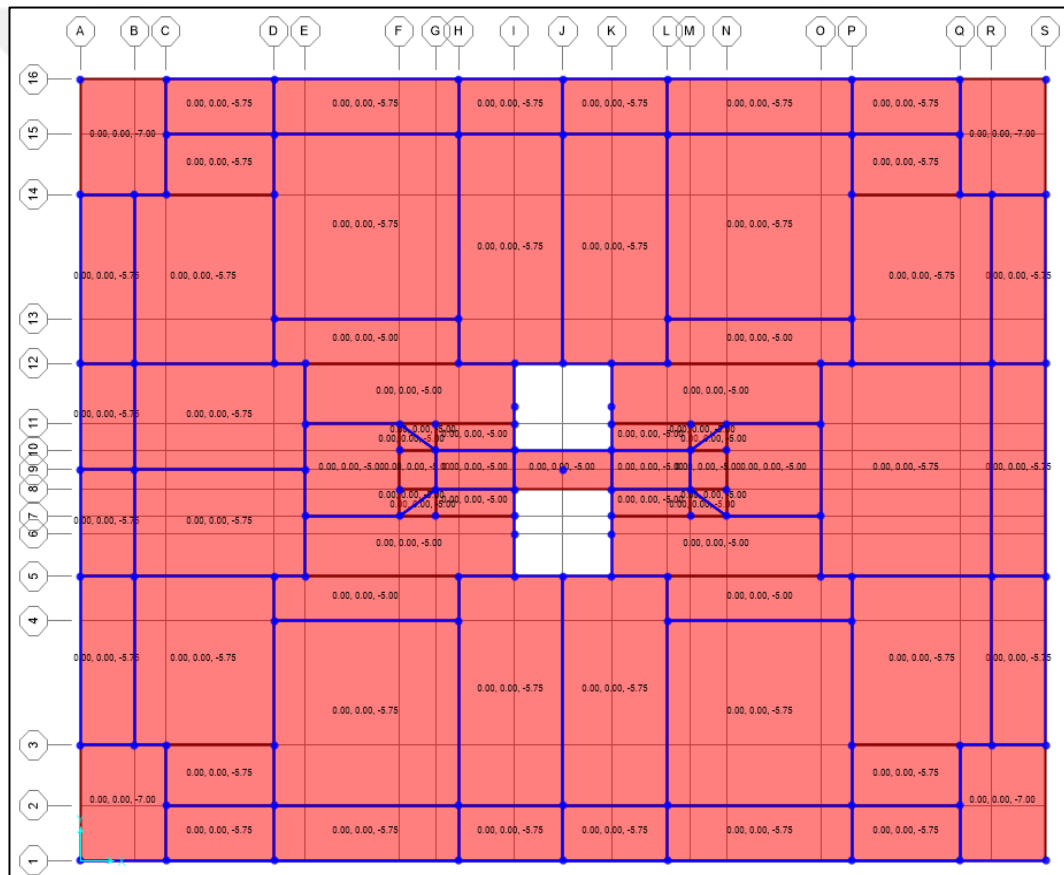
Show Load Pattern Notes...

OK Cancel

Şekil 3.29. Yük tanımlaması

3.4.3.1. Ölü yükler

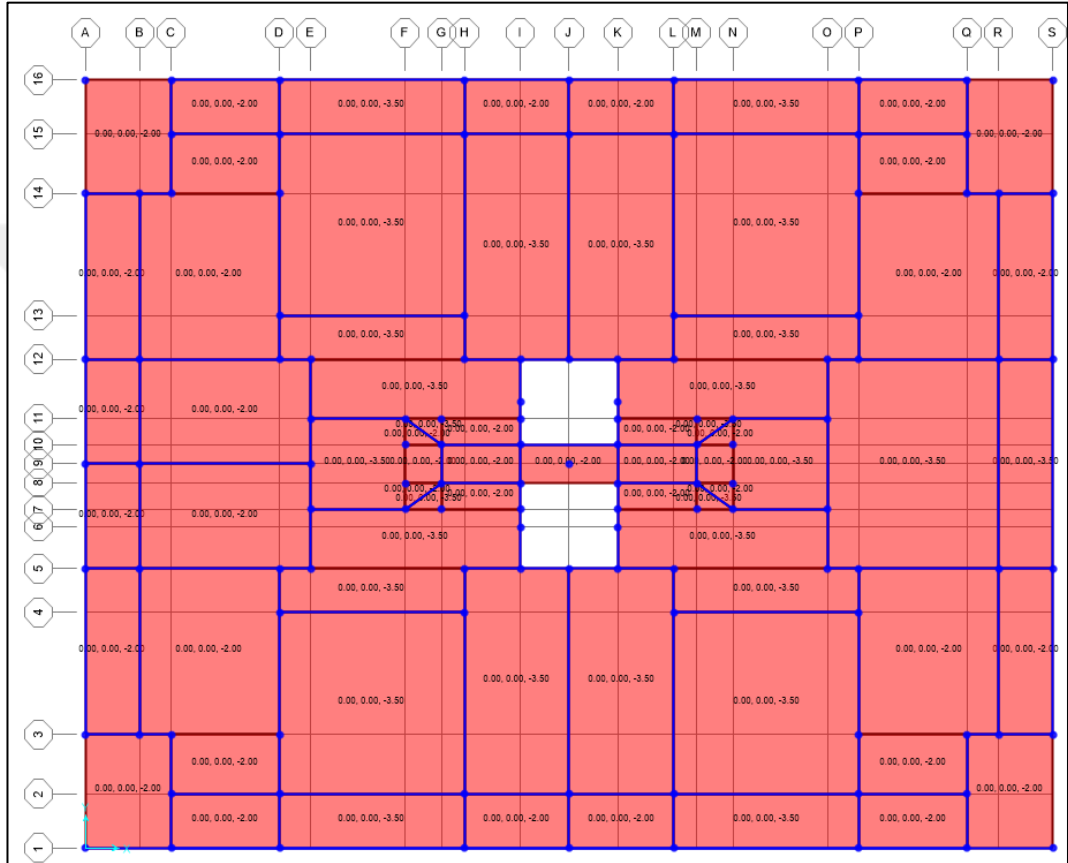
Binada bulunan taşıyıcı elemanların ağırlıkları SAP2000 V22 sonlu elemanlar programı tarafından otomatik olarak hesaplatılmıştır. Döşemeler için eleman ağırlıkları hesaplanarak döşeme alanının üzerine iki yönlü yük olarak tanımlama yapılmıştır. Elemanların kendi ağırlığından farklı olarak döşeme üzerine gelen ölü yükler: 5 cm şap (1.10 kN/m^2) + Döşeme kaplaması (0.9 kN/m^2)'dır. Normal kat döşemesi için ölü yük 2 kN/m^2 olarak alınmıştır. Çatı katı döşemesi için ölü yük 2.5 kN/m^2 olarak alınmıştır. Kat planında bulunan döşeme elemanlarının üzerine gelen ölü yükler Şekil 3.30'da görülmektedir.



Şekil 3.30. Döşeme elemanlarının üzerine gelen ölü yükler

3.4.3.3. Hareketli yük

Hareketli yük tanımlamalarında normal kat döşemeleri üzerine etkiyen hareketli yük 2.0 kN/m^2 , üzerinde duvar bulunan döşemeler üzerine etkiyen hareketli yük 3.5 kN/m^2 ve çatı katı döşemeleri üzerine etkiyen hareketli yük 1.5 kN/m^2 olarak tanımlanmıştır. Döşeme elemanları üzerindeki hareketli yükler Şekil 3.32’de görülmektedir.



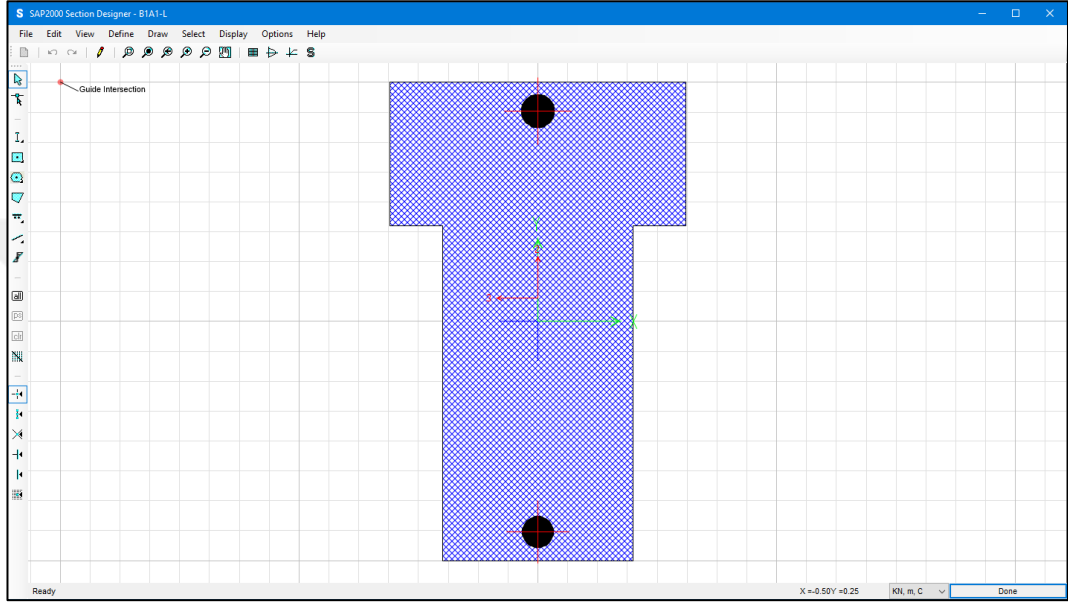
Şekil 3.32. Döşeme elemanlarının üzerindeki hareketli yükler

3.4.4. Plastik mafsal özellikleri

3.4.4.1. Kiriş plastik mafsal özellikleri

Kirişlerin sağ ve sol ucu olmak üzere iki ayrı moment eğrilik değeri hesaplanmıştır. Moment eğrilik değerlerinin hesaplanması için SAP2000 programında Frame Section bölümündeki Section Designer sekmesi kullanılmıştır. Kirişler tablalı olarak modellenmiş ve modellenen tablalı kirişlerin üst ve alt donatıları tek bir noktada toplanmıştır. Kirişlerin üst ve alt kısmında bulunan donatıların alanları toplanarak

Çizilen tek donatı çubuğuna alan olarak tanımlanmıştır. Kirişlere rnek olarak B1A1 kirişinin sol kısmına ait B1A1-L isimli kiriş kesiti şekil 3.33'te gösterilmiştir. Dizaynı tamamlanan kirişin moment eğrilik değerleri hesaplanmıştır. Angle (Deg) 0 (pozitif) ve 180 (negatif) seçilerek pozitif ve negatif değerlere ait moment eğrilik grafikleri çıkarılmıştır ve grafiğin üzerinde yer alan M_y , ϕ_y , M_{max} , ϕ_{max} değerleri ayrı bir excel tablosuna aktarılarak hesaplarda kullanılmıştır.



şekil 3.33. Kiriş moment eğrilici kesit izimi

3.4.4.2. Kiriş plastik mafsal özelliklerinin tanımlaması ve atanması

Kirişlerin plastik mafsal özelliklerinin ataması için Frame Hinge sekmesi kullanılmış ve kirişler sağ ve sol olarak ayrılarak adlandırılmıştır. Moment eğrilik grafiklerinden elde edilen değerler ile Moment/SF değeri için M_{max}/M_y , Curvature/SF değeri için ϕ_{max}/ϕ_y oranları hesaplanarak tabloya yazılmıştır. Angle 180 değerleri – (negatif) değerlere yazılmıştır. Angle 0 değerleri + (pozitif) değerlere yazılmıştır. Hinge Length blmne kirişin yksekliğinin yarısı girilmiştir. Moment SF değeri için tablodan ıkarılan M_y değeri, Curvature SF değeri için tablodan ıkarılan ϕ_y değeri yazılmıştır. B1A1-L kirişi için plastik mafsal özelliklerinin tanımlaması şekil 3.34'te verilmiştir.

S Frame Hinge Property Data for B1A1-L - Moment M3

Edit

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Curvature/SF
E-	-1.58	-35.
D-	-1.58	-30.
C-	-1.58	-26.05
B-	-1.	0.
A	0.	0.
B	1.	0.
C	1.78	35.5
D	1.78	40.
E	1.78	45.

☐ Symmetric

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☒ Drops To Zero

☐ Is Extrapolated

Scaling for Moment and Curvature

☐ Use Yield Moment

☐ Use Yield Curvature (Steel Objects Only)

Acceptance Criteria (Plastic Curvature/SF)

☒ Immediate Occupancy

☐ Life Safety

☐ Collapse Prevention

☐ Show Acceptance Criteria on Plot

Type

☐ Moment - Rotation

☒ Moment - Curvature

Hinge Length 0.25

☐ Relative Length

Hysteresis Type And Parameters

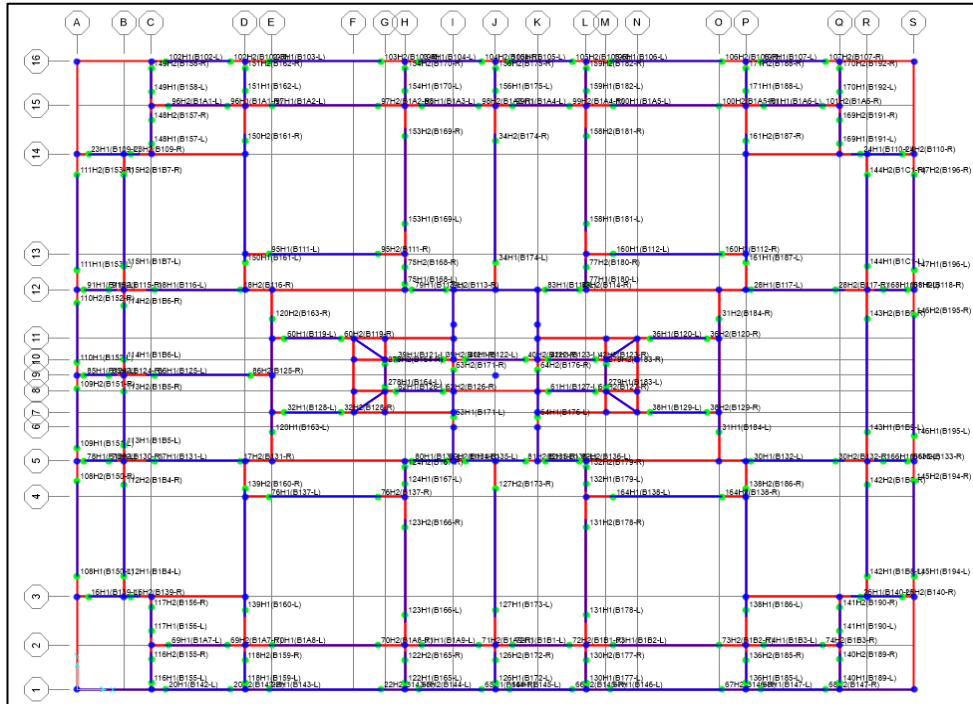
Hysteresis Type Isotropic

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

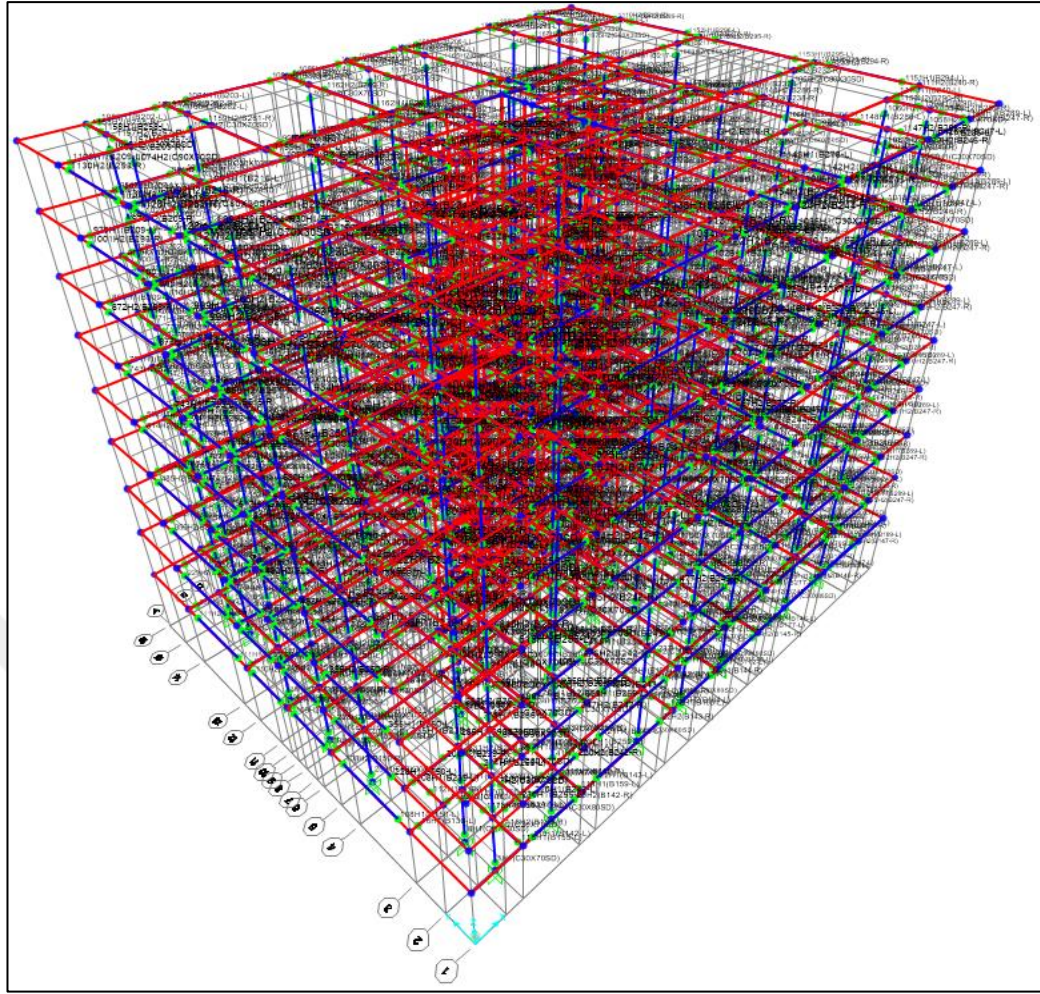
OK Cancel

Şekil 3.34. Kiriş plastik mafsallık özellikleri

Tanımlanan plastik mafsallık özellikleri tanımlandıktan sonra ait oldukları kirişler seçilerek kirişin sol ucu için 0 değeri ile, kirişin sağ ucu için 1 değeri ile atama yapılmıştır. Şekil 3.35'te kat planında yer alan kirişlerin plastik mafsallık özelliklerinin atamaları görülmektedir, Şekil 3.36'da ise binada yer alan tüm kirişlerin plastik mafsallık özelliklerinin atamaları görülmektedir.



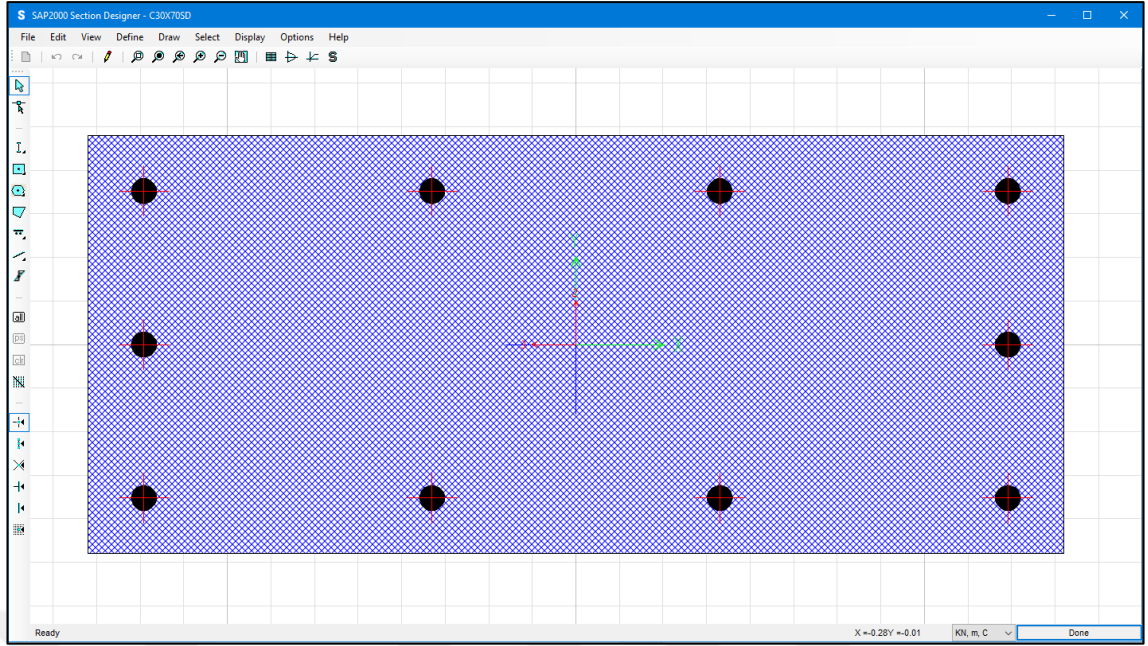
Şekil 3.35. XY düzleminde plastik mafsallık ataması



Şekil 3.36. 3-d model görünümü ve plastik mafsals ataması

3.4.4.3. Kolon moment eğriliği

Kolonların donatı oranları üst ve alt kısımda değişmediği için tek isimle tanımlama yapılarak moment eğrilik değeri hesaplanmıştır. Moment eğrilik değerlerinin hesaplanması için SAP2000 programında Frame Section bölümünde bulunan Section Designer sekmesi kullanılmıştır. Dikdörtgen olarak modellenen kolonlarda projedeki donatı yerleşimi dikkate alınmıştır. C30X70 kolonuna ait kesitin ekran görüntüsü Şekil 3.37’de verilmiştir. Dizayn edilen kolonların moment eğrilik değerleri hesaplanmış ve sonrasında Angle (Deg) 0 (pozitif) ve 180 (negatif) seçilerek pozitif ve negatif değerlerin moment eğrilik grafikleri çıkarılmıştır. Grafiğin üzerinde yer alan M_y , ϕ_y , M_{max} , ϕ_{max} değerleri hesaplamalarda kullanılmak üzere ayrı bir excel tablosuna aktarılmıştır.



Şekil 3.37. Kolon moment eğriliği kesit çizimi

3.4.5. Dinamik analizler için kütle kaynağı tanımlaması

TBDY (2018)'de bulunan Tablo 4.3. Hareketli Yük Kütle Katılım Katsayısı'na göre konut sınıfı binalarda hareketli yük kütle katılım katsayısı 0.3'dür. Tanımlamalarda bu tablo dikkate alınmış ve ölü yüklerin katsayısı 1, hareketli yüklerin katsayısı ise 0.3 olarak tanımlanmıştır. Kütle kaynağı tanımlanmasının SAP2000 sonlu elemanlar programında ekran görüntüsü Şekil 3.38'de verilmektedir.

Load Pattern	Multiplier
DEAD	1.
DEAD	1.
G DOSEME	1.
G DUVAR	1.
Q DOSEME	0.3

Şekil 3.38. SAP2000 kütle kaynağı tanımlaması

3.4.6. Dolgu duvar tanımlanması

Dolgu duvarın modellenmesi için 3.1.1. Dolgu Duvar Modelleme Yöntemleri başlığında açıklanan eşdeğer basınç çubuğu yöntemi kullanılmış ve SAP2000 sonlu elemanlar programındaki Link elemanı ile dolgu duvarlar modellenmiştir. Effective Stiffness için hesaplanan k: Eşdeğer basınç çubuğunun eksenel rijitliği değeri kullanılmıştır. Kuvvet-deformasyon grafiği için hesaplanan N_d : Dolgu duvarın eksenel dayanımı ve d: Eksenel dayanıma karşı gelen yer değiştirme kullanılmıştır. Dolgu duvarın SAP2000 sonlu elemanlar programında tanımlanması Şekil 3.39’da verilmiştir.

Link/Support Directional Properties

Edit

Identification

Property Name: DUVAR1

Direction: U1

Type: MultiLinear Plastic

NonLinear: Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases

Effective Stiffness: 49167.86

Effective Damping: 0.

Multi-Linear Force-Deformation Definition

	Displ	Force
1	-1.	0.
2	-0.0275	0.
3	-0.025	0.
4	-0.0167	0.

Order Rows Delete Row Add Row 8

Hysteresis Type And Parameters

Hysteresis Type: Pivot

α_1 : 10000 β_1 : 0 η : 0

α_2 : 10000 β_2 : 0

Hysteresis Definition Sketch

Pivot Hysteresis Model

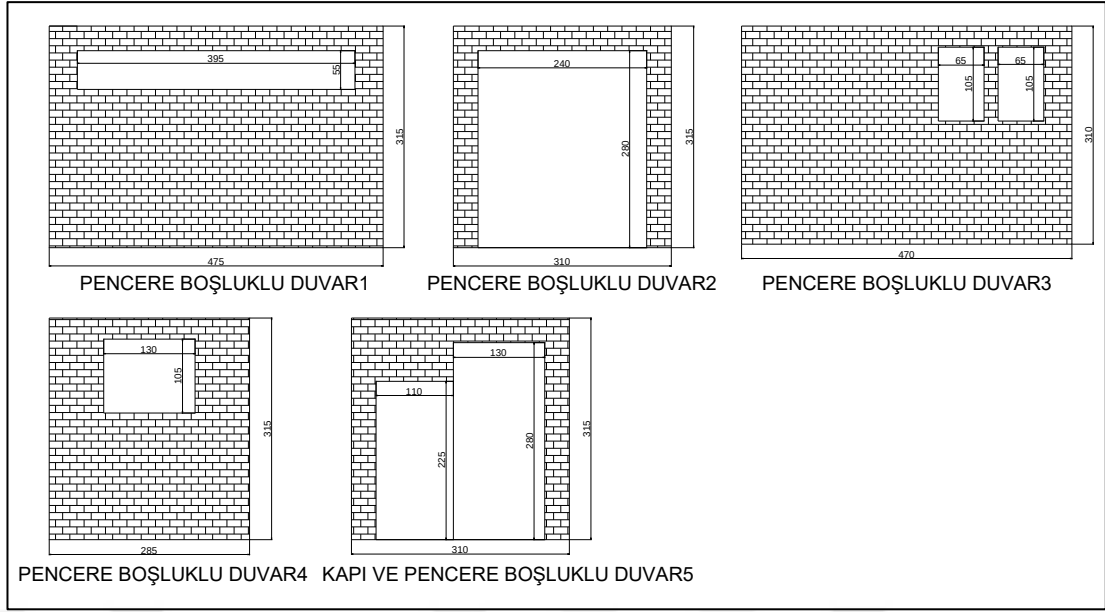
Action

Deformation

OK Cancel

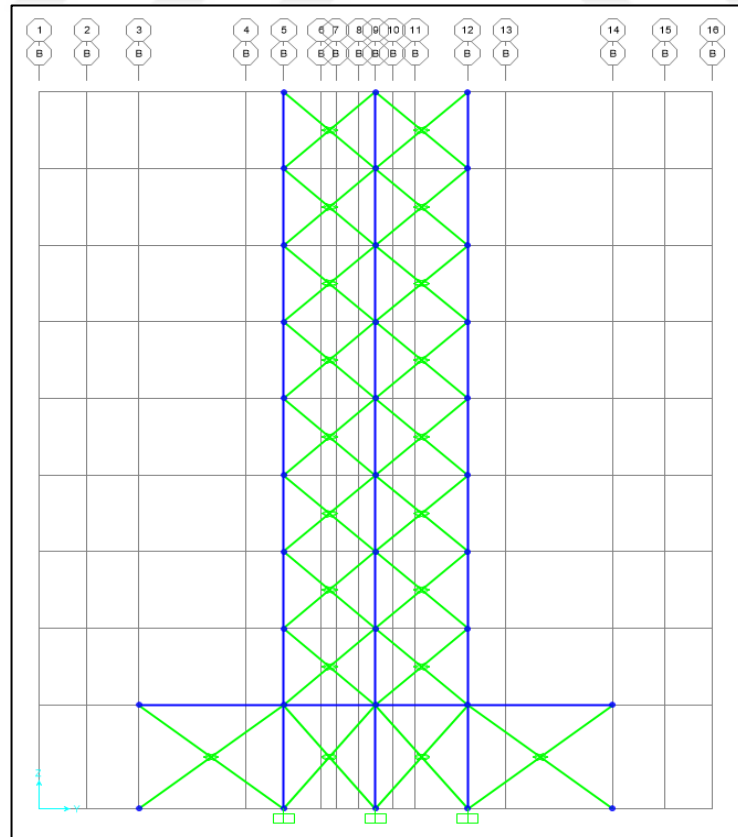
Şekil 3.39. Dolgu duvar tanımlanması

Çerçeve sistemin içerisinde kalan dolgu duvarların bazılarında pencere ve kapı boşlukları olduğu görülmektedir. Bu boşluklar duvar rijitliğinin azalmasına neden olmaktadır. Mimari projede farklı boşluklara sahip dolgu duvarların çizimleri Şekil 3.40’ta görülmektedir. 3.1.3. başlığında verilen rijitlik azaltma katsayısı, dolgu duvarlarda bulunan pencere ve kapı boşlukları göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Dolgu duvarların taşıyıcı sisteme etkisinin daha iyi anlaşılması için hesaplanan rijitlik azaltma katsayısı yerine boşluklu dolgu duvarlarda %10’luk bir azaltma uygulanmıştır.

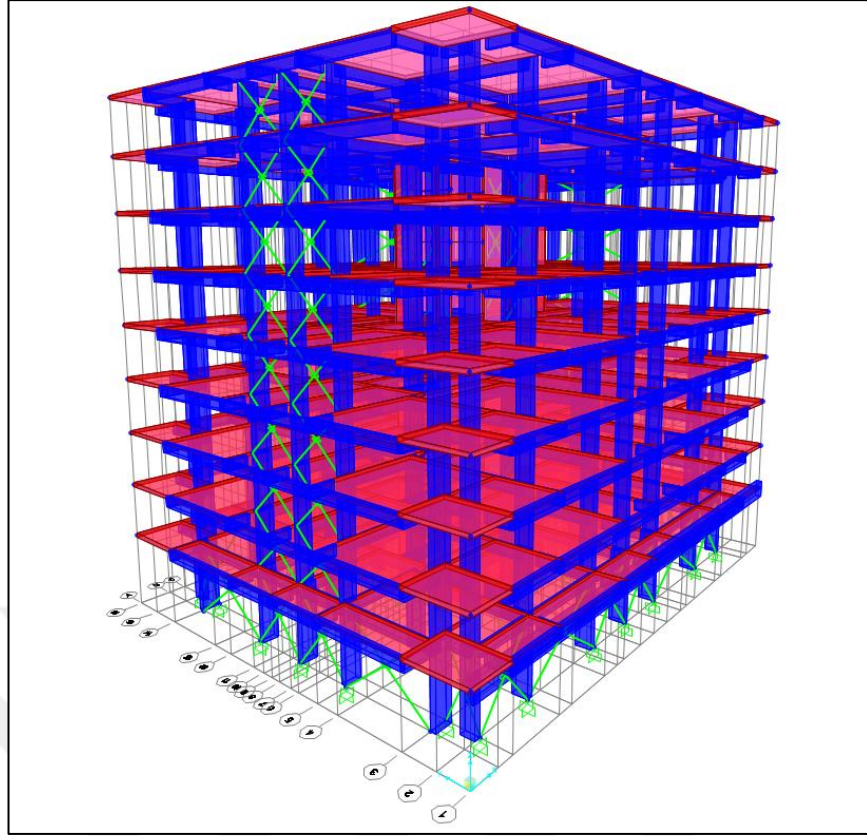


Şekil 3.40. Boşluklu dolgu duvar modelleri

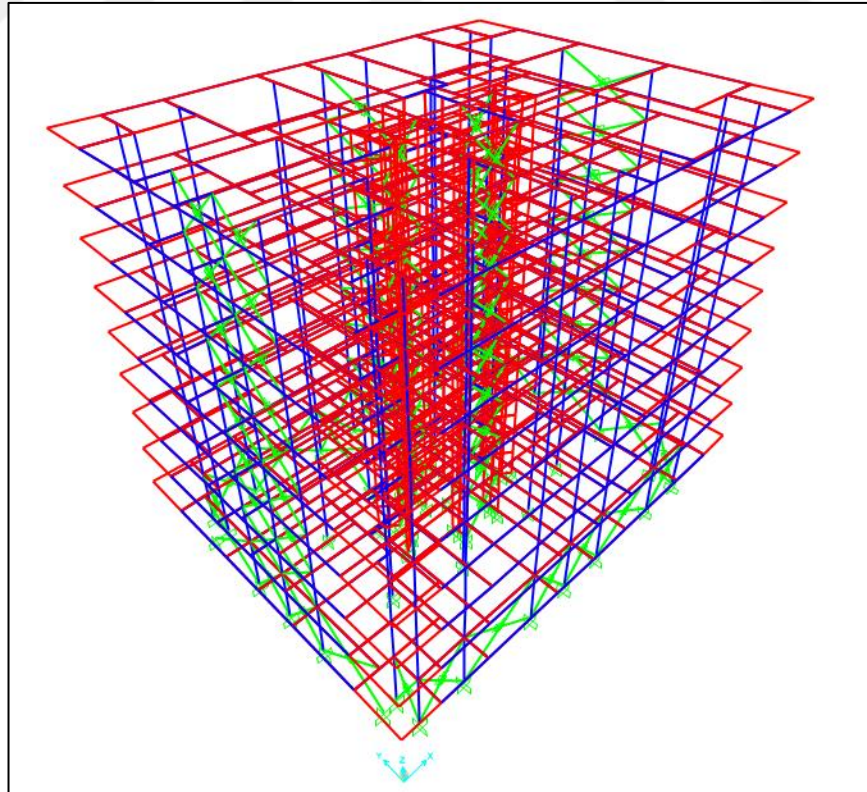
Dolgu duvarların tanımlaması yapıldıktan sonra mimari proje incelenmiş ve betonarme çerçeve arasında kalan dolgu duvarların çizimi yapılmıştır. Dolgu duvarlar Şekil 3.41’de gösterildiği gibi çapraz olarak çizilmiştir. Dolgu duvarlı modelin 3 boyutlu görünümü Şekil 3.42 ve 3.43’te verilmiştir.



Şekil 3.41. Dolgu duvarlı model yz görüntüsü



Şekil 3.42. 3-d dolgu duvarlı model

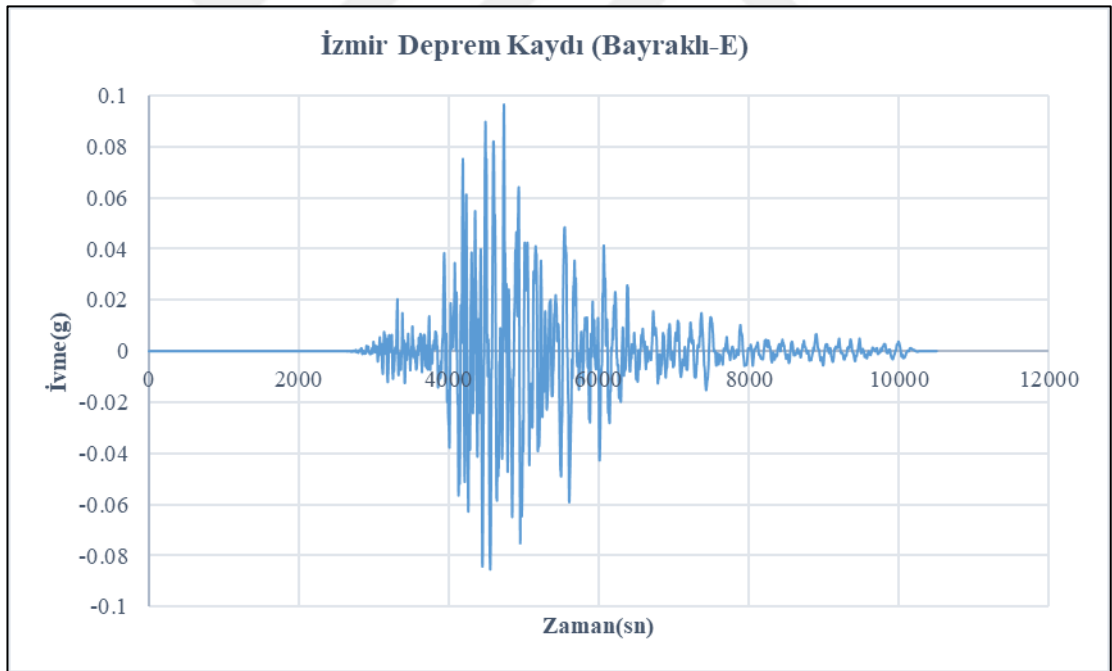


Şekil 3.43. 3-d dolgu duvarlı model çubuk elemanlar ile gösterim

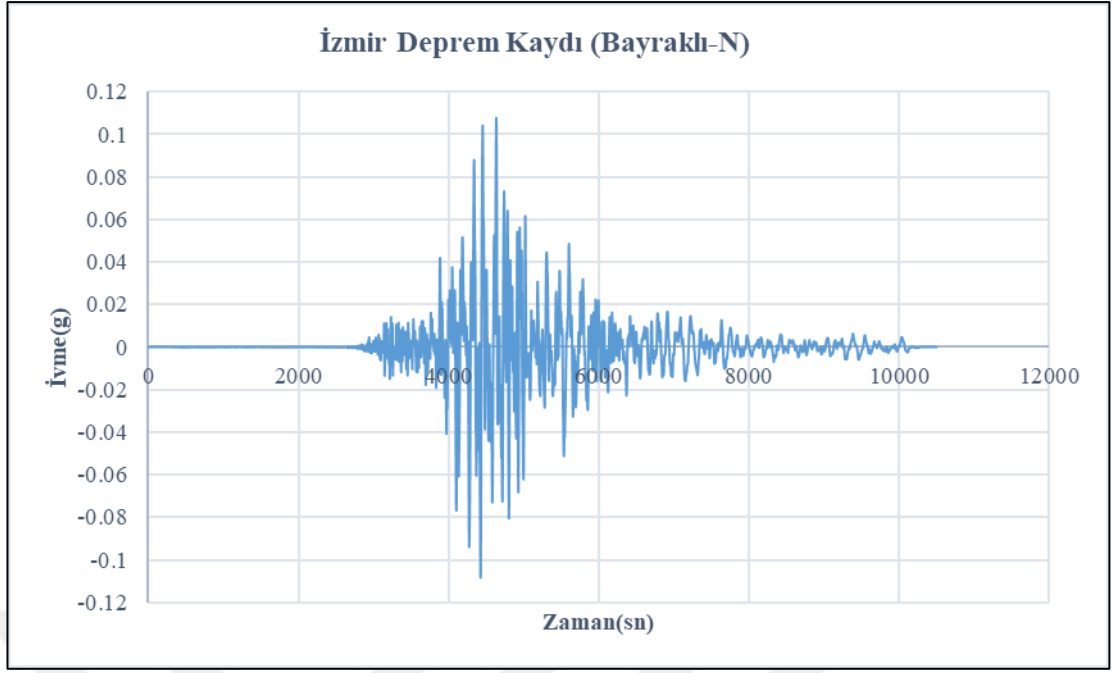
3.5. Zaman Tanım Alanında Deprem Hesabı

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi dinamik yük etkisi altındaki taşıyıcı sistemin hareket denklemlerini deprem yer hareketinin her saniyesinde adım adım hesaplanmasıdır. Bu analiz yöntemi ile deprem yer hareketinin yapı üzerindeki etkisi hesaplanır (TBDY, 2018).

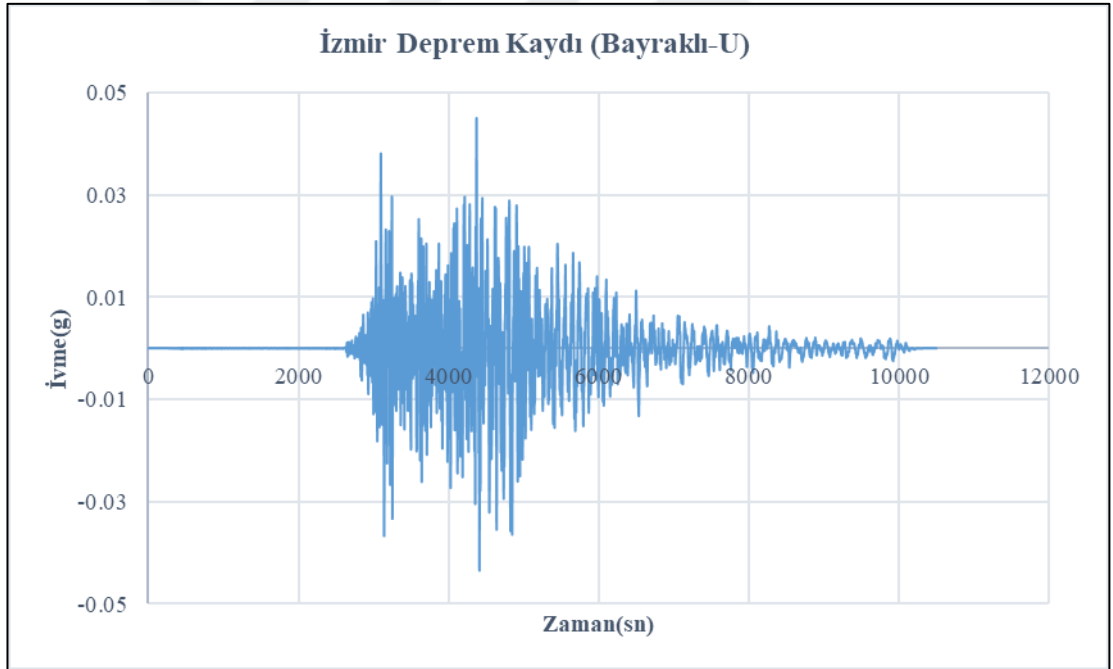
Yapının Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz için çalışmada ele alınan yapının hasar aldığı 30 Ekim 2020 İzmir deprem kayıtları seçilmiştir. Bu amaçla AFAD veri sistemi kullanılarak İzmir ilinin Bayraklı ilçesinde bulunan 3513 nolu istasyonundan depreme ait veriler alınmıştır. Sistemden alınan veriler ölçeklendirilmiş ve depreme ait ivme-zaman grafikleri SAP2000 sonlu elemanlar programına tanımlanmıştır. Deprem kaydına ait ivme spektrum grafikleri Şekil 3.44, Şekil 3.45 ve Şekil 3.46’da verilmiştir.



Şekil 3.44. Doğu-Batı doğrultusu ivme zaman grafiği

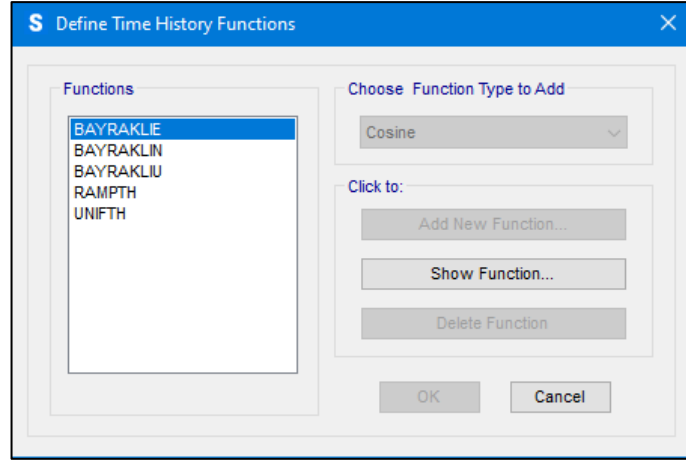


Şekil 3.45. Kuzey-Güney doğrultusu ivme zaman grafiği

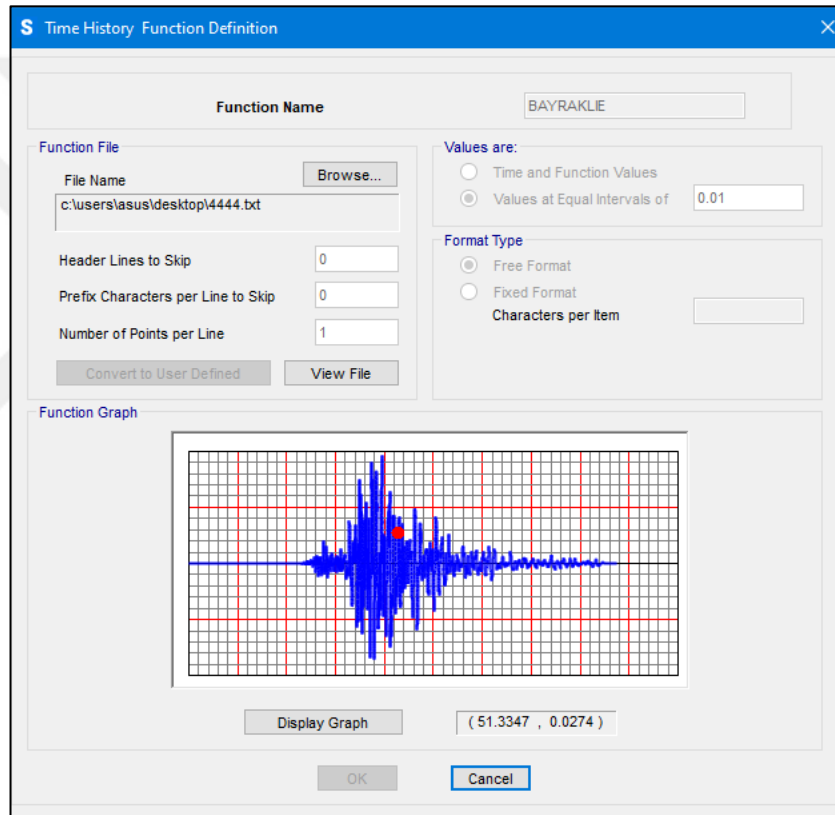


Şekil 3.46. Düşey doğrultu ivme zaman grafiği

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerin yapılabilmesi için öncelikle deprem kayıtlarına ait İvme-Zaman verileri SAP2000 programına tanımlanmıştır. Deprem kayıtlarının programa tanımlanması Şekil 3.47 ve Şekil 3.48’de görülmektedir.



Şekil 3.47. Deprem kaydı dosyalarının SAP2000 programında tanımlanması



Şekil 3.48. Bayraklı E deprem kaydının tanımlanması

Deprem ivme kayıtlarının SAP2000 programına tanımlanmasından sonra 3 deprem kaydı için 2 adet analiz yapılmıştır. Deprem kayıtları kullanılarak E ve N doğrultuları U_1 ve U_2 olmak üzere iki farklı şekilde tanımlanmıştır. U doğrultusu ise U_3 olarak tanımlanmıştır. Çizelge 3.4’de yapılan analizlerin kombinasyonu verilmiştir. Şekil 3.49 ve Şekil 3.50’de analizlerin SAP2000 programına tanımlaması verilmiştir.

Çizelge 3.4. Analiz kombinasyonları

ANALİZ ADI	X-DOĞRULTUSU	Y-DOĞRULTUSU	Z-DOĞRULTUSU
ANALİZ 1	BAYRAKLI E	BAYRAKLI N	BAYRAKLI U
ANALİZ 2	BAYRAKLI N	BAYRAKLI E	BAYRAKLI U

S Load Case Data - Nonlinear Direct Integration History

Load Case Name: ANALİZ1 [Set Def Name] [Modify/Show...]

Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: [Time History] [Design...]

Initial Conditions:

☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☐ Continue from State at End of Nonlinear Case [v]

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case: [Use Modes from Case] [v]

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	BAYRAKLI E	9.81
Accel	U2	BAYRAKLI N	9.81
Accel	U3	BAYRAKLI U	9.81

[Add] [Modify] [Delete]

☐ Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:

Number of Output Time Steps: 10500

Output Time Step Size: 0.01

Other Parameters:

Damping: [Proportional] [Modify/Show...]

Time Integration: [Hilber-Hughes-Taylor] [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: [User Defined] [Modify/Show...]

Analysis Type: [Linear] [Modal] [Nonlinear] [Direct Integration]

Solution Type: [Modal] [Direct Integration]

Geometric Nonlinearity Parameters:

☒ None

☐ P-Delta

☐ P-Delta plus Large Displacements

History Type:

☒ Transient ☐ Consider Collapse

☐ Periodic

Mass Source: [Previous] [v]

[OK] [Cancel]

Şekil 3.49. Analiz 1'in tanımlaması

S Load Case Data - Nonlinear Direct Integration History

Load Case Name: ANALİZ2 [Set Def Name] [Modify/Show...]

Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: [Time History] [Design...]

Initial Conditions:

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case [DUSEY] [v]

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case: [Use Modes from Case] [MODAL] [v]

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	BAYRAKLI N	9.81
Accel	U2	BAYRAKLI E	9.81
Accel	U3	BAYRAKLI U	9.81

[Add] [Modify] [Delete]

☐ Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:

Number of Output Time Steps: 10500

Output Time Step Size: 0.01

Other Parameters:

Damping: [Proportional] [Modify/Show...]

Time Integration: [Hilber-Hughes-Taylor] [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: [User Defined] [Modify/Show...]

Analysis Type: [Linear] [Modal] [Nonlinear] [Direct Integration]

Solution Type: [Modal] [Direct Integration]

Geometric Nonlinearity Parameters:

☒ None

☐ P-Delta

☐ P-Delta plus Large Displacements

History Type:

☒ Transient ☐ Consider Collapse

☐ Periodic

Mass Source: [Previous] [v]

[OK] [Cancel]

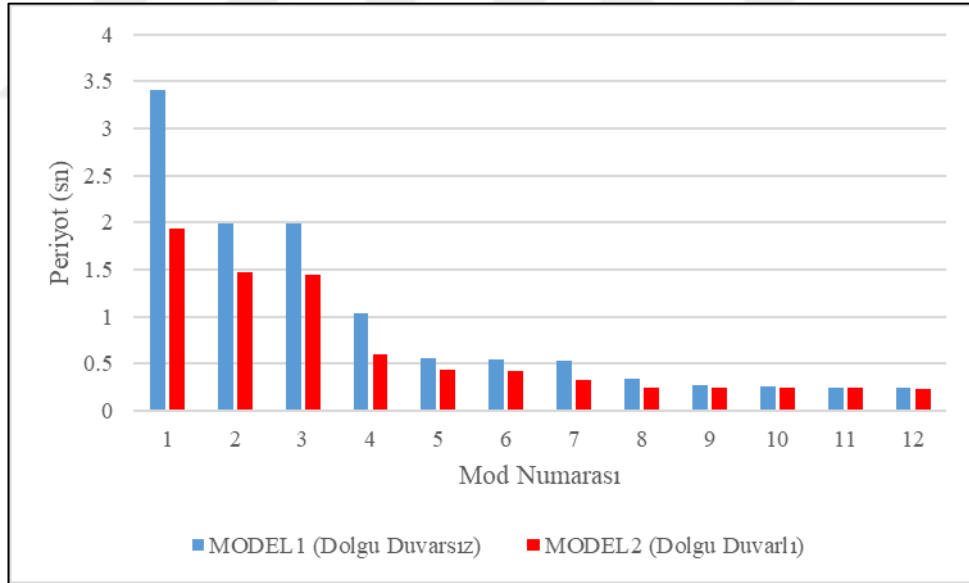
Şekil 3.50. Analiz 2'nin tanımlaması

4. BULGULAR

4.1. Modal Analiz Sonuçları

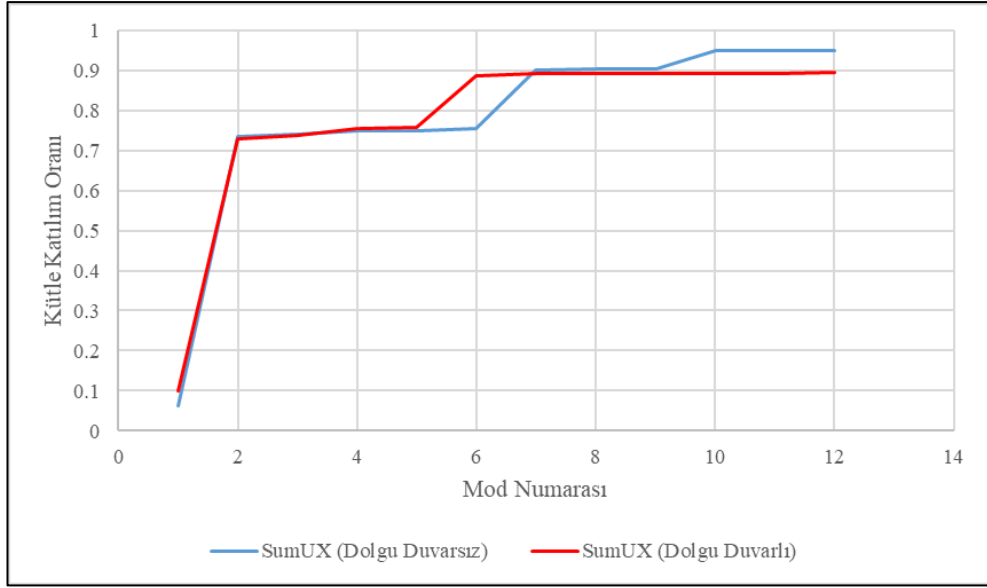
Modellenen yapının zaman tanım alanında doğrusal analizinden önce Modal analizi yapılmıştır. Yapının modal analizi için ilk 12 mod dikkate alınmıştır. Analiz sonucunda her iki yapı modeline ait ilk dört mod periyot ve şekil değişimi incelenmiştir. Dolgu duvarlı modele ait en yüksek titreşim periyodu değeri 3.40 saniye ve en yüksek frekans değeri ise 4.17 saniye⁻¹ olarak 1. periyotta ve 12. modda elde edilmiştir. Dolgu duvarlı modelde ise en yüksek titreşim periyodu değeri 1.94 saniye ve en yüksek frekans değeri ise 4.23 saniye⁻¹ olarak 1. periyotta ve 12. modda elde edilmiştir.

Dolgu duvarlı ve dolgu duvarlı olarak modellenen yapıların periyot değerleri Şekil 4.1’de görülmektedir.

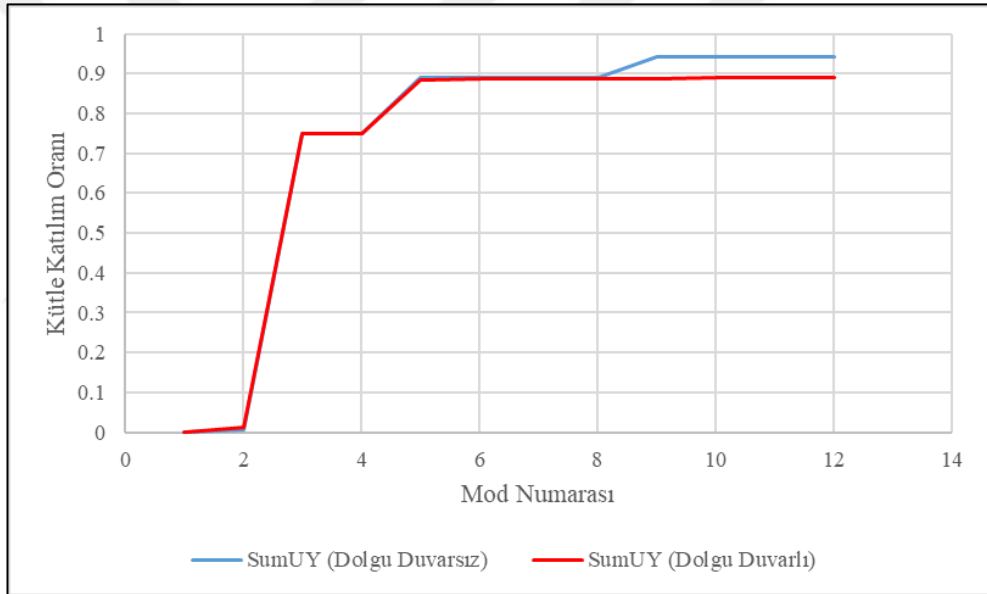


Şekil 4.1. Modlar ve periyot değerleri

Modların kütle katılım oranlarına bakıldığında; dolgu duvarlı olarak modellenen binadaki en yüksek kütle katılım oranı değeri x ve y doğrultusu için %94 olarak, dolgu duvarlı olarak modellenen binada ise en yüksek kütle katılım oranı değeri x ve y doğrultusu için %89 olarak hesaplanmıştır. Her iki model için de en yüksek kütle katılım oranının 12. Modda meydana geldiği görülmüştür. Modellerin x ve y doğrultusu ilk 12 moda ait kütle katılım oranları Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’te verilmiştir.

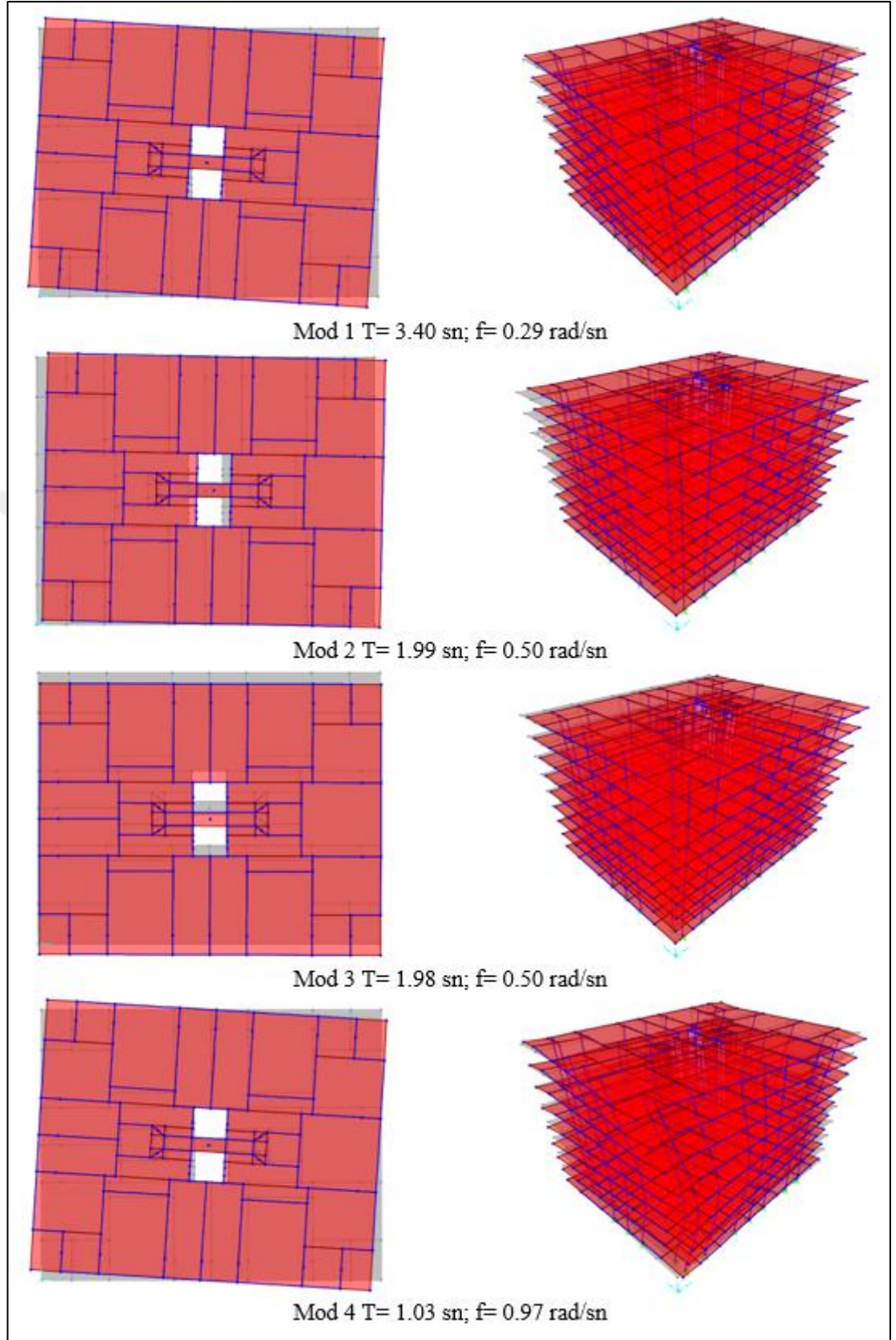


Şekil 4.2. X-doğrultusu için kütle katılım oranları

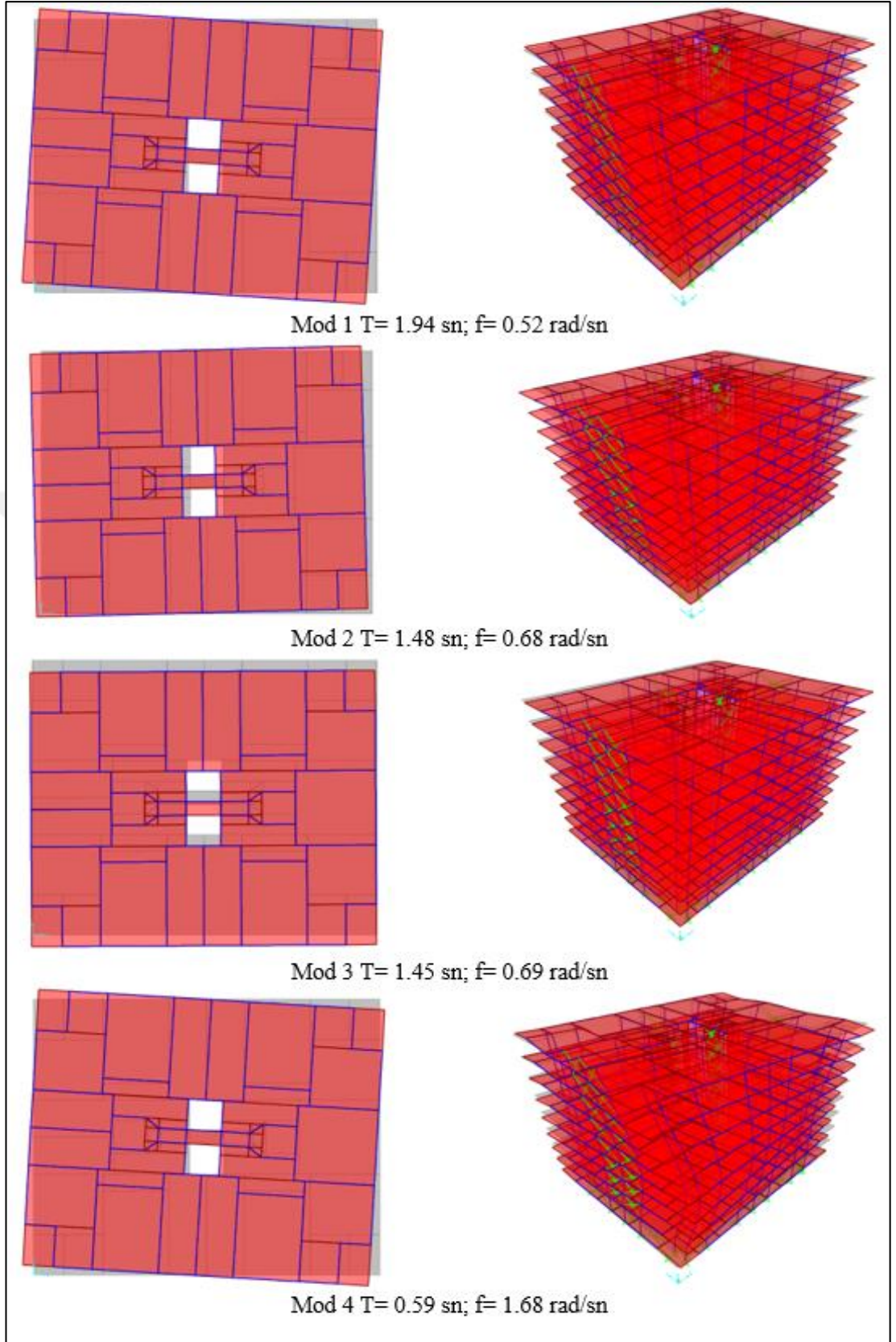


Şekil 4.3. Y-doğrultusu için kütle katılım oranları

Dolgu duvarsız model ve dolgu duvarlı modelin modal analizleri sonucunda elde edilen mod değerlerinden ilk 4 moda ait mod şekilleri, titreşim periyotları ve frekans değerleri sırasıyla Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Dolgu duvarsız modelin MODAL analizinden elde edilen ilk 4 Mod değeri ve mod şekilleri



Şekil 4.5. Dolgu duvarlı modelin MODAL analizinden elde edilen ilk 4 Mod değeri ve mod şekilleri

4.2. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemine Ait Analiz Sonuçları

Çalışmada 2020 İzmir depremi Bayraklı Doğu (Bayraklı E), Bayraklı Kuzey (Bayraklı N) ve Bayraklı Düşey (Bayraklı U) deprem bileşenleri kullanılarak dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı modellerin Analiz 1 ve Analiz 2 olarak tanımlanan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri (nonlinear time history analizi) yapılmıştır.

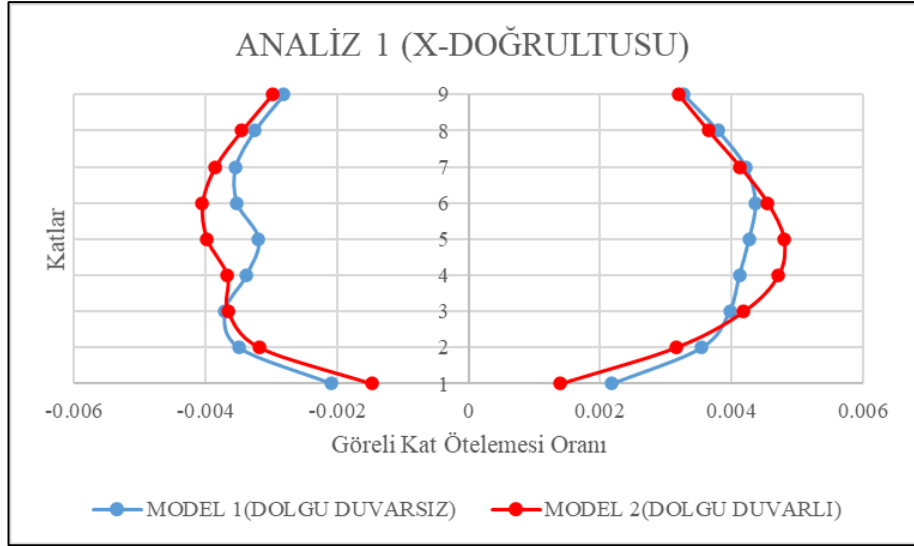
4.2.1. Göreli kat öteleme sonuçlarının karşılaştırılması

Deprem analizleri sonucunda dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız her iki modele ait göreli kat ötelemesi değerleri elde edilmiştir. Göreli kat ötelemesi hesabının yapılmasında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TDBY, 2018) dikkate alınmıştır. TBDY (2018)'de verilen göreli kat ötelemesi oranı sınır değeri gevrek malzemeden yapılmış boşluklu veya boşluksuz dolgu duvarların ve cephe elemanlarının çerçeve elemanlarına, aralarında herhangi bir esnek derz veya bağlantı bulunmaması durumuna bağlı olarak aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır.

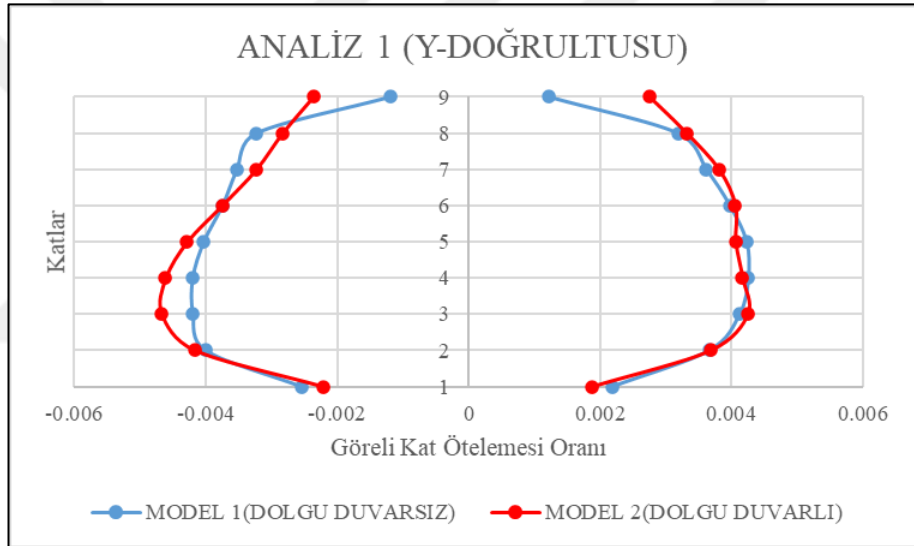
$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.008\kappa \quad (4.1)$$

Yukarıdaki denklemde; λ : Göreli kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayı, $\delta_{i,max}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki etkin göreli kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri (m), h_i = i'inci katın yüksekliği (m), κ : İzin verilen göreli kat ötelemelerinin tanımında betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler için farklı olarak kullanılan katsayıyı temsil etmektedir.

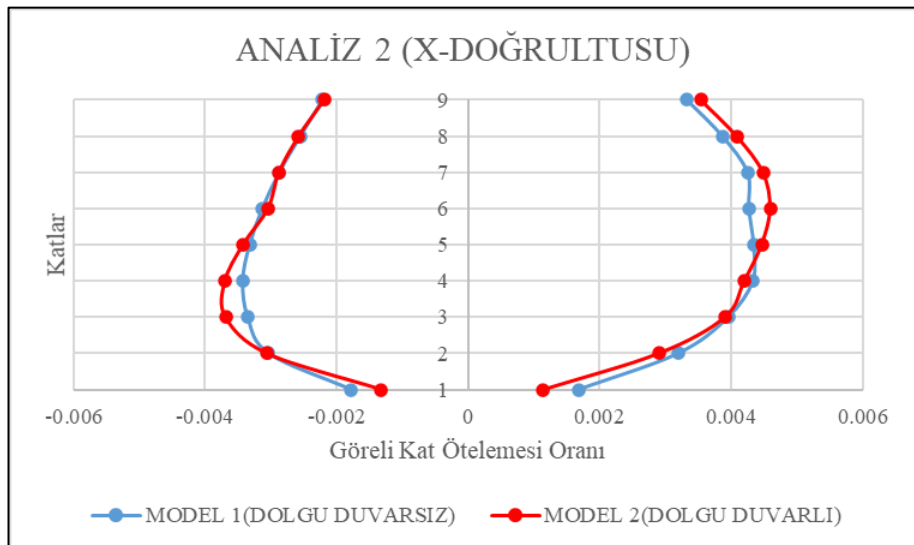
Dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı modele ait Denklem 4.1 ile hesaplanan göreli kat ötelemesi sonuçları sırasıyla Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



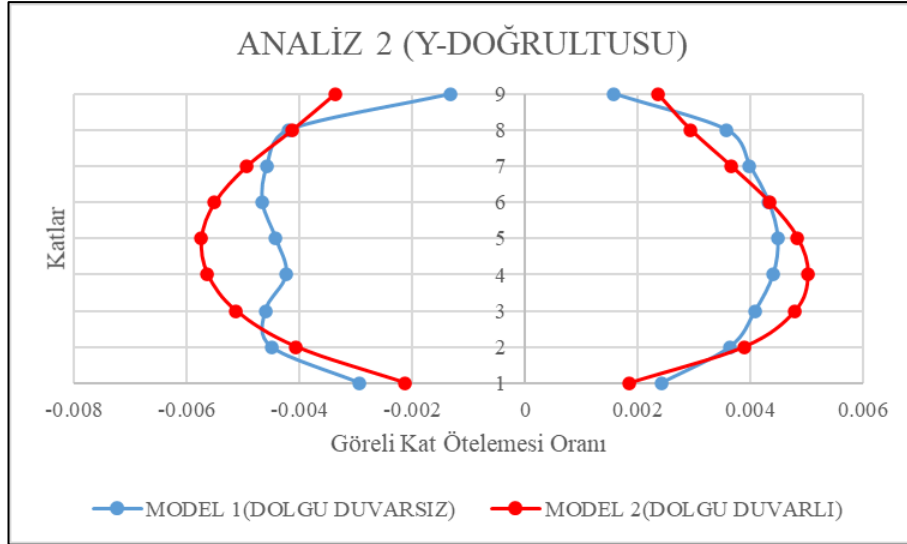
Şekil 4.6. ANALİZ 1 için x-doğrultusu görelî kat ötelemesi oranı



Şekil 4.7. ANALİZ 1 için y-doğrultusu görelî kat ötelemesi oranı



Şekil 4.8. ANALİZ 2 için x-doğrultusu görelî kat ötelemesi oranı



Şekil 4.9. ANALİZ 2 için y-doğrultusu görel kat ötelemesi oranı

Modellere ait görel kat ötelemesi değerlerine bakıldığında Analiz 1 ve Analiz 2 için hesaplanan görel kat ötelemesi değerlerinin TBDY (2018)'de 0.008 olarak verilen sınır değerinin altında kaldığı görülmüştür. Dolgu duvarları basınca çalışan eşdeğer link elemanı ile modellenen binada (Model 2) dolgu duvarlar zemin katta öteleme oranını azaltırken, bu duvarlar üst katlarda artışa sebep olmuştur.

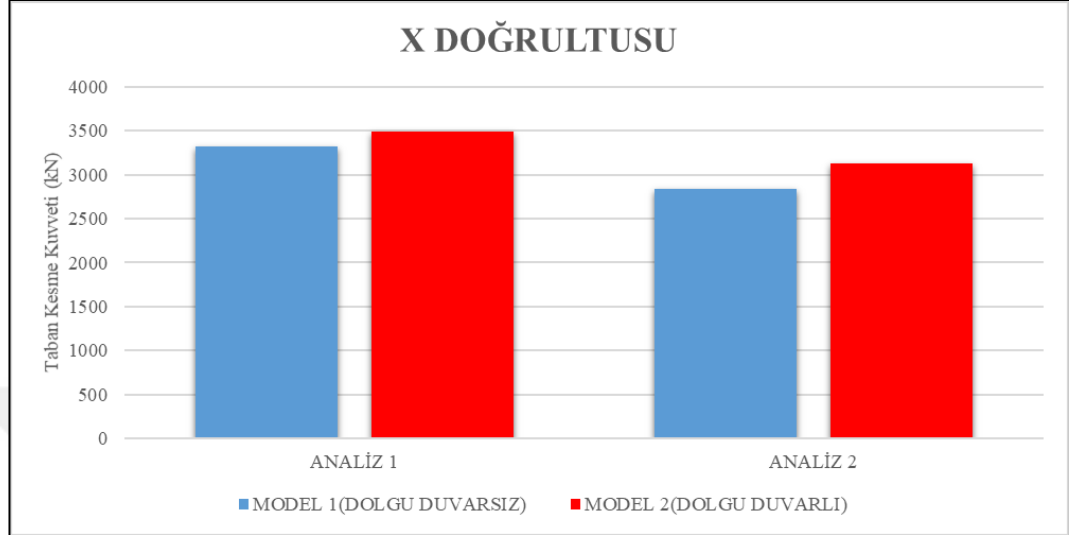
4.2.2. Bina toplam taban kesme kuvveti sonuçlarının karşılaştırılması

Deprem analizleri sonucunda dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız her iki modele ait toplam taban kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. TBDY (2018)'e göre binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) hesabı için aşağıdaki denklem kullanılmaktadır.

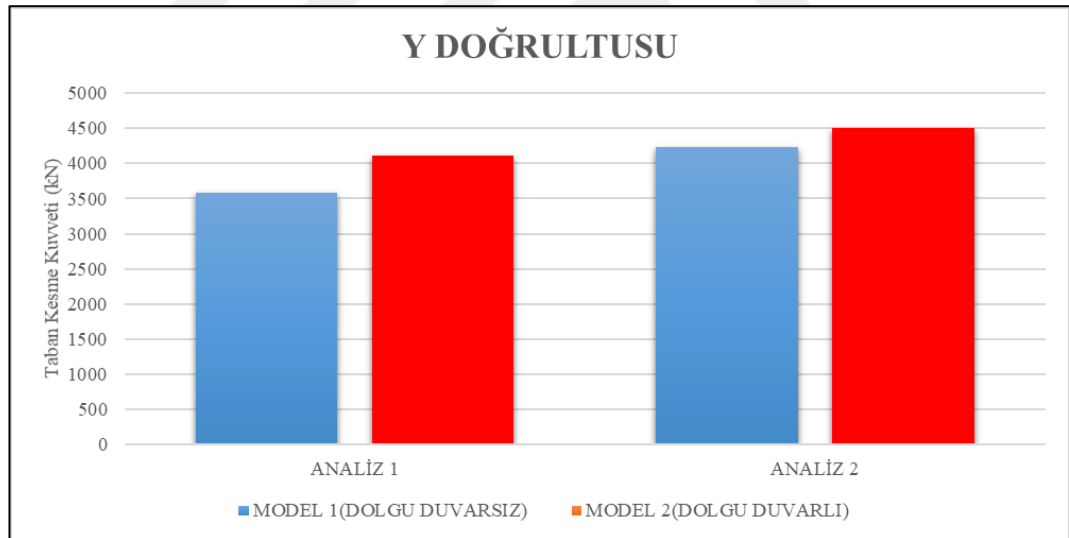
$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR} (T_P^{(X)}) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g \quad (4.2)$$

Yukarıdaki denklemde; $V_{tE}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) (kN), m_t : Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümünün toplam kütlesi (t), S_{aR} : Azaltılmış tasarım spektral ivmesi (g), $T_P^{(X)}$: (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodu (s), I : Bina önem katsayısı, S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz), g : Yerçekimi ivmesini (m/s^2) göstermektedir.

Doğrusal olmayan zaman tanım analizleri sonucunda modellerin taban kesme kuvveti değerleri de elde edilmiştir. Yapı modellerinden elde edilen sonuçlar Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.10. X-doğrultusu için modellerin taban kesme kuvveti



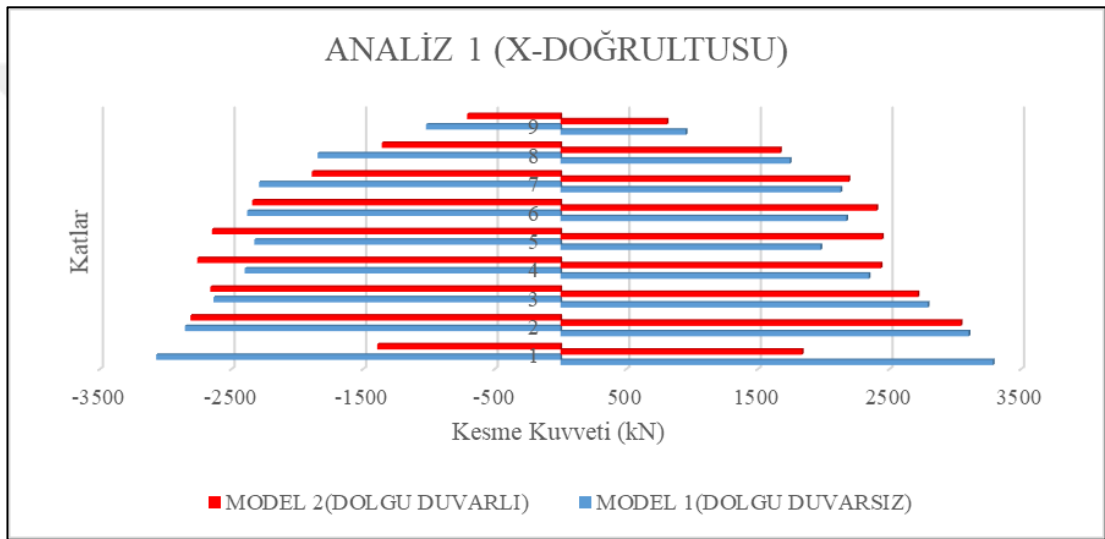
Şekil 4.11. Y-doğrultusu için modellerin taban kesme kuvveti

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de verilen taban kesme kuvveti sonuçlarına göre dolgu duvarları basınca çalışan eşdeğer link elemanı ile modellenen binada (Model 2), dolgu duvarları sadece yayılı yük olarak modellenen binadan (Model 1) daha fazla taban kesme kuvveti almıştır. Dolgu duvarsız modelin taban kesme kuvvetleri baz alınır, Analiz 1 için x-doğrultusunda dolgu duvarlı modelin taban kesme kuvvetinde %5’lik, y-doğrultusunda %15’lik artış olduğu görülmektedir. Analiz 2 için x-doğrultusunda

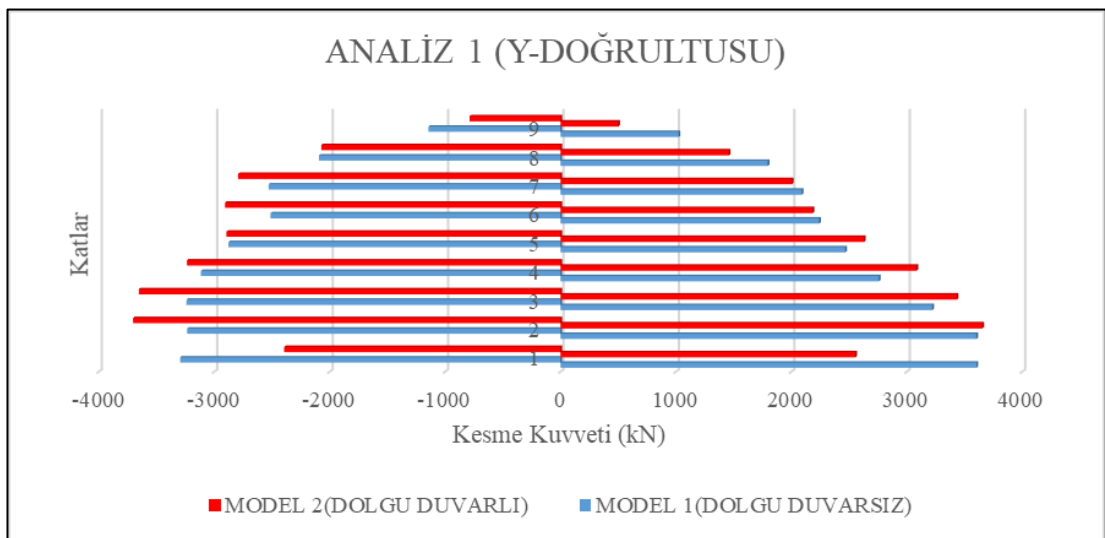
dolgu duvarlı modelin taban kesme kuvvetinde %10'luk, y-doğrultusunda %6'lık artış olduğu görülmektedir.

4.2.3. Bina toplam kat kesme kuvveti sonuçlarının karşılaştırılması

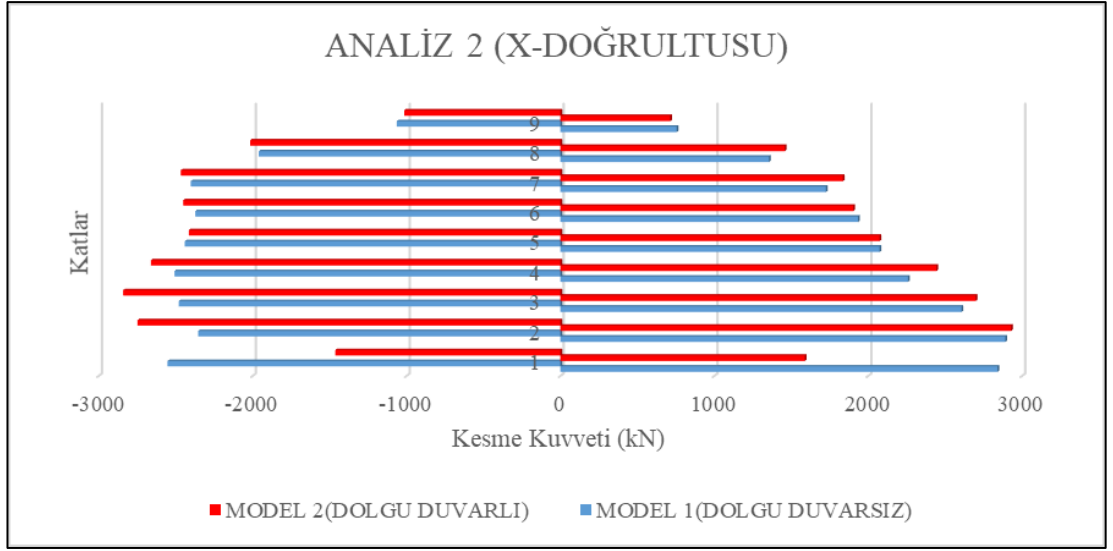
Deprem analizleri sonucunda dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız her iki modele ait her kattaki toplam kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. Modellerde Analiz 1 ve Analiz 2 için x ve y doğrultularında katlara gelen kat kesme kuvveti değerleri Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te verilmiştir.



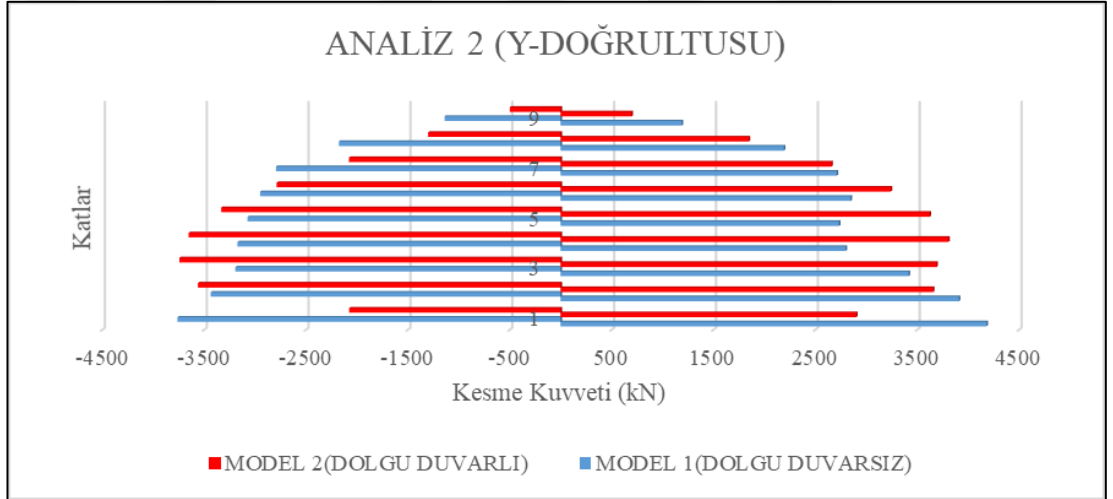
Şekil 4.12. Modellerin katlara göre ANALİZ 1 X doğrultusu için kesme kuvveti (kN)



Şekil 4.13. Modellerin katlara göre ANALİZ 1 Y doğrultusu için kesme kuvveti (kN)



Şekil 4.14. Modellerin katlara göre ANALİZ 2 X doğrultusu için kesme kuvveti (kN)



Şekil 4.15. Modellerin katlara göre ANALİZ 2 Y doğrultusu için kesme kuvveti (kN)

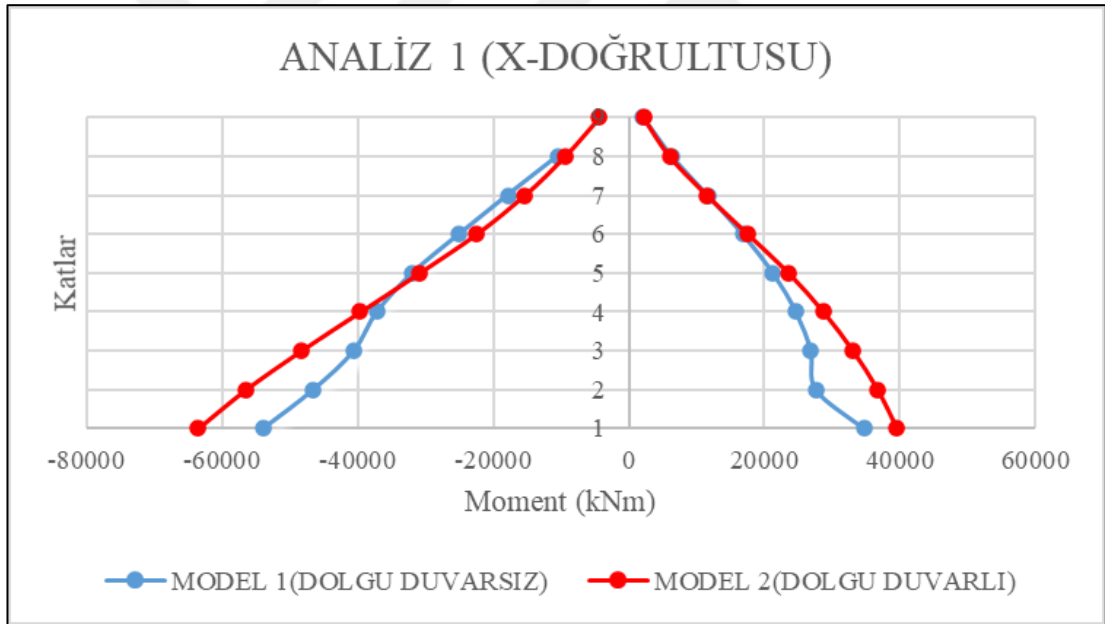
Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te verilen grafikler incelendiğinde dolgu duvarlı modelin zemin katına gelen kesme kuvvetlerinin dolgu duvarsız modele kıyasla daha az olduğu görülmektedir. Modellerin y-doğrultusu için elde edilen kat kesme değerleri x-doğrultusuna göre daha yüksektir.

Şekil 4.12'de verilen Analiz 1 x-doğrultusu için dolgu duvarsız modelin 1. kat kesme kuvveti baz alınır, dolgu duvarlı modelin 1. kat kesme değerlerinde dolgu duvarsız modele göre yaklaşık %44 oranında azalma olduğu görülmüştür. Şekil 4.13'de verilen Analiz 1 y-doğrultusu için dolgu duvarsız modelin 1. kat kesme kuvveti baz alınır, dolgu duvarlı modelin 1. kat kesme değerlerinde dolgu duvarsız modele göre yaklaşık %29 oranında azalma olduğu görülmüştür. Şekil 4.14'de verilen Analiz 2 x-doğrultusu

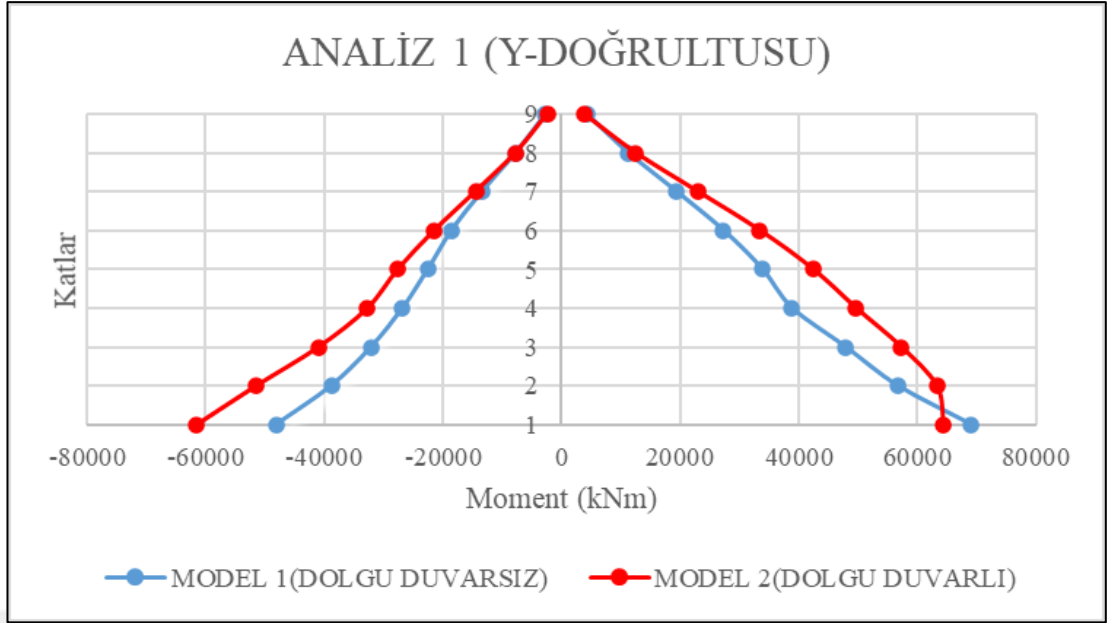
için dolgu duvarsız modelin 1. kat kesme kuvveti baz alınır, dolgu duvarlı modelin 1. kat kesme değerlerinde dolgu duvarsız modele göre yaklaşık %44 oranında azalma olduğu görülmüştür. Şekil 4.15'te verilen Analiz 2 y-doğrultusu için dolgu duvarsız modelin 1. kat kesme kuvveti baz alınır, dolgu duvarlı modelin 1. kat kesme değerlerinde dolgu duvarsız modele göre yaklaşık %30 oranında azalma olduğu görülmüştür.

4.2.4. Bina toplam kat momenti sonuçlarının karşılaştırılması

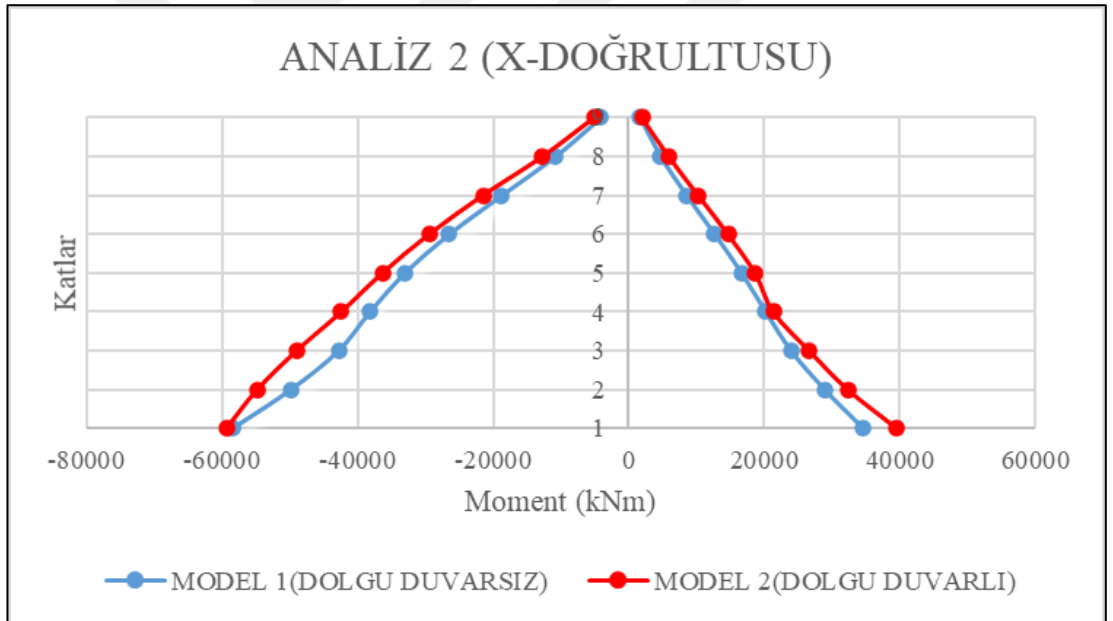
Deprem analizleri sonucunda dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız her iki modele ait her kattaki toplam moment değerleri elde edilmiştir. Dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı bina modellerinin analizi sonucunda elde edilen x ve y doğrultusuna ait kat moment kuvveti değerleri Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da verilmiştir.



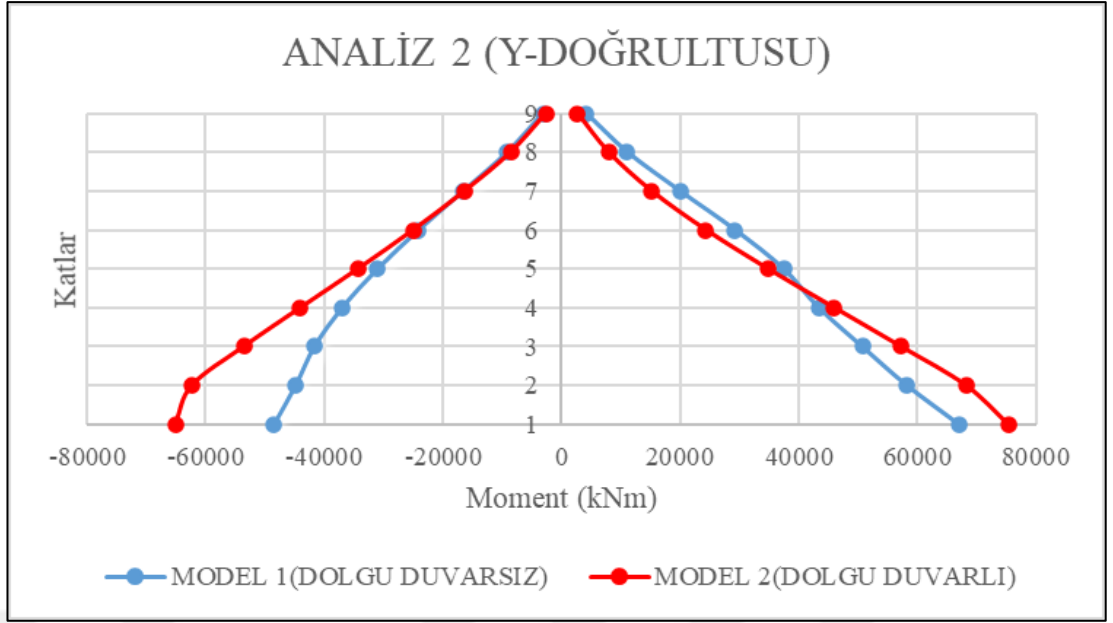
Şekil 4.16. Modellerin katlara göre ANALİZ 1 x-doğrultusu için moment kuvvetleri (kN.m)



Şekil 4.17. Modellerin katlara göre ANALİZ 1 y-doğrultusu için moment kuvvetleri (kN.m)



Şekil 4.18. Modellerin katlara göre ANALİZ 2 x-doğrultusu için moment kuvvetleri (kN.m)



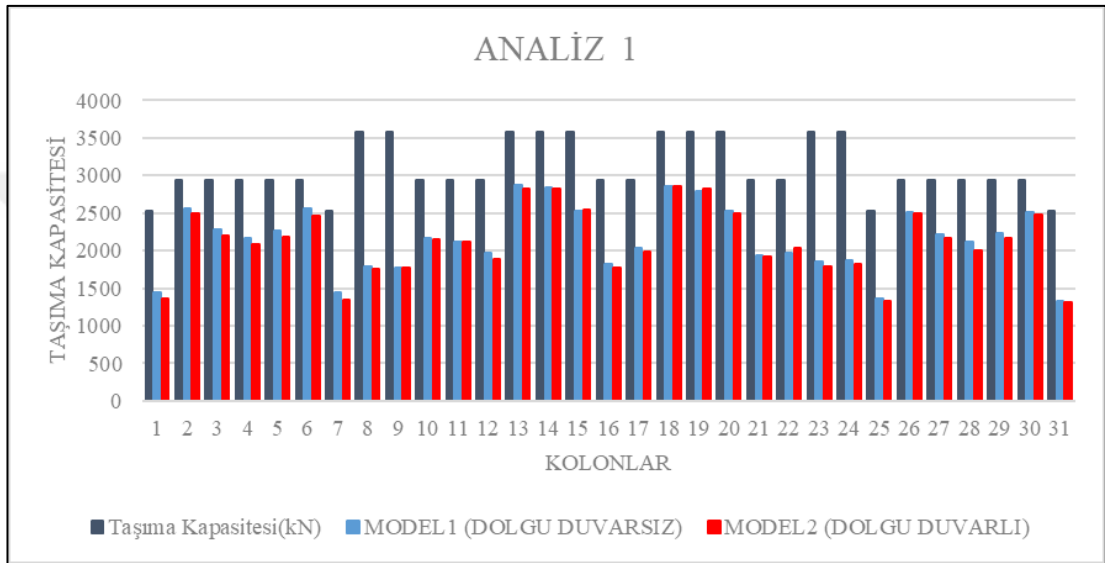
Şekil 4.19. Modellerin katlara göre ANALİZ 2 y-doğrultusu için moment kuvvetleri (kN.m)

Şekil 4.16, Şekil .17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da verilen katlara göre moment grafikleri incelendiğinde dolgu duvarlı modelin (Model 2), dolgu duvarsız modele (Model 1) göre daha fazla moment kuvvetine maruz kaldığı ve moment değerlerinin her iki yön ve model içinde kat yüksekliğine bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Her iki model ve doğrultuda en büyük moment değeri 1. katlarda meydana gelmiştir.

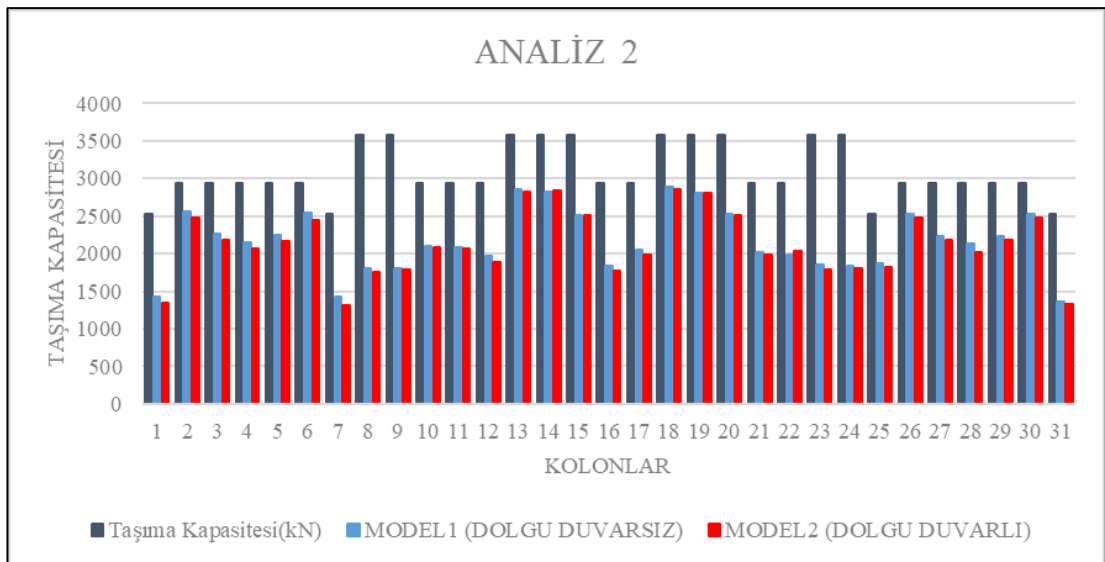
Şekil 4.16’da verilen Analiz 1 x-doğrultusu için dolgu duvarsız modelin 1. kat moment kuvveti baz alınır, dolgu duvarlı modelin kat moment değerlerinde dolgu duvarsız modele göre yaklaşık %13 oranında artma olduğu görülmüştür. Şekil 4.17’de verilen Analiz 1 y-doğrultusu için dolgu duvarsız modelin 1. kat moment kuvveti baz alınır, dolgu duvarlı modelin kat moment değerlerinde dolgu duvarsız modele göre yaklaşık %6 oranında azalma olduğu görülmüştür. Şekil 4.18’de verilen Analiz 2 x-doğrultusu için dolgu duvarsız modelin 1. kat moment kuvveti baz alınır, dolgu duvarlı modelin kat moment değerlerinde dolgu duvarsız modele göre yaklaşık %14 oranında artma olduğu görülmüştür. Şekil 4.19’da verilen Analiz 2 y-doğrultusu için dolgu duvarsız modelin 1. kat moment kuvveti baz alınır, dolgu duvarlı modelin kat moment değerlerinde dolgu duvarsız modele göre yaklaşık %12 oranında artma olduğu görülmüştür.

4.2.5. Bina zemin kat kolon momenti sonuçlarının karşılaştırılması

Deprem analizleri sonucunda dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız her iki modele ait zemin kat kolon moment değerleri elde edilmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre Analiz 1 ve Analiz 2 için her iki doğrultuda zemin katta bulunan kolonların hesaplanan taşıma kapasite değerleri Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.20. ANALİZ 1 için zemin kat kolonlarının taşıma kapasiteleri

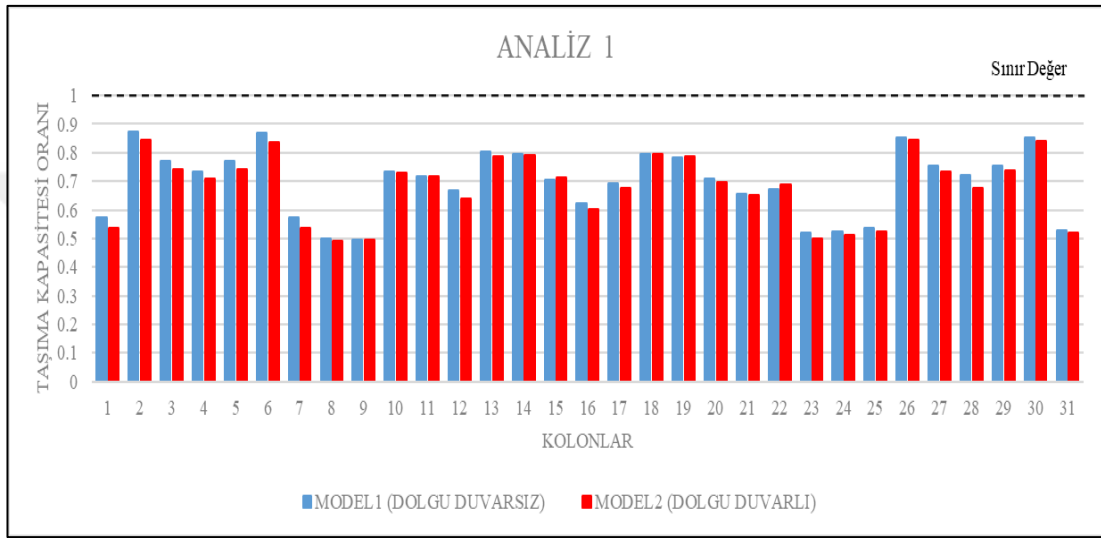


Şekil 4.21. ANALİZ 2 için zemin kat kolonlarının taşıma kapasiteleri

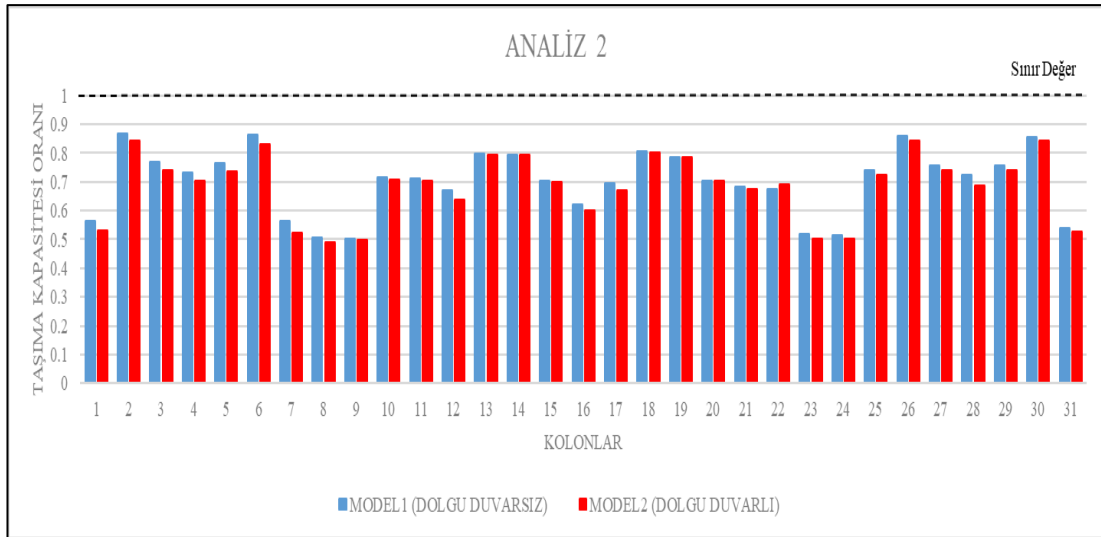
Şekil 4.20, Şekil 4.21’de zemin kat kolonlarına ait kat kolon moment değerleri verilmiştir. Buna göre dolgu duvarsız modelde zemin katta bulunan kolonlar daha çok

yüke maruz kalmaktadır, binaya eklenen dolgu duvar kolonlardaki yük miktarını azaltmaktadır.

Kolonlara gelen kesme kuvveti ve kolonların taşıma kapasitesi bulunduğundan sonra kolonlara gelen kuvvetler kolon taşıma kapasitesine bölünmüş ve kolon taşıma kapasitesi oranı elde edilmiştir. Hesaplama sonucunda elde edilen oranlar Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te verilmiştir.



Şekil 4.22. ANALİZ 1 için zemin kat kolonlarının taşıma kapasitesi oranı



Şekil 4.23. ANALİZ 2 için zemin kat kolonlarının taşıma kapasitesi oranı

Hesaplama sonucunda elde edilen kolon taşıma oranının 1 değerinin üstünde çıkması kolonun bu kuvvet altında hasar aldığını ifade etmektedir. Şekil 4.22, Şekil 4.23'te verilen dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız model grafikleri incelendiğinde her iki model için de

oranların 1'in altında kaldığı görülmektedir. Modele dolgu duvarın eklenmesi kolon taşıma kapasitesi oranını azaltmaktadır, bunun sebebi ise dolgu duvarlı modeldeki zemin kat kolonlarına daha az kuvvet gelmesidir.

4.2.6. Bina perde kesme kuvveti sonuçlarının karşılaştırılması

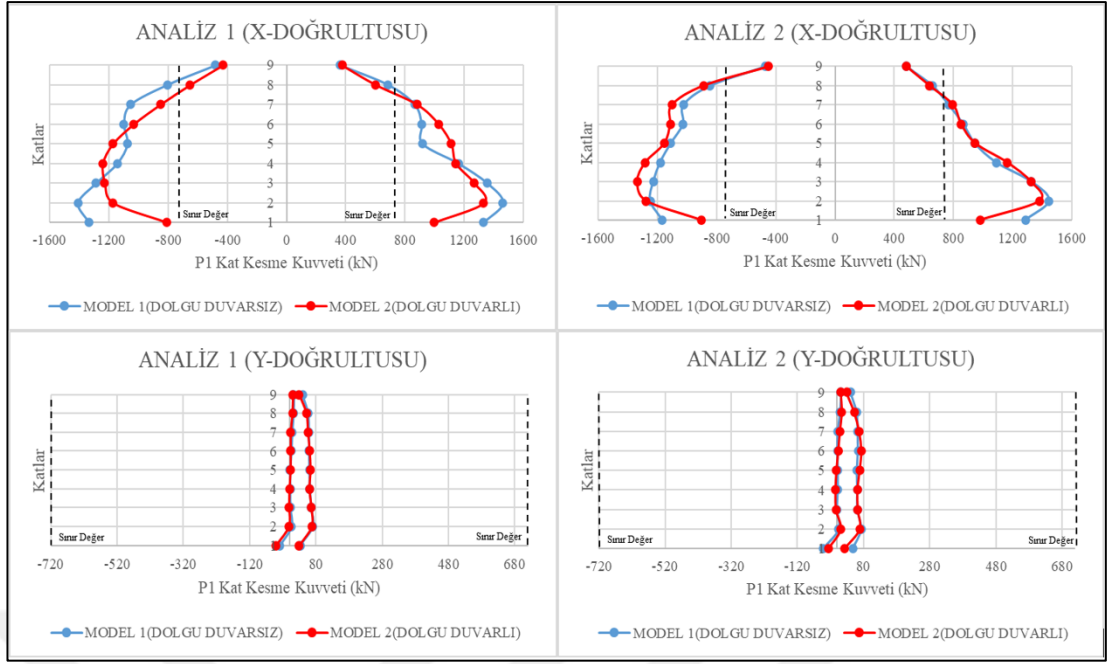
Deprem analizleri sonucunda dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız her iki modele ait perde kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir.

Modellerdeki perdelerde kesme kuvvetinin hesabı için TBDY (2018), dikkate alınmıştır. TBDY (2018)'de verilen perde kesitlerinin kesme dayanımı için formül aşağıdaki gibidir.

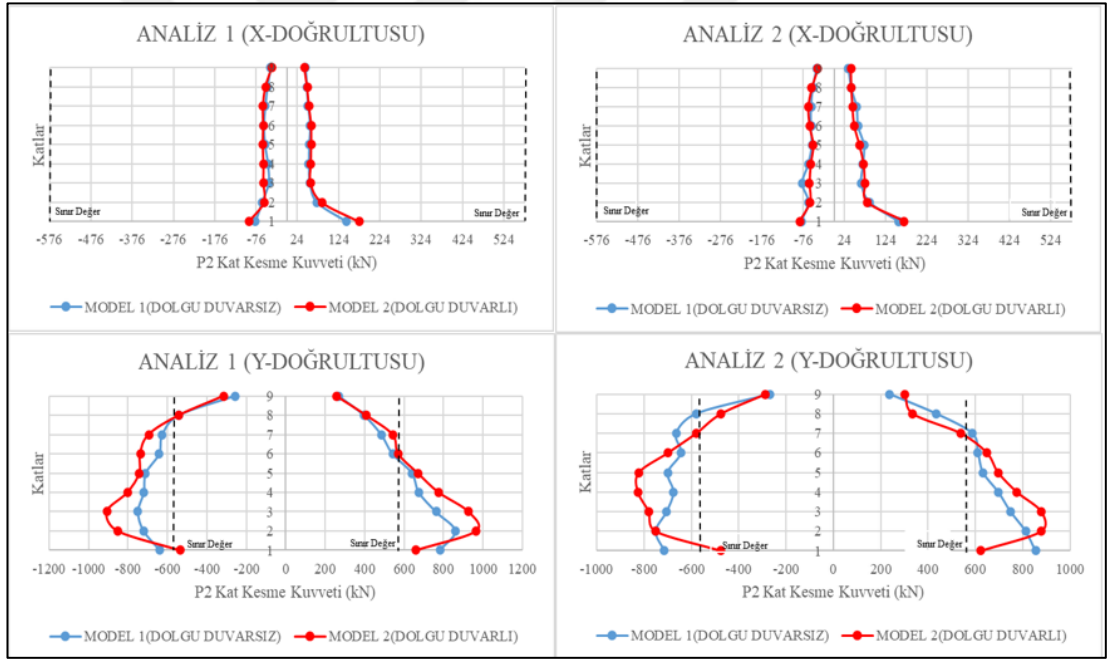
$$V_r = A_{ch}(0.65f_{ctd} + \rho_{sh}f_{ywd}) \quad (4.3)$$

Yukarıdaki denklemde; V_r : Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme kuvveti dayanımı, A_{ch} : Boşluksuz perdenin, bağ kirişli perdede her bir perde parçasının, döşemenin veya boşluklu döşemede her bir döşeme parçasının brüt enkesit alanı, f_{ctd} : Betonun tasarım çekme dayanımı, ρ_{sh} : Perdede yatay gövde donatılarının hacimsel oranı [$(\rho_{sh})_{min}=0.0025$], f_{ywd} : Enine donatının tasarım akma dayanımını göstermektedir.

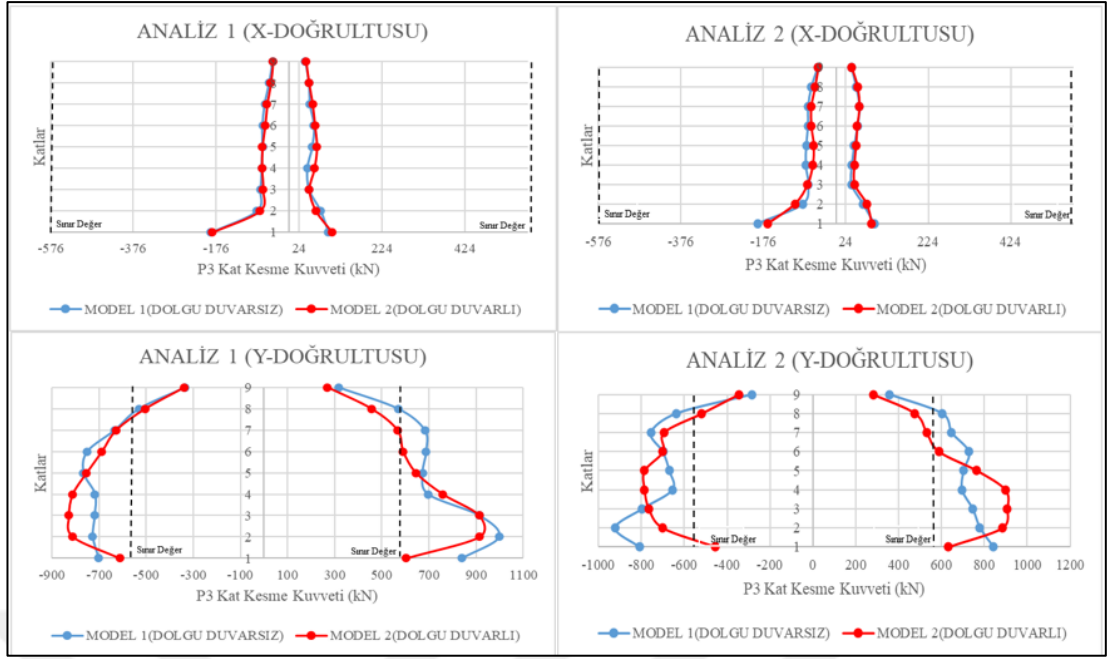
Analizler sonucunda modellerdeki perdelerde kesme kuvveti değerleri elde edilmiş ve bu perde kesme kuvvetleri Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28, Şekil 4.29, Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'de gösterilmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ve yukarıda 4.3 denkleminde kullanılarak perdeler için sınır değer hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucu elde edilen her bir perde elemanı için sınır değerler grafikler üzerinde çizilmiştir.



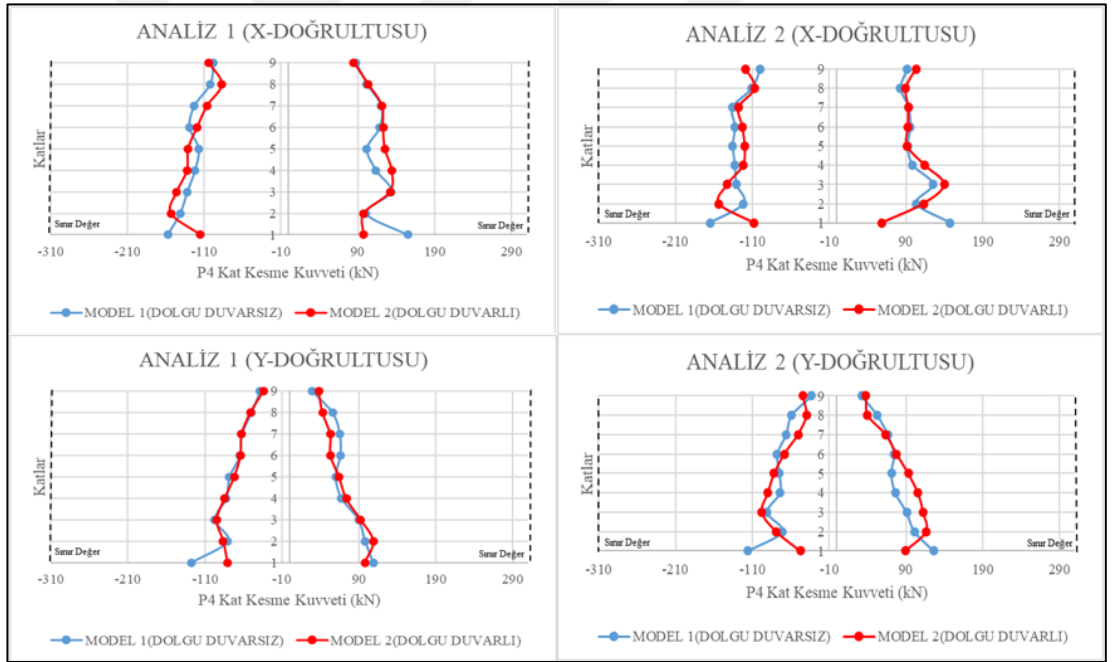
Şekil 4.24. P1'in katlara göre kesme kuvveti



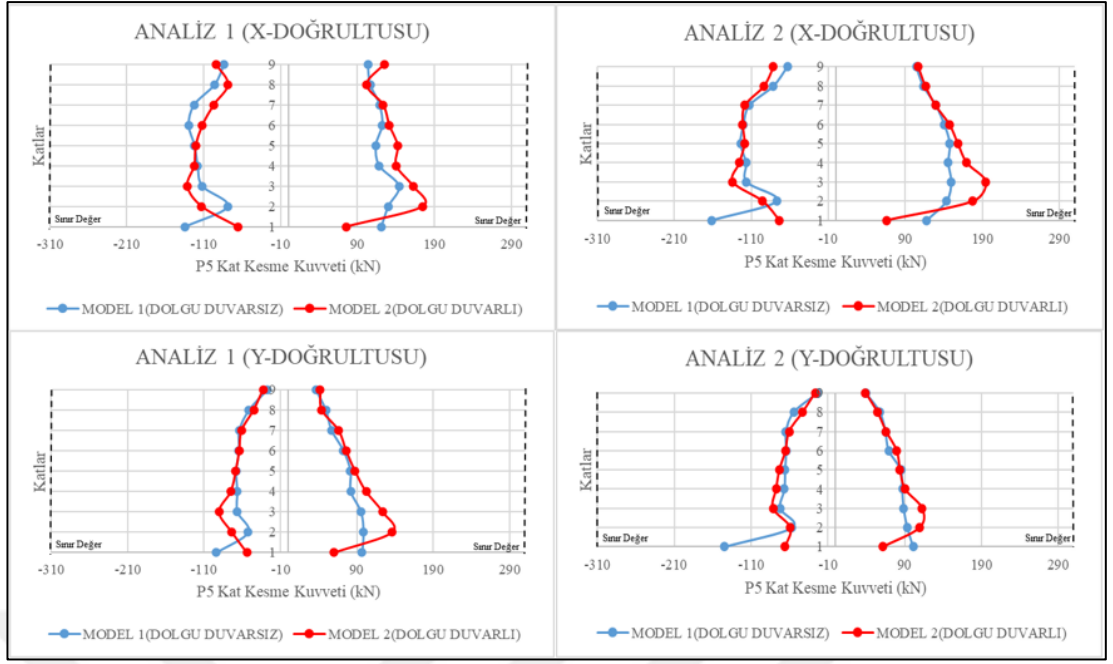
Şekil 4.25. P2'nin katlara göre kesme kuvveti



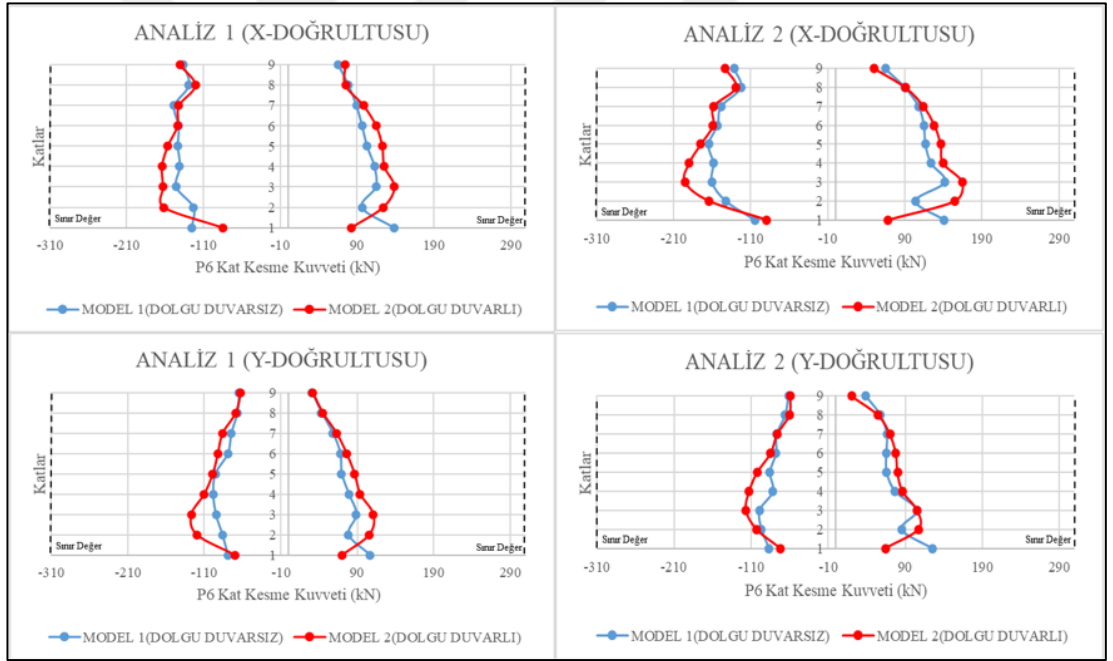
Şekil 4.26. P3'ün katlara göre kesme kuvveti



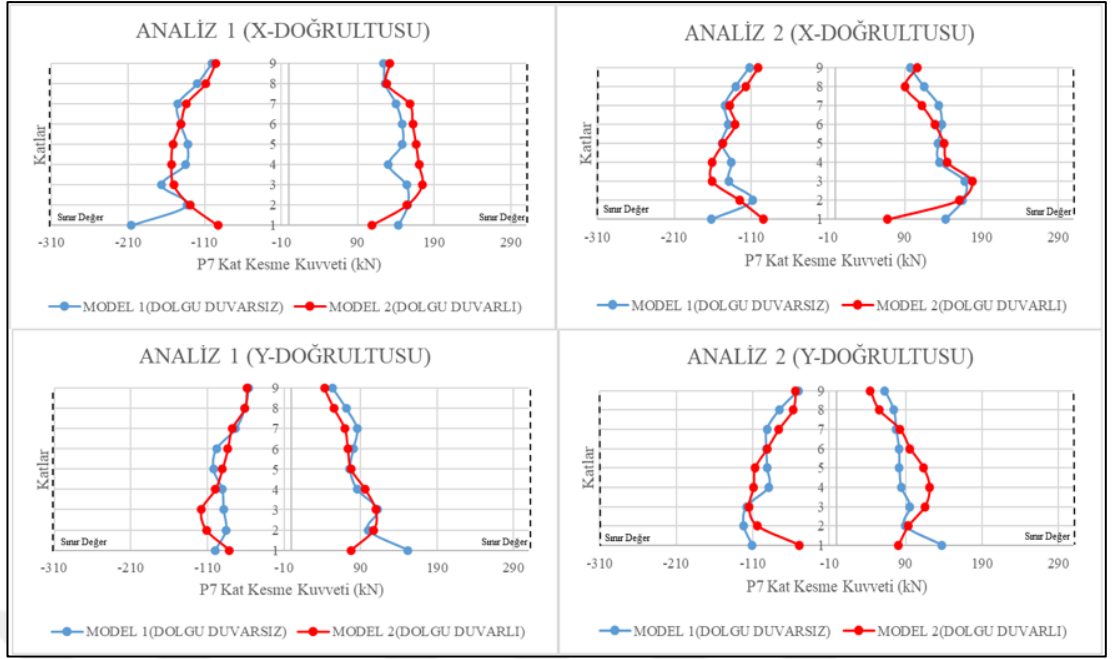
Şekil 4.27. P4'ün katlara göre kesme kuvveti



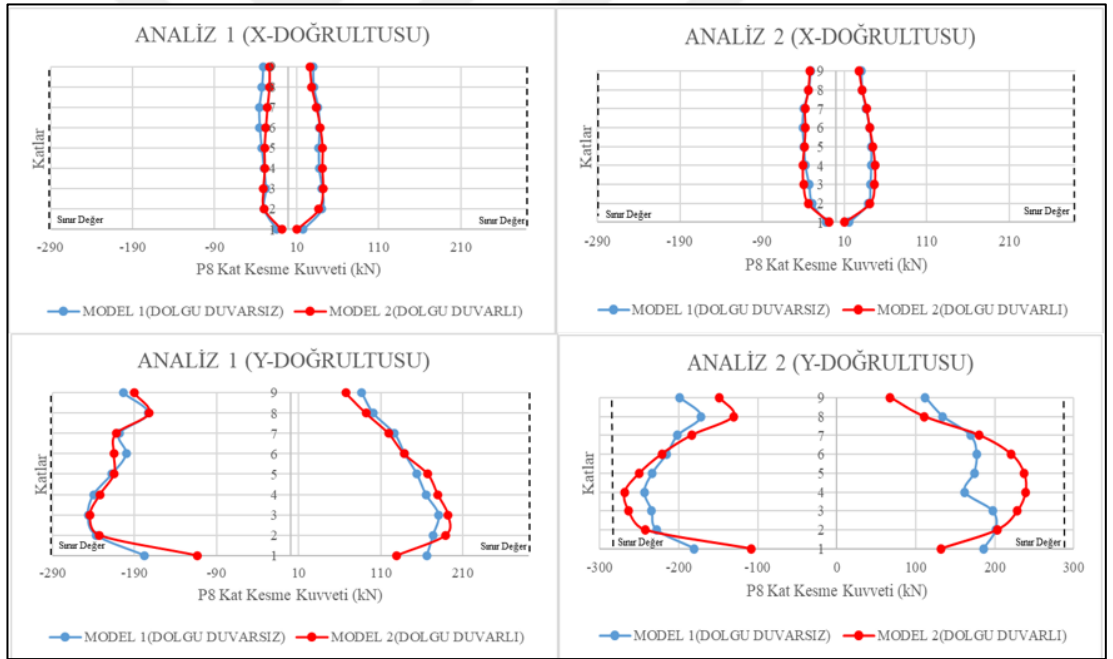
Şekil 4.28. P5'in katlara göre kesme kuvveti



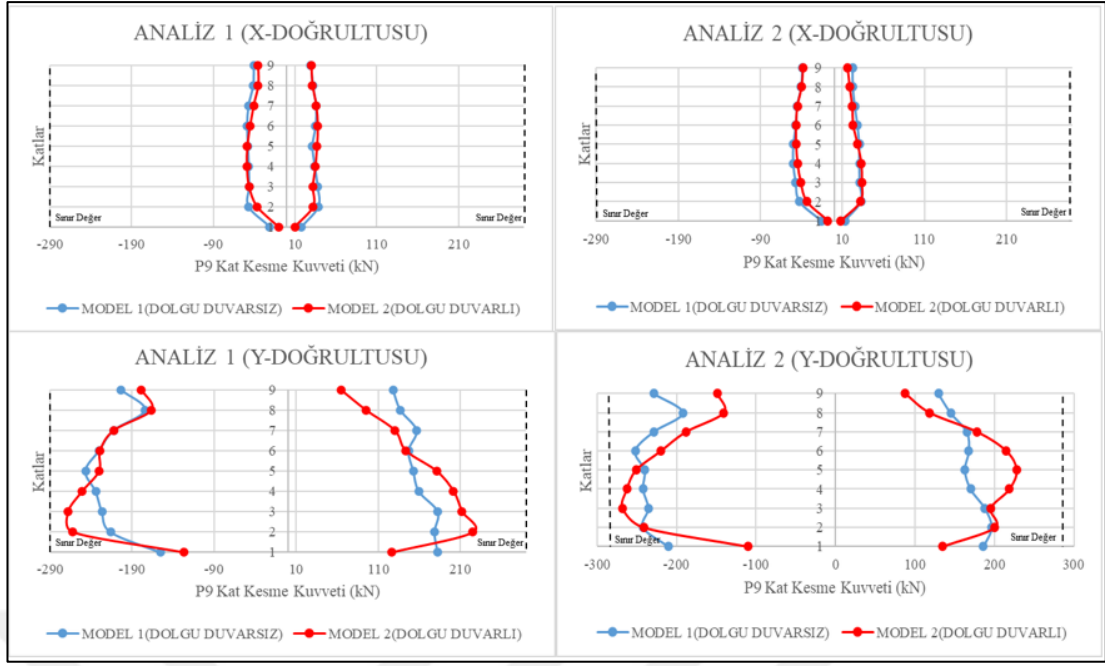
Şekil 4.29. P6'nın katlara göre kesme kuvveti



Şekil 4.30. P7'nin katlara göre kesme kuvveti



Şekil 4.31. P8'in katlara göre kesme kuvveti



Şekil 4.32. P9'un katlara göre kesme kuvveti

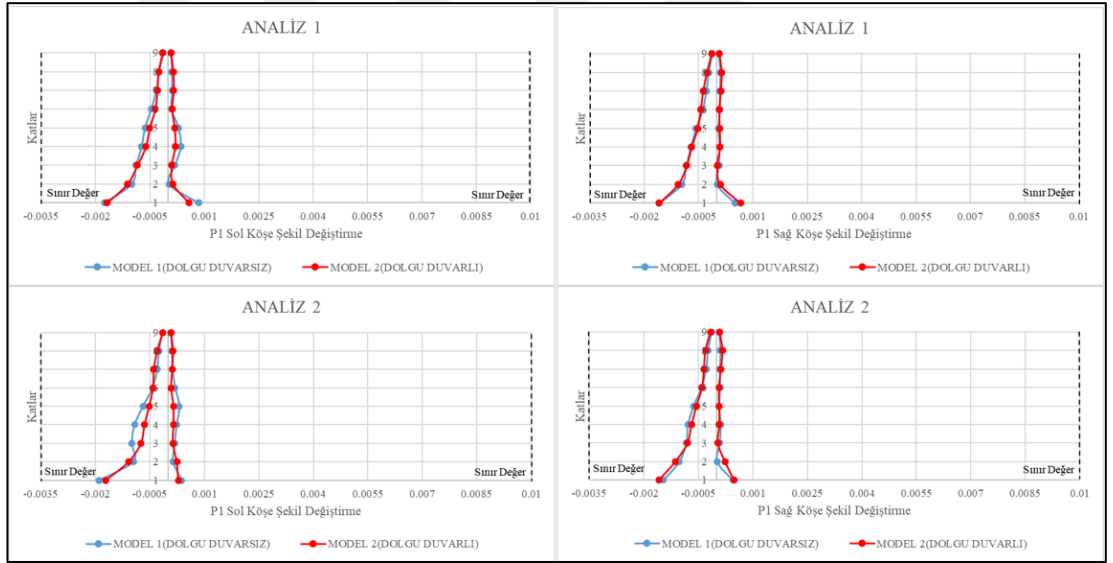
Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28, Şekil 4.29, Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'de verilen grafikler incelendiğinde; Perde 1 için yapılan hesaplamalardan elde edilen kesme kuvveti sınır değeri 720 kN'dur. Perde 1'de Analiz 1 ve Analiz 2 için x-doğrultusunda bu sınır değerin aşıldığı görülmüştür. Dolgu duvarlı modelde zemin katta perde kesme kuvvetleri dolgu duvarlı modele göre daha az olsa da sınır değerin üstünde kalan değerler olmuştur. Perde 2 ve Perde 3 için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen kesme kuvveti sınır değeri 576 kN'dur. Perde 2 ve Perde 3'de Analiz 1 ve Analiz 2 için y-doğrultusunda bu sınır değerin aşıldığı görülmüştür. Perde 1'de olduğu gibi Perde 2 ve Perde 3'de zemin katta perde kesme kuvvetleri dolgu duvarlı modele göre daha az olsa da sınır değerin üstünde kalan değerler vardır. Perde 4, Perde 5, Perde 6 ve Perde 7 için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen kesme kuvveti sınır değeri 310 kN'dur. Analiz 1 ve Analiz 2 ile hesaplanan kesme kuvvetlerinin bu sınır değeri aşmadığı görülmüştür. Perde 8 ve Perde 9 için hesaplanan kesme kuvveti sınır değeri 290 kN'dur. Analiz 1 ve Analiz 2 ile hesaplanan kesme kuvvetinin bu sınır değeri aşmadığı görülmüştür.

4.2.7. Bina perde birim uzama-birim kısalma sonuçlarının karşılaştırılması

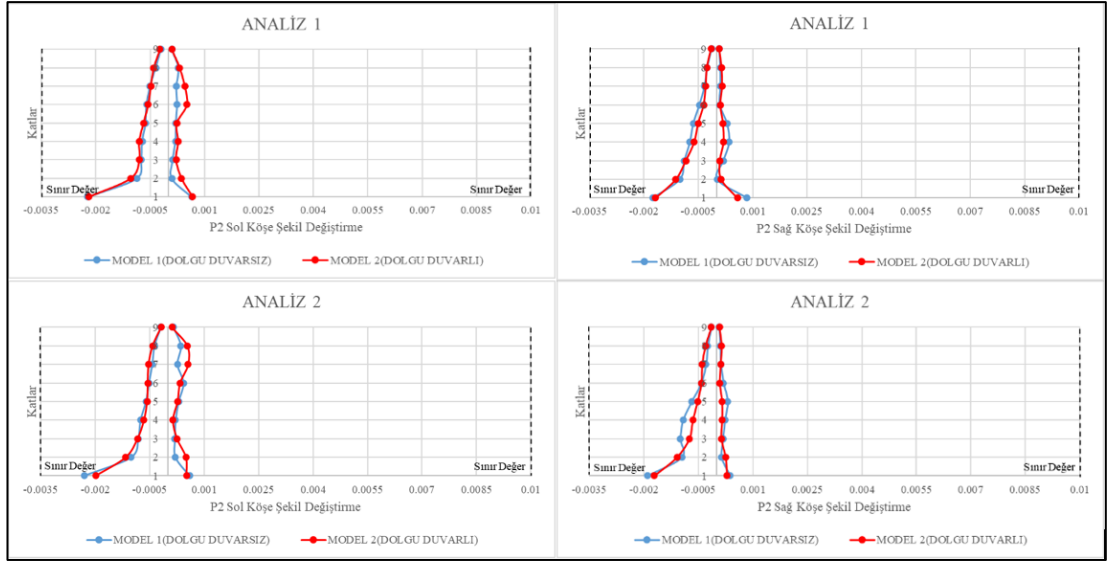
Deprem analizleri sonucunda dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız her iki modele ait perde birim uzama-birim kısalma değerleri elde edilmiştir.

Modellerdeki perdelerin birim şekil değiştirme hesabı için TBDY (2018), dikkate alınmıştır. TBDY (2018)’de verilen beton birim kısalma değeri 0.0035 ve donatı birim uzama değerleri için 0.01 sınır değerler kullanılmıştır.

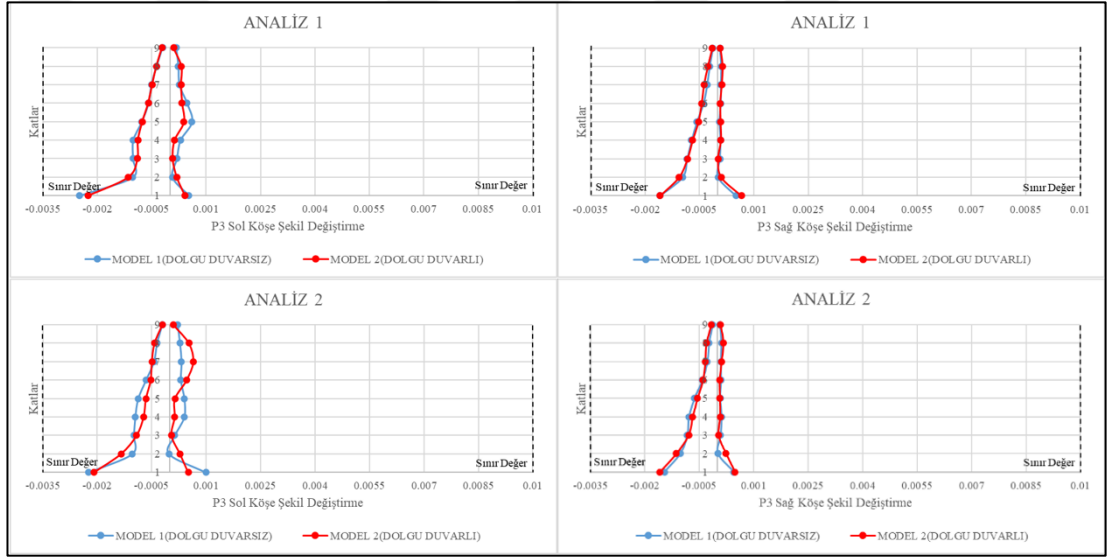
Analizler sonucunda modellerdeki perdelerde birim şekil değiştirme değerleri elde edilmiş ve bu değerler Şekil 4.33, Şekil 4.34, Şekil 4.35, Şekil 4.36, Şekil 4.37, Şekil 4.38, Şekil 4.39, Şekil 4.40 ve Şekil 4.41’de gösterilmiştir. Birim şekil değiştirme için sınır değerler grafikler üzerine çizilmiştir.



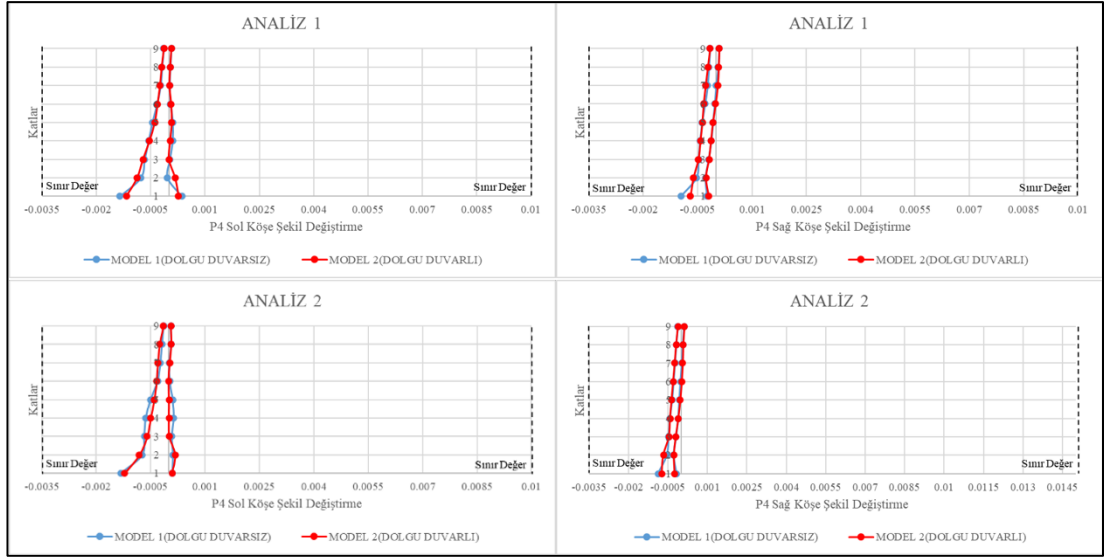
Şekil 4.33. P1’in sol ve sağ ucunda oluşan birim şekil değiştirme



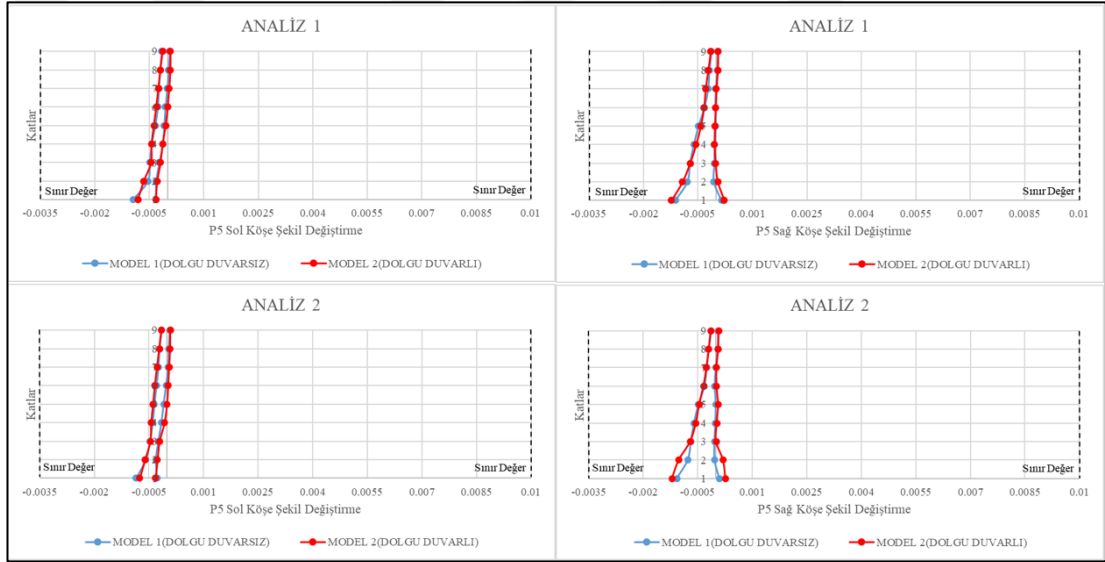
Şekil 4.34. P2'nin sol ve sağ ucunda oluşan birim şekil değiştirme



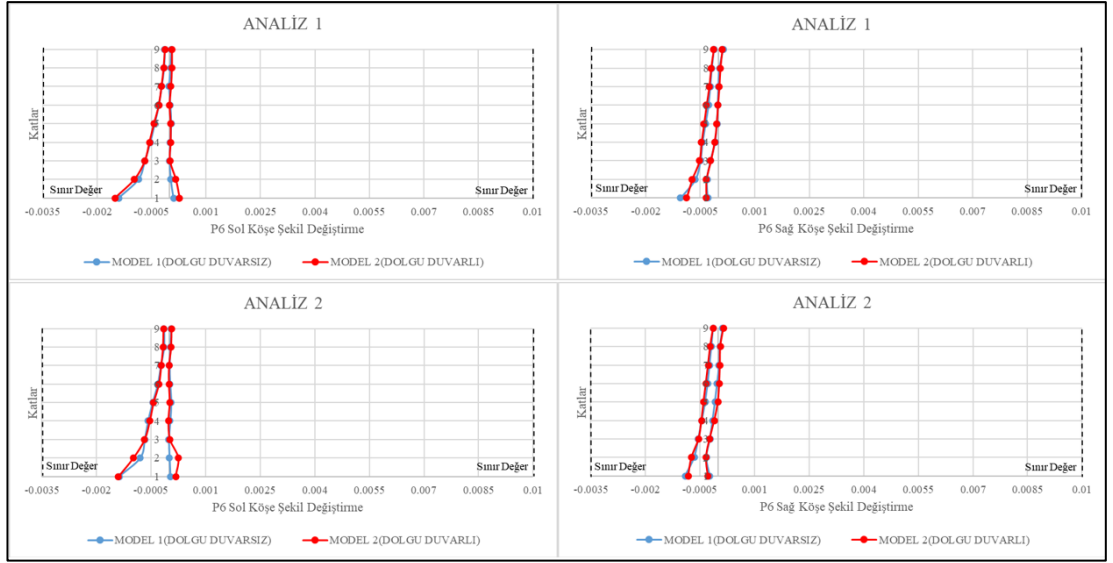
Şekil 4.35. P3'ün sol ve sağ ucunda oluşan birim şekil değiştirme



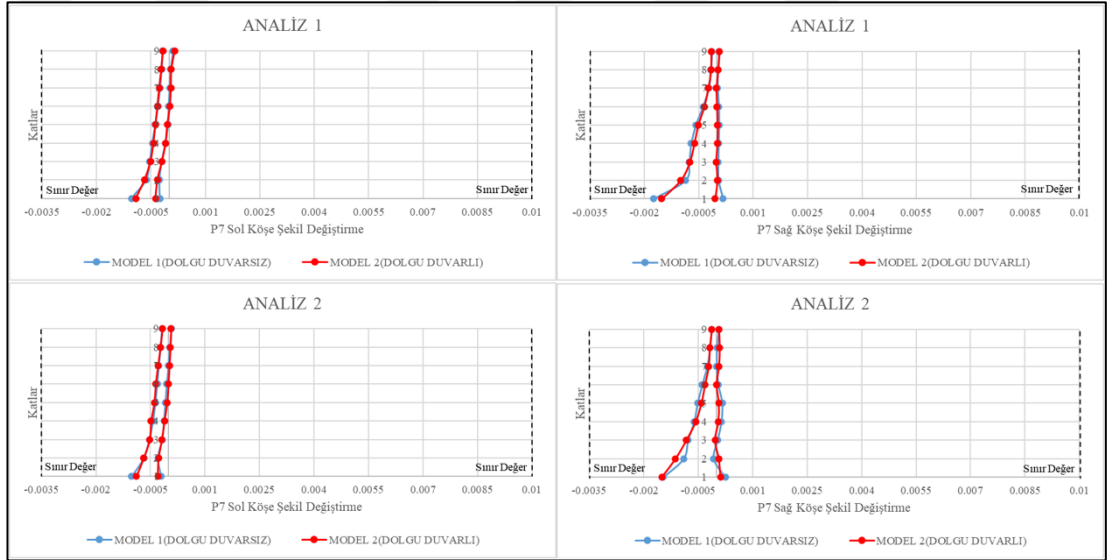
Şekil 4.36. P4'ün sol ve sağ ucunda oluşan birim şekil değiştirme



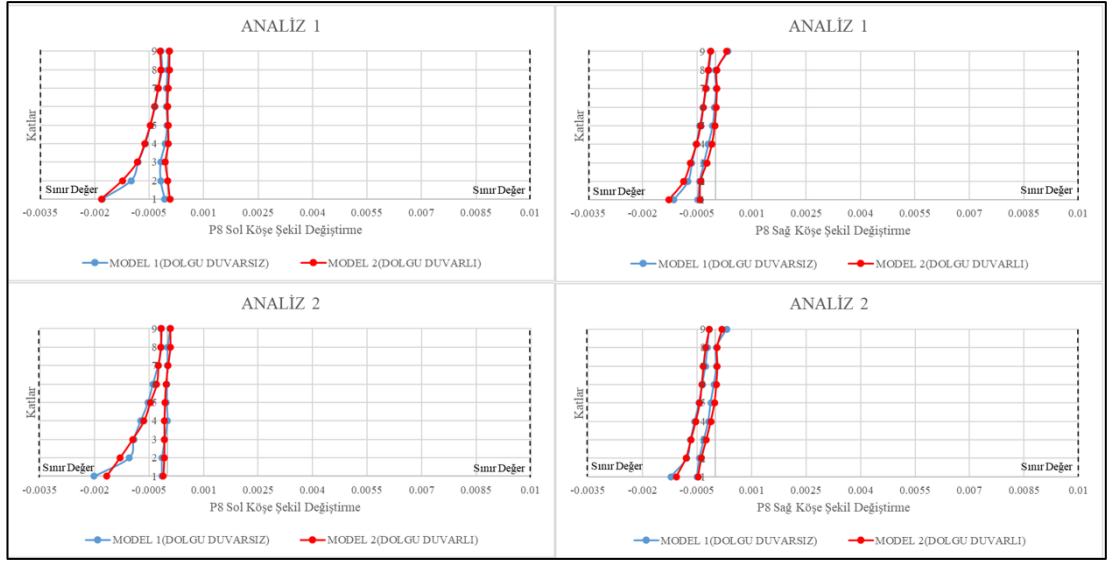
Şekil 4.37. P5'in sol ve sağ ucunda oluşan birim şekil değiştirme



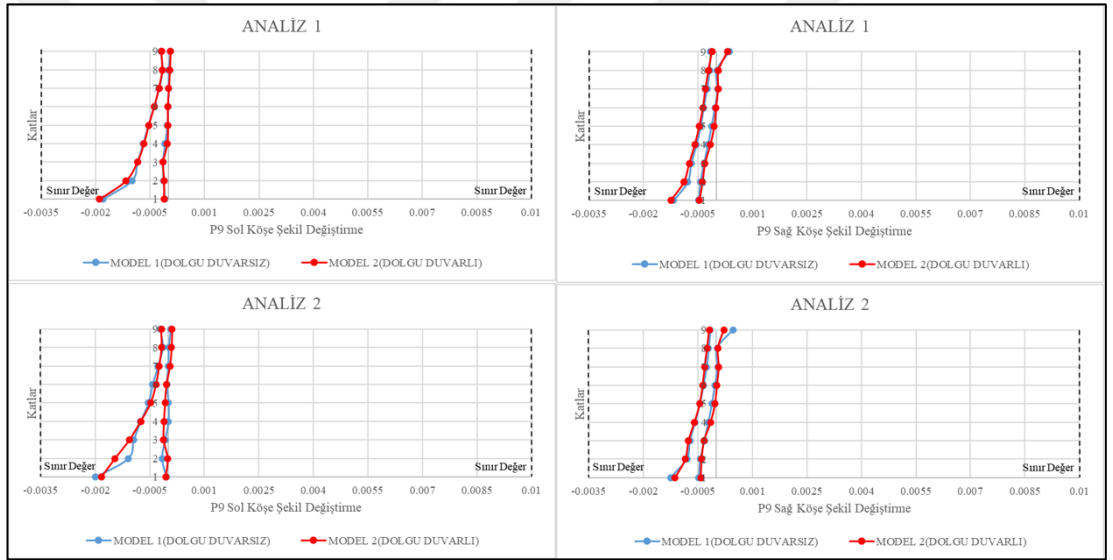
Şekil 4.38. P6'nın sol ve sağ ucunda oluşan birim şekil değiştirme



Şekil 4.39. P7'nin sol ve sağ ucunda oluşan birim şekil değiştirme



Şekil 4.40. P8'in sol ve sağ ucunda oluşan birim şekil değiştirme



Şekil 4.41. P9'un sol ve sağ ucunda oluşan birim şekil değiştirme

Şekil 4.33, Şekil 4.34, Şekil 4.35, Şekil 4.36, Şekil 4.37, Şekil 4.38, Şekil 4.39, Şekil 4.40 ve Şekil 4.41'de verilen grafikler incelendiğinde modellerde bulunan 9 perde duvar için yapılan hesaplamalar sonrası elde edilen birim şekil değiştirme değerleri sınır değerlerin altında kalmıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Konumu nedeniyle yüksek sismik tehlike altında bulunan ülkemizde yapı stoğunun büyük bir kısmını betonarme binalar oluşturmaktadır. Söz konusu betonarme binalar kullanım süreleri boyunca pek çok depreme maruz kalmakta ve binalarda hasarlar ve göçmeler meydana gelebilmektedir. Depremi yıkıcı etkilerinden korunabilmek için yapıların deprem davranışı incelenmeli ve anlaşılmalıdır.

Bu çalışmada, 30 Ekim 2020 İzmir depreminde hasar almış bina incelenmiştir. Bina SAP2000 V22 sonlu elemanlar programında gerçek proje özellikleri ve malzeme özellikleri ile modellenmiştir. Sonrasında binanın dolgu duvara sahip olma durumunda alacağı hasarı belirlemek, dolgu duvarların betonarme yapıların sismik performanslarına olan etkilerini araştırmak için binanın mevcut durumunu gösteren modele dolgu duvar eklemesi yapılmıştır ve binaya ait mevcut durum ve dolgu duvarlı halini gösteren iki model elde edilmiştir. Dolgu duvar modellemesinde basınca çalışan eş değer link elemanı kullanılmıştır. Modellenen binanın mevcut durumu (dolgu duvarsız) ve dolu duvara sahip olma durumları dikkate alınarak seçilen deprem ivme kayıtları ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde seçilen deprem kayıtları 2020 İzmir depremine ait olup AFAD'ın resmi sitesinden alınarak ölçeklendirilmiştir.

Modellenen binalarda yapılan modal analizler sonucunda, dolgu duvarlı modelin periyot değerlerinin dolgu duvarsız modele göre önemli oranda azaldığı görülmektedir. Yapının hakim periyodu için dolgu duvarsız modelin ilk periyodu baz alınrsa, dolgu duvarlı modelin ilk periyodu %42 oranında azalmıştır. Bu durumda binaya dolgu duvar eklenmesinin binanın rijitliğini arttırdığı söylenebilir.

Görelî kat ötelemesi oranlarına bakıldığında zaman dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olarak modellenen binaların TBDY (2018)'de 0.008 olarak verilen görelî kat ötelemesi oranı sınır değerinin altında kaldığı görülmektedir. Sınır değer baz alındığında, dolgu duvarlı modelin en büyük görelî kat ötelemesi oranının sınır değerden %40 daha az olduğu görülmektedir. Dolgu duvarsız model baz alındığında, dolgu duvarlı modelin zemin katta ortalama %26 daha az öteleme yaptığı görülmektedir.

Dolgu duvarlı olarak modellenen binada taban kesme kuvveti dolgu duvarsız olarak modellenen binaya göre ortalama %9 daha fazladır. Dolgu duvarlı olarak modellenen binada daha fazla deprem kuvveti meydana gelmiştir.

Binadaki dolgu duvarlar katlara gelen kesme ve moment değerlerini önemli ölçüde değiştirmektedir. Dolgu duvarsız modelin 1. kat kesme kuvvetleri baz alındığında, 1. kattaki kesme kuvveti dolgu duvarlı modelde ortalama %37 oranında daha azdır. Dolgu duvarsız modelin 1. kat moment kuvvetleri baz alındığında, 1. kattaki moment kuvveti dolgu duvarlı modelde ortalama %8 oranında daha fazladır.

Seçilen ivme kayıtlarına göre gerçekleştirilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri sonucunda modellerin zemin kat kolonlarına gelen kuvvetler hesaplanmıştır. Hesaplanan kuvvetler kolon taşıma kapasitesine bölünerek kolon taşıma kapasitesi oranı elde edilmiştir. Dolgu duvarsız model incelendiğinde zemin kat kolonlarına gelen kuvvetlerin kolon taşıma kapasitesinden daha az olduğu görülmektedir. Dolgu duvarlı modelin sonuçları incelendiğinde ise dolgu duvarsız modelden daha az kuvvete maruz kaldığı görülmüştür. Kolon taşıma kapasitesi oranı incelendiğinde ise her iki model için de oranların sınır değer olan 1'in altında kaldığı görülmüştür.

Tezde ayrıca zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerden 9 adet perdeye gelen kat kesme kuvvetleri hesaplanmıştır. Her bir perde için TBDY (2018)'de verilen perde kesme dayanımı için sınır değer hesabı yapılmış ve asansör çevresinde bulunan Perde 1, Perde 2 ve Perde 3'e gelen kesme kuvvetlerinin hesaplanan perde kesme sınır değerinin üstünde kaldığı görülmüştür.

Yapılan doğrusal olmayan analizler neticesinde modellerdeki perdelerin birim şekil değiştirme değerleri elde edilmiştir. Elde edilen değerler TBDY (2018)'de verilen beton birim kısalma değeri 0.0035 ve donatı birim uzama değeri 0.01 sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. Modellerde bulunan 9 adet perde duvar için birim uzama değerleri sınır değerden %98 daha az, birim kısalma değerleri sınır değerden %60 daha az bulunmuştur. Asansör çevresinde bulunan Perde 1, Perde 2 ve Perde 3'e gelen kesme kuvvetleri sınır değerini aşmasına rağmen perdelerin birim şekil değiştirmesi sınır değerinin çok altında kaldığı görülmüştür. Bu durum bize perdelerin gevrek bir kırılma yaşadığını göstermektedir.

KAYNAKLAR

- AFAD (2018) Türkiye Deprem Tehlike Haritası. <https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi> (Son erişim tarihi: 29.11.2021)
- AFAD (2020a). 2020 Yılı Deprem Aktivitesi. <https://deprem.afad.gov.tr/depremdokumanlari/2066> (Son erişim tarihi: 29.11.2021)
- AFAD (2020b). Türkiye İvme Veri Tabanı ve Analiz Sistemi (TADAS). <https://tadas.afad.gov.tr/> (Son erişim tarihi 29.11.2021)
- AFAD (2020c). 30.10.2020 11:51:23 Ege Denizi, 17.26 km Seferihisar (İzmir) Depremi Mw 6.6. <https://tadas.afad.gov.tr/event-detail/11995> (Son erişim tarihi: 29.11.2021)
- Akyürek, O., Tekeli, H. & Demir, F. (2018). Plandaki dolgu duvar yerleşiminin bina performansı üzerindeki etkisi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 10(1), 42-55.doi:10.29137/umagd.419660.
- Anonim (2020a). <http://www.gazetevatan.com/karagul-apartmani-na-da-curuk-raporu--1352007-gundem/> (Son erişim tarihi 29.11.2021)
- Anonim (2020b). <https://www.yenisafak.com/foto-galeri/gundem/91-kisiye-mezar-oldu-iste-izmirde-yikilan-binalarin-onceki-ve-sonraki-hali-2042815?page=1> (Son erişim tarihi 29.11.2021)
- Asteris, P. G. (2003). Lateral stiffness of brick masonry infilled plane frames. *Journal of structural engineering*, 129(8), 1071-1079. doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(2003)129:8(1071).
- Asteris, P. G., Repapis, C. C., Repapi, E. V. & Cavaleri, L. (2017). Fundamental period of infilled reinforced concrete frame structures. *Structure and Infrastructure Engineering*, 13(7), 929-941. doi:10.1080/15732479.2016.1227341.
- Aydın, Y. F. (2018). *Betonarme Binaların Deprem Davranışına Dolgu Duvarlı Çerçeve Sistemlerin Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Baghi, H., Oliveira, A., Valença, J., Cavaco, E., Neves, L. & Júlio, E. (2018). Behavior of reinforced concrete frame with masonry infill wall subjected to vertical load. *Engineering Structures*, 171, 476-487. doi:10.1016/j.engstruct.2018.06.001.
- Bal, E. (2018). *Bir Cephesi Kapalı Yapılarda Dolgu Duvar Çerçeve Etkileşiminin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Bayrak, O. F. & Bikçe, M. (2019). Dolgu duvarın yapısal düzensizliklere ve performansa etkisinin mevcut bir yapı üzerinde incelenmesi. *Uludağ*

University Journal of The Faculty of Engineering, 24(3), 241-254.
doi:10.17482/uumfd.477760.

Bolea, O. (2016). The seismic behaviour of reinforced concrete frame structures with infill masonry in the bucharest area. *Energy Procedia*, 85, 60-76.
doi:10.1016/j.egypro.2015.12.275.

Cengiz, M. M. (2018). *Betonarme Yapıların Deprem Performanslarına Tuğla Dolgu Duvarların Etkisinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

Chrysostomou, C. Z., Poljansek, M., Kyriakides, N., Taucer, F. & Molina, F. J. (2013). Pseudo-dynamic tests on a full-scale four-storey reinforced concrete frame seismically retrofitted with reinforced concrete infilling. *Structural Engineering International*, 23(2), 159-166.
doi:10.2749/101686613X13439149156831.

Çavdar, Ö., Sunca Köse, G. Ç. & Sunca, F. (2018). Betonarme binaların deprem performanslarına dolgu duvarların etkisinin incelenmesi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 25(1), 465-484.
doi:10.17482/uumfd.658027.

Çelebi, O. (2018). *Deprem Etkisindeki Betonarme Binaların Davranışına Dolgu Duvarların Sönümleyici Sistem Olarak Etkileri*. (Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

Demirtaş, R., Gülpınar, K. & Durumu, D. (2019). İzmir İli, Seferihisar İlçesi, Doğanbey Yerleşim Alanında Geçen Tuzla Fayının Yüzey Faylanması Tehlike Zonu Açısından Değerlendirilmesi. https://www.academia.edu/40859182/%C4%B0zmir_%C4%B0li_Seferihisar_%C4%B0l%C3%A7esi_Do%C4%9Fanbey_Yerle%C5%9Fim_Alan%C4%B1n%C4%B1nda_Ge%C3%A7en_Tuzla_Fay%C4%B1n%C4%B1n_Y%C3%BCzey_Faylanması%C4%B1_Tehlike_Zonu_A%C3%A7%C4%B1s%C4%B1ndan_De%C4%9Ferlendirilmesi (Son erişim tarihi 29.11.2021)

Dolšek, M. & Fajfar, P. (2008). The effect of masonry infills on the seismic response of a four-storey reinforced concrete Frame a deterministic assessment. *Engineering Structures*, 30(7), 1991-2001.
doi:10.1016/j.engstruct.2008.01.001.

Durğut, İ. (2019). *Dolgu Duvar Modelleme Tekniklerinin Betonarme Bir Bina'nın Sismik Davranışına Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü)

Emre, Ö., Özalp, S., Doğan, A., Özaksoy, V., Yıldırım, C. & Göktaş, F. (2005). İzmir Yakın Çevresinin Diri Fayları ve Deprem Potansiyelleri. MTA Rapor No: 10754, 80s.

Er, O. (2020). Deprem Sonrası Yıkılan Binalar Haritası. <https://umap.openstreetmap.fr/en/map/tmmob-izmir-ikk-deprem-sonras->

- Hermanns, L., Fraile, A., Alarcón, E. & Álvarez, R. (2014). Performance of buildings with masonry infill walls during the 2011 Lorca earthquake. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12(5), 1977-1997. doi:10.1007/s10518-013-9499-3.
- İzmir Büyükşehir Belediyesi (2018). İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı. <https://www.izmir.bel.tr/izmirdeprem/> (Son erişim tarihi 29.11.2021)
- Kaçım, S. (2018). *Dolgu Duvar Özelliklerinin Betonarme Bina Performansına Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Korkmaz, A. & Taner, U. (2006). Betonarme binaların deprem davranışında dolgu duvar etkisinin incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(1), 101-108.
- Kömür, M. A., Deneme, İ. Ö. & Kara, M. A. (2019). The effects of infill wall on dynamic characteristics of reinforced concrete frame systems. *J Struct Eng*, 2, 123-30. doi:10.31462/jseam.2019.03123130.
- Köse, M. M. & Karşlıoğlu, Ö. (2007). Dolgu duvarların bina doğal modal periyot ve mod Şekline olan etkileri. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Türkiye*, 16-20.
- Mahmoud, S., Genidy, M. & Tahooun, H. (2017). Time-history analysis of reinforced concrete frame buildings with soft storeys. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 42(3), 1201-1217. doi:10.1007/s13369-016-2366-1.
- Mert, S. (2015). *Dolgu Duvarların Betonarme Taşıyıcı Sistem Performansına Etkisinin Belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Misir, S., Ozcelik, O., Girgin, S. C. & Kahraman, S. (2012). Experimental work on seismic behavior of various types of masonry infilled RC frames. *Structural Engineering and Mechanics*, 44(6), 763-774.
- Misir, I. S., Ozcelik, O., Girgin, S. C. & Yucel, U. (2016). The behavior of infill walls in RC frames under combined bidirectional loading. *Journal of Earthquake Engineering*, 20(4), 559-586. doi:10.1080/13632469.2015.1104748.
- Morfidis, K. & Kostinakis, K. (2017). The role of masonry infills on the damage response of R/C buildings subjected to seismic sequences. *Engineering Structures*, 131, 459-476. doi:10.1016/j.engstruct.2016.10.039.
- Mulgund, G. V. & Kulkarni, A. B. (2011). Seismic assessment of RC frame buildings with brick masonry infills. *International Journal of advanced engineering sciences and technologies*, 2(2), 140-147.
- Ning, N., Yu, D., Zhang, C. & Jiang, S. (2017). Pushover analysis on infill effects on

the failure pattern of reinforced concrete frames. *Applied Sciences*, 7(4), 428. doi:10.3390/app7040428.

Nwofor, T. C. & Chinwah, J. G. (2012). Finite element modeling of shear strength of Infilled frames with openings. *International Journal of Engineering and Technology*, 2(6), 992-1001.

Özkaya, E. (2018). *Binalarda Yumuşak Kat Oluşumunda Dolgu Duvarların Etkisinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

Öztürkoğlu, O., Taner, U. & Yeşilçe, Y. (2015). Betonarme yapılarda dolgu duvar-çerçeve etkileşiminin incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 17(51), 109-121.

Polyakov, S. (1956). Masonry infilled framed buildings. *An Investigation Into The Strength And Stiffness Of Masonry Infilling*. Rusya.

Qian, K. & Li, B. (2017). Effects of masonry infill wall on the performance of RC frames to resist progressive collapse. *Journal of Structural Engineering*, 143(9), 04017118. doi:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001860.

Sağlıyan, S. (2018). Dolgu duvarların modellenme yaklaşımlarının betonarme çerçeve davranışına etkisi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(2), 165-174.

Sattar, S. & Liel, A. B. (2010, July). Seismic performance of reinforced concrete frame structures with and without masonry infill walls. In *9th US National and 10th Canadian conference on earthquake engineering*.

Severcan, M. H. & Sınan, B. (2019). Mevcut betonarme yapıların deprem performansının analizi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 936-947. doi:10.28948/ngumuh.598151.

Stavridis, A., Koutromanos, I. & Shing, P. B. (2012). Shake-table tests of a three-story reinforced concrete frame with masonry infill walls. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 41(6), 1089-1108. doi:10.1002/eqe.1174.

Sunca Köse, G. Ç. (2019). *Farklı Oran Ve Düzendeki Dolgu Duvarlara Sahip Betonarme Yapıların Sismik Performanslarının Belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

Şahin, İ. & Kılınç, T. (2016). Türkiye’de 1980-2014 Yılları Arasında Görülen Depremlerin Ekonomik Etkileri. *İktisadi Yenilik Dergisi*, 4(1), 33-42.

TBDY, (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

Tekin, M., Alsancak, E. & Murat, A. Y. (2007). Betonarme çerçevelerde dolgu duvar etkisinin incelenmesi. *Celal Bayar University Journal of Science*, 3(1), 95-104.

- Usta, P. (2016). *İzmir Kent Merkezi Tarihi Yapılarının Deprem Davranışı ve Sismik Risk Değerlendirmesi İçin Yaklaşık Bir Yöntem Önerisi*. (Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Usta, P. & Bozdağ, Ö. (2021). Tarihi Başdurak Camisinin deprem analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(3), 244-250. doi:10.5505/pajes.2020.31384.
- Wakchaure, M. R. & Ped, S. P. (2012). Earthquake analysis of high rise building with and without in filled walls. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 2.
- Yüksel, İ. (2008). Betonarme binaların deprem sonrası acil hasar değerlendirmeleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 24(1), 260-276.