



**BETONARME YAPILARDA YUMUŞAK KAT
DÜZENSİZLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Abdullilah YILMAZ

Danışman: Doç. Dr. Ahmet BUDAK

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

2023

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**BETONARME YAPILARDA YUMUŞAK KAT DÜZENSİZLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

(Investigation Of Soft Storey Irregularity In Reinforced Concrete Structures)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdullilah YILMAZ

Danışman: Doç. Dr. Ahmet BUDAK

Erzurum
Nisan, 2023

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Abdullilah YILMAZ tarafından hazırlanan “*Betonarme Yapılarda Yumuşak Kat Düzensizliğinin Araştırılması*” başlıklı çalışması 28/04/ 2023 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yapı Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Doç. Dr. Oğuz Akın DÜZGÜN
Atatürk Üniversitesi

Danışman: Doç. Dr. Ahmet BUDAK
Atatürk Üniversitesi

Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Dilek OKUYUCU
Erzurum Teknik Üniversitesi

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak Doç. Dr. Ahmet BUDAK danışmanlığında sunulan “Betonarme Yapılarda Yumuşak Kat Düzensizliğinin Araştırılması” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	22	30
Kuramsal Temeller	16	30
Materyal ve Metot	13	35
Araştırma Bulguları	9	20
Sonuçlar ve Öneriler	3	20
Tezin Geneli	18	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Sunulan bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ettiğimizi beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Abdullilah YILMAZ	Doç. Dr. Ahmet BUDAK
28.4.2023	28.4.2023
İmza:	İmza:

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma süresince bana inandığı ve bana çok değerli tavsiyeler verdiği için danışmanım Doç. Dr. Ahmet BUDAK hocama, lisansta ve yüksek lisanstaki tüm hocalarıma, tez yazma süreci boyunca maddi ve manevi yardımını esirgemeyen değerli aileme, beni başarılı bir insan olarak gören tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Abdullilah YILMAZ



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ BETONARME YAPILARDA YUMUŞAK KAT DÜZENSİZLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI Abdullilah YILMAZ

Danışman: Doç. Dr. Ahmet BUDAK

Amaç: Bu çalışmada hem Türkiye’de hem de dünyanın birçok yerinde yapıların zemin kat bölümlerinin mağaza, restoran, galeri, banka gibi ticari amaçlarla kullanılmasından dolayı dolgu duvarların inşa edilmemesi durumu ile oldukça sık karşılaşılmaktadır. Bu nedenden ötürü ortaya çıkan yumuşak kat düzensizliği oluşumunun betonarme çerçeve performansı üzerine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

Yöntem: Çalışma kapsamında 4 katlı 3 açıklıklı 2 boyutlu giriş katında dolgu duvar olmamasından dolayı yumuşak kat düzensizliği bulunan çerçeve, yapısal analiz programı Sap2000 kullanılarak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)’ne göre modellenmiştir. Modellerde kullanılan dolgu duvarlar sanal basınç çubuğu metodu kullanılarak modellenmiştir. Yapıların deprem performansları TBDY-2018’e uygun olarak sabit tek modlu itme analizi kullanılarak belirlenmiştir. Taşıyıcı elemanlara ait plastik mafsallık özellikleri Response2000 programından faydalanılarak belirlenmiştir.

Bulgular: Giriş katında dolgu duvar olmaması sebebi ile yumuşak kat düzensizliği bulunan bir çerçevenin giriş katında kolonlarının etriye aralıklarının belli oranlarda düşürülmesine bağlı olarak çerçevenin performansında iyileşmeler gözlemlenmiştir. Çerçevenin giriş kat kolonlarının boyutlarının artırılması, yapının performansı üzerine istenilen seviyede bir olumlu etkisi olmamıştır. Çerçevenin sadece giriş katına perde duvarın ilave edilmesiyle yapının taban kesme kuvvetinde artışa yol açmış olup, çerçevenin taşıyıcı elemanlarında oluşacak hasar seviyelerine olumlu bir katkısı olmamıştır. Çerçevenin tamamına betonarme perde eklenmesi, çerçevenin rijitliğini artırmıştır ve çerçevenin taşıyıcı elemanlardaki hasar seviyelerinde ciddi iyileşmelere yol açmıştır.

Sonuç: Zemin kat bölümünde dolgu duvarların olmaması sebebi ile yumuşak kat düzensizliği bulunan betonarme bir çerçevenin tüm katlarına perde duvar eklenmesinin çerçeve performansını olumlu yönde etkilediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yumuşak Kat, Statik İtme Analizi, Dolgu Duvarlar, Performans Analizi

Nisan 2023, 91 sayfa

ABSTRACT

MASTER THESIS

INVESTIGATION OF SOFT STOREY IRREGULARITY IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Abdullilah YILMAZ

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet BUDAK

Purpose: In many parts of the world, since the ground floor sections of the buildings are used for commercial purposes such as shops, restaurants, galleries and banks, it is quite common that infill walls are not constructed. In this study, it is aimed to investigate the effect of soft storey irregularity formation, which occurs due to these reasons, on the performance of reinforced concrete frames.

Method: Within the scope of the study, the 4-storey, 3-span, 2-dimensional ground floor frame without infill walls and with soft storey irregularities was modeled using the structural analysis Sap2000 program according to the Turkish Building Earthquake Code (TEC 2018). The infill walls used in the models are modeled using the single equivalent compression strut approach. The earthquake performances of the buildings were determined using a constant single-mode pushover analysis method in accordance with TEC-2018. The plastic hinge properties of the bearing elements were determined by using the Response-2000 program.

Findings: Improvements were observed in the performance of the frame due to the reduction of the stirrup spacing of the columns on the ground floor of a frame with soft storey irregularities due to the absence of infill walls on the ground floor. Increasing the dimensions of the ground floor columns of the frame did not have a positive effect on the performance of the frame at the desired level. The addition of the shear wall only to the ground floor of the frame caused an increase in the base shear force of the frame and did not have a positive contribution to the damage levels of the load-bearing elements of the frame. The addition of the shear wall to the entire frame increased the rigidity of the frame and led to serious improvements in the damage levels of the load-bearing elements of the frame.

Results : It has been observed that adding shear walls to all floors of a reinforced concrete frame with soft storey irregularities due to the absence of infill walls in the ground floor section has a positive effect on the performance of the frame.

Keywords: Soft Storey, Pushover Analysis, Infill Walls, Performance Analysis

April 2023, 91 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ.....	xii
GİRİŞ.....	1
Daha Önceki Çalışmalar	4
TBDY-2018’de Yumuşak Kat Düzensizliği	6
Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği Yapısal Mühendislik Enstitüsü (ASCE/SEI 7-10)’ne göre Yumuşak Kat Düzensizliği	7
Eurocode 8	7
Dolgu Duvarların Betonarme Yapıların Deprem Davranışına Etkileri.....	7
Dayanım	8
Yük taşıma	9
Rijitlik	11
Süneklik	12
Titreşim periyodu	13
KURAMSAL TEMELLER.....	15
Dolgu Duvarların Modellenmesi.....	15
Dolgu Duvarın Elastisite Modülü	16
Statik İtme Analizi	18
Kapasite spektrum analizi	20
Yer değiştirme katsayısı yaklaşımı	21
Tek modlu itme yöntemleri.....	22
Sabit tek modlu itme	22
MATERYAL ve METOT	26
Analizler İçin Yapı Modellerinin Kurulması	26

Bina ve bölge bilgileri	26
Kolon ve kirişlerin modellenmesi	31
Perdelerin modellenmesi	34
Etkin kesit rijitlik çarpanlarının tanımlanması	34
Modellemede kullanılacak olan sanal basınç çubuklarına ait hesaplamalar	36
Sargılı ve sargısız beton modelleri	36
Donatı çeliği modeli	38
Plastik mafsalların programa tanıtılması	39
Kolon kesitleri için plastik mafsal	39
Kiriş kesitleri için plastik mafsal	42
Eş değer diyagonal basınç çubuklarına ait plastik mafsal	43
ARAŞTIRMA BULGULARI	45
Durum 1: Tamamen Dolgu Duvarlı Çerçeve (Model-1)	45
Durum 2: Çerçevenin Sadece Giriş Katında Dolgu Duvar Olmaması Durumu (Model-2)	47
Durum 3: Çerçevenin Sadece Giriş Kat Kolonların Etriye Aralığının 140 mm Olması (Model-3)	49
Durum 4: Çerçevenin Sadece Giriş Kat Kolonların Etriye Aralığının 130 mm Olması (Model-4)	51
Durum 5: Çerçevenin Sadece Giriş Kat Kolonların Etriye Aralığının 120 mm Olması (Model-5)	53
Durum 6: Çerçevenin Sadece Giriş Kat Kolon Boyutlarının 700x700 mm Olması (Model-6)	55
Durum 7: Çerçevenin sadece giriş kat kolon boyutlarının 800x800 mm olması (Model- 7)	57
Durum 8: Çerçevenin Sadece Giriş Kat Kolon Boyutlarının 900x900 mm Olması (Model-8)	59
Durum 9: Giriş Kata Perde İlave Edilmiş Çerçeve (Model-9)	61
Durum 10: Çerçevenin Tüm Katlarına Betonarme Perde Eklenmesi Durumu (Model-10)	64
SONUÇ ve ÖNERİLER	69
KAYNAKÇA	71
ÖZGEÇMİŞ	76

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1. Tuğla Duvarına Ait Elastisite Modülleri	17
Tablo 2. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Etkin Kesit Rijitlikleri.....	33
Tablo 3. Eşdeğer Basınç Çubuklarına Ait Parametreler	36
Tablo 4. Donatı Çeliklerine Ait Bilgiler	39
Tablo 5. İtme Analizi Sonucu Taşıyıcı Elemanlarda Oluşan Hasar Bölgelerinin Oranları	46
Tablo 6. ATC-40 Kapasite Spektrumu Yaklaşımına Model-1'in Performans Noktasının Özellikleri.....	47
Tablo 7. İtme Analizi Sonucundan Hasar Bölgelerinin Oranları.....	48
Tablo 8. ATC-40 Kapasite Spektrumu Yaklaşımına Göre Model-2'nin Performans Noktasının Özellikleri	48
Tablo 9. İtme Analizi Sonucundan Hasar Bölgelerinin Oranları.....	50
Tablo 10. ATC-40 Kapasite Spektrumu Yaklaşımına Göre Model-3'ün Performans Noktasının Özellikleri	50
Tablo 11. İtme Analizi Sonucundan Hasar Bölgelerinin Oranları.....	52
Tablo 12. ATC-40 Kapasite Spektrumu Yaklaşımına Göre Model-4'ün Performans Noktasının Özellikleri	52
Tablo 13. İtme Analizi Sonucundan Hasar Bölgelerinin Oranları.....	54
Tablo 14. ATC-40 Kapasite Spektrumu Yaklaşımına Göre Model-5'in Performans Noktasının Özellikleri	54
Tablo 15. İtme Analizi Sonucundan Hasar Bölgelerinin Oranları.....	56
Tablo 16. ATC-40 Kapasite Spektrumu Yaklaşımına Göre Model-6'in Performans Noktasının Özellikleri	56
Tablo 17. İtme Analizi Sonucundan Hasar Bölgelerinin Oranları.....	58
Tablo 18. ATC-40 Kapasite Spektrumu Yaklaşımına Göre Model-7'in Performans Noktasının Özellikleri	58
Tablo 19. İtme Analizi Sonucundan Hasar Bölgelerinin Oranları.....	60
Tablo 20. ATC-40 Kapasite Spektrumu Yaklaşımına Göre Model-8'in Performans Noktasının Özellikleri	60
Tablo 21. İtme Analizi Sonucundan Hasar Bölgelerinin Oranları.....	63
Tablo 22. ATC-40 Kapasite Spektrumu Yaklaşımına Göre Model-9'un Performans Noktasının Özellikleri	63

Tablo 23. İtme Analizi Sonucundan Hasar Bölgelerinin Oranları.....	65
Tablo 24. ATC-40 Kapasite Spektrumu Yaklaşımına Göre Model-10'un Performans Noktasının Özellikleri	65



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Boşluklu eğimli destekli sistem (BED) a) Başlangıç durumu b) Boşluğun kapandığı durum c) Nihai durum	3
Şekil 2. BED elemanının şematik detayı ve betonarme çerçevelerine bağlantısı	3
Şekil 3. Çevrimli yükler altında çerçevelerin taban kesme kuvvetlerindeki değişim	10
Şekil 4. Dolgu duvarlı ve basit çerçevede çevrimsel yükler sonucunda rijitliğin değişimi	11
Şekil 5. Sünek ve sünek olmayan davranışa ait yük-yer değiştirme eğrisi	12
Şekil 6. Tekrarlı ve yön değiştiren yükleme etkisinde sünekliklerin karşılaştırılması.....	13
Şekil 7. Betonarme Çerçevesel Yapılarda dolgu duvarlarının yapı periyotlarına etkisi	14
Şekil 8. (a) Yatay yük etkisi altında duvarda oluşan basınç bölgesi (b) duvarları temsil eden Eşdeğer Basınç Çubuk	16
Şekil 9. Çerçeve sistemin statik itme eğrisi.....	19
Şekil 10. Genel yük deformasyon ilişkisi (a) deformasyon (b) deformasyon oranı.....	20
Şekil 11. Çerçeve sistemin statik itme eğrisi.....	23
Şekil 12. İtme eğrisi ile modal kapasite diyagramı	23
Şekil 13. Spektral yer değiştirme-modal yer değiştirme eğrisi	25
Şekil 14. Yatay elastik spektrumu.....	26
Şekil 15. Model-1 ve Model-2 geometri ve donatı detayları	28
Şekil 16. Model-3, Model-4 ve Model-5 geometri ve donatı detayları.....	29
Şekil 17. Model-6, Model-7 ve Model-8 geometri ve donatı detayları.....	30
Şekil 18. Model-9 ve Model-10 geometri ve donatı detayları	31
Şekil 19. Kirişin kütle ve ağırlık katılım oranları.....	33
Şekil 20. Kolonun etkin kesit rijitlik çarpanının tanımlanması.....	35
Şekil 21. Kiriş etkin kesit rijitlik çarpanının tanımlanması.....	35
Şekil 22. Perdenin etkin kesit rijitlik çarpanının tanımlanması.....	36
Şekil 23. Sargılı ve sargısız betonu gerilme-şekil değiştirme modeli	37
Şekil 24. C25 beton sınıfına ait malzeme özellikleri.....	38
Şekil 25. B420C çelik sınıfına ait malzeme özellikleri	39
Şekil 26. 60x60 cm kolon kesitine ait aksenal kuvvet altında a) 0 b) 45 c) 90 derecelik açılarda kolona ait moment eğrilik grafikleri	40
Şekil 27. 60x60 cm kolon kesitine ait a) 0 b) 45 c) 90 derecelik normal kuvvet–moment karşılıklı etki diyagramları	41

Şekil 28. 60x60 cm kolonuna ait plastik mafsalsal değerleri	42
Şekil 29. Kirişlere ait moment-eğrilik grafiği	43
Şekil 30. Kirişlere ait plastik mafsalsal değerleri	43
Şekil 31. Eş değer diyagonal basınç çubuğuna ait plastik mafsalsal özellikleri.....	44
Şekil 32. Dolgu duvara ait Gerilme-şekil değiştirme eğrisi (Kaushik et al. 2007)	44
Şekil 33. Model-1 ait taban kesme kuvveti-deplasman grafiği	45
Şekil 34. Model-1'e ait statik itme analiz sonucu yapıda oluşan plastik mafsallar	46
Şekil 35. Model-2'ye ait taban kesme kuvveti-deplasman grafiği	47
Şekil 36. Model-2' ye ait statik itme analiz sonucu yapıda oluşan plastik mafsallar.....	48
Şekil 37. Model-3'e ait taban kesme kuvveti-deplasman grafiği	49
Şekil 38. Model-3' ye ait statik itme analiz sonucu yapıda oluşan plastik mafsallar.....	50
Şekil 39. Model-4'e ait taban kesme kuvveti-deplasman grafiği	51
Şekil 40. Model-4'e ait statik itme analiz sonucu yapıda oluşan plastik mafsallar	52
Şekil 41. Model-5'e ait taban kesme kuvveti-deplasman grafiği	53
Şekil 42. Model-5' e ait statik itme analiz sonucu yapıda oluşan plastik mafsallar	54
Şekil 43. Model-6'ya ait taban kesme kuvveti-deplasman grafiği	55
Şekil 44. Model-6'ya ait statik itme analiz sonucu yapıda oluşan plastik mafsallar.....	56
Şekil 45. Model-7'ye ait taban kesme kuvveti-deplasman grafiği	57
Şekil 46. Model-7'ye ait statik itme analiz sonucu yapıda oluşan plastik mafsallar.....	58
Şekil 47. Model-8'e ait taban kesme kuvveti-deplasman grafiği.....	59
Şekil 48. Model-8' e ait statik itme analiz sonucu yapıda oluşan plastik mafsallar	60
Şekil 49. Perde için orta-dikme modeli (Sakcalı ve ark. 2011).....	62
Şekil 50. Model-9'a ait taban kesme kuvveti-deplasman grafiği	62
Şekil 51. Model-9'a ait statik itme analiz sonucu yapıda oluşan plastik mafsallar	63
Şekil 52. Model-10'a ait taban kesme kuvveti-deplasman grafiği	64
Şekil 53. Model-10'a ait statik itme analiz sonucu yapıda oluşan plastik mafsallar.....	65
Şekil 54. Öne sürülen çözümlere ait taban kesme kuvveti- yer değiştirme grafiği.....	66
Şekil 55. Yapıların etkin periyotları	67
Şekil 56. Yapıların taşıyıcı sistemlerinde oluşan hasar seviyeleri	67

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

TBDY	:Türkiye bina deprem yönetmeliği
BED	:Boşluklu eğimli destek
ASCE/SEI	:Structural engineering instute of the american society of civil engineers (amerikan inşaat mühendisleri derneği yapısal mühendislik enstitüsü)
FEMA	:Federal acil durum yönetim kurumu
DBYBHY	:Deprem bölgesinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik
η_{ki}	:Binanın i'nci katında tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı
Δ_i	:Binanın i'nci katındaki azaltılmış görelî kat ötelemesi
h_i	:Binanın i'nci katının kat yüksekliği
M_{Rc}	:Çerçevenin belirtilen birleşim yerine bağlanan kolonların tasarım momenti değerlerinin toplamı
M_{Rb}	:Çerçevenin belirtilen birleşim yerine bağlanan kirişlerin tasarım momenti değerlerinin toplamı
Δ_u	:Ulaşılabilecek toplam yer değiştirme
Δ_y	:Elastik sınıra ulaşıldığındaki yer değiştirme
w_{ef}	:Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliği
λ	:Dolgu ile çerçevenin rijitlik parametresi
H	:Kat yüksekliği
E_m	:Eşdeğer diyagonal basınç çubuğunun elastisite modülü
H'	:Net yükseklik
θ	:Diyagonal basınç çubuğunun yatayla yaptığı açı
L	:Çerçeve açıklığı
E_s	:Çerçeve malzemesinin elastisite modülü
t	:Dolgu duvar kalınlığı
I_c	:Kolon atalet momenti
f_{ct}, f_m'	:Dolgu duvar basınç dayanımları
S_a	:Mod kütesine göre spektral ivme
V	:Taban kesme kuvveti
W	:Binanın ağırlığı
S_d	:Spektral yer değiştirme
Γ_1	:Modal büyütme
U_r	:Çatı yer değiştirmesi
ϕ_{r1}	:Çatı seviyesine göre birinci modun şekil değeri

T_e	:Efektif periyot
T_i	:Temel periyot
K_i	:Elastik yanal rijitlik
K_e	:Efektif yanal rijitlik
δ_t	:Beklenen en büyük elastik olmayan yer değiştirmeyi
$a_1^{(x,k)}$:Birinci moda ait modal tek serbestlik dereceli sistemin modal sözde-ivmesi
$d_1^{(x,k)}$:Birinci moda ait modal tek serbestlik dereceli sistemin modal yer değiştirmesi
$\Phi_{ix1}^{(1)}$:i'inci katta birinci itme adımımda belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şekli'nin x doğrultusundaki genliği
$\Phi_{iy1}^{(1)}$:i'inci katta birinci itme adımımda belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şekli'nin y doğrultusundaki genliği
$\Phi_{i\theta 1}^{(1)}$:i'inci katta birinci itme adımımda belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şekli'nin z eksenine etrafındaki dönme genliği
$d_{1,max}^{(x)}$:Modal tek serbestlik dereceli sistemde maksimum deplasman
$S_{d_i}(T_1)$:Yapının birinci doğal titreşim periyoduna karşılık gelen spektral deplasmanı
C_R	:Spektral deplasman oranı
DGT	:Dayanıma göre tasarım
f_c	:Sargılı betonda beton basınç gerilmesi
ϵ_c	:Basınç birim şekil değiştirmesi
f_{cc}	:Sargılı beton dayanımı
f_{co}	:Sargısız beton dayanımı
f_{yw}	:Enine donatının akma dayanımını
ρ_x	:x doğrultusundaki enine donatının hacimsel oranı
ρ_y	:y doğrultusundaki enine donatının hacimsel oranı
k_e	:Sargılama etkinlik katsayısı oranı
b_o, h_o	:Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutları
s	:Boyuna doğrultuda etriyelerin eksenleri arasındaki aralık
A_s	:Boyuna donatı alanı
ϕ_U	:Göçme öncesi nihai eğrilik
θ_{IO}	:Minimum hasar performansı için izin verilen eğrilik sınırı
θ_{LS}	:Minimum hasar performansı için izin verilen eğrilik sınırı
θ_{CP}	:Minimum hasar performansı için izin verilen eğrilik sınırı

GİRİŞ

Yapıda ani rijitlik değişimi nedeniyle deprem enerjisinin tek bir katta yoğunlaşması nedeniyle oluşan yumuşak kat dzensizliği ülkemizde meydana gelen depremlerde betonarme binaların yıkılma nedenlerinin başında gelmektedir (Adalier ve Aydingun 2001; Doğangün 2004; Sezen et al. 2003). TBDY-2018' de B2 dzensizliği olarak da tanımlanan yumuşak kat dzensizliği dünyada da başlıca hasar nedenleri arasında olduğundan birçok sismik değerlendirme raporunun konusu olmuştur (Ghosh 1995; Humar et al. 2001; Yoshimura ve Kuroki 2000). 6 şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş merkezli depremlerde de birçok yapıda yumuşak kat dzensizliği yüzünden büyük hasarlar meydana gelmiştir (Akbaş ve alışkan 2023). Yumuşak kat dzensizliği, katların yüksekliklerinin farklı olması gibi yapılarda yer alan katların taşıyıcı sistemlerinin farklı özellikler göstermesi nedeniyle meydana gelebileceği gibi taşıyıcı sistem olarak dikkate alınmayan bölme duvarların miktarının değişmesi sebebiyle de oluşabilir. Ayrıca zemin katlarda vitrin olarak kullanmak amacıyla dış duvarlar yerine cam kullanılmakta, i duvarlar ise geniş alanlara ihtiyaç duyulması nedeniyle st katlara oranla çok az yapılmaktadır. Bir üstte konut amaçlı kullanılan katta ise i ve dış duvarların inşa edilmiş olması düşeyde bir rijitlik dzensizliğine yol açmaktadır (Çamyar 2009).

Yumuşak kat dzensizliği zemin kat yüksekliğinin diğer katlardan fazla olması sonucu meydana gelinebileceği tüm inşaat mühendisleri arasında kabul gören bir görüştür. Lakin literatürde katlar arasında taşıyıcı sistem değişikliği veya katlar arası kirişli ya da asmolen döşeme gibi farklı döşeme sistemlerinin kullanılması (Doğangün 2004) gibi birçok farklı nedenle yumuşak kat dzensizliği oluşumu meydana gelmektedir. Ancak betonarme yapılarda yumuşak kat oluşumunun en yaygın nedenlerinden biri katlar arasında dolgu duvar miktarında ani değişiklik yapılması sonucu meydana gelen rijitlik dzensizliğidir.

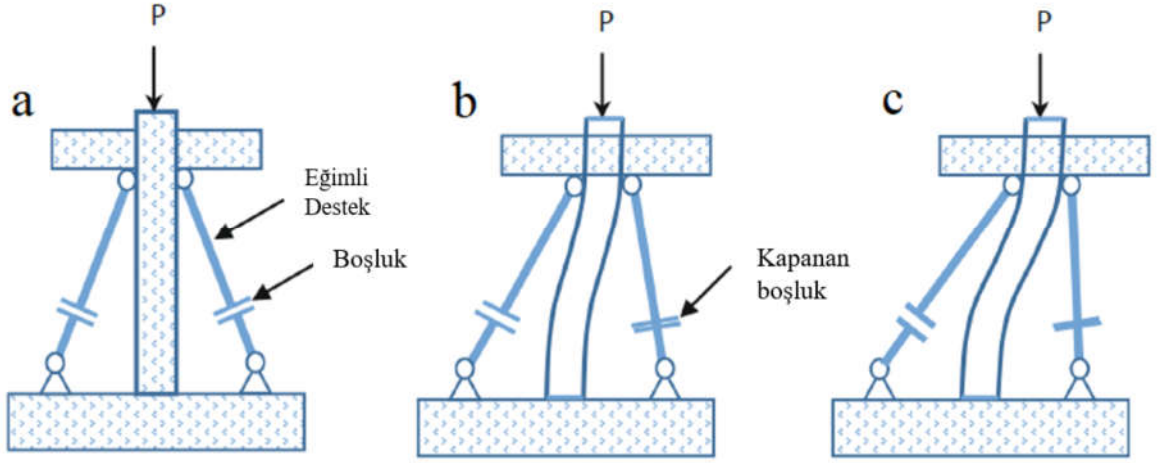
Oluşan söz konusu rijitlik dzensizliği bilhassa perdesiz olan yapılar için deprem güvenliği bakımından çok önemli problemlere sebep olabilmektedir. Deprem yüklemesi altında bu dzensizlik nedeniyle zemin katta oldukça büyük deformasyon talepleri oluşmakta ve deprem enerjisi tek bir katta yoğunlaşmaktadır (Çamyar 2009). Zemin katta dolgu duvarların olmaması, zemin kat mukavemetinin ve rijitliğinin azalmasına yol açarak hasarın zemin kat kolonlarına yoğunlaşmasına ve yapının okmesine neden olmaktadır (Esteva 1992; Naeim 1989; Park ve Paulay 1975).

Yumuşak kat sadece zemin kat ile ilgili olmadığı, rijitliğin aniden değiştiği orta katlarda da oluşabileceği unutulmamalıdır. Yapılan çalışmalarda N katlı herhangi bir betonarme yapının 2. katında veya (N-1). katında dolgu duvarların olmayışı, yapıda yumuşak kat düzensizliğinin oluşma riskinin daha fazla olacağını belirtmişlerdir (Ertürkmen ve Çağatay, 2016). Yumuşak katın yapı içindeki konumu, yapının temel periyodunu etkiler. Yumuşak kat en üst katlarda oluştuğunda, yapının periyodu daha düşük değerler alır (Asteris et al. 2015).

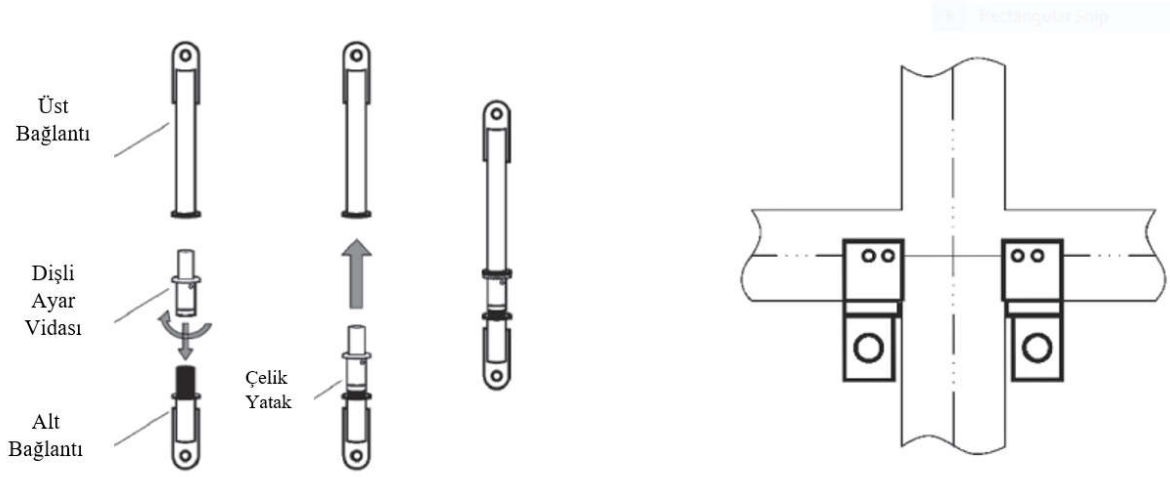
Yumuşak kat sorununa yönelik ortaya konulan yönergelerde genelde yumuşak kat düzensizliğinin bulunduğu kat mukavemeti ve rijitliği artırmaya yöneliktir (ASCE, 2000). Fakat yapılan araştırmalar bu yaklaşımın yapıda beklenen toplam hasarı azaltmadığını ve yumuşak katlarda yapılacak bu güçlendirmelerin binanın üst katlarında daha büyük hasarlar oluşturabileceğini göstermiştir. Ayrıca perde duvarları veya çelik çapraz bağlantıların yapıya eklenmesi gibi yaklaşımlar, bu yapıların mimari işlevlerine engel olabilmektedir (Salmon et al. 2019).

Yumuşak katın güçlendirilmesi için çelik plaka perde duvarların kullanılması gibi teknikler mevcuttur (Totter et al. 2018). Fakat bu çelik plaka perde duvarlar açık alana olan ihtiyacına ilişkin bazı mimari kısıtlamalar getirmektedir.

Eski betonarme yapılarda yumuşak kat çökme mekanizması riskini azaltmak için Agha Beigi (2014) tarafında geliştirilen GIB sistemi, 5 katlı zemin katında dolgu duvarların olmadığı yapıda yapısal analiz programı Sap2000 kullanılarak modellenmiş ve sonuçlar irdelenmiştir. GIB sistemi, yumuşak kat seviyesinde bulunan kolonların her iki tarafına monte edilen bir pim-pim desteği ve bir boşluk elemanından oluşuyor. Yapıların yanal yer değiştirmesi kritik bir değeri aştığında, Boşluklu Eğimli Destek (BED)'ler etkinleşiyor ve ilk katın süneklik ile mukavemetine katkıda bulunuyor. Böylece sünek bir yumuşak katın geliştirilmesine yol açıyor. Şekil 1, BED sisteminin üç ana performans aşamasını göstermektedir: a) başlangıç aşaması b) boşluk kapandığında c) BED'nin kolonun yanal ve dikey kapasite kaybını telafi ettiği son aşama (Agha Beigi, 2014). Önerilen BED modelinin detayı Salmon ve ark. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada tanımlanmış ve davranışını doğrulamak için deneysel olarak test edilmiştir. Şekil 2, BED elemanının genel şematik detayını ve Salmon ve ark. (2019) tarafından önerilen betonarme çerçevelerine bağlantısını tasvir etmektedir (Salmon et al. 2019).



Şekil 1. Boşluklu eğimli destekli sistem (BED) a) Başlangıç durumu b) Boşluğun kapandığı durum c) Nihai durum (Agha Beigi 2014).



Şekil 2. BED elemanının şematik detayı ve betonarme çerçevelerine bağlantısı (Salmon et al. 2019)

Bu çalışmanın amacı, zemin katta dolgu duvarların olmamasından kaynaklı yumuşak kat düzensizliği bulunan betonarme bir yapının performans analizi yapmak ve bu yumuşak kat düzensizliği etkisini azaltmaya yönelik çözümler sunmaktır. Kiriş ve kolonlarda etriye aralıklarında sıkılaştırma yapılarak, betonun hem dayanımını hem de sünekliği artırılabilir (Elyiğit ve Ekinci 2023) ilk etapta giriş kat kolonlarının etriye aralığında belli oranlarda sıkılaştırma yapılarak performans analizleri yapılmıştır. Sonraki aşamada ise yapının giriş kat kolonlarının boyutları belli oranlarda artırılarak yapının performans analizi yapılmıştır. Son aşamada ise yapıya perdenin dahil edilmesi ile yapının performansında iyileşmeler olduğu bilindiğinden (Şahin ve ark. 2013, Kasap ve ark. 2015, Yiğit 2019) yapıya betonarme perdeler ilave edilerek, yapı performansı üzerindeki yumuşak kat düzensizliği etkisi azaltılması amaçlanmıştır.

Daha Önceki Çalışmalar

Sivri (2003) yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında dolgu duvarların betonarme çerçevelerin deprem davranışına olan etkilerini irdelemiştir. Bu doğrultuda zemin kat hariç tüm katlarda dolgu ile zemin kat dahil tüm katlar dolgu duvarlı betonarme çerçeveler modellemiştir. Çalışmalar sonucunda dolgu duvarların yapının rijitliğini artırdığını ve yapı rijitliğindeki bu artışa bağlı olarak yapının periyodu ile yanal yer değiştirmelerinde azalmalar olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca zemin katta dolgu duvarların olmayışı yumuşak kat düzensizliğine sebebiyet verdiğini belirtmiştir. Yumuşak kattaki kat yer değiştirmesi dolgu duvarsız çerçevedeki kat yer değiştirmesinden daha büyük olduğunu rapor etmiştir (Sivri 2003).

Korkmaz ve Uçar (2006) yaptıkları çalışma kapsamında giriş kat kolonlarının daha yüksek olduğu ve dolgu duvarların mevcut olduğu betonarme yapıların deprem davranışındaki değişiklikleri incelemişlerdir. Bu amaçla, dolgu duvarların yapının tüm katlarında bulunduğu düzenli ve sadece giriş katta bulunmadığı düzensiz yapıların da analizleri yaparak, deprem davranışına etkileri incelenmeye çalışmışlardır. Ayrıca giriş kat yüksekliklerinin farklı olduğu yapıları da ele almışlardır. Yer değiştirme değerlerine bakıldığında, giriş kat yüksekliğinin diğer katlara göre daha fazla olması halinde kat yüksekliğini fazla olduğu giriş katta yatay yer değiştirmeler de daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir. Kat yüksekliğinin fazla olduğu ve dolgu duvarların olmadığı giriş katta yer değiştirmeler incelendiğinde ise yatay yer değiştirmelerin daha belirgin bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Deprem yükleri altında kat yüksekliğinin daha fazla olduğu ve dolgu duvarlarını olmadığı giriş kattaki yer değiştirmelerin fazla olmasına bağlı olarak görece kat ötelemelerinin diğer katlara göre giriş katında daha fazla olduğu belirtmişlerdir (Korkmaz ve Uçar 2006).

Kızıloğlu (2006) yaptığı çalışmada dolgu duvarların yapı üzerindeki etkisi, kütle ve rijitlik artışına olan katkısı ile yapının periyoduna olan etkisini irdelemiştir. Bu doğrultuda 4 ve 12 katlı dolgu duvarsız, dolgu duvarlı ve sıvalı dolgu duvarlı yapılar modellemiştir. Yaptığı çalışmalar sonucunda dolgu duvarların yapının dayanımını ve rijitliğini artırdığını gözlemlemiştir. Dolgu duvarların büyük oranda enerji sönmülediklerini belirtmiştir. Ayrıca özellikle sıvalı dolgu duvarların yapının periyodunda ciddi bir düşüşe yol açtığını rapor etmiştir (Kızıloğlu 2006).

Tezcan ve ark. (2007) Gölcük-Yukarı Körfez Mahallesi'nde 3 katlı bir binanın deprem anında yıkılmasının sebebi yumuşak kat düzensizliğinin olduğunu rapor etmişlerdir. Binanın 1 ve 2 katlarında dolgu duvarların varlığı ile zemin katta dolgu duvarların olmaması yapıda yumuşak kat düzensizliğine yol açmıştır. 1 ve 2 kattaki dolgu duvarların varlığı göz önüne alınmadan yaptıkları hesaplamada $\eta_k=1.1 < 2.0$ bulmuşlar ve DBYBHY-2007 yönetmeliğine göre

yapıda yumuşak kat düzensizliği bulunmamaktadır. Fakat 1 ve 2 katlardaki dolgu duvarlar matematik modellemede göz önüne alınarak yapılan hesaplamada $\eta_k=7.9>2.0$ bulmuşlar ve bu da DBYBHY-2007' ye göre yapıda yumuşak kat düzensizliğinin olduğunu göstermektedir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda dolgu duvarların matematik modellemelerde mutlaka dahil edilmelerini gerektiğini tavsiye etmişlerdir (Tezcan et al. 2007).

Birol (2010) yaptığı çalışmada 3, 5 ve 7 katlı binaları DBYBHY -2007 ve TS500-2000 yönetmeliklerine göre modellemiştir. Modellediği yapılarda diğer kat yükseklikleri sabit bırakarak zemin kat yüksekliklerini artırmıştır. Eşdeğer Deprem Yüğü yöntemi ile yaptığı analizler sonucunda zemin kat yüksekliğinin artırılmasına bağlı olarak ortaya çıkan yumuşak kat düzensizliğine sahip betonarme çerçevelerin üst kat kolon ve kirişlerinde hasar düzeylerinin azalmasına rağmen yumuşak kat düzensizliğinin olduğu zemin kat kolon ve kirişlerinde ciddi hasarların oluştuğunu saptamıştır (Birol 2010).

Karasu (2011) tez çalışmasında 3 katlı kat yükseklikleri sabit tüm katları dolgu duvarlı ve sadece giriş (zemin) katı dolgu duvarsız modellemeler yapmıştır. Çalışmasında Eşdeğer Deprem Yüğü, Artımsal Deprem Yüğü ve İtme yöntemlerini kullanmıştır. Yaptığı analizler sonucunda dolgu duvarların yapının deprem etkisi altındaki kapasitesine, yatay yer değiştirmelerine ve görelî kat ötelemelerine ciddi etkileri olduğunu belirtmiştir. Ayrıca dolgu duvarların yapının rijitliğini artırarak yapının periyodunun azalmasına neden olduğunu rapor etmiştir (Karasu 2011).

Tezcan ve ark. (2013) iki katlı tek açıklıklı betonarme model üzerinde yaptıkları çalışmada her iki katında duvar örülen Federal Acil Durum Yönetim Kurumu (FEMA) modeli ile her iki katında duvar örülmeyen DBYBHY-2007 modelli yapılarda yumuşak kat düzensizliğinin olmadığını tespit etmişlerdir. Ancak alt (zemin) katında duvar örülmeyen üst katında duvar örülü çerçevelerin tamamında yumuşak kat düzensizliğinin olduğunu bildirmişlerdir. (Tezcan et al., 2013)

Sandıkçı (2014) 6 katlı ve 12 katlı perdeli ve perdesiz betonarme yapılar üzerine bir modelleme çalışması yapmıştır. Yaptığı çalışmada yapılar arasında sadece zemin katı dolgu duvarsız üst katlar dolgu duvarlı olan modellerin zemin katında yumuşak kat düzensizliği oluştuğunu gözlemlemiştir. Ayrıca zemin kat yüksekliği arttıkça buna bağlı olarak yumuşak kat düzensizliğinin ortaya çıkma ihtimalinin arttığı gözlemlemiştir. Yaptığı modelleme ile yumuşak kat oluşumu açısından en olumsuz durumun dolgu duvarsız yüksek zemin kata sahip yapılarda ortaya çıktığı sonucuna varmıştır (Sandıkçı 2014).

Garip ve ark. (2017) Z4 zemin sınıfında kullanılarak yaptıkları modelleme çalışmasında, zemin kat yüksekliği, perde duvarın varlığı ve kat sayısının yumuşak kat düzensizliği üzerine

etkileri irdelemişlerdir. Bu doğrultuda zemin kat yüksekliği 3 metre ve 6 metre olacak şekilde 4, 6, 8 ve 10 katlı yapılar modellemişlerdir. Deprem yönetmeliğinde (DBYBHY -2007) Z4 zemin sınıfı için ölçeklendirilmiş 3 farklı deprem ivme kaydı kullanmışlardır. Zaman tanım alanında doğrusal elastik hesap ve dinamik analizler sonucunda, kat sayısı ve kat yüksekliğinin artması görelî kat ötelemelerini artırdığını rapor etmişlerdir. Ayrıca yapıda perde duvarların kullanılması, yapının rijitliğini artırdığını ve rijitlik artışından dolayı görelî kat ötelemeleri ile tepe noktası yer değiştirmesi azaldığını belirtmişlerdir (Garip et al. 2017).

Avcı (2018) zemin kat yüksekliği ile yumuşak kat düzensizliği arasında doğrudan bir ilişki olduğunu belirtmiştir. Çalışmasında Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1998)'e göre yapılmış 10 katlı bir yapı modellemiştir. Zemin kat yüksekliğini %25'e kadar artırmış ve kat yüksekliğindeki bu artışın yapı sismik davranışında dikkate değer farklara sebep olduğunu saptamıştır. Ayrıca zemin kat kat yüksekliğini %60 artırarak 4.5 metreye çıkarıldığı durumda ise yapıda yumuşak kat düzensizliğinin oluştuğunu rapor etmiştir (Avcı 2018).

Çomaklı (2019) yaptığı çalışmada betonarme çerçeve binalarda çeşitli yükseklikteki zemin katları kullanarak yumuşak kat düzensizliğini zeminin de etkisini göz önüne alarak inceleme yapmıştır. Bu amaç doğrultusunda Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY -2007) baz alarak 4, 8 ve 12 katlı binalar modellemiştir. Her bir modelde normal kat yüksekliği sabit 3 metre almıştır. Zemin kat yükseklikleri ise 3, 3.5 ve 4 metre olacak şekilde modellemiştir. Çalışmasında doğrusal olmayan itme analizi metodunu kullanmıştır. Çalışma sonucunda zemin kat yüksekliğindeki artışa bağlı olarak yapının dayanım değerlerinde ciddi azalmalar olduğunu ve zemin kat elemanlarında oluşan hasar seviyesini artırdığını gözlemlemiştir (Çomaklı 2019).

TBDY-2018'de Yumuşak Kat Düzensizliği

Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği olarak da bilinen Yumuşak kat düzensizliği 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TDY-2018) esaslarına göre, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, %5 ek dışmerkezlik etkileri de göz önüne alınarak herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı η_{ki} 'nin 2.0'den fazla olması sonucu ortaya çıkmaktadır. Yumuşak kat düzensizliği, TBDY-2018'de verilmiş iki adet eşitlik olan (1) ve (2) ile kontrol edilmektedir.

$$\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort} / ((\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}) > 2.0 \quad (1)$$

$$\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort} / ((\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}) > 2.0 \quad (2)$$

η_{ki} : Binanın i 'nci katında tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı

Δ_i : Binanın i 'nci katındaki azaltılmış görelî kat ötelemesi

h_i : Binanın i 'nci katının kat yüksekliği

Görelî kat ötelemelerinin hesabı, \pm %5 ek dışmerkezlik etkileri de göz önüne alınarak yapılacaktır

Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği Yapısal Mühendislik Enstitüsü (ASCE/SEI 7-10)'ne göre Yumuşak Kat Düzensizliği

- *Sert-Yumuşak Kat Düzensizliği*: Sert-Yumuşak kat düzensizliği, yatay rijitliğin, bir üst katın %70'inin altında veya üstteki üç katın ortalama rijitliğinin ortalamasının %80'in altında olduğu durumlarda var olarak tanımlanır (ASCE 2013).
- *Sert-Aşırı Yumuşak Kat Düzensizliği*: Sert-Aşırı Yumuşak Kat Düzensizliği, yatay rijitliğin, bir üst katın %60'ının altında veya üstteki üç katın ortalama rijitliğinin %70'inin altında olduğu durumlarda var olarak tanımlanır (ASCE 2013).

Eurocode 8

Eurocode 8'de yumuşak katları tanımlamak için herhangi bir faktör veya rijitlik kriteri yoktur. Eurocode 8'e göre, küresel ve yerel süneklik koşulları sağlanmalıdır. Diğer bir deyişle hem tüm yapı elemanları hem de yapı bir bütün olarak yeterli sünekliğe sahip olmalıdır. Eurocode 8, temel olarak, kapasite tasarım ilkeleri ile yumuşak kat göçme mekanizmalarını önlemeye odaklanır. Eurocode 8, kapasite tasarım ilkelerini kullanarak gevrek göçme önlemeyi amaçlar.

Eurocode 8, yapıdaki tüm kiriş ve kolonların Denklem (3) kriterleri karşılmasını gerektirir. M_{Rc} , çerçevenin belirtilen birleşim yerine bağlanan kolonların tasarım momenti değerlerinin toplamı, M_{Rb} , çerçevenin belirtilen birleşim yerine bağlanan kirişlerin tasarım momenti değerlerinin toplamını temsil etmek üzere;

$$\sum M_{Rc} \geq 1.3 \sum M_{Rb} \quad (3)$$

Dolgu Duvarların Betonarme Yapıların Deprem Davranışına Etkileri

Dolgu duvarların yatay yükler altında yapı üzerinde birçok olumlu etkisi vardır. Dolgu duvarlar yapının dayanımını, yatay yük taşıma kapasitesini arttırdığı, hâkim titreşim periyodunu düşürdüğü ve çerçeve rijitliğine katkı sağladığı analitik ve deneysel incelemelerden anlaşılmaktadır. Bu bölümde dolgu duvarların sırasıyla betonarme çerçevenin dayanımına,

yatay yük taşıma kapasitesine, rijitliğine, sünekliliğine ve titreşim periyoduna olan katkısı açıklanmıştır.

Dayanım

İnşaat mühendisliğinde dayanımı tanımlamak gerekirse, tüm yapı elemanlarının birlikte yapıya etkileyen yük veya yük etkilerine karşı koyma gücüdür. Geçmişte yaşanan birçok depremde oluşan hasarlar irdelendiğinde, dolgu duvarların yapının dayanımını olumlu yönde etkilediği söylenebilir. Daha önce yapılan araştırmalarda, yatay yükler altında dolgu duvarın yapının dayanımına olan katkısı araştırmak amacıyla dolgu duvarlı ile boş (dolgu duvarsız) betonarme çerçeve davranışları karşılaştırılmıştır.

Duvarların, duvar düzlemi içinde yatay derzlerine paralel ve dik etkileyen yükler altında dayanımları önemlidir. Derzlere yatay yönde gelen yüklere dayanım kesme dayanımı ve dik yönde gelen yüklere dayanım duvarın basınç dayanımıdır. Deprem yükleri açısından duvarın kesme dayanımı önemlidir. Ayrıca dolgu duvarın betonarme çerçevenin dayanımına olan katkısı, dolgu duvar malzemesini türüne, harcın dayanımına ve duvar işçiliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Bayülke 2003).

Doğru düzenlenmiş dolgu duvarlar yapının dayanım, rijitlik ve enerji yutma kapasitelerini pozitif yönde etkilemektedir. Aydın (2018), yaptığı deneysel çalışma kapsamında referans olan boş çerçeve sistemine dolgu duvar eklendiğinde sistemin rijitliği, dayanımı, enerji yutma kapasitesi gibi özelliklerinde önemli derecede artışlar meydana getirdiğini gözlemlemiştir.

Yakut ve ark. (2013), ülkemizin farklı bölgelerinde 28 adet betonarme bina üzerinde yaptıkları modelleme çalışma sonucunda, dolgu duvarların yapının rijitlik ve dayanımını önemli oranda etkilediğini belirtmişlerdir.

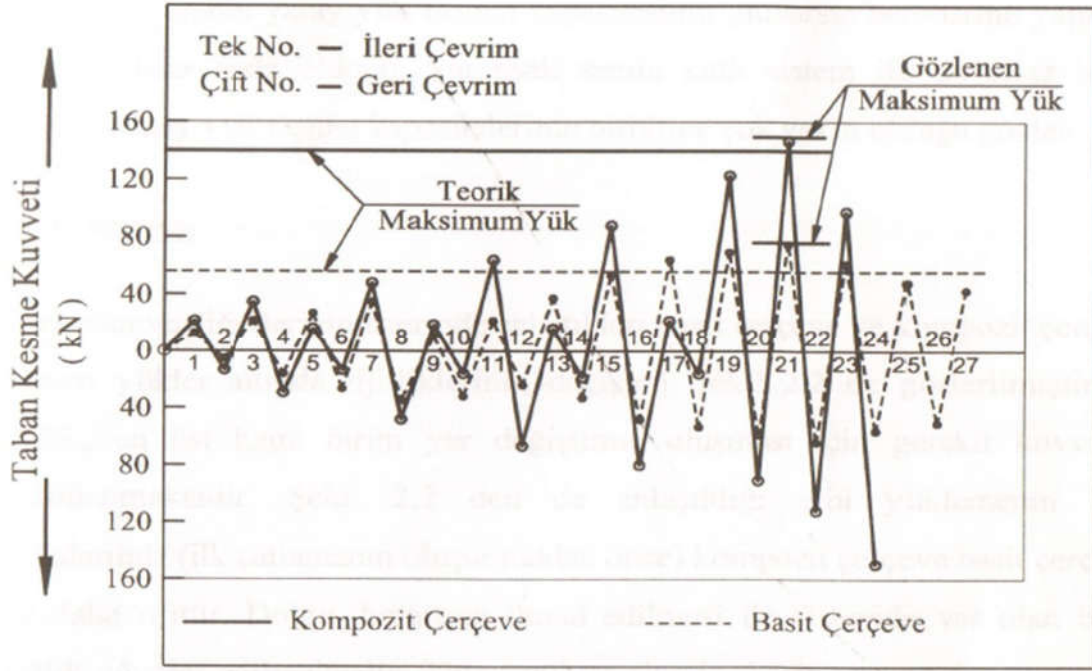
Sayın ve Demir (2019), 3, 5 ve 7 katlı iki açıklı dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız binalar üzerinde yaptıkları çalışmada, dolgu duvar bulunan binaların kolon ve kirişlerin hasar düzeylerini azalttığını rapor etmişlerdir (Sayın ve Demir 2019). Dolgu duvarların yapıya simetrik olarak dahil edilmesi, yapıdaki taşıyıcı sistemlerinde hasar seviyelerini azalttığını gözlemlemiştir (Akyürek ve ark. 2017). Zaman tanım aralığında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılarak dolgu duvar miktarı ve konumuna bağlı olarak yapılan analizde, dolgu duvar miktarındaki artışa bağlı olarak taşıyıcı elemanlarda hasar seviyesi düşmüştür (Çavdar ve ark. 2020).

Yük taşıma

Genelde statik hesaplamalarda briket, tuğla, beton vb. malzemelerden oluşan dolgu duvarların yatay ve düşey yük almadıkları kabul edilir. Fakat dolgu duvarlar özellikle düşük yatay yükler altında önemli rijitlik ve taşıma gücüne sahiptirler.

Yapılarda oluşan yatay yükleri taşıyamayacağı düşünülen dolgu duvarlar, deprem altında taşıma gücüne ulaşana kadar perde duvar davranışına benzer bir davranış sergiledikleri ve betonarme çerçevesi yapılarında sınırlı da olsa yatay yük taşıdıkları belirtilmektedir (FEMA 178).

Kompozit (dolgu duvarlı) ile dolgu duvarsız betonarme çerçevelerin yatay yükler altındaki davranışları incelemek amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. Govindan ve ark. 7 katlı ve tek açıklıklı, $\frac{1}{4}$ ölçeğinde özdeş iki tane betonarme çerçeve tasarlamışlardır. Çerçevelerden birisini tamamen dolgu duvar ile doldurmuşlar. Farklı çevrimli yükler altında her iki çerçevenin taban kesme kuvvetlerindeki değişim Şekil 3'te verilmiştir. Ayrıca teorik olarak hesaplanan en yüksek kesme kuvveti değeri de şekil üzerinde gösterilmiştir. Deneysel olarak gözlemlenen maksimum taban kesme kuvveti değerleri, teorik olarak hesaplanan taban kesme kuvveti değerlerinden daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmalar sonucunda kompozit çerçevenin yük taşıma kapasitesi, basit (dolgu duvarsız) çerçeveye göre yaklaşık 2 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir (Govindan ve ark. 1986). Ancak bu yük taşıma kapasitesi dolgu duvarı oluşturan malzemeyle doğrudan ilişkilidir. Çok boşluklu ve düşük dayanımlı malzemelerden yapılan dolgu duvarlı betonarme çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesi, basit çerçeveye göre en fazla %40 olduğu görülmüştür (Vintzeleou 1989).



Şekil 3. Çevrimli yükler altında çerçevelerin taban kesme kuvvetlerindeki değişim (Govindan ve ark. 1986)

Negro ve Verzeletti (1996), yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda, kompozit çerçevesel yapının yatay yük taşıma kapasitesi, basit çerçevesel yapıya oranla %50 daha fazla olduğu ve yumuşak kat düzensizliği bulunan betonarme yapı ile dolgu duvarlı betonarme yapının yatay yük taşıma kapasitelerinin neredeyse aynı olduğunu gözlemlemişler.

Mehrabi ve ark. (1996), dolgu duvarın yatay yük taşıma kapasitesini irdelemek amacıyla tek katlı, tek açıklıklı dolgu duvarlı, boşluklu tuğla duvarlı ve boşluksuz tuğla duvarlı betonarme çerçeveler üzerine bir dizi deneysel çalışmalar yapmışlardır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda, boşluklu tuğla duvarlı betonarme çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesi, dolgu duvarlı çerçeveye göre 2,1 kat daha fazla olduğu, boşluksuz tuğla duvarlı çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesi dolgu duvarlı çerçeveye göre 3,2 katı daha fazla olduğunu rapor etmişlerdir.

Betonarme çerçevede dolgu duvar bulunmadığı durumlarda kirişler daha çok yer değiştirme yaptığını, kirişlerin açıklık ortalarında kesme veya eğilme çatlakları ya da her ikisinin aynı anda meydana geldiği gözlemlenmiştir. Dolgu duvarlar bulunduğu durumlarda ise kirişlerde bu çatlakların bulunmadığı görülmüştür. Bunun sebebi ise dolgu duvarın dayanımına bağlı olarak kirişin düşey yükünden pay almasıdır (Bayülke 2003)

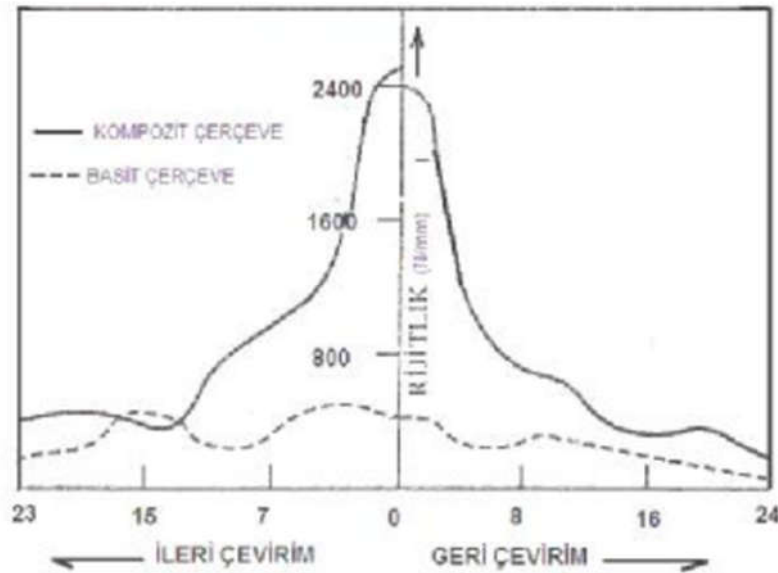
Sonuç olarak simetrik olarak binaya yerleştirilmiş dolgu duvarlar, binanın yatay yük taşıma kapasitesini önemli derece artırmaktadır (Akyürek ve ark. 2017)

Rijitlik

Genel anlamda rijitlik, uygulanan bir kuvvet etkisi altında elemanın deformasyona veya yer değiştirmeye ne ölçüde direnebileceği anlamına gelir. Govindan ve ark. (1996), ise rijitliği en üst katta birim yer değiştirme oluşması için gerekli olan kuvvet olarak tanımlamışlardır.

Yapılarda alanları bölümlere ayırmak için kullanılan dolgu duvarlar, hesaplamalarda yapısal eleman olarak düşünülmemektedir. Fakat yapılan deneysel çalışmalarda dolgu duvarlar, tekrarlı yükler altında yapının rijitlik, enerji yutma kapasitesi ve yatay yük taşıma kapasitesini artırdığı gözlemlenmektedir (Özdemir 2008; Kumbasaroğlu 2010). Ancak artan yükler altında dolgu duvarda çatlaklar oluşmakla birlikte duvarın yapının rijitliğe olan etkisi azalmaktadır (Aydın 2018).

Govindan ve ark. (1996), dolgu duvarlı ile dolgu duvarsız betonarme çerçevelerin rijitliklerini incelemek amacıyla tekrarlı yükler altında deneysel bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada yatay rijitliği, çerçevenin en üst katının birim yer değiştirme yapması için gerekli olan kuvvet olarak tanımlamışlardır. Yüklemin ilk aşamalarında dolgu duvarlı çerçevenin duvarsız çerçeveden 5 kat daha fazla rijit olduğunu gözlemlemişlerdir. Fakat artan yüklemeler sonucunda dolgu duvarda belirgin çatlaklar meydana gelmesiyle rijitlikte ciddi bir azalma olduğunu tespit etmişlerdir (Şekil 4). Deneysel çalışmada basit çerçevede servis yükü 36 kN iken kompozit çerçevede 73 kN'dur.



Şekil 4. Dolgu duvarlı ve basit çerçevede çevrimsel yükler sonucunda rijitliğin değişimi (Govindan ve ark. 1986)

Yatay yükler altında dolgu duvarlı yapıların dolgu duvarsız yapılara göre deplasmanlarında azalmalar olduğu bilinmektedir. Ayrıca dolgu duvarlar yapı rijitliğini

artırdığı için yapı periyodu ve yanal yer değiştirmeler de rijitliğe bağlı olarak azaldığı bilinmektedir (Karasu et al. 2011).

Negro ve Verzelletti (1996), dolgu duvarın rijitliğe etkisini irdelemişlerdir. Bu amaçla deneysel çalışmalarında iki doğrultuda iki açıklı 4 katlı çerçeveleri duvarlı ve duvarsız olarak teste tabi tutmuşlardır. Yaptıkları testler sonucunda yatay yükler altında duvarsız betonarme çerçevenin en üst katında oluşan en büyük yer değiştirme, duvarlı betonarme çerçevenin en üst katında oluşan en büyük yer değiştirmeden neredeyse 2,6 kat daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

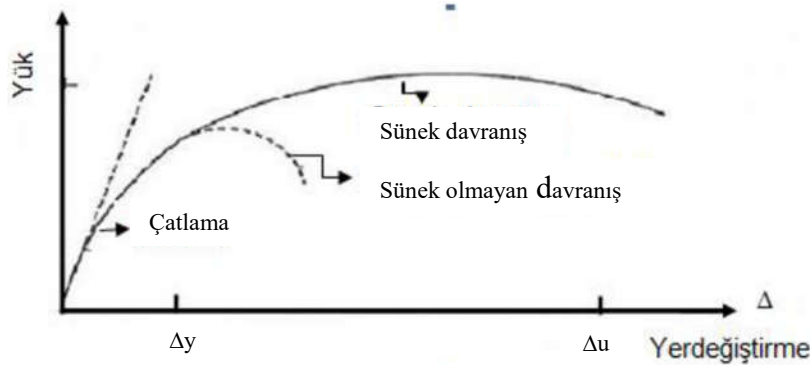
Sayın ve Demir (2019), 3, 5 ve 7 katlı iki açıklı dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız binalar üzerinde yaptıkları çalışmalar sonucunda, dolgu duvarlar binanın rijitliğini olumlu yönde etkilediğini söylemişlerdir.

Çavdar ve ark. (2020), 5 farklı oranda dolgu duvar kullanarak, yapı içindeki dolgu duvarların miktarı ve konumunun bina deprem performansına etkisini araştırmışlardır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemiyle yaptıkları analizlerde, bina içerisindeki dolgu duvar miktarındaki artışa bağlı olarak binalarda önemli oranda rijitlik artışı olduğunu gözlemlemişlerdir.

Süneklik

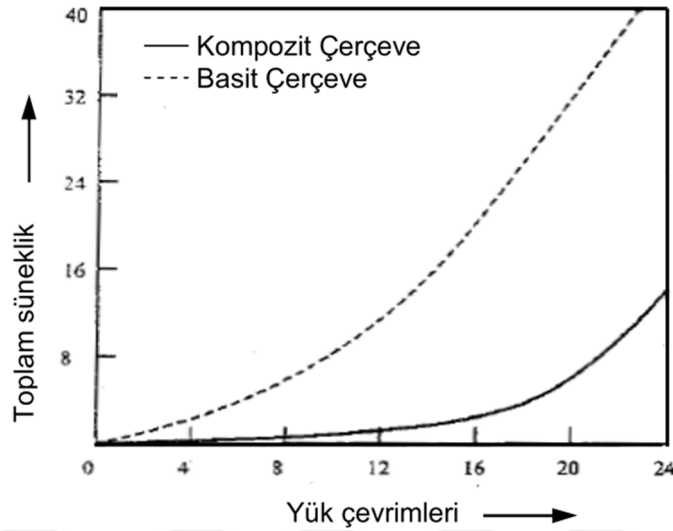
Süneklik, bir malzemenin veya yapının bozulmadan büyük deformasyonlara ne ölçüde maruz kalabileceğini tanımlar. Deprem mühendisliğinde ise süneklik bir binanın yer sarsıntısının neden olduğu büyük yanal yer değiştirmelere ne kadar dayanacağını belirlemek için kullanılır. Tekrarlı yükler altında süneklik ne kadar fazla ise yapının enerji yutma özelliği de o kadar fazla demektir (Bilir 2010). Matematiksel olarak süneklik (μ), Denklem (4)'e eşitlikte ifade edilen ulaşılacak toplam yer değiştirmenin (Δu), elastik sınıra ulaşıldığındaki yer değiştirmeye (Δy) oranı olarak ifade edilebilir (Celep ve Kumbasar 2000).

$$\mu = (\Delta u / \Delta y) \quad (4)$$



Şekil 1. Sünek ve sünek olmayan davranışa ait yük-yer değiştirme eğrisi

Govindan ve ark. (1986), yaptıkları deneysel çalışmada basit betonarme çerçevenin kompozit çerçeveye oranla yaklaşık 3,29 kat daha fazla sünek bir davranış gösterdiğini gözlemlemişlerdir (Şekil 6).



Şekil 6. Tekrarlı ve yön değiştiren yükleme etkisinde sünekliklerin karşılaştırılması (Govindan ve ark. 1986)

Titreşim periyodu

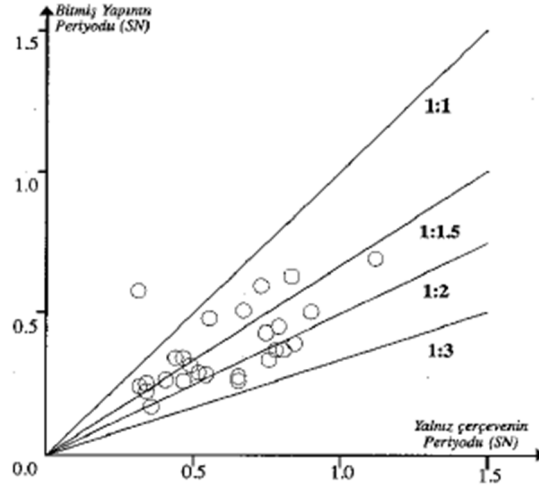
Herhangi bir depreme maruz kalmamış yapının rijitliği en üst seviyededir. Genellikle yapı tasarımlarda pek dikkate alınmayan ve hiç yük almayacağı düşünülen dolgu duvarlar, yapının rijitliğine önemli katkı sağlamaktadır. Dolgu duvarlar basit bir çerçevenin rijitliğini yaklaşık 2 ile 4 kat artırabilmektedir. Ayrıca dolgu duvarların ağırlığı düşünüldüğünde rijitliğe katkısı daha da fazla olabilmektedir. Yapının periyodunda dolgu duvarların bu ağırlığından dolayı artış gözlenmektedir. Fakat dolgu duvarların yapıya kattığı rijitlikten dolayı, yapının periyodunda azalmaya yol açmaktadır. Düşük bir yatay yük seviyesinde bu davranış değişikliği gözlemlenmiştir. Ancak yapı büyük yatay yükler maruz kaldığında dolgu duvarların yapının periyot ve rijitliğine katkısı azalmaktadır (Bayülke 2003).

Basit çerçeveli betonarme yapı ile kompozit çerçeveli betonarme yapının periyotları kıyaslandığında, periyotlar arasında ciddi değişimler olduğu gözlemlenmiştir (Bayülke 1989).

Betonarme çerçeveli bir yapıda dolgu duvarlar dikkate alınmadan analitik yöntemlerle hesaplanan boş çerçevenin periyodu, dolgu duvarlı çerçeveli sistemin periyodundan neredeyse 2 kat daha büyük olabilmektedir (Bayülke 1998).

Bayülke (1998) dolgu duvarın yapının periyodu üzerinde etkisini araştırmak amacıyla Ankara ve çevresinde 4 ile 5 katlı yapılar üzerinde yapmış olduğu deneysel çalışmada, basit

çerçeve ve kompozit çerçeve titreşim periyotları arasında %70 ile %100 azalmalar olduğunu belirtmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Betonarme Çerçevesiz Yapılarda dolgu duvarlarının yapı periyotlarına etkisi (Bayülke 1998)

Akyürek ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada dolgu duvarlar yapıya simetrik olarak yerleştirilmesi, yapı periyodunda önemli derecelerde azalmalara yol açtığını rapor etmişlerdir.

Çavdar ve ark (2020), dolgu duvar miktarına bağlı olarak kurdukları 5 farklı bina modellemiştir. Çalışma sonucunda bina içindeki dolgu duvarı miktarına bağlı olarak bina periyodunda yaklaşık olarak %47 ile %66 arasında bir azalmalar olduğunu saptamışlar. Ancak artan deprem yükleri altında dolgu duvarda çatlaklar oluşmaya başlamakla birlikte yapının periyodunda artış olur ve duvarın yapının rijitliği ile periyoduna katkısı azalmaya başlar (Bilir 2010).

KURAMSAL TEMELLER

Dolgu Duvarların Modellenmesi

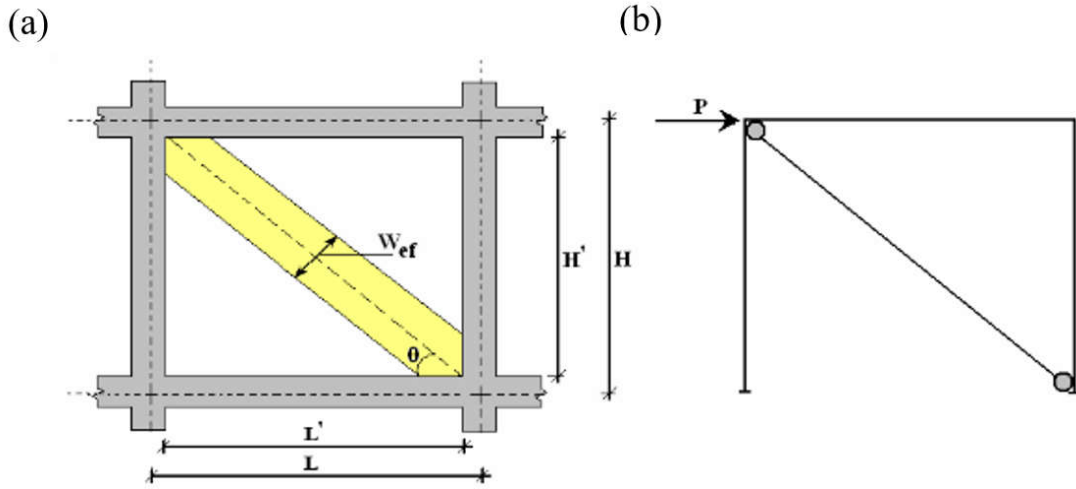
Yatay yükler altında dolgu duvarların davranışı ile betonarme çerçeve sistemlere olan etkileri birçok araştırmacı tarafından irdelenmiştir. Bu doğrultuda yapılan araştırmalar sonucunda mikro modelleme ve makro modelleme olmak üzere iki çeşit modelleme yöntemi sunulmuştur. Mikro modelleme yöntemi genelde sonlu elemanlar yöntemine dayanmaktadır. Budak (1997), yaptığı çalışmada dolgu duvarı sonlu elemanlar yöntemi kullanarak modelleme yapmıştır (Budak 1997). İkincisi ise dolgu duvarların yapının bir bütün elemanı olarak matematiksel hesaplamalara yansıtıldığı makro modellemelerdir.

Dolgu duvarın çerçeve davranışına olan etkisini eşdeğer diyagonal basınç çubuğu olarak modellenmesi fikri 1958'de Palyakov (1960) tarafından önerilmiştir. Tavsiye edilen bu yaklaşım daha sonra Holmes (1961) tarafında malzeme özellikleri özdeş olan, dolgu panelleri özdeş kalınlıkta ve dolgu duvarın diyagonal uzunluğunun 1/3'ü genişliğinde olacak şekilde eş değer mafsallı çubuk olarak ilerletmiştir.

Düşük yatay yükler altında dolgu duvar ile çerçeve sistem birlikte hareket etmektedir. Fakat artan yatay yüklerden dolayı deformasyonların artmasıyla betonarme çerçeve sistem eğilme modunda hareket etmeye çalışacaktır. Ancak dolgu duvar çerçevenin bu eğilme hareketine engel olmaktadır. Lakin yatay yük miktarı arttıkça betonarme çerçeve ile dolgu duvar birleşim noktalarında açılmalar oluşmaktadır. Bu açılmalar başlangıçta çekme çapraz bölgesindeki karşılıklı iki köşe yakınlarında başlamaktadır. Artan yatay yükler altında bu açılmalar giderek genişlemekte ve dolgu duvarda, basınç kuvvetlerinin aktif olduğu çapraz bir basınç bölgesinin oluştuğu gözlemlenmektedir. Bu bölge Şekil 8a'da taralı alan ile gösterilmiştir. Bu basınç bölgesi statik hesaplamalarda Şekil 8b'de görüldüğü gibi sanal basınç çubuğu olarak modellenmektedir (Onur 2003).

Yapılacak olan modellemelerde dolgu duvarların da hesaba dahil edilmesi, dolgu duvarın geometrik ve mekanik özelliklerinin belirlenmesini son derece önemli kılmaktadır. Smith (1962,1966,1967) dolgu duvarın eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenmesinde çubuğun mekanik özelliklerini belirlemek için hem deneysel hem de analitik çalışmalar yapmıştır. Bu amaçla kompozit çerçevenin yatay yükler altındaki davranışını irdelenmiştir. Çalışmalar sonucunda kompozit çerçevenin rijitliği ve dayanımı, dolgu duvarın boyutuna, fiziksel özelliklerine ve duvar ile kolon arasındaki temas uzunluğuna bağlı olduğunu

belirtmiştir. Dolgu duvarın sanal basınç çubuğu olarak kullanılması için ilk başta Federal Acil Durum Yönetim Kurumu (FEMA) tarafından önerilen Denklem (5-8) kullanılmaktadır. Bu bağıntıları TBDY-2018 ile karşılaştırdığımızda tamamen aynıdır.



Şekil 8. (a) Yatay yük etkisi altında duvarda oluşan basınç bölgesi (b) duvarları temsil eden Eşdeğer Basınç Çubuk

$$d = \sqrt{H^2 + L^2} \quad (5)$$

$$\lambda = \left(\frac{E_m \cdot t \cdot \sin 2\theta}{4E_s \cdot I_c \cdot H'} \right)^{1/4} \quad (6)$$

$$\omega_{ef} = 0,175(\lambda H)^{-0,4} \sqrt{H^2 + L^2} \quad (7)$$

w_{ef} : Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliği

λ : Dolgu ile çerçevenin rijitlik parametresi

H : Kat yüksekliği

E_m : Eşdeğer diyagonal basınç çubuğunun elastisite modülü

H' : Net yükseklik

θ : Diyagonal basınç çubuğunun yatayla yaptığı açı

L : Çerçeve açıklığı

E_s : Çerçeve malzemesinin elastisite modülü

t : Dolgu duvar kalınlığı

I_c : Kolon atalet momenti

Dolgu Duvarın Elastisite Modülü

Dolgu duvarın betonarme binaların davranışına etkisini belirlemek için kullanılacak olan diyagonal basınç çubuğu metodu için çok önemli bir unsur olan dolgu duvarın elastisite modülü birçok araştırmacı tarafından irdelenmiştir. Yapılan araştırmalar neticesinde dolgu duvarın elastisite modülü, duvarda kullanılan tuğlanın basınç dayanımına, cinsine, kullanılan

sıvanın dayanımı ve kalınlığına gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Kızıloğlu 2006)

Dolgu duvarın elastisite modülünün belirlenmesinde araştırmacılar ile yönetmelikler bazı bağıntılar önermişlerdir. Paulay ve Priestley (1992) Denklem (8) biri önerirken, Çıtıptıoğlu ve ark. (1996), kullanılan harcın cinsine bağlı olarak aşağıdaki bağıntıları önermiştir (9 ve 10). $(f_c)_T$ ve f_m ' dolgu duvar basınç dayanımını temsil etmek üzere;

$$E=700*(f_m') \quad (8)$$

$$E=500*(f_c)_T \text{ (Kireç harçlı)} \quad (9)$$

$$E=1000*(f_c)_T \text{ (çimento harçlı)} \quad (10)$$

FEMA ise dolgu duvarları iyi, orta ve zayıf olarak üç gruba ayırmış ve iyi, orta ve zayıf dolgu duvarın basınç dayanımı sırasıyla 6,20 MPa, 4,10 MPa, 2,06 MPa kabul etmiştir. Elastisite modülünü aşağıdaki Denklem (11) ile tanımlamıştır. f_m , dolgu duvar basınç dayanımı temsil etmek üzere;

$$E = 500 * (f_m) \quad (11)$$

Dolgu duvar inşasında kullanılan tuğla malzemesinin elastisite modülü için yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sayısal değerler aşağıda Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Tuğla Duvarına Ait Elastisite Modülleri (Beklen 2009)

Yıl	Araştırmacı	E_d (MPa)	E_d/E_c
1995	Aydoğdu	5200	1/6
1996	Erkaya	6000	1/5
1999	Yalçın	1240	1/24
1999	Tüzün	5000	1/6
2002	Çağatay	2850	1/10
2003	Öktem	6000	1/2
2004	Erçetin	15200	1/2
2005	Karşlıoğlu	1393	1/20
2006	Dündar	700	1/36
2006	Özdoğu	1650	1/15
2006	Budak	17000	1/1.7
2006	Çağlayan	714	1/40
2006	Tarakçı	1000	1/28
2006	Dönmez	3000	1/10

TBDY-2018 bölüm 11.2.13'te dolgu duvarın elastisite modülünün belirlenmesinde dikkat edilecek hususlara değinilmiştir. Buna göre ya TS EN 1052-1'e göre ya gerekli deneyler

yapılarak ya da f_k , dolgu duvarın karakteristik basınç dayanımını temsil etmek üzere aşağıdaki denklemler kullanılarak belirlenecektir.

$$\text{Yapısal çözümler için;} \quad E=750 \cdot f_k \quad (12)$$

$$\text{Donatılı paneller ile oluşturulmuş duvarlar için;} \quad E=450 \cdot f_k \quad (13)$$

Ayrıca TBDY-2018 dolgu duvarın kayma modülü (G_{duv}), duvarın elastisite modülünün $2/5$ 'i olarak kabul edilmiştir.

Dolgu duvarın karakteristik basınç dayanımı belirlenmesi, TBDY-2018 bölüm 11.2.7'de ele alınmıştır. Buna göre dolgu duvar karakteristik basınç dayanımı, f_k , iki farklı yöntemle belirlenebilir. Birincisi, TS EN 1052-1'e göre dolgu duvar numuneleri üzerine yapılacak deneyler ile, ikincisi dolgu duvar ile harç üzerine sırasıyla TS EN 772-1 ve TS EN 1015-11 standartlarına göre yapılacak deneylerle elde edilen basınç dayanımlarını kullanarak belirlenebilir.

Bu çalışmada dolgu duvarlar makro modellemelerden olan iki ucu mafsalı eşdeğer diyagonal basınç çubuğu olarak modellenmiştir. Dolgu duvar basınç dayanımı FEMA tarafından önerilen 4,1 MPa alınmış ve yine FEMA tarafından önerilen Denklem (11) kullanılarak dolgu duvar elastisite modülü 2255 MPa alınmıştır.

Statik İtme Analizi

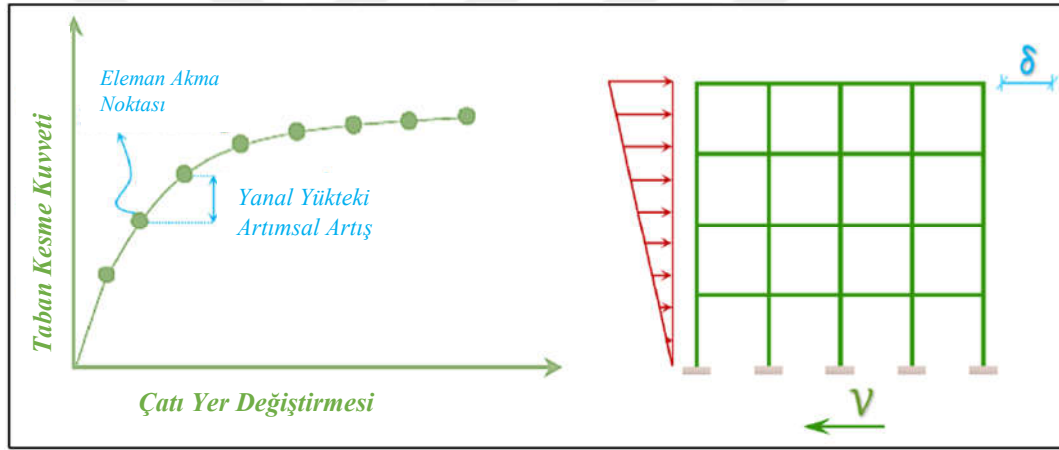
Temel olarak, bir itme analizi, bina için bir kapasite eğrisi geliştirmek için gerçekleştirilen bir dizi artımlı statik analizdir. Kapasite eğrisine dayanarak, tasarım depreminin bina üzerinde üreteceği yer değiştirmenin tahmini olan bir hedef yer değiştirme belirlenir. Bu hedef yer değiştirmede yapının maruz kaldığı hasarın kapsamı, tasarım düzeyinde yer sarsıntısına maruz kaldığında binanın maruz kaldığı hasarın temsilcisi olarak kabul edilir.

İtme analizi, bir yapıyı, yer sarsıntısına maruz kaldığında yapının maruz kalacağı atalet kuvvetlerini temsil eden, monoton olarak artan bir yanal yük modeline tabi tutarak gerçekleştirilir. Artımlı artan yükler altında kolon, kiriş gibi çeşitli yapısal elemanlarda akmalar meydana gelir. Sonuç olarak, her olayda yapı rijitliğinde bir kayıp yaşar. Bir itme analizi kullanılarak, karakteristik bir doğrusal olmayan kuvvet-yer değiştirme ilişkisi belirlenebilir.

Nonlineer statik itme analizi uluslararası kodlar ile yönetmelikler tarafında geniş çapta kabul gören bir yöntem olmasına rağmen, itme analizi gerçekleştirirken kesin sonuçlar elde etmek için moment-eğrilik, moment-dönme vb. gibi parametreler dikkatlice düşünülmelidir (Dousti 2019).

İtme analizi sayesinde, elemanların akma sırası, katlar arası ötelenmeleri, binaların çökme mekanizması ve mafsalları oluşumlarının tamamının gerçekleştirildiğini ve hesaplanabildiğini belirtmekte fayda var (Dousti 2019). Sağladığı bu faydalardan dolayı, doğru bir şekilde uygulanması adına FEMA, ASCE, TBDY-2018 gibi birçok kod ve yönetmelikte ele alınmıştır.

İtme analizi, temelde kuvvet-yer değiştirme etkisini ortaya koyan, binanın kapasite eğrisini belirleyen kademeli bir statik yaklaşımdır. Prosedürü sade bir şekilde ifade edilecek olursa, yapısal modeli kademeli olarak yatay yüklere maruz bırakmaktır. Yapıya uygulanan itme yükü kademeli olarak artırılır ve birkaç adım sonra yükteki bu kademeli artış, yapısal elemanlarda akmaların başlamasına neden olur. Daha sonra yapının genel rijitliğinde meydana gelen azalma sonucunda non-lineer kuvvet-yer değiştirme grafikleri elde edilir (Şekil 10). Bu yükleme durumu yapı göçme noktası olarak bilinen duruma kadar devam eder ve tepe noktası yer değiştirmesi ile taban kesme kuvveti ilişkisini verir.



Şekil 9. Çerçeve sistemin statik itme eğrisi (Dousti 2019)

Sismik yükler altında betonarme yapıların davranışı yeterince esnek olmadığından, betonarme yapıların inelastik performansına plastik akma etkileri hâkim olacaktır. Dolayısıyla statik itme analizinin doğruluğu, analitik modellerin bu plastik akma etkilerinin ne derece de doğru yakaladığına bağlı olacaktır.

Genel olarak, çerçeve yapıların itme analizi için analitik modeller iki ana tipe ayrılabilir:

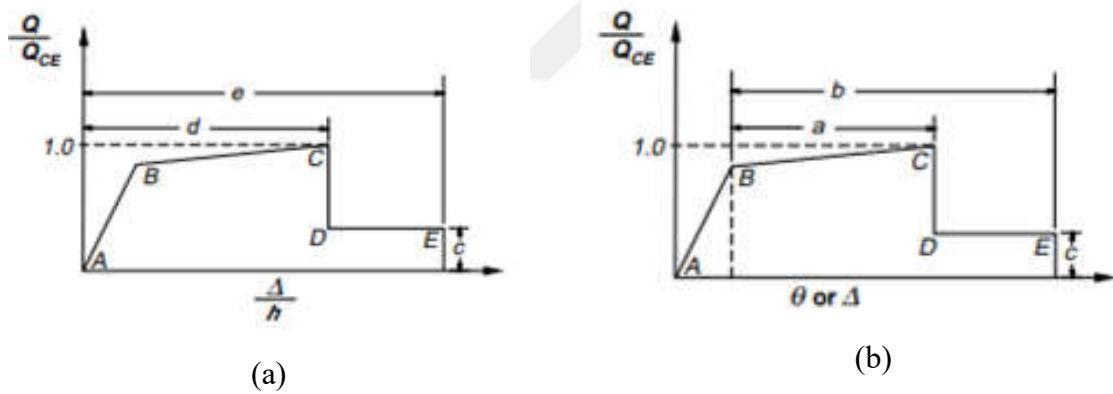
1. Plastik bölge (Dağıtılmış plastisite)
2. Plastik mafsalları (Konsantre plastisite)

Plastik mafsalları yaklaşımı plastik bölgeye göre daha basit bir yöntem fakat bu yöntem, basınç ve çift eksenli eğilme ile burkulma etkilerinin birleşik eylemleri altında şiddetli akmayı içeren daha karmaşık eleman davranışını yakalama konusunda yetersiz kalabilir.

Plastik mafsal hipotezine göre yapıya etkiyen yükler altında belirli yapı eleman kesitlerinde kalıcı şekil değiştirmeler oluşmaya başlar. Oluşan bu kalıcı şekil değiştirmeler kesitlerin belirli bir bölgesinde toplandığı varsayılır ve bu yığılı bölgelerdeki kalıcı şekil değiştirmeler plastik mafsal ile tanımlanır. Kesitte plastik mafsalların olduğu bölgeler dışında kalan bölgelerde kesit elastik davranış sergilediği varsayılmaktadır.

Kolon ve kirişler, yığılı plastik mafsal modelleri, yayılı plastik mafsal modelleri veya gerekli standartlara göre yapılan deneyler sonucunda davranışı, yanal yüklemeye tabi betonarme kiriş ve kolon bileşenlerinin önemli özelliklerini yeterince gösterilen diğer modeller kullanılarak modellenebilir (FEMA 273).

Deneylemlerle doğrulanmış farklı yük deformasyon ilişkileri dışında, bir plastik mafsalın genel olarak monoton yükleme altında yük-deformasyon ilişkisi Şekil 10'da gösterilmiştir. Şekil 10, doğrusal olmayan statik itme analizi kullanılarak değerlendirilen çoğu beton bileşenleri için geçerli olabilecek bir yük deformasyon ilişkisini temsil etmektedir. Burada B önemli akmalarmın olduğu noktayı temsil eder, C, yanal yük direncinin önemli ölçüde kaybolduğu noktaya karşılık gelir ve E noktası ise yer çekimi yük direncinin kaybolduğu noktayı temsil etmektedir (FEMA 273).



Şekil 10. Genel yük deformasyon ilişkisi (a) deformasyon (b) deformasyon oranı (FEMA 273)

Kapasite spektrum analizi

Mühendislik açıdan bir yapının genel kapasitesi yapının tek tek bileşenlerinin dayanım ile deformasyon kapasitelerine bağlıdır. Yani yapının genel kapasitesi yapıyı oluşturan tüm elemanların kapasitelerine bağlıdır. Kapasite bazlı yapılan bir statik itme analizi prosedür, yapının genel bir kuvvet-Yer değiştirme kapasitesi diyagramına yaklaşmak için üst üste bindirilmiş bir dizi elastik analiz kullanılır. Yapının matematiksel modeli, akma bileşenleri azaltılmış direnci hesaba katacak şekilde düzenlenir. Önceden belirlenmiş bir sınıra ulaşıncaya kadar tekrar bir yanal kuvvet uygulanır. İtme kapasite eğrileri, elastik limitler aşıldıktan sonra yapının nasıl bir davranış sergilediği konusunda fikirler verir.

Bu yaklaşım, yapının kapasite spektrumu alınırken kesişme noktasından elde edilen yapının depreme maruz kaldığında beklenen tepkisinin şematik bir gösterimi ile sonuçlanan doğrusal olmayan bir statik prosedürün gerçekleştirildiği kapasite spektrumu yaklaşımıdır ve yapı üzerindeki sismik yer değiştirme talebinin gösterimi olan talep spektrumu ile kesişir. Bu yöntem, sistemin itme eğrisinin elde edilmesi, yapının kapasite eğrisinin lineer hale getirilmesi ve daha sonra idealleştirilmiş eğrinin ivme ve yer değiştirme açısından tepki spektrumuna dönüştürülmesiyle gerçekleştirilir (FEMA 273).

Mod kütesine göre spektral ivme S_a , taban kesme kuvveti V , binanın ağırlığı W ve birinci modun kütle katılımını α_1 , temsil etmek üzere, spektral ivme Denklem (14)'te verilmiştir.

$$S_a = \frac{\left(\frac{v}{w}\right)}{\alpha_1} \quad (14)$$

Benzer şekilde spektral yer değiştirmeyi elde etmek içinde Denklem (15)'te gösterilen hesaplamalar yapılır. Spektral yer değiştirme S_d , modal büyütme Γ_1 , çatı yer değiştirmesi U_r ve çatı seviyesine göre birinci modun şekil değerini ϕ_{r1} temsil etmek üzere:

$$S_d = \frac{U_r}{\Gamma_1 \phi_{r1}} \quad (15)$$

Süneklik seviyelerini elde etmek için yüzde beş sönüm uygulanan spektrumun elastik ve inelastik davranışı elde edilir. Daha sonra kapasite ve talep eğrilerinin kesişme noktası olan performans noktası öncesindeki süneklik büyüklükleri hesaplanarak tek serbestlik dereceli sisteme karşılık gelen inelastik yer değiştirme olarak seçilir. Sonraki adımda ise çatı yer değiştirmeyi (U_r) hesaplamak için hesaplanan inelastik talebi yukarıda belirtilen Denklem (15) ile dönüştürmek olacaktır (ATC 40 1996).

Yer değiştirme katsayısı yaklaşımı

Bu yaklaşım, yer değiştirme talebini hesaplamak için basit bir prosedür olan yer değiştirme katsayısı yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda kullanılan yöntemin avantajı kapasite eğrisini dönüştürmeye ihtiyaç duyulmamasıdır. Kapasite eğrisinin çift doğrusal gösterimi üretilerek ve efektif periyod hesaplanarak gerçekleştirilir (FEMA 273). Sırasıyla T_e ve T_1 efektif ve temel periyodu, K_i ve K_e elastik yanal rijitlik ve efektif yanal rijitliği temsil etmek üzere;

$$T_e = T_1 \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (16)$$

Sonrasında hedef yer değiştirmeyi hesaplamak için aşağıda verilen Denklem (17) ile Denklem (18) kullanılır.

$$\delta_t = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot S_d \quad (17)$$

$$S_d = \frac{S_a T_e^2 g}{4\pi^2} \quad (18)$$

Burada; δ_t , beklenen en büyük elastik olmayan yer değiştirmeyi, C_0 , C_1 , C_2 ve C_3 , efektif periyoda (T_e) göre elastik spektral yer değiştirmeyi değiştiren katsayıları temsil etmektedir.

Tek modlu itme yöntemleri

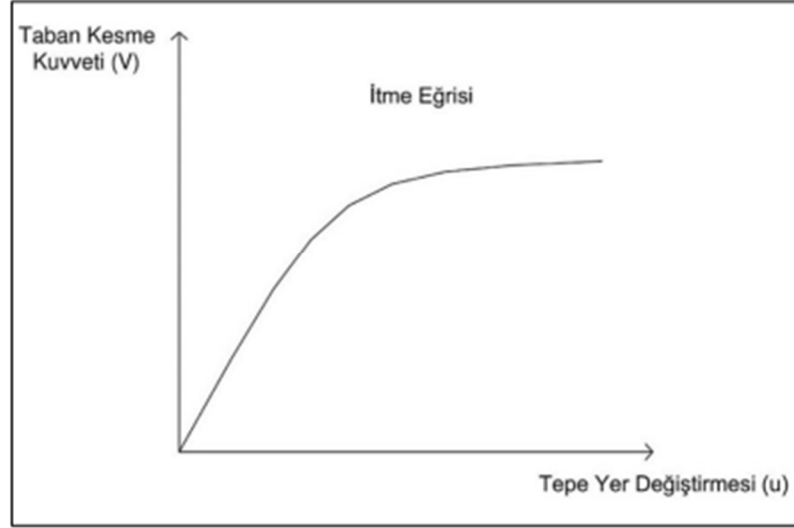
Tek Modlu İtme Yöntemleri, TBDY-2018 Bölüm 4'te açıklanan doğrusal Mod Birleştirme Yönteminin tek modlu uygulamasının doğrusal olmayan artımsal karşılığı olarak temsil edilmektedir. TBDY (2018), tek modlu itme analizinin uygulayabilmesini üç Őarta bağlamıştır. Bunlar;

- a. Herhangi bir katta ek dışmerkezlik dikkate alınmadan doğrusal elastik davranışa dayalı olarak hesaplanan burulma düzensizliği faktörü $\eta_{bi} < 1,4$ koşulunu sağlamalıdır.
- b. Dikkate alınan sismik doğrultudaki doğrusal elastik davranış baz alınarak hesaplanılan hâkim titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütesinin toplam bina kütesine oranının en az 0,70 olmalıdır.
- c. Bina Yükseklik Sınıfı ≥ 5 olmalıdır.

Tek Modlu İtme Yöntemleri'nde, dikkate alınan deprem doğrultusunda birinci (hâkim) titreşim mod Şekli ile orantılı olacak Şekilde deprem yer değiştirme gereksinimi sınırına kadar monotonik olarak adım adım uygulanan deprem yükü artımlarının etkisi altında, taşıyıcı sistemde ortaya çıkan yer değiştirme, plastik dönme ile plastik uzama ve kuvvet artımları değerleri elde edilir.

Sabit tek modlu itme

Sabit tek modlu itme metodunda, dikkate alınan (X) deprem doğrultusunda k'ıncı itme adımında katlara etkiyen sismik yükü artımları, sismik olmayan yüklemelerden sonraki birinci adımda belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod Şekli'ne göre hesaplanan kat modal etkin kütleleri cinsinden ifade edilirler. Yapılacak olan itmede, yükleme yapı göçme noktası olarak bilinen duruma kadar devam eder ve tepe noktası yer değiştirmesi ile taban kesme kuvveti ilişkisini verir (Şekil 11).



Şekil 11. Çerçeve sistemin statik itme eğrisi (Egi 2021)

Statik itme analizi sonucunda elde ettiğimiz statik itme eğrisine bazı koordinat dönüşümleri yapılarak eğrinin modal yer değiştirme – modal ivme eğrisine ulaşılır. Modal kapasite diyagramı, belirlenmiş olan deprem etkisi altında modal yer değiştirme talebi ve bu talebe bağlı olarak yapıda oluşan iç kuvvet ve plastik yer değiştirme taleplerinin hesaplanmasına imkân tanır.

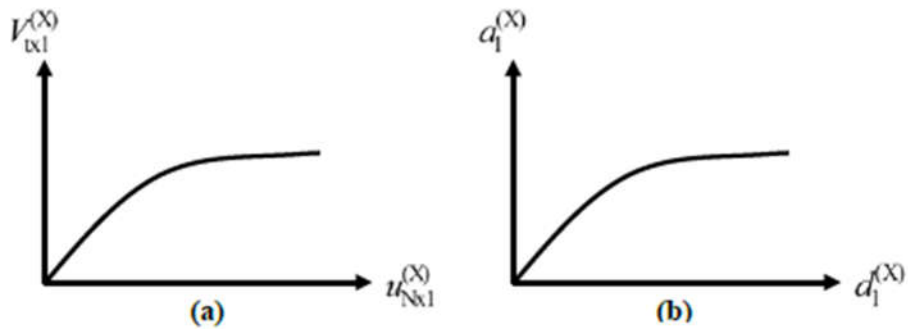
Şekil 12a gösterilen geleneksel itme eğrisi (taban kesme kuvveti – tepe yer değiştirme) ve bu eğrinin koordinatlarını Denklem (19) ve Denklem (20)’den faydalanarak Şekil 12b’de gösterilen modal kapasite diyagramı (modal sözde ivme– modal yer değiştirme) elde edilir.

$$a_1^{(X,k)} = \frac{V_{tx1}^{(X,k)}}{m_{tx1}^{(X,k)}} \quad (19)$$

$$d_1^{(X,k)} = \frac{u_{Nx1}^{(X,k)}}{\Phi_{Nx1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}} \quad (20)$$

$a_1^{(X,k)}$: Birinci moda ait modal tek serbestlik dereceli sistemin modal sözde-ivmesi

$d_1^{(X,k)}$: Birinci moda ait modal tek serbestlik dereceli sistemin modal yer değiştirmesi [m]



Şekil 12. İtme eğrisi ile modal kapasite diyagramı (TBDY-2018)

Dikkate alınan deprem doğrultusu ile birinci titreşim modu için modal katkı çarpanı aşağıdaki denklemden elde edilir

$$\Gamma_1^{(X)} = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i(x)n}}{\sum_{i=1}^N (m_i \phi_{ixn}^2 + m_i \phi_{iyn}^2 + m_{i\theta} \phi_{i\theta n}^2)} \quad (21)$$

$$m_{ix1}^{(x,1)} = m_i \phi_{ix1}^{(1)} \Gamma_1^{(x,1)} \quad (22)$$

$$m_{iy1}^{(x,1)} = m_i \phi_{iy1}^{(1)} \Gamma_1^{(x,1)} \quad (23)$$

$$m_{i\theta 1}^{(x,1)} = m_i \phi_{i\theta 1}^{(1)} \Gamma_1^{(x,1)} \quad (24)$$

Burada; $m_{ix1}^{(x,1)}$, $m_{iy1}^{(x,1)}$ ve $m_{i\theta 1}^{(x,1)}$ birinci adımda hesaplanan kat etkin kütlelerinin birinci mod karşılıklarıdır.

$\phi_{ix1}^{(1)}$: i'inci katta birinci itme adımında belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şekli'nin x doğrultusundaki genliği

$\phi_{iy1}^{(1)}$: i'inci katta birinci itme adımında belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şekli'nin y doğrultusundaki genliği

$\phi_{i\theta 1}^{(1)}$: i'inci katta birinci itme adımında belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şekli'nin z eksenine etrafındaki dönme genliği

İtme eğrisinden elde edilen modal kapasite diyagramından sonra doğrusal olmayan spektral yer değiştiririnin belirlenmesi aşamasına geçilir. Modal tek serbestlik dereceli sistemde maksimum deplasman ($d_{1,max}^{(x)}$), doğrusal olmayan spektral deplasman olarak tarif edilir.

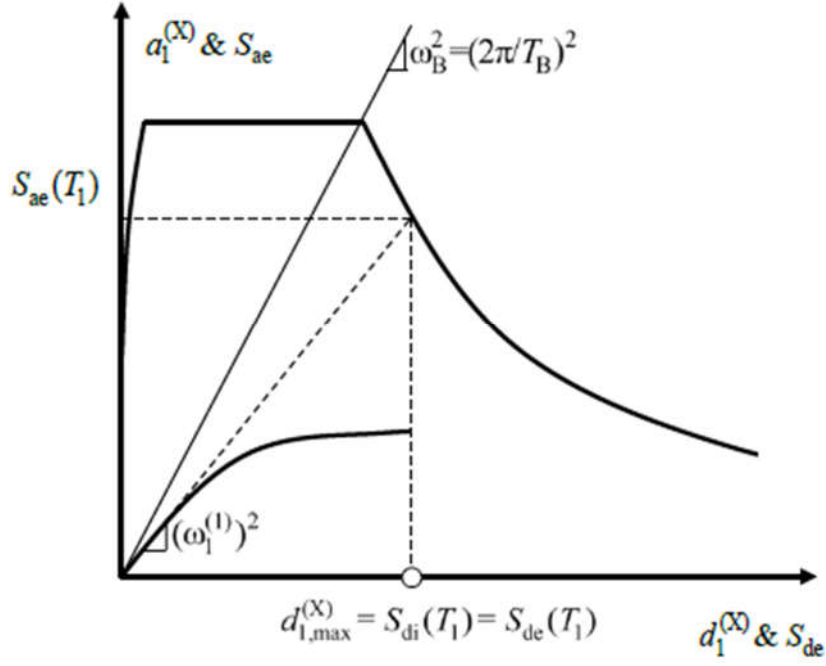
$$d_{1,max}^{(x)} = S_{d_i}(T_1) \quad (25)$$

Burada; $S_{d_i}(T_1)$, yapının birinci doğal titreşim periyoduna karşılık gelen spektral deplasmanı temsil etmekte olup Denklem (26)'ya göre hesaplanacaktır.

$$S_{d_i}(T_1) = C_R S_{de}(T_1) \quad (26)$$

Burada; $S_{de}(T_1)$ elastik spektral deplasmanı, C_R ise spektral deplasman oranını temsil etmekte olup, T_1 hâkim titreşim periyodu T_B 'den büyük olması durumunda $C_R = 1$ alınır.

Bu durumda hakim titreşim moduna ait ve koordinatları modal deplasman – modal sözde-ivme (dI , aI) olan modal kapasite diyagramı ile koordinatları spektral deplasman – spektral ivme (S_{de} , S_{ae}) olan doğrusal deprem spektrumu birlikte çizilmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. Spektral yer değıştirme-modal yer değıştirme eğrisi (TBDY-2018)

Sonuç olarak tek modlu itme metodu birinci (hâkim) mod ile orantılı olmak şartıyla deprem yer değıştirme sınırına erişene kadar yapıya artımsal olarak deprem yükü etki ettirilen ve artırılan deprem yükü altında yapıdaki zorlanmalardan kaynaklı meydana gelen plastik yer değıştirmeler, plastik dönmeler ve iç kuvvet değışimlerini birikimli olarak hesaplayabilme imkânı sunan metottur (Egi 2021). Bu çalışma kapsamında modellenen yapıların tamamı tek modlu statik itme analizi şartlarını (yapıların hâkim titreşim moduna ait kütle katılım oranları yaklaşık %85>%70, $BYS=6>5$) sağladığından, performans analizi yaparken sabit tek modlu itme analizi uygulanmıştır.

MATERYAL ve METOT

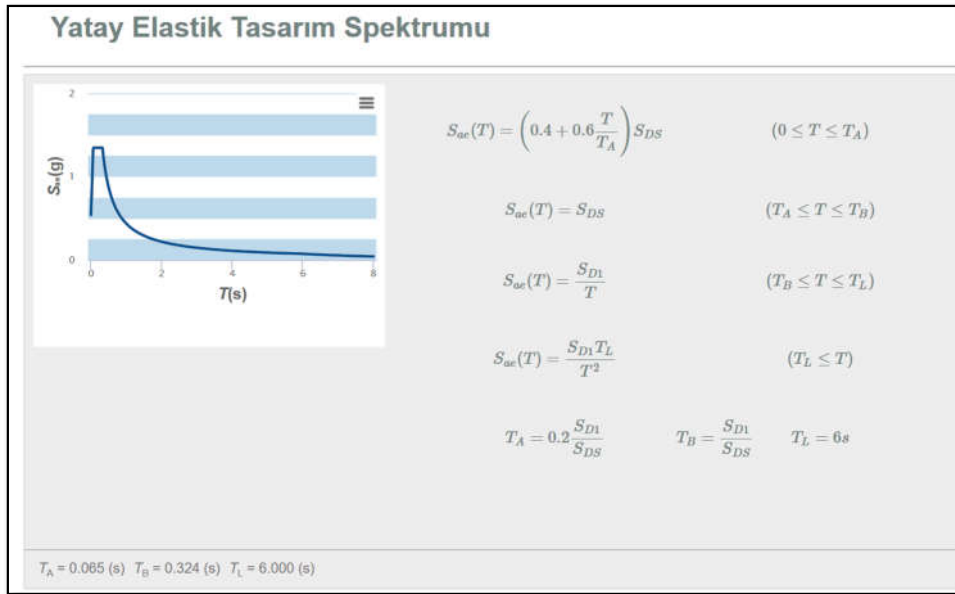
Bu bölümde, analizlerde kullanılacak modellerin geometri özellikleri, malzeme özellikleri, kesit özellikleri ve kolon, kiriş ile dolgu duvarın plastik mafsallık özellikleri açıklanmıştır. Kullanılan malzemeler TBDY (2018)'den seçilmiştir.

Analizler İçin Yapı Modellerinin Kurulması

Bina ve bölge bilgileri

Yapılacak olan doğrusal olmayan analizlerde yapıların inşa edileceği yerin özelliklerinin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında kullanılacak olan yapıların özelliklerine bu bölümde değinilmektedir.

Çalışma kapsamında analizleri yapılacak olan yapılar; 4 katlı, 3 açıklıklı düzlem çerçeveler olup kullanım amacı konut olarak tasarlanmıştır. Ayrıca tüm modellerde kat yükseklikleri sabit olup 3 metredir. Yapının inşa edileceği yerin zemin sınıfı TBDY-2018'e göre ZC (Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar) olarak belirlenmiş olup, sırasıyla enlemi 39.897° boylamı 41.272° 'dir. Türkiye deprem tehlike haritaları web uygulamasına, belirlenen noktanın enlem ve boylam koordinatlarına ek olarak önceki verileri girdikten sonra Şekil 14'te yatay elastik spektrumu verilmiştir.



Şekil 14. Yatay elastik spektrumu

Analizlerde kullanılacak olan modellerin detayları aşağıda verilmiştir. Toplamda 10 adet yapı modellenmiş olup bunlardan birincisi yapının tamamında dolgu duvar göz önüne alınarak modelleme yapılmış (Model-1), ikincisi yapının giriş katında dolgu duvarlar kaldırılarak modelleme yapılmış (Model-2) ve diğer yedi modelin detayları ise aşağıda verilmiştir. I. ile II. durumlar yeni projelendirilecek yapılar için sunulan çözümler III. durum ise mevcut bir yapı için sunulan çözümdür.

Durum I: Giriş kat kolonlarında etriye aralıklarının azaltılması (şekil 16)

- a) Etriye aralıklarınının 140 mm olması durumu (Model-3)
- b) Etriye aralıklarınının 130 mm olması durumu (Model-4)
- c) Etriye aralıklarınının 120 mm olması durumu (Model-5)

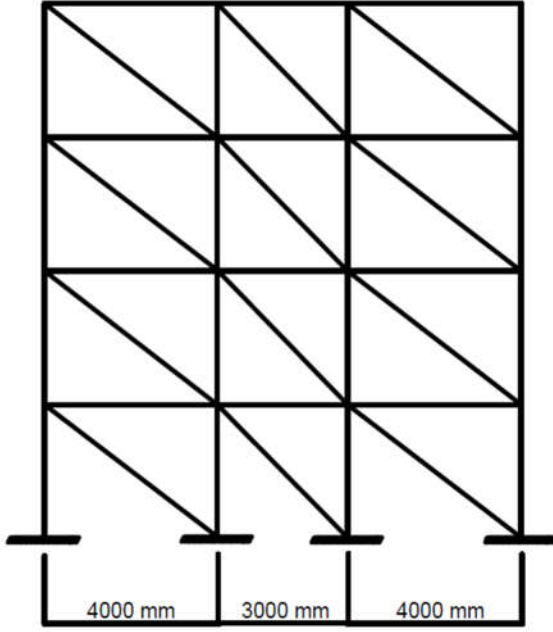
Durum II: Giriş kat kolon boyutların artırılması (şekil 17)

- a) Kolon boyutlarınının 70x70 cm olması durumu (Model-6)
- b) Kolon boyutlarınının 80x80 cm olması durumu (Model-7)
- c) Kolon boyutlarınının 90x90 cm olması durumu (Model-8)

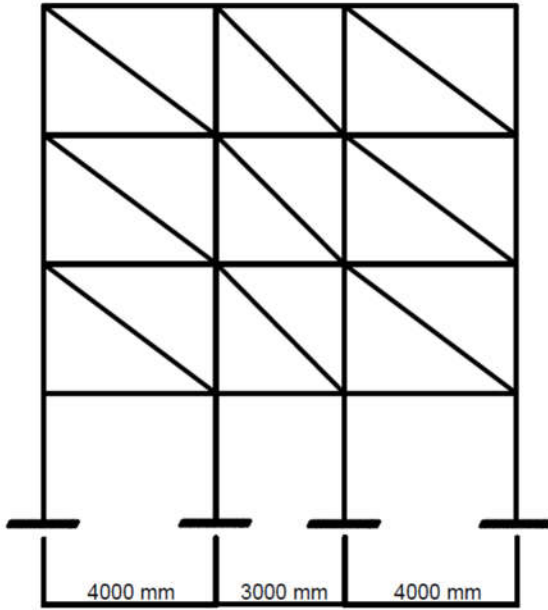
Durum III: Yapıya betonarme perde eklenmesi durumu (şekil 18)

- a) Sadece yapının giriş katına perde duvar eklenmesi durumu (Model-9)
- b) Yapının tamamına perde duvar eklenmesi durumu (Model-10)

TBDY (2018), TS-500 (2000) ve TS EN 10025-2 hükümleri dikkate alınarak tasarım gerçekleştirilmiştir. Kolon ve kirişlerin hem boyuna hem de enine donatı düzenleri belirlenmiş olup aşağıda verilmiştir (şekil 15-18).

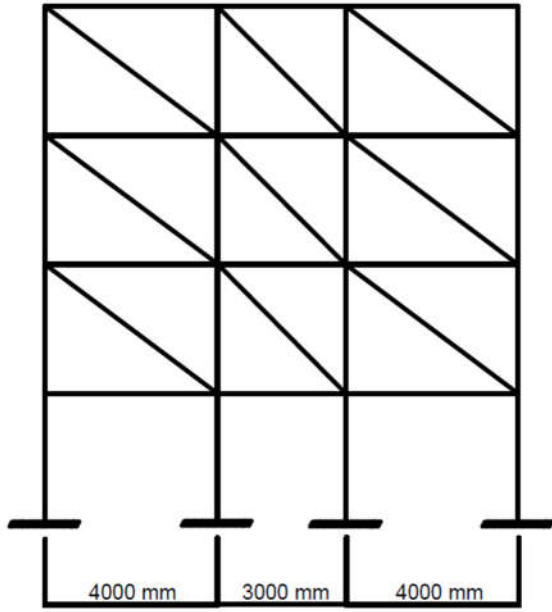


	Kolon Boyutları		Kolon Donatısı	Etriye	
	b(mm)	h (mm)			
Giriş kat	600	600	16Φ18	8Φ/150	
Diğer katlar	600	600	16Φ18	8Φ/150	
	Kiriş Boyutları		Kiriş Donatısı		Etriye
	b (mm)	h (mm)	Alt	Üst	
	300	500	4Φ16	4Φ16	8Φ/140



	Kolon Boyutları		Kolon Donatısı	Etriye	
	b(mm)	h (mm)			
Giriş kat	600	600	16Φ18	8Φ/150	
Diğer katlar	600	600	16Φ18	8Φ/150	
	Kiriş Boyutları		Kiriş Donatısı		Etriye
	b (mm)	h (mm)	Alt	Üst	
	300	500	4Φ16	4Φ16	8Φ/140

Şekil 15. Model-1 ve Model-2 geometri ve donatı detayları



Model-3 donatı detayları

	Kolon Boyutları		Kolon Donatısı	Etriye	
	b(mm)	h (mm)			
Giriş kat	600	600	16Φ18	8Φ/140	
Diğer katlar	600	600	16Φ18	8Φ/150	
	Kiriş Boyutları		Kiriş Donatısı		Etriye
	b (mm)	h (mm)	Alt	Üst	
	300	500	4Φ16	4Φ16	8Φ/140

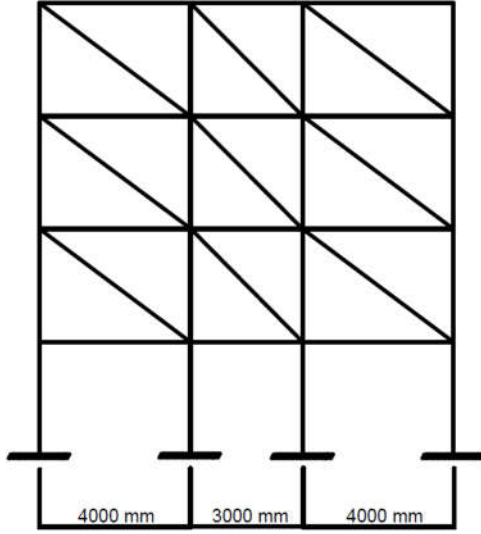
Model-4 donatı detayları

	Kolon Boyutları		Kolon Donatısı	Etriye	
	b(mm)	h (mm)			
Giriş kat	600	600	16Φ18	8Φ/130	
Diğer katlar	600	600	16Φ18	8Φ/150	
	Kiriş Boyutları		Kiriş Donatısı		Etriye
	b (mm)	h (mm)	Alt	Üst	
	300	500	4Φ16	4Φ16	8Φ/140

Model-5 donatı detayları

	Kolon Boyutları		Kolon Donatısı	Etriye	
	b(mm)	h (mm)			
Giriş kat	600	600	16Φ18	8Φ/120	
Diğer katlar	600	600	16Φ18	8Φ/150	
	Kiriş Boyutları		Kiriş Donatısı		Etriye
	b (mm)	h (mm)	Alt	Üst	
	300	500	4Φ16	4Φ16	8Φ/140

Şekil 16. Model-3, Model-4 ve Model-5 geometri ve donatı detayları



Model -6 Donatı Detayları

	Kolon Boyutları		Kolon Donatısı	Etriye	
	b(mm)	h (mm)			
Giriş kat	700	700	16Φ18	8Φ/150	
Diğer katlar	600	600	16Φ18	8Φ/150	
	Kiriş Boyutları		Kiriş Donatısı		Etriye
	b (mm)	h (mm)	Alt	Üst	
	300	500	4Φ16	4Φ16	

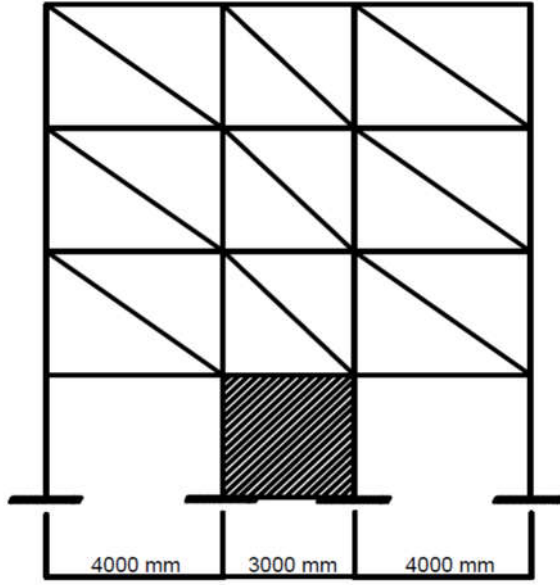
Model -7 Donatı Detayları

	Kolon Boyutları		Kolon Donatısı	Etriye	
	b(mm)	h (mm)			
Giriş kat	800	800	16Φ18	8Φ/150	
Diğer katlar	600	600	16Φ18	8Φ/150	
	Kiriş Boyutları		Kiriş Donatısı		Etriye
	b (mm)	h (mm)	Alt	Üst	
	300	500	4Φ16	4Φ16	

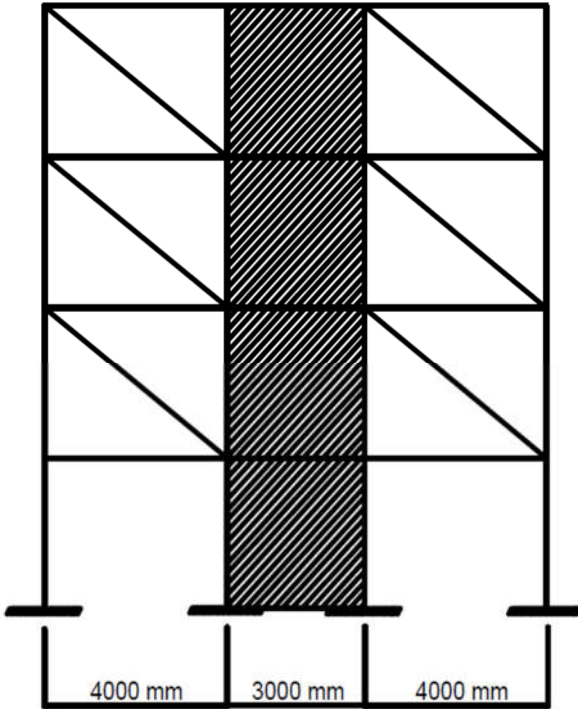
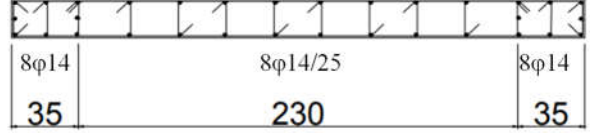
Model -8 Donatı Detayları

	Kolon Boyutları		Kolon Donatısı	Etriye	
	b(mm)	h (mm)			
Giriş kat	900	900	16Φ18	8Φ/150	
Diğer katlar	600	600	16Φ18	8Φ/150	
	Kiriş Boyutları		Kiriş Donatısı		Etriye
	b (mm)	h (mm)	Alt	Üst	
	300	500	4Φ16	4Φ16	

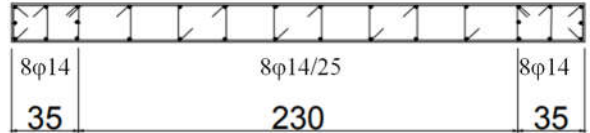
Şekil 17. Model-6, Model-7 ve Model-8 geometri ve donatı detayları



	Kolon Boyutları		Kolon Donatısı	Etriye	
	b(mm)	h (mm)			
Giriş kat	600	600	16Φ18	8Φ/150	
Diğer katlar	600	600	16Φ18	8Φ/150	
	Kiriş Boyutları		Kiriş Donatısı		Etriye
	b (mm)	h (mm)	Alt	Üst	
	300	500	4Φ16	4Φ16	8Φ/140



	Kolon Boyutları		Kolon Donatısı	Etriye	
	b(mm)	h (mm)			
Giriş kat	600	600	16Φ18	8Φ/150	
Diğer katlar	600	600	16Φ18	8Φ/150	
	Kiriş Boyutları		Kiriş Donatısı		Etriye
	b (mm)	h (mm)	Alt	Üst	
	300	500	4Φ16	4Φ16	8Φ/140



Şekil 18. Model-9 ve Model-10 geometri ve donatı detayları

Kolon ve kirişlerin modellenmesi

Kolon, betonarme yapı sistemlerinde iki önemli işleve sahiptir. Bunlardan birincisi yapı üzerinde etkisi olan tüm yatay ile düşey yükleri emniyetli bir biçimde yapının temel sistemine aktarmaktır. İkincisi ise deprem ve rüzgâr gibi yatay yüklerden dolayı oluşabilecek görelî kat ötelemelerini yönetmeliklerde izin verilen sınırlar içinde tutmaktır. Genellikle yatay ve düşey

yükler etkisinde kalan kolonlarda kesme kuvveti, eksenel kuvvet ve eğilme momenti ortaya çıkarken, deprem kuvvetleri altında yapının rijitlik ile kütle merkezinin çakışmaması halinde burulma momenti de oluşabilmektedir (Doğangün 2005).

Kirişler, tıpkı kolonlarda olduğu gibi betonarme yapı içinde iki tane temel görevi vardır. Birincisi, döşemeler aracılığıyla aktarılan düşey doğrultudaki hareketli/zati yükleri ve yapıda mimari gereksinimlerden dolayı bulunan duvarlardan kaynaklanan yükleri kolon ile perdelerle aktarmaktır. İkincisi ise, yapıya etkiyen rüzgâr ve deprem gibi yatay yükleri, döşemelerle birlikte kolon, perde gibi düşey taşıyıcı elemanlara iletmektir. Bir kirişte mesnetlenme ile yükleme şekline bağlı olarak eksenel kuvvet, kesme kuvveti, eğilme momenti ve burulma momenti oluşabilmektedir. Ancak ilgili yönetmelikler gereği bir yapısal elemanın kiriş olarak tasarlandırılıp donatılabilmesi için normal kuvvetin çok küçük olması gerekmektedir. İlgili yönetmeliklerdeki bu sınır değer Denklem (27)'de gösterilmiştir (Doğangün 2005).

$$N_d \leq 0,1 f_{ck} A_c \quad (27)$$

Kirişlerin boyutlandırılması TBDY-2018 7.4.1' de süneklik düzeyi yüksek kirişlerin enkesit koşulları baz alınarak belirlenmiştir. Buna göre; b_w kirişin gövde genişliği, h_k kirişin yüksekliğini göstermek üzere Denklem (28)'de gösterilmiştir.

$$b_w \geq 250 \text{ mm} ; b_w \leq \begin{cases} h_{kt} + \text{kolonun kirişe dik boyutu} \\ h_{kt} + \text{perdenin kirişe dik boyutu} \end{cases} \quad (28)$$

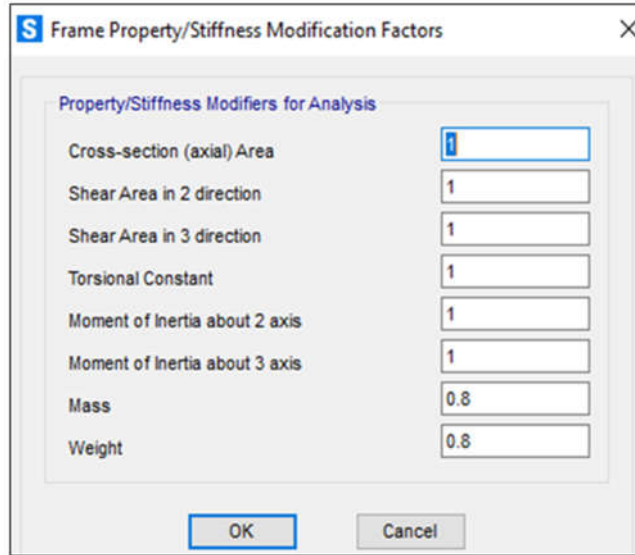
Kiriş yüksekliği için de TBDY-2018 bölüm 7.4.1'de bazı şartlar koşulmuştur. Buna göre bir kirişin yüksekliği minimum 300 mm ve döşeme kalınlığının 3 katından daha az olamaz. Kiriş yüksekliği ile döşeme kalınlığının ilişkilendirilmesindeki gaye, kirişin döşemeye mesnet görevi görerek, döşeme için gerekli rijitliği sağlamaktır (Darılmaz 2014). Ayrıca h_k / b_w oranı 3,5'ten daha büyük olamaz.

Bu çalışmada kolon ve kirişler dikdörtgen olarak tasarlanmıştır. 2007 deprem yönetmeliğine göre dikdörtgen betonarme bir kolonun kesiti en az 250 mm ve minimum kolon en kesit alanı $A_c = N_{dm} / 0.5 f_{ck}$ olmalıydı. Ancak 1 Ocak 2019'da yürürlüğe giren TBDY-2018'e göre dikdörtgen betonarme bir kolonun en kesiti en az 300 mm ve minimum kolon en kesit alanı ise $A_c = N_{dm} / 0.4 f_{ck}$ olarak değiştirildi. Modellemelerde kullanılacak beton kolon ve kirişlerin etkin kesit rijitlikleri ise TBDY-2018 bölüm 4.8'de ele alınmıştır. Buna göre dayanıma göre tasarımı yapılacak betonarme kolon, kiriş, perde gibi taşıyıcı elemanların en kesit özelliklerinin modellenmesinde Tablo 2'de verilen etkin kesit rijitlik çarpanlarının göz önüne alınması gerekmektedir.

Tablo 2. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Etkin Kesit Rijitlikleri

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
	<i>Eksenel</i>	<i>Kayma</i>
<i>Perde – Döşeme (Düzlem İçi)</i>		
Perde	0.50	0.50
Bodrum perdesi	0.80	0.50
Döşeme	0.25	0.25
<i>Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)</i>		
Perde	0.25	1.00
Bodrum perdesi	0.50	1.00
Döşeme	0.25	1.00
<i>Çubuk eleman</i>		
Bağ kirişi	0.15	1.00
Çerçeve kirişi	0.35	1.00
Çerçeve kolonu	0.70	1.00
Perde (eşdeğer çubuk)	0.50	0.50

Kiriş ve kolonların modellenmesi ile ilgili kurallar TBDY-2018 bölüm 4.5.2’de belirtilmiştir. Buna göre kolon ve kirişlerin çubuk sonlu elemanlar olarak modellenmeleri gerekmektedir. Ayrıca kolon ve kiriş birleştiği düğüm noktalarındaki serbestlik dereceleri, döşemelerde rijit diyafram da göz önüne alınarak modellenmelidir. Bir diğer önemli husus ise deprem analizlerin sağlıklı bir şekilde yapılması için kirişlerin sismik ağırlık ile kütle katılım oranının doğru şekilde hesaplanması gerekmektedir. Çalışmada kullanılacak olan kirişin kütle ve ağırlık katılım oranları Şekil 19’da gösterilmiştir.

**Şekil 19.** Kirişin kütle ve ağırlık katılım oranları

Perdelerin modellenmesi

Planda l_w perdenin uzun kenarı, b_w kalınlığı temsil etmek üzere; TBDY-2018'e göre l_w/b_w oranının en az altı olan düşey taşıyıcı sistem elemanları perde olarak tanımlanmaktadır. Düşey yüklerin taşınması kolonlar tarafında sorunsuz bir şekilde karşılanabiliyor. Ancak, rüzgâr veya özellikle deprem gibi yatay yüklerin karşılanması için kesit boyutlarının çok yüksek olmasını gerektiriyor. Bu durumda ise hem yapının maliyetinde artışlara yol açıyor hem de mimari açıdan kısıtlamalara neden olabilmektedir. Özellikle deprem bölgelerinde yapılacak olan yapıların rijitliğini artırarak, yapının ötelenmesini engellemek amacıyla taşıyıcı sistemde perde duvarların kullanılması bir zorunluluk teşkil etmektedir. Eğilme rijitliklerinin büyük olmasından dolayı deprem ya da rüzgâr gibi yatay yüklerin büyük bir bölümünü perde duvarlar karşıladıklarından, daha küçük kesitlere sahip kolonların tasarlanmasına imkân vereceklerdir (Atımtay 2000). TBDY-2018 gereği bir perde duvarın kalınlığı en az 200 mm ve minimum kat yüksekliğinin 1/16 olacak şekilde tasarlanmalıdır.

Etkin kesit rijitlik çarpanlarının tanımlanması

Betonarme taşıyıcı elemanlarının dayanıma göre tasarım (DGT) yaklaşımı kapsamında kesit özelliklerinin modellenmesi sırasında TBDY-2018 bölüm 8.5.8.1'de belirtilen şartların dikkate alınması gerekmektedir. Buna göre; taşıyıcı elemanlarının modellenmesi esnasında daha önce de verilen Tablo 2'de etkin kesit rijitlik çarpanları kullanılacaktır.

Tablo 2'den faydalanarak kiriş, kolon ve perdelerin kesit rijitlik çarpanları SAP2000 ortamında modellenmişlerdir. Bu doğrultuda, örnek olarak birer kolon kiriş ve perdenin etkin kesit rijitlik çarpanının modellenmiş veri girişi aşağıda gösterilmiştir.

I.Kolonun etkin kesit rijitlik çarpanlarının analiz modeline veri girişi Şekil 20'de gösterilmiştir.

Property 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	0.7
Moment of Inertia about 3-Axis	0.7
Mass	1
Weight	1

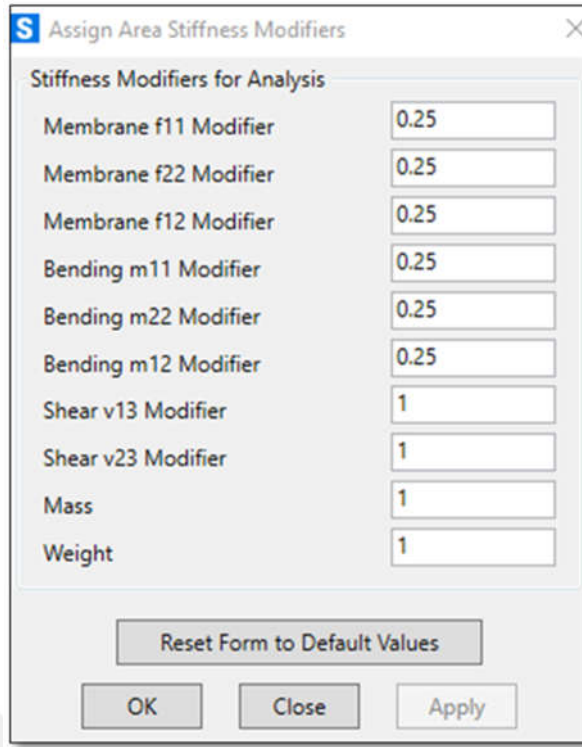
Şekil 20. Kolonun etkin kesit rijitlik çarpanının tanımlanması

II.Kirişin etkin kesit rijitlik çarpanlarının analiz modeline veri girişi Şekil 21’de gösterilmiştir

Property 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	0.35
Moment of Inertia about 3-Axis	0.35
Mass	1
Weight	1

Şekil 21. Kiriş etkin kesit rijitlik çarpanının tanımlanması

III.Perdenin etkin kesit rijitlik çarpanlarının analiz modeline veri girişi Şekil 22’de gösterilmiştir.



Şekil 22. Perdenin etkin kesit rijitlik çarpanının tanımlanması

Modellemede kullanılacak olan sanal basınç çubuklarına ait hesaplamalar

Bu bölümde kullanılacak olan sanal basınç çubuklarına ait parametreler aşağıda verilen Denklem (29-31) yardımıyla hesaplanarak Tablo 3’te sunulmuştur. Bu çalışmada kat yüksekliği ile kat genişliklerine bağlı olarak iki adet farklı sanal çubuğu kullanılmıştır.

$$d = \sqrt{H^2 + L^2} \quad (29)$$

$$\lambda = \left(\frac{E_m \cdot t \cdot \sin 2\theta}{4E_s \cdot I_c \cdot H'} \right)^{1/4} \quad (30)$$

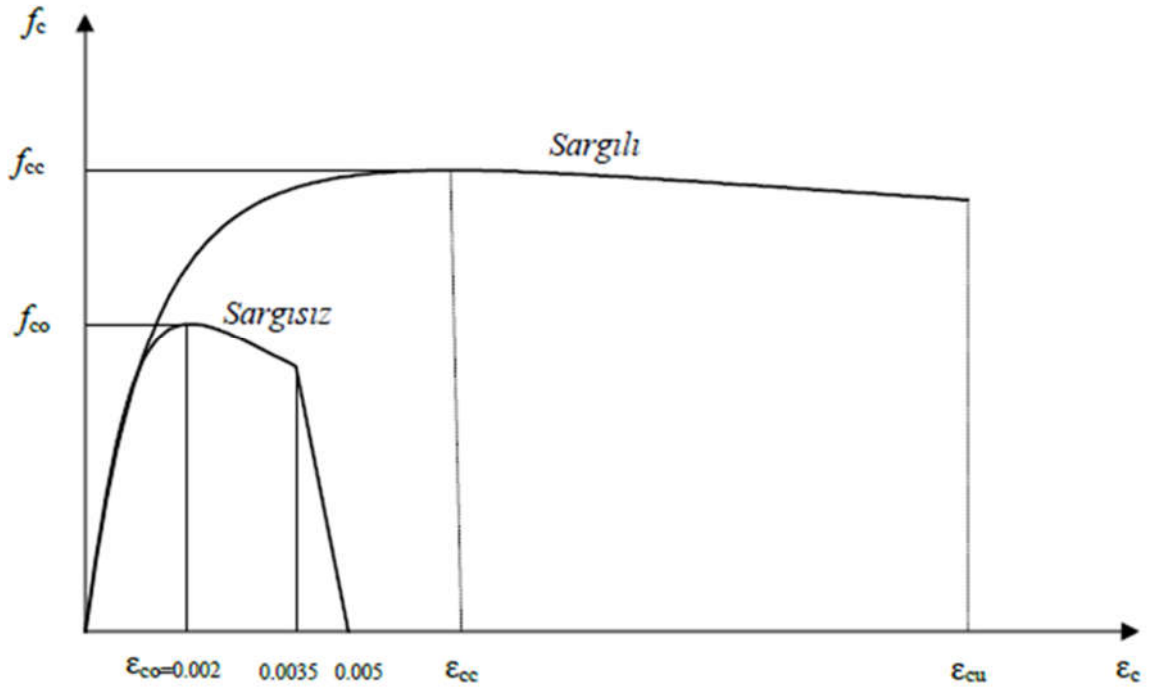
$$\omega_{ef} = 0,175(\lambda H)^{-0.4} \sqrt{H^2 + L^2} \quad (31)$$

Tablo 3. Eşdeğer Basınç Çubuklarına Ait Parametreler

H (m)	L(m)	H'(m)	L'(m)	t (m)	Em (MPa)	Es (MPa)	Ic (m ⁴)	θ	ω_{ef} (m)
3	4	2,75	3,5	0,2	3410	30000	5,208E-3	38,157	0,52
3	3	2,75	2,5	0,2	3410	30000	5,208E-3	47,72	0,62

Sargılı ve sargısız beton modelleri

Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinde kullanılan birçok malzeme modeli vardır. TBDY-2018 şekil değiştirmeye göre yapılacak değerlendirmede sargılı ile sargısız beton için aşağıdaki gerilme – şekil değiştirme bağıntıları önerilmiştir (Şekil 23).



Şekil 23. Sargılı ve sargısız betonu gerilme-şekil değiştirme modeli (TBDY 2018)

Sargılı betonda beton basınç gerilmesi f_c , basınç birim şekil değiştirmesi ϵ_c 'nin fonksiyonu olarak Denklem (32) ile verilmektedir:

$$f_c = \frac{f_{cc} x^r}{r-1+x^r} \quad (32)$$

Burada f_{cc} sargılı beton dayanımı ile f_{co} sargısız beton dayanımı arasındaki ilişki ise Denklem (33)'de verilmiştir.

$$f_c = \lambda_c f_{co} \quad ; \quad \lambda_c = 2 \cdot 254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_c}{f_{co}}} - 2 \frac{f_c}{f_{co}} - 1.254 \quad (33)$$

Burada etkili sargılama basıncı, dikdörtgen kesitlerde birbirine dik iki doğrultu için Denklem (34) ile hesaplanacak olup, değerlerin ortalaması alınabilir.

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad ; \quad f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (34)$$

Burada; f_{yw} enine donatının akma dayanımını, ρ_x x doğrultusundaki enine donatının hacimsel oranı, ρ_y y doğrultusundaki enine donatının hacimsel oranı ve k_e ise sargılama etkinlik katsayısı oranın temsil etmektedir. Ayrıca k_e Denklem (35)'te tanımlanan şekilde hesaplanacaktır.

$$k_e = \left(1 - \frac{\Sigma a_i^2}{6b_0 h_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_0}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_0 h_0}\right)^{-1} \quad (35)$$

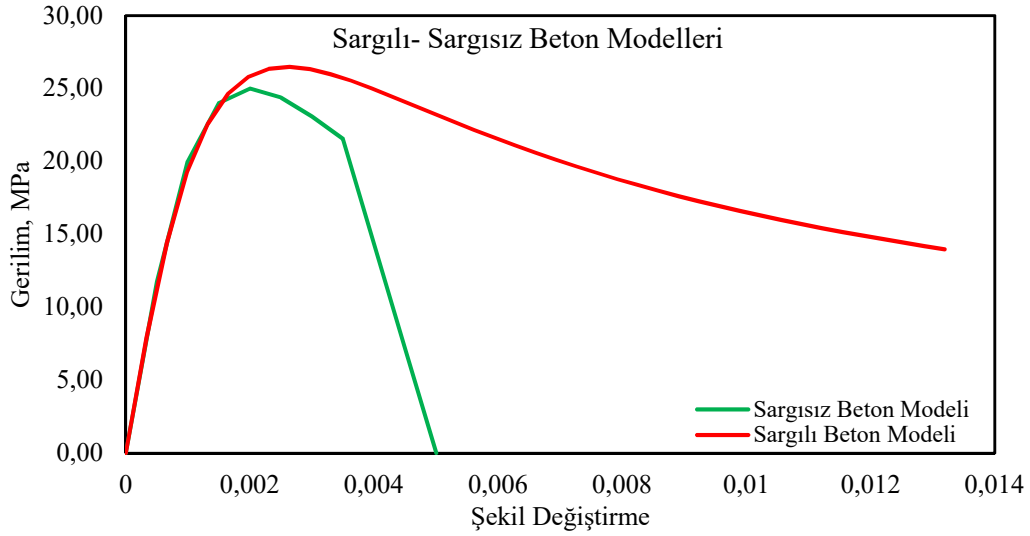
Burada a_i kesit çevresindeki boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı, b_0 ve h_0 göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutlarını, s boyuna

doğrultuda etriyelerin eksenleri arasındaki aralığı, A_s ise boyuna donatı alanını göstermektedir. Denklem (32)'deki normalize edilmiş beton birim şekil değiştirmesi x ile r değişkenine ilişkin bağıntılar Denklem (3) ve Denklem (37)'da verilmiştir.

$$x = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{cc}} ; \varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}[1 + 5(\lambda_c - 1)] ; \varepsilon_{co} \cong 0.002 \quad (36)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} ; E_c \cong 5000\sqrt{f_{co}} \text{ [MPa]} ; E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (37)$$

Taşıyıcı sistemde malzeme olarak C25 beton sınıfı ile B420C donatı çeliği kullanılmıştır. Şekil 24'te modelleme de kullanılacak C25 beton sınıfına ait malzeme özellikleri ile çekme-basınç ilişkisi grafiği verilmiştir.



Şekil 24. C25 beton sınıfına ait malzeme özellikleri

Donatı çeliği modeli

TBDY (2018) bölüm 5A.2'de doğrusal olmayan yöntemlerle ile yapılacak analizlerde kullanılacak olan donatı çeliğine ait gerilme- şekil değiştirme grafiği ve Denklem (39-40)'deki gerilme- şekil değiştirme bağıntıları verilmiştir.

$$f_s = E_s \varepsilon_s \quad \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy} \quad (38)$$

$$f_s = f_{sy} \quad \varepsilon_{sy} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh} \quad (39)$$

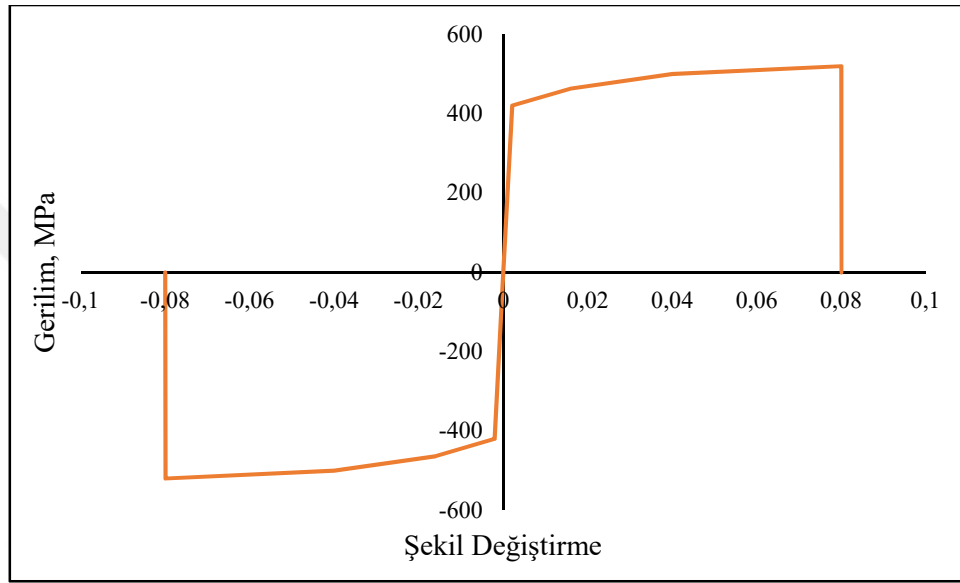
$$f_s = f_{su} - (f_s - f_{sy}) \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s)^2}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})^2} \quad \varepsilon_{sh} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su} \quad (40)$$

Ayrıca kullanılacak olan donatın çeliğin elastisite modülü $E_s=2 \times 10^5$ MPa olarak alınması tavsiye edilmiştir. TBDY-2018'de Şekil değiştirmeye göre yapılacak analizlerde kullanılacak olan donatı çeliklerine ait bilgiler Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Donatı Çeliklerine Ait Bilgiler

Kalite	f_{sy} (MPa)	ϵ_{sy}	ϵ_{sh}	ϵ_{su}	f_{su}/f_{sy}
S220	220	0,0011	0,011	0,12	1,20
S4420	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

Donatı malzemesi olarak kullanılan B420C donatı çeliğine ait nonlineer malzeme özellikleri ve basınç çekme ilişkisi Şekil 25’te sunulmuştur.



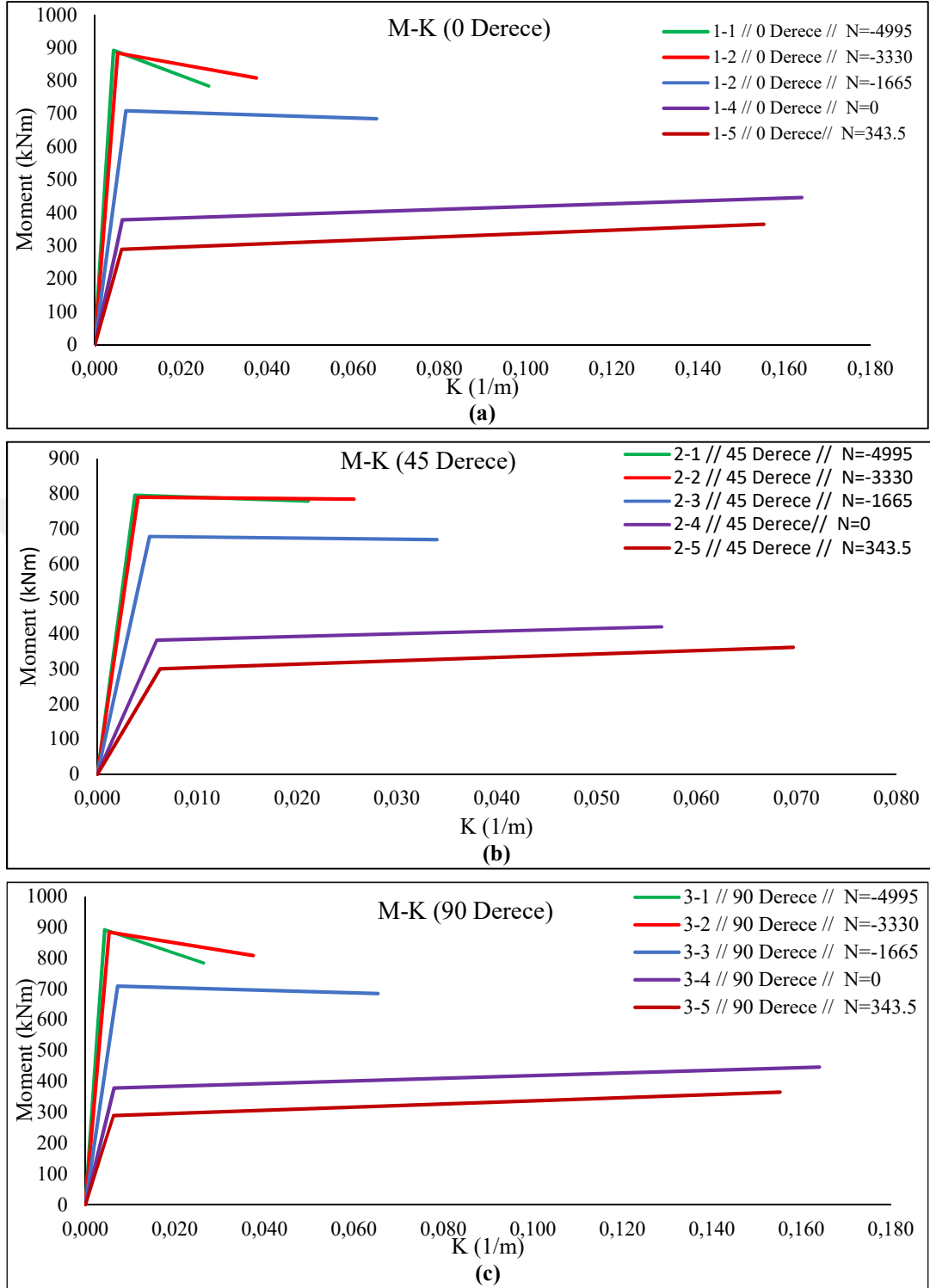
Şekil 25. B420C çelik sınıfına ait malzeme özellikleri

Plastik mafsalların programa tanıtılması

Elastik ötesi davranış yapının taşıyıcı elemanların üzerine atılan plastik mafsallar aracılığıyla modellere yansıtılmıştır. Yapıya ait kolon ve kirişlere tanımlanacak olan plastik mafsalların özellikleri belirlemek için, kesitlerin moment-eğrilik analizleri gerekmektedir. Bu analizler Response-2000 adlı programdan faydalanılarak yapılmıştır.

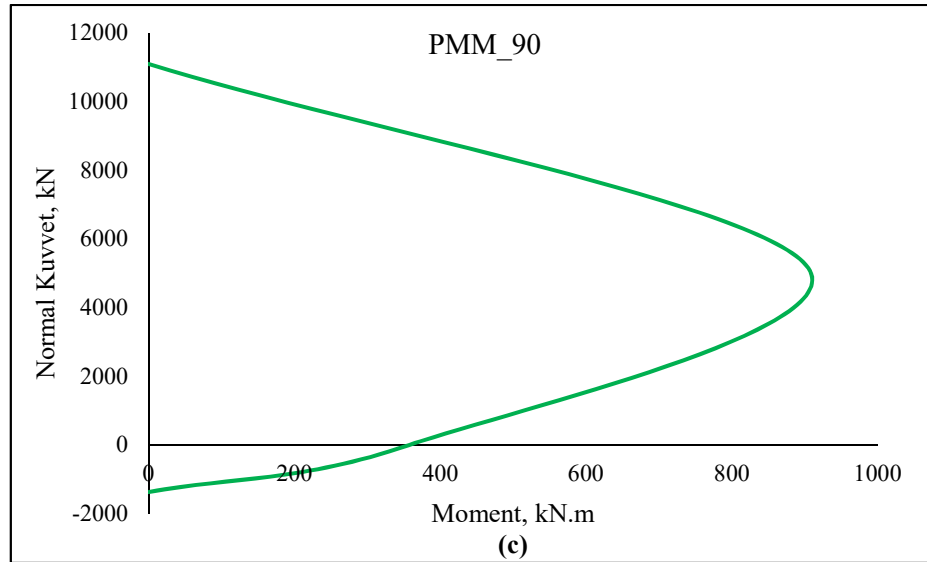
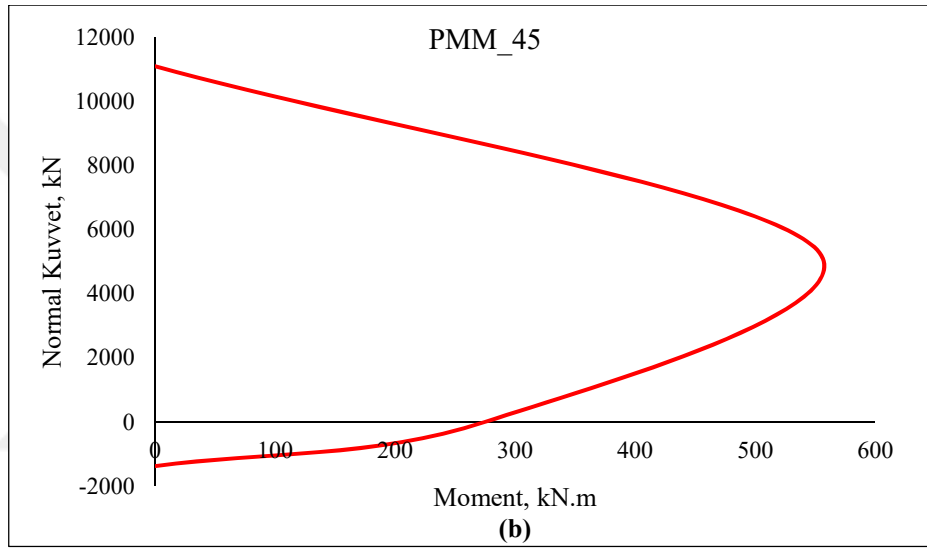
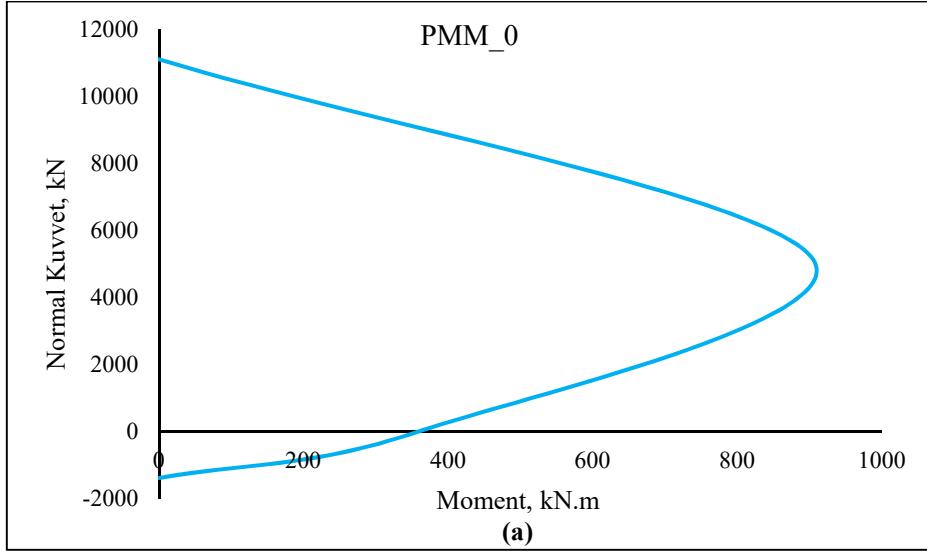
Kolon kesitleri için plastik mafsal

Kolon elemanlara için P-M2-M3 plastik mafsallar oluşturulmuştur. Yapıda kullanılan kolonlar için 0, 45 ve 90 derece için moment-eğrilik grafikleri oluşturulmuş olup aşağıda verilmiştir (Şekil 26).



Şekil 26. 60x60 cm kolon kesitine ait aksenal kuvvet altında a) 0 b) 45 c) 90 derecelik açılarda moment eğrilik grafikleri

60x60 cm kolonuna ait 0, 45 ve 90 derecede normal kuvvet-moment karşılıklı etki diyagramları Şekil 27’de verilmiştir.



Şekil 27. 60x60 cm kolon kesitine ait a) 0 b) 45 c) 90 derecelerde normal kuvvet–moment karşılıklı etki diyagramları

Kolon elemanlar Response-2000 programı yardımıyla elde edilen moment-eğrilik grafikleri ile karşılıklı etki diyagramından kolona ait plastik mafsalsal değerleri ve TBDY-2018'e göre hasar seviyeleri belirlenmiş olup aşağıda Şekil 28'de sunulmuştur.

1-1 // 0 Derece // N=4995		1-2 // 0 Derece // N=3330		1-2 // 0 Derece // N=1665		1-4 // 0 Derece // N=0		1-5 // 0 Derece // N=343.5	
Mom / akma Mom	Dönme/ GF	Mom / akma Mom	Dönme/ GF	Mom / akma Mom	Dönme/ GF	Mom / akma Mom	Dönme/ GF	Mom / akma Mom	Dönme/ GF
0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
1.00	0	1.00	0	1.00	0	1.00	0	1.00	0
0.88	0.00376	0.91	0.00556	0.97	0.01006	1.18	0.01361	1.26	0.01329
0.20	0.00376	0.20	0.00556	0.20	0.01006	0.20	0.01361	0.20	0.01329
0.20	0.00627	0.20	0.00927	0.20	0.01677	0.20	0.02268	0.20	0.02216
ϕ_u	0.01957	ϕ_u	0.02805	ϕ_u	0.04891	ϕ_u	0.06348	ϕ_u	0.06203
θ_{io}	0.00001	θ_{io}	0.00001	θ_{io}	0.00001	θ_{io}	0.00001	θ_{io}	0.00001
θ_{ls}	0.00282	θ_{ls}	0.00417	θ_{ls}	0.00755	θ_{ls}	0.01020	θ_{ls}	0.00997
θ_{cp}	0.00376	θ_{cp}	0.00556	θ_{cp}	0.01006	θ_{cp}	0.01361	θ_{cp}	0.01329

2-1 // 45 Derece // N=4995		2-2 // 45 Derece // N=3330		2-3 // 45 Derece // N=1665		2-4 // 45 Derece // N=0		2-5 // 45 Derece // N=343.5	
Mom / akma Mom	Dönme/ GF	Mom / akma Mom	Dönme/ GF	Mom / akma Mom	Dönme/ GF	Mom / akma Mom	Dönme/ GF	Mom / akma Mom	Dönme/ GF
0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
1.00	0	1.00	0	1.00	0	1.00	0	1.00	0
0.98	0.00287	0.99	0.00358	0.99	0.00483	1.10	0.00886	1.21	0.00858
0.20	0.00287	0.20	0.00358	0.20	0.00483	0.20	0.00886	0.20	0.00858
0.20	0.00478	0.20	0.00596	0.20	0.00805	0.20	0.01477	0.20	0.01429
ϕ_u	0.01530	ϕ_u	0.01858	ϕ_u	0.02486	ϕ_u	0.04274	ϕ_u	0.04179
θ_{io}	0.00001	θ_{io}	0.00001	θ_{io}	0.00001	θ_{io}	0.00001	θ_{io}	0.00001
θ_{ls}	0.00215	θ_{ls}	0.00268	θ_{ls}	0.00362	θ_{ls}	0.00665	θ_{ls}	0.00643
θ_{cp}	0.00287	θ_{cp}	0.00358	θ_{cp}	0.00483	θ_{cp}	0.00886	θ_{cp}	0.00858

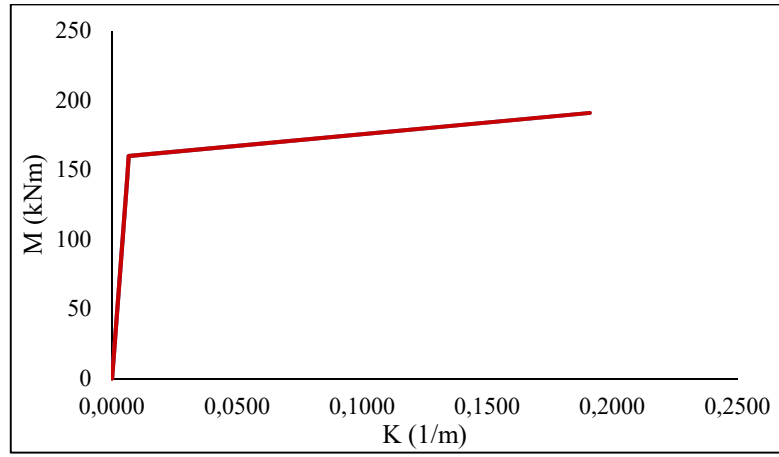
3-1 // 90 Derece // N=4995		3-2 // 90 Derece // N=3330		3-3 // 90 Derece // N=1665		3-4 // 90 Derece // N=0		3-5 // 90 Derece // N=343.5	
Mom / akma Mom	Dönme/ GF	Mom / akma Mom	Dönme/ GF	Mom / akma Mom	Dönme/ GF	Mom / akma Mom	Dönme/ GF	Mom / akma Mom	Dönme/ GF
0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
0.88	0.00376	0.91	0.00556	0.97	0.01006	1.18	0.01361	1.26	0.01329
0.20	0.00376	0.20	0.00556	0.20	0.01006	0.20	0.01361	0.20	0.01329
0.20	0.00627	0.20	0.00927	0.20	0.01677	0.20	0.02268	0.20	0.02216
ϕ_u	0.01957	ϕ_u	0.02805	ϕ_u	0.04891	ϕ_u	0.06348	ϕ_u	0.06203
θ_{io}	0.00001	θ_{io}	0.00001	θ_{io}	0.00001	θ_{io}	0.00001	θ_{io}	0.00001
θ_{ls}	0.00282	θ_{ls}	0.00417	θ_{ls}	0.00755	θ_{ls}	0.01020	θ_{ls}	0.00997
θ_{cp}	0.00376	θ_{cp}	0.00556	θ_{cp}	0.01006	θ_{cp}	0.01361	θ_{cp}	0.01329

Şekil 28. 60x60 cm kolonuna ait plastik mafsalsal değerleri

Modellemelerde kullanılan tüm kolon ve perdeler içinde aynı adımlar izlenmiş olup, plastik mafsalsal değerleri oluşturulmuş ve analiz yapılacak olan SAP2000 programına tanıtılmıştır.

Kiriş kesitleri için plastik mafsalsal

Kiriş elemanlar için ise M3 mafsalları oluşturulmuştur. Yapıda 3 metre ve 4 metre uzunluğunda iki tür kiriş eleman bulunduğu için iki farklı M3 mafsalsal oluşturulmuştur. Kirişlere ait moment-eğrilik grafiği Şekil 29'da verilmiştir.



Şekil 29. Kirişlere ait moment-eğrilik grafiği

Response-2000 programı yardımıyla elde edilen moment-eğrilik grafiklerinden yararlanılarak kirişlere ait plastik mafsalsal değerleri ve TBDY-2018'e göre hasar seviyeleri belirlenmiş olup aşağıda Şekil 30'de sunulmuştur.

M-K//N		M-K//P		M-K//N		M-K//P	
Mom / Akma Mom	Dönme/ GF	Mom / Akma Mom	Dönme/ GF	Mom / Akma Mom	Dönme/ GF	Mom / Akma Mom	Dönme/ GF
0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
-1.00	0	1.00	0	-1.00	0	1.00	0
-1.19	0.01437	1.19	0.01437	-1.19	0.01412	1.19	0.01413
-0.20	0.01437	0.20	0.01437	-0.20	0.01412	0.20	0.01413
-0.20	0.02155	0.20	0.02155	-0.20	0.02119	0.20	0.02119
ϕ_u	0.07658	ϕ_u	-0.07659	ϕ_u	0.00766	ϕ_u	-0.07659
θ_{10}	-0.00001	θ_{10}	0.00001	θ_{10}	-0.00001	θ_{10}	0.00001
θ_{1s}	-0.01078	θ_{1s}	0.01078	θ_{1s}	-0.01059	θ_{1s}	0.01059
θ_{cp}	-0.01437	θ_{cp}	0.01437	θ_{cp}	0.01412	θ_{cp}	0.01453
		Pozitif	Negatif			Pozitif	Negatif
Moment Güvenlik Faktörü		160	160	Moment Güvenlik Faktörü		160	0
Dönme Güvenlik Faktörü		1	1	Dönme Güvenlik Faktörü		1	1

Şekil 30. Kiriş kesimine ait plastik mafsalsal değerleri

Eş değer diyagonal basınç çubuklarına ait plastik mafsalsal

Basınç çubuğu olarak yapısal analiz programında modellenen dolgu duvarların üzerine sadece P eksenel yük mafsalsal atanmıştır. Dolgu duvara ait plastik mafsalsal özellikleri Şekil 31'de sunulmuştur.

Edit

Displacement Control Parameters

Point	Force/SF	Disp/SF
E-	-0,2	-0,025
D-	-0,2	-0,013
C-	-1,3	-0,00336
B-	-1	0
A	0	0
B	0	0
C	0	0
D	0	0
E	0	0

Symmetric

Type

Force - Displacement

Stress - Strain

Hinge Length

Relative Length

Hysteresis Type And Parameters

Hysteresis Type

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero

Is Extrapolated

Scaling for Force and Disp

Use Yield Force Force SF

Use Yield Disp Disp SF

(Steel Objects Only)

Acceptance Criteria (Plastic Disp/SF)

Immediate Occupancy

Life Safety

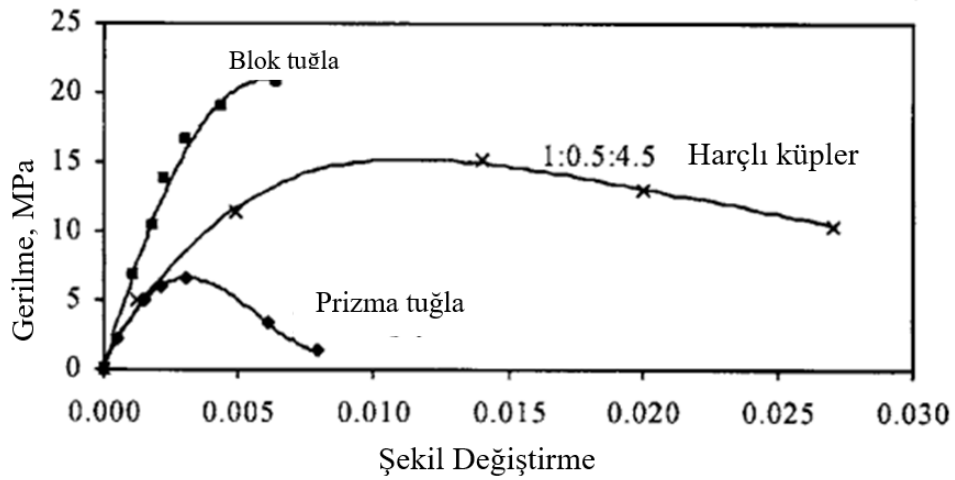
Collapse Prevention

Show Acceptance Criteria on Plot

OK Cancel

Şekil 31. Eş değer diyagonal basınç çubuğuna ait plastik mafsal özellikleri

Çalışmada kullanılan dolgu duvara ait gerilim şekil değiştirme değerleri Şekil 32’de gösterilmiştir.

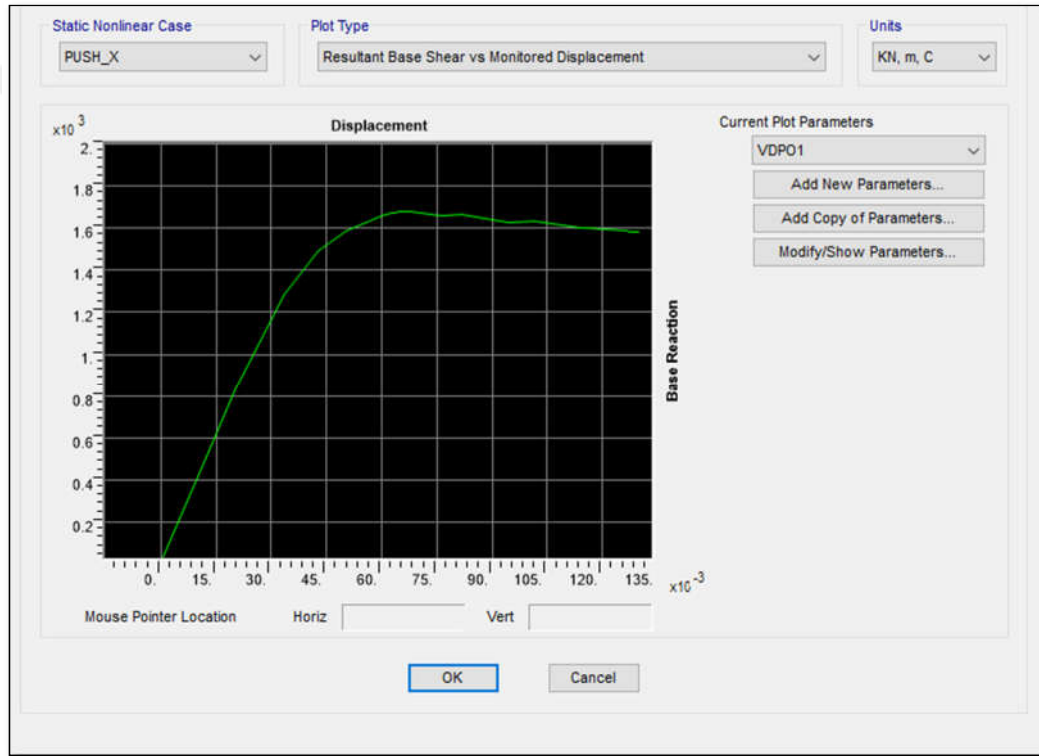


Şekil 32. Dolgu duvara ait Gerilme-şekil değiştirme eğrisi (Kaushik et al. 2007)

ARAŞTIRMA BULGULARI

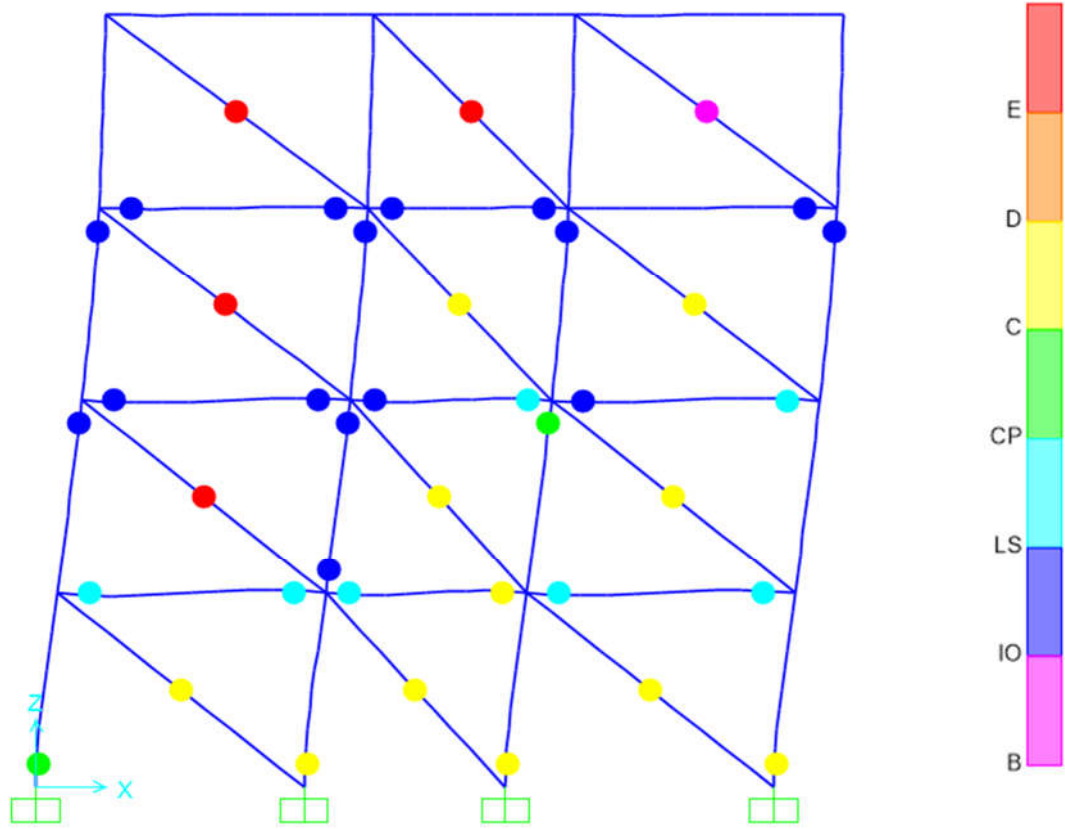
Durum 1: Tamamen Dolgu Duvarlı Çerçeve (Model-1)

Daha önce de açıklandığı gibi, yapısal analiz programı SAP2000’de yapılan statik itme analizi sayesinde, analiz sonunda itme eğrisini elde etmek mümkün. Aşağıda Şekil 33’te 4 katlı tüm katlarında dolgu duvar olan çerçeveye ilişkin taban kesme kuvveti-yer değiştirme grafiği verilmiştir. Maximum taban kesme kuvveti 1143,76 kN iken maksimum tepe noktası yer değiştirmesi 3,02 cm’dir.



Şekil 33. Model-1’e ait taban kesme kuvveti-deplasman grafiği

Aşağıda Şekil 34’te sabit tek modlu statik itme analizi sonucunda çerçevede oluşan plastik mafsallar gösterilmiştir.



Şekil 34. Model-1'e ait statik itme analiz sonucu çerçevede oluşan plastik mafsallar

Yapıda oluşan plastik mafsallara göre mevcut betonarme binaların taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar durumları TBDY-2018'e göre belirlenmiştir. Elemanlarda oluşan hasar dağılımları Tablo 5'te verilmiştir. Kolonların %50'si sınırlı hasar bölgesi, %18,75'i belirgin hasar bölgesi, %31,25 göçme hasar bölgesindeyken, kirişlerde %33,34'ü sınırlı hasar, %41,66'sı belirgin hasar, %16,64'ü ileri hasar ve %8,34'ü göçme bölgesindedir.

Tablo 5. İtme Analizi Sonucu Taşıyıcı Elemanlarda Oluşan Hasar Bölgelerinin Oranları

	Sınırlı Hasar Bölgesi		Belirgin Hasar Bölgesi		İleri Hasar Bölgesi		Göçme Bölgesi	
	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)
Kolon	8	50,00	3	18,75	-	-	5	31,25
Kiriş	4	33,34	5	41,66	2	16,64	1	8,34

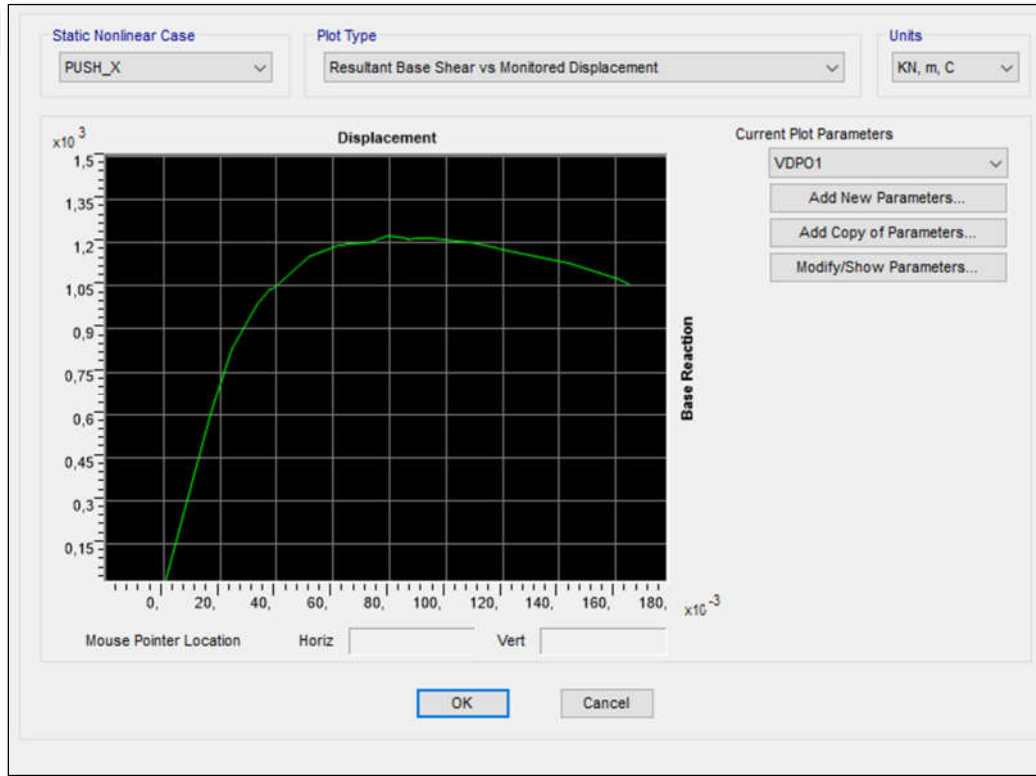
Tablo 6'da itme analizi sonucu ATC-40 kapasite spektrumu yaklaşımına göre tamamen dolgu duvarlı çerçevenin performans noktasındaki değerler sunulmuştur.

Tablo 6. ATC-40 Kapasite Spektrumu Yaklaşımına Model-1'in Performans Noktasının Özellikleri

Etkin Sönümleme B_{eff}	Etkin Periyot T_{eff} (sn.)	Spektral ivme (S_a) g	Spektral Yer Değişirme (S_d) cm	Taban Kesme Kuvveti kN	Tepe Noktası Yer değişirmesi cm
0,066	0,313	0,901	2,20	1143,76	3,02

Durum 2: Çerçevenin Sadece Giriş Katında Dolgu Duvar Olmaması Durumu (Model-2)

Giriş katında dolgu duvarların olmamasından kaynaklı yumuşak kat düzensizliği bulunan çerçeveye uygulanan itme analizi sonucunda oluşan taban kesme kuvveti- yer değişirme grafiği Şekil 35'te gösterilmiştir. Maksimum taban kesme kuvveti 968,58 kN iken maksimum tepe noktası yer değişirmesi 3,20 cm'dir.

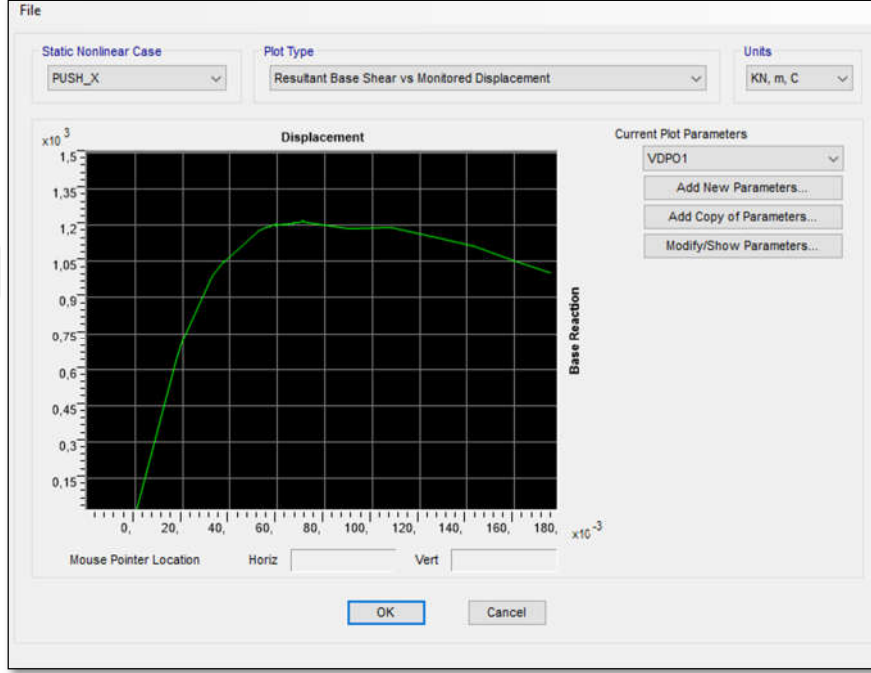


Şekil 35. Model-2'ye ait taban kesme kuvveti-deplasman grafiği

Aşağıda Şekil 36'da sabit tek modlu statik itme analizi sonucunda çerçevede oluşan plastik mafsallar gösterilmiştir. Analiz sonucunda giriş kat kolonlarında dolgu duvarların olmamasından kaynaklı büyük hasarlar meydana gelmiştir.

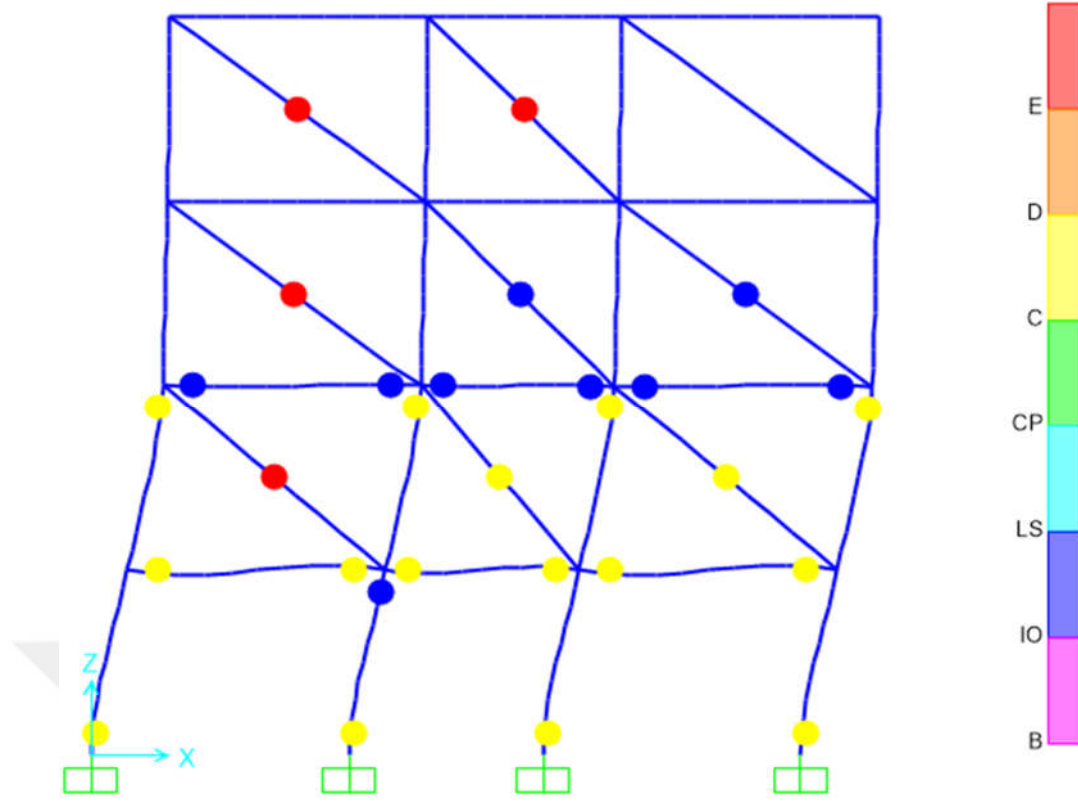
Durum 3: Çerçevenin Sadece Giriş Kat Kolonların Etriye Aralığının 140 mm Olması (Model-3)

Giriş katında dolgu duvarların olmamasından kaynaklı yumuşak kat düzensizliği bulunan çerçevenin giriş kat kolonlarının etriye aralığının 150 mm'den 140 mm'ye düşürülmesi ile oluşturulan modelle uygulanan itme analizi sonucunda oluşan taban kesme kuvveti- yer değiştirme grafiği Şekil 37'de gösterilmiştir. Maksimum taban kesme kuvveti 971,42 kN iken maksimum tepe noktası yer değiştirmesi 3,2 cm'dir.



Şekil 37. Model-3'e ait taban kesme kuvveti-deplasman grafiği

Aşağıda Şekil 38'de sabit tek modlu statik itme analizi sonucunda çerçevede oluşan plastik mafsallar gösterilmiştir.



Şekil 38. Model-3' ye ait statik itme analiz sonucu yapıda oluşan plastik mafsallar

Çerçevede oluşan plastik mafsallara göre mevcut betonarme binaların taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar durumları TBDY-2018'e göre belirlenmiştir. Elemanlarda oluşan hasar dağılımları Tablo 9'da verilmiştir. Kolonların %50'si sınırlı hasar bölgesi, %50'si göçme hasar bölgesindeyken, kirişlerde %58,33'ü sınırlı hasar %16,67'si belirgin hasar ve %25'i göçme bölgesindedir. Çerçevenin giriş kat kolonların etriye aralığının diğer katlara göre 10 mm azaltılması çerçevenin kolon ve kirişlerinin hasar seviyelerinde pek olumlu bir etkisi olmamıştır.

Tablo 9. İtme Analizi Sonucundan Hasar Bölgelerinin Oranları

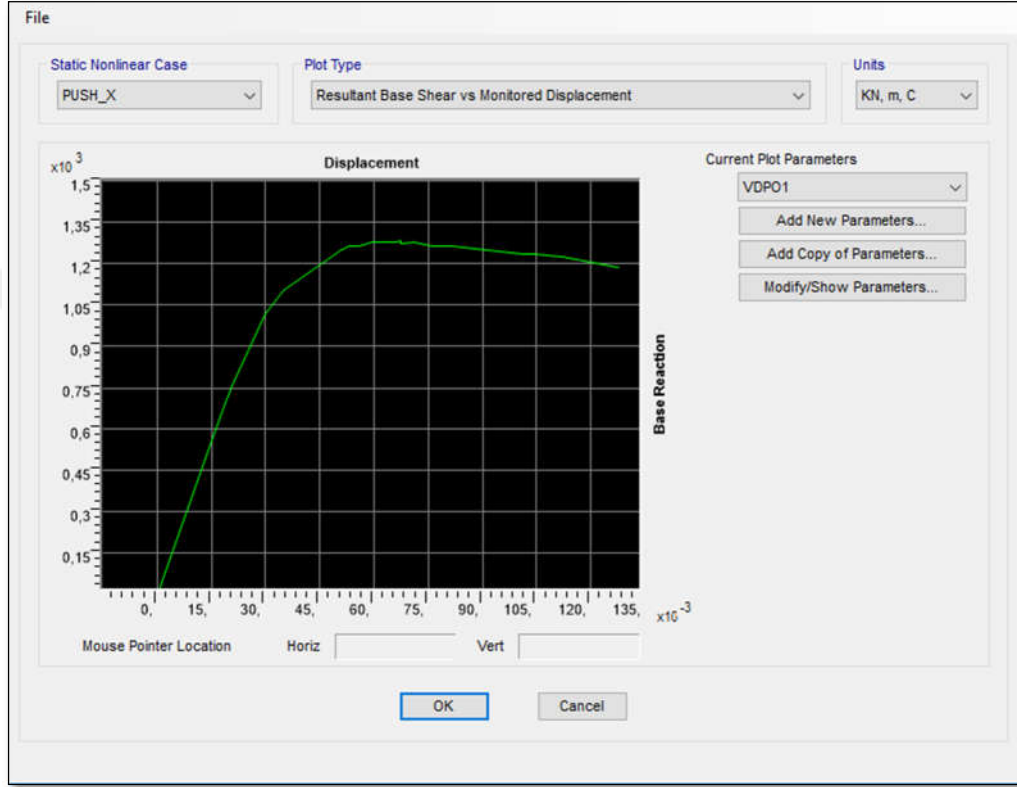
	Sınırlı Hasar Bölgesi		Belirgin Hasar Bölgesi		İleri Hasar Bölgesi		Göçme Bölgesi	
	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)
Kolon	8	50,00	-	-	-	-	8	50,00
Kiriş	7	58,33	2	16,67	-	-	3	25,00

Tablo 10. ATC-40 Kapasite Spektrumu Yaklaşımına Göre Model-3'ün Performans Noktasının Özellikleri

Etkin Sönümlenme B_{eff}	Etkin Periyot T_{eff} (sn.)	Spektral ivme (S_a) g	Spektral Yer Değiştirme (S_d) cm	Taban Kesme Kuvveti kN	Tepe Noktası Yer Değiştirmesi cm
0,115	0,369	0,73	2,50	971,47	3,20

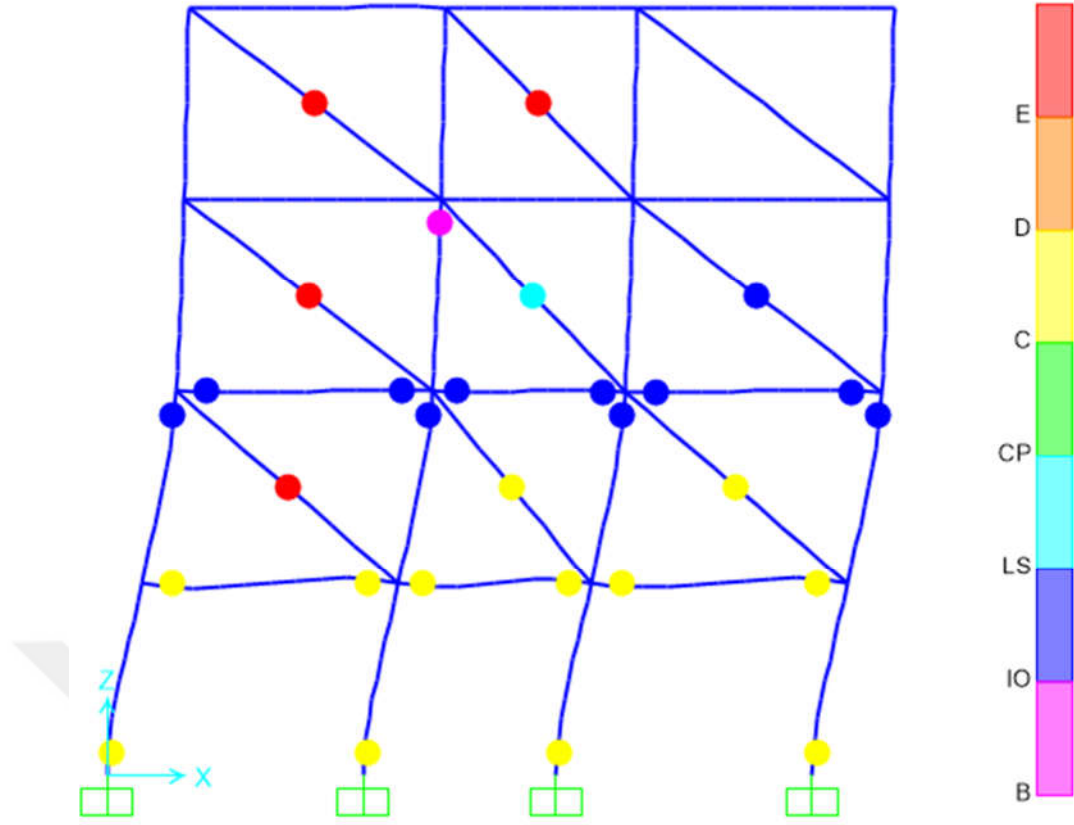
Durum 4: Çerçevenin Sadece Giriş Kat Kolonların Etriye Aralığının 130 mm Olması (Model-4)

Giriş katında dolgu duvarların olmamasından kaynaklı yumuşak kat düzensizliği bulunan çerçevenin giriş kat kolonlarının etriye aralığının 150 mm'den 130 mm'ye düşürülmesi ile oluşturulan modelle uygulanan itme analizi sonucunda oluşan taban kesme kuvveti- yer değiştirme grafiği Şekil 39'da gösterilmiştir. Maksimum taban kesme kuvveti 1050,02 kN iken maksimum tepe noktası yer değiştirmesi 3,2 cm'dir.



Şekil 39. Model-4'e ait taban kesme kuvveti-deplasman grafiği

Aşağıda Şekil 40'ta sabit tek modlu statik itme analizi sonucunda çerçevede oluşan plastik mafsallar gösterilmiştir.



Şekil 40. Model-4'e ait statik itme analiz sonucu çerçevede oluşan plastik mafsallar

Elemanlarda oluşan hasar dağılımları Tablo 11'de verilmiştir. Kolonların %62,5'i sınırlı hasar bölgesi, %12,25'i belirgin hasar bölgesinde ve %25'i göçme hasar bölgesindeyken, kirişlerde %50'si sınırlı hasar %25'i belirgin hasar ve %25'i göçme bölgesindedir. Çerçevenin giriş kat kolonların etriye aralığının 150 mm'den 130 mm'ye düşürülmesi yapının kolon ve kirişlerin hasar seviyelerinin iyileştirilmesine önemli bir etkisi olmuştur.

Tablo 11. İtme Analizi Sonucundan Hasar Bölgelerinin Oranları

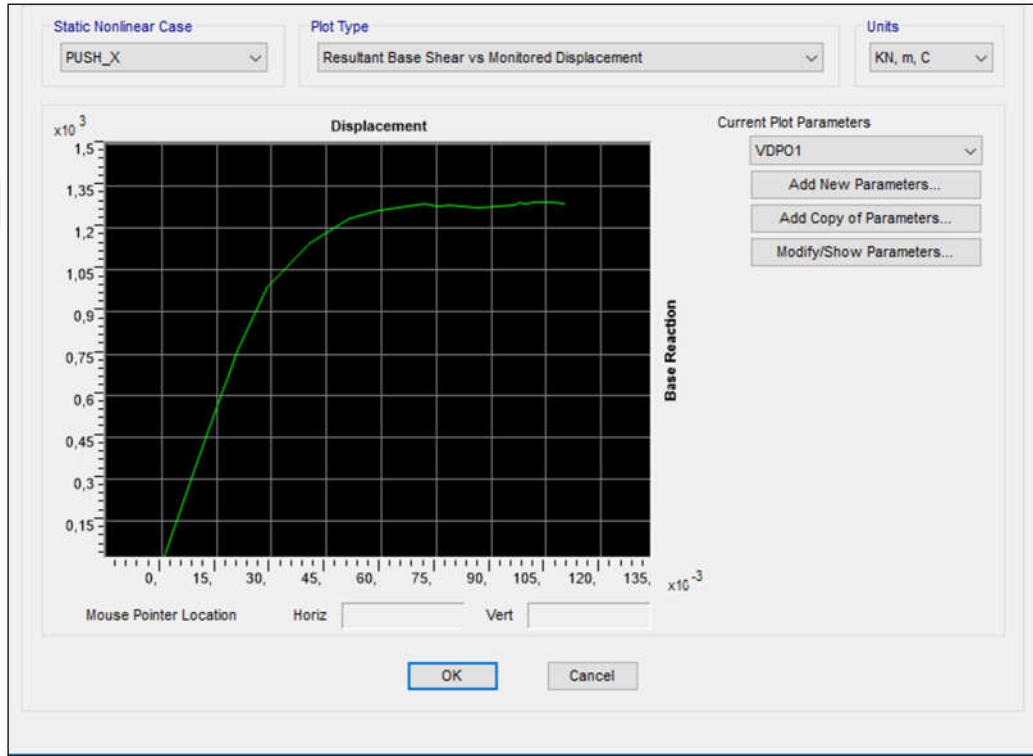
	Sınırlı Hasar Bölgesi		Belirgin Hasar Bölgesi		İleri Hasar Bölgesi		Göçme Bölgesi	
	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)
Kolon	10	62,50	2	12,50	-	-	4	25,00
Kiriş	6	50,00	3	25,00	-	-	3	25,00

Tablo 12. ATC-40 Kapasite Spektrumu Yaklaşımına Göre Model-4'ün Performans Noktasının Özellikleri

Etkin Sönümlenme B_{eff}	Etkin Periyot T_{eff} (sn.)	Spektral ivme (S_a) g	Spektral Yer Değiştirme (S_d) cm	Taban Kesme Kuvveti kN	Tepe Noktası Yer değiştirmesi cm
0,092	0,352	0,802	2,50	1050,02	3,20

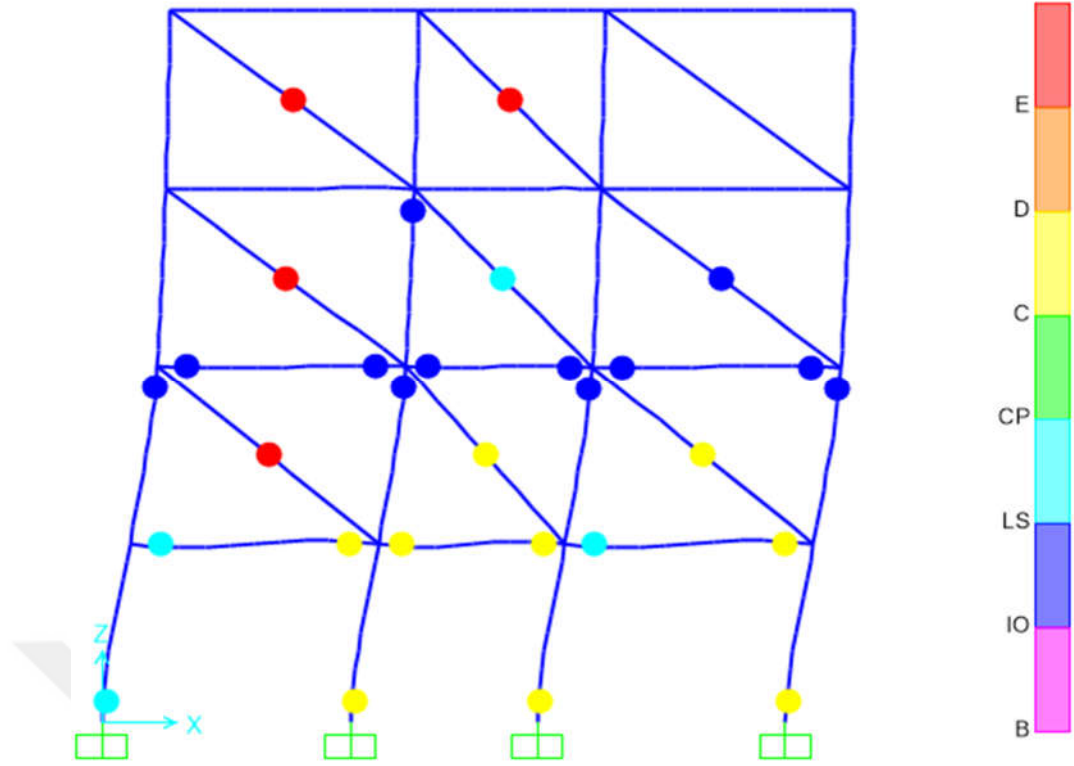
Durum 5: Çerçevenin Sadece Giriş Kat Kolonların Etriye Aralığının 120 mm Olması (Model-5)

Giriş katında dolgu duvarların olmamasından kaynaklı yumuşak kat düzensizliği bulunan çerçevenin giriş kat kolonlarının etriye aralığının 150 mm'den 120 mm'ye düşürülmesi ile oluşturulan modelle uygulanan itme analizi sonucunda oluşan taban kesme kuvveti- yer değiştirme grafiği Şekil 41'de gösterilmiştir. Maximum taban kesme kuvveti 1033,28 kN iken maksimum tepe noktası yer değiştirmesi 3,2 cm'dir.



Şekil 41. Model-5'e ait taban kesme kuvveti-deplasman grafiği

Aşağıda Şekil 42'de sabit tek modlu statik itme analizi sonucunda çerçevede oluşan plastik mafsallar gösterilmiştir.



Şekil 42. Model-5' e ait statik itme analiz sonucu çerçevede oluşan plastik mafsallar

Yapıda oluşan plastik mafsallara göre mevcut betonarme binaların taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar durumları TBDY-2018'e göre belirlenmiştir. Elemanlarda oluşan hasar dağılımları Tablo 13'te verilmiştir. Kolonların %56,25'i sınırlı hasar bölgesi, %25'i belirgin hasar bölgesi, %18,75'i göçme hasar bölgesindeyken, kirişlerde %50'si sınırlı hasar %25'i belirgin hasar ve %25'i göçme bölgesindedir. Çerçevenin giriş kat kolonların etriye aralığının diğer katlara göre 30 mm azaltılması yapın kolonlardaki hasar seviyesi tüm katlarda dolgu duvar olan Model-1'i neredeyse yakalamıştır. Ancak kirişlerin %25'inin göçme bölgesinde kalmasına engel olamamıştır.

Tablo 13. İtme Analizi Sonucundan Hasar Bölgelerinin Oranları

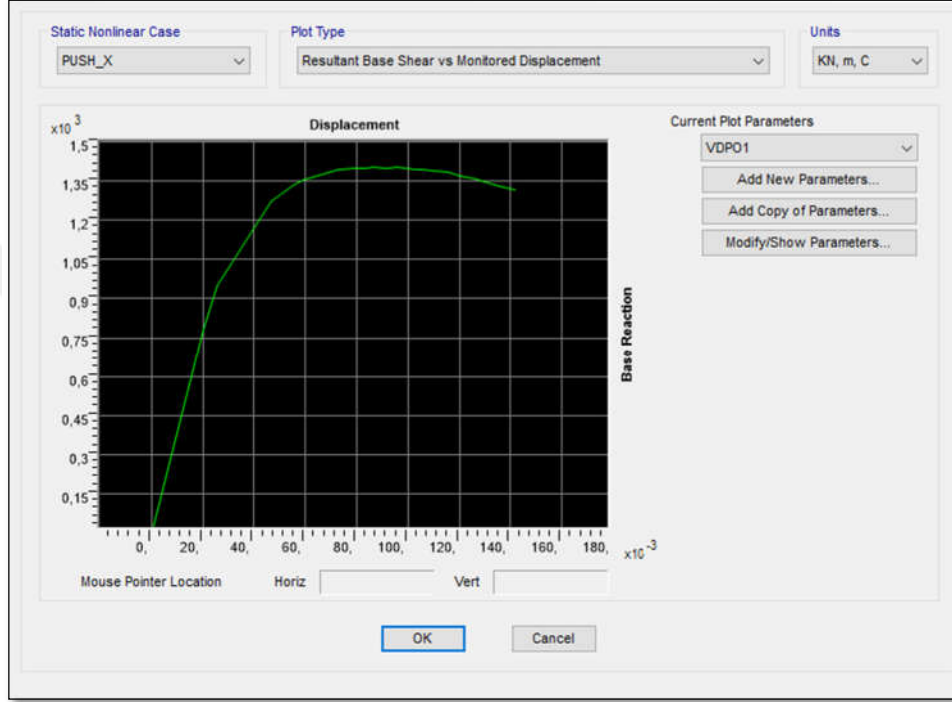
	Sınırlı Hasar Bölgesi		Belirgin Hasar Bölgesi		İleri Hasar Bölgesi		Göçme Bölgesi	
	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)
Kolon	9	56,25	4	25,00	-	-	3	18,75
Kiriş	6	50,00	3	25,00	-	-	3	25,00

Tablo 14. ATC-40 Kapasite Spektrumu Yaklaşımına Göre Model-5'in Performans Noktasının Özellikleri

Etkin Sönümlenme B_{eff}	Etkin Periyot T_{eff} (sn.)	Spektral ivme (S_a) g	Spektral Yer Değiştirme (S_d) cm	Taban Kesme Kuvveti kN	Tepe Noktası Yer değiştirmesi cm
0,096	0,354	0,789	2,50	1033,28	3,20

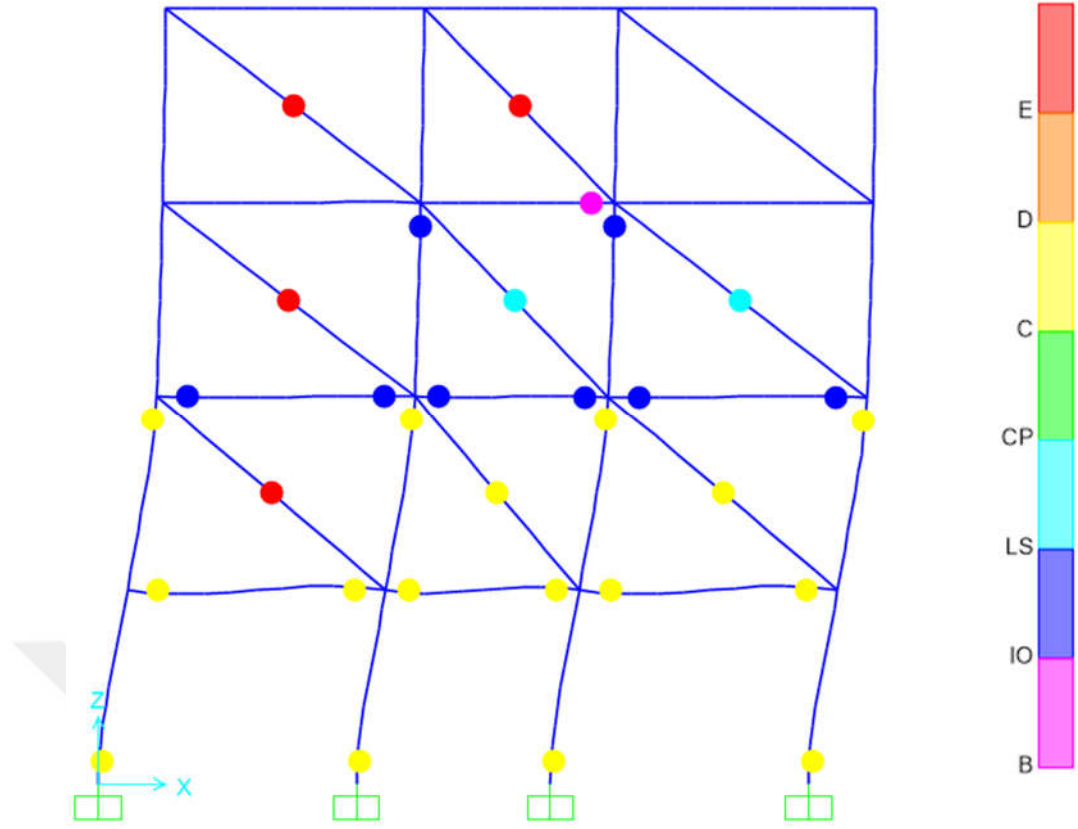
Durum 6: Çerçevenin Sadece Giriş Kat Kolon Boyutlarının 700x700 mm Olması (Model-6)

Giriş katında dolgu duvarların olmamasından kaynaklı yumuşak kat düzensizliği bulunan çerçevenin giriş kat kolonlarının etriye aralığının 600x600 mm'den 700x700 mm'ye düşürülmesi ile oluşturulan modelle uygulanan itme analizi sonucunda oluşan taban kesme kuvveti- yer değiştirme grafiği Şekil 43'te gösterilmiştir. Maximum taban kesme kuvveti 1022,83kN iken maksimum tepe noktası yer değiştirmesi 2,80 cm'dir.



Şekil 43. Model-6'ya ait taban kesme kuvveti-deplasman grafiği

Aşağıda Şekil 44'te sabit tek modlu statik itme analizi sonucunda çerçevede oluşan plastik mafsallar gösterilmiştir.



Şekil 44. Model-6'ya ait statik itme analiz sonucu çerçevede oluşan plastik mafsallar

Yapıda oluşan plastik mafsallara göre mevcut betonarme çerçevenin taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar durumları TBDY-2018'e göre belirlenmiştir. Elemanlarda oluşan hasar dağılımları Tablo 15'te verilmiştir. Kolonların %43,75'i sınırlı hasar bölgesi, %6,25'i belirgin hasar bölgesi, %50'si göçme hasar bölgesindeyken, kirişlerde %50'si sınırlı hasar %25'i belirgin hasar ve %25'i göçme bölgesindedir.

Tablo 15. İtme Analizi Sonucundan Hasar Bölgelerinin Oranları

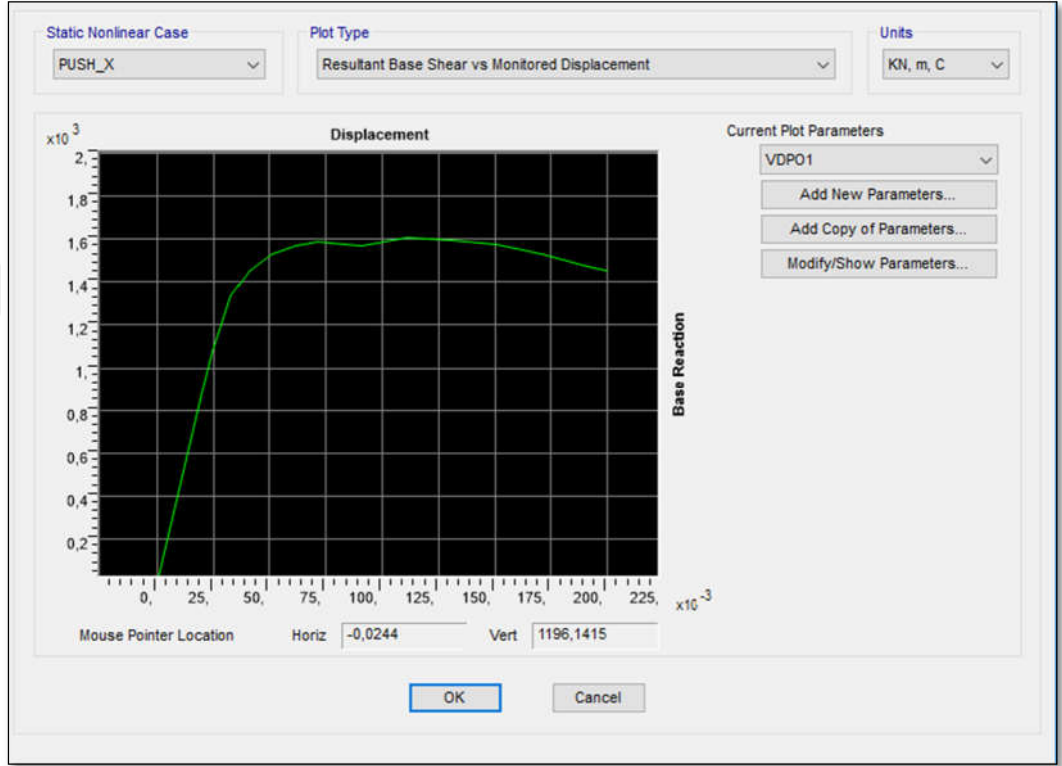
	Sınırlı Hasar Bölgesi		Belirgin Hasar Bölgesi		İleri Hasar Bölgesi		Göçme Bölgesi	
	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)
Kolon	7	43,75	1	6,25	-	-	8	50,00
Kiriş	6	50,00	3	25,00	-	-	3	25,00

Tablo 16. ATC-40 Kapasite Spektrumu Yaklaşımına Göre Model-6'nın Performans Noktasının Özellikleri

Etkin Sönümlenme B_{eff}	Etkin Periyot T_{eff} (sn.)	Spektral ivme (S_a) g	Spektral Yer Değiştirme (S_d) cm	Taban Kesme Kuvveti kN	Tepe Noktası Yer Değiştirmesi cm
0,092	0,327	0,801	2,10	1022,83	2,80

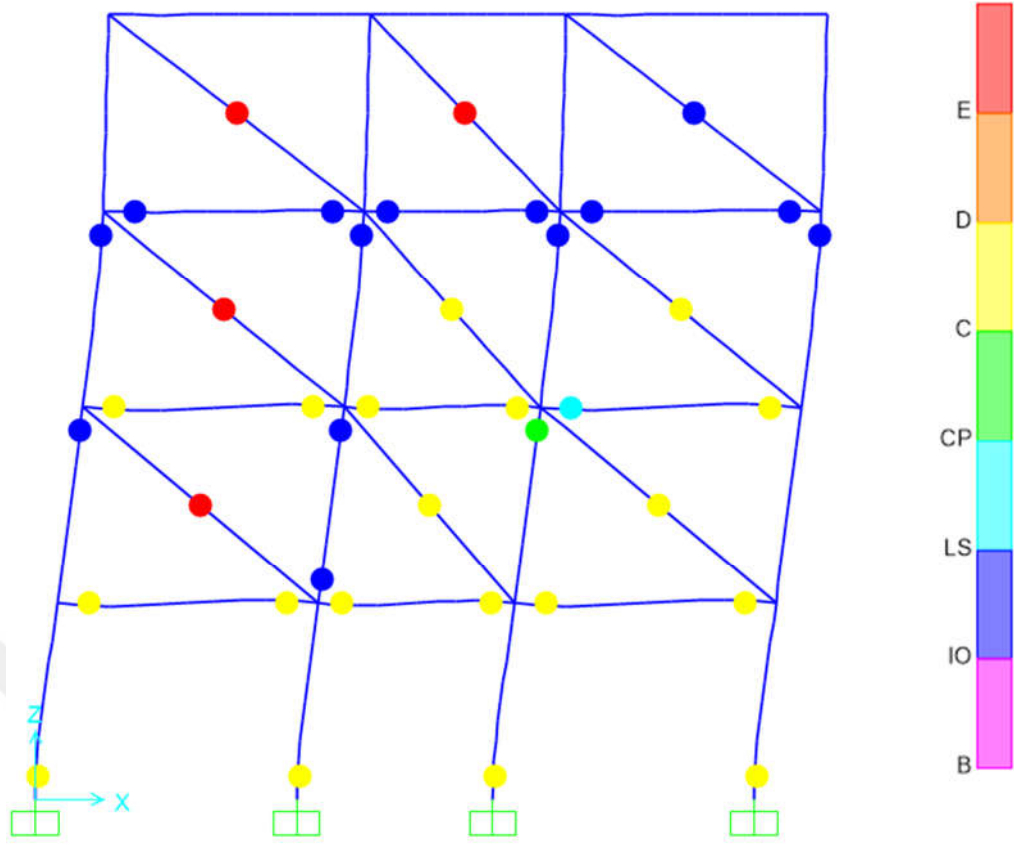
Durum 7: Çerçevenin sadece giriş kat kolon boyutlarının 800x800 mm olması (Model-7)

Giriş katında dolgu duvarların olmamasından kaynaklı yumuşak kat düzensizliği bulunan çerçevenin giriş kat kolonlarının kolon boyutlarını 600x600 mm'den 800x800 mm'ye yükseltilmesi ile oluşturulan modelle uygulanan itme analizi sonucunda oluşan taban kesme kuvveti- yer değiştirme grafiği Şekil 45'te gösterilmiştir. Maksimum taban kesme kuvveti 1146,25 kN iken maksimum tepe noktası yer değiştirmesi 2,7 cm'dir.



Şekil 45. Model-7'ye ait taban kesme kuvveti-deplasman grafiği

Aşağıda Şekil 46'da sabit tek modlu statik itme analizi sonucunda çerçevede oluşan plastik mafsallar gösterilmiştir.



Şekil 46. Model-7'ye ait statik itme analiz sonucu çerçevede oluşan plastik mafsallar

Çerçevede oluşan plastik mafsallara göre mevcut betonarme çerçevenin taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar durumları TBDY-2018'e göre belirlenmiştir. Elemanlarda oluşan hasar dağılımları Tablo 17'de verilmiştir. Kolonların %43,75'i sınırlı hasar bölgesi, %25'i belirgin hasar bölgesi, %31,25'i göçme hasar bölgesindeyken, kirişlerde %25'i sınırlı hasar %25'i belirgin hasar bölgesinde ve %50'si göçme bölgesindedir.

Tablo 17. İtme Analizi Sonucundan Hasar Bölgelerinin Oranları

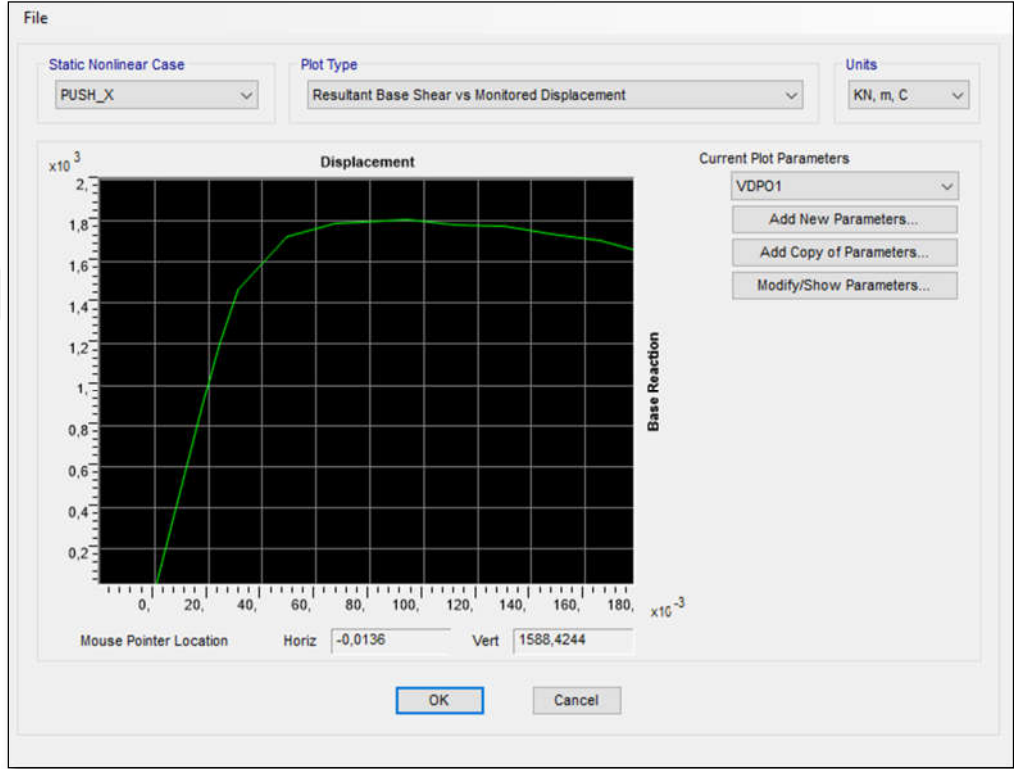
	Sınırlı Hasar Bölgesi		Belirgin Hasar Bölgesi		İleri Hasar Bölgesi		Göçme Bölgesi	
	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)
Kolon	7	43,75	4	25,00	-	-	5	31,25
Kiriş	3	25,00	3	25,00	-	-	6	50,00

Tablo 18. ATC-40 Kapasite Spektrumu Yaklaşımına Göre Model-7'in Performans Noktasının Özellikleri

Etkin Sönümlenme B_{eff}	Etkin Periyot T_{eff} (sn.)	Spektral ivme (S_a) g	Spektral Yer Değiştirme (S_d) cm	Taban Kesme Kuvveti kN	Tepe Noktası Yer Değiştirmesi cm
0,058	0,289	0,953	2,00	1146,25	2,70

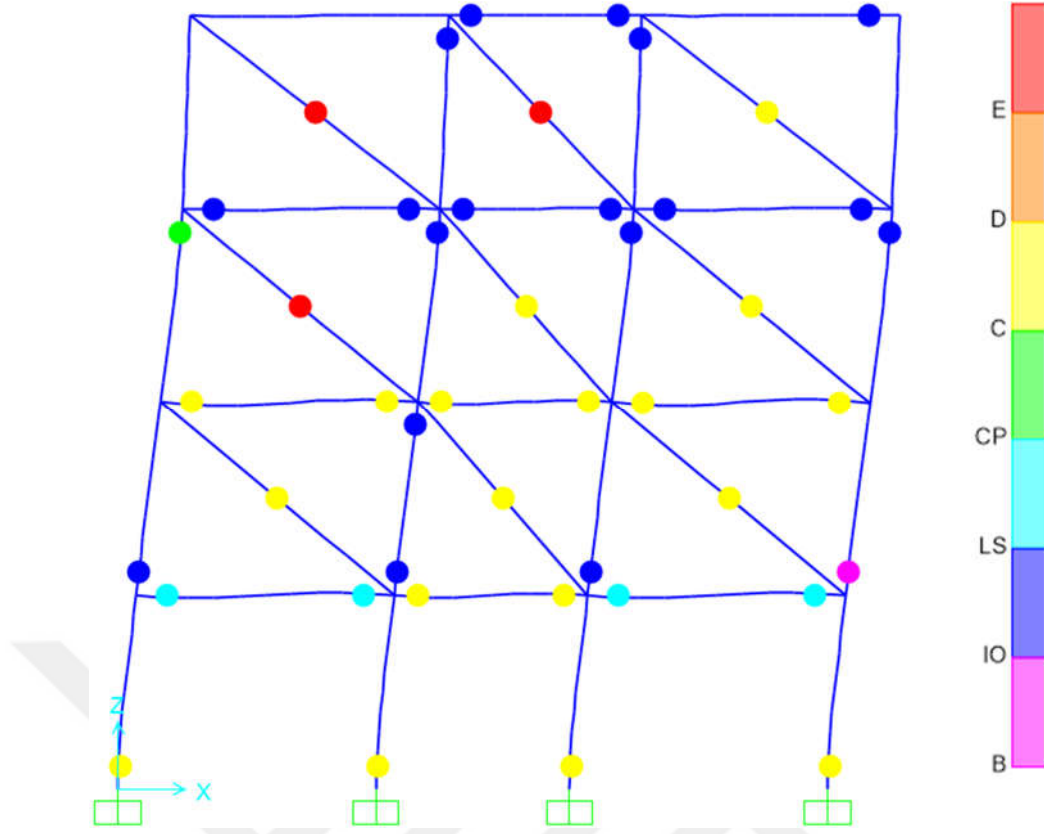
Durum 8: Çerçevenin Sadece Giriş Kat Kolon Boyutlarının 900x900 mm Olması (Model-8)

Giriş katında dolgu duvarların olmamasından kaynaklı yumuşak kat düzensizliği bulunan çerçevenin giriş kat kolonların boyutlarını 600x600 mm'den 900x900 mm'ye çıkartılması ile oluşturulan modelle uygulanan itme analizi sonucunda oluşan taban kesme kuvveti- yer değiştirme grafiği Şekil 47'de gösterilmiştir. Maksimum taban kesme kuvveti 1145,42 kN iken maksimum tepe noktası yer değiştirmesi 2,3 cm'dir.



Şekil 47. Model-8'e ait taban kesme kuvveti-deplasman grafiği

Aşağıda Şekil 48'de sabit tek modlu statik itme analizi sonucunda çerçevede oluşan plastik mafsallar gösterilmiştir.



Şekil 48. Model-8' e ait statik itme analiz sonucu çerçevede oluşan plastik mafsallar

Çerçevede oluşan plastik mafsallara göre mevcut betonarme çerçevenin taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar durumları TBDY-2018'e göre belirlenmiştir. Elemanlarda oluşan hasar dağılımları Tablo 19'da verilmiştir. Kolonların %31,25'i sınırlı hasar bölgesi, %37,50'si belirgin hasar bölgesi, %31,25'i göçme hasar bölgesindeyken, kirişlerde %12,25'i sınırlı hasar %25'i belirgin hasar, %12,5'si ileri hasar ve %25'i göçme bölgesindedir.

Tablo 19. İtme Analizi Sonucundan Hasar Bölgelerinin Oranları

	Sınırlı Hasar Bölgesi		Belirgin Hasar Bölgesi		İleri Hasar Bölgesi		Göçme Bölgesi	
	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)
Kolon	5	31,25	6	37,50	-	-	5	31,25
Kiriş	2	12,25	4	25,00	2	12,50	4	25,00

Tablo 20. ATC-40 Kapasite Spektrumu Yaklaşımına Göre Model-8'in Performans Noktasının Özellikleri

Etkin Sönümlenme B_{eff}	Etkin Periyot T_{eff} (sn.)	Spektral ivme (S_a) g	Spektral Yer Değiştirme (S_d) cm	Taban Kesme Kuvveti kN	Tepe Noktası Yer Değiştirilmesi cm
0,05	0,259	1,00	1,70	1145,42	2,30

Durum 9: Giriş Kata Perde İlave Edilmiş Çerçeve (Model-9)

Depremde hasar gören binalar üzerinde yapılan gözlemlerde, perdeli binaların çerçevesiz binalara göre performansının daha iyi olduğu belirlenmiştir. (Şahin ve ark. 2013). Perdeli çerçevesiz sistemlerde kat kesme kuvvetinin büyük bir bölümü perdeler tarafından karşılandığından kolonlara etkiyen kesme kuvveti büyük oranda azaldığı bilinmektedir (Kasap ve ark. 2015).

Bu bölümde ilk etapta perde duvarda plastik mafsal boyu ile ilgili olarak yönetmelikler ile araştırmacılar tarafından ortaya atılan modeller sunulacaktır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) plastik mafsal boyu uzunluğu (L_p), perdenin çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)'n yarısına eşit almıştır (Denklem 41).

$$L_p=0.5h \quad (41)$$

Mevcut binaların sismik değerlendirilmesi ile ilgili Amerika inşaat mühendisleri derneği (ASCE41 2017) tarafından yayımlanan yönetmelikte betonarme perde duvarlar için $\alpha=0,5$ ve $\beta=0,1$ olmak üzere plastik mafsal boyu uzunluğu Denklem (42)'de verilmiştir.

$$L_p=0,8 \alpha L_w + \beta H_w \quad (42)$$

Eurocode 8'e göre deprem dayanımı için yapılan tasarımlarda plastik mafsal boyu uzunluğu için Denklem (43)'ü önermiştir.

$$L_p = \frac{L_v}{30} + 0,2L_w + \frac{-0,11d_1f_y}{\sqrt{f_c}} \quad (43)$$

Burada: L_v , kesme açıklığı (moment-kesme oranı, M/V), d_1 , çekme donatısının (ortalama) çapı, f_y ve f_c , boyuna donatının akma gerilmesi ve betonun basınç dayanımıdır,

UBC (Uniform building code, 1997) ise plastik mafsal boyu için TBDY-2018 ile aynı denklemi önermiştir. Paulay ve Priestly (1992), tarafında betonarme perde duvarlarda plastik mafsal boyu için Denklem (44)' sunulmuştur.

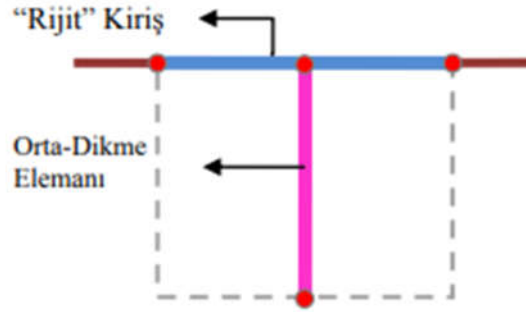
$$L_p=0,2L_w+0,67 \frac{M}{V} \quad (44)$$

Thomsen ve Wallace (2004) plastik mafsal boyu uzunluğu için Denklem (45)'i önermişlerdir.

$$L_p=0,33L_w \quad (45)$$

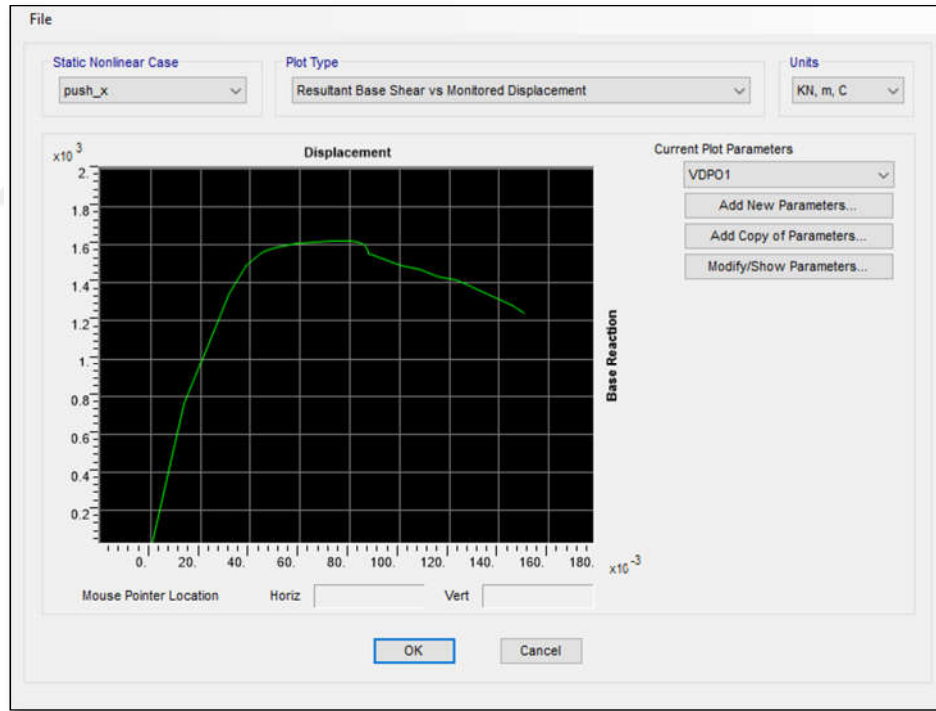
Çalışma kapsamında plastik mafsal boyu uzunluğu için TBDY-2018 tarafından önerilen Denklem (41) kullanılmıştır. Perde duvarlar yapı içinde büyük oranda kesme kuvveti taşıdıklarından, lineer ve nonlineer analizlerin sonuçlarını büyük oranda etkilemektedirler. Bu sebeple yapılacak analizlerde perde duvarın doğru bir şekilde modellenmesi gerekmektedir

(Yasin ve ark. 2011). Perde duvarın modelle doğru bir şekilde yansıtılması adına kullanılan en yaygın yöntemlerden biri geniş kolon analogisidir (Sakcalı ve ark. 2011). Bu çalışma kapsamında da Şekil 49’da görüldüğü gibi geniş kolon analogisi kullanılmıştır.



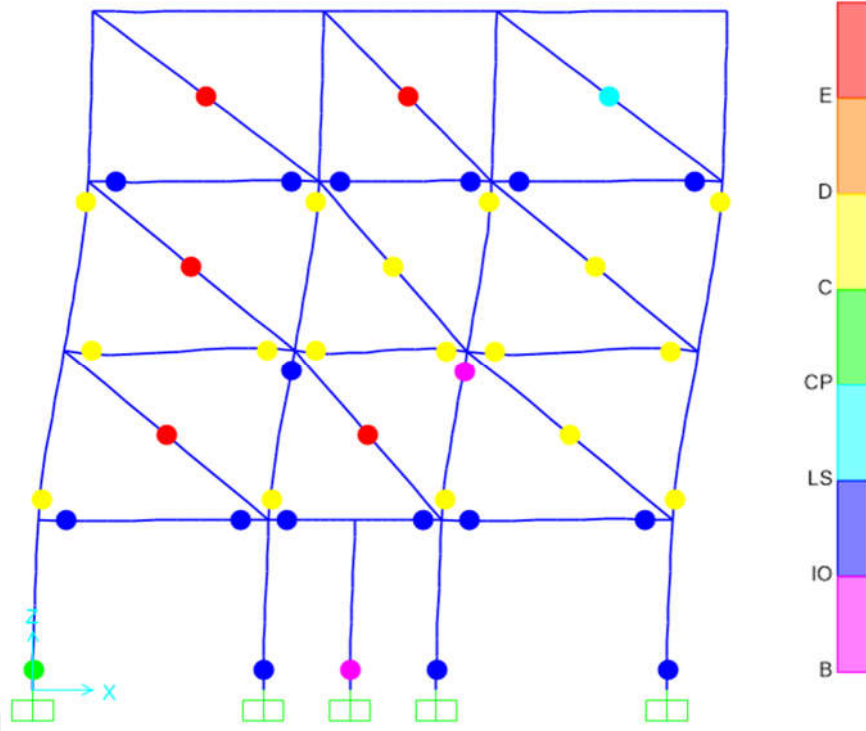
Şekil 49. Perde için orta-dikme modeli (Sakcalı ve ark. 2011)

Yapılan tek modlu itme analizi sonucunda çerçeveye ait taban kesme kuvveti-yer değiştirme grafiği Şekil 50’de sunulmuştur. Perde duvarın çerçeveye dahil edilmesiyle birlikte yapının taban kesme kuvveti 956,95 kN çıkmıştır.



Şekil 50. Model-9’a ait taban kesme kuvveti-deplasman grafiği

Giriş katta betonarme perde ilave edilerek yapılan tek modlu itme analizi sonucu çerçevede oluşan plastik mafsallar Şekil 51’de gösterilmiştir. Perde duvar eklenmesi çerçevenin giriş kat kolon ve kirişlerinde iyileşmeye yol açmış ve diğer modellerin aksine ilk ciddi hasar ikinci kat kirişlerinde meydana gelmiş ve çerçevenin üst kat taşıyıcı elemanlarında ciddi hasarlar oluşmuştur (Salmon et al. 2019).



Şekil 51. Model-9'a ait statik itme analiz sonucu çerçevede oluşan plastik mafsallar

Çerçevede statik itme analizi sonucu kolon ve kirişlerinde oluşan hasar seviyeleri Tablo 21'de verilmiştir. Çerçevede oluşan plastik mafsallara göre mevcut betonarme binaların taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar durumları TBDY-2018'e göre belirlenmiştir. Kolonların %25'i sınırlı hasar bölgesi, %18,75 belirgin hasar bölgesi, %56,25'i göçme hasar bölgesindeyken kirişlerde %25'i sınırlı hasar, %50'si belirgin hasar ve %25'i göçme bölgesindedir. Sadece giriş katta perde duvarın eklenmesi çerçevenin üst kat kolon ile kirişlerinde ciddi hasarların oluşmasına yol açmış olup çerçevenin üst katlarında kırılmalara yol açmıştır.

Tablo 1. İtme Analizi Sonucundan Hasar Bölgelerinin Oranları

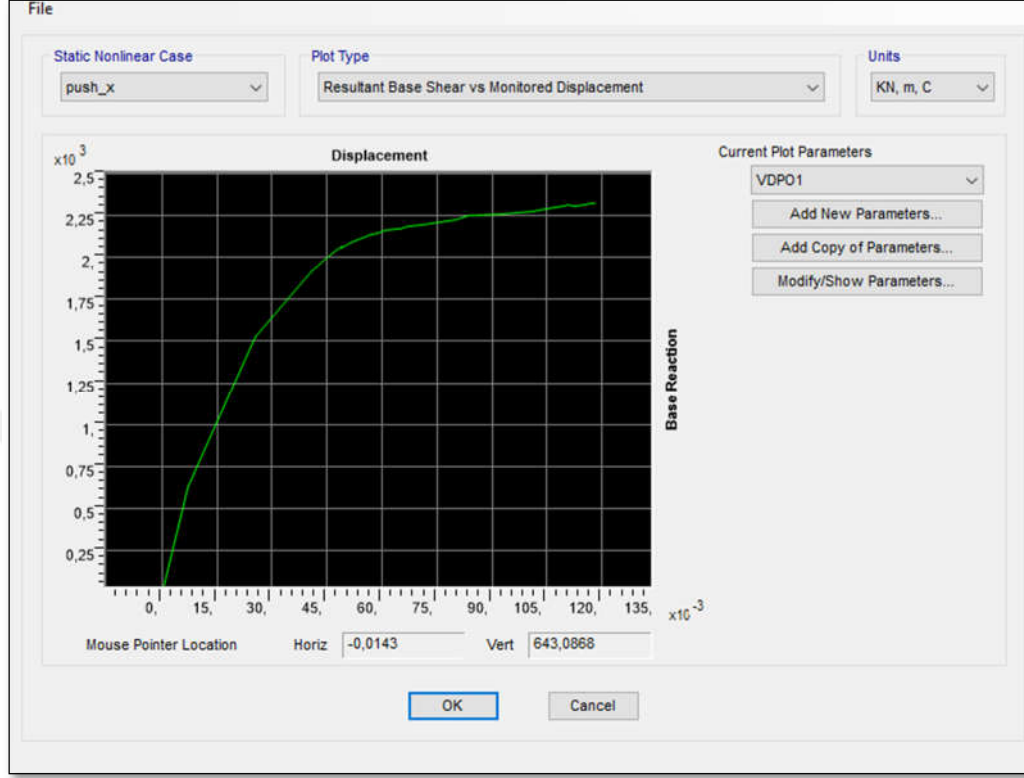
	Sınırlı Hasar Bölgesi		Belirgin Hasar Bölgesi		İleri Hasar Bölgesi		Göçme Bölgesi	
	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)
Kolon	4	25,00	3	18,75	-	-	9	56,25
Kiriş	3	25,00	6	50,00	-	-	3	25,00

Tablo 2. ATC-40 Kapasite Spektrumu Yaklaşımına Göre Model-9'un Performans Noktasının Özellikleri

Etkin Sönümlenme B_{eff}	Etkin Periyot T_{eff} (sn.)	Spektral ivme (S_a) g	Spektral Yer Değiştirme (S_d) cm	Taban Kesme Kuvveti kN	Tepe Noktası Yer Değiştirmesi cm
0,077	0,258	0,829	1,40	956,95	1,90

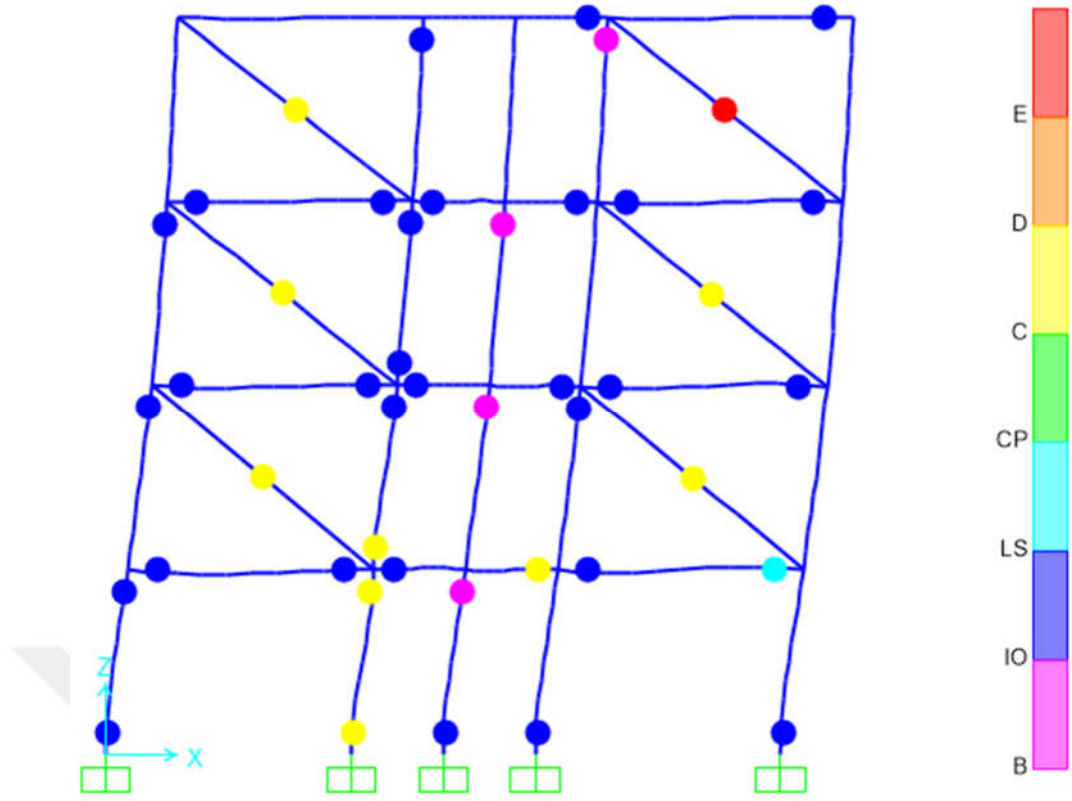
Durum 10: Çerçevenin Tüm Katlarına Betonarme Perde Eklenmesi Durumu (Model-10)

Yapılan tek modlu itme analizi sonucunda çerçeveye ait taban kesme kuvveti-yer değiştirme grafiği Şekil 52’de sunulmuştur. Perde duvarların çerçeveye dahil edilmesi ile yapının rijitliğini arttığı gözlemlenmiştir (Garip ve ark. 2017).



Şekil 52. Model-10’a ait taban kesme kuvveti-deplasman grafiği

Çerçevenin tamamına betonarme perde ilave edilerek yapılan tek modlu itme analizi sonucu çerçevede oluşan plastik mafsallar Şekil 53’te gösterilmiştir. Perde duvar eklenmesi çerçevenin kolon ve kirişlerinin performansında ciddi manada iyileşmeye yol açmış.



Şekil 53. Model-10'a ait statik itme analiz sonucu çerçevede oluşan plastik mafsallar

Statik itme analizi sonucu çerçevenin kolon ve kirişlerinde oluşan hasar seviyeleri Tablo 23'te verilmiştir. Çerçevede oluşan plastik mafsallara göre mevcut betonarme binaların taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar durumları TBDY-2018'e göre belirlenmiştir. Kolonların %43,75'i sınırlı hasar bölgesi, %12,50'si belirgin hasar bölgesi, %50 göçme hasar bölgesindeyken kirişlerde %25'i sınırlı hasar, %66,64'ü belirgin hasar ve %8,34'ü göçme bölgesindedir. Çerçevenin tüm katlarına betonarme perde duvar eklenmesi yapının taşıyıcı elemanlardaki hasar seviyesini önemli derece iyileştirmiştir (Yiğit, 2018).

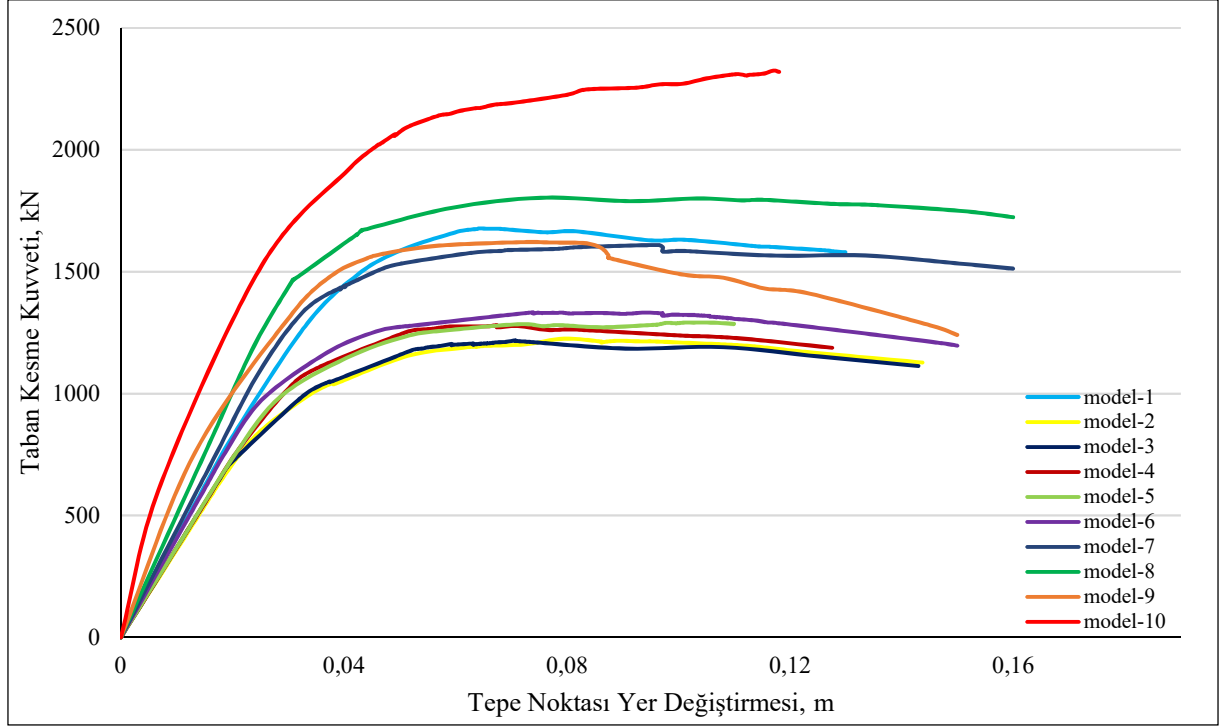
Tablo 23. İtme Analizi Sonucundan Hasar Bölgelerinin Oranları

	Sınırlı Hasar Bölgesi		Belirgin Hasar Bölgesi		İleri Hasar Bölgesi		Göçme Bölgesi	
	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)	Sayı	Oran (%)
Kolon	7	43,75	7	43,75	-	-	2	12,50
Kiriş	3	25,00	8	66,64	-	-	1	8,34

Tablo 24. ATC-40 Kapasite Spektrumu Yaklaşımına Göre Model-10'un Performans Noktasının Özellikleri

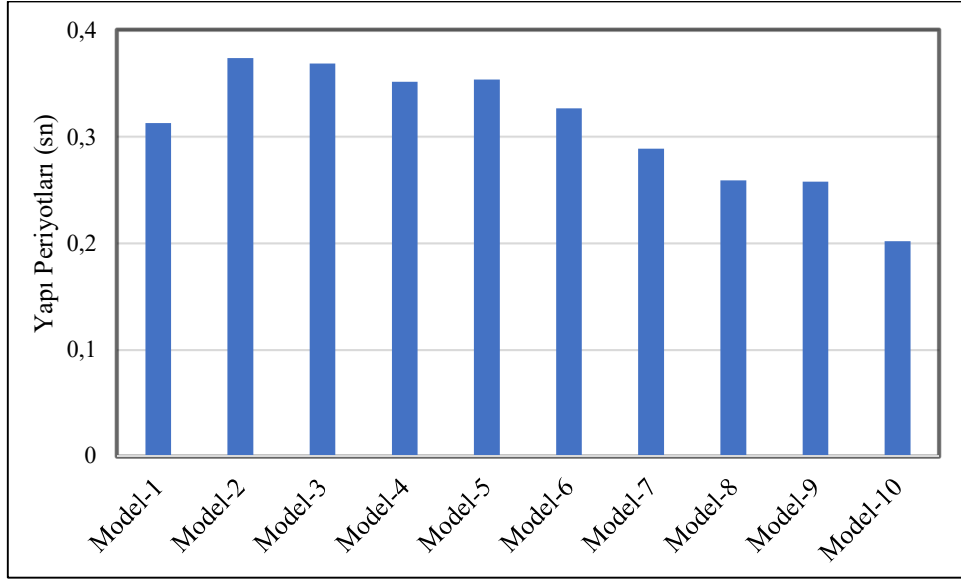
Etkin Sönümleme B_{eff}	Etkin Periyot T_{eff} (sn.)	Spektral ivme (S_a) g	Spektral Yer Değiştirme (S_d) cm	Taban Kesme Kuvveti kN	Tepe Noktası Yer Değiştirmesi cm
0,071	0,202	0,808	0,90	889,9	1,20

Çerçevenin giriş kat kolonlarının yanal rijitliklerinin üst kat kolonlara göre artırılması ya da perde duvar ilave edilmesi çerçevenin taban kesme kuvvetinde artışa yol açtığı gözlemlenmiştir (Şekil 54). Böylece çerçeve deprem daha dayanıklı bir hale gelmiştir (Korkmaz ve Taner 2006). Çerçevenin giriş kat kolonlarının etriye aralıklarındaki azalmaya paralel çerçevenin taban kesme kuvvetinde artış meydana gelmiştir. Çerçeveye perdelerin dahil edilmesiyle çerçevenin kesme kuvveti, tüm katlarda dolgu duvar bulunan çerçevenin taban kesme kuvvetini aşmıştır.



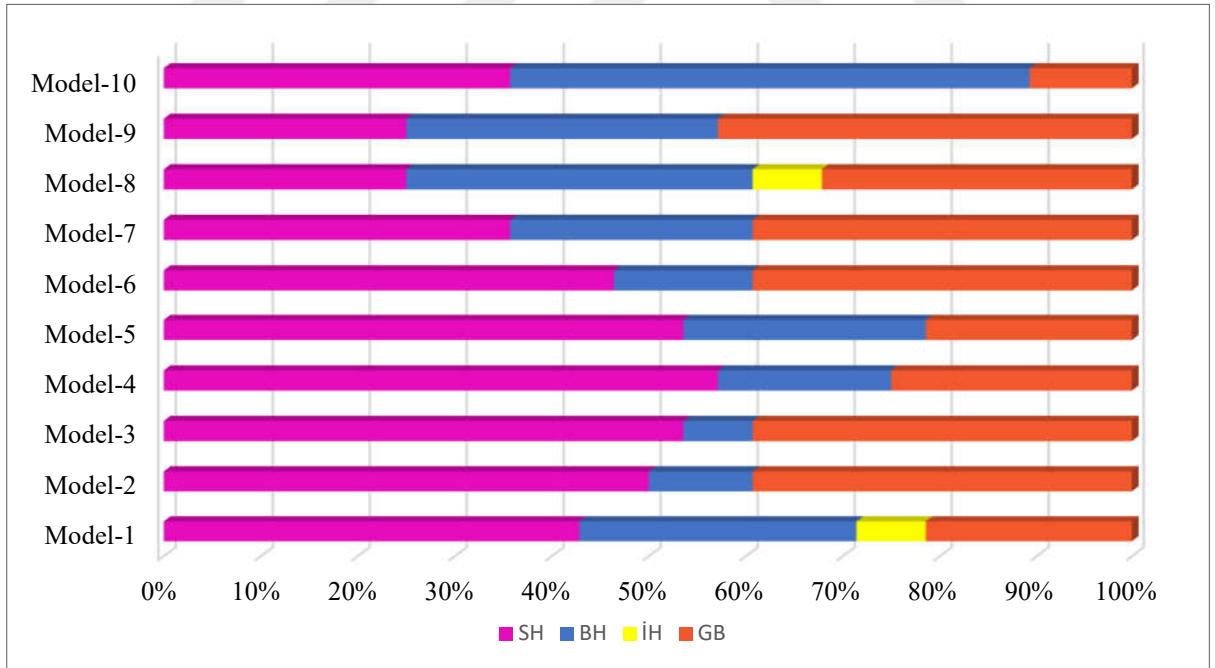
Şekil 54. Öne sürülen çözümlere ait taban kesme kuvveti- yer değiştirme grafiği

Çerçevenin giriş kat kolonların etriye aralıklarındaki mesafenin azalmasına bağlı olarak çerçevenin periyodunda az da olsa azalma olmuştur. Giriş kat kolonlarının boyutlarının artırılmasına paralel olarak çerçevenin hâkim titreşim periyodunda yaklaşık %30 civarında azalma gözlemlenmiştir. Yapıya perde duvar eklenmesi ile yapının periyodunda azalma olacağı bilinmektedir (Işık ve ark. 217). Yapılan çalışmanın sonucu da bunu desteklemektedir. Giriş katta perde duvar ilave edilmesiyle periyota %30 civarında bir azalma, çerçevenin tamamına perde duvar eklenmesi ise çerçevenin periyodunda %45 civarında bir azalmaya yol açmıştır (Şekil 55).



Şekil 55. Çerçevelerin etkin periyotları

Kolon uç bölgelerinde etriyenin seyrek olması durumunda deprem yükleri altında boyuna donatıların burkulmasına ve yapıda ağır hasarların ortaya çıkmasına yol açar (Elyiğit ve Ekinci 2023). Giriş kat kolonlarında etriye sıklaştırması yapılması betonun dayanımını ve sünekliliğini artırarak (Elyiğit ve Ekinci 2023) taşıyıcı sistemdeki hasar seviyesinde nispeten iyileşmeler yol açtığı gözlemlenmiştir (Şekil 56).



Şekil 56. Çerçevelerin taşıyıcı sistemlerinde oluşan hasar seviyeleri

Çerçevenin tüm katlara simetrik olarak perde duvar yerleştirilmesi, performans seviyesinin hedef performans seviyesine yükseltildiğini bilinmektedir (Yaman ve ark. 2019; Zolmaz 2019). Giriş katında dolgu duvarların olmamasından kaynaklı yumuşak kat düzensizliği bulunan mevcut bir çerçeveye perde duvarın eklenmesi çerçevenin sismik yükler altındaki

performansını nispetten iyileştirdiği gözlemlenmiş olsa da (Özyer 2016), perde duvarın sadece dolgu duvarların olmadığı zemin katta ilave edilmesi, zemin kat taşıyıcı elemanların hasar seviyelerinde iyileştirmeye yol açtı fakat üst katların taşıyıcı elemanlarının hasar seviyelerini olumsuz yönde etkilemiştir.



SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, dolgu duvarın yapının giriş katında olmamasından ötürü oluşan yumuşak kat düzensizliğinin yapının deprem performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. İlaveten bu olumsuz etkiyi ortadan kaldırmak için çözüm önerileri sunulmuştur. Bu doğrultuda on adet 4 katlı, 2 açıklı düzlemsel çerçeve TBDY (2018)'deki hususlar dikkate alınarak modellenmiş ve itme analizi ile deprem performansları belirlenmiştir. Çerçevelerin modellenmesi ve analizi yapısal analiz programı Sap2000 ile gerçekleştirilmiştir. İtme analizinde kullanılacak olan, M_y plastik mafsalları kirişlerin, $P-M_x-M_y$ plastik mafsalları kolonların her iki ucuna atanmıştır. Dolgu duvarlar eş değer diyagonal basınç çubuğu olarak modellenmiş ve üzerine sadece P eksenel yük mafsalı atanmıştır.

İlk etapta çerçevenin zemin katında dolgu duvarın olmamasının, çerçevenin deprem performansını nasıl etkilediğinin ortaya koymak için tamamen dolgu duvarlı düzlemsel çerçeve (Model-1) ile sadece giriş katında dolgu duvar olmayan düzlemsel çerçevenin (Model-2) deprem performansı kıyaslanmıştır. Bir sonraki adımda ise çerçevenin giriş kat kolonlarında etriye aralıklarının azaltılması, yapının performansı üzerindeki etkisi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla zemin kat kolonlarının etriye aralıkları kademeli olarak azaltılmıştır. Etriye aralıklarındaki bu azalmanın çerçevenin performansı üzerindeki etkisi Model-1 ve Model-2 ile mukayese edilmiştir. Daha sonraki aşamada ise düzlemsel çerçevenin zemin kat kolon boyutları artırılmış ve performans analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aynı şekilde Model-1 ve Model-2 ile kıyaslanmıştır. Son adımda ise çerçeveye perde duvar eklenmiş ve performans analizi yapılmıştır. Perde duvar eklenmesi ile elde edilen sonuçlar diğer modellerle mukayese edilmiştir. Elde edilen nihai sonuç ve öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- Yumuşak kat düzensizliği bulunan mevcut bir çerçevenin tüm katlarına betonarme perdenin eklenmesi, çerçevenin performansını önemli derecede iyileştirmiştir.
- Yumuşak kat düzensizliği bulunan mevcut bir çerçevenin sadece dolgu duvarın olmadığı katta betonarme perdenin eklenmesi, çerçevenin performansı üzerine olumsuz etki yaratmıştır.
- Yeni yapılacak bir binada sadece dolgu duvarın olmadığı kattın etriye aralıklarının azaltılması, dolgu duvarın inşa edilmemesinden kaynaklı oluşan yumuşak kat düzensizliğinin yapı performansı üzerindeki olumsuz etkisini azaltmıştır.
- Giriş kat kolonlarının boyutlarının artırılması, çerçevenin taban kesme kuvvetinde artışa yol açmış olup, yapının depreme daha dayanıklı hale getirmiştir. Fakat

çerçevenin taşıyıcı sistemlerindeki hasar seviyesi üzerine olumlu bir etkisi olmamıştır.

- Düzlemsel çerçeveye perde duvarın eklenmesiyle hâkim titreşim periyodunda önemli derecede azalma olmuştur.
- Bu çalışmada önerilen çözümler düzlemsel çerçeveler kullanılarak elde edilmiştir. Sonraki çalışmalarda bu çözümlerin üç boyutlu modellemelerde de uygulanması önerilmiştir.



KAYNAKÇA

- Adalier, K., Aydingun, O., 2001. Structural engineering aspects of the June 27, 1998 Adana–Ceyhan (Turkey) earthquake. *Engineering Structures*, 23(4), 343-355.
- Akbaş, A., Çalışkan, Ö., 2023. Deprem etkisinde hasar alan betonarme yapıların düzensizlik türleri yönü ile incelenmesi. In *International Conference on Scientific and Academic Research*, Vol. 1, 428-435.
- 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.
- American Society of Civil Engineers., 2013. Minimum design loads for buildings and other structures. American Society of Civil Engineers.
- American Society of Civil Engineers., 2017. Seismic evaluation and retrofit of existing buildings. American Society of Civil Engineers.
- Asteris, P. G., Repapis, C. C., Cavaleri, L., Sarhosis, V., Athanasopoulou, A., 2015. On the fundamental period of infilled RC frame buildings. *Structural Engineering and Mechanics*, 54(6), 1175-1200.
- Asteris, P. G., Repapis, C. C., Tsaris, A. K., Di Trapani, F., Cavaleri, L., 2015. Parameters affecting the fundamental period of infilled RC frame structures. *Earthquakes and Structures*, 9(5), 999-1028.
- ATC (Applied Technology Council), 2007. Guidelines for seismic performance assessment of buildings. Redwood City, CA: ATC
- ATC-40.: Seismic Evaluation and Retrofit of Reinforced Concrete Buildings: Applied Technology Council (1996)
- Atımtay, E., 2000. Çerçevesel ve Perdeli Betonarme Sistemlerin Tasarımı, Temel Kavramlar ve Hesap Yöntemleri. ODTU, İnşaat Müh. Bölümü, Ankara.
- Avcı, I., 2018. Orta yükseklikteki betonarme binada yumuşak kat düzensizliğinin doğrusal elastik olmayan dinamik analizle araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Aydin, Y. F., 2018. Betonarme binaların deprem davranışına dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Üniversitesi, Erzincan.
- Bayülke, N., 1989. Depremler ve Depreme Dayanıklı Betonarme Yapılar” Teknik Yayınevi, Ankara
- Bayülke, N., 2003. Betonarme yapının dolgu duvarı. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 85-98.
- Beigi, H. A., 2014. Retrofit of Soft Storey Buildings Using Gapped Inclined Brace Systems. Doctoral dissertation, University of Toronto, Canada.
- Beklen, C., 2009. Binalarda dolgu duvar etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- Bilir, H., 2010. Dolgu duvarlarının betonarme çerçeve sistemlere olan etkisinin incelenmesi. Doktora tezi Çukurova Üniversitesi, Adana.

- Birol, T., 2010. Yumuşak kat düzensizliğinin betonarme bina performansına etkisi üzerine bir inceleme. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir.
- Budak, A. 1997. Dolgu duvarlı çerçevelerin sonlu elemanlar yöntemi ile malzeme bakımından doğrusal olmayan hesabı. Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Celep, Z., Kumbasar, N., 2000. Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı. İhlas Matbaacılık.
- Code, P., 2005. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance-part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings. Brussels: European Committee for Standardization.
- Code, U. B., 1997. Structural engineering design provisions. In International conference of building officials (Vol. 2).
- Çamyar, H., 2009. Çerçeve taşıyıcı sistemlerde düşeydeki düzensizliklerin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Çavdar, Ö., Köse, G., Sunca, F., 2020. Betonarme binaların deprem performanslarına dolgu duvarların etkisinin incelenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 25 (1), 465-484. DOI: 10.17482/uumfd.658027
- Çomaklı, B., 2019. Düşük ve orta yükseklikteki betonarme binalarda yumuşak kat düzensizliğinin ve zemin yapı etkileşiminin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Darılmaz, K., 2012. Depreme dayanıklı betonarme binaların tasarımına giriş. İstanbul: Yapı Yazılım Yayınları.
- Doğangün, A., 2004. Performance of reinforced concrete buildings during the May 1, 2003 Bingöl Earthquake in Turkey. Engineering Structures, 26(6), 841-856.
- Doğangün, A., 2005. Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı. İstanbul. Turkey: Birsen Yayınevi.
- Dousti, H., 2019. Çerçeve Yapılarda Plastik Mafsallara Üzerine Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Egi, E., 2021. Statik İtme Analizi Yöntemiyle Betonarme Yapılarda Çeşitli Taşıyıcı Sistem Tasarımlarının Performanslarının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi).
- Elyiğit, B., Ekinci, C. E., 2023. Betonarme Yapılarda Yapısal ve Yapısal Olmayan Hasarlar ve Hasar Tespiti Üzerine Bir Araştırma Öz. Engineering Sciences, 18 (2), 19-42.
- Ertürkmen, D., Çağatay, İ. H., 2016. Dolgu Duvarlı Yapılarda Yumuşak Kat ve Zayıf Kat Düzensizliklerinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(2), 269-278.
- Esteva, L., 1992. Nonlinear Seismic Response Of Soft-First-Story Buildings Subjected To Narrow-Band Accelerograms. Earthquake Spectra, 8(3), 373-389.
- FEMA-178, 1989. A Handbook for Seismic Evaluation of Existing Buildings (Preliminary) Earthquake Hazards Reduction Series 47, FEMA-178 June 1989
- Garip, Z. Ş., Eren, E., Erdem, F., Bozdoğan, M. N., 2017. Deprem Etkisindeki Betonarme Binalarda Yumuşak Kat Düzensizliğine Perde Duvar Etkisi. In 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 29-30 September 2017 (ISITES2017 Baku-Azerbaijan).

- Ghosh, S. K., 1995. Observations on the Performance of Structures in the Kobe Earthquake of January 17, 1995. PCI journal, 40(2), 14-22.
- Govindan, P. ve Santhakumar, A., R., 1986, Ductility of Infilled Frames, ACI Journal, 567-576.
- Holmes, M., 1961. Steel frames with brickwork and concrete infilling. proceedings of the Institution of civil Engineers, 19(4), 473-478.
- Humar, J. M., Lau, D., Pierre, J. R., 2001. Performance of buildings during the 2001 Bhuj earthquake. Canadian Journal of Civil Engineering, 28(6), 979-991.
- Işık, E., Yamaç, Ö., Erçek, M. S., Yamaç, İ., (2017). Farklı taşıyıcı sistemlerdeki yapılarda malzeme dayanımının yapı performansına etkisi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 33(1), 33-40.
- Karasu, T. O., 2011. Yumuşak Kat Düzensizliği Bulunan Betonarme Bir Yapının TDY 2007'ye Göre Performans Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.
- Kasap, H., Mert, N., Sevim, E., Şeber, B., 2015. Perdeli Çerçevesiz Taşıyıcı Sistemli Binalarda Taşıyıcı Sistem Seçiminin Yapı Davranışı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. APJES III I, 3(1), 48-55.
- Kaushik, H. B., Rai, D. C., Jain, S. K., 2007. Stress-strain characteristics of clay brick masonry under uniaxial compression. Journal of materials in Civil Engineering, 19(9), 728-739.
- Kızıloğlu, M. Y., 2006. Deprem etkisi altında dolgu duvarların betonarme çerçeve yapılar üzerindeki etkisi. Yüksek Lisans, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Korkmaz, A., Taner, U., 2006. Yumuşak kat düzensizliğinin betonarme binaların deprem davranışında etkisi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 11(2).
- Korkmaz, A., Uçar, T., 2006. Yumuşak kat düzensizliğinin betonarme binaların deprem davranışında etkisi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 11(2).
- Kumbasaroğlu, A., 2010. Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerde ankraj çubuklarının etkisi üzerinde bir deneysel çalışma. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 181 s.
- Mehrabi, A. B., Benson Shing, P., Schuller, M. P., Noland, J. L., 1996. Experimental evaluation of masonry-infilled RC frames. Journal of Structural engineering, 122(3), 228-237.
- Naeim, F. (Ed.), 1989. The seismic design handbook. Springer Science & Business Media.
- Negro, P., Verzeletti, G., 1996. Effect of Infills on the Global Behavior of R/C Frames: Energy Considerations from Pseudodynamic Tests, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 25, 753-773.
- Öktem, O., 2003. Betonarme Çerçeve Sistemlerin Lineer Olmayan Hesabı ve Dolgu Duvarların Modellenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Özdemir, H., 2008. Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Hasır Çelik Donatılı Sıva ile Güçlendirilmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Öztürkoğlu, O., Taner, U., Yeşilce, Y., 2015. Betonarme Yapılarda Dolgu Duvar-Çerçeve Etkileşiminin İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 17(51), 109-121.
- Özyer, S., 2016. Rijitlik ve süreksizlik düzensizliklerine sahip betonarme binalarda simetrik perdelerle yapısal davranışın iyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erzincan.
- Park, R., Paulay, T., 1975. Reinforced Concrete Structures, John Wiley & Sons. NY, USA.
- Paulay, T., Priestley, M. N., 1992. Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings, 768, New York: Wiley.

- Prestandard, F. E. M. A., 2000. Commentary for the seismic rehabilitation of buildings (FEMA356). Washington, DC: Federal Emergency Management Agency, 7(2).
- Response–2000 V1.0.5, “Sectional Analysis of Beams and Columns”.
- Sakcalı, G. B., Tekeli, H., Demir, F., 2017. Betonarme binalardaki perde duvar miktarının bina performansına etkisi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi.
- Salmon, J., Agha Beigi, H., Christopoulos, C., 2019. Full-scale tests of gapped-inclined bracing system: seismic retrofit for soft-story buildings. Journal of Structural Engineering, 145(10), 04019095.
- Sandıkçı, T., 2014. Bina türü betonarme bir yapıda yumuşak kat ve burulma düzensizliği ilişkisinin incelenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Sezen, H., Whittaker, A. S., Elwood, K. J., Mosalam, K. M., 2003. Performance of reinforced concrete buildings during the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey earthquake, and seismic design and construction practice in Turkey. Engineering Structures, 25(1), 103-114.
- Sivri, M., 2003. Dolgulu çerçevelerin deprem davranışı. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Smith, B. S., 1962. Lateral stiffness of infilled frames. Journal of the Structural Division, 88(6), 183-199.
- Smith, B. S., 1966. Behavior of square infilled frames. Journal of the Structural Division, 92(1), 381-404.
- Şahin, H., Alyamaç, K., Erdoğan, A., 2013. Perdeli Çerçeve Yapılarda Zemin Sınıfı ve Kat Adedi Dikkate Alınarak Gerekli Perde Oranının Tespiti. SDU International Technologic Science, 74-86.
- TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018: Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ankara.
- Tezcan, S., Yazıcı, A., Özdemir, Z., Erkal, A., 2007. Zayıf kat- Yumuşak kat düzensizliği. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Ekim, 16–20.
- Tezcan, T., Başaran, H., Demir, A., & Bağcı, M., 2013. Yumuşak Kat Oluşumunda Duvar Etkisi ve Türk Deprem Yönetmeliğinin Konuya Yaklaşımı. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 9(1), 29-38.
- Thomsen IV, J. H., Wallace, J. W., 2004. Displacement-based design of slender reinforced concrete structural walls—experimental verification. Journal of structural engineering, 130(4), 618-630.
- Totter, E., Formisano, A., Crisafulli, F., Mazzolani, F., 2018. Seismic upgrading of RC structures with only beam connected Steel Plate Shear Walls. Ingegneria Sismica, 35(2), 91-105.
- TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standardı, Ankara.
- Vintzeleou, E., 1989. Infilling of Reinforced Concrete Frames as a Strengthening Intervention. Seminar on the Assessment and Redesign of Reinforced Concrete Structures, 12-13 April, 1989, İzmir, Türkiye
- Yakut, A., Binici, B., Demirel, İ.O. ve Özcebe, G., 2013. Dolgu duvarların deprem davranışına etkisi. 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay.
- Yaman, S., Tekeli, H., Demir, F., 2019. Betonarme Binalarda Perde Yeri Değişiminin Bina Performansına Etkisi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (16), 194-204.

- Yasin, M. F., Başak, K., Kubin, J., Mustafa, T., 2011. Perdeli Betonarme Yapılar İçin Doğrusal Olmayan Analiz Metotları, 7. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 30 Mayıs-3 Haziran, İstanbul.
- Yiğit, S., 2019. Mevcut Betonarme Yapıların Güçlendirilmesinde Sismik İzolasyon Kullanılması. Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Yoshimura, K., Kuroki, M., 2000. Damage to building structures caused by the 1999 Chi-chi earthquake in Taiwan. 大分大学工学部研究報告, (41), 49-56.
- Zolmaz, Y., 2019. Mevcut betonarme bir binanın perdelerle güçlendirilmesi ve yapısal performansının TBDY-2018'e göre değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Abdullilah YILMAZ
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	Erzurum Atatürk Lisesi
Lisans:	İstanbul Altınbaş Üniversitesi
Yüksek lisans:	
Doktora:	
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	İyi