

**GERİ ÇEKME DÜZENSİZLİĞİ BULUNAN ÇELİK ÇERÇEVELERİN ÇELİK
ÇAPRAZLAR ve BETONARME PERDELER ile GÜÇLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdualmajed Rasool Hussein HUSSEIN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Murat HİÇYILMAZ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2022

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GERİ ÇEKME DÜZENSİZLİĞİ BULUNAN ÇELİK ÇERÇEVELERİN ÇELİK
ÇAPRAZLAR ve BETONARME PERDELER ile GÜÇLENDİRİLMESİ**

Abdualmajed Rasool Hussein HUSSEIN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Murat HİÇYILMAZ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2022

TEZ ONAY SAYFASI

Abdualmajed Rasool Hussein HUSSEIN tarafından hazırlanan “Geri Çekme Düzensizliği Bulunan Çelik Çerçevelerin Çelik Çaprazlar ve Betonarme Perdeler ile Güçlendirilmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 06 / 07 / 2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Murat HİÇYILMAZ

İmza

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Hasan Selim ŞENGEL

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Veli BAŞARAN

Afyon Kocatepe Üniversitesi,

Mühendislik Fakültesi

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Murat HİÇYILMAZ

Afyon Kocatepe Üniversitesi,

Mühendislik Fakültesi

.....

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun

..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. İbrahim EROL

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

06 / 07 / 2022

Abdualmaged Rasool Hussein HUSSEIN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GERİ ÇEKME DÜZENSİZLİĞİ BULUNAN ÇELİK ÇERÇEVELERİN ÇELİK ÇAPRAZLAR ve BETONARME PERDELER ile GÜÇLENDİRİLMESİ

Abdualmajed Rasool Hussein HUSSEIN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Murat HİÇYILMAZ

Ülkemizin büyük bir bölümü yüksek deprem riski altındadır ve bu bölgelerde güvenli ve ekonomik bina tasarımı büyük önem arz etmektedir. Yapıların deprem güvenliğinin sağlanabilmesi için tasarım ve projelendirilme aşamasında oldukça dikkatli davranılmalıdır. Mevcut yapılar bakımından değerlendirildiğinde, yönetmeliklerin yıllar içinde değişmesi, yapı kullanım amacının değişmesi, çeşitli afetlerden kaynaklanan doğal hasarlar ya da durabilite problemlerinden dolayı yapılarda güçlendirme veya onarım ihtiyacı ortaya çıkabilmektedir. Yapıların güçlendirilmesi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Betonarme ve çelik yapılarda en sık kullanılan iki yöntem çapraz elemanlar ve/veya betonarme perde elemanlar kullanılarak yapının deprem dayanımının artırılmasıdır. Ülkemizde ve dünyada güçlendirme ihtiyacı olan mevcut yapıların sayısı oldukça fazla olup, ekonomik sebeplerden dolayı bu yapıların tamamıyla yıkılması tercih edilen bir çıkış yolu olmamaktadır.

Bu tez çalışmasında öncelikle, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 ve Çelik Yapıların Tasarımı Hakkında Yönetmelik 2016 esaslarına göre sünelik düzeyi yüksek 10 katlı 5 açıklıklı bir çelik çerçevenin tasarımı yapılmıştır. Bu çerçeve referans olarak kabul edilmiş ve daha sonra bu referans çerçeveye statik itme analizi uygulanmıştır. Bir sonraki adımda ilgili çerçevenin orta açıklığına çelik çaprazlar ilave edilerek, daha sonraki adımda ise aynı açıklığa betonarme perde ilave edilerek yeni modeller elde edilmiş ve analizler tekrarlanmıştır. Referans çerçeve ile ilgili analizlerden sonra bu

çerçeveden, farklı özellikte 3 adet geri çekmeli model türetilmiştir. Türetilen modellere çelik çaprazlar ve betonarme perde ilave edilerek yeni çerçeveler oluşturulmuştur. Oluşturulan her bir model üzerinde statik itme (Pushover) analizi yapıp sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu sayede hem referans çerçeve hem de türetilen geri çekmeli modeller üzerinde çelik çaprazlar ve betonarme perdelerin, çelik çerçevenin yapısal davranışa katkıları tespit edilmeye çalışılmıştır. Tüm analizler SAP2000 yapısal analiz programı vasıtasıyla yapılmıştır.

2022, xiv + 84 sayfa

Anahtar Kelimeler: Çelik çerçeve, Güçlendirme, Merkezi Çaprazlar, Betonarme perde, Geri çekme

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

RETROFITTING STEEL BRACES AND RC SHEAR WALLS OF STEEL PLANE FRAMES WITH SETBACKS

Abdualmajed Rasool Hussein HUSSEIN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Apolipropilenlied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Murat HİÇYILMAZ

Most of our country is at high risk of earthquakes, and the design of a safe and economical building in these areas is of great importance. In order to ensure earthquake reliability of structures, the design and project must be treated with extreme caution. When assessed in terms of existing structures, the need to retrofit or repair structures may arise due to changes in regulations over the years, change of the purpose of use of the structure, natural damage caused by various disasters or stagnation problems. Different methods are used to retrofit structures. The two most common methods for concrete and steel structures are to increase the earthquake strength of the structure using centric braces elements and/or concrete shear wall elements. The number of existing structures in our country and in the world that need to be strengthened is quite large, and for economic reasons, it is not a preferred way out to completely demolish these structures.

In this thesis, first of all, a 10-storey 5-span steel frame with high ductility level was designed in accordance with the Turkish Building Earthquake Code 2018 and the Regulation on the Design of Steel Structures 2016. This frame is considered a reference and then static push over analysis is applied to this reference frame. The next step is to add steel braces to the center span of the relevant frame, and the next step is to add a concrete shear wall to the same span, to obtain new models and to repeat the analysis. After analysis of the reference frame, 3 set-back models of different properties were

derived from this frame. New frames have been created by adding steel braces and reinforced concrete shear walls to the derived models. Static push (Pushover) analysis is performed on each model created and results are compared. In this way, it is attempted to identify the contribution of steel braces and concrete shear walls to structural behavior on both the reference frame and the derived set-back models. All analyzes were conducted through SAP2000 structural analysis programs.

2022, xiv + 84 pages

Keywords: Steel Frame, Retrofit, Centric braces, Reinforced concrete shear wall, Set-back.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Murat HİÇYILMAZ, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Abdualmajed Rasool Hussein HUSSEIN

Afyonkarahisar 2022

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. MATERYAL VE METOD.....	7
3.1 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Hakkında Genel Bilgiler	7
3.1.1 Deprem Yer Hareket Düzeyleri	7
3.1.2 Harita Spektral ve Tasarım Spektral İvme Katsayıları	8
3.1.3 Yerel Zemin Etki Katsayıları.....	8
3.1.4 Yatay Elastik Tasarım Spektrumu.....	9
3.1.5 Yapı Kullanım Sınıfları ve Önem Katsayıları	10
3.1.6 Deprem Tasarım Sınıfları	10
3.1.7 Bina Yükseklik Sınıfı (BYS).....	10
3.1.8 Bina Performans Düzeyleri	11
3.1.9 Binanın Periyodunun Hesaplanması.....	11
3.1.10 Eşdeğer Deprem Yöntemi ile Deprem Yüğü Hesabı.....	12
3.2 Statik İtme Analizi	15
3.2.1 Kapasite Spektrum Yöntemi.....	15
3.3 Yapısal Düzensizlikler.....	20
4. BULGULAR.....	23
4.1 Model 1	23
4.1.1 Model 1.a (Referans çerçeve).....	23
4.1.2 Model 1.b.....	32
4.1.3 Model 1.c	35
4.1.4 Model 1 Analiz Sonucu Değerlendirilmesi	38
4.2 Model 2	41
4.2.1 Model 2.a	41
4.2.2 Model 2.b.....	44
4.2.3 Model 2.c	47
4.2.4 Model 2 Analiz Sonucu Değerlendirilmesi	51

4.3 Model 3	54
4.3.1 Model 3.a	54
4.3.2 Model 3.b	57
4.3.3 Model 3.c	60
4.3.4 Model 3 Analiz Sonucu Değerlendirilmesi	63
4.4 Model 4	66
4.4.1 Model 4.a	66
4.4.2 Model 4.b	69
4.4.3 Model 4.c	72
4.4.4 Model 4 Analiz Sonucu Değerlendirilmesi	76
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	79
6. KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ	84

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

DD-1	50 yılda %2 aşılma (tekrarlanma evresi 2475 yıl) deprem yer hareket düzeyi
DD-2	50 yılda %10 aşılma (tekrarlanma evresi 475 yıl) deprem yer hareket düzeyi
DD-3	50 yılda %50 aşılma (tekrarlanma evresi 72 yıl) deprem yer hareket düzeyi
DD-4	50 yılda %68 aşılma (tekrarlanma evresi 43 yıl) deprem yer hareket düzeyi
S_S	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
S_1	1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
S_{DS}	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1}	1,0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
F_S	Kısa periyot için zemin etki katsayısı
F_1	1,0 saniye periyot için zemin etki katsayısı
T	Birinci periyot (sn.)
T_A	Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (s)
T_B	Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (s)
$S_{ae}(T)$	Yatay elastik tasarım spektral ivmeleri
g	Yer çekim ivmesi (9.81 m/s^2)
H	Yapı yüksekliği
V_{IE}	Eşdeğer deprem kuvveti
m_t	Yapı kütlesi
$S_{aR}(T)$	Azaltılmış spektral ivme
I	Yapı önem katsayısı
$R_a(T)$	Deprem yük azaltma katsayısı
R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
D	Dayanım fazlalığı katsayısı
G	Sabit yük
Q	Hareketli yük
$E_d^{(H)}$	Yatay deprem etkisi
$E_d^{(Z)}$	Düşey deprem etkisi
α_1	Modal kütle katılım katsayısı
PF_1	Modal katılım faktörü
$V_{(b)}$	Taban kesme kuvveti
W	Yapı ağırlığı
N	Kat adedi
Δ_{maks}	Yapının en üst yatay yerdeğiştirme noktası
$\bar{O}_{tepe,1}$	Birinci moda ait en üst kattaki genlik.
$\bar{O}_{i,1}$	Birinci moda ait (i) nolu kattaki genlik.
B_{eq}	Yüzde olarak ifade edilen etkili sönüm oranı.
B_0	Eşdeğer viskoz sönüm cinsinden ifade edilen histeriktik sönüm.
K	Yapı taşıyıcı sistemin davranışı ile depremin süresine bağlı olarak belirlenen katsayı
F_y	Çeliğin akma dayanımı
F_u	Çeliğin çekme dayanımı

Simgeler (Devam)

E	Elastisite modülü
F_{fi}	Fiktif yük

Kısaltmalar

ABYBHY	Afet bölgesinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik
BYS	Bina yükseklik sınıfı
ÇYTYHY-2016	Çelik Yapıların Tasarım Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği
DBYBHY	Deprem bölgesinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik
DTS	Deprem tasarım sınıfları
IBC-2006	International Bulding Code 2006
TBDY-2018	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1 Türkiye deprem tehlike haritası (TBDY 2018).....	7
Şekil 3.2 Kapasite spektrum yöntemi ile performans noktasının belirlenmesi (Apaydın 2005).	16
Şekil 3.3 Doğrusal olmayan teori ile kapasite eğrisinin elde edilmesi (Apaydın 2005).	16
Şekil 3.4 Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi (Apaydın 2005)... ..	17
Şekil 3.5 Elastik istem spektrumunun, spektral ivme-spektral yer değiştirme formatına dönüştürülmesi (Apaydın 2005).....	18
Şekil 3.6 Viskoz sönümün belirlenmesi (Apaydın 2005).....	19
Şekil 3.7 İndirgenmiş talep spektrumunun elde edilmesi (Apaydın 2005).	20
Şekil 3.8 Taşıyıcı sistem düşey elemanların düzensizliği durumu (TBDY 2018).	21
Şekil 3.9 Geri çekme düzensizliği kriteri (Eurocode 8).	22
Şekil 3.10 Geri çekme düzensizliği görülen modeller.	22
Şekil 4.1 Modelinin iki boyutlu görüntüsü.....	23
Şekil 4.2 Döşemeden kirişlere gelen üçgen yük dağılımının eşdeğer düzgün yayılı yük dağılımına dönüştürülmesi.....	24
Şekil 4.3 Model 1.a taban kesme kuvvet ve çatı yer değiştirme eğrisi.	31
Şekil 4.4 Model 1.a görelî kat öteleme oranı yüzdesi.	31
Şekil 4.5 Modelinin İki Boyutlu Görüntüsü.....	32
Şekil 4.6 Model 1.b taban kesme kuvvet ve çatı yer değiştirme eğrisi.	34
Şekil 4.7 Model 1.b görelî kat öteleme oranı yüzdesi.	34
Şekil 4.8 Yapı modelinin iki boyutlu görüntüsü.	35
Şekil 4.9 Model 1.c taban kesme kuvvet ve çatı yer değiştirme eğrisi.	37
Şekil 4.10 Model 1.c görelî kat öteleme oranı yüzdesi.	38
Şekil 4.11 Referans model (Model 1) iki boyutlu görüntüsü (a) boş çerçeve (Model 1.a) (b) çelik çaprazlı çerçeve (Model 1.b) (c) betonarme perdeli çerçeve (Model 1.c).	38
Şekil 4.12 Model 1 taban kesme kuvveti ve çatı yer değiştirme eğrisi.....	39
Şekil 4.13 Model 1 görelî kat öteleme oranı yüzdesi.....	40
Şekil 4.14 Model 2 plastikleşen yapı elemanları (a) boş çerçeve (Model 2.a) (b) çelik çaprazlı çerçeve (Model 2.b) (c) betonarme perdeli çerçeve (Model 2.c).	41
Şekil 4.15 Yapı modelinin iki boyutlu görüntüsü.	41
Şekil 4.16 Model 2.a taban kesme kuvvet ve çatı yer değiştirme eğrisi.	43
Şekil 4.17 Model 2.a görelî kat öteleme oranı yüzdesi.	44

Şekil 4.18	Yapı modelinin iki boyutlu görüntüsü.	45
Şekil 4.19	Model 2.b taban kesme kuvvet ve çatı yer değiştirme eğirisi.	47
Şekil 4.20	Model 2.b görelî kat öteleme oranı yüzdesi.	47
Şekil 4.21	Yapı modelinin iki boyutlu görüntüsü.	48
Şekil 4.22	Model 2.c taban kesme kuvvet ve çatı yer değiştirme eğirisi.	50
Şekil 4.23	Model 1.c görelî kat öteleme oranı yüzdesi.	50
Şekil 4.24	Model 2 iki boyutlu görüntüsü (a) boş çerçeve (Model 2.a) (b) çelik çaprazlı çerçeve (Model 2.b) (c) betonarme perdeli çerçeve (Model 2.c).	51
Şekil 4.25	Model 2 taban kesme kuvveti ve çatı yer değiştirme eğirisi.	52
Şekil 4.26	Model 2 görelî kat öteleme oranı yüzdesi.	52
Şekil 4.27	Model 2 plastikleşen yapı elemanları (a) boş çerçeve (Model 2.a) (b) çelik çaprazlı çerçeve (Model 2.b) (c) betonarme perdeli çerçeve (Model 2.c).	53
Şekil 4.28	Yapı modelinin iki boyutlu görüntüsü.	54
Şekil 4.29	Model 3.a taban kesme kuvvet ve çatı yer değiştirme eğirisi.	56
Şekil 4.30	Model 3.a görelî kat öteleme oranı yüzdesi.	56
Şekil 4.31	Yapı modelinin iki boyutlu görüntüsü.	57
Şekil 4.32	Model 2.b taban kesme kuvvet ve çatı yer değiştirme eğirisi.	59
Şekil 4.33	Model 3.b görelî kat öteleme oranı yüzdesi.	59
Şekil 4.34	Yapı modelinin iki boyutlu görüntüsü.	60
Şekil 4.35	Model 3.c taban kesme kuvvet ve çatı yer değiştirme eğirisi.	62
Şekil 4.36	Model 3.c görelî kat öteleme oranı yüzdesi.	63
Şekil 4.37	Model 3 iki boyutlu görüntüsü (a) boş çerçeve (Model 3.a) (b) çelik çaprazlı çerçeve (Model 3.b) (c) betonarme perdeli çerçeve (Model 3.c).	63
Şekil 4.38	Model 3 taban kesme kuvveti ve çatı yer değiştirme eğirisi.	64
Şekil 4.39	Model 3 görelî kat öteleme oranı yüzdesi.	65
Şekil 4.40	Model 3 plastikleşen yapı elemanları (a) boş çerçeve (Model 3.a) (b) çelik çaprazlı çerçeve (Model 3.b) (c) betonarme perdeli çerçeve (Model 3.c).	66
Şekil 4.41	Yapı modelinin iki boyutlu görüntüsü.	67
Şekil 4.42	Model 4.a taban kesme kuvvet ve çatı yer değiştirme eğirisi.	69
Şekil 4.43	Model 4.a görelî kat öteleme oranı yüzdesi yüzdesi.	69
Şekil 4.44	Yapı modelinin iki boyutlu görüntüsü.	70
Şekil 4.45	Model 4.b taban kesme kuvvet ve çatı yer değiştirme eğirisi.	72
Şekil 4.46	Model 3.b görelî kat öteleme oranı yüzdesi.	72
Şekil 4.47	Yapı modelinin iki boyutlu görüntüsü.	73
Şekil 4.48	Model 4.c taban kesme kuvvet ve çatı yer değiştirme eğirisi.	75

Şekil 4.49 Model 4.c görelî kat öteleme oranı yüzdesi.	75
Şekil 4.50 Model 4 iki boyutlu görüntüsü (a) boş çerçeve (Model 4.a) (b) çelik çaprazlı çerçeve (Model 4.b) (c) betonarme perdeli çerçeve (Model 4.c).	76
Şekil 4.51 Model 4 taban kesme kuvveti ve çatı yer değıştirme eğirisi.	77
Şekil 4.52 Model 4 görelî kat öteleme oranı yüzdesi.	77
Şekil 4.53 Model 4 plastikleşen yapı elemanları (a) boş çerçeve (Model 4.a) (b) çelik çaprazlı çerçeve (Model 4.b) (c) betonarme perdeli çerçeve (Model 4.c).	78



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı (TBDY 2018).	8
Çizelge 3.2 1,0 saniye periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı (TBDY 2018).	9
Çizelge 3.3 Yapı kullanım sınıfı ve önem katsayıları (TBDY 2018).	10
Çizelge 3.4 Deprem tasarım sınıfı (TBDY 2018).	10
Çizelge 3.5 Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına bağlı yükseklik aralıkları (TBDY 2018).	11
Çizelge 3.6 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve bina yükseklik sınıfı (TBDY 2018).	14
Çizelge 4.1 Kat kütleleri.	26
Çizelge 4.2 Katlara etkileyen fiktif yüklerin belirlenmesi.	27
Çizelge 4.3 Fiktif yüklerden oluşan kat yer değiştirmeleri.	27
Çizelge 4.4 Katlara etkileyen eşdeğer deprem yükleri.	30
Çizelge 4.5 SAP2000 tarafından hesaplanan kesit boyutları.	30
Çizelge 4.6 Taşıyıcı sistem elemanları ve en kesit profilleri.	33
Çizelge 4.7 Katlara etkileyen eşdeğer deprem yükleri.	33
Çizelge 4.8 Taşıyıcı sistem elemanları ve en kesit profilleri.	36
Çizelge 4.9 Katlara etkileyen eşdeğer deprem yükleri.	36
Çizelge 4.10 Performans noktası ve yerleştirme.	40
Çizelge 4.11 Performans noktasına göre plastikleşen taşıyıcı eleman sayısı.	40
Çizelge 4.12 Taşıyıcı sistem elemanları ve en kesit profilleri.	42
Çizelge 4.13 Katlara etkileyen eşdeğer deprem yükleri.	43
Çizelge 4.14 Taşıyıcı sistem elemanları ve en kesit profilleri.	45
Çizelge 4.15 Katlara etkileyen eşdeğer deprem yükleri.	46
Çizelge 4.16 Taşıyıcı sistem elemanları ve en kesit profilleri.	48
Çizelge 4.17 Katlara etkileyen eşdeğer deprem yükleri.	49
Çizelge 4.18 Performans noktası ve yerleştirme.	53
Çizelge 4.19 Performans noktasına göre plastikleşen taşıyıcı eleman sayısı.	53
Çizelge 4.20 Taşıyıcı sistem elemanları ve en kesit profilleri.	55
Çizelge 4.21 Katlara etkileyen eşdeğer deprem yükleri.	55
Çizelge 4.22 Taşıyıcı sistem elemanları ve en kesit profilleri.	58
Çizelge 4.23 Katlara etkileyen eşdeğer deprem yükleri.	58
Çizelge 4.24 Taşıyıcı sistem elemanları ve en kesit profilleri.	61

Çizelge 4.25 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.....	61
Çizelge 4.26 Performans noktası ve yerdeştirme.	65
Çizelge 4.27 Performans noktasına göre plastikleşen taşıyıcı eleman sayısı.....	65
Çizelge 4.28 Taşıyıcı sistem elemanları ve en kesit profilleri.	67
Çizelge 4.29 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.....	68
Çizelge 4.30 Taşıyıcı sistem elemanları ve en kesit profilleri.	70
Çizelge 4.31 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.....	71
Çizelge 4.32 Taşıyıcı sistem elemanları ve en kesit profilleri.	73
Çizelge 4.33 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.....	74
Çizelge 4.34 Performans noktası ve yerdeştirme.	78
Çizelge 4.35 Performans noktasına göre plastikleşen taşıyıcı eleman sayısı.....	78

1. GİRİŞ

Ülkemiz, bilindiği üzere sismik yönden aktif olan deprem kuşakları üzerinde bulunmaktadır. Nüfus yoğunluğu, sanayileşme ve yapı stoku açısından düşününce ülkemizin büyük bir bölümü deprem tehlikesi altındadır. Bu yüzden depremlerden dolayı sıklıkla can ve mal kaybı yaşanmaktadır. Deprem ve diğer doğal afetlerin can ve mal kayıplarının sebep olduğu düşünüldüğünde, mevcut yapıların tekrardan gözden geçirilerek güvenli hale getirilmeleri ciddi bir öncelik ve önem arz etmektedir.

Statik itme analizi olarak adlandırılan hesap yöntemi ile yapıların yatay yükler altında analizleri yapılarak modellerin, yapı malzemesi ve geometrisi bakımından doğrusal olmayan analize göre, taban kesme kuvveti ve bina üst seviyesi yer değiştirmesi arasında bağlantı kurarak değerlendirilmesi yapılmaktadır. Bu yöntem ile yapı modellerin elemanlarında oluşan hasar tespit edilerek incelenebilir (Apaydın 2005).

Nüfus yoğunluğunun artması, kentleşme vb. nedenlerden dolayı yapı yüksekliklerinin artması, yapılaşma sürecinin hızlanması, duyulan ihtiyaca göre aks açıklıklarının fazlaşması, yeni bilgilerin ortaya çıkması vb. nedenlerle yapım yöntemleri ve kullanılan yönetmelikler sürekli değişmekte ve güncellenmektedir. Bahsi geçen konular göz önünde bulundurulduğunda, gelişen bilgi, teknoloji ve artan ihtiyaç doğrultusunda yeni bir deprem yönetmeliğine ihtiyaç duyulmuştur. Bu ihtiyaçlara cevap vermek adına Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği (ÇYTHYE 2016) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) yürürlüğe girmiştir. TBDY'nin 15. Bölümünde “Deprem Etkisi Altında Mevcut Yapıların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi İçin Özel Kurallar” başlığı önceki yönetmeliklere göre daha detaylı olarak ele alındığı görülmektedir.

Artan yapı ihtiyaçlarına cevap verebilmek için, ülkemizde son zamanlarda çelik yapıların imalatı hız kazanmıştır. Çelik yapılarda güçlendirme yöntemlerinden biri olan betonarme perde veya çelik çaprazlar ilave edilmesi, yapıların deprem etkilerine karşı daha rijit ve dayanıklı olmalarını, bununla beraber yatay yer değiştirmelerinin sınırlandırılmasını sağlarlar.

Bu çalışmada, 10 katlı ve 5 açıklıklı bir referans çerçeve, TBDY 2018'e göre tasarlanmış ve ÇYTYHY 2016'ya göre boyutlandırılmıştır. Orta açıklığına çelik çaprazlar ilave edilmiş ve statik itme analizleri yapılmıştır. Bir sonraki adımda betonarme perde ilave edilerek işlem tekrarlanmıştır. Daha sonra referans çerçeveden türetilen geri çekmeli modellerin statik itme analizleri yapılmıştır. Geri çekmeli modellerin kenar açıklığına betonarme perde ve çelik çaprazlar ilave edilerek yeni modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan modeller üzerinde de analizler tekrar edilmiştir. Bu sayede hem referans çerçeve hem de türetilen geri çekmeli modeller üzerinde, çelik çaprazlar ve betonarme perdelerin çelik çerçevenin yapısal davranışa olan katkıları tespit edilmeye çalışılmıştır. Bununla beraber geri çekme düzensizliğinin yapısal davranışa olan olumsuz etkileri de izlenmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada izlenen adımlar şu şekildedir:

- 1. kısımda tez hakkında genel bilgilerin verilmesi.
- 2. ve 3. kısımda sırasıyla daha önce yapılan çalışmaların araştırılması ve çalışmada kullanılan metodolojinin anlatılması.
- 4. kısımda referans çelik çerçevenin oluşturulması ve SAP2000 programı yardımı ile boyutlandırılması.
 - Referans çerçeveden türetilmiş üç adet geri çekmeli çerçeve modeli oluşturulması ve her bir çerçevenin deprem yükü hesaplanması.
 - Referans çerçeve ve geri çekmeli çerçeve modellerin itme analizleri yapılarak deprem performansının belirlenmesi.
 - Referans çerçeve ve geri çekmeli çerçeve modellerine merkezi çapraz çelik ilave edilerek, statik itme analizi yapılarak deprem performansları elde edilmesi.
 - Çelik yapı modeline merkezi çapraz çelik yerine betonarme perde ilave edilerek, statik itme analizlerin yapılarak modelin deprem performanslarının belirlenmesi.
- 5. kısımda ise analizler sonucunda elde edilen sonuçların değerlendirilmesi.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Korkmaz vd. (2013) tarafından incelenen konu planda düzensizlikleri olan çelik yapıların güçlendirme tiplerinin değerlendirilmesidir. Bunu için öncelikle yapı elemanları boyutlandırılmış, daha sonra taşıyıcı sisteme betonarme perde ve çelik çapraz elemanlar ilave edilerek üç farklı model elde edilmiş ve doğrusal olmayan statik itme analizleri yapılmıştır. Çelik çapraz elemanlar betonarme perdelerle göre yapı kapasitesini daha az artırmaya rağmen, yatay yük altındaki yapı davranışına katkı sağlamaktadır. İşçilik ve maliyet bakımından daha yüksek olmasına karşın kısa sürede uygulanabilir olmasından dolayı, deprem sonrasında hasar görmüş bölümlerin onarılması için çelik çapraz elemanların daha avantajlı olduğu göz ardı edilmemelidir.

Başaran ve Hiçyılmaz (2018) tarafından incelenen konu geri çekme düzensizliğine sahip betonarme düzlem çerçevelerin sismik analizidir. Yedi adet deprem ivmesi altında beş açıklıklı ve beş katlı bir çerçevenin ve bu çerçeveden sağlanan geri çekmeli modellerin zaman tanım alanında lineer olmayan analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda kolonlarda oluşan iç kuvvetler ile görelî kat öteleme oranları karşılaştırılmıştır.

Kaya vd. (2019) betonarme yapıların çelik çapraz elemanlar ile güçlendirilmesi üzerine araştırma yapmıştır. Üç farklı kat yüksekliğine sahip konut yapısının TBDY 2018'e göre tasarımı yapılmıştır. Bu betonarme yapı modellerine çelik çapraz elemanlar ilave edilerek, analizlerinden elde edilen görelî kat öteleme oranları ve taban kesme kuvvetleri incelenmiştir. Analizler Etabs programı yardımı ile yapılmıştır.

Korkmaz (2007) tarafından, betonarme yapıların çelik çapraz elemanlarla güçlendirilerek deprem davranışlarının incelenmesi hakkında çalışılmıştır. On katlı betonarme referans çerçeve modeli ve bu çerçeve baz alınıp çelik çapraz elemanlar ilave edilerek farklı yerleşim düzenine sahip güçlendirme modelleri oluşturulup analizleri yapılmıştır. Bu modeller üzerinde yapılan analizler sonucunda, statik itme eğrileri, görelî kat öteleme değerleri ve yatay yer değiştirme istekleri elde edilmiş ve karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Korkmaz vd. (2006) tarafından incelenen konu statik itme analizinde kullanılan yük dağılımlarının incelenmesidir. Açıklık sayıları aynı olan fakat kat adetleri farklı olan 4 yapı modeli üzerinde çalışılmıştır. Bu modellere etkilten yüklerin dağılımları ise dikdörtgen, üçgen ve parabol şeklinde yapılmış, bunla beraber yapı modelin performansları incelenmiştir. Yapı modellerine hem statik itme analiz hem de zaman tanım alanında analizleri gerçekleştirilmiştir.

Aydın ve Boru (2020) tarafından incelenen konu betonarme bir çerçevenin farklı düzenlerine sahip merkezi çelik çaprazlar ile güçlendirilmesidir. Üç açıklıklı ve dokuz katlı betonarme çerçevenin statik analiz sonucunda güçlendirmeye ihtiyacı olduğu gözlemlenmiş, bu çerçeveye 5 farklı yerleşim düzeninde çelik çaprazlar ilave edilmiştir. Bu modellerin doğrusal olmayan statik analizleri yapıp, performans değerleri, plastik dönme açısı dönme değerleri ve görelî kat öteleme oranları tespit edilip değerlendirilmiştir.

Deprem yükleri altında değişik güçlendirme şekillerine göre 10 katlı çelik bir binanın irdelenmesi Salıbaşı (2006) tarafından yapılmıştır. Öncelikle çelik çerçeve modeli tasarlanmış, sonra bu çerçeveye öncelikle merkezi çaprazlı ardından dış merkez çaprazlı çelik elemanlar ile güçlendirilme yapılmıştır. Merkezi çaprazlı sistemler süneklilik düzeyi yüksek ve süneklilik düzeyi normal olarak tasarlanabilmektedir. Sonuç olarak, yapının her iki yöndeki 1.periyotları iki güçlendirme türünde de bulunduğu zeminin karakteristik periyotları arasında kalmıştır. Bu da deprem yüklerin artmasına sebep olmuş, her iki modelin geometrisinden dolayı uzun doğrultuda burulma düzensizliği meydana gelmiştir. Merkezi çaprazlı elemanlar ile güçlendirilen modelde burulma düzensizliği, dış merkez çaprazlı elemanlar ile güçlendirilen modele göre daha düşük çıkmış, aynı zamanda merkezi çaprazlı elemanlar ile yapılan güçlendirmede analiz değerleri daha iyi sonuç verdiği için değerlendirilen modele merkezi çaprazlı sistemler ile güçlendirme daha uygun olduğu görülmüştür.

Özel (2013) tarafından çelik levhalı perdeler ile mevcut bir çelik binanın güçlendirilmesi üzerine çalışılmıştır. Yatay yüklerin karşılanmasında ve çelik yapı güçlendirilmesinde çelik levhalı perdelerin çözüm olabileceğinin yapı mühendislerine

gösterilmesini amaçlamıştır. Bu doğrultuda ABYBHY 1975'e ilkelerine göre tasarlanmış beş katlı çelik çerçeve modelin, DBYBHY 2007'ye göre kontrolü yapılmış, taşıyıcı elemanların yetersiz olması ve görelî kat öteleme oranlarının yönetmelikte verilen sınır değerleri aşması nedeniyle çelik levhalar ilave edilerek güçlendirilmesi yapılmıştır. Doğrusal olmayan analizler sonucunda yapılan güçlendirme işleminin, yapı modeli üzerindeki, bina performans hedefi ve görelî kat öteleme oranları üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Kuruoğlu (2009) tarafından DBYBHY 2007 ve IBC2006 yönetmelikleri dikkate alınarak sekiz katlı betonarme perdeli çelik çerçeveye sahip bir yapının tasarımı ve deprem etkileri bakımından karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuç genel olarak iki yönetmelik arasında bir fark olmamakla beraber yapı davranış katsayılarındaki farklılık nedeniyle taban kesme kuvveti, IBC2006 yönetmeliği DBYBHY 2007'ye göre daha fazla çıkmıştır.

Celep (2007) çelik bir yapıda çelik çaprazlar ve betonarme perdeler ile deprem yüklerinin karşılanması hususunda çalışmıştır. Yüksek katlı çelik bir binaya merkezi çaprazlı çelik elemanlar ve betonarme perdeler ilave edilerek analizleri yapılmış, yapının kütlesi ve ekonomik değerlendirmesi karşılaştırılmıştır. Buna göre betonarme perde yerleştirilen açıklık büyük olduğu için, yer değiştirme oranı azalmış yani yapı modeli rijit davranmış ve bina kütlesi artmıştır. Çelik çerçeveli modelin kütlesi betonarme perde yerleştirilen yapı modeline göre daha düşük çıkmıştır. Tüm analizler Sap2000 programı ile yapılmıştır.

Çelebi (2012) tarafından yapılan çalışmada, geri çekme düzensizliğine sahip yüksek yapıların, deprem kuvveti etkisinde yer değiştirme ve görelî kat ötelenme oranları, bununla beraber kat kolonlarında oluşan iç kuvvet değişimleri incelenmiştir. Analizler Sap2000 programı ile yapılmıştır.

Günday (2017) çelik çapraz elemanlar ile güçlendirilen çelik yapıların dinamik davranışları üzerine çalışmalarda bulunmuştur. 10 katlı betonarme yapıya farklı

şekillerde çelik çapraz elemanlar ilave edilmek suretiyle deprem kuvveti altında yapı modelindeki dinamik değişimler ve çaprazların çerçeve modele katkıları incelenmiştir.

Öz (2018) tarafından incelenen konu ÇYTHYE-2016 ve TBDY-2018 kuralları doğrultusunda çelik yapıların tasarımıdır. Tezin amacı hem çelik yapılar yönetmeliği hem de deprem yönetmeliği hakkında bilgi vermektir. Bunu için çelik çerçeve ve merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin tasarımı yönetmeliklere uygun bir şekilde yapılmıştır. Analizler Sap2000 programı yardımı ile yapılmıştır.

Yüksel (2018) tarafından perde duvarların çok katlı betonarme bir yapının deprem performansına etkisi incelenmiştir. Deprem kuvveti etkisi altında biri betonarme çerçeveli diğeri betonarme perdeli olmak üzere iki farklı yapı modeli incelenmiş, zaman tanım alanında analizler yapılmıştır. Betonarme perdelerin yapı modelindeki oranının katkısı irdelenmiş ve yapının kapasitesi değerlendirilmiştir.

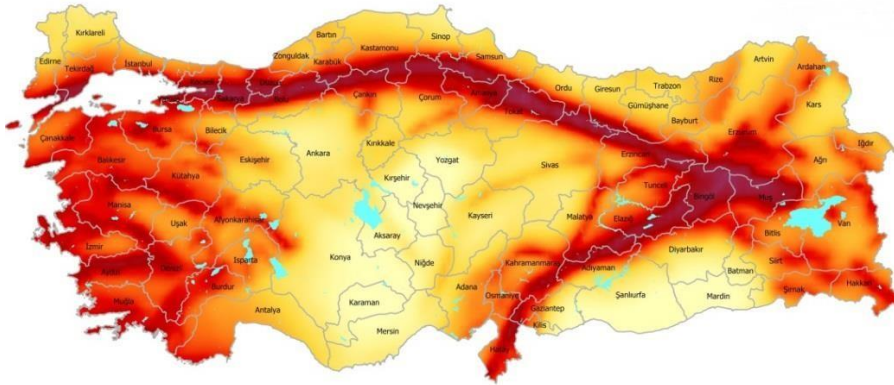
3. MATERİYAL VE METOD

3.1 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Hakkında Genel Bilgiler

Bu çalışmada, modellerin deprem hesabı ve boyutlandırılması TBDY 2018'e göre yapıldığı için, yönetmeliğin ilgili bölümlerinde verilmiş olan esaslar, minimum koşullar, formüller ve kurallardan söz edilecektir.

Şekil 3.1'de görüldüğü üzere, ülkemizde yapılacak binaların tasarımında ya da mevcut binaların incelenmesinde esas alınan deprem etkileri ve deprem parametreleri “Türkiye Deprem Tehlike Haritasında” <https://tdth.afad.gov.tr> 'de verilmiştir.

TÜRKİYE DEPREM TEHLİKE HARİTASI



Şekil 3.1 Türkiye deprem tehlike haritası (TBDY 2018).

3.1.1 Deprem Yer Hareket Düzeyleri

Yönetmelikte; çok seyrek oluşan, 50 yılda %2 aşılma olasılığına sahip, spektral büyüklüklerin tekrarlanma evresi 2475 yıl olan DD-1 deprem yer hareketi, seyrek oluşan, 50 yılda %10 aşılma olasılığına sahip, spektral büyüklüklerin tekrarlanma evresi 475 yıl olan DD-2 deprem yer hareketi, sık oluşan, 50 yılda %50 aşılma olasılığına sahip, spektral büyüklüklerin tekrarlanma evresi 72 yıl olan DD-3 deprem yer hareketi ve çok sık oluşan, 50 yılda %68 aşılma olasılığına sahip tekrarlanma evresi 43 yıl olan DD-4 deprem yer hareket düzeyleri tanımlanmıştır.

3.1.2 Harita Spektral ve Tasarım Spektral İvme Katsayıları

Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_S) ve 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1), yeni yapılacak ya da incelenmek istenen mevcut binanın konumuna göre ve yukarıda tanımlanan deprem yer hareket düzeylerine göre Türkiye deprem tehlike haritasından elde edilmektedir.

Aşağıdaki denklemler (3.1-3.2) kullanılarak elde edilen bu değerlerden tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS} ve S_{D1}) hesaplanabilir.

$$S_{DS} = S_S \cdot F_S \quad (3.1)$$

$$S_{D1} = S_1 \cdot F_1 \quad (3.2)$$

Burada F_1 ve F_S TBDY 2018 de tanımlanan yerel zemin etki katsayılarını temsil etmektedir.

3.1.3 Yerel Zemin Etki Katsayıları

Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de modelin yerel zemin sınıfına göre yerel zemin etki katsayısı olan F_1 ve F_S değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.1 Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı (TBDY 2018).

Yerel zemin sınıfı	Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı F_S					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
ZB	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
ZC	1.30	1.30	1.20	1.20	1.20	1.20
ZD	1.60	1.40	1.20	1.10	1.00	1.00
ZE	2.40	1.70	1.30	1.10	0.90	0.80
ZF	Saha alanına has zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Çizelge 3.2 1,0 saniye periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı (TBDY 2018).

Yerel zemin sınıfı	1,0 saniye periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı F_1					
	$S_S \leq 0.10$	$S_S = 0.20$	$S_S = 0.30$	$S_S = 0.40$	$S_S = 0.50$	$S_S \geq 0.60$
ZA	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
ZB	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
ZC	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.40
ZD	2.40	2.20	2.00	1.90	1.80	1.70
ZE	2.40	3.30	2.80	2.40	2.20	2.00
ZF	Saha alanına has zemin davranış analizi yapılacaktır.					

3.1.4 Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

Deprem yer hareket düzeyi için, yatay elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$, modelin periyoduna bağlı olarak yer çekimi ivmesi (g) cinsinden aşağıdaki denklemlerde tanımlanmıştır.

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \left[0,6 \cdot \frac{T}{T_A} + 0,4 \right] \quad (3.3)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (3.4)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.5)$$

Verilen denklemlerde S_{DS} ve S_{D1} tasarım ivme katsayılarını, T modelin periyodunu göstermektedir.

S_{DS} ve S_{D1} 'e bağlı olarak yatay tasarım spektrumu köşe periyotları T_A ve T_B aşağıdaki denklemler (3.6-3.7) kullanılarak hesaplanabilir.

$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.6)$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.7)$$

3.1.5 Yapı Kullanım Sınıfları ve Önem Katsayıları

Bu kısımda yapı modelinin kullanım amacı doğrultusunda kullanım sınıfı ve önem katsayısı belirlenebilir. Bunun için Çizelge 3.3'ten yararlanılır.

Çizelge 3.3 Yapı kullanım sınıfı ve önem katsayıları (TBDY 2018).

Kullanım sınıfı	Kullanım amacı	Önem katsayısı
1	Deprem sonrasında açıl kullanılması gerek yapılar, yoğun ve uzun süreli olarak kullanılan yapılar, değerli malzemelerin veya tehlikeli maddelerin bulunduğu yapılar	1.5
2	Yoğun ama kısa süreli kullanılan yapılar	1.2
3	Yukarıdaki tanımlara uymayan diğer yapılar	1.0

3.1.6 Deprem Tasarım Sınıfları

Yönetmeliğimizde yer alan deprem tasarım sınıfları Çizelge 3.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 Deprem tasarım sınıfı (TBDY 2018).

DD-2 deprem yer hareket düzeyinde kısa periyod tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS})	Yapı kullanım sınıfı	
	1	2,3
$S_{DS} < 0.33$	DTS=4a	DTS=4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS=3a	DTS=3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS=2a	DTS=2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS=1a	DTS=1

3.1.7 Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)

Binaların yükseklik sınıfları, deprem tasarım sınıflarına bağlı olarak Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5 Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına bağlı yükseklik aralıkları (TBDY 2018).

Bina yükseklik sınıfı	Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre yükseklik aralıkları		
	DTS=1, 1a, 2, 2a	DTS= 3, 3a	DTS= 4, 4a
BYS = 1	$H > 70.0$	$H > 90.0$	$H > 105.0$
BYS = 2	$56.0 < H \leq 70.0$	$70.0 < H \leq 90.0$	$91.0 < H \leq 105.0$
BYS = 3	$42.0 < H \leq 56.0$	$56.0 < H \leq 70.0$	$56.0 < H \leq 91.0$
BYS = 4	$28.0 < H \leq 42.0$	$42.0 < H \leq 56.0$	
BYS = 5	$17.5 < H \leq 28.0$	$28.0 < H \leq 42.0$	
BYS = 6	$10.5 < H \leq 17.5$	$17.5 < H \leq 28.0$	
BYS = 7	$7.0 < H \leq 10.5$	$10.5 < H \leq 17.5$	
BYS = 8	$H \leq 7.0$	$H \leq 10.5$	

3.1.8 Bina Performans Düzeyleri

Binaların ana taşıyıcı elemanlarında her hangi bir deformasyonun oluşmadığı veya deformasyonun dikkate alınmayacak kadar küçük düzeylerde olduğu duruma “kesintisizi kullanım performans düzeyi”, deformasyonların sınırlı olduğu duruma “sınırlı hasar performans düzeyi”, deformasyonların çok büyük olmadığı veya tamir edilebilecek seviyede olduğu duruma “kontrollü hasar performans düzeyi”, deformasyonların çok büyük olduğu binanın yıkılma sınırına geldiği duruma ise “göçmenin önlenmesi performans düzeyi” adı verilmektedir (TBDY 2018).

3.1.9 Binanın Periyodunun Hesaplanması

Binanın 1. periyodu T_P aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$T_P = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N m_i (d f_i)^2}{\sum_{i=1}^N F_i d f_i}} \quad (3.8)$$

Binanın periyodu saniye birimi ile ifade edilmektedir. Deprem yükü hesabında binanın periyodu, T_{PA} periyodunun 1.4 katından büyük olmamalıdır.

$$T_{PA} = C_t \chi H_N^{0.75} \quad (3.9)$$

$C_t = 0.08$ (çelik binalar için)

3.1.10 Eşdeğer Deprem Yöntemi ile Deprem Yükü Hesabı

Bu tez çalışmasında modellere etkiyen deprem yükü hesabı eşdeğer deprem yöntemine göre aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır.

$$V_{tE} = m_t \cdot S_{aR} \cdot (T) \geq 0,04 \cdot m_t \cdot I \cdot S_{DS} \cdot g \quad (3.10)$$

Yukarıdaki denklemde $S_{aR} \cdot (T)$ azaltılmış spektral ivme, T_p modelin 1. Peryodu, S_{DS} spektral ivme ve m_t modelin toplam ağırlığıdır (TBDY 2018).

Yapı modellerin en üst katına etkiyen ilave deprem yükü aşağıdaki denklem yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\Delta F_{NE} = 0,0075 \cdot N \cdot V_{tE} \quad (3.11)$$

Eşdeğer deprem yöntemi ile hesaplanan deprem yükleri her kata (F_{NE} hariç) aşağıdaki denklem yardımı ile dağıtılmıştır.

$$F_{iE} = (V_{tE} - \Delta F_{NE}) \cdot \frac{m_i \cdot H_i}{\sum_{j=1}^N m_j \cdot H_j} \quad (3.12)$$

$S_{aR} \cdot (T_p)$ hesabında aşağıdaki adımlar izlenmektedir.

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (3.13)$$

$S_{ae}(T)$, bölüm 3.1.4 denklem (3.3-3.4-3.5) yardımı ile hesaplanmıştır.

$R_a(T)$ deprem yükü azaltma katsayısı aşağıdaki denklemler yardımı ile hesaplanmıştır.

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B \quad (3.14)$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{T} - D \right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (3.15)$$

R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

D : Dayanım fazlalığı katsayısı

I : Bina önem katsayısı

T : bina periyodu

T_B : Spektrum köşe periyodu

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve bina yükseklik sınıfı (TBDY 2018).

Bina Taşıyıcı Sistemi	R	D	BYS
Çelik Bina Taşıyıcı Sistemler			
Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
a) Moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeveler	8	3	$BYS \geq 3$
b) Süneklik düzeyi yüksek dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler.	8	2.5	$BYS \geq 2$
c) Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveli sistemler.	5	2	$BYS \geq 4$
d) Moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeli sistemler.	8	3	$BYS \geq 2$
e) Moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeli sistemler.	6	2.5	$BYS \geq 2$
f) Çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen süneklik düzeyi yüksek çelik kolonlu tek katlı binalar.	4	2	-

Bu çalışmada eşdeğer deprem yöntemi ile hesaplanan deprem yükü sadece x doğrultusunda etkittirildiği için y doğrultusu için dikkate alınmamıştır.

$$E_d^H = \pm E_d \quad (3.16)$$

$$E_d^H = \pm 0,3E_d \quad (3.17)$$

Deprem yüklerini içeren yük kombinasyonları, yapı modelinin tasarımında aşağıdaki denklemler yardımı ile hesaplanmıştır.

$$G + Q + E_d^{(H)} + 0,3E_d^{(Z)} \quad (3.18)$$

$$0,9G + E_d^{(H)} - 0,3E_d^{(Z)} \quad (3.19)$$

G : Sabit yükler

Q :Hareketli yükler

$E_d^{(Z)}$: Dikey deprem etkisi denklem (3.20) yardımı ile hesaplanmıştır.

$$E_d^{(Z)} = \frac{2}{3} S_{DS} G \quad (3.20)$$

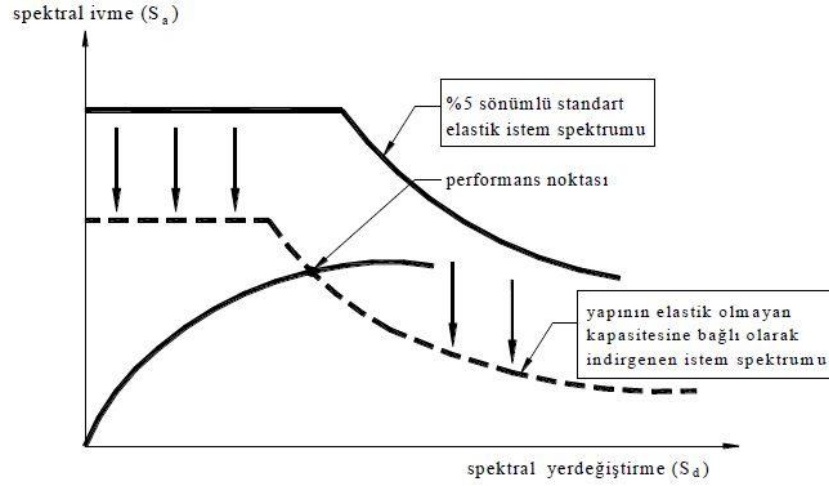
3.2 Statik İtme Analizi

Statik itme analizi; modellerin, yapı malzemesi ve geometrisi bakımından doğrusal olmayan analize göre, taban kesme kuvveti ve bina üst seviyesi yer değiştirmesi arasında bağlantı kurularak değerlendirilmesidir. Bu yöntem ile yapı modellerin elemanlarında oluşan hasar tespit edilerek incelenebilir.

Dayanıma göre veya yerdeğiştirme'ye göre değerlendirme olmak üzere yapı modelin değerlendirilmesinde iki farklı yöntem vardır. Dayanıma göre değerlendirme, yapıya etkitilen deprem yükleri yönetmelikte verilen seviyeye ulaştığı andaki yer değiştirme açısından değerlendirmedir. Diğer yöntem ise, yapı modeline etkitilen deprem yüklerinin etkisi ile yaptığı yer değiştirmeye göre beklenen performansa ulaşım ulaşılmadığı teyit edilerek değerlendirmedir (Apaydın 2005).

3.2.1 Kapasite Spektrum Yöntemi

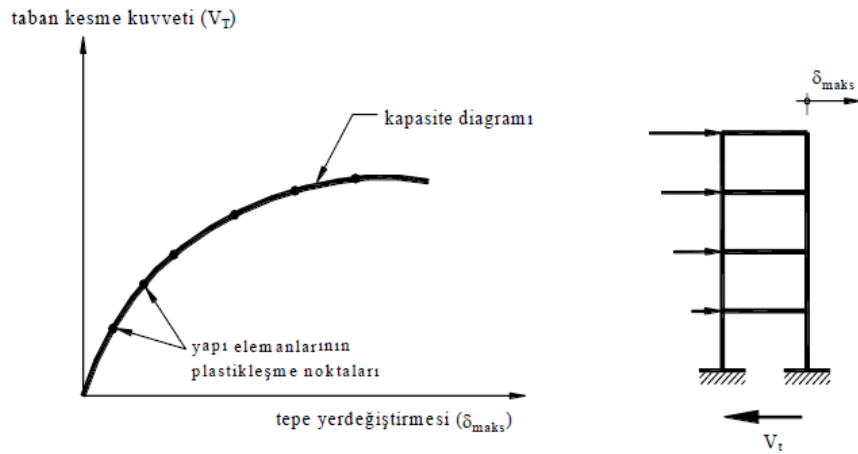
Kapasite spektrumu yönteminde, yapı sistemindeki doğrusal olmayan deformasyonlara bağlı olarak performans hedef noktası belirlenir. Şekil 3.2'de gösterilen performans noktasından, binanın istenilen performans hedefine ulaşıp ulaşılmadığı kontrol edilir. Bu yöntemde kapasite, yer değiştirme talebi ve performans noktasının belirlenmesi gerekmektedir (Apaydın 2005).



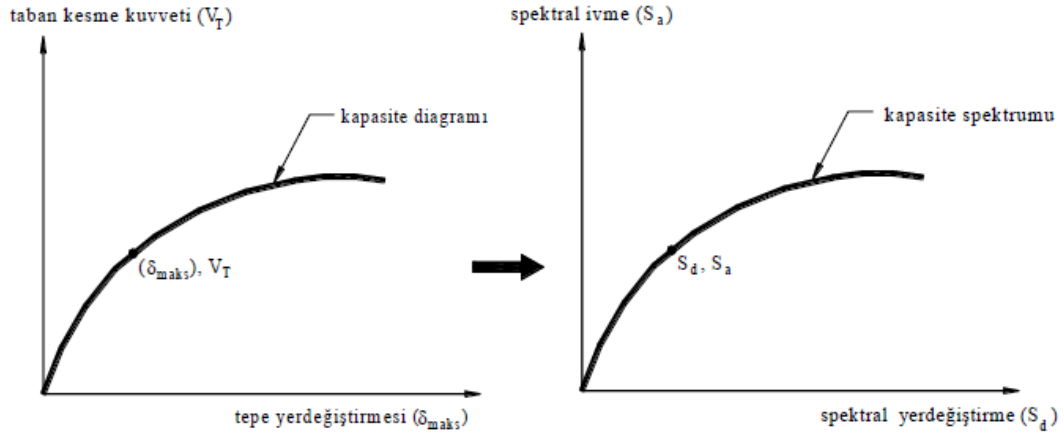
Şekil 3.2 Kapasite spektrum yöntemi ile performans noktasının belirlenmesi (Apaydın 2005).

Şekil 3.2’te gösterildiği gibi kapasite eğrisinin, Şekil 3.3’te gösterildiği gibi spektral moda çevrilmesi gerekir ki Şekil 3.4 istem spektrum ile karşılaştırılma imkânı olsun.

Burada, birinci modun modal kütle katılım katsayısı (α_1) ve modal katılım faktörü (PF1) den yararlanarak, tek serbestlik dereceli sisteme ait olan istem spektrumundan dolayı, kapasite eğrisinin (çok serbestlik dereceli) eşdeğer sisteme (tek serbestlik dereceli) dönüştürülmesi gerekir. Bunun için denklem (3.21-3.22-3.23-3.24) kullanılır (Apaydın 2005).



Şekil 3.3 Doğrusal olmayan teori ile kapasite eğrisinin elde edilmesi (Apaydın 2005).



Şekil 3.4 Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürölmesi (Apaydın 2005).

$$\alpha_1 = \frac{[\sum_{i=1}^N w_i \phi_{1i} / g]^2}{[\sum_{i=1}^N w_i / g][\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{1i}^2 / g)]} \quad (3.21)$$

$$S_a = \frac{V_T / W}{\alpha_1} \quad (3.22)$$

$$PF_1 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{1i} / g)}{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{1i}^2 / g)} \right] \quad (3.23)$$

$$S_d = \frac{\delta_{maks}}{PF_1 \phi_{tepe,1}} \quad (3.24)$$

Bu bağılantılarda;

V_T : Taban kesme kuvveti.

W : Yapının ağırlığı.

N : Binanın kat adedi.

W_i/g : (i) numaralı katın kütlesi.

S_a : Spektral ivme.

S_d : Spektral yer değiştirme.

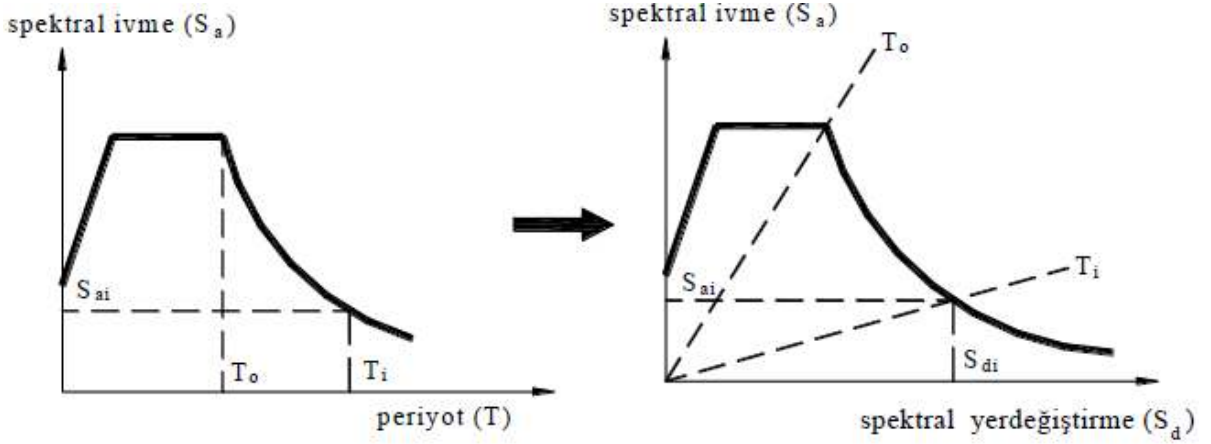
Δ_{maks} : Yapının en üst noktası yatay yer değiştirmesi.

Ø_{tepe,1} : Birinci moda ait en üst kattaki genik.

Ø_{i,1} : Birinici moda ait (i) nolu kattaki genlik.

$$S_d = S_a \frac{T^2}{4\pi^2} \quad (3.25)$$

Bu bağlantıda (Şekil 3.5) T , yapı sisteminin doğal periyodunu ifade etmektedir.



Şekil 3.5 Elastik istem spektrumunun, spektral ivme-spektral yer değiştirme formatına dönüştürülmesi (Apaydın 2005).

Kapasite ve istem spektrumları, spektral ivme ve spektral yer değiştirme formatına dönüştürüldükten sonra istem spektrumun, etkili sönüm yüzdesinden (histeretik sönüm ve viskoz sönüm toplamının kritik sönüme bölünmesi) faydalanarak, yapı modelinde deprem kuvvetleri etkisinden oluşan doğrusal olmayan şekil değiştirmeler nedeniyle oluşan sönüm oranına bağlı olarak azaltılması gerekir. Viskoz sönüm genellikle %5 olarak alınmaktadır (Apaydın 2005).

Etkili sönüm yüzdesi için (3.34) bağlantısından ve Şekil 3.10'dan yararlanılır.

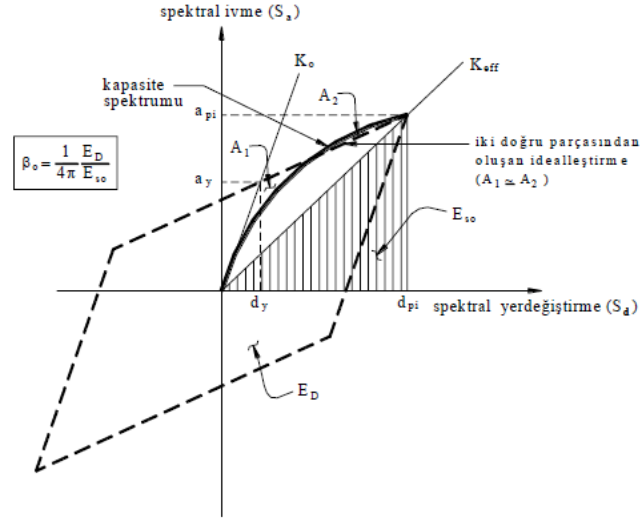
$$\beta_{eq} = k\beta_0 + 5 = \frac{63.7k(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \quad (3.26)$$

Burada;

β_{eq} : Yüzde olarak ifade edilen etkili sönüm oranı.

β_0 : Eşdeğer viskoz sönüm cinsinden ifade edilen histeretik sönüm.

K : Yapı taşıyıcı sistemin davranışı ile depremin süresine bağlı olarak belirlenen katsayı ($0.33 < k < 1.00$).



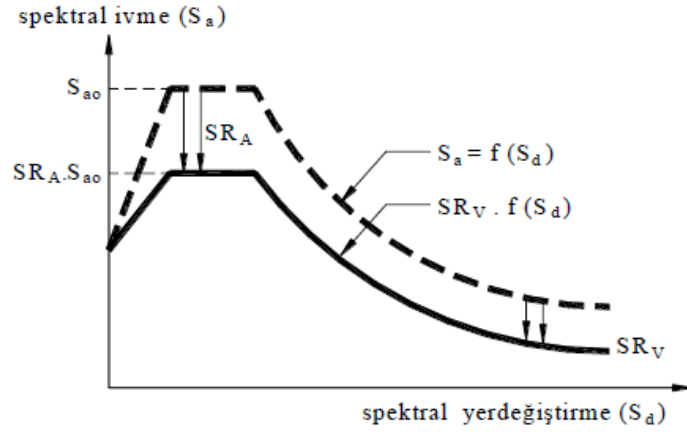
Şekil 3.6 Viskoz sönümün belirlenmesi (Apaydın 2005).

Şekil 3.6’da görüldüğü gibi, etkili sönüm oranının hesaplanabilmesi için, performans noktasının başlangıçta bilinmesi veya tahmin edilmesi gerekmektedir.

$$SR_A \approx \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eff})}{2.12} \geq SR_A, min = 0.33 - 0.56 \quad (3.27)$$

$$SR_V \approx \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}{1.65} \geq SR_V, min = 0.50 - 0.67 \quad (3.28)$$

Bu kapasite spektrumu yönteminde, ilk başta belirlenen d_{pi} deplasman değeri ile analiz sonucunda hesaplanan deplasman değeri birbirine eşit veya yeterince yakın ise performans noktası belirlenmiş olur.



Şekil 3.7 İndirgenmiş talep spektrumunun elde edilmesi (Apaydın 2005).

Deprem kuvvetleri etkisi altındaki yapı modelin performans değeri elde edildikten sonra o yapı modeline ait deplasman değerlerinin, plastik şekil değiştirmelerinin vb. yönetmelikte verilen sınır koşullarının sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilerek, yapının taşıyıcı elemanlarında oluşan zorlanmalar veya hasarlar tespit edilebilir (Apaydın 2005).

3.3 Yapısal Düzensizlikler

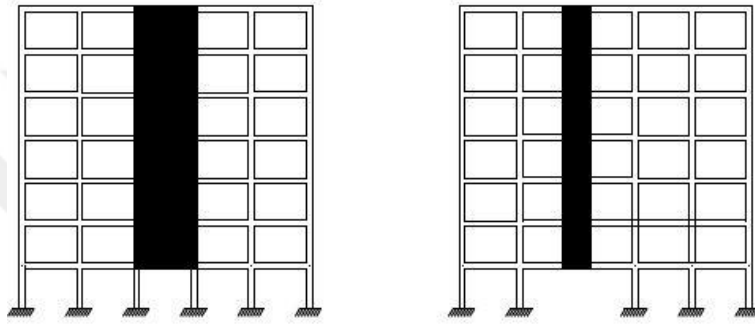
Bu çalışmada yer alan dört adet modelin üçünde, yapısal düzensizlikleri bulunan çelik çerçevelerin deprem performansı incelenmiştir. Geri çekmeli yapılar gerek yapısal zorluklar gerekse mimari isteklerin ön plana çıkması ile oluşmaktadır ve projelendirme sırasında tahmin edilmeyen gerilemelerin oluşmasına sebep olmaktadır.

TBDY 2018’de iki çeşit düzensizlikten söz edilmektedir. Bunlardan birincisi planda düzensizliği olan binalar. İkincisi düşeyde düzensizliği olan binalardır. Düşeyde düzensizlik koşulu bu tez çalışmasında ele alınan modellerde uygulandığı için bu yöntemden kısaca söz edilmiştir.

Düşeyde düzensizlik koşulu; komşu katlar arası dayanım düzensizliği olarak tanımlanan zayıf kat düzensizliği, komşu katlar arası rijitlik düzensizliği olarak tanımlanan yumuşak kat düzensizliği ve taşıyıcı düşey elemanların süreksizlik düzensizliği olmak üzere TBDY 2018’de üç başlık altında ele alınmıştır.

Birinci koşul zayıf kat düzensizliği çelik yapılarda oluşmadığı için açıklanmamıştır. Yumuşak kat düzensizliği ise; bu yapı modelinin i’nci kattaki görelî kat öteleme

değerinin o katın üst veya alt katının göreceli kat öteleme değerine bölünmesi değerinin (η_{ki}) 2'den büyük olması koşuludur (bodrum kat hariç). Yumuşak kat farklı şekillerde oluşabilmektedir. Bunlardan bazıları, ilgili katın diğer katlardan daha yüksek olması veya belirli bir katta mevcut duvar süreksizliğidir. Üçüncü koşul ise Şekil 3.8'de görüldüğü gibi yapı modelindeki kolon ve perdelerin kirişler veya guseli kolonların kenarlarına oturtulması, tamamen kaldırması veya altı katlarda kolon olan elemanların yukarıda perde olarak devam etmesi taşıyıcı sistem düşey elemanlarının süreksizliği olarak tanımlanır (TBDY 2018).

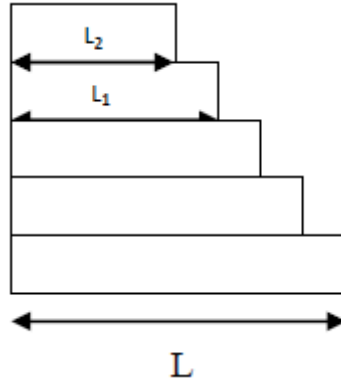


Şekil 3.8 Taşıyıcı sistem düşey elemanların düzensizliği durumu (TBDY 2018).

Ayrıca yüksek yapılarda uygulanan düşey taşıyıcı elemanlarından olan kolon veya perde duvarlarının boyutlarının belirli bir kattan sonra değişmesi (düşürülmesi) ya da yapı modelin mimari gereksinimlerden dolayı belirli bir kattan itibaren ani veya orantılı bir şekilde daralması olan geri çekme düzensizliği deprem yüklerin her katta farklı dağılım göstermesine ve dolayısıyla yapı modelin deprem performansının azalmasına neden olabilmektedir. Şekil 3.10'da tez çalışmada ele alınan geri çekmeli yapı modelleri gösterilmektedir (TBDY 2018).

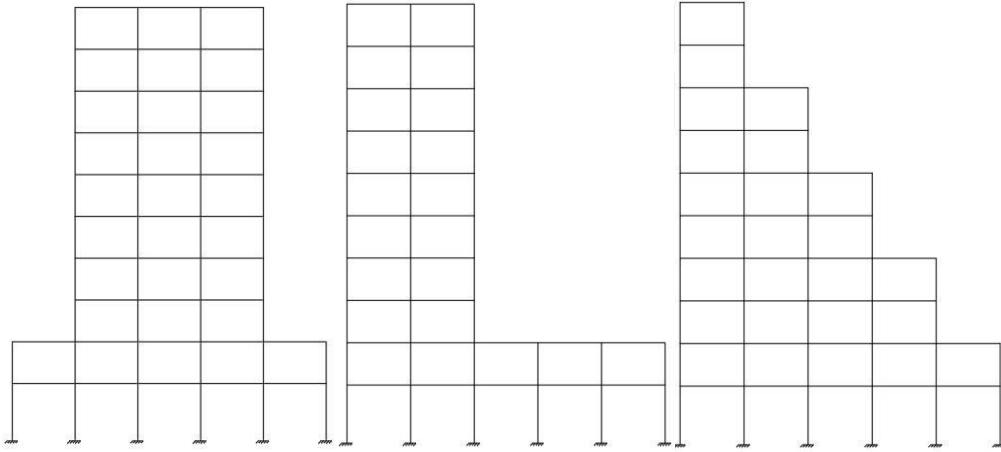
Yapısal düzensizliği bulunan geri çekmeli yapılarda Eurocode 8 yönetmeliğine göre Şekil 3.9, Denklem (3.29)'da görüldüğü gibi alt kat ve bir üst kat arasındaki fark %10'u geçmemelidir. Bu tip yapılarda yapı tabanı ile en üst kat arasındaki boyut farkıda %30 değerini aşmamalıdır (Eurocode 8).

$$L_1 - L_2 \leq 0.1L_1 \text{ ve } L - L_2 \leq 0.3L \quad (3.29)$$



Şekil 3.9 Geri çekme düzensizliği kriteri (Eurocode 8).

Her iki tip model için alt kat ve bir üst kat arasındaki fark %50 ve %33.3, tabanı ile en üst kat arasındaki boyut farkıda %66.7 değerini aşan modellerde geri çekme düzensizliği kriterini sağlamış olur (Eurocode 8).



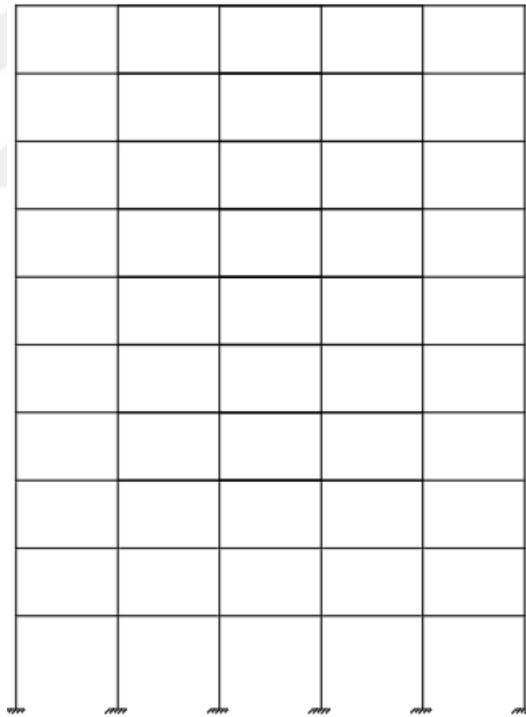
Şekil 3.10 Geri çekme düzensizliği görülen modeller.

4. BULGULAR

4.1 Model 1

4.1.1 Model 1.a (Referans çerçeve)

İki boyutlu genel sistem görünüşü Şekil 4.1’de verilen 10 katlı çelik bir modelin Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’nde verilen kurallara göre tasarımı yapılmıştır. SAP2000 programı yardımı ile boyutlandırılan yapı modelinde (ÇYTYHY 2016) esaslarına uyulmuştur. Daha sonra bu yapı modelinin statik itme ve güçlendirme çalışması yapılmıştır. Bu referans çerçeveden 3 adet geri çekmeli model oluşturulmuştur. Her biri için ayrı ayrı deprem güvenliği tahkiki ile çelik çapraz ve betonarme perde ilave edilerek statik itme analizi yapılmıştır.



Şekil 4.1 Modelinin iki boyutlu görüntüsü.

Model yapı 30.0x41.50 m boyutlarında bir iş merkezi olarak tasarlanmıştır. Zemin kat yüksekliği 5.5 m ve normal katların yüksekliği 4.0 m’dir. Şekil 4.1’de verilen çerçevede x yönünde 5 açıklıktan oluşmaktadır.

Çerçeve modeli süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeveler olarak tasarlanmış ve deprem kuvvetleri TBDY 2018'e göre hesaplanmıştır. Bu çerçevenin taşıyıcı sistem elemanları kirişler için IPE profilleri ve kolonlar için HEB profilleri kullanılarak tasarlanmıştır.

Yapı modeli için S235 yapı çeliği kullanılmıştır. S235 yapı çeliğinin özelliklerinden akma dayanımı $F_y = 235 \text{ N/mm}^2$, çekme dayanımı $F_u = 360 \text{ N/mm}^2$ ve elastisite modülü ise $E = 210000 \text{ N/mm}^2$ dir.

Sabit ve Hareketli Yükler:

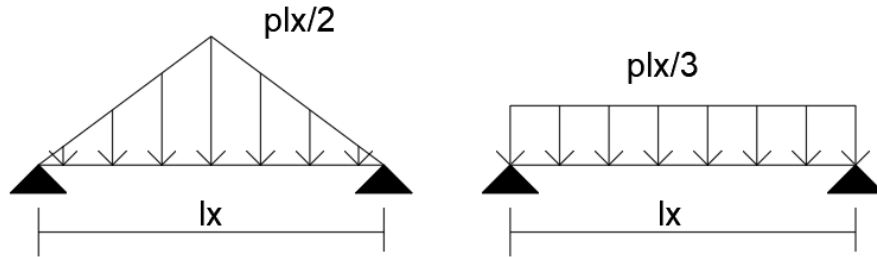
Çatı döşemesi, kaplama 0.50 kN/m^2 , izolasyon 0.40 kN/m^2 , trapez saç-betonarme 2.1 kN/m^2 , asma tavan+tesisat 0.5 kN/m^2 olmak üzere toplam sabit yük (g) 3.50 kN/m^2 , hareketli yük (q) 1.50 kN/m^2 oluşmaktadır.

Normal kat döşemesi, kaplama 0.50 kN/m^2 , trapez saç-betonarme 2.10 kN/m^2 , asma tavan+tesisat 0.50 kN/m^2 , bölme duvar 1.00 trapez saç-betonarme 2.10 kN/m^2 , asma tavan+tesisat 0.50 kN/m^2 olmak üzere toplam sabit yük (g) 4.10 kN/m^2 , hareketli yük 2.00 kN/m^2 oluşmaktadır.

Normal katlar için dış duvarlar yükü (g) 3.00 kN/m alınmıştır.

Kirişlere döşemeden gelen yükler

Üçgen yük dağılımları Şekil 4.2 yerine eşdeğer düzgün yayılı yük dağılımı dikkate alınmıştır.



Şekil 4.2 Döşemeden kirişlere gelen üçgen yük dağılımının eşdeğer düzgün yayılı yük dağılımına dönüştürülmesi.

Çatı kat kiriş yükü	$P_g = \frac{3.5 \times 6}{3} = \frac{21}{3} = 7.0 \text{ kN/m}$	$2 \times 7 = 14.00 \text{ kN/m}$
	$P_q = \frac{1.5 \times 6}{3} = \frac{9}{3} = 3.0 \text{ kN/m}$	$2 \times 3 = 6.0 \text{ kN/m}$
Normal kat kiriş yükü	$P_g = \frac{4.1 \times 6}{3} = \frac{24.6}{3} = 8.2 \text{ kN/m}$	$2 \times 8.2 = 16.4 \text{ kN/m}$
	$P_q = \frac{2 \times 6}{3} = \frac{12}{3} = 4.0 \text{ kN/m}$	$2 \times 4 = 8.0 \text{ kN/m}$

Deprem Yükleri:

Deprem Yer Hareketi Düzeyleri

Afyonkarahisar ili ANS Kampüsü için: DD-2 için yatay elastik spektrumun elde edilmesi için gerekli olan, kısa periyot harita spektral ivme katsayısı $S_s = 1.0$ saniyedir.

Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

AFAD verilerinden elde edilen harita spektral ivme katsayıları aşağıdaki gibidir.

$$S_s = 0.816$$

$$S_1 = 0.184$$

Örnek model için varsayılan yerel zemin sınıfı ZC için çizelge 3.1'den yerel zemin etki katsayıları $F_s = 1.2$ ve $F_1 = 1.5$ olarak alınmıştır. tasarım spektral ivme katsayıları:

$$S_{DS} = S_s F_s = 0.816 \times 1.2 = 0.979$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 = 0.184 \times 1.5 = 0.276$$

Yatay tasarım spektrumu köşe periyotları T_A ve T_B aşağıda hesaplanmıştır.

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.2 \frac{0.276}{0.979} = 0.056$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0.276}{0.979} = 0.282$$

Deprem tasarım sınıflarının (DTS) belirlenmesine esas olmak üzere bina kullanım sınıfı, örnek seçilen çerçeve bir iş yeri yapısı olduğu için BKS=3 ve bina önem katsayısı 1 olarak Çizelge 3.3'e göre alınmıştır.

Modelin DD-2 düzeyi için kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı $S_{DS}=0.979$ 'dur. Buna göre bina kullanım katsayısı $BKS=3$ olduğu dikkate alındığında Çizelge 3.4'ye göre $0.75 \leq S_{DS}=0.979$ koşulu sağlaması nedeniyle, deprem tasarım sınıfı $DTS=1$ 'dir.

Binanın, bina tabanından itibaren ölçülen yüksekliği, $H_N = 5.5 + 4 \times 9 = 41.5$ m olarak hesaplanacaktır. Bu durumda çizelge 3.5'ye göre deprem tasarım sınıfı $DTS = 1$ için, $17.5 \leq H_N = 41.5 \leq 28.0$ olduğundan, bina yükseklik sınıfı $BYS = 4$

Yeni yapılacak binalar için R ve D katsayıları çizelge 3.6'da verilmiştir. İşyeri yapısı tamamının süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçeveler ile tarafından birlikte karşılandığı bina olarak ele alınmıştır ($R=8$, $D=3$).

Binanın Hâkim Doğal Titreşim Periyodunun Belirlenmesi

Katların kütle hesabı SAP2000 program tarafından hesaplanmıştır. Programdan alınan sonuçlar Çizelge 4.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.1 Kat kütleleri.

Kat	kNsn ² /m
10	55.02
9	73.37
8	73.37
7	73.75
6	73.75
5	73.75
4	74.44
3	74.44
2	74.44
1	75.98

$$F_f = V_{tE} - \Delta F_{NE} = 100kN \quad (4.1)$$

Çizelge 4.2 Katlara etkiyen fiktif yüklerin belirlenmesi.

Kat No	$H_i(m)$	$m_i(kNsn^2/m)$	m_iH_i	F_f	$F_{if}(kN)$
10	41.5	55.02	2283.43		13.78
9	37.5	73.37	2751.41		16.61
8	33.5	73.37	2457.93		14.84
7	29.5	73.75	2175.54		13.13
6	25.5	73.75	1880.55	100	11.35
5	21.5	73.75	1585.56		9.57
4	17.5	74.44	1302.78		7.86
3	13.5	74.44	1005.00		6.07
2	9.5	74.44	707.22		4.27
1	5.5	75.98	417.91		2.52
			$\Sigma 16567.91$		

Çizelge 4.2’den elde edilen F_{if} fiktif kuvvetleri SAP2000 programında her kata etki ettirilmiştir. Analiz sonucunda alınan değerler aşağıdaki Çizelge 4.3’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.3 Fiktif yüklerden oluşan kat yer değiştirmeleri.

Kat no	$d_{fi}(m)$	$F_{if}(kN)$	$m_i(ton)$	$m_i(d_{fi})^2$	$F_{if}d_{fi}$
1	0.0016	2.52	75.98	0.000195	0.00404
2	0.0022	4.27	74.44	0.000360	0.00939
3	0.0028	6.07	74.44	0.000584	0.01699
4	0.0034	7.86	74.44	0.000861	0.02674
5	0.0043	9.57	73.75	0.001364	0.04115
6	0.0051	11.35	73.75	0.001918	0.05789
7	0.0058	13.13	73.75	0.002481	0.07616
8	0.0065	14.84	73.37	0.003100	0.09643
9	0.0070	16.61	73.37	0.003595	0.11625
10	0.0072	13.78	55.02	0.002852	0.09923
				$\Sigma=0.01731$	$\Sigma=0.544276$

$$T_p = 2\pi \sqrt{\frac{\sum mi(df_i)2}{\sum F_i df_i}} = 2\pi \sqrt{\frac{0.01731}{0.544276}} = 1.17 \text{ sn}$$

Binanın doğal titreşim periyodları SAP2000 programı yardımı ile $T_p = 1.17 \text{ sn}$ olarak hesaplanmıştır.

Modelin periyodu T_p ' nın deprem hesabında alınacak en büyük değeri T_{pA} periyodunun 1.4 katından daha fazla büyük olmayacaktır (TBDY 2018).

$$T_{pA} = C_t x H_N^{0.75} \quad (3.9)$$

C_t = çelik çerçevelerden veya çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan binalarda $C_t = 0.08$.
diğer tüm binalarda $C_t = 0.07$.

$$T_{pA} = 0.08 x 41,5^{0.75} = 1.31 \text{ sn}$$

$$T_p \leq 1.4 x T_{pA} = 1.4 x 1.31 = 1.834 \text{ sn}$$

$$T_p = 1.17 \leq T_{pA} = 1.834 \text{ sn}$$

Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı ($R_a(T)$)

Deprem yüğü azaltma katsayısı, $R_a(T)$, $T_p = 1.17$, $R = 8$ ve $D=3$ alınarak hesaplanmıştır.

Buna göre,

$$T_p^{(X)} = 1.17 \text{ sn} > T_B = 0.282 \text{ sn}$$

$$R_a(T_p^{(X)}) = \frac{R^X}{I} \quad (3.14)$$

$$R_a(T_p^{(X)}) = \frac{R^X}{I} = \frac{8}{1} = 8$$

Toplam Yatay Eşdeğer Deprem Yüğü (V_{tE})

Eşdeğer deprem yüğü V_{tE} , aşağıdaki denklem ile belirlenecektir.

$$V_{tE} = m_t \cdot S_{aR} \cdot (T) \geq 0,04 \cdot m_t \cdot I \cdot S_{DS} \cdot g \quad (3.10)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.5)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0.276}{1.17} = 0.24$$

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (3.13)$$

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} = \frac{0.24}{8} = 0.029$$

$$V_{tE} = 722.32 \times 0.029 \times 9.81 = 205.49 \text{ kN} \geq 0,04 \times 722.32 \times 0.979 \times 9.81 = 277.48$$

$$\Delta F_{NE} = 0.0075 \cdot N \cdot V_{tE} \quad (3.11)$$

$$\Delta F_{NE} = 0.0075 \times 10 \times 277.48 = 20.79 \text{ kN}$$

Çizelge 4.4 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.

Kat No	$H_i(m)$	$m_i(ton)$	$m_i H_i$	$F_E = V_{iE} - \Delta F_{NE}$	$F_{iE}(kN)$
10	41.5	55.02	2283.33		35.35
9	37.5	73.37	2751.38		42.60
8	33.5	73.37	2457.90		38.06
7	29.5	73.75	2175.63		33.69
6	25.5	73.75	1880.63	277.48-20.79=256.52	29.12
5	21.5	73.75	1585.63		24.55
4	17.5	74.44	1302.78		20.17
3	13.5	74.44	1005.00		15.56
2	9.5	74.44	707.18		10.95
1	5.5	75.98	417.89		6.47
			$\Sigma=16567.19$		$\Sigma=256.52$

Yapı Sistemin Boyutlandırılması

Yapı sistemin modellenmesinde TBDY 2018’de verilen kurallara göre ve eşdeğer deprem yöntemine göre yukarıda hesaplanan Çizelge 4.4’te verilen deprem kuvvetleri SAP2000 programına tanımlanarak boyutlandırılmıştır. Çizelge 4.5’te Model 1.a’ya ait taşıyıcı sistem elemanları verilmiştir.

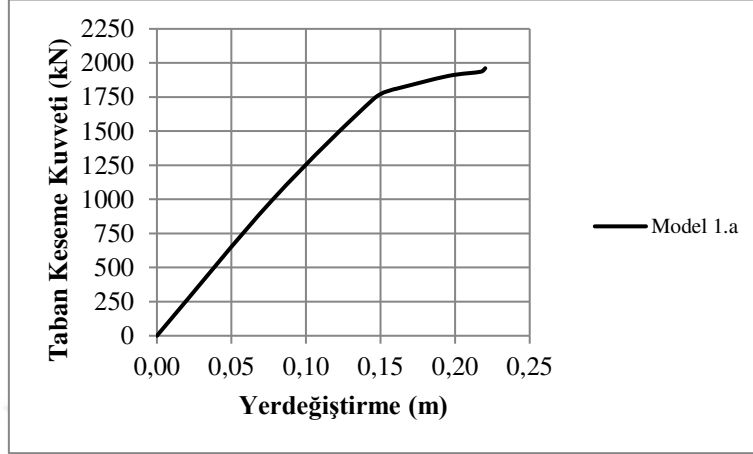
Çizelge 4.5 SAP2000 tarafından hesaplanan kesit boyutları.

Kat	Kolon	Kiriş
1-4	HE450 B	IPE600
5-7	HE360 B	IPE600
8-10	HE320 B	IPE600

Referans çerçeve için analiz sonuçları

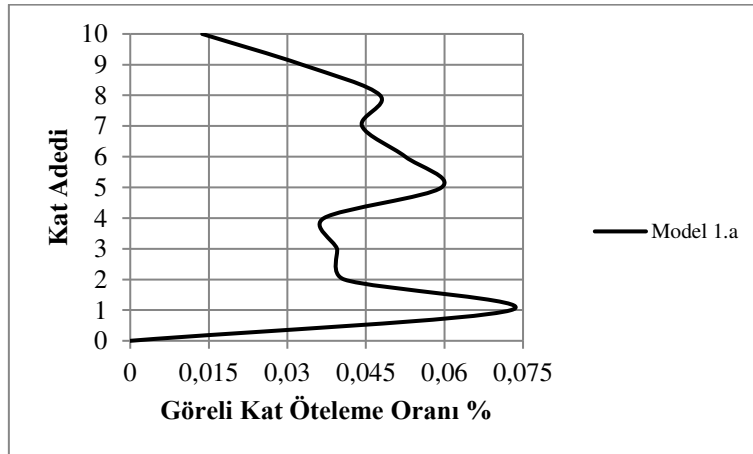
Statik itme analizi sonucunda modelin taban kesme kuvveti (V_b) ve çatı yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı yer değiştirmesi ilişkisi Şekil 4.3’de

gösterilmiştir. Yapının taban kesme kuvveti $V=1961.38$ kN, yer değiştirmesi $\Delta_N=0.22$ m'dir.



Şekil 4.3 Model 1.a taban kesme kuvvet ve çatı yer değiştirme eğrisi.

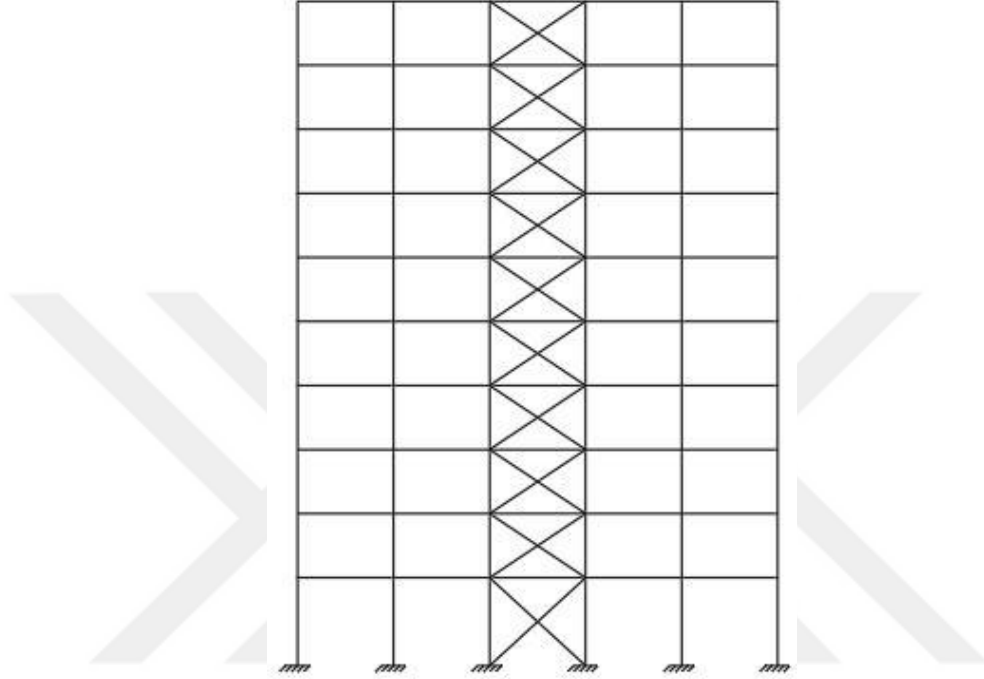
Görelî kat öteleme oranı yüzdesi Şekil 4.4'de verilmiştir. Görelî kat öteleme oranı yüzdesi istikrarsız bir grafik çizmiştir. Ayrıca kat yüksekliğinin değiştiği ve kolon boyutlarının düşürüldüğü katlarda ani sıçramalar görülmektedir. Zemin kat yüksekliğinin diğer katlara göre daha yüksek olmasından ve beşinci kat ve sekizinci kattan itibaren kolon boyutlarının düşürülmüş olmasından dolayısıyla düşey rijitliğinin azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.4 Model 1.a görelî kat öteleme oranı yüzdesi.

4.1.2 Model 1.b

İki boyutlu sistemin görünüşü Şekil 4.5'te verilen 10 katlı çelik çerçeve modelin, Model 1.a (referans çerçeve) orta açıklığına çelik çaprazlar ilave edilerek türetilmiştir.



Şekil 4.5 Modelinin İki Boyutlu Görüntüsü.

Model, 30.00x41.50 m boyutlarında bir iş merkezi olarak tasarlanmıştır. Zemin kat yüksekliği 5.50 m normal katların yüksekliği ise 4.0 m'dir. Şekil 4.5'te verilen çerçevede x yönünde 5 açıklıktan oluşmaktadır.

Çerçeve modeli süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler olarak tasarlanmış ve deprem kuvvetleri TBDY 2018'e göre yapılmıştır. Bu çerçevenin taşıyıcı sistem elemanları Çizelge 4.6'da gösterildiği gibi kirişler için IPE profilleri, kolonlar için HEB profilleri ve çapraz elemanlar için kutu profiller kullanılmıştır.

Çizelge 4.6 Taşıyıcı sistem elemanları ve en kesit profilleri.

Taşıyıcı Sistem Elemanı	En Kesit Profili
kirişler	IPE600
Kolonlar (1-4)	HE450B
Kolonlar (5-7)	HE360B
Kolonlar(8-10)	HE320B
Çapraz elemanlar	120.120.20

Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Hesaplanması

Binanın doğal titreşim periyodları SAP2000 programı yardımı ile hesaplanmıştır.

Birinci doğal titreşim periyodu $T_p = 0.62 \text{ sn}$

Toplam Yatay Eşdeğer Deprem Yüğü (V_{tE})

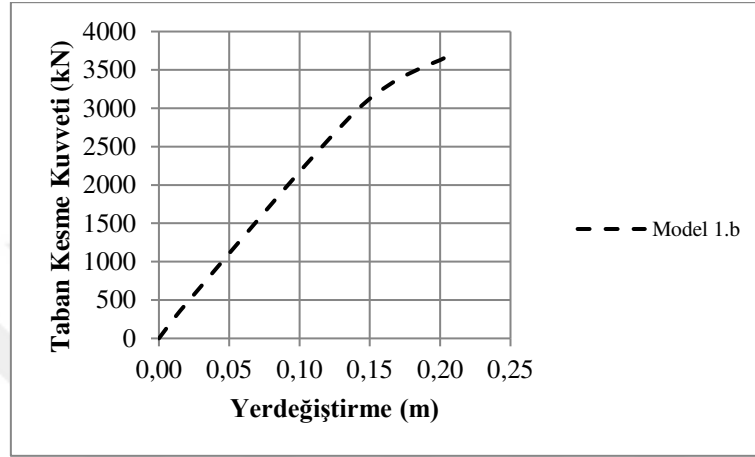
Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri Çizelge 4.7’de gösterilmiştir. Bölüm 3.1 gösterilen TBDY 2018’e göre ve Model 1.a’ya benzer şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 4.7 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.

Kat	FiE (kN)
10	51.86
9	62.49
8	55.83
7	49.21
6	42.67
5	38.35
4	29.43
3	23.12
2	16.27
1	9.87

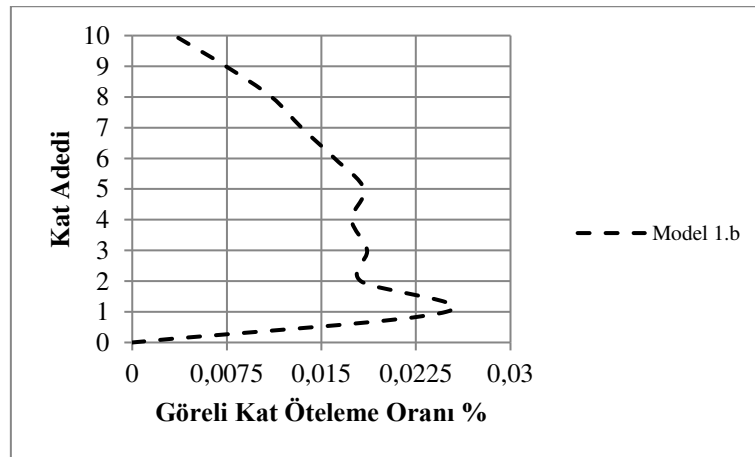
Statik itme analizi sonuçları

Statik itme analizi sonucunda modelin taban kesme kuvveti (V_b) ve çatı yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı yer değiştirmesi ilişkisi Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Yapının taban kesme kuvveti $V_b=3627.17$ kN, yer değiştirmesi $\Delta_N=0.20$ m'dir.



Şekil 4.6 Model 1.b taban kesme kuvvet ve çatı yer değiştirme eğrisi.

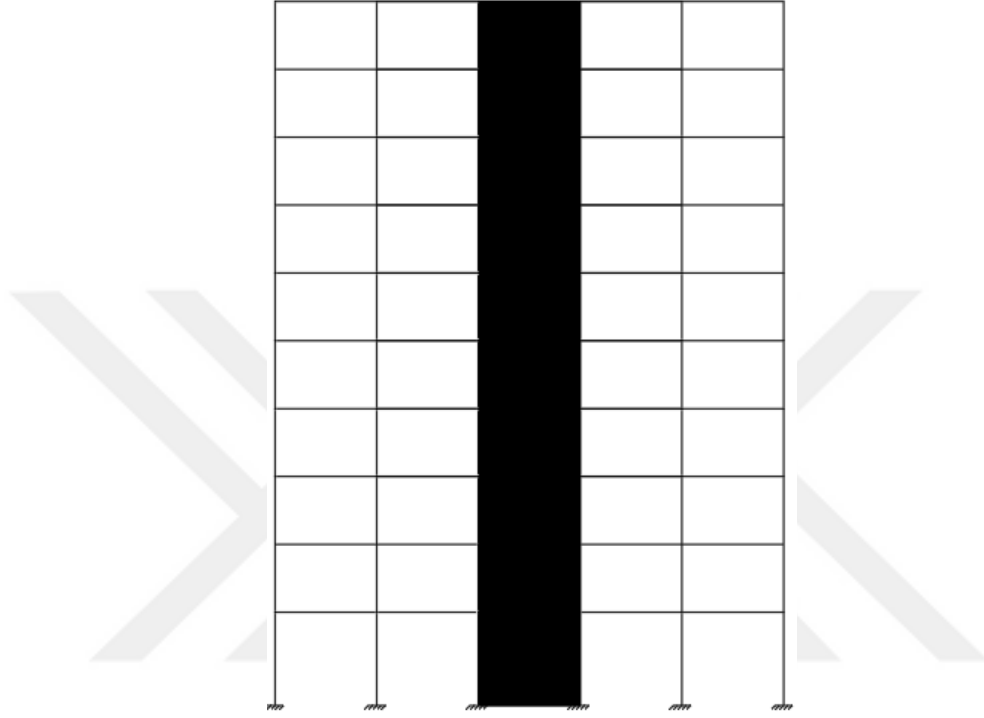
Görelî kat öteleme oranı yüzdesi Şekil 4.7'de verilmiştir. Görelî kat öteleme oranı yüzdesi zemin katta diğer katlara göre yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi zemin kat yüksekliğinin diğer katlara göre daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Beşinci kat ve sekizinci kattan itibaren kolon boyutlarının düşürülmüş olmasından dolayı, düşey rijitliğinin azalmasından kaynaklanan istikrarsızlığın, çelik çaprazların ilave edilmesi ile görelî kat öteleme oranları daha istikrarlı hale gelmiştir.



Şekil 4.7 Model 1.b görelî kat öteleme oranı yüzdesi.

4.1.3 Model 1.c

Şekil 4.8’de verilen 10 katlı çelik çerçeve model, Model 1.a (referans çerçeve) orta açıklığına betonarme perde ilave edilerek türetilmiştir.



Şekil 4.8 Yapı modelinin iki boyutlu görüntüsü.

Model yapı, 30.00x41.50 m boyutlarında bir iş merkezi olarak tasarlanmıştır. Zemin kat yüksekliği 5.50 m ve normal katların yüksekliği ise 4.0 m’dir. Şekil 4.8’de verilen çerçevede x yönünde 5 açıklıktan oluşmaktadır.

Çerçeve modeli süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeve ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perde tarafından karşılanan çerçeve olarak tasarlanmış ve deprem kuvvetleri TBDY 2018’e göre yapılmıştır. Bu çerçevenin taşıyıcı sistem elemanları Çizelge 4.8’de gösterildiği şekilde kirişler IPE profilleri, kolonlar için HEB profilleri ve betonarme perde elemanlar kullanılarak boyutlandırılmıştır.

Çizelge 4.8 Taşıyıcı sistem elemanları ve en kesit profilleri.

Taşıyıcı Elemanı	Sistem	En Profil	Kesit
Kolonlar (1-4)		HE450B	
Kolonlar (5-7)		HE360B	
Kolonlar(8-10)		HE320B	
Betonarme perde		30 cm	
Kirişler		IPE600	

Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Hesaplanması

Binanın doğal titreşim periyodları Sap2000 programı yardımı ile hesaplanmıştır. Birinci doğal titreşim periyodu $T_p = 0.20sn$

Toplam Yatay Eşdeğer Deprem Yüğü (V_{tE})

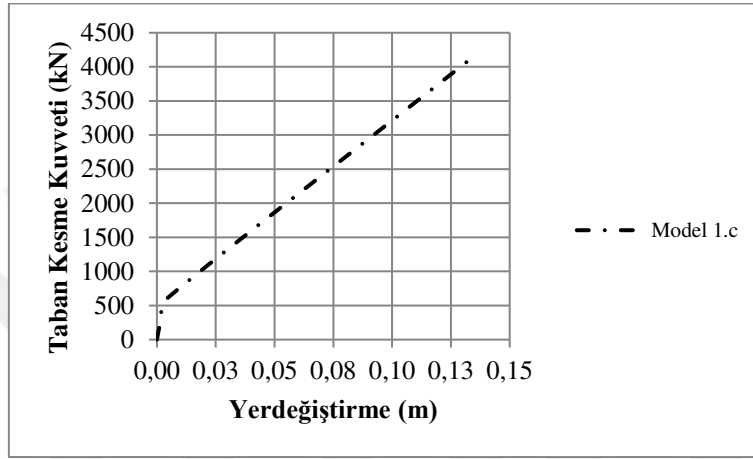
Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri çizelge 4.9’de gösterilmiştir. Bölüm 3.1 gösterilen TBDY 2018’e göre ve Model 1.a’ya benzer şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 4.9 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.

Kat	FiE (kN)
10	169.97
9	189.98
8	169.71
7	149.93
6	129.60
5	109.27
4	89.48
3	69.02
2	48.57
1	31.00

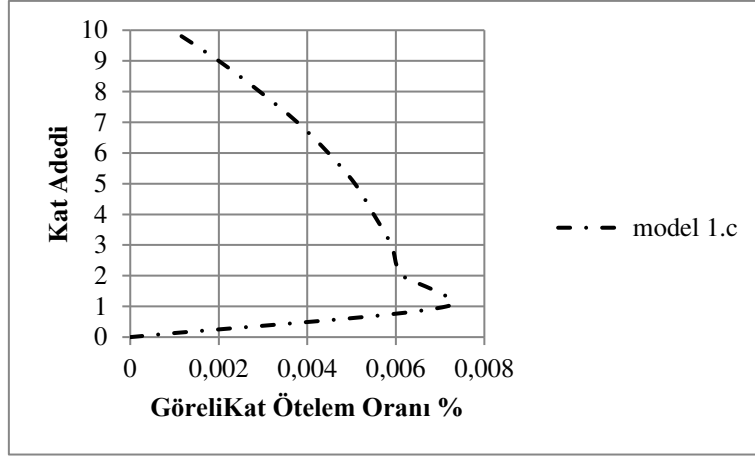
Statik itme analizi sonuçları

Statik itme analizi sonucunda modelin taban kesme kuvveti (V_b) ve çatı yerdeğiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı yer değiştirmesi ilişkisi şekil 4.9’de gösterilmiştir. Yapının taban kesme kuvveti $V_b=4182.54$ kN, yer değiştirmesi $\Delta_N=0.136$ m’dir.



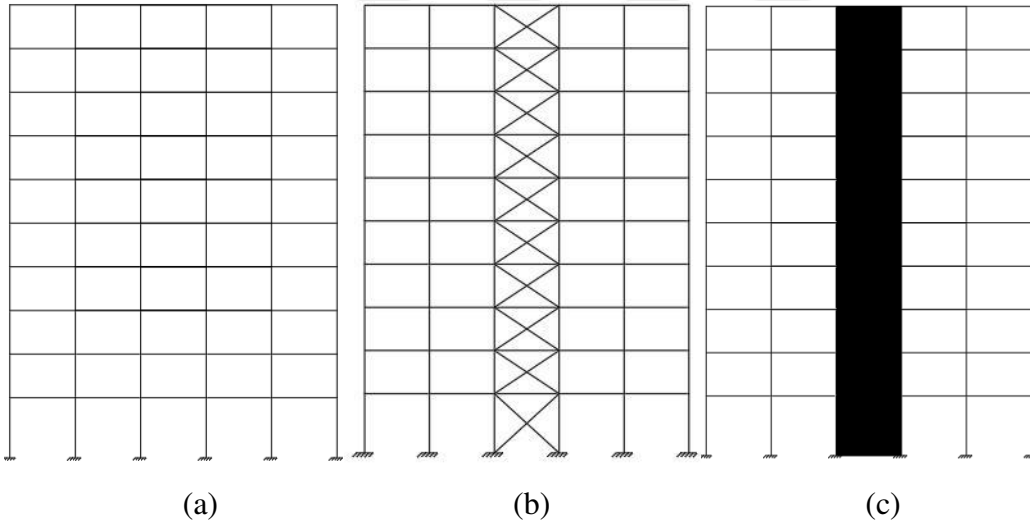
şekil 4.9 Model 1.c taban kesme kuvvet ve çatı yer değiştirme eğirisi.

Grelı kat öteleme oranı yüzdesi şekil 4.10’de verilmiştir. Grelı kat öteleme oranı yüzdesi zemin katta diğer katlara göre yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi zemin kat yüksekliğinin diğer katlara göre daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Beşinci kat ve sekizinci kattan itibaren kolon boyutlarının düşürülmüş olmasından dolayı, düşey rijitliğinin azalmasından kaynaklanan istikrarsızlığın, betonarme perde ilave edilmesi ile görelı kat öteleme oranları daha istikrarlı hale gelmiştir.



Şekil 4.10 Model 1.c görel kat öteleme oranı yüzdesi.

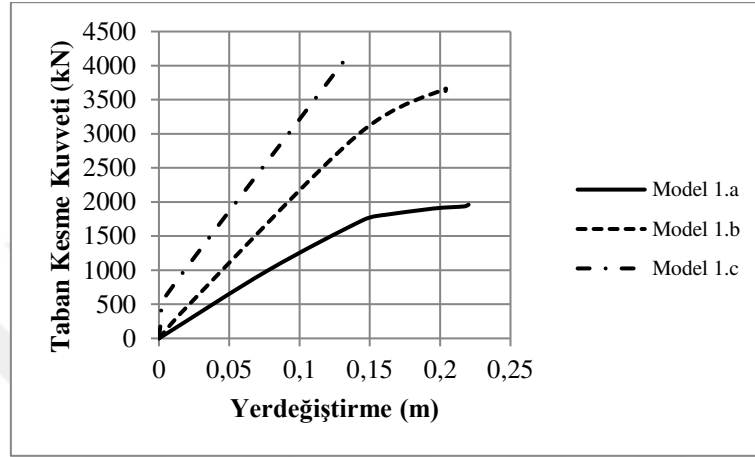
4.1.4 Model 1 Analiz Sonucu Değerlendirilmesi



Şekil 4.11 Referans model (Model 1) iki boyutlu görüntüsü (a) boş çerçeve (Model 1.a) (b) çelik çaprazlı çerçeve (Model 1.b) (c) betonarme perdeli çerçeve (Model 1.c).

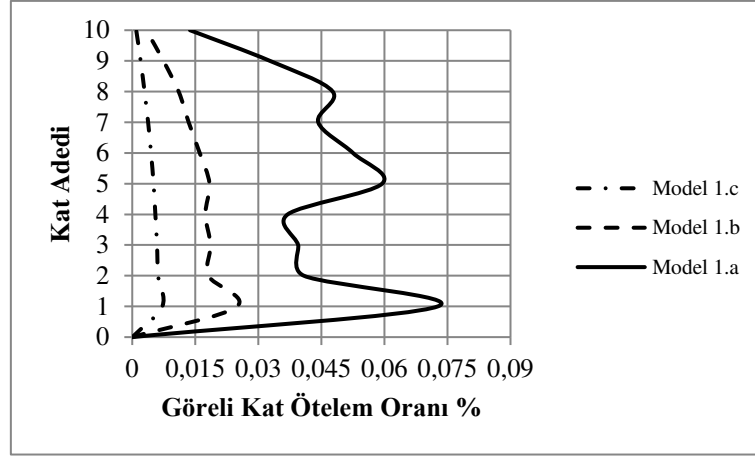
Model 1 için yapılan statik itme analizi sonucunda, modelin taban kesme kuvveti (V_b) ve çatı yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı yer değiştirmesi ilişkisi Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Model 1.a, taban kesme kuvveti $V_b=1961.38$ kN, yer değiştirmesi $\Delta_N=0.22$ m'dir. Model 1.b, taban kesme kuvveti $V_b=3627.17$ kN, yer değiştirmesi $\Delta_N=0.20$ m'dir. Model 1.c, taban kesme kuvveti $V_b=4182.54$ kN, yer değiştirmesi $\Delta_N=0.136$ m'dir. Statik itme eğrileri karşılaştırıldığında güçlendirme işlemi Model 1.a kapasitesini oldukça artırdığı görülmektedir. Aynı tepe yer değiştirme değerleri için, taban kesme kuvveti değerlerinde, Model 1.a'ye göre Model 1.b ve

Model 1.c için sırasıyla %84,90 ve %113,24 oranında artış görülmüştür. Aynı zamanda güçlendirilmiş modellerin başlangıç rijitlikleri Model 1.a'ye göre önemli ölçüde artış göstermiştir. gösterdiği görülmektedir. Betonarme perde ilave edilmiş modelde, çelik çapraz ilave edilmiş modele göre %15,31 daha fazla taban kesme kuvveti yük kapasitesine ulaştığı ve daha rijit hale geldiği görülmektedir.



Şekil 4.12 Model 1 taban kesme kuvveti ve çatı yer değiştirme eğrisi.

Görelî kat öteleme oranı yüzdesi Model 1 için Şekil 4.13'te verilmiştir. Modelin güçlendirilmesi ile kat öteleme oranlarının daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. referans çerçevede yer değiştirme talepleri istikrarsız iken güçlendirme ile daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Model 1.a istikrarsız ve yüksek öteleme oranı, Model 1.b ve Model 1.c de daha istikrarlı hale gelmiş ve daha iyi sonuç verdiği Şekil 4.13'te görülmektedir. Betonarme perde ile güçlendirilmiş modelde, çelik çaprazla güçlendirilmiş modele göre kat yüksekliği fazla olan zemin katta, düşey rijitlik değişimi bulunan beşinci kat ve sekizinci katta daha iyi görelî kat öteleme oranları elde edilmiştir. görülmektedir.



Şekil 4.13 Model 1 göreli kat öteleme oranı yüzdesi.

ATC-40 capacity spectrum dan alınan performans noktası ve en üst kat yerdeğiştirme değerleri Çizelge 4.10’da, performans noktasında plastikleşen yapısal elemanların adedi ise Çizelge 4.11’de verilmiştir.

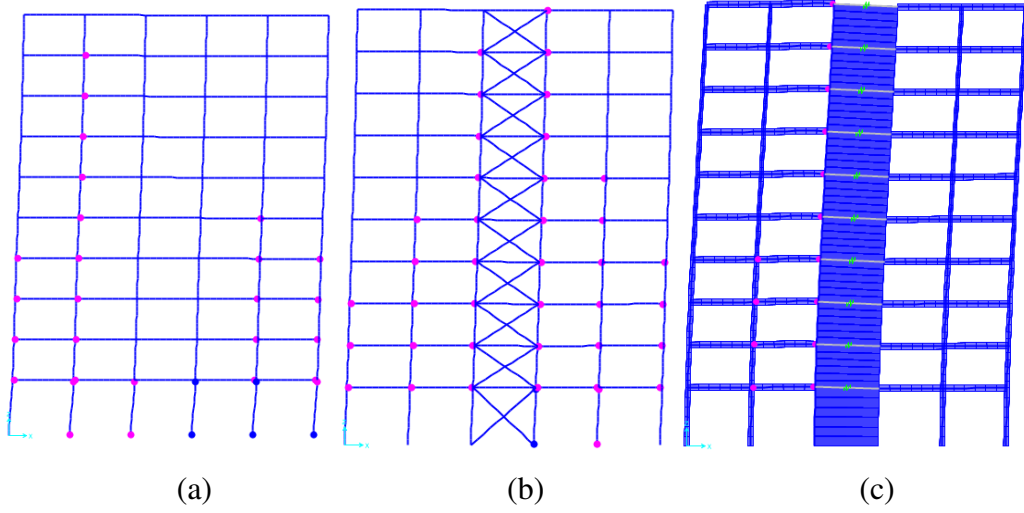
Çizelge 4.10 Performans noktası ve yerdeğiştirme.

Model	Performans Noktası (kN)	En Üst Kat Yerdeğiştirme (m)
1a	1746.90	0.147
1b	2544.61	0.120
1c	2326.70	0.068

Çizelge 4.11 Performans noktasına göre plastikleşen taşıyıcı eleman sayısı.

Model	Performans noktasına göre plastikleşen taşıyıcı eleman sayısı		
	<IO	IO-LS	LS-CP
1a	27	5	-
1b	39	2	-
1c	14	-	-

Analizler sonucunda, performans noktasında plastikleşen yapı elemanları Şekil 14’te gösterilmiştir.

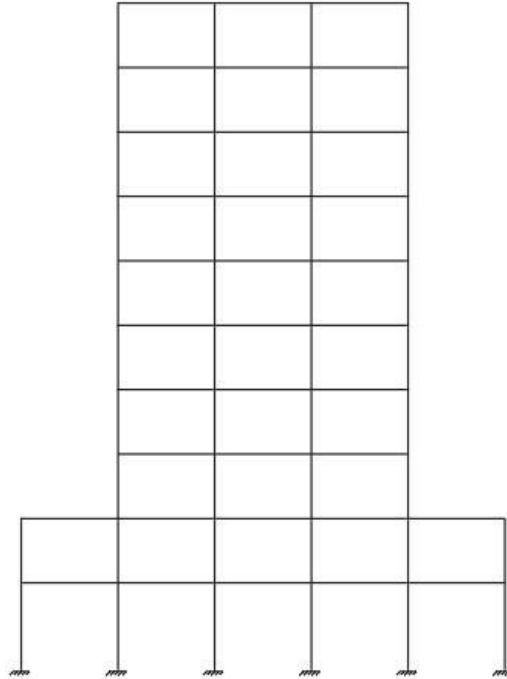


Şekil 4.14 Model 2 plastikleşen yapı elemanları (a) boş çerçeve (Model 2.a) (b) çelik çaprazlı çerçeve (Model 2.b) (c) betonarme perdeli çerçeve (Model 2.c).

4.2 Model 2

4.2.1 Model 2.a

İki boyutlu sistemin görünüşü Şekil 4.15'te verilen 10 katlı çelik çerçeve modelin, Model 1.a (referans çerçeve) ikinci kattan itibaren birinci ve son aksında geri çekme oluşturulmuştur.



Şekil 4.15 Yapı modelinin iki boyutlu görüntüsü.

Model yapı, Şekil 4.15'te görüldüğü gibi 30.00x41.50 m'dir. Zemin kat yüksekliği 5.50 m normal katların yüksekliği ise 4.0 m'dir. Şekil 4.15'te verilen çerçevede ilk iki katta x yönünde 5 açıklıktan, normal katlarda ise 3 açıklıktan oluşmaktadır. Çerçeve modeli süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeveler olarak tasarlanmış ve deprem kuvvetleri TBDY 2018'e göre yapılmıştır. Bu çerçevenin taşıyıcı sistem elemanları Çizelge 4.12'de gösterildiği gibi kirişler için IPE profilleri, kolonlar için HEB profilleri kullanılarak boyutlandırılmıştır.

Çizelge 4.12 Taşıyıcı sistem elemanları ve en kesit profilleri.

Kat	Kolon	Kiriş
1-4	HE450 B	IPE600
5-7	HE360 B	IPE600
8-10	HE320 B	IPE600

Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Hesaplanması:

Binanın doğal titreşim periyodları Sap2000 programı yardımı ile hesaplanmıştır. Birinci doğal titreşim periyodu $T_p = 0.99sn$

Toplam Yatay Eşdeğer Deprem Yüğü (V_{tE})

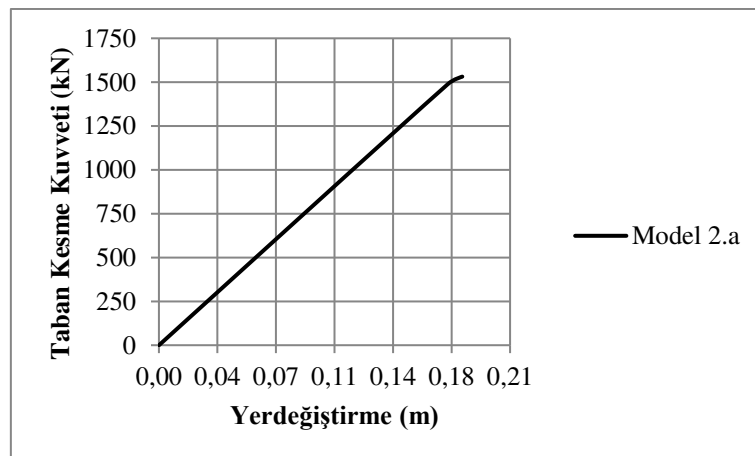
Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri Çizelge 4.13'te gösterilmiştir. Bölüm 3.1 gösterilen TBDY 2018'e göre ve Model 1.a'ya benzer şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 4.13 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.

Kat No	$H_i(m)$	$m_i(ton)$	$m_i H_i$	$F_E = V_{iE} - \Delta F_{NE}$	$F_{iE}(kN)$
10	41.5	33.22	1378.43		23.25
9	37.5	44.22	1658.41		27.96
8	33.5	44.22	1481.51		24.98
7	29.5	44.48	1312.04		22.13
6	25.5	44.48	1134.14	190.31-14.27=176.04	19.13
5	21.5	44.48	956.23		16.13
4	17.5	44.94	786.45		13.26
3	13.5	44.94	606.69		10.23
2	9.5	74.44	707.18		11.93
1	5.5	75.98	417.89		7.05
			$\Sigma=10439.03$		$\Sigma=176.04$

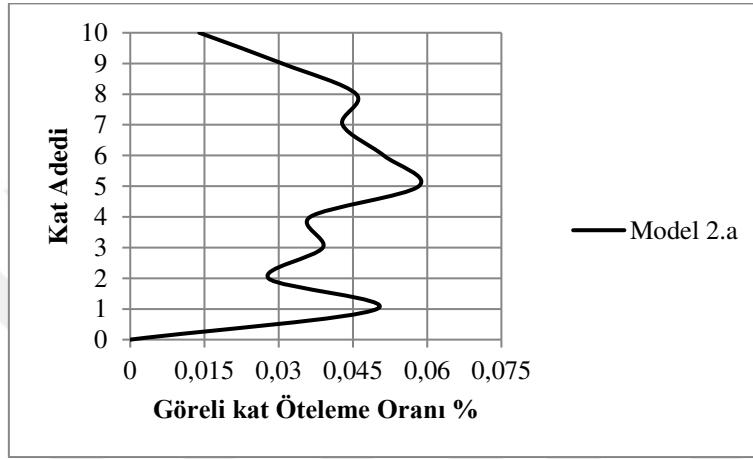
Statik itme analizi sonuçları

Statik itme analizi sonucunda modelin taban kesme kuvveti (V_b) ve çatı yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı yer değiştirmesi ilişkisi Şekil 4.16' de gösterilmiştir. Yapının taban kesme kuvveti $V_b=1531.43$ kN, yer değiştirmesi $\Delta_N=0.18$ m'dir.



Şekil 4.16 Model 2.a taban kesme kuvvet ve çatı yer değiştirme eğrisi.

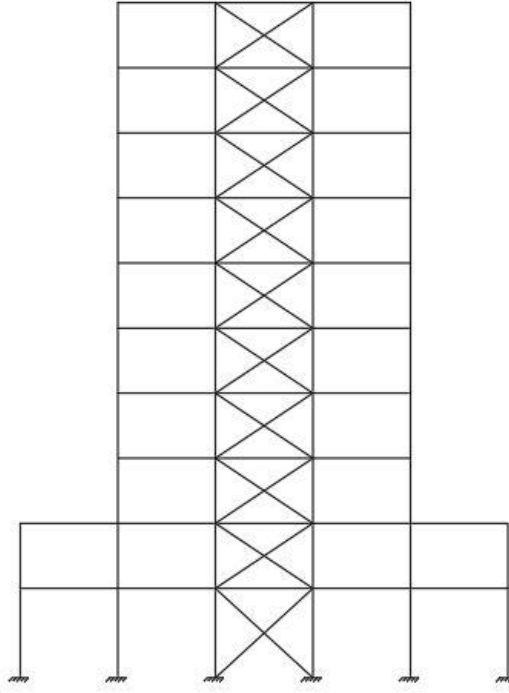
Görelî kat öteleme oranı yüzdesi Şekil 4.17’de verilmiştir. Görelî kat öteleme oranı yüzdesi istikrarsız bir grafik çizmiştir. Ayrıca kat yüksekliğinin değişmesi ve kolon boyutlarının düşürüldüğü katlarda ani sıçramalar görünmektedir. Bunun sebebi zemin kat yüksekliğinin diğer katlara göre daha fazla olması, beşinci kat ve sekizinci kattan itibaren kolon boyutlarının düşürülmüş olmasından dolayısıyla düşey rijitliğinin azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.17 Model 2.a görelî kat öteleme oranı yüzdesi.

4.2.2 Model 2.b

İki boyutlu sistemin görünüşü Şekil 4.18’de verilen 10 katlı çelik çerçeve modelin, Model 2.a’nın orta açıklığına çelik çaprazlar ilave edilerek türetilmiştir.



Şekil 4.18 Yapı modelinin iki boyutlu görüntüsü.

Model 30.00x41.50 m boyutlarında bir iş merkezi olarak tasarlanmıştır. Zemin kat yüksekliği 5.50 m normal katların yüksekliği ise 4.0 m'dir. Şekil 4.18'de verilen çerçevede ilk iki katta x yönünde 5 açıklıktan, normal katlarda ise 3 açıklıktan oluşmaktadır.Çerçeve modeli süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler olarak tasarlanmış ve deprem kuvvetleri TBDY 2018'e göre yapılmıştır. Bu çerçevenin taşıyıcı sistem elemanları Çizelge 4.14'de gösterildiği gibi kirişler için IPE profilleri, kolonlar için HEB profilleri ve çapraz elemanlar için kutu profiller kullanılarak boyutlandırılmıştır.

Çizelge 4.14 Taşıyıcı sistem elemanları ve en kesit profilleri.

Taşıyıcı Sistem Elemanı	En Kesit Profili
kirişler	IPE600
Kolonlar (1-4)	HE450B
Kolonlar (5-7)	HE360B
Kolonlar(8-10)	HE320B
Çapraz elemanlar	120.120.20

Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Hesaplanması

Binanın doğal titreşim periyodları Sap2000 programı yardımı ile hesaplanmıştır. Birinci doğal titreşim periyodu $T_p = 0.49sn$

Toplam Yatay Eşdeğer Deprem Yüğü (V_{tE})

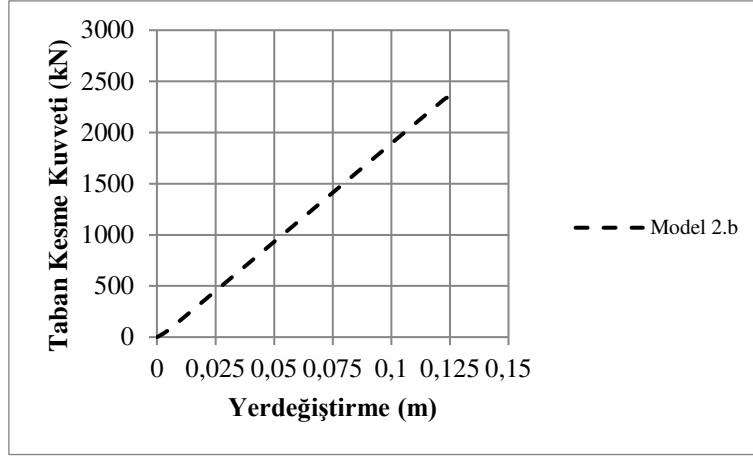
Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri çizelge 4.15’de gösterilmiştir. Bölüm 3.1 gösterilen TBDY 2018’e göre ve Model 1.a’ya benzer şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 4.15 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.

Kat	FiE (kN)
10	42.47
9	51.20
8	45.74
7	40.44
6	34.96
5	29.64
4	24.71
3	19.06
2	21.26
1	13.01

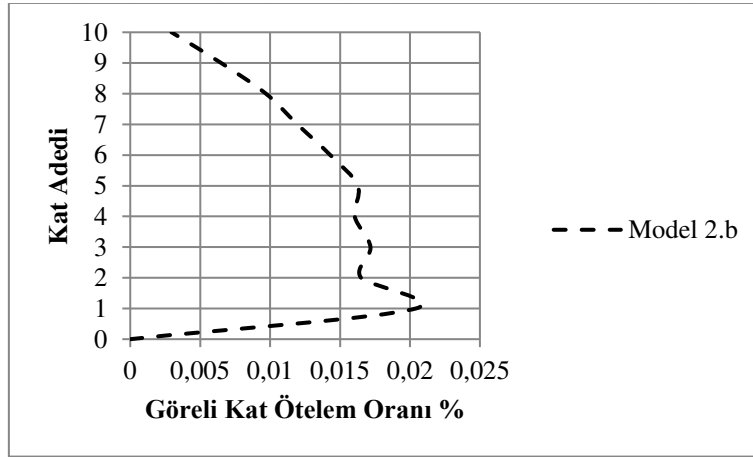
Statik itme analizi sonuçları

Statik itme analizi sonucunda modelin taban kesme kuvveti (V_b) ve çatı yerdeğiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı yer değiştirmesi ilişkisi Şekil 4.19’ de gösterilmiştir. Yapının taban kesme kuvveti $V_b=2350.09$ kN, yer değiştirmesi $\Delta_N=0.126$ m’dir.



Şekil 4.19 Model 2.b taban kesme kuvvet ve çatı yer değiştirme eğrisi.

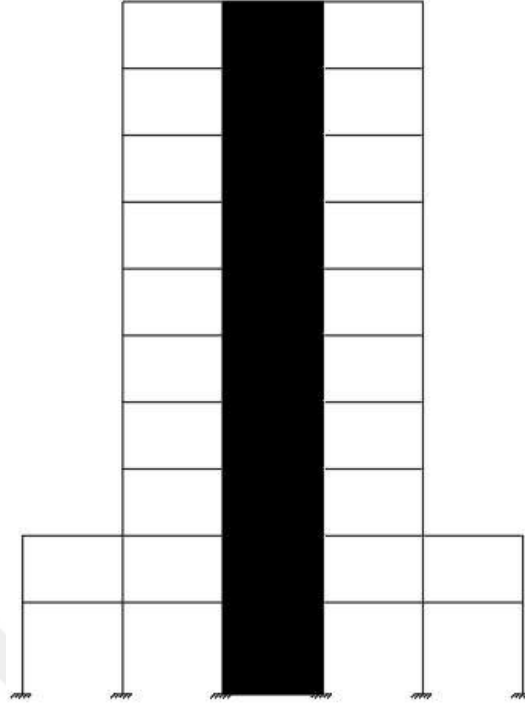
Görelî kat öteleme oranı yüzdesi Şekil 4.20’de verilmiştir. Görelî kat öteleme oranı yüzdesi zemin katta diğer katlara göre yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi zemin kat yüksekliğinin diğer katlara göre daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Beşinci kat ve sekizinci kattan itibaren kolon boyutlarının düşürülmüş olmasından dolayı, düşey rijitliğinin azalmasından kaynaklanan istikrarsızlığın, çelik çaprazların ilave edilmesi ile görelî kat öteleme oranları daha istikrarlı hale gelmiştir.



Şekil 4.20 Model 2.b görelî kat öteleme oranı yüzdesi.

4.2.3 Model 2.c

İki boyutlu sistemin görünüşü Şekil 4.21’de verilen 10 katlı çelik çerçeve modelin, Model 2.a’nın orta açıklığına betonarme perde ilave edilerek türetilmiştir.



Şekil 4.21 Yapı modelinin iki boyutlu görüntüsü.

Model yapı, 30.00x41.50 m boyutlarında bir iş merkezi olarak tasarlanmıştır. Zemin kat yüksekliği 5.50 m normal katların yüksekliği ise 4.0 m'dir. Şekil 4.21'de verilen çerçevede x yönünde 5 açıklıktan oluşmaktadır. Çerçeve modeli süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından karşılanan çerçeveler olarak tasarlanmış ve deprem kuvvetleri TBDY 2018'e göre yapılmıştır. Bu çerçevenin taşıyıcı sistem elemanları Çizelge 4.16'da gösterildiği şekilde kirişler IPE profilleri, kolonlar için HEB profilleri ve betonarme perde elemanlar kullanılmıştır.

Çizelge 4.16 Taşıyıcı sistem elemanları ve en kesit profilleri.

Taşıyıcı Elemanı	Sistem	En Kesit Profili
Kolonlar (1-4)		HE450B
Kolonlar (5-7)		HE360B
Kolonlar(8-10)		HE320B
Betonarme perde		30 cm
Kirişler		IPE600

Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Hesaplanması

Binanın doğal titreşim periyodları Sap2000 programı yardımı ile hesaplanmıştır. Birinci doğal titreşim periyodu $T_p = 0.14sn$

Toplam Yatay Eşdeğer Deprem Yüğü (V_{tE})

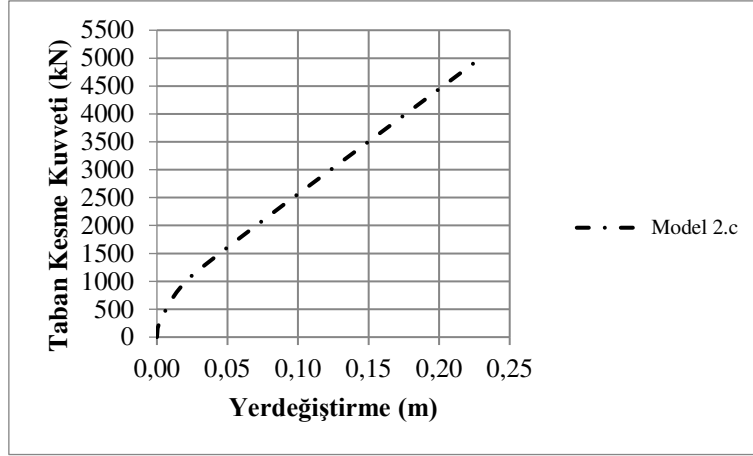
Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri Çizelge 4.17’de gösterilmiştir. Bölüm 3.1 gösterilen TBDY 2018’e göre ve Model 1.a’ya benzer şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 4.17 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.

Kat	FiE (kN)
10	112.57
9	120.31
8	107.48
7	94.88
6	82.02
5	69.15
4	56.57
3	43.64
2	49.64
1	31.68

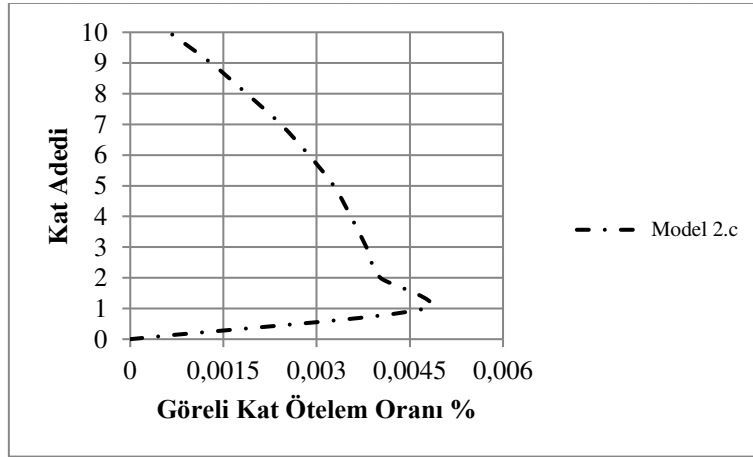
Statik itme analizi sonuçları

Statik itme analizi sonucunda modelin taban kesme kuvveti (V_b) ve çatı yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı yer değiştirmesi ilişki Şekil 4.22’de gösterilmiştir. Yapının taban kesme kuvveti $V_b=5068.15$ kN, yer değiştirmesi $\Delta_N=0.23$ m’dir



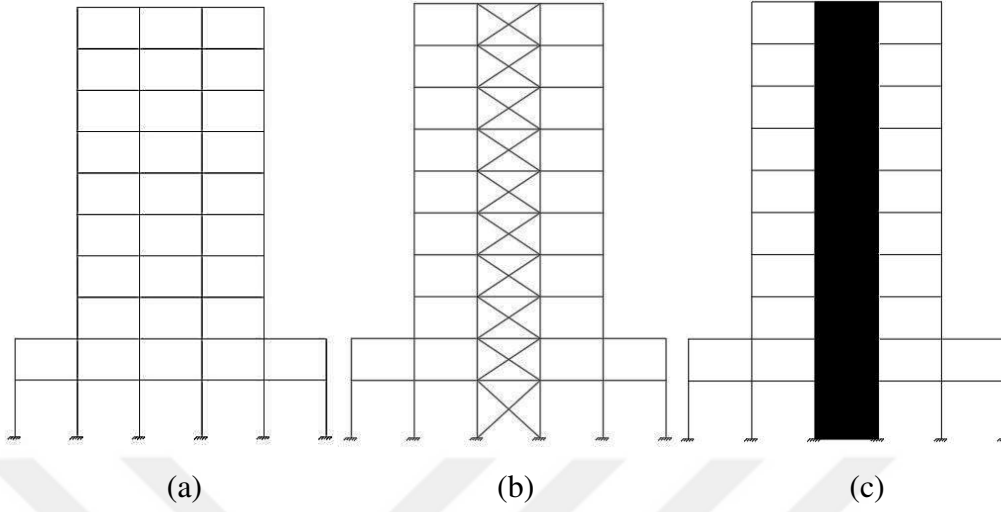
Şekil 4.22 Model 2.c taban kesme kuvvet ve çatı yer değiştirme eğrisi.

Görelî kat öteleme oranı yüzdesi Şekil 4.23’de verilmiştir. Görelî kat öteleme oranı yüzdesi zemin katta diğer katlara göre yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi zemin kat yüksekliğinin diğer katlara göre daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Beşinci kat ve sekizinci kattan itibaren kolon boyutlarının düşürülmüş olmasından dolayı, düşey rijitliğinin azalmasından kaynaklanan istikrarsızlığın, betonarme perde ilave edilmesi ile görelî kat öteleme oranları daha istikrarlı hale gelmiştir.



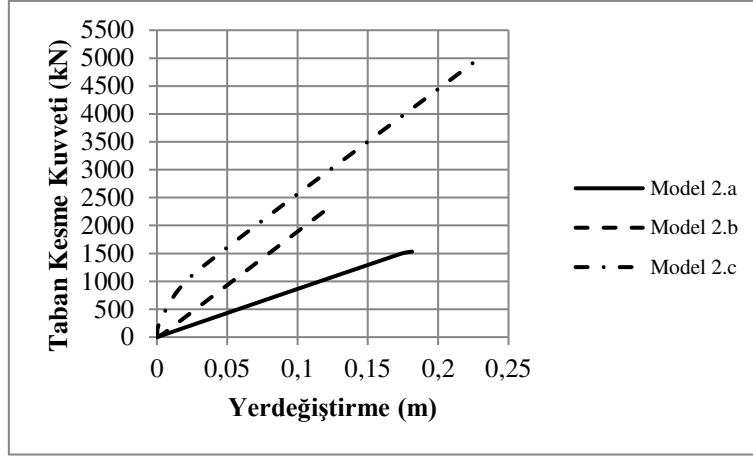
Şekil 4.23 Model 1.c görelî kat öteleme oranı yüzdesi.

4.2.4 Model 2 Analiz Sonucu Değerlendirilmesi



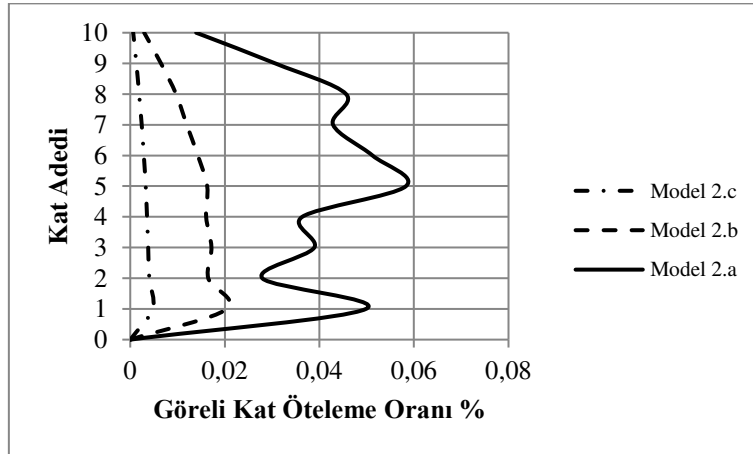
Şekil 4.24 Model 2 iki boyutlu görüntüsü (a) boş çerçeve (Model 2.a) (b) çelik çaprazlı çerçeve (Model 2.b) (c) betonarme perdeli çerçeve (Model 2.c).

Model 2 için yapılan statik itme analizi sonucunda modelin taban kesme kuvveti (V_b) ve çatı yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı yer değiştirmesi ilişkisi Şekil 4.25’de gösterilmiştir. Model 2.a, taban kesme kuvveti $V_b=1531.43$ kN, yer değiştirmesi $\Delta_N=0.18$ m’dir. Model 2.b, taban kesme kuvveti $V_b=2350.09$ kN, yer değiştirmesi $\Delta_N=0.126$ m’dir. Model 2.c, taban kesme kuvveti $V_b=5068.15$ kN, yer değiştirmesi $\Delta_N=0.23$ m’dir. Statik itme eğirileri karşılaştırıldığında güçlendirme işlemi Model 2.a kapasitesini oldukça artırdığı görülmektedir. Aynı tepe yer değiştirme değerleri için, taban kesme kuvveti değerlerinde, Model 2.a ’ye göre Model 2.b ve Model 2.c için sırasıyla %55.28 ve %234.88 oranında artış görülmüştür. Aynı zamanda güçlendirilmiş modellerin başlangıç rijitlikleri Model 2.a’ye göre önemli ölçüde artış göstermiştir. Betonarme perde ilave edilmiş modelde, çelik çapraz ilave edilmiş modele göre %115.65 daha fazla taban kesme kuvveti değerine ulaştığı ve daha rijit hale geldiği görülmektedir.



Şekil 4.25 Model 2 taban kesme kuvveti ve çatı yer değiştirme eğrisi.

Görelî kat öteleme oranları yüzdesi model 2 için Şekil 4.26'da verilmiştir. Modelin güçlendirilmesi ile kat öteleme oranlarının daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Model 2.a yer değiştirme talepleri istikrarsız iken güçlendirme ile daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Model 2.a istikrarsız ve yüksek öteleme oranı, Model 2.b ve Model 2.c de daha istikrarlı hale gelmiş ve daha iyi sonuç verdiği Şekil 4.26'da görülmektedir. Betonarme perde ile güçlendirilmiş modelde, çelik çaprazla güçlendirilmiş modele göre kat yüksekliği fazla olan zemin katta, düşey rijitlik değişimi bulunan beşinci kat ve sekizinci katta daha iyi görelî kat öteleme oranları elde edilmiştir.



Şekil 4.26 Model 2 görelî kat öteleme oranı yüzdesi.

ATC-40 capacity spectrum dan alınan performans noktası en üst kat yer değiştirme değerleri Çizelge 4.18'de, performans noktasında plastikleşen yapısal elemanların adedi ise Çizelge 4.19'da verilmiştir.

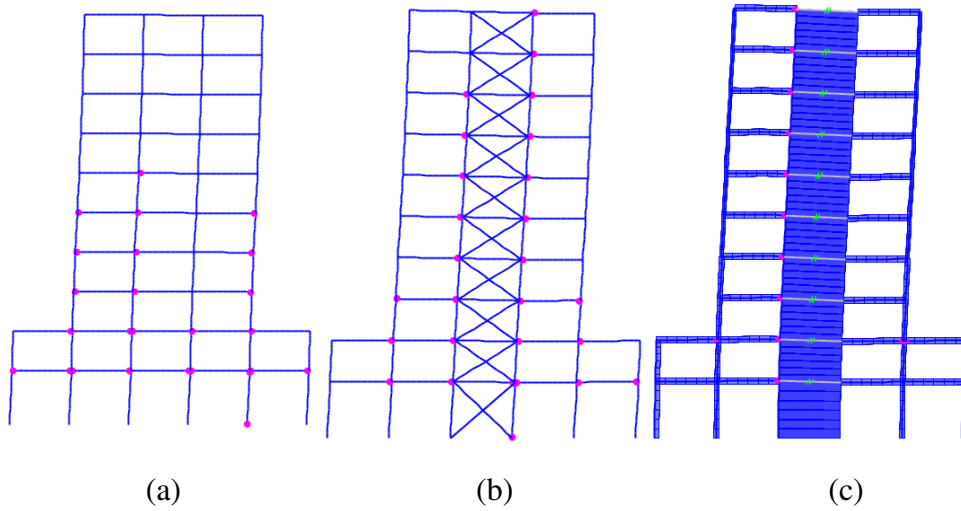
Çizelge 4.18 Performans noktası ve yerdeştirme.

Model	Performans Noktası (kN)	En Üst Kat Yerdeğştirme (m)
2a	1326.60	0.154
2b	2051.19	0.108
2c	1810.80	0.062

Çizelge 4.19 Performans noktasına göre plastikleşen taşıyıcı eleman sayısı.

Model	Performans noktasına göre plastikleşen taşıyıcı eleman sayısı		
	<IO	IO-LS	LS-CP
2a	25	-	-
2b	27	-	-
2c	13	-	-

Analizler sonucunda, performans noktasında plastikleşen yapı elemanları Şekil 27’de gösterilmiştir.

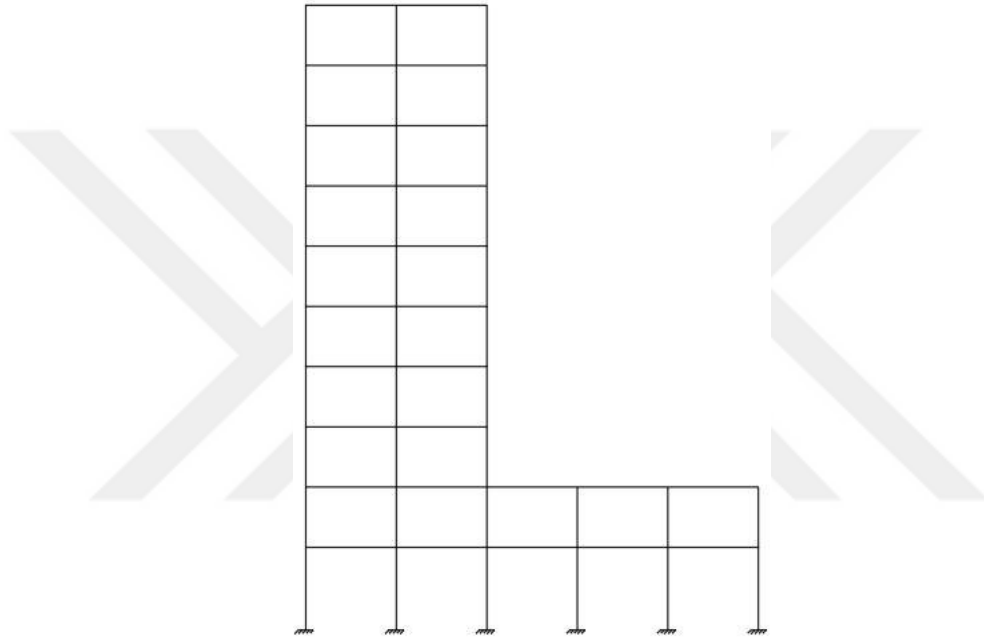


Şekil 4.27 Model 2 plastikleşen yapı elemanları (a) boş çerçeve (Model 2.a) (b) çelik çaprazlı çerçeve (Model 2.b) (c) betonarme perdeli çerçeve (Model 2.c).

4.3 Model 3

4.3.1 Model 3.a

İki boyutlu sistemin görünüşü Şekil 4.28’de verilen 10 katlı çelik çerçeve modelin, Model 1.a (referans çerçeve) ikinci kattan itibaren dört, beş ve altıncı aksında geri çekme oluşturulmuştur.



Şekil 4.28 Yapı modelinin iki boyutlu görüntüsü.

Model yapı, 30.00x41.50 m boyutlarında bir iş merkezi olarak tasarlanmıştır. Kat yüksekliği zemin kat için 5.50 m normal katlar için 4.0 m’dir. Şekil 4.28’de verilen çerçevede ilk iki katta x yönünde 5 açıklıktan, normal katlarda ise 2 açıklıktan oluşmaktadır. Çerçeve modeli süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeveler olarak tasarlanmış ve deprem kuvvetleri TBDY 2018’e göre yapılmıştır. Bu çerçevenin taşıyıcı sistem elemanları Çizelge 4.20’de gösterildiği gibi kirişler için IPE profilleri, kolonlar için HEB profilleri kullanılarak boyutlandırılmıştır.

Çizelge 4.20 Taşıyıcı sistem elemanları ve en kesit profilleri.

Kat	Kolon	Kiriş
1-4	HE450 B	IPE600
5-7	HE360 B	IPE600
8-10	HE320 B	IPE600

Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Hesaplanması:

Binanın doğal titreşim periyodları Sap2000 programı yardımı ile hesaplanmıştır. Birinci doğal titreşim periyodu $T_p = 0.91sn$

Toplam Yatay Eşdeğer Deprem Yüğü (V_{tE})

Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri Çizelge 4.21’de gösterilmiştir. Bölüm 3.1 gösterilen TBDY 2018’e göre ve Model 1.a’ya benzer şekilde hesaplanmıştır.

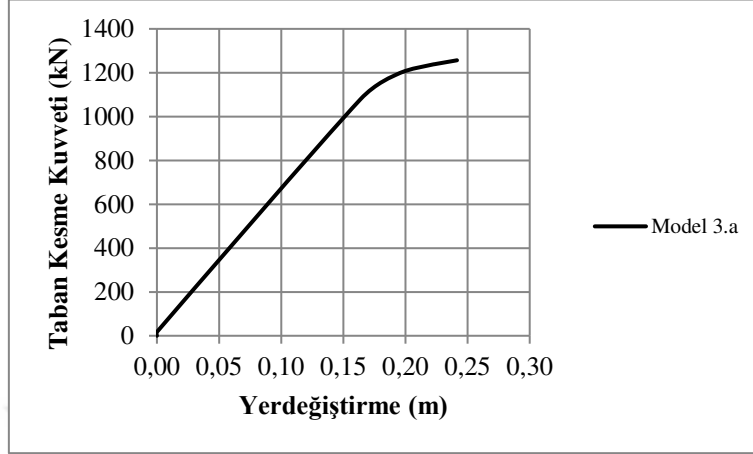
Çizelge 4.21 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.

Kat	FiE (kN)
10	17.40
9	20.90
8	18.67
7	16.55
6	14.30
5	12.06
4	9.93
3	7.66
2	13.29
1	13.01

Statik itme analizi sonuçları

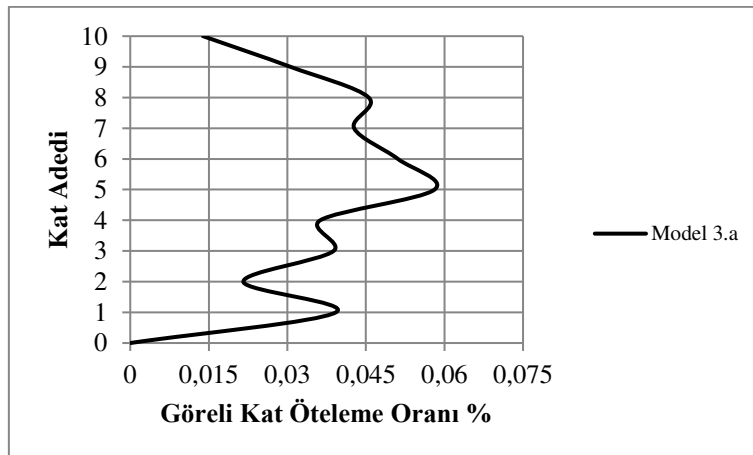
Statik itme analizi sonucunda modelin taban kesme kuvveti (V_b) ve çatı yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı yer değiştirmesi ilişkisi Şekil 4.29’de

gösterilmiştir. Yapının taban kesme kuvveti $V_b=1256.66$ kN, yer değiştirmesi $\Delta_N=0.24$ m'dir.



Şekil 4.29 Model 3.a taban kesme kuvvet ve çatı yer değiştirme eğrisi.

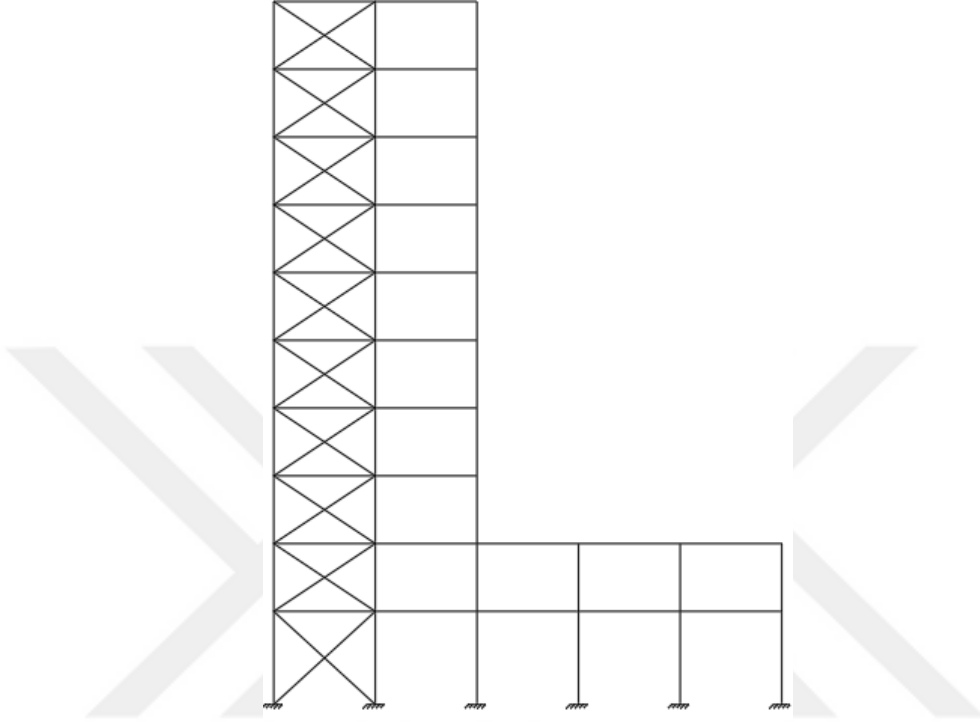
Görelî kat öteleme oranı yüzdesi Şekil 4.30'de verilmiştir. Görelî kat öteleme oranı yüzdesi istikrarsız bir grafik çizmiştir. Ayrıca kat yüksekliğinin değişmesi ve kolon boyutlarının düşürüldüğü katlarda ani sıçramalar görülmektedir. En büyük görelî kat öteleme oranı kule kısmında beşinci kat ve sekizinci katta görülmektedir. Bunun sebebi zemin kat yüksekliğinin diğer katlara göre daha fazla olması, beşinci kat ve sekizinci kattan itibaren kolon boyutlarının düşürülmüş olmasından dolayısıyla düşey rijitliğinin azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.30 Model 3.a görelî kat öteleme oranı yüzdesi.

4.3.2 Model 3.b

İki boyutlu sistemin görünüşü Şekil 4.31’de verilen 10 katlı çelik çerçeve modelin, Model 3.a’nın kenar açıklığına çelik çaprazlar ilave edilerek türetilmiştir.



Şekil 4.31 Yapı modelinin iki boyutlu görüntüsü.

Model yapı, 30.00x41.50 m boyutlarında bir iş merkezi olarak tasarlanmıştır. Şekil 4.31’de verilen modelin zemin kat yüksekliği 5.50 m ve normal katların yüksekliği ise 4.0 m’dir. Çerçeve modeli süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler olarak tasarlanmış ve deprem kuvvetleri TBDY 2018’e göre yapılmıştır. Bu çerçevenin taşıyıcı sistem elemanları Çizelge 4.22’de gösterildiği gibi kirişler için IPE profilleri, kolonlar için HEB profilleri ve çapraz elemanlar için kutu profiller kullanılarak boyutlandırılmıştır.

Çizelge 4.22 Taşıyıcı sistem elemanları ve en kesit profilleri.

Taşıyıcı Sistem Elemanı	En Kesit Profili
kirişler	IPE600
Kolonlar (1-4)	HE450B
Kolonlar (5-7)	HE360B
Kolonlar(8-10)	HE320B
Çapraz elemanlar	120.120.20

Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Hesaplanması

Binanın doğal titreşim periyodları Sap2000 programı yardımı ile hesaplanmıştır. Birinci doğal titreşim periyodu $T_p = 0.41sn$

Toplam Yatay Eşdeğer Deprem Yüğü (V_{tE})

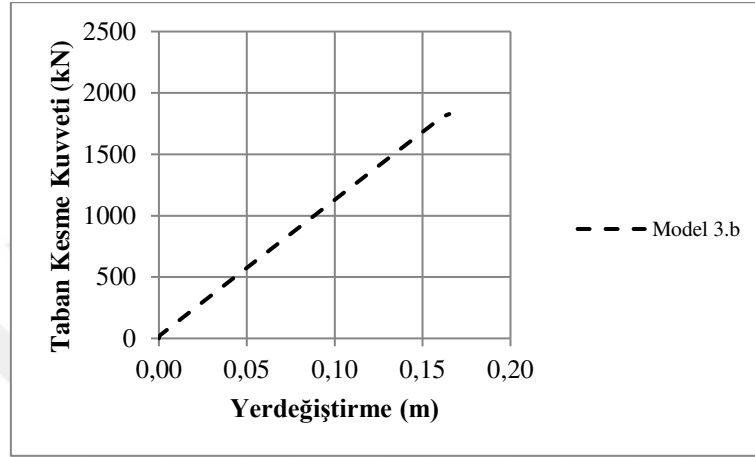
Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri Çizelge 4.23’de gösterilmiştir. Bölüm 3.1 gösterilen TBDY 2018’e göre ve Model 1.a’ya benzer şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 4.23 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.

Kat	FiE (kN)
10	37.68
9	45.26
8	40.43
7	35.75
6	30.90
5	26.24
4	21.99
3	16.97
2	27.78
1	17.00

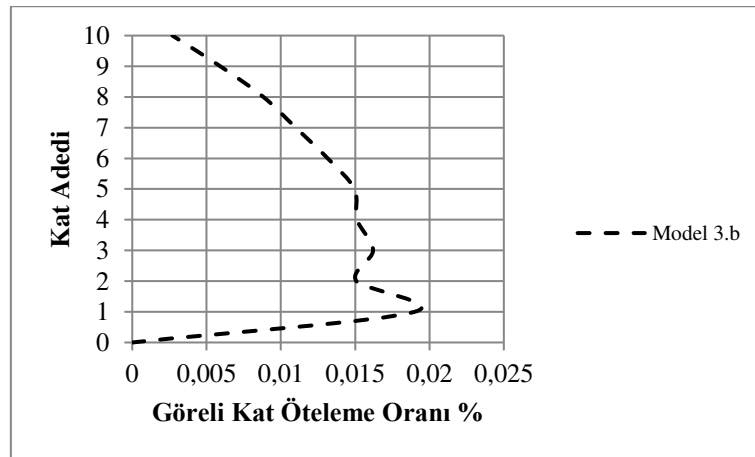
Statik itme analizi sonuçları

Statik itme analizi sonucunda modelin taban kesme kuvveti (V_b) ve çatı yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı yer değiştirmesi ilişkisi Şekil 4.32’de gösterilmiştir. Yapının taban kesme kuvveti $V_b=1827.52$ kN, yer değiştirmesi $\Delta_N=0.165$ m’dir.



Şekil 4.32 Model 2.b taban kesme kuvvet ve çatı yer değiştirme eğrisi.

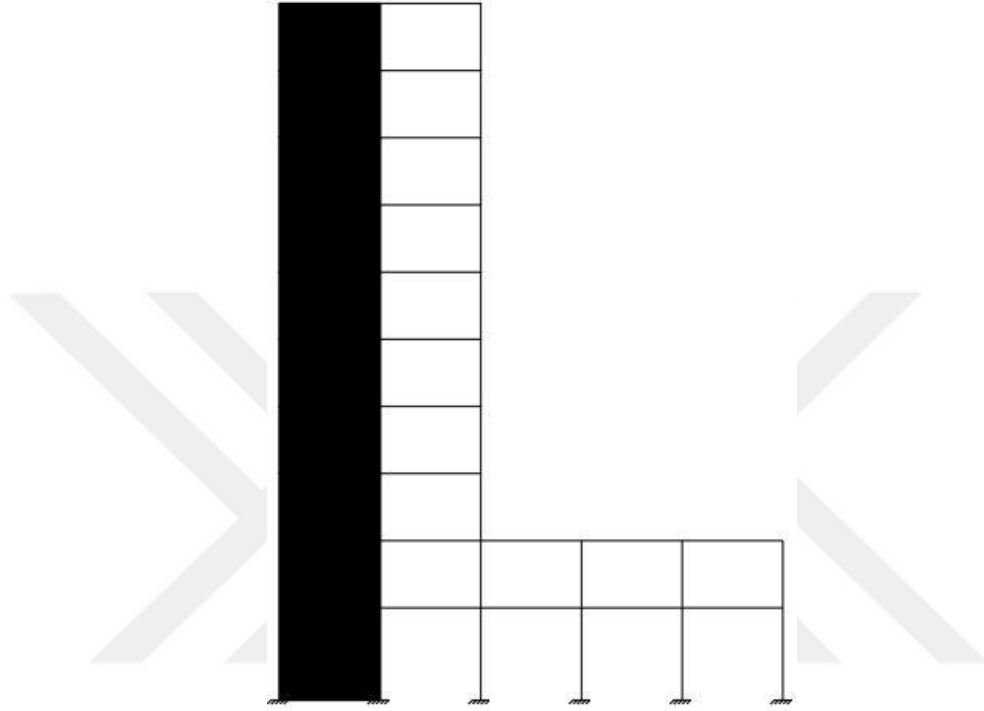
Model 3.b için göreceli kat öteleme oranı yüzdesi Şekil 4.33’de verilmiştir. Göreceli kat öteleme oranı yüzdesi, zemin katta diğer katlara göre yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi zemin kat yüksekliğinin diğer katlara göre daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Beşinci kat ve sekizinci kattan itibaren kolon boyutlarının düşürülmüş olmasından dolayı, düşey rijitliğinin azalmasından kaynaklanan istikrarsızlığın, çelik çaprazların ilave edilmesi ile göreceli kat öteleme oranları daha istikrarlı hale gelmiştir.



Şekil 4.33 Model 3.b göreceli kat öteleme oranı yüzdesi.

4.3.3 Model 3.c

İki boyutlu sistemin görünüşü Şekil 4.34'te verilen 10 katlı çelik çerçeve modelin, Model 3.a'nın kenar açıklığına betonarme perde ilave edilerek türetilmiştir



Şekil 4.34 Yapı modelinin iki boyutlu görüntüsü.

Model yapı, 30,00x41,50 m boyutlarında bir iş merkezi olarak tasarlanmıştır. Zemin kat yüksekliği 5,50 m normal katların yüksekliği ise 4,0 m'dir. Şekil 4.34'te verilen çerçevede x yönünde 5 açıklıktan oluşmaktadır. Çerçeve modeli süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından karşılanan çerçeveler olarak tasarlanmış ve deprem kuvvetleri TBDY 2018'e göre yapılmıştır. Bu çerçevenin taşıyıcı sistem elemanları Çizelge 4.24'de gösterildiği şekilde kirişler IPE profilleri, kolonlar için HEB profilleri ve betonarme perde elemanlar kullanılarak boyutlandırılmıştır.

Çizelge 4.24 Taşıyıcı sistem elemanları ve en kesit profilleri.

Taşıyıcı Elemanı	Sistem	En Profil	Kesit
Kolonlar (1-4)		HE450B	
Kolonlar (5-7)		HE360B	
Kolonlar(8-10)		HE320B	
Betonarme perde		30 cm	
Kirişler		IPE600	

Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Hesaplanması

Binanın doğal titreşim periyodları Sap2000 programı yardımı ile hesaplanmıştır. Birinci doğal titreşim periyodu $T_p = 0.13sn$

Toplam Yatay Eşdeğer Deprem Yüğü (V_{tE})

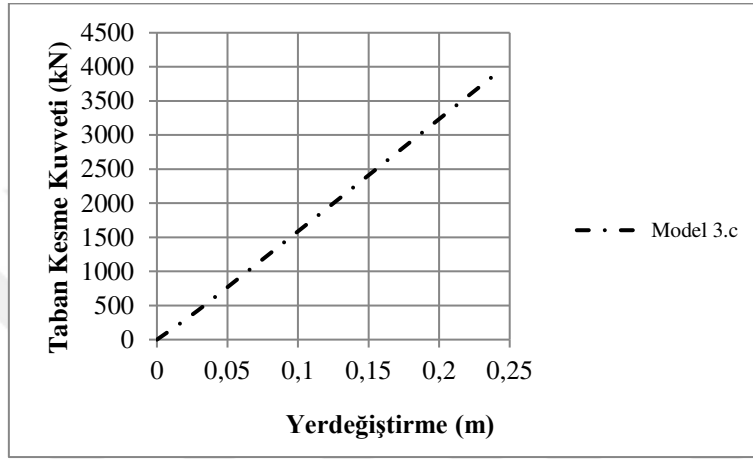
Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri Çizelge 4.25'te gösterilmiştir. Bölüm 3.1 gösterilen TBDY 2018'e göre ve Model 1.a'ya benzer şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 4.25 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.

Kat	F_{iE} (kN)
10	90.29
9	91.83
8	82.03
7	72.38
6	62.56
5	52.75
4	43.09
3	33.24
2	54.67
1	34.88

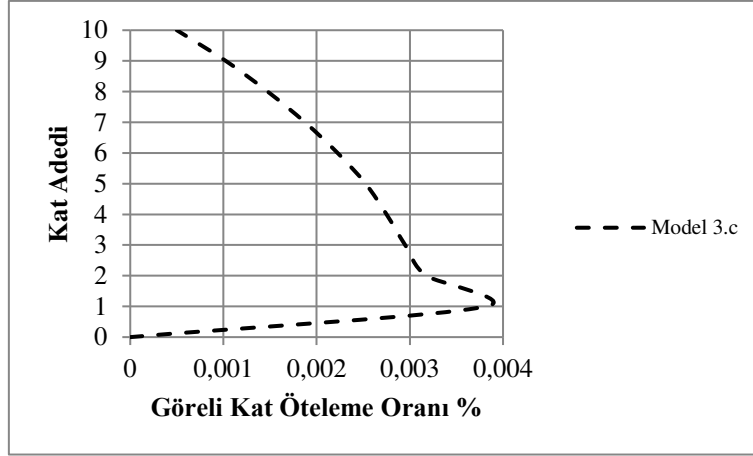
Statik itme analizi sonuçları

Statik itme analizi sonucunda modelin taban kesme kuvveti (V_b) ve çatı yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı yer değiştirmesi ilişkisi Şekil 4.35’de gösterilmiştir. Yapının taban kesme kuvveti $V_b=3861.97$ kN, yer değiştirmesi $\Delta_N=0.24$ m’dir.



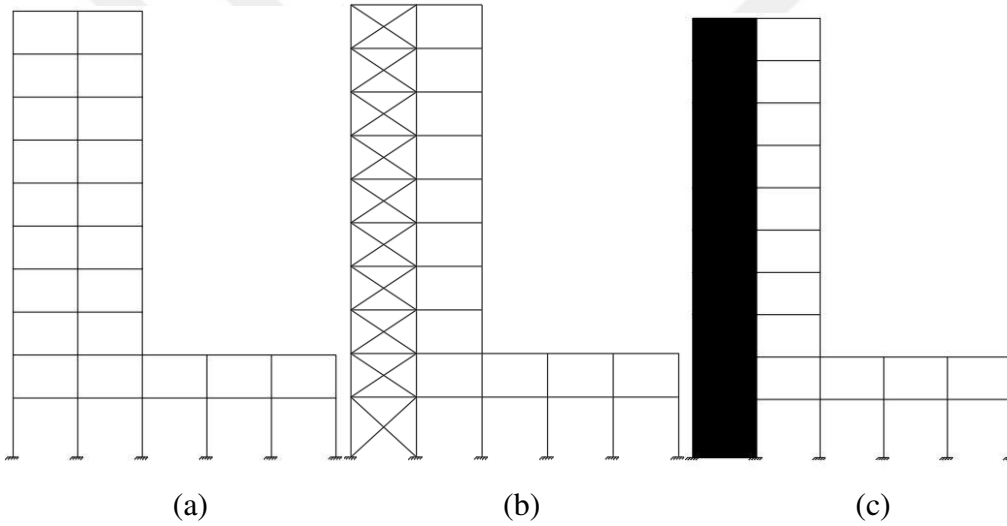
Şekil 4.35 Model 3.c taban kesme kuvvet ve çatı yer değiştirme eğrisi.

Model 3.c için görelî kat öteleme oranı yüzdesi Şekil 4.36’de verilmiştir. Görelî kat öteleme oranı yüzdesi zemin katta diğer katlara göre yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi zemin kat yüksekliğinin diğer katlara göre daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Beşinci kat ve sekizinci kattan itibaren kolon boyutlarının düşürülmüş olmasından dolayı, düşey rijitliğinin azalmasından kaynaklanan istikrarsızlığın, betonarme perde ilave edilmesi ile görelî kat öteleme oranları daha istikrarlı hale gelmiştir.



Şekil 4.36 Model 3.c görelî kat öteleme oranı yüzdesi.

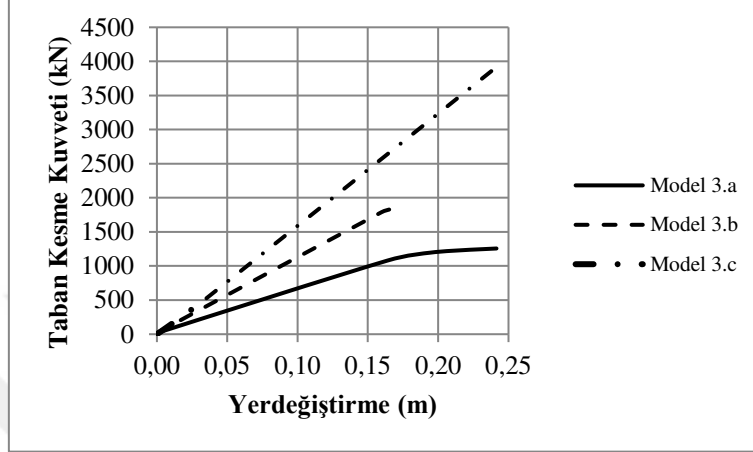
4.3.4 Model 3 Analiz Sonucu Değerlendirilmesi



Şekil 4.37 Model 3 iki boyutlu görüntüsü (a) boş çerçeve (Model 3.a) (b) çelik çaprazlı çerçeve (Model 3.b) (c) betonarme perdeli çerçeve (Model 3.c).

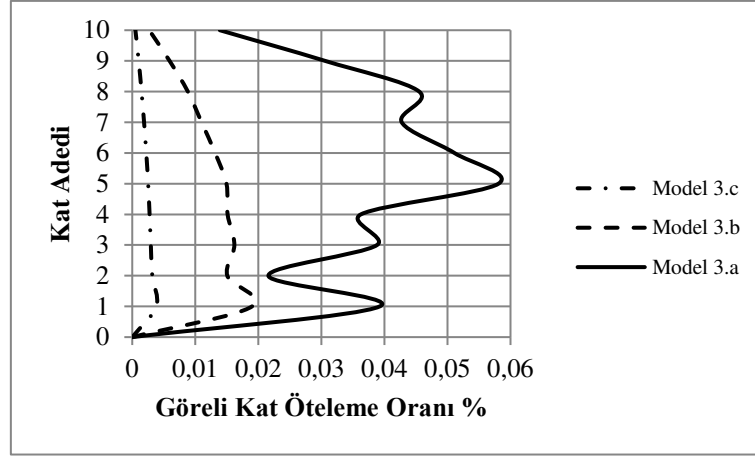
Model 3 için yapılan statik itme analizi sonucunda, modelin taban kesme kuvveti (V_b) ve çatı yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı yer değiştirmesi ilişkisi Şekil 4.38’de gösterilmiştir. Model 3.a, taban kesme kuvveti $V_b=1256.66$ kN, yer değiştirmesi $\Delta_N=0.24$ m’dir. Model 3.b, taban kesme kuvveti $V_b=1827.52$ kN, yer değiştirmesi $\Delta_N=0.165$ m’dir. Model 3.c, taban kesme kuvveti $V_b=3861.97$ kN, yer değiştirmesi $\Delta_N=0.24$ m’dir. Statik itme eğrileri karşılaştırıldığında güçlendirme işlemi Model 3.a kapasitesini oldukça artırdığı görülmektedir. Aynı tepe yer değiştirme değerleri için, taban kesme kuvveti değerlerinde, Model 3.a ’ye göre Model 3.b ve

Model 3.c için sırasıyla %45.28 ve %207.32 oranında artış görülmüştür. Aynı zamanda betonarme perde ilave edilmiş modelde, çelik çapraz ilave edilmiş modele göre %111.32 daha fazla taban kesme kuvveti değerine ulaştığı ve daha rijit hale geldiği görülmektedir.



Şekil 4.38 Model 3 taban kesme kuvveti ve çatı yer değiştirme eğrisi.

Görelî kat öteleme oranları yüzdesi model 3 için Şekil 4.39'de verilmiştir. Modelin güçlendirilmesi ile kat öteleme oranlarının daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Model 3.a yer değiştirme talepleri istikrarsız iken güçlendirme ile daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Model 3.a istikrarsız ve yüksek öteleme oranı, Model 3.b ve Model 3.c de daha istikrarlı hale gelmiş ve daha iyi sonuç verdiği Şekil 4.39'de görülmektedir. Betonarme perde ile güçlendirilmiş modelde, çelik çaprazla güçlendirilmiş modele göre kat yüksekliği fazla olan zemin katta, düşey rijitlik değişimi bulunan beşinci kat ve sekizinci katta daha iyi görelî kat öteleme oranları elde edilmiştir.



Şekil 4.39 Model 3 görel kat öteleme oranı yüzdesi.

ATC-40 capacity spectrum dan alınan performans noktası en üst kat yerdeğiştirme değerleri Çizelge 4.26’de, performans noktasında plastikleşen yapısal elemanların adedi ise Çizelge 4.27’da verilmiştir.

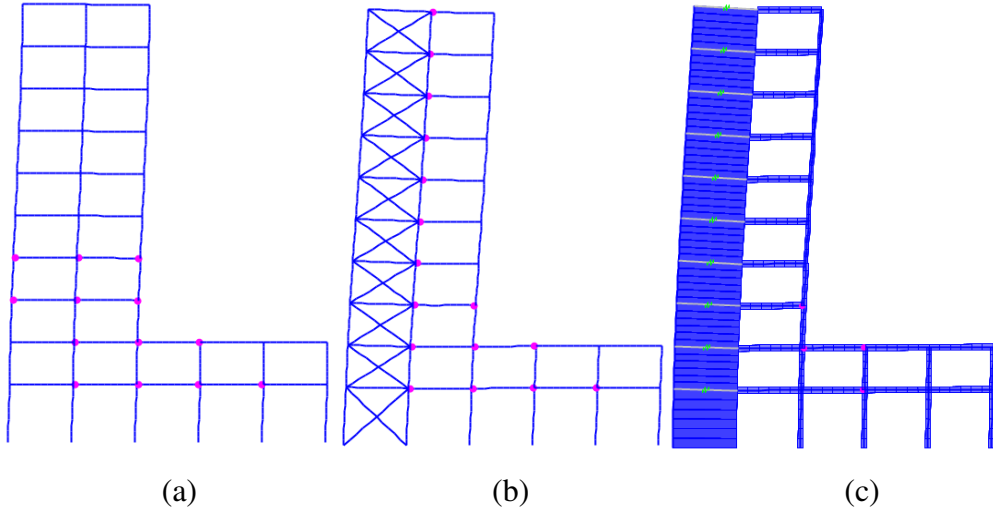
Çizelge 4.26 Performans noktası ve yerdeğiştirme.

Model	Performans Noktası (kN)	En Üst Kat Yerdeğiştirme (m)
3a	954,53	0.145
3b	1346,38	0.120
3c	1500,88	0.094

Çizelge 4.27 Performans noktasına göre plastikleşen taşıyıcı eleman sayısı.

Model	Performans noktasına göre plastikleşen taşıyıcı eleman sayısı		
	<IO	IO-LS	LS-CP
3a	13	-	-
3b	16	-	-
3c	4	-	-

Analizler sonucunda, performans noktasında plastikleşen yapı elemanları Şekil 40’ta gösterilmiştir.

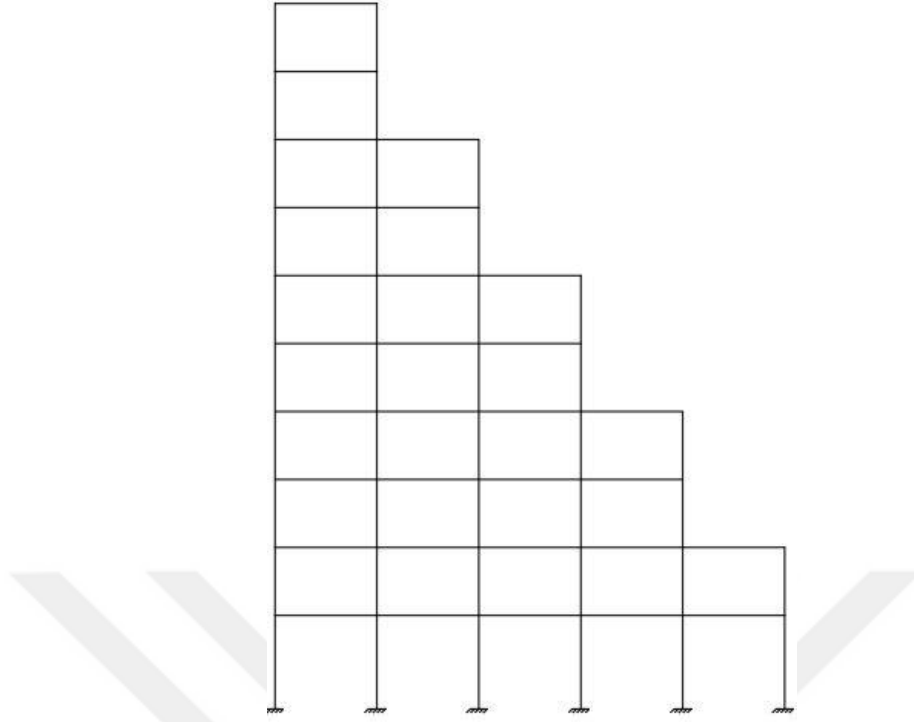


Şekil 4.40 Model 3 plastikleşen yapı elemanları (a) boş çerçeve (Model 3.a) (b) çelik çaprazlı çerçeve (Model 3.b) (c) betonarme perdeli çerçeve (Model 3.c).

4.4 Model 4

4.4.1 Model 4.a

İki boyutlu sistemin görünüşü Şekil 4.41’de verilen 10 katlı çelik çerçeve modelin, Model 1.a (referans çerçeve) ikinci kattan itibaren dört, beş ve altıncı aksında geri çekme oluşturulmuştur.



Şekil 4.41 Yapı modelinin iki boyutlu görüntüsü.

Model yapı, 30.00x41.50 m boyutlarında bir iş merkezi olarak tasarlanmıştır. Kat yüksekliği zemin kat için 5.50 m ve normal katlar için 4.0 m'dir. Şekil 4.41'de verilen çerçevede kademeli olarak yukarıya doğru iki katta bir kademeli olarak daralmaktadır. Çerçeve modeli süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeveler olarak tasarlanmış ve deprem kuvvetleri TBDY 2018'e göre yapılmıştır. Bu çerçevenin taşıyıcı sistem elemanları Çizelge 4.28'de gösterildiği gibi kirişler için IPE profilleri, kolonlar için HEB profilleri kullanılarak boyutlandırılmıştır.

Çizelge 4.28 Taşıyıcı sistem elemanları ve en kesit profilleri.

Kat	Kolon	Kiriş
1-4	HE450 B	IPE600
5-7	HE360 B	IPE600
8-10	HE320 B	IPE600

Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Hesaplanması:

Binanın doğal titreşim periyodları Sap2000 programı yardımı ile hesaplanmıştır. Birinci

doğal titreşim periyodu $T_p = 0.81sn$

Toplam Yatay Eşdeğer Deprem Yüğü (V_{tE})

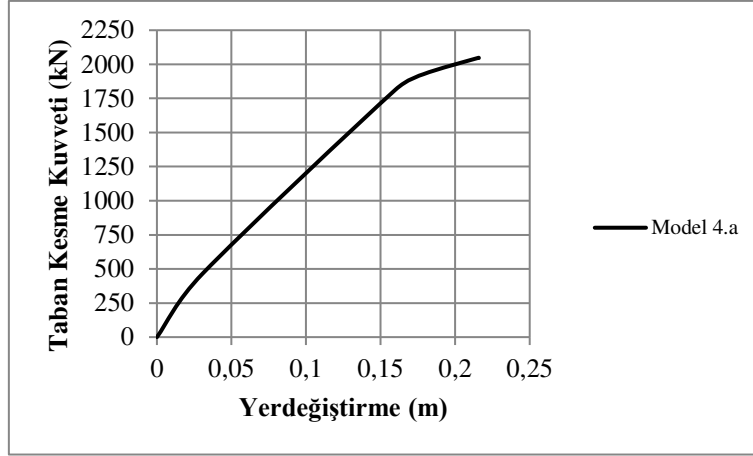
Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri çizelge 4.29’de gösterilmiştir. Bölüm 3.1 gösterilen TBDY 2018’e göre ve Model 1.a’ya benzer şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 4.29 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.

Kat	FiE (kN)
10	10.30
9	12.40
8	21.51
7	19.14
6	24.67
5	20.80
4	22.72
3	17.52
2	15.38
1	9.09

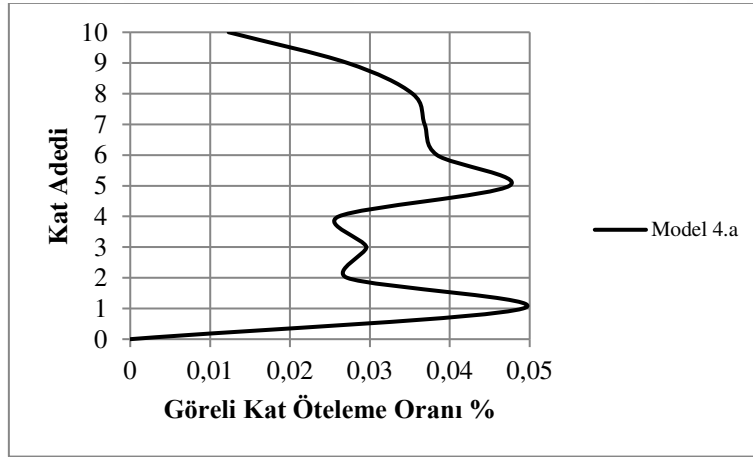
Statik itme analizi sonuçları

Statik itme analizi sonucunda modelin taban kesme kuvveti (V_b) ve çatı yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı yer değiştirmesi ilişkisi Şekil 4.42’de gösterilmiştir. Yapının taban kesme kuvveti $V_b=2046.02$ kN, yer değiştirmesi $\Delta_N=0.216$ m’dir.



Şekil 4.42 Model 4.a taban kesme kuvvet ve çatı yer değiştirme eğrisi.

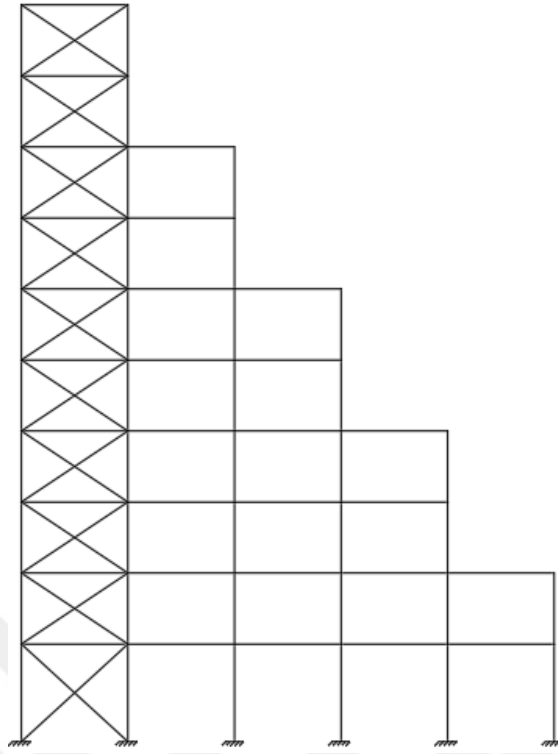
Görelî kat öteleme oranı yüzdesi Şekil 4.43’de verilmiştir. Görelî kat öteleme oranı yüzdesi istikrarsız bir grafik çizmiştir. Ayrıca kat yüksekliğinin değiştiği ve kolon boyutlarının düşürüldüğü katlarda ani sıçramalar görülmektedir. Bunun sebebi zemin kat yüksekliğinin diğer katlara göre daha fazla olması, beşinci kat ve sekizinci kattan itibaren kolon boyutlarının düşürülmüş olmasından dolayısıyla düşey rijitliğinin azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.43 Model 4.a görelî kat öteleme oranı yüzdesi yüzdesi.

4.4.2 Model 4.b

İki boyutlu sistemin görünüşü Şekil 4.44’te verilen 10 katlı çelik çerçeve modelin, Model 4.a’nın kenar açıklığına çelik çaprazlar ilave edilerek türetilmiştir.



Şekil 4.44 Yapı modelinin iki boyutlu görüntüsü.

Yapı, 30.00x41.50 m boyutlarında bir iş merkezi olarak tasarlanmıştır. Şekil 4.44'te verilen yapı modelin kat yüksekliği zemin kat yüksekliği 5.50 m normal katların yüksekliği ise 4.0 m'dir. Çerçeve modeli süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler olarak tasarlanmış ve deprem kuvvetleri TBDY 2018'e göre yapılmıştır. Bu çerçevenin taşıyıcı sistem elemanları Çizelge 4.30'de gösterildiği gibi kirişler için IPE profilleri, kolonlar için HEB profilleri ve çapraz elemanlar için kutu profiller kullanılarak boyutlandırılmıştır.

Çizelge 4.30 Taşıyıcı sistem elemanları ve en kesit profilleri.

Taşıyıcı Sistem Elemanı	En Kesit Profili
kirişler	IPE600
Kolonlar (1-4)	HE450B
Kolonlar (5-7)	HE360B
Kolonlar(8-10)	HE320B
Çapraz elemanlar	120.120.20

Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Hesaplanması

Binanın doğal titreşim periyodları Sap2000 programı yardımı ile hesaplanmıştır. Birinci doğal titreşim periyodu $T_p = 0.40sn$

Toplam Yatay Eşdeğer Deprem Yüğü (V_{tE})

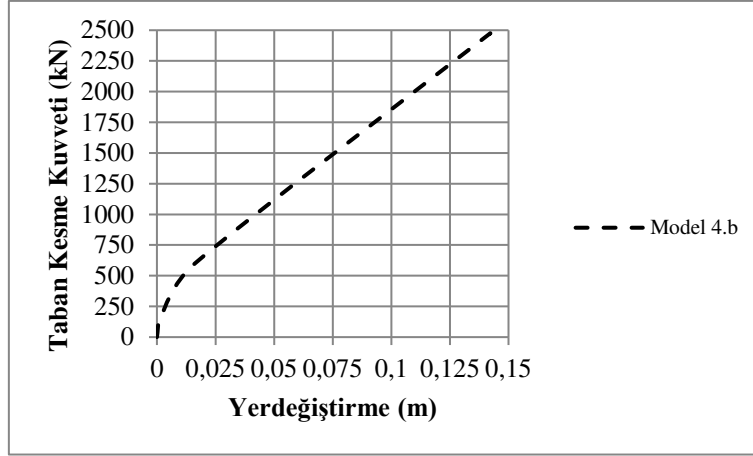
Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri Çizelge 4.31’de gösterilmiştir. Bölüm 3.1 gösterilen TBDY 2018’e göre ve Model 1.a’ya benzer şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 4.31 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.

Kat	FiE (kN)
10	22.75
9	27.19
8	46.35
7	41.11
6	51.21
5	47.45
4	48.05
3	37.75
2	32.87
1	19.63

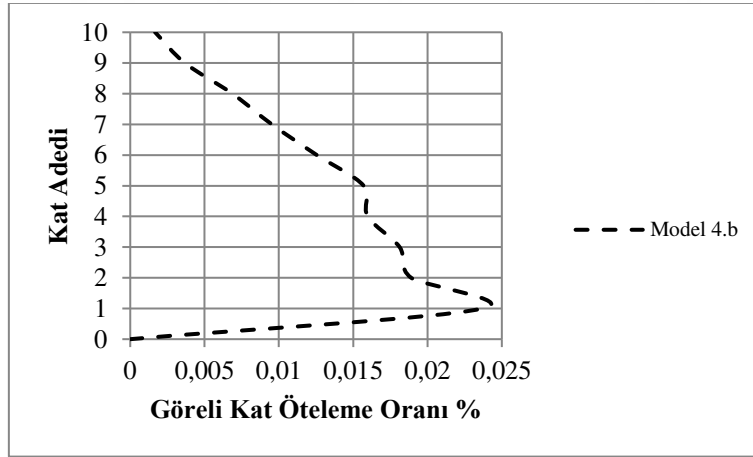
Statik itme analizi sonuçları

Statik itme analizi sonucunda modelin taban kesme kuvveti (V_b) ve çatı yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı yer değiştirmesi ilişkisi Şekil 4.45’de gösterilmiştir. Yapının taban kesme kuvveti $V_b=2473.15$ kN, yer değiştirmesi $\Delta_N=0.14$ m’dir.



Şekil 4.45 Model 4.b taban kesme kuvvet ve çatı yer değiştirme eğrisi.

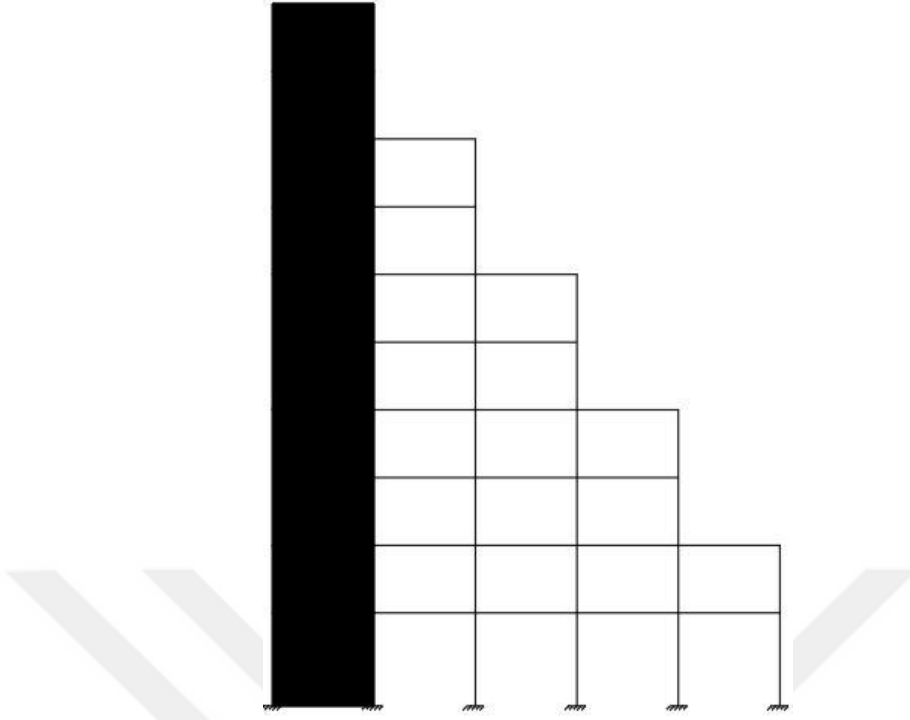
Model 4.b için görelî kat öteleme oranı yüzdesi Şekil 4.46'de verilmiştir. Görelî kat öteleme oranı yüzdesi zemin katta diğer katlara göre yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi zemin kat yüksekliğinin diğer katlara göre daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Beşinci kat ve sekizinci kattan itibaren kolon boyutlarının düşürülmüş olmasından dolayı, düşey rijitliğinin azalmasından kaynaklanan istikrarsızlığın, çelik çaprazların ilave edilmesi ile görelî kat öteleme oranları daha istikrarlı hale gelmiştir.



Şekil 4.46 Model 3.b görelî kat öteleme oranı yüzdesi.

4.4.3 Model 4.c

İki boyutlu sistemin görünüşü Şekil 4.47'de verilen 10 katlı çelik çerçeve modelin, Model 4.a'nın kenar açıklığına betonarme perde ilave edilerek türetilmiştir.



Şekil 4.47 Yapı modelinin iki boyutlu görüntüsü.

Model, 30.00x41.50 m boyutlarında bir iş merkezi olarak tasarlanmıştır. Zemin kat yüksekliği 5.50 m normal katların yüksekliği ise 4.0 m'dir. Şekil 4.47'de verilen çerçevede x yönünde 5 açıklıktan oluşmaktadır. Çerçeve modeli süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından karşılanan çerçeveler olarak tasarlanmış ve deprem kuvvetleri TBDY 2018'e göre yapılmıştır. Bu çerçevenin Taşıyıcı sistem elemanları Çizelge 4.32'da gösterildiği şekilde kirişler için IPE profilleri, kolonlar için HEB profilleri ve betonarme perde elemanlar kullanılarak boyutlandırılmıştır.

Çizelge 4.32 Taşıyıcı sistem elemanları ve en kesit profilleri.

Taşıyıcı Elemanı	Sistem	En Kesit Profil
Kolonlar (1-4)		HE450B
Kolonlar (5-7)		HE360B
Kolonlar(8-10)		HE320B
Betonarme perde		30 cm
Kirişler		IPE600

Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Hesaplanması

Binanın doğal titreşim periyodları Sap2000 programı yardımı ile hesaplanmıştır. Birinci doğal titreşim periyodu $T_p = 0.12sn$

Toplam Yatay Eşdeğer Deprem Yüğü (V_{tE})

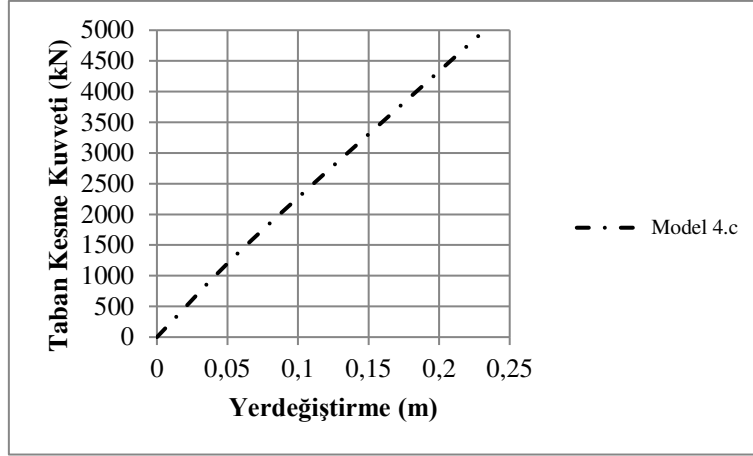
Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri Çizelge 4.33’de gösterilmiştir. Bölüm 3.1 gösterilen TBDY 2018’e göre ve Model 1.a’ya benzer şekilde hesaplanmıştır

Çizelge 4.33 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.

Kat	FiE (kN)
10	60.24
9	54.44
8	87.29
7	77.01
6	96.34
5	81.22
4	86.71
3	66.89
2	58.16
1	37.12

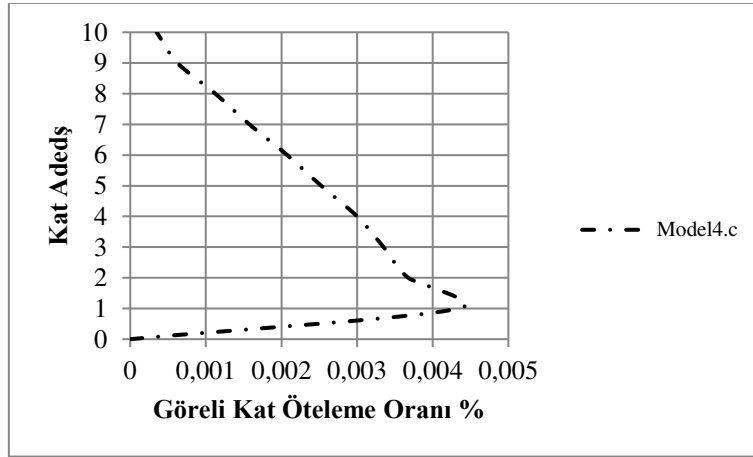
Statik itme analizi sonuçları

Statik itme analizi sonucunda modelin taban kesme kuvveti (V_b) ve çatı yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı yer değiştirmesi ilişkisi Şekil 4.48’de gösterilmiştir. Yapının taban kesme kuvveti $V_b=4903.42$ kN, yer değiştirmesi $\Delta_N=0.23$ m’dir.



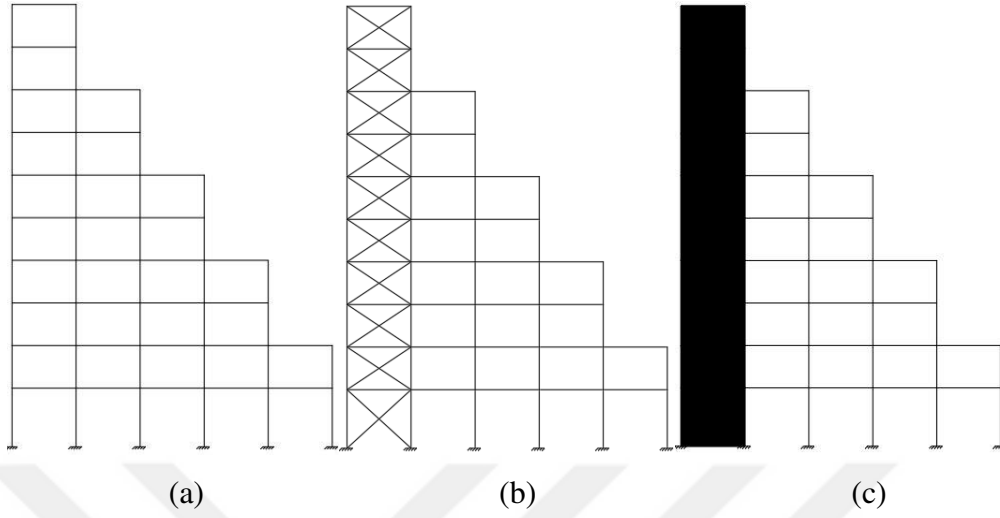
Şekil 4.48 Model 4.c taban kesme kuvvet ve çatı yer değiştirme eğrisi.

Model 4.c için görelî kat öteleme oranı yüzdesi Şekil 4.49’da verilmiştir. Görelî kat öteleme oranı yüzdesi zemin katta diğer katlara göre yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi zemin kat yüksekliğinin diğer katlara göre daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Beşinci kat ve sekizinci kattan itibaren kolon boyutlarının düşürülmüş olmasından dolayı, düşey rijitliğinin azalmasından kaynaklanan istikrarsızlığın, betonarme perde ilave edilmesi ile görelî kat öteleme oranları daha istikrarlı hale gelmiştir.



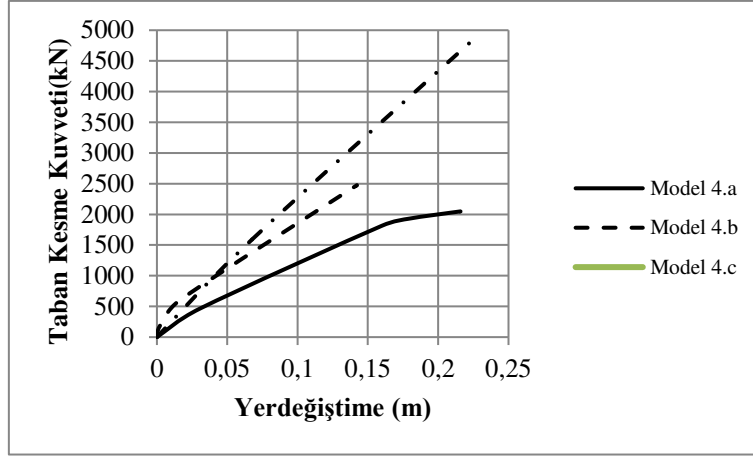
Şekil 4.49 Model 4.c görelî kat öteleme oranı yüzdesi.

4.4.4 Model 4 Analiz Sonucu Değerlendirilmesi



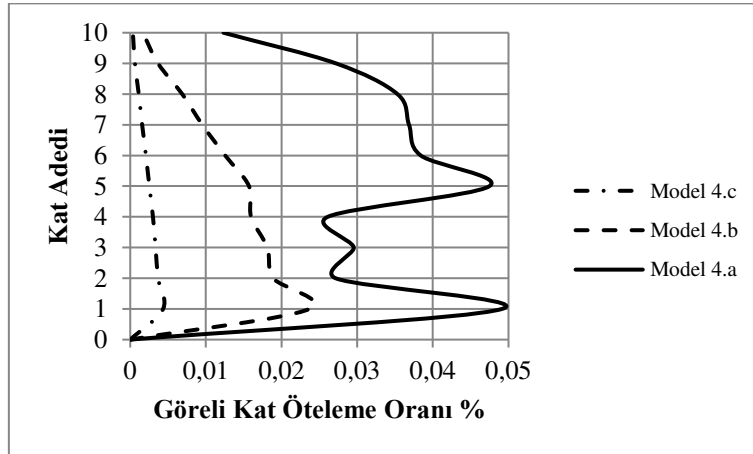
Şekil 4.50 Model 4 iki boyutlu görüntüsü (a) boş çerçeve (Model 4.a) (b) çelik çaprazlı çerçeve (Model 4.b) (c) betonarme perdeli çerçeve (Model 4.c).

Model 4 için yapılan tatik itme analizi sonucunda, modelin taban kesme kuvveti (V_b) ve çatı yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı yer değiştirmesi ilişkisi Şekil 4.51’de gösterilmiştir. Model 4.a, taban kesme kuvveti $V_b=2046.02$ kN, yer değiştirmesi $\Delta_N=0.216$ m’dir. Model 4.b, taban kesme kuvveti $V_b=2473.15$ kN, yer değiştirmesi $\Delta_N=0.14$ m’dir. Model 4.c, taban kesme kuvveti $V_b=4903.42$ kN, yer değiştirmesi $\Delta_N=0.23$ m’dir. Statik itme eğrileri karşılaştırıldığında güçlendirme işlemi model 4.a kapasitesini oldukça artırdığı görülmektedir. Aynı tepe yer değiştirme değerleri için, taban kesme kuvveti değerlerinde, Model 4.a ’ye göre Model 4.b ve Model 4.c için sırasıyla %20.87 ve %139.65 oranında artış görülmüştür. Aynı zamanda güçlendirilmiş modellerin başlangıç rijitlikleri Model 4.a’ye göre önemli ölçüde artış göstermiştir. Betonarme perde ilave edilmiş modelde, çelik çapraz ilave edilmiş modele göre %98.26 daha fazla taban kesme kuvveti değerine ulaştığı ve daha rijit hale geldiği görülmektedir.



Şekil 4.51 Model 4 taban kesme kuvveti ve çatı yer değiştirme eğrisi.

Görelî kat öteleme oranları yüzdesi model 4 için Şekil 4.52’da verilmiştir. Modelin güçlendirilmesi ile kat öteleme oranları daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Model 4.a yer değiştirme talepleri istikrarsız iken güçlendirme ile daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Model 4.a istikrarsız ve yüksek öteleme oranı, Model 4.b ve Model 4.c de daha istikrarlı hale gelmiş ve daha iyi sonuç verdiği Şekil 4.49’da görülmektedir. Betonarme perde ile güçlendirilmiş modelde, çelik çaprazla güçlendirilmiş modele göre kat yüksekliği fazla olan zemin katta, düşey rijitlik değişimi bulunan beşinci kat ve sekizinci katta daha iyi görelî kat öteleme oranları elde edilmiştir.



Şekil 4.52 Model 4 görelî kat öteleme oranı yüzdesi.

ATC-40 capacity spectrum dan alınan performans noktası en üst kat yerdeğiştirme değerleri izelge 4.34'te, performans noktasında plastikleşen yapısal elemanların adedi ise izelge 4.35'te verilmiştir.

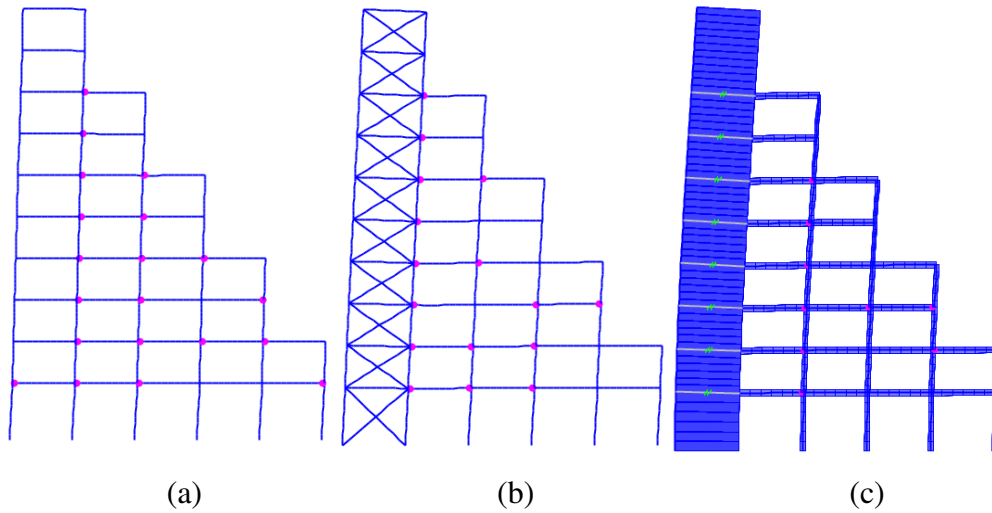
Çizelge 4.34 Performans noktası ve yerdeştirme.

Model	Performans Noktası (kN)	En Üst Kat Yerdeğiştirme (m)
4a	1529,31	0.133
4b	1931,68	0.106
4c	2170,10	0.096

Çizelge 4.35 Performans noktasına göre plastikleşen taşıyıcı eleman sayısı.

Model	Performans noktasına göre plastikleşen taşıyıcı eleman sayısı		
	<IO	IO-LS	LS-CP
4a	20	-	-
4b	16	-	-
4c	9	-	-

Analizler sonucunda, performans noktasında plastikleşen yapı elemanları şekil 53'te gösterilmiştir.



şekil 4.53 Model 4 plastikleşen yapı elemanları (a) boş çerçeve (Model 4.a) (b) elik aprazlı çerçeve (Model 4.b) (c) betonarme perdeli çerçeve (Model 4.c).

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tez çalışmasında öncelikle, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 ve Çelik Yapıların Tasarımı Hakkında Yönetmelik 2016 esaslarına göre süneklik düzeyi yüksek 10 katlı 5 açıklıklı bir çelik çerçevenin tasarımı yapılmıştır. Bir sonraki adımda ilgili çerçevenin orta açıklığına çelik çaprazlar ilave edilerek, daha sonraki adımda ise aynı açıklığa betonarme perde ilave edilerek yeni modeller elde edilmiştir. Referans çerçeveden yola çıkılarak farklı özellikte 3 adet geri çekmeli model türetilmiştir. Türetilen modellere çelik çaprazlar ve betonarme perde ilave edilerek, oluşturulan her bir model üzerinde statik itme (Pushover) analizi yapıp sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu sayede tüm modellere ait kapasite eğrileri (taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme) ve göreceli kat öteleme oranları elde edilip karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Hem betonarme perde ve çelik çapraz ilave edilmesiyle hem de geri çekmelerden dolayı çerçevelerin ağırlığı, rijitliği ve dolayısıyla periyodu değişmiştir.

Statik itme eğrileri karşılaştırıldığında, çelik çapraz ya da betonarme perde ilave etmenin, tüm çerçevelerin taban kesme kuvveti kapasitesini oldukça artırdığı görülmektedir. Elde edilen değerlere göre, Model 1.a ile karşılaştırıldığında güçlendirilmiş modellerin, aynı yer değiştirme değerlerinde yük taşıma kapasitesinin oldukça arttığı görülmektedir. Aynı zamanda güçlendirilmiş modellerin başlangıç rijitlikleri de boş çerçeveye göre önemli ölçüde artış göstermiştir. Betonarme perde ile güçlendirilmiş modellerin, çelik çaprazla güçlendirilmiş modellere göre daha fazla yük taşıma kapasitesine ulaştığı ve daha rijit hale geldiği anlaşılmaktadır. Aynı etkiler diğer tüm modeller için de geçerlidir.

Referans modelin taban kesme kuvveti kapasitesi, geri çekmeli olarak türetilen Model 2.a ve Model 3.a'ye göre daha yüksek değere ulaşırken, Model 4.a da durum tam tersi olmuştur. Bunun sebebi olarak Model 4.a'nın hem düzenli bir şekilde (ani olmayan) model yüksekliği boyunca yukarı doğru daralması, hem de modelin daha hafif ve daha sünek hale gelmesi olduğu düşünülmektedir.

Yapılan bir diğer karşılaştırma ise göreceli kat öteleme oranları yüzdesidir. Analizler sonucunda elde edilen değerler incelendiğinde, kat yüksekliğinin diğer katlara göre

fazla olduğu zemin katlarda, dűşey rijitliğinin değiştiği (kolon kesitlerinin azaltıldığı) katlarda, bununla beraber geri çekmenin meydana geldiği katlarda görelı kat öteleme oranlarında ani sıçramalar tespit edilmiştir. Güçlendirme yapılmayan modellerde bu artışlar, güçlendirilen modellere göre belirgin olarak fazladır. Betonarme perde ve çelik çapraz ilave edilen modellerde, görelı kat öteleme oranları oldukça düşük mertebede kalmış olup, güçlendirme yapılan modeller birbiriyle karşılaştırıldığında son katlarda görelı kat ötelenme oranları birbirine oldukça yakın çıkmıştır.



6. KAYNAKLAR

- Altunışık A C, Ateş Ş, Adanur S, 2018, İnşaat Mühendisliğinde SAP2000 Uygulamaları, kitap, dynamic academy, 784s, Trabzon.
- Apaydın Y, 2005, Çelik Endüstri Yapılarının Deprem Performanslarının Belirlenmesi Üzerine Sayısal Bir İnceleme, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 129s, İstanbul.
- Aydın E, Boru E, 2020, Betonarme Bir Çerçevenin Farklı Yerleşim Düzenine Sahip Merkezi Çelik Çaprazlarla Güçlendirilmesi, Acedemic Platform Journal of Engineering and Sinecince 8, 286-294.
- Başaran V, 2006, Mevcut Betonarme Yapıların İtme Analizi ile Hesabı ve Japon Sismik İndis Yöntemi ile Karşılaştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 149s, Afyonkarahisar.
- Başaran V, 2013, Yapısal Parametrelerin Mevcüt Binalar Üzerindeki Hasar Etkilerinin Değerlendirilmesi ve Ölçülendirilebilmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 213s, Eskişehir.
- Başaran V, Hiçyılmaz M, 2018, Geri Çekme Düzensizliğine Sahip Betonarme Düzlem Çerçevelerin Sismik Analizi, El Cezei Fen ve Mühendislik Dergisi, 5, 353-360.
- Celep D, 2007, Çelik Bir Yapıda Deprem Yüklerinin Çelik Çaprazlar veya Betonarme Perdelerle Taşınması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 72s, İstanbul.
- Çelebi, E. 2012, Mevcut Binalardaki Geri Çekme Düzensizliği, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 87s, Eskişehir.
- Eurocode 8, Design of Structures for Earthquake Resistance, 2004.
- ÇYTHYEHUK, 2017, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmelik Hakkında Uygulama Kılavuzu, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- ÇYTYHY, 2016, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Günday F, 2017, Çelik Yapıların Çelik Çapraz Elemanlar ile Güçlendirilmesinin Yapı Dinamik Davranışına Etkierinin İncelenmesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 109s, İzmir.

- Hiçyılmaz M, 2017, Yapısal Düzensizliğe Sahip Çelik Yapılarda Viskoz Sönümleyici Etkilerinin Araştırılması ve Yeni Bir Bağlantı Tipi Önerisi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, 160s,Eskişehir.
- Hiçyılmaz M, Doğan M, Gönen H, 2017, Geri Çekme Düzensizliğine Sahip Çelik Çerçevelerde Optimum Viskoz Sönümleyici Dağılımının İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24, 1024-1029.
- Kaya S, Naimi S, 2019, Betonarme Yapıların Çelik Çapraz Elemanlar ile Güçlendirilmesi, Aurum Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi, 3, 191-204.
- Korkmaz A K, 2007, Çelik Çapraz Elemanlarla Güçlendirilen Betonarme Yapıların Deprem Davranışlarının İncelenmesi, Doğu Üniversitesi Dergisi, 8, 191-201.
- Korkmaz A K, Işıl Ç, Devran Ç, Zeki A, 2013, Planda Düzensizlikleri Olan Çelik Yapıların Güçlendirme Tiplerinin Değerlendirilmesi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 3, 29-39.
- Kuruoğlu Ö, 2009, Betonarme Perdeli ve Çelik Çerçevesi Bir Yapının DBYBHY 2007 Yönetmeliğine Göre Tasarımı ve Deprem Etkileri Bakımından IBC2006 Yönetmeliği ile Karşılaştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 128s, İstanbul.
- Öz D, 2018, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımında Dair Esaslarve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Kuralları Doğrultusunda Çelik Yapıların Tasarımı, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 172s, Eskişehir.
- Özel C N, 2013, Mevcut Bir Çelik Binanın Çelik Levhalı Perdeler ile Güçlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 129s, İstanbul.
- Peker K, Yardımcı N, 2020, Yatay Yük Davranışı Zayıf Betonarme Çerçevelerin Çelik Çaprazlı Perdeler ile Güçlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Pratik Çalışma, İstanbul.
- Salıbaşı B, 2006, 10 Katlı Çelik Bir Binanın Deprem Yükleri Altında Değişik Güçlendirme Şekillerine Göre İrdelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tez, 260s, İstanbul.

- SAP2000, 2021, İntegrated Software for Stractural Analysis and Design Program. Computers and Stracture, California.
- TBDY, 2019, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- TMMOB 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) Eğitim Elkitabı, Kitap, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara.
- TS 498. 1997, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 500. 2000, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türkiye bina deprem yönetmeliği, 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 Afet ve Acil Durum Yönetmeliği Başkanlığı, Ankara.
- Yüksel M, 2018, Çok Katlı Betonarme Bir Yapının Deprem Performansına Deprem Duvarların Etkisinin İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 70s, Sakarya.