



**FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ'NDE VERİLEN
YÜKSEKLİK SINIRINA GÖRE TASARIM KURALLARININ
ÖRNEKLERLE KARŞILAŞTIRILMALI İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdullah Burak ULUDAĞ

İSTANBUL, 2022



**FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ'NDE VERİLEN
YÜKSEKLİK SINIRINA GÖRE TASARIM KURALLARININ
ÖRNEKLERLE KARŞILAŞTIRILMALI İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Abdullah Burak ULUDAĞ
(180241003)**

**Danışman
(Prof. Dr. Zekai Celep)**

İSTANBUL, 2022

12/05/2022

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 180241003 numaralı Abdullah Burak ULUDAĞ'ın hazırladığı "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde Verilen Yükseklik Sinirina Göre Tasarım Kurallarının Örneklerle Karşılaştırılması İncelenmesi" konulu Yüksek Lisans/Doktora/Sanatta Yeterlik tezi ile ilgili Tez Savunma Sınavı, 12/05/2022 Perşembe günü saat 18:00'da yapılmış, sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin **Kabulüne Oy Birliği** ile karar verilmiştir.

Düzeltilme verilmesi halinde:

Adı geçen öğrencinin Tez Savunma Sınavı .../.../20... tarihinde, saat ...:.... da yapılacaktır.

Tez adı değişikliği yapılması halinde: Tez adının

.....
şeklinde değiştirilmesi uygundur.

Jüri Üyesi	Karar
1. (Danışman) Prof. Dr. Zekai CELEP	KABUL
2. Prof. İbrahim EKİZ	KABUL
3. Prof. Dr. Kadir GÜLER	KABUL
4. ....	.....
5. ....	.....
6. (İkinci Danışman)*.....	.....

*2. Danışman varsa doldurulması gerekmektedir.

ETİK BİLDİRİM

Bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat binalmadığını, tezin herhangi bir kısmının bağılı olduğum üniversite veya bir başka üniversitedeki başka bir çalışma olarak sunulmadığını beyan ederim.

Abdullah Burak Uludağ

TEŐEKKÜR

Bu çalışmanın ortaya çıkması esnasında karşılaőtığım her zorlukta manevi desteğini yanımda hissettiğim Sevgili Gülizar Manav'a teőekkür ederim.

Son olarak bugüne kadar üzerimde çok emeği olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme de teőekkür ederim.

Abdullah Burak Uludağ

TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ'NDE VERİLEN YÜKSEKLİK SINIRINA GÖRE TASARIM KURALLARININ ÖRNEKLERLE KARŞILAŞTIRILMALI İNCELENMESİ

Abdullah Burak Uludağ

ÖZET

Betonarme binaların tasarımı düşey yükler ve deprem yükleri altında yapılır. Düşey yükler, TS498 de tanımlı olup, deprem yükleri de Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY)'nde verilmiştir. TBDY' de tasarım kuralları binanın Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)'na bağlı olarak öngörülmüştür. Aynı yönetmelikte binaların yükseklik sınırı DTS ve Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)'na bağlı olarak tanımlanmıştır. Bu sınır yükseklik 70m ile 105m arasında değişmektedir.

Yüksek binalar için, yönetmeliğin “Deprem etkisi altında yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımı için özel kurallar” bölümünde özel tasarım kuralları bulunmaktadır. Bu sınırın üstünde bulunan binalar Yüksek Bina olarak tanımlanır ve bunlar için daha ayrıntılı tasarım kuralları verilmiştir. DTS, Bina Kullanım Sınıfı (BKS) ve deprem tehlikesine bağlı olarak belirlenir. Binaların taşıyıcı sistemlerinin tasarım kuralları binanın kullanımına ve deprem tehlikesine bağlı olarak Dayanıma Göre Tasarım ilkeleri yanında, Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım kurallarını da içermektedir. Sunulan çalışmada yüksek binaların tasarım kuralları, diğer türden binaların tasarım kuralları yüksek bina tanımının alt sınırında bulunan bir örnek bina alınarak, bu binanın tasarımı yüksek bina kuralları uygulanmadan ve uygulanarak yapılacak ve sonuçlar karşılaştırılmalı olarak verilmektedir. Bina tasarımında, pek çok parametrenin bulunması sebebiyle seçilen örnekte taşıyıcı sistemin olabildiğince düzgün olması, planda orta bölümde yoğun perdeleri içeren bir çekirdek bölümünün bulunması, kirişli plak döşemeli olması öngörülmüştür. Bunun yanında, binanın

yükseklik dışındaki parametrelerden deprem etkisi, faydalı yük değeri uygun aralıkta değiştirilerek iki tasarıma olan etkileri incelenmiştir.

Anahtar kelimeler; Betonarme Bina, Yüksek Bina, TBDY 2018, Depreme Dayanıklı Binalar, Sargılı Beton Modeli.

A COMPARATIVE EXAMINATION OF DESIGN RULES WITH THE EXAMPLES ACCORDING TO THE HEIGHT LIMIT GIVEN IN TURKISH BUILDING EARTHQUAKE REGULATION

Abdullah Burak Uludag

ABSTRACT

The design of reinforced concrete buildings is made under vertical loads and earthquake loads. Vertical loads are defined in TS498 and earthquake loads are also given in the Turkish Building Seismic Code (TBDY). In TBDY, the design rules are stipulated depending on the Earthquake Design Class (DTS) of the building. In the same regulation, the height limit of buildings is defined depending on DTS and Building Height Class (BYS). This limit height varies between 70m and 105m.

For high-rise buildings, there are special design rules in the "Special rules for the design of tall building carrier systems under the influence of earthquake" section of the regulation. Buildings above this limit are defined as Tall Buildings and more detailed design guidelines are given for them. It is determined depending on the Earthquake Design Class (DTS), Building Use Class (BKS) and earthquake hazard. The design rules of the structural systems of the buildings include the Design According to Deformation rules as well as the Design According to Strength principles depending on the use of the building and the earthquake hazard. In the presented study, the design rules of high-rise buildings and the design rules of other types of buildings are taken as a sample building, which is at the lower limit of the definition of high-rise building, and the design of this building will be done without applying and applying the high-rise building rules, and the results are given comparatively. In the building design, due to the presence of many parameters, it is envisaged that the carrier system should be as smooth as possible in the selected example, there should be a core section containing dense shears in the middle section of the plan, and slab flooring with and

without beams. In addition, the structural system layout, earthquake effect, useful load value, which are parameters other than the height of the building, were changed within the appropriate range and their effects on the two designs were examined.

Keywords; Reinforced Concrete Building, Tall Building, TBDY 2018, Earthquake Resistant Buildings, Confined Concrete Model.

ÖNSÖZ

Yüksek binaların tasarımı yönetmeliklerde önemli bir yer tutmuştur. Tasarımdaki kabuller ve analiz aşamalarının uzunluğu yüksek bina tasarımının başlıca zorluklarından. TBDY 2018’de yüksek binaların tasarımı için ayrıca bir bölüm ayrılmıştır. Buna göre yüksek binalar üç aşamada tasarlanır. Birinci aşamada bina dayanıma göre tasarım kuralları gereği ön boyutlandırma yapılır. İkinci aşamada binanın performans hedefine göre performans analizi yapılır. Üçüncü aşamada ise bina şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım kurallarınca analiz edilir. Bu aşamadan sonra elde edilen dönme değerleri yönetmelikte verilen sınırlarla kıyaslanarak binanın performansı bulunur ve hedef performansı sağlıyorsa tasarım biter.

Bu çalışmada ise yüksek binaların belirlenmesinde belirleyici olan Bina Yükseklik Sınıfı değerlerinin sınır değerlerinin nedenleri incelenmeye çalışılmıştır. Yüksek bina alt sınırında olan bir bina hem normal bina tasarım yöntemleriyle hem de yüksek bina tasarım yöntemleriyle çözülerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Çalışma esnasında kolon ve perdeler için yönetmelikte verilen eksenel yük sınırları çalışmanın ilerlemesinde etkili olmuştur. Elde edilen sonuçlar eksenel yük sınırına takılmıştır. Bu sınırdan dolayı düşey taşıyıcı elamanlar nispeten büyük boyutlarda olmak zorundadır. Bu da bu elemanların yüksek rijitlikte olmasına neden olmakta ve plastikleşme görülememektedir. Bunun neticesinde de iki yöntemin kıyaslanması zorlaşmaktadır. Ayrıca çalışma içerisinde perdeler eşdeğer kolon ve perde kabuk modeli olarak iki ayrı yöntemle modellenerek sonuçlar incelenmiştir.

Başta lisans öğrenim hayatım olmak üzere üzerimde çok emeği olan, tez yazım süreci boyunca hiçbir konuda yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübesiyle öğrenim hayatımda ve çalışma hayatımda bana yol gösteren değerli tez danışman hocam Sayın Prof. Dr. Zekai Celep’e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ix
SEMBOLLER	xii
TABLO LİSTESİ	xx
ŞEKİL LİSTESİ.....	xxii
KISALTMALAR	xxv
GİRİŞ	1
ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI	1
1. BİNA SİSTEMLERİNİN HESAP ESASLARI	3
1.1. DOĞRUSAL HESAP YÖNTEMLERİ.....	3
1.2. ŞEKİL DEĞİŞTİRMEYE GÖRE DEĞERLENDİRME VE TASARIM.....	6
1.3. TAŞIYICI SİSTEMİN MODELLENMESİ.....	9
1.4. DOĞRUSAL OLMAYAN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ	11
1.5. ŞEKİL DEĞİŞTİRME VE İÇ KUVVETLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ..	14
1.6. BETON VE DONATI MODELLERİ.....	16
2. TBDY 2018'DE YÜKSEK BİNALAR	19
2.1. TASARIM AŞAMASI I.....	20
2.2. TASARIM AŞAMASI II	21
2.3. TASARIM AŞAMASI III	23
3. SAYISAL ÇALIŞMALAR	24
3.1. BİNA BİLGİLERİ.....	24
3.2. MALZEME ÖZELLİKLERİ	26
3.3. YAPILAN YÜKLEMELER	27
3.4. TAŞIYICI SİSTEM ÖZELLİKLERİ	28
3.5. DEPREMLE İLGİLİ PARAMETRELER	32
3.6. TASARIM AŞAMASI-1	38
3.6.1. Betonarme Elemanların Tasarımı	56

3.7. TASARIM AŞAMASI-2.....	73
3.8. TASARIM AŞAMASI-3.....	75
3.8.1. PERDENİN KOLON OLARAK MODELLENMESİ DURUMUNDA ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMİNİN UYGULANMASI	103
3.8.2. PERDENİN KABUK OLARAK MODELLENMESİ DURUMUNDA ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMİNİN UYGULANMASI	110
3.9. DD-1 DEPREM SPEKTRUMU 1,3 KAT ARTTIRILARAK BİNADAN ELDE EDİLEN SONUÇLAR.....	116
4. SEÇİLEN MODELLERİN TÜM SONUÇLARININ KIYASLANMASI	123
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	140
KAYNAKÇA	144

SEMBOLLER

- (EI)_e** : Yığılı plastik davranışa göre modellenen kolon, kiriş ve perdenin etkin kesit rijitliği
- (M_d)_t** : Perdenin taban kesitinde yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan moment
- (M_p)_t** : Perdenin taban kesitinde f_{ck} , f_{yk} ve çeliğin dayanım artışı gözönüne alınarak hesaplanan moment kapasitesi
- (M_r)_t** : Perdenin taban kesitinde f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan taşıma gücü momentleri
- $\Delta_i^{(X)}$** : (X) deprem doğrultusunda herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden azaltılmış görelî kat ötelemesi [m]
- $(\Delta_i^{(X)})_{max}$** : Binanın i'inci katındaki maksimum azaltılmış görelî kat ötelemesi
- $(\Delta_i^{(X)})_{min}$** : Binanın i'inci katındaki minimum azaltılmış görelî kat ötelemesi
- $(\Delta_i^{(X)})_{ort}$** : Binanın i'inci katındaki ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi
- μ_k** : Taşıyıcı sistem için öngörülen süneklik kapasitesi
- A_c** : Kolonun veya perde uç bölgesinin brüt en kesit alanı
- A_{ch}** : Boşluksuz perdenin, bağ kirişli perdede
- A_{ck}** : Sargı donatısının dışından dışına alınan ölçü içinde kalan çekirdek beton alanı
- A_e** : Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusundaki etkili kesme alanı
- A_g** : Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı
- a_i** : Yatayda bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklık

A_k	: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar alanlarının toplamı
A_{smin}	: Kiriş minimum çekme donatısı oranı
a_{se}	: Sargı donatısı etkinlik katsayısı
A_{sh}	: Enine donatının alanı
b_k	: Birbirine dik yatay doğrultuların her biri için, kolon veya perde uç bölgesi çekirdeğinin enkesit boyutu (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki mesafe)
b_o	: Gövde betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutu
b_w	: Kirişin gövde genişliği, perdenin gövde kalınlığı
C_h	: İkinci merteye hesabında kullanılan ampirik katsayı
C_t	: Ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan katsayı
D	: Dayanım fazlalığı katsayısı
d	: Kesit faydalı yüksekliği
d'	: Beton örtüsü
d_b	: Mesnede kenetlenen donatı çeliklerinin ortalama çapı
e	: %5'lik dışmerkezlilik
E_c	: Beton elastisite modülü
E_d^(H)	: Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas yatay deprem etkisi
E_d^(X)	: (X) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
E_d^(Y)	: (Y) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
E_d^(Z)	: (Z) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
E_s	: Donatı çeliği elastisite modülü
F₁	: 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı

f_c	: Sargılı betonda beton basınç gerilmesi
f_{cc}	: Sargılı beton dayanımı
f_{ce}	: Betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı
f_{ck}	: Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı
f_{co}	: Sargısız betonun basınç dayanımı
f_{ctd}	: Betonun tasarım çekme dayanım
$f_d(\mu_k, T)$	: Öngörülen süneklik kapasitesi ve periyoda bağlı olarak taşıyıcı sistemin sahip olması gereken tasarım dayanımı
f_e	: Etkili sargılama basıncı
$f_e(T)$	: Taşıyıcı sistem için hesaplanan doğrusal (elastik) dayanım talebi
$F_{iE}^{(X)}$	: (X) doğrultusunda kat kütle merkezine etkiyen eşdeğer deprem yükü
F_s	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
f_s	: Donatı çeliğindeki gerilme
f_{su}	: Donatı çeliğinin kopma dayanımı
f_{sy}	: Donatı çeliğinin akma dayanımı
f_{yd}	: Boyuna donatının tasarım akma dayanımı
f_{yk}	: Boyuna donatının karakteristik akma dayanımı
f_{yw}	: Enine donatının akma dayanımı
f_{ywd}	: Enine donatının tasarım akma dayanımı
f_{ywe}	: Donatı çeliğinin ortalama (beklenen) dayanımı
f_{ywk}	: Enine donatının karakteristik akma dayanımı
G	: Sabit yük etkisi
g	: Yerçekimi ivmesi
h	: Kesit yüksekliği
H	: Yatay zemin itkisi etkisi
H	: Dikdörtgen kolon için kolon derinliği

H_{cr}	: Perde kritik yüksekliği
H_N	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümünün toplam yüksekliği
H_w	: Temel üstünden veya zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliği
I	: Bina önem katsayısı
k_e	: Sargılama etkinlik katsayısı
l_b	: Kenetlenme boyu
L_p	: Plastik mafsal boyu
L_s	: Kesme açıklığı
l_{sn}	: Döşeme kısa kenar doğrultusundaki serbest açıklık
l_u	: Perde uç bölgesi uzunluğu
l_w	: Perdenin veya bağ kirişli perde parçasının plandaki uzunluğu
M_a	: Kolonun serbest yüksekliğinin alt ucunda, kolon kesme kuvvetinin hesabında esas alınan moment
M_{dev}	: Betonarme perdenin tabanında deprem yüklerinden meydana gelen devrilme momenti
m_i	: i'inci katın toplam kütlesi
M_o	: Binanın tümü için deprem yüklerinden tabanda meydana gelen toplam devrilme momenti
M_o^X	: (X) deprem doğrultusunda binanın tümü için deprem yüklerinden tabanda meydana gelen toplam devrilme momenti
M_{pi}	: Kirişin sol ucu i'deki kolon yüzünde hesaplanan pozitif veya negatif moment kapasitesi
M_{pj}	: Kirişin sağ ucu j'deki kolon yüzünde hesaplanan pozitif veya negatif moment kapasitesi
M_{ra}	: Kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin alt ucunda hesaplanan taşıma gücü momenti

M_{ri}	: Kirişin sol ucu i 'deki kolon yüzünde hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü momenti
M_{rj}	: Kirişin sol ucu j 'deki kolon yüzünde hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü momenti
$M_{rü}$	: Kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin üst hesaplanan taşıma gücü momenti
$M_{ü}$	: Kolonun serbest yüksekliğinin üst ucunda, kolon kesme kuvvetinin hesabında esas alınan moment
M_y	: Etkin akma momenti
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
N	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümdeki toplam kat sayısı
N_d	: Yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan eksenel kuvvet
N_{dm}	: Düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan eksenel basınç kuvvetlerinin en büyüğü
Q	: Hareketli yük
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_a	: Öngörülen süneklik kapasitesi ve periyoda bağlı deprem yükü azaltma katsayısı
$R_y(\mu_k, T)$	: Öngörülen süneklik kapasitesi ve periyoda bağlı akma dayanımı azaltma katsayısı
s	: Enine donatı aralığı
S_1	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
$S_{ae}^{(T)}$	: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
$S_{ae}(T_x)$	: X yönü yatay elastik tasarım spektral ivmesi
$S_{aR}(T_p^{(X)})$	: (X) deprem doğrultusu için binanın hakim doğal titreşim periyodu gözönüne alınarak hesaplanan azaltılmış tasarım spektral ivme
S_{D1}	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı

S_s	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
T	: Doğal titreşim periyodu
T_A	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_L	: Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu
T_{pA}	: Ampirik olarak hesaplanan doğal titreşim periyodu
V_a	: Düğüm noktasının üstünde kolon alt ucunda sadece deprem yüklemesinden oluşan kesme kuvveti
V_c	: Betonun kesme dayanımına katkısı
V_d	: Düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti
V_{dy}	: Kirişin herhangi bir kesitinde düşey yüklerden meydana gelen basit kiriş kesme kuvveti
V_e	: Kolon, kiriş, birleşim bölgesi ve perdede enine donatı hesabında esas alınan kesme kuvveti
V_{kol}	: Düğüm noktasının üstünde ve altında hesaplanan kolon kesme kuvvetlerinin küçük olanı (V_a ve V_u 'den küçük olanı)
V_r	: Kolon, kiriş veya perdenin kesme kuvveti dayanımı
$V_{tE}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
$V_{tx}^{(X)}$	: Modal hesap yöntemlerinden biri ile (X) doğrultusunda elde edilen en büyük toplam deprem yükü
V_u	: Düğüm noktasının altında kolon üst ucunda sadece deprem yüklemesinden oluşan kesme kuvveti
V_w	: Enine donatının kesme dayanımına katkısı
z	: Kesitin moment sıfır noktasına olan mesafesi
$\beta_{II}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusu için ikinci mertebe büyütme katsayısı

$\beta_{TE}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusu eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı
γ_E	: Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısının belirlenmesinde kullanılan ampirik katsayı
γ_{mc}	: Beton malzeme güvenlik katsayısı
γ_{ms}	: Donatı çeliği malzeme güvenlik katsayısı
$\delta_{i,max}$	: Binanın i'inci katındaki kolon veya perdeler için etkin görelî kat ötelemelerinin en büyüğü
ϵ_c	: Beton basınç birim şekil değiştirmesi
$\epsilon_c^{(GÖ)}$	: Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_c^{(KH)}$	: Kontrollü hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_c^{(SH)}$	: Sınırlı hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
ϵ_s	: Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekil değiştirmesi
$\epsilon_s^{(GÖ)}$	: Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirme sınırı
$\epsilon_s^{(KH)}$	: Kontrollü hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirme sınırı
$\epsilon_s^{(SH)}$	: Sınırlı hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirme sınırı
ϵ_{su}	: Donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi
ϵ_{sy}	: Donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi
η_{bi}	: i'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
η_{ci}	: i'inci latta tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı
η_{ki}	: i'inci katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı
$\theta_{II,i}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda her bir i'inci kat için tanımlanan ikinci mertebe gösterge değeri

$\theta_p^{(GÖ)}$	: Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı
$\theta_p^{(KH)}$	: Kontrollü hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı
$\theta_p^{(SH)}$	: Sınırlı hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı
κ	: İzin verilen görelî kat ötelemelerinin tanımında betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler için farklı olarak kullanılan katsayı
λ	: Görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayı
ρ_{sh}	: Perdede yatay gövde donatılarının hacimsel oranı
$\rho_{sh,min}$	: İki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanı
ρ_x	: (X) doğrultusundaki enine donatı hacim oranı
ρ_y	: (Y) doğrultusundaki enine donatı hacim oranı
ϕ_u	: Göçme öncesi eğriliği
ϕ_y	: Akma eğriliği
ω_{we}	: Etkin sargı donatısının mekanik oranı

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1: Eşdeğer Deprem Yükünün Kullanılabileceği Binalar (TBDY 2018).....	5
Tablo 1.2: Donatı Çeliklerine Ait Bilgiler.	18
Tablo 2.1: Deprem Tasarım Sınıfları.	19
Tablo 2.2: TBDY’ de Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları.....	19
Tablo 2.3: Yüksek Bina Tasarım Kabulleri.	20
Tablo 2.4: Tasarım Aşaması II İçin Kullanılacak Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları...	21
Tablo 3.1: Katlara Göre Eleman Kesitleri.....	26
Tablo 3.2: C40 Betonun Mekanik Özellikleri.....	26
Tablo 3.3: B420C Donatı Çeliğinin Mekanik Özellikleri.....	26
Tablo 3.4: Döşeme Çalışma Biçimi ve Kalınlık Seçimi.	30
Tablo 3.5: Devrilme Moment Kıyaslaması.....	40
Tablo 3.6: Modal Kütle Katılım Oranları	43
Tablo 3.7: Eşdeğer Deprem Yükü Kontrolü	44
Tablo 3.8: Eşdeğer Deprem Yükü Çarpım Oranı.....	44
Tablo 3.9: Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü.....	47
Tablo 3.10: Burulma Düzensizliği Oranları.....	49
Tablo 3.11: B1 Düzensizliği Kontrolü	51
Tablo 3.12: Yumuşak Kat Kontrolü.....	52
Tablo 3.13: İkinci Mertebe Etkileri Kontrolü.	54
Tablo 3.14: Kirişler İçin Donatı Alanları	56
Tablo 3.15: Kirişler İçin Mesnet Donatıları	57
Tablo 3.16: Kirişler İçin Kesme Donatısı Hesabı	57
Tablo 3.17: Kirişlerin tüm Donatıları.....	62
Tablo 3.18: Kolon Eksenel Yük Kontrolü.	62
Tablo 3.19: Kolon Kapasiteleri.	63
Tablo 3.20: Güçlü Kolon Zayıf Kiriş Kontrolü (mm ²).	63
Tablo 3.21: Kolon Kesme Donatısı Hesabı.....	64
Tablo 3.22: Kolon Kesme Güvenliği İçin Kuvvet Seçimi.	64
Tablo 3.23: Kolon Vc Kontrolü (kN).....	65
Tablo 3.24: Kesme Hesabının Uygunluğunun Kontrolü.....	65
Tablo 3.25: Kuşatılmamış Birleşim Kontroller.....	66
Tablo 3.26: Tasarım Aşaması II Kontrolü.	75
Tablo 3.27: Kolon Akma Yüzeylerinin Elde Edilmesi	78
Tablo 3.28: Kolon Plastik Mafsallarda Kullanılacak Veriler.....	80
Tablo 3.29: Kolon Rijitlik Faktörü.....	81
Tablo 3.30: Kirişe Ait Plastik Mafsallarda Değerleri	83
Tablo 3.31: Kirişe Ait Etkin Rijitlik Katsayısı.....	83
Tablo 3.32: Plastik Mafsallarda Tanımlaması İçin Değerler.	88
Tablo 3.33: L2 Perdesi Rijitlik Azaltma Katsayısı.	89
Tablo 3.34: Kirişlere Ait Dönme ve Hasar Durumu.	97
Tablo 3.35: Kolon Sınır Değerleri.	98
Tablo 3.36: Perde Sınır Değerleri.	98
Tablo 3.37: TBDY 2018 Performans Hedef Tablosu.	99
Tablo 3.38: Seçilen Deprem Kayıtları.....	105

Tablo 3.39: Eleman Hasar Durumları.	115
Tablo 4.1: Taban Kesme Kuvvetleri ve Yerdeğiştirmeler.	136
Tablo 4.2: Taban Kesme Kuvveti ve Yerdeğiştirme Sonuçları.	138

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Düzlem Çubukta Moment-Eğrilik Değişimi (Özer,2009).....	8
Şekil 1.2: Sürekli Kirişte Mesnet ve Açıklık Bölgesindeki Eğrilik Değişimi (Celep, 2020).	9
Şekil 1.3: Rijitlik Çarpanı (TBDY 2018).	10
Şekil 1.4: Statik İtme Eğrisi ve Modal Kapasite Eğrisi.	12
Şekil 1.5: Sa-T ‘den Sa-Sd’ye dönüşüm.....	13
Şekil 1.6: Sargılı ve Sargısız Beton Modeli.	16
Şekil 1.7: Donatı Çeliği Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi.	18
Şekil 3.1: 21 Katlı Binanın ETABS model.....	25
Şekil 3.2: Perdenin Kolon Olarak Kabul Edildiği Modelin Planı.	28
Şekil 3.3: Perdeleri Kabuk Sonlu Eleman Olarak Modellenen Binanın Planı.	29
Şekil 3.4: Türkiye Deprem Tehlike Haritası.....	32
Şekil 3.5: AFAD Verileri.....	33
Şekil 3.6: Yerel Zemin Etki Katsayısı F_s	34
Şekil 3.7: Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1	34
Şekil 3.8: DD-2 Yatay Elastik Deprem Spektrumu.....	35
Şekil 3.9: DD-2 Düşey Elastik Deprem Spektrumu	35
Şekil 3.10: Bina Kullanım Sınıfı.	36
Şekil 3.11: Deprem Tasarım Sınıfı.	36
Şekil 3.12: Bina Yükseklik Sınıfı.	37
Şekil 3.13: Performans Hedefleri.	37
Şekil 3.14: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D) Seçimi.	38
Şekil 3.15: Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi Tanımlanması-1.	39
Şekil 3.16: Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi Tanımlanması-2.	40
Şekil 3.17: Response Spektrum Tanımlaması.	41
Şekil 3.18: Düşey Spektrum Eğrisinin Tanımlanması.....	42
Şekil 3.19: Deprem Etkisinin Tanımlanması.....	42
Şekil 3.20: Ex Deprem Yüğü Düzeltmesi.	44
Şekil 3.21: AFAD’dan Elde Edilen Veriler.	46
Şekil 3.22: DD-2 Yatay İvme Spektrumu.....	47
Şekil 3.23: Planda Düzensizlik Durumları.	48
Şekil 3.24: Düşeyde Düzensizlik Durumları.	48
Şekil 3.25: Burulma Düzensizliği.....	49
Şekil 3.26: Döşeme Süreksizliği.....	50
Şekil 3.27: Çıkıntı Düzensizliği.....	51
Şekil 3.28: B3 Türü Düzensizlikler.	53
Şekil 3.29: Moment Kapasite Hesap Seçimleri.	67

Şekil 3.30: Kolon Donatı Gösterimi.....	68
Şekil 3.31: Perde Eksenel Yük Sınırı.....	69
Şekil 3.32: Perde Momentlerinin Düzenlenmesi.....	71
Şekil 3.33: 30X800 cm Boyutlu L Perdenin Tek Kol Görünümü.....	73
Şekil 3.34: Performans Hedef Seçimi.....	73
Şekil 3.35: Etkin Kesit Rijitlikleri.....	74
Şekil 4.36: DD-4 Spektrum Eğrisi.....	74
Şekil 3.37: Beton ve Donatı Beklenen Dayanımlar.....	76
Şekil 3.38: Kolon Akma Yüzeyleri.....	77
Şekil 3.39: C105X105 Kolonuna Ait Moment Eğrilik Bağıntısı.....	79
Şekil 3.40: Kirişe Ait Moment-Eğrilik İlişkisi.....	82
Şekil 3.41: ETABS'da Rijitlik Faktörü Tanımlaması.....	84
Şekil 3.42: ETABS Section Designer Eklentisi İle Perde Kesiti Tanımlama.....	85
Şekil 3.43: Perde Yerleşiminin Gösterilmesi.....	85
Şekil 3.44: L1 Perdesi Akma Yüzeyleri.....	86
Şekil 3.45: Kolona Ait Moment-Eğrilik İlişkisi.....	87
Şekil 3.46: Kiriş Plastik Mafsal Ataması.....	90
Şekil 3.47: C105X105 Kolonu Plastik Mafsal Ataması.....	91
Şekil 3.48: Doğrusal Olmayan Yükleme.....	92
Şekil 3.49: Doğrusal Olmayan Yükleme Nokta Seçimi.....	93
Şekil 3.50: Statik İtme Yükleme Tanımlaması-1.....	94
Şekil 3.51: Statik İtme Yükleme Tanımlaması-2.....	94
Şekil 3.52: Statik İtme Eğrisi.....	95
Şekil 3.53: DD-1 Yatay Elastik Spektrumu.....	99
Şekil 3.54: DD-1 Elastik Talep Eğrisi.....	100
Şekil 3.55: Bina Performans Noktası.....	100
Şekil 3.56: Katlara Göre Maksimum Yer Değiştirmeler.....	101
Şekil 3.57: Statik İtme Görelî Yer Değiştirme Oranı.....	101
Şekil 3.58: Katlara Gelen Maksimum Kuvvetler.....	102
Şekil 3.59: PEER Deprem Seçim Parametreleri.....	104
Şekil 3.60: Ölçeksiz ve Ölçeklenmiş Deprem Kayıtları.....	105
Şekil 3.61: Hedef Spektruma Göre Ölçeksiz Kayıtların Spektrumu.....	106
Şekil 3.62: DD-1 Depremi Spektruma Göre Ölçekli Kayıtlar.....	106
Şekil 3.63: Ortalaması Alınmış Kayıtların DD-1 Spektrumu İle Kıyaslanması.....	106
Şekil 3.64: Doğrusal Olmayan Yük G+0.3q Deprem Öncesi Yüklemesinin Tanımlaması.....	107
Şekil 3.65: Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Yüklemenin Tanımlanması.....	107
Şekil 3.66: Deprem Kayıtları Altında Hesaplanan Maksimum Kat Yerdeğiştirmeleri.....	108
Şekil 3.67: Görelî Yerdeğiştirme Oranları.....	109
Şekil 3.68: Görelî Yerdeğiştirme Oranları-TBDY 2018 Sınırı.....	109
Şekil 3.69: Katlara Gelen Kuvvetler.....	110
Şekil 3.70: Perde Kabuk Model.....	110
Şekil 4.71: Tüm Kayıtların Yerdeğiştirmesi.....	111
Şekil 3.72: Tüm Kayıtların Görelî Yerdeğiştirme Oranları.....	112
Şekil 3.73: Tüm Kayıtların Maksimum Kat Kuvvetleri.....	112

Şekil 3.74: Taban Kesme Kuvveti-Tepe Yerdeğiştirmelerin Maksimum Değerleri.	115
Şekil 4.1: Maksimum Kat Yerdeğiştirmeleri.....	124
Şekil 4.2: Tüm Kayıtların ve Doğrusal Hesabın Kat Yerdeğiştirme Sonuçları.....	125
Şekil 4.3: Ortalama ve Statik İtme Analizi Sonuçları.....	127
Şekil 4.4: Tüm Analizlere Ait Görelı Yerdeğiştirmenin Yükseklik Boyunca Değişimi Sonuçları.	128
Şekil 4.5: Tüm Sonuçların Tek Grafikte Gösterilmesi.	129
Şekil 4.6: Ortalama ve Statik İtme Analiz Sonuçları.....	130
Şekil 4.7: Tüm Analizlere Ait Katlara Gelen Kuvvetler.	131
Şekil 4.8: Tüm Sonuçlara Ait Kat Kuvvetlerinin Beraber Gösterilmesi.	133
Şekil 4.9: Perde Kabuk Model ve Doğrusal Çözüm Taban Kesme Kuvvetleri ve Yerdeğiştirmeler.....	136
Şekil 4.10: Perde Kolon Model ve Doğrusal Çözüm Taban Kesme Kuvvetleri ve Yerdeğiştirmeler.....	137
Şekil 4.11: Taban Kesme Kuvveti ve Yerdeğiştirmeler.	137
Şekil 4.12: Tüm Çözömlere Ait Taban Kesme Kuvvetleri ve Yerdeğiştirmeler.....	138

KISALTMALAR

TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
DD-1	: Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1
DD-2	: Deprem Yer Hareketi Düzeyi -2
DD-3	: Deprem Yer Hareketi Düzeyi -3
DD-4	: Deprem Yer Hareketi Düzeyi -4
DGT	: Dayanıma Göre Tasarım
ŞGDT	: Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım
ZTADOA	: Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz
SH	: Sınırlı Hasar
KH	: Kontrollü Hasar
GÖ	: Göçme Öncesi Hasar
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
TS 498	: Bina Elamanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri
TS 500	: Betonarme Binaların Tasarım ve Binam Kuralları
PEER	: Pacific Earthquake Engineering Center

GİRİŞ

İnsanlığın dünya üzerindeki yaşamı başladığından bu yana en önemli amacı güvenilir bir yere sığınmak olmuştur. Bu amaçla yıllar geçtikçe edinilen tecrübelerle mühendislik çalışmaları yoğunlaşmış ve bu disiplinin bir standardı oluşmuştur. Ülkemizde de yaşanan depremlerden çıkarılan derslerle yönetmelikler oluşturulmuş ve güncel olarak da 2018 yılında taslak bir deprem yönetmeliği oluşturulmuş olup ve bu yönetmelik 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe girmiştir.

TBDY 2018 ile birlikte mühendisler birçok yeni kavramla tanışmış oldu. Bunlardan biri artık spektral ivme katsayıları bölge olarak değil de doğrudan koordinat üzerinden elde edilebiliyor olmasıdır. Bir diğer husus da bina yükseklik sınıfı kavramının tanıtılmış olmasıdır. Tezin de konusu olan yüksek binaların tasarımı artık bina yükseklik sınıfına bağlanmıştır.

Yeni yönetmelik ile birlikte performansa dayalı tasarım daha da önem kazanmıştır. Özellikle yönetmeliğin 5. Bölümü bu konuyu ayrıntılı bir şekilde açıklamıştır. Performans kavramıyla binalar daha ayrıntılı ve gerçeğe yakın sonuçlarla modellenebilmektedir.

ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Bu çalışmanın içeriğini yüksek bina sınırındaki bir binanın hem doğrusal olarak çözümü hem de doğrusal olmayan yöntemle çözümü yapıp sonuçların irdelenmesi oluşturacaktır. Burada TBDY 2018'in Bölüm 13'deki yüksek bina tasarımıyla alakalı kurallar uygulanacaktır.

Amacı daha anlaşılır kılması için bir örnek verilmesi daha açıklayıcı olacaktır. Eğer deprem tasarım sınıfı 1, 1a, 2, 2a ve bina yükseklik sınıfı 1 ise burada 70 m'nin üzerinde yapılacak her bina yüksek bina kurallarına göre çözülmelidir. Bizim buradaki amacımız yönetmeliğin bu kuralı koymadaki amacını örnek bir çözümle göstermektir. Bunun yanında da daha birçok kıstas bu tez kapsamında irdelenecektir.

Tez çalışması 21 katlı yüksek bina sınırında bulunan bir binanın hesap esaslarını içermektedir. Burada yüksek bina TBDY 2018 Bölüm 13 takip edilerek üç aşamada çözülmüştür. 1. Tasarım Aşaması'nda dayanıma göre tasarım adımları takip edilmiştir. 2. Tasarım Aşaması'nda ise performans hedefine göre bina dayanıma göre tasarım ya da şekil değiştirmeye göre tasarım adımları izlenerek binanın analizi yapılır. İlk iki aşamayı güvenli bir şekilde geçen bina 3. Tasarım Aşaması'nda zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile çözümler ve sonuçlar yorumlanarak binanın performans hedefi belirlenir.

1. BİNA SİSTEMLERİNİN HESAP ESASLARI

Bir binanın tasarımı yönetmeliklerin ve standartların öngördüğü kurallar uygulanarak gerçekleştirilebilir. Binalar inşaat aşamasında kendi ağırlığını taşımaya başlar ve bu yüklemeler zamanla olduğu için bina bunları taşıırken şekil değiştirme ve yerdeğıştirmeler de yükle orantılı olarak zamanla ortaya çıkar. Herhangi beklenmedik bir yapısal sorun zamanla kendini gösterdiğinden buna tedbir de alınabilir. Lakin deprem etkisinde bina bu şekilde davranamaz. Çünkü bina o zamana kadar yatay yükle yüklenmemiştir ve yükleme zamanı kısadır.

Depremin salınımları binada yerdeğıştirme, hız ve ivme meydana getirirler. Genellikle yatay olan bu ivme binada kütle ile orantılı atalet kuvvetleri oluşturur ve binayı salınım yapmaya zorlar ve kesitlerde kesit etkileri meydana gelir. Kapasitenin üzerine çıkan kesit etkileri elastik ötesi şekil değıştirmelere ve hasara sebep olur. Yönetmeliklerde tanımlanan çeşitli performans durumları için kontrollü hasar (elastik ötesi şekil değıştirmeler) verilmiş ve tasarımın bu kuralları sağlayacak şekilde yapılması öngörülmüştür. Bu şekilde hem can hem de mal kaybını en aza indirerek toplumsal hasarı en aza indirmek amaçlanır.

Yıllar süren tecrübe ve çalışmalarla bina tasarım hesap esasları belli bir seviyeye gelmiştir. İlerleyen sayfalarda bu hesapların ayrıntıları anlatılacaktır.

1.1. DOĞRUSAL HESAP YÖNTEMLERİ

Bina tasarımında temel amaçların ilki tasarımı gerçekleştirilen binanın düşey yükler ve yatay yükleri belirli güvenlikle karşılamasıdır. Bu da binaya etkiyen yükler ve bina elemanlarının boyutlarının düzenlenmesiyle elde edilir. Deprem yüklerinin meydana gelme ihtimali düşey yüklere göre çok düşük olduğu için deprem yüklerinde kontrollü hasar (doğrusal ötesi davranış) kabul edilir. “Kontrollü hasar” kelimesi “doğrusal ötesi şekil değıştirme meydana gelirken yükün taşınmaya devam edilmesi” yani “güç tükenmenin olmaması” anlamında kullanılır.

Hemen hemen tüm yönetmeliklerde olduğu gibi TBDY 2018 de belirli bir noktaya kadar olan hasarı kabul eder. Bu hasarın can kaybına sebebiyet vermeyecek ve onarılabilir düzeyde olması önemlidir. Bu hasar kabulünü bina tasarımında tanımlamak ya doğrusal bir analiz yapıp yönetmeliğin belirlediğı doğrusal olmayan

analiz yaparak doğruluğu hesap sonucunda sayısal bir tasarıma dayanan sonuçlarla göstermektedir. Doğrusal olmayan analizde izlenen yolların ve kabullerin çokluğu bu işlemleri hacimli bir hale getirmiştir. Bundan dolayı yönetmelik bu iki yöntem arasında bir katsayı tanımlayarak doğrusal çözüm yöntemi kullanılarak hesap edilen binanın doğrusal olmayan hareketini tahmin etmeye çalışmıştır. TBDY 2018 Bölüm 4’de taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısı olarak **Denklem 1.1**’de bu tanımlama yapılmıştır.

$$\frac{R}{I} = \mu_k D \quad (1.1)$$

Burada R taşıyıcı sistem davranış katsayısı, μ_k öngörülen süneklik kapasitesi, D dayanım fazlalığı katsayısı ve I ise bina önem katsayısını ifade eder. Deprem yükü azaltma katsayısı R_a ise **Denklem 1.2**’de gösterilmiştir. Deprem yükü azaltma katsayısının periyotla ilişkisi de Denklem 2.3’ gösterilmiştir.

$$R_a(T) = \frac{f_c(T)}{f_d(\mu_k, T)} \quad (1.2)$$

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

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D \right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (1.3)$$

Bu değerlerin seçimi için TBDY 2018 Bölüm 4’deki Tablo 4.1’de verilmiştir. Yönetmeliğin amacı elasto-plastik davranışı doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılmadan ortaya çıkarmaktır. TBDY 2018 Tablo 4.1 incelendiğinde R_a ’nın elde edilmesi R, I ve BYS (Bina Yükseklik Sınıfı)’ye bağlanmıştır. Sünek bir bina davranışının bu şekilde elde edilebileceği düşünülmüştür. R katsayısı sünekliğe bağlı olduğu için **Tablo 4.1** incelendiğinde süneklik düzeyi yüksek binalar için verilen katsayı diğer değerlere göre daha büyüktür.

Bir diğer önemli husus da kapasite tasarım ilkesidir. Yönetmelik binada sünek bir güç tükenmesini sağlamayı öngörmektedir. Bunun için de kapasite ilkesine önem

verilmiştir. Örnek olarak kolonların kirişlerden güçlü olması, kiriş ve kolonların kesme kapasitelerinin eğilme kapasitelerinden yüksek olması vb verilebilir.

Yönetmelik taşıyıcı sistem analizinde kullanılacak doğrusal metotları Bölüm 4’de eşdeğer deprem yükü yöntemi ve modal hesap yöntemleri olarak açıklamıştır.

○ Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

Binanın birbirine dik iki deprem doğrultusu için de ayrı ayrı hesap yapılır.

Tablo 1.1’de Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi’nin kullanılabilceği binalar gösterilmiştir.

Tablo 1.1: Eşdeğer Deprem Yükünün Kullanılabilceği Yükseklik Sınıfı (TBDY 2018).

Bina Türü	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfı	
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a, 4, 4a
Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalar	BYS ≥ 4	BYS ≥ 5
Diğer tüm binalar	BYS ≥ 5	BYS ≥ 6

Tablo 1.1’den de anlaşılacağı üzere Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi birinci titreşim modlarının etkili olduğu kat adedi düşük binalarda, olabildiğince düzenli binalarda ve toplumsal önemi büyük olmayan binalarda kullanılmasına izin verilmiştir. Çünkü bu yöntemde binanın sadece birinci hakim modu dikkate alınarak hesaplar bu mod üzerinden yapılır. Bilindiği üzere yüksek binalarda binanın diğer modları da etkilidir. Yönetmelik BYs sınırı getirerek eşdeğer deprem yükünün kullanım alanındaki binaları sınırlandırmıştır. Toplam eşdeğer deprem yükünün belirlenmesi için **Denklem 1.4** kullanılır.

$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g \quad (1.4)$$

Burada $S_{aR}(T_p^{(X)})$ göz önüne alınan (X) deprem doğrultusunda hesaplanan binanın hakim doğal titreşim periyodu $T_p^{(X)}$ gözönüne alınarak hesaplanan Azaltılmış Tasarım Spektral İvmesi’ni göstermektedir. S_{DS} ise kısa periyot için tanımlanan

tasarım spektral ivme katsayısıdır. Yöntemin ayrıntıları TBDY 2018 Bölüm 4'de açıklanmıştır.

o Modal Hesap Yöntemleri

Bu yöntemlerde binanın ileri modları da hesaba katılır. Bu yöntemler mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında mod toplama yöntemleridir. Yeterli yaklaşımın sağlanması için yönetmelik gözönüne alınan modların modal etkin kütlelerinin toplamının bina toplam kütlelerinin %95'inden daha az olmaması kuralını koymuştur (**Denklem 1.5**).

$$\sum_{n=1}^{YM} m_{txn}^{(X)} \geq 0.95 m_t \quad ; \quad \sum_{n=1}^{YM} m_{ty n}^{(Y)} \geq 0.95 m_t \quad (1.5)$$

Mod birleştirme yönteminde eşdeğer deprem yükü yönteminde olduğu gibi deprem spektrumundan faydalanır. Belirlenen spektruma göre her bir titreşim modunda davranış büyüklüklerinin en büyük değerleri modal hesap yöntemi ile hesaplanır. Yeteri kadar titreşim modu için hesaplanan en büyük modal davranış büyüklükleri daha sonra istatistiksel olarak birleştirilerek en büyük davranış büyüklüklerinin yaklaşık değerleri elde edilir.

Mod Toplama Yöntemi'nde, depremin eşzamanlı olarak birbirine dik iki doğrultuda etkimesi ile her bir titreşim moduna ait modal davranış büyüklükleri zaman tanım alanında modal hesap yöntemi ile hesaplanır. Yeteri kadar titreşim modu için hesaplanan eş zamanlı davranış büyüklükleri daha sonra zaman tanım alanında toplanarak davranış büyüklüklerinin zamana göre değişimi ve tasarımda esas alınmak üzere en büyük değerleri elde edilir.

1.2. ŞEKİL DEĞİŞTİRMEYE GÖRE DEĞERLENDİRME VE TASARIM

Binaların dayanıma göre doğrusal yöntemler kullanılarak tasarımında, taşıyıcı sistem geometrisi seçilir ve kesit boyutları (döşeme kalınlıkları, kiriş ve kolon kesitleri gibi) tahmin edilir. Daha sonra sistem düşey (1.4G+1.6Q) ve deprem yükleri altında (G+Q+E gibi) altında çözülür. Burada deprem etkisinde doğrusal olmayan davranış deprem yükü azaltma katsayısı ile gözönüne alındığı için çözümde depremler durumunda da doğrusal yöntem kullanılır. Kesitlere ve elemanlara etkiyen kuvvet ve momentler

esas alınarak donatı hesaplanarak kesit kontrolü yapılır. Yeterli olmayan kesitler büyütülerek ve gereksiz büyük seçilen kesitler varsa küçültülerek hesap yenilenir.

Binaların doğrusal olmayan tasarımı aslında bir değerlendirme olarak kabul edilebilir. Doğrusal olmayan değerlendirmede taşıyıcı sistem elemanlarının kesit boyutlarının ve donatıların belirli olması gerekir. Bu sebepten önce taşıyıcı sistem dayanıma göre tasarım kuralları (doğrusal hesap yöntemleri, eşdeğer deprem yükü yöntemi) kullanılarak tasarlanır, elemanların kesit boyutları ve donatılar belirlenir. Ancak bu adımdan sonra şekil değiştirmeye göre değerlendirmeye geçilebilir. Belirlenen taşıyıcı sistemin elastik ötesi şekil değiştirmesi kabul edilerek çözüm yapılır.

Zorlanan sünek kesitler kapasitelerine eriştikten sonra elastik ötesi şekil değiştirme yaparlar, artan yük daha az zorlanan kesitler tarafından karşılanır. Böylece sistemin elastik ötesi artan kapasitesi ortaya çıkar. Ancak zorlanan ve elastik ötesi şekil değiştiren kesitlerdeki şekil değiştirmelerin hesaplanarak (kontrollü hasar parametrelerinin, betonda birim kısalma, donatıda birim uzama ve kısalma, kesitlerde kesit dönmesi gibi) a) yeterli süneklik (şekil değiştirme kapasitesinin bulunması gibi) bakımından ve b) kabul edilebilir olması bakımından (konuttaki hasar ile hastanedeki hasarın farklı olması gibi) kontrol edilmesi gerekir. Kontrolün sağlanamaması durumunda kesit ve donatı değiştirilerek doğrusal tasarımın yapılması ve şekil değiştirmeye bağlı değerlendirmenin yenilenmesi gerekir.

Binaların tasarım aşaması bir ön boyutlandırma gerektirir. Bu da doğrusal bir yöntemle yapılabilir. Bir sonraki adım ise bu boyutlandırmanın binadan istenen performansı sağlayıp sağlamadığının kontrolüdür. Dayanıma göre tasarım yapıldığında kapasite binaya gelen yükten fazlaysa binanın tasarımının geçerli olduğu sayılır. Burada ise seçilen deprem kayıtları binaya etkitilir. Deprem binadan talebi ve binanın buna verdiği tepki hesap edilerek daha gerçekçi bir hesap yapılmış olur. Hesaplarda binada hasar alacak bölgelerin tespiti yapılmalıdır. Bu da plastik mafsalları tanımlamaları yapmayı gerektirir. Plastik mafsalları ise binada oluşacak hasar bölgeleri anlamına gelir. Örneğin kirişlerin kolonlarla birleştiği birleşim bölgelerinde deprem esnasında hasar oluşacağını öngörerek bu kısma hasar tanımlaması yapılarak kirişin geri

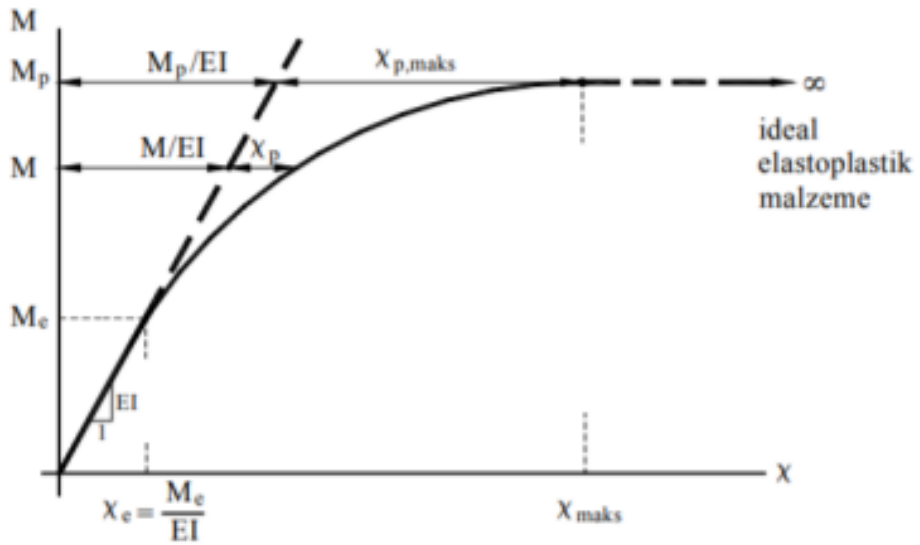
kalan kısımda ise elastik davrandığı kabulü yapılır. Plastik mafsallar yönetmelikte iki şekilde tanımlanmıştır. Bunlar yığılı ve yayılı plastik mafsal modelleridir.

○ Yığılı Plastik Şekil Değiştirmeler Kabulü İle Çözüm

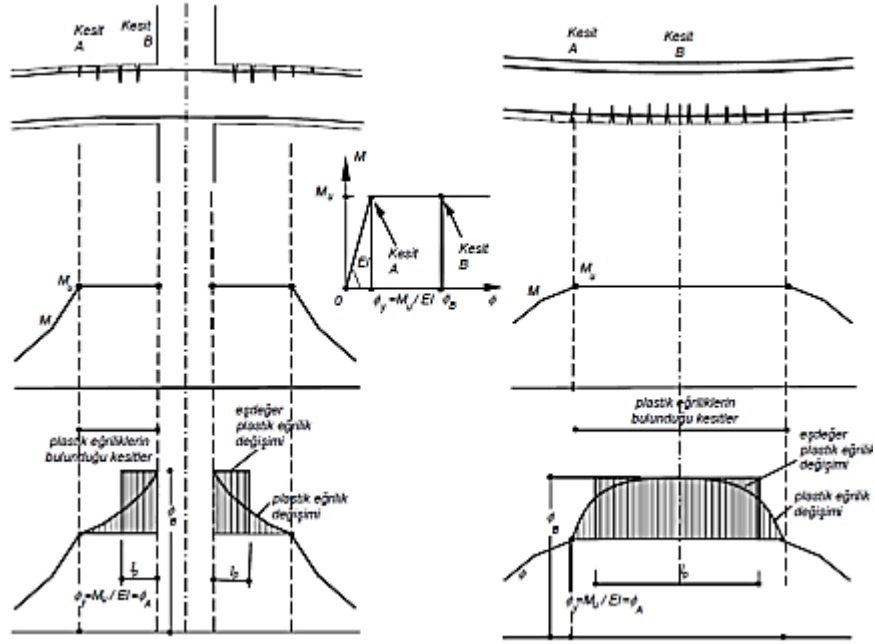
Bu modelde plastik mafsallar kolon, kiriş ve çubuk olarak modellenebilen perde elemanlarda sadece zorlanan kesitte tanımlanır. Bu kolonların alt ve üst uçları, perdelerin mesnet bölgeleri ve kirişlerin kolon veya perde ile birleştikleri noktalar olabilir. Yığılı plastik mafsal modeli kesitlerin kapasitelerine eriştiği ve artık yük gerilmelerinin artması söz konusu olmayıp elastik ötesi şekil değiştirmeye başladığı anlamına gelir (Şekil 1.1).

Plastik mafsalsın tanımlanacağı boy plastik mafsal boyu olarak nitelendirilir ve geri kalan boy elastik çalışmaya devam eder kabulü yapılır. Yönetmeliğe göre bu boy (L_p) çalışan doğrultudaki kesit boyutunun (h) yarısı olarak alınabilir ($L_p=0,5h$).

Şekil 1.2’de ise sürekli bir kirişte mesnet ve açıklık bölgesinde plastik eğrilik değişimi gösterilmiştir.



Şekil 1.1: Kesitte Moment-Eğrilik Değişimi (Özer,2009).



Şekil 1.2: Sürekli Kirişte Mesnet ve Açıklık Bölgesindeki Kesitlerde Eğrilik Değişimi (Celep, 2020).

○ Yayılı Plastik Şekil Değişirmeler Kabulü İle Çözüm

Bu modelde doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin yayılı bir şekilde meydana geldiği kabulü yapılır. Genellikle perdeler için bu model kullanılır. Elastik ötesi davranışın sonlu uzunluktaki uç bölgeler veya elemanın tüm uzunluğu boyunca yayılı biçimde olduğu kabulü yapılır. Yapılacak modellemede perde sonlu parçalara ayrılır. Her parçada beton ve donatının bulunduğu katmanlar kabul edilir. Beton ve donatının ilgili gerilmeler altında doğrusal olmayan davranışı tanımlanarak her bir yükleme için ayrı çözüm yapılır. Doğal olarak süperpozisyon kuralı geçerli olmaz. Buralarda yönetmelikte verilen doğrusal olmayan malzeme modelleri kullanılır.

1.3. TAŞIYICI SİSTEMİN MODELLENMESİ

Taşıyıcı sistem elemanları döşeme, kiriş, kolon perde ve temellerdir. Genellikle temellerde doğrusal ötesi şekil değiştirme meydana gelmeyecek şekilde düzenlenir. Döşemeler kabuk eleman olarak modellenerek düzlem içi gerilmeler de göz önüne alınır. Temel gibi, döşemelerde de elastik ötesi davranış beklenmez. Perdeler için iki modelleme imkânı mevcuttur. Birinci modelleme türü kolona benzetilerek yapılır. İkinci modelleme türünde ise düzlem gerilme durumu kabul edilerek beton ve donatı

katmanları kabul edilerek yapılır. Kolon ve kirişlerde elastik ötesi şekil değiştirmeler deprem yüklerinde uç bölgelerinde oluşur. Çerçeve olarak hazırlanan modele deprem etkisi iki birbirine dik yatay doğrultu için etkililir. Betonun çatlamasından ve beton ve donatının doğrusal olmayan davranışı sebebiyle rijitlik kaybı yönetmelikte elemana bağlı olarak **Tablo 1.3**'de verilmiştir. Beklendiği gibi kirişlerde rijitlik kaybı kolonlardan daha fazladır. Doğrusal hesapta bu adım rijitlik azaltma katsayılarıyla dikkate alınır.

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

Tablo 1.3: Rijitlik Çarpanı (TBDY 2018).

Doğrusal olmayan tasarımda ise yönetmelik daha ayrıntılı bir rijitlik hesabı öngörmüştür. Yönetmelik yığılı plastik mafsallı model için bu katsayıların hesaplanmasını **Denklem 1.6** ile belirlemiştir.

$$(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y 3} \quad (1.6)$$

Burada L_s kesme açıklığını ifade eder. Kolon ve kirişlerde açıklığın yarısı perdelerde ise her katın tabanından ölçülen perde yüksekliğinin yarısı olarak alınabilir. M_y etkin akma momenti θ_y ise akma dönmesini temsil eder (**Denklem 1.7**)

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{yc}}{8\sqrt{f_{cc}}} \quad (1.7)$$

Denklem 1.7'de h kesit yüksekliğini, Φ_y plastik mafsall kesitindeki akma eğriliğini, d_b mesnede kenetlenen donatı çapını, η ise katsayı olup kiriş ve kolonlarda 1 perdelerde ise 0,5 alınabilir.

1.4. DOĞRUSAL OLMAYAN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Şekil değiştirmeye göre tasarımda doğrusal olmayan çözüm yöntemleri şunlardır:

- Tek Modlu Statik İtme Yöntemleri
- Çok Modlu Statik İtme Yöntemleri
- Zaman Tanım Alanında Çözüm Yöntemi

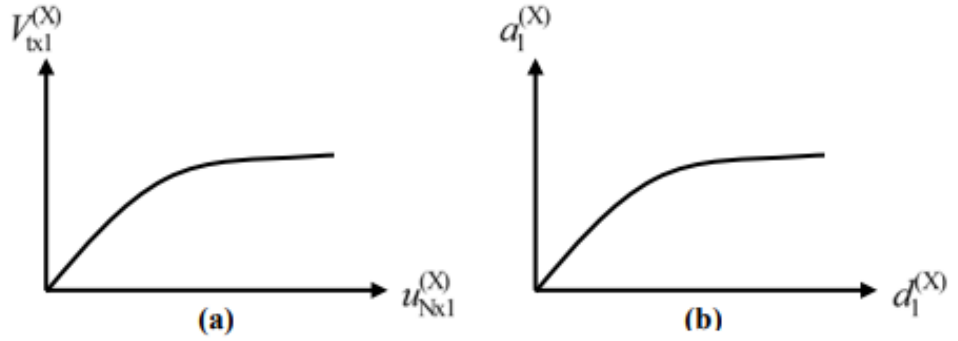
Deprem yönetmeliğine göre Tek Modlu Statik İtme Yöntemleri yüksekliği düşük $BYS \geq 5$ olan ve verilen şartları sağlayan binalar için, Çok Modlu Statik İtme Yöntemleri $BYS \geq 2$ olan tüm binalar için ve Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Çözüm yöntemi ise tüm binaların deprem hesabında kullanılabilir. Yüksek binaların hesabında ise kullanımı zorunludur.

- Tek ve Çok Modlu Statik İtme Yöntemleri

Bu yöntem birinci modun etkili olduğu düşük katlı ve burulma düzensizliği sınırlı olan binalarda uygulanır. Yönetmeliğe göre bu yöntem herhangi bir kattaki ek dış merkezlik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranış dikkate alınarak hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1.4$ sağlaması gerekir. Buradaki amaç binadaki burulma düzensizliği sebebiyle dik doğrultuda ortaya çıkacak yerdeğiştirmelerin sınırlı kalmasının sağlanmasıdır. Bunun yanında bir diğer kural ise doğrusal elastik davranış dikkate alınarak hesaplanan hakim moda ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine oranının en az 0,70 olmasıdır. Bu şart ise, birinci modun diğer modlar yanında etkili olmasının kontrolü şeklindedir.

Çok Modlu İtme Yönteminde ise $BYS \geq 2$ olan tüm binalar için uygulanabilir. Eğer birinci modal kütle davranışa yeterli katkıda bulunamıyorsa yeterli kütle katılımının sağlanması için diğer modların katkıları göz önüne alınır. Ancak çok modlu statik itme yöntemlerinin çeşitli uygulamaları olup, modların etkilerinin birleşmesinde yaygın kabul görmüş bir uygulaması mevcut değildir (Celep,2020).

Tek modlu itme yönteminde bina öncelikle düşey yükler altında çözülür. Bu şekilde itme yönteminin başlangıç koşulu tanımlanmış olur ve bu yükleme ile bina adım adım itilmeye başlanır. Bunun sonucunda toplam yatay yük ile tepe noktanın yer değiştirmesi elde edilir. Bu eğriye statik itme eğrisi adı verilir. Analiz sonucunda elde edilen yer değiştirmeler, plastik dönmeler ve iç kuvvet değerleri hesaplanır. Statik itme eğrisi eksen dönüşüm değişimiyle birlikte modal kapasite eğrisine dönüştürülür (Şekil 1.4)



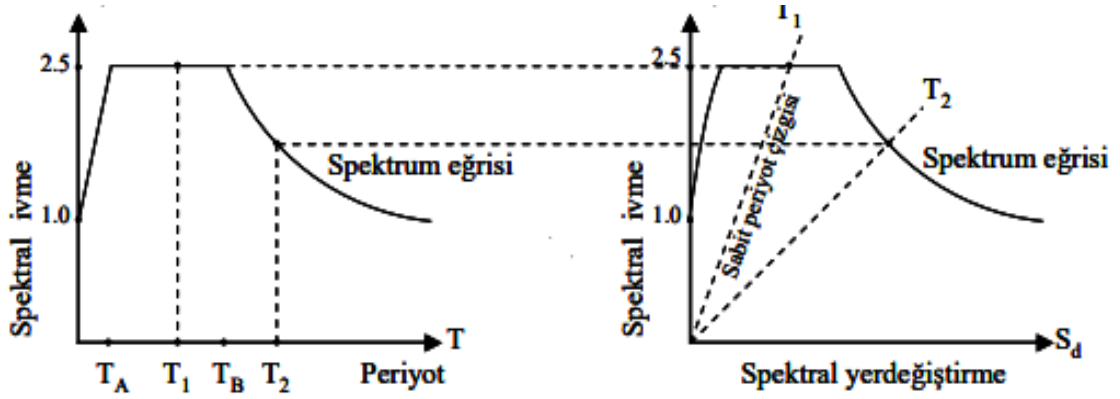
Şekil 1.3: Statik İtme Eğrisi ve Modal Kapasite Eğrisi.

Burada V taban kesme kuvveti a_1 modal ivmeye u ise d_1 modal yer değiştirmeye dönüştürülmüş olur. Yönetmelikte bu dönüşüm için önerilen formülasyonlar **Denklem 1.8**'de verilmiştir.

$$a_1^{(X,k)} = \frac{V_{txl}^{(X,k)}}{m_{txl}^{(X,1)}} \quad d_1^{(X,k)} = \frac{u_{Nxl}^{(X,k)}}{\Phi_{Nxl}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}} \quad (1.8)$$

Burada m_x birinci modal kütle, Φ_{N_x} birinci moddaki kat yer değiştirmesi vektörünü ifade eder.

Şekil 1.5'de görüldüğü üzere spektrum eğrisinde eksen dönüşümü yaparak spektral ivme-spektral yer değiştirme eğrisini elde etmek için **Denklem 1.8** kullanılır.



Şekil 1.4: Sa-T'den Sa-Sd'ye dönüşüm.

$$S_d = S_a \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2 \quad (1.8)$$

Böylece spektrum eğrisinden depremin talep eğrisi ve statik itmeden sistemin kapasite eğrisi bulunur. Ancak iki eğri aynı eksen takımına getirilmekle beraber, bunlardan talep eğrisi elastik davranışı esas aldığı halde, statik itme eğrisi elastik ötesi davranış kabulüyle elde edilmiştir. Eğer ikisi de elastik ötesi davranışı gözönüne alsaydı, iki eğrinin kesişme noktası olarak deprem etkilerinde oluşan durumu bulunmuş olacaktır. Kapasite (statik itme) eğrisinde elastik davranış başlangıçta çizilen eğri olacaktır. Bu durumda sistem elastik kabul edilerek deprem davranışı elde edilebilir ki, bu yüksek bir deprem kuvvetine karşı gelecektir. Bu kesişirme ile karşı gelen yerdeğiştirme de bulunabilir. Ancak bu elastik davranışı esas aldığı için kullanılabilir bir çözüm olmayacaktır.

Yapılan çalışmalar deprem altındaki elastik davranan sistemdeki yerdeğiştirmelerin elastik ötesi davranana göre daha büyük kuvvetler ortaya çıktığını göstermiştir. Ancak bu iki davranışta ortaya çıkan maksimum yerdeğiştirmelerin birbirine yakın olduğunu ortaya koymuştur. Buna Eşit Yerdeğiştirme Kuralı denir. Buna göre elastik davranışta bulunan yerdeğiştirmeye kapasite eğrisinde karşı gelen çözüm geçerli olur. Karşı gelen kuvvet de bulunabilir. Bu kuvvet elastik kuvvetten çok daha küçüktür. Bu iki kuvvet arasındaki oran dolaylı olarak deprem yükü azaltma katsayısı ile ilgilidir. Bu çözüm noktasındaki değerler incelenerek sistemin spektrumu verilen deprem altındaki davranışı (performansı) elde edilir.

o Zaman Tanım Alanında Çözüm Yöntemi

Bu yöntemle binanın doğrusal olmayan davranışı binanın hareket denklemlerinin doğrudan integrasyonu ile dikkate alınarak çözüme gidilir. Seçilen deprem ivme kayıtları eş zamanlı olarak iki doğrultuda etkitilir. Daha sonra kayıt eksenleri 90 derece döndürülerek işlemler tekrarlanır. Başlangıç yükü olarak binanın düşey yükler altında çözümünü kabul edilir. Deprem etkisindeki belirsizliği gözönüne almak için bu şekilde en az 11 kayıt kullanılarak toplamda 22 çözüm yapılarak elde edilen sonuçların mutlak değerce en büyük değerlerinin ortalaması alınır.

1.5. ŞEKİL DEĞİŞTİRME VE İÇ KUVVETLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

TBDY 2018 Bölüm 5.8’de binaların şekil değiştirme ve iç kuvvet sınırları performans düzeylerine göre açıklanmıştır.

Yayıllı plastik modeline göre yapılan hesaplar için:

Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için dikdörtgen kesitli kolon, giriş ve perdelerde **Denklem 1.9** dairesel kesitlerde ise **Denklem 1.10** kullanılır (TBDY 2018).

$$\varepsilon_c^{(G\ddot{O})} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (1.9)$$

$$\varepsilon_c^{(G\ddot{O})} = 0.0035 + 0.07\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (1.10)$$

Bu denklemlerdeki ilk terim sargısız betonun birim kısalmasına karşı gelmekte olup, ω_{we} etkin sargı donatısının mekanik oranını gösterir (**Denklem 1.11**). Görüldüğü gibi sargı bulunması durumunda müsaade edilen birim beton kısalması artırılmıştır.

$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh,min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (1.11)$$

Denklem 1.11’deki α_{se} sargı donatısı etkinlik katsayısını, $\rho_{sh,min}$ dikdörtgen kesitte iki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanını, f_{ywe} enine donatının ortalama (beklenen) akma dayanımını göstermektedir(**Denklem 1.12**)

$$\alpha_{sc} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \quad ; \quad \rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \quad (1.12)$$

A_{sh} ve ρ_{sh} gözönüne alınan doğrultuda enine donatının alanını ve hacimsel oranını, b_k dik doğrultudaki çekirdek boyutunu (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık), s enine donatı aralığını, b_o ve h_o sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutlarını, a_i bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı göstermektedir. Dairesel donatı etkinlik katsayısı ise **Denklem 1.13** ile verilmiştir

$$\alpha_{sc} = \left(1 - \frac{s}{2D}\right)^n \quad ; \quad \rho_{sh} = \frac{2A_{os}}{Ds} \quad (1.13)$$

Burada A_{os} spiral/sargı donatısının alanı, s sargı donatısı aralığı veya spiralin adımı, D ise spiral/sargı donatısı eksenleri arasındaki mesafe olup, dairesel enine donatı için $n=2$ ve spiral donatı için $n=1$ 'dir.

Bu performans düzeyi için donatı çeliği birim şekil değiştirmesi **Denklem 1.14** ile ifade edilmiştir. Burada ε_{su} çekme dayanımına karşı gelen uzamayı gösterir.

$$\varepsilon_s^{(G\ddot{O})} = 0.4\varepsilon_{su} \quad (1.14)$$

Yığılı plastik modeline göre yapılan hesaplar:

Göçmenin önlenmesi performans düzeyinde müsaade edilen mafsal dönmesi sınır için yapılacak hesap **Denklem 1.15** ile gösterilmiştir.

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s}\right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad (1.15)$$

Burada $\theta_p^{(G\ddot{O})}$ plastik mafsaldaki sınır dönme, Φ_u kesitin güç tükenme eğriliğini, son terim ise donatı sıyrılmasının kesit dönmesine olan katkısını göstermektedir.

Kontrollü hasar performans düzeyi için bu sınır geçmenin önlenmesi için elde edilen sınırın 0,75 katsayısı ile çarpılması ile elde edilir (**Denklem 1.16**).

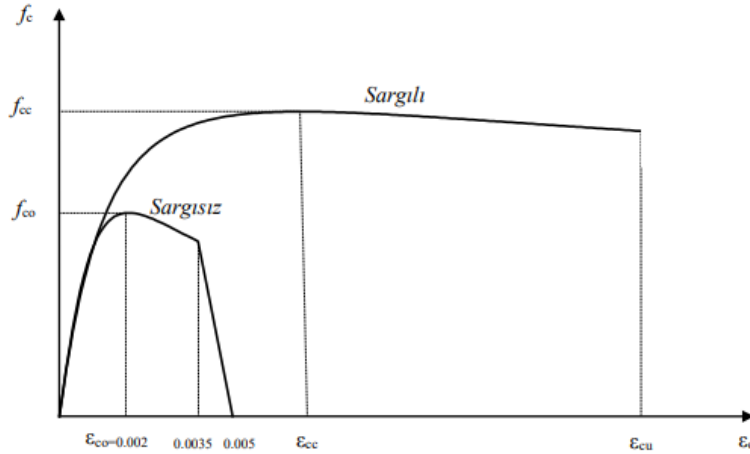
$$\begin{aligned}\varepsilon_c^{(KH)} &= 0.75 \varepsilon_c^{(GÖ)} & ; & & \varepsilon_s^{(KH)} &= 0.75 \varepsilon_s^{(GÖ)} \\ \theta_p^{(KH)} &= 0.75 \theta_p^{(GÖ)}\end{aligned}\quad (1.16)$$

Sınırlı hasar performans düzeyi için sınırlar **Denklem 1.17**'de verilmiştir. Bu performans düzeyinde plastik mafsal oluşumuna izin verilmez.

$$\begin{aligned}\varepsilon_c^{(SH)} &= 0.0025 & ; & & \varepsilon_s^{(SH)} &= 0.0075 \\ \theta_p^{(SH)} &= 0\end{aligned}\quad (1.17)$$

1.6. BETON VE DONATI MODELLERİ

TBDY 2018 Bölüm 5'de doğrusal olmayan analiz ile şekil değiştirmeye göre yapılan hesaplarda kullanılmak üzere sargılı ve sargısız beton için **Şekil 1.6**'daki model verilmiştir.



Şekil 1.5: Sargılı ve Sargısız Beton Modeli.

Burada f_c sargılı betonda basınç gerilmesi, ε_c ise basınç birim şekil değiştirmesi olmak üzere **Denklem 1.18**'deki bağıntı verilmiştir.

$$f_c = \frac{f_{cc} \cdot x \cdot r}{r - 1 + x^r} \quad (1.18)$$

Denklem 1.18'de verilen bağıntıdaki f_{cc} sargılı beton dayanımı, f_{co} sargısız beton dayanımı olmak üzere aralarındaki ilişki **Denklem 1.19** ile verilmiştir.

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \quad ; \quad \lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_c}{f_{co}} - 2 \frac{f_c}{f_{co}} - 1.254} \quad (1.19)$$

Burada f_c etkili sargılama basıncı olmak üzere dikdörtgen kesitlerde birbirine dik iki doğrultu için **Denklem 1.20** ile verilen değerlerin ortalaması olarak alınır.

$$f_{cx} = k_c \rho_x f_{yw} \quad ; \quad f_{cy} = k_c \rho_y f_{yw} \quad (1.20)$$

Bu denklemlerde f_{yw} enine donatının akma gerilmesini, ρ_x ve ρ_y ilgili doğrultudaki enine donatıların hacimsel oranını, k_c ise sargılama etkinlik katsayısıdır (**Denklem 1.21**).

$$k_c = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_o h_o}\right)^{-1} \quad (1.21)$$

Bu bağıntıdaki a_i kesit çevresindeki boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklık, b_o ve h_o göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutları, s boyuna doğrultuda etriyelerin eksenleri arasındaki aralık ve A_s ise boyuna donatı alanını ifade eder.

Denklem 1.18'de verilen bağıntıdaki normalize edilmiş beton birim şekil değiştirmesi x ile r değişkenine ilişkin bağıntılar **Denklem 1.22** ve **1.23** ile verilmiştir.

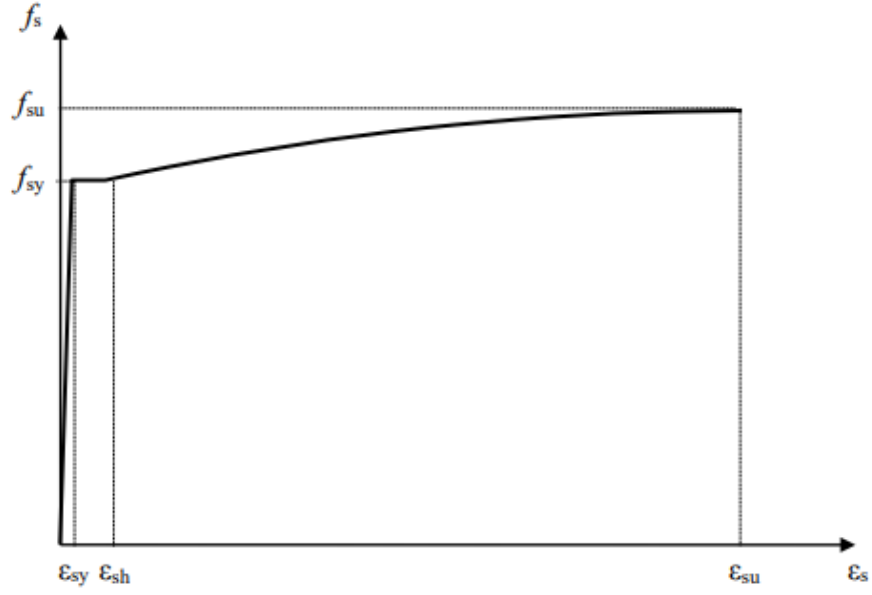
$$x = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \quad ; \quad \epsilon_{cc} = \epsilon_{co} [1 + 5(\lambda_c - 1)] \quad ; \quad \epsilon_{co} \cong 0.002 \quad (1.22)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad ; \quad E_c \cong 5000 \sqrt{f_{co}} \text{ [MPa]} \quad ; \quad E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\epsilon_{cc}} \quad (1.23)$$

Doğrusal olmayan analiz ile şekil değiştirmeye göre yapılan hesaplarda kullanılmak üzere donatı çeliği gerilme-şekil değiştirme için yönetmelikte verilen

model **Şekil 1.10**'da gösterilmiştir. Bu modeldeki bağıntılar ise **Denklem 1.24** ile ifade edilmiştir.

$$\begin{aligned}
 f_s &= E_s \varepsilon_s & (\varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy}) \\
 f_s &= f_{sy} & (\varepsilon_{sy} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh}) \\
 f_s &= f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s)^2}{\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh}} & (\varepsilon_{sh} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su})
 \end{aligned}
 \tag{1.24}$$



Şekil 1.6: Donatı Çeliği Gerilme-Şekil Değişirme Eğrisi.

Donatı çeliğine ait diğer bilgiler **Tablo 1.2**'de verilmiştir.

Tablo 1.2: Donatı Çeliklerine Ait Bilgiler.

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

2. TBDY 2018'DE YÜKSEK BİNALAR

Deprem Yönetmeliği 2018 yüksek yapıların tasarımıyla ilgili kuralları Bölüm 13'de vermiştir. Bu bölümde yüksek binalar için verilen tasarımın aşamaları açıklanacaktır.

Tablo 2.1: Deprem Tasarım Sınıfları.

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 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

Tablo 2.2: TBDY' de Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları.

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

Tablo 2.2'de görüldüğü üzere binanın yükseklik sınıfı yönetmelikte DTS kavramına bağlanmıştır. DTS (Deprem Tasarım Sınıfı) ise **Tablo 2.1'**de görüleceği üzere BKS (Bina Kullanım Sınıfı) ve S_{DS} ' ye (DD-2 depremindeki kısa periyot spektral ivme katsayısı) bağlı olarak belirlenir. BKS binanın kullanım amacına göre yönetmelikte tanımlanmıştır. BKS ve S_{DS} binaya göre belirlendikten sonra binamızın yüksekliğine bağlı olarak BYS elde edilmiş olur. Tablolardan çıkarılacak bir başka husus ise S_{DS} 'nin artmasıyla ki bu deprem etkisinin artması demektir. Deprem etkisi

arttığında yüksek bina sınırı daha düşük değerlere inmiştir. TBDY 2018 BYS=1 olan binaları yüksek bina olarak kabul eder ve tasarımın da özel olarak belirlenmiş kurallara göre yapılmasını ister. TBDY 2018'e göre yüksek bina tasarımı üç aşamada yapılır. İlerleyen kısımlarda sırasıyla açıklamaları yapılacaktır.

2.1. TASARIM AŞAMASI I

Bu aşamada **Tablo 2.3**'e göre DD-2 depremi altında kontrollü hasar performans seviyesini sağlamak üzere dayanıma göre tasarım ile bir ön boyutlandırma yapılır.

Tablo 2.3: Yüksek Bina Tasarım Kabulleri.

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT	—	—
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT ⁽³⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	GÖ	ŞGDT	KH	ŞGDT

Bu hesapta mod birleştirme yöntemi ya da zaman tanım alanında mod toplama yöntemi ile binanın tasarımına başlanır. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı R ve dayanım fazlalığı katsayısı D kullanılır. Azaltılmış iç kuvvetlerin taban kesme kuvvetine göre büyütülmesi işlemi minimum taban kesme kuvvetine göre yapılacaktır (**Denklem 2.1**).

$$V_{t,min} = 0.04 \alpha_H m_t S_{DS} g \quad (2.1)$$

Burada m_t yüksek bina çevre perdesi üstünde kalan bölümün kütlelerini, S_{DS} DD-2 depreminin kısa periyot tasarım spektral ivme değerini, g yerçekimi ivmesini gösterir. α_H ise bina yüksekliğine bağlı olarak binanın periyodunun artması ve spektrumun azalmasına bağlı olarak verilen bir katsayıdır (**Denklem 2.2**).

$$\begin{aligned} \alpha_H &= 1.0 & H_N &\leq 105 \text{ m} \\ \alpha_H &= 2.05 - 0.01 H_N & 105 \text{ m} &< H_N \leq 155 \text{ m} \\ \alpha_H &= 0.5 & 155 \text{ m} &< H_N \end{aligned} \quad (2.2)$$

Tasarım aşaması I yapıldıktan sonra binanın dayanıma göre tasarlanmış bir modeli elde edilmiş olur.

2.2. TASARIM AŞAMASI II

Burada tasarımı yapılmış yüksek bina **Tablo 2.3**'e göre normal performans hedefi için dayanıma göre tasarım metodu kullanılarak DD-4 depremi altında kesintisiz kullanım performans hedefini, ileri performans hedefi için ise şekil değiştirmeye göre tasarım ve değerlendirme yöntemi ile DD-3 depremi altında sınırlı hasar performans hedefini sağlamalıdır. Dayanıma göre tasarım ile doğrusal hesap yapılırken şekil değiştirmeye göre tasarım ve değerlendirme yönteminde ise zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılır. Bu aşamada sönüm oranı %2,5 olarak alınır ve ek dışmerkezlik kullanılmaz. Yönetmelikte verilen diğer kurallar ise şöyledir:

- Dayanıma göre tasarım yaklaşımında iç kuvvetlerin hesabında $R/I = 1$ ve $D=1$ olarak alınır.
- I. Aşamadaki minimum taban kesme kuvveti kuralı uygulanmaz.
- %2,5 sönüm oranına karşı gelen yatay elastik tasarım spektral ivmesi %5 sönüm oranı için verilen spektral ivme değerlerinin 1,25 katsayısı ile çarpılmasıyla bulunur.
- Hesap olarak doğrusal olmayan hesap adımları izlenirse Rayleigh orantılı sönüm matrisinin veya modal sönüm matrisinin oluşturulması için gözönüne alınacak modlarda sönüm oranı %2,5 olarak alınır.
- Tasarım aşaması II için kullanılacak etkin kesit rijitliği çarpanları **Tablo 2.4**'de verilmiştir.
- İç kuvvet kapasite hesaplarında karakteristik malzeme dayanımları yerine beklenen malzeme dayanımları kullanılacaktır.

Normal performans hedefi için DD-4 depremi altında kesintisiz kullanım performans hedefinin veya ileri performans hedefi için DD-3 depremi altında sınırlı hasar performans hedefinin sağlanması için yönetmelikte iç kuvvet sınırlarıyla ilgili kurallar konulmuştur.

Tablo 2.4: Tasarım Aşaması II İçin Kullanılacak Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları.

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
<i>Perde – Döşeme (Düzlem İçi)</i>	<i>Eksenel</i>	<i>Kayma</i>
Perde	0.75	1.00
Bodrum perdesi	1.00	1.00
Döşeme	0.50	0.80
<i>Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Perde	1.00	1.00
Bodrum perdesi	1.00	1.00
Döşeme	0.50	1.00
<i>Çubuk eleman</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Bağ kirişi	0.30	1.00
Çerçeve kirişi	0.70	1.00
Çerçeve kolonu	0.90	1.00
Perde (eşdeğer çubuk)	0.80	1.00

Normal performans hedefi için:

- Sünek davranışa sahip elemanlarda iç kuvvetler için Etki/Kapasite oranı $E/K = 1,5$ değerini aşmamalıdır.
- Sünek davranışa sahip olmayan elemanlarda iç kuvvetler için Etki/Kapasite oranı $E/K = 1,5$ değerini aşmamalıdır.

İleri performans hedefi için:

- Sünek davranışa sahip elemanlarda şekil değiştirme taleplerinin ilgili performans düzeyi için verilen sınırları aşmaması gerekir.
- Sünek davranışa sahip olmayan elemanlarda hesaplanan iç kuvvet taleplerinin iç kuvvet kapasitelerini aşmaması gerekir.

2.3. TASARIM AŞAMASI III

İlk iki aşama kurallarını sağlayan binanın üçüncü aşamada en büyük deprem yer hareketi DD-1 depremi altında **Tablo 2.3**'e göre normal performans hedefi için göçmenin önlenmesi veya ileri performans hedefi için kontrollü hasar performans hedefini sağlamalıdır.

Bu aşamada zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap sonucunda elde edilen iç kuvvetler, şekil değiştirmeler ve görelî kat ötelemesi taleplerinin ilgili performans sınırlarından daha küçük olacağı gösterilecektir. Bu şartlar sağlanamazsa taşıyıcı sistemde gerekli düzenlemeler yapılarak analizler tekrar edilir. Bu şartlar aşağıdaki gibi belirlenir:

➤ Sünek davranışa sahip elemanlarda şekil değiştirme taleplerinin en büyük mutlak değerlerinin ortalaması alınır.

➤ İç kuvvet talepleri yapılan hesaplardan elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalamasının bir standart sapma eklenmesi ile hesaplanır, bu değer ortalamasının 1,5 katından fazla 1,2 katından az alınamaz.

Bu aşamada DD-1 depremi altında yüksek bina taşıyıcı sistemi için yapılan doğrusal olmayan hesap sonucunda her katta göz önüne alınan depremden elde edilen ortalama görelî kat ötelemesi oranı 0,03'ü tek bir depremden elde edilen en büyük görelî kat ötelemesi oranı 0,045'i aşmaması gerekir.

3. SAYISAL ÇALIŞMALAR

Burada tasarımı yapılacak olan bina Üsküdar/Salacak bölgesinde olduğu kabul edilerek modellenmiştir. Bina hakkında genel bilgiler verilmiş olup TBDY 2018 /13. Bölüm dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Öncelikle TBDY 2018/4. Bölüm referans alınarak bir ön boyutlandırma yapılmış ve daha sonra yüksek binalarda uygulanması gereken aşamalar takip edilmiştir. Model ETABS 18.0.2 yapısal analiz programı aracılığıyla oluşturulmuştur. Binanın ETABS modeli **Şekil 3.1**'de verilmiştir.

3.1. BİNA BİLGİLERİ

Bina 21 katlı ve her kat 3,5 m olacak şekilde toplamda 73,5 m olarak modellenmiştir. X ve Y eksenlerine göre planda simetrik olup kare biçimli bir bina seçilmiştir. X ve Y doğrultusunda 36,4 m'dir. Binanın merkezinde 4 adet betonarme L perde duvar simetrik olarak yerleştirilmiştir. Her katta kare kesitte kolonlar seçilmiştir ve 5 katta bir boyutları azaltılmış olup analiz süresince de kontrolleri sağlanmıştır. Perdeler 30 cm, kolonlar ise 1,05×1,05 m, 1,00×1,00 m, 0,90×0,90 m, 0,80×0,80 m, 0,70×0,70 m, 0,60×0,60 m ve 0,50×0,50 m olmak üzere katlara hesaplar sonucu yerleştirilmiştir(**Şekil 3.1**). Kirişler ise her katta 0,30/0,70 m boyutlarında seçilerek yerleştirilmiştir. Binada bodrum perdesi düşünülmemiştir. Çalışmanın amacı TBDY 2018' göre yüksek bina sınırındaki bina incelemesi olduğundan mümkün olduğunca simetrik ve düzgün planlı bir bina seçilmiştir. Döşemeler ise 20 cm olarak seçilmiştir.



Şekil 3.1: 21 Katlı Binanın Birinci Kat Kalıp Planı

Tablo 3.1: Katlara Göre Eleman Kesitleri

Elemanlar	Katlar			
	1-5	6-10	11-15	16-21
Kolon Tip 1 (cm)	90x90	80x80	70x70	60x60
Kolon Tip 2 (cm)	80x80	70x70	60x60	50x50
Kolon Tip 3 (cm)	105x105	100x100	90x90	80x80
Perdeler (cm)	30	30	30	30
Kirişler (cm)	30/70	30/70	30/70	30/70
Döşemeler (cm)	20	20	20	20

3.2. MALZEME ÖZELLİKLERİ

Binada kullanılan malzeme özellikleri tüm katlarda aynı olup beton için C40, donatı çeliği için ise B420C'dir. Beton mekanik özellikleri TS500, donatı çeliği özellikleri ise TS708-2016 referans alınarak **Tablo 3.2** ve **Tablo 3.3**'e gösterilmiştir. TBDY 2018 yüksek binalar için donatı çeliği olarak B420C veya B500C şartını koymuştur.

Tablo 3.2: C40 Betonun Mekanik Özellikleri

Beton Sınıfı	Silindir Basınç Dayanımı f_{ck} (MPa)	Eşdeğer Küp Dayanımı (MPa)	Eksenel Çekme Dayanımı f_{ctk} (MPa)	Elastisite Modülü E_{c28} (MPa)
C40	40	50	2,2	34000

Tablo 3.3: B420C Donatı Çeliğinin Mekanik Özellikleri

Çelik sınıfı	Minimum akma dayanımı f_{yk} (MPa)	Minimum akma dayanımı f_{yk} (MPa)	Kopma uzaması $\epsilon_{su}=A_5$	Çekme dayanımı/akma dayanımı oranı
B420C	420	550	12	$f_{su}/f_{yk}=R_m/R_e$ $\geq 1.15 < 1.35$

3.3. YAPILAN YÜKLEMELER

Binanın kullanım amacı konut olduğu için yapılan yüklemeler TS498 Çizelge7 dikkate alınarak seçilmiştir.

Ölü yük olarak kaplama yükü karo seramik uygulaması seçilerek:

- Karo Seramik $0,8\text{cm} \times 0,22\text{kN/m}^2/\text{cm} = 0,18 \text{ kN/m}^2$
- Çimento Harcı $0,015\text{m} \times 22\text{kN/m}^3 = 0,33 \text{ kN/m}^2$
- Tesviye Betonu $0,03\text{m} \times 22\text{kN/m}^3 = 0,66 \text{ kN/m}^2$
- Tavan Sıvası $0,015\text{m} \times 20\text{kN/m}^3 = 0,30\text{kN/m}^2$
- Asma Tavan $= 0,50 \text{ kN/m}^2$

Toplam $= 1,47 \text{ kN/m}^2$

ve $1,50 \text{ kN/m}^2$ olarak döşemelere etki ettirilmiştir. Döşemeler başlangıçta membran olarak modellenmiştir. Bunun sebebi de döşemeleri dizayn edene kadar analiz süresinden tasarruf sağlamaktır.

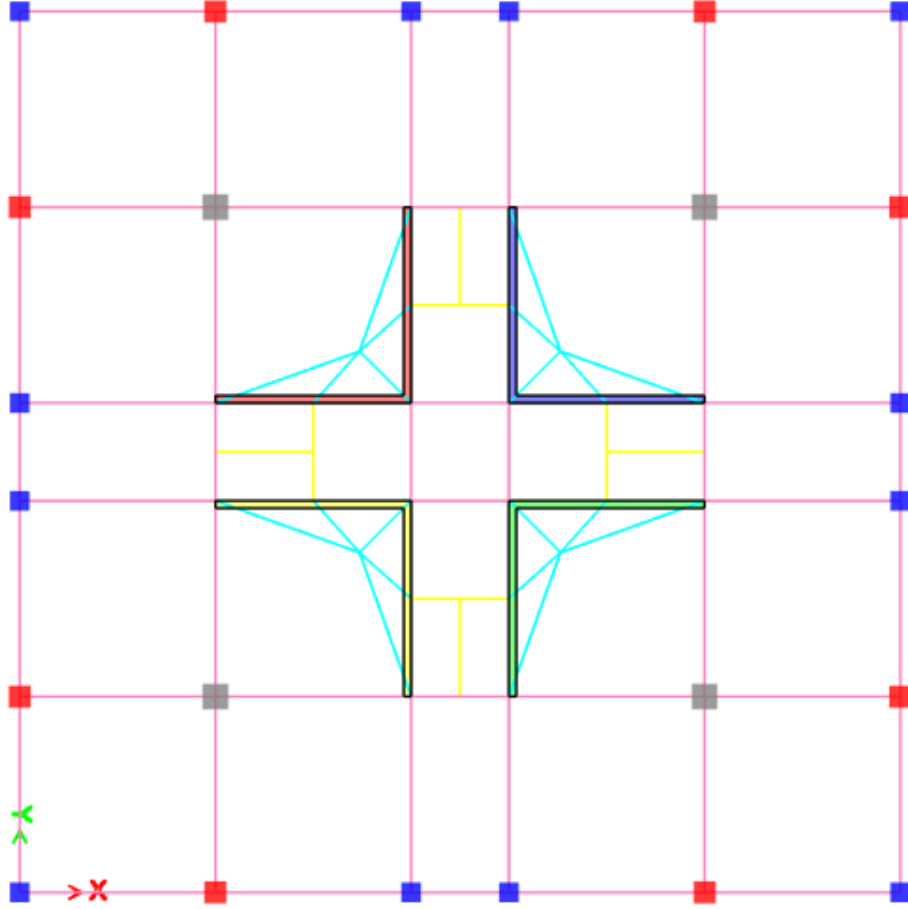
➤ Hareketli Yükler

- Konut : 2 kN/m^2
- Merdiven : $3,5 \text{ kN/m}^2$
- Kar Yüğü : $0,75 \text{ kN/m}^2$

Kar yüğü TS498 **Çizelge 4** dikkate alınarak bina yerinin denizden yüksekliği ve binanın yapılacağı yerin bölge kategorisi referans alınarak seçilmiştir.

3.4. TAŞIYICI SİSTEM ÖZELLİKLERİ

Taşıyıcı sistemde kirişli plak döşeme, kolon ve perde kullanılmıştır. Bu bölümde bu elemanların seçim referansları ve yeterli uygunlukta olup olmadıkları kontrol edilmiştir. Binanın geometrik modeli Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te verilmiştir.

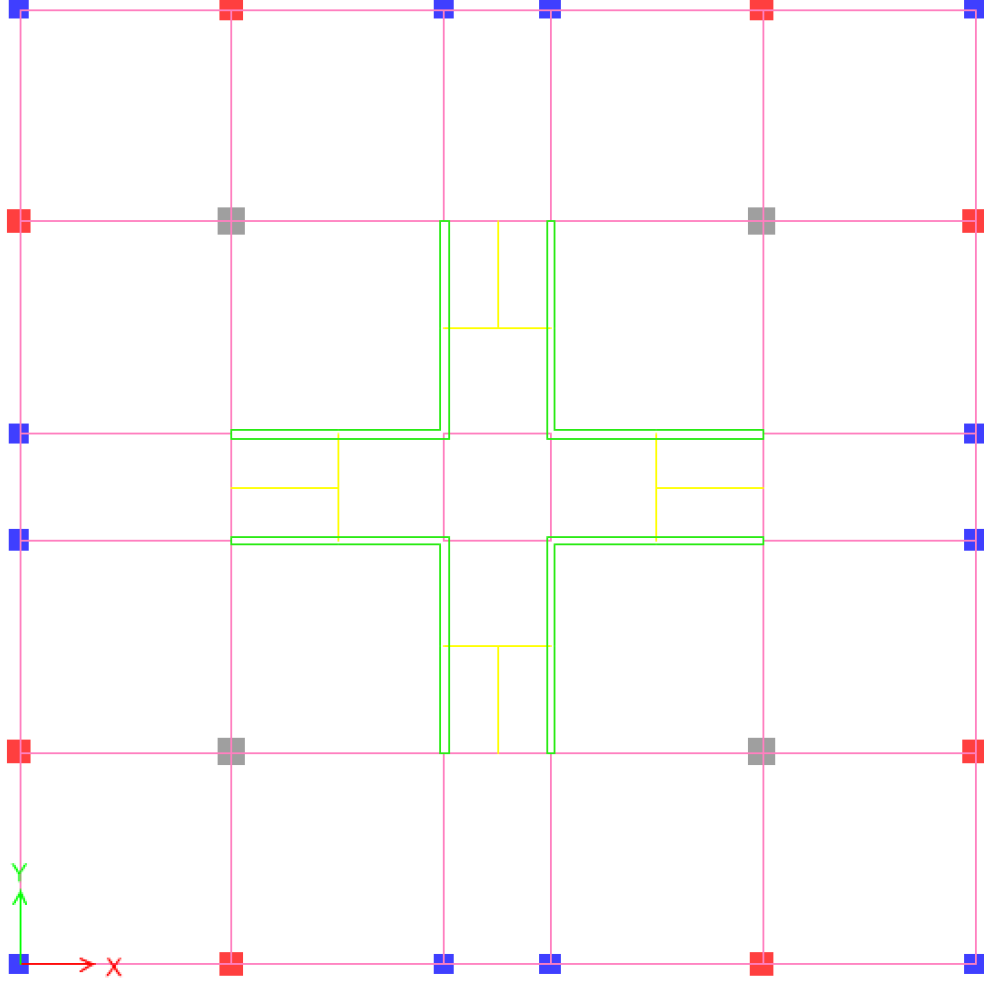


Şekil 3.2: Perdenin Kolon Olarak Kabul Edildiği Modelin Planı.

➤ Döşemeler

Döşeme kalınlık seçimi yapılırken TS500 referans alınmıştır. "Düzgün yayılı yük taşıyan, dört kenarı boyunca mesnetlenmiş ve uzun kenarının kısa kenarına oranı 2,0 veya daha küçük olan betonarme plaklar ($L1/Ls \leq 2$), iki doğrultuda çalışan plaklar olarak adlandırılır." (TS500/syf.54). **Denklem 3.1** kullanılarak **Tablo 3.4**'de döşemelerin çalışma biçimleri ve döşeme kalınlığı seçimi gösterilmiştir. Kolon ve

kirişlerin bağlantı noktalarında 6 serbestlik derecesi vardır. Burada döşemelere rijit diyafram tanımlaması yapılarak bu serbestlik dereceleri 3'e düşürüldü.



Şekil 3.3: Perdeleri Kabuk Sonlu Eleman Olarak Modellenen Binaın Planı.

Çalışma kapsamında perde kabuk ve eşdeğer kolon olarak modellenecek ve kesit bu modellerdeki değerler esas alınarak hesaplanacaktır. Daha sonra şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım işlemleri için iki model de aynı depremler altında analiz edilip sonuçlar kıyaslanacaktır.

$$h \geq \frac{\ell_{sn}}{15 + \frac{20}{m}} \left(1 - \frac{\alpha_s}{4}\right) \text{ ve } h \geq 80 \text{ mm} \quad (3.1)$$

Tablo 3.4: Döşeme Çalışma Biçimi ve Kalınlık Seçimi.

Döşeme adı	x(m)	y(m)	m	Ç.Biçimi	ℓ_{sn} (m)	α_s	hf (cm)		
D101	8,00	8,00	1,00	İDÇD	7,60	0,50	19,00	MAKS	19,00
D102	8,00	8,00	1,00	İDÇD	7,60	0,75	17,64	SEÇİLEN	20 cm
D103	4,00	8,00	2,00	İDÇD	3,60	0,83	11,40		
D104	8,00	8,00	1,00	İDÇD	7,60	1,25	14,93		
D105	8,00	8,00	1,00	İDÇD	7,60	0,50	19,00		
D106	8,00	8,00	1,00	İDÇD	7,60	0,75	17,64		
D107	8,00	8,00	1,00	İDÇD	7,60	1,00	16,29		
D108	4,00	8,00	2,00	İDÇD	3,60	1,00	10,80		
D109	8,00	8,00	1,00	İDÇD	7,60	1,00	16,29		
D110	8,00	8,00	1,00	İDÇD	7,60	0,75	17,64		
D111	4,00	8,00	2,00	İDÇD	3,60	1,50	9,00		
D112	4,00	8,00	2,00	İDÇD	3,60	1,00	10,80		
D113	4,00	4,00	1,00	İDÇD	3,60	1,00	7,71		
D114	4,00	8,00	2,00	İDÇD	3,60	1,00	10,80		
D115	4,00	8,00	2,00	İDÇD	3,60	0,83	11,40		
D116	8,00	8,00	1,00	İDÇD	7,60	0,75	17,64		
D117	8,00	8,00	1,00	İDÇD	7,60	1,00	16,29		
D118	4,00	8,00	2,00	İDÇD	3,60	1,00	10,80		
D119	8,00	8,00	1,00	İDÇD	7,60	1,00	16,29		
D120	8,00	8,00	1,00	İDÇD	7,60	0,75	17,64		
D121	8,00	8,00	1,00	İDÇD	7,60	0,75	17,64		
D122	8,00	8,00	1,00	İDÇD	7,60	1,00	16,29		
D123	4,00	8,00	2,00	İDÇD	3,60	1,00	10,80		
D124	8,00	8,00	1,00	İDÇD	7,60	1,00	16,29		
D125	8,00	8,00	1,00	İDÇD	7,60	0,75	17,64		

➤ Kirişler

Kirişler tanım olarak “Hesap eksenel basınç değeri $N_d \leq 0,1f_{ck}A_c$ sınırını aşmayan eğilme elemanları olarak tanımlanmıştır”. (TS500)

TBDY 2018 7.4’de “Kiriş gövde genişliği en az 250 mm olacaktır. Kiriş gövde genişliği, kiriş yüksekliği ile kirişin birleştiği kolonun veya perdenin kirişe dik genişliğinin toplamını geçmeyecektir. Kiriş yüksekliği, döşeme kalınlığının 3 katından ve 300 mm’den daha az olmayacaktır. Bu şartı sağlamayan elemanlar, çözümlemede döşeme elemanları ile beraber modellenecek, kiriş gibi donatılacak, ancak çerçeve

kirişli olarak kabul edilmeyecektir. Ayrıca, kiriş yüksekliği kiriş gövde genişliğinin 3.5 katından fazla olmayacaktır.” ibaresi yer almaktadır. Burada kirişlerin döşeme kalınlığı ölçüt alınarak boyutlandırılmasının amacı kirişlerin belirli bir yükseklikte olarak döşemelere mesnetlik yapabilmesini sağlamaktır. Bu açıklamalar neticesinde kirişler 30/70 cm olarak seçilmiştir.

➤ Kolonlar

Kolonlar binanın ana taşıyıcı iskeletini oluşturur. Tanım olarak normal kuvvetin eğilme momentine göre daha etkin olduğu elemanlardır. TBDY 2018’de ise “kolonun brüt enkesit alanı, Ndm TS 498’de hareketli yükler için tanımlanmış olan hareketli yük azaltma katsayıları da dikkate alınarak, G ve Q düşey yükler ve E deprem etkisinin ortak etkisi G+Q+E altında hesaplanan aksel basınç kuvvetlerinin en büyüğü olmak üzere, $A_c \geq N_{dm} / (0.40 f_{ck})$ koşulunu sağlayacaktır.” şeklinde açıklanmıştır. En küçük enkesit olarak da TBDY 2018 dikdörtgen kolonlarda 30 cm olarak bir sınır belirlemiştir.

Binanın modellenmesi esnasında deprem yüklemeleri hemen yapılamadığından dolayı kolon aksel yük kontrolü yapabilmek için TS500’de verilen $N_d \leq 0,9 f_{cd} A_c$ denklemi kullanılmıştır.

$N_d \leq 0,9 \times 26,67 \times 900 \times 900 = 19442$ kN olarak elde edilmiştir. Bütün kolonların kurtardığı görülmüştür. Kolondaki maksimum kuvvet 14608 kN olarak okunmuştur.

$N_d \leq 0,9 \times 26,67 \times 1050 \times 1050 = 26463$ kN olarak elde edilmiştir. Bütün kolonların kurtardığı görülmüştür. Kolondaki maksimum kuvvet 21736 kN olarak okunmuştur.

Deprem yüklemeleri yapıldıktan sonra TBDY 2018’e göre kolon aksel yük kontrolleri yapılmıştır. 0,90×0,90 m ve 1,05×1,05 m kesitli kolonlar için örnek verilmiştir.

$N_{dm} \leq 0,4 \times 40 \times 900 \times 900 = 12960$ kN olarak elde edilmiştir ve kolonların bu şartı sağladığı görülmüştür. Kolondaki maksimum kuvvet 11790 kN olarak meydana gelmiştir..

$N_{dm} \leq 0,4 \times 40 \times 1050 \times 1050 = 17640 \text{ kN}$ olarak elde edilmiştir ve kolonların bu şartı sağladığı görülmüştür. Kolondaki maksimum kuvvet 17256 kN olarak meydana gelmiştir.

3.5. DEPREMLE İLGİLİ PARAMETRELER

TBDY 2018 paralel olarak Türkiye Deprem Tehlike Haritası yayımlanmıştır (**Şekil 3.4**).



Şekil 3.4: Türkiye Deprem Tehlike Haritası

Parametrelerin seçimi için <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml> adresinden kimlik bilgileri girilerek değerlere ulaşılır. Değerler **Şekil 3.5**'de verilmiştir.



Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	TEZ	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi:	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar
Enlem:	41.024404°	
Boylam	29.008379°	

Çıktılar

$$S_S = 0.892 \quad S_1 = 0.248 \quad S_{DS} = 0.803 \quad S_{D1} = 0.198$$
$$PGA = 0.366 \quad PGV = 22.709$$

S_S : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

Şekil 3.5: AFAD Verileri.

Binanın yapılacağı konum seçildikten sonra deprem yer hareketi düzeyine karar verilir. Tasarım depremi adı da verilen DD-2 deprem yer hareketi düzeyi seçilmiştir. Burada ZB yerel zemin sınıfın seçildi. Yukarıda hesaplanan değerler TBDY 2018 2.Bölüm referans alınarak oluşturulmuştur ve aşağıda bu verilere hesap yoluyla ulaşmanın formülasyonu verilmiştir.

$$S_{DS} = S_S \times F_S$$

$$S_{D1} = S_1 \times F_1$$

F_S ve F_1 değerleri aşağıdaki tablolardan zemin parametrelerine göre seçilebilir.

(Şekil 3.6 ve Şekil 3.7)

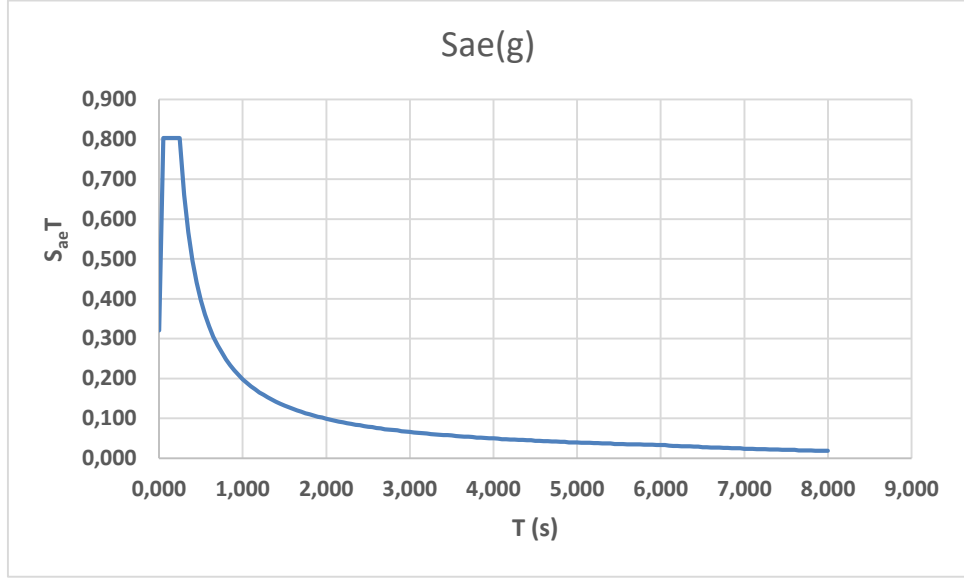
Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_S					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	<i>Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).</i>					

Şekil 3.6: Yerel Zemin Etki Katsayısı F_S

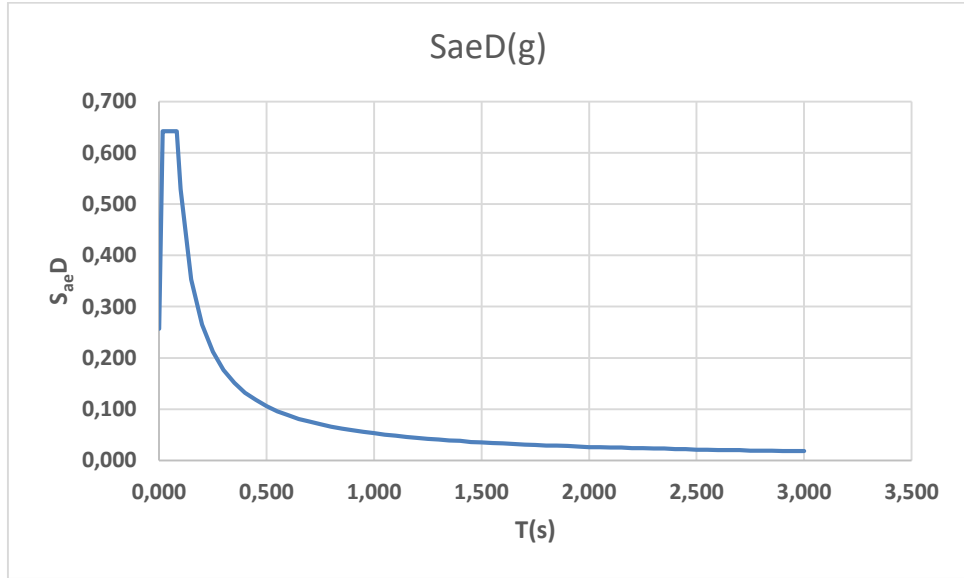
Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	<i>Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).</i>					

Şekil 3.7: Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1

Yatay ve düşey elastik tasarım spektrumlarına ulaşılmıştır (Şekil 3.8 ve Şekil 3.9).



Şekil 3.8: DD-2 Yatay Elastik Deprem Spektrumu



Şekil 3.9: DD-2 Düşey Elastik Deprem Spektrumu

○ Bina Kullanım Sınıfı

TBDY 2018 ile yeni terimlerden bir tanesi de Bina Kullanım Sınıfı parametresidir (**Şekil 3.10**). Yönetmelik bu kavramla başlayarak sırasıyla zincirleme bir bina parametre seçim halkası oluşturur. Bina konut olarak varsayıлып BKS=3 kabul edilmiştir.

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	<p>Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</p> <p>a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminaleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları)</p> <p>b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb.</p> <p>c) Müzeler</p> <p>d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar</p>	1.5
BKS = 2	<p>İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</p> <p>Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.</p>	1.2
BKS = 3	<p>Diğer binalar</p> <p>BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)</p>	1.0

Şekil 3.10: Bina Kullanım Sınıfı.

o Deprem Tasarım Sınıfları

Deprem tasarım sınıfı BKS ve DD-2 parametreleri dikkate alınarak seçilecektir. S_{ds} değeri 0,803 ve BKS 3 olduğundan **Şekil 3.11**'de DTS=1 alınmıştır.

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 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

Şekil 3.11: Deprem Tasarım Sınıfı.

○ Bina Yükseklik Sınıfı

Bina yüksekliği 73,5 m'dir. Bina yüksekliği ve DTS ile Şekil 3.12'de verilen değerlere göre BYS=1 değeri seçilmiştir.

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

Şekil 3.12: Bina Yükseklik Sınıfı.

○ Bina Performans Hedefleri

Performans hedefleri deprem düzeyi ve deprem tasarım sınıfına göre belirlenmektedir. Şekil 3.13'te verildiği üzere DD-2 ve DTS=1 için performans hedefi kontrollü hasar tasarım yaklaşımı da dayanıma göre tasarım olarak seçilmiştir. Bina yüksek bina kategorisine girdiği için ön tasarım olarak bu performans hedefi yönetmelik tarafından belirlenmiş ve şekilde de belirtildiği değerler dikkate alınarak seçilmiştir.

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT	—	—
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT ⁽³⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	GÖ	ŞGDT	KH	ŞGDT

Şekil 3.13: Performans Hedefleri.

- Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D)

Binanın tasarımı yüksek binalarla alakalı olan TBDY 2018 Bölüm 13 dikkate alınarak yapılmalıdır. Fakat yönetmelik Bölüm 13'te ön tasarım aşaması olarak Bölüm 4,7,8,9 'a göre yapılacağı hususunu belirtmiştir. R ve D katsayıları binanın taşıyıcı sistemi, süneklik düzeyi ve BYS dikkate alınarak R=7 ve D=2,5 olarak alınmıştır (Şekil 3.14). BYS= 1 olmasına rağmen açıklandığı üzere ön boyutlandırma durumu göz önüne alınarak bu değerler kullanılabilir.

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı <i>R</i>	Dayanım Fazlalığı Katsayısı <i>D</i>	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
A. YERİNDE DÖKME BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
A11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	BYS ≥ 3
A12. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2.5	BYS ≥ 2
A13. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2.5	BYS ≥ 2
A14. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	8	2.5	BYS ≥ 2
A15. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	7	2.5	BYS ≥ 2
A16. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsalı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	3	2	–

Şekil 3.14: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D) Seçimi.

3.6. TASARIM AŞAMASI-1

Bu tasarım aşamasında binanın yukarıda açıklanan şartların göz önüne alınmasıyla ETABS'da modellenmiştir. Bu işlemler esnasında kurtarmayan elemanlar uygun şekillerde seçilerek düzenlenir. Binaya deprem yükleri verilerek TBDY 2018'de verilen kurallar kullanılarak elemanlarda oluşan kuvvetlere göre kesitlerin donatı hesabı yapılır. Bu işlemler hakkında ileride daha ayrıntılı bilgi verilecektir.

o Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Uygulamaları

Yüksek binaların tasarım aşamasında eşdeğer deprem yükü yalnızca kontrol amaçlı kullanılır. Tasarım aşaması 1’de bina mod birleştirme yöntemi ile çözülür ve eşdeğer deprem yükü yöntemi sonuçları ile karşılaştırılarak tasarıma devam edilir.

Eşdeğer deprem yükleri EQX ve EQY olarak tanımlanmıştır. **Şekil 3.15**’de EQX için gösterildiği üzere S_{DS} ve S_{D1} değerleri ile R ve D katsayıları ilgili yerlere girilmiştir.

Şekil 3.15: Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi Tanımlanması-1.

Eşdeğer deprem yükü yönteminde TBDY 2018, binanın hakim doğal titreşim periyodu $T_p^{(x)}$ ’in $1,4 T_{pA}$ ‘yı geçemeyeceğini söyler. $T_{pA} = C_t H_N^{3/4}$ formülü ile hesaplanacaktır. C_t 0,07 olarak alınmıştır.

$T_{pA} = C_t H_N^{3/4} = 0,07 \times 73,5^{3/4} = 1,76$ olarak elde edilmiştir. Binamızın periyodu $1,4 \times 1,757 = 2,46$ değerinden eşdeğer deprem yükü yöntemine göre büyük olamaz. Modelin doğal hakim periyodu $T=3,99$ saniye olarak elde edilmiştir. Bunun neticesinde **Şekil 3.16**’da EQX için verildiği üzere EQX ve EQY yükleme durumu açılır ve user defined seçeneği seçilerek 2,46 değeri girilir.

Şekil 3.16: Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi Tanımlanması-2.

- Eşdeğer deprem yüğü binaya verildikten sonra TBDY 2018 Bölüm 4’de verilen “ Süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) veya boşluksuz yerinde dökme veya ön üretimli betonarme perdeler ile merkezi, dışmerkez veya burkulması önlenmiş çelik çaprazlı çerçevelerin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çerçevelerle birlikte kullanıldığı binalarda, perdelerin veya çaprazlı çerçevelerin tabanında deprem yüklerinden meydana gelen devrilme momentlerinin toplamı, binanın tümü için deprem yüklerinden tabanda meydana gelen toplam devrilme momentinin %40’ından az, %75’inden fazla olmayacaktır.” bu şartın da sağlanması gerekir.

Tablo 3.5: Devrilme Moment Kıyaslaması

$M_{\text{toplam Moment}}$	$M_{\text{perde Momenti}}$	$\frac{M_{\text{perde Momenti}}}{M_{\text{toplam Moment}}}$	Uygunluk
568497,72 kN-m	56343,29 kN-m	0,10	Uygun Değil

Uygunluk şartının sağlanmaması durumunda TBDY 2018’de “R ve D katsayılarında değişiklik yapılmayacak, ancak izin verilen en üst BYS’nin bir fazlası dikkate alınacaktır.” geçen ifade kullanılır. Bina zaten yüksek bina kurallarına göre

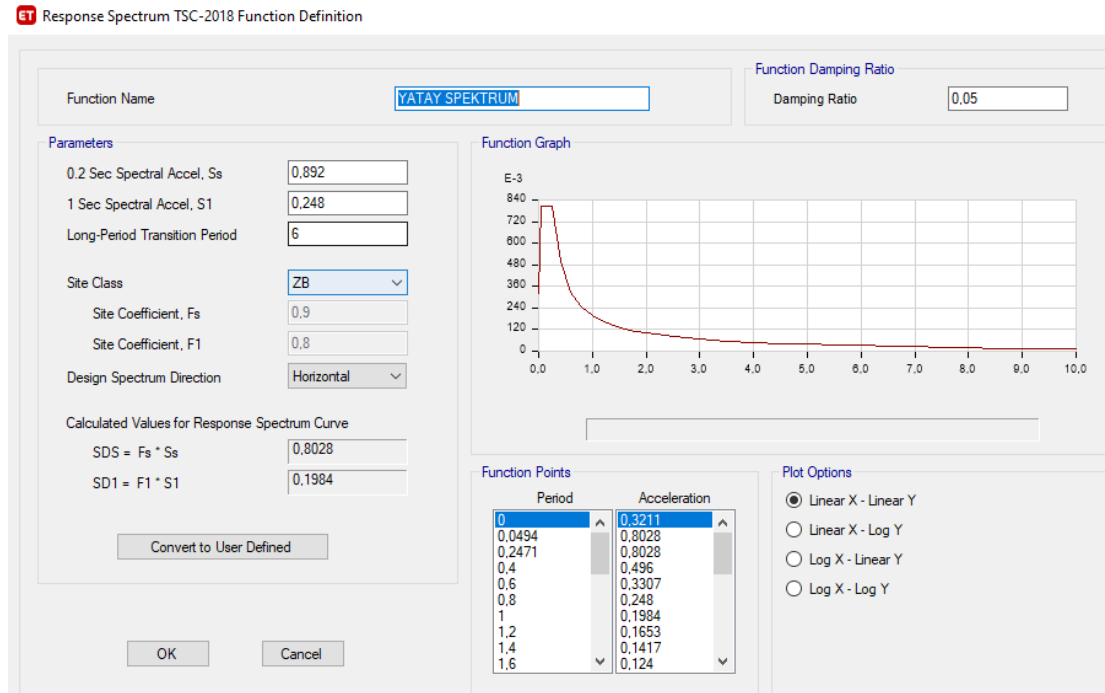
çözüldüğü için ileride yapılacak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz neticesinde perdeler hakkında nihai karar verilecektir.

o Mod Birleştirme Yöntemi ve Uygulanması

Mod birleştirme yönteminde depremin spektrumu kullanılarak her bir mod için en büyük değer bulunur ve daha sonra bu değerler bir araya getirilerek kuvvet ve yerdeğiştirmelere ulaşılır. TBDY 2018 bunun yanında bu yöntemin yeterli olabilmesi için her bir mod için modal etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütlelerinin %95'inden az olmamasını söyler (**Denklem 3.2**).

$$\sum_{n=1}^{YM} m_{Tn}^{(X)} \geq 0.95 m_t \quad ; \quad \sum_{n=1}^{YM} m_{Tn}^{(Y)} \geq 0.95 m_t \quad (3.2)$$

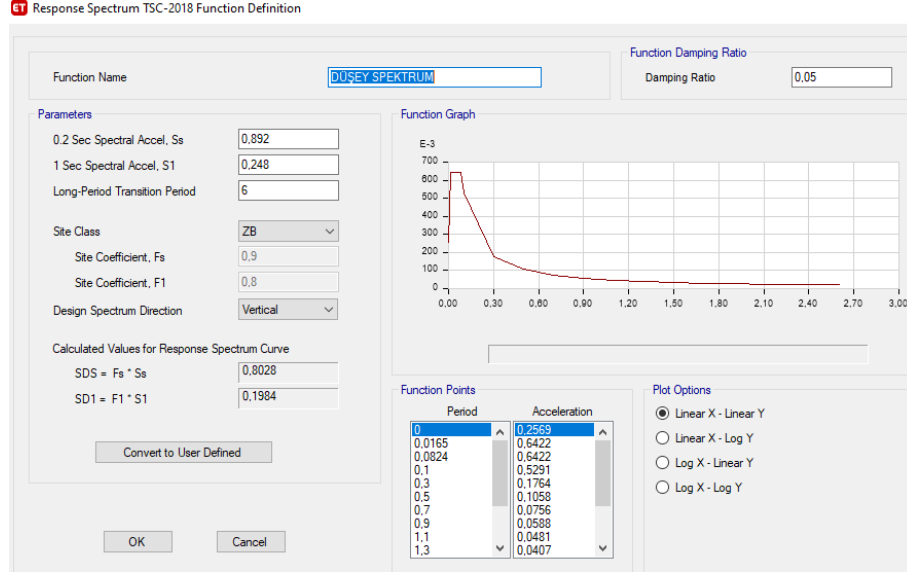
AFAD'dan alınan yatay ve düşey spektrum verileri ETABS üzerinden spektrum tanımlanarak ve veriler buraya işlenir (**Şekil 3.17**).



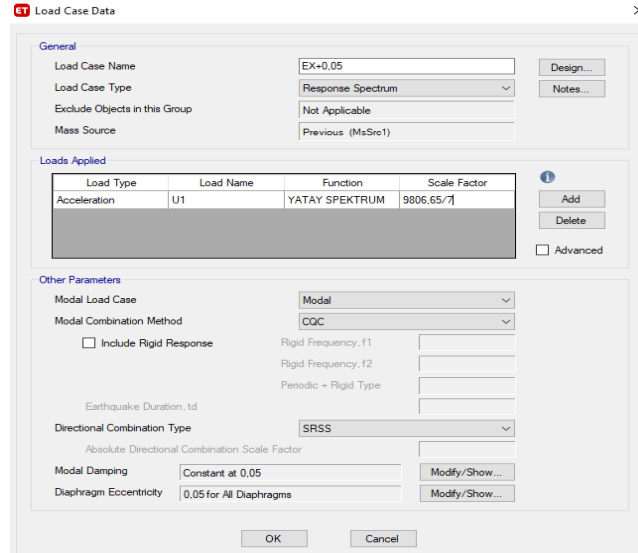
Şekil 3.17: Spektrum Tanımlaması.

Bunun yanında TBDY 2018' göre yeni bir kavram olan düşey deprem etkisinin de tanımlanması gerekir. (**Şekil 3.18**).

Bu tanımlamalardan sonra mod birleştirme yöntemini temsil eden deprem sisteme etkililir (Şekil 4.19). X ve Y yönleri için ayrı ayrı etkililir ve her ikisi için de $\pm 5\%$ dış merkezlik göz önüne alınır.



Şekil 3.18: Düşey Spektrum Eğrisinin Tanımlanması.



Şekil 3.19: Deprem Etkisinin Tanımlanması.

Modal kütlelerin katılım oranları **Tablo 3.6**'da gösterilmiştir.

Tablo 3.6: Modal Kütle Katılım Oranları

Mode	Period	SumUX	SumUY
1	3,858	0,1502	0,5887
2	3,858	0,7389	0,7389
3	3,313	0,7389	0,7389
4	1,246	0,7465	0,8438
5	1,246	0,8515	0,8515
6	1,102	0,8515	0,8515
7	0,67	0,8746	0,8746
8	0,67	0,8978	0,8978
9	0,612	0,8978	0,8978
10	0,425	0,9112	0,9112
11	0,425	0,9245	0,9245
12	0,399	0,9245	0,9245
13	0,294	0,9335	0,9335
14	0,294	0,9424	0,9424
15	0,283	0,9424	0,9424
16	0,216	0,9489	0,9489
17	0,216	0,9554	0,9554
18	0,211	0,9554	0,9554
19	0,166	0,9601	0,9601
20	0,166	0,9648	0,9648
21	0,164	0,9648	0,9648

Bu kontroller yapıldıktan sonra TBDY 2018 bize mod birleştirme yönteminde elde edilen taban kesme kuvvetinin eşdeğer deprem yükü ile elde edilen taban kesme kuvvetinin %80'inden az olamayacağı şartını koyar. Bu kontrol ve düzeltme **Tablo 3.7** ve **3.8**'da gösterilmiştir.

$V_tE(x)$ eşdeğer deprem yükünü temsil ederken, $V_{tx}(x)$ mod birleştirme yöntemini temsil eder. Tablodan da görüleceği üzere 0,80 $V_tE(x)$ değeri $V_{tx}(x)$ değerinden yüksek çıkmıştır. Bu durumu düzeltmek için $0,80 V_tE(x) / V_{tx}(x)$ değeriyle düzeltme oranı belirlenir ve mod birleştirme yöntemiyle tanımlanan deprem etkilerinin scale factor değeri elde edilen bu oran ile çarpılarak tüm binaya etki ettirilir (**Şekil 3.20**).

Tablo 3.7: Eşdeğer Deprem Yüğü Kontrolü

$V_{tE}^{(x)}$ (kN)	$V_{tx}^{(x)}$ (kN)	$0,80V_{tE}^{(x)}$ (kN)	Kontrol
10646,43	2410,91	8517,14	Uygun Değil

Tablo 3.8: Eşdeğer Deprem Yüğü Çarpım Oranı

$0,80V_{tE}^{(x)}$ (kN)	$V_{tx}^{(x)}$ (kN)	Oran
8517,14	2410,91	3,53

Load Case Data

General

Load Case Name: EX-0,05 [Design...]

Load Case Type: Response Spectrum [Notes...]

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: Previous (MsSrc1)

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	YATAY SPEKTRUM	1400,95*3,53

[Add] [Delete] [Advanced]

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1: []

Rigid Frequency, f2: []

Periodic + Rigid Type: []

Earthquake Duration, td: []

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor: []

Modal Damping: Constant at 0,05 [Modify/Show...]

Diaphragm Eccentricity: -0,05 for All Diaphragms [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Şekil 3.20: Ex Deprem Yüğü Düzeltmesi.

Görelî Kat Ötelemesi Hesabı

Yönetmelik deprem doğrultusu için binanın i'inci katındaki kolon veya perdeler için etkin görelî kat ötelemesi, $\delta_i^{(x)}$ 'in **Denklem 3.3** ile hesaplanacağını öngörür.

$$\delta_i^{(x)} = \frac{R}{I} \Delta_i^{(x)} \quad (3.3)$$

Burada $\Delta_i^{(x)}$ ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade azaltılmış görelî kat ötelemesini ifade eder. (**Denklem 3.4**)

$$\Delta_i^{(x)} = u_i^{(x)} - u_{i-1}^{(x)} \quad (3.4)$$

TBDY 2018 görelî kat ötelemesi kontrolü için yeni şartlar getirmiştir. Bu şartlar binadaki duvarların esnek bağlantıyla bağlı olup olmamasına göre güvenlik katsayısını değiştiriyor. Sırasıyla esnek derz veya bağlantı olmaması ve olması koşulu aşığıdaki denklemlerle gösterilmiştir. (**Denklem 3.5** ve **Denklem 3.6**)

$$\lambda \frac{\delta_{i\max}}{h_i} \leq 0,008 \kappa \quad (3.5)$$

$$\lambda \frac{\delta_{i\max}}{h_i} \leq 0,016\kappa \quad (3.6)$$

TBDY 2018 λ katsayısının, binanın göz önüne alınan deprem doğrultusundaki hakim titreşim periyodu için tanımlanan DD-3 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesi'nin, DD-2 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesi'ne oranı olarak belirleneceğini ve κ katsayısının ise betonarme binalarda $\kappa =1$ olarak verilmiştir.

Deprem Yönetmeliği 2007'ye göre bu sınır değerlerin farklılık göstermesinin ana sebebi yeni yönetmelik ile etkin kesit rijitliklerinin kullanılmasıdır. Rijitlik azaltılması ile binanın yatay yerdeğiştirme değerlerinin artması bu şekilde bir önlem alınmasını gerektirmiştir.

λ hesabının yapılabilmesi için DD-3 deprem düzeyi için spektral ivmelerinin <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml> bağlantısı yardımıyla hesaplanması gerekir (**Şekil 3.21**, **Şekil 3.22**)



Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	TEZ	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi:	DD-3	50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar
Enlem:	41.024404°	
Boylam	29.008379°	

Çıktılar

$$S_S = 0.355 \quad S_1 = 0.100 \quad S_{DS} = 0.319 \quad S_{D1} = 0.080$$
$$PGA = 0.154 \quad PGV = 9.457$$

S_S : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

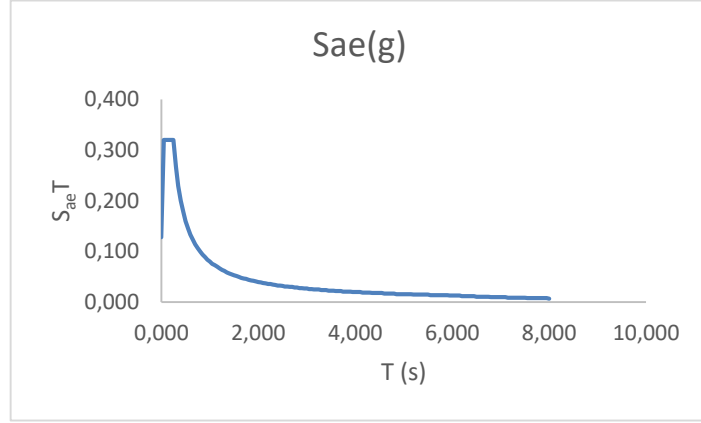
S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

Şekil 3.21: AFAD'dan Elde Edilen Veriler.



Şekil 3.22: DD-2 Yatay İvme Spektrumu

DD-3 için $S_{D1} = 0,080$

DD-2 için $S_{D1} = 0,198$

$$\lambda = \frac{0,080}{0,198} = 0,404$$

Tablo 3.9' da de görüleceği üzere esnek bağlantı olması ve olmaması koşulunu da sağlamıştır. Burada değerler ETABS'dan story drift sekmesinden alındığı için tekrardan kat yüksekliğine bölünmesine gerek kalmamıştır.

Tablo 3.9: Göreli Kat Ötelemesi Kontrolü

R	I	λx	κ							
7	1	0,404	1	Story	Story Drift	(R/I)*Drift	$\lambda*(R/I)*Drift$	0,008 κ	0,016 κ	Kontrol
Story21	0,001941	0,005	0,002	0,008	0,016	Uygundur				
Story20	0,002234	0,006	0,003	0,008	0,016	Uygundur				
Story19	0,002526	0,007	0,003	0,008	0,016	Uygundur				
Story18	0,002829	0,008	0,003	0,008	0,016	Uygundur				
Story17	0,003118	0,009	0,004	0,008	0,016	Uygundur				
Story16	0,003396	0,010	0,004	0,008	0,016	Uygundur				
Story15	0,003536	0,010	0,004	0,008	0,016	Uygundur				
Story14	0,00375	0,011	0,004	0,008	0,016	Uygundur				
Story13	0,003946	0,011	0,004	0,008	0,016	Uygundur				
Story12	0,004121	0,012	0,005	0,008	0,016	Uygundur				
Story11	0,004277	0,012	0,005	0,008	0,016	Uygundur				
Story10	0,004302	0,012	0,005	0,008	0,016	Uygundur				
Story9	0,004385	0,012	0,005	0,008	0,016	Uygundur				
Story8	0,004426	0,012	0,005	0,008	0,016	Uygundur				
Story7	0,00441	0,012	0,005	0,008	0,016	Uygundur				
Story6	0,004306	0,012	0,005	0,008	0,016	Uygundur				
Story5	0,004032	0,011	0,005	0,008	0,016	Uygundur				
Story4	0,003741	0,010	0,004	0,008	0,016	Uygundur				
Story3	0,00325	0,009	0,004	0,008	0,016	Uygundur				
Story2	0,002439	0,007	0,003	0,008	0,016	Uygundur				
Story1	0,00106	0,003	0,001	0,008	0,016	Uygundur				

○ Düzensizlik Kontrolleri

TBDY 2018 binaların düzensizlik durumlarına göre de belli kıstaslar getirmiştir. Binanın modellenmesinde deprem etkilerinin karşılanmasında binada belli sınırlar içerisinde düzensizliklere izin verilir. Bu durumlar **Şekil 3.23** ve **Şekil 3.24**'de verilmiştir.

A – PLANDA DÜZENSİZLİK DURUMLARI	İlgili Maddeler
<p>A1 – Burulma Düzensizliği: Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî kat ötelemeye oranını ifade eden <i>Burulma Düzensizliği Katsayısı</i> η_{bi}'nin 1.2'den büyük olması durumu (Şekil 3.1).</p> <p>$[\eta_{bi} = (\Delta_{i, \max}^{(X)}) / (\Delta_{i, \text{ort}}^{(X)}) > 1.2]$. Görelî kat ötelemelerinin hesabı, \pm %5 ek dışmerkezlik etkileri de gözönüne alınarak, 4.7'ye göre yapılacaktır.</p>	3.6.2.1
<p>A2 – Döşeme Süreksizlikleri: Herhangi bir kattaki döşemede (Şekil 3.2);</p> <p>I – Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu,</p> <p>II – Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu,</p> <p>III – Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu</p>	3.6.2.2
<p>A3 – Planda Çıkıntılar Bulunması: Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultudaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu (Şekil 3.3).</p>	3.6.2.2

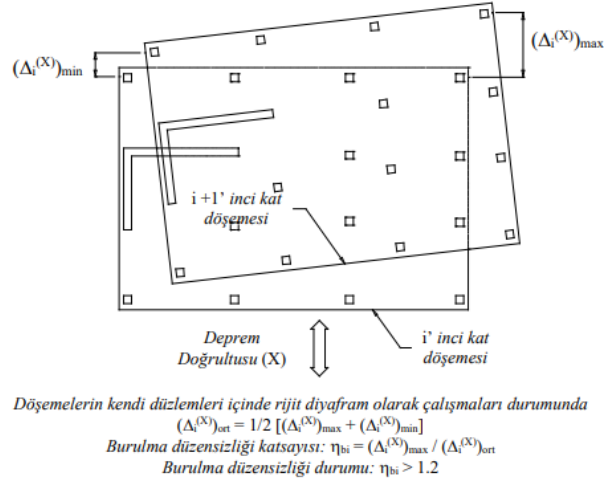
Şekil 3.23: Planda Düzensizlik Durumları.

B – DÜŞEYDE DÜZENSİZLİK DURUMLARI	İlgili Maddeler
<p>B1 – Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat): Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki <i>toplam etkili kesme alanı</i>'nin, bir üst kattaki <i>toplam etkili kesme alanı</i>'na oranı olarak tanımlanan <i>Dayanım Düzensizliği Katsayısı</i> η_{ci}'nin 0.80'den küçük olması durumu.</p> <p>$[\eta_{ci} = (\sum A_{z,i}) / (\sum A_{z,i+1}) < 0.80]$</p> <p>Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı: $(\sum A_{z,i}) = (\sum A_{w,i}) + (\sum A_{k,i}) + (0.15 \sum A_{k,i})$</p> <p>Not: 4.9.1.3(b)'de tanımlanan duvarlar için $A_k = 0$ alınacaktır.</p>	3.6.2.3
<p>B2 – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat): Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bodrum katlar dışında, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan <i>Rijitlik Düzensizliği Katsayısı</i> η_{ri}'nin 2.0'den fazla olması durumu.</p> <p>$[\eta_{ri} = (\Delta_{i, \text{ort}}^{(X)} / h_i)_{\text{ort}} / (\Delta_{i+1, \text{ort}}^{(X)} / h_{i+1})_{\text{ort}} > 2.0$ veya $\eta_{ri} = (\Delta_{i, \text{ort}}^{(X)} / h_i)_{\text{ort}} / (\Delta_{i-1, \text{ort}}^{(X)} / h_{i-1})_{\text{ort}} > 2.0]$</p> <p>Görelî kat ötelemelerinin hesabı, \pm %5 ek dışmerkezlik etkileri de gözönüne alınarak 4.7'ye göre yapılacaktır.</p>	3.6.2.1
<p>B3 – Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği: Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumu (Şekil 3.4).</p>	3.6.2.4

Şekil 3.24: Düşeyde Düzensizlik Durumları.

A1 Burulma Düzensizliğinin Kontrolü

Bu düzensizlik türünde kattaki maksimum yatay yer değiştirmesinin ortalama kat yer değiştirmesine oranı olarak bir tahkik yapılması gerekir (Şekil 3.25).



Şekil 3.25: Burulma Düzensizliği.

Elbette burada katların rijit diyafram gibi davrandığı kabul edildiği düşünülerek kontroller yapılır. **Tablo 3.10**'da ETABS üzerinden storymax/avg drifts değerleri görülmektedir ve ratio değerinin 1 olması binada burulma düzensizliğinin olmadığını gösteriyor.

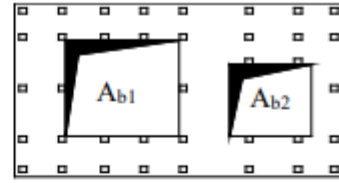
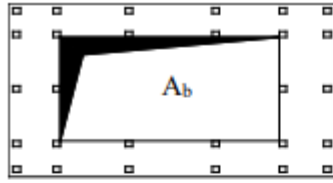
Tablo 3.10: Burulma Düzensizliği Oranları

Story	Deprem Tipi	Direction	Max Drift	Avg Drift	Ratio
Story21	EQX	X	6,765	6,765	1
Story20	EQX	X	7,62	7,62	1
Story19	EQX	X	8,515	8,515	1
Story18	EQX	X	9,465	9,465	1
Story17	EQX	X	10,384	10,384	1
Story16	EQX	X	11,259	11,259	1
Story15	EQX	X	11,704	11,704	1
Story14	EQX	X	12,354	12,354	1
Story13	EQX	X	12,949	12,949	1
Story12	EQX	X	13,473	13,473	1
Story11	EQX	X	13,921	13,921	1
Story10	EQX	X	13,966	13,966	1
Story9	EQX	X	14,172	14,172	1
Story8	EQX	X	14,248	14,248	1
Story7	EQX	X	14,153	14,153	1
Story6	EQX	X	13,809	13,809	1
Story5	EQX	X	12,967	12,967	1
Story4	EQX	X	11,95	11,95	1
Story3	EQX	X	10,267	10,267	1
Story2	EQX	X	7,605	7,605	1
Story1	EQX	X	3,284	3,284	1

Tablo 3.10'da görüleceği üzere yönetmelik eşdeğer deprem yükü yöntemini dikkate alarak bu hesaplamaların yapılması gerektiğini söyler. Bina kare ve bina elemanlarının yakın rijitlikte olması binadaki kütle merkezi ile rijitlik merkezini yakın bir duruma hatta bazen üst üste bile düşmesini sağlayabilir.

A2 Döşeme Süreksizlik Düzensizliği Kontrolü

Bu tür düzensizlikte kat içindeki yerel döşeme veya asansör boşluklarının binada yük iletiminde bir sorun çıkarabileceği düşünülür. TBDY 2018 bu durumu boşluk alanlarının toplam kat alanına oranının 1/3'ünden fazla olması kuralını koyarak engeller (**Şekil 3.26**).



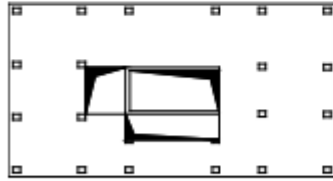
$$A_b = A_{b1} + A_{b2}$$

A2 türü düzensizlik durumu – I

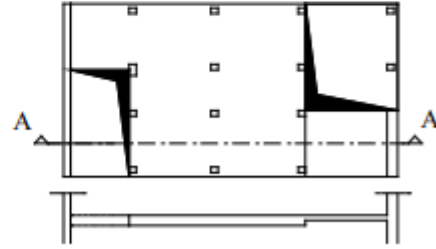
$$A_b / A > 1/3$$

A_b : Boşluk alanları toplamı

A : Brüt kat alanı



A2 türü düzensizlik durumu – II



Kesit A-A

A2 türü düzensizlik durumu – II ve III

Şekil 3.26: Döşeme Süreksizliği

Tasarımını yaptığımız binada sadece asansör boşlukları vardır:

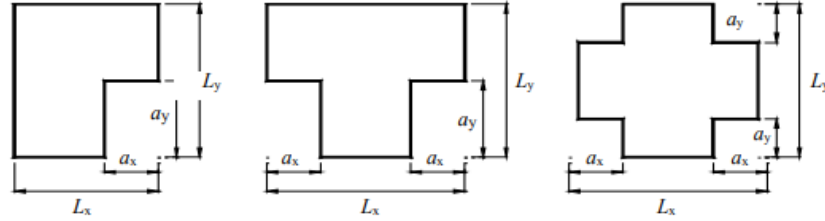
$$A_b = 4 \times 4 \times 4 = 64 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{Toplam}} = 36 \times 36 = 1296 \text{ m}^2$$

$A_b / A_{\text{Toplam}} = 64 / 1296 = 0,049 < 1/3$ sonucunda binamızda bu tür düzensizliğin olmadığı anlaşılmıştır.

A3 Planda Çıkıntı Düzensizliği Kontrolü

Bu tür düzensizlik binadaki çıkıntıların belirli sınırlar arasında olması gerektiğini söyler (Şekil 3.27).



Şekil 3.27: Çıkıntı Düzensizliği.

Tasarımı yapılan bina planda kare ve çıkıntıları olmadığından bir hesap yapılmasına gerek yoktur.

B1 Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) Kontrolü

Bu düzensizlik türü bir kattaki etkili kesme alanının bir üst kattaki etkili kesme alanına oranının 0,80 değerinden küçük olmasıyla ortaya çıkar. Kesme alanından kasıt kolon, perde ve duvarların kesit alanlarıdır.

$$\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0.15 \sum A_k \quad (3.7)$$

Tablo 3.11: B1 Düzensizliği Kontrolü

Story	Kolon Kesit Alanı (cm ²)	Perde Kesit Alanı (cm ²)	Duvar Kesit Alanı (cm ²) %15	Toplam Kesit Alanları (cm ²)	Ratio
Story1	252000	44000	790400	1086400	1
Story2	252000	44000	790400	1086400	1
Story3	252000	44000	790400	1086400	1
Story4	252000	44000	790400	1086400	1
Story5	252000	44000	790400	1086400	1,052305
Story6	202000	40000	790400	1032400	1
Story7	202000	40000	790400	1032400	1
Story8	202000	40000	790400	1032400	1
Story9	202000	40000	790400	1032400	1
Story10	202000	40000	790400	1032400	1,049187
Story11	157600	36000	790400	984000	1
Story12	157600	36000	790400	984000	1
Story13	157600	36000	790400	984000	1
Story14	157600	36000	790400	984000	1
Story15	157600	36000	790400	984000	1,045474
Story16	118800	32000	790400	941200	1
Story17	118800	32000	790400	941200	1
Story18	118800	32000	790400	941200	1
Story19	118800	32000	790400	941200	1
Story20	118800	32000	790400	941200	1
Story21	118800	32000	790400	941200	-

B2 Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) Kontrolü

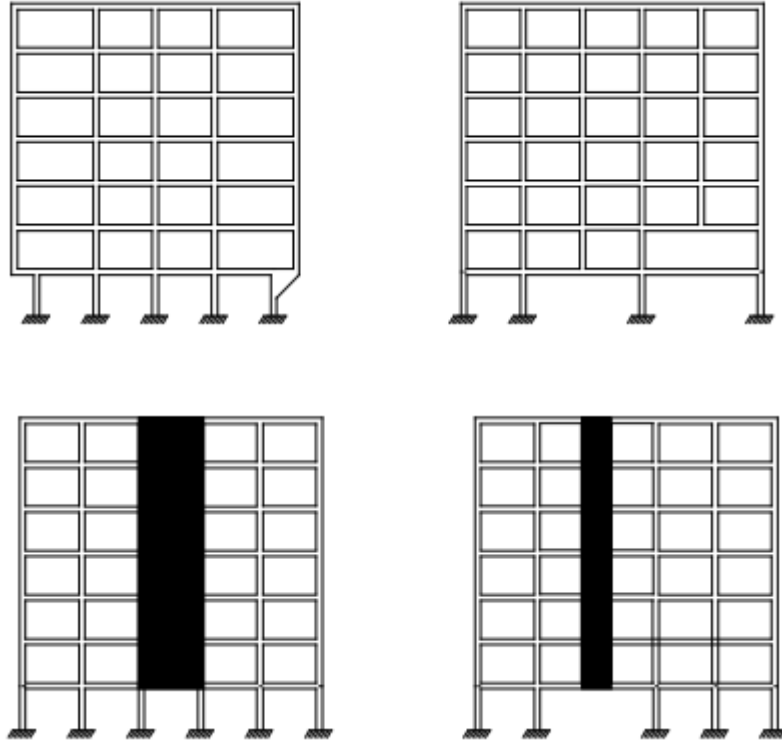
Bu düzensizlik türü ortalama görelî kat yer değiştirmesinin bir alt kat ve bir üst kattaki görelî kat yer değiştirmesine oranının 2'den büyük olması durumunda ortaya çıkar. **Tablo 3.12**'de bu durum kontrol edilmiştir.

Tablo 3.12: Yumuşak Kat Kontrolü

Katlar	$(\Delta_i / h_i)_{ort}$	$(\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort}$	$(\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1} / h_{i-1})_{ort}$
Story1	1.26	0.46	-
Story2	2.76	0.70	2.18
Story3	3.95	0.79	1.43
Story4	4.98	0.85	1.26
Story5	5.84	0.88	1.17
Story6	6.59	0.91	1.13
Story7	7.21	0.93	1.09
Story8	7.72	0.95	1.07
Story9	8.13	0.96	1.05
Story10	8.44	0.97	1.04
Story11	8.70	0.98	1.03
Story12	8.85	0.99	1.02
Story13	8.94	1.00	1.01
Story14	8.98	1.00	1.00
Story15	8.96	1.00	1.00
Story16	8.94	1.01	1.00
Story17	8.85	1.01	0.99
Story18	8.75	1.01	0.99
Story19	8.63	1.01	0.99
Story20	8.52	1.02	0.99
Story21	8.37	-	0.98

B3 Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği Kontrolü

B3 türü düzensizlikte Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumu incelenir (TBDY 2018) (**Şekil 3.28**). Tasarımı yapılan binada bu düzensizlik yoktur.



Şekil 3.28: B3 Türü Düzensizlikler.

○ İkinci Mertebe Etkilerin Kontrolü

İkinci mertebe etkiler binadaki normal kuvvetlerin büyük olması ve binadaki rijitlik ölçütüne göre birinci mertebe etkilere göre önem kazanır. TBDY 2018 bu durum için göz önüne alınan (X) deprem doğrultusunda her bir i'inci katta İkinci Mertebe Gösterge Değeri (X) θ_{11i} 'in hesaplanmasını ister (**Denklem 3.8**).

$$\theta_{11i} = \frac{N_i \Delta_{i,ort}}{V_i h_i} \quad (3.8)$$

Burada N_i kat normal kuvveti, V_i kat kesme kuvveti, h_i kat yüksekliği ve $\Delta_{i,ort}$ kat azaltılmış görelî ötelenmeleridir. Tüm katlar için bu hesaplama yapıldıktan sonra sonuçlar **Denklem 3.9**'a göre kontrol edilir (**Tablo 3.13**),

$$\theta_{11i} \leq \frac{0,12 D}{Ch R} \quad (3.9)$$

Burada R taşıyıcı sistem davranış katsayısı, D dayanım fazlalığı katsayısı ve Ch ise taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan histeretik davranışına bağlı olarak tanımlanan bir katsayıyı göstermektedir ve betonarme binalar için $Ch = 0,5$ değeri alınır.

Tablo 3.13: İkinci Mertebe Etkileri Kontrolü.

Kat No.	h(m)	Ort. Gör.		$\Sigma W_i(kN)$	$V_i(kN)$	$V_i \cdot h_i(kNm)$	$\theta_{11,i}$	θ_{max}	$0,12 \cdot D / (Ch \cdot R)$
		Kat. Ö.	Wi(kN)						
Story21	3,5	0,01	13938	13938	2314	8099	0,01	0,05	0,09
Story20	3,5	0,01	15032	28970	3049	10673	0,02		
Story19	3,5	0,01	15032	44002	3748	13118	0,03		
Story18	3,5	0,01	15032	59034	4410	15435	0,03		
Story17	3,5	0,01	15032	74065	5035	17623	0,04		
Story16	3,5	0,01	15032	89097	5623	19682	0,04		
Story15	3,5	0,01	15142	104240	6179	21627	0,04		
Story14	3,5	0,01	15272	119512	6702	23457	0,05		
Story13	3,5	0,01	15063	134575	7188	25157	0,05		
Story12	3,5	0,01	15272	149847	7636	26726	0,05		
Story11	3,5	0,01	15272	165118	8047	28165	0,05		
Story10	3,5	0,01	15404	180522	8424	29483	0,05		
Story9	3,5	0,01	15554	196076	8766	30682	0,05		
Story8	3,5	0,01	15554	211630	9071	31747	0,05		
Story7	3,5	0,01	15554	227184	9337	32679	0,05		
Story6	3,5	0,01	15554	242738	9565	33479	0,05		
Story5	3,5	0,01	15707	258445	9757	34151	0,04		
Story4	3,5	0,00	15878	274323	9913	34695	0,04		
Story3	3,5	0,00	15878	290201	10029	35103	0,03		
Story2	3,5	0,00	15878	306079	10107	35374	0,02		
Story1	3,5	0,00	15894	321973	10146	35511	0,01		

Tablo 3.13'den de görüleceği üzere bina ikinci mertebe etkiler konusunda **Denklem 3.9**'da verilen şartı sağlıyor.

○ Yapılan Yüklemeler

TBDY 2018 Bölüm 4.4 dikkate alınarak yüklemeler ve birleştirmeler yapılmıştır. Burada yapılan birleştirmeler taşıyıcı sistemin tasarımına ilişkin olarak yapılmıştır (**Denklem 3.10, 3.11, 3.12**).

$$\begin{aligned}
 &G + Q + 0.2S + E_d^{(H)} + 0.3E_d^{(Z)} \\
 &0.9G + H + E_d^{(H)} - 0.3E_d^{(Z)}
 \end{aligned} \tag{3.10}$$

$$\begin{aligned}
 E_d^{(H)} &= \pm E_d^{(X)} \pm 0.3E_d^{(Y)} \\
 E_d^{(H)} &= \pm 0.3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)}
 \end{aligned} \tag{3.11}$$

$$\begin{aligned}
 &G + Q + 0.2S + EX + 0.3EY + 0.3EZ \\
 &G + Q + 0.2S + EX - 0.3EY + 0.3EZ \\
 &G + Q + 0.2S - EX + 0.3EY + 0.3EZ \\
 &G + Q + 0.2S - EX - 0.3EY + 0.3EZ \\
 &G + Q + 0.2S + 0.3EX + EY + 0.3EZ \\
 &G + Q + 0.2S + 0.3EX - EY + 0.3EZ \\
 &G + Q + 0.2S - 0.3EX + EY + 0.3EZ \\
 &G + Q + 0.2S - 0.3EX - EY + 0.3EZ
 \end{aligned} \tag{3.12}$$

Denklem 7.10'da 8 adet kombinasyon vardır. Lakin biz bu kombinasyonlara $\pm\%5$ dış merkez uygulayarak kullanacağız. (**Denklem 3.13**)

$$\begin{aligned}
 &G + Q + 0.2S + [+0,05] EX + [+0,05]0,3EY + 0.3EZ \\
 &G + Q + 0.2S + [+0,05] EX + [+0,00]0,3EY + 0.3EZ \\
 &G + Q + 0.2S + [+0,05] EX + [-0,05]0,3EY + 0.3EZ
 \end{aligned} \tag{3.13}$$

Yukarıda görülen 3 kombinasyon **Denklem 3.10**'daki her bir kombinasyon içindir. Yani toplamda 72 adet kombinasyon oluşturulur.

3.6.1. Betonarme Elemanların Tasarımı

Tasarım aşamasına geçilebilmesi için TBDY 2018’de verilen deprem etkili kombinasyonların binaya verilmesi ve analizi sonucunda binada oluşan etkilerini gözlemlemek gerekir. Bir önceki kısımlarda da görüleceği üzere yüklemeler yapılmış olup tasarım aşamasının önünde bir engel yoktur. Tasarım TBDY 2018 Bölüm 7’ye göre yapılmıştır. Binanın yüksek bina sınırında olması hasebiyle süneklik düzeyi yüksek olarak tasarımının yapılması gerekmektedir. Çünkü TBDY 2018 yüksek binaların sadece yüksek süneklik dikkate alınarak yapılacağını belirtir. Burada sırasıyla kiriş, kolon ve perde elemanlarının tasarımı için birer örnek verilecek ve bu işlemler binadaki tüm kesitler için uygulanacaktır.

○ Kirişlerin Tasarımı

Kirişler için tasarımda izlenen yol önceki bölümlerde anlatılmıştır. Kirişler için eksenlere göre tiplendirme yapılmıştır. Bu tiplendirmeler tüm katlarda kullanılmıştır. Öncelikle boyuna donatı işlemleri yapılmıştır (**Tablo 3.14, Tablo 3.15**).

Tablo 3.14: Kirişler İçin Donatı Alanları

X ve Y Yönü İçin							
Kiriş Tipi	B/H (cm)	L(cm)	ETABS Donatı Alanları		Seçilen (mm ²)		
			Açıklık (cm ²)	Montaj (cm ²)	Min.Donatı Alanı(cm ²)	Açıklık Donatısı	Montaj Donatısı
1-6 Aksı	30/70	800/400	6,71	6,40	6,80	3Ø18 (7,63)	3Ø18 (7,63)
2-5 Aksı	30/70	800/400	10,34	6,40	6,80	4Ø20 (12,54)	3Ø18 (7,63)
3-4 Aksı	30/70	800	9,51	6,40	6,80	4Ø18 (10,18)	3Ø18 (7,63)
3-4 Aksı	30/70	400	15,55	7,68	6,80	5Ø20 (15,71)	4Ø16 (8,04)
3' -B' Aksı	25/50	400	3,72	3,72	4,05	3Ø14 (4,62)	3Ø14 (4,62)
4'-C' Aksı	25/50	400	8,49	7,12	4,05	3Ø20 (9,42)	3Ø18 (7,63)

Tablo 3.15'de mesnet ilave donatılarıyla birlikte kirişin toplam donatı alanları gösterilmiştir. İleride enine donatı hesabında bu hesaplamalar kullanılacaktır.

Tablo 3.15: Kirişler İçin Mesnet Donatıları

X ve Y Doğrultusu İçin							
ETABS Donatı Alanları		Üst Donatı Seçilen İlave(mm ²)		Üst		Alt	
Sol Mesnet (cm ²)	Sağ Mesnet (cm ²)	Sol Mesnet (cm ²)	Sağ Mesnet (cm ²)	Sol Mesnet (cm ²)	Sağ Mesnet (cm ²)	Sol Mesnet (cm ²)	Sağ Mesnet (cm ²)
13,82	11,7	3Ø18 (7,63)	3Ø14 (4,62)	15,26	12,25	7,63	7,63
15,18	13,13	3Ø18 (7,63)	3Ø18 (7,63)	15,26	15,26	10,34	10,34
19,9	18,43	4Ø20 (12,54)	4Ø20 (12,54)	20,17	20,17	9,51	9,51
18,01	18,01	4Ø18 (10,18)	4Ø18 (10,18)	18,22	18,22	15,55	15,55
3,72	3,72	-	-	4,62	4,62	3,72	3,72
10,27	-	2Ø14 (3,08)	-	10,71	7,63	8,49	8,49

Kiriş enine donatı hesabı TBDY 2018 ve TS500 esas alınarak yapılmıştır. **Tablo 3.16**'de 1-6 eksenini için enine donatı hesabı yapılmıştır.

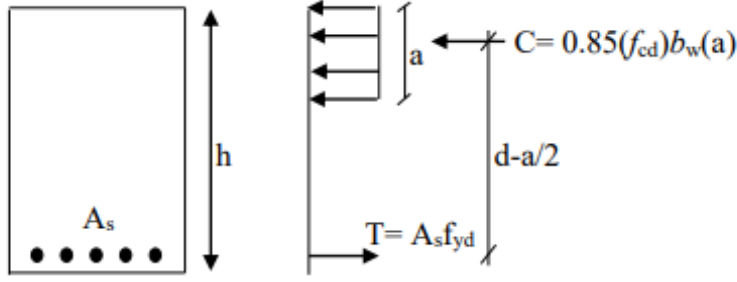
Tablo 3.16: Kirişler İçin Kesme Donatısı Hesabı

MESNET ENİNE DONATI 1-6 AKSI								
				As (cm ²)		Mr (kNm)		
bw (cm)	h (cm)	Lc (cm)	Vdy (kN)	SOL	SAĞ	SOL	SAĞ	
30	70	800	104,12	15,26	6,7	356	162	
Mp (kNm) [1.4*Mr]								
SOL	SAĞ	V (kN)	Ve (kN)	Vdy (D=2,5) (kN)	Seçilen	Vc kontrolü Vc katkısı var.		
499	227	91	194,8	200	194,8			
Vd _{seçilen} (kN)	Φ (mm)	s (cm)	n (kol adedi)	Asw (mm ²)	Vcr (kN)	Vc (kN)	Vw (kN)	Vr (kN)
194,8	8	10	4	201	196	157	499	656
AÇIKLIK ENİNE DONATI 1-6 AKSI								
Vd _{seçilen} (kN)	Φ (mm)	s (cm)	n (kol adedi)	Asw (mm ²)	Vcr (kN)	Vc (kN)	Vw (kN)	Vr (kN)
74,0	8	20	4	201	196	157	250	407

Tablo 3.16'dan da görüldüğü gibi kirişlerin enine donatı kontrolleri sağlanmıştır. Diğer tip kirişlerin hesabı da tablo halinde örnek kiriş hesabı sonrasında verilecektir.

1-6 Aksı Kiriş Tipi İçin Örnek Çözüm

Hesaplar **Denklem 3.14**'de verilen yöntemle göre yapılacaktır.



$$M_d = C \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad \rightarrow \quad M_d = 0.85 f_{cd} b_w a \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$T = C \quad \rightarrow \quad A_s f_{yd} = 0.85 f_{cd} b_w a$$

$$A_s = \frac{0.85 f_{cd} b_w a}{f_{yd}}$$

(3.14)

$$M_d = 157,26 \text{ kNm} \quad b_w = 30 \text{ cm} \quad h = 70 \text{ cm} \quad d = 66 \text{ cm}$$

$$157,26 \times 10^6 = 0,85 \times 26,67 \times 300 \times a \times (660 - 0,5a) \quad a = 3,6 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{0,85 \times 26,67 \times 300 \times 36}{365} = 671 \text{ mm}^2$$

$$\text{Seçilen Açıklık Donatısı} = 3\phi 18 \text{ (763 mm}^2\text{)}$$

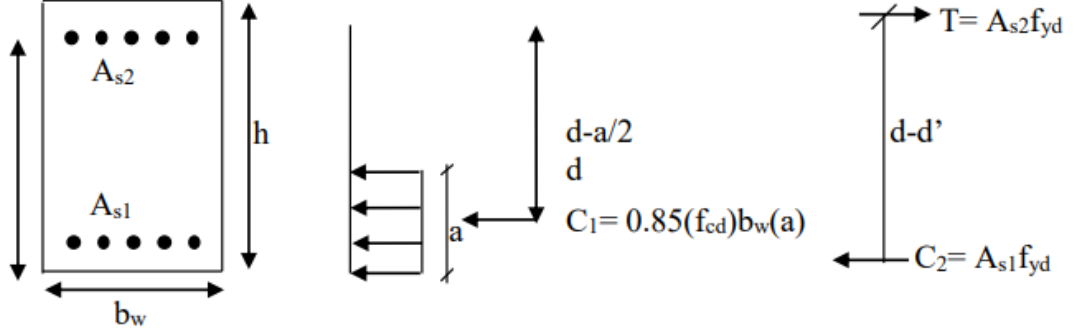
$$\text{Seçilen Montaj Donatısı} = 3\phi 18 \text{ (763 mm}^2\text{)}$$

$$\rho_{\min} = 0,8 \times \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \times b \times h = 0,8 \times \frac{1,48}{365} \times 300 \times 700 = 6,81 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{\max} = 0,02 \times b \times h = 0,02 \times 300 \times 700 = 42 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,\min} \leq A_{s,\text{mev}} \leq A_{s,\max}$$

Mesnet için hesap;



$$M_d = 314,51 \text{ kNm} \quad b_w = 30 \text{ cm} \quad h = 70 \text{ cm} \quad d = 66 \text{ cm}$$

$$314,51 \times 10^6 = 0,85 \times 26,67 \times 300 \times a \times (660-0,5) \quad a = 7,4 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{0,85 \times 26,67 \times 300 \times 74}{365} = 13,8 \text{ cm}^2$$

$$\text{Mevcut Donatı} = 3\phi 18 \text{ (} 7,63 \text{ cm}^2 \text{)}$$

$$\text{İlave Donatı} = 3\phi 18 \text{ (} 7,63 \text{ cm}^2 \text{)}, \text{ Toplam Donatı} = 6\phi 18 \text{ (} 15,26 \text{ cm}^2 \text{)}$$

Kesme Güvenliği Kontrolü

Mesnet:

Kirişlerin kesme güvenliği kontrolü TBDY 2018 Bölüm 7'ye göre yapılmıştır **(Denklem 3.15)**.

$$V_e = V_{dy} \pm (M_{pi} + M_{pj}) / \ell_n \quad (3.15)$$

$$V_e \leq V_r$$

$$V_e \leq 0.85b_w d \sqrt{f_{ck}}$$

V_{dy} değeri G+Q düşey yüklerden elde edilen kesme kuvvetidir. Bu değer ETABS'dan alınmıştır. M_{pi} ve M_{pj} plastik moment değerleridir. Bu değerler kapasite değerinin 1,4 katı alınarak yaklaşık olarak elde edilebilir.

$$V_{dy} = 104,12 \text{ kN}, \quad M_{ri} = 356 \text{ kNm}, \quad M_{rj} = 162 \text{ kNm}, \quad V_{dy} (D) = 200 \text{ kN},$$

$$M_{pi} = 499 \text{ kNm}, \quad M_{pj} = 227 \text{ kNm}, \quad A_{s,sol \text{ üst}} = 15,26 \text{ cm}^2, \quad A_{s,sağ \text{ alt}} = 7,63 \text{ cm}^2$$

$$V_e = 104,12 + (499+227)/8 = 194,87 \text{ kN}$$

Yönetmelik V_e ve $V_{dy}(D)$ değerlerinden küçük olanın hesaplarda kullanılmasını gerektiğini söyler.

$$\text{Seçilen } V_e = 194,87 \text{ kN}$$

Burada betonun enine donatıya katkısı kontrol edilecektir. TBDY 2018 ‘de “kiriş sarılma bölgesindeki enine donatının hesabında, sadece deprem yüklerinden oluşan kesme kuvvetinin depremlili durumdaki toplam kesme kuvvetinin yarısından daha büyük olup olmadığı kontrol edilir” bu şekilde bir açıklamayla kontrol yöntemi gösterilmiştir.

$V_E = (499+227)/8 = 91 \text{ kN}$, $V_e = 194,87 / 2 = 97 \text{ kN}$ olduğundan betonun katkısı dikkate alınacaktır.

Enine donatı sıklığı en önemli kavramlardan biridir. Sıklık değeri sünekliğe etki eden en önemli parametredir (**Denklem 3.16**).

$$s_k \leq h_k / 4$$

$$s_k \leq 8\phi \quad (\phi = \text{en küçük boyuna donatı çapı})$$

$$s_k \leq 150 \text{ mm}$$

(3.16)

$$h_k / 4 = 70 / 4 = 17,5 \text{ cm}$$

$$8\phi = 8 \times 1,4 = 11,2 \text{ cm}$$

$$15 \text{ cm}$$

$$\text{Seçilen } s_k = 10 \text{ cm}$$

$$\text{Seçilen Etriye} = 4 \text{ kollu } \phi 8$$

$$V_{cr} = 0,65 \times f_{ctd} \times b_w \times d = 0,65 \times 1,48 \times 300 \times 680 = 196,24 \text{ kN}$$

$$V_c = 0,8 \times V_{cr} = 0,8 \times 196,24 = 157 \text{ kN}$$

$$V_w = A_{sw} \times f_{ywd} \times d / s = 201 \times 365 \times 680 / 100 = 499 \text{ kN}$$

$$V_r = V_c + V_w = 157 + 499 = 656 \text{ kN}$$

Elde edilen sonuçlar **Denklem 3.17** ile kontrol edilir.

$$\begin{aligned} V_e &\leq V_r \\ V_e &\leq 0.85\sqrt{f_{ck}} b_w d \end{aligned} \quad (3.17)$$

$$V_e = 194,87 \text{ kN} \leq V_r = 656 \text{ kN}$$

$$V_e = 194,87 \text{ kN} \leq 0,85 \times \sqrt{40} \times 300 \times 680 = 1097 \text{ kN}$$

Görüleceği üzere kiriş kesme güvenliği sarılma bölgesinde sağlanmıştır.

Açıklık :

Açıklık enine donatı hesabı TS500 kuralları kullanılarak yapılmıştır.

$$V_{dy} = 74 \text{ kN (ETABS)}, \text{ Seçilen } s_k = 20 \text{ cm}, \text{ Seçilen Etriye} = 4 \text{ kollu } \phi 8$$

$$V_{cr} = 0,65 \times f_{ctd} \times b_w \times d = 0,65 \times 1,48 \times 300 \times 680 = 196 \text{ kN}$$

$$V_c = 0,8 \times V_{cr} = 0,8 \times 196 = 157 \text{ kN}$$

$$V_w = A_{sw} \times f_{ywd} \times d / s = 201 \times 365 \times 680 / 200 = 250 \text{ kN}$$

$$V_r = V_c + V_w = 157 + 250 = 407 \text{ kN}$$

$$V_e = 74 \text{ kN} \leq V_r = 656 \text{ kN}$$

$$V_e = 74 \text{ kN} \leq 0,85 \times \sqrt{40} \times 300 \times 680 = 1097 \text{ kN}$$

Görüleceği üzere kiriş kesme güvenliği açıklık bölgesinde sağlanmıştır.

Kiriş yüksekliği 60 cm'den büyük olduğu için gövde donatısı kullanılmalı.

TS500 Bölüm 7'de $A_s = 0,001 b_w d$ denklemi verilmiştir.

$$A_s = 0,001 b_w d = 0,001 \times 300 \times 680 = 2,04 \text{ cm}^2$$

$$\text{Seçilen Donatı} = 2 \times 2\phi 12 (4,52)$$

Tablo 3.17'de tüm tip kirişler için donatı açıklamaları verilmiştir.

Tablo 3.17: Kirişlerin tüm Donatıları.

Kiriş Tipi	L(cm)	Açıklık Donatısı (cm ²)	Montaj Donatısı (cm ²)	Sol Mesnet (cm ²)	Sağ Mesnet (cm ²)	Gövde Donatısı (cm ²)	Enine Donatı	Kol Sayısı
1-6 Aksı	800	3Ø18 (7,63)	3Ø18 (7,63)	3Ø18 (7,63)	3Ø14 (4,62)	2x2Ø12 (4,52)	Ø8/10	4
1-6 Aksı	400	3Ø18 (7,63)	3Ø18 (7,63)	3Ø18 (7,63)	3Ø14 (4,62)	2x2Ø12 (4,52)	Ø8/10	2
2-5 Aksı	800	4Ø20 (12,54)	3Ø18 (7,63)	3Ø18 (7,63)	3Ø18 (7,63)	2x2Ø12 (4,52)	Ø8/10	2
2-5 Aksı	400	4Ø20 (12,54)	3Ø18 (7,63)	3Ø18 (7,63)	3Ø18 (7,63)	2x2Ø12 (4,52)	Ø8/10	2
3-4 Aksı	800	4Ø18 (10,18)	3Ø18 (7,63)	4Ø20 (12,54)	4Ø20 (12,54)	2x2Ø12 (4,52)	Ø8/10	2
3-4 Aksı	400	5Ø20 (15,71)	4Ø16 (8,04)	4Ø18 (10,18)	4Ø18 (10,18)	2x2Ø12 (4,52)	Ø10/10	2
3' -B' Aksı	400	3Ø14 (4,62)	3Ø14 (4,62)	-	-	-	Ø8/10	2
4'-C' Aksı	400	3Ø20 (9,42)	3Ø18 (7,63)	2Ø14 (3,08)	-	-	Ø10/10	2

o Kolonların Tasarımı

Taşıyıcı sistemin sünek davranış göstermesi yüksek bina tasarımında en önemli hususlardan bir tanesidir. Çünkü taşıyıcı sistemde hesapta olmayan gevrek bir kırılma binanın toptan göçmesine sebep olabilir. Bu durumun önüne geçmek için kolonlarda eksenel yük TBDY 2018’de geçen $N_{dm} \leq 0,4A_c f_{ck}$ formülüyle sınırlandırılmıştır. Bunun en önemli sebebi eksenel yükün belli bir sınırdan sonra sünekliği ciddi bir biçimde azaltmasıdır (**Tablo 3.18**).

Tablo 3.18: Kolon Eksenel Yük Kontrolü.

Kolon Kesiti (cm)	Alan (mm ²)	f_{ck} (Mpa)	G+Q+E (kN)	$N_{dm}/A_c f_{ck}$	Kontrol/0,40
80	640000	40	8229	0,321	uygun
90	810000	40	9662	0,298	uygun
105	1102500	40	16535	0,375	uygun
100	1000000	40	15692	0,392	uygun
70	490000	40	6180	0,315	uygun
60	360000	40	4120	0,286	uygun
50	250000	40	2153	0,215	uygun

Tablo 3.18’de de görüleceği üzere binadaki tüm tip kolonlar eksenel yük sınır değerini sağlamıştır.

Kolon boyuna donatı hesabı ETABS üzerinden hesaplanmıştır ve tüm kolonlar minimum donatı oranını sağlamıştır. Seçilen donatıya göre kapasiteler hesaplanmıştır. **(Tablo 3.19)**

Tablo 3.19: Kolon Kapasiteleri.

$A_{s_{min}}$ (cm ²)	Adet	$A_{S_{Seçilen}}$	A_s (cm ²)	M_{max} (kNm)	$M_{kapasite}$ (kNm)
64	21	21 ϕ 20	66	472	1848
81	26	26 ϕ 20	82	669	2786
110,25	36	36 ϕ 20	113	975	3603
100	32	32 ϕ 20	101	356	2919
49	16	16 ϕ 20	50	289	1254
36	12	12 ϕ 20	38	255	835
50	16	16 ϕ 20	50	205	625

Bu aşamalardan sonra kolonlar için enine donatı hesabı yapılır. Öncelikle güçlü kolon zayıf kiriş tahkiki yapılacaktır. Çünkü kolon kiriş birleşim bölgelerinde oluşacak hasarı güçlü kolon zayıf kiriş tahkiki sonucunda elde edilir. Eğer kolonlar $M_{ra}+M_{r\bar{u}} \geq 1,2 (M_{ri}+M_{rj})$ şartını sağlıyorsa kolon enine donatı hesabında kiriş plastik momentleri hesaba katılır. **(Tablo 3.20)**

Tablo 3.20: Güçlü Kolon Zayıf Kiriş Kontrolü (mm²).

Kolon		Kiriş		Kontrol
Üst	Alt	Sol	Sağ	$M_{ra}+M_{r\bar{u}} \geq 1,2 (M_{ri}+M_{rj})$
1848	1848	356	184	Uygundur
2786	2786	356	184	Uygundur
3603	3603	356	296	Uygundur
2919	2919	356	296	Uygundur
1254	1254	356	184	Uygundur
835	835	356	184	Uygundur
625	625	356	184	Uygundur

TBDY 2018 Bölüm 7’de $N_d > 0,2A_c f_{ck}$ olması durumunda sarılma bölgelerinde minimum toplam enine donatı alanının **Denklem 3.18**’de verilmiştir.

$$A_{sh} \geq 0.30 s b_k [(A_c / A_{ck}) - 1] (f_{ck} / f_{ywk})$$

$$A_{sh} \geq 0.075 s b_k (f_{ck} / f_{ywk}) \quad (3.18)$$

Tablo 3.21'de seçilen enine donatı ve minimum donatı şartlarının sağlandığı gösterilmiştir.

Tablo 3.21: Kolon Kesme Donatısı Hesabı.

Seçilen Donatı	n kol adedi	Seçilen s (mm)	b _k (cm)	A _c (cm ²)	A _{ck} (cm ²)	A _{sh} cm ²		
						Sonuç cm ²	A _{sh1} cm ²	A _{sh2} cm ²
12	6	120	71,8	6400	5329	6,79	4,95	6,15
12	6	100	81,8	8100	6889	6,79	4,11	5,84
12	7	100	96,8	11025	9604	7,92	4,09	6,91
12	6	100	91,8	10000	8649	6,79	4,10	6,56
12	5	120	61,8	4900	3969	5,65	4,97	5,30
12	5	120	51,8	3600	2809	5,65	5,00	4,44
12	5	120	41,8	2500	1849	5,65	5,05	3,58

Kolonların kesme güvenliği için kolonların alt ve üst ucundaki momentlerin bulunması gerekir (**Denklem 3.19**) (**Tablo 3.22**). Bu hesap adımları ilgili bölümlerde anlatılmıştır.

$$V_c = (M_a + M_u) / \ell_n \quad (3.19)$$

Tablo 3.22: Kolon Kesme Güvenliği İçin Kuvvet Seçimi.

Ve Hesabı					
M _p	M _ü	M _a	Ve	V (D=2,5)	Seçilen Ve
755,89	238,62	225,40	165,72	332,00	165,72
755,89	334,12	341,60	241,33	400,00	241,33
913,14	474,73	530,60	359,05	632,00	359,05
913,14	354,47	240,12	212,35	335,00	212,35
755,89	371,11	340,70	254,22	332,00	254,22
755,89	276,35	328,59	216,05	331,00	216,05
755,89	277,75	309,02	209,56	270,00	209,56

Kolon kesme güvenliğinde betonun katkısının olup olmadığına bakılmalıdır. TBDY 2018 Bölüm 7'de "kolon sarılma bölgelerindeki enine donatının hesabında, sadece deprem yüklerinden oluşan kesme kuvvetinin depremli durumdaki toplam kesme kuvvetinin yarısından daha büyük olması ve aynı zamanda $N_d \leq 0,05 A_c f_{ck}$

koşulunun sağlanması halinde, betonun kesme dayanımına katkısı $V_c = 0$ alınacaktır” şartı geçmektedir. (Tablo 3.23, 3.24)

Tablo 3.23: Kolon V_c Kontrolü (kN)

Vc Konttolü				
V(G+Q+E)	V (E)	G+Q+E (kN)	Nd<0,05Ac fck	Kontrol
144,00	107	8229	1280	Vc Hesap
155,00	141	9662	1620	Vc Hesap
233,00	210	16535	2205	Vc Hesap
74,00	51	15692	2000	Vc Hesap
156,00	108	6180	980	Vc Hesap
151,00	106	4120	720	Vc Hesap
123,00	84	2153	500	Vc Hesap

Tablo 3.24: Kesme Hesabının Uygunluğunun Kontrolü.

Vd (kN)	Vcr (kN)	Vc (kN)	Vw (kN)	Vr (kN)	Vw (kN)	Vr (kN)
320	1170	936	1900	2836	uygun	uygun
400	1430	1144	2565	3709	uygun	uygun
632	2174	1739	3491	5231	uygun	uygun
212	2019	1615	2850	4465	uygun	uygun
254	888	710	1385	2095	uygun	uygun
216	624	499	1188	1687	uygun	uygun
210	385	308	990	1298	uygun	uygun

Tablo 3.24'de de görüldüğü gibi kolonların kesme güvenliği sağlanmıştır.

Kesme güvenliğinde son kontrol kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kuşatılmış veya kuşatılmamış olarak yapılacaktır. Bu hususlar ilgili bölümde açıklanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucu birleşim bölgeleri kuşatılmamış birleşim olarak elde edilmiştir. (Tablo 3.25) Hesaplamalar **Denklem 3.20**'ye göre yapılmıştır ve sınır koşulun kuşatılmamış birleşimlerde **Denklem 3.21**'i sağlaması gerekir.

$$V_c = 1.25 f_{yk} (A_{s1} + A_{s2}) - V_{kol} \quad (3.20)$$

$$V_c \leq 1.0 b_j h \sqrt{f_{ck}} \quad (3.21)$$

Tablo 3.25: Kuşatılmamış Birleşim Kontroller.

A _{s1} (cm ²)	A _{s2} (cm ²)	fyk (Mpa)	V _{kol} (kN)	X		Y	
				V _e (kN)	V _e (kN)	Max V _e Kontrol	
12,25	7,63	420	140	903,7	503,13	4047,72	
12,25	7,63	420	124	919,7	519,13	5122,89	
15,26	12,54	420	74	1385,5	1385,50	6972,82	
15,26	12,54	420	74	1385,5	1385,50	6324,56	
12,25	7,63	420	140	903,7	503,13	3099,03	
12,25	7,63	420	123	920,7	520,13	2276,84	
12,25	7,63	420	123	920,7	520,13	1581,14	

Tablo 3.25'de her iki yön için sınır koşulların sağlandığı gösterilmiştir.

Örnek Kolon Tasarımı

Burada tasarımı yapılan kolon 1,05m x1,05 m olup boyutlarında zemin katta bulunmaktadır.

- $N_{dm} \leq 0,4A_c f_{ck}$

$$A_c = 1050 \times 1050 = 1102500 \text{ mm}^2 \quad f_{ck} = 40 \text{ MPa}$$

$$16535 \text{ kN} \leq 0,4A_c f_{ck} = 0,4 \times 1102500 \times 40 = 17640 \text{ kN}$$

- Minimum donatı oranı = 0,01 Maksimum donatı oranı = 0,04

$$A_s = 0,01 \times 105 \times 105 = 110,25 \text{ cm}^2 / A_{s\text{seçilen}} = 36\phi 20 (113 \text{ cm}^2) / \text{Kapasite} = 3603 \text{ kNm}$$

- $M_{ra} + M_{r\ddot{u}} \geq 1,2 (M_{ri} + M_{rj})$

$$(3603 + 3603) \geq 1,2 (356 + 296) \rightarrow 7206 \geq 782,4$$

- Minimum A_{sh} Kontrolü

7 kollu $\phi 12/10$ seçimi yapılırsa ve $d' = 3,5 \text{ cm}$ seçilirse;

$$b_k = 105 - (2 \times 3,5) - 1,2 = 96,8 \text{ cm}$$

$$A_c = 105 \times 105 = 11025 \text{ cm}^2$$

$$A_{ck} = (105 - 2 \times 3,5) \times (105 - 2 \times 3,5) = 9604 \text{ cm}^2$$

$$A_{sh1} = 0,30 \times 10 \times 96,8 \times ((11025/9604) - 1) \times (40/420) = 4,09 \text{ cm}^2$$

$$A_{sh2} = 0,075 \times 10 \times 96,8 \times (40/420) = 6,91 \text{ cm}^2$$

$$A_{sh} = 7 \times \pi (1,2)^2 / 4 = 7,92 \text{ cm}^2$$

$A_{sh} > A_{sh1}, A_{sh2}$ şartı sağlanmıştır.

Bu aşamada **Şekil 3.29**'da güçlü kolon-zayıf kiriş koşulunun sağlanması ile izlenmesi gereken adımlar gösterilmiştir. Kirişlerin uçlarındaki kapasitelerden plastik momentler elde edilir ve toplanır. Elde edilen toplam, kolon üst ucu ve bir üst kattaki kolon üst ucundaki momentler aracılığıyla dağıtılır.

$$M_{ri} = 356,14 \text{ kNm} , \quad M_{rj} = 296,1 \text{ kNm}$$

$$M_{pi} = 1,4 M_{ri} = 498,6 \text{ kNm} , \quad M_{pj} = 1,4 M_{rj} = 414,5 \text{ kNm}$$

$$M_p = M_{pi} + M_{pj} = 498,6 + 414,5 = 913,14 \text{ kNm}$$

Kat No.	M_p 'nin hesaplanması		M_u 'nin hesaplanması	
	Kolon üst ucunda Denk. 7.3'ün sağlaması durumu	Kolon üst ucunda Denk. 7.3'ün sağlamaması durumu	Kolon alt ucunda Denk. 7.3'ün sağlamaması durumu	Kolon alt ucunda Denk. 7.3'ün sağlaması durumu
i-1				
i				
i+1				
	$\Sigma M_p = M_{pi} + M_{pj}$ $M_u = \frac{M_{hu(i)}}{M_{hu(i)} + M_{hu(i+1)}} \Sigma M_p$			$\Sigma M_p = M_{pi} + M_{pj}$ $M_u = \frac{M_{hu(i)}}{M_{hu(i)} + M_{hu(i+1)}} \Sigma M_p$
	$M_{hu(i)}$ i'inci kat kolonu üst ucunda Bölüm 3 ve Bölüm 4'e göre bulunan moment $M_{hu(i)}$ i'inci kat kolonu alt ucunda Bölüm 3 ve Bölüm 4'e göre bulunan moment			

Şekil 3.29: Moment Kapasite Hesap Seçimleri.

C1,00×1,00 m için Moment = 350 kNm C1,05×1,05 m için moment = 379 kNm

$$M_u = 913,14 \times 379 / (350 + 379) = 414,73 \text{ kNm}$$

Zemin kat kolonu olduğu için M_a için güçlü kolon zayıf kiriş şartı aranmaz ve M_a momentini kolonun plastik momentine eşit olur.

$$M_a = 1,4 \times 379 = 530,60 \text{ kNm}$$

$$V_e = (M_a + M_u) / l_n = 359,05 \text{ kN}$$

$$V(D=2,5) = 632 \text{ kN}$$

$$\text{Seçilen } V = \min(V_e, V(D=2,5)) = 359,05 \text{ kN}$$

V_c hesabı için ETABS'dan G+Q+E ve E değerlerine ayrı ayrı bakılır. Eğer E değeri G+Q+E değerinin yarısından büyük ise $N_d \leq 0,05 A_c f_{ck}$ ise V_c yani betonun kesme dayanımına katkısı sıfır alınır.

$$G+Q+E = 233 \text{ kN} \quad E = 210 \text{ kN} \quad 210 > 233/2 = 116,5 \text{ kN}$$

$N_d \leq 0,05 A_c f_{ck}$ değerinin bir önceki hesaplamalarda bu koşulu sağlamadığı gösterilmiştir.

$$V_{cr} = 0,65 \times 1,48 \times 1050 \times 1050 \times (1 + 0,07 \times 16535 \times 1000 / (1050 \times 1050))$$

$$V_{cr} = 2174 \text{ kN} \quad V_c = 0,8 V_{cr} = 1739 \text{ kN}$$

$$V_w = 792 \times 420 \times 1050 / 100 = 3492 \text{ kN}$$

$$V_r = V_c + V_w = 1739 + 3492 = 5231 \text{ kN}$$

$$V_e = 395,05 \text{ kN} \leq 5231 \text{ kN}$$

$$V_e = 395,05 \text{ kN} \leq 0,85 \times \sqrt{40} \times 1050 \times 1050 = 5927 \text{ kN}$$

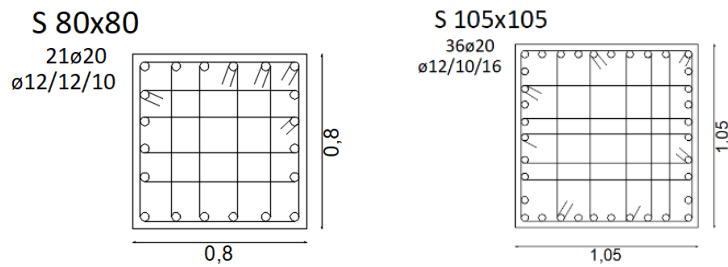
Hesaplar sonucunda kolondaki kesme kuvvetinin karşılandığı görülmüştür.

Birleşim bölgesindeki kesme güvenliği kontrolü kuşatılmış birleşim veya kuşatılmamış birleşim kıstasına göre değişiklik gösterir. Kolonun dört tarafına kirişler saplanmıştır. Lakin $3 \times 105 / 4 = 78,75 > 30$ cm olduğundan kesme güvenliği hesabı kuşatılmamış birleşim esaslarına göre yapılacaktır.

$$A_{s1} = 15,26 \text{ cm}^2 \quad A_{s2} = 12,54 \text{ cm}^2 \quad V_{kol} = 74 \text{ kN}$$

$$V_e = 1,25 \times 420 \times (1254 + 1526) - 74000 = 1385,5 \text{ kN}$$

$V_e \leq 1050 \times 1050 \times \sqrt{40} = 6973 \text{ kN}$ olarak bulunmuştur ve birleşim bölgesindeki kesme güvenliğinin de sağlandığı gösterilmiştir. **Şekil 3.30**'da iki ayrı tip için örnek kolon donatı kesiti gösterilmiştir.



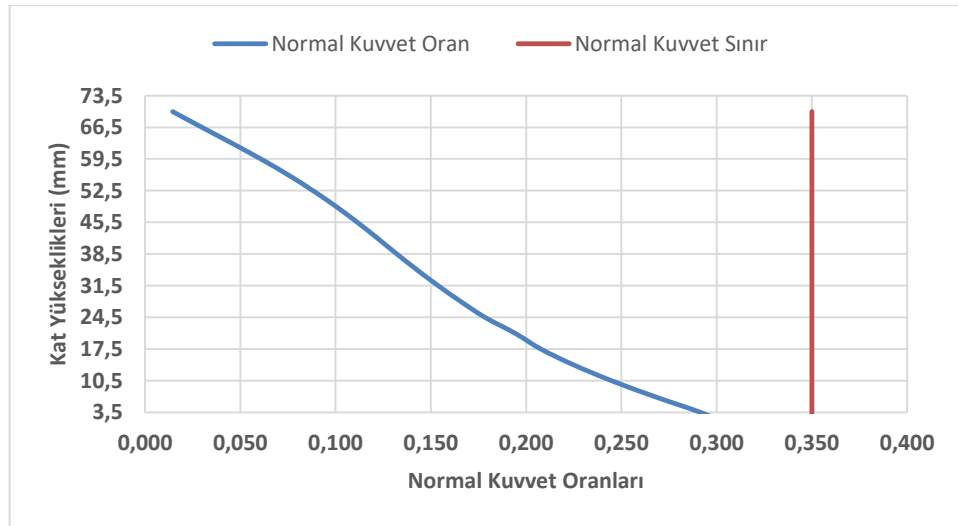
Şekil 3.30: Kolon Donatı Gösterimi.

o Perdelerin Tasarımı

Binadaki perdeler kalıp planından da görüleceği üzere binanın merkezine konumlandırılmıştır. L perde kalınlığı $b_w = 30$ cm ve perde genişliği $l_w = 800$ cm olarak tüm katlarda aynı seçilmiştir. Perdelerin yatay yer değiştirmelerini sınırlandırması ve yatay yük kapasitesini arttırması beklenir. TBDY 2018 perdelerin sünekliğini belirli bir ölçüde sağlamak amacıyla perdelerine gelen aksel yükü **Denklem 3.22** ile sınırlandırmıştır.

$$A_c \geq N_{dm} / (0,35f_{ck}) \quad (3.22)$$

Şekil 3.31'de perdelerin aldıkları normal kuvvetler ve yönetmeliğin belirttiği sınır değer birlikte verilmiş olup perdelerin bu sınır değeri sağladığı görülmüştür.



Şekil 3.31: Perde Aksel Yük Sınırı.

$$0,35 \times 40 \times 300 \times 8000 = 33600 \text{ kN} \geq N_{dm} = 29962 \text{ kN}$$

Oran olarak ise;

$$29962 \times 1000 / (40 \times 300 \times 8000) = 0,31 \leq 0,35 \text{ olduğu görülmüştür.}$$

TBDY 2018'de eğer perdelerde $H_w / l_w > 2$ ise perdelerin planda her iki ucunda perde uç bölgeleri oluşturulması gerekir. Perde uç bölgeleri kritik perde yüksekliği boyunca donatı oranları açısından farklılık gösterir.

$$73,5 / 8 = 9,19 > 2 \text{ olduğundan perde uç bölgeleri oluşturulacaktır.}$$

$$2 \times 8 = 16 \text{ m} \geq H_{cr} \geq \max (8 \text{ m}; 73,5 / 6 = 12,25 \text{ m})$$

H_{cr} değeri 12,25 m değerinden düşük olmamalıdır. Kolaylık olması açısından $H_{cr} = 14$ m olarak 4. kata kadar devam ettirilecektir.

Uç bölgeleri genişlikleri;

$$\text{Kritik yükseklik boyunca max } (0,2 \times 8 = 1,60 \text{ m}; 2 \times 0,3 = 0,60) = 1,60 \text{ m}$$

Kritik yükseklik dışında max $(0,1 \times 8 = 0,80 \text{ m}; 0,3 = 0,30) = 0,80 \text{ m}$ olarak belirlenmiştir.

Kritik yükseklik boyunca uç bölgeleri min. donatı;

$$0,002 \times 800 \times 30 = 48 \text{ cm}^2 \text{ /Seçilen Donatı} = 16\phi 20 (50,24)$$

Kritik yükseklik dışında uç bölgeleri min. donatı;

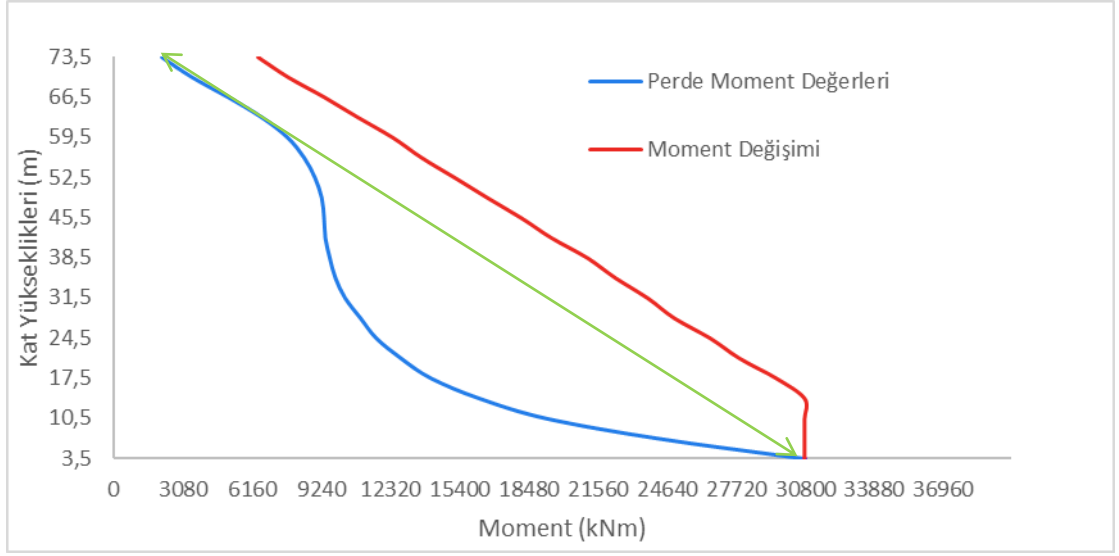
$$0,001 \times 800 \times 30 = 24 \text{ cm}^2$$

Gövde donatısı için min. donatı; Gövde donatısı 1 m için ve toplamda iki yüz için hesap edilir.

$$0,0025 \times 30 \times 100 = 7,5 \text{ cm}^2 / \text{m (Tek taraf için } 7,5/2 = 3,75 \text{ cm}^2)$$

$$\text{Seçilen Donatı} = 2\phi 12/25$$

Bu değerler kullanılarak ETABS section designer aracılığıyla perde donatı hesabı yapılmıştır. Daha sonra analiz işlemi tekrar edilip perdelerin Talep/Kapasite oranına bakılmıştır. Buradaki değerler perdelerin kapasitelerinin binaya gelen kuvvetleri güvenli bölgede kalacak şekilde karşıladığını göstermiştir. TBDY 2018 perde taban momentinin kritik kat yüksekliği boyunca kullanılmasını ister. Kritik kat yüksekliği dışında ise perdelere gelen moment grafiğinin yönetmeliğin verdiği yöntemle göre değiştirilerek kullanılması gerektiğini belirtir. (**Şekil 3.32**)



Şekil 3.32: Perde Momentlerinin Düzenlenmesi

Şekil 3.32'de birinci kat ve son kattaki perdeye gelen momentler yeşil okla gösterilmiştir. Daha sonra bu çizginin kritik perde yüksekliğinde paraleli alınarak kesit hesabında kullanılacak momentler okunmuştur. Buradaki değerler minimum donatı değerlerinin altında kalmıştır. Bu durum perdelerin tasarım momentlerinden daha fazla kapasiteye sahip olacaklarını gösterir. Perdelerin boyları kalıp planı ile ilgili ve kalınlığı da birleşen kirişlerle ilgili seçildiği için bir boyut değişikliği yapılamayacaktır.

Tasarım Kesme Kuvveti ve Donatı Hesabı

Perde kesme kuvveti hesabında yönetmelik moment hesabındaki yöntemle benzer bir şekilde kesme kuvvetinde düzeltmeye gidilmesini öngörür. Bu düzeltmeler yapılmış olup gerekli kuvvetler elde edilmiştir. Bir diğer husus ise enine donatı hesabında esas alınacak tasarım kesme kuvvetidir. Kesit eğilme momenti kapasitesini ve perdenin doğrusal olmayan davranışını gözönüne alan bu değişiklik **Denklem 3.23'**de verildiği şekilde yapılır.

$$V_c = \beta_v \frac{(M_p)_t}{(M_d)_t} V_d \quad (3.23)$$

β_v değeri dinamik büyütme katsayısı olup 1,5 olarak alınacaktır. Yönetmeliğe göre daha kesin hesap yapılmadığı durumlarda $(M_p)_t \leq 1,25 (M_r)_t$ olarak alınabilecektir.

Bulunan V_e değeri düşey yükler ile hesaplanmış olan kesme kuvvetinin 1,2 D ile büyütülmesi ile elde edilen değerle karşılaştırılır ve küçük olanla devam edilir.

$$V_d = 3560 \text{ kN} \quad N_d = 29962 \text{ kN} \quad M_d = 30800 \text{ kNm} \quad M_r = 47560 \text{ kNm}$$

$$(M_p)_t = 1,25 \times 47560 = 59450 \text{ kNm}$$

$$V_e = 1,5 \times 3560 \times 59450 / 30800 = 10307,2 \text{ kN}$$

$$10307,2 \leq 0,85 \times 300 \times 8000 \times \sqrt{40} = 12902 \text{ kN}$$

$$V(1,2 D) = 3560 \times 1,2 \times 2,5 = 10680 \text{ kN}$$

$$\text{Seçilen } V_e = 10307,2 \text{ kN}$$

Perde kesitleri için kesme dayanımı **Denklem 3.24**'de verilmiştir.

$$V_r = A_{ch} (0,65 f_{ctd} + \rho_{sh} f_{ywd}) \quad (3.24)$$

$$10307,2 \times 1000 = 8000 \times 300 \times (0,65 \times 1,48 + \rho_{sh} \times 365)$$

$$\rho_{sh} = 0,009131$$

$$2 \times 201 = 0,009131 \times 300 \times s \quad s = 146 \text{ mm} \quad \text{Seçilen} = \emptyset 16/140$$

Enine donatı kolonlara benzer şekilde yapılacaktır. Sarılma bölgelerinde **Denklem 3.25**'de verilen koşulun 2/3 'ü kullanılacaktır.

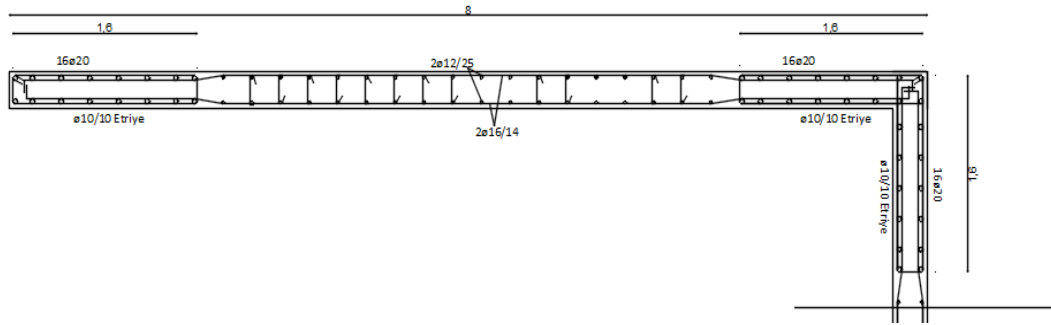
$$A_{sh} \geq 0,075 s b_k (f_{ck} / f_{ywk}) \quad (3.25)$$

$$\emptyset 10/100 \text{ seçilirse; } 50 \text{ mm} \leq 100 \text{ mm} \leq \min (150 \text{ mm; } b_w / 2 = 150 \text{ mm})$$

$$2 \times 79 \geq 0,075 \times 100 \times (300 - 2 \times 35 - 10) \times (40 / 420) \times 2 / 3$$

$$158 \geq 104,76$$

Böylece perdeler için tüm kontroller yapılmış olup perdelerin gerekli şartları sağladığı görülmüştür. **Şekil 3.33**'de perde kesiti gösterilmiştir.



Şekil 3.33: 30X800 cm Boyutlu L Perdenin Tek Kol Görünümü

3.7. TASARIM AŞAMASI-2

Bir önceki bölümlerde yönetmeliğin de yönlendirmesiyle binanın modellenmesi ve deprem yüklemeleri yapılarak binadaki elemanların gerekli koşulları sağladığı görülmüştür. Bu aşamada izlenecek yol ise tasarımı yapılmış olan binanın DD-4 deprem düzeyine göre ve dayanıma göre analizi yapılarak TBDY 2018'in belirttiği koşulları sağlayıp sağlamadığını kontrol edilmesidir. DTS = 1 ve normal performans hedefi kesintisiz kullanım hedef alınarak işlemlere devam edilmiştir (**Şekil 3.34**).

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT	—	—
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT ⁽³⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	GÖ	ŞGDT	KH	ŞGDT

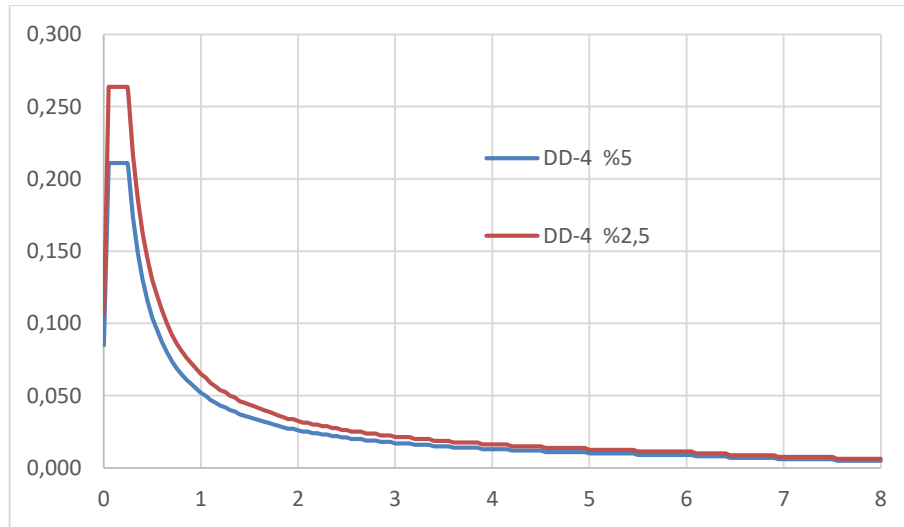
Şekil 3.34: Performans Hedef Seçimi.

Burada performans hedefi olarak sınırlı hasar seçilmiş olsaydı şekil değiştirmeye göre tasarım adımları izlenecekti. Lakin DTS (deprem tasarım sınıfı) =1 ve normal performans hedefi seçildiği için dayanıma göre tasarım adımları izlenecektir. Bu tasarım aşamasında etkin kesit rijitlikleri TBDY 2018'in ilgili bölümüne göre yapılacaktır (**Şekil 3.35**). **Şekil 3.38**'deki değerler kullanılmıştır.

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
	<i>Eksenel</i>	<i>Kayma</i>
<i>Perde – Döşeme (Düzlem İçi)</i>		
Perde	0.75	1.00
Bodrum perdesi	1.00	1.00
Döşeme	0.50	0.80
<i>Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Perde	1.00	1.00
Bodrum perdesi	1.00	1.00
Döşeme	0.50	1.00
<i>Çubuk eleman</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Bağ kirişi	0.30	1.00
Çerçeve kirişi	0.70	1.00
Çerçeve kolonu	0.90	1.00
Perde (eşdeğer çubuk)	0.80	1.00

Şekil 3.35: Etkin Kesit Rijitlikleri

DD-4 Deprem düzeyine göre elde edilen tasarım spektrumu %5 oran için hesaplanır. Bu aşamada sönüm oranı %2,5 olarak alınacaktır. Yönetmelik bu oranı yakalamak için elde edilen spektrumun 1,25 ile çarpılarak kullanılacağını belirtir (TBDY/ 13.5.2.5) (Şekil 3.36).



Şekil 4.36: DD-4 Spektrum Eğrisi.

Bu tasarım aşamasında R/I değeri ve D değeri 1 olarak alınacaktır ve hesaplarda ek dış merkezlik kullanılmayacaktır (TBDY/13.5.3.3). Bu aşamadaki kontrol için sünek davranışa sahip elemanlarda Etki/Kapasite =1,5 değerinin, sünek davranışa sahip olmayan elemanlar için ise Etki/Kapasite=0,7 değerinin aşılmaması gerekir (TBDY/13.3.1) (Tablo 3.26).

Tablo 3.26: Tasarım Aşaması II Kontrolü.

TİP	M (kNm)				V (kN)			
	E	K	Etki/Kapasite	≤ 1,5	E	K	Etki/Kapasite	≤ 0,7
C105X105	486	3603	0,135	UYGUN	126	5231	0,024	UYGUN
C100X100	172	2919	0,059	UYGUN	41	4465	0,009	UYGUN
C90X90	314	2786	0,113	UYGUN	115	3709	0,031	UYGUN
C80X80	198	1848	0,107	UYGUN	71	2836	0,025	UYGUN
C70X70	201	1254	0,160	UYGUN	114	2095	0,054	UYGUN
C60X60	186	835	0,223	UYGUN	112	1687	0,066	UYGUN
C50X50	157	625	0,251	UYGUN	96	1298	0,074	UYGUN
B35X70	426	296	1,439	UYGUN	212	407	0,521	UYGUN
B25X50	132	255	0,518	UYGUN	85	275	0,309	UYGUN
BP30	23508	47560	0,494	UYGUN	2726	10307	0,264	UYGUN

Tablo 3.26'dan de görüleceği üzere bina DD-4 düzeyi için kesintisiz kullanım koşullarını sağlamaktadır. Binada bu aşamada hasar oluşması istenmeyen bir durumdur ve böyle bir durumda boyutlandırma aşaması tekrar edilip analizler tekrarlanır.

Bu tasarım aşaması bittikten sonra TBDY 2018 3.aşamaya geçilmesini istiyor lakin burada binanın statik itme analizi de yapılarak bina hakkında daha fazla bilgi edinmek gayesi vardır.

3.8. TASARIM AŞAMASI-3

○ STATİK İTME ANALİZİ

İtme analizi binanın performans değerlendirmesi hakkında bilgi verir. Burada amaç binanın sismik bir etki esnasındaki davranışını belirleyerek buna karşı tedbirler almaktır. İtme analizi neticesinde kapasite eğrisi elde edilir ve bu eğri talep spektrumuyla kıyaslanarak bir performans noktası elde edilir. Elde edilen performans noktası yönetmeliklerce verilen sınırlandırmalarla karşılaştırılarak yorumlanır. Yapılan işlemler adım adım gösterilmiştir.

○ **1. Adım:** Malzeme Özellikleri

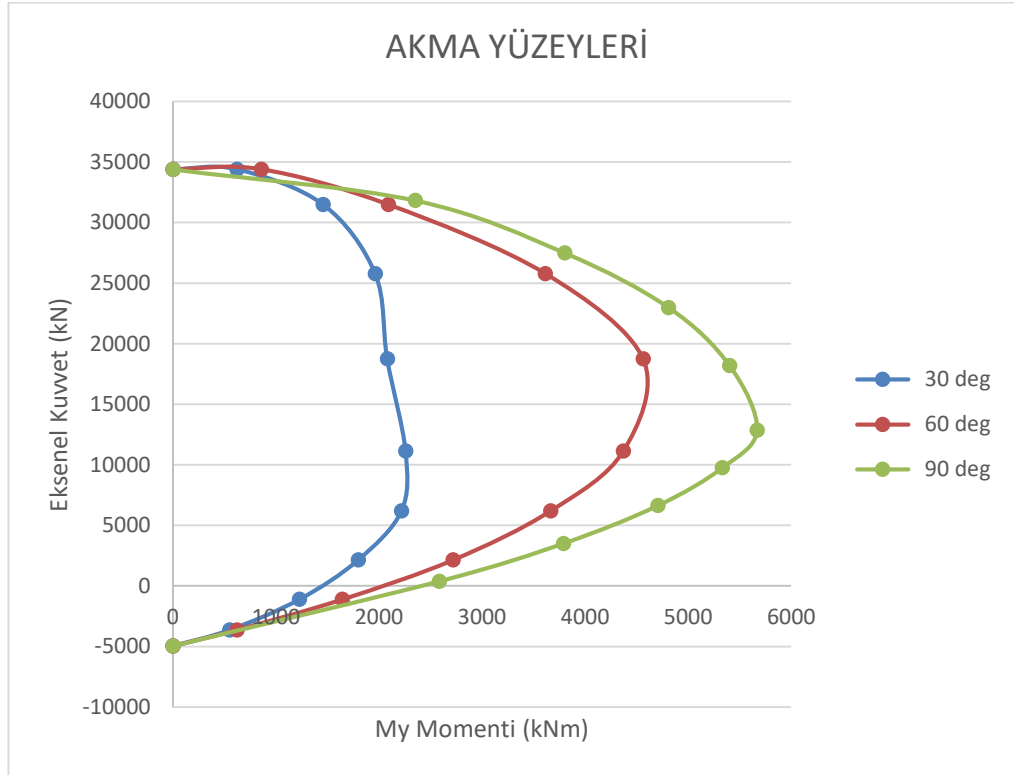
TBDY 2018 5.Bölüm’de ayrıntıları verilen açıklamalara göre yeni yapılacak binalarda beton ve donatı için beklenen dayanımlar kullanılacaktır (**Şekil 3.37**).

Beton	$f_{ce} = 1.3 f_{ck}$
Donatı çeliği	$f_{ye} = 1.2 f_{yk}$
Yapı çeliği (S235)	$f_{ye} = 1.5 f_{yk}$
Yapı çeliği (S275)	$f_{ye} = 1.3 f_{yk}$
Yapı çeliği (S355)	$f_{ye} = 1.1 f_{yk}$
Yapı çeliği (S460)	$f_{ye} = 1.1 f_{yk}$

Şekil 3.37: Beton ve Donatı Beklenen Dayanımlar

○ **2. Adım:** Kolonların Akma Yüzeylerinin Oluşturulması ve Plastik Mafsal Özelliklerinin Tanımlanması

İlgili bölümde anlatıldığı üzere kolonlarda yığılı plastik mafsallar kullanılacaktır. Bu tanımlamaların yapılabilmesi için ETABS ‘da section designer aracı kullanılmıştır. Burada analizler sonucunda elde edilen donatı alanları kullanılarak kolonlara ait akma yüzeyleri elde edilmiştir. Örnek olarak 1,05×1,05 m boyutlarındaki kolona ait akma yüzeyleri **Tablo 3.27** ve **Şekil 3.38**’de verilmiştir.



Şekil 3.38: Kolon Akma Yüzeyleri.

Tablo 3.27: Kolon Akma Yüzeylerinin Elde Edilmesi

105X105	0 deg			30 deg			60 deg			90 deg		
	P kN	My kNm	Mx kNm	P kN	My kNm	Mx kNm	P kN	My kNm	Mx kNm	P kN	My kNm	Mx kNm
	34398	0	0	34398	0	0	34398	0	0	34398	0	0
	31845	0	2335	34398	625	848	34398	848	625	31845	2335	0
	27510	0	3788	31503	1454	2077	31503	2077	1454	27510	3788	0
	23024	0	4783	25806	1957	3595	25806	3595	1957	23024	4783	0
	18231	0	5365	18771	2069	4543	18771	4543	2069	18231	5365	0
	12879	0	5607	11169	2247	4339	11169	4339	2247	12879	5607	0
	9698	0	5274	6185	2220	3634	6185	3634	2220	9698	5274	0
	6566	0	4646	2132	1794	2674	2132	2674	1794	6566	4646	0
	3420	0	3725	-1143	1180	1615	-1143	1615	1180	342	3725	0
	200	0	2513	-3751	477	565	-3751	565	477	200	2513	0
	-4957	0	0	-4957	0	0	-4957	0	0	-4957	0	0

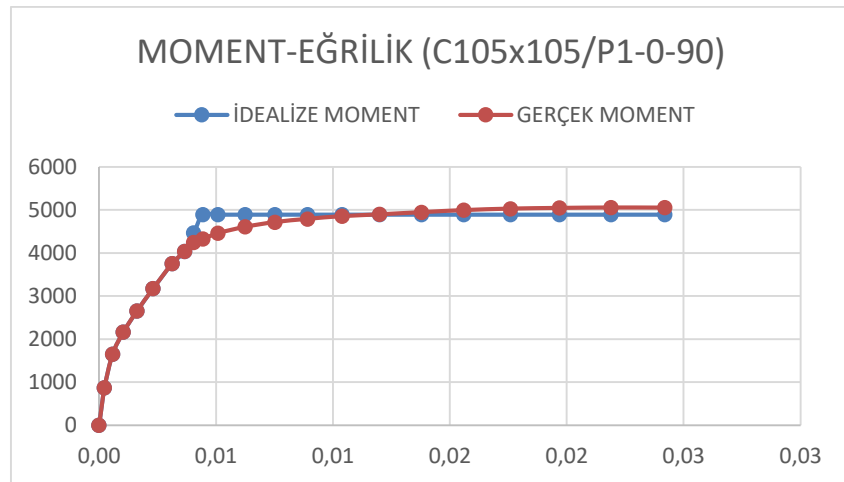
Tablo 3.27 ve **Şekil 3.39**'da görülen hesaplamalar tüm tip olan kolonlar için yapılmıştır. TBDY 2018'e uygun olarak plastik mafsalin dışındaki kesitin doğrusal olarak davrandığı kabul edilir (**Denklem 3.26, 3.27**).

$$(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y 3} \quad (3.26)$$

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{cc}}} \quad (3.27)$$

Bu denklemler sonucunda rijitlik faktörü katsayılarını elde edebilmek için moment-eğrilik bağıntısına ihtiyaç vardır. Bu bağıntı vasıtasıyla akma momenti ve eğriliği elde ederek **Denklem 3.26** ve **3.27** bağıntılarında yerine koyarak rijitlik azaltma katsayılarını elde edilir.

Burada M_y ve θ_y sırasıyla etkin akma momenti ve plastik mafsal akma dönmesidir. L_s kesme açıklığını, ϕ_y etkin akma eğriliğini, h kesit yüksekliğini, d_b mesnede kenetlenen ortalama donatı çapını, f_{cc} betonun ortalama basınç dayanımını, f_{ye} donatının ortalama akma dayanımını ifade eder. η değeri ise kolon ve kirişlerde 1 perde elemanlarda ise 0,5 olarak alınacaktır.



Şekil 3.39: C105×105 Kolonuna Ait Moment Eğrilik Bağıntısı.

Tablo 3.28: Kolon Plastik Mafsal Atamalarında Kullanılacak Veriler.

Kolon Kesiti (cm)	Eksenel Yük (kN)		Akma Momenti (kNm)		Güç Tükenmesi Momenti (kNm)		Akma Eğriliği(1/m)		Güç Tükenmesi Eğriliği (1/m)		Akma Dönmesi(rad)		Güç Tükenmesi Dönmesi (rad)	
	P1 (15%P)	P2 (45%P)	P1 (0-90) P1 (45)	P2 (0-90) P2 (45)	P1 (0-90) P1 (45)	P2 (0-90) P2 (45)	P1 (0-90) P1 (45)	P2 (0-90) P2 (45)	P1 (0-90) P1 (45)	P2 (0-90) P2 (45)	P1 (0-90) P1 (45)	P2 (0-90) P2 (45)	P1 (0-90) P1 (45)	P2 (0-90) P2 (45)
105X105	5160	15479	4038	7275	4890	7686	0.00366	0.00470	0.02400	0.01000	0.00192	0.00247	0.01260	0.00525
			3832	6577	4856	7092	0.00320	0.00370	0.01050	0.00700	0.00168	0.00194	0.00551	0.00368
100X100	4680	14040	3351	6175	4648	7452	0.00390	0.00500	0.04000	0.02190	0.00195	0.00250	0.02000	0.01095
			3209	5616	4693	7176	0.00310	0.00397	0.01770	0.01200	0.00155	0.00199	0.00885	0.00600
90X90	3791	11372	2526	4547	3538	5586	0.00440	0.00560	0.04690	0.02610	0.00198	0.00252	0.02111	0.01175
			2414	4156	3570	5384	0.00360	0.00450	0.02110	0.01460	0.00162	0.00203	0.00950	0.00657
80X80	2995	8986	1694	3117	2347	3796	0.00490	0.00640	0.04900	0.02840	0.00196	0.00256	0.01960	0.01136
			1635	2869	2377	3665	0.00400	0.00510	0.02300	0.01640	0.00160	0.00204	0.00920	0.00656
70X70	2293	6880	1150	2132	1612	2539	0.00569	0.00740	0.06210	0.02920	0.00199	0.00259	0.02174	0.01022
			1110	1940	1619	2455	0.00460	0.00580	0.02590	0.01770	0.00161	0.00203	0.00907	0.00620
60X60	1685	5054	735	1336	1023	1628	0.00670	0.00870	0.07170	0.04000	0.00201	0.00261	0.02151	0.01200
			714	1221	1038	1570	0.00550	0.00690	0.03300	0.02250	0.00165	0.00207	0.00990	0.00675
50X50	1170	3510	586	929	867	1173	0.00860	0.01070	0.08570	0.05520	0.00215	0.00268	0.02143	0.01380
			540	814	842	1124	0.00690	0.00830	0.04040	0.03170	0.00173	0.00208	0.01010	0.00793

Tablo 3.28'de kolon elemanlara ait plastik mafsalin tanımına ait bazı bilgiler verilmiştir. Burada P1 ve P2 kolonların akma yüzeylerinde elde edilen maksimum aksenal kuvvetin sırasıyla %15 'i ve %45 'idir. Açı olarak da 0-90-45 derece seçilmiştir. **Tablo 3.28**'deki veriler kullanılarak kolon elemanlar için kullanılacak olan rijitlik faktörü katsayıları elde edilecektir (**Tablo 3.29**).

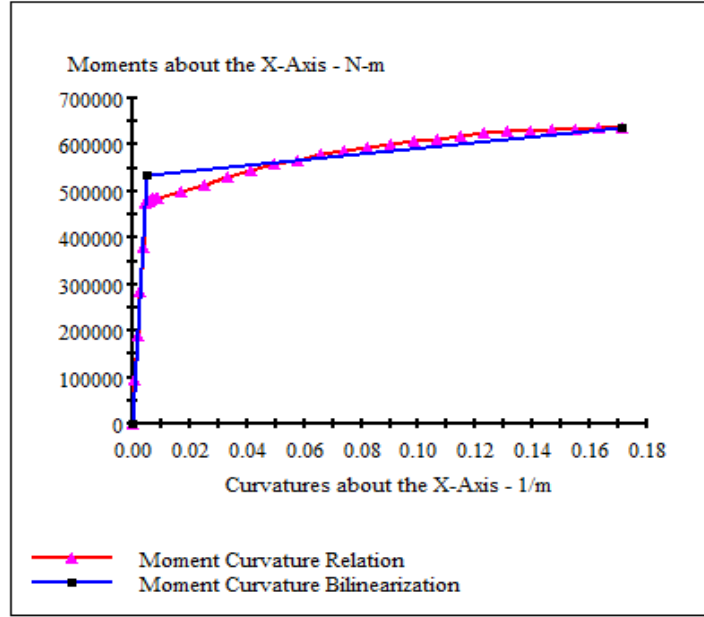
Tablo 3.29: Kolon Rijitlik Faktörü.

Kolon Kesiti (cm)	105X105
E (kN/m ²)	37436083.3
M _y (kNm)	7275
L (m)	1.75
Akma Eğriliği	0.0047
η	1
d _b (m)	0.02
h (m)	1.05
f _{ye} (MPa)	504
f _{ce} (MPa)	52
θ _y (rad/m)	0.0051
(EI) _e (kNm ²)	835976
EI	3791982
Rijitlik Faktörü	0.220

Tablo 3.29'dan de görüleceği üzere 1,05×1,05m boyutlarında olan kesitin etkin rijitlik faktörü 0.220 mertebesindedir. Bütün kolonlar için aynı işlemler yapıp bulunan değerler ETABS üzerinden kesitler için tanımlanmıştır.

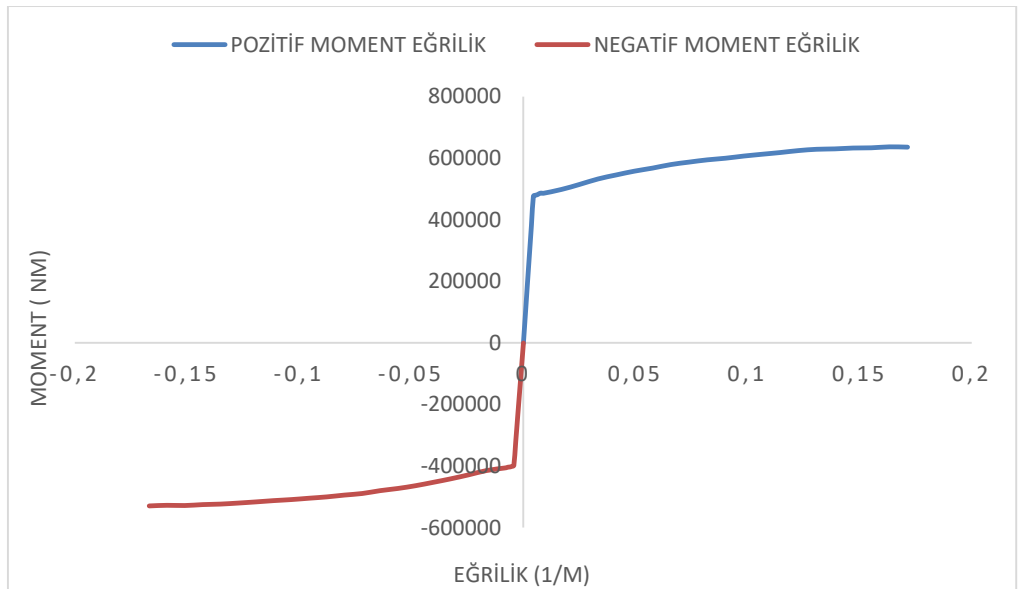
- **3. Adım:** Kirişlerin Moment-Eğrilik İlişkilerinin Belirlenmesi ve Plastik Mafsal Özelliklerinin Tanımlanması

Kirişlerde yığılı plastik mafsal modeli kullanılacaktır. Bunun için XTRACT 3.08 programından yararlanılmıştır. Burada hesaplar 0.30/0.70m kesitindeki kiriş elemanı için yapılmıştır. **Şekil 3.40**'da kirişe ait moment eğrilik ilişkisinin iki doğrulu hali gösterilmiştir.



Şekil 3.40: Kirişe Ait Moment-Eğrilik İlişkisi

Bu sonuç XTRACT programından elde edilmiştir. Kirişin hesaplanan Moment-Eğrilik ilişkisi kırmızı renkli eğri ile gösterilmiştir. Burada iki-doğruluya çevirme işlemi yapılarak mavi renkli grafik elde edilmiştir. Şekil 3.41’de kesite ait pozitif ve negatif momentler için moment-egrilik değişimi gösterilmiştir.



Şekil 3.41: Kiriş Kesitine Ait Pozitif ve Negatif Moment Durumunda Eğrilik Değişimi.

Şekil 3.41’den elde edilen değerlerle kirişlerin plastik mafsal değerleri elde edilir. Bu değerler **Tablo 3.30**’da gösterilmiştir.

Tablo 3.30: Kirişe Ait Plastik Mafsal Değerleri

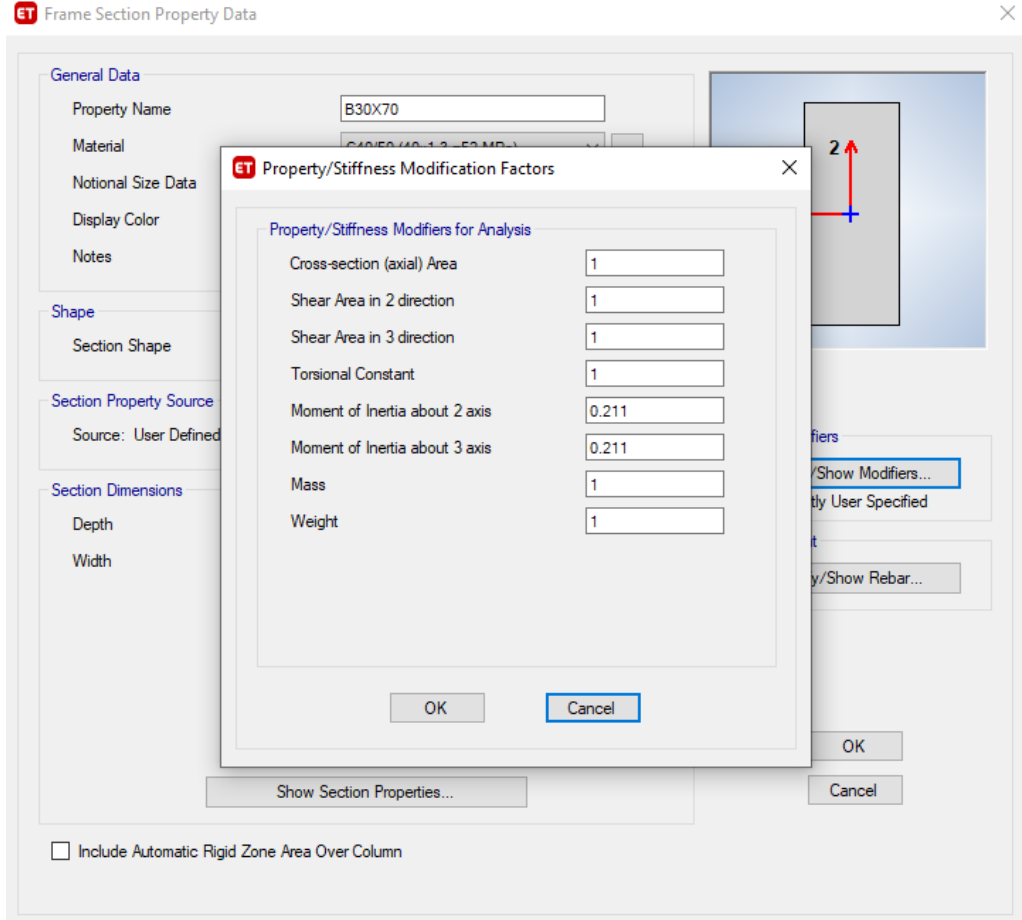
Kiriş Kesiti (cm)	Çekme Bölgesi	Akma Momenti (kNm)	Güç Tükenmesi Momenti (kNm)	Moment Oranı	Akma Eğriliği (1/m)	Güç Tükenmesi Eğriliği (1/m)	Plastik Mafsal Boyu	Akma Dönmesi (rad)	Güç Tükenmesi Dönmesi (rad)
30/70	Pozitif/Alt	482	635	1.317	0.00622	0.17140	0.350	0.00218	0.05999
	Negatif/Üst	401	530	1.322	0.00512	0.16670	0.350	0.00179	0.05835

Tabloda kirişin alt ve üst moment değerleri ve ETABS için gerekli olan oranları elde edilmiştir. Bu değerler ETABS üzerinden kirişlerin plastik mafsal değerleri olarak kullanılacaktır. Kolonlarda olduğu gibi kirişler içinde rijitlik etkinlik katsayısı hesaplanacaktır. Yukarıda örneği verildiği üzere burada da aynı işlem yöntemi izlenerek **Tablo 3.31**’de kirişlere ait rijitlik katsayısı hesaplanmıştır.

Tablo 3.31: Kirişe Ait Etkin Rijitlik Katsayısı.

Kiriş Kesiti (cm)	30X70
E (kN/m ²)	37436083
M _y (kNm)	482
L (m)	4.00
Akma Eğriliği	0.00535
η	1
d _b (m)	0.018
h (m)	0.7
f _{ye} (Mpa)	504
f _{ce} (Mpa)	52
θ _y	0.00948
(EI) _e (kNm ²)	67791
EI	321014
Rijitlik Faktörü	0.211

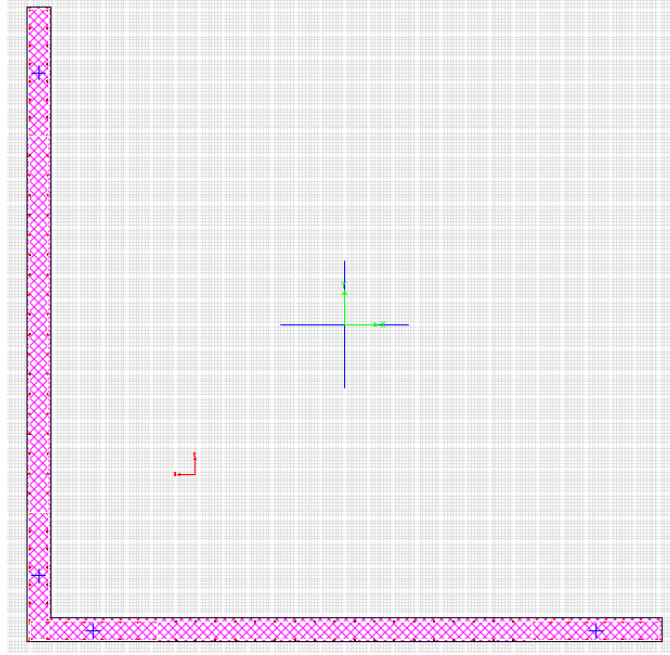
Elde edilen rijitlik faktörünün kirişlere etkilmesi **Şekil 3.42**’de gösterilmiştir.



Şekil 3.41: ETABS’da Rijitlik Faktörü Tanımlaması

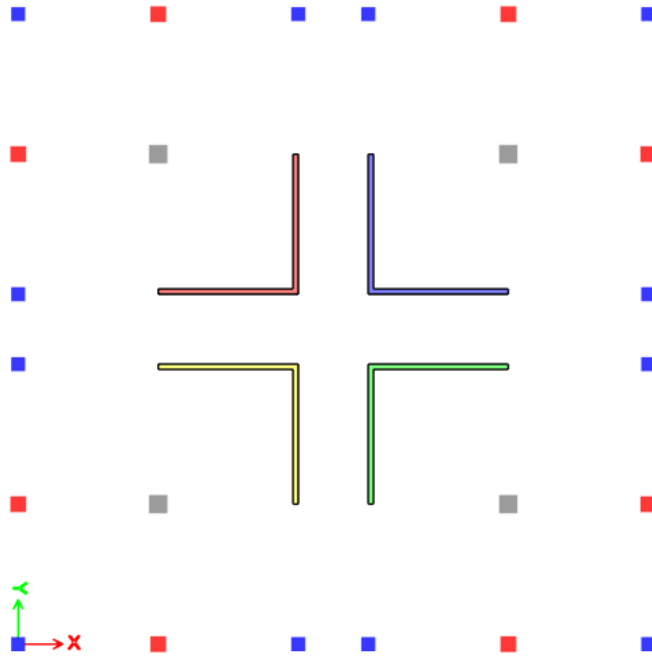
- **4. Adım:** Perdelerin Akma Yüzeylerinin Oluşturulması ve Plastik Mafsal Özelliklerinin Tanımlanması

Perdeler eşdeğer kolon eleman olarak modellenip fiktif kirişlerle desteklenip tanımlanmıştır. Burada perdeler için hesap adımları kolonlarda olduğu gibi benzer bir şekilde yapılacaktır. ETABS section designer eklentisi aracılığıyla perde modellenmesi yapılmıştır (Şekil 3.42).



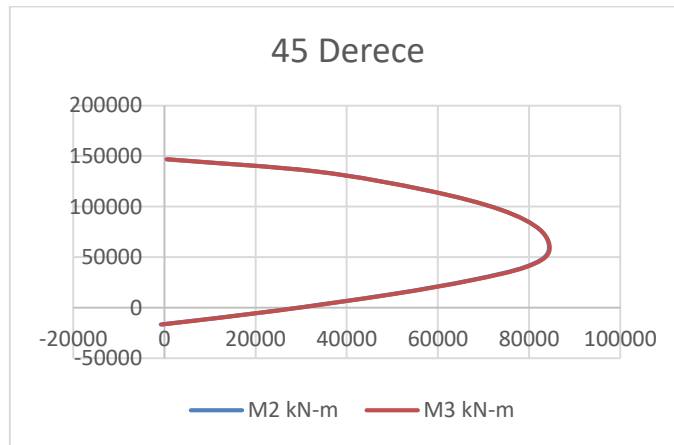
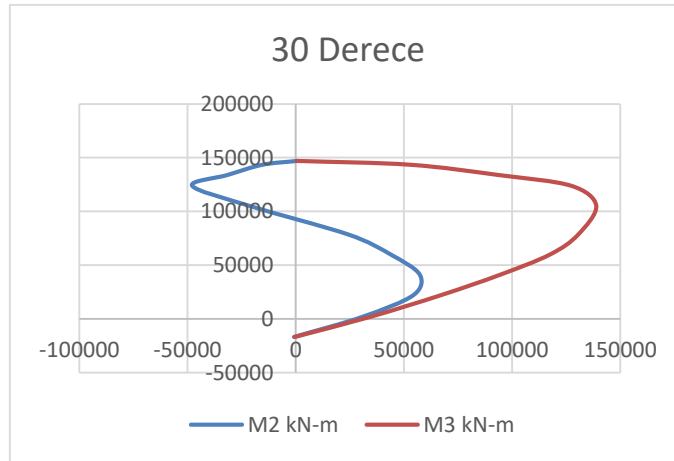
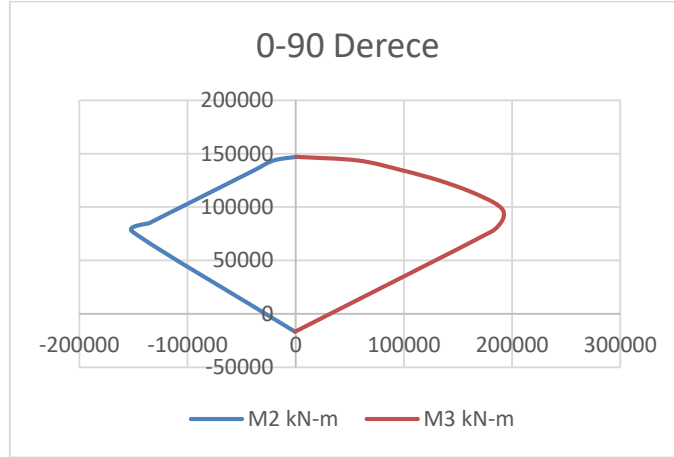
Şekil 3.42: ETABS Section Designer Eklenmesi İle Perde Kesiti Tanımlama.

Şekil 3.42’de binada L perdelerin yerleşiminin gösterilmiştir.. Oluşturulan kesit, yerel eksenlerde yapılan değişikliklerle plandaki gibi yerleştirilmiştir (Şekil 4.43).



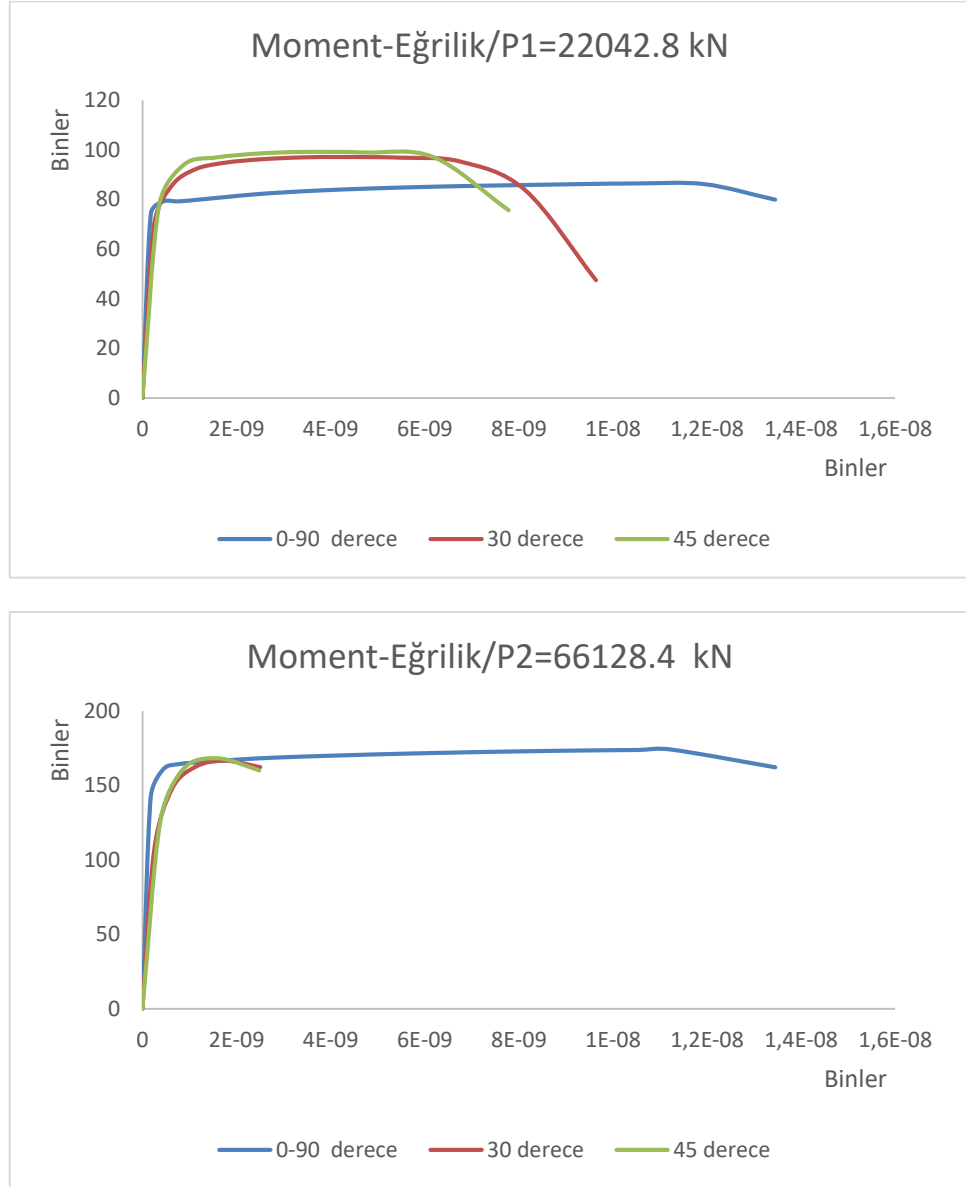
Şekil 3.43: Perde Yerleşiminin Gösterilmesi.

Perdelerin eşdeğer kolon (frame) eleman olarak modellenmesi işlem adımlarının kolon ve kiriş gibi elemanlarla aynı olması sonucunu doğurmuştur. Burada ilk adım perde elemanın akma yüzeylerini elde etmektir ve **Şekil 3.44**'de L1 perdesi için akma yüzeyleri gösterilmiştir.



Şekil 3.44: L1 Perdesi Akma Yüzeyleri.

Tarafsız eksenin açısına göre kesitte oluşan akma yüzeyleri grafiklerde görüldüğü üzere. Bu grafiklerden elde edilen en büyük eksenel kuvvetin %15'i ve %45'i alınarak 0-30-45-90 derecelerdeki moment eğrilik ilişkisi değerleri elde edilmiştir (Şekil 3.45).



Şekil 3.45: Kolona Ait Moment-Eğrilik İlişkisi

Moment eğrilik bağıntılarının elde edilmesinden sonra perdelerin plastik mafsalsal değerleri moment eğrilik bağıntıları kullanılarak **Tablo 3.32**'de gösterilmiştir.

Tablo 3.32: Plastik Mafsal Tanımlaması İçin Değerler.

Perde	Eksenel Yük (kN)		Akma Momenti (kNm)		Güç Tükenmesi Momenti (kNm)		Akma Eğriliği(1/m)		Güç Tükenmesi Eğriliği (1/m)		Akma Dönmesi(rad)	
	P1 (15%P)	P2 (45%P)	P1 (0-90) P1 (30)	P2 (0-90) P2 (30)	P1 (0-90) P1 (30)	P2 (0-90) P2 (30)	P1 (0-90) P1 (30)	P2 (0-90) P2 (30)	P1 (0-90) P1 (30)	P2 (0-90) P2 (30)	P1 (0-90) P1 (30)	P2 (0-90) P2 (30)
	(kN)	(kN)	P1 (45)	P2 (45)	P1 (45)	P2 (45)	P1 (45)	P2 (45)	P1 (45)	P2 (45)	P1 (45)	P2 (45)
L1 Perdesi	22043	66128	74409.5	160743.3	80002.42	162092.5	1.8E-07	4.43E-07	1.35E-05	1.35E-05	7.2E-07	1.8E-06
			69945.8	106717.2	83742.6	162322.1	2.5E-07	2.51E-07	8.14E-06	2.5E-06	1.00E-06	1E-06
			77569.1	125805.4	97093.8	160060.6	3.54E-07	3.8E-07	6.19E-06	2.5E-06	1.42E-06	1.5E-06

Tablo 3.32'deki değerler kullanılarak kolonlarda olduğu gibi perdeler için de ETABS üzerinden tanımlamalar yapılacak ve programa perdenin nerede akacağı ne kadarlık bir plastik moment öngörüldüğü tanımlanacaktır. Bu tanımlamalar yapıldıktan sonra perdeler için rijitlik faktörü hesaplanacaktır ve ETABS üzerinden perdeler tanımlanacaktır (**Tablo 3.33**).

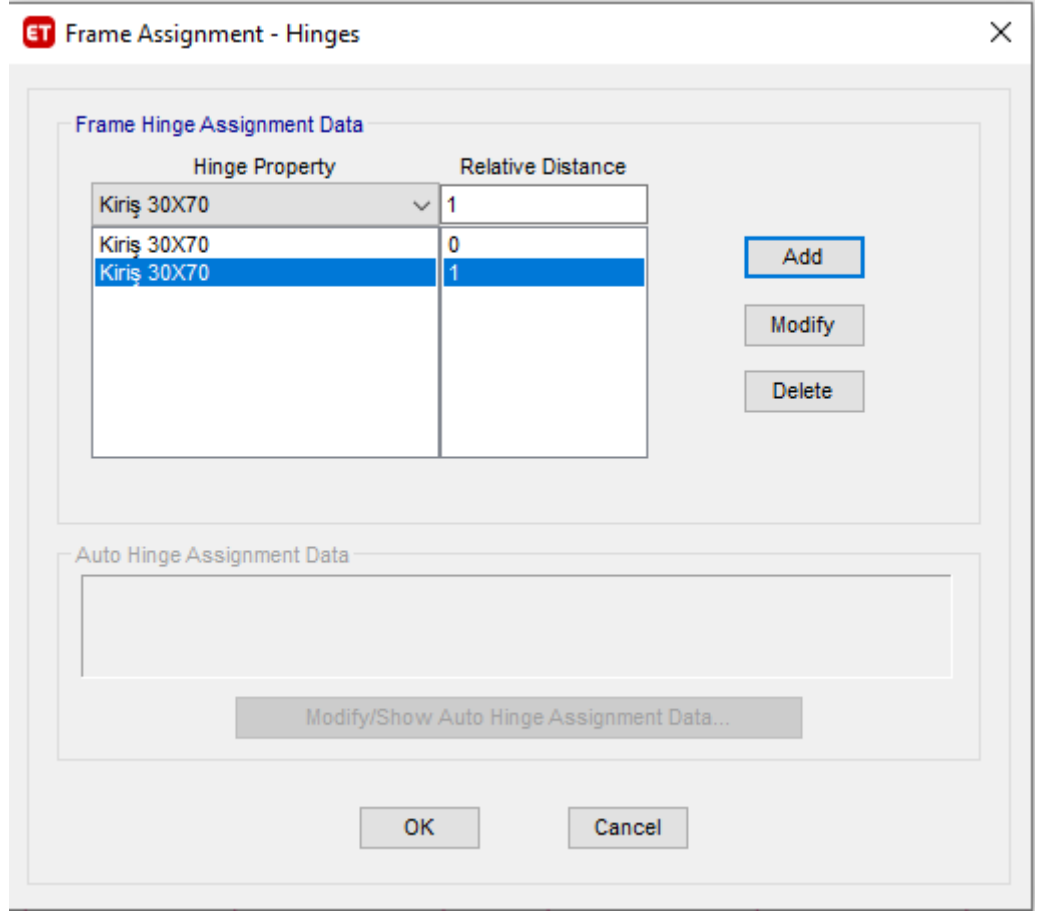
Tablo 3. 33: L2 Perdesi Rijitlik Azaltma Katsayısı.

Perde	L2 Perdesi
E (kN/m ²)	37436000
M _y (kNm)	247311
L (m)	1.75
Akma Eğriliği	0.000000185
η	0.5
d _b (m)	0.02
h (m)	8
f _{ye} (MPa)	504
f _{ce} (MPa)	52
θ _y (rad/m)	0.0008015
(EI) _e (kNm ²)	179978147
(EI) (kNm ²)	1132979801
Etkin Rijitlik Katsayısı	0.159

Tablo 3.33'de elde edilen rijitlik faktörü diğer perdeler için de ayrı ayrı elde edilerek perdeler atama işlemleri yapılmıştır.

○ **5. Adım:** Plastik Mafsalların Tüm Çubuk Elemanlara Tanımlanması

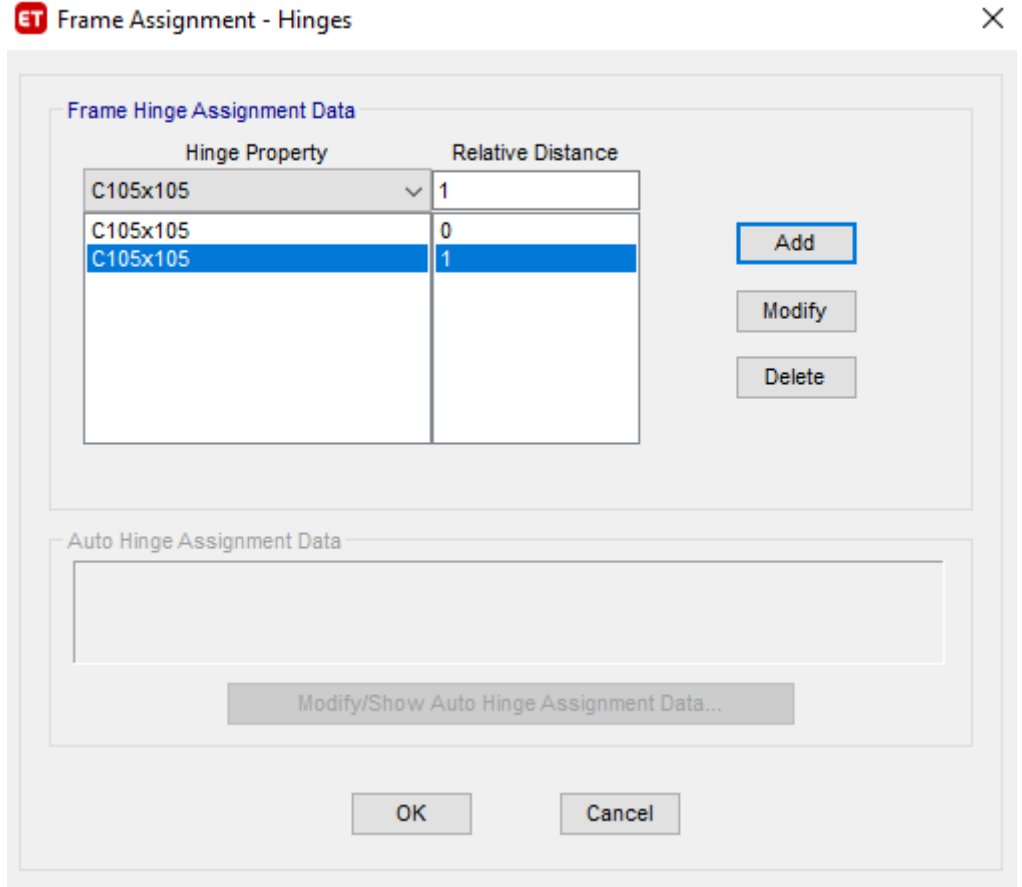
Yukarıda yapılan tüm hesaplamalar doğrusal olmayan analizin yapılabilmesi için gerekli hazırlıklardır. Burada öncelikle kirişlerden başlayarak plastik mafsal tanımlamaları tüm kesitler için yapılacaktır (**Şekil 3.46**).



Şekil 3.46: Kiriş Plastik Mafsal Ataması.

Burada 0 ve 1 değerleri kirişin başlangıcı ve sonunu ifade eder. Bu şekilde tercih yaparak plastik mafsalların kiriş uç noktalarında oluşması ve ikisi arasında kalan kısmın ise elastik kalması sağlanır.

Kolonlar için de aynı yöntemler izlenerek tüm plastik mafsal tanımlamaları yapılır. **Şekil 3.47**'de 1,05×1,05 m boyutlarındaki kolon için plastik mafsal ataması gösterilmiştir.



Şekil 3.47: C105X105 Kolonu Plastik Mafsal Ataması

Perdeler de frame eleman olarak modellendiği için onlara da aynı yol izlenerek plastik mafsal ataması yapılmıştır. Yalnızca perdelerde plastik mafsallar yalnızca kritik perde yüksekliğine kadar olan kısma atanmıştır. Bu aşamadan sonra yüklemenin de tanımlanmasıyla bina statik itme analizine hazır duruma gelecektir.

○ **6.Adım:** Statik İtme Analizi

Bina analizi için öncelikle doğrusal olmayan yükleme tanımlanır. Burada G+0,3Q yüklemesi için gerekli seçimler yapılır (**Şekil 3.48**).

ET Load Case Data

General

Load Case Name: Doğrusal Olmayan Yük [Design...]

Load Case Type: Nonlinear Static [Notes...]

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: MsSrc1

Initial Conditions

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: []

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Dead	1
Load Pattern	Live2	0.3
Load Pattern	SDead	1

[Add] [Delete]

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: None

Load Application: Full Load [Modify/Show...]

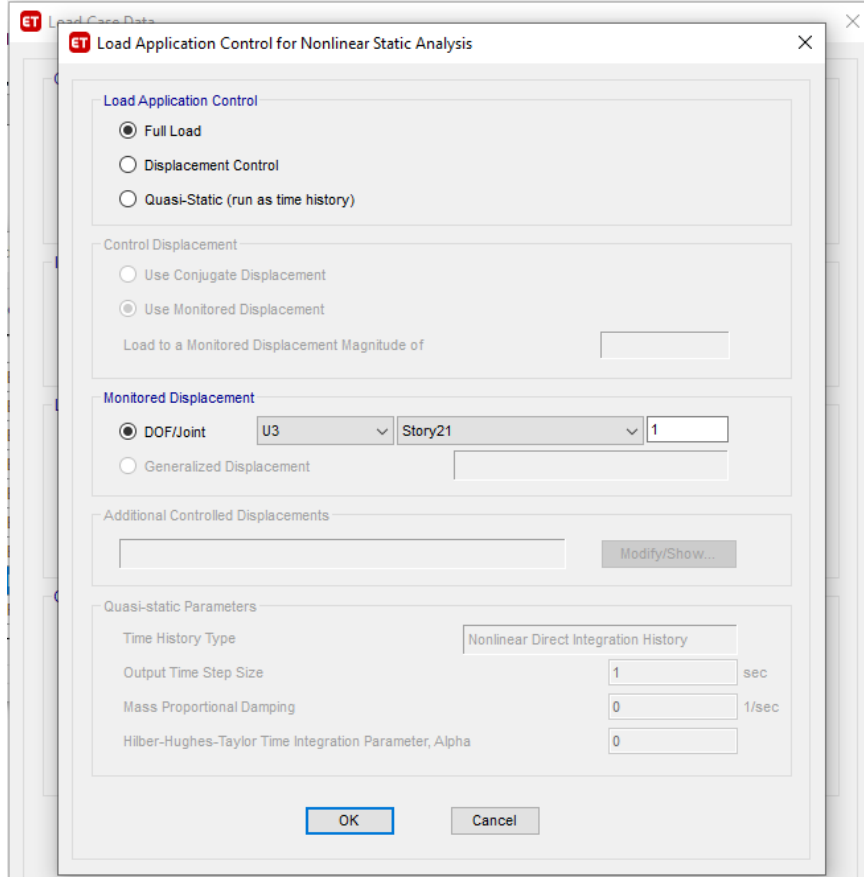
Results Saved: Final State Only [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Şekil 3.48: Doğrusal Olmayan Yükleme.

Daha sonra binanın son katında belirlenen nokta seçimi yapılır (**Şekil 3.49**). Burada bu noktanın seçilmesinin amacı analiz sonucunda referans noktası esas alınarak yorumların yapılabilmesidir. Öncelikle bu yükleme yapılır ve bu yükleme statik itme yüklemesinin başlangıcı olarak kabul edilerek statik itme analizi gerçekleştirilmiş olur.



Şekil 3.49: Doğrusal Olmayan Yükleme Nokta Seçimi.

Bu seçimlerden sonra statik itme yüklemesi tanımlanır (Şekil 3.50). Bu adım içerisinde yükün etkitileceği nokta ve binanın itme yerdeğiştirmesi seçilir. Bu mesafe genel olarak bina yüksekliğinin %4 'ü olarak seçilebilir (Şekil 3.51).

Bu tanımlamalar yapıldıktan sonra binanın analizi başlatılır. Doğrusal olmayan davranış dikkate alındığından analiz süresi uzun sürebilir.

ET Load Case Data

General

Load Case Name: Pushover X [Design...]

Load Case Type: Nonlinear Static [Notes...]

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: MsSrc1

Initial Conditions

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: Doğrusal Olmayan Yük

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Acceleration	UX	-1

[Add] [Delete]

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: None

Load Application: Displacement Control [Modify/Show...]

Results Saved: Multiple States [Modify/Show...]

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

[OK] [Cancel]

Şekil 3.50: Statik İtme Yükleme Tanımlaması-1.

ET Load Case Data

ET Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control

Full Load

Displacement Control

Quasi-Static (run as time history)

Control Displacement

Use Conjugate Displacement

Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of: 3000 mm

Monitored Displacement

DOF/Joint: U1, Story21, 1

Generalized Displacement

Additional Controlled Displacements

None [Modify/Show...]

Quasi-static Parameters

Time History Type: Nonlinear Direct Integration History

Output Time Step Size: 1 sec

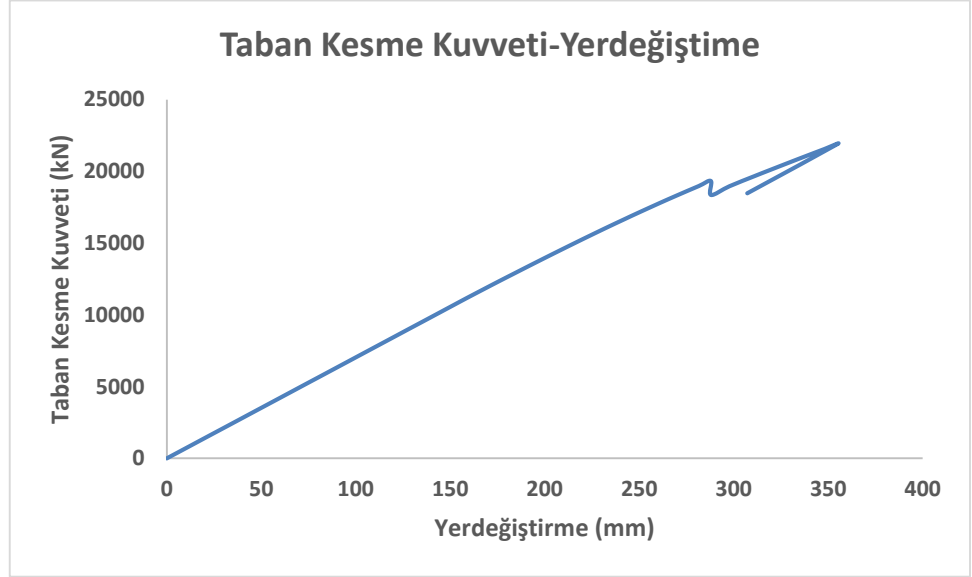
Mass Proportional Damping: 0 1/sec

Hilber-Hughes-Taylor Time Integration Parameter, Alpha: 0

[OK] [Cancel]

Şekil 3.51: Statik İtme Yükleme Tanımlaması-2.

Analiz tamamlandıktan sonra statik itme eğrisi elde edilir. Burada elde edilen grafikte binanın her bir adımdaki taban kesme kuvveti ve yer değiştirmesi izlenebilir. Bu binanın genel anlamda plastikleşen bölgelerini yani hasarın (elastik ötesi şekil değiştirmelerin) oluştuğu yerler hakkında bilgi verir. **Şekil 3.52**'de statik itme eğrisi görülmektedir.



Şekil 3.52: Statik İtme Eğrisi.

Görüldüğü gibi binanın itmeye başladığı andan itibaren davranışın doğrusal olduğu görülmektedir. Bundan binada elastik bir davranışın hakim olduğu yani plastikleşen kesitlerinin çok az olduğu ya da hiç olmadığı anlaşılmaktadır.

o **7. Adım:** İzin Verilen Şekil Değişiklikleri ve İç Kuvvetler

Sırasıyla göçmenin önlenmesi, kontrollü hasar ve sınırlı hasar için şekil değiştirme ve plastik mafsallı dönme sınırları

$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad (3.28)$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_c^{(KH)} &= 0.75 \varepsilon_c^{(GÖ)} & ; & & \varepsilon_s^{(KH)} &= 0.75 \varepsilon_s^{(GÖ)} \\ \theta_p^{(KH)} &= 0.75 \theta_p^{(GÖ)}\end{aligned}\quad (3.29)$$

$$\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025 \quad ; \quad \varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075 \quad \theta_p^{(SH)} = 0 \quad (3.30)$$

olarak verilmiştir.

Sınır değerler göçmenin önlenmesi sınır değeri esas alınarak hesaplanmıştır. Sınırlı hasar performans düzeyi için ise plastik mafsal oluşumuna izin verilmemiştir.

Burada örnek olarak seçilen kiriş, kolon ve perde için performans sınır değerlerinin hesabı gösterilecektir.

K 101 kirişi için hesaplar;

0.30m/0.70m kesitinde olan bu kirişin değerleri Tablo 7.26'dan alınmıştır.

Göçmenin Önlenmesi;

$$\begin{aligned}\theta_p^{(GÖ)} : \frac{2}{3} \left[(59 - 2,18) \times 10^{-3} \times 0,35 \times \left(1 - 0,5 \times \frac{0,35}{4} \right) + 4,5 \times 59 \times 10^{-3} \right. \\ \left. \times 0,018 \right] = 0,01587 \text{ rad}\end{aligned}$$

Kontrollü Hasar;

$$\theta_p^{(KH)} : 0,75 \theta_p^{(GÖ)} : 0,75 \times 0,01587 = 0,0119 \text{ rad}$$

Sınırlı Hasar;

$$\theta_p^{(SH)} = 0$$

Burada bulunan değerler kirişlerdeki dönmelerle kıyaslanarak kirişlerin hasar sınır bölgeleri belirlenir ve binanın istenen performans hedefini karşılayıp karşılamadığı gösterilir. ETABS üzerinden yapılan bu tanımlamaların sonuçları alınıp düzenlenerek **Tablo 3.34**'da gösterilmiştir. Buradan da görüldüğü üzere kirişler sınırlı hasar performans düzeyini sağlamıştır. Bu A to B tanımlamasından anlaşılır. Bu sınır kirişlerin doğrusal sınırdaki çalıştığını gösterir.

Tablo 3.34: Kirişlere Ait Dönme ve Hasar Durumu.

Kat	Yükleme	Kiriş	Plastik Mafsalsal Yeri	Plastic Θ	Hinge Status
Story21	Pushover_X	Kiriş 30X70	0,95	0	A to B
Story20	Pushover_X	Kiriş 30X70	0,95	0	A to B
Story19	Pushover_X	Kiriş 30X70	0,95	0	A to B
Story18	Pushover_X	Kiriş 30X70	0,95	0	A to B
Story17	Pushover_X	Kiriş 30X70	0,95	0	A to B
Story16	Pushover_X	Kiriş 30X70	0,95	0	A to B
Story15	Pushover_X	Kiriş 30X70	0,95	0	A to B
Story14	Pushover_X	Kiriş 30X70	0,95	0	A to B
Story13	Pushover_X	Kiriş 30X70	0,95	0	A to B
Story12	Pushover_X	Kiriş 30X70	0,95	0	A to B
Story11	Pushover_X	Kiriş 30X70	0,95	0	A to B
Story10	Pushover_X	Kiriş 30X70	0,95	0	A to B
Story9	Pushover_X	Kiriş 30X70	0,95	0	A to B
Story8	Pushover_X	Kiriş 30X70	0,95	0	A to B
Story7	Pushover_X	Kiriş 30X70	0,95	0	A to B
Story6	Pushover_X	Kiriş 30X70	0,95	0	A to B
Story5	Pushover_X	Kiriş 30X70	0,95	0	A to B
Story4	Pushover_X	Kiriş 30X70	0,95	0	A to B
Story3	Pushover_X	Kiriş 30X70	0,95	0	A to B
Story2	Pushover_X	Kiriş 30X70	0,95	0	A to B
Story1	Pushover_X	Kiriş 30X70	0,95	0	A to B

S105 kolonu için hesaplar;

Göçmenin Önlenmesi:

$$\theta_p^{(GÖ)} : \frac{2}{3} \left[(12,6 - 1,92) \times 10^{-3} \times 0,525 \times \left(1 - 0,5 \times \frac{0,525}{1,75} \right) + 4,5 \times 12,6 \times 10^{-3} \right. \\ \left. \times 0,020 \right] = 0,00393 \text{ rad}$$

$$\text{Kontrollü Hasar: } \theta_p^{(KH)} : 0,75\theta_p^{(GÖ)} : 0,75 \times 0,00393 = 0,0029 \text{ rad}$$

$$\text{Sınırlı Hasar: } \theta_p^{(SH)} = 0$$

Tablo 3.35' de kolonlara ait sınır değerler gösterilmiştir.

Tablo 3.35: Kolon Sınır Değerleri.

Kat	Yükleme	Kolon	Plastik Mafsal Yeri	Plastic @	Hinge Status
Story21	Pushover_X	C50X50	0,95	0	A to B
Story20	Pushover_X	C50X50	0,95	0	A to B
Story19	Pushover_X	C50X50	0,95	0	A to B
Story18	Pushover_X	C50X50	0,95	0	A to B
Story17	Pushover_X	C60X60	0,95	0	A to B
Story16	Pushover_X	C60X60	0,95	0	A to B
Story15	Pushover_X	C60X60	0,95	0	A to B
Story14	Pushover_X	C60X60	0,95	0	A to B
Story13	Pushover_X	C70X70	0,95	0	A to B
Story12	Pushover_X	C70X70	0,95	0	A to B
Story11	Pushover_X	C70X70	0,95	0	A to B
Story10	Pushover_X	C80X80	0,95	0	A to B
Story9	Pushover_X	C80X80	0,95	0	A to B
Story8	Pushover_X	C80X80	0,95	0	A to B
Story7	Pushover_X	C90X90	0,95	0	A to B
Story6	Pushover_X	C90X90	0,95	0	A to B
Story5	Pushover_X	C90X90	0,95	0	A to B
Story4	Pushover_X	C100X100	0,95	0	A to B
Story3	Pushover_X	C100X100	0,95	0	A to B
Story2	Pushover_X	C100X100	0,95	0	A to B
Story1	Pushover_X	C105X105	0,95	0	A to B

Kirişlerde olduğu gibi kolonlar da sınırlı hasar performans düzeyi içerisinde kalmıştır. Perdeler de kolonlar gibi eşdeğer kolon eleman olarak tanımlandığından **Tablo 3.36**'da değerler gösterilmiştir.

Tablo 3.36: Perde Sınır Değerleri.

Kat	Yükleme	Perde	Plastik Mafsal Yeri	Plastic @	Hinge Status
Story21	Pushover_X	Perde_1	0,95	0	A to B
Story20	Pushover_X	Perde_4	0,95	0	A to B
Story19	Pushover_X	Perde_2	0,95	0	A to B
Story18	Pushover_X	Perde_3	0,95	0	A to B
Story17	Pushover_X	Perde_1	0,95	0	A to B
Story16	Pushover_X	Perde_4	0,95	0	A to B
Story15	Pushover_X	Perde_2	0,95	0	A to B
Story14	Pushover_X	Perde_3	0,95	0	A to B
Story13	Pushover_X	Perde_1	0,95	0	A to B
Story12	Pushover_X	Perde_4	0,95	0	A to B
Story11	Pushover_X	Perde_2	0,95	0	A to B
Story10	Pushover_X	Perde_3	0,95	0	A to B
Story9	Pushover_X	Perde_1	0,95	0	A to B
Story8	Pushover_X	Perde_4	0,95	0	A to B
Story7	Pushover_X	Perde_2	0,95	0	A to B
Story6	Pushover_X	Perde_3	0,95	0	A to B
Story5	Pushover_X	Perde_1	0,95	0	A to B
Story4	Pushover_X	Perde_4	0,95	0	A to B
Story3	Pushover_X	Perde_2	0,95	0	A to B
Story2	Pushover_X	Perde_3	0,95	0	A to B
Story1	Pushover_X	Perde_1	0,95	0	A to B

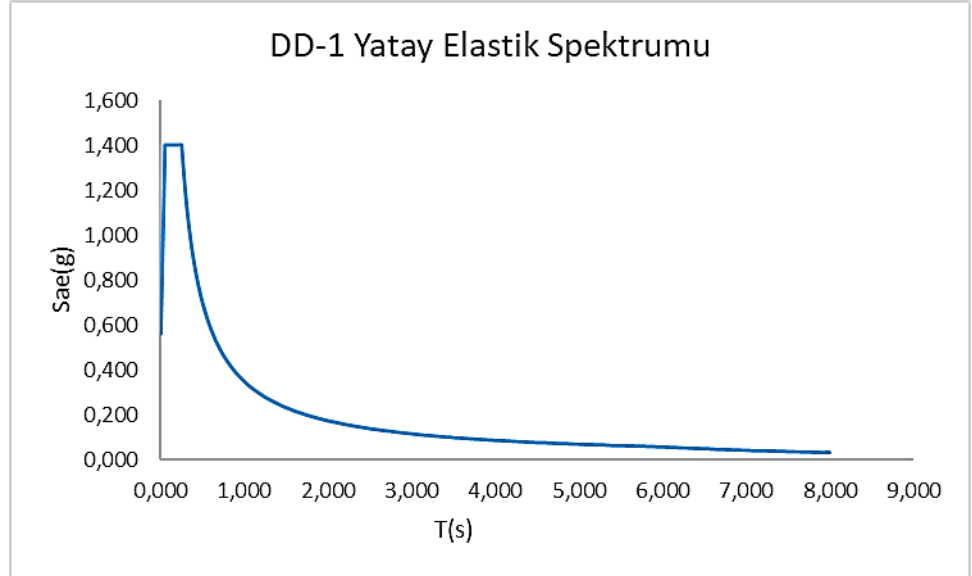
○ **8. Adım:** İtme Eğrisi İle Spektrum Eğrisinin Karşılaştırılması

Statik itme eğrisi ve spektrum eğrisi aynı eksen takımına indirgenerek performans noktası belirlenir. Bu da binanın hesap adımlarında seçilen performans noktasının sağlanıp sağlanmadığını gösterir. TBDY 2018’de bölüm 3’deki **Tablo 3.4** performans noktası seçiminde referans alınır. Burada DTS değeri 1 ve ŞDGT yapıldığından DD-1 deprem yer hareketi düzeyi seçilir ve performans hedefi de göçmenin önlenmesi olarak seçilir (**Tablo 3.37**).

Tablo 3.37: TBDY 2018 Performans Hedef Tablosu.

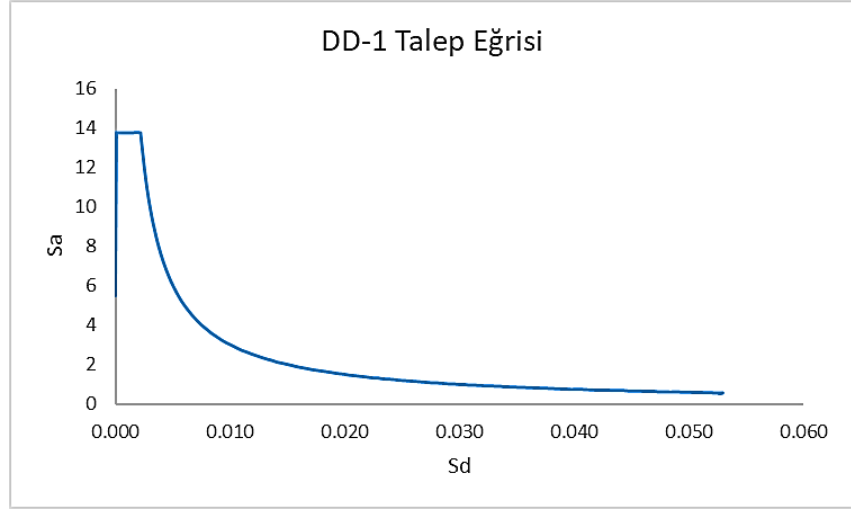
Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT	—	—
DD-3	—	—	SH	ŞDGT
DD-2	KH	DGT ⁽³⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	GÖ	ŞDGT	KH	ŞDGT

DD-1 deprem yer hareket düzeyi spektrum eğrisi elde edilir (**Şekil 3.53**).



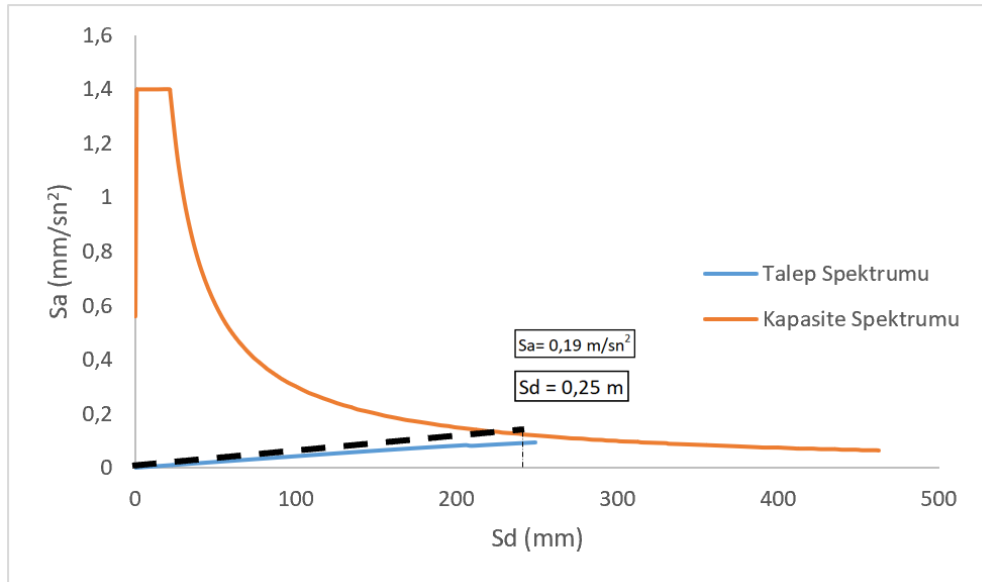
Şekil 3.53: DD-1 Yatay Elastik Spektrumu.

Spektrumun statik itme eğrisi ile kıyaslanabilmesi için aynı eksen takımına indirgenmesi gerekir. (**Şekil 3.54**).

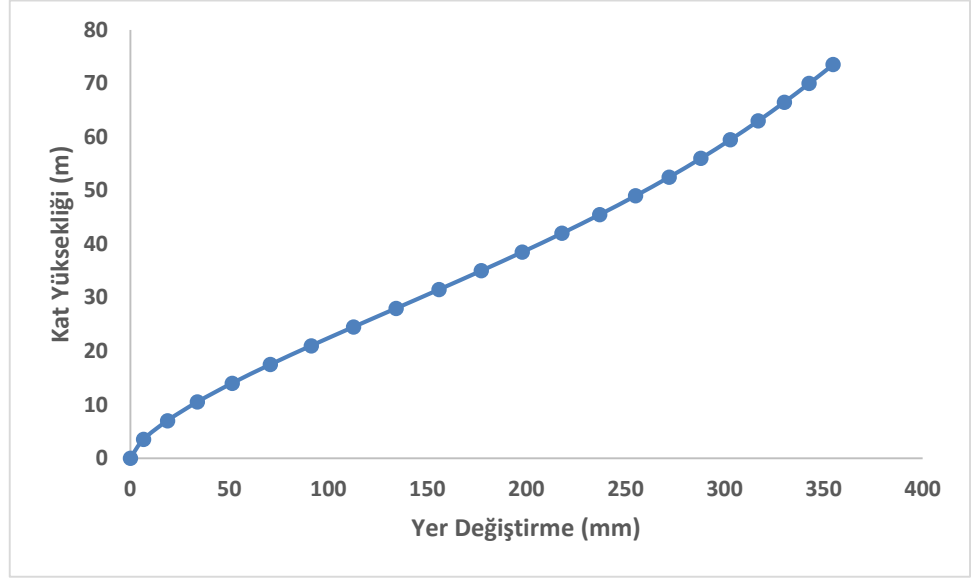


Şekil 3.54: DD-1 Elastik Talep Eğrisi

Statik itme eğrisi de aynı eksen takımına indirgenerek **Şekil 3.55**'de gösterilmiştir. Şekilde de görüleceği üzere bina rijitliğinin yüksek olması binanın elastik davranmasını sağlamıştır. Bulunan S_d değeri dönüşüm yapılarak performans noktası $u_d = 0,057$ m ve buna karşılık gelen taban kesme kuvveti 9054 kN olarak elde edilmiştir. Önceki sayfalardaki Tablo 4.34, 4.35 ve 4.36'da da görüleceği üzere binada herhangi bir plastikleşme olmayıp bina sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır.

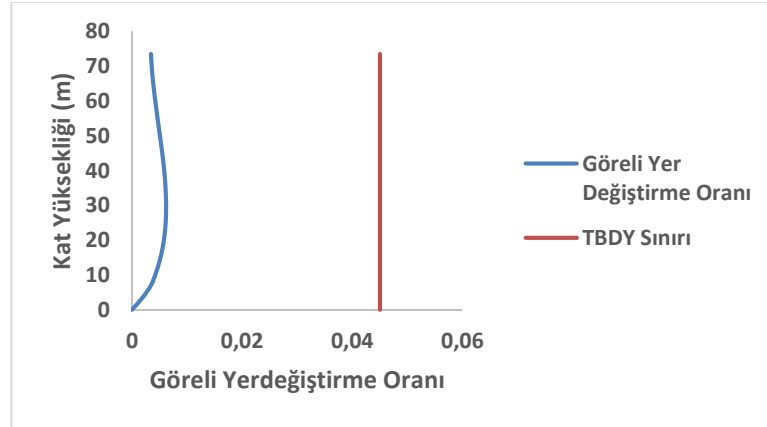


Şekil 3 55: Bina Performans Noktası



Şekil 3.56: Katlara Göre Maksimum Yer Değiştirmeler.

Şekil 4.56'da binadaki maksimum yer değiştirmeler kat yüksekliklerine göre gösterilmiştir. Bulunan yer değiştirmeler görelî olarak elde edilip kat yüksekliğine bölünerek görelî yer değiştirmeler oranı elde edilir. Görelî yer değiştirmeler katların birbirlerine göre yer değiştirmesinin oranını ifade eder. Bu oran zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap için 0,045 olarak verilmiştir. Hesaplanan görelî kat yerdeğiştirme oranları ve sınırları Şekil 3.57'de verilmiştir (TBDY 13.6.5.2).



Şekil 3.57: Statik İtme Görelî Yer Değiştirme Oranı.

3.8.1. PERDENİN KOLON OLARAK MODELLENMESİ DURUMUNDA ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

TBDY 2018’de de açıklandığı üzere bina DD-1 deprem yer hareketi altında normal performans hedefi için göçmenin önlenmesi, ileri performans hedefi olarak ise kontrollü hasar performans hedefini sağlama durumu incelenecektir. Tez içerisinde tasarımı yapılan bina için normal performans hedeflenmiştir. Bundan dolayı bina performans olarak göçmenin önlenmesi durumunu sağlamak zorundadır.

TBDY 2018 Bölüm 13.6.1.2’de açıklandığı üzere bina zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap esasları teşkil edecek şekilde çözülecektir. Doğrusal olmayan analiz için bina elemanlarının plastik mafsalları tanımlamaları yapılmalıdır. Bu adım pushover analizi hesabında yapıldığı için burada hazır olan model üzerinden ZTADOA uygulanacaktır. Bunun için 11 adet deprem kaydı seçilecek ve bu kayıtlar binaya iki doğrultuda da etkitilecektir. Toplamda 22 analiz yapılmış olacaktır. Burada binanın gerekli güvenlik sınırları içerisinde kaldığı gösterilemediği takdirde binada gerekli iyileştirmeler yapılarak analizler tekrar edilecektir.

o **1.Adım:** Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi

Deprem kayıtlarının seçilmesi ile ilgili TBDY 2018 tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşullarının dikkate alınması gerektiğini söyler. Hatta binanın konumunda daha önce olmuş depremler varsa öncelik olarak bu kayıtların seçilmesi gerektiğini belirtir.

Buradaki asıl önemli kısım kayıtların ölçeklenmesi konusudur. Seçilen deprem kayıtları ölçeksiz bir şekilde elde edildiği için bu kayıtların binanın yapıldığı konuma göre düzenlenmesi gerekir. Bunun için en çok başvurulan yöntem zaman tanım alanında basit ölçeklendirme yöntemidir. Burada seçilen deprem kaydı içeriği tasarım spektrumuna uyum sağlayacak şekilde belirlenen bir katsayıyla çarpılır ve bu şekilde uyum sağlanmaya çalışılır. TBDY 2018 burada ölçekleme sonucunda deprem kayıtlarının bileşkelerinin ortalamasının alınmasını ve $0,2T_p$ ile $1,5T_p$ periyotları

arasındaki genliklerin tasarım spektrumuna oranının 1,3 değerinden küçük olmayacak şekilde kayıtların düzenlenmesini istemektedir.

Bu çalışma kapsamında Peer Ground Motion Database'den elde edilen kayıtlar kullanılmıştır. Kayıtlar için seçim parametreleri Şekil 3.59'da gösterilmiştir.

Şekil 3.59: PEER Deprem Seçim Parametreleri

The screenshot shows the PEER Earthquake Selection Parameters interface. At the top, there are two buttons: "Load Sample Input Values" and "Clear Input Values". Below these are two main sections: "Search" and "Suite".

Search Section:

- Record Characteristics:**
 - RSN(s) : RSN1,...RSNn
 - Event Name :
 - Station Name :
- Search Parameters:**
 - Fault Type :
 - Magnitude :
min,max
 - R_{JB}(km) :
min,max
 - R_{rup}(km) :
min,max
 - V_{s30}(m/s) :
min,max
 - D5-95(sec) :
min,max
 - Pulse :
- Additional Characteristics:**
 - Max No. Records :
(≤ 100)

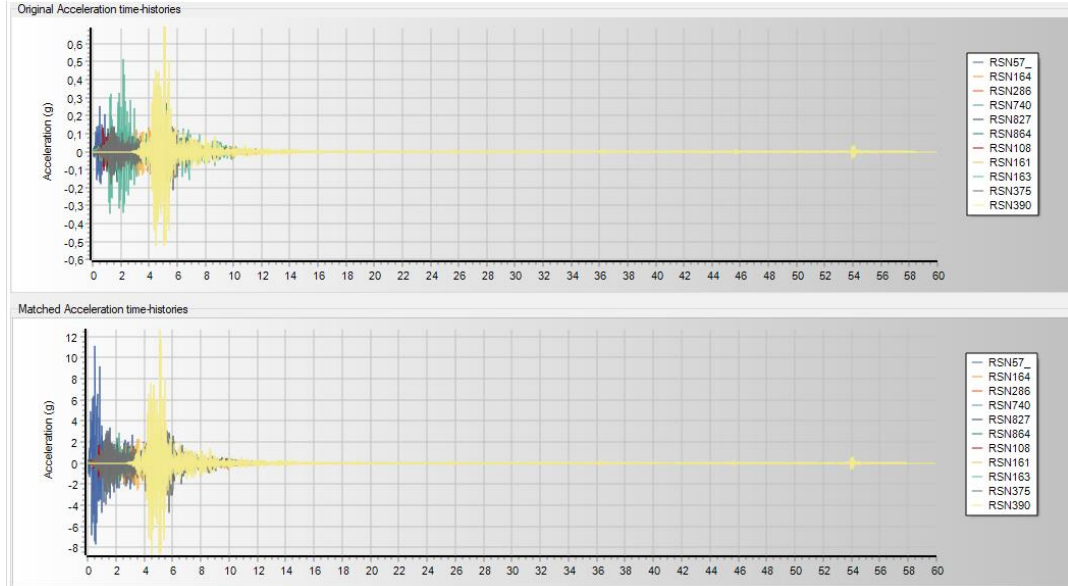
Suite Section:

- Spectral Ordinate :
- Damping Ratio :
- Suite Average :

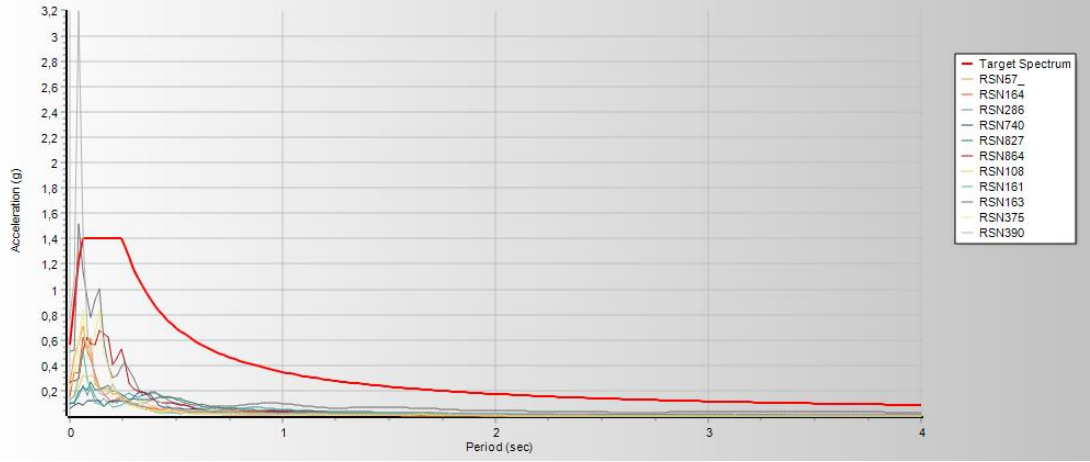
Kayıtların seçiminde hedef spektrum belirtilerek buna göre kayıtlar seçilmiştir (Tablo 3.38). Daha sonra SeismoMatch 2022 programı kullanılarak kayıtlar spektruma göre ölçeklenmiştir (Şekil 3.60-3.63). Burada öncelikle dikkat edilmesi gereken hususlar değişkenlik göstermektedir. Binanın konumu, faya uzaklığı, geçmişte burada meydana gelen deprem büyüklükleri, fayın kapasitesi gibi etkenler deprem kaydı seçiminde dikkat edilmesi gereken önemli noktalardır.

Tablo 3.38: Seçilen Deprem Kayıtları.

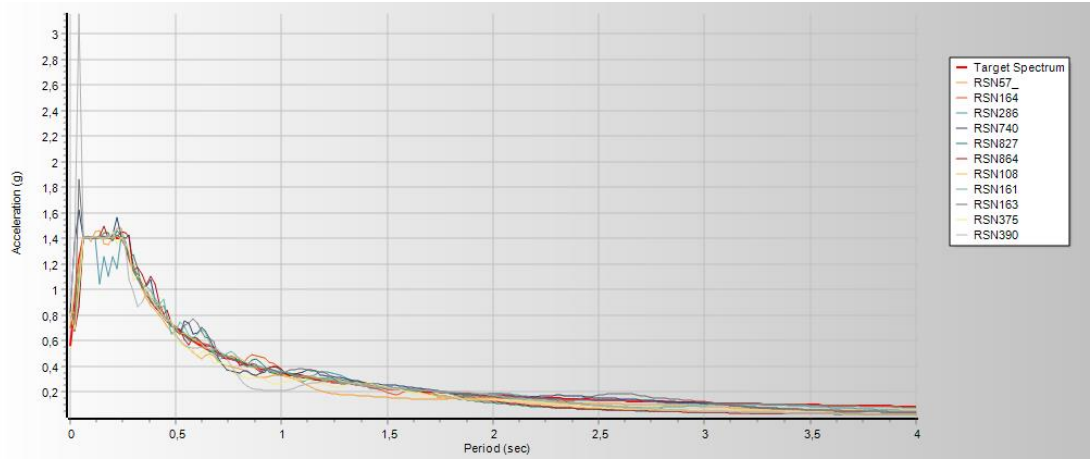
PEER Kayıt No	Deprem Adı	Yıl	İstasyon	Moment Büyüklüğü
57	San Fernando	1971	Castaic - Old Ridge Route	6,61
164	Imperial Valley-06	1979	Cerro Prieto	6,53
286	Irpinia, Italy-01	1980	Bisaccia	6,9
740	Loma Prieta	1989	Anderson Dam (L Abut)	6,93
827	Cape Mendocino	1992	Fortuna - Fortuna Blvd	7,01
864	Landers	1992	Joshua Tree	7,28
1083	Northridge-01	1994	Sunland - Mt Gleason Ave	6,69
1614	Duzce, Turkey	1999	Lamont 1061	7,14
1633	Manjil, Iran	1990	Abbar	7,37
3753	Landers	1992	Fun Valley	7,28
3907	Tottori, Japan	2000	OKY004	6,61



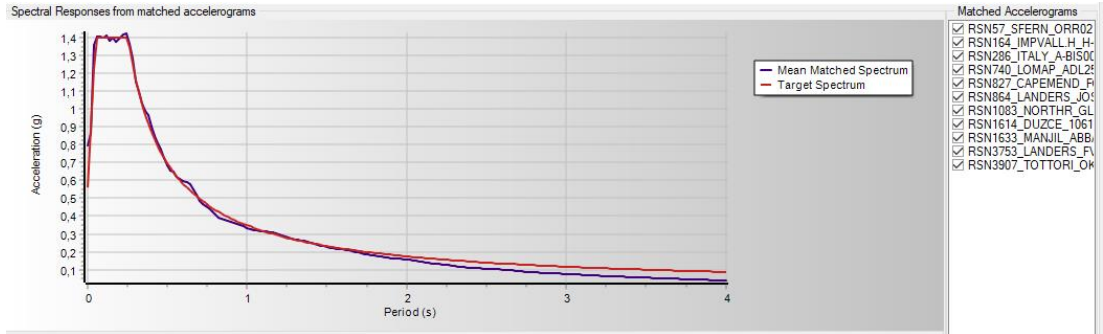
Şekil 3.60: Ölçeksiz ve Ölçeklenmiş Deprem Kayıtları.



Şekil 3.61: Hedef Spektruma Göre Ölçeksiz Kayıtların Spektrumu.



Şekil 3.62: DD-1 Depremi Spektruma Göre Ölçekli Kayıtlar.



Şekil 3.63: Ortalaması Alınmış Kayıtların DD-1 Spektrumu İle Kıyaslanması.

- **2. Adım:** Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yönteminin Tanımlamaları ve Binaya Etkitilmesi

Ölçeklenmiş ivme kayıtları ETABS’da tanımlanır. Burada öncelikle doğrusal olmayan bir yük tanımlı yapılır. Daha sonra analiz için bu yük başlangıç kabul edilerek deprem kaydının yük tanımlaması yapılır (Şekil 3.64-3.65).

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Dead	1
Load Pattern	Live2	0.3
Load Pattern	SDead	1

Şekil 3.64: Doğrusal Olmayan Yük $G+0.3q$ Deprem Öncesi Yükleme Tanımlaması.

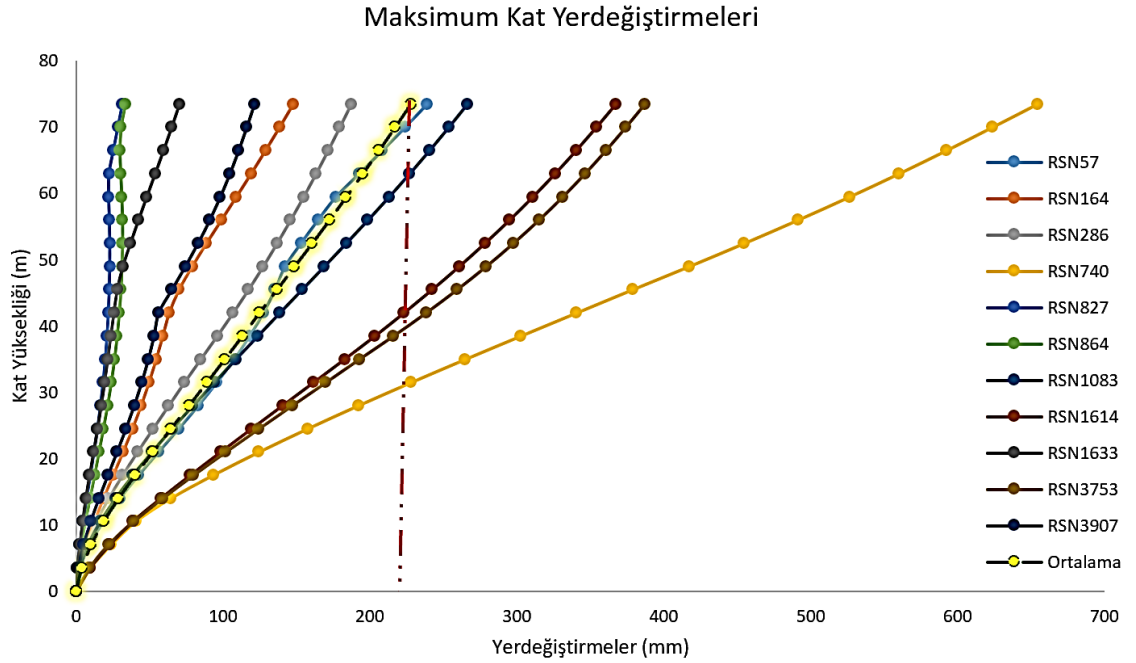
Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	RSN57	9810

Şekil 3.65: Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Yükleme Tanımlaması.

o **3. Adım:** Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları

Bu kısımda her bir deprem kaydı için sonuçlar ayrı ayrı elde edilip kıyaslama açısından tek grafik altında toplanmıştır.

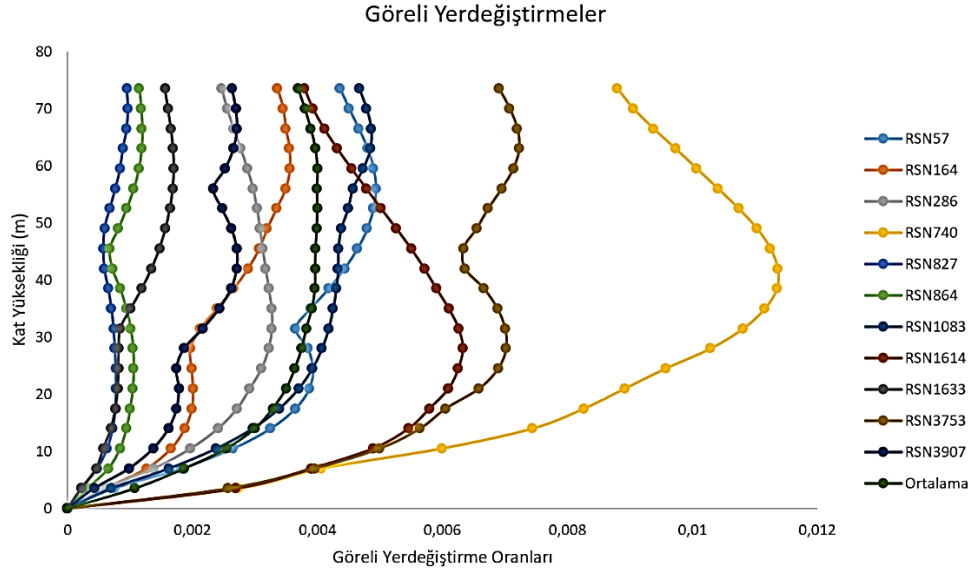
Binada elde edilen analiz sonuçlarında kolon, kiriş ve perdelerde herhangi bir elastik ötesi şekil değiştirme meydana gelmemiştir. Öncelikle binada meydana gelen maksimum yerdeğistirmeler **Şekil 3.66**'da gösterilmiştir.



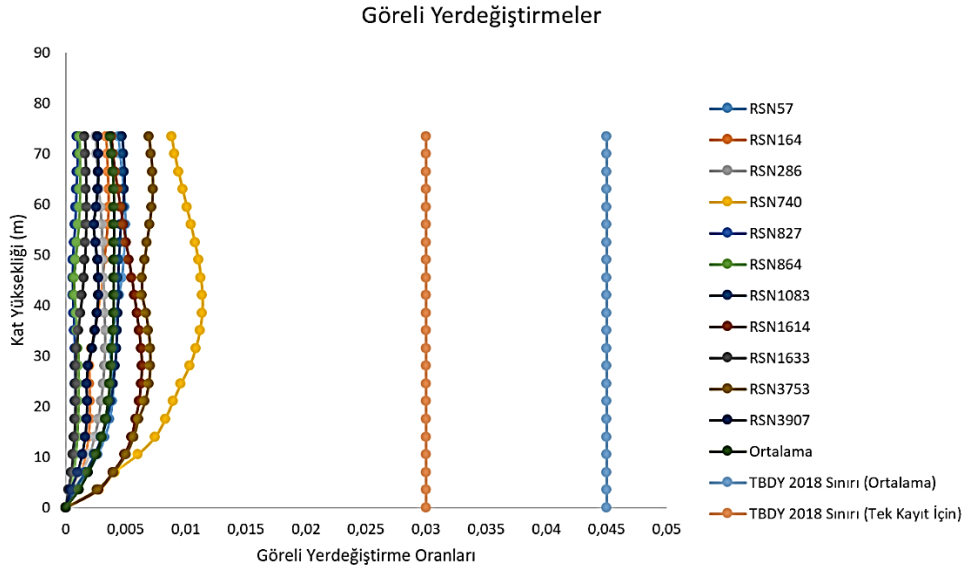
Şekil 3.66: Deprem Kayıtları Altında Hesaplanan Maksimum Kat Yerdeğistirmeleri.

Şekil 3.66 incelendiğinde RSN740 olarak adlandırılan kayıta diğer kayıtlara göre en büyük yerdeğistirme elde edilmiştir. Tüm kayıtların ortalaması ise sarı kesik çizgi ile gösterilmiş olup maksimum olarak 220 mm mertebelerinde kalmıştır. Buradan da binanın gereğinden fazla rijit olduğu sonucu çıkarılabilir.

TBDY 2018 binadaki görece yerdeğistirmelerin oranını kısıtlamıştır. TBDY 2018 Bölüm 13'de açıklandığı üzere her bir deprem kaydı için kat yerdeğistirme oranı 0,03 iken deprem kayıtlarının ortalaması için ise 0,045 olarak belirtilmiştir (**Şekil 3.67-3.68**).

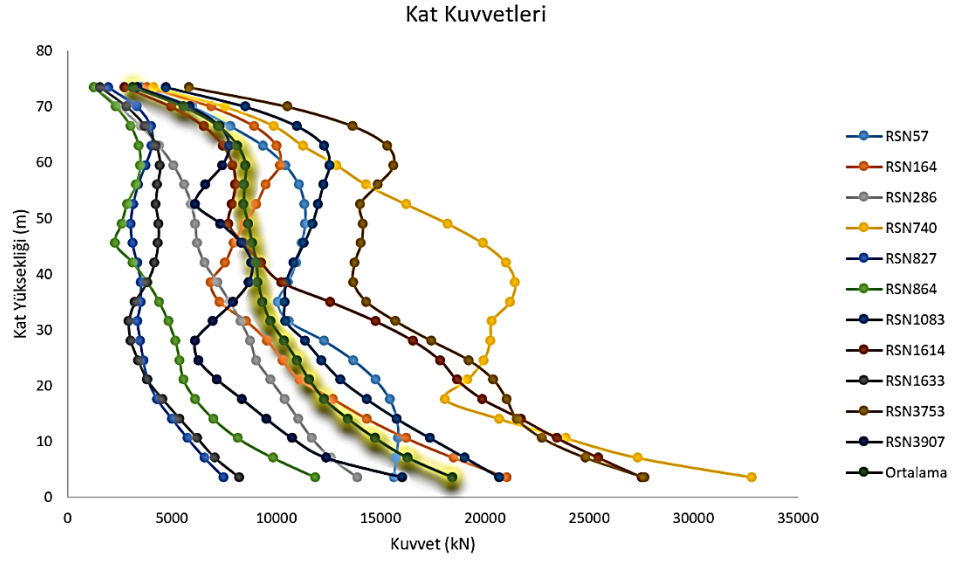


Şekil 3.67: Göreli Yerdeğiştirme Oranları.



Şekil 3.68: Göreli Yerdeğiştirme Oranları-TBDY 2018 Sınırı.

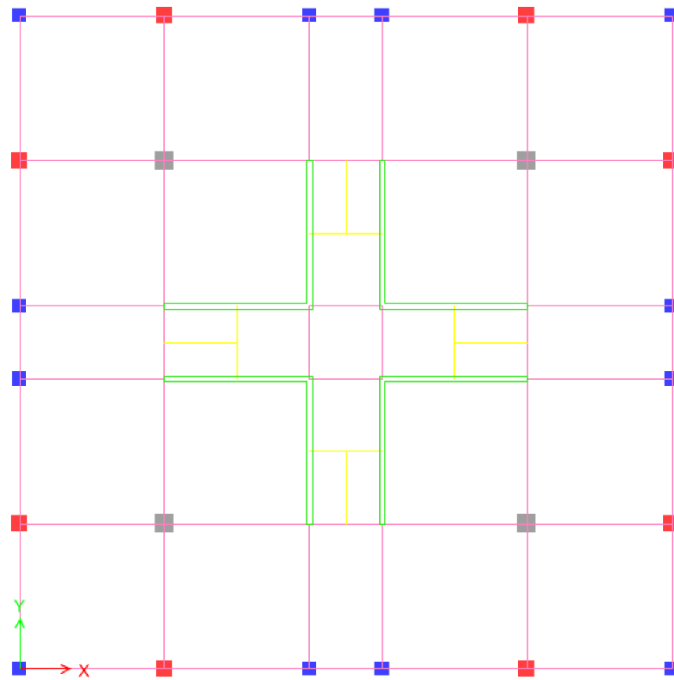
Şekil 3.68 incelendiğinde binadaki göreli yer değiştirme oranlarının TBDY’de belirtilen sınır değerlerin altında kaldığı görüldü. Bu da binanın yeterli düzeyde olduğu hakkında değerlendirme yapılabileceğini gösterir. Analiz sonuçları incelendiğinde katlara gelen kuvvetler ortalama 20000 kN mertebelerinde kalmıştır. Şekil 3.69’da kat kesme kuvvetleri ortalamaları ile birlikte verilmiştir.



Şekil 3.69: Katlara Gelen Kuvvetler.

3.8.2. PERDENİN KABUK OLARAK MODELLENMESİ DURUMUNDA ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

Bu bölümde ETABS programı aracılığıyla tasarlanan binanın çekirdek bölgesinde bulunan perdeler kabuk eleman olarak modellenmiştir (Şekil 3.70).

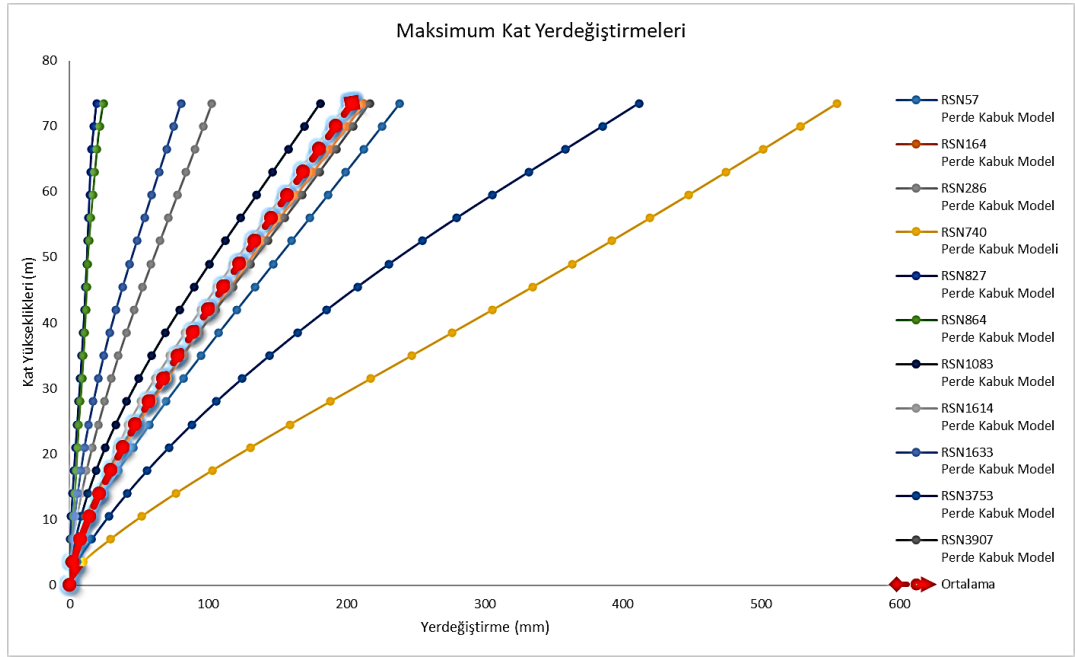


Şekil 3.70: Perde Kabuk Model.

Burada perdeler için öncelikle plastik mafsal modeli seçilecektir. TBDY 2018'e göre perdeler kesit hücresi (lif) modeline göre analiz edilecektir.

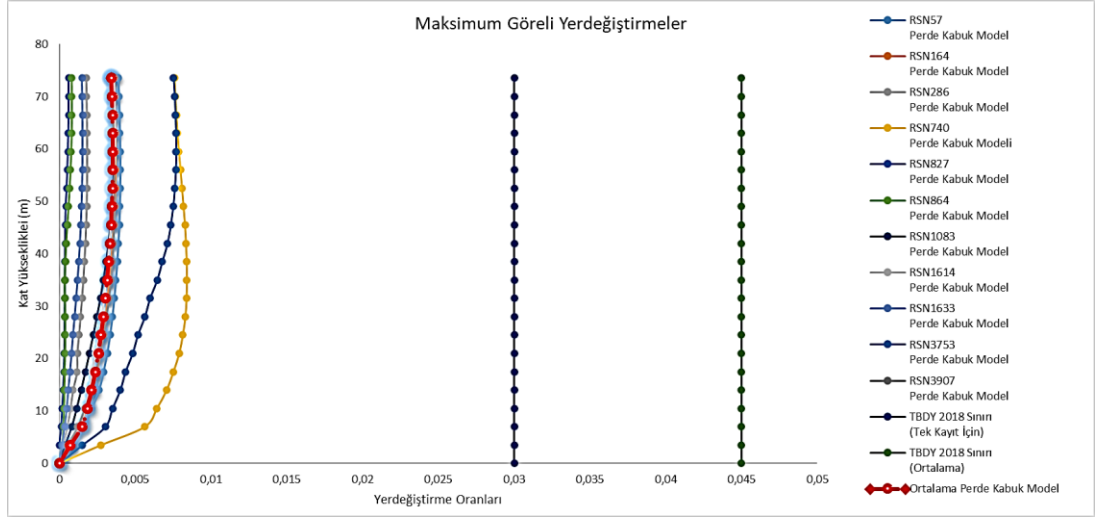
○ Analiz Sonuçlarının Gösterilmesi

Seçilen 11 deprem kaydının binaya uygulanmasından sonra binada kayıtlardan elde edilen sonuçlar grafiklerle gösterilmiştir (Şekil 3.71).



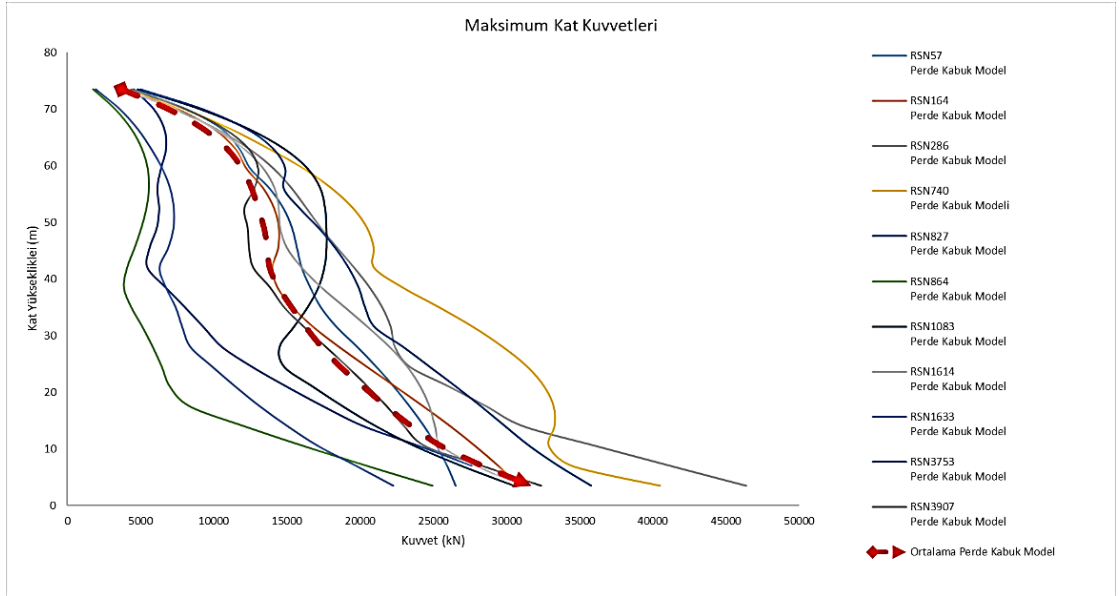
Şekil 3.71: Tüm Kayıtların Yerdeğiştirmesi.

Şekil 3.71 incelendiğinde tüm kayıtlara ait maksimum yerdeğiştirmelerin ve bunların ortalaması görülecektir. Burada ortalama değeri 200 mm civarında kalmıştır. TBDY 2018 bu değeri için tek kaydın 0,03 değeri ortalamaya değeri ise 0,045 değeri geçemeyeceğini şart olarak koymuştur (Şekil 3.72). Şekil incelendiğinde her bir deprem kaydı ve ortalama için değeri yönetmelik sınırlarını sağladığı görülecektir. Bu değeri binanın güvenli tarafta kaldığını gösterir. Göreli kat ötelemeleri incelendiğinde özellikle eleman kesit boyutlarının azaltıldığı katlarda önemli derecede değeri göstermiştir.



Şekil 3.72: Tüm Kayıtların Görelî Yerdeğiştirme Oranları.

Burada tüm kayıtların sonuçları gösterilmiştir. Daha sonra ortalama değeri elde edilerek grafiğe eklenmiştir. (Şekil 3.73).



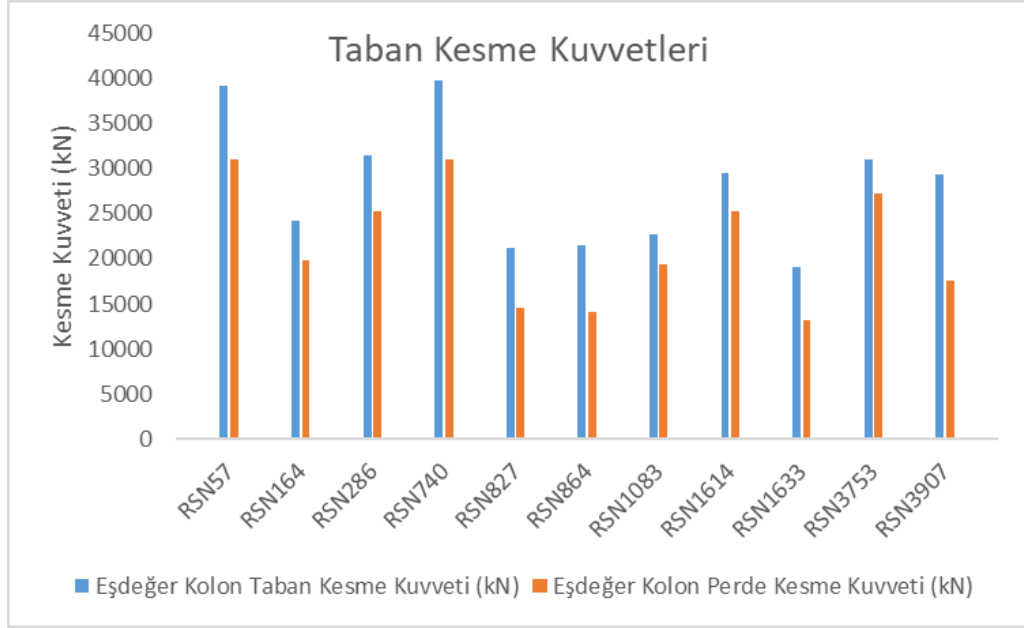
Şekil 3.73: Tüm Kayıtların Maksimum Kat Kesme Kuvvetleri.

Şekil 3.73'de de görüleceği üzere kat kesme kuvvetleri değışkenlik göstermektedir. Perdelerin aldığı taban kesme kuvveti binanın taban kesme kuvvetinin %90'ı mertebelerinde kalmıştır. Bu da perdelerin kolonlara göre oldukça rijit bir davranış gösterdiği anlamına gelmektedir.

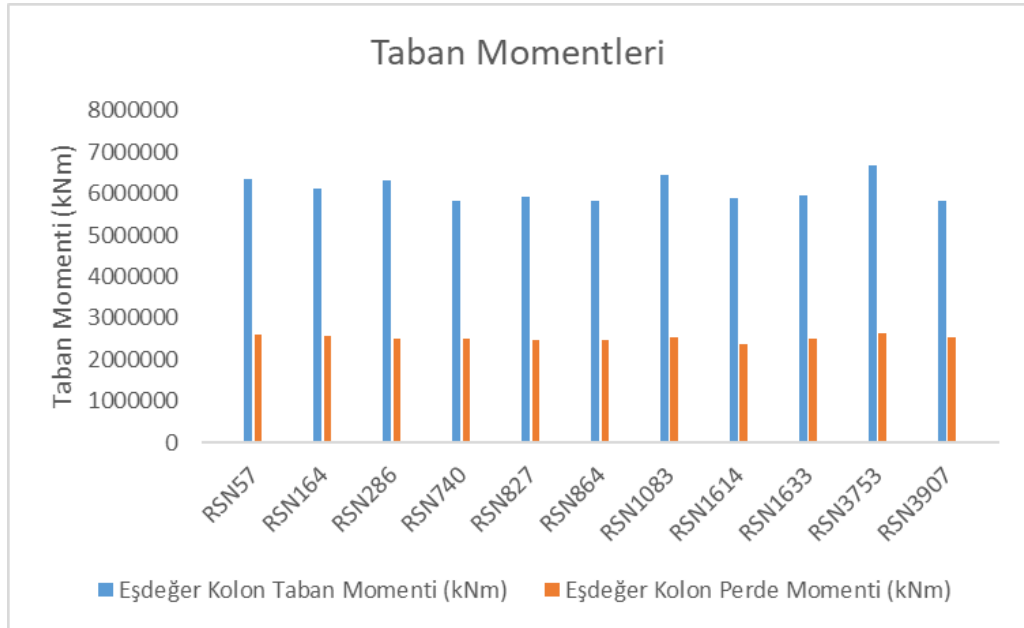
Tablo 3.39: Eşdeğer Kolon Modeli Taban Kesme Kuvveti ve Perde Kesme Kuvveti.

	Eşdeğer Kolon Taban Kesme Kuvveti (kN)	Eşdeğer Kolon Perde Kesme Kuvveti (kN)	Oran	Eşdeğer Kolon Taban Momenti (kNm)	Eşdeğer Kolon Perde Momenti (kNm)	Oran
RSN57	39.106	30.993	0,79	6.346.009	2.591.718	0,41
RSN164	24.162	19.807	0,82	6.115.869	2.572.386	0,42
RSN286	31.499	25.296	0,80	6.306.392	2.502.652	0,40
RSN740	39.718	30.965	0,78	5.830.462	2.507.941	0,43
RSN827	21.181	14.608	0,69	5.924.730	2.472.221	0,42
RSN864	21.454	14.061	0,66	5.830.320	2.458.876	0,42
RSN1083	22.759	19.417	0,85	6.455.974	2.544.927	0,39
RSN1614	29.550	25.224	0,85	5.890.759	2.368.882	0,40
RSN1633	19.020	13.166	0,69	5.945.773	2.511.764	0,42
RSN3753	30.938	27.287	0,88	6.675.372	2.639.607	0,40
RSN3907	29.423	17.571	0,60	5.830.237	2.546.023	0,44

Tablo 3.39'da eşdeğer kolon modeli için taban kesme kuvveti ve perdeler gelen kesme kuvvetleri görülmektedir. Kesme kuvvetleri açısından bakılacak olursa binada RSN3907 kaydın sonucunda kesme kuvvetinin %60'ı eşdeğer kolon perdeleri tarafından karşılanmaktadır. Perdelerin en etkin olduğu kayıt olan RSN3753 'de ise eşdeğer kolon perdeler binaya gelen kesme kuvvetinin %80'ini karşılamaktadır. **Tablo 3.39**'da tabandaki devrilme momentleri ile eşdeğer kolon perdeler gelen momentlerin oranı görülmektedir. Tüm kayıtların sonucundan ortalama %40 civarında binada oluşan devrilme momenti eşdeğer kolon perdeler tarafından karşılanmaktadır. Bu hesapların sonucu **Şekil 3.74** ve **Şekil 3.75**'de gösterilmiştir.

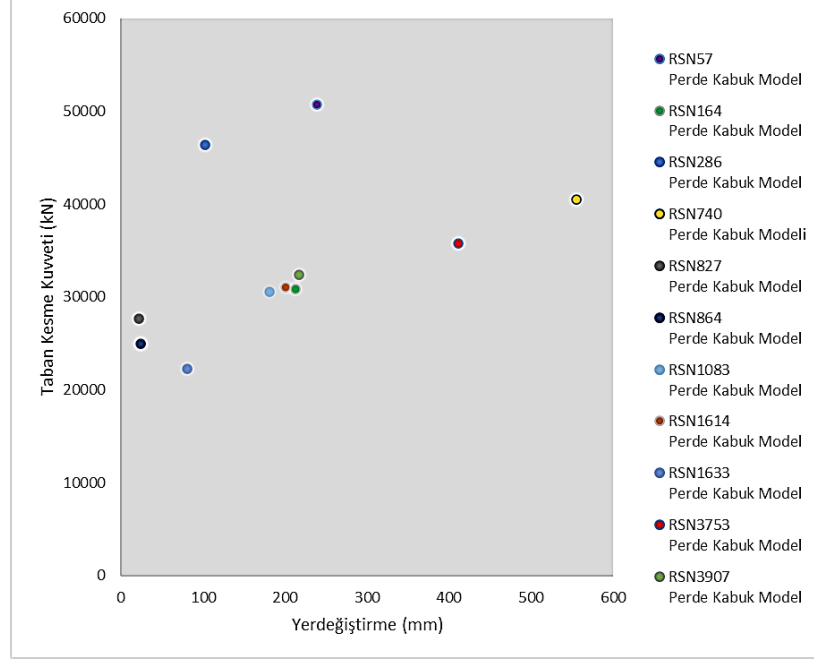


Şekil 3.74: Eşdeğer Kolon Modeli Taban Kesme Kuvveti ve Perde Kesme Kuvveti.



Şekil 3.75: Eşdeğer Kolon Modeli Taban Devrilme Momenti ve Perde Momenti.

Tüm analizlerin taban kesme kuvveti ve yerdeğiştirme grafiği Şekil 3.76'da gösterilmiştir.



Şekil 3.76: Taban Kesme Kuvveti-Tepe Yerdeğiştirmelerin Maksimum Değerleri.

Elde edilen sonuçlar sonucunda binada herhangi bir plastikleşme görülmemiştir. Bina sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır (Tablo 3.40).

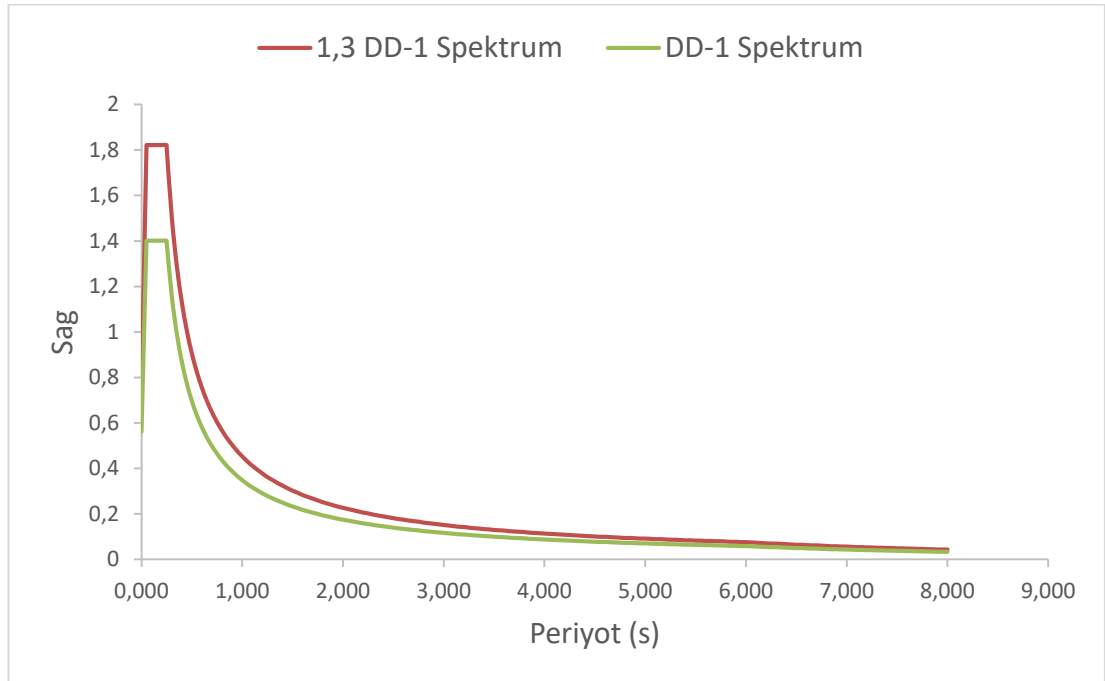
Tablo 3.40: Eleman Hasar Durumları.

Kat	Eleman Sayısı	Kolon			Eleman Sayısı	Kiriş		
		SH	KH	GÖ		SH	KH	GÖ
1	22	100%	-	-	56	100%	-	-
2	22	100%	-	-	56	100%	-	-
3	22	100%	-	-	56	100%	-	-
4	22	100%	-	-	56	100%	-	-
5	22	100%	-	-	56	100%	-	-
6	22	100%	-	-	56	100%	-	-
7	22	100%	-	-	56	100%	-	-
8	22	100%	-	-	56	100%	-	-
9	22	100%	-	-	56	100%	-	-
10	22	100%	-	-	56	100%	-	-
11	22	100%	-	-	56	100%	-	-
12	22	100%	-	-	56	100%	-	-
13	22	100%	-	-	56	100%	-	-
14	22	100%	-	-	56	100%	-	-
15	22	100%	-	-	56	100%	-	-
16	22	100%	-	-	56	100%	-	-
17	22	100%	-	-	56	100%	-	-
18	22	100%	-	-	56	100%	-	-
19	22	100%	-	-	56	100%	-	-
20	22	100%	-	-	56	100%	-	-
21	22	100%	-	-	56	100%	-	-

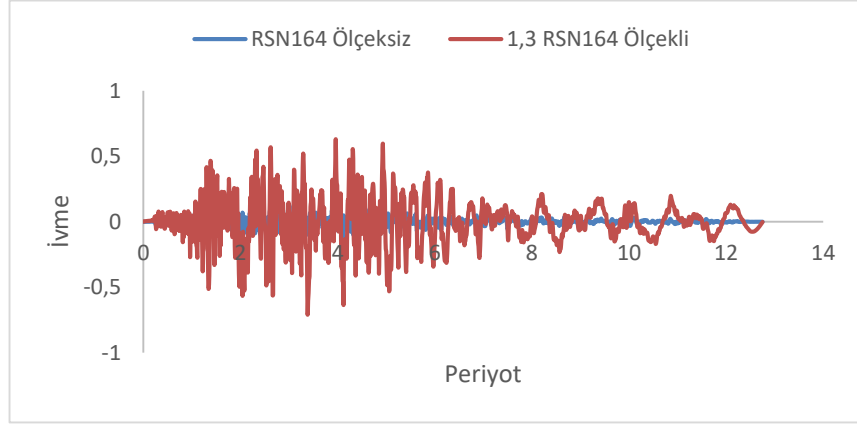
Tablo 3.40 incelendiğinde binanın göçme performans düzeyine ulaşan elemanı olmadığı görülmektedir. Hedef performans olan göçmenin önlenmesi hedefi sağlanmıştır. Burada binanın yatay yük kapasitesinin yüksek bir şekilde davrandığı görülmektedir ki bu da ekonomik bir çözüm olmamaktadır. Lakin binada plastikleşmenin önünü açmak yüksek binalarda kolonlar için verilen eksenel sınıra takılmaktadır. Bu sınır kolonlardaki ortalama gerilme sınırlandırdığından binada kolon kesitlerini azaltmak uygun düşmemektedir. Değişiklik sadece perdelerin kesitlerinin küçültülmesi ile yapılabilir. Perdelerin plandaki genişliği kiriş genişliğine uygun ve donatı düzenin sağlanması bakımından seçilmiştir. Plandaki uzun boyutları ise mimari düzen gözönüne alınarak belirlenmiştir.

3.9. DD-1 DEPREM SPEKTRUMU 1,3 KAT ARTTIRILARAK BİNADAN ELDE EDİLEN SONUÇLAR

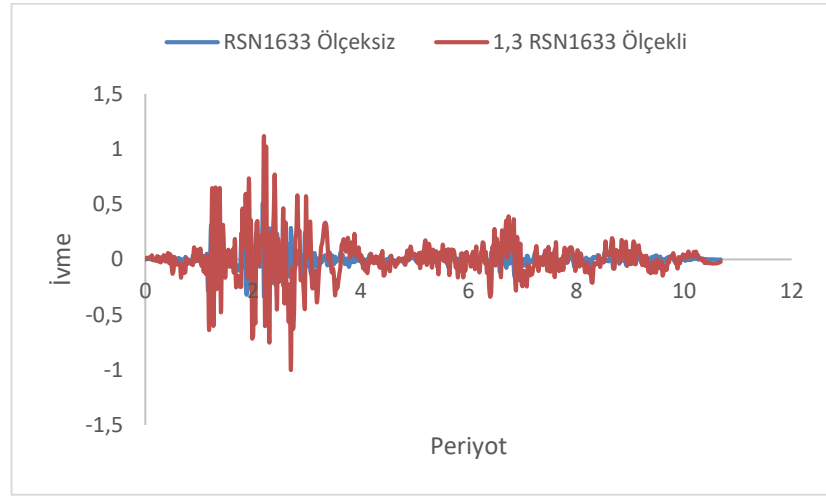
Binada taşıyıcı elemanlardaki eksenel yük sınırından dolayı plastikleşmenin olmayışından dolayı DD-1 spektrum eğrisi 1,3 kat arttırılarak seçilen deprem kayıtları 1,3 DD-1 yeni spektrum eğrisine göre ölçeklendirilip analiz tekrar edilmiştir (**Şekil 3.77, 3.78, 3.79**).



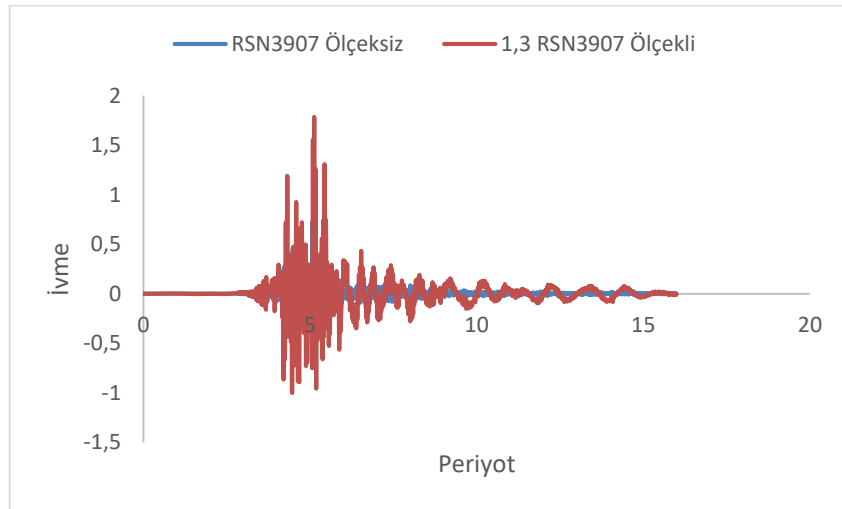
Şekil 3.77 : DD-1 Deprem Spektrumu-1,3 DD-1 Deprem Spektrumu



Şekil 3.78: RSN164 Deprem Kaydının Ölçeklenmiş İvme-Periyot Değerleri

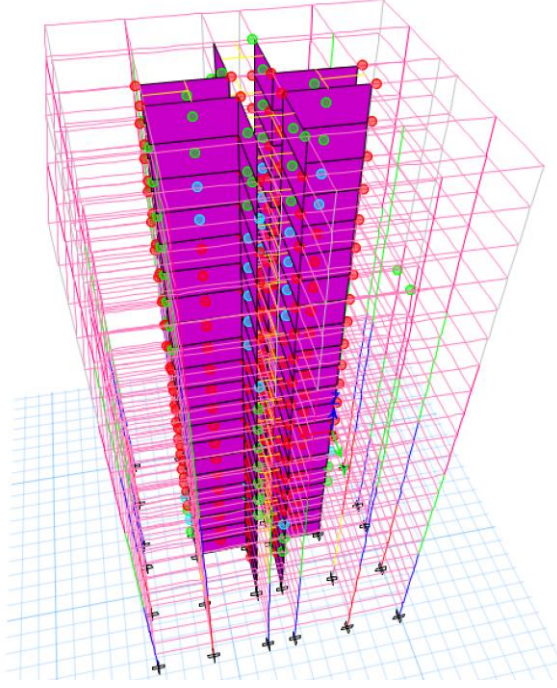


Şekil 3.79: RSN1633 Deprem Kaydının Ölçeklenmiş İvme-Periyot Değerleri

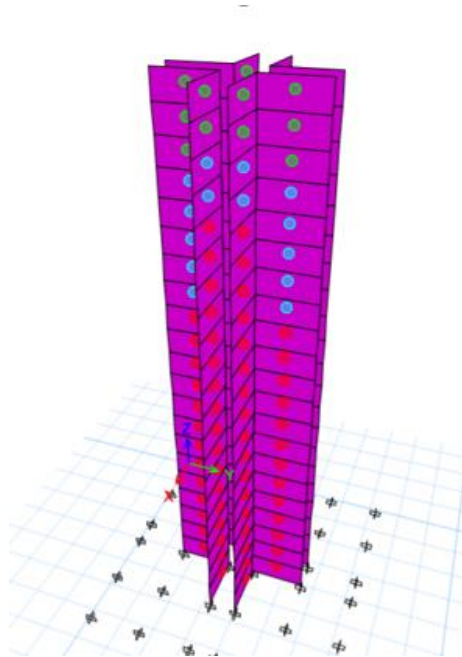


Şekil 3.80: RSN3907 Deprem Kaydının Ölçeklenmiş İvme-Periyot Değerleri

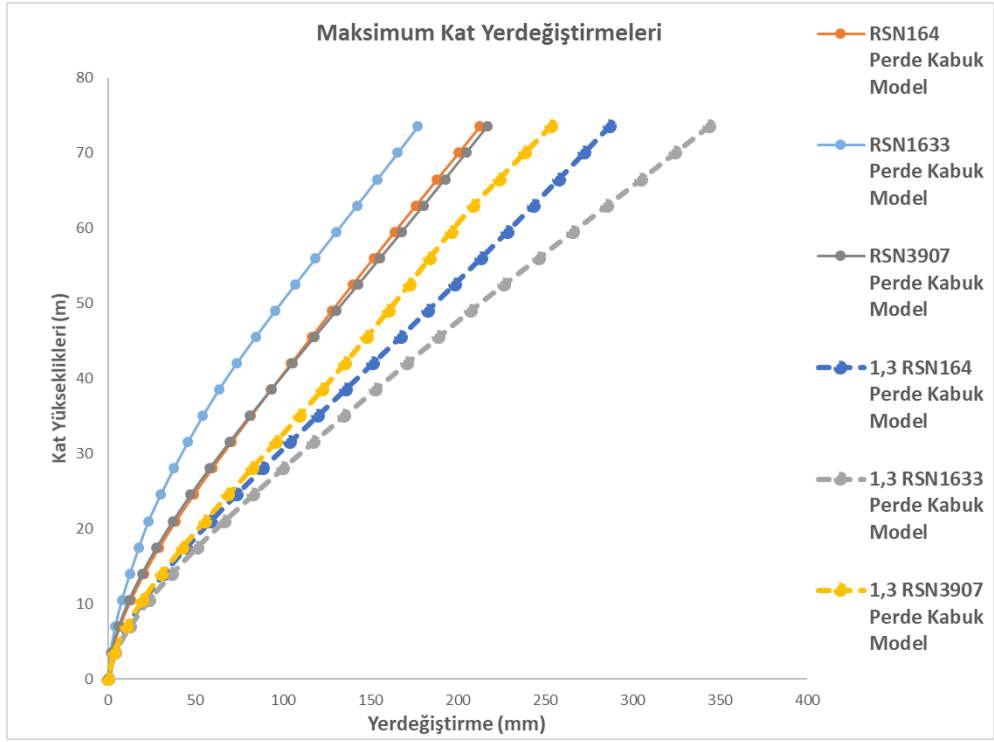
İvme kayıtlarının ölçeklenmesinden sonra zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler tekrar edilmiştir. Bunun neticesinde RSN164 kayıtlı depremden dolayı kesitlerde meydana gelen plastik mafsallaşmalar **Şekil 3.81** ve **Şekil 3.82**'de gösterilmiştir.



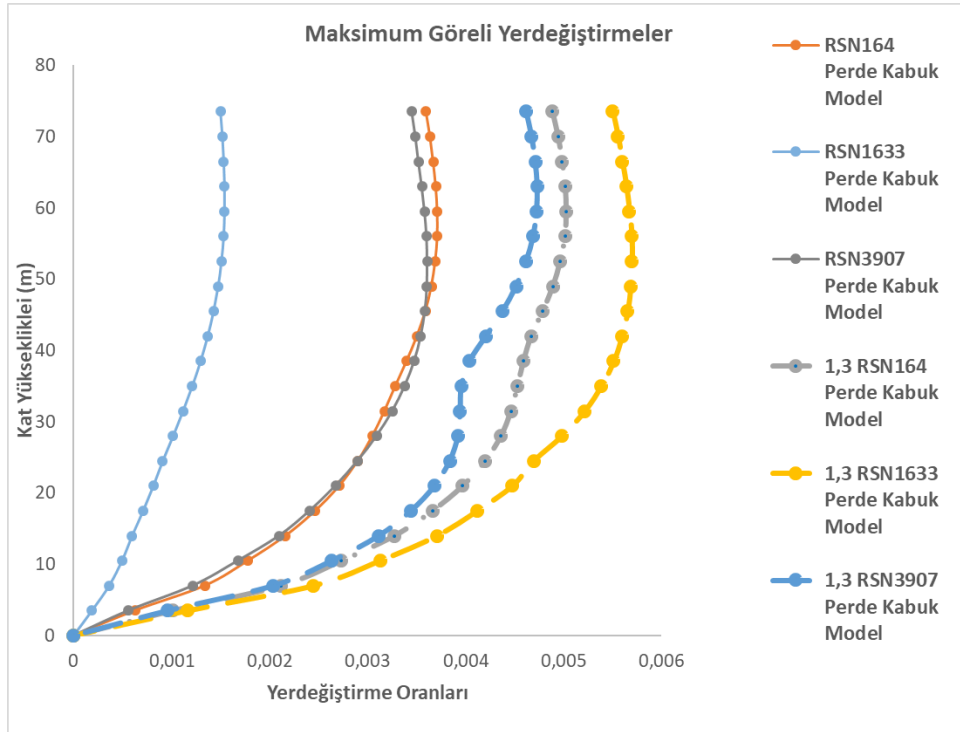
Şekil 3.81: Kesitler Oluşan Plastik Mafsallar



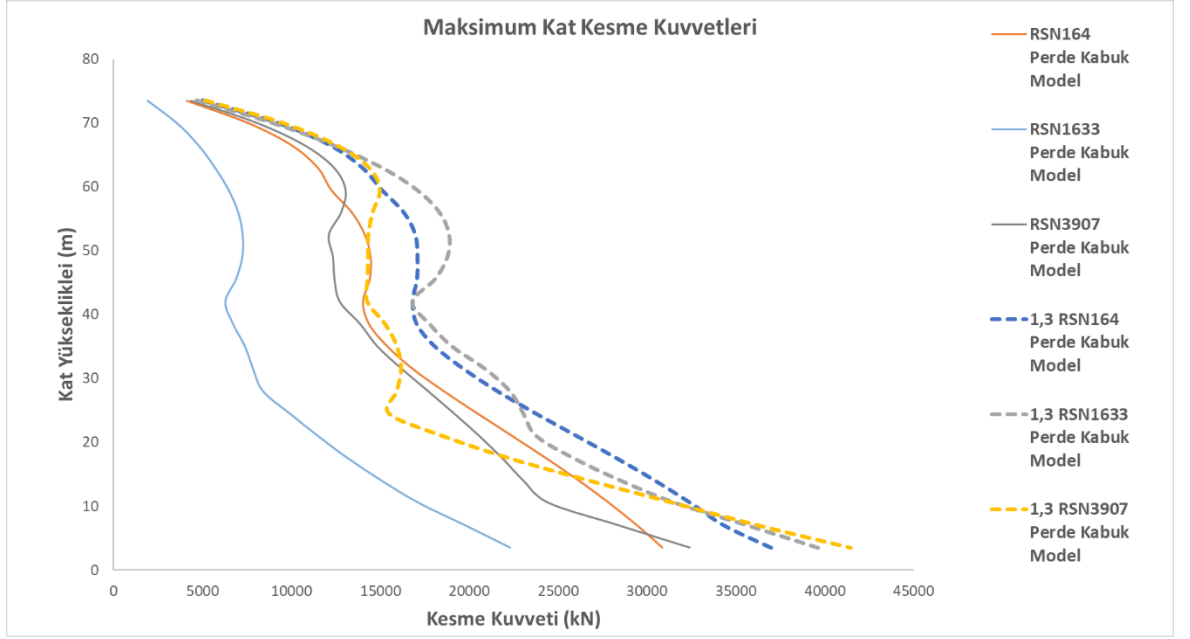
Şekil 3.82 : Perdelerde Oluşan Plastik Mafsallar



şekil 3.83: Kayıtlara Ait Maksimum Yerdeşistirme Sonuçları



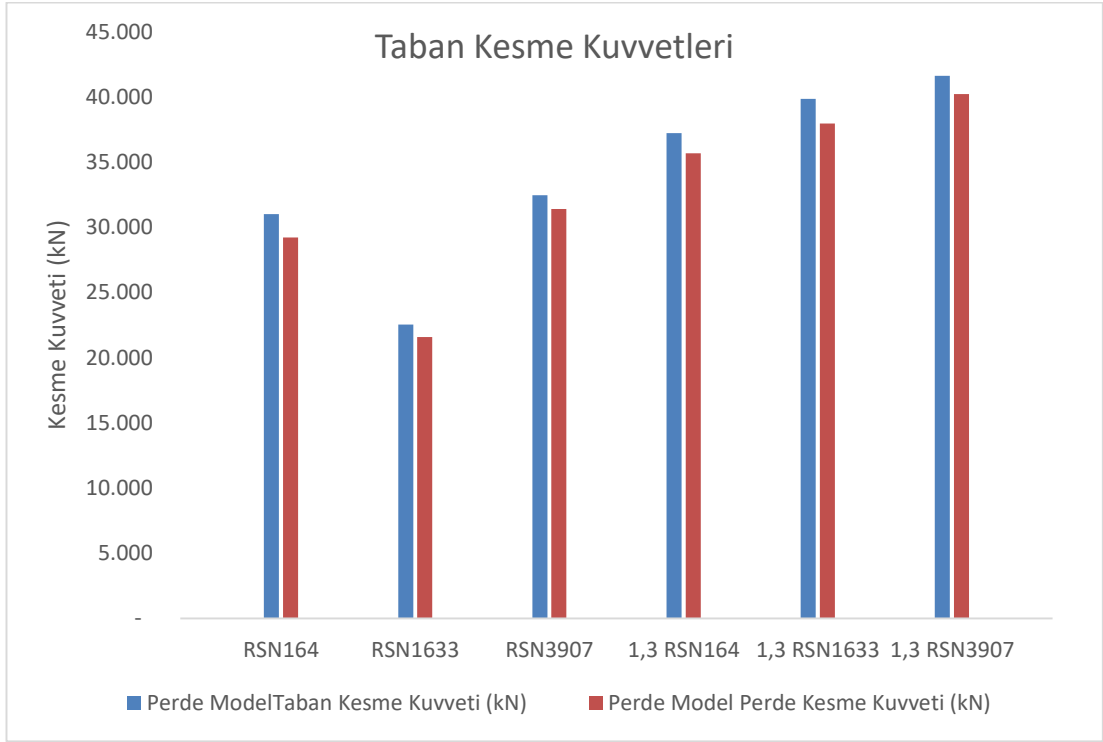
şekil 3.84: Kayıtlara Ait Maksimum Görelı Yerdeşistirme Sonuçları



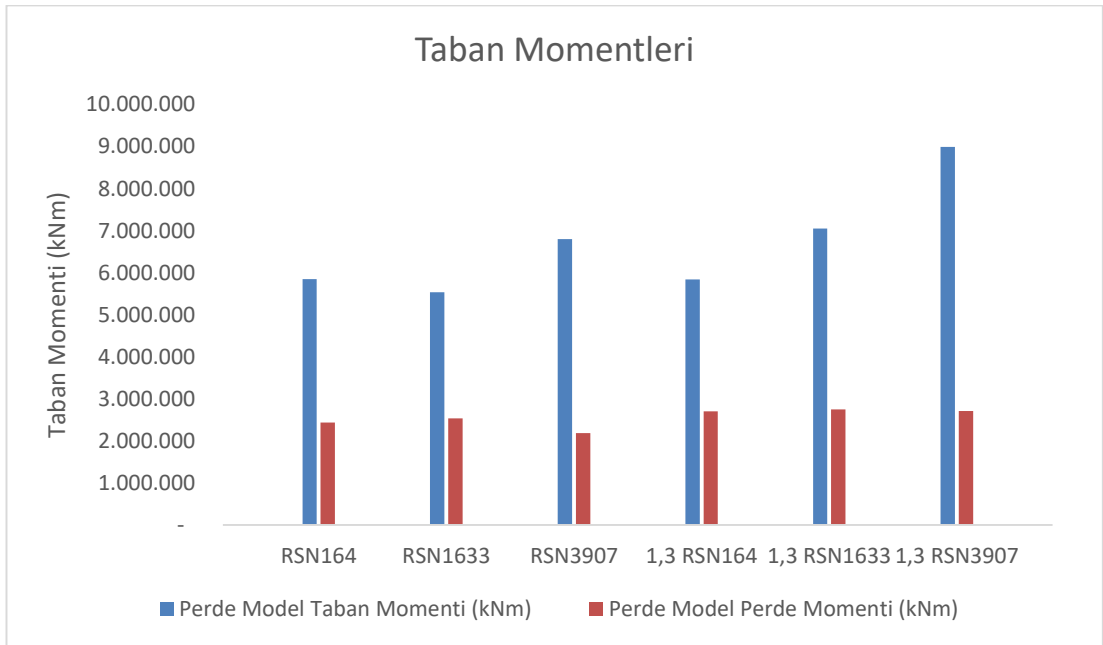
Şekil 3.85: Kayıtlara Ait Maksimum Kat Kesme Kuvveti Sonuçları

Şekil 3.83’de 3 deprem ivme kaydı sonucunda elde edilen maksimum yerdeğiştirmeler gösterilmiştir. Görüleceği üzere arttırılmış deprem hesabı sonucunda yerdeğiştirmeler artmıştır. Yerdeğiştirmelerin artmasıyla kesitlerde hasarlar meydana gelmiştir. Şekil 3.81 ve 3.82’de kesitlerde meydana gelen hasar noktaları bu yerdeğiştirmeler sonucu oluşmuştur.

Şekil 3.84’de görelî yerdeğiştirme oranlarının DD-1 spektrumuna göre ölçekli deprem ivme kayıtları sonucuyla kıyaslanması gösterilmiştir. Binada meydana gelen hasar sonucu kesitlerin yerdeğiştirmesi artmış ve bunun neticesinde de görelî yerdeğiştirme oranları da daha büyük değerlere ulaşmıştır. Binada meydana gelen şekil değiştirmeler neticesinde bina göçme durumuna gelmiştir.



Şekil 3.86: DD-1 ve 1,3 DD-1 Spektrumlarına Ait Taban Kesme Kuvveti ve Perdelerin Aldığı Kesme Kuvveti



Şekil 3.87: DD-1 ve 1,3 DD-1 Spektrumlarına Ait Taban Kesme Momenti ve Perdelerin Aldığı Moment

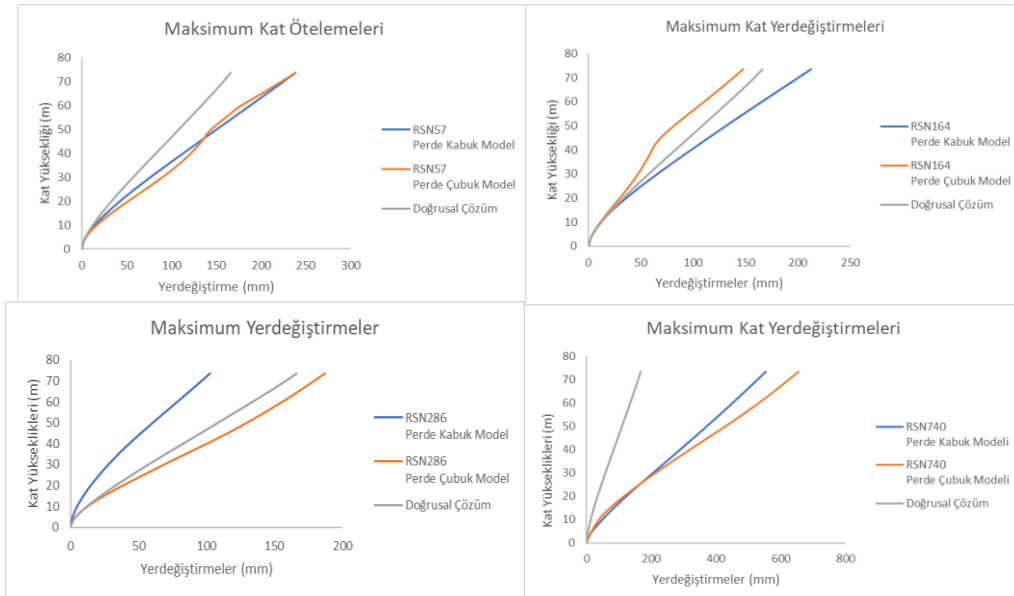
Şekil 3.86 ve **3.87**'de 1,3 DD-1 spektrumuna göre ölçeklenmiş ivmelere göre analizi yapılmış modellerin kesme kuvveti ve moment sonuçları gösterilmiştir. Bu sonuçlar DD-1 depremine göre elde edilmiş sonuçlarla kıyaslanmıştır. Kesme kuvvetlerinde ve momentlerde artışlar görülmüştür. Düşey taşıyıcı elemanlardaki aksenal yük sınırından dolayı plastikleşmeyen kesitler 1,3 DD-1 spektrumu sonucunda analizler neticesinde plastikleşmiştir.

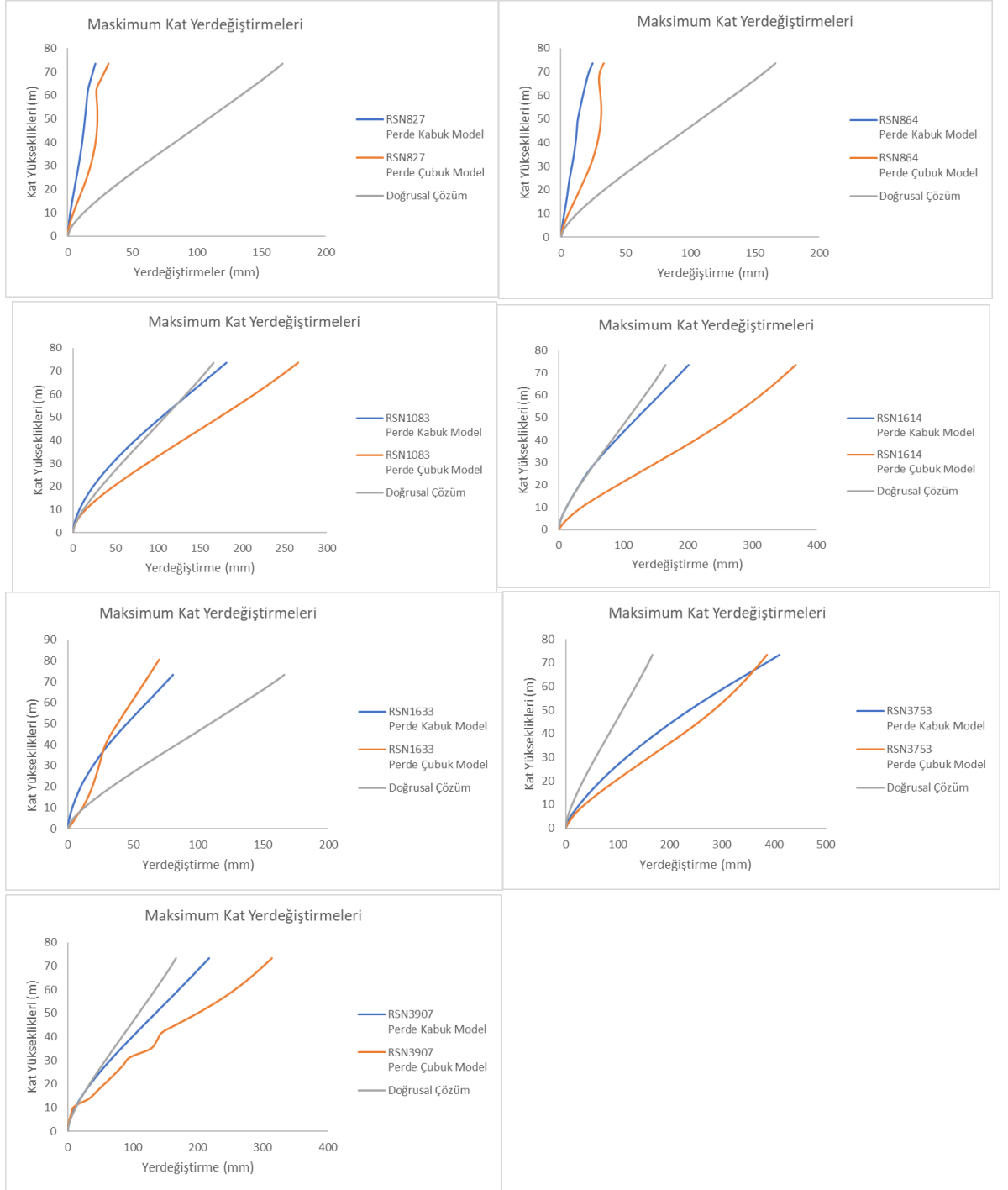
4. SEÇİLEN MODELLERİN TÜM SONUÇLARININ KİYASLANMASI

Bu tez çalışmasında yüksek bina sınırında olan bir binanın analizi yapılmıştır. TBDY 2018’de sınır olarak verilen 1,1a,2,2a deprem tasarım sınıfına göre belirlenen bina yükseklik sınıfı olarak 70 m seçilmiştir. Öncelikli amaç bu sınır altındaki binaları modal hesaplara göre çözebilirken bu sınır üstündeki binalar için şekil değiştirmeye göre tasarım ve değerlendirmenin irdelenmesi olmuştur. Bunun için bina modeli oluşturulmuş ve düşey deprem yükleri altında dayanıma göre tasarım kuralları kullanılarak kesitler tasarlanmıştır. Deprem hesabında mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır. Yüksek bina sınıfına girmeyen binalarda hesaplar bu adımda bitirken yüksek binalar için bunun üzerine iki aşama daha hesap yapılmasını TBDY 2018 şart olarak belirtmiştir. Burada öncelikle bu sınır sonuçlarla yorumlanacaktır. Daha sonra ise perdeler önce eşdeğer kolon modeline göre daha sonra perdelerin kabuk olarak modellendiği değerlendirme göz önüne alınarak yapılacaktır.

o Yükseklik Sınırına Göre Sonuçlar

Burada analiz sonuçları irdelendiğinde dayanıma göre yapılan tasarımın yeterli olduğu görülmüştür. Bu kısımda modal hesap sonuçları ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap sonuçları kıyaslanacaktır. Şekil 4.1’de tüm kayıtlar ve doğrusal analiz ile çözüm sonuçları gösterilmiştir.



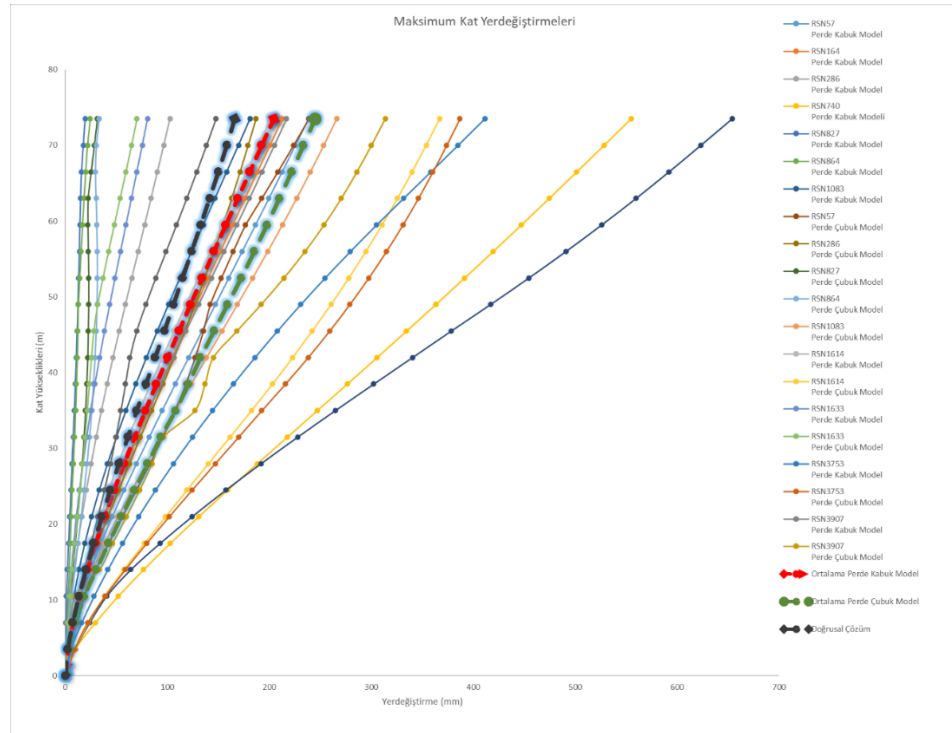


Şekil 4.1: Maksimum Kat Yerdeşistirmeleri.

Perdenin kabuk elemanla modellenmesinde aksenal gerilmeler yanında enine gerilmeler gözönüne alınmaktadır. Bu sebepten aynı etki altında perdenin daha büyük şekil değiştirme dolayısıyla daha büyük yerdeğiştirme yapması beklenir. Bu sebepten **Şekil 4.1** genel anlamda incelenecek olursa perde kabuk modelde eşdeğer kolon

modele göre daha az yerdeğiştirme yapmıştır. Perdenin kesit boyutlarına göre yüksekliğinin artması durumunda enine gerilmelerin etkisinin aksenel gerilmelere göre azalacağı için her iki model sonuçları birbirine yaklaşacaktır. Ama değerlerin çok yakın olduğu ve bu çalışma kapsamında eşdeğer kolon modelinin yüksek binalarda kat yerdeğiştirmeleri açısından yeterli yaklaşımı sağladığı görülmüştür.

Burada bir diğer husus ise yüksek bina tasarımında modal hesabın yeterli olup olmadığı konusudur. TBDY 2018'e göre DD-2 deprem yer hareketi altında kontrollü hasar performans seviyesi sağlanmış kabulü ile dayanıma göre tasarım yapılmaktadır. Yüksek bina açısından durum incelendiğinde binada yeterli rijitlik ve yönetmelik sınırları sağlanmıştır. Burada alt sınır seçilerek bu hesaplar yapılmıştır. Bu sınırlar değiştirilerek ve daha çok modelde çözümler yaparak yüksek bina hesabında TBDY 2018 Bölüm 13 daha ayrıntılı bir şekilde incelenebilir. Eğer ki bu bina tasarımsal olarak uygulanacak olsa dayanıma göre tasarım yeterli sınır değerleri sağladığından bir sorunla karşılaşılma riski olmayacaktır. Tüm sonuçların tek bir grafik altında gösterilmesi hem deprem kayıtları açısından hem de doğrusal hesap açısından yorum yapmayı kolaylaştıracaktır (Şekil 4.2).

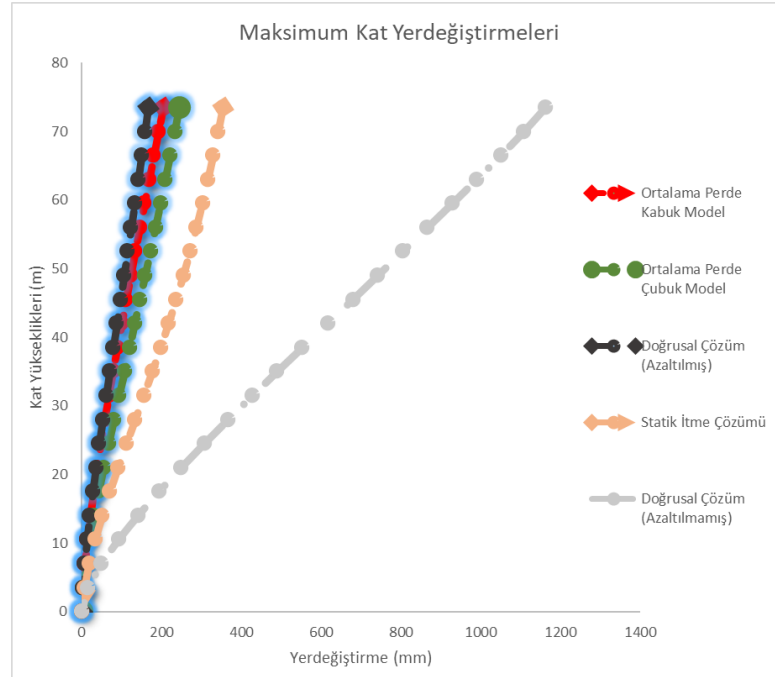


Şekil 4.2: Tüm Kayıtların ve Doğrusal Hesabın Kat Yerdeğiştirme Sonuçları.

Şekil 4.2 incelendiğinde doğrusal hesap yöntemi sonuçlarının şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım sonuçlarının ortalamasının gerisinde kaldığı görülmüştür. Aslında beklenen de budur. Çünkü dayanıma göre tasarımdaki hesap adımlarında bina tamamen doğrusal davranmaktadır. Doğrusal olmayan davranışı elde etmek için ise deprem yükü azaltma katsayısı kullanılarak daha gerçekçi sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Bu azaltma sonucu kuvvetlerle tasarım yapıldığı halde doğrusal olmayan analiz sonuçları incelendiğinde bina beklenenin de ötesinde bir performans düzeyine erişmiştir. Bunun en önemli sebebi yönetmeliğin kolonlarda ve perdelerde eksenel yükü sınırlandırmasıdır. Perde kesitlerinin büyüklüğü ve kolonlarda ortalama gerilme sınırlandırılması sebebiyle kesitlerin statik gerekli boyutlara indirilememesidir. Bu sınırlandırma kolonlar için $0,40 \times A_c \times f_{ck}$ iken perdeler için ise $0,35 \times A_c \times f_{ck}$ denklemiyle elde edilir. Bu sınırlandırma kolon ve perdelerin boyutsal olarak plastikleşmenin ötesinde büyük olmasını sağlamıştır. Bu da doğrusal olmayan analiz sonucunda taşıyıcı elemanların doğrusal davranış göstermesine neden olmuştur. Buradan bu çalışma kapsamında yüksek binalarda taşıyıcı elemanların plastikleşme davranışlarını değerlendirebilmek için eksenel yük oranını biraz da olsa esneterek çalışmalar yapılması sonucu çıkartılabilir. Bu şekilde oranlar değiştirilerek çalışmalar yapıldığı takdirde elemanlarda plastikleşmeler olacağı ve doğrusal olan analizle alakalı yorumlamaların daha net sonuçlarla yapılacağı yorumu yapılabilir. **Şekil 4.2** üzerinde kalın kesik çizgilerle belirtilen ortalama perde kabuk ve eşdeğer kolon model yerdeğiştirmeleri de beklendiği üzere perdenin kabuk olarak modellendiği tasarımda eşdeğer kolon modele göre daha azdır. Bundan da kabuk yaklaşımının gerçek perde davranışına daha yakın olduğu sonucu çıkartılabilir. Yine de kabuk ve eşdeğer kolon yaklaşımının birbirlerine yakın sonuçlar verdiği aşikârdır. Burada eşdeğer kolon modelin seçilmesinin nedeni hem analiz süresini azaltmak hem de plastik mafsal tanımlamasının kolaylığıdır. Yüksek binalarda perdelerde her ne kadar lif modeli kullanma zorunluluğu varsa da buradaki analiz sonuçlarından iki modelin de birbirlerine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu sonuçtan perdelerin yüksekliklerinin kesitlerine göre büyük olduğunda kolon gibi modellenmesine izin verilmesi tavsiye edilir.

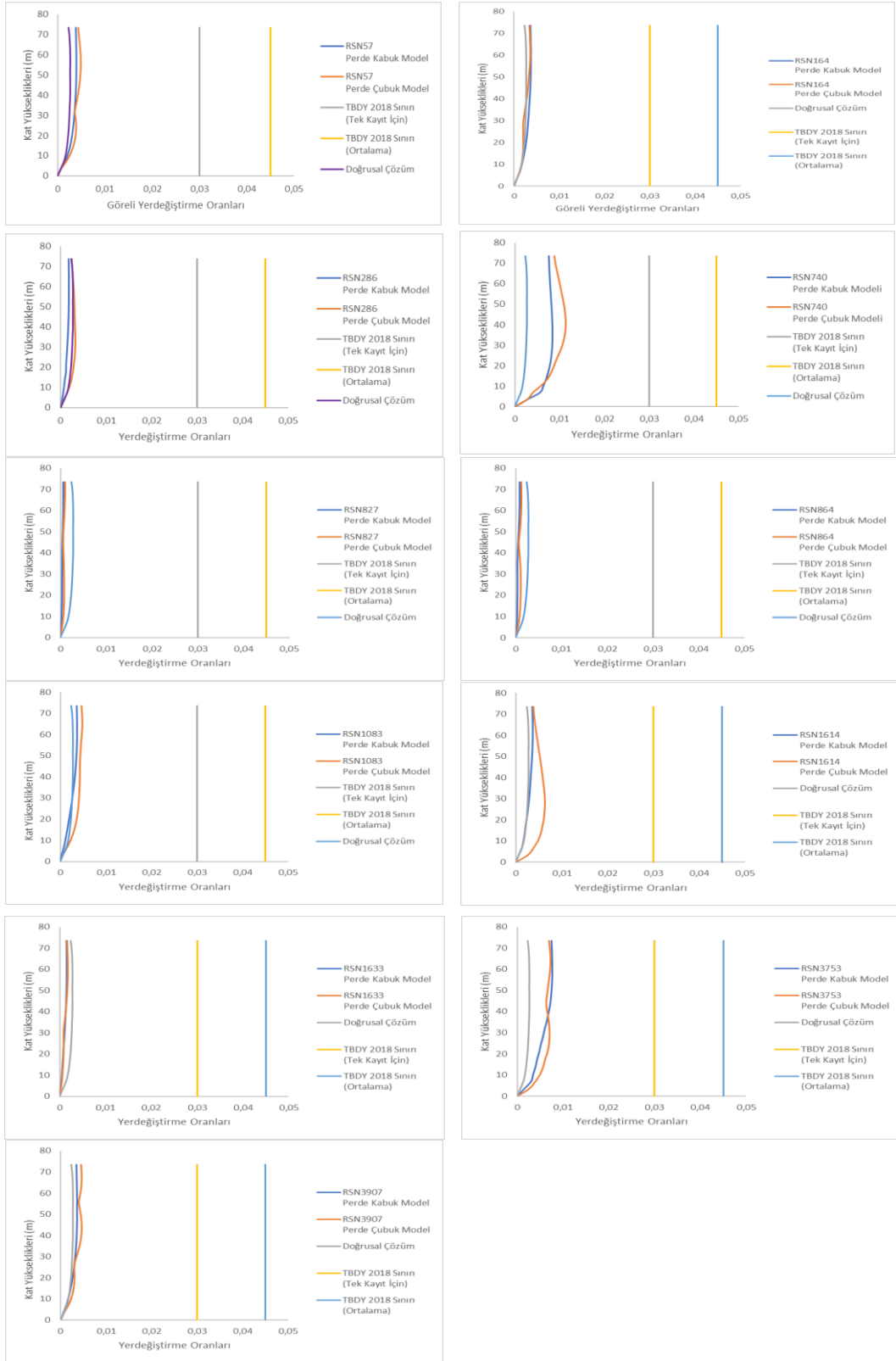
TBDY 2018'in yüksek binalarda değerlendirilmesini istediği bir diğer husus ise görelî yerdeğıştirme oranlarıdır. Bu sınırın dayanıma göre tasarımda yani tasarım aşaması 1'de sağlandığı gösterilmiştir. Şekil değıştirmeye göre değerlendirme ve tasarım aşamasında da kayıtların bu sınırları sağladığı görülmüştür.

Şekil 4.3'de statik itme çözüm sonucunun da dahil olduğu sonuçlar bir arada verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde statik itme analiz yerdeğıştirme sonuçlarının perde kabuk ve perde kolon modelden daha fazla olduğu görülecektir. Bu duruma tek modlu bir itme çalışmasının yapılması neden olmuş olabilir.



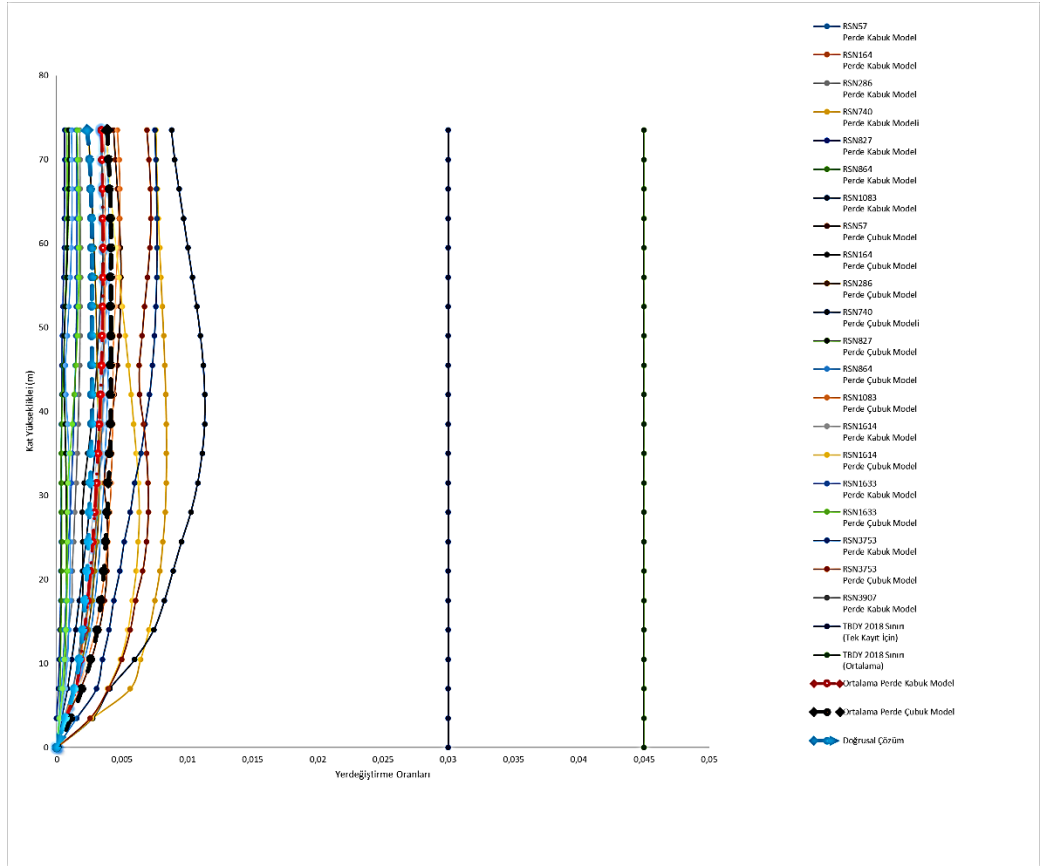
Şekil 4.3: Ortalama ve Statik İtme Analizi Sonuçları.

Şekilden de görüleceği üzere ortalama perde kabuk ve ortalama perde kolon yerdeğıştirme sonuçları birbirlerine oldukça yakındır. Statik itme çözümü sonucu ile kıyaslama yapılacak olursa ortalama perde kabuk modeli değerleri alt katlarda %90-95 mertebelerinde iken üst katlara doğru bu değer %80'lere düşmüştür. Bu sonuçlardan analiz sonuçlarının bir yaklaşıklık gösterdiği anlaşılmaktadır. Bölüm sonunda taban kesme kuvvetleri ve yerdeğıştirme sonuçları beraberce verilecektir.



Şekil 4.4: Tüm Analizlere Ait Görel Yerdeğiştirmenin Yükseklik Boyunca Değişimi Sonuçları.

Şekil 4.4 incelendiğinde zaman tanım alanında yapılan analiz sonuçlarının ve doğrusal analiz sonuçlarının genel olarak birbirlerine yakın olduğu görülmüştür. TBDY 2018 Bölüm 13'te de ifade edildiği üzere görel yerdeğiştirme oranlarının her bir deprem kaydının 0,03 değerini, kayıtların ortalamasının ise 0,045 değerini geçmemesi istenmiştir. Bu değerlerin sağlandığı açık bir şekilde görülmektedir. Burada bina rijitliğinin yüksek olduğu sonucu çıkartılabilir. Bunun yine en önemli etkeni bina boyutlarının aksenal yük sınırı değerine takılmış olmasıdır. Tüm kayıt sonuçları **Şekil 4.5**'de gösterilmiştir.

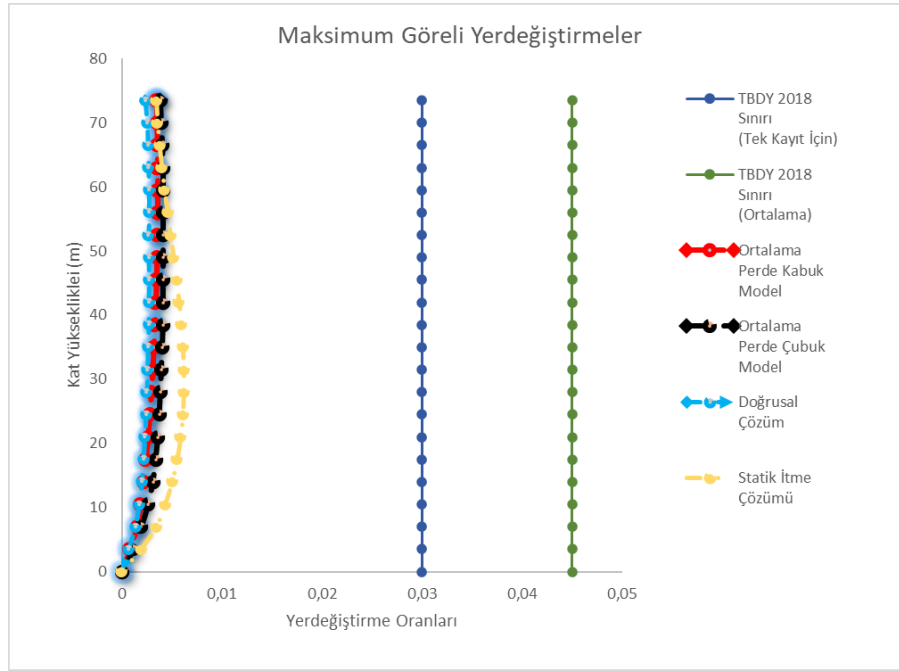


Şekil 4.5: Tüm Görel Yerdeğiştirme Sonuçlarının Tek Grafikte Gösterilmesi.

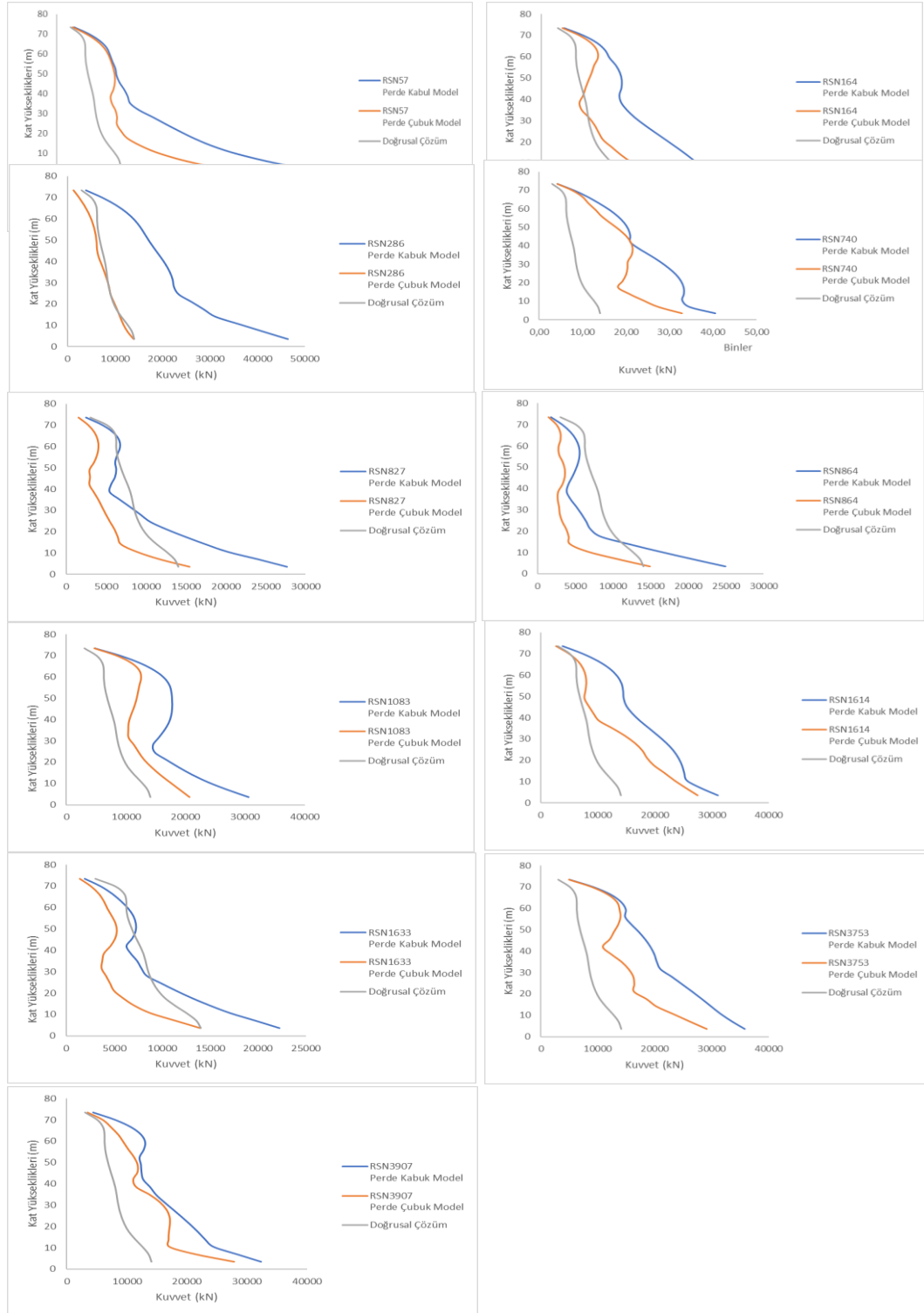
Şekil 4.5 incelendiğinde perde kabuk ve eşdeğer kolon ortalamaları sırasıyla kırmızı ve siyah kesik çizgilerle, doğrusal sonuçlar ise mavi kesik çizgilerle gösterilmiştir. Perdeler üzerinden sonuçları yorumlayacak olursak kabuk model eşdeğer kolon modeline göre daha rijit bir davranış göstermiştir. Bu da beklenen bir davranıştır. Tekrar yinelemek gerekirse eşdeğer kolon modeli bu tez kapsamında tüm

sınır değerleri sağlamıştır. Sonuç olarak eşdeğer kolon yaklaşımının oldukça doğru bir yaklaşım olduğu analiz sonuçlarından çıkartılabilir.

Şekil 4.6'da ortalama ve statik itme analiz sonuçları birlikte verilmiştir. Göreli yer değiştirme oranlarının %90-98 mertebelerinde yakınlık gösterdiği şekilden anlaşılmaktadır. TBDY 2018'de verilen sınır değerlerin de çok altında kaldığı görülmektedir. Bunun başlıca sebebi bina taşıyıcı elemanlarının eksenel yük sınırından dolayı kesit olarak büyük ve planda oldukça düzenli bir bina binasının olmasıdır. Her ne kadar statik itme analizi tek modlu olarak ele alınmış olsa da diğer çözümlere oldukça yaklaşık sonuçlar vermiştir.



Şekil 4.6: Ortalama ve Statik İtme Göreli Yerdeğİştirme Analiz Sonuçları.



Şekil 4.7: Tüm Analizlere Ait Katlara Gelen Kat Kesme Kuvvetleri.

Şekil 4.7’de tüm analizlere ait kat kuvvetleri ayrı ayrı gösterilmiştir. Eleman ne kadar rijit ise üzerine o kadar kuvvet alacaktır. Eşdeğer kolon modelinde ise aldığı kuvvetler nispeten kabuk modele göre daha azdır.

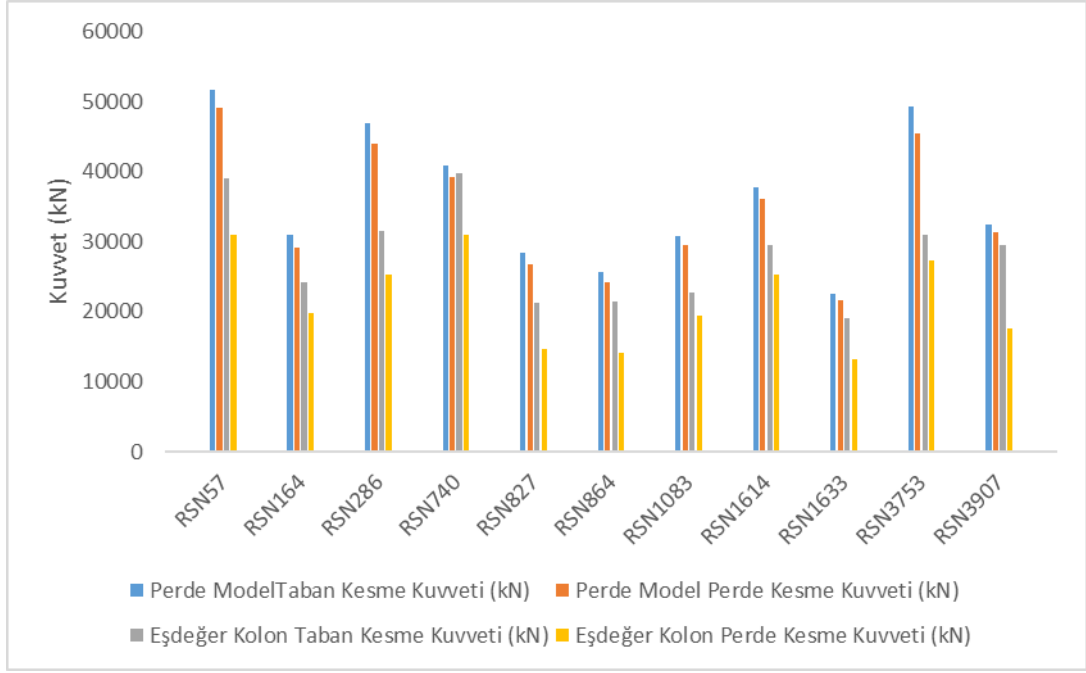
Dayanıma göre tasarım sonuçlarının ise diğer yaklaşımlara göre daha küçük olduğu görülmektedir. Zaman tanım alanında çözümde kat kesme kuvvetlerinin atalet kuvvetlerinden oluştuğu için bina elemanlarının rijitliği görelî olarak arttıkça karşıladıkları etkiler de artacak ve kesme kuvvetleri büyüyecektir. Bazı grafiklerde zaman tanım alanı sonuçları doğrusal sonuçlarına göre daha küçük çıkmıştır. Yönetmelikte seçilen kayıt süreleriyle alakalı bir kıstas verilmemiştir. Burada önerilen ise kayıt sürelerinin mümkün olduğunda birbirlerine yakın olması ve bunun sonuçların yorumlanmasında kolaylık ve yakınlık sağlayacağıdır.

Kat kesme kuvvetleri sonucunda elemanlara gelen kuvvetlerin eleman kapasitelerini aşp aşmadığı kontrolü yapılmış ve elemanlar kapasitelerinin altında kuvvetlere maruz kaldıkları tespit edilmiştir. Bu da aslında bu çalışma kapsamında bu yükseklik sınırındaki binanın dayanıma göre tasarım esaslarıyla analizinin yapılmasının yeterli olduğunu göstermektedir. **Şekil 4.8**'de tüm kayıtlar ve doğrusal hesap sonucunda elde edilen kat kuvvetleri gösterilmiştir.

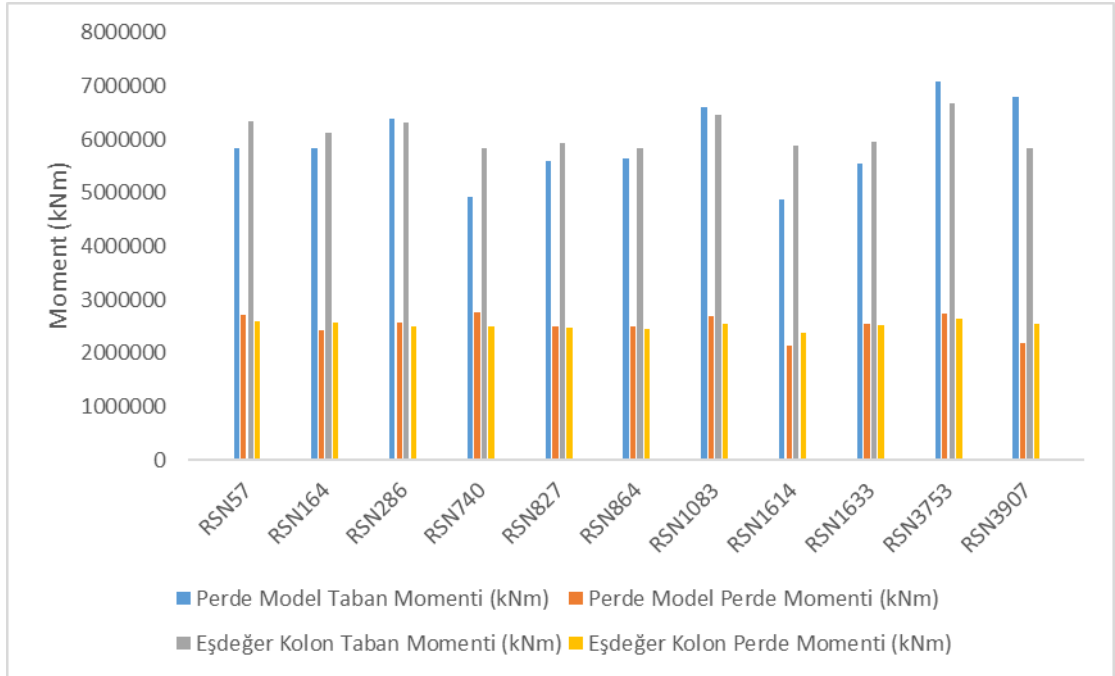
Şekil 4.8'de ortalama değer kesik ve kalın çizgilerle gösterilmiştir. Kırmızı çizgi ile perde kabuk modelde elde edilen kat kesme kuvvetleri ortalaması gösterilmiştir. Beklendiği üzere kabuk model eşdeğer kolon modeline göre oldukça fazla kuvvet almıştır. Burada eşdeğer kolon modelin kuvvet esas alınarak incelendiğinde perde kabuk modele yaklaşımının az olduğu görülmüştür. Bina kesme kapasiteleri her ne kadar dayanıma göre tasarım esas alınarak hesaplanmış olsa da zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarıyla kesit kapasiteleri kıyaslandığında bina elemanlarının yeterli kapasiteyi sağladığı görülmüştür.

	Perde Model Taban Kesme Kuvveti (kN)	Perde Model Perde Kesme Kuvveti (kN)	Oran	Perde Model Taban Momenti (kNm)	Perde Model Perde Momenti (kNm)	Oran
RSN57	51.622	49.038	0,95	5.843.882	2.723.772	0,47
RSN164	31.016	29.221	0,94	5.843.560	2.439.391	0,42
RSN286	46.920	43.905	0,94	6.381.856	2.577.890	0,40
RSN740	40.806	39.212	0,96	4.920.726	2.770.385	0,56
RSN827	28.348	26.754	0,94	5.592.928	2.487.527	0,44
RSN864	25.719	24.162	0,94	5.654.509	2.489.451	0,44
RSN1083	30.818	29.514	0,96	6.614.179	2.701.688	0,41
RSN1614	37.805	36.003	0,95	4.879.338	2.136.068	0,44
RSN1633	22.542	21.586	0,96	5.536.715	2.538.754	0,46
RSN3753	49.190	45.447	0,92	7.087.287	2.748.117	0,39
RSN3907	32.466	31.414	0,97	6.799.026	2.181.706	0,32

Tablo 4.1'de binaya gelen taban kesme kuvveti ve perdelerin karşıladığı kesme kuvvetleri gösterilmiştir. Oranlara bakılacak olursa binaya gelen taban kesme kuvvetinin tüm kayıtların ortalaması olarak %95'i perdelerle karşılanmaktadır. **Tablo 4.1**'de ayrıca bina devrilme momenti ve perdelerine gelen momentler gösterilmiştir. En düşük oran RSN3907 kaydı ile %32 mertebesindedir. En yüksek oran ise RSN740 kaydı ile %56 mertebesindedir. Bu oranlara bakılacak olursa perdelerin kesme kuvveti karşısında neredeyse tüm binaya gelen kesme kuvvetlerini karşıladığı görülmektedir. Momentlere bakılacak olursa perdelerin karşıladığı momentler ortalama %40 mertebelerindedir. İki modele ait sonuçlar **Şekil 4.9** ve **Şekil 4.10**'da görülmektedir.



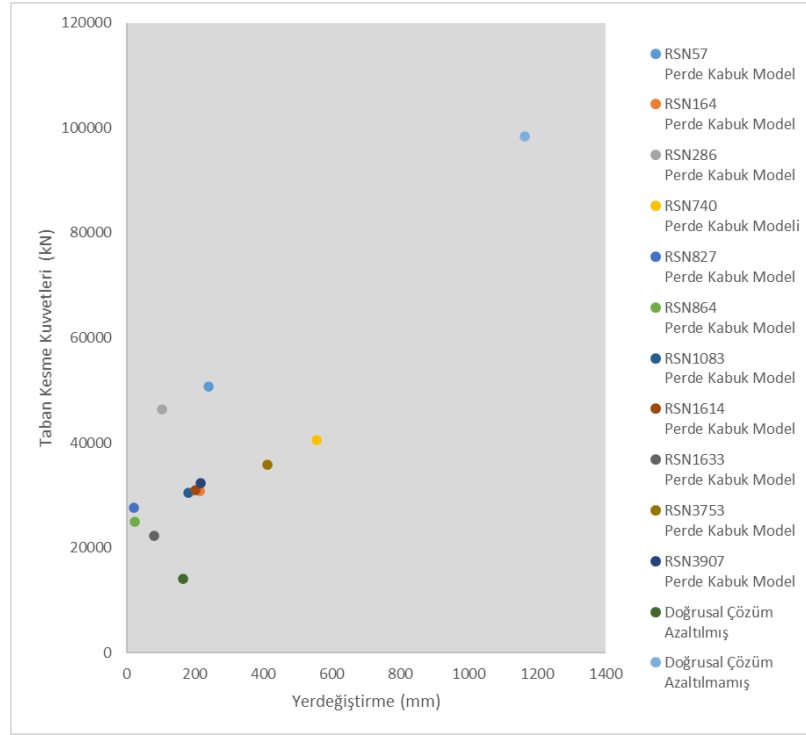
Şekil 4.9: Perde Model ile Eşdeğer Kolon Perde Modele Ait Kesme Kuvvetleri.



Şekil 4.10: Perde Model ile Eşdeğer Kolon Perde Modele Ait Momentler.

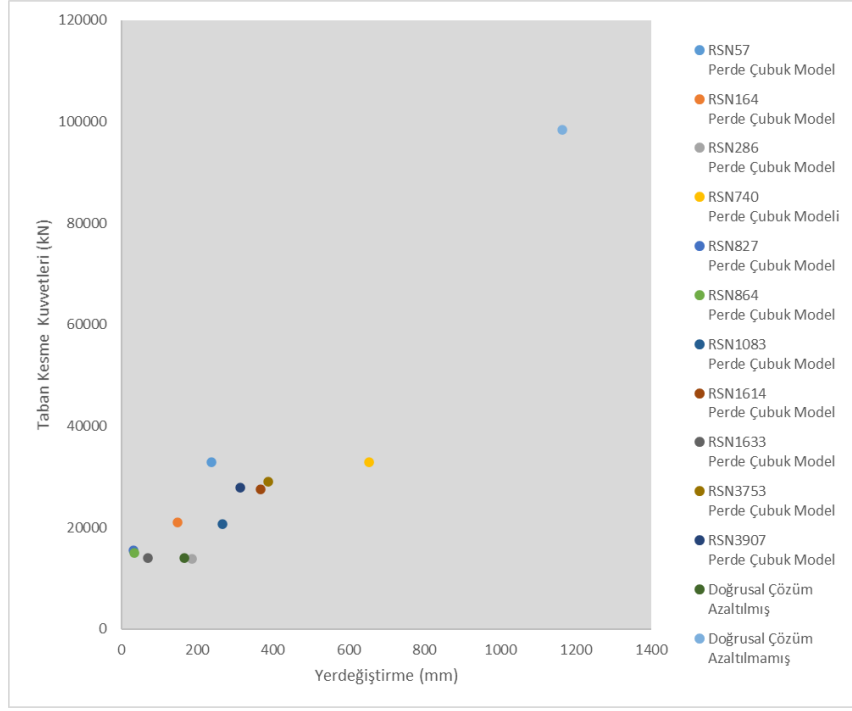
Tablo 4.2: Taban Kesme Kuvvetleri ve Yerdeğiştirmeler.

	RSN57 Perde Kabuk Model	RSN164 Perde Kabuk Model	RSN286 Perde Kabuk Model	RSN740 Perde Kabuk Modeli	RSN827 Perde Kabuk Model	RSN864 Perde Kabuk Model	RSN1083 Perde Kabuk Model	RSN1614 Perde Kabuk Model	RSN1633 Perde Kabuk Model	RSN3753 Perde Kabuk Model	RSN3907 Perde Kabuk Model	Doğrusal Çözüm Azaltılmış	Doğrusal Çözüm Azaltılmamış
Taban Kesme Kuvveti (kN)	50757,13	30873,27	46383,86	40484,60	27616,71	24938,47	30520,71	31031,54	22282,93	35780,19	32382,02	14064,3	98450,08
Yerdeğiştirme (mm)	238,692	212,68	102,698	554,884	21,498	24,441	181,253	201,008	80,681	411,466	216,985	166,206	1163,44
	RSN57 Perde Çubuk Model	RSN164 Perde Çubuk Model	RSN286 Perde Çubuk Model	RSN740 Perde Çubuk Modeli	RSN827 Perde Çubuk Model	RSN864 Perde Çubuk Model	RSN1083 Perde Çubuk Model	RSN1614 Perde Çubuk Model	RSN1633 Perde Çubuk Model	RSN3753 Perde Çubuk Model	RSN3907 Perde Çubuk Model	Doğrusal Çözüm Azaltılmış	Doğrusal Çözüm Azaltılmamış
Taban Kesme Kuvveti (kN)	32895,34	21049,27	13892,75	32810,08	15483,51	14913,39	20690,84	27518,62	13975,22	29096,07	27872,29	14064,3	98450,08
Yerdeğiştirme (mm)	238,764	147,646	186,924	654,102	31,386	33,347	266,105	367,255	70,228	386,956	313,76	166,206	1163,44



Şekil 4.11: Perde Kabuk Model ve Doğrusal Çözüm Taban Kesme Kuvvetleri ve Yerdeğiştirmeler.

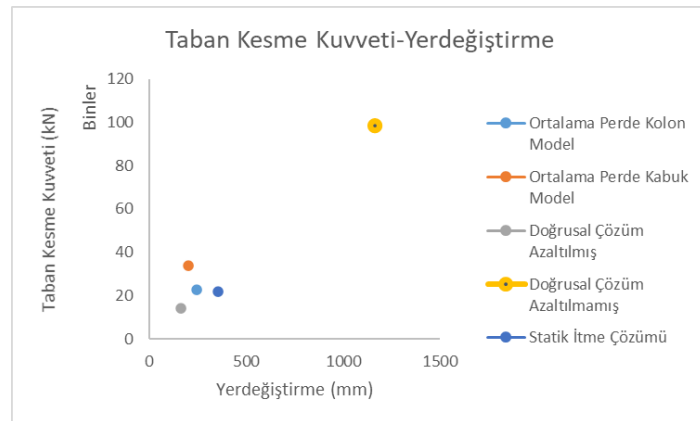
Şekil 4.11 incelendiğinde deprem kayıtlarının bir dağılım gösterdiği görülecektir. Burada deprem kayıtlarının içeriği ve süreleri mümkün mertebe hassas bir şekilde seçilmelidir. Doğrusal çözümün sonuçları azaltılmış ve azaltılmamış olarak verilmiştir.



Şekil 4.12: Perde Kolon Model ve Doğrusal Çözüm Taban Kesme Kuvvetleri ve Yerdeğiştirmeler.

Şekil 4.12’de eşdeğer kolon model sonuçları ile doğrusal model sonuçları birlikte verilmiştir. Azaltılmış çözüm sonuçları zaman tanım alanında yapılan sonuçlarla bir yaklaşıklık göstermiştir. Kesit boyutlarının eksenel yük sınırlaması kuralıyla düzenlenmesi neticesinde binadaki taşıyıcı elemanlar olan kolon ve perdeler kapasitelerinin çok altında çalışmaktadır.

Şekil 4.13’de ise ortalama değerler statik itme analizi sonucu değerleriyle birlikte verilmiştir.

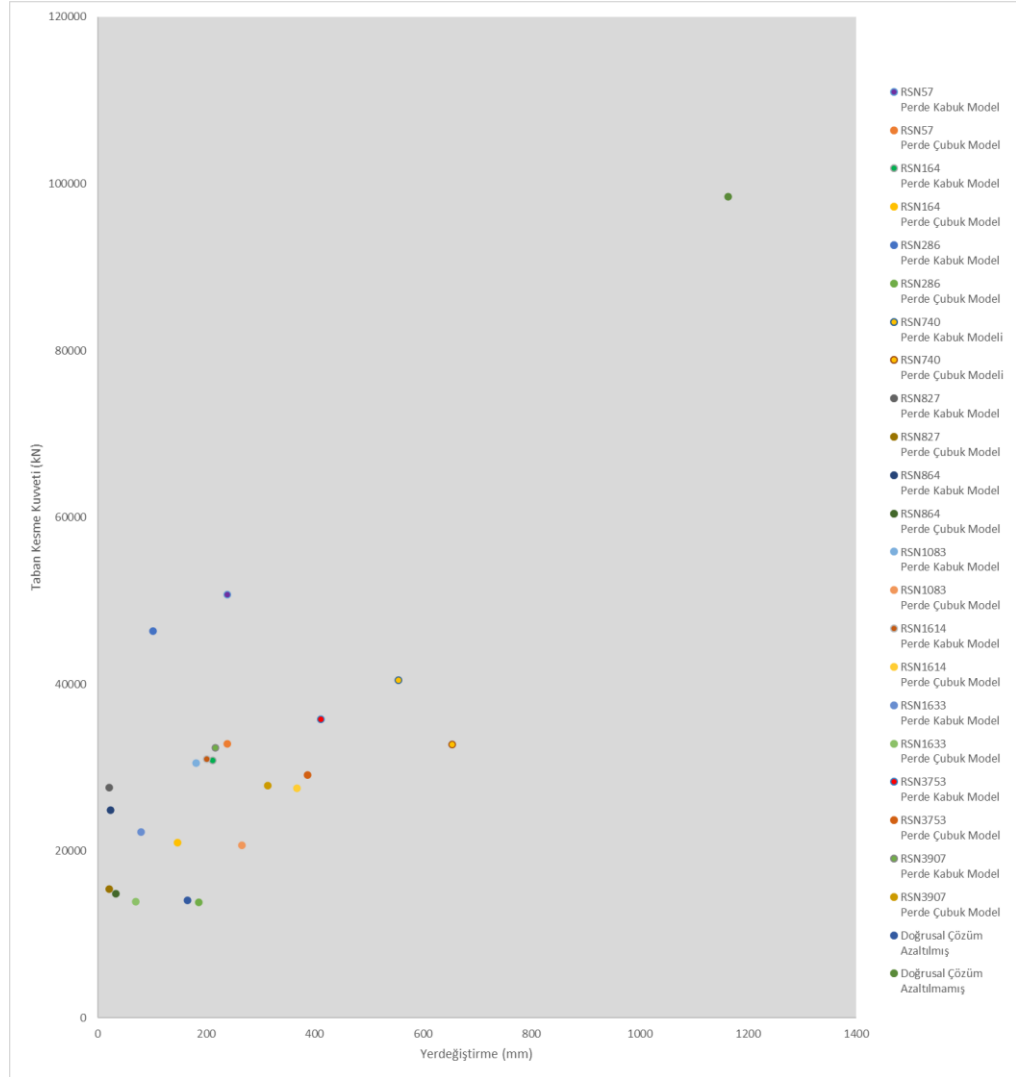


Şekil 4.13: Taban Kesme Kuvveti ve Yerdeğiştirmeler.

Şekil 4.13'de de görüleceği üzere ortalama çözümler birbirlerine çok yakın değerlerdir. Statik itme çözümü ise taban kesme kuvveti açısından ortalama perde kabuk modelinin %65'i civarındayken ortalama perde kolon modelinin %95'i mertebesindedir.

Tablo 4.3: Taban Kesme Kuvveti ve Yerdeğiştirme Sonuçları.

	Ortalama Perde Kabuk Model	Ortalama Perde Kolon Model	Doğrusal Çözüm (Azaltılmış)	Doğrusal Çözüm (Azaltılmamış)	Statik itme Çözümü
Taban Kesme Kuvveti (kN)	33914	22745	14064	98450	21787
Yerdeğiştirme (mm)	204	245	166	1163	355



Şekil 4.14: Tüm Çözümlere Ait Taban Kesme Kuvvetleri ve Yerdeğiştirmeler.

Tablo 4.3'de taban kesme kuvveti ve yerdeşistirme sonuçları birlikte verilmiştir. Ortalama perde kabuk modeli ortalama perde kolon modeline göre daha fazla kesme kuvveti almıştır. Ortalama perde kolon modeli ortalama perde kabuk modelin %67'si mertebesinde kalmıştır. Bu durumun kabuk modeldeki perde davranışının gerçeğe daha yakın olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Her ne kadar perde kolon model çözüm olarak yakınlık gösterse de tam olarak perde davranışı gösterememiştir.

şekil 4.14'de tüm analiz sonuçlarının taban kesme kuvvetleri ve yerdeşistirme değerleri ayrı ayrı gösterilmiştir. Her bir deprem kaydı sonuçlarının perde kabuk ve perde kolon olarak birbirlerine yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, TBDY 2018'e göre taşıyıcı sistemi süreklilik düzeyi yüksek perde ve çerçevelerden oluşan, 21 katlı ve yüksek bina sınırında olup zeminden yüksekliği 73,5 m olan bir binanın yükseklik sınırı ve perdelerin modelleme yöntemi değiştirilerek incelemesi yapılmıştır. Bina X ve Y doğrultusunda simetrik olup L perdeler merkeze yerleştirilmiştir. Binanın dayanıma göre tasarım sonuçları ile TBDY 2018 yüksek bina tasarım kuralları ile çözüm sonuçları karşılaştırılarak bina yükseklik sınırı irdelenmiştir. Bunun dışında binadaki perdelerin modellenme yöntemi kabuk model ve eşdeğer kolon modeli olarak değiştirilerek bina üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Seçilen binanın normal performans hedefi için DD-4 deprem yer hareketi altında kesintisiz kullanım performans hedefini sağlamak üzere dayanıma göre tasarım yaklaşımı kullanılarak çözümü yapılmıştır. Yönetmelikte verilen Etki/Kapasite sınırları kontrol edilmiş ve bina kapasitesinin gelen etkilerden oldukça yüksek olduğu görülmüştür.

Üçüncü aşamada ise öncelikle 11 adet deprem kaydı seçilerek ölçeklenip binanın DD-1 deprem yer hareketi altında normal performans hedefi olarak göçmenin önlenmesi performans hedefini sağlamak üzere şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım yaklaşımı kullanılarak performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu kısımda perdeler kabuk ve eşdeğer kolon modeli olarak iki ayrı şekilde çözülmüştür. Eşdeğer kolon modelinde kiriş, kolon ve perde kolon elemanlarda plastik mafsal kabulü tanımlanmıştır. Ayrıca perde kabuk modeli TBDY 2018'de de verildiği gibi lif model yaklaşımı kullanılarak analizler yapılmıştır. Yapılan inceleme neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Analizler sonucunda bina yüksek olmayan binalar için yönetmelikte verilen kriterleri sağlamıştır. Bina normal yükseklikteki bir bina gibi kabul edilip dayanıma göre analiz ile bina elemanlarının donatı hesabı yapılmıştır. Daha sonra bina yüksek bina kabul edilerek yönetmelikte yüksek binalar için verilen kurallar uygulanarak bu binalar için yönetmelikte verilen tasarım aşaması uygulanmıştır. Yapılan tasarımın bu

üç aşama kurallarını rahatlıkla sağladığı görülmüştür. Buna göre bina taşıyıcı elemanlarında herhangi bir plastikleşme görülmemiştir. Analizler neticesinde bina elemanlarında oluşan moment ve kesme kuvvetleri incelendiğinde doğrusal çözüm ile doğrusal olmayan çözümün yönetmelikte verilen güvenli sınırlar açısından uygun olduğu görülmüştür.

- Binanın yüksek bina olarak kabul edilmesi durumunda tasarımda zaman tanım alanı çözümlerinde plastikleşme ortaya çıkmadığı için çalışmanın başında hedeflenen yüksek binada plastikleşme sonucu elde edilmesi beklenen sonuçlar elde edilememiştir. Bunun en önemli sebebi kolonla ve perdeler için (sünek davranış elde edilmesi sebebiyle) öngörülen ortalama gerilme sınırlandırılmaları olduğu gözlenmiştir. Bu sonuç sadece incelenen tek bir binaya ait olmakla beraber, sonucunda diğer bina tasarımları için geçerli olacağı tahmin edilmiştir. Çünkü yönetmelik taşıyıcı elemanlara gelen eksenel yükü sınırlandırarak gevrek bir davranışın önüne geçmek istemektedir. Bu sınır dikkate alınarak kolon ve perde boyutları seçildiğinden yüksek binalarda taşıyıcı elemanlarında plastikleşme ortaya çıkmamakta ve kesitler elastik davranmaktadır. Bu durumun incelenebilmesi için kolonlar ve perdeler için verilen eksenel yük katsayısı değiştirilip analizler yapılarak sonuçlar değerlendirilebilir. Bu şekilde yapılacak bir çalışma elde edilen sonuçların geçerliliğini daha açık olarak ortaya koyabilecektir. Ama yönetmeliğin eksenel yük sınırı gerçek tasarımlarda değiştirilemeyeceğinden bu tez kapsamında bu sınırdaki binanın özel bir tasarıma ihtiyaç duyulmadan çözülebileceği görülmüştür.
- Yapısal analizde perdeler eşdeğer kolon ve kabuk eleman olarak iki tür modellenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre eşdeğer kolon modelinde perdeler kabuk modele göre daha az rijit davranarak kabuk modele göre daha az kesme kuvveti almıştır. Her ne kadar binanın periyot ve taban kesme kuvvetleri perde kabuk modelle yakın değerlerde olsa da eleman olarak incelendiğinde kabuk modeldeki perdelerin daha rijit ve ilgili bölüm grafiklerinde de gösterildiği üzere daha fazla kesme kuvvetine maruz kalmıştır. Yer değiştirmeler açısından bakıldığında ise perde kabuk

modelin daha az yer değiştirme yaptığı görülmüştür. Ancak aradaki fark %10-%20 civarlarında kalmıştır. Ancak burada perdelerin tek başına incelenmediği ve çerçeve ile beraber olduğu unutulmamalıdır. Perdelerle çerçevenin birleşimi de sonuçlarda etkili olacağı açıktır. Her iki model de yönetmelikte verilen göreli yer değiştirme sınır değerlerini sağlamıştır. İlgili bölüme bakıldığında göreli yer değiştirme sınırlarının yönetmelikte verilen sınır değerlerin çok altında kaldığı görülmüştür. Burada binadaki simetrik düzen, merkezdeki L perdeler ve taşıyıcı elemanların rijitliklerinin eksenel yük sınırı neticesinde yüksek olması belirleyici olmuştur. İlgili bölümdeki grafikler incelendiğinde azaltılmış doğrusal czmdeki moment ve kesme kuvveti ortalaması eşdeğer kolon ve kabuk modeldeki ortalama değerlerin altında kaldığı görülmüştür. Bundan da aslında yüksek binalarda deprem yükü azaltma katsayısının tam anlamlı ortaya çıkmadığı sonucu çıkartılabilir. Bu tez kapsamında dayanıma göre tasarım esasları sonucunda elde edilen kuvvetler ilgili bölümdeki grafiklerde de görüleceği üzere diğer iki modele göre yüksek değerdedir. Bu durumu bina taşıyıcı sistem elemanlarının boyutları düşürülerek ekonomik duruma getirmek bir czm olarak görünse de eksenel yük sınırı bu durumu engellemektedir. Bu durumda da bu tez kapsamında dayanıma göre tasarım sonuçlarının en son tasarım sonucunda etkili olduğu görülmüştür.

Konu ile ilgili değişik bir çalışma farklı taşıyıcı sistem düzeni kabul edilerek veya inceleme anlamında kolon ve perde eksenel yük ortalama değerleri artırılarak ayrı ayrı czmler elde ederek daha kapsamlı bir çalışma yapılabilir. Bir diğer sonuç ise eşdeğer kolon modeli ile kabuk model sonuçlarının birbirine yakın ve davranış Őekillerinin benzer olmasıdır. Yönetmelikte özellikle perdelerin lif model olarak performans analizinin yapılması gerektiği kuralı vardır. Tez kapsamında eşdeğer kolon modeli için yığılı plastik mafsal modeli kullanılırken perde kabuk model için ise lif modeli kullanılmıştır. Sonuçlar kıyaslandığında her iki modeldeki perdelerde herhangi bir plastikleşme görülmemiştir. Davranış olarak birbirlerine çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bu bakımdan yönetmelikte 5.4.3.2’ de verilen “*Deprem hesabının 5.7’ye göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntem ile yapılması durumunda ve*

Bölüm 13 kapsamındaki yüksek binalarda boşluksuz ve bağ kirişli (boşluklu) perde parçaları için plastik mafsal modeli kullanılmayacaktır. Bu elemanlar için 5.3.2’de tanımlanan kesit hücresi (lif) modelinin kullanılması zorunludur.” maddesinin Madde 4.5.3.8’de verilen “Enkesit şekli dikdörtgen, I, T, L, U veya C olan perdeler, plandaki en büyük perde kolu uzunluğunun toplam perde yüksekliğine oranının 1/2’yi aşmadığı durumlarda, eksenini enkesit ağırlık merkezinden geçen eşdeğer kolon sonlu eleman olarak modellenenirler.” olarak değiştirilerek plastik mafsal kullanımına müsaade edilmesi tavsiye edilir.

KAYNAKÇA

- Aydınoglu, M.N., Celep, Z., Özer, E., Özaydın, K.** (2018) Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Eğitim El Kitabı, Açıklamalar ve Uygulama Örnekleri Kısım – 1: Genel Konular, İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul.
- Aschheim M. Hernández-Montes,E.** (2019) Design of Reinforced Concrete Buildings for Seismic Performance: Practical Deterministic and Probabilistic Approaches, CRC Press.
- Celep, Z.** (2020) Betonarme Yapılar, Beta Yayıncılık.
- Celep, Z.** (2019) Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Yayıncılık.
- Celep, Z.** (2019) Betonarme Taşıyıcı sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Beta Yayıncılık.
- Çoban, P.** (2015) 15 Katlı Betonarme Bir Binanın Deprem Performansının Zaman Tanım Alanında Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemi İle Belirlenmesi (Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- DBYBHY,** (2007) Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık İmar ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- Dok, G.** (2013) 32 Katlı Betonarme Bir Binanın Deprem Performansının Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi Uygulanarak Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- ETABS** (Version 2018.0.1) [Computer Software] Extended Three Dimensional Analysis of Building System, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- Ekiz İ.** (2016). Yapı Statiği II, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Fahjan, Y.M.** Türkiye Deprem Yönetmeliği Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi, İMO Teknik Dergi.
- Gözütok, B.** (2011). Betonarme Yüksek Bir Binanın Deprem Performansının Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Çözümleme Yöntemi Kullanılarak Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Karabulut, A.** (2011). TDY2007 Yönetmeliği Ve Fema 440 Raporunda Tanımlanan Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemlerinin Mevcut Betonarme Binalar

- İçin Karşılaştırılması (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Kürkçü, F.** (20). Katlı betonarme bir binanın Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarımı ve deprem performansının belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-237).
- Moral, A.** (2014). Kat Adetleri Farklı Betonarme Yapıların Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleriyle İrdelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Moehle, J.P. T. Ghodsi, J.D. Tony, J.D. Hooper, D.F. John, C. David, R.Gedhada.** (2011) Seismic Design of Cast-in-Place Concrete Special Structural Walls and Coupling Beams, NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 6, Gaithersburg.
- Moehle, J.P. Hooper, J.D.Kelly, D. Dominic, Meyer. J. T.R.** (2010) Seismic Design of Cast-in-Place Concrete Diaphragms, Chords, and Collectors, NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 3, Gaithersburg.
- SAP2000** (Version 20.2.0) [Computer Software] Integrated software for structural analysis and design program, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- Seismomatch** (Version 2022) [Computer Software], Earthquake Engineering Software Solutions, Seismosoft Ltd. Pavia, Italy.
- Taranath, B.S.** (1997) Steel, Concrete, & Composite Design of Tall Buildings, McGraw-Hill, New York.
- TS 498** (1977) Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 500** (2000) Betonarme Yapıların Tasarım ve Binam Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği.** (2018) Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Kurallar, Ankara.
- Yıldırım, A.** (2006). Betonarme Bir Binanın Doğrusal Olmayan Yöntemle Deprem Performansının Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Url-1** <http://www.afad.gov.tr/>, erişim tarihi 14.08.2020.
- Url-2** <https://ngawest2.berkeley.edu/>, Peer Ground Motion Database, Pacific Earthquake Engineering Research Center, erişim tarihi 18.10.2021