



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

**PEKLEŞME ORANININ ORTA KATLI BETONARME
YAPININ DEPREM PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ
ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ABDULLAH EKREM AKPINAR

İSTANBUL, 2022



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

**PEKLEŞME ORANININ ORTA KATLI BETONARME
YAPININ DEPREM PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ
ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ABDULLAH EKREM AKPINAR
(190241003)**

**Danışman
(Dr. Öğr. Üyesi Cenk Aksoylar)**

İSTANBUL, 2022

19/07/2022

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliği Tezli yüksek lisans programı 190241003 numaralı Abdullah Ekrem AKPINAR'ın hazırladığı “Pekleşme Oranının Orta Katlı Betonarme Yapının Deprem Performansı Üzerindeki Etkisi” konulu Yüksek Lisans tezi ile ilgili Tez Savunma Sınavı, 19/07/2022 Salı günü saat 10:00’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. Dr. Öğr. Üyesi Cenk AKSOYLAR (Danışman)	KABUL
2. Prof. Dr. Zekai CELEP	KABUL
3. Doç. Dr. Cem AYDEMİR	KABUL

*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 yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bağlı olduğum üniversite veya bir başka üniversitedeki başka bir çalışma olarak sunulmadığını beyan ederim.

Abdullah Ekrem Akpınar

PEKLEŞME ORANININ ORTA KATLI BETONARME YAPININ DEPREM PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Abdullah Ekrem Akpınar

ÖZET

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’de betonarme taşıyıcı sistemlerin şekildeğiştirmeye göre değerlendirmelerinde kiriş ve kolon elemanlarının uç noktalarında plastik mafsal modelinin tanımlanmasında kullanılan moment-dönme ilişkisi, pekleşmeli ve pekleşmesiz olarak dikkate alınabilmektedir. Aynı zamanda plastik mafsal modelinin tanımlanmasında kullanılan çelik donatı malzeme modelinin de pekleşme oranı için iki sınır değer tanımlanmıştır. Bu çalışmada hem çelik donatı malzeme davranışındaki pekleşme etkisinin hem de plastik mafsalın moment dönme ilişkisindeki pekleşme etkisinin orta katlı betonarme yapıların deprem performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Doğrusal hesap yöntemleri ile tasarımları gerçekleştirilen üç farklı kat sayısına sahip çerçeve sistemler, daha sonra şekildeğiştirmeye göre değerlendirmede kullanılmıştır. Kiriş ve kolonların uç noktalarına tanımlanan plastik mafsal modelinin oluşturulmasında kullanılan donatı malzeme modelindeki iki sınır pekleşme oranı ve moment-dönme ilişkisindeki pekleşme etkisinin pekleşmesiz ve pekleşmeli olarak dikkate alındığı dört pekleşme durumunun etkileri, doğrusal olmayan analiz yöntemleri olan itme analizi ve zaman tanım alanında analiz yöntemleri ile değerlendirilmiştir.

Genel olarak sonuçlar incelendiğinde, plastik mafsal modelinin tanımlanmasında kullanılan farklı pekleşme durumlarının; çerçeve sistemlerin kapasite eğrileri, en büyük tepe deplasmanı ve taban kesme kuvveti, mafsalarda oluşan dönmeler, hasar düzeyleri ve deprem performansı üzerinde değişiklikler meydana getirdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Betonarme yapılar, Pekleşme etkisi, Plastik mafsal, Doğrusal olmayan analiz, Zaman tanım alanında dinamik analiz

EFFECT OF STRAIN HARDENING RATE ON THE EARTQUAKE BEHAVIOR OF A MID RISE REINFORCED CONCRETE BUILDING

Abdullah Ekrem Akpınar

ABSTRACT

In the Turkish Building Earthquake Code 2018, in the evaluation of reinforced concrete structural systems according to deformation, the moment-rotation relationship used in the definition of the plastic hinge model at the end points of the beam and column elements can be taken into account as hardening and non-hardening. At the same time, two limit values are defined for the hardening ratio of the steel reinforcement material model, which is used to define the plastic hinge model. In this study, the effects of both the hardening effect on the behavior of the steel reinforcement material and the hardening effect of the plastic hinge on the moment-rotation relationship on the seismic performance of mid-rise reinforced concrete structures were investigated.

Frame systems with three different floors, designed with linear calculation methods, were then used in the evaluation according to deformation. The effects of four hardening cases in which the two limit hardening ratios in the reinforcement material model used in the formation of the plastic hinge model defined at the end points of the beams and columns and the hardening effect in the moment-rotation relationship are considered as non-hardening and with hardening, was evaluated by pushover analysis and time history analysis methods, which are nonlinear analysis methods.

When the results are examined in general, it is seen that the different hardening conditions used in the definition of the plastic hinge model; It has been observed that the frame systems cause changes on the capacity curves, the maximum peak displacement and base shear force, rotations in the hinges, damage levels and seismic performance.

Anahtar Kelimeler: Reinforced concrete buildings, Strain hardening, Plastic hinge, Nonlinear analysis, Dynamic analysis in time history

ÖNSÖZ

Lisans eğitimim ve tez süreci boyunca bilgi, tecrübe ve yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer tez danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Cenk AKSOYLAR'a, lisans ve lisansüstü eğitimim boyunca birçok dersini alma şansına sahip olduğum saygıdeğer hocam Prof. Dr. Zekai CELEP'e ve üzerimde emeği olan tüm hocalarıma çok teşekkür ederim.

Tez yazma sürecimde ve hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hep yanımda hissettiğim aileme sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz, 2022

Abdullah Ekrem Akpınar

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ.....	vi
SEMBOLLER.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
KISALTMALAR	xvii
GİRİŞ	1
BİRİNCİ BÖLÜM	8
1. TEORİK BİLGİLER	8
1.1. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI	8
1.1.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri	8
1.1.2. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu	8
1.1.3. Yatay Elastik Tasarım Yerdeğiştirme Spektrumu	10
1.1.4. Bina Performans Düzeyleri	10
1.1.5. Bina Performans Hedefleri.....	11
1.1.6. Süneklik.....	11
1.1.7. Plastik Mafsallık Hipotezi.....	12
1.1.8. Çelik Donatı Pekleşme Etkisi	13
1.1.9. İç Kuvvet – Plastik Şekildeğiştirme İlişkisinde Pekleşme Etkisi.....	14
1.1.10. Doğrusal Olmayan Analiz.....	15
1.2. DAYANIMA GÖRE TASARIM	16
1.2.1. Kapasite Tasarımı.....	17
1.2.2. Modal Hesap Yöntemleri.....	17
1.2.3. Mod Birleştirme Yöntemi ile Deprem Hesabı	18

1.3. ŞEKİLDEĞİŞTİRMEYE GÖRE HESAP	19
1.3.1. Malzeme Modelleri	19
1.3.2. Plastik Mafsal Özelliklerinin Belirlenmesi	22
1.3.3. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri	24
1.3.4. İtme Yöntemleri.....	24
1.3.5. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi	25
1.3.6. Deprem Performansının Belirlenmesi.....	27
İKİNCİ BÖLÜM.....	29
2. ÖRNEK BİNALARIN TASARIMI ve ANALİZ KABULLERİ	29
2.1. ÖRNEK BİNALARIN TASARIMI	29
2.1.1. Kesit Hesabı Genel Kabulleri.....	31
2.1.2. Yük Analizi	32
2.1.3. Kiriş Moment Kapasitesi ve Kesme Kuvveti Hesabı.....	33
2.1.4. Kolon Karşılıklı Etki Diyagramı ve Kolon Boyutlandırması	37
2.1.5. Deprem Yükleri	39
2.1.6. 3 Kath Çerçeve.....	40
2.1.7. 5 Kath Çerçeve.....	43
2.1.8. 8 Kath Çerçeve.....	45
2.2. PLASTİK MAFSAL TANIMLAMASI	50
2.2.1. Malzeme Modelleri	50
2.2.2. Plastik Mafsal Kesitlerinde Şekildeğiştirme Sınırları	54
2.2.3. Kiriş Moment Plastik Mafsalının Oluşturulması	57
2.2.4. Kiriş Plastik Mafsal Dönme Sınırları.....	60
2.2.5. Kolon Moment-Eksenel Kuvvet Plastik Mafsalının Oluşturulması....	66
2.2.6. Kolon Plastik Mafsal Dönme Sınırları	69
2.3. İTME ANALİZİ KABULLERİ	74
2.3.1. Modal Kapasite Eğrisi Hesabı.....	74
2.3.2. Depremin Modal Yerdeğiştirme Talebi Hesabı.....	77
2.4. ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ KABULLERİ.....	79
2.4.1. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizde Yapılan Kabuller.....	79
2.4.2. Deprem Kayıtları Ölçeklendirme ve Normalizyon Katsayıları	81

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	88
3. ANALİZ SONUÇLARI	88
3.1. İTME ANALİZİ SONUÇLARI	88
3.1.1. Üç Katlı Çerçeve Sistem	89
3.1.2. Beş Katlı Çerçeve Sistem	96
3.1.3. Sekiz Katlı Çerçeve Sistem	105
3.2. ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ SONUÇLARI	115
3.2.1. Üç Katlı Çerçeve Sistem	115
3.2.2. Beş Katlı Çerçeve Sistem	122
3.2.3. Sekiz Katlı Çerçeve Sistem	130
3.3. ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ ve İTME ANALİZİ KARŞILAŞTIRMALI SONUÇLAR.....	141
3.3.1. Üç Katlı Çerçeve Sistem	141
3.3.2. Beş Katlı Çerçeve Sistem	143
3.3.3. Sekiz Katlı Çerçeve Sistem	146
SONUÇLAR VE GENEL DEĞERLENDİRMELER	149
KAYNAKÇA	153

SEMBOLLER

$\delta_{i,max}^{(X)}$	= (X) deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri [m]
$\epsilon_c^{(GÖ)}$	= Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için sargılı beton birim kısalması sınırı
ϵ_{cu}	= Sargılı betondaki maksimum birim basınç şekildeğiştirmesi
$\epsilon_s^{(GÖ)}$	= Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için donatı çeliği birim şekildeğiştirme değeri
ϵ_{su}	= Maksimum dayanıma karşı gelen donatı birim uzaması
$\theta_p^{(GÖ)}$	= Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için plastik dönme sınırı [rad]
$\theta_p^{(KH)}$	= Kontrollü hasar performans düzeyi için plastik dönme sınırı [rad]
$\theta_p^{(SH)}$	= Sınırlı hasar performans düzeyi için plastik dönme sınırı [rad]
θ_y	= Akma durumu için yerdeğiştirmiş eksen dönmesi [rad]
ϕ_u	= Göçme öncesi eğrilik [m^{-1}]
ϕ_y	= Akma eğriliği [m^{-1}]
F_1	= 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
f_{ce}	= Betonun beklenen basınç dayanımı [Mpa]
f_{ck}	= Betonun karakteristik basınç dayanımı [Mpa]
F_S	= Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
f_{ye}	= Çeliğin beklenen akma dayanımı [Mpa]
f_{yk}	= Çeliğin karakteristik akma dayanımı [Mpa]
L_p	= Plastik mafsal boyu [m]
L_s	= Kesme açıklığı [m]
m_i	= i'inci katın toplam kütlesi [t]
M_y	= Etkin akma momenti [kNm]
R	= Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
S_1	= 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
$S_{ae}(T)$	= Yatay elastik tasarım ivmesi [g]
S_{D1}	= 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
$S_{de}(T)$	= Yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmesi [m]
S_{DS}	= Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S_S	= Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
T_A	= Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
T_B	= Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
T_L	= Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu [s]
T_p	= Binanın hâkim doğal titreşim periyodu [s]

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Yatay Elastik Tasarım Spektrumu (TBDY 2018).....	9
Şekil 1.2 Yatay Elastik Tasarım Yerdeğiştirme Spektrumu (TBDY 2018).....	10
Şekil 1.3 S420 Çelik Donatı 1.15 ve 1.35 Pekleşme oranlarıyla Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi.....	14
Şekil 1.4 Donatı Pekleşme Oranı 1.15 için Pekleşmeli ve Pekleşmesiz İki Doğrulu Moment Eğrilik İlişkisi	15
Şekil 1.5 Donatı Pekleşme Oranı 1.35 için Pekleşmeli ve Pekleşmesiz İki Doğrulu Moment Eğrilik İlişkisi	15
Şekil 1.6 Beton Sargılı ve Sargısız Malzeme Modelleri (TBDY 2018)	20
Şekil 1.7 Çelik Donatı Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi (TBDY 2018).....	22
Şekil 1.8 Hasar Sınırları ve Bölgeleri (TBDY 2018)	28
Şekil 2.1 Üç Katlı Çerçeve Modeli.....	30
Şekil 2.2 Beş Katlı Çerçeve Modeli	30
Şekil 2.3 Sekiz Katlı Çerçeve Modeli.....	31
Şekil 2.4 Kiriş Eğilme Tasarımı	34
Şekil 2.5 Kiriş Kesme Hesabı	35
Şekil 2.6 Kiriş Kontrolleri.....	36
Şekil 2.7 Kolon Kesiti Donatı Düzeni	37
Şekil 2.8 Üç Katlı Çerçeve Sistem Kolon Kesiti.....	38
Şekil 2.9 C1 Kolonu Kapasite Eğrisi.....	38
Şekil 2.10 Kolon Kesme Hesabı.....	39
Şekil 2.11 Yatay Elastik Tasarım Spektrumu	40
Şekil 2.12 Üç Katlı Çerçeve Sistem Kiriş Kesiti.....	41
Şekil 2.13 Üç Katlı Çerçeve Sistem Kolon Yerleşimleri.....	41
Şekil 2.14 Üç Katlı Çerçeve Güçlü Kolon Zayıf Kiriş Kontrolü	42
Şekil 2.15 Beş Katlı Çerçeve Sistem Kiriş Kesitleri	43
Şekil 2.16 Beş Katlı Çerçeve Sistem Kolon Kesitleri	44
Şekil 2.17 Beş Katlı Çerçeve Sistem Kolon Yerleşimleri	44
Şekil 2.18 Beş Katlı Çerçeve Güçlü Kolon Zayıf Kiriş Kontrolü	45
Şekil 2.19 Sekiz Katlı Çerçeve Sistem Kiriş Kesitleri	46
Şekil 2.20 Sekiz Katlı Çerçeve Sistem Kolon Kesitleri	47
Şekil 2.21 Sekiz Katlı Çerçeve Sistem Kolon Yerleşimleri.....	48
Şekil 2.22 Sekiz Katlı Çerçeve Güçlü Kolon Zayıf Kiriş Kontrolü	49
Şekil 2.23 Sargısız Beton Modeli	51
Şekil 2.24 Sargılı Beton Malzeme Modeli.....	52
Şekil 2.25 Donatı Malzeme Modeli (Pekleşme Oranı 1.15)	53
Şekil 2.26 Donatı Malzeme Modeli (Pekleşme Oranı 1.35)	54
Şekil 2.27 Üç Katlı Çerçeve Kiriş Elemanı Moment Eğrilik Davranışı.....	55

Şekil 2.28 Üç Katlı Çerçeve B1 Kiriş Moment-Eğrilik İlişkisi (Donatı Pekleşme Oranı 1.15).....	60
Şekil 2.29 Üç Katlı Çerçeve B1 Kiriş Moment-Eğrilik İlişkisi (Donatı Pekleşme Oranı 1.35).....	60
Şekil 2.30 Üç Katlı Çerçeve Kiriş Elemanı Pekleşmeli Moment Dönme İlişkisi (Donatı Pekleşme Oranı 1.15)	62
Şekil 2.31 Üç Katlı Çerçeve Kiriş Elemanı Pekleşmesiz Moment Dönme İlişkisi (Donatı Pekleşme Oranı 1.15)	64
Şekil 2.32 Üç Katlı Çerçeve Kiriş Elemanı Pekleşmeli Moment Dönme İlişkisi (Donatı Pekleşme Oranı 1.35)	65
Şekil 2.33 Üç Katlı Çerçeve Kiriş Elemanı Pekleşmesiz Moment Dönme İlişkisi (Donatı Pekleşme Oranı 1.35)	65
Şekil 2.34 Üç Katlı Çerçeve C1 Kolonu Moment-Eğrilik İlişkisi (Donatı Pekleşme Oranı 1.15).....	68
Şekil 2.35 Üç Katlı Çerçeve C1 Kolonu Moment-Eğrilik İlişkisi (Donatı Pekleşme Oranı 1.35).....	68
Şekil 2.36 Üç Katlı Çerçeve Kolunun Pekleşmeli Moment Dönme İlişkisi (Donatı Pekleşme Oranı 1.15).....	69
Şekil 2.37 Üç Katlı Çerçeve Kolunun Pekleşmesiz Moment Dönme İlişkisi (Donatı Pekleşme Oranı 1.15).....	71
Şekil 2.38 Üç Katlı Çerçeve Kolunun Pekleşmeli Moment Dönme İlişkisi (Donatı Pekleşme Oranı 1.35).....	72
Şekil 2.39 Üç Katlı Çerçeve Kolunun Pekleşmesiz Moment Dönme İlişkisi (Donatı Pekleşme Oranı 1.35).....	72
Şekil 2.40 Üç Katlı Çerçeve İtme Analizi Yük Tanımlaması.....	76
Şekil 2.41 Taban Kesme Kuvveti- Tepe Deplasman.....	77
Şekil 2.42 Sözde İvme – Spektral Yerdeğiştirme.....	77
Şekil 2.43 Modal Yerdeğiştirme Talebi.....	78
Şekil 2.44 Üç Katlı Çerçeve Sistem için Ölçeklendirilmiş Deprem Kayıtları ve Tasarım Spektrumu.....	83
Şekil 2.45 Üç Katlı Çerçeve Sistem için Deprem Kayıtlarının Ortalaması ve Tasarım Spektrumu	83
Şekil 2.46 Beş Katlı Çerçeve Sistem için Ölçeklendirilmiş Deprem Kayıtları ve Tasarım Spektrumu.....	85
Şekil 2.47 Beş Katlı Çerçeve Sistem için Deprem Kayıtları Ortalaması ve Tasarım Spektrumu	85
Şekil 2.48 Sekiz Katlı Çerçeve Sistem için Ölçekli Deprem Kayıtları	87
Şekil 2.49 Sekiz Katlı Çerçeve Sistem için Deprem Kayıtları Ortalaması ve Tasarım Spektrumu	87
Şekil 3.1 Üç Katlı Çerçeve Dört Pekleşme Durumu için Kapasite Eğrileri Karşılaştırması	89
Şekil 3.2 Üç Katlı Çerçeve Sistem Depremin Modal Yerdeğiştirme Talebi	90
Şekil 3.3 Üç Katlı Çerçeve Dört Pekleşme Durumu için Kapasite Eğrileri ve Deprem Yerdeğiştirme Talebi	91
Şekil 3.4 Üç Katlı Çerçevde Deprem Yerdeğiştirme Talebi Noktasında Oluşan Plastik Mafsallar	92
Şekil 3.5 Üç Katlı Çerçeve Kiriş ve Kolon Plastik Dönmeleri (Statik İtme Analizi)	94

Şekil 3.6 Üç Katlı İtme Analizi Plastik Dönme Oranları (Statik İtme Analizi).....	95
Şekil 3.7 Beş Katlı Çerçeve Dört Pekleşme Durumu için Kapasite Eğrileri Karşılaştırması	97
Şekil 3.8 Beş Katlı Çerçeve Sistem Deprem Modal Yerdeğiştirme Talebi.....	98
Şekil 3.9 Beş Katlı Çerçeve Dört Pekleşme Durumu için Kapasite Eğrileri ve Deprem Yerdeğiştirme Talebi	99
Şekil 3.10 Beş Katlı Çerçeve Deprem Yerdeğiştirme Talebi Noktasında Oluşan Plastik Mafsallar	100
Şekil 3.11 Beş Katlı Çerçeve Kiriş ve Kolon Plastik Dönmeleri (Statik İtme Analizi)	103
Şekil 3.12 Beş Katlı Çerçeve Elemanlarının Plastik Dönme Oranları (Statik İtme Analizi).....	103
Şekil 3.13 Sekiz Katlı Çerçeve Dört Pekleşme Durumu için Kapasite Eğrileri Karşılaştırması	105
Şekil 3.14 Sekiz Katlı Çerçeve Sistem Deprem Modal Yerdeğiştirme Talebi	106
Şekil 3.15 Sekiz Katlı Çerçeve Dört Pekleşme Durumu için Kapasite Eğrileri ve Deprem Yerdeğiştirme Talebi	107
Şekil 3.16 Sekiz Katlı Çerçeve Deprem Yerdeğiştirme Talebi Noktasında Oluşan Plastik Mafsallar	109
Şekil 3.17 Sekiz Katlı Çerçeve Kiriş ve Kolon Plastik Dönmeleri (Statik İtme Analizi).....	112
Şekil 3.18 Sekiz Katlı Çerçeve Elemanların Plastik Dönme Oranları (Statik İtme Analizi).....	113
Şekil 3.19 Üç Katlı Çerçeve En Büyük Tepe Deplasman Değerleri	116
Şekil 3.20 Üç Katlı Çerçeve En Büyük Taban Kesme Kuvveti Değerleri	117
Şekil 3.21 Üç Katlı Çerçeve Elemanlarının Plastik Dönme Değerleri (Dinamik Analiz).....	121
Şekil 3.22 Üç Katlı Çerçeve Elemanlarının Plastik Dönme Oranları (Dinamik Analiz).....	122
Şekil 3.23 Beş Katlı Çerçeve En Büyük Tepe Deplasman Değerleri.....	122
Şekil 3.24 Beş Katlı Çerçeve En Büyük Taban Kesme Kuvveti Değerleri	123
Şekil 3.25 Beş Katlı Çerçeve Elemanların Plastik Dönme Değerleri (Dinamik Analiz).....	129
Şekil 3.26 Beş Katlı Çerçeve Elemanlarının Plastik Dönme Oranları (Dinamik Analiz).....	130
Şekil 3.27 Sekiz Katlı Çerçeve En Büyük Tepe Deplasman Değerleri	131
Şekil 3.28 Sekiz Katlı Çerçeve En Büyük Taban Kesme Kuvveti Değerleri	132
Şekil 3.29 Sekiz Katlı Çerçeve Elemanlarının Plastik Dönme Değerleri (Dinamik Analiz).....	139
Şekil 3.30 Sekiz Katlı Çerçeve Elemanlarının Plastik Dönme Oranları (Dinamik Analiz).....	140
Şekil 3.31 Üç Katlı Çerçeve Kapasite Eğrilerinin İki Yöntem için Karşılaştırması	142
Şekil 3.32 Üç Katlı Çerçeve Kapasite Eğrileri ve Mak. Tepe Deplasman-Mak. Taban Kesme Kuvveti	143
Şekil 3.33 Beş Katlı Çerçeve Kapasite Eğrilerinin İki Yöntem için Karşılaştırması	145

Şekil 3.34 Beş Katlı Çerçeve Kapasite Eğrileri ve Mak. Tepe Deplasman-Mak. Taban Kesme Kuvveti.....	146
Şekil 3.35 Sekiz Katlı Çerçeve Kapasite Eğrilerinin İki Yöntem için Karşılaştırması	147
Şekil 3.36 Sekiz Katlı Çerçeve Kapasite Eğrileri ve Mak. Tepe Deplasman-Mak. Taban Kesme Kuvveti.....	148

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 Donatı Çeliklerine Ait Bilgiler (TBDY 2018).....	13
Çizelge 2.1 Yük Bileşenleri	32
Çizelge 2.2 Yük Analizi.....	33
Çizelge 2.3 Kolon Kapasite Hesabı Girdiler.....	37
Çizelge 2.4 C1 Kolonu Kapasite Eğrisi Çizelgesi.....	38
Çizelge 2.5 Üç Katlı Çerçeve B1-B12 Kiriş Mesnet Donatı Düzeni	41
Çizelge 2.6 Üç Katlı Çerçeve C1-C15 Kolon Donatı Düzeni.....	41
Çizelge 2.7 Beş Katlı Çerçeve B1-B20 Kiriş Mesnet Donatı Düzeni	43
Çizelge 2.8 Beş Katlı Çerçeve C1-C25 Kolon Donatı Düzeni	44
Çizelge 2.9 Sekiz Katlı Çerçeve B1-B32 Kiriş Mesnet Donatı Düzeni	46
Çizelge 2.10 Sekiz Katlı Çerçeve C1-C40 Kolon Donatı Düzeni.....	47
Çizelge 2.11 S420 Donatı Çeliği Özellikleri (TBDY 2018).....	52
Çizelge 2.12 B1 Kirişi Kesit Özellikleri	57
Çizelge 2.13 Kiriş Plastik Mafsallarının Moment-Dönme İlişkileri	66
Çizelge 2.14 Üç Katlı Çerçeve C1 Kolonu Kesit Özellikleri	67
Çizelge 2.15 Kolon Plastik Mafsallarının Moment-Dönme İlişkileri	73
Çizelge 2.16 Üç Katlı Çerçeve Mod Şekli.....	75
Çizelge 2.17 Deprem Kayıtları ve Özellikleri.....	80
Çizelge 2.18 Üç Katlı Çerçeve Sistem Deprem Kayıtları Normalizasyon ve Ölçeklendirme Katsayıları.....	82
Çizelge 2.19 Beş Katlı Çerçeve Sistem Deprem Kayıtları Normalizasyon ve Ölçeklendirme Katsayıları.....	84
Çizelge 2.20 Sekiz Katlı Çerçeve Sistem Deprem Kayıtları Normalizasyon ve Ölçeklendirme Katsayıları.....	86
Çizelge 3.1 Üç Katlı Çerçeve Modal Analiz Parametreleri	90
Çizelge 3.2 Üç Katlı Çerçeve Kiriş ve Kolon Elemanları Hasar Bölgeleri	96
Çizelge 3.3 Beş Katlı Çerçeve Modal Analiz Parametreleri.....	98
Çizelge 3.4 Beş Katlı Çerçeve Kiriş ve Kolon Elemanları Hasar Bölgeleri.....	104
Çizelge 3.5 Sekiz Katlı Çerçeve Modal Analiz Parametreleri	106
Çizelge 3.6 Sekiz Katlı Çerçeve Kiriş ve Kolon Elemanlarının Hasar Bölgeleri	114
Çizelge 3.7 Üç Katlı Çerçeve Kiriş Elemanlarında Ortalama Plastik Dönmeler	118
Çizelge 3.8 Üç Katlı Çerçeve Kiriş Elemanlarında Plastik Dönme Oranları	118
Çizelge 3.9 Üç Katlı Çerçeve Kolon Elemanlarında Ortalama Plastik Dönmeler ...	119
Çizelge 3.10 Üç Katlı Çerçeve Kolon Elemanlarında Plastik Dönme Oranları	120
Çizelge 3.11 Beş Katlı Çerçeve Kiriş Elemanları Ortalama Plastik Dönme Değerleri	125
Çizelge 3.12 Beş Katlı Çerçeve Kiriş Elemanları Plastik Dönme Oranları.....	125
Çizelge 3.13 Beş Katlı Çerçeve Kolon Elemanlarının Ortalama Plastik Dönmeler	127
Çizelge 3.14 Beş Katlı Çerçeve Kolon Elemanlarında Plastik Dönme Oranları	127
Çizelge 3.15 Sekiz Katlı Çerçeve Kiriş Elemanlarında Ortalama Plastik Dönmeler	133
Çizelge 3.16 Sekiz Katlı Çerçeve Kiriş Elemanlarında Plastik Dönme Oranları	134

Çizelge 3.17 Sekiz Katlı Çerçeve Kolon Elemanlarında Ortalama Plastik Dönmeler	135
Çizelge 3.18 Sekiz Katlı Çerçeve Kolon Elemanlarında Plastik Dönme Oranları ..	136

KISALTMALAR

BYS	Bina Yükseklik Sınıfı
DD	Deprem yer hareketi düzeyi
DTS	Deprem Tasarım Sınıfı
G	Göçmenin nlenmesi Performans Düzeyi
KH	Kontrollü Hasar Performans Düzeyi
KK	Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi
PO	Pekleşme Oranı
SH	Sınırlı Hasar Performans Düzeyi
TBDY 2018.	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018
TS 500 Kuralları)	Türk Standardı 500 (Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım
ZTAA	Zaman Tanım Alanında Analiz

GİRİŞ

Deprem, bütün dünyada insanların yaşamını etkileyen en önemli ve yaygın doğal afetlerden biridir. Ülkemiz de bu doğal afetin en şiddetli şekilde yaşandığı coğrafyalardan birinde bulunmaktadır. Geçmiş yıllarda ülkemizde yaşanan büyük şiddetli depremlerde önemli can kayıpları yaşanmıştır, aynı zamanda büyük ekonomik kayıplar da meydana gelmiştir. Deprem yönetmelikleriyle hem can kayıplarının önüne geçmek hem de ekonomik çözümler üretmek hedeflenmektedir. Güncel olarak yürürlükte olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’de depreme dayanıklı yapı tasarımı için gerekli olan taşıyıcı sistemin düzenlenmesi, taşıyıcı sistem düzensizlikleri, performans hedefleri, süneklik ve kapasite tasarımı gibi pek çok konu uluslararası literatürde ve uluslararası yönetmeliklerde yer aldığı şekilde detaylı olarak bulunmaktadır.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’e göre şiddetli depremlerde yapılarda belirli hasarlar oluşabileceği öngörülmüştür. Oluşabilecek bu hasarların seviyelerine göre çeşitli performans düzeyleri tanımlanmıştır. Genel prensip olarak şiddetli depremlerde, deprem yüklerinin önemli bir kısmı sünek yapı sistemleriyle karşılanmaktadır. Bu sebeple yapıların sünek tasarımı ön plana çıkmaktadır. Süneklik, yapılarda malzeme, kesit, eleman ve sistem boyutunda incelenebilir.

Betonarme yapı sistemlerinde süneklik, malzeme ve kesit boyutunda incelenecek olursa sünek olarak tasarlanan bir kesitte elastik ötesi şekildeğişirmeler başladığında pekleşme etkileri de ortaya çıkmaktadır. Pekleşme etkisiyle birlikte kesit taşıma gücü bir miktar daha artmaktadır. Her ne kadar tasarım aşamasında pekleşme etkilerinin ihmal edilmesi güvenli tarafta kalan bir yaklaşım gibi gözükse de kapasite tasarımı gereği kiriş ve kolon elemanlarının kapasitelerinin gerçeğe en yakın şekilde hesaplanmasında fayda görülmektedir.

PROBLEMİN TANIMI

Beton, donatı çeliğine göre çok daha gevrek bir malzeme olduğundan betonarme elemanların eğilme altındaki davranışında sünekliğin sağlanması için güç tükenmesinin, betonun basınç kırılmasının, donatıda akma gerilmelerinin oluşmasından sonra meydana gelmesi amaçlanır. Dolayısıyla kesitteki çekme donatısı, betonun basınç kırılmasından önce akmaya ulaşacak şekilde tasarlanır. Donatı akma gerilmesine ulaştıktan sonra belirli bir şekildeğiştirme değerine ulaştığında pekleşme etkileri ortaya çıkar yani donatı çeliği şekildeğiştirmeye devam ederken dayanımı da belirli bir oranda artar.

Türk Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) 5A.2 bölümünde verilen betonarme yapıların doğrusal olmayan davranışları incelenirken kullanılacak donatı çeliği modelinde bu pekleşme oranı, donatının kopma dayanımının akma dayanımına oranı olarak ifade edilmiştir. Aynı bölümde bu değer, S420 kalite sınıfı donatı çeliği için 1.15-1.35 arasında alınabileceği belirtilmiştir. Bunun yanında yönetmeliğin (TBDY, 2018) 5.3.1.6 maddesinde yığılı plastik mafsal kullanılarak yapılacak analizlerde kesitlerin iç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarında pekleşme etkisinin terk edilebileceği de belirtilmektedir. Yığılı plastik mafsalların iç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarında, örneğin eğilme davranışı için tanımlanmış bir yığılı plastik mafsalın moment-dönme ilişkisinde, pekleşme etkisinin terk edilmesiyle donatının pekleşme oranı da nispeten etkisiz bir hale gelmektedir. Diğer taraftan eğer moment-dönme ilişkisindeki pekleşme etkisi dikkate alınırsa donatı pekleşmesinin de etkileri plastik mafsalda daha belirgin şekilde ortaya çıkmaktadır. Hem donatı çeliğinin malzeme davranışındaki pekleşme etkisinin hem de plastik mafsalın moment dönme ilişkisindeki pekleşme etkisinin dikkate alınıp alınmamasıyla plastik mafsalın akma ve göçme durumlarına ait dönme ve moment değerlerinde değişiklikler olmaktadır. Deprem yönetmeliğinde izin verilen bu pekleşme durumları ile yapılan analiz sonuçları arasında farklar oluşabilmektedir. Bu çalışmada, orta katlı betonarme yapılarda hem donatının gerilme-şekildeğiştirme davranışının modellenmesinde dikkate alınan pekleşme etkisinin hem de betonarme kesitlerin yığılı plastik mafsal özelliklerinin modellenmesinde dikkate alınan pekleşme etkisinin yapının deprem performansına etkisi araştırılmıştır.

AMAÇ ve KAPSAM

Bu çalışmanın amacı; yönetmelikte (TBDY, 2018) şekildeğiştirmeye göre değerlendirmede kullanılacak; i) elik donatı malzeme modeli için verilen pekleşme oranının ve ii) plastik mafsal modelinde kullanılacak moment-dönme ilişkisinin pekleşmeli ve pekleşmesiz olarak dikkate alınmasının orta katlı betonarme yapıların deprem performansına etkisinin incelenmesidir.

Bu çalışmanın ilk aşamasında TBDY 2018 ve TS500 yönetmeliklerinde belirtilen tasarım ilkelerine uyularak doğrusal hesap yöntemiyle orta katlı betonarme çerçeve sistem tasarımı yapılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında itme analizi ve zaman tanım alanında analiz yöntemleri kullanılarak doğrusal olmayan analiz ile pekleşme etkisinin orta katlı betonarme binaların deprem performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında orta katlı çerçeve sistemli betonarme binaların farklı kat sayılarını yansıtabilmek amacıyla üç farklı kat sayısı, üç katlı beş katlı ve sekiz katlı dikkate alınmıştır. Betonarme binaların davranışında dikkate alınan pekleşme etkisinin sonuçlara etkisi karşılaştırmalı olarak incelendiğinden, sadeleştirme amacıyla incelenen betonarme yapılar üç boyutlu çerçeve olarak değil de iki boyutlu çerçeveler olarak ele alınmıştır. Seçilen bu üç farklı kat adetine sahip iki boyutlu betonarme çerçeve sistemleri TBDY 2018 ve TS500 yönetmeliklerine uygun olarak doğrusal hesap yöntemiyle ile tasarlanmıştır. Taşıyıcı sistemin doğrusal hesap yöntemleriyle tasarım aşamasında kiriş ve kolonların boyutlandırılması, görelî kat ötelemelerinin kontrolü, yapı periyotlarının hesaplanması ve güçlü kolon zayıf kiriş kontrollerinin yapılmasında (SAP2000, 2018) ve (Excel, 2022) programlarından yararlanılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında, tasarlanan üç adet örnek çerçevenin her biri dört farklı pekleşme etkisi dikkate alınarak incelenmiştir. S420 sınıfı donatı çeliği kullanıldığından, malzeme modelinde pekleşme oranı için 1.15 ve 1.35 sınır değerleri dikkate alınmış ve plastik mafsalın modellenmesinde kullanılan moment-dönme davranışı pekleşmeli ve pekleşmesiz olmak üzere iki farklı şekilde ele alınmıştır. Böylece pekleşme etkisinin farklı şekillerde dikkate alındığı dört farklı durum; i) donatı çeliği pekleşme oranı

1.15 ve moment-dönme modeli pekleşmesiz, ii) donatı çeliği pekleşme oranı 1.15 ve moment-dönme modeli pekleşmeli, iii) donatı çeliği pekleşme oranı 1.35 ve moment-dönme modeli pekleşmesiz, iv) donatı çeliği pekleşme oranı 1.35 ve moment-dönme modeli pekleşmeli olarak oluşturulmuştur. Bu sayede oluşturulan on iki çerçevenin deprem etkisi altındaki davranışı doğrusal olmayan analiz yöntemleriyle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Doğrusal olmayan analizlerde yığılı plastik mafsallı davranışı ve modeli kullanılmıştır. Kirişlerin yığılı plastik mafsallı modelleri eğilme mafsallı olarak, kolonların yığılı plastik mafsallı modelleri normal kuvvet eğilme mafsallı olarak tanımlanmıştır.

Doğrusal olmayan analizler için sabit tek modlu itme yöntemi ve zaman tanım alanında analiz yöntemleri kullanılmıştır. Zaman tanım alanında analizde kullanılacak deprem kayıtları Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezinin sitesinden (PEER Ground Motion Database , 2013) alınmıştır. Daha önce meydana gelmiş depremlerden seçilen 28 deprem kaydı belirlenmiş ve 28 deprem kaydının birbirine dik iki bileşeni de alınmıştır. Böylece toplamda 56 deprem kaydı kullanılmıştır. Aynı zamanda doğrusal olmayan analiz aşamasında deprem kayıtlarının düzenlenmesi için (SeismoMatch, 2022) programından ve (Excel, 2022) programından yararlanılmıştır. 56 adet farklı deprem kaydı yapı periyoduna göre normalize edilmiş ardından yönetmelikte verilen basit ölçeklendirme yaklaşımı ile ölçeklendirilmiştir.

Sonuç olarak incelenen on iki farklı çerçeve için toplamda on iki adet doğrusal olmayan itme analizi ve 672 adet doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analiz yapılmıştır. Bu analizler sonucunda on iki adet örnek çerçeve için kapasite eğrileri, deprem yerdeğiştirme talepleri, en büyük tepe deplasmanı, en büyük taban kesme kuvveti, görelî kat ötelemeleri, kiriş ve kolon plastik mafsallarında oluşan dönme ve moment değerleri, performans seviyeleri elde edilmiş ve farklı pekleşme etkilerinin sonuçlara yansımaları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca doğrusal olmayan statik itme analizi ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizi sonuçları da birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Ulusal ve uluslararası literatürde betonarme elemanlarda donatı pekleşme etkisinin, betonarme elemanların moment-eğrilik ilişkilerine etkisinin ve plastik mafsallarda oluşan pekleşme seviyelerinin incelendiği çalışmalar yer almaktadır.

Ersoy (1998) çalışmasında, farklı malzeme modellerini dikkate alan, betonarme kiriş ve kolon moment kapasitesi hesabı yapan bir yazılım hazırlamıştır. Donatı çeliği pekleşmesi ve beton örtüsünün kırılması sonucunda sargı donatısı etkisiyle betonun dayanımının artması gibi malzeme özellikleri dikkate alınmıştır. Çalışmada betonarme elemanlarda moment kapasitesi için belirleyici faktörün çekme donatısı olduğu ifade edilmiştir. Yönetmelikte geçen M_r ve M_p momentlerinin değerlendirilmesinin yapıldığı çalışmada, kiriş ve kolon kesitleri için moment eğrilik analizleri yapılarak incelenmiştir. Kirişlerde donatı çeliğinin pekleşme etkisi ile moment kapasitesinin arttığı ve pekleşme etkisinin de yüksek basınç ve çekme donatısı oranlarında daha etkili olduğu gözlenmiştir. Normal kuvvet etkisindeki kolonlarda ise örtü betonunun kırılması ya çekme donatısının pekleşmesinden önce ya da yakın gerçekleşmesi sebebiyle pekleşme moment kapasitesi üzerinde etkili olmadığı tespit edilmiştir.

Aydemir vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada Türk Deprem Yönetmeliklerinde (1998 ve 2007) kiriş ve kolonların enine donatı hesabında kullanılacak kesme kuvvetinin kapasite tasarımı ile belirlendiği dolayısıyla kolon ve kirişlerin uç noktalarında oluşacak moment kapasitesi M_p 'nin olabildiğince gerçeğe yakın şekilde hesaplanması gerektiği belirtilmiştir. Yönetmelikte M_p/M_r oranı kesin hesap yapılmadığı durumda 1.4 olarak verilmiştir. Bu oran kolonlar aksenal yük kapasitesi artmasıyla birlikte gerçek kapasiteyi hesaplamakta yetersiz olabildiği belirtilmiştir. Pikleşme etkisinin de dikkate alındığı M_p 'nin pratik ve gerçeğe yakın hesaplanabilmesi için bazı bağıntılar oluşturulmuş ve daha önce yapılan deneysel çalışmalarla eğilme momenti kapasiteleri ile karşılaştırılmıştır.

Bai ve Au (2009) tarafından yapılan donatı pekleşmesinin dikdörtgen kesitli betonarme kolonlar üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada, normal dayanımlı ve yüksek dayanımlı betonarme kolonlarda donatı pekleşme etkisinin çekme dayanımına ve

süneklik üzerindeki etkisini incelemek amacıyla moment-eğrilik analizleri yapılmıştır. Pekleşme üzerinde etkili olabilen parametreler; normal kuvvet, beton dayanımı, sargı etkisi, donatı oranı ve donatının çekme dayanımının akma dayanımına oranı dikkate alınarak incelemeler yapılmıştır. Dikdörtgen kesitli betonarme kolonlarda pekleşme etkisinin, ilk olarak uygulanan normal kuvvete bağlı olarak değiştiği ve yüksek sargı etkisinde çok daha etkili olabildiği belirtilmiştir. Diğer parametrelerin ise nispeten daha düşük etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir.

Kaltakçı vd. (2000) tarafından yapılan çalışmada basit eğilme etkisindeki betonarme elemanların tasarım değişkenleri üzerine bir inceleme yapılmış ve bu inceleme için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Eğilme tesiri altındaki elemanlarda donatı çekme dayanımı, beton basınç dayanımı, basınç donatısı ve sargı donatısı miktarları ve aynı zamanda donatıda meydana gelen pekleşme etkisi parametreleri açısından inceleme yapılmıştır. İncelemelerde kullanmak amacıyla beton kabuk betonun dökülmesi, göbek betonu sargı etkisi ve donatıda pekleşmeyi dikkate alan gerçekçi malzeme modellerini kullanabilen Fortran dilinde bir program geliştirilmiştir. Analitik olarak yapılan incelemeler aynı zamanda bazı deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Donatı pekleşme etkisinin basınç donatılı kesitlerde etkili olduğu belirtilmiştir. Donatının pekleşme etkisinin düşük basınç donatısına sahip kesitlerde önemli olmadığı, yüksek basınç donatısı oranlarında ise moment kapasitesini önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir.

Attiyah ve Hussain (2018) tarafından yapılan çalışmada, performans bazlı tasarımda mevcut olarak deprem yükleri için kullanılan plastik mafsal modellerinin patlama yükleri için gerçek davranışı yansıtmadığı belirtilmiştir. Bu sebeple performans bazlı tasarım yaklaşımının patlama yüklerine maruz kalan yapılara uygulanmak üzere geliştirilmesine yönelik analitik bir yaklaşım önermektedir. Önerilen modelde, malzemenin gerçek davranışını temsil etmek için önemli olan kabuk betonunun kırılması, çekirdek betonunun kırılması, basınç donatısının burkulması ve çekme donatısında meydana gelen pekleşme etkileri dikkate alınmış sonrasında önerilen analitik yaklaşım iki deney sonucu ile de karşılaştırılmıştır. Patlayıcı yükler altında gerçekçi davranış modeli önerisinde bulunan çalışma, patlama yükleri altında betonarme elemanların daha iyi

anlaşılmasına olanak sağladığı ve bu sayede böyle durumlarda daha güvenilir güçlendirme ve onarım imkânı verebileceği belirtilmiştir.

Ersoy ve Ünal (2018) tarafından yapılan incelemede, deprem yönetmeliğinde verilen betonarme kolon ve kirişlerin moment kapasitelerin yaklaşık olarak hesaplanması için verilen öneriler irdelenmiştir. Bu önerilerle yaklaşık olarak hesaplanan moment kapasiteleri ile donatı pekleşme etkisinin de dikkate alındığı daha gerçekçi ve daha kesin hesap yapılarak elde edilen moment kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler neticesinde kiriş kesitlerinin kapasite momentlerinin taşıma gücü momentine oranı yaklaşık 1.4 ile 1.6 arasında bulunmuştur. Yazarlar, deprem yönetmeliğinde 1.4 olarak verilen bu oranın 1.5 olarak alınmasının daha uygun olacağı sonucuna varmıştır. Kolon kesitlerinin ise kapasite momentlerinin taşıma gücü momentine oranı yaklaşık 1.2 ile 1.8 arasında bulunmuştur. Yazarlar, deprem yönetmeliğinde 1.4 olarak verilen bu oranın ise 1.5 veya 1.6 olarak alınmasını önermiştir.

Yüksel ve Foroughi (2020) tarafından yapılan çalışmada, TBDY 2018 yönetmeliğine uyularak normal kuvvet oranı, sargı donatısı çapı, sargı donatısı aralığı ve boyuna donatı oranı gibi farklı parametrelerle dairesel kesitli kolonlar tasarlanmış ve bu parametrelerin dairesel kesitli kolonların moment eğrilik ilişkisine etkisi incelenmiştir. Elde edilen moment eğrilik ilişkilerinden çekirdek betonunda ve kabuk betonunda kırılma ve çatlama, donatı çeliğinde ise pekleşme ve akma durumları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde normal kuvvet oranının ve sargı donatısının daire kolon kesitinin moment eğrilik ilişkisine etki eden çok önemli parametreler olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca incelenen kolon kesitlerinde düşük normal kuvvet oranlarında öncelikle donatının akmaya ulaştığı sonrasında kabuk betonunun kırıldığı görülmüş, yüksek normal kuvvet oranlarında ise ilk olarak kabuk betonunun kırıldığı sonrasında donatının akmaya ulaştığı tespit edilmiştir. Bu iki durumdan donatının önce aktığı sonrasında kabuk betonunun kırıldığı kolon kesitlerinin daha sünek davranış gösterdiği belirtilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

1. TEORİK BİLGİLER

Depreme dayanıklı yapı tasarımı, dayanıma göre tasarım ve şekildeğiştirmeye göre hesapla ilgili temel kavramlar ve teorik bilgilere bu bölümde yer verilmiştir.

1.1. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI

TBDY 2018’de verilen ve bu tez çalışmasında kullanılan depreme dayanıklı yapı tasarımı için gerekli görülen deprem yer hareketi düzeyleri, yatay elastik tasarım spektrumu, bina performans düzeyleri, süneklik, plastik mafsallı, çelik donatı pekleşme oranı, moment-dönme ilişkisindeki pekleşme etkisi ve doğrusal olmayan analiz konularında teorik bilgilere bu bölümde yer verilmiştir.

1.1.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri

TBDY 2018 Bölüm 2.2’de DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 olmak üzere dört farklı deprem yer hareketi düzeyi tanımlanmıştır. Sırasıyla DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 deprem yer hareketi düzeyleri spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı sırasıyla %2, %10, %50 ve %68 ve tekrarlama periyotları sırasıyla 2475, 475, 72 ve 43 yıl olduğu deprem yer hareketi düzeyleridir. DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 deprem yer hareketi düzeyleri sırasıyla göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketini, standart tasarım deprem yer hareketini, sık deprem yer hareketini ve servis deprem yer hareketini tanımlar.

1.1.2. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

Göz önüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için TBDY 2018 Bölüm 2.3’e göre yatay elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak

yerçekimi ivmesi [g] cinsinden Denklem(1.1), (1.2), (1.3) ve (1.4)'de verilen şekilde tanımlanmıştır.

$$S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (1.1)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (1.2)$$

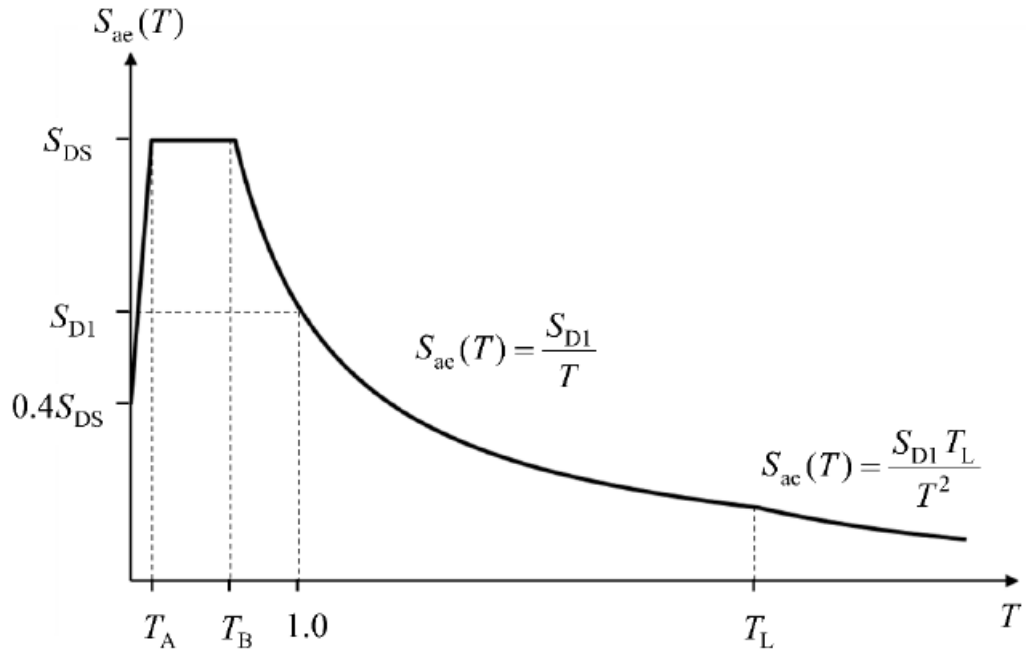
$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad (1.3)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \quad (1.4)$$

Burada S_{DS} ve S_{D1} tanımlanan tasarım spektral ivme katsayılarını, T ise doğal titreşim periyodunu göstermektedir. Yatay elastik tasarım spektrumu köşe periyotları T_A ve T_B aşağıda verilen denklemler ile S_{DS} ve S_{D1} 'e bağlı olarak Denklem(1.5)'deki gibi tanımlanır.

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (1.5)$$

Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu $T_L = 6$ s alınacaktır.

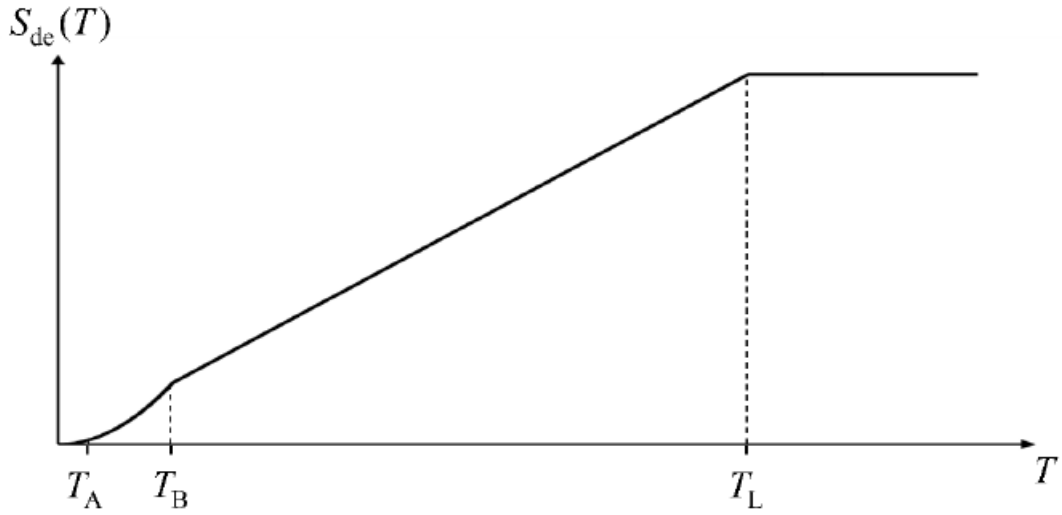


Şekil 1.1 Yatay Elastik Tasarım Spektrumu (TBDY 2018)

1.1.3. Yatay Elastik Tasarım Yerdeğiştirme Spektrumu

TBDY 2018 Bölüm 2.3'te belirtildiği üzere göz önüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım yerdeğiştirme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmeleri $S_{de}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak metre [m] cinsinden Denklem(1.6) ile tanımlanmıştır.

$$S_{de}(T) = \frac{T^2}{4\pi^2} g S_{ae}(T) \quad (1.6)$$



şekil 1.2 Yatay Elastik Tasarım Yerdeğiştirme Spektrumu (TBDY 2018)

1.1.4. Bina Performans Düzeyleri

Yönetmelikte (TBDY, 2018) Bölüm 3.4'te deprem etkisi altında bina taşıyıcı sistemleri için bina performans düzeyleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

Kesintisiz kullanım (KK) performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın meydana gelmediği veya hasarın ihmal edilebilir ölçüde kaldığı duruma karşı gelmektedir.

Sınırlı hasar (SH) performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği, diğer bir deyişle doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı hasar düzeyine karşı gelmektedir.

Kontrollü hasar (KH) performans düzeyi, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılması mümkün olan hasar düzeyine karşı gelmektedir.

Göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği göçme öncesi duruma karşı gelmektedir. Binanın kısmen veya tamamen göçmesi önlenmiştir.

1.1.5. Bina Performans Hedefleri

Tanımlanan dört deprem yer hareketi için binalara uygulanmak üzere yönetmelikte (TBDY, 2018) Bölüm 3.5'te deprem tasarım sınıfı DTS=1, 2, 3, 3a, 4, 4a için tanımlanan normal performans hedefleri ile deprem tasarım sınıfı DTS=1a, 2a için tanımlanan ileri performans hedefleri verilmiştir. Aynı zamanda ileri performans hedefi, yapı sahibinin isteğine bağlı olarak yeni yapılacak binalar veya mevcut binalar için de seçilebileceği belirtilmiştir. Deprem tasarım sınıfı DTS=1 olan binalar için DD-2 deprem yer hareketinin etkisi altında dayanıma göre tasarım yapıp kontrollü hasarın sağlanacağı belirtilmiştir.

1.1.6. Süneklik

Süneklik, şiddetli dış etkiler altında yapı sisteminin önemli ölçüde dayanımını koruyarak elastik ötesi şekildeğiştirme yapma kapasitesi olarak tanımlanabilir. Süneklik sayesinde tasarım depreminde yapıya gelen deprem kuvvetleri doğrusal olmayan davranış ile karşılanabilir.

TBDY 2018 ve TS 500'de hem kesit hem eleman hem de sistem boyutunda yapı sünekliğinin sağlanması için belirli kurallar vardır. Her üç durum için de kesitte, elemanda ve yapı sisteminde gevrek olan malzeme veya elemanların dayanımları, sünek olanlara göre daha yüksek tasarlanır. Böylelikle güç tükenmesi ilk olarak sünek elemanda meydana gelerek ani göçme ve bölgesel göçmelerin önüne geçmek hedeflenir.

Örneğin kesit boyutunda sünekliğin sağlanması için kesitteki çekme donatısı oranı, %2'den ve dengeli donatı oranının (P_b) %85'inden daha az olması sağlanmalıdır. Bu sayede kesitte güç tükenmesi gerçekleştiğinde gevrek bir güç

tükenmesi olan betonun basınç kırılmasından önce sünek davranış gösteren çekme donatısının akması sağlanmış olur.

Eleman boyutunda ise elemanda güç tükenmesinin kesme kuvveti yerine eğilme momenti dayanımında gerçekleşecek şekilde tasarlanarak süneklik sağlanmış olur. Böylelikle şiddetli bir depremde gevrek bir güç tükenmesi şekli olan kesme kuvveti güç tükenmesinin önüne geçilerek ani olarak gerçekleşecek göçmeler önlenmiş olur.

Eğer sistem boyutunda örnek vermek gerekirse de güçlü kolon zayıf kiriş prensibi ve yeniden dağılım ilkesi söylenebilir. Güçlü kolon zayıf kiriş prensibine göre bir düğüm noktasında birleşen kolonların moment kapasiteleri toplamı, kiriş moment kapasitelerinin toplamından %20 daha fazla olmalıdır. Yeniden dağılım ilkesinde ise taşıyıcı sistem hiperstatiklik derecesinin artırılmak suretiyle yapının bağılılığı artırılarak yeniden dağılım ilkesi sağlanmış olur.

TBDY 2018’de tasarım deprem yer hareketi altında yapıda oluşacak deprem etkilerini sünek yapı sistemi ile azaltmak için bu yönetmelikteki süneklik ve kapasite tasarımı ilkelerine titizlikle uyulması gerektiği belirtilmiştir.

1.1.7. Plastik Mafsal Hipotezi

Plastik mafsal hipotezinin geçerli olabilmesi için süneklik şartı aranır yani toplam şekildeğiştirmenin doğrusal şekildeğiştirmeye oranı büyük olmalıdır. Plastik mafsal hipotezine göre elastik ötesi şekildeğiştirmeler taşıyıcı sistemin belirli bölgelerinde toplanır. Bu bölgeler genellikle moment etkilerinin en büyük olduğu düğüm noktalarında oluşturulur. Genellikle bu bölgeler moment etkilerinin en büyük olduğu mesnet bölgeleridir. Eğer gerekli görülürse kiriş orta bölgelerinde de plastik mafsal tanımlamak gerekir. Örneğin bir kolon kiriş birleşim noktasında kirişte kolon yüzünden itibaren plastik mafsal oluşturulur. Plastik mafsalda en büyük elastik ötesi şekildeğiştirme kolon yüzünde oluşurken kiriş ortasına doğru elastik ötesi şekildeğiştirmeler azalır. Bu yüzden kolon yüzünden itibaren bir eşdeğer dikdörtgen kabulü ile plastik mafsal boyu belirlenir. Bu plastik mafsal boyunca elastik ötesi şekildeğiştirmelerin olacağı varsayılır. Kiriş elemanın diğer bölgelerinde sadece

elastik şekildeğiştirmeler meydana geleceği kabul edilir. Böyle bir basitleştirme ile hesaplarda kolaylık sağlanmış olur.

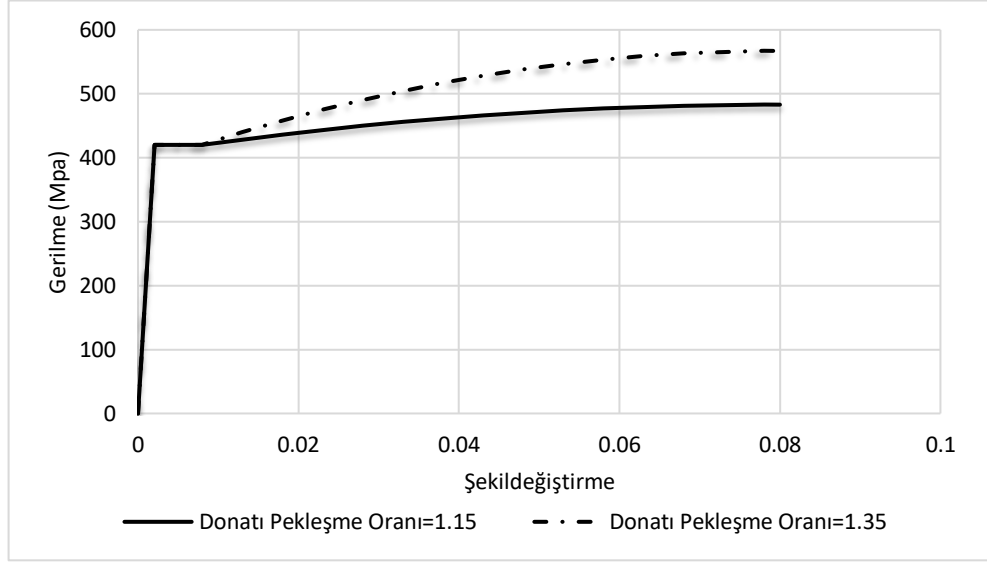
1.1.8. elik Donatı Pekleşme Etkisi

Donatı eliği gerilme şekildeğiştirme davranışında akma noktasına kadar doğrusal elastik davranış gösterir. Daha sonra akma sahanlığı boyunca sabit gerilmeye ękil değiştirmeye devam eder. Sonrasında pekleşme bölgesinde belirli oranda gerilme artışı olurken ękil değiştirmeye devam eder. Bu bölgede donatı çeliğinin elastisite modülü elastik bölgeye göre daha düşüktür ve doğrusal olmayan davranış nedeniyle sürekli değişiklik gösterir. Bu bölgedeki pekleşme oranı TBDY 2018’de donatının kopma dayanımının akma dayanımına oranı f_{su}/f_{sy} olarak verilmiştir. Bu oran yönetmeliğin (TBDY, 2018) 5A.2 donatı çeliği modeli kısmında şekildeğiştirmeye göre değerlendirmede kullanılmak üzere verilen modelde S420 sınıfı donatı çeliği için pekleşme oranı 1.15-1.35 arasında alınabileceği belirtilmiştir. Kalite sınıfına göre elik donatı malzemesi gerilme-ękildeđiřtirme ilişkisinde kullanılan gerilme ve ękildeđiřtirme parametreleri izelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1 Donatı eliklerine Ait Bilgiler (TBDY 2018)

Kalite	f_{sy} (Mpa)	ϵ_{sy}	ϵ_{sh}	ϵ_{su}	f_{su}/f_{sy}
S220	220	0.0011	0.011	0.12	1.2
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

Yapılan doğrusal olmayan analizlerde S420 kalite sınıfı elik donatı kullanılmıştır. Bu alışma kapsamında doğrusal olmayan analizlerde kullanılmak üzere iki farklı pekleşme oranıyla elik donatı malzeme modeli belirlenmiştir. Bu iki elik malzeme modeli, S420 kalite sınıfı elik donatı için verilen en düşük pekleşme oranı ve en yüksek pekleşme oranı olan 1.15 ve 1.35 pekleşme oranları ile tanımlanmıştır. Böylelikle TBDY 2018’de verilen donatı çeliği için en uç pekleşme durumları alınarak yapılan doğrusal olmayan analizlerde farklı pekleşme oranlarının bina deprem performansı üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. elik Donatı malzemesi pekleşme oranı 1.15 ve 1.35 alınarak oluşturulmuş gerilme-ękildeđiřtirme grafiği Şekil 1.3 ile gösterilmiştir.



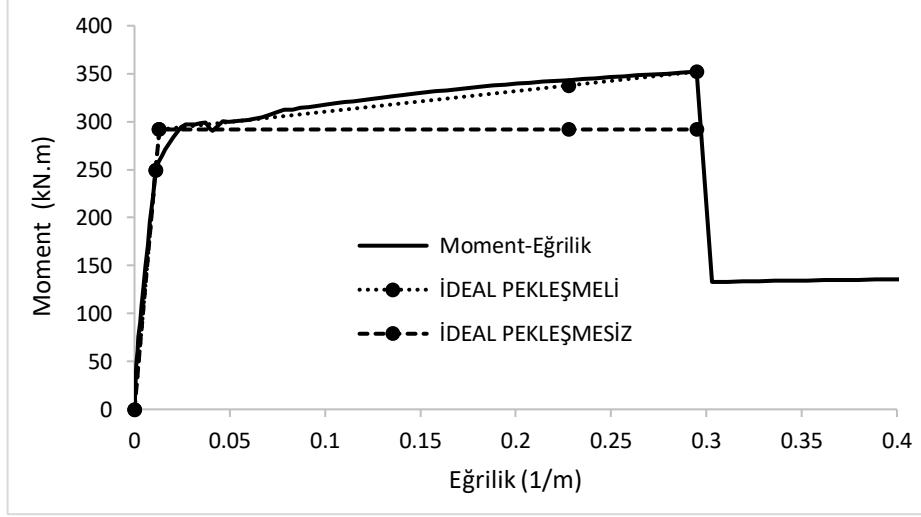
Şekil 1.3 S420 Çelik Donatı 1.15 ve 1.35 Pekleşme oranlarıyla Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi

1.1.9. İç Kuvvet – Plastik Şekildeğiştirme İlişkisinde Pekleşme Etkisi

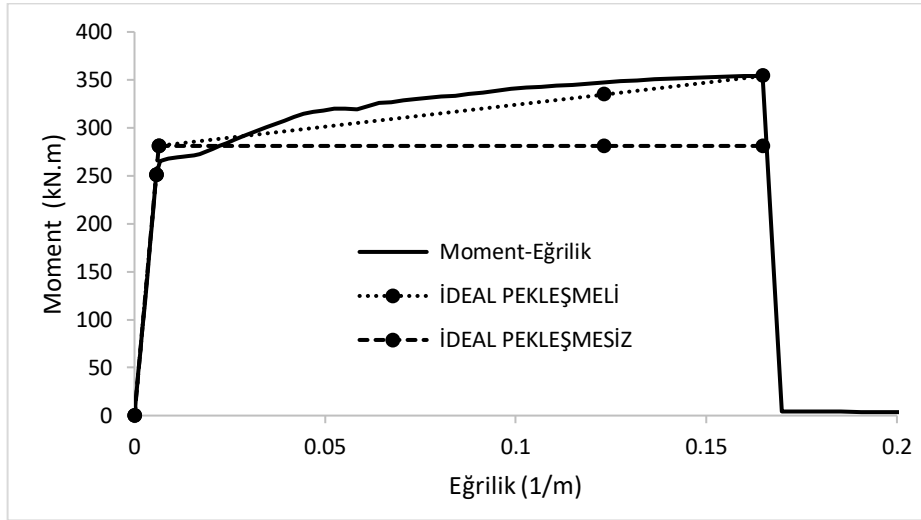
Doğrusal olmayan analizlerde kullanılmak üzere taşıyıcı sistemde kolon ve kirişlerin uç noktalarına tanımlanan plastik mafsalların moment-dönme ilişkisinin oluşturulmasında plastik mafsal kesitinin moment-eğrilik ilişkisi kullanılmıştır. TBDY 2018 Bölüm 5.3.1.6 maddesinde yığılı plastik mafsal kullanılarak yapılacak analizlerde kesitlerin iç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarında pekleşme etkisinin terk edilebileceği belirtilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında doğrusal olmayan analizlerde kullanılan plastik mafsalların moment-dönme ilişkisinin oluşturulmasında kullanılan iki doğru moment-eğrilik ilişkisi hem pekleşmeli hem pekleşmeli alınarak dikkate alınmıştır.

Bölüm 1.1.8'de çelik donatı malzeme modeli için 1.15 ve 1.35 pekleşme oranları ile iki farklı donatı modeli belirlendiği belirtilmişti. Plastik mafsalların moment-dönme ilişkisinin oluşturulmasında kullanılan moment-eğrilik ilişkileri bu verilen iki pekleşme değeriyle oluşturulmuştur. Bir kiriş kesitinde donatı malzeme modeli 1.15 pekleşme oranı ile tanımlandığında kesitin pekleşmeli ve pekleşmesiz iki doğru moment eğrilik ilişkisi Şekil 1.4 ile gösterilmiştir. Donatı malzeme modeli 1.35 pekleşme oranı ile tanımlandığında kesitin pekleşmeli ve pekleşmesiz iki doğru moment eğrilik ilişkisi ise Şekil 1.5 ile verilmiştir. Böylelikle doğrusal olmayan

analizlerde kullanılacak plastik mafsallar dört farklı pekleşme durumu ile tanımlanmıştır. Analizlerde kullanılacak her bir çerçeve bu dört pekleşme durumu için ayrı ayrı değerlendirmeye tabi tutulmuştur.



Şekil 1.4 Donatı Pekleşme Oranı 1.15 için Pekleşmeli ve Pekleşmesiz İki Doğrulu Moment Eğrilik İlişkisi



Şekil 1.5 Donatı Pekleşme Oranı 1.35 için Pekleşmeli ve Pekleşmesiz İki Doğrulu Moment Eğrilik İlişkisi

1.1.10. Doğrusal Olmayan Analiz

Yapı taşıyıcı sistemi genellikle işletme yükleri altında doğrusal davranış gösterir. Doğrusal hesap yöntemlerinde malzemenin gerilme-şekildeğiştirme eğrileri lineer elastik olduğu ve aynı zamanda yerdeğiştirmelerin de çok küçük olduğu kabul edilmektedir. Fakat deprem yükleri gibi şiddetli dış etkiler ortaya çıktığında malzeme davranışı elastik bölgenin ötesine geçebilmekte ve şekildeğiştirmeler ihmal

edilemeyecek büyüklüklere ulaşabilmektedir. Doğrusal hesap yöntemleriyle yapılan hesapta elastik ötesi davranış farklı şekillerde dikkate alınmaya çalışılır. Örneğin elastik olarak hesaplanan deprem yükü, deprem yükü azaltma katsayısıyla azaltılmaktadır.

Doğrusal olmayan analizde malzemenin doğrusal olmayan davranışının hesaba katılması ve küçük olmayan yerdeğiştirmelerin denge denklemlerine ve gerekli olduğunda geometrik uygunluk koşullarına etkisinin hesaba katılması ile birlikte gerçeğe daha yakın ve daha ekonomik sonuçlara ulaşmak mümkün olabilmektedir.

1.2. DAYANIMA GÖRE TASARIM

Deprem etkisine maruz kalan yapılar için iki ana tasarım yaklaşımı vardır. Bu iki ana tasarım yaklaşımı dayanıma göre tasarım ve şekildeğiştirmeye göre tasarım yaklaşımıdır. Bunlardan birisi olan dayanıma göre tasarım yaklaşımında TBDY 2018 Bölüm 4.1'e göre:

- Öngörülen performans hedefi için taşıyıcı sistemin süneklik kapasitesine karşılık gelen azaltılmış deprem kuvvetleri bulunur,
- Daha sonra azaltılmış deprem kuvvetleri, gerekli durumlarda dayanım fazlalığı katsayısı ile artırılarak dikkate alınır, diğer yüklerden oluşan kuvvetler birleştirilerek dayanım talepleri elde edilir,
- Elemanların dayanım talepleri, öngörülen performans hedefi için hesaplanmış eleman dayanım kapasiteleri ile karşılaştırılır,
- Deprem hesabından elde edilen görelî kat ötelemeleri, izin verilen sınırlarla karşılaştırılır,
- Eleman dayanım taleplerinin, dayanım kapasitelerinden küçük olduğu ve görelî kat ötelemelerinin verilen sınır değerden küçük olduğu gösterilir. Eğer sağlanmazsa eleman boyutları değiştirilerek hesap tekrarlanır,

şeklinde verilmiştir.

1.2.1. Kapasite Tasarımı

Yönetmelikte (TBDY, 2018) Bölüm 4.2.2’de dayanıma göre tasarım çerçevesinde bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımında, yönetmelikte verilen kurallara ek olarak kapasite tasarımı ilkeleri göz önüne alınacağı ve kapasite tasarımı yaklaşımı, taşıyıcı sistemde doğrusal olmayan sünek davranışın açık olarak tanımlanan belirli elemanlarla sınırlı tutulmasını, bu davranışla uyumlu olarak diğer bütün elemanların yeterli dayanım kapasitesine sahip olmasını öngören tasarım yaklaşımı olduğu belirtilmiştir.

Kapasite tasarımı ilkesine göre şiddetli deprem etkileri altında yapıda elastik ötesi davranış beklendiği ve ani bir güç tükenmesi istenmediğinden sünek kesit, eleman veya taşıyıcı sistemin, gevrek olanlara göre daha önce dayanımına ulaşması beklenir. Bu yüzden yapı sisteminde şiddetli deprem etkisi altında hasar görmesi muhtemel bölgelerin doğru tespit edilmesi ve bu bölgelerde gevrek davranış göstermesi beklenen unsurların dayanımları, sünek davranış göstermesi beklenen unsurlardan daha yüksek olarak tasarlanması önemlidir. Bunun yanında eleman kesit kapasiteleri birbirine ne kadar yakın olursa deprem etkilerinin karşılanması da o kadar yayılı şekilde gerçekleşir ve hasarların tek bir yerde toplanarak bölgesel göçmelerin önüne geçilebilir. Bu sayede şiddetli etkiler altında elemanlar kapasitelerine ulaştıkça gelen yükleri birbirine aktararak elemanlar arasında yardımlaşma gerçekleşir.

1.2.2. Modal Hesap Yöntemleri

TBDY 2018 Bölüm 4.8’de iki farklı modal hesap yöntemi açıklanmıştır. Bu yöntemler deprem spektrumu ile hesaba dayalı mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında hesaba dayalı mod toplama yöntemi olarak verilmiştir.

(X) ve (Y) deprem doğrultularında her bir mod için hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamının bina toplam kütlelerinin %95’inden daha az olmaması kuralına göre belirleneceği aynı zamanda katkısı %3’ten büyük olan bütün modların göz önüne alınacağı belirtilmiştir. (YM: Modal hesap yöntemlerinde, hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı)

$$\sum^{YM} m_{txn}^{(X)} \geq 0.95m_t \quad ; \quad \sum^{YM} m_{tyy}^{(Y)} \geq 0.95m_t \quad (1.7)$$

1.2.3. Mod Birleştirme Yöntemi ile Deprem Hesabı

Mod birleştirme yönteminde, verilen bir deprem doğrultusunda deprem tasarım spektrumundan yararlanılarak göz önüne alınan her bir titreşim modunda davranış büyüklüklerinin en büyük değerleri modal hesap yöntemi ile hesaplanır. Yeteri kadar titreşim modu için hesaplanan, ancak eşzamanlı olamayan en büyük modal davranış büyüklükleri daha sonra istatistiksel olarak birleştirilerek en büyük davranış büyüklüklerinin yaklaşık değerlerinin elde edileceği TBDY 2018 Bölüm 4.8.2’de belirtilmiştir.

Modal hesap parametreleri, sadece (X) yatay deprem doğrultusu için aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. Aynı parametreler benzer şekilde (X)’e dik (Y) deprem doğrultusu içinde tanımlanabileceği belirtilmiştir.

Modal hesap parametrelerinin tanımında taşıyıcı sistemin serbestlik dereceleri olarak: Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak modellenmesi durumunda, herhangi bir i’inci kat döşemesinin kütle merkezinde x ve y yatay doğrultularında tanımlanan yerdeğiştirmeler ile kat kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme dikkate alınmış ve bu serbestlik derecelerine karşı gelen kat kütlesi m_i ile kat kütle eylemsizlik momenti m_{i0} olarak tanımlandığı TBDY 2018’de belirtilmiştir.

Modal katkı çarpanı ve taban kesme kuvveti modal etkin kütlesi verilen (X) deprem doğrultusu için n’inci titreşim moduna ait modal katkı çarpanı $\Gamma_n^{(X)}$ ile binanın x eksenine doğrultusundaki taban kesme kuvveti modal etkin kütlesi $m_{txn}^{(X)}$ TBDY 2018’de belirtildiği üzere Denklem(1.8) ve (1.9)’deki gibi tanımlanmıştır.

$$\Gamma_n^{(X)} = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i(X)n}}{\sum_{i=1}^N (m_i \phi_{ixn}^2 + m_i \phi_{iyn}^2 + m_i \phi_{i\theta n}^2)} \quad (1.8)$$

$$m_{txn}^{(X)} = \Gamma_n^{(X)} \sum_{i=1}^N m_i \phi_{ixn} \quad (1.9)$$

TBDY 2018’de kat modal etkin kütleleri, tanımlanan serbestlik derecelerine göre Denklem(1.10) ve (1.11)’deki gibi verilmiştir.

$$m_{ixn}^{(X)} = m_i \phi_{ixn} \Gamma_n^{(X)} \quad ; \quad m_{iyn}^{(X)} = m_i \phi_{iyn} \Gamma_n^{(X)} \quad (1.10)$$

$$m_{i\theta n}^{(X)} = m_{i\theta} \phi_{i\theta n} \Gamma_n^{(X)} \quad (1.11)$$

1.3. ŞEKİLDEĞİŞTİRMEYE GÖRE HESAP

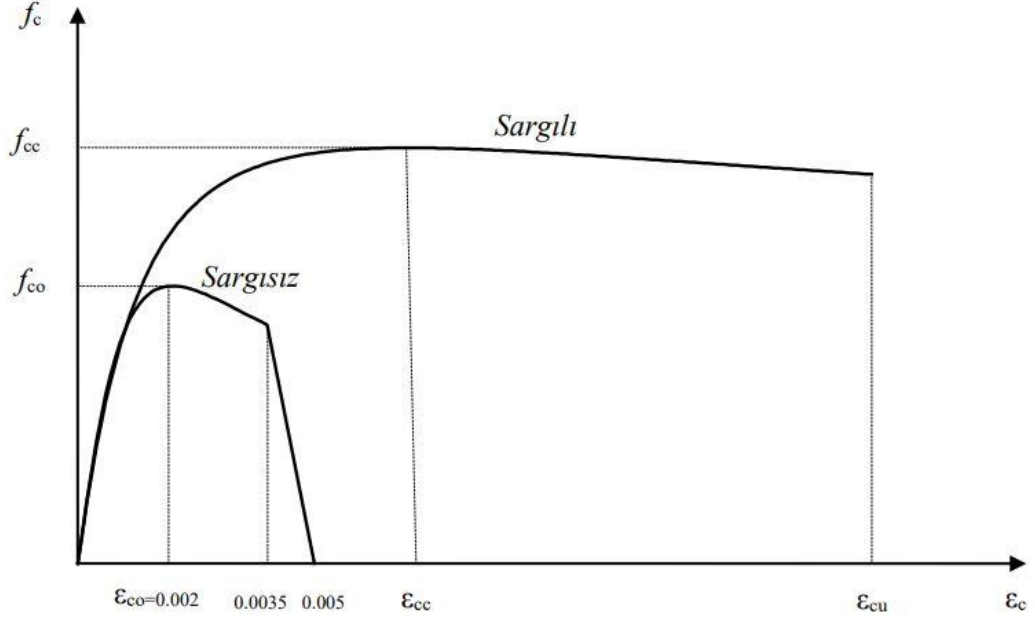
Deprem etkisine maruz kalan yapılar için iki ana tasarım yaklaşımı vardır. Bu iki ana tasarım yaklaşımı dayanıma göre tasarım ve şekildeğiştirmeye göre tasarım yaklaşımıdır. Şekildeğiştirmeye göre tasarım yaklaşımında beton ve çelik donatı malzemelerinin ve taşıyıcı sistem davranışının doğrusal olmayan davranışı da dikkate alınmaktadır. Bu bölümde şekildeğiştirmeye göre değerlendirmede kullanılan beton ve çelik donatı malzeme modelleri, plastik mafsal özelliklerinin belirlenmesi, doğrusal olmayan hesap yöntemleri ve deprem performansının belirlenmesi konularına yer verilmiştir.

1.3.1. Malzeme Modelleri

Betonarme yapı sistemleri için doğrusal olmayan analizlerde kullanılacak donatı çeliği ve beton malzeme modelleri belirlenmelidir. TBDY 2018 Bölüm 5A'da verilen şekildeğiştirmeye göre değerlendirmede kullanılmak üzere beton ve donatı çeliği malzeme modelleri tanımlanmıştır.

1.3.1.1. Beton Malzeme Modeli

TBDY 2018 Bölüm 5A.1'de şekil değiştirmeye göre değerlendirilmede kullanılmak üzere sargılı ve sargısız beton modelleri Denklem(1.12)-(1.19)'da verilen denklemlerle ve Şekil 1.6 ile verilmiştir.



Şekil 1.6 Beton Sargılı ve Sargısız Malzeme Modelleri (TBDY 2018)

Sargılı beton basınç gerilmesi f_c , basınç birim şekildeğiştirilmesi ε_c 'nin fonksiyonu olarak Denklem(1.12)'de verilmiştir.

$$f_c = \frac{f_{cc} \times r}{r - 1 + x^r} \quad (1.12)$$

Bu bağıntıdaki sargılı beton basınç dayanımı f_{cc} ile sargısız beton dayanımı f_{co} arasındaki ilişki (1.13)'de verilmiştir

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \quad ; \quad \lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{co}}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}} - 1.254 \quad (1.13)$$

Buradaki f_e sargılama basıncı, dikdörtgen kesitte her iki doğrultu için (1.14)'te verilen değerlerin ortalaması olarak alınabilir.

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad ; \quad f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (1.14)$$

Buradaki ρ_x ve ρ_y ilgili doğrultudaki sargı donatılarının hacimsel oranını, k_e ise (1.15)'te tanımlanan sargılama etkinlik katsayısı oranını göstermektedir.

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_o h_o}\right)^{-1} \quad (1.15)$$

Burada a_i boyuna donatı eksenleri arasındaki mesafeyi, b_o ve h_o göbek betonunu çevreleyen etriyelerin eksenleri arasındaki boyutları, s boyuna doğrultuda etriye arasındaki mesafeyi, A_s ise boyuna donatı alanını göstermektedir. (1.12)'de verilen x ve r değişkenleri ile ilgili bağıntılar Denklem(1.16), (1.17) ve (1.18)'de verilmiştir. Denklem(1.18) DBYBHY 2007 yönetmeliğinden alınmıştır.

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad ; \quad \varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} [1 + 5(\lambda_c - 1)] \quad ; \quad \varepsilon_{co} \cong 0.002 \quad (1.16)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad ; \quad E_c \cong 5000\sqrt{f_{co}} [MPa] \quad ; \quad E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (1.17)$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4\rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (1.18)$$

1.3.1.2. Çelik Donatı Malzeme Modeli

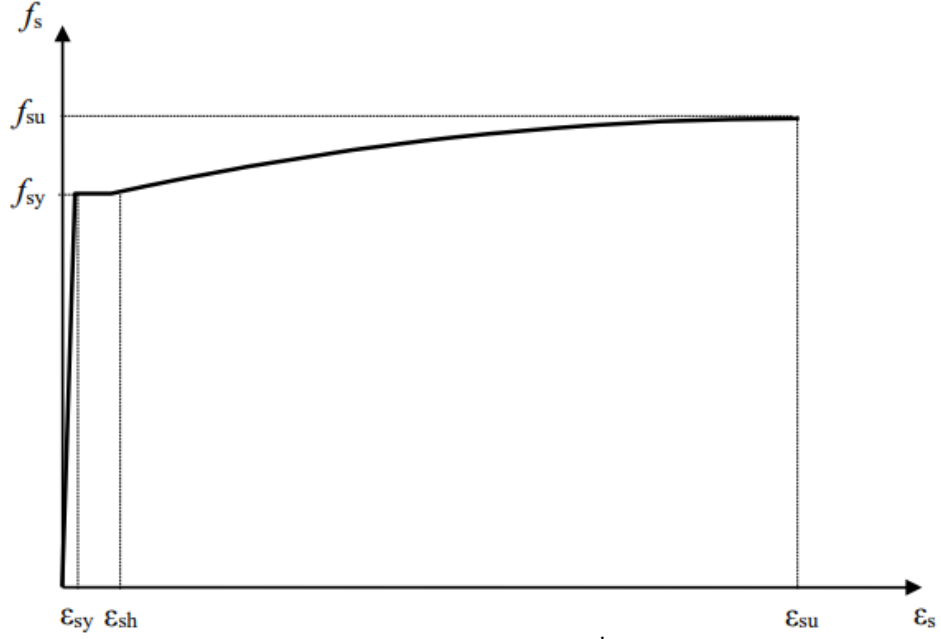
TBDY 2018 Bölüm 5A.2'e göre doğrusal olmayan yöntemlerle şekildeğiştirmeye göre değerlendirmede kullanılmak üzere Denklem(1.19) ile verilen bağıntılar tanımlanmıştır.

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

$$f_s = f_{sy} \quad \varepsilon_{sy} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh} \quad (1.19)$$

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

Donatı çeliğinin elastiklik modülü $E_s = 2 \times 10^5 \text{ Mpa}$ 'dır. Donatı çeliklerinin diğer bilgileri Çizelge 1.1 ile verilmiştir.



Şekil 1.7 Çelik Donatı Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi (TBDY 2018)

1.3.2. Plastik Mafsal Özelliklerinin Belirlenmesi

Yayıllı plastik mafsal modeli ve yığıllı plastik mafsal modeli olmak üzere iki doğrusal olmayan davranış modeli yaklaşımı vardır. Yayıllı plastik mafsal modeline göre elemanlar yeterli sayıda alana bölünür ve doğrusal olmayan davranış bu alanlar üzerinde herhangi bir bölgede yayıllı olarak ortaya çıkabilir. Yayıllı plastik davranış, gerçek duruma daha yakın bir yaklaşım tarzıdır. Yığıllı plastik mafsal modelinde ise doğrusal olmayan davranış elemanın uç noktalarına bir plastik mafsal boyu boyunca düzgün yayıllı olarak modellenmektedir. Yığıllı plastik mafsal modeli, kesitlerin moment dönme eğrilerine dayalı olarak oluşturulan bir modeldir. Yığıllı plastik mafsal modeli ile betonarme çerçeve sistemlerde kolon ve kirişlerde oluşabilecek doğrusal olmayan davranış gerçeğe yakın bir şekilde hesaplanabilmektedir. Bu sebeple çalışmamızda yığıllı plastik mafsal modeli kullanılmıştır.

1.3.2.1. Yığıllı Plastik Mafsal Modeli

Yığıllı plastik mafsal modeli TBDY 2018 Bölüm 5.3.1'e göre;

- Çerçeve sonlu elemanları olarak modellenen kolon, kiriş ve yönetmelikte belirtilen geometrik koşulu sağlayan betonarme perdelerde doğrusal olmayan davranış modeli olarak kullanılabilceği belirtilmiştir,

- İç kuvvetin plastik kapasitesine ulaştığı sonlu bölgeler boyunca, plastik şekildeğıştirmelerin düzgün yayılı olarak oluştuğu varsayılan plastik mafsal olarak adlandırılan bölge (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)'nin yarısı olarak alınacağı belirtilmiştir,
- Yığılı plastik şekildeğıştirmeyi temsil eden plastik mafsal teorik olarak plastik mafsal boyunun ortasına tanımlanmalıdır. Fakat yönetmeliğimiz plastik mafsalların giriş ve kolonların temiz açıklarının başladığı noktaya yani plastik mafsal boyunun başlangıç noktasına konulmasına izin verir,
- Betonarme plastik mafsal kesitlerinin etkin akma momentinin tanımlanması için gerekli koşullar aşağıda verilmiştir,
 - Yeni yapılacak binaların şekildeğıştirmeye göre değerlendirmede beton ve donatı çeliği için tanımlanan beklenen (ortalama) malzeme dayanımları kullanılacaktır. Betonun karakteristik dayanımı ve beklenen dayanımı f_{ck} ve f_{ce} yönetmeliğimizde $f_{ce} = 1.3f_{ck}$ olarak verilmiştir. Donatı çeliği karakteristik dayanımı ve beklenen dayanımı f_{yk} ve f_{ye} ise $f_{ye} = 1.2f_{yk}$ olarak verilmiştir.
 - Etkin akma momentinin hesabında betonun birim basınç şekildeğıştirmesi 0.0035, donatı çeliğinin birim şekildeğıştirmesi ise 0,01 olarak verilmiştir.
 - Etkin akma momentinin hesabında düşey yüklerden meydana gelen eksenel kuvvetlerin de dikkate alınacağı belirtilmiştir.
- Betonarme ve çelik kesitlerin iki doğrulu iç kuvvet – plastik şekildeğıştirme ilişkisinde pekleşme etkisinin terkedilebileceği belirtilmiştir. Çalışmamızda hem pekleşmeli durum hem de pekleşmesiz durum için hesap yapılmıştır,
- Zaman tanım alanında yapılacak deprem hesabında çevrimsel davranış modeli olarak betonarme taşıyıcı sistemler için önceki maksimuma

yönelimli model veya ondan türetilmiş modellerin kullanılabilceği belirtilmiştir,

şeklinde verilmiştir. Ayrıca bu çalışma kapsamında çevrimsel davranış modeli olarak takeda modeli kullanılmıştır.

1.3.3. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri

şekildeğiştirmeye göre değerlendirmede kullanılmak üzere TBDY 2018 Bölüm 5.5'te itme yöntemleri ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi verilmiştir. İtme yöntemleri tek modlu ve çok modlu itme yöntemleri olarak ayrılmaktadır. Tek modlu itme yöntemleri, bina yükseklik sınıfı $BYS \geq 5$ olan binalar için kullanılabilir. Çok modlu itme yöntemleri, bina yükseklik sınıfı $BYS \geq 2$ olan tüm binalar için kullanılabilceği belirtilmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ise tüm binaların deprem hesabında kullanılabilir. Ancak yönetmeliğe göre $BYS \geq 1$ olan yüksek binalar için kullanımları zorunlu tutulmuştur.

1.3.4. İtme Yöntemleri

TBDY 2018 Bölüm 5.6'a göre tek modlu itme yöntemleri ve çok modlu itme yöntemleri doğrusal olmayan deprem hesabında kullanılabilmektedir. Yönetmelikte tüm doğrusal olmayan yöntemlerde olduğu gibi hesabın başlangıç adımında deprem dışı yüklemeler altında doğrusal olmayan artımsal statik hesap yapılp bulunan iç kuvvet ve şekildeğiştirmeler, deprem hesabının başlangıç adımı olarak kabul edileceği belirtilmiştir. Yeni yapılacak binalar için başlangıç adımında düşey yükler altında doğrusal olmayan şekildeğiştirmelere izin verilmemektedir. İtme yöntemleri ile hesabın sonucunda sünek davranışa karşılık gelen plastik şekildeğiştirmeler ile gevrek davranışa karşılık gelen iç kuvvetler, belirlenen performans hedefi için verilen sınır değerlerle karşılaştırılarak hesap tamamlanır.

1.3.4.1. Tek Modlu İtme Yöntemleri

TBDY 2018 Bölüm 5.6'ya açıklanan doğrusal mod birleştirme yönteminin doğrusal olmayan tek modlu doğrusal olmayan artımsal karşılığı olarak verilmiştir. Tek modlu itme yöntemlerinin kullanılabilmesi için sağlanması gereken iki şart verilmiştir. Bu şartlar şu şekildedir.

- Herhangi bir katta ek dışmerkezlik dikkate alınmaksızın doğrusal elastik davranış esas alınarak yönetmeliğin ilgili kısmındaki hesaba göre burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.4$ şartını sağlamalıdır.
- Dikkate alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik hesaba göre birinci titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütesinin toplam bina kütesine oranı en az 0.70 olması şartı sağlanmalıdır.

Tek modlu itme yöntemlerinde, hesap edilen deprem doğrultusunda hâkim titreşim modu şekline orantılı olarak yerdeğiştirme talebine kadar monotonik olarak adım adım artırılan deprem yükleri altında, taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunların kümülatif değerleri hesaplanır. En son olarak deprem talebine karşılık gelen birikimli değerler şekildeğiştirmeye göre esas büyüklükler olarak elde edilmiş olur. Yönetmeliğin bu kısmında tek modlu itme yöntemleri, her katta rijit diyafram kabulünün yapıldığı ve serbestlik dereceleri kat kütle merkezinde birbirine dik iki doğrultuda öteleme bileşenleri ile düşey eksendeki dönme bileşeninden ibaret olan durum için verilmiştir. Kat içinde düzlem içi şekildeğiştirmelerin dikkate alındığı durumda yine aynı yöntem uyarlanarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

1.3.4.2. Sabit Tek Modlu İtme Yöntemi

Sabit tek modlu itme yöntemine göre dikkate alınan deprem doğrultusunda her itme adımında katlara gelen kuvvet artırımları, deprem dışı yükler altında hesap edilen başlangıç adımında hesap edilen hâkim titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde itme hesabı boyunca sabit şekilde tanımlanır. Bu hesap sonucunda tepe deplasman – taban kesme kuvveti diyagramı elde edilir. Daha sonra bu diyagramın eksenleri modal yerdeğiştirme ve sözde ivme değerlerine dönüştürülür. Hesabın son adımında deprem etkisi altında modal yerdeğiştirme talebi elde edilir ve buna bağlı olarak plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet değerlerinin hesabında esas alınır.

1.3.5. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi, yapı sisteminin hareket denklemini ifade eden diferansiyel denklemin zamanı adım adım artırarak

doğrudan integrasyonuna karşılık gelir. Bu işlem sırasında doğrusal olmayan davranış nedeniyle rijitlik matrisinin zaman ile değişimi dikkate alınır. (TBDY, 2018)

1.3.5.1. Deprem Kayıtlarının Seçimi

Yönetmelikte (TBDY, 2018) Bölüm 2.5.1’de bina taşıyıcı sistemlerinin zaman tanım alanında deprem hesabında kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi, tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşullarının dikkate alınacağı belirtilmiştir. Binanın bulunduğu bölgede tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem kayıtlarının olması durumunda öncelikli olarak bu kayıtların kullanılması gerektiği belirtilmiştir.

Yeterli sayı veya nitelikte deprem kaydı seçiminin yapılamadığı durumlarda, zaman tanım alanında benzeştirilmiş yer hareketi kayıtlarının kullanılabilmesi ve benzeştirme için kullanılacak model parametrelerinin, söz konusu bölgede meydana gelmiş depremlerde kaydedilmiş gerçek deprem kayıtlarıyla uyumlu olduğu gösterilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Bir veya iki boyutlu hesap için seçilecek deprem kayıtlarının ve üç boyutlu hesap için seçilecek deprem kaydı takımlarının sayısı en az on bir olacağı ve aynı depremden seçilecek kayıt ve kayıt takımı sayısı üçü geçmeyeceği belirtilmiştir.

1.3.5.2. Deprem Kayıtlarının Normalizasyonu

Kullanılan her bir deprem kaydı birbirinden çok farklı titreşim yer hareketine sahip olabilmektedir. Yüksek sayıda deprem kaydı kullanılarak yapılan analizlerde deprem kayıtları arasındaki aşırı saçılmaları elimine etmek amacıyla deprem kayıtları ölçeklendirilmeden önce normalize edilerek kayıtlar arasındaki aşırı saçılmaların azaltmak hedeflenir. Deprem kayıtlarının normalize etmek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında deprem kayıtları Normalizasyonu bina hâkim periyot değerlerine göre yapılmıştır. Bu yöntemle göre bina hâkim titreşim periyodunda yatay elastik tasarım spektrumu üzerinde bütün deprem kayıtları ivmeleri kesiştirilir. Bu sayede deprem kayıtları arasındaki uyumsuzluklar azaltılmış olmaktadır.

1.3.5.3. Deprem Kayıtlarının Basit Ölçeklendirilmesi

TBDY 2018 Bölüm 2.5.2’de zaman tanım alanında analizlerde kullanılacak deprem yer hareketleri, seçilen deprem kayıtlarından basit ölçeklendirme ile elde edilebileceği belirtilmiştir:

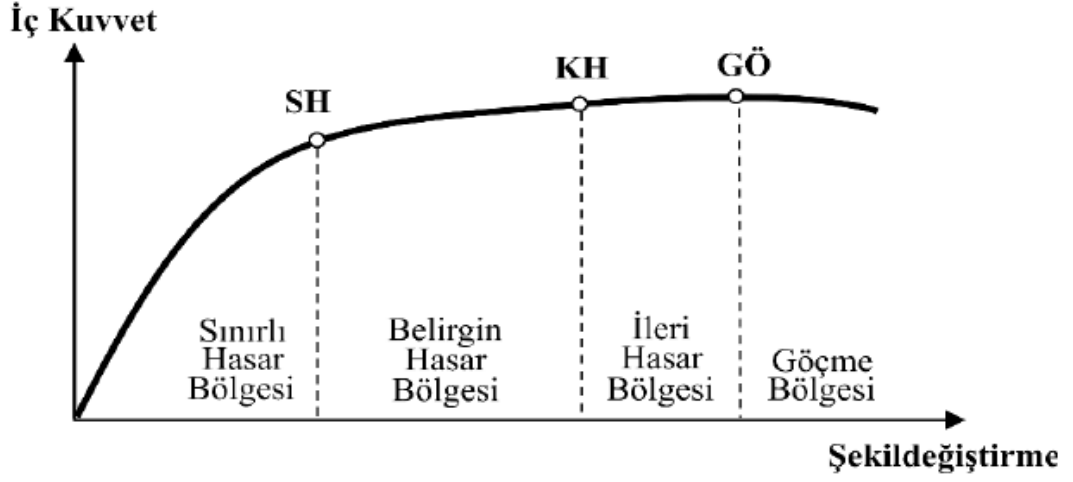
Bir veya iki boyutlu hesap için seçilen tüm kayıtlara ait spektrumların ortalamasının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin, TBDY 2018’de tanımlanan tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerinden daha küçük olmaması kuralına göre, deprem yer hareketlerinin genlikleri ölçeklendirileceği belirtilmiştir.

1.3.5.4. Deprem Kayıtlarının Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Dönüştürülmesi

TBDY 2018 Bölüm 2.5.3’te yapılacak zemin davranış analizlerinde veya zaman tanım alanında yapılacak diğer hesaplarda kullanılmak üzere deprem yer hareketleri, seçilen deprem kayıtlarının TBDY 2018’de tanımlanan tasarım spektrumuna spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülmesiyle de elde edilebilir denilmiştir.

1.3.6. Deprem Performansının Belirlenmesi

TBDY 2018 Bölüm 15.3.1 ve 15.3.2’de üç kesit hasar sınır durumu ve bu hasar sınırları arasında kalan dört kesit hasar bölgesi tanımlanmıştır. Kesit hasarı sınır durumları sınırlı elastik ötesi davranışa karşılık gelen Sınırlı Hasar Durumu (SH), kesit dayanımının güvenle taşıyabileceği elastik ötesi davranışa karşılık gelen Kontrollü Hasar Durumu (KH) ve kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışa karşılık gelen Göçmenin Önlenmesi Hasar Durumu (GÖ) olmak üzere üç hasar sınır durumu tanımlanmıştır. Hasar bölgeleri ise kritik kesitlerin hasarı SH’ a ulaşmayan kesitler Sınırlı Hasar Bölgesi, SH ve KH arasında kalan kesitler Belirgin Hasar Bölgesi, KH ve GÖ arasında kalan kesitler İleri Hasar Bölgesi ve GÖ’yü aşan kesitler Göçme Bölgesi olarak tanımlanmıştır. Yönetmelikte hasar sınırları ve bölgeleri Şekil 1.8’deki gibi gösterilmiştir.



Şekil 1.8 Hasar Sınırları ve Bölgeleri (TBDY 2018)

TBDY 2018 Bölüm 15.8'e göre mevcut binalarda sınırlı hasar performans düzeyinin karşılanması için yapılan betonarme binaların herhangi bir katında, her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kiriş elemanlarının en fazla %20'si belirgin hasar bölgesine geçebilir. Diğer tüm taşıyıcı sistem elemanları sınırlı hasar bölgesinde kalmalıdır.

Kontrollü hasar performans düzeyinin sağlanması içinse binanın herhangi bir katında kiriş elemanlarının en fazla %35'i ileri hasar bölgesine geçebilir. Düşey elemanların ise ileri hasar bölgesine geçen elemanların aynı katta düşey elemanlar tarafından karşılanan kesme kuvvetine katkısı %20'nin altında olmalıdır.

Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için ise betonarme binaların herhangi bir katında, kirişlerin en fazla %20'si göçme bölgesine geçebilir. Diğer tüm taşıyıcı elemanlar sınırlı hasar, belirgin hasar ve ileri hasar bölgelerinde olmalıdır. Bina eğer göçmenin önlenmesi performans düzeyini karşılamıyorsa göçme durumuna karşılık gelir.

İKİNCİ BÖLÜM

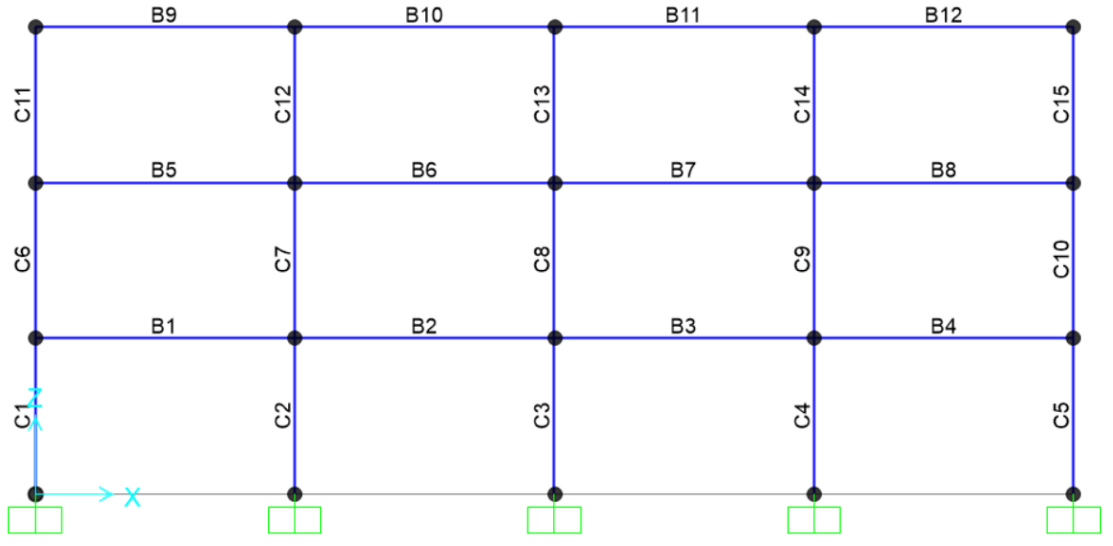
2. ÖRNEK BİNALARIN TASARIMI ve ANALİZ KABULLERİ

Doğrusal olmayan analizlerle yapılacak incelemelerde kullanılmak üzere üç farklı betonarme binayı temsilen üç farklı çerçeve tasarlanmıştır. Göz önüne alınan üç katlı, beş katlı ve sekiz katlı çerçeve sistemler iki boyutlu olarak tasarlanmış ve analizleri yapılmıştır. Örnek çerçevelerin tasarımı, dayanıma göre tasarım yaklaşımı ile yapılmıştır.

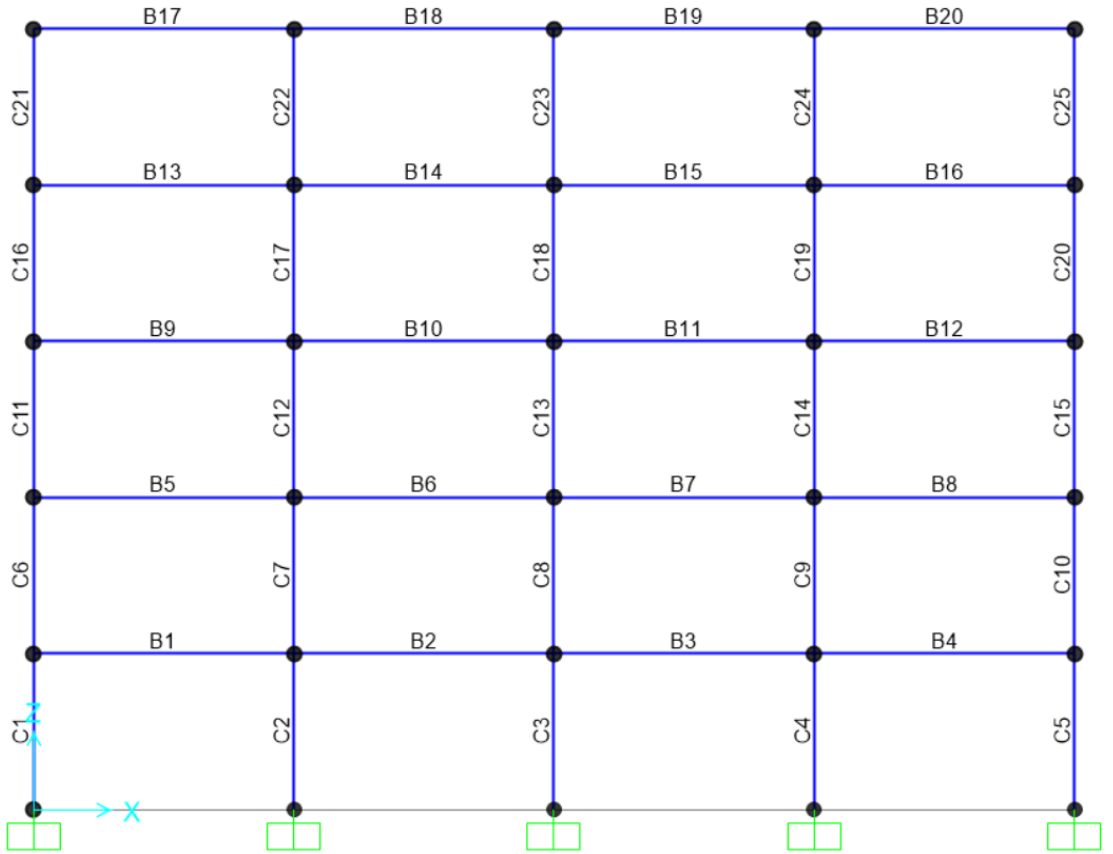
Bu bölümde; önce betonarme tasarımda kullanılan genel kabuller açıklanmış daha sonra yük analizi, taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlandırılması ve donatı seçimi, güçlü kolon zayıf kiriş kontrolleri, görelî kat ötelemesi kontrolleri yapılarak örnek çerçeveler tasarlanmıştır. Ardından tasarlanan örnek çerçevelerdeki kolon ve kirişlerin plastik mafsâl özellikleri belirlenmiştir. Son olarak pekleşme etkisinin incelenmesinde kullanılacak itme analizi ve zaman tanım alanında analiz yöntemlerinin hesabında göz önüne alınacak hususlar ve yapılan kabuller aktarılmıştır.

2.1. ÖRNEK BİNALARIN TASARIMI

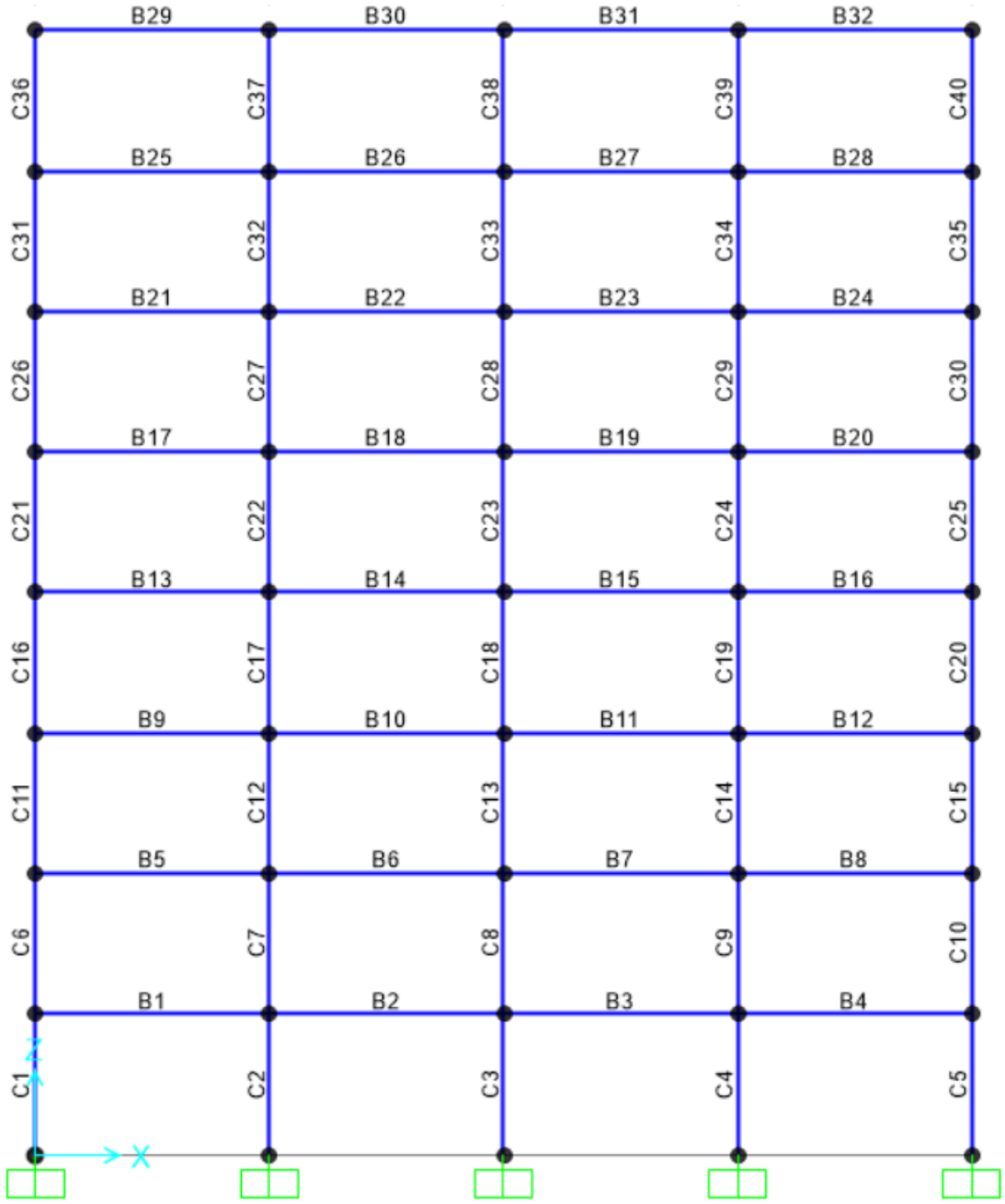
Pekleşme etkisinin davranışa etkisini incelemek amacıyla farklı kat sayılarına sahip üç farklı betonarme çerçeve tasarlanmıştır. Tasarlanan bütün çerçeve sistemler dört açıklıklı olarak seçilmiş ve açıklıklar 5 m, kat yükseklikleri ise 3 m olarak belirlenmiştir. Tasarımı yapılan üç katlı, beş katlı ve sekiz katlı betonarme çerçeve sistemler SAP2000 programında modellenmiş ve taşıyıcı sistem modelleri sırasıyla Şekil 2.1, Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Üç Katlı Çerçeve Modeli



Şekil 2.2 Beş Katlı Çerçeve Modeli



Şekil 2.3 Sekiz Katlı Çerçeve Modeli

2.1.1. Kesit Hesabı Genel Kabulleri

Taşıma gücü kesit hesabında dikkate alınan kabuller TS500 Bölüm 7.1'e uygun olarak;

- Betonun çekme dayanımı ihmal edilmiştir,

- Donatı çubuğu ile etrafını saran betonun arasında tam bir aderans olduğu kabul edilmiş ve donatı çubuğunun şekildeğiştirmesi, aynı düzeydeki beton liflerinin şekildeğiştirmesine eşit kabul edilmiştir,
- Düzlem kesitler, şekildeğiştirmeden sonra düzlem kalır,
- Taşıma gücüne ulaşıldığında, tarafsız eksene en uzak beton basınç lifi birim kısalması $\varepsilon_{cu} = 0.003$ olarak alınmıştır,
- Donatı çeliğinin elasto plastik davranış gösterdiği kabul edilmiştir.

$$\sigma_s = E_s \varepsilon_s \leq f_{yd}$$

Tüm donatı çelikleri için elastisite modülü 2×10^5 Mpa, kopma birim uzaması $\varepsilon_{su} = 0.1$ olarak alınmıştır,

- Taşıma gücüne erişildiğinde beton basınç gerilmesi için dikdörtgen basınç bloku kabulü kullanılmıştır. Beton basınç gerilmesi genişliği için $0.85f_{cd}$ alınmış, derinlik ise tarafsız eksen derinliğinin k_1 katı olarak alınmıştır. $a = k_1 c$ k_1 değeri TS 500 yönetmeliğinde C30 betonu için 0.82 olarak verilmiştir,

şeklinde alınmıştır. (TS500, 2000)

2.1.2. Yük Analizi

Döşeme elemanı bileşenlerini ve duvar elemanını oluşturan malzemeler ve kalınlıkları Çizelge 2.1’de verilmiştir. Döşeme sabit yayılı yükü (g) ise Çizelge 2.2’de verilen şekilde hesaplanmıştır. Hareketli yayılı yük (q) ise 3.5 kN/m^2 olarak alınmıştır.

Çizelge 2.1 Yük Bileşenleri

Eleman	Birim Hacim Ağırlığı	Kalınlık
Döşeme Betonu	25 kN/m^3	0.12 m
Tesviye Betonu	22 kN/m^3	0.05 m
Kaplama	25 kN/m^3	0.02 m
Tavan ve Duvar Sıvası	20 kN/m^3	0.02 m
Gazbeton (Duvar)	7 kN/m^3	0.135 m

Çizelge 2.2 Yük Analizi

Döşeme Betonu	$25 \times 0.12 = 3 \text{ kN/m}^2$
Tesviye Betonu	$22 \times 0.05 = 1.1 \text{ kN/m}^2$
Kaplama	$25 \times 0.02 = 0.5 \text{ kN/m}^2$
Tavan Sıvası	$20 \times 0.02 = 0.4 \text{ kN/m}^2$
g (Sabit Yayılı Yük)	$3 + 1.1 + 0.5 + 0.4 = 5 \text{ kN/m}^2$
q (Hareketli Yayılı yük)	3.5 kN/m^2

Duvar elemanlarından gelen yükler kiriş üzerine çizgisel yayılı yük olarak tanımlanmıştır. Duvar çizgisel yükü sıva yükü ile birlikte 4.76 kN/m olarak hesaplanmıştır.

Çerçeve sistemler SAP2000 programı üzerinde modellenirken kiriş ve kolon taşıyıcı elemanlarının kendi ağırlıkları ve kütlesi program tarafından hesaba katılmıştır. Döşeme ve duvar elemanlarının kütlesi ise her bir düğüm noktasına eşit olacak şekilde dağıtılmıştır. Yukarıda verilen yüklere göre yapılan analiz sonucunda döşeme ve duvar elemanlarının her bir düğüm noktasına tanımlanan kütle ($G+0.3Q$) 17.2 ton olarak hesap edilmiştir.

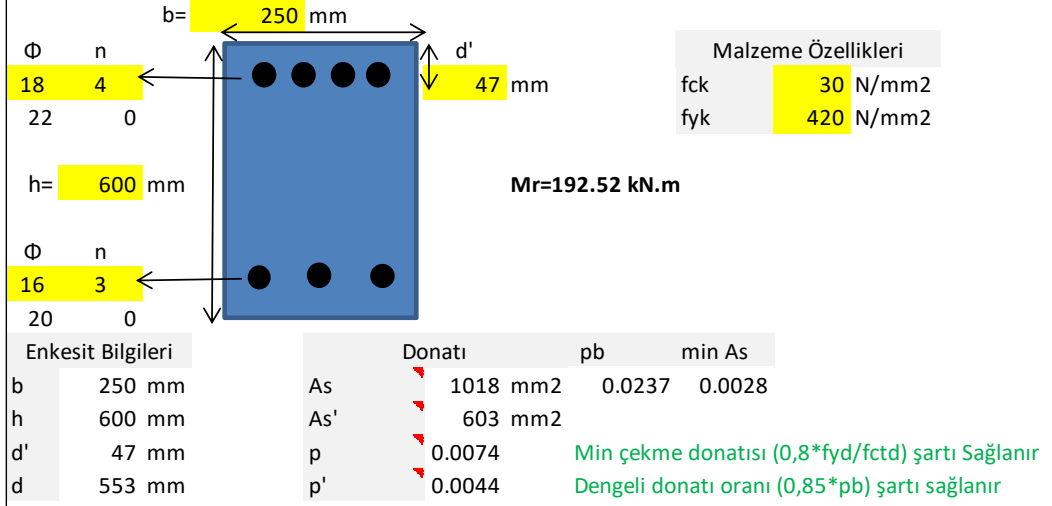
Hesaplarda beş farklı yük kombinasyonu; i) $1.4G + 1.6Q$, ii) $G + Q \pm E_x$, iii) $0.9G \pm E_x$ olarak kullanılmıştır.

2.1.3. Kiriş Moment Kapasitesi ve Kesme Kuvveti Hesabı

Kirişlerin boyutlandırılması ve donatı seçilmesi TS 500 ve TBDY 2018 yönetmeliklerine uygun olarak hazırlanan Excel sayfası ile yapılmıştır. Üç katlı örnek çerçevenin birinci kat B1 kirişi için Excel sayfası ile yapılan hesaplar Şekil 2.4'te gösterilmiştir.

Hazırlanan Excel sayfasına malzeme özellikleri, geometrik boyutlar, donatı çap ve adetleri tanımlandıktan sonra kiriş moment kapasitesi ve uygunluk kontrolleri Şekil 2.4'te görüldüğü şekilde yapılmaktadır.

KİRİŞ MOMET TAŞIMA KAPASİTESİ HESABI (MESNET)



Basınç Donatısı Akar kabulü

$$a = f_{yd} * (A_s - A_s') / 0,85 * f_{cd} * b = 35.6 \text{ mm} \quad 35.6 \quad a = \text{akmaz} \quad x = \text{akmaz}$$

$$a = f_{yd} * (A_s + A_s') / 0,85 * f_{cd} * b = 139.3 \text{ mm} \quad 139$$

$$\epsilon_s' = \epsilon_{cu} * (x - d') / x = \text{akma} \quad \#DEĞER! \quad \epsilon_{yd} = 0.00183 \quad \text{akmaz}$$

$$\epsilon_s' = \epsilon_{cu} * (d' - x) / x = \text{akmi} \quad \#DEĞER!$$

Basınç Donatısının akmadığı durum

GEÇERLİ

$$\Delta = b^2 * a^2 - 4 * a * c = 237213877726 \quad \Delta = 2.37E+11$$

sonuç1 (x)	71 mm	a=	58.5 mm	σ_s'	204.4 Mpa
sonuç2	-68 mm				

Sonuç

Tarafsız eksen $x = 71 \text{ mm} \quad a = 58 \text{ mm}$

Kesit Moment Kapasitesi

Beton basınç bölgesinden oluşan

$$F_c (N) = 0,85 * f_{cd} * b * a = 248440 \quad M_c = F_c * (h/2 - a/2) = 7E+07 \text{ N.mm} = 67.3 \text{ kN.m}$$

Çekme donatısından oluşan

$$F_s (N) = f_{yd} * A_s = 371746 \quad M_s = F_s * (h/2 - d') = 9E+07 \text{ N.mm} = 94.1 \text{ kN.m}$$

Basınç donatısından oluşan

$$F_s' (N) = f_{yd} * A_s' ; \sigma_s' * A_s' = 123306 \quad M_s' = F_s' * (h/2 - d') = 3E+07 \text{ N.mm} = 31.2 \text{ kN.m}$$

Toplam

$$M_r = M_c + M_s + M_s' = 1.9E+08 \text{ N.mm}$$

Mr=193 kN.m

Şekil 2.4 Kiriş Eğilme Tasarımı

Kirişlerde enine donatı hesabı TBDY 2018 Bölüm 7.4.1 ve TS 500 bölüm 8.1'e göre yapılmıştır. Kiriş etriye hesapları TS500'de verilen esaslara uyularak hazırlanan Excel sayfası yardımıyla çözülmüştür. Üç katlı örnek çerçevenin birinci kat B1 kirişi için Excel sayfası ile yapılan enine donatı hesapları Şekil 2.5'de gösterilmiştir.

KIRIŞ MİN ETRİYE HESABI			
Malzeme özellikleri			
fywk:Donatı karakteristik akma gerilmesi Mpa	420	γms:Donatı azaltma katsayısı	1.15
fck: Beton karakteristik basınç gerilmesi Mpa	30	γmc:Beton azaltma katsayısı	1.5
fywd:Etriye Donatısı tasarım dayanımı Mpa	365.2	fcd:Beton tasarım dayanımı Mpa	20
fctk:Beton karakteristik çekme gerilmesi Mpa	1.917	fctd:Beton çekme tasarım dayanımı Mpa	1.278
Kesit özellikleri			
bw:Kiriş genişliği mm	250	d':Kiriş pas payı mm	47
h:Kiriş yüksekliği mm	600	d:Faydalı yükseklik mm	553
Φ:Etriye donatı çapı mm	8	n:etriye kolsayısı	2
Asw:Etriye donatı alanı mm ²	100.5	Nd:Kirişte oluşan normal kuvvet kN	0
Ve=min(Ve1;Ve2)	175.1	γ:Vcr hesabında kullanılan katsayı	0
Sarıma bölgesi hesap			
Vc:Kesme çatlama dayanımı (0,8xVcr) kN	91.88	Vc etkisini gözönüne alma	1
Φ:En küçük kiriş boyuna daonatı çapı mm	16	Max s=150mm ; d/4=138.25mm ; 8*fi=128mm	
s: Hesaplanan etriye aralığı mm	116	s seç:Min koşullara uyacak şekilde seçilir	100
		Vr (sargı)	203.0 kn
Asw/s >=0,3*fctd*bw/fywd	1.01	0.26 Uygun	TS 500 8.5.1.1
Kesme sınırı0,22*fcd*bw*d =	608 kN	Uygun	TS 500 8.5.1.2
Ve<=0,85*bw*d*fck^0,5=	643.6 kN	Uygun	TBDY 2018 7.4.5.2

Şekil 2.5 Kiriş Kesme Hesabı

Aynı zamanda kiriş donatı düzeni ve boyut kontrolleri TS500 bölüm 7.3, bölüm 8.1 ve TBDY 2018 bölüm 7.4'te verilen kriterlere göre hazırlanan Excel sayfası ile kontrol edilmiştir. Üç katlı örnek çerçevenin birinci kat B1 kirişi için Excel sayfası ile yapılan kiriş donatı düzeni ve boyut kontrolleri Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

Kiriş Yönetmelik Kontrolleri

Enkesit Koşulları

- 1-) Kiriş genişliği uygun ($b \geq 250$; $b \leq h+bc$) (TBDY 2018 7.4.1.1 a)
- 2-) Kiriş yüksekliği yeterli ($h \geq 3t$; 300) (TBDY 2018 7.4.1.1 b)
- 3-) Düşey boyuna donatıya ihtiyaç yok. ($h \leq L/4$ ise ihtiyaç yok) (TBDY 2018 7.4.1.1 c)

Eğilme Elemanı

- 1-) Eğilme elemanı olarak çalışır. ($N \leq 0,1 * A_c * f_{ck}$) (TBDY 2018 7.4.1.2)

Boyuna Donatı Koşulları

- 1-) Min çekme donatısını sağlar ($p \geq 0,8 * f_{ctd} / f_{yd}$) (TBDY 2018 7.4.2.1)
- 2-) Max donatı ve dengeli donatı şartı sağlanır ($p - p' \leq 0,85 * p_b$; $p \leq 0,02$) (TS500 7.3)
- 3-) Açıklık donatısının ($A_s/3$) 172mm'si mesnetlere uzatılır yeterli (TS500 7.3)
- 4-) DTS1,1a,2,2a için kiriş mesnetinde min alt donatı ($0,5 * A_s$) 509mm² yeterli (TBDY 2018 7.4.2.3)
- 5-) Diğer sınıflar için ($0,3 * A_s$) 305 mm² yeterli (TBDY 2018 7.4.2.3)
- 6-) Mesnet üst donatısının ($A_s/4$) 254 mm²'si sürekli devam ettirilecek yeterli (TBDY 2018 7.4.3.1)

Enine Donatı Koşulları

- 1-) *Bindirmeli bölgelerde etriye aralıkları ($s \leq 100; h/4$) 100mm'yi geçmeyecek (TBDY 2018 7.4.3.2)
- 2-) *Kolon yüzünden itibaren ($2 * h$) 1200mm lik bölge sarılma bölgesidir (TBDY 2018 7.4.4)
- 3-) *Sarılma bölgesinde etriye aralığı max ($s \leq d/4; 8 * f_i; 150$) 128mm alınacak (TBDY 2018 7.4.5.1)

Kesme Kuvveti Kontrolü

- 1-) Gevrek kırılmanın önlenmesi için $A_{sw}/s \geq 0,3 * f_{ctd} * b_w / f_{ywd}$ sağlanmalıdır (Uygun) TS500 8.1.5.1
- 2-) Betonun basınç kırılması kontrolü $= 0,22 * f_{cd} * b_w * d = 608$ kN Uygun (TS 500 8.1.5.2)
- 3-) Eğik basınç kuv. için kontrol $= 0,85 * b_w * d * f_{ck}^{0,5} = 644$ kN Uygun (TBDY 2018 7.4.5.2)

Şekil 2.6 Kiriş Kontrolleri

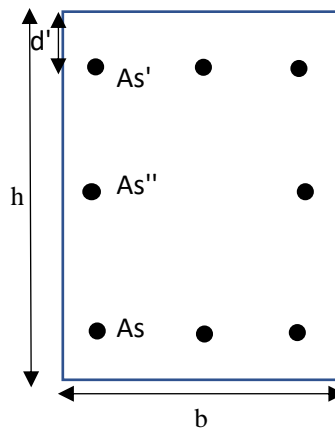
2.1.4. Kolon Karşılıklı Etki Diyagramı ve Kolon Boyutlandırması

Kolonların boyutlandırılması ve donatı seçilmesi TS 500 ve TBDY 2018 yönetmeliklerine uygun olarak hazırlanan Excel sayfası ile yapılmıştır. Hazırlanan Excel sayfasında girdiler; malzeme özellikleri, kolon boyutları, donatı sayıları ve donatı çapları olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak kolon karşılıklı etki diyagramı oluşturulmuş ve aynı diyagram üzerinde yük kombinasyonları da gösterilerek kolon kapasitesinin yeterli olup olmadığı tespit edilmiştir.

Karşılıklı etki diyagramı üzerinde bulunan aksenal çekme, basit eğilme, dengeli şekildeğştirme, aksenal basınç noktaları ve çekme kırılması bölgesinde on nokta, basınç kırılması bölgesinde on nokta hesaplanarak karşılık etki diyagramı oluşturulmuştur. Üç katlı örnek çerçevenin birinci kat C1 kolonu için Excel sayfasına girilen bilgiler ve bütün çerçeve sistemlerin tasarımında kullanılan donatı düzenleri Çizelge 2.3 ve Şekil 2.7’de gösterilmiştir. Excel sayfası ile yapılan hesap sonucunda Çizelge 2.4 ve Şekil 2.9’da C1 kolonu kapasite eğrisi oluşturulmuştur. Beş farklı yük kombinasyonu kullanılarak yapılan statik analiz sonucunda kolonda meydana gelen kesit tesirleri, kolon kapasite eğrisi üzerinde gösterilerek kapasite eğrisi içerisinde kalıp kalmadığı kontrol edilmiştir.

Çizelge 2.3 Kolon Kapasite Hesabı Girdiler

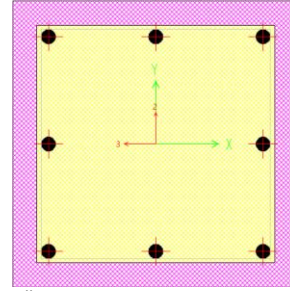
GİRİLMESİ GEREKEN BİLGİLER		
d'	6.5	cm
A_s	11.40	cm ²
$A_{s'}$	11.40	cm ²
$A_{s''}$	7.60	cm ²
b	40	cm
h	40	cm
f_{ck}	30	N/mm ²
f_{yk}	420	N/mm ²
γ_{ms}	1.15	
γ_{mc}	1.5	
E	20000	kN/cm ²
$N_{dm} G+Q+E$	893.161	kN



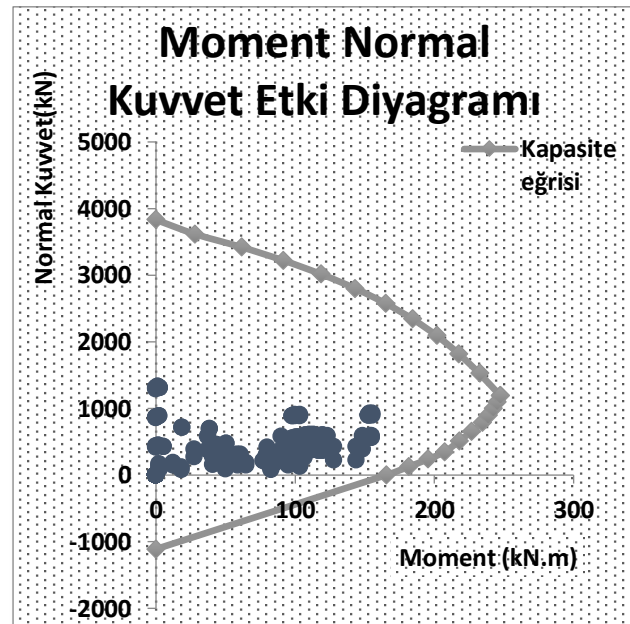
Şekil 2.7 Kolon Kesiti Donatı Düzeni

Çizelge 2.4 C1 Kolonu Kapasite Eğrisi Çizelgesi

GÜÇ TÜKENMESİ	M kN.m	N kN	x cm
EKSENEL ÇEKME	0	-1111	
BASİT EĞİLME	165	0	8.9
ÇEKME KIRILMASI	182	125	10.1
	195	238	11.3
	207	346	12.5
	218	508	13.7
	227	655	14.9
	234	789	16.1
	239	896	17.3
	242	997	18.5
	245	1095	19.7
	247	1189	20.9
DENGELİ ŞEKİL DEĞİŞTİRME	247	1189	20.9
BASINÇ KIRILMASI	232	1524	23.7
	217	1822	26.5
	202	2092	29.3
	184	2343	32.1
	165	2578	34.9
	143	2801	37.6
	119	3015	40.4
	91	3222	43.2
	61	3422	46.0
	28	3617	48.8
EKSENEL BASINÇ	0	3831	



Şekil 2.8 Üç Katlı Çerçeve Sistem Kolon Kesiti



Şekil 2.9 C1 Kolonu Kapasite Eğrisi

Kolon etriye hesapları kirişe benzer şekilde TS500'de verilen esaslara uygun olarak hazırlanan Excel sayfası yardımıyla hesaplanmıştır. Kolon etriye hesapları Şekil 2.10'da gösterilmiştir.

KOLON MİN ETRİYE HESABI			
Malzeme özellikleri			
fywk:Donatı karakteristik akma gerilmesi Mpa	420	γms:Donatı azaltma katsayısı	1.15
fck: Beton karakteristik basınç gerilmesi Mpa	30	γmc:Beton azaltma katsayısı	1.5
fywd:Etriye Donatısı tasarım dayanımı Mpa	365.22	fcd:Beton tasarım dayanımı Mpa	20
fctk:Beton karakteristik çekme gerilmesi Mpa	1.917	fctd:Beton çekme tasarım dayanımı Mpa	1.28
Kesit özellikleri			
bw:Kolon genişliği mm	400	d':Kolon pas payı mm	40
h:Kolon yüksekliği mm	400	d:Faydalı yükseklik mm	360
Φ:Etriye donatı çapı mm	12	n:etriye kolsayısı	3
Asw:Etriye donatı alanı mm ²	339.29	Nd:Normal kuvvet kN	-1323
Ve=min(Ve1;Ve2) kN	280.38	γ:Vcr hesabında kullanılan katsayı	0.07
Sarıma bölgesi hesap			
Vc:Kesme çatlama dayanımı (0,8xVcr) kN	151.09	Vc etkisini gözönüne alma	1
Φ:Boyuna daonatı çapı mm	22	Max s=150mm ; min(b;h)/3=133mm ; 6*fi=132mm	
s: Hesaplanan etriye aralığı mm	159	s seç:Min koşullara uyacak şekilde seçilir	100
		Vr (sargı)	446.1 kN
Asw/s >=0,3*fctd*bw/fywd	3.39	0.42 Uygun	TS 500 8.5.1.1
Kesme sınırı0,22*fcd*bw*d =	634 kN	Uygun	TS 500 8.5.1.2
Ve<=0,85*bw*d*fck^0,5=	670.41 kN	Uygun	TBDY 2018 7.4.5.2

Şekil 2.10 Kolon Kesme Hesabı

2.1.5. Deprem Yükleri

Tasarımı ve analizleri yapılan tüm binaların; Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı $S_s = 1.2$ olarak seçilmiş, 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı ise $S_1 = 0.5$ olarak seçilmiştir. Zemin sınıfı ise ZC olarak kabul edilmiştir. F_s değeri, zemin sınıfı ve S_s değerine bağlı olarak TBDY 2018 bölüm 2.3'te verilen Tablo 2.1'den $F_s = 1.2$ olarak alınmıştır. Benzer şekilde F_1 değeri, zemin sınıfı ve S_1 değerine bağlı olarak Tablo 2.2'den $F_s = 1.5$ olarak alınmıştır.

Deprem yüklerinin hesabı TBDY2018 bölüm 2.3.4'te verilen standart deprem yer hareketi spektrumları kullanılarak yapılmıştır. Deprem hareketinin düşey etkisi bu çalışma kapsamında ihmal edilmiş, yatay elastik tasarım spektrumu ise Denklem(2.2), (2.3), (2.4), (2.5) ve (2.6) ile verilen şekilde tanımlanmıştır. Kullanılan yatay elastik tasarım spektrumu Şekil 2.11'de gösterilmiştir.

Tasarım spektrumu köşe periyotları T_A ve T_B Denklem(2.1)'deki gibi hesaplanmıştır.

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.2 \frac{0.75}{1.44} = 0.10 \text{ s} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0.75}{1.44} = 0.52 \text{ s} \quad (2.1)$$

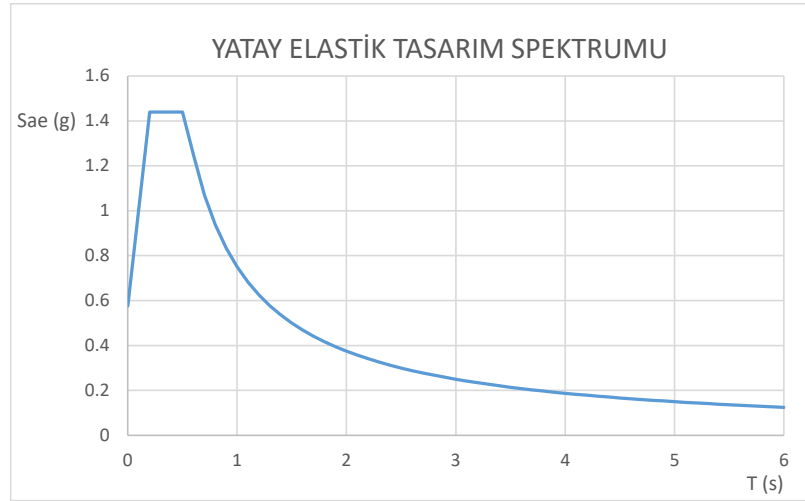
$$S_{DS} = S_S F_S = 1.2 \times 1.2 = 1.44 \text{ g} \quad S_{D1} = S_1 F_1 = 0.5 \times 1.5 = 0.75 \text{ g} \quad (2.2)$$

$$S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (2.3)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (2.4)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad (2.5)$$

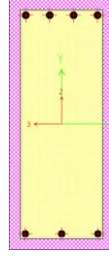
$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \quad (2.6)$$



Şekil 2.11 Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

2.1.6. 3 Katlı Çerçeve

Üç katlı çerçeve sistemin kiriş ve kolon elemanlarının boyutlandırılması ve donatı seçimleri Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.6 ile verilmiştir. Üç katlı çerçeve sistem için tek tip kolon ve tek tip kiriş kullanılmıştır. Kiriş mesnetlerinde en elverişsiz yüklemde 189.3 kNm moment oluşmaktadır. Bu momentin karşılanabilmesi için uygun donatılar seçilmiştir. Seçilen boyuna donatılar Şekil 2.12'de kiriş kesiti üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.12 Üç Katlı Çerçeve Sistem Kiriş Kesiti

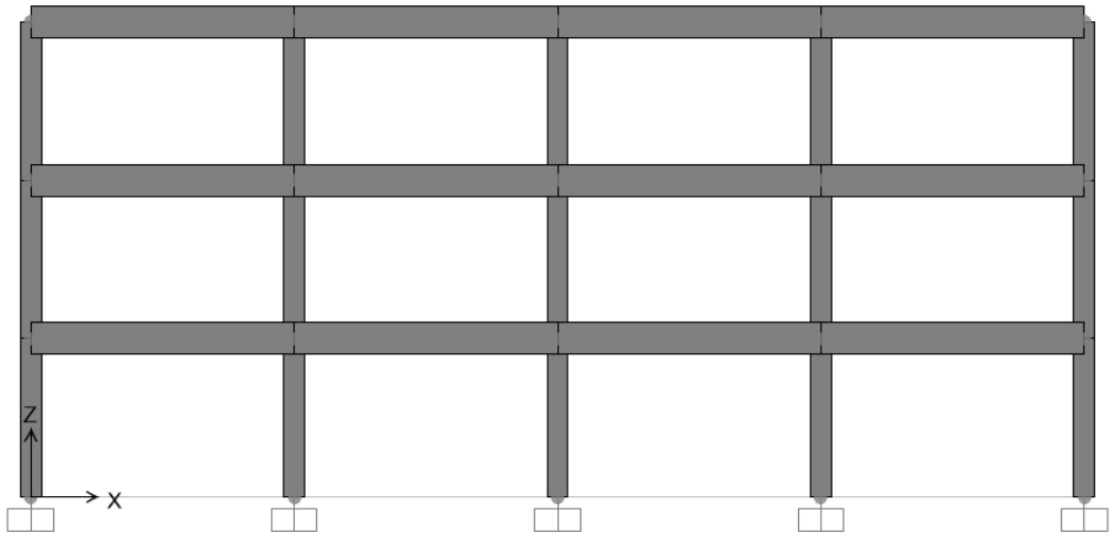
Çizelge 2.5 Üç Katlı Çerçeve B1-B12 Kiriş Mesnet Donatı Düzeni

Kiriş Eleman	Mesnet Alt Donatı	Mesnet Üst Donatı	İki kollu Etriye	Boyut (cm)	Moment Kapasitesi
Tip1; B1-B12	3 ϕ 16	4 ϕ 18	ϕ 8/100mm	25x60	192.5 kNm

Kolon elemanları boyutlarının seçilmesi TBDY 2018 yönetmeliğinde bölüm 7.3.1’de verilen kolonun brüt enkesit alanı A_c , düşey yükler G ve Q yükleri yanında deprem yüklerinin de E birleşiminden elde edilen G+Q+E yükleri altında hesaplanan en büyük eksenel basınç kuvveti N_{dm} olmak üzere, $A_c \geq N_{dm}/(0.40f_{ck})$ şartı sağlanarak yapılmıştır.

Çizelge 2.6 Üç Katlı Çerçeve C1-C15 Kolon Donatı Düzeni

Kolon Eleman	Seçilen Donatı	Üç kollu Etriye	Boyut (cm)
Tip1; C1-C15	8 ϕ 22	ϕ 12/90mm	40x40



Şekil 2.13 Üç Katlı Çerçeve Sistem Kolon Yerleşimleri

Güçlü kolon zayıf kiriş kuralının sağlanabilmesi için TBDY 2018 bölüm 7.3.5'te verildiği şekilde her bir düğüm noktasına birleşen kolonların toplam taşıma gücü momenti, aynı düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon yüzündeki kesitlerinin taşıma gücü momentleri toplamından en az %20 daha fazla olacak şekilde hesaplanmıştır. Bu kural TBDY 2018'de Denklem 7.3 ile verilmiştir

Her iki deprem doğrultusu için ve aynı doğrultuda iki yöndeki deprem etkileri ayrı ayrı göz önüne alınmış ve en elverişsiz durumla hesap yapılmıştır. Kolon taşıma gücü momentlerinin hesabında yük kombinasyonlarında depremin yönü ile uyumlu şekilde bu momentleri en küçük yapan N_d aksenal yükleri göz önüne alınmıştır. Şekil 2.14'de Her bir düğüm noktasında yapılan güçlü kolon zayıf kiriş kontrolü gösterilmiştir.

GÜÇLÜ KOLON - ZAYIF KİRİŞ KONTROLÜ									
ALT C	Mr alt kN.m	ÜST C	Mr üst kN.m	Kiriş Tipi	Mri sol kN.m	Mrj sağ kN.m	Mra+Mrü kN.m	1.2(Mri+Mrj) kN.m	Kontrol
C1	191.5	C6	185.4	B1-B12	192.5	0	376.8	231.0	Uygun
C2	219.9	C7	208.9	B1-B12	192.5	116.4	428.9	370.6	Uygun
C3	220.2	C8	209.0	B1-B12	192.5	116.4	429.3	370.6	Uygun
C4	219.9	C9	208.9	B1-B12	192.5	116.4	428.9	370.6	Uygun
C5	191.5	C10	185.4	B1-B12	192.5	0	376.8	231.0	Uygun
C6	184.1	C11	176.5	B1-B12	192.5	0	360.6	231.0	Uygun
C7	208.2	C12	189.2	B1-B12	192.5	116.4	397.4	370.6	Uygun
C8	208.3	C13	189.0	B1-B12	192.5	116.4	397.3	370.6	Uygun
C9	208.2	C14	189.2	B1-B12	192.5	116.4	397.4	370.6	Uygun
C10	184.1	C15	176.5	B1-B12	192.5	0	360.6	231.0	Uygun

Şekil 2.14 Üç Katlı Çerçeve Güçlü Kolon Zayıf Kiriş Kontrolü

Çerçeve model için tanımlanan deprem yükü altında, $R=8$ deprem azaltma katsayısı ile artırılmış, üç katlı çerçeve model için katlar arasında meydana gelen en büyük görel kat ötelemesi 0.065m olarak hesaplanmıştır. Görel kat ötelemesi için TBDY 2018 Bölüm 4.9.1'de verilen koşul sağlanmalıdır. Yönetmelikte 4.34a denklem numarası ile verilen eşitlik Denklem(2.7) ile gösterilmiştir. Burada verilen $\lambda = 0.35$, $\kappa = 1$ ve $h_i = 3 m$ olarak alınmıştır.

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.008\kappa ; 0.35 \frac{0.065}{3} = 0.0076 \leq 0.008 \quad (2.7)$$

2.1.7. 5 Katlı Çerçeve

Beş katlı çerçeve sistemin kiriş ve kolon elemanlarının boyutlandırılması ve donatı seçimleri Çizelge 2.7 ve Çizelge 2.8 ile verilmiştir. Beş katlı çerçeve sistem için üç tip kolon ve iki tip kiriş kullanılmıştır. İlk üç katta kullanılan kiriş tipi için mesnetten en elverişsiz yüklemde 201.5 kNm moment oluşmaktadır. Dördüncü ve beşinci katlarda kullanılan kiriş tipi için en elverişsiz yüklemde mesnetten 149.5 kNm moment oluşmaktadır. Bu momentlerin karşılanabilmesi için uygun donatılar seçilmiştir. Kirişler için seçilen boyuna donatılar Şekil 2.15'te kiriş kesitleri üzerinde gösterilmiştir.

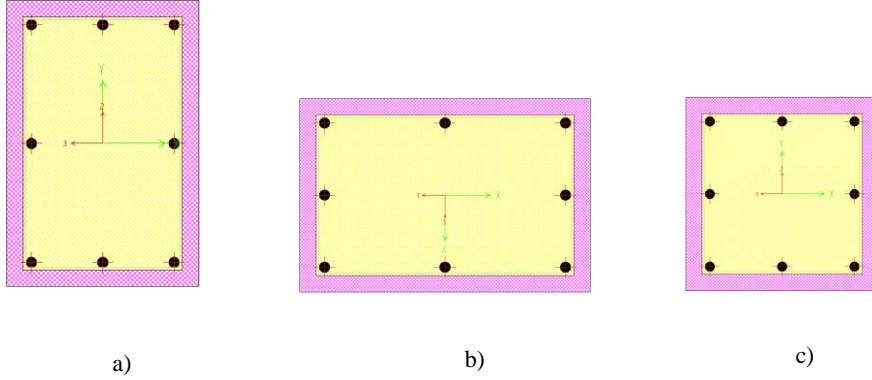


Şekil 2.15 Beş Katlı Çerçeve Sistem Kiriş Kesitleri

Çizelge 2.7 Beş Katlı Çerçeve B1-B20 Kiriş Mesnet Donatı Düzeni

Kiriş Eleman	Mesnet Alt Donatı	Mesnet Üst Donatı	İki kollu Etriye	Boyut (cm)	Moment Kapasitesi
Tip1; B1-B12	3φ18	3φ22	φ8/100mm	25x60	213.6 kNm
Tip2; B13-B20	2φ16	4φ16	φ8/100mm	25x60	153.6 kNm

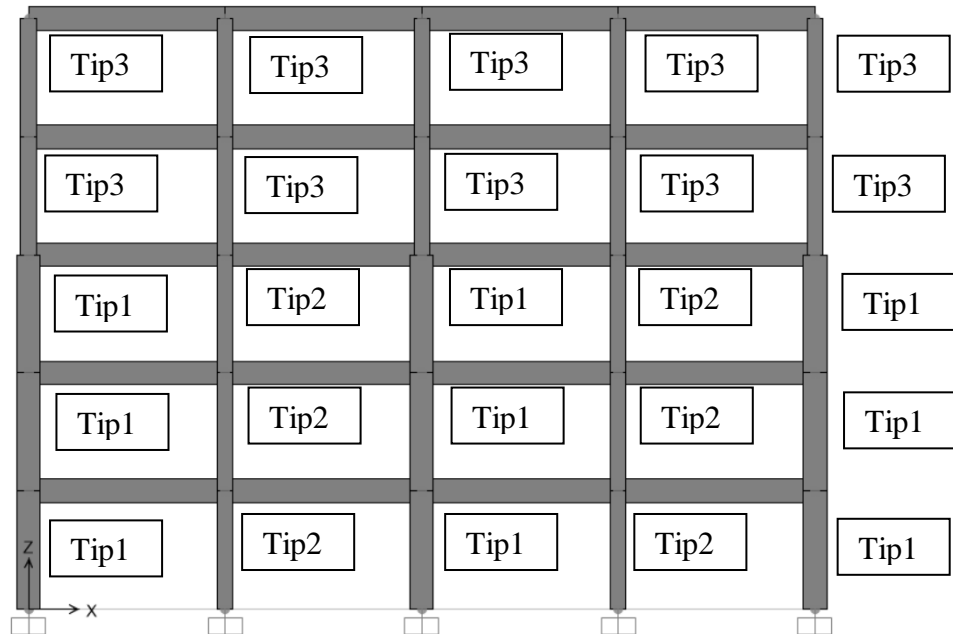
Kolon elemanları için seçilen boyutlar ve donatılar Çizelge 2.8'de verilmiştir. Beş katlı çerçeve sistem için üç tip kolon belirlenmiştir. İlk üç katta kenar kolonlar ve en orta kolon bir tip, ilk üç kattaki kenar kolonlar ve en orta kolon arasında kalan kolonlar bir tip ve dördüncü ve beşinci katta bulunan kolonlar bir tip olarak belirlenmiştir. Üç tip kolon kesiti Şekil 2.16'da gösterilmiştir.



Şekil 2.16 Beş Katlı Çerçeve Sitem Kolon Kesitleri

Çizelge 2.8 Beş Katlı Çerçeve C1-C25 Kolon Donatı Düzeni

Kolon Eleman	Seçilen Donatı	Üç kollu Etriye	Boyut bxh (cm)
Tip1; C1, C3, C5 C6, C8, C10 C11, C13, C15	8 ϕ 22	ϕ 12/70mm	40x60
Tip2; C2, C4 C7, C9 C12, C14	8 ϕ 22	ϕ 12/70mm	60x40
Tip3; C16-C25	8 ϕ 20	ϕ 12/100mm	40x40



Şekil 2.17 Beş Katlı Çerçeve Sistem Kolon Yerleşimleri

Beş katlı çerçeve sistem için her bir düğüm noktası için güçlü kolon zayıf giriş kontrolleri Şekil 2.18’de gösterilmiştir.

GÜÇLÜ KOLON - ZAYIF KİRİŞ KONTROLÜ									
ALT C	Mr alt kN.m	ÜST C	Mr üst kN.m	Kiriş Tipi	Mri sol kN.m	Mrj sağ kN.m	Mra+Mrü kN.m	1.2(Mri+Mrj) kN.m	Kontrol
C1	357.5	C6	345.5	B1-B12	213.62	0	703.1	256.344	Uygun
C2	275.2	C7	263.2	B1-B12	213.62	116.34	538.4	395.952	Uygun
C3	444.6	C8	429.4	B1-B12	213.62	116.34	874.0	395.952	Uygun
C4	275.2	C9	263.2	B1-B12	213.62	116.34	538.4	395.952	Uygun
C5	357.5	C10	345.5	B1-B12	213.62	0	703.1	256.344	Uygun
C6	342.1	C11	331.1	B1-B12	213.62	0	673.2	256.344	Uygun
C7	262.1	C12	244.8	B1-B12	213.62	116.34	506.9	395.952	Uygun
C8	426.9	C13	397.2	B1-B12	213.62	116.34	824.1	395.952	Uygun
C9	262.1	C14	244.8	B1-B12	213.62	116.34	506.9	395.952	Uygun
C10	342.1	C15	331.1	B1-B12	213.62	0	673.2	256.344	Uygun
C11	327.5	C16	162.0	B1-B12	213.62	0	489.5	256.344	Uygun
C12	242.9	C17	186.2	B1-B12	213.62	116.34	429.2	395.952	Uygun
C13	394.1	C18	186.4	B1-B12	213.62	116.34	580.5	395.952	Uygun
C14	242.9	C19	186.2	B1-B12	213.62	116.34	429.2	395.952	Uygun
C15	327.5	C20	162.0	B1-B12	213.62	0	489.5	256.344	Uygun
C16	160.7	C21	151.9	B13-B20	153.61	0	312.6	184.332	Uygun
C17	185.3	C22	164.4	B13-B20	153.61	84.08	349.7	285.228	Uygun
C18	185.5	C23	164.2	B13-B20	153.61	84.08	349.7	285.228	Uygun
C19	185.3	C24	164.4	B13-B20	153.61	84.08	349.7	285.228	Uygun
C20	160.7	C25	151.9	B13-B20	153.61	0	312.6	184.332	Uygun

Şekil 2.18 Beş Katlı Çerçeve Güçlü Kolon Zayıf Kiriş Kontrolü

Çerçeve model için tanımlanan deprem yükü altında, R=8 deprem azaltma kat sayısı ile artırılmış, beş katlı çerçeve model için katlar arasında meydana gelen en büyük görelî kat ötelemesi 0.058m olarak hesaplanmıştır. Görelî kat ötelemesi için TBDY 2018’de Denklem(2.8) ile verilen koşul sağlanmalıdır. Burada verilen $\lambda = 0.35$, $\kappa = 1$ ve $h_i = 3 m$ olarak alınmıştır.

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.008\kappa ; 0.35 \frac{0.058}{3} = 0.0068 \leq 0.008 \quad (2.8)$$

2.1.8. 8 Katlı Çerçeve

Sekiz katlı çerçeve sistemin giriş ve kolon elemanlarının boyutlandırılması ve donatı seçimleri Çizelge 2.9 ve Çizelge 2.10 ile verilmiştir. Sekiz katlı çerçeve sistem için beş tip kolon ve iki tip giriş kullanılmıştır. İlk dört katta kullanılan giriş tipi için mesnette en elverişsiz yüklemde 214.4 kNm moment oluşmaktadır. Son dört katta

kullanılan kiriş tipi için en elverişsiz yüklemde mesnette 189.2 kNm moment oluşmaktadır. Bu momentlerin karşılanabilmesi için uygun donatılar seçilmiştir. Seçilen boyuna donatı düzeni Şekil 2.19 ile verilen kiriş kesitlerinde gösterilmiştir.

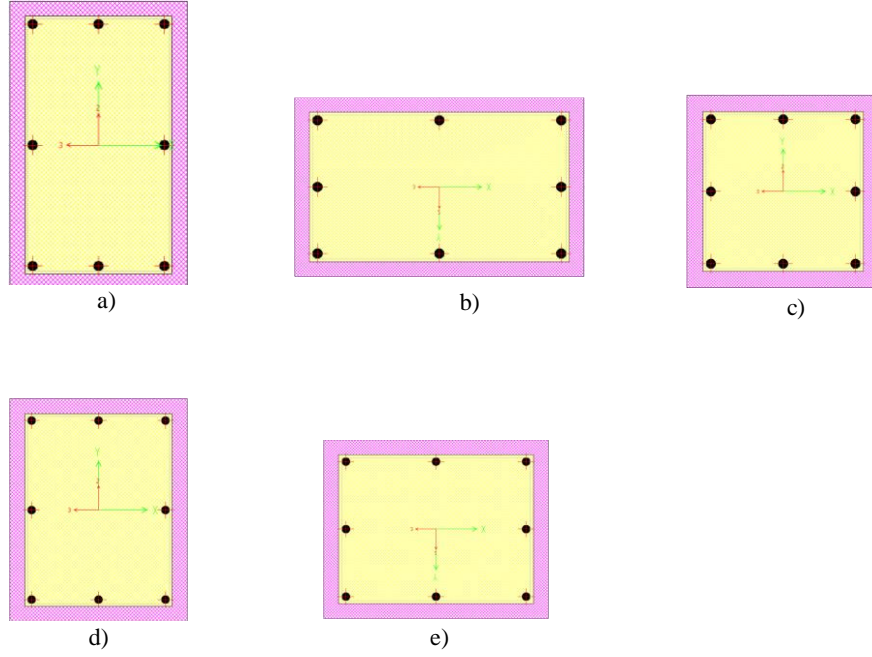


Şekil 2.19 Sekiz Katlı Çerçeve Sistem Kiriş Kesitleri

Çizelge 2.9 Sekiz Katlı Çerçeve B1-B32 Kiriş Mesnet Donatı Düzeni

Kiriş Eleman	Mesnet Alt Donatı	Mesnet Üst Donatı	İki kollu Etriye	Boyut (cm)	Moment Kapasitesi
Tip1; B1-B16	$2\phi 20$	$2\phi 22+1\phi 24$	$\phi 8/100\text{mm}$	25x60	226.7 kNm
Tip2; B17-B32	$2\phi 18$	$4\phi 18$	$\phi 8/100\text{mm}$	25x60	192.4 kNm

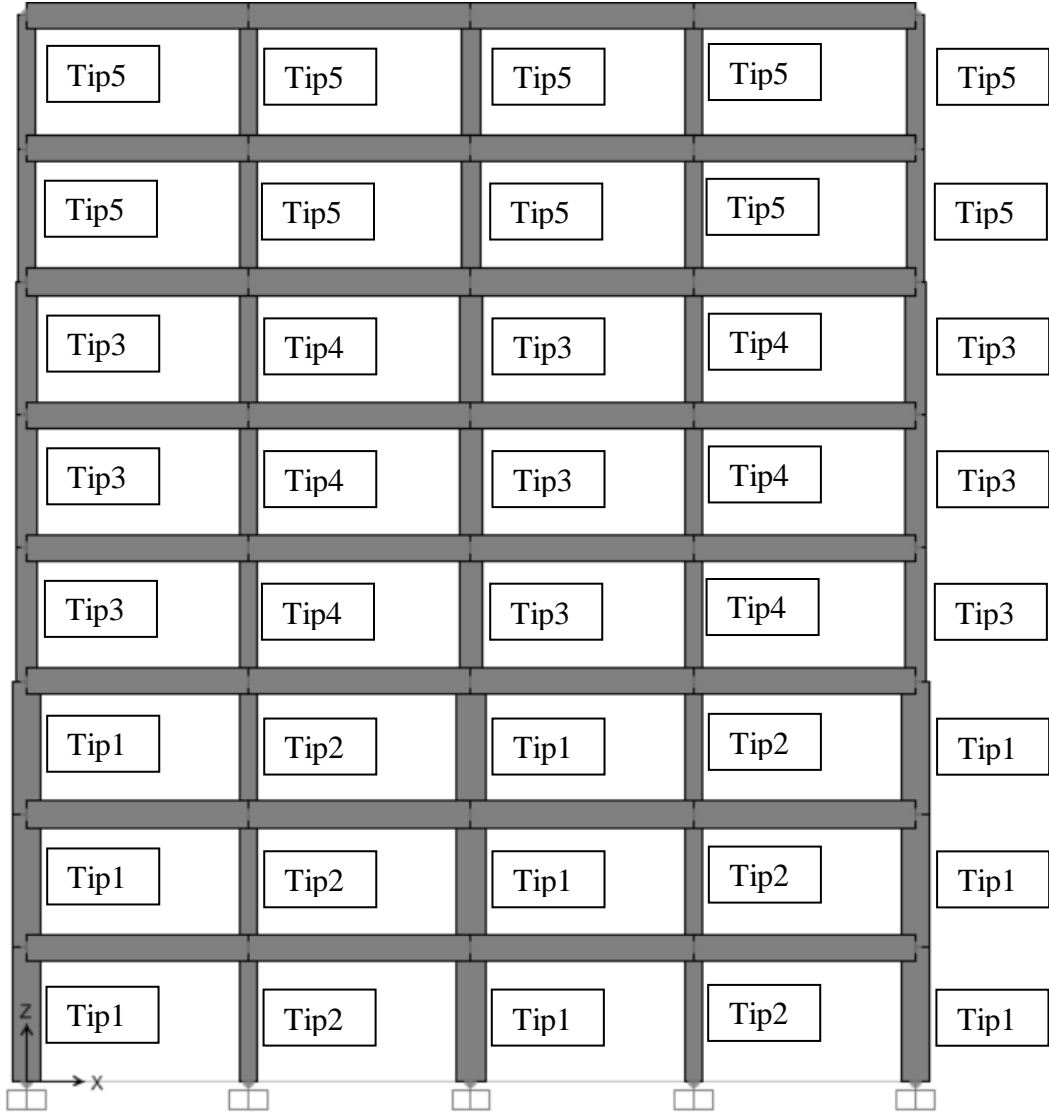
Kolon elemanları için seçilen boyutlar ve donatılar Çizelge 2.10 ile verilmiştir. Sekiz katlı çerçeve sistem için beş tip kolon belirlenmiştir. İlk üç katta kenar kolonlar ve en orta kolon bir tip, ilk üç kattaki kenar kolonlar ve en orta kolon arasında kalan kolonlar bir tip olarak sonraki üç katta aynı şekilde kenar kolonlar ve en orta kolon bir tip, kenar kolonlar ve en orta kolon arasında kalan kolonlar bir tip olarak, yedinci ve sekizinci katta bulunan kolonlar bir tip olmak üzere beş tip kolon belirlenmiştir. Seçilen kolon kesitleri ve donatı düzenleri Şekil 2.20 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.20 Sekiz Katlı Çerçeve Sistem Kolon Kesitleri

Çizelge 2.10 Sekiz Katlı Çerçeve C1-C40 Kolon Donatı Düzeni

Kolon Eleman	Seçilen Donatı	Üç kollu Etriye	Boyut bxh (cm)
Tip1; C1, C3, C5 C6, C8, C10 C11, C13, C15	8 ϕ 22	ϕ 14/100mm	40x65
Tip2; C2, C4 C7, C9 C12, C14	8 ϕ 22	ϕ 14/100mm	65x40
Tip3; C16, C18, C20 C21, C23, C25 C26, C28, C30	8 ϕ 18	ϕ 14/100mm	40x50
Tip4; C17, C19 C22, C24 C27, C29	8 ϕ 18	ϕ 14/100mm	50x40
Tip5; C31-C40	8 ϕ 22	ϕ 12/100mm	40x40



Şekil 2.21 Sekiz Katlı Çerçeve Sistem Kolon Yerleşimleri

Sekiz katlı çerçeve sistem için her bir düğüm noktası için güçlü kolon zayıf kiriş kontrolleri Şekil 2.22 ile verilmiştir.

GÜÇLÜ KOLON - ZAYIF KİRİŞ KONTROLÜ									
ALT C	Mr alt kN.m	ÜST C	Mr üst kN.m	Kiriş Tipi	Mri sol kN.m	Mrj sağ kN.m	Mra+Mrü kN.m	1.2(Mri+Mrj) kN.m	Kontrol
C1	448.2	C6	435.7	B1-B16	226.7	0.0	883.9	272.0	Uygun
C2	258.7	C7	284.8	B1-B16	226.7	120.5	543.5	416.6	Uygun
C3	442.3	C8	491.4	B1-B16	226.7	120.5	933.7	416.6	Uygun
C4	258.7	C9	284.8	B1-B16	226.7	120.5	543.5	416.6	Uygun
C5	448.2	C10	435.7	B1-B16	226.7	0.0	883.9	272.0	Uygun
C6	432.1	C11	420.7	B1-B16	226.7	0.0	852.8	272.0	Uygun
C7	286.1	C12	293.1	B1-B16	226.7	120.5	579.2	416.6	Uygun
C8	494.2	C13	518.2	B1-B16	226.7	120.5	1012.4	416.6	Uygun
C9	286.1	C14	293.1	B1-B16	226.7	120.5	579.2	416.6	Uygun
C10	432.1	C15	420.7	B1-B16	226.7	0.0	852.8	272.0	Uygun
C11	416.6	C16	226.2	B1-B16	226.7	0.0	642.8	272.0	Uygun
C12	291.9	C17	219.4	B1-B16	226.7	120.5	511.3	416.6	Uygun
C13	516.6	C18	282.5	B1-B16	226.7	120.5	799.2	416.6	Uygun
C14	291.9	C19	219.4	B1-B16	226.7	120.5	511.3	416.6	Uygun
C15	416.6	C20	226.2	B1-B16	226.7	0.0	642.8	272.0	Uygun
C16	224.0	C21	214.5	B1-B16	226.7	0.0	438.5	272.0	Uygun
C17	218.5	C22	206.5	B1-B16	226.7	120.5	424.9	416.6	Uygun
C18	284.0	C23	272.1	B1-B16	226.7	120.5	556.1	416.6	Uygun
C19	218.5	C24	206.5	B1-B16	226.7	120.5	424.9	416.6	Uygun
C20	224.0	C25	214.5	B1-B16	226.7	0.0	438.5	272.0	Uygun
C21	212.1	C26	201.3	B17-B32	192.4	98.6	413.5	349.2	Uygun
C22	205.5	C27	190.4	B17-B32	192.4	98.6	395.9	349.2	Uygun
C23	270.9	C28	250.4	B17-B32	192.4	98.6	521.4	349.2	Uygun
C24	205.5	C29	190.4	B17-B32	192.4	98.6	395.9	349.2	Uygun
C25	212.1	C30	201.3	B17-B32	192.4	98.6	413.5	349.2	Uygun
C26	199.0	C31	188.6	B17-B32	192.4	98.6	387.5	349.2	Uygun
C27	188.9	C32	208.8	B17-B32	192.4	98.6	397.6	349.2	Uygun
C28	248.5	C33	209.1	B17-B32	192.4	98.6	457.6	349.2	Uygun
C29	188.9	C34	208.8	B17-B32	192.4	98.6	397.6	349.2	Uygun
C30	199.0	C35	188.6	B17-B32	192.4	98.6	387.5	349.2	Uygun

6+

Şekil 2.22 Sekiz Katlı Çerçeve Güçlü Kolon Zayıf Kiriş Kontrolü

Çerçeve model için tanımlanan deprem yükü altında, R=8 deprem azaltma kat sayısı ile artırılmış, sekiz katlı çerçeve model için katlar arasında meydana gelen en büyük görelî kat ötelemesi 0.063m olarak hesaplanmıştır. Görelî kat ötelemesi için TBDY 2018'de Denklem(2.9) ile verilen koşul sağlanmalıdır. Burada verilen $\lambda = 0.35$, $\kappa = 1$ ve $h_i = 3 m$ olarak alınmıştır.

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.008\kappa ; 0.35 \frac{0.063}{3} = 0.0074 \leq 0.008 \quad (2.9)$$

2.2. PLASTİK MAFSAL TANIMLAMASI

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde ve itme analizlerinde kullanılacak çerçeve sistem elemanlarının uç noktalarına tanımlanan plastik mafsalların özellikleri, kullanılan malzeme modelleri, pekleşme durumlarına göre moment-eğrilik bağıntıları ve plastik mafsalların plastik dönme sınır değerleri bu bölümde verilmiştir.

2.2.1. Malzeme Modelleri

Bütün çerçeve sistemler için malzeme olarak S420 sınıfı donatı çeliği ve C30 sınıfı beton kullanılmıştır. Malzeme modeli olarak TBDY 2018 bölüm 5A.1’de verilen doğrusal olmayan analizlerde kullanılmak üzere verilen beton modeli ve bölüm 5A.2’de verilen donatı çeliği modelleri kullanılmıştır. Bu modeller SAP2000 programı üzerinden oluşturulup kullanılmıştır.

Yeni yapılacak binaların şekildeğiştirmeye göre değerlendirmesinde kullanılacak beklenen malzeme dayanımları TBDY 2018 bölüm 5.4’te verilen Tablo 5.1’de beton malzemesi için $f_{ce} = 1.3f_{ck}$ donatı çeliği için $f_{ye} = 1.2f_{yk}$ olarak verilmiştir. Burada verilen f_{ce} ve f_{ye} beton ve donatı çeliği malzemelerinin beklenen dayanımlarını, f_{ck} ve f_{yk} beton ve donatı çeliği malzemelerinin karakteristik dayanımını ifade eder.

Sargısız beton malzeme modeli (SAP2000, 2018) programına Şekil 2.23’te görüldüğü şekilde tanımlanmıştır.

Material Property Data

Material Name: C30/37

Material Type: Concrete

Symmetry Type: Isotropic

Modulus of Elasticity: E = 31225000

Weight and Mass: Weight per Unit Volume = 25, Mass per Unit Volume = 2.5485

Units: KN, m, C

Poisson: U = 0.2

Coeff of Thermal Expansion: A = 1.000E-05

Shear Modulus: G = 13010417

Other Properties For Concrete Materials: Specified Concrete Compressive Strength, f_c = 39000, Expected Concrete Compressive Strength = 39000, Lightweight Concrete, Shear Strength Reduction Factor =

Advanced Material Property Data: Nonlinear Material Data..., Material Damping Properties..., Time Dependent Properties..., Thermal Properties...

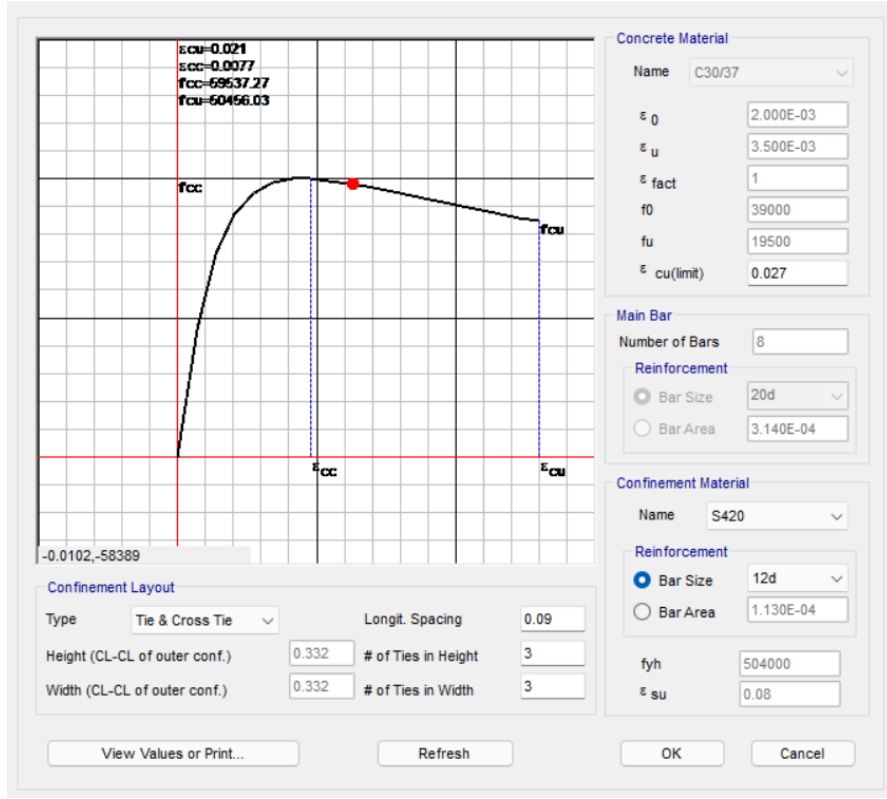
OK Cancel

Şekil 2.23 Sargısız Beton Modeli

Beklenen beton basınç dayanımı $f_{ce} = 1.3 \times 30 = 39 \text{ Mpa}$ olarak alınmıştır.

C30 betonu elastisite modülü, TBDY 2018 beton malzeme modelinin tanımlandığı bölüm 5A.1'de verildiği şekilde $E_c = 5000\sqrt{f_{co}} = 5000\sqrt{39} = 31225 \text{ Mpa}$ olarak hesaplanmıştır.

Üç katlı çerçeve sistem C1 kolonu sargılı beton malzeme modeli (SAP2000, 2018) programına Şekil 2.24'de görüldüğü şekilde tanımlanmıştır.



Şekil 2.24 Sargılı Beton Malzeme Modeli

Beton malzemesi nihai birim şekildeğiştirme değeri DBYBHY 2007 yönetmeliğinde verildiği şekilde Denklem(2.10) ile verilmiştir.

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4\rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (2.10)$$

S420 donatı çeliği modeli, tasarlanan bütün çerçeve sistemler için doğrusal olmayan analizlerde kullanılmak üzere SAP2000 programına 1.15 ve 1.35 pekleşme oranları dikkate alınarak Denklem(2.11), (2.12) ve (2.13)'deki hesaplarda elde edilen değerlerle Şekil 2.25 ve Şekil 2.26'de verildiği gibi tanımlanmıştır. Çizelge 2.11'de S420 kalite sınıfı donatı çeliğinin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.11 S420 Donatı Çeliği Özellikleri (TBDY 2018)

Kalite	f_{sy} (Mpa)	ε_{sy}	ε_{sh}	ε_{su}	f_{su}/f_{sy}
S420	420	0.0021	0.008	0.08	1,15-1,35

Donatı çeliği beklenen akma dayanımı Denklem(2.11) ile verilmiştir.

$$f_{ye} = f_{yk} \times 1.2 = 420 \times 1.2 = 504 \text{ Mpa} \quad (2.11)$$

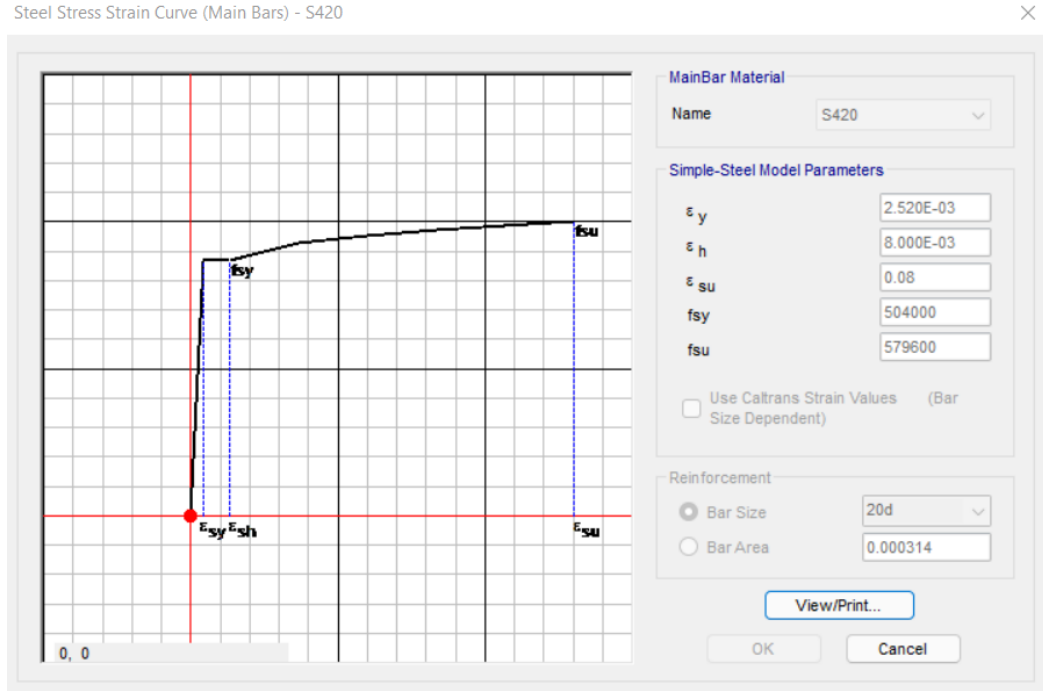
1.15 pekleşme oranı için f_{su} kopma dayanımı Denklem(2.12) ile verilmiştir.

$$f_{su} = f_{ye} \times 1.15 = 504 \times 1.15 = 579.6 \text{ Mpa} \quad (2.12)$$

1.35 pekleşme oranı için f_{su} kopma dayanımı Denklem(2.13) ile verilmiştir.

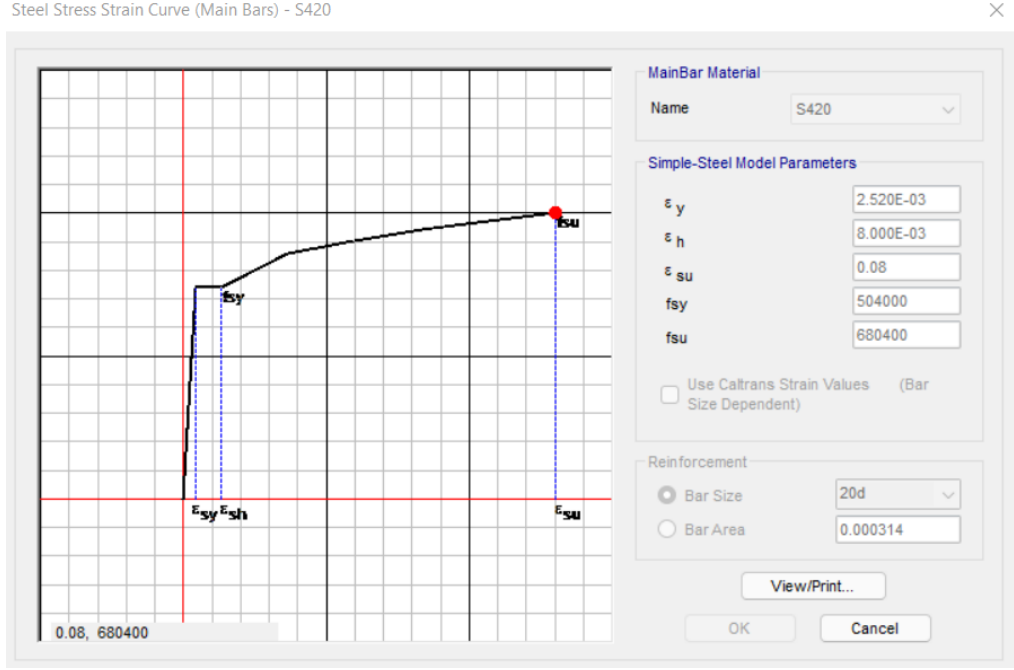
$$f_{su} = f_{ye} \times 1.35 = 504 \times 1.35 = 608.4 \text{ Mpa} \quad (2.13)$$

1.15 pekleşme oranına göre belirlenen çelik donatısı malzeme modeli (SAP2000, 2018) programına Şekil 2.25'deki gibi tanımlanmıştır.



Şekil 2.25 Donatı Malzeme Modeli (Pekleşme Oranı 1.15)

1.35 pekleşme oranına göre belirlenen çelik donatısı malzeme modeli (SAP2000, 2018) programına Şekil 2.26'deki gibi tanımlanmıştır.



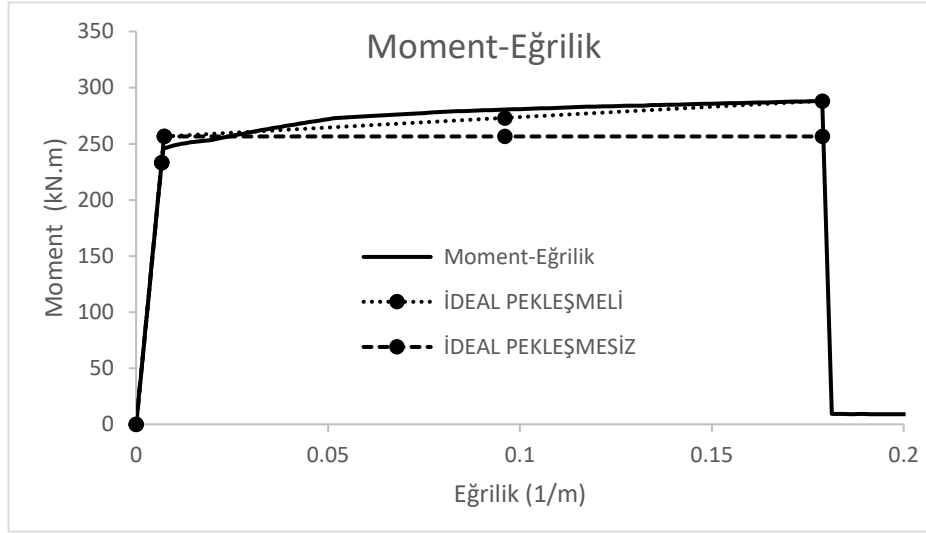
Şekil 2.26 Donatı Malzeme Modeli (Pekleşme Oranı 1.35)

2.2.2. Plastik Mafsal Kesitlerinde Şekildeğiştirme Sınırları

Plastik mafsalların moment dönme ilişkilerinin belirlenmesi için öncelikle Bölüm 2.2.1’de verilen malzeme modelleri kullanılarak kesitlere ait moment eğrilik ilişkileri SAP2000 Section Design bölümü kullanılarak oluşturulmuştur. Üç katlı çerçeve sistem B1 kiriş kesiti için bu şekilde oluşturulmuş moment eğrilik ilişkisi Şekil 2.27’te düz çizgi ile gösterilmiştir. Betonarme plastik mafsal kesitlerinin etkin akma momenti hesabında betonun basınç birim şekildeğiştirmesi 0.0035, donatı çeliğinin birim şekildeğiştirmesi 0.01 alınabileceği TBDY 2018 bölüm 5.3.1’de belirtilmiştir. Etkin akma momenti, Şekil 2.27’de gösterilen iki doğrulu moment-eğrilik eğrisinde elastik ötesi davranışın başlangıç noktası olarak kabul edilebilir. Plastik mafsalin Şekil 2.27’teki ideal iki doğrulu moment-eğrilik grafiği oluşturulurken donatı çeliğinin birim şekildeğiştirmesi 0.01’e ulaştığı nokta veya betonun basınç birim şekildeğiştirmesi 0.0035’e ulaştığı nokta etkin akma momenti olarak kabul edilmiştir. Şekil 2.27’teki iki doğrulu grafiğin birinci doğrusu sıfır noktası ve etkin akma momenti noktası arası olarak oluşur. İkinci doğru ise Etkin akma momenti noktası ve kesitin güç tükenmesine karşılık gelen (ϵ_{su} veya ϵ_{cu}) nokta arasında tanımlanır. Burada tanımlanan iki doğrulu moment eğrilik grafiği pekleşmesiz kabul edildiği durumda

etkin akma momentine karşılık gelen M_y ve güç tükenmesi momentine karşılık gelen M_u birbirine eşit olarak alınmıştır.

Şekil 2.27’te gösterilen elde edilen idealleştirilmiş iki doğrulu moment-eğrilik grafiği, şekildeğiştirmeye göre değerlendirmede kullanılmak üzere oluşturulacak plastik mafsallın moment-dönme grafiğinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Şekil 2.27’te verilen moment eğrilik hesabı üç katlı çerçeve sistemde birinci kat B1 kirişi için yapılmıştır. Ayrıca kullanılan donatı malzeme modelinde pekleşme oranı 1.15 olarak alınmıştır.



Şekil 2.27 Üç Katlı Çerçeve Kiriş Elemanı Moment Eğrilik Davranışı

Yığılı plastik mafsall modeline göre hesapta kiriş ve kolon elemanları için TBDY 2018 bölüm 5.4.5’te etkin kesit rijitliklerinin hesabı Denklem(2.14) ile verilmiştir.

$$(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y 3} \quad (2.14)$$

Burada verilen M_y ve θ_y kesitlerin ucundaki plastik mafsalların etkin akma momenti ve akma dönmelerinin ortalaması olarak verilmiştir. L_s kesme açıklığı ise kiriş ve kolonlarda kesit boyunun yarısı olarak alınabileceği belirtilmiştir. Burada verilen akma dönmesi θ_y Denklem(2.15) ile verilmiştir.

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s}\right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \quad (2.15)$$

Burada verilen ϕ_y etkin akma eğriliğini gösterir. Kiriş ve kolonlarda $\eta = 1$ olarak alınır. Burada verilen h kesit yüksekliği, d_b düğüm noktasına kenetlenen donatıların ortalama çapı, f_{ye} ve f_{ce} ise beklenen donatı çeliği akma dayanımı ve beklenen beton basınç dayanımını ifade eder.

Dikdörtgen kesitli kiriş ve kolon için göçmenin önlenmesi performans düzeyi için beton birim kısılması TBDY 2018 bölüm 5.8.1'de verildiği şekilde Denklem(2.16)'deki gibi verilmiştir.

$$\varepsilon_c^{(G\ddot{O})} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (2.16)$$

Burada verilen ω_{we} mekanik donatı oranını ifade etmektedir. Mekanik donatı oranı Denklem(2.17) ile verilmiştir.

$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh,min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (2.17)$$

Burada verilen α_{se} sargı donatısı etkinlik katsayısını, $\rho_{sh,min}$ dikdörtgen kesitte iki yatay doğrultudaki hacimsel enine donatı oranlarının küçük olanını, f_{ywe} ise etriye donatısının beklenen akma dayanımını ifade etmektedir.

TBDY 2018 bölüm 5.8.1'de Denklem 5.5'te göçmenin önlenmesi performans düzeyi için donatı birim şekildeğiştirmesi: $\varepsilon_s^{(G\ddot{O})} = 0.4\varepsilon_{su}$ olarak verilmiştir. Burada verilen ε_{su} çekme dayanımına karşılık gelen birim uzamayı ifade eder. Bu denklemdeki 0.4 katsayısı, bu tez çalışması için pekleşme etkilerini daha net görebilmek amacıyla Eurocode yönetmeliğinde (BS EN 1998-3, 2006) A.3.2.2 Bölümünde verilmiş olan $\varepsilon_s^{(G\ddot{O})} = 0.06$ değeri ile değiştirilmiş yani $\varepsilon_s^{(G\ddot{O})} = 0.75\varepsilon_{su}$ olarak hesaplanmıştır.

Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için yapılacak performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere TBDY 2018 bölüm 5.8.1'de verildiği şekilde yığılı plastik mafsal modelinde izin verilen plastik dönme sınırı Denklem(2.18) ile

verilmiştir. Buradaki plastik dönme sınırları, yönetmelikte verilen doğrusal olmayan analizlerde kullanılmak üzere verilen malzeme modelleri kullanılarak elde edilen moment-eğrilik analizi ile elde edilir.

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad (2.18)$$

Kontrollü hasar ve sınırlı hasar performans düzeyi için kullanılmak üzere izin verilen plastik dönme sınırları Denklem(2.19) ile verilmiştir.

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(G\ddot{O})} \quad ; \quad \theta_p^{(SH)} = 0 \quad (2.19)$$

2.2.3. Kiriş Moment Plastik Mafsalının Oluşturulması

Bu bölümde, üç katlı çerçeve sistemde bulunan Şekil 2.12’de kesiti verilen kirişin plastik mafsal özellikleri adım adım hesaplanmıştır. Açıklanan bu hesaplamalar donatı malzeme modeli pekleşme oranı 1.15 alınarak hem pekleşmeli hem de pekleşmesiz plastik mafsal kabulü için yapılmıştır. Ayrıca Bölüm 2.2.4’ün sonunda üç katlı, beş katlı ve sekiz katlı çerçeve sistemlerde kullanılan tüm kiriş kesitlerinin plastik mafsal özellikleri göz önüne alınan tüm donatı pekleşme oranları ve tüm plastik mafsal pekleşme kabulleri için hesaplanmış ve tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 2.12 B1 Kirişi Kesit Özellikleri

b (mm)	h (mm)	L (mm)	Ec (Mpa)	Es (Mpa)	Üst donatı	Alt donatı
250	600	5000	31225	200000	4φ18	3φ16

Kesitin moment-eğrilik ilişkisi SAP2000 programında Section Design bölümü yardımıyla hesaplanmıştır. Oluşturulan moment-eğrilik ilişkisi üzerinde TBDY 2018’de verilen kısıtlar dikkate alınarak plastik dönme sınırları belirlenmiştir.

Etkin Akma Momenti ve Etkin Akma Eğriliği

Donatının akma şekildeğiştirme değeri Denklem(2.20) ile hesaplanmıştır.

$$\varepsilon_{sy} = \frac{f_{ye}}{E_s} = \frac{504}{200000} = 0.00252 \quad (2.20)$$

Kesitin moment eğrilik ilişkisinde çelik donatı malzemesi akma birim şekildeğiştirmesi değerine ulaştığında eğrilik ve moment değerleri Denklem(2.21) ile elde edildiği şekildedir.

$$\phi_y = 0.00544 \text{ m}^{-1} \quad M_y = 237.9 \text{ kN.m} \quad (2.21)$$

Kesit akma noktasına ulaşıncaya kadar elastik davranış gösterdiği kabul edilerek sıfır noktasından bu noktaya doğru çizilir. Daha sonra TBDY 2018 bölüm 5.3.1'de etkin akma momenti hesaplanması için donatı ve beton için verilen şekildeğiştirme değerlerinden hangisine önce ulaşırsa o noktaya kadar doğru devam ettirilir.

Bu şekilde $\varepsilon_s = 0.01$ ya da $\varepsilon_c = 0.0035$ değerleri için hesaplanan etkin akma momenti ve eğrilik Denklem(2.22)'de verilmiştir.

$$M_{y(etkin)} = 275.6 \text{ kN.m} \quad \phi_{y(etkin)} = 0.00544 \times \frac{275.6}{237.9} = 0.00631 \text{ m}^{-1} \quad (2.22)$$

Göçmenin Önlenmesi Durumunda Eğrilik

Göçmenin önlenmesi durumunda eğrilik değerinin hesabı için TBDY 2018'de kesitte göçmenin önlenmesi sınırı için donatı birim şekildeğiştirme değeri ve beton basınç birim kısılması değeri verilmiştir. Bu sınır değerlerine göre göçmenin önlenmesi sınırı belirlenmiştir. Donatı birim şekildeğiştirmesi için (BS EN 1998-3, 2006) yönetmeliğinde verilen değer kullanılmıştır.

Bu yöntemle $\varepsilon_s = 0.06$ ya da $\varepsilon_c^{(G\ddot{O})}$ değerleri için hesaplanan göçmenin önlenmesi durumuna ait eğrilik Denklem(2.23)-(2.26) ile verilmiştir.

$$\varepsilon_c^{(G\ddot{O})} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad \omega_{we} = \alpha_{se}\rho_{sh,min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (2.23)$$

$$\omega_{we} = 0.06 \times 0.00186 \times \frac{504}{39} = 0.0014 \quad (2.24)$$

$$\varepsilon_c^{(G\ddot{O})} = 0.0035 + 0.04\sqrt{0.0014} = 0.00498 \leq 0.018 \quad (2.25)$$

$$\phi_u^{(GÖ)} = 0.1219 \quad (2.26)$$

Güç Tükenmesi Durumunda Moment ve Eğrilik

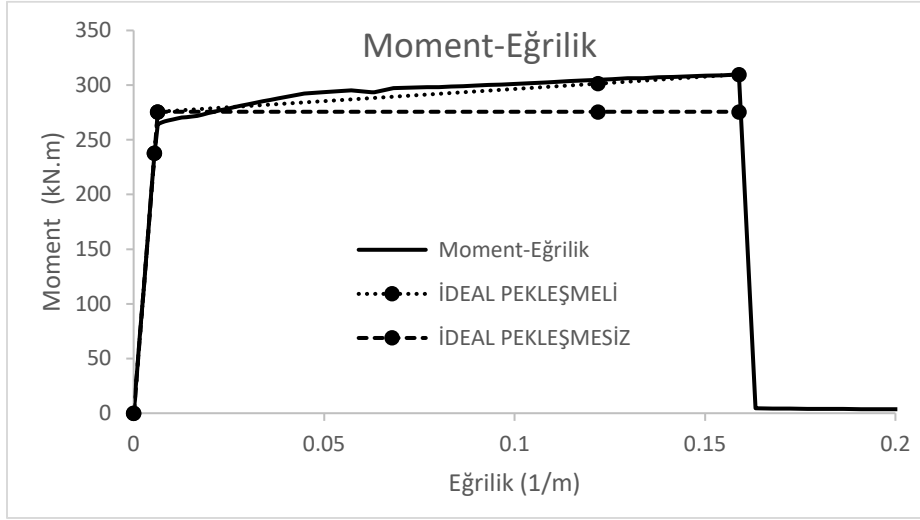
Güç tükenmesi durumu, (TBDY, 2018)'de verilen beton ve donatı malzemesi için güç tükenmesi durumuna karşılık gelen birim şekildeğiştirme değerlerine göre hesaplanmıştır.

Bu yöntemle $\varepsilon_s = 0.08$ ya da ε_{cu} değerleri için hesaplanan güç tükenmesi durumuna karşılık gelen moment ve eğrilik değerleri Denklem(2.27)'de verilmiştir.

$$Mu = 309.6 \text{ kN.m} \quad \phi_u = 0.1589 \text{ m}^{-1} \quad (2.27)$$

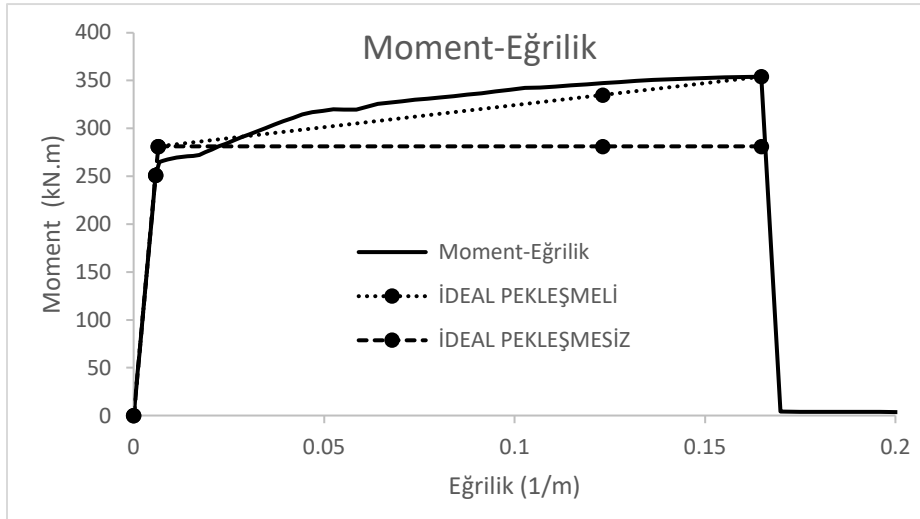
Üç katlı çerçeve sistemde birinci katta bulunan B1 kiriş kesitinin moment-eğrilik grafiğinin pekleşmeli ve pekleşmesiz durumlar için ideal iki doğrulu modele dönüştürülmüş hali Şekil 2.28'de gösterilmiştir. Burada verilen kesitin moment eğrilik ilişkisi oluşturulurken çelik donatı malzeme modeli 1.15 pekleşme oranı ile hesaba katılmıştır. Grafikte verilen pekleşmeli davranış belirlenirken hesaplanan güç tükenmesi durumuna karşılık gelen moment değeri kullanılmıştır. Öte yandan pekleşmesiz davranış belirlenirken güç tükenmesi durumuna karşılık gelen moment değeri olarak etkin akma momenti değeri kullanılmıştır.

İki doğrulu moment-eğrilik ilişkisi üzerinde görülen noktalar sırasıyla sıfır noktası, donatı akma noktası, etkin akma momenti noktası, göçmenin önlenmesi noktası ve güç tükenmesi noktasını göstermektedir.



Şekil 2.28 Üç Katlı Çerçeve B1 Kirişi Moment-Eğrilik İlişkisi (Donatı Pekleşme Oranı 1.15)

Çelik donatı malzeme modeli pekleşme oranı 1.35 alındığında aynı kesitin moment eğrilik grafiği Şekil 2.29’de verilen şekilde oluşturulmuştur. Böylelikle donatı pekleşme etkisini ve moment-eğrilik ilişkisindeki pekleşme etkisini göz önüne alacak şekilde dört farklı pekleşme durumu için plastik mafsall belirlenmiştir. Her bir çerçeve sistem, bu dört pekleşme durumu için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.



Şekil 2.29 Üç Katlı Çerçeve B1 Kirişi Moment-Eğrilik İlişkisi (Donatı Pekleşme Oranı 1.35)

2.2.4. Kiriş Plastik Mafsall Dönme Sınırları

Bina taşıyıcı sistem elemanlarına tanımlanan plastik mafsalların hasar düzeylerinin belirlenmesi için TBDY 2018 Bölüm 5.8.1’de tanımlanan plastik mafsallarda sınırlı hasar, kontrollü hasar ve göçmenin önlenmesi hasarı için plastik dönme sınırları verilmiştir. Bu bölümde üç katlı çerçeve sistem için donatı malzeme

modeli pekleşme oranı 1.15 alınarak B1 kiriş kesiti için her bir hasar düzeyine karşılık gelen plastik dönme sınır değerlerinin hesabı aktarılmıştır. Bölümün sonunda donatı malzeme modeli pekleşme oranı 1.15 ve 1.35 alınarak hesaplanan üç katlı, beş katlı ve sekiz katlı çerçeve sistem elemanları plastik dönme sınırları tablo halinde verilmiştir.

Etkin akma dönmesi Denklem(2.28) ve (2.29)'da hesaplanmıştır.

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \quad (2.28)$$

$$\begin{aligned} \theta_y &= \frac{(6.31 \times 10^{-6})2500}{3} + 0.0015 \left(1 + 1.5 \frac{600}{2500} \right) \\ &+ \frac{(6.31 \times 10^{-6}) \times 17 \times 514}{8\sqrt{39}} = 8.4 \times 10^{-3} \text{ rad} \end{aligned} \quad (2.29)$$

Göçmenin önlenmesi sınır durumu dönme değeri Denklem(2.30) ve (2.31) ile hesaplanmıştır.

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad (2.30)$$

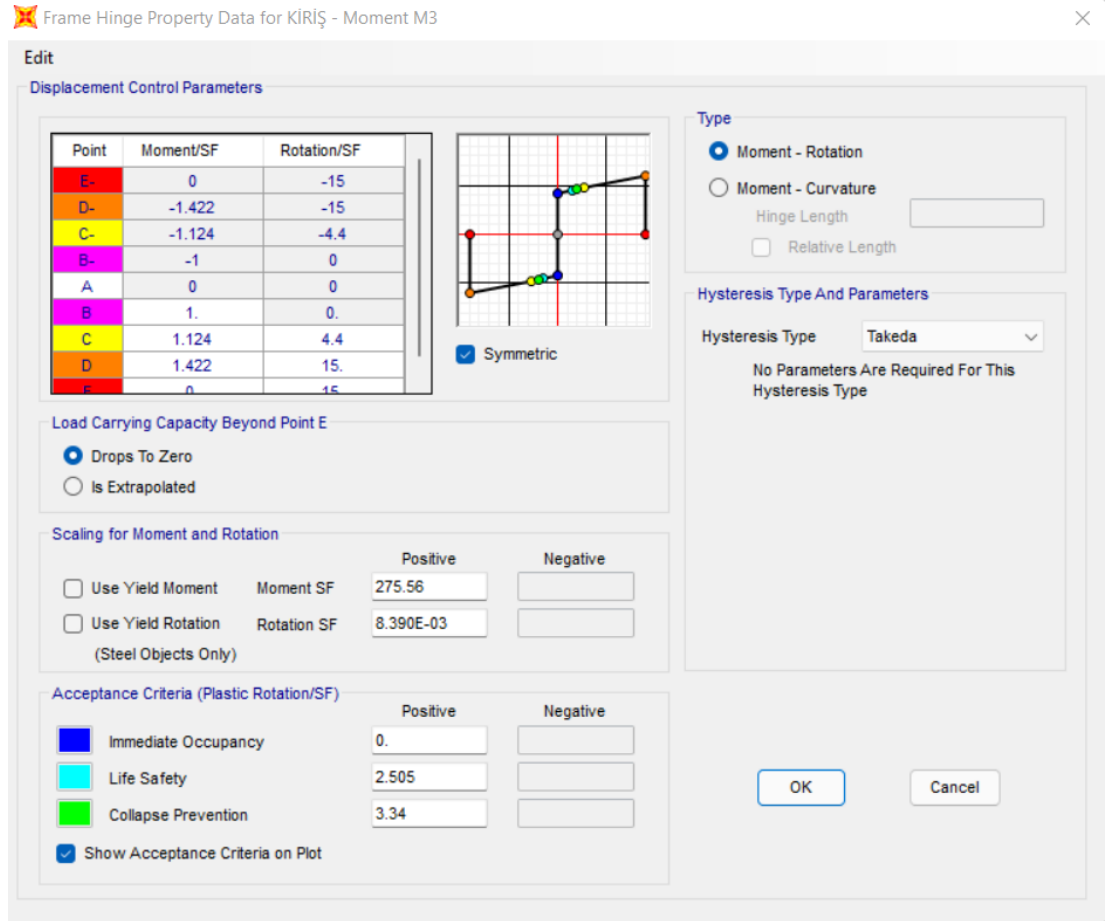
$$\begin{aligned} \theta_p^{(G\ddot{O})} &= \frac{2}{3} \left[1.22 \times 10^{-4} - 6.31 \times 10^{-6} \right) 300 \left(1 - 0.5 \frac{300}{2500} \right) + 4.5 \times 1.22 \\ &\times 10^{-4} \times 17 \right] = 2.8 \times 10^{-2} \text{ rad} \end{aligned} \quad (2.31)$$

Güç tükenmesi sınır durumu dönme değeri Denklem(2.32) ve (2.33) ile hesaplanmıştır.

$$\theta_p^{(GT)} = \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad (2.32)$$

$$\begin{aligned} \theta_p^{(GT)} &= \frac{2}{3} \left[1.59 \times 10^{-4} - 6.31 \times 10^{-6} \right) 300 \left(1 - 0.5 \frac{300}{2500} \right) + 4.5 \times 1.59 \\ &\times 10^{-4} \times 17 \right] = 3.7 \times 10^{-2} \text{ rad} \end{aligned} \quad (2.33)$$

Hesaplanan plastik mafsal özellikleri ve plastik dönme sınırları (SAP2000, 2018) programına Şekil 2.30'daki gibi tanımlanmıştır. Plastik mafsal sınırları girilirken etkin akma momenti ve etkin akma dönmesi scale factor olarak tanımlanmıştır. Burada verilen Acceptance Criteria değerleri immediate occupancy, life safety ve collapse prevention TBDY 2018 yönetmeliğinde sırasıyla sınırlı hasar, kontrollü hasar ve göçmenin önlenmesi olarak verilmiştir. Güç tükenmesi noktası ise C noktasında tanımlanmıştır.



Şekil 2.30 Üç Katlı Çerçeve Kiriş Elemanı Pekleşmeli Moment Dönme İlişkisi (Donatı Pekleşme Oranı 1.15)

Pekleşme değeri, güç tükenmesi momentinin etkin akma momentine bölünmesi ile elde edilmiştir. C noktasının değerleri Denklem(2.34) ve (2.35) ile hesaplanmıştır.

$$\frac{Moment}{SF} = \frac{Mu}{My} = \frac{309.6}{275.6} = 1.12 \quad (2.34)$$

$$\frac{Plastik Dönme}{SF} = \frac{\theta_p^{(GT)}}{\theta_y} = \frac{3.7 \times 10^{-2}}{8.4 \times 10^{-3}} = 4.4 \quad (2.35)$$

Sırasıyla göçmenin önlenmesi, kontrollü hasar ve sınırlı hasar durumu için katsayılar Denklem(2.36), (2.37) ve (2.38) ile hesaplanmıştır.

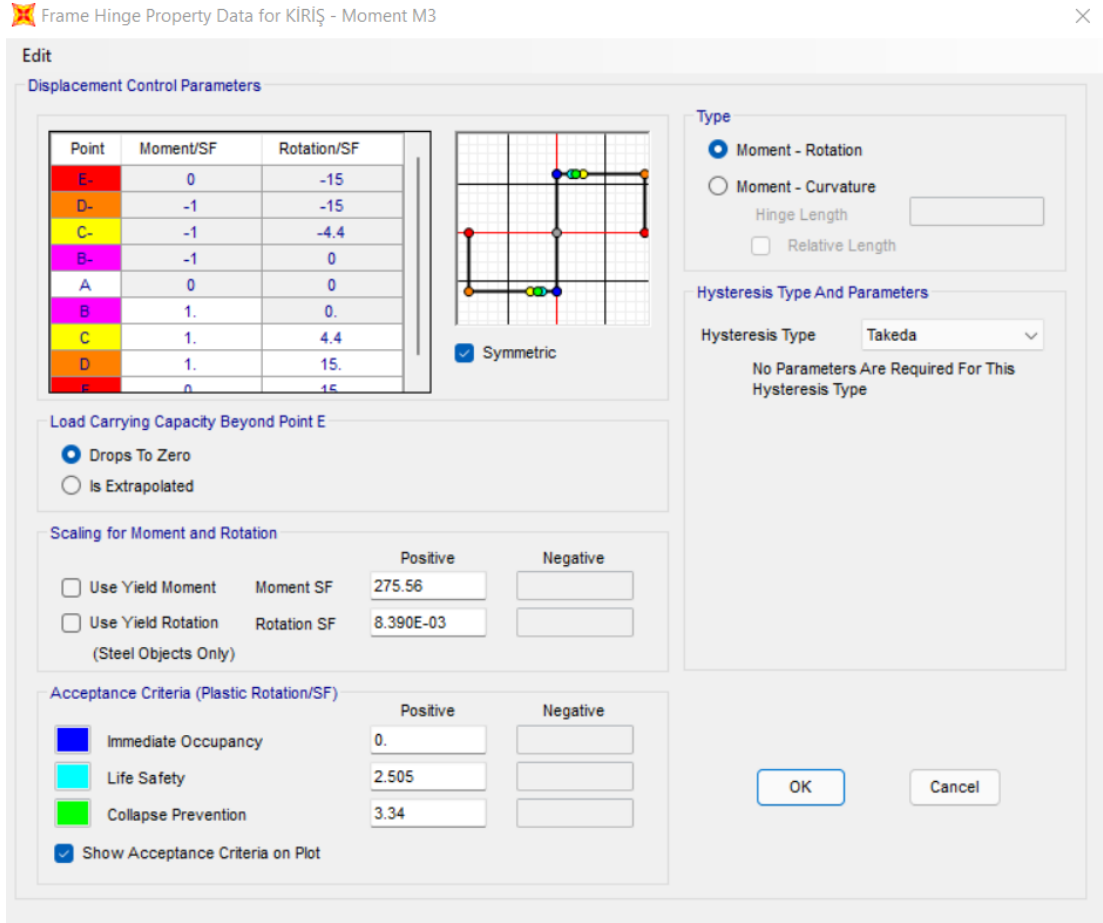
$$\frac{Plastik Dönme}{SF} = \frac{\theta_p^{(GÖ)}}{\theta_y} = \frac{2.8 \times 10^{-2}}{8.4 \times 10^{-3}} = 3.3 \quad (2.36)$$

$$\frac{Plastik Dönme}{SF} = \frac{\theta_p^{(KH)}}{\theta_y} = 3.3 \times 0.75 = 2.5 \quad (2.37)$$

$$\frac{Plastik Dönme}{SF} = \frac{\theta_p^{(SH)}}{\theta_y} = \frac{0}{8.4 \times 10^{-3}} = 0 \quad (2.38)$$

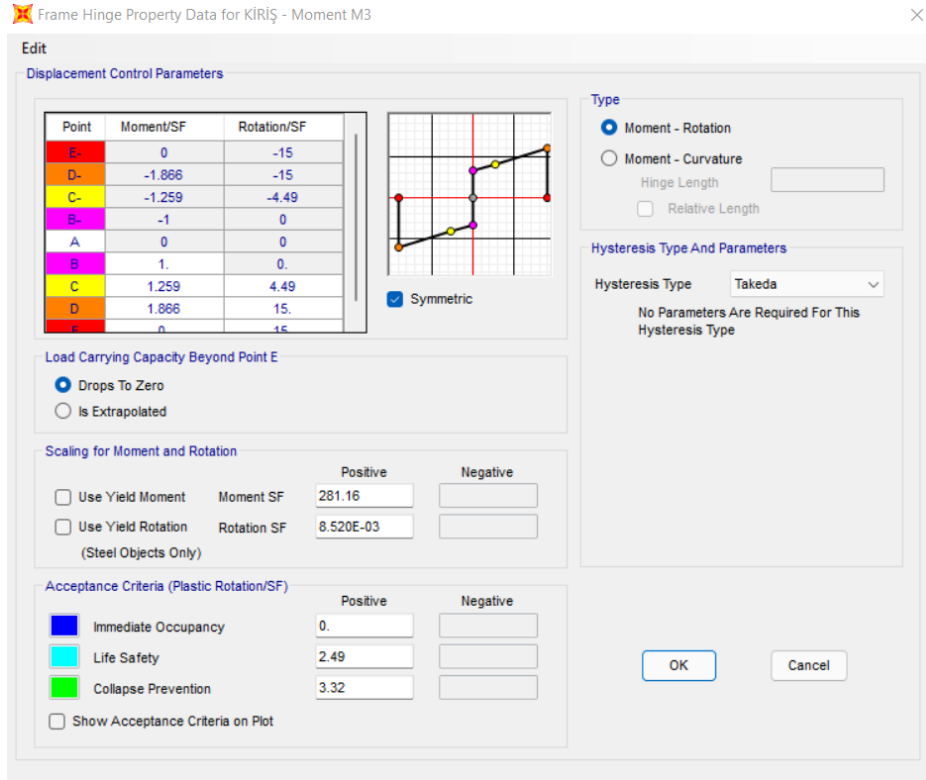
B1 kiriş kesiti moment-eğrilik ilişkisi pekleşmeli alınarak ve donatı malzeme modeli pekleşme oranı 1.15 alınarak yapılan hesap sonucunda oluşturulan moment-plastik dönme ilişkisi Şekil 2.30'de görülmektedir. TBDY 2018 yönetmeliği bölüm 5.3.1'de betonarme kesitlerin iki doğrulu iç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarında pekleşme etkisinin terk edilebileceği belirtilmiştir.

Kiriş kesiti donatı pekleşme oranı 1.15 alınarak oluşturulan moment-eğrilik ilişkisinin pekleşmesiz olarak göz önüne alındığı durum (SAP2000, 2018) programına Şekil 2.31'da görülen şekilde tanımlanmıştır.

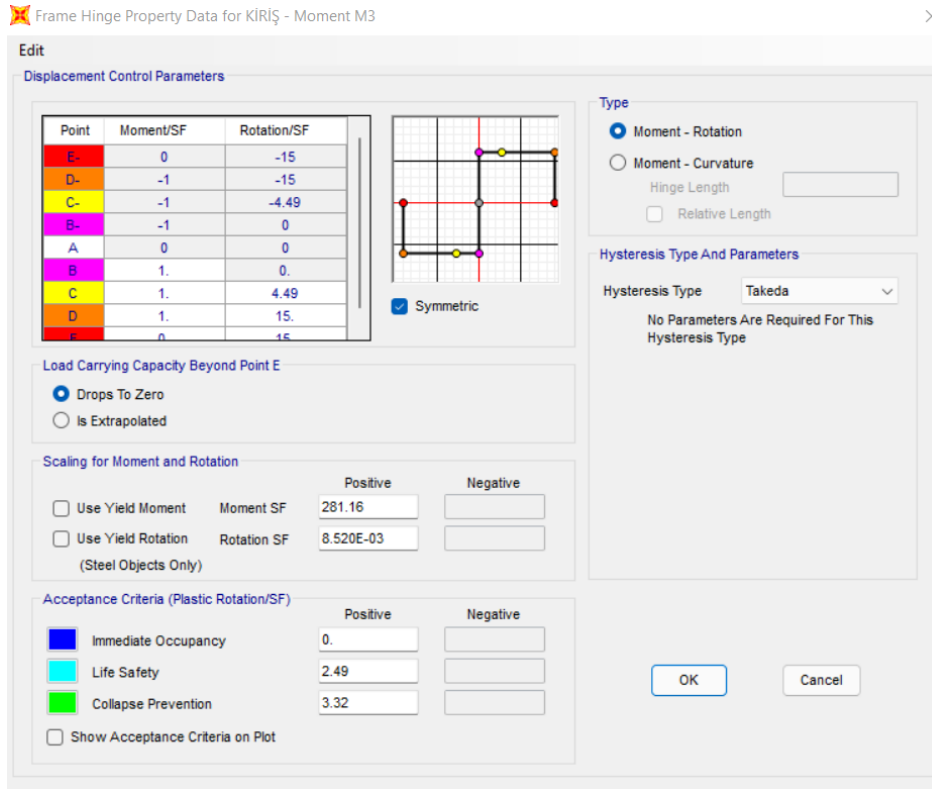


Şekil 2.31 Üç Katlı Çerçeve Kiriş Elemanı Pekleşmesiz Moment Dönme İlişkisi (Donatı Pekleşme Oranı 1.15)

Burada çelik donatı malzeme modelinin pekleşme oranı 1.15 alınarak hesaplanan moment-plastik dönme ilişkisi pekleşmeli ve pekleşmesiz olarak alınan iki durum tanımlanmıştır. Donatı çeliği modelinin pekleşme oranı 1.15 alınarak hesaplanan moment-plastik dönme ilişkisi, benzer şekilde donatı çeliği pekleşme oranı 1.35 alınarak yapılmış ve çelik donatısı pekleşme oranı iki uç durum için değerlendirilmiştir. Böylece toplamda dört farklı moment-plastik dönme ilişkisi ortaya çıkmıştır. Her bir çerçeve sistem bu dört pekleşme durumu için de çözülmüştür. Donatı çeliği modelinin pekleşme oranı 1.35 alınarak hesaplanan moment-plastik dönme ilişkisi pekleşmeli olarak hesaplanan durum SAP2000’de Şekil 2.32’de verilen şekilde moment-dönme ilişkisi pekleşmesiz alınan durum Şekil 2.33’de verilen şekilde tanımlanmıştır.



Şekil 2.32 Üç Katlı Çerçeve Kiriş Elemanı Pekleşmeli Moment Dönme İlişkisi (Donatı Pekleşme Oranı 1.35)



Şekil 2.33 Üç Katlı Çerçeve Kiriş Elemanı Pekleşmesiz Moment Dönme İlişkisi (Donatı Pekleşme Oranı 1.35)

Üç katlı çerçeve sistemde birinci kat B1 kiriş kesiti için örnek olarak hesapları yapılan moment-plastik dönme ilişkileri, üç katlı, beş katlı ve sekiz katlı çerçeve sistemler için Çizelge 2.13'te verilmiştir. Donatı Pekleşme Oranının yanında bulunan + ve - işaretleri sırasıyla mafsal modeli pekleşmeli durum ve mafsal modeli pekleşmesiz durumlara karşılık gelmektedir.

Çizelge 2.13 Kiriş Plastik Mafsallarının Moment-Dönme İlişkileri

Çerçeve Sistem	Kiriş	Don. PO	M_y kN.m	M_u kN.m	$\frac{M_u}{M_y}$	θ_y rad	$\frac{\theta_p^{(GÖ)}}{\theta_y}$	$\frac{\theta_p^{(GT)}}{\theta_y}$
3 KAT	Tip1 B1-12	1.15 +	275.6	309.6	1.12	0.0084	3.34	4.40
		1.15 -	275.6	275.6	1.00	0.0084	3.34	4.40
		1.35 +	281.2	354.1	1.26	0.0085	3.32	4.49
		1.35 -	281.2	281.2	1.00	0.0085	3.32	4.49
5 KAT	Tip1 B1-12	1.15 +	307.8	341.0	1.11	0.0075	2.94	4.00
		1.15 -	307.8	307.8	1.00	0.0075	2.94	4.00
		1.35 +	312.0	381.0	1.22	0.0076	2.43	3.87
		1.35 -	312.0	312.0	1.00	0.0076	2.43	3.87
	Tip2 B13-20	1.15 +	220.0	247.3	1.12	0.0085	3.21	4.15
		1.15 -	220.0	220.0	1.00	0.0085	3.21	4.15
		1.35 +	222.2	286.1	1.29	0.0086	3.21	4.27
		1.35 -	222.2	222.2	1.00	0.0086	3.21	4.27
8 KAT	Tip1 B1-16	1.15 +	324.7	359.3	1.11	0.0089	3.25	4.54
		1.15 -	324.7	324.7	1.00	0.0089	3.25	4.54
		1.35 +	331.7	400.1	1.21	0.0090	2.58	4.09
		1.35 -	331.7	331.7	1.00	0.0090	2.58	4.09
	Tip2 B17-32	1.15 +	275.9	308.9	1.12	0.0087	3.30	4.30
		1.15 -	275.9	275.9	1.00	0.0087	3.30	4.30
		1.35 +	281.6	348.8	1.24	0.0088	2.76	4.41
		1.35 -	281.6	281.6	1.00	0.0088	2.76	4.41

2.2.5. Kolon Moment-Eksenel Kuvvet Plastik Mafsalının Oluşturulması

Kolon plastik mafsalının oluşturulması üç katlı çerçeve sistemde birinci katta kullanılan Şekil 2.8'de görülen C1 kolon kesiti için açıklanmıştır. Üç katlı çerçeve sistem üzerinde C1 kolonu için donatı malzeme modeli pekleşme oranı 1.15 alınarak oluşturulan plastik mafsal modeli burada açıklanmıştır. Bölümün sonunda üç katlı, beş katlı ve sekiz katlı çerçeve sistemlerde kullanılan kolon kesitlerinin donatı pekleşme

oranı 1.15 ve 1.35 alınarak hesaplanmış plastik mafsal özellikleri tablo halinde verilmiştir. Kolonlar için oluşturulan plastik mafsal için normal kuvvetin de dikkate alınması gerekir. Bu tez çalışması kapsamında aynı tipteki kolonlarda G+0.3Q yüklemesinde meydana gelen normal kuvvet değerlerinin ortalaması alınmış bulunan normal kuvvet, aynı kesite sahip kolonlar için plastik mafsalın oluşturulmasında kullanılmıştır. Üç katlı çerçeve sistem için tek tip kolon kullanıldığı için kolonlar için tek bir kolon mafsalı tanımlanmış ve bütün kolonlara atanmıştır.

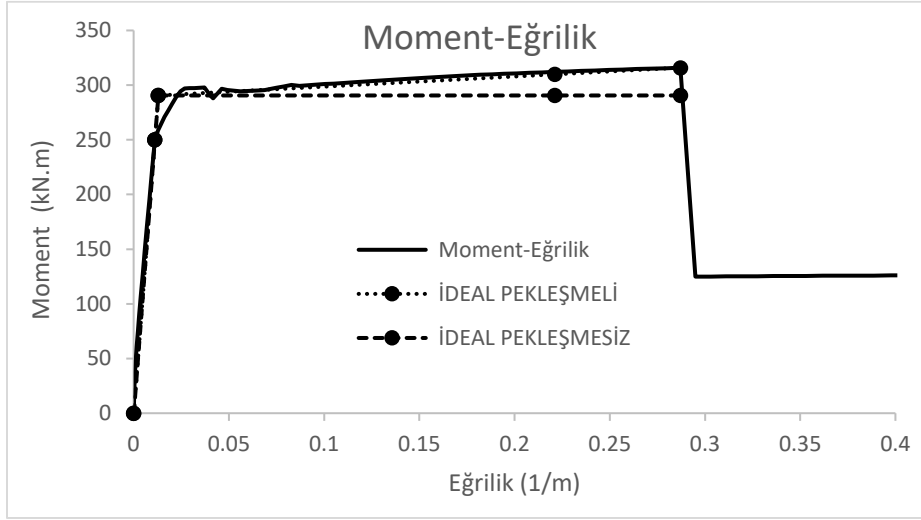
Çizelge 2.14 Üç Katlı Çerçeve C1 Kolonu Kesit Özellikleri

b (mm)	h (mm)	L (mm)	E _c (Mpa)	E _s (Mpa)	Normal Kuvvet (kN)	Donatı
400	400	3000	31225	200000	364	8φ22

Kesitin moment-eğrilik ilişkisi SAP2000 programında section design bölümü yardımıyla hesaplanmıştır. Oluşturulan moment-eğrilik ilişkisi üzerinde TBDY 2018’de verilen kısıtlar dikkate alınarak plastik dönme sınırları belirlenmiştir. Moment eğrilik ilişkisi oluşturulurken aynı tip kolonlarda oluşan ortalama normal kuvvet de dikkate alınmıştır. Kiriş moment mafsalının oluşturulmasında kullanılan adımlar benzer şekilde hazırlanan Excel sayfası yardımı ile kolon için de çözülmüştür.

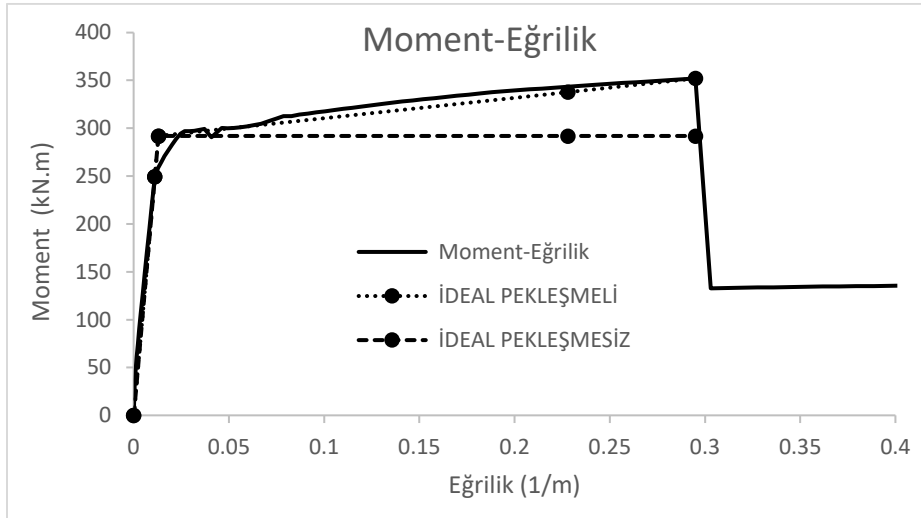
Üç katlı çerçeve sistemde birinci katta bulunan C1 kolon kesitinin moment-eğrilik grafiğinin pekleşmeli ve pekleşmesiz durumlar için ideal iki doğrulu modele dönüştürülmüş hali Şekil 2.34 ile gösterilmiştir. Burada verilen kesitin moment eğrilik ilişkisi oluşturulurken çelik donatı malzeme modeli 1.15 pekleşme oranı ile hesaba katılmıştır.

İki doğrulu moment-eğrilik ilişkisi üzerinde görülen noktalar sırasıyla sıfır noktası, donatı akma noktası, etkin akma momenti noktası, göçmenin önlenmesi noktası ve güç tükenmesi noktasını göstermektedir.



Şekil 2.34 Üç Katlı Çerçeve C1 Kolonu Moment-Eğrilik İlişkisi (Donatı Pekleşme Oranı 1.15)

Çelik donatı malzeme modeli pekleşme oranı 1.35 alındığında aynı kesitin moment eğrilik grafiği Şekil 2.35 ile verilen şekilde oluşturulmuştur. Böylelikle donatı pekleşme etkisini ve moment-eğrilik ilişkisindeki pekleşme etkisini göz önüne alacak şekilde dört farklı pekleşme durumu için plastik mafsalları belirlenmiştir. Her bir çerçeve sistem, bu dört pekleşme durumu için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

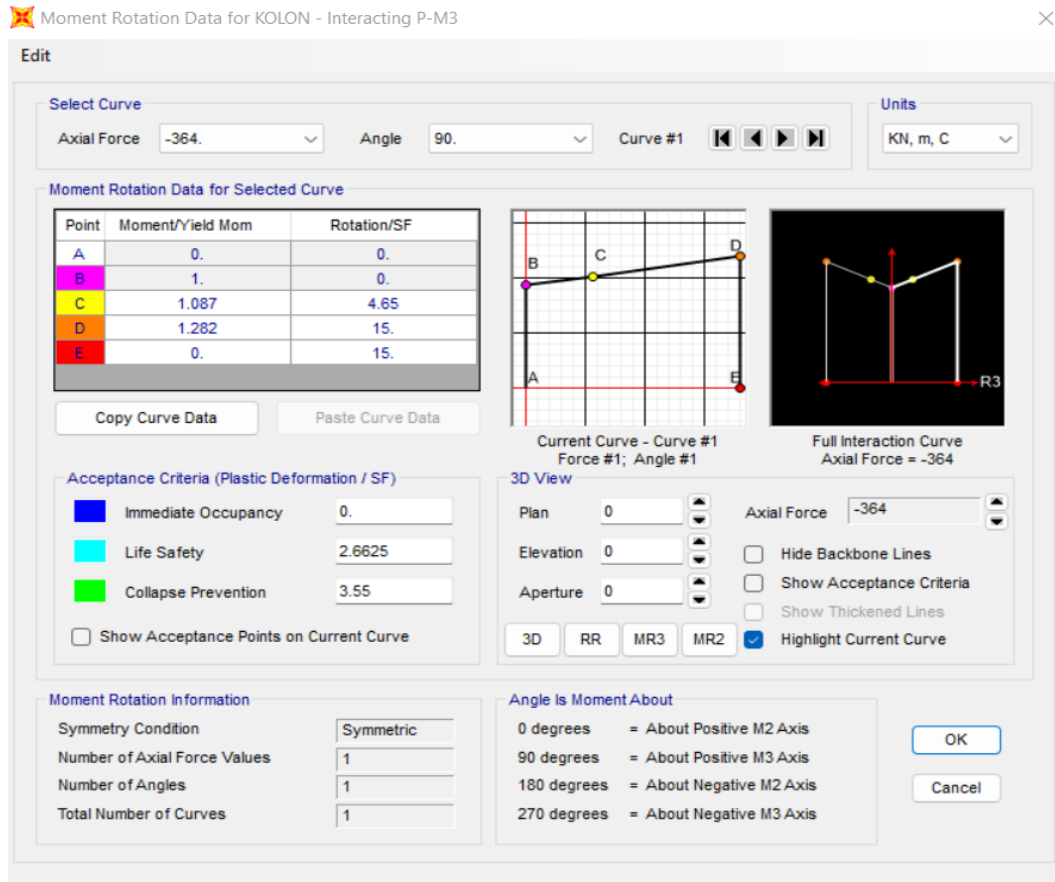


Şekil 2.35 Üç Katlı Çerçeve C1 Kolonu Moment-Eğrilik İlişkisi (Donatı Pekleşme Oranı 1.35)

2.2.6. Kolon Plastik Mafsal Dönme Sınırları

Bina taşıyıcı sistem elemanlarına tanımlanan plastik mafsalların hasar düzeylerinin belirlenmesi için TBDY 2018 bölüm 5.8.1’de tanımlanan plastik mafsallarda sınırlı hasar, kontrollü hasar ve göçmenin önlenmesi hasarı için plastik dönme sınırları verilmiştir. Bu bölümde üç katlı çerçeve sistem için donatı malzeme modeli pekleşme oranı 1.15 ve 1.35 alınarak C1 kolon kesiti için her bir hasar düzeyine karşılık gelen plastik dönme sınır değerleri ve (SAP2000, 2018) programına tanımlanması aktarılmıştır.

Plastik mafsalın plastik dönme sınırları (SAP2000, 2018) programına Şekil 2.36’daki gibi tanımlanmıştır. Plastik mafsal sınırları girilirken etkin akma momenti ve etkin akma dönmesi scale faktor olarak tanımlanmıştır. Burada verilen Acceptance Criteria değerleri immediate occupancy, life safety ve collapse prevention TBDY 2018’de sırasıyla sınırlı hasar, kontrollü hasar ve göçmenin önlenmesi olarak verilmiştir. Güç tükenmesi noktası ise C noktasında tanımlanmıştır.



Şekil 2.36 Üç Katlı Çerçeve Kolonun Peklşmeli Moment Dönme İlişkisi (Donatı Peklşme Oranı 1.15)

Pekleşme değeri güç tükenmesi momentinin etkin akma momentine bölünmesi ile elde edilmiştir. C noktasının değerleri Denklem(2.39) ve (2.40) ile hesaplanmıştır.

$$\frac{Moment}{SF} = \frac{Mu}{My} = \frac{315.9}{290.5} = 1.09 \quad (2.39)$$

$$\frac{Plastik Dönme}{SF} = \frac{\theta_p^{(GT)}}{\theta_y} = \frac{5.3 \times 10^{-2}}{1.1 \times 10^{-2}} = 4.65 \quad (2.40)$$

Sırasıyla göçmenin önlenmesi, kontrollü hasar ve sınırlı hasar durumu için değerler Denklem(2.41), (2.42) ve (2.43) ile hesaplanmıştır.

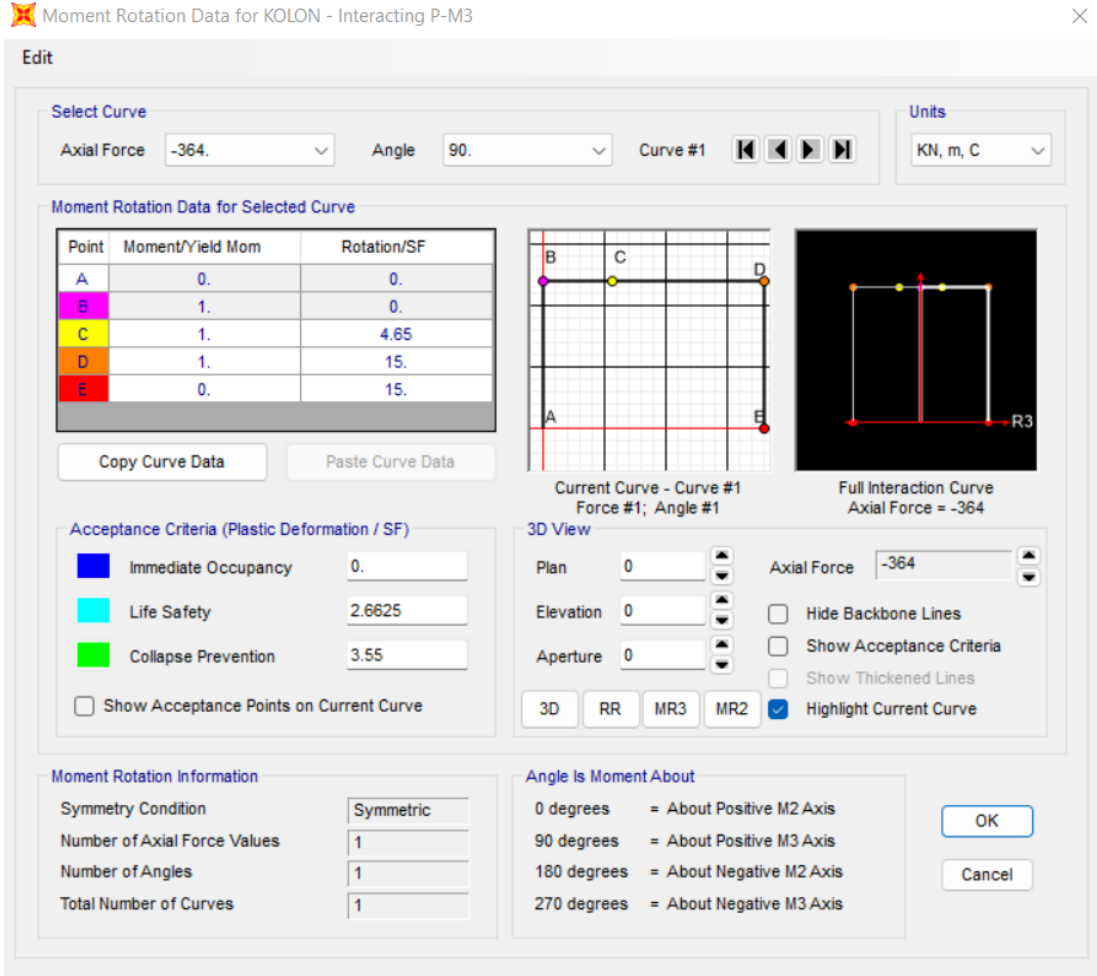
$$\frac{Plastik Dönme}{SF} = \frac{\theta_p^{(GÖ)}}{\theta_y} = \frac{4,1 \times 10^{-2}}{1.1 \times 10^{-2}} = 3.6 \quad (2.41)$$

$$\frac{Plastik Dönme}{SF} = \frac{\theta_p^{(KH)}}{\theta_y} = 3.6 \times 0.75 = 2.7 \quad (2.42)$$

$$\frac{Plastik Dönme}{SF} = \frac{\theta_p^{(SH)}}{\theta_y} = \frac{0}{1.1 \times 10^{-2}} = 0 \quad (2.43)$$

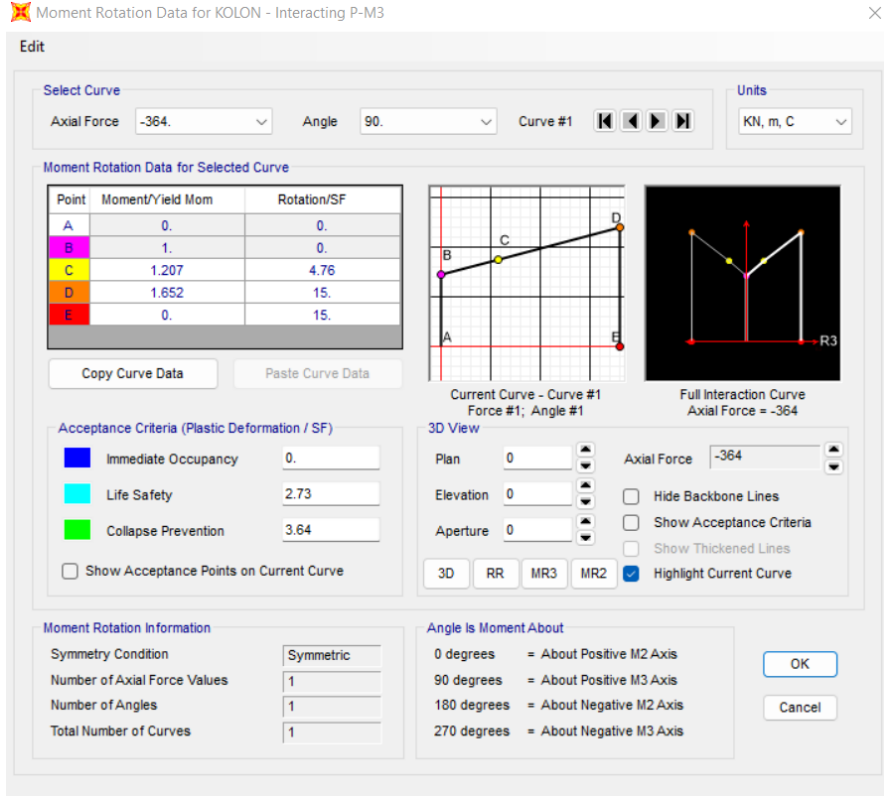
C1 kolon kesiti moment-eğrilik ilişkisi pekleşmeli alınarak ve donatı malzeme modeli pekleşme oranı 1.15 alınarak yapılan hesap sonucunda oluşturulan moment-plastik dönme ilişkisi Şekil 2.36 ile görülmektedir. TBDY 2018 Bölüm 5.3.1’de betonarme kesitlerin iki doğrulu iç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarında pekleşme etkisinin terk edilebileceği belirtilmiştir.

Kolon kesiti donatı pekleşme oranı 1.15 alınarak oluşturulan moment-eğrilik ilişkisinin pekleşmesiz olarak göz önüne alındığı durum (SAP2000, 2018) programına Şekil 2.37 ile görülen şekilde tanımlanmıştır.

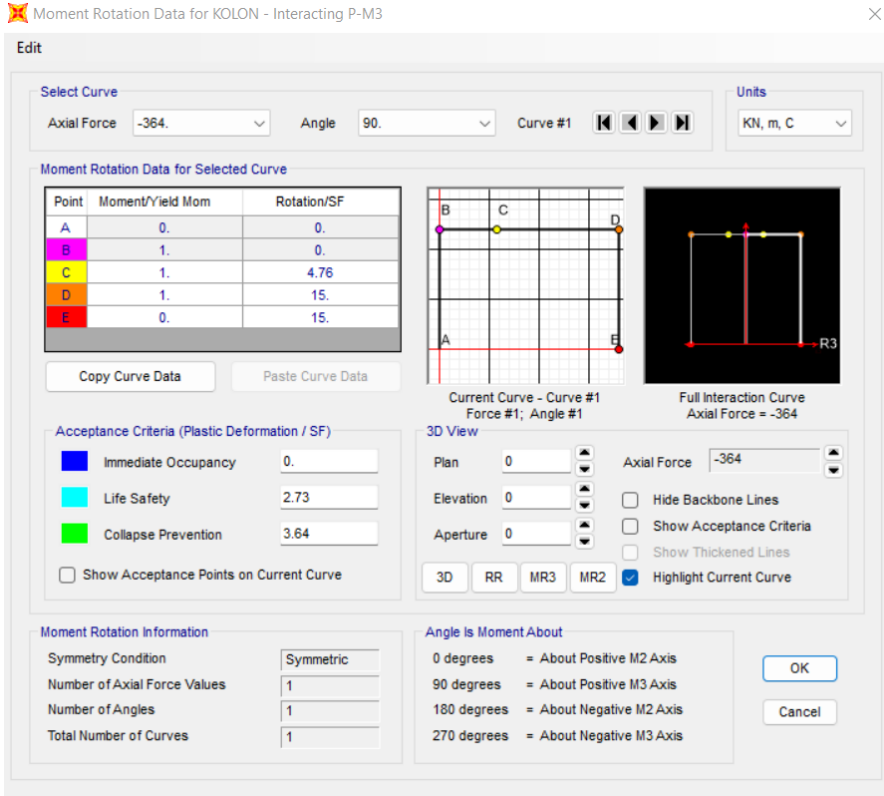


Şekil 2.37 Üç Katlı Çerçeve Kolonun Pekleşmesiz Moment Dönme İlişkisi (Donatı Pekleşme Oranı 1.15)

Burada çelik donatı malzeme modelinin pekleşme oranı 1.15 alınarak moment-plastik dönme ilişkisi pekleşmeli ve pekleşmesiz olarak alınan iki durum tanımlanmıştır. Donatı çeliği modelinin pekleşme oranı 1.15 alınarak hesaplanan moment-plastik dönme ilişkisi, benzer şekilde donatı çeliği pekleşme oranı 1.35 alınarak da yapılmış ve çelik donatısı pekleşme oranı iki uç durum için değerlendirilmiştir. Böylece toplamda dört farklı moment-plastik dönme ilişkisi ortaya çıkmıştır. Her bir çerçeve sistem bu dört pekleşme durumu için de çözülmüştür. Donatı çeliği modelinin pekleşme oranı 1.35 alınarak hesaplanan moment-plastik dönme ilişkisi pekleşmeli olarak hesaplanan durum (SAP2000, 2018) programında Şekil 2.38 ile verilen şekilde moment-dönme ilişkisi pekleşmesiz alınan durum Şekil 2.39 ile verilen şekilde tanımlanmıştır.



Şekil 2.38 Üç Katlı Çerçeve Kolonun Pekleşmeli Moment Dönme İlişkisi (Donatı Pekleşme Oranı 1.35)



Şekil 2.39 Üç Katlı Çerçeve Kolonun Pekleşmesiz Moment Dönme İlişkisi (Donatı Pekleşme Oranı 1.35)

Üç katlı çerçeve sistemde birinci kat C1 kolon kesiti için SAP2000 programına tanımlaması yapılan moment-plastik dönme ilişkileri, üç katlı, beş katlı ve sekiz katlı çerçeve sistemler için Çizelge 2.15'te verilmiştir. Donatı Pekleşme Oranının yanında bulunan + ve - işaretleri sırasıyla mafsal modeli pekleşmeli durum ve mafsal modeli pekleşmesiz durumlara karşılık gelmektedir.

Çizelge 2.15 Kolon Plastik Mafsallarının Moment-Dönme İlişkileri

Çerçeve Sistem	Kolon	Donatı PO	Ortalama Normal Kuvvet kN	My $kN.m$	$\frac{Mu}{My}$	θ_y rad	$\frac{\theta_p^{(G\delta)}}{\theta_y}$	$\frac{\theta_p^{(GT)}}{\theta_y}$
3 KAT	Tip1	1.15 +	364	290.5	1.09	0.0114	3.55	4.65
		1.15 -	364	290.5	1.00	0.0114	3.55	4.65
		1.35 +	364	291.8	1.21	0.0115	3.64	4.76
		1.35 -	364	291.8	1.00	0.0115	3.64	4.76
5 KAT	Tip1	1.15 +	741	574.4	1.06	0.0081	3.90	5.09
		1.15 -	741	574.4	1.00	0.0081	3.90	5.09
		1.35 +	741	577.1	1.16	0.0083	3.87	5.07
		1.35 -	741	577.1	1.00	0.0083	3.87	5.07
	Tip2	1.15 +	947	384.8	1.05	0.0113	3.69	4.68
		1.15 -	947	384.8	1.00	0.0113	3.69	4.68
		1.35 +	947	389.6	1.13	0.0115	3.60	4.76
		1.35 -	947	389.6	1.00	0.0115	3.60	4.76
	Tip3	1.15 +	269	248.4	1.05	0.0109	3.47	4.57
		1.15 -	269	248.4	1.00	0.0109	3.47	4.57
		1.35 +	269	250.6	1.17	0.0110	3.56	4.66
		1.35 -	269	250.6	1.00	0.0110	3.56	4.66
8 KAT	Tip1	1.15 +	1316	740.3	1.07	0.0077	4.10	5.48
		1.15 -	1316	740.3	1.00	0.0077	4.10	5.48
		1.35 +	1316	740.4	1.16	0.0078	4.22	5.47
		1.35 -	1316	740.4	1.00	0.0078	4.22	5.47
	Tip2	1.15 +	1647	464.3	1.04	0.0113	3.04	5.12
		1.15 -	1647	464.3	1.00	0.0113	3.04	5.12
		1.35 +	1647	470.3	1.10	0.0114	2.80	5.20
		1.35 -	1647	470.3	1.00	0.0114	2.80	5.20
	Tip3	1.15 +	837	381.7	1.04	0.0089	3.75	4.90
		1.15 -	837	381.7	1.00	0.0089	3.75	4.90
		1.35 +	837	383.4	1.11	0.0088	3.84	5.00
		1.35 -	837	383.4	1.00	0.0088	3.84	5.00
	Tip4	1.15 +	931	304.5	1.03	0.0106	3.64	4.76
		1.15 -	931	304.5	1.00	0.0106	3.64	4.76
		1.35 +	931	308.6	1.10	0.0107	3.60	4.70
		1.35 -	931	308.6	1.00	0.0107	3.60	4.70
	Tip5	1.15 +	460	308.6	1.06	0.0117	3.58	4.67
		1.15 -	460	308.6	1.00	0.0117	3.58	4.67
		1.35 +	460	311.2	1.16	0.0118	3.66	4.76
		1.35 -	460	311.2	1.00	0.0118	3.66	4.76

2.3. İTME ANALİZİ KABULLERİ

Şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım kapsamında kullanılan doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden ilki itme analizi yöntemidir. TBDY 2018 Bölüm 5.5.2’de $BYS \geq 5$ olan binalarda tek modlu itme yöntemlerinin kullanılabilmesi belirtilmiştir. Tasarımını yaptığımız sekiz katlı, beş katlı ve üç katlı çerçeve sistemler sırasıyla $BYS 5$, $BYS 6$ ve $BYS 7$ ’e karşılık gelmektedir. Bu sebeple yöntem olarak tek modlu itme yöntemi seçilmiştir.

Tek modlu itme yöntemlerinin kullanılabilmesi için TBDY 2018 Bölüm 5.6.2’de tanımlanan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu ve göz önüne alınan deprem doğrultusunda binanın birinci titreşim periyoduna ait taban kesme kuvveti etkin kütle sinin binanın toplam kütle sine oranı en az 0.7 olması koşulunu sağlamalıdır. Her katta döşemeler için rijit diyafram kabulü yapılmıştır. İki boyutlu çerçeveler üzerinde inceleme yapıldığından yalnızca tek bir doğrultuda yatay yerdeğiştirme bileşeni serbestlik derecesi dikkate alınmıştır.

Hesabın başlangıç adımında deprem dışı yüklerle ($G+0.3Q$) yapılan doğrusal olmayan artımsal statik hesap yapılır. Bu hesabın sonucunda elde edilen iç kuvvet-şekildeğiştirme değerleri deprem hesabının başlangıç değerleri olarak alınır.

Tek modlu itme yöntemleri olan sabit tek modlu itme yöntemi ve değişken tek modlu itme yöntemi arasından hesap yöntemi olarak sabit tek modlu itme yöntemi seçilmiştir. Sabit tek modlu itme yöntemine göre her bir adımda uygulanacak deprem yükü artımları, hesabın birinci adımında belirlenen ve itme hesabı boyunca değiştirilmeyen sabit mod şekli ile orantılı olarak belirlenir.

2.3.1. Modal Kapasite Eğrisi Hesabı

Doğrusal olmayan analiz için modellenen üç katlı çerçeve sistemin SAP2000 programı yardımıyla modal analizi sonucunda elde edilen mod şekli Çizelge 2.16’da verilmiştir. Doğrusal olmayan analizlerde kullanılmak üzere oluşturulan üç katlı çerçeve sistem hâkim titreşim periyodu $T_1 = 1.1$ s olarak bulunmuştur.

Çizelge 2.16 Üç Katlı Çerçeve Mod Şekli

KAT	m (ton)	Φ_i^1 (Hâkim Mod)
1	100	0.172
2	100	0.359
3	100	0.469

Üç katlı çerçeve modeli için itme analizi modal kapasite eğrisinin oluşturulması için şu adımlar takip edilmiştir.

- i) Göz önüne alınan (X) deprem doğrultusu için hâkim titreşim modu ve birinci itme adımında Modal Katkı Çarpanı Denklem(2.44) ile hesaplanmış,

$$\Gamma_n^{(X)} = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i(X)n}}{\sum_{i=1}^N (m_i \phi_{ixn}^2)} = \frac{100 \times 0.172 + 100 \times 0.359 + 100 \times 0.469}{100 \times 0.172^2 + 100 \times 0.359^2 + 100 \times 0.469^2} \quad (2.44)$$

$$= 2.64$$

- ii) Göz önüne alınan (X) deprem doğrultusu için hâkim titreşim modu ve birinci itme adımında Kat Etkin Kütleleri Denklem(2.45), (2.46) ve (2.47) ile hesaplanmış,

$$m_{ix1}^{(X,1)} = m_i \phi_{ix1} \Gamma_1^{(X,1)} ; \quad m_{1x1}^{(X,1)} = m_1 \phi_{1x1} \Gamma_1^{(X,1)} = 100 \times 0.172 \times 2.64 \quad (2.45)$$

$$= 45.27 t$$

$$m_{2x1}^{(X,1)} = m_2 \phi_{2x1} \Gamma_1^{(X,1)} = 100 \times 0.359 \times 2.64 = 94.70 t \quad (2.46)$$

$$m_{3x1}^{(X,1)} = m_3 \phi_{3x1} \Gamma_1^{(X,1)} = 100 \times 0.469 \times 2.64 = 123.60 t \quad (2.47)$$

- iii) Göz önüne alınan (X) deprem doğrultusu birinci itme adımında belirlenen birinci titreşim modu sabit mod şekline göre hesaplanan kat modal kütlelerin toplamı Taban Kesme Kuvveti Modal Etkin Kütleleri Denklem(2.48) ile hesaplanmış,

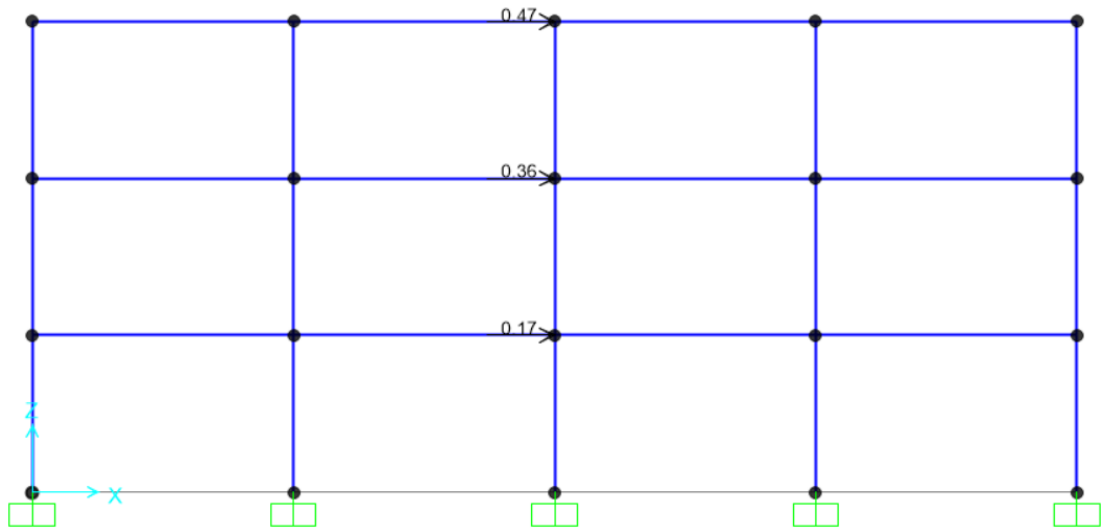
$$m_{tx1}^{(X)} = \Gamma_1^{(X)} \sum_{i=1}^N m_i \phi_{ix1} = 45.27 + 94.70 + 123.60 = 263.57 t \quad (2.48)$$

iv) Kapasite eğrisinin modal kapasite eğrisine dönüştürülürken taban kesme kuvveti (y eksenini)-tepe noktası yer değiştirmesi (x eksenini) eksenleri, (X) deprem doğrultusunda k'inci itme adımında birinci titreşim moduna karşılık gelen sözde ivme ($a_1^{(X,k)}$) ve modal tek serbestlik dereceli sistemin modal yerdeğiştirme ($d_1^{(X,k)}$) değerlerine Denklem(2.49)'da verilen formüller kullanılarak dönüştürülmüştür.

$$a_1^{(X,k)} = \frac{V_{tx1}^{(X,k)}}{m_{tx1}^{(X,1)}} ; d_1^{(X,k)} = \frac{u_{Nx1}^{(X,k)}}{\phi_{Nx1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}} \quad (2.49)$$

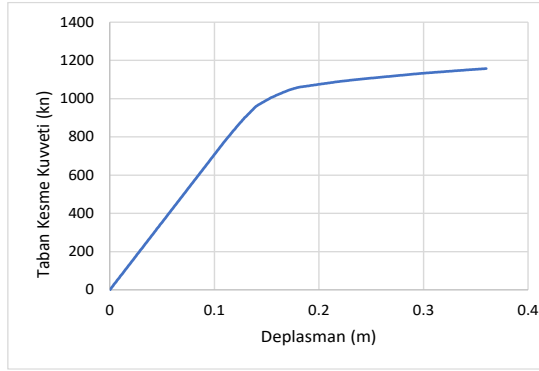
Burada verilen $V_{tx1}^{(X,k)}$ (X) deprem doğrultusu hâkim titreşim modu k'inci itme adımına karşılık gelen taban kesme kuvvetini, $u_{Nx1}^{(X,k)}$ ise yerdeğiştirme değerine karşılık gelmektedir.

İtme analizi sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti-tepe noktası yerdeğiştirmesi kapasite eğrisi SAP2000 programı yardımıyla hesaplanmıştır. Birinci titreşim modu şekli yük olarak (load pattern) SAP2000 programına Şekil 2.40'de verilen şekilde tanımlanmıştır.

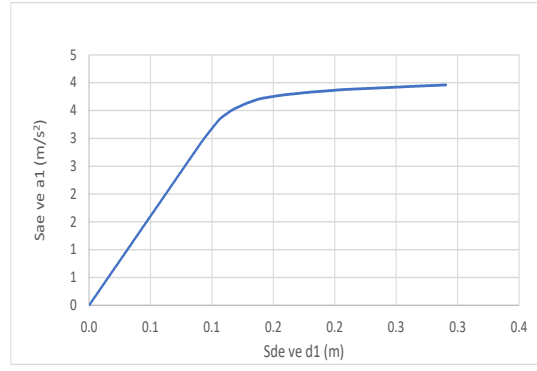


Şekil 2.40 Üç Katlı Çerçeve İtme Analizi Yük Tanımlaması

Üç katlı çerçeve sistem için kapasite eğrisi bina tepe noktası bina yüksekliğinin 0.04 katına kadar yani $12 \times 0.04 = 0.36 \text{ m}$ 'e ulaşıncaya kadar itme hesabına devam edilmiş ve üç katlı çerçeve sistemin tepe noktası deplasman-taban kesme kuvveti kapasite eğrisi Şekil 2.41'de verilen şekilde oluşturulmuştur. Daha sonra gerekli dönüşümler yapılarak Şekil 2.42'da görülen modal kapasite eğrisi oluşturulmuştur.



Şekil 2.41 Taban Kesme Kuvveti- Tepe Deplasman



Şekil 2.42 Söзде İvme – Spektral Yerdeğıştirme

2.3.2. Depremin Modal Yerdeğıştirme Talebi Hesabı

Modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yerdeğıştirmesi, TBDY 2018 yönetmeliğinde bölüm 5B.3'te doğrusal olmayan spektral yerdeğıştirme olarak Denklem(2.48)'te verildiği gibi tanımlanmıştır.

$$d_{1,max}^{(X)} = S_{di}(T1) \quad (2.50)$$

Burada $d_{1,max}^{(X)}$ tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yerdeğıştirmesini, $S_{di}(T1)$ ise çerçeve sistemin hâkim periyodu $T1$ 'e karşılık gelen doğrusal olmayan spektral yerdeğıştirmeyi ifade etmektedir.

$$S_{di}(T1) = C_R S_{de}(T1) \quad (2.51)$$

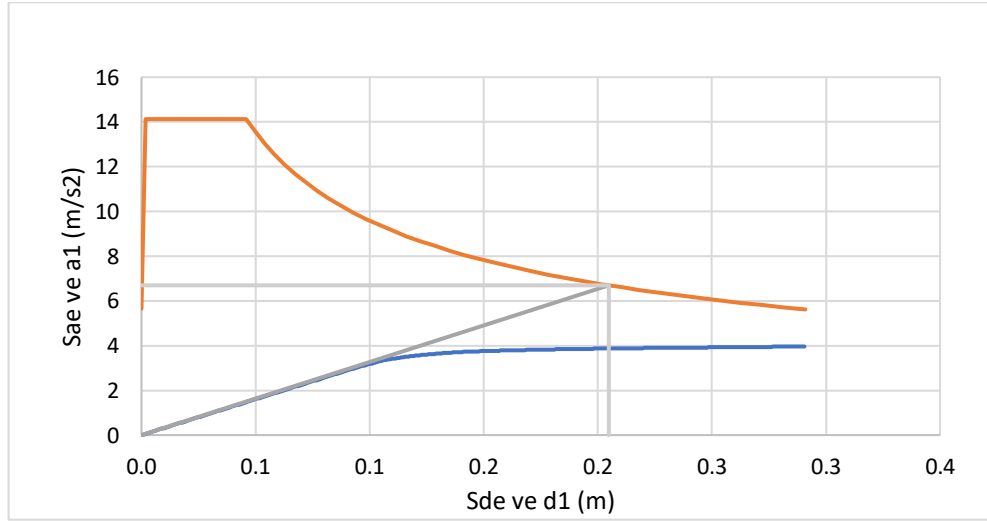
Denklem(2.48)'te verilen $S_{de}(T1)$ elastik spektral yerdeğıştirmeyi, $C_R = \frac{\mu(R_y, T1)}{R_y}$ ise spektral yer değıştirme oranını ifade etmektedir.

Depremin süneklik talebi $\mu(R_y, T1)$, eşit yerdeğıştirme kuralına göre rijitliği düşük olan yapı sistemleri için akma dayanımı azaltma katsayısı R_y 'a eşit alınacağı

belirtilmiştir. TBDY 2018 bölüm 5B.3'te verilen şekilde $T_1 > T_B$ olduğunda $\mu(R_y, T_1) = R_y$ olarak alınacaktır.

Doğrusal olmayan analiz için modellenen üç katlı, beş katlı ve sekiz katlı çerçeve sistemlerin üçü de burada belirtilen düşük rijitlikteki yapı sistemlerine girmektedir. Yani her üç sistemde de birinci titreşim periyodu, T_B 'den küçük $T_1 > T_B$ olmaktadır. O yüzden $C_R = 1$ olarak hesaplanmıştır.

Üç katlı çerçeve sistemin depremin yerdeğiştirme talebinin hesabı için itme analizi sonucunda elde edilen kapasite eğrisi ve yatay elastik tasarım spektrumu aynı grafik üzerinde Şekil 2.43'de gösterilmiştir. Kapasite eğrisi eksenleri taban kesme kuvveti ve tepe noktası yerdeğiştirmesi, sırasıyla sözde ivme ve spektral yerdeğiştirme değerlerine dönüşümü yapılmış, yatay elastik tasarım spektrumu periyot eksenini de aynı şekilde spektral yerdeğiştirme değerlerine dönüştürülmüştür. Bu grafikte spektrum eğrisi üzerinde $d_{1,max}^{(X)}$ ve $S_{ae}(T)$ değerlerinin kesiştiği noktaya başlangıç noktasından çizilen doğru deprem yerdeğiştirme talebi eğrisidir. Aynı zamanda bu eğri dönüşümü yapılmış kapasite eğrisinin elastik bölgedeki başlangıç eğimine eşittir.



Şekil 2.43 Modal Yerdeğiştirme Talebi

$$d_{1,max}^{(X)} = S_{di}(T1) = C_R S_{de}(T1) = C_R \times \frac{T^2}{4\pi^2} g S_{ae}(T) \quad (2.52)$$

$$d_{1,max}^{(X)} = 1 \times \frac{1.1^2}{4\pi^2} \times 9.81 \times 0.68 = 0.205 \text{ m} \quad (2.53)$$

Deprem yerdęřtirme talebinin spektral yerdęřtirme cinsinden hesabı Denklem(2.52) ve (2.53) ile verilmiştir. Deprem yerdęřtirmesi talebine kadar olan itme analizi sonucunda plastik mafsallarda oluşan şekildeğştirme değerleri ve oluşan iç kuvvet değerleri TBDY 2018’de verilen kriterlere uygun olarak değerlendirmeye tabi tutulur ve ereve sistem deprem performans düzeyi belirlenir. Burada  katlı ereve sistem için donatı çeliği pekleşme oranı 1.15 alınarak ve plastik mafsalın moment-plastik dönme grafiği pekleşmeli alınarak ozlen bir örnek verilmiştir.

2.4. ZAMAN TANIM ALANINDA DOğRUSAL OLMAYAN ANALİZ KABULLERİ

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde yapılan kabuller ve analizlerde kullanılan deprem kayıtlarının özellikleri bu bölümde verilmiştir. Ayrıca kullanılan deprem kayıtları tüm ereve sistemler için ayrı ayrı normalizasyon ve ölçeklendirme işlemi yapılmıştır.

2.4.1. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizde Yapılan Kabuller

Taşıyıcı sistem elemanlarında doğrusal olarak çalışan yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda dinamik enerji kaybı, hareket denklemlerinde viskoz sönüm matrisi olarak dikkate alınmış, viskoz sönüm matrisi, Rayleigh orantılı sönüm matrisi olarak dikkate alınmıştır. (TBDY, 2018)

Doğrusal olmayan hesabın başlangıç adımında deprem dışı yüklemeler altında (G+0.3Q) yapılan artımsal statik analiz sonucunda elde edilen iç kuvvet ve doğrusal olmayan şekildeğştirmeler doğrusal olmayan hesabın başlangıç adımı olarak kabul edilmiştir. (TBDY, 2018)

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde kullanılmak üzere 56 adet yer hareketi kaydı seçilmiştir. Seçilen yer hareketi kayıtlarının isimleri ve bilgileri izelge 2.17’de verilmiştir.

Çizelge 2.17 Deprem Kayıtları ve Özellikleri

Num	Deprem İsmi	RSN	İstasyon	Tarih	Bileşen	Zaman Aralığı (s)	Deprem Süresi (s)
1	Northridge	953	Beverly Hills	1/17/1994	9	0.01	30
2	Northridge	953	Beverly Hills	1/17/1994	279	0.01	30
3	Northridge	960	Canyon Country	1/17/1994	0	0.01	20
4	Northridge	960	Canyon Country	1/17/1994	270	0.01	20
5	Kern Country	15	Taft Lincoln School	7/21/1952	21	0.01	54
6	Kern Country	15	Taft Lincoln School	7/21/1952	111	0.01	54
7	Borrego Mtn	36	El Centro Array	4/09/1968	180	0.01	80
8	Borrego Mtn	36	El Centro Array	4/09/1968	270	0.01	80
9	Düzce	1602	Bolu	11/12/1999	0	0.01	56
10	Düzce	1602	Bolu	11/12/1999	90	0.01	56
11	Hector Mine	1762	Armboy	10/16/1999	90	0.02	60
12	Hector Mine	1762	Armboy	10/16/1999	360	0.02	60
13	Hector Mine	1787	Hector	10/16/1999	0	0.01	45
14	Hector Mine	1787	Hector	10/16/1999	90	0.01	45
15	İmperial Valley	169	Delta	10/15/1979	262	0.01	100
16	İmperial Valley	169	Delta	10/15/1979	352	0.01	100
17	İmperial Valley	175	El Centro Array	10/15/1979	140	0.005	39
18	İmperial Valley	175	El Centro Array	10/15/1979	230	0.005	39
19	Kobe	1111	Nishi-Akashi	1/16/1995	0	0.01	41
20	Kobe	1111	Nishi-Akashi	1/16/1995	90	0.01	41
21	Kobe	1116	Shin Osaka	1/16/1995	0	0.01	41
22	Kobe	1116	Shin Osaka	1/16/1995	90	0.01	41
23	Kocaeli	1158	Düzce	8/17/1999	180	0.005	27
24	Kocaeli	1158	Düzce	8/17/1999	270	0.005	27
25	Kocaeli	1148	Arçelik	8/17/1999	0	0.005	30
26	Kocaeli	1148	Arçelik	8/17/1999	90	0.005	30
27	Landers	900	Yermo Fire	6/28/1992	270	0.02	44
28	Landers	900	Yermo Fire	6/28/1992	360	0.02	44
29	Landers	848	Coolwater	6/28/1992	LN	0.0039	28
30	Landers	848	Coolwater	6/28/1992	TR	0.0039	28
31	Loma Prieta	752	Capitola	10/18/1989	0	0.005	40
32	Loma Prieta	752	Capitola	10/18/1989	90	0.005	40
33	Loma Prieta	766	Gilroy Array	10/18/1989	0	0.005	40
34	Loma Prieta	766	Gilroy Array	10/18/1989	90	0.005	40
35	Manjil	1633	Abbar	6/20/1990	L	0.02	54
36	Manjil	1633	Abbar	6/20/1990	T	0.02	46
37	Superstition Hills	721	El Centro Imp.	11/24/1987	0	0.005	60
38	Superstition Hills	721	El Centro Imp.	11/24/1987	90	0.005	60
39	Superstition Hills	725	Poe Road	11/24/1987	270	0.01	22
40	Superstition Hills	725	Poe Road	11/24/1987	360	0.01	22

41	Cape Mendocino	826	Eureka	4/25/1992	0	0.02	44
42	Cape Mendocino	826	Eureka	4/25/1992	90	0.02	44
43	Cape Mendocino	828	Petrolia	4/25/1992	0	0.02	36
44	Cape Mendocino	828	Petrolia	4/25/1992	90	0.02	36
45	Chi-Chi	1244	CHY101	9/20/1999	E	0.005	90
46	Chi-Chi	1245	CHY102	9/20/1999	N	0.005	90
47	Chi-Chi	1485	TCU045	9/20/1999	E	0.005	90
48	Chi-Chi	1486	TCU046	9/20/1999	N	0.005	85
49	San Fernando	68	LA Hollywood Sto FF	2/09/1971	90	0.01	79
50	San Fernando	68	LA Hollywood Sto FF	2/09/1971	180	0.01	79
51	St Elias, Alaska	1629	Yakutat	2/28/1979	9	0.005	83
52	St Elias, Alaska	1629	Yakutat	2/28/1979	279	0.005	83
53	St Elias, Alaska	1628	Icy Bay	2/28/1979	90	0.005	62
54	St Elias, Alaska	1628	Icy Bay	2/28/1979	180	0.005	62
55	Friuli	125	Tolmezzo	5/06/1976	0	0.005	36
56	Friuli	125	Tolmezzo	5/06/1976	270	0.005	36

2.4.2. Deprem Kayıtları Ölçeklendirme ve Normalizasyon Katsayıları

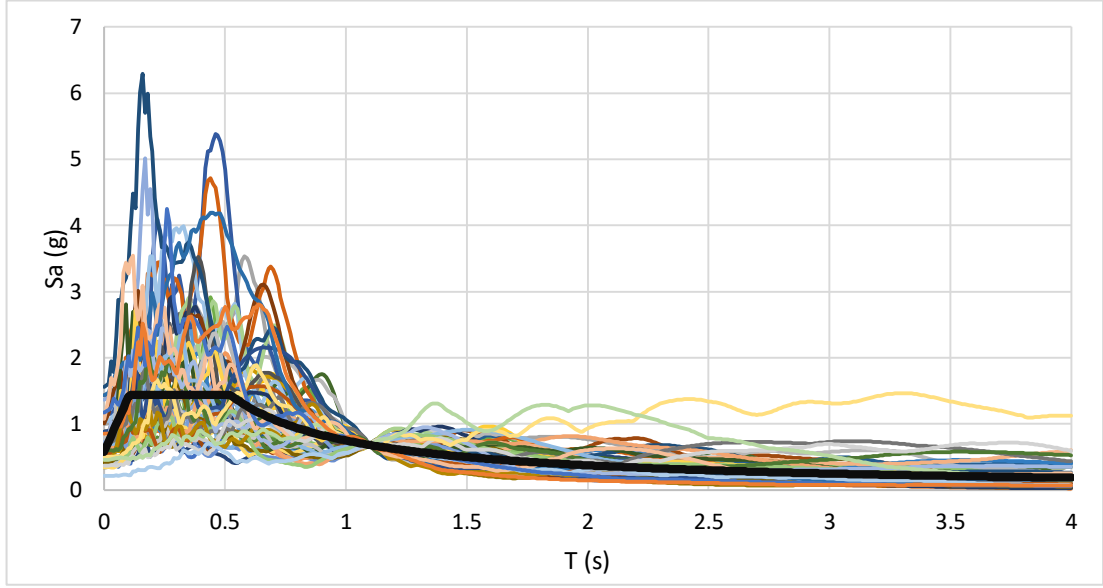
Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizlerde kullanılan yer hareketi kayıtları önce normalize edilmiş ardından ölçeklendirilmiştir. Normalizasyon işleminde amaç deprem kayıtları arasındaki farklılığı azaltmaktır. Bu amaçla her bir deprem kaydı, çerçeve sistemin birinci periyodunda tasarım deprem spektrumu ile aynı elastik spektral ivmeye sahip olacak şekilde normalize edilmiştir. Deprem kayıtlarının ölçeklendirme işleminin amacı ise kayıtların yönetmelikteki tasarım spektrumunu yansıtır hale getirmektir. Bu işlem için, önce normalize edilmiş tüm deprem kayıtlarının elastik ivme spektrumlarının ortalaması alınmıştır. Ardından her bir çerçeve sistem için ayrı ayrı $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyot aralığında tasarım spektrumu genliğinden daha büyük değere sahip olacak şekilde ölçeklendirme katsayısı bulunmuştur.

Üç katlı çerçeve model için binanın hâkim doğal titreşim periyodu $T_p = 0.64s$ olarak hesaplanmıştır. Çizelge 2.18’te normalizasyon ve ölçeklendirme için hesaplanan katsayılar verilmiştir.

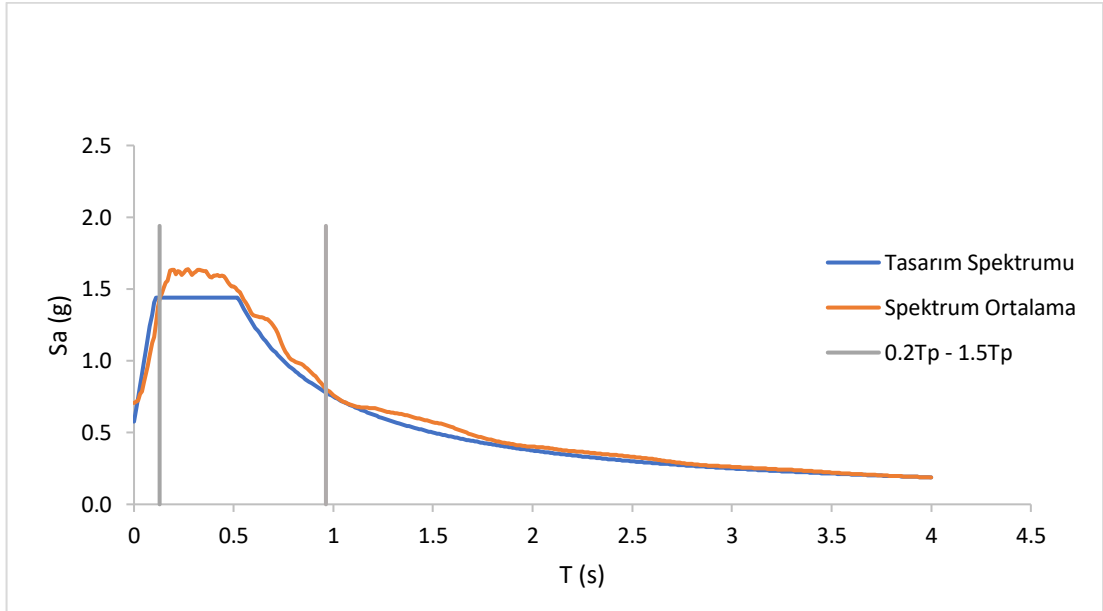
Çizelge 2.18 Üç Katlı Çerçeve Sistem Deprem Kayıtları Normalizasyon ve Ölçeklendirme Katsayıları

Deprem Kaydı	Normalize Katsayısı	Ölçek Katsayısı	Deprem Kaydı	Normalize Katsayısı	Ölçek Katsayısı
1	0.8	1.01	29	3.6	1.01
2	0.8	1.01	30	2.0	1.01
3	2.5	1.01	31	1.4	1.01
4	1.4	1.01	32	2.3	1.01
5	4.1	1.01	33	2.4	1.01
6	4.8	1.01	34	1.3	1.01
7	3.0	1.01	35	3.0	1.01
8	6.6	1.01	36	1.4	1.01
9	1.2	1.01	37	1.8	1.01
10	0.7	1.01	38	2.4	1.01
11	3.3	1.01	39	1.6	1.01
12	4.4	1.01	40	2.5	1.01
13	1.6	1.01	41	4.5	1.01
14	1.4	1.01	42	2.7	1.01
15	3.6	1.01	43	1.5	1.01
16	2.0	1.01	44	0.8	1.01
17	3.1	1.01	45	1.9	1.01
18	5.1	1.01	46	9.2	1.01
19	2.4	1.01	47	3.0	1.01
20	3.1	1.01	48	5.0	1.01
21	1.9	1.01	49	3.2	1.01
22	2.4	1.01	50	5.5	1.01
23	1.9	1.01	51	4.4	1.01
24	1.1	1.01	52	7.6	1.01
25	6.5	1.01	53	2.1	1.01
26	6.4	1.01	54	2.6	1.01
27	1.6	1.01	55	3.3	1.01
28	2.2	1.01	56	2.7	1.01

Deprem kayıtları, burada hesaplanan normalizasyon ve ölçeklendirme katsayıları ile çarpılmış böylelikle TBDY 2018 yönetmeliğine göre basit ölçeklendirme ile ölçeklendirilmiş doğrusal olmayan analizlerde kullanılmak üzere ölçekli deprem kayıtları elde edilmiştir. Şekil 2.44 ve Şekil 2.45’de verilen grafiklerde ölçeklendirilmiş 56 deprem kaydının spektrumları ve bu 56 deprem kaydı spektrumlarının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyot aralığında genliklerinin tasarım spektrumu genliklerinden büyük olduğu gösterilmiştir.



Şekil 2.44 Üç Katlı Çerçeve Sistem için Ölçeklendirilmiş Deprem Kayıtları ve Tasarım Spektrumu



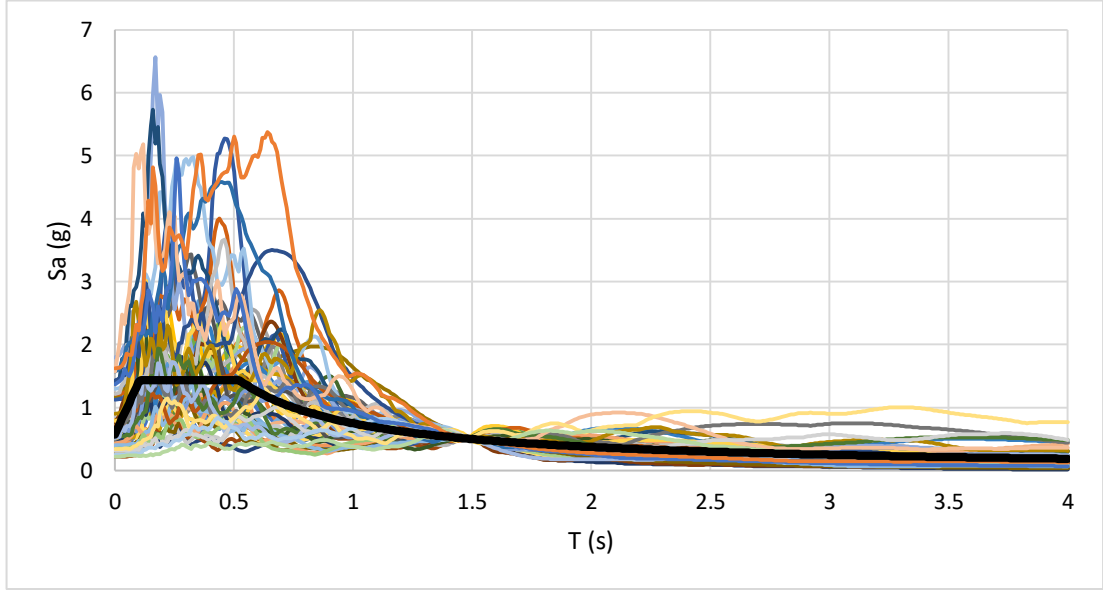
Şekil 2.45 Üç Katlı Çerçeve Sistem için Deprem Kayıtlarının Ortalaması ve Tasarım Spektrumu

Beş katlı çerçeve model için binanın hâkim doğal titreşim periyodu $T_p = 0.94s$ olarak hesaplanmıştır. Ölçeklendirme işlemi yapılan deprem kayıtları spektrumları için kullanılan normalizasyon ve ölçeklendirme katsayıları Çizelge 2.19’da verilmiştir.

Çizelge 2.19 Beş Katlı Çerçeve Sistem Deprem Kayıtları Normalizasyon ve Ölçeklendirme Katsayıları

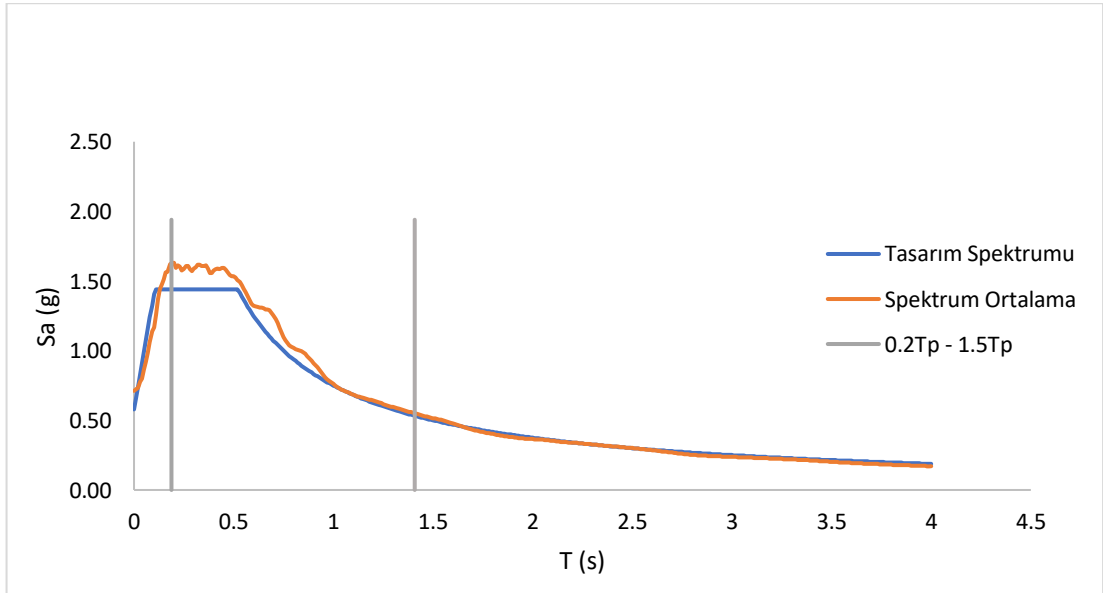
Deprem Kaydı	Normalize Katsayısı	Ölçek Katsayısı	Deprem Kaydı	Normalize Katsayısı	Ölçek Katsayısı
1	0.9	1.03	29	4.4	1.03
2	0.9	1.03	30	1.6	1.03
3	1.7	1.03	31	0.8	1.03
4	1.6	1.03	32	1.7	1.03
5	4.4	1.03	33	1.7	1.03
6	3.9	1.03	34	0.8	1.03
7	2.2	1.03	35	2.7	1.03
8	3.7	1.03	36	1.1	1.03
9	1.5	1.03	37	1.7	1.03
10	1.4	1.03	38	1.6	1.03
11	2.5	1.03	39	2.5	1.03
12	3.7	1.03	40	2.7	1.03
13	2.0	1.03	41	2.5	1.03
14	1.1	1.03	42	1.9	1.03
15	2.4	1.03	43	2.3	1.03
16	1.4	1.03	44	1.0	1.03
17	3.4	1.03	45	1.9	1.03
18	3.7	1.03	46	17.7	1.03
19	2.3	1.03	47	3.2	1.03
20	2.5	1.03	48	4.5	1.03
21	2.1	1.03	49	2.2	1.03
22	2.1	1.03	50	7.9	1.03
23	2.1	1.03	51	3.6	1.03
24	0.9	1.03	52	5.1	1.03
25	8.3	1.03	53	2.5	1.03
26	4.4	1.03	54	1.2	1.03
27	1.2	1.03	55	3.7	1.03
28	1.9	1.03	56	5.0	1.03

Beş katlı çerçeve sistem için normalizasyon ve basit ölçeklendirmesi yapılan deprem kayıtları spektrumları ve tasarım spektrumu Şekil 2.46’de verilmiştir.



Şekil 2.46 Beş Katlı Çerçeve Sistem için Ölçeklendirilmiş Deprem Kayıtları ve Tasarım Spektrumu

Deprem kayıtları spektrumlarının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin aynı periyot aralığında tasarım spektrumu genliklerinden daha büyük olduğu Şekil 2.47'da gösterilmiştir.



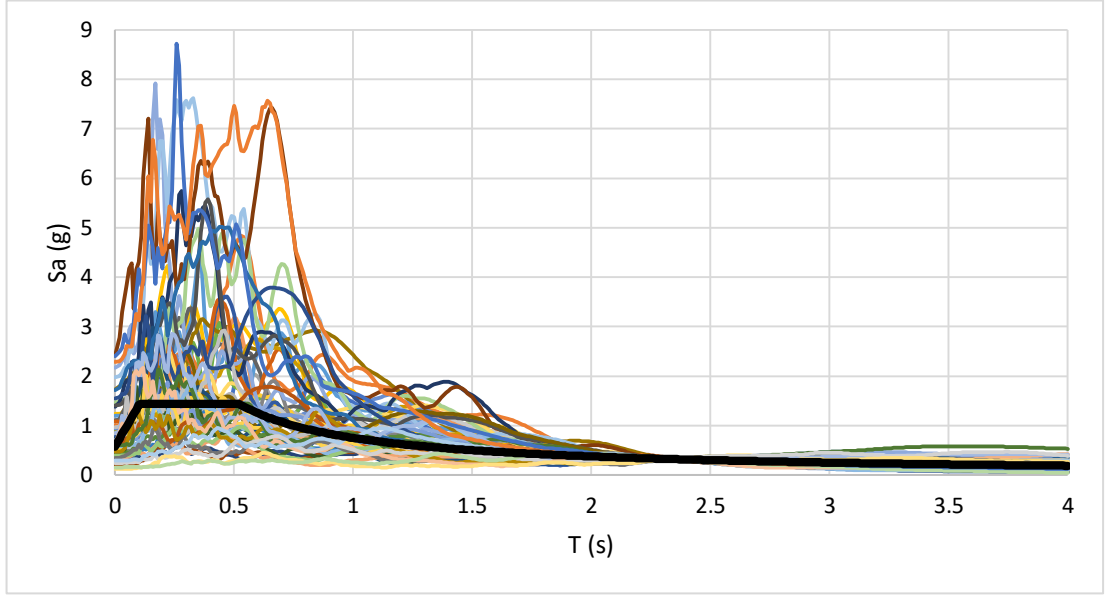
Şekil 2.47 Beş Katlı Çerçeve Sistem için Deprem Kayıtları Ortalaması ve Tasarım Spektrumu

Sekiz katlı çerçeve model için binanın hâkim doğal titreşim periyodu $T_p = 1.52s$ olarak hesaplanmıştır. Ölçeklendirme işlemi yapılan deprem kayıtları spektrumları için kullanılan normalizasyon ve ölçeklendirme katsayıları Çizelge 2.20'de verilmiştir.

Çizelge 2.20 Sekiz Katlı Çerçeve Sistem Deprem Kayıtları Normalizasyon ve Ölçeklendirme Katsayıları

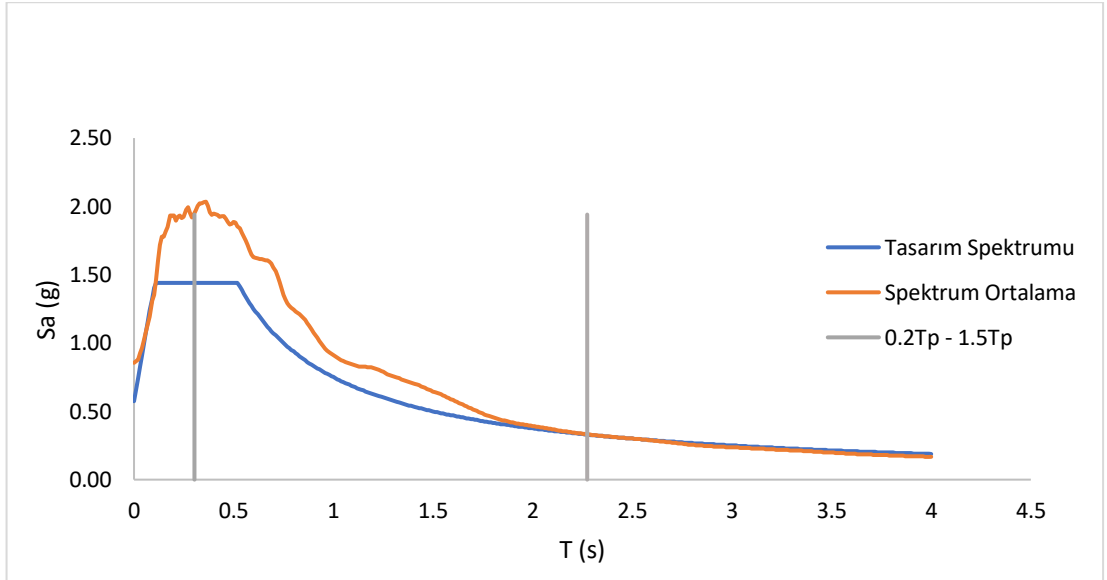
Deprem Kaydı	Normalize Katsayısı	Ölçek Katsayısı	Deprem Kaydı	Normalize Katsayısı	Ölçek Katsayısı
1	1.4	1.00	29	4.4	1.00
2	2.1	1.00	30	1.6	1.00
3	1.4	1.00	31	0.8	1.00
4	2.6	1.00	32	1.7	1.00
5	7.5	1.00	33	1.7	1.00
6	5.1	1.00	34	0.8	1.00
7	2.3	1.00	35	2.7	1.00
8	3.5	1.00	36	1.1	1.00
9	1.5	1.00	37	1.7	1.00
10	2.1	1.00	38	1.6	1.00
11	2.9	1.00	39	2.5	1.00
12	2.9	1.00	40	2.7	1.00
13	3.5	1.00	41	2.5	1.00
14	2.2	1.00	42	1.9	1.00
15	2.3	1.00	43	2.3	1.00
16	2.1	1.00	44	1.0	1.00
17	2.9	1.00	45	1.9	1.00
18	3.8	1.00	46	17.7	1.00
19	1.6	1.00	47	3.2	1.00
20	2.3	1.00	48	4.5	1.00
21	2.1	1.00	49	2.2	1.00
22	3.7	1.00	50	7.9	1.00
23	1.2	1.00	51	3.6	1.00
24	1.2	1.00	52	5.1	1.00
25	10.3	1.00	53	2.5	1.00
26	4.6	1.00	54	1.2	1.00
27	2.3	1.00	55	3.7	1.00
28	4.2	1.00	56	5.0	1.00

Sekiz katlı çerçeve sistem için ölçeklendirilmiş deprem kayıtları spektrumları ve tasarım spektrumu Şekil 2.48 ile verilmiştir.



Şekil 2.48 Sekiz Katlı Çerçeve Sistem için Ölçekli Deprem Kayıtları

Deprem kayıtları spektrumlarının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin aynı periyot aralığında tasarım spektrumu genliklerinden daha büyük olduğu Şekil 2.49 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.49 Sekiz Katlı Çerçeve Sistem için Deprem Kayıtları Ortalaması ve Tasarım Spektrumu

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. ANALİZ SONUÇLARI

Üç, beş ve sekiz katlı çerçeve sistemler, dört farklı pekleşme durumunu incelemek amacıyla itme analizi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz hesap yöntemleri ile doğrusal olmayan analizler yapılarak betonarme çerçeve sistemlerin deprem performansları değerlendirilmiştir. Sırasıyla itme analizi sonuçları, zaman tanım alanında analiz sonuçları ve her iki yöntemden elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

3.1. İTME ANALİZİ SONUÇLARI

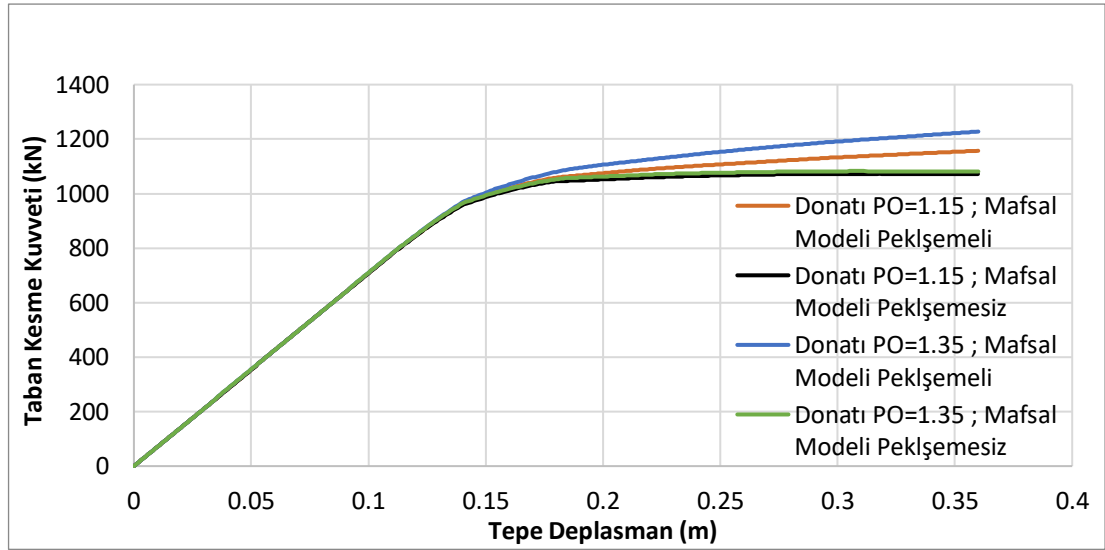
Tüm örnek çerçeveler; üç katlı, beş katlı ve sekiz katlı, hem donatı malzeme modeli pekleşme oranı hem de plastik mafsallarda kullanılan moment-dönme ilişkisindeki pekleşme etkisi ikişer farklı şekilde dikkate alınarak her bir örnek çerçeve için dört farklı pekleşme durumunu incelemek amacıyla doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemi kullanılmıştır. Analizler SAP2000 programında sabit tek modlu itme yöntemi ile yapılmış ve tepe deplasmanı bina yüksekliğinin %4'üne ulaşmaya kadar devam edilmiştir. Bu sayede her bir örnek çerçevenin her bir pekleşme durumu için bir adet kapasite eğrisi hesaplanmış ve toplamda 12 adet kapasite eğrisi elde edilmiştir.

Ardından her bir çerçeve sistem için depremin yerdeğiştirme talebi elde edilmiştir. Son olarak taşıyıcı sistem, deprem yerdeğiştirme talebine ulaştığı anda plastik mafsallarda oluşan plastik dönme oranları belirlenmiş ve farklı pekleşme durumlarını yansıtan sistemlere ait sonuçlar karşılaştırılmıştır.

3.1.1. Üç Katlı Çerçeve Sistem

Üç katlı çerçeve sistemde dört farklı pekleşme durumu için yapılan itme analizleri sonucunda elde edilen kapasite eğrileri aynı grafik üzerinde Şekil 3.1’de verilmiştir.

Çerçeve davranışı elastik bölgede olduğu sürece incelenen pekleşme durumlarının sonuçlara herhangi bir etkisi gözlenmemiştir. Kapasite eğrileri, pekleşme durumlarına göre incelendiğinde mafsal modeli pekleşmesiz alındığında donatı pekleşme oranından bağımsız olarak kapasite eğrileri birbirine çok yakın olmaktadır. Aynı zamanda diğer pekleşme durumlarına göre en düşük taban kesme kuvveti bu iki durumda meydana gelmektedir. Donatı pekleşme oranı 1.35 ve mafsal modelinin pekleşmeli alındığı durumda taban kesme kuvveti en yüksek olmaktadır. Daha sonra en büyük taban kesme kuvveti ise donatı pekleşme oranı 1.15 ve mafsal modeli pekleşmeli durumda meydana gelmektedir.



Şekil 3.1 Üç Katlı Çerçeve Dört Pekleşme Durumu için Kapasite Eğrileri Karşılaştırması

Üç katlı çerçeve sistemlerin kapasite eğrileri elde edildikten sonra depremin yerdeğiştirme talebi hesaplanmıştır. Ele alınan dört farklı pekleşme durumunun depremin yerdeğiştirme talebi üzerinde herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Bunun sebebi deprem yerdeğiştirme talebinin hesabında kapasite eğrisinin başlangıç eğiminin kullanılmasıdır. Bu nedenle deprem yerdeğiştirme talebinin hesabında kapasite eğrisinin elastik ötesi bölgesinin etkisi olmamaktadır. Ancak elastik ötesi bölgenin etkisi hesaplanan yerdeğiştirme talebinde değil oluşacak maksimum taban kesme

kuvvetinde olmaktadır. Bu nedenle depremin yerdeğiştirme talebinin hesabında sadece donatı modeli pekleşme oranı 1.15 ve mafsal modeli ilişkisi pekleşmeli olarak incelenen çerçeve sisteme ait hesaplar verilmiştir. Deprem yerdeğiştirme talebi hesabında kullanılan modal analiz sonuçlarına ait parametreler Çizelge 3.1 ile verilmiştir. Depremin yerdeğiştirme talebi Bölüm2.3.2’de açıkladığı şekilde hesaplanmıştır. Bu nedenle önce modal yerdeğiştirme talebi hesaplanmış, şekil 3.2, ardından Denklem (3.1), (3.2) ve (3.3) ile depremin yerdeğiştirme talebi hesaplanmıştır. Üç katlı örnek çerçeveler için hesaplanan yerdeğiştirme talebi tüm pekleşme durumlarında 0.254m olmuştur.

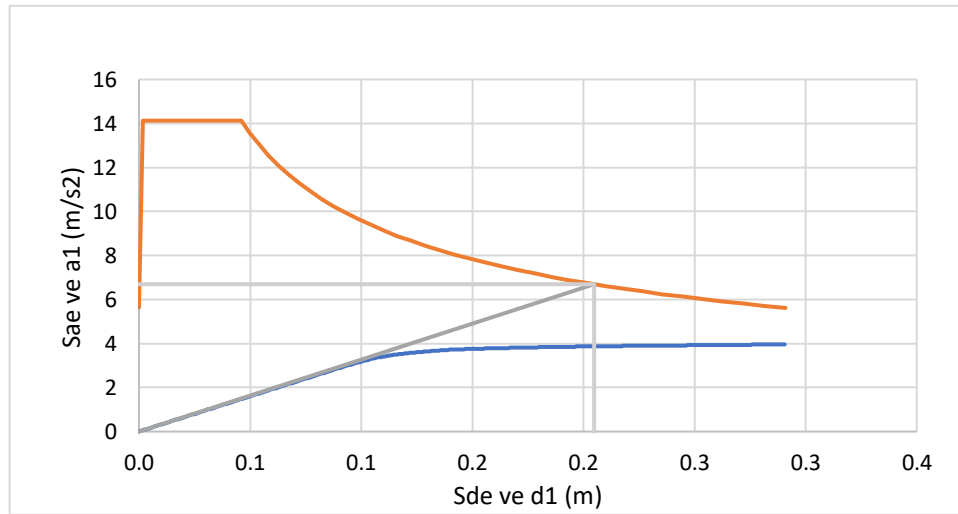
Çizelge 3.1 Üç Katlı Çerçeve Modal Analiz Parametreleri

Kat	m (ton)	$\phi_1^{(x)}$	$\Gamma_1^{(x)}$	$m_1^{(x)}$ (ton)	$m_{tx1}^{(x)}$ (ton)	Kütle katılım
1	100	0.172	2.6	45	264	0.88
2	100	0.359		95		
3	100	0.469		124		

$$d_{1,max}^{(X)} = S_{di}(T1) = C_R S_{de}(T1) = C_R \times \frac{T^2}{4\pi^2} g S_{ae}(T) \quad (3.1)$$

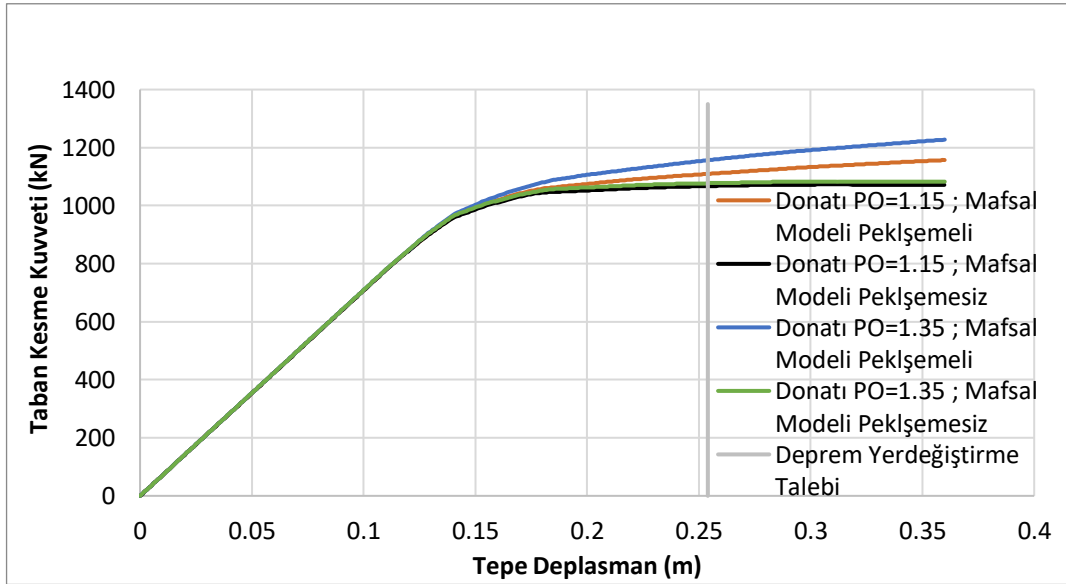
$$d_{1,max}^{(X)} = 1 \times \frac{1.1^2}{4\pi^2} \times 9.81 \times 0.68 = 0.205 m \quad (3.2)$$

$$d = d_{1,max}^{(X)} \times \phi_{3x1} \times \Gamma_1^X = 0.205 \times 0.47 \times 2.6 = 0.254m \quad (3.3)$$



şekil 3.2 Üç Katlı Çerçeve Sistem Depremin Modal Yerdeğiştirme Talebi

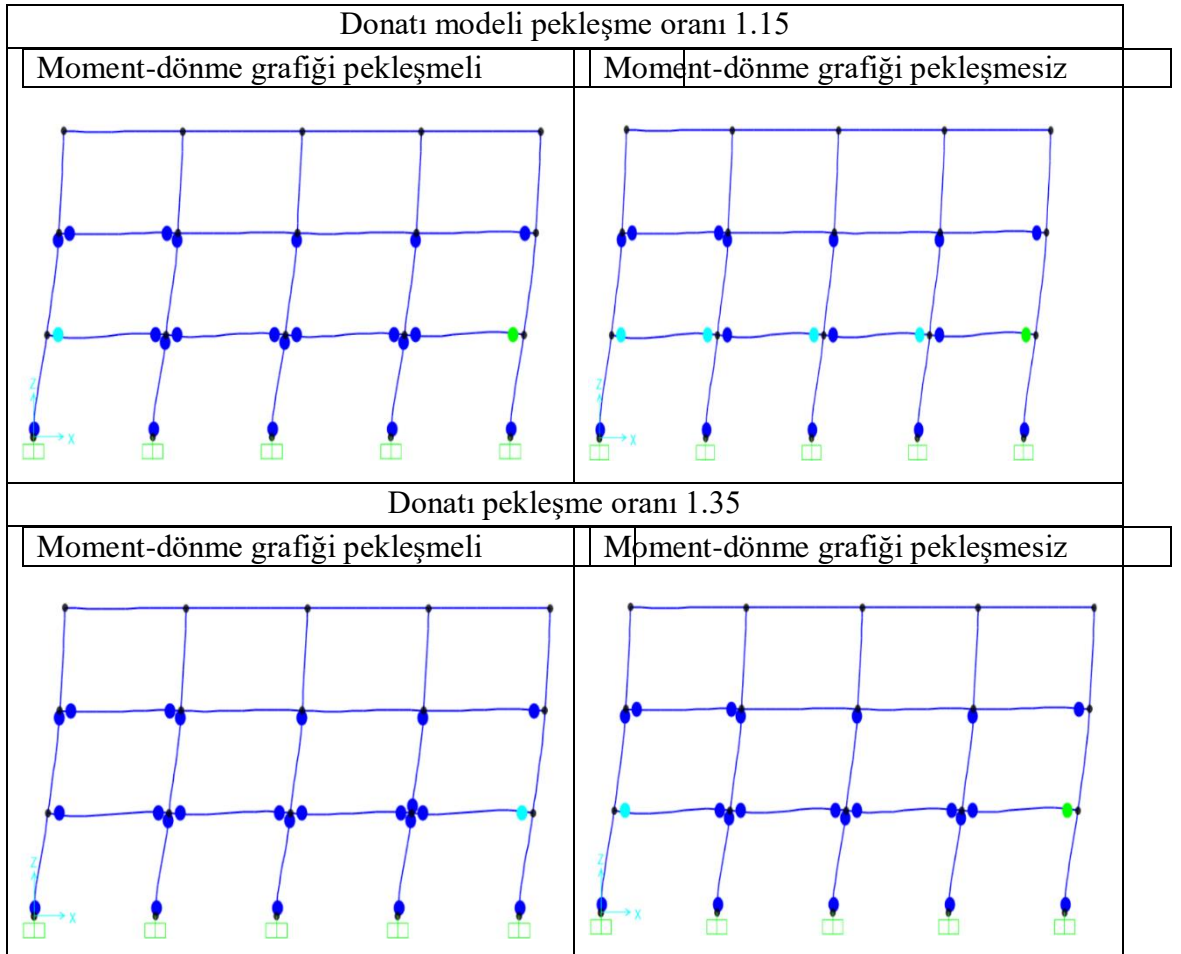
Üç katlı çerçeve sistemde her dört pekleşme durumu için hesaplanan yerdeğiştirme talepleri, elde edilmiş olan kapasite eğrilerinde işaretlenerek Şekil 3.3'de verilmiş ve her dört pekleşme durumunu yansıtan örnek için oluşan maksimum taban kesme kuvveti belirlenmiştir. Donatı pekleşme oranı 1.15 olan çözümlerde plastik mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli olarak alındığında sırasıyla 1067 kN ve 1109 kN maksimum taban kesme kuvveti oluşmaktadır. Donatı pekleşme oranı 1.35 alındığında ise plastik mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli analizlerde maksimumum taban kesme kuvvetleri sırasıyla 1077 kN ve 1157 kN olarak hesaplanmıştır. Sonuçlardan da görüleceği üzere hem donatı pekleşme oranı hem de plastik mafsal pekleşmesi arttıkça oluşan maksimum taban kesme kuvveti de artmaktadır. Donatı pekleşme oranının 1.15'ten 1.35'e çıkması ile sırasıyla plastik mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli çerçevelerin maksimum taban kesme kuvvetleri %1 ve %4.3 artmaktadır. Plastik mafsal davranışının pekleşmesizden pekleşmeliye geçmesiyle sırasıyla donatı pekleşme oranı 1.15 ve 1.35 olan çerçevelerin maksimum taban kesme kuvvetleri %4 ve %7.4 artmıştır.



Şekil 3.3 Üç Katlı Çerçeve Dört Pekleşme Durumu için Kapasite Eğrileri ve Deprem Yerdeğiştirme Talebi

Üç katlı çerçeve sistemde dört farklı pekleşme durumu için itme analizinde bina tepe yerdeğişirmesinin 0.254m'ye ulaştığında elde edilen sonuçlara göre oluşan plastik mafsallar ve hasar düzeyleri Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Dört farklı pekleşme durumu için de 12 adet kirişin; altı tanesinde plastik dönme, on beş adet kolonun dokuz tanesinde plastik dönme gözlenmiştir. Donatı pekleşme oranının 1.15 ve 1.35 olduğu durmalarda plastik mafsall pekleşmesi plastikleşen mafsall adetinde bir değişiklik oluşturmamıştır.

Her ne kadar pekleşme durumlarının plastikleşen mafsall sayısına bir etkisi olmasa da donatı pekleşme oranının 1.15'ten 1.135'e çıkmasıyla ve aynı şekilde mafsall modelinin pekleşmesizden pekleşmeliye geçmesiyle mafsalların hasar düzeyleri azalmaktadır.



Şekil 3.4 Üç Katlı Çerçeve Deprem Yerdeğişirme Talebi Noktasında Oluşan Plastik Mafsallar

Üç katlı çerçeve sistem ile dört pekleşme durumu dikkate alınarak yapılan itme analizi sonucunda kiriş ve kolonlarda meydana gelen plastik dönme miktarları Şekil 3.5'te, bu plastik dönmelerin kontrollü hasar plastik dönme seviyesine göre oranları Şekil 3.6'da verilmiştir. Bu iki şekilde her bir taşıyıcı eleman için verilen dört adet sonuç sırasıyla donatı pekleşme oranı 1.15 ve mafsal modeli pekleşmeli durumu, donatı pekleşme oranı 1.15 ve mafsal modeli pekleşmesiz durumu, donatı pekleşme oranı 1.35 ve mafsal modeli pekleşmeli durumu ve son olarak donatı pekleşme oranı 1.35 ve mafsal modeli pekleşmesiz durumu olarak verilmiştir.

B1 kirişinde meydana gelen plastik dönmeler incelendiğinde donatı pekleşme oranı 1.15 alınarak moment dönme ilişkisi pekleşmeli ve pekleşmesiz alınarak yapılan analizlerde %11 gibi bir fark ortaya çıkmaktadır. Donatı pekleşme oranı 1.35 alınarak yapılan analizlerde ise %20'lik fark oluşmaktadır. İki uç durum olan 1.35 donatı pekleşme oranı moment dönme ilişkisi pekleşmeli durumu ve 1.15 donatı pekleşme oranı moment dönme ilişkisi pekleşmesiz durumu arasında %23'lük bir plastik dönme oranı farkı meydana gelmektedir.

C2 kolonunda meydana gelen plastik dönmeler incelendiğinde ise donatı pekleşme oranı 1.15 alınarak moment dönme ilişkisi pekleşmeli ve pekleşmesiz alınarak yapılan analizlerde %2 gibi bir fark ortaya çıkmaktadır. Donatı pekleşme oranı 1.35 alınarak yapılan analizlerde ise %5'lik fark oluşmaktadır. İki uç durum olan 1.35 donatı pekleşme oranı alınarak moment dönme ilişkisi pekleşmeli durumu ve 1.15 donatı pekleşme oranı alınarak moment dönme ilişkisi pekleşmesiz durumu arasında %6'lık bir plastik dönme oranı farkı meydana gelmektedir.

Şekil 3.6 incelendiğinde ele alınan dört farklı pekleşme durumu üçüncü kat kirişleri plastik dönme oranlarında herhangi bir değişikliğe yol açmamıştır. Bunun yanında birinci ve ikinci kat plastik dönme oranlarında oluşturduğu en büyük fark sırasıyla %37 ve %6 olmuştur. Ele alınan dört farklı pekleşme durumu üçüncü kat kolonları plastik dönme oranlarında herhangi bir değişikliğe yol açmamıştır. Bunun yanında birinci ve ikinci kat kolon plastik dönme oranlarında oluşturduğu en büyük fark sırasıyla %6 ve %5 olmuştur.

Pekleşme etkisinin kiriş elemanlarında kolon elemanlarına göre çok daha etkili olduğu görülmüştür. Bu durumun ortaya çıkmasında kolonda normal kuvvetin varlığı ve kapasite tasarımı yaklaşımı gereği hasarların kirişlerde yoğunlaşmış olmasının etkili olduğu söylenebilir.

Kiriş elemanlarında 1.15 pekleşme oranı ile modellenen donatı ve mafsal modeli pekleşmesiz alınan durumda en büyük plastik dönmeler ortaya çıkmıştır. En küçük plastik dönmeler ise 1.35 pekleşme oranı ile modellenen donatı ve mafsal modeli pekleşmeli olarak alınan durumda ortaya çıkmıştır. Hem donatının pekleşme oranını yüksek almak hem de moment eğrilik ilişkisinde pekleşmeyi dikkate almak üç katlı çerçeve sistemin deprem performansını artırdığı görülmüştür.

Mafsal modeli pekleşmesiz olarak dikkate alınan hesaplarda donatı pekleşme oranından bağımsız olarak birbirine yakın sonuçlar ortaya çıktığı görülmüştür. Moment dönme ilişkisinin pekleşmesiz alınması durumunda donatıda meydana gelen pekleşme etkileri ortaya çıkmamaktadır. Dolayısıyla donatı pekleşme etkisi, moment dönme ilişkisinin pekleşmesiz alındığı durumda etkisi çok küçük olmaktadır. Bu küçük farkın ortaya çıkmasında da etkin akma momentinin hesabı için yapılan kabul etkili olmaktadır.

B9 0.0000 0.0000 0.0000 C11 0.0000	B10 0.0000 0.0000 0.0000 C12 0.0000	B11 0.0000 0.0000 0.0000 C13 0.0000	B12 0.0000 0.0000 0.0000 C14 0.0000	C15 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
B5 0.0019 0.0015 0.0016 C6 0.0012 0.0023 0.0009 0.0025	B6 0.0000 0.0000 0.0000 C7 0.0110 0.0117 0.0107 0.0118	B7 0.0000 0.0000 0.0000 C8 0.0109 0.0112 0.0104 0.0112	B8 0.0069 0.0074 0.0061 C9 0.0116 0.0120 0.0112 0.0122	C10 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
B1 0.0232 0.0254 0.0209 C1 0.0245 0.0242 0.0246 0.0250	B2 0.0175 0.0211 0.0141 C2 0.0238 0.0242 0.0232 0.0248	B3 0.0173 0.0211 0.0135 C3 0.0241 0.0246 0.0235 0.0251	B4 0.0293 0.0324 0.0263 C4 0.0241 0.0247 0.0236 0.0252	C5 0.0200 0.0197 0.0200 0.0205

Şekil 3.5 Üç Katlı Çerçeve Kiriş ve Kolon Plastik Dönmeleri (Statik İtme Analizi)

	B9 0.00 0.00 0.00 0.00	B10 0.00 0.00 0.00 0.00	B11 0.00 0.00 0.00 0.00	B12 0.00 0.00 0.00 0.00	
C11 0.00 0.00 0.00 0.00		C12 0.00 0.00 0.00 0.00	C13 0.00 0.00 0.00 0.00	C14 0.00 0.00 0.00 0.00	C15 0.00 0.00 0.00 0.00
	B5 0.09 0.07 0.08 0.03	B6 0.00 0.00 0.00 0.00	B7 0.00 0.00 0.00 0.00	B8 0.33 0.35 0.29 0.31	
C6 0.04 0.08 0.03 0.08		C7 0.36 0.39 0.34 0.38	C8 0.36 0.37 0.33 0.36	C9 0.38 0.39 0.36 0.39	C10 0.00 0.00 0.00 0.00
	B1 1.10 1.21 0.98 1.18	B2 0.83 1.01 0.66 0.92	B3 0.82 1.00 0.63 0.92	B4 1.39 1.54 1.24 1.50	
C1 0.81 0.80 0.79 0.80		C2 0.78 0.80 0.74 0.79	C3 0.79 0.81 0.75 0.80	C4 0.79 0.81 0.75 0.80	C5 0.66 0.65 0.64 0.65

Şekil 3.6 Üç Katlı İtme Analizi Plastik Dönme Oranları (Statik İtme Analizi)

Üç katlı çerçeve sistem ile dört farklı pekleşme durumu için yapılan itme analizleri sonucunda üç katlı çerçeve sistemin deprem performansı düzeyleri Çizelge 3.2 ile verilmiştir.

Donatı modeli pekleşme oranı 1.15 olarak mafsal modeli pekleşmeli ve pekleşmesiz olarak dikkate alınan durumlar incelendiğinde mafsal modeli pekleşmeli alındığında kiriş plastik mafsallarında daha düşük hasar düzeyleri oluşmuştur. Mafsal modeli pekleşmeli olarak dikkate alınan donatı pekleşme oranı 1.15 ve 1.35 olarak alınan iki durum karşılaştırıldığında donatı pekleşme oranı arttıkça kiriş kesitlerinde daha düşük hasar düzeyleri oluştuğu gözlenmiştir. Çerçeve sistem bina performansı açısından en iyi sonuç donatı pekleşme oranı 1.35 olarak dikkate alındığı ve mafsal modeli pekleşmeli olarak dikkate alındığı durumda ortaya çıkmıştır.

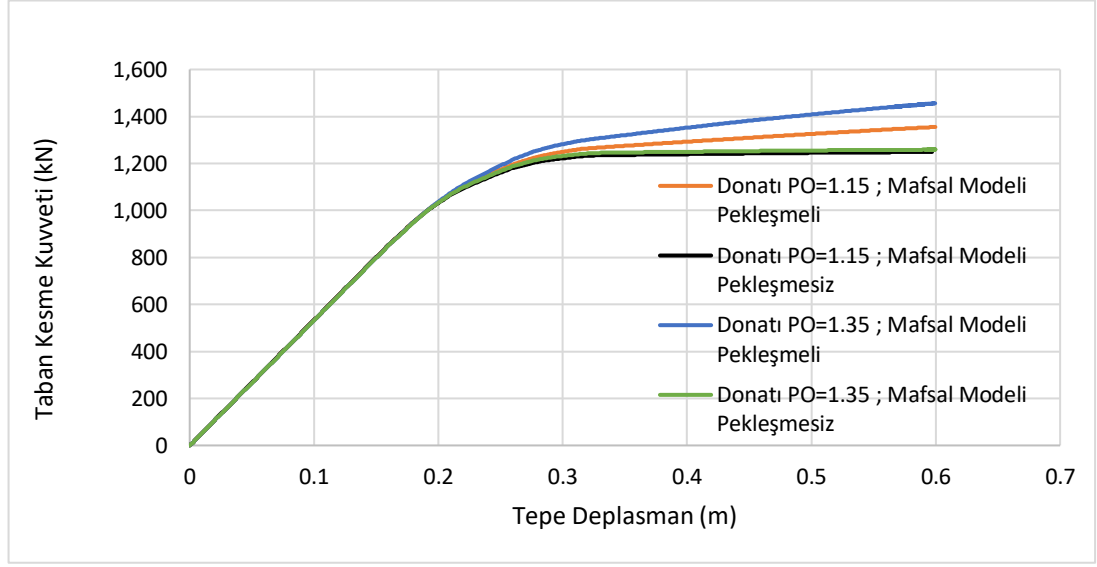
Çizelge 3.2 Üç Katlı Çerçeve Kiriş ve Kolon Elemanları Hasar Bölgeleri

Pekleşme Durumu	Eleman	Adet ve %	Sınırlı Hasar Bölgesi	Belirgin Hasar Bölgesi	İleri Hasar Bölgesi	Göçme Hasar Bölgesi	Güç Tükenmesi Bölgesi	Performans Düzeyi
1.15 pekleşmeli	Kiriş	Adet	6	4	1	1	0	Göçmenin Önlenmesi
		Yüzde	50%	17%	8%	8%	0%	
	Kolon	Adet	6	9	0	0	0	
		Yüzde	40%	60%	0%	0%	0%	
1.15 pekleşmesiz	Kiriş	Adet	6	2	3	1	0	Göçmenin Önlenmesi
		Yüzde	50%	17%	25%	8%	0%	
	Kolon	Adet	6	9	0	0	0	
		Yüzde	40%	60%	0%	0%	0%	
1.35 pekleşmeli	Kiriş	Adet	6	5	1	0	0	Kontrollü Hasar
		Yüzde	50%	42%	8%	0%	0%	
	Kolon	Adet	6	9	0	0	0	
		Yüzde	40%	60%	0%	0%	0%	
1.35 pekleşmesiz	Kiriş	Adet	6	4	1	1	0	Göçmenin Önlenmesi
		Yüzde	50%	33%	8%	8%	0%	
	Kolon	Adet	6	9	0	0	0	
		Yüzde	40%	60%	0%	0%	0%	

3.1.2. Beş Katlı Çerçeve Sistem

Beş katlı çerçeve sistemde dört farklı pekleşme durumu için yapılan itme analizleri sonucunda elde edilen kapasite eğrileri aynı grafik üzerinde Şekil 3.7’de verilmiştir.

Çerçeve davranışı elastik bölgede olduğu sürece incelenen pekleşme durumlarının sonuçlara herhangi bir etkisi gözlenmemiştir. Kapasite eğrileri, pekleşme durumlarına göre incelendiğinde; mafsal modeli pekleşmesiz alındığında donatı pekleşme oranından bağımsız olarak kapasite eğrileri birbirine çok yakın oluşmaktadır. Aynı zamanda diğer pekleşme durumlarına göre en düşük taban kesme kuvveti bu iki durumda meydana gelmektedir. Donatı pekleşme oranı 1.35 ve mafsal modelinin pekleşmeli alındığı durumda taban kesme kuvveti en yüksek olmaktadır. Daha sonra en büyük taban kesme kuvveti ise donatı pekleşme oranı 1.15 ve mafsal modeli pekleşmeli durumda meydana gelmektedir.



Şekil 3.7 Beş Katlı Çerçeve Dört Pekleşme Durumu için Kapasite Eğrileri Karşılaştırması

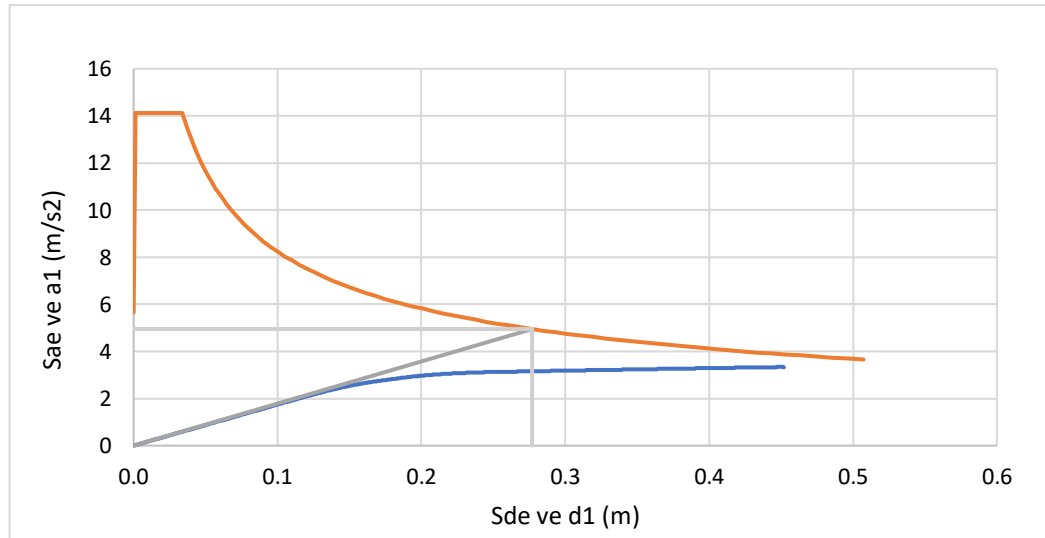
Beş katlı çerçeve sistemlerin kapasite eğrileri elde edildikten sonra depremin yerdeğiştirme talebi hesaplanmıştır. Ele alınan dört farklı pekleşme durumunun depremin yerdeğiştirme talebi üzerinde herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Bunun sebebi deprem yerdeğiştirme talebinin hesabında kapasite eğrisinin başlangıç eğiminin kullanılmasıdır. Bu nedenle deprem yerdeğiştirme talebinin hesabında kapasite eğrisinin elastik ötesi bölgesinin etkisi olmamaktadır. Ancak elastik ötesi bölgenin etkisi hesaplanan yerdeğiştirme talebinde değil oluşacak maksimum taban kesme kuvvetinde olmaktadır. Bu nedenle depremin yerdeğiştirme talebinin hesabında sadece donatı modeli pekleşme oranı 1.15 ve mafsals modeli pekleşmeli olarak incelenen çerçeve sisteme ait hesaplar verilmiştir. Deprem yerdeğiştirme talebi hesabında kullanılan modal analiz sonuçlarına ait parametreler Çizelge 3.3 ile verilmiştir. Depremin yerdeğiştirme talebi Bölüm 2.3.2’de açıklandığı şekilde hesaplanmıştır. Bu nedenle önce modal yerdeğiştirme talebi hesaplanmış, Şekil 3.8, ardından Denklem (3.4) ve (3.5) ile depremin yerdeğiştirme talebi hesaplanmıştır. Beş katlı örnek çerçeveler için hesaplanan yerdeğiştirme talebi tüm pekleşme durumlarında 0.367m olmuştur.

Çizelge 3.3 Beş Katlı Çerçeve Modal Analiz Parametreleri

Kat	m (ton)	$\phi_1^{(x)}$	$\Gamma_1^{(x)}$	$m_1^{(x)}$ (ton)	$m_{tx1}^{(x)}$ (ton)	Kütle katılım
1	102	0.054	4.0	22	407	0.80
2	102	0.132		54		
3	102	0.202		82		
4	102	0.282		115		
5	102	0.331		135		

$$d_{1,max}^{(x)} = 1 \times \frac{1.49^2}{4\pi^2} \times 9.81 \times 0.51 = 0.277 \text{ m} \quad (3.4)$$

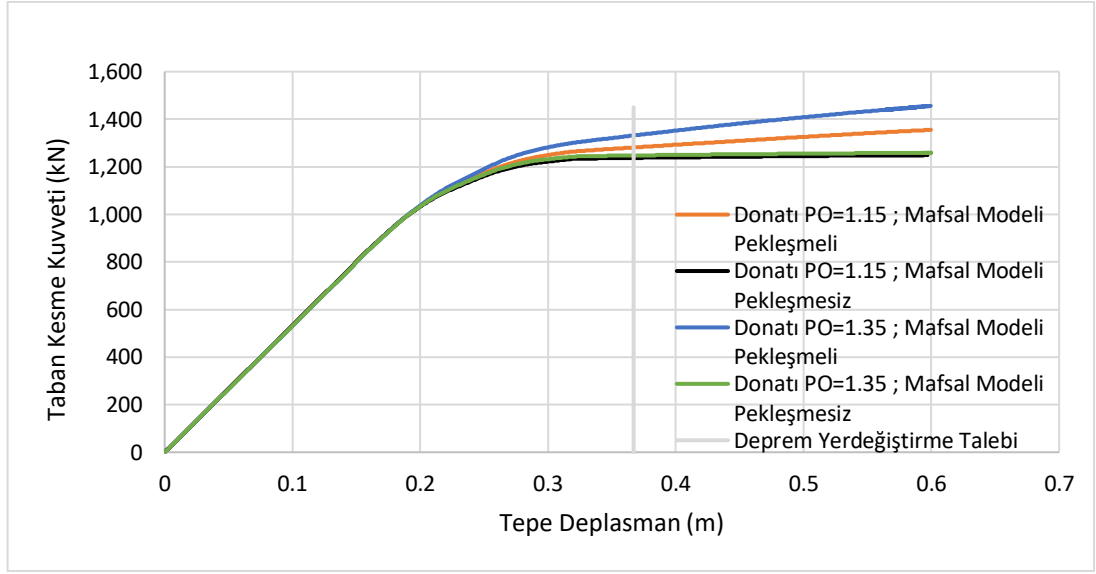
$$d = d_{1,max}^{(x)} \times \phi_{5x1} \times \Gamma_1^X = 0.277 \times 0.33 \times 4.0 = 0.367 \text{ m} \quad (3.5)$$



Şekil 3.8 Beş Katlı Çerçeve Sistem Depremin Modal Yerdeğiştirme Talebi

Beş katlı çerçeve sistemde her dört pekleşme durumu için hesaplanan yerdeğiştirme talepleri, elde edilmiş olan kapasite eğrilerinde işaretlenerek Şekil 3.9'da verilmiş ve her dört pekleşme durumunu yansıtan örnek için oluşan maksimum taban kesme kuvveti belirlenmiştir. Donatı pekleşme oranı 1.15 olan çözümlerde plastik mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli olarak alındığında sırasıyla 1237 kN ve 1281 kN maksimum taban kesme kuvveti oluşmaktadır. Donatı pekleşme oranı 1.35 alındığında ise plastik mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli analizlerde maksimum taban kesme kuvvetleri sırasıyla 1248 kN ve 1332 kN olarak hesaplanmıştır. Sonuçlardan da görüleceği üzere hem donatı pekleşme oranı hem de

plastik mafsal pekleşmesi arttıkça oluşan maksimum taban kesme kuvveti de artmaktadır. Donatı pekleşme oranının 1.15'ten 1.35'e çıkması ile sırasıyla plastik mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli çerçevelerin maksimum taban kesme kuvvetleri %0.9 ve %4 artmaktadır. Plastik mafsal davranışının pekleşmesizden pekleşmeliye geçmesiyle sırasıyla donatı pekleşme oranı 1.15 ve 1.35 olan çerçevelerin maksimum taban kesme kuvvetleri %3.6 ve %6.7 artmıştır.

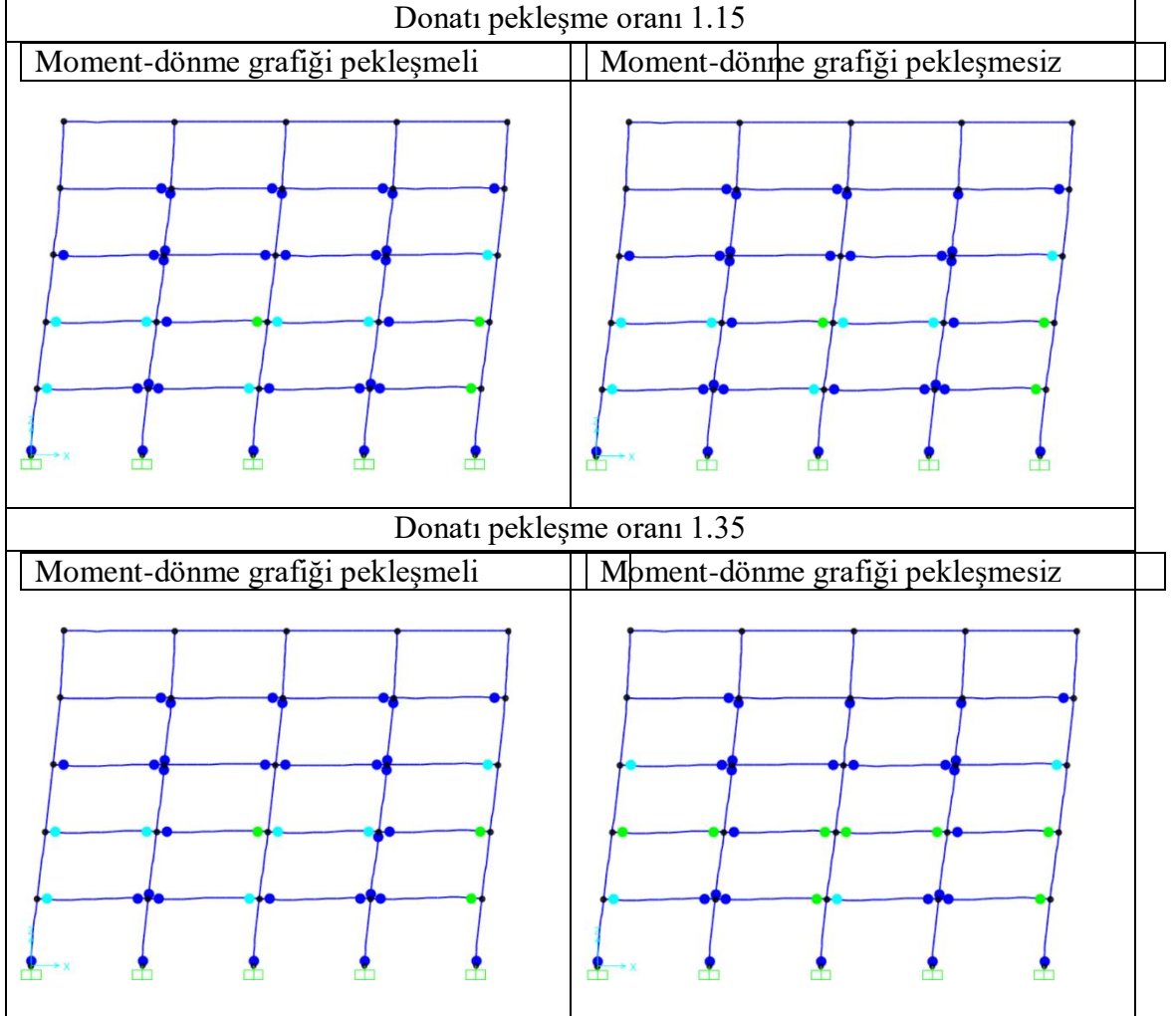


Şekil 3.9 Beş Katlı Çerçeve Dört Pekleşme Durumu için Kapasite Eğrileri ve Deprem Yerdeğiştirme Talebi

Beş katlı çerçeve sistemde dört farklı pekleşme durumu için itme analizinde bina tepe yerdeğiştirmesinin 0.367m'ye ulaştığında elde edilen sonuçlara göre oluşan plastik mafsal ve hasar düzeyleri Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Dört farklı pekleşme durumunda da yirmi adet kirişin; on altı tanesinde, yirmi beş adet kolonun on iki tanesinde plastik dönme gözlenmiştir. Donatı pekleşme oranının 1.15 ve 1.35 olduğu durumlarda plastik mafsal pekleşmesi plastikleşen mafsal adetinde bir değişiklik oluşturmamıştır.

Pekleşme durumlarının plastikleşen mafsal sayısına bir etkisi olmamıştır. Donatı pekleşme oranının 1.15'ten 1.35'e çıkmasıyla mafsal modeli pekleşmeli durumda mafsal hasar düzeylerinde bir değişiklik olmamış, mafsal modeli pekleşmesiz durumda mafsal hasar düzeyleri artmıştır. Donatı pekleşme oranı artmasıyla hasar düzeylerinin artmasında donatı pekleşme oranının artmasıyla kesitte güç tükenmesinin beton basınç kırılmasına kaymasıyla plastik hasar sınırlarının küçülmesinin etkili olduğu söylenilebilir. Fakat aynı donatı pekleşme oranında mafsal

modelinin pekleşmesizden pekleşmeliye geçmesiyle mafsalların hasar düzeyleri azalmaktadır.



Şekil 3.10 Beş Katlı Çerçeve Deprem Yerdeğiştirme Talebi Noktasında Oluşan Plastik Mafsallar

Beş katlı çerçeve sistem ile dört pekleşme durumu dikkate alınarak yapılan itme analizi sonucunda kiriş ve kolonlarda meydana gelen plastik dönme miktarları Şekil 3.11’de, bu plastik dönmelerin kontrollü hasar plastik dönme seviyesine göre oranları Şekil 3.12’de verilmiştir. Bu iki şekilde her bir taşıyıcı eleman için verilen dört adet sonuç sırasıyla donatı pekleşme oranı 1.15 ve mafsal modeli pekleşmeli durumu, donatı pekleşme oranı 1.15 ve mafsal modeli pekleşmesiz durumu, donatı pekleşme oranı 1.35 ve mafsal modeli pekleşmeli durumu ve son olarak donatı pekleşme oranı 1.35 ve mafsal modeli pekleşmesiz durumu olarak verilmiştir.

B1 kirişinde meydana gelen plastik dönme oranları incelendiğinde donatı pekleşme oranı 1.15, mafsal modeli pekleşmeli ve pekleşmesiz alınarak yapılan analizlerde %9 gibi bir plastik dönme oranı farkı ortaya çıkmaktadır. Donatı pekleşme oranı 1.35 alınarak yapılan analizlerde ise %20'lik bir plastik dönme oranı farkı oluşmaktadır. İki uç durum olan 1.35 donatı pekleşme oranı ile mafsal modeli pekleşmeli durumu ve 1.15 donatı pekleşme oranı ile plastik dönme oranı pekleşmesiz durumu arasında plastik dönme oranı farkı oluşmamıştır. Bu durumun ortaya çıkmasında donatı pekleşme oranının artmasıyla beraber güç tükenmesinin beton basınç kırılmasına kaymış olması etkili olmuştur. Dolayısıyla donatı pekleşme oranı arttığında B1 elemanı dönme hasar sınırları küçülmüş ve iki uç durumun kontrollü hasara göre plastik dönme oranları eşit olmuştur.

C2 kolonunda meydana gelen plastik dönmeler incelendiğinde ise donatı pekleşme oranı 1.15 alınarak moment dönme ilişkisi pekleşmeli ve pekleşmesiz alınarak yapılan analizlerde %1 gibi bir fark ortaya çıkmaktadır. Donatı pekleşme oranı 1.35 alınarak yapılan analizlerde ise %2'lik fark oluşmaktadır. İki uç durum olan 1.35 donatı pekleşme oranı alınarak moment dönme ilişkisi pekleşmeli durumu ve 1.15 donatı pekleşme oranı alınarak moment dönme ilişkisi pekleşmesiz durumu arasında %2'lik bir plastik dönme oranı farkı meydana gelmektedir.

Şekil 3.12 incelendiğinde ele alınan dört farklı pekleşme durumu beşinci kat kirişleri plastik dönme oranlarında herhangi bir değişikliğe yol açmamıştır. Bunun yanında birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü kat plastik dönme oranlarında oluşturduğu en büyük fark sırasıyla %41, %44, %28 ve %6 olmuştur. Ele alınan dört farklı pekleşme durumu beşinci kat kolonları plastik dönme oranlarında herhangi bir değişikliğe yol açmamıştır. Bunun yanında birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü kat kolon plastik dönme oranlarında oluşturduğu en büyük fark sırasıyla %3, %9, %2 ve %8 olmuştur.

Pekleşme etkisinin kiriş elemanlarında kolon elemanlarına göre çok daha etkili olduğu görülmüştür. Bu durumun ortaya çıkmasında kolonda normal kuvvetin varlığı ve kapasite tasarımı yaklaşımı gereği hasarların kirişlerde yoğunlaşmış olmasının etkili olduğu söylenebilir.

Kiriş elemanlarında 1.15 pekleşme oranı ile modellenen donatı ve mafsal modeli pekleşmesiz alınan durumda en büyük plastik dönmeler ortaya çıkmıştır. En küçük plastik dönmeler ise 1.35 pekleşme oranı ile modellenen donatı ve mafsal modeli pekleşmeli olarak alınan durumda ortaya çıkmıştır. Fakat plastik dönme oranları incelendiği tam tersi durum ortaya çıkmaktadır. Bu durumun ortaya çıkmasında donatı pekleşme oranının artmasıyla güç tükenmesinin beton basınç kırılmasında meydana gelmesi etkili olmaktadır. Güç tükenmesi betonun basınç kırılmasında meydana geldiğinde hesaplanan plastik dönme sınırları da küçülmektedir. Bu nedenle donatı pekleşme oranı artmasıyla plastik dönme oranlarında da artış görülmüştür.

Mafsal modeli pekleşmesiz olarak dikkate alınan hesaplarda donatı pekleşme oranından bağımsız olarak plastik dönmelerde birbirine yakın sonuçlar ortaya çıktığı görülmüştür. Moment dönme ilişkisinin pekleşmesiz alınması durumunda donatıda meydana gelen pekleşme etkileri ortaya çıkmamaktadır. Dolayısıyla donatı pekleşme etkisi, moment dönme ilişkisinin pekleşmesiz alındığı durumda etkisi çok küçük olmaktadır. Bu küçük farkın ortaya çıkmasında da etkin akma momentinin hesabı için yapılan kabul etkili olmaktadır. Fakat burada da farklı donatı pekleşme oranlarında farklı plastik dönme sınırları hesaplandığı için plastik dönme oranlarında büyük farklar oluşabilmektedir.

B17 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 C21 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B18 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 C22 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B19 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 C23 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B20 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 C24 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	C25 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
B13 0.0026 0.0021 0.0028 0.0020 C16 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B14 0.0005 0.0000 0.0007 0.0000 C17 0.0041 0.0035 0.0046 0.0037	B15 0.0004 0.0000 0.0005 0.0000 C18 0.0012 0.0000 0.0022 0.0003	B16 0.0052 0.0043 0.0055 0.0043 C19 0.0047 0.0041 0.0056 0.0042	C20 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
B9 0.0131 0.0141 0.0118 0.0138 C11 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B10 0.0130 0.0144 0.0114 0.0138 C12 0.0076 0.0075 0.0077 0.0077	B11 0.0083 0.0092 0.0071 0.0088 C13 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B12 0.0173 0.0189 0.0156 0.0184 C14 0.0087 0.0086 0.0089 0.0089	C15 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
B5 0.0196 0.0215 0.0177 0.0212 C6 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B6 0.0223 0.0248 0.0199 0.0244 C7 0.0019 0.0007 0.0034 0.0014	B7 0.0172 0.0192 0.0152 0.0189 C8 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B8 0.0242 0.0265 0.0218 0.0262 C9 0.0024 0.0012 0.0039 0.0019	C10 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
B1 0.0170 0.0185 0.0154 0.0182 C1 0.0108 0.0107 0.0104 0.0104	B2 0.0193 0.0212 0.0173 0.0208 C2 0.0051 0.0047 0.0051 0.0047	B3 0.0142 0.0157 0.0125 0.0153 C3 0.0067 0.0067 0.0062 0.0063	B4 0.0231 0.0251 0.0210 0.0248 C4 0.0054 0.0050 0.0055 0.0050	C5 0.0047 0.0048 0.0040 0.0043

Şekil 3.11 Beş Katlı Çerçeve Kiriş ve Kolon Plastik Dönmeleri (Statik İtme Analizi)

B17 0.00 0.00 0.00 0.00 C21 0.00 0.00 0.00 0.00	B18 0.00 0.00 0.00 0.00 C22 0.00 0.00 0.00 0.00	B19 0.00 0.00 0.00 0.00 C23 0.00 0.00 0.00 0.00	B20 0.00 0.00 0.00 0.00 C24 0.00 0.00 0.00 0.00	C25 0.00 0.00 0.00 0.00
B13 0.13 0.10 0.13 0.09 C16 0.00 0.00 0.00 0.00	B14 0.03 0.00 0.03 0.00 C17 0.15 0.13 0.16 0.13	B15 0.02 0.00 0.02 0.00 C18 0.04 0.00 0.08 0.01	B16 0.26 0.21 0.27 0.21 C19 0.17 0.14 0.19 0.14	C20 0.00 0.00 0.00 0.00
B9 0.79 0.85 0.85 1.00 C11 0.00 0.00 0.00 0.00	B10 0.79 0.87 0.82 1.00 C12 0.24 0.24 0.25 0.25	B11 0.50 0.56 0.51 0.64 C13 0.00 0.00 0.00 0.00	B12 1.05 1.14 1.13 1.33 C14 0.28 0.27 0.29 0.29	C15 0.00 0.00 0.00 0.00
B5 1.18 1.30 1.28 1.54 C6 0.00 0.00 0.00 0.00	B6 1.35 1.49 1.44 1.77 C7 0.06 0.02 0.11 0.04	B7 1.04 1.16 1.10 1.37 C8 0.00 0.00 0.00 0.00	B8 1.46 1.60 1.58 1.90 C9 0.08 0.04 0.12 0.06	C10 0.00 0.00 0.00 0.00
B1 1.03 1.12 1.12 1.32 C1 0.45 0.45 0.43 0.43	B2 1.16 1.28 1.25 1.51 C2 0.16 0.15 0.17 0.15	B3 0.86 0.95 0.91 1.11 C3 0.28 0.28 0.26 0.26	B4 1.39 1.51 1.52 1.80 C4 0.17 0.16 0.18 0.16	C5 0.20 0.20 0.17 0.18

Şekil 3.12 Beş Katlı Çerçeve Elemanlarının Plastik Dönme Oranları (Statik İtme Analizi)

Beş katlı çerçeve sistem ile dört farklı pekleşme durumu için yapılan itme analizleri sonucunda çerçeve deprem performansı düzeyleri Çizelge 3.4 ile verilmiştir.

Donatı modeli pekleşme oranı 1.15 olarak mafsal modeli pekleşmeli ve pekleşmesiz olarak dikkate alınan durumlar incelendiğinde mafsal modeli pekleşmeli alındığında kiriş plastik mafsallarında daha düşük hasar düzeyleri oluşmuştur. Mafsal modeli pekleşmeli olarak dikkate alınan donatı pekleşme oranı 1.15 ve 1.35 olarak alınan iki durum karşılaştırıldığında donatı pekleşme oranı arttıkça kiriş kesitlerinde hasar düzeylerinin aynı kaldığı gözlenmiştir. Bu durumun ortaya çıkmasının sebebi farklı donatı pekleşme oranlarında farklı plastik hasar sınırları belirlenmesidir. Donatı pekleşme oranı arttıkça kesitin güç tükenmesi betonun basınç kırılmasına kaydığı için plastik dönme hasar sınırları küçülmüştür. Bu sebeple donatı pekleşme oranı arttıkça plastik dönmeler azalsa da plastik dönme oranları artmıştır. Çerçeve sistem bina performansı açısından en iyi sonuç donatı pekleşme oranı 1.15 ve 1.35 olarak dikkate alındığı ve mafsal modeli pekleşmeli olarak dikkate alındığı durumlarda ortaya çıkmıştır.

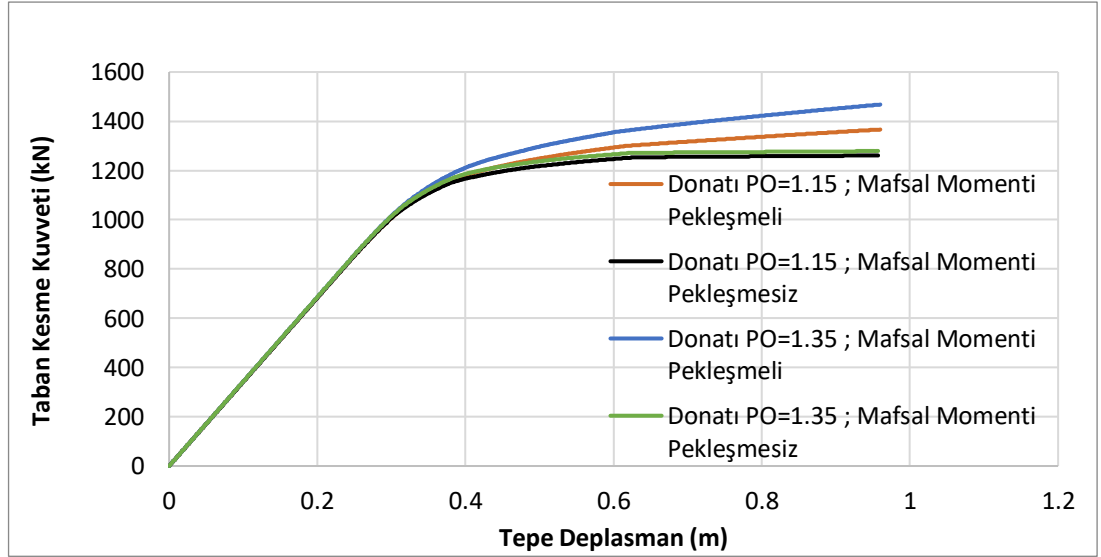
Çizelge 3.4 Beş Katlı Çerçeve Kiriş ve Kolon Elemanları Hasar Bölgeleri

Pekleşme Durumu	Eleman	Adet ve %	Sınırlı Hasar Bölgesi	Belirgin Hasar Bölgesi	İleri Hasar Bölgesi	Göçme Hasar Bölgesi	Güç Tükenmesi Bölgesi	Performans Düzeyi
1.15 pekleşmeli	Kiriş	Adet	4	8	5	3	0	Göçmenin Önlenmesi
		Yüzde	20%	40%	25%	15%	0%	
	Kolon	Adet	13	12	0	0	0	
		Yüzde	52%	48%	0%	0%	0%	
1.15 pekleşmesiz	Kiriş	Adet	5	7	5	3	0	Göçmenin Önlenmesi
		Yüzde	25%	35%	25%	15%	0%	
	Kolon	Adet	13	12	0	0	0	
		Yüzde	52%	48%	0%	0%	0%	
1.35 pekleşmeli	Kiriş	Adet	4	8	5	3	0	Göçmenin Önlenmesi
		Yüzde	20%	40%	25%	15%	0%	
	Kolon	Adet	13	12	0	0	0	
		Yüzde	52%	48%	0%	0%	0%	
1.35 pekleşmesiz	Kiriş	Adet	6	4	4	6	0	Göçme Bölgesi
		Yüzde	30%	20%	20%	30%	0%	
	Kolon	Adet	13	12	0	0	0	
		Yüzde	52%	48%	0%	0%	0%	

3.1.3. Sekiz Katlı Çerçeve Sistem

Sekiz katlı çerçeve sistemde dört farklı pekleşme durumu için yapılan itme analizleri sonucunda elde edilen kapasite eğrileri aynı grafik üzerinde Şekil 3.13'de verilmiştir.

Çerçeve davranışı elastik bölgede olduğu sürece incelenen pekleşme durumlarının sonuçlara herhangi bir etkisi gözlenmemiştir. Kapasite eğrileri, pekleşme durumlarına göre incelendiğinde; mafsal modeli pekleşmesiz alındığında donatı pekleşme oranından bağımsız olarak kapasite eğrileri birbirine çok yakın oluşmaktadır. Aynı zamanda diğer pekleşme durumlarına göre en düşük taban kesme kuvveti bu iki durumda meydana gelmektedir. Donatı pekleşme oranı 1.35 ve mafsal modelinin pekleşmeli alındığı durumda taban kesme kuvveti en yüksek olmaktadır. Daha sonra en büyük taban kesme kuvveti ise donatı pekleşme oranı 1.15 ve mafsal modeli pekleşmeli durumda meydana gelmektedir.



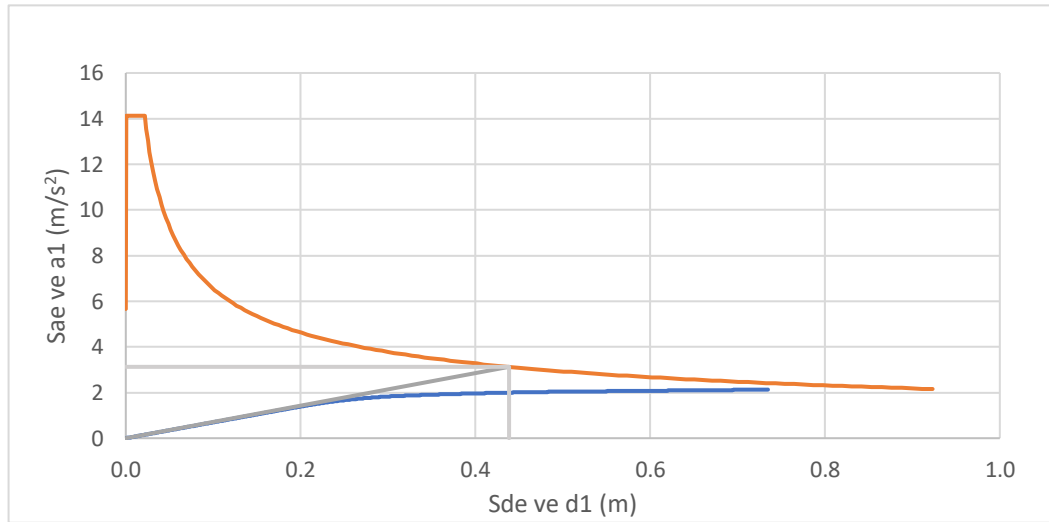
Şekil 3.13 Sekiz Katlı Çerçeve Dört Pekleşme Durumu için Kapasite Eğrileri Karşılaştırması

Sekiz katlı çerçeve sistemlerin kapasite eğrileri elde edildikten sonra depremin yerdeğiştirme talebi hesaplanmıştır. Ele alınan dört farklı pekleşme durumunun depremin yerdeğiştirme talebi üzerinde herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Bunun sebebi deprem yerdeğiştirme talebinin hesabında kapasite eğrisinin başlangıç eğiminin kullanılmasıdır. Bu nedenle deprem yerdeğiştirme talebinin hesabında kapasite eğrisinin elastik ötesi bölgesinin etkisi olmamaktadır. Ancak elastik ötesi bölgenin etkisi hesaplanan yerdeğiştirme talebinde değil oluşacak maksimum taban kesme

kuvvetinde olmaktadır. Bu nedenle depremin yerdeğiştirme talebinin hesabında sadece donatı modeli pekleşme oranı 1.15 ve mafsal modeli pekleşmeli olarak incelenen çerçeve sisteme ait hesaplar verilmiştir. Deprem yerdeğiştirme talebi hesabında kullanılan modal analiz sonuçlarına ait parametreler Çizelge 3.5 ile verilmiştir. Depremin yerdeğiştirme talebi Bölüm2.3.2’de açıkladığı şekilde hesaplanmıştır. Bu nedenle önce modal yerdeğiştirme talebi hesaplanmış, şekil 3.14, ardından Denklem(3.6) ve (3.7) ile depremin yerdeğiştirme talebi hesaplanmıştır. Sekiz katlı örnek çerçeveler için hesaplanan yerdeğiştirme talebi tüm pekleşme durumlarında 0.573m olmuştur.

Çizelge 3.5 Sekiz Katlı Çerçeve Modal Analiz Parametreleri

Kat	m (ton)	$\phi_1^{(x)}$	$\Gamma_1^{(x)}$	$m_1^{(x)}$ (ton)	$m_{tx1}^{(x)}$ (ton)	Kütle katılım
1	102	0.019	6.3	13	642	0.79
2	102	0.051		33		
3	102	0.083		53		
4	102	0.118		76		
5	102	0.150		96		
6	102	0.176		113		
7	102	0.196		126		
8	102	0.207		133		

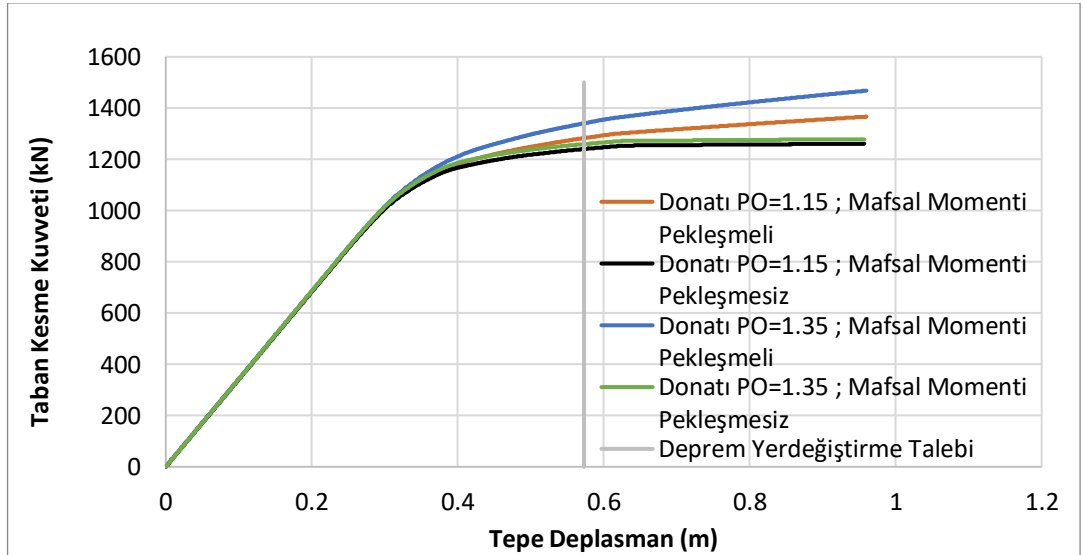


şekil 3.14 Sekiz Katlı Çerçeve Sistem Depremin Modal Yerdeğiştirme Talebi

$$d_{1,max}^{(x)} = 1 \times \frac{2.35^2}{4\pi^2} \times 9.81 \times 0.32 = 0.439m \quad (3.6)$$

$$d = d_{1,max}^{(X)} \times \phi_{8x1} \times \Gamma_1^X = 0.439 \times 0.21 \times 6.3 = 0.573m \quad (3.7)$$

Sekiz katlı çerçeve sistemde her dört pekleşme durumu için hesaplanan yerdeğiştirme talepleri, elde edilmiş olan kapasite eğrilerinde işaretlenerek Şekil 3.15'te verilmiş ve her dört pekleşme durumunu yansıtan örnek için oluşan maksimum taban kesme kuvveti belirlenmiştir. Donatı pekleşme oranı 1.15 olan çözümlerde plastik mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli olarak alındığında sırasıyla 1240 kN ve 1283 kN maksimum taban kesme kuvveti oluşmaktadır. Donatı pekleşme oranı 1.35 alındığında ise plastik mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli analizlerde maksimum taban kesme kuvvetleri sırasıyla 1248 kN ve 1340 kN olarak hesaplanmıştır. Sonuçlardan da görüleceği üzere hem donatı pekleşme oranı hem de plastik mafsal pekleşmesi arttıkça oluşan maksimum taban kesme kuvveti de artmaktadır. Donatı pekleşme oranının 1.15'ten 1.35'e çıkması ile sırasıyla plastik mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli çerçevelerin maksimum taban kesme kuvvetleri %0.6 ve %4.4 artmaktadır. Plastik mafsal davranışının pekleşmesizden pekleşmeliye geçmesiyle sırasıyla donatı pekleşme oranı 1.15 ve 1.35 olan çerçevelerin maksimum taban kesme kuvvetleri %3.5 ve %7.4 artmıştır.

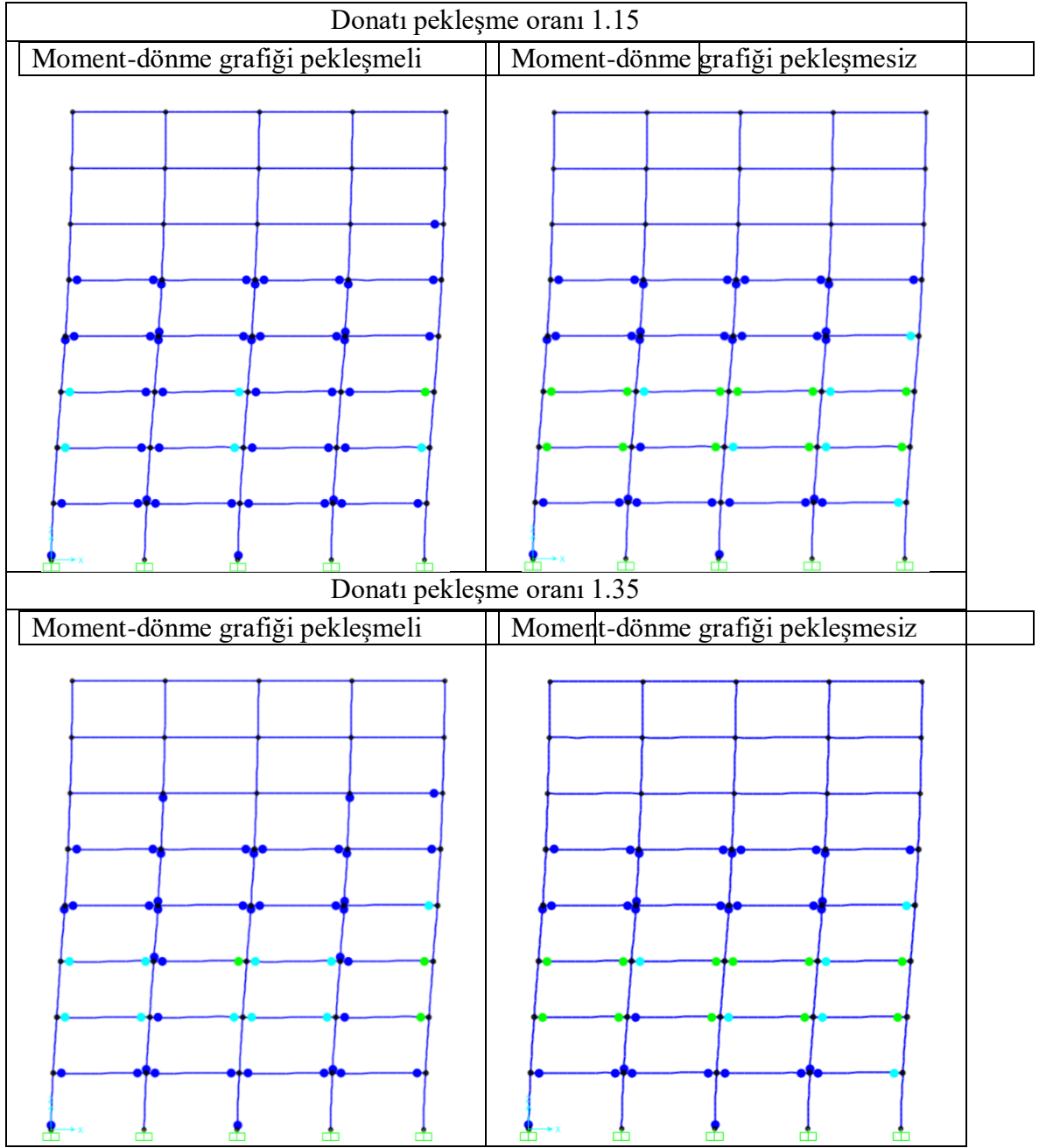


Şekil 3.15 Sekiz Katlı Çerçeve Dört Pekleşme Durumu için Kapasite Eğrileri ve Deprem Yerdeğiştirme Talebi

Sekiz katlı çerçeve sistemde dört farklı pekleşme durumu için itme analizinde bina tepe yerdeğiştirmesinin 0.573m'ye ulaştığında elde edilen sonuçlara göre oluşan plastik mafsallar ve hasar düzeyleri Şekil 3.16'da gösterilmiştir. Donatı pekleşme oranı 1.15, mafsal modeli pekleşmesiz durumda otuz iki adet kirişin yirmi tanesinde plastik dönme gözlenmiştir. Donatı pekleşme oranı 1.15, mafsal modeli pekleşmeli durumda otuz iki adet kirişin yirmi bir tanesinde plastik dönme gözlenmiştir. İki durumda da kırk adet kolonun on bir tanesinde plastik dönme gözlenmiştir.

Donatı pekleşme oranı 1.35, mafsal modeli pekleşmesiz durumda otuz iki adet kirişin; yirmi tanesinde, kırk adet kolonun on bir tanesinde plastik dönme gözlenmiştir. Donatı pekleşme oranı 1.35, mafsal modeli pekleşmeli durumda otuz iki kirişin; yirmi bir tanesinde, kırk adet kolonun on üç tanesinde plastik dönme gözlenmiştir.

Her ne kadar mafsal modeli pekleşmeli durumlarda plastikleşen mafsal sayısında artış olsa da mafsal modelinin pekleşmesizden pekleşmeliye geçmesiyle mafsalların hasar düzeyleri azalmaktadır. Fakat donatı pekleşme oranının 1.15'ten 1.35'e arttığı durumlar incelendiğinde plastik mafsalların hasar düzeylerinin arttığı gözlenmiştir. Bu durumun ortaya çıkmasında donatı pekleşme oranının artmasıyla beraber kesitte güç tükenmesinin betonun basınç kırılmasına kaymasının etkili olduğu söylenilebilir.



Şekil 3.16 Sekiz Katlı Çerçeve de Deprem Yerdeğiştirme Talebi Noktasında Oluşan Plastik Mafsallar

Sekiz katlı çerçeve sistem ile dört pekleşme durumu dikkate alınarak yapılan itme analizi sonucunda giriş ve kolonlarda meydana gelen plastik dönme miktarları Şekil 3.17’de, bu plastik dönmelerin kontrollü hasar plastik dönme seviyesine göre oranları Şekil 3.18’de verilmiştir. Bu iki şekilde her bir taşıyıcı eleman için verilen dört adet sonuç sırasıyla donatı pekleşme oranı 1.15 ve mafsal modeli pekleşmeli durumu, donatı pekleşme oranı 1.15 ve mafsal modeli pekleşmesiz durumu, donatı

pekleşme oranı 1.35 ve mafsal modeli pekleşmeli durumu ve son olarak donatı pekleşme oranı 1.35 ve mafsal modeli pekleşmesiz durumu olarak verilmiştir.

B1 kirişinde meydana gelen plastik dönme oranları incelendiğinde donatı pekleşme oranı 1.15, mafsal modeli pekleşmeli ve pekleşmesiz alınarak yapılan analizlerde %3 gibi bir plastik dönme oranı farkı ortaya çıkmaktadır. Donatı pekleşme oranı 1.35 alınarak yapılan analizlerde ise %8'lik bir plastik dönme oranı farkı oluşmaktadır. İki uç durum olan 1.35 donatı pekleşme oranı ile, mafsal modeli pekleşmeli durumu ve 1.15 donatı pekleşme oranı ile, plastik dönme oranı pekleşmesiz durumu arasında %3'lük bir plastik dönme oranı farkı oluşmuş ve büyük olan plastik dönme oranı, mafsal modeli pekleşmeli alınan durumda ortaya çıkmıştır. Bu durumun ortaya çıkmasında donatı pekleşme oranının artmasıyla beraber güç tükenmesinin beton basınç kırılmasına kaymış olması etkili olmuştur. Dolayısıyla donatı pekleşme oranı arttığında B1 elemanı dönme hasar sınırları küçülmüş ve iki uç durumun kontrollü hasara göre plastik dönme oranları arasında böyle bir fark oluşmuştur.

Şekil 3.12 incelendiğinde ele alınan dört farklı pekleşme durumu sekizinci yedinci kat kirişleri plastik dönme oranlarında herhangi bir değişikliğe yol açmamıştır. Bunun yanında birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü, beşinci ve altıncı kat plastik dönme oranlarında oluşturduğu en büyük fark sırasıyla %25, %43, %48, %26, %12 ve %5 olmuştur. Ele alınan dört farklı pekleşme durumu sekizinci, yedinci ve üçüncü kat kolonları plastik dönme oranlarında herhangi bir değişikliğe yol açmamıştır. Bunun yanında birinci, ikinci, dördüncü, beşinci ve altıncı kat kolon plastik dönme oranlarında oluşturduğu en büyük fark sırasıyla %8, %3, %5, %9 ve %4 olmuştur.

Pekleşme etkisinin kiriş elemanlarında kolon elemanlarına göre çok daha etkili olduğu görülmüştür. Bu durumun ortaya çıkmasında kolonda normal kuvvetin varlığı ve kapasite tasarımı yaklaşımı gereği hasarların kirişlerde yoğunlaşmış olmasının etkili olduğu söylenebilir.

Kiriş elemanlarında 1.15 pekleşme oranı ile modellenen donatı ve mafsal modeli pekleşmesiz alınan durumda en büyük plastik dönmeler ortaya çıkmıştır. En küçük plastik dönmeler ise 1.35 pekleşme oranı ile modellenen donatı ve mafsal modeli pekleşmeli olarak alınan durumda ortaya çıkmıştır. Fakat plastik dönme

oranları incelendiğinde tam tersi durum ortaya çıkmaktadır. Bu durumun ortaya çıkmasında donatı pekleşme oranının artmasıyla güç tükenmesinin beton basınç kırılmasında meydana gelmesi etkili olmaktadır. Güç tükenmesi betonun basınç kırılmasında meydana geldiğinde hesaplanan plastik dönme sınırları da küçülmektedir. Bu nedenle donatı pekleşme oranı artmasıyla plastik dönme oranlarında da artış görülmüştür.

Mafsal modeli pekleşmesiz olarak dikkate alınan hesaplarda donatı pekleşme oranından bağımsız olarak plastik dönmelerde birbirine yakın sonuçlar ortaya çıktığı görülmüştür. Moment dönme ilişkisinin pekleşmesiz alınması durumunda donatıda meydana gelen pekleşme etkileri ortaya çıkmamaktadır. Dolayısıyla plastik dönmelerde donatı pekleşmesinin etkisi, mafsal modelinin pekleşmesiz alındığı durumlarda etkisi çok küçük olmaktadır. Bu küçük farkın ortaya çıkmasında da etkin akma momentinin hesabı için yapılan kabul etkili olmaktadır. Fakat burada da farklı pekleşme oranlarında farklı plastik dönme sınırları hesaplandığı için plastik dönme oranlarında büyük farklar oluşabilmektedir.

B29 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 C36 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B30 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 C37 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B31 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 C38 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B32 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 C39 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	C40 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
B25 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 C31 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B26 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 C32 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B27 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 C33 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B28 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 C34 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	C35 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
B21 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 C26 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B22 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 C27 0.0000 0.0000 0.0004 0.0000	B23 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 C28 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B24 0.0005 0.0000 0.0010 0.0000 C29 0.0000 0.0000 0.0011 0.0000	C30 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
B17 0.0055 0.0047 0.0061 0.0046 C21 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B18 0.0077 0.0072 0.0076 0.0065 C22 0.0071 0.0060 0.0085 0.0066	B19 0.0036 0.0034 0.0033 0.0029 C23 0.0007 0.0000 0.0021 0.0010	B20 0.0113 0.0109 0.0114 0.0105 C24 0.0085 0.0073 0.0099 0.0081	C25 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
B13 0.0161 0.0166 0.0151 0.0162 C16 0.0005 0.0008 0.0011 0.0014	B14 0.0151 0.0159 0.0136 0.0149 C17 0.0159 0.0159 0.0162 0.0168	B15 0.0101 0.0106 0.0090 0.0099 C18 0.0021 0.0021 0.0033 0.0032	B16 0.0208 0.0218 0.0197 0.0214 C19 0.0176 0.0175 0.0177 0.0185	C20 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
B9 0.0243 0.0269 0.0214 0.0264 C11 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B10 0.0272 0.0303 0.0238 0.0297 C12 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B11 0.0216 0.0243 0.0184 0.0237 C13 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B12 0.0302 0.0332 0.0268 0.0328 C14 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	C15 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
B5 0.0226 0.0248 0.0199 0.0243 C6 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B6 0.0264 0.0289 0.0232 0.0284 C7 0.0001 0.0000 0.0007 0.0006	B7 0.0216 0.0242 0.0187 0.0235 C8 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B8 0.0280 0.0306 0.0248 0.0300 C9 0.0004 0.0002 0.0011 0.0008	C10 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
B1 0.0119 0.0126 0.0107 0.0122 C1 0.0064 0.0059 0.0067 0.0060	B2 0.0162 0.0173 0.0145 0.0168 C2 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B3 0.0104 0.0111 0.0092 0.0106 C3 0.0007 0.0004 0.0010 0.0004	B4 0.0189 0.0200 0.0172 0.0196 C4 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	C5 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

Şekil 3.17 Sekiz Katlı Çerçeve Kiriş ve Kolon Plastik Dönmeleri (Statik İtme Analizi)

	B29 0.00 0.00 0.00 0.00	B30 0.00 0.00 0.00 0.00	B31 0.00 0.00 0.00 0.00	B32 0.00 0.00 0.00 0.00	
C36 0.00 0.00 0.00 0.00		C37 0.00 0.00 0.00 0.00	C38 0.00 0.00 0.00 0.00	C39 0.00 0.00 0.00 0.00	C40 0.00 0.00 0.00 0.00
	B25 0.00 0.00 0.00 0.00	B26 0.00 0.00 0.00 0.00	B27 0.00 0.00 0.00 0.00	B28 0.00 0.00 0.00 0.00	
C31 0.00 0.00 0.00 0.00		C32 0.00 0.00 0.00 0.00	C33 0.00 0.00 0.00 0.00	C34 0.00 0.00 0.00 0.00	C35 0.00 0.00 0.00 0.00
	B21 0.00 0.00 0.00 0.00	B22 0.00 0.00 0.00 0.00	B23 0.00 0.00 0.00 0.00	B24 0.02 0.00 0.05 0.00	
C26 0.00 0.00 0.00 0.00		C27 0.00 0.00 0.01 0.00	C28 0.00 0.00 0.00 0.00	C29 0.00 0.00 0.04 0.00	C30 0.00 0.00 0.00 0.00
	B17 0.25 0.22 0.33 0.25	B18 0.36 0.34 0.42 0.36	B19 0.17 0.16 0.18 0.16	B20 0.53 0.51 0.63 0.58	
C21 0.00 0.00 0.00 0.00		C22 0.24 0.21 0.29 0.23	C23 0.03 0.00 0.08 0.04	C24 0.29 0.25 0.34 0.28	C25 0.00 0.00 0.00 0.00
	B13 0.74 0.77 0.87 0.93	B14 0.70 0.74 0.78 0.85	B15 0.47 0.49 0.51 0.56	B16 0.96 1.01 1.12 1.22	
C16 0.02 0.03 0.05 0.06		C17 0.55 0.55 0.56 0.58	C18 0.08 0.08 0.13 0.13	C19 0.61 0.60 0.61 0.64	C20 0.00 0.00 0.00 0.00
	B9 1.12 1.24 1.22 1.51	B10 1.26 1.40 1.36 1.70	B11 1.00 1.12 1.05 1.35	B12 1.40 1.54 1.53 1.88	
C11 0.00 0.00 0.00 0.00		C12 0.00 0.00 0.00 0.00	C13 0.00 0.00 0.00 0.00	C14 0.00 0.00 0.00 0.00	C15 0.00 0.00 0.00 0.00
	B5 1.04 1.14 1.14 1.39	B6 1.22 1.34 1.33 1.62	B7 1.00 1.12 1.07 1.34	B8 1.29 1.41 1.42 1.72	
C6 0.00 0.00 0.00 0.00		C7 0.00 0.00 0.03 0.02	C8 0.00 0.00 0.00 0.00	C9 0.02 0.01 0.04 0.03	C10 0.00 0.00 0.00 0.00
	B1 0.55 0.58 0.61 0.69	B2 0.75 0.80 0.83 0.96	B3 0.48 0.51 0.52 0.61	B4 0.87 0.92 0.98 1.12	
C1 0.27 0.25 0.21 0.19		C2 0.00 0.00 0.00 0.00	C3 0.03 0.02 0.03 0.01	C4 0.00 0.00 0.00 0.00	C5 0.00 0.00 0.00 0.00

Şekil 3.18 Sekiz Katlı Çerçeve Elemanların Plastik Dönme Oranları (Statik İtme Analizi)

Sekiz katlı çerçeve sistem ile dört farklı pekleşme durumu için yapılan itme analizleri sonucunda bina deprem performansı düzeyleri Çizelge 3.6 ile verilmiştir.

Donatı modeli pekleşme oranı 1.15 olarak mafsal modeli pekleşmeli ve pekleşmesiz olarak dikkate alınan durumlar incelendiğinde mafsal modeli pekleşmeli alındığında kiriş plastik mafsallarında daha düşük hasar düzeyleri oluşmuştur. Mafsal modeli pekleşmeli olarak dikkate alınan donatı pekleşme oranı 1.15 ve 1.35 olarak alınan iki durum karşılaştırıldığında donatı pekleşme oranı arttıkça kiriş kesitlerinde hasar düzeylerinin arttığı gözlenmiştir. Bu durumun ortaya çıkmasının sebebi farklı donatı pekleşme oranlarında farklı plastik hasar sınırları belirlenmesidir. Donatı pekleşme oranı arttıkça kesitin güç tükenmesi betonun basınç kırılmasına kaydığı için plastik dönme hasar sınırları küçülmüştür. Bu sebeple donatı pekleşme oranı arttıkça plastik dönmeler azalsa da plastik dönme oranları artmıştır. Çerçeve sistem bina performansı açısından en iyi sonuç donatı pekleşme oranı 1.15 olarak, mafsal modeli pekleşmeli olarak dikkate alındığı durumlarda ortaya çıkmıştır.

Çizelge 3.6 Sekiz Katlı Çerçeve Kiriş ve Kolon Elemanlarının Hasar Bölgeleri

Pekleşme Durumu	Eleman	Adet ve %	Sınırlı Hasar Bölgesi	Belirgin Hasar Bölgesi	İleri Hasar Bölgesi	Göçme Hasar Bölgesi	Güç Tükenmesi Bölgesi	Performans Düzeyi
1.15 pekleşmeli	Kiriş	Adet	11	15	5	1	0	Göçmenin Önlenmesi
		Yüzde	34%	47%	16%	3%	0%	
	Kolon	Adet	29	11	0	0	0	
		Yüzde	73%	28%	0%	0%	0%	
1.15 pekleşmesiz	Kiriş	Adet	12	10	2	8	0	Göçme Durumu
		Yüzde	38%	31%	6%	25%	0%	
	Kolon	Adet	29	11	0	0	0	
		Yüzde	73%	28%	0%	0%	0%	
1.35 pekleşmeli	Kiriş	Adet	11	12	6	3	0	Göçmenin Önlenmesi
		Yüzde	34%	38%	19%	9%	0%	
	Kolon	Adet	27	13	0	0	0	
		Yüzde	68%	33%	0%	0%	0%	
1.35 pekleşmesiz	Kiriş	Adet	12	10	2	8	0	Göçme Durumu
		Yüzde	38%	31%	6%	25%	0%	
	Kolon	Adet	29	11	0	0	0	
		Yüzde	73%	28%	0%	0%	0%	

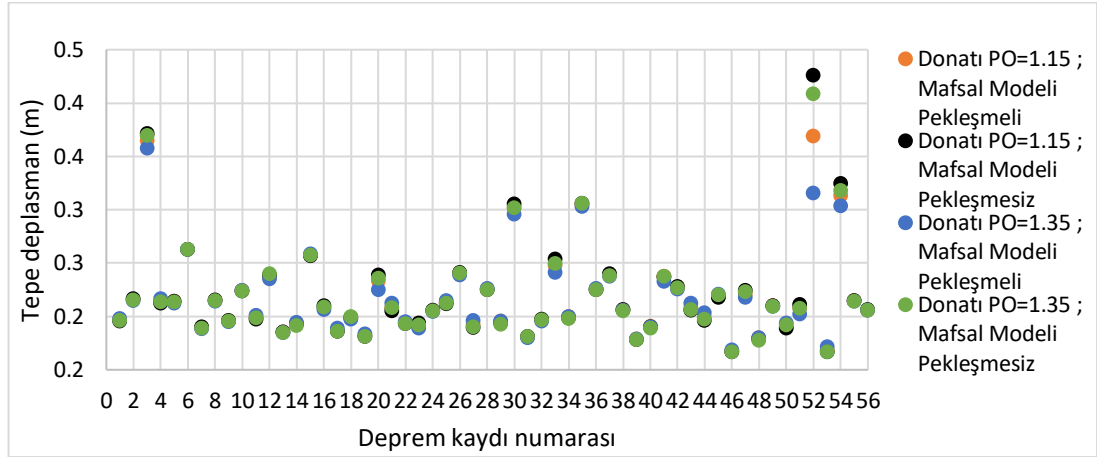
3.2. ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ SONUÇLARI

Tüm örnek çerçeveler; üç katlı, beş katlı ve sekiz katlı, hem donatı malzeme modeli pekleşme oranı hem de moment-dönme ilişkisindeki pekleşme etkisi ikişer farklı şekilde dikkate alınarak her bir örnek çerçeve için dört farklı pekleşme durumunu incelemek amacıyla zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi kullanılmıştır. Analizler için 56 adet deprem kaydı seçilmiş ve her bir çerçeve sistem için deprem kayıtlarının normalizasyon ve ölçeklendirme işlemi yapıldıktan sonra SAP2000 programı ile bütün çerçeve sistemler çözülmüştür. Sonuç olarak her çerçeve sistemde ve her bir deprem kaydında farklı pekleşme durumları için meydana gelen en büyük tepe deplasman ve taban kesme kuvvetleri hesaplanmıştır. Aynı zamanda her bir elemanda farklı pekleşme durumlarında meydana gelen plastik dönmeler ve plastik dönme oranları elde edilmiş ve farklı pekleşme durumları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

3.2.1. Üç Katlı Çerçeve Sistem

Üç katlı çerçeve sistem ile dört pekleşme durumu için 56 deprem kaydı ile yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz sonucunda elde edilen en büyük tepe deplasman değerleri Şekil 3.19 ile gösterilmiştir.

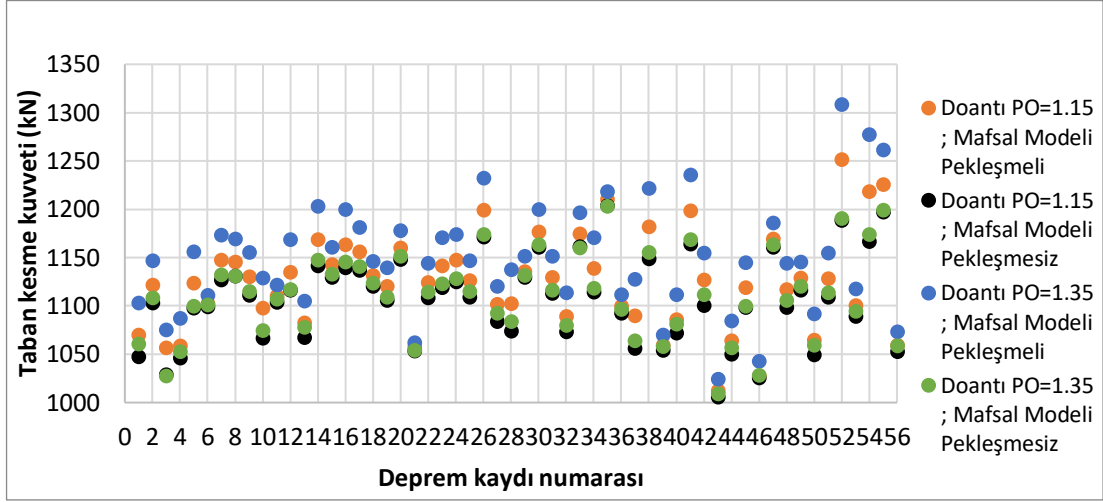
Genel olarak dört farklı pekleşme durumu için sonuçlar incelendiğinde pekleşme etkisinin tepe deplasman değeri üzerinde etkisinin düşük olduğu söylenebilir. Donatı pekleşme oranı 1.15 ve 1.35, mafsal modeli pekleşmeli ve pekleşmesiz olarak dikkate alınan dört durum için de en büyük tepe deplasmanların ortalaması 0.22 m olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.19 Üç Katlı Çerçeve En Büyük Tepe Deplasman Değerleri

Üç katlı çerçeve sistem için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizde kullanılan her bir deprem kaydı için pekleşme durumuna göre meydana gelen en büyük taban kesme kuvveti değerleri Şekil 3.20 ile gösterilmiştir. En büyük taban kesme kuvveti, istisnasız olarak mafsal modeli pekleşmeli olarak donatı pekleşme oranı 1.15 ve 1.35 olarak dikkate alınarak yapılan analizlerde ortaya çıkmaktadır. Bu iki durum arasında ise donatı pekleşme oranı 1.35 alınarak yapılan analizlerde taban kesme kuvveti en büyük olmaktadır.

Donatı pekleşme oranı 1.15 olan çözümlerde plastik mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli alındığında sırasıyla 1107 kN ve 1125 kN maksimum taban kesme kuvveti ortalaması oluşmaktadır. Donatı pekleşme oranı 1.35 alındığında ise plastik mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli durumları maksimum taban kesme kuvvetleri ortalaması sırasıyla 1111 kN ve 1150 kN olarak hesaplanmıştır. Sonuçlardan da görüleceği üzere hem donatı pekleşme oranı hem de plastik mafsal pekleşmesi arttıkça oluşan maksimum taban kesme kuvveti de artmaktadır. Donatı pekleşme oranının 1.15'ten 1.35'e çıkması ile sırasıyla plastik mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli çerçevelerin maksimum taban kesme kuvveti ortalamaları %0.3 ve %2.2 artmaktadır. Plastik mafsal davranışının pekleşmesizden pekleşmeliye geçmesiyle sırasıyla donatı pekleşme oranı 1.15 ve 1.35 olan çerçevelerin maksimum taban kesme kuvvetleri ortalamaları %1.6 ve %3.5 artmıştır.



Şekil 3.20 Üç Katlı Çerçeve En Büyük Taban Kesme Kuvveti Değerleri

Oluşturulan üç katlı çerçeve sistemin, dört farklı pekleşme durumu için 56 deprem kaydı ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi sonucunda plastik mafsallarda her deprem kaydında her bir elemanda oluşan en büyük plastik dönmelerin ortalamaları Çizelge 3.7 ile verilmiştir. Dört pekleşme durumu sırasıyla donatı pekleşme oranı 1.15 ve mafsali modeli pekleşmeli durumu, donatı pekleşme oranı 1.15 ve mafsali modeli pekleşmesiz durumu, donatı pekleşme oranı 1.35 ve mafsali modeli pekleşmeli durumu ve son olarak donatı pekleşme oranı 1.35 ve mafsali modeli pekleşmesiz durumu olarak verilmiştir.

Çizelge 3.7 ile verilen Kontrollü Hasar Sınırı 1.15 ve 1.35 değerleri donatı malzeme modelinin pekleşme oranına göre her bir eleman için hesaplanan kontrollü hasar sınırıdır. 1.15 Pekleşmeli, 1.15 Pekleşmesiz, 1.35 Pekleşmeli ve 1.35 Pekleşmesiz ifadeleri ise dört farklı pekleşme durumu için 56 deprem kaydıyla yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda her deprem kaydında her bir elemanda oluşan en büyük plastik dönmelerin ortalamasını göstermektedir.

Üç katlı çerçeve kiriş elemanları plastik mafsallarının plastik dönmeleri incelendiğinde moment dönme ilişkisi pekleşmeli alınan durumlar için donatı pekleşme oranı arttıkça plastik şekildeğıştirmeler azalmıştır. Moment dönme ilişkisi pekleşmesiz alınan durumlarda donatı pekleşme oranının etkisi daha düşük olmakla birlikte 1.35 pekleşme oranında daha iyi sonuçlar vermiştir. Çizelge 3.8 Kontrollü hasar sınırına göre plastik mafsallarda oluşan plastik dönmelerin oranı Çizelge 3.8 ile verilmiştir. B1 kirişi için plastik dönme oranları incelendiğinde Kontrollü hasar sınırı

donatı pekleşme oranının artmasıyla yaklaşık olarak %1 artış göstermiştir. B1 giriş elemanı plastik dönme oranları incelendiğinde donatı pekleşme oranı 1.15 alındığında mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli alındığı durumlar arasında %9 oranında bir fark oluşmuştur. Donatı pekleşme oranı 1.35 alındığında ve mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli alındığı durumda ise %16'lık bir fark oluşmuştur. İki uç durum olan donatı pekleşme oranı 1.35 ve mafsal modeli pekleşmeli alınan durum ile donatı pekleşme oranı 1.15 ve mafsal modeli pekleşmesiz alınan durum karşılaştırıldığında %20'lik bir plastik dönme farkı oluşmuştur.

Çizelge 3.7 Üç Katlı Çerçeve Giriş Elemanlarında Ortalama Plastik Dönmeler

Eleman	Kontrollü Hasar Sınırı (1.15) (rad)	1.15 Pekleşmeli (rad)	1.15 Pekleşmesiz (rad)	Kontrollü Hasar Sınırı (1.35) (rad)	1.35 Pekleşmeli (rad)	1.35 Pekleşmesiz (rad)
B1	0.0210	0.0188	0.0208	0.0212	0.0167	0.0202
B2	0.0210	0.0076	0.0086	0.0212	0.0059	0.0076
B3	0.0210	0.0078	0.0088	0.0212	0.0063	0.0078
B4	0.0210	0.0181	0.0200	0.0212	0.0160	0.0193
B5	0.0210	0.0086	0.0091	0.0212	0.0076	0.0086
B6	0.0210	0.0016	0.0018	0.0212	0.0011	0.0013
B7	0.0210	0.0019	0.0020	0.0212	0.0014	0.0015
B8	0.0210	0.0079	0.0084	0.0212	0.0072	0.0079
B9	0.0210	0.0000	0.0000	0.0212	0.0000	0.0000
B10	0.0210	0.0000	0.0000	0.0212	0.0000	0.0000
B11	0.0210	0.0000	0.0000	0.0212	0.0000	0.0000
B12	0.0210	0.0000	0.0000	0.0212	0.0000	0.0000

Çizelge 3.8 Üç Katlı Çerçeve Giriş Elemanlarında Plastik Dönme Oranları

Eleman	1.15 Pekleşmeli (%)	1.15 Pekleşmesiz (%)	1.35 Pekleşmeli (%)	1.35 Pekleşmesiz (%)
B1	0.90	0.99	0.79	0.95
B2	0.36	0.41	0.28	0.36
B3	0.37	0.42	0.30	0.37
B4	0.86	0.95	0.75	0.91
B5	0.41	0.43	0.36	0.40
B6	0.08	0.09	0.05	0.06
B7	0.09	0.10	0.07	0.07
B8	0.38	0.40	0.34	0.37
B9	0.00	0.00	0.00	0.00
B10	0.00	0.00	0.00	0.00
B11	0.00	0.00	0.00	0.00
B12	0.00	0.00	0.00	0.00

Kolon elemanlarında farklı pekleşme durumları için her bir elemanda oluşan ortalama plastik dönme değerleri Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Kolon elemanları için kontrollü hasar sınırı değerine göre her bir elemanda oluşan plastik dönme oranları Çizelge 3.10'de verilmiştir. C1 kolonu için incelendiğinde Kontrollü hasar sınırı, donatı pekleşme oranının artmasıyla beraber yaklaşık olarak %3 artmıştır. C1 kolon elemanı plastik dönme oranları incelendiğinde donatı pekleşme oranı 1.15 alındığında mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli alındığı durumlar arasında %3 oranında bir fark oluşmuştur. Donatı pekleşme oranı 1.35 alındığında ve mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli alındığı durumda ise %6'lık bir fark oluşmuştur. İki uç durum olan donatı pekleşme oranı 1.35 ve mafsal modeli pekleşmeli alınan durum ile donatı pekleşme oranı 1.15 ve mafsal modeli pekleşmesiz alınan durum karşılaştırıldığında %7'lik bir plastik dönme farkı meydana gelmiştir.

Kiriş ve kolon elemanları karşılaştırıldığında kirişlerde pekleşme etkisinin kolonlara göre çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumun ortaya çıkmasına iki neden etkili olduğu söylenebilir. İlk olarak kolon elemanlarında normal kuvvetin de etkili olmasından dolayı kolon kesitinin moment eğrilik ilişkisinde pekleşme etkisi kirişteki kadar yüksek olmamaktadır. İkinci olarak çerçeve sistem tasarımı yapılırken oluşacak hasarların kiriş elemanlarında yoğunlaşacak şekilde yapılmasının etkili olduğu söylenebilir.

Çizelge 3.9 Üç Katlı Çerçeve Kolon Elemanlarında Ortalama Plastik Dönmeler

Eleman	Kontrollü Hasar Sınırı (1.15) (rad)	1.15 Pekleşmeli (rad)	1.15 Pekleşmesiz (rad)	Kontrollü Hasar Sınırı (1.35) (rad)	1.35 Pekleşmeli (rad)	1.135 Pekleşmesiz (rad)
C1	0.0304	0.0161	0.0169	0.0314	0.0154	0.0171
C2	0.0304	0.0173	0.0183	0.0314	0.0164	0.0185
C3	0.0304	0.0174	0.0183	0.0314	0.0164	0.0185
C4	0.0304	0.0172	0.0182	0.0314	0.0163	0.0184
C5	0.0304	0.0168	0.0176	0.0314	0.0161	0.0178
C6	0.0304	0.0002	0.0003	0.0314	0.0003	0.0003
C7	0.0304	0.0071	0.0073	0.0314	0.0072	0.0076
C8	0.0304	0.0068	0.0070	0.0314	0.0068	0.0073
C9	0.0304	0.0071	0.0072	0.0314	0.0071	0.0075
C10	0.0304	0.0004	0.0004	0.0314	0.0004	0.0004
C11	0.0304	0.0001	0.0001	0.0314	0.0001	0.0001
C12	0.0304	0.0033	0.0033	0.0314	0.0033	0.0034
C13	0.0304	0.0024	0.0024	0.0314	0.0024	0.0025
C14	0.0304	0.0033	0.0033	0.0314	0.0033	0.0034
C15	0.0304	0.0001	0.0001	0.0314	0.0001	0.0001

Çizelge 3.10 Üç Katlı Çerçeve Kolon Elemanlarında Plastik Dönme Oranları

Eleman	1.15 Pekleşmeli (%)	1.15 Pekleşmesiz (%)	1.35 Pekleşmeli (%)	1.35 Pekleşmesiz (%)
C1	0.53	0.56	0.49	0.55
C2	0.57	0.60	0.52	0.59
C3	0.57	0.60	0.52	0.59
C4	0.57	0.60	0.52	0.59
C5	0.55	0.58	0.51	0.57
C6	0.01	0.01	0.01	0.01
C7	0.23	0.24	0.23	0.24
C8	0.22	0.23	0.22	0.23
C9	0.23	0.24	0.23	0.24
C10	0.01	0.01	0.01	0.01
C11	0.00	0.00	0.00	0.00
C12	0.11	0.11	0.11	0.11
C13	0.08	0.08	0.08	0.08
C14	0.11	0.11	0.10	0.11
C15	0.00	0.00	0.00	0.00

Üç katlı çerçeve sistem için 56 deprem kaydıyla yapılan dört farklı pekleşme durumunun incelendiği zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda her deprem kaydı için her elemanda oluşan en büyük plastik dönmelerin ortalama değerleri Şekil 3.21 ile verilen çerçeve sistem üzerinde gösterilmiştir. Şekil üzerinde her bir elemanda dört farklı dönme değeri görülmektedir. Bu değerler yukarıdan aşağıya sırasıyla donatı pekleşme oranı 1.15 ve mafsalsız model pekleşmeli, donatı pekleşme oranı 1.15 ve mafsalsız model pekleşmesiz, donatı pekleşme oranı 1.35 ve mafsalsız model pekleşmeli ve donatı pekleşme oranı 1.35 ve mafsalsız model pekleşmesiz durumlarına karşılık gelmektedir.

Her bir elemanda oluşan kontrollü hasara göre plastik dönme oranları Şekil 3.22’de görülen çerçeve sistem üzerinde gösterilmiştir.

Şekil 3.22 incelendiğinde ele alınan dört farklı pekleşme durumu üçüncü kat kirişleri plastik dönme oranlarında herhangi bir değişikliğe yol açmamıştır. Bunun yanında birinci ve ikinci kat plastik dönme oranlarında oluşturduğu en büyük fark sırasıyla %20 ve %6 olmuştur. Ele alınan dört farklı pekleşme durumu için birinci, ikinci ve üçüncü kat kolon plastik dönme oranlarında oluşturduğu en büyük fark sırasıyla %8, %1 ve %1 olmuştur.

Kiriş elemanlarında 1.15 pekleşme oranı ile modellenen donatı ve mafsalsız model pekleşmesiz alınan durumda en büyük plastik dönmeler ortaya çıkmıştır. En

küçük plastik dönmeler ise 1.35 pekleşme oranı ile modellenen donatı ve mafsal modeli pekleşmeli olarak alınan durumda ortaya çıkmıştır. Hem donatının pekleşme oranını yüksek almak hem de moment eğrilik ilişkisinde pekleşmeyi dikkate almak üç katlı çerçeve sistemin deprem performansını artırdığı görülmüştür.

Mafsal modeli pekleşmesiz olarak dikkate alınan hesaplarda donatı pekleşme oranından bağımsız olarak birbirine yakın sonuçlar ortaya çıktığı görülmüştür. Mafsal modeli pekleşmesiz alınması durumunda donatıda meydana gelen pekleşme etkileri ortaya çıkmamaktadır. Dolayısıyla donatı pekleşme oranının etkisi, mafsal modeli pekleşmesiz alındığı durumda çok küçük olmaktadır. Bu küçük farkın ortaya çıkmasında da etkin akma momentinin hesabı için yapılan kabul etkili olmaktadır.

B9 0.0000 0.0000 0.0000 C11 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001	B10 0.0000 0.0000 0.0000 C12 0.0033 0.0033 0.0033 0.0034	B11 0.0000 0.0000 0.0000 C13 0.0024 0.0024 0.0024 0.0025	B12 0.0000 0.0000 0.0000 C14 0.0033 0.0033 0.0033 0.0034	C15 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001
B5 0.0086 0.0091 0.0076 C6 0.0002 0.0003 0.0003 0.0003	B6 0.0016 0.0018 0.0011 C7 0.0071 0.0073 0.0072 0.0076	B7 0.0019 0.0020 0.0014 C8 0.0015 0.0068 0.0070 0.0068 0.0073	B8 0.0079 0.0084 0.0072 C9 0.0071 0.0072 0.0071 0.0075	C10 0.0004 0.0004 0.0004 0.0004
B1 0.0188 0.0208 0.0167 C1 0.0161 0.0169 0.0154 0.0171	B2 0.0076 0.0086 0.0059 C2 0.0173 0.0183 0.0164 0.0185	B3 0.0078 0.0088 0.0063 C3 0.0078 0.0174 0.0183 0.0164 0.0185	B4 0.0181 0.0200 0.0160 C4 0.0172 0.0182 0.0163 0.0184	C5 0.0168 0.0176 0.0161 0.0178

Şekil 3.21 Üç Katlı Çerçeve Elemanlarının Plastik Dönme Değerleri (Dinamik Analiz)

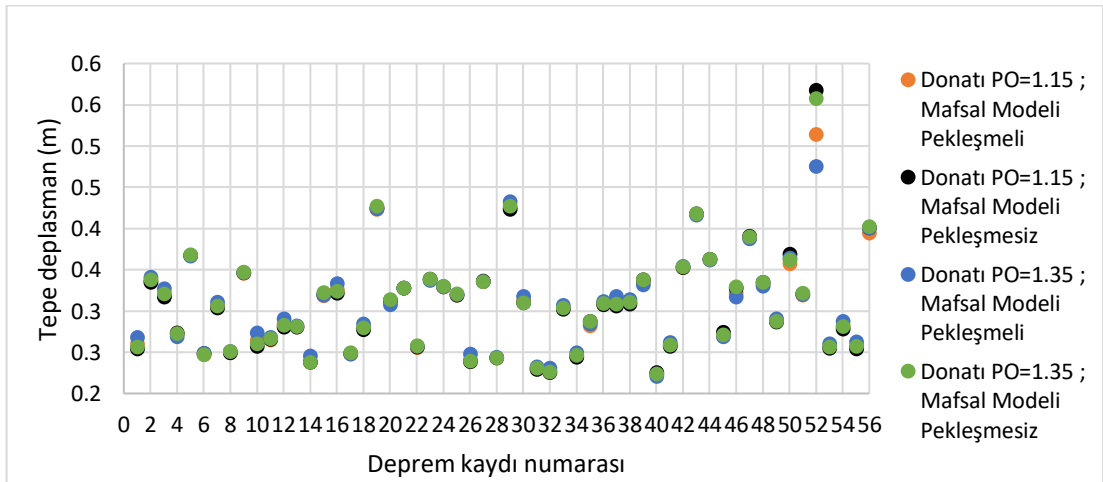
	B9 0.00 0.00 0.00 0.00	B10 0.00 0.00 0.00 0.00	B11 0.00 0.00 0.00 0.00	B12 0.00 0.00 0.00 0.00	
C11 0.00 0.00 0.00 0.00		C12 0.11 0.11 0.11 0.11	C13 0.08 0.08 0.08 0.08	C14 0.11 0.11 0.10 0.11	C15 0.00 0.00 0.00 0.00
	B5 0.41 0.43 0.36 0.40	B6 0.08 0.09 0.05 0.06	B7 0.09 0.10 0.07 0.07	B8 0.38 0.40 0.34 0.37	
C6 0.01 0.01 0.01 0.01		C7 0.23 0.24 0.23 0.24	C8 0.22 0.23 0.22 0.23	C9 0.23 0.24 0.23 0.24	C10 0.01 0.01 0.01 0.01
	B1 0.90 0.99 0.79 0.95	B2 0.36 0.41 0.28 0.36	B3 0.37 0.42 0.30 0.37	B4 0.86 0.95 0.75 0.91	
C1 0.53 0.56 0.49 0.55		C2 0.57 0.60 0.52 0.59	C3 0.57 0.60 0.52 0.59	C4 0.57 0.60 0.52 0.59	C5 0.55 0.58 0.51 0.57

Şekil 3.22 Üç Katlı Çerçeve Elemanlarının Plastik Dönme Oranları (Dinamik Analiz)

3.2.2. Beş Katlı Çerçeve Sistem

Beş katlı çerçeve sistem ile dört pekleşme durumu için 56 deprem kaydı ile yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz sonucunda elde edilen en büyük tepe deplasman değerleri Şekil 3.23 ile gösterilmiştir.

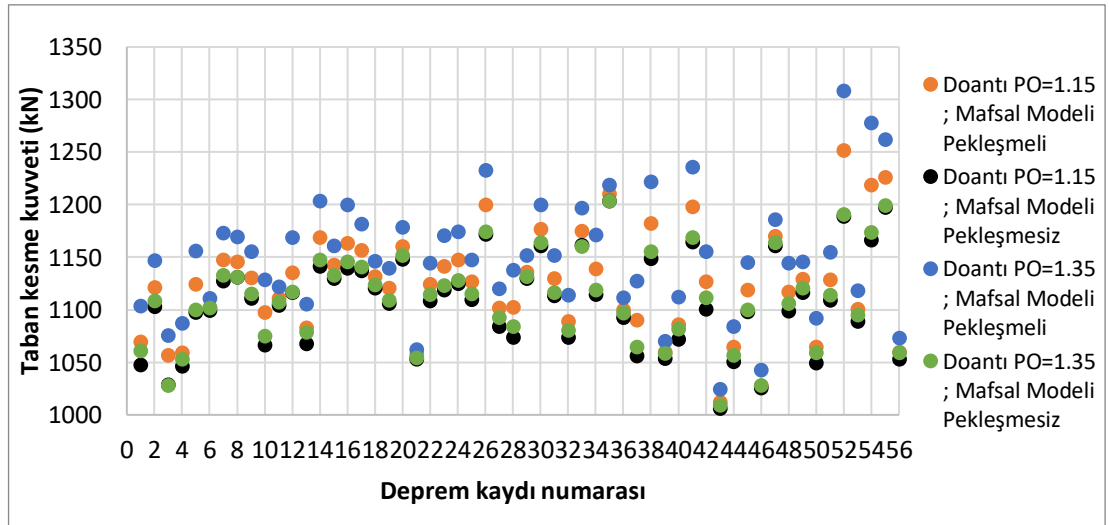
Genel olarak dört farklı pekleşme durumu için sonuçlar incelendiğinde pekleşme etkisinin tepe deplasman değeri üzerinde etkisinin düşük olduğu söylenebilir. Donatı pekleşme oranı 1.15 ve 1.35, mafsal modeli pekleşmeli ve pekleşmesiz olarak dikkate alınan dört durum için de en büyük tepe deplasmanların ortalaması 0.33m olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.23 Beş Katlı Çerçeve En Büyük Tepe Deplasman Değerleri

Beş katlı çerçeve sistem için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizde kullanılan her bir deprem kaydı için pekleşme durumuna göre meydana gelen en büyük taban kesme kuvveti değerleri Şekil 3.24 ile gösterilmiştir. En büyük taban kesme kuvveti, istisnasız olarak mafsalsız model pekleşmeli olarak donatı pekleşme oranı 1.15 ve 1.35 olarak dikkate alınarak yapılan analizlerde ortaya çıkmaktadır. Bu iki durum arasında ise donatı pekleşme oranı 1.35 alınarak yapılan analizlerde taban kesme kuvveti en büyük olmaktadır.

Donatı pekleşme oranı 1.15 olan çözümlerde plastik mafsalsız model pekleşmesiz ve pekleşmeli olarak alındığında sırasıyla 1394 kN ve 1414 kN maksimum taban kesme kuvvetleri ortalaması oluşmaktadır. Donatı pekleşme oranı 1.35 alındığında ise plastik mafsalsız model pekleşmesiz ve pekleşmeli analizlerde maksimum taban kesme kuvvetleri ortalaması sırasıyla 1402 kN ve 1444 kN olarak hesaplanmıştır. Sonuçlardan da görüleceği üzere hem donatı pekleşme oranı hem de plastik mafsalsız model pekleşmesi arttıkça oluşan maksimum taban kesme kuvveti de artmaktadır. Donatı pekleşme oranının 1.15'ten 1.35'e çıkması ile sırasıyla plastik mafsalsız model pekleşmesiz ve pekleşmeli çerçevelerin maksimum taban kesme kuvveti ortalamaları %0.6 ve %2.1 artmaktadır. Plastik mafsalsız davranışının pekleşmesizden pekleşmeliye geçmesiyle sırasıyla donatı pekleşme oranı 1.15 ve 1.35 olan çerçevelerin maksimum taban kesme kuvvetleri ortalamaları %1.4 ve %3 artmıştır.



Şekil 3.24 Beş Katlı Çerçeve En Büyük Taban Kesme Kuvveti Değerleri

Oluşturulan üç katlı çerçeve sistemin, dört farklı pekleşme durumu için 56 deprem kaydı ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi sonucunda plastik mafsallarda her deprem kaydında her bir elemanda oluşan en büyük plastik dönmelerin ortalamaları Çizelge 3.11 ile verilmiştir. Dört pekleşme durumu sırasıyla donatı pekleşme oranı 1.15 ve mafsal modeli pekleşmeli durumu, donatı pekleşme oranı 1.15 ve mafsal modeli pekleşmesiz durumu, donatı pekleşme oranı 1.35 ve mafsal modeli pekleşmeli durumu ve son olarak donatı pekleşme oranı 1.35 ve mafsal modeli pekleşmesiz durumu olarak verilmiştir.

Çizelge 3.11 ile verilen Kontrollü Hasar Sınırı 1.15 ve 1.35 değerleri donatı malzeme modelinin pekleşme oranına göre her bir eleman için hesaplanan kontrollü hasar sınırıdır. 1.15 Pekleşmeli, 1.15 Pekleşmesiz, 1.35 Pekleşmeli ve 1.35 Pekleşmesiz ifadeleri ise dört farklı pekleşme durumu için 56 deprem kaydıyla yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda her deprem kaydında her bir elemanda oluşan en büyük plastik dönmelerin ortalamasını göstermektedir.

Beş katlı çerçeve ilk üç kat kiriş elemanları plastik mafsallarının plastik dönmeleri incelendiğinde moment dönme ilişkisi pekleşmeli alınan durumlar için donatı pekleşme oranı arttıkça plastik şekildeğiştirmeler azalmıştır. Moment dönme ilişkisi pekleşmesiz alınan durumlarda donatı pekleşme oranının etkisi daha düşük olmakla birlikte 1.35 pekleşme oranında daha iyi sonuçlar vermiştir. Fakat Çizelge 3.12 ile verilen kontrollü hasara göre plastik dönmelerin oranları incelendiğinde donatı pekleşme oranı arttıkça plastik dönme oranının da arttığı görülmüştür. Bunun sebebi donatı pekleşme oranının artmasıyla birlikte kesitte güç tükenmesinin betonun basınç kırılmasına kaymasıdır. Bu nedenle donatı pekleşme oranı artmasıyla beraber plastik dönme hasar sınırları küçülmüş ve plastik dönme oranları artmıştır.

Çizelge 3.12 Kontrollü hasar sınırına göre plastik mafsallarda oluşan plastik dönmelerin oranı Çizelge 3.12 ile verilmiştir. B1 kirişi için plastik dönme oranları incelendiğinde Kontrollü hasar sınırı donatı pekleşme oranının artmasıyla yaklaşık olarak %17'lik düşüş göstermiştir. Bu düşüşün sebebi donatı pekleşme oranı artmasıyla kiriş kesit sünekliğinin azalmasından kaynaklanmaktadır. B1 kiriş elemanı plastik dönme oranları incelendiğinde donatı pekleşme oranı 1.15 olarak mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli olarak dikkate alınan durumlar arasında %7

oranında bir fark oluşmuştur. Donatı pekleşme oranı 1.35 olarak mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli olarak dikkate alındığı durumda ise %17'lik bir fark oluşmuştur. İki uç durum olan donatı pekleşme oranı 1.35 ve mafsal modeli pekleşmeli olarak dikkate alınan durum ile donatı pekleşme oranı 1.15 ve mafsal modeli pekleşmesiz olarak dikkate alınan durum karşılaştırıldığında %4'lük bir plastik dönme farkı oluşmuş ve büyük olan plastik dönme oranı, yüksek olan donatı pekleşme durumunda ortaya çıkmıştır. Bu durum donatı pekleşme oranının artmasıyla kesit sünekliğinin azalmasından kaynaklanmıştır.

Çizelge 3.11 Beş Katlı Çerçeve Kiriş Elemanları Ortalama Plastik Dönme Değerleri

Eleman	Kontrollü Hasar Sınırı (1.15) (rad)	1.15 Pekleşmeli (rad)	1.15 Pekleşmesiz (rad)	Kontrollü Hasar Sınırı (1.35) (rad)	1.35 Pekleşmeli (rad)	1.35 Pekleşmesiz (rad)
B1	0.0166	0.0167	0.0179	0.0138	0.0155	0.0178
B2	0.0166	0.0133	0.0144	0.0138	0.0121	0.0142
B3	0.0166	0.0133	0.0144	0.0138	0.0121	0.0142
B4	0.0166	0.0166	0.0178	0.0138	0.0155	0.0177
B5	0.0166	0.0170	0.0185	0.0138	0.0155	0.0183
B6	0.0166	0.0145	0.0161	0.0138	0.0130	0.0157
B7	0.0166	0.0150	0.0165	0.0138	0.0134	0.0162
B8	0.0166	0.0167	0.0182	0.0138	0.0153	0.0179
B9	0.0166	0.0143	0.0155	0.0138	0.0130	0.0152
B10	0.0166	0.0084	0.0093	0.0138	0.0074	0.0088
B11	0.0166	0.0094	0.0103	0.0138	0.0082	0.0098
B12	0.0166	0.0133	0.0145	0.0138	0.0121	0.0141
B13	0.0204	0.0140	0.0151	0.0207	0.0127	0.0150
B14	0.0204	0.0060	0.0066	0.0207	0.0053	0.0064
B15	0.0204	0.0059	0.0065	0.0207	0.0050	0.0063
B16	0.0204	0.0136	0.0147	0.0207	0.0124	0.0147
B17	0.0204	0.0005	0.0006	0.0207	0.0004	0.0004
B18	0.0204	0.0000	0.0000	0.0207	0.0000	0.0000
B19	0.0204	0.0000	0.0000	0.0207	0.0000	0.0000
B20	0.0204	0.0003	0.0003	0.0207	0.0003	0.0002

Çizelge 3.12 Beş Katlı Çerçeve Kiriş Elemanları Plastik Dönme Oranları

Eleman	1.15 Pekleşmeli (%)	1.15 Pekleşmesiz (%)	1.35 Pekleşmeli (%)	1.35 Pekleşmesiz (%)
B1	1.01	1.08	1.12	1.29
B2	0.80	0.87	0.88	1.03
B3	0.80	0.87	0.88	1.03
B4	1.00	1.07	1.12	1.28
B5	1.03	1.12	1.13	1.32
B6	0.88	0.97	0.94	1.14
B7	0.90	0.99	0.97	1.17
B8	1.01	1.10	1.10	1.30
B9	0.86	0.94	0.94	1.10

B10	0.51	0.56	0.53	0.63
B11	0.56	0.62	0.60	0.71
B12	0.80	0.88	0.88	1.02
B13	0.68	0.74	0.61	0.73
B14	0.30	0.32	0.26	0.31
B15	0.29	0.32	0.24	0.30
B16	0.67	0.72	0.60	0.71
B17	0.02	0.03	0.02	0.02
B18	0.00	0.00	0.00	0.00
B19	0.00	0.00	0.00	0.00
B20	0.02	0.02	0.02	0.01

Kolon elemanlarında farklı pekleşme durumları için her bir elemanda oluşan ortalama plastik dönme değerleri Çizelge 3.13 ile verilmiştir.

Kolon elemanları için kontrollü hasar plastik dönme sınırı değerine göre her bir elemanda oluşan plastik dönme oranları Çizelge 3.14 ile verilmiştir. C1 kolonu için incelendiğinde Kontrollü hasar sınırı, donatı pekleşme oranının artmasıyla beraber yaklaşık olarak %1.7 artmıştır. C1 kolon elemanı plastik dönme oranları incelendiğinde donatı pekleşme oranı 1.15 alındığında mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli alındığı durumlar arasında plastik dönme oranı farkı oluşmamıştır. Aynı şekilde donatı pekleşme oranı 1.35 alındığında ve mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli alındığı durumda da plastik dönme oranı farkı oluşmamıştır. İki uç durum olan donatı pekleşme oranı 1.35 ve mafsal modeli pekleşmeli alınan durum ile donatı pekleşme oranı 1.15 ve mafsal modeli pekleşmesiz alınan durum karşılaştırıldığında %1'lik bir plastik dönme farkı meydana gelmiştir.

Kiriş ve kolon elemanları karşılaştırıldığında kirişlerde pekleşme etkisinin kolonlara göre çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumun ortaya çıkmasına iki neden etkili olduğu söylenebilir. İlk olarak kolon elemanlarında normal kuvvetin de etkili olmasından dolayı kolon kesitinin moment eğrilik ilişkisinde pekleşme etkisi kirişteki kadar yüksek olmamaktadır. İkinci olarak çerçeve sistem tasarımı yapılırken oluşacak hasarların kiriş elemanlarında yoğunlaşacak şekilde yapılmasının etkili olduğu söylenebilir.

Çizelge 3.13 Beş Katlı Çerçeve Kolon Elemanlarının Ortalama Plastik Dönmeler

Eleman	Kontrollü Hasar Sınırı (1.15) (rad)	1.15 Pekleşmeli (rad)	1.15 Pekleşmesiz (rad)	Kontrollü Hasar Sınırı (1.35) (rad)	1.35 Pekleşmeli (rad)	1.35 Pekleşmesiz (rad)
C1	0.0237	0.0074	0.0074	0.0241	0.0073	0.0073
C2	0.0314	0.0043	0.0042	0.0311	0.0044	0.0043
C3	0.0237	0.0056	0.0056	0.0241	0.0054	0.0055
C4	0.0314	0.0043	0.0042	0.0311	0.0044	0.0043
C5	0.0237	0.0074	0.0073	0.0241	0.0072	0.0073
C6	0.0237	0.0000	0.0000	0.0241	0.0000	0.0000
C7	0.0314	0.0013	0.0011	0.0311	0.0020	0.0013
C8	0.0237	0.0001	0.0000	0.0241	0.0001	0.0000
C9	0.0314	0.0014	0.0011	0.0311	0.0020	0.0013
C10	0.0237	0.0000	0.0000	0.0241	0.0000	0.0000
C11	0.0237	0.0000	0.0000	0.0241	0.0000	0.0000
C12	0.0314	0.0052	0.0052	0.0311	0.0053	0.0054
C13	0.0237	0.0001	0.0002	0.0241	0.0001	0.0002
C14	0.0314	0.0050	0.0051	0.0311	0.0051	0.0053
C15	0.0237	0.0000	0.0000	0.0241	0.0000	0.0000
C16	0.0283	0.0047	0.0044	0.0292	0.0050	0.0046
C17	0.0283	0.0122	0.0117	0.0292	0.0126	0.0122
C18	0.0283	0.0074	0.0071	0.0292	0.0077	0.0075
C19	0.0283	0.0120	0.0116	0.0292	0.0124	0.0120
C20	0.0283	0.0049	0.0046	0.0292	0.0051	0.0048
C21	0.0283	0.0010	0.0009	0.0292	0.0011	0.0010
C22	0.0283	0.0063	0.0062	0.0292	0.0063	0.0063
C23	0.0283	0.0050	0.0049	0.0292	0.0051	0.0051
C24	0.0283	0.0062	0.0061	0.0292	0.0062	0.0062
C25	0.0283	0.0017	0.0016	0.0292	0.0017	0.0017

Çizelge 3.14 Beş Katlı Çerçeve Kolon Elemanlarında Plastik Dönme Oranları

Eleman	1.15 Pekleşmeli (%)	1.15 Pekleşmesiz (%)	1.35 Pekleşmeli (%)	1.35 Pekleşmesiz (%)
C1	0.31	0.31	0.30	0.30
C2	0.14	0.13	0.14	0.14
C3	0.24	0.24	0.23	0.23
C4	0.14	0.13	0.14	0.14
C5	0.31	0.31	0.30	0.30
C6	0.00	0.00	0.00	0.00
C7	0.04	0.04	0.07	0.04
C8	0.00	0.00	0.00	0.00
C9	0.04	0.04	0.06	0.04
C10	0.00	0.00	0.00	0.00
C11	0.00	0.00	0.00	0.00
C12	0.17	0.17	0.17	0.17
C13	0.01	0.01	0.00	0.01
C14	0.16	0.16	0.16	0.17
C15	0.00	0.00	0.00	0.00
C16	0.17	0.16	0.17	0.16
C17	0.43	0.41	0.43	0.42

C18	0.26	0.25	0.26	0.26
C19	0.43	0.41	0.43	0.41
C20	0.17	0.16	0.17	0.16
C21	0.03	0.03	0.04	0.04
C22	0.22	0.22	0.22	0.22
C23	0.18	0.18	0.17	0.17
C24	0.22	0.22	0.21	0.21
C25	0.06	0.06	0.06	0.06

Beş katlı çerçeve sistem için 56 deprem kaydıyla yapılan dört farklı pekleşme durumunun incelendiği zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda her deprem kaydı için her elemanda oluşan en büyük plastik dönmelerin ortalama değerleri Şekil 3.25 ile verilen çerçeve sistem üzerinde gösterilmiştir. Şekil üzerinde her bir elemanda dört farklı dönme değeri görülmektedir. Bu değerler yukarıdan aşağıya sırasıyla donatı pekleşme oranı 1.15 ve mafsal modeli pekleşmeli, donatı pekleşme oranı 1.15 ve mafsal modeli pekleşmesiz, donatı pekleşme oranı 1.35 ve mafsal modeli pekleşmeli ve donatı pekleşme oranı 1.35 ve mafsal modeli pekleşmesiz durumlarına karşılık gelmektedir.

Her bir elemanda oluşan kontrollü hasara göre plastik dönme oranları ise Şekil 3.26'de görülen çerçeve sistem üzerinde gösterilmiştir.

Şekil 3.26 incelendiğinde ele alınan dört farklı pekleşme durumunun birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü ve beşinci kat plastik dönme oranlarında oluşturduğu en büyük fark sırasıyla %28, %29, %24, %12 ve %1 olmuştur. Ele alınan dört farklı pekleşme durumu için birinci, ikinci ve üçüncü, dördüncü ve beşinci kat kolon plastik dönme oranlarında oluşturduğu en büyük fark sırasıyla %1, %3, %1, %2 ve %1 olmuştur.

Kiriş elemanlarında 1.15 pekleşme oranı ile modellenen donatı ve mafsal modeli pekleşmesiz alınan durumda en büyük plastik dönmeler ortaya çıkmıştır. En küçük plastik dönmeler ise 1.35 pekleşme oranı ile modellenen donatı ve mafsal modeli pekleşmeli olarak alınan durumda ortaya çıkmıştır. Fakat plastik dönmeler kontrollü hasar sınırına oranlandığında donatı pekleşme oranı arttıkça plastik dönme oranının da arttığı görülmüştür. Bu durumun sebebi donatı pekleşme oranı arttığı durumda kiriş kesit sünekliğinin azalmış olması olduğu söylenebilir.

Mafsal modeli pekleşmesiz olarak dikkate alınan hesaplarda donatı pekleşme oranından bağımsız olarak birbirine yakın sonuçlar ortaya çıktığı görülmüştür. Mafsal modelinin pekleşmesiz alınması durumunda donatıda meydana gelen pekleşme etkileri ortaya çıkmamaktadır. Dolayısıyla donatı pekleşme etkisi, moment dönme ilişkisinin pekleşmesiz alındığı durumda etkisi çok küçük olmaktadır. Bu küçük farkın ortaya çıkmasında da etkin akma momentinin hesabı için yapılan kabul etkili olmaktadır. Fakat burada da plastik dönme oranları incelendiğinde donatı pekleşme oranının artmasıyla plastik dönme sınırlarının küçülmesi sebebiyle plastik dönme oranlarında önemli farklar ortaya çıkabilmektedir.

B17 0.0005 0.0006 0.0004 C21 0.0010 0.0009 0.0011 0.0010	B18 0.0000 0.0000 0.0000 C22 0.0063 0.0062 0.0063 0.0063	B19 0.0000 0.0000 0.0000 C23 0.0050 0.0049 0.0051 0.0051	B20 0.0003 0.0003 0.0003 C24 0.0062 0.0061 0.0062 0.0062	C25 0.0017 0.0016 0.0017 0.0017
B13 0.0140 0.0151 0.0127 C16 0.0047 0.0044 0.0050 0.0046	B14 0.0060 0.0066 0.0053 C17 0.0122 0.0117 0.0126 0.0122	B15 0.0059 0.0065 0.0050 C18 0.0074 0.0071 0.0077 0.0075	B16 0.0136 0.0147 0.0124 C19 0.0120 0.0116 0.0124 0.0120	C20 0.0049 0.0046 0.0051 0.0048
B9 0.0143 0.0155 0.0130 C11 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B10 0.0084 0.0093 0.0074 C12 0.0052 0.0052 0.0053 0.0054	B11 0.0094 0.0103 0.0082 C13 0.0001 0.0002 0.0001 0.0002	B12 0.0133 0.0145 0.0121 C14 0.0050 0.0051 0.0051 0.0053	C15 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
B5 0.0170 0.0185 0.0155 C6 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B6 0.0145 0.0161 0.0130 C7 0.0013 0.0011 0.0020 0.0013	B7 0.0150 0.0165 0.0134 C8 0.0001 0.0000 0.0001 0.0000	B8 0.0167 0.0182 0.0153 C9 0.0014 0.0011 0.0020 0.0013	C10 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
B1 0.0167 0.0179 0.0155 C1 0.0074 0.0074 0.0073 0.0073	B2 0.0133 0.0144 0.0121 C2 0.0043 0.0042 0.0044 0.0043	B3 0.0133 0.0144 0.0121 C3 0.0056 0.0056 0.0054 0.0055	B4 0.0166 0.0178 0.0155 C4 0.0043 0.0042 0.0044 0.0043	C5 0.0074 0.0073 0.0072 0.0073

Şekil 3.25 Beş Katlı Çerçeve Elemanların Plastik Dönme Değerleri (Dinamik Analiz)

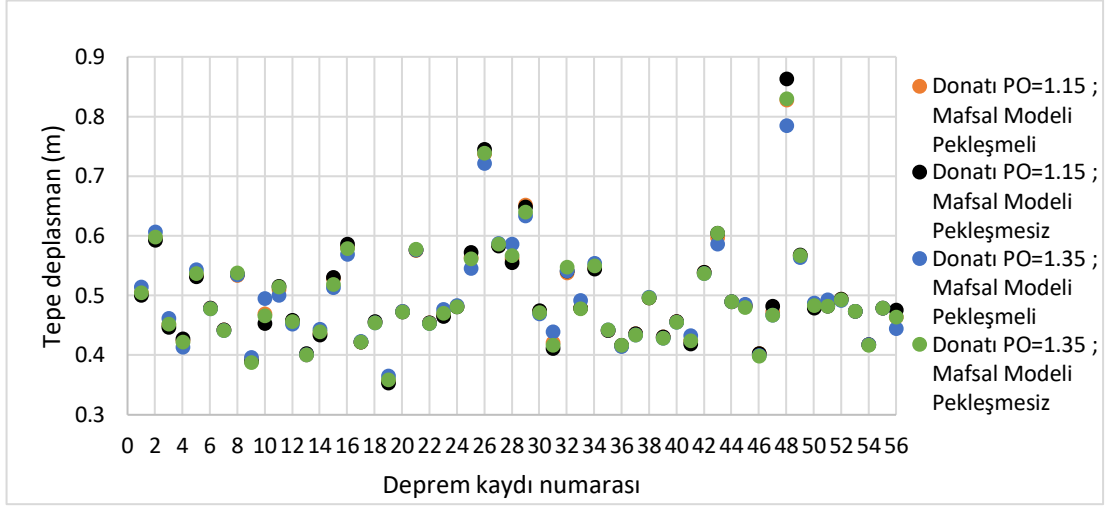
	B17 0.02 0.03 0.02 0.02	B18 0.00 0.00 0.00 0.00	B19 0.00 0.00 0.00 0.00	B20 0.02 0.02 0.02 0.01	
C21 0.03 0.03 0.04 0.04		C22 0.22 0.22 0.22 0.22	C23 0.18 0.18 0.17 0.17	C24 0.22 0.22 0.21 0.21	C25 0.06 0.06 0.06 0.06
	B13 0.68 0.74 0.61 0.73	B14 0.30 0.32 0.26 0.31	B15 0.29 0.32 0.24 0.30	B16 0.67 0.72 0.60 0.71	
C16 0.17 0.16 0.17 0.16		C17 0.43 0.41 0.43 0.42	C18 0.26 0.25 0.26 0.26	C19 0.43 0.41 0.43 0.41	C20 0.17 0.16 0.17 0.16
	B9 0.86 0.94 0.94 1.10	B10 0.51 0.56 0.53 0.63	B11 0.56 0.62 0.60 0.71	B12 0.80 0.88 0.88 1.02	
C11 0.00 0.00 0.00 0.00		C12 0.17 0.17 0.17 0.17	C13 0.01 0.01 0.00 0.01	C14 0.16 0.16 0.16 0.17	C15 0.00 0.00 0.00 0.00
	B5 1.03 1.12 1.13 1.32	B6 0.88 0.97 0.94 1.14	B7 0.90 0.99 0.97 1.17	B8 1.01 1.10 1.10 1.30	
C6 0.00 0.00 0.00 0.00		C7 0.04 0.04 0.07 0.04	C8 0.00 0.00 0.00 0.00	C9 0.04 0.04 0.06 0.04	C10 0.00 0.00 0.00 0.00
	B1 1.01 1.08 1.12 1.29	B2 0.80 0.87 0.88 1.03	B3 0.80 0.87 0.88 1.03	B4 1.00 1.07 1.12 1.28	
C1 0.31 0.31 0.30 0.30		C2 0.14 0.13 0.14 0.14	C3 0.24 0.24 0.23 0.23	C4 0.14 0.13 0.14 0.14	C5 0.31 0.31 0.30 0.30

Şekil 3.26 Beş Katlı Çerçeve Elemanlarının Plastik Dönme Oranları (Dinamik Analiz)

3.2.3. Sekiz Katlı Çerçeve Sistem

Sekiz katlı çerçeve sistem ile dört pekleşme durumu için 56 deprem kaydı ile yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz sonucunda elde edilen en büyük tepe deplasman değerleri Şekil 3.27 ile gösterilmiştir.

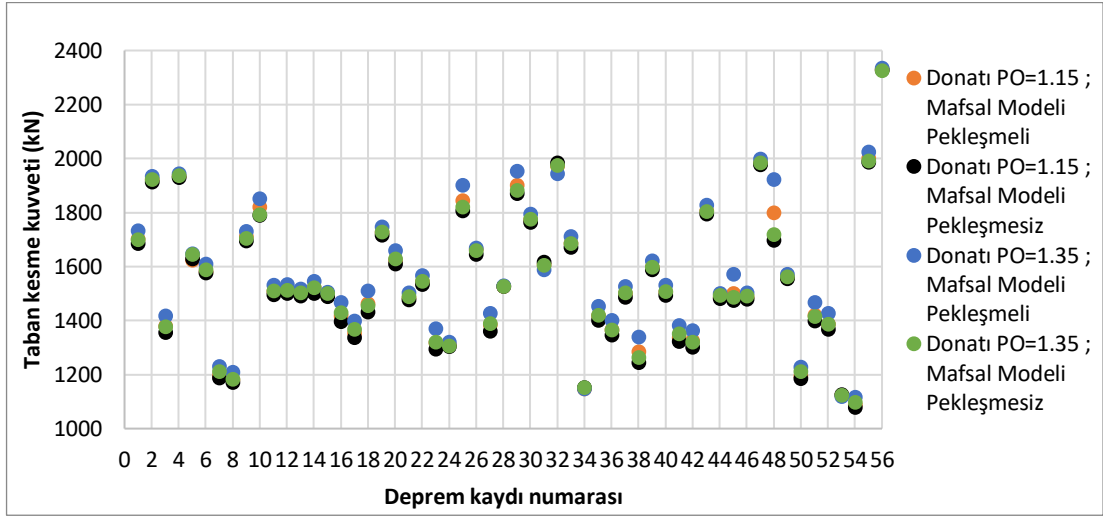
Genel olarak dört farklı pekleşme durumu için sonuçlar incelendiğinde pekleşme etkisinin tepe deplasman değeri üzerinde etkisinin düşük olduğu söylenebilir. Donatı pekleşme oranı 1.15 ve 1.35, mafsal modeli pekleşmeli ve pekleşmesiz olarak dikkate alınan dört durum için de en büyük tepe deplasmanların ortalaması 0.50m olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.27 Sekiz Katlı Çerçeve En Büyük Tepe Deplasman Değerleri

Sekiz katlı çerçeve sistem için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizde kullanılan her bir deprem kaydı için pekleşme durumuna göre meydana gelen en büyük taban kesme kuvveti değerleri Şekil 3.28 ile gösterilmiştir. En büyük taban kesme kuvveti, genel olarak mafsal modeli pekleşmeli olarak donatı pekleşme oranı 1.15 ve 1.35 olarak dikkate alınarak yapılan analizlerde ortaya çıkmaktadır. Bu iki durum arasında ise donatı pekleşme oranı 1.35 alınarak yapılan analizlerde taban kesme kuvveti en büyük olmaktadır.

Donatı pekleşme oranı 1.15 olan çözümlerde plastik mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli olarak alındığında sırasıyla 1537 kN ve 1551 kN maksimum taban kesme kuvvetleri ortalaması oluşmaktadır. Donatı pekleşme oranı 1.35 alındığında ise plastik mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli analizlerde maksimum taban kesme kuvvetleri ortalaması sırasıyla 1550 kN ve 1579 kN olarak hesaplanmıştır. Sonuçlardan da görüleceği üzere hem donatı pekleşme oranı hem de plastik mafsal pekleşmesi arttıkça oluşan maksimum taban kesme kuvveti de artmaktadır. Donatı pekleşme oranının 1.15'ten 1.35'e çıkması ile sırasıyla plastik mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli çerçevelerin maksimum taban kesme kuvveti ortalamaları %0.8 ve %1.8 artmaktadır. Plastik mafsal davranışının pekleşmesizden pekleşmeliye geçmesiyle sırasıyla donatı pekleşme oranı 1.15 ve 1.35 olan çerçevelerin maksimum taban kesme kuvvetleri ortalamaları %0.9 ve %1.9 artmıştır.



Şekil 3.28 Sekiz Katlı Çerçeve En Büyük Taban Kesme Kuvveti Değerleri

Oluşturulan beş katlı çerçeve sistemin, dört farklı pekleşme durumu için 56 deprem kaydı ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi sonucunda plastik mafsallarda her deprem kaydında her bir elemanda oluşan en büyük plastik dönmelerin ortalamaları Çizelge 3.15 ile verilmiştir. Dört pekleşme durumu sırasıyla donatı pekleşme oranı 1.15 ve mafsal modeli pekleşmeli durumu, donatı pekleşme oranı 1.15 ve mafsal modeli pekleşmesiz durumu, donatı pekleşme oranı 1.35 ve mafsal modeli pekleşmeli durumu ve son olarak donatı pekleşme oranı 1.35 ve mafsal modeli pekleşmesiz durumu olarak verilmiştir.

Çizelge 3.15 ile verilen Kontrollü Hasar Sınırı 1.15 ve 1.35 değerleri donatı malzeme modelinin pekleşme oranına göre her bir eleman için hesaplanan kontrollü hasar sınırıdır. 1.15 Pekleşmeli, 1.15 Pekleşmesiz, 1.35 Pekleşmeli ve 1.35 Pekleşmesiz ifadeleri ise dört farklı pekleşme durumu için 56 deprem kaydıyla yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda her deprem kaydında her bir elemanda oluşan en büyük plastik dönmelerin ortalamasını göstermektedir.

Sekiz katlı çerçeve giriş elemanları plastik mafsallarının plastik dönmeleri incelendiğinde mafsal modeli pekleşmeli alınan durumlar için donatı pekleşme oranı arttıkça plastik şekildeğiştirmeler azalmıştır. Moment dönme ilişkisi pekleşmesiz alınan durumlarda donatı pekleşme oranının etkisi daha düşük olmakla birlikte 1.35 pekleşme oranında daha iyi sonuçlar vermiştir. Fakat Çizelge 3.16 ile verilen kontrollü hasara göre plastik dönmelerin oranları incelendiğinde donatı pekleşme oranı arttıkça plastik dönme oranının da arttığı görülmüştür. Bunun sebebi donatı pekleşme oranının

artmasıyla birlikte kesitte güç tükenmesinin betonun basınç kırılmasına kaymasıdır. Bu nedenle donatı pekleşme oranı artmasıyla beraber plastik dönme hasar sınırları küçülmüş ve plastik dönme oranları artmıştır.

Kontrollü hasar sınırına göre plastik mafsallarda oluşan plastik dönmelerin oranı Çizelge 3.16 ile verilmiştir. B1 kirişi için plastik dönme oranları incelendiğinde Kontrollü hasar sınırı, donatı pekleşme oranının artmasıyla yaklaşık olarak %19'luk bir düşüş göstermiştir. Bu düşüşün sebebi donatı pekleşme oranı artmasıyla kiriş kesit sünekliğinin azalmasından kaynaklanmaktadır. B1 kiriş elemanı plastik dönme oranları incelendiğinde donatı pekleşme oranı 1.15 olarak mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli olarak dikkate alınan durumlar arasında %4 oranında bir fark oluşmuştur. Donatı pekleşme oranı 1.35 olarak mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli olarak dikkate alındığı durumda ise %9'luk bir fark oluşmuş ve mafsal modeli pekleşmeli alınan durumlar daha iyi performans göstermiştir. İki uç durum olan donatı pekleşme oranı 1.35 ve mafsal modeli pekleşmeli olarak dikkate alınan durum ile donatı pekleşme oranı 1.15 ve mafsal modeli pekleşmesiz olarak dikkate alınan durum karşılaştırıldığında %7'lik bir plastik dönme farkı oluşmuş ve büyük olan plastik dönme oranı, yüksek olan donatı pekleşme durumunda ortaya çıkmıştır. Bu durum donatı pekleşme oranının artmasıyla kesit sünekliğinin azalmasından kaynaklanmıştır.

Çizelge 3.15 Sekiz Katlı Çerçeve Kiriş Elemanlarında Ortalama Plastik Dönmeler

Eleman	Kontrollü Hasar Sınırı (1.15) (rad)	1.15 Pekleşmeli (rad)	1.15 Pekleşmesiz (rad)	Kontrollü Hasar Sınırı (1.35) (rad)	1.35 Pekleşmeli (rad)	1.35 Pekleşmesiz (rad)
B1	0.0216	0.0158	0.0167	0.0175	0.0148	0.0163
B2	0.0216	0.0129	0.0137	0.0175	0.0119	0.0133
B3	0.0216	0.0133	0.0141	0.0175	0.0123	0.0137
B4	0.0216	0.0154	0.0162	0.0175	0.0144	0.0159
B5	0.0216	0.0204	0.0219	0.0175	0.0186	0.0214
B6	0.0216	0.0188	0.0203	0.0175	0.0170	0.0197
B7	0.0216	0.0186	0.0201	0.0175	0.0168	0.0196
B8	0.0216	0.0206	0.0221	0.0175	0.0188	0.0216
B9	0.0216	0.0207	0.0224	0.0175	0.0185	0.0217
B10	0.0216	0.0180	0.0197	0.0175	0.0158	0.0190
B11	0.0216	0.0176	0.0192	0.0175	0.0154	0.0185
B12	0.0216	0.0210	0.0227	0.0175	0.0189	0.0221
B13	0.0216	0.0161	0.0170	0.0175	0.0147	0.0165
B14	0.0216	0.0106	0.0114	0.0175	0.0093	0.0108
B15	0.0216	0.0097	0.0103	0.0175	0.0086	0.0098

B16	0.0216	0.0169	0.0178	0.0175	0.0156	0.0173
B17	0.0214	0.0166	0.0177	0.0182	0.0156	0.0174
B18	0.0214	0.0128	0.0139	0.0182	0.0117	0.0135
B19	0.0214	0.0123	0.0135	0.0182	0.0113	0.0131
B20	0.0214	0.0170	0.0181	0.0182	0.0159	0.0178
B21	0.0214	0.0121	0.0128	0.0182	0.0114	0.0126
B22	0.0214	0.0063	0.0069	0.0182	0.0056	0.0065
B23	0.0214	0.0062	0.0067	0.0182	0.0055	0.0063
B24	0.0214	0.0124	0.0130	0.0182	0.0117	0.0128
B25	0.0214	0.0055	0.0058	0.0182	0.0052	0.0057
B26	0.0214	0.0014	0.0015	0.0182	0.0012	0.0012
B27	0.0214	0.0014	0.0014	0.0182	0.0012	0.0012
B28	0.0214	0.0058	0.0061	0.0182	0.0054	0.0060
B29	0.0214	0.0000	0.0000	0.0182	0.0000	0.0000
B30	0.0214	0.0000	0.0000	0.0182	0.0000	0.0000
B31	0.0214	0.0000	0.0000	0.0182	0.0000	0.0000
B32	0.0214	0.0000	0.0000	0.0182	0.0000	0.0000

Çizelge 3.16 Sekiz Katlı Çerçeve Kiriş Elemanlarında Plastik Dönme Oranları

Eleman	1.15 Pekleşmeli (%)	1.15 Pekleşmesiz (%)	1.35 Pekleşmeli (%)	1.35 Pekleşmesiz (%)
B1	0.73	0.77	0.84	0.93
B2	0.60	0.63	0.68	0.76
B3	0.62	0.65	0.70	0.79
B4	0.71	0.75	0.82	0.91
B5	0.94	1.01	1.06	1.22
B6	0.87	0.94	0.97	1.13
B7	0.86	0.93	0.96	1.12
B8	0.95	1.02	1.08	1.24
B9	0.96	1.03	1.06	1.24
B10	0.83	0.91	0.90	1.09
B11	0.81	0.89	0.88	1.06
B12	0.97	1.05	1.08	1.26
B13	0.74	0.79	0.84	0.95
B14	0.49	0.53	0.53	0.62
B15	0.45	0.48	0.49	0.56
B16	0.78	0.82	0.89	0.99
B17	0.78	0.83	0.86	0.95
B18	0.60	0.65	0.64	0.74
B19	0.58	0.63	0.62	0.72
B20	0.79	0.84	0.87	0.98
B21	0.56	0.60	0.63	0.69
B22	0.30	0.32	0.31	0.36
B23	0.29	0.31	0.30	0.35
B24	0.58	0.61	0.64	0.70
B25	0.26	0.27	0.28	0.31
B26	0.07	0.07	0.07	0.07
B27	0.06	0.07	0.07	0.07
B28	0.27	0.29	0.30	0.33
B29	0.00	0.00	0.00	0.00
B30	0.00	0.00	0.00	0.00

B31	0.00	0.00	0.00	0.00
B32	0.00	0.00	0.00	0.00

Kolon elemanlarında farklı pekleşme durumları için her bir elemanda oluşan ortalama plastik dönme değerleri

Çizelge 3.17 ile verilmiştir.

Kolon elemanları için kontrollü hasar plastik dönme sınırı değerine göre her bir elemanda oluşan plastik dönme oranları Çizelge 3.18 ile verilmiştir. C1 kolonu için incelendiğinde kontrollü hasar sınırı, donatı pekleşme oranının artmasıyla beraber yaklaşık olarak %3 artmıştır. C1 kolon elemanı plastik dönme oranları incelendiğinde donatı pekleşme oranı 1.15 alındığında mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli alındığı durumlar arasında plastik dönme oranı farkı oluşmamıştır. Aynı şekilde donatı pekleşme oranı 1.35 alındığında ve mafsal modeli pekleşmesiz ve pekleşmeli alındığı durumda da plastik dönme oranı farkı oluşmamıştır.

Kiriş ve kolon elemanları karşılaştırıldığında kirişlerde pekleşme etkisinin kolonlara göre çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumun ortaya çıkmasına iki neden etkili olduğu söylenebilir. İlk olarak kolon elemanlarında normal kuvvetin de etkili olmasından dolayı kolon kesitinin moment eğrilik ilişkisinde pekleşme etkisi kirişteki kadar yüksek olmamaktadır. İkinci olarak çerçeve sistem tasarımında, kapasite tasarımı gereği olarak, oluşacak hasarların kiriş elemanlarında yoğunlaşacak şekilde yapılmasının etkili olduğu söylenebilir.

Çizelge 3.17 Sekiz Katlı Çerçeve Kolon Elemanlarında Ortalama Plastik Dönmeler

Eleman	Kontrollü Hasar Sınırı (1.15) (rad)	1.15 Pekleşmeli (rad)	1.15 Pekleşmesiz (rad)	Kontrollü Hasar Sınırı (1.35) (rad)	1.35 Pekleşmeli (rad)	1.35 Pekleşmesiz (rad)
C1	0.0238	0.0066	0.0067	0.0245	0.0069	0.0068
C2	0.0257	0.0035	0.0035	0.0239	0.0036	0.0036
C3	0.0238	0.0044	0.0045	0.0245	0.0045	0.0046
C4	0.0257	0.0035	0.0035	0.0239	0.0036	0.0036
C5	0.0238	0.0066	0.0067	0.0245	0.0069	0.0069
C6	0.0238	0.0000	0.0000	0.0245	0.0000	0.0000
C7	0.0257	0.0003	0.0002	0.0239	0.0006	0.0003
C8	0.0238	0.0001	0.0001	0.0245	0.0001	0.0001
C9	0.0257	0.0003	0.0002	0.0239	0.0006	0.0003
C10	0.0238	0.0001	0.0001	0.0245	0.0001	0.0001

C11	0.0238	0.0000	0.0000	0.0245	0.0000	0.0000
C12	0.0257	0.0013	0.0011	0.0239	0.0018	0.0014
C13	0.0238	0.0000	0.0000	0.0245	0.0000	0.0000
C14	0.0257	0.0013	0.0012	0.0239	0.0018	0.0014
C15	0.0238	0.0000	0.0000	0.0245	0.0000	0.0000
C16	0.0251	0.0024	0.0023	0.0253	0.0026	0.0026
C17	0.0289	0.0122	0.0121	0.0289	0.0124	0.0125
C18	0.0251	0.0043	0.0042	0.0253	0.0045	0.0046
C19	0.0289	0.0124	0.0123	0.0289	0.0127	0.0128
C20	0.0251	0.0023	0.0022	0.0253	0.0022	0.0024
C21	0.0251	0.0013	0.0012	0.0253	0.0017	0.0014
C22	0.0289	0.0111	0.0107	0.0289	0.0119	0.0114
C23	0.0251	0.0030	0.0027	0.0253	0.0037	0.0030
C24	0.0289	0.0112	0.0108	0.0289	0.0120	0.0114
C25	0.0251	0.0012	0.0011	0.0253	0.0016	0.0013
C26	0.0251	0.0013	0.0011	0.0253	0.0016	0.0013
C27	0.0289	0.0089	0.0082	0.0289	0.0098	0.0091
C28	0.0251	0.0054	0.0050	0.0253	0.0061	0.0055
C29	0.0289	0.0089	0.0082	0.0289	0.0098	0.0092
C30	0.0251	0.0010	0.0007	0.0253	0.0013	0.0009
C31	0.0313	0.0009	0.0008	0.0323	0.0011	0.0009
C32	0.0313	0.0049	0.0047	0.0323	0.0052	0.0051
C33	0.0313	0.0040	0.0038	0.0323	0.0044	0.0041
C34	0.0313	0.0048	0.0047	0.0323	0.0052	0.0051
C35	0.0313	0.0009	0.0007	0.0323	0.0010	0.0009
C36	0.0313	0.0001	0.0001	0.0323	0.0001	0.0001
C37	0.0313	0.0027	0.0026	0.0323	0.0029	0.0028
C38	0.0313	0.0021	0.0020	0.0323	0.0022	0.0022
C39	0.0313	0.0027	0.0026	0.0323	0.0028	0.0028
C40	0.0313	0.0002	0.0002	0.0323	0.0003	0.0002

Çizelge 3.18 Sekiz Katlı Çerçeve Kolon Elemanlarında Plastik Dönme Oranları

Eleman	1.15 Pekleşmeli (%)	1.15 Pekleşmesiz (%)	1.35 Pekleşmeli (%)	1.35 Pekleşmesiz (%)
C1	0.28	0.28	0.28	0.28
C2	0.13	0.14	0.15	0.15
C3	0.18	0.19	0.18	0.19
C4	0.13	0.14	0.15	0.15
C5	0.28	0.28	0.28	0.28
C6	0.00	0.00	0.00	0.00
C7	0.01	0.01	0.02	0.01
C8	0.00	0.00	0.00	0.00
C9	0.01	0.01	0.03	0.01
C10	0.00	0.01	0.00	0.01
C11	0.00	0.00	0.00	0.00
C12	0.05	0.04	0.08	0.06
C13	0.00	0.00	0.00	0.00
C14	0.05	0.05	0.08	0.06
C15	0.00	0.00	0.00	0.00

C16	0.10	0.09	0.10	0.10
C17	0.42	0.42	0.43	0.43
C18	0.17	0.17	0.18	0.18
C19	0.43	0.43	0.44	0.44
C20	0.09	0.09	0.09	0.10
C21	0.05	0.05	0.07	0.05
C22	0.38	0.37	0.41	0.39
C23	0.12	0.11	0.15	0.12
C24	0.39	0.37	0.41	0.40
C25	0.05	0.04	0.06	0.05
C26	0.05	0.05	0.06	0.05
C27	0.31	0.28	0.34	0.31
C28	0.21	0.20	0.24	0.22
C29	0.31	0.28	0.34	0.32
C30	0.04	0.03	0.05	0.04
C31	0.03	0.03	0.03	0.03
C32	0.16	0.15	0.16	0.16
C33	0.13	0.12	0.14	0.13
C34	0.15	0.15	0.16	0.16
C35	0.03	0.02	0.03	0.03
C36	0.00	0.00	0.00	0.00
C37	0.09	0.08	0.09	0.09
C38	0.07	0.07	0.07	0.07
C39	0.09	0.08	0.09	0.09
C40	0.01	0.01	0.01	0.01

Sekiz katlı çerçeve sistem için 56 deprem kaydıyla yapılan dört farklı pekleşme durumunun incelendiği zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda her deprem kaydı için her elemanda oluşan en büyük plastik dönmelerin ortalama değerleri Şekil 3.29 ile verilen çerçeve sistem üzerinde gösterilmiştir.

Şekil üzerinde her bir elemanda dört farklı dönme değeri görülmektedir. Bu değerler yukarıdan aşağıya sırasıyla donatı pekleşme oranı 1.15 ve mafsalsız model pekleşmeli, donatı pekleşme oranı 1.15 ve mafsalsız model pekleşmesiz, donatı pekleşme oranı 1.35 ve mafsalsız model pekleşmeli ve donatı pekleşme oranı 1.35 ve mafsalsız model pekleşmesiz durumlarına karşılık gelmektedir.

Her bir elemanda oluşan kontrollü hasara göre plastik dönme oranları ise Şekil 3.30'da görülen çerçeve sistem üzerinde gösterilmiştir. Şekil 3.30 incelendiğinde ele alınan dört farklı pekleşme durumunun birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü, beşinci altıncı yedinci ve sekizinci kat plastik dönme oranlarında oluşturduğu en büyük fark sırasıyla %20, %29, %29, %21, %19, %13, %6 ve %0 olmuştur.

Ele alınan dört farklı pekleşme durumu için birinci, ikinci ve üçüncü, dördüncü, beşinci, altıncı, yedinci ve sekizinci kat kolon plastik dönme oranlarında oluşturduğu en büyük fark sırasıyla %7, %1, %3, %1, %4, %6, %2 ve %1 olmuştur.

Kiriş elemanlarında 1.15 pekleşme oranı ile modellenen donatı ve mafsalsal modeli pekleşmesiz alınan durumda en büyük plastik dönmeler ortaya çıkmıştır. En küçük plastik dönmeler ise 1.35 pekleşme oranı ile modellenen donatı ve mafsalsal modeli pekleşmeli olarak alınan durumda ortaya çıkmıştır.

Fakat plastik dönmeler kontrollü hasar sınırına oranlandığında donatı pekleşme oranı arttıkça plastik dönme oranının da arttığı görülmüştür. Bu durumun sebebi donatı pekleşme oranı arttığı durumda kiriş kesit sünekliğinin azalmış olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Mafsalsal modeli pekleşmesiz olarak dikkate alınan hesaplarda donatı pekleşme oranından bağımsız olarak birbirine yakın sonuçlar ortaya çıktığı görülmüştür. Mafsalsal modelinin pekleşmesiz alınması durumunda donatıda meydana gelen pekleşme etkileri ortaya çıkmamaktadır.

Dolayısıyla donatı pekleşme etkisi, moment dönme ilişkisinin pekleşmesiz alındığı durumda etkisi çok küçük olmaktadır. Bu küçük farkın ortaya çıkmasında da etkin akma momentinin hesabı için yapılan kabul etkili olmaktadır. Fakat burada da plastik dönme oranları incelendiğinde donatı pekleşme oranının artmasıyla plastik dönme sınırlarının küçülmesi sebebiyle plastik dönme oranlarında önemli farklar ortaya çıkabilmektedir.

B29 0.0000 0.0000 0.0000 C36 0.0000 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001	B30 0.0000 0.0000 0.0000 C37 0.0000 0.0027 0.0026 0.0029 0.0028	B31 0.0000 0.0000 0.0000 C38 0.0000 0.0021 0.0020 0.0022 0.0022	B32 0.0000 0.0000 0.0000 C39 0.0000 0.0027 0.0026 0.0028 0.0028	C40 0.0002 0.0002 0.0003 0.0002
B25 0.0055 0.0058 0.0052 C31 0.0057 0.0009 0.0008 0.0011 0.0009	B26 0.0014 0.0015 0.0012 C32 0.0012 0.0049 0.0047 0.0052 0.0051	B27 0.0014 0.0014 0.0012 C33 0.0012 0.0040 0.0038 0.0044 0.0041	B28 0.0058 0.0061 0.0054 C34 0.0060 0.0048 0.0047 0.0052 0.0051	C35 0.0009 0.0007 0.0010 0.0009
B21 0.0121 0.0128 0.0114 C26 0.0126 0.0013 0.0011 0.0016 0.0013	B22 0.0063 0.0069 0.0056 C27 0.0065 0.0089 0.0082 0.0098 0.0091	B23 0.0062 0.0067 0.0055 C28 0.0063 0.0054 0.0050 0.0061 0.0055	B24 0.0124 0.0130 0.0117 C29 0.0128 0.0089 0.0082 0.0098 0.0092	C30 0.0010 0.0007 0.0013 0.0009
B17 0.0166 0.0177 0.0156 C21 0.0174 0.0013 0.0012 0.0017 0.0014	B18 0.0128 0.0139 0.0117 C22 0.0135 0.0111 0.0107 0.0119 0.0114	B19 0.0123 0.0135 0.0113 C23 0.0131 0.0030 0.0027 0.0037 0.0030	B20 0.0170 0.0181 0.0159 C24 0.0178 0.0112 0.0108 0.0120 0.0114	C25 0.0012 0.0011 0.0016 0.0013
B13 0.0161 0.0170 0.0147 C16 0.0165 0.0024 0.0023 0.0026 0.0026	B14 0.0106 0.0114 0.0093 C17 0.0108 0.0122 0.0121 0.0124 0.0125	B15 0.0097 0.0103 0.0086 C18 0.0098 0.0043 0.0042 0.0045 0.0046	B16 0.0169 0.0178 0.0156 C19 0.0173 0.0124 0.0123 0.0127 0.0128	C20 0.0023 0.0022 0.0022 0.0024
B9 0.0207 0.0224 0.0185 C11 0.0217 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B10 0.0180 0.0197 0.0158 C12 0.0190 0.0013 0.0011 0.0018 0.0014	B11 0.0176 0.0192 0.0154 C13 0.0185 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B12 0.0210 0.0227 0.0189 C14 0.0221 0.0013 0.0012 0.0018 0.0014	C15 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
B5 0.0204 0.0219 0.0186 C6 0.0214 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	B6 0.0188 0.0203 0.0170 C7 0.0197 0.0003 0.0002 0.0006 0.0003	B7 0.0186 0.0201 0.0168 C8 0.0196 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001	B8 0.0206 0.0221 0.0188 C9 0.0216 0.0003 0.0002 0.0006 0.0003	C10 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001
B1 0.0158 0.0167 0.0148 C1 0.0163 0.0066 0.0067 0.0069 0.0068	B2 0.0129 0.0137 0.0119 C2 0.0133 0.0035 0.0035 0.0036 0.0036	B3 0.0133 0.0141 0.0123 C3 0.0137 0.0044 0.0045 0.0045 0.0046	B4 0.0154 0.0162 0.0144 C4 0.0159 0.0035 0.0035 0.0036 0.0036	C5 0.0066 0.0067 0.0069 0.0069

Şekil 3.29 Sekiz Katlı Çerçeve Elemanlarının Plastik Dönme Değerleri (Dinamik Analiz)

	B29 0.00 0.00 0.00 0.00	B30 0.00 0.00 0.00 0.00	B31 0.00 0.00 0.00 0.00	B32 0.00 0.00 0.00 0.00	
C36 0.00 0.00 0.00 0.00	0.00	C37 0.09 0.08 0.09 0.09	C38 0.07 0.07 0.07 0.07	C39 0.09 0.08 0.09 0.09	C40 0.01 0.01 0.01 0.01
	B25 0.26 0.27 0.28 0.31	B26 0.07 0.07 0.07 0.07	B27 0.06 0.07 0.07 0.07	B28 0.27 0.29 0.30 0.33	
C31 0.03 0.03 0.03 0.03	0.31	C32 0.16 0.15 0.16 0.16	C33 0.13 0.12 0.14 0.13	C34 0.15 0.15 0.16 0.16	C35 0.03 0.02 0.03 0.03
	B21 0.56 0.60 0.63 0.69	B22 0.30 0.32 0.31 0.36	B23 0.29 0.31 0.30 0.35	B24 0.58 0.61 0.64 0.70	
C26 0.05 0.05 0.06 0.05	0.69	C27 0.31 0.28 0.34 0.31	C28 0.21 0.20 0.24 0.22	C29 0.31 0.28 0.34 0.32	C30 0.04 0.03 0.05 0.04
	B17 0.78 0.83 0.86 0.95	B18 0.60 0.65 0.64 0.74	B19 0.58 0.63 0.62 0.72	B20 0.79 0.84 0.87 0.98	
C21 0.05 0.05 0.07 0.05	0.95	C22 0.38 0.37 0.41 0.39	C23 0.12 0.11 0.15 0.12	C24 0.39 0.37 0.41 0.40	C25 0.05 0.04 0.06 0.05
	B13 0.74 0.79 0.84 0.95	B14 0.49 0.53 0.53 0.62	B15 0.45 0.48 0.49 0.56	B16 0.78 0.82 0.89 0.99	
C16 0.10 0.09 0.10 0.10	0.95	C17 0.42 0.42 0.43 0.43	C18 0.17 0.17 0.18 0.18	C19 0.43 0.43 0.44 0.44	C20 0.09 0.09 0.09 0.10
	B9 0.96 1.03 1.06 1.24	B10 0.83 0.91 0.90 1.09	B11 0.81 0.89 0.88 1.06	B12 0.97 1.05 1.08 1.26	
C11 0.00 0.00 0.00 0.00	1.24	C12 0.05 0.04 0.07 0.05	C13 0.00 0.00 0.00 0.00	C14 0.05 0.05 0.07 0.06	C15 0.00 0.00 0.00 0.00
	B5 0.94 1.01 1.06 1.22	B6 0.87 0.94 0.97 1.13	B7 0.86 0.93 0.96 1.12	B8 0.95 1.02 1.08 1.24	
C6 0.00 0.00 0.00 0.00	1.22	C7 0.01 0.01 0.02 0.01	C8 0.00 0.00 0.00 0.00	C9 0.01 0.01 0.02 0.01	C10 0.00 0.01 0.00 0.00
	B1 0.73 0.77 0.84 0.93	B2 0.60 0.63 0.68 0.76	B3 0.62 0.65 0.70 0.79	B4 0.71 0.75 0.82 0.91	
C1 0.28 0.28 0.21 0.21	0.93	C2 0.13 0.14 0.15 0.14	C3 0.18 0.19 0.14 0.14	C4 0.13 0.14 0.15 0.14	C5 0.28 0.28 0.21 0.21

Şekil 3.30 Sekiz Katlı Çerçeve Elemanlarının Plastik Dönme Oranları (Dinamik Analiz)

3.3. ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ ve İTME ANALİZİ KARŞILAŞTIRMALI SONUÇLAR

Tüm örnek çerçeveler; üç katlı, beş katlı ve sekiz katlı, hem donatı malzeme modeli pekleşme oranı hem de moment-dönme ilişkisindeki pekleşme etkisi ikişer farklı şekilde dikkate alınarak her bir örnek çerçeve için dört farklı pekleşme durumunu incelemek amacıyla doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleri ile çözülmüştür.

Tüm çerçeve sistemlerin Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizi sonucunda elde edilen en büyük taban kesme kuvveti ve en büyük tepe deplasman değerleri ve doğrusal olmayan statik itme analizi sonucunda elde edilen kapasite eğrisi ve deprem yerdeğiştirme talepleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

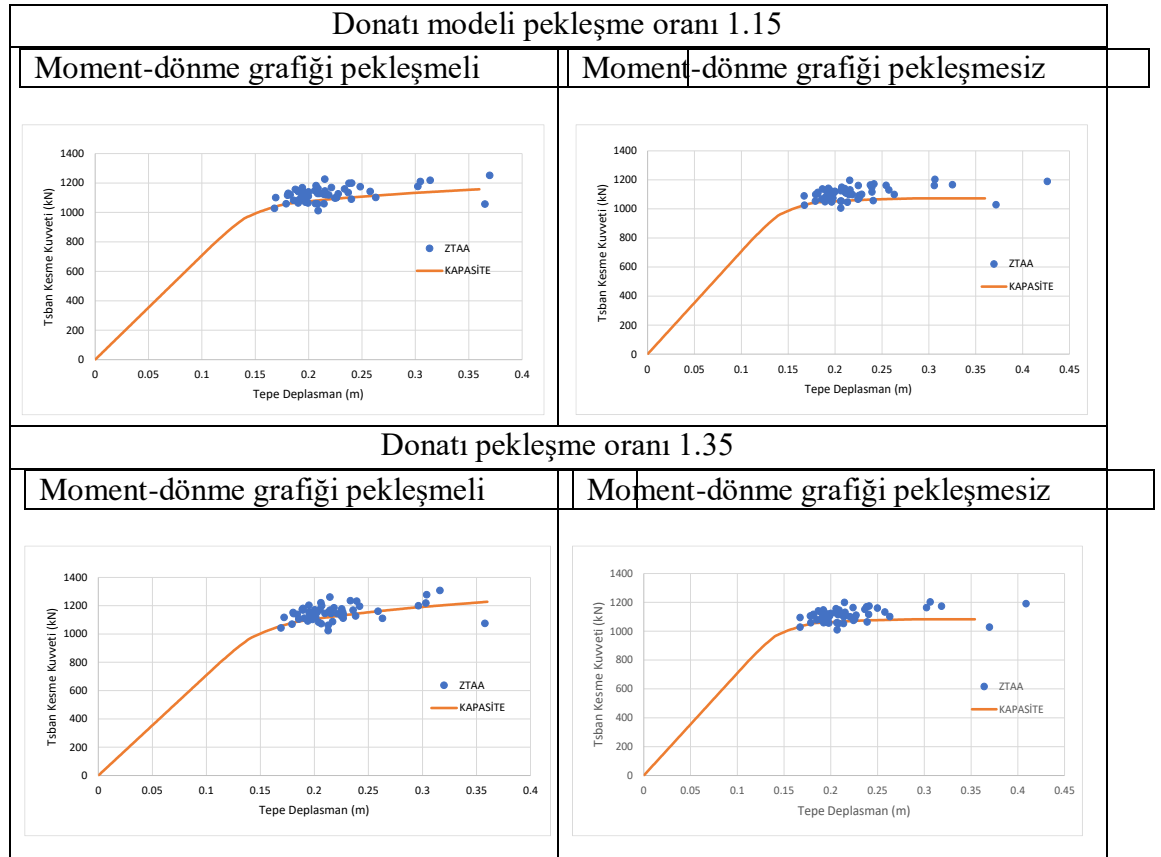
3.3.1. Üç Katlı Çerçeve Sistem

Üç katlı çerçeve sistemde incelenen dört pekleşme durumu için zaman tanım alanında analiz ve itme analizi sonuçları aynı grafik üzerinde Şekil 3.31 ile gösterilmiştir. Zaman tanım alanında dinamik analiz sonuçları 56 deprem kaydından her bir deprem kaydı sonucunda elde edilen en büyük tepe deplasman ve taban kesme kuvveti değerleri nokta olarak gösterilmiştir. Statik itme analizi sonucu ise kapasite eğrisi olarak gösterilmiştir.

Üç katlı çerçeve sistem ile dört farklı pekleşme durumunun incelemesi yapılan zaman tanım alanında analiz sonucunda her bir deprem kaydında oluşan en büyük Taban Kesme Kuvveti-Tepe Deplasman noktaları ile itme analizi sonucunda oluşturulan kapasite eğrileri birbiri ile uyumlu şekilde ortaya çıktığı görülmektedir.

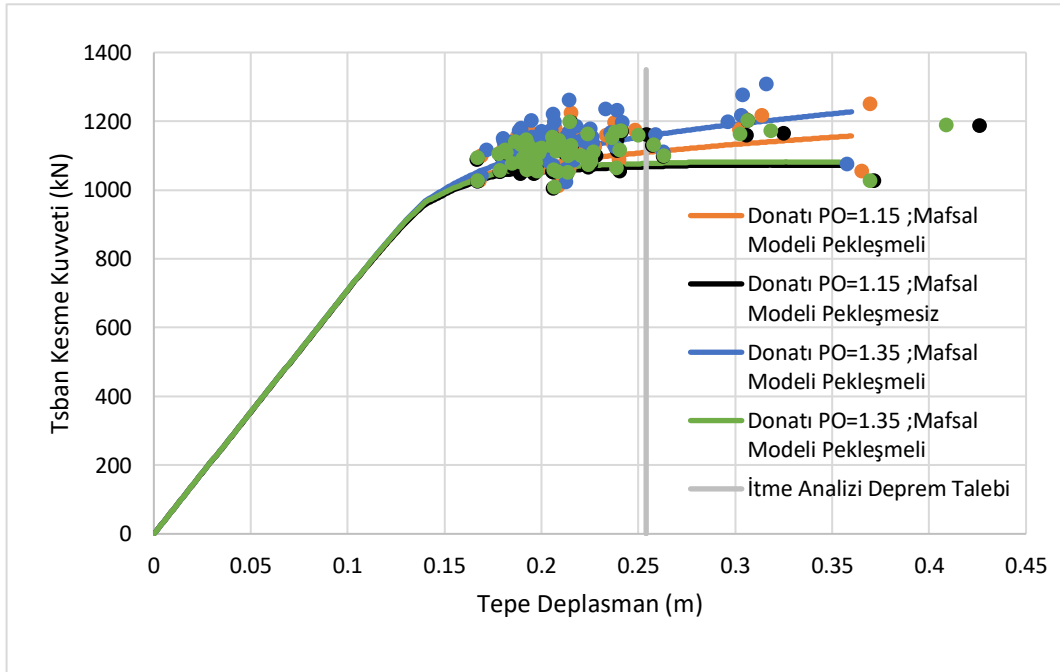
Üç katlı çerçeve sistem için itme analizinde depremin yerdeğiştirme talebi 0.254m olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.31'de zaman tanım alanında analiz sonuçlarında en büyük tepe deplasman değerleri bu değere yaklaştığı görülmektedir. 56 deprem kaydı ile yapılan ZTAA sonucunda dört farklı pekleşme durumu için elde edilen en büyük taban kesme kuvveti ve tepe deplasman değerlerinin ortalamaları şekilde verilen sırayla 0.219m, 0.221m, 0.218m ve 0.220m olarak meydana gelmiştir. Bu sonuçlara göre itme analizi deprem yerdeğiştirme talebinin ZTAA sonuçlarına göre yaklaşık %15 daha büyük olduğu tespit edilmiştir.

Üç katlı çerçeve sistem için itme analizinde yerdeğiştirme talebine karşılık gelen maksimum taban kesme kuvveti, donatı pekleşme oranı 1.15 olan çözümlerde plastik mafsallı model pekleşmesiz ve pekleşmeli olarak alındığında sırasıyla 1067 kN ve 1109 kN olarak oluşmaktadır. Donatı pekleşme oranı 1.35 alındığında ise plastik mafsallı model pekleşmesiz ve pekleşmeli analizlerde maksimum taban kesme kuvvetleri sırasıyla 1077 kN ve 1157 kN olarak hesaplanmıştır. ZTAA sonucunda elde edilen dört pekleşme durumu için maksimum taban kesme kuvvetlerinin ortalamaları ise aynı sırayla 1107 kN, 1125 kN, 1111 kN ve 1150 kN olarak meydana gelmiştir. İki yöntem karşılaştırıldığında ZTAA ile elde edilen en büyük taban kesme kuvveti ortalamaları itme analizi sonucunda elde edilen maksimum taban kesme kuvvetine göre donatı pekleşme oranı 1.15 plastik mafsallı model pekleşmesiz ve pekleşmeli olarak alındığında sırasıyla %3.7 ve %1.4 artış göstermiştir. Donatı pekleşme oranı 1.35 plastik mafsallı model pekleşmesiz ve pekleşmeli olarak alındığında sırasıyla %3.2 artış ve %0.6 azalma göstermiştir.



Şekil 3.31 Üç Katlı Çerçeve Kapasite Eğrilerinin İki Yöntem için Karşılaştırması

Üç katlı çerçeve sistem için dört farklı pekleşme durumunun dikkate alındığı itme analizi sonucunda elde edilen kapasite eğrisi ve zaman tanım alanında analiz sonucunda elde edilen en büyük tepe deplasman – en büyük taban kesme kuvveti değerleri aynı grafik üzerinde Şekil 3.32 ile verilmiştir. Beklendiği gibi donatı pekleşme oranı arttıkça taban kesme kuvveti değerinin yükseldiği görülmüştür. Aynı zamanda mafsal modeli pekleşme etkisinin dikkate alınması donatı pekleşme oranının etkili olmasına neden olmaktadır. Eğer moment dönme ilişkisi pekleşmesiz olarak dikkate alınırsa donatı pekleşme oranının etkisi en aza inmektedir.



Şekil 3.32 Üç Katlı Çerçeve Kapasite Eğrileri ve Mak. Tepe Deplasman-Mak. Taban Kesme Kuvveti

3.3.2. Beş Katlı Çerçeve Sistem

Beş katlı çerçeve sistemde incelenen dört pekleşme durumu için zaman tanım alanında analiz ve itme analizi sonuçları aynı grafik üzerinde Şekil 3.33 ile gösterilmiştir. Zaman tanım alanında analiz sonuçları 56 deprem kaydından her bir deprem kaydı sonucunda elde edilen en büyük tepe deplasman ve taban kesme kuvveti değerleri nokta olarak gösterilmiştir. İtme analizi sonucu ise kapasite eğrisi olarak gösterilmiştir.

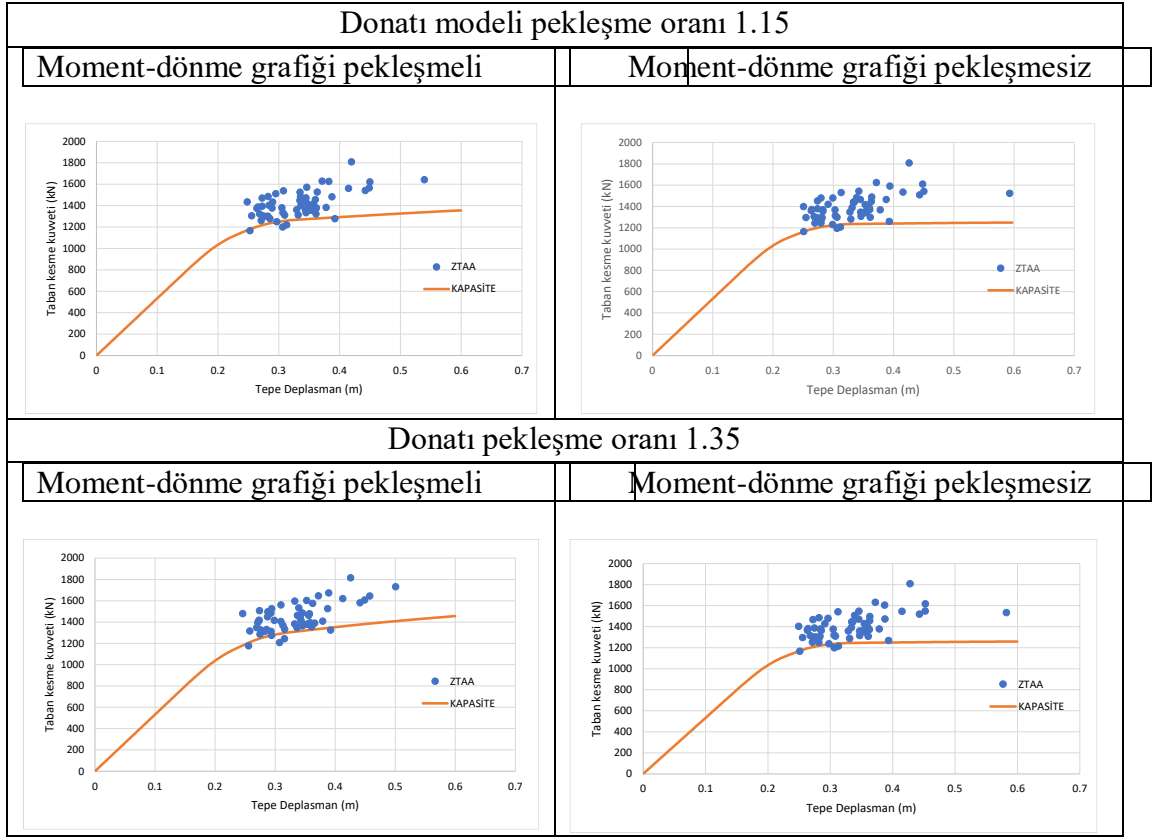
Beş katlı çerçeve sistem ile dört farklı pekleşme durumunun incelemesi yapılan zaman tanım alanında analiz sonucunda her bir deprem kaydında oluşan en büyük

Taban Kesme Kuvveti-Tepe Deplasman noktaları ile itme analizi sonucunda oluşturulan kapasite eğrileri birbiri ile uyumlu şekilde ortaya çıktığı görülmektedir.

Beş katlı çerçeve sistem için itme analizinde depremin yerdeğiştirme talebi 0.367m olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.33’de zaman tanım alanında analiz sonuçlarında en büyük tepe deplasman değerleri bu değere yaklaştığı görülmektedir. 56 deprem kaydı ile yapılan ZTAA sonucunda dört farklı pekleşme durumu için elde edilen en büyük taban kesme kuvveti ve tepe deplasman değerlerinin ortalamaları Şekil 3.33’de verilen sırayla 0.333m, 0.334m, 0.334m ve 0.334m olarak meydana gelmiştir. Bu sonuçlara göre itme analizi deprem yerdeğiştirme talebinin ZTAA sonuçlarına göre yaklaşık %10 daha büyük olduğu tespit edilmiştir.

Beş katlı çerçeve sistem için itme analizinde yerdeğiştirme talebine karşılık gelen maksimum taban kesme kuvveti, donatı pekleşme oranı 1.15 olan çözümlerde plastik mafsallı model pekleşmesiz ve pekleşmeli olarak alındığında sırasıyla 1237 kN ve 1281 kN olarak meydana gelmektedir. Donatı pekleşme oranı 1.35 alındığında ise plastik mafsallı model pekleşmesiz ve pekleşmeli analizlerde maksimum taban kesme kuvvetleri sırasıyla 1248 kN ve 1332 kN olarak hesaplanmıştır. ZTAA sonucunda elde edilen dört pekleşme durumu için maksimum taban kesme kuvvetlerinin ortalamaları ise aynı sırayla 1394 kN, 1414 kN, 1402 kN ve 1444 kN olarak meydana gelmiştir.

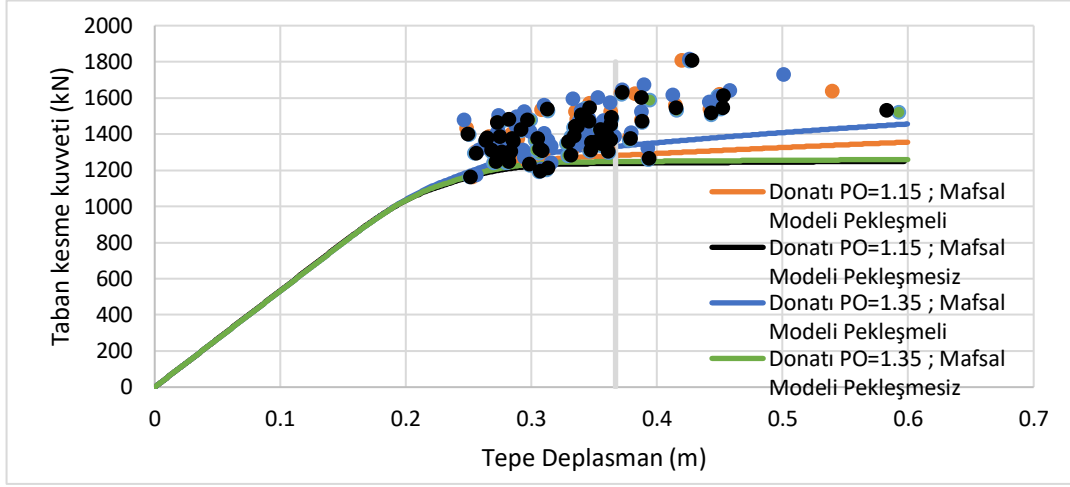
İki yöntem karşılaştırıldığında ZTAA ile elde edilen en büyük taban kesme kuvveti ortalamaları itme analizi sonucunda elde edilen maksimum taban kesme kuvvetine göre donatı pekleşme oranı 1.15 plastik mafsallı model pekleşmesiz ve pekleşmeli olarak alındığında sırasıyla %13 ve %10 artış göstermiştir. Donatı pekleşme oranı 1.35 plastik mafsallı model pekleşmesiz ve pekleşmeli olarak alındığında sırasıyla %12 ve %8 artış göstermiştir.



Şekil 3.33 Beş Katlı Çerçeve Kapasite Eğrilerinin İki Yöntem için Karşılaştırması

Beş katlı çerçeve sistem için dört farklı pekleşme durumunun dikkate alındığı itme analizi sonucunda elde edilen kapasite eğrisi ve zaman tanım alanında analiz sonucunda elde edilen en büyük tepe deplasman – en büyük taban kesme kuvveti değerleri aynı grafik üzerinde Şekil 3.34 ile verilmiştir.

Beklendiği gibi donatı pekleşme oranı arttıkça taban kesme kuvveti değerinin yükseldiği görülmüştür. Aynı zamanda mafsal modelindeki pekleşme etkisinin dikkate alınması donatı pekleşme oranının etkili olmasına neden olmaktadır. Eğer mafsal modeli pekleşmesiz olarak dikkate alınırsa donatı pekleşme oranının etkisi en aza inmektedir.



Şekil 3.34 Beş Katlı Çerçeve Kapasite Eğrileri ve Mak. Tepe Deplasman-Mak. Taban Kesme Kuvveti

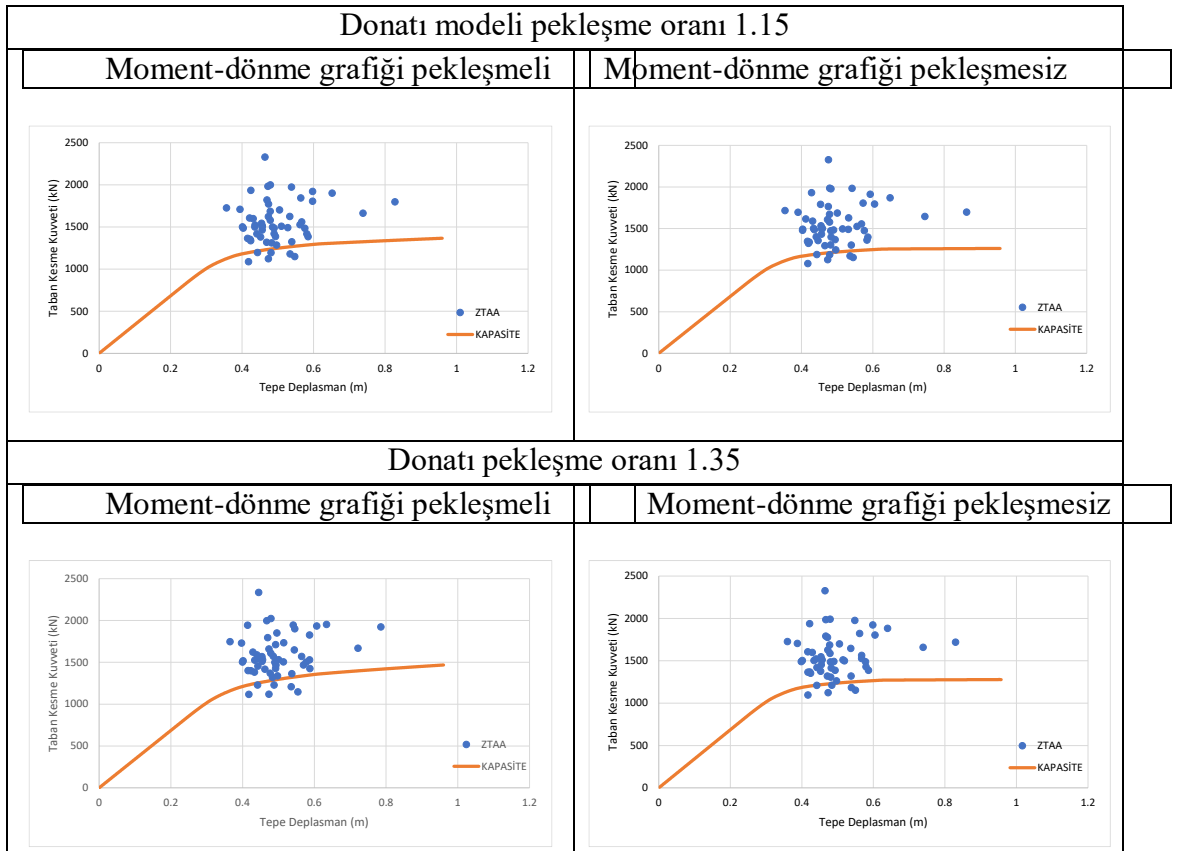
3.3.3. Sekiz Katlı Çerçeve Sistem

Sekiz katlı çerçeve sistemde incelenen dört pekleşme durumu için zaman tanım alanında analiz ve itme analizi sonuçları aynı grafik üzerinde Şekil 3.35 ile gösterilmiştir. Zaman tanım alanında analiz sonuçları 56 deprem kaydından her bir deprem kaydı sonucunda elde edilen en büyük tepe deplasman ve taban kesme kuvveti değerleri nokta olarak gösterilmiştir. İtme analizi sonucu ise kapasite eğrisi olarak gösterilmiştir.

Sekiz katlı çerçeve sistem ile dört farklı pekleşme durumunun incelemesi yapılan zaman tanım alanında analiz sonucunda her bir deprem kaydında oluşan en büyük Taban Kesme Kuvveti-Tepe Deplasman noktaları ile itme analizi sonucunda oluşturulan kapasite eğrileri kısmen birbiri ile uyumlu şekilde ortaya çıktığı görülmektedir.

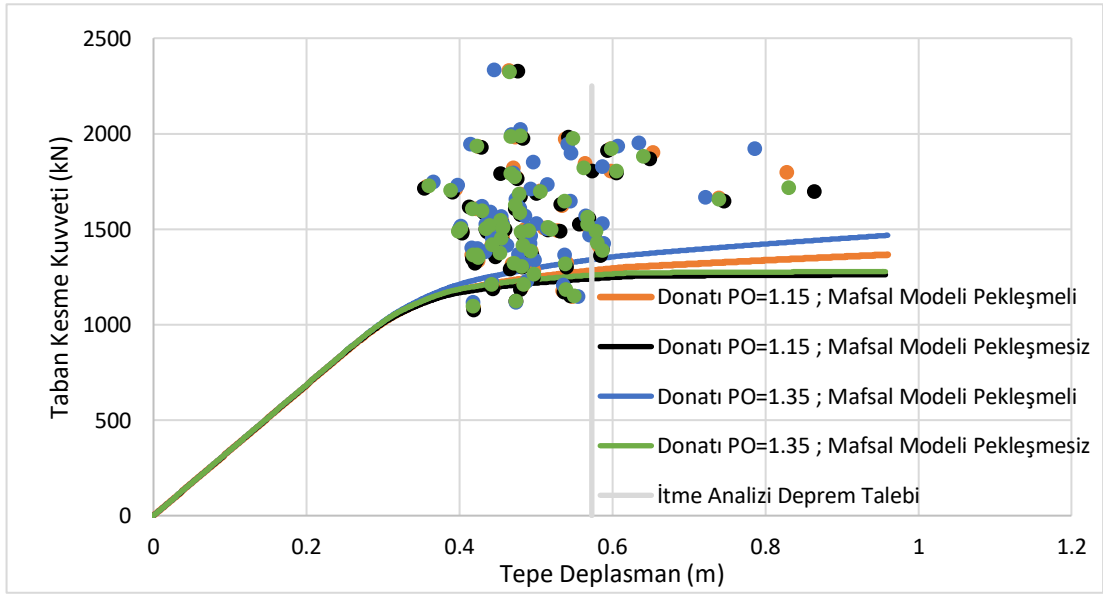
Sekiz katlı çerçeve sistem için itme analizinde depremin yerdeğiştirme talebi 0.573m olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.35’de zaman tanım alanında analiz sonuçlarında en büyük tepe deplasman değerleri bu değere yaklaştığı görülmektedir. 56 deprem kaydı ile yapılan ZTAA sonucunda dört farklı pekleşme durumu için elde edilen en büyük taban kesme kuvveti ve tepe deplasman değerlerinin ortalamaları Şekil 3.35’de verilen sırayla 0.496m, 0.497m, 0.496m ve 0.496m olarak meydana gelmiştir. Bu sonuçlara göre itme analizi deprem yerdeğiştirme talebinin ZTAA sonuçlarına göre yaklaşık %15 daha büyük olduğu tespit edilmiştir.

Sekiz katlı çerçeve sistem için itme analizinde yerdeğiştirme talebine karşılık gelen maksimum taban kesme kuvveti, donatı pekleşme oranı 1.15 olan çözümlerde plastik mafsallı model pekleşmesiz ve pekleşmeli olarak alındığında sırasıyla 1240 kN ve 1283 kN olarak meydana gelmiştir. Donatı pekleşme oranı 1.35 alındığında ise plastik mafsallı model pekleşmesiz ve pekleşmeli analizlerde maksimum taban kesme kuvvetleri sırasıyla 1248 kN ve 1340 kN olarak hesaplanmıştır. ZTAA sonucunda elde edilen dört pekleşme durumu için maksimum taban kesme kuvvetlerinin ortalamaları ise aynı sırayla 1537 kN, 1551 kN, 1550 kN ve 1579 kN olarak meydana gelmiştir. İki yöntem karşılaştırıldığında ZTAA ile elde edilen en büyük taban kesme kuvveti ortalamaları, itme analizi sonucunda elde edilen maksimum taban kesme kuvvetine göre donatı pekleşme oranı 1.15 plastik mafsallı model pekleşmesiz ve pekleşmeli olarak alındığında sırasıyla %24 ve %21 artış göstermiştir. Donatı pekleşme oranı 1.35 plastik mafsallı model pekleşmesiz ve pekleşmeli olarak alındığında ise sırasıyla %24 ve %18 artış göstermiştir.



Şekil 3.35 Sekiz Katlı Çerçeve Kapasite Eğrilerinin İki Yöntem için Karşılaştırması

Sekiz katlı çerçeve sistem için dört farklı pekleşme durumunun dikkate alındığı itme analizi sonucunda elde edilen kapasite eğrisi ve zaman tanım alanında analiz sonucunda elde edilen en büyük tepe deplasman – en büyük taban kesme kuvveti değerleri aynı grafik üzerinde Şekil 3.36 ile verilmiştir. Beklendiği gibi donatı pekleşme oranı arttıkça taban kesme kuvveti değerinin yükseldiği görülmüştür. Aynı zamanda mafsal modelindeki pekleşme etkisinin dikkate alınması donatı pekleşme oranının etkili olmasına neden olmaktadır. Eğer mafsal modeli pekleşmesiz olarak dikkate alınırsa donatı pekleşme oranının etkisi en aza inmektedir.



Şekil 3.36 Sekiz Katlı Çerçeve Kapasite Eğrileri ve Mak. Tepe Deplasman-Mak. Taban Kesme Kuvveti

SONUÇLAR VE GENEL DEĞERLENDİRMELER

Üç, beş ve sekiz katlı betonarme çerçeve sistemlerin deprem davranışı dört farklı pekleşme kabulüne göre incelenmiştir. Ele alınan farklı pekleşme durumları arasında; yığılı plastik mafsal modellenmesinde dikkate alınan moment-dönme ilişkisinin pekleşmeli ve pekleşmesiz olduğu durumlar ve plastik mafsal modelinin belirlenmesinde kullanılan çelik donatı malzemesinin 1.15 ve 1.35 olan iki sınır pekleşme değeri bulunmaktadır. Tasarlanan örnek çerçevelerin farklı pekleşme kabulleri altındaki deprem davranışları, doğrusal olmayan analiz yöntemleri olan statik itme analizi ve zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemleri kullanılarak SAP2000 ve Excel programları ile araştırılmıştır.

Betonarme çerçeve sistemlerin itme analizlerinde öncelikle bina yüksekliğinin %4'üne ulaşılmaya kadar itme analizine devam edilmiş ve kapasite eğrileri oluşturulmuştur. Daha sonra çerçeve sistemlerin deprem yerdeğiştirme talepleri elde edilmiş ve deprem talebinde ortaya çıkan maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum tepe deplasman değerleri ve mafsalarda oluşan dönme değerleri elde edilmiştir. Üç, beş ve sekiz katlı çerçeve sistemlerin deprem yerdeğiştirme talepleri sırasıyla 254mm, 367mm ve 573mm olarak bulunmuştur. Deprem yerdeğiştirme talebinde, dört farklı pekleşme etkisi arasında üç, beş ve sekiz katlı çerçeve sistemlerde en büyük taban kesme kuvveti farkı üç çerçeve sistem için de %8 olarak gerçekleşmiştir. Dört farklı pekleşme durumu arasında üç, beş ve sekiz katlı çerçevelerin kiriş mafsallarında en büyük plastik dönme oranı farkları sırasıyla %37, %44 ve %48 olarak gerçekleşmiştir. Kolonlarda ise dört pekleşme durumu arasında en büyük plastik dönme oranı farkları sırasıyla %6, %9 ve %9 olarak meydana gelmiştir.

Tüm çerçeve sistemlerin statik itme analizinden elde edilen kapasite eğrileri, pekleşme durumlarına göre incelendiğinde, mafsal modeli pekleşmesiz alındığında donatı pekleşme oranından bağımsız olarak kapasite eğrileri birbirine çok yakın oluşmaktadır. Aynı zamanda bu iki durumda bütün çerçeve sistemler için en küçük taban kesme kuvvetleri oluşmaktadır. En yüksek taban kesme kuvveti ise tüm çerçeve sistemler için mafsal modeli pekleşmeli olarak dikkate alınan ve donatı pekleşme oranı yüksek alınan durumda ortaya çıkmıştır.

Çerçeve davranışı elastik bölgede olduğu sürece incelenen pekleşme durumlarının beklendiği gibi sonuçlara herhangi bir etkisi gözlenmemiştir.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz için 56 adet deprem kaydı kullanılmıştır. Üç, beş ve sekiz katlı betonarme çerçeve sistemler için yapılan analizlerde mafsallı model pekleşmeli ve pekleşmesiz olarak ve çelik donatı modelinin iki sınır pekleşme değeri dikkate alınarak oluşturulan dört farklı pekleşme durumu kullanılmıştır. Böylelikle toplamda 672 adet doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analiz yapılmıştır. Doğrusal olmayan dinamik analiz sonucunda dört pekleşme durumu için en büyük tepe deplasman değerleri, en büyük taban kesme kuvveti değerleri ve mafsalların dönme oranları elde edilmiştir.

Dört farklı pekleşme arasında üç, beş ve sekiz katlı çerçeveler ile yapılan analizler sonucunda her bir çerçeve sistem için en büyük tepe deplasman farkları %1.4, %0.3 ve %0.2 olarak gerçekleşmiştir. Aynı şekilde dört farklı pekleşme durumu arasında en büyük taban kesme kuvveti farkları ise her bir çerçeve sistem için sırasıyla %4, %4 ve %3 olarak gerçekleşmiştir. Üç, beş ve sekiz katlı çerçeve sistemlerde dört farklı pekleşme durumu arasında en büyük plastik dönme oranı farkının meydana geldiği kiriş mafsalında sırasıyla %20, %29 ve %29 oranında plastik dönme oranı farkı oluşmuştur. Kolonlarda ise dört pekleşme durumu arasında en büyük plastik dönme oranı farkları sırasıyla %8, %3 ve %7 olarak meydana gelmiştir.

Bu değerler incelendiğinde pekleşme etkisinin kiriş elemanlarında kolon elemanlarına göre çok daha etkili olduğu görülmüştür. Bu durumun ortaya çıkmasında kolonda normal kuvvetin varlığı ve kapasite tasarımı yaklaşımı gereği hasarların kirişlerde yoğunlaşmış olmasının etkili olduğu düşünülmektedir.

Dört farklı pekleşme durumu dikkate alınarak üç, beş ve sekiz katlı çerçeve sistemlerin zaman tanım alanında dinamik analiz ve statik itme analizi yöntemleri ile doğrusal olmayan analizleri sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde üç çerçeve sistem için de pekleşme etkisinin en büyük taban kesme kuvvetine etkisi statik itme analizinde zaman tanım alanında dinamik analize göre yaklaşık %4 daha büyük olmuştur. En büyük tepe deplasman değerleri için iki yöntem incelendiğinde ise ele alınan dört farklı pekleşme durumunun statik itme analizi sonuçlarına göre hesaplanan

depremin yerdeğiştirme talebi üzerinde herhangi bir etkisi gözlenmemiştir. Bunun yanında zaman tanım alanında dinamik analiz sonuçlarında farklı pekleşme durumları için elde edilen en büyük tepe deplasman değerleri karşılaştırıldığında sonuçların birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla deprem yerdeğiştirme talebinde pekleşme durumunun etkisinin çok sınırlı olduğu düşünölmektedir. Bunun yanında iki yöntem sonucunda elde edilen en büyük tepe deplasman değerleri karşılaştırıldığında statik itme analizi sonucunda elde edilen deprem yerdeğiştirme talebi değerleri, zaman tanım alanında dinamik analizden elde edilen değerlere göre üç, beş ve sekiz katlı çerçeve sistemlerde sırasıyla %15, %10 ve %15 daha yüksek meydana gelmiştir. Zaman tanım alanında analiz ve statik itme analizi yöntemleri için üç, beş ve sekiz katlı çerçeve sistemlerde farklı pekleşme durumları arasında kiriş mafsallarında oluşan en büyük plastik dönme oranı farkları karşılaştırıldığında zaman tanım alanında analiz yönteminde statik itme yöntemine göre sırasıyla %17, %15 ve %19 daha düşük plastik dönme oranları elde edilmiştir. Kolonlarda ise zaman tanım alanında analiz yönteminde statik itme yöntemine göre sırasıyla %2 daha yüksek, %6 daha düşük ve %2 daha düşük plastik dönme oranları elde edilmiştir. Aynı zamanda tüm çerçeve sistemler için iki yöntem sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde zaman tanım alanında analiz yönteminde statik itme analizi yöntemine göre oluşan hasar düzeylerinin daha düşük olduğu görölmüştür.

Elde edilen tüm sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde; pekleşme oranının kiriş mafsalları plastik dönmeleri üzerinde kolon mafsalları plastik dönmelerine göre daha büyük farklılıklar oluşturduğu ve maksimum taban kesme kuvveti değerlerinde, maksimum tepe deplasmanı değerlerinden daha fazla farklılıklar oluşturduğu görölmüştür. Ele alınan dört farklı pekleşme yaklaşımı, kiriş plastik dönmelerinde en fazla %48, kolon plastik dönmelerinde en fazla %9, maksimum taban kesme kuvvetinde en fazla %8 ve maksimum tepe deplasmanında en fazla %1 farklılığa yol açmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında betonarme yapılarda kiriş ve kolonların uç noktalarına tanımlanan plastik mafsalların modellenmesinde dikkate alınan farklı pekleşme durumlarının bina deprem performansı üzerindeki etkileri üç, beş ve sekiz

katlı iki boyutlu çerçeve sistemler üzerinde araştırılmıştır. Daha sonraki yapılacak çalışmalarda;

i)kiriş ve kolon elemanlarına ek olarak taşıyıcı sistemde perde elemanlar da kullanılarak pekleşme etkisinin yapının deprem performansına etkisi iki sistem arasında karşılaştırmalı olarak araştırılabilir.

ii)İki boyutlu çerçeve sistemler ile yapılmış olan analizler üç boyutlu olarak da gerçekleştirilerek daha geniş ölçekte elde edilen sonuçlar incelenebilir.

iii)Uluslararası deprem yönetmeliklerinde betonarme yapıların şekildeğiştirmeye göre değerlendirmelerinde plastik mafsallarda verilen pekleşme durumları, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde verilen pekleşme durumları ile betonarme yapılar üzerinde yapılan analizler karşılaştırmalı olarak incelenebilir.

iv)Bu tez çalışması kapsamında plastik mafsallarda dikkate alınan farklı pekleşme oranı kabulleri irdelenmiştir. Her pekleşme kabulünün dikkate alındığı durumda bütün plastik mafsallarda aynı kabul ile hesap yapılmıştır. Gerçek durum incelendiğinde her bir plastik mafsallarda davranışında farklı pekleşme oranının ortaya çıkması beklenir. Bu durumun da dikkate alınabilmesi için her bir plastik mafsallarda için yönetmelikte verilen pekleşme oranı aralığında rasgele bir pekleşme oranı seçilerek hesap yapılabilir. Böylelikle gerçek duruma daha yakın durum dikkate alınarak yapılan hesapla uç durumlar dikkate alınarak yapılan hesaplar arasındaki oluşan farklar incelenebilir.

KAYNAKÇA

- Attiyah, A. N., & Hussain, H. M.** (2019). Analytical Approach to Predict Nonlinear Parameters for Dynamic Analysis of Structures Applied to Blast Loads. *Kufa Journal of Engineering*, 19.
- Aydemir, C., Zorbozan, M., & Noyan Alacalı, S.** (2009). Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kolonların Mp Moment Kapasitelerinin Belirlenmesi. *İMO Teknik Dergi*, 21.
- Bai, Z. Z., & Au, F. T.** (2009). Effects of strain hardening of reinforcement on flexural strength and ductility of reinforced concrete columns. Shanghai, China.
- BS EN 1998-3.** (2006, 01 11). *Design of Structures for Earthquake Resistance - Part 3: Assessment and Retrofitting of Buildings*. Standards Policy and Strategy Committee.
- Celep, Z.** (2018). *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*. İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş.
- DBYBHY.** (2007). *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- Ersoy, U.** (1998). Moment Capacity of Reinforced Concrete Beams and Columns. *Teknik Dergi*, 12.
- Ersoy, U., & Ünal, M. E.** (2018). Betonarme Kesitlerin Kapasite Momentlerinin Yaklaşık Hesabı. *Teknik Dergi*, 8.
- Excel.** (2022). *Microsoft 365 Excel*. Microsoft Corporation.
- Kaltakçı, M. Y., Korkmaz, H. H., & Korkmaz, S. Z.** (2001). Basit Eğilme Etkisindeki Betonarme Elemanların Moment-Eğrilik ve Tasarım Değişkenleri Üzerine Analitik Bir İnceleme. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10.
- Özer, E.** (2004). Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Analizi Ders Notları. İstanbul.

- PEER Ground Motion Database** . (2013). <https://ngawest2.berkeley.edu/site> adresinden alındı
- SAP2000**. (2018). *SAP2000 Ultimate Version 20.2.0 Build 1445*. Computers and Structures, Inc.
- SeismoMatch**. (2022). *SeismoMatch v2022*. Seismosoft ltd.
- TBDY**. (2018, Mart 18). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- TS500**. (2000, Şubat). *Betonarme Yapıların Yapım ve Tasarım Kuralları*. Türkiye: Türk Standardları Enstitüsü.
- Yüksel, S. B., & Foroughi, S.** (2020). Analysis of Bending Moment-Curvature and the Damage Limits of Reinforced Concrete Circular Columns. *European Journal of Science and Technology* , 13.