

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**YAPI SİSTEMLERİNİN DEPREM DAVRANIŞININ ENERJİ
ESASLI YÖNTEMLERLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

İbrahim Özgür DEDEOĞLU

Doktora Tezi

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mekanik Bilim Dalı

HAZİRAN 2023

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

YAPI SİSTEMLERİNİN DEPREM DAVRANIŞININ ENERJİ ESASLI YÖNTEMLERLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Tez Yazarı

İbrahim Özgür DEDEOĞLU

Danışman

Prof. Dr. Yusuf CALAYIR

HAZİRAN 2023

ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Başlığı:	Yapı Sistemlerinin Deprem Davranışının Enerji Esaslı Yöntemlerle Değerlendirilmesi
Yazarı:	İbrahim Özgür DEDEOĞLU
İlk Teslim Tarihi:	12.05.2023
Savunma Tarihi:	12.06.2023

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Prof. Dr. Yusuf CALAYIR Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	İmza Onayladım
Başkan:	Prof. Dr. Zülfü Çınar ULUCAN Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Prof. Dr. Kazım TÜRK İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Prof. Dr. Muhammet KARATON Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Doç. Dr. Burak YÖN Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Burhan ERGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Yapı Sistemlerinin Deprem Davranışının Enerji Esaslı Yöntemlerle Değerlendirilmesi” Başlıklı Doktora Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

12.06.2023

İbrahim Özgür DEDEOĞLU



ÖNSÖZ

Bu tez çalışması kapsamında, TBDY (2018)'e göre tasarımı yapılmış betonarme yapıların deprem güvenliğinin enerji esaslı değerlendirme ile araştırılmıştır. Tez kapsamında ele alınan yapıların enerji esaslı değerlendirilmesi geleneksel kuvvet ve yer değiştirme esaslı tasarım yöntemlerine göre yapıların deprem gibi tekrarlı yükler altındaki davranışını doğrudan dikkate aldığından oldukça güvenilir ve akılcı bir yöntem olarak düşünülmektedir. Yapılan bu çalışmada deprem yönetmeliği esaslarına göre tasarımı yapılmış çerçeve sistemlerin deprem yer hareketlerinin sistemden talep ettiği enerji ile yapının sahip olduğu plastik enerji kapasitesi ilişkilendirilmiştir. Buradan hareketle elde edilen hedef plastik enerji ve hedef yer değiştirme değeri için yapıların performansları üzerine değerlendirmeler yapılmıştır. Böylece TBDY (2018)'e göre tasarımı ve detaylandırılması yapılmış betonarme çerçeve yapıların depremlere karşı performansı enerji kavramı üzerinden irdelenmiştir.

Doktora tez çalışmamda bana yol gösterici olan, kıymetli önerileri ve değerli eleştirileri ile bana yol gösteren ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Yusuf Calayır'a tüm katkılarından ötürü teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunuyorum.

Tez çalışma konusunda desteğini ve yol göstericiliği eksik etmeyen Doç. Dr. Onur Merter'e ve analiz aşamalarında oldukça katkı sunan İnş. Yük. Müh. Hakan Özen'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca tez çalışması süresince her türlü yardımı eksik etmeyen sevgili arkadaşım Dr. Musa Yetkin'e ve manevi desteklerinden dolayı Dr. Veysi Kartal'a teşekkür ederim.

Bu yaşıma kadar bana her türlü desteği veren annem, babam ve kardeşlerime şükranlarımı sunuyorum. Çalışmalarımın tüm zorluklarında yanımda olan, manevi desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen, uzun çalışma saatlerinde beni yalnız bırakmayıp sabırla bekleyen sevgili eşime müteşekkirim. Ayrıca hayatımıza yakın zamanda katılan ve uzun saatler boyunca çalışmanın yorgunluğunu bir gülümsemesiyle unutturan sevgili kızıma aydınlık bir ömür diliyorum. Bu çalışmanın, yeni çalışmalara yol gösterici olmasını ister ve bilim dünyasına faydalı olmasını dilerim.

İbrahim Özgür DEDEOĞLU
ELAZIĞ, 2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xx
SİMGELER VE KISALTMALAR	xxii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	3
1.2. Konu ile İlgili Literatürdeki Çalışmalar.....	6
2. ENERJİ KAVRAMI VE ENERJİ BİLEŞENLERİ	13
2.1. Enerji Bileşenlerinin İncelenmesi.....	16
2.1.1. Giren Enerji.....	16
2.1.2. Plastik Enerji (Histeretik Enerji)	20
2.2. Doğrusal Olmayan Statik Analizlerde Enerji Kavramının İncelenmesi	22
2.3. Deprem Yer Hareketli Altında Yapılarda Tüketilen Plastik Enerjinin Elde Edilmesi ve Statik İtme Analizinden Elde Edilen Plastik Enerji ile İlişkilendirilmesi	25
3. BETONARME ÇERÇEVELERİN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞTA TÜKETTİĞİ PLASTİK ENERJİNİN HESAPLANMASI.....	27
3.1. Betonarme Çerçeve Yapının Doğrusal Olmayan Davranışta Tükettiği Plastik Enerjinin Hesaplanması	27
3.1.1. Betonarme Elemanların Plastik Enerji Tüketiminde Çelik Donatı Malzemenin Katkısı	30
3.1.2. Betonarme Elemanların Plastik Enerji Tüketiminde Beton Malzemenin Katkısı	33
3.1.3. Betonarme Kesitlerde Tüketilen Toplam Plastik Enerji	40
4. BETONARME ÇERÇEVE TÜRÜ YAPILARIN DOĞRUSAL ÖTESİ DAVRANIŞINDA TÜKETEBİLECEĞİ PLASTİK ENERJİ KAPASİTESİNİN ELDE EDİLMESİ.....	49
4.1. Enerji Esaslı Değerlendirilmek Üzere Seçilen Çok Katlı Betonarme Yapılar	49
4.1.1. Üç Katlı Tek Açıklıklı Betonarme Çerçeve: BÇY. 3-1.....	52
4.1.2. Üç Katlı Üç Açıklıklı Betonarme Çerçeve: BÇY. 3-3	54
4.1.3. Altı Katlı Üç Açıklıklı Betonarme Çerçeve: BÇY. 6-3.....	57
4.1.4. Altı Katlı Beş Açıklıklı Betonarme Çerçeve: BÇY. 6-5.....	62
4.1.5. Dokuz Katlı Üç Açıklıklı Betonarme Çerçeve: BÇY. 9-3	67
4.1.6. Dokuz Katlı Beş Açıklıklı Betonarme Çerçeve: BÇY. 9-5	72
4.1.7. On İki Katlı Üç Açıklıklı Betonarme Çerçeve: BÇY. 12-3.....	77
4.1.8. On İki Katlı Beş Açıklıklı Betonarme Çerçeve: BÇY. 12-5.....	83
4.2. Betonarme Çerçevelerin Statik Artımsal İtme Analizi Altında Kapasitelerinin Elde Edilmesi.....	89
4.2.1. BÇY. 3-1 Çerçeve Sisteminin Statik İtme Analizi	93
4.2.2. BÇY. 3-3 Çerçeve Sisteminin Statik İtme Analizi	94
4.2.3. BÇY. 6-3 Çerçeve Sisteminin Statik İtme Analizi	95
4.2.4. BÇY. 6-5 Çerçeve Sisteminin Statik İtme Analizi	96
4.2.5. BÇY. 9-3 Çerçeve Sisteminin Statik İtme Analizi	97

4.2.6. BÇY. 9-5 Çerçeve Sisteminin Statik İtme Analizi	98
4.2.7. BÇY. 12-3 Çerçeve Sisteminin Statik İtme Analizi	99
4.2.8. BÇY. 12-5 Çerçevesi Sisteminin Statik İtme Analizi	100
4.3. Betonarme Çerçevelerin Doğrusal Olmayan Davranıştaki Tükettiği Plastik Enerji – Tepe Yer Değiştirme ($E_p - \delta$) Eğrilerinin Elde Edilmesi	102
4.3.1. BÇY. 3-1 Çerçeve Sisteminin Plastik Enerji – Tepe Yer Değiştirme Eğrisi	102
4.3.2. BÇY. 3-3 Çerçeve Sisteminin ait Plastik Enerji – Tepe Yer Değiştirme Eğrisi	102
4.3.3. BÇY. 6-3 Çerçeve Sisteminin Plastik Enerji – Tepe Yer Değiştirme Eğrisi	103
4.3.4. BÇY. 6-5 Çerçeve Sisteminin Plastik Enerji – Tepe Yer Değiştirme Eğrisi	103
4.3.5. BÇY. 9-3 Çerçeve Sisteminin Plastik Enerji – Tepe Yer Değiştirme Eğrisi	104
4.3.6. BÇY. 9-5 Çerçeve Sisteminin Plastik Enerji – Tepe Yer Değiştirme Eğrisi	104
4.3.7. BÇY. 12-3 Çerçeve Sisteminin Plastik Enerji – Tepe Yer Değiştirme Eğrisi	105
4.3.8. BÇY. 12-5 Çerçeve Sisteminin Plastik Enerji – Tepe Yer Değiştirme Eğrisi	105
5. GERÇEK DEPREM KAYITLARI ALTINDA BETONARME ÇERÇEVE YAPILARIN PLASTİK ENERJİ TALEBİNİN BELİRLENMESİ	107
5.1. Betonarme Düzlem Çerçevelerin Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Analizleri	107
5.1.1. Kuvvetli Deprem İvme Kayıtları	108
5.1.2. Zaman Tanım Alanında Gerçekleştirilen Doğrusal Olmayan Analizlerin Özellikleri	112
5.1.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizlerden Elde Edilen Sonuçlar	112
5.1.4. Yapılarda Deprem Yer Hareketi Süresince Tüketilen Toplam Plastik Enerjinin Hesaplanması ($E_p - t$ Grafikleri)	124
5.2. Deprem Enerji Taleplerinin Belirlenmesi	154
5.2.1. Plastik Enerji-Tepe Yer Değiştirme Eğrileri Üzerinde Depremlerin Maksimum Plastik Talep Enerjilerinin Gösterilimi	158
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	168
6.1. Çok Katlı Betonarme Çerçeve Yapıların Kat Yatay Yer Değiştirmeleri ve Göreli Kat Ötelemesi Oranları	168
6.2. Çok Katlı Betonarme Çerçeve Yapıların Birim Şekil Değiştirmeleri	181
6.3. Çok Katlı Betonarme Çerçeve Yapıların Hedef plastik Enerji Noktasında Elde Edilen Plastik Enerjinin Katlara Dağılımı	189
7. SONUÇLAR	193
ÖNERİLER	196
KAYNAKLAR	197
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Yapı Sistemlerinin Deprem Davranışının Enerji Esaslı Yöntemlerle Değerlendirilmesi

İbrahim Özgür DEDEOĞLU

Doktora Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran 2023, Sayfa: xxv + 202

Tez çalışması kapsamında, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'e göre tasarımı yapılan çok katlı betonarme düzlem çerçeve türü yapı sistemlerinin enerji kavramı üzerinden deprem güvenliği değerlendirilmiştir. Bu amaçla 3, 6, 9 ve 12 katlı düzlem çerçeveler oluşturulmuş ve yönetmelik esaslarına göre tasarlanarak detaylandırılmıştır. Bu yapılar göçme noktasına ulaşana kadar tek yönlü statik itme analizlerine tabi tutulmuş ve fiber olarak modellenmiş betonarme kesitlerin malzeme gerilme-birim şekil değiştirme ilişkilerinden yola çıkarak plastik enerji-tepe yer değiştirme grafikleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, bu yapıların ülkemizde ve dünyada meydana gelmiş seçili bazı kuvvetli yer hareketlerinin yönetmelik esaslarına göre ölçeklendirilmiş ivme kayıtları altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda depremlerin yapılardan talep ettiği maksimum plastik enerji değerleri bulunmuştur. Depremlerin talep ettiği maksimum plastik enerji talepleri ile yapıların plastik enerji kapasite grafikleri aynı şekil üzerinde gösterilerek ilişkilendirilmiştir. Talep enerjilerinin ortalaması alınarak hedef plastik enerji değeri belirlenmiş ve yapılar bu hedef plastik enerji taleplerine ulaşana kadar tek yönlü statik itme analizlerine tabi tutularak hedef yer değiştirmeleri belirlenmiştir. Bu hedef yer değiştirme noktasında yapıların elastik ötesi bazı yapısal tepki büyüklükleri elde edilmiş ve bu nicelikler zaman tanım alanında elde edilen sonuçlar ile deprem yönetmeliğinde verilen ölçütlere göre değerlendirip yorumlanmıştır. Tez kapsamında elde edilen sonuçlar, az katlı betonarme çerçevelerin deprem davranışı değerlendirilmelerinde enerji esaslı değerlendirmenin bir yöntem olarak kullanılabileceğine işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Doğrusal olmayan davranış, Enerji esaslı değerlendirme, Deprem güvenliği, Plastik enerji, Yapı plastik enerji kapasitesi, Depremin talep enerjisi

ABSTRACT

Evaluation of Earthquake Behavior of Building Systems by Energy Based Methods

İbrahim Özgür DEDEOĞLU

Ph.D. Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

June 2023, Pages: xxv + 202

In this thesis, the earthquake safety of multi-story reinforced concrete plane frame structure systems designed according to the Turkish Building Earthquake Code (2018) is evaluated through the energy concept. For this purpose, 3, 6, 9 and 12 story plane frames were created and designed and detailed according to the earthquake code principles. These structures were subjected to one-direction static pushover analyses until they reached the collapse point and plastic energy-roof displacement graphs were obtained based on the material stress-strain relations of reinforced concrete sections modelled as fibers. In addition, nonlinear dynamic analyses of these structures were carried out in time domain under the acceleration records scaled according to the regulations of some selected strong ground motions that occurred in our country and in the world. As a result of the analyses, the maximum plastic energy values demanded from the structures by the earthquake ground motions were obtained. Maximum plastic energy demands and plastic energy capacity graphs are shown on the same figure and correlated. The target energy value was determined by taking the average of the demand energies for each selected structure, and the target displacements were determined by subjecting the structures to one-direction static pushover analyses until these target energy demands were reached. In these target displacements, some inelastic response quantities of the structures were obtained and these quantities were evaluated and interpreted according to the results obtained from the time domain analyses and the criteria given in the earthquake code. The results obtained in this thesis indicate that energy-based assessment can be used as a method for earthquake assessment of low-rise reinforced concrete framed buildings.

Keywords: Non-linear behavior, Energy-based assessment, Earthquake safety, Plastic energy, Structure plastic energy capacity, Earthquake demand energy

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Kuvvetli deprem yer hareketi etkisindeki viskoz sönümlü tek serbestlik dereceli (TSD) sistem ve sistemin yer değiştirmeleri	14
Şekil 2.2. Bir yapının statik itme analizinden elde edilen taban kesme kuvveti – yer değiştirme ($V_t - \delta$) kapasite grafiği, elastik, plastik ve tüketilen toplam enerji	23
Şekil 2.3. Fiber modellenmiş örnek bir betonarme çerçeve yapının doğrusal olmayan statik analizler sonucu bir elemanında tüketilen plastik enerjinin elde edilmesi	24
Şekil 2.4. 3 katlı tek açıklı bir betonarme çerçevenin Sivrice-Elazığ (24.01.2020) depremi etkisi altında elde edilmiş olan plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	26
Şekil 3.1. Çelik donatını malzemesinin idealleştirilmiş iki doğrulu (pekleşmeli) gerilme – birim şekil değiştirme grafiğinde, elastik (E_e) ve plastik (E_p) enerji tanımlamaları	30
Şekil 3.2. Dış yüke maruz şekil değişimi yapmış örnek bir betonarme kesit ve kesite ait birim şekil değiştirme (ϵ) diyagramı.	31
Şekil 3.3. Mander (sargılı ve sargısız) beton modeli, gerilme – birim şekil değiştirme ilişkisi [63]	34
Şekil 3.4. Fiber olarak modellenmiş bir betonarme kesitte sargısız betonun liflere ayrılmış hali, şekil değişimi sonucu kesit birim şekil değiştirme diyagramı, basınç bölgesi sargısız beton liflerinin ağırlık merkezindeki kuvvet ve birim şekil değiştirme diyagramı	35
Şekil 3.5. Fiber olarak modellenmiş bir betonarme kesitte sargılı betonun liflere ayrılmış hali, şekil değişimi sonucu kesit birim şekil değiştirme diyagramı, basınç bölgesi sargılı beton liflerinin ağırlık merkezindeki kuvvet ve birim şekil değiştirme diyagramı	38
Şekil 3.6. Statik itme analizi altındaki betonarme çerçeve bir yapıdaki bir kiriş elemanın çalışma kapsamındaki yöntem ile elde edilmiş plastik enerji – tepe yer değiştirme ($E_p - \delta$) grafiği	42
Şekil 3.7. Zaman tanım alanı analizi altındaki betonarme çerçeve bir yapıdaki bir kiriş elemanın çalışma kapsamındaki yöntem ile elde edilmiş plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	42
Şekil 3.8. Statik itme analizi altındaki betonarme çerçevedeki bir kiriş elemanında tüketilen plastiye malzemelerin katkı oranları grafiği	43
Şekil 3.9. Zaman tanım analizi altındaki betonarme çerçevedeki bir kiriş elemanında tüketilen plastik enerjiye malzemelerin katkı oranları grafiği	43
Şekil 3.10. Statik itme analizi altındaki betonarme çerçeve bir yapıdaki bir kolon elemanın çalışma kapsamındaki yöntem ile elde edilmiş plastik enerji – tepe yer değiştirme ($E_p - \delta$) diyagramı	44
Şekil 3.11. Zaman tanım alanı analizi altındaki betonarme çerçeve bir yapıdaki bir kolon elemanın çalışma kapsamındaki yöntem ile elde edilmiş plastik enerji – zaman ($E_p - t$) diyagramı	44
Şekil 3.12. Statik itme analizi altındaki betonarme çerçevedeki bir kolon elemanında tüketilen plastik enerjiye malzemelerin katkı oranları grafiği	45
Şekil 3.13. Zaman tanım analizi altındaki betonarme çerçevedeki bir kolon elemanında tüketilen plastik enerjiye malzemelerin katkı oranları grafiği	45

Şekil 3.14. Betonarme bir çerçevenin itme analizi altında kesitlerde doğrusal olmayan davranış ile tüketilen plastik enerji ve kesitlerin plastik enerji toplamlarından yapının toplam plastik enerji kapasitesine geçi	47
Şekil 3.15. Betonarme bir çerçevenin zaman tanım alanında analizi altında kesitlerde doğrusal olmayan davranış ile tüketilen plastik enerji ve kesitlerin plastik enerji toplamlarından yapının toplam plastik enerji talebine geçiş	48
Şekil 4.1. Yapı sistemlerinin bulunduğu varsayılan konum	50
Şekil 4.2. Seçilen konumun deprem tehlike haritasındaki yeri.....	50
Şekil 4.3. DD-2 deprem yer hareketi için ZC zemin sınıfı tasarım spektrumu.....	51
Şekil 4.4. DD-3 deprem yer hareketi için ZC zemin sınıfı tasarım spektrumu.....	51
Şekil 4.5. BÇY. 3-1 yapının betonarme kat kalıp planı (ölçüler cm biriminde olup Ö:1/100)	52
Şekil 4.6. Tablo 4.2’de verilen tasarım kuvvetleri etkisindeki BÇY. 3-1 çerçevesi ve Çerçeve sistemin yapı elemanları geometrik boyutlandırılması (boyutlar cm) (Ö:1/200)	53
Şekil 4.7. BÇY. 3-3 yapının betonarme kat kalıp planı (ölçüler cm biriminde olup Ö:1/100)	55
Şekil 4.8. Tablo 4.4’de verilen tasarım kuvvetleri etkisindeki BÇY.3-3 çerçevesi (Ö:1/200)	56
Şekil 4.9. BÇY.3-3 Çerçeve sistemin yapı elemanları geometrik boyutlandırılması (Ö:1/200).....	57
Şekil 4.10. BÇY. 6-3 yapının betonarme kat kalıp planı (ölçüler cm biriminde olup Ö:1/100)	58
Şekil 4.11. Tablo 4.6’da verilen tasarım kuvvetleri etkisindeki BÇY.6-3 çerçevesi (Ö:1/200)	59
Şekil 4.12. BÇY.6-3 Çerçeve sistemin yapı elemanları geometrik boyutlandırılması (Ö:1/200).....	61
Şekil 4.13. BÇY. 6-5 yapının betonarme kat kalıp planı (ölçüler cm biriminde olup Ö:1/150)	63
Şekil 4.14. Tablo 4.8’de verilen tasarım kuvvetleri etkisindeki BÇY.6-5 çerçevesi (Ö:1/200)	64
Şekil 4.15. BÇY.6-5 Çerçeve sistemin yapı elemanları geometrik boyutlandırılması (Ö:1/200).....	66
Şekil 4.16. BÇY. 9-3 yapının betonarme kat kalıp planı (ölçüler cm biriminde olup Ö:1/100)	68
Şekil 4.17. Tablo 4.10’da verilen tasarım kuvvetleri etkisindeki BÇY.9-3 çerçevesi (Ö:1/200)	69
Şekil 4.18. BÇY. 9-3 Çerçeve sistemin yapı elemanları geometrik boyutlandırılması (Ö:1/200).....	71
Şekil 4.19. BÇY. 9-5 yapının betonarme kat kalıp planı (ölçüler cm biriminde olup Ö:1/150)	73
Şekil 4.20. Tablo 4.12’de verilen tasarım kuvvetleri etkisindeki BÇY.9-5 çerçevesi (Ö:1/200)	74
Şekil 4.21. BÇY. 9-5 Çerçeve sistemin yapı elemanları geometrik boyutlandırılması (Ö:1/200).....	76
Şekil 4.22. BÇY. 12-3 yapının betonarme kat kalıp planı (ölçüler cm biriminde olup Ö:1/100)	78
Şekil 4.23. Tablo 4.14’de verilen tasarım kuvvetleri etkisindeki BÇY. 12-3 çerçevesi (Ö:1/250)	80
Şekil 4.24. BÇY. 12-3 Çerçeve sistemin yapı elemanları geometrik boyutlandırılması (Ö:1/250).....	82
Şekil 4.25. BÇY. 12-5 yapının betonarme kat kalıp planı (ölçüler cm biriminde olup Ö:1/150)	84
Şekil 4.26. Tablo 4.16’de verilen tasarım kuvvetleri etkisindeki BÇY.12-5 çerçevesi (Ö:1/250)	86
Şekil 4.27. BÇY. 12-5 Çerçeve sistemin yapı elemanları geometrik boyutlandırılması (Ö:1/250).....	88
Şekil 4.28. Statik itme analizi altındaki bir çerçeve yapı ve elde edilen itme eğrisi.....	90

Şekil 4.29. İtme analizlerinde esas alınan yönetmelik yatay elastik tasarım spektrumu grafiği (Seçilen bölge için), (TBDY, 2018).....	91
Şekil 4.30. Betonarme düzlem bir çerçevenin statik itme analizi altında doğrusal olmayan davranışı ile tüketilen plastik enerji-tepe yer değiştirme ($E_p - \delta$) diyagramının elde edilişi	92
Şekil 4.31. BÇY. 3-1 Çerçeve sisteminin itme eğrisi ($W=826$ kN).....	93
Şekil 4.32. BÇY. 3-1 Çerçeve sistemi modal kapasite grafiği.....	94
Şekil 4.33. BÇY. 3-3 Çerçeve sisteminin itme eğrisi ($W=2219$ kN).....	95
Şekil 4.34. BÇY. 3-3 Çerçeve sisteminin modal kapasite diyagramı	95
Şekil 4.35. BÇY. 6-3 Çerçeve sisteminin itme eğrisi ($W=5165$ kN).....	96
Şekil 4.36. BÇY. 6-3 Çerçeve sisteminin modal kapasite diyagramı	96
Şekil 4.37. BÇY. 6-5 Çerçeve sisteminin itme eğrisi ($W=8347$ kN).....	97
Şekil 4.38. BÇY. 6-5 Çerçeve sisteminin modal kapasite diyagramı	97
Şekil 4.39. BÇY. 9-3 Çerçeve sisteminin itme eğrisi ($W=7832$ kN).....	98
Şekil 4.40. BÇY. 9-3 Çerçeve sisteminin modal kapasite diyagramı	98
Şekil 4.41. BÇY. 9-5 Çerçeve sisteminin itme eğrisi ($W=12650$ kN).....	99
Şekil 4.42. BÇY. 9-5 Çerçeve sisteminin modal kapasite diyagramı	99
Şekil 4.43. BÇY. 12-3 Çerçeve sisteminin itme eğrisi ($W=12939$ kN).....	100
Şekil 4.44. BÇY. 12-3 Çerçeve sisteminin modal kapasite diyagramı.....	100
Şekil 4.45. BÇY. 12-5 Çerçeve sisteminin itme eğrisi ($W=20641$).....	101
Şekil 4.46. BÇY. 12-5 Çerçeve sisteminin modal kapasite diyagramı	101
Şekil 4.47. BÇY. 3-1 çerçeve sisteminin plastik enerji – tepe yer değiştirme eğrisi	102
Şekil 4.48. BÇY. 3-3 çerçeve sisteminin plastik enerji – tepe yer değiştirme eğrisi	103
Şekil 4.49. BÇY. 6-3 çerçeve sisteminin plastik enerji – tepe yer değiştirme eğrisi	103
Şekil 4.50. BÇY. 6-5 çerçeve sisteminin plastik enerji – tepe yer değiştirme eğrisi	104
Şekil 4.51. BÇY. 9-3 çerçeve sisteminin plastik enerji – tepe yer değiştirme eğrisi	104
Şekil 4.52. BÇY. 9-5 çerçeve sisteminin plastik enerji – tepe yer değiştirme eğrisi	105
Şekil 4.53. BÇY. 12-3 çerçeve sisteminin plastik enerji – tepe yer değiştirme eğrisi	105
Şekil 4.54. BÇY. 12-5 çerçeve sisteminin plastik enerji – tepe yer değiştirme eğrisi	106
Şekil 5.1. Deprem ivme kayıtları.....	109
Şekil 5.2. 3 katlı modeller için deprem yer hareketlerinin ivme spektrumları ve TBDY (2018) ZC tasarım ivme spektrumu	110
Şekil 5.3. 6 katlı modeller için deprem yer hareketlerinin ivme spektrumları ve TBDY (2018) ZC tasarım ivme spektrumu	111
Şekil 5.4. 9 katlı modeller için deprem yer hareketlerinin ivme spektrumları ve TBDY (2018) ZC tasarım ivme spektrumu	111

Şekil 5.5. 12 katlı modeller için deprem yer hareketlerinin ivme spektrumları ve TBDY (2018) ZC tasarım ivme spektrumu	112
Şekil 5.6. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Elazığ deprem yer hareketi altında tepe yer değiştirme – zaman (δ -t) grafiği.....	113
Şekil 5.7. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Erzincan deprem yer hareketi altında tepe yer değiştirme – zaman (δ -t) grafiği.....	113
Şekil 5.8. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Bingöl deprem yer hareketi altında tepe yer değiştirme – zaman (δ -t) grafiği.....	113
Şekil 5.9. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Adana deprem yer hareketi altında tepe yer değiştirme – zaman (δ -t) grafiği.....	114
Şekil 5.10. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Malatya deprem yer hareketi altında tepe yer değiştirme – zaman (δ -t) grafiği.....	114
Şekil 5.11. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Düzce deprem yer hareketi altında tepe yer değiştirme – zaman (δ -t) grafiği.....	114
Şekil 5.12. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Kobe deprem yer hareketi altında tepe yer değiştirme – zaman (δ -t) grafiği.....	115
Şekil 5.13. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Mexico deprem yer hareketi altında tepe yer değiştirme – zaman (δ -t) grafiği.....	115
Şekil 5.14. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Parkfield deprem yer hareketi altında tepe yer değiştirme – zaman (δ -t) grafiği.....	115
Şekil 5.15. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Landers deprem yer hareketi altında tepe yer değiştirme – zaman (δ -t) grafiği.....	116
Şekil 5.16. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Hector Mine deprem yer hareketi altında tepe yer değiştirme – zaman (δ -t) grafiği.....	116
Şekil 5.17. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Elazığ deprem yer hareketi altında taban kesme kuvveti – zaman (V_t -t) grafiği.....	116
Şekil 5.18. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Erzincan deprem yer hareketi altında taban kesme kuvveti – zaman (V_t -t) grafiği	117
Şekil 5.19. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Bingöl deprem yer hareketi altında taban kesme kuvveti – zaman (V_t -t) grafiği.....	117
Şekil 5.20. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Adana deprem yer hareketi altında taban kesme kuvveti – zaman (V_t -t) grafiği.....	117
Şekil 5.21. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Malatya deprem yer hareketi altında taban kesme kuvveti – zaman (V_t -t) grafiği.....	118
Şekil 5.22. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Düzce deprem yer hareketi altında taban kesme kuvveti – zaman (V_t -t) grafiği.....	118
Şekil 5.23. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Kobe deprem yer hareketi altında taban kesme kuvveti – zaman (V_t -t) grafiği.....	118

Şekil 5.24. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Mexico deprem yer hareketi altında taban kesme kuvveti – zaman (V_t-t) grafiği.....	119
Şekil 5.25. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Parkfield deprem yer hareketi altında taban kesme kuvveti – zaman (V_t-t) grafiği	119
Şekil 5.26. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Landers deprem yer hareketi altında taban kesme kuvveti – zaman (V_t-t) grafiği.....	119
Şekil 5.27. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Hector Mine deprem yer hareketi altında taban kesme kuvveti – zaman (V_t-t) grafiği	120
Şekil 5.28. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Elazığ deprem yer hareketi altında enerji bileşenleri – zaman geçmişi (E - t) grafiği.....	120
Şekil 5.29. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Erzincan deprem yer hareketi altında enerji bileşenleri – zaman geçmişi (E - t) grafiği	120
Şekil 5.30. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Bingöl deprem yer hareketi altında enerji bileşenleri – zaman geçmişi (E - t) grafiği	121
Şekil 5.31. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Adana deprem yer hareketi altında enerji bileşenleri – zaman geçmişi (E - t) grafiği.....	121
Şekil 5.32. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Malatya deprem yer hareketi altında enerji bileşenleri – zaman geçmişi (E - t) grafiği	121
Şekil 5.33. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Düzce deprem yer hareketi altında enerji bileşenleri – zaman geçmişi (E - t) grafiği.....	122
Şekil 5.34. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Kobe deprem yer hareketi altında enerji bileşenleri – zaman geçmişi (E - t) grafiği.....	122
Şekil 5.35. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Mexico deprem yer hareketi altında enerji bileşenleri – zaman geçmişi (E - t) grafiği	122
Şekil 5.36. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Parkfield deprem yer hareketi altında enerji bileşenleri – zaman geçmişi (E - t) grafiği	123
Şekil 5.37. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Landers deprem yer hareketi altında enerji bileşenleri – zaman geçmişi (E - t) grafiği	123
Şekil 5.38. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Hector deprem yer hareketi altında enerji bileşenleri – zaman geçmişi (E - t) grafiği	123
Şekil 5.39. BÇY. 3-1 Çerçevesinin Elazığ deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	124
Şekil 5.40. BÇY. 3-1 Çerçevesinin Erzincan deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	125
Şekil 5.41. BÇY. 3-1 Çerçevesinin Bingöl deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	125
Şekil 5.42. BÇY. 3-1 Çerçevesinin Adana deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	125

Şekil 5.43. BÇY. 3-1 Çerçevesinin Malatya deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	126
Şekil 5.44. BÇY. 3-1 Çerçevesinin Düzce deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	126
Şekil 5.45. BÇY. 3-1 Çerçevesinin Kobe deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	126
Şekil 5.46. BÇY. 3-1 Çerçevesinin Mexico deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	127
Şekil 5.47. BÇY. 3-1 Çerçevesinin Parkfield deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	127
Şekil 5.48. BÇY. 3-1 Çerçevesinin Landers deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	127
Şekil 5.49. BÇY. 3-1 Çerçevesinin Hector Mine deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	128
Şekil 5.50. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Elazığ deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	128
Şekil 5.51. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Erzincan deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	128
Şekil 5.52. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Bingöl deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	129
Şekil 5.53. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Adana deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	129
Şekil 5.54. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Malatya deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	129
Şekil 5.55. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Düzce deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	130
Şekil 5.56. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Kobe deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	130
Şekil 5.57. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Mexico deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	130
Şekil 5.58. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Parkfield deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	131
Şekil 5.59. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Landers deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	131
Şekil 5.60. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Hector Mine deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	131
Şekil 5.61. BÇY. 6-3 Çerçevesinin Elazığ deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	132

Şekil 5.62. BÇY. 6-3 Çerçevesinin Erzincan deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	132
Şekil 5.63. BÇY. 6-3 Çerçevesinin Bingöl deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	132
Şekil 5.64. BÇY. 6-3 Çerçevesinin Adana deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	133
Şekil 5.65. BÇY. 6-3 Çerçevesinin Malatya deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	133
Şekil 5.66. BÇY. 6-3 Çerçevesinin Düzce deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	133
Şekil 5.67. BÇY. 6-3 Çerçevesinin Kobe deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	134
Şekil 5.68. BÇY. 6-3 Çerçevesinin Mexico deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	134
Şekil 5.69. BÇY. 6-3 Çerçevesinin Parkfield deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	134
Şekil 5.70. BÇY. 6-3 Çerçevesinin Landers deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	135
Şekil 5.71. BÇY. 6-3 Çerçevesinin Hector Mine deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	135
Şekil 5.72. BÇY. 6-5 Çerçevesinin Elazığ deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	135
Şekil 5.73. BÇY. 6-5 Çerçevesinin Erzincan deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	136
Şekil 5.74. BÇY. 6-5 Çerçevesinin Bingöl deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	136
Şekil 5.75. BÇY. 6-5 Çerçevesinin Adana deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	136
Şekil 5.76. BÇY. 6-5 Çerçevesinin Malatya deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	137
Şekil 5.77. BÇY. 6-5 Çerçevesinin Düzce deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	137
Şekil 5.78. BÇY. 6-5 Çerçevesinin Kobe deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	137
Şekil 5.79. BÇY. 6-5 Çerçevesinin Mexico deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	138
Şekil 5.80. BÇY. 6-5 Çerçevesinin Parkfield deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	138

Şekil 5.81. BÇY. 6-5 Çerçevesinin Landers deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	138
Şekil 5.82. BÇY. 6-5 Çerçevesinin Hector Mine deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	139
Şekil 5.83. BÇY. 9-3 Çerçevesinin Elazığ deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	139
Şekil 5.84. BÇY. 9-3 Çerçevesinin Erzincan deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	139
Şekil 5.85. BÇY. 9-3 Çerçevesinin Bingöl deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	140
Şekil 5.86. BÇY. 9-3 Çerçevesinin Adana deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	140
Şekil 5.87. BÇY. 9-3 Çerçevesinin Malatya deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	140
Şekil 5.88. BÇY. 9-3 Çerçevesinin Düzce deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	141
Şekil 5.89. BÇY. 9-3 Çerçevesinin Kobe deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	141
Şekil 5.90. BÇY. 9-3 Çerçevesinin Mexico deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	141
Şekil 5.91. BÇY. 9-3 Çerçevesinin Parkfield deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	142
Şekil 5.92. BÇY. 9-3 Çerçevesinin Landers deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	142
Şekil 5.93. BÇY. 9-3 Çerçevesinin Hector Mine deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	142
Şekil 5.94. BÇY. 9-5 Çerçevesinin Elazığ deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	143
Şekil 5.95. BÇY. 9-5 Çerçevesinin Erzincan deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	143
Şekil 5.96. BÇY. 9-5 Çerçevesinin Bingöl deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	143
Şekil 5.97. BÇY. 9-5 Çerçevesinin Adana deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	144
Şekil 5.98. BÇY. 9-5 Çerçevesinin Malatya deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	144
Şekil 5.99. BÇY. 9-5 Çerçevesinin Düzce deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	144

Şekil 5.100. BÇY. 9-5 Çerçevesinin Kobe deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	145
Şekil 5.101. BÇY. 9-5 Çerçevesinin Mexico deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	145
Şekil 5.102. BÇY. 9-5 Çerçevesinin Parkfield deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	145
Şekil 5.103. BÇY. 9-5 Çerçevesinin Landers deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	146
Şekil 5.104. BÇY. 9-5 Çerçevesinin Hector Mine deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	146
Şekil 5.105. BÇY. 12-3 Çerçevesinin Elazığ deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	146
Şekil 5.106. BÇY. 12-3 Çerçevesinin Erzincan deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	147
Şekil 5.107. BÇY. 12-3 Çerçevesinin Bingöl deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	147
Şekil 5.108. BÇY. 12-3 Çerçevesinin Adana deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	147
Şekil 5.109. BÇY. 12-3 Çerçevesinin Malatya deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	148
Şekil 5.110. BÇY. 12-3 Çerçevesinin Düzce deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	148
Şekil 5.111. BÇY. 12-3 Çerçevesinin Kobe deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	148
Şekil 5.112. BÇY. 12-3 Çerçevesinin Mexico deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	149
Şekil 5.113. BÇY. 12-3 Çerçevesinin Parkfield deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	149
Şekil 5.114. BÇY. 12-3 Çerçevesinin Landers deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	149
Şekil 5.115. BÇY. 12-3 Çerçevesinin Hector Mine deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	150
Şekil 5.116. BÇY. 12-5 Çerçevesinin Elazığ deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	150
Şekil 5.117. BÇY. 12-5 Çerçevesinin Erzincan deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	150
Şekil 5.118. BÇY. 12-5 Çerçevesinin Bingöl deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	151

Şekil 5.119. BÇY. 12-5 Çerçevesinin Adana deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	151
Şekil 5.120. BÇY. 12-5 Çerçevesinin Malatya deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	151
Şekil 5.121. BÇY. 12-5 Çerçevesinin Düzce deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	152
Şekil 5.122. BÇY. 12-5 Çerçevesinin Kobe deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	152
Şekil 5.123. BÇY. 12-5 Çerçevesinin Mexico deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	152
Şekil 5.124. BÇY. 12-5 Çerçevesinin Parkfield deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	153
Şekil 5.125. BÇY. 12-5 Çerçevesinin Landers deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği.....	153
Şekil 5.126. BÇY. 12-5 Çerçevesinin Hector Mine deprem yer hareketine altına plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği	153
Şekil 5.127. Bir betonarme çerçevenin plastik enerji – tepe yer değiştirme kapasitesi grafiği ve tez çalışma kapsamında belirlemesi hedeflenen ve yapının statik olarak itileceği maksimum enerji değeri	155
Şekil 5.128. Yapı sisteminin doğrusal olmayan statik analizinde tek yönlü olarak itildiği hedef plastik enerji talebinin elde edilmesine ait bir gösterim	156
Şekil 5.129. Örnek üç deprem yer hareketi altında gerçekleştirilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler ile elde edilen maksimum plastik enerji değerlerinin, plastik enerji – yer değiştirme kapasitesi ($E_p - \delta$) diyagramlarında işaretlenmesi	157
Şekil 5.130. Bir takım deprem yer hareketleri altında elde edilen maksimum ortalama plastik enerji talebine ($E_{p,max}$) kadar tek yönlü statik olarak itilen çok katlı bir çerçeve yapıya ait plastik enerji – yer değiştirme kapasitesi ($E_p - \delta$) grafiğinin şekilsel gösterimi (tez çalışmasında kullanılan yöntemin şekilsel özeti)	158
Şekil 5.131. BÇY. 3-1 çerçevesinin seçilen depremler yer hareketleri altında belirlenen maksimum plastik enerji talepleri ve yapı plastik enerji kapasitesi	159
Şekil 5.132. BÇY. 3-3 çerçevesinin seçilen depremler yer hareketleri altında belirlenen maksimum plastik enerji talepleri ve yapı plastik enerji kapasitesi	160
Şekil 5.133. BÇY. 6-3 çerçevesinin seçilen depremler yer hareketleri altında belirlenen maksimum plastik enerji talepleri ve yapı plastik enerji kapasitesi	161
Şekil 5.134. BÇY. 6-5 çerçevesinin seçilen depremler yer hareketleri altında belirlenen maksimum plastik enerji talepleri ve yapı plastik enerji kapasitesi	162
Şekil 5.135. BÇY. 9-3 çerçevesinin seçilen depremler yer hareketleri altında belirlenen maksimum plastik enerji talepleri ve yapı plastik enerji kapasitesi	163
Şekil 5.136. BÇY. 9-5 çerçevesinin seçilen depremler yer hareketleri altında belirlenen maksimum plastik enerji talepleri ve yapı plastik enerji kapasitesi	164

Şekil 5.137. BÇY. 12-3 çerçevesinin seçilen deprem yer hareketleri altında belirlenen maksimum plastik enerji talepleri ve yapı plastik enerji kapasitesi	165
Şekil 5.138. BÇY. 12-5 çerçevesinin seçilen deprem yer hareketleri altında belirlenen maksimum plastik enerji talepleri ve yapı plastik enerji kapasitesi	166
Şekil 5.139. Betonarme çerçevelerin TBDY (2018)'e göre göçme öncesi performansı için elde edilen tepe yer değiştirmeleri ile enerji esaslı yöntemle elde edilen tepe yer değiştirmelerinin karşılaştırılması.....	167
Şekil 6.1. BÇY. 3-1 Çerçevesinin kat yer değiştirmeleri.....	169
Şekil 6.2. BÇY. 3-3 Çerçevesinin kat yer değiştirmeleri.....	170
Şekil 6.3. BÇY. 6-3 Çerçevesinin kat yer değiştirmeleri.....	171
Şekil 6.4. BÇY. 6-5 Çerçevesinin kat yer değiştirmeleri.....	172
Şekil 6.5. BÇY. 9-3 Çerçevesinin kat yer değiştirmeleri.....	173
Şekil 6.6. BÇY. 9-5 Çerçevesinin kat yer değiştirmeleri.....	174
Şekil 6.7. BÇY. 12-3 Çerçevesinin kat yer değiştirmeleri.....	175
Şekil 6.8. BÇY. 12-5 Çerçevesinin kat yer değiştirmeleri.....	176
Şekil 6.9. Üç katlı çerçeveler için elde edilen görel kat ötelemesi oranları	177
Şekil 6.10. Altı katlı çerçeveler için elde edilen görel kat ötelemesi oranları	178
Şekil 6.11. Dokuz katlı çerçeveler için elde edilen görel kat ötelemesi oranları	179
Şekil 6.12. On iki katlı çerçeveler için elde edilen görel kat ötelemesi oranları	180
Şekil 6.13. Üç katlı betonarme çerçevelerin her bir kat seviyesinde tüketilen plastik enerji oranları	189
Şekil 6.14. Altı katlı betonarme çerçevelerin her bir kat seviyesinde tüketilen plastik enerji oranları.....	190
Şekil 6.15. Dokuz katlı betonarme çerçevelerin her bir kat seviyesinde tüketilen plastik enerji oranları ..	190
Şekil 6.16. On iki katlı betonarme çerçevelerin her bir kat seviyesinde tüketilen plastik enerji oranları...	191

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1. Seçilen konumun tasarım ivme spektrumu parametreleri	51
Tablo 4.2. BÇY. 3-1 Çerçevesinin tasarımında esas alınan düşey yükler, yapı ağırlığı ve periyod değerleri	54
Tablo 4.3. BÇY. 3-1 Çerçevesi yapı elemanlarının donatıları	54
Tablo 4.4. BÇY. 3-3 Çerçevesinin tasarımında esas alınan düşey yükler, yapı ağırlığı ve periyod değerleri	56
Tablo 4.5. BÇY. 3-3 Çerçevesinin yapı elemanlarının donatıları	57
Tablo 4.6. BÇY. 6-3 Çerçevesinin tasarımında esas alınan düşey yükler, yapı ağırlığı ve periyod değerleri	60
Tablo 4.7. BÇY. 6-3 Çerçevesi yapı elemanlarının donatıları	61
Tablo 4.8. BÇY. 6-5 Çerçevesinin tasarımında esas alınan düşey yükler, yapı ağırlığı ve periyod değerleri	65
Tablo 4.9. BÇY. 6-5 Çerçevesinin yapı elemanlarının donatıları	66
Tablo 4.10. BÇY. 9-3 Çerçevesinin tasarımında esas alınan düşey yükler, yapı ağırlığı ve periyod değerleri	70
Tablo 4.11. BÇY. 9-3 Çerçevesi yapı elemanlarının donatıları	72
Tablo 4.12. BÇY. 9-5 Çerçevesinin tasarımında esas alınan düşey yükler, yapı ağırlığı ve periyod değerleri	75
Tablo 4.13. BÇY. 9-5 Çerçevesi yapı elemanlarının donatıları	77
Tablo 4.14. BÇY. 12-3 Çerçevesinin tasarımında esas alınan düşey yükler, yapı ağırlığı ve periyod değerleri	81
Tablo 4.15. BÇY. 12-3 Çerçevesi yapı elemanlarının donatıları	83
Tablo 4.16. BÇY. 12-5 Çerçevesinin tasarımında esas alınan düşey yükler, yapı ağırlığı ve periyod değerleri	87
Tablo 4.17. BÇY. 12-5 Çerçevesi yapı elemanlarının donatıları	89
Tablo 4.18. İtme analizi gerçekleştirilen betonarme çerçeve yapıların birinci (hâkim) doğal titreşim moduna ait bilgiler	93
Tablo 5.1. Deprem yer hareketleri ve bazı temel özellikleri	110
Tablo 5.2. Betonarme çerçevelerin deprem yer hareketlerinin ivme kayıtları altında elde edilen ortalama plastik enerji talepleri ve $\pm$ enerji standart sapmalı değerleri.....	167
Tablo 6.1. BÇY. 3-1 Çerçevesinin kolon ve kiriş uçlarında elde edilen birim şekil değiştirmeler ve TBDY (2018) performans seviyelerine göre değerlendirilmesi.....	181
Tablo 6.2. BÇY. 3-3 Çerçevesinin kolon ve kiriş uçlarında elde edilen birim şekil değiştirmeler ve TBDY (2018) performans seviyelerine göre değerlendirilmesi.....	182

Tablo 6.3. BÇY. 6-3 Çerçevesinin kolon ve kiriş uçlarında elde edilen birim şekil değiştirmeler ve TBDY (2018) performans seviyelerine göre değerlendirilmesi.....	183
Tablo 6.4. BÇY. 6-5 Çerçevesinin kolon ve kiriş uçlarında elde edilen birim şekil değiştirmeler ve TBDY (2018) performans seviyelerine göre değerlendirilmesi.....	184
Tablo 6.5. BÇY. 9-3 Çerçevesinin kolon ve kiriş uçlarında elde edilen birim şekil değiştirmeler ve TBDY (2018) performans seviyelerine göre değerlendirilmesi.....	185
Tablo 6.6. BÇY. 9-5 Çerçevesinin kolon ve kiriş uçlarında elde edilen birim şekil değiştirmeler ve TBDY (2018) performans seviyelerine göre değerlendirilmesi.....	186
Tablo 6.7. BÇY. 12-3 Çerçevesinin kolon uçlarında elde edilen birim şekil değiştirmeler ve TBDY (2018) performans seviyelerine göre değerlendirilmesi	187
Tablo 6.8. BÇY. 12-5 Çerçevesinin kolon uçlarında elde edilen birim şekil değiştirmeler ve TBDY (2018) performans seviyelerine göre değerlendirilmesi	188
Tablo 6.9. Hedef plastik enerji talebine kadar statik itilen çerçeve yapıların kat seviyelerinde tüketilen toplam plastik enerji değerleri	192

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A_e	: Elastik ivme spektrum değeri
AEI	: Sismik tehlike faktörü
c	: Viskoz sönüm katsayısı
d_1	: Modal yer değiştirme
e_{sp}	: Donatı çeliği birim boy plastik enerji
$e_{cp,SS}$	: Sargısız beton birim boy plastik enerji
$e_{cp,SL}$	: Sargılı beton birim boy plastik enerji
e_{cp}	: Beton birim boy plastik enerji
E_I	: Giren enerji
E_K	: Kinetik enerji
E_D	: Sönüm enerjisi
E_S	: Elastik enerjisi
E_H	: Plastik (histeretik) enerji
E_{Ia}	: Mutlak giren enerji
E_{Ir}	: Rölatif giren enerji
$E_{sp,bölge}$	: Yapı elemanının integrasyon bölgesinde donatı çeliği tarafından tüketilen plastik enerji
$E_{sp,kesit}$	: Yapı elemanında donatı çeliği tarafından tüketilen plastik enerji
$E_{sp,yapı}$	: Yapıda donatı çeliği tarafından tüketilen plastik enerji
$E_{cp,SS\ bölge}$	: Yapı elemanın integrasyon bölgesinde sargısız beton tarafından tüketilen plastik enerji
$E_{cp,SS\ kesit}$	: Yapı elemanında sargısız beton tarafından tüketilen plastik enerji
$E_{cp,SS\ yapı}$	: Yapıda sargısız beton tarafından tüketilen plastik enerji
$E_{cp,SL\ bölge}$	: Yapı elemanın integrasyon bölgesinde sargılı beton tarafından tüketilen plastik enerji
$E_{cp,SL\ kesit}$	: Yapı elemanında sargılı beton tarafından tüketilen plastik enerji
$E_{cp,SL\ yapı}$	: Yapıda sargılı beton tarafından tüketilen plastik enerji
f_a	: Normalleştirilmiş spektral koordinatı
f_E	: Toprak tipinin bir fonksiyonu olarak normalleştirilmiş spektral ordinat
f_c	: Beton gerilmesi
f_s	: Donatı çeliği gerilme
f_y	: Donatı çeliği akma gerilmesi
f_{cc}	: Sargılı beton gerilme

$f_{c,SS}$	: Sargısız beton gerilme
$f_{ce,SS}$	: Sargısız beton elastik gerilmesi
$f_{c,SL}$	: Sargılı beton gerilme
$f_{ce,SL}$	: Sargılı beton elastik gerilmesi
l_i	: Yapı elemanın integrasyon bölgesi uzunluğu
m	: Kütle
m_t	: Taban kesme kuvveti modal etkin kütlesi
n_{eq}	: Doğrusal olmayan çevrimsel davranışta eşdeğer döngü sayısı
PGV	: Deprem yer hareketinin en büyük yer hızı
PGA	: Deprem yer hareketinin en büyük yer ivmesi
R	: Dayanım azaltma katsayısı
$S_a(T)$	: Elastik spektral ivme
S_v	: m kütleinin maksimum rölatif hızı
t_f	: Yer hareketinin toplam süresi
t_{di}	: Yer hareketinin anlamlı süresi
t_{de}	: Yer hareketinin efektif süresi
u_N	: Sargılı beton birim hacminde tüketilen plastik enerji miktarı
U_{sp}	: Donatı çeliğin birim hacminde tüketilen plastik enerji miktarı
$U_{cp,SS}$	: Sargısız beton birim hacminde tüketilen plastik enerji miktarı
$U_{cp,SL}$	: Sargılı beton birim hacminde tüketilen plastik enerji miktarı
V_E	: Eşdeğer hız
V_t	: Yapıya etkiyen toplam taban kesme kuvveti
δ	: Kütlenin mesnete göre bağıl (rölatif) yer değiştirmesi
δ_g	: Yer değiştirmenin zemin referans noktasına göre değeri
δ_t	: Toplam yer değiştirme
$\dot{\delta}$	: Rölatif hız
$\ddot{\delta}$	: Rölatif ivme
$\ddot{\delta}_g$	: Kuvvetli deprem yer hareketin ivmesi
δ_y	: Akma yer değiştirmesi
ξ	: Sönüm oranı
ω	: Açısal frekans
μ	: Süneklik katsayısı

I_D	: Boyutsuz sismik indeks değeri
γ	: Yer hareketine bağlı bir katsayı
ϵ_s	: Donatı çeliği birim şekil değiştirme
ϵ_{sy}	: Donatı çeliği akma birim şekil değiştirmesi
ϵ_{su}	: Donatı çeliği akma maksimum birim şekil değiştirmesi
ϵ_{sp}	: Donatı çeliği plastik birim şekil değiştirme
ϵ_{cc}	: Sargılı beton birim şekil değiştirmesi
ϵ_{cu}	: Sargılı beton maksimum birim şekil değiştirmesi
$\epsilon_{cp,SS}$	: Sargısız beton plastik birim şekil değiştirme
$\epsilon_{c,SL}$	: Sargılı beton birim şekil değiştirmesi
$\epsilon_{ce,SL}$	: Sargılı beton elastik birim şekil değiştirmesi
$\epsilon_{c,SS}$	: Sargısız beton birim şekil değiştirmesi
$\epsilon_{ce,SS}$	: Sargısız beton elastik birim şekil değiştirmesi
$\epsilon_{cp,SL}$	: Sargılı beton plastik birim şekil değiştirme
ϕ	: Eğrilik
α_1	: Modal sözde ivme
ϕ_{N1}	: Birinci moda ait en üst katın sabit mod şekli
Γ_1	: Birinci moda ait kütle katılım çarpanı

Kısaltmalar

DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
PEER	: Pasific Earthquake Engineering Research Center
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS	: Türk Standartları
TSD	: Tek Serbestlik Dereceli Sistem
UBC	: Uniform Building Code



1. GİRİŞ

Deprem, mevcut bilimsel bilgilerle tahmin edilmesi mümkün olmayan bir doğal afettir. Bu nedenle, mevcut binaların değerlendirilmesinde ve daha da önemlisi yeni yapıların tasarlanmasında akılcı kılavuzlar, yöntemler ve yönetmeliklerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Güncel deprem yönetmeliklerinde yapı sistemlerinin deprem kuvvetleri altında toptan göçme olmadan ayakta kalması ve bunun yanında can kayıplarının ve ekonomik zararın en aza indirilmesi depreme dayanıklı yapı tasarımı konusu büyük önem kazanmaktadır. Yapı sistemlerinin depreme dayanıklı tasarımında; deprem etkisiyle birlikte yapıya giren deprem enerjisinin yapı içinde tasarımda önceden belirlenen ve istenen kontrollü hasar mekanizmaları ile tüketilmesi istenmektedir. Bununla beraber modern deprem yönetmeliklerinde yapıların tasarımında tekrarlama periyodu kısa olan hafif şiddetli depremlerde kullanılabilirlik limiti içinde kaldığı, orta şiddetli depremlerde onarılabilecek seviyede kontrollü hasar sınır limitinin oluştuğu ve meydana gelme durumu nadir olan şiddetli depremlerde ise yapıda toptan göçmenin olmadığı ve can güvenliğinin sağlandığı tasarım felsefesi kullanılmaktadır.

Günümüzde modern deprem yönetmeliklerinde, depreme dayanıklı yapı tasarım için güvenilir standartlar oluşturmaya yönelik çeşitli yaklaşımlar ortaya konmuştur, ancak bunlardan sadece ikisi; kuvvet temelli ve yer değiştirme temelli yaklaşımlar tasarım yönetmeliklerinde yer bulabilmiştir. Kuvvet temelli yöntemlerde; yapı taşıyıcı sistemine etkileyen düşey yükler ve deprem etkisini temsil eden yatay yüklere bağlı olarak taşıyıcı sistem elemanlarında meydana gelen iç kuvvetlerin, yapı elemanların sahip olduğu taşıma gücü değerlerini aşmaması dikkate alınmaktadır. Bu yöntemlerde, deprem yatay yük etkileri belirli bir sönüm oranı, depremsellik ve zemin yapısı dikkate alınarak oluşturulmuş elastik veya elastik ötesi tasarım (ivme veya hız) spektrumlarından elde edilir. Bu tepki spektrumları, geniş bir periyod aralığına sahip tek serbestlik dereceli sistemler için hesaplanarak elde edilmektedir. Tepki spektrumlar aracılığıyla belirlenen deprem yükleri, yapının süneklik ve periyoduna bağlı olarak seçilen taşıyıcı sistem davranış katsayısı ile azaltılarak yapıya etkitilmekte ve düşey yükler ile birlikte yapı tasarımı gerçekleştirilmektedir. Ön boyutlandırılması yapılmış yapı sistemi belirlenen yükler etkisinde yönetmelikte belirtilen gerekli koşulları sağlıyorsa tasarım sonlandırılır, ancak sağlamıyorsa ön boyutlandırma değiştirilerek süreç tekrarlanarak koşullar sağlanana kadar işlemler tekrarlanır. Bu tasarım yöntemi basit olmasına rağmen, bazı dezavantajları bulunmaktadır. Deprem yük etkilerinin belirlenmesinde kullanılan tepki spektrumları sadece maksimum tepki dikkate alınarak oluşturulduğundan deprem sırasında tekrarlı yük etkileri sonucunda oluşan birikimli hasar ve dayanım azalımı göz ardı edilmekte veya dolaylı olarak dikkate alınmaktadır.

Yer değiştirmeye (performansa) dayalı tasarım kavramında, yapının performansı deprem etkilerine maruz yapısal elemanlarının deformasyon kapasitelerine ve dolayısıyla yapı sisteminin

yer değiştirmesine bağlı olarak belirlenmektedir. Bu yöntemde, öncelikle yapı sistemi dayanım esaslı tasarım yöntemine benzer olarak bir n boyutlandırmaya gidilir. Ardından yapı sisteminin statik itme analizi gerçekleştirilir ve kapasite eğrisi olan taban kesme kuvvetine karşılık en üst seviye yer değiştirmesi grafiği elde edilir. Elde edilen kapasitesi eğrisi modal koordinat sistemine dönüştürülerek yapı modal kapasite eğrisi oluşturulur. Modal kapasite eğrisi ile elastik veya azaltılmış elastik ivme tasarım spektrumu eğrisi birlikte çizilerek yönetmeliğin belirlediği kurallar çerçevesinde yapının hedef (performans) yer değiştirmesi belirlenir. Belirlenen bu yer değiştirmeye bağlı olarak yapının şekil değiştirme, birim şekil değiştirme, görel kat ötelemesi (vb.) gibi çeşitli yapısal büyüklükleri bulunabilmekte ve yönetmelikte belirtilen kurallar/ölçütler dâhilinde değerlendirilerek yapı performansı tahmin edilebilmektedir. Ancak bahsi geçen tasarım yönteminde de yapının depremin yarattığı tersinir tekrarlı yükler etkisindeki davranışı ve yapı taşıyıcı sistem elemanlarının elastik ötesi yer değiştirmedeki histeretik çevrimsel davranışı dolaylı yoldan hesaba alınmaktadır. Depreme dayanıklı yapı tasarımıda, yapıyı deprem etkisine karşı güvenli tasarılmanın bir diğer yöntemi, yapının enerji esaslı yaklaşımla değerlendirilmesidir. Geleceğin tasarım yöntemlerinden biri olma potansiyeline sahip olan enerji esaslı değerlendirme kavramı, yapıların sismik etkiler altında tasarımı ve değerlendirilmesi için, geleneksel kuvvete dayalı ve yer değiştirmeye dayalı tasarımlara göre daha akılcı ve güvenilir olduğu düşünülmektedir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımıda yapıların performansını tanımlamanın ve değerlendirmenin bir diğer yolu da enerji kavramını kullanmaktır. Bu yeni kavramın yapı tasarımıda bir yöntem olarak kullanılması ilk kez Housner [1] tarafından 1. Dünya Deprem Mühendisliği Konferansı'nda ileri sürülmüştür. Enerji esaslı değerlendirme yönteminde, yapı sistemini doğrusal ve doğrusal ötesi davranışla tüketebileceği toplam enerjinin kapasitesinin, deprem durumunda yapı sistemine giren ve bir bölümü yapı şekil değişimi ile tüketilmesi talep edilen enerjinin karşılaştırılması esasına dayanmaktadır. Enerji esaslı değerlendirmede, deprem yer hareketi etkisiyle yapıya giren deprem enerjisi; yapı sisteminde meydana gelen kinetik enerjinin, sönüm enerjisinin, elastik şekil değiştirme enerjisinin ve elastik ötesi davranışla tüketilen histeretik (plastik) enerjinin toplamı olarak ifade edilmektedir. Bu sismik enerji bileşenleri sistemde geçici olarak oluşan ve deprem uyarımı bittiğinde sonlanan ve yapı tarafından sönüm ve elastik ötesi davranışla tüketilen enerjiler olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. Kinetik ve elastik enerji deprem yer hareketi uyarımı bittiğinde sonlanan ve geri kazanılabilir enerjilerdir. Sönüm ve plastik enerji ise yapı tarafından tüketilen ve geri kazanılamayan enerjilerdir. Yapının doğrusal olmayan davranışı tükettiği plastik enerji ile sahip olduğu sönüm mekanizması ile tüketilen sönüm enerjisinin toplamı, deprem nedeniyle yapı sistemine giren enerjinin çok büyük parçasını meydana getirmektedir. Sözü geçen bu iki enerji türünün içinde ise genellikle plastik enerji en büyük paya sahiptir. Özellikle doğrusal olmayan şekil değiştirme ile tüketilen plastik enerji, yapının deprem etkisi altındaki kalıcı hasarı ile doğrudan ilişkilendirilebilir. Bu nedenle enerji esaslı

değerlendirmede histeretik enerjinin belirlenmesi önemli olmakta ve genellikle sisteme giren enerjinin bir oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle enerji esaslı değerlendirmeyi en yalın haliyle yapı sistemin plastik enerji kapasitesinin ve kuvvetli yer hareket veya hareketlerinin yapıdan talep ettiği maksimum plastik enerji ile karşılaştırılması ve güvenli tarafta kalınması olarak düşünebiliriz. Bu amaçla doğrusal olmayan davranışı dikkate alan zaman tanım alanı analizlerden elde edilen giren enerji ve histeretik enerjilerin daha pratik ve basit yaklaşımlarla belirlemek amacıyla birçok araştırmacı tarafından yapılmış çalışmalar literatürde yer almaktadır.

Çalışma kapsamında, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) [2] esaslarına göre tasarımı yapılmış çok katlı betonarme çerçeve türü yapı sistemlerinin deprem güvenliğinin enerji esaslı yöntemle değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla seçilen üç, altı, dokuz ve on iki katlı olmak üzere 8 adet betonarme çerçeve yapı sistemlerinin belirli kriterlere göre seçilen on bir yer hareketinin yönetmelik esaslarına göre ölçeklendirilmiş ivme kayıtları altında tükettiği plastik enerji seviyeleri belirlenmiş ve her bir yapı modelinin bu depremler altında ortalama talep ettiği plastik enerji değeri hesaplanmıştır. Betonarme çerçeve sistemler bu ortalama plastik enerji talebi değerine ulaşmaya kadar tek yönlü statik yükleme altında itilmiş ve hedef yer değiştirme talebi de elde edilmiştir. Bu hedef plastik enerji-yer değiştirme noktasına ulaşıldığında çerçevelerin; kat yatay yer değiştirmeleri, görelî kat ötelemeleri ve zaman tanım alanında elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca betonarme çerçevelerin enerji talep noktası için bulunan birim şekil değiştirme değerleri TBDY (2018)'de belirtilen performans kriterlerine göre değerlendirilmiştir.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Tez çalışmasının genel amacı, TBDY (2018)'e göre tasarımı yapılmış betonarme yapıların deprem güvenliğinin enerji esaslı değerlendirme ile araştırılmasıdır. Bu amaçla çalışma kapsamında öncelikle bazı düzlem betonarme çerçeve modelleri oluşturulmuş ve TBDY (2018) esaslarına uygun olarak boyutlandırılmış ve donatı bakımından detaylandırılmıştır. Tez kapsamında tasarımı yapılmış bu betonarme çerçevelerin, Türkiye'de ve dünyada meydana gelmiş bir dizi kuvvetli yer hareketlerinin ölçeklendirilmiş ivme kayıtları altında zaman alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Betonarme çerçeve türü yapıların seçilen deprem ivme kayıtları altında her zaman adımında tükettiği plastik enerji ve maksimum talep ettiği plastik enerji değeri hesaplanmıştır. Böylece yer hareketleri etkisinde betonarme çerçeve yapıların seçilen depremler için plastik enerji – yer değiştirme kapasite grafikleri elde edilmiştir. Diğer taraftan tez kapsamında TBDY (2018)'e göre tasarımı yapılmış betonarme çerçevelerin, doğrusal olmayan davranışta tüketebileceği toplam plastik enerji kapasitesinin belirlenmesi için statik itme analizleri yapılmıştır. İtme analizi sonucunda betonarme modellerin yapının göçme noktasına kadar tüketebileceği plastik enerji – yer değiştirme kapasite grafikleri bulunmuştur. Zaman tanım

alanında elde edilen talep plastik enerji değerleri ile yapı sisteminin plastik enerji kapasitesi ilişkilendirilerek betonarme yapıların enerji kavramı üzerinden değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

Tez çalışması analitik bir çalışma olup, öncelikle çalışmada kullanılacak 8 adet çok katlı betonarme yapı modeli seçilmiş ve bu yapıların orta aksları dikkate alınarak düzlem çerçeveler ele alınmıştır. Bu düzlem betonarme çerçeveler, tasarım yükleri altında belirlenen konum şartlarına uygun olarak deprem yönetmeliği esaslarına dikkate alınarak geometrik açıdan boyutlandırılmış ve donatı bakımından detaylandırılmıştır. Tasarım aşamasında SAP2000 [3] paket programından faydalanılmıştır.

Tez kapsamında tasarımı yapılmış bu betonarme çerçevelerin, Türkiye’de ve dünyada meydana gelmiş bir dizi kuvvetli yer hareketlerinin ölçeklendirilmiş ivme kayıtları altında zaman alanında doğrusal olmayan dinamik analizleri MATLAB [4] ortamında geliştirilmiş program ile gerçekleştirilmiştir. Çözümleme aşamasında betonarme çerçevelerin yapı elemanları doğrultusu boyunca belirli integrasyon bölümlerine ve en kesitinde fiberlere ayrılarak modellenmiştir. Yapı sistemlerinin genel hareket denklemi seçilen kuvvetli yer hareketleri altında nümerik çözümleme yapılarak yapının düğüm noktalarında oluşan yer değiştirmeleri ve yapı elemanlarının fiber kesitlerinde meydana gelen gerilme-birim şekil değiştirmeleri elde edilmiştir. Yapılan analizlerde kabul edilen varsayımlar ilgili bölümler içerisinde detaylıca yer verilmiştir. Yapı modelinin kolon ve kirişlerinin fiber kesitlerindeki gerilme – birim şekil değiştirme ilişkilerinden faydalanılarak yapı elemanların ve toplamda bütün yapının deprem ivme kayıtları altında tükettiği plastik enerji her zaman adımı için hesaplanmıştır. Böylece yer hareketleri etkisinde betonarme çerçeve yapıların hareket süresi boyunca tükettiği plastik enerji – yer değiştirme kapasite grafikleri elde edilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada kullanılan gerçek depremlerin ivmeleri kayıtları Afet ve Acil Durum (AFAD) [5] başkanlığından ve Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER) [6] veri tabanından alınmıştır.

Ayrıca tez kapsamında TBDY (2018)’e göre tasarımı yapılmış betonarme çerçevelerin, doğrusal olmayan davranışta tüketebileceği toplam plastik enerji kapasitesinin belirlenmesi için statik itme analizleri MATLAB ortamında geliştirilmiş program ile gerçekleştirilmiştir. İtme analizi sonucunda betonarme elemanların fiber kesitlerindeki gerilme – birim şekil değiştirme ilişkilerinden yola çıkarak yapı elemanların ve toplamda bütün yapının tüketebileceği plastik enerji – yer değiştirme kapasiteleri hesaplanmaktadır.

Düzlem çerçeveler seçilen on bir yer hareketleri altında tükettiği ortalama plastik enerji seviyeleri belirlenmiş ve bu ortalama plastik enerji talebi değerine ulaşmaya kadar monotonik statik yük altında itilmiştir. Yapıların bu hedef plastik enerji noktasında yapmış olduğu hedef yer değiştirme belirlenmiştir ve bu noktada çerçevelerin kat yatay yer değiştirmeleri, göreceli kat ötelemeleri, kat seviyelerinde tükettiği plastik enerjileri ve birim şekil değiştirmeleri belirlenmiştir.

Tez çalışmasının ikinci bölümü kapsamında yapıların enerji esaslı değerlendirilmesine giriş yapılmış ve enerji kavramları üzerine geniş bir bilgi verilmiştir. Deprem etkisiyle yapı sistemlerine giren enerji ve bu enerjinin hesaplanması için literatürde çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalara değinilmiştir. Sisteme giren enerjinin, yapı tarafından tüketilen toplam enerjide büyük paya sahip olan histeretik (çevrimsel) enerji kavramı detaylandırılmış ve literatürdeki çalışmalar aktarılmıştır.

Tez çalışması kapsamında üçüncü bölümde, çerçeve türü betonarme yapıların kuvvetli yer hareketi altında ve statik itme analizi altında doğrusal olmayan analizlerinde depremlerin yapıdan talep ettiği plastik enerjinin ve yapının plastik enerji kapasitesinin belirlenmesi konusu araştırılmaktadır. Bu amaçla; betonarme çerçevelerin fiber olarak modellenmiş yapı elemanlarının birim uzunluğunda, kesitinde, integrasyon bölgesinde, yapı elemanın tamamında ve yapının bütününde tüketilen veya kapasitesi olarak toplam plastik enerjiler için malzeme gerilme – birim şekil değiştirme ilişkilerinden türetilmiştir. Böylece her kesitte sargılı ve sargısız beton malzemesi ile çelik malzemenin tükettiği plastik enerjisi veya kapasitesi ve toplamda tüm yapı sistemin plastik enerji-yer değiştirme grafiği elde edilebilmektedir.

Dördüncü bölümde, öncelikle tez kapsamında değerlendirilecek üç, altı, dokuz ve on iki katlı çerçeve türü betonarme yapı modelleri oluşturulmuştur. Betonarme yapılar TS500 (2000) [7] ve TBDY (2018) [2] yönetmelik koşullarına göre boyutlandırılmış ve detaylandırılmıştır. Yönetmelik esaslarına göre tasarımı yapılmış bu betonarme çerçevelerin doğrusal olmayan statik itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan itme analizleri ile yapıların taban kesme kuvveti – yer değiştirme kapasite eğrileri elde edilmiştir. Statik itme analizleri aşamasında aynı zamanda yapının toplam plastik enerji – yer değiştirme kapasitesi ilişkileri de bulunarak grafikler halinde sunulmuştur.

Çalışmanın beşinci bölümünde, öncelikle gerçek deprem kayıtları seçilen bölge için oluşturulan tasarım spektrumuna göre yönetmelik esasları dikkate alınarak 3, 6, 9 ve 12 katlı modeller için skaler olarak ölçeklendirilmiştir. Ölçekli deprem ivme kayıtları altında çok katlı betonarme çerçevelerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiş ve depremlerin yapı sistemlerinden talep ettiği plastik enerjilerin belirlenmesi konusu ele alınmıştır. Her bir betonarme çerçeve sisteminin deprem ivme kayıtları için plastik enerji – zaman geçmişi grafikleri ve bu grafiklerden depremin yapıdan talep ettiği maksimum plastik enerji elde edilmiştir. Seçilen yapıların plastik enerji – yer değiştirme kapasitesi diyagramları üzerinde analizlerden her bir deprem için elde edilen maksimum plastik enerji talebi değerleri (ortalama ve standart sapmalı ortalama değerler) birlikte gösterilmiştir. Bu ortalama plastik enerji talebi (bir nevi hedef plastik enerji), statik itme analizi ile edilen plastik enerji kapasitesinde işaretlenerek yapının hedef yer değiştirme değeri elde edilmektedir.

Tez çalışmanın altıncı bölümünde, betonarme çerçeveler için enerji esaslı elde edilen hedef yer değiştirmeler zaman tanım alanı analizlerinden elde edilen kat yatay yer değiştirmeleri, göreceli

kat ötelemesi oranları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu hedef yer değiştirmesinde betonarme çerçevelerin yapı elemanlarının fiberlerinde meydana gelen birim şekil değiştirmeleri TBDY (2018)'de verilen performans seviyelerine göre değerlendirilmiştir.

Yedinci bölüm, tez çalışması kapsamında bütün bölümlerden elde edilen bulguların genel değerlendirilmesinin yapıldığı, elde edilen sonuçlarının yorumlandığı bölümdür.

Ayrıca en son önerilerin yer aldığı bir bölüm de yer almaktadır.

1.2. Konu ile İlgili Literatürdeki Çalışmalar

Yapıların depreme etkilerine karşı tasarlanmasında enerji kavramının kullanılması fikri, ilk olarak Housner [1] tarafından yapılan çalışmada önerilmiştir. Çalışmasında, doğrusal elastik hız spektrumundan yararlanarak deprem etkisiyle sisteme giren enerjiyi tahmin etmiştir. Ayrıca, bir yapıya giren toplam enerji miktarının kütle ile yere göre rölatif hızının karesinin çarpımının yarısı olarak ifade etmiştir. Yapı sistemlerinin değerlendirmesinde önerilen bu yeni yöntem sonraki birçok çalışmaya öncülük etmiştir.

Akiyama [8] çalışmasında yapılar için elastik enerjinin nasıl tanımlanacağı üzerine bir çalışma yapmıştır. Çok serbestlik dereceli yapı sisteminin eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme indirgeme kabulü ile yapılarda elastik giren enerjisini tanımlanmıştır.

Kuwamura ve Galambos [9] yaptıkları çalışmada, deprem etkisiyle yapı sistemlerine giren enerjinin büyük ölçüde yer hareketi özelliklerine ve deprem riski potansiyeline göre bir maksimum enerji girişini dikkate alarak bir limit durum kriteri önermişlerdir.

Uang ve Bertero [10] enerji parametreleri ve bu parametrelerin kullanımıyla ilgili oldukça önemli ve geniş kapsamlı bir çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalarında, enerji kavramı ve enerji bileşenleri açık bir şekilde detaylandırılmış ve enerji bileşenlerinin elde edilmesine kullanılan teorik denklemler hakkında bilgiler verilmiştir. Yapılan bu çalışma, oldukça kapsamlı ve birçok enerji çalışmasına yol gösterici bir çalışmadır.

Fajfar ve Vidic [11] tarafından sunulan çalışmada, deprem etkisiyle sisteme giren enerjinin tüketilmesinde önemli bir paya sahip olan histeretik enerjinin giren enerjiye oranı için yaklaşık formüller sunmuşlardır. Çalışmada elde edilen bu oranın sistemin göstermiş olduğu çevrimsel modele ve sahip olduğu süneklik gibi belirli parametrelere bağlı olduğu ileri sürmüştür.

Bertero ve Teran-Gilmore [12] yaptıkları çalışmada performansa dayalı yöntemler bağlamında tasarım enerjisi ilkelerini tartışmış ve enerji kavramının yeni nesil tasarım kodları için temel olması gerektiğini önermiştir.

Nurtuğ ve Sucuoğlu [13] doğrusal TSD bir sistemde tüketilen enerjiyi hesaplamak için yer hareketinin spektral hızına, etkili süresine ve yer hareketinin genliğine bağlı bir analitik denklem önermişlerdir.

Shen ve Akbaş [14] tarafından yapılan çalışmada, farklı açıklık ve kat sayısına sahip eğilme çerçevelerinin, enerji kavramına dayanan yaklaşımlarla performans dayalı tasarımı yapmışlardır. Çalışmada, farklı zemin koşullarında kaydedilen deprem yer hareketlerine maruz kalan çerçevelerdeki enerji tepkisi (enerji miktarları ve dağılımları), doğrusal olmayan zaman alanı analizi ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak enerji esaslı değerlendirme için önerilerde bulunmuşlardır.

Deccanini ve Mollaioli [15,16] çalışmalarında, depremin neden olduğu giren enerjinin hesaplanmasında elastik ve elastik olmayan sistemler için tasarım spektrumları önermişlerdir.

Chou ve Uang [17] Sismik Enerji Talebinin Değerlendirilmesi başlıklı bir rapor yayınlamışlardır Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi için hazırlanan raporda, yapı ve deprem mühendisliğinde enerji esaslı değerlendirme kavramının temelleri detaylandırılmış ve yapılarda tüketilen enerji bileşenlerine geniş yer verilmiştir.

Manfredi [18] tarafından yapılan araştırmada, tek serbestlik dereceli sistemlerin sismik enerji talebi ile ilgili çalışmalarda bulunmuşlardır. Giren enerji ve histeretik enerji tepki spektrumları elde edilerek, bu enerji değerlerinin hangi parametrelerden etkilendiği incelenmiştir. Ayrıca histeretik ve giren enerji spektrumlarının basitleştirilmiş bir temsili elde etmek için bir yöntem sunmuştur.

Lee ve Goel [19] çalışmalarında çok katlı çelik sistemler için bir akma mekanizması tanımlamış ve Uniform Buildin Code (97)'de bulunan kat görelî öteleme oranlarını önemseyen bir tasarım yöntemi geliştirmişlerdir.

Leelataviwat vd. [20] sundukları araştırmada, sismik tasarım kuvvetlerinin türetilmesinde enerjinin kullanımı tartışılmıştır. Tek serbestlik dereceli sistemler için sismik tasarım kuvvetlerinin türetilmesinde kullanılan enerji dengesi kavramı genişletilmiş ve çok katlı moment çerçeveleri için tasarım kuvvetlerinin türetilmesinde kullanılmıştır.

Akbaş ve Shen [21] tarafından sunulan çalışmada, tek serbestlik dereceli sistemlerde enerji parametreleri ve enerji bileşenleri araştırılmıştır.

Sarı [22] tarafından yapılan doktora tez çalışmasında yer değiştirme, kuvvet ve enerji esaslı performans yöntemleri incelenmiştir. Enerji esaslı analiz yöntemlerin bahsi geçen diğer iki yönteme kıyasla birikimli hasarı dikkate almasından dolayı daha gerçekçi sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Çalışmada, enerji esaslı yöntemleri dikkate alarak olasılıklı hasar analizleri gerçekleştirilmiştir.

Sucuoğlu ve Erberik [23] tarafından yapılan çalışmada, enerji esaslı histeretik ve hasar modellerini incelemişlerdir. Yapı sistemin ve elemanlarının deprem etkileri altında doğrusal olmayan çevrimsel davranıştaki enerji tüketme kapasiteleri üzerine detaylı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Önemli etki süreleri olan yer hareketleri altında hasar gören sistemler için hasarın yorulma bileşeninin yer değiştirme bileşenine göre daha önemli olduğu gözlemlenmiştir.

Akbaş vd. [24] gerçekleştirilen çalışmada, farklı kat yüksekliklerine sahip elik çerçevelerin farklı zemin sınıflarındaki yer hareketleri etkisi altında meydana gelecek histeretik enerji talepleri incelenmiştir. Analizler zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Histeretik enerjinin kat seviyelerinde dağılımları incelenmiştir. Dağılımın en alttan katlardan başlayarak en st kata doğru giderek azalan ve yaklaşık doğrusal bir değişim gösterdiği gözlenmiştir. Ayrıca zemin sınıfının yapıya giren enerjiyi oldukça etkilediği ve dolayısıyla tüketilen histeretik enerjiyi de önemli derecede etkiyen bir parametre olduğu sonucuna varılmıştır.

Akkar ve Miranda [25] tarafından yapılan çalışmalarında mevcut yapıların doğrusal olmayan davranıştaki maksimum deformasyon talebini tahmin etmek için geçmişte önerilen farklı yaklaşık yöntemlerin değerlendirmesi yapılmıştır. alışmalarında, histeretik enerjiyi esas alan yöntemlere de yer vermişlerdir.

Park ve Eom [26] araştırmalarında tersinir tekrarlı yüklemeler altında betonarme yapı elemanlarındaki enerji tüketimini imcelemişlerdir. Bu amaçla, orta dereceli plastik yer değiştirmelere maruz kalan eğilme ağırlıklı betonarme elemanların davranış özelliklerini araştırmak için doğrusal olmayan sonlu eleman analizi yapılmıştır. Doğrusal olmayan davranışta betonarme kesitlerdeki enerji tüketiminde eksenel kuvvetin, donatı düzeninin ve oranının enerji tüketimine etkisini araştırmışlardır.

Tuğsal vd. [27] yaptıkları çalışmada, tek serbestlik dereceli (TSD)sistemler farklı zeminlerde kaydedilen deprem yer hareketlerine altında doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizleri yapılmış ve enerji dağılımları incelenmiştir. Ayrıca analiz sonuçlarında elde edilen bulgular kullanılarak ayrıca spektral yer değiştirme ve süneklik talebi de araştırılmıştır. Yapay Sinir Ağı modelleri ile TSD sistemlerin mukabeleleri tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Hancıoğlu vd. [28] tarafından yapılan çalışmada, hem yumuşak hem de sert zeminlerde bulunan bir dizi deprem ivme kaydının, iki yatay bileşen içeren kapsamlı bir deprem yer hareketi veritabanı dikkate alınarak karakteristik periyodun tahmin edilmesi üzerine araştırma yapmışlardır. Deprem yer hareketlerinin yapıya giren enerjinin belirlenmesinde kullanılan spektrumunda maksimum enerjinin olduğu noktada için tanımlanan eşdeğer TSD sistemin periyot değerinin belirlenmesi amacıyla istatistiksel çalışma yapılmıştır. Çalışma kapsamında bu bağlamda çeşitli formüller sunmuşlardır.

Leelataviwat vd. [29] tarafından yapılmış olan çalışmada, bir enerji dengesi kavramına dayalı bir sismik değerlendirme yöntemi sunulmuştur. Yöntem, enerji talebi ve kapasite diyagramlarını kullanan bir çerçeveye dayanmaktadır. Öncelikle statik itme analizleri ile yapı kapasite eğrisi elde edilmekte ve bu aşamada aynı zamanda yapının doğrusal olmayan davranışta tükettiği plastik enerji – yer değiştirme kapasitesi de belirlenmektedir. Önerilen yöntemde deprem enerji talebi ve plastik enerji kapasitesi grafiklerinin kullanılmasıyla hedef yer değiştirme değeri belirlenmiştir.

Amiri vd. [30] İran deprem kayıtlarına dayalı, yapıların sismik tasarımında kullanılabilir giren enerji spektrumu önermişlerdir.

Hancıoğlu [31] tarafından yapılan doktora tez çalışmasında, belirli bir dayanıma sahip bir-serbestlik-dereceli (BSD) elasto-plastik sistemlerin giriş enerjisi, çevrimsel enerji ve en büyük elastik olmayan yer değiştirme istemi için istatistiksel bir çalışma yapılmıştır. Çalışma kapsamında sıkı zeminlerde kaydedilmiş uzak-fay yer hareketleri kullanılmıştır. Ayrıca, bu değerlerin tahmini için bazı yapısal ve sismik parametrelere bağlı bağıntılar türetilmiştir. Tez kapsamında, deprem yer hareketinin karakteristik periyodunun belirlenmesine yönelik bir bağıntı ileri sürülmüştür.

Dindar [32] tarafından yapılan doktora tez çalışmasında, deprem etkisiyle yapılara giren enerjinin ve bu enerjinin yapı sisteminde doğrusal olmayan davranışı ile tükettiği plastik enerjinin belirlenmesi için esaslı değerlendirilmesinde kullanılabilecek iki yöntemi geliştirmişlerdir. Sunulan çözüm yöntemleri, bir araya getirilerek betonarme prekast yapıların depreme dayanıklı tasarımı için düzenlenmiştir. Kuvvet ve yer değiştirme temelli tasarım yöntemlerinden elde edilen değerler ile enerji esaslı değerlendirme ile bulunan sonuçlar karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir. Sonuçlar oldukça tatminkâr görülmüştür.

Eom vd. [33] tarafından sunulan çalışmada, çeşitli donatı düzenlerine sahip kısa bağ kirişlerinin çevrimsel kuvvet yer değiştirme ilişkisi ve enerji dağılımı incelenmişlerdir. Bağ kirişlerinin çevrimsel davranışının araştırılmasında doğrusal olmayan bir kafes modeli analizi kullanmışlardır. Çalışma kapsamında, bağ kirişlerinin histeretik enerjisinin beton ve geleneksel boyuna ve enine donatı çubuklarından ziyade en büyük katkının diyagonal donatı çubukları tarafından geldiği elde edilmiştir. Bu sonuca dayanarak, çeşitli donatı düzenlerine sahip kısa bağlantı kirişlerinin enerji dağılımını ve kuvvet-yer değiştirme ilişkisini tahmin etmek için basitleştirilmiş yöntemler geliştirilmişlerdir.

Acun [34] tarafından yapılan doktora tezinde, betonarme kolon elemanları için enerji esaslı yöntemlerin düşük çevrimli yorulma kuramları ile bir arada kullanıldığı bu çalışmada yeni bir performans değerlendirme yönteminin kapsamı verilmiştir. Tez kapsamında dinamik etkiler altındaki betonarme kolon elemanlarının elastik ötesi davranışını temsil etmek amacıyla bir kesit modeli sunulmuştur. Deneylerden kolon mafsallık bölgesi için elde edilen plastik dönme kapasitesi değerleri güncel bazı yönetmelik değerleriyle irdelenmiştir.

Eom ve Park [35] tarafından yapılmış olan çalışmada, betonarme kiriş, kolon ve perde kesitlerinin tersinir tekrarlı yük etkileri altındaki enerji dağılımlarını değerlendirme üzere basitleştirilmiş çeşitli denklemler geliştirilmiştir. Tekrarlı çevrimsel bir yükleme altındaki betonarme bir elemanın histeretik enerji tüketiminin, gevrek bir malzeme olan betondan ziyade, esas olarak çelik donatıların sünek davranışı tarafından geldiği sonucu elde edilmiştir.

Benavent-Climent [36] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, mevcut yapıların depreme karşı güçlendirilmesi için histeretik sönümleyicilerin kullanılması ile enerji esaslı bir yöntem

önerilmiştir. Bu yöntem, çok katlı yapı sistemlerindeki enerji dengesine dayanmaktadır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizler ile yöntemin tutarlılığı araştırılmıştır.

Acun ve Sucuoğlu [37] tarafından yapılan çalışmada, betonarme kolonların tersinir tekrarlı yüklemeler altında enerji tüketme kapasiteleri incelenmiştir. 20 adet kolon örneği üzerinde deneysel çalışmalar yapmışlardır. Elemanların hangi parametrelerinin enerji tüketimini etkilediği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak doğrusal olmayan davranışta enerji tüketimi için çeşitli modeller geliştirilmişlerdir.

Liao ve Goel [38] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, çok katlı betonarme çerçeve türü yapıların performansa dayalı plastik tasarımı yaklaşımı ile yeniden tasarlanmıştır. Bu tasarım yöntemi ile elde edilen taban kesme kuvveti statik itme ve zaman alanından elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışma performansa dayalı plastik tasarımdan enerji esaslı elde edilen taban kesme kuvvetinin betonarme yapıların sismik tasarımı için de başarıyla uygulanabileceğini göstermektedir.

Lopez-Almansa vd. [39] tarafından yapılan çalışmada, Türkiye’de meydana gelen bir dizi şiddetli deprem ivme kayıtlarının ele alınarak zaman tanım alanında doğrusal dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlardan yola çıkarak hız spektrumları oluşturulmuştur. Enerji esaslı değerlendirmede kullanılabilecek tasarım enerji spektrumu eşdeğer hız kavramının kullanılmasıyla elde edilmiştir.

Merter vd. [40] tarafından yapılan çalışmada, öngörülen görel kat ötelemesi oranı kullanılarak çok katlı çelik çerçevelerin enerji esaslı tasarımı yapılmıştır. Yeni yapılacak yapıların kullanım türüne bağlı olarak enerji dengesinin kullanılması öngörülen görel kat ötelemesi oranını sağlayacak şekilde tasarlanmasına yönelik bir hesap yöntemi geliştirilmişlerdir.

Terapathana [41] tarafından yapılan çalışmada, enerji talebini içeren betonarme çerçevelerin tasarım prosedürü sunulmaktadır. Alçak ve orta katlı binalar için betonarme moment çerçeveleri örnek olay incelemesi olarak seçilmiş ve tasarlanmıştır.

Habibi vd. [42] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, dayanım ve yer değiştirme tabanlı yöntemlere alternatif olarak, pasif enerji yayılım sistemleri ile sismik güçlendirme için aşamalı çok modlu enerji tabanlı bir tasarım yöntemi önerilmiştir.

Merter [43] tarafından gerçekleştirilen doktora tez çalışmasında, çok katlı betonarme çerçeve sistemlerin enerji esaslı değerlendirilmesi üzerine kapsamlı bir çalışma yapmıştır. Betonarme çerçeve sistemlerin plastik enerji kapasitelerinin belirlenmesi ve seçilen deprem ivme kayıtlarından elde edilen enerji talebinin karşılaştırılması esasına dayanan bir yöntem geliştirilmiştir.

Alıcı ve Sucuoğlu [44] yapmış oldukları çalışmada, giren enerji tahminine odaklanmış ve toprak tipi, merkez uzaklık, moment büyüklüğü ve fay tipinin giriş enerjisi üzerindeki etkilerini dikkate almak için parametrik çalışmalar yapmışlardır.

Dindar vd. [45] çalışmalarında, PEER veri tabanından seçilmiş bir dizi yer hareketleri altında çeşitli yapısal davranışa sahip TSD sistemler kullanarak dinamik analizler yapmışlardır. Enerji dengesi denkleminde yararlanarak zemin sınıfını ve yapısal davranış dikkate alan giren enerji ve plastik enerji spektrumları geliştirmişlerdir.

Quinde vd. [46] dar bantlı hareketler için esnek olmayan giren ve histeretik enerji spektrumu oluşturmayı amaçlayan enerji azaltma faktörleri üzerine bir çalışma sunmuşlardır.

Gharehbaghi vd. [47] çalışmalarında, spektral enerji taleplerinin tahmin modellerini geliştirmek için çoklu genlere sahip bir hibrit genetik programlama (GP) uygulamışlardır. Modellerin doğruluğunu en üst düzeye çıkarmak ve karmaşıklığı en aza indirmek için çok amaçlı bir strateji kullanmışlardır.

Güllü vd., [48] yaptıkları deneysel çalışmada, mevcut giren enerji spektrumlarının deneysel ve sayısal değerlendirilmesi yapılmış ve ayrıca yeni spektrum önerisinde bulunmuşlardır. Geliştirilen enerji spektrum ile yeni önerilen spektrum arasında analitik ve deneysel karşılaştırmalar yapılmış ve önerilen spektrumun deneysel ve sayısal sonuçlarla daha iyi uyum sağladığını ortaya koyduğu görülmüştür.

Cheng vd. [49] sundukları çalışmada, hem sabit-süneklik hem de sabit-dayanımlı mutlak ve göreceli giren enerji spektrumları için yeni bir yer hareketi tahmin denklemleri önerilmişlerdir. Önerilen denklemler, çok sayıda kuvvetli yer hareketine maruz kalan tek serbestlik dereceli sistemler üzerinde doğrusal olmayan dinamik analizlerden türetilen esnek olmayan tepkilerin ampirik regresyonları yoluyla kalibre edilen karma etki modelleri kullanılarak geliştirilmiştir.

Dedeoğlu ve Calayır [50] tarafından yapılan çalışmada, seçilen bir konumun DBYYHY (2007) ve TBDY (2018)'in yerel zemin sınıflarına göre elde edilmiş tasarım spektrumlarına göre ölçeklenmiş deprem ivme kayıtları altında tek serbestlik dereceli (TSD) yapı sistemlerin davranışları incelemişlerdir. Analizlerden elde edilen sistemin tepki büyüklüğü olan oluşan yer değiştirmeler, kesme kuvvetleri ve ayrıca giren enerji değerleri birbirleri arasına karşılaştırılarak sonuçlar yorumlanmıştır.

Shargh ve Berati [51] yaptıkları çalışmada geniş bir yer sarsıntısı ve yapısal özellikler yelpazesi kullanarak yapılara uygulanan elastik olmayan sismik giriş enerjisini tahmin etmek için bir model sunmuşlardır.

Cheng vd. [52] spektral giriş enerjisi ve spektral ivmeler arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir ve bir korelasyon modeli geliştirmişlerdir.

Zhang vd. [53], çalışmalarında, giren enerjinin elde edilmesinde kullanılan eşdeğer hız spektrumu ile tepki spektrumları arasındaki ilişkide depremin magnitüd büyüklük, mesafe ve saha koşullarının etkilerini araştırmışlardır. Japonya'daki 16.660 gerçek sismik yer hareketi kullanılarak büyüklük, mesafe ve saha koşullarının etkilerini içeren pratik bir eşdeğer hız spektrumu ve tepki spektrumu etkileşimi için bir denklem geliştirilmiştir.

Zhang vd. [54], tek serbestlik dereceli bir sistem için giriş enerji spektrumunun zemin büyütme oranı ile Fourier genlik spektrumu arasındaki teorik ilişkiyi sunmuşlardır. Bu çalışmanın bulguları, giriş enerji spektrumu üzerindeki saha etkilerinin daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır.

Güllü vd. [55], moment dayanımlı çerçeve tipi binalarda sismik giriş enerjisinin kat bazında dağılımını tahmin etmek için yeni bir pratik yöntem önerilmektedir. Önerilen metodolojiye dayalı olarak tahmin edilen doğrusal olmayan tepkiler ile doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizi sonuçları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Uçar [56] çalışmasında, toplam yapı sistemine giren enerjisinin kat seviyelerine dağıtılması için pratik bir formülasyon sunmuştur.



2. ENERJİ KAVRAMI VE ENERJİ BİLEŞENLERİ

Kuvvetli deprem yer hareketi etkisiyle yapılara bir enerji girişi olmaktadır. Giren deprem enerjisi yapı içerisinde çeşitli yollarla dağıtılmakta ve tüketilmektedir. Depremle etkisiyle yapılara giren toplam enerji, giren enerji (E_I) olarak adlandırılmaktadır. Tüketilen enerji ise; yapının sönüm mekanizması, kütleyle bağlı olarak hızı ve yapının elastik ve elastik ötesi davranışıyla tüketilen enerjidir.

Kuvvetli deprem yer hareketi ile birlikte yapı sistemine giren enerji (E_I), sistem tarafından tüketilen kinetik enerji (E_K), sönüm enerjisi (E_D), elastik birim şekil değiştirme enerjisi (E_S) ve histeretik enerjinin (E_H) toplamı olarak düşünülmektedir. Depremle etkisi altında yapıya giren enerji (E_I) sistem tarafından tüketilen bu enerji bileşenlerinin toplamına eşit olmaktadır. Bu eşitlik deprem yer hareketine maruz bir yapı sistemin genel dinamik hareket denkleminde elde edilebilmektedir. Şekil 2.1’de gösterilen viskoz sönümlü TSD bir sistemin kuvvetli bir yer hareketi altında genel dinamik hareket denklemi [57];

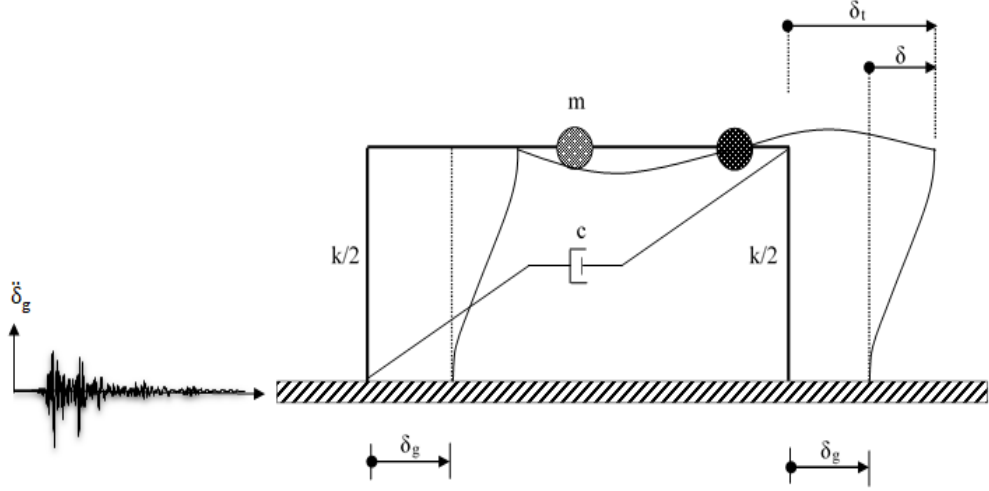
$$m\ddot{\delta}(t) + c\dot{\delta}(t) + f_s(\delta, \dot{\delta})(t) = -m\ddot{\delta}_g(t) \quad (2.1)$$

Şeklinde yazılabilir. Denkleminde eşitliğin sol tarafında yer alan ifadelerden m : kütleyi, c : viskoz sönüm katsayısını, $f_s(\delta, \dot{\delta})$: yay kuvvetini (elastik davranış gösteren sistemler için; $f_s = k, \delta$) simgelemektedir. Yay kuvveti ifadesindeki k : yay katsayısı (rijitlik) ve δ : kütlenin mesnete göre bağıl (rölatif) yer değiştirmesidir. Ayrıca $\dot{\delta}$: rölatif hızı ve $\ddot{\delta}$: rölatif ivmeyi ifade etmektedir. Eşitliğin sağ tarafında yer alan $\ddot{\delta}_g$: kuvvetli deprem yer hareketin ivmesidir.

Yapının kuvvetli deprem yer hareketi altındaki toplam yer değiştirmesi δ_t ile gösterilirse;

$$\delta_t = \delta + \delta_g \quad (2.2)$$

olarak ifade edilebilir. Burada; δ_g : yer değiştirmenin zemin referans noktasına göre değeridir. Şekil 2.1’de, tek serbestlik dereceli sistemin kuvvetli deprem yer hareketi etkisindeki yer değiştirmeleri gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Kuvvetli deprem yer hareketi etkisindeki viskoz sönümlü tek serbestlik dereceli (TSD) sistem ve sistemin yer değiştirmeleri

Kuvvetli deprem yer hareketi altındaki bir tek serbestlik dereceli sistemin enerji denklemi genel hareket denkleminde yer alan her bir terimin “ δ ” rölatif yer değiştirmesine göre integre edilmesi ile aşağı şekilde yazılabilir.

$$\int_0^{\delta} m \ddot{\delta} d\delta + \int_0^{\delta} c \dot{\delta} d\delta + \int_0^{\delta} f_s(\delta, \dot{\delta}) d\delta = - \int_0^{\delta} m \ddot{\delta}_g d\delta \quad (2.3)$$

Denklem (2.3)’te verilen genel enerji denge denkleminde eşitliğin sağ tarafı, deprem yer hareketi etkisiyle sisteme giren toplam enerjiyi (E_I) belirtmektedir. Deprem enerjisi, yer hareketi süresince ifadenin sol tarafında yer alan temel enerji bileşenlerine dönüşüp, yapı sisteminde bu enerji bileşenleri cinsinden yer alabilir veya tüketilebilir [10,21]. Denklemin sol tarafta yer alan temel enerji bileşenleri, enerji denkleminin kapasite tarafını göstermektedir. Deprem etkisiyle sisteme giren enerji ise, denklemin talep kısmını ifade etmektedir. Bu temel enerji terimleri aşağıda genişçe açıklanacaktır.

Denklem (2.3)’ün sağ tarafı, yer hareketi ile sisteme giren toplam enerjiyi

$$E_I = - \int_0^{\delta} m \ddot{\delta}_g d\delta \quad (2.4)$$

ifade etmektedir. Denklem (2.3)’ün ilk terimi; kütlenin yere rölatif hareketiyle sistemde meydana gelen kinetik enerjiyi

$$E_K = \int_0^{\delta} m \ddot{\delta} d\delta \quad (2.5)$$

göstermektedir. Kinetik enerji, yapı kütesinin rölatif hızıyla doğrudan ilişkilidir. Ayrıca yapının herhangi bir zaman değerinde gösterdiği ani tepkisi ile ilgilidir. Denklem (2.3)'de eşitliğin soldan ikinci terimi; yapının viskoz sönümü mekanizması ile tüketilen sönüm enerjisidir ve şu bağıntı:

$$E_D = \int_0^{\delta} c \dot{\delta} d\delta \quad (2.6)$$

ile yazılır. Sönüm enerjisi yapının çatlama, içsel sürtünme vb. gibi çeşitli yollarla tüketilen bir enerji türüdür. Deprem yer hareketi boyunca artan birikimli bir enerjidir. Denklem (2.3) eşitliğinde sol taraftan üçüncü terim ise; sistemin elastik ve elastik ötesi davranışıyla tükettiği toplam enerjiyi göstermektedir. Elastik enerji

$$E_S = \int_0^{\delta_y} f_s(\delta, \dot{\delta}) d\delta \quad (2.7)$$

şeklinde ifade edilir. Elastik ötesi davranışla tüketilen plastik enerji

$$E_P = \int_{\delta_y}^{\delta} f_s(\delta, \dot{\delta}) d\delta \quad (2.8)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Viskoz sönüme sahip bir TSD sistemin yer hareketi etkisinde oluşan göreceli enerji denge denklemi (Denklem (2.3)) bahsi geçen bu enerji terimleri dikkate alınarak aşağıdaki gibi yeniden ifade edilebilir.

$$E_K + E_D + E_S + E_P = E_I \quad (2.9)$$

Bu sismik enerji bileşenleri sistemde geçici olarak oluşan ve depremi uyarımı bitiminde sonlanan ve yapı tarafından sönüm ve elastik ötesi davranışla tüketilen enerjiler olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. Giren enerjinin çok az bir parçasının oluşturan kinetik ve elastik enerji deprem yer hareketi uyarımı bittiğinde sonlanan enerjilerdir. Sönüm ve plastik enerji ise yapı tarafından

tüketilen enerjidir. Özellikle doğrusal olmayan davranışta çevrimsel döngüler ile tüketilen plastik enerji, yapının deprem etkisi altındaki kalıcı hasarı ile doğrudan ilişkilendirilebilir.

2.1. Enerji Bileşenlerinin İncelenmesi

2.1.1. Giren Enerji

Yapıların enerji temelli değerlendirilmesinde deprem hareketi sisteme giren bir enerji olarak göz önüne alınmaktadır. Bu yüzden yapı sistemlerine deprem etkisiyle giren enerjinin belirlenmesi yöntemin en önemli konulardan biridir.

1. Dünya Deprem Mühendisliği Konferansı'nda Housner [1] tarafından depreme dayanıklı yapı tasarımında enerjinin kullanılması fikri ileri sürülmüştür. Kuvvetli yer hareketi altında yapıya giren enerji, yapı sistemi içerisinde çeşitli mekanizmalarla tüketilen enerji bileşenlerinin toplamına eşit olmalıdır. Housner [1] belirli depremlerin elastik doğrusal hız spektrumundan faydalanarak deprem etkisi altında sisteme giren enerjiyi, genel enerji felsefesinden yola çıkarak tahmin etmiştir. Giren toplam enerji miktarının kütle ile yere göre rölatif hızının karesinin çarpımının yarısı olarak ifade etmiş ve şu şekilde bir öneride bulunmuştur:

$$E_I = \frac{1}{2} m S_V^2 \quad (2.10)$$

Denklemden yer alan S_V : m kütlelerinin maksimum rölatif hızıdır (elastik spektral hız değeri); m: sisteminin toplam kütlesidir. Housner [1] tarafından yapıya giren enerji için tanımlanan maksimum enerji ifadesi yapı sisteminin mod şekillerinden ve yapının sahip olduğu rijitlikten bağımsızdır. Enerji ifadesi sadece kütle ve sönümle dolayısıyla spektral hızla ilintilidir.

Housner'ın depreme dayanıklı yapı tasarımına önerdiği enerji girişi ifadesinden sonra, birçok araştırmacı bu konu üzerine eğilmiştir. Zahrah ve Hall [58] Akiyama [8], Uang ve Bertero [10], Kuwamura ve Galambos [9] ve Manfredi [18] enerji esaslı değerlendirme ve enerji kavramı konusunda öncü araştırmacılarıdır.

Zahrah ve Hall [58], güçlü deprem uyarımı sırasında tek serbestlik dereceli sistemlere deprem yer hareketi etkisiyle giren enerjiyi ve esnek olmayan davranışları incelenmiştir. Kuvvetli deprem yer hareketi ivmelerini esas alarak yapı sistemlerine giren enerji için Denklem (2.11) verilen ifadeyi geliştirmiştir.

$$\frac{E_I}{m} = - \int_0^t \ddot{\delta}_g \dot{\delta} dt \quad (2.11)$$

Depremle birlikte yapı sistemine giren enerji Akiyama [8] tarafından yapılan çalışmada eşdeğer deprem hızı olarak ifade edilmiştir Çok serbestlik dereceli yapı sistemlerini eşdeğer tek serbestlik dereceli modele dönüştürerek yapılara etkiyen elastik giren enerjiyi tanımlanmıştır. V_E : eşdeğer deprem hızı grafikleri farklı zemin sınıflarına ve periyoda (T) bağlı olarak elde edilmiştir. Deprem etkisiyle birlikte yapıya giren enerji kayalık ve daha yumuşak zemin türlerindeki yapı sistemleri için eşdeğer hız kavramı üzerinden belirlenmiştir. Akiyama [8] tarafından ileri sürülen eşdeğer hız ifadesi:

$$V_E = \sqrt{\frac{2E_I}{m}} \quad (2.12)$$

Denklem (2.12) numaralı eşitlikte verildiği gibidir. Uang ve Bertero (1988), çalışmalarında genel hareket denklemin mutlak ve rölatif yer değiştirmelere göre elde edilen enerji girişler üzerine eğilmişlerdir. Bu enerjiler arasındaki farkı incelemişler ve iki farklı enerji girişi denklemini çalışmada verilmiştir. Denklem (2.13) verilen giren enerji ifadesinde toplam ivme değerini esas alınmaktadır ve mutlak enerji (E_{Ia}) olarak tanımlanmaktadır. Denklem (2.14)'te gösterilen enerji girişi ifadesi ise, eşdeğer yatay kuvvetin sistem üzerinde yaptığı dış iş olarak kabul edilmektedir. Kütle ile güçlü yer hareketinin ivmesinin çarpımına eşittir. Bu yaklaşımlardan mutlak hareketle ilgili olan giren enerji tanımı şu şekildedir:

$$\frac{E_{Ia}}{m} = \int_0^t \ddot{\delta}_t \delta_g dt \quad (2.13)$$

Denklemde yer alan E_{Ia} .mutlak giren enerjiyi, m sistemin kütlelerinin ve $\ddot{\delta}_t$ ifadesi de toplam ivmeyi simgelemektedir ($\ddot{\delta}_t = \ddot{\delta} + \ddot{\delta}_g$). Uang ve Bertero [10] tarafından rölatif hareketi dikkate alarak önerdiği enerji girişi Denklem (2.14) eşitliğinde sunulmuştur.

$$\frac{E_{Ir}}{m} = - \int_0^t \ddot{\delta}_g \delta dt \quad (2.14)$$

Denklemde yer alan E_{Ir} .rölatif giren enerjiyi simgelemektedir. Uang ve Bertero [10] çok küçük periyot değerine sahip bir nevi rijit yapılar için enerji girişini çalışmalarında mutlak hareketi esas alarak şu şekilde göstermişlerdir:

$$\frac{E_I}{m} = \int \ddot{\delta}_t d\delta_g = \int \ddot{\delta}_g d\delta_g = \frac{(\dot{\delta}_g)^2}{2} \quad (2.15)$$

Burada; çok rijit bir sistem için $\ddot{\delta}_t = \ddot{\delta}_g$, $\delta_t = \delta_g$, $\delta=0$ varsayımları yapılmıştır. Önerilen bu denklemden yer hareketinin hızının sisteme giren enerjiyi oldukça etkilediği anlaşılmaktadır.

Kuwamura ve Galambos [9] çalışmada, deprem etkisiyle yapı sistemlerine giren enerjinin büyük ölçüde yer hareketi özelliklerine ve deprem riski potansiyeline göre bir maksimum enerji girişini dikkate alarak bir limit durum kriteri önermişlerdir. Enerji girişi denklemi araştırmacılar tarafından şu şekilde önerilmiştir:

$$\frac{E_I}{m} = \frac{1}{8} T_1 \int_0^{t_f} \ddot{\delta}_g^2 dt \quad (2.16)$$

Burada; T_1 : zemin sınıfına bağlı olarak belirlenen yer hareketinin hakim (karakteristik) periyot değeri ve t_f : yer hareketinin toplam süresidir.

Fajfar [11] %5 sönüm oranına sahip orta ve uzun periyotlu yapı sistemleri için deprem yer hareketi etkisiyle birlikte sistem giren enerjiyi belirlemeye çalışmışlardır. Kapsamlı çalışmalarında şu formülü önermişlerdir.

$$\frac{E_I}{m} = 2.2 (t_{di})^{0.5} (PGV)^2 \quad (2.17)$$

Birim kütledeki giren enerjiyi ifade eden Denklem (2.17)'de, PGV deprem yer hareketinin en büyük yer hızı değeridir. t_{di} : deprem hareketinin anlamlı süresidir (Trifunac ve Brady [59]). Bu anlamlı süre depremin süreye bağlı büyüklüğünün tahmin edilmesinde oldukça önem taşımaktadır.

Uang ve Bertero [10] $\mu=5$ süneklik oranlı ve $\xi=5\%$ sönüm oranlı tek serbestlik dereceli sistemler için seçilmiş deprem ivme kayıtları etkisinde Denklem (2.18)'de verilen enerji girişi denklemini ileri sürmüşlerdir.

$$\frac{E_I}{m} = \frac{1}{2} (1 + 0.12 t_{di})^2 (PSV)^2 \quad (2.18)$$

Fajfar vd. [60] çalışmalarında, 72 farklı depremin dinamik analizlerini gerçekleştirmiş ve enerji girişi sonuçları ile Kuwamura ve Galambos'un (1989) enerji denklemi karşılaştırılmıştır. Denklem 2.13'ün ile elde edilen maksimum giren enerji değerinin gerçek değerinden daha küçük enerji değerleri verdiği görülmüştür. Bu durumdan ötürü enerji girişi ifadesi aşağıda verilen şekliyle modifiye edilmiştir. Güncellenmiş enerji girişi denklemi şu şekilde düzenlenmiştir.

$$\frac{E_I}{m} = 0.85 \frac{PGV}{PGA} \int_0^{t_f} \ddot{\delta}_g^2 dt \quad (2.19)$$

Burada; PGV ve PGA deprem yer hareketinin sırasıyla en büyük hızının ve en büyük yer ivmesinin değeridir.

Nurtuğ ve Sucuoğlu [13] tarafından yapılan çalışmada kuvvetli yer hareketine maruz tek serbestlik dereceli bir sistem tarafından tüketilen toplam enerji, spektral hız (S_V), sönüm oranı (ξ), açısal frekans (ω), depremin efektif süresi (t_{de}) ve çevrimsel davranıştaki enerji bozulma faktörleri cinsinden elde edilmiştir.

$$\frac{E_I}{m} = \xi \omega t_{de} S_V^2 (\alpha^2 + \beta^2) \quad (2.20)$$

$$t_{de} = t_{di} + (3,3 \frac{T}{6} \xi) \quad (2.21)$$

Denklem (2.20) ile ifadesinde yer alan efektif süre: t_{de} Denklem (2.21) eşitliğinde verilmektedir. t_{di} : deprem yer hareketinin anlamlı süresi, T : periyot ve ξ : sönüm oranını göstermektedir.

Manfredi [18] çalışmalarında girdi enerji spektrumlarının basitleştirilmiş bir temsilini elde etmek için şu şekilde bir denklem önermiştir.

$$\frac{E_I}{m} = 0.45 \left(\frac{1}{\sqrt{\mu_c - 1}} + 0.23 I_D \right) (PSV)^2 \quad (2.22)$$

Burada; μ_c : süneklik katsayısı, I_D : boyutsuz sismik indeks değeridir ve maksimum yer ivmesi ile hızı değerlerine bağlıdır. PSV: Spektral hız değerini ifade etmektedir.

Deccanini ve Mollaioli [15], odak uzaklığı, depremin magnitüd büyüklüğü ve zemin sınıfı gibi çeşitli parametrelerini dikkate alarak elastik girdi enerjisi (E_I) spektrum formülasyonu geliştirmiştir. Elastik sistemlere giren enerjinin belirlenmesi için Denklem 2.23'de verilen formülü önermişlerdir.

$$E_I(T_i) = f_E(T_i) AEI \quad (2.23)$$

Denklemde yer alan f_E aynı T_i periyoduna karşılık gelen toprak tipinin bir fonksiyonu olarak normalleştirilmiş spektral ordinattır ve AEI depremin magnitüd büyüklük aralığına ve kaynak mesafe aralığına bağlı olan Sismik Tehlike Enerji Faktörü'dür.

Decanini ve Mollaioli [16] belirli yapısal ve yer hareketi parametreleri altında belirli bir sünekliliğe sahip elastik ötesi yapı sistemleri için girdi enerjisini hesaplayan bir metodoloji ortaya koymuşlardır. Yapılan çalışmada elastik ötesi sistemlere giren enerji şu şekilde ifade edilmektedir.

$$E_{I\mu}(T_i) = f_a(T_i) AEI \quad (2.24)$$

Denklemden yer alan burada f_a normalleştirilmiş spektral koordinatı belirtmektedir.

Dindar vd. [45] enerji dengesi denkleminden yararlanarak zemin sınıfını ve yapısal davranışı dikkate alan giren enerji spektrumu için denklem şu şekilde önerilmektedir.

$$E_I^{PGA} = \left(\frac{PGA}{0.1g} \right)^2 E_I^{0.1g} m \quad (2.25)$$

Denklemden yer alan PGA, depremin en büyük yer ivmesidir ve $E_I^{0.1g}$ ise periyoda bağlı olarak $PGA = 0.1g$ için kütle normalleştirilmiş temel giren enerji spektrumundan elde edilecek değerdir.

Merter [61], rijit zemin zemin sınıflarında bulunan SDOF sistemlerin giren enerji taleplerinin belirlenmesinde kullanılabilecek enerji spektrumları önermiştir.

$$\frac{E_I}{m} = \begin{cases} a + T^b & T_0 \leq T < T_1 \\ c & T_1 < T \leq T_2 \\ k(T)^n & T_2 < T \end{cases} \quad (2.26)$$

Burada yer alan parametreler zemin tipine bağlıdır. a parametresi, normalize edilmiş spektrumun lineer olarak kabul edilen bölgesindeki T periyodunun katsayısını, b değeri $T_0 \leq T < T_1$ bölgesindeki sabit parametreyi, c spektrumun sabit değerine göre maksimum spektral değeri, n daha büyük periyot değerleri ($T_2 < T$) için normalize edilmiş spektrumdaki düşüşü yöneten üstel parametresi ve k ise bu bölgedeki spektrum çarpanıdır.

2.1.2. Plastik Enerji (Histeretik Enerji)

Deprem etkisiyle sisteme giren enerjinin yapı tarafından doğrusal olmayan çevrimsel davranış ile tüketilmesinde önemli rol oynayan enerji bileşeni plastik (histeretik) enerjidir. Bu nedenle bu bölümde, histeretik enerji kavramı üzerine durulacaktır.

Plastik enerji, yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışı ve kalıcı şekil değiştirmeleri yoluyla tükettiği enerjidir. Bu enerji bileşeni yapının hasarı ile doğrudan ilintili olan en önemli enerji bileşenidir. Plastik enerji, deprem süresince yapı tarafından doğrusal olmayan davranış ile tüketilen ve yapının kalıcı hasara uğramasına neden olan enerjidir ve zaman tanım alanında dinamik analizler sonucunda elde edilebilmektedir. Ancak plastik enerjinin bu analiz yöntemlerinden elde

edilmesindeki zorluktan dolayı daha basit yaklaşımlı yöntemlerle tahmin edilmesi için birçok araştırmacı tarafından teorik ve deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir.

Fajfar ve Vidic [11], yaptıkları çalışmada histeretik enerjiyi çeşitli parametrelere bağlı olarak Denklem 2.27 ile ifade etmişlerdir.

$$E_H = \left(\frac{\gamma \mu A_e}{R \omega} \right)^2 \quad (2.27)$$

Burada E_H sistemin histeretik enerjisi, A_e elastik ivme spektrumu değerini, μ süneklik katsayısını, γ yer hareketine bağlı bir katsayıyı, R dayanım azaltma katsayısını ve ω yapı doğal frekansı temsil etmektedir.

Manfredi [18] tarafından sunulan çalışmada, tersinir tekrarlı yükler altındaki TSD sistemlerin histeretik enerji hesabı için basit ve pratik bir denklem önerilmiştir.

$$E_H = (\sqrt{\mu_c - 1}) n_{eq} \frac{(S_a(T))^2}{\omega} \left(\frac{1}{R} \right)^2 \quad (2.28)$$

Burada; E_H sistemin histeretik enerjisi, μ_c süneklik, $S_a(T)$ elastik spektral ivme, ω açısal frekans, R süneklik ve periyoda bağlı hesaplanan yapı davranış katsayısı, n_{eq} : doğrusal olmayan çevrimsel davranışta eşdeğer döngü sayısı olup, Zahrah ve Hall [57] tarafından Denklem (2.29)'da ifade edilmiştir.

$$n_{eq} = 1 + (n - 1) m \quad (2.29)$$

Burada; n : dikkate alınan tersinir çevrim sayısı ve m : boyutsuz ortalama çevrimsel yer değiştirmedir ve şu şekilde tanımlanmıştır

$$m = \frac{1}{(n - 1)} \sum_{i=1}^{n-1} \Delta \delta_i / \delta_{max} \quad (2.30)$$

Akbaş ve Shen [21], yapı sistemlerinin akma sonucu tükettiği histeretik enerjiyi teorik olarak şu şekilde ifade etmiştir.

$$E_H(t) = \int_0^u f_s(\delta, \dot{\delta}) d\delta - E_S(t) = E_I(t) - [E_K(t) + E_D(t) + E_S(t)] \quad (2.31)$$

Decanini ve Mollaioli [16] belirli yapısal ve yer hareketi parametreleri altında belirli bir sönüklüğe sahip elastik ötesi yapı sistemleri için histeretik enerjiyi girdi enerjiye bağlı olarak hesaplayan bir metodoloji ortaya koymuşlardır. Yapılan çalışmada elastik ötesi sistemlere histeretik enerji şu şekilde ifade edilmektedir.

$$\frac{E_H}{E_I} = 0.80 + \frac{T_g}{20} - 4.5 \xi + 10 \xi^2 \quad \mu \geq 3 \quad (2.32)$$

$$\frac{E_H}{E_I} = 0.70 + \frac{T_g}{20} - 5.0 \xi + 13 \xi^2 \quad \mu = 3 \quad (2.33)$$

Burada ξ sönüm oranını, μ sönümlilik katsayısını ifade etmektedir.

Dindar vd. [45], enerji dengesi denkleminde yararlanarak zemin sınıfını ve yapısal davranışı dikkate alan histeretik enerji spektrumu için denklem şu şekilde önerilmektedir.

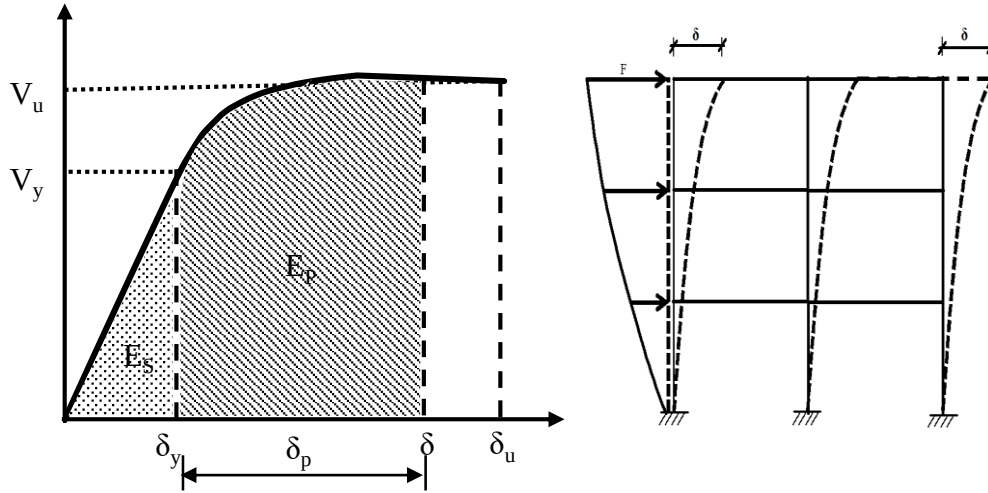
$$E_H^{PGA} = \left(\frac{PGA}{0.1g} \right)^2 E_H^{0.1g} m \quad (2.34)$$

Denklemden yer alan PGA ve m sırasıyla depremin en büyük yer ivmesi ve yapı kütlesidir. $E_I^{0.1g}$ ise periyoda bağlı olarak $PGA = 0.1g$ için kütle normalleştirilmiş temel histeretik enerji spektrumdan elde edilecek değerdir

2.2. Doğrusal Olmayan Statik Analizlerde Enerji Kavramının İncelenmesi

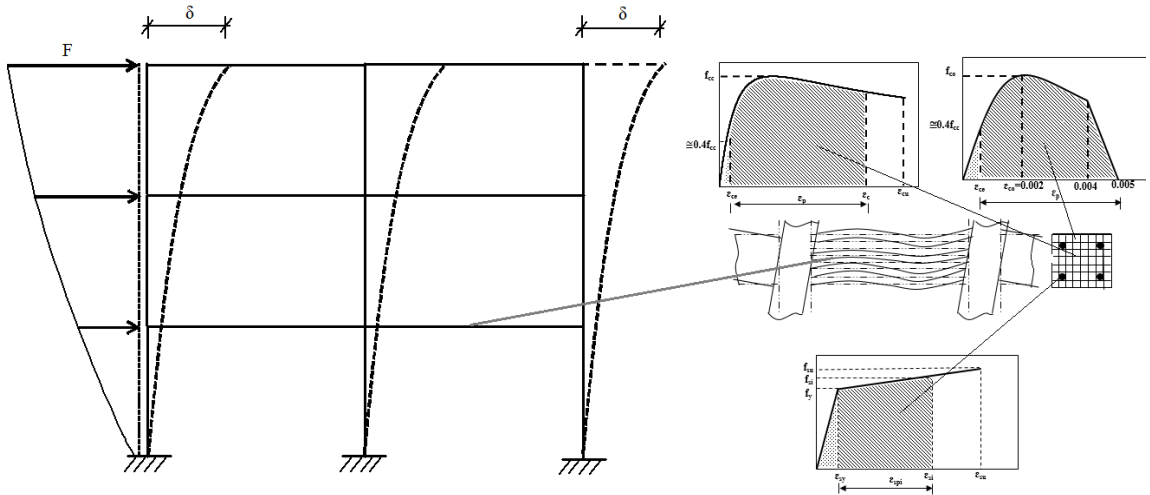
Yapı sistemlerinin doğrusal olmayan statik itme analizleri ile yapıların kapasiteleri belirli kabuller dâhilinde elde edilebilmektedir. Monotonik yükleme ile birlikte sisteme bir nevi dışarıdan enerji verilmekte buna bağlı olarak yapı sisteminde elastik enerji (E_S) ve plastik enerji (E_P) oluşmaktadır (Şekil 2.2).

Elastik enerji, dış yükleme altında yapı sistemin doğrusal elastik davranışında geçici olarak depolanan enerji bileşenidir. Yapının artan yer değiştirmelerine bağlı olarak doğrusal olmayan davranışı ile tüketilen enerji ise plastik enerjidir.



Şekil 2.2. Bir yapının statik itme analizinden elde edilen taban kesme kuvveti – yer değiştirme ($V_t - \delta$) kapasite grafiği, elastik, plastik ve tüketilen toplam enerji

Yapı sisteminin tek yönlü doğrusal olmayan statik analizler ile elde edilen plastik enerji (E_p), yapı elemanlarının kalıcı şekil değişimi ve buna bağlı olarak kalıcı hasarlarıyla doğrudan ilişkilidir. Bununla beraber, bu analiz ile elde edilen plastik enerji yapının toplam kapasitesi hakkında bilgi vermektedir. Bu plastik enerji kapasitesi, yapının elastik ötesi davranışa geçen kesitlerde tükettiği kabul edilen toplam enerjidir. Tez çalışması kapsamında ele alınan betonarme çerçeve modellerin plastik enerji kapasitelerinin hesaplanmasında, malzeme gerilme- birim şekil değiştirme ilişkisi üzerinden yola çıkılarak elde edilmiştir. Bu amaçla yapı modelleri fiber olarak modellenmiştir. Şekil 2.3’de fiber olarak modellenmiş örnek bir betonarme çerçeve yapının doğrusal olmayan statik analizler sonucu bir elemanında tüketilen plastik enerjinin elde edilmesi şematik olarak sunulmuştur. Yer değiştirme sonucu düğüm noktalarında meydana gelen şekil değiştirmelere bağlı olarak her bir yapı kesitine ait fiber elemanlarının gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri üzerinden tüketilen plastik enerji hesaplanarak, yapı sisteminin toplam plastik enerji kapasitesi hesaplanabilmektedir.



Şekil 2.3. Fiber modellenmiş örnek bir betonarme çerçeve yapının doğrusal olmayan statik analizler sonucu bir elemanında tüketilen plastik enerjinin elde edilmesi

Şekil 2.3 'de özetlenen betonarme kesitlerde tüketilen plastik enerjinin hesaplanmasının matematiksel ifadesi Denklem 2.35'de ifade edilmiştir. Tez kapsamında 3. Bölümde bu denklem detaylıca açıklanacaktır.

$$E_{p,kesit} = \sum_{s=1}^m l_k * \frac{1}{2} \left[\begin{array}{l} \sum_{i=1}^n \epsilon_{spi}(f_{si} + f_y) A_{si} + \dots \\ \sum_{j=1}^r (f_{ci,ss} + f_{ce,ss})(\epsilon_{cj,ss} - \epsilon_{ce,ss}) A_{ci,ss} + \dots \\ \sum_{k=1}^p (f_{ci,sl} + f_{ce,sl})(\epsilon_{cj,sl} - \epsilon_{ce,sl}) A_{ci,sl} \end{array} \right] \quad (2.35)$$

Her bir yapı elemanında tüketilen plastik enerjinin toplanması ile statik itme analizinde tüketilen diğer bir deyişle yapı sisteminin toplam plastik enerji kapasitesinin ($E_{p, yapı}$) vermektedir Denklem 2.36). Böylece yapının herhangi bir yer değiştirme noktası veya göçme noktasına kadar tüketebileceği toplam plastik enerji kapasitesi elde edilebilmektedir.

$$E_{p,yapı} = \sum_{z=1}^y E_{pi,kesit} \quad (2.36)$$

2.3. Deprem Yer Hareketli Altında Yapılarda Tüketilen Plastik Enerjinin Elde Edilmesi ve Statik İtme Analizinden Elde Edilen Plastik Enerji ile İlişkilendirilmesi

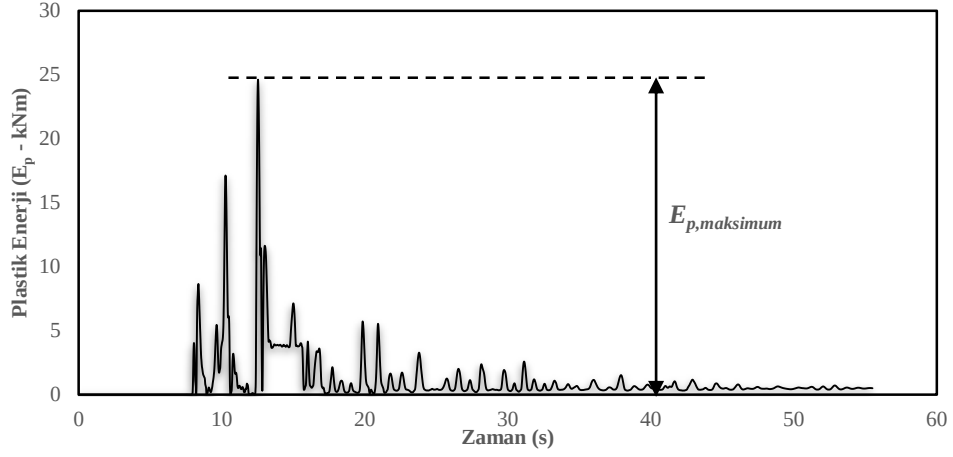
Kuvvetli yer hareketleri altında yapı sisteminin zaman tanım alanında elastik ötesi dinamik analizleri ile yapının zamana bağlı olarak doğrusal olmayan davranışta tükettiği (yapıdan talep ettiği) plastik enerjisi hesaplanabilmektedir. Talep edilen plastik enerji yapı elemanlarının belirli integrasyon bölgelerine ayrılarak fiber olarak modellenmiş betonarme çerçevelerde, elastik ötesi duruma geçen fiber elemanların (sargılı ve sargısız beton ve çelik) her zaman adımında tükettiği plastik enerjilerin toplamıdır. Yer hareketinin bir “t.” süresinde herhangi bir kesitinde tüketilen plastik enerji $E_{\text{kesit pi}}(t)$:

$$E_{\text{kesit pi}}(t) = \sum_{k=1}^m l_k \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^n \epsilon_{\text{spi}} (f_{\text{si}} + f_y) A_{\text{si}} + \dots \right. \\ \left. \sum_{j=1}^r (f_{\text{ci,SS}} + f_{\text{ce,SS}}) (\epsilon_{\text{cj,SS}} - \epsilon_{\text{ce,SS}}) A_{\text{ci,SS}} + \dots \right. \\ \left. \sum_{k=1}^p (f_{\text{ci,SL}} + f_{\text{ce,SL}}) (\epsilon_{\text{cj,SL}} - \epsilon_{\text{ce,SL}}) A_{\text{ci,SL}} \right] \quad (2.37)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Yapı sisteminin toplam tükettiği plastik enerji kesitlerde tüketilen toplam plastik enerjinin toplamı olarak

$$E_{\text{p,yapı}}(t) = \sum_{z=1}^y E_{\text{pi,kesit}}(t) \quad (2.38)$$

elde edilir. Şekil 2.4’de Sivrice-Elazığ depreminin 2308 istasyon kaydı kuzey-güney bileşeni ivme kaydı altında fiber olarak modellenmiş 3 katlı tek açıklı bir betonarme çerçeve yapının zaman tanım analizi çözümünde zamana bağlı olarak yukarıda verilen denklemler ile her zaman adımı için elde edilmiş plastik enerji grafiği sunulmaktadır. Depremin yapıdan talep ettiği maksimum plastik enerji talebi ($E_{\text{p,max}}$) gösterilmektedir.



Şekil 2.4. 3 katlı tek açıklı bir betonarme çerçevenin Sivrice-Elazığ (24.01.2020) depremi etkisi altında elde edilmiş olan plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği

Plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği, kuvvet-yer değiştirme ve buna bağlı olarak malzemelerin gerilme ve birim şekil değiştirmeleri üzerinden integre edilerek her zaman adımı için elde edilmektedir. Yapıda deprem yer hareketi etkisiyle tüketilen plastik enerji değeri bu grafikler aracılığıyla deprem süresinin herhangi bir adımı için elde edilebilmektedir. Yapıların deprem ivme kayıtları altındaki talep ettiği bu maksimum plastik enerji değerleri ile yapının toplam plastik enerji kapasiteleri kullanılarak yapının tasarım kontrolü yapılabilmektedir.

3. BETONARME ÇERÇEVELERİN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞTA TÜKETTİĞİ PLASTİK ENERJİNİN HESAPLANMASI

Betonarme yapı sistemlerinin deprem gibi dış yük etkileri altında elastik davranış gösterecek şekilde tasarımının yapılması yapı elemanlarının enkesit boyutlarının aşırı büyük olmasına ve yapım maliyetinin yüksek olmasına neden olacaktır. Bu nedenle modern deprem yönetmeliklerinde depreme dayanıklı yapı tasarımı; yapı sistemlerinin tekrarlama periyodu kısa olan az şiddetli depremlerde hasar görmemesi, orta şiddetli depremlerde onarılabilir düzeyde hasar görmesi ve geri dönüş periyodu uzun yıllar olan şiddetli depremlerde toptan göçme olmadan ayakta kalabilmesi felsefesi esas alınmaktadır. Bunun için de, yapı sistemleri hem kesit bazında hem de sistem bazında sünek davranış sergileyecek şekilde tasarlanmalı ve detaylandırılmalıdır. Yapı sisteminin deprem yükü gibi dış yükler altında sünek davranması kuvvetlerde önemli bir artışın olmamasına rağmen, yapının yer değiştirme yapabilmesi yeteneğini devam etmesi olarak ifade edilebilir.

Deprem etkisine maruz yapı sistemine giren enerjinin büyük bir kısmı yapının doğrusal ve doğrusal olmayan davranışı ile tüketimi gerçekleşmektedir. Yapı sisteminin tükettiği enerji elastik ve plastik enerji olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Yapı sisteminin elastik davranış gösteren bölgesinde sistemin tükettiği enerji elastik enerjidir ve bu bölgede dış yüklemenin kaldırılmasıyla enerji geri dönebilmektedir. Ancak artan yüklere bağlı olarak yapının veya yapı elemanlarının doğrusal ötesi davranışı ile geri dönüşü olmayan bir enerji tüketimi meydana gelmektedir. Kalıcı şekil değiştirmeler ve hasarla ilişkili olan bu enerjiye plastik enerji adı verilir.

3.1. Betonarme Çerçeve Yapının Doğrusal Olmayan Davranışta Tükettiği Plastik Enerjinin Hesaplanması

Tez çalışmasında, çerçeve türü betonarme yapıların zaman tanım alanında doğrusal olmayan statik itme ve dinamik analizlerinin yapılabildiği ve bu analizler sonucunda bu yapıların tükettiği plastik enerjilerin hesaplanabildiği bir program MATLAB ortamında geliştirilmiştir. Geliştirilen programa veri girişi, Microsoft Excel programında hazırlanan veri dosyaları aracılığıyla yapılmaktadır. Düzlem betonarme çerçevenin elemanların düğüm noktasının koordinatları, elemanların enkesit özellikleri (fiber elemanların alanları ve koordinatları, fiber elemanların malzeme türü, boyuna donatı alanları ve enine donatı oranı, sargı aralığı), elemanların bölüneceği integrasyon sayısı, sistemin dinamik analizlerinde kullanılacak ivme zaman aralığı bilgisi, sönüm oranı, sönüm matrisinin elde edilmesinde kullanılacak periyot değerleri ve yapı elemanlarına etkiyen yükler bu data dosyası içerisinde bulunmaktadır. Sözü geçen bu bilgileri, kullanıcının dosyaya işlemesi gerekmektedir. Deprem ivme kaydı zaman tanım alanında dinamik analizlerde bir adet metin dosyası (.txt) ile programa dâhil edilmektedir.

Zaman tanım alanında ve statik itme analizlerinde yapılan başlıca kabuller şu şekildedir:

- ❖ Çerçeve sistemine etkiyen düşey tasarım yükleri ve moment etkileri düğüm noktalarına taşınmıştır.
- ❖ Çerçeve sisteminin kütlelerinin düğüm noktalarında toplandığı kabul edilmiştir.
- ❖ Çerçeve sistemin yapı elemanları boyunca sabit boyuna ve enine donatı özellikleri olduğu kabul edilmiştir.
- ❖ Zaman tanım alanındaki analizlerde deprem kuvvetleri düğüm noktalarına etkitilmiştir.
- ❖ Çalışma kapsamında yapılan analizlerde malzeme bakımından doğrusal olmayan davranış göz önüne alınmakta ve düzlem betonarme çerçevelerin yapı elemanları belirli integrasyon bölgelerine ayrılarak kesit bazında fiber olarak modellenmektedir.
- ❖ Yapı elemanının dış yükler altında, her bir bölgesinin betonarme kesitin üretebileceği tepki kuvveti doğrudan fiber elemanların gerilme-şekil değiştirme grafikleri üzerinden elde edilmektedir.
- ❖ Kuvvet tabanlı analiz yöntemi tercih edilmiştir.
- ❖ Betonarme kesitin birim şekil değiştirmeleri hesabında Bernoulli – Navier Hipotezi temel alınarak kesit eğriliği üzerinden birim şekil değiştirme (ϵ) diyagramı hesaplanmaktadır.
- ❖ Gauss Lobatto sayısal integrasyon yöntemi kullanılarak dış yükleme sonucu meydana gelen ve bünye fonksiyonlarından elde edilen kesit iç kuvvetleri eleman uç kuvvetlerine dönüştürülmektedir.
- ❖ Filippou vd. [62] tarafından geliştirilen bir yakınsama yöntemi kullanılarak kesit içerisindeki iç kuvvet-dış kuvvet dengesi sağlanmıştır.
- ❖ Newton-Raphson methodu ile eleman uç dış kuvvet-iç kuvvet dengesinin yakınsaması gerçekleştirilmiştir.
- ❖ Zaman tanım alanında yapılan sayısal çözümleme de Newmark-beta [63] yöntemi tercih edilmiştir.
- ❖ Betonarme kesitin sargılı ve sargısız betonun malzemesinde gerilme-birim şekil değiştirme ilişki grafiği olarak Mander Beton Modeli [64] tercih edilmiştir.
- ❖ Çelik donatı malzemesinin gerilme - birim şekil değiştirme ilişkisi iki doğrulu lineer (pekleşmeli) olarak dikkate kabul edilmiştir. Pekleşme etkisi göz önüne alınmıştır.
- ❖ Sargılı ve sargısız beton malzemesinin tekrarlı yükler altındaki çevrimsel davranışında Karsan ve Jirsa [65] tarafından sargılı ve sargısız beton modelleri kullanılmıştır.
- ❖ Çalışma kapsamında elde edilen söz konusu kesit plastik enerji, plastik şekil değiştirmeye geçen fiber elemanlardan elde edilmektedir.

- ❖ Çalışma kapsamında beton malzemesi ile çeliğin tamamen kenetlendiği kabul edilmiştir.

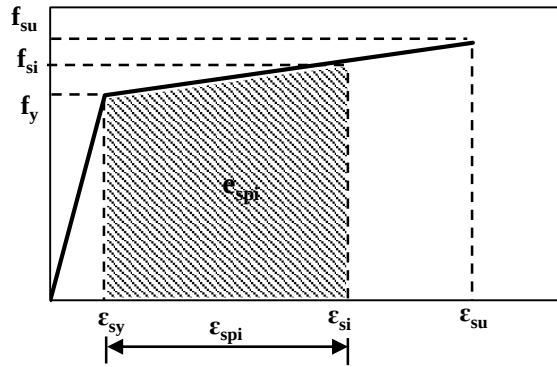
Zaman tanım alanında ve statik itme analizlerinde bulunan sistemin yer ve şekil değiştirmelere bağlı olarak hesaplanan plastik enerjinin elde edilmesinde yapılan kabuller şu şekildedir:

- ❖ Her bir yapı elemanının her bir integrasyon bölgesindeki betonarme kesitin tükettiği plastik enerji, kesitte doğrusal olmayan davranışa geçmiş sargılı-sargısız beton ve çelik liflerin gerilme-şekil değiştireme grafikleri üzerinden hesaplanmaktadır. Her bir yapı elemanı ait tüm integrasyon bölgelerinde hesaplanan plastik enerji değeri toplanarak, o yapı elemanının tükettiği enerji ve yapı elemanları toplanarak da sistemin tükettiği plastik enerji elde edilmektedir.
- ❖ Betonarme yapı elemanların kesitlerinde doğrusal olmayan davranışında tüketilen plastik enerjinin belirlenmesinde, çelik donatıları ile beton malzemesi plastik enerjiye katkısı skaler olarak toplanarak elde edilmektedir.
- ❖ Betonarme kesitlerde tüketilen plastik enerjinin hesaplanmasında doğrudan malzeme birim şekil değiştirmelerinden yararlanılmaktadır.
- ❖ Betonun malzemesinin plastik enerjiye katkısı sargılı ve sargısız betonun katkıları sayısal olarak toplanarak bulunmaktadır.
- ❖ Plastik enerji hesapları öncelikle betonarme kesitin birim birim boyu dikkate alınarak yapılmakta ve ardından ait olduğu bölgenin toplam uzunluğu için gerçekleştirilmektedir.
- ❖ Sargılı ve sargısız beton malzemesinin plastik enerjiye katkısı hesaplanırken, betonun elastiklik sınırın aşmış olan elastik ötesi birim şekil değiştirmeleri dikkate alınmaktadır.
- ❖ Donatıların akma birim şekil değiştirmesini geçmiş bölgesinin plastik enerjiye katkı sunduğu kabul edilmiştir.
- ❖ Plastik enerjiye enine donatıların katkısı, sargılı betonun davranışı ile dolaylı olarak dikkate alınmaktadır.
- ❖ Plastik enerjiye kesme kuvvetlerinin herhangi bir etkisinin olmadığı varsayılmıştır.

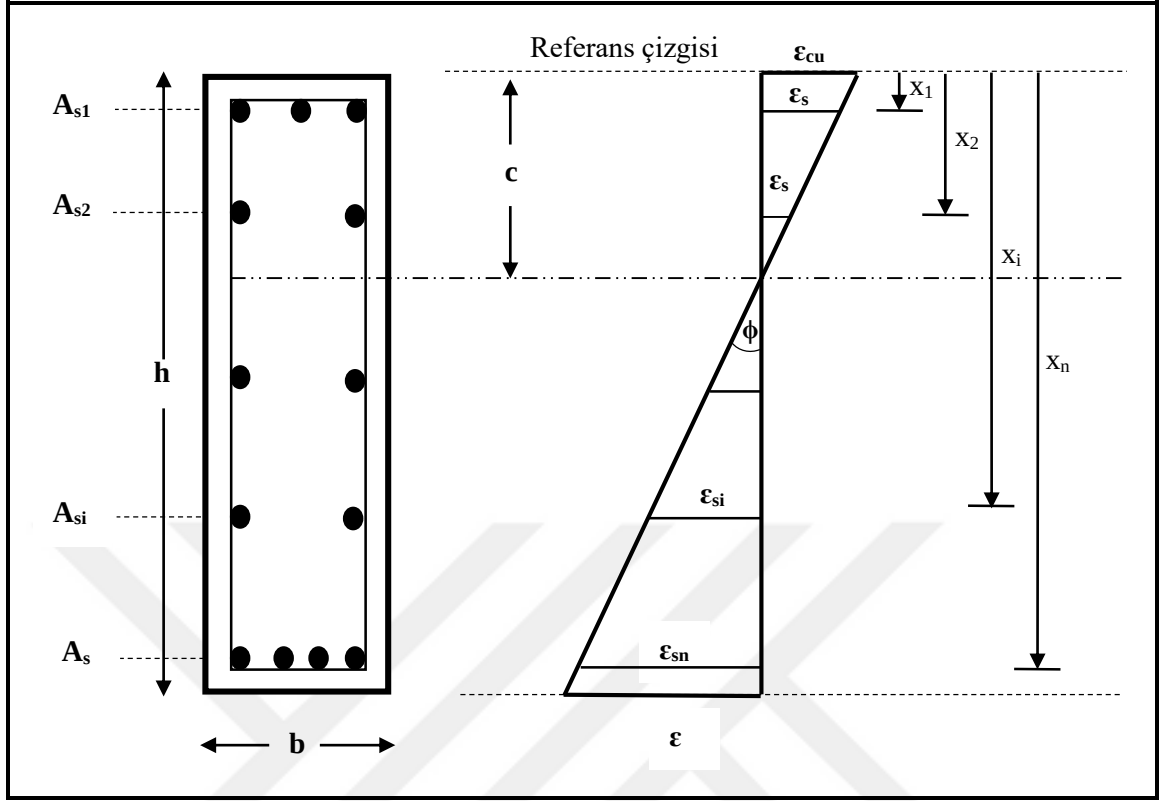
Tez çalışması kapsamında dış yüklere maruz betonarme çerçevenin kesitlerde tüketilen plastik enerjiyi hesaplanması sonraki bölümlerde detaylandırılacaktır. İlk olarak çelik donatı malzemesinin betonarme kesitte tüketilen plastik enerjiye katkısının hesaplanması anlatılacaktır. Ardından, beton malzemenin plastik enerji tüketimine sağladığı katkının hesap adımları verilecektir. Böylece betonarme kesitin toplam plastik enerjisi elde edilecektir.

3.1.1. Betonarme Elemanların Plastik Enerji Tüketiminde Çelik Donatı Malzemenin Katkısı

Fiber olarak modellenmiş betonarme bir çerçevenin dış yükleme altında yapı elemanları kesitlerinde çelik donatılar tarafından tüketilen plastik enerjinin hesaplanmasında, çalışma kapsamında iki doğrulu pekleşmeli (bi-lineer) gerilme – birim şekil değiştirme (f_s - ϵ_s) ilişkisinden faydalanılmıştır (Şekil 3.1). Dış yüke maruz betonarme kesitteki donatı çeliklerinde elastik ötesi birim şekil değiştirmeye geçmiş olan fiber elemanların gerilme – birim şekil değiştirme grafiği üzerinden enerji denklemlerine geçiş yapılmaktadır. Şekil 3.1’de verilen çelik donatının idealleştirilmiş iki doğrulu (pikleşmeli) gerilme – birim şekil değiştirme grafiğinde; ϵ_{sy} : donatı çeliği akma birim şekil değiştirmesi, f_y : donatı çeliği akma gerilmesi, ϵ_{si} : herhangi bir seviyede bulunan ve elastik ötesi davranışta bulunduğu kabul edilen donatıların birim şekil değiştirmesi, ϵ_{su} : donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi ve ϵ_{spi} : herhangi bir i. Seviyesinde bulunan donatıların plastik birim şekil değiştirmeleri ifade etmektedir. Çalışma kapsamında üretilen plastik enerji ifadeleri, Şekil 3.2’de sunulan örnek bir betonarme kesitin dikkate alınmasıyla donatı dizilişi ve kesit birim şekil değiştirme (ϵ) diyagramı üzerinden örneklenecektir. Şekil 3.2’de verilen ve şekil değişimine uğramış bir betonarme çerçevenin herhangi bir örnek betonarme kesitte; b ve h: enkesitin genişliği ve yüksekliği, c: tarafsız eksen mesafesi ve ϕ : kesit pozitif eğrilik değeridir.



Şekil 3.1. Çelik donatını malzemesinin idealleştirilmiş iki doğrulu (pikleşmeli) gerilme – birim şekil değiştirme grafiğinde, elastik (E_e) ve plastik (E_p) enerji tanımlamaları



Şekil 3.2. Dış yüke maruz şekil değişimi yapmış örnek bir betonarme kesit ve kesite ait birim şekil değiştirme (ϵ) diyagramı.

Şekil 3.2’de; $A_{s1}, A_{s2}, \dots, A_{sn}$: $i=1$ ’den n . donatı seviyesine kadar olan boyuna donatıların enkesit alanları ifade etmektedir. Betonarme kesitin eğriliğinden yola çıkılarak elde edilen $\epsilon_{s1}, \epsilon_{s2}, \dots, \epsilon_{sn}$: $i=1$ ’den n . donatı seviyesine kadar olan donatıların birim şekil değiştirme değerlerini simgelemektedir. $x_1, x_2, \dots, x_n$: $i=1$ ’den n . seviyeye kadar boyuna donatıların ağırlık merkezlerinin referans çizgisine göre konumu göstermektedir. Betonarme kesitin plastik enerji denklemlerinin türetilmesinde esas alınan Şekil 3.2’de gösterilen birim şekil değiştirme (ϵ) diyagramı, Bernoulli – Navier hipotezi esas alınarak hesaplanmaktadır.

Dış yükleme etkisi sonucu şekil değiştirmiş betonarme kesitinde çelik donatı malzemenin birim şekil değiştirme diyagramından (Şekil 3.1) yola çıkılarak birim hacminde tüketilen plastik enerji miktarı ($U_{p,donatı}$):

$$U_{sp} = (\epsilon_{s1} - \epsilon_{sy}) (f_{s1} + f_y)/2 + (\epsilon_{s2} - \epsilon_{sy}) (f_{s2} + f_y)/2 + \dots + (\epsilon_{s(n-1)} - \epsilon_{sy}) (f_{s(n-1)} + f_y)/2 + (\epsilon_{sn} - \epsilon_{sy}) (f_{sn} + f_y)/2 \quad (3.1)$$

eşitliği şeklinde elde edilebilir. Denklem (3.1) ifadesinde yer alan $f_{s1}, f_{s2}, \dots, f_{s(n-1)}, f_{sn}$: $i=1$ ’den n . seviyeye kadar olan ve elastik ötesi davranışa geçmiş plastik bölgede bulunan donatıların

gerilme değerlerini ifade etmektedir. Burada f_y : donatı çeliği akma gerilmesi ve ϵ_{sy} : donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesidir. İfade yer alan $\epsilon_{s1}, \epsilon_{s2}, \dots, \epsilon_{s(n-1)}, \epsilon_{sn}$: $i=1$ 'den n . seviyeye kadar olan ve elastik ötesi davranışa geçmiş plastik bölgede bulunan donatıların birim şekil değiştirme değerleridir. Analiz yöntemlerinin kabullerinde de yazıldığı üzere; plastik birim şekil değiştirme yapmayan yani akma birim şekil değiştirmesini geçmeyen çelik donatıların plastik enerjiye bir katkısı olmayacaktır. Kesitte herhangi bir i . seviyede bulunan donatıların plastik birim şekil değiştirmeleri ϵ_{spi} ile gösterilirse;

$$\epsilon_{spi} = (\epsilon_{si} - \epsilon_{sy}) \quad (3.2)$$

eşitliği yazılabilir. Denklem (3.2)'de belirtilen plastik birim şekil değiştirme ifadelerinin Denklem (3.1) eşitliğinde tekrardan yerine yazılmasıyla;

$$U_{sp} = (\epsilon_{sp1}) (f_{s1} + f_y)/2 + (\epsilon_{sp2}) (f_{s2} + f_y)/2 + \dots + (\epsilon_{sp(n-1)}) (f_{sp(n-1)} + f_y)/2 + (\epsilon_{spn}) ((f_{sn} + f_y)/2) \quad (3.3)$$

eşitliği elde edilir. Denklem (3.1) ve Denklem (3.3) denklemlerinin düzenlenmiş halleri Denklem (3.4) eşitliği ile verilmektedir.

$$U_{sp} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \epsilon_{spi} (f_{si} + f_y) \quad (3.4)$$

Denklem (3.4) dış yükleme altında şekil değiştirmiş betonarme bir kesitteki elastik ötesi davranışa geçmiş çelik donatıların birim hacminde tüketilen toplam plastik enerji miktarını vermektedir. Betonarme çerçevelerde özellikle aksenal kuvvetin az olduğu ve basit eğilme davranışının hâkim olduğu yapı elemanlarında (kirişlerde) gevrek davranışlı beton malzemeden tüketilen enerjiye gelen katkı oldukça az olmaktadır. Bu durumda çelik donatılar tarafından tüketilen plastik enerji değeri tüm kesitte tüketilen toplam plastik enerjiye yaklaşık eşit olarak kabul edilebilmektedir.

Betonarme kesitte çelik donatının birim hacmindeki plastik enerji (U_{sp}) ifadesinin donatıların enkesit alanı “ dA ” üzerinden integre edilmesiyle birim uzunluğunda (birim boyunda) tüketilen plastik enerji (e_{sp}), Denklem (3.5) ve Denklem (3.6) nolu ifadelerdeki gibi yazılabilir. Denklem (3.5) eşitliği en genel ifade olup, gerekli düzenlemelerin yapılması ile denklem (3.6)'daki gibi elde edilebilir

$$e_{sp} = \int U_{sp} dA \quad (3.5)$$

$$e_{sp} = \int \left(\sum_{i=1}^n (\varepsilon_{si} - \varepsilon_{sy}) \right) (f_{si} + f_y) / 2 dA = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \varepsilon_{spi} (f_{si} + f_y) A_{si} \quad (3.6)$$

Betonarme kesitteki donatı çeliklerinin enerji denklemlerinin birim hacmi ve birim uzunluğu için türetilmesinin ardından, fiber olarak modellenmiş ve doğrultusu boyunca belirli integrasyon bölgelerine ayrılmış betonarme kesitlerde doğrusal olmayan davranışta tüketilen toplam plastik enerji ($E_{sp, bölge}$) şu şekilde ifade edilebilir:

$$E_{sp, kesit} = \sum_{s=1}^m e_{spi} l_s \quad (3.7)$$

Burada; l_s : enkesiti fiber olarak modellenmiş yapı elemanının uzunluğu doğrultusunda bölünmüş integrasyon bölgelerinin uzunluğunu temsil etmektedir. Yapı elemanının doğrusal olmayan davranışa geçen tüm bölgelerinde tüketilen plastik enerji toplanarak kesitin tükettiği toplam plastik enerji hesaplanmaktadır. Betonarme elemanda çelik donatıların tükettiği toplam plastik enerjisi en genel halde denklem (3.8) ile ifade edilir.

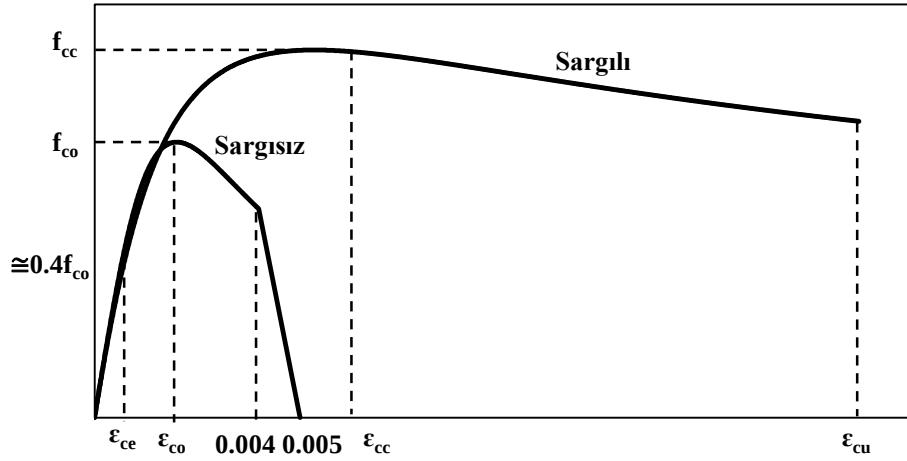
$$E_{sp, kesit} = \sum_{s=1}^m l_s \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \varepsilon_{spi} (f_{si} + f_y) A_{si} \quad (3.8)$$

3.1.2. Betonarme Elemanların Plastik Enerji Tüketiminde Beton Malzemenin Katkısı

Çalışma kapsamında geliştirilen yöntemde plastik enerji tüketim hesabına sargılı ve sargısız betonun şekil değişimi ile tükettiği enerji de dâhil edilmektedir. Özellikle eksenel kuvvet etkisiyle bileşik eğilmenin hâkim olduğu betonarme yapı elemanların doğrusal olmayan davranışta beton malzemesinin tükettiği enerjinin plastik enerjiye katkısı önem kazanmaktadır. Çerçeve sistemin betonarme kesitlerinde artan eksenel yük etkisiyle beton malzemesi ezilmekte ve betonun basınç liflerinde birim şekil değiştirmeleri artmaktadır. Denklem (3.9) nolu eşitlikte e_p : şekil değişimine uğramış betonarme bir kesitin birim uzunluğunda tüketilen toplam plastik enerjiyi (en genel ifade) göstermektedir. “ e_{sp} ” donatının ve “ e_{cp} ” ise betonun plastik enerjiye katkısını vermektedir.

$$e_p = e_{sp} + e_{cp} \quad (3.9)$$

Çalışmada betonarme kesitin sargılı ve sargısız beton malzemesinin gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi için Mander Beton Modeli [63] modeli dikkate alınmıştır. Şekil 3.3’de Mander beton modeline ait basınç davranışındaki gerilme – birim şekil değiştirme (f_c - ϵ_c) ilişkisi gösterilmektedir. Burada; f_{cc} ve f_{co} : sırasıyla sargılı ve sargısız betonun basınç dayanımını ifade etmektedir. ϵ_{cu} : Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekil değiştirmesi ve ϵ_{cc} ve ϵ_{co} : sargılı ve sargısız betonda maksimum dayanıma karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleridir. Tez çalışması kapsamında oluşturulacak betonarme çerçevelerin beton malzemesinin gerilme-birim şekil değiştirmelerinin bu modele uygun olduğu kabulü ile beton malzemenin tüketilen plastik enerjiye olan katkısı hesaplanmıştır.



Şekil 3.3. Mander (sargılı ve sargısız) beton modeli, gerilme – birim şekil değiştirme ilişkisi [63]

Betonarme kesitte tüketilen plastik enerjiye betonun katkısı hesaplanırken, elastik ötesi birim şekil değiştirmelere geçen beton lifleri dikkate alınmaktadır. Elastiklik sınırının altındaki değerler hesaba katılmamaktadır. Şekil 3.3’de verilen betonun gerilme – birim şekil değiştirme diyagramında ϵ_{ce} : elastik birim şekil değiştirme sınırı değeridir. Bu sınırın altında kalan birim şekil değiştirmeler kesitin yalnızca elastik enerjisine katkı sağlayacaktır. Normal dayanımlı betonun elastik bölgesi yaklaşık $(0,30-0,40)f_{co}$ aralığında bulunmakta (Neville [66]) ve bu değere karşı gelen birim şekil değiştirmenin altında kalan elastik değerler için plastik enerji hesabı yapılmamaktadır.

Sargısız betonun enerjiye katkısının hesaplanmasının gösterimi için Şekil 3.4’de fiber olarak modellenmiş örnek bir betonarme enkesit verilmiştir. Betonarme kesitte sargısız beton alanları uygun sayıda liflere bölünmüştür ve her bir lifin ağırlık merkezindeki F_c basınç kuvveti ve ϵ_{cj} lif ağırlık merkezindeki beton birim şekil değiştirme değerleri gösterilmiştir. Çalışma kapsamında sargısız beton için SSB, sargılı beton için SLB indisleri kullanılmaktadır.

Modeli (Şekil 3.3) kullanılarak sargısız beton liflerindeki gerilme değerleri elde edilmektedir. Tez kapsamında ayrıca sargısız beton malzemesinin yaklaşık $0.40f_{co}$ gerilmesine karşılık gelen birim şekil değiştirme değeri sargısız betonun elastik ötesi davranışa geçme sınırı olarak kabul edilmektedir. İfade yer alan $\epsilon_{c1,SS}, \epsilon_{c2,SS}, \dots, \epsilon_{c(r-1),SS}, \epsilon_{sr,SS}$; $j=1$ 'den r . seviyeye kadar olan ve elastik ötesi davranışa geçmiş plastik bölgede bulunan sargısız beton liflerin birim şekil değiştirme değerleridir. Analiz yöntemlerinin kabullerinde de yazıldığı üzere; plastik birim şekil değiştirme yapmayan yani akma birim şekil değiştirmesini geçmeyen sargısız beton malzemesinin plastik enerjiye bir katkısı olmayacaktır. Kesitte herhangi bir i . seviyede bulunan sargısız betonun plastik birim şekil değiştirmeleri $\epsilon_{cpj,SS}$ ile gösterilirse;

$$\epsilon_{cpj,SS} = (\epsilon_{cj,SS} - \epsilon_{ce,SS}) \quad (3.11)$$

eşitliği yazılabilir. Denklem (3.11)'de belirtilen plastik birim şekil değiştirme ifadelerinin Denklem (3.10) eşitliğinde tekrardan yerine yazılmasıyla;

$$U_{p,SS \text{ beton}} = (\epsilon_{c1,SS}) (f_{c1,SS} + f_{ce,SS})/2 + (\epsilon_{c2,SS}) (f_{c2,SS} + f_{ce,SS})/2 + \dots \\ + (\epsilon_{cj,SS(n-1)}) (f_{c(j-1),SS} + f_{ce,SS})/2 + (\epsilon_{cj,SSn}) (f_{cj,SS} + f_{ce,SS})/2 \quad (3.12)$$

eşitliği elde edilir. Denklem (3.10) ve Denklem (3.12) denklemlerinin düzenlenmiş halleri Denklem (3.13) eşitliği ile verilmektedir.

$$U_{p,SS \text{ beton}} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^r \epsilon_{cpj,SS} (f_{cj,SS} + f_{ce,SS}) \quad (3.13)$$

Betonarme kesitte sargısız beton malzemesinin birim uzunluğunda (birim boyunda) tüketilen plastik enerji ($e_{cp,SS}$), birim hacmin plastik enerji ($U_{p,SS \text{ beton}}$) ifadesinin sargısız beton liflerin alanı “ dA ” üzerinden integre edilmesiyle Denklem (3.14) ve Denklem (3.15) nolu ifadelerdeki gibi elde edilebilir ve eşitliği en genel ifadesi olup, gerekli düzenlemelerin yapılması ile denklem (3.15)'daki gibi yazılabilir

$$e_{cp,SS} = \int U_{p,SS \text{ beton}} dA \quad (3.14)$$

$$\begin{aligned}
e_{cp,SS} &= \int \sum_{j=1}^r (\epsilon_{cj,SS} - \epsilon_{ce,SS}) (f_{cj,SS} + f_{ce,SS}) / 2 \, dA \\
&= \frac{1}{2} \sum_{j=1}^r \epsilon_{cpj,SS} (f_{ci,SS} + f_{ce,SS}) A_{cj,SS}
\end{aligned} \tag{3.15}$$

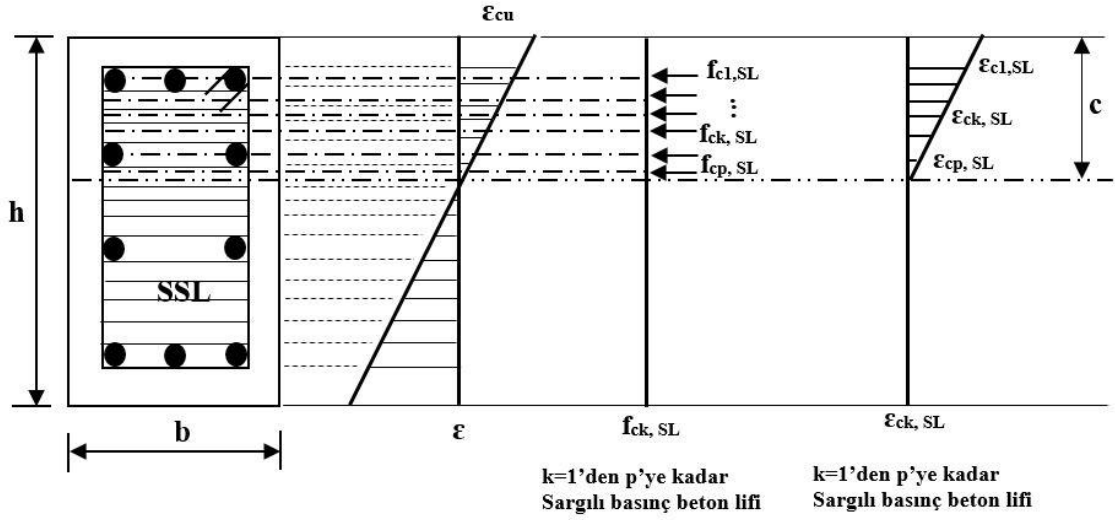
Enerji denklemlerinin sargısız beton malzemesinin birim hacmi ve birim uzunluğu için türetilmesinin ardından, fiber olarak modellenmiş ve doğrultusu boyunca belirli integrasyon bölgelerine ayrılmış betonarme kesitlerde doğrusal olmayan davranışta tüketilen toplam plastik enerji ($E_{cp,SS}$ bölge) şu şekilde ifade edilebilir:

$$E_{cp,SS \text{ kesit}} = \sum_{s=1}^m e_{cps,SS} l_s \tag{3.16}$$

Burada; l_s : enkesiti fiber olarak modellenmiş yapı elemanının uzunluğu doğrultusunda bölünmüş integrasyon bölgelerinin uzunluğunu temsil etmektedir. Yapı elemanının doğrusal olmayan davranışa geçen tüm bölgelerinde tüketilen plastik enerji toplanarak kesitin tükettiği toplam plastik enerji hesaplanmaktadır. Betonarme elemanın kesitinde sargısız betonun toplam plastik enerjisi en genel halde denklem (3.17) ile ifade edilir.

$$E_{cp,SS \text{ kesit}} = \sum_{s=1}^m l_s \frac{1}{2} \sum_{j=1}^r \epsilon_{cpj,SS} (f_{cj,SS} + f_{ce,SS}) A_{cj,SS} \tag{3.17}$$

Betonarme kesitte tüketilen plastik enerjiye bir diğer katkı beton malzemesinin sargılı beton bölümünden gelmektedir. Bu katkının hesabı için betonarme kesitin etriye içerisinde kalan bölgesi Şekil 3.5’de görüldüğü uygun sayıda liflere bölünmektedir. Dış yükleme altında şekil değişimine uğramış betonarme kesitin sargılı liflerinde tükettiği plastik enerjisi hesaplanarak toplam tüketilen enerjiye katkısı eklenmektedir. Şekil 3.5’deki fiber olarak modellenmiş örnek betonarme kesitte, sargılı betonun “p” adet basınç lifine ayrıldığı temsili olarak gösterilmektedir. Şekil değişimine bağlı olarak betonarme kesitin eğriliği üzerinden Bernoulli - Navier hipotezi kullanarak her bir lifin şekil değiştirme değerleri ($\epsilon_{ck,SL}$) elde edilmekte ve sargılı beton için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)’de de yer alan (TBDY, 2018) Mander (Sargısız) Beton Modeli (Şekil 3.3) kullanılarak sargılı beton liflerindeki gerilme değerleri ($f_{ck,SL}$) hesaplanmaktadır ($\epsilon_{c1,SL}, \dots, \epsilon_{cp,SL}$: $k=1$. liften $j=p$. basınç lifine kadar birim şekil değiştirme değerleri ve SL =sargılı beton için konulan indistir).



Şekil 3.5. Fiber olarak modellenmiş bir betonarme kesitte sargılı betonun liflere ayrılmış hali, şekil değişimi sonucu kesit birim şekil değiştirme diyagramı, basınç bölgesi sargılı beton liflerinin ağırlık merkezindeki kuvvet ve birim şekil değiştirme diyagramı

Dış yükleme etkisi sonucu şekil değiştirmiş betonarme kesitinde bulunan sargılı betonun birim hacminde tüketilen plastik enerji miktarı ($U_{p,SL \text{ beton}}$), kesitin birim şekil değiştirme diyagramından (Şekil 3.5) yola çıkılarak;

$$U_{p,SL \text{ beton}} = (\epsilon_{c1,SL} - \epsilon_{ce,SL}) (f_{c1,SL} + f_{ce,SL})/2 + (\epsilon_{c2,SL} - \epsilon_{ce}) (f_{c1,ss} + f_{ce,ss})/2 + \dots + (\epsilon_{c(k-1),SL} - \epsilon_{ce,SL}) (f_{c(k-1),ss} + f_{ce,SL})/2 + (\epsilon_{ck,SL} - \epsilon_{ce,SL}) (f_{ck,SL} + f_{ce,SL})/2 \quad (3.18)$$

şeklinde yazılabilir. Denklem (3.10) ifadesinde yer alan $f_{c1,ss}$, $f_{c2,ss}, \dots, f_{c(k-1),ss}$, $f_{ck,ss}$: $k=1$ 'den p . seviyeye kadar olan ve elastik ötesi davranışa geçmiş plastik bölgede bulunan sargılı beton liflerin gerilme değerlerini ifade etmektedir. Burada $f_{ce,SL}$: sargılı betonun kabul edilen elastik gerilme değeri ve $\epsilon_{ce,SL}$: sargılı betonun elastik birim şekil değiştirmesidir. Tez kapsamında sargılı beton malzemesinin yaklaşık $0.40f_{cc}$ gerilmesine karşılık gelen birim şekil değiştirme değeri sargılı betonun elastik ötesi davranışa geçme sınırı olarak kabul edilmektedir. İfade yer alan $\epsilon_{c1,SL}$, $\epsilon_{c2,SL}, \dots, \epsilon_{c(k-1),SL}$, $\epsilon_{sk,SL}$: $k=1$ 'den p . seviyeye kadar olan ve elastik ötesi davranışa geçmiş plastik bölgede bulunan sargılı beton liflerin birim şekil değiştirme değerleridir. Analiz yöntemlerinin kabullerinde de yazıldığı üzere; plastik birim şekil değiştirme yapmayan yani akma birim şekil değiştirmesini geçmeyen sargısız beton malzemesinin plastik enerjiye bir katkısı olmayacaktır. Kesitte herhangi bir k . seviyede bulunan sargısız betonun plastik birim şekil değiştirmeleri $\epsilon_{cki,SL}$ ile gösterilirse;

$$\varepsilon_{cpk,SL} = (\varepsilon_{ck,SL} - \varepsilon_{ce,SL}) \quad (3.19))$$

eşitliği yazılabilir. Denklem (3.19)'de belirtilen plastik birim şekil değiştirme ifadelerinin Denklem (3.18) eşitliğinde tekrardan yerine yazılmasıyla;

$$U_{p,SL \text{ beton}} = (\varepsilon_{cp1,SL}) (f_{c1,SL} + f_{ce,SL})/2 + (\varepsilon_{cp2,SL}) (f_{c2,SL} + f_{ce,SL})/2 + \dots + (\varepsilon_{cp(p-1),SL}) (f_{c(p-1),SL} + f_{ce,SL})/2 + (\varepsilon_{cpp,SL}) (f_{cp,SL} + f_{ce,SL})/2 \quad (3.20)$$

eşitliği elde edilir. (3.18) ve (3.20) denklemlerinin düzenlenmiş halleri

$$U_{p,SL \text{ beton}} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^p \varepsilon_{cpk,SL} (f_{ck,SL} + f_{ce,SL}) \quad (3.21)$$

eşitliği ile verilmektedir. Betonarme kesitte sargılı beton malzemesinin birim uzunluğunda (birim boyunda) tüketilen plastik enerji ($e_{cp,SL}$), birim hacmin plastik enerji ($U_{p,SL \text{ beton}}$) ifadesinin sargılı beton liflerin alanı “dA” üzerinden integre edilmesiyle, Denklem (3.22) ve Denklem (3.23) nolu ifadelerdeki gibi elde edilebilir ve eşitliği en genel ifadesi olup, gerekli düzenlemelerin yapılması ile denklem (3.15)'daki gibi yazılabilir

$$e_{cp,SL} = \int U_{p,SL \text{ beton}} dA \quad (3.22)$$

$$\begin{aligned} e_{cp,SL} &= \int \sum_{k=1}^p (\varepsilon_{ck,SL} - \varepsilon_{ce,SL}) (f_{ck,SL} + f_{ce,SL})/2 dA \\ &= \frac{1}{2} \sum_{k=1}^p \varepsilon_{cpk,SL} (f_{ck,SL} + f_{ce,SL}) A_{ck,SL} \end{aligned} \quad (3.23)$$

Enerji denklemlerinin sargılı beton malzemesinin birim hacmi ve birim uzunluğu için türetilmesinin ardından, fiber olarak modellenmiş ve doğrultusu boyunca belirli integrasyon bölgelerine ayrılmış betonarme kesitlerde doğrusal olmayan davranışta tüketilen toplam plastik enerji ($E_{cp,SL \text{ bölge}}$) şu şekilde ifade edilebilir:

$$E_{cp,SL \text{ kesit}} = \sum_{s=1}^m e_{cp,SL} l_s \quad (3.24)$$

Burada; l_s : enkesiti fiber olarak modellenmiş yapı elemanının uzunluğu doğrultusunda bölünmüş integrasyon bölgelerinin uzunluğunu temsil etmektedir. Yapı elemanının doğrusal

olmayan davranışa geçen tüm bölgelerinde tüketilen plastik enerji toplanarak kesitin tükettiği toplam plastik enerji hesaplanmaktadır. Betonarme elemanın kesitinde sargılı betonun toplam plastik enerjisi en genel halde denklem (3.25) ile ifade edilir.

$$E_{cp,SL \text{ kesit}} = \sum_{s=1}^m l_s \frac{1}{2} \sum_{k=1}^p \epsilon_{cpk} (f_{ck,SL} + f_{ce,SL}) A_{ck,SL} \quad (3.25)$$

Dış yük altındaki betonarme bir çerçevenin yapı elemanlarında birim uzunluğunda elastik ötesi şekil değiştirmeler ile tüketilen enerjiye beton malzemesinin katkısı (e_{cp}), sargılı ve sargısız betonun tükettiği plastik enerji katkılarının toplamı olarak şu şekilde yazılabilir.

$$e_{cp} = e_{cp,SS} + e_{cp,SL} \quad (3.26)$$

(3.26) eşitliğinde gerekli ifadelerin ($e_{cp,SS}$ ve $e_{cp,SL}$) yerine yazılmasıyla;

$$e_{cp} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^r \epsilon_{cpj,SS} (f_{cj,SS} + f_{ce,SS}) A_{cj,SS} + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^p \epsilon_{cpk,SL} (f_{ck,SL} + f_{ce,SL}) A_{ck,SL} \quad (3.27)$$

Betonarme kesitin beton malzemesi tarafından tüketilen toplam enerjisi (e_{cp}) sargılı ve sargısız betonun plastik enerjiye katkılarının toplamı olarak hesaplanmaktadır.

3.1.3. Betonarme Kesitlerde Tüketilen Toplam Plastik Enerji

Tez çalışması kapsamında betonarme çerçeve türü yapıların doğrusal olmayan davranışında tüketilebileceği toplam plastik enerjinin elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla betonarme çerçevenin yapı elemanları fiber olarak modellenmekte ve dış yükleme altında şekil değişimi sonucu fiber liflerinde meydana gelen gerilme-birim şekil değiştirmeleri belirlenmektedir. Betonarme kesiti meydana getiren çelik ve sargılı/sargısız beton malzemesinin kabul edilen gerilme- birim şekil değiştirme davranış modellerinden yola çıkarak kesitin ve toplam yapının plastik enerjisi hesaplanmaktadır. Bölüm 3.1.1 ve 3.1.2 nolu alt başlıklarda dış yüklemeye maruz bir betonarme çerçeve elemanın kesitinde çelik donatı ve beton malzemelerinde tüketilen plastik enerjinin nasıl hesaplandığı detaylı bir şekilde açıklanmaktadır. Betonarme çerçevenin herhangi bir kesitin birim uzunluğunda tüketilen toplam plastik enerji Denklem (3.9) ile ifade edilmiştir. Toplam plastik enerji donatı ve beton malzemelerin katkılarının skaler toplamı olarak kabul edilmiştir.

$$e_p = e_{sp} + e_{cp} \quad (3.9)$$

Denklem (3.9)'da yer alan e_{sp} ve e_{cp} ifadeleri çalışmanın ilgili bölümlerinden detaylıca açıklanmaktadır. Birim boy için elde edilen bu plastik enerji değerlerinin en genel ve açık ifadeleri ile yerine konulmasıyla donatı ve beton malzemelerinin toplam tüketime katkısı Denklem (3.28)'de verilmiştir.

$$e_p = \frac{1}{2} [\sum_{i=1}^n \varepsilon_{spi} (f_{si} + f_y) A_{si} + \sum_{j=1}^r f_{cj,SS} (\varepsilon_{cj,SS} - \varepsilon_{ce,SS}) A_{cj,SS} + \sum_{k=1}^p f_{ck,SL} (\varepsilon_{ck,SL} - \varepsilon_{ce,SL}) A_{ck,SL}] \quad (3.28)$$

Denklem (3.28) dış yüke maruz betonarme bir çerçevenin kesitlerinde birim uzunlukta tüketilen toplam plastik enerjiyi vermektedir. Birim uzunlukta tüketilen plastik enerjinin (e_p) elde edilmesinin ardından, kesitin uzunluğu doğrultusundaki her bir bölgedeki doğrusal olmayan davranışta tüketilen plastik enerji toplanarak yapı elemanın tükettiği toplam plastik enerji ($E_{p,kesit}$) enerji:

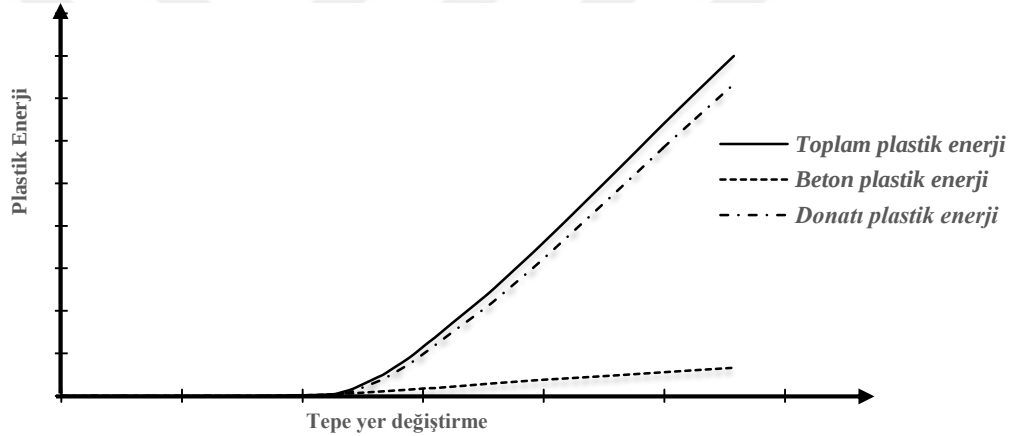
$$E_{p,kesit} = \sum_{s=1}^m l_s \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^n \varepsilon_{spi} (f_{si} + f_y) A_{si} + \sum_{j=1}^r f_{cj,SS} (\varepsilon_{cj,SS} - \varepsilon_{ce,SS}) A_{cj,SS} + \dots + \sum_{k=1}^p f_{ck,SL} (\varepsilon_{ck,SL} - \varepsilon_{ce,SL}) A_{ck,SL} \right] \quad (3.29)$$

denklemini bulunur. Denklem (3.29)'da verilen ifade, betonarme bir çerçevenin doğrusal olmayan davranışında bir elemanda tüketildiği kabul edilen enerjinin denklemdir. Verilen enerji denklemi, tez çalışması kapsamında türetilen ve malzeme birim şekil değiştirme ilişkilerini dikkate alan bir hesap yönteminin sonucudur. Betonarme çerçeve elemanın tüm kesitlerinde tüketilen enerji toplanarak yapının tamamında tüketilen plastik enerji elde edilmektedir.

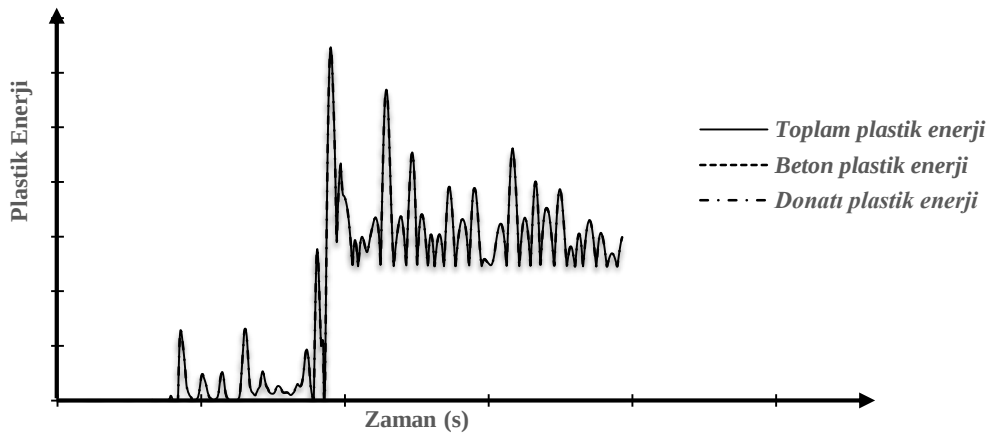
$$E_{p,yapı} = \sum_{z=1}^y E_{p,kesit,z} \quad (3.30)$$

Çalışma kapsamında betonarme çerçeve yapıların doğrusal olmayan davranışta tükettiği plastik enerji, fiber liflerden başlayarak kesit, bölge, yapı elemanı (kolon-kiriş) ve toplamda tüm sistemin olarak elde edilebilmektedir. Statik itme analizleri için elde edilen plastik enerji – yer değiştirme grafiğinden, başlangıçtan kesitin göçme durumundaki (δ_u) yer değiştirme değerine her adımda kesitlerde ve toplamada tüketilen plastik enerjinin değeri elde edilebilmektedir. Zaman

tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizleri için de plastik enerji – zaman grafiğinden, sistemin her zaman biriminde kesitlerde ve toplamda tüketilen plastik enerji elde edilebilmektedir. Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de sırasıyla betonarme bir çerçeve yapının statik itme ve bir deprem yer hareketi kaydı altında zaman tanım alanında analizi için çalışma kapsamında geliştirilen yöntemin kullanılmasıyla bir kiriş elemanında doğrusal olmayan davranışında tüketilen örnek plastik enerji grafikleri ($E_p-\delta/E_p-t$) grafikleri görülmektedir. Kiriş elemanın plastik enerji – tepe yer değiştirme grafiklerinde başlangıçtan belirli bir yer değiştirmeye kadar elastik enerji tüketimi yapmakta plastik enerji tüketimi meydana gelmemektedir. Bu aşamada diyagramın bu kısımlarında plastik enerji değeri sıfır olmaktadır. Ancak artan dış kuvvetle beraber; kesitlerde birim şekil değiştirme değerleri artmaya başlamakta, donatı ve/veya beton malzemelerinin şekil değiştirmeleri elastik sınırlarını aşmasıyla kesitte plastik enerji tüketimi başlamakta ve plastik enerji bölgesine geçilmektedir (Şekil 3.6-Şekil 3.7). Artan yer değiştirme ile birlikte betonarme kesitin plastik enerji tüketimi yükselmektedir.



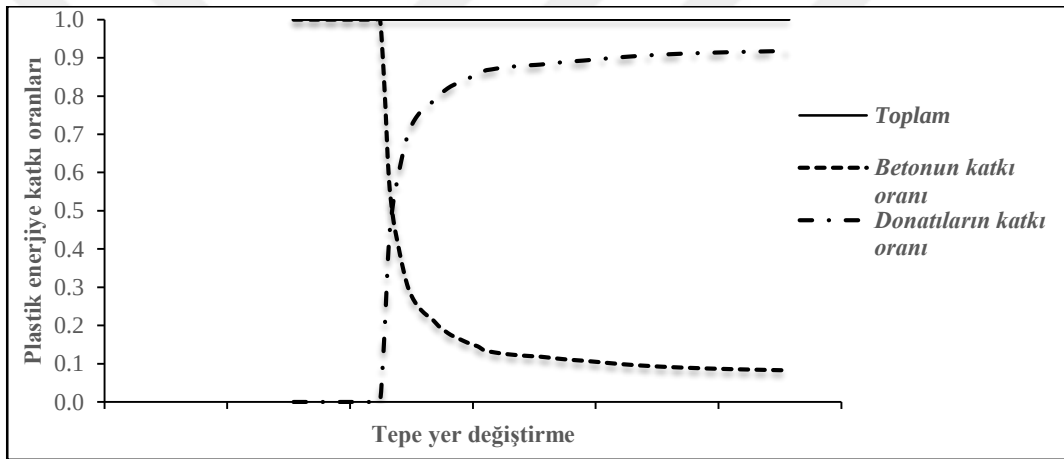
Şekil 3.6. Statik itme analizi altındaki betonarme çerçeve bir yapıdaki bir kiriş elemanın çalışma kapsamındaki yöntem ile elde edilmiş plastik enerji – tepe yer değiştirme ($E_p - \delta$) grafiği



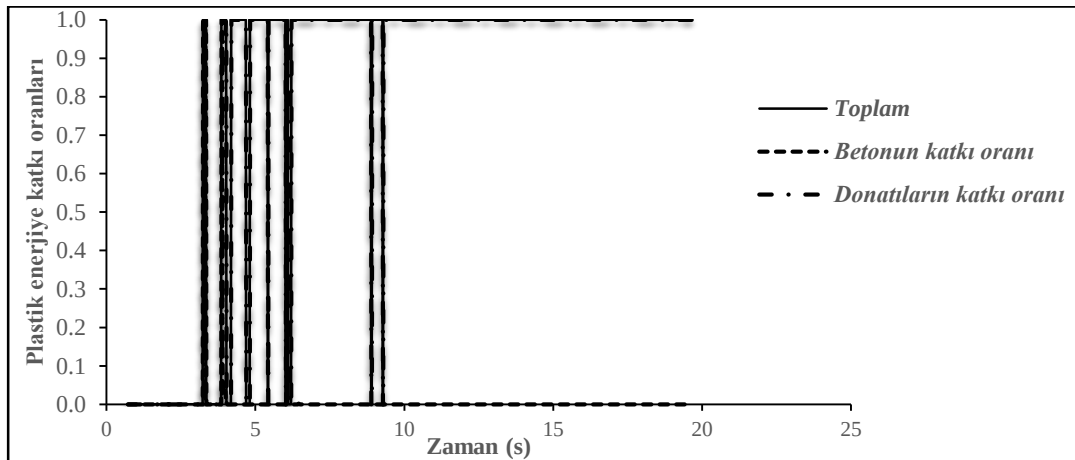
Şekil 3.7. Zaman tanım alanı analizi altındaki betonarme çerçeve bir yapıdaki bir kiriş elemanın çalışma kapsamındaki yöntem ile elde edilmiş plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği

Çalışma kapsamında düzlem betonarme çerçevelerin statik itme ve zaman tanım alanında analizlerinde doğrusal olmayan yapı elamanında ve toplam yapıda tüketilen plastik enerji elde edilebilmektedir. Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'daki grafiklerinde gösterilen plastik enerji çalışma kapsamında Denklem (3.29)'un kullanılması sonucu elde edilmektedir.

Hesaplama, çelik donatı ve beton malzemelerinin katkıları ayrı ayrı hesaplandığından plastik enerji katkı oranları kolayca hesaplanabilmekte ve grafik üzerinde belirtilebilmektedir. Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da; çalışma kapsamında sunulan yöntemin kullanılması ile betonarme bir çerçeve sistemin statik itme ve zaman tanım analizleri altında kiriş elemanı için elde edilen plastik enerji tüketiminde beton ve çelik donatının katkıları, yapı tepe yer değiştirmesine/zamana karşılık sunulmaktadır. Şekillerden de görüldüğü gibi, daha çok eğilme etkisinde olan betonarme kesitlerde artan yer değiştirmelerde plastik enerjiye en büyük katkı sünek davranışının etkisiyle çelik malzemesi tarafından sağlanmaktadır.

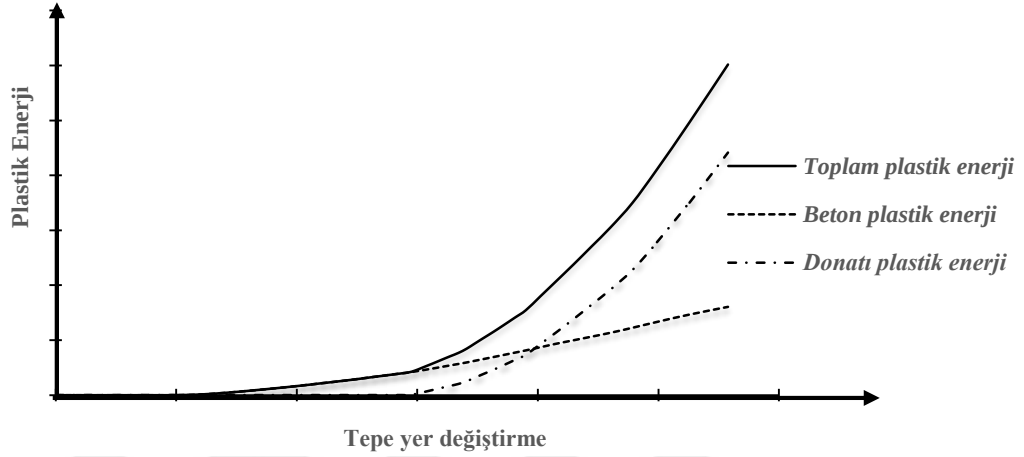


Şekil 3.8. Statik itme analizi altındaki betonarme çerçevedeki bir kiriş elemanında tüketilen plastik enerji malzemelerin katkı oranları grafiği

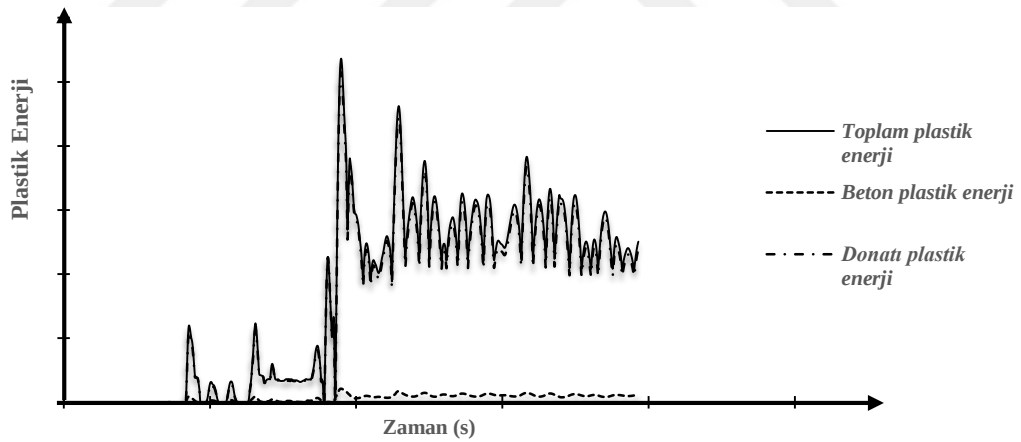


Şekil 3.9. Zaman tanım analizi altındaki betonarme çerçevedeki bir kiriş elemanında tüketilen plastik enerji malzemelerin katkı oranları grafiği

Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de; statik itme ve zaman tanım analizleri altındaki betonarme çerçeve bir yapıdaki bir kolon elemanın çalışma kapsamında sunulan hesap yöntemin kullanılmasıyla doğrusal olmayan davranışında tüketilen plastik enerjinin tepe yer değiştirmesine/zamana göre elde edilmiş örnek ($E_p - \delta/E_p - t$) grafiği verilmektedir. Eksenel kuvvetin etkisiyle yapı elemanında beton malzemenin tükettiği plastik enerjide artış meydana gelmiştir.



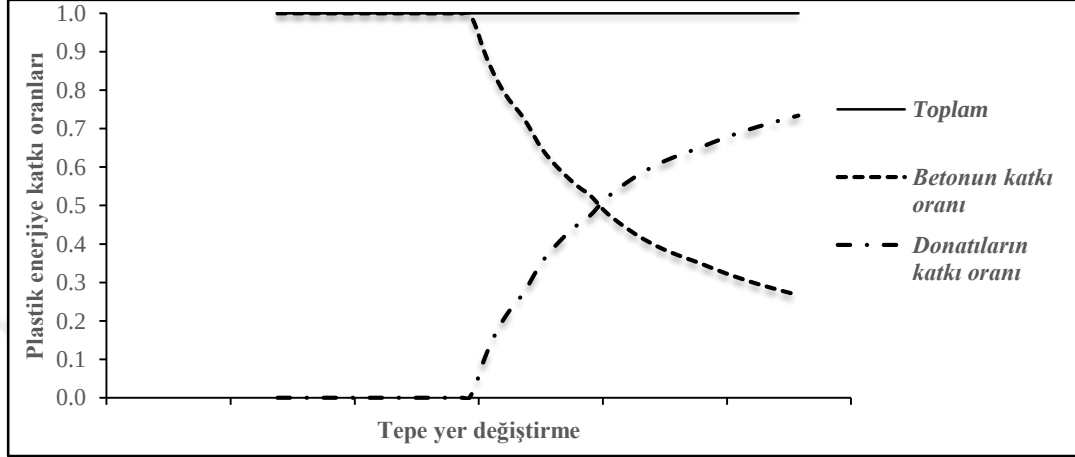
Şekil 3.10. Statik itme analizi altındaki betonarme çerçeve bir yapıdaki bir kolon elemanın çalışma kapsamındaki yöntem ile elde edilmiş plastik enerji – tepe yer değiştirme ($E_p - \delta$) diyagramı



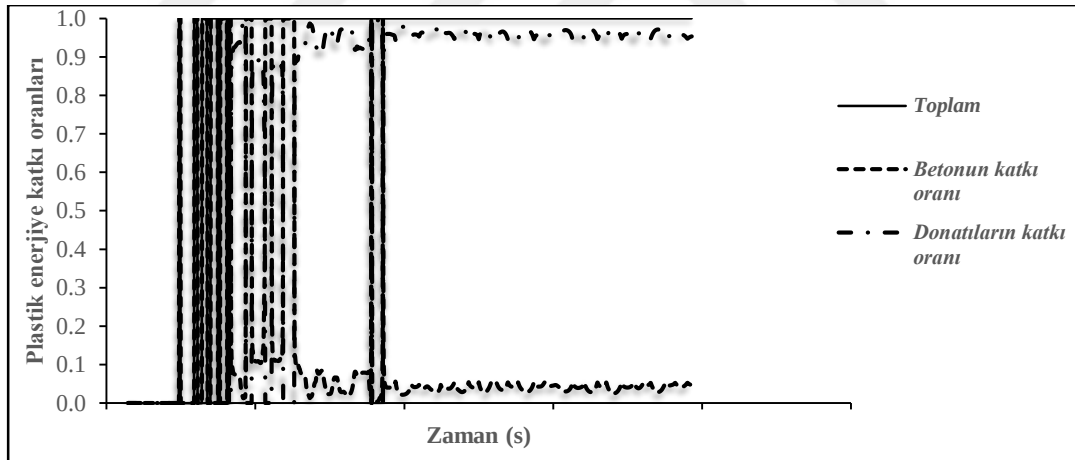
Şekil 3.11. Zaman tanım alanı analizi altındaki betonarme çerçeve bir yapıdaki bir kolon elemanın çalışma kapsamındaki yöntem ile elde edilmiş plastik enerji – zaman ($E_p - t$) diyagramı

Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’de; çalışma kapsamında geliştirilen yöntemin kullanılması ile betonarme bir çerçeve sistemin statik itme ve zaman tanım alanının analizler altında elde edilen kolon elemanında beton ve çelik donatı malzemelerinin plastik enerji tüketimine katkıları, yapı tepe yer değiştirmesine/zamana karşılık sırasıyla sunulmaktadır. Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’den de görüldüğü gibi, eksenel kuvvetin elemanda artışıyla betonun plastik enerjiye katkı oranı artmıştır. Betonarme çerçeve elemanın hem kiriş hem de kolon elemanının plastik enerji grafikleri incelendiğinde donatı çeliğinin elastik birim şekil değiştirme sınırı sargılı ve sargısız beton malzemenin elastik birim şekil

değiştirme değerlerinden daha büyük olduğundan dolayı, çerçevenin düşük yer değiştirme değerlerinde betonun plastik enerji tüketimine sağladığı katkının daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Ancak; artan kuvvetlere bağlı olarak çerçevenin yer değiştirme değerinin artışıyla sünek donatı çelikleri elastiklik sınırını aşılnca, plastik enerjiye daha fazla katkı sağlamaya başlamakta ve betonun katkı oranını geçmektedir.



Şekil 3.12. Statik itme analizi altındaki betonarme çerçevedeki bir kolon elemanında tüketilen plastik enerjiye malzemelerin katkı oranları grafiği

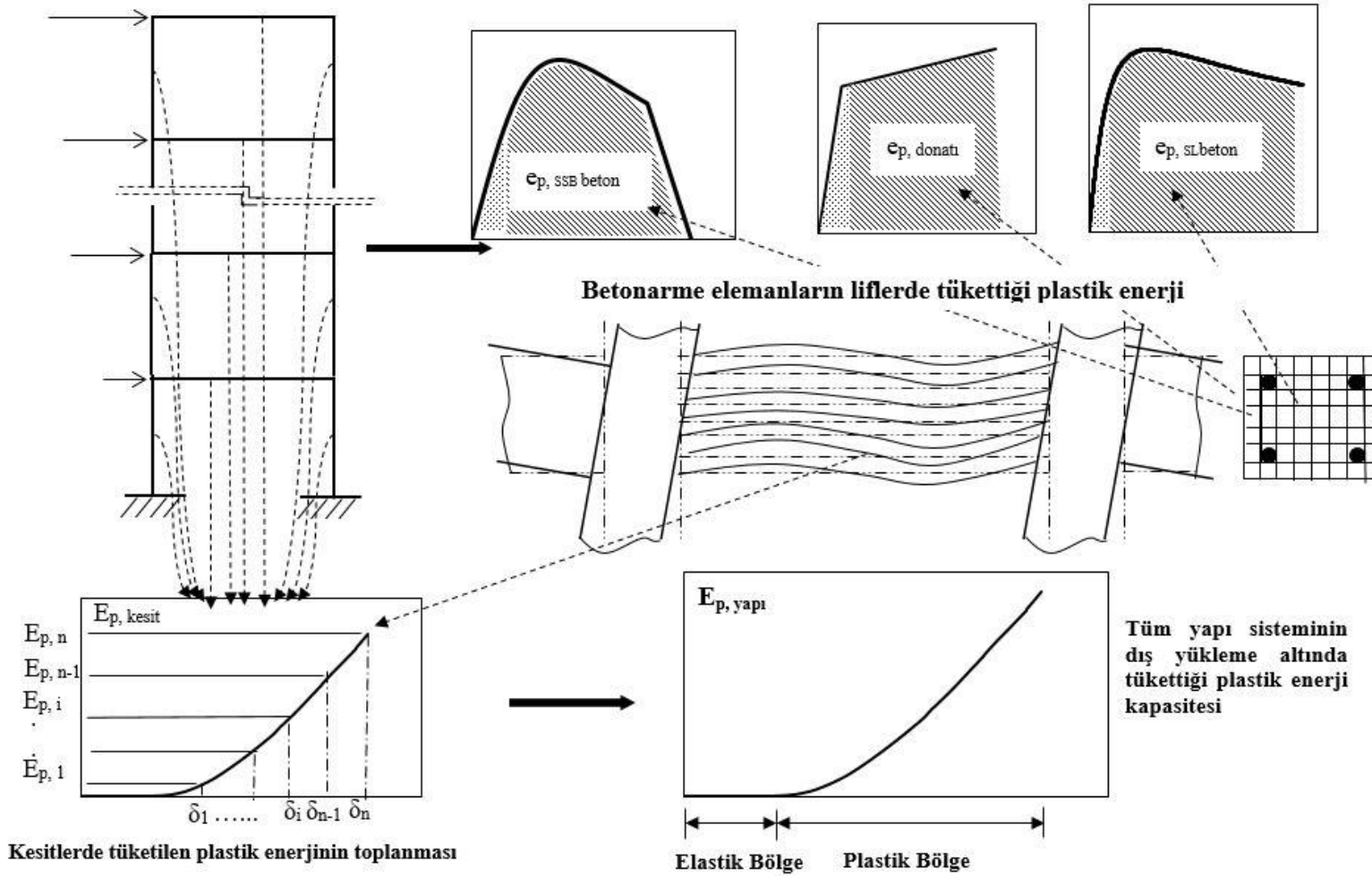


Şekil 3.13. Zaman tanım analizi altındaki betonarme çerçevedeki bir kolon elemanında tüketilen plastik enerjiye malzemelerin katkı oranları grafiği

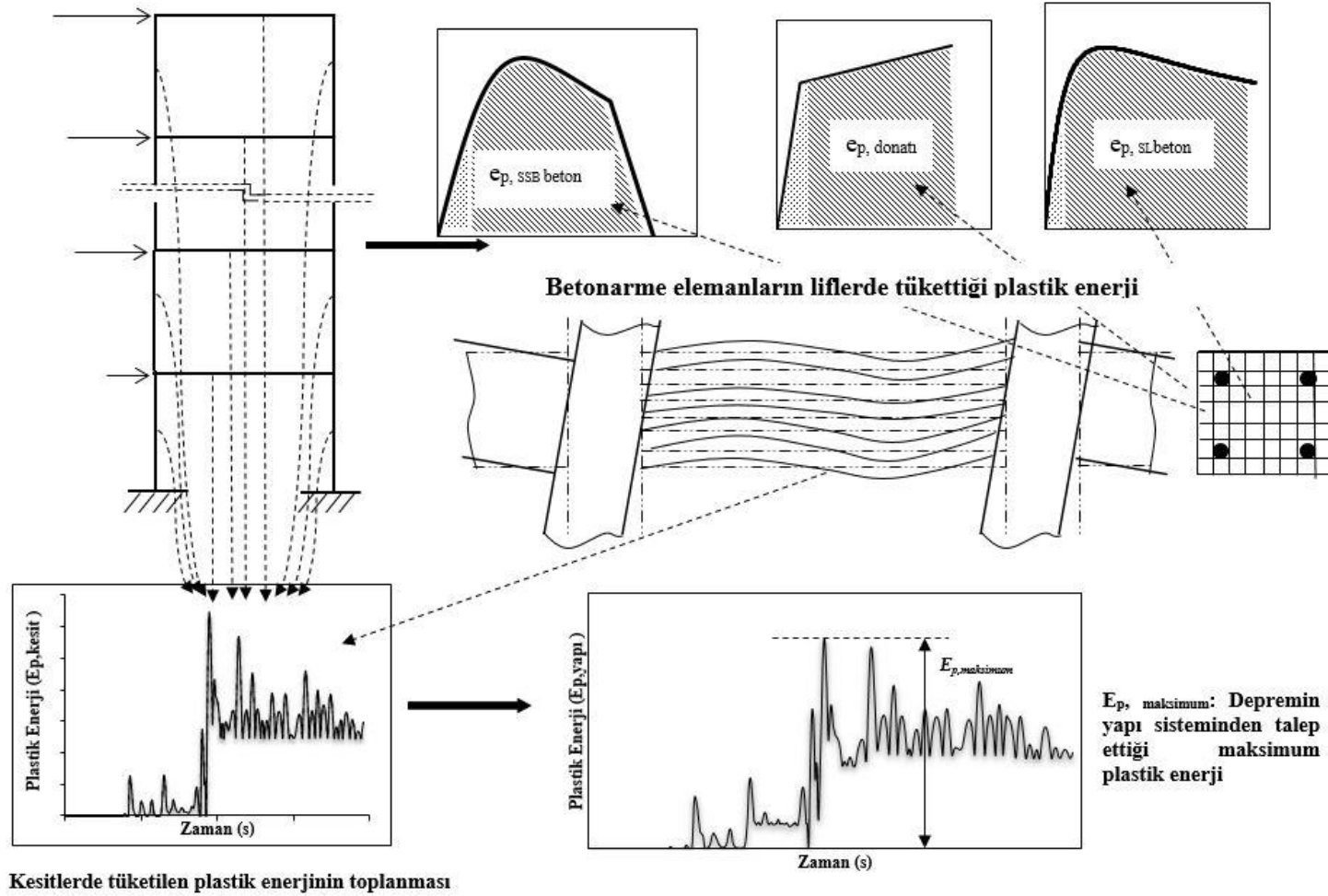
Tez çalışmasının gelecek bölümlerinde, çeşitli çok katlı betonarme düzlem çerçeve yapı sistemleri ele alınmakta ve sistemlerin doğrusal olmayan davranışta her bir yapı elemanında meydana gelen plastik enerji toplanarak tüketilen toplam plastik enerji – yer değiştirme kapasitesi grafikleri elde edilebilmektedir. Bu elde edilmiş şematik olarak Şekil 3.14’de özetlenmiştir. Ayrıca bu çerçeve modelleri seçilen deprem ivme kayıtları altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilerek depremlerin yapı sisteminden talep ettiği maksimum plastik enerji değeri hesaplanacaktır. Bu hesap şekli şematik olarak Şekil 3.15’te sunulmaktadır. Talep edilen bu

plastik enerji değeri, yapı plastik enerji kapasitesi ile ilişkilendirilerek yapının deprem performansı değerlendirilecektir.





Şekil 3.14. Betonarme bir çerçevenin itme analizi altında kesitlerde doğrusal olmayan davranış ile tüketilen plastik enerji ve kesitlerin plastik enerji toplamlarından yapının toplam plastik enerji kapasitesine geçi



Şekil 3.15. Betonarme bir çerçevenin zaman tanım alanında analizi altında kesitlerde doğrusal olmayan davranış ile tüketilen plastik enerji ve kesitlerin plastik enerji toplamlarından yapının toplam plastik enerji talebine geçiş

4. BETONARME ÇERÇEVE TÜRÜ YAPILARIN DOĞRUSAL ÖTESİ DAVRANIŞINDA TÜKETEBİLECEĞİ PLASTİK ENERJİ KAPASİTESİNİN ELDE EDİLMESİ

Tez çalışmasının bu bölümünde, tez kapsamında TBDY (2018) esaslarına göre oluşturulan 3, 6, 9 ve 12 katlı betonarme çerçeve türü yapı sistemlerinin plastik enerji – yer değiştirme kapasitesi ilişkileri Bölüm 3’de geliştirilen yöntemin kullanılmasıyla elde edilmektedir. Bölüm 3’de sunulan ve çalışma kapsamında geliştirilmiş olan hesap yönteminin dikkate alınmasıyla, fiber olarak modellenmiş betonarme çerçeve sistemin elastik ötesi şekil değişimine ulaşan her bir lif elemanında tüketilen enerjinin belirlenmesiyle, yapı sisteminin kesitinde, elemanlarında ve sonrasında bütününde tüketilen/tüketebileceği toplam plastik enerji kapasitesi hesaplanabilmektedir. Çalışmanın dördüncü bölümünde; tez için seçilen betonarme yapıların doğrusal olmayan statik itme analizleri sonucu tüketebileceği diğer bir ifadeyle plastik enerji kapasiteleri belirlenecektir.

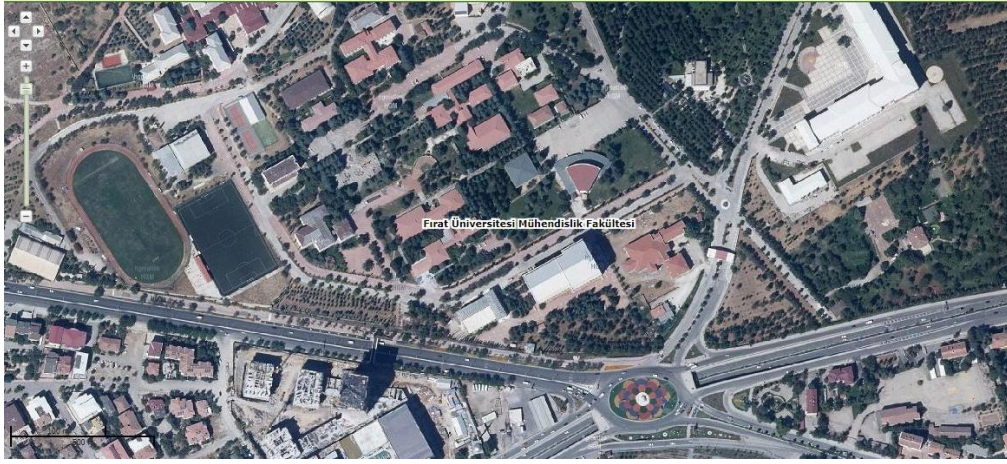
4.1. Enerji Esaslı Değerlendirilmek Üzere Seçilen Çok Katlı Betonarme Yapılar

Tez kapsamında Bölüm 3’de sunulan ve malzeme birim şekil değiştirmelerini dikkate alan hesap yöntemi ile dış yükleme altındaki betonarme çerçeve sistemlerin doğrusal olmayan davranışta tüketilen plastik enerji hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında bu amaçla, Elazığ Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kampüsü’nde bulunduğu varsayılan ve zemin koşulları TBDY (2018) yönetmeliğinde belirtilen yerel zemin sınıfına göre ZC olan çeşitli betonarme çerçeve yapı sistemi örnekleri seçilmiştir.

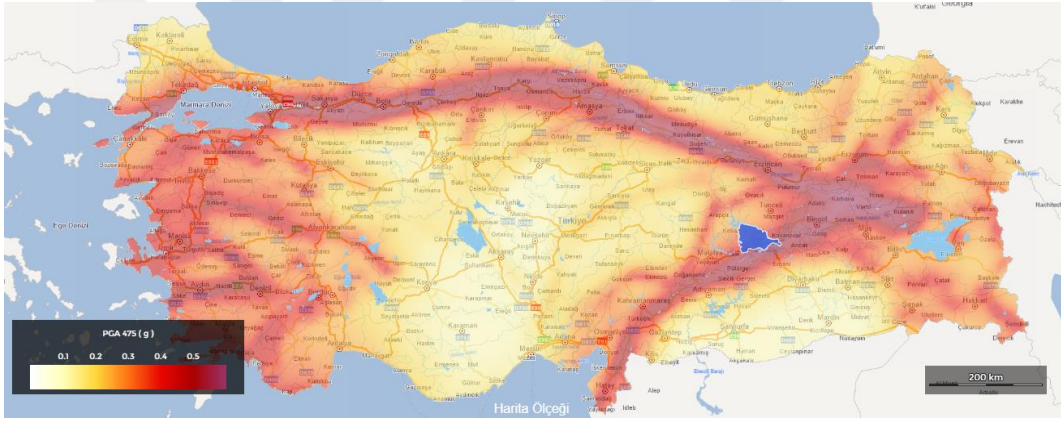
Bu betonarme yapı modelleri 3, 6, 9 ve 12 katlı betonarme çerçeveli yapılar olarak düşünülmüştür. 3 katlı yapılar tek açıklıklı ve üç açıklıklı iki model, 6, 9 ve 12 katlı yapılar üç ve beş açıklıklı olarak ikişer model olarak planlanmıştır. Kalıp planlarının ele alınan ilgili akslarından seçilen betonarme çerçeve yapıların isimlendirilmesinde, yapının kat adedi ve sahip olduğu açıklık sayısı göz önünde bulundurulmuştur. Örneğin; 3 katlı ve tek açıklıklı betonarme çerçeve yapı BÇY 3-1 olarak isimlendirilmiştir. Çerçeve yapıların isimlendirilmesi: BÇY. 3-1, BÇY. 3-3, BÇY. 6-3, BÇY. 6-5, BÇY.9-3, BÇY. 9-5, BÇY. 12-3 ve BÇY.12-5, şeklindedir. Tez çalışması kapsamında toplam 8 adet betonarme çerçeve yapının plastik enerji kapasitesi doğrusal olmayan davranış ile belirlenecektir.

Oluşturulan konut türü betonarme yapı sistemlerinin tümünde C30/37 beton sınıfı ve B420C çeliği malzeme olarak seçilmiştir. Ele alınan tüm betonarme çerçeveler kütle ve rijitliklerin dağılımı bakımında düzgün yapılardır. Kat yükseklikleri tüm yapılarda sabit alınmış olup 3’er metre olarak alınmıştır. Ayrıca her bir açıklık 5’er metredir. Betonarme çerçeve yapıların bulunduğu varsayılan

konum Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Ayrıca yapı sistemleri için seçilen konumun bulunduğu ilin Türkiye Deprem Tehlike Haritası’nda yeri Şekil 4.2’de sunulmuştur.



Şekil 4.1. Yapı sistemlerinin bulunduğu varsayılan konum

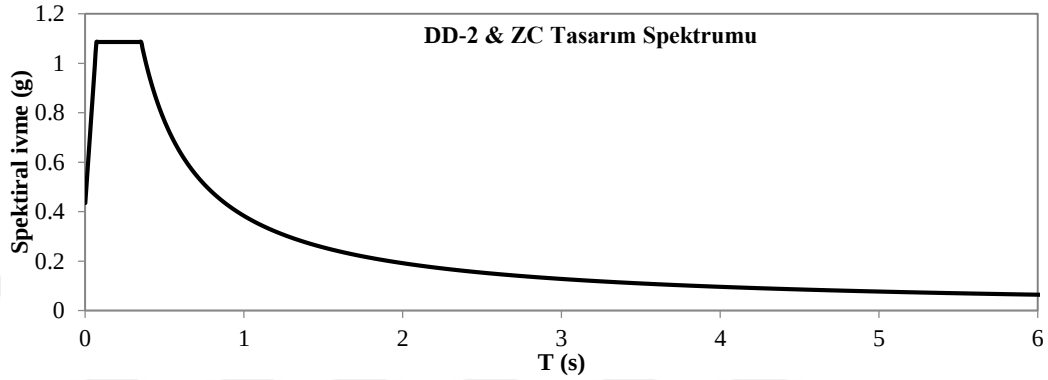
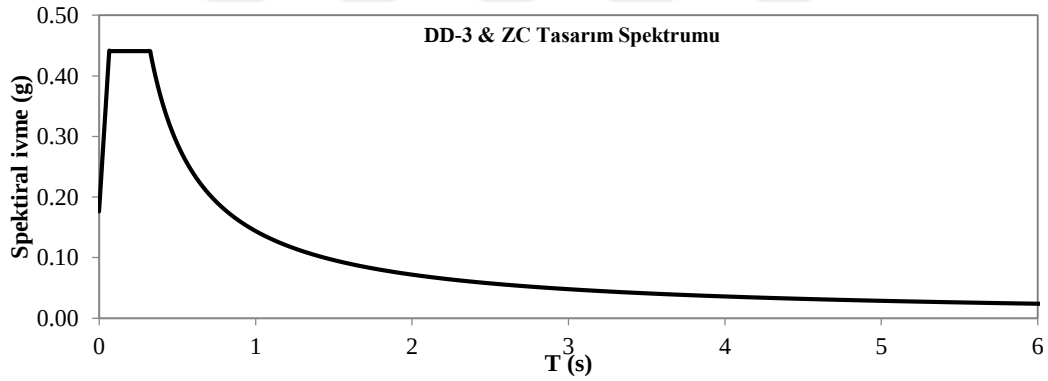


Şekil 4.2. Seçilen konumun deprem tehlike haritasındaki yeri

Seçilen konumda yapılacak betonarme çerçeve yapıların boyutlandırılmasında kullanılacak tasarım spektrumu Türkiye Deprem Tehlike Haritası’ndan elde edilmiştir. 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi (DD-2) ve 50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi (DD-3) için zemin koşullarına bağlı olarak elde edilen tasarım parametreleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Ayrıca deprem yer hareketi ve zemine bağlı tasarım spektrumları Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de sırasıyla verilmiştir.

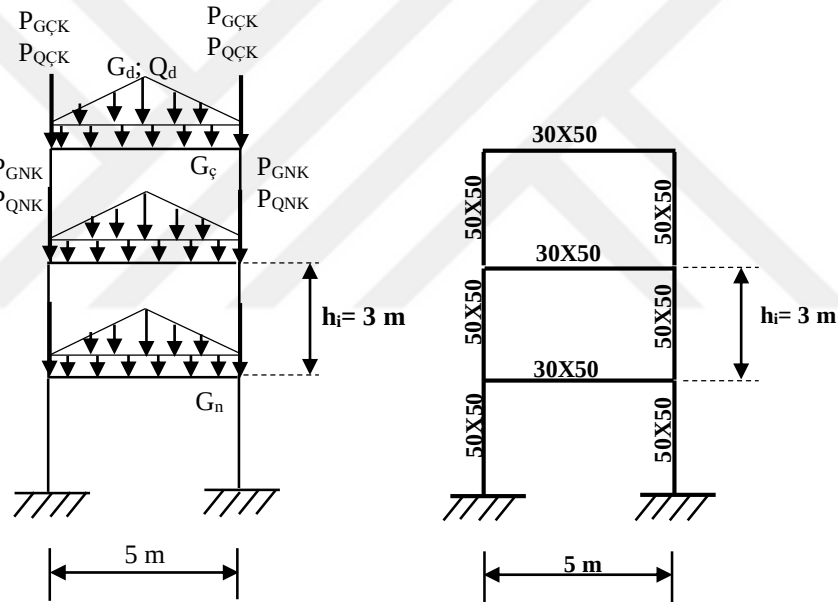
Tablo 4.1. Seçilen konumun tasarım ivme spektrumu parametreleri

Deprem düzeyi & Yerel zemin sınıfı	Yerel Zemin Etki Katsayıları		Harita spektral ivme katsayısı		PGA (g)
	S_s	S_1	F_s	F_1	
DD-2 & ZC	0.905	0.255	1.200	1.500	0.380
DD-3 & ZC	0.339	0.096	1.300	1.500	0.147

**Şekil 4.3.** DD-2 deprem yer hareketi için ZC zemin sınıfı tasarım spektrumu**Şekil 4.4.** DD-3 deprem yer hareketi için ZC zemin sınıfı tasarım spektrumu

TS500/2000 ve TBDY (2018) esasları dikkate alınarak seçilen betonarme çerçeve yapılar süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanmış ve buna göre boyutlandırılmıştır. Oluşturulan model kat kalıp planlarından bir iç aks seçilerek düzlem çerçeveler ele alınmış ve tez kapsamında incelenmiştir. Tasarım yükleri için döşeme+kaplama+sıva zati yükü ise 5.25 kN/m^2 ve döşeme hareketli yükü 2.0 kN/m^2 ve olarak alınmıştır. Tüm çerçeve kirişlerinde tam tuğla duvar olduğu kabul edilmiş ve kirişler üzerine düzgün yayılı olarak 3.75 kN/m olarak uygulanmıştır. Seçilen aks çerçevelerinde, bağlantılı oldukları kirişlerin hesap yükleri kolonlara eksenel yük olarak eklenmiştir. Çerçeve açıklıklarında kirişlere etkiyen duvar yükü toplam sabit düzgün yayılı yük olarak ve döşemelerden etkiyen sabit ve hareketli yükler ise üçgen yayılı yük olarak tasarlanmıştır. Çerçevelerin deprem kuvveti hesabı için Eşdeğer Deprem Yüğü yöntemi kullanılmış ve TBDY

BÇY. 3-1 çerçevesi ZC zemin sınıflarına bağlı olarak TS500/2000 Standardı ve TBDY (2018) esaslarına göre tasarımı yapılmış ve boyutlandırılmıştır. BÇY. 3-1 çerçevesine ait taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlandırılması Şekil 4.6’da sunulmaktadır.



53

Tablo 4.2. BÇY. 3-1 Çerçevesinin tasarımında esas alınan düşey yükler, yapı ağırlığı ve periyod değerleri

	BÇY. 3-1 Çerçeve sistemi ile ilgili özellikler	Sayısal Değer
Tasarım Düşey yükleri	G_c (kN/m): Kiriş toplam sabit yük (çatı kat)	3.75
	G_n (kN/m): Kiriş toplam sabit yük (normal kat)	7.50
	G_d (kN/m): Döşeme sabit yükü en büyük değeri	25.77
	Q_d (kN/m): Döşeme hareketli yükü en büyük değeri	9.82
	P_{GCK} (kN): Kenar aks kolon sabit eksenel yük(çatı kat)	55.25
	P_{QCK} (kN): Kenar aks kolon hareketli eksenel yük(çatı kat)	11.05
	P_{GNK} (kN): Kenar aks kolon sabit eksenel yük(normal kat)	81.25
	P_{QNK} (kN): Kenar aks kolon hareketli eksenel yük(normal kat)	11.05
Çerçeve Ağırlığı ve Periyod	w_c (kN): Çatı katı zati ağırlığı	185.36
	w_n (kN): Normal katın zati ağırlığı	254.24
	w_i (kN): Herhangi bir i. katın hareketli ağırlığı	44.20
	$W = \sum w_i$ (kN): Toplam çerçeve ağırlığı	826.42
	T_1 (s): Birinci doğal titreşim periyodu (çatlamış kesitli)	0.336 (0.489)

Yapı modelin tüm kolonları 50x50 cm, tüm kirişler 30x50 cm boyutlarına sahiptir. Yapı sisteminin kolon ve kiriş elemanlarına ait donatı özellikleri Tablo 4.3’de verilmiştir.

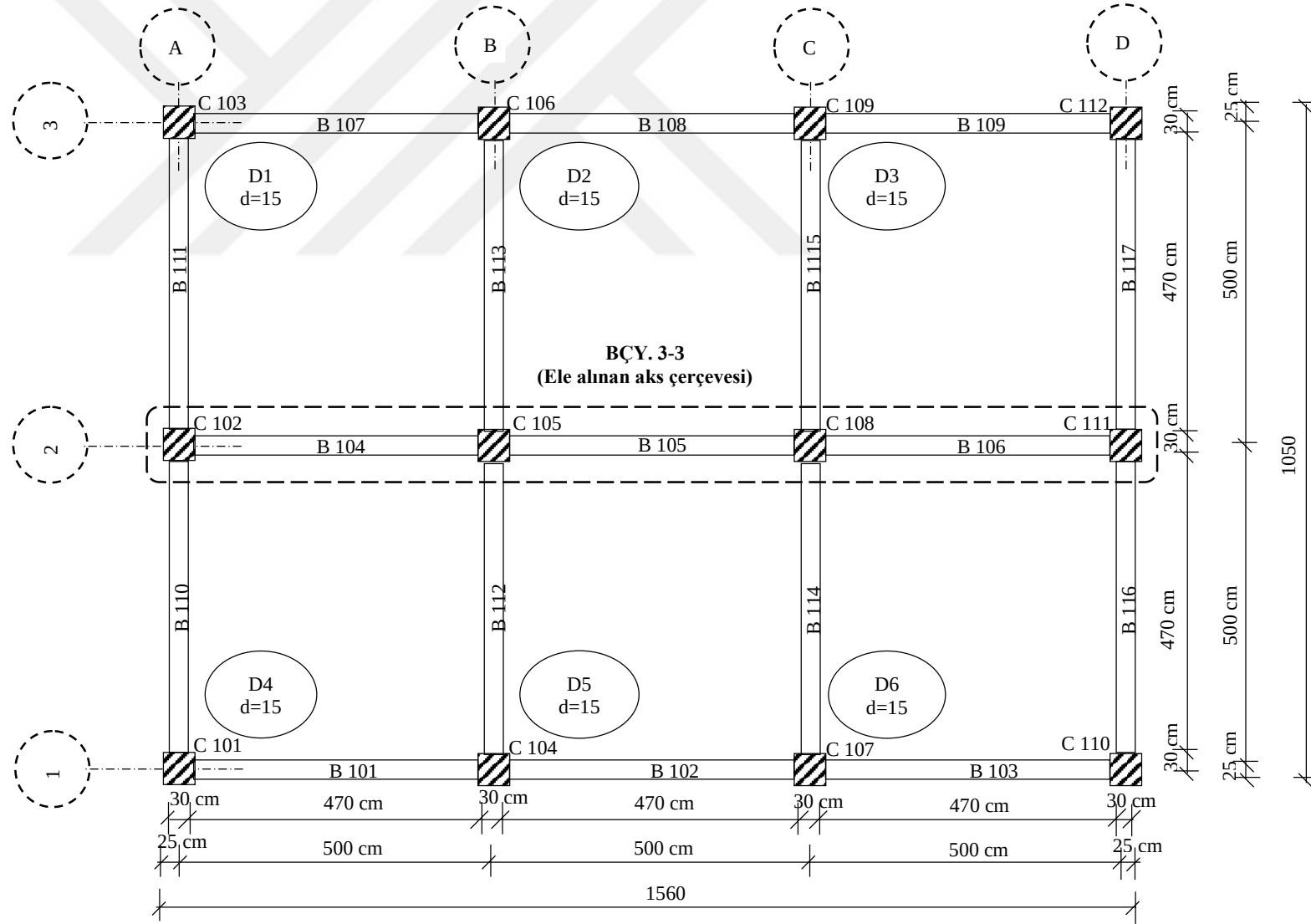
Tablo 4.3. BÇY. 3-1 Çerçevesi yapı elemanlarının donatıları

Kat	Aks	Kiriş Boyuna Donatıları				Kolon Donatıları
		Sol Üst	Sol Alt	Sağ Alt	Sağ Üst	
Kat 3	İç Aks	4Φ14	2Φ12+1Φ14	2Φ12+1Φ14	4Φ14	16Φ18
Kat 2	İç Aks	5Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ12+2Φ14	5Φ14	16Φ18
Kat 1	İç Aks	5Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ12+2Φ14	5Φ14	16Φ18

Çerçeve sistemim tüm yapı elemanlarında beton örtüsü 4 cm olarak uygulanmıştır. Kiriş enine donatıları sarılma ve açıklık bölgelerinde tek etriye olarak düzenlenmiş çap ve aralıkları Φ8/90 mm ve kiriş kesit orta bölgesinde bir çiroz olarak tasarlanmıştır. Kolon enine donatıları sarılma ve açıklık bölgelerinde çift etriye ve bir çiroz olarak düzenlenmiş, donatı çap ve aralıkları sarılma bölgelerinde Φ8/80 mm olarak düzenlenmiştir. Tez kapsamında ilgili standart ve yönetmelikte belirtilen tüm tasarım esaslarına uyulmuştur.

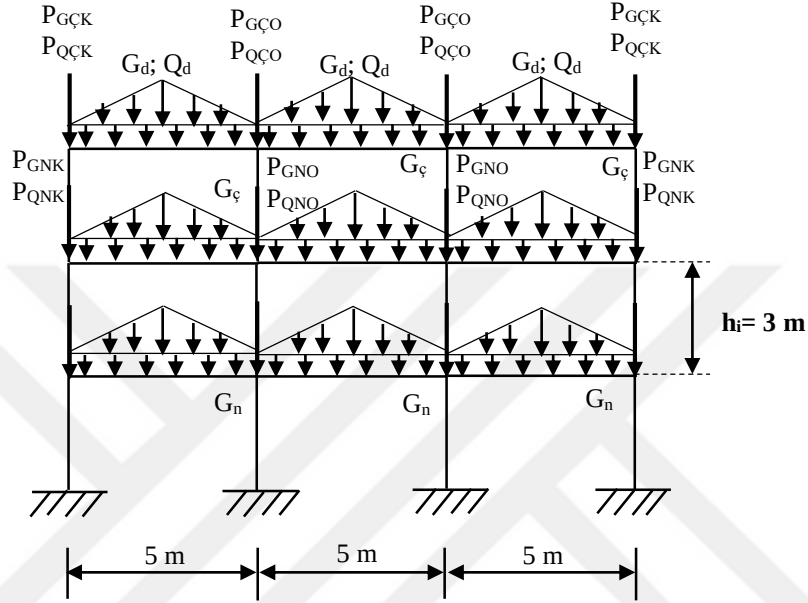
4.1.2. Üç Katlı Üç Açıklıklı Betonarme Çerçeve: BÇY. 3-3

Tez kapsamında seçilen ikinci yapı üç katlı üç açıklıklı betonarme çerçeve (BÇY. 3-3) olup, kat kalıp planı Şekil 4.7’de gösterilmektedir.



Şekil 4.7. BÇY. 3-3 yapının betonarme kat kalıp planı (ölçüler cm biriminde olup Ö:1/100)

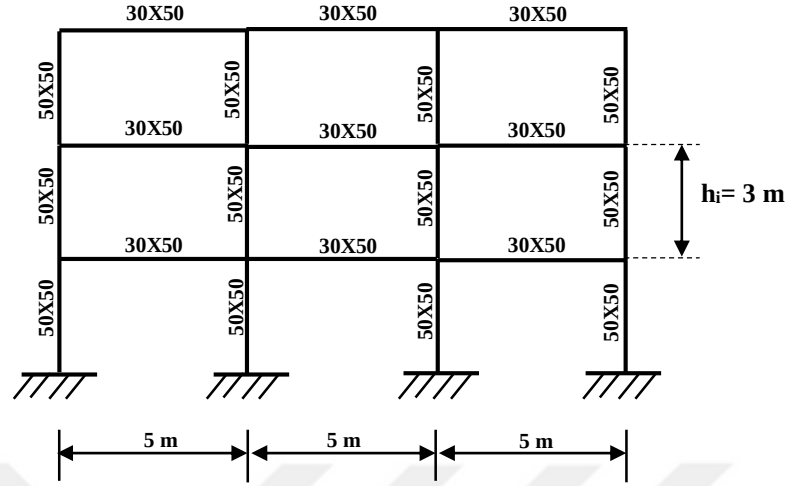
Şekil 4.8’de BÇY. 3-3 çerçevesinin düşey yükleri gösterilmektedir. Ayrıca Tablo 4.4’de yapı modeline ait tasarıma esas alınan düşey yük büyüklükleri, yapı toplam ağırlığı ve periyodu sunulmaktadır. Yapı modeline etkiyen tasarım yüklemesi verilmiştir. BÇY. 3-3 çerçevesi ZC zemin sınıflarına bağlı olarak TS500/2000 Standardı ve TBDY (2018) esaslarına göre tasarımı yapılmış ve boyutlandırılmıştır. BÇY.3-3 çerçeve sistemin yapı elemanları boyutları Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.8. Tablo 4.4’de verilen tasarım kuvvetleri etkisindeki BÇY.3-3 çerçevesi (Ö:1/200)

Tablo 4.4. BÇY. 3-3 Çerçevesinin tasarımında esas alınan düşey yükler, yapı ağırlığı ve periyod değerleri

	BÇY. 3-3 Çerçeve sistemi ile ilgili özellikler	Sayısal Değer
Tasarım Düşey yükleri	$G_ç$ (kN/m): Kiriş toplam sabit yük(çatı kat)	3.75
	G_n (kN/m): Kiriş toplam sabit yük(normal kat)	7.50
	G_d (kN/m): Döşeme sabit yükü en büyük değeri	25.77
	Q_d (kN/m): Döşeme hareketli yükü en büyük değeri	9.82
	$P_{GÇK}$ (kN): Kenar aks kolon sabit eksenel yük(çatı kat)	55.25
	$P_{QÇK}$ (kN): Kenar aks kolon hareketli eksenel yük(çatı kat)	11.05
	$P_{GÇO}$ (kN): Ara aks kolon sabit eksenel yük (çatı kat)	84.25
	$P_{QÇO}$ (kN): Ara aks kolon hareketli eksenel yük(çatı kat)	22.1
	P_{GNK} (kN): Kenar aks kolon sabit eksenel yük(normal kat)	81.25
	P_{QNK} (kN): Kenar aks kolon hareketli eksenel yük(normal kat)	11.05
	P_{GNO} (kN): Ara aks kolon sabit eksenel yük (normal kat)	110.5
	P_{QNO} (kN): Ara aks kolon hareketli eksenel yük(normal kat)	22.1
Çerçeve ağırlığı ve Periyod	$w_ç$ (kN): Çatı katı zati ağırlığı	503.625
	w_n (kN): Normal katın zati ağırlığı	658.75
	w_i (kN): Herhangi bir i. katın hareketli ağırlığı	132.6
	$W = \sum w_i$ (kN): Toplam çerçeve ağırlığı	2218.925
	T_1 (s): Birinci doğal titreşim periyodu (çatlamamış kesitli)	0.36 (0.502)



Şekil 4.9. BÇY.3-3 Çerçeve sistemin yapı elemanları geometrik boyutlandırılması (Ö:1/200)

Yapı modelin tüm kolonları 50x50 cm, tüm kirişler 30x50 cm boyutlarına sahiptir. Yapı sisteminin kolon ve kiriş elemanlarına ait donatı özellikleri Tablo 4.5’de verilmiştir.

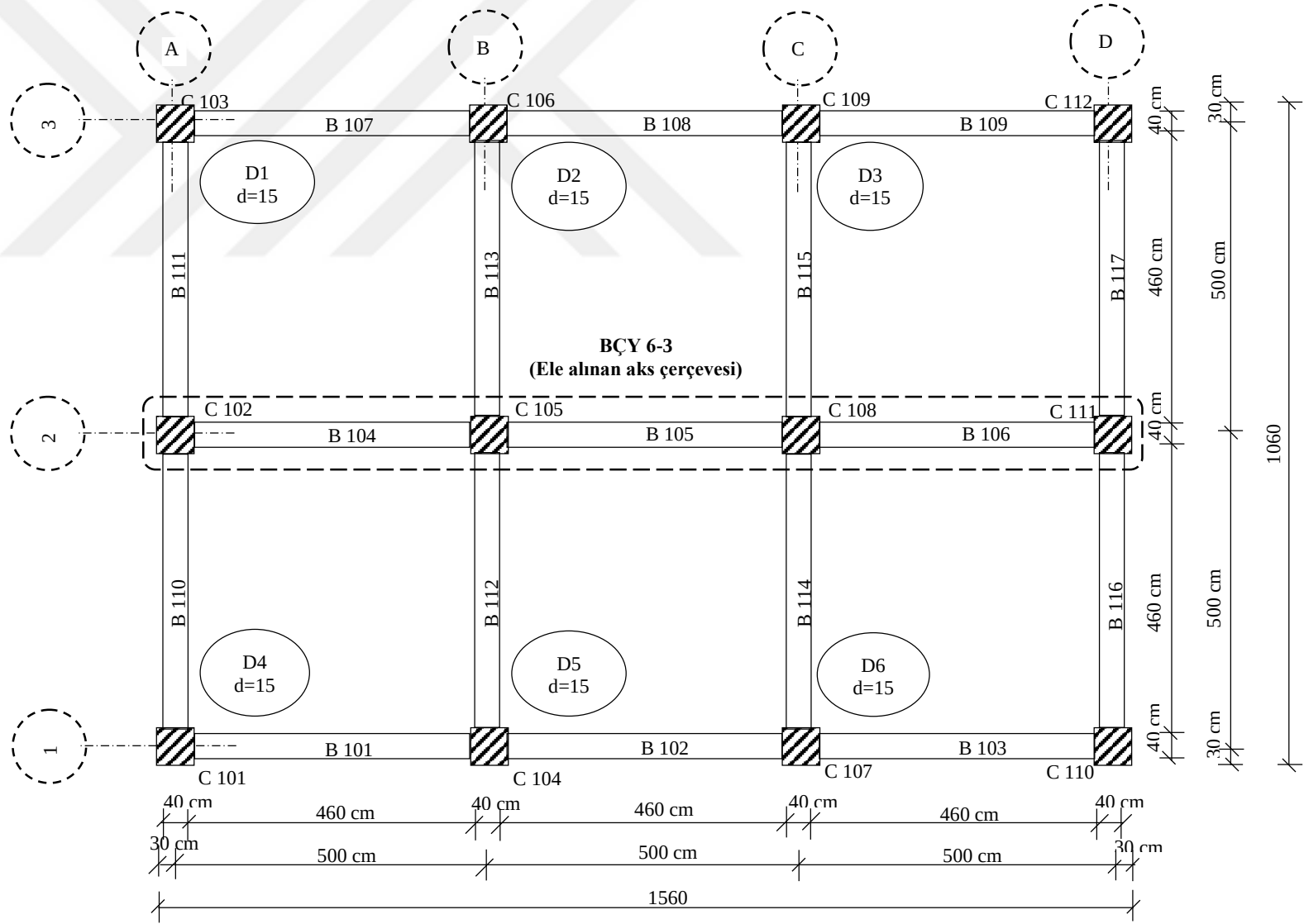
Tablo 4.5. BÇY. 3-3 Çerçevesinin yapı elemanlarının donatıları

Kat	Aks	Kiriş Boyuna Donatıları				Kolon Donatıları
		Sol Üst	Sol Alt	Sağ Alt	Sağ Üst	
Kat 3	İç Aks	4Φ14	2Φ12+1Φ14	2Φ12+1Φ14	4Φ14	16Φ18
Kat 2	İç Aks	5Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ12+2Φ14	5Φ14	16Φ18
Kat 1	İç Aks	5Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ12+2Φ14	5Φ14	16Φ18

Çerçeve sistemim tüm yapı elemanlarında beton örtüsü 4 cm olarak uygulanmıştır. Kiriş enine donatıları sarılma ve açıklık bölgelerinde tek etriye olarak düzenlenmiş çap ve aralıkları Φ8/90 mm ve kiriş kesit orta bölgesinde bir çiroz olarak tasarlanmıştır. Kolon enine donatıları sarılma ve açıklık bölgelerinde çift etriye ve bir çiroz olarak düzenlenmiş, donatı çap ve aralıkları sarılma bölgelerinde Φ8/80 mm olarak düzenlenmiştir. Tez kapsamında ilgili standart ve yönetmelikte belirtilen tüm tasarım esaslarına uyulmuştur.

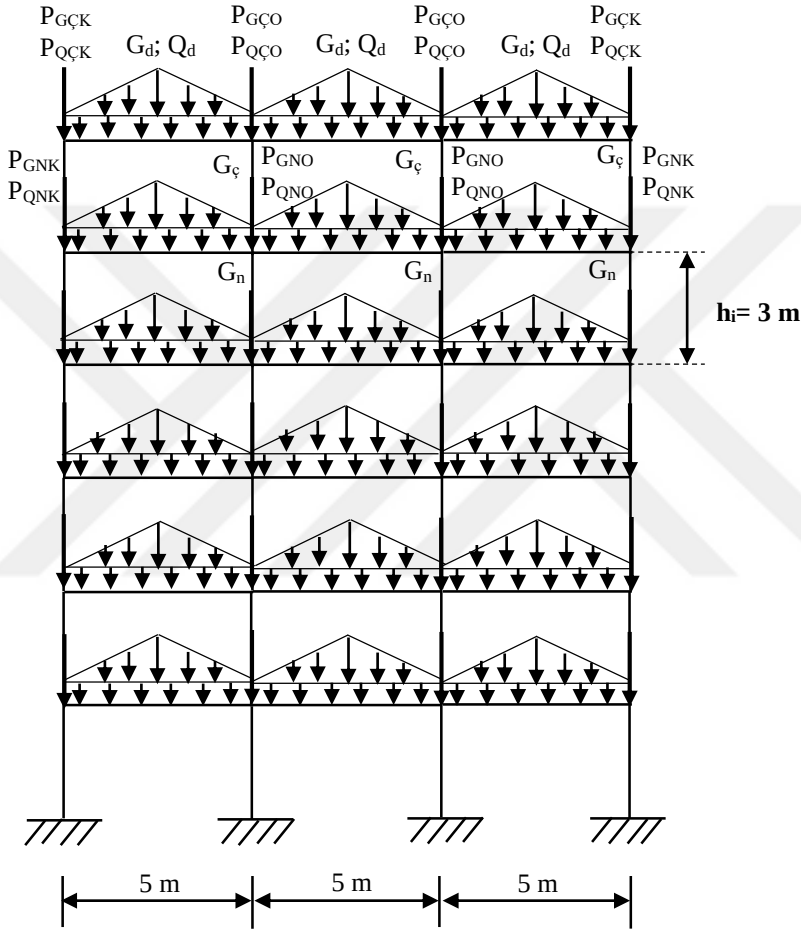
4.1.3. Altı Katlı Üç Açıklıklı Betonarme Çerçeve: BÇY. 6-3

Tez kapsamında seçilen üçüncü yapı altı katlı üç açıklıklı betonarme çerçeve (BÇY. 6-3) olup, kat kalıp planı Şekil 4.10’da gösterilmektedir.



Şekil 4.10. BÇY. 6-3 yapının betonarme kat kalıp planı (ölçüler cm biriminde olup Ö:1/100)

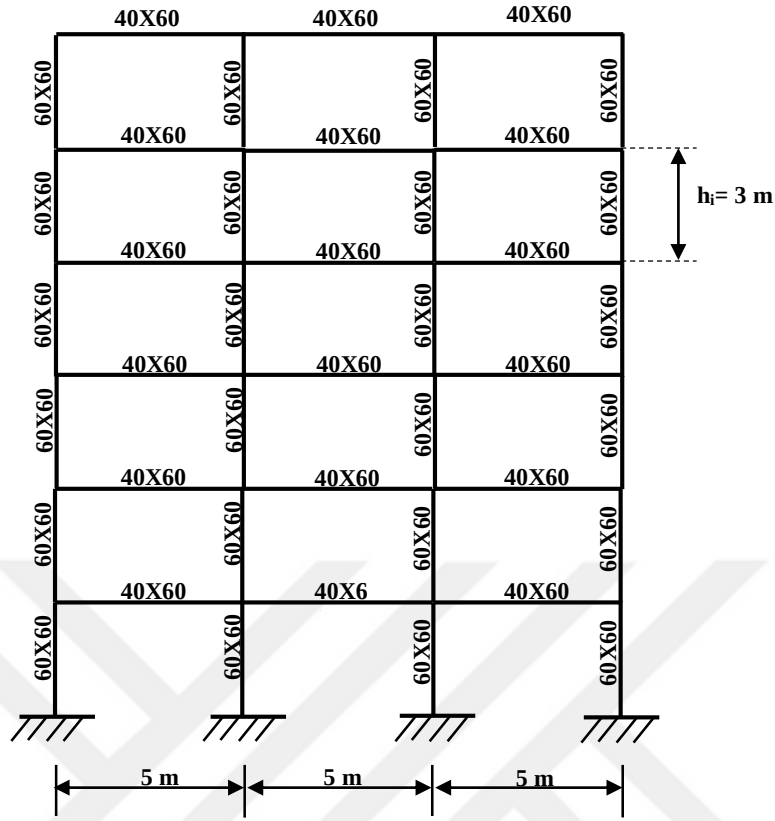
Şekil 4.11’de BÇY. 6-3 çerçevesinin düşey yükleri gösterilmektedir. Ayrıca Tablo 4.6’da yapı modeline ait tasarıma esas alınan düşey yük büyüklükleri, yapı toplam ağırlığı ve periyodu sunulmaktadır. Yapı modeline etkiyen tasarım yüklemesi verilmiştir. BÇY. 6-3 çerçevesi ZC zemin sınıflarına bağlı olarak TS500/2000 Standardı ve TBDY (2018) esaslarına göre tasarımı yapılmış ve boyutlandırılmıştır. BÇY.6-3 çerçeve sistemin yapı elemanları boyutları Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.11. Tablo 4.6’da verilen tasarım kuvvetleri etkisindeki BÇY.6-3 çerçevesi (Ö:1/200)

Tablo 4.6. BÇY. 6-3 Çerçevesinin tasarımında esas alınan düşey yükler, yapı ağırlığı ve periyod değerleri

	BÇY. 6-3 Çerçeve sistemi ile ilgili özellikler	Sayısal Değer
Tasarım Düşey yükleri	G_c (kN/m): Kiriş toplam sabit yük(çatı kat)	6.00
	G_n (kN/m): Kiriş toplam sabit yük(normal kat)	9.75
	G_d (kN/m): Döşeme sabit yükü en büyük değeri	25.77
	Q_d (kN/m): Döşeme hareketli yükü en büyük değeri	9.82
	P_{GCK} (kN): Kenar aks kolon sabit eksenel yük(çatı kat)	68.90
	P_{QCK} (kN): Kenar aks kolon hareketli eksenel yük(çatı kat)	11.05
	P_{GCO} (kN): Ara aks kolon sabit eksenel yük (çatı kat)	98.90
	P_{QCO} (kN): Ara aks kolon hareketli eksenel yük(çatı kat)	22.10
	P_{GNK} (kN): Kenar aks kolon sabit eksenel yük(normal kat)	120.00
	P_{QNK} (kN): Kenar aks kolon hareketli eksenel yük(normal kat)	11.05
	P_{GNO} (kN): Ara aks kolon sabit eksenel yük (normal kat)	150.00
	P_{QNO} (kN): Ara aks kolon hareketli eksenel yük(normal kat)	22.1
Çerçeve ağırlığı ve Periyod	w_c (kN): Çatı katı zati ağırlığı	586.20
	w_n (kN): Normal katın zati ağırlığı	756.60
	w_i (kN): Herhangi bir i. katın hareketli ağırlığı	132.6
	$W=\sum w_i$ (kN): Toplam çerçeve ağırlığı	5164.80
	T_1 (s): Birinci doğal titreşim periyodu (çatlamamış kesitli)	0.532 (0.788)



Şekil 4.12. BÇY.6-3 Çerçeve sistemin yapı elemanları geometrik boyutlandırılması (Ö:1/200)

Yapı modelin tüm kolonları 60x60 cm, tüm kirişler 40x60 cm boyutlarına sahiptir. Yapı sisteminin kolon ve kiriş elemanlarına ait donatı özellikleri Tablo 4.7’de verilmiştir

Tablo 4.7. BÇY. 6-3 Çerçevesi yapı elemanlarının donatıları

Kat	Aks	Kiriş Boyuna Donatıları				Kolon Donatıları
		Sol Üst	Sol Alt	Sağ Alt	Sağ Üst	
Kat 6	İç Aks	2Φ14+1 Φ12	3Φ14	3Φ14	2Φ14+1 Φ12	20Φ16
Kat 4	İç Aks	2Φ14+2Φ20	3Φ16	3Φ16	2Φ14+2Φ20	20Φ16
Kat 4	İç Aks	2 Φ14+2 Φ20	3Φ16	3Φ16	2 Φ14+2 Φ20	20Φ16
Kat 3	İç Aks	2 Φ16+2 Φ20	3Φ16	3Φ16	2 Φ16+2 Φ20	20Φ16
Kat 2	İç Aks	2 Φ16+2 Φ20	3Φ16	3Φ16	2 Φ16+2 Φ20	20Φ16
Kat 1	İç Aks	2 Φ16+2 Φ20	3Φ16	3Φ16	2 Φ16+2 Φ20	20Φ16

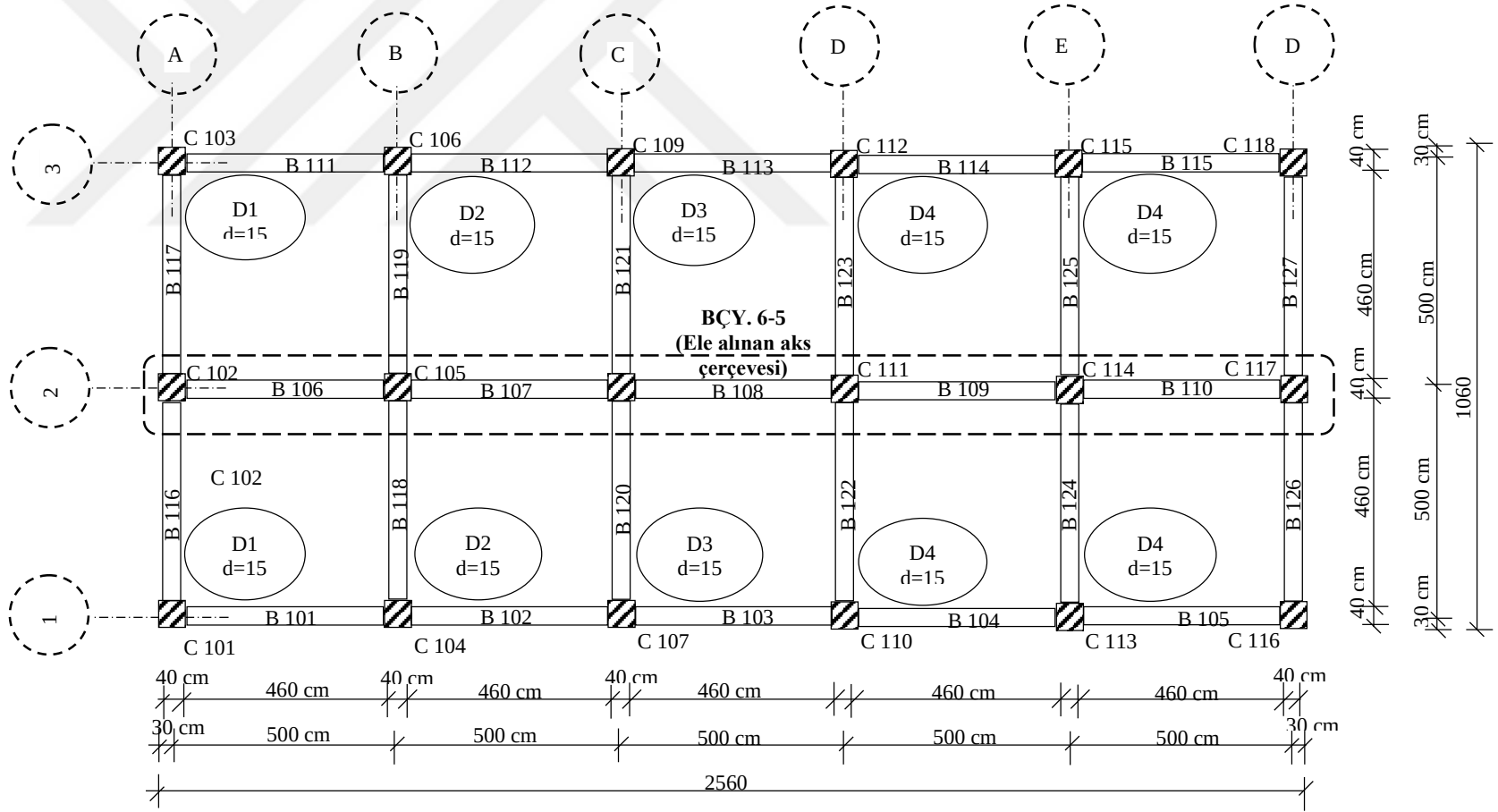
Çerçeve sistemim tüm yapı elemanlarında beton örtüsü 4 cm olarak uygulanmıştır. Kiriş enine donatıları sarılma ve açıklık bölgelerinde tek etriye olarak düzenlenmiş çap ve aralıkları Φ8/90 mm ve kiriş kesit orta bölgesinde bir çiroz olarak tasarlanmıştır. Kolon enine donatıları sarılma ve açıklık bölgelerinde çift etriye ve bir çiroz olarak düzenlenmiş, donatı çap ve aralıkları

sarılma bölgelerinde $\Phi 8/80$ mm olarak düzenlenmiştir. Tez kapsamında ilgili standart ve yönetmelikte belirtilen tüm tasarım esaslarına uyulmuştur.

4.1.4. Altı Katlı Beş Açıklıklı Betonarme Çerçeve: BÇY. 6-5

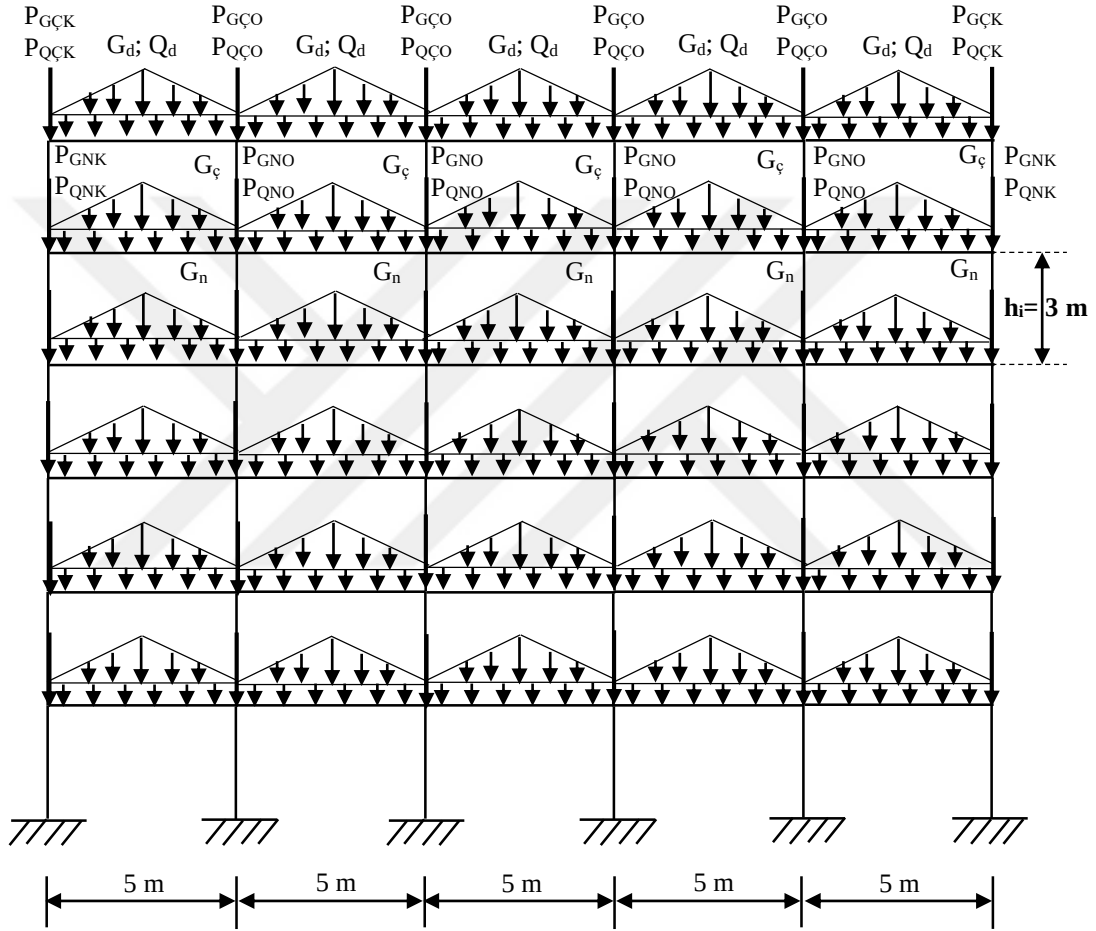
Tez kapsamında seçilen dördüncü yapı altı katlı beş açıklıklı betonarme çerçeve (BÇY. 6-5) olup, kat kalıp planı Şekil 4.13’de gösterilmektedir.





Şekil 4.13. BÇY. 6-5 yapının betonarme kat kalıp planı (ölçüler cm biriminde olup Ö:1/150)

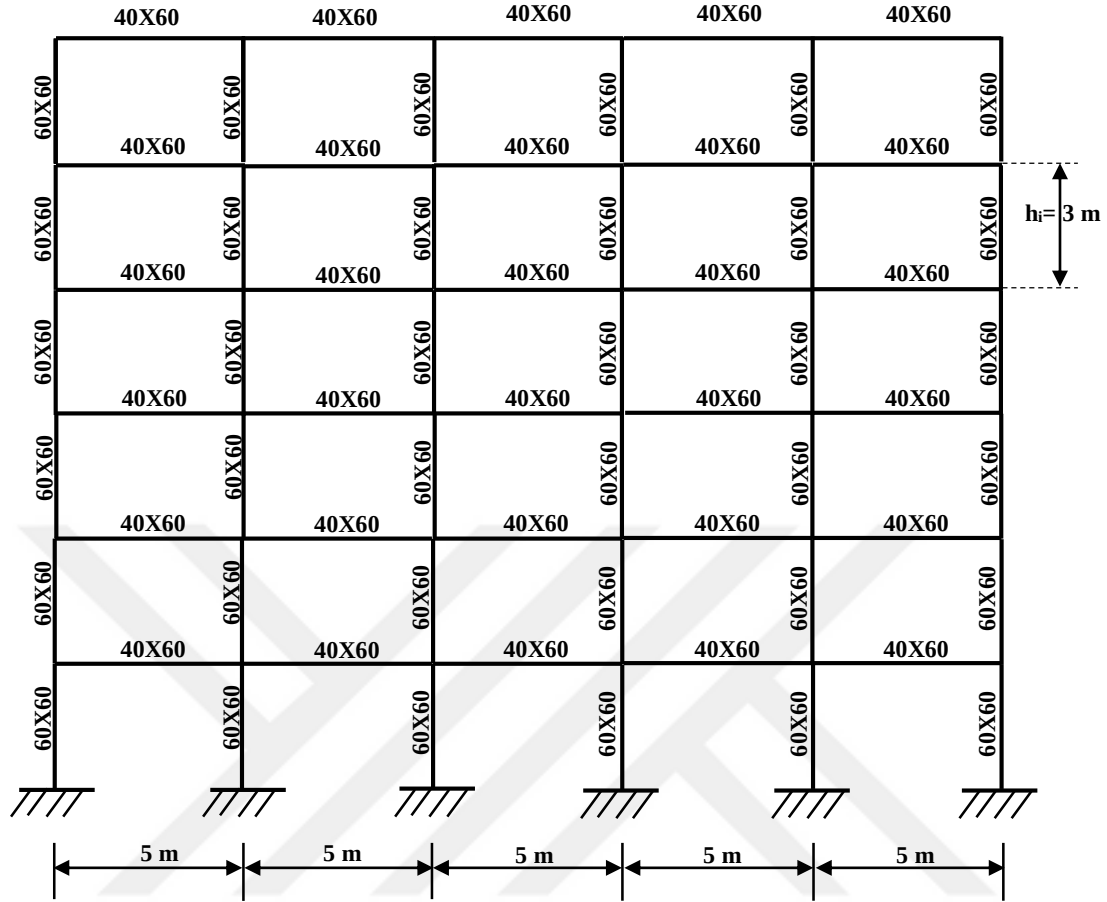
Şekil 4.14’de BÇY. 6-5 çerçevesinin düşey yükleri gösterilmektedir. Ayrıca Tablo 4.8’de yapı modeline ait tasarıma esas alınan düşey yük büyüklükleri, yapı toplam ağırlığı ve periyodu sunulmaktadır. Yapı modeline etkiyen tasarım yüklemesi verilmiştir. BÇY. 6-5 çerçevesi ZC zemin sınıflarına bağlı olarak TS500/2000 Standardı ve TBDY (2018) esaslarına göre tasarımı yapılmış ve boyutlandırılmıştır. BÇY.6-5 çerçeve sistemin yapı elemanları boyutları Şekil 4.15’de verilmiştir.



Şekil 4.14. Tablo 4.8’de verilen tasarım kuvvetleri etkisindeki BÇY.6-5 çerçevesi (Ö:1/200)

Tablo 4.8. BÇY. 6-5 Çerçevesinin tasarımında esas alınan düşey yükler, yapı ağırlığı ve periyod değerleri

	BÇY. 6-5 Çerçeve sistemi ile ilgili özellikler	Sayısal Değer
Tasarım Düşey yükleri	G_f (kN/m): Kiriş toplam sabit yük(çatı kat)	6.00
	G_n (kN/m): Kiriş toplam sabit yük(normal kat)	9.75
	G_d (kN/m): Döşeme sabit yükü en büyük değeri	25.77
	Q_d (kN/m): Döşeme hareketli yükü en büyük değeri	9.82
	P_{GCK} (kN): Kenar aks kolon sabit eksenel yük(çatı kat)	68.90
	P_{QCK} (kN): Kenar aks kolon hareketli eksenel yük(çatı kat)	11.05
	P_{GCO} (kN): Ara aks kolon sabit eksenel yük (çatı kat)	98.90
	P_{QCO} (kN): Ara aks kolon hareketli eksenel yük(çatı kat)	22.10
	P_{GNK} (kN): Kenar aks kolon sabit eksenel yük(normal kat)	120.00
	P_{QNK} (kN): Kenar aks kolon hareketli eksenel yük(normal kat)	11.05
	P_{GNO} (kN): Ara aks kolon sabit eksenel yük (normal kat)	150.00
	P_{QNO} (kN): Ara aks kolon hareketli eksenel yük(normal kat)	22.1
Çerçeve ağırlığı ve Periyod	w_f (kN): Çatı katı zati ağırlığı	950.2
	w_n (kN): Normal katın zati ağırlığı	1214.2
	w_i (kN): Herhangi bir i. katın hareketli ağırlığı	221
	$W=\Sigma w_i$ (kN): Toplam çerçeve ağırlığı	8367.2
	T_1 (s): Birinci doğal titreşim periyodu (çatlamamış kesitli)	0.523 (0.775)



Şekil 4.15. BÇY.6-5 Çerçeve sistemin yapı elemanları geometrik boyutlandırılması (Ö:1/200)

Yapı modelin tüm kolonları 60x60 cm, tüm kirişler 40x60 cm boyutlarına sahiptir. Yapı sisteminin kolon ve kiriş elemanlarına ait donatı özellikleri Tablo 4.9’de verilmiştir

Tablo 4.9. BÇY. 6-5 Çerçevesinin yapı elemanlarının donatıları

Kat	Aks	Kiriş Boyuna Donatıları				Kolon Donatıları
		Sol Üst	Sol Alt	Sağ Alt	Sağ Üst	
Kat 6	İç Aks	2Φ14+1 Φ12	3Φ14	3Φ14	2Φ14+1 Φ12	20Φ16
Kat 4	İç Aks	2Φ14+2Φ20	3Φ16	3Φ16	2Φ14+2Φ20	20Φ16
Kat 4	İç Aks	2 Φ14+2 Φ20	3Φ16	3Φ16	2 Φ14+2 Φ20	20Φ16
Kat 3	İç Aks	2 Φ16+2 Φ20	3Φ16	3Φ16	2 Φ16+2 Φ20	20Φ16
Kat 2	İç Aks	2 Φ16+2 Φ20	3Φ16	3Φ16	2 Φ16+2 Φ20	20Φ16
Kat 1	İç Aks	2 Φ16+2 Φ20	3Φ16	3Φ16	2 Φ16+2 Φ20	20Φ16

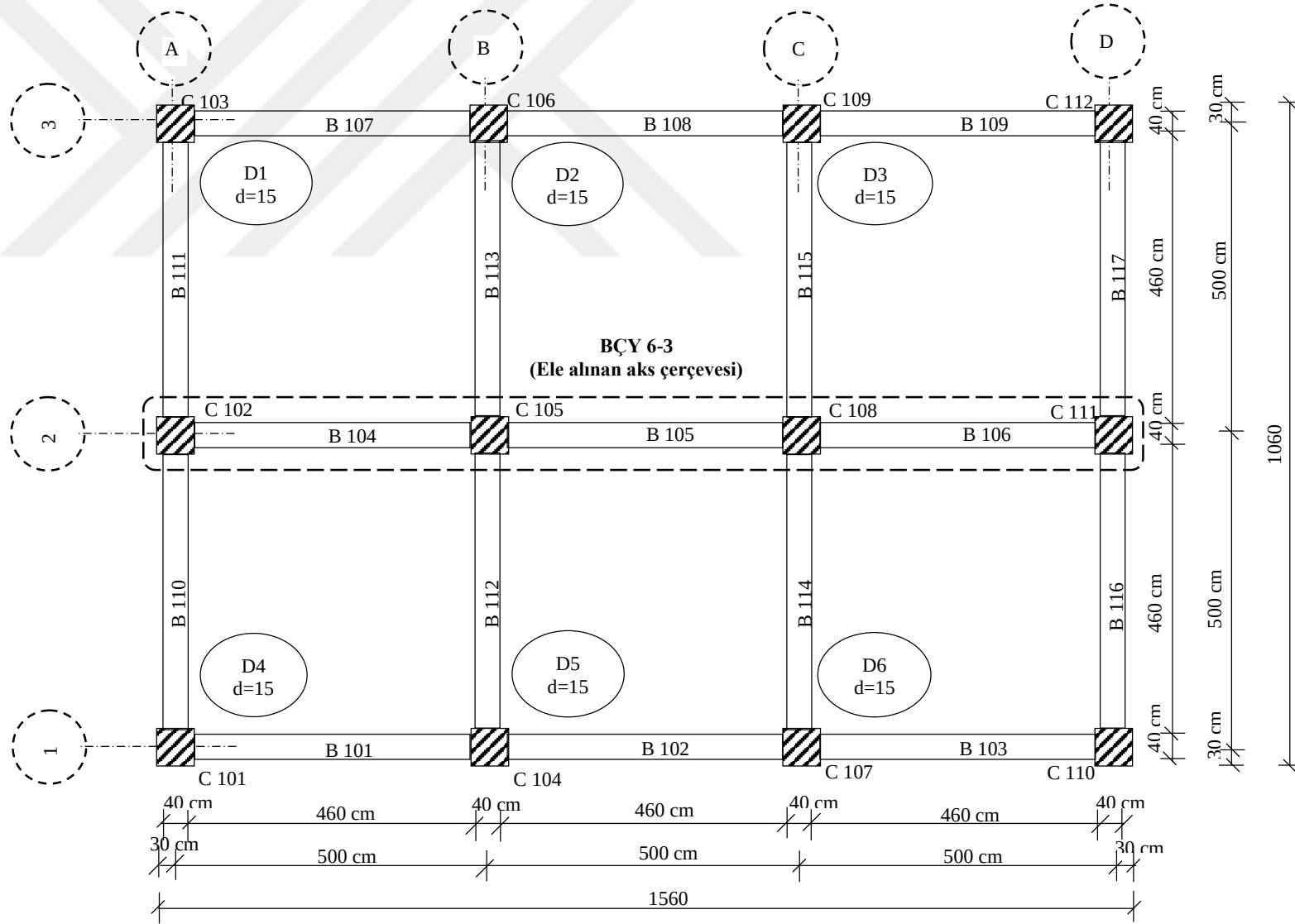
Çerçeve sistemim tüm yapı elemanlarında beton örtüsü 4 cm olarak uygulanmıştır. Kiriş enine donatıları sarılma ve açıklık bölgelerinde tek etriye olarak düzenlenmiş çap ve aralıkları

$\Phi 8/90$ mm ve kiriş kesit orta bölgesinde bir çiroz olarak tasarlanmıştır. Kolon enine donatıları sarılma ve açıklık bölgelerinde çift etriye ve bir çiroz olarak düzenlenmiş, donatı çap ve aralıkları sarılma bölgelerinde $\Phi 8/80$ mm olarak düzenlenmiştir. Tez kapsamında ilgili standart ve yönetmelikte belirtilen tüm tasarım esaslarına uyulmuştur.

4.1.5. Dokuz Katlı Üç Açıklıklı Betonarme Çerçeve: BÇY. 9-3

Tez kapsamında seçilen beşinci yapı dokuz katlı üç açıklıklı betonarme çerçeve (BÇY. 9-3) olup, kat kalıp planı Şekil 4.16’da verilmektedir.

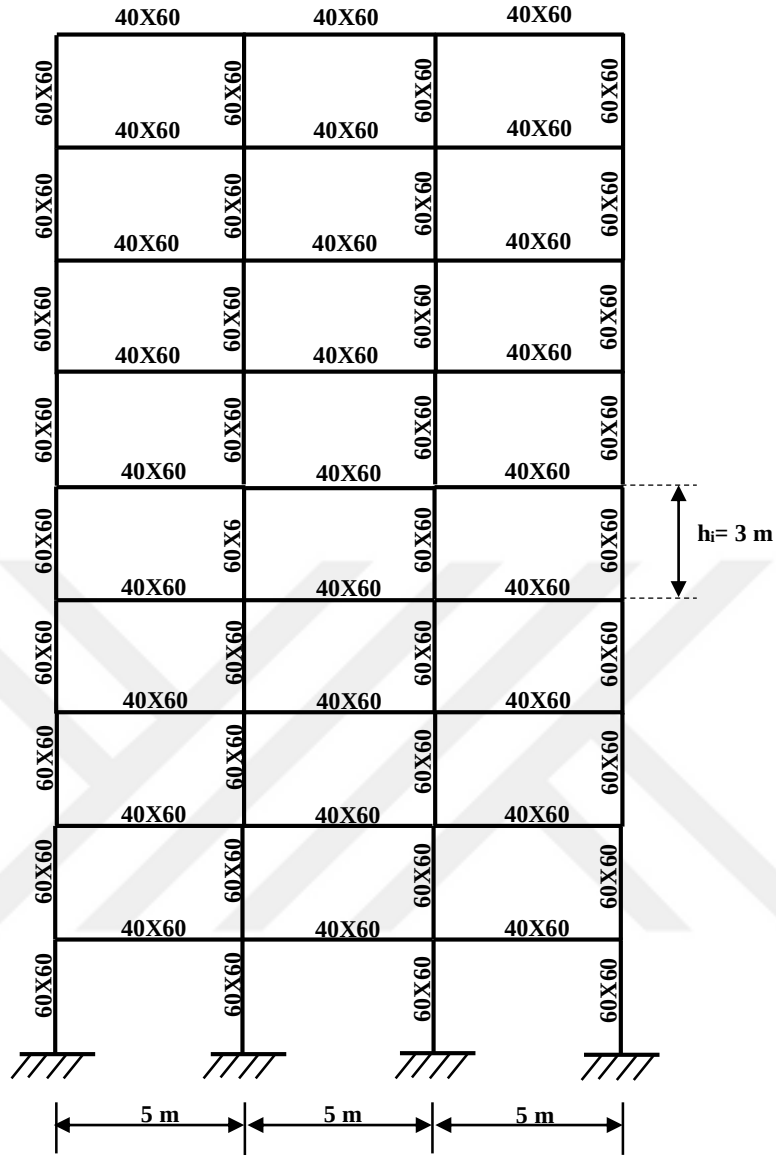




Şekil 4.16. BÇY. 9-3 yapının betonarme kat kalıp planı (ölçüler cm biriminde olup Ö:1/100)

Tablo 4.10. BÇY. 9-3 Çerçevesinin tasarımında esas alınan düşey yükler, yapı ağırlığı ve periyod değerleri

	BÇY. 9-3 Çerçeve sistemi ile ilgili özellikler	Sayısal Değer
Tasarım Düşey yükleri	G_c (kN/m): Kiriş toplam sabit yük(çatı kat)	6.00
	G_n (kN/m): Kiriş toplam sabit yük(normal kat)	9.75
	G_d (kN/m): Döşeme sabit yükü en büyük değeri	25.77
	Q_d (kN/m): Döşeme hareketli yükü en büyük değeri	9.82
	P_{GCK} (kN): Kenar aks kolon sabit eksenel yük(çatı kat)	68.90
	P_{QCK} (kN): Kenar aks kolon hareketli eksenel yük(çatı kat)	11.05
	P_{GCO} (kN): Ara aks kolon sabit eksenel yük (çatı kat)	98.90
	P_{QCO} (kN): Ara aks kolon hareketli eksenel yük(çatı kat)	22.10
	P_{GNK} (kN): Kenar aks kolon sabit eksenel yük(normal kat)	120.00
	P_{QNK} (kN): Kenar aks kolon hareketli eksenel yük(normal kat)	11.05
	P_{GNO} (kN): Ara aks kolon sabit eksenel yük (normal kat)	150.00
	P_{QNO} (kN): Ara aks kolon hareketli eksenel yük(normal kat)	22.1
Çerçeve ağırlığı ve Periyod	w_c (kN): Çatı katı zati ağırlığı	586.20
	w_n (kN): Normal katın zati ağırlığı	756.60
	w_i (kN): Herhangi bir i. katın hareketli ağırlığı	132.6
	$W=\sum w_i$ (kN): Toplam çerçeve ağırlığı	7832.8
	T_1 (s): Birinci doğal titreşim periyodu (çatlamamış kesitli)	0.812 (1.211)



Şekil 4.18. BÇY. 9-3 Çerçeve sistemin yapı elemanları geometrik boyutlandırılması (Ö:1/200)

Yapı modelin tüm kolonları 60x60 cm, tüm kirişler 40x60 cm boyutlarına sahiptir. Yapı sisteminin kolon ve kiriş elemanlarına ait donatı özellikleri Tablo 4.11’de verilmiştir.

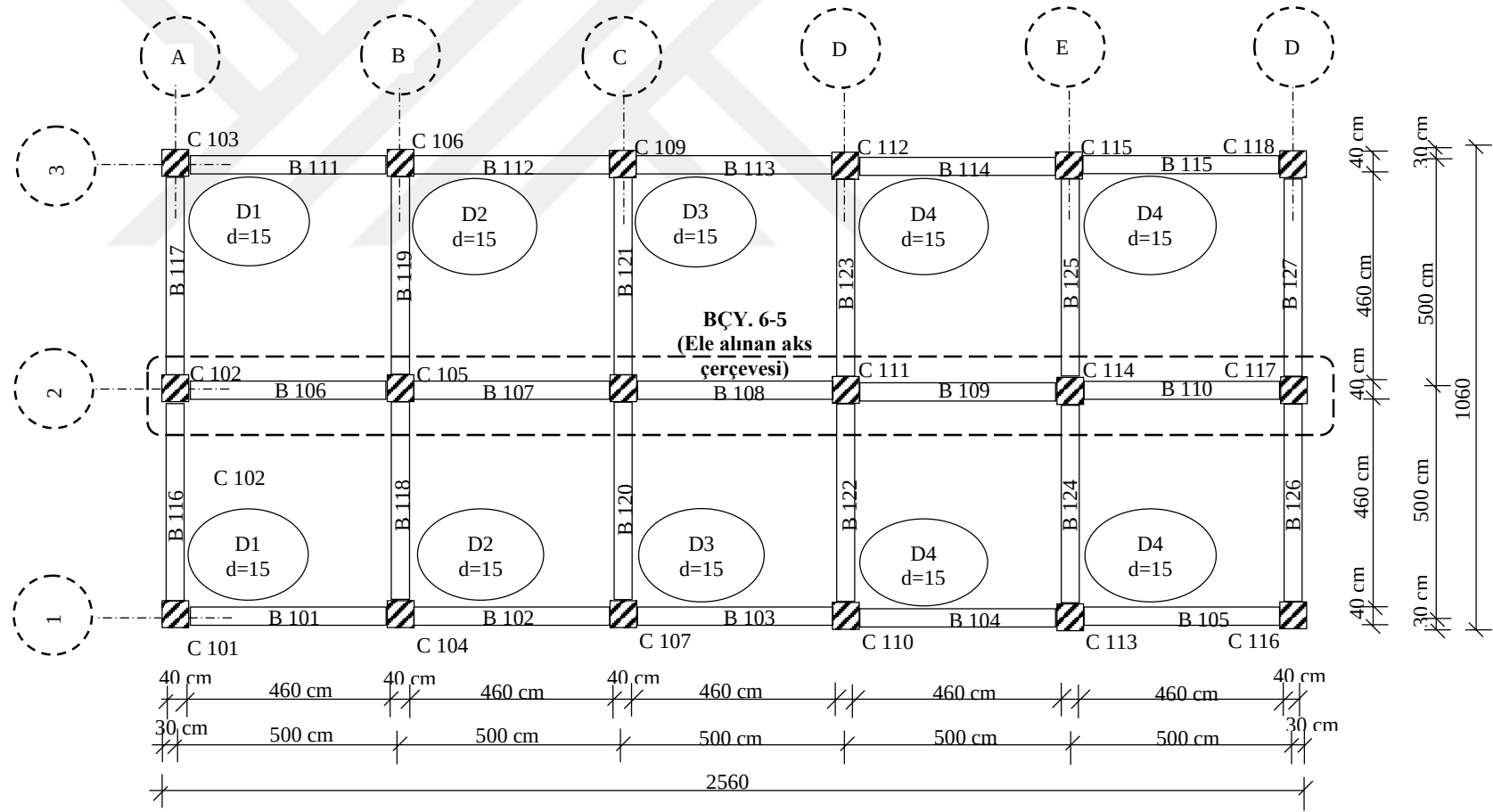
Tablo 4.11. BÇY. 9-3 Çerçevesi yapı elemanlarının donatıları

Kat	Aks	Kiriş Boyuna Donatıları				Kolon Donatıları
		Sol Üst	Sol Alt	Sağ Alt	Sağ Üst	
Kat 9	İç Aks	3Φ12+1Φ14	2Φ14+1 Φ12	2Φ14+1 Φ12	2Φ14+1 Φ12	20Φ16
Kat 8	İç Aks	2Φ14+2Φ16	3Φ14	3Φ14	2Φ14+2Φ16	20Φ16
Kat 7	İç Aks	2Φ14+2Φ16	3Φ14	3Φ14	2Φ14+2Φ16	20Φ16
Kat 6	İç Aks	2Φ14+2Φ16	3Φ14	3Φ14	2Φ14+2Φ16	20Φ16
Kat 5	İç Aks	2 Φ16+2 Φ20	2Φ14+1 Φ16	2Φ14+1 Φ16	2 Φ16+2 Φ20	20Φ16
Kat 4	İç Aks	2 Φ16+2 Φ20	2Φ14+1 Φ16	2Φ14+1 Φ16	2 Φ16+2 Φ20	20Φ16
Kat 3	İç Aks	2 Φ16+2 Φ20	2Φ14+1 Φ16	2Φ14+1 Φ16	2 Φ16+2 Φ20	20Φ16
Kat 2	İç Aks	2 Φ16+2 Φ20	2Φ14+1 Φ16	2Φ14+1 Φ16	2 Φ16+2 Φ20	20Φ16
Kat 1	İç Aks	2Φ14+2Φ16	3Φ14	3Φ14	2Φ14+2Φ16	20Φ16

Çerçeve sistemim tüm yapı elemanlarında beton örtüsü 4 cm olarak uygulanmıştır. Kiriş enine donatıları sarılma ve açıklık bölgelerinde tek etriye olarak düzenlenmiş çap ve aralıkları Φ8/90 mm ve kiriş kesit orta bölgesinde bir çiroz olarak tasarlanmıştır. Kolon enine donatıları sarılma ve açıklık bölgelerinde çift etriye ve bir çiroz olarak düzenlenmiş, donatı çap ve aralıkları sarılma bölgelerinde Φ8/80 mm olarak düzenlenmiştir. Tez kapsamında ilgili standart ve yönetmelikte belirtilen tüm tasarım esaslarına uyulmuştur.

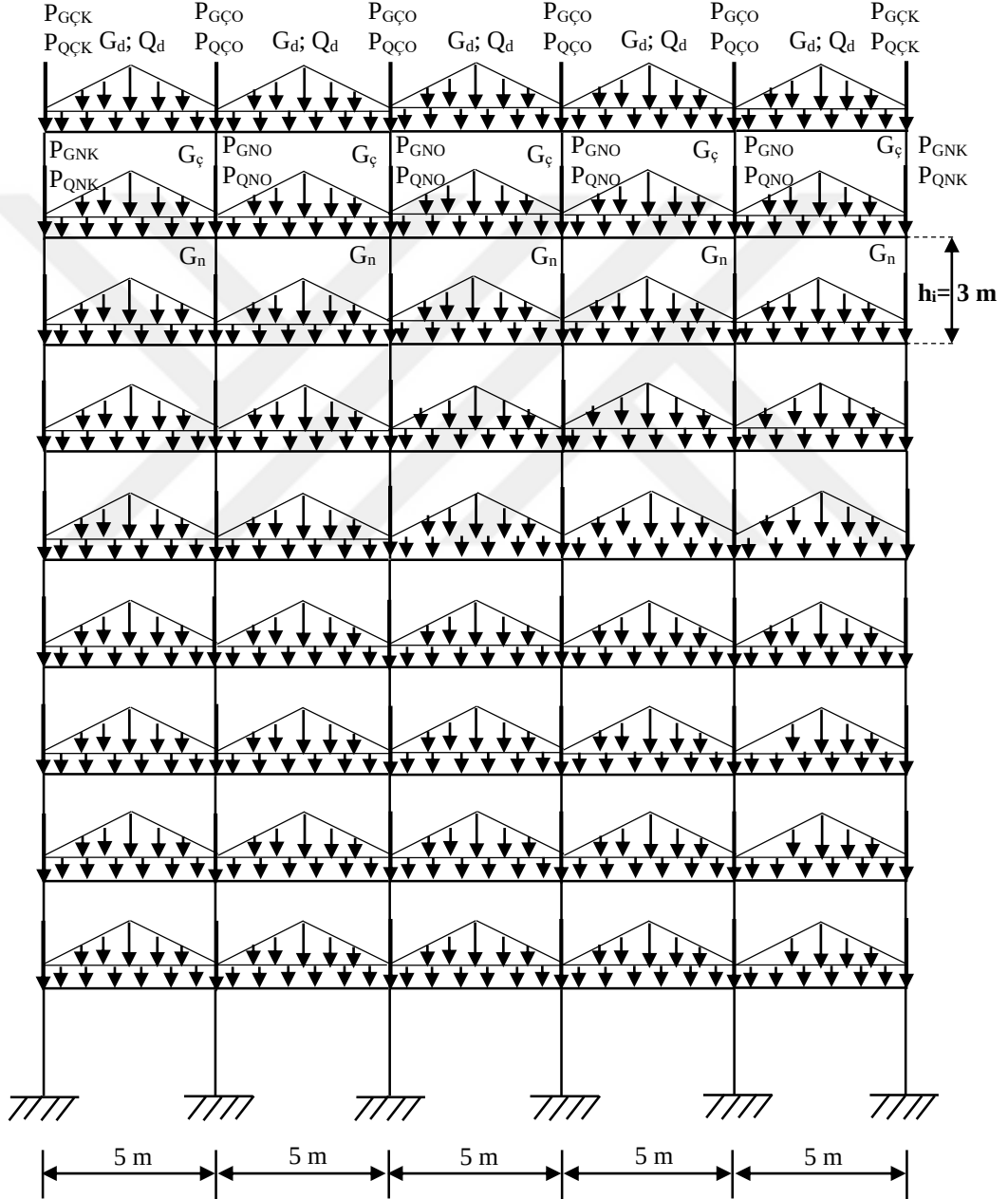
4.1.6. Dokuz Katlı Beş Açıklıklı Betonarme Çerçeve: BÇY. 9-5

Tez kapsamında seçilen altıncı yapı dokuz katlı beş açıklıklı betonarme çerçeve (BÇY. 9-5) olup, kat kalıp planı Şekil 4.19'da gösterilmektedir.



Şekil 4.19. BÇY. 9-5 yapının betonarme kat kalıp planı (ölçüler cm biriminde olup Ö:1/150)

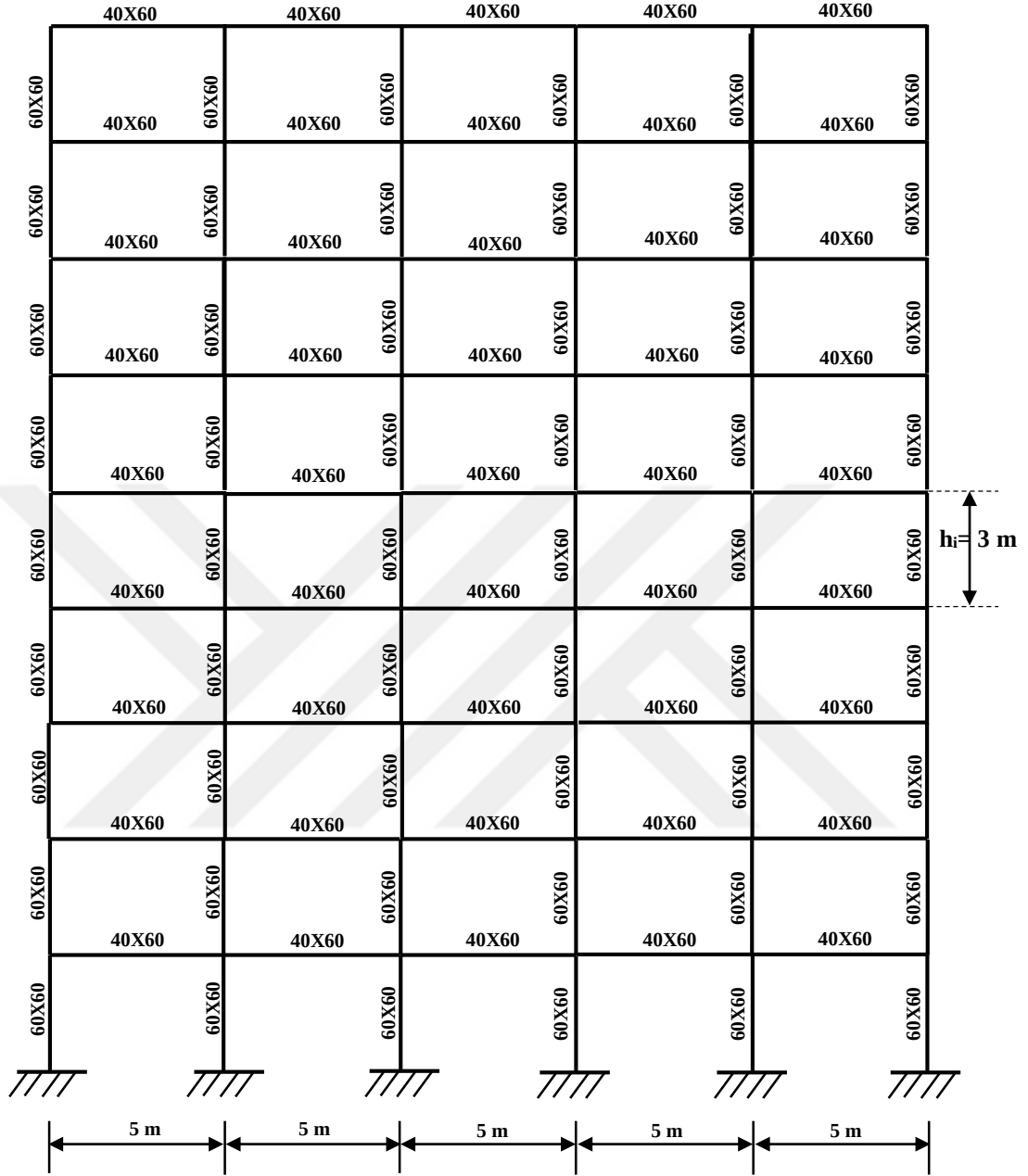
Şekil 4.20’de BÇY. 9-5 çerçevesinin düşey yükleri gösterilmektedir. Ayrıca Tablo 4.12’de yapı modeline ait tasarıma esas alınan düşey yük büyüklükleri, yapı toplam ağırlığı ve periyodu sunulmaktadır. Yapı modeline etkiyen tasarım yüklemesi verilmiştir. BÇY. 9-5 çerçevesi ZC zemin sınıflarına bağlı olarak TS500/2000 Standardı ve TBDY (2018) esaslarına göre tasarımı yapılmış ve boyutlandırılmıştır. BÇY. 9-5 çerçeve sistemin yapı elemanları boyutları Şekil 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.20. Tablo 4.12’de verilen tasarım kuvvetleri etkisindeki BÇY.9-5 çerçevesi (Ö:1/200)

Tablo 4.12. BÇY. 9-5 Çerçevesinin tasarımında esas alınan düşey yükler, yapı ağırlığı ve periyod değerleri

	BÇY. 9-5 Çerçeve sistemi ile ilgili özellikler	Sayısal Değer
Tasarım Düşey yükleri	$G_{\text{ç}}$ (kN/m): Kiriş toplam sabit yük(çatı kat)	6.00
	G_{n} (kN/m): Kiriş toplam sabit yük(normal kat)	9.75
	G_{d} (kN/m): Döşeme sabit yükü en büyük değeri	25.77
	Q_{d} (kN/m): Döşeme hareketli yükü en büyük değeri	9.82
	$P_{\text{GÇK}}$ (kN): Kenar aks kolon sabit eksenel yük(çatı kat)	68.90
	$P_{\text{QÇK}}$ (kN): Kenar aks kolon hareketli eksenel yük(çatı kat)	11.05
	$P_{\text{GÇO}}$ (kN): Ara aks kolon sabit eksenel yük (çatı kat)	98.90
	$P_{\text{QÇO}}$ (kN): Ara aks kolon hareketli eksenel yük(çatı kat)	22.10
	P_{GNK} (kN): Kenar aks kolon sabit eksenel yük(normal kat)	120.00
	P_{QNK} (kN): Kenar aks kolon hareketli eksenel yük(normal kat)	11.05
	P_{GNO} (kN): Ara aks kolon sabit eksenel yük (normal kat)	150.00
	P_{QNO} (kN): Ara aks kolon hareketli eksenel yük(normal kat)	22.1
Çerçeve ağırlığı ve Periyod	$w_{\text{ç}}$ (kN): Çatı katı zati ağırlığı	950.2
	w_{n} (kN): Normal katın zati ağırlığı	1214.2
	w_{i} (kN): Herhangi bir i. katın hareketli ağırlığı	221
	$W=\sum w_{\text{i}}$ (kN): Toplam çerçeve ağırlığı	12652.8
	T_1 (s): Birinci doğal titreşim periyodu (çatlamamış kesitli)	0.800 (1.198)



Şekil 4.21. BÇY. 9-5 Çerçeve sistemin yapı elemanları geometrik boyutlandırılması (Ö:1/200)

Yapı modelin tüm kolonları 60x60 cm, tüm kirişler 40x60 cm boyutlarına sahiptir. Yapı sisteminin kolon ve kiriş elemanlarına ait donatı özellikleri Tablo 4.13’de verilmiştir.

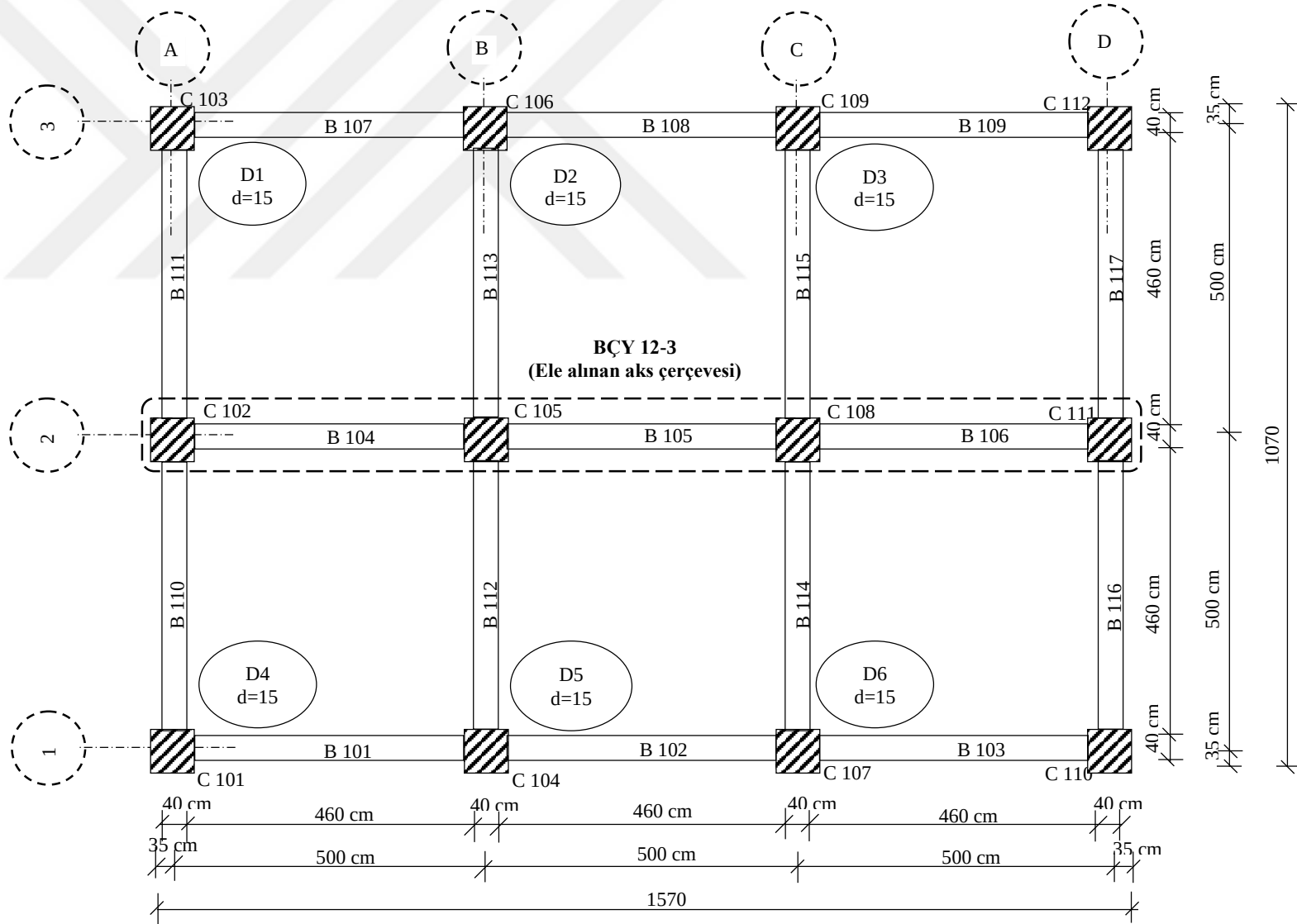
Tablo 4.13. BÇY. 9-5 Çerçevesi yapı elemanlarının donatıları

Kat	Aks	Kiriş Boyuna Donatıları				Kolon Donatıları
		Sol Üst	Sol Alt	Sağ Alt	Sağ Üst	
Kat 9	İç Aks	3Φ12+1Φ14	2Φ14+1 Φ12	2Φ14+1 Φ12	2Φ14+1 Φ12	20Φ16
Kat 8	İç Aks	2Φ14+2Φ16	3Φ14	3Φ14	2Φ14+2Φ16	20Φ16
Kat 7	İç Aks	2Φ14+2Φ16	3Φ14	3Φ14	2Φ14+2Φ16	20Φ16
Kat 6	İç Aks	2Φ14+2Φ16	3Φ14	3Φ14	2Φ14+2Φ16	20Φ16
Kat 5	İç Aks	2 Φ16+2 Φ20	2Φ14+1 Φ16	2Φ14+1 Φ16	2 Φ16+2 Φ20	20Φ16
Kat 4	İç Aks	2 Φ16+2 Φ20	2Φ14+1 Φ16	2Φ14+1 Φ16	2 Φ16+2 Φ20	20Φ16
Kat 3	İç Aks	2 Φ16+2 Φ20	2Φ14+1 Φ16	2Φ14+1 Φ16	2 Φ16+2 Φ20	20Φ16
Kat 2	İç Aks	2 Φ16+2 Φ20	2Φ14+1 Φ16	2Φ14+1 Φ16	2 Φ16+2 Φ20	20Φ16
Kat 1	İç Aks	2Φ14+2Φ16	3Φ14	3Φ14	2Φ14+2Φ16	20Φ16

Çerçeve sistemim tüm yapı elemanlarında beton örtüsü 4 cm olarak uygulanmıştır. Kiriş enine donatıları sarılma ve açıklık bölgelerinde tek etriye olarak düzenlenmiş çap ve aralıkları Φ8/90 mm ve kiriş kesit orta bölgesinde bir çiroz olarak tasarlanmıştır. Kolon enine donatıları sarılma ve açıklık bölgelerinde çift etriye ve bir çiroz olarak düzenlenmiş, donatı çap ve aralıkları sarılma bölgelerinde Φ8/80 mm olarak düzenlenmiştir. Tez kapsamında ilgili standart ve yönetmelikte belirtilen tüm tasarım esaslarına uyulmuştur.

4.1.7. On İki Katlı Üç Açıklıklı Betonarme Çerçeve: BÇY. 12-3

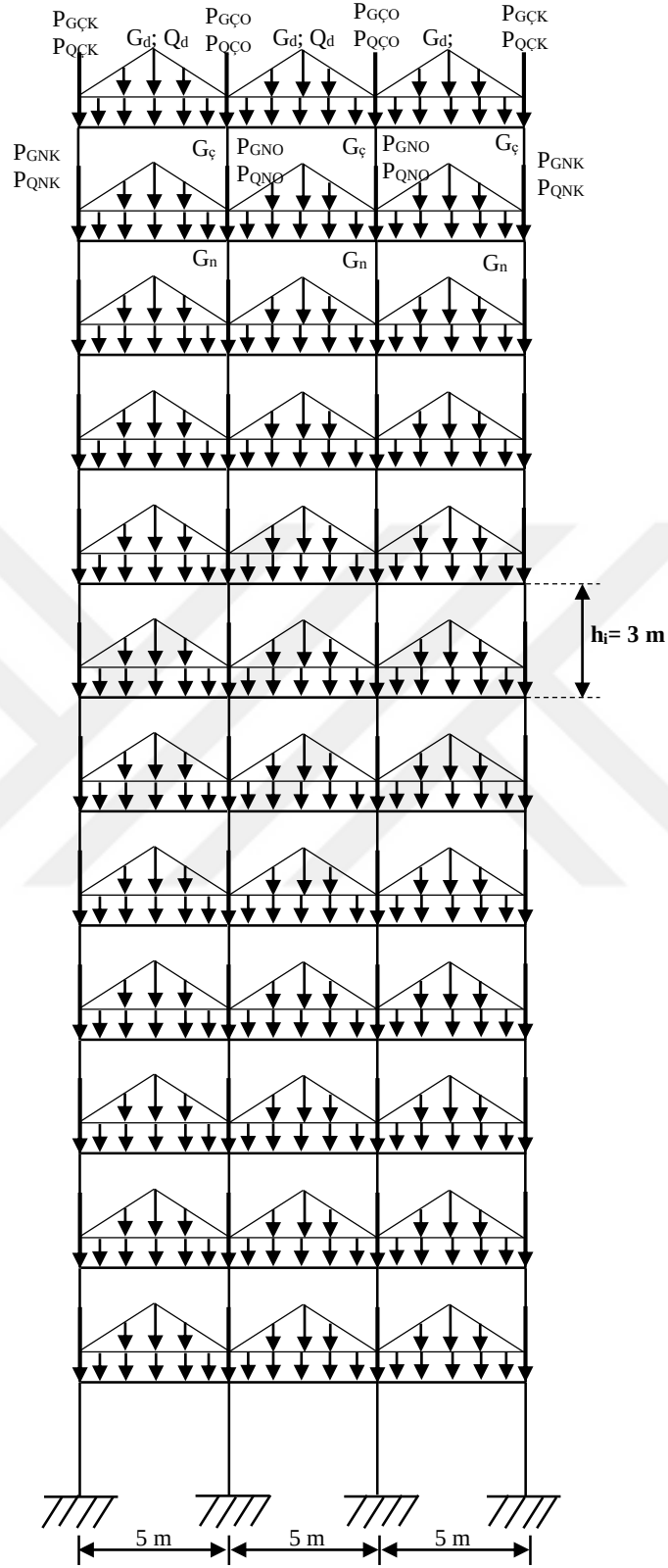
Tez kapsamında seçilen yedinci yapı on iki katlı üç açıklıklı betonarme çerçeve (BÇY. 12-3) olup, kat kalıp planı Şekil 4.22’de gösterilmektedir.



Şekil 4.22. BÇY. 12-3 yapının betonarme kat kalıp planı (ölçüler cm biriminde olup Ö:1/100)

Şekil 4.23’de BÇY. 12-3 çerçevesinin düşey yükleri gösterilmektedir. Ayrıca Tablo 4.14’de yapı modeline ait tasarıma esas alınan düşey yük büyüklükleri, yapı toplam ağırlığı ve periyodu sunulmaktadır. Yapı modeline etkileyen tasarım yüklemesi verilmiştir. BÇY. 12-3 çerçevesi ZC zemin sınıflarına bağılı olarak TS500/2000 Standardı ve TBDY (2018) esaslarına göre tasarımı yapılmış ve boyutlandırılmıştır. BÇY.12-3 çerçeve sistemin yapı elemanları boyutları Şekil 4.24’de verilmiştir.

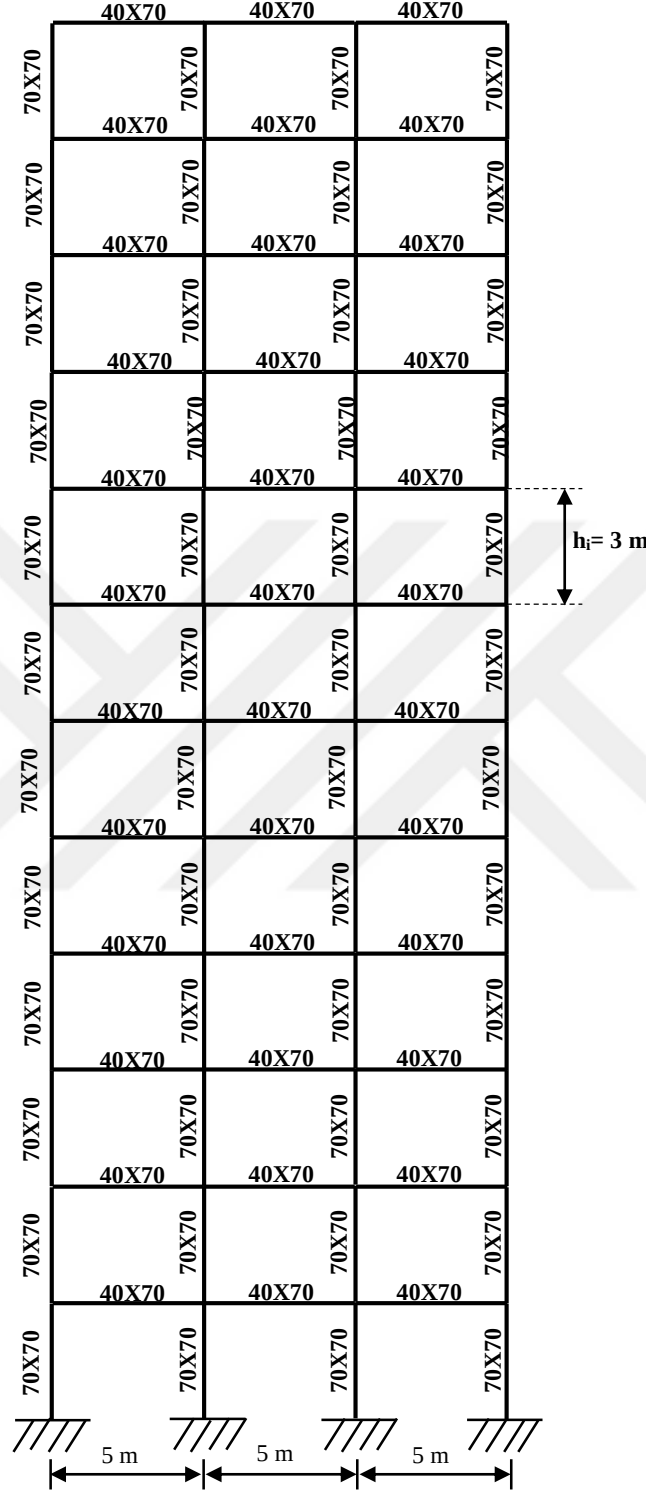




Şekil 4.23. Tablo 4.14’de verilen tasarım kuvvetleri etkisindeki BÇY. 12-3 çerçevesi (Ö:1/250)

Tablo 4.14. BÇY. 12-3 Çerçevesinin tasarımında esas alınan düşey yükler, yapı ağırlığı ve periyod değerleri

	BÇY. 12-3 Çerçeve sistemi ile ilgili özellikler	Sayısal Değer
Tasarım düşey yükleri	G_e (kN/m): Kiriş toplam sabit yük(çatı kat)	3.00
	G_n (kN/m): Kiriş toplam sabit yük(normal kat)	10.75
	G_d (kN/m): Döşeme sabit yükü en büyük değeri	25.77
	Q_d (kN/m): Döşeme hareketli yükü en büyük değeri	9.82
	P_{GCK} (kN): Kenar aks kolon sabit eksenel yük(çatı kat)	98.85
	P_{QCK} (kN): Kenar aks kolon hareketli eksenel yük(çatı kat)	11.05
	P_{GCO} (kN): Ara aks kolon sabit eksenel yük (çatı kat)	124.85
	P_{QCO} (kN): Ara aks kolon hareketli eksenel yük(çatı kat)	22.10
	P_{GNK} (kN): Kenar aks kolon sabit eksenel yük(normal kat)	149.00
	P_{QNK} (kN): Kenar aks kolon hareketli eksenel yük(normal kat)	11.05
	P_{GNO} (kN): Ara aks kolon sabit eksenel yük (normal kat)	178.00
	P_{QNO} (kN): Ara aks kolon hareketli eksenel yük(normal kat)	22.10
Çerçeve ağırlığı ve Periyod	w_e (kN): Çatı katı zati ağırlığı	705.60
	w_n (kN): Normal katın zati ağırlığı	967.50
	w_i (kN): Herhangi bir i. katın hareketli ağırlığı	132.60
	$W=\sum w_i$ (kN): Toplam çerçeve ağırlığı	12939
	T_1 (s): Birinci doğal titreşim periyodu (çatlamamış kesitli)	0.962 (1.425)



Şekil 4.24. BCY. 12-3 Çerçeve sistemin yapı elemanları geometrik boyutlandırılması (Ö:1/250)

Yapı modelinin tüm kolonları 70x70 cm, tüm kirişleri 40x70 cm boyutlarına sahiptir. Yapı sisteminin kolon ve kiriş elemanlarına ait donatı özellikleri Tablo 4.15’de verilmiştir.

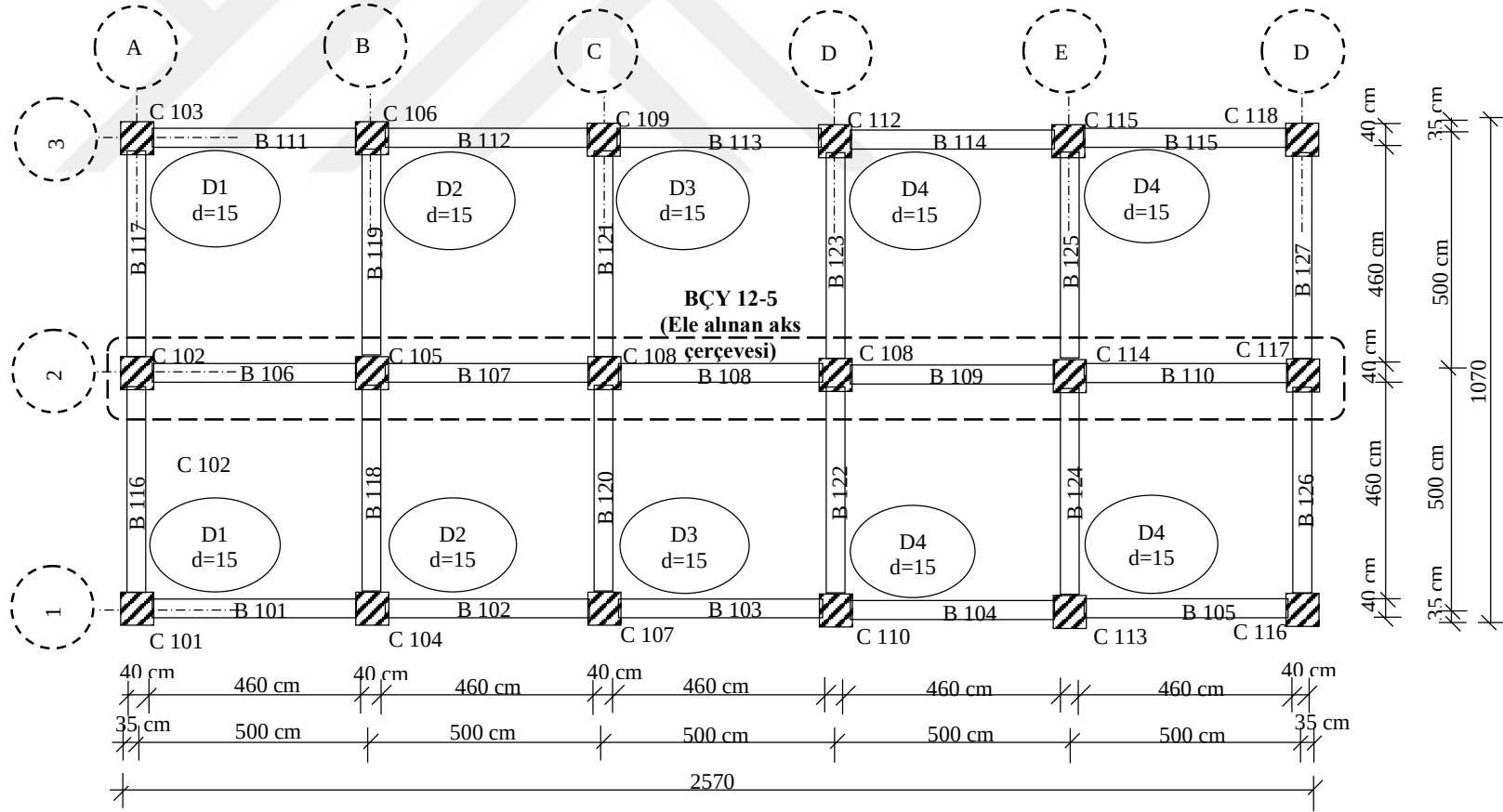
Tablo 4.15. BÇY. 12-3 Çerçevesi yapı elemanlarının donatıları

Kat	Aks	Kiriş Boyuna Donatıları				Kolon Donatıları
		Sol Üst	Sol Alt	Sağ Alt	Sağ Üst	
Kat 12	İç Aks	3Φ12+2Φ14	2Φ14+1 Φ12	2Φ14+1 Φ12	3Φ12+2Φ14	20Φ20
Kat 11	İç Aks	5Φ16	4Φ16	4Φ16	5Φ16	20Φ20
Kat 10	İç Aks	5Φ16	4Φ16	4Φ16	5Φ16	20Φ20
Kat 9	İç Aks	5Φ16	4Φ16	4Φ16	5Φ16	20Φ20
Kat 8	İç Aks	5Φ16	4Φ16	4Φ16	5Φ16	20Φ20
Kat 7	İç Aks	2 Φ14+4 Φ18	5Φ16	5Φ16	2 Φ14+4 Φ18	20Φ20
Kat 6	İç Aks	2 Φ14+4 Φ18	5Φ16	5Φ16	2 Φ14+4 Φ18	20Φ20
Kat 5	İç Aks	2 Φ14+4 Φ18	5Φ16	5Φ16	2 Φ14+4 Φ18	20Φ20
Kat 4	İç Aks	2 Φ14+4 Φ18	5Φ16	5Φ16	2 Φ14+4 Φ18	20Φ20
Kat 3	İç Aks	2 Φ14+4 Φ18	5Φ16	5Φ16	2 Φ14+4 Φ18	20Φ20
Kat 2	İç Aks	2 Φ14+4 Φ18	5Φ16	5Φ16	2 Φ14+4 Φ18	20Φ20
Kat 1	İç Aks	5Φ16	4Φ16	4Φ16	5Φ16	20Φ20

Çerçeve sistemim tüm yapı elemanlarında beton örtüsü 4 cm olarak uygulanmıştır. Kiriş enine donatıları sarılma ve açıklık bölgelerinde tek etriye olarak düzenlenmiş çap ve aralıkları Φ8/90 mm ve kiriş kesit orta bölgesinde bir çiroz olarak tasarlanmıştır. Kolon enine donatıları sarılma ve açıklık bölgelerinde çift etriye ve bir çiroz olarak düzenlenmiş, donatı çap ve aralıkları sarılma bölgelerinde Φ8/80 mm olarak düzenlenmiştir. Tez kapsamında ilgili standart ve yönetmelikte belirtilen tüm tasarım esaslarına uyulmuştur.

4.1.8. On İki Katlı Beş Açıklıklı Betonarme Çerçeve: BÇY. 12-5

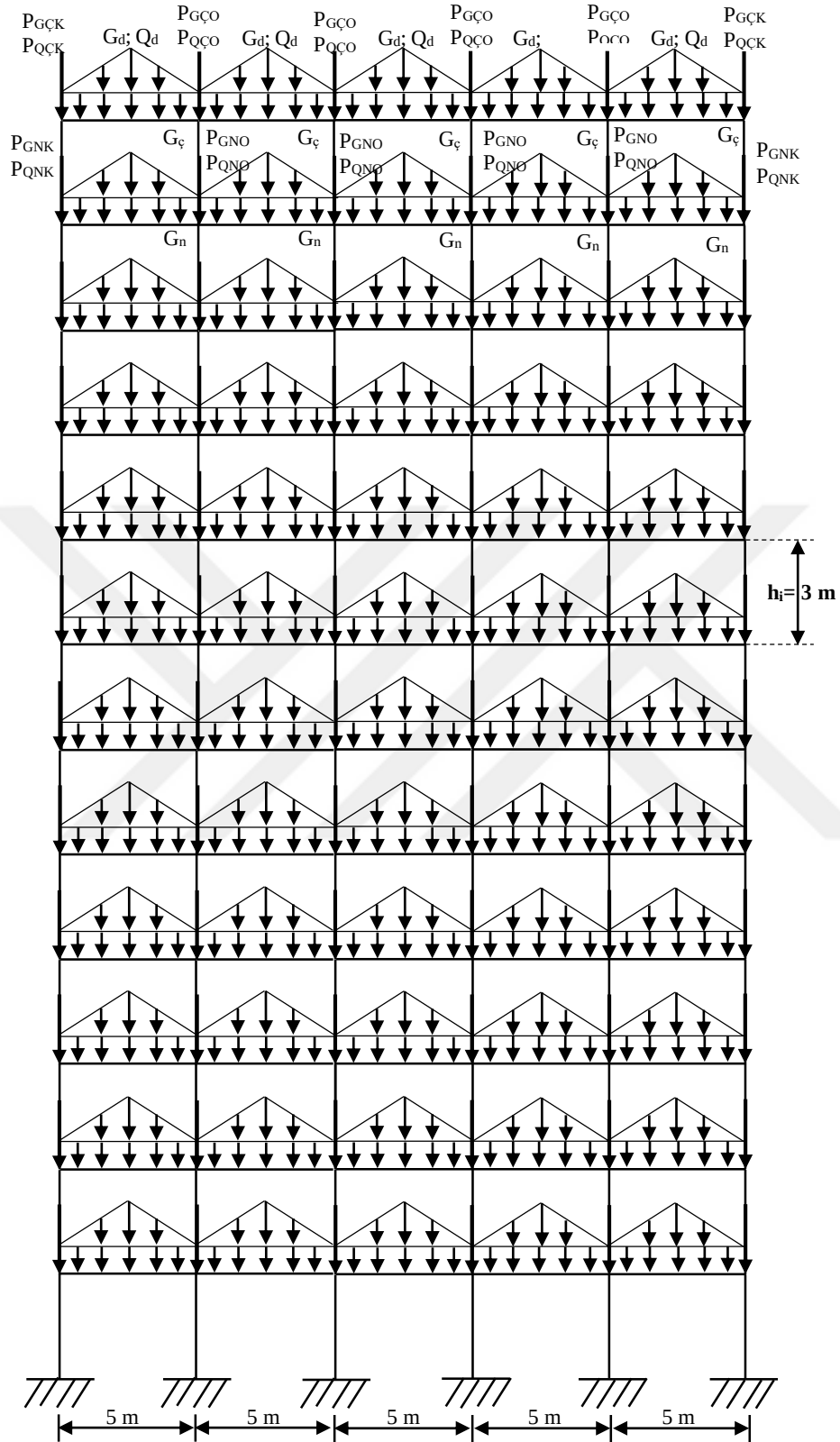
Tez kapsamında seçilen sekizinci ve son yapı on iki katlı beş açıklıklı betonarme çerçeve (BÇY. 12-5) olup, kat kalıp planı Şekil 4.25’de gösterilmektedir.



Şekil 4.25. BÇY. 12-5 yapının betonarme kat kalıp planı (ölçüler cm biriminde olup Ö:1/150)

Şekil 4.26'da BÇY. 12-5 çerçevesinin düşey yükleri gösterilmektedir. Ayrıca Tablo 4.16'da yapı modeline ait tasarıma esas alınan düşey yük büyüklükleri, yapı toplam ağırlığı ve periyodu sunulmaktadır. Yapı modeline etkiyen tasarım yüklemesi verilmiştir. BÇY. 12-5 çerçevesi ZC zemin sınıflarına bağlı olarak TS500/2000 Standardı ve TBDY (2018) esaslarına göre tasarımı yapılmış ve boyutlandırılmıştır. BÇY. 12-5 çerçeve sistemin yapı elemanları boyutları Şekil 4.27'de verilmiştir.

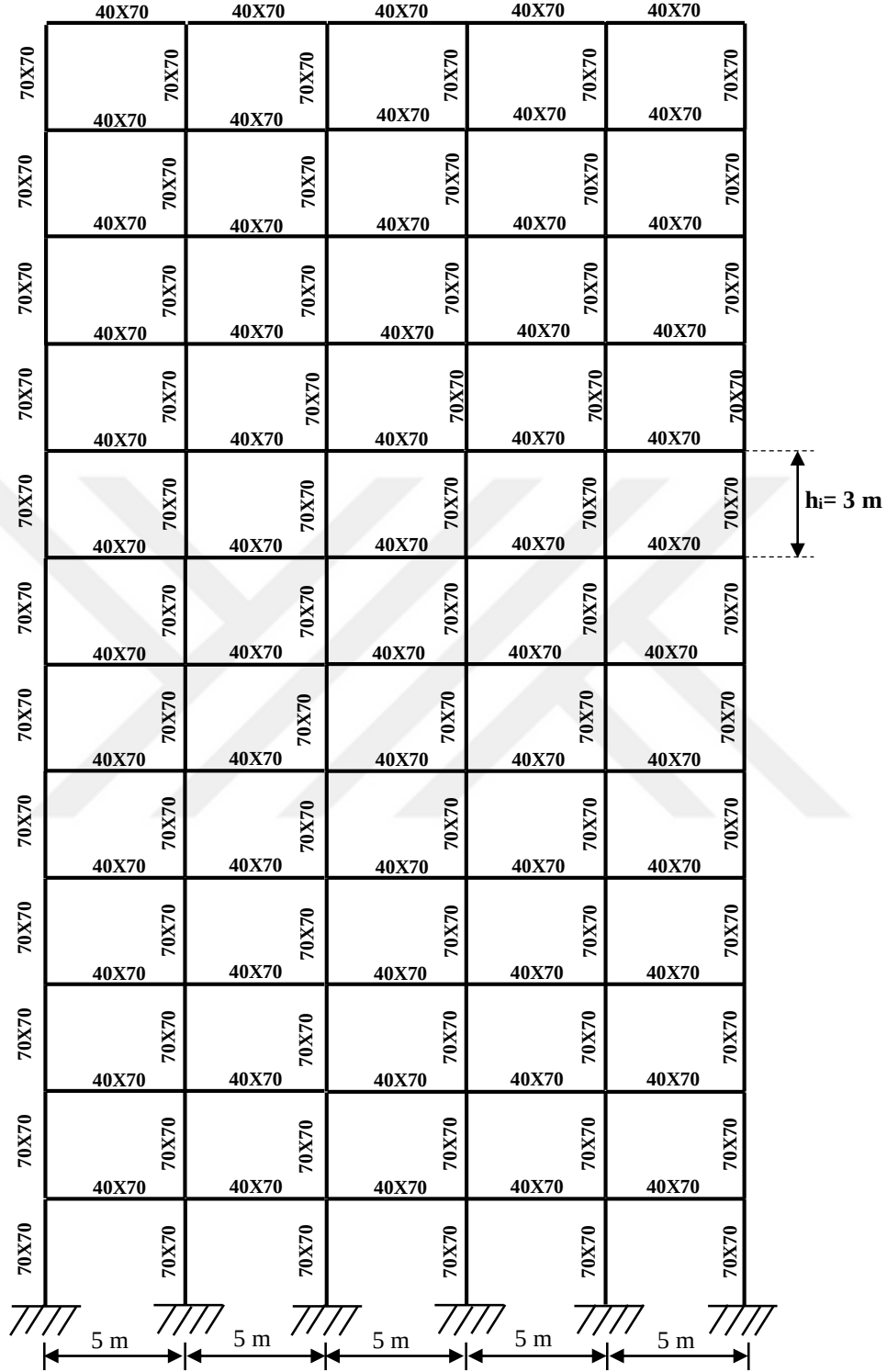




Şekil 4.26. Tablo 4.16’de verilen tasarım kuvvetleri etkisindeki BÇY.12-5 çerçevesi (Ö:1/250)

Tablo 4.16. BÇY. 12-5 Çerçevesinin tasarımında esas alınan düşey yükler, yapı ağırlığı ve periyod değerleri

	BÇY. 12-5 Çerçeve sistemi ile ilgili özellikler	Sayısal Değer
Tasarım düşey yükleri	G_e (kN/m): Kiriş toplam sabit yük(çatı kat)	3.00
	G_n (kN/m): Kiriş toplam sabit yük(normal kat)	10.75
	G_d (kN/m): Döşeme sabit yükü en büyük değeri	25.77
	Q_d (kN/m): Döşeme hareketli yükü en büyük değeri	9.82
	P_{GCK} (kN): Kenar aks kolon sabit eksenel yük(çatı kat)	98.85
	P_{QCK} (kN): Kenar aks kolon hareketli eksenel yük(çatı kat)	11.05
	P_{GCO} (kN): Ara aks kolon sabit eksenel yük (çatı kat)	124.85
	P_{QCO} (kN): Ara aks kolon hareketli eksenel yük(çatı kat)	22.10
	P_{GNK} (kN): Kenar aks kolon sabit eksenel yük(normal kat)	149.00
	P_{QNK} (kN): Kenar aks kolon hareketli eksenel yük(normal kat)	11.05
	P_{GNO} (kN): Ara aks kolon sabit eksenel yük (normal kat)	178.00
	P_{QNO} (kN): Ara aks kolon hareketli eksenel yük(normal kat)	22.10
Çerçeve ağırlığı ve Periyod	w_e (kN): Çatı katı zati ağırlığı	1131.4
	w_n (kN): Normal katın zati ağırlığı	1532.5
	w_i (kN): Herhangi bir i. katın hareketli ağırlığı	221
	$W=\sum w_i$ (kN): Toplam çerçeve ağırlığı	20641
	T_1 (s): Birinci doğal titreşim periyodu (çatlamamış kesitli)	0.962 (1.425)



Şekil 4.27. BÇY. 12-5 Çerçeve sistemin yapı elemanları geometrik boyutlandırılması (Ö:1/250)

Yapı modelin tüm kolonları 70x70 cm, tüm kirişler 40x70 cm boyutlarına sahiptir. Yapı sisteminin kolon ve kiriş elemanlarına ait donatı özellikleri Tablo 4.17’de verilmiştir.

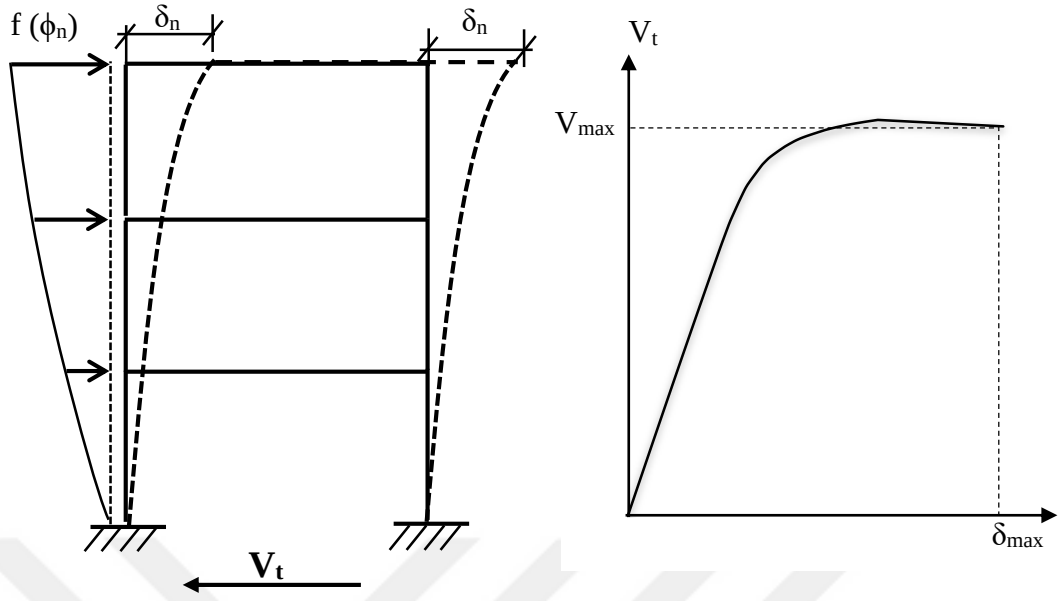
Tablo 4.17. BÇY. 12-5 Çerçevesi yapı elemanlarının donatıları

Kat	Aks	Kiriş Boyuna Donatıları				Kolon Donatıları
		Sol Üst	Sol Alt	Sağ Alt	Sağ Üst	
Kat 12	İç Aks	3Φ12+2Φ14	2Φ14+1 Φ12	2Φ14+1 Φ12	3Φ12+2Φ14	20Φ20
Kat 11	İç Aks	5Φ16	4Φ16	4Φ16	5Φ16	20Φ20
Kat 10	İç Aks	5Φ16	4Φ16	4Φ16	5Φ16	20Φ20
Kat 9	İç Aks	5Φ16	4Φ16	4Φ16	5Φ16	20Φ20
Kat 8	İç Aks	5Φ16	4Φ16	4Φ16	5Φ16	20Φ20
Kat 7	İç Aks	2 Φ14+4 Φ18	5Φ16	5Φ16	2 Φ14+4 Φ18	20Φ20
Kat 6	İç Aks	2 Φ14+4 Φ18	5Φ16	5Φ16	2 Φ14+4 Φ18	20Φ20
Kat 5	İç Aks	2 Φ14+4 Φ18	5Φ16	5Φ16	2 Φ14+4 Φ18	20Φ20
Kat 4	İç Aks	2 Φ14+4 Φ18	5Φ16	5Φ16	2 Φ14+4 Φ18	20Φ20
Kat 3	İç Aks	2 Φ14+4 Φ18	5Φ16	5Φ16	2 Φ14+4 Φ18	20Φ20
Kat 2	İç Aks	2 Φ14+4 Φ18	5Φ16	5Φ16	2 Φ14+4 Φ18	20Φ20
Kat 1	İç Aks	5Φ16	4Φ16	4Φ16	5Φ16	20Φ20

Çerçeve sistemim tüm yapı elemanlarında beton örtüsü 4 cm olarak uygulanmıştır. Kiriş enine donatıları sarılma ve açıklık bölgelerinde tek etriye olarak düzenlenmiş çap ve aralıkları $\Phi 8/90$ mm ve kiriş kesit orta bölgesinde bir çiroz olarak tasarlanmıştır. Kolon enine donatıları sarılma ve açıklık bölgelerinde çift etriye ve bir çiroz olarak düzenlenmiş, donatı çap ve aralıkları sarılma bölgelerinde $\Phi 8/80$ mm olarak düzenlenmiştir. Tez kapsamında ilgili standart ve yönetmelikte belirtilen tüm tasarım esaslarına uyulmuştur.

4.2. Betonarme Çerçevesinin Statik Artımsal İtme Analizi Altında Kapasitelerinin Elde Edilmesi

Statik itme analizleri yapı sistemlerinin deprem performans seviyelerinin belirlenmesine yönelik yatay yükler altındaki doğrusal olmayan davranışını elde etmek amacıyla yaygın olarak gerçekleştirilmektedir. Bu statik itme analizlerinde önce sabit düşey yükler etkisinde ve sonrasında adım adım artırılan yatay yüklerin etkisinde yapı sistemlerinin tepe yer değiştirme ve taban kesme kuvveti eğrisi elde edilebilmektedir. Analizlerde yapısal elemanların doğrusal olmayan davranışı dikkate alınmakta ve yapının kapasite eğrisi belirlenmektedir (Şekil 4.28).



Şekil 4.28. Statik itme analizi altındaki bir çerçeve yapı ve elde edilen itme eğrisi

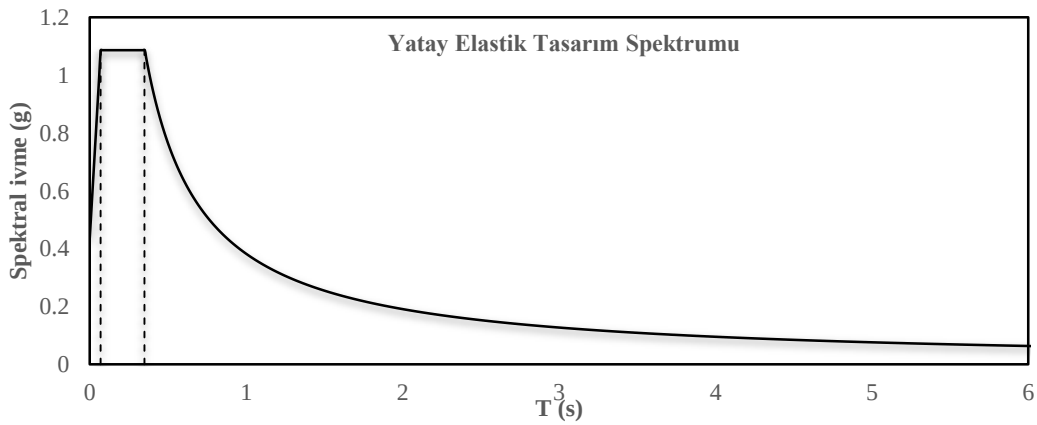
Çalışma kapsamında ele alınan çok katlı betonarme çerçeve yapı sistemlerinin (BÇY. 3-1, BÇY. 3-3, BÇY. 6-3, BÇY. 6-5, BÇY. 9-3, BÇY. 9-5, BÇY. 12-3 ve BÇY. 12-5 çerçevelerinin) doğrusal olmayan analizleri statik itme analizleri MATLAB programlama dilinde yazılan algoritma ile gerçekleştirilmiştir. İtme analizi sonucunda yapılara ait itme eğrileri ve plastik enerji tepe yer değiştirme grafikleri elde edilmiştir

Tez çalışması kapsamında ele alınan çok katlı betonarme çerçeve türü yapıların doğrusal olmayan statik artımsal itme analizleri ile kapasite eğrilerinin belirlenmesinde Bölüm 4’de yazılan kabullere ek olarak yapılan kabuller aşağıda belirtilmiştir. Yapılan Kabuller:

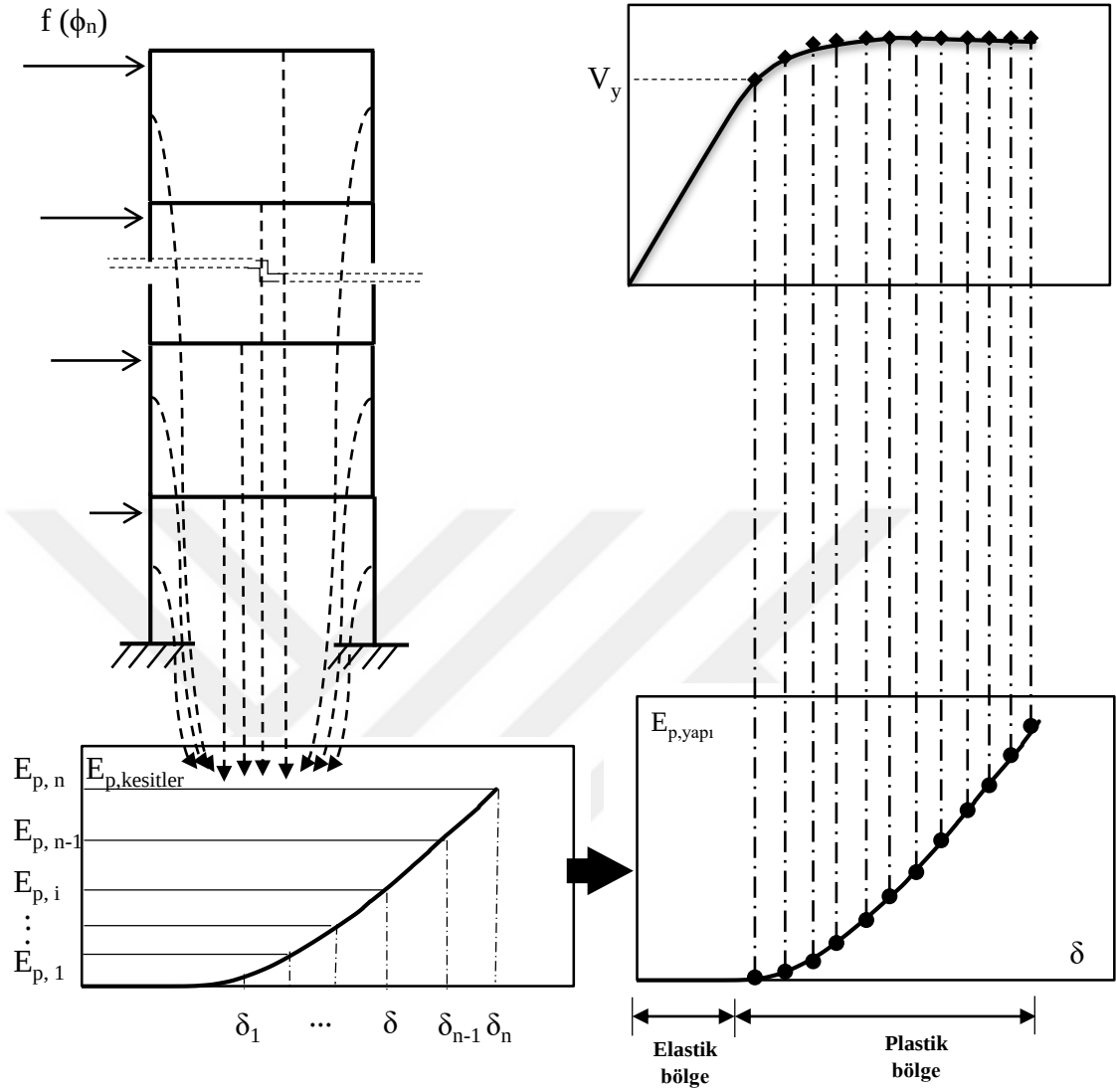
- ❖ İtme analizlerinde $(1.0G+0.3Q)$ düşey yüklemesi dikkate alınmıştır.
- ❖ Çalışma kapsamında gerçekleştirilen doğrusal olmayan statik itme analizlerinde adım adım artırılarak etkitilen yatay deprem yükleri birinci (hâkim) mod ile uyumlu olarak göz önüne alınmıştır. Seçilen yapılarda kütle ve rijitliklerin dağılımı düzenli olup birinci moda ait kütle katılım oranları oldukça yüksektir. Bu duruma bağlı olarak taşıyıcı sistemin deprem davranışında sadece birinci modun etkili olduğu varsayımı yapılmış ve tek modlu itme analizi uygulanmıştır. Tablo 4.18’de çalışma kapsamında tek yönlü statik itme analizleri uygulanan betonarme çerçeve yapıların birinci doğal titreşim moduna ait özellikleri sunulmuştur.
- ❖ TBDY (2018)’de tanımlanan 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan belirtilen bölge için Türkiye deprem tehlike haritasından ZC yerel zemin sınıfında elde edilen tasarım ivme spektrumu göz önüne alınmıştır (Şekil 4.29).

- ❖ Oluşturulan düzlem çerçevelerin yapı elemanlarında kesme kuvveti kapasitelerinin aşılmadığı ve gevrek davranışının önleendiği kabul edilmiştir.

Seçilen betonarme çerçevelere hâkim periyodun mod şekli ile orantılı olarak adım adım kuvvetler uygulanmış göçme noktasına kadar itme analizi uygulanmıştır. Her bir itme adımında oluşan yer değiştirmeler ve şekil değişimleri elde edilmiştir. Artımsal itme analizleri sonucunda seçilen betonarme çerçeve yapıların kapasite eğrileri elde edilmiştir. Çerçevenin taşıyıcı sistemin itme analizi altında doğrusal olmayan davranışı ile tükettiği plastik enerjisi Bölüm 3’de ayrıntılı olarak açıklanan ve malzeme birim şekil değiştirmelerini dikkate alan yöntemin kullanılması elde edilmiştir. Statik itme analizinin her adımında (ilk adımdan son adıma) her bir yapı elemanının her bir integrasyon bölgesindeki betonarme kesitlerin tükettiği plastik enerji, kesitte doğrusal olmayan davranışa geçmiş sargılı-sargısız beton ve çelik liflerin gerilme-şekil değiştirme grafikleri üzerinden yola çıkılarak hesaplanmıştır. Her bir yapı elemanına ait tüm integrasyon bölgelerinde hesaplanan plastik enerji değeri toplanarak, o yapı elemanının tükettiği enerji ve yapı elemanları toplanarak da sistemin toplam tükettiği plastik enerji belirlenmiştir. Her itme adımında hesaplanan yapı toplam plastik enerji tüketiminin, statik itme analizlerinde genellikle referans alınan tepe yer değiştirmesine göre grafiksel ilişkisi belirlenmiştir. Çalışma kapsamında malzeme birim şekil değiştirmelerini dikkate alan yöntemin kullanılması ile elde edilen grafikler çerçevelere ait “Plastik enerji – Tepe yer değiştirme eğrisi” ($E_p - \delta$) diyagramlarıdır. Düzlem çerçeve yapıların itme analizleri altında doğrusal olmayan davranışı ile tükettiği plastik enerji-tepe yer değiştirme ($E_p - \delta$) diyagramına geçiş şekilsel olarak Şekil 4.30’de verilmektedir.



Şekil 4.29. İtme analizlerinde esas alınan yönetmelik yatay elastik tasarım spektrumu grafiği (Seçilen bölge için), (TBDY, 2018)



Şekil 4.30. Betonarme düzlem bir çerçevenin statik itme analizi altında doğrusal olmayan davranışı ile tüketilen plastik enerji-tepe yer değiştirme ($E_p - \delta$) diyagramının elde edilişi

Şekil 4.30’da, tez çalışması kapsamında düzlem çerçevelerin plastik enerji grafiklerinin elde ediliş yöntemi sergilenmiştir. Çalışma kapsamında öncelikle seçilen betonarme çerçevelerin kapasite eğrileri statik artımsal itme analizleri ile elde edilmiştir. Ardından çerçevenin her bir yapı kesitinde statik itmenin her adımı için Bölüm 3 kapsamında sunulan malzemesinin birim şekil değiştirmeleri grafiklerden faydalanarak türetilen plastik enerji hesabı ile sistemin doğrusal olmayan davranışında tüketilen plastik enerjileri belirlenmiştir. İtme analizinin her bir adımında çerçevenin betonarme kesitlerin her birinde plastik şekil değiştirmeye geçen fiber elemanlarında tüketilen plastik enerji hesapları toplanarak tüm çerçeve için Şekil 4.30’de görülen “Plastik Enerji – Yer Değiştirme Eğrisi” ($E_p - \delta$) grafiği bulunmuştur.

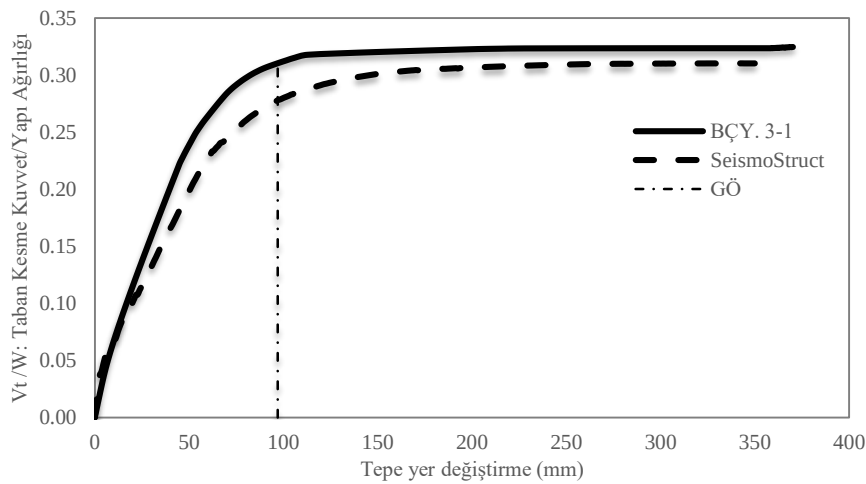
Tablo 4.18’de betonarme çerçevelerin birinci doğal titreşim moduna ait özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.18. İtme analizi gerçekleştirilen betonarme çerçeve yapıların birinci (hâkim) doğal titreşim moduna ait bilgiler

Betonarme Çerçeveler	Çatlamamış Kesitli Birinci Doğal Titreşim Periyodu T_1 (s)	Birinci Moda ait Kütle Katılım Oranı (α_1)	Birinci Moda ait Modal Kütle Katılım Çarpanı (PF1)	Toplam Yapı Ağırlığı (W: kN)
BÇY. 3-1	0.336 (0.489)	0.835	7.905	826
BÇY. 3-3	0.347 (0.502)	0.852	12.989	2219
BÇY. 6-3	0.532 (0.788)	0.823	19.781	5165
BÇY. 6-5	0.523 (0.775)	0.828	25.048	8347
BÇY. 9-3	0.812 (1.211)	0.811	24.057	7832
BÇY. 9-5	0.800 (1.198)	0.817	30.634	12650
BÇY. 12-3	0.962 (1.425)	0.800	30.806	12939
BÇY. 12-3	0.929 (1.390)	0.806	39.056	20641

4.2.1. BÇY. 3-1 Çerçeve Sisteminin Statik İtme Analizi

Çalışma kapsamında geliştirilen statik itme analizi algoritması kullanılarak, BÇY. 3-1 yapı sistemi için elde edilen itme eğrisi Şekil 4.31 sunulmuştur. Bu çerçeveye ait hedef yer değiştirme değeri TBDY (2018)’e göre göçme öncesi performans noktası için $\delta_{GÖ} = 97$ mm olarak belirlenmiş ve şekil üzerinde işaretlenmiştir. Ayrıca, söz konusu yapının SeismoStruct [67] programı ile elde edilen itme eğrisi de aynı şekil üzerinde verilmiştir. İki çözümün yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.



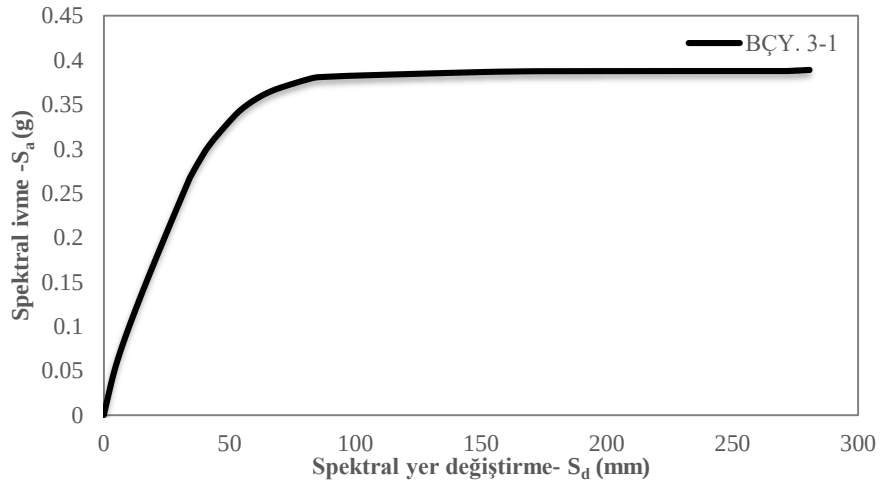
Şekil 4.31. BÇY. 3-1 Çerçeve sisteminin itme eğrisi (W=826 kN)

BÇY.3-1 çerçeve sistemi için elde edilen itme eğrisinin spektral formata dönüştürülmüş hali Şekil 4.32’de verilmiştir. Spektral formattaki kapasite eğrisi eksenleri S_a - S_d : Spektral İvme – Spektral Yer Değiştirme olan grafikdir. Spektral formata dönüşüm için TBDY (2018)’de yer alan (5.1) ve (5.2) nolu denklemler esas alınmıştır.

$$\alpha_1 = \frac{V_t}{m_t} \quad (5.1)$$

$$d_1 = \frac{u_N}{\phi_{N1}\Gamma_1} \quad (5.2)$$

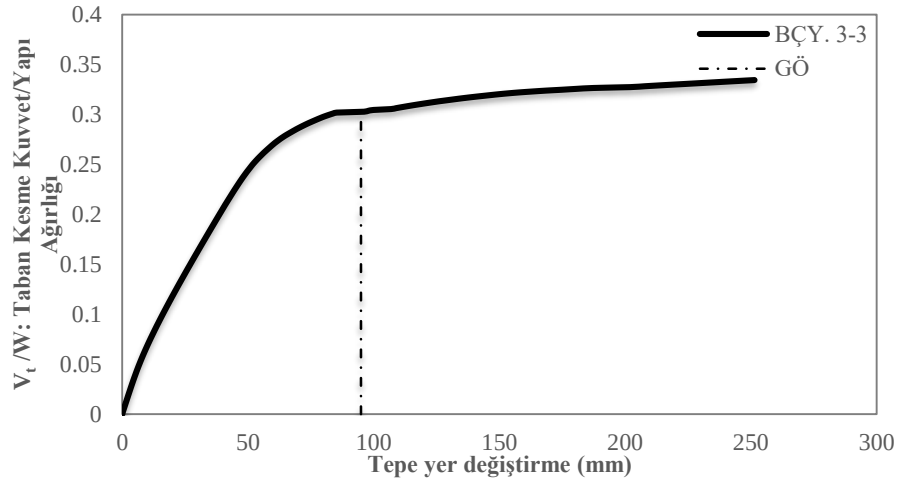
Denklem (5.1) ve Denklem (5.2) nolu eşitliklerde; V_t : Yapıya etkiyen toplam taban kesme kuvveti, m_t : Taban kesme kuvveti modal etkin kütlesi, α_1 : Modal sözde ivme, u_N : tepe yer değiştirme, ϕ_{N1} : Birinci moda ait en üst katın sabit mod şekli, Γ_1 : birinci moda ait kütle katılım çarpanı ve d_1 : Spektral yer değiştirmedir.



Şekil 4.32. BÇY. 3-1 Çerçeve sistemi modal kapasite grafiği

4.2.2. BÇY. 3-3 Çerçeve Sisteminin Statik İtme Analizi

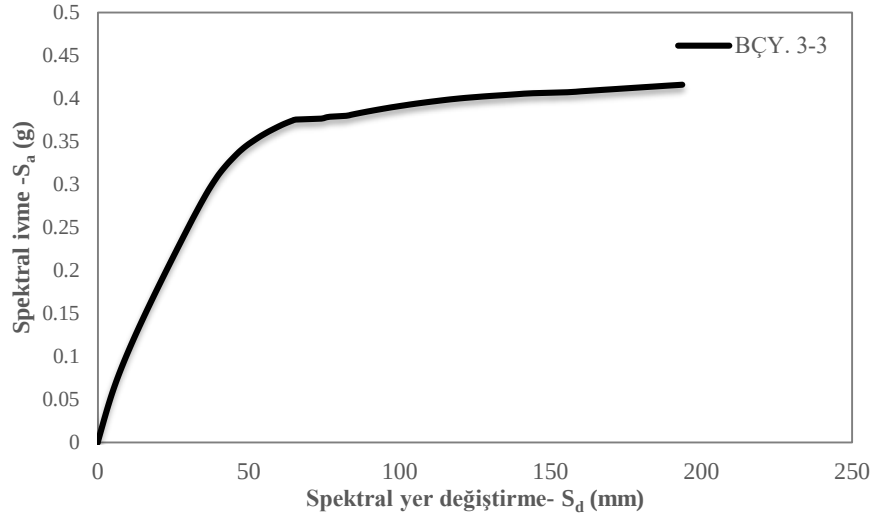
BÇY. 3-3 çerçeve sistemine ait itme eğrisi statik itme analizi altında elde edilmiş ve Şekil 4.33’de gösterilmiştir.



Şekil 4.33. BÇY. 3-3 Çerçeve sisteminin itme eğrisi (W=2219 kN)

BÇY. 3-3 çerçevesine ait hedef yer değiştirme değeri TBDY (2018)'e göre göçme öncesi performans noktası $\delta_{GÖ} = 95$ mm olarak elde edilmiştir.

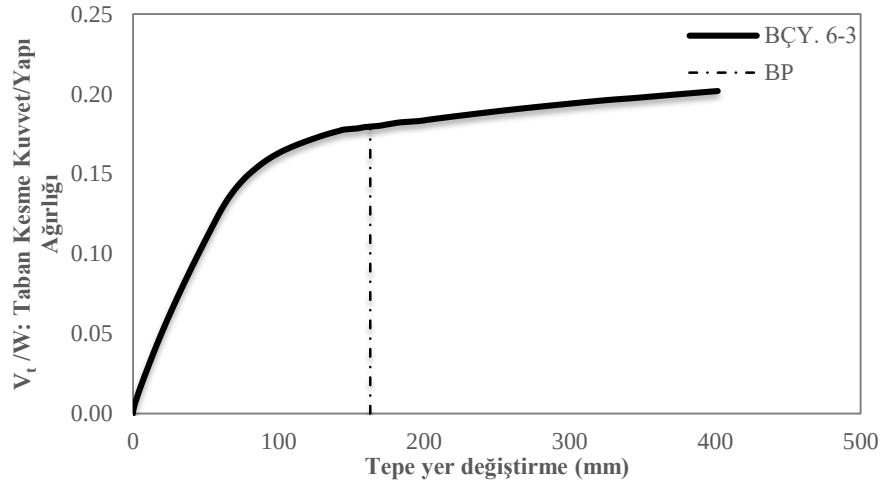
BÇY. 3-3 çerçeve sistemi için elde edilen itme eğrisinin spektral formata dönüştürülmüş hali Şekil 4.34'de verilmiştir.



Şekil 4.34. BÇY. 3-3 Çerçeve sisteminin modal kapasite diyagramı

4.2.3. BÇY. 6-3 Çerçeve Sisteminin Statik İtme Analizi

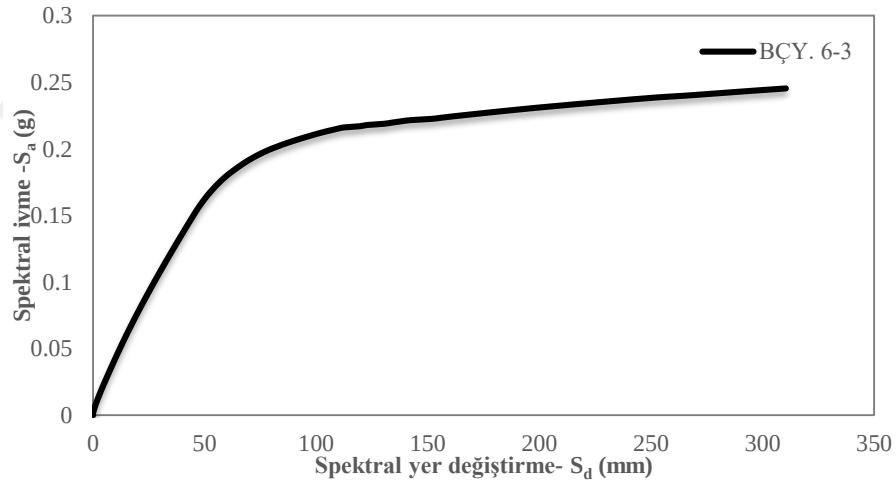
BÇY. 6-3 çerçeve sistemine ait itme eğrisi statik itme analizi altında elde edilmiş ve Şekil 4.35'de gösterilmiştir.



Şekil 4.35. BÇY. 6-3 Çerçeve sisteminin itme eğrisi (W=5165 kN)

BÇY.6-3 çerçevesine ait hedef yer değiştirme değeri TBDY (2018)'e göre göçme öncesi performans noktası $\delta_{GÖ} = 163$ mm olarak elde edilmiştir.

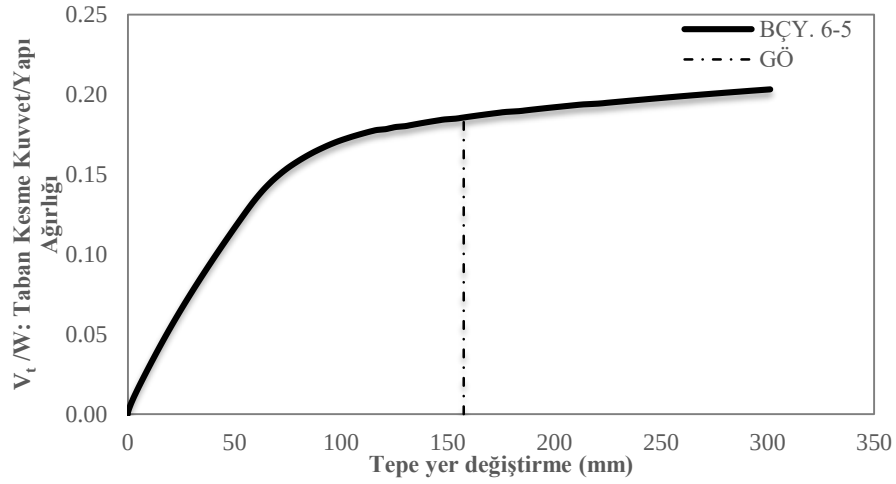
BÇY. 6-3 çerçeve sistemi için elde edilen itme eğrisinin spektral formata dönüştürülmüş hali Şekil 4.36'da verilmiştir.



Şekil 4.36. BÇY. 6-3 Çerçeve sisteminin modal kapasite diyagramı

4.2.4. BÇY. 6-5 Çerçeve Sisteminin Statik İtme Analizi

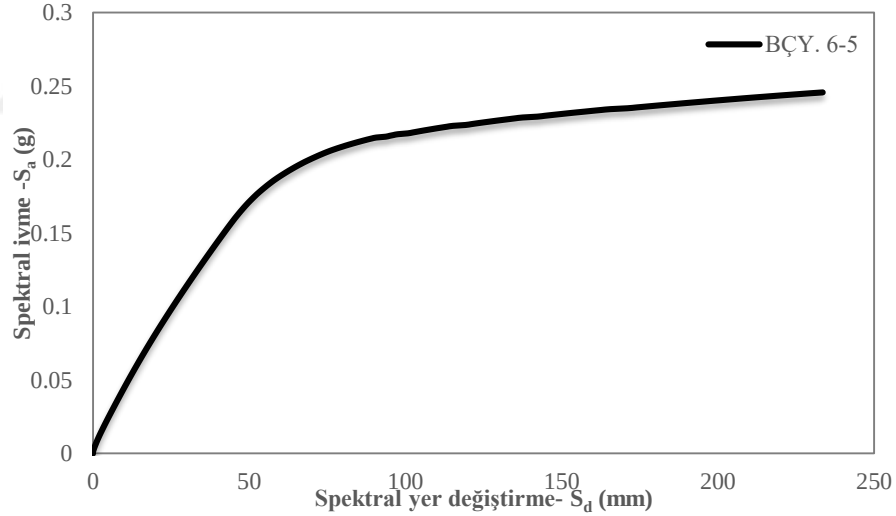
BÇY. 6-5 çerçeve sistemine ait itme eğrisi statik itme analizi altında elde edilmiş ve Şekil 4.37'de gösterilmiştir.



Şekil 4.37. BÇY. 6-5 Çerçeve sisteminin itme eğrisi ($W=8347$ kN)

BÇY.6-5 çerçevesine ait hedef yer değiştirme değeri TBDY (2018)'e göre göçme öncesi performans noktası $\delta_{GÖ} = 157.5$ mm olarak elde edilmiştir.

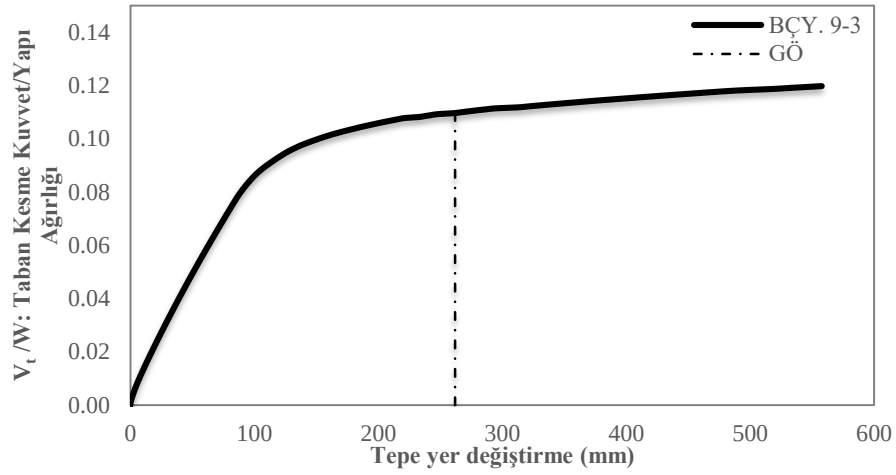
BÇY. 6-5 çerçeve sistemi için elde edilen itme eğrisinin spektral formata dönüştürülmüş hali Şekil 4.38'de verilmiştir.



Şekil 4.38. BÇY. 6-5 Çerçeve sisteminin modal kapasite diyagramı

4.2.5. BÇY. 9-3 Çerçeve Sisteminin Statik İtme Analizi

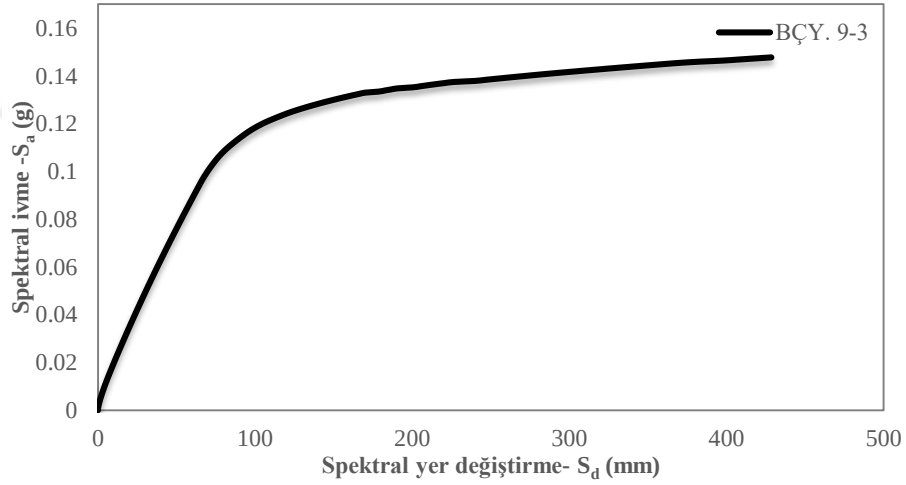
BÇY. 9-3 çerçeve sistemine ait itme eğrisi statik itme analizi altında elde edilmiş ve Şekil 4.39'da gösterilmiştir.



Şekil 4.39. BÇY. 9-3 Çerçeve sisteminin itme eğrisi (W=7832 kN)

BÇY. 9-3 çerçevesine ait hedef yer değiştirme değeri TBDY (2018)'e göre göçme öncesi performans noktası $\delta_{GÖ} = 262$ mm olarak elde edilmiştir.

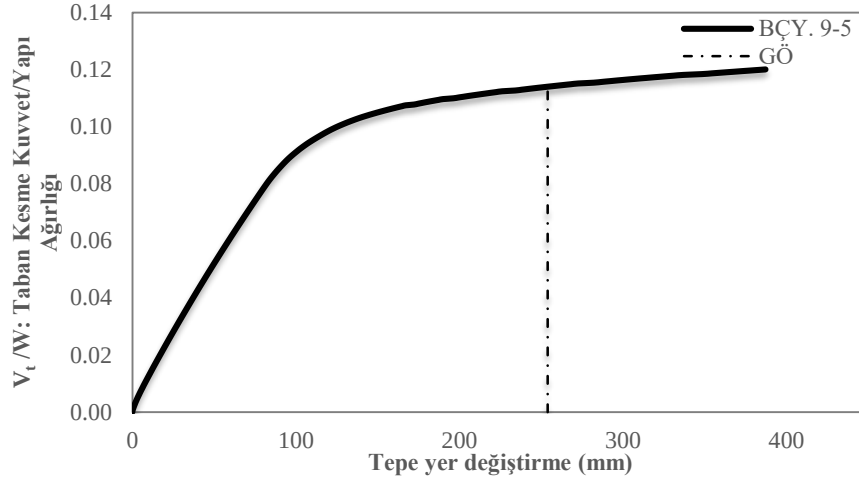
BÇY. 9-3 çerçeve sistemi için elde edilen itme eğrisinin spektral formata dönüştürülmüş hali Şekil 4.40'da verilmiştir.



Şekil 4.40. BÇY. 9-3 Çerçeve sisteminin modal kapasite diyagramı

4.2.6. BÇY. 9-5 Çerçeve Sisteminin Statik İtme Analizi

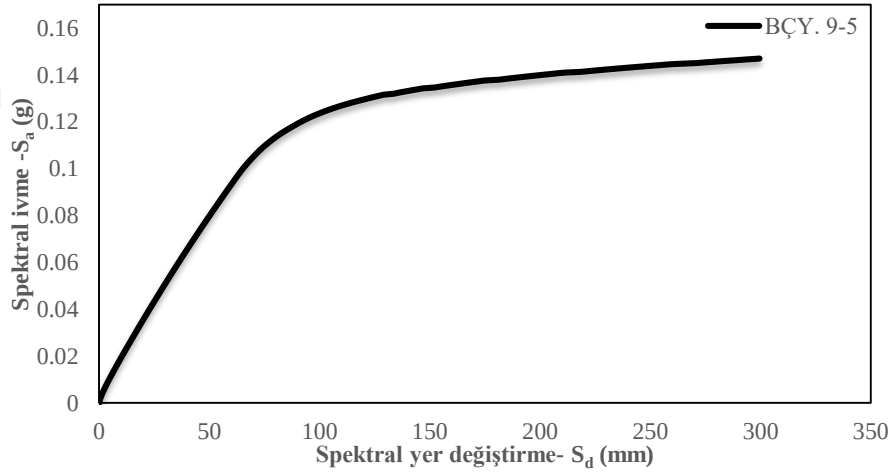
BÇY.9-5 çerçeve sistemine ait itme eğrisi statik itme analizi altında elde edilmiş ve Şekil 4.41'de gösterilmiştir.



Şekil 4.41. BÇY. 9-5 Çerçeve sisteminin itme eğrisi (W=12650 kN)

BÇY. 9-5 çerçevesine ait hedef yer değiştirme değeri TBDY (2018)'e göre göçme öncesi performans noktası $\delta_{GÖ} = 254$ mm olarak elde edilmiştir.

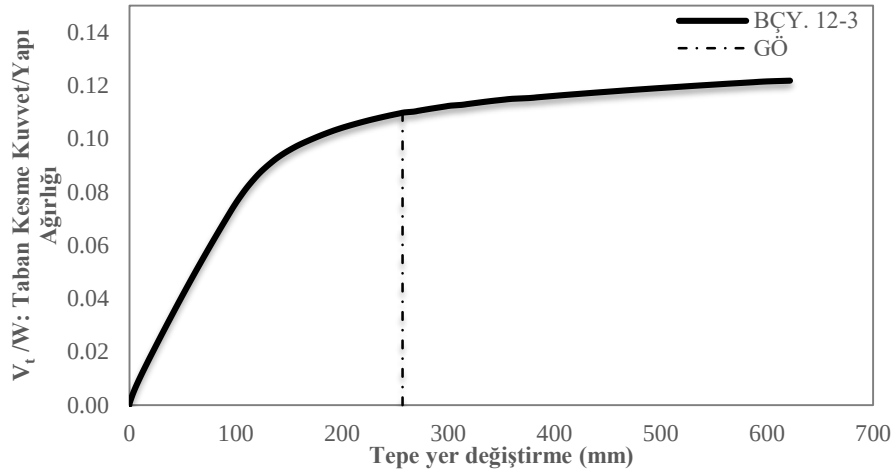
BÇY. 9-5 çerçeve sistemi için elde edilen itme eğrisinin spektral formata dönüştürülmüş hali Şekil 4.42'de verilmiştir.



Şekil 4.42. BÇY. 9-5 Çerçeve sisteminin modal kapasite diyagramı

4.2.7. BÇY. 12-3 Çerçeve Sisteminin Statik İtme Analizi

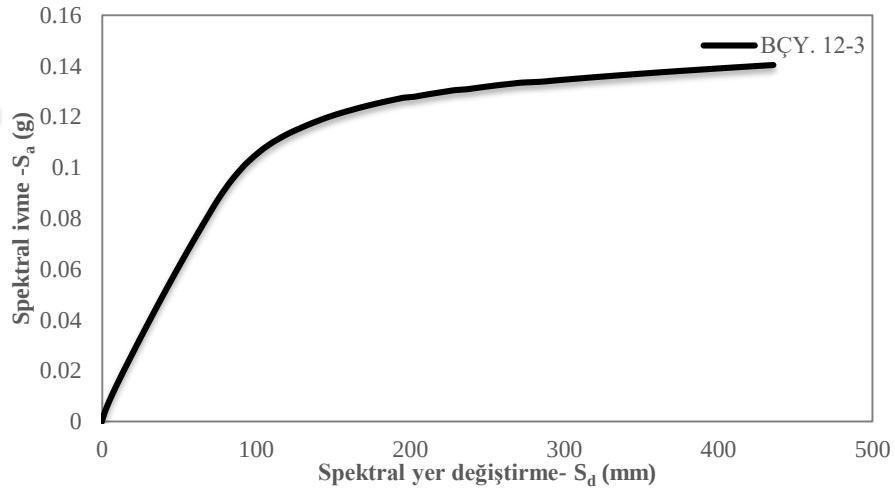
BÇY.12-3 çerçeve sistemine ait itme eğrisi statik itme analizi altında elde edilmiş ve Şekil 4.43'de gösterilmiştir.



Şekil 4.43. BÇY. 12-3 Çerçeve sisteminin itme eğrisi (W=12939 kN)

BÇY. 12-3 çerçevesine ait hedef yer değiştirme değeri TBDY (2018)'e göre göçme öncesi performans noktası $\delta_{GÖ} = 257$ mm olarak elde edilmiştir.

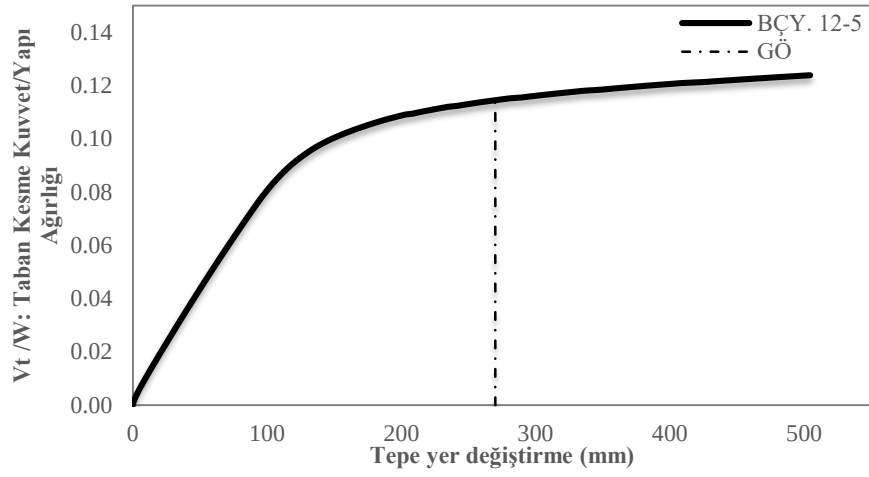
BÇY. 12-3 çerçeve sistemi için elde edilen itme eğrisinin spektral formata dönüştürülmüş hali Şekil 4.44'de verilmiştir.



Şekil 4.44. BÇY. 12-3 Çerçeve sisteminin modal kapasite diyagramı

4.2.8. BÇY. 12-5 Çerçevesi Sisteminin Statik İtme Analizi

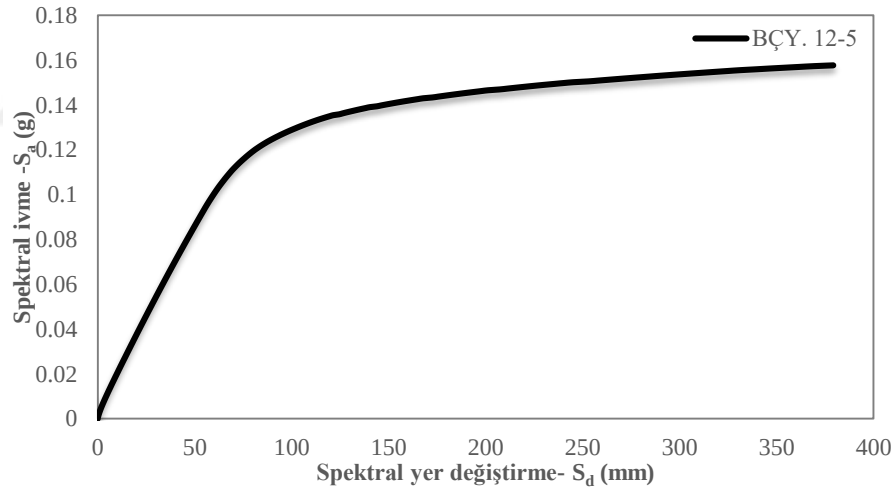
BÇY. 12-5 çerçeve sistemine ait itme eğrisi statik itme analizi altında elde edilmiş ve Şekil 4.45'de gösterilmiştir.



şekil 4.45. BÇY. 12-5 Çerçeve sisteminin itme eğrisi (W=20641)

BÇY. 12-5 çerçevesine ait hedef yer değiştirme değeri TBDY (2018)'e göre göçme öncesi performans noktası $\delta_{GÖ} = 246$ mm olarak elde edilmiştir.

BÇY. 12-5 çerçeve sistemi için elde edilen itme eğrisinin spektral formata dönüştürülmüş hali şekil 4.46'de verilmiştir.



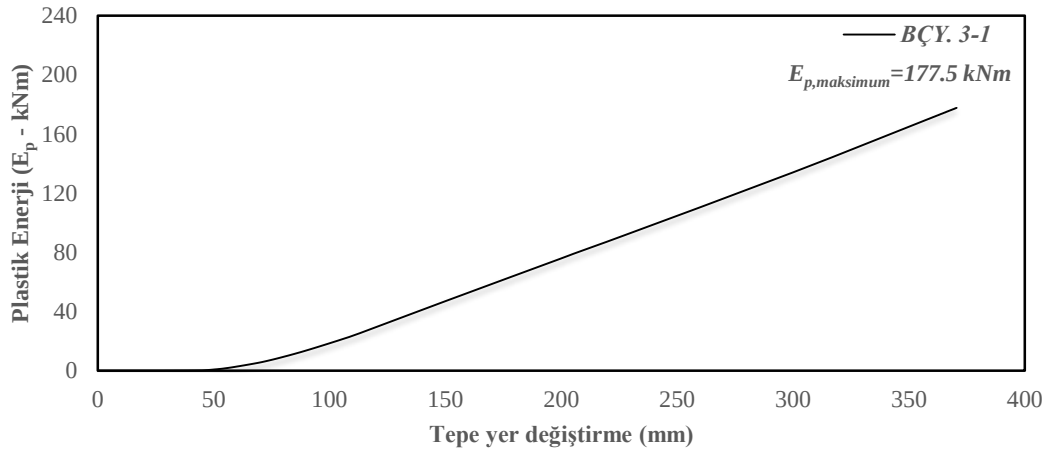
şekil 4.46. BÇY. 12-5 Çerçeve sisteminin modal kapasite diyagramı

4.3. Betonarme Çerçevelerin Doğrusal Olmayan Davranıştaki Tükettiği Plastik Enerji – Tepe Yer Değiştirme ($E_p - \delta$) Eğrilerinin Elde Edilmesi

Tez çalışması kapsamında oluşturulan çok katlı betonarme çerçeve türü yapıların statik itme kuvvetleri altında Bölüm 3’de sunulan ve betonarme kesiti meydana getiren malzemelerin birim şekil değiştirmelerinin doğrusal olmayan davranışları dikkate alınarak tüketilen plastik enerji hesaplanmış ve en üst kat yer değiştirmeye karşılık grafiksel olarak elde edilmiştir.

4.3.1. BÇY. 3-1 Çerçeve Sisteminin Plastik Enerji – Tepe Yer Değiştirme Eğrisi

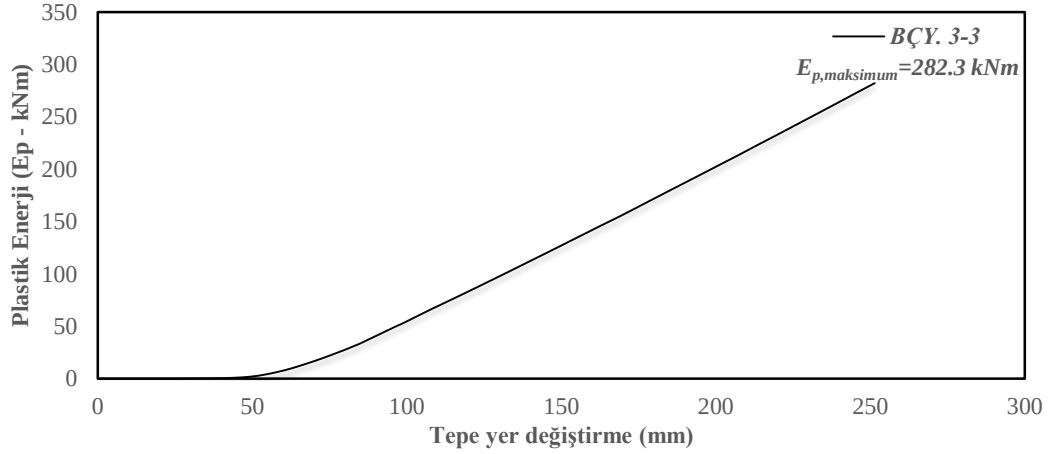
BÇY. 3-1 çerçeve sisteminin statik itme analizi gerçekleştirilmiş, yapı elemanlarında her itme adımında plastik birim şekil değiştirmeye geçen her bir fiber elemanda tüketilen enerji hesaplanarak çerçeveye ait plastik enerji tüketimi – tepe yer değiştirme ($E_p - \delta$) grafiği elde edilmiş ve Şekil 4.47’de sunulmuştur.



Şekil 4.47. BÇY. 3-1 çerçeve sisteminin plastik enerji – tepe yer değiştirme eğrisi

4.3.2. BÇY. 3-3 Çerçeve Sisteminin ait Plastik Enerji – Tepe Yer Değiştirme Eğrisi

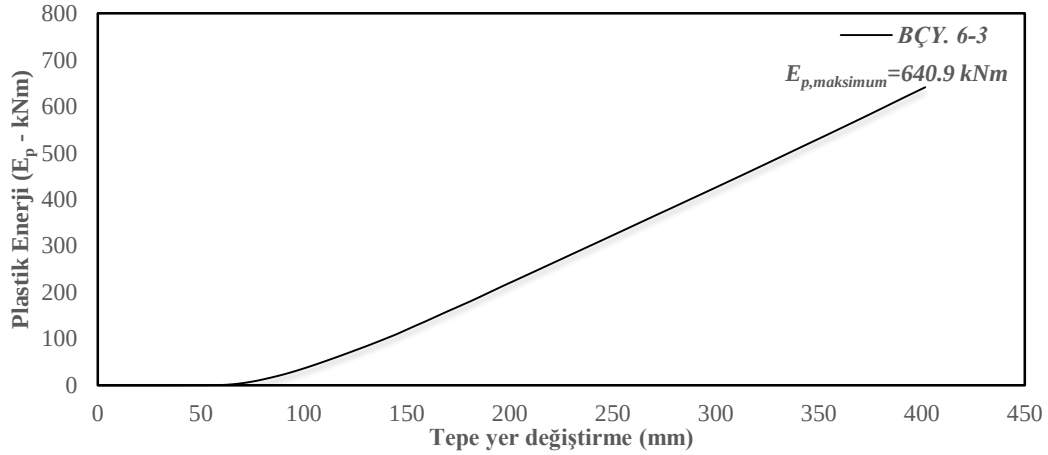
BÇY. 3-3 çerçeve sisteminin statik itme analizi gerçekleştirilmiş, yapı elemanlarında her itme adımında plastik birim şekil değiştirmeye geçen her bir fiber elemanda tüketilen enerji hesaplanarak çerçeveye ait plastik enerji tüketimi – tepe yer değiştirme ($E_p - \delta$) grafiği elde edilmiş ve Şekil 4.48’de sunulmuştur.



şekil 4.48. BÇY. 3-3 çerçeve sisteminin plastik enerji – tepe yer değiştirme eğrisi

4.3.3. BÇY. 6-3 Çerçeve Sisteminin Plastik Enerji – Tepe Yer Değiştirme Eğrisi

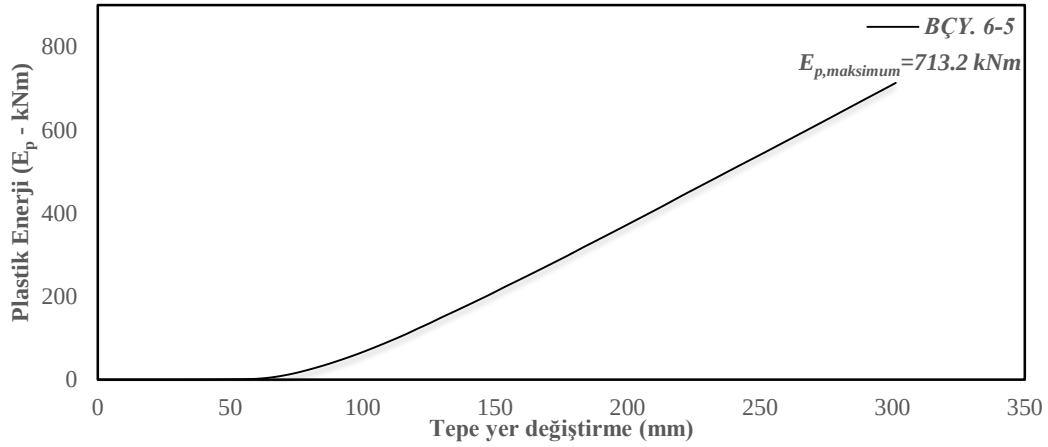
BÇY. 6-3 çerçeve sisteminin statik itme analizi gerçekteştirilmiş, yapı elemanlarında her itme adımımda plastik birim şekil değiştirmeye geçen her bir fiber elemanda tüketilen enerji hesaplanarak çerçeveye ait plastik enerji tüketimi – tepe yer değiştirme eğrisi ($E_p - \delta$) elde edilmiş ve şekil 4.49’da sunulmuştur.



şekil 4.49. BÇY. 6-3 çerçeve sisteminin plastik enerji – tepe yer değiştirme eğrisi

4.3.4. BÇY. 6-5 Çerçeve Sisteminin Plastik Enerji – Tepe Yer Değiştirme Eğrisi

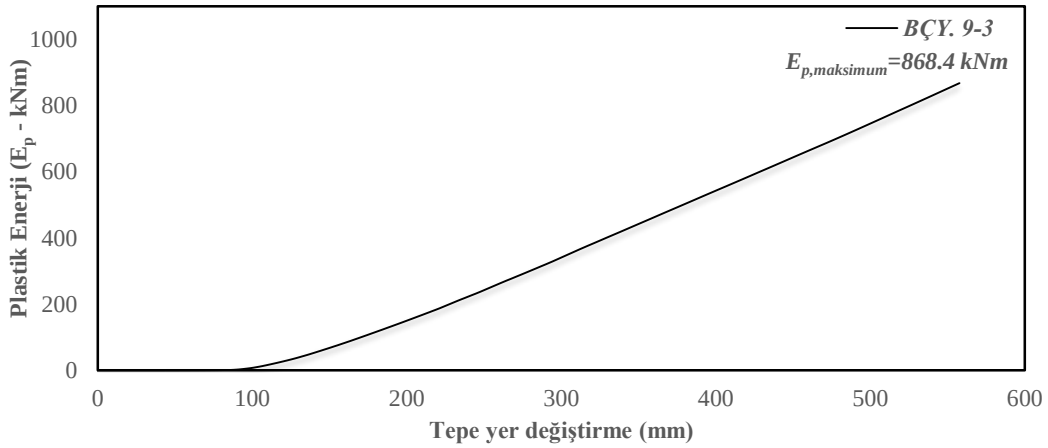
BÇY. 6-5 çerçeve sisteminin statik itme analizi gerçekteştirilmiş, yapı elemanlarında her itme adımımda plastik birim şekil değiştirmeye geçen her bir fiber elemanda tüketilen enerji hesaplanarak çerçeveye ait plastik enerji tüketimi – yer değiştirme eğrisi ($E_p - \delta$) elde edilmiş ve şekil 4.50’de sunulmuştur.



Şekil 4.50. BÇY. 6-5 çerçeve sisteminin plastik enerji – tepe yer değiştirme eğrisi

4.3.5. BÇY. 9-3 Çerçeve Sisteminin Plastik Enerji – Tepe Yer Değiştirme Eğrisi

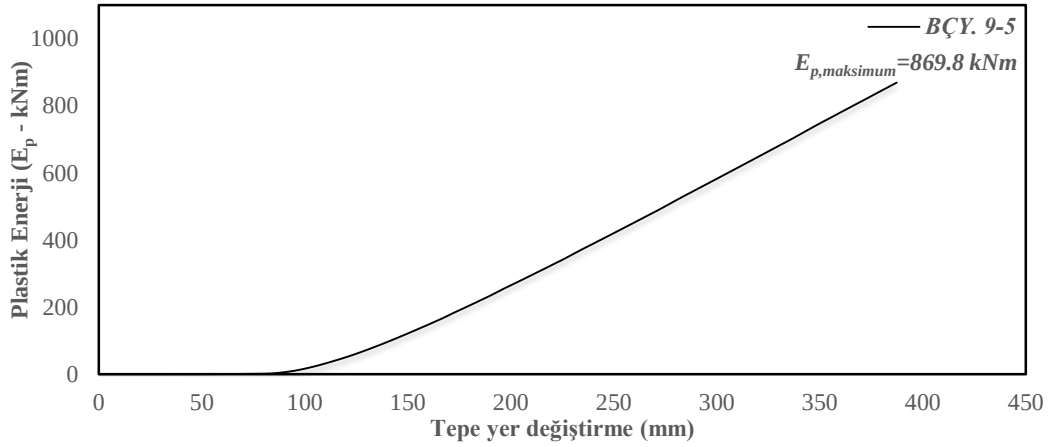
BÇY. 9-3 çerçeve sisteminin statik itme analizi gerçekleştirilmiş, yapı elemanlarında her itme adımında plastik birim şekil değiştirmeye geçen her bir fiber elemanda tüketilen enerji hesaplanarak çerçeveye ait plastik enerji tüketimi – tepe yer değiştirme eğrisi ($E_p - \delta$) elde edilmiş ve Şekil 4.51’de sunulmuştur.



Şekil 4.51. BÇY. 9-3 çerçeve sisteminin plastik enerji – tepe yer değiştirme eğrisi

4.3.6. BÇY. 9-5 Çerçeve Sisteminin Plastik Enerji – Tepe Yer Değiştirme Eğrisi

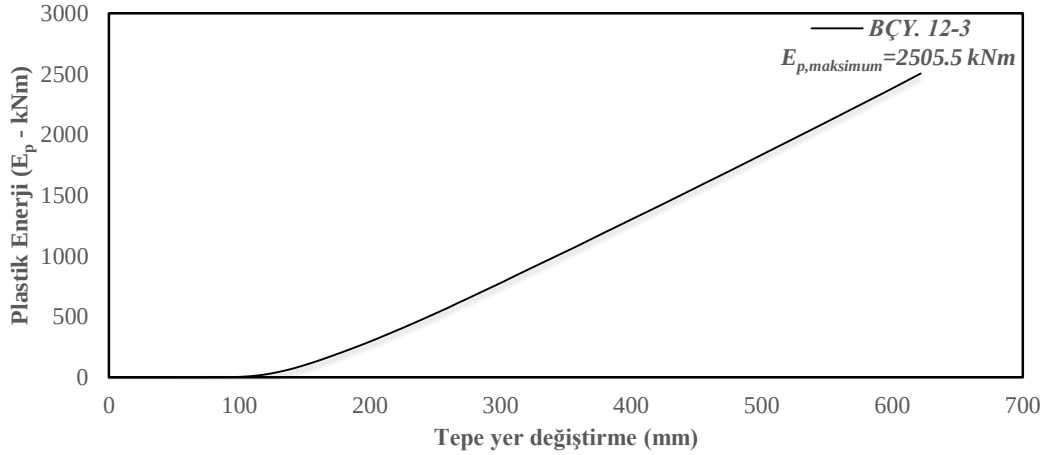
BÇY. 9-5 çerçeve sisteminin statik itme analizi gerçekleştirilmiş, yapı elemanlarında her itme adımında plastik birim şekil değiştirmeye geçen her bir fiber elemanda tüketilen enerji hesaplanarak çerçeveye ait plastik enerji tüketimi – tepe yer değiştirme eğrisi ($E_p - \delta$) elde edilmiş ve Şekil 4.52’de sunulmuştur.



Şekil 4.52. BÇY. 9-5 çerçeve sisteminin plastik enerji – tepe yer değiştirme eğrisi

4.3.7. BÇY. 12-3 Çerçeve Sisteminin Plastik Enerji – Tepe Yer Değiştirme Eğrisi

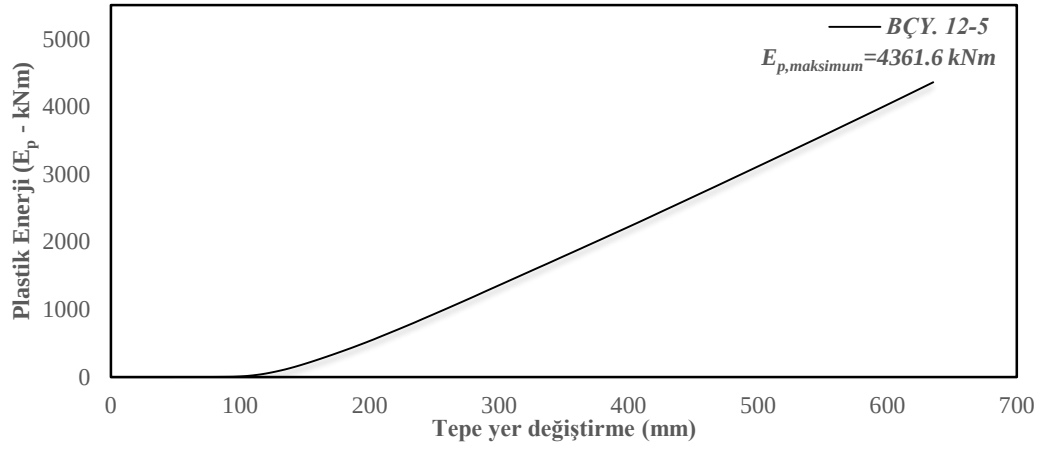
BÇY. 12-3 çerçeve sisteminin statik itme analizi gerçekteştirilmiş, yapı elemanlarında her itme adımımda plastik birim şekil değiştirmeye geçen her bir fiber elemanda tüketilen enerji hesaplanarak çerçeveye ait plastik enerji tüketimi – tepe yer değiştirme eğrisi ($E_p - \delta$) elde edilmiş ve Şekil 4.53’de sunulmuştur.



Şekil 4.53. BÇY. 12-3 çerçeve sisteminin plastik enerji – tepe yer değiştirme eğrisi

4.3.8. BÇY. 12-5 Çerçeve Sisteminin Plastik Enerji – Tepe Yer Değiştirme Eğrisi

BÇY. 12-5 çerçeve sisteminin statik itme analizi gerçekteştirilmiş, yapı elemanlarında her itme adımımda plastik birim şekil değiştirmeye geçen her bir fiber elemanda tüketilen enerji hesaplanarak çerçeveye ait plastik enerji tüketimi – tepe yer değiştirme eğrisi ($E_p - \delta$) elde edilmiş ve Şekil 4.54’de sunulmuştur.



Şekil 4.54. BÇY. 12-5 çerçeve sisteminin plastik enerji – tepe yer değiştirme eğrisi

5. GERÇEK DEPREM KAYITLARI ALTINDA BETONARME ÇERÇEVE YAPILARIN PLASTİK ENERJİ TALEBİNİN BELİRLENMESİ

Tez çalışmasının beşinci bölümünde, oluşturulan 3, 6, 9 ve 12 katlı betonarme çerçeve türü yapı sistemlerinin seçilen gerçek deprem ivme kayıtları altında sistemde oluşan plastik enerji talepleri incelenmektedir. Enerji bileşenleri ve sistemin talep ettiği plastik enerji, bu bölümde zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizlerin gerçekleştirilmesi ile elde edilmektedir. Seçilen betonarme çerçeve türü yapılar için tez çalışması kapsamında türetilen yöntem ile elde edilen plastik enerji kapasite grafiği üzerinde depremlerin talep ettiği enerjiler bir arada gösterilmektedir. Yapı sistemi, depremler altında elde edilen plastik enerji taleplerinin ortalaması dikkate alınarak belirlenen hedef enerji talebi değerlerine ulaşınca kadar itme analizine tabi tutulmaktadır.

5.1. Betonarme Düzlem Çerçevelerin Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Analizleri

Doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri kullanılarak yapıların depreme dayanıklı tasarımı yapılmaktadır. Bu yöntemler yönetmeliklerde belirtildiği üzere statik veya dinamik analiz yöntemleri olabilmektedir. Modern deprem yönetmeliklerinde depreme dayanıklı yapı tasarımlarında statik analiz yöntemlerinde Eşdeğer Statik Deprem Yüğü Yöntemi ve dinamik analiz yöntemlerinde Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Analiz (Mod Toplama Yöntemi) yöntemleri yaygın bir şekilde yapıların tasarımda kullanılmaktadır.

Tez çalışmasında seçilen çok katlı betonarme çerçeve türü yapıların, seçilen on bir adet gerçek deprem ivme kaydı altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden yapılara ait birçok parametre elde edilmiştir. Tez kapsamında düzlem betonarme çerçevelerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerin yapılmasında asıl amaç; yer hareketi süresince depremlerin çok katlı yapı sistemlerinden talep ettiği plastik enerji değerinin belirlenmesidir. Deprem yer hareketleri için elde edilen plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiklerinde talep edilen maksimum enerji değerleri belirlenmiştir. Bu grafikler gelecek bölümlerde yapı sistemlerine ait performans hedefinin enerji esaslı olarak belirlenmesinde kullanılmıştır.

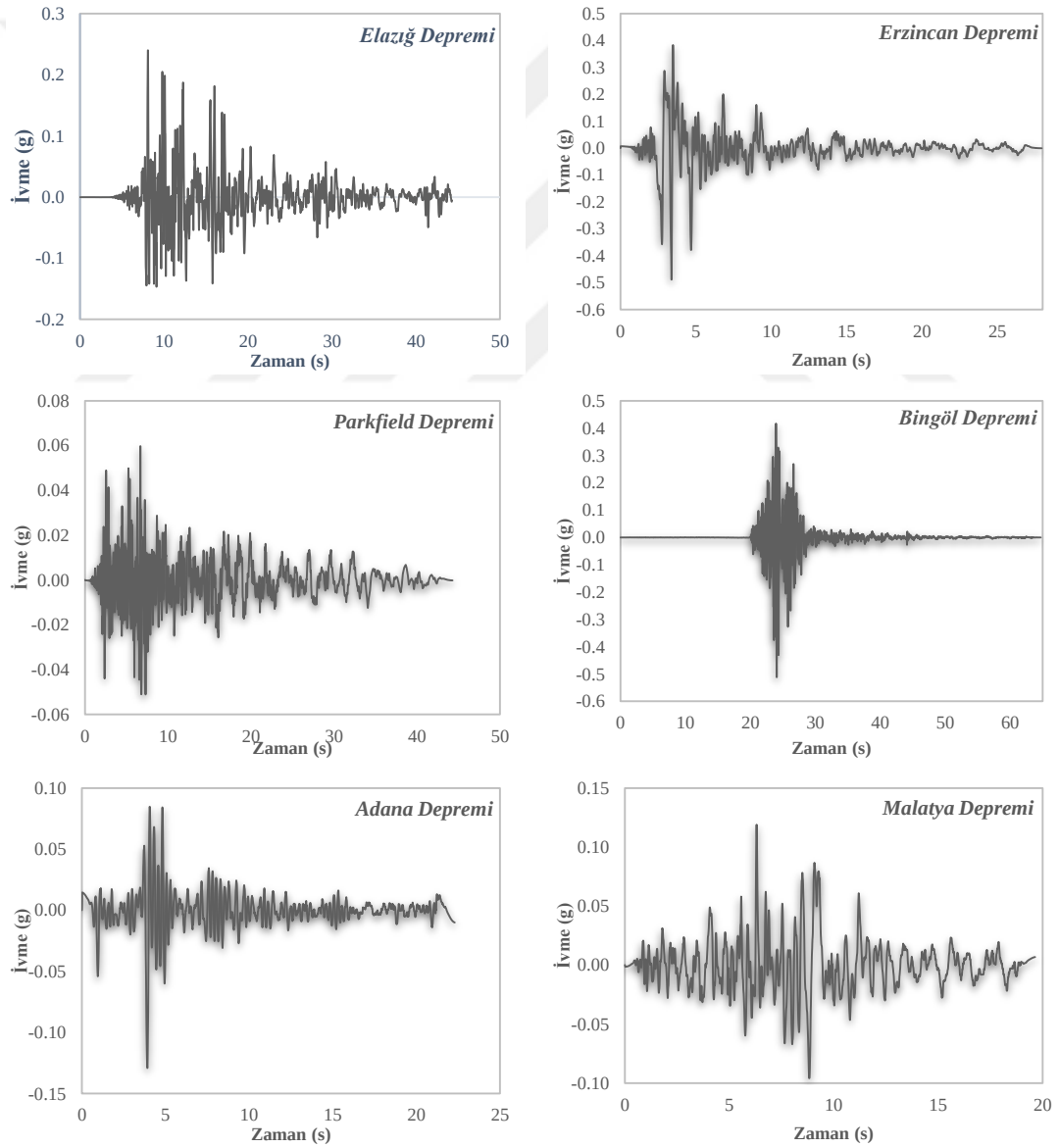
Deprem yer hareketi kayıtlarının tümü Türkiye İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Başkanlığı'na bağlı Deprem Dairesi Başkanlığı ve Pasific Eartquake Enginnering Research Center (PEER) veri tabanlarından alınmıştır. İvme kayıtlarının seçiminde aşağıdaki kriterler göz önünde tutulmuştur:

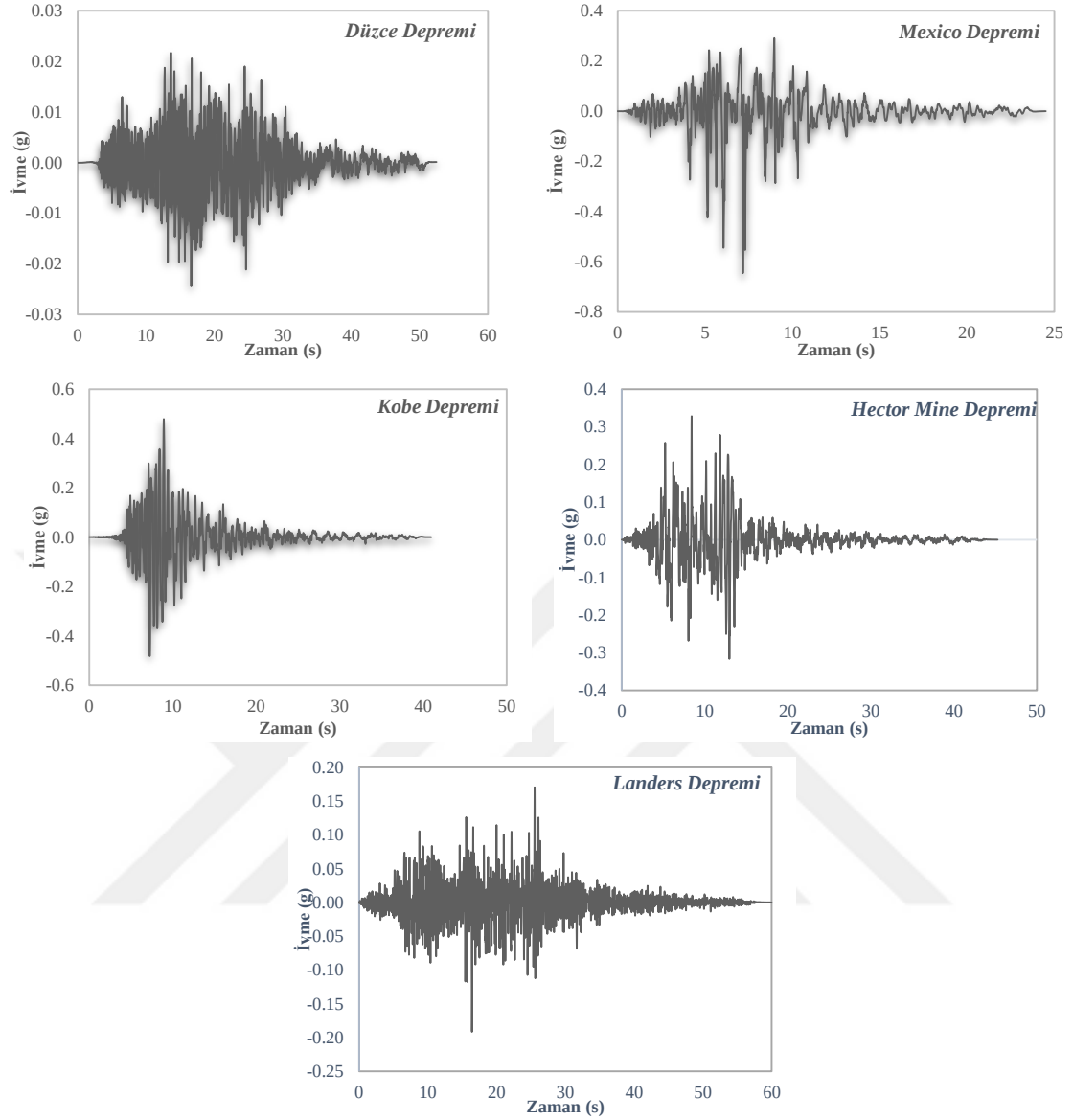
- ❖ Seçilen depremlerin moment büyüklüğü aralığı (M_w) 6 ila 7.28'dir.

- ❖ Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY, 2018) ivme kayıtlarının seçilmesinde belirlenen koşullara uyulmuştur.
- ❖ Deprem yer hareketlerinin mekanizma olarak doğrultu atımlı olması göz önünde bulundurulmuştur.
- ❖ Deprem ivme kayıtları yakın fay etkisi içermemektedir.

5.1.1. Kuvvetli Deprem İvme Kayıtları

Tez çalışması kapsamında oluşturulan betonarme çerçevelerin, doğrusal olmayan davranışı göz önüne alan zaman tanım alanında analizlerde kullanılmak üzere seçilen on bir adet deprem ivme kaydının zamanla değişim grafikleri Şekil 5.1'de gösterilmektedir.





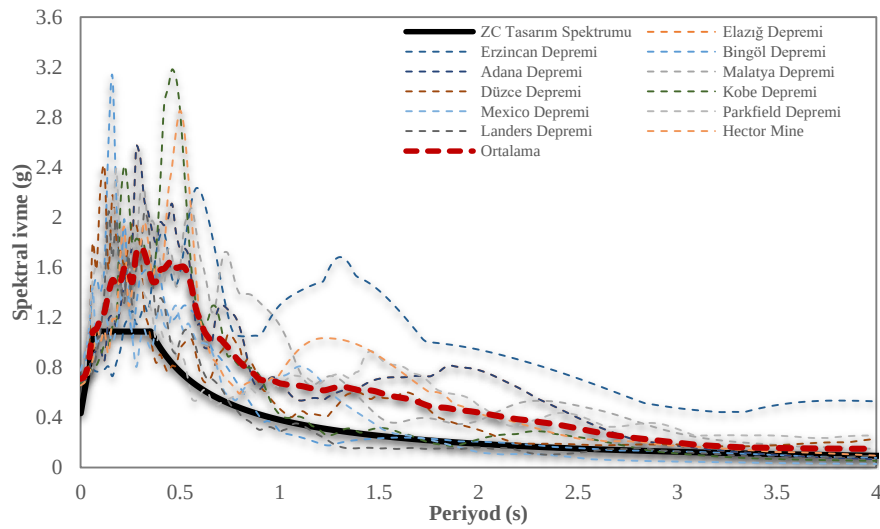
Şekil 5.1. Deprem ivme kayıtları

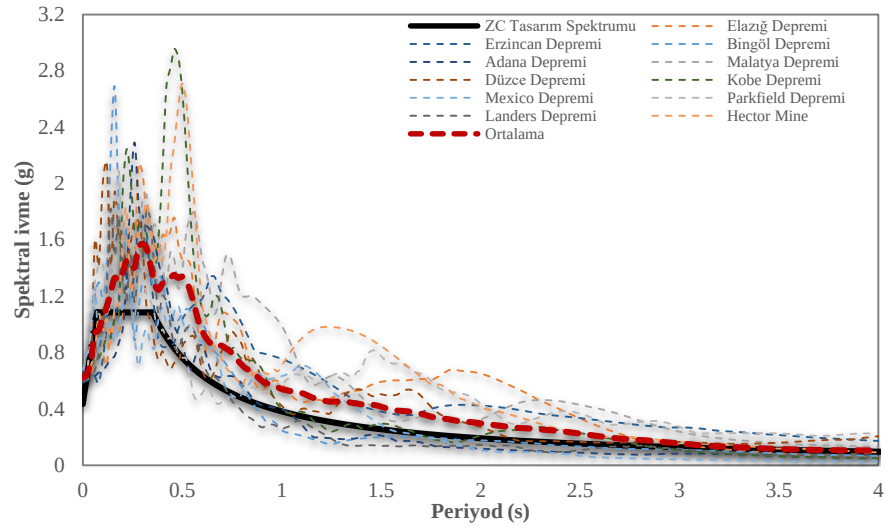
Tablo 5.1’de, Şekil 5.1’de verilen deprem ivme kayıtlarına ait bazı özellikler verilmiştir. Burada; M_w : Depremin moment büyüklüğü, V_{s30} : Zeminin ilk 30 metrelik profilinden hesaplanan ortalama kayma dalgası hızını, PGA, PGV ve PGD ifadeleri sırasıyla depremi ivme kaydının en büyük yer ivmesini, hızını ve yer değiştirmesini göstermektedir. Ayrıca R_{JB} , R_{rup} , değerleri sırasıyla Joyner-Boore mesafesi (fay kırığı düzleminin düşey yönde yüzeye paralel projeksiyonuyla istasyon arasındaki en yakın mesafenin değeri) ve kırılma uzaklıklarını ifade etmektedir.

Tablo 5.1. Deprem yer hareketleri ve bazı temel özellikleri

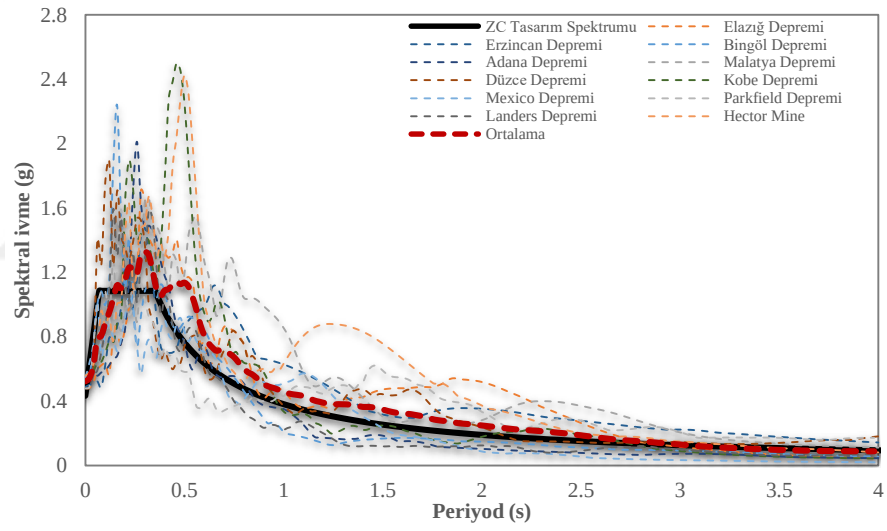
Deprem & Yıl	İstasyon & Bileşen	M _w	V _{s30} (m/s)	Mekanizma (Faylanma)	PGA (g)	PGV (m/s)	PGD (m)	R _{JB} (km)	R _{rup} (km)
Elazığ & 2020	2308&E-W	6.80	450	Doğrultu Atımlı	0.2404	0.4534	0.10991	17.86	17.89
Erzincan & 1992	2402&E-W	6.60	455	Doğrultu Atımlı	0.4890	0.7726	0.2891	3.32	16.82
Bingöl & 2020	1201&N-S	6.30	529	Doğrultu Atımlı	0.5113	0.3720	0.1574	2.23	5.80
Adana & 1998	3301&E-W	6.20	366	Doğrultu Atımlı	0.1290	0.1094	0.0553	57.54	71.21
Malatya & 1986	0203&N-S	6.00	384	Doğrultu Atımlı	0.1189	0.1547	0.0744	23.93	23.96
Düzce & 1999	5401&E-W	7.1	412	Doğrultu Atımlı	0.0244	0.4142	0.0395	40.50	40.81
Kobe & 1995	Nishi-Akashi	6.9	609	Doğrultu Atımlı	0.4832	0.4681	0.0840	7.08	7.08
Mexico & 1955	Cerro Prieto	6.33	471	Doğrultu Atımlı	0.6450	0.3358	0.0661	13.80	14.37
Parkfield & 1966	Cholema-Shandon	6.19	409	Doğrultu Atımlı	0.0600	0.0661	0.0346	17.64	17.64
Landers & 1992	Big Bear Lake - Civic Center	7.28	430	Doğrultu Atımlı	0.1918	0.1389	0.0966	45.48	45.48
Hector Mine & 1999	HEC090	7.13	635	Doğrultu Atımlı	0.3282	0.4476	0.1069	10.35	11.66

Tez çalışması kapsamında dikkate alınan betonarme çerçeve yapıların TBDY (2018)'e göre ZC yerel zemin sınıfında olduğu kabul edilmiştir. Seçilen deprem ivme kayıtları Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat mühendisliği konumu için DD2 deprem düzeyi (50 yılda aşılma olasılığı %10 olan) ve ZC yerel zemin sınıfına bağlı olarak oluşturulan tasarım ivme spektrumu ile uyumlu olacak şekilde basit ölçeklendirme yöntemiyle ölçeklendirilerek kullanılmıştır. Ölçekleme işlemi 3, 6, 9 ve 12 katlı modeller için ayrı ayrı yapılmıştır. Ölçekleme işleminde aynı kat sayısına sahip modellerin periyod değerleri birbirine çok yakın olduğu için, her iki modelin periyod değerinin esaslarını sağlayacak şekilde periyod aralığı göz önünde tutularak ivme kayıtlarının ölçeklemesi gerçekleştirilmiştir. Bu yapı modelleri için ölçeklendirilmiş ivme kayıtlarına ait tepki spektrum eğrileri Şekil 5.2-Şekil 5.5 arasında sırasıyla verilmektedir.

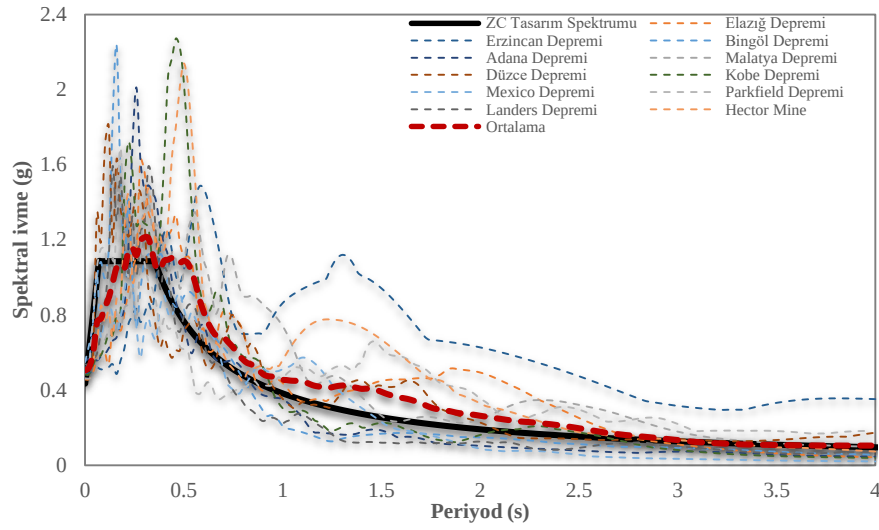
**Şekil 5.2.** 3 katlı modeller için deprem yer hareketlerinin ivme spektrumları ve TBDY (2018) ZC tasarım ivme spektrumu



Şekil 5.3. 6 katlı modeller için deprem yer hareketlerinin ivme spektrumları ve TBDY (2018) ZC tasarım ivme spektrumu



Şekil 5.4. 9 katlı modeller için deprem yer hareketlerinin ivme spektrumları ve TBDY (2018) ZC tasarım ivme spektrumu



Şekil 5.5. 12 katlı modeller için deprem yer hareketlerinin ivme spektrumları ve TBDY (2018) ZC tasarım ivme spektrumu

5.1.2. Zaman Tanım Alanında Gerçekleştirilen Doğrusal Olmayan Analizlerin Özellikleri

Gerçekleştirilen tüm dinamik analizlerde 3. Bölümde belirtilen kabullere ek olarak göz önüne alınan özellikler şu şekilde sıralanabilir:

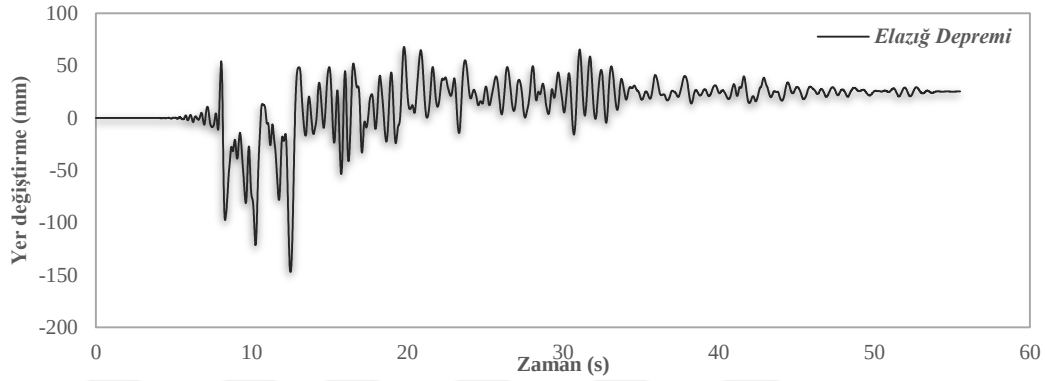
- ❖ Yapı sönümünün kütle ve rijitlik ile orantılı olduğu Rayleigh Sönümü kabul edilmiş ve yapı sisteminin 1. ve 2. Mod dikkate alınarak sönüm matrisi oluşturulmuştur. Modal sönüm oranları $\xi=0.05$ olarak esas alınmıştır (Chopra, 1995).
- ❖ Tekrarlı yükler altında meydana gelen rijitlik ve dayanım azalması gibi etkiler dikkate alınarak çözümlemeler yapılmıştır.
- ❖ Nümerik çözüm yönteminde Doğrudan İntegrasyon Yöntemi tercih edilmiştir.
- ❖ Yapı sistemlerinde kütlelerinin kat seviyelerinde ve düğüm noktalarında toplandığı varsayımı kabul edilmiştir.
- ❖ Analizlerde deprem ivme kayıtlarının zaman adım aralıkları kaydın kendisine uygun olarak ($\Delta t=0.005$ ve $\Delta t=0.01$ sn. gibi) dikkate alınmıştır. Örnek olarak; Elazığ depremi $\Delta t=0.01$ sn. adım aralığı için toplam 5551 adım olarak dikkate alınmış, Erzincan deprem $\Delta t=0.005$ sn. adım aralığı için toplam 5593 adım olarak çözümlenmiştir.
- ❖ Deprem sürelerinin tamamı için yapıların analizleri gerçekleştirilmiştir.

5.1.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizlerden Elde Edilen Sonuçlar

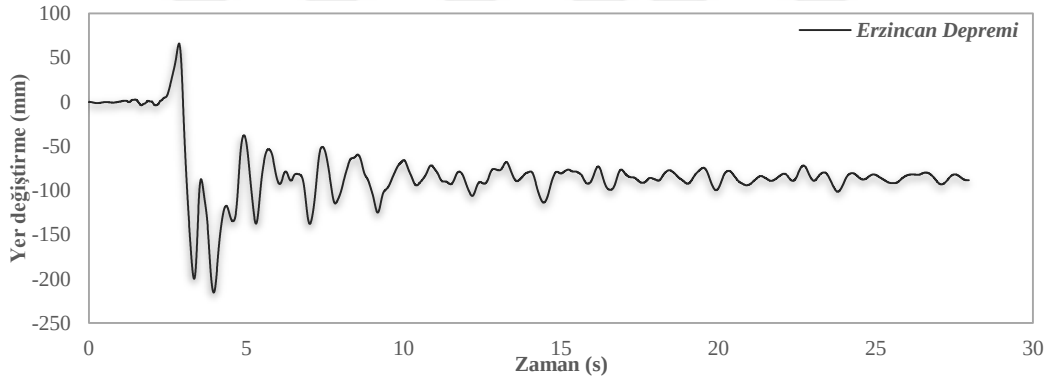
Tez çalışması kapsamında oluşturulan çok katlı betonarme çerçeve yapıların seçilen deprem ivme kayıtları altında gerçekleştirilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerden yapının taban kesme kuvvetinin zamana bağlı değişimi, kat yatay yer değiştirmeleri, gerilme – birim şekil değiştirme ($\sigma - \epsilon$) ilişkileri elde edilebilmektedir. Ayrıca, deprem yer hareketi etkisiyle yapı

sistemlerine giren toplam enerjinin, kinetik enerjinin, sönüm enerjisinin, elastik ve histeretik enerjinin zamana bağlı değişimi hesaplanabilmektedir.

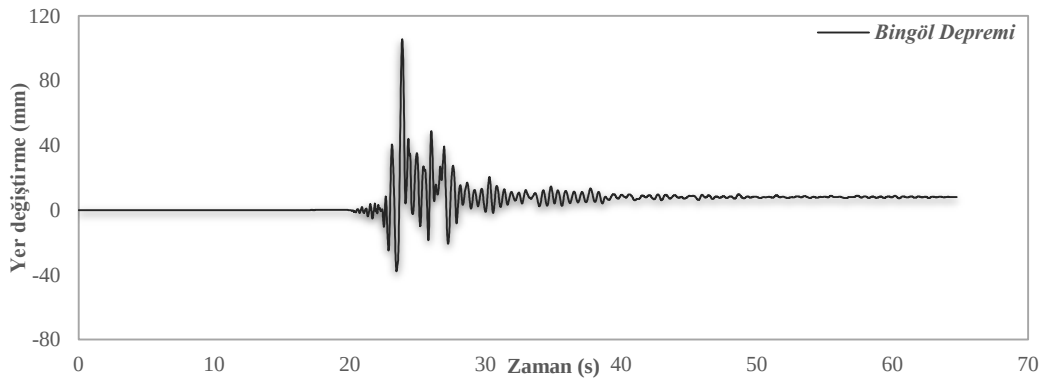
Bu bölümde örnek temsil etmesi amacıyla ölçeklendirilmiş olan deprem kayıtları ile gerçekleştirilen doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizlerden, üç katlı üç açıklıklı BÇY.3-3 çerçevesine ait elde edilen yer değiştirme (δ -t) ve taban kesme kuvvetinin zamana bağlı (V_t - t) değişimi Şekil 5.6 ile Şekil 5.27 arasında verilmiştir.



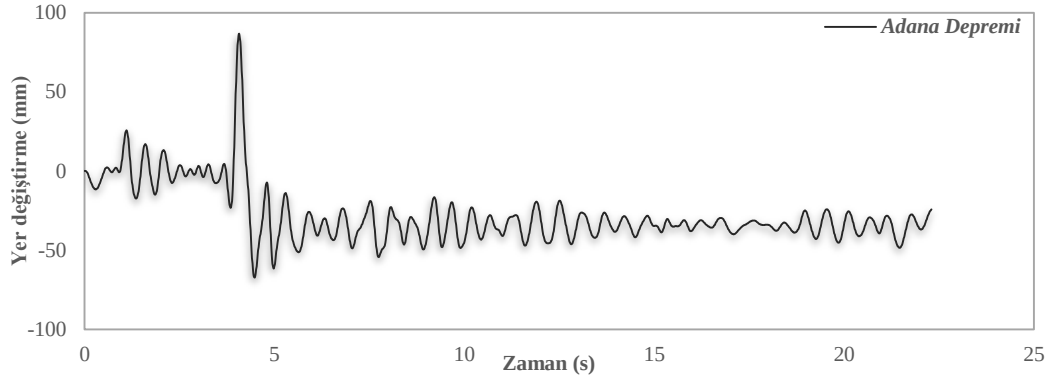
Şekil 5.6. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Elazığ deprem yer hareketi altında tepe yer değiştirme – zaman (δ -t) grafiği



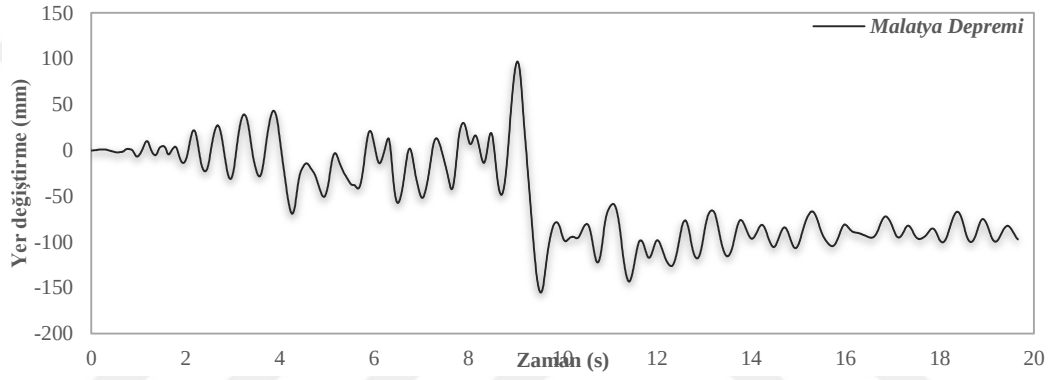
Şekil 5.7. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Erzincan deprem yer hareketi altında tepe yer değiştirme – zaman (δ -t) grafiği



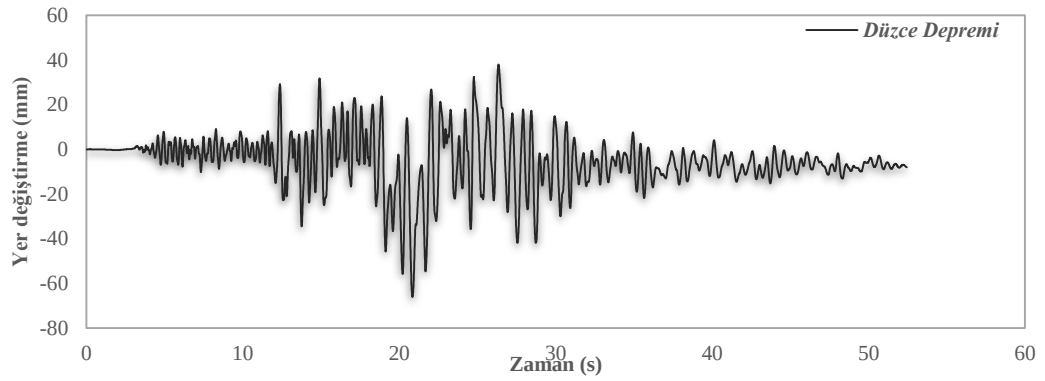
Şekil 5.8. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Bingöl deprem yer hareketi altında tepe yer değiştirme – zaman (δ -t) grafiği



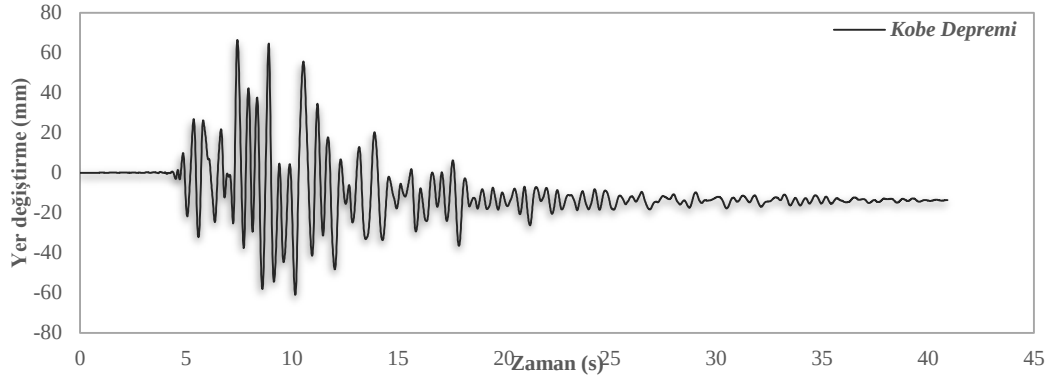
şekil 5.9. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Adana deprem yer hareketi altında tepe yer değiştirme – zaman (δ -t) grafiği



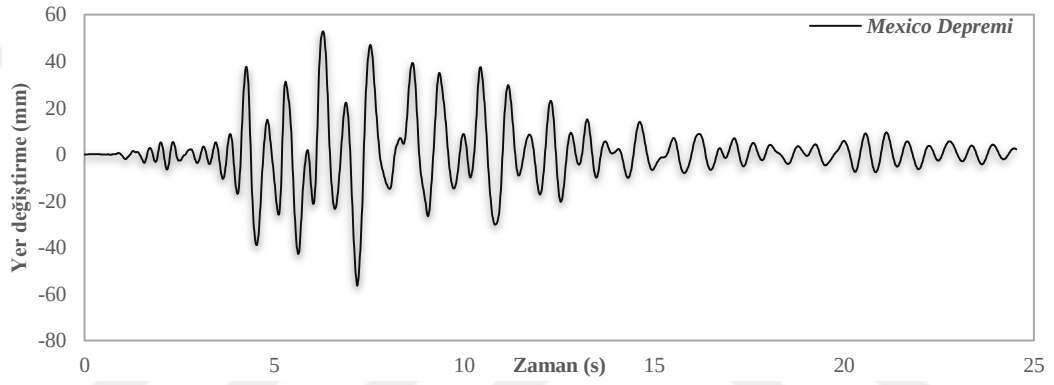
şekil 5.10. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Malatya deprem yer hareketi altında tepe yer değiştirme – zaman (δ -t) grafiği



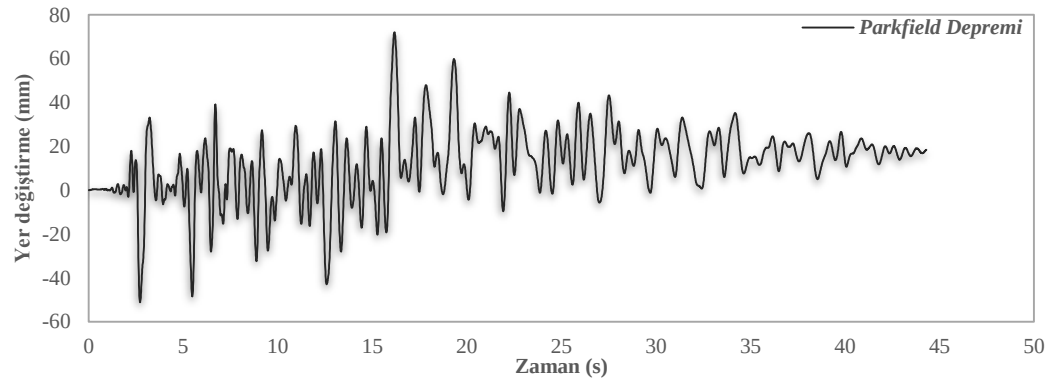
şekil 5.11. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Düzce deprem yer hareketi altında tepe yer değiştirme – zaman (δ -t) grafiği



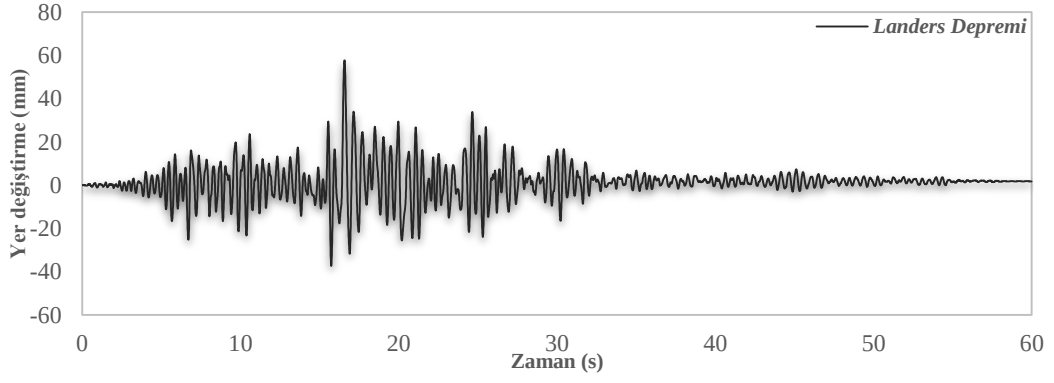
Şekil 5.12. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Kobe deprem yer hareketi altında tepe yer değiştirme – zaman (δ -t) grafiği



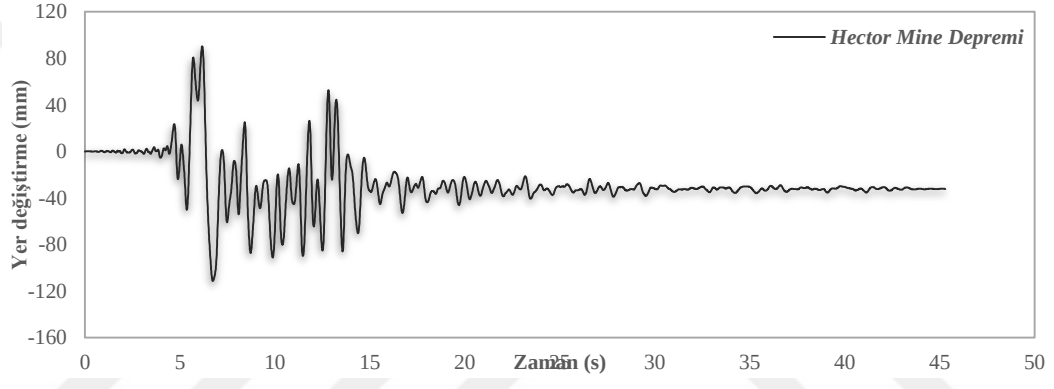
Şekil 5.13. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Mexico deprem yer hareketi altında tepe yer değiştirme – zaman (δ -t) grafiği



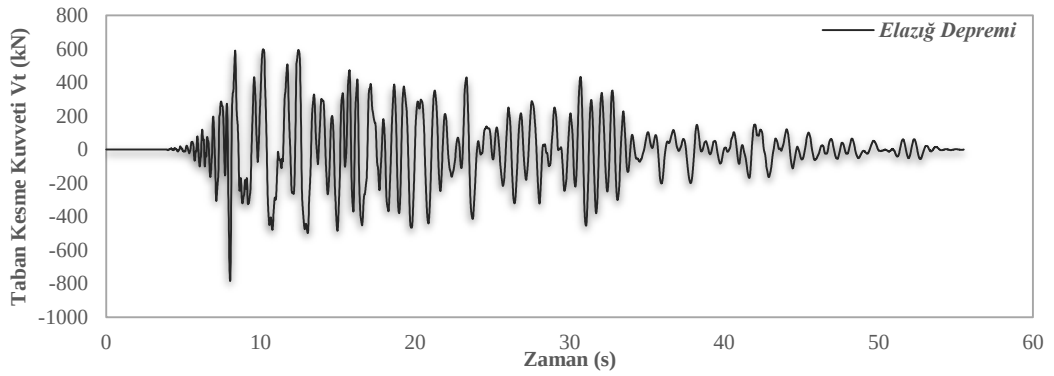
Şekil 5.14. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Parkfield deprem yer hareketi altında tepe yer değiştirme – zaman (δ -t) grafiği



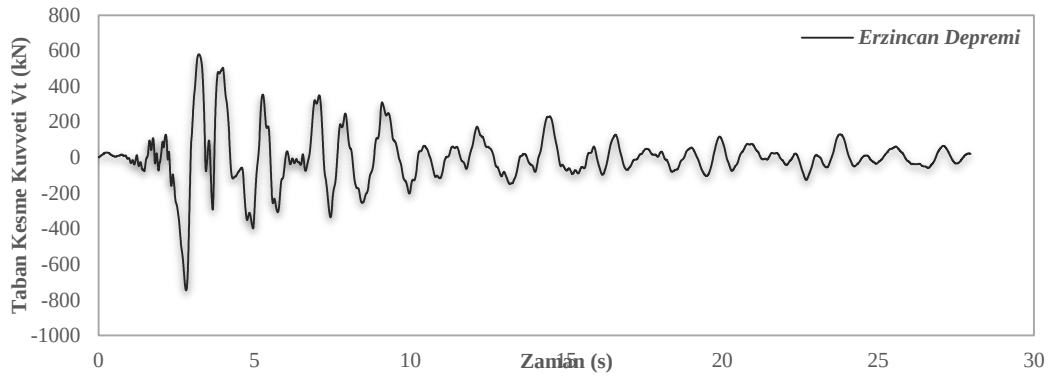
Şekil 5.15. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Landers deprem yer hareketi altında tepe yer değiştirme – zaman (δ -t) grafiği



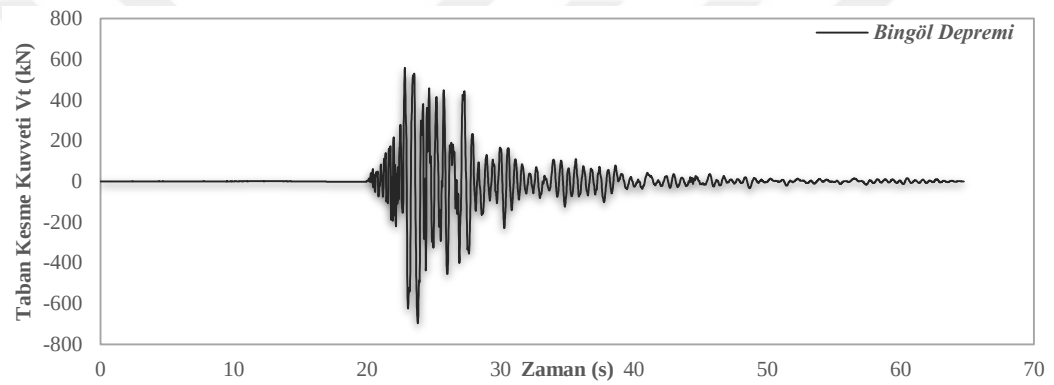
Şekil 5.16. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Hector Mine deprem yer hareketi altında tepe yer değiştirme – zaman (δ -t) grafiği



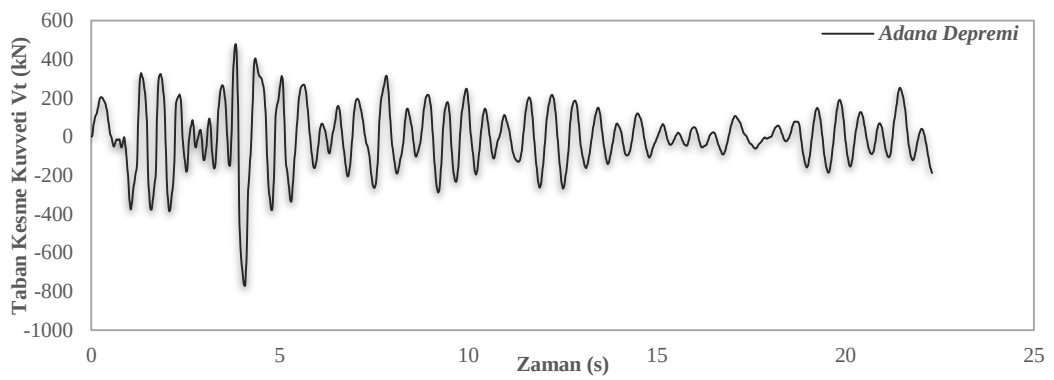
Şekil 5.17. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Elazığ deprem yer hareketi altında taban kesme kuvveti – zaman (V_t -t) grafiği



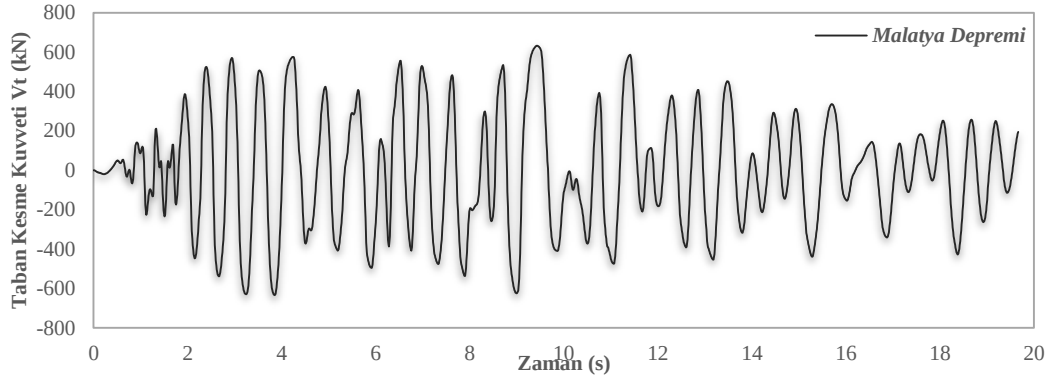
Şekil 5.18. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Erzincan deprem yer hareketi altında taban kesme kuvveti – zaman (V_t -t) grafiği



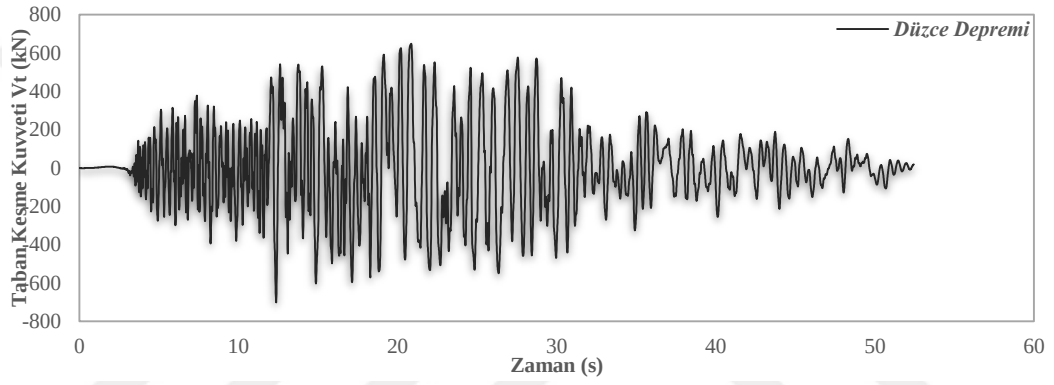
Şekil 5.19. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Bingöl deprem yer hareketi altında taban kesme kuvveti – zaman (V_t -t) grafiği



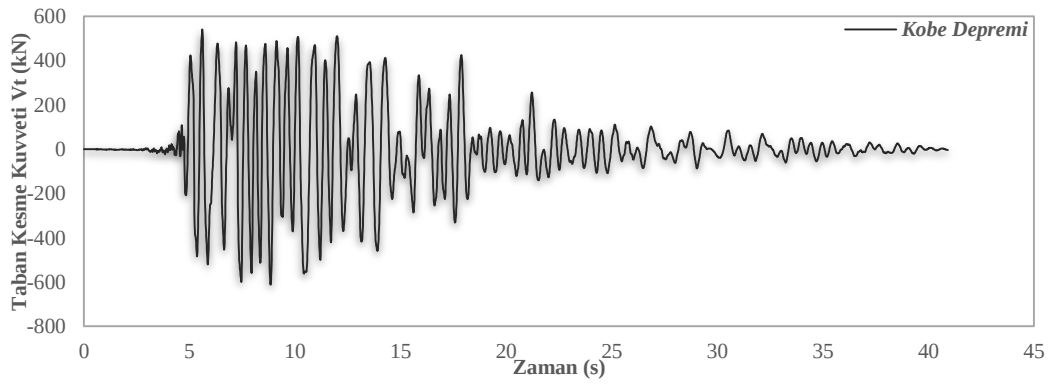
Şekil 5.20. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Adana deprem yer hareketi altında taban kesme kuvveti – zaman (V_t -t) grafiği



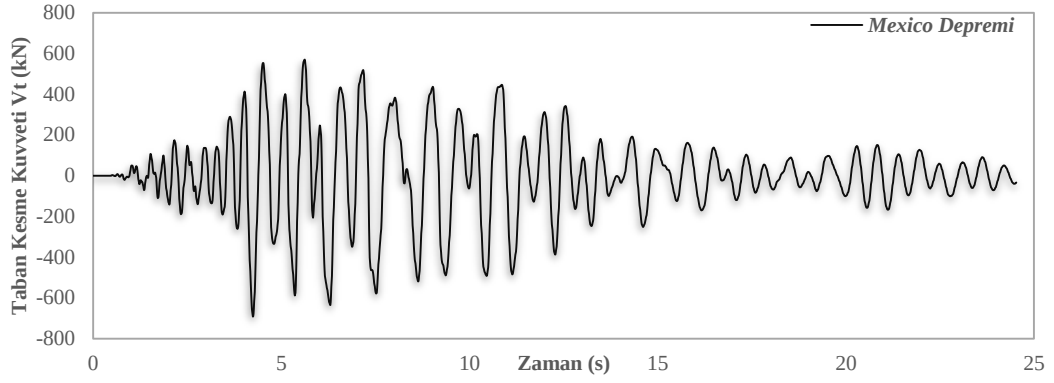
Şekil 5.21. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Malatya deprem yer hareketi altında taban kesme kuvveti – zaman (V_t-t) grafiği



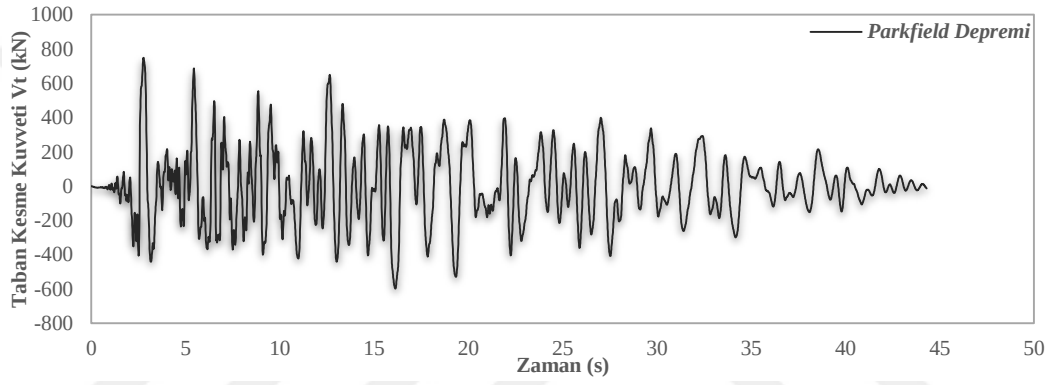
Şekil 5.22. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Düzce deprem yer hareketi altında taban kesme kuvveti – zaman (V_t-t) grafiği



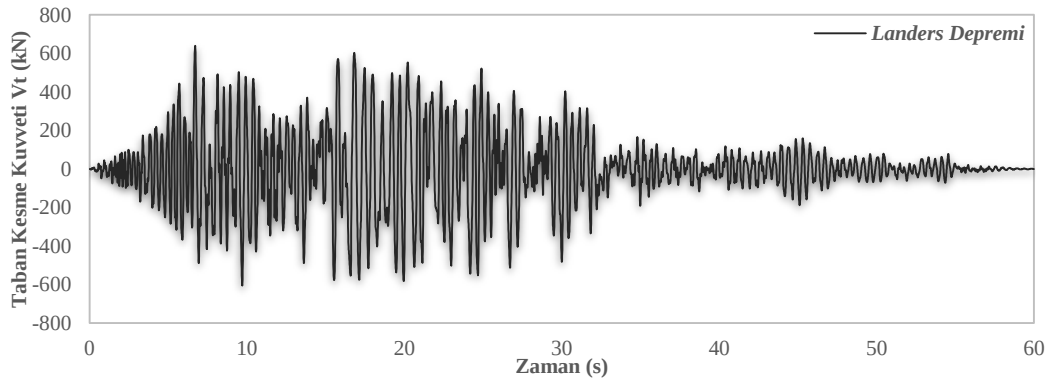
Şekil 5.23. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Kobe deprem yer hareketi altında taban kesme kuvveti – zaman (V_t-t) grafiği



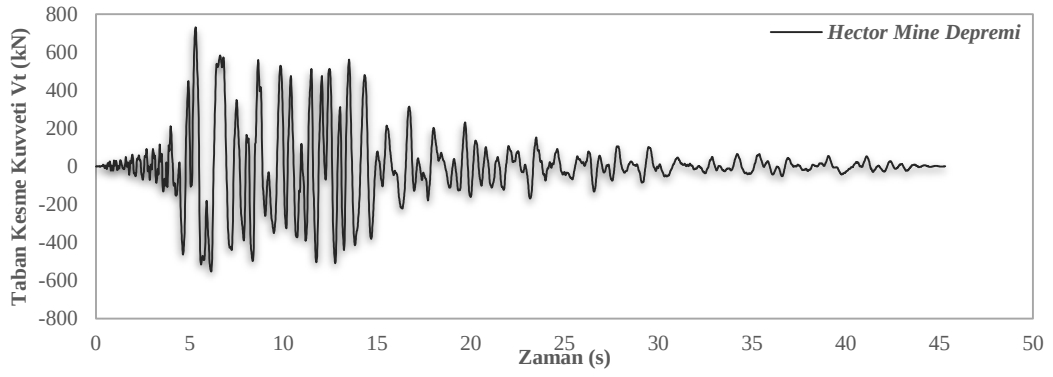
Şekil 5.24. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Mexico deprem yer hareketi altında taban kesme kuvveti – zaman (V_t -t) grafiği



Şekil 5.25. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Parkfield deprem yer hareketi altında taban kesme kuvveti – zaman (V_t -t) grafiği

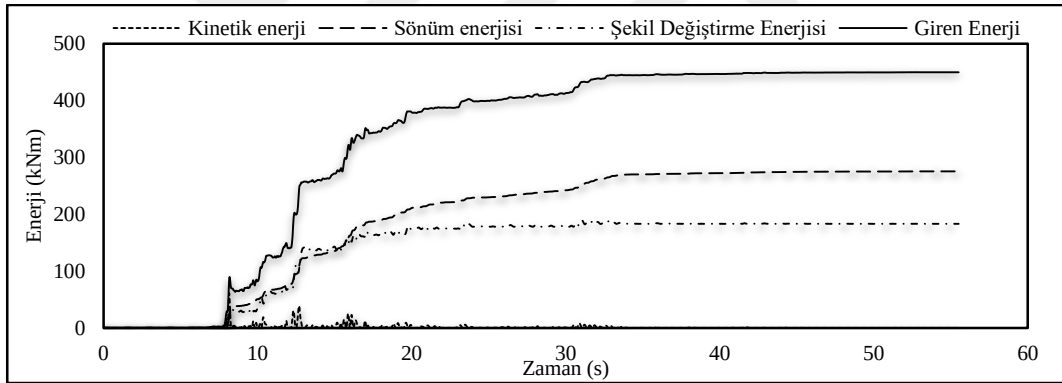


Şekil 5.26. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Landers deprem yer hareketi altında taban kesme kuvveti – zaman (V_t -t) grafiği

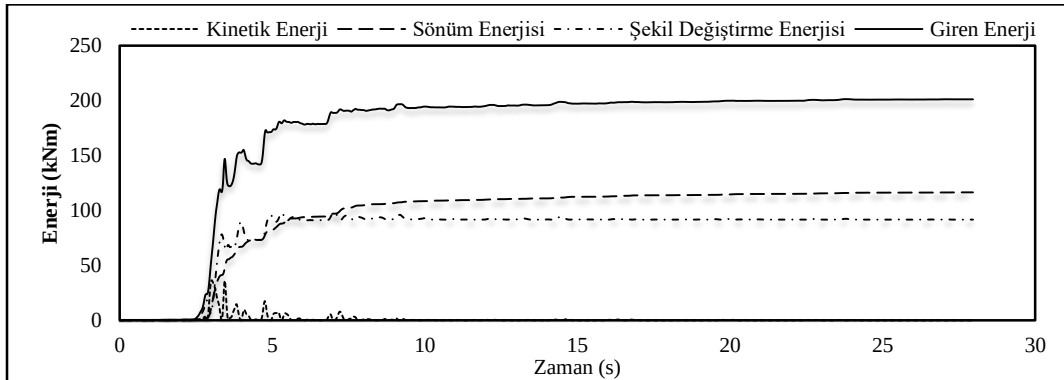


Şekil 5.27. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Hector Mine deprem yer hareketi altında taban kesme kuvveti – zaman (V_t -t) grafiği

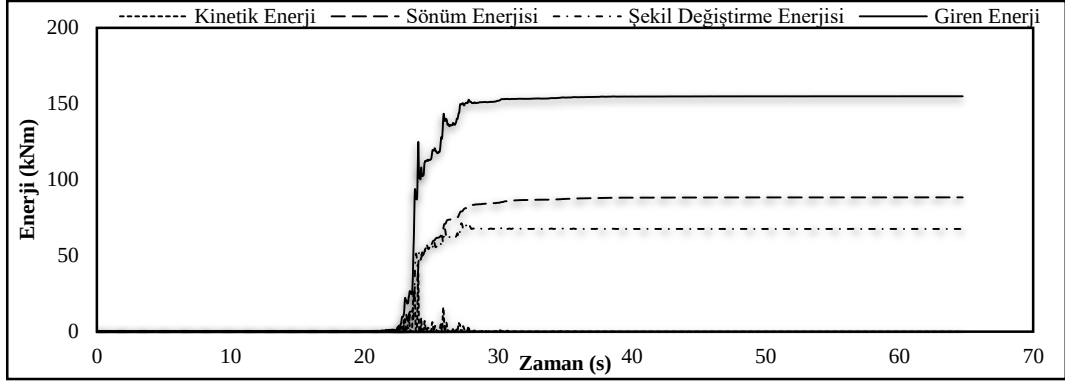
Çalışma kapsamında analizleri gerçekleştirilen betonarme çerçevelerin enerji bileşenleri – zaman grafikleri elde edilmiştir. Deprem etkisiyle yapıya giren toplam enerjinin (E_t) zamana bağlı değişimi ve sistem tarafından bu giren enerjinin tüketilme enerjileri olan kinetik, sönüm ve şekil değiştirme enerji türlerinin zamana bağlı değişimleri elde edilmiştir. 3 katlı üç açıklıklı betonarme çerçevenin enerji-zaman geçmişi grafikleri Şekil 5.28-Şekil 5.38 arasında sunulmuştur.



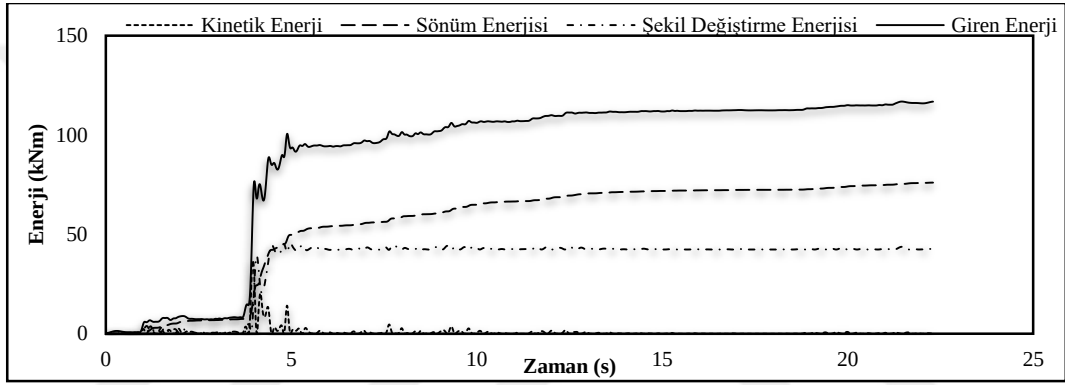
Şekil 5.28. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Elazığ deprem yer hareketi altında enerji bileşenleri – zaman geçmişi (E - t) grafiği



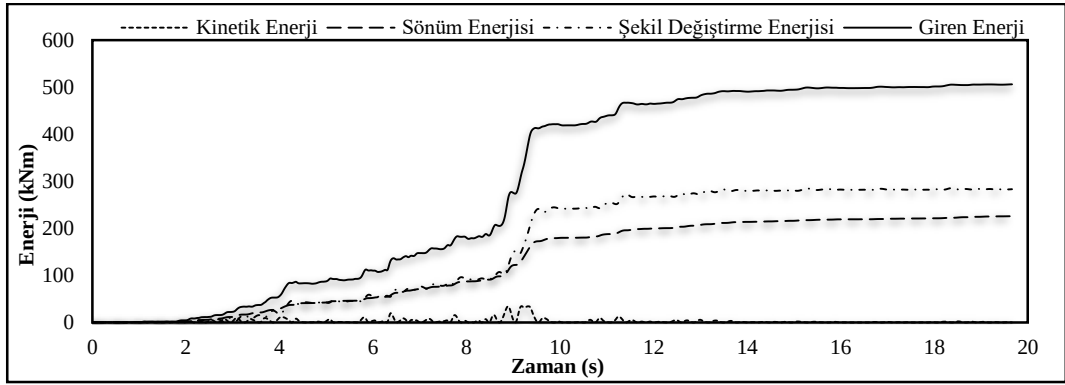
Şekil 5.29. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Erzincan deprem yer hareketi altında enerji bileşenleri – zaman geçmişi (E - t) grafiği



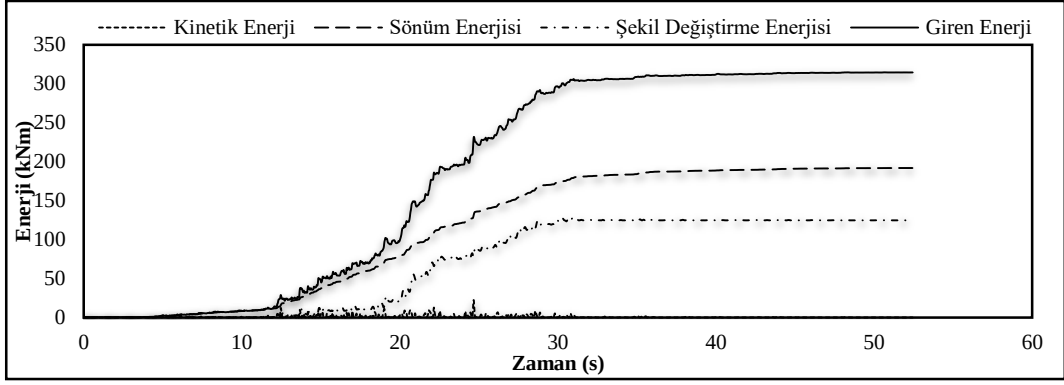
Şekil 5.30. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Bingöl deprem yer hareketi altında enerji bileşenleri – zaman geçmişi (E - t) grafiği



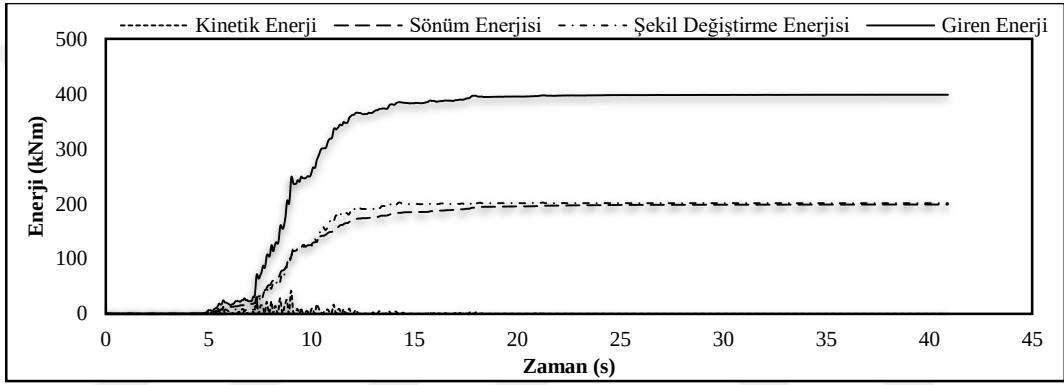
Şekil 5.31. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Adana deprem yer hareketi altında enerji bileşenleri – zaman geçmişi (E - t) grafiği



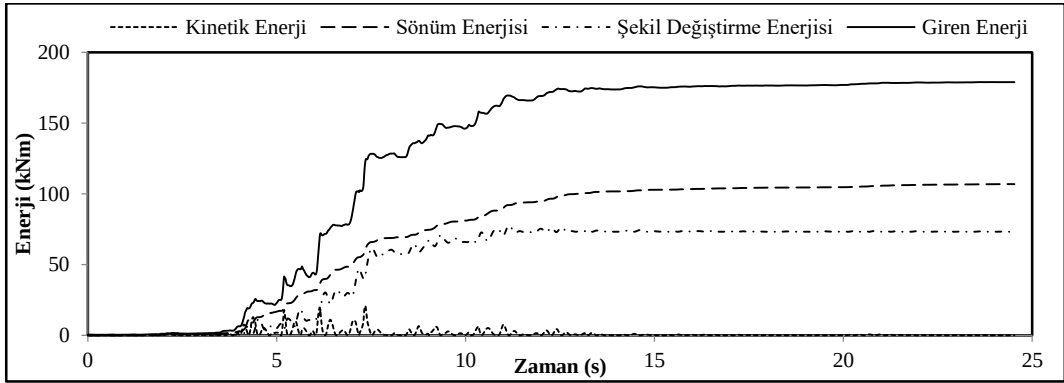
Şekil 5.32. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Malatya deprem yer hareketi altında enerji bileşenleri – zaman geçmişi (E - t) grafiği



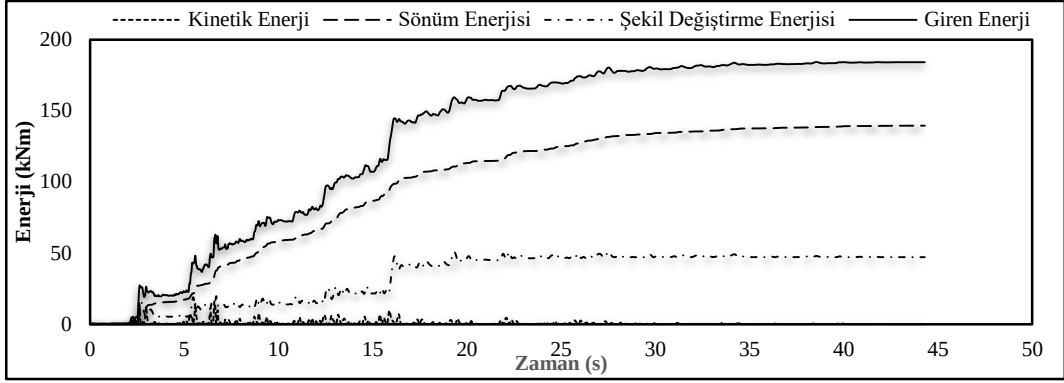
Şekil 5.33. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Düzce deprem yer hareketi altında enerji bileşenleri – zaman geçmişi (E - t) grafiği



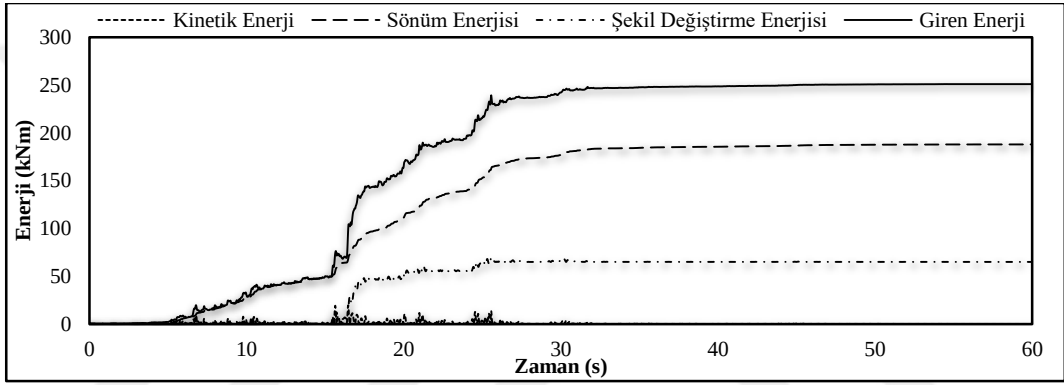
Şekil 5.34. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Kobe deprem yer hareketi altında enerji bileşenleri – zaman geçmişi (E - t) grafiği



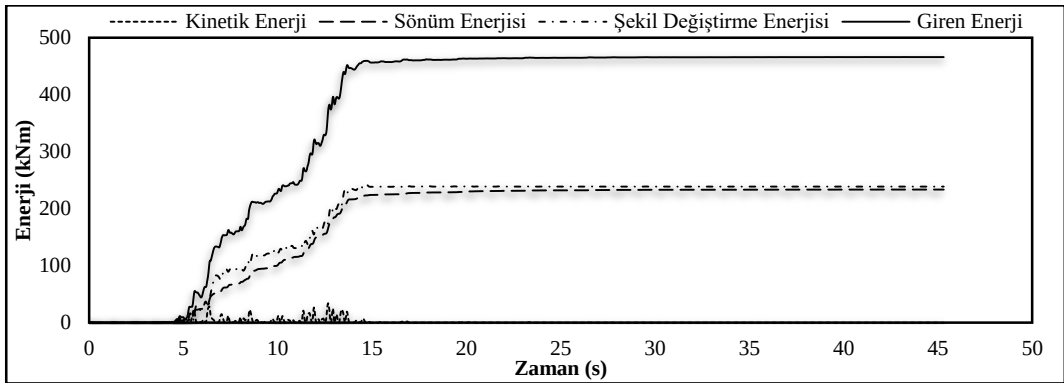
Şekil 5.35. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Mexico deprem yer hareketi altında enerji bileşenleri – zaman geçmişi (E - t) grafiği



Şekil 5.36. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Parkfield deprem yer hareketi altında enerji bileşenleri – zaman geçmişi (E - t) grafiği



Şekil 5.37. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Landers deprem yer hareketi altında enerji bileşenleri – zaman geçmişi (E - t) grafiği



Şekil 5.38. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Hector deprem yer hareketi altında enerji bileşenleri – zaman geçmişi (E - t) grafiği

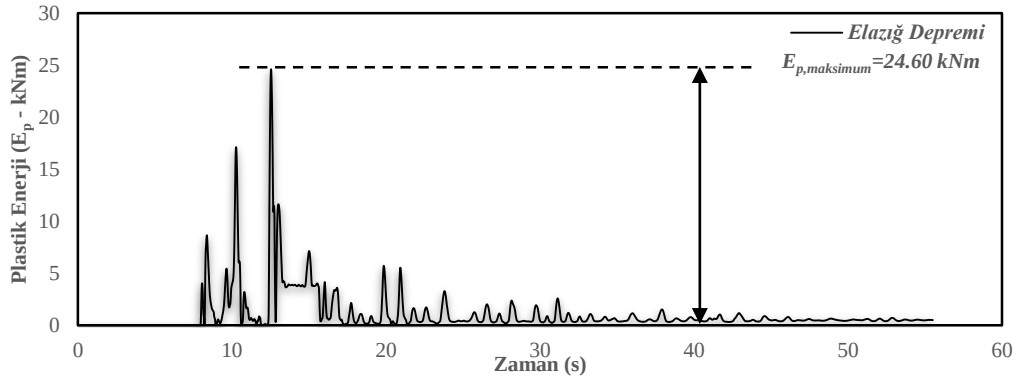
BÇY. 3-3 çerçevesinin seçilen deprem yer hareketlerinin ölçeklendirilmiş ivme kayıtları altında zaman tanım alanında analizlerinden elde edilen sismik enerji bileşenleri incelendiğinde; her deprem yer hareketinde sisteme giren enerjinin ve sistemin bu enerjiyi tüketim enerji bileşenleri

arasında dağıtım oranlarının farklı olduğu gözlenmiştir. Bu durum her depremin kendine özgü davranışa sahip olduğunu ve bu durumu da yapıya yansıttığını göstermektedir.

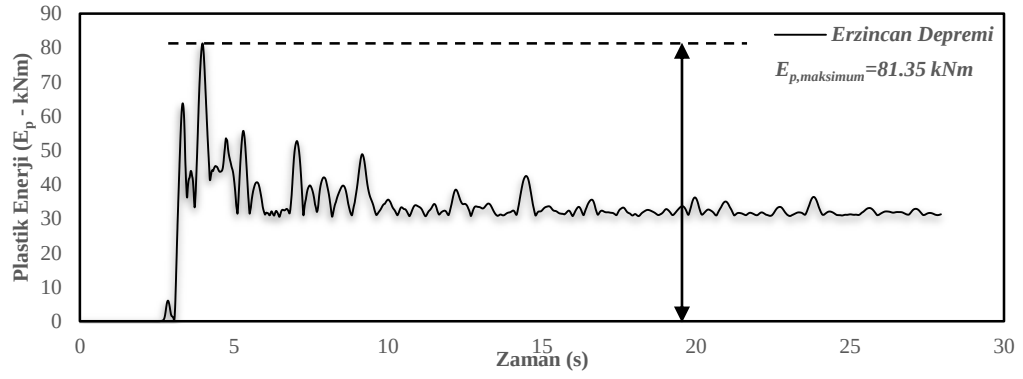
5.1.4. Yapılarda Deprem Yer Hareketi Süresince Tüketilen Toplam Plastik Enerjinin Hesaplanması ($E_p - t$ Grafikleri)

Çalışmanın bu bölümünde, seçilen betonarme çerçeve sistemlerin depremler altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerinde yer hareketi süresi boyunca tüketilen/talep edilen toplam plastik enerji tez kapsamında 3. bölümde verildiği şekilde hesaplanarak belirlenmektedir.

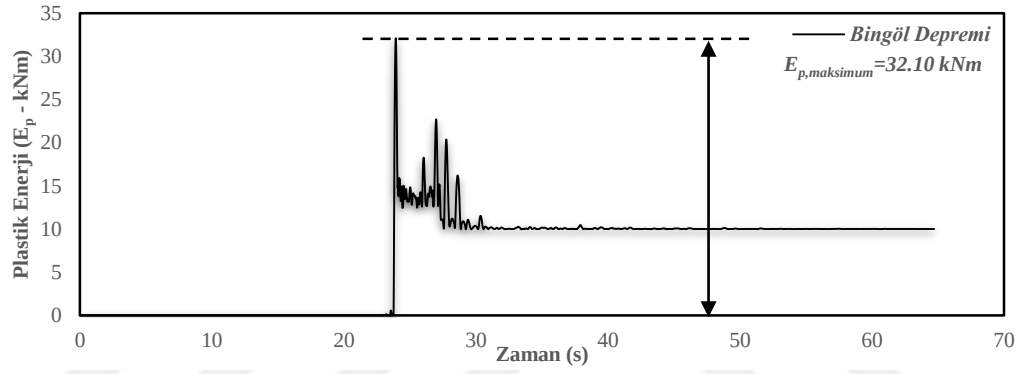
Çalışma kapsamında, oluşturulan tüm betonarme çerçeve yapıların tüketilen toplam plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafikleri belirli kıstaslara göre seçilen on bir deprem etkisi altında hesaplanmıştır. Elde edilen grafiklerden deprem süresince her zaman adımında yapıda tüketilen toplam plastik enerji, hangi zamanda maksimum talep edilen enerjinin olduğu ve bu enerjinin değeri ($E_{p, \max}$) elde edilmiştir. Hesaplanan bu maksimum plastik enerji değerleri, tez kapsamında sonraki bölümlerde de kapsamlı olarak belirtileceği üzere, çerçeve yapıların deprem yer hareketi altında talep ettiği plastik enerjinin belirlenmesinde kullanılacaktır. Yapılarda deprem etkisiyle tüketilen plastik enerjinin bu en büyük değeri, deprem yer hareketinin yapıdan talep ettiği maksimum plastik enerji istemidir. Ayrıca tez çalışmasının bu bölümünde betonarme çerçeveleri plastik enerji kapasitesi ile deprem yer hareketleri altında elde edilen plastik enerji talepleri ilişkilendirilerek, grafikler üzerinde gösterilerek işaretlenecektir. Çalışma kapsamında oluşturulan betonarme çerçeve yapıların seçilen deprem yer hareketlerinin ölçeklendirilmiş ivme kayıtları altında elde edile plastik enerji-zaman geçmişi grafikleri Şekil 5.39-Şekil 5.126 arasında sırasıyla verilmiştir.



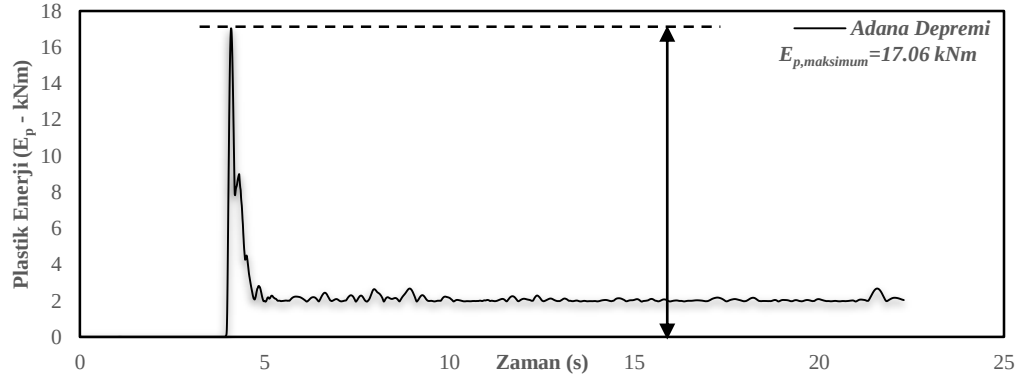
Şekil 5.39. BÇY. 3-1 Çerçevesinin Elazığ deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



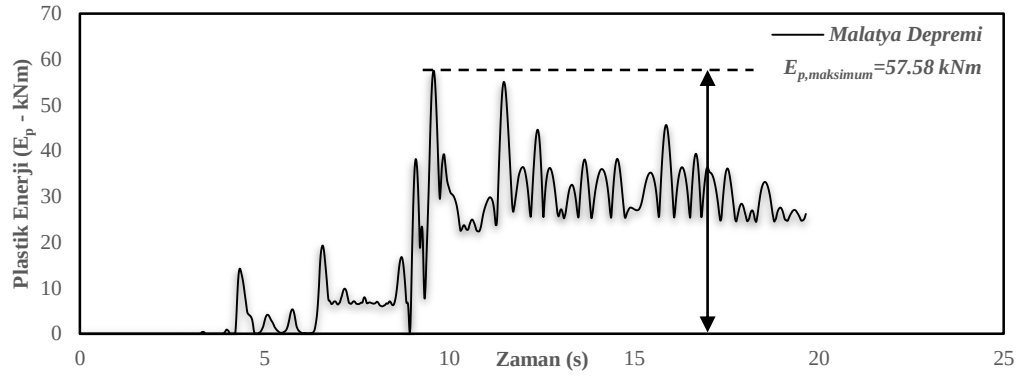
Şekil 5.40. BÇY. 3-1 Çerçevesinin Erzincan deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



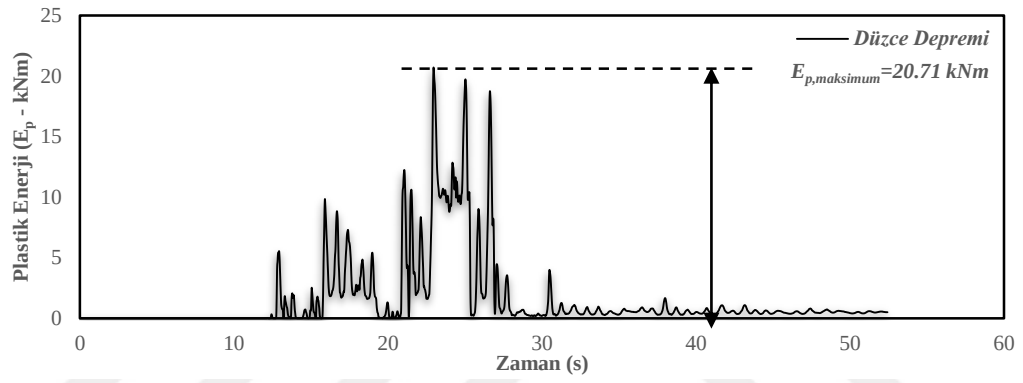
Şekil 5.41. BÇY. 3-1 Çerçevesinin Bingöl deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



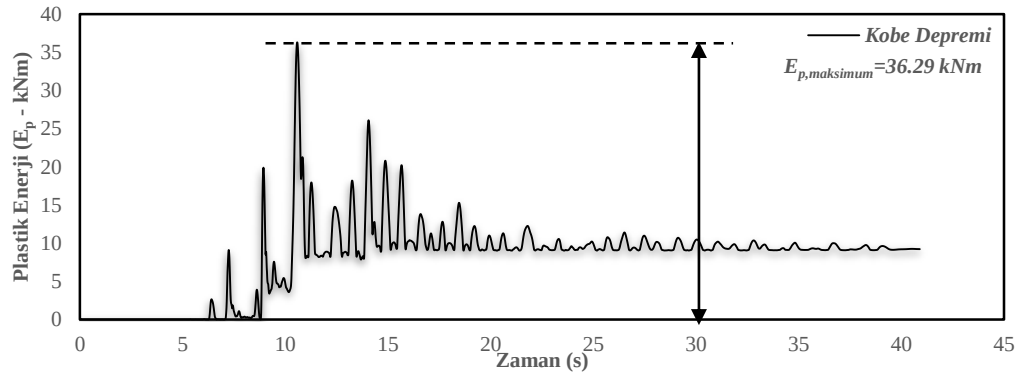
Şekil 5.42. BÇY. 3-1 Çerçevesinin Adana deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



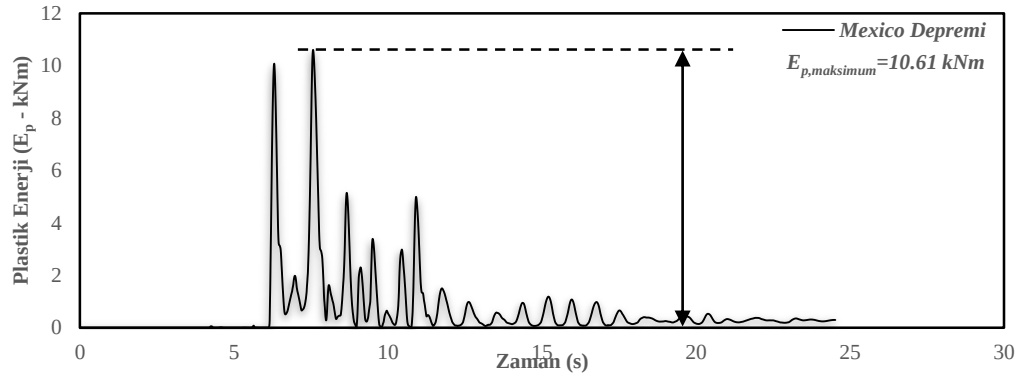
Şekil 5.43. BÇY. 3-1 Çerçevesinin Malatya deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



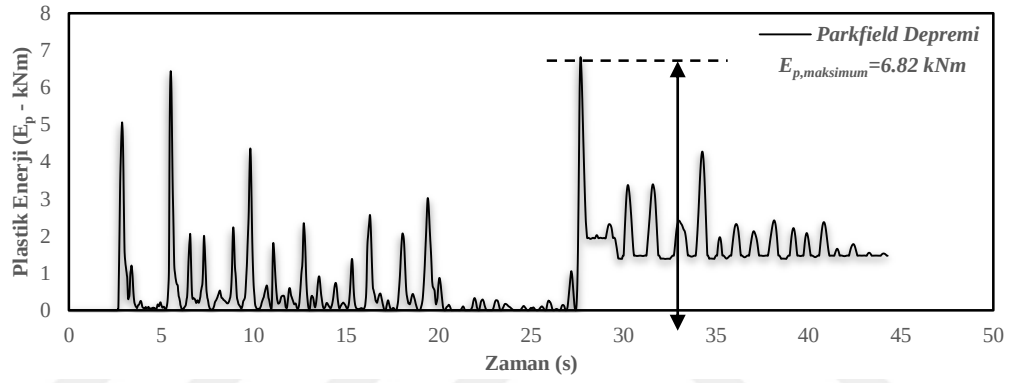
Şekil 5.44. BÇY. 3-1 Çerçevesinin Düzce deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



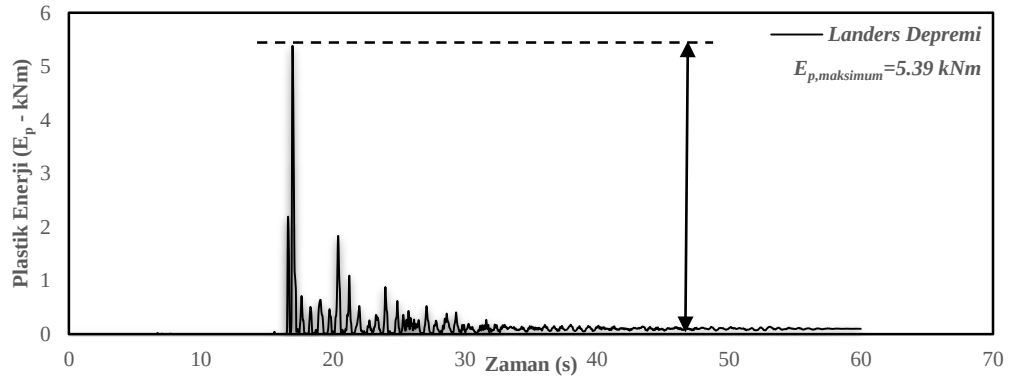
Şekil 5.45. BÇY. 3-1 Çerçevesinin Kobe deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



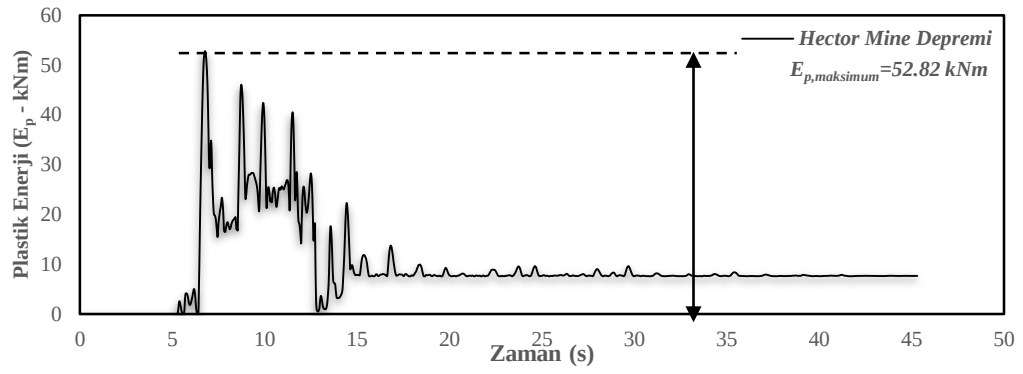
Şekil 5.46. BÇY. 3-1 Çerçevesinin Mexico deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



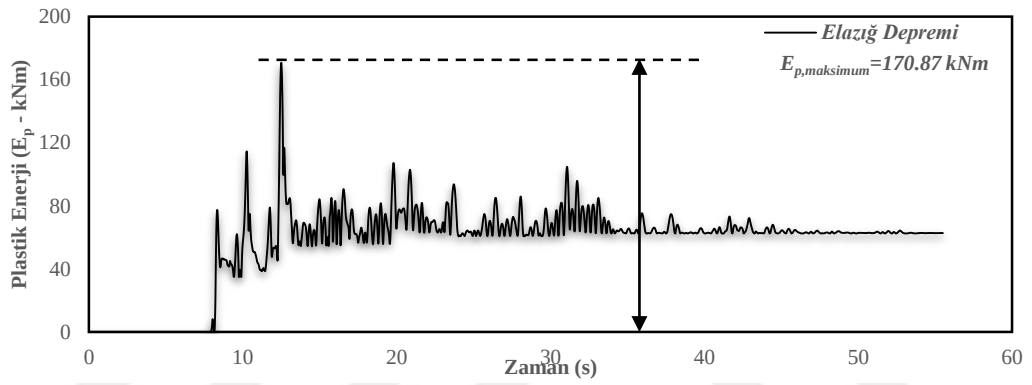
Şekil 5.47. BÇY. 3-1 Çerçevesinin Parkfield deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



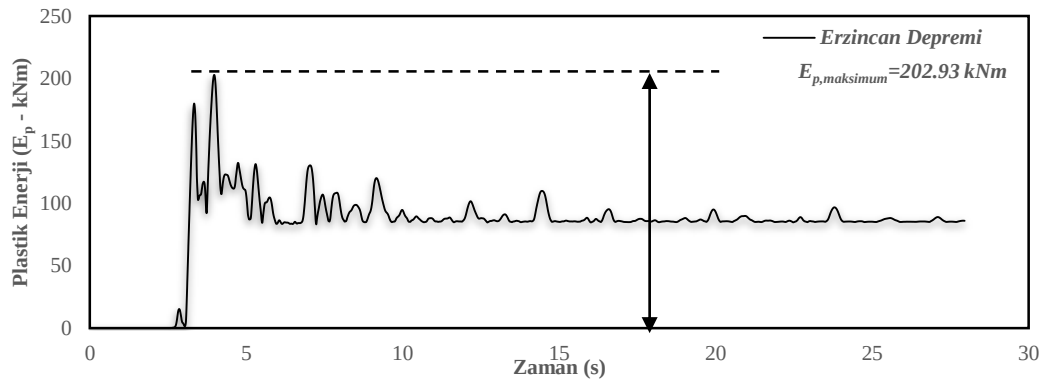
Şekil 5.48. BÇY. 3-1 Çerçevesinin Landers deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



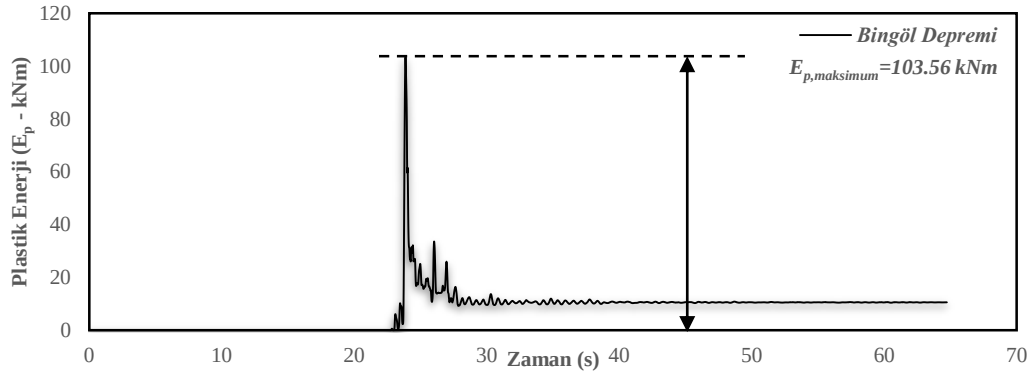
Şekil 5.49. BÇY. 3-1 Çerçevesinin Hector Mine deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



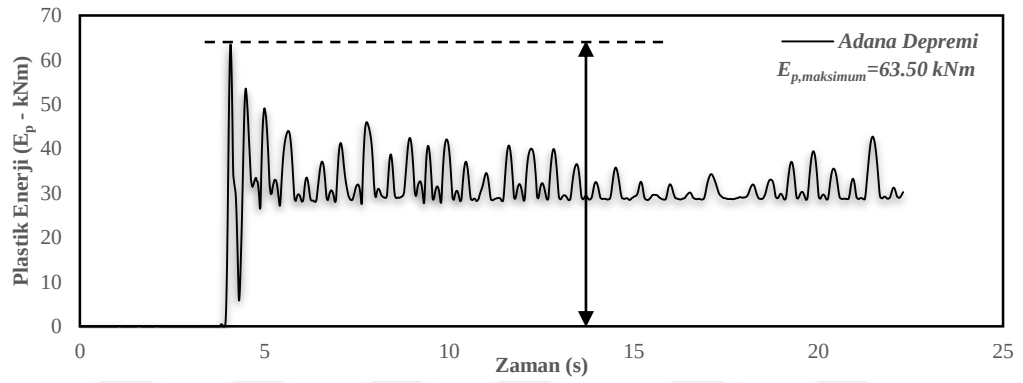
Şekil 5.50. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Elazığ deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



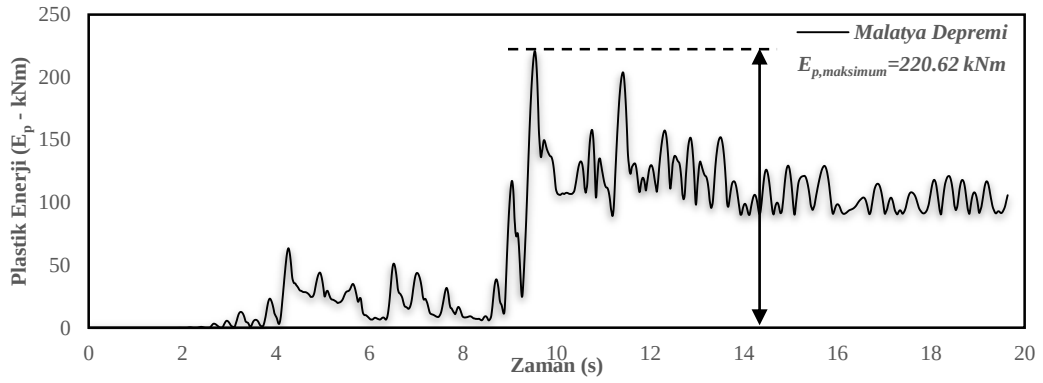
Şekil 5.51. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Erzincan deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



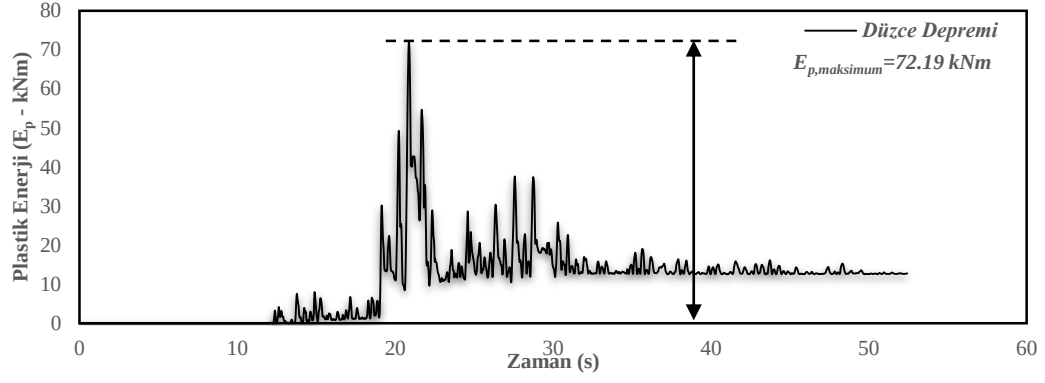
Şekil 5.52. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Bingöl deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



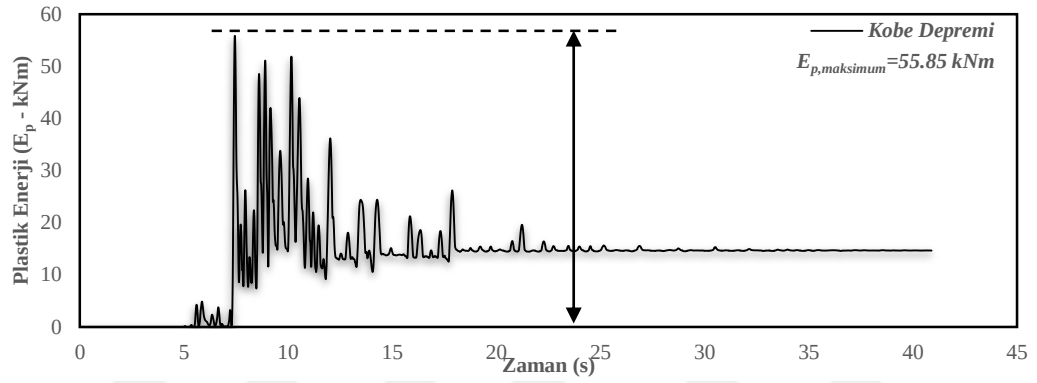
Şekil 5.53. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Adana deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



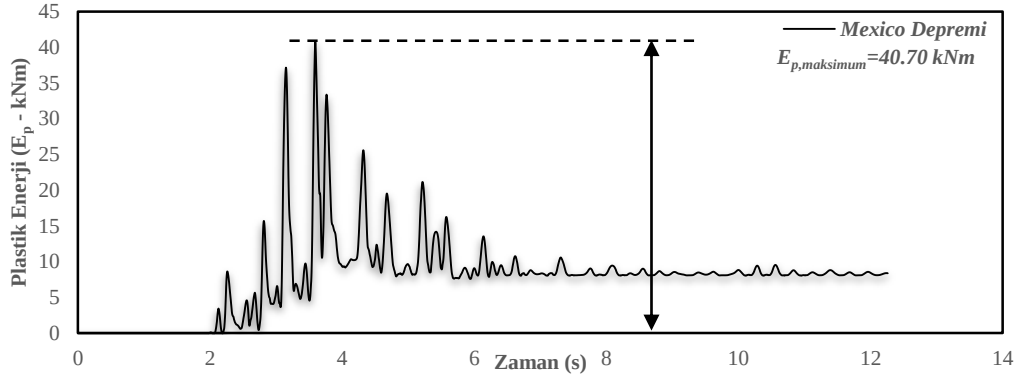
Şekil 5.54. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Malatya deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



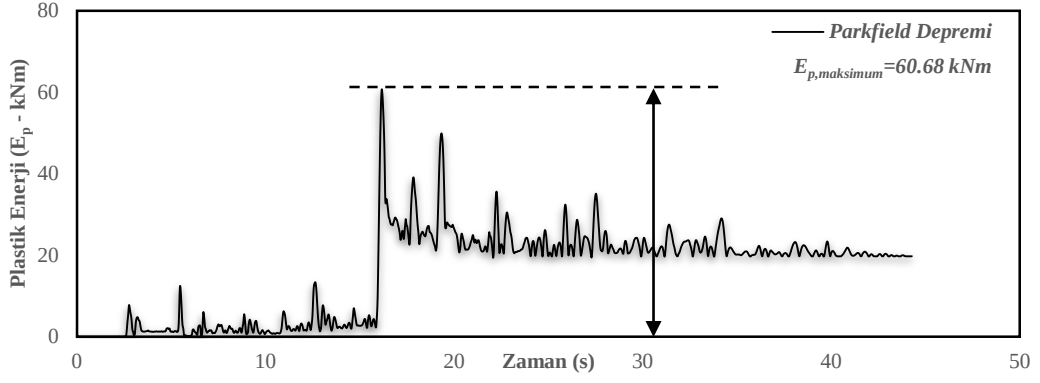
Şekil 5.55. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Düzce deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



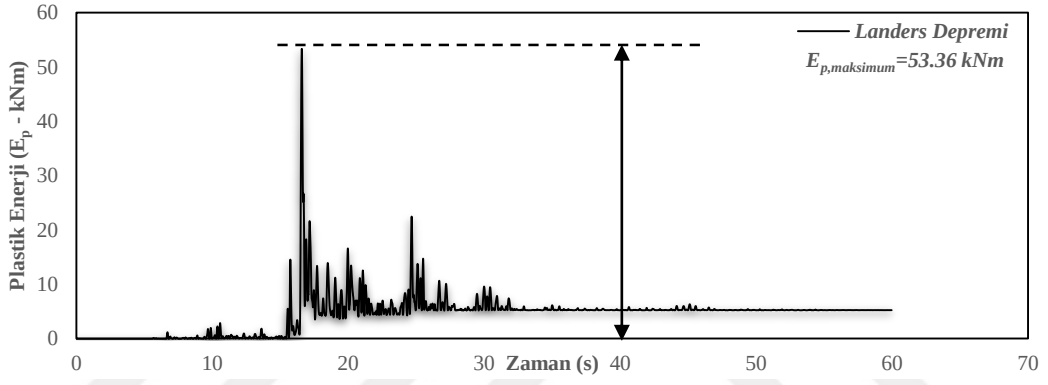
Şekil 5.56. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Kobe deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



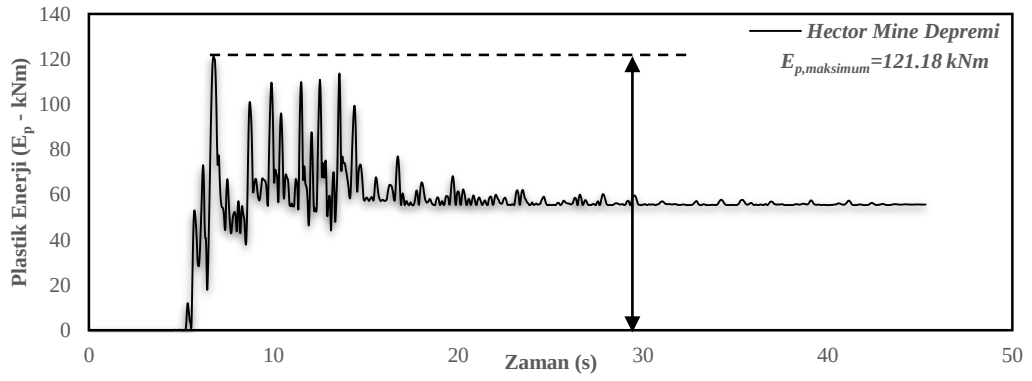
Şekil 5.57. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Mexico deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



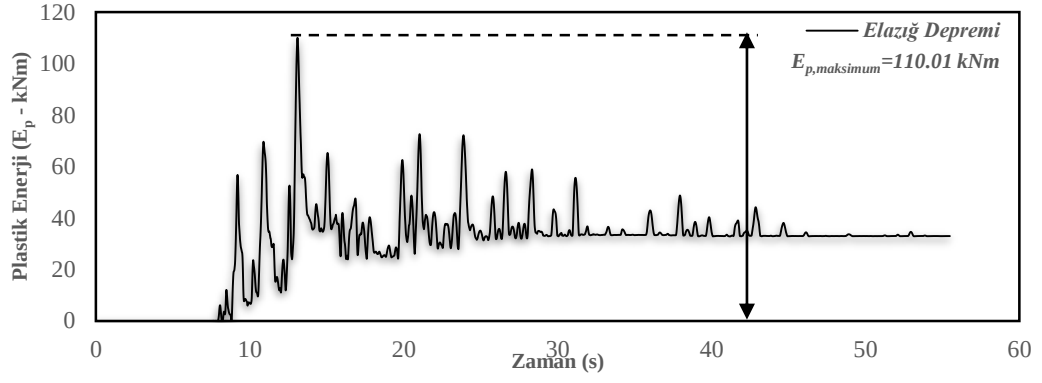
Şekil 5.58. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Parkfield deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



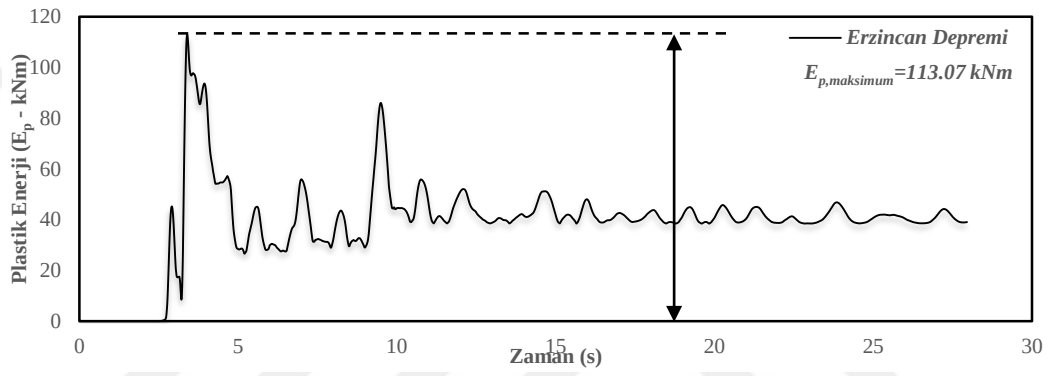
Şekil 5.59. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Landers deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



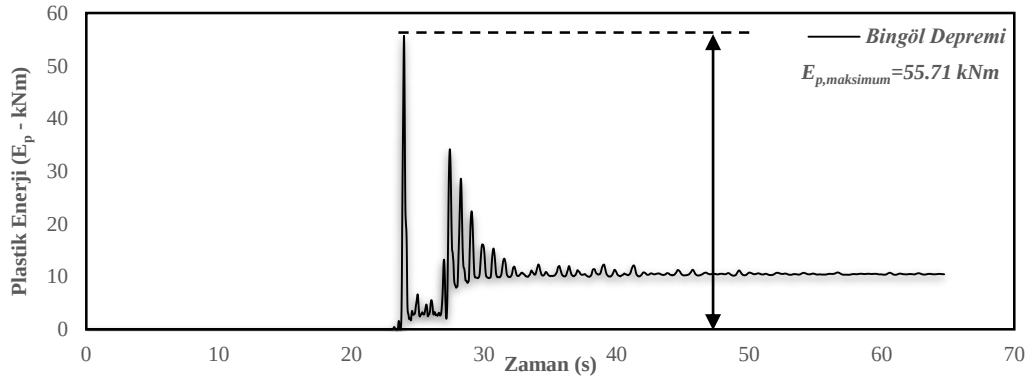
Şekil 5.60. BÇY. 3-3 Çerçevesinin Hector Mine deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



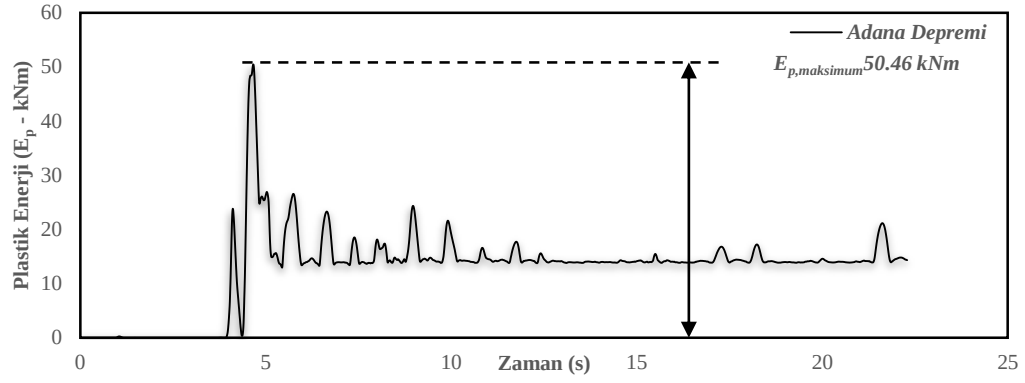
Şekil 5.61. BÇY. 6-3 Çerçevesinin Elazığ deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



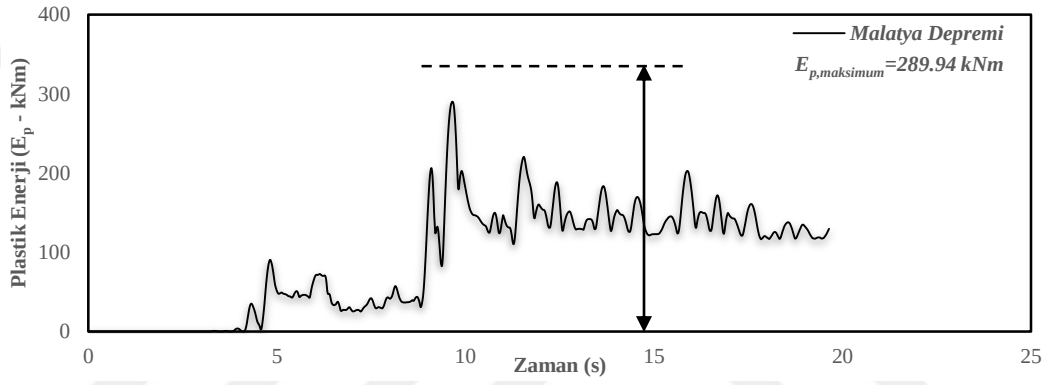
Şekil 5.62. BÇY. 6-3 Çerçevesinin Erzincan deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



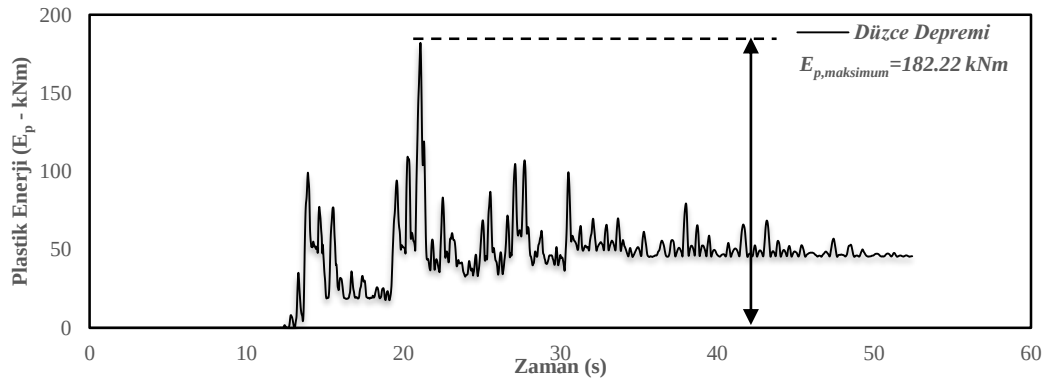
Şekil 5.63. BÇY. 6-3 Çerçevesinin Bingöl deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



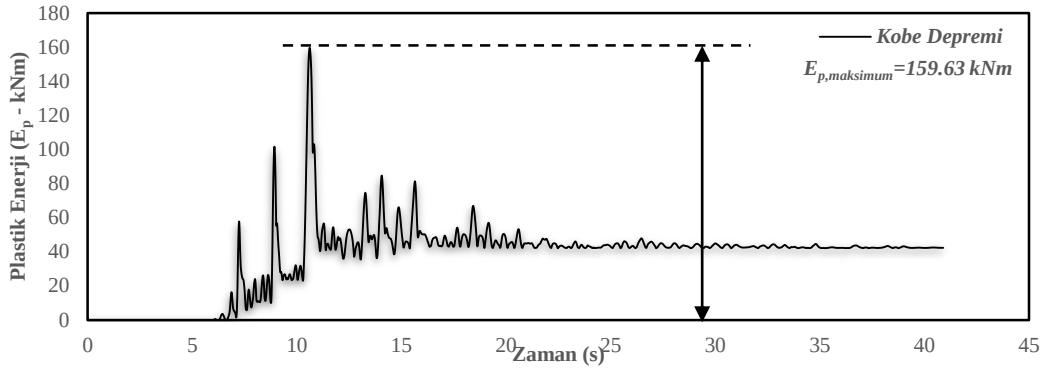
Şekil 5.64. BÇY. 6-3 Çerçevesinin Adana deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



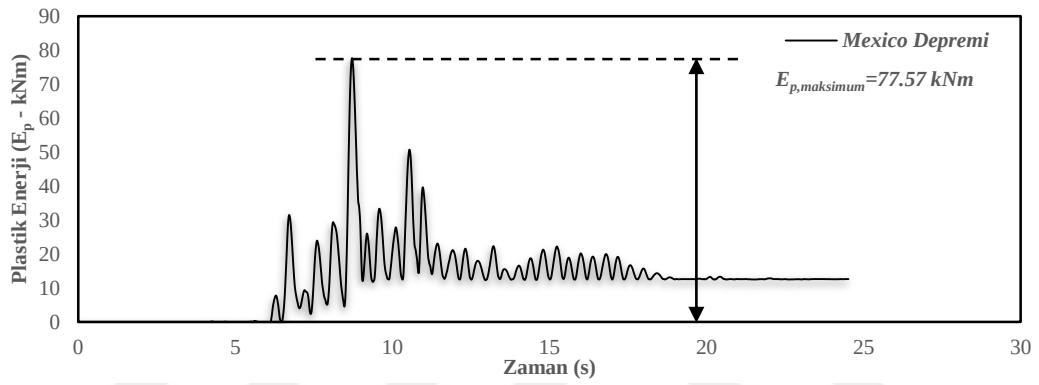
Şekil 5.65. BÇY. 6-3 Çerçevesinin Malatya deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



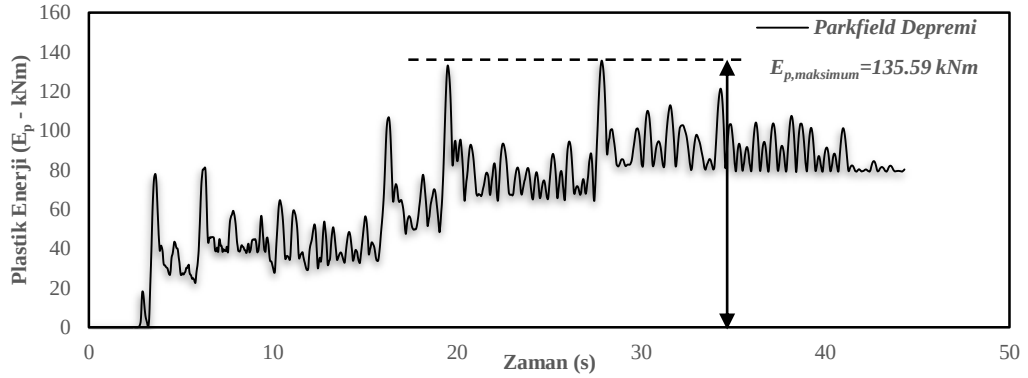
Şekil 5.66. BÇY. 6-3 Çerçevesinin Düzce deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



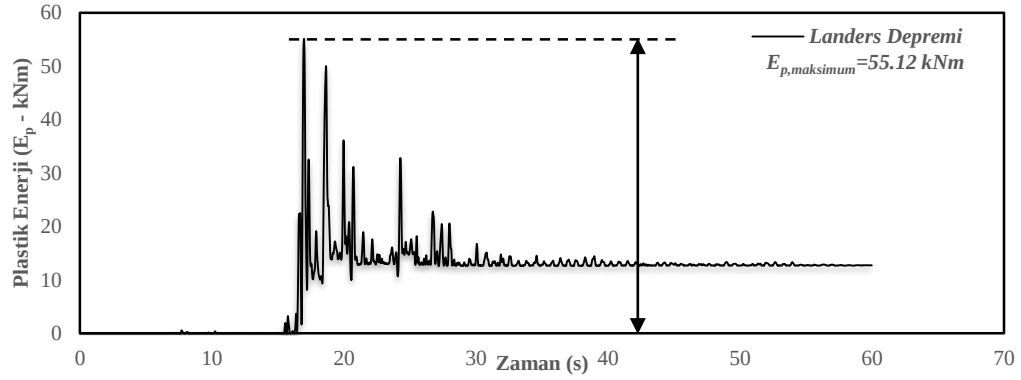
Şekil 5.67. BÇY. 6-3 Çerçevesinin Kobe deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



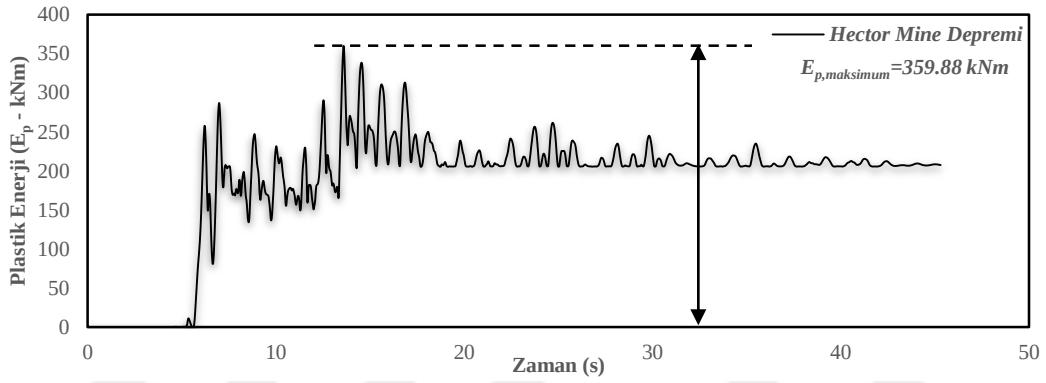
Şekil 5.68. BÇY. 6-3 Çerçevesinin Mexico deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



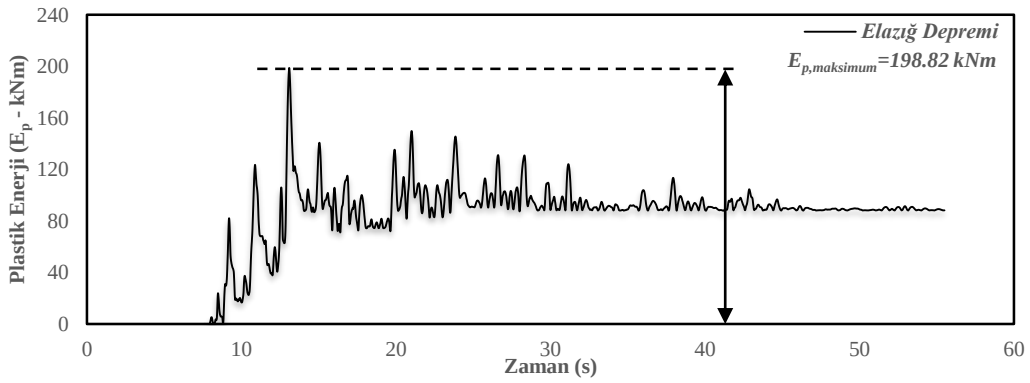
Şekil 5.69. BÇY. 6-3 Çerçevesinin Parkfield deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



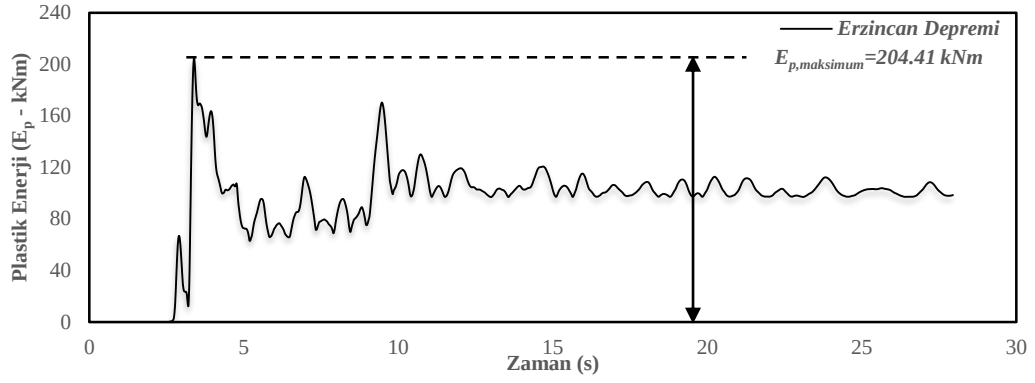
Şekil 5.70. BÇY. 6-3 Çerçevesinin Landers deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



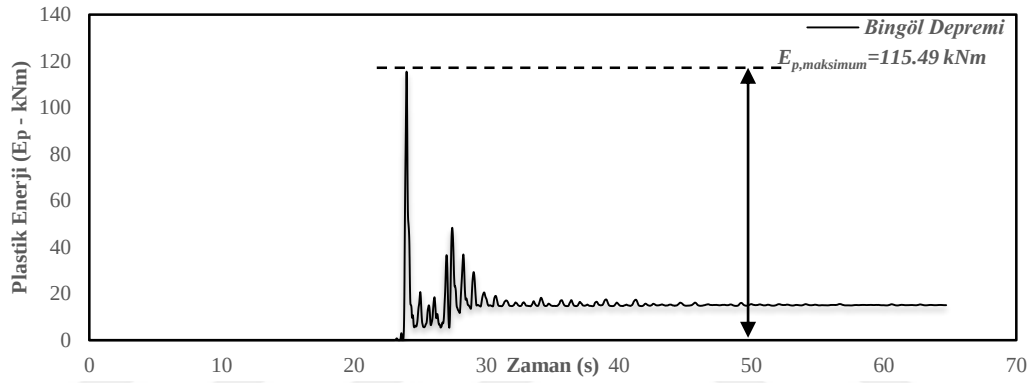
Şekil 5.71. BÇY. 6-3 Çerçevesinin Hector Mine deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



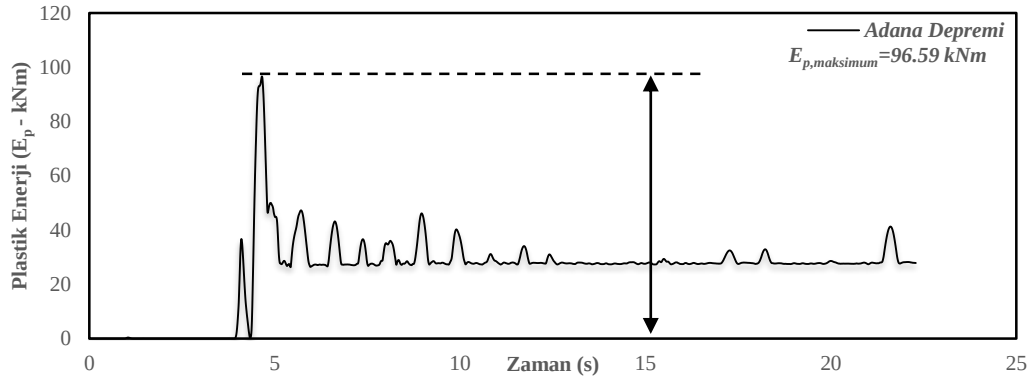
Şekil 5.72. BÇY. 6-5 Çerçevesinin Elazığ deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



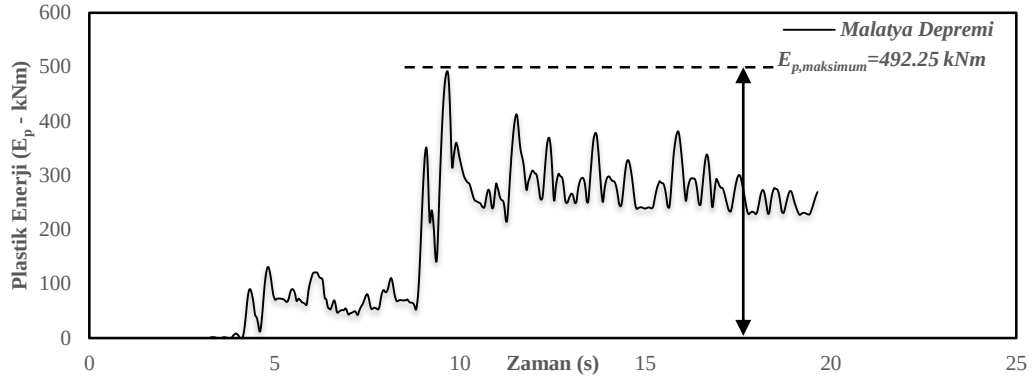
Şekil 5.73. BÇY. 6-5 Çerçevesinin Erzincan deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



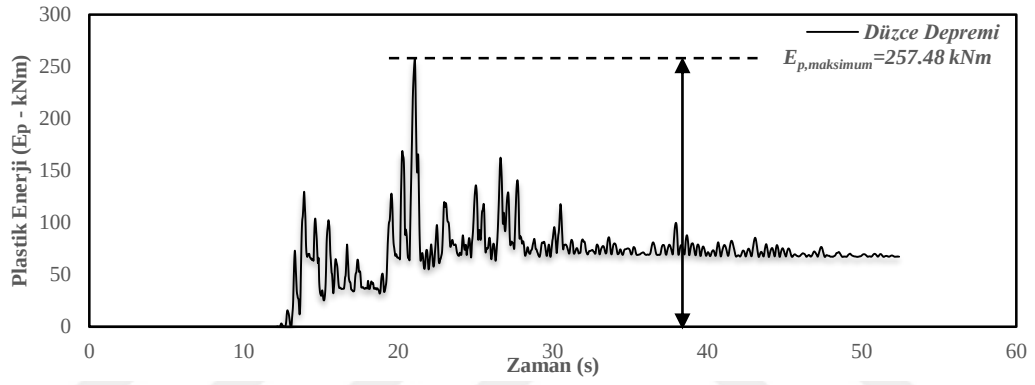
Şekil 5.74. BÇY. 6-5 Çerçevesinin Bingöl deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



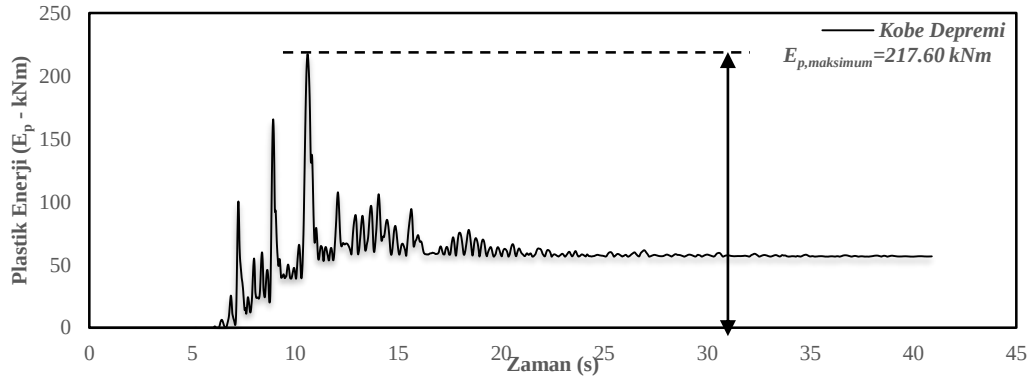
Şekil 5.75. BÇY. 6-5 Çerçevesinin Adana deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



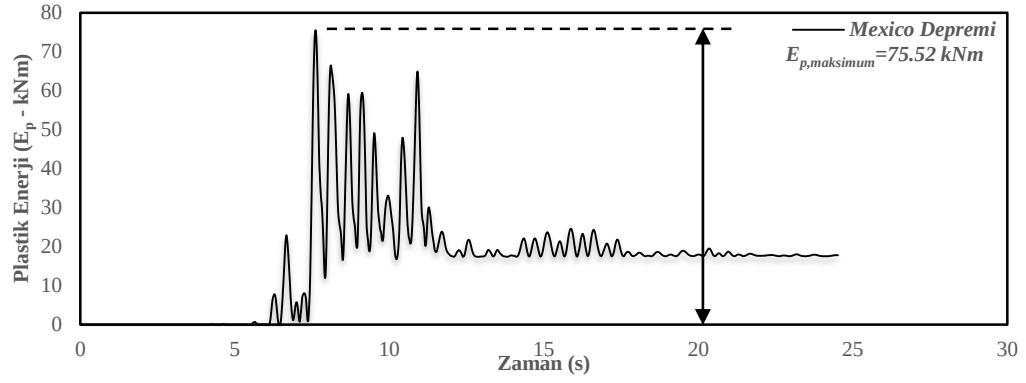
Şekil 5.76. BÇY. 6-5 Çerçevesinin Malatya deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



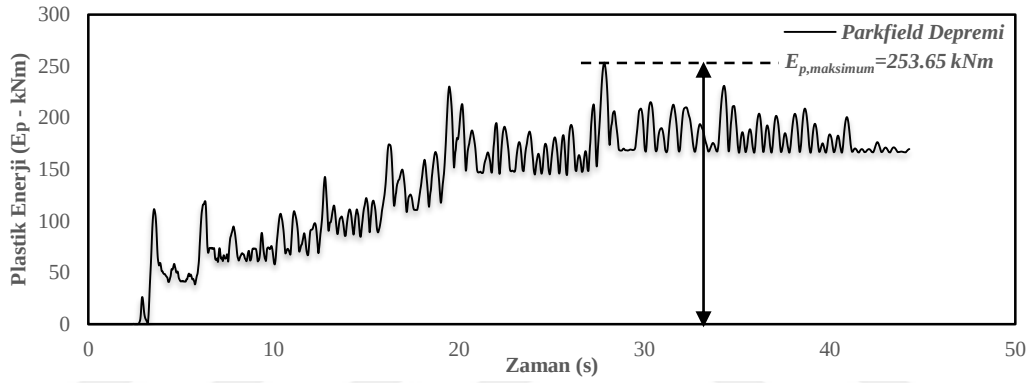
Şekil 5.77. BÇY. 6-5 Çerçevesinin Düzce deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



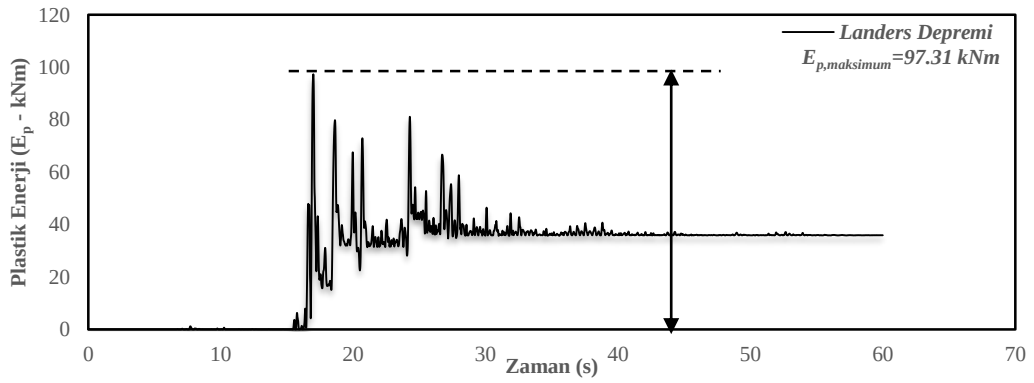
Şekil 5.78. BÇY. 6-5 Çerçevesinin Kobe deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



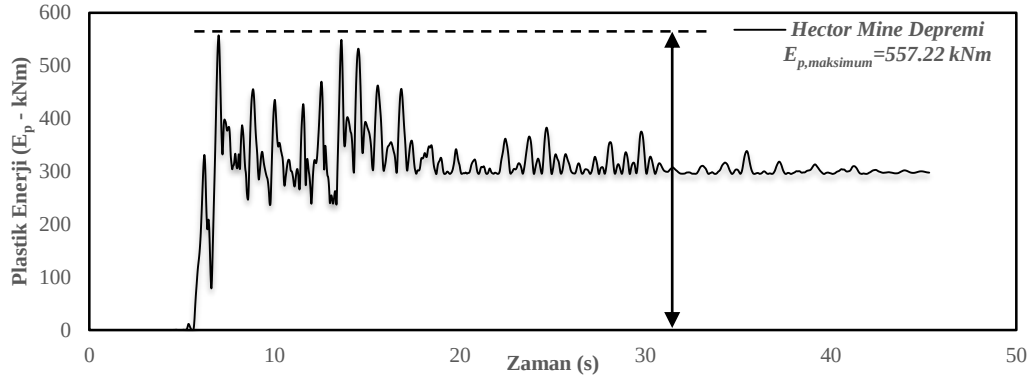
Şekil 5.79. BÇY. 6-5 Çerçevesinin Mexico deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



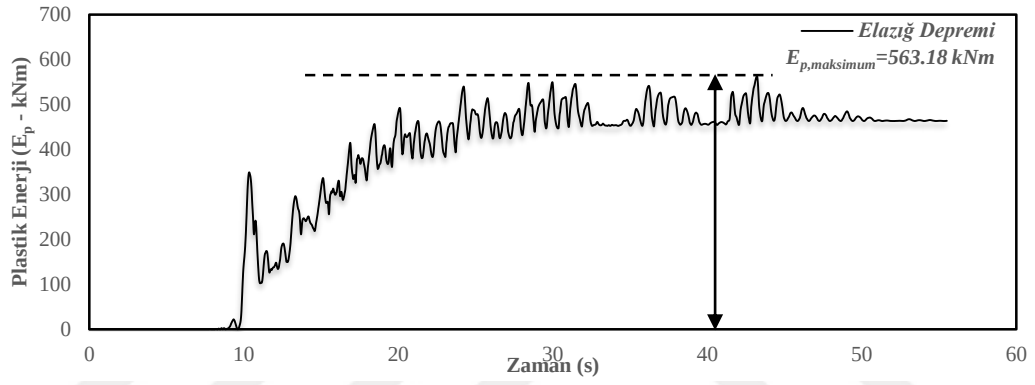
Şekil 5.80. BÇY. 6-5 Çerçevesinin Parkfield deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



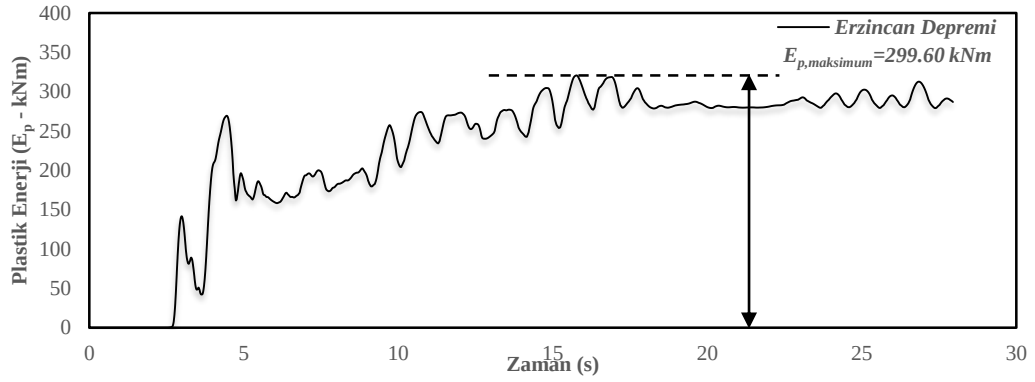
Şekil 5.81. BÇY. 6-5 Çerçevesinin Landers deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



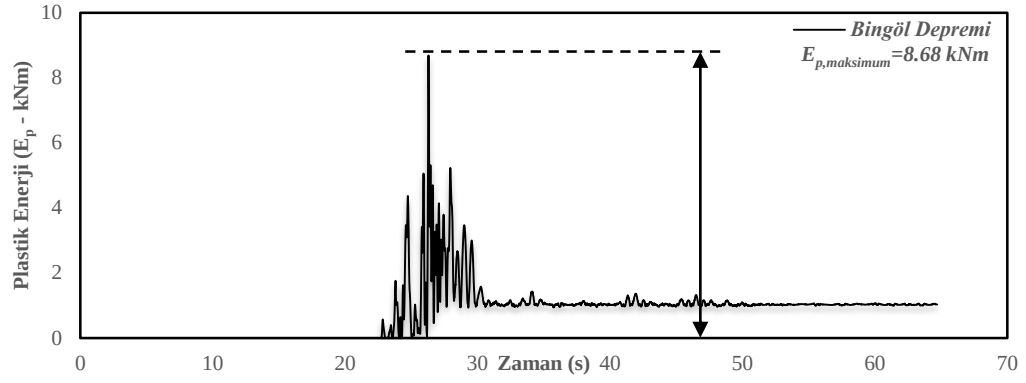
Şekil 5.82. BÇY. 6-5 Çerçevesinin Hector Mine deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



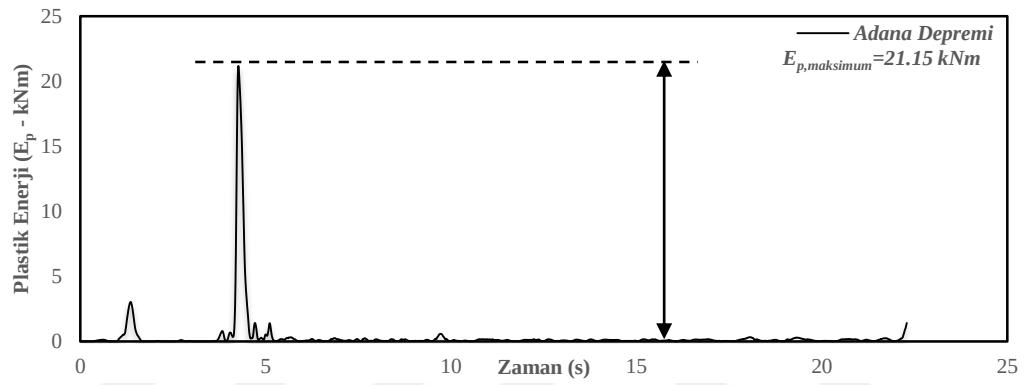
Şekil 5.83. BÇY. 9-3 Çerçevesinin Elazığ deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



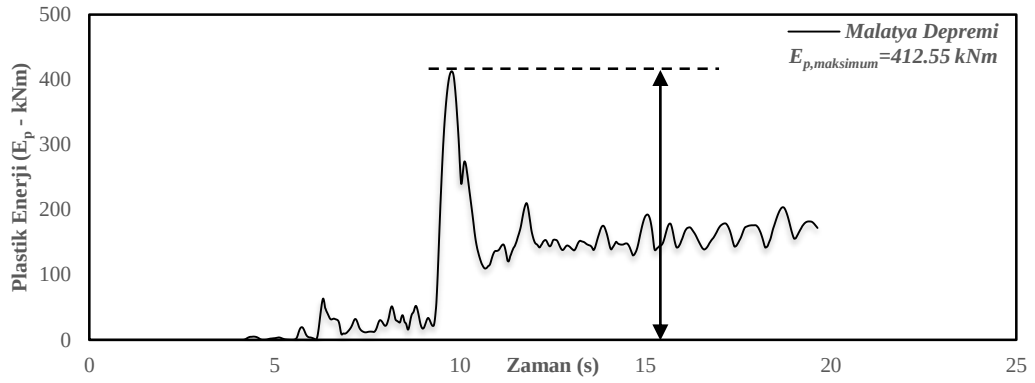
Şekil 5.84. BÇY. 9-3 Çerçevesinin Erzincan deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



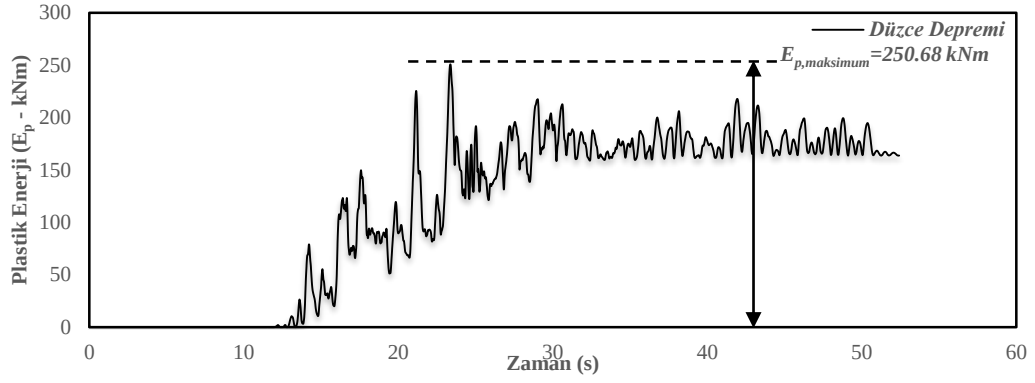
Şekil 5.85. BÇY. 9-3 Çerçevesinin Bingöl deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



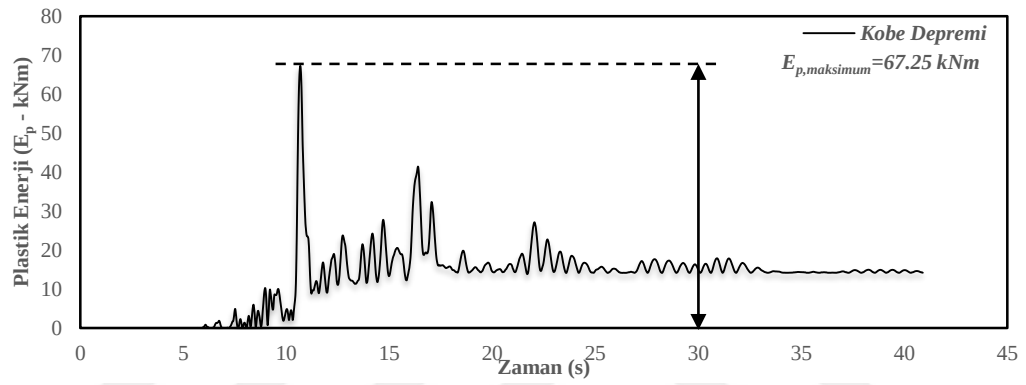
Şekil 5.86. BÇY. 9-3 Çerçevesinin Adana deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



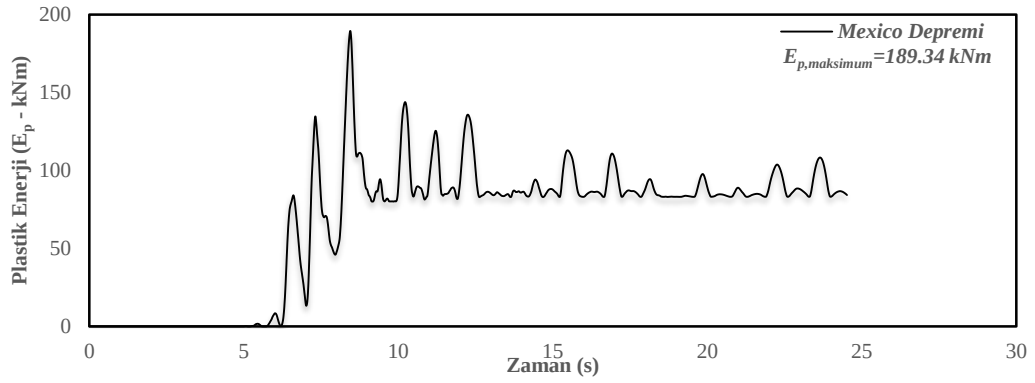
Şekil 5.87. BÇY. 9-3 Çerçevesinin Malatya deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



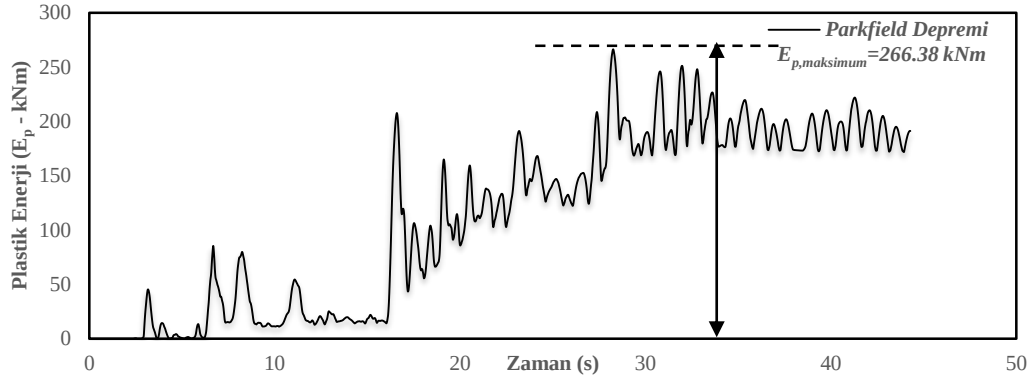
Şekil 5.88. BÇY. 9-3 Çerçevesinin Düzce deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



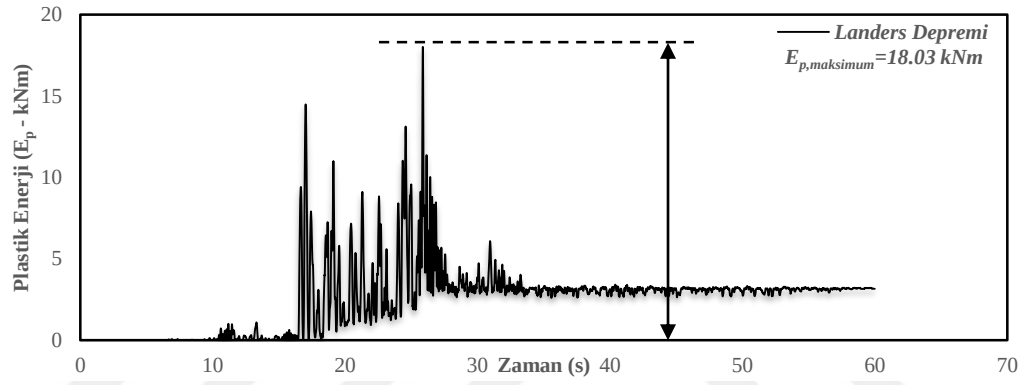
Şekil 5.89. BÇY. 9-3 Çerçevesinin Kobe deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



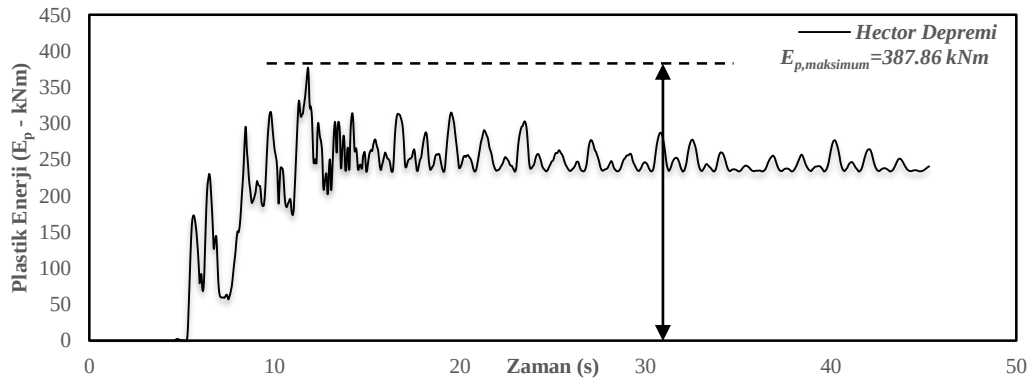
Şekil 5.90. BÇY. 9-3 Çerçevesinin Mexico deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



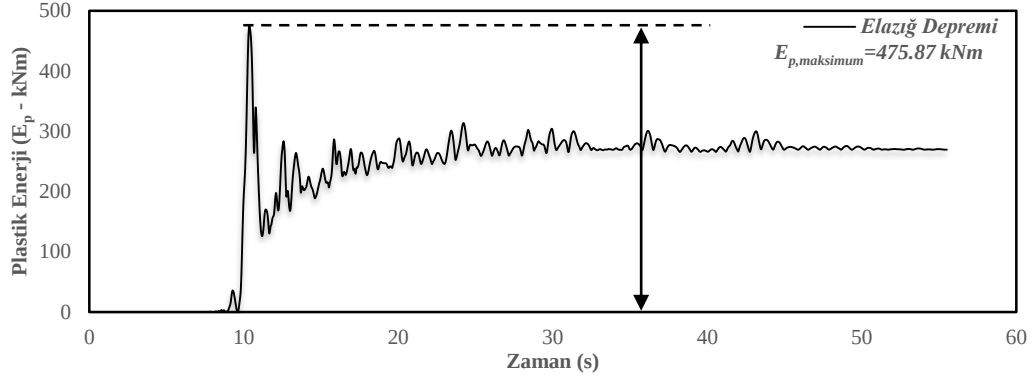
Şekil 5.91. BÇY. 9-3 Çerçevesinin Parkfield deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



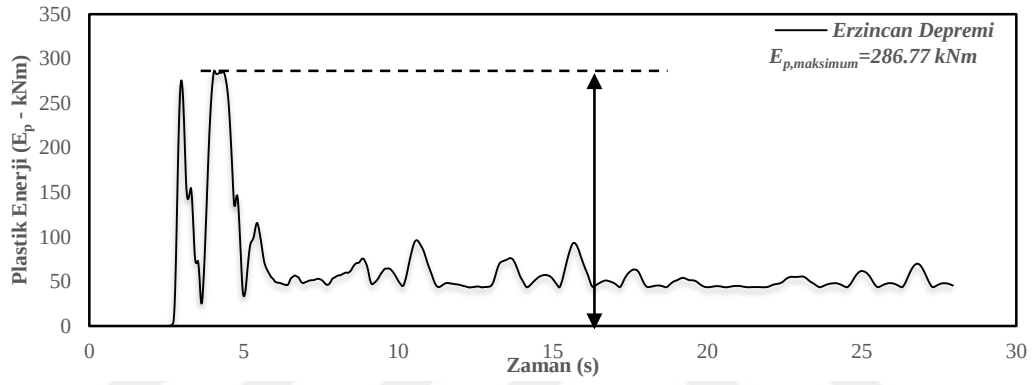
Şekil 5.92. BÇY. 9-3 Çerçevesinin Landers deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



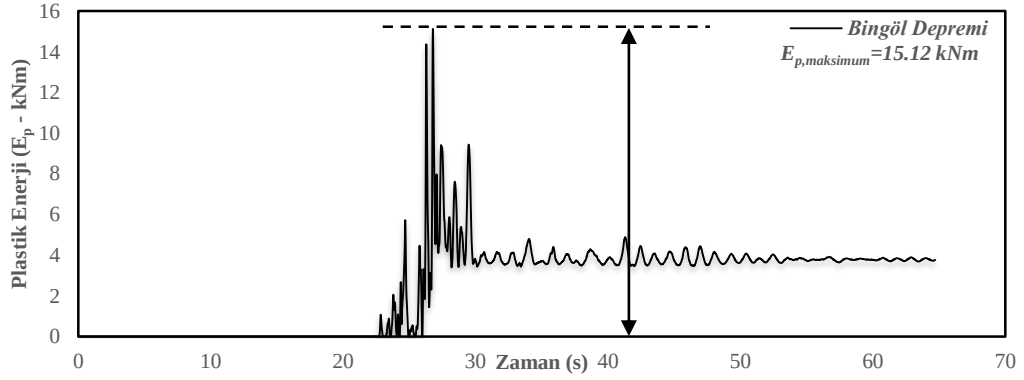
Şekil 5.93. BÇY. 9-3 Çerçevesinin Hector Mine deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



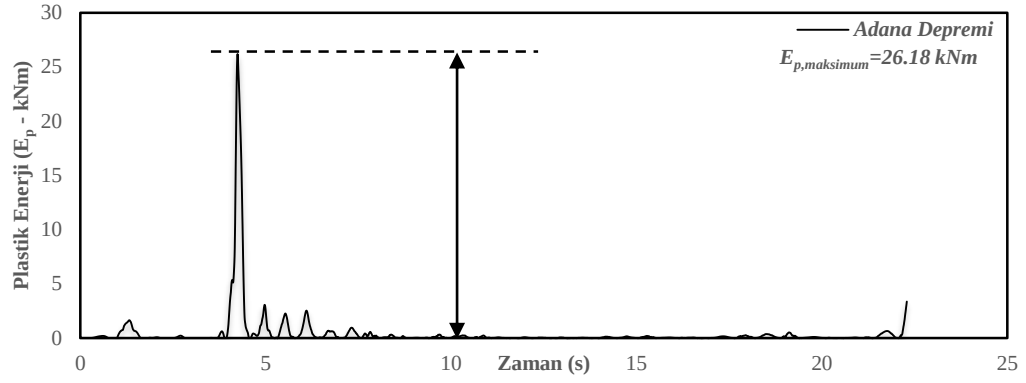
Şekil 5.94. BÇY. 9-5 Çerçevesinin Elazığ deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



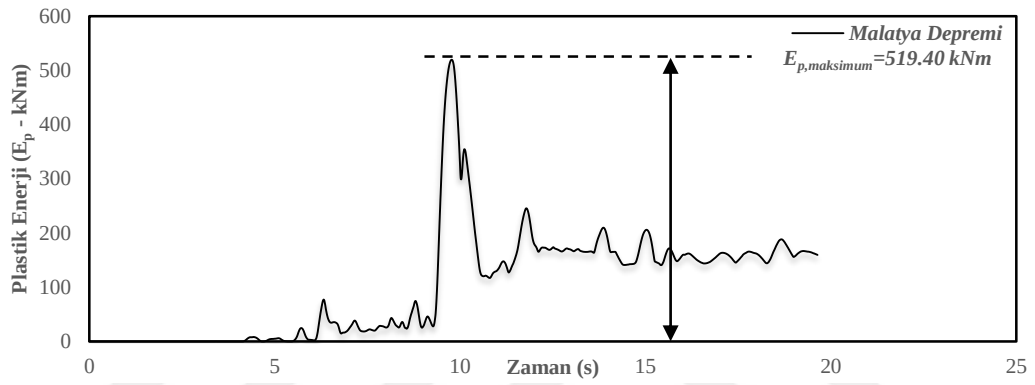
Şekil 5.95. BÇY. 9-5 Çerçevesinin Erzincan deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



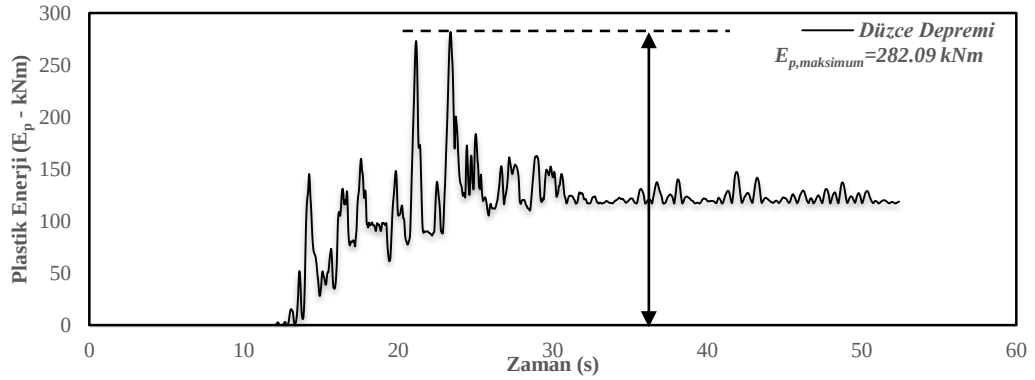
Şekil 5.96. BÇY. 9-5 Çerçevesinin Bingöl deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



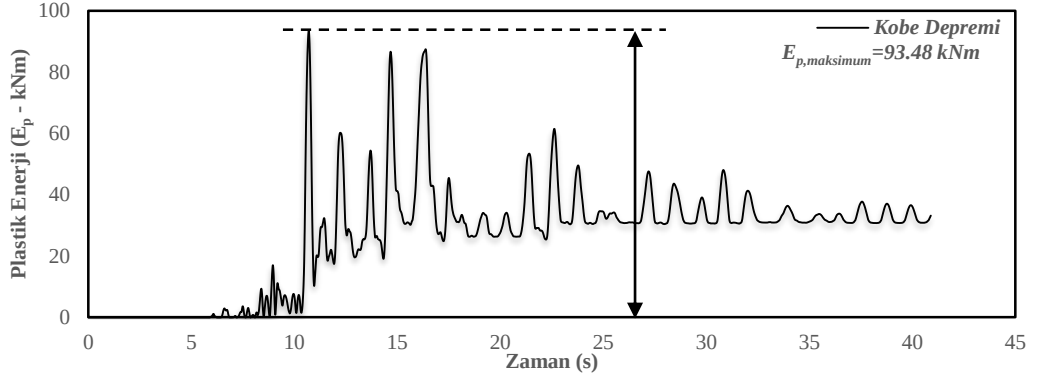
Şekil 5.97. BÇY. 9-5 Çerçevesinin Adana deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



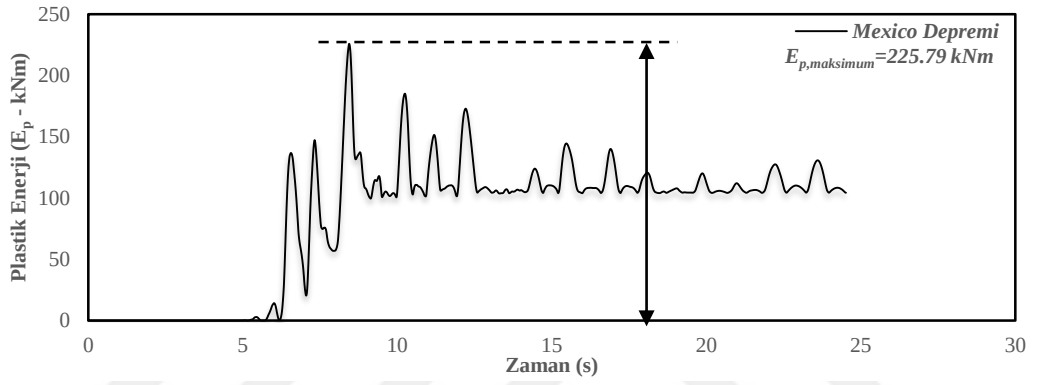
Şekil 5.98. BÇY. 9-5 Çerçevesinin Malatya deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



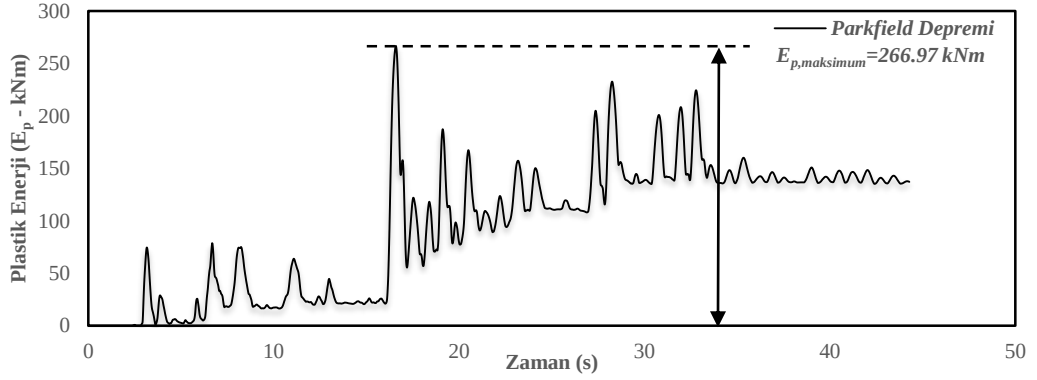
Şekil 5.99. BÇY. 9-5 Çerçevesinin Düzce deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



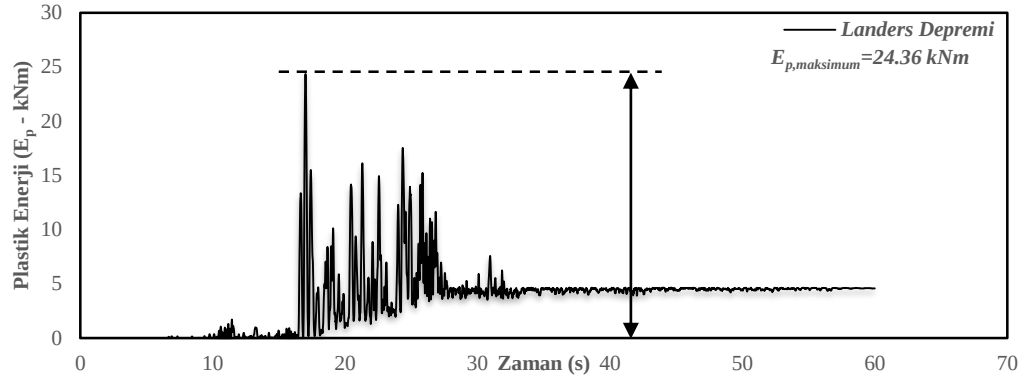
Şekil 5.100. BÇY. 9-5 Çerçevesinin Kobe deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



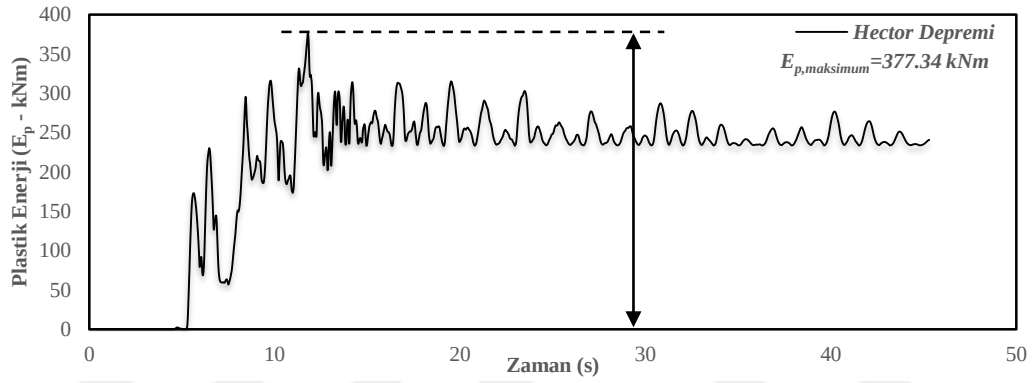
Şekil 5.101. BÇY. 9-5 Çerçevesinin Mexico deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



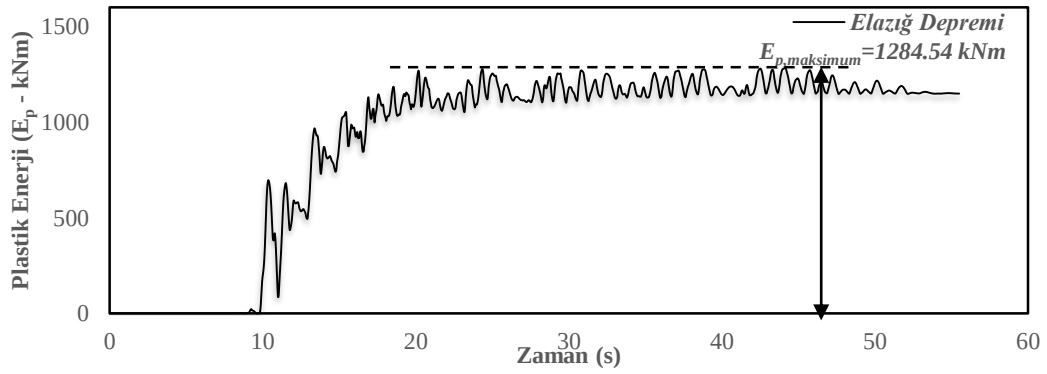
Şekil 5.102. BÇY. 9-5 Çerçevesinin Parkfield deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



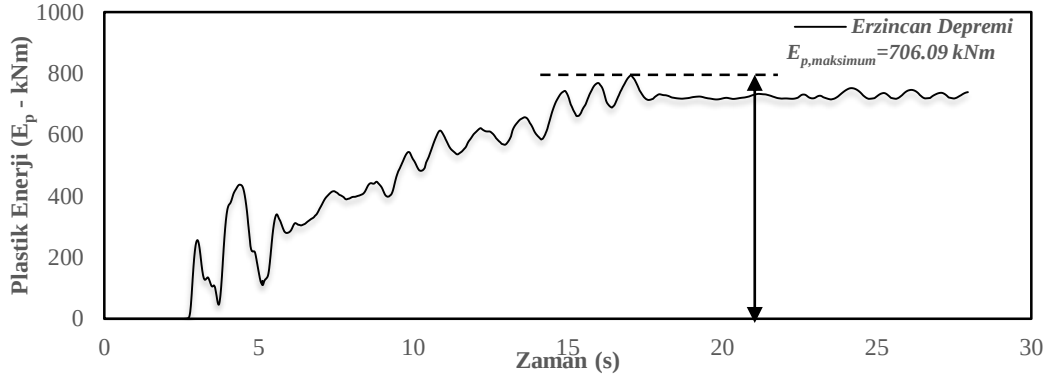
Şekil 5.103. BÇY. 9-5 Çerçevesinin Landers deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



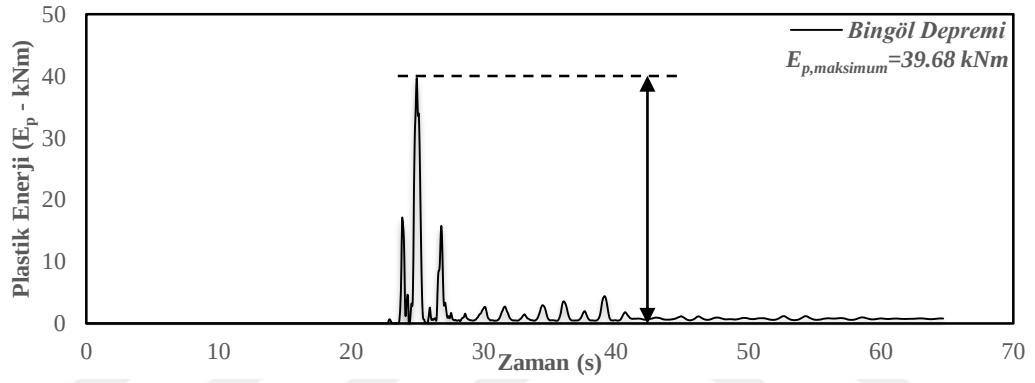
Şekil 5.104. BÇY. 9-5 Çerçevesinin Hector Mine deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



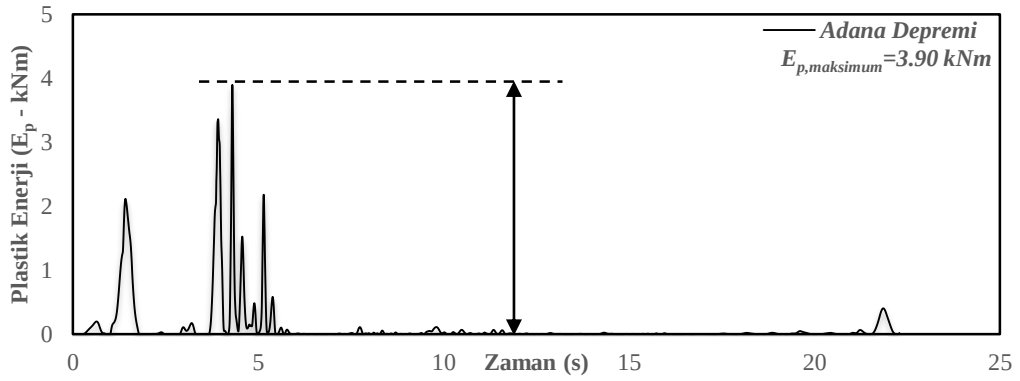
Şekil 5.105. BÇY. 12-3 Çerçevesinin Elazığ deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



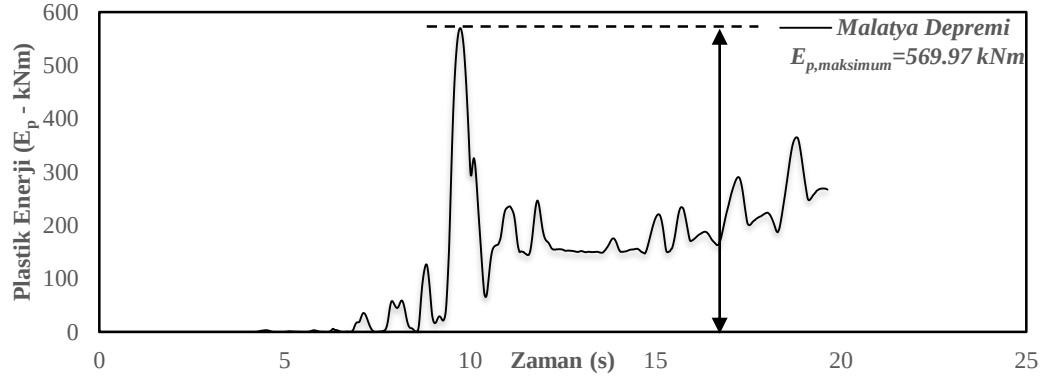
Şekil 5.106. BÇY. 12-3 Çerçevesinin Erzincan deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



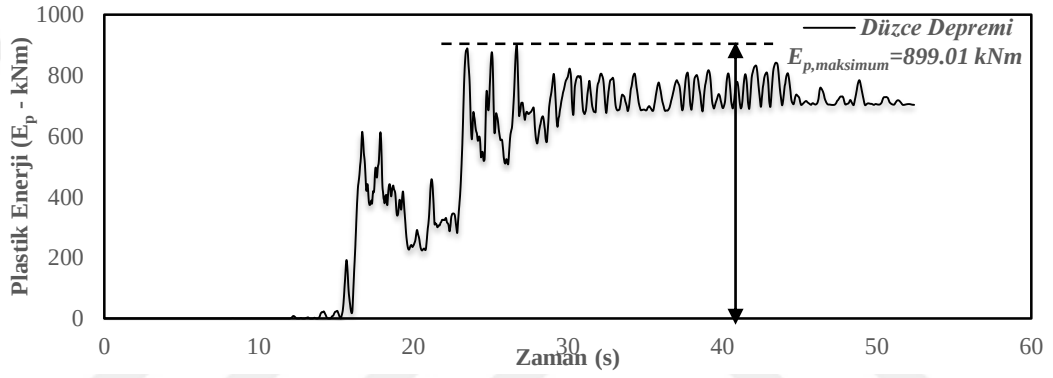
Şekil 5.107. BÇY. 12-3 Çerçevesinin Bingöl deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



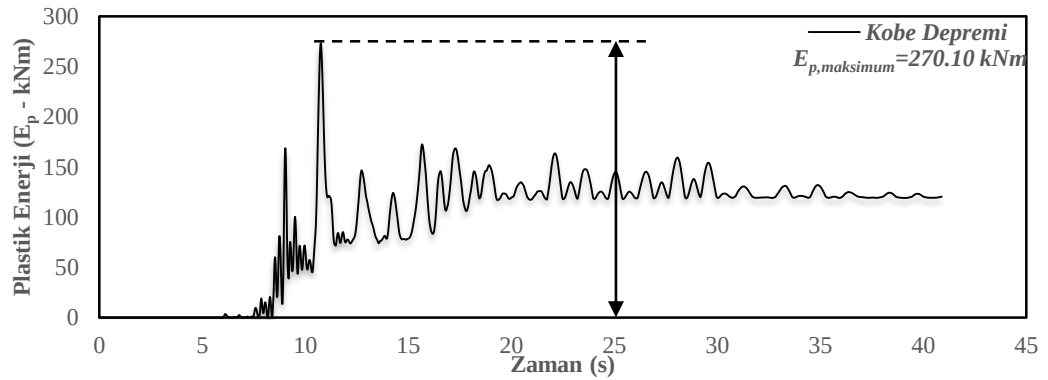
Şekil 5.108. BÇY. 12-3 Çerçevesinin Adana deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



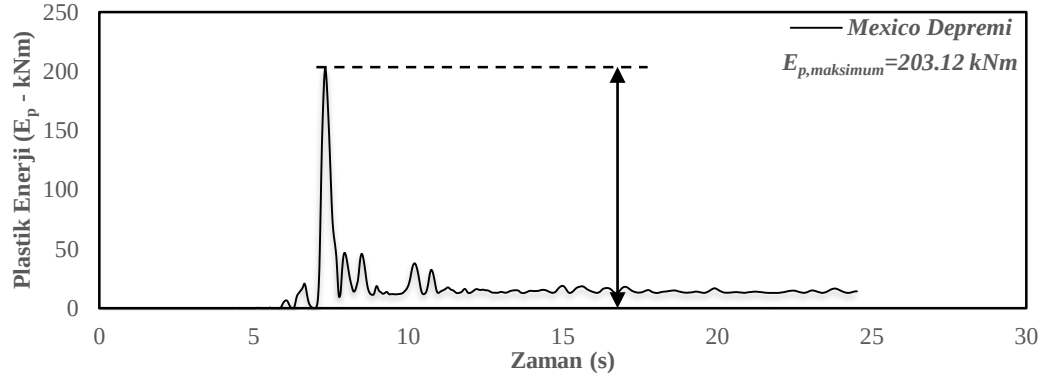
Şekil 5.109. BÇY. 12-3 Çerçevesinin Malatya deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



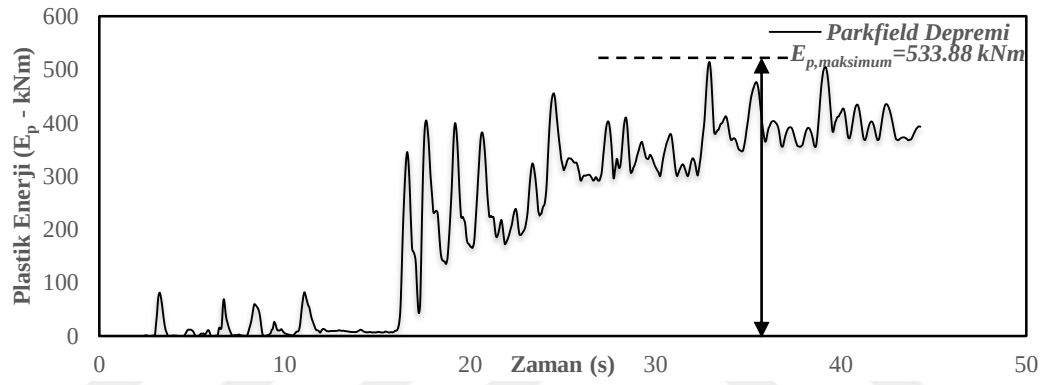
Şekil 5.110. BÇY. 12-3 Çerçevesinin Düzce deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



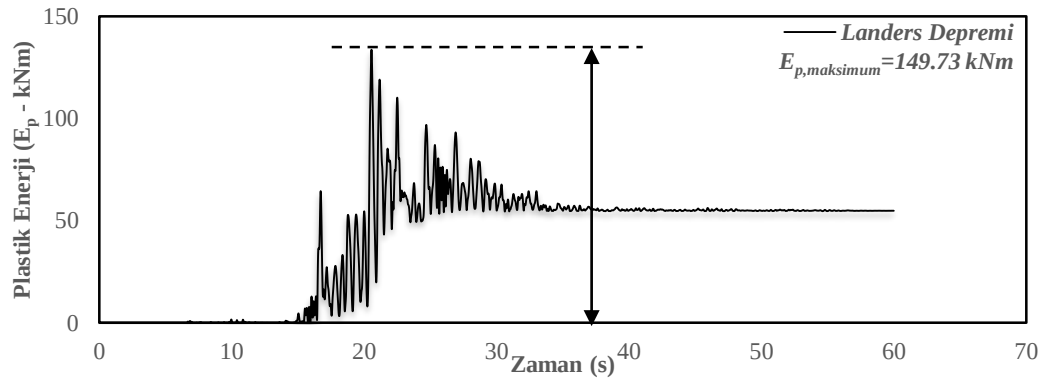
Şekil 5.111. BÇY. 12-3 Çerçevesinin Kobe deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



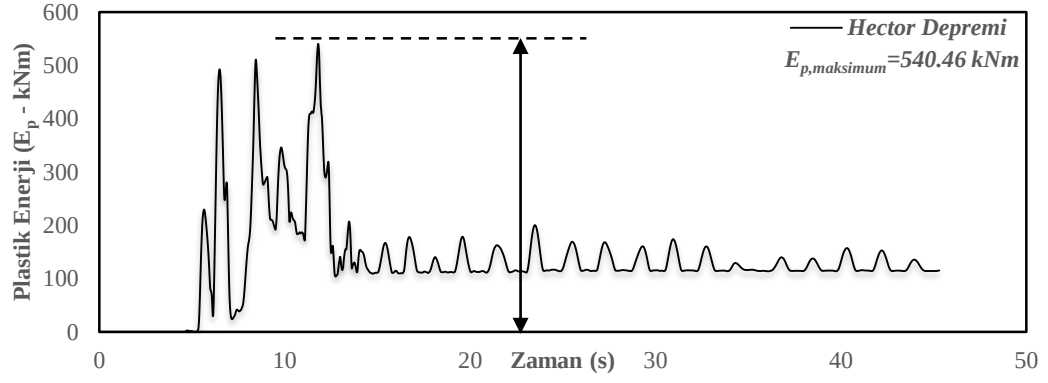
Şekil 5.112. BÇY. 12-3 Çerçevesinin Mexico deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



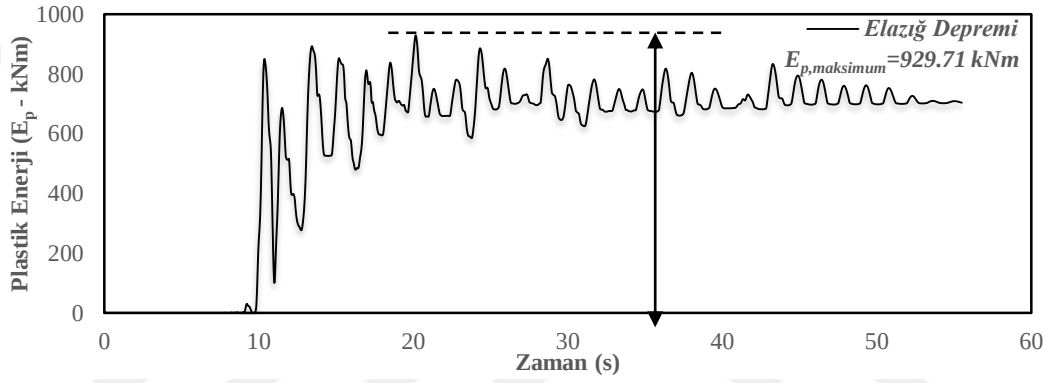
Şekil 5.113. BÇY. 12-3 Çerçevesinin Parkfield deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



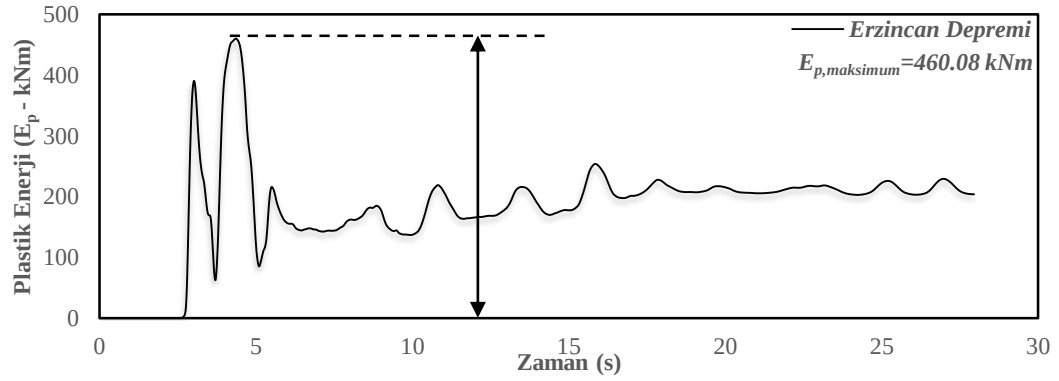
Şekil 5.114. BÇY. 12-3 Çerçevesinin Landers deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



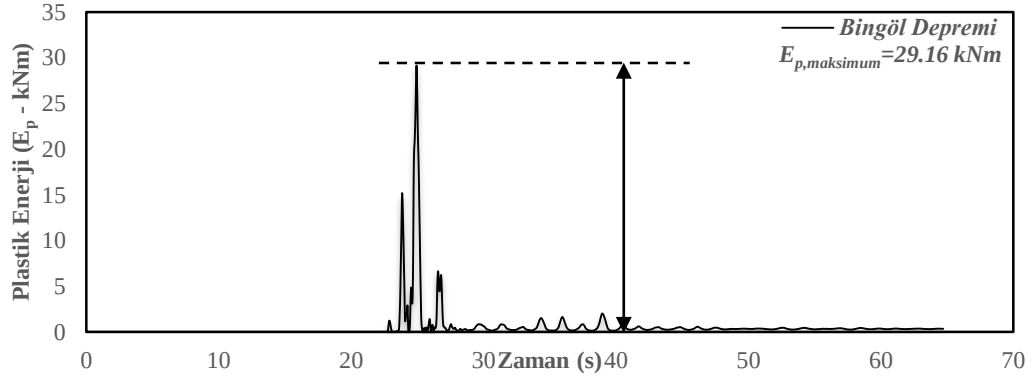
Şekil 5.115. BÇY. 12-3 Çerçevesinin Hector Mine deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



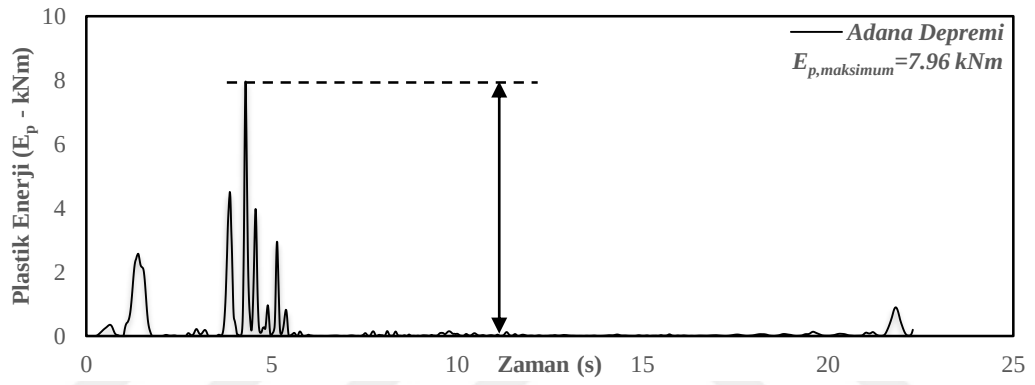
Şekil 5.116. BÇY. 12-5 Çerçevesinin Elazığ deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



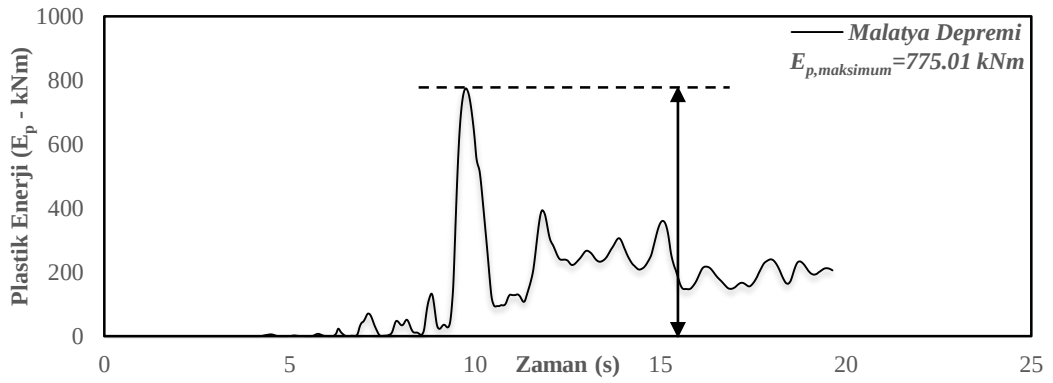
Şekil 5.117. BÇY. 12-5 Çerçevesinin Erzincan deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman ($E_p - t$) grafiği



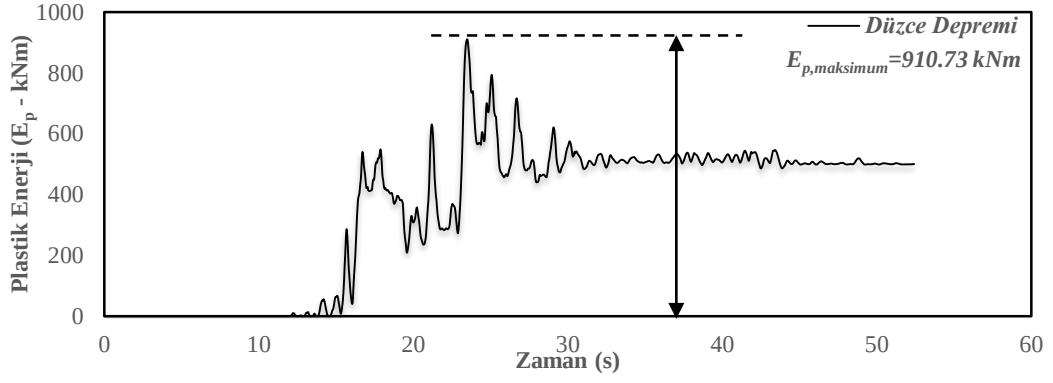
Şekil 5.118. BÇY. 12-5 Çerçevesinin Bingöl deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



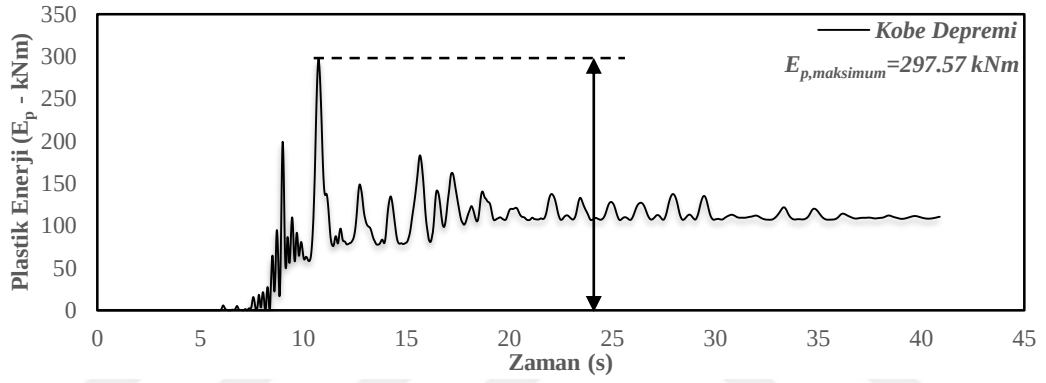
Şekil 5.119. BÇY. 12-5 Çerçevesinin Adana deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



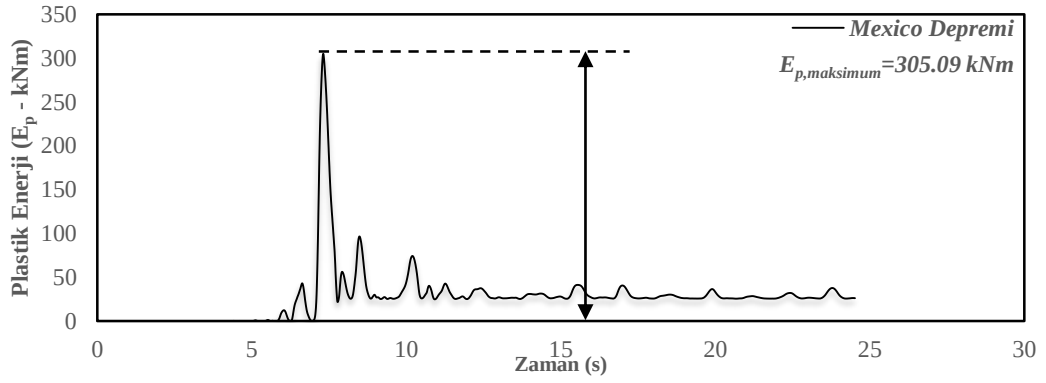
Şekil 5.120. BÇY. 12-5 Çerçevesinin Malatya deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



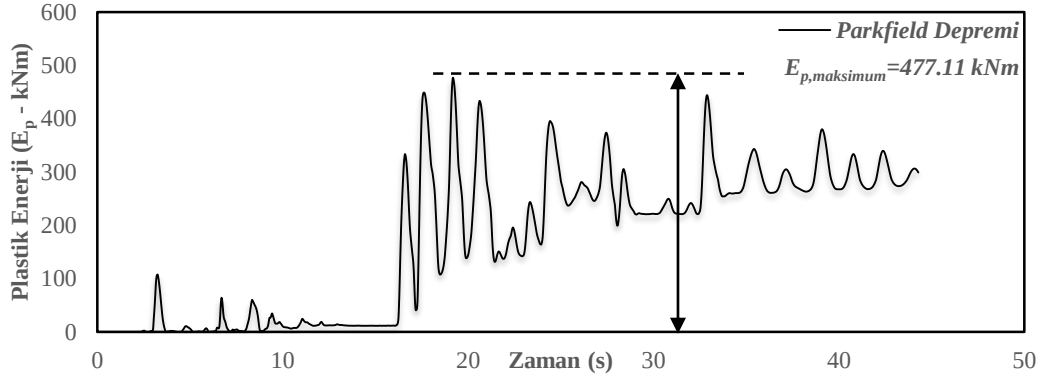
Şekil 5.121. BÇY. 12-5 Çerçevesinin Düzce deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



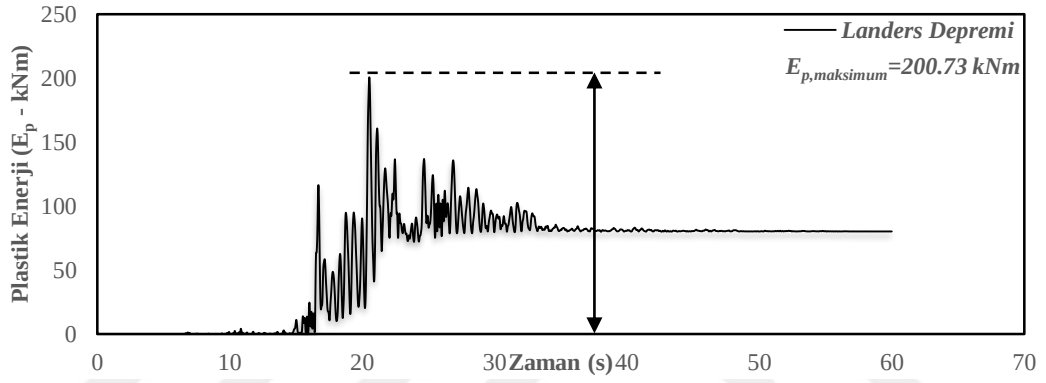
Şekil 5.122. BÇY. 12-5 Çerçevesinin Kobe deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



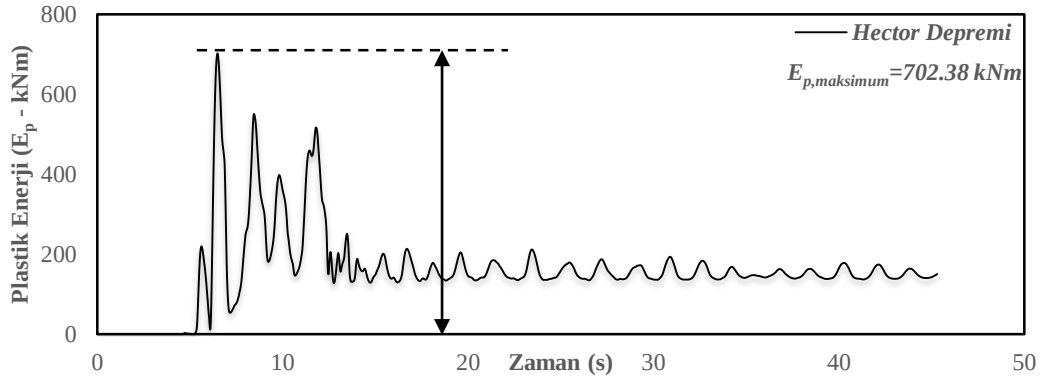
Şekil 5.123. BÇY. 12-5 Çerçevesinin Mexico deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



Şekil 5.124. BÇY. 12-5 Çerçevesinin Parkfield deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



Şekil 5.125. BÇY. 12-5 Çerçevesinin Landers deprem yer hareketi altında plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği



Şekil 5.126. BÇY. 12-5 Çerçevesinin Hector Mine deprem yer hareketine altına plastik enerji – zaman (E_p - t) grafiği

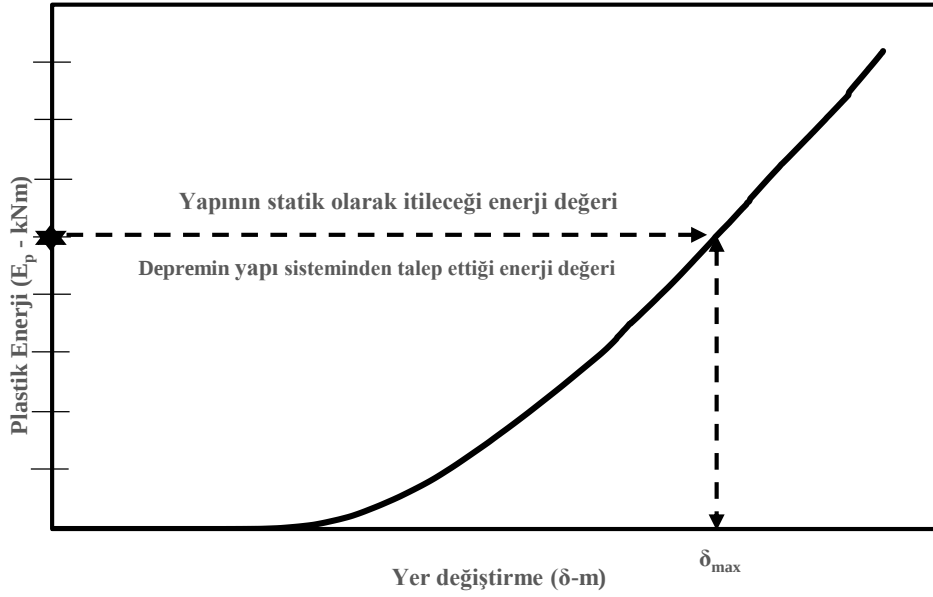
Tez çalışması kapsamında oluşturulan betonarme çerçevelerin, deprem yer hareketleri altında elde edilen plastik enerji grafikleri incelendiğinde, her bir depremin aynı çerçeve sisteminden talep ettiği maksimum plastik enerjinin farklı olduğu görülmüştür. Bu durum her bir depremin kendine özgü olduğunu göstermektedir

5.2. Deprem Enerji Taleplerinin Belirlenmesi

Tez çalışması kapsamında oluşturulan betonarme çerçevelerin doğrusal olmayan statik analizlerde tek yönlü ve statik olarak itileceği hedefe enerji esaslı değerlendirme ile ulaşılmak istenmektedir. Yönetmeliklerde belirtilen performans seviyelerine bağlı olarak öngörülen hedef yer değiştirmelere kadar değil, bunun yerine depremlerin sistemden talep ettiği ortalama bir enerji talebine kadar tek yönlü ve statik olarak itilmesi amaçlanmaktadır. Enerji esaslı değerlendirme hem kuvvet ve hem de yer değiştirme kavramlarını içermektedir. Bunun yanında yapıların doğrusal olmayan davranışta özellikle tekrarlı yükler altında tüketilen enerjiyi dikkate aldığından daha rasyonel ve akılcı olarak düşünülebilir.

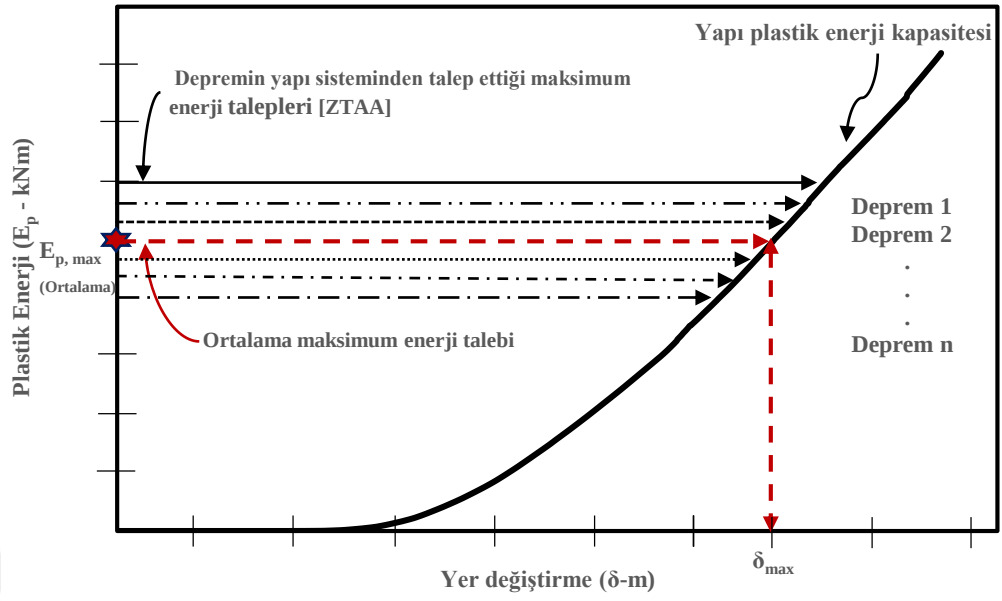
Çalışmanın bu bölümünde tez çalışması kapsamında ele alınan betonarme çerçeve modellerin malzeme birim şekil değiştirmelerini esas alan yöntem ile elde edilen yapı plastik enerji kapasitesi grafikleri ile seçilen deprem ivme kayıtları altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerden elde edilen maksimum plastik enerji talebi değerleri kullanılmaktadır. Tez çalışması kapsamında sunulan ve yapıların doğrusal olmayan davranıştaki maksimum enerji taleplerini elde etmeyi hedefleyen yöntemde, yapı sistemlerinin belirlenen maksimum (hedef) enerji değerlerine kadar tek yönlü ve statik olarak itilmesi gerçekleştirilecektir. Yapı sistemlerinde bu hedef noktasında oluşan elastik ötesi yapısal sonuçlar zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerin sonuçları ile karşılaştırılmaktadır.

Şekil 5.127’de betonarme bir çerçeve yapı sistemine ait plastik enerji – tepe yer değiştirme grafiği verilmiştir. Elde edilen bu grafik yapının enerji kavramına bağlı olarak statik olarak itileceği hedef plastik enerjiyi diğer bir deyişle deprem yer hareketinin yapı sisteminden talep ettiği değeri şekilsel olarak ifade etmektedir. Yapıda depremin talep ettiği maksimum plastik enerji tüketiminin olduğu noktada, yapı da hedef yer değiştirme değerine ulaşmış olmaktadır. Talep edilen maksimum plastik enerji tüketimi durumundaki maksimum yapı tepe yer değiştirmesi Şekil 5.128’deki grafik üzerinde δ_{max} ile gösterilmektedir. Yer hareketine maruz bir yapı sisteminde deprem süresinin bir anında depremin sistemden talep ettiği plastik enerji maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Yapının da bu plastik enerji tüketimini sağlayabilecek plastik enerjiye sahip olması beklenmektedir.



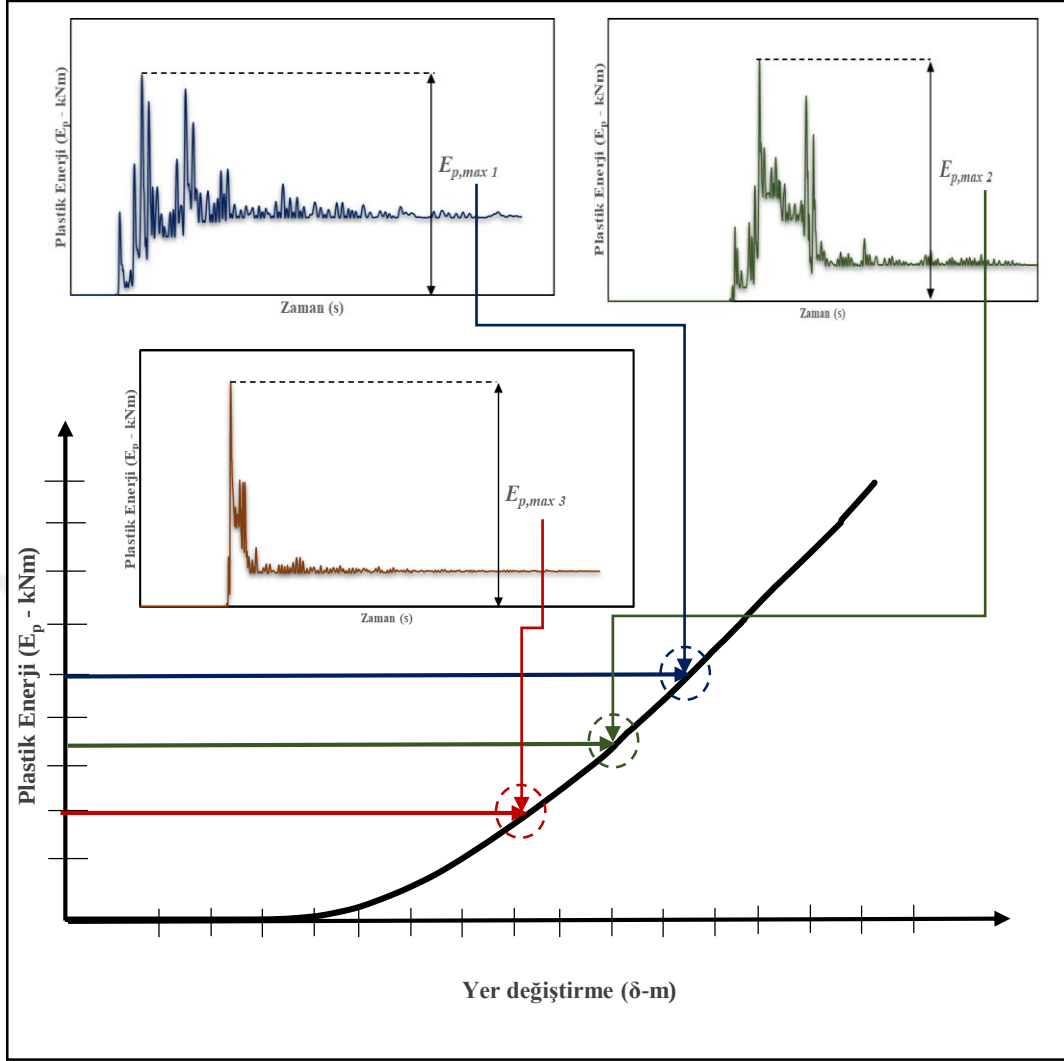
Şekil 5.127. Bir betonarme çerçevenin plastik enerji – tepe yer değiştirme kapasitesi grafiği ve tez çalışma kapsamında belirlemesi hedeflenen ve yapının statik olarak itileceği maksimum enerji değeri

Şekil 5.128’de, tez çalışması kapsamında seçilen betonarme çerçeve yapıların deprem yer hareketleri altında gerçekleştirilen zaman tanım alanında elastik ötesi analizlerden elde edilen maksimum plastik enerji taleplerinin yapının plastik enerji kapasite grafiği üzerinde gösteriminin bir temsil örneği sunulmuştur. Bu grafik üzerinde deprem yer hareketleri analizlerden edilen maksimum plastik enerjileri ile birlikte bu talep enerjilerinin ortalamaları da belirtilmiştir. Çalışma kapsamında seçilen betonarme çerçevelerin itileceği hedef plastik enerji bu ortalama plastik enerji ile elde edilmektedir. Plastik enerji – tepe yer değiştirme kapasitesi grafiğinde ortalama maksimum plastik enerji talebi noktasına karşılık gelen yapı tepe yer değiştirmesi (δ_{max}) değeri hedef yer değiştirmeyi temsil etmektedir. Özetlenmek istenirse deprem yer hareketlerin talep ettiği maksimum plastik enerjilerin ortalamasından elde edilen hedef plastik enerji değeri ($E_{p,max}$), Şekil 5.128’den de anlaşılacağı üzere beraberinde yapı sistemi için bir hedef yer değiştirme değerini de kapsamaktadır (δ_{max}).



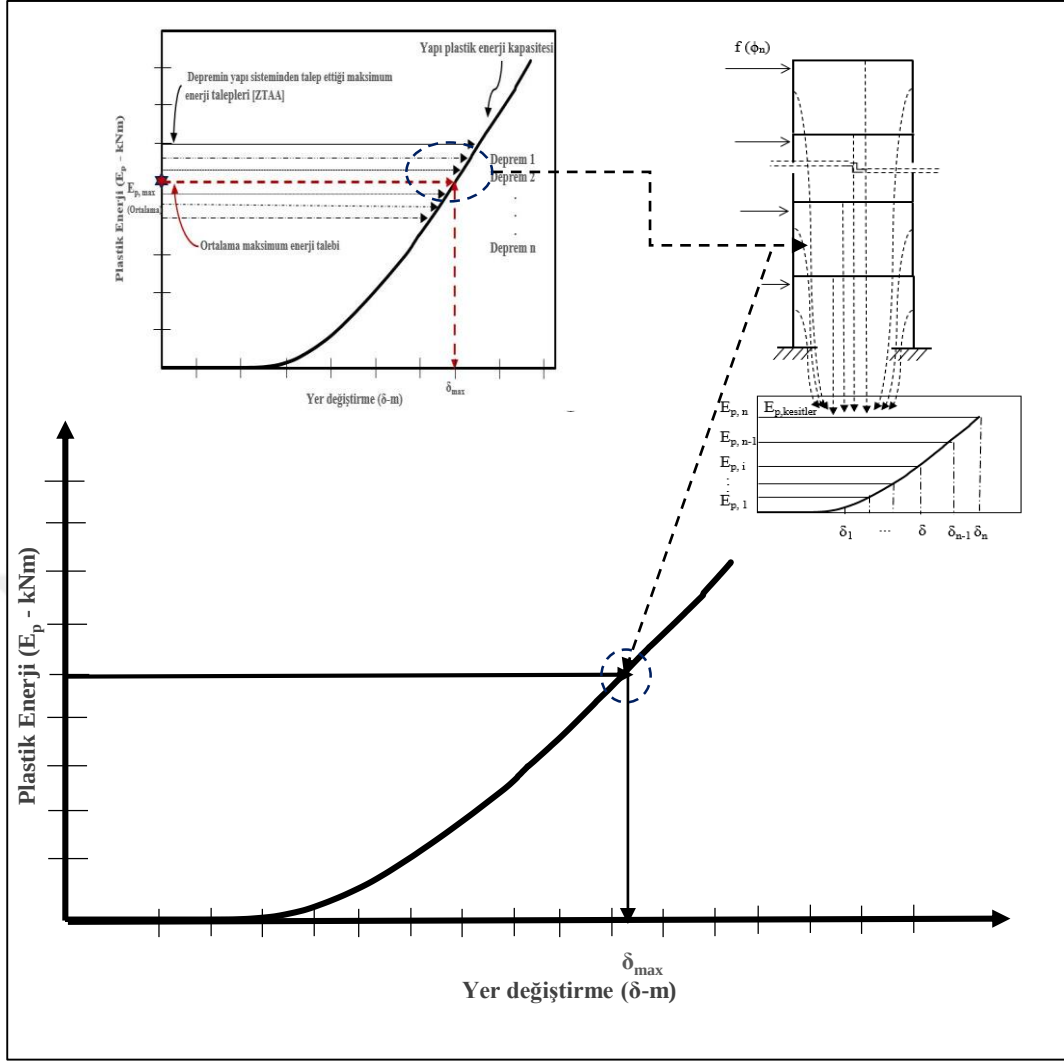
şekil 5.128. Yapı sisteminin doğrusal olmayan statik analizinde tek yönlü olarak itildiği hedef plastik enerji talebinin elde edililişine ait bir gösterim

şekil 5.129’da, bir yapının seçilen deprem kayıtları altında yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizlerinden belirlenen maksimum plastik enerjinin elde edililişi ve yapının plastik enerji-tepe yer değiştirme grafiğinde işaretlenmesi durumu gösterilmektedir.



Şekil 5.129. Örnek üç deprem yer hareketi altında gerçekleştirilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler ile elde edilen maksimum plastik enerji değerlerinin, plastik enerji – yer değiştirme kapasitesi ($E_p - \delta$) diyagramlarında işaretlenmesi

Şekil 5.130’da, bir yapı sistemi için deprem ivme kayıtları altında zaman tanım analizlerinden ortalama enerjinin elde edilmesi ve bu hedef plastik enerji noktasına kadar itme analizine tabi tutulan yapıya ait örnek sunulmuştur. Plastik enerji kapasitesi grafiği üzerinde, depremlerin maksimum plastik enerji talepleri gösterilmiş ve ortalama maksimum talep enerjisi elde edilmiştir. Ardından bu değere karşılık gelen maksimum yer değiştirme (δ_{max}) değeri işaretlenmiştir. Enerji esaslı statik itme analizlerinden sonuçları elde edilen tepkiler, zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizlerin verdiği yapısal sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

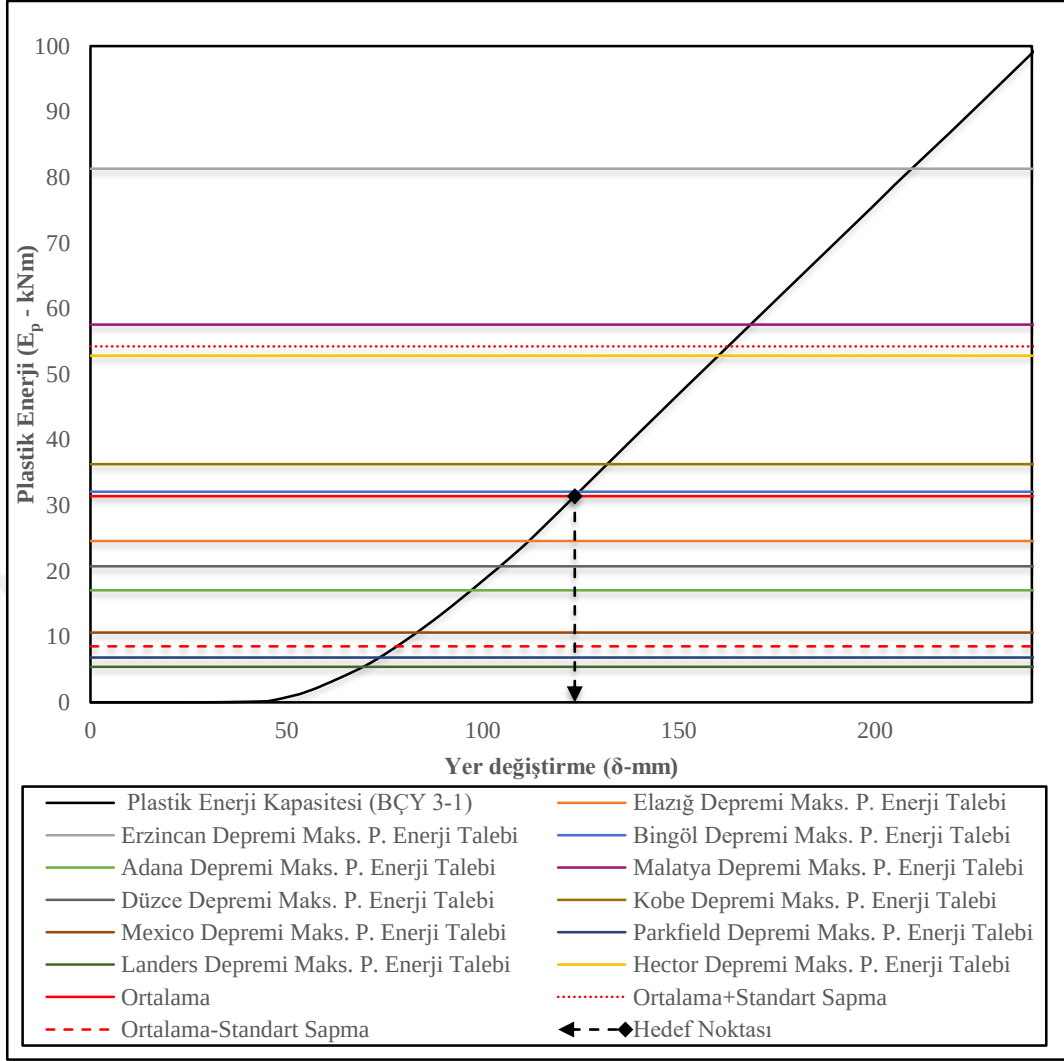


Şekil 5.130. Bir takım deprem yer hareketleri altında elde edilen maksimum ortalama plastik enerji talebine ($E_{p,max}$) kadar tek yönlü statik olarak itilen çok katlı bir çerçeve yapıya ait plastik enerji – yer değiştirme kapasitesi ($E_p - \delta$) grafiğinin şekilsel gösterimi (tez çalışmasında kullanılan yöntemin şekilsel özeti)

5.2.1. Plastik Enerji-Tepe Yer Değiştirme Eğrileri Üzerinde Depremlerin Maksimum Plastik Talep Enerjilerinin Gösterilimi

Çalışmanın bu bölümünde, tez kapsamında oluşturulan çok katlı betonarme çerçeve türü yapılar için elde edilen plastik enerji – yer değiştirme kapasitesi ($E_p - \delta$) grafikleri üzerinde, ele alınan deprem yer hareketleri altındaki elde edilen maksimum plastik enerji talepleri bir arada verilmiştir. Yapı sistemlerine, bu analizlerden elde edilen talep edilen ortalama plastik enerjiye ulaşana kadar tek yönlü statik itme uygulanmıştır.

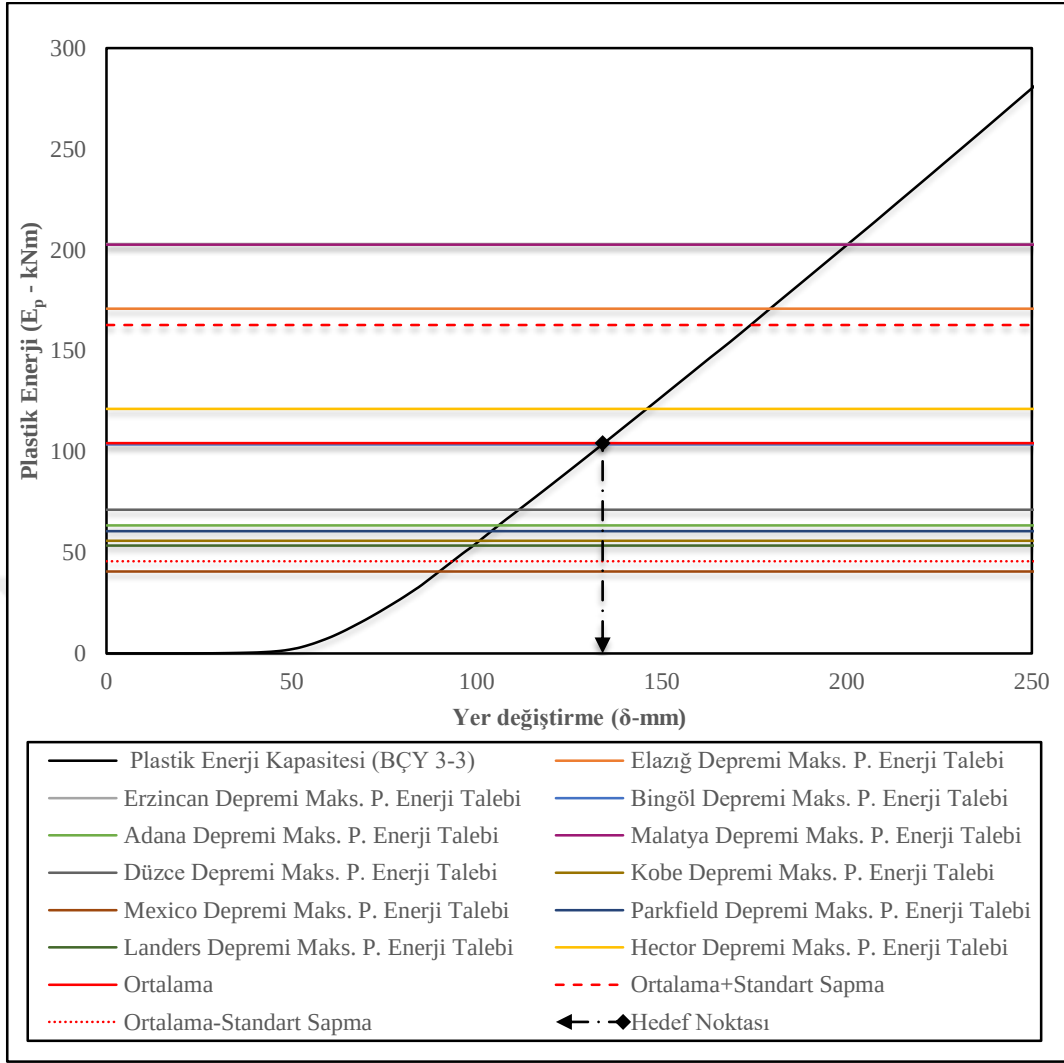
Şekil 5.131’de, BÇY. 3-1 çerçevesinin çalışmada seçilen on bir adet deprem yer hareketi altında gerçekleştirilen analizlerden elde edilen maksimum plastik enerji talepleri, yapının plastik enerji – tepe yer değiştirmesi grafiği üzerinde birlikte gösterilmektedir.



Şekil 5.131. BÇY. 3-1 çerçevesinin seçilen depremler yer hareketleri altında belirlenen maksimum plastik enerji talepleri ve yapı plastik enerji kapasitesi

BÇY. 3-1 çerçevesinin seçilen deprem yer hareketleri altında gerçekleştirilen doğrusal olmayan davranışı dikkate alan zaman tanım alanı analizlerden hesaplanan maksimum plastik enerji taleplerinin ortalama değeri 31.40 kNm olarak elde edilmiştir. Yapının bu ortalama plastik enerji için itme hedef yer değiştirme noktası $\delta_{ep}=123.5$ mm olarak elde edilmiştir. Çerçeve sisteminin TBDY (2018)'e göre Göçme Öncesi performans düzeyi için hedef yer değiştirme değeri $\delta_{GÖ}=97$ mm olarak elde edilmiştir.

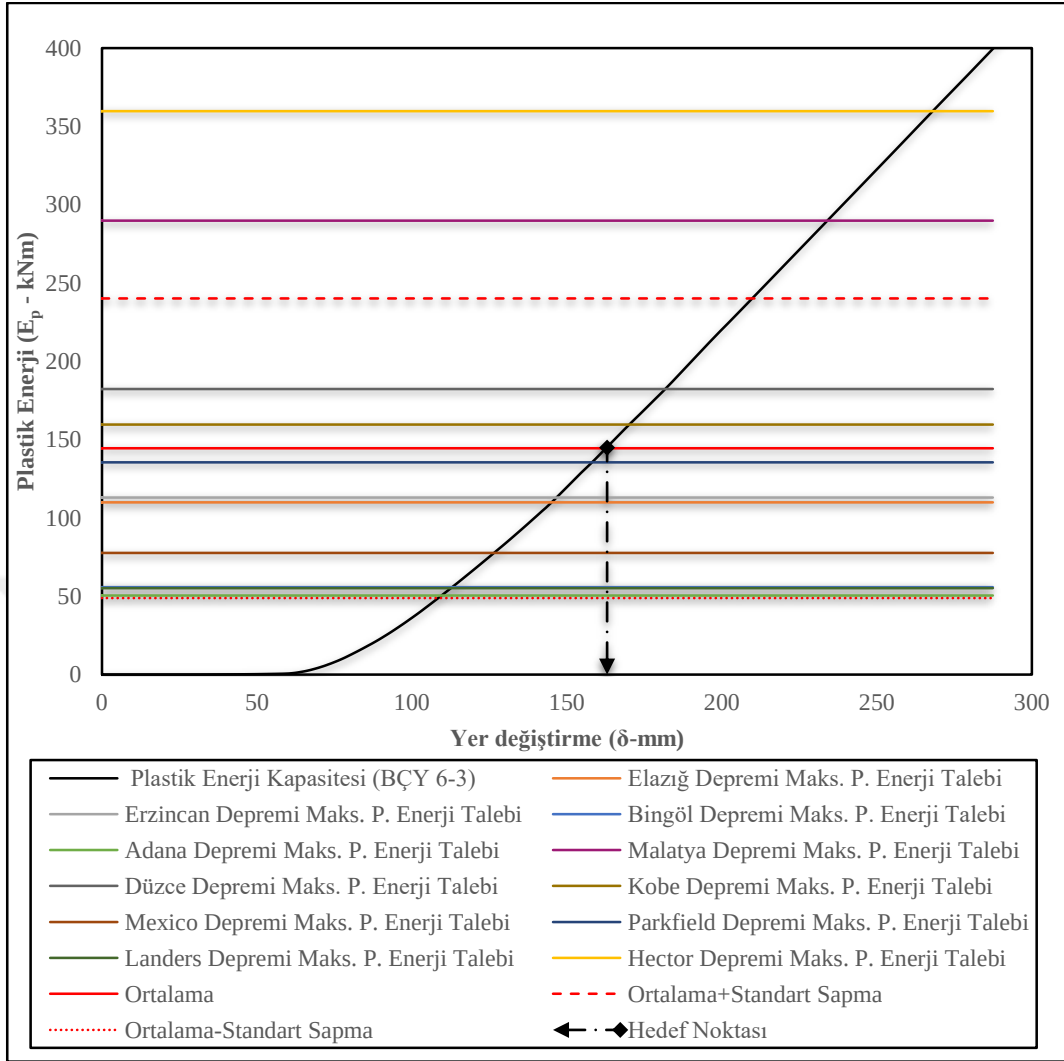
Şekil 5.132'de, BÇY. 3-3 çerçevesinin çalışmada seçilen on bir adet deprem yer hareketi altında gerçekleştirilen analizlerden elde edilen maksimum plastik enerji talepleri, yapının plastik enerji – tepe yer değiştirmesi eğrisi üzerinde birlikte gösterilmektedir.



Şekil 5.132. BÇY. 3-3 çerçevesinin seçilen depremler yer hareketleri altında belirlenen maksimum plastik enerji talepleri ve yapı plastik enerji kapasitesi

BÇY. 3-3 çerçevesinin seçilen deprem yer hareketleri altında gerçekleştirilen doğrusal olmayan davranış dikkate alan zaman tanım alanı analizlerden hesaplanan maksimum plastik enerji taleplerinin ortalama değeri 104.24 kNm olarak elde edilmiştir. Yapının bu ortalama plastik enerji için itme hedef yer değiştirme noktası $\delta_{ep}=134$ mm olarak elde edilmiştir. Çerçeve sisteminin TBDY (2018)'e göre Göçme Öncesi performans düzeyi için hedef yer değiştirme değeri $\delta_{CG}=95$ mm olarak elde edilmiştir.

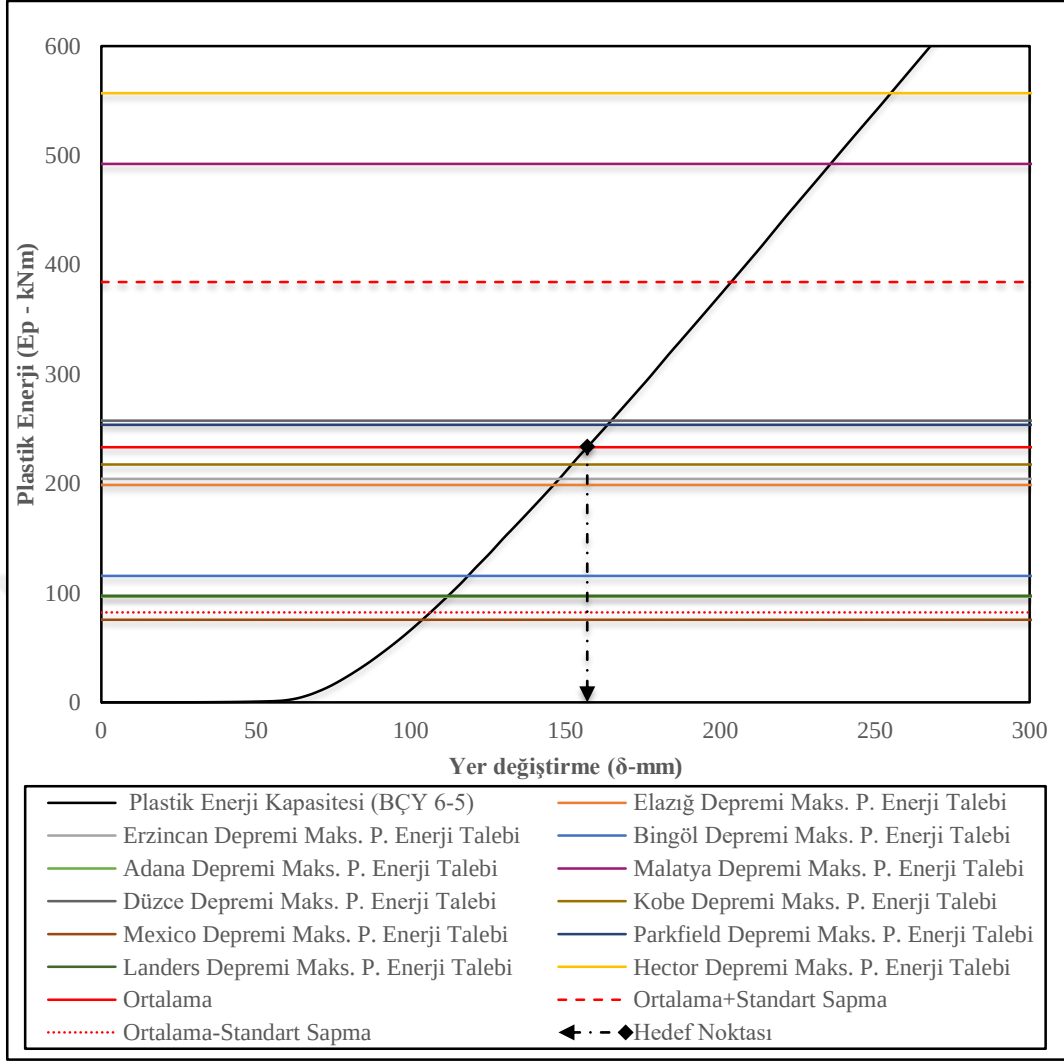
Şekil 5.133'de, BÇY.6-3 çerçevesinin çalışmada seçilen on bir adet deprem yer hareketi altında gerçekleştirilen analizlerden elde edilen maksimum plastik enerji talepleri, yapının plastik enerji – tepe yer değiştirmesi eğrisi üzerinde birlikte gösterilmektedir.



Şekil 5.133. BÇY. 6-3 çerçevesinin seçilen depremler yer hareketleri altında belirlenen maksimum plastik enerji talepleri ve yapı plastik enerji kapasitesi

BÇY. 6-3 çerçevesinin seçilen deprem yer hareketleri gerçekleştirilen altında doğrusal olmayan davranışı dikkate alan zaman tanım alanı analizlerden hesaplanan maksimum plastik enerji taleplerinin ortalama değeri 144.5 kNm olarak elde edilmiştir. Yapının bu ortalama plastik enerji için itme hedef yer değiştirme noktası $\delta_{ep}=163$ mm olarak elde edilmiştir. Çerçeve sisteminin TBDY (2018)'e göre Göçme Öncesi performans düzeyi için hedef yer değiştirme değeri $\delta_{GÖ}=163$ mm olarak elde edilmiştir.

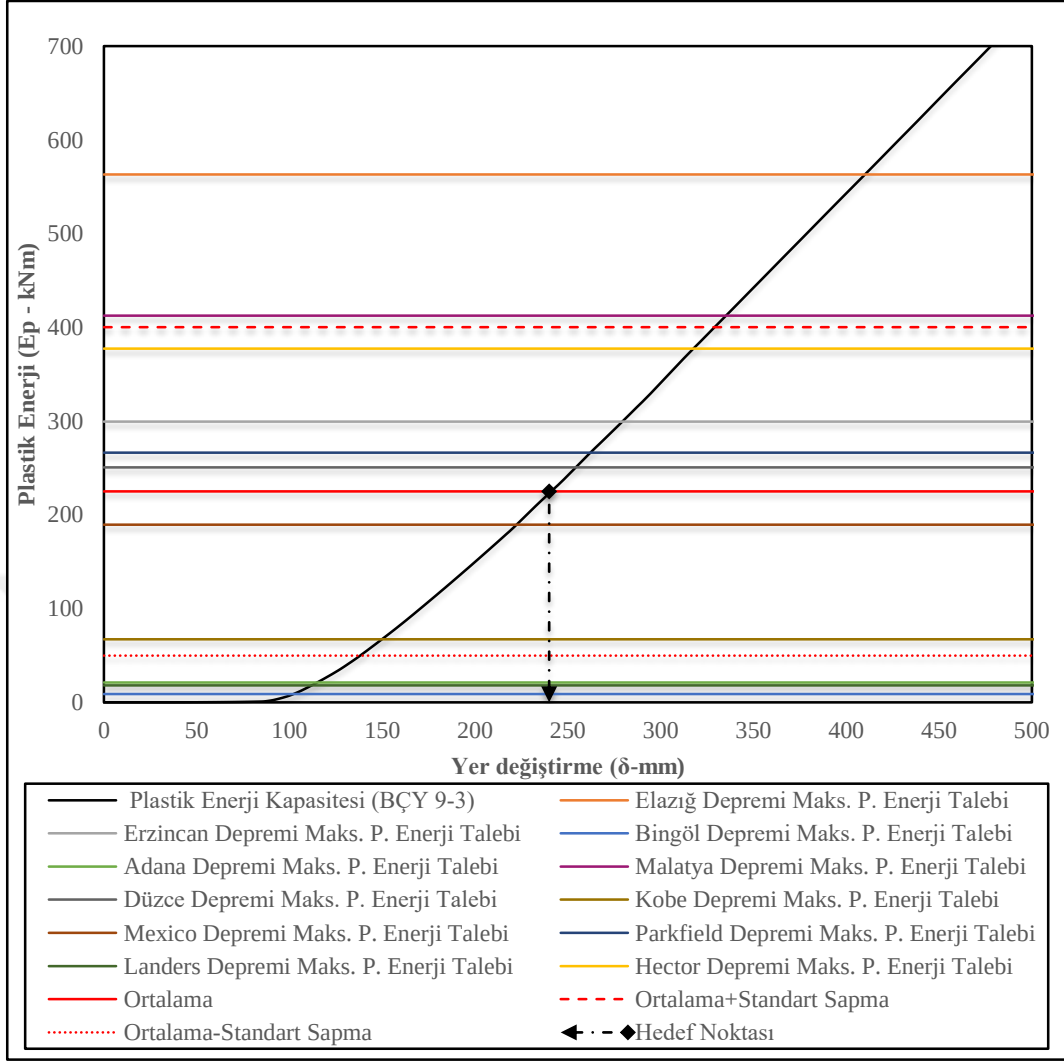
Şekil 5.134'de, BÇY.6-5 çerçevesinin çalışmada seçilen on bir adet deprem yer hareketi altında gerçekleştirilen analizlerden elde edilen maksimum plastik enerji talepleri, yapının plastik enerji – tepe yer değiştirmesi eğrisi üzerinde birlikte gösterilmektedir.



Şekil 5.134. BÇY. 6-5 çerçevesinin seçilen depremler yer hareketleri altında belirlenen maksimum plastik enerji talepleri ve yapı plastik enerji kapasitesi

BÇY. 6-5 çerçevesinin seçilen deprem yer hareketleri altında gerçekleştirilen doğrusal olmayan davranışı dikkate alan zaman tanım alanı analizlerden hesaplanan maksimum plastik enerji taleplerinin ortalama değeri 233.3 kNm olarak elde edilmiştir. Yapının bu ortalama plastik enerji için itme hedef yer değiştirme noktası $\delta_{ep}=157$ mm olarak elde edilmiştir. Çerçeve sisteminin TBDY (2018)'e göre Göçme Öncesi performans düzeyi için hedef yer değiştirme değeri $\delta_{GÖ}=157.5$ mm olarak elde edilmiştir.

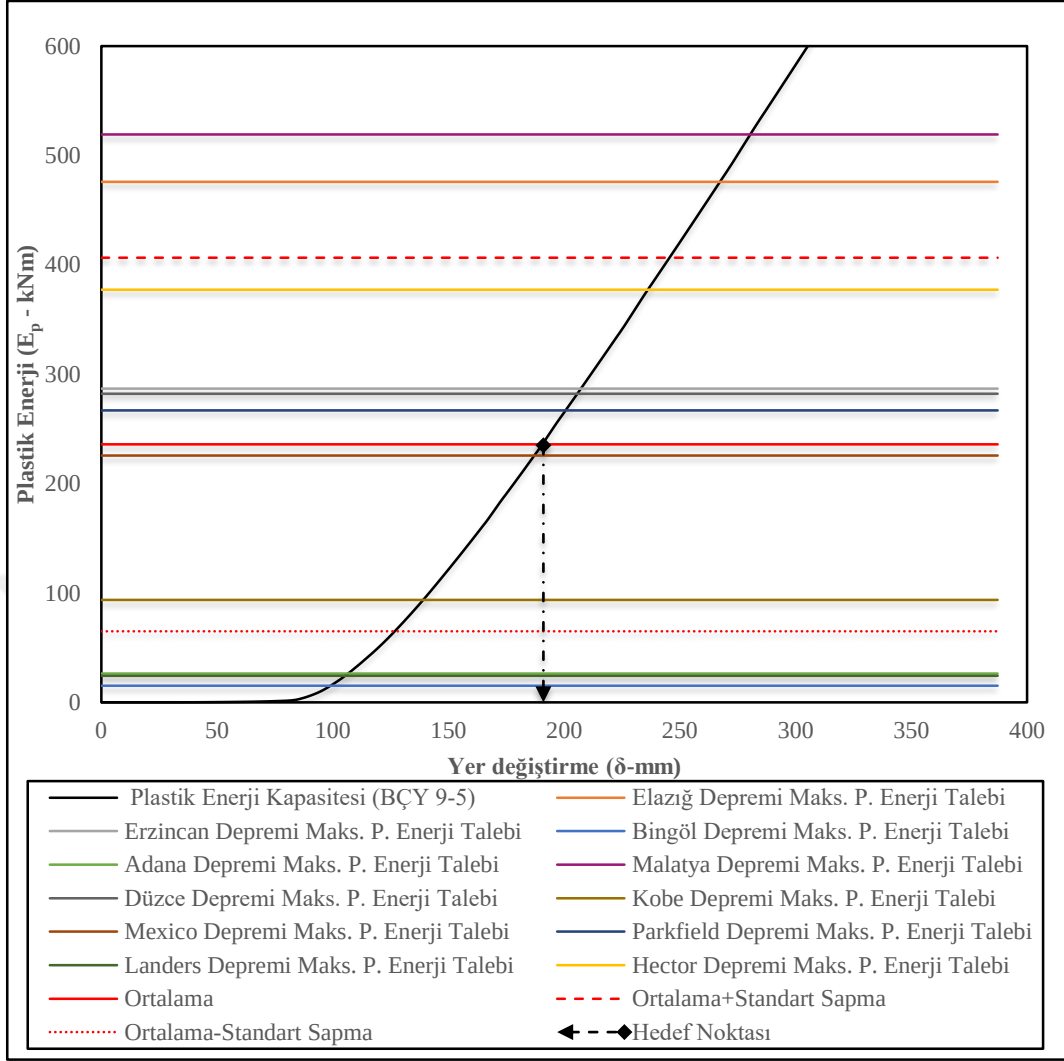
Şekil 5.135'de, BÇY.9-3 çerçevesinin çalışmada seçilen on bir adet deprem yer hareketi altında gerçekleştirilen analizlerden elde edilen maksimum plastik enerji talepleri, yapının plastik enerji – tepe yer değiştirmesi eğrisi üzerinde birlikte gösterilmektedir.



Şekil 5.135. BÇY. 9-3 çerçevesinin seçilen depremler yer hareketleri altında belirlenen maksimum plastik enerji talepleri ve yapı plastik enerji kapasitesi

BÇY. 9-3 çerçevesinin seçilen deprem yer hareketleri altında gerçekleştirilen doğrusal olmayan davranışı dikkate alan zaman tanım alanı analizlerden hesaplanan maksimum plastik enerji taleplerinin ortalama değeri 224.9 kNm olarak elde edilmiştir. Yapının bu ortalama plastik enerji için itme hedef yer değiştirme noktası $\delta_{ep}=240$ mm olarak elde edilmiştir. Çerçeve sisteminin TBDY (2018)'e göre Göçme Öncesi performans düzeyi için hedef yer değiştirme değeri $\delta_{G\ddot{o}}=262$ mm olarak elde edilmiştir.

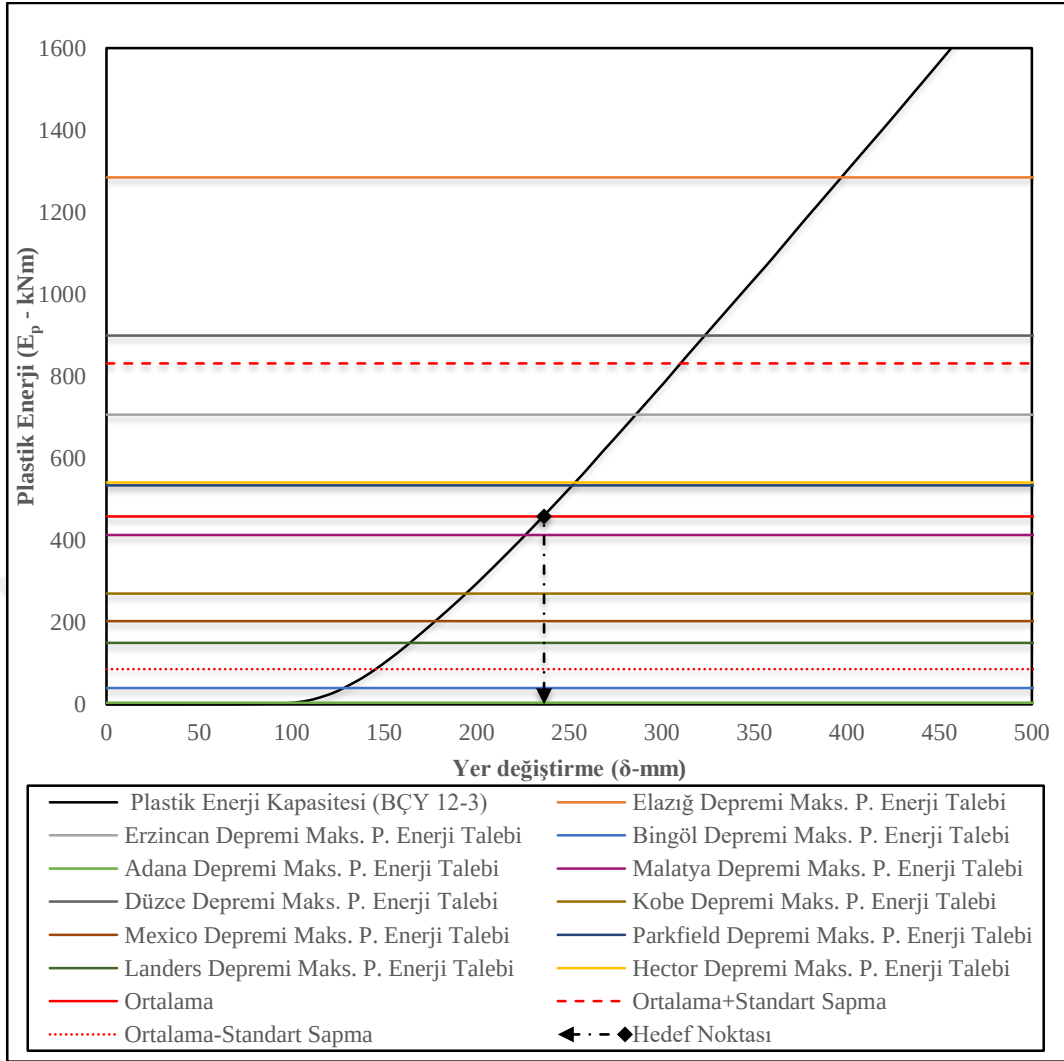
Şekil 5.136'da, BÇY.9-5 çerçevesinin çalışmada seçilen on bir adet deprem yer hareketi altında gerçekleştirilen analizlerden elde edilen maksimum plastik enerji talepleri, yapının plastik enerji – tepe yer değiştirmesi eğrisi üzerinde birlikte gösterilmektedir.



Şekil 5.136. BÇY. 9-5 çerçevesinin seçilen depremler yer hareketleri altında belirlenen maksimum plastik enerji talepleri ve yapı plastik enerji kapasitesi

BÇY. 9-5 çerçevesinin seçilen deprem yer hareketleri altında gerçekleştirilen doğrusal olmayan davranışı dikkate alan zaman tanım alanı analizlerden hesaplanan maksimum plastik enerji taleplerinin ortalama değeri 235.8 kNm olarak elde edilmiştir. Yapının bu ortalama plastik enerji için itme hedef yer değiştirme noktası $\delta_{ep}=191$ mm olarak elde edilmiştir. Çerçeve sisteminin TBDY (2018)'e göre Göçme Öncesi performans düzeyi için hedef yer değiştirme değeri $\delta_{G\ddot{o}}=254$ mm olarak elde edilmiştir.

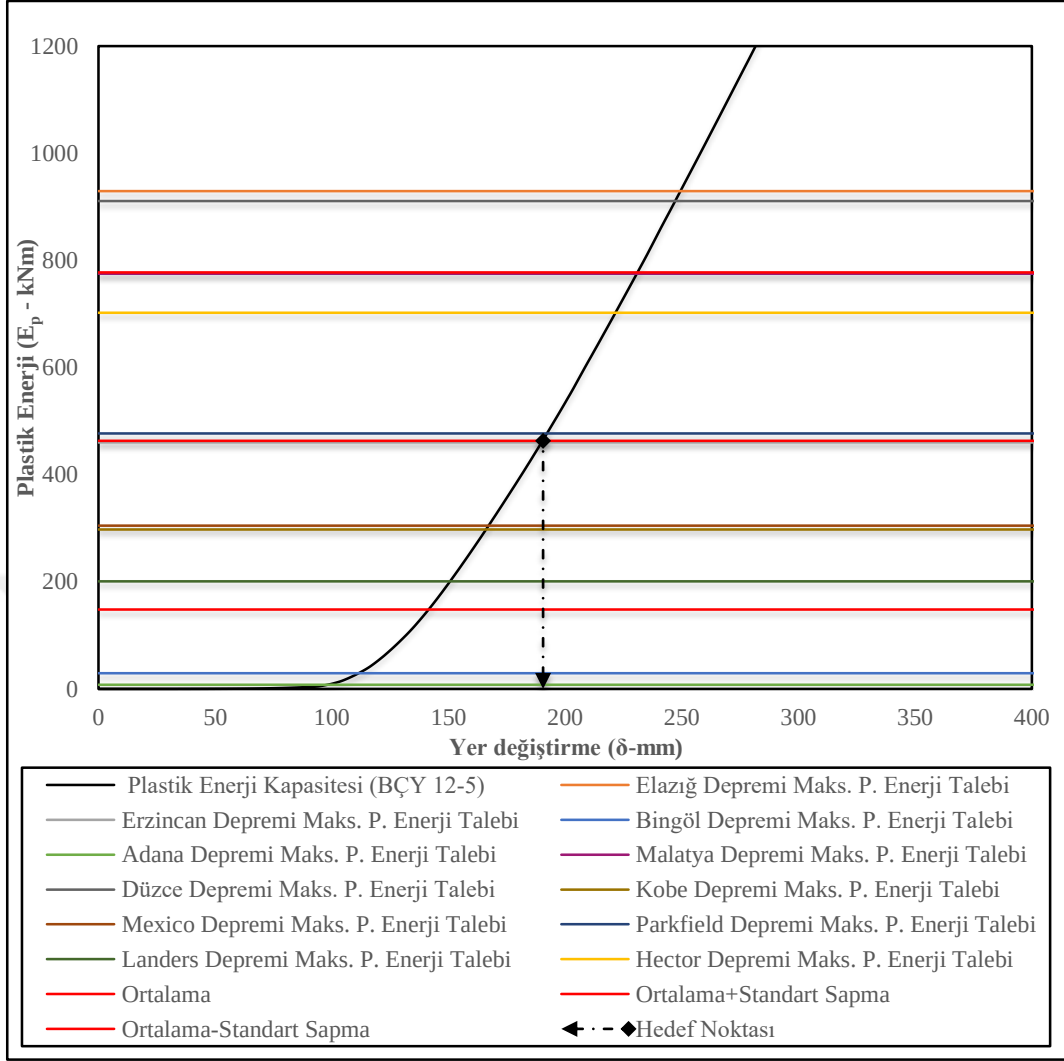
Şekil 5.137'de, BÇY.12-3 çerçevesinin çalışmada seçilen on bir adet deprem yer hareketi altında gerçekleştirilen analizlerden elde edilen maksimum plastik enerji talepleri, yapının plastik enerji – tepe yer değiştirmesi eğrisi üzerinde birlikte gösterilmektedir.



Şekil 5.137. BÇY. 12-3 çerçevesinin seçilen depremler yer hareketleri altında belirlenen maksimum plastik enerji talepleri ve yapı plastik enerji kapasitesi

BÇY. 12-3 çerçevesinin seçilen deprem yer hareketleri altında gerçekleştirilen doğrusal olmayan davranışı dikkate alan zaman tanım alanı analizlerden hesaplanan maksimum plastik enerji taleplerinin ortalama değeri 458.5 kNm olarak elde edilmiştir. Yapının bu ortalama plastik enerji için itme hedef yer değiştirme noktası $\delta_{ep}=236.5$ mm olarak elde edilmiştir. Çerçeve sisteminin TBDY (2018)'e göre Göçme Öncesi performans düzeyi için hedef yer değiştirme değeri $\delta_{GÖ}=257$ mm olarak elde edilmiştir.

Şekil 5.138'de, BÇY.12-5 çerçevesinin çalışmada seçilen on bir adet deprem yer hareketi altında gerçekleştirilen analizlerden elde edilen maksimum plastik enerji talepleri, yapının plastik enerji – tepe yer değiştirmesi eğrisi üzerinde birlikte gösterilmektedir.

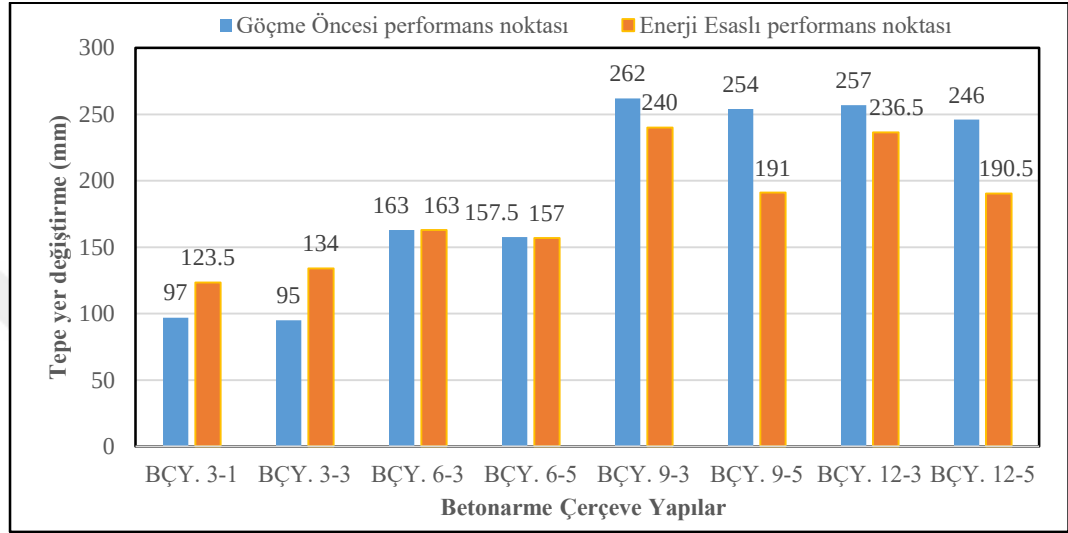


Şekil 5.138. BÇY. 12-5 çerçevesinin seçilen depremler yer hareketleri altında belirlenen maksimum plastik enerji talepleri ve yapı plastik enerji kapasitesi

BÇY. 12-5 çerçevesinin seçilen deprem yer hareketleri altında gerçekleştirilen doğrusal olmayan davranışı dikkate alan zaman tanım alanı analizlerden hesaplanan maksimum plastik enerji taleplerinin ortalama değeri 463.2 kNm olarak elde edilmiştir. Yapının bu ortalama plastik enerji için itme hedef yer değiştirme noktası $\delta_{ep}=190.5$ mm olarak elde edilmiştir. Çerçeve sisteminin TBDY (2018)'e göre Göçme Öncesi performans düzeyi için hedef yer değiştirme değeri $\delta_{GÖ}=246$ mm olarak elde edilmiştir.

Şekil 5.139'da çalışma kapsamında oluşturulan betonarme çerçeve modellerin TBDY (2018)'e göre göçme öncesi performansı için elde edilen tepe yer değiştirmeleri ve enerji esaslı yöntemle elde edilen tepe yer değiştirmeleri değerleri tüm modeller için birlikte gösterilmiştir. Merter [43] tarafından yapılan tez çalışmasında elde edilen sonuçlara benzer olarak, enerji esaslı elde edilen yer değiştirme değerleri ile tasarım spektrumuna bağlı olarak modal kapasite spektrumdan elde edilen yer değiştirme değerlerinin az katlı yapılarda birbirlerine yakın olduğu

görülmüştür. Ancak kat sayısının artmasıyla birlikte sonuçların yakınlığının azaldığı ve özellikle açıklık sayısı fazla olan çerçevelerde aradaki farkı büyüdüğü görülmüştür. Bunun yanında betonarme çerçevelerin deprem yer hareketlerinin ölçeklendirilmiş ivme kayıtları altında elde edilen ortalama plastik enerji talepleri ve $\pm$ enerji standart sapmalı değerleri Tablo 5.2’de sunulmuştur.



Şekil 5.139. Betonarme çerçevelerin TBDY (2018)’e göre göçme öncesi performansı için elde edilen tepe yer değiştirmeleri ile enerji esaslı yöntemle elde edilen tepe yer değiştirmelerinin karşılaştırılması

Tablo 5.2. Betonarme çerçevelerin deprem yer hareketlerinin ölçeklendirilmiş ivme kayıtları altında elde edilen ortalama plastik enerji talepleri ve $\pm$ enerji standart sapmalı değerleri

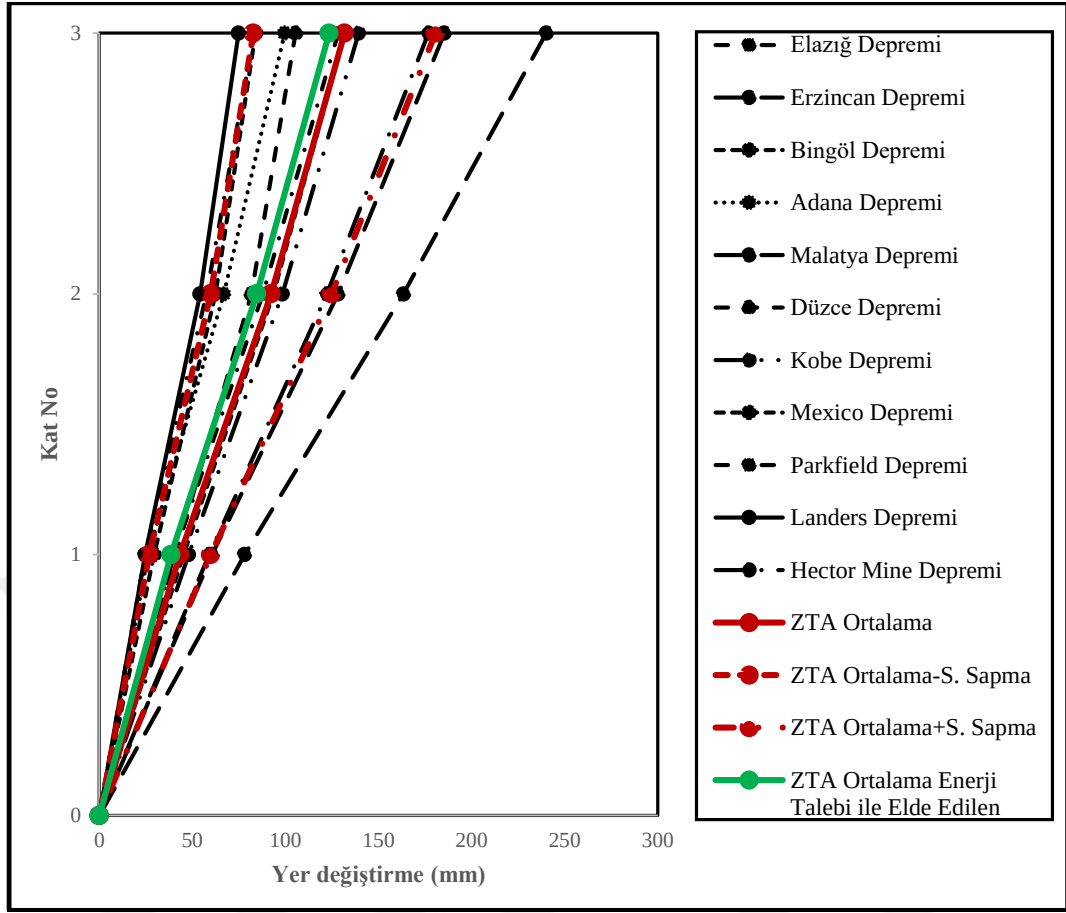
Betonarme Çerçeveler	ZTA Doğrusal Olmayan Analizlerden Elde Edilen Ortalama Enerji Talebi [kNm]	Ortalama Enerji Talebi– Enerji Standart Sapması [kNm]	Ortalama Enerji Talebi+ Enerji Standart Sapması [kNm]
BÇY. 3-1	31.4	8.5	54.2
BÇY. 3-3	104.2	46.7	162.8
BÇY. 6-3	144.5	48.8	240.1
BÇY. 6-5	233.9	82.2	384.4
BÇY. 9-3	224.9	49.6	400.2
BÇY. 9-5	235.8	64.8	406.7
BÇY. 12-3	458.5	85.5	831.4
BÇY. 12-5	463.2	148.5	777.9

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tezin bu bölümünde çalışma kapsamında elde edilen hedef plastik enerji talebi değerlerine kadar statik itme analizlerine tabii tutulan çerçevelerin, bu hedef yer değiştirme noktasında belirlenen kat yer değiştirmeleri, görelî kat öteleme oranları doğrusal olmayan davranışı dikkate alan zaman tanım alanı analizlerden elde edilen sonuçlar ile birlikte değerlendirilecektir. Ayrıca çerçeveler için hedef plastik enerji talebi noktasında elde edilen hedef yer değiştirme değerinde yapı elemanların uç bölgelerinde meydana gelen birim şekil değiştirme değerleri TBDY(2018)'de verilen ölçütler esas alınarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte betonarme çerçeve yapılar bu deprem enerji talebi değerlerine ulaştığında yapının kat seviyelerinde tüketilen plastik enerji oranları elde edilmekte ve grafiksel olarak sunulmaktadır.

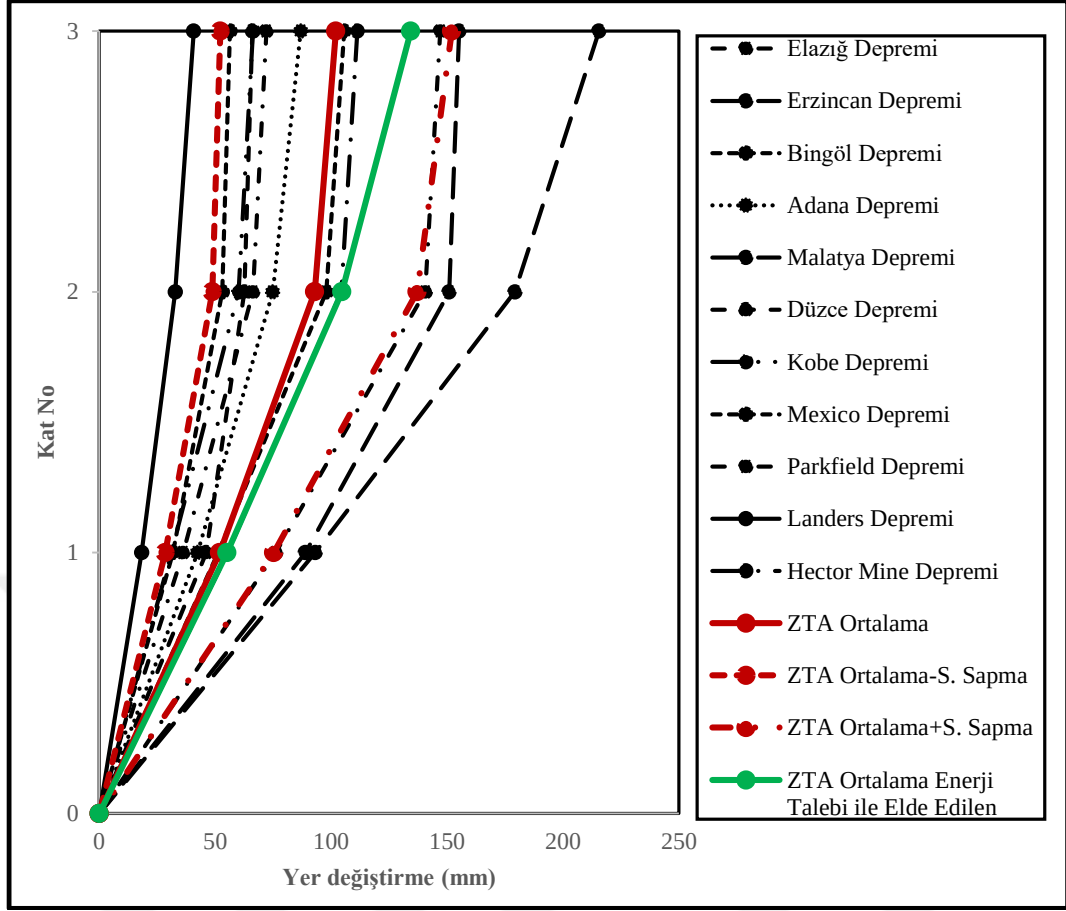
6.1. Çok Katlı Betonarme Çerçeve Yapıların Kat Yatay Yer Değiştirmeleri ve Görelî Kat Ötelemesi Oranları

Şekil 6.1-Şekil 6.8 arasında, BÇY. 3-1, BÇY. 3-3, BÇY. 6-3, BÇY. 6-5, BÇY. 9-3, BÇY. 9-5, BÇY. 12-3 ve BÇY. 12-5 çerçevelerine ait yer değiştirmeler sırasıyla sunulmuştur. Grafiklerde doğrusal olmayan davranışı dikkate alan zaman tanım alanı analizlerden bulunan ortalama ve ortalamanın standart sapma kadar altında ve üzerindeki yer değiştirmeler kırmızı renkte işaretlenmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen hedef plastik enerji değerine kadar gerçekleştirilen statik itme analizlerinden elde edilen kat yer değiştirme ise grafiklerde yeşil renk ile gösterilmiştir.



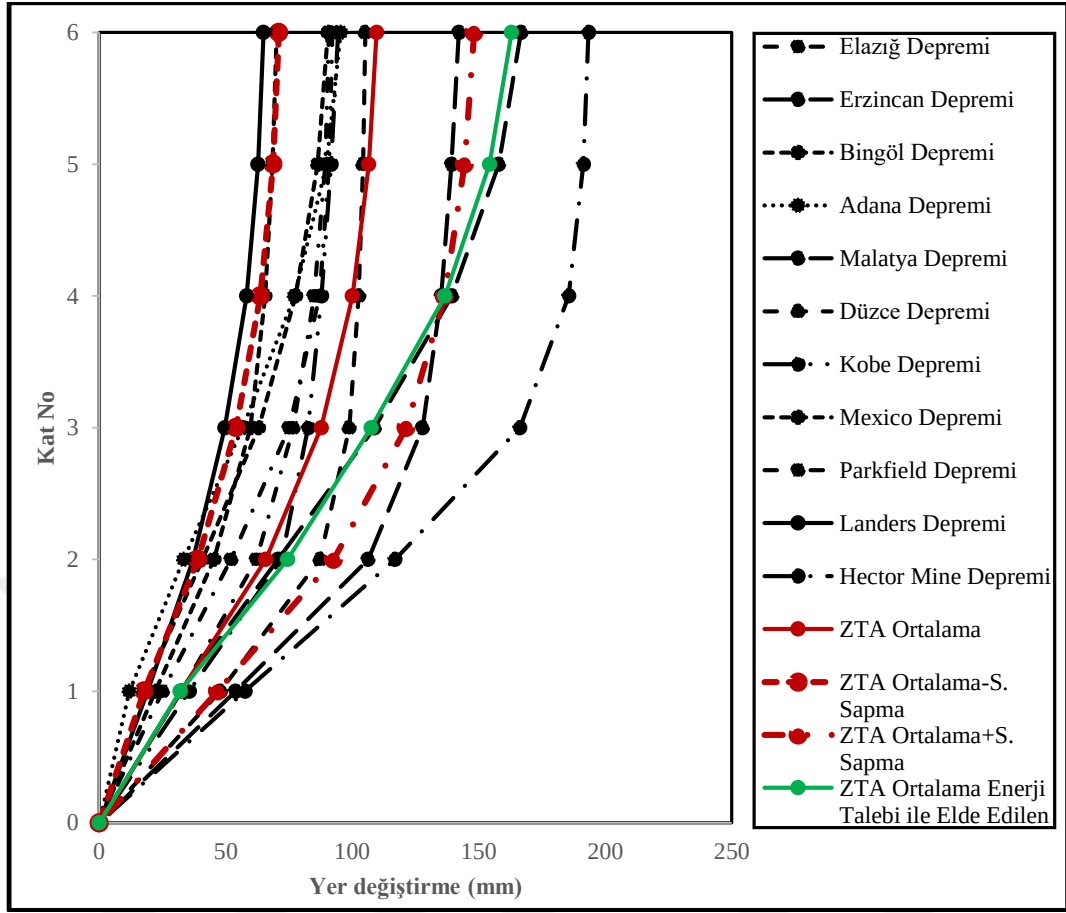
Şekil 6.1. BÇY. 3-1 Çerçevesinin kat yer değiştirmeleri

3 katlı tek açıklıklı BÇY 3-1 betonarme çerçevenin zaman tanım alanında analizlerinde en büyük kat yer değiştirmeleri Erzincan deprem ivme kaydı altında meydana gelmiştir. Grafiklerden, sunulan yöntemle hesaplanan ortalama enerji talebine kadar tek yönlü statik itme analizlerinden elde edilen hedef yer değiştirme ile zaman tanım alanında dinamik analizlerden elde edilen ortalama yer değiştirme sonuçlarının birbirine oldukça yakın değerlerde olduğu görülmektedir. BÇY. 3-1 çerçevesinde, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerden elde edilen (ortalama) tepe yer değiştirmesi değeri 131.71 mm, hedef plastik enerji talebine kadar statik itme uygulanarak elde edilen tepe yer değiştirmesi değeri yaklaşık 123.5 mm'dir.



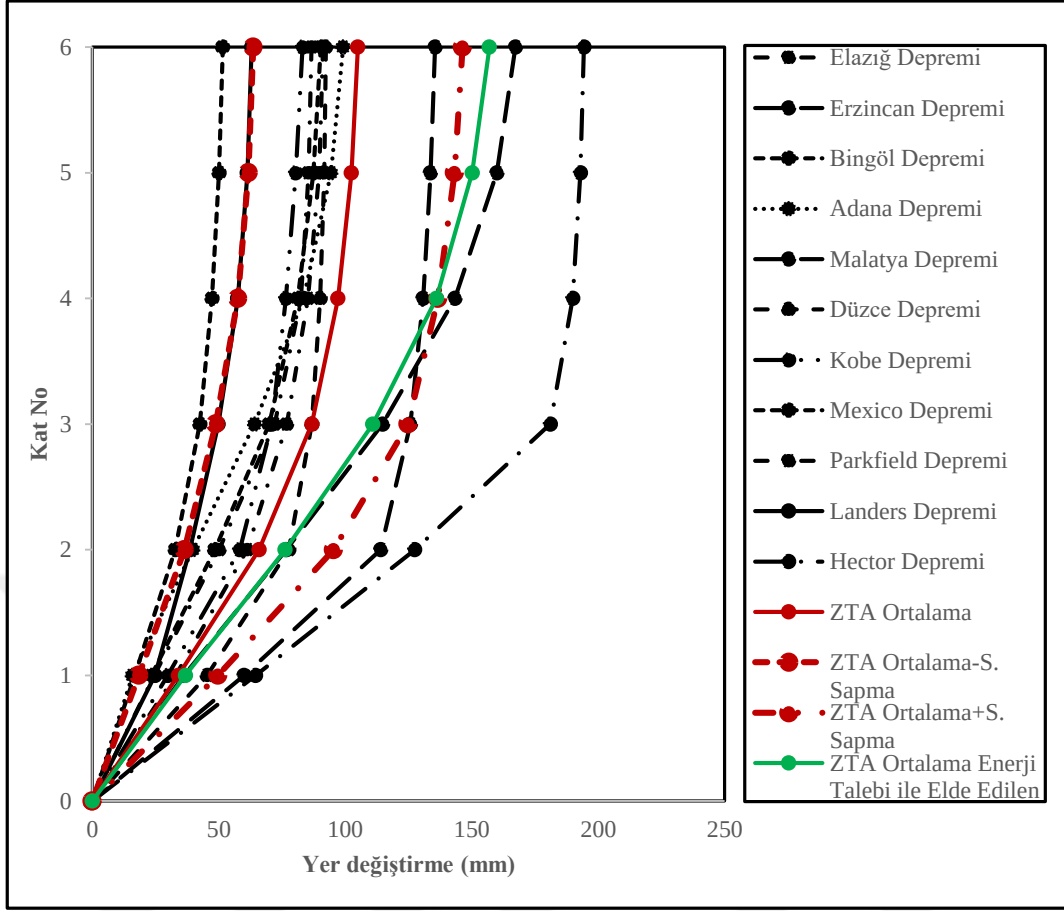
Şekil 6.2. BÇY. 3-3 Çerçevesinin kat yer değiştirmeleri

3 katlı üç açıklıklı BÇY 3-3 betonarme çerçevenin deprem ivme kayıtları altındaki zaman tanım alanı çözümlerinde Erzincan depreminde en büyük kat yer değiştirmeleri elde edilmiştir. Grafiklerden, sunulan yöntemle hesaplanan ortalama enerji talebine kadar tek yönlü statik itme analizlerinden elde edilen yer değiştirme ile zaman tanım alanında dinamik analizlerden elde edilen ortalama yer değiştirme sonuçları birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir. BÇY. 3-3 çerçevesinde, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerden elde edilen (ortalama) tepe yer değiştirmesi değeri 102.09 mm iken, hedef plastik enerji talebine kadar statik itme uygulanarak elde edilen tepe yer değiştirmesi değeri yaklaşık 134.35 mm'dir.



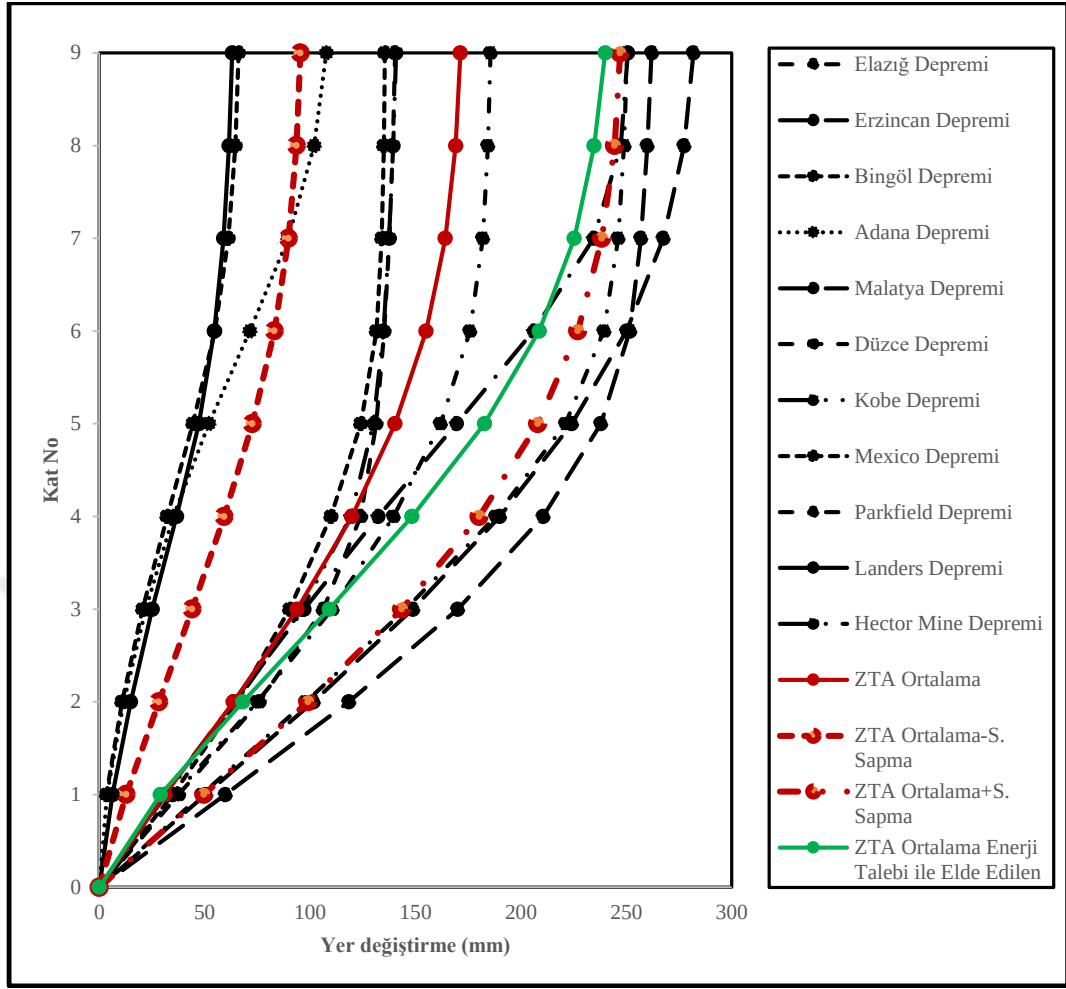
Şekil 6.3. BCY. 6-3 Çerçevesinin kat yer değiştirmeleri

6 katlı üç açıklıklı BCY 6-3 betonarme çerçevenin zaman tanım alanında analizlerinde en büyük kat yer değiştirmelerini veren deprem Hector Mine depremi meydana gelmiştir. Grafiklerden, sunulan yöntemle hesaplanan ortalama enerji talebine kadar tek yönlü statik itme analizlerinden elde edilen yer değiştirme ile zaman tanım alanında dinamik analizlerden elde edilen ortalama yer değiştirme sonuçları birbirine uzak değerlerde olduğu görülmektedir. Ancak zaman tanım alanı analizi ortalaması artı standart sapma değerini aşmıştır. BCY. 6-3 çerçevesinde, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerden elde edilen (ortalama) tepe yer değiştirmesi değeri 109.61 mm ve hedef plastik enerji talebine kadar statik itme uygulanarak elde edilen tepe yer değiştirmesi değeri yaklaşık 163 mm'dir.



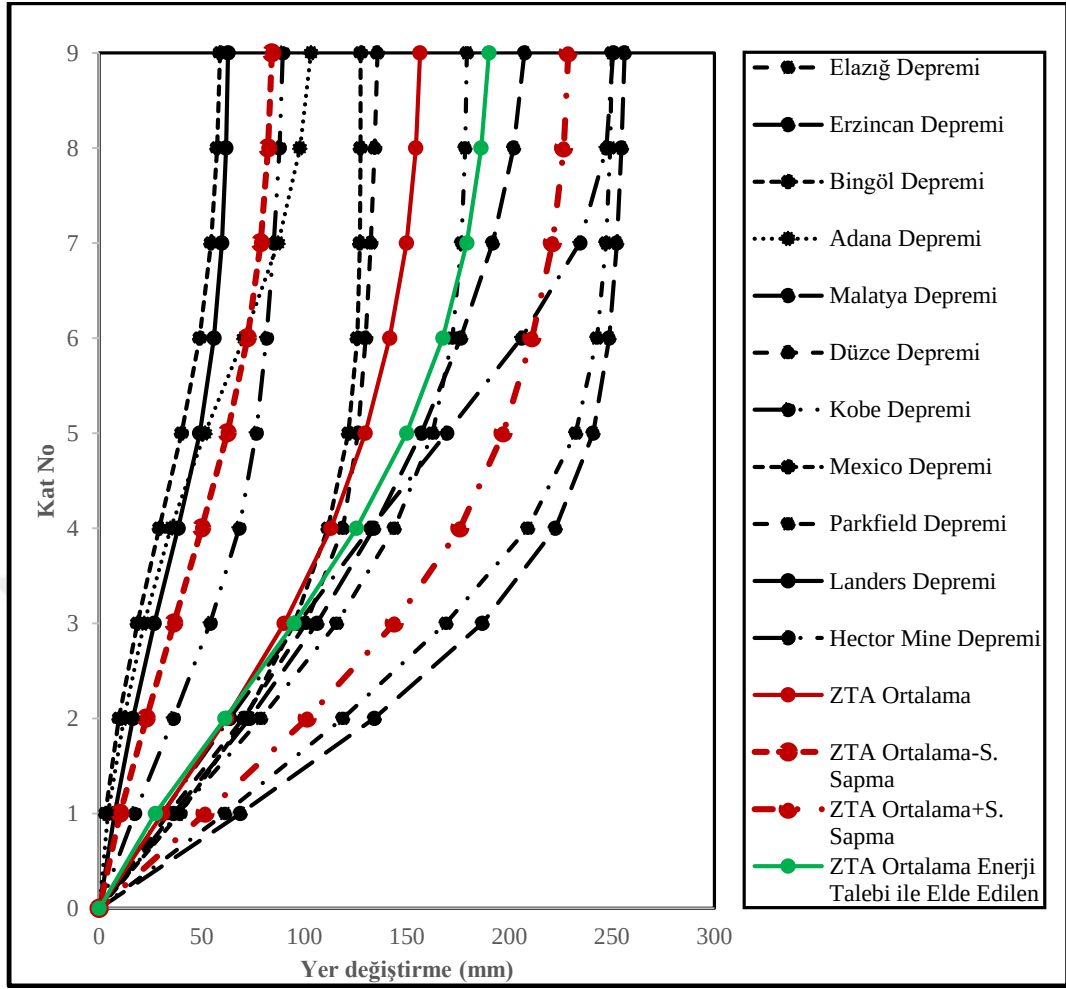
Şekil 6.4. BÇY. 6-5 Çerçevesinin kat yer değiştirmeleri

6 katlı beş açıklıklı BÇY 6-5 betonarme çerçevenin zaman tanım alanında analizlerinde en büyük kat yer değiştirmelerini veren deprem Hector Mine depremi meydana gelmiştir. Grafiklerden, sunulan yöntemle hesaplanan ortalama enerji talebine kadar tek yönlü statik itme analizlerinden elde edilen yer değiştirme ile zaman tanım alanında dinamik analizlerden elde edilen ortalama yer değiştirme sonuçları birbirine uzak değerlerde olduğu görülmektedir. Ancak zaman tanım alanının analiz ortalama artı standart sapma değerini aşmıştır. BÇY. 6-5 çerçevesinde, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerden elde edilen (ortalama) tepe yer değiştirmesi değeri 104.96 mm ve hedef plastik enerji talebine kadar statik itme uygulanarak elde edilen tepe yer değiştirmesi değeri yaklaşık 157 mm'dir.



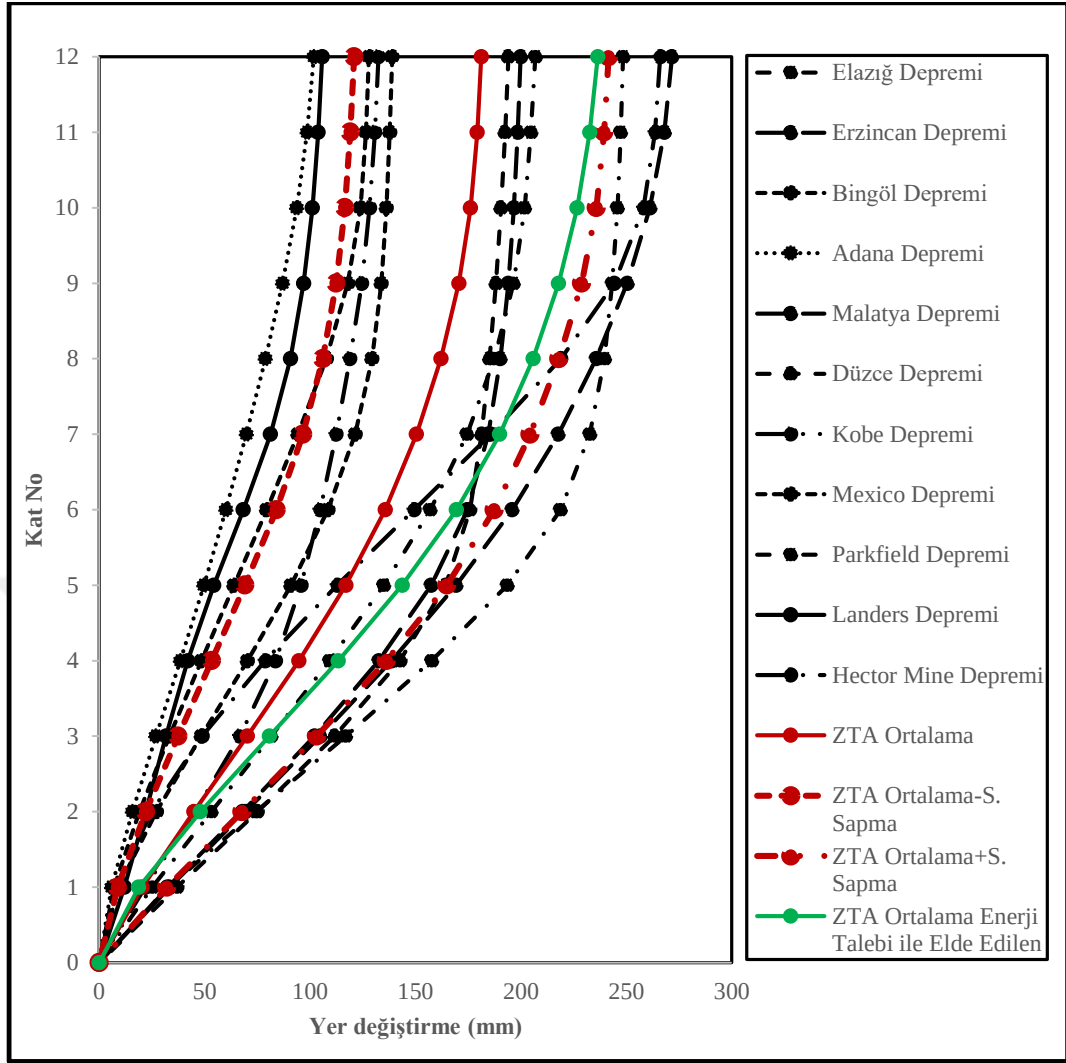
Şekil 6.5. BÇY. 9-3 Çerçevesinin kat yer değiştirmeleri

9 katlı üç açıklıklı BÇY 9-3 betonarme çerçevenin zaman tanım alanında analizlerinde en büyük kat yer değiştirmeleri Erzincan depremi altında elde edilmiştir. Grafiklerden, sunulan yöntemle hesaplanan ortalama enerji talebine kadar tek yönlü statik itme analizlerinden elde edilen yer değiştirme ile zaman tanım alanında dinamik analizlerden elde edilen ortalama yer değiştirme sonuçları birbirine bir miktar uzak değerlerde olduğu görülmektedir. Ancak zaman tanım alanının analiz ortalama artı standart sapma değerini aşmamıştır. BÇY.9-3 çerçevesinde, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerden elde edilen (ortalama) tepe yer değiştirmesi değeri 171.26 mm ve hedef plastik enerji talebine kadar statik itme uygulanarak elde edilen tepe yer değiştirmesi değeri yaklaşık 240 mm'dir.



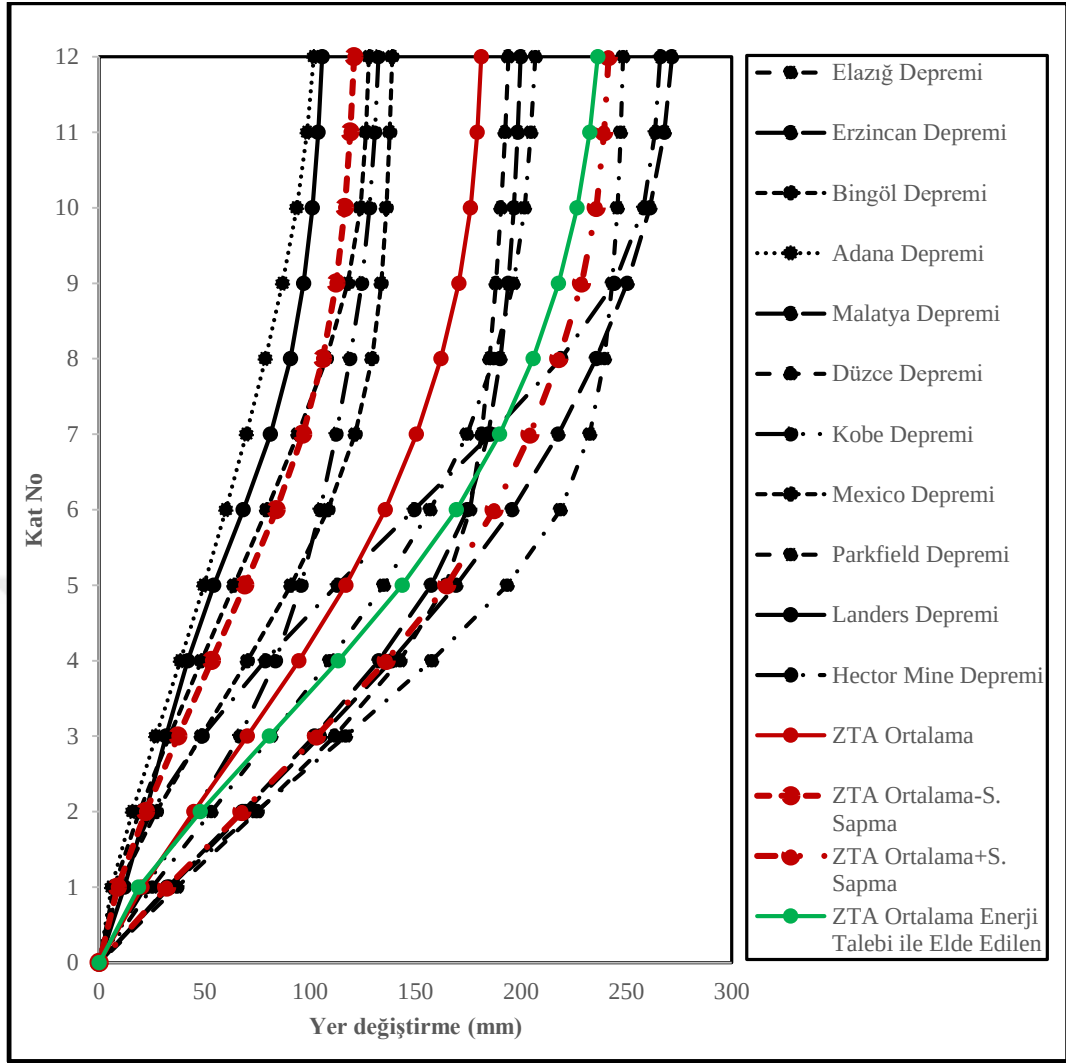
Şekil 6.6. BÇY. 9-5 Çerçevesinin kat yer değiştirmeleri

9 katlı beş açıklıklı BÇY 9-5 betonarme çerçevenin deprem ivme kayıtları altında zaman tanım alanında analizlerinde en büyük kat yer değiştirmelerini Malatya depremi altında meydana gelmiştir. Grafiklerden sunulan yöntemle hesaplanan ortalama enerji talebine kadar tek yönlü statik itme analizlerinden elde edilen yer değiştirme ile zaman tanım alanında dinamik analizlerden elde edilen ortalama yer değiştirme sonuçları birbirine yakın değerlerde elde edilmiştir. BÇY.9-5 çerçevesinde, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerden elde edilen (ortalama) tepe yer değiştirmesi değeri 156.49 mm ve hedef plastik enerji talebine kadar statik itme uygulanarak elde edilen tepe yer değiştirmesi değeri yaklaşık 191 mm'dir.



Şekil 6.7. BÇY. 12-3 Çerçevesinin kat yer değiştirmeleri

12 katlı üç açıklıklı BÇY 12-3 betonarme çerçevenin zaman tanım alanında analizlerinde en büyük kat yer değiştirmeleri Erzincan depremi altında elde edilmiştir. Grafiklerden, sunulan yöntemle hesaplanan ortalama enerji talebine kadar tek yönlü statik itme analizlerinden elde edilen yer değiştirme ile zaman tanım alanında dinamik analizlerden elde edilen ortalama yer değiştirme sonuçları birbirine bir miktar uzak değerlerde olduğu görölmektedir. Ancak zaman tanım alanın analiz ortalama artı standart sapma değerini aşmamıştır. BÇY.12-3 çerçevesinde, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerden elde edilen (ortalama) tepe yer değiştirmesi değeri 181.26 mm ve hedef plastik enerji talebine kadar statik itme uygulanarak elde edilen tepe yer değiştirmesi değeri yaklaşık 236.5 mm'dir.



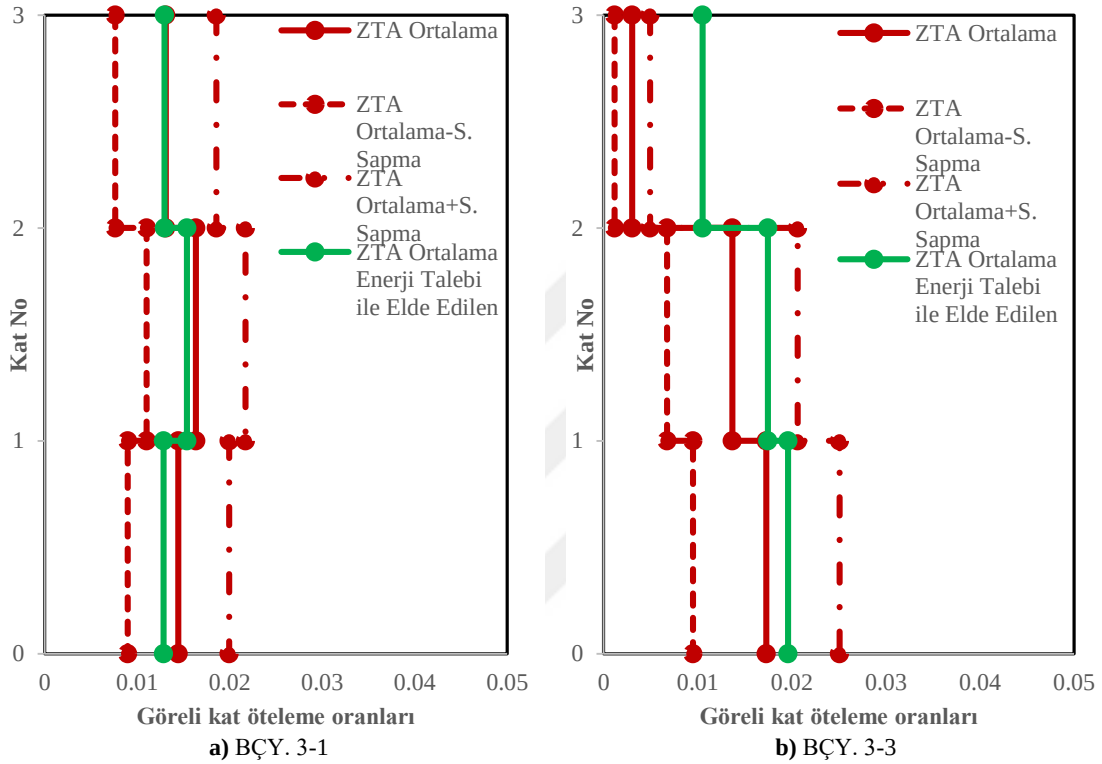
Şekil 6.8. BÇY. 12-5 Çerçevesinin kat yer değiştirmeleri

12 katlı beş açıklıklı (BÇY 12-5) betonarme çerçevenin zaman tanım alanında analizlerinde en büyük kat yer değiştirmeleri Hector-Mine depremi altında elde edilmiştir. Grafiklerden, sunulan yöntemle hesaplanan ortalama enerji talebine kadar tek yönlü statik itme analizlerinden elde edilen yer değiştirme ile zaman tanım alanında dinamik analizlerden elde edilen ortalama yer değiştirme sonuçları birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. BÇY.12-5 çerçevesinde, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerden elde edilen (ortalama) tepe yer değiştirmesi değeri 176.91 mm ve hedef plastik enerji talebine kadar statik itme uygulanarak elde edilen tepe yer değiştirmesi değeri yaklaşık 190.5 mm'dir.

Yapı modellerinin kat yer değiştirme grafikleri genel olarak incelendiğinde; tepe yer kat yer değiştirmeleri bakımından enerji esaslı elde edilen değerler ile doğrusal olmayan davranışı dikkate alan zaman tanım alanı analizlerden elde edilen değerler az katlı yapılarda birbirine yakın bulunmuştur. Ancak kat yüksekliği arttıkça uzaklaştığı görülmüştür. Bununla beraber kat seviyelerindeki yer değiştirmeler incelendiğinde alt katlardaki sonuçların birbirini oldukça yakın

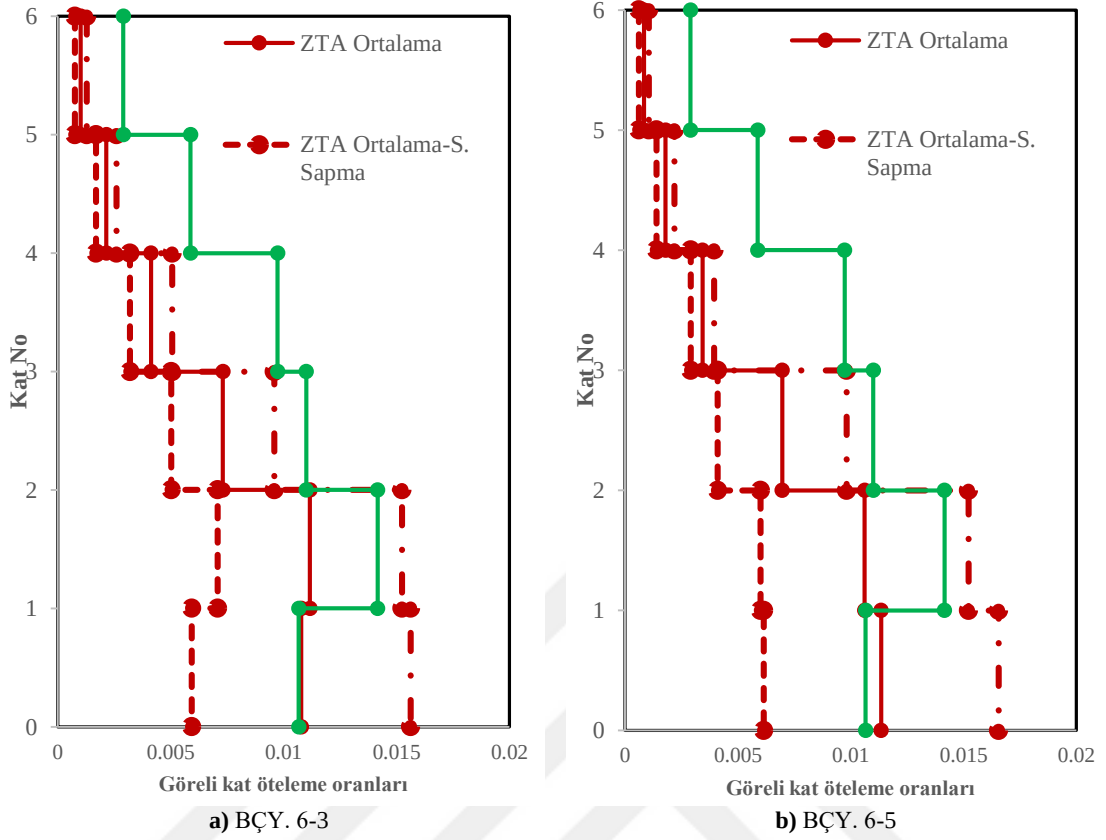
olduğu, üst katlara doğru eğrilerin birbirinden uzaklaştığı gözlenmiştir. Aynı konu üzerinde Merter [43] tarafından yapılan doktora tez çalışmasında da benzer sonuçlara ulaşılmıştır.

BÇY. 3-1, BÇY. 3-3, BÇY. 6-3, BÇY. 6-5, BÇY. 9-3 BÇY. 9-5, BÇY. 12-3 ve BÇY.12-5 çerçeveleri için, hedef plastik enerjiye bağlı olarak ve doğrusal olmayan davranışı dikkate alan zaman tanım alanı analizlerden elde edilen ortalama ve ortalama artı/eksi standart sapma görelî kat ötelemesi oranları Şekil 6.9 ile Şekil 6.12 arasındaki grafiklerde sırasıyla gösterilmiştir.



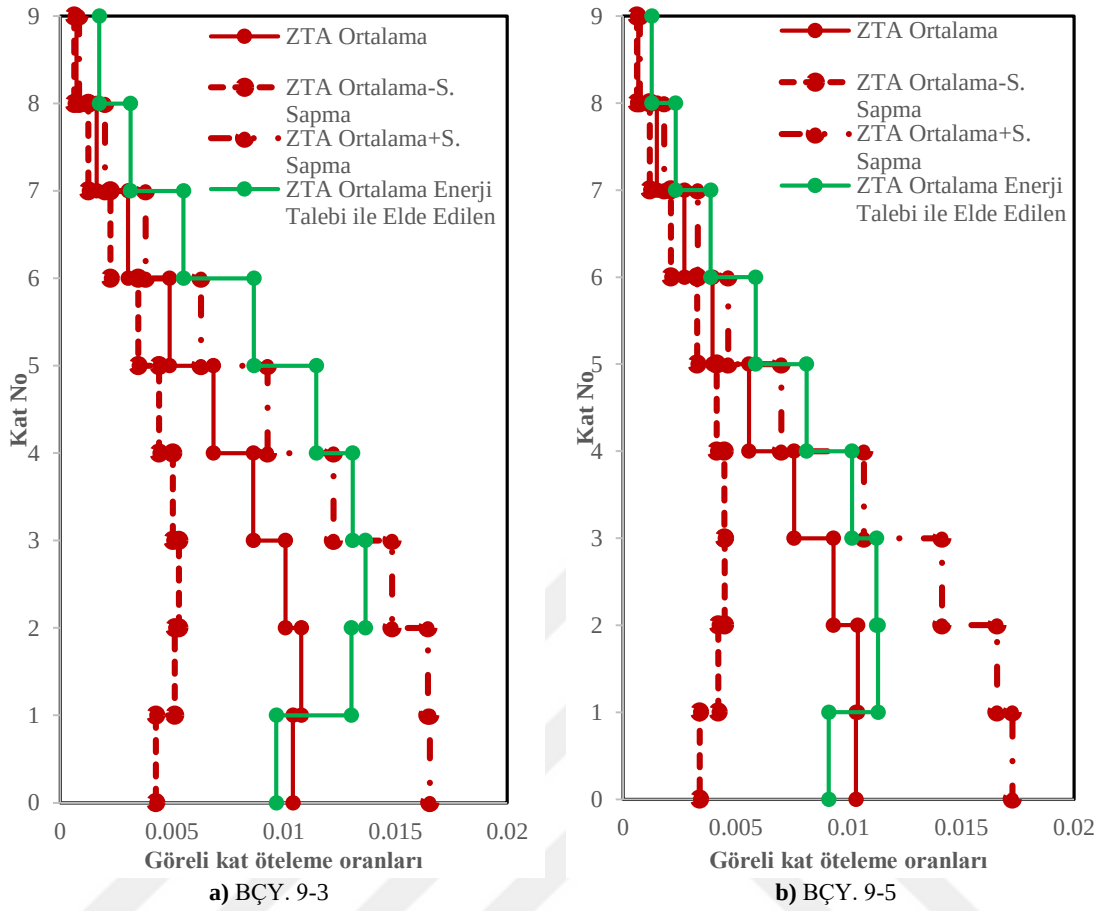
Şekil 6.9. Üç katlı çerçeveler için elde edilen görelî kat ötelemesi oranları

Üç katlı betonarme çerçevelerde, zaman tanım alanında dinamik analizlerden elde edilen ortalama görelî kat ötelemesi oranları ile hedef plastik enerji talebine kadar statik itme uygulanarak elde edilen görelî kat ötelemesi oranları birbirlerine oldukça yakın değerlerde elde edilmiştir.



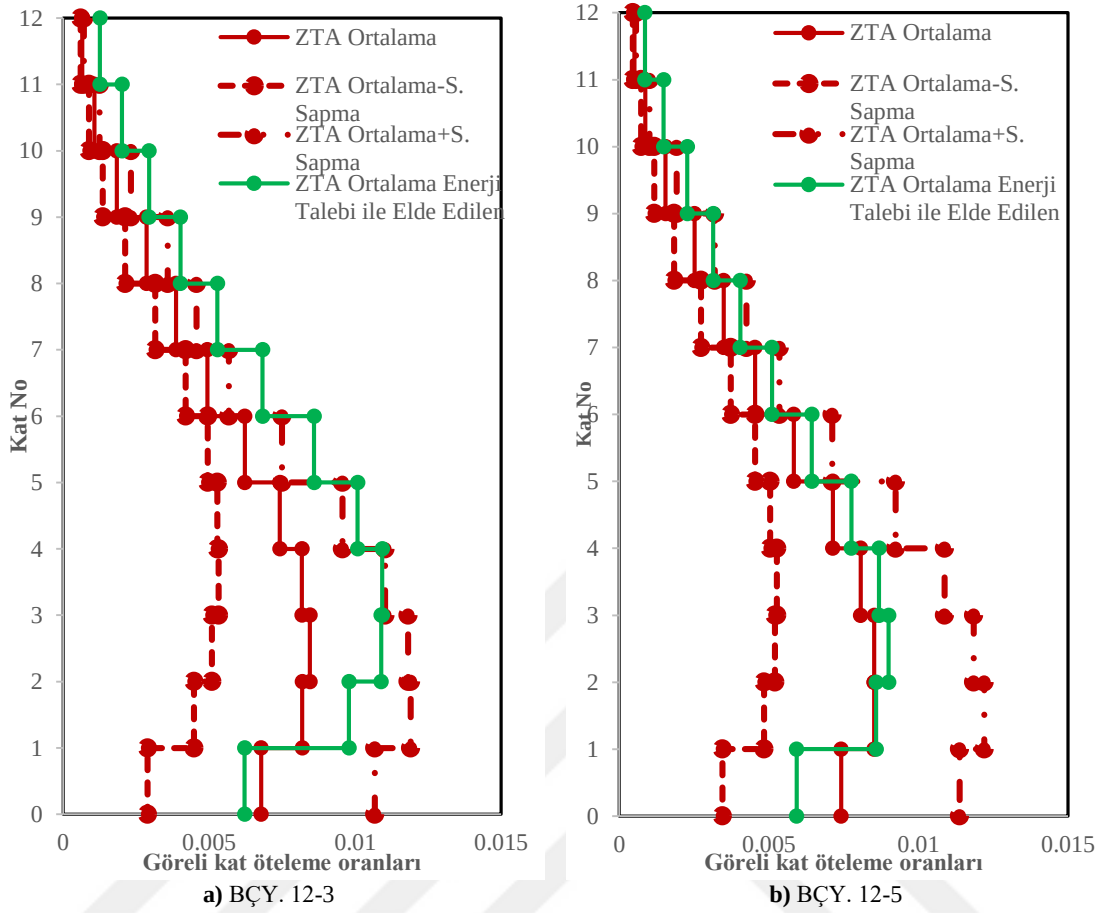
Şekil 6.10. Altı katlı çerçeveler için elde edilen görelî kat ötelemesi oranları

Altı katlı betonarme çerçevelerde zaman tanım alanında dinamik analizlerden elde edilen ortalama görelî kat ötelemesi oranlarının, hedef plastik enerji talebine kadar statik itme uygulanarak elde edilen görelî kat ötelemesi oranları üst katlar için birbirlerinden uzak değerlerde elde edilmiştir. Ancak alt katlarda görelî kat öteleme oranları birbirlerine yaklaşmıştır.



Şekil 6.11. Dokuz katlı çerçeveler için elde edilen görel kat ötelemesi oranları

Dokuz katlı betonarme çerçevelerde zaman tanım alanında dinamik analizlerden elde edilen ortalama görel kat ötelemesi oranlarının, hedef plastik enerji talebine kadar statik itme uygulanarak elde edilen görel kat ötelemesi oranları üst katlar için birbirlerinden bir miktar uzak değerlerde elde edilmiştir. Ancak orta ve alt kat seviyelerinde görel kat öteleme oranları birbirlerine yaklaştığı gözlenmiştir.



Şekil 6.12. On iki katlı çerçeveler için elde edilen görel kat öteleme oranları

On iki katlı betonarme çerçevelerde zaman tanım alanında dinamik analizlerden elde edilen ortalama görel kat öteleme oranlarının, hedef plastik enerji talebine kadar statik itme uygulanarak elde edilen görel kat öteleme oranları üst katlar için birbirlerinden bir miktar uzak ortalama artı standart sapmaya yakın değerlerde elde edilmiştir. Alt kat seviyelerinde görel kat öteleme oranları birbirlerine yakınlaşmıştır.

Betonarme çerçevelerin için enerji esaslı elde edilen görel öteleme oranları ile doğrusal olmayan davranışı dikkate alan zaman tanım alanı analizlerden elde edilen ortalama görel öteleme değerleri birlikte değerlendirildiği az katlı yapılarda birbirlerine yakın olduğu görülmüştür. Ancak kat sayısı artıkça görel öteleme oranları birbirinden uzaklaşmaktadır. Kat seviyelerindeki görel kat öteleme oranları incelendiğinde alt katlardaki sonuçların birbirini oldukça yakın iken, üst katlara doğru eğrilerin birbirinden uzaklaştığı gözlenmiştir. Merter [43], Liao ve Goel [38] ve Terapathana [41] araştırmacıları tarafından yapılan çalışmalarda da benzer durum görülmüştür. Bu bulgular, enerji esaslı yöntemin az katlı yapıların deprem davranışı değerlendirilmelerinde başarı ile uygulanabileceğine işaret etmektedir.

6.2. Çok Katlı Betonarme Çerçeve Yapıların Birim Şekil Değiştirmeleri

Ele alınan betonarme çerçevelerin zaman tanım alanında analizlerden elde edilen hedef plastik enerji talebine kadar gerçekleştirilen statik itme analizlerinden kiriş ve kolon uç bölgelerinde elde edilen birim şekil değiştirme değerleri Tablo 6.1-Tablo 6.8 arasında sırasıyla sunulmuştur. Hedef yer değiştirme değerinde belirlenen birim şekil değiştirmeler TBDY (2018)'de verilen performans seviyelerine göre değerlendirilmiştir.

Tablo 6.1. BÇY. 3-1 Çerçevesinin kolon ve kiriş uçlarında elde edilen birim şekil değiştirmeler ve TBDY (2018) performans seviyelerine göre değerlendirilmesi

Yapı Elamanı		Sargılı beton birim şekil değiştirmesi		Hasar Durumu		Donatı birim şekil değiştirmesi		Hasar Durumu	
		Sol uç	Sağ uç	Sol uç	Sağ uç	Sol uç	Sağ uç	Sol uç	Sağ uç
Kolon	C102	0.0001	0.0001	SH	SH	0.0099	0.0001	BH	SH
	C105	0.0021	0.0001	SH	SH	0.0164	0.0001	BH	SH
	C202	0.0003	0.0003	SH	SH	0.0014	0.0012	SH	SH
	C205	0.0003	0.0004	SH	SH	0.0008	0.0010	SH	SH
	C302	0.0001	0.0003	SH	SH	0.0003	0.0015	SH	SH
	C305	0.0001	0.0003	SH	SH	0.0001	0.0012	SH	SH
Kiriş	B102	0.0008	0.0009	SH	SH	0.0187	0.0216	BH	BH
	B202	0.0009	0.0009	SH	SH	0.0208	0.0202	BH	BH
	B302	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0108	0.0102	BH	BH

BÇY. 3-1 çerçevesinin hedef plastik enerji noktasında elde edilen yer değiştirme noktasında, yapı sisteminin zemin kat kolonların alt uç çelik donatıların birim şekil değiştirme değerleri belirgin hasar bölgesinde yer almış ve diğer kat kolonlarının çelik donatıları sınır hasar bölgesinde kalmıştır. Çerçevenin tüm yapı elemanlarında sargılı beton birim şekil değiştirmeleri sınırlı hasar bölgesinde bulunmuştur.

Tablo 6.2. BÇY. 3-3 Çerçevesinin kolon ve kiriş uçlarında elde edilen birim şekil değiştirmeler ve TBDY (2018) performans seviyelerine göre değerlendirilmesi

Yapı		Sargılı beton birim şekil değiştirmesi		Hasar Durumu		Donatı birim şekil değiştirmesi		Hasar Durumu	
Elamanı		Sol uç	Sağ uç	Sol uç	Sağ uç	Sol uç	Sağ uç	Sol uç	Sağ uç
Kolon	C102	0.0014	0.0001	SH	SH	0.0205	0.0000	G	SH
	C105	0.0070	0.0003	BH	SH	0.0351	0.0003	G	SH
	C108	0.0088	0.0005	İH	SH	0.0443	0.0009	G	SH
	C111	0.0099	0.0005	İH	SH	0.0517	0.0011	SH	SH
	C202	0.0004	0.0004	SH	SH	0.0016	0.0018	SH	SH
	C205	0.0006	0.0008	SH	SH	0.0018	0.0032	SH	SH
	C208	0.0005	0.0008	SH	SH	0.0012	0.0033	SH	SH
	C211	0.0002	0.0005	SH	SH	0.0001	0.0016	SH	SH
	C302	0.0001	0.0004	SH	SH	0.0000	0.0018	SH	SH
	C305	0.0002	0.0010	SH	SH	0.0004	0.0087	SH	SH
	C308	0.0002	0.0006	SH	SH	0.0002	0.0030	SH	SH
	C311	0.0001	0.0003	SH	SH	0.0002	0.0011	SH	SH
Kiriş	B104	0.0012	0.0012	SH	SH	0.0266	0.0263	İH	İH
	B105	0.0013	0.0013	SH	SH	0.0267	0.0292	İH	İH
	B106	0.0013	0.0013	SH	SH	0.0294	0.0337	İH	İH
	B204	0.0014	0.0013	SH	SH	0.0251	0.0216	İH	BH
	B205	0.0011	0.0010	SH	SH	0.0220	0.0196	BH	BH
	B206	0.0008	0.0008	SH	SH	0.0194	0.0186	BH	BH
	B304	0.0010	0.0007	SH	SH	0.0072	0.0023	SH	SH
	B305	0.0005	0.0005	SH	SH	0.0020	0.0022	SH	SH
	B306	0.0004	0.0005	SH	SH	0.0029	0.0042	SH	SH

BÇY. 3-3 çerçevesinin hedef plastik enerji noktasında elde edilen yer değiştirme noktasında, yapı sisteminin 1. katta bulunan 4 adet kolondan 3 adedinin alt uçlarında çelik donatı birim şekil değiştirmeleri göçme ve diğeri kolunun alt ucu belirgin hasar bölgesine geçmiştir. Çerçevenin 1. kat kirişlerinde her iki ucunda çelik donatıların birim şekil değiştirmeleri ileri hasar bölgesindedir. 2. kat kirişlerinin bir tanesinin sol ucu ileri hasar bölgesinde diğeri ikisinin her iki ucu belirgin hasar bölgesinde yer almıştır. Çerçevenin 1. katta bulunan 4 adet kolondan 2 adedinin alt uçlarında sargılı beton birim şekil değiştirmeleri ileri hasar bölgesine, 1 adedi belirgin hasar bölgesine ve 1 adedinin de alt ucu sınırlı hasar bölgesine geçmiştir. Çerçevenin diğeri kat kolon ve kiriş elemanlarında çelik ve sargılı beton sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır.

Tablo 6.3. BÇY. 6-3 Çerçevesinin kolon ve kiriş uçlarında elde edilen birim şekil değiştirmeler ve TBDY (2018) performans seviyelerine göre değerlendirilmesi

Yapı Elemanı		Sargılı beton birim şekil değiştirmesi		Hasar Durumu		Donatı birim şekil değiştirmesi		Hasar Durumu	
		Sol uç	Sağ uç	Sol uç	Sağ uç	Sol uç	Sağ uç	Sol uç	Sağ uç
Kolon	C102	0.0007	0.0001	SH	SH	0.0034	0.0000	SH	SH
	C105	0.0021	0.0002	SH	SH	0.0079	0.0002	BH	SH
	C108	0.0048	0.0002	BH	SH	0.0180	0.0002	BH	SH
	C111	0.0062	0.0002	BH	SH	0.0241	0.0002	İH	SH
Kiriş	B104	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0142	0.0162	BH	BH
	B105	0.0008	0.0007	SH	SH	0.0164	0.0200	BH	BH
	B106	0.0008	0.0009	SH	SH	0.0201	0.0261	BH	İH
	B204	0.0008	0.0008	SH	SH	0.0256	0.0258	İH	İH
	B205	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0264	0.0268	İH	İH
	B206	0.0006	0.0006	SH	SH	0.0267	0.0272	İH	İH
	B304	0.0009	0.0009	SH	SH	0.0242	0.0222	İH	BH
	B305	0.0008	0.0008	SH	SH	0.0230	0.0215	BH	BH
	B306	0.0008	0.0008	SH	SH	0.0211	0.0209	BH	BH
	B404	0.0008	0.0008	SH	SH	0.0154	0.0123	BH	BH
	B405	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0132	0.0114	BH	BH
	B406	0.0006	0.0006	SH	SH	0.0109	0.0106	BH	BH

Diğer kat seviyelerinde bulunan kolon ve kiriş elemanlarında çelik ve sargılı beton malzemesinin birim şekil değiştirmeleri sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır.

BÇY. 6-3 çerçevesinin hedef plastik enerji noktasında elde edilen yer değiştirme noktasında, yapı sisteminin 1. katta bulunan 4 adet kolondan 1 adedinin alt uçlarında çelik donatı birim şekil değiştirmeleri ileri hasar ve 2 adedinin alt ucu belirgin hasar bölgesine geçmiştir. Bu 3 kolondan ikisinin alt ucundaki sargılı beton şekil değiştirmesi ileri hasar bölgesine diğeri belirgin hasar bölgesine ulaşmıştır. Çerçevenin 2. kat kirişlerinden hepsinin her iki ucunda çelik donatıların birim şekil değiştirmeleri ileri hasar bölgesindedir. 1. kat ve 3. kat kirişlerinden birer tanesinin birer uçlarında çelik donatıların birim şekil değiştirmeler ileri hasar bölgesinde diğeri ikisinin her iki ucu belirgin hasar bölgesinde ve bu katlarda yer alan diğer kirişler sınırlı hasar bölgesinde yer almıştır. 4. kat bulunan kirişlerinde çelik donatıların birim şekil değiştirmeleri belirgin bölgesine varmıştır. Çerçevenin 1. katta bulunan 4 adet kolondan 2 adedinin alt uçlarında sargılı beton birim şekil değiştirmeleri alt ucu sınırlı hasar bölgesine geçmiştir. Çerçevenin diğer kat kolon ve kiriş elemanlarında çelik ve sargılı beton birim şekil değiştirmeleri sınırlı hasar bölgesinde yer almıştır.

Tablo 6.4. BÇY. 6-5 Çerçevesinin kolon ve kiriş uçlarında elde edilen birim şekil değiştirmeler ve TBDY (2018) performans seviyelerine göre değerlendirilmesi

Yapı Elemanı		Sargılı beton birim şekil değiştirmesi		Hasar Durumu		Donatı birim şekil değiştirmesi		Hasar Durumu	
		Sol uç	Sağ uç	Sol uç	Sağ uç	Sol uç	Sağ uç	Sol uç	Sağ uç
Kolon	C102	0.0005	0.0001	SH	SH	0.0019	0.0001	SH	SH
	C105	0.0015	0.0002	SH	SH	0.0042	0.0001	BH	SH
	C108	0.0021	0.0002	SH	SH	0.0082	0.0002	BH	SH
	C111	0.0047	0.0003	BH	SH	0.0174	0.0002	BH	SH
	C114	0.0066	0.0003	BH	SH	0.0259	0.0003	İH	SH
	C117	0.0083	0.0003	BH	SH	0.0335	0.0003	G	SH
Kiriş	B106	0.0008	0.0007	SH	SH	0.0095	0.0118	BH	BH
	B107	0.0008	0.0009	SH	SH	0.0123	0.0157	BH	BH
	B108	0.0009	0.0010	SH	SH	0.0159	0.0183	BH	BH
	B109	0.0010	0.0010	SH	SH	0.0189	0.0225	BH	BH
	B110	0.0010	0.0011	SH	SH	0.0228	0.0280	BH	İH
	B206	0.0010	0.0010	SH	SH	0.0231	0.0234	BH	BH
	B207	0.0010	0.0010	SH	SH	0.0242	0.0250	İH	İH
	B208	0.0009	0.0009	SH	SH	0.0250	0.0256	İH	İH
	B209	0.0008	0.0008	SH	SH	0.0255	0.0253	İH	İH
	B210	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0252	0.0251	İH	İH
	B306	0.0011	0.0011	SH	SH	0.0232	0.0213	BH	BH
	B307	0.0010	0.0010	SH	SH	0.0219	0.0211	BH	BH
	B308	0.0008	0.0008	SH	SH	0.0209	0.0193	BH	BH
	B309	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0193	0.0175	BH	BH
	B310	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0172	0.0168	BH	BH
	B406	0.0011	0.0010	SH	SH	0.0143	0.0111	BH	BH
	B407	0.0009	0.0008	SH	SH	0.0121	0.0104	BH	BH
	B408	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0101	0.0085	BH	BH
	B409	0.0006	0.0006	SH	SH	0.0081	0.0069	BH	SH
	B410	0.0005	0.0005	SH	SH	0.0063	0.0060	SH	SH

Diğer kat seviyelerinde bulunan kolon ve kiriş elemanlarında çelik ve sargılı beton malzemesinin birim şekil değiştirmeleri sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır.

BÇY. 6-5 çerçevesinin hedef plastik enerji noktasında elde edilen yer değiştirme noktasında, yapı sisteminin kolonlarında bulunan çelik donatı birim şekil değiştirmeleri incelendiğinde 1. katta bulunan 6 adet kolonun 1 adedinin alt ucu göçme, 1 adedinin alt ucu ileri hasar, 3 adedinin alt ucu sınırlı hasar bölgesine geçmiştir. 1. kattaki diğer kolon sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır. Diğer katlarda bulunan tüm kolonlar sınırlı hasar bölgesinde bulunmuştur. Kolon elemanların sargılı birim şekil değiştirmeleri incelendiğinde ise 1. katta bulunan 3 adet kolonun alt ucu belirgin hasar bölgesine geçmiş ve kalan diğer tüm kolonlar sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır. Çerçevenin 2. kat kirişlerinden 4 adedinin her iki ucunda ve 1. Kat kirişlerinden 1 adedinin bir ucunda çelik donatıların birim şekil değiştirmeleri ileri hasar bölgesindedir. İlk dört kat kirişlerinin neredeyse tamamının çelik donatı birim şekil değiştirmeleri belirgin bölgesine ulaşmış, diğer katlarda sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır. Çerçeve kirişlerin sargılı beton birim şekil değiştirmeleri sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır.

Tablo 6.5. BÇY. 9-3 Çerçevesinin kolon ve kiriş uçlarında elde edilen birim şekil değiştirmeler ve TBDY (2018) performans seviyelerine göre değerlendirilmesi

Yapı Elamanı		Sargılı beton birim şekil değiştirmesi		Hasar Durumu		Donatı birim şekil değiştirmesi		Hasar Durumu	
		Sol uç	Sağ uç	Sol uç	Sağ uç	Sol uç	Sağ uç	Sol uç	Sağ uç
Kolon	C102	0.0006	0.0002	SH	SH	0.0017	0.0002	SH	SH
	C105	0.0017	0.0003	SH	SH	0.0033	0.0001	SH	SH
	C108	0.0027	0.0003	BH	SH	0.0077	0.0002	BH	SH
	C111	0.0060	0.0003	BH	SH	0.0159	0.0001	BH	SH
Kiriş	B104	0.0006	0.0006	SH	SH	0.0118	0.0143	BH	BH
	B105	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0153	0.0192	BH	BH
	B106	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0193	0.0245	BH	İH
	B204	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0248	0.0257	İH	İH
	B205	0.0006	0.0007	SH	SH	0.0265	0.0275	İH	İH
	B206	0.0006	0.0006	SH	SH	0.0274	0.0285	İH	İH
	B304	0.0008	0.0008	SH	SH	0.0280	0.0276	İH	İH
	B305	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0287	0.0281	İH	İH
	B306	0.0008	0.0008	SH	SH	0.0276	0.0278	İH	İH
	B404	0.0008	0.0009	SH	SH	0.0256	0.0241	İH	İH
	B405	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0255	0.0247	İH	İH
	B406	0.0008	0.0008	SH	SH	0.0239	0.0242	BH	İH
	B504	0.0008	0.0008	SH	SH	0.0201	0.0182	BH	BH
	B505	0.0006	0.0006	SH	SH	0.0199	0.0184	BH	BH
	B506	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0176	0.0171	BH	BH
	B604	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0107	0.0084	BH	BH
	B605	0.0006	0.0006	SH	SH	0.0100	0.0087	BH	BH
	B606	0.0006	0.0006	SH	SH	0.0075	0.0073	BH	SH

Diğer kat seviyelerinde bulunan kolon ve kiriş elemanlarında çelik ve sargılı beton malzemesinin birim şekil değiştirmeleri sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır.

BÇY. 9-3 çerçevesinin hedef plastik enerji noktasında elde edilen yer değiştirme noktasında, yapı sisteminin kolonlarında bulunan çelik donatı ve sargılı beton birim şekil değiştirmeleri incelendiğinde 1. katta bulunan 4 adet kolonun 2 adedinin alt ucu belirgin hasar bölgesine geçmiştir. 1. kattaki diğer iki kolon ve diğer katlarda bulunan tüm kolonlar sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır. Çerçevenin ilk 6 katının kirişlerinin neredeyse tamamının her iki ucunda çelik donatıların birim şekil değiştirmeleri belirgin hasar bölgesine ulaşmış ve bu kirişlerden 2., 3. ve 4. katta bulunanlar ileri hasar bölgesine geçmiştir. Diğer katlarda bulunan kirişler sınır hasar bölgesinde kalmıştır. Çerçeve kirişlerin sargılı beton birim şekil değiştirmeleri sınırlı hasar bölgesinde bulunmuştur.

Tablo 6.6. BÇY. 9-5 Çerçevesinin kolon ve kiriş uçlarında elde edilen birim şekil değiştirmeler ve TBDY (2018) performans seviyelerine göre değerlendirilmesi

Yapı Elemanı		Sargılı beton birim şekil değiştirmesi		Hasar Durumu		Donatı birim şekil değiştirmesi		Hasar Durumu	
		Sol uç	Sağ uç	Sol uç	Sağ uç	Sol uç	Sağ uç	Sol uç	Sağ uç
Kolon	C102	0.0005	0.0002	SH	SH	0.0015	0.0002	SH	SH
	C105	0.0014	0.0003	SH	SH	0.0023	0.0001	BH	SH
	C108	0.0021	0.0003	SH	SH	0.0050	0.0001	BH	SH
	C111	0.0052	0.0003	BH	SH	0.0132	0.0002	BH	SH
	C114	0.0076	0.0003	BH	SH	0.0220	0.0002	BH	SH
	C117	0.0104	0.0003	BH	SH	0.0303	0.0003	İH	SH
Kiriş	B106	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0095	0.0123	BH	BH
	B107	0.0008	0.0008	SH	SH	0.0131	0.0173	BH	BH
	B108	0.0008	0.0009	SH	SH	0.0174	0.0206	BH	BH
	B109	0.0009	0.0010	SH	SH	0.0208	0.0248	BH	İH
	B110	0.0010	0.0010	SH	SH	0.0248	0.0300	İH	İH
	B206	0.0008	0.0008	SH	SH	0.0244	0.0256	İH	İH
	B207	0.0007	0.0008	SH	SH	0.0267	0.0281	İH	İH
	B208	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0281	0.0293	İH	İH
	B209	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0294	0.0301	İH	İH
	B210	0.0006	0.0006	SH	SH	0.0299	0.0303	İH	İH
	B306	0.0010	0.0010	SH	SH	0.0289	0.0286	İH	İH
	B307	0.0008	0.0008	SH	SH	0.0300	0.0296	İH	İH
	B308	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0297	0.0290	İH	İH
	B309	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0292	0.0282	İH	İH
	B310	0.0008	0.0007	SH	SH	0.0277	0.0278	İH	İH
	B406	0.0010	0.0010	SH	SH	0.0263	0.0244	İH	İH
	B407	0.0009	0.0008	SH	SH	0.0260	0.0248	İH	İH
	B408	0.0008	0.0008	SH	SH	0.0247	0.0234	İH	BH
	B409	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0233	0.0220	BH	BH
	B410	0.0008	0.0008	SH	SH	0.0213	0.0211	BH	BH
	B506	0.0010	0.0010	SH	SH	0.0176	0.0155	BH	BH
	B507	0.0008	0.0008	SH	SH	0.0172	0.0157	BH	BH
	B508	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0158	0.0142	BH	BH
	B509	0.0006	0.0006	SH	SH	0.0142	0.0128	BH	BH
	B510	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0121	0.0118	BH	BH
	B606	0.0008	0.0008	SH	SH	0.0084	0.0070	BH	BH
	B607	0.0007	0.0006	SH	SH	0.0082	0.0073	BH	SH
	B608	0.0006	0.0006	SH	SH	0.0070	0.0062	SH	SH
	B609	0.0005	0.0005	SH	SH	0.0059	0.0051	SH	SH
	B610	0.0005	0.0005	SH	SH	0.0042	0.0041	SH	SH

Diğer kat seviyelerinde bulunan kolon ve kiriş elemanlarında çelik ve sargılı beton malzemesinin birim şekil değiştirmeleri sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır.

BÇY. 9-5 çerçevesinin hedef plastik enerji noktasında elde edilen yer değiştirme noktasında, yapı sisteminin kolonlarında bulunan çelik donatı birim şekil değiştirmeleri incelendiğinde 1. katta bulunan 6 adet kolonun 1 adedinin alt ucu ileri hasar, 4 adedinin alt ucu belirgin bölgesine geçmiştir. 1. kattaki diğer 1 adet kolon sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır. Diğer katlarda bulunan tüm kolonlarda çelik donatı birim şekil değiştirmeleri sınırlı hasar bölgesinde yer almıştır. Kolon elemanların sargılı birim şekil değiştirmeleri incelendiğinde ise 1. katta bulunan 3 adet kolonun alt ucu belirgin hasar bölgesine geçmiş ve kalan diğer tüm kolonlar sınırlı hasar bölgesinde yer almaktadır. Çerçevenin ilk altı kat kirişlerinin büyük bir çoğunluğunun her iki ucu çelik donatı birim şekil değiştirmeleri ileri hasar bölgesine ulaşmış, bir kısmı da belirgin hasar

bölgesinde kalmıştır. Diğer katlarda bulunan kirişlerin çelik donatıları sınır bölgesinde kalmıştır. Çerçeve kirişlerin tamamında sargılı beton birim şekil değiştirmeleri sınırlı hasar bölgesinde yer almıştır.

Tablo 6.7. BÇY. 12-3 Çerçevesinin kolon uçlarında elde edilen birim şekil değiştirmeler ve TBDY (2018) performans seviyelerine göre değerlendirilmesi

Yapı Elamanı		Sargılı beton birim şekil değiştirmesi		Hasar Durumu		Donatı birim şekil değiştirmesi		Hasar Durumu	
		Sol uç	Sağ uç	Sol uç	Sağ uç	Sol uç	Sağ uç	Sol uç	Sağ uç
Kolon	C102	0.0005	0.0002	SH	SH	0.0011	0.0001	SH	SH
	C105	0.0013	0.0004	SH	SH	0.0015	0.0001	SH	SH
	C108	0.0017	0.0003	SH	SH	0.0025	0.0002	SH	SH
	C111	0.0026	0.0004	BH	SH	0.0039	0.0002	SH	SH
Kiriş	B104	0.0007	0.0002	SH	SH	0.0040	0.0062	SH	SH
	B105	0.0010	0.0003	SH	SH	0.0064	0.0106	SH	BH
	B106	0.0012	0.0003	SH	SH	0.0094	0.0161	BH	BH
	B204	0.0013	0.0002	SH	SH	0.0139	0.0178	BH	BH
	B205	0.0013	0.0002	SH	SH	0.0164	0.0207	BH	BH
	B206	0.0013	0.0002	SH	SH	0.0175	0.0222	BH	BH
	B304	0.0015	0.0003	SH	SH	0.0187	0.0218	BH	BH
	B305	0.0014	0.0002	SH	SH	0.0203	0.0238	BH	BH
	B306	0.0014	0.0003	SH	SH	0.0197	0.0236	BH	BH
	B404	0.0016	0.0003	SH	SH	0.0190	0.0211	BH	BH
	B405	0.0014	0.0002	SH	SH	0.0200	0.0227	BH	BH
	B406	0.0015	0.0003	SH	SH	0.0186	0.0219	BH	BH
	B504	0.0015	0.0003	SH	SH	0.0159	0.0173	BH	BH
	B505	0.0014	0.0002	SH	SH	0.0168	0.0186	BH	BH
	B506	0.0014	0.0003	SH	SH	0.0149	0.0174	BH	BH
	B604	0.0013	0.0003	SH	SH	0.0110	0.0114	BH	BH
	B605	0.0012	0.0002	SH	SH	0.0117	0.0128	BH	BH
	B606	0.0012	0.0003	SH	SH	0.0098	0.0115	BH	BH

Diğer kat seviyelerinde bulunan kolon ve kiriş elemanlarında çelik ve sargılı beton malzemesinin birim şekil değiştirmeleri sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır.

BÇY. 12-3 çerçevesinin hedef plastik enerji noktasında elde edilen yer değiştirme noktasında, yapı sisteminin 1. Katında bulunan kolonlarından sadece birinin alt ucunda sargılı beton birim şekil değiştirmesi belirgin bölgesine geçmiştir. Diğer tüm kolonlarda çelik ve sargılı beton sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır. Çerçevenin ilk 6 katının kirişlerinin neredeyse tamamının her iki ucunda çelik donatıların birim şekil değiştirmeleri belirgin hasar bölgesine ulaşmıştır ve diğer katlarda bulunan kirişler sınır hasar bölgesinde kalmıştır. Çerçeve kirişlerin tamamında sargılı beton birim şekil değiştirmeleri sınırlı hasar bölgesinde bulunmuştur.

Tablo 6.8. BÇY. 12-5 Çerçevesinin kolon uçlarında elde edilen birim şekil değiştirmeler ve TBDY (2018) performans seviyelerine göre değerlendirilmesi

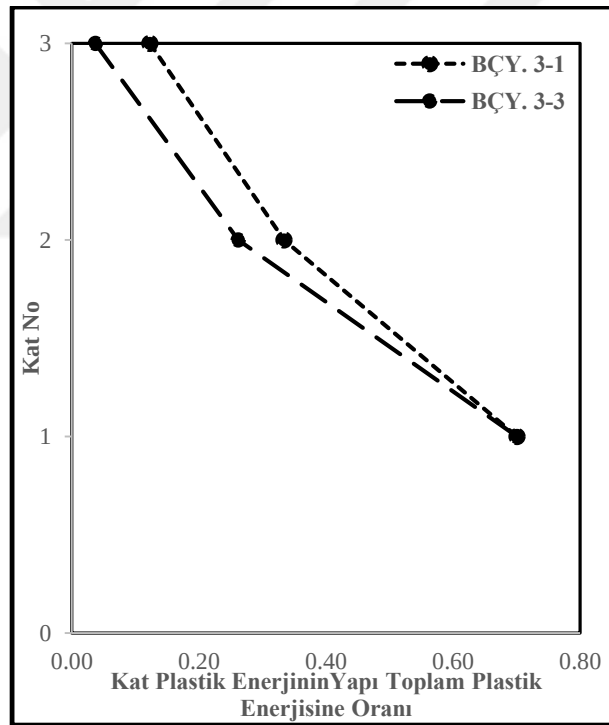
Yapı Elemanı		Sargılı beton birim şekil değiştirmesi		Hasar Durumu		Donatı birim şekil değiştirmesi		Hasar Durumu	
		Sol uç	Sağ uç	Sol uç	Sağ uç	Sol uç	Sağ uç	Sol uç	Sağ uç
Kolon	C102	0.0005	0.0002	SH	SH	0.0007	0.0001	SH	SH
	C105	0.0014	0.0003	SH	SH	0.0008	0.0001	SH	SH
	C108	0.0021	0.0003	SH	SH	0.0012	0.0002	SH	SH
	C111	0.0052	0.0003	BH	SH	0.0017	0.0002	SH	SH
	C114	0.0076	0.0003	BH	SH	0.0029	0.0003	SH	SH
	C117	0.0104	0.0003	BH	SH	0.0045	0.0003	SH	SH
Kiriş	B106	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0017	0.0023	SH	SH
	B107	0.0008	0.0008	SH	SH	0.0027	0.0040	SH	SH
	B108	0.0008	0.0009	SH	SH	0.0040	0.0063	SH	SH
	B109	0.0009	0.0010	SH	SH	0.0058	0.0094	SH	BH
	B110	0.0010	0.0010	SH	SH	0.0083	0.0138	BH	BH
	B206	0.0008	0.0008	SH	SH	0.0077	0.0101	BH	BH
	B207	0.0007	0.0008	SH	SH	0.0097	0.0129	BH	BH
	B208	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0112	0.0146	BH	BH
	B209	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0126	0.0160	BH	BH
	B210	0.0006	0.0006	SH	SH	0.0134	0.0167	BH	BH
	B306	0.0010	0.0010	SH	SH	0.0125	0.0148	BH	BH
	B307	0.0008	0.0008	SH	SH	0.0139	0.0166	BH	BH
	B308	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0144	0.0170	BH	BH
	B309	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0146	0.0170	BH	BH
	B310	0.0008	0.0007	SH	SH	0.0140	0.0167	BH	BH
	B406	0.0010	0.0010	SH	SH	0.0132	0.0148	BH	BH
	B407	0.0009	0.0008	SH	SH	0.0141	0.0161	BH	BH
	B408	0.0008	0.0008	SH	SH	0.0138	0.0157	BH	BH
	B409	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0133	0.0151	BH	BH
	B410	0.0008	0.0008	SH	SH	0.0121	0.0143	BH	BH
	B506	0.0010	0.0010	SH	SH	0.0110	0.0116	BH	BH
	B507	0.0008	0.0008	SH	SH	0.0115	0.0128	BH	BH
	B508	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0109	0.0121	BH	BH
	B509	0.0006	0.0006	SH	SH	0.0102	0.0111	BH	BH
	B510	0.0007	0.0007	SH	SH	0.0087	0.0102	BH	BH
	B606	0.0008	0.0008	SH	SH	0.0068	0.0068	SH	SH
	B607	0.0007	0.0006	SH	SH	0.0074	0.0080	SH	SH
	B608	0.0006	0.0006	SH	SH	0.0068	0.0073	SH	SH
	B609	0.0005	0.0005	SH	SH	0.0061	0.0066	SH	SH
	B610	0.0005	0.0005	SH	SH	0.0047	0.0057	SH	SH

Diğer kat seviyelerinde bulunan kolon ve kiriş elemanlarında çelik ve sargılı beton malzemesinin birim şekil değiştirmeleri sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır.

BÇY. 12-5 çerçevesinin hedef plastik enerji noktasında elde edilen yer değiştirme noktasında, yapı sisteminin 1. Katında bulunan kolonlarından 3 adedinin alt ucunda sargılı beton birim şekil değiştirmesi belirgin bölgesine geçmiştir. Diğer tüm kolonlarda çelik ve sargılı beton sınırlı hasar bölgesine ulaşmamıştır. Çerçevenin ilk 6 katının kirişlerinin büyük çoğunluğunun her iki ucunda çelik donatıların birim şekil değiştirmeleri belirgin bölgesine ulaşmıştır ve diğer katlarda bulunan kirişler sınır hasar bölgesinde kalmıştır. Çerçeve kirişlerin tamamında sargılı beton birim şekil değiştirmeleri sınırlı hasar bölgesinde yer almıştır.

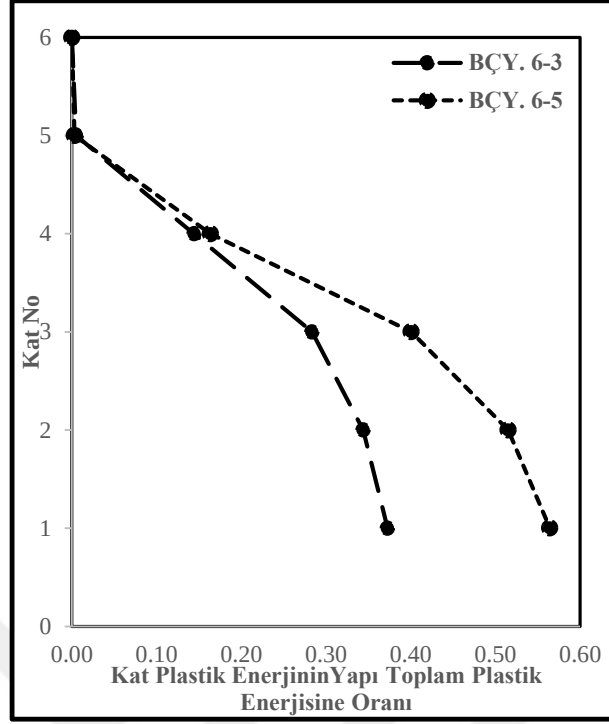
6.3. Çok Katlı Betonarme Çerçeve Yapıların Hedef plastik Enerji Noktasında Elde Edilen Plastik Enerjinin Katlara Dağılımı

Tez çalışması kapsamında tasarımı yapılan üç, altı, dokuz ve on iki katlı betonarme çerçeve yapıların, seçilen deprem ivme kayıtları altında doğrusal olmayan göz önüne alan zaman tanım alanını dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden elde edilen maksimum plastik enerji talebi değerlerinin ortalama değeri kullanılmasıyla gerçekleştirilen statik itme analizlerinden elde edilen plastik birim şekil değiştirme yapan liflerin, kesitin, bölgenin ve elemanın esas alınmasıyla çok katlı betonarme yapıların belirlenen hedef plastik enerji talebi değerlerinde her bir katına ait plastik enerji tüketimleri elde edilmiştir. Yapı elemanlarında tüketilen plastik enerjiler, çalışmanın üçüncü bölümü kapsamında türetilen ve malzeme birim şekil değiştirmelerini dikkate alınan yöntemin kullanılması ile elde edilmiştir. Kat seviyesinde tüketilen plastik enerjilerinin, yapının toplamında tüketilen plastik enerjisine oranı tüm betonarme çerçeveler için grafiksel olarak elde edilmiştir. Elde edilen grafikler Şekil 6.13-Şekil 6.16 arasında sırasıyla verilmiştir.



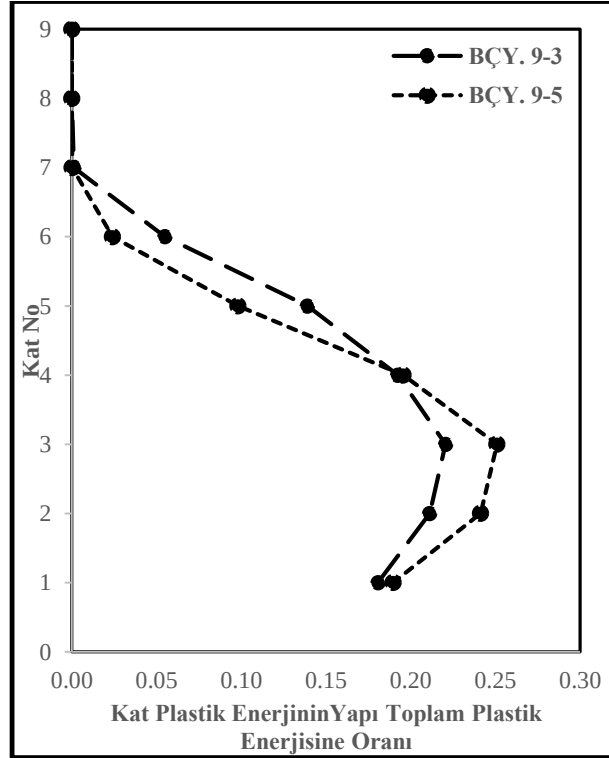
Şekil 6.13. Üç katlı betonarme çerçevelerin her bir kat seviyesinde tüketilen plastik enerji oranları

Üç katlı betonarme çerçeve modellerin kat seviyelerinde tükettiği plastik enerji oranları incelendiğinde, toplam tüketilen plastik enerjinin büyük bir oranının en alt katta tüketilmiştir. En üst katta çok az oranda da olsa bir plastik enerji tüketimi meydana gelmiştir.



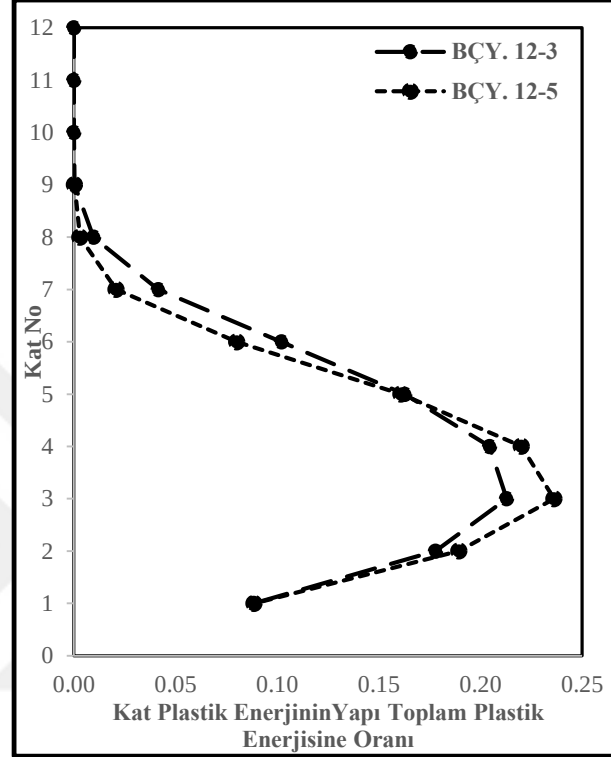
Şekil 6.14. Altı katlı betonarme çerçevelerin her bir kat seviyesinde tüketilen plastik enerji oranları

Altı katlı betonarme çerçeve modellerin kat seviyelerinde tükettiği plastik enerji oranları incelendiğinde, alt katlara doğru tüketilen plastik enerji oranı giderek artmıştır. 5. ve 6. katta plastik enerji tüketimi olmamıştır.



Şekil 6.15. Dokuz katlı betonarme çerçevelerin her bir kat seviyesinde tüketilen plastik enerji oranları

Dokuz katlı betonarme çerçeve modellerin kat seviyelerinde tükettiği plastik enerji oranları incelendiğinde. 9., 8., ve 7. katlarda plastik enerji tüketimi oluşmamıştır. 6. Kattan itibaren plastik enerji tüketimi başlamış ve 3. kat seviyesine kadar artarak devam etmiştir. 3. kat seviyesinde en yüksek orana ulaşmıştır. En alt iki kat seviyelerinde plastik enerji tüketimi oranı bir miktar azalmıştır.



Şekil 6.16. On iki katlı betonarme çerçevelerin her bir kat seviyesinde tüketilen plastik enerji oranları

Dokuz katlı betonarme çerçeve modellerin kat seviyelerinde tükettiği plastik enerji oranları incelendiğinde. 12., 11., 10. ve 9. katlarda plastik enerji tüketimi oluşmamıştır. 8. Kattan itibaren plastik enerji tüketimi başlamış ve 3. kat seviyesine kadar artarak devam etmiştir. 3. kat seviyesinde en yüksek orana ulaşmıştır. En alt iki kat seviyelerinde plastik enerji tüketimi oranı bir miktar azalmıştır.

Akbaş vd [24], Merter [43] ve Terapahana [41] araştırmacılarının yaptıkları çalışmalarda enerji esaslı itme analizlerinde en çok enerji tüketiminin/talebinin alt katlarda ve alt katlara yakın bölgelerde meydana geldiğini, üst katlara doğru gidildikçe enerji tüketiminin/talebinin azaldığını ortaya koymuşlardır. Bu tez çalışması kapsamında da aşağıda belirtildiği gibi benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ele alınan betonarme çerçeve yapıların ortalama plastik enerji talebi durumunda kat seviyelerindeki dağılımları grafiklerden incelendiğinde en üst katlarda ve en üst kata yakın katlarda plastik enerji oranlarının genellikle sıfır veya çok çok düşük olduğu gözlenmiştir. Bu durumun nedeni; doğrusal olmayan statik itme analizlerinde yapının plastik (doğrusal ötesi) duruma geçiş kesitlerinin alt katlardan başlamasıdır. Plastik enerji talebi değerlerine kadar uygulanan statik itme

analizlerinde, betonarme çerçevelerin en üst katında veya en üste yakın katlarında genellikle plastik şekil değiştirmenin oluşmadığı gözlemlenmiştir. Tablo 6.9’da, ortalama deprem enerji talebine kadar statik itilen çerçevelerin her bir kat seviyesinde tüketilen plastik enerji değerleri detaylı bir şekilde sunulmaktadır.

Tablo 6.9. Hedef plastik enerji talebine kadar statik itilen çerçeve yapıların kat seviyelerinde tüketilen toplam plastik enerji değerleri

Kat seviyelerinde tüketilen toplam plastik enerji değerleri (kNm)									
Betonarme Çerçeveler	BÇY. 3-1	BÇY. 3-3	BÇY. 6-3	BÇY. 6-5	BÇY. 9-3	BÇY. 9-5	BÇY. 12-3	BÇY. 12-5	
Kat No	1	15.86	82.34	53.83	81.52	41.22	44.53	41.69	40.85
	2	9.75	30.77	49.68	74.41	48.18	56.61	83.89	87.26
	3	3.59	4.35	40.95	57.89	50.31	58.88	100.35	108.82
	4			20.84	23.63	43.87	45.88	96.38	101.39
	5			0.73	0.44	31.71	23.00	76.73	74.12
	6			0.00	0.00	12.54	5.64	48.12	36.90
	7					0.27	0.07	19.57	9.60
	8					0.00	0.00	4.56	1.41
	9					0.00	0.00	0.17	0.16
	10							0.00	0.00
	11							0.00	0.00
	12							0.00	0.00

7. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, TBDY (2018)'e göre tasarımı yapılmış çok katlı betonarme çerçeve türü yapı sistemlerinin deprem güvenliklerinin enerji kavramı üzerinden değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla oluşturulan üç, altı, dokuz ve on iki katlı olmak üzere toplam 8 adet betonarme çerçevenin belirli kıstaslara göre seçilen ve DD2 deprem düzeyli tasarım spektrumu esas alınarak ölçeklendirilen on bir adet deprem ivme kaydı altında doğrusal olmayan dinamik analizleri yapılarak, depremlerin yapılardan talep ettiği maksimum plastik enerjiler belirlenmiştir. Yapıların plastik enerji – tepe yer değiştirme eğrileri çizilerek, depremlerin ilgili yapıdan talep ettiği maksimum plastik enerji değerleri ile bu değerlerin ortalaması aynı eğriler üzerinde gösterilmiştir. Her bir yapı için hesaplanan maksimum ortalama plastik enerji talebi, ilgili yapının hedef plastik enerji değeri olarak alınmış ve yapılar bu hedef plastik enerji değerlerine ulaşıncaya kadar tek yönlü statik itme analizlerine tabi tutulmuştur. Yapıların hedef plastik enerjilerindeki kat yer değiştirmeleri ve göreceli kat ötelemeleri zaman tanım alanı çözümleri ile birlikte grafikler halinde sunularak karşılaştırılmıştır. Bunun yanında, her bir yapının hedef plastik enerji durumunda kat plastik enerji oranları elde edilmiş ve grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca, hedef plastik enerji durumunda her bir yapıya ait eleman uç birim şekil değiştirme değerleri TBDY (2018)'de belirtilen performans kriterlerine göre değerlendirilmiştir.

Elde edilen başlıca bulgu ve sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

- ❖ Dış yüke maruz yapıların betonarme eleman kesitlerinde beton malzemesinin elastik birim şekil değiştirme sınırı donatıya göre daha düşük olduğundan, plastik enerji tüketimi beton malzemesinde oluşan elastik ötesi şekil değiştirmelere bağlı olarak başlangıçta ortaya çıkmaktadır. Ancak artan dış yüklere bağlı olarak, sünek davranışa sahip donatının elastik sınırın aşılması ile plastik enerji tüketimine katkısı oldukça artarak beton malzemesinin katkı oranını geçmektedir.
- ❖ Yatay yük etkisindeki betonarme yapılarda, eğilme etkisinin hâkim olduğu kiriş elemanlarda plastik enerji tüketimine en büyük katkı donatı tarafından sağlanmaktadır. Hatta kiriş elemanın plastik enerji tüketim kapasitesi donatının plastik enerji tüketim kapasitesine yaklaşık eşit alınabilir.
- ❖ Basınç türü eksenel kuvvetin artışına bağlı olarak beton malzemesinin birim şekil değiştirmeleri artarak plastik enerji tüketimine sağladığı katkı oranı büyümektedir. Kolon elemanlarda bu durum gözlenmiştir.
- ❖ Aynı yapı sistemine deprem etkisiyle giren enerji miktarı ve sistemin bu enerjiyi tüketim biçimi her bir deprem için farklı olmuştur. Bu durum deprem karakteristiklerinin yapı davranışını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir.

- ❖ Yapılar için belirlenen hedef plastik enerji noktalarında elde edilen hedef yer değiştirmeleri ile TBDY (2018)'e göre belirlenen Göçme Öncesi performans düzeyi yer değiştirmeleri ile karşılaştırıldığında; 3 katlı çerçevelerde enerji esaslı değerler bir miktar büyük çıkarken, 6 katlı modellerde bu değerler neredeyse birbirine eşit çıkmıştır. Bu durum 9 ve 12 katlı çerçeveler için incelendiğinde enerji esaslı yer değiştirmeler daha küçük değerler almıştır. 9 ve 12 katlı çerçevelerdeki yer değiştirmeler arasındaki fark; üç açıklıklı modellerde daha küçük iken, beş açıklıklı modellerde biraz daha artmıştır.
- ❖ Betonarme yapıların belirlenen hedef plastik enerji noktalarında elde edilen kat yer değiştirmeleri az katlı yapılarda doğrusal olmayan davranışı dikkate alan zaman tanım alanı analizlerden ölçeklendirilmiş her bir deprem için elde edilen kat yer değiştirmelerinin ortalama değerine yakın bulunmuştur. Ancak, yapının kat sayısı arttıkça enerji esaslı bulunan kat yer değiştirmeleri ortalama kat yer değiştirmelerinden uzaklaştığı görülmüştür.
- ❖ Betonarme yapıların belirlenen hedef plastik enerji noktalarında elde edilen görelî kat yer değiştirmeleri az katlı yapılarda doğrusal olmayan davranışı dikkate alan zaman tanım alanı analizlerden ölçeklendirilmiş her bir deprem için elde edilen görelî kat yer değiştirmelerinin ortalama değerine yakın bulunmuştur. Ancak, yapının kat sayısı arttıkça enerji esaslı bulunan görelî kat yer değiştirmeleri ortalama görelî kat yer değiştirmelerinden uzaklaştığı görülmüştür.
- ❖ 3 katlı betonarme yapıların belirlenen hedef plastik enerji noktalarında elemanların uç bölgelerindeki birim şekil değiştirmeler incelendiğinde; tek açıklıklı yapı için şekil değiştirmeler çoğunlukla belirgin hasar bölgesine geçmiştir. Üç açıklıklı yapıda ise zemin kat kirişleri ileri hasar bölgesinde, ikinci kat kirişleri belirgin hasar bölgesinde ve son kat kirişleri sınırlı hasar bölgesinde yer almıştır. Ayrıca, zemin kat kolonları da göçme bölgesine ulaşırken, diğer kolonlar sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır.
- ❖ 6 katlı betonarme yapıların belirlenen hedef plastik enerji noktalarında elemanların uç bölgelerindeki birim şekil değiştirmeler değerlendirildiğinde; yapıların alt bölgelerinde bulunan kirişleri çoğunlukla belirgin hasar bölgesine bulunurken, üst bölgelerde bulunan kirişler sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır. Kolon elemanlar açısından bakıldığında, sadece zemin katlarda birkaç eleman göçme bölgesi ve ileri hasar bölgesine geçmiş ve diğer katlarda bulunan kolonlar sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır.
- ❖ 9 katlı betonarme yapıların belirlenen hedef plastik enerji noktalarında elemanların uç bölgelerindeki birim şekil değiştirmeler incelendiğinde; yapıların alt bölgelerinde

bulunan kirişlerin neredeyse tamamı ileri hasar bölgesine geçerken, orta bölgelerde bulunan kirişler çoğunlukla belirgin hasar bölgesinde yer almıştır. Üst bölgelerde bulunan kirişler ise sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır. Yapıların sadece zemin kat kolonları belirgin hasar bölgesine geçmiş ve diğer katlarda bulunan kolonlar sınırlı hasar bölgesinde yer almıştır.

- ❖ 12 katlı betonarme yapıların belirlenen hedef plastik enerji noktalarında elemanların uç bölgelerindeki birim şekil değiştirmeler değerlendirildiğinde; yapıların alt bölgelerinde bulunan kirişler genellikle belirgin hasar bölgesine geçerken, üst bölgelerde bulunan kirişler sınırlı hasar bölgesinde yer almıştır. Bu yapıların sadece zemin kat kolon elemanları belirgin hasar bölgesine geçmiş ve diğer katlarda kolonlar sınırlı hasar bölgesinde yer almıştır.
- ❖ Yapıların belirlenen hedef plastik enerji talepleri için elde edilen kat plastik enerji oranları genellikle üst katlarda sıfır veya sıfıra çok yakın olmaktadır. Bu oranların alt katlara doğru giderek arttığı gözlenmiştir. 3 ve 6 katlı yapılarda plastik enerji tüketimi en çok zemin katta gerçekleşirken, 9 ve 12 katlı yapılarda plastik enerji tüketimi en çok 3. katta olmuştur.
- ❖ Göreli kat ötelemelerinin, birim şekil değiştirmelerin ve plastik enerji tüketimlerinin mutlak değerce maksimumları az katlı yapılarda zemin kat seviyesinde oluşurken, nispeten kat sayısı fazla olan yapılarda ise bu maksimum değerlerin zemin kattan üst katlara doğru biraz kaydığı gözlenmiştir.
- ❖ Tez kapsamında elde edilen sonuçlar, enerji esaslı yöntemin az katlı yapıların deprem davranışı değerlendirilmelerinde başarı ile uygulanabileceğine işaret etmektedir.

ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında çerçevelerin ilk (hâkim) modu dikkate alınarak itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Kat sayısı artıkça yüksek modların davranışa etkisi büyümektedir. Gelecekteki çalışmalarda yöntemin etkinliği yüksek modların etkisi de dikkate alınarak araştırılabilir.

Bu çalışmada düzlem çerçevelerin enerji esaslı değerlendirilmesi yapılmıştır. Yöntemin üç boyutlu sistemler için geçerliliği ve uygulanabilirliği üzerine çalışmalar yapılabilir.



KAYNAKLAR

- [1] G.W. Housner, Limit design of structures to resist earthquakes, in: Proceedings of the World Conference on Earthquake Engineering, 1956: pp. 1–11.
- [2] TBDY-2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018.
- [3] CSI, SAP2000 Integrated Software for Structural Analysis and Design, Computers and Structures Inc., , (2021).
- [4] MATLAB (R2018a), Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc.; (2018).
- [5] Türkiye Cumhuriyeti İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı , (2021) [http:// https://tadas.afad.gov.tr/](https://tadas.afad.gov.tr/).
- [6] PEER: Strong Ground Motion Data Base, Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (2021) http://peer.berkeley.edu/peer_ground_motion_database/.
- [7] TS 500: Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları Türk Standartları Enstitüsü, Türk Standartları, Ankara, 2000.
- [8] H. Akiyama, Earthquake-resistant limit-state design for buildings, University of Tokyo Press, 1985.
- [9] H. Kuwamura, T. V. Galambos, Earthquake Load for Structural Reliability, Journal of Structural Engineering. 115 (1989) 1446–1462. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1989\)115:6\(1446\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1989)115:6(1446)).
- [10] C.-M. Uang, V. V. Bertero, Evaluation of seismic energy in structures, Earthq Eng Struct Dyn. 19 (1990) 77–90. <https://doi.org/10.1002/eqe.4290190108>.
- [11] P. Fajfar, T. Vidic, Consistent inelastic design spectra: Hysteretic and input energy, Earthq Eng Struct Dyn. 23 (1994) 523–537. <https://doi.org/10.1002/eqe.4290230505>.
- [12] V. V. Bertero, A. Teran-Gilmore, Use of energy concepts in earthquakeresistant analysis and design: Issues and future directions, Berkeley, USA, 1994.
- [13] H. Sucuoğlu, A. Nurtuğ, Earthquake ground motion characteristics and seismic energy dissipation, Earthq Eng Struct Dyn. 24 (1995) 1195–1213. <https://doi.org/10.1002/eqe.4290240903>.
- [14] B. Akbaş, J. Shen, Energy-based earthquake resistant design in steel moment resisting frames, in: Second International Conference on Behavior of Steel Structures in Seismic Areas: STESSA 97, Kyoto, 1997.
- [15] L.D. Decanini, F. Mollaioli, Formulation of elastic earthquake input energy spectra, Earthq Eng Struct Dyn. 27 (1998) 1503–1522. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9845\(199812\)27:12<1503::AID-EQE797>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9845(199812)27:12<1503::AID-EQE797>3.0.CO;2-A).

- [16] L.D. Decanini, F. Mollaioli, An energy-based methodology for the assessment of seismic demand, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 21 (2001) 113–137. [https://doi.org/10.1016/S0267-7261\(00\)00102-0](https://doi.org/10.1016/S0267-7261(00)00102-0).
- [17] C.C. Chou, C.M. Uang, An evaluation of seismic energy demand: An attenuation approach, Berkeley, ABD, 2000.
- [18] G. Manfredi, Evaluation of seismic energy demand, *Earthq Eng Struct Dyn*. 30 (2001) 485–499. <https://doi.org/10.1002/eqe.17>.
- [19] S.S. Lee, S.C. Goel, Performance based design of steel moment frames using target drift and yield mechanism., 2001.
- [20] S. Leelataviwat, S.C. Goel, B. Stojadinović, Energy-based Seismic Design of Structures using Yield Mechanism and Target Drift, *Journal of Structural Engineering*. 128 (2002) 1046–1054. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2002\)128:8\(1046\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2002)128:8(1046)).
- [21] B. Akbaş, J. Shen, Earthquake resistant design and energy concepts, *Technical Journal*. (2003) 2877–2901.
- [22] A. Sari, Energy consideration in ground motion attenuation and probabilistic seismic hazard studies, University of Texas at Austin, 2003.
- [23] H. Sucuoğlu, A. Erberik, Energy-based hysteresis and damage models for deteriorating systems, *Earthq Eng Struct Dyn*. 33 (2004) 69–88. <https://doi.org/10.1002/eqe.338>.
- [24] B. Akbaş, H. Temiz, Ü.M. Tuğsal, F.İ. Gökçe, Alçak, orta ve yüksek katlı çelik çerçevelerde histeretik enerji talepleri, in: *Kocaeli Üniversitesi Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, Türkiye, 2005: pp. 494–502.
- [25] S.D. Akkar, E. Miranda, Statistical Evaluation of Approximate Methods for Estimating Maximum Deformation Demands on Existing Structures, *Journal of Structural Engineering*. 131 (2005) 160–172. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2005\)131:1\(160\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2005)131:1(160)).
- [26] H. Park, T. Eom, A Simplified Method for Estimating the Amount of Energy Dissipated by Flexure-Dominated Reinforced Concrete Members for Moderate Cyclic Deformations, *Earthquake Spectra*. 22 (2006) 459–490. <https://doi.org/10.1193/1.2197547>.
- [27] Ü.M. Tuğsal, F.İ. Kara, B. Akbaş, F. Yasin, Farklı zemin gruplarındaki enerji dağılımlarını incelemek için bir neural network yaklaşımı, in: *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 2007.

- [28] B. Hancıoğlu, Z. Polat, M.S. Kirçil, A. Santini, N. Moraci, Estimation of Characteristic Period for Energy Based Seismic Design, in: AIP Conf Proc, AIP, 2008: pp. 937–946. <https://doi.org/10.1063/1.2963935>.
- [29] S. Leelataviwat, W. Saewon, S.C. Goel, An energy based method for seismic evaluation of structures, in: The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Pekin, n.d.
- [30] G. Ghodrati Amiri, G.A. Darzi, J. Vaseghi Amiri, Design elastic input energy spectra based on Iranian earthquakes, Canadian Journal of Civil Engineering. 35 (2008) 635–646. <https://doi.org/10.1139/L08-013>.
- [31] B. Hancıoğlu, Yapıların deprem davranışının enerji esaslı analizi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2009.
- [32] A.A. Dindar, Enerji esaslı yöntemlerle betonarme kolonların analizi ve tasarımı, Boğaziçi Üniversitesi, 2009.
- [33] T.-S. Eom, H.-G. Park, S.-M. Kang, Energy-based cyclic force–displacement relationship for reinforced concrete short coupling beams, Eng Struct. 31 (2009) 2020–2031. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.03.008>.
- [34] B. Acun, Energy based seismic performance assessment of reinforced concrete columns, Orto Doğu Teknik Üniversitesi, 2010.
- [35] T.-S. Eom, H.-G. Park, Evaluation of energy dissipation of slender reinforced concrete members and its applications, Eng Struct. 32 (2010) 2884–2893. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.05.007>.
- [36] A. Benavent-Climent, An energy-based method for seismic retrofit of existing frames using hysteretic dampers, Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 31 (2011) 1385–1396. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2011.05.015>.
- [37] B. Acun, H. Sucuoğlu, Energy dissipation capacity of reinforced concrete columns under cyclic displacements, ACI Struct J. 109 (2012) 531–54*.
- [38] W.-C. Liao, S.C. Goel, Performance-based plastic design and energy-based evaluation of seismic resistant RC moment frame, J Mar Sci Technol. 20 (2012). <https://doi.org/10.51400/2709-6998.1808>.
- [39] F. López-Almansa, A.U. Yazgan, A. Benavent-Climent, Design energy input spectra for high seismicity regions based on Turkish registers, Bulletin of Earthquake Engineering. 11 (2013) 885–912. <https://doi.org/10.1007/s10518-012-9415-2>.
- [40] O. Merter, Ö. Bozdağ, M. Düzgün, Energy-based design of steel structures according to the predefined interstory drift ratio, Technical Journal – Digest. (2012) 1573–1593.

- [41] S. Terapethana, An energy method for earthquake resistant design of RC structures, Faculty of the USC Graduate School University of Southern California, 2012.
- [42] A. Habibi, R.W.K. Chan, F. Albermani, Energy-based design method for seismic retrofitting with passive energy dissipation systems, *Eng Struct.* 46 (2013) 77–86. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.07.011>.
- [43] O. Merter, Çok Katlı Betonarme Çerçeve Sistemlerin Deprem Etkileri Altında Göçme Güvenliğinin Enerji Yöntemle Belirlenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, 2014.
- [44] F.S. Alıcı, H. Sucuoğlu, Prediction of input energy spectrum: attenuation models and velocity spectrum scaling, *Earthq Eng Struct Dyn.* 45 (2016) 2137–2161. <https://doi.org/10.1002/eqe.2749>.
- [45] A.A. Dindar, C. Yalçın, E. Yüksel, H. Özkaynak, O. Büyüköztürk, Development of Earthquake Energy Demand Spectra, *Earthquake Spectra.* 31 (2015) 1667–1689. <https://doi.org/10.1193/011212EQS010M>.
- [46] P. Quinde, E. Reinoso, A. Terán-Gilmore, Inelastic seismic energy spectra for soft soils: Application to Mexico City, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering.* 89 (2016) 198–207. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2016.08.004>.
- [47] S. Gharehbaghi, A.H. Gandomi, S. Achakpour, M.N. Omidvar, A hybrid computational approach for seismic energy demand prediction, *Expert Syst Appl.* 110 (2018) 335–351. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.06.009>.
- [48] A. Güllü, E. Yüksel, C. Yalçın, A. Anıl Dindar, H. Özkaynak, O. Büyüköztürk, An improved input energy spectrum verified by the shake table tests, *Earthq Eng Struct Dyn.* 48 (2019) 27–45. <https://doi.org/10.1002/eqe.3121>.
- [49] Y. Cheng, J. Wang, Y. Zhang, F. Mollaioli, Empirical Correlations between the Spectral Input Energy and Spectral Acceleration, *Journal of Earthquake Engineering.* 27 (2023) 1514–1533. <https://doi.org/10.1080/13632469.2022.2083727>.
- [50] İ.Ö. Dedeoğlu, Y. Calayır, Yapı sistemine giren enerji bakımından TBDY (2018) ve DBYBHY (2007) üzerine bir inceleme, *DÜMF Mühendislik Dergisi.* (2021). <https://doi.org/10.24012/dumf.851068>.
- [51] G.B. Shargh, R. Barati, Estimation of inelastic seismic input energy, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering.* 142 (2021) 106505. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106505>.

- [52] Y. Cheng, J. Wang, Y. Zhang, F. Mollaioli, Empirical Correlations between the Spectral Input Energy and Spectral Acceleration, *Journal of Earthquake Engineering*. 27 (2023) 1514–1533. <https://doi.org/10.1080/13632469.2022.2083727>.
- [53] H. Zhang, Y.-G. Zhao, F.-W. Ge, Y. Fang, T. Ochiai, Estimation of input energy spectrum from pseudo-velocity response spectrum incorporating the influences of magnitude, distance, and site conditions, *Eng Struct*. 274 (2023) 115165. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115165>.
- [54] H. Zhang, Y.-G. Zhao, T. Ochiai, Y. Fang, Relationship between SDOF-Input-Energy and Fourier Amplitude Spectral Amplification Ratios, *Bulletin of the Seismological Society of America*. (2023). <https://doi.org/10.1785/0120220154>.
- [55] A. Güllü, F. Çalım, E. Yüksel, Estimation of the story response parameters through the seismic input energy for moment-resisting frames, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 164 (2023) 107636. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2022.107636>.
- [56] T. Uçar, Distribution of near-fault input energy over the height of RC frame structures and its formulation, *Structural Engineering and Mechanics*. 85 (2023) 55–64.
- [57] A.K. Chopra, *Dynamics of structures, Theory and applications to earthquake engineering*, Four Edition, Civil Engineering and Engineer, 2011.
- [58] T.F. Zahrah, W.J. Hall, Earthquake Energy Absorption in SDOF Structures, *Journal of Structural Engineering*. 110 (1984) 1757–1772. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1984\)110:8\(1757\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1984)110:8(1757)).
- [59] M.D. Trifunac, A study on the duration of strong earthquake ground motion, 65 (1975) 581-626.
- [60] P. Fajfar, T. Vidic, M. Fischinger, *On energy demand and supply in SDOF systems. Nonlinear Seismic Analysis and Design of Reinforced Concrete Buildings*, Elsevier Applied Science, 1992.
- [61] O. Merter, An investigation on the maximum earthquake input energy for elastic SDOF systems, *Earthquakes and Structures*. 16 (2019) 487–499.
- [62] F.C. Filippou, F.F. Taucer, E. Spacone, *A Fiber Beam-Column Element for Seismic Response Analysis of Reinforced Concrete Structures*, California, USA, 1991.
- [63] N.M. Newmark, A Method of Computation for Structural Dynamics, *Journal of the Engineering Mechanics Division*. 85 (1959) 67–94. <https://doi.org/10.1061/JMCEA3.0000098>.

- [64] J.B. Mander, M.J.N. Priestley, R. Park, Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, *Journal of Structural Engineering*. 114 (1988) 1804–1826. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1988\)114:8\(1804\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1988)114:8(1804)).
- [65] I.D. Karsan, J.O. Jirsa, Behavior of Concrete Under Compressive Loadings, *Journal of the Structural Division*. 95 (1969) 2543–2564. <https://doi.org/10.1061/JSDEAG.0002424>.
- [66] A.M. Neville, *Properties of Concrete*, John Wiley & Sons, New York, USA, 1996.
- [66] Seismosoft, *SeismoStruct 2020 – A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures* (2020).



ÖZGEÇMİŞ

İbrahim Özgür DEDEOĞLU

	2019	2020
Overall	78%	82%
Male	75%	79%
Female	81%	85%
Age Group 18-24	65%	70%
Age Group 25-34	72%	76%
Age Group 35-44	79%	83%
Age Group 45-54	84%	88%
Age Group 55+	87%	91%

[REDACTED]

[REDACTED] | [REDACTED] [REDACTED]

[REDACTED]

AKADEMİK FAALİYETLER

Makaleler:

1. **Dedeoğlu, İ. Ö.**, Tunç, G., & Alpaslan, N. (2023). Evaluation of dynamic behavior by linear equivalent analysis of North Batman, Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 82(4), 139.
2. Erkek, H., Yetkin, M., & **Dedeoğlu, İ. Ö.** (2023). Numerical investigation of the effect of minaret height on its dynamic characteristics. *CHALLENGE*, 9(1), 24-33.
3. **Dedeoğlu, İ. Ö.**, Yetkin, M., & Calayır, Y. 24 January 2020 Sivrice-Elazığ Earthquake: Assessment of Seismic Characteristics of Earthquake, Earthquake Territory and Structural Performance of Reinforced Concrete Structures. *Sakarya University Journal of Science*, 26(5), 892-907.
4. Yetkin, M., **Dedeoğlu, İ.Ö.**, Calayır, Y., (2021) 24 Ocak 2020 Sivrice Depremi Sonrasında Elazığ İlinde Bulunan Minarelerde Meydana Gelen Hasarların Araştırılması ve Değerlendirilmesi, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 33(2): pp. 379-389. <https://doi.org/10.35234/fumbd.838261>

5. **Dedeoğlu, İ. Ö., & Calayır, Y.** (2021). Farklı tasarım spektrumlarına göre ölçeklenmiş deprem kayıtları etkisindeki TSD sistemlerin yapısal tepkilerinin ve giren enerjilerinin değerlendirilmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 12(2), 411-430.
6. **Dedeoğlu, İ. Ö., Calayır, Y., & Arısoy, B.** (2020). An investigation on RC high-rise structures with and without outriggers under lateral static loads. Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 38(1), 191-211.
7. **Dedeoğlu, İ. Ö., & Calayır, Y.** (2020). Effectiveness of outrigger and belt truss systems on the seismic behavior of high-rise buildings. Journal of Structural Engineering, 3(3), 180-203.

Bildiriler:

1. **Dedeoğlu İ. Ö., Calayır Y.** (2021). An Investigation On The Relationship Between Maximum Input Energy And Material Behavior Of Structure In Sdof Systems Subjected To Earthquake Loading . 4. Avrasya Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi Kitabı, 174-182. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:7242450)
2. **Dedeoğlu İ. Ö., Calayır Y.** (2019) Earthquake Response Of Reinforced Concrete Tall Building With Belt Trusses. International Civil Engineering and Architecture Conference 2019, 1(1), 1820-1830. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:5110718)
3. Calayır Y., **Dedeoğlu İ. Ö.** (2017). Outrigger Kullanılan Betonarme Yüksek Yapıların Deprem Etkisindeki Davranışı. 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 406-407. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4070246)