



Seismic energy demands of steel special moment frames

Selçuk Doğru*¹, Bülent Akbaş²

¹Department of Civil Engineering, İstanbul Okan University, İstanbul, 34959, Turkey

²Department of Civil Engineering, Gebze Technical University, Kocaeli, 41400, Turkey

Highlights:

- Energy based design
- Nonlinear dynamic time history analyses
- Steel moment frames

Keywords:

- Energy spectrum
- Energy based design
- Steel moment frames
- Seismic energy demands

Article Info:

Research Article

Received: 04.10.2018

Accepted: 27.11.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.467172

Correspondence:

Author: Selçuk Doğru
e-mail: dogrusel@gmail.com
phone: +90 530 549 3259

Graphical/Tabular Abstract

It is known that a structure is expected to behave nonlinearly when subject to strong ground motions. For evaluating the nonlinear seismic response of the structural system, one of the most reliable ways is to use energy based approach. Energy based design can be expressed as the balance of energy input and the energy dissipation capacity of the structure. Energy based studies have been usually done for single degree of freedom systems. Studies are needed for real structures in multi degree of freedom systems in framework of the energy based design methodology. The aim of this paper is to determine seismic energy demands in steel special moment frames that have various height levels and span lengths for the evaluation of energy-based approach in the framework of performance-based design. Low, medium and high-rise steel special moment frames are examined using linear and nonlinear dynamic time history analyses. The results are evaluated to obtain inelastic hysteretic energy distribution and energy demand spectrum. It is shown that total input energy and total hysteretic energy is not a constant value and depends on the properties of the structure and ground motion properties.

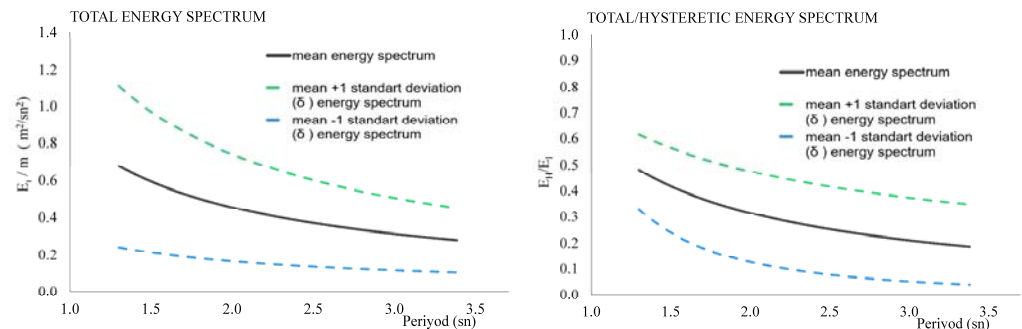


Figure A. Total Energy Spectrum and Hysteretic/ Total Energy Spectrum for 10% probability of exceedance in 50 years

Purpose: The aim of this paper is to determine seismic energy demands in steel special moment frames that have various height levels and span lengths for the evaluation of energy-based approach in the framework of performance-based design

Theory and Methods:

Low, medium and high-rise steel special moment frames are examined using linear and nonlinear dynamic time history analyses.

Results:

It is also observed that hysteretic energy distribution does not follow a uniform pattern for the 4-, 8-, 12- and 20-story frames. The results are evaluated to obtain inelastic hysteretic energy distribution and energy demand spectrum.

Conclusion:

Total input energy with respect to mass varied from 4-story to 8, 12 and 20-story (by increasing number of the story) indicates significantly descending efficiency. Total hysteretic energy (inelastic dissipated energy) with respect to mass varied from selected low to high rise moment frames appear to tend to decrease. They are not a constant value and depends on the properties of the structure and on the ground motion properties.



Süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçevelerin sismik enerji istemleri

Selçuk Doğru*¹, Bülent Akbaş²

¹İstanbul Okan Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 34959, Türkiye

²Gabze Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, 41400, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Enerji esaslı tasarım
- Doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizleri
- Çelik Moment Çerçeveleri

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 04.10.2018

Kabul: 27.11.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.467172

Anahtar Kelimeler:

Enerji spektrumu;
enerji esaslı tasarım,
enerji dağılımı,
moment aktaran çelik
çerçeveler,
depreme dayanıklı tasarım

ÖZET

Bir yapının, kuvvetli yer hareketlerine maruz kalması durumunda elastik ötesi davranış göstermesi beklenir. Yapının doğrusal olmayan sismik davranışını değerlendirmek için en güvenli yöntemlerinden biri enerji esaslı yaklaşıma kullanılmaktadır. Enerji esaslı tasarım, yapıya giren enerji ile yapının enerji tüketme kapasitesinin dengesi olarak ifade edilebilir. Enerji esaslı çalışmalar daha çok tek serbestlik dereceli sistemler üzerine uygulanmıştır. Gerçek yapılar için, çok serbestlik dereceli sistemlerde, enerjinin ve enerjiye bağlı parametrelerin performans esaslı yaklaşımlara göre incelenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmanın amacı performans esaslı tasarım çerçevesinde enerji esaslı yaklaşıma göre çok serbestlik dereceli (ÇSD) sistemlerdeki farklı yükseklik-açıklık konfigürasyonuna sahip süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçevelerin sismik enerji istemlerinin belirlenmesidir. Az, orta ve çok katlı çelik çerçevelerden oluşan sistemler doğrusal analiz ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz hesap yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Analiz sonuçları değerlendirilerek doğrusal olmayan histeretik enerji dağılımı ve toplam enerji girişi ve histeretik enerji talep spektrumları elde edilmiştir. Yapıya giren toplam enerjinin ve histeretik enerjinin sabit bir değer olmadığı ve deprem yer hareketi ile yapısal özelliklere göre değiştiği görülmüştür.

Seismic energy demands of steel special moment frames

H I G H L I G H T S

- Energy based design
- Nonlinear dynamic time history analyses
- Steel moment frames

Article Info

Research Article

Received: 04.10.2018

Accepted: 27.11.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.467172

Keywords:

Energy spectrum,
energy based design,
energy distribution,
steel moment frames,
earthquake resistant design

ABSTRACT

It is known that a structure is expected to behave nonlinearly when subject to strong ground motions. For evaluating the nonlinear seismic response of the structural system, one of the most reliable ways is to use energy based approach. Energy based design can be expressed as the balance of energy input and the energy dissipation capacity of the structure. Energy based studies have been usually done for single degree of freedom systems. Studies are needed for real structures in multi degree of freedom systems (MDOFs) in framework of the energy based design methodology. The aim of this paper is to determine seismic energy demands in steel special moment frames that have various height levels and span lengths for the evaluation of energy-based approach in the framework of performance-based design. Low, medium and high-rise steel special moment frames are examined using linear and nonlinear dynamic time history analyses. The results are evaluated to obtain inelastic hysteretic energy distribution and energy demand spectrum. It is shown that total input energy and total hysteretic energy is not a constant value and depends on the properties of the structure and ground motion properties.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: dogrusel@gmail.com, akbasb@gtu.edu.tr / Tel: +90 530 549 3259

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yapıların sismik tasarımında geleneksel yöntem dayanım esaslıdır. Yapının dayanım esaslı tasarımında, düşey yükler ile birlikte belirli miktarda yanal sismik yük etkililir. Yapısal elemanlar, kapasitelerinin talep edilen gerekli dayanımdan az olmaması prensibini sağlayacak şekilde boyutlandırılır (İstem < Kapasite). Kuvvetli deprem yer hareketleri altında yapılar, elastik ötesi davranış göstererek hasar görmesi beklenir. Hasar, doğrusal olmayan şekildeğiştirmeleri (plastik şekildeğiştirme) içerdiğinden, yapıdaki hasarı tahmin etmek için yapının doğrusal olmayan davranışı gözönüne alınmalıdır. Doğrusal olmayan davranışta yapıdan talep edilen değerlerin belirlenebilmesi için enerji parametrelerini kullanmak gerçekçi ve güvenli yöntemlerden biridir [1, 2]. Sismik etkiler altında yapıda oluşan istemlerin açıklanması için enerji esaslı yaklaşımın kullanılması, performans esaslı tasarım metodolojisi çerçevesinde daha kapsamlı, bütünlendirici ve pratik bir değerlendirme olacaktır.

Enerji girişi, yapısal özelliklere ve deprem yer hareketine bağlıdır [3, 4]. Yer hareketinin süresi, genliği, frekansı ile yapının kütlesi, periyodu vb. parametreler enerji girişi için önemli parametrelerdir. Yapının kapasitesi ise yapıyı oluşturan elemanların enerji tüketme kapasitelerinin toplamı olarak elde edilebilir. Bir yapısal elemanın enerji tüketme kapasitesi, çevrimsel yükleme altında kuvvet-şekildeğiştirme eğrisinin altında kalan alana eşittir. Yapılar, deprem sırasında yapıya giren bütün enerjiyi tüketmek zorundadır. Toplam enerji girişinin, E_I , bir kısmı elastik birim şekildeğiştirme enerjisi, E_E , ve kinetik enerji, E_K , olarak depolanmaktadır. Diğer bir kısmı ise yapısal ve yapısal olmayan elemanlar tarafından sönüm, E_D , ve doğrusal olmayan davranışta elemanların plastikleşmesi yoluyla histeretik enerji, E_H , olarak tüketilmektedir. Böylece, yapısal tasarım, yapıya giren enerjinin ve yapının enerji tüketme kapasitesinin dengelenmesi olarak yapılabilir. Enerji esaslı yaklaşımda, tek serbestlik dereceli (TSD) yapı sisteminin enerji dengesi Eş. 1'deki gibi yazılabilir [5].

$$E_I(t) = E_K(t) + E_D(t) + E_E(t) + E_H(t) \quad (1)$$

Eş. 1, tasarım denklemi olarak kabul edildiğinde (istem < kapasite), sağ taraftaki dört terim yapının kapasitesini (yapının enerji tüketme kapasitesi) ve sol taraftaki terim ise yapıya giren enerjiyi, diğer bir deyişle enerji talebini ifade etmektedir. $E_I(t)$, etkin sismik kuvvet tarafından yapılan iş olarak da tanımlanabilir.

$$E_I(t) = -\int_0^u m \ddot{u}_g(t) du \quad (2)$$

Eş. 2'de m kütle, u yere göre göreli yerdeğiştirme, u_g yer hareketinin yerdeğiştirmesini ifade etmektedir. Anlık kinetik enerji, $E_K(t)$ ve elastik birim şekildeğiştirme enerjisi, $E_E(t)$, aşağıdaki bağıntılardan elde edilebilir.

$$E_K(t) = \int_0^u m \dot{u}(t) du \quad (3)$$

$$E_E(t) = \frac{[f_S(t)]^2}{2k} \quad (4)$$

Bu bağıntıdaki f_S yay kuvvetini, k sistemin rijitliğini göstermektedir. Eş. 3'te belirtilen anlık kinetik enerji, $E_K(t)$, ve Eş. 4'te belirtilen anlık elastik birim şekildeğiştirme enerjisi, $E_E(t)$, herhangi bir zamandaki yapıya giren toplam enerjinin az bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu nedenle kinetik enerji ve elastik birim şekildeğiştirme enerjisi ihmal edilebilir ve Eş. 1 tekrar yazılırsa:

$$E_I(t) = E_D(t) + E_H(t) \quad (5)$$

Viskoz sönüm yoluyla tüketilen enerji, $E_D(t)$ Eş. 6, Eş. 7'deki gibi tanımlanabilir. Eş. 6'da c viskoz sönüm katsayısını temsil etmektedir.

$$E_D(t) = \int_0^u c \dot{u}(t) du \quad (6)$$

$$E_H(t) = \int_0^u f_S(u, \dot{u}) du - E_E(t) \quad (7)$$

$E_H(t)$ ise sistemin akması sonucu oluşan histeretik enerjiyi tanımlamaktadır. Yapının elastik bölgede kalması durumunda $E_H(t)$ sıfır olmaktadır.

İlk defa Housner [6] yapıların depreme dayanıklı tasarımında enerjinin kullanılmasını önermiştir. Housner [6] doğrusal sistemdeki hız tepki spektrumunu kullanarak yapıyı etkileyen toplam enerjiyi tahmin etmiştir ve doğrusal olmayan sistemde hasara yol açan enerji girişinin doğrusal sistemdekiyle aynı olduğunu kabul etmiştir. Bu sınır tasarım yaklaşımı yapıya enerji girişine ve yapının bu enerjiyi tüketme yeteneğine bağlıdır. Akiyama [7], Housner [6]'in yöntemini geliştirerek tek katlı yapılardan çok katlı yapılara kadar yaygın bir şekilde uygulanabilecek depreme dayanıklı tasarım yöntemi geliştirmiştir. Fajfar ve Vidic [2] ise histeretik enerji ve toplam enerjiye bağlı olarak doğrusal olmayan tasarım spektrumu önermişlerdir. Shen ve Akbaş [3] az, orta ve çok katlı çelik çerçevelerde enerji girişini ve histeretik enerjiyi tahmin ederek moment aktaran çelik çerçeveler için enerji esaslı bir tasarım yöntemi önermişlerdir. Çalışmada ayrıca TSD sistemlerdeki enerji girişini tahmin etmek için yapılan çalışmalarla karşılaştırmalar yapılmış ve TSD sistemlerin çok serbestlik dereceli (ÇSD) sistemlerdeki enerji girişini tahmin etmek için kullanılmasının doğru bir yaklaşım olmadığı sonucuna varılmıştır. Akbaş ve Shen [8] değişik özelliklere sahip yedi deprem hareketine maruz TSD sistemler üzerinde bir çalışma yaparak $T = 0 - 3,0$ s aralığındaki yapılar için bir enerji spektrumu elde etmeye çalışmışlardır. Choi ve Kim [9], burkulması önlenmiş çaprazlı çerçeveler için enerji esaslı bir

tasarım yöntemi geliştirmişlerdir. Çalışmada, histeretik enerjinin tamamen burkulması önlenmiş çaprazlar tarafından dağıtılacağı kabul edilmiştir. Bojorquez vd. [10] depreme dayanıklı yapı tasarımı için kullanılmak üzere güvenlik esaslı bir değerlendirme yöntemi geliştirmişler ve histeretik enerjiyi de tasarımın bir parçası olarak süneklik ve görelî kat ötelemesi ile birlikte kullanmışlardır. Gong vd. [11] çelik yapılar için deprem etkisi altında enerji esaslı tasarım metodolojisi önermiştir. Paolacci [12] viskoelastik sönümlendiriciler ile yapıların enerji esaslı tasarımının geliştirilmesine yönelik analitik çalışmalar yürütmüştür. Doğru vd. [4] az ve orta katlı iki kat X tipi çapraz sistemlerinin sismik enerji esaslı davranışlarını incelemiştir. Bununla birlikte merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin enerji esaslı parametreleri üzerine alternatif çalışmalar gerçekleştirmiştir [13-15]. Akşar vd. [16] kuvvetli deprem hareketi altında çelik moment aktaran çerçevelerin eksenel kuvvet artış katsayıları ve plastik mafsâl dönmeleri parametreleri ile incelemiştir. Hou ve Qu [17] yer hareketi süresinin yapıların histeretik enerji tüketme talepleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır.

Bu çalışmada enerji esaslı yaklaşımın değerlendirilmesi için yapıya giren toplam enerji ve histeretik enerji terimleri ile sismik enerji parametreleri incelenmiş ve farklı yükseklik-açıklık konfigürasyonuna sahip süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçevelerdeki değişimi gözlemlenmiştir. Enerji esaslı tasarımın ana bileşenleri; (1) deprem sırasında yapıya giren toplam enerjinin belirlenmesi, (2) toplam histeretik enerji (elastik ötesi tüketilen enerji), (3) histeretik enerjinin yapı boyunca dağılımının tanımlanması ve (4) yapı elemanlarının enerji kapasitesi ile sismik enerji istemlerinin karşılaştırılması olarak tanımlanabilir. Tasarım adımlarının yerine getirilmesi durumunda enerji esaslı tasarım pratik olarak uygulanabilecektir. Açıklanan ilk üç bileşen, enerji esaslı tasarımın sismik istem kısmını oluşturmaktadır. Bu araştırmada genel tasarım felsefesinin (İstem < Kapasite) istem kısmı üzerinde durularak, çelik çerçevelerdeki sismik enerji talepleri incelenecektir. Enerji girişini tahmin etmek için enerji talep spektrumları oluşturulmuştur. Az, orta ve çok katlı çelik çerçeveler doğrusal analiz ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz hesap yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Dört farklı açıklık mesafesine sahip az, orta ve çok katlı yapıları temsilen 4, 8, 12 ve 20 katlı süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçeveler ASCE 7-10 [18] ve AISC 341-10 [19] standartlarına uygun olarak tasarlanmıştır. Amerika'da çelik yapı tasarımında kullanılan standartların 2016 yılı sonrası güncellenmiş dokümanları bulunmasına rağmen, çalışmadaki tasarım süreçleri bu tarihten daha önce

başladığından 2010 -2016 yılları arasında geçerli olan ilgili Amerika yönetmelikleri belirtilmiştir. Çerçevelerin orta ve yüksek seviyedeki sismik enerji taleplerini belirlemek için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri, 50 yıl içinde aşılma olasılığı %10 (can güvenliği performans seviyesi için) ve %2 (göçme öncesi performans seviyesi için) olan deprem yer hareketlerine göre yapılmıştır. Analiz sonuçları kullanılarak doğrusal olmayan histeretik enerji dağılımı ve enerji talep spektrumları elde edilmiştir.

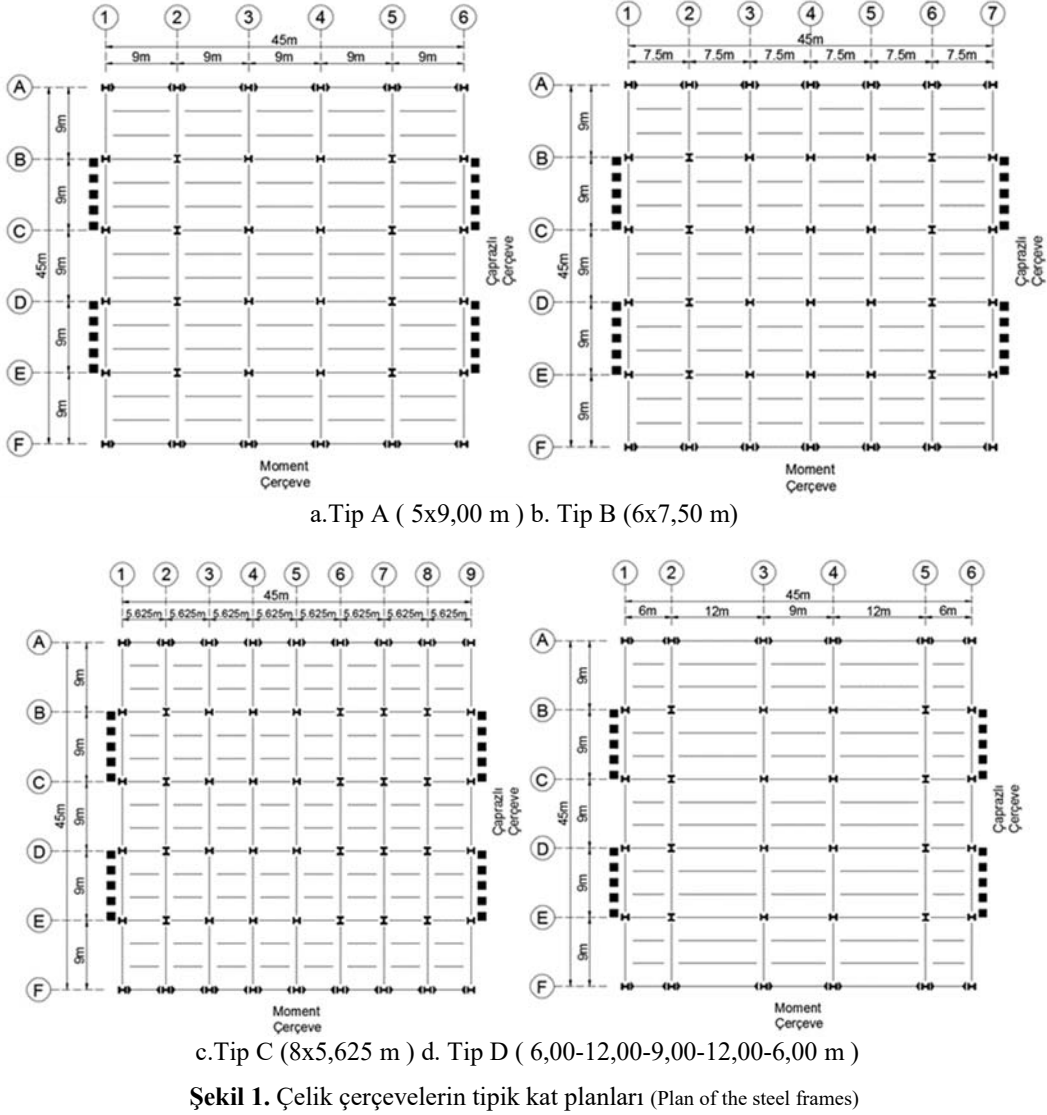
3. SİSMİK ENERJİ İSTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK ANALİTİK ÇALIŞMA (ANALYTICAL STUDY ON EVALUATION OF SEISMIC ENERGY DEMANDS)

3.1. Yapı Tanımı (Description of Buildings)

Yapılar, dört farklı açıklıklı olarak 4, 8, 12 ve 20 katlı çelik çerçevelerden oluşturulmuştur. Yapıların yatay yük taşıyıcı sistemi, süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçevelerden buna dik doğrultuda ise süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden oluşmaktadır. Plan ölçüleri 45m genişlik ve 45m uzunluğa sahip olup Tablo 1'de özetlenmiştir. Farklı açıklıkların sismik enerji talepleri üzerindeki etkisini inceleyebilmek için Şekil 1'de gösterildiği üzere dört farklı açıklık seçilmiştir. İç çerçeveler sadece düşey yüklere çalışan ve kirişlerin kolonlara mafsallı olarak (basit) bağlandığı çerçeveler olarak tasarlanmıştır. Bu çalışmada binanın moment aktaran çelik çerçeveler yönündeki sismik davranışı araştırılmıştır. Tüm modellerde normal kat yükseklikleri 4m olmakla birlikte 8, 12 ve 20 katlı sistemlerde zemin kat yüksekliği 5 m olarak tasarlanmıştır. 8, 12 ve 20 katlı modellerde bodrum perdelerinin ve bodrumu çevreleyen zeminin yapının zemin seviyesindeki yatay deplasmanı engellediği kabul edilmiş ve sismik taban olarak zemin seviyesi alınmıştır. Normal katlarda eleman ağırlıklarını içeren sabit yükler 5,0 kN/m², hareketli yükler ise 2,4 kN/m² olarak alınmıştır. Çatı katlarında sabit ve hareketli yükler sırasıyla 4,0 kN/m² ve 1,4 kN/m² olarak sisteme etkilmiştir. Modellerde S355 yapısal çelik kalitesinde Avrupa geniş başlıklı I-profiller kullanılmıştır. Sistemlerin doğrusal analizleri, AISC 360-10 [20] standardında yer alan Yük ve Dayanım Katsayılarına Göre Tasarım Yöntemi esaslarına uygun olarak yapılmıştır. Yapı elemanlarının iç kuvvet büyüklükleri AISC 360-10 [20] standardına göre uygulanan Genel (Doğrudan) Analiz Yöntemine göre, eleman şekildeğiştirmesi (P- δ) ve sistem yerdeğiştirmesine ait (P- Δ) ikinci mertebe etkilerini içermektedir.

Tablo 1. Moment aktaran çelik çerçevelerin açıklık mesafeleri ve plan ölçüleri (Dimensions and span length of moment frames)

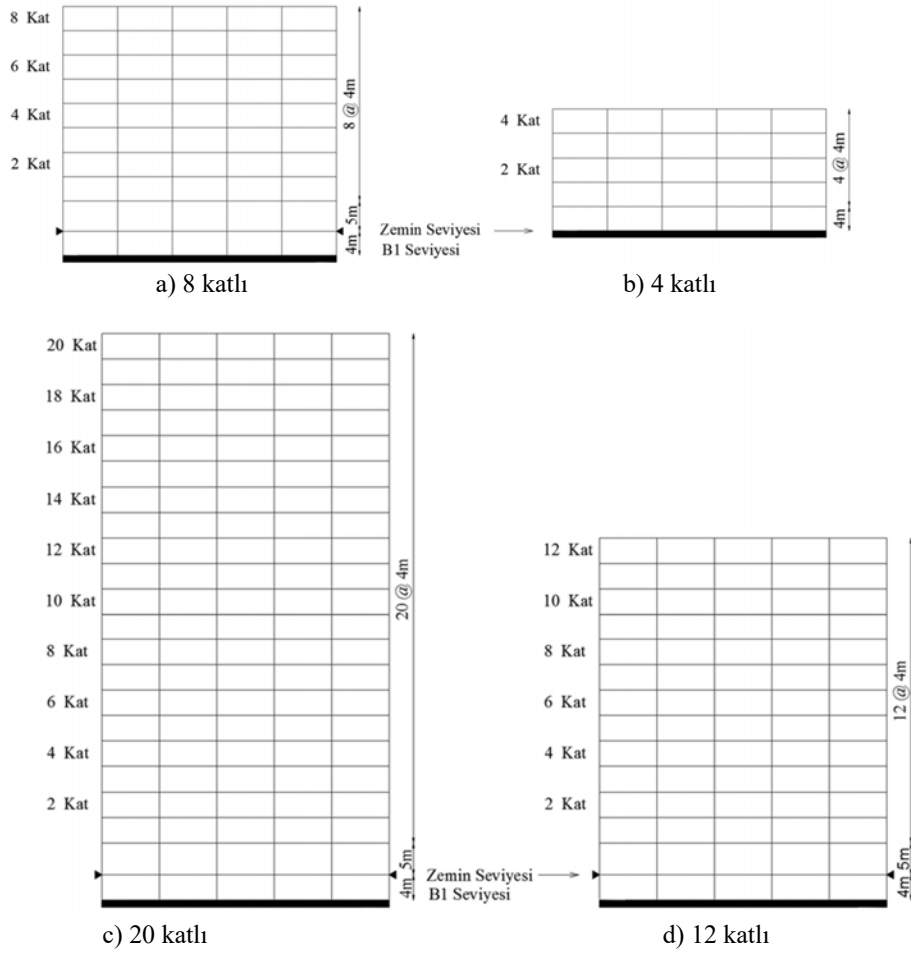
Çerçeve tipi	Tip	Plan Ölçüleri	Açıklık Mesafeleri
Moment Aktaran	Tip A	45,00m x 45,00m	5x9,00 m
Moment Aktaran	Tip B	45,00m x 45,00m	6x7,50 m
Moment Aktaran	Tip C	45,00m x 45,00m	8x5,625 m
Moment Aktaran	Tip D	45,00m x 45,00m	6,00m – 12,00 m – 9,00 m- 12,00m – 6,00 m



Genel (Doğrudan) Analiz Yöntemi ile doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin stabilite analizine etkisini yaklaşık olarak gözönüne almak üzere, tüm yapı elemanlarının rijitlikleri 0,80 katsayısı ile çarpılarak azaltılmış ve geometrik ön kusurları temsil eden fiktif yükler, kat döşemesine etkiyen toplam düşey yükün %0,2 kadar etkilmiştir. 4 ve 8 katlı çelik çerçevelerin (Şekil 2a, Şekil 2b) dört farklı açıklıktaki tipleri için belirlenen profil kesitleri Tablo 2 ve Tablo 3'te, 12 ve 20 katlı çelik çerçevelerin (Şekil 2c, Şekil 2d) ise Tablo 4'te gösterilmiştir. Moment aktaran birleşimler, AISC 358-10 [21] standardına göre zayıflatılmış kiriş enkesitli birleşim olarak tasarlanmıştır. Seçilen zeminin kayma dalgası hızı 300 m/sn ile 770 m/sn arasındadır. Seçilen depremler, ASCE 7-10 [18] standardı esas alınarak belirlenen davranış spektrumlarına uygun olarak ölçeklendirilmiş ve Şekil 3'te gösterilmiştir. Çerçevelerin sismik tasarım sınıfı D olarak esas alınmıştır. Dinamik analiz yöntemi olarak da mod birleştirme yöntemi uygulanmıştır. Ayrıca çerçevelerde eşdeğer deprem yükü yöntemine göre taban kesme kuvvetleri belirlenmiş ve davranış spektrumu analizlerinden elde edilen değerlerle

karşılaştırılarak, gerekli durumlarda yükler arttırılmıştır. ASCE 7-10 [18] esasları uyarınca çerçevelerin analizleri sonucu bulunan doğal titreşim periyodu (T), yaklaşık yöntemle belirlenen titreşim periyodu (T_a) ve üst sınır kat sayısı (C_u) ile kıyaslanmıştır. Doğal titreşim periyodunun (T), $C_u T_a$ 'yı aşması durumunda analizlerde $C_u T_a$ kullanılmıştır.

Yapısal sistemin stabilitesi arttırılmış deprem etkileri altında kontrol edilmiş ayrıca zayıflatılmış kiriş enkesitli kiriş-kolon birleşimi göz önüne alınarak kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulu tahkik edilmiştir. Çerçevelerin doğal titreşim periyotları ve kütleleri Tablo 5'te belirtilmiştir. Bina katlarının yatay düzlemde rijit diyafram hareketi yaptığı kabul edilmiştir. Moment aktaran çelik çerçevelerin tasarımında taşıyıcı sistem davranış katsayısı ($R=8$) ve taşıyıcı sistem dayanım fazlalığı katsayısı ($\Omega_0=3$) alınarak taban kesme kuvveti ve elemanlara etkiyen kuvvetler belirlenmiştir. Binaların, sismik parametreleri $S_s=2,0g$ ve $S_1=1,0g$ olan bir bölgede olduğu kabul edilmiştir.



şekil 2. elik erevelerin akslarına ait tipik görünüşler (Elevations of steel frames)

Tablo 2. 4 katlı moment aktaran elik çerçevelere ait kolon ve kiriş enkesitleri
(Member sizes for the 4-story moment frames)

ereve	Tip	Kat	Kolon	Kiriş
4 katlı	A	4	HE 400B	HE 400A
		3	HE 600B	HE 400A
		2	HE 600B	HE 500B
		1	HE 650x407	HE 650M
	B	4	HE 400B	HE 400A
		3	HE 500B	HE 400A
		2	HE 650M	HE 450A
	C	1	HE 650M	HE 600M
		4	HE 360B	HE 300A
		3	HE 400B	HE 400A
		2	HE 550M	HE 400A
	D	1	HE 550M	HE 500M
		4	HE 400B	HE 400A
		3	HE 550B	HE 400A
		2	HE 650x343	HE 550B
			1	HE 650x343

Tasarım spektrumu için $S_{DS}=1,333g$, $S_{D1}= 0,666g$ ve uzun periyot bölgesine geçiş periyodu $T_L=12,0s$ alınmıştır. 50 yıl içinde aşılma olasılığı %10 (dönüş periyodu 475 yıl) ve %2

(dönüş periyodu 2475 yıl) olan iki grup yer hareketi, PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) [22] kuvvetli yer hareketi veri tabanından seçilmiştir.

Tablo 3. 8 katlı moment aktaran çelik çerçevelere ait kolon ve kiriş enkesitleri
(Member sizes for the 8- story moment frames)

Çerçeve	Tip	Kat	Kolon	Kiriş
8 katlı	A	8,7	HE 500B	HE 400B
		6,5	HE 600M	HE 500B
		4	HE 700M	HE 500B
		3,2	HE 700M	HE 600B
		1, B1	HE 700M	HE 650B
	B	8,7	HE 500B	HE 360A
		6	HE 500B	HE 500A
		5	HE 600B	HE 500A
		4,3,2	HE 650M	HE 600A
		1, B1	HE 700M	HE 650A
	C	8,7	HE 400B	HE 340A
		6,5	HE 450B	HE 400A
		4,3	HE 500B	HE 500A
		2,1, B1	HE 550M	HE 500A
		D	8,7	HE 500M
	6		HE 600M	HE 450B
	5,4		HE 600M	HE 550B
	3		HE 700x418	HE 550B
	2, 1, B1		HE 700x418	HE 600M

Tablo 4. 12 ve 20 katlı moment aktaran çelik çerçevelere ait kolon ve kiriş enkesitleri
(Member sizes for the 12- and 20- story moment frames)

Çerçeve	Tip	Kat	Kolon	Kiriş
20 katlı	A	20, 19, 18	HE 600M	HE 500M
		17	HE 600M	HE 600M
		16	HE 800M	HE 600M
		15, 14, 13	HE 800M	HE 700M
		12	HE 900x391	HE 700M
		11, 10, 9, 8, 7, 6	HE 900x391	HE 800M
		5	HE 1000x584	HE 800M
		4, 3, 2, 1, B1	HE 1000x584	HE 900M
	B	20, 19, 18	HE 500M	HE 400M
		17	HE 650M	HE 400M
		16, 15	HE 650M	HE 550M
		14	HE 800x373	HE 550M
		13, 12, 11, 10	HE 800x373	HE 650M
		9, 8, 7, 6, 5	HE 900x391	HE 650M
		4	HE 1000x494	HE 700M
		3, 2, 1, B1	HE 1000x494	HE 800M
	C	20, 19, 18	HE 550B	HE 400B
		17	HE 700M	HE 400B
		16, 15, 14, 13, 12	HE 700M	HE 600B
		11, 10	HE 800M	HE 600B
		9, 8, 7, 6, 5	HE 800M	HE 650B
		4, 3, 2	HE 900M	HE 650B
		1, B1	HE 1000x438	HE 650B
		D	20, 19	HE 550M
	18		HE 800M	HE 500M
	17, 16, 15		HE 800M	HE 600M
	14		HE 900x466	HE 600M
	13, 12, 11, 10, 9, 8		HE 900x466	HE 650M
7	HE 900x466		HE 700M	
6, 5, 4, 3, 2, 1, B1	HE 1000x584		HE 700M	

12katlı	A	12, 11	HE 500B	HE 400B
		10	HE 600M	HE 500B
		9	HE 600M	HE 550M
		8	HE 700M	HE 550M
		7, 6	HE 700M	HE 600M
	5, 4, 3, 2, 1, B1		HE 800x373	HE 600M
	B	12, 11	HE 500B	HE 400B
		10	HE 500B	HE 500B
		9	HE 600M	HE 500B
		8, 7, 6, 5	HE 600M	HE 600B
		4	HE 700x352	HE 600B
	3, 2, 1, B1		HE 700x352	HE 650M
C	12, 11	HE 400B	HE 360B	
	10	HE 600B	HE 360B	
	9, 8, 7, 6, 5	HE 600B	HE 550B	
	4	HE 650M	HE 550B	
	3, 2, 1, B1		HE 650M	HE 600B
D	12, 11	HE 500M	HE 400M	
	10	HE 700M	HE 400M	
	9, 8, 7, 6	HE 700M	HE 600M	
	5, 4, 3, 2, 1, B1		HE 800x444	HE 700M

Tablo 5. Çerçevelerin doğal titreşim periyotları ve toplam kütle miktarları
(Calculated fundamental periods and total mass for frames)

Kat	T (sn)				T _{ortalama} (sn)	Toplam Kütle (kN.sn ² /m)
	Tip A	Tip B	Tip C	Tip D		
4 Katlı	1,365	1,298	1,245	1,293	1,300	2173
8 Katlı	2,255	2,075	2,181	2,100	2,153	4478
12 Katlı	2,616	2,588	2,444	2,562	2,553	6875
20 Katlı	3,350	3,334	3,323	3,515	3,381	11420

Her grup 7 adet deprem kaydı içermektedir. Zayıflatılmış giriş en kesitli birleşimin sistem davranışına olan etkisi, etkin elastik kat ötelenmesi hesabında AISC 358-10 [21] standardına uygun olarak göz önüne alınmıştır. Tasarlanan bütün çerçevelerin kolonlarının temele mafsallı olarak bağlandırıldığı varsayılmıştır.

Çelik çerçevelerin 50 yıl içinde aşılma olasılığı %10 olan tasarım depreminde her kat seviyesinde oluşan görel kat öteleme oranları Tip A, B, C ve D için Şekil 3'te gösterilmiştir. Çerçeveler ASCE 7-10 [18] esasları uyarınca %2 görel kat öteleme sınırı göz önüne alınarak tasarlanmıştır. Tasarım için yer değiştirme büyüme katsayısı ($C_d=5,5$) ve bina önem katsayısı ($I_E=1,0$) alınmıştır. Görel kat ötelemelerinin sınırlandırılması koşulu, süneklilik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçeve tasarımını belirleyen en önemli parametre olmuştur. Şekil 3'te gözüktüğü üzere 4 katlı sistemler dışında en büyük görel kat öteleme, en alt ve en üst katta oluşmamaktadır. 8 katlı sistemlerde en büyük ortalama görel kat öteleme 5. ve 6. katta, 12 katlı sistemlerde 6. ve 11. katta ve 20 katlı sistemlerde ise 6., 7. ve 18. katta oluşmaktadır. Görel kat öteleme oranı tüm sistemler için genel olarak %1,5 - %2 aralığındadır.

3.2. Analiz Sonuçları (Analysis Results)

Enerji davranış parametrelerini incelemek için 4, 8, 12 ve 20 katlı çelik çerçevelerin zaman tanım alanında doğrusal

olmayan analizleri yapılmıştır. Çerçeveler toplamda 14 adet olmak üzere iki grup yer hareketine maruz bırakılmıştır. Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) [22] veri tabanı kullanılarak $S_{DS}=1,333g$, $S_{D1}=0,666g$ ve uzun periyot bölgesine geçiş periyodu $T_L=12,0s$ özelliklerine sahip tasarım spektrumlarına uygun olarak ölçeklendirilmiştir. Seçilen deprem kayıt özellikleri, zemin kayma dalgası hızı 300 m/sn ile 770 m/sn aralığında olan ve doğrultu atımlı fay parametrelerini içermektedir. 50 yıl içinde aşılma olasılığı %10 ve %2 olan deprem yer hareketlerine ait özellikler Tablo 6'te özetlenmiştir. Yapı sistemleri, doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilerek performanslarının değerlendirilmesi amacıyla, PERFORM 3D [23] bilgisayar yazılımı kullanılarak modellenmiştir.

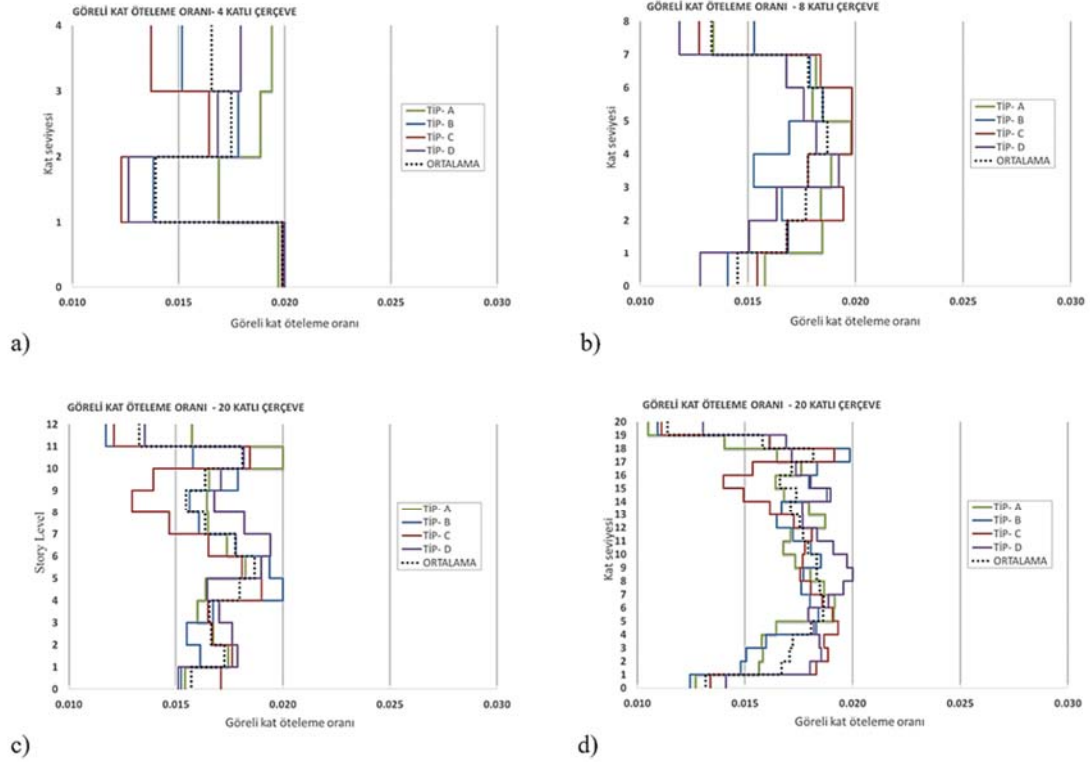
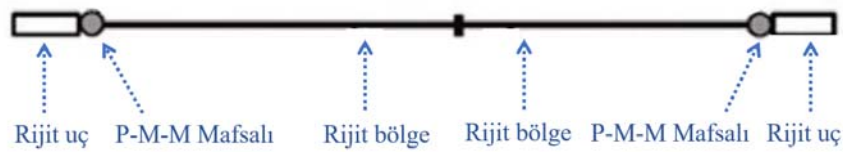
Çerçeveler, uçlarında muhtemel plastikleşme bölgeleri bulunan kolon ve giriş elemanları ile modellenmiştir. Kolon elamanların ve uç noktalarının modeli Şekil 4'te gösterildiği gibi rijit uç, P-M-M (eksenel kuvvet ve eğilme momenti etkileşimi) mafsallı ve rijit kısımdan oluşmaktadır. Elastik-mükemmel plastik döngü kullanılmıştır. Giriş elemanları için Şekil 5'te verilen zayıflatılmış giriş enkesit modeli kullanılmıştır. Doğrusal olmayan analizler ikinci mertebe etkileri de içermektedir. Çerçeve sistemleri için Rayleigh sönüm modeli kullanılmıştır.

$$C=\alpha M + \beta K \quad (8)$$

Tablo 6. PEER veri tabanından alınmış deprem yer hareketi zellikleri
(Earthquake Ground Motion Characteristics from PEER Database)

	NGA#	Kayıt	lek Faktörü	Süre (sn)	Maksimum yer ivmesi (g)
GM 1 (%10)	265	Victoria	1,4530	24,54	0,9377
GM 2 (%10)	289	İrpinia	2,095	35,22	0,2649
GM 3 (%10)	587	New Zealand	1,5605	49,38	0,3757
GM 4 (%10)	881	Landers	1,8989	56,07	0,4235
GM 5 (%10)	1119	Kobe	0,6005	40,99	0,4187
GM 6 (%10)	4132	Park Field	2,0880	21,20	0,7667
GM 7 (%10)	8166	Düzce	1,7683	35,02	0,7007
GM 8 (%2)	265	Victoria	2,1795	24,54	1,4070
GM 9 (%2)	289	İrpinia	3,143	35,22	0,3974
GM 10 (%2)	587	New Zealand	2,3408	49,38	0,5636
GM 11 (%2)	881	Landers	2,8483	56,07	0,6353
GM 12 (%2)	1119	Kobe	3,1325	40,99	0,6281
GM 13 (%2)	4132	Park Field	2,6524	21,20	1,1500
GM 14 (%2)	8166	Düzce	0,9007	35,02	1,0510

*NGA: PEER deprem kayıt numarası

**şekil 3.** erevelerin 50 yıl içinde aşılma olasılığı %10 olan tasarım depreminde görelî kat öteleme oranları
(Story drift ratio for 10% probability of exceedance in 50 years)**şekil 4.** Kolon eleman modeli (PERFORM 3D) (Column section model)

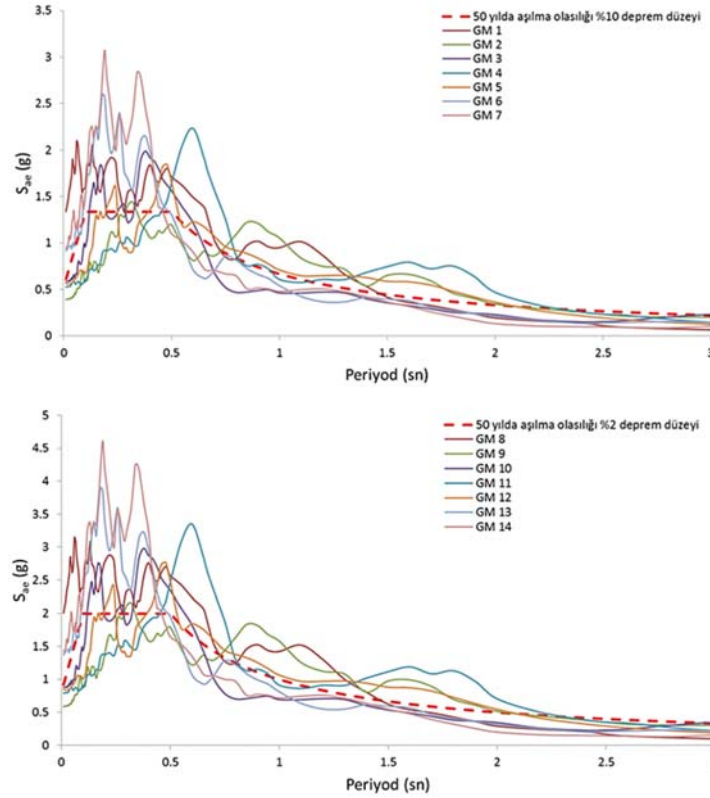
Eş. 8'de M kütle, C sönüm parametresi, α ve β ise skaler katsayı büyüklüklerini ifade etmektedir. Tablo 5'te belirtilen GM1 den GM7 ye kadar olan depremler 50 yılda aşılma olasılığı %10 (orta seviye yapısal hasara yol açabilecek), GM8 den GM14 e kadar olan depremler 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan yer hareketlerini (yüksek seviye yapısal hasara yol açabilecek) ifade etmektedir. Yer hareketlerine ait davranış spektrumları Şekil 6'te gösterilmiştir. Sismik enerji istem parametreleri; toplam enerji girişi, histeretik enerji miktarları kütleye göre normalize edilmiş olarak her bir açıklık tipleri için Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da sunulmuştur. 4 katlı çerçevelerin açıklık sistemleri Tip A, B, C ve D için, ortalama toplam enerji girişi değeri, E_I/m , GM1 ile GM7 yer hareketleri altında sırasıyla $0,66 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,72 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,74 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,74 \text{ m}^2/\text{sn}^2$ iken GM8 ile GM14 yer hareketleri altında $1,56 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $1,67 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $1,73 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $1,65 \text{ m}^2/\text{sn}^2$ olmaktadır. Ortalama E_I/m parametresi değişiminde Şekil 7a'da gösterildiği üzere önemli bir fark görülmemiştir. Ortalama histeretik enerji değeri, E_H/m , GM1 ile GM7 yer hareketleri altında sırasıyla $0,36 \text{ m}^2/\text{sn}^2$,

$0,38 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,38 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,43 \text{ m}^2/\text{sn}^2$ iken GM8 ile GM14 yer hareketleri altında $1,07 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $1,16 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $1,17 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $1,17 \text{ m}^2/\text{sn}^2$ olmaktadır. Ortalama E_H/m parametresi değişiminde Şekil 7b'de gösterildiği üzere önemli bir fark görülmemiştir.

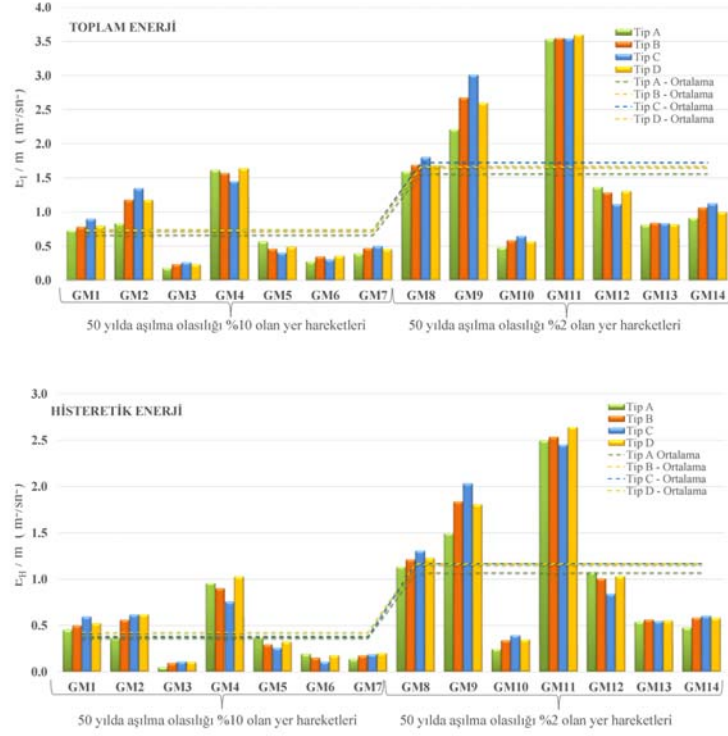
8 katlı çerçevelerin açıklık sistemleri Tip A, B, C ve D için, ortalama toplam enerji girişi değeri, E_I/m , GM1 ile GM7 yer hareketleri altında sırasıyla $0,35 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,37 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,38 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,57 \text{ m}^2/\text{sn}^2$ iken GM8 ile GM14 yer hareketleri altında $0,99 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,93 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $1,02 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $1,36 \text{ m}^2/\text{sn}^2$ olmaktadır. Ortalama E_I/m parametresi değişiminde Şekil 8a'da gösterildiği üzere Tip D için daha büyük değerler oluşmuştur. Ortalama histeretik enerji değeri, E_H/m , GM1 ile GM7 yer hareketleri altında sırasıyla $0,13 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,16 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,17 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,10 \text{ m}^2/\text{sn}^2$ iken GM8 ile GM14 yer hareketleri altında $0,58 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,56 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,66 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,50 \text{ m}^2/\text{sn}^2$ olmaktadır. Ortalama E_H/m parametresi değişiminde Şekil 8b'de gösterildiği üzere önemli bir fark görülmemiştir.



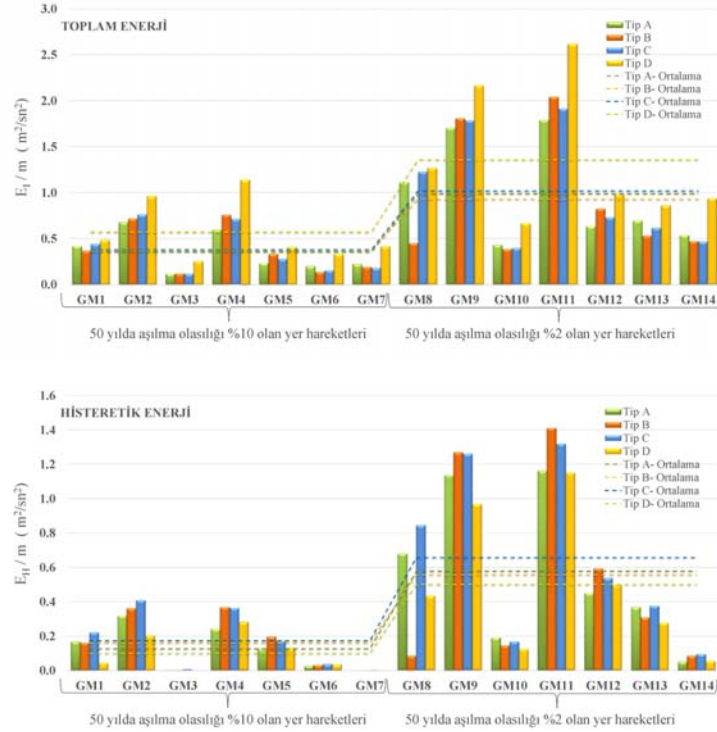
Şekil 5. Kiriş eleman modeli (PERFORM 3D) (Beam section model)



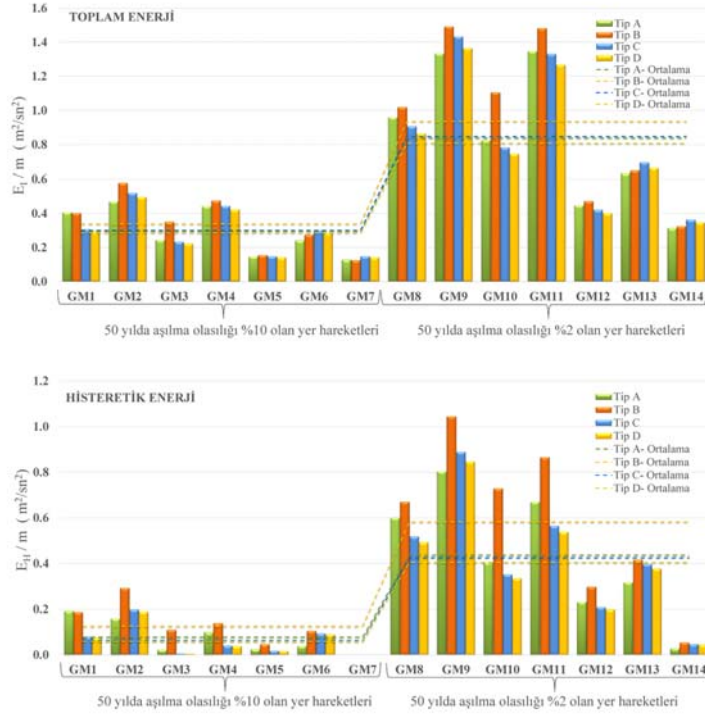
Şekil 6. Davranış spektrumları (50 yılda aşılma olasılığı %10 ve %2 deprem düzeyleri için)
(Response Spectra for 10% and 2% probability of exceedance in 50 years)



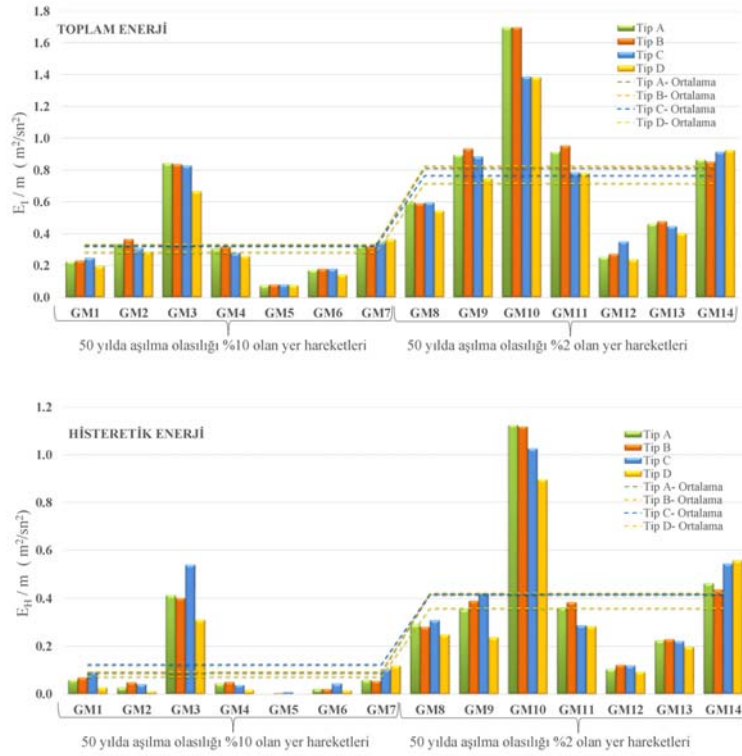
şekil 7. 4 katlı çerçevesler için E_I/m ve E_H/m değerleri (E_I/m and E_H/m parameters for the 4- story frames)



şekil 8. 8 katlı çerçevesler için E_I/m ve E_H/m değerleri (E_I/m and E_H/m parameters for the 8- story frames)



şekil 9. 12 katlı çerçevesler için E_I/m and E_H/m değerler (E_I/m and E_H/m parameters for the 12-story frames)



şekil 10. 20 katlı çerçevesler için E_I/m and E_H/m değerleri (E_I/m and E_H/m parameters for the 20-story frames)

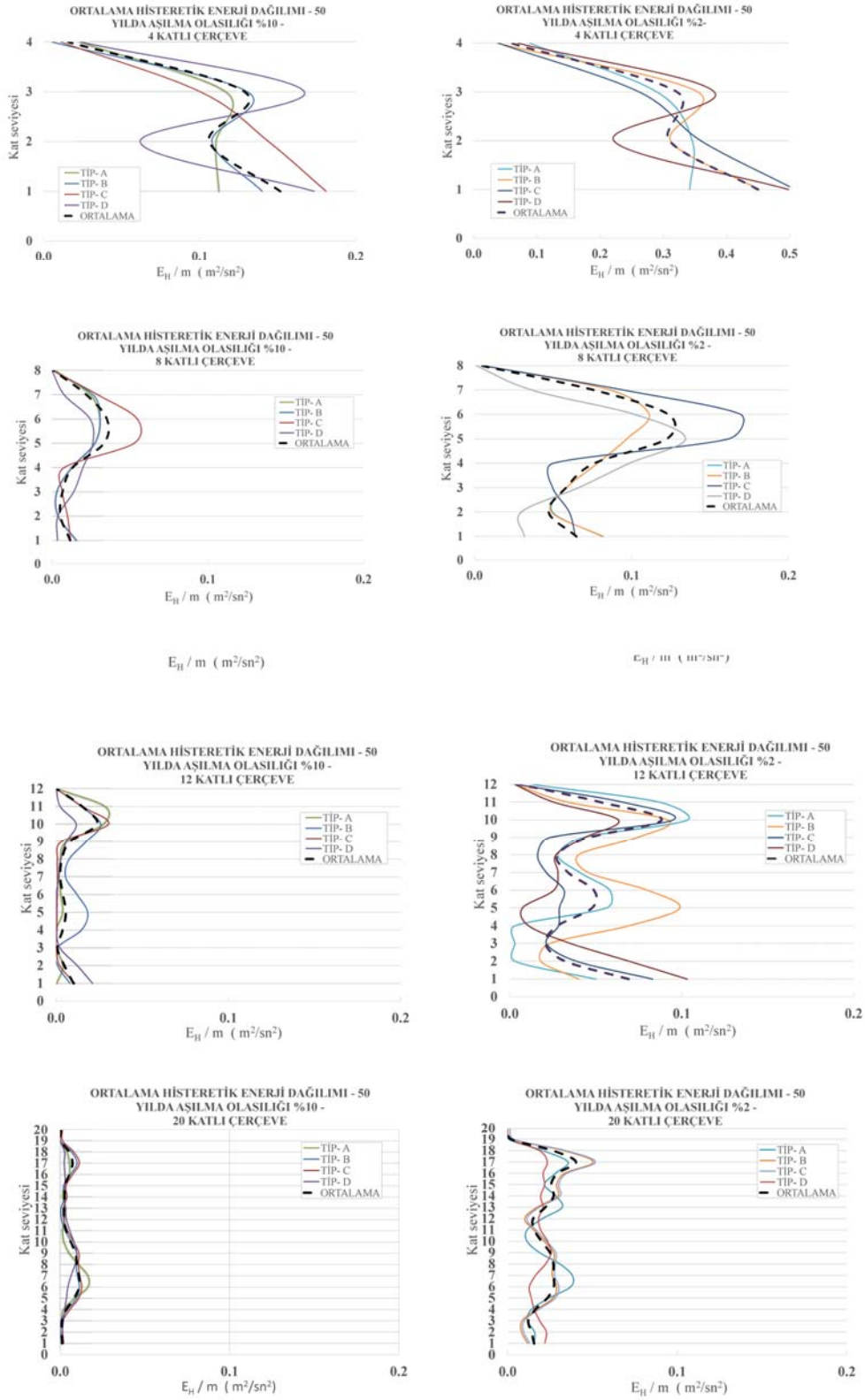
12 katlı çerçevelerin açıklık sistemleri Tip A, B, C ve D için, ortalama toplam enerji girişi değeri , E_I/m , GM1 ile GM7 yer hareketleri altında sırasıyla $0,30 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,34 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,30 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,29 \text{ m}^2/\text{sn}^2$ iken GM8 ile GM14 yer hareketleri altında $0,84 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,94 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,85 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,81 \text{ m}^2/\text{sn}^2$ olmaktadır. Ortalama E_I/m parametresi değişiminde Şekil 9a'da gösterildiği üzere Tip B için daha büyük değerler oluşmuştur. Ortalama histeretik enerji değeri , E_H/m , GM1 ile GM7 yer hareketleri altında sırasıyla $0,08 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,13 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,06 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,06 \text{ m}^2/\text{sn}^2$ iken GM8 ile GM14 yer hareketleri altında $0,44 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,58 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,43 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,41 \text{ m}^2/\text{sn}^2$ olmaktadır. Ortalama E_H/m parametresi değişiminde Şekil 9b'de gösterildiği üzere Tip B için daha büyük değerler oluşmuştur. Deprem yer hareketlerinin farklı özellikte olması enerji taleplerini etkilemiştir. 20 katlı çerçevelerin açıklık sistemleri Tip A, B, C ve D için, ortalama toplam enerji girişi değeri , E_I/m , GM1 ile GM7 yer hareketleri altında sırasıyla $0,33 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,33 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,33 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,28 \text{ m}^2/\text{sn}^2$ iken GM8 ile GM14 yer hareketleri altında $0,81 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,83 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,84 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,72 \text{ m}^2/\text{sn}^2$ olmaktadır. Ortalama E_I/m parametresi değişiminde Şekil 10a'da gösterildiği üzere önemli bir fark görölmemiştir. Ortalama histeretik enerji değeri , E_H/m , GM1 ile GM7 yer hareketleri altında sırasıyla $0,09 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,09 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,12 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,07 \text{ m}^2/\text{sn}^2$ iken GM8 ile GM14 yer hareketleri altında $0,42 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,42 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,48 \text{ m}^2/\text{sn}^2$, $0,36 \text{ m}^2/\text{sn}^2$ olmaktadır. Ortalama E_H/m parametresi değişiminde Şekil 10b'de gösterildiği üzere önemli bir fark görölmemiştir. 4,8,12 ve 20 katlı çerçevelerin sismik enerji parametreleri, E_I/m ve E_H/m incelendiğinde hem 50 yılda aşılma olasılığı %10, hem de 50 yılda aşılma olasılığı %2 deprem seviyeleri için her bir deprem yer hareketinde farklı değerler aldığı Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da görölmektedir. Seçilen depremlerin farklı özelliklere sahip olmasının, bu durumun oluşmasında önemli etkisi olmaktadır. Bununla beraber, çerçeve sistemlerinin farklı yer hareketlerine maruz kalması durumunda değişken sismik enerji talepleri oluşturmasına karşın farklı açıklık mesafesine sahip Tip A, B, C ve D sistemleri için ortalama sismik enerji parametre değerlerinin önemli ölçüde değişmediği belirlenmiştir. Bu durum çerçeve tiplerinin doğal titreşim periyodu gibi benzer yapısal özelliklere sahip olmalarından kaynaklanmaktadır.

4, 8, 12 ve 20 katlı çerçeveler için ortalama histeretik enerji dağılımı diyagramları tüm açıklık tipleri için Şekil 11'de 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve %2'lik deprem seviyeleri için verilmiştir. 4 katlı çerçevelerin maksimum ortalama histeretik enerji dağılım değeri, GM1 ile GM7 yer hareketleri altında $0,15 \text{ m}^2/\text{sn}^2$ iken GM8 ile GM14 yer hareketleri altında $0,45 \text{ m}^2/\text{sn}^2$ seviyesindedir. Dağılımın en yüksek değerine Şekil 11a, Şekil 11b'de gösterildiği üzere 1. ve 3. katta ulaşmıştır. 8 katlı çerçevelerin maksimum ortalama histeretik enerji dağılım değeri, GM1 ile GM7 yer hareketleri altında $0,035 \text{ m}^2/\text{sn}^2$ iken GM8 ile GM14 yer hareketleri altında $0,124 \text{ m}^2/\text{sn}^2$ seviyesindedir. Dağılım, Şekil 11c, Şekil 11d'de gösterildiği üzere 5. ve 6. katlar arasında diğer katlara göre daha fazla seviyededir. 12 katlı çerçevelerin maksimum ortalama histeretik enerji dağılım değeri, GM1 ile GM7 yer hareketleri altında $0,024 \text{ m}^2/\text{sn}^2$ iken GM8 ile

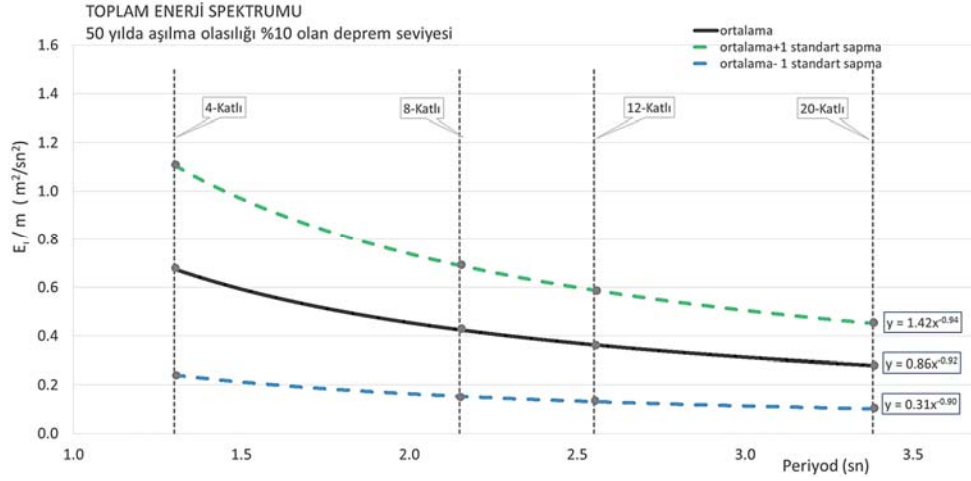
GM14 yer hareketleri altında $0,100 \text{ m}^2/\text{sn}^2$ seviyesindedir. Dağılımın en yüksek değeri, Şekil 11e, Şekil 11f 'de gösterildiği üzere 5., 6., 10. ve 11. katlarda oluşmuştur. 20 katlı çerçevelerin maksimum ortalama histeretik enerji dağılım değeri, GM1 ile GM7 yer hareketleri altında $0,014 \text{ m}^2/\text{sn}^2$ iken GM8 ile GM14 yer hareketleri altında $0,042 \text{ m}^2/\text{sn}^2$ seviyesindedir. Dağılımın en yüksek değeri, Şekil 11g, Şekil 11h'de gösterildiği üzere 6., 7., 17. ve 18. katlarda oluşmuştur. Farklı yükseklikteki çelik çerçevelerin dört farklı açıklık mesafesine sahip Tip A, B, C ve D sistemleri için histeretik enerjinin, E_H/m , benzer dağılım eğilimi gösterdiği Şekil 11'de görölmektedir. Şekil 3'te gösterilen ortalama görel kat öteleme oranlarının, Şekil 11'de gösterilen ortalama histeretik enerji dağımları ile karşılaştırılması sonucunda maksimum değerlerin aynı kat seviyelerinde oluşduğu görölmektedir. Bununla birlikte Tip A, B, C ve D sistemleri ayrı olarak incelendiğinde, tasarım depreminde daha büyük görel kat öteleme oranına sahip olan kat seviyelerinde, elastik ötesi davranışta genellikle daha büyük histeretik enerji istemi oluşduğu görölmüştür.

Çerçeve sistemlerin hakim doğal titreşim periyotları birbirlerine yakın seviyededir. Çerçevelerin doğal titreşim periyotları histeretik enerji dağılım davranışları için önemli parametrelerdir. Histeretik enerji dağımları, çerçeve sistemlerinin doğrusal olmayan davranışında oluşan plastik şekildeğiştirme dağımlarına bağlıdır. E_H/m dağılımının genelde üst katlarda en düşük değerini aldığı görölmektedir. Farklı yükseklikteki her sistem, kendine özgü E_H/m dağılım şekline sahip olmakla birlikte histeretik enerjinin, her kata dağılımının üniform olmadığı gözlenmiştir. Görel kat ötelemelerinin sınırlandırılması gibi tasarım standartlarında uyulması gereken koşulların çerçeve rijitlikleri üzerindeki etkisi E_H/m dağılımını etkileyebilmektedir. Şekil 11'de gösterilen dağılım modelleri, gerçek depremler altında tasarım standartlarının koşullarına göre oluşturulan çerçeve sistemlerinin E_H/m dağılım formunu yansıtmaktadır.

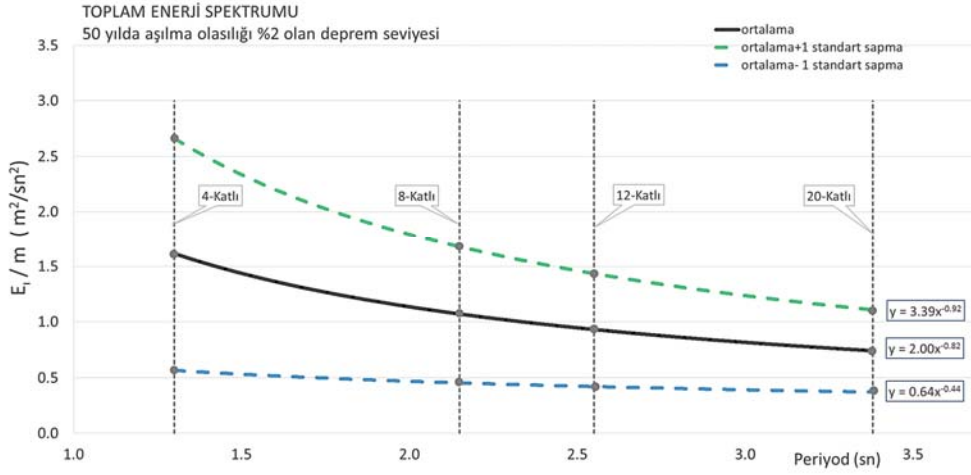
Yapıya giren toplam enerjiyi 50 yılda aşılma olasılığı %10 deprem seviyesinde tahmin etmek için kullanılması önerilen toplam enerji spektrumu Şekil 12'de, 50 yılda aşılma olasılığı %2 deprem seviyesinde ise Şekil 13'de gösterilmiştir. Toplam enerji spektrumlarının değişimleri 1,3 sn ve 3,4 sn aralığında verilmiştir. Değişim eğrilerinin periyot arttıkça azalan eğilim gösterdiği görölmüştür. Grafiklerde toplam enerji girişinin standart sapma değerleri eklenerek sınırları belirtilmiştir. 4, 8, 12 ve 20 katlı çerçevelerin aldığı değerler grafikler üzerine işaretlenmiştir. Toplam histeretik enerjinin yapıya giren toplam enerjiye oranının, E_H/E_I , 50 yılda aşılma olasılığı %10 deprem seviyesinde tahmin etmek için kullanılması önerilen E_H/E_I spektrumu Şekil 14'de, 50 yılda aşılma olasılığı %2 deprem seviyesinde ise Şekil 15'de gösterilmiştir. E_H/E_I spektrumlarının değişimleri 1,3 sn ve 3,4 sn aralığında verilmiştir. Değişim eğrilerinin periyot arttıkça azalan eğilim gösterdiği görölmüştür. Grafiklerde toplam enerji girişinin standart sapma değerleri eklenerek sınırları belirtilmiştir. 4, 8, 12 ve 20 katlı çerçevelerin aldığı değerleri grafikler üzerine işaretlenmiştir.



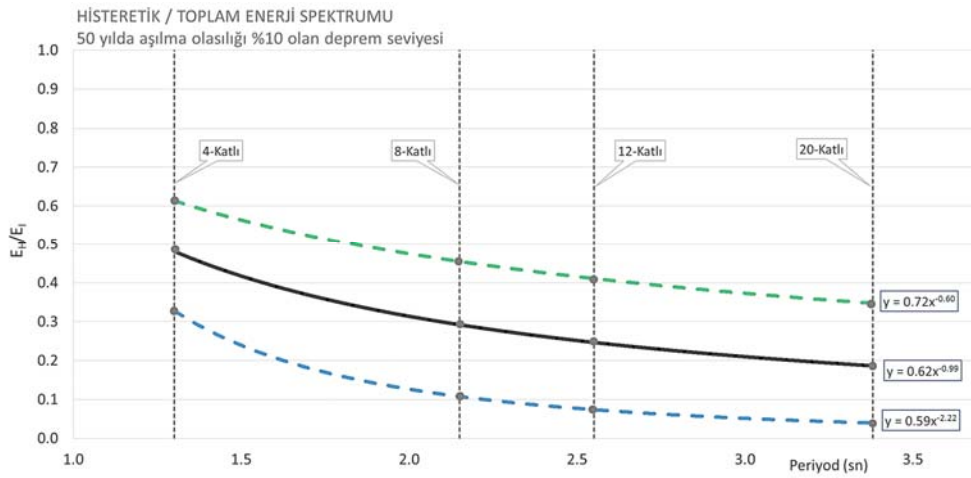
Şekil 11. Çerçvelerin ortalama histeretik enerji dağılımları
(Average of hysteretic energy distribution along the frames)



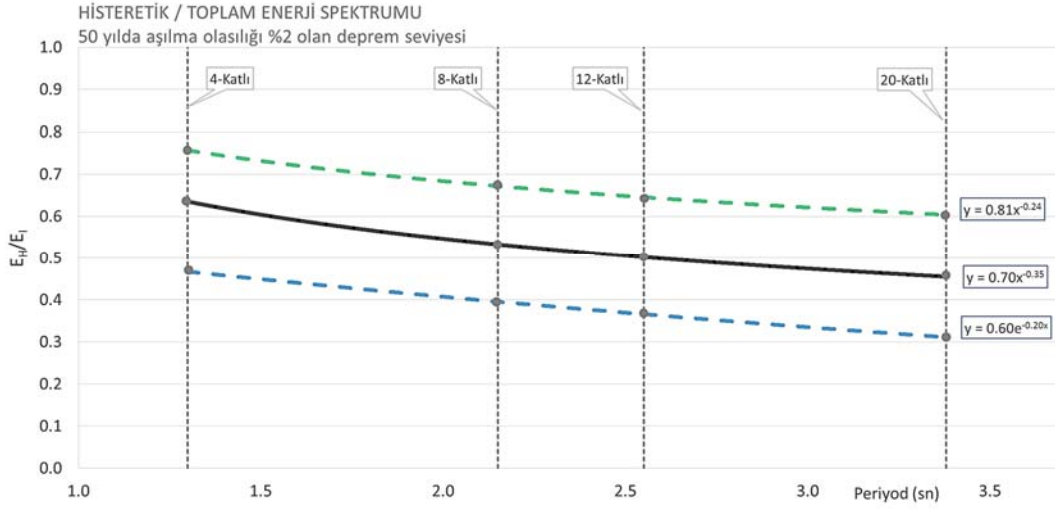
Şekil 12. Toplam Enerji Spektrumu (50 yılda aşılma olasılığı %10 deprem seviyesi)
(Total Energy Spectrum for 10% probability of exceedance in 50 years)



Şekil 13. Toplam Enerji Spektrumu (50 yılda aşılma olasılığı %2 deprem seviyesi)
(Total Energy Spectrum for 2% probability of exceedance in 50 years)



Şekil 14. Histeretik / Toplam Enerji Spektrumu (50 yılda aşılma olasılığı %10 deprem seviyesi)
(Hysteretic / Total Energy Spectrum for 10% probability of exceedance in 50 years)



Şekil 15. Histeretik / Toplam Enerji Spektrumu (50 yılda aşılma olasılığı %2 deprem seviyesi)
(Hysteretic / Total Energy Spectrum for 2% probability of exceedance in 50 years)

Enerji spektrumları incelendiğinde, deprem yer hareketleri altında moment aktaran çelik çerçevelerin yüksekliğinin artması, sisteme daha fazla toplam enerji girişi talebi, E_I 'nin oluşmasına neden olmaktadır. Sistemlerin birim kütleyle gelen toplam enerji girişini ifade eden E_I/m parametresinin ise çerçeve yüksekliğinin artması ile azaldığı görülmektedir. Benzer durum toplam histeretik enerji içinde geçerlidir. Sistemin doğal titreşim periyotlarının değişmesi nedeni ile sismik enerji talepleri önemli derecede etkilenmiştir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmanın amacı performans esaslı tasarım çerçevesinde enerji esaslı yaklaşıma göre çok serbestlik dereceli (ÇSD) sistemlerdeki farklı yükseklik- açıklık konfigürasyonuna sahip süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçevelerin sismik enerji istemlerinin belirlenmesidir. Bu araştırmada genel tasarım felsefesinin (İstem < Kapasite) istem kısmı üzerinde durularak, moment aktaran çelik çerçevelerin sismik enerji talepleri incelenmiştir. Bu amaçla, dört farklı açıklık mesafesine sahip az, orta ve çok katlı çelik yapıları temsil eden 4, 8, 12 ve 20 katlı çelik çerçeveler oluşturulmuştur. Sismik enerji istemleri; toplam enerji girişi, toplam histeretik enerji ve histeretik enerjinin dağılımları olarak sunulmuş ve az, orta ve çok katlı çelik çerçevelerdeki değişimleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçların tamamı, AISC 360-10 [20], AISC 341-10 [19], AISC 358-10 [21] ve ASCE 7-10 [18] standartlarına göre tasarlanmış taşıyıcı sistemlerin performansını yansıtmaktadır. Çerçevelerin orta ve yüksek seviyedeki sismik enerji taleplerini belirlemek için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri, 50 yıl içinde aşılma olasılığı %10 (can güvenliği performans seviyesi için) ve %2 (göçme öncesi performans seviyesi için) olan deprem yer hareketlerine göre yapılmıştır. Analiz sonuçları kullanılarak yapıya giren enerji girişini tahmin etmek için oluşturulan toplam enerji spektrumu ile toplam enerji girişinden talep edilen histeretik enerjiyi elde etmek için oluşturulan histeretik enerji / toplam enerji spektrumu

(E_H/E_I) sunulmuştur. Doğrusal olmayan davranışta yapının tüketmesi gereken histeretik enerji istemi (E_H), yapısal periyotlar kullanılarak enerji spektrumlarından kolaylıkla elde edilebilir. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda listelenmiştir.

- Sismik enerji istemleri parametrelerinin (E_I/m , E_H/m) farklı açıklıklı, fakat aynı katlı süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçeveler için seçilen deprem yer hareketleri altında önemli ölçüde değişmediği görülmüştür.
- Süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçeveler için elde edilen toplam histeretik enerjinin (E_H/m) katlara dağılım diyagramları kullanılarak herhangi bir kattaki enerji tüketme istemleri belirlenmiştir. E_H/m 'in dağılımları incelendiğinde mevcut tasarım yöntemlerine göre oluşturulan çerçevelerde her kat seviyesinde düzgün bir dağılım olmadığı görülmüştür. Bununla birlikte 4, 8, 12 ve 20 katlı çerçevelerin her biri için farklı açıklıklı sistemlerin E_H/m dağılım eğrilerinin benzer olduğu anlaşılmıştır. Farklı kat adedine sahip çelik çerçeve sistemleri için E_H/m dağılımı oluşturulması gereklidir.
- Histeretik enerjinin 8, 12 ve 20 katlı çerçevelerin en üst noktasında neredeyse sıfır olduğu, 4 katlı çerçeve için ise bu değer çok düşük olduğu görülmüştür.
- Yapıya giren toplam enerjinin kütleyle göre normalize edilmiş parametresi, E_I/m , kat adedi arttıkça önemli ölçüde azalan bir eğilim göstermiştir. E_I/m parametresinin sabit bir değer olmadığı ve deprem yer hareketi ile yapısal özelliklere göre değiştiği belirlenmiştir. 50 yılda aşılma olasılığı %10 deprem seviyesinde ortalama E_I/m değeri $0,3 \text{ m}^2/\text{sn}^2 - 0,65 \text{ m}^2/\text{sn}^2$ aralığında iken 50 yılda aşılma olasılığı %2 deprem seviyesinde $1,65 \text{ m}^2/\text{sn}^2 - 0,75 \text{ m}^2/\text{sn}^2$ aralığında olmaktadır. Akbaş ve Shen [8]'in maksimum yer ivmesine göre yaptığı çalışmada E_I/m değeri $0,30 - 1,20$ aralığında olmaktadır. E_I/m istemi deprem yer hareketi ve yapısal özelliklerinden etkilenmektedir.

- Yapının tüknetmesi gereken toplam histeretik enerjinin kütleğe göre normalize edilmiş parametresi, E_H/m , kat adedi arttıkça azalan bir eğilim göstermiştir. E_H/m parametresinin sabit bir değeri olmadığı ve deprem yer hareketi ile yapısal özelliklere bağlı olarak değıştiği belirlenmiştir.
- Yapıya giren enerji girişini tahmin etmek için oluşturulan toplam enerji spektrumu, E_I/m , farklı performans seviyelerinde 1,3 – 3,4 sn lik periyot aralığı için önerilmiştir. Bununla birlikte, toplam enerji girişinden histeretik enerjiyi elde etmek için oluşturulan histeretik enerji / toplam enerji spektrumu (E_H/E_I) sunulmuştur. Böylece, sismik enerji istemleri, yapısal periyotlar kullanılarak enerji spektrumlarından kolaylıkla elde edilebilir. 50 yılda aşılma olasılığı %10 deprem seviyesinde ortalama E_H/E_I değeri 0,2-0,5 aralığında iken 50 yılda aşılma olasılığı %2 deprem seviyesinde 0,55-0,65 aralığında olmaktadır. Akbas ve Shen [8]'in maksimum yer ivmesine göre yaptığı çalışmada E_H/E_I değeri 0,35 - 0,15 aralığında oluşmakta iken Fajfar ve Vidic [2] kapsayıcı ortalama bir değeri olarak 0,7 alınabileceğini belirtmiştir. Fajfar ve Vidic [2] önerdiği $E_H/E_I=0,7$ değeri bu çalışma aralığındaki değerleride kapsamaktadır. Deprem yer hareketi özellikleri ve yapısal özellikler E_H/E_I istemini etkilemektedir.
- Bu çalışma planda ve düşey doğrultuda düzenli yapısal sistemler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Benzer çalışmanın, düzensiz binalar üzerinde de yürütülerek ilgili parametrelerin incelenmesi önerilmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmayı (Proje # 114R044) destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Bu çalışmada bahsi geçen görüşler sadece yazarlara aittir ve başka hiçbir organizasyon ve kişiyi temsil etmemektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Akbaş, B. and Shen, J., Earthquake-Resistant Design and Energy Concepts, Technical Journal, Turkish Chamber of Civil Engineers, 14, 2, 2877-2901, 2003.
2. Fajfar P and Vidic T. Consistent Inelastic Design Spectra: Hysteretic and Input Energy. Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 23, 523-537, 1994.
3. Shen J, and Akbas B. Seismic Energy Demand in Steel Moment Frames. Journal of Earthquake Engineering, 3 (4), 519-559, 1999.
4. Dogru S., Aksar B., Akbas B., Shen J., Doran B. Multi-Level Seismic Energy Demands In Steel Moment Frames. Eighth National Conference on Earthquake Engineering, Istanbul Technical University, May 11-14, 2015.
5. Chopra A.K. Dynamics of Structures. Theory and Applications to Earthquake Engineering. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 2010.
6. Housner GW. Limit Design of Structures to Resist Earthquakes. In Proceedings of the First World Conference on Earthquake Engineering, Berkeley, California, 5-1-5-13, 1956.
7. Akiyama H. Earthquake-Resistant Limit-State Design for Buildings. University of Tokyo Press, 1985.
8. Akbas B, Shen J, and Hao H. Energy approach in performance-based seismic design of steel moment resisting frames for basic safety objective. The Structural Design of Tall Buildings, 10, 193-217, 2001.
9. Choi, H. and Kim, J. Energy-based Seismic Design of Buckling-Retrained Braced Frames using Hysteretic Energy Spectrum. Engineering Structures, 28 (2), 304-311, 2006.
10. Bojorquez, E., Ruiz, S., Teran-Gilmore, A. Reliability-based Evaluation of Steel Structures using Energy Concepts. Engineering Structures, 30 (6), 1745-1759, 2008.
11. Gong, Y., Xue Y., Xu, L., Grierson, Donald E. Energy-based design optimization of steel building frameworks using nonlinear response history analysis. Journal of Constructional Steel Research, 68 (1), 43-50, January 2012.
12. Paolacci, F. An Energy-based Design for Seismic Resistant Structures with Viscoelastic Dampers., Earthquake and Structures, 4 (2), 219-239, 2013.
13. Dogru, S., Aksar, B., Akbas, B., Shen, J., Seker, O., Wen, R. Seismic Energy Demands in Steel Moment Frames. Applied Mechanics and Materials, 847, 210-221, 2016.
14. Dogru, S., Aksar, B., Akbas, B., Shen, J. Parametric Study on Energy Demands for Special Steel Concentrically Braced Frames. Steel and Composite Structures, 24 (2), June 2017.
15. Doğru, S., Akşar, B., Akbaş, B., Shen, J., Doran, B. Seismic Energy Demands of Inverted V-Braced Frames. In: Kasimzade A., şafak E., Ventura C., Naeim F., Mukai Y. (eds) Seismic Isolation, Structural Health Monitoring, and Performance Based Seismic Design in Earthquake Engineering. Springer, Cham; 2019.
16. Akşar B, Doğru S, Akbaş B., Amplified seismic loads in steel moment frames under strong ground motion, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 33 (2), 439-454, 2018.
17. Hou.H., Qu,B. Duration effect of spectrally matched ground motions on seismic demands of elastic perfectly plastic SDOFS. Engineering Structures, 90, 48-60, 2015.
18. ASCE 7-10. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers, Reston, VA., 2010
19. AISC 341-10. Seismic Provisions for Steel Structural Buildings. American Institute of Steel Construction. American Institute of Steel Construction. Chicago, IL, 2010.
20. AISC 360-10. Specification for Structural Steel Buildings. American Institute of Steel Construction., American Institute of Steel Construction. Chicago, IL, 2010.

21. AISC 358-10. Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications., American Institute of Steel Construction. Chicago, IL, 2010.
22. PEERDatabase, Peer.berkeley.edu/peer_ground_motion_database. Pacific Earthquake Engineering Research Center, 325 Davis Hall, University of California, Berkeley.
23. PERFORM-3D. Nonlinear Analysis and Performance Assessment for 3D Structures, Version5, 2011.