



Research Article

Mekanik Askı Sistemlerine Etkiyen Sismik İvme Taleplerinin Değerlendirilmesi

Samet Karamahmutoğlu^{1*}, Burçin Aslıpek Özkar^{2*}, Vesim Yıldırım^{3*}, Kübra Yaman^{4*}, Merve Dilruba Ülker^{5*}, Fuat Topgöl^{6*}, Sinan Koç^{7*}, Naim Artar^{8*}, Onur Şeker^{9*}, Bülent Akbaş^{10*}

¹Samet Karamahmutoğlu, Link Yapı, 0000-0002-2122-7648, sametkaramahmutoglu@linkyapi.com.tr,

²Burçin Aslıpek Özkar, Link Yapı, 0000-0001-7299-8824, burcinaslipek@linkyapi.com.tr,

³Vesim Yıldırım, Link Yapı, 0000-0002-6460-5952, vesimyildirim@linkyapi.com.tr,

⁴Kübra Yaman, Link Yapı, 0000-0001-5839-5189, kubrayaman@linkyapi.com.tr,

⁵Merve Dilruba Ülker, Link Yapı, 0000-0002-0792-8077, mervedilrubaulker@linkyapi.com.tr,

⁶Fuat Topgöl, Link Yapı, fuattopgul@linkyapi.com.tr,

⁷Sinan Koç, Link Yapı, 0000-0001-7209-3689, sinankoc@linkyapi.com.tr,

⁸Naim Artar, Link Yapı, 0000-0001-9416-1355, naimartar@linkyapi.com.tr,

⁹Onur Şeker, Gebze Teknik Üniversitesi, 0000-0002-5463-7977, oseker@gtu.edu.tr,

¹⁰Bülent Akbaş, Gebze Teknik Üniversitesi, 0000-0003-4846-750X, akbasb@gtu.edu.tr,

* Sorumlu Yazar: oseker@gtu.edu.tr; Tel.: (+902626053315)

(First received October 14, 2022 and in final form December 26, 2022)

2nd International Conference on Design, Research and Development
December 14 - 17, 2022

Reference: Karamahmutoğlu, S. Özkar, B.A., Yıldırım, V., Yaman, K., Ülker M. D., Topgöl F., Koç, S., Artar, N., Şeker, O., Akbaş, B. Mekanik Askı Sistemlerine Etkiyen Sismik İvme Taleplerinin Değerlendirilmesi. Orclever Proceedings of Research and Development,1(1), 327-338.

Özet

Dünyada doğal afetler göz önünde bulundurulduğunda insan hayatına en büyük etki eden afetlerden birinin deprem olduğu bilinmektedir. Güçlü depremler sonrası yapılan saha incelemeleri, deprem esnasında yatay yük taşıyıcı sistemin yanı sıra, yapısal olmayan elemanların da ciddi kayıplara yol açabileceğini göstermiştir. Bilhassa, deprem esnasında ve sonrasında güvenlik, deprem sonrasında fonksiyonellik ve güçlendirme maliyeti anlamında kritik yapısal olmayan elemanları (yangın söndürme sistemleri, elektrik ve mekanik aksam,vb.) destekleyen askı sistemleri gibi elemanların maruz kaldıkları sismik talepleri güvenle aktarabilmeleri için, sismik yükler etkisinde davranışın doğru tahmin edilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmanın amacı, orta yükseklikteki tipik bir çelik binanın tesisatını destekleyen mekanik askı sistemine



etkiyen sismik taleplerini sistematik biçimde değerlendirmektir. Bu amaçla, geçmişte meydana gelmiş güçlü yer hareketlerine ait deprem ivme kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilerek, yapının yatay yük taşıyıcı sistemine ve askı sistemine etkiyen sismik talepler, sırasıyla, görelî kat ötelemeleri ve yatay ivme talepleri değerlendirilecektir. Elde edilen sonuçlar, seçilen talep parametreleri doğrultusunda mekanik askı sistemlerine etkiyen talepler değerlendirilerek, mevcut ulusal ve uluslararası bina yönetmeliklerinde verilen hükümler ile karşılaştırılmalı olarak değerlendirilerek, önerilerde bulunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Mekanik askı sistemleri, yatay ivme talepleri, çelik yapılar, sismik tasarım ve değerlendirme.

Evaluation of Seismic Acceleration Demands on Mechanical Support Systems

Abstract

Earthquakes are among the most influential force of nature that affect human life. Reconnaissance after the severe earthquakes pointed out that seismic performance of non-structural members and elements could be as significant as the structural members in lateral force-resisting systems. As such, it is important for design engineers to recognize the seismic demand on the mechanical systems that support the critical non-structural components (e.g., sprinklers, electrical and mechanical equipment, etc.) in terms of the safety during and after an earthquake as well as functionality and retrofitting cost after an earthquake. The primary goal of this study is to systematically investigate the seismic demands on the mechanical support systems of a typical mid-rise steel structure. For this purpose, non-linear time history analyses are carried out using a suite of ground motion acceleration records to evaluate the seismic demands on both seismic force-resisting system and the support system by means of inter-story drift angle and horizontal accelerations, respectively. Results obtained from the analyses are discussed considering the requirements stipulated in the current national and international buildings and recommendations are made.

Keywords: Mechanical support systems, horizontal acceleration demands, steel structures, seismic design and evaluation.

2. Giriş

Yapısal olmayan elemanların ana yapılara verebileceği hasarların yanı sıra potansiyel güvenlik sorunları, büyük ekonomik kayıplar ve hatta can kayıplarına yol açabildiği araştırmalar ve geçmişte yaşanan afetler sonucu doğrulanmaktadır. Deprem esnasında yapısal olmayan elemanların (yangın söndürme sistemleri, elektrik ve mekanik tesisat elemanları vb.) bütünlüğünün ve işlevselliğinin korunması, bu



sistemlerin deprem esnasında ve/veya sonrasında sebep olabilecekleri can ve mal kayıplarını minimize etmek bakımından oldukça önemlidir. Büyük riskler taşımalarına rağmen, yapısal elemanların deprem davranışına dair yapılan çalışmalara kıyasla az sayıda ve oldukça kısıtlı bir çerçevede olduğu görülmüştür. Bu çalışmanın amacı, mekanik askı sistemlerinde beklenen sismik ivme taleplerini zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemleriyle değerlendirmektir. Ayrıca, doğrusal olmayan analiz yöntemleriyle mekanik askı sistemlerinin tasarımı için elde edilen tepkiler ile ulusal (TBDY, 2018) ve uluslararası (ASCE 7, 2016) bina yönetmeliklerinde verilen tasarım ivme değerleriyle karşılaştırılıp yorumlanması amaçlanmaktadır.

3. Yönetmeliklerde Mekanik Askı Sistemlerinin Tasarımı

Bir binaya bağlı yapısal olmayan bileşenlerin ve ekipmanlara (elektrik, mekanik ve yangın tesisatları vb.) etkiyen sismik yükler çoğunlukla deprem kaynaklı yatay ivmelerle ilişkilidir. Bu nedenle, ASCE 7 (2016) ve TBDY (2018) yönetmeliklerine göre mekanik askı sistemlerine etkiyen sismik ivme talepleri, sözü edilen elemana etkiyen eşdeğer yatay yüklere esas alınmalıdır. ASCE 7 (2016)'ya göre yapısal olmayan bileşenlere ve bunların ankrajlı ve cıvatalı bağlantılarına uygulanan sismik tasarım kuvvetleri, kısa periyotlu spektral ivmenin S_{DS} 'nin bir fonksiyonu olarak belirlenir. Burada, bina yüksekliği ve yapısal olmayan elemanların tabandan yüksekliği, zemin sınıfı, ekipmanın ağırlığı gibi hesaplamalarda dikkate alınacak faktörlerin kapsam dahilinde olduğu göz önüne alınmalıdır. ASCE 7 (2016) yönetmeliğine göre yapısal olmayan elemanlarda yatay kuvvet formülü Denklem (1)'de verilmiştir.

$$F_p = 0.4 * S_{DS} a_p * (I_p / R_p) * [1 + (z/h)] * W_p \quad \text{Denk. (1)}$$

Eşdeğer sismik tasarım kuvveti, F_p 'nin değerinin alt ve üst sınırları ise Denklem (2)'de gösterilmiştir.

$$0.3 S_{DS} I_p W_p \leq F_p \leq 1.6 S_{DS} I_p W_p \quad \text{Denk. (2)}$$

Burada,

$$F_p = \text{sismik tasarım kuvveti}$$

$$S_{DS} = \text{spektral ivme}$$

$$a_p = 1,00 \text{ ile } 2,50 \text{ arasında değişen bileşen büyütme faktörü}$$



$I_p = 1.00$ ile 1.50 arasında değişen bileşen önem faktörü

$W_p =$ Ekipman çalışma ağırlığı

$R_p =$ Ekipman tepki değişim faktörü

$z =$ Yapısal olmayan elemanların tabandan yüksekliği

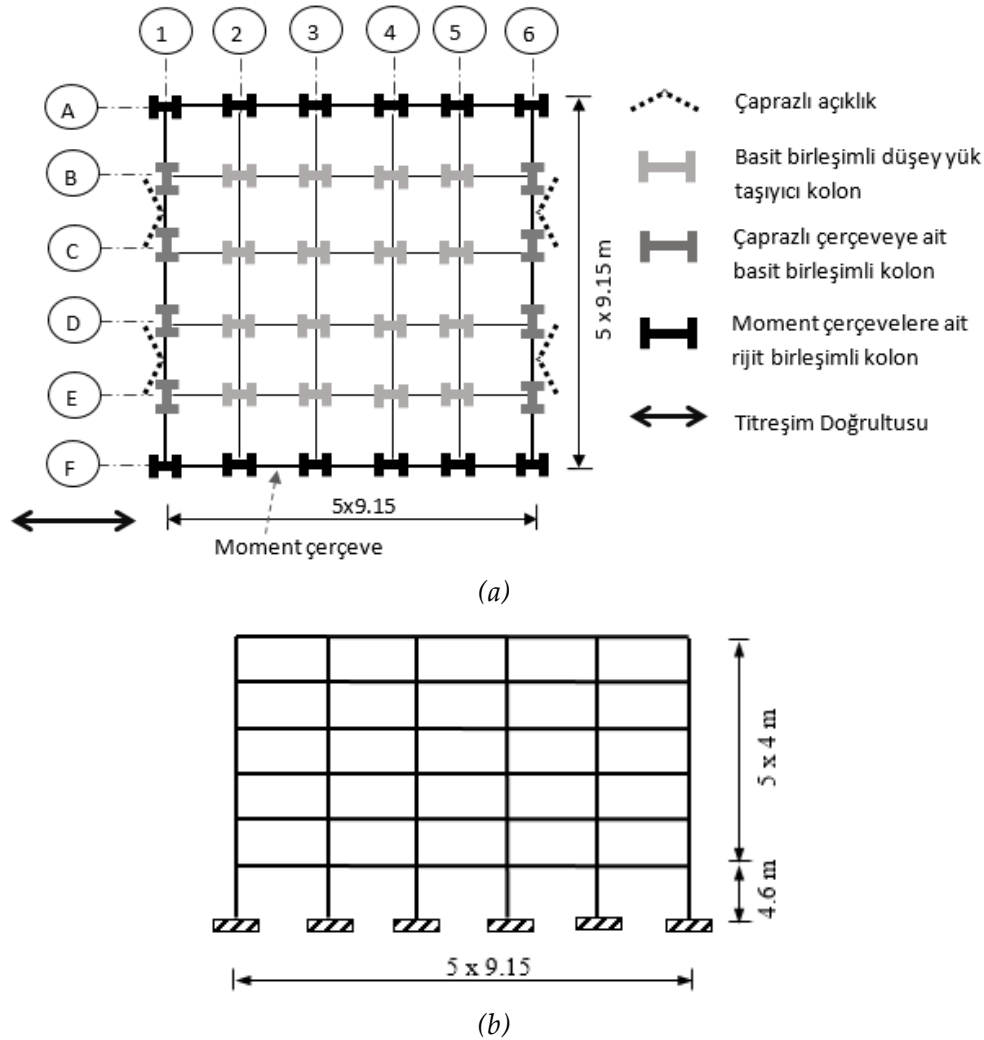
$h =$ Bina yüksekliği

olarak ifade edilmektedir.

4. Sayısal Modeller ve Deprem İvme Kayıtları

4.1. Bina Tanımı ve Tasarımı

Çelik binalardaki mekanik askı sistemlerinde oluşabilecek sismik ivme taleplerini değerlendirmek amacıyla, Şekil 1’de verilen 6 katlı tipik ofis binası seçilmiştir. Projede kullanılacak yapının kat kalıp planı, kolonların dizilimi ve oryantasyonu ile moment aktaran çerçevelerin düşey kesit görünüşü Şekil 1’de verilmiştir. Çelik yapı tasarımı pratiğine uygun olarak, çevre uzuluğu boyunca yerleştirilmiş moment aktaran çerçeveler ve çarpazlı çerçeveler, yatay taşıyıcı sistemi teşkil etmekte; iç açıklıklardaki çerçeveler ise düşey yük taşıyıcı sistemi oluşturmaktadır. Kare şeklinde plana sahip bina, birbirine dik deprem doğrultularında 9,15 m genişliğinde beşer açıklıktan oluşmuş, toplamda yaklaşık 45 m x 45 m’lik ölçülere sahiptir (Şekil 1a). Yatay yükler bir doğrultuda çarpazlı, diğer doğrultuda moment çerçeveler tarafından karşılanacak şekilde düzenlenmiştir. Çalışmaya konu olacak moment çerçeveleri ilgilendiren deprem titreşim doğrultusu ve çerçevenin düşey kesiti Şekil 1 üzerinde belirtilmiştir.



Şekil 1 Prototip Çelik Ofis Binasına ait: Plan (a) ve A ve F Akslarındaki Düşey Kesit (b)

Şekil 1’de verilen 6 katlı binanın tasarımında kullanılan ölü ve hareketli yükler Tablo 1’de, sismik tasarım parametreleri Tablo 2’de verilmiştir. Düzgün yayılı ölü yükler normal katlar ve çatı katı için sırasıyla 4,60 kN/m² ve 3,97 kN/m² olarak hesaplanmıştır (Tablo 1). Tablo 1’de verildiği gibi, hareketli yükler ise normla katlar için 2,40 kN/m², çatı için ise 0,96 kN/m² olarak kabul edilmiştir (ASCE 7, 2016). Tasarımda kullanılan sismik tasarım parametreleri (Tablo 2), İstanbul’un merkezinde, yüksek depremselliğe ve ZD sınıfı zemine sahip bir bölge kabul edilerek seçilmiştir. ASCE 7 (2016) ve Türk Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018)’nde verilen yaklaşık periyot formülü ($T_a=0,932$ sn.) kullanılarak hesaplanan taban kesme kuvveti toplam bina ağırlığının 13.4% olarak hesaplandı ($C_s=0,134$). Binaya etkiyen taban kesme kuvveti, 7554 kN, katlara eksponansiyel dağılıma göre dağıtıldı. Çelik çerçevelerin ve moment aktaran kiriş-kolon



birleşimlerinin tasarımında AISC 360 (2016a)'ın yanı sıra, sırasıyla, AISC 341 (2016b) ve AISC 358 (2016c)'de verilen kriterlere göre tasarlanmıştır. A ve F akslarındaki özdeş moment çerçevelerin tasarımı Tablo 3'de özetlenmiştir.

Tablo 1 Düşey Yükler

4.2.	Kat	4.3.	Ölü Yük (kN/m ²)	4.4.	Hareketli Yük (kN/m ²)
4.5.	Normal Kat	4.6.	4,60	4.7.	2,40
4.8.	Çatı Katı	4.9.	3,97	4.10.	0,96

Tablo 2 Düşey Yükler

4.11.	Sismik Tasarım Parametresi	4.12.	Değer
4.13.	S _s	4.14.	2,000g
4.15.	S ₁	4.16.	1,000g
4.17.	F _a	4.18.	1,0
4.19.	F _v	4.20.	1,5
4.21.	S _{DS}	4.22.	1,333g
4.23.	S _{D1}	4.24.	1,000g
4.25.	R	4.26.	8

Tablo 3 Seçilen Kolon ve Kiriş Kestileri

4.27.	Kat	4.28.	Dış Kolon	4.29.	İç Kolon	4.30.	Kirişler
-------	-----	-------	--------------	-------	----------	-------	----------

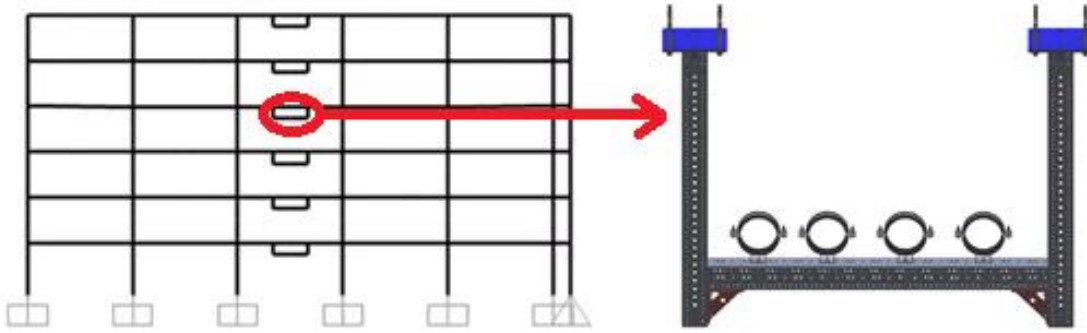


4.31.	6	4.32.	W14x257	4.33.	W14x342	4.34.	W24x55
4.35.	5	4.36.	W14x257	4.37.	W14x342	4.38.	W27x102
4.39.	4	4.40.	W14x257	4.41.	W14x342	4.42.	W33x130
4.43.	3	4.44.	W14x342	4.45.	W14x455	4.46.	W33x152
4.47.	2	4.48.	W14x342	4.49.	W14x455	4.50.	W33x169
4.51.	1	4.52.	W14x426	4.53.	W14x550	4.54.	W33x169

4.55. Sayısal Modeller ve Mekanik Askı Sisteminin Özellikleri

6 katlı moment çerçeveye ait sayısal model ve mekanik askı sistemi Şekil 2’de verilmiştir. Söz konusu çelik ofis binasının A ve F akslarındaki özdeş süneklik düzeyi yüksek moment çerçevelerin sayısal modelleri SAP2000 (CSI, 2020) programında oluşturuldu. Modellemede kolon uçlarının ankastre mesnet olduğu kabul edildi. Kiriş-kolon birleşimleri rijit biçimde bağlandığı kabul edilirken, döşemenin kendi düzlemleri içinde sonsuz rijit olduğu varsayıldı. Tasarım spektrumuyla tutarlı biçimde, dinamik analizlerde sönüm oranı %5 alındı. Analizlerde sönüm oranı, Rayleigh yaklaşımı ile 1. ve 2. serbest titreşim periyotları kullanılarak göz önüne alındı.

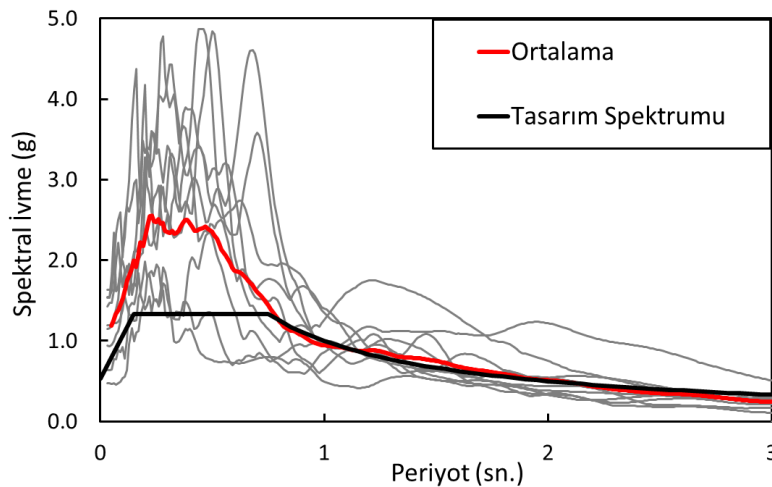
Şekil 2’de görüldüğü gibi, mekanik askı sistemine gelen yatay ivme taleplerinin gerçekçi biçimde değerlendirilmesi için, sayısal modelde her bir kat hizasında kullanılan 4 borulu mekanik askı sistemleri, kütleleriyle birlikte modele dahil edilmiştir. Sayısal modele dahil edilen mekanik askı sistemleri kirişlere düzlem içinde rijit bağlı kabul edildi. Yapısal elemanlarda deprem esnasında oluşması beklenen hasarlar, yığılıl plastisite kabulü ile, kiriş ve kolon uçlarına plastik mafsalları tanımlanarak modelde göz önüne alınırken; askı sistemi, doğrusal kiriş elemanları kullanılarak modellendi. Ayrıca, sadece düşey yük taşıyan iç açıklıklardaki kolonlardan aktarılan ikinci mertebe etkiler, Şekil 2’de görülen sahte P-Δ kolonu yardımıyla sisteme dahil edildi.



Şekil 2 Prototip çelik ofis binasına ait sayısal model (solda) ve mekanik askı destek sistem görseli (sağda)

4.56. Deprem İvme Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi

Zaman tanım alanında doğrusal olamayan analizlerde kullanılacak deprem kayıtlarının seçilmesi, ölçeklendirilmesi ve değerlendirilmesi için Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Enstitüsü (PEER) tarafından hazırlanmış veritabanından faydalanıldı. Toplamda 10 adet deprem ivme kaydı seçildi. Seçilen deprem kayıtlarına ait özellikler Tablo 4'te verilmiştir. Seçilen deprem kayıtlarının tasarım spektrumuna uyumlu hale getirilmesi için Tablo 4'de verilen ölçeklendirme katsayıları ASCE 7 (2016)'da önerilen sınırlar gözetilerek, kullanıldı. Bu ölçeklendirmeye, seçilen kayıtların spektral ivmelerinin geometrik ortalamasının, en büyük deprem spektrumunun 1-1,5 saniyelik periyot aralığına en uygun hale getirilmesi sağlandı. Bu aralık, 6 katlı süneklik düzeyi yüksek bir çelik yapının beklenen periyot aralığıdır. Seçilen bölgeye ait tasarım spektrumu, her bir deprem kaydına ait deprem spektrumları ve bunların geometrik ortalaması Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3 Deprem Spektrumları



Tablo 4 Seçilen Deprem Kayıtlarının Özellikleri

ID	Büyüklik (M_w)	Yıl	Kayıt Adı	İstasyon	Mesafe (km)	PGA_{max} (g)	Ölçek
960	6.7	1994	Northridge	Canyon Country-WLC	26.5	1.038	2.578
1602	7.1	1999	Duzce, Turkey	Bolu	41.3	1.340	1.950
1787	7.1	1999	Hector Mine	Hector	26.5	0.952	3.384
174	6.5	1979	Imperial Valley	El Centro Array #11	29.4	0.997	3.143
1111	6.9	1995	Kobe, Japan	Nishi-Akashi	8.7	1.364	3.206
1148	7.5	1999	Kocaeli, Turkey	Arcelik	53.7	0.771	4.217
900	7.3	1992	Landers	Yermo Fire Station	86	0.625	3.058
752	6.9	1989	Loma Prieta	Capitola	9.8	1.490	3.374
721	6.5	1987	Superstition Hills	El Centro Imp. Co.	35.8	0.806	3.626
1485	7.6	1999	Chi-Chi, Taiwan	TCU045	77.5	1.272	2.974

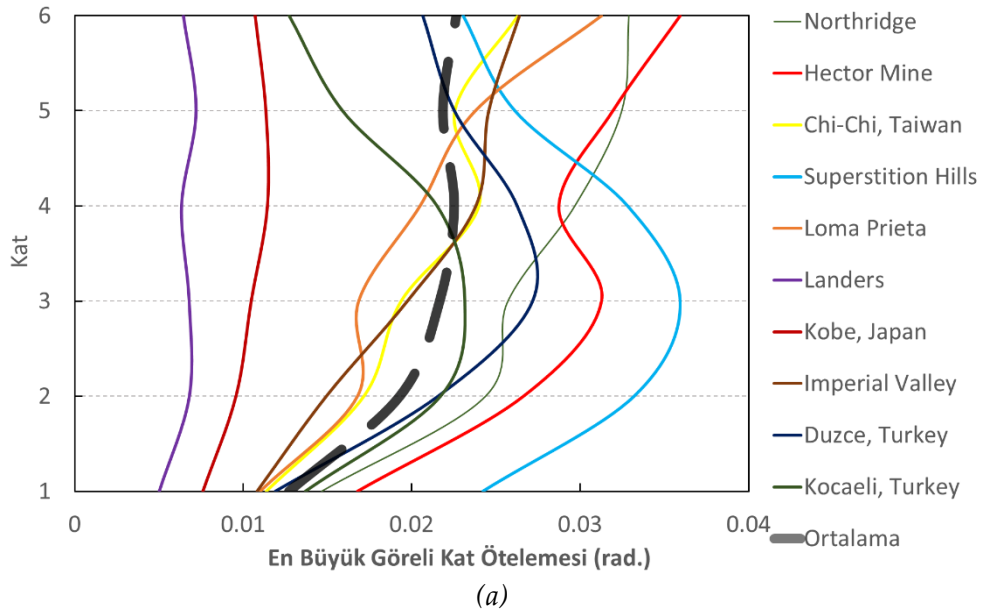
5. Analiz Sonuçları

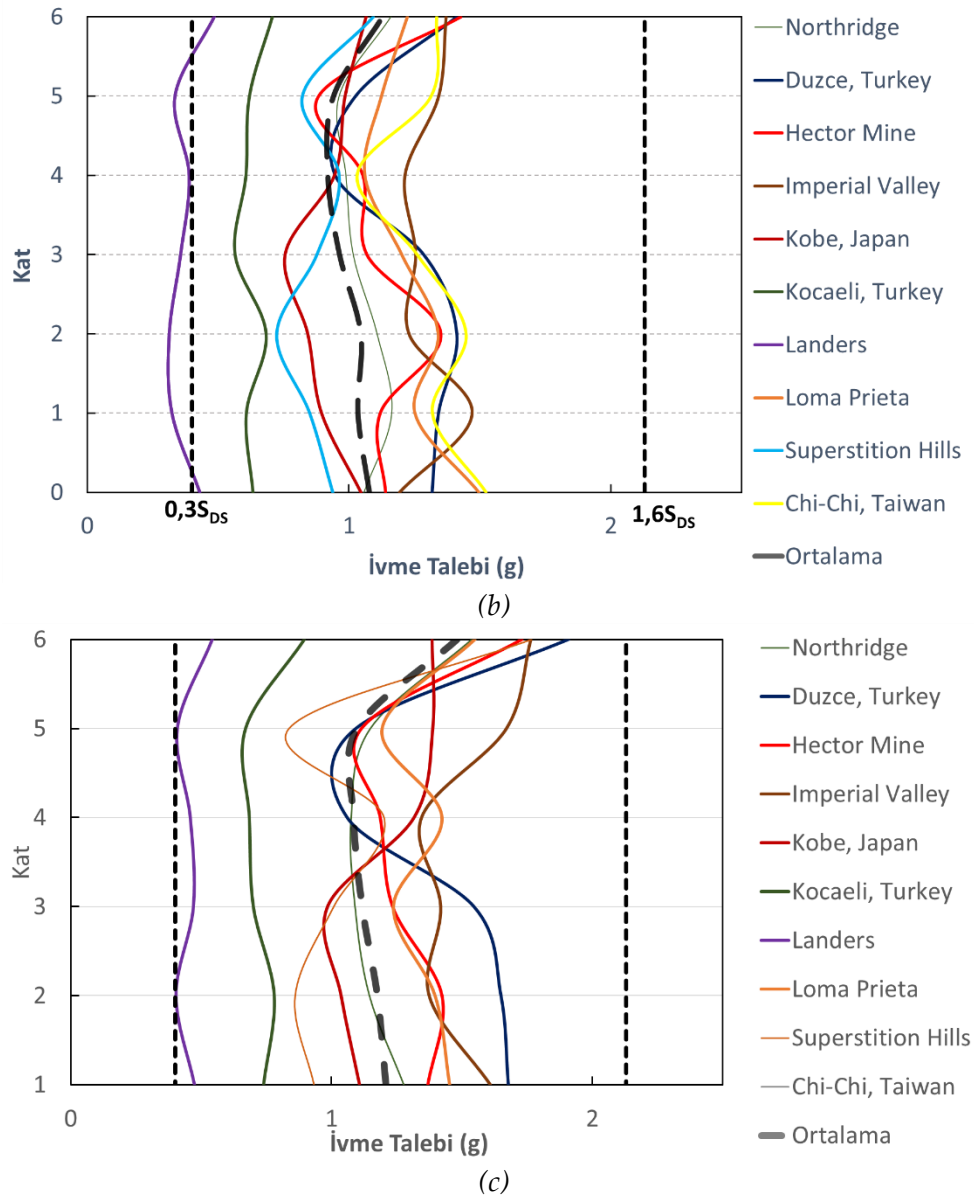
Doğrusal olmayan analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde sismik talep parametresi olarak, en büyük görelî kat ötelemeleri ve yatay ivme talepleri seçilmiştir. Şekil 4a, 4b ve 4c’de, sırasıyla, en büyük görelî kat ötelemesi taleplerinin katlara dağılımı, kat hizasından elde edilen en büyük toplam yatay ivme taleplerinin katlara göre dağılımı ve askı sistemi hizasından elde edilen en büyük toplam yatay ivme taleplerinin katlara göre dağılımı görülmektedir. 10 adet deprem ivme kaydı etkisinde elde edilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları inceleyerek, şu çıkarımlar yapılabilir:

- Şekil 4a’da görülen global talep parametresi, görelî kat ötelemesi taleplerinin %0,5 ile %4,0 arasında değiştiği görülmektedir. Elde edilen taleplerin ortalamasının ise yaklaşık olarak tasarım depremi için verilen görelî kat ötelemesi sınır değerine yakın olduğu görülmektedir. Diğer deyişle, depremler etkisinde yapının tepkisinin, TBDY (2018)’de tanımlanan “Kesintisiz Kullanım” ile “Göçme Öncesi” performans seviyeleri arasında kalan geniş bir performans aralığını kapsadığı söylenebilir.
- Şekil 4b’de verilen kat hizasından elde edilen yatay ivme taleplerinin yaklaşık olarak 0,5g ile 1,5g aralığında kaldığı ve bina yüksekliği boyunca görece düzgün bir dağılım sergilediği söylenebilir. Elde edilen sonuçlar (Şekil 4b) ASCE 7

(2016)'da tanımlanan üst ($0,3S_{DS}$) ve alt ($1,6S_{DS}$) sınırlarla kıyaslandığında, askı sistemine etkiyen ivme taleplerinin bu aralıkta kaldığı ancak verilen üst sınırın güvenli tarafta olduğu görülmektedir. Buna ek olarak, yine ASCE 7 (2016)'da yatay ivmelerin yapı yüksekliği boyunca dağılımı için tanımlanan üçgensel dağılımın da elde edilen sonuçlarla uyuşmadığı görülmektedir.

- iii. Şekil 4c'de özetlenen ve mekanik askı sistemini meydana getiren çerçevelerin uç noktasından elde edilen ivme talepleri incelendiğinde, gerek ivme taleplerinin büyüklüğü gerekse çerçeve yüksekliği boyunca dağılımı bakımından, kat hizalarından elde edilenlerden farklı olduğu göze çarpmaktadır. Bu durum, askı sistemini meydana getiren tek serbestlik dereceli çerçeve sistemin bağımsız titreşiminin ek ivme talepleri oluşturmaya bağlanabilir. Bilhassa, üst katlara doğru çıkıldıkça bu etkinin daha ciddi hale geldiği söylenebilir. Askı sisteminden elde edilen ivme taleplerindeki artışa rağmen, elde edilen taleplerin ASCE 7 (2016)'da önerilen sınırların arasında kaldığı gözlemlenmiştir.





Şekil 4 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları: En büyük görelî kat ötelemesi taleplerinin katlara dağılımı(a); Kat hizasından elde edilen en büyük yatay ivme taleplerinin katlara göre dağılımı (b); Mekanik askı sistemi hizasından elde edilen en büyük yatay ivme taleplerinin katlara göre dağılımı (c).

6. Tartışma ve Öneriler

Mevcut çalışmada, 6 katlı tipik bir çelik ofis binasının mekanik askılama sistemlerine gelen yatay ivme talepleri zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemiyle 10



adet gerçek deprem ivme kaydı kullanılarak değerlendirilmiştir. Yapılan detaylı inceleme sonucu yapılan çıkarımlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- i. Her ne kadar yönetmeliklerce belirlenen sınırlar doğrusal dinamik analiz sonuçlarına dayansa da, bu çalışmada yapılan doğrusal olmayan analizlerden elde edilen ivme taleplerinin, ASCE 7 (2016) ve TBDY (2018)'de mekanik askı sistemlerinin tasarımı için önerilen eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanmasında esas alınan alt ve üst sınır ivme değerlerinin arasında kaldığı görüldü.
- ii. Sayısal modellemenin gerçekçiliğinin elde edilen sonuçları ciddi biçimde etkilediği görülmüştür. Doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçlarından elde edilen bulgular, kat hizasından elde edilen yatay ivme talepleri ile mekanik askı sistemi hizasından elde edilen ortalama sonuçlar arasında, özellikle üst katlarda %50 civarı farklar olduğunu ortaya koymuştur.
- iii. Mevcut çalışmadan yapılan gözlemler önemli olsa da, kullanılan deprem ivme kaydı sayısının sınırlı olması ve sadece orta yükseklikteki bir bina üzerinden değerlendirme yapılmış olması sebebiyle, elde edilen bulguların genelleştirilebilmesi için, farklı yükseklikteki yapıların çok sayıda deprem ivme kaydına tabi tutularak değerlendirildiği çalışmalara ihtiyaç vardır.

Referanslar

- [1] AISC (2016a), Specification for structural steel buildings, ANSI/AISC 360-16 American Institute of Steel Construction, IL.
- [2] AISC (2016b), Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 341-16, American Institute of Steel Construction, IL.
- [3] AISC (2016c), Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, ANSI/AISC 358-16, American Institute of Steel Construction, IL.
- [4] American Society of Civil Engineers (2016). ASCE7-16: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, Reston, VA.
- [5] CSI (2020). SAP2000: Integrated Software for Structural Analysis and Design, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, USA.