

Farklı Tasarlanmış İki Sismik Yalıtımlı Binanın Karşılaştırılması

Necmettin GÜNEŞ^{1*}, Zülfü Çınar ULUCAN²

¹Mimarlık Bölümü, Cumhuriyet Üniversitesi, 58140, Sivas, Türkiye
²İnşaat Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, 23000, Elazığ, Türkiye
*¹ngunes@cumhuriyet.edu.tr, ²zculucan@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 24/05/2019;

Kabul/Accepted: 18/09/2019)

Öz: Sismik yalıtım binalarda yüksek sismik performans elde etmek amacıyla uygulanmaktadır. Son yıllarda yalıtım üstyapı davranışının tabana ankastre binalardan daha fazla deprem yükü azaltma faktörüne karşı hassas olduğu gösterilmektedir. Bu nedenle, ASCE 7-16 üstyapıların, tasarım deprem (DBE) düzeyi spektral ivme taleplerinden 1.5 kat daha büyük olan, maksimum deprem (MCE) düzeyi spektral ivme talepleri ile tasarlanmasını öngörmektedir. Ancak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) sismik tehlike haritasına göre, bir çok aktif sismik bölgede, MCE düzeyi spektral ivme talepleri DBE düzeyi taleplerin 1.5 katından daha büyüktür. Bu durumda üstyapının tasarımı önem kazanmaktadır. Bu çalışmada sismik taban yalıtımlı iki model DBE ve MCE düzeylerinde tasarlanmakta ve yönetmeliklerin öngördüğü performans seviyelerine bağlı göreceli kat ötelenmeleri statik-itme analizi ile karşılaştırılmaktadır. Ayrıca FEMA P695 uzak mesafe yer hareketleri kullanılarak artımsal dinamik analizler yapılmaktadır. MCE düzeyini aşan olağandışı deprem düzeylerinde, iki modelin göreceli kat ötelenmeleri, giriş ve kolon plastik mafsallarda önemli farklılıklar elde edilmektedir. Yüksek üstyapı dayanımının yalıtım elemanları deplasman talebini artırdığı görülmektedir.

Anahtar kelimeler: Sismik yalıtım, statik-itme analizi, artımsal dinamik analiz.

Comparison of Two Differently Designed Seismically Isolated Buildings

Abstract: Seismic isolation has been used to achieve high seismic performance for buildings. In last years, it has been shown that the behavior of superstructures is more sensitive to response modification factor than fixed base structures. Therefore, ASCE 7-16 states that the superstructures must be designed with acceleration spectral demands of the Maximum Credible Earthquake (MCE) level which are 1.5 times larger than the Design Base Earthquake (DBE) level ones. On the other hand, with respect to the Turkish Seismic Hazard Map (TSHM), MCE level spectral demands are larger than DBE level ones over 1.5 times for many active seismic regions. In this case, the design of superstructures comes into prominence. In the present paper, two seismically isolated models are designed at the DBE and MCE level, and the code-based drift ratio limits of performance levels are compared by pushover curves. Furthermore, incremental dynamic analyses are carried out using FEMA P695 far-field ground motions dataset. Significant differences are obtained between the drift demands, plastic hinge rotations of beams and columns of two models at the extreme events that exceed the MCE level. It is observed that high superstructure strength increases the displacement demand of isolation members.

Key words: Seismic isolation, pushover analysis, incremental dynamic analysis.

1. Giriş

Sismik taban yalıtımı, hakim periyodu büyüterek deprem kuvvetlerini azaltmakta ve yapıların performansını artırmak için uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda bazı binalarda, yönetmeliklerin yalıtım üstyapısının yeterli sismik performansını ve güvenli yalıtım birimi deplasman kapasitesini sağlamadığı tartışılmaktadır [1, 2, 3, 4].

York ve Ryan [5] zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarının regresyonlarını yapmış ve ASCE 7-10 [6]'den farklı olarak üstyapı kuvvetlerini sönüm oranı yanısıra üstyapı kütlelerinin toplam kütle oranına bağlı olarak elde etmiştir. ASCE 7-16 [7] üstyapı tasarım kuvvetleri York ve Ryan [5] çalışmasına dayanmaktadır. Becker ve diğ. [8] 1/3 ölçekli iki açıklıklı ve iki katlı bir sismik yalıtım binanın deneyleri, Ryan ve diğ. [9] 3 katlı diyagonal çelik bir çerçevenin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları, ile ASCE 7-16 [7]'nin üstyapı tasarım kuvvetlerini yeteri hassasiyetle öngörebildiğini göstermiştir.

Sismik yalıtımlı bir binada üstyapının doğrusal olmayan davranışı, düşük deprem yükü azaltma faktörleri için yüksek süneklik talebi nedeniyle, ankastre tabanlı binalardan daha kritiktir [10, 11, 12]. Kikuchi ve diğ. [12] 15

* Sorumlu yazar: ngunes@cumhuriyet.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-1246-9423, ² 0000-0003-3605-9728

katlı betonarme bir binada yer hareketi en büyük ivmesinin (PGA) yüksek değerlerinde sismik yalıtımlı modelin görece kat ötelenmelerinin tabana ankatre olan binaya göre daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Sismik yalıtımlı binaların düşük enerji yutabilme kapasiteleri [12] nedeniyle üstyapı tasarım kuvvetleri yüksek tutulur. Bu nedenle ASCE 7-16 [7] üstyapıların tasarımını tasarım deprem düzeyi (DBE) yerine maximum deprem düzeyinde (MCE) tasarlanmasını önermektedir. Bu durumda ASCE 7-10 [6] kriterlerine göre tasarlanan sismik yalıtımlı binaların üstyapı performanslarının yeterliliği ön plana çıkmaktadır. Ayrıca ASCE 7-16 [7]'nin kullandığı deprem tehlike haritalarına göre 475 yıl geri dönüşüm periyotlu DBE düzeyi spektral ivme talepleri, 2475 yıl geri dönüşüm periyotlu MCE düzeyi spektral ivme taleplerinin 2/3'ü oranındadır. Ancak mevcut Türkiye Deprem Tehlike Haritasına (TDTH) [13]'e göre MCE seviyesi spektral ivme talepleri DBE seviyesi taleplerinin 1.5 katından daha büyük olabilmektedir. Bu durumda, DBE düzeyinde kesintisiz performans seviyesini sağlayan bir binanın MCE düzeyinde sınırlı hasar performans kriterlerini sağlayıp sağlamayacağı önem kazanmaktadır.

Sismik yalıtımlı binalarda yüksek üstyapı dayanımı nedeniyle doğrusal olmayan davranışı azaltmakta ve bu durum yalıtım elemanları deplasmanını artırmaktadır [3]. Kitayama ve Constantinou [4] çalışması, statik itme analizi ile çelik yapılarda, MCE düzeyinde deprem yükü azaltma faktörü (R) 1 alınarak yapılan tasarımda üstyapıdan önce yalıtım elemanlarının kapasiteye ulaştığını göstermiştir. Cardone ve diğ. [14] artımsal dinamik analiz ile, betonarme üstyapıdan önce sürtünmeli sarkaç yalıtım elemanlarının deplasman kapasitesine ulaştığını göstermiştir.

Bu çalışmada, betonarme 5 katlı bir bina ASCE 7-10 [6] ve ASCE 7-16 [7] kriterlerine göre ayrı tasarlanarak iki sismik yalıtımlı model oluşturulmuştur. İlk modelin üstyapı tasarım kuvvetleri ASCE 7-10 [6]'a göre DBE deprem düzeyinde, kesintisiz kullanım performans seviyesini sağlaması amacıyla, R değeri 1.2 alınarak belirlenmiştir. İlk modelin betonarme tasarımı, ASCE 7-16 [7] kriterlerine uygun olarak MCE deprem düzeyinde sınırlı kullanım performans seviyesini sağlaması amacıyla R değeri 1.5 alınarak, tekrarlanmış ve ikinci model elde edilmiştir.

Modellerin kuvvet-deformasyon kapasite eğrileri itme analizi ile elde edilmiş ve her iki model için FEMA P695 [15] uzak mesafe yer hareketi seti kullanılarak farklı şiddet seviyelerinde artımsal dinamik analizler yapılmıştır. Elde edilen üstyapı görece kat ötelenmeleri, çerçeve elemanları (kiriş ve kolon) plastik mafsallı dönmeleri ve yalıtım elemanı deplasmanları karşılaştırılmıştır. ASCE 7-10 [6] ve ASCE 7-16 [7] esas alınarak yapılan üstyapı tasarımının MCE düzeyini aşan büyük deprem etkilerinde önemli farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Ayrıca ASCE 7-16 [7], yüksek üstyapı tasarım kuvveti nedeniyle, daha büyük yalıtım elemanı deplasmanlarına neden olmuştur.

2. Modellerin Tasarım ve Yalıtım Elemanı Deplasman Kapasitesinin Belirlenmesi

Modellerin üç boyutlu görünüşü ve tipik kat planı Şekil 1'de verilmektedir. Bütün kat yükseklikleri 3.5 m olarak alınmış ve yalıtım elemanları bodrum kat kolonlarının üst kısmında modellenmiştir. Elastik analizlerde beton ve donatının karakteristik dayanımları kullanılmış ve betonun elastisite modülleri ACI 363R-92 [16] esas alınarak belirlenmiştir. Ayrıca kolon, kiriş ve döşeme kesit rijitlikleri sırasıyla 0.7, 0.35 ve 0.25 ile azaltılarak kullanılmış ve modellerin diğer özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Genel model özellikleri.

	Tasarım Seviyesi/Model	
	DBE/Model I	MCE/Model II
Kolon (üstyapı)	45x45 cm	45x45 cm
Kolon (alt yapı)	180x180 cm	180x180 cm
Kiriş	40x60 cm	40x60 cm
Kiriş (diyafram)	45x80 cm	45x80 cm
Döşeme	15 cm	15 cm
Döşeme (diyafram)	25 cm	25 cm
Beton karakteristik dayanımı	25 Mpa	40 Mpa

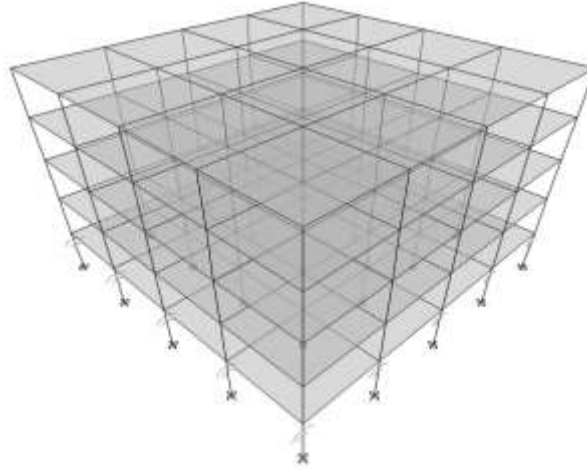
Binanın 38.673791 (enlem) ve 38.187337 (boylam) koordinatında bulunduğu varsayılmış ve zemin sınıfı TBDY [17]'e göre ZC olarak kabul edilmiştir. TDTH [13] kısa (S_s) ve uzun (S_1) periyod geometrik ortalama

spektral ivmeler DBE seviyesi için 1.0885 g ve 0.382 g, MCE seviyesi için ise 2.065 g ve 0.737 g olarak belirlenmiş ve spektrumlar Şekil 2’de verildiği gibi elde edilmiştir.

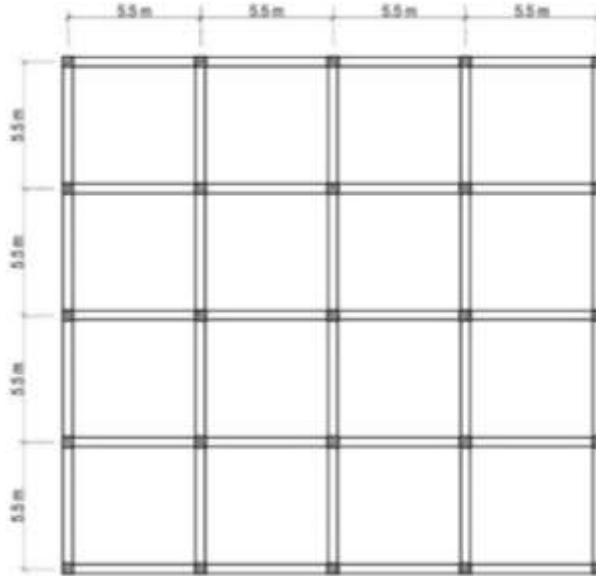
Yalıtım elemanı olarak, 4.5 m tek eğrilik yarıçaplı sürtünmeli sarkaç kullanılmıştır. Alt, nominal ve üst sürtünme oranları sırasıyla 0.045, 0.055 ve 0.078 olarak alınmış ve deplasman kapasitesi (D_M) alt sınır sürtünme oranı kullanılarak, geometrik ortalama spektral ivme değerleri ile uyumlu olması için TBDY [17]’de verildiği gibi, Denklem 1 ile elde edilmiştir.

$$D_M = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) T_M^2 \eta_M S_{ae}^{(MCE)}(T_M) \quad (1)$$

Burada g yer çekimi ivmesi, T_M MCE düzeyi etkin periyod, η_M sönüm ölçeklendirme katsayısı ve $S_{ae}^{(MCE)}(T_M)$ MCE düzeyi spektral ivme talebidir. Sistemde ilave eksantrisite düşünülmediği için toplam deplasman kapasitesi (D_{TM}) deplasman kapasitesi (D_M) olarak alınmış ve Denklem 1 kullanılarak 0.607 m olarak elde edilmiştir.



a) ETABS [18] üç boyutlu model.



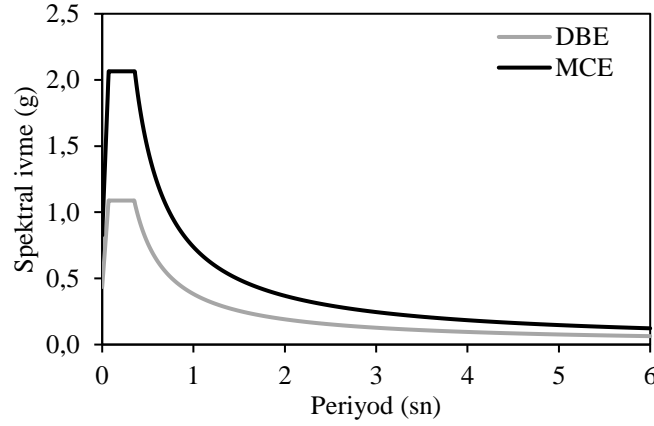
b) Kat planı.

Şekil 1. a) Üç boyutlu ETABS [18] modeli b) Kalıp planı.

Birinci modelin üstyapı tasarımı yalıtım üst sürtünme oranı kullanılarak, ASCE 7-10 [6]'da verildiği gibi Denklem 2 kullanılarak 2808.2 kN olarak elde edilmiştir.

$$V_S = k_{Dmax} D_D / R_1 \quad (2)$$

Burada; k_{Dmax} ve D_D DBE düzeyinde maksimum etkin rijitlik ve yalıtım birimi deplasmanı, R_1 deprem yükü azaltma faktörüdür.



Şekil 2. DBE ve MCE deprem düzeyleri için geometrik ortalama ivme spektrumları.

İkinci modelin üstyapı tasarım kuvveti ASCE 7-16 [7]'da verildiği gibi Denklem 3 ile 3483.4 kN olarak elde edilmiştir.

$$V_S = k_M D_M \left(\frac{W_S}{W} \right)^{(1-2.5\beta_m)} / R_1 \quad (3)$$

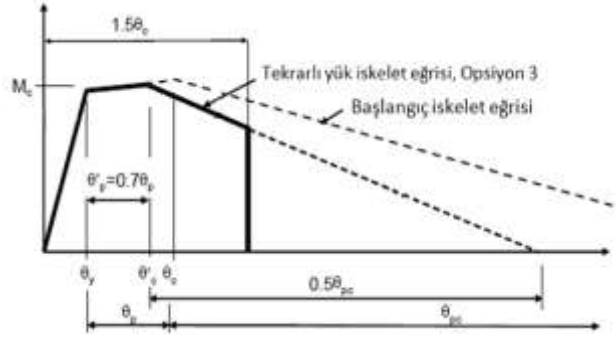
Burada; k_M ve D_M MCE düzeyi etkin rijitlik ve yalıtım birimi maksimum deplasmanı, W etkin sismik ağırlık, W_S yalıtım arayüzü üstü etkin sismik ağırlık, β_m sönüm oranıdır.

Elastik analizler mod birleştirme yöntemi kullanılarak ve betonarme tasarımlar TBDY [17] esas alınarak ETABS [18] yazılımı ile yapılmıştır.

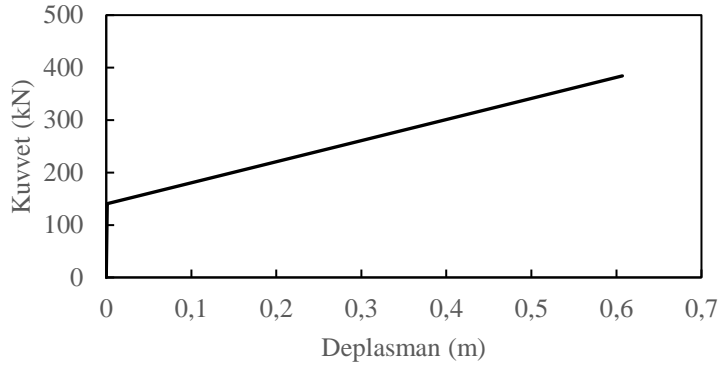
Doğrusal olmayan analizlerde kolon ve kiriş uçlarında yığılı plastik mafsallar tanımlanmış ve elemanların diğer kısımları etkin rijitlikleri kullanılarak elastik modellenmiştir. Yalıtım seviyesi hemen üstünde döşemeler kendi azaltılmış rijitlikleri ile modele dahil edilmiş, diğer katlarda rijit diyafram olarak tanımlanmıştır. Yalıtım elemanlarında kalkma miktarının gerçekçi elde edilebilmesi amacıyla üstyapı kütleleri düğüm noktalarında ayrı ayrı tanımlanmıştır.

Betonarme kiriş iskelet eğrileri Haselton ve diğ. [19] bağıntıları kullanılarak elde edilmiş ve tekrarlı yükler altında meydana gelen azalmanın gözönüne alınması için monoton yüklemeye karşılık gelen iskelet eğrileri ATC/PEER-72 [20]'da önerildiği gibi azaltılmıştır (Şekil 3). Kolonların elasto-plastik davrandığı varsayılmış ve doğrusal olmayan davranışları Perform-3D [21] yazılımında, eleman uçlarında yığılı plastik mafsallar olarak modellenmiştir. Perform-3D [21] yazılımı ile betonarme elemanların tekrarlı yükler altındaki davranışları enerji azalım parametreleri kullanılarak modellenenmektedir [20, 22, 23, 24]. Mamun ve Saatcioğlu [22] Perform-3D [21] yazılımı ile kolon modellenmesinde enerji azalım faktörünü elastik kapasiteye kadar 0.62 ve elastik kapasite aşıldığında ise 0.52 olarak alınması ile yapılan kolon test sonuçlarına [25] yeterince yakın davranış elde edildiğini göstermiştir. Bu çalışmada kolonların tekrarlı yükler altındaki davranışlarının modellenmesi için Mamun ve Saatcioğlu [22] enerji azalım faktörleri kullanılmıştır.

Normal kuvvetlerin farklılığı nedeniyle köşe, kenar ve iç kolonlar için üç farklı yalıtım elemanı tasarlanmış ve düşey rijitlikleri 1.4g+1.6q yüklemesi altında 0.001 m düşey deplasman yaptığı varsayılarak ayrı ayrı elde edilmiştir. Sürtünmeli sarkaç yalıtım elemanlarının çekme rijitlikleri mevcut değildir. Ancak analizlerde yakınsama probleminin aşılabilmesi için çekme rijitliği basınç rijitliğinin 1/100.000'i olarak modellere dahil edilmiştir. İç kolon altlarında kullanılan yalıtım elemanı kuvvet-deplasman ilişkisi Şekil 4'de verilmektedir.



Şekil 3. Tekrarlı yük etkisi altında iskelet eğrisi [20].



Şekil 4. Sürtünme üst değeri için yalıtım elemanı kuvvet-deplasman ilişkisi.

3. Yer Hareketlerinin Seçimi ve Ölçeklendirilmesi

Bu çalışmada FEMA P695 [15] uzak mesafe yer hareketleri kullanılmış (Tablo 2) ve bütün yer hareketleri kayıt numaraları (RSN) kullanılarak PEER veri tabanından [26] alınmıştır. RSN 829 numaralı deprem yer hareketi güncel PEER veritabanında [26] bulunmadığı için analizler 21 yer hareketi ile yapılmıştır. Şiddet parametresi olarak iki kayıt yönünün bileşke spektral ivme değerleri kullanılmış, yer hareketlerinin bileşke spektrumu hakim mode spektral ivme değerleri 0.01g, 0.05g, 0.1g, 0.15g, 0.2g, 0.25g, 0.3g, 0.35g, 0.4g ve 0.45g değerlerine ölçeklendirilmiş ve düşey bileşenler ihmal edilmiştir.

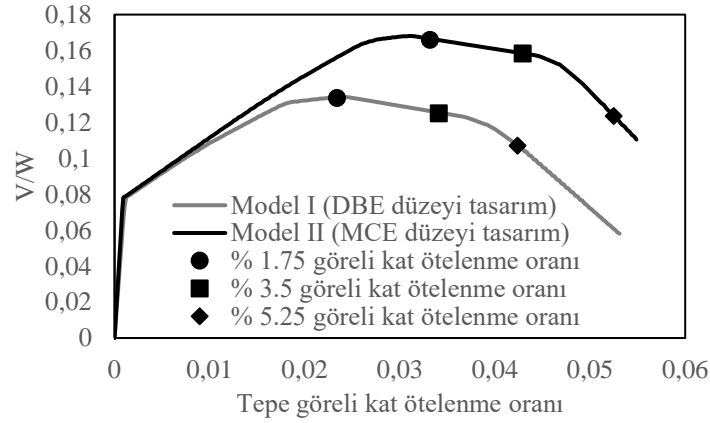
4. Statik-İtme Analizleri

TBDY [17] eşdeğer deprem yükleri modellere uygulanarak statik-itme analizleri yapılmış ve sismik ağırlık ile normalleştirilmiş itme eğrileri Şekil 5'de verilmiştir. DBE seviyesi tasarım modelinde üstyapı, TBDY [17]'ye göre kesintisiz kullanım performans seviyesinin üst limiti olan 0.0175 görel kat ötelenmesine, tepe görel kat ötelenmesinin 0.0234 değerinde ulaşmıştır. Bununla birlikte MCE seviyesi tasarım modeli tepe görel kat ötelenmesinin 0.033 değerinde aynı performans sınırına erişmiştir. Model I ve Model II sınırlı hasar performans seviyesi üst limiti olan % 3.5 görel kat ötelenmesi oranına sırasıyla 0.0341 ve 0.043 tepe görel kat ötelenmesi oranlarında ulaşmıştır.

Kitayama ve Constantinou [4] üstyapı dayanımı yüksek çelik binalarda öncelikle yalıtım elemanlarının kapasiteye ulaştığını göstermiştir. Şekil 5'de normalleştirilmiş taban kesme kuvveti-tepe görel kat ötelenmesi verilen her iki modelde de üstyapılar, yalıtım elemanlarından önce göçme seviyesine ulaşmıştır. Model I için maksimum taban kesme kuvveti oranı 0.134 ve yalıtım elemanı maksimum yer değiştirmesi 0.26 m, Model II için taban kesme kuvveti oranı 0.168 ve yalıtım elemanı maksimum yer değiştirmesi 0.41 m dir. İkinci modelin taban kesme kuvveti oranı Model I'e göre % 25 fazla olmasına rağmen, yalıtım elemanı maksimum yer değiştirmesi % 58 daha büyük elde edilmiştir. Bu durum üstyapıların yalıtım birimi üzerinde oluşturdukları farklı kuvvetlerin, üstyapının sismik ağırlığının içbükey yüzeyin eğrilik yarıçapına oranı olarak bilinen sürtünmeli sarkaç yalıtım tipinin yanal rijitliği üzerinde, oluşturduğu farklı deplasman talebinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 2. FEMA P695 [15] yer hareketi seti.

No	RSN	Deprem	Yıl	M	Kayıt istasyonu	Rrup (km)
1	68	San Fernando	1971	6.61	LA - Hollywood Stor FF	22.77
2	125	Friuli_ Italy-01	1976	6.5	Tolmezzo	15.82
3	169	Imperial Valley-06	1979	6.53	Delta	22.03
4	174	Imperial Valley-06	1979	6.53	El Centro Array #11	12.56
5	721	Superstition Hills-02	1987	6.54	El Centro Imp. Co. Cent	18.2
6	725	Superstition Hills-02	1987	6.54	Poe Road (temp)	11.16
7	752	Loma Prieta	1989	6.93	Capitola	15.23
8	767	Loma Prieta	1989	6.93	Gilroy Array #3	12.82
9	848	Landers	1992	7.28	Coolwater	19.74
10	900	Landers	1992	7.28	Yermo Fire Station	23.62
11	953	Northridge-01	1994	6.69	B. Hills - 14145 Mulhol	17.15
12	960	Northridge-01	1994	6.69	C.C - W Lost Cany	12.44
13	1111	Kobe_ Japan	1995	6.9	Nishi-Akashi	7.08
14	1116	Kobe_ Japan	1995	6.9	Shin-Osaka	19.15
15	1148	Kocaeli_ Turkey	1999	7.51	Arcelik	13.49
16	1158	Kocaeli_ Turkey	1999	7.51	Duzce	15.37
17	1244	Chi-Chi_ Taiwan	1999	7.62	CHY101	9.94
18	1485	Chi-Chi_ Taiwan	1999	7.62	TCU045	26
19	1602	Duzce_ Turkey	1999	7.14	Bolu	12.04
20	1633	Manjil_ Iran	1990	7.37	Abbar	12.55
21	1787	Hector Mine	1999	7.13	Hector	11.66

**Şekil 5.** Normalleştirilmiş statik-itme eğrileri.

5. Artımsal Dinamik Analizler

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler Bölüm 2'de verilen eleman rijitlik azalım katsayıları ve % 2.5 modal sönüm oranı kullanılarak yapılmıştır. Powell [27] doğrusal olmayan dinamik analizlerde modal sönümün yanısıra küçük oranda Rayleigh sönümü kullanılmasını önermektedir. Bu nedenle % 2.5 modal sönüm oranının yanısıra $0.5T_M$ ve $1.25T_M$ periyodlarında % 0.1 ilave Rayleigh sönüm oranı kullanılmıştır.

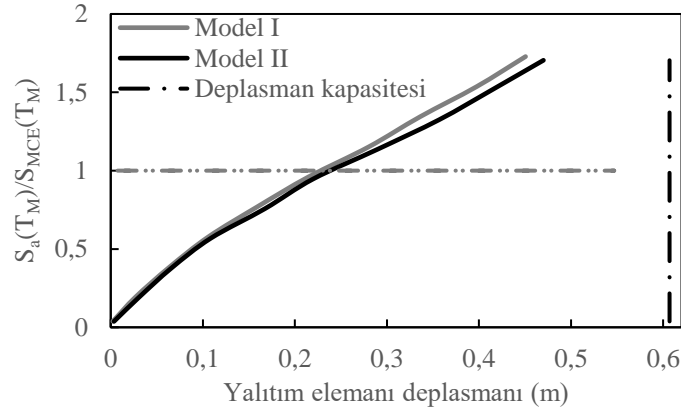
İki model ölçeklendirilmiş iki bileşenli yer hareketlerine maruz bırakılmış ve toplam 420 adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz Perform-3D [21] yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Analizlerde üstyapıda Perform-3D [21] yazılımı görel kat ötelenmesi üst limiti olan %10 değeri dışında herhangi bir sınır değeri kullanılmamış ve yalıtım elemanları deplasman kapasitesi olan 0.607 m ye ulaşınca analizler durdurulmuştur. Üstyapının davranışı incelendiği için bütün doğrusal olmayan analizlerde yalıtım elemanlarının üst sürtünme değeri kullanılmıştır.

Şekil 6'da ortalama yalıtım elemanı deplasmanları ile normalleştirilmiş hakim mod spektral ivme değerleri verilmektedir. Her iki modelde de bu ilişki lineere yakın olarak artmaktadır. MCE düzeyi tasarım modeli üstyapısı sınırlı doğrusal olmayan davranışa sahip olduğu için daha fazla deplasman talebi oluşturmaktadır.

Üstyapı ortalama görel kat ötelenmeleri ile normalleştirilmiş spektral ivme talepleri arasındaki ilişki Şekil 7'de verilmektedir. Heriki model içinde ortalama+standart sapma (ssapma) değerleri TBDY [17] kesintisiz kullanım performans üst limiti olan 0.00175 değerinin altındadır.

Vamvatsikos ve Cornell [28] aynı görel kat ötelenmesi oranına karşılık statik-itme ve artımsal dinamik analiz sonuçlarında elde edilen ilk mod spektral ivme talepleri arasında önemli farklılık olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, Şekil 5 ve Şekil 7'de verildiği gibi statik-itme analizi ile artımsal dinamik analiz sonuçları arasında farklı görel kat ötelenmeleri elde edilmiştir. Statik-itme analizlerinde önce üstyapı göçme kapasitesine ulaşırken, artımsal dinamik analizlerde önce yalıtım elemanları deplasman kapasitesine ulaşmıştır.

Yalıtım seviyesinin hemen üstünde rijit diyafram etkisi oluşturulması amacıyla kiriş ve döşeme kalınlıkları büyük tutulmuştur. Bu nedenle kirişlerin doğrusal olmayan davranışları ikinci ve üçüncü katlarda yoğunlaşmıştır. Şekil 8'de ikinci kat kiriş plastik mafsallı dönmeleri verilmektedir. Model I ve Model II'de ortalama+ssapma kiriş dönmeleri ASCE 41-13 [29] hemen kullanım performans seviyesi (IO) olan 0.01radyan değerinin altındadır. Ancak Model I'de normalleştirilmiş spektral ivme talebinin ($S_a(T_M)/S_{MCE}(T_M)$) 1.52 değerinde ikinci katta 9 adet kirişin ortalama plastik mafsallı dönmeleri hemen kullanım performans seviyesini (0.01) aşmakta iken aynı seviyede Model II'de hiçbir kiriş ortalama plastik mafsallı dönmeleri 0.01değerini aşmamaktadır.

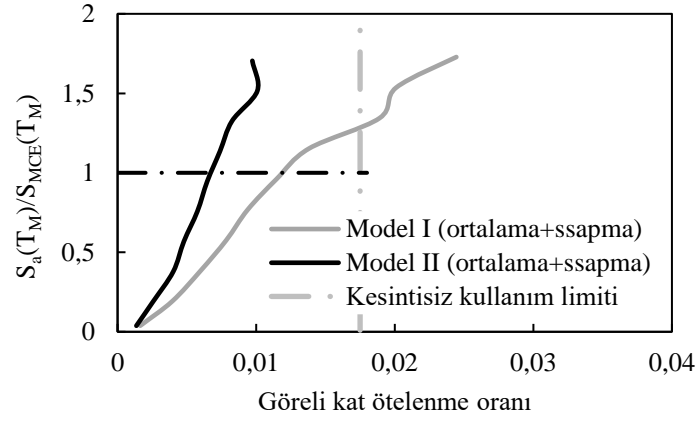


Şekil 6. Normalleştirilmiş spektral ivme talepleri ile yalıtım elemanı ortalama deplasman ilişkisi.

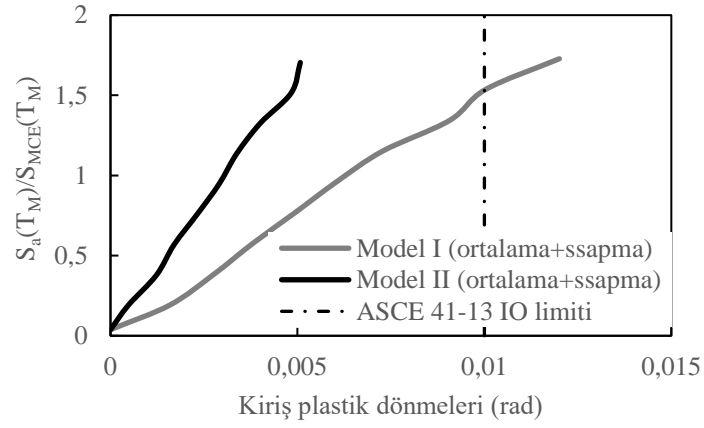
Şekil 9'da ikinci kat kolon plastik mafsallı dönmeleri verilmektedir. İkinci modelde ortalama +ssapma değerleri ASCE 41-13 [29] hemen kullanım sınırı olan 0.005 radyan değerini aşmamaktadır. Ancak birinci modelde MCE düzeyi spektral ivme değerinin %20 aşılması durumunda kolon ortalama+ssapma değerleri ASCE 41-13 [29] hemen kullanım sınırını aşmaktadır.

Şekil 5'de modellerin farklı dayanımda olduğu gösterilmektedir. Yalıtım elemanlarının kuvvet-deplasman grafiklerine bağlı olarak farklı kuvvetlerin farklı deplasman talebi oluşturacağı bilinmektedir. Bu nedenle modellerin yalıtım elemanı maksimum deplasmanlarının karşılaştırılması önemlidir. Şekil 10'da iki modelin yalıtım elemanı deplasman ilişkileri verilmektedir. Bu ilişkinin gerçekçi elde edilebilmesi için deplasman kapasitesine ulaşan ve yalıtım elemanı sürtünme kuvvetinin aşılmadığı analiz sonuçları kullanılmamıştır.

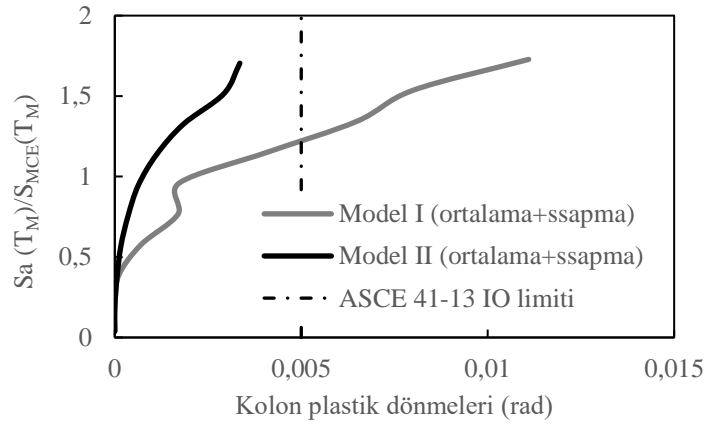
Cardone ve diğ. [14] üstyapının doğrusal olmayan davranışının yalıtım elemanı deplasmanı üzerinde sınırlı etki oluşturduğunu belirtmektedir. Üstyapı dayanımları ve kullanılan yer hareketi sayısı bu etkiyi farklılaştırabilmektedir. Bu çalışmada farklı üstyapı tasarımlarının yalıtım elemanı deplasman talebini % 4.03 oranında arttırdığı görülmüştür.



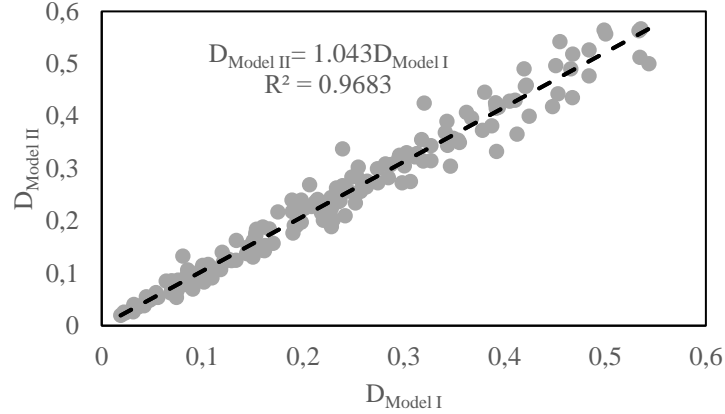
Şekil 7. Normalleştirilmiş ilk mod spektral ivme talepleri ile üstyapı görel kat ötelenmeleri ilişkisi.



Şekil 8. İkinci kat kiriş plastik mafsal dönmeleri.



Şekil 9. İkinci kat kolon plastik mafsal dönmeleri.



Şekil 10. İki modelin yalıtım elemanı maksimum deplasman ilişkisi.

6. Sonuçlar

ASCE 7-16 [7] sismik yalıtımlı binalarda üstyapı tasarım kuvvetlerini DBE deprem düzeyi yerine MCE düzeyinden elde edilmesini öngörmektedir. Bu çalışmada üstyapı tasarım kuvvetleri ASCE 7-10 [6] ve ASCE 7-16 [7] esas alınarak belirlenmiş iki sismik taban yalıtımlı modelin statik-itme ve artımsal dinamik analizleri yapılmıştır. İki modelin karşılaştırılması esas alındığından artımsal dinamik analizler için spektral şekil ve üç boyut etkisi gözönüne alınmamıştır.

Statik-itme analizinde her iki model de deplasman kapasitesine ulaşmadan üstyapı göçme kapasitesine ulaşmıştır. Ancak 10 farklı spektral ivme talebi düzeyinde yapılan artımsal dinamik analizlerin tamamında üstyapıdan önce yalıtım elemanları deplasman kapasitesine ulaşmıştır.

İki modelin görece kat ötelenmeleri önemli ölçüde farklı olmakla birlikte her iki modelin ortalama değerleri TBDY [17] kesintisiz kullanım üst limit değerinin (0.0175) altındadır. Ancak betonarme binalarda büyük kolon kesitleri nedeniyle görece kat ötelenmelerinin genellikle yüksek elde edilmediği bilinmektedir.

İkinci modelde elde edilen ikinci kat kirişleri ortalama+ssapma plastik mafsallı dönmeleri ASCE 41-13 [26] hemen kullanım performans seviyesinin altındadır. Ancak birinci modelde bu dönme değerleri, MCE düzeyi spektral ivme değerinin %50 aşılması durumunda, ASCE 41-13 [29] hemen kullanım performans seviyesini aşmaktadır.

Birinci modelde kolon ortalama+ssapma plastik dönme değerleri, MCE düzeyi spektral ivme talebinin %20 aşılması durumunda, ASCE 41-13 [29] hemen kullanım performans seviyesini aşmaktadır.

Bu çalışma kapsamında kullanılan farklı üstyapı modelleri, kullanılan yer hareketi sayısına bağlı olarak, yalıtım elemanı maksimum deplasmanını % 4.03 oranında değiştirdiği görülmüştür.

ASCE 7-16 [7] ve ASCE 7-10 [6] üstyapı tasarımları MCE deprem düzeyini aşan olağandışı deprem etkileri altında önemli ölçüde farklı doğrusal olmayan davranış göstermiştir. DBE deprem düzeyinde maksimum yön etkisi gözönüne alınarak yapılan üstyapı tasarımlarında deprem yükü azaltma faktörünün 1.2 değerinden daha yüksek alındığı binalarda bu farklılık artabilecektir. Mevcut sismik yalıtımlı binaların üstyapı performanslarının artırılması amacıyla yapılacak iyileştirmelerin üstyapı dayanımını artıracığı için yalıtım elemanı deplasman talebinde artıracığı [3] gözönünde bulundurulmalıdır.

Kaynaklar

- [1] Sayani PJ, Erduran E, Ryan KL. Comparative response assessment of minimally compliant low-rise base-isolated and conventional steel moment-resisting frame buildings. *J Struct Eng* 2011;137(10):1118–31.
- [2] Erduran E, Dao ND, Ryan KL. Comparative response assessment of minimally compliant low-rise conventional and base isolated steel frames. *Earthquake Eng Struct Dyn* 2011;40(10):1123–41.
- [3] Kitayama S, Constantinou MC. Collapse performance of seismically isolated buildings designed by the procedures of ASCE/SEI 7. *Eng Struct* 2018; 164:243–258.
- [4] Kitayama S, Constantinou MC. Effect of displacement restraint on the collapse performance of seismically isolated buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering* 2019; 17:2767–2786.
- [5] York K, Ryan K. Distribution of lateral forces in base-isolated buildings considering isolation system nonlinearity. *Journal of Structural Engineering* 2008;12:1185–1204

- [6] ASCE/SEI 7. Minimum design loads for buildings and other structures. American Society of Civil Engineers; VA, U.S.A 2010.
- [7] ASCE/SEI 7-16. Minimum design loads for buildings and other structures. American Society of Civil Engineers, VA, USA, 2016
- [8] Becker TC, Bao Y, Stephen AM. Extreme behavior in a triple friction pendulum isolated frame. *Earthquake Eng Struct Dyn* 2017;46:2683-2698.
- [9] Ryan K, Button MR, Mayes RL. ASCE 7-16 lateral force distribution equations for static design of seismically isolated buildings. *Journal of Structural Engineering* 2019;145(2):04018258.
- [10] Kitayama S, Ishii K, Kikuchi M. Response Modification Factor for the Design of Seismically Isolated Buildings. 15th World Conference on Earthquake Engineering 2012; Lisbon, Portugal, September 24-28.
- [11] Sayani PJ, Ryan KL. Comparative evaluation of base-isolated and fixed-base buildings using a comprehensive response index. *ASCE Journal of Structural Engineering* 2009; 135(6):2952–2968.
- [12] Kikuchi M, Black CJ, Aiken D. On the response of yielding seismically isolated structures. *Earthquake Engng Struct Dyn*. 2008;37:659-679.
- [13] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD). Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TDTH), Ankara. 2018, <https://tdth.afad.gov.tr> (Erişim tarihi: 24.04.2019).
- [14] Cardone D, Perrone G, Piesco V. Developing collapse fragility curves for base-isolated buildings. *Earthquake Engng Struct Dyn* . 2019;48:78–102.
- [15] FEMA P695. Quantification of building seismic performance factors. Washington DC, USA: Federal Emergency Management Agency; 2009.
- [16] ACI Committee 363. ACI 363R-92: Report on High-Strength Concrete, ACI, USA, 1992.
- [17] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY), Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018.
- [18] ETABS, Extended 3D Analysis of Building Systems Software, Version 16.0. Computers and Structures, Inc, Berkeley, CA,2016
- [19] Haselton C.B, Liel A.B, Taylor-Lange S.C, Deierlein G.G. Calibration of Model to Simulate Response of Reinforced Concrete Beam-Columns to Collapse. *ACI Structural Journal* 2016;113, No.6, 1141-1152.
- [20] PEER/ATC. Modeling and acceptance criteria for seismic design and analysis of tall buildings (PEER/ATC 72-1). Applied Technology Council, Redwood City- Pacific Earthquake Engineering Center, Berkeley. 2010
- [21] PERFORM-3D, Nonlinear analysis and performance assessment for 3D Structures, Version 6. Computers and Structures Inc, Berkeley, CA. 2016.
- [22] Mamun A.A., Saatcioglu M. Seismic performance evaluation of moderately ductile rc frame structures using Perform-3d, 2017, 16th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile.
- [23] Güneş N, Ulucan Z.Ç. Nonlinear dynamic response of a tall building to near-fault pulse-like ground motions. *Bull Earthquake Eng* (2019) 17: 2989. <https://doi.org/10.1007/s10518-019-00570-y>
- [24] Görgülü O, Taskin B. Numerical simulation of RC infill walls under cyclic loading and calibration with widely used hysteretic models and experiments. *Bull Earthq Eng* 2015;13:2591–2610.
- [25] Saatcioglu, M., Ozcebe, G. Response of Reinforced Concrete Columns to Simulated Seismic Loading. *ACI Structural Journal* 1986; 86 (1) 3-12.
- [26] Pacific Earthquake Engineering Research Center. PEER Ground Motion Database. University of California, California, 2019.
- [27] Powell, G. Nonlinear Analysis and Performance Assessment for 3D Structures, Shear wall example. Computers and Structures Inc, 2007.
- [28] Vamvatsikos D, Cornell CA. Incremental dynamic analysis. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 2002; 31(3): 491–514.
- [29] ASCE/SEI 41-13. Seismic Rehabilitation Standards Committee. Seismic Rehabilitation of Existing Buildings. American Society of Civil Engineers, Reston, 2014.