

DÜZENSİZ BİNALARDA SİSMİK TABAN İZOLATÖRÜ UYGULAMASININ MİMARİ TASARIMA ETKİSİ

Asena SOYLUK* ve **M. Emin TUNA****

* Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 06570 Maltepe, Ankara

** Karabük Üniversitesi, Fethi Tokar Güzel Sanatlar Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Karabük

asenad@gazi.edu.tr, mtuna@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 08.11.2010; Kabul/Accepted: 02.02.2011)

ÖZET

Yapı sistemlerinin deprem dayanımını artırması bakımından inşaat teknolojisindeki en yeni gelişmelerden bir tanesi sismik taban izolasyonu teknolojisidir. Bu çalışmada 2007 Deprem Yönetmeliğinde (DBYBHY) tanımlanan; düşeyde ve planda düzensizlik durumlarının tümünü içeren L şeklinde kalıp planına sahip düzensiz bir betonarme bina, ankastre tabanlı, kurşun kauçuk mesnetli ve yüksek sönümleyici kauçuk mesnetli olarak modellenmiştir. Bu modellerin dışında ayrıca; L şeklinde kalıp planına sahip, DBYBHY’te tanımlanan A3 (Planda Çıkıntılar Bulunması) düzensizliği dışında bir düzensizliğe sahip olmayan düzenli bir bina da dikkate alınmıştır. Yapı modellerinin zaman tanım alanında dinamik analizi sonucu elde edilen periyot değerleri ile sismik yapı tepkileri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, sismik taban izolatörü uygulamasının düzensiz betonarme binanın dinamik davranışını önemli ölçüde iyileştirdiği gözlenmiştir. Sismik taban izolasyonu uygulaması geniş açıklıkların geçilmesinde mimara tasarım esnekliği sağlasa da, elde edilen sonuçlar mimarları düzensiz yapı uygulamasına yönlendirmemelidir.

Anahtar Kelimeler: Sismik izolasyon, yapı teknolojisi, dinamik davranış.

EFFECT OF SEISMIC BASE ISOLATION USAGE ON THE ARCHITECTURAL DESIGN OF IRREGULAR BUILDINGS

ABSTRACT

Seismic isolation technology is one of the novel developments in the construction technology to increase the earthquake resistance of structural systems. In this study, an irregular reinforced concrete building with an L plan shape which includes all the irregularities in the plane and vertical defined in the Turkish Earthquake Code 2007 is modeled for three different base conditions. These base conditions are the fixed base and seismically isolated bases with lead rubber bearing and high damping rubber bearing. Besides these models, a regular building is also considered in this study which excludes all the irregularities except the A3 irregularity defined in the Turkish Earthquake Code 2007. Structural periods and responses obtained from time history analysis are compared with each other for the considered models. Results obtained from the study show that seismic base isolation technique applied to the reinforced concrete system improves the dynamic behavior of these systems. Although the seismic base isolation technique provides freedom in design, this outcome should not direct the architects to design irregular structures.

Key Words: Seismic isolation, structural technology, dynamic behaviour.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Türkiye'nin %92'sinin deprem bölgeleri içerisinde olması nedeniyle, bina sistemlerinde mimari tasarım nedeniyle bir takım düzensizliklerin bulunması durumunda önemli sorunlar yaşanmaktadır. Bu çalışmada düzensiz bina sistemlerinin depreme karşı dinamik davranışlarının iyileştirilmesi amacıyla

sismik taban izolasyon sisteminin uygulanması hedeflenmiştir. Depremlerden sonra yapı sistemlerinde oluşan hasarların değerlendirmesi sonucu, taşıyıcı sistem düzensizliklerinden dolayı pek çok binada hasar olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada öncelikle Türkiye gibi aktif deprem kuşakları üzerinde bulunan ülkelerde mimari tasarımı kısıtladığı düşünülen depreme dayanıklı yapı için öne sürülen

temel ilkelerin, inşaat teknolojisindeki gelişmeler ile aşılabileceği ve mimari tasarımda özgürlük sağlanabileceği ortaya konulmaya çalışılacaktır. Yapı sistemlerinin deprem dayanımını artırması bakımından inşaat teknolojisindeki en yeni gelişmelerden bir tanesi, uygulaması mimarlık disiplini tarafından çok da iyi bilinmeyen sismik izolatörlerdir. Sismik izolasyon teknolojisi ile, yapının depreme dayanma kapasitesini arttırmak yerine, yapının periyodu artırılarak binaya gelen sismik kuvvetlerin azaltılması amaçlanır. Günümüze kadar yapılan çalışmalarda sismik izolasyonun sismik performans etkileri üzerinde durulmuş ve izolatörlerin mekanik özellikleri ile yapılaraya etkileri detaylı olarak araştırılmıştır. Düzensiz yapı sistemlerinin sismik izolasyonla iyileştirilmesi konusunda yapılan çalışmalar genellikle asimetrik plana sahip ve burulma davranışı gösteren sistemler üzerinde yoğunlaşmıştır [1-15]. Bunun yanında, düşeyde düzensizlik gösteren bina sistemlerinin davranışının temel yalıtım sistemleri kullanılarak incelendiği çalışmalar da mevcuttur [16]. Ancak bu çalışmalar, mimari tasarım boyutunda ele alınmamış ve mimara sağlayacağı tasarım özgürlüğü göz önünde tutulmamıştır. Bu çalışmada deprem yönetmeliğinde belirtilen düzensizliklerin bulunduğu binalarda, geleneksel taşıyıcı sistemler ve sismik taban izolatörlü taşıyıcı sistemler için çözümler yapılacaktır. Böylece dikkate alınan sistemlerin sismik performans açısından karşılaştırmaları yapılarak, en uygun sistemin önerilmesine çalışılacaktır. Mimari tasarımı öne çıkaran böyle bir çalışmanın, mimarlık disiplinine depreme dayanıklı yapı tasarımı açısından yeni bir bakış açısı kazandıracağı düşünülmektedir. Türkiye’de depreme dayanıklı yapı tasarımının yapı mühendisliği sorumluluğu altında olduğu düşünülmektedir [17]. Oysaki mimari projeleri devralan inşaat mühendisi mimari tasarıma uygun yapı taşıyıcı sistemini seçmekte, tasarıma karışmamaktadır.

2. YAPISAL DÜZENSİZLİKLER (STRUCTURAL IRREGULARITIES)

Türkiye Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelikte [18], yapısal düzensizliklerden kaçınılması tavsiye edilmektedir. Düzensiz binalar, deprem etkisinde oldukça olumsuz kabul edilebilecek zorlamalara maruz kalmaktadır. Bu bakımdan, yapı planında basit ve düzenli geometri tercih edilmelidir, plan geometrisi olabildiğince simetrik olmalıdır [19]. Deprem yönetmeliğinde düzensizlik durumları planda ve düşeyde olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

A) Planda Düzensizlik Durumları

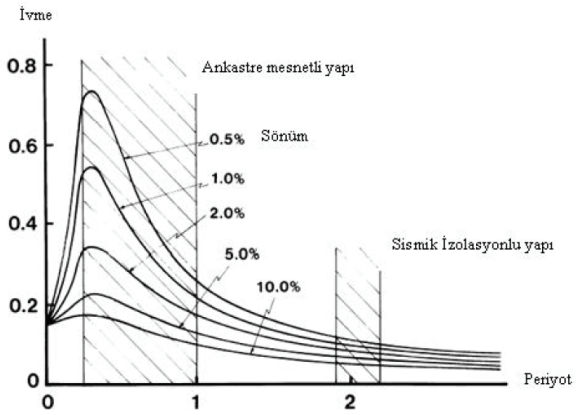
- A1 - Burulma düzensizliği
- A2 - Döşeme süreksizliği
- A3 - Planda çıkıntılar bulunması

B) Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları

- B1 - Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (Zayıf kat)
- B2 - Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (Yumuşak kat)
- B3 - Taşıyıcı sistemin düşey elemanların süreksizliği

3. SİSMİK TABAN İZOLASYONU (SEISMIC BASE ISOLATION)

Taban izolasyon sistemlerinin çalışma prensibi; üst yapı ile temel arasına yanal rijitliği düşük elemanlar koyarak deprem nedeniyle oluşan deplasmanların temel ile üst-yapı arasında olmasını sağlamak ve Şekil 1’de görüldüğü gibi yapıya ankastre mesnetli durumundaki periyotundan ve deprem hareketinden daha büyük bir periyot vermektir. Rijit bir sistemde periyot artışı etkileyen ivmelerin azalmasına neden olmaktadır [20].

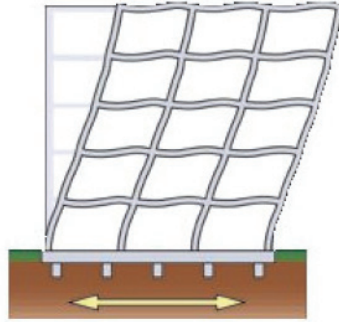


Şekil 1. Taban izolasyonlu yapı ile ankastre mesnetli yapıya ait ivme-periyot değişimi (Acceleration-period variation of base isolated and fixed base structures)

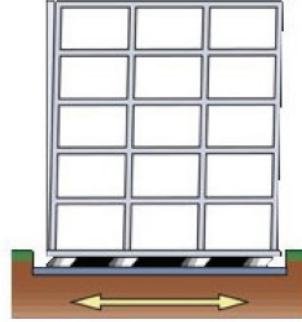
Sismik taban izolasyonlu sistemde yapının yer hareketini büyütme oranı 0,9-1,0 civarında olmaktadır. İzolasyonsuz yapı ise yer hareketini 3,0-6,0 kat büyütebilmektedir [20]. Sismik izolasyonun doğru şekilde uygulanması, yıkıcı depremler sırasında bile yapıların elastik davranmasını sağlamaktadır. Şekil 2’de görüldüğü gibi sismik izolasyonlu yapılarda görece kat yer değiştirmeleri sıfıra yakın olurken, ankastre mesnetli yapıda üst katlara doğru deplasman farkları artmaktadır.

4. NÜMERİK UYGULAMA (NUMERICAL APPLICATION)

Bu çalışmada ‘L’ şeklinde kalıp planına sahip 7 katlı betonarme bir bina sistemi (alışveriş merkezi) dikkate alınmıştır. Düzenli ve deprem yönetmeliğinde belirtilen bütün düzensizliklere sahip olarak tasarlanan binaya ait tüm kiriş boyutları sabit tutulmuştur (25x50cm). Tüm döşeme kalınlıkları 15 cm ve perde kalınlıkları 20 cm olarak seçilmiştir. Sistemin aks aralıkları her yönde 6 m’dir.



Şekil 2. a) Ankastre mesnetli yapı
(Fixed base structure)

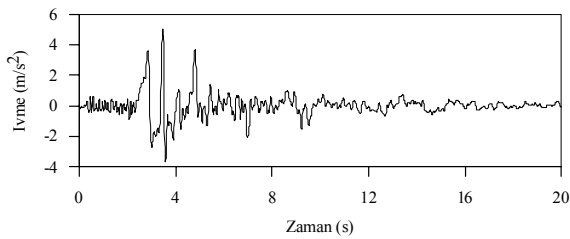


Şekil 2. b) Sismik izolasyonlu yapı
(Base isolated structure)

Kat yükseklikleri en alt katta 4m ve 5m iken, üst katlarda 3m'dir. Düzenli sistemde tüm katlardaki döşemelerin yatay yöndeki rijitlikleri sonsuz alınırken, düzensiz sistemde en üst katta kat planının 1/3'ünden fazla boşluk olduğu için döşemenin rijit diyafram özelliği dikkate alınmamıştır. Dikkate alınan bina sistemi öncelikle Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi kullanılarak çözümlenmiş ve binadaki düzensizlikler belirlenmeye çalışılmıştır. Bina sisteminin Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile çözümünde aşağıdaki değerler dikkate alınmıştır.

Deprem Bölgesi	: 1. Derece
Bina Önem Katsayısı (I)	: 1,2
Yerel Zemin Sınıfı	: Z3
Taşıyıcı Sistem Davranış Kats. (R)	: 7
Toplam yapı yüksekliği	: 23m

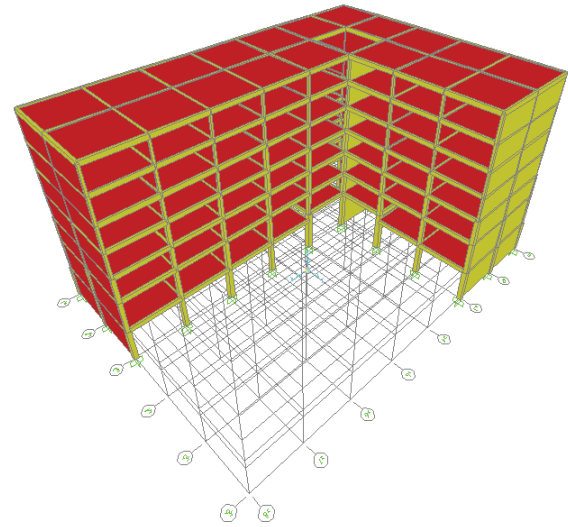
Belirtilen bina modellerinin dinamik analizi, maksimum yer hareket ivmesi 0,52 g olan 1992 Erzincan Depremi Doğu-Batı Bileşeni ivme kaydı kullanılmak suretiyle zaman tanım alanında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Betonarme binanın sonlu elemanlar metodu ile analizi SAP2000 [21] bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3. Erzincan Depremi İvme-Zaman Kaydı
(Erzincan Earthquake Acceleration-Time Record)

4.1. Düzenli Bina (DZL) (Regular Building)

'L' kalıp planına sahip, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te (DBYBHY) belirtilen düzensizlikleri içermeyen bina sistemidir (Şekil 4). DZL sisteminde tüm döşemeler rijit diyafram olarak çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Tüm kolonların kesitleri kare seçilmiş olup, kolon boyutları binanın katlarına göre değişiklik göstermektedir(25x25-80x80).



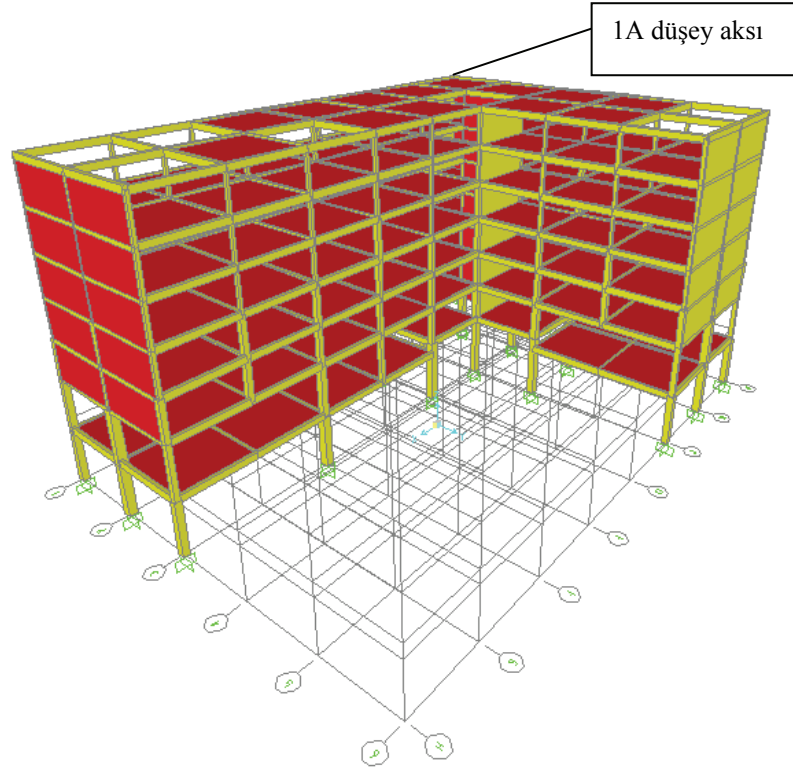
Şekil 4. Düzenli binaya ait üç boyutlu görünüm (3D view of the regular building)

Amaçlandığı gibi düzenli (DZL) binanın taşıyıcı sisteminde, DBYBHY'te tanımlanan A1 (Burulma Düzensizliği), A2 (Döşeme Süreksizlikleri), B1 (Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği-Zayıf Kat), B2 (Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği-Yumuşak Kat) ve B3 (Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği) düzensizlikleri mevcut değildir. Düzenli (DZL) binanın taşıyıcı sisteminde yalnızca A3 (Planda Çıkıntılar Bulunması) düzensizliği mevcuttur.

4.2. Düzensiz Bina (DZS) (Irregular Building)

Düzenli (DZL) sistem, yönetmelikte belirtilen planda düzensizlik ve düşey doğrultuda düzensizlik durumlarını içeren düzensiz taşıyıcı sisteme dönüştürülmüştür (Şekil 5).

Bu amaçla 1. katta 1E, 2E, 3E, 1G, 2G, 3G, 5A, 5B, 5C kolonları ile H-H ve 6-6 akslarındaki perdeler ile 2. katta 1G, 2G, 3G, 5A, 5B, 5C kolonları ile H-H ve 6-6 akslarındaki perdeler kaldırılmıştır. Böylece ilk iki katta çıkarılan kolon ve perdelerle mimari tasarım için sorun teşkil eden geniş açıklıklar elde edilmiştir.



Şekil 5. Düzensiz binaya ait üç boyutlu görünüm (3D view of the irregular building)

Mimari tasarımda çok fazla kullanılan ve mekanın daha iyi algılanması için yapılan geniş galeri boşlukları uygulamasına benzer bir uygulama bu sistemde kullanılmıştır. En üst katta; G-G ve H-H aksları arasındaki 2 adet döşeme, 5-5 ve 6-6 aksları arasındaki 2 adet döşeme, F-F, G-G, 1-1, 2-2 aksları arasındaki 1 adet döşeme ile E-E, F-F, 2-2, 3-3 aksları arasındaki 1 adet döşeme çıkarılmak suretiyle kat planının 1/3'ünden daha büyük döşeme boşluğu oluşturulmuştur. Böylece yapı sistemlerinin çözümünde “döşemeler kendi düzlemleri içindeki yüklerle karşı sonsuz rijittir” kabulü DZS sisteminin en üst katı için uygulanamamıştır. Tasarlanan düzensiz binanın taşıyıcı sisteminde, DBYBHY’te tanımlanan A1, A2, A3, B1, B2 ve B3 düzensizlikleri oluşturulmaya çalışılmıştır.

A1-Burulma Düzensizliği

Düzensiz sistemde u_x ve u_y doğrultularında burulma düzensizliği tespit edilmiş olup, u_x doğrultusundaki burulma düzensizliği kontrolü Tablo 1’de sunulmuştur.

A2-Döşeme Süreksizlikleri

Kat planı alanı 720 m^2 , ve çatı katında bulunan toplam boşluk alanı $252 \text{ m}^2 > 720/3$ olduğundan, katta döşeme süreksizliği bulunmaktadır.

A3- Planda Çıkıntılar Bulunması Durumu

Binanın x yönündeki uzunluğu : $L_x=42 \text{ m}$

Binanın x yönündeki çıkıntısı : $a_x=30 \text{ m}$
Düzensizlik koşulu : $a_x > 0,2L_x$

$30 > 42 \times 0,2$ olduğundan binada x yönündeki çıkıntıdan kaynaklanan bir düzensizlik mevcuttur. Ayrıca,

Binanın y yönündeki uzunluğu : $L_y=30 \text{ m}$
Binanın y yönündeki çıkıntısı : $a_y=18 \text{ m}$
Düzensizlik koşulu : $a_y > 0,2L_y$

$18 > 30 \times 0,2$ olduğundan binada y yönünde de bir düzensizlik mevcuttur.

Tablo 1. u_x doğrultusunda burulma düzensizliği kontrolü (Torsional irregularity control in the direction of u_x)

Kat	$d_{i_{maks}}$ (mm)	$d_{i_{ort}}$ (mm)	Δi_{maks}	Δi_{ort}	$\eta_{bi} = \frac{\Delta i_{maks}}{\Delta i_{ort}}$	Düzensizlik
7	25,78	19,812	3,176	2,983	1,06	yok
6	22,604	16,829	3,28	3,087	1,06	yok
5	19,324	13,742	3,311	3,123	1,06	yok
4	16,013	10,619	3,237	3,062	1,06	yok
3	12,776	7,557	3,091	2,924	1,06	yok
2	9,685	4,663	4,301	2,689	1,6 > 1,2	var
1	5,384	1,944	5,384	1,944	2,77 > 1,2	var

B1-Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (Zayıf Kat)

Tablo 2’de komşu katlar arası dayanım düzensizliği kontrolü yapılmıştır. Düzensiz bina sisteminde zayıf kat düzensizliği vardır.

Tablo 2. Zayıf kat kontrolü (Weak story control)

Kat	Etkili Kesme Alanı ($\Sigma Ae, m^2$)		$\eta_{ci} = (\Sigma Ae)_i / (\Sigma Ae)_{i+1}$		Düzensizlik	
	x	y	x	y	x	y
1	10,26	10,03	1,06	1,01	yok	yok
2	9,69	9,92	0,74<0,8	0,77<0,8	var	var
3	13,17	12,94	$\cong 1,0$	$\cong 1,0$	yok	yok

B2-Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (Yumuşak Kat)

Tablo 3’de u_y doğrultusunda yumuşak kat düzensizliği kontrolü yapılmıştır. Düzensiz bina sisteminde yalnızca u_y doğrultusunda yumuşak kat düzensizliği söz konusudur.

Tablo 3. u_y doğrultusunda yumuşak kat düzensizliği kontrolü (Soft story irregularity control in the direction of u_y)

Kat	$d_{i,ort}$ (mm)	$\Delta_{i,ort}$	$(\Delta_i/h_i)_{ort}$	η_{ki}	Düzensizlik
7	29,353	2,872	0,957	1,037	Yok
6	26,481	2,98	0,993	1,017	Yok
5	23,501	3,032	1,01	1,01	Yok
4	20,469	3,0	1,0	1,018	Yok
3	17,467	2,946	0,982	2,18>2,0	Var
2	14,521	7,49	2,14	1,37	Yok
1	7,031	7,031	1,562		

Tablo 3’de $\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}$ veya $(\Delta_i/h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}$ şeklinde tanımlanmaktadır.

B3-Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği

Taşıyıcı sistemin düşey elemanları (kolon ve perdeler) bazı katlarda kaldırılmış ve kirişlerin üzerine oturtulmuştur. Ayrıca bazı perdeler alt katlarda kolonlara oturtulmuştur.

Amaçlandığı gibi düzensiz (DZS) binanın taşıyıcı sisteminde, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik’te tanımlanan A1, A2, A3, B1,

B2 ve B3 düzensizliklerinin mevcut olduğu gözlenmiştir.

4.3. Kurşun Kauçuk Mesnetli Düzensiz Bina (KKM-DZS) (Irregular Building With Lead Rubber Bearing)

Düzensiz taşıyıcı sistem (DZS) pasif titreşim kontrol cihazlarından kurşun kauçuk mesnet ile tasarlanmıştır.

4.4. Yüksek Sönümleyici Kauçuk Mesnetli Düzensiz Bina (YKM-DZS) (Irregular Building With High Damping Rubber Bearing)

Düzensiz taşıyıcı sistem (DZS) pasif titreşim kontrol cihazlarından yüksek sönümleyici kauçuk mesnet ile tasarlanmıştır.

Bu çalışmada taban izolatörleri tasarımında kullanılan UBC-97 [22] parametreleri aşağıda belirtildiği gibi alınmıştır [23].

Sismik bölge faktörü : Bölge 4; $Z=0,40$
 Bölge zemin cinsi : S_D kabul edildi
 Sismik fay tipi : A tipi ($M \geq 7$)
 kayma oranı $SR \geq 5mm/yıl$
 Kaynak yakınlık faktörü : $\Delta > 15 km, N_a=1, N_v=1$
 DBE sallama yoğunluğu : $ZN_v=0,40(1)=0,40$
 MCE Tepki katsayıları : $M_M=1,25$
 Sismik katsayılar : $C_v=0,64; C_{vD}=0,64(1)=0,64$
 $C_A=0,44; C_{AD}=0,44(1)=0,44$
 $C_{AM}=1,1\alpha \quad \alpha=M_M ZN_A$
 $C_{VM}=1,6\alpha \quad \alpha=M_M ZN_V$

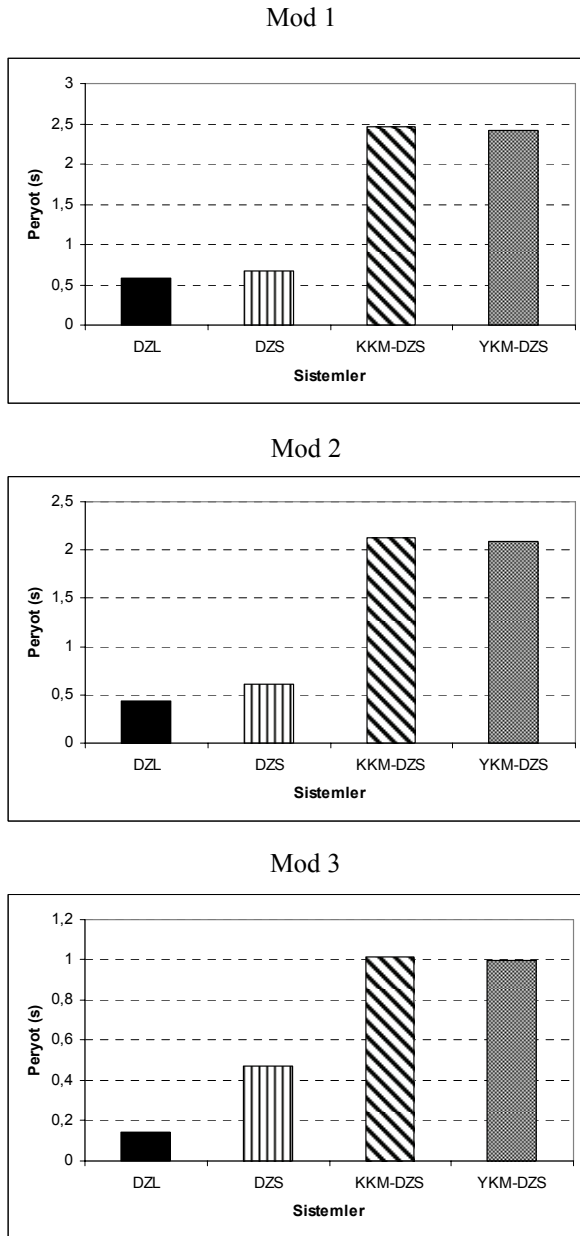
Sönüm azaltma faktörü : $B=1,20$
 Taşıyıcı sistem azaltma katsayısı : $R=2$ betonarme bina

4.5. Sismik İzolatörlü Sistemler İçin Düzensizlik Tahkiki (Irregularity Verification for Seismically Isolated Systems)

Tasarlanan düzensiz (DZS) binanın mesnetlerinde sismik izolatör kullanılması durumunda yukarıda belirtilen düzensizliklerden hangilerinin ortadan kalktığı da belirlenmeye çalışılmıştır. DBYBHY’te tanımlanan A2 (Döşeme Süreksizlikleri), A3 (Planda Çıkıntılar Bulunması), B1 (Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği-Zayıf Kat) ve B3 (Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği) düzensizliklerinde, sismik izolatör kullanılması ile bir düzelme olmayacağı açıktır. Bunun yanında, A1 (Burulma Düzensizliği) ve B2 (Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği-Yumuşak Kat) düzensizliklerinde oluşan değişim irdelenmiştir. Ancak, sismik izolatör kullanılması durumunda burulma düzensizliğinde iyileştirme yönünde bir eğilim ortaya çıksa da izolatörlü sistemde de burulma düzensizliği ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, komşu katlar arası rijitlik düzensizliğinde de herhangi bir düzelme gözlenmemiştir.

4.6. Bina Periyotlarının Karşılaştırılması (Comparison of Periods of the Building)

L şeklinde kalıp planına sahip bina sisteminin; düzenli ankastre model (DZL), düzensiz ankastre model (DZS), kurşun kauçuk mesnet ile tasarlanmış düzensiz model (KKM-DZS) ve yüksek sönümleyici kauçuk mesnet ile tasarlanmış düzensiz model (YKM-DZS) için yapılan modal analizleri sonucu elde edilen ilk üç mod periyot değerleri Şekil 6'da karşılaştırılmaktadır. İlk iki mod x ve y yönlerinde yatay ötelenmeye karşılık gelirken, 3. mod burulma şeklinde ortaya çıkmaktadır.



Şekil 6. İlk üç moda ait periyot değerleri (Periods for the first three modes)

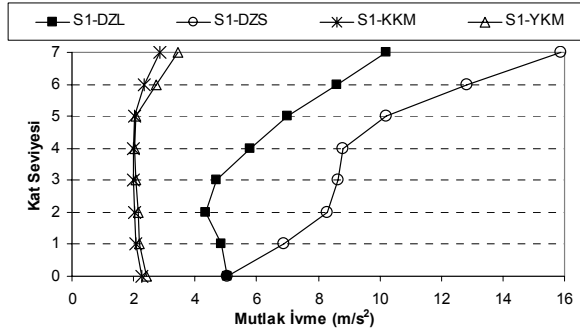
Düzenli sisteme ait ilk mod 0,57s iken, daha esnek olan düzensiz sistemde ilk mod 0,67s olmaktadır.

Hedef periyodun 2,5s olarak belirlendiği izolatörlü sistemlere ait ilk mod periyot değerleri ise, görüldüğü gibi 2,5s civarındadır. Yine 2. ve 3. modlar için de sismik izolatörler kullanılmak suretiyle, periyot değerlerinde düzenli ve düzensiz ankastre sistemlere oranla önemli artışlar elde edilmiştir. İzolatörlü sistemlerin mesnetlerinde ilk üç mod (izolatör modları) için deformasyon söz konusu olsa da, yapı rijit bir davranış sergilemektedir. Geri kalan modlar (yapısal modlar) ise izolatör sistemi ile birlikte, daha çok yapı sisteminde deformasyona neden olmaktadır. Yapısal modların deprem hareketinden kaynaklanacak tepki kuvvetlerine katkısı az olacağından, sismik izolatörlü sistemlerin deprem hareketi altındaki davranışlarının oldukça iyi olacağı ortaya çıkmaktadır.

4.7. Bina Sistemlerine ait Tepki Değerlerinin Karşılaştırılması (Comparison of the Responses of the Buildings)

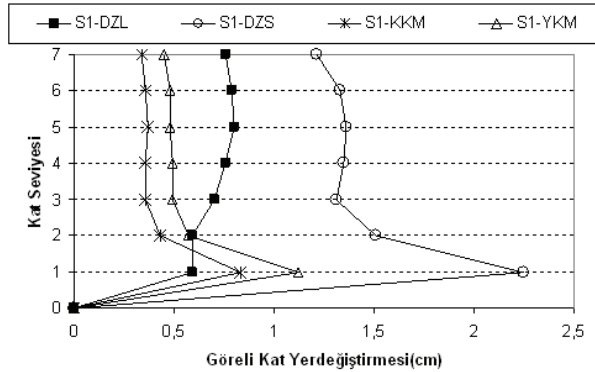
1992 Erzincan Depremi Doğu-Batı bileşeni için L şeklinde kalıp planına sahip bina sistemi; düzenli ankastre model, düzensiz ankastre model, kurşun kauçuk mesnetli düzensiz model ve yüksek sönümleyici kauçuk mesnetli düzensiz model için çözümlenmiştir. Her bir model için elde edilen ivme, yerdeğiştirme değerleri ile eğilme momentleri kalıp planı içerisinde dikkate alınan 1A düşey aksı boyunca irdelenmiştir.

Dikkate alınan düşey aks boyunca x yönünde elde edilen mutlak ivme değerinin yükseklik boyunca değişimi Şekil 7'de karşılaştırılmıştır. 1A düşey aksı x yönü için düzenli sistemde elde edilen mutlak ivme değeri tabanda 0,52g iken, en tepe noktada 1,04g düzeyindedir. Düzensiz sistemde ise tepe noktasındaki ivme değeri 1,62g düzeyindedir ve yükseklik boyunca elde edilen ivme değerleri düzenli sisteme oranla daha büyüktür. İzolatörlü sistemler için elde edilen ivme değerleri birbirine yakın olup, ankastre mesnetli düzenli ve düzensiz sistemler için elde edilen değerlerden oldukça küçük olmaktadır. Bunun yanında ankastre mesnetli sistemlerde kat yüksekliği boyunca elde edilen ivme değerleri, yer hareketine ait maksimum ivme değerini aşarken (0,52g), izolatörlü sistemlerde elde edilen ivme değerleri yer hareketi maksimum ivme değerinden daha küçük olmaktadır. Yüksek sönümleyici kauçuk mesnetli ve kurşun kauçuk mesnetli sistemler için taban noktasında elde edilen ivme değeri yaklaşık olarak 0,23g iken, tepe noktasında elde edilen ivme değerleri sırasıyla 0,35g ve 0,29g olmaktadır. Böylece sismik izolatör kullanılan düzensiz sistemlerin yer hareket ivmesini %33-56 oranında azalttığı anlaşılmaktadır. Ayrıca düzenli ankastre sistemin yer hareketini %100 oranında, düzensiz ankastre sistemin ise %212 oranında arttırdığı gözlemlenmektedir.



Şekil 7. 1A düşey aksı x yönü mutlak ivme değerleri (Absolute acceleration values for 1A vertical axis along x direction)

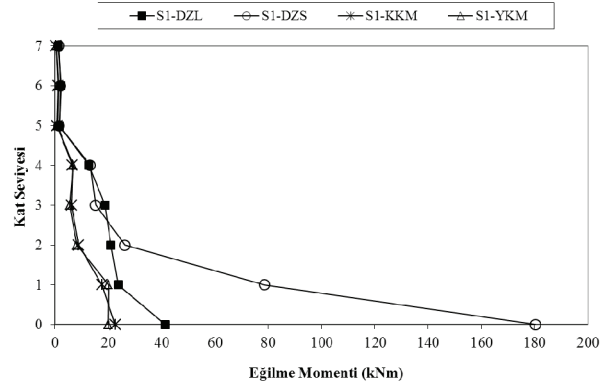
Dikkate alınan düşey aks boyunca y yönünde elde edilen göreceli kat yerdeğiştirme değerlerinin yükseklik boyunca değişimi Şekil 8’de verilmektedir. Burada da düzensiz ankastre sisteme ait göreceli kat yerdeğiştirmeleri, düzenli ankastre sistem yerdeğiştirmelerinden belirgin olarak daha büyüktür. Düzensiz sistemde sismik izolatör kullanılması ile yerdeğiştirmelerin ne kadar azaldığı açık olarak görülmektedir. Üst katlarda izolatörlü sistemler için elde edilen göreceli kat yerdeğiştirmeleri rijit bir davranış göstermekte ve düzenli sisteme oranla daha küçük olmasına rağmen, düzensizliklerin yoğun olarak bulunduğu ilk iki kattaki yerdeğiştirmeler düzenli sistem için elde edilen yerdeğiştirmelerden daha büyük olmaktadır. Sismik izolatör ile rijit davranışa yakın bir değişim elde edildiğinden, sistemde meydana gelecek kesit tesirlerinde de azalma olacağı açıktır.



Şekil 8. 1A düşey aksı y yönü göreceli kat yerdeğiştirme değerleri (Relative displacement values for 1A vertical axis along y direction)

Bina yüksekliği boyunca 1A aksı kolon uçlarında elde edilen eğilme momentinin değişimi Şekil 9’da incelenmektedir. Düzensiz ankastre sistem için elde edilen eğilme momenti değerleri özellikle alt katlarda düzenli ankastre sistem eğilme momentlerinden oldukça büyük olurken, üst katlarda eğilme momentlerinin küçük olduğu ve her iki sistem için elde edilen momentlerin birbirine yakın olduğu gözlenmektedir. Sismik izolatör kullanılması ile elde edilen eğilme momenti değerleri ise özellikle alt

katlarda düzensiz ankastre sisteme oranla oldukça azalmıştır. Düzenli sistemin düzensiz hale dönüştürülmesi ile 1A düşey aksı taban eğilme momenti değeri %336 kadar bir artış göstermiştir. Bunun yanında düzensiz sistemde sismik izolatörler kullanılmak suretiyle yüksek sönümleyici kauçuk mesnetli ve kurşun kauçuk mesnetli sistemler için elde edilen taban eğilme momenti değerleri düzenli ankastre mesnetli sisteme oranla sırasıyla %52 ve %45 oranında azalmıştır.



Şekil 9. 1A düşey aksı 3-3 eğilme momenti değerleri (3-3 bending moment values for 1A vertical axis)

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada mimari tasarım serbestliği elde etmek için, sismik izolatörlerin depreme dayanıklı yapı tasarımına getirebileceği yeni bakış açıları ortaya konmuştur. Çalışmada dikkate alınan sistemlerin sismik performans açısından karşılaştırmaları yapılarak, en uygun sistemin önerilmesine çalışılmıştır.

Sismik izolatör kullanılması ile hakim periyodu sırasıyla 0,57s ve 0,67 s olan düzenli ve düzensiz ankastre sistemlerin periyodu, düzensiz sistemde sismik izolatörler kullanılmak suretiyle 2,5 s hedefine yükseltilmiştir. İzolatörlü sistemlerin mesnetlerinde ilk üç mod (izolatör modları) için deformasyon söz konusu olsa da, yapı rijit bir davranış sergilemiştir. Geri kalan modlar (yapısal modlar) ise izolatör sistemi ile birlikte, daha çok yapı sisteminde deformasyona neden olmuştur. Yapısal modların deprem hareketinin neden olduğu tepki kuvvetlerine katkısı az olduğundan, sismik izolatörlü sistemlerin deprem hareketi altındaki davranışlarının oldukça iyi olacağı ortaya çıkmaktadır.

Düzenli ankastre sistemden mimari nedenlerle belirli noktalardaki kolon, perde ve döşemeler çıkarılmak suretiyle oluşturulan düzensiz ankastre sisteme ait tepki değerlerinde önemli artışlar gözlenmiştir. Oluşturulan düzensiz sistem mesnet noktalarına sismik taban izolasyonu uygulanarak, düzensiz sistemin tepkileri önemli oranda azaltılmıştır. Hatta ortaya çıkan yapı tepkileri genellikle düzenli ankastre sisteme ait tepki değerlerinde de küçük olmuştur. Sismik izolatör kullanılan düzensiz sistemlerin yer

hareketini %33-56 oranında azalttığı, düzenli ankastre sistemin yer hareketini %100 oranında ve düzensiz ankastre sistemin yer hareketini %212 oranında arttırdığı gözlemlenmiştir.

Böylece sismik izolatörler kullanılmak suretiyle mimari tasarımda yaşanabilecek sorunlar ortadan kaldırılmış ve olabildiğince mimari tasarım özgürlüğü sağlanmıştır. Başka bir ifadeyle, sismik taban izolasyonu uygulanan binaların kat planlarında büyük boşluklar, galeriler oluşturulabilecek ve bina sistemlerinin iç ve dış mimarisinde depreme dayanıksız kırılğan malzeme kullanılabilir. Sismik izolatör kullanılması durumunda deprem etkisi için düzensiz binanın dinamik davranışında önemli düzelmeler olmasına rağmen, ortaya konan bu sonuç mimarlar için düzensiz bina tasarımına teşvik nedeni olmamalıdır. Yapılan analizler, izolatör kullanımının binada mevcut olan yapısal düzensizlikleri ortadan kaldırmadığını göstermiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Lee, D.M., "Base Isolation for Torsion Reduction in Asymmetric Structures Under Earthquake Loading", **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, Cilt 8, 349-359, 1980.
2. Pan, T.C. and Kelly, J.M., "Seismic Response of Torsionally Coupled Base Isolated Building", **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, Cilt 11, 749-770, 1983.
3. Nagarajaiah, S., Reinhorn, A. M. and Constantinou, M.C., "Torsion in Base Isolated Structures With Elastometric Isolation Systems", **ASCE Journal of Structural Engineering**, Cilt 119, No 10, 2932-2951, 1993.
4. Yang, Y.B. and Huang, W.H., "Equipment-Structure Interaction Considering the Effect of Torsion and Base Isolation", **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, Cilt 27, 155-171, 1998.
5. Goel, R.K., "Seismic Behaviour of Asymmetric Buildings With Supplemental Damping", **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, Cilt 29, 461-480, 2000.
6. Lin, W.H. and Chopra, A.K., "Understanding and Predicting Effects of Supplemental Viscous Damping on Seismic Response of Asymmetric One-Story Systems", **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, Cilt 30, 1475-1494, 2001.
7. Colunga, T.A. and Soberon, L.G., "Torsional Response of Base Isolated Structures due to Asymmetries in the Superstructure", **Engineering Structures**, Cilt, 1587-1599, 2002.
8. Ryan, K.L. and Chopra, A.K., "Approximate Analysis Methods for Asymmetric Plan Base-Isolated Buildings", **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, Cilt 31, 33-54, 2002.
9. Colunga, A.T. and Soberon, L.G., "Torsional Response of Base-Isolated Structures due to Asymmetries in the Superstructure", **Engineering Structures**, Cilt 24, 1587-1599, 2002.
10. Samali, B., Wu, Y.M. and Li, J., "Shake Table Tests on a Mass Eccentric Model with Base Isolation", **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, Cilt 32, 1353-1372, 2003.
11. Zavoni, E.H. and Leyva, A., "Torsional Response of Symmetric Buildings to Incoherent and Phase-Delayed Earthquake Ground Motion", **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, Cilt 32, 268-276, 2001.
12. Almazan, J.L. and Liera, J.C., "Accidental Torsion due to Overturning in Nominally Symmetric Structures Isolated with the FPS", **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, Cilt 32, 919-948, 2003.
13. Liera, J.C., Almazan, J.L. and Vial, I.J., "Torsional Balance of Plan-Asymmetric Structures with Frictional Dampers: Analytical Results", **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, Cilt 34, 1089-1108, 2005.
14. Derdiman, M.K., **Düzensiz Çok Katlı Betonarme Yapıların Davranışının Taban İzolatörleri, Enerji Sönümleyici ve Dağıtıcılarla İyileştirilmesi**, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
15. Colunga, T.A. and Rojas, C.Z., "Dynamic Torsional Amplifications of Base-Isolated Structures with an Eccentric Isolation System", **Engineering Structures**, Cilt 28, No 1, 72-83, 2006.
16. Demircan, Ş., **Düşeyde Düzensiz Binalarda Temel Yalıtım Uygulaması**, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.
17. Özmen, C. and Ünay, A.İ., "Commonly Encountered Seismic Design Faults Due to the Architectural Design of Residential Buildings in Turkey", **Building And Environment**, Cilt 42, No 3, 1406-1416, 2007.
18. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, 2007.
19. Tuna, M.E., **Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı**, Ajans Türk Basım, 2000.
20. Robinson, W.H., "Seismic Isolation of Civil Buildings in New Zealand", **Progress in Structural Engineering and Materials**, Cilt 2, 328-324, 2000.
21. SAP2000, **Integrated Structural Analysis and Design Software**, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, 2005.
22. International Conference of Building Officials, **Earthquake Regulations for Seismic Isolated Structures**, **Uniform Building Code**, Chapter 23, Whittier, CA, 1997.
23. Naeim, F. and Kelly, J.M., **Design of Seismic Isolated Structures**, John Wiley and Sons, New York, 1999.