



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN İZOLASYON
SİSTEMLERİNİN SİSMİK PERFORMANSLARININ
KARŞILAŞTIRILMASI**

**İnş.Müh. Murat ÖZGÜR
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Programı**

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Cenk ALHAN**

Eylül, 2010

İSTANBUL



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN İZOLASYON
SİSTEMLERİNİN SİSMİK PERFORMANSLARININ
KARŞILAŞTIRILMASI**

**İnş.Müh. Murat ÖZGÜR
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Programı**

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Cenk ALHAN**

Eylül, 2010

İSTANBUL

Bu çalışma 01/09/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Yrd. Doç. Dr. Cenk ALHAN (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Namık Kemal ÖZTORUN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Abdurrahman GÜNER
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Yrd. Doç. Dr. Taner M. CENGİZ
Namık Kemal Üniversitesi
Çorlu Mühendislik Fakültesi



Yrd. Doç. Dr. Turgay ÇOŞGUN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında bana yol gösteren ve çalışmalarımı yöneten değerli danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Cenk ALHAN'a, değerli görüş ve önerileri ile teze büyük katkı yapan tez jürisinde bulunan çok değerli hocalarıma teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Ayrıca hayatım boyunca başarımda en büyük paya sahip olan ve her zaman yanımda olan aileme teşekkür ederim.

Eylül, 2010

Murat ÖZGÜR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. SİSMİK İZOLASYON İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	2
1.2. DOĞRUSAL OLMAYAN İZOLASYON SİSTEMLERİNİN EŞDEĞER DOĞRUSAL OLARAK MODELLENMESİ İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
1.3. AMAÇ	7
2. SİSMİK İZOLASYON SİSTEMLERİ	9
2.1. SİSMİK İZOLASYONUN AMACI VE ÇEŞİTLERİ	9
2.1.1. Elastomerik İzolasyon Sistemleri	10
2.1.2. Sürtünme Esaslı Sismik İzolasyon Sistemleri.....	12
2.2. SİSMİK İZOLASYON UYGULAMALARI	12
2.3. KURŞUN ÇEKİRDEKLİ KAUÇUK İZOLATÖRLERİN DOĞRUSAL OLMAYAN MODELLEMESİ	13
2.4. DOĞRUSAL OLMAYAN İZOLASYON SİSTEMLERİNİN EŞDEĞER DOĞRUSAL SİSTEMLER OLARAK MODELLENMESİ	16
2.5. DİNAMİK ANALİZLER İÇİN 3DBASIS PROGRAMI	16

3. MATEMATİKSEL MODELLEME VE YÖNTEM.....	19
3.1. YAPISAL SİSTEM	19
3.2. PARAMETRİK ÇALIŞMA.....	21
3.3. ANALİZLERDE KULLANILAN DEPREM KAYITLARI	25
4. BULGULAR	31
5. SONUÇLAR	56
KAYNAKLAR	58
EKLER	62
ÖZGEÇMİŞ	65

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1	: Nümerik deneylerde kullanılan birbirine dik iki doğrultuda depreme maruz kalan üç boyutlu kesme çerçevesi.....	20
Şekil 3.2	: Kauçuk sismik izolatör.....	21
Şekil 3.3	: Deprem yüklemeleri.....	21
Şekil 3.4	: Dışmerkezlilik durumu için deprem yüklemeleri.....	22
Şekil 3.5	: T_{eff} ve β_{eff} dağılım grafiği.....	25
Şekil 3.6	: Depremlere ait hız-zaman grafikleri.....	26
Şekil 3.7	: KJM depremine ait spektral deplasman grafiği.....	27
Şekil 3.8	: SYL depremine ait spektral deplasman grafiği.....	27
Şekil 3.9	: PET depremine ait spektral deplasman grafiği.....	28
Şekil 3.10	: LGP depremine ait spektral deplasman grafiği.....	28
Şekil 3.11	: KJM depremine ait spektral ivme grafiği.....	29
Şekil 3.12	: SYL depremine ait spektral ivme grafiği.....	29
Şekil 3.13	: PET depremine ait spektral ivme grafiği.....	30
Şekil 3.14	: LGP depremine ait spektral ivme grafiği.....	30
Şekil 4.1	: Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemi deplasmanının doğrusal olmayan izolasyon sistemi deplasmanına olan oranının akma sonrası izolasyon periyoduna göre değişimi.....	41
Şekil 4.2	: Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemine sahip yapının pik en üst kat ivmesinin doğrusal olmayan izolasyon sistemine sahip yapının pik en üst kat ivmesine olan oranının akma sonrası izolasyon periyoduna göre değişimi.....	42
Şekil 4.3	: Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemine sahip yapının pik görelî ilk kat deplasmanının doğrusal olmayan izolasyon sistemine sahip yapının pik görelî ilk kat deplasmanına olan oranının akma sonrası izolasyon periyoduna göre değişimi.....	43
Şekil 4.4	: Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemine sahip yapının pik taban kesme kuvvetinin doğrusal olmayan izolasyon sistemine sahip yapının pik taban kesme kuvvetine olan oranının akma sonrası izolasyon periyoduna göre değişimi.....	44
Şekil 4.5	: Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemine sahip yapının pik taban burulma momentinin doğrusal olmayan izolasyon sistemine sahip yapının pik taban burulma momentine olan oranının akma sonrası izolasyon periyoduna göre değişimi.....	45
Şekil 4.6	: Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemi deplasmanının doğrusal olmayan izolasyon sistemi deplasmanına olan oranının etkin izolasyon periyoduna göre değişimi.....	46
Şekil 4.7	: Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemine sahip yapının pik en üst kat ivmesinin doğrusal olmayan izolasyon sistemine sahip yapının pik en üst kat ivmesine olan oranının etkin izolasyon periyoduna göre değişimi.....	47

Şekil 4.8	: Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemine sahip yapının pik görelî ilk kat deplasmanının doğrusal olmayan izolasyon sistemine sahip yapının pik görelî ilk kat deplasmanına olan oranının etkin izolasyon periyoduna göre değişimi.....	48
Şekil 4.9	: Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemine sahip yapının pik taban kesme kuvvetinin doğrusal olmayan izolasyon sistemine sahip yapının pik taban kesme kuvvetine olan oranının etkin izolasyon periyoduna göre değişimi.....	49
Şekil 4.10	: Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemine sahip yapının pik taban burulma momentinin doğrusal olmayan izolasyon sistemine sahip yapının pik taban burulma momentine olan oranının etkin izolasyon periyoduna göre değişimi.....	50
Şekil 4.11	: Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemine sahip yapının pik taban burulma momentinin doğrusal olmayan izolasyon sistemine sahip yapının pik taban burulma momentine olan oranının etkin izolasyon sönüm oranı göre değişimi.....	51
Şekil 4.12	: Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemine sahip yapının pik en üst kat ivmesinin doğrusal olmayan izolasyon sistemine sahip yapının pik en üst kat ivmesine olan oranının etkin izolasyon sönüm oranına göre değişimi.....	52
Şekil 4.13	: Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemine sahip yapının pik görelî ilk kat deplasmanının doğrusal olmayan izolasyon sistemine sahip yapının pik görelî ilk kat deplasmanına olan oranının etkin izolasyon sönüm oranına göre değişimi.....	53
Şekil 4.14	: Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemine sahip yapının pik taban kesme kuvvetinin doğrusal olmayan izolasyon sistemine sahip yapının pik taban kesme kuvvetine olan oranının etkin izolasyon sönüm oranına göre değişimi.....	54
Şekil 4.15	: Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemine sahip yapının pik taban burulma momentinin doğrusal olmayan izolasyon sistemine sahip yapının pik taban burulma momentine olan oranının etkin izolasyon sönüm oranına göre değişimi.....	55

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1	: 2001-2010 tarihleri arasında meydana gelen depremler.	1
Tablo 3.1	: İzolasyon sistemlerine ait mekanik özellikler.....	23
Tablo 3.2	: Eşdeğer doğrusal sisteme ait parametreler	24
Tablo 3.3	: Deprem Kayıtlarına ait Özellikler.....	25
Tablo 4.1	: SYL depremi altında yapısal cevap değerleri.....	32
Tablo 4.2	: KJM depremi altında yapısal cevap değerleri	33
Tablo 4.3	: PET depremi altında yapısal cevap değerleri	34
Tablo 4.4	: LGP depremi altında yapısal cevap değerleri.....	35
Tablo 4.5	: Yapısal cevap oranlarının (Lineer/Nonlineer) tek yönlü (unidirectional) ve çift yönlü (bidirectional) yüklemelerde tüm depremler ve izolasyon sistemlerinin ortalama ve standart sapma değerleri.....	40

SEMBOL LİSTESİ

- α : akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı.
 β_{eff} : etkin viskoz sönüm oranı.
 γ : çevrimsel döngünün şeklini kontrol eden boyutsuz sabit.
 λ : çevrimsel döngünün şeklini kontrol eden boyutsuz sabit.
 ω_0 : açısal frekans.
 A : çevrimsel döngünün şeklini kontrol eden boyutsuz sabit.
 C_{eff} : etkin viskoz sönüm katsayısı.
 CM : yapının kütle merkezi.
 D : maksimum yer değiştirme.
 D_y : akma yer değiştirmesi.
 F_y : akma dayanımı.
 $HDRB$:yüksek sönümlü kauçuk izolatör.
 K_1 : akma öncesi rijitlik veya elastik rijitlik.
 K_2 : akma sonrası rijitlik veya plastik rijitlik.
 K_{eff} : etkin rijitlik.
 M : yapı toplam kütlesi.
 M_w : deprem büyüklüğü.
 PGA : pik yer ivmesi
 PGD : pik yer ötelemesi.
 PGV : pik yer hızı.
 Q : karakteristik kuvvet.
 $SDOF$: tek serbestlik dereceli sistem.
 T_{eff} : yapının etkin titreşim periyodu.
 T_0 : akma sonrası titreşim periyodu veya izolasyon periyodu.
 U_x : mesnette X yönünde oluşan deplasman.
 U_y : mesnette Y yönünde oluşan deplasman.
 W : yapının toplam ağırlığı.
 Z_x : histeretik kuvvetlerin iki eksenli etkileşimiyle ilgili boyutsuz değer.
 Z_y : histeretik kuvvetlerin iki eksenli etkileşimiyle ilgili boyutsuz değer.

ÖZET

DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN İZOLASYON SİSTEMLERİNİN SİSMİK PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Depreme dayanıklı yapı tasarımında sismik taban izolasyonunun kullanımı Türkiye’de ve dünyada giderek yaygınlaşmaktadır. Sismik izolasyon sistemlerinden düşük sönümlü kauçuk izolatörlerin viskoz sönümleyiciler ile birlikte kullanıldığı sistemler doğrusal davranış sergilerlerken, uygulamada sıklıkla kullanılan yüksek sönümlü veya kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerden oluşan izolasyon sistemlerinin davranışları doğrusal değildir. Ancak, sismik izolasyonlu binaların sismik analizlerinin doğrusal analiz yöntemleri kullanılarak yapılabilmesi için izolasyon sisteminin doğrusal (lineer) olması veya doğrusal olmayan (nonlineer) izolasyon sisteminin deprem yönetmeliklerinde tanımlanan “eşdeğer rijitlik” ve “eşdeğer sönüm” kavramları yardımıyla doğrusal olarak modellenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, bu yaklaşık doğrusal modelleme yönteminin uygunluğu araştırıldı. Farklı sismik izolasyon sistemlerine sahip bina modellerinin kullanıldığı bu çalışmada, izolasyon sistemleri lineer ve nonlineer olarak ayrı ayrı modellendi ve farklı tarihi deprem kayıtları kullanılarak binaların sismik analizleri gerçekleştirildi. İzolatör deplasmanları, katlar arası görelî öteleme oranları, kat ivmeleri, taban kesme kuvvetleri ve taban burulma momentleri gibi sismik performans kriterleri açısından karşılaştırmalar yapılarak farklı modelleme yöntemlerinin sismik taban izolasyonlu binaların sismik performanslarına etkileri ortaya koyuldu. İzolatörlerin doğrusal olmayan davranışları Bouc-Wen modeli kullanılarak modellendi, izolatörlerin ikili eksenel etkileşimleri göz önüne alındı ve üç boyutlu modeller kullanılarak dışmerkezlik etkileri de hesaba katıldı. Eşdeğer doğrusal modellerin doğrusal olmayan modelleri temsil etmekte çoğu zaman zorlandığı görüldü.

SUMMARY

A COMPARISON OF SEISMIC PERFORMANCES OF LINEAR AND NON-LINEAR ISOLATION SYSTEMS

Use of seismic base isolation in earthquake resistant design is becoming more common both in Turkiye and worldwide. While seismic isolation systems composed of low damping rubber bearings and viscous dampers behave linearly, the behaviors of the seismic isolation systems, which are composed of high damping rubber bearings or lead rubber bearings and used in practice, are nonlinear. However, in order to be able to perform the seismic analyses of seismically isolated buildings via linear analysis methods, the seismic isolation system should be linear or modeled linearly via use of “effective stiffness” and “effective damping” terms defined in seismic codes. In this study, the suitability of this approximate linear modeling method is investigated. In this study, where different building models with different isolation systems are used, the isolation systems are modeled as linear and nonlinear and the seismic analyses of buildings are conducted under different earthquake records. Influences of different modeling techniques on the performances of seismic base isolated buildings are shown by comparing seismic performance criteria including isolator displacements, inter-story drift ratios, floor accelerations, base shears, and torsional base moments. Nonlinear behaviors of the isolators are modeled via Bouc-Wen model; biaxial interactions of isolators are taken into account; and eccentricity is taken into account via use of three dimensional models. It is shown that equivalent linear models generally fall short of simulating the behaviors of nonlinear models.

1. GİRİŞ

Depremler birçok can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. 12 Mayıs 2008’de Çin’de meydana gelen Wenchuan Depremi 69.227 can kaybı, 17.923 kayıp ve 374.643 yaralanmaya ve birçok yapının şiddetle yıkılmasına neden olmuştur (Zhao, 2010). Wenchuan’da 2008 yılında meydana gelen 7.9 büyüklüğündeki depremde, 20. ve 21. yüzyılda dağlarda meydana gelmiş olan en kötü yıkım meydana gelmiştir. Deprem nedeniyle birbirlerini tetikleyen çok sayıda toprak kayması sonucunda 69.000’den fazla insan yaşamını yitirmiştir (Chigira ve diğ., 2010). Son olarak Haiti’de 12 Ocak 2010 tarihinde Richter ölçeği ile 7.00 büyüklüğündeki depremin ardından oniki adet 5.00’den daha büyük artçı deprem meydana gelmiştir. Bunun sonucu olarak ülkedeki neredeyse tüm yapılar zarar görmüş veya çökmüştür. Gerçekte daha fazla olduğu tahmin edilmekle beraber, Haiti hükümetinin hesaplarına göre 140.000 kişi hayatını kaybetmiştir (Bailey ve diğ., 2010). Dünyada, 2001-2010 arasında meydana gelen can kaybı en yüksek olan depremler ve can kayıpları şu şekildedir (USGS, 2010).

Tablo 1.1 2001-2010 tarihleri arasında meydana gelen depremler (USGS, 2010).

<i>Yıl</i>	<i>Tarih</i>	<i>Büyüklik</i>	<i>Can kaybı</i>	<i>Bölge</i>
2010	01/12	7.0	222.570	Haiti
2009	09/30	7.5	1.117	Southern Sumatra, Indoesia
2008	05/12	7.9	87.587	Eastern Sichuan, China
2007	08/15	8.0	514	Near the Coast of Central Peru
2006	05/26	6.3	5.749	Java, Indonesia
2005	10/08	7.6	80.361	Pakistan
2004	12/26	9.1	227.898	Off West Coast of Northern Sumatra
2003	12/26	6.6	31.000	Southeastern Iran
2002	03/25	6.1	1.000	Hindu Kush Region, Afghanistan
2001	01/26	7.7	20.023	India

Depremler can güvenliğini tehdit ettiği gibi birçok yapıya da zarar vermektedir. Özellikle bina türü yapıları etkileyen depremlerin genellikle tünelleri çok daha az etkilediği düşünülmektedir. Oysa ki, 1923 Büyük Kantou Depremi, 1995 Büyük Hanshin Depremi, 1999 Taiwan Chi-Chi Depremi, 2004 Mid Niigata Prefecture Depremi ve Mayıs 2008’de Çin’de meydana gelen Büyük Wenchuan Depremi’nde birçok tünelin dahi depremden zarar gördüğü rapor edilmiştir (Jiang ve dig., 2010). Can kayıplarına yol açan ve yapılar üzerinde olumsuz etkileri bulunan depremlerin, insan psikolojisi üzerinde de ciddi etkileri bulunmaktadır. Wenchuan Depremi’nden sonra Güneybatı Çin’de depremden etkilenen bölgede bulunan sağlık çalışanları üzerinde ruhsal sarsıntıdan kaynaklanan gerilime bağlı rahatsızlıkların ortaya çıktığı tespit edilmiştir (Wang ve dig., 2010).

Günümüzde depremlerin insanlar üzerindeki olumsuz etkilerine karşı ancak sahip olduğumuz deprem verilerine göre yapı tasarımları yapılmaktadır. Öte yandan, aletsel olarak tutulan deprem kayıtlarının tarihinin kısa olması ve bu kayıt ağlarının seyrek oluşundan dolayı şu ana kadar ölçülebilen depremlerden daha kötülerini meydana gelmiş olabilir ve gelecekte de tahminlerin çok üzerinde büyüklükte depremlerle karşılaşılabilir (Strasser, 2009). Dolayısıyla, yapıların ve içindekilerin bu büyük depremlere karşı etkin bir şekilde korunabilmesi için mümkün olan en etkin depreme dayanıklı yapı tasarımı yöntemi kullanılmalıdır. Son yıllarda kullanımı ve üzerindeki araştırma çalışmaları giderek hız kazanan ileri teknoloji ürünü depreme dayanıklı tasarım yöntemlerinden bir tanesi sismik izolasyondur. Yapıya aktarılan deprem yüklerini birkaç kat azaltma kabiliyetine sahip olan bu yöntem sayesinde özellikle yukarıda bahsedilen çok büyük depremlere karşı yapılar ve içindekiler korunabilir.

1.1 SİSMİK İZOLASYON İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Depreme dayanıklı tasarım yöntemlerinden olan sismik izolasyon ile ilgili olarak günümüze kadar çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Aşağıda, tarih sırasına göre bu konuda yapılan bazı önemli çalışmalar özetlenmektedir.

Lee ve Medland (1979) tarafından yapılan çalışmada, deprem etkileri altındaki çok katlı iki boyutlu kesme çerçevesinde, bilineer histeretik izolasyon sistemlerinin etkisi

araştırılmıştır. İzolasyon sisteminin önemli parametreleri tanımlanmış ve bunların yapı üzerindeki etkileri tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda; izolasyon sistemleri ile yapının çok güçlü depremde bile elastik kalabilecek şekilde inşaa edilmesinin mümkün olduğu görülmüştür. Ayrıca yapının deprem etkisi altındaki kesme değerlerinin ve taban deplasmanlarının elastik davranış spektrumu ile doğru hesaplandığı sonucuna ulaşılmıştır.

Housner ve Masri (1994) tarafından bildirildiğine göre taban yalıtımlı USC (University of South California) Üniversitesi Hastanesi 1994 depremi altında çok yüksek performans sergilemiştir. Binada bulunan sensörlerden elde edilen kayıtlar incelendiğinde ivmelerin yarı yarıya düşürüldüğü, yüksek frekanslı dalgaların filtre edildiği görülmüştür. USC Hastanesi hiçbir zarar görmezken hemen yakınındaki geleneksel olarak yapılmış tabanı ankastre bir çelik yapı olan eczanede hasarlar meydana gelmiştir. Ayrıca USC Medikal Kampüs'te bulunan başka bir hastanede ağır yapısal hasarlar meydana gelmiş ve daha sonra da burayı boşaltma ve yıkım kararı verilmiştir.

Kikuchi ve Aiken (1997) tarafından yapılan bir çalışmada, taban yalıtımlı yapıların sismik davranışını doğru olarak tahmin edebilmek için analitik histeretik model önerilmektedir. Uygulama iki çeşit yüksek sönümlü kauçuk izolatör, bir çeşit kurşun çekirdekli izolatör ve bir çeşit kauçuk izolatör kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan modelin geçerliliği, dinamik analizler ile iki adet izolasyonlu yapı üzerinde ve deprem simülasyonu deney sonuçları karşılaştırılarak ispat edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde analitik ve deneysel sonuçlar arasında iyi uyum olduğu ve modelin kullanılmasının uygun olduğu tespit edilmiştir.

Jangid ve Kelly (2001) tarafından yapılan bir çalışmada, faya yakın taban yalıtımlı yapıların depremlerdeki davranışlarını incelemiştir. Sonuç olarak HDR (High-Damping Rubber) izolatörlerin, taban deplasmanlarını azaltırken üst yapıda yüksek ivmelere neden olabileceği görülmüştür. Ayrıca farklı izolasyon sistemlerinin performanslarının karşılaştırılmasından hareketle EDF (Electricite de France) tipi izolasyon sistemlerinin faya yakın yerlerde yapılacak olan taban yalıtımlı yapıların tasarımında optimum seçim olabileceği belirtilmektedir.

Tsai ve diğeri (2003) tarafından yapılan çalışmada, yüksek sönümlü kauçuk mesnet izolatörler (HDRB) için yeni bir ileri analitik model geliştirilmiştir. Yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerin doğrusal olmayan mekaniksel davranışı çok kompleks, özellikle de büyük zorlamalarda analitik modellemenin çok zor olmasına karşın, analitik modelin deney sonuçları ile arasında çok iyi bir uyum elde edilmiştir.

Mestanzade ve Yazıcı (2004) tarafından yapılan çalışmada, genellikle içerisinde petrol ve LNG gibi tehlikeli sıvıların bulunduğu silindirik deniz depolarının sismik izolasyon kullanılarak yanal deprem etkilerinin azaltılması amaçlanmıştır. Sonuç olarak sismik izolasyon yapılmış petrol tankında iç hidrodinamiklerin iki kat, dış hidrodinamiklerin ise altı kat azaldığı tespit edilmiş ve sismik izolasyonun petrol tanklarını depremden korumak için iyi bir yöntem olduğu vurgulanmıştır.

Tolay (2006) tarafından yapılan bir tez çalışmasında dört ve altı katlı iki farklı model kullanılarak her iki modelin ankastre ve taban yalıtımlı hali STA4CAD programı yardımı ile çözülerek maliyet analizi yapılmıştır. Sonuç olarak yapının tüm maliyeti göz önüne alındığında sismik izolatörlerin yapının bütün inşaat maliyetinin en fazla %12.76'lık kısmını oluşturmakta olduğu belirlenmiştir. Tezde betonarme elemanların boyutlarında herhangi bir değişiklik yapılmadığından dolayı kaba inşaat maliyeti yüksek hesaplanmış olup, bu boyutlar düşürüldüğü takdirde sismik izolasyonlu yapının maliyetinin de azalacağı öngörülmüştür.

Hameed ve diğ. (2008), tarafından yapılan çalışmada sismik izolasyonlu köprüler üzerinde LRB izolatörlerin ve yer hareketinin etkisi parametrik bir çalışma ile araştırılmıştır. Sonuç olarak PGA/PGV oranı düşük olan yer hareketlerinde büyük MID (maximum isolator displacement) ve MIF (maximum isolator force) ortaya çıkacağı öngörülmüştür.

Kesti (2009) tarafından düşük maliyetli taban yalıtım sisteminin geliştirilmesi adlı çalışmasında Ball-N-Cone (BNC) diye anılan yeni bir sismik izolasyon sistemi incelenmiştir. Sonuç olarak BNC sistem ile yapıya gelen kesme kuvvetleri azaltılmıştır.

Gökhan (2009) tarafından betonarme yapılarda izolatör kullanımının taşıyıcı sistem davranışına olan etkisi incelenmiş ve izolatör kullanımının çok sayıda olumlu etkisinin bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

1.2. DOĞRUSAL OLMAYAN İZOLASYON SİSTEMLERİNİN EŞDEĞER DOĞRUSAL OLARAK MODELLENMESİ İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Sismik izolasyon sistemlerinin modellenmesinde, esasen doğrusal olmayan (nonlinear) davranış gösteren kauçuk izolatörler, eşdeğer doğrusal (linear) modelleme tekniği ile modellenabilmektedir. Bu bölümde, bu konu ile ilgili olarak günümüze kadar yapılmış ve sınırlı sayıda olan çalışmalar özetlenmiştir.

Novak ve Henderson (1989) tarafından yapılan çalışmada, taban yalıtımlı yapılar ile zemin yapısının etkileşimi incelenmiştir. Sonuç olarak izolatörlerin zeminden 10 kat veya daha fazla esnek olduğunda, zeminin modal özelliğe ve sismik kuvvetler üzerindeki etkisinin küçük; izolatörlerin ve zeminin esnekliklerinin birbirine yakın olması durumunda zeminin yapının davranışına etki edebileceği söylenebilmektedir. Esasen doğrusal olmayan davranış gösteren izolatörlerin davranışları eşdeğer doğrusal modelleme ile hesaplandığında, pik değerlerin yaklaşık olarak hesaplanabilmekte olduğu ancak gerçekte tasarımda nonlinear modelleme ve analizin tercih edilmesi gerektiği belirtilmektedir.

Turkington ve diğ. (1989a ve 1989b) tarafından yapılan çalışmalarda doğrusal olmayan inelastik davranış gösteren kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler üzerindeki köprülerin doğrusal davranış gösteren tek serbestlik dereceli elastik yapılar olarak modellenbilmesi ve tasarlanabilmesi için eşdeğer rijitlik ve eşdeğer sönüm kavramlarına dayanan bir yöntem geliştirilmiştir. Eşdeğer periyot, inelastik deformasyona bağlı olarak ortaya çıkacak periyot uzamasının ilk rijitliğe bağlı hesaplanacak periyoda eklenmesi suretiyle elde edilmiştir. Eşdeğer sönüm ise benzer bir yöntemle var olan %5 sönüme kurşun çekirdeğin akmasıyla ortaya çıkacak fazladan sönümün eklenmesiyle elde edilmiştir. Periyot uzaması ve ek sönüm miktarlarının hesaplanabilmesi için oluşturulan tasarım grafikleri çalışmada sunulmuştur. Modellenen

eşdeğer tek serbestlik dereceli elastik yapıların sismik cevap değerleri elastik cevap spektrumları kullanılarak elde edilmiştir. Yapılan karşılaştırma sonucunda eşdeğer doğrusal yöntemle elde edilen sismik değerlerin doğrusal olmayan modellemenin zaman tanım alanında analizleri sonucu elde edilen değerlerden genellikle yüksek çıktığı tespit edilmiştir.

Hwang ve Sheng (1994), American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) tarafından sismik izolasyonlu köprülerin yalıtım sistemlerinin eşdeğer doğrusal izolasyon sistemi modellemesi için önerilen eşdeğer sönüm ve eşdeğer rijitlik parametrelerinin gerçekçi olmayan analiz sonuçlarına sebebiyet verdiğini ortaya koymuşlar ve alternatif bir yöntem önermişlerdir. Önerilen yöntem nonlinear yöntemle karşılaştırılarak doğruluğu teyit edilmiştir. Bu formülasyonda köprü üstyapı esnekliği de dahil edilmiştir.

Hwang ve Chiou (1996) kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlere sahip köprülerin eşdeğer lineer modellemesine, kullandıkları 20 değişik deprem kaydı ile bir yöntem önermişlerdir. AASHTO formülasyonlarına yaptıkları bir modifikasyonla ortaya koydukları yöntemin mevcut yöntemlere yakın hassasiyette sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Hwang (1996) tarafından taban yalıtımlı köprüler için çeşitli eşdeğer doğrusal metodlar karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir. AASHTO ve Japanese Public Works Research Institute (JPWRI) tarafından verilen eşdeğer lineer analiz modelleri açıklanmış ve buna ek olarak en son hazırlanan bir model ile ve California Department of Transportation (CALTRANS) tarafından kullanılan bir model de ayrıca çalışılmıştır. Eşdeğer doğrusal modellemenin maksimum sismik tepkileri tahmin etmedeki doğruluklarını test edebilmek için nonlinear izolatörlere sahip tek serbestlik dereceli (SDOF) bir sistem oluşturulmuş ve bu rijit blok 55 tane deprem etkisine maruz bırakılmıştır. Eşdeğer doğrusal modelleme ve doğrusal olmayan modelleme sonucu elde edilen maksimum sismik tepkiler arasındaki farklar RMS hataları cinsinden hesaplanmıştır. RMS hatalarının ortalamaları 55 deprem etkisi ile karşılaştırılmış ve eşdeğer lineer analiz metodunun formülasyonları değerlendirilmiştir. Eşdeğer doğrusal modellemenin doğrusal olmayan modellemeye göre hatalı sonuçlar verdiği anlaşılmıştır.

Matsagar ve Jangid (2004) tarafından çok katlı sismik izolatörlü yapılarda izolatör karakteristiklerinin etkisi araştırılmıştır. Beş katlı izolasyonlu bir yapı, kesme çerçevesi olarak ve her katta tek serbestlik derecesi olacak şekilde modellenmiştir. İzolatörler nonlinear ve eşdeğer lineer elastik davranışlı olarak iki farklı biçimde matematiksel modellenmiş ve Newmark adım-adım integrasyon metodu kullanılarak çözülmüştür. Çalışmanın öne çıkan amaçları arasında taban yalıtımlı esnek yapıların farklı nonlinear model ve eşdeğer lineer model kullanılarak sismik davranışlarının karşılaştırılması, izolatörlerin histeretik çevrimlerinin biçiminin ve onun parametrelerinin etkilerinin araştırılması ve taban yalıtımlı yapılarda üstyapı esnekliğinin etkilerinin araştırılması olarak gösterilebilir. Çalışma kapsamında kullanılan yapısal sistemde üst yapının deprem etkileri sırasında elastik limitler içerisinde kaldığı, katların kendi düzleminde rijit kaldığı ve kütlelerin her katta toplandığı, sistemin tek bir yatay bileşenli deprem etkisine maruz kaldığı gibi kabuller yapılmıştır. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde, eşdeğer lineer modelleme ile izolatör deplasmanları olması gerekenin üzerinde, üstyapı en üst kat ivmesinin ise olması gerekenin altında çıktığı görülmüştür. Taban yalıtımlı yapının, izolatörlerin histeretik çevriminden önemli bir şekilde etkilendiği ve üstyapı esnekliğinin en üst kat ivmelerini arttırdığı ancak izolatör deplasmanlarının üstyapı esnekliğinden çok fazla etkilenmediği tespit edilmiştir.

Dicleli ve Buddaram (2007a) tarafından yapılan çalışmalardan ilkinde, eşdeğer lineer modelleme ve analizin değerlendirilmesi, sismik izolasyonlu köprülerin yakın depremlere maruz kalmaları durumu çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Sismik izolasyonlu köprülerin deprem analizinde eşdeğer lineer yöntemlerin etkinliğinin deprem büyüklüğüne, faya olan uzaklığa, akma sonrası rijitliğe ve akma kuvvetine bağlı olarak değiştiği ortaya konmuştur. Dicleli ve Buddaram (2007b) tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise, eşdeğer lineer modelleme ve analizin değerlendirilmesi tek serbestlik dereceli olarak temsil edilen sismik izolasyonlu yapıları içerecek şekilde yapılmıştır. Deprem şiddeti ve frekans içeriği, üst yapı kütlesi ve izolatör özellikleri incelenen parametreler arasında yer almıştır. Yapı periyodunu ve depremin frekans karakteristiğini içeren yeni bir eşdeğer sönüm formülü önerilmiştir.

1.3 AMAÇ

Yukarıda özetlenen az sayıdaki çalışmada, eşdeğer doğrusal modellemenin doğrusal olmayan modelleme sonucu ortaya çıkacak pik sismik cevapları ne derece doğru tahmin edebileceği araştırılırken bir takım kabuller yapılmıştır. Bazılarında üst yapı esnekliği tamamen ihmal edilirken, diğerlerinde ikili eksenel etkiler ihmal edilmiş, ayrıca sınırlı sayıda etkin izolasyon periyodu ve etkin sönüm oranına sahip izolasyon sistemi incelenmiştir. Üç boyutlu model kullanılmaması dolayısıyla, dış merkezlilik etkileri ve burulma momentleri açısından herhangi bir inceleme yapılmamıştır. İncelenen sismik parametreler arasında en üst kat ivmeleri ve izolasyon deplasmanları varken görelî kat ötelemeleri ve taban kesme kuvvetleri gibi yapısal cevap parametreleri bazı çalışmalara dahil edilmemiştir. Bu tez çalışmasının amacı, yukarıda bahsedilen açıkların da kapatıldığı kapsamlı bir çalışmayla eşdeğer doğrusal modellemenin doğrusal olmayan modellemeyi ne kadar doğru temsil edebildiğinin tespit edilmesidir. Yukarıda bahsedilen çalışmalardaki eksiklikleri gidermek amacıyla, bu tez çalışmasında çok sayıda farklı etkin periyot ve etkin sönüm aralığı göz önüne alınmış, izolasyon sistemi deplasmanları ve en üst kat ivmelerine ek olarak üç boyutlu model sayesinde dış merkezliğin eşdeğer doğrusal modellemenin doğruluğu üzerine etkileri ve taban burulma momentleri incelenmiştir. Ayrıca ikili eksenel etkiyi göz önüne alan Bouc-Wen modelinin kullanılması sayesinde tek doğrultuda yükleme ile aynı anda iki doğrultuda yükleme sonucu ortaya çıkacak sonuçlar arasındaki farklılıklar da irdelenmiştir.

Tezin genel yapısı şu şekildedir: Tezin içerisinde birinci kısımda depremlerin etkileri hakkında bilgi verilmiş, sismik izolasyon ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar belirtilmiş ve doğrusal olmayan izolasyon sistemlerinin eşdeğer doğrusal olarak modellenmesi ile ilgili yapılmış çalışmalar açıklanmıştır. İkinci kısımda sismik izolasyonun amacı ve çeşitlerinden bahsedilmiş, sismik izolasyon uygulamaları, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin lineer olmayan modellemesi, lineer olmayan izolasyon sistemlerinin eşdeğer lineer olarak modellenmesi ve 3DBASIS programı hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü kısımda kullanılan matematiksel modelleme ve yöntem açıklanmıştır. Dördüncü kısımda karşılaştırmalı grafikler ile birlikte bulgular verilmiştir. Beşinci kısımda ise bulgulara bağlı olarak elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

2. SİSMİK İZOLASYON SİSTEMLERİ

2.1. SİSMİK İZOLASYONUN AMACI VE ÇEŞİTLERİ

Sismik izolasyon sistemi; yapının temeli ile taşıyıcı sistemini birbirinden ayırarak depremin neden olduğu titreşimlerin yapıya ulaşmasını engellemeye yönelik oluşturulan sistemdir. Ancak sismik izolasyonlu bir sistemde temel ile üst yapının birbirinden tamamen bağımsız olarak hareket etmesi söz konusu değildir. Taban ile üst yapı arasındaki düşey yüklerin iletimini sağlayan elemanlar yatay harekette relatif olarak esnek olduğundan dolayı yatay deprem titreşimlerinin sadece bir kısmını üst yapıya iletirler. Bunun sonucu olarak üst yapıdaki deprem etkileri azaltılmış olur (Celep ve Kumbasar, 2004).

Sismik izolasyonlu yapının esnekliğinin artması sonucu olarak rezonanstan kaçınılır ve kat ivmeleri azaltılır. Esnekliği çok fazla olan yapılarda; ivmeler çok küçük ancak relatif deplasmanları çok büyük olur. Çok rijit yapılarda ise relatif deplasmanlar çok küçük, diğer yandan ivmeler yer ivmesinden büyük olur. Sismik izolasyon bu iki uç durumun avantajlarını bir araya getirerek görelî kat ötelemelerini ve kat ivmelerini aynı anda azaltır. Görelî kat ötelemelerinin azalmasının temel nedeni üstyapının rijit bir blok gibi davranmasıdır. Üstyapı, esnekliği sağlanmış izolasyon katı ile kıyaslandığında relatif olarak çok rijit kalmaktadır. Görelî kat ötelemelerinin azaltılması, depremde yapısal veya yapısal olmayan zararların en aza indirilmesini sağlar. Buna ek olarak hakim doğal periyodun uzaması ivmeleri önemli ölçüde azaltmaktadır. Çok hassas ekipmanların bulunduğu yapıların şiddetli bir deprem sonrasında kullanılabilir kalması önemli bir başarıdır (Komodromos, 2000).

Sismik izolasyonlu sistemlere olan ilginin giderek artmasına en güzel gösterge bu sistemlerle ilgili ulusal ve uluslar arası düzeydeki araştırma çalışmalarıdır. Kitagawa ve Midorikawa (1998) inceledikleri toplam 287 projeyi Japonya'daki sismik izolasyonlu yapıların gelişimine ve bu yapıların etkin davranışlarına örnek olarak sunmuşlardır.

Ryan ve Chopra (2002) asimetrik plana sahip taban izolasyonlu binalar için yaklaşık sonuçlar veren bir analiz yöntemi geliştirmişlerdir. Ateş ve Dumanoglu (2003) kauçuk mesnetli binaların dinamik analizini beş katlı örnek bir bina üzerinde göstermiş ve sismik izolasyon sayesinde deprem etkilerinin etkin bir biçimde azaltılabileceğini ortaya koymuştur. Braga ve Laterza (2004) Güney İtalya’da bulunan alçak katlı bir konut üzerinde sahada dinamik deneyler gerçekleştirerek alçak katlı kauçuk sismik izolasyon sistemine sahip yapıların sismik davranışını araştırmışlar ve yapının davranışının çok iyi düzeyde olduğunu deneysel olarak ortaya koymuşlardır. Pınarbaşı ve Akyüz (2005) elastomerik mesnetler üzerinde ODTÜ’de gerçekleştirdikleri deneyleri anlattıkları çalışmada farklı tip ve ebattaki mesnetlerin değişik yüklemelerdeki davranışlarının birbirinden oldukça farklı olduğunu ortaya koymuşlardır. Kılar ve Koren (2009) asimetrik taban izolasyonlu binaların izolatörlerin farklı dağılımlarını da göz önüne alan sismik davranışlarını incelemişlerdir.

Genel olarak iki tür sismik izolasyon sistemi kullanılmaktadır;

- Elastomerik İzolasyon Sistemleri
- Sürtünme esaslı sismik izolatörler

2.1.1. Elastomerik İzolasyon Sistemleri

Kauçuk tabakaların ve çelik levhaların yüksek basınç ve sıcaklık altında birleştirilmesiyle meydana gelen elastomerik sistemler, en yaygın kullanılan izolasyon sistemleridir. Yatay rijitlik kauçuk tabakaların kayma şekil değiştirmesi ile karşılanır. Çelik levhaların esas görevi ise düşey yükler altında yük kapasitesinin ve düşey rijitliğin artırılmasıdır (Komodromos, 2000).

Uygulama örnekleri bu tip izolasyon sistemlerinin 50 yıldan daha fazla etkili hizmet yaptığını göstermiştir. Korozyondan etkilenmemesi ve hareketli parçaları bulunmaması nedeniyle bakım masrafları minimumdur. Malzemelerin üretiminin ve işçilik ücretlerinin pahalı olması ve büyük şekil değiştirmeler yapması durumunda düşey yük taşıma kapasitesinin azalması nedeniyle yüksek deprem bölgelerinde kullanılmasının zorlaşması elastomerik izolasyon sistemlerinin olumsuz yanlarıdır (Celep ve Kumbasar, 2004).

Elastomerik izolasyon sistemleri üçe ayrılırlar:

- Düşük sönümlü doğal ve sentetik kauçuk izolatörler
- Yüksek sönümlü kauçuk izolatörler
- Kurşun çekirdekli izolatörler

Düşük sönümlü doğal ve sentetik kauçuk izolatörler altta ve üstte olmak üzere iki adet çelik montaj levhası ve bu levhaların arasında birçok sac levhaları ve kauçuk malzemeden oluşurlar. Uygulamada çoğunlukla tabaka kalınlığı sabit tutularak kauçuk tabaka sayısının değiştirilmesiyle istenilen rijitlik elde edilir. Kayma durumunda malzemenin davranışı %100'ün üzerindeki şekil değiştirmelerine kadar lineerdir. Kritik sönüm oranı % 2-3 arasındadır (Tolay, 2006).

Yüksek sönümlü kauçuk izolatörler İngiltere'de 1982 yılında ek sönüm elemanlarına olan ihtiyacı gidermek amacıyla tasarlanan yeterli içsel sönümü olan doğal kauçuktan yapılmıştır. Yüksek sönümlü kauçuk izolatörler aşırı saf karbon blok, yağlar, reçineler ve diğer katkı maddeleri eklenerek sönüm oranı %10-%20 aralığında olacak şekilde üretilmektedir (Tolay, 2006). Yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerde sistemin rüzgarda ve küçük sarsıntılarda hareket etmesini engelleyecek yeterli bir başlangıç rijitliği bulunmadığından dolayı, sistem hassas hale gelmektedir. Bu sistemlerin özelliklerinin sıcaklığa bağlı olmasından dolayı yaygın kullanımı olumsuz olarak etkilenmiştir (Celep ve Kumbasar, 2004).

Kurşun çekirdekli izolatörler de düşük sönümlü kauçuk izolatörlerde olduğu gibi kauçuk ve çelik levhalardan oluşmaktadır. Buna ek olarak sistemin ortasına bir veya birden çok kurşun çekirdek eklenerek sistemin düşük seviyede yatay kuvvetler altında yatayda ve düşeyde rijit bir davranış göstermesi sağlanır (Urgu, 2006). Bu izolatörlerde ilk elastik rijitliğin bulunması, kullanımındaki küçük titreşimlerde sönüm oluşmamasına neden olduğundan dolayı hassas aletlerin bulunduğu binalarda rahatsız edici olmaktadır. Bu etkinin ortadan kaldırılması için ek sönümleyiciler kullanılabilmektedir (Celep ve Kumbasar, 2004).

2.1.2. Sürtünme Esaslı Sismik İzolasyon Sistemleri

Sürtünme esaslı izolatörlerde sürtünmeden dolayı küçük kayma kuvvetleri iletilmektedir. Kayma kuvvetlerinin iletilemeyecek kadar artması durumunda ise ötelenme hareketi oluşmaya başlar. Bu sistemlerin düşük sürtünme katsayıları kullanılarak çok düşük kesme kuvvetine izin verecek şekilde tasarlanabilmeleri mümkündür. Kayma yüzeylerinde en çok tercih edilen malzemeler ise paslanmaz çelik ve teflondur (Komodromos, 2000). Bu sistemler büyük depremlerde verimli bir şekilde kullanılabilir. Nispeten ucuz ve uygulaması da kolaydır. Depremden sonra geri döndüren bir kuvvet bulunmadığından dolayı sistem başlangıçtaki konumuna dönmez. Bu nedenle sürtünme esaslı izolatörler tek başlarına kullanılmaz ve ek bir sistem kullanılması gereklidir. Bundan dolayı ek olarak elastomer izolatörlerin kullanılması düşünülebilir. Depremden sonra sistemin eski haline dönebilmesi sürtünmeli sarkaç (pandül) kullanılarak da yapılabilir. Sistem ilk konumundan ayrıldığında yatay hareketin yanında düşey hareket de olduğundan dolayı kendisini ilk durumuna getirecek kuvvet oluşmuş olur (Celep ve Kumbasar, 2004). Sürtünme esaslı sismik izolasyon sistemlerinin Fransız Elektrik Kurumu Sistemi, TAAS Sistemi, EERC Birleşik Sistemi gibi çeşitleri de bulunmaktadır.

2.2. SİSMİK İZOLASYON UYGULAMALARI

Sismik izolasyon düşüncesi ilk olarak Tokyo Üniversitesi'nde Doktor Milne tarafından ortaya atılmıştır. Doktor Milne örnek bina inşaatında 25 cm. çapında bilyeler kullanarak yapıyı zeminden ayırmış ve küçük depremler etkisinde olumlu sonuçlara ulaşmıştır. Rüzgar etkilerinden dolayı bile hareketlenmesi ve herhangi bir yükleme sonucunda eski haline dönememesi nedeniyle bu sistem kullanışlı olmamıştır. Daha sonraki çalışmalarında bilye çapını 2.5 cm'ye düşürerek ilk çalışmasından daha memnun edici sonuçlara ulaşmasına rağmen sistemin ilk haline döndürülememesi nedeniyle çok fazla kullanım alanına sahip olamamıştır (Naeim ve Kelly, 1999; Yücesoy, 2005).

Daha sonra yapılan bir çalışma İngiltere Scarborough'ta J.A. Calantarients tarafından Santiago'da bulunan bir sismoloji servisine mektupla bildirilmiştir. Buna göre binaların yapım aşamasında altına talk, mika veya kum tabakasından oluşan bir tabaka eklenerek

yapıların deprem sırasında hareket edebilmesine izin verilmiş olacağını, binaya gelen kuvvetlerin azaltılabileceğini düşünmüştür (Naeim ve Kelly, 1999).

Sismik izolasyon sistemlerinin modern olarak kullanılmaya başlanması 1969 yılında Makedonya Skopje’de bir ortaokul binası ile başlamıştır. Bu bina 3 katlı betonarme bir yapı olup alt kısmında da büyük doğal kauçuklar kullanılmıştır. Bu kauçuklar günümüzde kullanılan kauçuklardan farklı olarak çelik çubuk veya levha içermemektedir. Ayrıca kauçukların dikey ve yatay rijitlikleri aynı olduğundan yapı deprem etkisi altında zıplıyor ve çok sarsılıyordu (Kelly, 1997).

Türkiye’de de sismik izolasyonlu sistemler yaygınlaşmaya başlamıştır. Atatürk Havaalanı Dış Hatlar Terminali’nin çatısında, Kocaeli Üniversitesi Hastanesi’nde, Bolu Dağı Viyadüğü’nde ve Güney Otoyolu’nda (Gaziantep-Tarsus) sismik izolasyonlu sistemler kullanılmıştır (Urgu, 2006).

Son olarak da Dünya’nın en büyük izolasyonlu yapısı 185 dönümlük yere inşaa edilmiş olan İstanbul Sabiha Gökçen Havaalanı’nın dış hatlar terminalidir. 300’den fazla izolatörün kullanıldığı yapı 8 büyüklüğünde depreme dayanıklı olarak yapılmıştır (Wired Science, 2009).

2.3. KURŞUN ÇEKİRDEKLİ KAÜÇUK İZOLATÖRLERİN DOĞRUSAL OLMAYAN MODELLEMESİ

Doğrusal olmayan izolasyon sistemlerinin histeretik davranışı Bouc-Wen modeli ile temsil edilebilmektedir. Şekil 2.1’de bu şekilde modellenen bir izolasyon sisteminin karakteristik parametreleri gösterilmiştir. Akma öncesi ve sonrası rijitlik K_1 ve K_2 ile, karakteristik kuvvet Q ile, akma dayanımı F_y ile, akma yer değiştirmesi D_y ile, maksimum yer değiştirme D ile gösterilmiştir.

Nagarajaiah (Nagarajaiah et al, 1991) ikili eksenli etkileşimi göz önüne alan Bouc-Wen modeline göre bir kauçuk mesnette oluşacak histeretik kuvvetleri

$$f_x = \alpha \frac{F_y}{D_y} U_x + (1-\alpha) F_y Z_x \quad (1)$$

$$f_y = \alpha \frac{F_x}{D_x} U_y + (1-\alpha) F_x Z_y \quad (2)$$

şeklinde vermiştir. Burada, α akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranıdır:

$$\frac{K_2}{K_1} = \alpha \quad (3)$$

Histeretik kuvvetler arasındaki etkileşim

$$\begin{Bmatrix} \dot{Z}_x & D_y \\ \dot{Z}_y & D_x \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} A \dot{U}_x \\ A \dot{U}_y \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_x^2 \left(\gamma \text{Sign} \left(Z_x \dot{U}_x \right) + \lambda \right) & Z_x Z_y \left(\gamma \text{Sign} \left(Z_y \dot{U}_y \right) + \lambda \right) \\ Z_x Z_y \left(\gamma \text{Sign} \left(Z_x \dot{U}_x \right) + \lambda \right) & Z_y^2 \left(\gamma \text{Sign} \left(Z_y \dot{U}_y \right) + \lambda \right) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{U}_x \\ \dot{U}_y \end{Bmatrix} \quad (4)$$

denklemlerle verilir. Burada $\dot{U}_x$ ve $\dot{U}_y$ mesnette oluşan hızları, Z_x ve Z_y ise histeretik kuvvetlerin iki eksenli etkileşimiyle ilgili boyutsuz değerleri göstermektedir. A , γ ve λ çevrimsel döngünün şeklini kontrol eden boyutsuz sabitlerdir. $\frac{A}{\gamma+\lambda} = 1$ olmak üzere

3DBASIS’de $A = 1$, $\gamma = 0.9$ ve $\lambda = 0.1$ olarak alınmaktadır (Nagarajaiah et al, 1991).

$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\dot{U}_y}{\dot{U}_x} \right)$ olmak üzere, histeretik parametreler $Z_x = \cos\theta$ ve $Z_y = \sin\theta$ olarak

ortaya çıkar (Nagarajaiah, 1991).

İzolasyon sisteminin en önemli özelliklerinden bir tanesi olan akma sonrası titreşim periyodu T_0 (veya izolasyon periyodu) akma sonrası açısal frekansa (ω_0) bağlı olarak, M yapı toplam kütesini göstermek üzere aşağıdaki şekilde verilir (Nagarajaiah et al, 1991):

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K_2}{M}} \quad (5)$$

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} \quad (6)$$

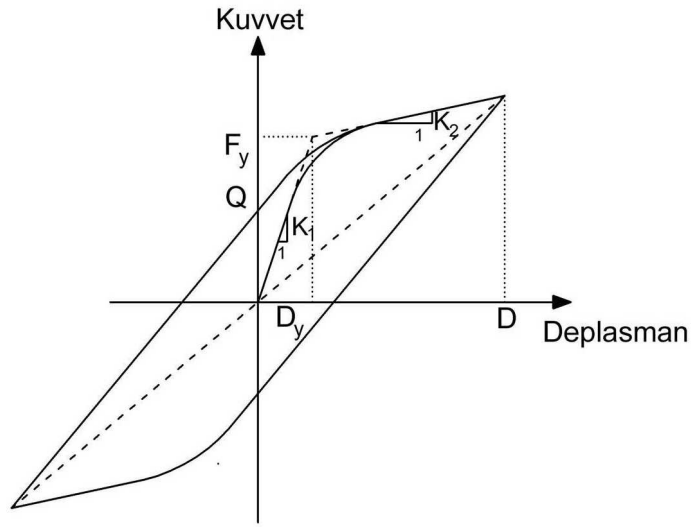
Ayrıca, akma dayanımı ve akma deplasmanına bağlı olarak akma öncesi rijitlik

$$\frac{F_y}{D_y} = K_1 \quad (7)$$

ile, karakteristik kuvvete ve akma deplasmanına bağlı olarak akma sonrası rijitlik ikili lineer yaklaşımla

$$K_1 - K_2 = \frac{Q}{D_y} \quad (8)$$

olarak verilir (Naeim ve Kelly, 1999).



Şekil 2.1: Bouc-Wen modeline uygun lineer olmayan izolasyon sistemlerinin davranışı.

2.4. DOĞRUSAL OLMAYAN İZOLASYON SİSTEMLERİNİN EŞDEĞER DOĞRUSAL SİSTEMLER OLARAK MODELLENMESİ

Doğrusal olmayan izolasyon sistemlerinin eşdeğer doğrusal olarak modellenmesinde kullanılmak üzere etkin rijitlik (K_{eff}) ve etkin viskoz sönüm oranı (β_{eff}) tanımlanabilir (Matsagar ve Jangid, 2004). Bu tür modellemeye UBC97 (ICBO, 1997) de dahil olmak üzere önemli deprem yönetmelikleri izin vermektedir.

$$K_{eff} = K_2 - \frac{(K_2 D_y - F_y)}{D} = K_2 + Q / D \quad (9)$$

$$\beta_{eff} = \frac{4Q(D-D_y)}{2\pi K_{ef} D^2} \quad (10)$$

Dolayısıyla, etkin rijitliğe bağlı olarak yapının etkin titreşim periyodu T_{eff} ve etkin viskoz sönüm katsayısı C_{eff} şu şekilde verilir:

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_{eff}}} \quad (11)$$

$$C_{eff} = 2M\omega_{eff}\beta_{eff} \quad (12)$$

2.5. DİNAMİK ANALİZLER İÇİN 3DBASIS PROGRAMI

Sismik izolasyonlu sistemlerin analizinde SAP2000 (SAP2000N, 2005) , ETABS (2009), ANSR (Mondkar and Powell 1975), 3DBASIS (Nagarajaiah ve diğ., 1991) gibi programlar hem araştırma çalışmalarında hem de pratik tasarım çalışmalarında kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılan 3DBASIS (Nagarajaiah ve diğ., 1991) programı özellikle akademik amaçlı kullanım için hazırlanmış olup depreme maruz bırakılan üç boyutlu sismik izolasyonlu yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan zaman-tanım alanı analizlerinin yapılabilmesi için hazırlanmış bir programdır. Aşağıda, Nagarajaiah ve diğ., (1991) tarafından hazırlanan raporda bulunan 3DBASIS programının kullanım kılavuzundan bu çalışma için kullanılan kısım kısaca beş ana bölümde özetlenmiştir.

a) Girdi (input) datası

Bu kısımda, başlık ve kullanılacak birimlerin unutulmaması için birer satırlık yer bulunmaktadır.

b) Kontrol Parametreleri

Bu bölüm; üstyapı kontrol parametreleri, integrasyon kontrol parametreleri, Newmark's metod kontrol parametreleri ve deprem kontrol parametrelerinden oluşmaktadır. Üstyapı kontrol parametrelerine veri çeşidi olarak üstyapının rijitliğini, eigenvalues ve eigenvektörler girilebilmektedir. Bu verilerden sonra kat sayısı, kolon izolatör sayısı ve eigenvektör sayılarının miktarları yazılır. İntegrasyon kontrol parametreleri kısmında integrasyonun zaman aralığı, doğrusal olmayan kuvvet vektör tolerans aralığı, referans momenti değeri, maksimum iterasyon sayısı ve zaman aralığının değişken veya sabit olması belirlenebilmektedir. Newmark's metod kontrol parametreleri kısmında ise Newmak's metoda ait değerler girilebilmektedir.

Deprem kontrol parametrelerinde yapıya tek yönlü veya çift yönlü deprem dataları tanımlanabilir ve bu depremlere ait zaman aralığı ve depremin süresi girilir. Tek yönlü deprem datası girilmesi durumunda bu depremin X eksenine ile yaptığı açı radyan cinsinden girilir. Son parametre olarak da deprem datalarını ölçeklendirebilecek katsayı girilir.

c) Üstyapı Dataları

Bu kısımda üstyapının, üç boyutlu kesme binası (3D shear building) olarak veya tam detaylı üç boyutlu model (Full3D) olarak modellenenmektedir. Bu tez çalışmasında 3 boyutlu kesme binası modeli kullanılmıştır. Buna göre üst kattan alt kata doğru tüm katlara ait rijitlikler ve eksantirisite değerleri X ve Y yönleri için ayrı ayrı girilmektedir. Ayrıca burulma rijitliği de bu kısımda yazılmaktadır. Sonraki satırda, üst kattan alt kata doğru yapıdaki katların her birinin ağırlıkları ve kat dönme kütleleri yazılır. Üstyapı sönüm datası olarak ilk moddan son moda doğru doğal sönüm oranları girilir. Üst yapının izolasyon sistemine göre konumu, katların ağırlık merkezinin tabanın ağırlık merkezine olan uzaklığı verisi ile belirlenir. Her katın ağırlık merkezinin tabanın ağırlık merkezine göre X ve Y koordinatları üst kattan alt katlara doğru girilir. Son olarak da üst kattan alt kata doğru kat yükseklikleri girilir.

d) İzolasyon sistemi dataları

Bir izolasyon elemanı iki adet parametre ile tanımlanabilmektedir. İlk parametre X veya Y doğrultusunda tek eksenli (uniaxial) elemanı veya çift eksenli (biaxial) eleman olarak tanımlanabilmesini sağlar. İkinci parametre ise lineer elastik eleman, viskoz eleman, histeretik eleman olarak veri girişi yapılabilmesine olanak sağlar.

Lineer elastik elemanların tanımlanabilmesi için input datasında her izolatöre ait X ve Y yönündeki rijitlikler ve sönümler tek tek yazılır. Doğrusal olmayan eleman input datasında ise her bir izolatöre ait $\alpha=K_2/K_1$ oranı, F_y , ve D_y dataları X ve Y yönü için yan yana yazılır.

İzolatörlerin koordinatları da girilmesi ile izolasyon datalarının girilmesi de tamamlanmış olur.

e) Çıktı (output) datası

Burada programın çıktısında en büyük sonuçlar (maksimum/minimum değerler) ile birlikte zaman tanım alanı (time history) sonuçlarının da bulunup bulunmaması seçilebilir. Ayrıca seçilecek herhangi 4 izolatöre ait maksimum değerleri ve kuvvet-deplasman zaman tanım alanı sonuçlarının alınabilmesi için seçim yapılabilir. Göreli kat ötelemeleri sonuçlarının alınabilmesi için bu sonuçların alınacağı kolonlara ait X ve Y koordinatları girilebilir.

3. MATEMATİKSEL MODELLEME VE YÖNTEM

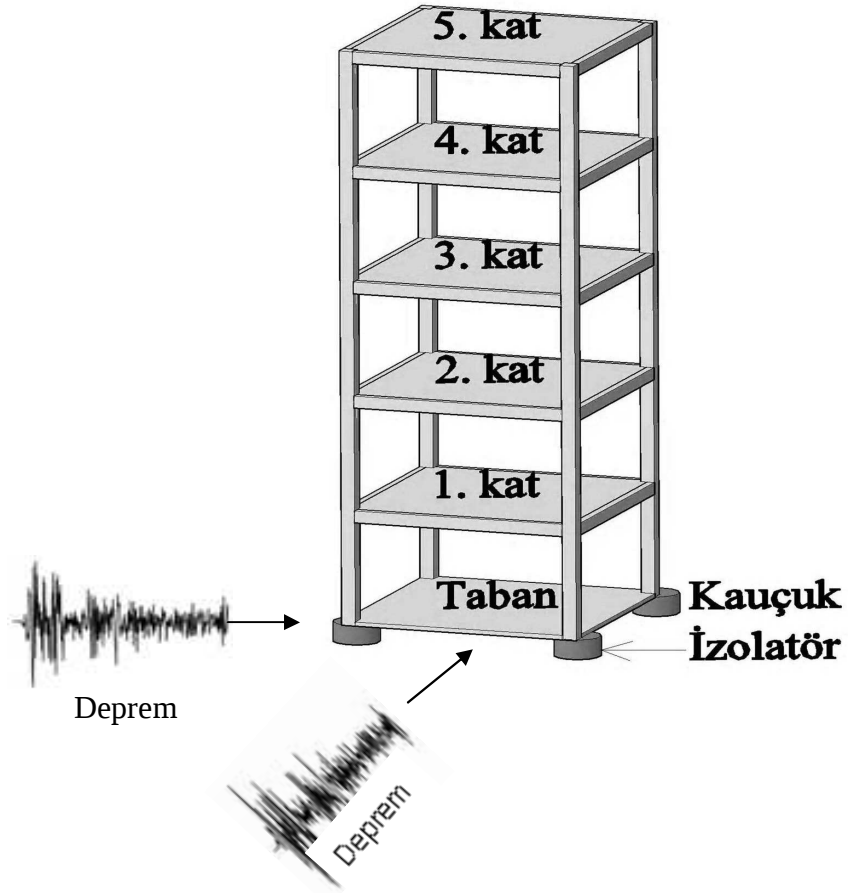
3.1. YAPISAL SİSTEM

Nümerik deneylerde kullanılan üç boyutlu prototip kesme binası modeli Şekil 3.1’de verilmiştir. İzolasyon katı dahil toplam altı kattan oluşan yapıda her katın kütlesi birbirine eşit ve 50 ton olup yapı toplam kütlesi $M=300$ ton’dur. Buna karşılık gelen toplam ağırlık $W=2943$ kN’dur. Her katın rijitlikleri birbirine eşit olarak alınmış ve bu rijitlikler yapının taban ankastre periyodu her iki yatay yönde 0.5 s olacak şekilde ayarlanmıştır. Buna göre kat rijitlikleri her iki yatay doğrultuda 95656 kN/m’dir. Her katın kütle atalet momenti ve burulma rijitliği sırasıyla 408.3 tm^2 ve 2343572 kNm’dir. Üstyapıya ait modal sönüm oranları tüm modlar için sabit ve %5 olarak alınmıştır.

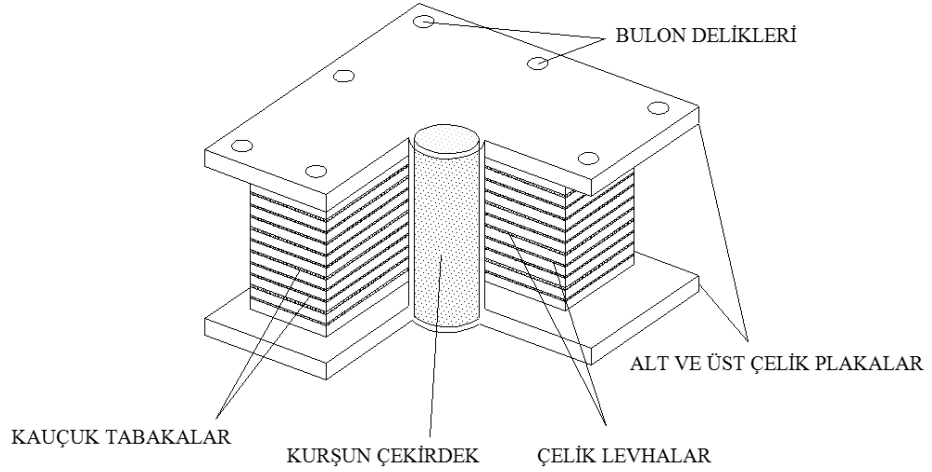
Bu çalışmadaki doğrusal (linear) ve doğrusal olmayan (nonlinear) sismik analizlerde kullanılan 3DBASIS (Nagarajaiah et al, 1991) programı tarafından üstyapının üç boyutlu kesme binası modeline uygun olarak kütle ve rijitlik matrislerinin oluşturulabilmesi için, yukarıda belirtilen kat kütleleri ve kat rijitlikleri programa veri olarak aktarılmıştır. Program tarafından oluşturulan kütle ve rijitlik matrisleri kullanılarak yapılan eigenvalue (özdeğer) analizleri sonucunda üst yapının taban ankastre durumuna ait modal periyotlar elde edilmektedir. 3DBASIS programının ana hatları Bölüm 2.5’te özetlenmiştir. Her kat kütlesi kütle merkezinde tanımlanmakta olup, toplu kütleli sistem olarak modellenen yapının her katı iki yatay ve bir dönme hareketi olmak üzere üç serbestlik derecesine sahiptir. Dolayısıyla toplam 18 adet serbestlik derecesi bulunmaktadır.

Sismik izolasyon sistemleri Şekil 3.2’de verilen nonlinear histeretik davranışa sahip kurşun çekirdekli kauçuk sismik izolatörlerden oluşmaktadır. Sismik izolatörler Şekil 3.1’de gösterilen rijit diyafram davranışına sahip bir “Taban” katı ile birbirine bağlanmıştır ve birlikte hareket etmektedirler. Sismik izolasyon sistemleri, farklı izolasyon periyoduna, farklı karakteristik kuvvet oranlarına ve farklı akma

deplasmanlarına sahip olacak şekilde Bölüm 3.2’de detaylandırıldığı şekilde tasarlanmıştır. Lineer olmayan bu izolasyon sistemlerinin eşdeğer lineer modelleri Bölüm 2.4’te anlatılan teorik esaslara dayanarak ayrıca tasarlanmıştır. Bu şekilde etkin rijitliği ve etkin sönümü hesaplanan lineer sistemler Bölüm 2.5’te anlatıldığı gibi lineer elastik ve lineer viskoz elemanlar yardımıyla oluşturulmuştur. Sismik izolasyon sistemleri, yukarıda bahsi geçen beş katlı yapının tabanında, her kolonun altına bir adet izolatör gelecek şekilde 3DBASIS (Nagarajaiah et al, 1991) programı kullanılarak modellenmiştir.



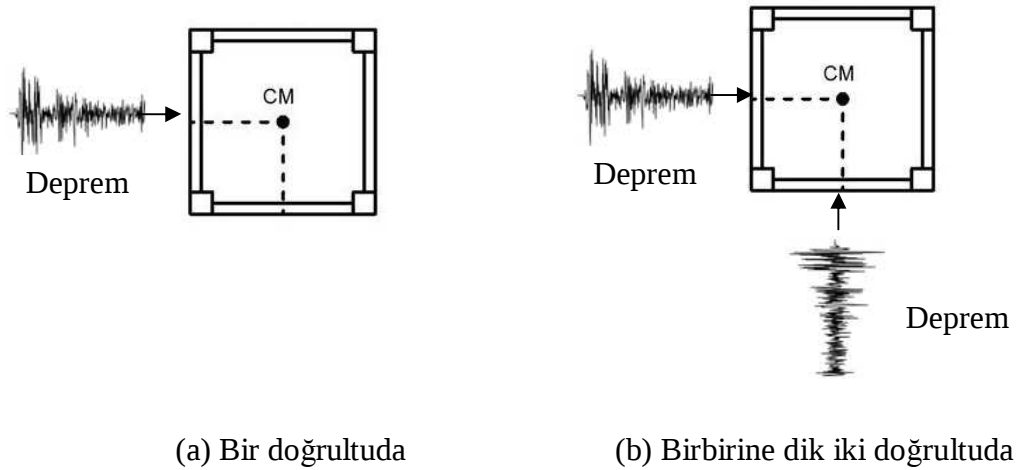
Şekil 3.1. Nümerik deneylerde kullanılan birbirine dik iki doğrultuda depreme maruz kalan üç boyutlu kesme binası.



Şekil 3.2. Kauçuk Sismik İzolatör (Şahin,2008)

3.2. PARAMETRİK ÇALIŞMA

Bu çalışmada göz önüne alınan parametreler arasında izolasyon sistemi karakteristikleri, dış merkezlik, iki doğrultuda ve tek doğrultuda deprem yüklemesi ve farklı deprem çeşitleri bulunmaktadır. Toplam dört adet tarihi deprem kaydı kullanılmış ve bunlara ait detaylı bilgiler Bölüm 3.3’de verilmiştir. Sadece lineer olmayan izolasyon sistemlerinde ortaya çıkan ikili eksenel etkileşimlerin etkisinin incelenmesi amacıyla aynı anda iki doğrultuda (**B** sembolü ile temsil edilecektir- **Bidirectional**) ve ayrıca tek doğrultuda (**U** sembolü ile temsil edilecektir-**Unidirectional**) analizler gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3). Deprem CM ile gösterilen kütle merkezine etki etmektedir.

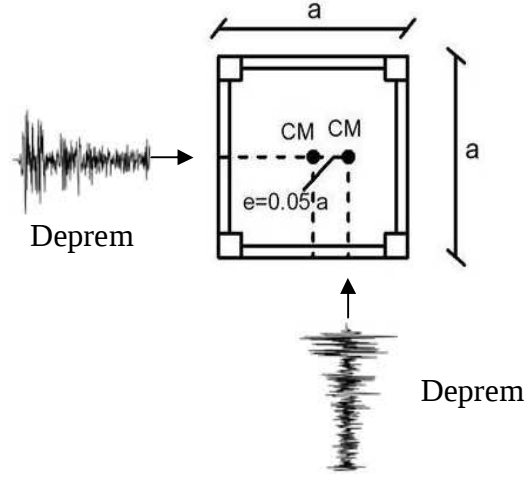


(a) Bir doğrultuda

(b) Birbirine dik iki doğrultuda

Şekil 3.3. Deprem yüklemeleri.

Dış merkezliğin (eksentrisitenin) olduğu durumlar tüm katlara ait kütle merkezleri Y doğrultusunda kaydırılarak elde edilmiştir ve tüm sonuçlar X doğrultusu için rapor edilmiştir. İki farklı eksentrisite durumu, plan boyutunun %5'i (**e5** sembolü ile temsil edilecektir) ve plan boyutunun %10'u (**e10** sembolü ile temsil edilecektir). Rastlantısal dışmerkezliği temsil eden plan boyunun %5'i kadar kaydırılan kütle merkezine sahip yapının iki doğrultuda sembolik deprem yüklemesi Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Dışmerkezlik durumu için deprem yüklemeleri

İzolasyon sistemi karakteristiklerinden karakteristik kuvvet oranı Q/W ve akma sonrası izolasyon periyodu T_0 parametrik olarak incelemeye dahil edilmiştir. Karakteristik kuvvet oranı $Q/W = \%5, \%7.5$ ve $\%10$ olan üç ana izolasyon sistemi incelenmiştir (**QW5**, **QW7.5** ve **QW10** sembolü ile temsil edilecektir). Akma sonrası izolasyon periyotları (T_0) 2.00 ile 3.50 saniye aralığında 0.25s'lik artımlarla dikkate alınmıştır. Tüm izolasyon sistemleri için akma deplasmanları aynı ve $D_y=20$ mm olarak kabul edilmiştir. Bu izolasyon sistemlerinin mekanik özellikleri Denklem (3), (5-8) kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 3.1'de özetlenmiştir. Grafiklerde ve tablolarda kullanılan ve analizlere ait olan kısaltmalar bu kısım içerisinde yukarıda ayrı ayrı belirtilmiştir. Tüm sembollerin kullanıldığı bir analize örnek olarak **BQW7.5e5** analizinin açılımı; aynı anda iki doğrultuda (**Bidirectional**), karakteristik kuvvet oranı $\%7.5$ olan ($Q/W=7.5\%$), dış merkezliğin $e=\%5$ olduğu durum için yapılan analiz, şeklindedir.

Tablo 3. 1. İzolasyon sistemlerine ait mekanik özellikler.

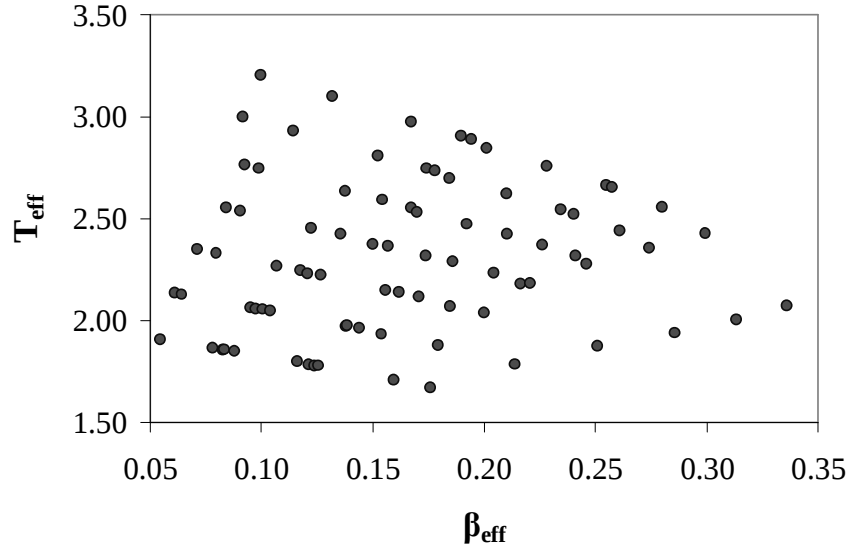
T_0 (s)	K_2 (kN/m)	Q/W=5%			Q/W=7.5%			Q/W=10%		
		K_1 (kN/m)	α (-)	F_y (kN)	K_1 (kN/m)	α (-)	F_y (kN)	K_1 (kN/m)	α (-)	F_y (kN)
2.00	2960.88	10318.38	0.287	206.37	13997.13	0.212	279.94	17675.88	0.168	353.52
2.25	2339.46	9696.96	0.241	193.94	13375.71	0.175	267.51	17054.46	0.137	341.09
2.50	1894.96	9252.46	0.205	185.05	12931.21	0.147	258.62	16609.96	0.114	332.20
2.75	1566.09	8923.59	0.175	178.47	12602.34	0.124	252.05	16281.09	0.096	325.62
3.00	1315.95	8673.45	0.152	173.47	12352.20	0.107	247.04	16030.95	0.082	320.62
3.25	1121.28	8478.78	0.132	169.58	12157.53	0.092	243.15	15836.28	0.071	316.73
3.50	966.82	8324.32	0.116	166.49	12003.07	0.081	240.06	15681.82	0.062	313.64

Lineer olmayan izolasyon sistemlerinin eşdeğer lineer modellerini oluşturabilmek için şu şekilde bir yol izlenmiştir: Yukarıda mekanik özellikleri özetlenen lineer olmayan izolasyon sistemlerine sahip beş katlı yapılar 3DBASIS programı ile modellenmiştir. Modeller Bölüm 3.3'deki depremlere sadece X doğrultusunda maruz bırakılmış ve her bir model için bu depremlerde oluşacak taban deplasmanları hesaplanmıştır. Bu deplasmanlar, d_N , Tablo 4.1-4.7'de görülebilir. Yapı simetrik olduğundan, X'e dik doğrultuda (Y) yapılacak bir analiz için elde edilecek en büyük deplasmanlar X yönüne ait olanlar ile aynı olacaktır. Bu deplasmanlar kullanılarak Denklem (9)-(12) ve Tablo 3.1 yardımıyla eşdeğer lineer modelleme için gerekli olan etkin parametreler (C_{eff} ve K_{eff}), bunlara bağlı olarak etkin periyotlar (T_{eff}) ve etkin viskoz sönüm oranları (β_{eff}) elde edilerek Tablo 3.2'de sunulmuştur. Hesaplanan bu değerler pik deplasmanlar her iki doğrultuda aynı olduğundan her iki yön için de geçerlidir. Tablo 3.2'de verilen T_{eff} ve β_{eff} değerleri bir dağılım grafiği şeklinde Şekil 3.5'de verilmiştir. Bu grafikten de görülebileceği gibi çok geniş bir aralık taranarak farklı davranışlara sahip pek çok izolasyon sistemi göz önüne alınmıştır. T_{eff} değeri 1.5 ile 3.5 s aralığında β_{eff} değerleri ise %5 ile %35 aralığında değişmektedir.

Doğrusal ve doğrusal olmayan izolasyon sistemlerinin 3DBASIS (Nagarajaiah et al, 1991) programı girdilerine örnek olarak EK.1'de $T_0=2.0$ s, $Q/W = \%5$, $D_y=20$ mm olan simetrik doğrusal olmayan sisteme ait girdi (input) dosyası ve EK.2'de bu sisteme eşdeğer doğrusal sistem ($D=56.9$ cm için $K_{eff}=3219.1$ kN/m ve $C_{eff}=96.85$ kNs/m) verilmiştir.

Tablo 3.2 Eşdeğer doğrusal sisteme ait parametreler

DEPREM	Q/W=5%					Q/W=7.5%				Q/W=10%			
	T_0	K_{eff}	C_{eff}	T_{eff}	β_{eff}	K_{eff}	C_{eff}	T_{eff}	β_{eff}	K_{eff}	C_{eff}	T_{eff}	β_{eff}
	s	kN/m	kNs/m	s	%	kN/m	kNs/m	s	%	kN/m	kNs/m	s	%
KJM	2.00	3404.9	157.68	1.87	8	3743.2	262.00	1.78	12	4245.7	396.89	1.67	18
	2.25	2795.1	178.29	2.06	10	3166.3	299.78	1.93	15	3715.3	451.25	1.79	21
	2.50	2377.4	203.90	2.23	12	2765.4	336.25	2.07	18	3370.8	504.36	1.87	25
	2.75	2099.3	238.04	2.38	15	2488.4	373.65	2.18	22	3146.9	554.69	1.94	29
	3.00	1846.9	252.79	2.53	17	2280.9	406.62	2.28	25	2945.1	588.74	2.01	31
	3.25	2593.0	574.00	2.14	18	3329.0	438.31	2.36	27	2757.0	610.63	2.07	34
	3.50	2438.0	591.00	2.20	20	3174.0	464.72	2.43	30	2594.2	626.70	2.14	36
SYL	2.00	3219.1	96.85	1.92	5	3429.2	168.89	1.86	8	3661.6	243.21	1.80	12
	2.25	2597.5	107.75	2.14	6	2800.5	184.11	2.06	10	3030.6	263.87	1.98	14
	2.50	2142.4	113.92	2.35	7	2346.5	197.17	2.25	12	2583.1	284.63	2.14	16
	2.75	1814.4	124.20	2.55	8	2012.5	210.55	2.43	14	2257.5	305.84	2.29	19
	3.00	1567.9	135.50	2.75	10	1760.8	224.39	2.59	15	2014.0	326.76	2.42	21
	3.25	1377.1	146.72	2.93	11	1568.2	238.82	2.75	17	1827.9	346.98	2.55	23
	3.50	1230.9	160.05	3.10	13	1417.8	253.32	2.89	19	1680.5	365.30	2.65	26
PET	2.00	3437.0	167.51	1.86	8	3721.7	256.06	1.78	12	4058.3	351.58	1.71	16
	2.25	2781.6	173.76	2.06	10	3044.0	263.63	1.97	14	3353.5	359.56	1.88	18
	2.50	2304.4	177.61	2.27	11	2561.2	272.81	2.15	16	2853.2	369.87	2.04	20
	2.75	1964.9	187.66	2.46	12	2204.2	282.42	2.32	17	2483.7	380.74	2.18	22
	3.00	1704.6	196.64	2.64	14	1933.9	292.55	2.47	19	2203.0	391.66	2.32	24
	3.25	1499.2	204.19	2.81	15	1722.1	301.92	2.62	21	1985.0	402.43	2.44	26
	3.50	1336.3	211.72	2.98	17	1555.2	311.49	2.76	23	1811.8	412.66	2.56	28
LGP	2.00	3251.2	107.87	1.91	5	3461.1	179.01	3.40	9	3738.1	265.54	1.78	13
	2.25	2612.8	113.56	2.13	6	2820.1	190.89	3.07	10	3069.4	276.14	1.96	14
	2.50	2178.3	128.73	2.33	8	2393.0	214.40	2.82	13	2640.7	303.81	2.12	17
	2.75	1836.9	134.24	2.54	9	2113.6	249.57	2.65	16	2370.8	344.55	2.24	20
	3.00	1547.9	125.93	2.77	9	1815.4	246.82	2.46	17	2106.4	359.41	2.37	23
	3.25	1315.8	115.15	3.00	9	1582.8	245.11	2.30	18	1860.7	359.04	2.52	24
	3.50	1151.8	117.20	3.21	10	1401.3	245.88	2.16	19	1667.3	360.29	2.67	25



Şekil 3.5: T_{eff} ve β_{eff} dağılım grafiği

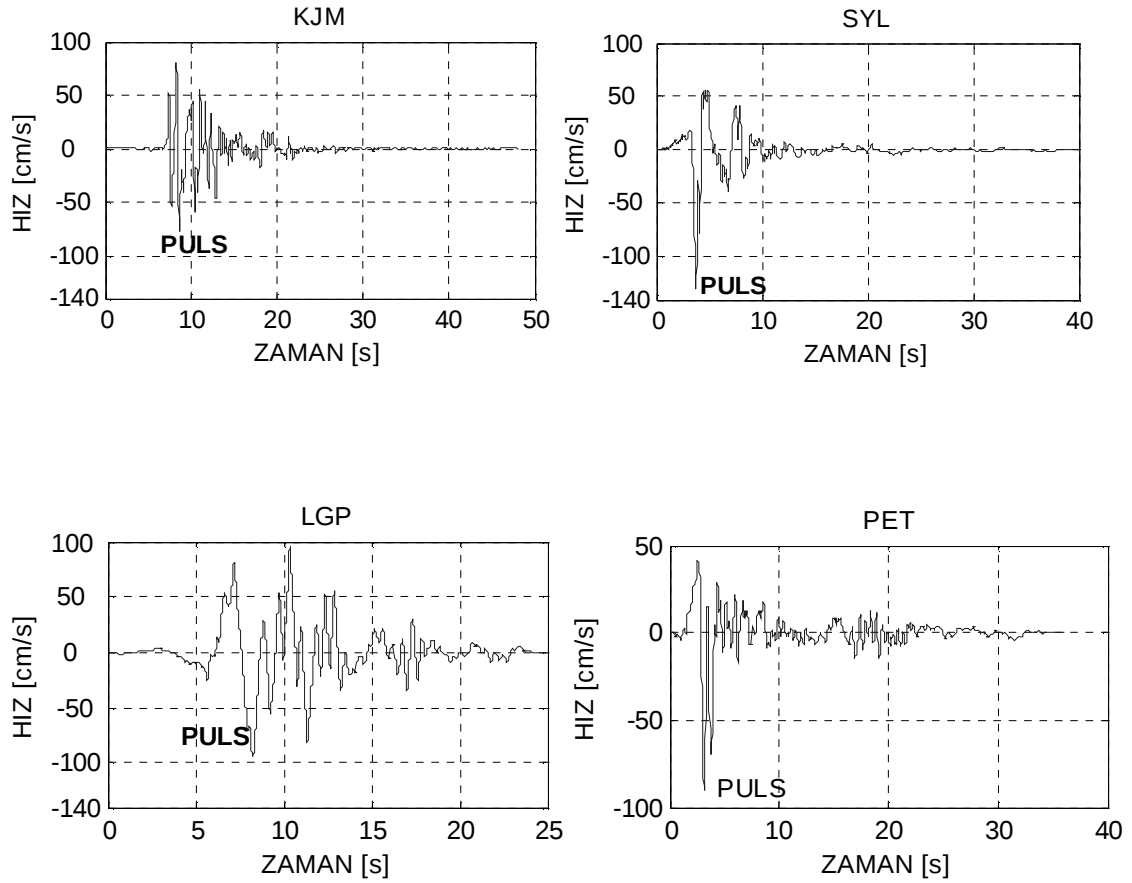
3.3. ANALİZLERDE KULLANILAN DEPREM KAYITLARI

Bu çalışma kapsamında kullanılacak deprem kayıtları Berkeley Üniversite'sine ait "Peer Strong Motion Databank" (Berkeley, 2010) isimli data bankasından elde edilmiştir. Depremlerin ve kayıt istasyonlarının isimleri, çalışmada kullanılacak kısaltmalar (deprem kodları), tarihleri, büyüklükleri (M_w), faya en yakın olan uzaklıkları, depremin hangi bileşeninin kullanıldığı, pik yer ivmeleri (PGA), pik yer hızları (PGV) ve pik yer ötelenmeleri (PGD) Tablo 3.3'de verilmiştir.

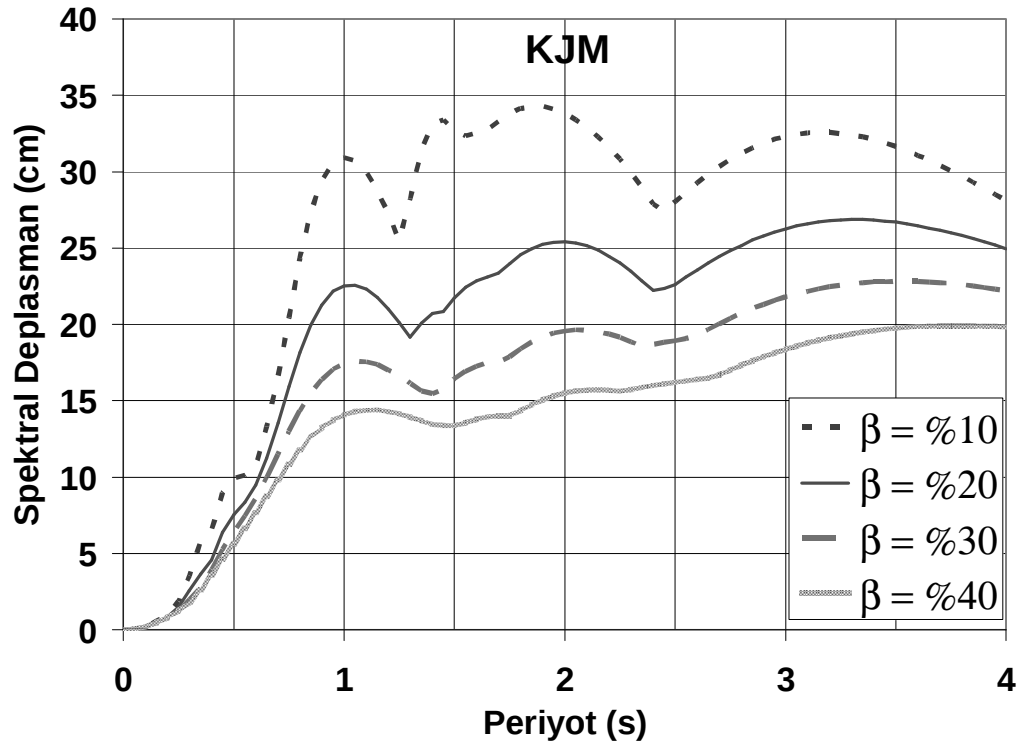
Tablo 3.3 Deprem kayıtlarına ait özellikler

Deprem Adı	İstasyon	Deprem Kodu	Tarih	Faya Uzaklık (km)	M_w	Bileşke	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
Cape Mendocino	Petrolia	PET	25/04/1992	9.5	7.1	PET090	0.66	90.16	28.89
Northridge	Sylmar Olive View	SYL	17/01/1994	6.4	6.7	SYL360	0.84	129.6	32.7
Loma Prieta	LGPC	LGP	18/10/1989	6.1	6.9	LGP000	0.56	94.8	41.2
Kobe	KJMA	KJM	16/01/1995	0.6	6.9	KJM000	0.82	81.3	17.7

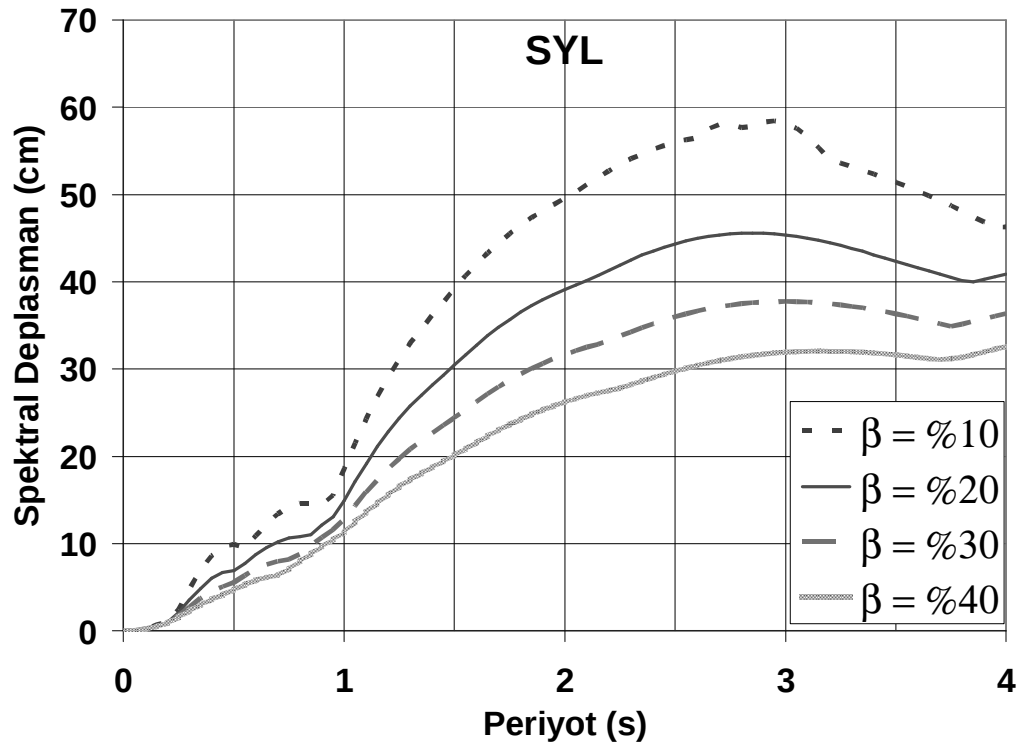
Fay hattına yakın bölgelerde elde edilen kayıtlarda (özellikle hız-zaman kayıtlarında) büyük genliğe ve büyük periyoda sahip ani sıçrama (puls) hareketleri gözlenmektedir (Sommerville, 1998). Bu çalışmada kullanılan kayıtlar da, yakın deprem özellikleri gösteren depremlerin kullanıldığı bir çalışmadan (Kalkan ve Kunnath, 2006) seçilmişlerdir. Bu depremlere ait hız-zaman grafikleri Şekil 3.6'da verilmiştir. Bu grafiklerde, yukarıda bahsi geçen puls hareketleri açıkça görülmektedir ve grafiklerde belirtilmiştir. Ayrıca, bu depremlere ait farklı viskoz sönüm oranları (β) için oluşturulan spektral deplasman grafikleri Şekil 3.7-3.10'da ve spektral ivme grafikleri Şekil 3.11-3.14'de sunulmuştur.



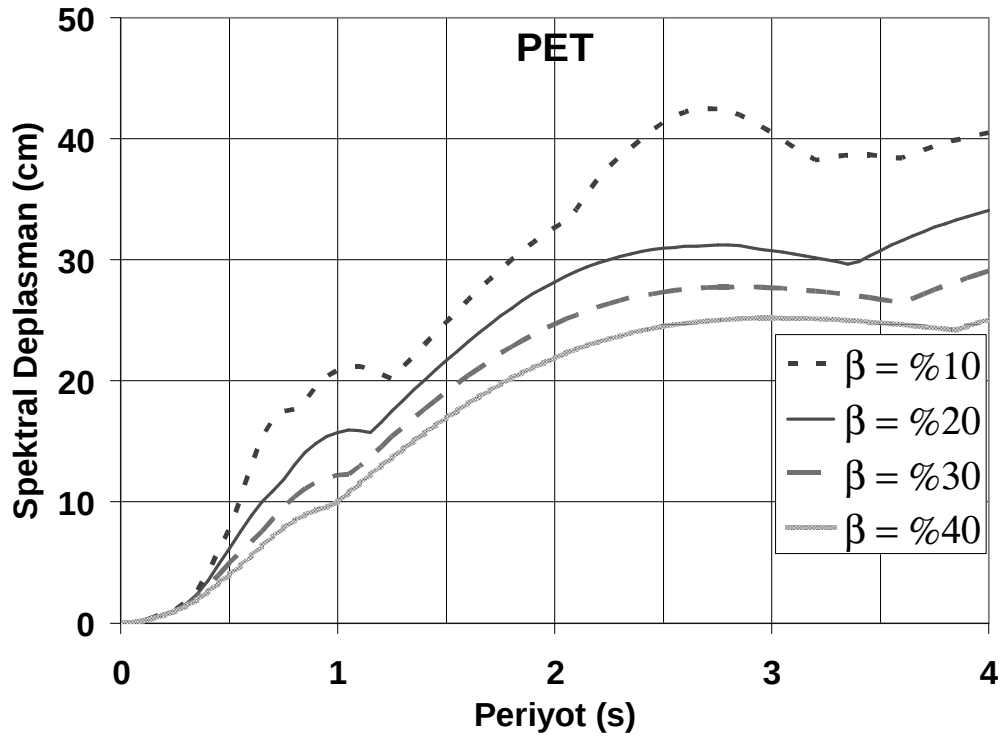
Şekil 3.6: Depremlere ait hız-zaman grafikleri.



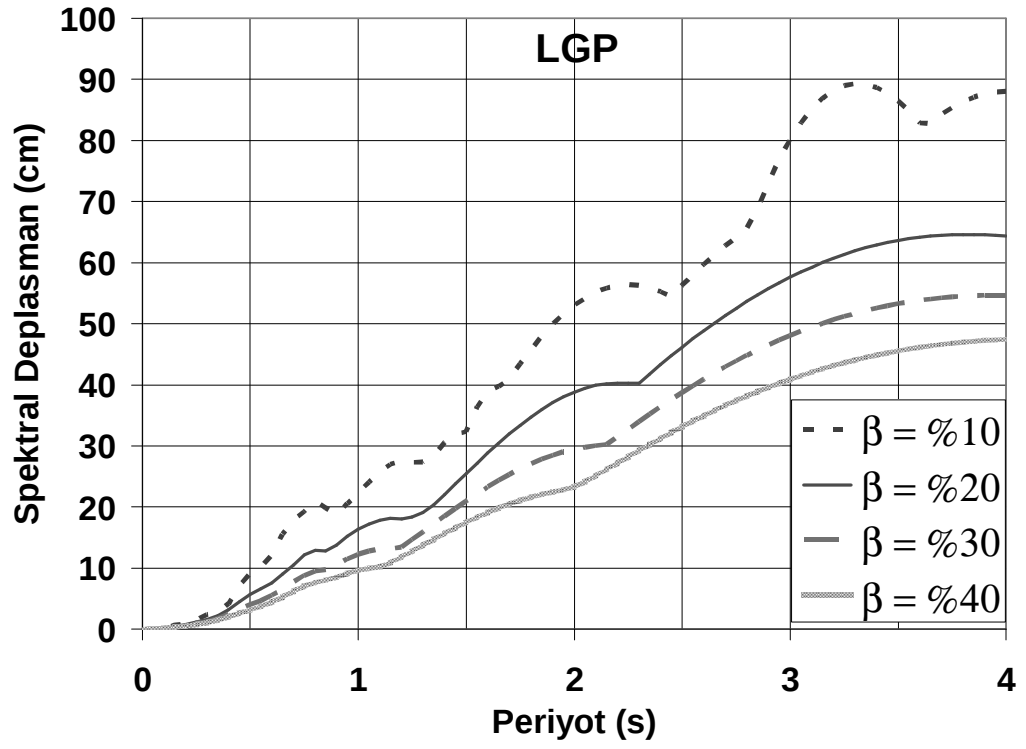
Şekil3.7: KJM depremine ait spektral deplasman grafiği



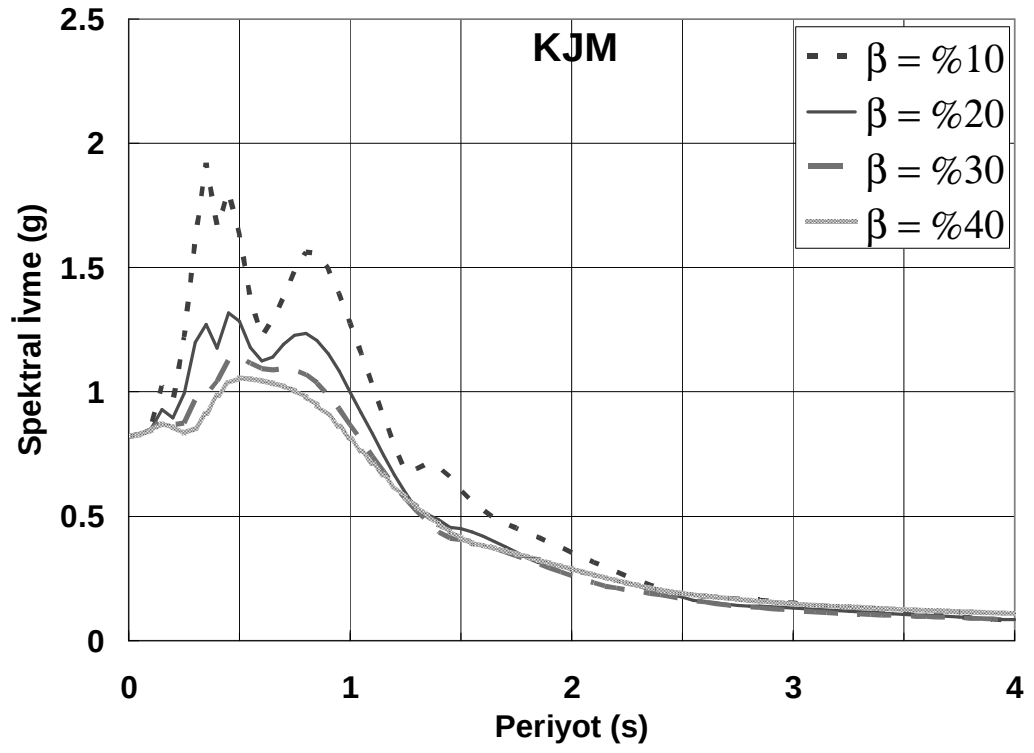
Şekil3.8: SYL depremine ait spektral deplasman grafiği



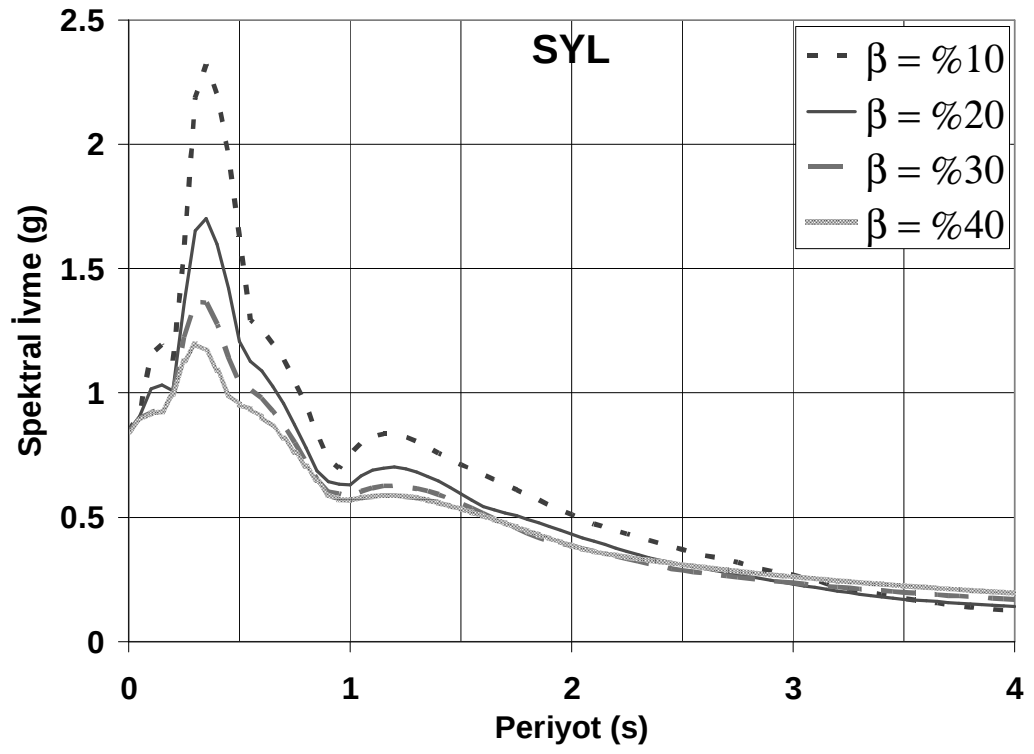
Şekil3.9: PET depremine ait spektral deplasman grafiği



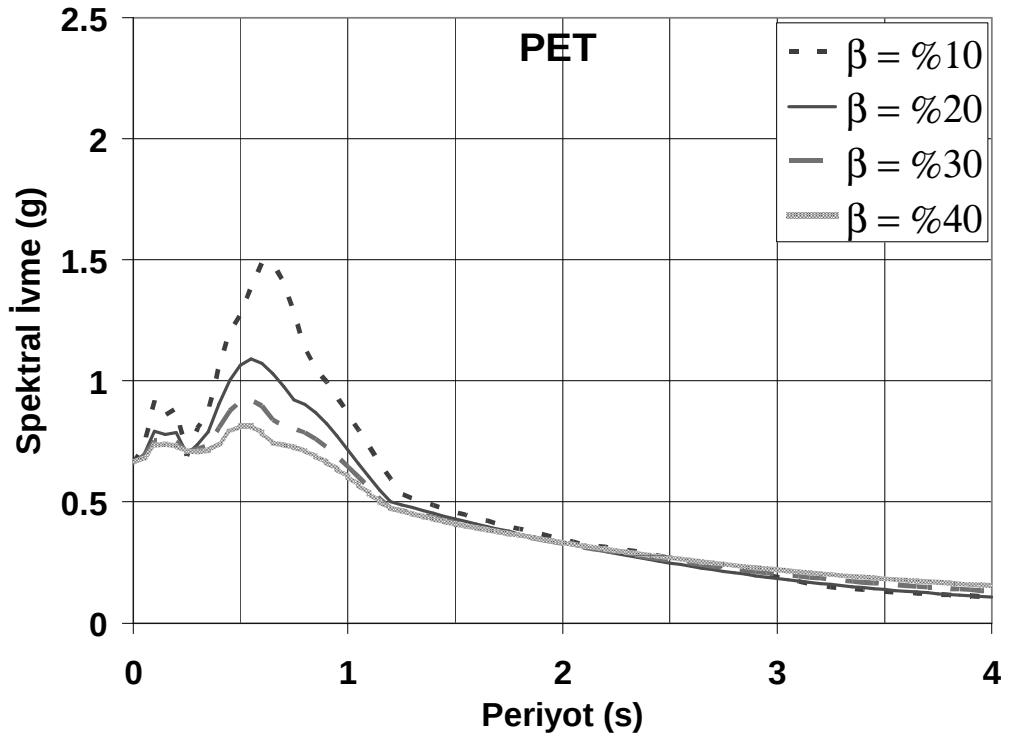
Şekil3.10: LGP depremine ait spektral deplasman grafiği



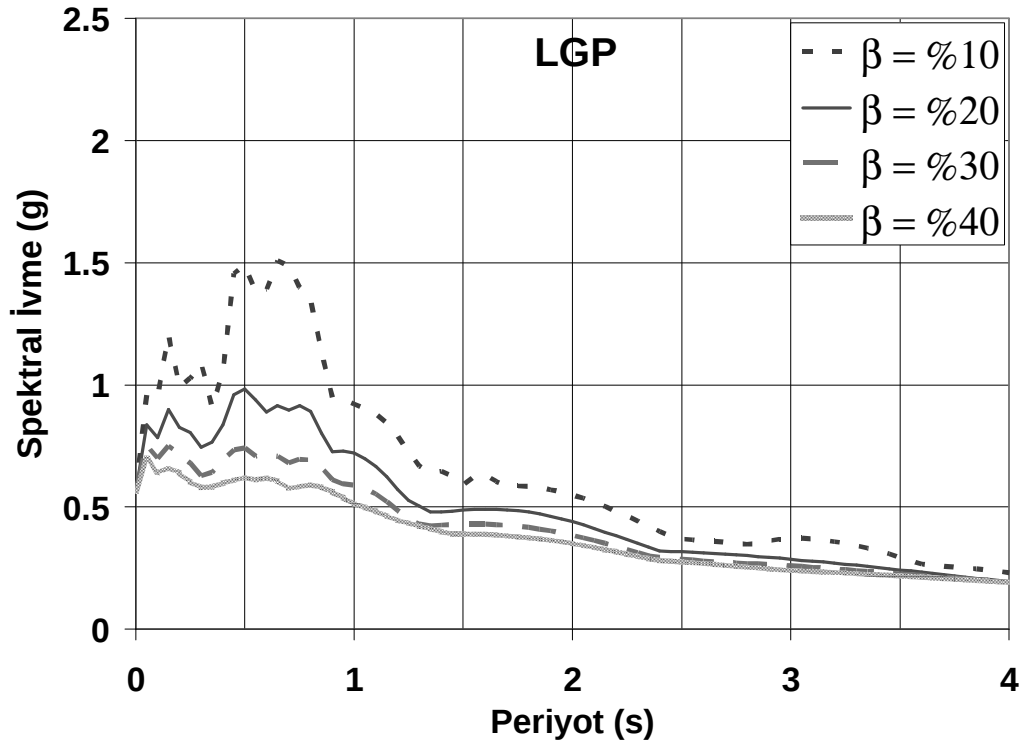
Şekil3.11: KJM depremine ait spektral ivme grafiği



Şekil3.12: SYL depremine ait spektral ivme grafiği



Şekil3.13: PET depremine ait spektral ivme grafiği



Şekil3.14: LGP depremine ait spektral ivme grafiği

4. BULGULAR

Çalışmanın bu kısmında sunulan şekil ve tablolardaki yapısal cevap parametreleri şu şekilde sıralanabilir:

- izolasyon sisteminin pik deplasmanları (d),
- pik en üst kat ivmeleri (a),
- pik göreceli ilk kat deplasmanı (Δ),
- pik taban kesme kuvveti (V),
- pik taban burulma momenti (M).

Bu yapısal mukabele parametreleri hem doğrusal (lineer) hemde doğrusal olmayan (nonlinear) izolasyon sistemleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Doğrusal olmayan izolasyon sistemlerinin olduğu durumlarda N alt indisi kullanılmıştır (d_N , a_N , Δ_N , V_N , M_N). Doğrusal izolasyon sistemleri için ise L alt indisi kullanılmıştır (d_L , a_L , Δ_L , V_L , M_L). Tablo 4.1-4.4'te sırasıyla SYL, KJM, PET ve LGP depremleri altındaki doğrusal olmayan izolasyon sistemlerine ait yapısal cevaplar sunulmuştur. Ayrıca, müteakip şekillerde doğrusal sistemlere ait cevapların doğrusal olmayan sistemlere ait cevaplara olan oranları sunulduğundan, doğrusal sistemlerin bu depremler altındaki yapısal cevap değerleri tablolarla birlikte kullanıldığında rahatlıkla elde edilebilir.

Tüm depremler için, yukarıda bahsedilen yapısal cevap parametrelerine ait oranların (d_L/d_N , a_L/a_N , Δ_L/Δ_N , V_L/V_N , M_L/M_N) akma sonrası izolasyon periyoduna (T_0) göre değişimi Şekil 4.1- 4.5'te, etkin izolasyon periyoduna (T_{eff}) göre değişimi Şekil 4.6 - 4.10'da, etkin izolasyon sönüm oranına (β_{eff}) göre değişimi ise Şekil 4.11- 4.15'te sunulmuştur. Şekillerdeki düşey eksenin 1.00 seviyesine çizilen kalın çizgi, eşdeğer doğrusal izolasyon sistemi ile doğrusal olmayan izolasyon sisteminin aynı sonuçları verdiği dolayısıyla eşdeğer modellemenin hatasız olarak doğrusal olmayan sistemi temsil ettiği durumu göstermektedir. Bu çizginin altında kalan değerler eşdeğer doğrusal izolasyon sistemi ile hesaplanan değerlerin doğrusal olmayan izolasyon sistemi ile hesaplanan değerlerden daha küçük sonuçlar ürettiği durumlara ait olmaktadır.

Tablo 4.1 SYL depremi altında yapısal cevap değerleri

İzolasyon	T_0	$d_N^{(1)}$	$a_N^{(1)}$	$\Delta_N^{(1)}$	$V_N^{(1)}$	$M_N^{(2)}$	$M_N^{(3)}$
Sistemi		(cm)	(m/sn ²)	(%)	(kN)	(kNm)	(kNm)
UQW5	2.00	56.99	6.45	0.43	1834.63	-	-
	2.25	57.02	5.26	0.35	1479.54	-	-
	2.50	59.47	4.40	0.29	1275.10	-	-
	2.75	59.27	3.66	0.25	1072.90	-	-
	3.00	58.41	3.15	0.21	917.24	-	-
	3.25	57.53	2.87	0.18	790.98	-	-
	3.50	55.72	2.54	0.16	685.17	-	-
UQW7.5	2.00	47.13	5.85	0.37	1619.18	-	-
	2.25	47.87	4.80	0.31	1341.32	-	-
	2.50	48.88	4.19	0.27	1149.83	-	-
	2.75	49.45	3.53	0.23	993.51	-	-
	3.00	49.61	3.02	0.20	876.32	-	-
	3.25	49.39	2.79	0.17	773.18	-	-
	3.50	48.95	2.66	0.16	696.56	-	-
UQW10	2.00	42.00	5.59	0.35	1541.35	-	-
	2.25	42.58	4.61	0.30	1289.19	-	-
	2.50	42.77	4.06	0.26	1104.14	-	-
	2.75	42.57	3.52	0.22	959.71	-	-
	3.00	42.16	3.13	0.20	848.48	-	-
	3.25	41.65	2.94	0.17	762.53	-	-
	3.50	41.24	2.77	0.16	695.15	-	-
BQW5	2.00	62.18	6.80	0.45	1945.50	630.12	1193.42
	2.25	63.09	5.51	0.36	1578.25	588.86	1112.39
	2.50	74.13	5.22	0.35	1509.93	536.38	1003.76
	2.75	70.47	4.12	0.28	1204.62	429.12	808.88
	3.00	68.86	3.45	0.23	1011.96	442.52	822.40
	3.25	60.78	2.78	0.18	784.22	495.92	864.67
	3.50	58.19	2.39	0.15	665.89	465.52	818.37
BQW7.5	2.00	54.76	6.29	0.41	1781.16	576.70	1103.46
	2.25	54.13	5.08	0.33	1423.18	520.02	989.08
	2.50	54.11	4.27	0.27	1184.56	474.84	894.01
	2.75	54.46	3.56	0.23	1007.08	403.21	771.78
	3.00	54.70	2.96	0.20	878.95	375.99	733.72
	3.25	54.65	2.79	0.18	767.44	409.01	787.86
	3.50	53.73	2.58	0.16	678.40	449.69	842.11
BQW10	2.00	48.59	5.90	0.38	1650.90	549.37	1058.41
	2.25	48.87	4.84	0.31	1350.05	473.11	917.28
	2.50	49.48	4.20	0.27	1144.99	437.56	826.32
	2.75	49.27	3.52	0.23	978.32	391.02	756.36
	3.00	49.20	2.93	0.20	854.78	373.35	724.43
	3.25	49.38	2.74	0.17	763.22	375.93	732.74
	3.50	49.00	2.65	0.16	684.46	397.56	777.20

(1) e=%0 (2) e=%5 (3) e=%10

Tablo 4.2 KJM depremi altında yapısal cevap değerleri

İzolasyon	T_0	$d_N^{(1)}$	$a_N^{(1)}$	$\Delta_N^{(1)}$	$V_N^{(1)}$	$M_N^{(2)}$	$M_N^{(3)}$
Sistemi		(cm)	(m/sn ²)	(%)	(kN)	(kNm)	(kNm)
UQW5	2.00	33.14	4.17	0.26	1128.55	-	-
	2.25	32.30	3.39	0.21	901.86	-	-
	2.50	30.50	2.79	0.17	725.61	-	-
	2.75	27.60	2.47	0.14	578.23	-	-
	3.00	27.72	2.48	0.12	512.52	-	-
	3.25	29.08	2.49	0.11	472.63	-	-
	3.50	29.73	2.45	0.10	434.26	-	-
UQW7.5	2.00	28.21	3.82	0.24	1057.90	-	-
	2.25	26.69	3.08	0.20	845.57	-	-
	2.50	25.36	3.00	0.16	702.66	-	-
	2.75	23.93	3.21	0.14	594.78	-	-
	3.00	22.87	3.37	0.12	522.93	-	-
	3.25	21.85	3.46	0.11	465.24	-	-
	3.50	21.15	3.53	0.10	426.30	-	-
UQW10	2.00	22.91	3.96	0.22	974.32	-	-
	2.25	21.39	3.86	0.18	794.11	-	-
	2.50	19.94	3.83	0.15	671.92	-	-
	2.75	18.62	4.00	0.14	585.38	-	-
	3.00	18.06	4.13	0.13	531.76	-	-
	3.25	17.99	4.23	0.12	496.53	-	-
	3.50	18.08	4.31	0.12	470.02	-	-
BQW5	2.00	35.22	4.24	0.27	1147.00	407.98	732.55
	2.25	33.86	3.42	0.21	895.22	442.41	714.64
	2.50	31.09	2.74	0.17	693.69	377.05	686.59
	2.75	29.01	2.01	0.13	557.18	419.37	739.12
	3.00	31.00	2.01	0.12	512.73	410.34	684.71
	3.25	31.94	1.99	0.11	461.51	357.01	591.53
	3.50	32.01	1.97	0.10	413.19	287.06	465.19
BQW7.5	2.00	31.48	3.94	0.25	1090.20	425.36	756.15
	2.25	29.71	3.13	0.20	851.42	438.49	737.55
	2.50	28.14	2.60	0.16	690.97	359.77	664.27
	2.75	26.05	2.64	0.14	563.17	358.97	665.90
	3.00	24.48	2.78	0.11	479.41	377.53	695.22
	3.25	26.35	2.85	0.11	450.83	391.31	694.63
	3.50	27.69	2.87	0.10	425.29	371.63	651.86
BQW10	2.00	28.25	3.78	0.24	1046.98	444.16	834.37
	2.25	26.34	3.00	0.19	823.49	401.02	716.75
	2.50	24.53	3.17	0.16	672.55	346.86	662.12
	2.75	22.93	3.29	0.13	566.51	344.74	659.07
	3.00	21.94	3.44	0.12	496.54	354.44	671.84
	3.25	21.21	3.54	0.10	446.50	363.94	680.84
	3.50	21.39	3.59	0.10	414.14	379.50	700.64

(1) e=%0 (2) e=%5 (3) e=%10

Tablo 4.3 PET depremi altında yapısal cevap değerleri

İzolasyon	T_0	$d_N^{(1)}$	$a_N^{(1)}$	$\Delta_N^{(1)}$	$V_N^{(1)}$	$M_N^{(2)}$	$M_N^{(3)}$
Sistemi		(cm)	(m/sn ²)	(%)	(kN)	(kNm)	(kNm)
UQW5	2.00	30.91	3.91	0.25	1062.37	-	-
	2.25	33.28	3.35	0.21	924.92	-	-
	2.50	35.94	2.98	0.19	828.83	-	-
	2.75	36.90	2.64	0.17	723.47	-	-
	3.00	37.86	2.39	0.15	646.28	-	-
	3.25	38.94	2.17	0.13	582.93	-	-
	3.50	39.82	2.00	0.12	531.69	-	-
UQW7.5	2.00	29.01	4.08	0.25	1081.58	-	-
	2.25	31.33	3.55	0.22	954.09	-	-
	2.50	33.13	3.22	0.20	850.39	-	-
	2.75	34.59	2.90	0.18	761.28	-	-
	3.00	35.72	2.67	0.16	692.66	-	-
	3.25	36.74	2.47	0.14	631.69	-	-
	3.50	37.51	2.32	0.13	585.38	-	-
UQW10	2.00	26.82	4.17	0.25	1090.47	-	-
	2.25	29.02	3.69	0.23	972.43	-	-
	2.50	30.71	3.38	0.20	875.86	-	-
	2.75	32.07	3.10	0.18	795.68	-	-
	3.00	33.18	2.88	0.17	730.41	-	-
	3.25	34.07	2.70	0.16	677.34	-	-
	3.50	34.83	2.55	0.15	632.82	-	-
BQW5	2.00	31.77	3.73	0.24	1044.86	315.01	625.13
	2.25	37.68	3.44	0.23	984.62	256.30	509.40
	2.50	41.21	3.06	0.20	885.54	240.59	425.78
	2.75	42.87	2.66	0.18	773.68	264.32	502.57
	3.00	42.42	2.29	0.15	663.34	330.92	623.80
	3.25	41.53	2.05	0.13	568.84	326.16	611.66
	3.50	41.90	1.85	0.12	508.63	213.59	407.25
BQW7.5	2.00	30.40	3.85	0.25	1058.10	320.67	597.76
	2.25	32.75	3.31	0.21	922.71	317.56	583.07
	2.50	34.61	2.93	0.19	813.92	312.74	567.04
	2.75	36.18	2.62	0.16	721.50	305.76	554.10
	3.00	37.42	2.37	0.15	650.59	381.63	721.58
	3.25	38.48	2.17	0.13	586.56	426.13	798.70
	3.50	39.29	2.02	0.12	538.05	377.92	684.95
BQW10	2.00	28.81	3.94	0.25	1063.46	350.35	661.34
	2.25	31.15	3.44	0.22	936.03	355.37	657.55
	2.50	33.01	3.05	0.19	833.10	356.32	654.60
	2.75	34.52	2.80	0.17	747.81	356.45	654.95
	3.00	35.77	2.53	0.15	678.23	399.97	760.99
	3.25	36.75	2.35	0.14	621.22	446.51	847.42
	3.50	37.58	2.20	0.13	573.41	452.97	865.17

(1) e=%0 (2) e=%5 (3) e=%10

Tablo 4.4 LGP depremi altında yapısal cevap değerleri

İzolasyon	T_0	$d_N^{(1)}$	$a_N^{(1)}$	$\Delta_N^{(1)}$	$V_N^{(1)}$	$M_N^{(2)}$	$M_N^{(3)}$
Sistemi		(cm)	(m/sn ²)	(%)	(kN)	(kNm)	(kNm)
UQW5	2.00	50.68	5.91	0.38	1647.91	-	-
	2.25	53.83	5.01	0.32	1405.04	-	-
	2.50	51.93	3.96	0.26	1132.08	-	-
	2.75	54.33	3.68	0.23	995.68	-	-
	3.00	63.44	3.43	0.23	983.47	-	-
	3.25	75.64	3.42	0.23	993.62	-	-
	3.50	79.53	3.21	0.21	915.12	-	-
UQW7.5	2.00	44.13	5.60	0.36	1530.12	-	-
	2.25	45.93	4.87	0.30	1295.75	-	-
	2.50	44.32	3.98	0.25	1063.10	-	-
	2.75	40.32	3.20	0.20	850.85	-	-
	3.00	44.19	2.94	0.19	804.66	-	-
	3.25	47.83	2.75	0.18	755.80	-	-
	3.50	50.80	3.18	0.17	714.61	-	-
UQW10	2.00	37.86	5.18	0.33	1418.55	-	-
	2.25	40.32	4.70	0.29	1236.36	-	-
	2.50	39.46	4.06	0.24	1041.61	-	-
	2.75	36.57	3.54	0.20	866.02	-	-
	3.00	37.23	3.68	0.18	783.71	-	-
	3.25	39.80	3.70	0.17	741.73	-	-
	3.50	42.02	3.71	0.16	702.72	-	-
BQW5	2.00	56.44	6.09	0.41	1775.51	512.07	986.72
	2.25	60.47	5.14	0.35	1517.07	605.67	1129.46
	2.50	58.04	4.16	0.28	1204.93	723.04	1317.48
	2.75	73.87	4.28	0.29	1257.74	529.24	1009.16
	3.00	87.59	4.30	0.29	1258.85	373.46	707.52
	3.25	97.21	4.02	0.27	1191.91	414.03	730.35
	3.50	101.13	3.76	0.25	1080.57	483.86	844.65
BQW7.5	2.00	49.77	5.79	0.38	1632.88	493.40	937.55
	2.25	52.38	4.95	0.32	1382.17	565.67	1063.08
	2.50	50.06	3.92	0.25	1107.56	652.12	1204.56
	2.75	50.18	3.44	0.22	940.21	615.91	1104.50
	3.00	57.32	3.15	0.21	913.51	373.10	689.56
	3.25	68.39	3.12	0.21	921.14	474.08	885.59
	3.50	73.61	3.15	0.20	871.74	547.74	976.04
BQW10	2.00	45.14	5.55	0.36	1548.43	594.36	1116.69
	2.25	47.06	4.88	0.30	1307.59	557.38	1050.26
	2.50	45.08	4.02	0.24	1061.79	616.19	1148.40
	2.75	42.49	3.35	0.20	872.28	650.43	1219.09
	3.00	46.47	3.02	0.19	818.92	600.54	1025.96
	3.25	49.87	2.87	0.18	768.73	431.87	801.20
	3.50	53.10	3.48	0.17	724.26	463.43	861.26

⁽¹⁾ e=%0 ⁽²⁾ e=%5 ⁽³⁾ e=%10

1.00 çizgisinin altında kalan durumlarda yapıya gelebilecek etkiler gerçek değerlerinden daha az olarak hesaplandığı için güvensiz sonuçlar olarak değerlendirilir. Bu çizginin üzerinde olan durumlarda ise yapıya gelebilecek etkilerden daha fazlası hesaplandığı için güvenlik açısından risk oluşturmamakla birlikte ekonomik olmayan durumlara neden olur.

Bu konu ile ilgili önemli çalışmalardan bir tanesi Matsagar ve Jangid (2004) tarafından yapılan çalışmadır. Ancak bu çalışmada oldukça sınırlı sayıda etkin izolasyon periyodu ve etkin sönüm oranına sahip izolasyon sistemi incelenmiştir. Ayrıca iki boyutlu model kullanılması dolayısıyla ikili eksenel interaksiyon göz önüne alınmamıştır. Üç boyutlu model kullanılmaması dolayısıyla, dış merkezlilik etkileri ve burulma momentleri açısından herhangi bir inceleme yapılmamıştır. Sadece en üst kat ivmeleri ve izolasyon deplasmanları incelenmiştir. Buradaki tez çalışmasında ise tüm bu eksiklikler giderilmeye çalışılmıştır. Ayrıca Matsagar ve Jangid'in (2004) bulgularıyla uyuşan ve uyuşmayan bulgular da ortaya konmuştur.

d_L/d_N oranının akma sonrası izolasyon periyoduna, etkin izolasyon periyoduna ve etkin izolasyon sönüm oranına göre değişimi sırasıyla Şekil 4.1, 4.6 ve 4.11'de verilmiştir. Şekil 4.1'de, iki doğrultuda deprem yüklemesi (B) ile tek doğrultuda deprem yüklemesi (U) sonuçları farklı izolasyon sistemleri için karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Doğrusal olmayan izolasyon sistemlerinde ikili eksenel etkilerin göz önüne alındığı, eşdeğer lineer sistemler için ise böyle bir etkinin söz konusu olmadığı hatırlanırsa, eşdeğer lineer modelleme sonucu ortaya çıkacak hatanın iki doğrultuda deprem yüklemesi ile tespitinin daha gerçekçi olacağı burada belirtilmelidir. Şekilden de görüleceği üzere, tek doğrultuda yapılan yüklemelerde d_L/d_N oranlarının çok daha yüksek olduğu, ancak ikili eksenel etkiler sonucunda doğrusal olmayan sistemlerin daha fazla deplasman yapmasına bağlı olarak d_L/d_N oranlarının iki doğrultudaki yüklemeler için daha düşük olduğu ve çoğunlukla 1.00 değerinin altında kaldığı görülmektedir. Ayrıca, akma sonrası izolasyon periyodu uzun olan sistemlerde genellikle d_L/d_N oranının daha düşük olduğu da anlaşılmaktadır. Şekil 4.6'da iki doğrultuda yükleme sonucu elde edilen d_L/d_N değerlerinin etkin izolasyon periyoduna bağlı olarak değişimi verilmektedir. Bu şekilde, ayrıca farklı dışmerkezlikler olması durumunda elde edilen sonuçlar da karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. İlk gözlemlenen, d_L/d_N oranlarının tüm

depremler ve birkaç durum hariç tüm etkin izolasyon periyotları için 1.00 değerinin altında olduğu, yani eşdeğer lineer modellerin izolasyon sistemi deplasmanlarını gerçek değerlerinden düşük tahmin ettiği için. Matsagar ve Jangid'in (2004) yaptığı çalışmada d_L/d_N oranının Kobe depreminde gözlenen birkaç değer haricinde tüm değerlerin 1.00'ın üzerinde kaldığı anlaşılmaktadır. Bunun sebebi Matsagar ve Jangid'in (2004) tek doğrultuda yükleme yapması ve nonlinear izolatörlerin ikili eksenal etkilerinin göz önüne alınmamış olması olduğu düşünülmektedir.

Elde edilen d_L/d_N oranı en yüksek olarak LGP depreminde 1.03 ve en düşük olarak KJM depreminde 0.66 olarak hesaplanmış olup tüm depremlere ait ortalamalar ise tek doğrultuda deprem yüklemesi (U) için 1.01, iki doğrultuda deprem yüklemesi (B) için ise 0.88'dir. Bu bulgu, eşdeğer lineer modelleme ile izolatörlerin gerçekte yapacağı deplasmana göre %34 daha az bir deplasman hesabı yapılabileceğini anlatmaktadır. Böyle bir durum ise izolatörlerin ve dolayısıyla da yapının güvenliğini ciddi bir şekilde tehdit edecektir. Çünkü, öngörülenin yaklaşık üçte biri kadar daha fazla deplasman yapan izolatörler yırtılabilir veya burkulabilir. Grafiklerden, dışmerkezliğin bulunmasının hesaplanan d_L/d_N oranlarını önemli ölçüde etkilemediği gözlemlenmektedir. Ayrıca, T_{eff} 'e bağlı olarak net bir davranış trendi (tutarlı bir azalma veya artma) ortaya çıkmamıştır. Şekil 4.11 incelendiğinde, β_{eff} 'teki artışa bağlı olarak eşdeğer modelleme sonucu genel olarak d_L/d_N azalmaktadır. Ancak, deprem karakteristiğine bağlı olarak ani artış ve azalışlar ortaya çıkabilmektedir. Örneğin düşük sayılabilecek %9 civarında bir sönüm için LGP depreminde d_L/d_N 0.73 civarları iken, KJM depremi için 0.93 civarındadır.

a_L/a_N oranının akma sonrası izolasyon periyoduna, etkin izolasyon periyoduna ve etkin izolasyon sönüm oranına göre değişimi sırasıyla Şekil 4.2, 4.7 ve 4.12'de verilmiştir. Şekil 4.2 incelendiğinde, iki doğrultuda deprem için a_L/a_N değerlerinin tek doğrultulu deprem için elde edilen değerlerden bir miktar farklılık gösterdiği ancak kararlı bir şekilde daha fazla veya daha az olmadığı anlaşılmıştır. Bu durum, izolatörlerdeki ikili eksenal etkilerin üst yapının ivme cevabına bir etkisinin olacağı ve bu etkileri göz önüne almayan eşdeğer lineer modellemenin gerçek ivme değerlerini yakalamakta güçlük çekeceği şeklinde yorumlanabilir. Aynı şekilde, T_0 'a bağlı olarak a_L/a_N değerlerindeki değişimin deprem bazında farklılık gösterdiği gözlenmektedir. KJM

depremi için artan T_0 'a bağlı olarak a_L/a_N değerleri düşerken, PET depreminde artmaktadır. Şekil 4.7'de T_{eff} 'e bağlı değişim incelendiğinde, genel olarak a_L/a_N değerlerinin 1.00 değerinin üzerinde kaldığı anlaşılmaktadır. Eşdeğer lineer modelleme üst yapı ivmelerini genel olarak gerçekte olduğundan fazla tahmin etmektedir. Matsagar ve Jangid'in (2004) çalışmasında a_L/a_N değerlerinin 1.00 değerinin altında kaldığı belirtilmektedir. Oysaki çalışmadaki tablolar incelendiğinde a_L/a_N değerlerinin 1.00 değerinden büyük çıktığı durumlar da bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında yapılan analizlerde de benzer şekilde a_L/a_N oranının 1.00'dan fazla ve az olduğu durumlar bulunmaktadır. Fakat, a_L/a_N oranlarının büyük çoğunlukla 1.00'dan büyük olduğu tespit edilmiştir. En yüksek a_L/a_N değeri KJM depreminde 1.46 olarak en düşük ise SYL depreminde 0.86 olarak hesaplanmış olup tüm depremlere ait ortalamalar ise tek doğrultuda deprem yüklemesi (U) için 1.07, iki doğrultuda deprem yüklemesi (B) için ise 1.11'dir. Kat ivmelerinin gerçeğinden %46'ya varan oranlarda daha fazla hesaplanması ekonomik olmayan sonuçlara sebebiyet verebilecektir. Örneğin titreşime hassas cihazların yerleştirileceği bir yapıda, bu cihazların KJM depremini rahatlıkla atlabilecek durumda olmasına karşın eşdeğer doğrusal modelleme ile yapılacak bir güvenilirlik analizi sonuçlarına göre bahsi geçen cihazların depremi atlatamayacağı yanlış sonucuna varılabilir. Öte yandan, SYL depremi için eşdeğer doğrusal modelleme sonucu kat ivmeleri %14'e varan oranlarda az hesaplanacağından, öngörülmeyen bu durum titreşime hassas cihazların hasar görmesine neden olabilir. Şekil 4.7 incelendiğinde, dış merkezlilik etkilerinin yukarıda tartışılan sonuçlara etkisinin yok denecek kadar az olduğu anlaşılmaktadır. β_{eff} 'e bağlı değişimlerin bulunduğu Şekil 4.12'de artan β_{eff} 'e bağlı olarak a_L/a_N değerlerinde kararlı bir eğilim gözlemlenmemiştir. Deprem karakteristiğinin elde edilen sonuçlara etkisi çok büyüktür.

Δ_L/Δ_N oranının akma sonrası izolasyon periyoduna, etkin izolasyon periyoduna ve etkin izolasyon sönüm oranına göre değişimi sırasıyla Şekil 4.3, 4.8 ve 4.13'de verilmiştir. Şekil 4.3'ten, ivme ile ilgili grafiklere benzer şekilde Δ_L/Δ_N oranları iki doğrultuda ve tek doğrultuda yükleme için çok büyük farklılıklar görülmemektedir. İkili eksenel etkinin üst yapıya görece deplasmanlar açısından yansımaları kısıtlı kalmıştır. T_0 'daki artışa bağlı olarak Δ_L/Δ_N oranları genel olarak artmıştır. Şekil 4.8'de verilen T_{eff} 'e bağlı değişim incelendiğinde, net bir eğilim görülmemektedir. Δ_L/Δ_N oranları ivme için de gözlemlendiği gibi büyük oranda 1.00 değerinin üzerindedir. Dış merkezliğin etkisi

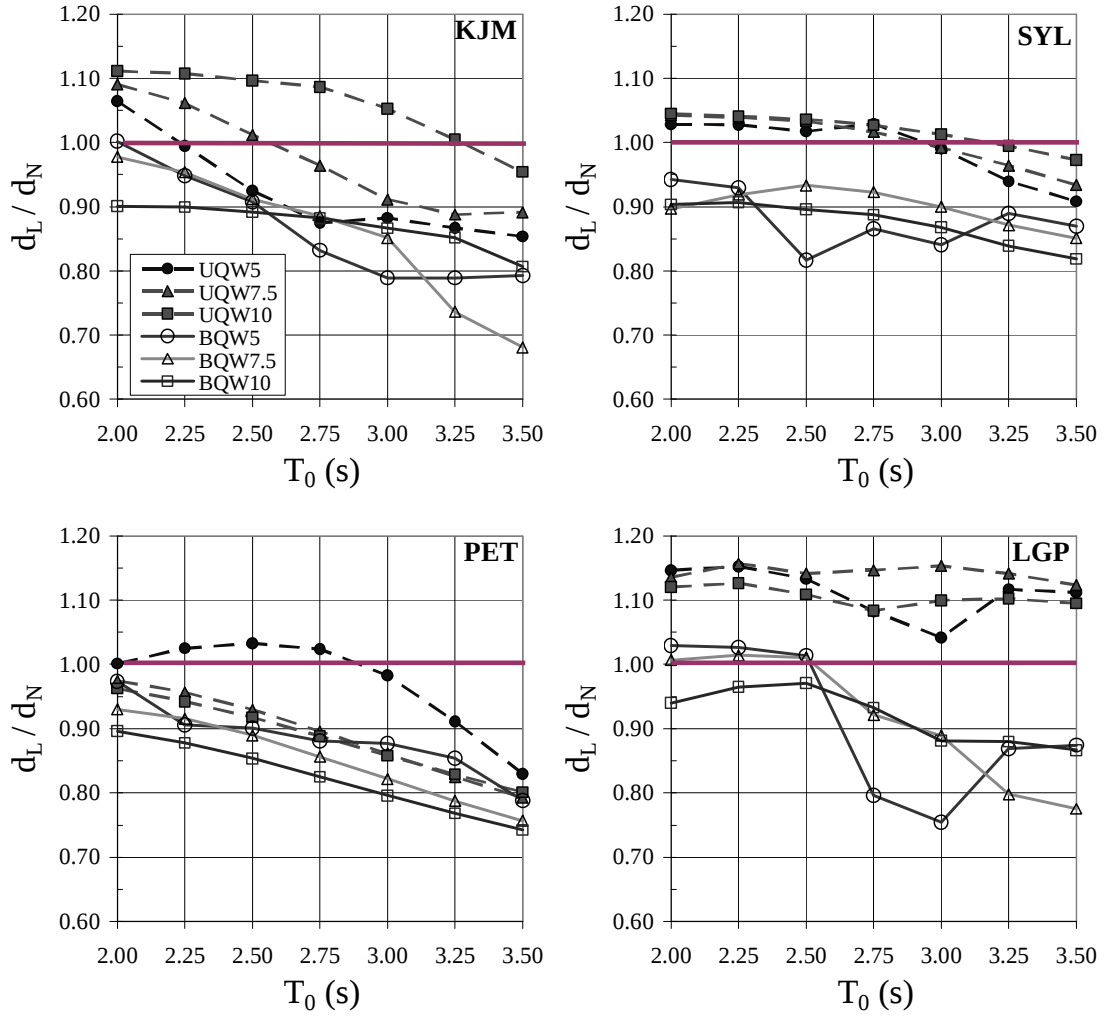
minimaldir. En büyük Δ_L/Δ_N oranı KJM depreminde 1.77 olarak kaydedilmiş, en küçük ise LGP depreminde 0.82 olarak hesaplanmış olup tüm depremlere ait ortalamalar ise tek doğrultuda deprem yüklemesi (U) için 1.13, iki doğrultuda deprem yüklemesi (B) için ise 1.12'dir. Anlaşılan, ana amaçlarından bir tanesi görelî kat deplasmanlarını azaltmak olan sismik izolasyon sistemlerinin kullanıldığı yapıların görelî kat deplasmanları eşdeğer lineer modelleme sonucu %77'ye varan oranlarda fazla hesaplanabilmektedir. Bu da sismik izolasyonun görelî kat ötelemelerinin azaltılması açısından iyileştirici performansının eşdeğer lineer modelleme ile yeterince ortaya konulamaması sonucunu doğurmaktadır. Şekil 4.13 incelendiğinde, artan β_{eff} e bağılı olarak Δ_L/Δ_N oranlarının arttığı ve dolayısıyla 1.00'a göre büyük sapmalar gösterdiği anlaşılmaktadır. Düşük sönüm oranlarına sahip izolasyon sistemleri için eşdeğer lineer modellemenin kullanımı uygun olabileceken yüksek sönüm oranları için oldukça hatalı sonuçlar ortaya çıkacağı burada belirtilmelidir.

V_L/V_N oranının akma sonrası izolasyon periyoduna, etkin izolasyon periyoduna ve etkin izolasyon sönüm oranına göre değişimi sırasıyla Şekil 4.4, 4.9 ve 4.14'te verilmiştir. Şekil 4.4 incelendiğinde ivme grafiğinde olduğu gibi, iki doğrultuda deprem ile tek doğrultulu deprem için elde edilen değerlerin az bir miktar farklılık gösterdiği anlaşılmıştır. T_0 'daki artışa bağılı olarak V_L/V_N oranında genel olarak bir artış gözlenmektedir. Ancak bu artış depreme ve izolasyon karakterisitğine bağılı olup örneğin KJM depreminde QW10 için oldukça fazla iken SYL depremindeki tüm sistemler için oldukça azdır. Şekil 4.9'da T_{eff} 'e bağılı değişim incelendiğinde, genel olarak V_L/V_N değerlerinin 1.00 değerinin üzerinde kaldığı anlaşılmaktadır. En yüksek V_L/V_N değeri KJM depreminde 1.61 olarak en düşük ise LGP depreminde 0.83 olarak hesaplanmış olup tüm depremlere ait ortalamalar ise tek doğrultuda deprem yüklemesi (U) için 1.11, iki doğrultuda deprem yüklemesi (B) için ise 1.09'dur. Eşdeğer lineer sistemlerle elde edilen kesme kuvvetlerinin fazla çıkması üstyapının olması gerekenden daha büyük boyutlandırılmasına sebep olabilir. Bu da ekonomik olmayan bir sonuç doğuracaktır. Nadir de olsa kesme kuvvetinin az hesaplandığı durumlarda ise güvensiz üstyapı tasarımı ortaya çıkabilir. β_{eff} e bağılı değişimlerin bulunduğu Şekil 4.14'de yine ivme grafiklerinde olduğu gibi artan β_{eff} e bağılı olarak V_L/V_N değerlerinde genel olarak bir artış gözlemlenmiştir. Bu durum özellikle PET depreminde çok net bir şekilde görülmektedir.

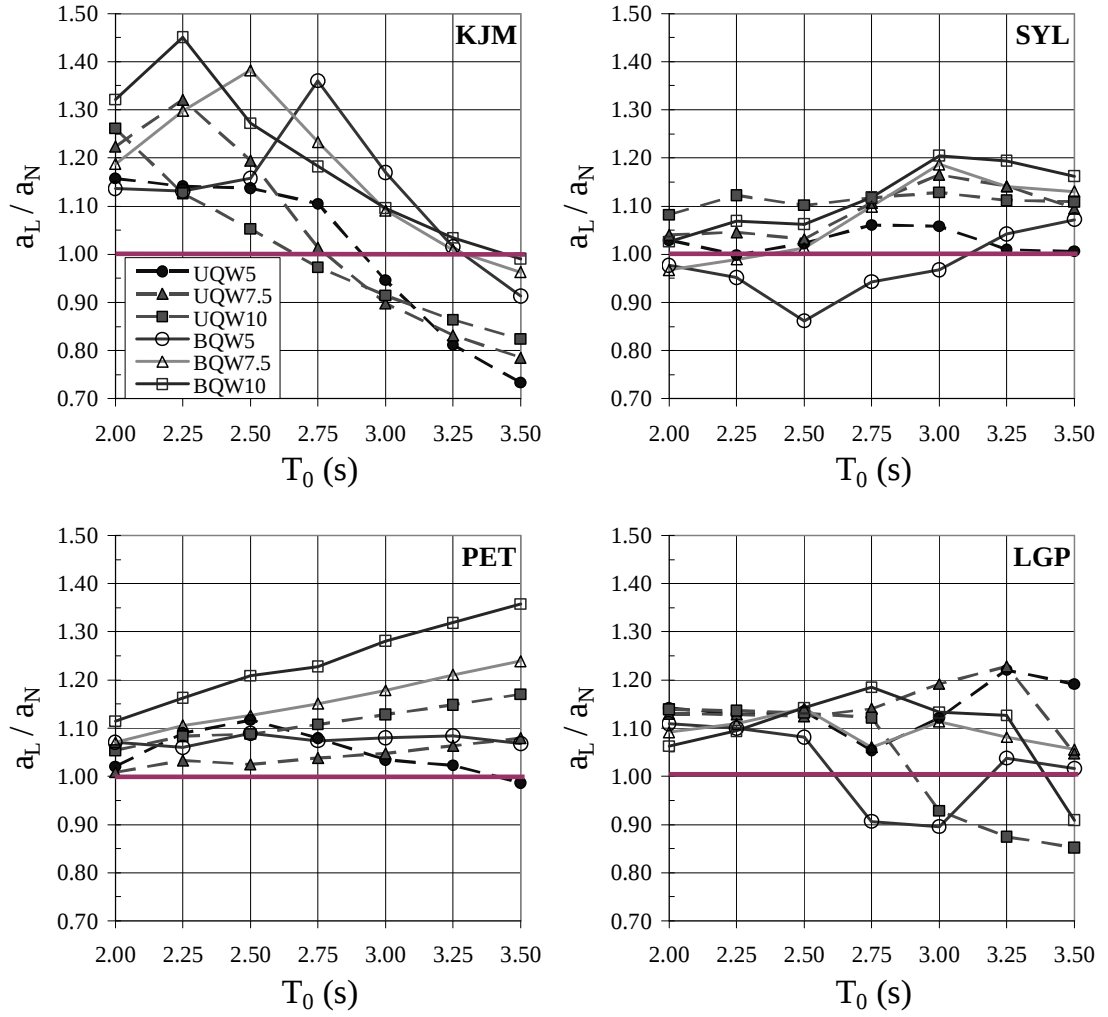
M_L/M_N oranının akma sonrası izolasyon periyoduna, etkin izolasyon periyoduna ve etkin izolasyon sönüm oranına göre değişimi sırasıyla Şekil 4.5, 4.10 ve 4.15'te görülmektedir. Şekil 4.5'te %5 ve %10 dışmerkezlilik için sonuçlar arasındaki farklılığın çok fazla olmadığı ve T_0 arttıkça genellikle M_L/M_N değerlerinin azaldığı görülmektedir. Şekil 4.10'da sunulan T_{eff} 'e bağlı değişim grafiklerinde, artan T_{eff} ile M_L/M_N oranlarının azaldığı, değerlerin büyük oranda 1.00'ın altında kaldığı ve dışmerkezliliğin diğer parametrelere göre daha büyük bir etkisinin olduğu görülmüştür. M_L/M_N oranları en yüksek olarak PET depreminde 1.15 ve en düşük olarak LGP depreminde 0.38 olarak tespit edilmiş olup tüm depremler için ortalamalara bakıldığında dış merkezliliği %5 olan sistem için 0.68, %10 olan sistem için ise 0.71 olduğu görülmektedir. Diğer yapısal cevap değerlerinden farklı olarak eşdeğer lineer modellemenin doğrusal olmayan modellemeye göre çok bariz bir şekilde düşük sonuçlar verdiği görülmektedir. Eşdeğer lineer modelleme, burulma momentlerini tahminde zorlanmakta ve %60'ın üzerinde hataya sebebiyet vermektedir. Gerçek değerlere göre oldukça düşük olan bu sonuçlar büyük yapısal güvenlik zaafiyeti yaratabilir. Eşdeğer lineer modellemenin burulma momentlerini tahmin etmekte bu derecede zorlanmasının en büyük nedenlerinden birinin ikili eksenel etkileşimi göz önüne almaması olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.15'ten M_L/M_N değerlerinin etkin sönüm oranına olan hassasiyetinin büyük olduğu, ufak sönüm oranı değişikliklerinde M_L/M_N değerlerinde büyük değişiklikler ortaya çıkabildiği ancak artan sönüm oranıyla bu değerlerin genel bir düşüş eğilimi gösterdiği anlaşılmaktadır.

Tablo 4.5 Yapısal cevap oranlarının (Lineer/Nonlinear) tek yönlü (Unidirectional) ve çift yönlü (Bidirectional) yüklemelerde tüm depremler ve izolasyon sistemlerinin ortalama ve standart sapma değerleri.

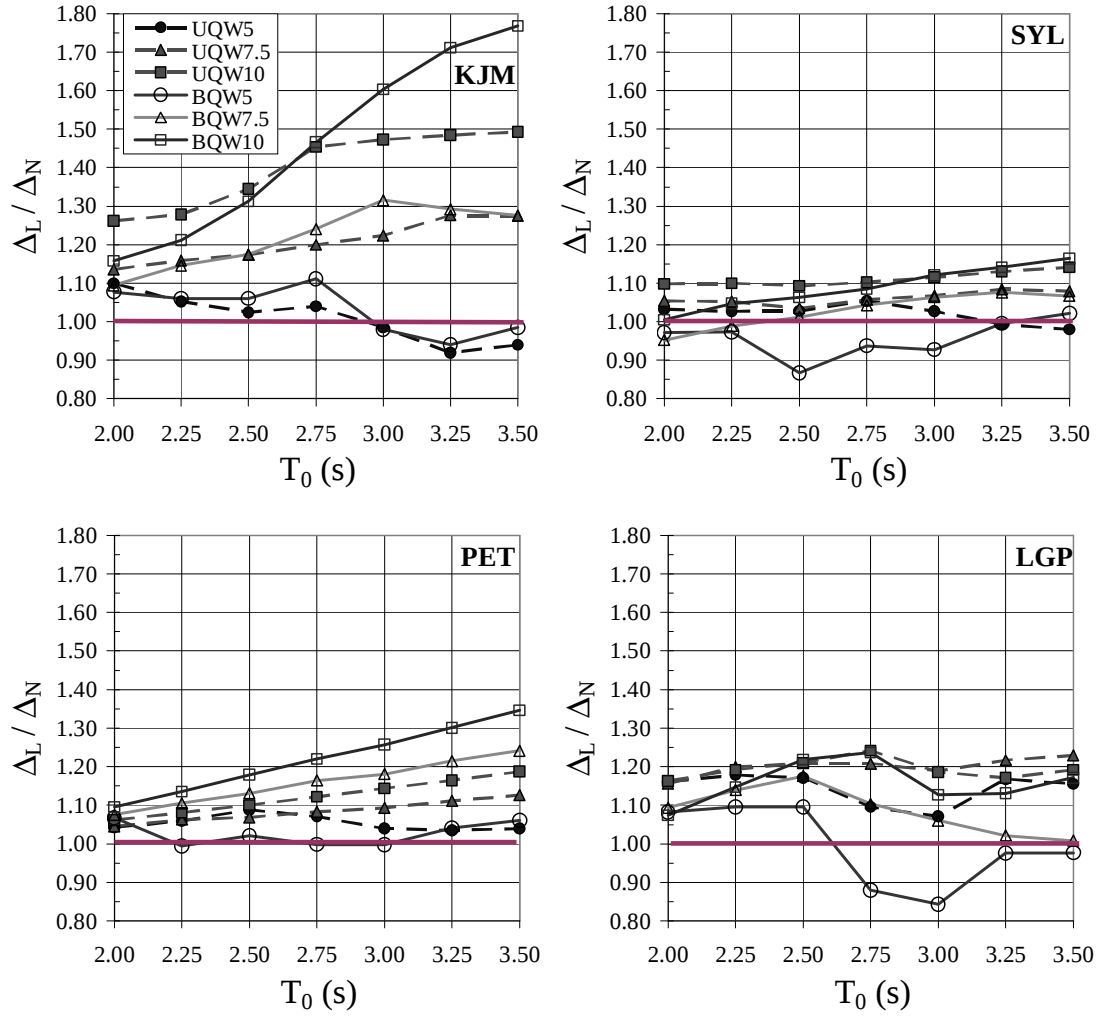
Yapısal Cevap Oranı	Ortalama Değer		Standart Sapma	
	U	B	U	B
d_L/d_N	1.01	0.88	0.097	0.072
a_L/a_N	1.07	1.11	0.109	0.115
Δ_L/Δ_N	1.13	1.12	0.112	0.160
V_L/V_N	1.11	1.09	0.099	0.132
M_L/M_N (e=%5)	-	0.68	-	0.175
M_L/M_N (e=%10)	-	0.71	-	0.178



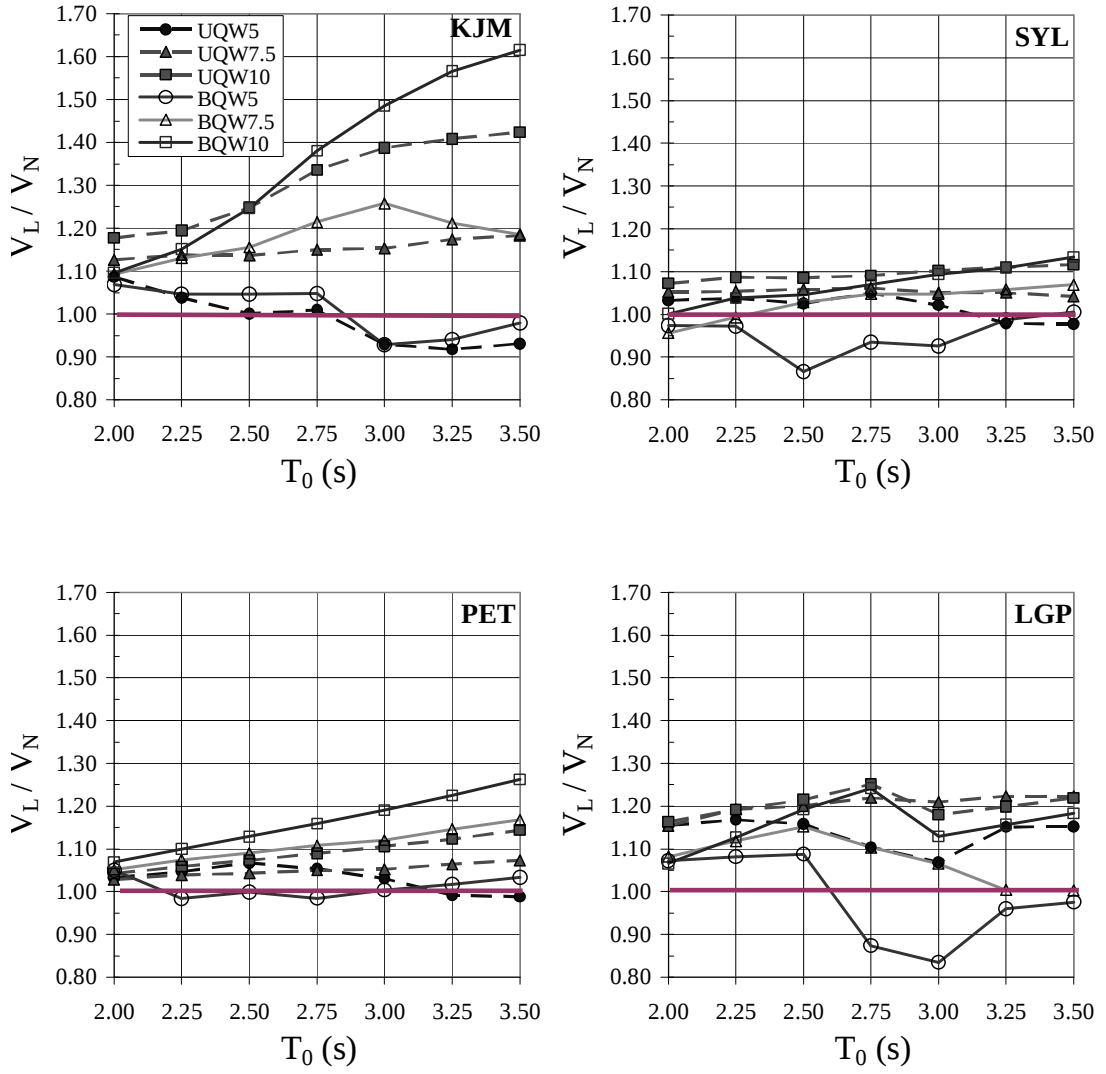
Şekil 4.1 Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemi deplasmanının doğrusal olmayan izolasyon sistemi deplasmanına olan oranının akma sonrası izolasyon periyoduna göre değişimi.



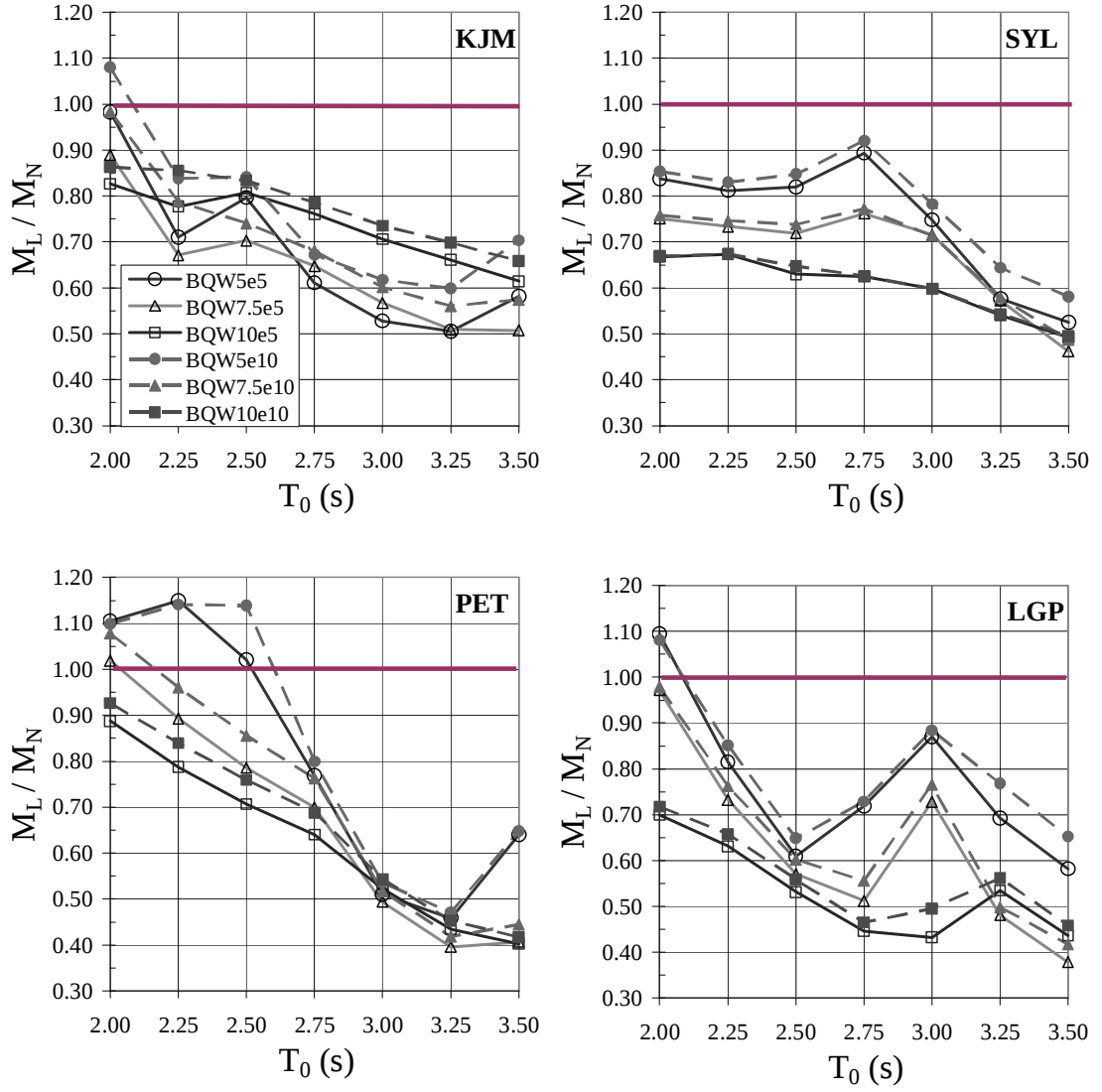
Şekil 4.2 Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemine sahip yapının pik en üst kat ivmesinin doğrusal olmayan izolasyon sistemine sahip yapının pik en üst kat ivmesine olan oranının akma sonrası izolasyon periyoduna göre değişimi.



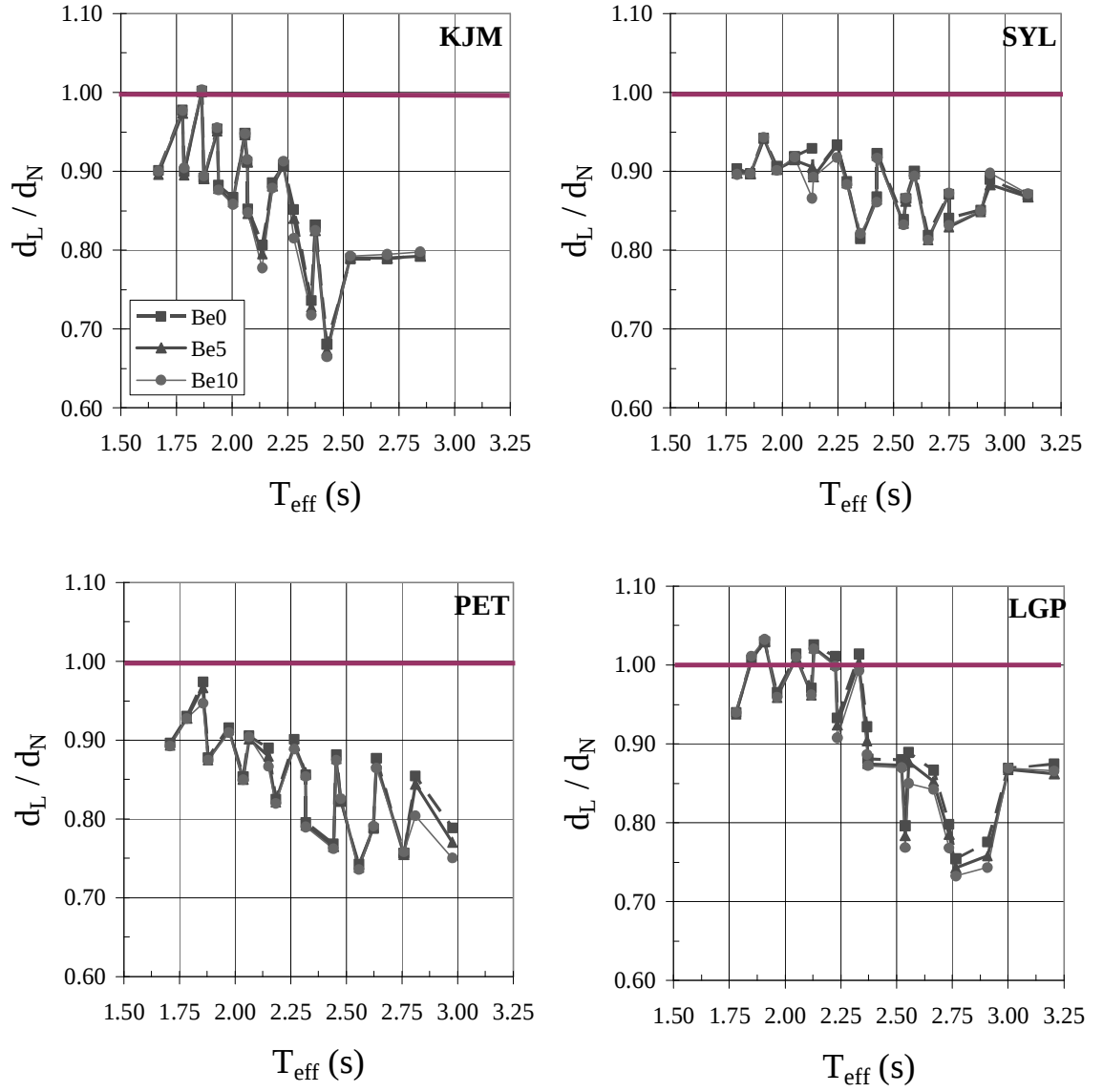
Şekil 4.3 Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemine sahip yapının pik görelî ilk kat deplasmanının doğrusal olmayan izolasyon sistemine sahip yapının pik görelî ilk kat deplasmanına olan oranının akma sonrası izolasyon periyoduna göre değişimi.



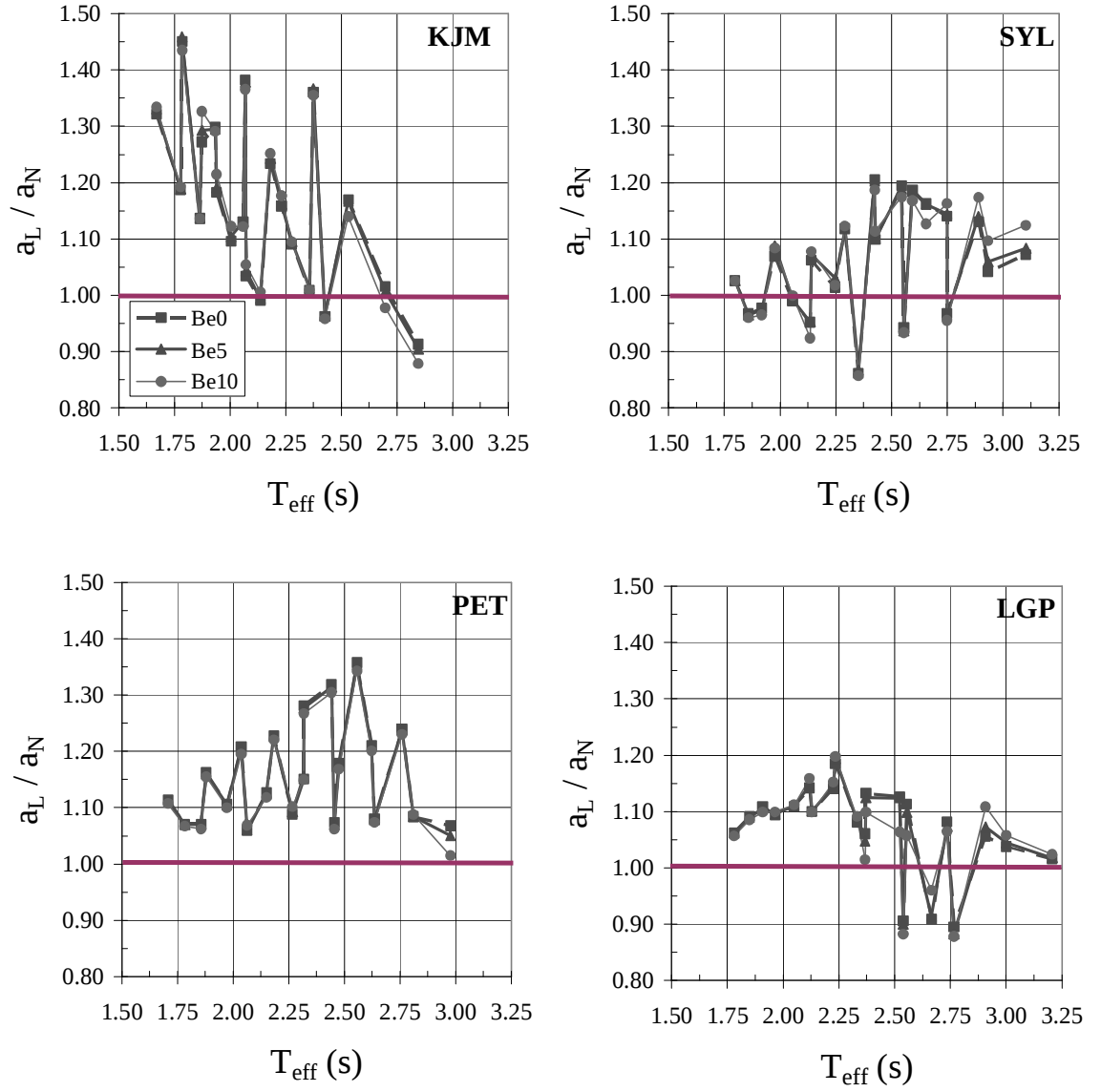
Şekil 4.4 Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemine sahip yapının pik taban kesme kuvvetinin doğrusal olmayan izolasyon sistemine sahip yapının pik taban kesme kuvvetine olan oranının akma sonrası izolasyon periyoduna göre değişimi.



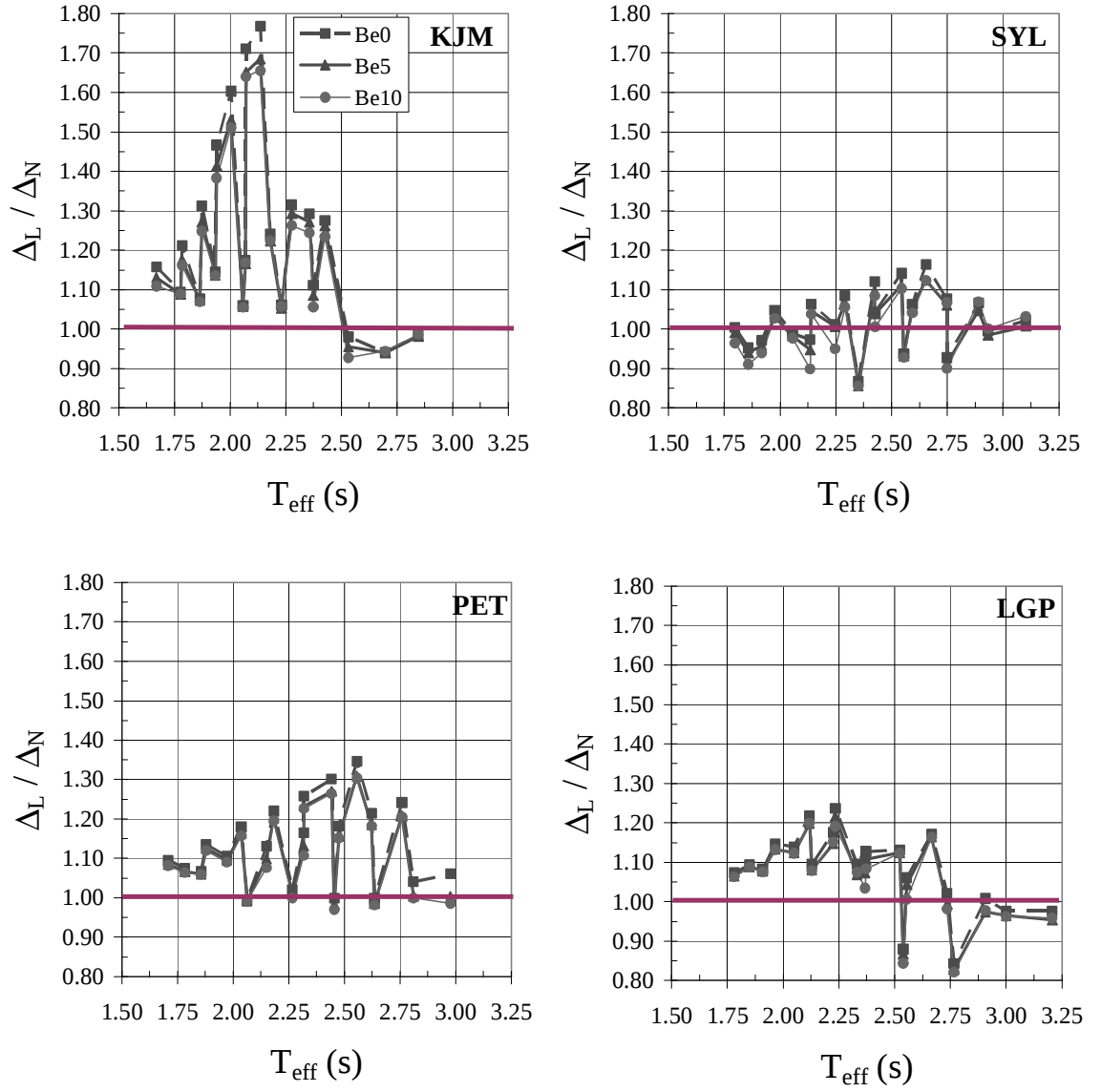
Şekil 4.5 Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemine sahip yapının pik taban burulma momentinin doğrusal olmayan izolasyon sistemine sahip yapının pik taban burulma momentine olan oranının akma sonrası izolasyon periyoduna göre değişimi.



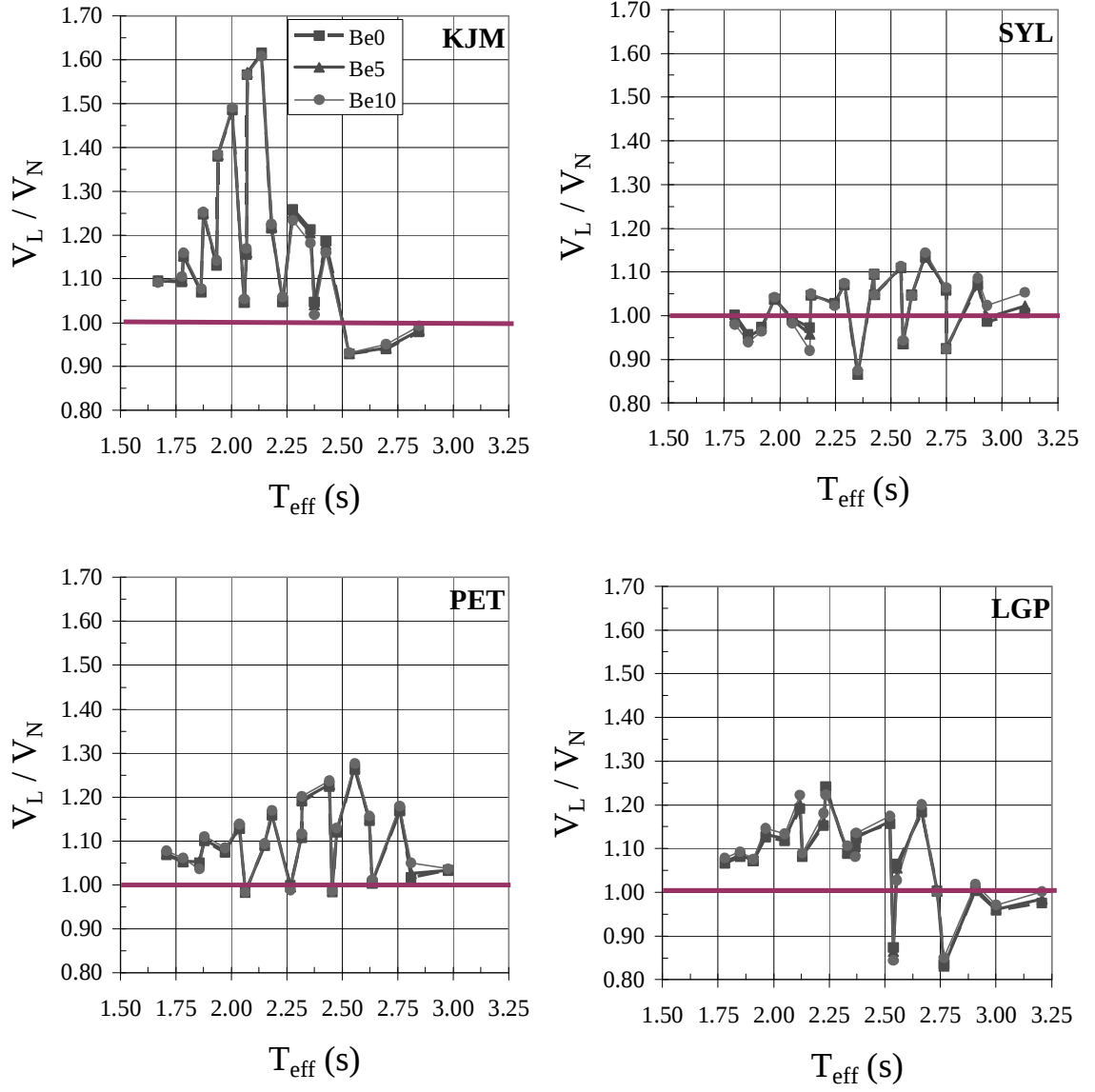
Şekil 4.6 Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemi deplasmanının doğrusal olmayan izolasyon sistemi deplasmanına olan oranının etkin izolasyon periyoduna göre değişimi.



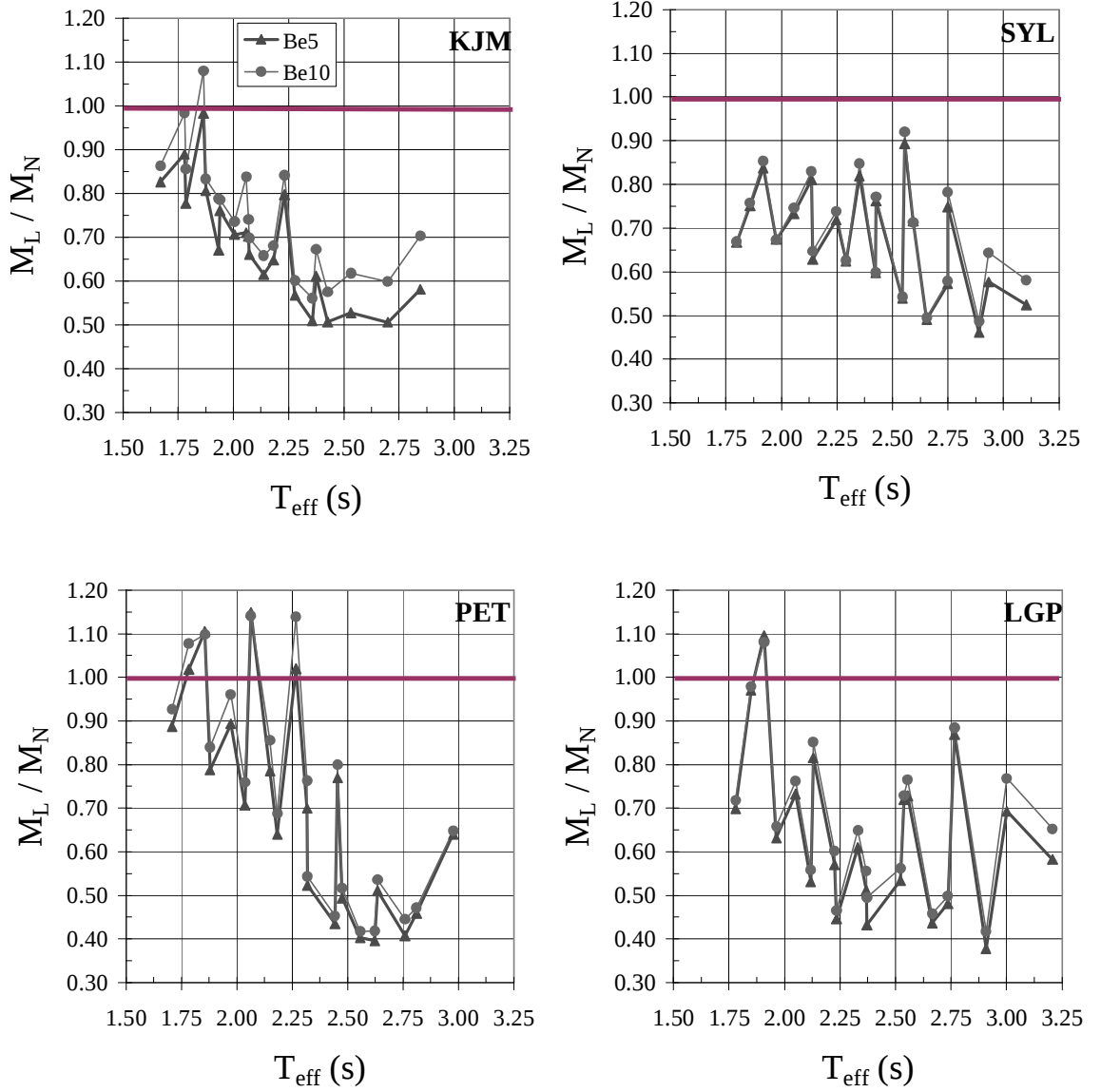
Şekil 4.7 Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemine sahip yapının pik en üst kat ivmesinin doğrusal olmayan izolasyon sistemine sahip yapının pik en üst kat ivmesine olan oranının etkin izolasyon periyoduna göre değişimi.



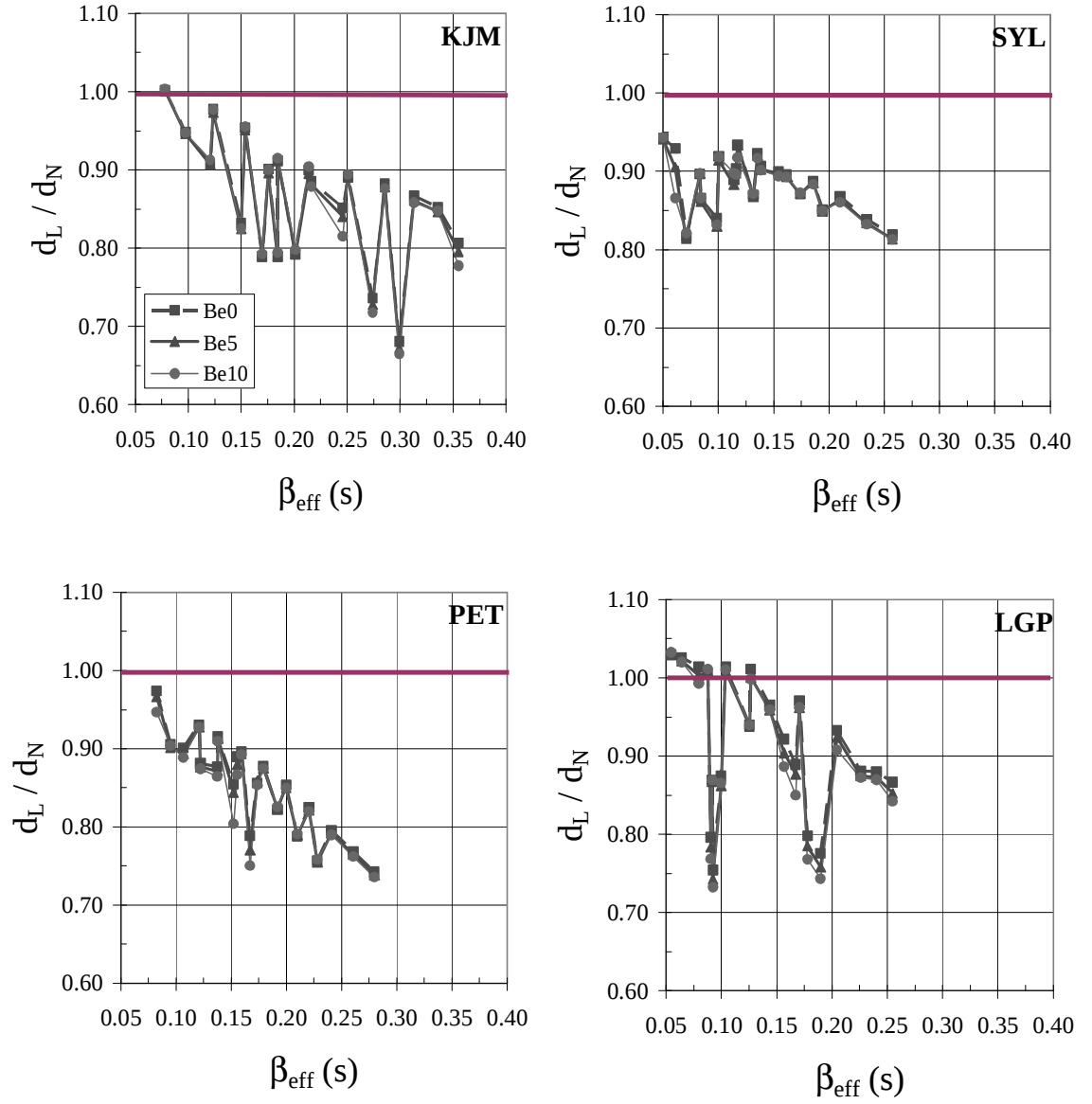
Şekil 4.8 Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemine sahip yapının pik görelî ilk kat deplasmanının doğrusal olmayan izolasyon sistemine sahip yapının pik görelî ilk kat deplasmanına olan oranının etkin izolasyon periyoduna göre değişimi.



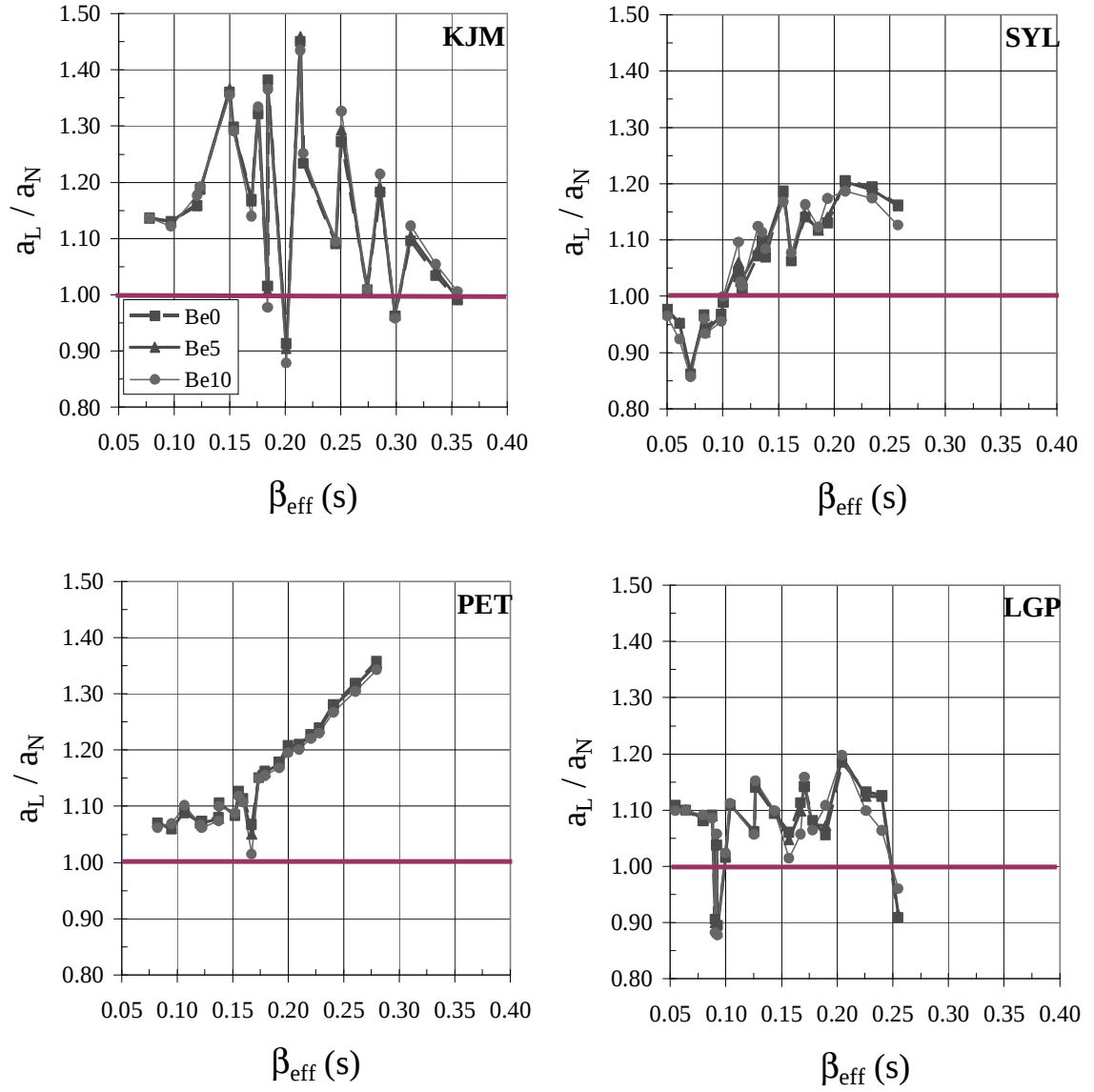
Şekil 4.9 Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemine sahip yapının pik taban kesme kuvvetinin doğrusal olmayan izolasyon sistemine sahip yapının pik taban kesme kuvvetine olan oranının etkin izolasyon periyoduna göre değişimi.



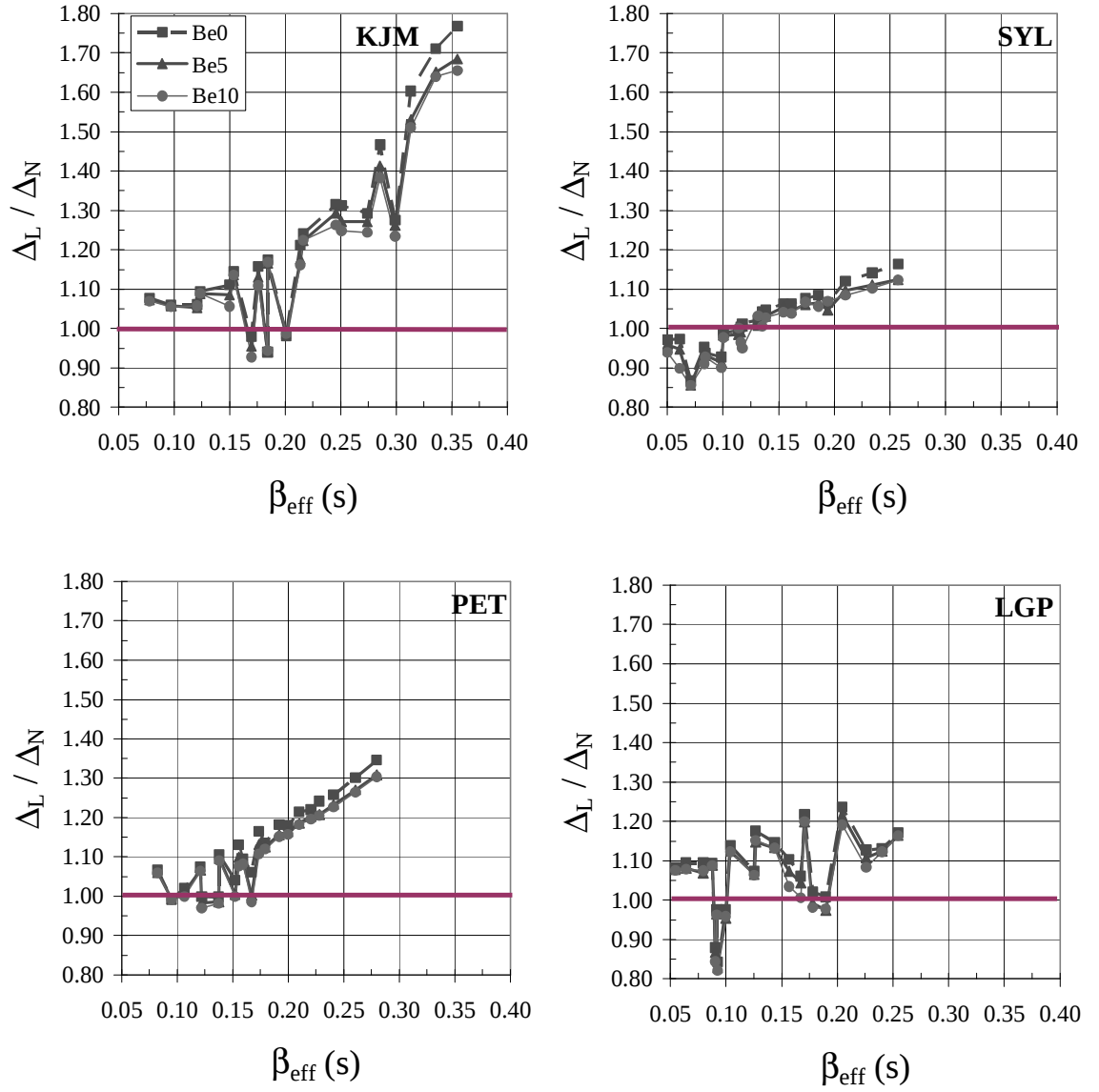
Şekil 4.10 Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemine sahip yapının pik taban burulma momentinin doğrusal olmayan izolasyon sistemine sahip yapının pik taban burulma momentine olan oranının etkin izolasyon periyoduna göre değişimi.



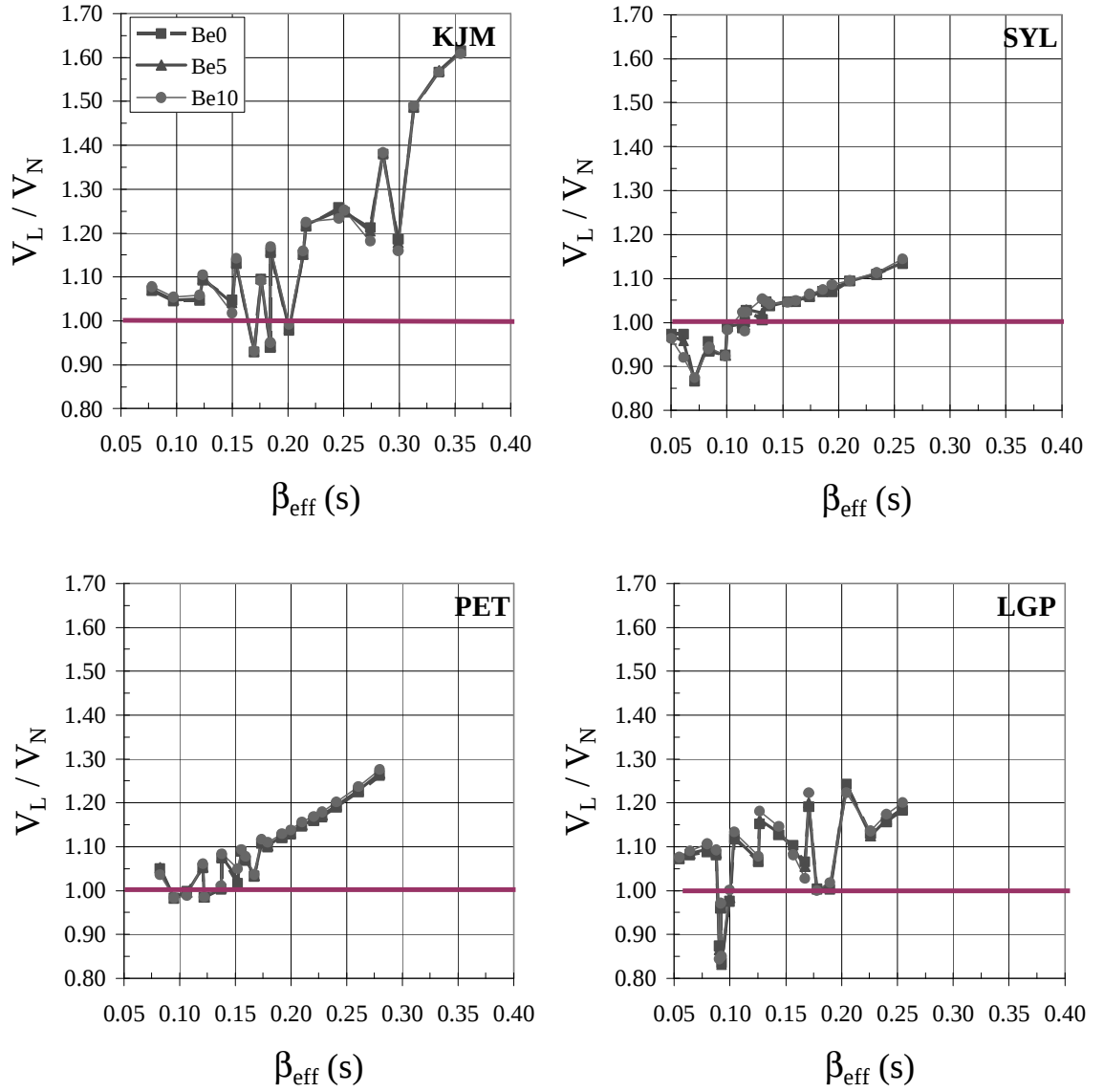
Şekil 4.11 Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemine sahip yapının pik taban burulma momentinin doğrusal olmayan izolasyon sistemine sahip yapının pik taban burulma momentine olan oranının etkin izolasyon sönüm oranı göre değişimi.



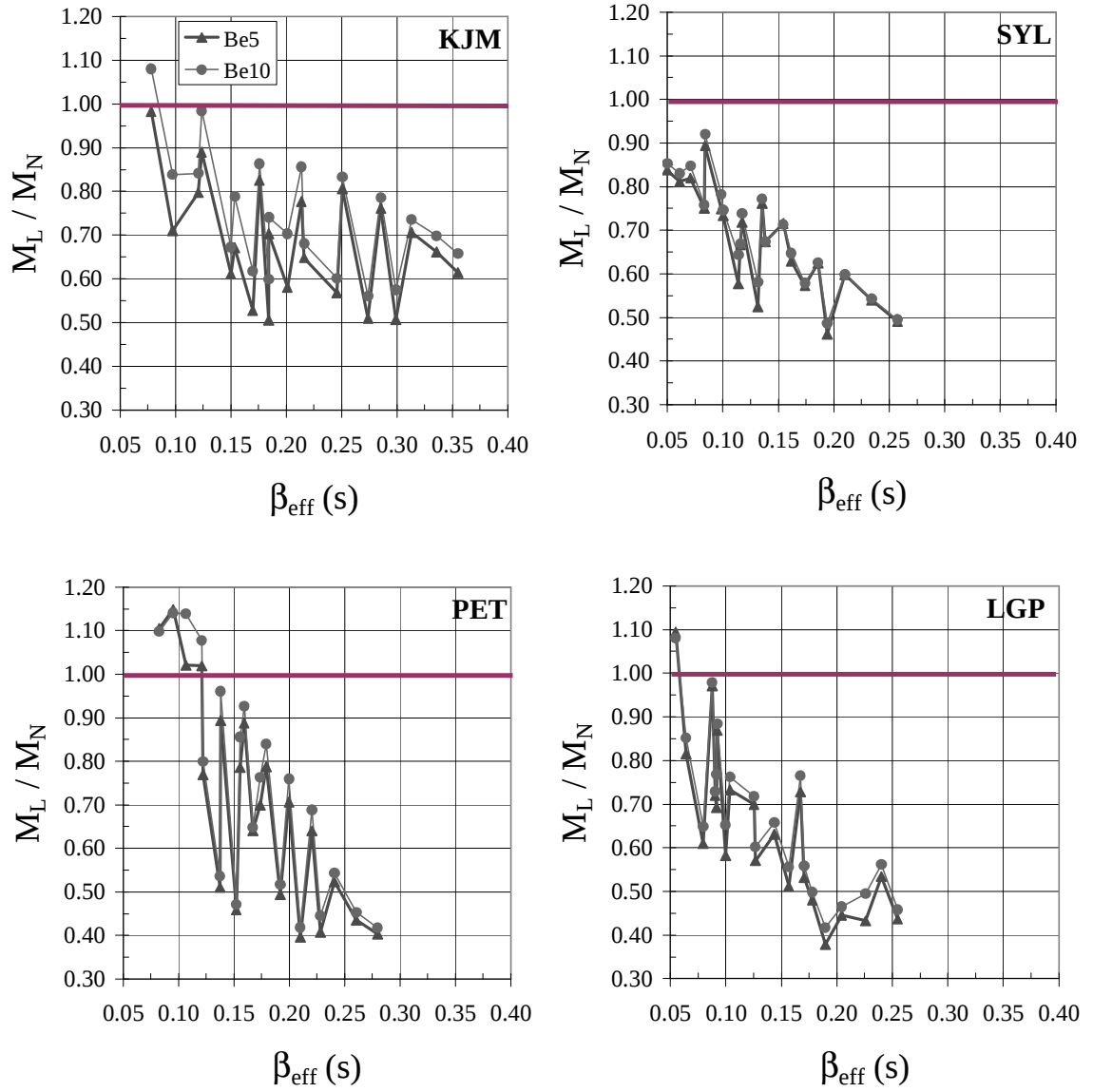
Şekil 4.12 Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemine sahip yapının pik en üst kat ivmesinin doğrusal olmayan izolasyon sistemine sahip yapının pik en üst kat ivmesine olan oranının etkin izolasyon sönüm oranına göre değişimi.



Şekil 4.13 Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemine sahip yapının pik görelî ilk kat deplasmanının doğrusal olmayan izolasyon sistemine sahip yapının pik görelî ilk kat deplasmanına olan oranının etkin izolasyon sönüm oranına göre değişimi.



Şekil 4.14 Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemine sahip yapının pik taban kesme kuvvetinin doğrusal olmayan izolasyon sistemine sahip yapının pik taban kesme kuvvetine olan oranının etkin izolasyon sönüm oranına göre değişimi.



Şekil 4.15 Eşdeğer doğrusal izolasyon sistemine sahip yapının pik taban burulma momentinin doğrusal olmayan izolasyon sistemine sahip yapının pik taban burulma momentine olan oranının etkin izolasyon sönüm oranına göre değişimi.

5. SONUÇLAR

Depremelerin neden olduğu can ve mal kayıplarını en aza indirmek için geliştirilen sismik izolasyon sistemlerini oluşturan yüksek sönümlü veya kurşun çekirdekli sismik izolatörler, doğrusal olmayan davranış göstermelerine rağmen, sismik izolasyonlu yapıların doğrusal analiz yöntemleriyle analiz edilebilmeleri için deprem yönetmeliklerinde tanımlanan eşdeğer rijitlik ve eşdeğer sönüm sayesinde doğrusal olarak modellenenilmektedirler. Bu tez çalışmasında üç boyutlu örnek bir kesme çerçevesine tek doğrultuda ve çift doğrultuda dört farklı tarihi deprem etkiltilerek doğrusal olmayan izolasyon sistemlerinin eşdeğer doğrusal izolasyon sistemleri olarak modellenmesinin uygunluğu araştırıldı. Araştırma kapsamında sismik izolatör deplasmanı, en üst kat ivmesi, taban kesme kuvveti ve taban burulma momentini içeren yapısal cevaplar incelendi, dış merkezliğin etkileri göz önüne alınarak sonuçlar aşağıda sunuldu:

1) Eşdeğer lineer modelleme sonucu elde edilen pik izolasyon deplasmanları tek doğrultuda deprem yüklemesi için nonlinear modellemeye göre genellikle daha yüksek (ortalama %1 daha fazla) çıktı. Öte yandan, ikili eksenel etkinin ortaya çıktığı iki doğrultuda deprem yüklemesi sonuçlarına göre tersi durum söz konusudur. Eşdeğer lineer modelleme sonucu elde edilen pik izolasyon deplasmanları iki doğrultuda deprem yüklemesi için nonlinear modellemeye göre genellikle daha düşük (ortalama %12 daha az) bulundu.

2) Eşdeğer lineer modelleme sonucu elde edilen pik en üst kat ivmeleri tek doğrultuda deprem yüklemesi için nonlinear modellemeye göre genellikle daha yüksek (ortalama %7 daha fazla) çıktı. İzolasyon sistemindeki ikili eksenel etkileşimin üst yapıya yansımaları az olduğundan, eşdeğer lineer modelleme sonucu elde edilen pik en üst kat ivmeleri iki doğrultuda deprem yüklemesi için de nonlinear modellemeye göre genellikle daha yüksek (ortalama %11 daha fazla) çıktı.

3) Eşdeğer lineer modelleme sonucu elde edilen pik görelî ilk kat deplasmanları tek doğrultuda deprem yüklemesi için nonlinear modellemeye göre genellikle daha yüksek (ortalama %13 daha fazla) çıktı. Benzer şekilde eşdeğer lineer modelleme sonucu elde edilen pik görelî ilk kat deplasmanları iki doğrultuda deprem yüklemesi için nonlinear modellemeye göre genellikle daha yüksek (ortalama %12 daha fazla) çıktı. Tek doğrultuda ve iki doğrultuda yükleme sonuçlarının benzer çıkması, izolasyon sistemindeki ikili eksenel etkileşimin üst yapıya yansımalarının az olduğunu ayrıca göstermektedir.

4) Eşdeğer lineer modelleme sonucu elde edilen pik taban kesme kuvvetleri tek doğrultuda deprem yüklemesi için nonlinear modellemeye göre genellikle daha yüksek (ortalama %11 daha fazla) çıktı. Benzer şekilde eşdeğer lineer modelleme sonucu elde edilen pik taban kesme kuvvetleri iki doğrultuda deprem yüklemesi için nonlinear modellemeye göre genellikle daha yüksek (ortalama %9 daha fazla) çıktı.

5) Eşdeğer lineer modellemeyle elde edilen pik taban burulma momentleri iki doğrultuda deprem yüklemesi için nonlinear modellemeye göre genellikle daha düşük (dış merkezliğı %5 olan sistem için %32, dış merkezliğı %10 olan sistem için %29 daha düşük) çıktı. Diğer yapısal cevap değerlerinden farklı olarak eşdeğer lineer modellemenin nonlinear modellemeye göre çok bariz bir şekilde düşük değerler verdiği görülmektedir.

6) Dış merkezliğın, eşdeğer lineer modelleme sonucu elde edilen pik izolasyon deplasmanları, pik en üst kat ivmeleri, pik görelî ilk kat deplasmanları ve pik taban kesme kuvvetlerinin nonlinear modelleme sonucu elde edilenlere olan oranına gözle görülebilir bir etkisinin olmadığı anlaşıldı. Pik taban burulma momentleri ile ilgili oranlara ise oldukça az bir etkisinin olduğu görüldü.

7) Eşdeğer lineer modelleme sonucu elde edilen yapısal cevap parametrelerinin nonlinear modelleme sonucu elde edilenlere olan oranının T_0 , T_{eff} ve β_{eff} 'e bağılı olarak değişimi incelendiğinde, bu değerlere bağılı olarak sonuçların değiştiğı ancak bariz bir eğilimin ortaya çıkmadığı görüldü. Ayrıca farklı depremler altında da farklı sonuçların çıktığı anlaşıldı.

KAYNAKLAR

- ATEŞ, Ş., DUMANOĞLU, A., 2003, Kauçuk Mesnetli Binaların Dinamik Analizi, *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 26-30 Mayıs 2003 İstanbul.
- BAILEY, K. R., BAILEY, T., AKPUDO, H., 2010, On the Ground in Haiti: A Psychiatrist's Evaluation of Post Earthquake Haiti, *Journal of Health Care for the Poor and Underserved*, 21:417-421.
- BERKELEY, <http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html>, Peer Strong Motion Databank, [Ziyaret Tarihi: Ocak 2010].
- BRAGA, F., LATERZA, M., 2004, Field Testing Low-Rise Base Isolated Buildings , *Engineering Structures*, 26: 1599-1610.
- CELEP, Z., KUMBASAR, N., 2004, *Deprem Mühendisliğine Giriş*, Beta Dağıtım, İstanbul, ISBN 975-95405-2-5.
- CHIGIRA, M., WU, X., INOKUCHI, T., WANG, G., 2010, Landslides Induced By The *Of Civil Engineering*, 12(3):187-196.
- DİCLELİ, M., BUDDARAM, S., 2007a, Equivalent Linear Analysis Of Seismic-Isolated Bridges Subjected To Near-Fault Ground Motions With Forward Rupture Directivity Effect, *Engineering Structures*, 29: 21-32.
- DİCLELİ, M., BUDDARAM, S., 2007b, Comprehensive Evaluation Of Equivalent Linear Analysis Method For Seismic-Isolated Structures Represented By Sdof Systems , *Engineering Structures*, 29: 1653-1663.
- ETABS, Computers and Structures Inc., 2009, Integrated Analysis, Desing And Drafting Of Building Systems, Version 9.5.0, Berkeley, USA.
- GÖKHAN, E., 2009, *Betonarme Yapılarda İzolatör Kullanımının Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği Programı, İstanbul.
- HAMEED, A., KOO, M.S., DO, T.D., JEONG, J.H., 2008, Effect Of Lead Rubber Bearing Characteristics On The Response Of Seismic-Isolated Bridges, *KSCE Journal*
- HOUSNER, G. W., MASRI, S. F., Performance Of The Base-Isolated USC University Hospital Under The 1994 Northridge Earthquake, 1994, *Nuclear Engineering And Design*, 148:509-513.2008 Wenchuan Earthquake, Sichuan, China, *Geomorphology*, 118:225-238.
- HWANG, JS., 1996, Evaluation Of Equivalent Linear Analysis Methods Of Bridge Isolation, *Journal Of Structural Engineering*, 122:972-6.

HWANG, JS., CHIOU, J.M., SHENG, L.H., 1995, Establishment of an equivalent linear model of seismically isolated bridges using a system identification method, *4th U.S. Conf. on Lifeline Earthquake Engrg.*, 1995 New York, ASCE, 416-423.

HWANG, JS., SHENG, L.H., 1994 Equivalent Linear Elastic Seismic Analysis Of Base- Isolated Bridges With Lead-Rubber Bearings, *Engineering Structures*, 16(3):201-209

ICBO, 1997, Uniform Building Code, Volume 2: Structural Engineering Provisions, 1997 ed., International Conference of Building Officials, Whittier, CA.

JANGID, R.S., KELLY, J.M., 2001, Base Isolation For Near-Fault Motions, *Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, 30:691-707.

JIANG, Y., WANG, C., ZHAO, X., 2010, Damage assessment Of Tunnels Caused By The 2004 Mid Niigata Prefecture Earthquake Using Hayashi's Quantification Theory Type II, *Natural Hazards*, 53: 425-441.

KALKAN, E., KUNNATH, S.K., 2006, Effect of Fling Step and Forward Directivity on Seismic Response of Buildings, *Earthquake Spectra*, 22(2):367-390.

KELLY, J.M., 1997, *Earthquake-Resistant Design With Rubber*, Springer-Verlag, London, ISBN:3-540-76131-4.

KESTİ, G.M., 2009, *Development Of A Low-Cost Aseismic Base Isolation Device For Protection Of Structural Systems From Damaging Effects Of Earthquakes*, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Deprem Mühendisliği Programı, İstanbul.

KIKUCHI, M., AIKEN, I. D., 1997, An Analytical Hysteresis Model For Elastomeric Seismic Isolation Bearings, *Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, 26:215-231.

KILAR, V., KOREN, D., 2009, Seismic behavior of asymmetric base isolated structures with various distributions of isolators, *Engineering Structure*, 31:910-921.

KITAGAWA, Y., MIDORIKAWA, M., 1998, Seismic Isolation And Passive Response-control Buildings In Japan, *Smart Materials and Structures*, 7:581-587.

KOMODROMOS, P., 2000, *Seismic Isolation For Earthquake-Resistant Structures*, WIT Press, ISBN: 1-85312-803-1.

LEE, D. M., MEDLAND, I. C., 1979, Base Isolation Systems For Earthquake Protection Of Multi-Storey Shear Structures, *Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, 7:555-568.

MADRİĞAL, A., 2009, Istanbul Opens World's Largest Earthquake-Safe Building [online], [http://www.wired.com/wiredscience/2009/11/worlds-largest-earthquake -safe-building/](http://www.wired.com/wiredscience/2009/11/worlds-largest-earthquake-safe-building/) [Ziyaret tarihi 10.06.2010].

MATSAGAR, V.A., JANGİD, R.S., 2004, Influence Of Isolator Characteristic On The Response Of Base-Isolated Structures, *Engineering Structures*, 26: 1735-1749

MESTANZADE, N., YAZICI, G., 2004, *Silindirik Deniz Depolarının Sismik İzolasyonla İncelenmesi*, Gemi Mühendisliği ve Sanayimiz Sempozyumu, 24-25 Aralık 2004.

MONDKAR, D.P., POWELL, G.H., 1975, ANSR 1: General Purpose Program For Analysis Of Nonlinear Structures Response. *EERC Report 75-37* (1975) UC Berkeley .

NAEIM, F., KELLY, J.M., 1999, *Design Of Seismic Isolated Structures: From Theory To Practice*, John Wiley&Sons, New York, ISBN:978-0471149217.

NAGARAJIAH, S., REINHORN, A.M., CONTANTINOU, M.C., 1991b, 3D-Basis, *Nonlinear Dynamic Analysis Of Three Dimensional Base Isolated Structures: Part 2*, Technical Report NCEER-91-0005, State University Of New York At Buffalo.

NOVAK, M., HENDERSON, P., 1989, Base-Isolated Buildings With Soil-Structure Interaction, *Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, 18:751-765.

PINARBAŞI, S., AKYÜZ, U., 2005, Sismik İzolasyon ve Elastomerik Yastık Deneyleri, *İMO Teknik Dergi*, 237:1-15

RYAN, K., L., CHOPRA, A., K., 2002, Approximate Analysis Methods For Asymmetric Plan Base-Isolated Buildings , *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31:33-54.

SAP2000N, Computers and Structures Inc., 2005, Static And Dynamic Finite Element Analysis of Structures, Version 10.0.1, Berkeley, USA.

SOMMERVILLE, P.G., 1998, Development of an Improved Representation of Near-fault Ground Motions, SMIP98 Proceedings, Seminar on Utilization of Strong-Motion Data, Oakland, CA, Sept 15, California Division of Mines and Geology, Sacramento, CA, pp. 1-20.

STRASSER, F.O., BOMMER, J.J., 2009, Review: Strong Ground Motions-Have We Seen The Worst?, *Bulletin Of The Esismological Society Of America*, 5:2613-2637.

ŞAHİN, F., 2008, *Sönümün Sismik Taban İzolasyonu ve Sönümleyicilerin Kullanıldığı Binaların Deprem Performansına Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

TOLAY, A., 2006, *Sismik İzolasyonlu Sistemlerin Maliyet Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı, İstanbul.

TSAI, C. S., CHIANG, T. C., CHEN, B. J., LIN, S. B., 2003, An Advanced Analytical Model For High Damping Rubber Bearings, *Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, 32:1373-1387.

TURKINGTON, DH., CARR, AJ., COOKE, N., MOSS, PJ., 1989a, Design Methods For Bridges On Lead-Rubber Bearings, *Journal Of Structural Engineering*, 115:3017-30.

TURKINGTON, DH., CARR, AJ., COOKE, N., MOSS, PJ., 1989b, Seismic Design Of Bridges On Lead-Rubber Bearings, *Journal Of Structural Engineering*, 115:3000-16.

URGU, İ., 2006, *Sismik İzolasyonlu Yapıların Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı, İzmir.

USGS, 2010, Largest And Deadliest Earthquakes By Year 1990-2009, [online], <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/year/byyear.php>, [Ziyaret tarihi 20.06.2010].

WANG, L., ZHANG, J., ZHOU, M., SHI, Z., LIU, P., 2010, Symptoms Of Posttraumatic Stress Disorder Among Health Care Workers In Earthquake-Affected Areas In Southwest China, *Psychological Reports*, 106:555-561.

YÜCESOY, A., 2005, *Sismik İzolatörler İle Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Antakya.

EK. 1: Doğrusal Olmayan ($T_0=2.0$ s, $Q/W = \%5$, $Dy=20$ mm) Simetrik İzolasyon Sisteminin 3DBASIS Input Dosyası

T2QW5DY20E0B

Units mass:tons force:kN length:meters time: sec

1 5 4 15

0.005 0.001 10000 20 1

0.5 0.25

2 0.02 2000 0 9.81

95656 95656 95656 95656 95656

95656 95656 95656 95656 95656

2343572 2343572 2343572 2343572 2343572

0 0 0 0 0

0 0 0 0 0

50 50 50 50 50

408.333 408.333 408.333 408.333 408.333

0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05

0 0

0 0

0 0

0 0

0 0

19.0 15.2 11.4 7.6 3.8 0

0 0 0 0 0

50 408.33

0 0 0 0 0

3 3

0.287 51.59 0.02 0.287 51.59 0.02

3 3

0.287 51.59 0.02 0.287 51.59 0.02

3 3

0.287 51.59 0.02 0.287 51.59 0.02

3 3

0.287 51.59 0.02 0.287 51.59 0.02

-3.5 3.5

3.5 3.5

-3.5 -3.5

3.5 -3.5

1 10 1 2 3 4

-3.5 3.5

3.5 3.5

-3.5 -3.5

3.5 -3.5

-3.5 3.5

3.5 3.5

EK. 2: Doğrusal (EK.2'ye eşdeğer $D = 56.9$ cm için $K_{eff} = 3219.1$ kN/m ve $C_{eff} = 96.85$ kNs/m) İzolasyon Sisteminin 3DBASIS Input Dosyası

T2QW5DY20E0B (SYL DEPREMİ) (LINEER)

Units mass:tons force:kN length:meters time: sec

1 5 8 15

0.005 0.001 10000 20 1

0.5 0.25

2 0.02 2000 0 9.81

95656 95656 95656 95656 95656

95656 95656 95656 95656 95656

2343572 2343572 2343572 2343572 2343572

0 0 0 0 0

0 0 0 0 0

50 50 50 50 50

408.333 408.333 408.333 408.333 408.333

0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05

0 0

0 0

0 0

0 0

0 0

19.0 15.2 11.4 7.6 3.8 0

0 0 0 0 0

50 408.33

0 0 0 0 0

3 1

804.78 804.78

3 1

804.78 804.78

3 1

804.78 804.78

3 1

804.78 804.78

3 2

24.21 24.21

3 2

24.21 24.21

3 2

24.21 24.21

3 2

24.21 24.21

-3.5 3.5

3.5 3.5

-3.5 -3.5

3.5 -3.5

-3.5 3.5

3.5 3.5

-3.5 -3.5

3.5 -3.5
1 10 1 2 3 4
-3.5 3.5
3.5 3.5
-3.5 -3.5
3.5 -3.5
-3.5 3.5
3.5 3.5

ÖZGEÇMİŞ

Murat ÖZGÜR 1986 yılında Kırcaali’de doğdu. İlköğrenimini Gaziosmanpaşa İlköğretim Okulu’nda, ortaöğrenimini Vefa Lisesi’nde 2004 yılında tamamladı. Lisans öğrenimini 2004-2008 yılları arasında Trakya Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde tamamladı. 2008 yılında İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitime başladı. Mayıs 2009 tarihinden bu yana Sultangazi Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü’nde çalışmaktadır.