



T. C.  
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SİSMİK TABAN İZOLASYON SİSTEMLERİ ve UYGULAMASI**

**ÖZGÜR DOĞAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ANTAKYA**  
**NİSAN - 2007**

Mustafa Kemal Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne,

Yrd. Doç. Dr. M. Cemal GENEŞ danışmanlığında, Özgür DOĞAN tarafından hazırlanan bu çalışma 05/04/2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan	: Yrd. Doç. Dr. M. Cemal GENEŞ	İmza .....
Üye	: Prof. Dr. Gürel ÇAM	İmza .....
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Selçuk KAÇIN	İmza .....

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Kod No:

İmza  
05/04/2007  
Prof. Dr. Necat AĞCA  
Enstitü Müdürü

**Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
ÖNSÖZ.....	III
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	V
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	5
3.1. Materyal.....	5
3.1.1. Elastomer Esaslı Sistemler.....	8
3.1.1.1. Düşük Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnetli Sistemler (LDRB).....	15
3.1.1.2. Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetli Sistemler (LRB).....	16
3.1.1.3. Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnetli Sistemler (HDNR).....	18
3.1.2. Kayıcı Mesnetli İzolasyon Sistemleri.....	19
3.1.2.1. Electricite – de France Sistemi .....	22
3.1.2.2. EERC Bileşik Sistemi (Earthquake Engineering Research Center).....	22
3.1.2.3. TASS Sistemi (Taisei Shake Suspension System) .....	22
3.1.2.4. Elastik Sürtünmeli Taban İzolasyon Sistemi (RFBS).....	23
3.1.2.5. Sürtünmeli Sarkaç Sistemi (FPS).....	23
3.1.2.6. Çapraz Raylı Sistemler (CLB).....	24
3.1.3. Helisel Yaylardan Oluşan Ayırıcı Sistemler.....	26
3.2. Yöntem.....	27
3.2.1. Lineer Teori.....	27
3.2.1.1. İki Serbestlik Dereceli Sistemler İçin Hareket Denklemleri.....	27
3.2.1.2. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler İçin Hareket Denklemleri.....	32
3.2.2. Sismik İzolasyonlu Yapıların Genel Davranışı.....	33
3.2.3. İzolatörlerin Modellenmesi ve Mekanik Karakteristikleri.....	37
3.2.3.1. Kauçuk Esaslı Mesnet Modeli (NRB).....	37
3.2.3.2. Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnet Modeli (LRB) .....	41

3.2.3.3. Sürtünmeli Sarkaç Mesnet Modeli (FPS) .....	43
3.2.4. Sismik İzolasyonda Yönetmelik Şartları.....	46
3.2.4.1. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik Şartları (2006).....	47
3.2.4.1.1. Hesap Yönteminin Seçilmesi.....	47
3.2.4.1.1.1. Hesap Yöntemleri.....	47
3.2.4.1.1.2. Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Uygulama Sınırları.....	47
3.2.4.1.2. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi.....	47
3.2.4.1.2.1. Toplam Eşdeğer Deprem Yüğüünün Belirlenmesi.....	47
3.2.4.1.2.2. Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüğülerinin Belirlenmesi.....	48
3.2.4.1.2.3. Göz Önüne Alınacak Yer Değıştirme Bileşenleri ve Deprem Yüğülerinin Etkime Noktaları.....	50
3.2.4.1.2.4. Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Belirlenmesi.....	51
3.2.4.1.2.5. Eleman Asal Eksen Doğrultularındaki İç Kuvvetler....	52
3.2.4.1.3. Mod Birleştirme Yöntemi.....	53
3.2.4.1.3.1. İvme Spektrumu.....	53
3.2.4.1.3.2. Göz Önüne Alınacak Dinamik Serbestlik Dereceleri....	53
3.2.4.1.3.3. Hesaba Katılacak Yeterli Titreşim Modu Sayısı.....	54
3.2.4.1.3.4. Mod Katkılarının Birleştirilmesi.....	55
3.2.4.1.3.5. Hesaplanan Büyüklüklere İlişkin Alt Sınır Değıerleri..	56
3.2.4.1.3.6. Eleman Asal Eksen Doğrultularındaki İç Kuvvetler....	56
3.2.4.1.4. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri.....	56
3.2.4.1.4.1. Yapay Deprem Yer Hareketleri.....	56
3.2.4.1.4.2. Kaydedilmiş veya Benzeştirilmiş Deprem Yer Hareketleri.....	57
3.2.4.1.4.3. Zaman Tanım Alanında Hesap.....	57
3.2.4.2. UBC – 97 Yönetmeliğinin Taban İzolasyonlu Yapılar ile İlgili Şartları.....	58
3.2.4.2.1. Sismik Risk Düzeyi.....	58

3.2.4.2.2. Tasarıml Metotları.....	58
3.2.4.2.3. Statik Analiz.....	59
3.2.4.2.3.1. Sismik Bölge Faktörü.....	60
3.2.4.2.3.2. Zemin Profili Tipi.....	60
3.2.4.2.3.3. Sismik Kaynak Tipleri (A, B ve C).....	60
3.2.4.2.3.4. Kaynak Yakınlığı Faktörü.....	61
3.2.4.2.3.5. MCE Tepki Katsayısı.....	62
3.2.4.2.3.6. Spektral Sismik Katsayılar.....	62
3.2.4.2.3.7. Sönüm Katsayıları.....	64
3.2.4.2.3.8. Efektif Sistem Titreşim Periyotları.....	65
3.2.4.2.3.9. Toplam Tasarıml Yer Değiş-tirmeleri.....	66
3.2.4.2.3.10. Tasarıml Kuvvetleri.....	67
3.2.4.2.3.11. Yatay Deprem Kuvvetinin Yapı Yüksekliğince Katlara Dağılımı.....	68
3.2.4.2.3.12. Yer Değiş-tirme Sınır Şartları.....	69
3.2.4.2.4. Dinamik Analiz.....	69
3.2.4.2.5. UBC – 97 Statik Analiz Şartları Kullanılarak Taban İzolasyonu Tasarımlında İzlenecek Yol.....	70
3.2.5. Sismik Taban İzolasyonu Uygulama Maliyeti.....	73
3.2.5.1. Sismik Taban İzolasyonu Maliyet Analizi.....	73
3.2.5.1.1. VA Hastanesi Loma Linda.....	73
3.2.5.1.2. Medical Building, Salt Lake City.....	74
4. ARAŞ-TIRMA BULGULARI VE TARTIŞ-MA.....	75
4.1. Giriş.....	75
4.2. Seçilen Yapı Modelinin Tanıtımı.....	75
4.2.1. Ankastre Temelli Sistemin Taban Kesme Kuvvetinin Hesabı.....	78
4.3. UBC – 97’ye Göre Yapı Parametreleri.....	79
4.4. Örnek Yapı Modelinin Sismik Taban İzolasyon Sistemleri İle Tasarımlı.....	80
4.4.1. Doğal Kauçuk İzolatörlerle Yalıtılmış Taban İzolasyonu Tasarımlı (Natural Rubber Bearing - NRB).....	81
4.4.1.1. Efektif Sistemin Toplam Yatay Rijitliği.....	82
4.4.1.2. Efektif Sistemin Titreşim Periyodu.....	82

4.4.1.3. Efektif Sistemde Toplam Sönüm.....	83
4.4.1.4. Maksimum Toplam Tasarım Yer Değişirmesi.....	83
4.4.1.5. Tasarım Kuvvetleri.....	84
4.4.1.6. Yatay Deprem Yükünün Katlara Dağılımı.....	85
4.4.1.7. Kauçuk İzolatör Detayı.....	85
4.4.1.8. Efektif Düşey (Eksenel) Rijitlik Hesabı.....	87
4.4.1.9. Düşey Titreşim Periyodunun Hesabı.....	87
4.4.1.10. Ortak Alan Hesabı.....	88
4.4.1.11. Göçme Riski Kontrolü.....	88
4.4.1.12. Dışarı Yuvalanma Mesafeleri (Rollout Displacements).....	89
4.4.2. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörlerle Yalıtılmış Taban İzolasyonu Tasarımı (Lead Rubber Bearing - LRB).....	92
4.4.2.1. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör Detayı.....	96
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	98
5.1. Giriş.....	98
5.2. Ankastre Mesnetli Sistemin Analiz Sonuçları.....	99
5.3. Sismik Taban İzolasyonlu Sistemin Analiz Sonuçları.....	103
5.3.1. Kauçuk İzolatörlerle Yalıtılmış Sistemin Analiz Sonuçları.....	103
5.3.2. Kurşun Çekirdekli İzolatörlerle Yalıtılmış Sistemin Analiz Sonuçları.....	107
5.4. Ankastre Mesnetli Sistem ile Sismik İzolasyonlu Sistemin Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	111
5.5. Sonuçların Değerlendirilmesi.....	113
5.6. Öneriler.....	115
KAYNAKLAR.....	116
ÖZGEÇMİŞ.....	118
EKLER.....	119
EK A. Taban İzolasyon Mesnet Tipleri ve Mesnet Tiplerine Ait Test Sonuçları.....	120
EK B. Sismik Taban İzolasyonu Uygulamaları.....	127

## ÖZET

### SİSMİK TABAN İZOLASYON SİSTEMLERİ ve UYGULAMASI

Bu çalışmanın amacı, yapıların birinci doğal titreşim periyodunu arttırarak deprem esnasında oluşan sismik enerjinin sönümlenmesi amacıyla kullanılan sismik taban izolasyon sistemlerini, uygulamalarını, avantaj ve dezavantajlarını incelemektir.

Sismik taban izolasyonu tasarımında amaç; yapı ile temeli arasına düşeyde oldukça rijit, yatayda ise rijitliği düşük elemanlar yerleştirilerek, yapıya yatayda esnek bir özellik kazandırarak yapıyı depremin yıkıcı etkilerinden uzaklaştırmaktır.

Sismik taban izolasyon tekniğinin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla bu çalışmada, çift yönde simetrik dört katlı betonarme bir konut yapısı ele alınarak, önce ankastre mesnetli daha sonra da sismik taban izolasyonlu olarak, iki ayrı tipte modellenerek hesaplamalar yapılmıştır. Örnek yapı modelinin çözümü için SAP2000 bilgisayar programı kullanılmış, zaman tanım alanında davranış analizleri için de, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi'nin resmi web sitesinden alınan, 17 ağustos 1999 İzmit depreminin Kuzey-Güney ve Doğu-Batı doğrultulardaki bileşenlere ait ivme değerleri kullanılmıştır. Söz konusu Kuzey-Güney ve Doğu-Batı doğrultulardaki ivme değerlerinin, yapıya aynı anda etkidiği varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır.

2006 yılında çıkan ve yürürlüğe giren yeni deprem yönetmeliğinin “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar” genel hükümlerinde taban yalıtımlı binaların, yönetmelik dışında olduğu açıkça belirtilmektedir. Bu nedenle, yönetmelik olarak UBC – 97 yönetmeliğinin sismik taban izolasyonu tasarımı ile ilgili gerekli maddeleri ve “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar” yönetmeliğinin ilgili bölümleri esas alınmıştır.

Çalışmada, ankastre mesnetli sistem ile sismik taban izolasyonlu sistemin analiz sonuçları, her iki sistemin belirli noktalarda yatay deplasmanları, aksel kuvvetleri, taban kesme kuvvetleri, eğilme momentleri, burulma düzensizlikleri ve bina birinci doğal titreşim periyotları gibi birçok davranış parametresinin aldığı değerler karşılaştırılarak anlatılmıştır.

Çalışmada; sismik izolasyon sistemlerine ve uygulamalarına detaylı olarak değinilmiş fakat; örnek yapının çözümünde, doğal kauçuk izolatör mesnet sistemi ve kurşun çekirdekli kauçuk mesnet sistemi uygulanmıştır.

2007, 118 sayfa

**Anahtar Kelimeler:** Sismik İzolatörler, Sismik Taban İzolasyonu Sistemleri, Kauçuk İzolatörler, Sismik İzolasyon.

**ABSTRACT****SEISMIC BASE ISOLATION SYSTEMS and APPLICATION**

This study has been conducted to investigate seismic base isolation systems, applications, advantages and disadvantages with the aim of absorbing seismic energy which appears during earthquake by raising first natural vibration period of structures.

The seismic base isolation's aim is to take away destructive effects of earthquake to building by locating remarkable rigid elements between structure and base on vertical direction and is to coordinate a flexible feature to building on horizontal direction.

To be more comprehensive two different types of modelling have been made based on a reinforced concrete residence building with symmetric four stories in couple direction, namely fixed base and seismic base isolation. For the solution of example structure model, SAP2000 a computer program was used. For time history analyses, the acceleration records which have components in direction of North-South and East-West of İzmit Earthquake on 17th August 1999, taken from web site of General Directorate of Disaster Affairs were used. So, in direction of North-South and East-West acceleration records, by assuming it affects simultaneously to building, are worked out.

Earthquake's new regulation which took effects in 2006, "Bases About Structures in Earthquake Region", does not consider base isolation building. Because of this, Uniform Building Code – 97 (UBC – 97) seismic base isolation and necessary rules and "Basis About Structures In Earthquake Region" were used.

In this study, analyses conclusions of a structure which has fixed base and seismic base isolation system were discussed. At the certain nodes of both systems, horizontal displacements, axial forces, base shear forces, bending moments, torsional irregularity, and first natural vibration periods of the building were compared.

Morover, it is focused on seismic isolation systems and application were discussed elaborately, but Natural Rubber Bearing and Lead Rubber Bearing systems were applied in the example building solutions.

2007 – 118 pages

**Keywords:** Seismic Isolators, Seismic Base Isolation System, Rubber Isolators, Seismic Isolation



## ÖNSÖZ

Ülkemizde meydana gelmiş tüm hasar verici ve şiddetli depremler sonrasında oluşan çok büyük ölçekteki insan, işgücü kaybı ve binaların kullanılamaz hale gelmesi, olumsuz psikolojik etkilere ve ülke ekonomisinin sekteye uğramasına neden olmaktadır.

Yapıları şiddetli deprem hareketlerinin yatay bileşenlerinden izole etmek için 20. yüzyılın başlarından bu yana, sismik taban izolasyonu tasarımı için pek çok çalışma yapılmış ve pek çok değişik sistem önerilmiştir. Yapılan bu çalışmalarda amaç; yapının, tabanına yatay yönde esnek elemanlar yerleştirmek suretiyle yapının doğal periyodunu, baskın zemin periyodunun ötesine taşıyarak yapıya gelecek sismik enerjiyi azaltmaktır.

Sismik taban izolasyon sistemleri sayesinde; yapının birinci doğal titreşim periyodu üst düzeylerden, yine yüksek periyotlardaki alt düzeylere çekilerek yapıyı normalde tasarlanması gereken yüklerden çok daha azına göre tasarlanabilmektedir.

Sismik izolasyon tekniği üzerine yapılan araştırmalarda, eşlenikleri olan geleneksel ankastre temelli yapıların tasarım yüklerinin sadece % 25-50'sine göre tasarlanmış küçük ve orta ölçekli pek çok temel izolasyonlu yapı tasarlanmış ve laboratuvarlarda denenmiştir. Bu deneylerde, temel izolasyonlu yapıların davranışlarının eşlenikleri olan ankastre temelli yapılarla kıyaslanabilir davranışlar gösterdiği kanıtlanmıştır. Ayrıca, bu deneyler sismik izolasyonlu yapılarda temel izolasyon sisteminin ilave masrafının bir kısmının, daha düşük seviyelerde tasarlanan üst yapının maliyetindeki azalmayla sağlanabileceğini de açıkça göstermektedir.

Oldukça yeni olan bu sistem Japonya başta olmak üzere birçok ülkede başarı ile uygulanmış ve geçirdikleri depremlerden başarı ile çıkmışlardır. Bu başarılı sonuçlar, bu sistemin ülke geneline hatta dünyanın birçok ülkesine hızla yayılmasına ve bununla ilgili ciddi çalışmaların başlatılmasına ve ilgili yönetmeliklerin yürürlüğe girmesinde oldukça etkili olmuştur. Ülkemizde ise, hala bu konuda ciddi bir çalışma olmadığı gibi mevcut yönetmeliklerimizde de bu konuya ilişkin bir bilgi bulunmamaktadır. Halbuki topraklarımızın neredeyse tamamı deprem açısından oldukça riskli durumda olduğunu düşünecek olursak bu sistemin; öncelikli olarak okul, hastane, askeri binalar, yönetim binaları, enerji santralleri, telekomünikasyon yapıları, kritik köprü, viyadük ve yollar olmak üzere birinci derecede önem teşkil eden sanat yapılarına uygulanması kaçınılmaması gereken bir durumdur.

Bu düşünceyle; ülkemizin yaklaşık % 95'inin aktif fay hattı üzerinde olduğu bilinciyle yola çıkılarak bu çalışmada, günümüz teknolojisi diyebileceğimiz sismik taban izolasyon sistemleri ve uygulamaları incelenmiştir.

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

$A_0$	Etkin Yer İvmesi
DBYYHYŞ	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik Şartları
$c$	Sönüm
$C$	Sönüm Matrisi
$C_A, C_v$	Sismik Zemin Katsayısı
$D$	Yatay Deplasman
$d$	Yer değiştirme
DBE	Tasarlanan Maksimum Deprem Yüğü
$d_D$	Tasarım Deplasmanı
$d_M$	Maksimum Deplasman
$d_{tD}$	Toplam Tasarım Deplasmanı
$D_y$	Plastik Deplasman
$E$	Elastisite Modülü
$F_i$	$i$ Katınca Taşınan Sismik yük
$F_r$	İç Yaylardaki Moment
$F_u$	İç Yaylardaki Kuvvet
$G$	Kayma Modülü
$H_i$	$i$ Katının Yüksekliğı
$I$	Yapı Önem Katsayısı
$k$	Rijitlik
$K$	Rijitlik Matrisi
$k_1$	Elastik rijitlik
$k_2$	Akma Sonrası Rijitliğı
$k_{eff}$	Efektif Rijitlik
$K_u, k_r$	İç Yayların Lineer Rijitlik Katsayıları
$k_y$	Düşey Rijitlik
$m$	Kütle
$M$	Kütle Matrisi
$m_b$	Dengeleyici Kütle
MCE	Tasarlanan Efektif Deprem Yüğü
$M_M$	Meydana Gelebilecek Maksimum Deprem Katsayısı
$N_a, N_v$	Sismik Kaynak Faktörü
$Q$	Kurşunun Akma Gerilmesinden Hesaplanan Karakteristik Kuvveti
$R$	İç Bükey Eğrilik Yarıçapı
$R$	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
$S$	Spektrum Katsayısı
$S$	Şekil Katsayısı
$S_D$	Bölge Zemin Tipi
$t$	Elastomer Mesnet Yüksekliğı
$T$	Periyot
$T_D$	Titreşim Periyodu
$T_{eff}$	Efektif Periyot
$T_v$	Düşey Periyot
$u$	Yer değiştirme vektörü
UBC-97	Amerikan Standart Yapı Kanunları

$V_t$	Taban Kesme Kuvveti
$W$	Yapı Ağırlığından Doğan Düşey Yük
$W_i$	$i$ Katınca Taşınan Sismik Ağırlık
$Z$	Zemin Tipi
$\beta$	Sönüm Faktörü
$\gamma_v$	Düşey Yükten Doğan Kayma Gerilmesi
$\Delta_t$	Düşey Deplasman
$\lambda$	Modal Bağlantı katsayısı
$\tau_y$	Kayma Gerilmesi
$\omega$	Açısal Frekans

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Eşdeğer deprem yükü yöntemi'nin uygulanabileceği binalar.....	47
Çizelge 3.2. Hareketli yük katılım katsayısı ( $n$ ).....	48
Çizelge 3.3. Sismik zemin faktörü ( $Z$ ).....	60
Çizelge 3.4. Zemin profil tipinin tayini.....	60
Çizelge 3.5. Sismik kaynak tipleri.....	61
Çizelge 3.6. Sismik kaynak faktörü ( $N_a$ ).....	61
Çizelge 3.7. Sismik kaynak faktörü ( $N_v$ ).....	62
Çizelge 3.8. Meydana gelebilecek maksimum deprem katsayısı.....	62
Çizelge 3.9. Sismik deprem katsayısı ( $C_v$ ).....	63
Çizelge 3.10. Sismik deprem katsayısı ( $C_A$ ).....	63
Çizelge 3.11. Sismik zemin katsayısı ( $C_{AM}$ ).....	63
Çizelge 3.12. Sismik zemin katsayısı ( $C_{VM}$ ).....	64
Çizelge 3.13. Sönüm katsayıları.....	64
Çizelge 3.14. Ankastre mesnetli yapı ile izolasyonlu yapının (UBC-97) sünekliğe bağlı azaltma faktörleri.....	67
Çizelge 3.15. Yönetmelik minimum değerleri.....	69
Çizelge 3.16. VA Hastanesi, Loma Linda muhtemel eksilecek maliyetler.....	73
Çizelge 3.17. VA Hastanesi, Loma Linda muhtemel eklenecek maliyetler.....	73
Çizelge 3.18. Medical Building, Salt Lake City muhtemel eksilecek maliyetler.....	74
Çizelge 3.19. Medical Building, Salt Lake City muhtemel eklenecek maliyetler.....	74
Çizelge 4.1 Ankastre mesnetli yapı ( $R$ ) ile taban izolasyonlu yapının ( $R_1$ ), sünekliğe bağlı azaltma faktörleri (UBC-97) .....	84
Çizelge 4.2 A tipi doğal kauçuk mesnedin SAP2000 bilgisayar programında N1link eleman olarak tanımlanması.....	92
Çizelge 4.3 B tipi doğal kauçuk mesnedin SAP2000 bilgisayar programında N1link eleman olarak tanımlanması.....	92
Çizelge 4.4 A tipi kurşun çekirdekli kauçuk mesnedin SAP2000 bilgisayar programında N1link eleman olarak tanımlanması.....	97
Çizelge 4.5 B tipi kurşun çekirdekli kauçuk mesnedin SAP2000 bilgisayar programında N1link eleman olarak tanımlanması.....	97

## VIII

Çizelge 5.1.	Ankastre mesnetli yapıda İzmit depremi ivme kayıtları altına analiz sonuçlarından elde edilen modlara göre titreşim periyotları.....	99
Çizelge 5.2.	Ankastre temelli yapıda İzmit depremi ivme kayıtları yüklemesi sonucunda meydana gelen yatay yer değiştirmeler.....	99
Çizelge 5.3.	Kauçuk izolatörle yalıtılmış yapı sisteminin mod şeklerine göre titreşim periyotları.....	103
Çizelge 5.4.	Kauçuk izolatörle yalıtılmış yapı sisteminde izmit depremi ivme kayıtları altında meydana gelen maksimum deplasmanlar.....	104
Çizelge 5.5.	Kurşun çekirdekli izolatörle yalıtılmış yapı sisteminin mod şekillerine göre titreşim periyotları.....	107
Çizelge 5.6.	Kurşun çekirdekli izolatörlerle yalıtılmış yapı sisteminde İzmit depremi ivme kayıtları altında meydana gelen maksimum deplasmanlar.....	108
Çizelge 5.7.	İzmit depremi ivme kayıtları altında ankastre temelli sistem ile sismik izolasyonlu sistemde meydana gelen birinci mod doğal titreşim periyotları karşılaştırılması.....	111
Çizelge 5.8.	İzmit depremi ivme kayıtları altında ankastre temelli sistem ile sismik izolasyonlu sistemde meydana gelen yatay deplasmanlarının karşılaştırılması .....	111
Çizelge 5.9.	İzmit depremi ivme kayıtları altında ankastre temelli sistem ile sismik izolasyonlu sistemde meydana gelen aksenal kuvvetlerin karşılaştırılması.....	112
Çizelge 5.10.	İzmit depremi ivme kayıtları altında ankastre temelli sistem ile sismik izolasyonlu sistemde meydana gelen kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.....	112
Çizelge 5.11.	İzmit deprem kayıtları altında ankastre temelli sistem ile sismik izolasyonlu sistemde meydana gelen eğilme momentlerinin karşılaştırılması.....	112
Çizelge 5.12.	İzmit deprem kayıtları altında ankastre temelli sistem ile sismik izolasyonlu sistemde meydana gelen burulma düzensizliklerinin karşılaştırılması.....	113

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.1. Taban izolasyonlu yapı ile ankastre mesnetli yapı için çizilmiş ivme - periyot grafiği.....	5
Şekil 3.2. İzolatörlerin şematik olarak betonarme bir binaya yerleştirilmiş şekli.....	9
Şekil 3.3. Radya temel donatısında, izolatörün yerleşeceği kolon altındaki ankraj bulonlarının yerleşimi.....	9
Şekil 3.4. İzolatör alt ankraj plakasının hazırlanma aşamaları.....	10
Şekil 3.5. İzolatörlerin yerine yerleştirilmesi.....	11
Şekil 3.6. İzolatörlerin tüm kolon altlarına yerleşmiş hali.....	12
Şekil 3.7. İzolatör aşaması tamamlanmış ve üst yapıya geçmek için izolatör seviyesinde kalıpların hazırlanma aşaması.....	12
Şekil 3.8. Üst yapı kolon ve kirişlerinin donatılarının yerleşimi ve kalıplarının hazırlanması.....	12
Şekil 3.9. Üst yapı kolon ve kirişlerinin bitmiş hali.....	13
Şekil 3.10. İzolatör katı seviyesinde yapının deprem esnasında dış perdelerle çarpması durumunda, yapının zarar görmemesi için yanlara yerleştirilmiş kauçuk tamponların görünümü.....	13
Şekil 3.11. Yapı tesisatlarının depreme uygun tasarımı.....	14
Şekil 3.12. Kauçuk izolatörlerle izolasyonu tamamlanmış yapı.....	15
Şekil 3.13. Düşük sönümlü doğal kauçuk mesnet tipi.....	16
Şekil 3.14. Kurşun çekirdekli mesnedin kuvvet – yer değiştirme davranışı ve mesnet detayı.....	17
Şekil 3.15. Yüksek sönümlü doğal kauçuk mesnet tipi ve kuvvet deplasman eğrisi.....	18
Şekil 3.16. Kauçuk tabakalı kayar mesnet alt plakasının radya temel üzerine yerleştirilmiş hali.....	19
Şekil 3.17. Kauçuk tabakalı kayar mesnedin yerleşeceği kısmın düzenlenmesi.....	19
Şekil 3.18. Kauçuk tabakalı kayar mesnedin kayıcı yüzey üzerine yerleştirilmesi.....	20
Şekil 3.19. Kayıcı mesnetlerin tamamı yerleştirilmiş ve üst yapı için hazırlıklar devam etmekte.....	20
Şekil 3.20. Kauçuk tabakalı kayar mesnetlerin bitmiş hali.....	21

Şekil 3.21.	Kauçuk tabakalı kayar mesnetlerle izolasyonu tamamlanmış yapı.....	21
Şekil 3.22.a.	Sürtünmeli sarkaç mesnedi görünüşü.....	23
Şekil 3.22.b.	Sürtünmeli sarkaç mesnedi detayı.....	23
Şekil 3.23.	Çapraz raylı mesnet görünüşü.....	25
Şekil 3.24.	Çapraz raylı mesnet detayı.....	25
Şekil 3.25.	Çapraz raylı izolatörlerin yapıya uygulanmış hali.....	25
Şekil 3.26.	İki serbestlik dereceli izolasyonlu sistemde parametreler.....	27
Şekil 3.27.	İki serbestlik dereceli taban izolasyonlu yapı modeli.....	34
Şekil 3.28.	Taban izolasyonlu ve ankastre mesnetli modellerin 1. mod şekillerinin karşılaştırılması.....	35
Şekil 3.29.	Sismik taban izolasyonlu yapının 1. mod şekli.....	36
Şekil 3.30.	Kurşun çekirdekli mesnet modelinde kuvvet – yer değiştirme eğrisi.....	41
Şekil 3.31.	Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri gösterimi.....	49
Şekil 3.32.	Ek dış merkezliliğin gösterim şeması.....	51
Şekil 3.33.	Katlara etkiyen fiktif yükün şematik gösterimi.....	52
Şekil 3.34.	Depremlerin ortak etkisi altında, taşıyıcı sistem elemanlarının a ve b asal eksen doğrultularındaki oluşan iç kuvvetler.....	52
Şekil 3.35.	Sismik kaynak faktörü $N_a$ ve $N_v$ .....	61
Şekil 3.36.	Efektif sönüm – Sönüm katsayısı grafiği.....	65
Şekil 3.37.	Dış merkezliği hesaba katan toplam yer değiştirme hesabı için plan boyutları.....	66
Şekil 4.1.	Örnek yapı modeline ait kalıp planı ve üç boyutlu görünüşü.....	76
Şekil 4.2.	Her bir izolatöre gelen düşey ağırlıklar.....	78
Şekil 4.3.	Dış merkezliği hesaba katan toplam yer değiştirme hesabı için plan boyutları.....	83
Şekil 4.4.	Kauçuk izolatör kesidi.....	86
Şekil 4.5.	Ortak alanlar.....	88
Şekil 4.6.	A tipi doğal kauçuk izolatörlerin kuvvet – yer değiştirme eğrisi.....	91
Şekil 4.7.	B tipi doğal kauçuk izolatörlerin kuvvet – yer değiştirme eğrisi.....	91
Şekil 4.8.	A tipi kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin kuvvet – yer değiştirme eğrisi.....	95



Şekil 4.9.	B tipi kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin kuvvet – yer değiştirme eğrisi.....	95
Şekil 4.10.	A tipi kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kesiti.....	96
Şekil 4.11.	B tipi kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kesiti.....	96
Şekil 5.1a.	17 Ağustos İzmit depremi petkim yarımca istasyonu Kuzey - Güney ivme kaydı.....	98
Şekil 5.1b.	17 Ağustos İzmit depremi petkim yarımca istasyonu Doğu – Batı ivme kaydı.....	98
Şekil 5.2.	Ankastre mesnetli sistemde, izolatör seviyesindeki 1 no’lu düğüm ile en üst kattaki 5 no’lu düğümün deplasman (m) grafiklerinin birlikte gösterilişi.....	100
Şekil 5.3.	Ankastre mesnetli sistemde x-x aksı üzerinde 1. mod şeklinde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan yatay yer değiştirmeler.....	100
Şekil 5.4.	Ankastre mesnetli sistemde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan mesnet reaksiyonları.....	101
Şekil 5.5.	Ankastre mesnetli sistemde x-x aksı üzerinde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan aksel kuvvetler.....	101
Şekil 5.6.	Ankastre mesnetli sistemde x-x aksı üzerinde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan kesme kuvvetleri.....	102
Şekil 5.7.	Ankastre mesnetli sistemde x-x aksı üzerinde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan eğilme momentleri.....	102
Şekil 5.8.	Ankastre mesnetli sistemde x-x aksı üzerinde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan burulma düzensizlikleri.....	103
Şekil 5.9.	Kauçuk izolatörle yalıtılmış sistemde x-x aksı üzerinde 1. mod şeklinde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan yer değiştirmelerin planda görünüşü.....	104
Şekil 5.10.	Kauçuk izolatörlerle yalıtılmış sistemde, izolatör seviyesindeki 1 no’lu düğüm ile en üst kattaki 5 no’lu düğümün yatay yer değiştirme grafiklerinin birlikte gösterilişi.....	105
Şekil 5.11.	Kauçuk izolatörle yalıtılmış sistemde x-x aksı üzerinde 1. mod şeklinde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan aksel kuvvetler.....	105

Şekil 5.12.	Kauçuk izolatörle yalıtılmış sistemde x-x aksı üzerinde 1. mod şeklinde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan kesme kuvvetleri.....	106
Şekil 5.13.	Kauçuk izolatörle yalıtılmış sistemde x-x aksı üzerinde 1. mod şeklinde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan eğilme momentleri.....	106
Şekil 5.14.	Kauçuk izolatörle yalıtılmış sistemde x-x aksı üzerinde 1. mod şeklinde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan burulma düzensizlikleri.....	107
Şekil 5.15.	Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerle yalıtılmış sistemde, izolatör seviyesindeki 1 no'lu düğüm ile en üst kattaki 5 no'lu düğümün deplasman (m) grafiklerinin birlikte gösterilişi.....	108
Şekil 5.16.	Kurşun çekirdekli izolatörle yalıtılmış sistemde x-x aksı üzerinde 1. mod şeklinde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan yer değiştirmeler.....	109
Şekil 5.17.	Kurşun çekirdekli izolatörle yalıtılmış sistemde x-x aksı üzerinde 1. mod şeklinde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan eksenel kuvvetler.....	109
Şekil 5.18.	Kurşun çekirdekli izolatörle yalıtılmış sistemde x-x aksı üzerinde 1. mod şeklinde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan kesme kuvvetleri.....	110
Şekil 5.19.	Kurşun çekirdekli izolatörle yalıtılmış sistemde x-x aksı üzerinde 1. mod şeklinde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan eğilme momentleri.....	110
Şekil 5.20.	Kurşun çekirdekli izolatörle yalıtılmış sistemde x-x aksı üzerinde 1. mod şeklinde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan burulma düzensizlikleri.....	110

## 1. GİRİŞ

Dünyanın en aktif deprem bölgelerinden birinde bulunan ülkemizin % 95'i deprem etkisi altında bulunmakta ve bilindiği üzere Kuzey Anadolu fay hattı bu deprem kuşağının en önemli bölümünü oluşturmaktadır. 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremleri nüfusumuzun yaklaşık % 40'ının yaşadığı çok geniş bir alanda etkili olmuş; Düzce, Adapazarı, İzmit, Yalova, Gölcük ve Avcılar gibi birçok bölgede oldukça büyük can kaybı ve hasarlarla sonuçlanmıştır. Ülkemizde yaşanan bu depremler, mevcut yapılarımızın olası depremlere hazır olmadığını göstermiştir. Can kaybı oranının büyük oluşu, yapının üzerinde yer aldığı arazinin jeolojik yapısının etkili olmasıyla birlikte, seçilen binanın yapım teknolojisi, bu teknolojilerin yanlış uygulanması, işçilik ve malzeme sorunları, bina planlama ilkelerinin yapım teknolojisi ile uyumsuzluğu gibi etkenlere bağlı olmaktadır.

Dünyanın pek çok ülkesinde yapılar ve içinde yaşayan insanlar için büyük bir tehdit haline gelen depremlerin yıkıcı etkilerinden yapıları koruyabilmek için, pek çok depreme dayanıklı tasarım yöntemi geliştirilmiştir. Geleneksel depreme dayanıklı tasarım yöntemlerinde yapılar ya şiddetli deprem kuvvetlerine dayanabilecek kadar güçlü ya da bu kuvvetler altında en azından yapının tamamen göçmesini önleyerek can kaybını en aza indirebilecek kadar sünek olacak şekilde tasarlanmaktadır. Geleneksel tasarım yöntemlerine alternatif olarak geliştirilen Sismik izolasyon yönteminde ise ana fikir, deprem esnasında yapıya etkiyecek deprem enerjisinin, yapıda bir bütün olarak sönmülmesi yerine, yapı ile temel arasına yerleştirilecek sismik taban izolatörleri ile yapıya ulaşmadan, bu izolatörlerin kendi bünyelerinde sönmülmesi esasına dayanır.

Katlar arası rölatif yer değiştirme, sınır değerleri aşıyorsa taşıyıcı olmayan sistemde de hasar meydana gelebilir. Yapı içerisinde bulunan eşyalar aşırı yer değiştirme sonucunda devrilerek ölümlere sebep olabilir veya hasar görebilir. Deprem esnasında oluşabilecek katlar arası rölatif yer değiştirme değerlerinin, sisteme perdelerin eklenmesiyle düşürülebilmesi mümkündür. Bu şekilde yapının rijitliği büyük ölçüde artmakta fakat bunun bir sonucu olarak esneklik (yapının sünekliği) azalmakta ve dolayısıyla kat kuvvetleri artmaktadır. Buradan anlaşılacağı üzere, ankastre mesnetli yapılarda hem katlar arası rölatif yer değiştirmeyi hem de kat kuvvetlerini aynı anda azaltmak mümkün olamamaktadır. Taban izolasyonlu yapı tasarımı sayesinde ise, yapıların dinamik hareketleri esnasında yer değiştirmelerin ve kat kuvvetlerinin

istenilen sınırlar içinde kalması, bu sayede deprem enerjisinin yapıya ulaşmadan sönmülenebilmesi sağlanmış olmaktadır.

Yapıyı yer hareketlerinden izole etmenin en uç örneği, yapının yatay yönde serbestçe hareket etmesine imkân verecek tekerlek ya da çelik bilyeler üzerine yerleştirmektir. Bu durumda zemin hareketlerinden kaynaklanan yatay yükler yapıya aktarılamayacağı için yapı zemin hareketlerine karşı duyarsız hale gelecektir. Bu yöntem çok basit olmasına rağmen maalesef pratik değildir. Çünkü tekerler ya da çelik bilyeler üzerinde duran bir yapı rüzgâr yükleri altında dahi kolayca hareketlenerek olası bir yüklenme sonrası ilk konumuna geri dönemeyecektir. Dolayısıyla, etkili bir sismik izolasyon sistemi düşük seviyedeki yüklemelerde yapının hareketlenmesini önleyecek belli derecede rijitliğe ve yapıyı deprem sonrası ilk konumuna kolayca geri döndürecek bir mekanizmaya sahip olmalıdır.

Özetleyecek olursak; yapının tabanına esnek elemanlar yerleştirilmesi, yapıya gelen kuvvetleri ve kat ivmelerini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda üst yapının neredeyse rijit bir şekilde hareket etmesini sağlayarak, görelî kat ötelemelerinin minimum seviyelere ulaşmasını sağlar. Bu da, şiddetli bir deprem esnasında yapıda bulunan insanlara, yapıda hem yapısal hem de yapısal olmayan elemanlara, yapının içinde bulunan makine ve ekipmanlara gelebilecek zararların en aza ineceği anlamına gelir.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Sismik izolasyon fikri ilk olarak, Tokyo Üniversitesi'nde Dr. J. Milne tarafından geliştirilmiş olan sismik taban izolasyonu ile başlamıştır. Dr. J. Milne örnek binasında, yapının tabanına çelik bilyeler yerleştirilerek yapıyla zemini birbirinden ayırarak bu sayede binaya hareket serbestliği kazandırdığını savunmuştur. Fakat yapının, mevcut konumuna gelememesi, rüzgar etkisiyle dahi yer değiştirebilmesi bu yöntemin geliştirilmesi gerektiği fikrini ortaya koymuştur.

Daha sonraları sismik izolasyonda farklı bir fikir, 1900'lü yılların başında İngiltere'ye bağlı bir yer olan Scarborough'ta yaşayan J.A.Calantarients adında bir doktorun Santiago'da bulunan sismoloji merkezine yeni bir metot bulduğunu belirten bir mektup göndermesiyle ortaya çıkar. J.A.Calantarients bu yöntemde, binaların yapımı esnasında binanın altına kum, talk<sup>1</sup> veya mika gibi malzemeler konularak, deprem esnasında binanın yatay yönde hareket serbestliği kazanabileceğini savunmuştur. Bu sayede, deprem enerjisinin büyük bir bölümünün binaya ulaşmadan taban seviyesinde sönmülenebileceğini ifade etmiştir. (Naeim F., Kelly J.M., 1999)

Bu buluş, farklı tipte çözümlerin oluşumuna ışık tutmuş ve sonraki yıllarda geniş bir şekilde incelenme fırsatını doğurmuştur.

Depremden korunmak amacıyla sonraki yıllarda bulunan bir diğer malzeme ise doğal kauçuk olmuştur. İlk kauçuk izolator, 1956'da İngiltere'de bir köprüde (Pelham Bridge in Lincoln) ısıl genişlemeye karşı kullanılmıştır. Daha sonraları, 1969 yılında Yugoslavya'nın Skopje şehrinde üç katlı betonarme bir okul binasında kullanılmıştır. Mesnet sistemi olarak sadece doğal kauçuk bloklar kullanılmıştır. Bu nedenle düşey yönde istenilen rijitlik elde edilemediğinden kauçuk blokların yanlara doğru şişmesiyle son bulmuştur. Bu sebeple daha sonraları düşey rijitliğin sağlanması için çalışmalara başlanmış ve kauçuk tabakaların arasına çelik plakalar yerleştirilerek yeni izolator tipleri geliştirilmiştir. Bu sayede yapının, deprem esnasında düşeyde rijit yatayda da esnek bir şekilde davranması sağlanmıştır.

1970'li yıllarda, köprü ayaklarının zeminden yalıtımını sağlamak amacıyla "Malezya Kauçuk Üretimi ve Araştırma Birliği" tarafından üretilen kauçuk mesnetler, bu sistemin yaygınlaşmasında önemli bir rol oynamıştır. Daha sonra ise bu sistem,

---

<sup>1</sup> Toz durumdayken yağlı bir görünüme sahip özgül ağırlığı 2.7, sertliği 1 olan hidradlı doğal magnezyum.

yapılarda taban izolasyonu olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yine aynı yıllarda kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin kullanımı için çalışmalar başlatılmıştır.

Son yıllarda bu konuyu F. Naeim ve J.M.Kelly (1999), ayrıntılarıyla ele alarak California Berkeley Üniversitesi'nde çalışmalar başlatmış ve özellikle elastomerik izolatörlerle ilgili teorik ve uygulama konusunda önemli adımlar atmışlardır. Bu konuyla ilgili ilk bilgisayar programı ise, yine aynı üniversitede çalışmalarını sürdüren A.K.Chopra (1995) tarafından yazılmıştır. Yeni Zelanda'da R.I.Skinner (1993) "An Introduction to Seismic Isolation" adlı kitabıyla bu teknolojinin yayılmasına önemli ölçüde katkıda bulunmuştur. (Kösedağ S.B, 2002)

S. Tezcan ve S. Cimilli (2002) tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinde, sismik taban izolatörlerinin uygulamaları, avantajları ve dezavantajları incelenmiştir. Bunun gibi, konuyla ilgili birçok yüksek lisans tezine rastlamak mümkündür. Deprem kuşağında bulunan ülkemizde de bu konunun, yavaş da olsa yaygınlaşmaya başlaması ümit verici bir gelişmedir.

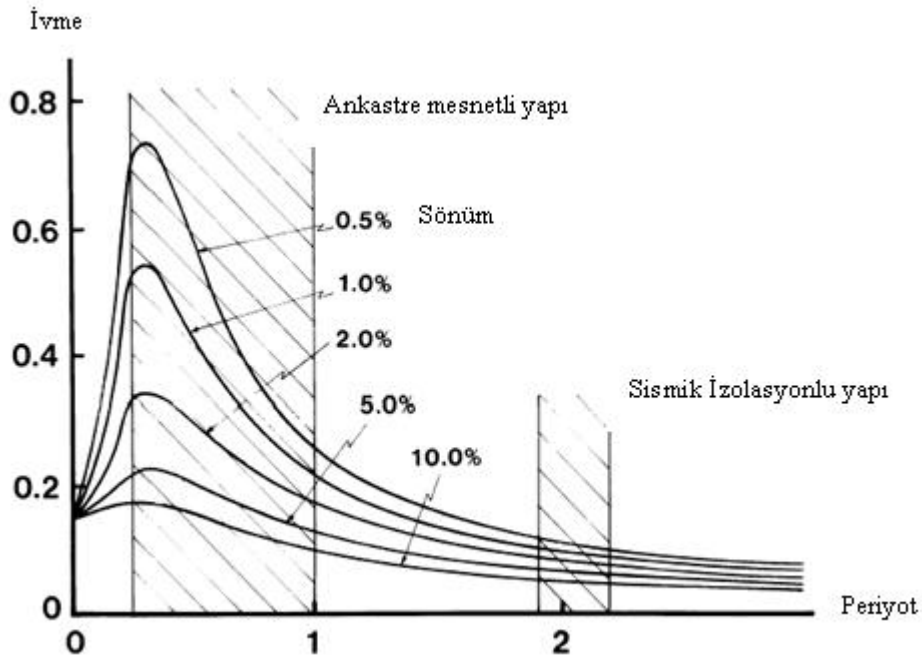
2001 ve 2002 yıllarında Ünal Ö., Camgöz Çağlar M. ve Kösedağ S.B.'nin "Yapılarda Taban İzolasyonu Sistemleri" konusu ile ilgili yüksek lisans tezleri mevcuttur. Çalışmalarda, taban izolasyonu tekniği ayrıntılarıyla ele alınarak örneklerle bu sistemlerin uygulanabilirliği anlatılmıştır.

Yücesoy A. 2005'de yüksek lisans tez çalışmasında, yapıların sismik taban izolasyonu tekniği ile tasarlanarak, depreme karşı dayanıklı hale getirilmesini incelemiştir. Sismik izolasyonun yapı davranışını göstermek amacıyla, 5 katlı örnek bir binayı ele alarak önce ankastre temelli, daha sonra sismik izolasyonlu olarak, İzmit ve Erzincan deprem ivme kayıtları altında zaman tanım alanında analizler yaparak bu sistemin kullanılabilirliği anlatmıştır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Bu çalışmada materyal olarak, sismik taban izolasyon sistemlerinden elastomer esaslı kauçuk izolatörler kullanılmaktadır. Sismik taban izolasyonu sistemi; yapının depreme dayanma kapasitesini arttırmak yerine, yapıya gelen sismik enerjiyi, yapının periyodunu uzatarak (Şekil 3.1) yapı ile zemin arasındaki etkileşimi minimuma indirebilecek sistemler kullanarak, yapının zeminden yalıtılmasının sağlanması sonucu deprem etkisini azaltmayı amaçlayan bir uygulamadır.



Şekil 3.1. Taban izolasyonlu yapı ile ankastre mesnetli yapı için çizilmiş ivme - periyot grafiği

Taban izolasyonlu yapı tasarımında amaç, sistemin ana frekansının yani birinci frekansın, ankastre mesnetli yapı ana frekansından ve zeminin hakim frekansından küçük olmasını sağlamaktır. İzolasyonlu yapı, birinci mod süresince yalnızca izolasyon seviyesinde yer değiştirme hareketi yapmakta ve bu esnada da üst yapı, neredeyse rijit bir davranış göstermektedir. Daha yüksek modlar; yapıda, birinci mod'a ve zemine göre ortogonal (dikey) deformasyon üretmektedir. Yüksek mod süresince katılım faktörünün değeri de düşük olmaktadır. Böylelikle yüksek mod frekanslarında dahi, zemin hareketlerinden dolayı oluşan yüksek enerjinin yapıya geçmesi önlenmiş olmaktadır.

Bu sistemler yeni yapılara uygulanabildiği gibi, mevcut yapılara da uygulanabilmektedir. Yapılara uygulanması düşünülen izolasyon sistemlerinin hangi tip yapılara kullanılacağını seçerken dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıdaki gibidir:

(1) Uygulanan yapı mevcut bir yapı ise, korunması gereken yapının tahrip olmasını engellemek ve yıkılma tehlikesini indirmek gerekmektedir.

(2) Nükleer santraller, hastaneler, resmi yapılar ve hassas aletlerin bulunduğu yapılar gibi önem derecesi yüksek yapıların, deprem esnasında ve sonrasında işlevselliğini sürdürebilmeleri gerekmektedir.

(3) Sonuç olarak depremden korunmada emniyetin sağlanmasıyla birlikte en ekonomik çözüm seçilmelidir.

Yapı tasarımı, yapıdan beklenen hesap yüküne bağlı olarak yapılmalıdır. Tasarım ilkeleri; ilgili yönetmeliklere göre belirlenir, yapı taşıyıcı sistemi seçilir ve yapı yüklerinin sağlıklı bir şekilde izolatörlere dağıtılarak zemine aktarımı sağlanır. İzolasyonlu yapının taşıyıcı sistemi tasarlanırken dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Rijit diyafram hareketinin gerçekleşebilmesi için; izolatörlerin üzerine, beton bir plak tasarlanarak bu plak üzerine bağ kirişleri ve çapraz kirişler, düşey yükleri temel zeminine aktarmak için izolatörlerin altına ise çelik plaklar yerleştirilmelidir. (Naeim F., Kelly J.M., 1999)

Sismik izolasyon sistemi uygulanacak yapılarda, öncelikli olarak sağlanması gereken bazı koşullar vardır. Bilindiği gibi izolasyonlu yapı yatay yönde belli bir oranda hareket serbestliğine sahiptir. Sağlanması gereken en önemli koşul, yapının dört tarafında da izolatörlerin yer değiştirme kapasitesi kadar mesafenin sağlanmasıdır. Fakat bu boşluğun, gerek deprem anında gerekse normal zamanlarda insanların veya cisimlerin düşmemesi için inubashiri denilen bir japon teknolojisi ile kapatılması gerekmektedir. Eğer izolatörler mevcut yapıya yerleştirilecekse bu koşul sağlanmadan diğer işlemlerin hiçbir faydası olmayacaktır. Örneğin deprem derzine sahip olmayan bitişik nizam yapılarda, sismik taban izolasyonu tekniğini uygulamak mümkün değildir. Çünkü bu tür yapılarda deprem enerjisini sönmeyecek boşluk olmadığı (yapının salınımına izin verilmediği) için izolasyon uygulamak da söz konusu olamamaktadır. Bu koşul sağlandıktan sonra, göz önüne alınması gereken diğer bir husus da, yapının tesisat bağlantılarının düzenlenmesidir. Depremler sırasında yapının dışarıyla bağlantısını sağlayan elemanların, elektrik, telefon, içme suyu, kanalizasyon, doğalgaz



v.s. bağlantıların, yapının deprem hareketiyle yapacağı yer değiştirme sonrasında kopma, kırılma ya da herhangi bir tahribat göstermemeleri gerekmektedir. Bu nedenle tesisat ekipmanlarının hepsinin deplasman için bırakılan boşluk kadar esneme ya da yer değiştirme kapasitesine sahip olması gerekmektedir.

Sismik izolasyon yönteminde izolatörler yapı ile zemin arasında temelde olabildiği gibi katlarda kolon aralarına da yerleştirilebilmektedirler. Taban izolasyonu tasarımında bodrum katta temellerin altına yerleştirilen izolatörler, yapının bütününe yalıtılmasını sağlamaktadırlar. Taban izolasyonunun yapı inşa edilirken uygulanması oldukça ekonomiktir. Mevcut yapıların, depreme karşı dayanıklı hale getirilmesi amacıyla taban izolasyonunun yapılması ise oldukça yüksek bir maliyet meydana getirmektedir. Bu nedenle mevcut yapılara yapılan izolasyon yöntemlerinde, kısmen üst yapının yalıtılması daha ekonomik olmaktadır. Taban izolasyonunun tek dezavantajı, yatay deplasman mesafesinin sağlanması için her yönde zemin tutucu duvarlara ihtiyaç duyulmasıdır. Asansör ve merdiven için özel ayırma işlemlerine ihtiyaç duyulmaması, kolonlardan bağımsız oldukları için, kolonlarda ayrıca yangın tehlikesi için yalıtım gerektirmemesi ve izolasyon seviyesinde izolatörlerin rijit diyaframla birleştirilerek, rijit diyafram hareketinin sağlanması şeklinde avantajları sıralanabilir.

Dinamik etkilere karşı tasarıma yönelik yeni yaklaşımlara esas olarak aktif kontrol sistemleri de mevcuttur. Aktif kontrol sistemlerinde kontrol kuvvetlerini üretebilmek için harici bir güç kaynağına ihtiyaç vardır. Zemine ve yapıya yerleştirilen sensörler aracılığıyla elde edilen bilgiler kontrol bilgisayarına iletilerek daha önceden belirlenmiş bir algoritmaya göre kontrol kuvvetleri hesaplanır. Bu kuvvetler kuvvet üreten mekanizmalar (actuator) aracılığıyla yapıya uygulanır. Pasif kontrol sistemleri (taban izolatörleri bu gruba girer) ise; harici güç kaynaklarına ihtiyaç duymadan, sismik enerjiyi yapıya ulaşmadan kendi içlerinde sönmümlerler.

Taban izolasyon sistemlerini, aşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkündür;

- a) Elastomer esaslı sistemler,
  - Düşük sönmümlü doğal kauçuk mesnetli sistemler (LDRB),
  - Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetli sistemler (LRB),
  - Yüksek sönmümlü doğal kauçuk mesnetli sistemler (HDNR),
- b) Kayıcı mesnetli izolasyon sistemleri,
  - Electricite – de France sistemi,

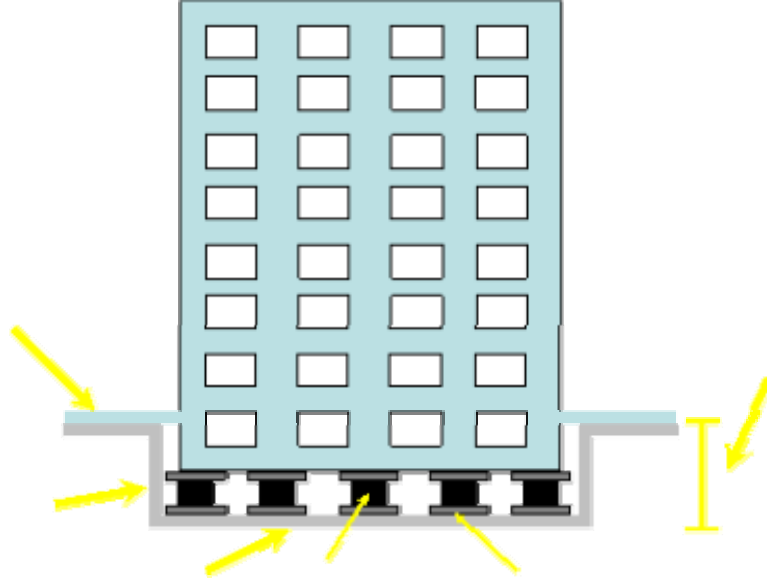
- EERC bileşik sistemi,
  - TASS sistemi,
  - Elastik sürtünmeli taban izolasyon sistemi (RFBS),
  - Sürtünmeli sarkaç sistemi (FPS),
  - Çapraz raylı sistemler (CLB),
- c) Helisel yaylardan oluşan ayırıcı sistemler,
- Gerb heliselk yay sistemleri,

Bu çalışmada, elastomer esaslı ve kayıcı mesnetli olmak üzere günümüzde yaygın olarak kullanılan iki ayrı grupta taban izolasyon sistemleri ağırlıklı olarak ele alınmıştır.

### 3.1.1. Elastomer Esaslı Sistemler

Taban izolasyon sisteminde kullanılan izolatör tipleri; şekilleri, büyüklükleri ve yapıldıkları malzemeler bakımından farklılık teşkil ederler. İzolatörlerin büyük çoğunluğu elastomer malzemedir yani doğal ya da sentetik kauçuktan üretilmektedir. Elastomer malzeme kalıba kolayca dökülebildiği için, istenilen şeklin verilmesi bakımından oldukça avantajlıdır. Ayrıca metallerle aderansı oldukça güçlüdür. İzolatörler, düşey doğrultuda çok rijit, yatay doğrultudaysa oldukça esneklerdir. Bu sebeple bu tip izolatörler, deprem esnasında oluşabilecek düşey kuvvetleri yapıya doğrudan iletirken, yatay kuvvetleri de belirli miktarda sönümleyerek yapıya iletirler.

Taban izolasyon sisteminde amaç, yapının doğal titreşim periyodunu uzatarak yapının depremden daha az zarar görmesini sağlamaktır. En çok kullanılan elastomer esaslı taban izolasyon sistemleri, tabakalı kauçuk içerenlerdir. Basınç etkisi altındaki izolatöre gerekli olan rijitlik, kauçuk tabakalarla sağlanır. Bu tabakalaşma sayesinde, izolatörün basınç etkisine dayanımı artırılmış olur. Kauçuk plakalar arasına yerleştirilen metal plakalar (birbirini izleyen kauçuk tabakalar arasına), yükün diğer yüzeyler üzerinde üniform olarak yayılmasını sağlamak ve izolatörün düşey eksenindeki rijitliğini arttırmak amacıyla konulmuştur. İzolatörlerin düşey rijitliğinin belirlenmesinde, izolatör mesnet şeklinin büyük etkisi vardır. Şeklin etkisi genellikle şekil faktöründe ele alınmaktadır. Şekil faktörü, izolatör mesnedinde, yükün etkilediği alanın, serbest genişleme alanına oranı şeklinde ifade edilir. Şekil faktörünün, yatay rijitliğe etkisi yoktur. Elastomer esaslı kauçuk izolatörlerin betonarme bir binaya uygulaması aşamalar halinde aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.2. İzolötörlerin şematik olarak betonarme bir binaya yerleştirilmiş şekli.

Klasik binalardan farklı olarak, izolatörlü binalarda temel ile ana bina arasında bir izolatör katı bulunmaktadır ve ana binadan belli bir uzaklıkta bu katı çevreleyen perde duvarlar bulunmaktadır (Şekil 3.2). Deprem esnasında izolatör katında meydana gelecek yatay yer değiştirmeler, klasik binalardan çok daha fazla olacağından bu boşluk sayesinde kontrol altında tutulmaktadır. (Anonim, 2006)

Radye temel donatıları döşenirken, izolatörlerin oturacağı yerlere özel ankraj bulonları yerleştirilerek (Şekil 3.3) izolatör alt ankraj plakası hazırlığına geçilir.



Şekil 3.3. Radye temel donatısında, izolatörün yerleşeceği kolon altındaki ankraj bulonlarının yerleşimi

Alt ankraj plakası yerleştirildikten sonra, radye temel donatıları tamamlanıp kotları kontrol edildikten sonra birinci kademe temel betonu dökülür. Daha sonra, alt ankraj plakası ikinci kademe betonu dökülerek izolatör montajına hazır hale getirilir (Şekil 3.4. a, b, c, d, e, f, g, h).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)





(g)



(h)

Şekil 3.4. İzolatör alt ankraj plakasının hazırlanma aşamaları

Hazırlanan izolatör alt ankraj plakalarının üzerine, önceden sipariş edilmiş izolatör mesnetlerinin montajı yapılarak (Şekil 3.5. a, b, c, d) işlem tamamlanır (Şekil 3.6).



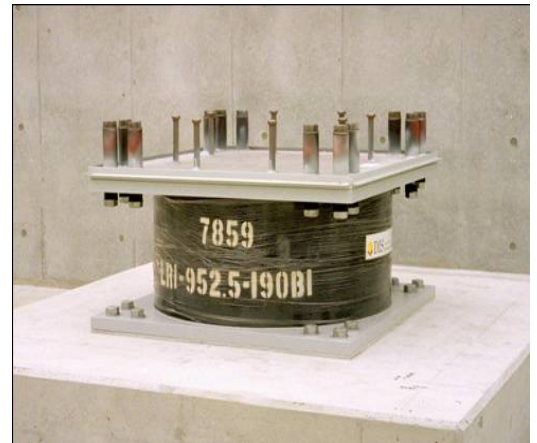
(a)



(b)

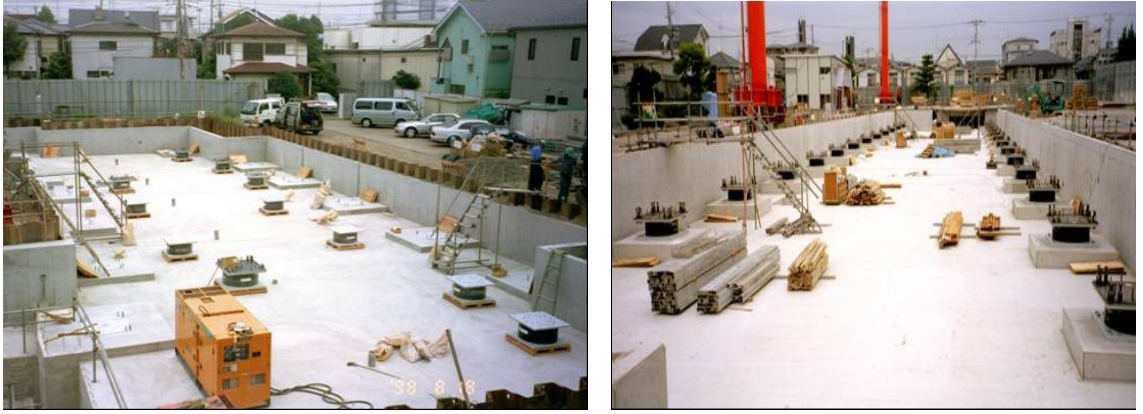


(c)



(d)

Şekil 3.5. İzolatörlerin yerine yerleştirilmesi



Şekil 3.6. İzolatorlerin tüm kolon altlarına yerleşmiş hali



Şekil 3.7. İzolator aşaması tamamlanmış ve üst yapıya geçmek için izolator seviyesinde kalıpların hazırlanma aşaması



Şekil 3.8. Üst yapı kolon ve kirişlerinin donatılarının yerleşimi ve kalıplarının hazırlanması



İzolatör seviyesi üstünde, izolatörlerin eşit deplasman yapabilmeleri amacıyla rijit diyafram birleşimi için Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de görüldüğü gibi kolon ve kiriş kalıpları hazırlanarak betonu dökülür. Bu aşamalardan sonra üst yapı, klasik bina yapım aşamalarını izleyerek tamamlanır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Üst yapı kolon ve kirişlerinin bitmiş hali

Deprem anında, izolatör katı seviyesinde oluşacak yatay yer değiştirmelerden dolayı yapının dış perdelere çarpmasını önlemek amacıyla, yapı ile perde birleşim bölgelerinde perde duvar boyunca 50 cm uzunluğunda ve 15 cm derinliğinde kauçuk tamponlar yerleştirilir (Şekil 3.10). Bu kauçuk tamponlar, 7.5 cm sıkışmaya kadar lineer artarak 7.5 tonf direnç gösterirler. İleri deformasyonlarda ise direnci nonlineer olarak artış göstermektedir.



Şekil 3.10. İzolatör katı seviyesinde yapının deprem esnasında dış perdelere çarpması durumunda, yapının zarar görmemesi için yanlara yerleştirilmiş kauçuk tamponların görünümü

Deprem esnasında, yapıda oluşan yatay yer değiştirmelerden dolayı doğacak tesisat tahribatlarını önlemek amacıyla, Şekil 3.11.a, b, c, d ve e'de gösterilen esnek tesisat bağlantıları kullanılmaktadır.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 3.11. Yapı tesisatlarının depreme uygun tasarımı





Şekil 3.12. Kauçuk izolatörlerle izolasyonu tamamlanmış yapı

Bu şekilde yapı, taban izolatörleri yerleştirilerek Şekil 3.12'deki görünümüne ulaşır. Şekil 3.12'de görüldüğü üzere, yapı ile merdiveni arasındaki boşluk da inubashiri mimarisinin bir parçası olarak görülebilmektedir.

#### 3.1.1.1. Düşük Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnetli Sistemler (LDRB)

Doğal kauçuk, sismik izolasyon teknolojisinde kullanılan ilk elastomerdir. Bu mesnet tipi Şekil 3.13'de gösterildiği gibi, kauçuk tabakalar arasına çelik plakalar yerleştirilerek oluşturulmuştur. Çelik plakalar, düşey yükler altında kauçuğun yanal deformasyonuna engel olurlar ve yükün üniform olarak yayılmasını sağlarlar. Çelik levhaların yatay rijitliğe etkisi yoktur.

Malzeme davranışları kaymada oldukça doğrusaldır ve sönüm oranı kritik sönümün %2-3 oranındadır. Bu mesnet tipi sistemleri, düşey yönde oldukça rijit yatay yönde ise esnekler. Yanal rijitlik, kauçuk tabakaların kalınlığına ve sayısına bağlıdır. Genellikle istenilen rijitlik, tabaka kalınlığı sabit tutularak tabaka sayısının değiştirilmesiyle sağlanır. Yüksekliğin artması burkulma tehlikesini yarattığı için yükseklik mesnet çapının yarısıyla sınırlandırılmıştır. Efektif sönüm, genellikle 0.07 değerinden küçüktür. Mekanik davranışı, viskoelastik ve histeretik özellikte olup, bu iki davranışın kombinasyonu şeklindedir.



Şekil 3.13. Düşük sönümlü doğal kauçuk mesnet tipi

Düşük sönümlü kauçuk mesnetlerin avantajları;

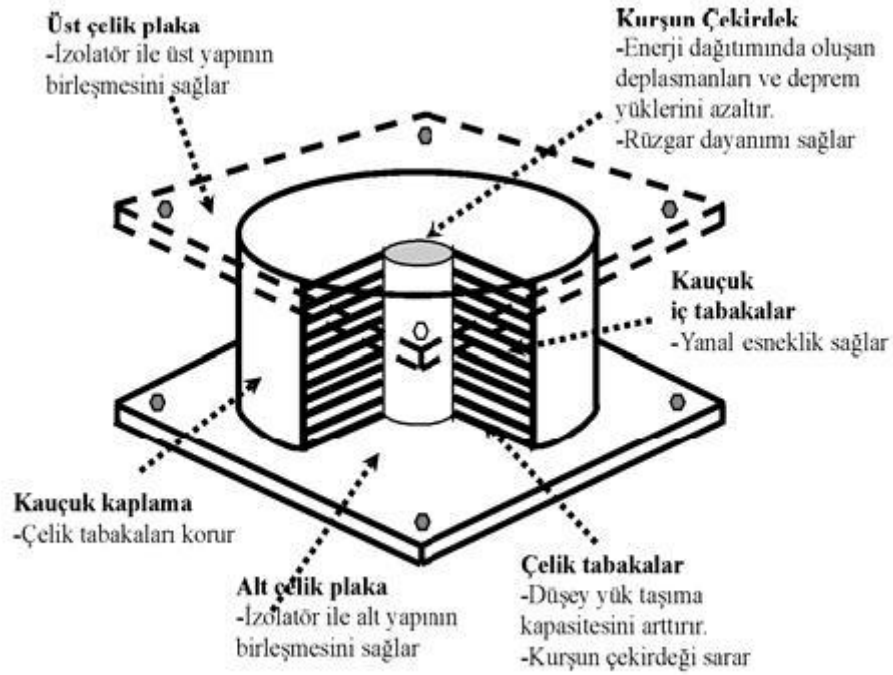
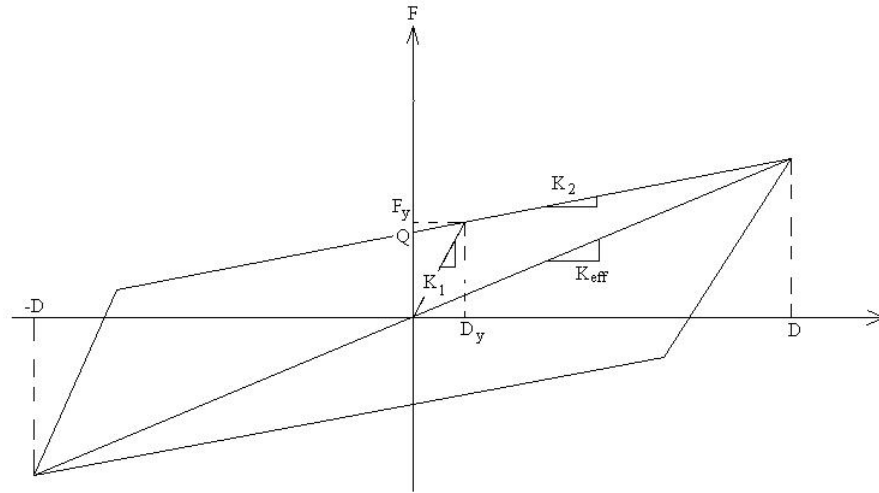
- Kolay üretilebilmesi,
- Kolay modellenebilmesi,
- Mekanik karakteristiklerinin, zaman ve sıcaklıktan etkilenmemesi olarak sıralanabilir.

Bu mesnet tipinin tek dezavantajı ise, ek bir sönüm sistemi gerektirmesidir. Bu ek sönüm sistemleri detaylı bağlantılar gerektirmektedir. Düşük sönümlü mesnet tipinin geliştirilmesiyle, yüksek sönümlü ve kurşun çekirdekli kauçuk mesnet tipleri elde edilmiştir.

### 3.1.1.2. Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetli Sistemler (LRB)

Kurşun çekirdekli izolatorler, 1975’de Yeni Zelanda’da üretilmiş ve geliştirilmiştir. Yeni Zelanda, Japonya ve USA’ da yaygın bir şekilde kullanılmış bu izolatorler, model olarak düşük sönümlü kauçuk izolatorlere benzemektedir. Fakat bu izolator mesnedinin orta kısmında Şekil 3.14’de görüldüğü üzere bir kurşun çekirdek vardır. Bu çekirdek kauçuğun yüksek kayma deformasyonlarını engellemektedir. İzolator mesnedine, deplasmana bağımlı etkili bir başlangıç rijitliği ve sönümü vermektedir. Kurşun çekirdek, elastomer tabakaya sıkı sıkıya mesnetlidir ve yaklaşık olarak 10 MPa’lık bir akma gerilmesi kazandırmaktadır.

Kurşun çekirdekli izolatorlerin, düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetli izolatorlerle birlikte kullanıldığı sistemlere sıkça rastlanmaktadır. Bu tip uygulamalarda, kurşun çekirdekli izolatorler temel seviyesinde iç mesnetlerde sönümleyici, düşük sönümlü doğal kauçuk izolatorler ise dış mesnetlerde dengeleyici olarak yerleştirilir.

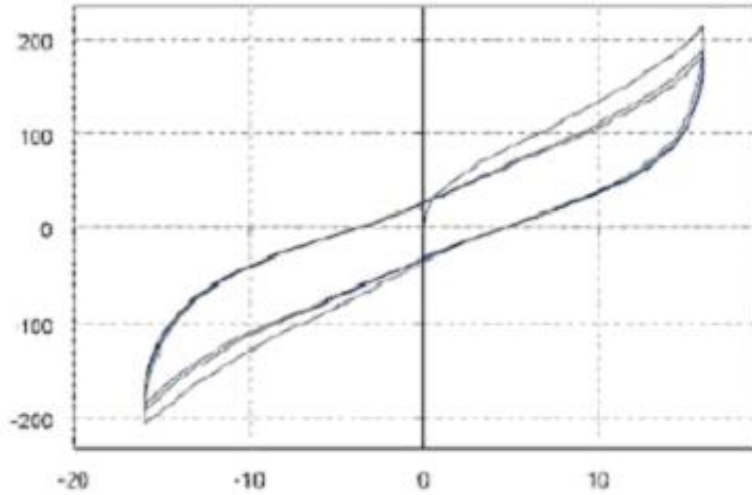
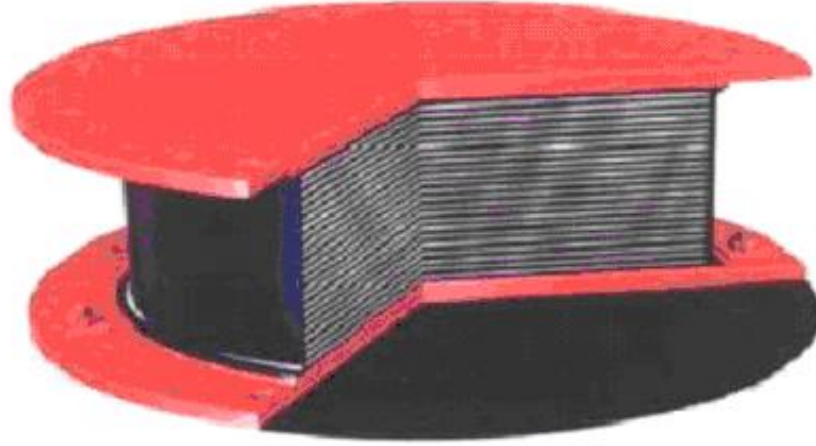


Şekil 3.14. Kurşun çekirdekli mesnedin kuvvet – yer değiştirme davranışı ve mesnet detayı

Bu sistemin tek dezavantajı, şiddetli depremler sonrasında kurşun çekirdeğin zarar görüp görmediğinin tespitinin mümkün olmayışıdır. Ancak bu sistemin başarılı uygulamaları, 1994 Northridge ve 1995 Kobe depremlerinde çok iyi performans göstermişlerdir.

### 3.1.1.3. Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnetli Sistemler (HDNR)

Yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatörler, düşük sönümlü kauçuk izolatörlerin ek sönümleyici ihtiyacını ortadan kaldırmak için Malezya kauçuk üreticileri birliği tarafından (MRPRA) 1982’de geliştirilmiştir (Şekil 3.15). Sönüm, eklenen karbon blokları, reçineler veya yağlar ve diğer dolgu maddeleri ile artırılmıştır. Bu sönüm %100 kayma deformasyonları altında %10-20 oranında artırılmıştır. İzolatörlerdeki sönüm, ne viskoz ne de çevrimseldir. Bu sönüm, her ikisi arasında bir davranışa sahiptir. Deney sonuçları göstermiştir ki bu elemanların davranışı lineer viskoz ve elasto-plastik elemanların davranışının bir kombinasyonudur. Bu tip izolatör mesnetlerinin bir avantajı da, yüksek frekanslı trafik veya yeraltı demir yolları kaynaklı titreşimlerin yapıya ulaşmadan sönümleyebilmesidir.



Şekil 3.15. Yüksek sönümlü doğal kauçuk mesnet tipi ve kuvvet deplasman eğrisi

### 3.1.2. Kayıcı Mesnetli İzolasyon Sistemleri

Kayıcı mesnetli izolatör modeli, yer hareketi sonucunda açığa çıkan sismik enerjinin, sürtünme etkisiyle sönmülmesi esasına dayanır. Genel olarak kayıcı sistemlerin uygulama aşaması, tasarım olarak elastomer esaslı kauçuk izolatör tasarımıyla aynıdır ve Şekil 3.16 – 3.21’de gösterildiği gibidir. (Anonim, 2006)



Şekil 3.16. Kauçuk tabakalı kayar mesnet alt plakasının radye temel üzerine yerleştirilmiş hali



Şekil 3.17. Kauçuk tabakalı kayar mesnedin yerleşeceği kısmın düzenlenmesi

Bu sistemlerde yapının merkezlenebilmesi için genelde sisteme elastomer esaslı izolatörler de ilave edilebilmektedir.





(a)



(b)



(c)



(d)

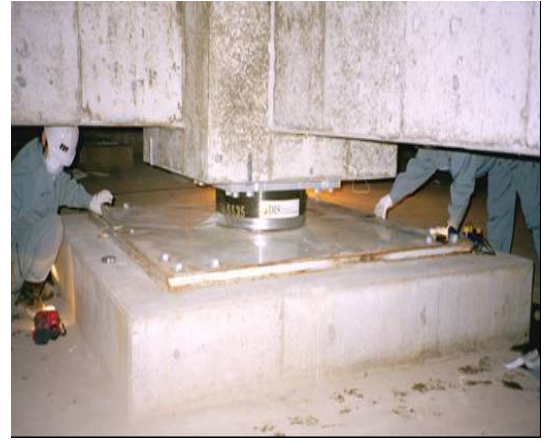
Şekil 3.18. Kauçuk tabakalı kayar mesnedin kayıcı yüzey üzerine yerleştirilmesi



Şekil 3.19. Kayıcı mesnetlerin tamamı yerleştirilmiş ve üst yapı için hazırlıklar devam etmekte



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.20. Kauçuk tabakalı kayar mesnetlerin bitmiş hali



Şekil 3.21. Kauçuk tabakalı kayar mesnetlerle izolasyonu tamamlanmış yapı

### 3.1.2.1. Electricite – de France Sistemi

Bu sistem 1970’li yıllarda Fransa’da nükleer santrallerin sismik izolasyonunu sağlamak için geliştirilmiş bir sistemdir. Sistem, neopren tabakalar ile paslanmaz çelikle temas halinde olan kurşun – bronz alaşımı ve elastomer mesnet üzerine oturtulmuş kayma yüzeyinden oluşur. Kauçuk tamponun yer değiştirme kapasitesi oldukça düşüktür.  $\pm 50$  cm. değerini aşan yer değiştirmeler oluştuğunda, kayıcı elemanlar devreye girerek gerekli harekete olanak sağlarlar. Sistemin en büyük dezavantajı, izolatörün sınır yer değiştirme değeri aşıldıktan sonraki yer değiştirmenin merkezlenememesidir. Bu sistem sadece, Güney Afrika’da büyük bir enerji santralinde kullanılmıştır.

### 3.1.2.2. EERC Bileşik Sistemi (Earthquake Engineering Research Center)

Deprem mühendisliği araştırma merkezi tarafından ortaya çıkarılan EERC birleşik sistemi, elastomerik ve kayıcı mesnet sistemlerinin birlikte kullanılmasıyla oluşturulmuş ve EERC tarafından geliştirilmiş bir sistemdir. Bu sistemin dizaynı, iç kolonlara kayıcı mesnetlerin, dış kolonlara ise düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetlerin yerleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Kayıcı mesnetler sistemin sönümünü sağlarken, düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetler de, burulma davranışını kontrol ederek sistemin merkezlenmesini sağlarlar. Bu sistem, “Mackay School of Mines at the University of Nevada, Reno, Nevada” üniversite binasında ve “County of Los Angeles, the M.L.King, Jr. C.R. Drew Diagnostics Trauma Center in Willowbrook, California” hastane binasında kullanılmıştır.

### 3.1.2.3. TASS Sistemi (Taisei Shake Suspension System)

Bu sistem Japonya’da “TAISEI” adlı bir firma tarafından geliştirilmiştir. Bu sistemdeki tüm düşey yükler, düz yüzeye sahip paslanmaz çelik–teflon elemanlar tarafından taşınır. Neopren tabakalı izolatörlerin de sistemde kullanılmasıyla sistemin merkezlenmesi sağlanmış olur. Burada; teflon kayıcı yüzey 10 MPa’lık bir basınca sahiptir ve sürtünme katsayısı, düşük kayma hızlarında 0.05 ile yüksek kayma hızlarında 0.15 aralığında değerler alır. Sistemin dezavantajları; elastomer mesnetlerin düşey yük almamasından ötürü bu mesnetlerin sadece çekmeye çalışması ve ayrıca kayıcı yüzeylerde sürtünme hızlarının çok hassas oluşunun modellemede yarattığı güçlük olarak sıralanabilir.

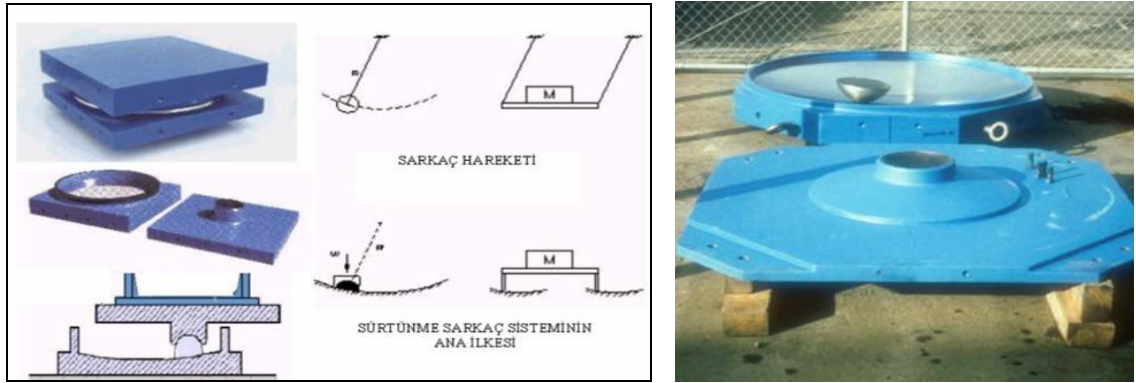


### 3.1.2.4. Elastik Sürtünmeli Taban İzolasyon Sistemi (RFBS)

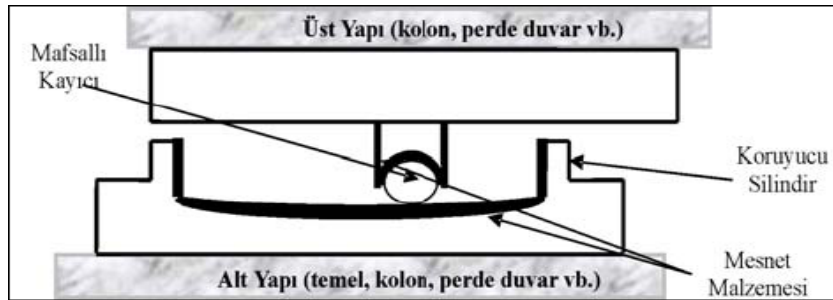
Bu sistemde taban izolatörleri, birbirlerine sürtünmeli olarak temas eden teflon kaplamalı eşit merkezli daireler halindeki plakalardan ve merkezi bir kauçuk çekirdekten oluşmaktadır. Bu sistemin düzenlenmesindeki en önemli neden, kayıcı mesnetlerin ilk dengeli konumuna geri döndürecek kuvvete sahip olmayışıdır. Kayıcı sisteme esnek çekirdeğin eklenmesiyle, sistemin merkezlenebilirliği sağlanmış olur. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde, kauçuk çekirdeğin tek başına yer değiştirmelerin, tek düzlemde toplanmasını önleyemediği için kauçuk çekirdeğin içine, yer değiştirmeleri tabakalar boyunca dağıtan çelik bir çubuk yerleştirilmiştir.

### 3.1.2.5. Sürtünmeli Sarkaç Sistemi (FPS)

Sürtünmeli sarkaç sistemi, sismik enerji sönmleme modellerinin en yenilerinden biridir. Bu sistemler, sürtünme vasıtasıyla enerji sönmleme yönteminden yararlanan izolasyon sistemleridir. Modelleme yapı sisteminin basitleştirilerek sarkaç hareketine uyarlanması ile depremde yapıya ulaşabilecek enerjinin, metalik yüzeylerde sürtünerek kısmen ya da tamamen yok edilmesi prensibine dayanır (Şekil 3.22).



Şekil 3.22.a. Sürtünmeli sarkaç mesnet görünüşü



Şekil 3.22.b. Sürtünmeli sarkaç mesnedi detayı

Sürtünmeli sarkaç sisteminde, yapının taşıdığı yüklerle orantılı olan kayıcı mafsallık ve temas ettiği eğrisel çelik yüzey, sistemi oluşturan başlıca elemanlardır. İzolatörün sönümü, eğrisel yüzeyle mafsallık kayıcının arasındaki sürtünmeyle sağlanır. Bu yöntemde izolatörün rijitliği ve yapının titreşim periyodu, sürtünen eğrisel yüzeye verilen eğimle kontrol edilir. Sistemin geri dönüş kuvveti; deprem esnasında hareket eden yapının, eğrisel yüzey sayesinde yukarı kalkarak yapı ağırlığı etkisiyle geri dönüşüyle sağlanır. Bu şekilde salınım yapan yapı, deprem enerjisini mafsallık kayıcı ile eğrisel yüzey arasındaki sürtünme sayesinde sönümlemiş olur.

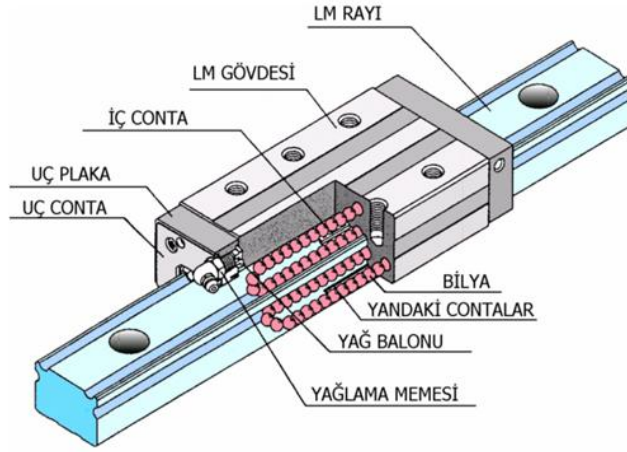
Sürtünmeli sarkaç sistemi, elastomerik sistemlerde söz konusu avantajların hepsine sahip olduğu gibi kauçuk izolatörlerde dezavantaj olarak sayılan hususları içermemektedir.

### 3.1.2.6. Çapraz Raylı Sistemler (CLB)

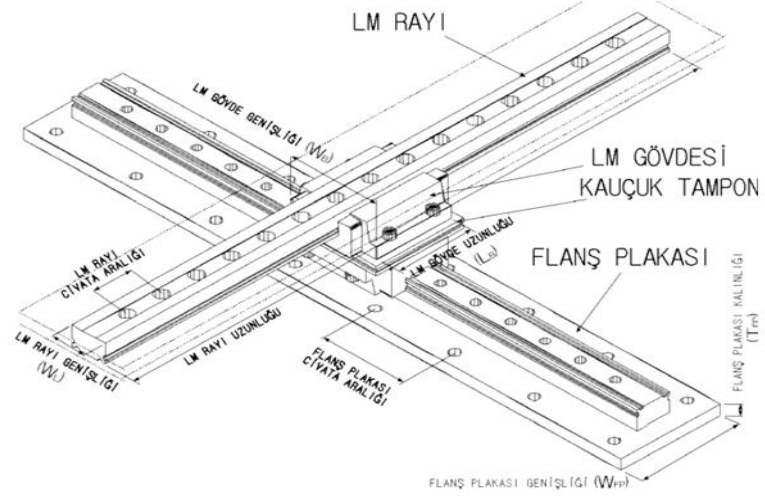
Son zamanların en çok kullanılan mesnet tiplerinden biri de çapraz raylı sistemlerdir. Bu sistemler, elastomer esaslı izolasyon sistemlerinin kullanımında ortaya çıkan ve (veya) izolatörlerin burkulması ya da çekmeden kaynaklanarak kopması gibi sorunları gidermek amacıyla tasarlanmıştır. CLB birçok deneysel veriler, deprem kayıtları, teori ve analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sistem tüm deneysel ve uygulama çalışmalarında üstün bir performans göstermiş olup, uygulanabilirliği hususundaki gerekli kriterleri sağlamıştır.

Bu sistemde amaç; sismik izolasyonun, hafif yapılara (ahşap ve çelik evler gibi), yüksek yapılara, kule şeklindeki yapılara ve zemin taşıma gücü düşük zeminlerde (uzun doğal periyotlara sahip C ve D gurubu zeminler) inşa edilecek yapılara uygulayabilmektir (Whittaker A., M. Constantinou and Tsopelas, 1998).

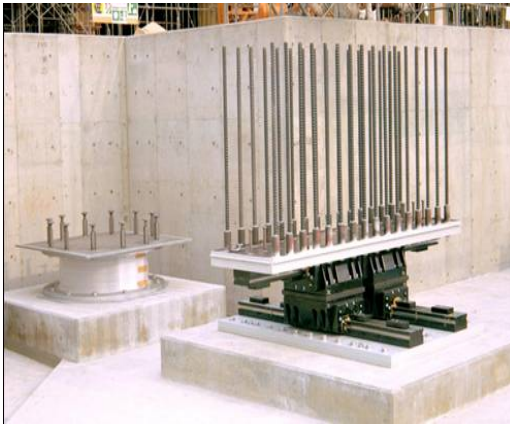
Bu tip izolatörler (CLB tipi izolatörler), yatay düzlemde birbirine dik doğrultuda çapraz olarak hareket eden, kayan çelik bir gövde ve bilyeler üzerinde hareketi sağlayan yivlerin bulunduğu bir raydan meydana gelmektedir (Şekil 3.23 – 3.25). Gövde ile rayın yuvarlanarak hareket etmesini sağlayan çelik bilyeler bulunmaktadır. Gövde küçük bir sürtünme kuvveti ile hareket etmektedir. İzolatörün taşıma kapasitesini; çelik bilyelerin çapı, etkili bilye sayısı ve ray adedi belirlemektedir.



Şekil 3.23. Çapraz raylı mesnet görünüşü



Şekil 3.24. Çapraz raylı mesnet detayı



Şekil 3.25. Çapraz raylı izolatörlerin yapıya uygulanmış hali

### 3.1.3. Helisel Yaylardan Oluşan Ayırıcı Sistemler

Kauçuk esaslı ve kayıcı izolasyon sistemler, genellikle yatay yöndeki izolasyonu sağlamak amacıyla kullanılırlar. Düşey yönde de izolasyon sağlanmak isteniyorsa, helisel yaylardan oluşan bu sistemin kullanımı tercih edilir.

Alman firması Gerb tarafından kullanılan bu sistem genel olarak, helisel yaylar ve visko-elastik söndürücülerin birleşimiyle sönüm sağlayan bir sistem olup, hem yatay hem de düşey yönde esneklik gösterir. Düşeydeki titreşim frekansı yaklaşık olarak yatay titreşim frekansının 3 ile 5 katı arasındadır.

Bu sistem deneysel olarak test edilmiş ve Santa Monica, California çelik çerçeveli iki yapıda uygulanmıştır. Fakat söz konusu bu yapılar, 1994 Northridge depreminden fazlasıyla etkilenmişlerdir. Yapıların depremdeki davranışları bilgisayar ortamında simüle edilmiş ve sallanma hareketi esnasında bu sistemin deprem ivmelerinin düşürülmesinde efektif olmadığı sonucuna varılmıştır. Ancak rijitlik merkeziyle ağırlık merkezi çakışık yapılarda faydalı olabileceği düşünülmüştür.

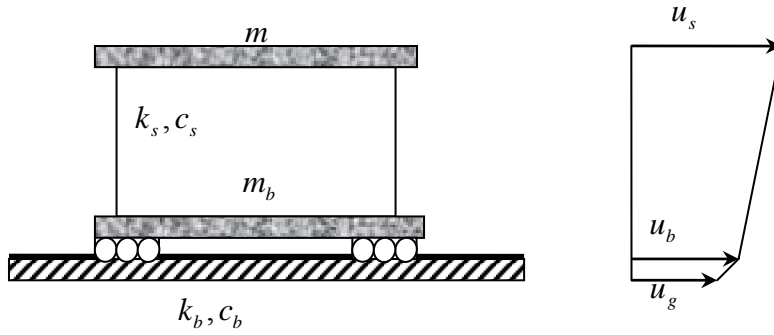
### 3.2. Yöntem

Bu bölümde, sismik taban izolasyon sistemlerinin teorik esasları, izolasyonlu yapıların genel davranışı, modellenmesi, karakteristik özellikleri, yönetmelik şartlarıyla çözüm yöntemi ve uygulama maliyeti gibi konular ayrıntılı bir biçimde ele alınarak anlatılmıştır.

#### 3.2.1. Lineer Teori

##### 3.2.1.1. İki Serbestlik Dereceli Sistemler İçin Hareket Denklemleri

Sismik izolasyonda lineer teori, iki kütleli yapı modeline dayanır (Naeim F., Kelly J.M., 1999). Dinamik etki dikkate alınacağı için, üst yapının rijit davrandığı varsayılarak tek kütle olarak modellenir (Şekil 3.26).



Şekil 3.26. İki serbestlik dereceli izolasyonlu sistemde parametreler

Burada;

- $m$  : üst yapının kütlesi
- $m_b$  : izolasyon sisteminin üzerindeki kütle
- $k_s, c_s$  : üst yapı eşdeğer rijitliği ve üst yapıya ait sönüm
- $k_b, c_b$  : izolasyon sisteminin toplam yatay rijitliği ve sönümü
- $u_s$  : üst yapının mutlak yer değişimi
- $u_b$  : izolasyon kütesinin mutlak yer değişimi
- $u_g$  : yer'in yer değişimi

Analiz açısından görelî yer değişimleri kullanmak daha uygun olacaktır.

$$v_b = u_b - u_g \quad (3.1)$$

$$v_s = u_s - u_b \quad (3.2)$$

$v_b$  : izolasyon sisteminin yere göre yer değiştirmesi

$v_s$  : üst yapının izolasyon kütesine göre yer değiştirmesi

Bu büyüklükler dikkate alınarak, iki serbestlik dereceli sistem için temel hareket denklemleri,

$$(m + m_b) \ddot{v}_b + m \ddot{v}_s + c_b \dot{v}_b + k_b v_b = -(m + m_b) \ddot{u}_g \quad (3.3)$$

$$m \ddot{v}_b + m \ddot{v}_s + c_s \dot{v}_s + k_s v_s = -m \ddot{u}_g \quad (3.4)$$

Bu denklemler matris formuna dönüştürülecek olursa;

$$\begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{v}_b \\ \ddot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_b \\ \dot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_b \\ v_s \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -1 \\ 0 \end{Bmatrix} \ddot{u}_g \quad (3.5)$$

Burada  $M = m + m_b$ , toplam kütedir ve matris notasyonu kullanılarak,

$$M \ddot{v} + C \dot{v} + K v = +M r \ddot{u}_g \quad (3.6)$$

yazılır. Kütleler oranı  $\gamma$ ;

$$\gamma = \frac{m}{m + m_b} = \frac{m}{M} \quad (3.7)$$

şeklinde tanımlanır ve sistemde açısal frekanslar;

$$\omega_b^2 = \frac{k_b}{m + m_b}, \quad \omega_s^2 = \frac{k_s}{m} \quad (3.8)$$

Sönüm faktörleri  $\beta_b$  ve  $\beta_s$ ;

$$2\omega_b \beta_b = \frac{c_b}{m + m_b}, \quad 2\omega_s \beta_s = \frac{c_s}{m} \quad (3.9)$$

Bu büyüklükler kullanılarak, yukarıda denklem (3.3) ve (3.4) de yerine yazılırsa eşitlik;

$$\begin{aligned} \dot{v}_s + \ddot{v}_b + 2\omega_b \beta_b \dot{v}_b + \omega_b^2 v_b &= -\ddot{u}_g \\ \ddot{v}_s + \ddot{v}_b + 2\omega_s \beta_s \dot{v}_s + \omega_s^2 v_s &= -\ddot{u}_g \end{aligned} \quad (3.10)$$

haline gelir.

Sistemde mod şekilleri dikkate alındığında, hesaplanacak diğer parametreler ;  $\phi^1, \phi^2$  olacaktır.

$$\phi^{iT} = (\phi_b^i, \phi_s^i), \quad i=1,2 \quad (3.11)$$

Aynı zamanda dikkate alınan her mod için açısal frekanslar  $\omega_1$  ve  $\omega_2$  hesaplanır. Açısal frekanslar için karakteristik eşitlik yazıldığında,

$$(1-\gamma)\omega^4 - (\omega_s^2 + \omega_b^2)\omega^2 + \omega_b^2\omega_s^2 = 0 \quad (3.12)$$

denkleminin çözümünde 1. ve 2. modlara karşılık gelen hareketin açısal frekansları bulunur.

$$\begin{aligned} \omega_1^2 &= \frac{1}{2(1-\gamma)} \left\{ \omega_b^2 + \omega_s^2 - [(\omega_b^2 - \omega_s^2)^2 + 4\gamma\omega_b^2\omega_s^2]^{1/2} \right\} \\ \omega_2^2 &= \frac{1}{2(1-\gamma)} \left\{ \omega_b^2 + \omega_s^2 + [(\omega_b^2 - \omega_s^2)^2 + 4\gamma\omega_b^2\omega_s^2]^{1/2} \right\} \end{aligned} \quad (3.13)$$

$\varepsilon = \frac{\omega_b^2}{\omega_s^2}$  değişken dönüşümü yapılırsa, işlemlerden sonra açısal frekanslar  $\varepsilon$ 'ya bağlı olarak bulunur.

$$\omega_1^2 = \omega_b^2(1-\gamma\varepsilon), \quad \omega_2^2 = \frac{\omega_s^2}{(1-\gamma)}(1+\gamma\varepsilon) \quad (3.14)$$

Sistemde mod şekillerini hesaplamak için; ( $\phi_b^i = 1, i = 1,2$ )

$$(\phi^1)^T = (1, \varepsilon), \quad (\phi^2)^T = \left\{ 1, \frac{-1}{\gamma} [1 - (1-\gamma)\varepsilon] \right\} \quad (3.15)$$

Modal koordinatlardaki orijinal yer değiştirmeleri ifade etmek için;

$$v_b = Y_1\phi_b^1 + Y_2\phi_b^2 \quad (3.16)$$

$q_1$  ve  $q_2$  zamana bağlı modal katılım çarpanları ve  $M_i$  modal (genelleştirilmiş) kütle olmak üzere, diğer modal büyüklükler de hesaplanır;

$$M_i = (\phi^i)^T M \phi^i \quad M_i q_i = (\phi^i)^T M r \quad (3.17)$$

Denklemler  $\varepsilon$ ' ye bağlı olarak tekrar düzenlenirse;

$$M_1 = M(1+2\gamma\varepsilon) \quad M_2 = M \frac{(1-\gamma)[1-2(1-\gamma)\varepsilon]}{\gamma} \quad (3.18)$$

ve,

$$q_1 = 1 - \gamma\varepsilon \quad q_2 = \gamma\varepsilon \quad (3.19)$$

(3.3) ve (3.4)'deki hareket denklemlerindeki rölatif yer değiştirmeler ( $v_b, v_s$ ),  $\Phi^1$  ve  $\Phi^2$ , ye bağlı olarak ifade edilirse, modal katsayılar ( $q_1$  ve  $q_2$ )'nin yer aldığı iki denklem elde edilir.

$$\ddot{Y}_1 + 2\omega_1\beta_1\dot{Y}_1 + \lambda_1\dot{Y}_2 + \omega_1^2 Y_1 = -q_1\ddot{u}_g \quad (3.20)$$

$$\ddot{Y}_2 + \lambda_2\dot{Y}_1 + 2\omega_2\beta_2\dot{Y}_2 + \omega_2^2 Y_2 = -q_2\ddot{u}_g \quad (3.21)$$

“ $2\omega_1\beta_1$ ” ve “ $2\omega_2\beta_2$ ” değerleri Denklem (4.23) ve (4.24)'deki eşitliklerden hesaplanır.

$$M_i 2\omega_i\beta_i = (\phi^i)^T \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \phi_i \quad (3.22)$$

ve elde edilen değerler ise;

$$2\omega_1\beta_1 = 2\omega_b\beta_b(1-\gamma\varepsilon) \quad (3.23)$$

$$2\omega_2\beta_2 = \frac{1}{1-\gamma} (2\omega_s\beta_s + 2\gamma\omega_b\beta_b) \quad (3.24)$$

olacaktır. Buradan;

$$\beta_1 = \beta_b [1 - (3/2)\gamma\varepsilon] \quad (3.25)$$

$$\beta_2 = \frac{\beta_s + \gamma\beta_b\varepsilon^{1/2}}{(1-\gamma)^{1/2}} (1 - \frac{\gamma\varepsilon}{2}) \quad (3.26)$$

elde edilir.

Modal birleştirme katsayıları (coupling coefficients), “ $\lambda_1$ ” ve “ $\lambda_2$ ” nin hesaplanacağı denklemler;

$$\lambda_1 M_1 = (\phi^1)^T \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \phi^2 \quad (3.27)$$

$$\lambda_2 M_2 = (\phi^2)^T \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \phi^1 = \lambda_1 M_1 \quad (3.28)$$

Böylece;

$$\lambda_1 M_1 = (1, \varepsilon) \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ a \end{pmatrix} = c_b - \varepsilon a c_s, \quad a = (1/\gamma)[1 - (1-\gamma)\varepsilon] \quad (3.29)$$

Denklem (4.18)'de tanımlanan  $M_1$  ve  $M_2$  ifadeleri kullanılarak;

$$\lambda_1 = \frac{2\omega_b\beta_b M - \varepsilon \{ (1/\gamma) = [1 - (1-\gamma)\varepsilon] \} 2\omega_s\beta_s m}{M(1+2\gamma\varepsilon)}$$



$$\begin{aligned}
&= 2\omega_b\beta_b(1-2\gamma\varepsilon) - \varepsilon 2\omega_s\beta_s(1-2\gamma\varepsilon) \\
&= 2\omega_b[\beta_b(1-2\gamma\varepsilon) - \varepsilon^{1/2}\beta_s] \tag{3.30}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\lambda_2 &= \frac{2\omega_b\beta_b M - \varepsilon\{(1/\gamma)[1-(1-\gamma)\varepsilon]\}2\omega_s\beta_s m}{[M(1-\gamma)/\gamma][1-2(1-\gamma)\varepsilon]} \\
&= (2\omega_b\beta_b - \varepsilon 2\omega_s\beta_s)[1+2(1-\gamma)\varepsilon]\frac{\gamma}{1-\gamma} \\
&= 2\omega_b\{\beta_b[1+2(1-\gamma)\varepsilon] - \varepsilon^{1/2}\beta_s\}\frac{\gamma}{1-\gamma} \tag{3.31}
\end{aligned}$$

olarak elde edilir.

Yapısal uygulamaların büyük bir çoğunluğunda sönüm yeterince küçük olduğu için, sönüme bağlı ortogonal bileşenlerin (burada  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$ ) etkisi ihmal edilir. Böylelikle gerekli çözüm, birleştirilmemiş formdaki eşitliklerden (uncoupled modal equations) elde edilir;

$$\ddot{Y}_1 + 2\omega_1\beta_1\dot{Y}_1 + \omega_1^2 Y_1 = -q_1 \ddot{u}_g \tag{3.32}$$

$$\ddot{Y}_2 + 2\omega_2\beta_2\dot{Y}_2 + \omega_2^2 Y_2 = -q_2 \ddot{u}_g \tag{3.33}$$

Yapının tepkisi  $Y_1$  ve  $Y_2$  ise  $u_g$  yer hareketinin tanımlanmasıyla aşağıdaki gibi bulunabilir;

$$Y_1 = \frac{q_1}{\omega_1} \int u_g(t-\tau) e^{-\omega_1\beta_1\tau} \sin \omega_1\tau d\tau \tag{3.33a}$$

$$Y_2 = -\frac{q_2}{\omega_2} \int \ddot{u}_g(t-\tau) e^{-\omega_2\beta_2\tau} \sin \omega_2\tau d\tau \tag{3.33b}$$

Maksimum değerlerin bulunabilmesi için aşağıdaki yol izlenecektir;

$$|Y_1|_{\max} = q_1 S_D(\omega_1\beta_1) \tag{3.34a}$$

$$|Y_2|_{\max} = q_2 S_D(\omega_2\beta_2) \tag{3.34b}$$

Burada  $S_D(\omega,\beta)$  yer değiştirme spektrumunda “ $\omega$ ” açısal frekansında, “ $\beta$ ” sönüm faktöründe yer hareketi için karşılık gelen değerdir.

İzolasyon sisteminin ve yapının en büyük yer değiştirme değerleri, SRSS (karelerin toplamının karekökü) metoduyla belirlenir.

$$|v_s|_{\max} = \left[ (\phi_2^1 |q_1|_{\max})^2 + (\phi_2^2 |Y_2|_{\max})^2 \right]^{1/2} \quad (3.35)$$

$$|v_b|_{\max} = \left[ (\phi_1^1 |q_1|_{\max})^2 + (\phi_1^2 |q_2|_{\max})^2 \right]^{1/2} \quad (3.36)$$

Denklem (3.18), (3.19)'da bulunan sonuçlar yerine yazılırsa;

$$|v_b|_{\max} = \left\{ (1 - \gamma\varepsilon)^2 [s_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + \gamma^2 \varepsilon^2 [s_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \right\}^{1/2} \quad (3.37)$$

$$|v_s|_{\max} = \varepsilon \left\{ (1 - 2\gamma\varepsilon)^2 [s_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + [1 - 2(1 - \gamma)\varepsilon]^2 [s_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \right\}^{1/2} \quad (3.38)$$

bulunur.

Genel olarak “ $\varepsilon^2 S_D(\omega_2, \beta_2)$ ” terimi ihmal edilebilir. Çünkü yüksek frekanslarda ( $\omega_2$ ) oluşan deplasmanı, düşük frekanslarda ( $\omega_1$ ) yapılan deplasmandan çok küçüktür, böylece;

$$|v_b|_{\max} = (1 - \gamma\varepsilon) s_D(\omega_1, \beta_1) \quad (3.39)$$

şeklini alır.

Eğer “ $\varepsilon^2$ ”den büyük olan bütün terimleri ihmal edersek böylelikle katlar arası maksimum yer değiştirmeyi de bulmuş oluruz;

$$|v_s|_{\max} = \varepsilon \left[ s_D(\omega_1, \beta_1)^2 + s_D(\omega_2, \beta_2)^2 \right]^{1/2} \quad (3.40)$$

Tasarım taban kesme kuvveti katsayısı “ $C_s$ ”;

$$C_s = \left| \frac{k_s v_s}{m} \right|_{\max} = \omega_s^2 |v_s|_{\max}$$

$$C_s = \omega_s^2 \varepsilon \left[ s_D(\omega_1, \beta_1)^2 + s_D(\omega_2, \beta_2)^2 \right]^{1/2} \quad (3.41)$$

ifadesi ile bulunur.

### 3.2.1.2. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler İçin Hareket Denklemleri

Basit lineer modelin iki serbestlik dereceli sistemler üzerine yapılan kabuller, çok katlı yapı sistemleri için de uygulanabilir. Çok katlı yapı için “M” kütle matrisi , “C” sönüm matrisi ve “K” rijitlik matrisi olarak tanımlansın. Geleneksel yapılar için hareket denklemini anımsayarak konvansiyonel yapı sistemi için, her bir serbestlik derecesinin yere göre bağlı (görel) yer değiştirmesi,

$$M_v + C_v + K_v = -M_r u_g \quad (3.42)$$

şeklinde. Burada “ $r$ ” vektörü her bir serbestlik derecesini yer hareketine bağlayan bir vektör, “ $u$ ” ise yere göre yer değiştirme vektörüdür. İzolatörlü modelde ise denkleme ek olarak “ $m_b$ ” taban kütlesi, “ $k_b$ ” izolator rijitliği ve “ $c_b$ ” izolasyon sisteminin sönümü gelmektedir.

$$M_v + C_v + K_v = -M_r(u_g + v_b) \quad (3.43)$$

Bu denklemde , “ $v$ ” taban kütesine göre rölafif yer değıştirme, “ $v_b$ ” ise taban kütesinin zemine göre rölafif yer değıştirmesidir. Bütün sistemde birleşik yapı ve taban kütesine göre bir eşitlik yazılırsa,

$$r^T M \left( \ddot{v} + r \ddot{v}_b + r \ddot{u}_g \right) + m_b \left( \ddot{v}_b + \ddot{u}_g \right) + c_b \dot{v}_b + k_b v_b = 0 \quad (3.44)$$

olduğu görülür. Eşitlik düzenlenirse;

$$r^T M \ddot{v} + (m + m_b) \ddot{v}_b + c_b \dot{v}_b + k_b v_b = -(m + m_b) \ddot{u}_g \quad (3.45)$$

olarak yazılır. “ $r^T M r$ ” üst yapının toplam kütesi, “ $m$ ” ve “ $m + m_b$ ” ise izolasyon sisteminin üzerinde taşınan toplam kütedir. Bu eşitlikleri matris formunda yazacak olursak;

$$M^* v^* + C^* \dot{v}^* + K^* v^* = -M^* r^* \ddot{u}_g \quad (3.46)$$

Buradan,

$$M^* = \begin{bmatrix} m + m_b & r^T M \\ M r & M \end{bmatrix}, \quad C^* = \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & C \end{bmatrix}$$

$$K^* = \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & K \end{bmatrix}, \quad r^* = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad v^* = \begin{bmatrix} v_b \\ v \end{bmatrix}$$

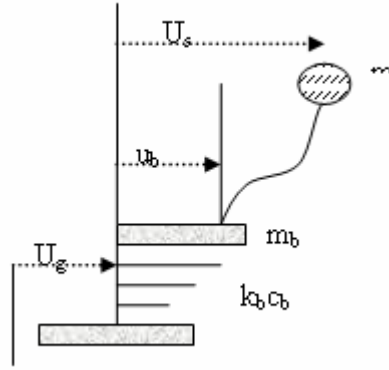
şeklindeki ifadelerdir.

### 3.2.2. Sismik İzolasyonlu Yapıların Genel Davranışı:

Sismik izolasyonlu yapıyı ifade eden iki serbestlik dereceli sistemi Şekil 3.27’de gösterildiği gibi daha basit bir hale getirirsek;

Bu durumda ankastre mesnetli sistemin periyodu;

$$T_{ank} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_s}} \quad (3.47)$$



Şekil 3.27. İki serbestlik dereceli taban izolasyonlu yapı modeli

Aynı şekilde taban izolasyonlu sistemin periyodu;

$$T_{izo} = 2\pi \sqrt{\frac{(m + m_b)}{k_D}} \quad (3.48)$$

olarak bulunur.

Ankastre mesnetli sistemin periyodunun, taban izolasyonlu sistemin periyoduna oranı; ( $\alpha$ ), taban kütesinin üst yapı kütesine oranını da ( $\eta$ ) olarak ifade edilirse;

$$\alpha = \frac{T_{ank}}{T_{izo}}, \quad \eta = \frac{m_b}{m} \quad (3.49)$$

Elde edilen değerler frekans denkleminde yerine yazılır, yüksek dereceden terimler ihmal edilmek suretiyle gerekli hesaplamalar yapılırsa, yapının 1. ve 2. moddaki titreşim periyodları;

$$T_1 = \sqrt{(1 + \alpha^2)} T_{izo} \quad (3.50)$$

$$T_2 = \frac{T_{ank}}{\sqrt{(1 + \eta + \eta\alpha^2)}} \quad (3.51)$$

Sisteme ait mod şekilleri de aşağıdaki gibidir:

$$\phi_1 = \left\{ \begin{array}{c} 1 \\ 1 + \alpha^2 \end{array} \right\} \quad (3.52)$$

$$\phi_2 = \left\{ \begin{array}{c} 1 \\ (\alpha^2 - 1)/\eta \end{array} \right\} \quad (3.53)$$

Periyotlar oranı  $\alpha$ 'nın açık yazılması halinde;

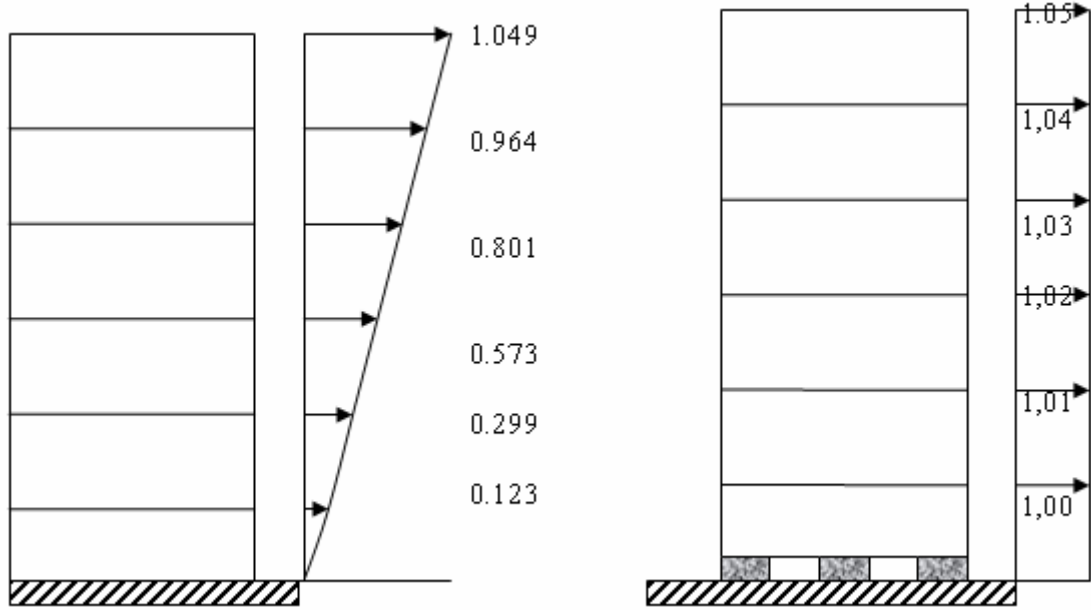
$$\alpha = \sqrt{k_b/k_s} \sqrt{m/(m + m_b)} \quad (3.54)$$

İzolasyon sisteminin rijitliği  $k_b$ , üst yapının rijitliği  $k_s$ 'ye göre çok küçük olduğunu ve taban kütlesi  $m_b$ 'nin çoğu zaman üst yapı kütlesi  $m$ 'den küçük olduğunu düşünürsek  $\alpha$  değerinde 1'den küçük bir sayı olacağı anlaşılmaktadır. Ortalama 0.01 ile 0.3 arasında olan bu sayının karesi kendisinden küçük olacağından,

$$1 + \alpha^2 \approx 1 \quad (3.55)$$

alınabilir.

A.K. Chopra (1995), sismik izolasyonun sistem üzerindeki etkisini göstermek amacıyla 6 katlı bir modeli ele alarak, yaptığı hesaplamalarla yapının 1. mod şekli için şu sonuçlara ulaşmıştır;



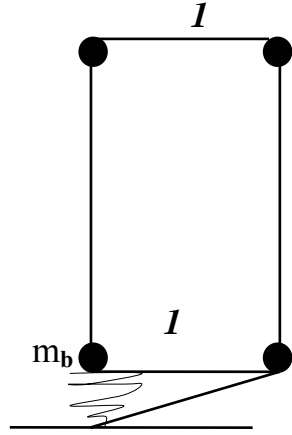
Şekil 3.28. Taban izolasyonlu ve ankastre mesnetli modellerin 1. mod şekillerinin karşılaştırılması

Şekil 3.28'de görüldüğü gibi ilk mod için taban izolasyonlu sistemde, periyotlar oranı  $\alpha$ 'nın ihmal edilmediği hesaplarda bile, en alt ve en üst katlar arasındaki fark mertebesinden küçüktür.

Bu durumda sistemde ilk moda ait mod şekli (Şekil 3.29) ve Denklem (3.56)'daki halini almaktadır.

$$\phi_1 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (3.56)$$

Bir yapının deprem anındaki davranışının belirlenmesinde en önemli etken 1. titreşim modudur. 1. titreşim modunun (Şekil 3.29) yapının tüm davranışına olan katkısı kimi zaman %90'lara çıkmaktadır. Hareket denkleminin çözümünden de anlaşılacağı gibi sismik izolasyonlu bir yapıda 1. titreşim moduna ait değerler ana yapıdan bağımsızlaşmakta ve yalıtım sisteminin özellikleriyle birleşmektedir.



Şekil 3.29. Sismik taban izolasyonlu yapının 1. mod şekli

### 3.2.3. İzolatörlerin Modellenmesi ve Mekanik Karakteristikleri

İzolatörlerin tasarımı, daha önceden elde edilmiş veriler kullanılarak, sistemin maksimum yer değiştirmesi, kayma şekil değiştirmesi, taban kesme kuvveti, izolatörlerin stabilitesi ve yapının kolon yüklerine bağlı olarak üreticinin vereceği mekanik özellikler doğrultusunda seçimi ile başlar. Bu ön tasarım sonrasında, yönetmelik şartları doğrultusunda izolatörlerin kesin tasarımına ve matematik modelinin oluşturulması işlemine geçilir. Matematik model oluşturulduktan sonra prototip test programları uygulanır. Test sonuçlarına bağlı olarak, gerekli tip ve sayıda izolatörler üretilir ve ayrıca test edilerek yapıya montajına geçilir.

Bu çalışmada, günümüzde yaygın olarak kullanılan mesnet tiplerinin modellenmesi anlatılmıştır.

#### 3.2.3.1. Kauçuk Esaslı Mesnet Modeli (NRB)

Kauçuk izolatörler; kauçuk levhalar arasına çelik plakalar konularak elde edildiğinden, düşey yönde oldukça rijit, yatay yönde ise oldukça esnek özellik gösterirler. Bu tür mesnetler, tabakalı kauçuk mesnet sistemleri olarak isimlendirilirler. Yapıya, deprem hareketinin düşey bileşeni nispeten değişmeden aktarılırken, yatay bileşenin etkileri de bu kauçuk mesnetler tarafından kısmen absorbe edilmektedir; böylelikle yapı deprem etkilerine karşı korunmuş olmaktadır (Ateş ve Dumanoglu, 1999). Düşey ivmeler genelde çoğu binalar için herhangi bir sorun meydana getirmemektedirler. Çünkü yapı tasarlanırken zaten düşey yönde oldukça rijit tasarlanmaktadır. Ancak, yatay yönde istenilen rijitliği sağlayabilmek oldukça zordur. Bu amaçla, sismik taban izolasyon sistemleri geliştirilmiştir. Kauçuk mesnedin katı cisim mod periyodu,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K(g)}} \quad (3.57)$$

olarak ifade edilebilir (Nagarajaiiah vd.,1991). Burada W normal kuvveti veya mesnedin taşıdığı ağırlığı, K mesnedin plastik rijitliğini ve g yerçekimi ivmesini göstermektedir. Elastik rijitlik ise,

$$K_1 = \frac{F_y}{D_y} \quad (3.58)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada “ $F_y$ ” akma kuvvetini, “ $D_y$ ” ise akma yer değiştirmesini ifade etmektedir. İzolasyon modelinin başlangıç elastik rijitliği izolasyonsuz yapının rijitliğine eşit olmaktadır. Modelin plastik rijitliği, izolatörün etkisinin ve yapının esnekliğinin birleşimini içermektedir.

Bir kauçuk mesnedin hareketi halinde enine ve boyuna doğrultuda oluşan kuvvetler,

$$F_x = \alpha \frac{F_y}{D_y} U_x + (1-\alpha)F_y Z_x \quad (3.59a)$$

$$F_y = \alpha \frac{F_y}{D_y} U_y + (1-\alpha)F_y Z_y \quad (3.59b)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada  $F_x$  ve  $F_y$  sırasıyla enine ve boyuna doğrultudaki kuvvetleri, “ $\alpha$ ” plastik rijitliğin elastik rijitliğe oranını ( $\alpha = K_2/K_1$ ), “ $F_y$ ” akma kuvvetini, “ $D_y$ ” akma yer değiştirmesini göstermektedir.

İki yönde bileşeni olan hareketin doğrultusu aşağıdaki gibidir ve aynı zamanda x eksenine göre kaymanın yönünü de ifade etmektedir.

$$\theta = \arctan\left(\frac{\dot{U}_x}{\dot{U}_y}\right) \quad (3.60)$$

Burada;

$\theta$ : Kayma açısını,

$\dot{U}_x$ : x doğrultusundaki yer değiştirmenin zamana göre birinci türevini(x doğrultusundaki hızı),

$\dot{U}_y$ : y doğrultusundaki yer değiştirmenin zamana göre birinci türevini(y doğrultusundaki hızı) ifade etmektedir.

$Z_x$  ve  $Z_y$  değerleri de,

$$\begin{Bmatrix} Z_x Y \\ Z_y Y \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} A U_x \\ A U_y \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_x^2 (\gamma \text{Sign}(U_x Z_x) + \beta) & Z_x Z_y (\gamma \text{Sign}(U_y Z_y) + \beta) \\ Z_x Z_y (\gamma \text{Sign}(U_x Z_x) + \beta) & Z_y^2 (\gamma \text{Sign}(U_y Z_y) + \beta) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_x \\ U_y \end{Bmatrix} \quad (3.61)$$

denkleminde verilmiş olup histerik kuvvetlerin iki eksenli etkileşimiyle ilgili boyutsuz değerlerdir. Kauçuk mesnetlerde kuvvet-yer değiştirme ilişkisi lineer olmayan bir davranış sergilemektedir. Burada  $A$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$  değerleri histerik döngünün şeklini kontrol eden büyüklüklerdir.  $A=1.0$ ,  $\beta=0.1$  ve  $\gamma=0.9$  olarak tavsiye edilmiştir. Akma başladığında;



$\frac{A}{\beta + \gamma} = 1$  ise  $Z_x = \cos\theta$  ve  $Z_y = \sin\theta$  olur. Buradan anlaşılacağı üzere histerik eğri

dairesel ve sürekli. İki eksenli izolator modelinde diyagonal dışındaki elemanlar yerine sıfır yazılırsa tek eksenli izolator modeli oluşturulmuş olur.

Elastomer esaslı mesnetlerin en önemli özelliği, izolatorların daha önce bahsedildiği gibi yatay rijitlikleridir. Yatay rijitlik aşağıdaki gibidir.

$$K_H = (G)(A) / t_r \quad (3.62)$$

Burada;

$K_H$ : yatay rijitlik,

$G$  : kauçunun kayma modülü,

$A$  : kauçunun kesit alanı,

$t_r$  : kauçunun toplam kalınlığıdır.

İzolatorun maksimum yatay yer değiştirmesi " $D_D$ " dir ve belirlenebilmesi için yapılan bir kabule göre; boyutsuz yatay yöndeki boy değişim katsayısı olan  $\gamma$ 'nın belirlenmesidir. Bu katsayı, yatay yer değiştirmenin, kauçuk toplam kalınlığına oranı olarak ifade edilir.

$$\gamma = D_D / t_r \quad (3.63)$$

Elastomer esaslı mesnetlerin önemli bir diğer özelliği ise, izolatorların düşey rijitliği " $K_v$ " dir ve aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$K_v = \frac{E_c A}{t_r} \quad (3.64)$$

Burada;

$K_v$ : izolatorun düşey rijitliği,

$E_c$  : kauçuk çelik birleşiminin yükleme modülü (compression modulus),

$A$  : mesnedin kesit alanı,

$t_r$  : kauçunun toplam kalınlığıdır.

$E_c$  modülü, kompozit bileşiminin aniden etkiyen belirli seviyede, spesifik düşey yükler altında sıkıştırılmasıyla elde edilen verilere göre hesaplanır ve aynı zamanda "S" şekil faktörü ile kontrol edilir. Genel olarak ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$S = \text{Yüklenen alan} / \text{Elastomer kenar alanı} \quad (3.65)$$

"R" yarıçaplı ve dairesel kesitli bir elastomerik izolator için şekil faktörü;

$$S = \pi R^2 / 2\pi R t$$

$$S = R / 2t \quad (3.66)$$

olarak hesaplanır. Burada;

S: şekil faktörü,

R: yarıçap,

t : izolatör içerisindeki kauçuk tabakalardan bir tanesinin kalınlığıdır.

Aynı şekilde, bir kenarının uzunluğu “a” olan kare kesitli izolatörler için şekil faktörü;

$$S = a^2 / 4at$$

$$S = a / 4t \quad (3.67)$$

olarak hesaplanır.

Tam daire içindeki kauçuk tabakalar için yükleme modülü;

$$E_c = 6GS^2 \quad (3.68)$$

boyutlama için kare kesit kullanıldığında yükleme modülü;

$$E_c = 6.73GS^2 \quad (3.69)$$

olarak elde edilir.

Eğer yüklenen kesit içi boş dairesel bir kesit ise, tam dairesel kesit için verilen Denklem (3.68), bir katsayı olan “λ” ile çarpılır ve “r<sub>i</sub>” iç çap “r<sub>d</sub>” dış çap olmak üzere aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\lambda = [r_i^2 + r_d^2 - [(r_d^2 - r_i^2) / (\ln r_d / r_i)]] / (r_d - r_i)^2 \quad (3.70)$$

“S” şekil faktörünün büyük olduğu durumlarda, yükleme modülü “E<sub>c</sub>” hesaplanırken hacimsel elastisite modülü “K”nın (bulk modulus) da dikkate alınması önerilmiştir.

$$1/E_c = 1/E_c' + 1/K$$

denklem düzeltildiğinde;

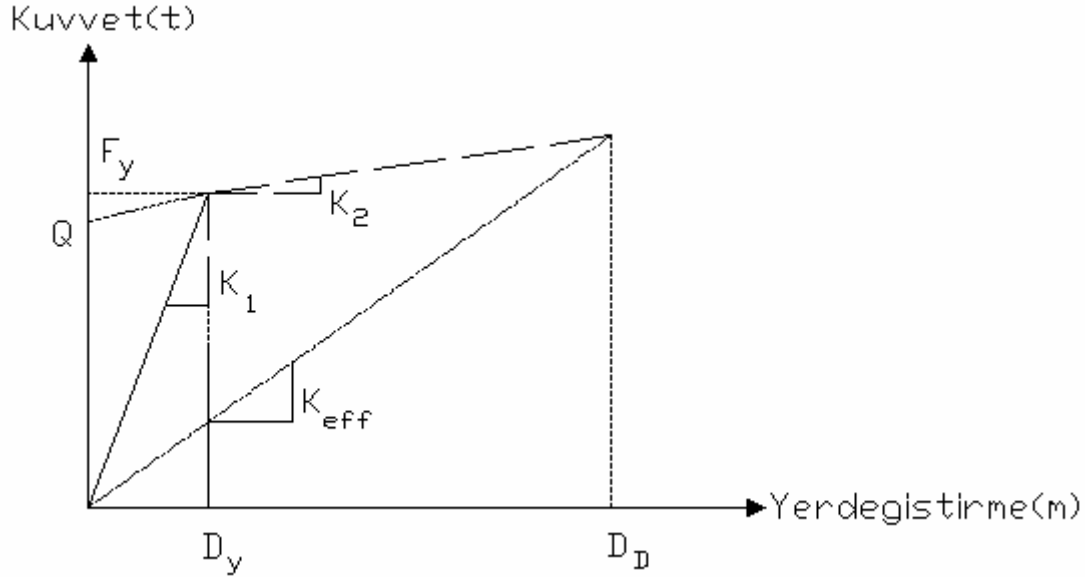
$$E_c = E_c' K / (E_c' + K) \quad (3.71)$$

halini alır. Dairesel kesitli kauçuk mesnetler için yükleme modülü E<sub>c</sub>' = 6GS<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştı (3.68). Bu değerle birlikte dairesel kesitler kullanıldığında yükleme modülü aşağıdaki gibi olur.

$$E_c = \frac{6GS^2 K}{6GS^2 + K} \quad (3.72)$$

### 3.2.3.2. Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnet Modeli (LRB)

Kurşun çekirdekli model tasarımında birkaç farklı kabul dışında hesap tekniği ve boyutlandırma mantığı genel olarak aynıdır. İlk olarak sistemin tasarlanan titreşim periyodunda olabilmesi için yatay rijitliğin ne kadar olması gerektiği saptanır. Daha sonra kaç adet izolatörde kurşun çekirdek kullanılacağına tespiti yapılarak, kurşun çekirdeklerin yatay rijitliğe katkısıyla sistemde, istenilen rijitliğin sağlanabilmesi için ne kadar kauçuk rijitliğe ihtiyaç olduğunun tespiti yani kullanılacak elastomerik mesnetlerin kayma modüllerinin tespiti yapılır. Kurşun çekirdekler, izolatörlerin yatay yer değiştirme kapasitesini azaltırlar. Ancak düşey eksenel yönde ekstra rijitlik sağlarlar. Hesaplanan tasarım yer değiştirmesi elastomerik mesnetlerinkinden daha az olacaktır.



Şekil 3.30. Kurşun çekirdekli mesnet modelinde kuvvet – yer değiştirme eğrisi

Kurşun çekirdekli kauçuk mesnet tasarımı Şekil 3.30’da görüldüğü üzere  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $Q$  ve  $F_y$  parametreleri esas alınarak yapılır. Elastik rijitlik (akma öncesi rijitlik) “ $K_1$ ” hesaplanması zor bir büyüklüktür; bu yüzden plastik rijitlik (akma sonrası rijitlik) “ $K_2$ ”nin, deneysel olarak elde edilen bir katsayı ile çarpımıyla bulunur ( $K_1 = 10K_2$ ). Akma sonrası rijitlik “ $K_2$ ”, elastomer mesnedin kayma modülünden hesaplanabilir. “ $Q$ ” karakteristik bir kuvvet olup kuvvet – yer değiştirme eğrisinin düşey eksenini kestiği değeri ifade eder. Bu değer, kurşun çekirdeğin akma gerilmesi “ $f_y$ ”den

( $f_y = 10\text{Mpa} = 1000t/m^2$ ) hesaplanabilmektedir. “ $F_y$ ” ise, sürtünme kuvveti değerini ifade etmektedir.

Elastomer mesnetlerin tasarım aşamasındaki bilgilerden de yararlanılarak, kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerin tasarımında izlenecek yol aşağıdaki gibidir.

Tasarım yer değiştirmesi;

$$D_D = \frac{gC_{vD}T_D}{B(4\pi^2)} \quad (3.73)$$

sistemde gerekli olan yatay rijitlik;

$$K_H = \frac{W(4\pi^2)}{g(T_D)^2} \quad (3.74)$$

Plastik bölgedeki rijitlik “ $K_2$ ” ve elastik rijitlik “ $K_1$ ” ifadeleri aşağıdaki gibidir.

$$K_2 = \frac{AG}{t_r} ; K_1 = 10K_2 \quad (3.75)$$

Kurşun çekirdekli sistemin düşey rijitliği “ $K_v$ ”;

$$K_v = \frac{E_c A}{t_r} \quad (3.76)$$

“ $Q$ ” değeri kurşunun akma gerilmesinden;

$$Q = f_y \times (\text{Kurşun çekirdek Alanı}) \quad (3.77)$$

şeklinde hesaplanır.

Sistemin efektif rijitliği ise mesnedin döngüsel davranış eğrisindeki parametrelerin maksimumları alınarak hesaplanan rijitliktir. Sistemde oluşan maksimum yatay deplasman “ $D$ ”, akma yer değiştirmesi “ $D_y$ ” den daha büyüktür ve “ $K_{eff}$ ” aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$K_{eff} = K_2 + \frac{Q}{D} \quad D > D_y \quad (3.78)$$

Akma yer değiştirmesi “ $D_y$ ”;

$$D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} \quad (3.79a)$$

Akma kuvveti “ $F_y$ ” ise;

$$F_y = K_1 x D_y \quad (3.79b)$$

olarak ifade edilir.

Sistemin doğal titreşim frekansı  $\omega$ ;

$$\omega = \sqrt{K_{eff}/W} = \sqrt{\omega_o^2 + \mu(g/D)} \quad (3.80)$$

şeklinde ifade edilir. Burada;

W: Sistemde taşınan yük

$\mu$  : Q/W

$\omega_o^2$ :  $\sqrt{k_2} g / W$

Aynı zamanda efektif periyot  $T_{eff}$ 'de hesaplanmış olur.

$$T_{eff} = 2\pi / \omega \quad (3.81)$$

Kurşun çekirdekli döngüsel davranış eğrisi içinde kalan alan “ $W_D$ ”, aynı zamanda kurşun başlıklı izolatörün bir tam döngüde dağıttığı enerjiye eşittir. Bu durumda, bir tam periyot zamanında dağıtılan enerji; (Kösedağ S., 2002)

$$W_D = 4Q(D-D_y) \quad (3.82)$$

şeklinde yazılabilir.

Sistemin genel efektif sönümü;

$$\beta_{eff} = \frac{\text{DöngüselEgrininAlani}}{2\pi K_{eff} D^2} \quad (3.83)$$

Bulunan değerler yerine konulduğu zaman, kurşun çekirdekli mesnedin efektif sönümü aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\beta_{eff} = \frac{4Q(D - D_y)}{2\pi(K_2 D + Q)D} \quad (3.84)$$

Uygulamalarda elastik rijitlik “ $K_1$ ”, plastik bölgedeki rijitlik “ $K_2$ ”nin yaklaşık 10 katı alındığından efektif sönüm, aşağıdaki hali alır.

$$\beta_{eff} = \frac{4Q(D - \frac{Q}{9K_2})}{2\pi(K_2 D + Q)D} \quad (3.85)$$

### 3.2.3.3. Sürtünmeli Sarkaç Mesnet Modeli (FPS)

Sürtünmeli sarkaç modeli, yapının deprem etkisi altında sarkaç hareketinde salınım yapan kütle misali davranış göstererek yapıya hareket serbestliği kazandırması esas alınarak düzenlenmiş bir modellemedir.

Bu yöntemde izolasyon sisteminin rijitliği ve yapının titreşim periyodu, sürtünen eğrisel yüzeye verilen eğimle kontrol edilir. Sürtünmeli sarkaç izolatörü paslanmaz çelikten

yapılmış küresel bir yüzey içinde, kayıcı mafsalların taşınmasından oluşan bir sisteme sahiptir. Kayıcı mafsal kenarları, küresel yüzeyle kaplanarak birleştirilmiş ve düşük sürtünmeli kompozit bir malzeme oluşturulmuştur.

Sürtünmeli sarkaç mesnet sistemleri; sarkaç karakterlerinin kullanımıyla yapının doğal periyodunun uzatılarak, yapıya gelebilecek güçlü deprem kuvvetlerinin büyük ölçüde emilmesini sağlar.

Sürtünmeli sarkaç sistemlerinde sürtünme kuvvetine kadar olan yatay yüklemelerde yapı mesnedi, yatay ve düşeyde herhangi bir yer değiştirme yapmaz. Yani yapı ankastre mesnetliymiş gibi düşünülebilir. Ancak yatay deprem yükü, mesnette sürtünme kuvveti değerine eşit kesme mesnet reaksiyonu oluşturduğunda, izolasyon sistemi harekete geçerek akmaya başlar. Ölçülen yer değiştirme, izolatörlerin akma yer değiştirmesi olarak ifade edilir. Bu nedenle, sürtünme kuvvetine eşit mesnet reaksiyonu elde edeceğimiz deprem kuvveti yapıya uygulandığında; kolon sürtünme kuvvetinin ( $F_y$ ), elde edilen zemin kat tavanı yer değiştirme değerine bölünmesiyle izolatörün akma öncesi rijitliği ( $K_1$ ) yani elastik rijitliği elde edilir. Bu değer anlaşılacağı üzere, izolasyon katı kolon rijitliği değeri olarak da düşünülebilir.

“W” yükü taşıyan, çelik yüzeylerde sürtünme katsayısı “ $\mu$ ” olan ve maksimum yatay yer değiştirmesi “D” olan bir sürtünmeli sarkaç mesnedinin karşıladığı kuvvet aşağıdaki gibidir. Burada sgn; işaret fonksiyonu olup pozitif değerlerde +1, negatif değerlerde ise -1 değerini alır.

$$F = W / R + \mu W(\text{sgn}D) \quad (3.86)$$

“R” iç bükey çelik sürtünme yüzeyinin eğriliği olmak üzere sistemdeki yatay rijitlik, aşağıdaki gibidir.

$$K_H = W / R \quad (3.87)$$

Buradan, izolasyonlu sistemin periyodu,

$$T_Y = 2\pi \sqrt{R/g} \quad (3.88)$$

olarak elde edilir. Burada, yerçekimi ivmesi ( $g$ ) sabit olduğu için titreşim hareketi periyodu, sürtünen yüzeydeki eğrinin “R” eğrilik yarıçapına bağlıdır. İzolasyon yapılacak yapının yeni titreşim periyodu, eğrisel yüzeye verilecek olan eğimle belirlenir. Titreşim hareketinin periyodu, salınım yapan kütlenin bulunduğu noktaya, 1 tam salınım hareketi yaptıktan sonra dönene kadar geçen süre olarak tanımlanır. Eğrilik yarıçapı “R”nin sonsuz olması, sürtünen yüzeylerin düz olması anlamına gelmektedir. Bu

durumda yapı periyodu “T” sonsuz olur ki, bu da sarkaç hareketinde giden kütlenin aynı noktaya geri dönmemesi anlamına gelir. Yani sistemde bir titreşim hareketi olmaz.

Sistemin efektif rijitliği;

$$K_{\text{eff}} = W / R + \mu W / D \quad (3.89)$$

Sistemin efektif sönümü, Denklem (3.83)’de verilen denklemle aynıdır.

$$B_{\text{eff}} = \frac{\text{Döngüsel Eğrinin Alanı}}{2\pi K_{\text{eff}} D^2}$$

Döngüsel eğri içinde kalan alan  $4\mu WD$  olduğuna göre, yukarıdaki denklem düzenlenirse aşağıdaki gibi olacaktır.

$$B_{\text{eff}} = \frac{4\mu WD}{2\pi(W / R + \mu W / D)D^2} = \frac{2}{\pi} \frac{\mu}{(D/R + \mu)} \quad (3.90)$$

Sistemin düşey yönde yapmış olduğu yer değiştirme ise, aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\delta_v = R [1 - \text{Cos}(\text{Arc Sin} D/R)] \quad (3.91)$$

### 3.2.4. Sismik İzolasyonda Yönetmelik Şartları

Ülkemizdeki mevcut yönetmeliklerimizde taban izolasyonlu yapılarla ilgili her hangi bir standart bulunmaması depreme dayanıklı yapı tasarımında taban izolasyonu kavramının yaygın olarak kullanılmamasına neden olmuştur. Bu yıl çıkan ve yürürlüğe giren “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar (2006)” yeni deprem yönetmeliğinin genel hükümlerinde de taban yalıtımlı binaların, yönetmelik dışında olduğu belirtilmektedir. Ayrıca aynı yönetmelik genel hükümleri; yönetmelik dışında kalan yapılara uygulanacak koşul ve kuralların, kendi özel yönetmelikleri yapıncaya dek, ilgili Bakanlıklar tarafından çağdaş uluslararası standartlar göz önünde tutularak saptanacağını ve projelerin bu esaslara göre düzenleneceğini belirtmektedir. Bu sebeple bu çalışmada, Amerika Birleşik Devletleri’nde yürürlükte olan yönetmelikler dikkate alınmıştır. Amerika Birleşik Devletleri’nin kullanmakta olduğu ve taban izolasyonlu yapıların tasarımı için kullandığı yönetmelikler şunlardır;

- “International Conference of Building Officials” tarafından yayımlanmış “Uniform Building Code – 1997 Edition” (UBC - 97)
- “Title 24, Part 2 of the California Code of Regulations, Division III” (OSHPD - 96)

Bu yönetmeliklerin her ikisi de, yeni yapılacak binaların tasarımı için oluşturulmuştur ve mevcut yapılarla ilgili şartları içermektedir. Buna karşın yine de UBC şartları, mevcut yapılara da uyarlanmıştır. Yönetmelikler, herhangi bir izolasyon sistemini öne çıkarmazlar; fakat uygulanacak olan izolasyon sisteminin, deprem etkileri nedeniyle yapacağı yer değiştirmelerde stabil kalmasını, artan yer değiştirmeler için artan dayanım sağlamasını ve tekrarlı yüklemeler sonucunda performans kaybetmemesini zorunlu tutarlar. Bu bölümde, “*Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik Şartları (2006)*”nın gerekli bölümleri ve “UBC97” yönetmeliğinin gerekli kısımları anlatılacaktır.



### 3.2.4.1. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik Şartları (2006)

#### 3.2.4.1.1. Hesap Yönteminin Seçilmesi

##### 3.2.4.1.1.1. Hesap Yöntemleri

Binaların ve bina türü yapıların deprem hesabında kullanılacak yöntemler; Bölüm 3.2.4.1.2.'de verilen *Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi*, Bölüm 3.2.4.1.3.'de verilen *Mod Birleştirme Yöntemi* ve Bölüm 3.2.4.1.4.'de verilen *Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri*'dir. Bölüm 3.2.4.1.3. ve Bölüm 3.2.4.1.4.'de verilen yöntemler, tüm binaların ve bina türü yapıların deprem hesabında kullanılabilir.

##### 3.2.4.1.1.2. Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin Uygulama Sınırları

Bölüm 3.2.4.1.2.'de verilen *Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi*'nin uygulanabileceği binalar aşağıdaki Çizelge 3.1'de özetlenmiştir. Çizelge 3.1'in kapsamına girmeyen binaların deprem hesabında, Bölüm 3.2.4.1.3. ve Bölüm 3.2.4.1.4.'de verilen yöntemler uygulanacaktır.

Çizelge 3.1. Eşdeğer deprem yükü yöntemi'nin uygulanabileceği binalar

<i>Deprem Bölgesi</i>	<i>Bina Türü</i>	<i>Toplam Yükseklik Sınırı</i>
1, 2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı binalar	$H_N \leq 25$ m
1, 2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve <b>B2</b> türü düzensizliğin olmadığı binalar	$H_N \leq 40$ m
3, 4	Tüm binalar	$H_N \leq 40$ m

##### 3.2.4.1.2. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

###### 3.2.4.1.2.1. Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Belirlenmesi

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen *Toplam Eşdeğer Deprem Yükü* (taban kesme kuvveti)  $V_t$ , Denklem (3.92) ile belirlenecektir.

$$V_t = \frac{WA(T)}{R_a(T)} \geq 0.10 A_0 IW \quad (3.92)$$

Burada;

$$A(T) = A_0 I S(T)$$

A(T): Spektral ivme katsayısı,

W: Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı,

R<sub>a</sub>(T): Deprem yükü azaltma katsayısı,

I: Bina önem katsayısı,

A<sub>0</sub>: Etkin yer ivmesi katsayısı'nı ifade etmektedir.

Binanın birinci doğal titreşim periyodu T<sub>1</sub>, Bölüm 3.2.4.1.2.4.'e göre hesaplanacaktır.

Binanın deprem yüklerinin hesaplanmasında kullanılacak toplam ağırlığı W, Denklem (3.93) ile belirlenecektir.

$$W = \sum_{i=1}^N w_i \quad (3.93)$$

Denklem (3.93)'deki w<sub>i</sub> kat ağırlıkları ise, Denklem (3.94) ile hesaplanacaktır. (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 2006)

$$w_i = g_i + nq_i \quad (3.94)$$

Denklem (3.94)'de yer alan “*Hareketli Yük Katılım Katsayısı*” n, Çizelge 3.2.'de verilmiştir. Endüstri binalarında sabit ekipman ağırlıkları için n = 1 alınacak, ancak vinç kaldırma yükleri, kat ağırlıklarının hesabında göz önüne alınmayacaktır. Deprem yüklerinin belirlenmesinde kullanılacak çatı katı ağırlığının hesabında, kar yüklerinin % 30'u göz önüne alınacaktır. (*Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 2006*)

Çizelge 3.2. Hareketli yük katılım katsayısı (n)

<b><i>Binanın Kullanım Amacı</i></b>	<b><i>n</i></b>
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, garaj, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, vb.	0.30

### **3.2.4.1.2.2. Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Belirlenmesi**

Denklem (3.92) ile hesaplanan toplam eşdeğer deprem yükü, bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak Denklem (3.95) ile ifade edilir. (Şekil 3.31a)

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i \quad (3.95)$$

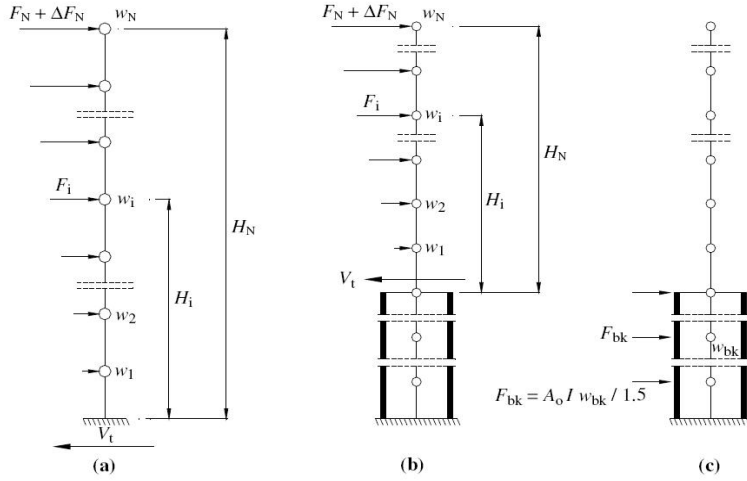
Binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen eşdeğer deprem yükü  $\Delta F_N$ 'nin değeri Denklem (3.96) ile belirlenecektir.

$$\Delta F_N = 0.0075 N V_t \quad (3.96)$$

Toplam eşdeğer deprem yükünün  $\Delta F_N$  dışında geri kalan kısmı, N'inci kat dahil olmak üzere, bina katlarına Denklem (3.97) ile dağıtılacaktır.

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} \quad (3.97)$$

Bodrum katlarında rijitliği üst katlara oranla çok büyük olan betonarme çevre perdelerinin bulunduğu ve bodrum kat döşemelerinin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, bodrum katlarına ve üstteki katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri, aşağıda belirtildiği üzere (Şekil 3.31), ayrı ayrı hesaplanacaktır. Bu yükler, üst ve alt katların birleşiminden oluşan taşıyıcı sisteme birlikte uygulanacaktır. (*Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 2006*)



Şekil 3.31. Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri gösterimi

(a) Üstteki katlara etkiyen toplam eşdeğer deprem yükünün ve eşdeğer kat deprem yüklerinin Denklem (3.92), Denklem (3.96) ve Denklem (3.97)'ye göre belirlenmesinde, bodrumdaki rijit çevre perdeleri göz önüne alınmaksızın R katsayısı kullanılacak ve sadece üstteki katların ağırlıkları hesaba katılacaktır. Bu durumda ilgili bütün tanım ve bağıntılarda temel üst kotu yerine zemin katın kot'u göz önüne

alınacaktır. Birinci doğal titreşim periyodunun hesabında da, fiktif yüklerin belirlenmesi için sadece üstteki katların ağırlıkları kullanılacaktır (Şekil 3.31b).

(b) Rijit bodrum katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesabında, sadece bodrum kat ağırlıkları göz önüne alınacak ve Spektrum Katsayısı olarak  $S(T) = 1$  alınacaktır. Her bir bodrum katına etkiyen eşdeğer deprem yükünün hesabında  $A(T)$  spektral ivme değeri ile bu katın ağırlığı doğrudan çarpılacak ve elde edilen elastik yükler,  $R_a(T) = 1.5$  katsayısına bölünerek azaltılacaktır (Şekil 3.31c).

(c) Üstteki katlardan bodrum katlarına geçişte yer alan ve çok rijit bodrum perdeleri ile çevrelenen zemin kat döşeme sisteminin kendi düzlemi içindeki dayanımı, bu hesapta elde edilen iç kuvvetlere göre kontrol edilecektir. (*Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 2006*)

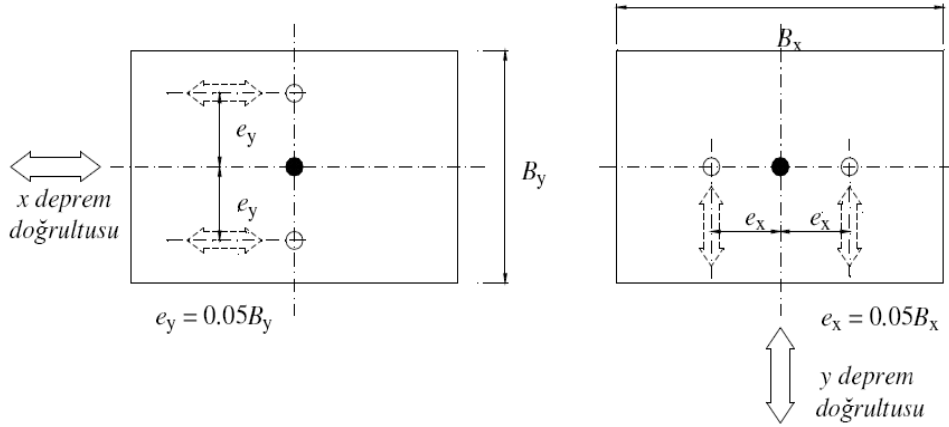
### 3.2.4.1.2.3. Göz Önüne Alınacak Yer Değiştirme Bileşenleri ve Deprem Yüklerinin Etkime Noktaları

Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yer değiştirme bileşeni ile düşey eksen etrafındaki dönme, bağımsız yer değiştirme bileşenleri olarak göz önüne alınacaktır. Her katta Bölüm 3.2.4.1.2.2.'ye göre belirlenen eşdeğer deprem yükleri, *ek dışmerkezlik etkisi*'nin hesaba katılabilmesi amacıyla, göz önüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun + %5'i ve - %5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara ve ayrıca kat kütle merkezine uygulanacaktır (Şekil 3.32a).

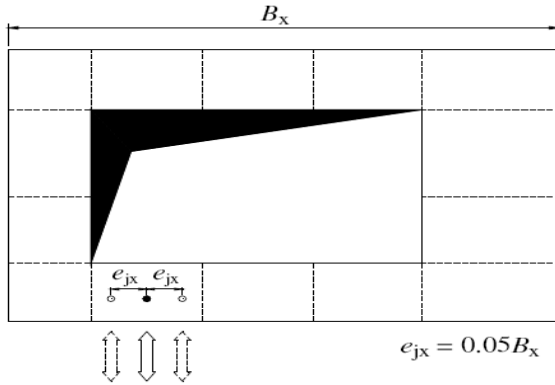
A2 türü düzensizliğin bulunduğu ve döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışmadığı binalarda, döşemelerin yatay düzlemdeki şekil değiştirmelerinin göz önüne alınmasını sağlayacak yeterlikte bağımsız statik yer değiştirme bileşeni hesapta göz önüne alınacaktır. Ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için, her katta çeşitli noktalarda dağılı bulunan tekil kütlelere etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin her biri, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun + %5'i ve - %5'i kadar kaydırılacaktır (Şekil 3.32b).

Binanın herhangi bir  $i$ 'nci katında A1 türü düzensizliğin bulunması durumunda,  $1.2 < \eta_{bi} \leq 2.0$  olmak koşulu ile, bu katta uygulanan  $\pm$  %5 ek dışmerkezlik, her iki deprem doğrultusu için Denklem (3.98)'de verilen  $D_i$  katsayısı ile çarpılarak büyütülecektir. (*Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 2006*)

$$D_i = \left( \frac{\eta_{bi}}{1.2} \right)^2 \quad (3.98)$$



(a)



(b)

Şekil 3.32. Ek dış merkezliliğin gösterim şeması

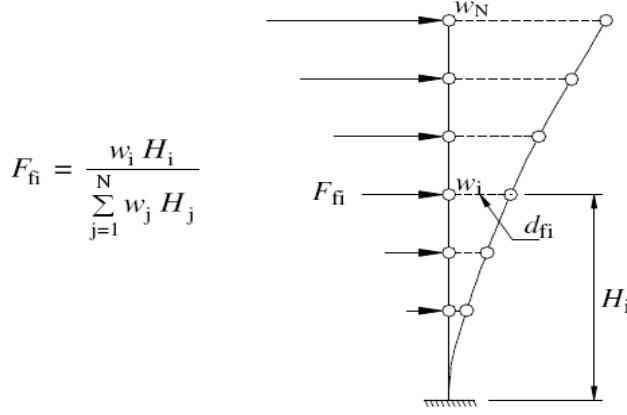
#### 3.2.4.1.2.4. Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Belirlenmesi

*Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi*'nin uygulanması durumunda, binanın deprem doğrultusundaki hakim doğal periyodu, Denklem (3.99) ile hesaplanan değerden daha büyük alınmayacaktır.

$$T_1 = 2\pi \left( \frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right)^{1/2} \quad (3.99)$$

$i$ 'ninci kat'a etkiyen fiktif yükü gösteren  $F_{fi}$ , Denklem (3.97)'de  $(V_t - \Delta F_N)$  yerine herhangi bir değer (örneğin birim değer) konularak elde edilecektir (Şekil 3.33). Ancak,

Denklem (3.99) ile hesaplanan değerden bağımsız olarak, bodrum kat(lar) hariç kat sayısı  $N > 13$  olan binaların doğal periyodu,  $0.1N$ 'den daha büyük alınmayacaktır. (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 2006)



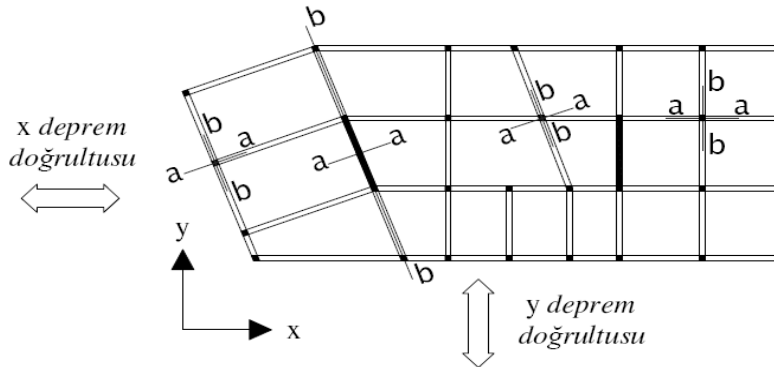
Şekil 3.33. Katlara etkiyen fiktif yükün şematik gösterimi

### 3.2.4.1.2.5. Eleman Asal Eksen Doğrultularındaki İç Kuvvetler

Taşıyıcı sisteme ayrı ayrı etki ettirilen x ve y doğrultularındaki depremlerin ortak etkisi altında, taşıyıcı sistem elemanlarının a ve b asal eksen doğrultularındaki iç kuvvetler, en elverişsiz sonucu verecek şekilde Denklem (3.100) ile elde edilecektir (Şekil 3.34).

$$B_a = \pm B_{ax} \pm 0.30 B_{ay} \text{ veya } B_a = \pm 0.30 B_{ax} \pm B_{ay}$$

$$B_b = \pm B_{bx} \pm 0.30 B_{by} \text{ veya } B_b = \pm 0.30 B_{bx} \pm B_{by} \quad (3.100)$$



Şekil 3.34. Depremlerin ortak etkisi altında, taşıyıcı sistem elemanlarının a ve b asal eksen doğrultularındaki oluşan iç kuvvetler

### 3.2.4.1.3. Mod Birleştirme Yöntemi

Bu yöntemde maksimum iç kuvvetler ve yer değiştirmeler, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilir.

#### 3.2.4.1.3.1. İvme Spektrumu

Herhangi bir n'inci titreşim modunda göz önüne alınacak *azaltılmış ivme spektrumu* ordinatı Denklem (3.101) ile belirlenecektir.

$$S_{aR}(T_n) = \frac{S_{ae}(T_n)}{R_a(T_n)} \quad (3.101)$$

Burada;

$S_{aR}(T_n)$ : n'inci doğal titreşim modu için azaltılmış spektral ivme,

$S_{ae}(T_n)$ : n'inci doğal titreşim modu için elastik spektral ivme,

$R_a(T_n)$ : Deprem yükü azaltma katsayısını ifade etmektedir.

Elastik tasarım ivme spektrumunun, “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 2006” Bölüm 2.4.4'e göre özel olarak belirlenmesi durumunda, Denklem (3.101)'daki  $S_{ae}(T_n)$  yerine, ilgili özel spektrum ordinatı göz önüne alınacaktır.

#### 3.2.4.1.3.2. Göz Önüne Alınacak Dinamik Serbestlik Dereceleri

Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her bir katta, birbirine dik doğrultularda iki yatay serbestlik derecesi ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme serbestlik derecesi göz önüne alınacaktır. Her katta modal deprem yükleri bu serbestlik dereceleri için hesaplanacak, ancak ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi amacıyla, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun + %5'i ve - %5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara ve ek bir yükleme olarak kat kütle merkezine uygulanacaktır (Şekil 3.32a).

A2 başlığı altında tanımlanan döşeme süreksizliğinin bulunduğu ve döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışmadığı binalarda, döşemelerin kendi düzlemleri içindeki şekil değiştirmelerinin göz önüne alınmasını sağlayacak yeterlikte dinamik

serbestlik derecesi göz önüne alınacaktır. Ek dışmerkezlilik etkisinin hesaba katılabilmesi için, her katta çeşitli noktalarda dağılı bulunan tekil kütlelere etkiyen modal deprem yüklerinin her biri, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun + %5'i ve -%5'i kadar kaydırılacaktır (Sekil 3.32b). Bu tür binalarda, sadece ek dışmerkezlilik etkilerinden oluşan iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri Bölüm 3.2.4.1.2.'ye göre de hesaplanabilir. Bu büyüklükler, ek dışmerkezlilik etkisi göz önüne alınmaksızın her bir titreşim modu için hesaplanarak Bölüm 3.2.4.1.3.4.'e göre birleştirilen büyüklüklere doğrudan eklenecektir. (*Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 2006*)

### 3.2.4.1.3.3. Hesaba Katılacak Yeterli Titreşim Modu Sayısı

Hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı  $Y$ , göz önüne alınan birbirine dik  $x$  ve  $y$  yatay deprem doğrultularının her birinde, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının hiçbir zaman bina toplam kütlelerinin %90'ından daha az olmaması kuralına göre belirlenecektir:

$$\sum_{n=1}^Y M_{xn} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{xn}^2}{M_n} \geq 0.90 \sum_{i=1}^N m_i$$

$$\sum_{n=1}^Y M_{yn} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{yn}^2}{M_n} \geq 0.90 \sum_{i=1}^N m_i \quad (3.102)$$

Denklem (3.102)'de yer alan  $L_{xn}$  ve  $L_{yn}$  ile modal kütle  $M_n$ 'nin ifadeleri, kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalar için aşağıda verilmiştir.

$$L_{xn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{xin} \quad ; \quad L_{yn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{yin}$$

$$M_n = \sum_{i=1}^N (m_i \Phi_{xin}^2 + m_i \Phi_{yin}^2 + m_{\Phi_i} \Phi_{\Phi_{in}}^2) \quad (3.103)$$

Burada;

$m_i$ : Binanın  $i$ 'nci katının kütlesi ( $m_i = w_i/g$ ),

$m_{\Phi_i}$ : Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalışması durumunda, binanın  $i$ 'nci katının kaydırılmamış kütle merkezinden geçen düşey eksene göre kütle eylemsizlik momenti,

$\Phi_{xin}$ : Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda,  $n$ 'inci mod şeklinin  $i$ 'nci katta  $x$  eksenine doğrultusundaki yatay bileşeni,



$\Phi_{yin}$  : Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, n'inci mod şeklinin i'ninci katta y eksenini doğrultusundaki yatay bileşeni,

$\Phi_{\phi_{in}}$  : Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, n'inci mod şeklinin i'ninci katta düşey eksen etrafındaki dönme bileşenini ifade etmektedir.

Bodrum katlarında rijitliği üst katlara oranla çok büyük olan betonarme çevre perdelerinin bulunduğu ve bodrum kat döşemelerinin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binaların hesabında, sadece bodrum katların üstündeki katlarda etkin olan titreşim modlarının göz önüne alınması ile yetinilebilir. Bu durumda, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi için Bölüm 3.2.4.1.2.2.'de verilen (a) paragrafının karşılığı olarak *Mod Birleştirme Yöntemi* ile yapılacak hesapta, bodrumdaki rijit çevre perdeleri göz önüne alınmaksızın R katsayısı kullanılacak ve sadece üstteki katların kütleleri göz önüne alınacaktır. Bölüm 3.2.4.1.2.2.'nin (b) ve (c) paragrafları ise aynen uygulanacaktır. (*Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 2006*)

#### 3.2.4.1.3.4. Mod Katkılarının Birleştirilmesi

Binaya etkiyen toplam deprem yükü, kat kesme kuvveti, iç kuvvet bileşenleri, yer değiştirme ve göreceli kat öteleme gibi büyüklüklerin her biri için ayrı ayrı uygulanmak üzere, her titreşim modu için hesaplanan ve eş zamanlı olmayan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi için uygulanacak kurallar aşağıda verilmiştir:

$T_m < T_n$  olmak üzere, göz önüne alınan herhangi iki titreşim moduna ait doğal periyotların daima  $T_m / T_n < 0.80$  koşulunu sağlaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için *Karelerin Toplamının Kare Kökü Kuralı* uygulanabilir.

Yukarıda belirtilen koşulun sağlanamaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için *Tam Karesel Birleştirme (CQC) Kuralı* uygulanacaktır. Bu kuralın uygulanmasında kullanılacak *çapraz korelasyon katsayıları*'nın hesabında, modal sönüm oranları bütün titreşim modları için %5 olarak alınacaktır. (*Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 2006*)

### 3.2.4.1.3.5. Hesaplanan Büyüklüklere İlişkin Alt Sınır Değerleri

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, Bölüm 3.2.4.1.3.'e göre birleştirilerek elde edilen bina toplam deprem yükü  $V_{tB}$ 'nin, *Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi*'nde Denklem (3.92)'den hesaplanan bina toplam deprem yükü  $V_t$ 'ye oranının aşağıda tanımlanan “ $\beta$ ” değerinden küçük olması durumunda ( $V_{tB} < \beta V_t$ ), *Mod Birleştirme Yöntemi*'ne göre bulunan tüm iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri, Denklem (3.104)'e göre büyütülecektir.

$$B_D = \frac{\beta V_t}{V_{tB}} B_B \quad (3.104)$$

A1, B2 veya B3 türü düzensizliklerden en az birinin binada bulunması durumunda Denklem (3.104)'de  $\beta=0.90$ , bu düzensizliklerden hiçbirinin bulunmaması durumunda ise  $\beta=0.80$  alınacaktır.

### 3.2.4.1.3.6. Eleman Asal Eksen Doğrultularındaki İç Kuvvetler

Taşıyıcı sisteme ayrı ayrı etki ettirilen x ve y doğrultularındaki depremlerin ortak etkisi altında, taşıyıcı sistem elemanlarının a ve b asal eksen doğrultularında Bölüm 3.2.4.1.3.'e göre birleştirilerek elde edilen iç kuvvetler için Bölüm 3.2.4.1.2.5.'te verilen birleştirme kuralı ayrıca uygulanacaktır (Şekil 3.34).

### 3.2.4.1.4. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri

Bina ve bina türü yapıların zaman tanım alanında doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan deprem hesabı için, yapay yollarla üretilen, daha önce kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareketleri kullanılabilir. (*Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 2006*)

#### 3.2.4.1.4.1. Yapay Deprem Yer Hareketleri

Yapay yer hareketlerinin kullanılması durumunda, aşağıdaki özellikleri taşıyan en az üç deprem yer hareketi üretilenektir.

(a) Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.

(b) Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması  $A_{0g}$ 'den daha küçük olmayacaktır.

(c) Yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyot  $T_1$ 'e göre  $0.2T_1$  ile  $2T_1$  arasındaki periyotlar için, “*Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 2006*” Bölüm 2.4'te tanımlanan  $S_{ae}(T)$  elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır. Zaman tanım alanında doğrusal elastik analiz yapılması durumunda, azaltılmış deprem yer hareketinin elde edilmesi için esas alınacak spektral ivme değerleri Denklem (3.101) ile hesaplanacaktır.

#### **3.2.4.1.4.2. Kaydedilmiş veya Benzeştirilmiş Deprem Yer Hareketleri**

Zaman tanım alanında yapılacak deprem hesabı için kaydedilmiş depremler veya kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş yer hareketleri kullanılabilir. Bu tür yer hareketleri üretilirken yerel zemin koşulları da uygun biçimde göz önüne alınmalıdır. Kaydedilmiş veya benzeştirilmiş yer hareketlerinin kullanılması durumunda en az üç deprem yer hareketi üretilecek ve bunlar Bölüm 3.2.4.1.4.1'de verilen tüm koşulları sağlayacaktır. (*Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 2006*)

#### **3.2.4.1.4.3. Zaman Tanım Alanında Hesap**

Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yapılması durumunda, taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki dinamik davranışını temsil eden iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları, teorik ve deneysel geçerlilikleri kanıtlanmış olmak kaydıyla, ilgili literatürden yararlanılarak tanımlanacaktır. Doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım için esas alınacaktır. (*Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 2006*)

### 3.2.4.2. UBC – 97 Yönetmeliğinin Taban İzolasyonlu Yapılar ile İlgili Şartları

#### 3.2.4.2.1. Sismik Risk Düzeyi

Sismik risk düzeyini belirlemek amacıyla yönetmelikte iki risk faktörü tanımlanmıştır. Bunlar;

- Tasarım esaslı deprem (DBE) “Design Basis Earthquake”

Tasarım depremi, 50 yıl içerisinde meydana gelen ve aşılma ihtimalinin %10 olduğu depremlerdir. 475 yılda bir oluşan deprem periyoduna tekabül etmektedir.

- Olabilecek maksimum hesap depremi (MCE) “Maksimum Capable Earthquake”

Yapının bulunduğu bölgede olması beklenen maksimum şiddetteki yer sarsıntısıdır. 1000 yıllık periyotlarda, 100 yıllık zaman dilimi içerisinde aşılma ihtimalinin %10 olduğu depremlerdir. (American Structural Engineering Design Provisions, 1997)

#### 3.2.4.2.2. Tasarım Metotları

Yönetmelik genel olarak, yer değiştirmelerin taban izolasyon seviyesinde kaldığı ve üst yapının rijit davrandığı varsayımı üzerine kurulmuştur. Bu nedenle, bu yönetmeliğe göre ilk titreşim modu çok önemlidir. Yönetmelikte yer alan minimum koşullar, statik analiz sonucunda elde edilen kuvvet ve deplasmanlardır. Bu bakımdan statik analiz, ön tasarım ve boyutlandırma için çok önemli bir husustur. (Ünal Ö., 2001) Analiz tipinin belirlenmesi açısından, yerel zemin koşulları da önemli bir faktördür. Yerel zemin koşullarına bağlı olarak;

- İzole edilecek yapı yumuşak zemine oturuyorsa (S3 veya S4),
- İzole edilecek yapı bilinen bir aktif fay hattına 10 km. mesafe dahilinde ise,
- İzole edilecek yapı MCE periyodu 3 saniyeden büyük ise,

spektral analiz zorunludur. Aynı zamanda spektral analiz;

- Üstyapı yatayda ve düşeyde düzensiz ise,
- Yapı dört kattan veya 19,8 m’den daha yüksek ise,
- Yapının izolasyon periyodu (DBE) ankastre mesnetli periyottan 3 kat büyük ise,

zorunlu tutulmaktadır. Zaman tanım alanında analiz de, davranış spektrumu analiziyle aynı koşullarda yapılması zorunludur.

### 3.2.4.2.3. Statik Analiz

Statik analiz formülleriyle yer değiştirme ve kuvvetler hesaplanır. 1 – 3 sn periyot aralığında 0.60 m/sn sabit hızlı spektradan oluşur. UBC – 94 ve OSHPD – 96’da hız spektrum değerleri “Applied Technology Council – ATC\_3\_06” şartından üretilmiştir ve yer değiştirme spektrumu,

$S_D = S_V / \omega = (T/2\pi) * (Z/4) * (0.60)$  şeklinde ifade edilir. Spektrum, zemin faktörü ve sönüm faktörü etkileri ile diğer sismik bölgeler için de düzenlenerek tasarım yer değiştirmesi  $D$ 'ye ulaşılır.

Yönetmeliğe göre hesaplanacak olan yer değiştirmenin üç düzeyi vardır. Bunlar;

- $D$ , tasarım yer değiştirmesi, izolasyon sisteminin DBE düzeyinde deprem etkisinde rijitlik merkezindeki yer değiştirme
- $D_T$ , toplam tasarım yer değiştirmesi,  $D$  yer değiştirmesi yönünde burulma yer değiştirmesi bileşenlerini de içeren, binanın köşesindeki bir mesnedin yer değiştirmesi
- $D_{TM}$ , toplam maksimum yer değiştirme, MCE düzeyinde deprem etkisinde hesaplanan toplam tasarım yer değiştirmesi

Tasarım yer değiştirmesi  $D$ , tüm tasarım sürecinin başlangıcıdır ve dinamik analiz şart koşulsun ya da koşulmasın hesaplanmalıdır.

$$D = 0.25 Z N S_1 T_1 / B \quad (3.105)$$

$Z$ : sismik bölge katsayısı

$S_1$ : zemin katsayısı

$T_1$ : efektif periyot (sn)

$B$ : sönüm katsayısı

Ayrıca yönetmeliğe göre hesaplanması gereken iki temel yer değiştirme faktörü vardır.

Bunlar, DBE düzeyindeki  $D_D$  ve MCE düzeyindeki  $D_M$  yer değiştirmeleridir.

$$D_D = \frac{g C_{VD} T_D}{B_D (4\pi^2)} \quad (3.106)$$

$$D_M = \frac{g C_{VM} T_M}{B_M (4\pi^2)} \quad (3.107)$$

Burada;  $g$  yer çekimi ivmesi,  $C_{VD}$  ve  $C_{VM}$  sismik katsayılar,  $T_D$  ve  $T_M$  izolasyon periyotları,  $B_D$  ve  $B_M$  sönüm katsayılarıdır.

### 3.2.4.2.3.1. Sismik Bölge Faktörü

Sismik bölge faktörü  $Z$ , aşağıdaki Tabloda görüldüğü üzere bölge 1 için 0.75 ile bölge 4 için 0.40 arasında değişim göstermektedir.

Çizelge 3.3. Sismik zemin faktörü ( $Z$ )

Bölge	1	2A	2B	3	4
$Z$	0,075	0,15	0,20	0,30	0,40

### 3.2.4.2.3.2. Zemin Profili Tipi

Zeminin üst 30.50 m'sindeki kayma dalgasının hızına göre belirlenir ve  $S_A$ 'dan  $S_E$ 'ye zemin profil tipi olarak adlandırılır. Hız, sert kaya zeminler ( $S_A$ ) için 1500 m/sn'den büyük ve yumuşak zeminler ( $S_E$ ) için de 180 m/sn'den küçük olmalıdır. Bir başka zemin profil tipi  $S_F$ , sıvılaşma tehlikesi olan zayıf zeminleri temsil eder ve kayma hızına bağlı olarak değerlendirilmez.

Çizelge 3.4. Zemin profil tipinin tayini

Zemin Profil Tipi	Zeminin Tanımı	Zeminin En Üst Seviyesi 30.50 m'sindeki Özelliklerine Bağlı Kayma Hızı		
		Kayma Dalga Hızı (m/sn)	Standart Penetrasyon Testi (Blows/foot)	Akısız Kayma Mukavemeti (kPa)
$S_A$	Sert Kaya	>1500	-	-
$S_B$	Kaya	760 - 1500	-	-
$S_C$	Yumuşak Kaya	360 - 760	>50	>100
$S_D$	Sıkı Zemin	180 - 360	15 - 50	50 - 100
$S_E$	Yumuşak Zemin	<180	>15	<50
$S_F$	Sıvılaşma Tehlikesi Olan Zayıf Zemin			

### 3.2.4.2.3.3. Sismik Kaynak Tipleri (A, B ve C)

Sismik fay hatları, taşıdıkları riske göre A, B ve C olmak üzere üç kategoride gruplandırılabilirler:

*A tipi faylar*; büyük magnitudlü ( $M \geq 7.0$ ) depremler oluşturabilecek ve sismik aktivitenin yüksek oranda (yıllık ortalama sismik yırtılmanın (SR) 5 mm ya da daha fazla) olduğu faylar,

*C tipi faylar*; orta magnitüdü ( $M < 6.5$ ) depremler oluşturabilecek ve düşük oranda sismik aktiviteye sahip ( $SR \leq 2$  mm.) faylar,

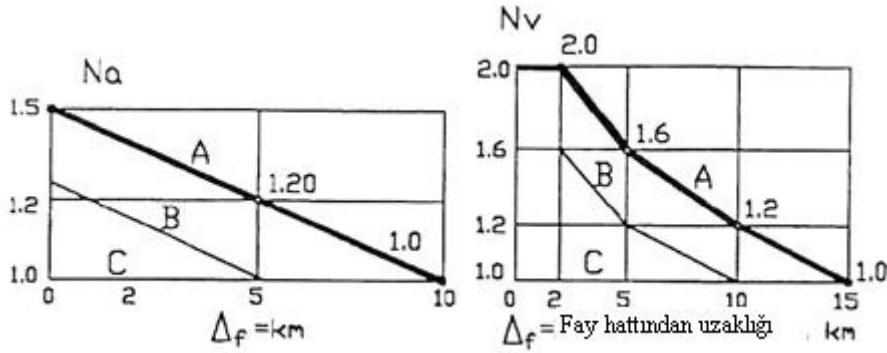
*B tipi faylar*; A ve C tipleri dışındaki tüm fay hatları da B tipi faylara girer.

Çizelge 3.5. Sismik kaynak tipleri

Kaynak Tipi	Magnitüd (M)	Kayma oranı (SR)
A	$M \geq 7$	$SR \geq 5$ mm
B	$6.5 < M < 7$	$2 < SR < 5$ mm
C	$M < 6,5$	$SR \leq 2$ mm

### 3.2.4.2.3.4. Kaynak Yakınlığı Faktörü

Aktif fay yakınlık faktörünü modellemek için  $N_a$  ve  $N_v$  şeklinde iki faktör kullanılır.  $N_a$ , kısa periyot aralığında sabit ivmeli tepki spektrası için;  $N_v$  ise, sismik izolasyon uygulamalarında öncelikli olarak kullanılan orta periyot aralığında veya tepki spektrasının sabit hızlı bölümü için uygulanır. UBC – 97'ye göre kaynak mesafesi, yapının yapılacağı zemin ile fay kırığının yüzeydeki düşey izdüşümü arasındaki en yakın mesafe olarak tanımlanır. 10 km' nin daha derinindeki kırıklar için kaynak yakınlığı etkisi ihmal edilir (Şekil 3.35 ve Çizelge 3.6–3.7).



Şekil 3.35. Sismik kaynak faktörü  $N_a$  ve  $N_v$

Çizelge 3.6. Sismik kaynak faktörü ( $N_a$ )

Sismik Kaynak Tipi	$N_a$		
	$\leq 2$ km	5 km	$\geq 10$
A	1.5	1.2	1.0
B	1.3	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0

Çizelge 3.7. Sismik kaynak faktörü ( $N_v$ )

Sismik Kaynak Tipi	$N_v$			
	$\leq 2$ km	5 km	10 km	$\geq 15$
A	2.0	1.6	1.2	1.0
B	1.6	1.2	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0

### 3.2.4.2.3.5. MCE Tepki Katsayısı

MCE tepki katsayısı  $M_M$ , DBE karakteristiklerinde MCE tepkisini dikkate almak için kullanılır.  $M_M$ ,  $ZN_v$  çarpımının bir fonksiyonu olarak Çizelge 3.8.'de gösterildiği üzere  $ZN_v=0.075$  için 2.67'den  $ZN_v \geq 0.50$  için 1.20'ye kadar değerler alır.

Çizelge 3.8. Meydana gelebilecek maksimum deprem katsayısı

Tasarım Depremi Sarsıntı Şiddeti $ZN_v$	Olabilecek Maksimum Deprem Katsayısı $M_M$
0,075	2,67
0,15	2,00
0,20	1,75
0,30	1,50
0,40	1,25
$\geq 0,50$	1,20

Daha küçük DBE etkilerinde  $M_M$  değerinin büyük olmasının nedeni, depremselliği düşük olan bölgelerden depremselliği yüksek bölgelere göre DBE ve MCE etkileri arasındaki farkın daha büyük olmasıdır.

### 3.2.4.2.3.6. Spektral Sismik Katsayılar

Bu katsayılar,  $C_{VD}$ ,  $C_{VM}$  ve  $C_{AD}$ ,  $C_{AM}$  olarak ifade edilir ve tasarımda kullanılacak minimum spektral ordinatları tanımlamak için kullanılır.  $C_{VD}$  ve  $C_{AD}$ , DBE spektrumunun sabit hız ve sabit ivmesine karşı gelirken;  $C_{VM}$  ve  $C_{AM}$  ise MCE spektrumunun sabit hız ve ivmesine karşı gelmektedir. Aslında sismik izolasyonlu yapılar için tanımlanan  $C_{VD}$  ve  $C_{AD}$  katsayıları, ankastre yapılar için tanımlanan  $C_V$  ve  $C_A$  katsayılarıyla aynıdır.

$C_{VD}$  ve  $C_{AD}$ , sismik bölge faktörü ve zemin profil tipinin fonksiyonlarıdır. Dördüncü bölge için grafikte gösterilen değerler, kaynak yakınlığı faktörleri  $N_a$  veya  $N_v$  ile



çarpılmalıdır. Aynı işlemler  $C_{VM}$  ve  $C_{AM}$  için de geçerlidir, ama burada MCE tepki katsayısı devreye girer.  $M_M ZN_v$  veya  $M_M ZN_a$  değerlerinin 0.40'tan büyük olduğu durumlarda, grafikteki değerler (Çizelge 3.9-3.12) bu büyüklüklerle çarpılmalıdır.

Çizelge 3.9. Sismik deprem katsayısı ( $C_V$ )

Zemin Tipi	Sismik Zemin Katsayısı $C_V$				
	$Z=0,075$	$Z=0,15$	$Z=0,20$	$Z=0,30$	$Z=0,40$
$S_A$	0,06	0,12	0,16	0,24	0,32 $N_v$
$S_B$	0,08	0,15	0,20	0,30	0,40 $N_v$
$S_C$	0,13	0,25	0,32	0,45	0,56 $N_v$
$S_D$	0,18	0,32	0,40	0,54	0,64 $N_v$
$S_E$	0,26	0,50	0,64	0,84	0,96 $N_v$
$S_F$	Bu tür zeminlerde, sismik zemin katsayısına geoteknik araştırmalar ve dinamik analiz sonucunda karar verilir				

Çizelge 3.10. Sismik deprem katsayısı ( $C_A$ )

Zemin Tipi	Sismik Zemin Faktörü, $Z$				
	$Z=0,075$	$Z=0,15$	$Z=0,2$	$Z=0,30$	$Z=0,40$
$S_A$	0,06	0,12	0,16	0,24	0,32 $N_a$
$S_B$	0,08	0,15	0,20	0,30	0,40 $N_a$
$S_C$	0,09	0,18	0,24	0,33	0,40 $N_a$
$S_D$	0,12	0,22	0,28	0,36	0,44 $N_a$
$S_E$	0,19	0,30	0,34	0,36	0,36 $N_a$
$S_F$	Bu tür zeminlerde, sismik zemin katsayısına geoteknik araştırmalar ve dinamik analiz sonucunda karar verilir				

Çizelge 3.11. Sismik zemin katsayısı ( $C_{AM}$ )

Zemin Tipi	Maksimum Deprem Sarsıntı Şiddeti $M_M ZN_a$				
	$M_M ZN_a=0,075$	$M_M ZN_a=0,15$	$M_M ZN_a=0,2$	$M_M ZN_a=0,30$	$M_M ZN_a=0,40$
$S_A$	0,06	0,12	0,16	0,24	0,8 $M_M ZN_a$
$S_B$	0,08	0,15	0,20	0,30	1,0 $M_M ZN_a$
$S_C$	0,09	0,18	0,20	0,30	1,0 $M_M ZN_a$
$S_D$	0,12	0,22	0,28	0,36	1,1 $M_M ZN_a$
$S_E$	0,19	0,30	0,34	0,36	0,9 $M_M ZN_a$
$S_F$	Bu tür zeminlerde, sismik zemin katsayısına geoteknik araştırmalar ve dinamik analiz sonucunda karar verilir				

Çizelge 3.12.Sismik zemin katsayısı ( $C_{VM}$ )

Zemin Tipi	Maksimum Deprem Sarsıntı Şiddeti $M_M ZN_v$				
	$M_M ZN_v=0,075$	$M_M ZN_v=0,15$	$M_M ZN_v=0,2$	$M_M ZN_v=0,30$	$M_M ZN_v=0,40$
$S_A$	0,06	0,12	0,16	0,24	$0,8 M_M ZN_v$
$S_B$	0,08	0,15	0,20	0,30	$1,0 M_M ZN_v$
$S_C$	0,13	0,25	0,32	0,45	$1,4 M_M ZN_v$
$S_D$	0,18	0,32	0,40	0,54	$1,6 M_M ZN_v$
$S_E$	0,26	0,50	0,64	0,84	$2,4 M_M ZN_v$
$S_F$	Bu tür zeminlerde, sismik zemin katsayısına geoteknik araştırmalar ve dinamik analiz sonucunda karar verilir				

### 3.2.4.2.3.7. Sönüm Katsayıları

Sistemdeki efektif sönüm; DBE düzeyinde  $\beta_D$ , MCE düzeyinde  $\beta_M$ 'dir ve aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\beta_D = 1/2\pi ( W_D / K_{D,max} D_D^2 ) \quad (3.108)$$

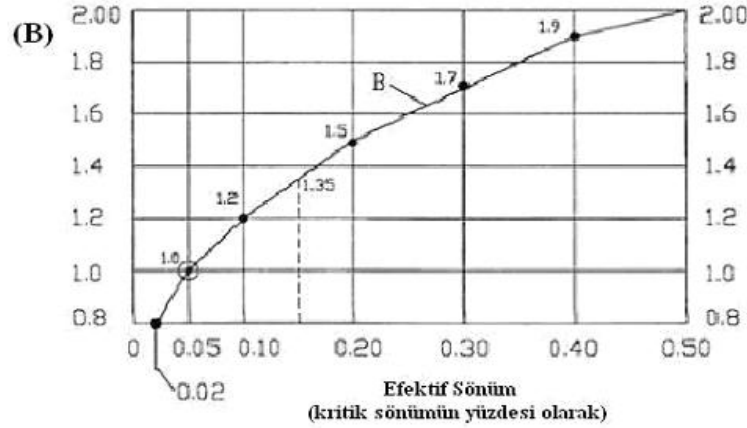
$$\beta_M = 1/2\pi ( W_M / K_{M,max} D_M^2 ) \quad (3.109)$$

Burada,  $W_D$  ve  $W_M$  kuvvet – yer değiştirme grafiğini,  $K_{D,max}$  ve  $K_{M,max}$  bölüm 3.2.4.2.3.8.'de bahsedilecek efektif rijitliklerdir. Sönüm azaltma faktörü B (DBE için  $B_D$ , MCE için  $B_M$ ) ara değerlerin doğrusal enterpolasyonla bulunacağı,  $\beta$ 'nın bir fonksiyonu olarak verilmiştir (Çizelge 3.13). Buna göre formülasyon,

$1/B=0.25(1-\ln\beta)$  şeklinde ifade edilebilir. Bu formülasyon yardımıyla çeşitli sönüm oranlarına karşılık gelen sönüm katsayıları aşağıdaki gibi (Çizelge 3.13) bulunarak, Şekil 3.36'daki grafik elde edilir.

Çizelge 3.13. Sönüm katsayıları

Efektif Sönüm ( $\beta_i$ ) (kritik sönümün yüzdesi olarak)	Sönüm Katsayısı B
%2 ve aşağısı	0.8
%5	1.0
%10	1.2
%20	1.5
%30	1.7
%40	1.9
%50 ve yukarısı	2.0



Şekil 3.36.Etkifif sönüm – sönüm katsayısı grafiği

### 3.2.4.2.3.8. Etkifif Sistem Titreşim Periyotları

$T_D$  ve  $T_M$  periyotları DBE ve MCE tepkilerinin karşılığı olarak aşağıda verilmiştir.

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{D,\min} g}} \quad T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{M,\min} g}} \quad (3.110)$$

Burada;

W: Yapının ağırlığı

g: Yer çekimi ivmesidir.

$$K_{D,\text{eff}} = (F_D^+ - F_D^-) / (D_D^+ - D_D^-)$$

$$K_{M,\text{eff}} = (F_M^+ - F_M^-) / (D_M^+ - D_M^-)$$

$K_{D,\min}$  = Test sonucunda bulunan  $D_D$  yer değiştirmesindeki  $K_{D,\text{eff}}$  değerinin minimumu,

$K_{D,\max}$  = Test sonucunda bulunan  $D_D$  yer değiştirmesindeki  $K_{D,\text{eff}}$  değerinin maksimumu,

$K_{M,\min}$  = Test sonucunda bulunan  $D_M$  yer değiştirmesindeki  $K_{M,\text{eff}}$  değerinin minimumu,

$K_{M,\max}$  = Test sonucunda bulunan  $D_M$  yer değiştirmesindeki  $K_{M,\text{eff}}$  değerinin maksimumudur.

$K_{D,\min}$ ,  $K_{D,\max}$ ,  $K_{M,\min}$  ve  $K_{M,\max}$  değerleri ön boyutlandırma aşamasında bilinmezler. İlk olarak  $K_{\text{eff}}$  için daha önceki test ve malzeme özellikleri kullanılarak belirlenen herhangi bir değer atanarak ön tasarıma başlanır. Ön boyutlandırma tamamlandıktan sonra,

prototip izolatörler sipariş edilir ve test edilir. Prototiplere uygulanan bu testlerin sonucunda  $K_{D,min}$ ,  $K_{D,max}$ ,  $K_{M,min}$  ve  $K_{M,max}$  değerleri bulunur.  $F_D^+$ ,  $F_D^-$ ,  $D_D^+$ ,  $D_D^-$ ,  $F_M^+$ ,  $F_M^-$ ,  $D_M^+$ ,  $D_M^-$  terimleri, sistemin mekanik karakteristiklerini belirleyen, prototip mesnetlerdeki DBE ve MCE tepki düzeylerine karşılık gelen maksimum kuvvet ve yer değiştirmelerdir. Dinamik analiz için statik analizin bu sonuçları, sınır(minimum) değerleri oluşturmaktadır.

### 3.2.4.2.3.9. Toplam Tasarım Yer Değiştirmeleri

Burulma etkilerini de içeren toplam tasarım yer değiştirme ifadeleri aşağıda verilmiştir.

$$D_{TD} = D_D[1+y(12e / (b^2+d^2))] \quad (3.111)$$

$$D_{TM} = D_M[1+y(12e / (b^2+d^2))] \quad (3.112)$$

Burada;

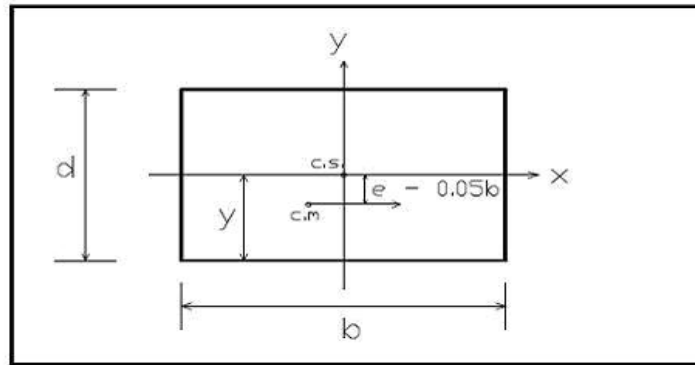
e, gerçek dış merkezlik ve ek dış merkezliğin toplamı

y, deprem doğrultusuna dik kenar uzaklığıdır. Bu formüller, deprem yükü  $K_{eff}D$ 'nin rijitlik merkezinden e mesafedeki kütle merkezinde etkidiği üzere oluşturulmuştur.

Boyutları b x d olan izolatörlerin düzgün yayılı olduğu bir dikdörtgen planda (Şekil 3.37) izolasyon sisteminin burulma rijitliği  $K_{eff}(b^2+d^2)/12$ 'dir ve dönme aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\theta = (K_{eff}De)/K_{eff}[(b^2+d^2)/12]= 12De/(b^2+d^2) \quad (3.113)$$

Dönmeden dolayı oluşan ek yer değiştirme,  $[12De/(b^2+d^2)]y$  olarak verilmiştir.



Şekil 3.37. Dış merkezliği hesaba katan toplam yer değiştirme hesabı için plan boyutları

Sistemin gerçek burulma rijitliği hesaplanacak olursa ve ek yer değiştirme yukarıda verilen değerden küçük kalırsa, hesaplanan değer kullanılır. Bu değer 1.1  $D_D$  ve 1.1  $D_M$  değerinden küçük olamaz. İzolasyon sisteminin stabilitesinin belirlenebilmesi için  $D_{TM}$  yer değiştirmesinin bilinmesi gerekmektedir.

### 3.2.4.2.3.10. Tasarım Kuvvetleri

İzolasyon sisteminin altında kalan elemanların tasarımı için kullanılacak olan kuvvetler tasarım yer değiştirmesi  $D$ 'ye bağlı olarak aşağıda verilmiştir.

$$V_b = K_{D,max} D_D \quad (3.114)$$

İzolasyon sistemi üstünde bulunan elemanların tasarımında kullanılacak, tasarım kuvvetleri de aşağıda verildiği gibidir.

$$V_s = K_{D,max} D_D / R_1 \quad (3.115)$$

Burada  $R_1$ , taban izolasyonlu yapılar için 1.4 ile 2.0 arasında değişen tasarım kuvveti süneklik faktörüdür. Aşağıdaki Çizelge 3.14'de gösterilen değerler; çeşitli taşıyıcı sistemler için, ankastre mesnetli ve izole edilmiş yapılara ait  $R$  değerlerini karşılaştırmalı olarak göstermektedir.

Çizelge 3.14. Ankastre mesnetli yapı ile izolasyonlu yapının (UBC-97) sünekliğe bağlı azaltma faktörleri

Taşıyıcı Sistem	$R_1$	$R$
Moment aktaran çerçeve	2.0	8.5
Perde duvar	2.0	5.5
Merkezi çaprazlı çerçeve	1.6	5.6
Dışmerkez çaprazlı çerçeve	2.0	7.0

Yukarıdaki Tabloda dikkati çeken önemli bir husus; izolasyonlu yapıların azaltma katsayılarının, ankastre mesnetli yapılara oranla oldukça düşük olmasıdır. Bunun nedenleri şunlardır:

En önemli neden izolasyonlu sistemin periyodunun artmış olmasıdır. Yapı, akma sınırını geçtikten sonra yani akmaya başladıktan sonra izolasyon sistemi sayesinde yapının periyodu uzar ve yapıya gelen deprem kuvveti azalır. Aynı zamanda yapıdaki sönüm, elastik olmayan şekil değiştirmelerin etkisiyle histerik davranış sebebiyle artar. Bunlara ek olarak, yeniden dağılım ilkesi gereğince kapasite üstü etkiler taşıyıcı

sistemin tüm elemanları tarafından karşılanır. Taban izolasyon sistemi uygulanmış yapılarda sadece yeniden dağılım söz konusudur.

Periyodun artması, izolasyon sisteminin etkinliğini öne çıkarır, çünkü ankastre mesnetli yapının periyodu ile izolasyon sistemli yapının periyodu arasındaki ayırım azalır bu nedenle yapıya daha büyük kuvvetler etkir ve yüksek modların katkısı artar. Buna ek olarak, izolasyonlu yapıda sönüm, ankastre mesnetli yapıdakinden daha fazla olamaz. Tüm bu sebeplerden dolayı, aynı taşıyıcı sistem için  $R_1$  faktörü  $R$  faktörlerinden küçük alınır. Büyük süneklik, yapıda yapısal ve yapısal olmayan elemanların hasar görmesine sebep olabilir. Bu nedenle  $R_1$  değerinin küçük alınması, izolasyonlu yapılarda hasar kontrolü sağlamış olur.

Hesaplanan  $V_s$  değeri;

- UBC şartlarının ankastre mesnetli yapılar için öngördüğü deprem kuvvetinden,
- Tasarım rüzgar yükünden,
- Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler için akma yükü, kayıcı mesnetler için akma sınırı olarak tanımlanan izolasyon sistemini harekete geçirecek yatay kuvvetin 1.5 katından,

daha az olamaz.

### 3.2.4.2.3.11. Yatay Deprem Kuvvetinin Yapı Yüksekliğince Katlara Dağılımı

Deprem kuvvelerinin yapı yüksekliğince dağılımı aşağıdaki gibidir.

$$F_x = V_s \frac{h_x W_x}{\sum_{i=1}^N (W_i h_i)} \quad (3.116)$$

Burada;

$F_x$  : x katındaki yatay kuvvet

$V_s$  : izolasyon sistemi üzerindeki elemanların tasarımında kullanılacak taban kesme kuvveti

$w_x, w_i$  : x. ve i. katın ağırlığı

$h_x, h_i$  : izolasyon seviyesinden itibaren ölçülen kat yükseklikleridir.

Bu denklem, kurşun çekirdekli kauçuk mesnet ve kayıcı mesnetlerin doğrusal olmayan davranışlarının oluşturacağı yüksek mod katkılarını da dikkate alacak şekilde düşeyde üçgensel bir dağılım gösterir.

### 3.2.4.2.3.12. Yer Değiştirme Sınır Şartları

Üst yapıdaki katlar arasındaki en büyük görelî kat ötelenmesinin  $0.01/R_1$  değerini aşmaması gerekmektedir.

### 3.2.4.2.4. Dinamik Analiz

Yönetmelikte, MCE deprem ivmesi altında ve zemin koşullarına bağılı olarak,

- $T_M \geq 3.0$  saniye ise
- Zemin cinsi  $S_E, S_F$  ise
- Yapı, aktif bir fayın 10 km. dahilinde bulunuyor ise dinamik analiz zorunludur.

Ayrıca yönetmelik, izole edilmiş yapı periyodu  $T_D$ 'nin, izolasyon sistemi üzerindeki yapının ankastre mesnetli yapı periyodunun üç katından büyük olması durumunda dinamik analizi mecburi kılmıştır. Zemin koşullarına bağılı bir spektrum kullanılması durumunda bu spektrum, yönetmelik tepki spektrumunun %80'inin altında olmamalıdır.

Dinamik analiz neticesinde, statik analiz sonucu bulunan tasarım kuvvetleri ve yer değiştirmelerinin altında değerler bulunabilir. Yönetmelik bu değerleri aşağıda verilen Çizelge 3.15'teki gibi sınırlandırmıştır.

Çizelge 3.15. Yönetmelik minimum değerleri

Parametre	Statik Analiz	Tepki Spektrumu Analizi	Zaman Tanım Alanı Analizi
$D_{TD}$	$D_{TD} > 1.10D_D$	$0.90 D_{TD}$	$0.90 D_{TD}$
$D_{TM}$	$D_{TM} > 1.10D_M$	$0.80 D_{TM}$	$0.80 D_{TM}$
$V_b$	$V_b = K_{D,max}D_D$	$>0.90V_b$	$>0.90V_b$
$V_s$ (düzenli yapı)	$V_s = K_{D,max}D_D/RI$	$>0.80V_s$	$>0.60V_s$
$V_s$ (düzensiz yapı)	$V_s = K_{D,max}D_D/RI$	$>1.0V_s$	$>0.80V_s$
Görelî yerdeğiştirme	$0.01/RI$	$0.015/RI$	$0.02/RI$

### 3.2.4.2.5. UBC – 97 Statik Analiz Şartları Kullanılarak Yapılan Taban

#### İzolasyonu Tasarımında İzlenecek Yol

#### Ön tasarım:

1. *Sismik Bölge Faktörü (Z)*: Sismik bölge faktörü Çizelge 3.3.'den seçilerek tayin edilir.
2. *Zemin Profil Kategorisi*: Yukarıdaki Çizelge 3.4.'den seçilir.

3. *Sismik Kaynak (fay) Tipi*: Sismik fay hattına bağılı olarak Çizelge 3.5.'den seçilir.
4. *Kaynak (fay) Yakınlık Faktörü ( $N_a$  ve  $N_v$ )*: Belirlenen sismik kaynak tipine göre Çizelge 3.6. ve 3.7.'ye göre belirlenir.
5. *Olabilecek En Büyük Deprem Tepki Katsayısı ( $M_M$ )*: Yukarıda hesaplanan Z ve  $N_v$  değerleri çarpılarak  $ZN_v$  elde edilir.  $M_M$ 'nin ilgili değeri Çizelge 3.8.'den okunur.
6. *Sismik Deprem Katsayıları ( $C_{VD}$  ve  $C_{AD}$ )*: Yukarıda belirlenen sismik bölge faktörü ve zemin profili ile Çizelge 3.9. ve 3.10.'dan  $C_{VD}$  ve  $C_{AD}$  elde edilir.
7. *Sismik Zemin Katsayıları ( $C_{VM}$  ve  $C_{AM}$ )*: Zemin profili kullanılarak  $M_M$ , Z ve  $N_v$  çarpılarak  $M_MZN_v$  bulunur.  $M_MZN_v$  kullanılarak Çizelge 3.11.'den  $C_{AM}$  ve Çizelge 3.12.'den  $C_{VM}$  bulunur.
8. *Yapısal Sistem Azaltma Faktörü ( $R_I$ )*: Çizelge 3.14. kullanılarak, izolasyon seviyesinin üzerindeki taşıyıcı sistemin tipine göre azaltma faktörü seçilir.
9. *İzolator Tipi ve Sönüm Katsayılarının ( $B_D$  ve  $B_M$ ) Seçimi*: İzolator tipine(yüksek sönümlü kauçuk, kurşun çekirdekli kauçuk veya kayıcı mesnet) bağılı olarak bu sistemin sönüm değerlerine göre Çizelge 3.13.'den ilgili sönüm katsayısı bulunur.  $B_D$  ve  $B_M$  için aynı değerler atanır ve gerekirse ara değerler için enterpolasyon yapılır.
10. *İzolasyon Sisteminin Periyodu ( $T_D$ )*: Tasarım yer değıştirmesinde, izolasyon sistemi periyodu için bir ön değeri atanır. Genelde taban izolasyonlu yapılar için bu değeri, 2 – 3 sn arasında bir değeri alınır. Sürtünmeli sarkaç sistemler için ise bu değeri, eğrilik çapı R' ye göre tayin edilir.
11. *İzolasyon Sisteminin Efektif Rijitliğı ( $K_{eff}$ )*: İzolasyon periyoduna göre efektif rijitlik belirlenir.
12. *Minimum Tasarım Yer Değıştirmesi ( $D_D$ )*: Minimum tasarım yer değıştirmesinin ilk değeri, daha önce belirlenmiş olan parametreler kullanılarak Denklem (3.106)'ya göre belirlenir. Eğer bu değeri, mesnetlerin yer değıştirme kapasitesini veya sistem için izin verilen değeri aşıyorsa, daha rijit(periyodu küçük) bir sistem seçilmelidir.
13. *Toplam Tasarım Yatay Kuvvetleri ( $V_b$  ve  $V_s$ )*: Denklem (3.114) ve (3.115) kullanılarak izolasyon sisteminde ve düzleminde ve altındaki yapısal elemanlar



için  $V_b$ , izolasyon düzlemi üzerindeki yapısal elemanlar için de  $V_s$  minimum yatay kuvvetleri hesaplanır.  $V_s$  için UBC – 97 Bölüm 1658.4.3'te verilen sınır değerler dikkate alınmalıdır. Eğer hesaplanan  $V_b$  ve  $V_s$  değerleri, proje için kabul edilebilir değerleri aşıyorsa, daha esnek bir izolasyon sistemi oluşturulmalı ve sınır değerleri altında bir değere ulaşana kadar önceki aşamalar tekrarlanmalıdır.

14. *Üst Yapı Elemanları İçin Ön Tasarım:* Hesaplanan  $V_s$  değeri, Denklem (3.116) ile üst yapı yüksekliği boyunca katlara dağıtılmalıdır. Dağıtılan bu yatay kuvvetlere göre her bir kat elemanlarında gerilme tahkiki yapılmalı ve yatay yer değiştirme değerleri sınır değerlerle karşılaştırılmalıdır. (UBC – 97 Bölüm 1658.6'ya göre İzolasyon sistemi seviyesi üstündeki yapının maksimum yer değiştirmesi  $0.010/R_1$  değerini geçmemelidir)
15. *İzolatörlerin Tasarımı ve Plandaki Yerleşim Planının Belirlenmesi:* Hesaplanan yer değiştirme, rijitlik, kuvvet ve sönüm özellikleri kullanılarak, düşey yükleri, yatay yükleri ve yer değiştirmeleri karşılayacak izolatörler tasarlanır. Her bir izolatöre bağlı kuvvet-yer değiştirme eğrisi oluşturulmalı ve izolatör tasarımında bu eğrilerden yararlanılmalıdır. Oluşturduğumuz kuvvet-yer değiştirme eğrilerini, izolatör üretici firmalarının testler neticesinde elde etmiş oldukları kuvvet-yer değiştirme eğrileriyle karşılaştırılarak gerekli izolatör tipinin seçimi yapılır.

#### **Kesin Tasarım:**

16. *İzolasyonu Yapılmış Yapının Modelinin Oluşturulması:* UBC – 97 Bölüm 1659.5 şartları doğrultusunda ve üreticinin vereceği mekanik özellikler kullanılarak yapının ankastre mesnetli ve izolasyonlu modelleri, SAP2000 veya ETABS programları kullanılarak oluşturulur.
17. *Tasarım Spektrumu Yaklaşımı:* Tasarım spektrumu ve ilgili parametreler kullanılarak deprem etkisi belirlenir.
18. *Tasarım Yer Değiştirmesi ve İzolasyon Periyodunun Kesinleştirilmesi:* Uygun bilgisayar programı kullanılarak gerçekleştirilen analizler neticesinde yer değiştirme ve sistem periyoduna kesin olarak ulaşılmış olur. Bu değerler, daha önce minimum olarak hesaplanan sınır yer değiştirme değerlerinden farklıdır.  
 $D_M > D_D > D_{D(\text{Ön tasarım})}$

19. *Efektif Rijitlik İçin Hedef Değer:* Yapılan analizler neticesinde çok farklı pozitif ve negatif tepki değerlerini veren durumlar dışında aşağıdaki verilen ifadeler kullanılarak hesaplanabilir.

$$K_{D,max}=K_{D,min}=DBE \text{ taban kesme kuvveti} / D_D$$

$$K_{M,max}=K_{M,min}=MCE \text{ taban kesme kuvveti} / D_M$$

20. *Modelleme Neticesinde Bulunan Periyodun Değerlendirilmesi:* Matematik modelleme sonucunda elde edilen periyot değeri minimum değerler kullanılarak elde edilen periyotlarla karşılaştırılır.

21. *Modelleme Sonucunda Elde Edilen Sönüm Seviyesinin Değerlendirilmesi:* Modelleme sonucunda elde edilen değerlerle, ön tasarım sırasında alınan sönüm değerleri karşılaştırılır.

22. *Tasarım Yer Değiştirmeleri ve Kuvvetlerinin Yönetmelik Minimum Değerleriyle Karşılaştırılması:* Eğer hesaplanan yer değiştirme değeri yönetmelik minimum değerleriyle uyuşmuyorsa, eleman, kuvvet ve deformasyonlar dahil olmak üzere tüm tepki kuvvetleri yönetmelik minimum değerleri seviyesine çekilmelidir.

23. *Prototip Mesnetlerin Test Sonuçlarına Göre Performans Tayini:* Elde edilen test sonuçlarına göre, en düşük ve en yüksek mesnet özelliklerini taşıyan düzeltilmiş matematik model oluşturulacak ve UBC – 97 Bölüm 1665.5.1 şartlarına uyularak  $K_{D,max}$ ,  $K_{D,min}$ ,  $K_{M,max}$  ve  $K_{M,min}$  tekrar hesaplanıp 20. 21. ve 22. basamakları düzeltilmiş matematik model sonuçlarına göre tekrarlanacaktır.

24. *İmalat Mesnetlerinin Test Sonuçlarına Göre Performansının Tayini:* İmalat mesnetlerinin test sonuçlarına bağlı olarak elde edilen minimum ve maksimum sınır değerlerine göre matematik model tekrar oluşturulacak ve  $K_{D,max}$ ,  $K_{D,min}$ ,  $K_{M,max}$  ve  $K_{M,min}$  ifadeleri aşağıdaki ifadelerle göre tekrar hesaplanıp 20. 21. ve 22. adımlardaki kesin tasarım aşamaları yeniden oluşturulan matematik modele göre tekrarlanacaktır. (Ünal Ö., 2001)

$$K_{D,max} = \sum(F_{D,max}^+ + F_{D,max}^-) / (2D_D) \quad (3.117)$$

$$K_{D,min} = \sum(F_{D,min}^+ + F_{D,min}^-) / (2D_D) \quad (3.118)$$

$$K_{M,max} = \sum(F_{M,max}^+ + F_{M,max}^-) / (2D_D) \quad (3.119)$$

$$K_{M,min} = \sum(F_{M,min}^+ + F_{M,min}^-) / (2D_D) \quad (3.120)$$

### 3.2.5. Sismik Taban İzolasyonu Uygulama Maliyeti

#### 3.2.5.1. Sismik Taban İzolasyonu Maliyet Analizi

Bu bölümde, sismik taban izolasyonlu yapıların uygulama maliyetleri ve izolasyon sisteminin sağlayacağı ekonomiyi görebilmek amacıyla ABD’de yapılan iki ayrı proje için fizibilite çalışmaları çizelgeler halinde kısaca özetlenmiştir.

##### 3.2.5.1.1. VA Hastanesi, Loma Linda

California Loma Linda’da bulunan hastane için fizibilite araştırması “D’ Appolonia and Associates” ile “National Science Foundation” işbirliği ile hazırlanmıştır(1984).

Çizelge 3.16. VA Hastanesi, Loma Linda muhtemel eksilecek maliyetler

<b>Muhtemel Eksilecek Maliyetler</b>	<b>Miktar(\$)</b>
Diyaframlar	131.000
Kesme Perdeleri	1.312.660
Bodrum Perdeleri	207.000
Temel	1.505.000
Yapısal Çelik	243.000
Tüneller ve Temel Duvarları	437.000
Kazılan Yerlerin Doldurulması	9.500
Zeminde Rijit Diyafram	907.500
Temel Odaları ve Tünel Kazısı	151.000
<b>TOPLAM</b>	<b>4.905.260 \$</b>

Çizelge 3.17. VA Hastanesi, Loma Linda muhtemel eklenecek maliyetler

<b>Muhtemel Eklenecek Maliyetler</b>	<b>Miktar(\$)</b>
Kazı	242.500
Deplasman Duvarları	350.000
Oda Duvarları	81.250
Çamurluklar	172.000
Elastomer İzolatörler(315adet*3000 \$)	945.000
İzolatör Blokları	240.000
Birinci Kat Kirişleri	750.000
Birinci Kat Döşemeleri	1.044.000
Çevre Birleşimleri	103.000
<b>TOPLAM</b>	<b>3.927.750 \$</b>

Yapının toplam proje maliyeti belirtilmemiştir. Ancak yaklaşık olarak metrekare birim fiyatları ile düşünülürse 20 \$/m<sup>2</sup> kabulü ile toplam maliyetin yaklaşık 80 milyon \$ olacağı tahmin edilmektedir. Sismik izolasyon uygulanması durumunda ise 4.905.260-3.927.750 = 977.510 \$ yani yaklaşık olarak proje bedelinin %1.2'si kadar ekonomi sağlandığı görülmektedir.

### 3.2.5.1.2. Medical Building, Salt Lake City

Salt Lake'de bulunan sağlık merkezinin fizibilite araştırması Reid ve Tarics Mühendislik şirketi tarafından yapılmıştır. Toplam proje maliyeti yaklaşık 20 milyon \$'dır.

Çizelge 3.18. Medical Building, Salt Lake City muhtemel eksilecek maliyetler

<b>Muhtemel Eksilecek Maliyetler</b>	<b>Miktar(\$)</b>
Kesme Perdeleri	170.700
Yapısal Çelik	129.700
Donatı Çeliği	237.000
Bağlantılar	99.000
Döşemeler	65.200
Servis ve Ekipman İndirimleri	15.000
<b>TOPLAM</b>	<b>716.600 \$</b>

Çizelge 3.19. Medical Building, Salt Lake City muhtemel eklenecek maliyetler

<b>Muhtemel Eklenecek Maliyetler</b>	<b>Miktar(\$)</b>
Döşeme ve Kiriş Sistemleri	145.000
İzolatörler	80.000
Deplasman Duvarları	37.500
Temeller	44.900
Esnek Servis Bağlantıları	8.000
<b>TOPLAM</b>	<b>315.400 \$</b>

Sismik izolasyon uygulaması ile elde edilen kazanç  $716.600 - 315.400 = 401.200$  \$ yani proje bedelinin % 2'si kadardır.

Sonuç olarak, bu sistemi kullanarak yapılan yapılarda ek maliyetten öte kazanç sağlanmaktadır.

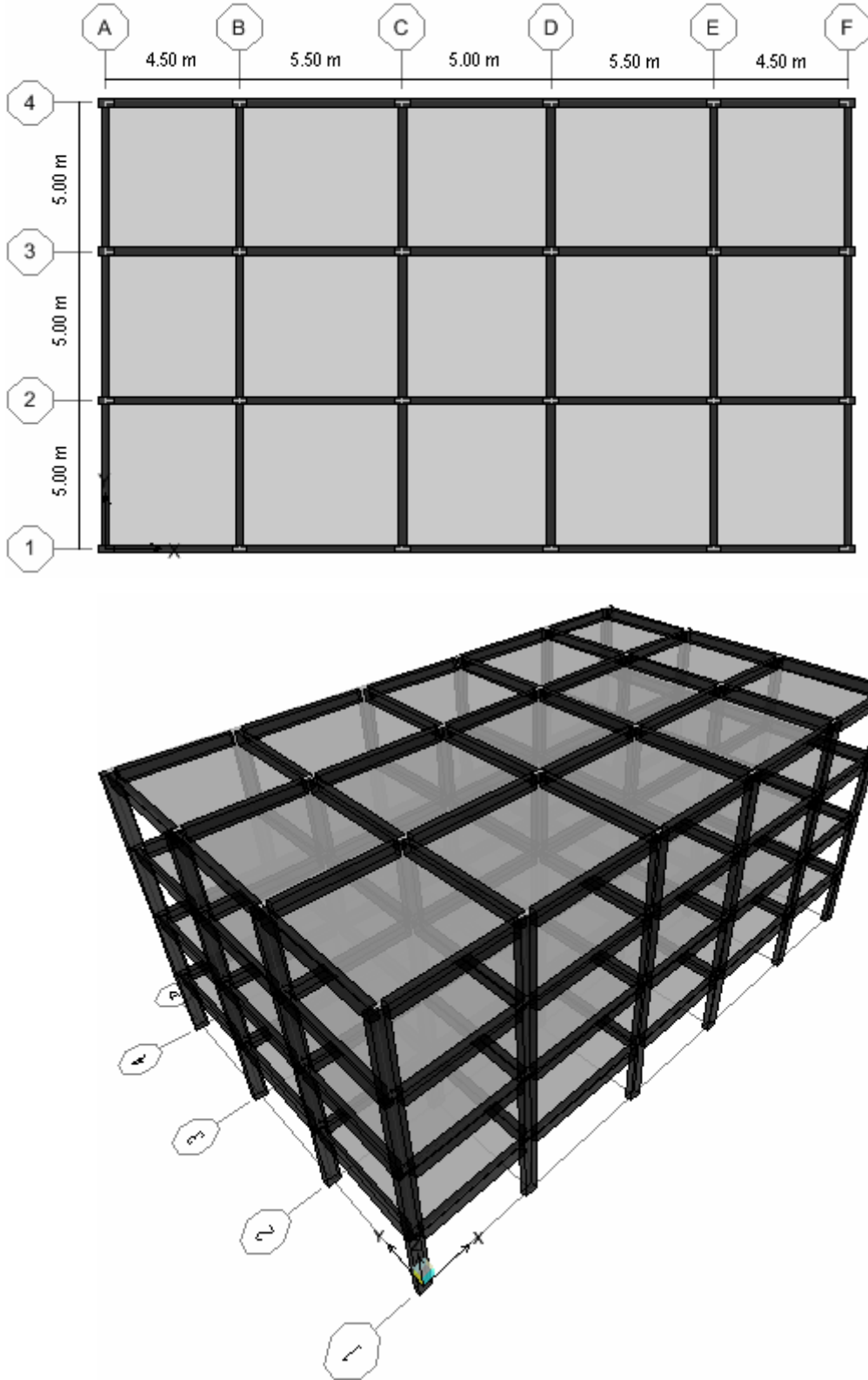
## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Giriş

Bu bölümde; sismik taban izolasyon tekniğinin daha iyi anlaşılabilmesi için, çift yönde simetrik 4 katlı betonarme bir yapı ele alınarak, önce ankastre mesnetli daha sonra sismik taban izolasyonlu olarak, iki ayrı tipte modellenerek çözülecektir. Örnek yapı modelinin analizi için SAP2000 programı kullanılacaktır. Analizler esnasında, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi'nin resmi web sitesinden alınan, 17 Ağustos 1999 İzmit depreminin Kuzey-Güney ve Doğu-Batı doğrultulardaki bileşenlere ait ivme değerleri kullanılacaktır. Sistemin modeli oluşturulurken Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 2006 ve UBC-97 yönetmeliğinde yer alan hükümler birlikte kullanılacaktır.

### 4.2. Seçilen Yapı Modelinin Tanıtımı

Uygulama için seçilen yapı, dört katlı, x yönünde 5, y yönünde 3 açıklıklı bir konut yapısıdır. Yapı taşıyıcı sistemi, betonarme kolon ve kiriş elemanlarından oluşmuş, plak döşemeli bir sistemdir. Kullanılan malzeme C20 / S420 olmakla beraber kolonlar 30x80 cm, kirişler 25x50 cm, döşemeler ise 12 cm olarak ön boyutlandırılmışlardır. Konut amaçlı kullanılan yapı modelinin, 1.derece deprem bölgesinde olduğu ve bölgede D sınıfı zemin cinsinin bulunduğu ( $Z_3$ ) kabul edilmiştir. Kat yükseklikleri, her katta sabit 300 cm olarak alınmıştır. İzolatörlerin temel ile zemin kat arasına konulması uygun görülmüştür. İzolatörlerin eşit deplasman yapabilmeleri amacıyla izolatör seviyesi üstünde üst yapı kolonları, 15 cm kalınlığında rijit diyafram ile birleştirilmişlerdir. Yapıda tüm döşemelerde hareketli yük,  $q = 2.0 \text{ kN/m}^2$  olarak dikkate alınmıştır. Deprem hesapları esnasında yapı kütlesi tanımlanırken, toplam hareketli yükün sadece %30'unun mevcut olduğu kabul edilmiştir. Kat ağırlıkları hesaplanırken, B/A özgül ağırlığı  $25 \text{ kN/m}^3$ , duvar özgül ağırlığı ise  $10 \text{ kN/m}^3$  olarak hesaba katılmıştır (Duvar kalınlıkları dış duvarlarda 20 cm, iç duvarlarda ise 10 cm olarak alınmıştır). Her katın ağırlık merkezleri hesaplanarak, dinamik analiz sırasında kat kütleleri ve taşıyıcı elemanların bu ağırlık merkezlerine göre eylemsizlik momentleri, bu hesaplanan noktalarda dikkate alınmıştır. Örnek yapı modeline ait kalıp planı Şekil 4.1'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.1. Örnek yapı modeline ait kalıp planı ve üç boyutlu görünüşü

Sismik taban izolasyonu kullanılması sonucunda yapının yeni titreşim periyodunun,  $T=2,5$  sn mertebelerinde olması hedeflenmektedir. Kayma şekil değiştirmesi boyutsuz bir büyüklük olup, en fazla  $\gamma = 1.5$  olması istenmektedir ( $\gamma$  – Disk çapının, elastomer yüksekliğine oranını ifade etmektedir).

“*Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 2006*”e göre Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi esaslarında kullanılacak yapı ağırlığı “W” kiriş, kolon, döşeme ve duvar ağırlıklarının toplamından oluşmaktadır. Buna göre;

Birinci kat ağırlığı;

- (1) Döşeme ağırlıkları : 3126 kN
- (2) Kiriş ağırlıkları : 594 kN
- (3) Kolon ağırlıkları : 360 kN
- (4) Duvar ağırlıkları : 698 kN

$$\sum W_{1.Kat} = 4778 \text{ kN}$$

Yapıya, toplam hareketli yükün sadece %30’unun mevcut olduğu kabulü ile (Çizelge 3.2’den konut türü yapılar için  $n = 0.30$  seçilir);

$$W_i = g_i + nq_i$$

$$W_{1.Kat} = 4778 + 0.30 \times [2.0 \times (14 \times 23.50)]$$

$$W_{1.Kat} = 4976 \text{ kN} = 497.6 \text{ t}$$

olarak hesaplanır. Yapıdan izolatörlere gelen toplam ağırlık hesaplanırken, 15 cm kalınlığında rijit diyaframın ağırlığı da hesaba katılırsa;

$W_{Rij.Diy.} = 0.15 \times 25 \times (25 \times 15) = 1406 \text{ kN}$  olarak hesaplanır. Bu durumda toplam düşey yük aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\sum W_{Toplam} = 4 \times 4976 + 1406 = 21310 \text{ kN} = 2131 \text{ ton} \quad (21.31 \text{ MN})$$

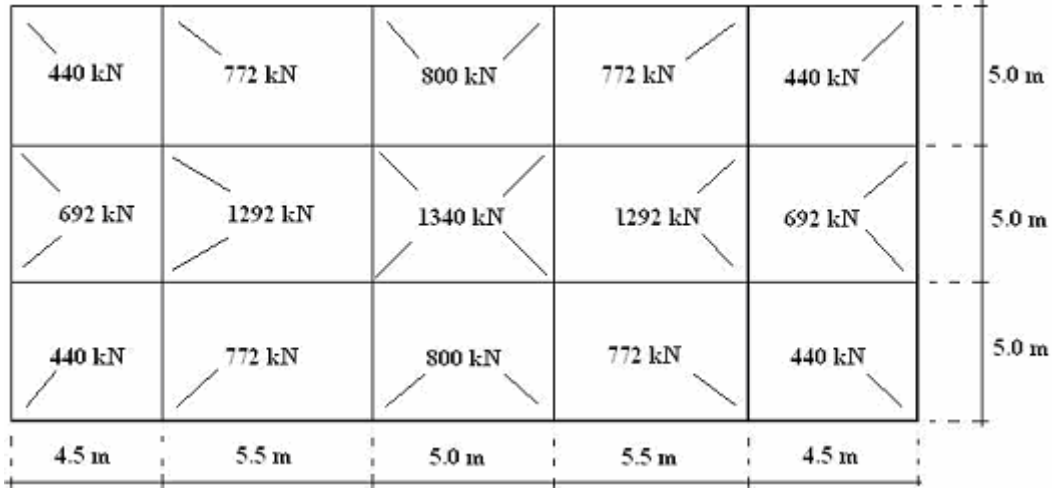
Bu kabullerle yapılan hesaplamalar sonucunda, üst yapıdan izolatörlere yaklaşık olarak toplam 21310 kN (2131 ton) düşey yük geldiği belirlenmiştir. Kat kütleleri de aşağıdaki gibidir. Her bir izolatörce taşınan düşey yük Şekil 4.2.’de gösterildiği gibidir.

$$m_1 = \frac{W_1}{g} = \frac{4976}{9.81} = 507.24 \text{ kNsn}^2 / m = 50.724 \text{ tsn}^2 / m$$

$$m_2 = \frac{W_1}{g} = \frac{4976}{9.81} = 507.24 \text{ kNsn}^2 / m = 50.724 \text{ tsn}^2 / m$$

$$m_3 = \frac{W_1}{g} = \frac{4976}{9.81} = 507.24 \text{ kNsn}^2 / \text{m} = 50.724 \text{ tsn}^2 / \text{m}$$

$$m_4 = \frac{W_1}{g} = \frac{4976}{9.81} = 507.24 \text{ kNsn}^2 / \text{m} = 50.724 \text{ tsn}^2 / \text{m}$$



Şekil 4.2. Her bir izolatöre gelen düşey ağırlıklar

#### 4.2.1. Ankastr Temelli Sistemin Taban Kesme Kuvvetinin Hesabı

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyecek *Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü* (taban kesme kuvveti)  $V_t$ , “*Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik Şartları (2006)*”(DBYYHYŞ 2006) şartlarına uygun olarak, yukarıda belirlenen değerlere göre Denklem (3.92) ile aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V_t = \frac{WA(T)}{R(T)} \geq 0.10 A_0 I W$$

$$A(T) = A_0 I S(T)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (T_A < T < T_B)$$

$$V_t = \frac{21310(0.40)(1)(2.5)}{8} \geq 0.100(0.40)(1)(21310)$$

$$V_t = 2664 \geq 853 \text{ kN}$$

$$V_t = 2664 \text{ kN} = 2.664 \text{ MN}$$

T: Ankastr mesnetli yapının, dinamik analiz neticesinde hesaplanan 1. doğal titreşim periyodudur. Bu değer, DBYYHYŞ-2006 Tablo 2.4’deki değerler kullanılarak elde edilmiştir.



R: Deprem yükü azaltma katsayısı (taşıyıcı sistem davranış katsayısı), DBYYHYŞ-2006 Tablo 2.5’de verilmiştir.

$A_0$ : Etkin yer ivmesi katsayısı, DBYYHYŞ-2006 Tablo 2.1’den deprem bölgesine göre belirlenir.

I: Bina önem katsayısı, DBYYHYŞ-2006 Tablo 2.3’den bina kullanım amacına göre belirlenir.

Toplam eşdeğer deprem yükünün (taban kesme kuvvetinin),  $\Delta F_N$  dışında ( $\Delta F_N = 0.0075 N V_t = 0.0075(4)(2664) = 79.92 kN = 0.08 MN$ ) geri kalan kısmı, N’inci kat dahil olmak üzere, bina katlarına dağıtılsa;

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j}$$

$$\sum_{j=1}^N w_j H_j = (4976)(3) + (4976)(6) + (4976)(9) + (4976)(12) = 149280 kN = 149.28 MN$$

$$F_1 = (2.664 - 0.08) \frac{(4.976)(3)}{149.28} = 0.26 MN$$

$$F_2 = (2.664 - 0.08) \frac{(4.976)(6)}{149.28} = 0.52 MN$$

$$F_3 = (2.664 - 0.08) \frac{(4.976)(9)}{149.28} = 0.78 MN$$

$$F_4 = (2.664 - 0.08) \frac{(4.976)(12)}{149.28} = 1.04 MN$$

### 4.3. UBC – 97’ye Göre Yapı Parametreleri

- *Sismik Bölge Faktörü Z*: Bölge 4 (Çizelge 3.3),  $Z=0,40$

- *Bölge Zemin Cinsi*:  $S_D$  (Çizelge 3.4)

- *Sismik Fay Tipi* : A Tipi, (Çizelge 3.5)  $M \geq 7.0$ , kayma oranı  $SR \geq 5$  mm/yıl

- *Kaynak yakınlık Faktörü* :  $\Delta > 15$  km,  $N_a=1$  (Çizelge 3.6),  $N_v=1$  (Çizelge 3.7)

- *Olabilecek En Büyük Deprem Tepki Katsayısı*: Yukarıda bulduğumuz Z ve  $N_v$  değerlerini çarparak  $Z.N_v=0.40$  için Çizelge (3.8)’den  $M_M=1,25$  bulunur.

- *Sismik Deprem Katsayıları*:

$$C_v = 0,64 N_v = 0,64(1) \quad C_{vD} = 0,64 \text{ (Çizelge 3.9)}$$

$$C_a = 0,44 N_a = 0,44(1) \quad C_{AD} = 0,44 \text{ (Çizelge 3.10)}$$

- *Sismik Zemin Katsayıları* ( $C_{VM}$  ve  $C_{AM}$ ):  $M_M Z_{N_v}$  değerlerinin çarpılmasıyla, Çizelge (3.11)'den  $C_{AM}$  ve Çizelge 3.12'den  $C_{VM}$  bulunur.

$$\alpha = M_M Z_{N_A} = 1,25(0,40)1 = 0,50 \quad C_{AM} = 1,1 \alpha = 1,1(0,50) = 0,55$$

$$\alpha = M_M Z_{N_v} = 1,25(0,40)1 = 0,50 \quad C_{VM} = 1,6 \alpha = 1,6(0,50) = 0,80$$

- *Sönüm Azaltma Katsayısı* ( $\beta$ ): Çizelge 3.13'deki kritik sönüm oranına göre  $\beta=1.20$  olarak belirlenir.

- *Yapısal Sistem Azaltma Faktörü* ( $R_i$ ): İzolasyon seviyesi üzerindeki yapıya göre Çizelge 3.14'den  $R_i=2$  olarak seçilir.

**Not:** *Yönetmelik kurallarına göre izolasyonlu yapı sisteminde hesaplanması gereken iki temel yer değiştirme faktörü vardır. Bunlar DBE düzeyindeki (tasarım esaslı deprem "Desing Basis Eartquake") " $D_D$ " ve MCE düzeyindeki (olabilecek maksimum hesap depremi (MCE) "Maksimum Capable Eartquake") " $D_M$ " olarak ifade edilirler.*

#### 4.4. Örnek Yapı Modelinin Sismik Taban İzolasyon Sistemleri ile Tasarımı

Bu bölümde örnek yapının taban yalıtımı, iki ayrı izolatör sistemiyle tasarlanacaktır. Tasarım yapıldıktan sonra, her ayrı model için analiz aşamasında kullanılmak üzere kuvvet – yer değiştirme grafikleri çizilecektir. Yapı sisteminde tasarlanacak her bir izolatörün, üzerinde taşıyacağı mevcut yüke göre bünyesinde bulundurması gerekli, minimum yatay rijitlik değerlerinin hesabı aşağıdaki gibidir.

$$K_{D1} = \frac{4\pi^2 W_1}{T_D^2 g} = \frac{4\pi^2 (0.440)}{(2.5)^2 (9.81)} = 0.28 MN / m$$

$$K_{D2} = \frac{4\pi^2 W_2}{T_D^2 g} = \frac{4\pi^2 (0.772)}{(2.5)^2 (9.81)} = 0.50 MN / m$$

$$K_{D3} = \frac{4\pi^2 W_3}{T_D^2 g} = \frac{4\pi^2 (0.800)}{(2.5)^2 (9.81)} = 0.52 MN / m$$

$$K_{D4} = \frac{4\pi^2 W_4}{T_D^2 g} = \frac{4\pi^2 (0.692)}{(2.5)^2 (9.81)} = 0.45 MN / m$$

$$K_{D5} = \frac{4\pi^2 W_5}{T_D^2 g} = \frac{4\pi^2 (1.292)}{(2.5)^2 (9.81)} = 0.83 MN / m$$

$$K_{D6} = \frac{4\pi^2 W_6}{T_D^2 g} = \frac{4\pi^2 (1.34)}{(2.5)^2 (9.81)} = 0.86 MN / m$$

Tüm yapı sisteminin, bünyesinde bulundurması gerekli yatay rijitlik de aşağıdaki gibidir. ( $T_D = 2.5$  sn)

$$\sum K_H = \sum_{i=1}^{24} K_{Di} = \frac{4\pi^2 W_{Toplam}}{T_D^2 g} = \frac{4\pi^2 (21.31)}{(2.5)^2 (9.81)} = 13.72 MN / m$$

#### 4.4.1. Doğal Kauçuk İzolatörlerle Yalıtılmış Taban İzolasyonu Tasarımı (Natural Rubber Bearing - NRB)

Kayma şekil değiştirmesinin,  $\gamma_{max}=1,5$  olması istenmektedir ve iki farklı kayma modülüne sahip elastomerler için,  $G_A=0.65$  MPa ve  $G_B=1.0$  MPa değerleriyle hesap yapılacaktır. Sistemde fazla yük taşıyan orta akslardaki (1292 kN ve 1340kN) 8 kolon için  $G_B=1.0$  MPa kayma modüllü sert kauçuk elastomerler, daha az yük taşıyan diğer 16 kolon için ise  $G_A=0.65$  MPa kayma modüllü daha yumuşak kauçuk elastomerler kullanılacaktır. Yapının mevcut durumuna göre yukarıda, UBC -97 yönetmeliğine göre saptanmış değerler kullanılarak, kauçuk izolatörlerde oluşabilecek maksimum tasarım yer değiştirmesi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$D_D = \frac{g C_{VD} T_D}{B(4\pi^2)} = \frac{9.81(0.64)(2.5)}{1.20(4\pi^2)} \cong 0.33m$$

$$D_M = \frac{g C_{VM} T_M}{B(4\pi^2)} = \frac{9.81(0.80)(2.5)}{1.20(4\pi^2)} \cong 0.41m$$

$$G_A = 0.65 \text{ MPa (65 t/m}^2) \quad \beta=0.10$$

$$G_B = 1.00 \text{ MPa (100 t/m}^2) \quad \beta=0.15$$

Toplam elastomer yüksekliği;

$$t_r = D_D / \gamma_{max}$$

$$t_r = 0.33 / 1.50 = 0.22 \text{ m}$$

$$t_r = 0.25 \text{ m olarak seçilir.}$$

Yatay rijitliklere göre tasarlanacak kauçuk izolatör çapları;  $A = \frac{\pi D^2}{4} \Rightarrow D = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}}$

formülüyle aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$A_{(1)} = \frac{K_{(D1)} t_r}{G_A} = \frac{(0.28)(0.25)}{0.65} = 0.11 \text{ m}^2 ; \quad D_{(1)} = 38 \text{ cm}$$

$$A_{(2)} = \frac{K_{(D2)} t_r}{G_A} = \frac{(0.50)(0.25)}{0.65} = 0.19 \text{ m}^2 ; \quad D_{(2)} = 49 \text{ cm}$$

$$A_{(3)} = \frac{K_{(D3)}t_r}{G_A} = \frac{(0.52)(0.25)}{0.65} = 0.20 \text{ m}^2; \quad D_{(3)} = 50 \text{ cm}$$

$$A_{(4)} = \frac{K_{(D4)}t_r}{G_A} = \frac{(0.45)(0.25)}{0.65} = 0.17 \text{ m}^2; \quad D_{(4)} = 47 \text{ cm}$$

$$A_{(5)} = \frac{K_{(D5)}t_r}{G_B} = \frac{(0.83)(0.25)}{1.00} = 0.21 \text{ m}^2; \quad D_{(5)} = 52 \text{ cm}$$

$$A_{(6)} = \frac{K_{(D6)}t_r}{G_B} = \frac{(0.86)(0.25)}{1.00} = 0.22 \text{ m}^2; \quad D_{(6)} = 53 \text{ cm}$$

Yukarıda hesaplanan değerler neticesinde tüm kauçuk izolator disk çaplarının  $D = 55 \text{ cm}$  seçilmesi uygun bulunmuştur. Buradan disk alanı;

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi(0.55)^2}{4} = 0.238 \text{ m}^2$$

olarak bulunur. Disk çapı  $D = 55 \text{ cm}$ , kayma modülleri  $G_A = 0.65 \text{ MPa}$  ( $65 \text{ t/m}^2$ ) -  $G_B = 1.00 \text{ MPa}$  ( $100 \text{ t/m}^2$ ) ve efektif sönümleri  $\beta_A = 0.10$  -  $\beta_B = 0.15$  olan elastomer mesnetler için yatay rijitlikler aşağıdaki gibidir.

$$K_H^A = \frac{AG_A}{t_r} = \frac{0.238(0.65)}{0.25} = 0.619 \text{ MN/m} (K_2^A)$$

$$K_H^B = \frac{AG_B}{t_r} = \frac{0.238(1.00)}{0.25} = 0.952 \text{ MN/m} (K_2^B)$$

#### 4.4.1.1. Efektif Sistemin Toplam Yatay Rijitliği

Sistemde kullanılmış iki tip izolator için, efektif sistemin toplam yatay rijitliği aşağıdaki gibi bulunur.

$$\Sigma K_H = 16(K_H^A) + 8(K_H^B) = (16)(0.619) + (8)(0.952) = 17.52 \text{ MN/m}$$

$$\Sigma K_H = 17.52 \text{ MN/m}$$

#### 4.4.1.2. Efektif Sistem Titreşim Periyodu

Elde edilen değerlere göre, sistemin efektif titreşim periyodu aşağıdaki gibi Bölüm 3.2.3.1. Denklem 3.58'den hesaplanacak olursa,

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{(K_H g)}} = 2\pi \sqrt{\frac{21.31}{[(17.52)(9.81)]}} = 2.22 \text{ sn}$$

$T \approx 2.22$  sn, hedeflenen periyoda ( $T_D=2.5$ ) çok uzak olmadığından bu yaklaşım yeterli kabul edilmiştir.

#### 4.4.1.3. Efektif Sistemde Toplam Sönüm

Sistemin efektif toplam sönümü, Bölüm 3.2.3.2. Denklem 3.84'den hesaplanır.

$$\beta = \frac{W_D}{2\pi K_{D,\max} D^2} = \frac{2\pi K_D^A D^2 \beta_A + 2\pi K_D^B D^2 \beta_B}{2\pi K_{D,\max} D^2} = \frac{K_D^A \beta_A + K_D^B \beta_B}{K_{D,\max}}$$

$$\beta = \frac{(16)(0.619)(0.10) + (8)(0.952)(0.15)}{17.52} = 0.12$$

Sistemde toplam sönüm ve rijitliğe göre yatay yer değiştirme tekrar hesaplanır.

Sönüm azaltma katsayısı "B" için UBC 97'de önerilen formül aşağıdaki gibidir;

$$1/B = 0.25(1 - \ln \beta)$$

$$B = 4/(1 - \ln 0.12) = 1.28$$

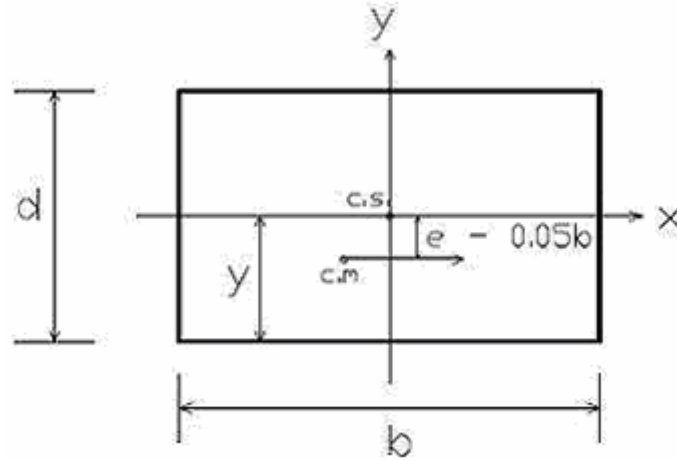
bulunan yeni değerlerle gerçek tasarım yer değiştirmesi " $D_D$ " aşağıdaki gibi olur.

$$D_D = \frac{g C_{VD} T_D}{B(4\pi^2)} = \frac{9.81(0.64)(2.22)}{1.28(4\pi^2)} = 0.28 \text{ m}$$

$\gamma = D_D/t_r = 0.28/0.25 = 1.12 < \gamma_{\max}=1.50$  (Hesaplanan katsayı istenilen sınırlardadır)

#### 4.4.1.4. Maksimum Toplam Tasarım Yer Değiştirmesi

Burulmanın da etkisi dikkate alınarak hesaplanan yer değiştirme, Şekil 4.3'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.3. Dış merkezliği hesaba katan toplam yer değiştirme hesabı için plan boyutları

Burada “e” planda uzun doğrultudaki mesafeyi ifade eder.

$$e = 0.05 \times b = 0.05 \times 25 = 1.25$$

Plan boyutları  $a = 15$  m,  $b = 25$  m’dir. Bölüm 3.2.4.2.3.9. Denklem 3.111’den maksimum yer değiştirme aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$D_T = D_D[1+y(12e / (b^2+d^2))]$$

$$D_T = 0.28[1+7.5(12 \times 1.25 / (25^2+15^2))]$$

$$D_T \approx 0.32 \text{ m}$$

#### 4.4.1.5. Tasarım Kuvvetleri

İzolasyon sisteminin altında kalan elemanların tasarımı için kullanılacak olan tasarım kesme kuvveti “ $V_b$ ”,

$$V_b = K_{D,max}D_D = 17.52 \times 0.28 = 4.91 \text{ MN}$$

İzolasyon sistemi üstünde bulunan elemanların tasarımında kullanılacak tasarım kesme kuvveti “ $V_s$ ” ise,

$$V_s = K_{D,max}D_D / R_1$$

olarak tanımlanmıştır. Burada; “ $K_{D,max}$ ” sistemdeki toplam yatay rijitlik, “ $D_D$ ” toplam tasarım yer değiştirmesi, “ $R_1$ ” ise yapıda taşıyıcı sistem azaltma katsayısıdır ve bu değer yapının taşıyıcı sistemine uygun olarak aşağıdaki çizelgeden  $R_1=2.0$  olarak seçilmiştir.

Çizelge 4.1. Ankastre mesnetli yapı (R) ile taban izolasyonlu yapının ( $R_1$ ), sünekliğe bağlı azaltma faktörleri (UBC-97)

Taşıyıcı Sistem	$R_1$	R
Moment aktaran çerçeve	2.0	8.5
Perde duvar	2.0	5.5
Merkezi çaprazlı çerçeve	1.6	5.6
Dışmerkez çaprazlı çerçeve	2.0	7.0

$$V_s = (17.52)(0.28) / 2$$

$$V_s = 2.45 \text{ MN}$$

Sismik taban kesme katsayısı  $C_s$  ise;

$$C_s = V_s / W = 2.45 \text{ MN} / 21.31 \text{ MN} = \% 11$$

olarak bulunur.

#### 4.4.1.6. Yatay Deprem Yükünün Katlara Dağılımı

Yatay deprem kuvvetlerinin yapı yüksekliğince katlara dağılımı UBC-97 şartlarına göre aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$F_x = V_s \frac{h_x W_x}{\sum_{i=1}^N (W_i h_i)}$$

$$\sum_{i=1}^N (W_i h_i) = (W_1 h_1) + (W_2 h_2) + (W_3 h_3) + (W_4 h_4)$$

$$\sum_{i=1}^N (W_i h_i) = (4.976)(3) + (4.976)(6) + (4.976)(9) + (4.976)(12) = 149.28 MN$$

$$F_1 = 2.45 \frac{(3)(4.976)}{149.28} = 0.245 MN$$

$$F_2 = 2.45 \frac{(6)(4.976)}{149.28} = 0.490 MN$$

$$F_3 = 2.45 \frac{(9)(4.976)}{149.28} = 0.735 MN$$

$$F_4 = 2.16 \frac{(12)(4.976)}{149.28} = 0.980 MN$$

#### 4.4.1.7. Kauçuk İzolatör Detayı

İzolatörlerde elastomer çapı ve toplam elastomer yüksekliği, yukarıdaki adımlarda bulunmuştu. İzolatörlerde elastomer tabakaların arasına konacak her bir çelik levha kalınlığı standartlarda 2 mm' olarak verilmiştir. Burada eksik kalan tek detay, elastomer tabakalarının bir tanesinin kalınlığı olan "t"nin tespitidir. Böylelikle izolatörlerin tüm detayları tamamlanmış olmaktadır.

"R" yarıçaplı ve dairesel kesitli bir elastomerik izolatör için şekil faktörü "S"

S = Yüklenen alan / Elastomer kenar alanı

$$S = \pi R^2 / 2\pi R t$$

$$S = R / 2t$$

Yönetmeliklerde "S" şekil faktörünün optimum değerinin; tek bir kauçuk tabaka kalınlığı "t<sub>0</sub>" a bağlı olarak  $D/80 \leq t_0 \leq D/40$  arasında bir değer alınması gerektiği söylenir. D = 550 mm olduğuna göre minimum "t<sub>0</sub>";

$$t_0 = \frac{550}{55} = 10 \text{ mm}$$

olarak bulunur. Buradan “S” şekil faktörü;

$$S = \frac{275}{2(10)} = 13.75$$

olur. Toplam elastomer yüksekliği “ $t_r$ ” daha önce 250 mm olarak bulunmuştu. O halde elastomer tabaka sayısı “ $n_{\text{elastomer}}$ ”;

$$(n_{\text{elastomer}})x(t) = 250 \text{ mm}; \quad n(10) = 250 \quad n_{\text{elastomer}} = 25 \text{ adet}$$

çelik tabaka sayısı “ $n_{\text{çelik}}$ ” ise;

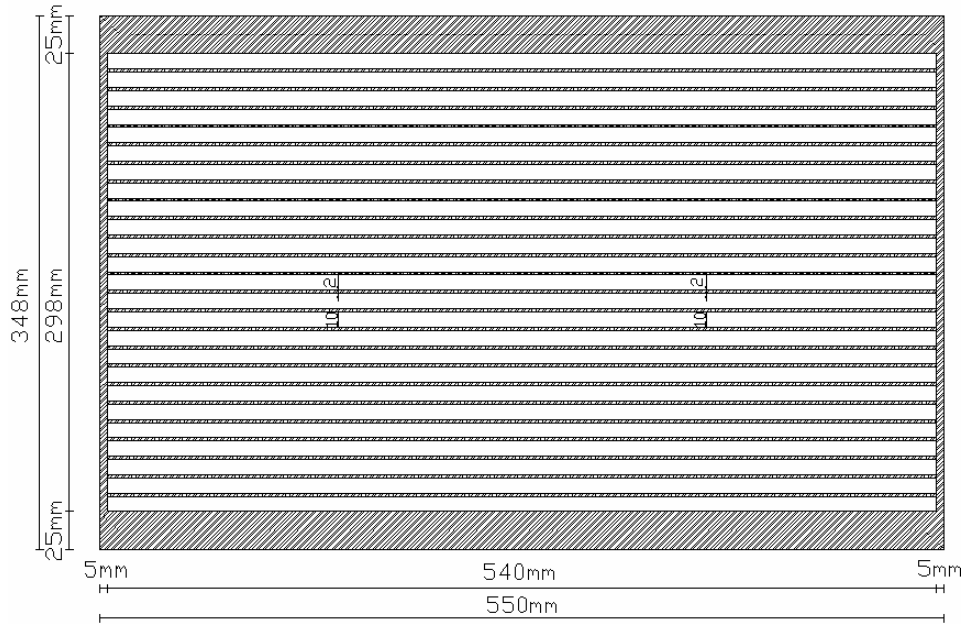
$$n_{\text{çelik}} = n_{\text{elastomer}} - 1$$

olarak bulunur. Çelik levhaların çapı; her iki taraftan 5'er mm kapatma plakası genişliği kadar ayrıldıktan sonra;  $550 - (2)(5) = 540$  mm olarak belirlenir. Her bir çelik tabaka kalınlığı 2 mm standart kalınlıkta olacak şekilde, izolatörlerin alt ve üst kısımlarında 25'er mm çelik kapatma tabakası (elastomer ve çelik plakaların bütünlüğünü sağlamak amacıyla) yerleştirmek suretiyle izolatör detayı, hesaplanan son değerlerle tamamlanmış olur. Böylelikle izolatörlerin yüksekliği “H”;

$$H = (2)(25) \text{ mm} + (24)(2) \text{ mm} + (25)(10) \text{ mm}$$

$$H = 348 \text{ mm}$$

olarak bulunur. Tüm bulunan değerlere göre uygulamada kullanılacak kauçuk izolatörlerin detay kesiti milimetre cinsinden Şekil 4.4'de gösterildiği gibi olur.



Şekil 4.4. Kauçuk izolatör kesidi



#### 4.4.1.8. Efektif Düşey (Eksenel) Rijitlik Hesabı

İzolatörler için daha önceden seçilmiş olan kayma modülleri ve hacimsel elastisite modülüne göre;

$$G_A = 0.65 \text{ MPa}, \quad G_B = 1.00 \text{ MPa}, \quad K = 2000 \text{ MPa}$$

Yükleme modülleri Bölüm 3.2.3.1. Denklem 3.72'den;

$$E_c^A = \frac{6G_A S^2 K}{6G_A S^2 + K} = \frac{6(0.65)(13.75)^2(2000)}{[(6)(0.65)(13.75)^2 + (2000)]} = 538.73 \text{ MN} / \text{m}^2$$

$$E_c^B = \frac{6G_B S^2 K}{6G_B S^2 + K} = \frac{6(1.00)(13.75)^2(2000)}{[(6)(1.00)(13.75)^2 + (2000)]} = 723.83 \text{ MN} / \text{m}^2$$

A tipi kayma modülüne sahip izolatörlerin düşey rijitliği;

$$K_v^A = \frac{E_c^A A}{t_r} = \frac{(538.73)(0.238)}{0.25} = 512.87 \text{ MN} / \text{m}$$

B tipi kayma modülüne sahip izolatörlerin düşey rijitliği;

$$K_v^B = \frac{E_c^B A}{t_r} = \frac{(723.83)(0.238)}{0.25} = 689.09 \text{ MN} / \text{m}$$

Toplam düşey (eksenel) rijitlik ise;

$$K_v = \frac{(16E_c^A + 8E_c^B)A}{t_r} = \frac{[(16)(538.73) + (8)(723.83)]0.238}{0.25} = 13718.62 \text{ MN} / \text{m}$$

olarak hesaplanır.

#### 4.4.1.9. Düşey Titreşim Periyodunun Hesabı

Yapının düşeyde yapmış olduğu toplam tasarım yer değiştirmesi “ $\Delta t$ ”; yapı toplam ağırlığının, toplam eksenel rijitliğe oranıyla elde edilir.

$$\Delta t = \frac{W}{K_v} = \frac{21.31}{13718.62} = 0.0016 \text{ m}$$

Düşey titreşim periyodu ise;

$$T_v = \frac{T_D}{\sqrt{6S}} = \frac{2.22}{\sqrt{6(13.75)}} = 0.24 \text{ sn}$$

olarak hesaplanır.

#### 4.4.1.10. Ortak Alan Hesabı

Ortak alan A, Şekil 4.5’de gösterildiği üzere;

$$A' = A \left[ 1 - \frac{2}{\pi} (\theta + \sin \theta \cos \theta) \right]$$

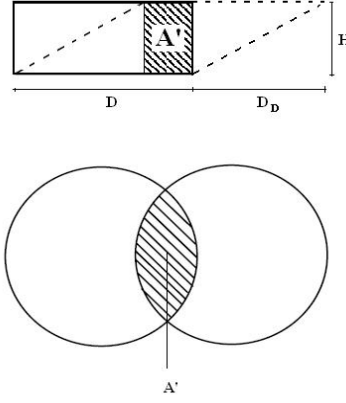
$$\sin \theta = \frac{D_D}{D} = \frac{0.28}{0.55} = 0.509$$

$$\theta = \arcsin(0.509)^\circ = 30.6^\circ$$

$$\cos \theta = 0.8607$$

$$A' = 0.238 \left[ 1 - \frac{2}{\pi} (0.65 + (0.509)(0.8607)) \right] = 0.073 m^2$$

olarak hesaplanır.



Şekil 4.5 Ortak alanlar

#### 4.4.1.11. Göçme Riski Kontrolü

Sistemde göçme riski kontrolü için öncelikle kritik olan P yükü saptanır;

$$P_{kritik} = \sqrt{(P_S)(P_E)}$$

$$P_S = G.A_S \quad (\text{Çelik kısım için kritik yük})$$

$$P_E = \frac{\pi^2 (EI)_{eff}}{(t_r)^2} \quad (\text{Elastomer kısım için kritik yük})$$

$$(EI)_{eff} = \frac{1}{3} E_c I$$

İzolatörlerde çelik levha çapları 0.54 m olduğuna göre “I” atalet momenti,

$$I = \frac{\pi}{4} (D/2)^4 = \frac{\pi}{4} (0.54/2)^4 = 0.00417 m^4$$

$$P_{kritik} = \frac{\pi}{t_r} \sqrt{(E_c I / 3) G A_s}$$

olarak bulunur. Çelik levhaların alanı  $A_s$ ;

$$A_s = (\pi / 4)(0.54)^2 = 0.229 \text{ m}^2$$

Buradan artık kritik P yüklerini hesaplayabiliriz;

$$P_{kritik}^A = \frac{\pi}{0.25} \sqrt{[(538.73)(0.00417 / 3)(0.65)(0.229)]} = 4.195 \text{ MN} = 4195 \text{ kN}$$

$$P_{kritik}^B = \frac{\pi}{0.25} \sqrt{[(723.83)(0.00417 / 3)(1.00)(0.229)]} = 6.032 \text{ MN} = 6032 \text{ kN}$$

$$P_{kritik}^A = 4195 \text{ kN} > 772 \text{ kN} \quad P_{kritik}^B = 6032 \text{ kN} > 1292 \text{ kN}$$

$$> 800 \text{ kN}$$

$$> 1340 \text{ kN}$$

“Hiç bir izolatörde göçme riski mevcut değildir.”

#### 4.4.1.12. Dışarı Yuvalanma Mesafeleri (Rollout Displacements)

Dışarı yuvalanma; elastomerik izolatörlerde, etkiyen yatay kuvvetin tasarım yer değiştirme kapasitesini aşması durumunda meydana gelmektedir. Elastomerin plakalardan sıyrılarak yuvalanma hareketi yaparak tasarım dışı davranış göstermesine neden olacak büyüklükteki yer değiştirme de denebilir. Dışarı yuvalanma riski ancak, izolatör bağlantılarının bulonlu olmaması durumları için söz konusu olabilir. Bulonlu bağlantılarda bu hesaplama gerek yoktur. Aşağıdaki hesaplar maksimum yer değiştirme sınır değerleridir.

$$D_{\max} = \frac{\phi}{1 + K_H h / W}$$

$$D_{\max(1)} = \frac{0.550 \text{ m}}{1 + (538.73 \text{ kN} / \text{m})(0.348 \text{ m}) / 440 \text{ kN}} = 0.39 \text{ m}$$

$$D_{\max(2)} = \frac{0.550 \text{ m}}{1 + (538.73 \text{ kN} / \text{m})(0.348 \text{ m}) / 772 \text{ kN}} = 0.44 \text{ m}$$

$$D_{\max(3)} = \frac{0.550 \text{ m}}{1 + (538.73 \text{ kN} / \text{m})(0.348 \text{ m}) / 800 \text{ kN}} = 0.45 \text{ m}$$

$$D_{\max(4)} = \frac{0.550 \text{ m}}{1 + (538.73 \text{ kN} / \text{m})(0.348 \text{ m}) / 692 \text{ kN}} = 0.43 \text{ m}$$

$$D_{\max(5)} = \frac{0.550m}{1 + (723.83kN/m)(0.348m)/1292kN} = 0.46m$$

$$D_{\max(6)} = \frac{0.550m}{1 + (723.83kN/m)(0.348m)/1340kN} = 0.46m$$

Yukarıda bulunan tüm değerler neticesinde; iki ayrı kayma modülüne sahip, doğal kauçuk mesnet tipleri (NBR) için, analiz aşamasında matematik modellemede kullanılacak değerler aşağıda verildiği gibidir ( $K_1 = 6K_2$  kabulü yapılmıştır).

$$K_2^A = \frac{AG_A}{t_r} = \frac{0.238(0.65)}{0.25} = 0.619MN/m = 61.90t/m$$

$$K_1^A = 6(61.90) = 371.40t/m$$

$$K_2^B = \frac{AG_B}{t_r} = \frac{0.238(1.00)}{0.25} = 0.952MN/m = 95.20t/m$$

$$K_1^B = 6(95.20) = 571.20t/m$$

$$K_v^A = \frac{E_c^A A}{t_r} = \frac{(538.73)(0.238)}{0.25} = 512.87MN/m = 51287t/m$$

$$K_v^B = \frac{E_c^B A}{t_r} = \frac{(723.83)(0.238)}{0.25} = 689.09MN/m = 68909t/m$$

$$Q^A = C_s W = 0.11(0.80) = 0.088MN = 8.8t$$

$$Q^B = C_s W = 0.11(1.34) = 0.147MN = 14.7t$$

$$D_y^A = \frac{Q^A}{K_1^A - K_2^A} = \frac{8.8}{371.4 - 61.9} = 0.028m$$

$$D_y^B = \frac{Q^B}{K_1^B - K_2^B} = \frac{14.7}{571.2 - 95.2} = 0.030m$$

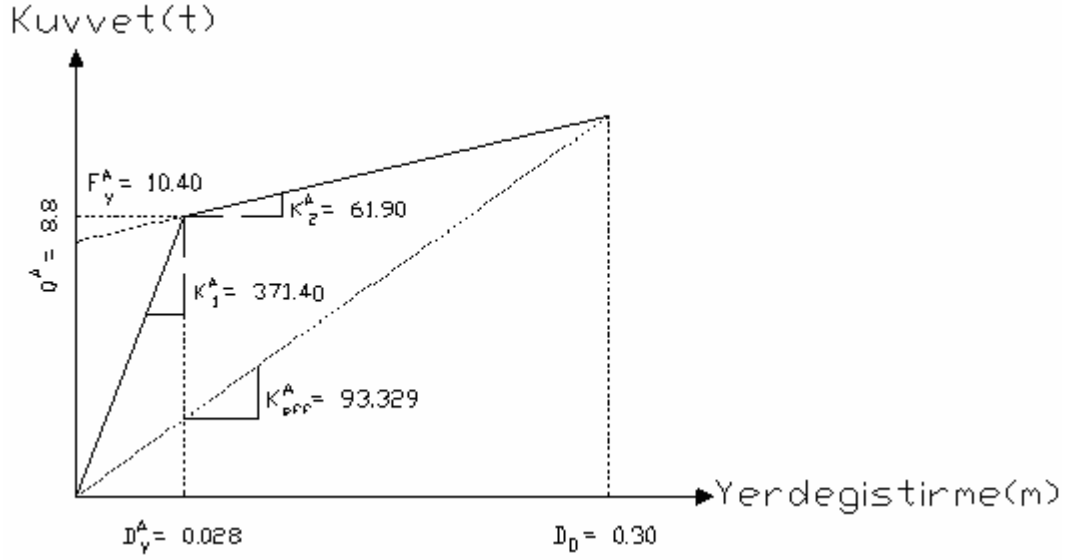
$$K_{eff}^A = K_2^A + \frac{Q^A}{D} = 61.9 + \frac{8.8}{0.28} = 93.329t/m$$

$$K_{eff}^B = K_2^B + \frac{Q^B}{D} = 95.2 + \frac{14.7}{0.28} = 147.70t/m$$

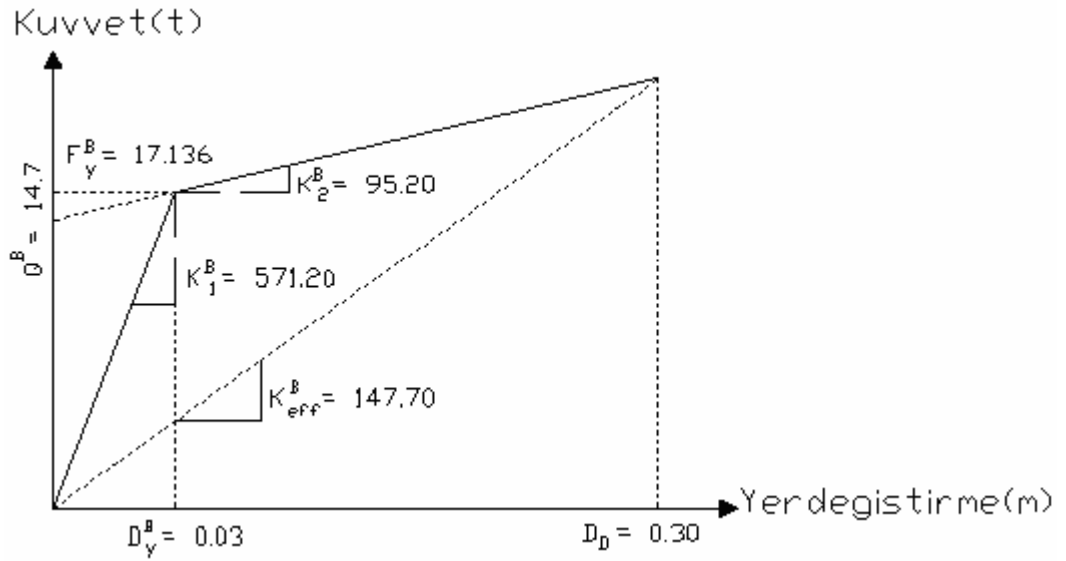
$$F_Y^A = K_1^A x D_y^A = 371.4 \times 0.028 = 10.40t$$

$$F_Y^B = K_1^B x D_y^B = 571.2 \times 0.030 = 17.136t$$

Bulunan tüm değerler için elastomer mesnetlerin modellemeye kullanılmak üzere kuvvet – yer değiştirme eğrileri Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de gösterildiği gibi çizilmiştir.



Şekil 4.6. A tipi doğal kauçuk izolatorlerin kuvvet – yer değıstirme eğrisi



Şekil 4.7. B tipi doğal kauçuk izolatorlerin kuvvet – yer değıstirme eğrisi

Bulunan bu değerlere göre, SAP2000 bilgisayar programında N1link olarak kullanılacak verilere ait çizelgeler Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.2. A tipi doğal kauçuk mesnedin SAP2000 bilgisayar programında N1link eleman olarak tanımlanması

Özellik Adı: NRB - A		Tipi: İzolatör 1	
Toplam Ağırlığı:		0.3465 (t)	
Doğrultu	Özellik		
U1 (Düşey)	Rijitlik (t/m)	Lineer	Nonlineer
		51287	-
U2 (Yatay)	Rijitlik (t/m)	93.329	371.40
	Akma Dayanımı (t)	-	10.40
	$K_2 / K_1$	-	0.1667
U3 (Yatay)	Rijitlik (t/m)	93.329	371.40
	Akma Dayanımı (t)	-	10.40
	$K_2 / K_1$	-	0.1667

Çizelge 4.3. B tipi doğal kauçuk mesnedin SAP2000 bilgisayar programında N1link eleman olarak tanımlanması

Özellik Adı: NRB - B		Tipi: İzolatör 1	
Toplam Ağırlığı:		0.6342 (t)	
Doğrultu	Özellik		
U1 (Düşey)	Rijitlik (t/m)	Lineer	Nonlineer
		68909	-
U2 (Yatay)	Rijitlik (t/m)	147.70	571.20
	Akma Dayanımı (t)	-	17.136
	$K_2 / K_1$	-	0.1667
U3 (Yatay)	Rijitlik (t/m)	147.70	571.20
	Akma Dayanımı (t)	-	17.136
	$K_2 / K_1$	-	0.1667

#### 4.4.2. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörlerle Yalıtılmış Taban İzolasyonu Tasarımı (Lead Rubber Bearing - LRB)

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör modeli tasarımı, birkaç değişik adım dışında, doğal kauçuk izolatör modeli tasarımıyla tamamen aynıdır. (Camgöz Çağlar M., 2002) Tasarlanacak izolatör mesnetleri, izolatörlerin taşıdığı yüke göre  $W^A = 80 \text{ ton}$  ve  $W^B = 134 \text{ ton}$ 'luk olmak üzere A ve B tiplerinde tasarlanacaktır. Kayma modülü değeri  $G = 65 \text{ t/m}^2$  olarak alınacaktır. Tasarım yer değiştirmesi " $D_D$ "; titreşim periyodu  $T_D = 2.5 \text{ sn}$  ve sönüm  $\beta=0.15$  için aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$1. \quad D_D = \frac{gC_{VD}T_D}{B(4\pi^2)} = \frac{9.81(0.64)(2.5)}{1.35(4\pi^2)} \cong 0.29m$$

Bu tasarım yer değiştirmesini sağlayabilecek efektif rijitlikler;

$$2. \quad K_{eff}^A = \frac{4\pi^2(W^A)}{(T_D)^2 g} = \frac{4\pi^2(80)}{(2.5)^2(9.81)} = 51.51t/m$$

$$K_{eff}^B = \frac{4\pi^2(W^B)}{(T_D)^2 g} = \frac{4\pi^2(134)}{(2.5)^2(9.81)} = 86.28t/m$$

$$3. \quad W_D^A = 2\pi(K_{eff}^A)(D)^2(\beta) = 2\pi(51.51)(0.29)^2(0.15) = 4.08tm$$

$$W_D^B = 2\pi(K_{eff}^B)(D)^2(\beta) = 2\pi(86.28)(0.29)^2(0.15) = 6.84tm$$

$$4. \quad Q^A = \frac{W_D^A}{4(D - D_y)} \Rightarrow (D_y \rightarrow ihmal) \Rightarrow \frac{4.08}{4(0.29)} = 3.52t$$

$$Q^B = \frac{W_D^B}{4(D - D_y)} \Rightarrow (D_y \rightarrow ihmal) \Rightarrow \frac{6.84}{4(0.29)} = 5.90t$$

$$5. \quad K_2^A = K_{eff}^A - \frac{Q^A}{D} = 51.51 - \frac{3.52}{0.29} = 39.37t/m$$

$$K_2^B = K_{eff}^B - \frac{Q^B}{D} = 86.28 - \frac{5.90}{0.29} = 65.94t/m$$

$$6. \quad D_y^A = \frac{Q^A}{K_1^A - K_2^A} = \frac{Q^A}{9K_2^A} = \frac{3.52}{9(39.37)} \cong 0.0099m$$

$$D_y^B = \frac{Q^B}{K_1^B - K_2^B} = \frac{Q^B}{9K_2^B} = \frac{5.90}{9(65.94)} \cong 0.0099m$$

$$7. \quad Q^A = \frac{W_D^A}{4(D - D_y)} = \frac{4.08}{4(0.29 - 0.0099)} = 3.64t$$

$$Q^B = \frac{W_D^B}{4(D - D_y)} = \frac{6.84}{4(0.29 - 0.0099)} = 6.10t$$

8.  $Q = f_y \times \text{Kurşun Alanı}$

$$Q^A = f_y \frac{\pi(\phi)^2}{4} \Rightarrow 3.64 = 1000 \frac{\pi(\phi)^2}{4} \Rightarrow \phi = 0.068m$$

$$Q^B = f_y \frac{\pi(\phi)^2}{4} \Rightarrow 6.10 = 1000 \frac{\pi(\phi)^2}{4} \Rightarrow \phi = 0.088m$$

$$9. \quad K_2^A = K_{eff}^A - \frac{Q^A}{D} = 51.51 - \frac{3.64}{0.29} = 38.96t/m$$

$$K_1^A = 10K_2^A = 10(38.96) = 389.60t/m$$

$$K_2^B = K_{eff}^B - \frac{Q^B}{D} = 86.28 - \frac{6.10}{0.29} = 65.25t/m$$

$$K_1^B = 10K_2^B = 10(65.25) = 652.50t/m$$

$$10. \quad K_2^A = \frac{GA}{t_r^A} \quad 38.96 = \frac{65\pi(0.50)^2}{4(t_r^A)} \quad t_r^A = 0.32m = 320mm$$

$$K_2^B = \frac{GA}{t_r^B} \quad 65.25 = \frac{65\pi(0.55)^2}{4(t_r^B)} \quad t_r^B = 0.24m = 240mm$$

Bulunan “ $t_r$ ” değerleri için kayma kontrolü yapılırsa ( $\gamma_{max} = 1.5$ );

$$\gamma = \frac{D_D}{t_r} \leq \gamma_{max}$$

$$\gamma^A = \frac{D_D}{t_r^A} = \frac{0.29}{0.32} = 0.90 \leq \gamma_{max}$$

$$\gamma^B = \frac{D_D}{t_r^B} = \frac{0.29}{0.24} = 1.21 \leq \gamma_{max}$$

Görülüyor ki, yapılan hesaplar istenilen sınırlar içerisindedir. Buna göre; A tipi izolatörler 20 adet 16 mm kalınlıklı, B tipi izolatör ise 15 adet 16 mm kalınlıklı kauçuk tabakadan oluşmaktadır. Kauçuk tabaka çapları; A tipi mesnetlerde 50 cm, B tipi mesnetlerde ise 55 cm olarak işleme alınmışlardır. Kauçuk tabaka çapları seçilirken kayma kontrolü sağlanacak şekilde seçilmişlerdir.

$$11. \quad S = \frac{D}{4t} = \frac{55}{4(1.6)} = 8.594 \text{ (A ve B tipi için)}$$

$$E_C = 6GS^2 = 6(65)(8.594)^2 = 28804.17t/m^2 \text{ (A ve B tipi için)}$$

$$K_v^A = \frac{E_C A}{t_r^A} = \frac{28804.17\pi(0.50)^2}{4(0.32)} = 17674.02t/m$$

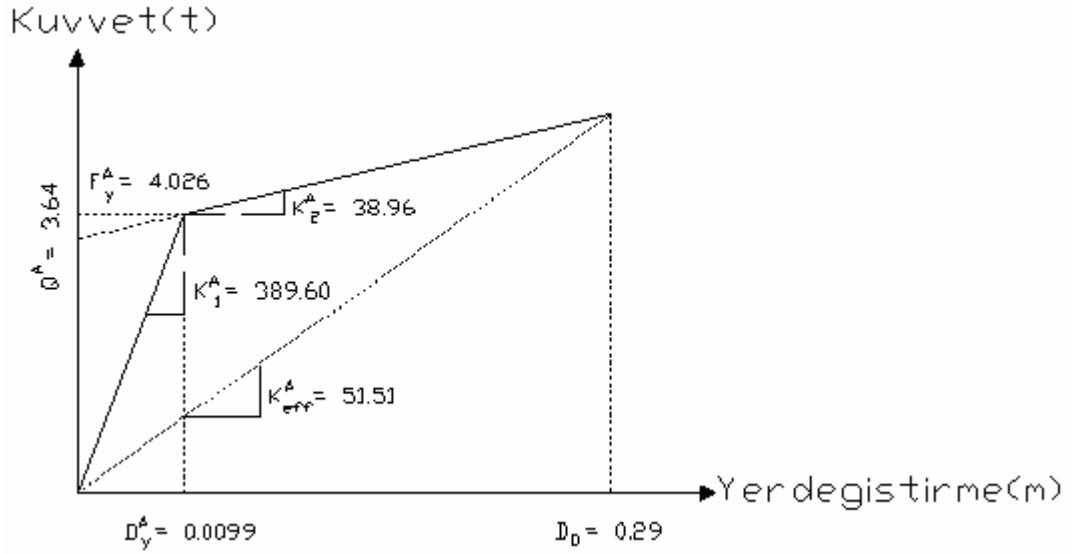
$$K_v^B = \frac{E_C A}{t_r^B} = \frac{28804.17\pi(0.55)^2}{4(0.24)} = 28514.08t/m$$

$$12. \quad F_y^A = Q^A + K_2^A(D_y^A) = 3.64 + 38.96(0.0099) = 4.026t$$

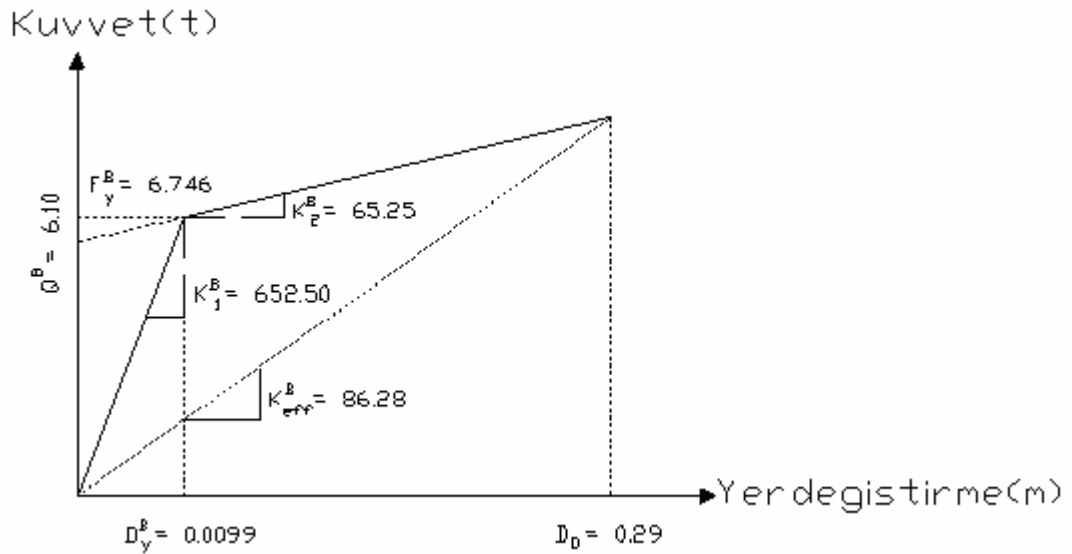
$$F_y^B = Q^B + K_2^B(D_y^B) = 6.10 + 65.25(0.0099) = 6.746t$$



Bulunan tüm değerler için kauçuk çekirdekli mesnetlerin modellemede kullanılmak üzere kuvvet – yer değiştirme eğrileri Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da gösterildiği gibi çizilmiştir.



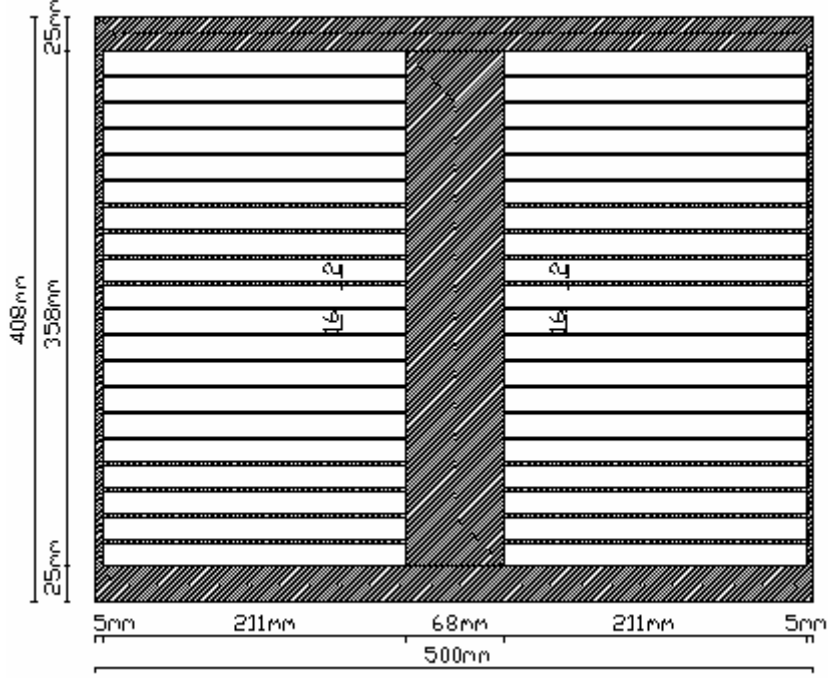
Şekil 4.8. A tipi kurşun çekirdekli kauçuk izolatorlerin kuvvet – yer değıstirme eğrisi



Şekil 4.9. B tipi kurşun çekirdekli kauçuk izolatorlerin kuvvet – yer değıstirme eğrisi

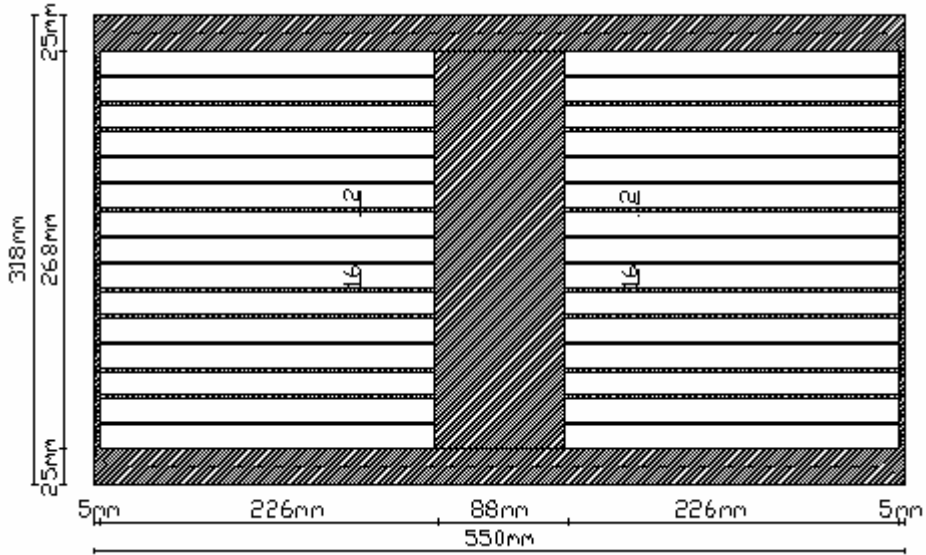
#### 4.4.2.1. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör Detayı

A tipi mesnetlerde;



Şekil 4.10. A tipi kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kesidi

B tipi mesnetlerde;



Şekil 4.11. B tipi kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kesidi

Bulunan bu değerlere göre, SAP2000 programında N1link olarak kullanılacak verilere ait çizelgeler aşağıda gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.4. A tipi kurşun çekirdekli kauçuk mesnedin SAP2000 bilgisayar programında N1link eleman olarak tanımlanması

Özellik Adı: LRB - A		Tipi: İzolatör 1	
Toplam Ağırlığı:		0.43488 (t)	
Doğrultu	zellik		
U1 (Düşey)	Rijitlik (t/m)	Lineer	Nonlineer
		17674	-
U2 (Yatay)	Rijitlik (t/m)	51.51	389.60
	Akma Dayanımı (t)	-	4.026
	$K_2 / K_1$	-	0.1
U3 (Yatay)	Rijitlik (t/m)	51.51	389.60
	Akma Dayanımı (t)	-	4.026
	$K_2 / K_1$	-	0.1

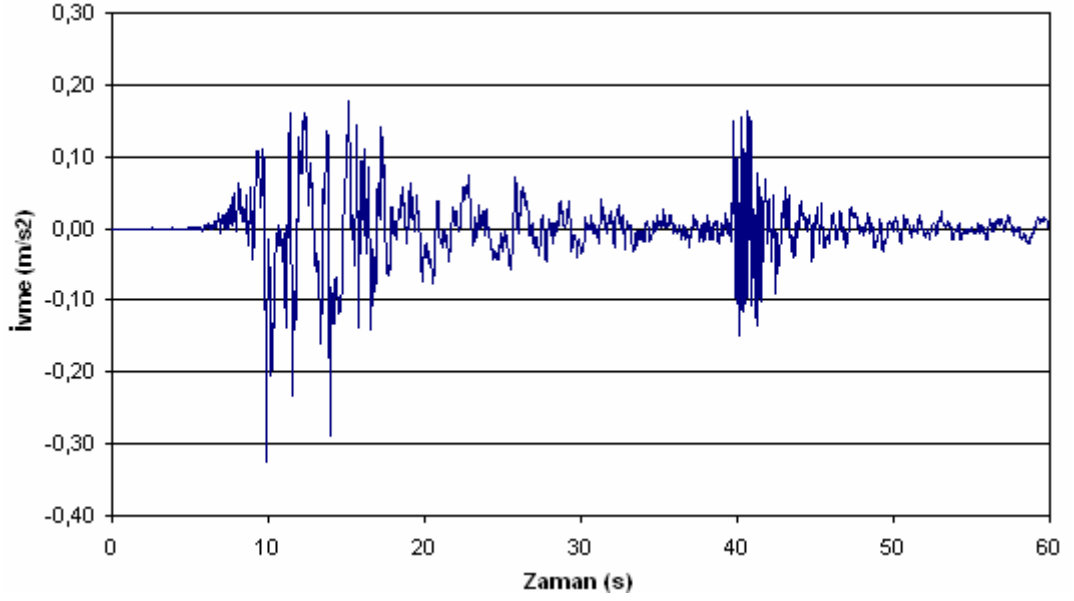
Çizelge 4.5. B tipi kurşun çekirdekli kauçuk mesnedin SAP2000 bilgisayar programında N1link eleman olarak tanımlanması

Özellik Adı: LRB - B		Tipi: İzolatör 1	
Toplam Ağırlığı:		0.84938 (t)	
Doğrultu	zellik		
U1 (Düşey)	Rijitlik (t/m)	Lineer	Nonlineer
		28514	-
U2 (Yatay)	Rijitlik (t/m)	86.28	652.50
	Akma Dayanımı (t)	-	6.746
	$K_2 / K_1$	-	0.1
U3 (Yatay)	Rijitlik (t/m)	86.28	652.50
	Akma Dayanımı (t)	-	6.746
	$K_2 / K_1$	-	0.1

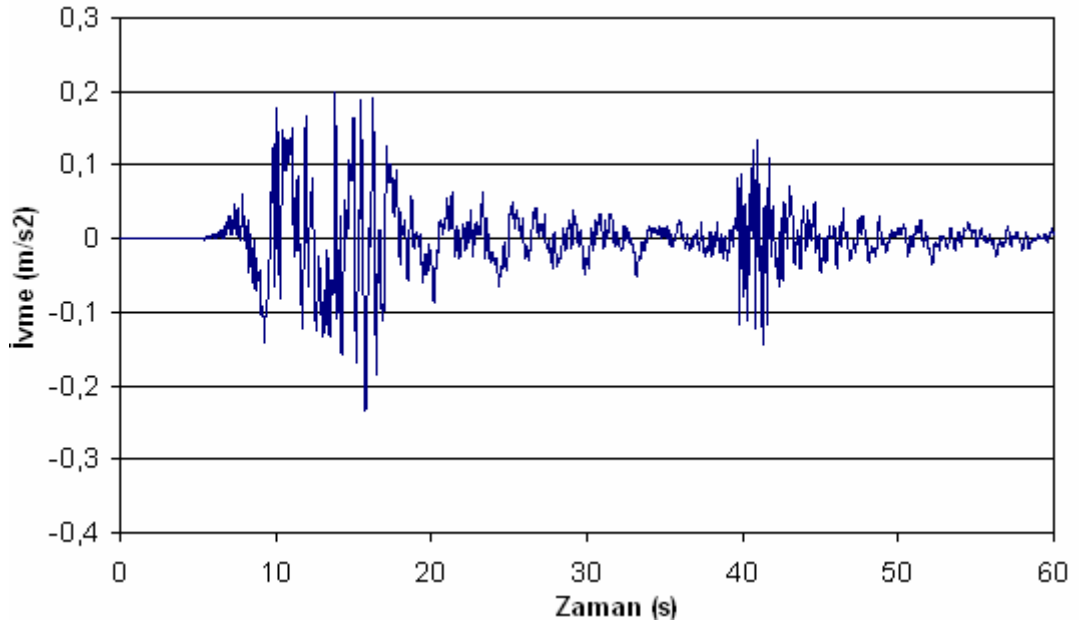
## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 5.1. Giriş

Bu bölümde, seçilen örnek yapının zaman tanım alanında hesap analizleri yapılmıştır. Zaman tanım alanında analiz yapılırken Şekil 5.1.a ve Şekil 5.1.b’de gösterildiği üzere 17 Ağustos İzmit depremi Petkim Yarımca istasyonundan alınan ivme kaydı verileri kullanılmıştır.



Şekil 5.1.a 17 Ağustos İzmit depremi Petkim Yarımca istasyonu Kuzey-Güney ivme kaydı



Şekil 5.1.b 17 Ağustos İzmit depremi Petkim Yarımca istasyonu Doğu-Batı ivme kaydı

## 5.2. Ankastre Mesnetli Sistemin Analiz Sonuçları

SAP2000 bilgisayar programı kullanılarak zaman tanım alanında, 17 Ağustos İzmit depremi ivme verileri altında ankastre mesnetli sistem için yapılan dinamik analizler neticesinde, modlara göre titreşim periyotları (Çizelge 5.1), yatay yer değiştirmeleri (Çizelge 5.2), x-x ekseninde belli noktalardaki eksenel kuvvetleri (Şekil 5.5), kesme kuvvetleri (Şekil 5.6), eğilme momentleri (Şekil 5.7) ve burulma düzensizlikleri (Şekil 5.8) değerlerine ulaşılmıştır.

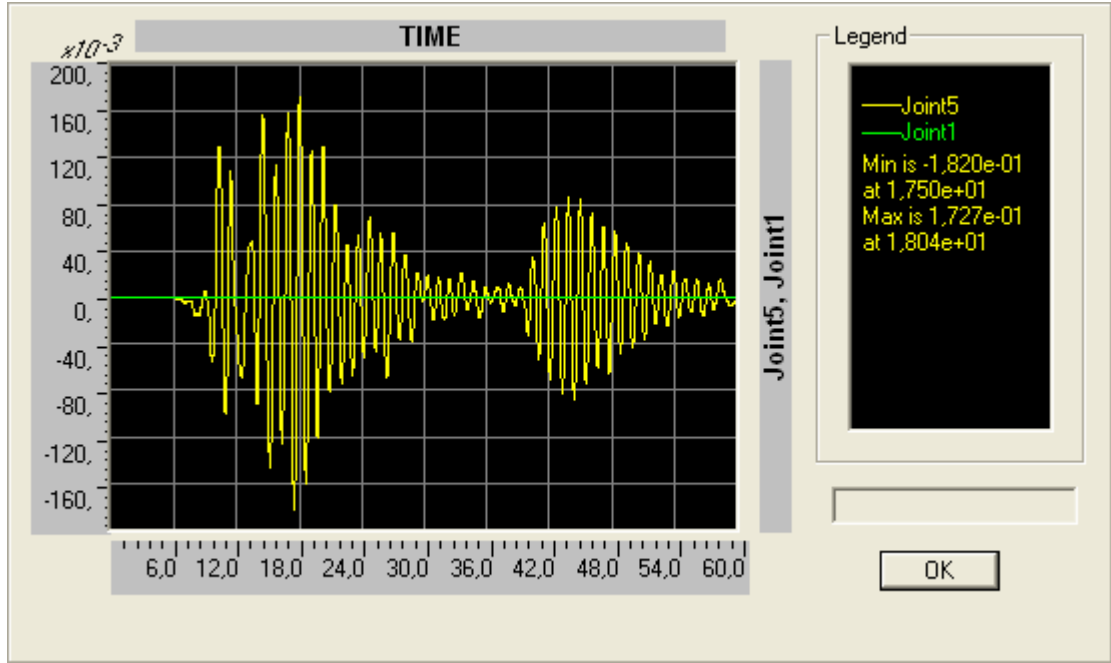
Çizelge 5.1. Ankastre mesnetli yapıda İzmit depremi ivme kayıtları altında analiz sonuçlarından elde edilen modlara göre titreşim periyotları

İzmit Depremi İvme Kayıtları Altında Meydana Gelen Mod Şekilleri		
MOD	Ankastre Yapı Periyodu (sn)	Mod Şekli
1	0,48130	Kuzey – Güney Yatay
2	0,34065	Doğu – Batı Yatay
3	0,15433	Burulma

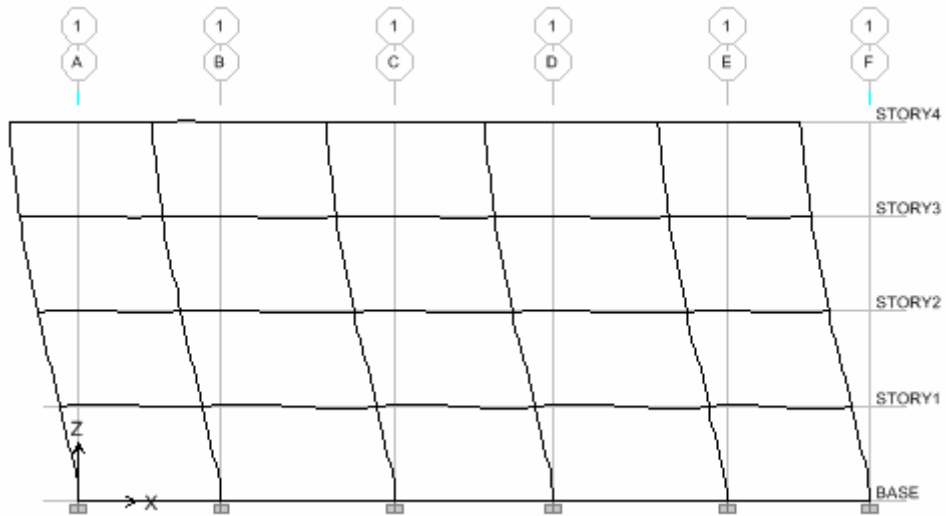
Çizelge 5.2. Ankastre temelli yapıda İzmit depremi ivme kayıtları yüklemesi sonucunda meydana gelen yatay yer değiştirmeler

X - X Eksen		Y -Y Eksen	
Düğüm Noktası	Deplasman (m)	Düğüm Noktası	Deplasman (m)
1	0,00000	6	0,0000
2	-0,05091	7	0,02317
3	-0,11195	8	0,06383
4	-0,15722	9	0,10129
5	-0,18206	10	0,12777

Bölüm 4'te detaylı bilgileri ve izolator hesapları verilen yapının ankastre mesnetli olarak deprem analizi sonucunda, x-x doğrultusunda yatay yönde yapmış olduğu deformasyonlar Şekil 5.3'de görülmektedir. Yapının, izolator seviyesindeki 1 no'lu ve en üst kattaki 5 no'lu düğüm noktalarının, yatay yer değiştirme grafikleri aynı şekil üzerinde Şekil 5.2'de gösterildiği gibi olmaktadır. Şekil 5.2'de görüldüğü üzere 1 no'lu düğümün zemine ankastre olmasından dolayı hiç hareket etmediği, 5 no'lu düğümün ise -0,18 m ile 0,17 m arasında deplasman yaptığı görülmektedir.

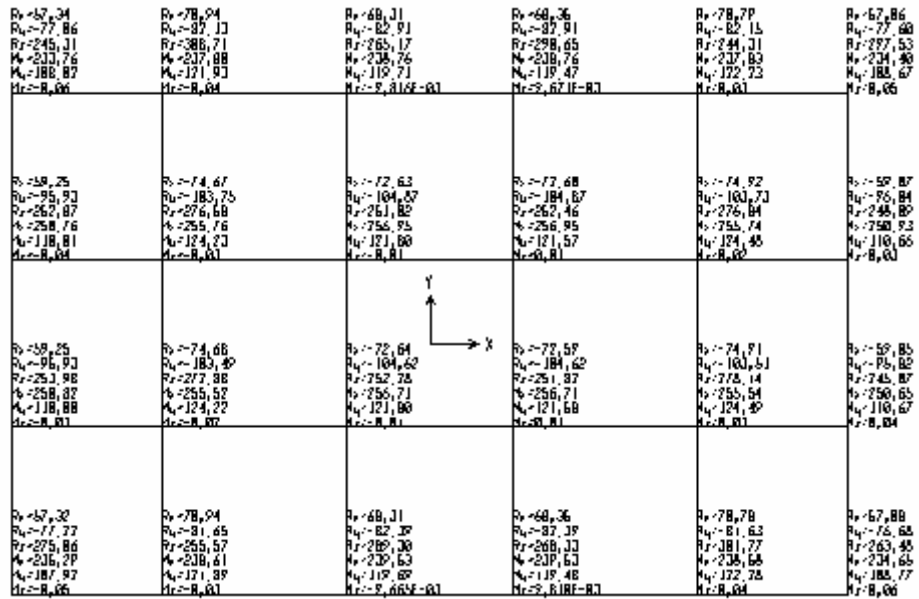


Şekil 5.2. Ankastre mesnetli sistemde, izolatör seviyesindeki 1 no'lu düğüm ile en üst kattaki 5 no'lu düğümün deplasman (m) grafiklerinin birlikte gösterilişi

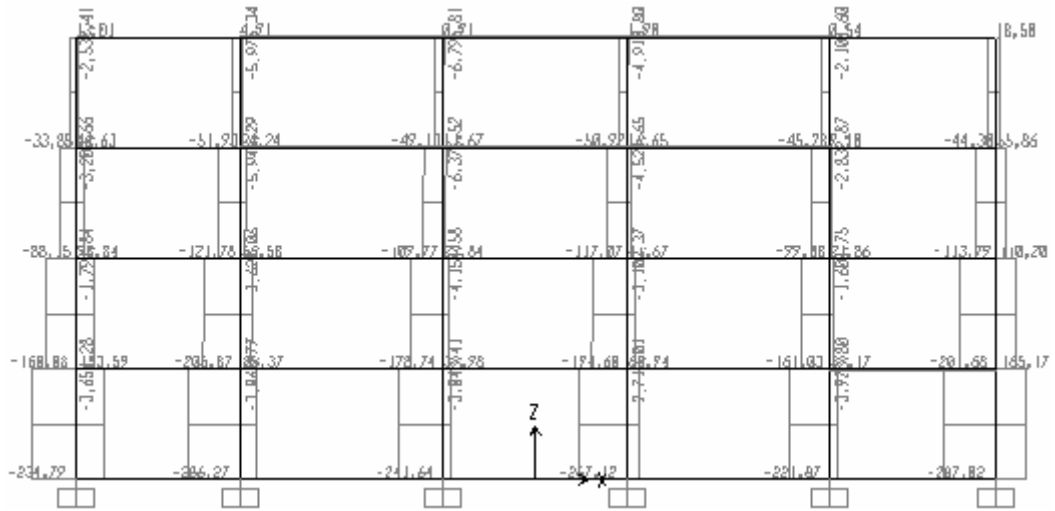


Şekil 5.3. Ankastre mesnetli sistemde x-x ekseninde 1. mod şeklinde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan yatay yer değiştirmeler

Analiz sonuçlarına göre, ankastre mesnetli sistemde İzmit depremi sonrasında oluşan mesnet reaksiyonları ton cinsinden Şekil 5.5'de gösterildiği gibidir.

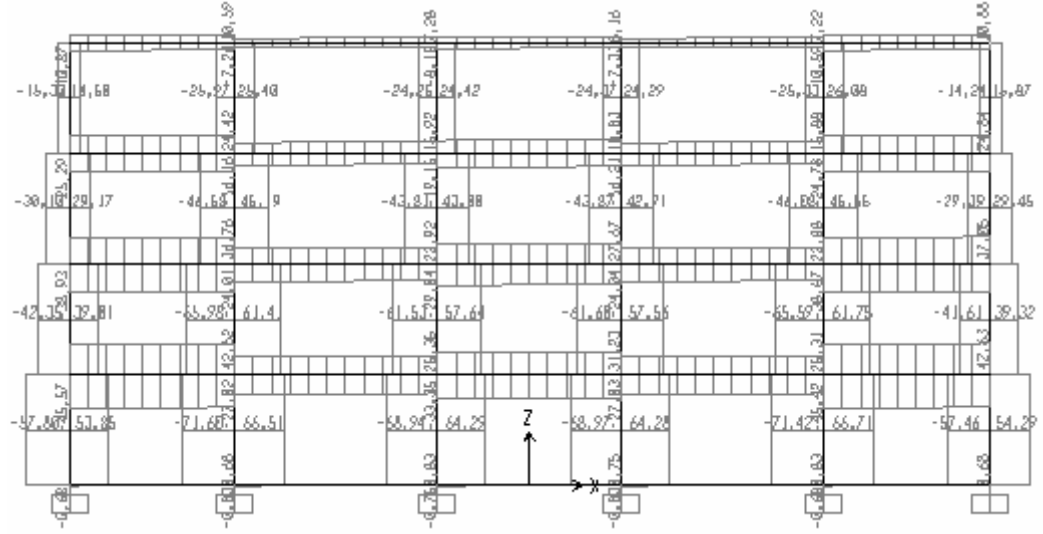


Şekil 5.4. Ankastr mesnetli sistemde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan mesnet reaksiyonları

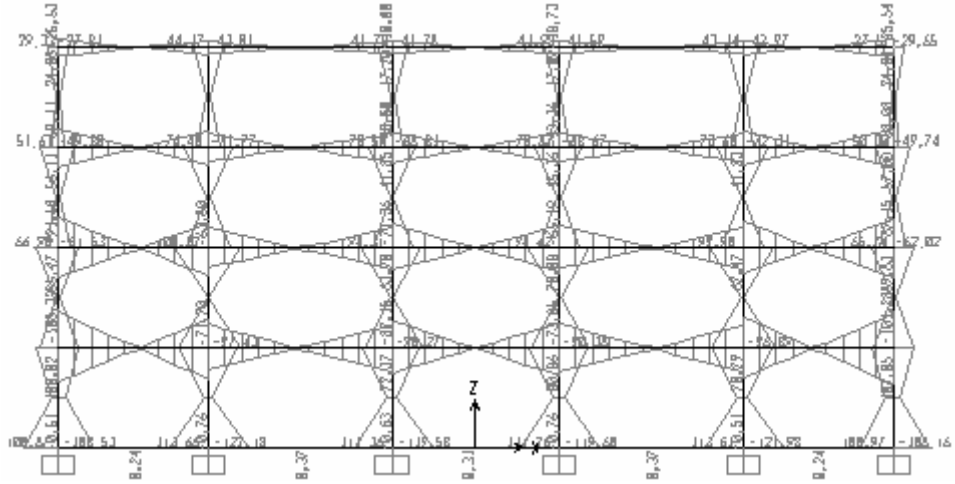


Şekil 5.5. Ankastr mesnetli sistemde x-x ekseninde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan aksenal kuvvetler

Şekil 5.5'de görüldüğü üzere, temelden üst katlara doğru gidildikçe aksenal kuvvet değerlerinin azaldığı görülmektedir. Analizler neticesinde oluşturulmuş bu grafikler, depremin maksimum ivme değerleri altında oluşturulmuşlardır.



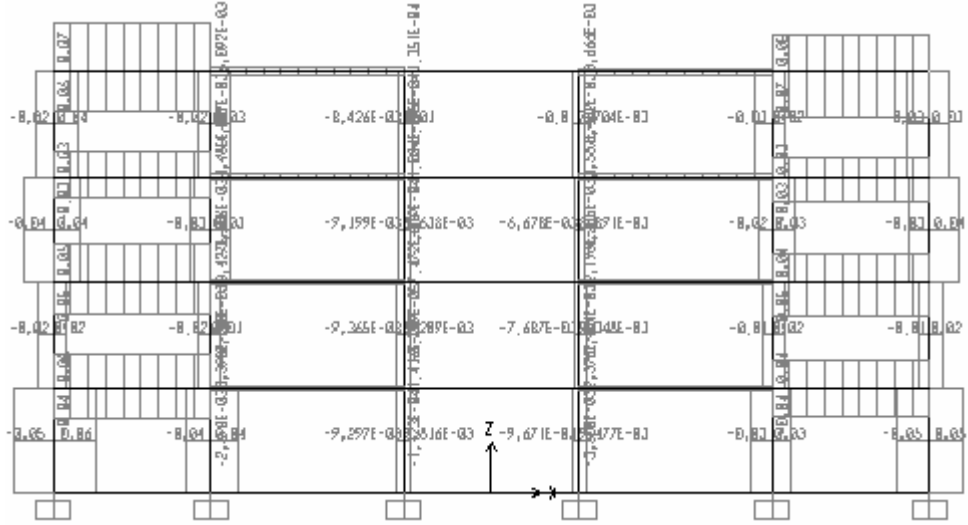
Şekil 5.6. Ankastr mesnetli sistemde x-x ekseninde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan kesme kuvvetleri



Şekil 5.7. Ankastr mesnetli sistemde x-x ekseninde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan eğilme momentleri

Dinamik analiz sonrasında, Şekil 5.5. Şekil 5.6. ve Şekil 5.7. ve Şekil 5.8.'de bulunan değerler, belli noktalar için izolasyonlu sistemlerle karşılaştırmalı olarak Bölüm 5.4.'de anlatılacaktır.





Şekil 5.8. Ankastr mesnetli sistemde x-x ekseninde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan burulma düzensizlikleri

### 5.3. Sismik Taban İzolasyonlu Sistemin Analiz Sonuçları

Bu bölümde, sismik taban izolatörleriyle yalıtılmış sistemin N1link olarak tanımlanmış izolatör mesnetlerinin, zaman tanım alanında dinamik analizleri yapılarak, kauçuk izolatörlü ve kurşun çekirdekli olmak üzere hesap sonuçları çizelgeler halinde verilmiştir.

#### 5.3.1. Kauçuk İzolatörlerle Yalıtılmış Sistemin Analiz Sonuçları

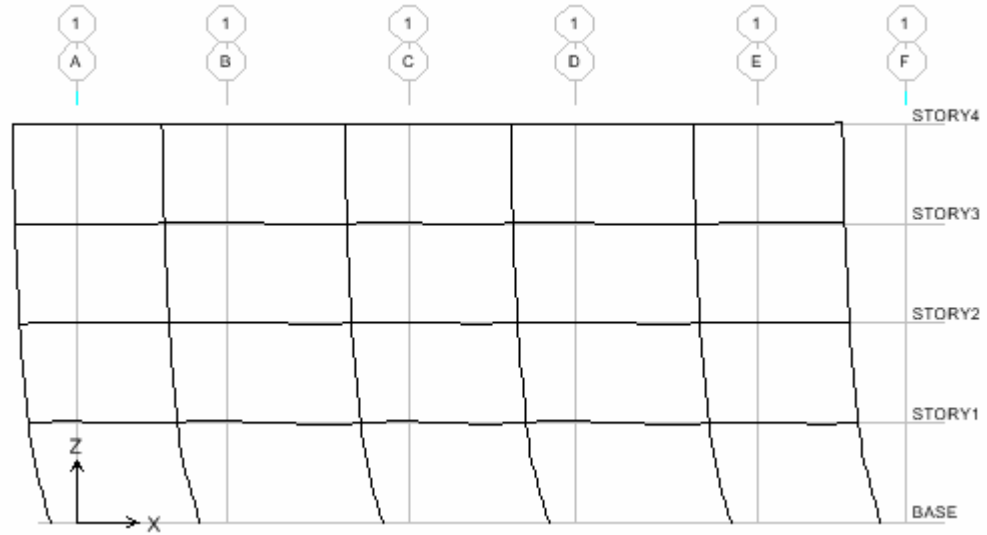
Kauçuk izolatörlerle yalıtılmış sistemin analiz sonuçları, mod şekillerine göre titreşim periyotları (Çizelge 5.3), maksimum yatay deplasmanlar (Çizelge 5.4), eksenel kuvvetler (Şekil 5.11), kesme kuvvetleri (Şekil 5.12), eğilme momentleri (Şekil 5.13) ve burulma düzensizlikleri (Şekil 5.14) için ayrı ayrı verilmiştir.

Çizelge 5.3. Kauçuk izolatörle yalıtılmış yapı sisteminin mod şekillerine göre titreşim periyotları

İzmit Depremi İvme Kayıtları Altında Meydana Gelen Mod Şekilleri		
MOD	İzolasyonlu Yapının Periyodu (sn)	Mod Şekli
1	2,25602	Kuzey Güney Yatay
2	2,15032	Doğu –Batı Yatay
3	1,96129	Burulma

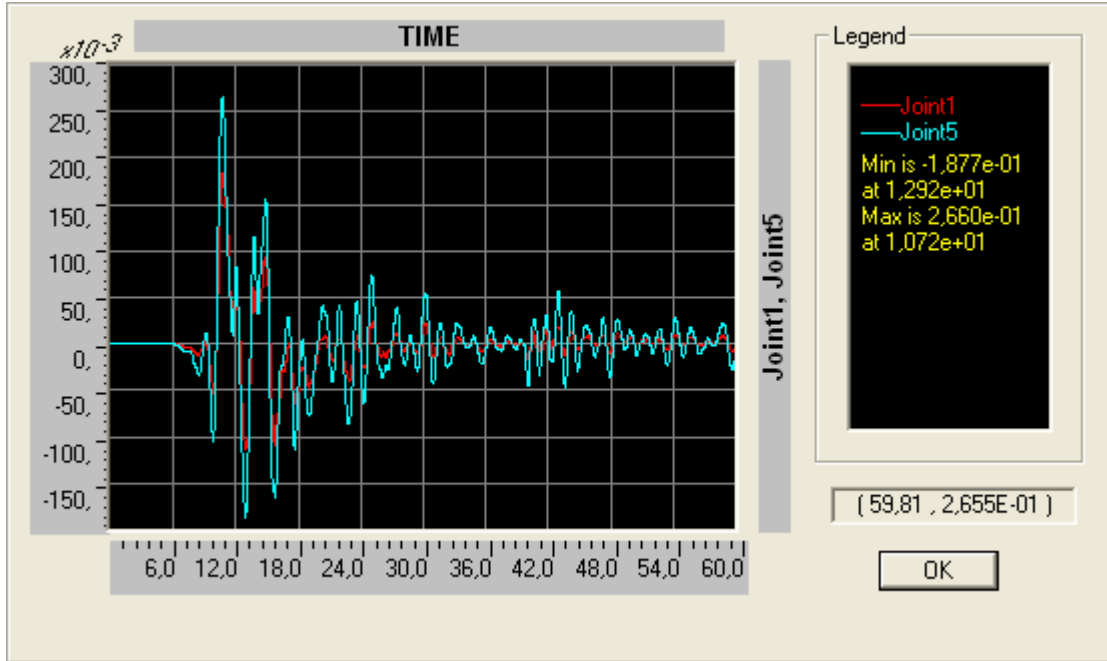
Çizelge 5.4. Kauçuk izolatörle yalıtılmış yapı sisteminde İzmit depremi ivme kayıtları altında meydana gelen maksimum deplasmanlar

X-X Ekseni		Y-Y Ekseni	
Düğüm Noktası	Deplasman (m)	Düğüm Noktası	Deplasman (m)
1	0,18359	6	-0,13523
2	0,21286	7	-0,14695
3	0,24002	8	-0,15840
4	0,25766	9	-0,16733
5	0,26602	10	-0,17333

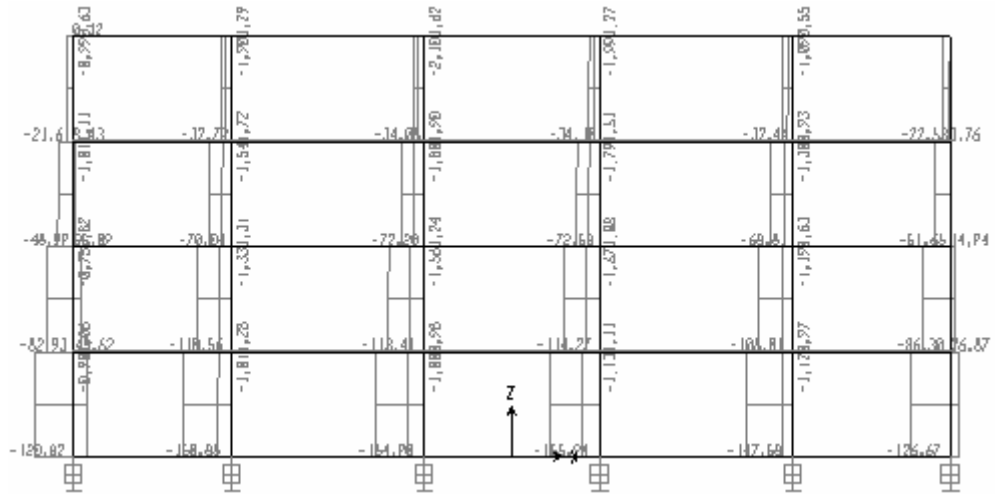


Şekil 5.9. Kauçuk izolatörle yalıtılmış sistemde x-x ekseninde 1. mod şeklinde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan yer değiştirmelerin planda görünüşü

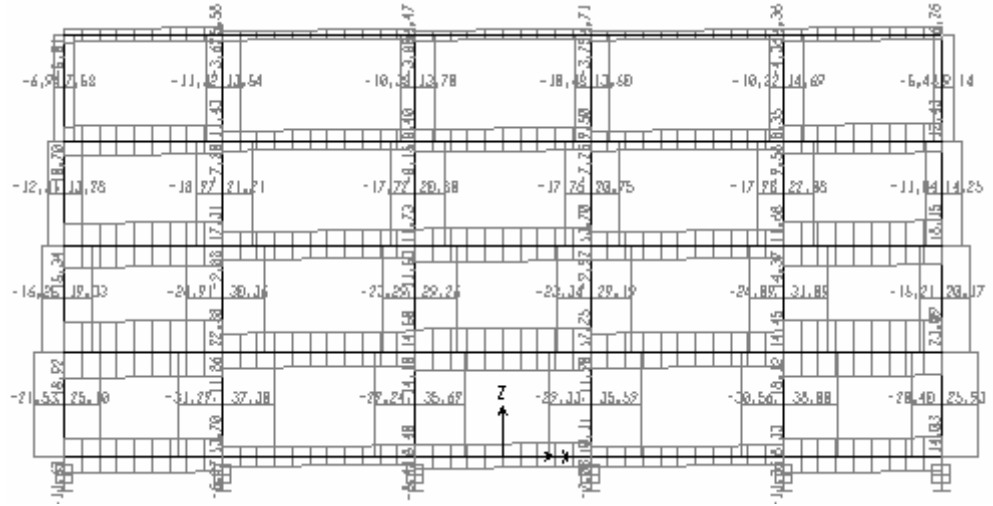
Kauçuk izolatörlerle yalıtılmış sistemin, katlar arası görelî yatay deplasmanlarını görmek amacıyla Şekil 5.10'daki grafik çizilmiştir. Bu grafikte, yapının deprem anında izolatör katı ile en üst kat seviyesi arasındaki görelî yatay deplasman eğrisi ve maksimum yatay deplasmanlar gösterilmektedir.



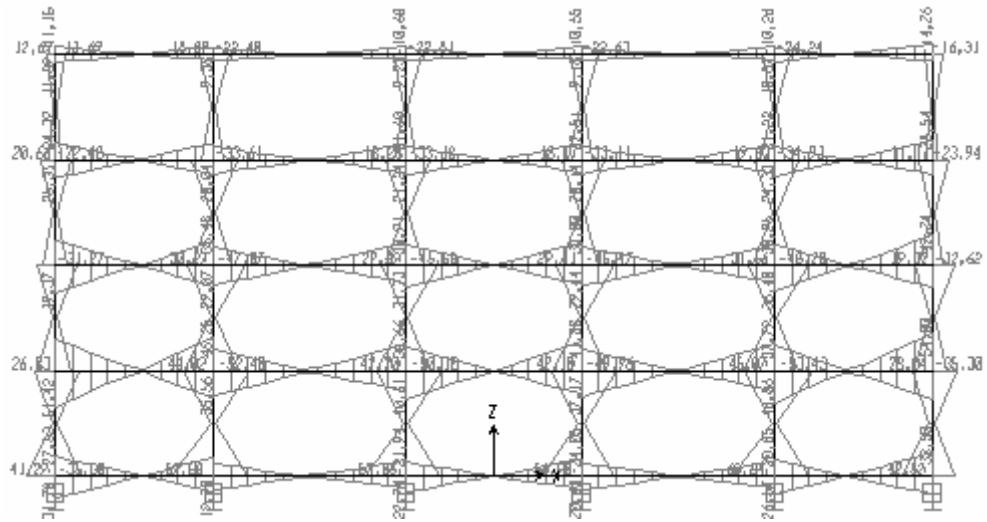
Şekil 5.10. Kauçuk izolatörlerle yalıtılmış sistemde, izolatör seviyesindeki 1 no'lu düğüm ile en üst kattaki 5 no'lu düğümün yatay yer değiştirme grafiklerinin birlikte gösterilişi



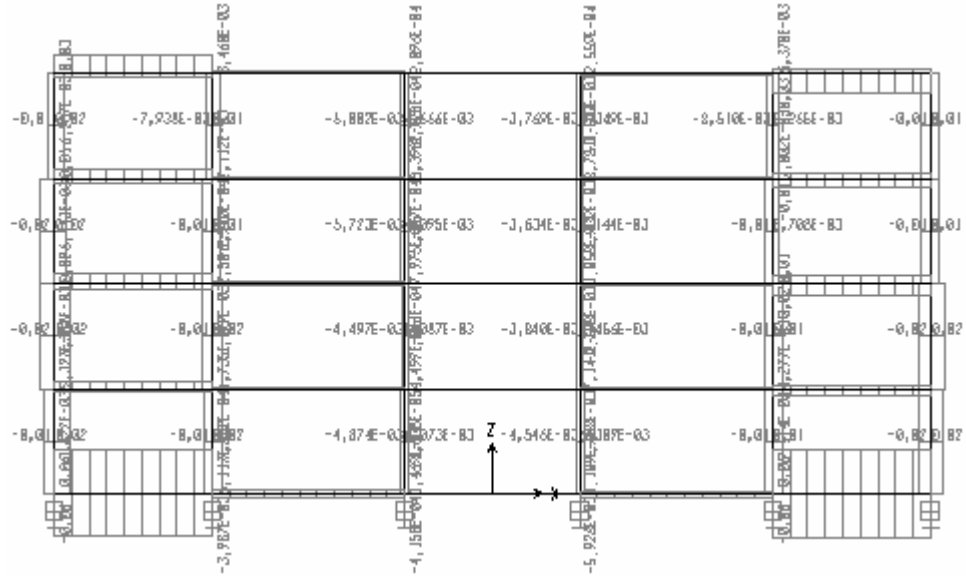
Şekil 5.11. Kauçuk izolatörlerle yalıtılmış sistemde x-x ekseninde 1. mod şeklinde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan aksenal kuvvetler



Şekil 5.12. Kauçuk izolatörle yalıtılmış sistemde x-x eksenini üzerinde 1. mod şeklinde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan kesme kuvvetleri



Şekil 5.13. Kauçuk izolatörle yalıtılmış sistemde x-x eksenini üzerinde 1. mod şeklinde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan eğilme momentleri



Şekil 5.14. Kauçuk izolatörle yalıtılmış sistemde x-x ekseninde 1. mod şeklinde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan burulma düzensizlikleri

### 5.3.2. Kurşun Çekirdekli İzolatörlerle Yalıtılmış Sistemin Analiz Sonuçları

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerle yalıtılmış sistemin analiz sonuçları da sırasıyla, mod şekillerine göre titreşim periyotları (Çizelge 5.5), maksimum yatay yer değiştirme değerleri (Çizelge 5.6), aksenal kuvvetler (Şekil 5.17), kesme kuvvetleri (Şekil 5.18), eğilme momentleri (Şekil 5.19) ve burulma düzensizlikleri (Şekil 5.20) için şekil ve çizelgeler halinde verilmiştir.

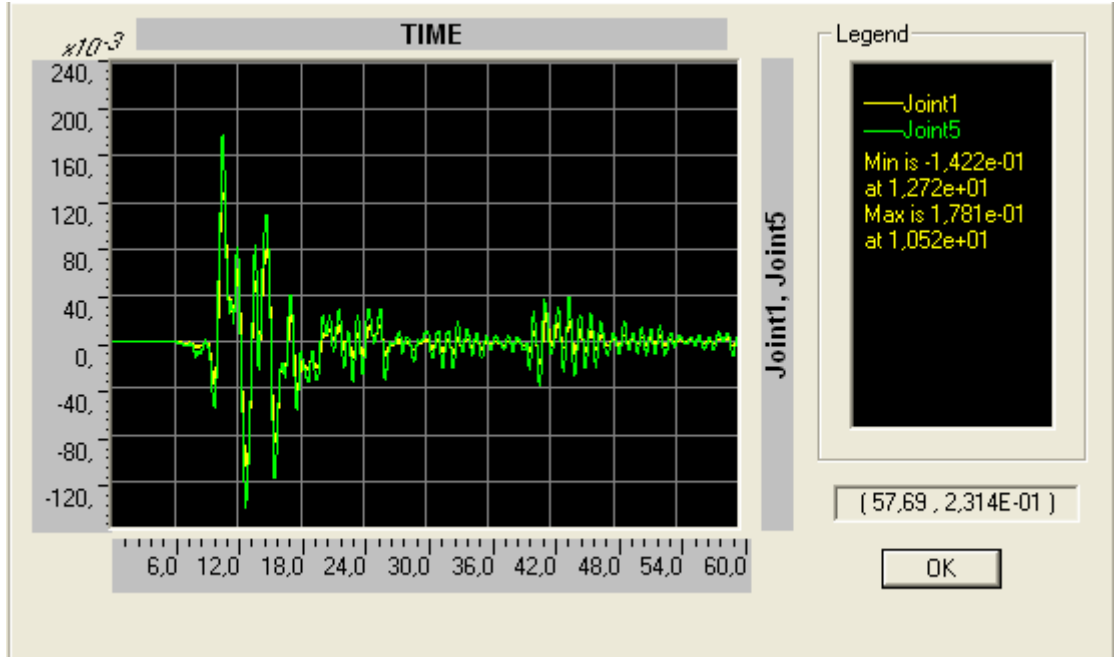
Şekil 5.15'deki grafik, yapının deprem anında izolatör katı ile en üst kat seviyesi arasındaki görelî yatay deplasman eğrisini ve maksimum yatay deplasmanları göstermektedir.

Çizelge 5.5. Kurşun çekirdekli izolatörle yalıtılmış yapı sisteminin mod şekillerine göre titreşim periyotları

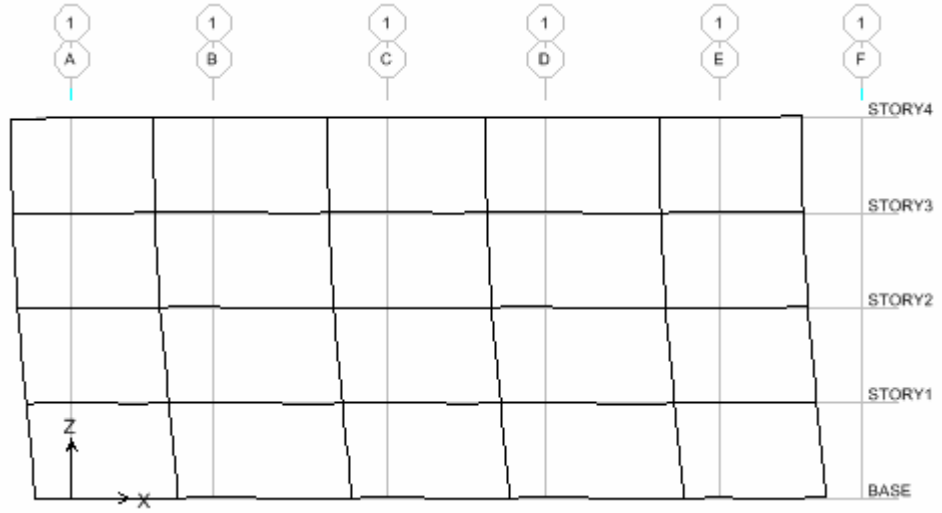
İzmit Depremi İvme Kayıtları Altında Meydana Gelen Mod Şekilleri		
MOD	İzolasyonlu Yapının Periyodu (sn)	Mod Şekli
1	2,42787	Kuzey Güney Yatay
2	2,36108	Doğu –Batı Yatay
3	2,14003	Burulma

Çizelge 5.6. Kurşun çekirdekli izolatorle yalıtılmış yapı sisteminde İzmit depremi ivme kayıtları altında meydana gelen maksimum deplasmanlar

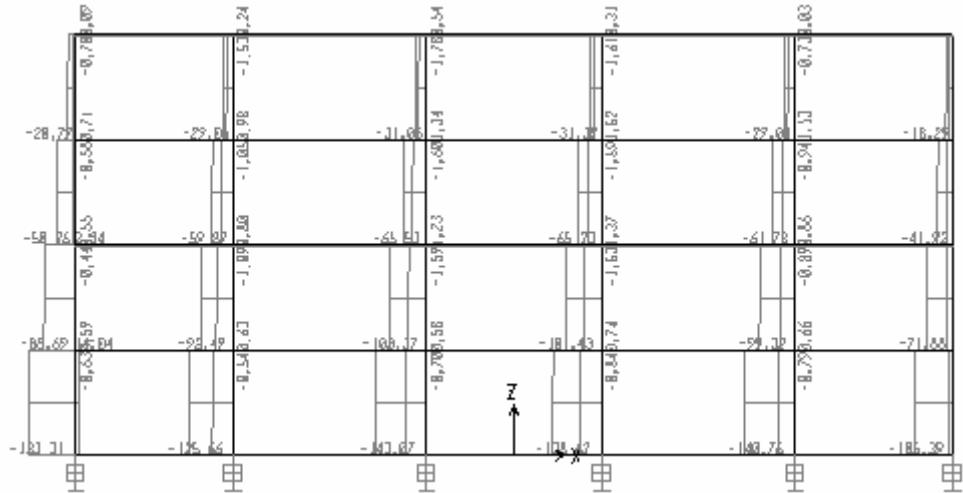
X-X Ekseni		Y-Y Ekseni	
Düğüm Noktası	Deplasman (m)	Düğüm Noktası	Deplasman (m)
1	0,22566	6	-0,23148
2	0,24142	7	-0,24110
3	0,25806	8	-0,25080
4	0,27082	9	-0,25848
5	0,27843	10	-0,26362



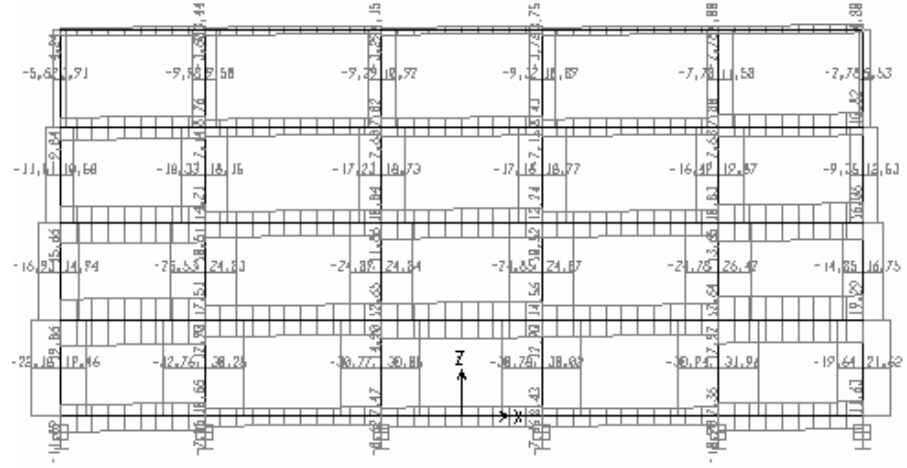
Şekil 5.15. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatorlerle yalıtılmış sistemde, izolator seviyesindeki 1 no'lu düğüm ile en üst kattaki 5 no'lu düğümün deplasman (m) grafiklerinin birlikte gösterilişi



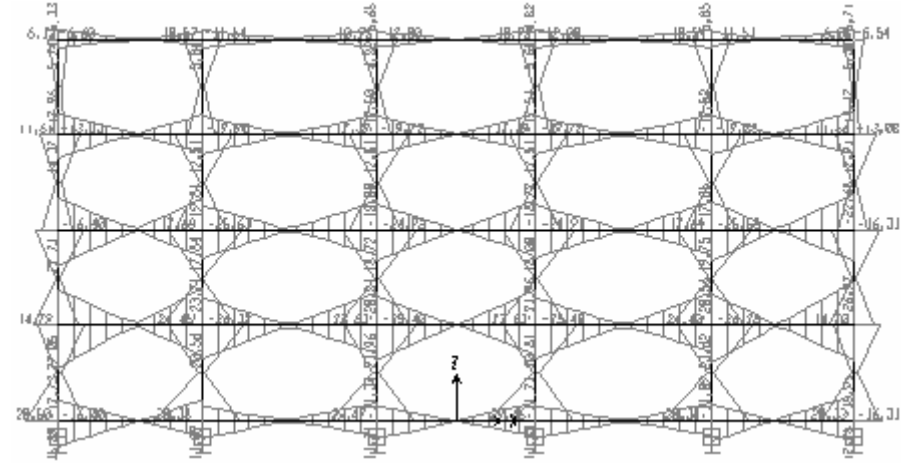
Şekil 5.16. Kurşun çekirdekli izolatorle yalıtılmış sistemde x-x ekseninde 1. mod şeklinde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan yer değiştirmeler



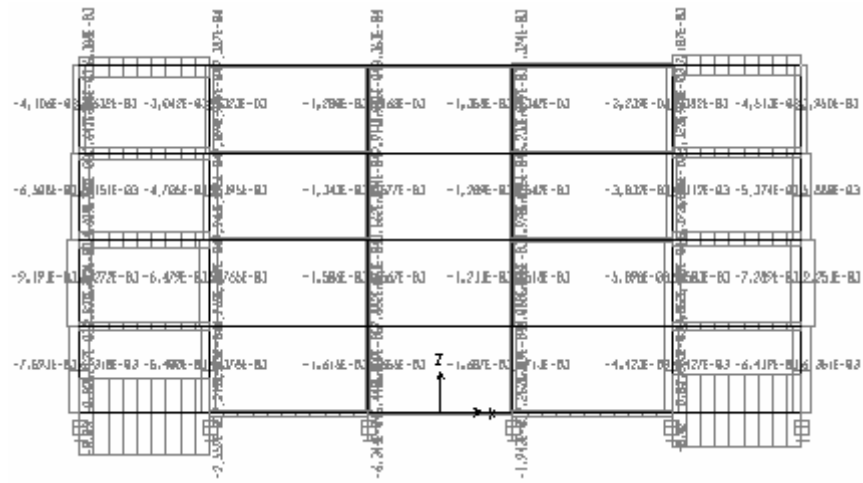
Şekil 5.17. Kurşun çekirdekli izolatorle yalıtılmış sistemde x-x ekseninde 1. mod şeklinde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan aksenal kuvvetler



Şekil 5.18. Kurşun çekirdekli izolatorle yalıtılmış sistemde x-x ekseninde 1. mod şeklinde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan kesme kuvvetleri



Şekil 5.19. Kurşun çekirdekli izolatorle yalıtılmış sistemde x-x ekseninde 1. mod şeklinde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan eğilme momentleri



Şekil 5.20. Kurşun çekirdekli izolatorle yalıtılmış sistemde x-x ekseninde 1. mod şeklinde İzmit deprem yüklemesi sonucu oluşan burulma düzensizlikleri



#### 5.4. Ankastre Mesnetli Sistem ile Sismik İzolasyonlu Sistemin Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde; ankastre mesnetli sistem ile sismik izolasyonlu mesnet sisteminin, önceki bölümlerde bulunan analiz sonuçları kullanılarak, yapı 1. mod doğal titreşim periyotları Çizelge (5.7), yapının belli noktaları için maksimum yatay deplasmanları (Çizelge 5.8), aksenal kuvvetler (Çizelge 5.9), kesme kuvvetleri (Çizelge 5.10), eğilme momentleri (Çizelge 5.11) ve burulma düzensizlikleri (Çizelge 5.12) çizelgeler halinde karşılaştırılarak verilmiştir.

Çizelge 5.7. İzmit depremi ivme kayıtları altında ankastre temelli sistem ile sismik izolasyonlu sistemde meydana gelen birinci mod doğal titreşim periyotları karşılaştırılması

Yapı Sistemleri	1. Mod Doğal Titreşim Periyotları (sn)
Ankastre Mesnetli Sistem	0,48130
Kauçuk İzolatörlü Mesnet Sistemi	2,01053
Kurşun Çekirdekli Mesnet Sistemi	2,26953

Birinci mod doğal titreşim periyotları Çizelge 5.7’de karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Buradan izolasyonlu sistemin periyot değerlerinin istenilen uzunlukta ( $T = 2 \sim 3$  sn) olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.8. İzmit depremi ivme kayıtları altında ankastre temelli sistem ile sismik izolasyonlu sistemde meydana gelen yatay deplasmanlarının karşılaştırılması

Maksimum Yatay Deplasmanların Karşılaştırılması (m)			
Düğüm Noktası	Ankastre Mesnetli Sistem	Kauçuk İzolatörlü Sistem	Kurşun Çekirdekli Mesnet Sistemi
1	0,00000	0,18359	0,22566
2	-0,05091	0,21286	0,24142
3	-0,11195	0,24002	0,25806
4	-0,15722	0,25766	0,27082
5	-0,18206	0,26602	0,27843

Çizelge 5.9. İzmit depremi ivme kayıtları altında ankastre temelli sistem ile sismik izolasyonlu sistemde meydana gelen eksenel kuvvetlerin karşılaştırılması

X-X Eksenli					
Kolon no	EKSENEL KUVVETLER (ton)	Ankastre Mesnetli Sistem		Kauçuk İzolatörlü Mesnet Sistemi	Kurşun Çekirdekli Mesnet Sistemi
		Max.	Min.		
1		-234,79	151,86	-120,82	-133,31
2		-160,08	97,10	-82,93	-88,68
3		-88,14	44,89	-48,98	-50,26
4		-33,85	11,28	-21,60	-20,79

Çizelge 5.10. İzmit depremi ivme kayıtları altında ankastre temelli sistem ile sismik izolasyonlu sistemde meydana gelen kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması

X-X Eksenli					
Kolon no	KESME KUVVETLERİ (ton)	Ankastre Mesnetli Sistem		Kauçuk İzolatörlü Mesnet Sistemi	Kurşun Çekirdekli Mesnet Sistemi
		Max.	Min.		
1		-57,80	53,84	-21,53	-22,18
2		-42,35	39,00	-16,25	-16,93
3		-30,11	29,17	-12,31	-11,51
4		-15,29	14,50	-6,93	-5,61

Çizelge 5.11. İzmit depremi ivme kayıtları altında ankastre temelli sistem ile sismik izolasyonlu sistemde meydana gelen eğilme momentlerinin karşılaştırılması

X-X Eksenli							
Kolon no	EĞİLME MOMENTLERİ (ton.m)	Ankastre Mesnetli Sistem		Kauçuk İzolatörlü Mesnet Sistemi		Kurşun Çekirdekli Mesnet Sistemi	
		Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
1		100,87	-108,52	41,29	-35,29	20,50	-16,40
2		55,52	-60,16	26,82	-23,12	14,79	-12,73
3		38,35	-39,15	17,71	-16,29	9,83	-8,99
4		17,00	-16,55	9,034	-9,023	3,39	-3,37

Çizelge 5.12. İzmit depremi ivme kayıtları altında ankastre temelli sistem ile sismik izolasyonlu sistemde meydana gelen burulma düzensizliklerinin karşılaştırılması

		X-X Eksen					
Kolon no	BURULMA DÜZENSİZLİKLERİ (ton.m)	Ankastre Mesnetli Sistem		Kauçuk İzolatörlü Mesnet Sistemi		Kurşun Çekirdekli Mesnet Sistemi	
		Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
1		0,062	-0,055	0,021	-0,014	0,006	-0,008
2		0,017	-0,022	0,022	-0,020	0,008	-0,009
3		0,039	-0,042	0,016	-0,021	0,007	-0,006
4		0,035	-0,025	0,015	-0,010	0,003	-0,004

### 5.5.Sonuçların Değerlendirilmesi

Yapılan analizler neticesinde Çizelge 5.7, Çizelge 5.8, Çizelge 5.9, Çizelge 5.10, Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.12’de görüldüğü üzere, belli noktalar için sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu tablolara göre izolasyonlu sistemin, ankastre mesnetli sistemlere göre; birinci doğal titreşim periyotları daha büyük, eksenel kuvvetler, taban kesme kuvvetleri, eğilme momentleri ve burulma düzensizlikleri ise oldukça düşük değerler göstermektedir.

Örnek yapının, İzmit depremi kaydı altında yapmış olduğu yatay deplasman değerleri incelendiğinde; taban izolasyonlu sistemin, izolatör seviyesindeki 1 no’lu düğüm noktası ile en üst kattaki 5 no’lu düğüm noktasının, deprem anında yapmış olduğu yatay deplasmanların, ankastre mesnetli sistemin yapmış olduğu yatay deplasmanlardan (Şekil 5.2) daha büyük olduğu görülmektedir. Ancak görel deplasmanlar incelendiğinde (Çizelge 5.8), taban izolasyonlu sistemdeki görel deplasman değerlerinin, ankastre mesnetli sistemden çok daha küçük değerler aldığı Şekil 5.10 ve Şekil 5.15’de açıkça görülmektedir. Buradan da, kesit zorlamalarının minimum seviyelerde kaldığı anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak; taban izolasyon sistemi sayesinde, deprem esnasında yapının maruz kaldığı sismik enerjinin sönümü, yapı bünyesinde değil de izolasyon seviyesinde sağlanmış olmaktadır. Elde edilen bu sonuçlar, yapı güvenliği açısından sismik izolasyon yönteminin kullanılabilirliğini açıkça göstermektedir.

Sonuçlar özetlenecek olursa;

1. Yapılan dinamik analizler neticesinde; sismik taban izolasyon sistemleriyle izole edilmiş yapının, katlar arası görelî yatay deplasman değerlerinin ankastre mesnetli yapıya oranla çok düşük seviyelerde kaldığı Çizelge 5.8'de açıkça görülmektedir.
2. Birinci doğal titreşim periyotlarına bakıldığında, taban izolasyonlu sistem periyotlarının ankastre mesnetli sistem periyot değerlerinin 4 katı büyük olduğu görülmektedir. Bu da taban izolasyonlu yapı tasarımının, ankastre mesnetli yapı tasarımına oranla 4 kat daha çok sönümleme kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir.
3. Eksenel kuvvetler, taban kesme kuvvetleri, eğilme momentleri ve burulma düzensizliklerine bakıldığında, taban izolasyonlu sistemin ankastre mesnetli sisteme kıyasla  $1/2 \sim 1/3$  oranında küçük olduğu görülmektedir. Bu da, taban izolasyonlu tasarımın ne derece kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

Sismik taban izolatörlerinin tamir ve bakımı; kullanılan izolatör tipine bağlı olarak değişebilmektedir. İzolatör tiplerinden kauçuk esaslı olanların deprem sonrası hasar tespiti imkansızdır; fakat kayıcı tipteki izolatör mesnetlerinin hasar tespiti gözle görülebilir olduğundan mümkündür. Yapılan deneyler, izolasyon sistemi elemanlarının mekanik ömürlerinin bina ömründen çok daha uzun olduğunu göstermektedir. Taban izolasyon mesnet tipleri ve mesnet tiplerine ait test sonuçları Ek-A'da ayrıntılarıyla verilmiştir. Bu sistemlerin tek dezavantajı, deprem sonrası hasar tespit, bakım ve onarımının çok zor oluşudur. Bunların dışında sismik taban izolasyon sistemlerinin, yüksek katlı yapılarda ve sıvılaşma tehlikesi bulunan zeminlerde uygulanması uygun değildir.

Sismik taban izolasyon sistemlerinin, bina toplam maliyeti açısından özellikle büyük metrajlı yapı inşaatlarında oldukça ekonomik olduğu Bölüm 3.2.5'de örnek projelerle anlatılmıştır. Ancak ülkemizde henüz, taban izolatör mesnet tipleri üretiminin ve mevcut kalifiye elemanlarının olmayışı ülkemizde maliyeti oldukça yükseltmektedir. Fakat ciddi deprem tehdidi altında olan ülkemizde, olası büyük depremlerde ortaya çıkacak ciddi can ve mal kayıpları, tarihi yapılar ve 1. derecede önemli diğer tüm

önemli binalarda oluşabilecek ciddi hasarlar ve olumsuz toplum psikolojisi gibi birçok sorun düşünüldüğü takdirde, maliyetin aslında ikinci planda bırakılması gerektiği oldukça açıktır.

### **5.6. Öneriler**

Deprem kuşağında olan ülkemizde çok şiddetli depremler geçirmiş olmamıza rağmen hala ciddi sayılabilecek bir adım atılmaması oldukça üzüntü vericidir. Ülkemizde depremden sonra hemen kullanılması gereken yapıların; ilk olarak, hastane binaları, itfaiye binaları, nükleer enerji santralleri, tarihi binalar, müzeler, askeri yapılar, havaalanları, enerji ve haberleşme arterlerine geçiş ve olanak sağlayan yapıların, ikinci olarak da insanların günlük olarak kalabalık kitleler halinde mevcut buldukları yapıların bu tip izolasyon sistemleriyle güçlendirilmesi ve bu fikrin yönetmeliklere yerleştirilmesinin, deprem kuşağında bulunan ülkemizde yapıların depreme karşı güvenliğinin sağlanmasında büyük önem taşıyacağı öngörülmektedir.

Bu tezde anlatılan teknolojinin benimsenebilmesi için, eğitim kuruluşlarımızın da, lisans eğitimi müfredatında bu konuya yer vererek ya da özel amaçlı seminerlerle bu konunun üzerinde durarak yeni bir adım atılması, uygulama hususunda geç kaldığımız bu yeni teknolojinin ülkemizde yaygınlaşmasında faydasının olacağı düşünülmektedir.

Unutulmamalıdır ki, can kaybına neden olan deprem değil, yapılardır. Sismik taban izolasyon teknikleri kullanılarak yapıların göçme riski önlenmektedir.

## KAYNAKLAR

- American Structural Engineering Design Provisions: (1997), “**Uniform Building Code**”, USA
- Anonim, 2006. [http://www.hatgrup.com/sis\\_sistem.php/](http://www.hatgrup.com/sis_sistem.php/) Sismik Taban İzolasyonu Tasarımı ve Uygulamaları, 2006
- Ateş Ş., Dumanoglu A.: (1999), “**Taban İzolasyonlu Binaların Linear Olmayan Deprem Analizi**”, TDV, Teknik Rapor TR 026-42. İstanbul, Eylül 1999
- Bayülke N.:(2002), “**Yapıların Deprem Titreşiminden Yalıtımı**”, TDV Kitap, Mayıs 2002, İstanbul
- Camgöz Çağlar M.: (2002), “**Yapılarda Taban İzolasyonu Sistemleri**” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Ceccoli, C.,C.Mazzotti ve M.Savoia: (1999), “**Nonlinear Seismic Analysis of Base Isolated RC Frame Structures**”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.28, pp.633-653
- Chopra A.K.: (1995), Dynamics of Structures : “**Theory and Applications to Earthquake Engineering**” Prentice Hall, New Jersey
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik Şartları:** (2006) Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı
- FEMA-Federal Emergency Management Agency: (1997), “**Nerhp Guidelines for The Seismic Rehabilitation of Buildings**”, FEMA 273-274, Vermont, October 1997
- Fujita, T.: (1997), “**Demonstration of Effectiveness of seismic Isolation in the Hanshin-Awaji Earthquake and Progress of Applications of Base-Isolated Buildings**”, INCEDE Report-10, Tokyo, 1997
- Heyat N.:(2001), “**Sismik Taban İzolasyonunda Sürtünmeli Sarkaç Modeli**” Bahar Semineri, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2001
- Kumbasar Z.: (2000), “**Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı**” 2. Baskı, İstanbul
- Kösedag S.: (2002), “**Yapılarda Sismik İzolasyon**” Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Marioni A.:(2001), “**Behaviour of Large Base Isolated Pressressed Concrete Bridges During the Recent Exceptional Earthquakes In Turkey**”, Report, (yayımlanmamış)
- Nagarajaiah, S. Ve K. Ferrell: (1999), “**Stability of Elastomeric Seismic Isolation Bearings**” Journal of Structural Engineering, Vol.125, No:9, September 1999
- Naeim F.,Kelly J.M.: (1999), “**Design of Seismic Isolated Structures - From theory to Practice**”, John Wiley & Sons, Inc., New York
- Nakano Y.: (1997), “**Recent Seismic Retrofit Techniques of Existing RC Buildings in Japan**”, INCEDE Report-10, Tokyo, 1997
- Pranesh M. Ve R. Sinha.: (2000), “**VFPI: An Isolation Device For Aseismic Design**”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol125, pp:603-627, 2000
- Praveen K.M.: ( 1997), “**Dynamics of Seismic Impacts in Base Isolated Buildings**”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.26, pp.797-813, 1997
- SAP 2000 Nonlinear Version 7.12, “**Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures**” Sap2000 Detailed Tutorial Including Pushover Analysis, CSI. Computers and Structures Inc., Berkeley, California, USA ,1997
- Skinner R.I., W.H. Robinson ve G.H. Mc Verry,: (1993), “**An Introduction to Seismic Isolation**” John Wiley & Sons Ltd. West Sussex, England

- Songtao, X.,J.Tobita, S.Kurita ve M.Izumi: (1997), “**Mechanics and Dynamics of Intelligent Passive Vibration Control System**”, Journal of Engineering Mechanics, vol.123, No:4, April 1997
- Stewart, J.P. J.P.Conte ve I.D. Aiken: (1999), “**Observed Behavior of Seismically Isolated Buildings**”, Journal of Engineering Mechanics, vol.125, no:9, September 1999
- Tezcan S., Cimilli S.: (2002), “**Seismic Base Isolation**”, Yüksek Lisans Tezi, Yüksek Öğrenim Eğitim ve Araştırma Vakfı Yayınları, Haziran 2002
- Tezcan S., Uluca O.: (2001), “**Reduction of Seismic Response by Viscoelastic Dampers**”, TDV Kitap Kt 012-48, İstanbul, Ocak 2000
- Tezcan S.: (1998), “**Depreme Dayanıklı Tasarım İçin Bir Mimarın Seyir Defteri**”, TDV Kitap KT 98-024, Eylül 1998
- Tezcan S.S. ve A. Erkal: ( 2002), “**Seismic Base Isolation and Energy Absorbing Devices**” Yüksek Öğrenim Eğitim ve Araştırma Vakfı Yayınları, Temmuz 2002
- Tezcan S.S.: (2000), “ **Base Isolations by The Elastomeric Pads**”, A Talk Prepared for The CE550 Structural Design Course, Department of Civil Engineering , Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, December 2000
- Uras R.A.: ( 1996), “**Use of a Viscoelastic Model for the Seismic Response of Base Isolated Buildings**”, Journal of Pressure Vessel Technology, Vol.118
- Ünal Ö.: (2001), “**Yapılarda Taban İzolasyonu Sistemleri**” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Whittaker A., M. Constantinou and Tsopelas: (1998), “**Displacement Estimates for Performance-Based Seismic Design**”, Journal of Structural Engineering, Vol.124, No.87, August 1998.
- Yücesoy A.: (2005), “**Sismik İzolatörler ile Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı**” Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay

## ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında İskenderun'da doğdum. İlk, orta, lise ve Üniversite öğrenimimi yine aynı ilde tamamladım. 1998 yılında girdiğim Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi'nden, 2003 yılında, İnşaat Mühendisi ünvanıyla mezun oldum. Aynı yıl İskenderun'da Sistem Yapı Denetim Hizmetleri Ltd. Şti.'nde Yardımcı Kontrol Mühendisi ünvanıyla işe girdim ve 3 yıl boyunca aynı görevi sürdürdüm. İşe başladığım bu süre içinde Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans'a başladım. 2006 Kasım ayında Alanya İnci İnşaat adlı firmada şantiye şefi ünvanıyla çalışmaya başladım. Halen aynı yerdeki görevimi sürdürmekteyim.



## **EKLER**

### **EK A. TABAN İZOLASYON MESNET TİPLERİ VE MESNET TİPLERİNE AİT TEST SONUÇLARI**

Ek A.1 Yüksek sönümlü kauçuk mesnet test sonuçları. “Scougal Rubber Corporation”

Ek A.2 Kurşun çekirdekli mesnet test sonuçları. “Dynamic Isolation Systems, Inc.”

### **EK B. SİSMİK TABAN İZOLASYONU UYGULAMALARI**

**EK A****TABAN İZOLASYON MESNET TİPLERİ ve MESNET TİPLERİNE AİT TEST SONUÇLARI**

1998 yılında, American Civil Engineering Research Foundation (CERF) kurumuna bağlı Highway Innovative Technology Evaluation Center (HITEC) tarafından yapılan mesnet tipleri test sonuçları mukayese edilebilmesi amacıyla metrik sisteme çevrilmiş olarak üretici ismiyle birlikte aşağıda sıralandığı şekilde ekte sunulmuştur.

Ek A.1 Yüksek sönümlü kauçuk mesnet test sonuçları. “Scougal Rubber Corporation”

Ek A.2 Kurşun çekirdekli mesnet test sonuçları. “Dynamic Isolation Systems, Inc.”

## EK A.1 YÜKSEK SÖNÜMLÜ KAUÇUK MESNET TEST SONUÇLARI

Çizelge A 1.1. Yüksek Sönümlü Kauçuk mesnetlerin fiziksel özellikleri

Mesnet tipi	Tasarım basınç yükü (DCL)(t)	Tasarım yer değiştirmesi (DD) (cm)	Küçük yer değiştirmeler (cm)	Ağırlık (kg)	Yükseklik (cm)	Plan boyutu (cm)
<b>A tipi</b>	67.95	15.24	5.08(±2.54)	346.5	27.94	40.64
<b>B tipi</b>	226.50	22.86	7.62(±3.81)	634.2	37.46	66.04
<b>C tipi</b>	339.75	30.48	10.16(±5.08)	1359	46.99	91.44

Çizelge A 1.2. Yüksek Sönümlü Kauçuk mesnetlerin mekanik karakteristiklerinin yük seviyelerine bağlı değişimi

Mesnet tipi	Düşey yük (t)	Rijitlik ( $K_{eff}$ ) (t/cm)	Sönüm (Kritik sönüm yüzdesi)	Bir döngüdeki enerji yutumu (EDC) (t.cm)
<b>A tipi</b>	% 100 DCL	0.52	11.90	86.60
	% 70 DCL	0.52	11.60	84.30
	% 40 DCL	0.57	10.10	81.70
<b>B tipi</b>	% 100 DCL	0.84	12.60	337.90
	% 70 DCL	0.86	11.80	341.60
	% 40 DCL	0.93	10.90	324.20
<b>C tipi</b>	% 100 DCL	1.50	10.90	908.10
	% 70 DCL	1.53	10.40	885.90
	% 40 DCL	1.59	9.90	868.00

Bu değerler, tasarım yer değiştirmesindeki 2 sn periyotlu çevrimsel yatay yüklemelerin ikinci çevrimi için okunan test değerleridir.

Çizelge A 1.3. Yüksek Sönümlü Kauçuk mesnetlerin mekanik karakteristiklerinin periyoda bağlı değişimi

Mesnet tipi	Periyot (sn)				
	20	5	2	1	0.5*
	<b>Rijitlik (t/cm)</b>				
<b>A tipi</b>	0.45	0.46	0.52	0.48	0.73
<b>B tipi</b>	0.78	0.77	0.84	0.86	1.23
<b>C tipi</b>	1.41	1.39	1.5	1.64	2.37
	<b>Sönüm (Kritik sönüm yüzdesi)</b>				
<b>A tipi</b>	10.80	12.00	11.90	13.40	9.20
<b>B tipi</b>	12.01	13.30	12.60	13.60	10.70
<b>C tipi</b>	10.80	11.30	10.90	10.40	8.90
	<b>Bir döngüdeki enerji yutumu (EDC) (tcm)</b>				
<b>A tipi</b>	67.80	78.20	86.60	87.80	26.10
<b>B tipi</b>	319.50	327.60	337.90	365.70	113.30
<b>C tipi</b>	856.30	886.90	908.10	917.60	288.10

Bu değerler, tasarım basınç yükü altında ve tasarım yer değiştirmesinde çevrimsel yatay yüklemelerin ikinci çevrimi için okunan test sonuçlarıdır.

\* Tasarım yer değiştirmesinin yarısı için elde edilen değerlerdir.

Çizelge A 1.4. Yüksek Sönümlü Kauçuk mesnetlerin limit davranışı

Mesnet tipi	Tasarım yer değiştirmesi DD (cm)	Sınır yer değiştirmesi FD (cm)	Güvenlik oranı (FD / DD)
<b>A tipi</b>	15.24	26.90	1.76
<b>B tipi</b>	22.86	>55.90	>2.44
<b>C tipi</b>	30.48	*	*

\* C tipi mesnedin yer değiştirme kapasitesi test ekipmanlarının oluşturabileceği limit yer değiştirmeden büyüktür.

Çizelge A 1.5. Yüksek Sönümlü Kauçuk mesnetlerin performanslarının deneysel ve analitik olarak karşılaştırılması

Mesnet tipi	Efektif rijitlik (t/cm)		Eşdeğer sönüm (Kritik sönüm yüzdesi)		Bir döngüdeki enerji yutumu (EDC) (tcm)	
	Tasarım	Gerçek	Tasarım	Gerçek	Tasarım	Gerçek
<b>A tipi</b>	0.61	0.52	16	11.90	141.50	86.60
<b>B tipi</b>	0.98	0.84	16	12.60	515.50	337.90
<b>C tipi</b>	1.34	1.50	16	10.90	1249.60	908.10

Gerçek değerler, tasarım basınç yükü altında ve 2 sn periyodundaki çevrimsel yatay yüklemelerin ikinci çevrimi için okunmuş olan değerlerdir.

Çizelge A 1.6. Yüksek Sönümlü Kauçuk mesnetlerin performanslarının yorulma ve çevresel etkiler dikkate alınarak değerlendirilmesi

Periyot	Rijitlik (t/cm)		Eşdeğer sönüm (Kritik Sönüm Yüzdesi)		Bir döngüdeki enerji yutumu (EDC) (tcm)	
	Önce	Sonra	Önce	Sonra	Önce	Sonra
20	0.86	0.91	12.20	11.80	336.00	344.30
5	0.91	0.96	11.90	11.40	347.50	353.10
1	1.02	1.05	11.80	11.50	377.20	369.80
0.5*	1.43	1.46	10.50	10.40	123.00	124.30

**Tablodaki “Önce”** 226.5 ton tasarım basınç yükü altında B tipi mesnet için; 10 sn periyotlu servis yüklemelerinin (sıcaklık ve hareketli yük etkileri yani, Çizelge A.1.1’deki küçük yer değiştirmeler sınırını oluşturan yük etkileri) 10000 adet döngü sonrasında oluşturduğu yorulma etkileri ve Amerikan Standardı ASTM B117 şartlarında öngördüğü 1000 saat tuz spreyi odasında hızlandırılmış çevresel etkiye maruz bırakılması durumlarından önce mesnedin hemen imalat sonrası mekanik karakteristikleridir.

**Tablodaki “Sonra”** bu etkilerden sonra mesnedin sismik performansını yani mekanik karakteristiklerinin değişimini göstermektedir.

“\*” Bu satırdaki değerleri tasarım yer değiştirmesinin yarısı için elde edilmiştir.

Çizelge A 1.7. Yüksek Sönümlü Kauçuk mesnetlerin performanslarının sıcak ve soğuk ortamda değerlendirilmesi

Performans parametresi	Soğukta 95 saat – 22 C derece	Normal şartlarda 21 C derece	Sıcakta 29 saat – 48 C derece
Rijitlik (t/cm)	*	0.87	0.80 ( - % 9 )
Sönüm (Kritik sönüm yüzdesi)	*	12.90	11.90 ( - % 8 )
Enerji yutumu	*	352.80	319.90 ( - % 9 )

Parantez içindeki değerler % olarak normal şartlardan sapmaları ifade ederler.

Soğukta, mesnedin rijitliğindeki ani artma nedeniyle tasarım yer değiştirmesine ulaşılmadan düşey yük kapasitesine ulaşılır.

Çizelge A 1.8. Yüksek Sönümlü Kauçuk mesnetlerin dayanıklılığı

Mesnet tipi	F <sub>1</sub> (t)	F <sub>5</sub> (t)	F <sub>10</sub> (t)	F <sub>15</sub> (t)	F <sub>20</sub> (t)
A tipi	10	8.60	8.20	8.20	8.20
B tipi	21.70	19.90	19.00	18.60	18.60
C tipi*	52.10	47.60	-	-	-
*	-	50.70	47.10	46.20	45.30

“ \* ” Bu mesnet için 5 döngü ve 15 döngü olmak üzere iki ayrı yükleme yapılmıştır.

F<sub>i</sub> ; i’nci döngüdeki en büyük yatay kuvvet.

## EK A.2 KURŞUN ÇEKİRDEKLİ KAUÇUK MESNET TEST SONUÇLARI

Çizelge A 2.1. Kurşun Çekirdekli Kauçuk mesnetlerin fiziksel özellikleri

Mesnet tipi	Tasarım basınç yükü (DCL)(t)	Tasarım yer değiştirmesi (DD) (cm)	Küçük yer değiştirmeler (cm)	Ağırlık (kg)	Yükseklik (cm)	Plan boyutu (cm)
<b>A tipi</b>	67.95	15.24	5.08(±2.54)	434.88	21.01	57.17
<b>B tipi</b>	226.50	22.86	7.62(±3.81)	849.38	35.93	74.93
<b>C tipi</b>	339.75	30.48	10.16(±5.08)	849.38	35.93	74.93

Çizelge A 2.2. Kurşun Çekirdekli Kauçuk mesnetlerin mekanik karakteristiklerinin yük seviyelerine bağlı değişimi

Mesnet tipi	Düşey yük (t)	Rijitlik ( $K_{eff}$ ) (t/cm)	Sönüm (Kritik sönüm yüzdesi)	Bir döngüdeki enerji yutumu (EDC) (tcm)
<b>A tipi</b>	% 100 DCL	1.39	17.70	347.14
	% 70 DCL	1.44	16.80	341.62
	% 40 DCL	1.46	16.30	337.13
<b>B tipi</b>	% 100 DCL	1.98	16.30	990.45
	% 70 DCL	2.03	15.30	955.70
	% 40 DCL	2.07	14.70	953.40
<b>C tipi</b>	% 100 DCL	1.55	17.00	1465.89
	% 70 DCL	1.62	15.60	1408.36
	% 40 DCL	1.69	15.10	1417.56

Bu değerler, tasarım yer değiştirmesindeki 2 sn periyotlu çevrimsel yatay yüklemelerin ikinci çevrimi için okunan test değerleridir.

Çizelge A 2.3. Kurşun Çekirdekli Kauçuk mesnetlerin mekanik karakteristiklerinin periyoda bağlı değişimi

Mesnet tipi	Periyot (sn)				
	20	5	2	1	0.5*
	<b>Rijitlik (t/cm)</b>				
<b>A tipi</b>	1.39	1.36	1.39	1.55	1.64
<b>B tipi</b>	1.68	1.82	1.98	1.94	2.71
<b>C tipi</b>	1.43	1.46	1.55	1.80	2.60
	<b>Sönüm (Kritik sönüm yüzdesi)</b>				
<b>A tipi</b>	18.40	19.20	17.70	17.50	14.70
<b>B tipi</b>	17.40	16.50	16.30	16.90	14.90
<b>C tipi</b>	18.50	17.80	17.00	16.30	13.40
	<b>Bir döngüdeki enerji yutumu (EDC) (tcm)</b>				
<b>A tipi</b>	361.52	366.47	347.14	370.96	88.02
<b>B tipi</b>	915.20	943.51	990.45	1010.01	332.07
<b>C tipi</b>	1485.45	1464.74	1465.89	1547.58	460.36

Bu değerler, tasarım basınç yükü altında ve tasarım yer değiştirmesinde çevrimsel yatay yüklemelerin ikinci çevrimi için okunan test sonuçlarıdır.

\* Tasarım yer değiştirmesinin yarısı için elde edilen değerlerdir.

Çizelge A 2.4. Kurşun Çekirdekli Kauçuk mesnetlerin limit davranışı

Mesnet tipi	Tasarım yer değiştirmesi DD (cm)	Sınır yer değiştirmesi FD (cm)	Güvenlik oranı (FD / DD)
<b>A tipi</b>	15.24	50.80	3.33
<b>B tipi</b>	22.86	>55.88	>2.44
<b>C tipi</b>	30.48	*	*

\* C tipi mesnedin yer değiştirme kapasitesi test ekipmanlarının oluşturabileceği limit yer değiştirmeden büyüktür.

Çizelge A 2.5. Kurşun Çekirdekli Kauçuk mesnetlerin performanslarının deneysel ve analitik olarak karşılaştırılması

Mesnet tipi	Etkif rijitlik (t/cm)		Eşdeğer sönüm (Kritik sönüm yüzdesi)		Bir döngüdeki enerji yutumu (EDC) (tcm)	
	Tasarım	Gerçek	Tasarım	Gerçek	Tasarım	Gerçek
<b>A tipi</b>	1.27	1.39	16.90	17.70	312.97	347.14
<b>B tipi</b>	1.66	1.98	14.00	16.30	762.86	990.45
<b>C tipi</b>	1.57	1.55	11.30	17.00	1028.65	1465.89

Gerçek değerler, tasarım basınç yükü altında ve 2 sn periyodundaki çevrimsel yatay yüklemelerin ikinci çevrimi için okunmuş olan değerlerdir.

Çizelge A 2.6. Kurşun Çekirdekli Kauçuk mesnetlerin performanslarının yorulma ve çevresel etkiler dikkate alınarak değerlendirilmesi

Periyot	Rijitlik (t/cm)		Eşdeğer sönüm (Kritik Sönüm Yüzdesi)		Bir döngüdeki enerji yutumu (EDC) (tcm)	
	Önce	Sonra	Önce	Sonra	Önce	Sonra
20	1.64	1.53	17.70	19.60	933.70	967.70
5	1.82	1.61	8.30	18.80	1042.20	948.00
1	1.94	1.69	17.30	17.50	1031.50	909.80
0.5*	2.57	2.44	14.80	17.50	298.10	335.80

**Tablodaki “Önce”** 226.5 ton tasarım basınç yükü altında B tipi mesnet için; 10 sn periyotlu servis yüklemelerinin (sıcaklık ve hareketli yük etkileri yani, Çizelge A.1.1’deki küçük yer değiştirmeler sınırını oluşturan yük etkileri) 10000 adet döngü sonrasında oluşturduğu yorulma etkileri ve Amerikan Standardı ASTM B117 şartlarında öngördüğü 1000 saat tuz spreyi odasında hızlandırılmış çevresel etkiye maruz bırakılması durumlarından önce mesnedin hemen imalat sonrası mekanik karakteristikleridir.

**Tablodaki “Sonra”** bu etkilerden sonra mesnedin sismik performansını yani mekanik karakteristiklerinin değişimini göstermektedir.

“\*” Bu satırdaki değerleri tasarım yer değiştirmesinin yarısı için elde edilmiştir.

Çizelge A 2.7. Kurşun Çekirdekli Kauçuk mesnetlerin performanslarının sıcak ve soğuk ortamda değerlendirilmesi

Performans parametresi	Soğukta 95 saat – 22 C derece	Normal şartlarda 21 C derece	Sıcakta 29 saat – 48 C derece
Rijitlik (t/cm)	2.57 (+ % 23)	2.09	1.91 (- % 9)
Sönüm (Kritik sönüm yüzdesi)	22.60 (- % 43)	15.80	14.20 (- % 10)
Enerji yutumu	1731.70 (+ % 72)	1038	852.70 (- % 18)

Parantez içindeki değerler % olarak normal şartlardan sapmaları ifade ederler.

Çizelge A 2.8. Kurşun Çekirdekli Kauçuk mesnetlerin dayanıklılığı

Mesnet tipi	F <sub>1</sub> (t)	F <sub>5</sub> (t)	F <sub>10</sub> (t)	F <sub>15</sub> (t)	F <sub>20</sub> (t)
A tipi	22.70	20.80	19.00	17.70	17.20
B tipi	45.30	40.30	37.60	36.20	35.30
C tipi*	52.10	43.50	-	-	-
*	-	51.20	43.10	39.40	37.60

“ \* ” Bu mesnet için 5 döngü ve 15 döngü olmak üzere iki ayrı yükleme yapılmıştır.

F<sub>i</sub> ; i’nci döngüdeki en büyük yataş kuvvet.



## EK B

## SİSMİK TABAN İZOLASYONU UYGULAMALARI

No	Yapılış Yılı	Yapılan Yer	Kullanılan İzolatör Tipi
1	2005	TÜRKİYE/Antalya Uluslararası Dış Hatlar Terminal Binası	Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnet
2	2003	TÜRKİYE/Kocaeli Tıp Fakültesi Hastanesi Binası	Sürtünmeli sarkaç
3	2002	TÜRKİYE/Ülker Gıda Bilgi İşlem Kumanda Merkezi	Sürtünmeli sarkaç
4	2001	ABD/ San Francisco	Viskoz Sönümleyici
5	2000	TÜRKİYE/Atatürk Havalimanı Terminal Çatısı	Sürtünmeli sarkaç
6	2000	İTALYA/Ancona Administrative building ministry of defense	Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet
7	1999	İTALYA/Calabria	Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet
8	1999	ABD/San Francisco Uluslar arası Hava Limanı	Sürtünme Sarkacı Mesnedi
9	1998	ABD/Los Angeles Acil Operasyon Merkezi	Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet
10	1997	ABD/Los Angeles Yangın Merkezi Binası	Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet
11	1997	Yeni Zelanda/ Ulusal Müze Binası	Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnet
12	1995	ABD/Los Angeles Willowbrook C.R. Drew Dragnostes Trauma Centr	Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet
13	1989	Japonya/Matsumara Gumi Araştırma Enstitüsü	Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet
14	1986	Japonya/Sanda-Batı Japonya Bilgisayar Merkezi	Elastomerik Mesnet
15	1964	ABD/Los Angeles Long Beach Hastane binası	Elastomerik Mesnet
16	1946	ABD/Beş Katlı Above net Binası	Sürtünme Sarkacı Mesnedi
17	1934	ABD/İki Katlı Mackay Okul Binası	Sürtünme Sarkacı mesnedi
18	1929	ABD/Los Angeles Şehir Terminali	Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet
19	1912	ABD/San Francisco Şehir Terminal	Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnet
20	1905	ABD/San Francisco Mahkeme Binası	Sürtünme Sarkacı Mesnedi