



**SİSMİK YALITIM-YAPI
ETKİLEŞİMİNİN HASSASLIĞININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

SERTAÇ TUHTA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Bu çalışma jürimiz tarafından 29/01/2004 tarihinde yapılan sınav ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

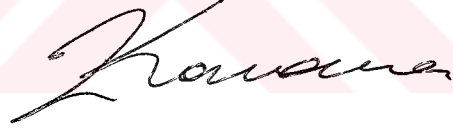
Başkan : Prof. Dr. Azer A. KASIMZADE



Üye : Prof. Dr. Turgut ÖZTÜRK

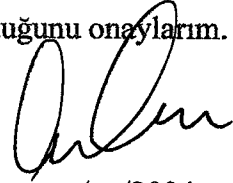


Üye : Yrd. Doç. Dr. Zeki KARACA



ONAY :

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.



.../.../2004

Prof. Dr. A. Nur ONAR
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

155244

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİSMİK YALITIM-YAPI ETKİLEŞİMİNİN HASSASLIĞININ
DEĞERLENDİRİLMESİ

SERTAÇ TUHTA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
PROF.DR.AZER A. KASIMZADE

SAMSUN-2004

ÖZET

Bu tezde, binaların periyodunu büyütme ve deprem etkilerini azaltmak amacıyla kullanılan sismik yalıtım araçlarının en yaygın olarak kullanılan olan sismik izolatörlerin, binaların ve kendi parametrelerinin değişimine tepkisinin hassaslığı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme yapıların tanımlanması, yenilenmesi ve onarımında büyük önem taşımaktadır. İzolatör üretiminde güvenlik faktörünün önemi büyüktür. Çalışma koşullarına göre izolatör özelliklerinin sonradan değiştirilmesi mümkün olmadığı için bu parametrelerin analiz aşamasında iken yapının ve izolatörün hassas olduğu değerlere göre yorumlanması gerekir. Bu yorumlar göz önünde bulundurularak üretimde yenilenmenin nasıl yapılacağı, testlerin nasıl değerlendirileceği gibi tasarım aşamasında ve örnek üretimlerdeki çok önemli parametreler değerlendirilir ve bu üreticilerin ve sismik yapı analizi ile uğraşan kişilerin yapı güvenliğinde çok dikkatli davranmalarını gösterir, bu çalışmayla yol gösterici olunmaya çalışılır. Bu amaçla kullanılacak yöntemlerin seçimi için çeşitli çalışmalar incelenmiş, sonuçlar irdelenmiş, bu çalışmalara dayanarak tezin hedefi doğrultusunda izlenecek yol belirlenmiştir. Yapılacak incelemenin yöntemi ve gereken kriterlerin belirlenmesinde incelenen çalışmaların içerik ve sonuçlarından faydalanılmıştır. Kaynaklarda klasik sönümlü izolatörlü sistemler daha çok incelenmiştir. Araştırmada bina ve izolatör parametreleri rasgele, sönüm klasik olmayan şekilde kabul edilerek stokastik analiz Monte-Carlo yöntemi ile her bir gerçekleşme için hareket denklemleri sayısal Wilson- θ yöntemi ile incelenmiştir. Sismik yalıtım-yapı etkileşimindeki hassaslıkların daha iyi anlaşılması için model 5 katlı betonarme bir yapı önce ankastre durumda daha sonra da izolatörlü durumda analiz edilmiştir. Analizler, sismik yalıtım-yapı etkileşimindeki hassaslıkların teorik olarak incelenmesinden sonra uygun şekilde yazılan programla da değerlendirilmiştir.

Anahtar Sözcükler:Sismik yalıtım-yapı etkileşimi, temel yalıtımı, stokastik analiz, sismik izolatör, sonlu elemanlar metodu

ABSTRACT

In this thesis, sensitivity of reaction of seismic isolators which are used most widespread of seismic isolation devices which are used to increase the period of the buildings and decrease the effects of the earthquakes, to variation of the building's and their own parameters has been evaluated. This evaluation has a big importance in the definition, renovatation and reparation of structures. Safety factor is very important in isolator production. According to the working conditions, in order to properties of isolator to be changed later is not possible, in the analysis stage these parameters should be comment on according to the values where the structure and the isolator are sensitive on. Taking these comments into consideration, as how is going to be renovated in production, how is going to de evaluated the tests which are very important parameters in analysis stage and model production are evaluated and this shows that the producers and people who are occupied with analysis of seismic isolated structures should behave very carefully in structure safety, tried to be guiding with this study. With this aim, various studies has been investigated for the choice of the method which will use, consequences has been examined, basing on these studies on the direction of the thesis' target, the way which will follow has been defined. In the method of the investigation which will be done and in the definition of necessary criterions, the contents and the consequences of the investigated studies has been profited. In investigated references, the systems with classic damping isolator has been examined further. In the study which is presented, being assumed that building isolator parameters random, damping non classic , with stochastic analysis Monte-Carlo method for each reality movement equation is investigated with numerical Wilson- θ method. Likely analysis program is written for this. To understand the sensitivities which are in the seismic isolation-structure interaction better, five-storied reinforced concrete model is analyzed in the fixed-base case firstly, after that the model is analyzed in the isolated-case. The analyses, after sensitivities of the seismic isolation-structure interaction has been evaluated theoretical, likely program which is written, has been evaluated.

Keywords: Seismic isolation-structure interaction, base isolation, stochastic analysis, seismic isolator, finite element methods

TEŐEKKÜR

Bu tezin tüm aŐamalarında bilimsel olarak her türlü desteği sunan çok değerli hocam,
Sayın Prof. Dr. Azer A. KASIMZADE' ye Őukranlarımı sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
1.Giriş.....	1
2.Genel Bilgiler.....	2
2.1.Temel Yalıtımlı Binanın Klasik Sönümlü Bütün Olarak İncelenmesi	3
2.2.Aktif Kütle Sönümleyicili Çok Serbestlik Dereceli Bir Yapının Depreme Karşı LQR Kontrolü.....	22
2.2.1.Binanın Dinamik Modeli.....	23
2.2.2.LQR Tasarımı.....	24
2.2.3.Simülasyon.....	26
2.2.4.Bina Parametreleri.....	31
2.2.4.1.Kütle, Sönüm ve Rijitlik Matrisleri.....	32
2.3.Yapıların Sismik İzolasyonunda Kayan Modlu Aktif Kontrol Yöntemi.....	34
2.3.1.Matematiksel Formülasyon.....	35
2.3.2.Kayan Modlu Kontrolün Tasarımı.....	37
2.3.3.Sayısal Örnek.....	39
2.4.Sürtünme-Temel Yalıtım İlişkisinin Deneysel Araştırılması.....	45
2.4.1.Deneysel Model ve Veri Kaydı Yapılması.....	47
2.4.2.Test İşlemi.....	49
2.4.3.Verİ Analizi ve Sonuçlar.....	50
2.4.4.Zaman-Tanımlı Kayıtların Ortalamalarının Kareleri.....	51
2.4.5.Güç Spektrumu.....	54
2.4.6.Muhtemel Yoğunluk Fonksiyonları.....	56
2.4.7.Uyarım Seviyesinde Tepki Ortalama Karesinin Bağımlılığı.....	58
2.4.8.Analitik ve Sayısal Sonuçlar ile Karşılaştırma.....	61
2.5.Sismik Yalıtım İçin Analitik İncelemeler.....	65
2.5.1.Analiz Metodunun Seçilmesi.....	65
2.5.1.1.Sağlam Zeminler.....	65
2.5.1.2. Zayıf Zeminler.....	66
2.5.2.1998 Türkiye Deprem Yönetmeliğine Göre (TDY-98) Sismik Yüklerin Belirlenmesi.....	66
2.5.3.UBC-97 Yönetmeliğinin Terminolojik Tanımlanması.....	68

	Sayfa
2.5.3.1.Tasarım-Esas Depremi (DBE).....	68
2.5.3.2.Maksimum Mümkmn Deprem (MCE).....	68
2.5.3.3.Efektif (Etkin) Sönüm.....	68
2.5.3.4.Efektif (Etkin) Rijitlik.....	68
2.5.3.5.Tasarım Yerdeğıştirmesi.....	68
2.5.3.6.Maksimum Yerdeğıştirme.....	69
2.5.3.7.Toplam Tasarım Yerdeğıştirmesi.....	69
2.5.3.8.Toplam Maksimum Yerdeğıştirme.....	69
2.5.3.9.Tasarım Aşaması Periyodu (T_D).....	69
2.5.3.10.Maksimum-Mümkmn Düzeltme Periyodu (T_M).....	69
2.5.4.UBC-97 Yönetmeliğine Göre Yanal Yük Değerlerinin Tanımlanması.....	70
2.5.4.1.Sismik Bölge Katsayısının Belirlenmesi.....	70
2.5.4.2.Yapının Bulunduğu Zeminin Profil Kategorisinin Belirlenmesi.....	70
2.5.4.3.Sismik Kaynak Tipinin Belirlenmesi.....	70
2.5.4.4.Kaynak Yakınlığı Katsayısı Belirlenmesi.....	70
2.5.4.5.Tasarım-Esas Depremi Titreşim Şiddetinin Hesaplanması...	70
2.5.4.6.Maksimum-Mümkmn Deprem Davranış Katsayısının Belirlenmesi.....	70
2.5.4.7.Sismik Katsayıların Belirlenmesi.....	71
2.5.4.8.Yalıtımlı Sistemin Efektif (Etkin) Sönüm Katsayısının Belirlenmesi.....	71
2.5.4.9.Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısının Belirlenmesi.....	71
2.5.4.10.Sönüm Azaltma Katsayısının Belirlenmesi.....	73
2.5.5.Yalıtımlı Sistem İçin Hedeflenen Periyot Değerlerinin ve Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi.....	73
2.5.6.Minimum Yanal Rijitlik Değerinin Hesaplanması.....	73
2.5.7.Minimum Yerdeğıştirmelerin Hesabı.....	74
2.5.7.1.UBC-97 Yönetmeliğine Göre Hesaplama.....	74
2.5.7.2.TDY-98 Yönetmeliğine Göre Hesaplama.....	74

	Sayfa
2.5.8. İzolatör Disk Çapının Belirlenmesi.....	76
2.5.9. Yalıtımlı Yapı İçin Taban Kesme Kuvvetinin Hesaplanması.....	77
2.5.10. Burulmadan Oluşan Toplam Yerdeğiştirmenin Hesaplanması.....	78
2.5.11. Etkif (Etkin) Düşey Modülün Hesaplanması.....	79
2.5.12. Düşey Titreşim Periyodunun Hesaplanması.....	80
2.5.13. Kayma Gerilmesi ve Düşey Yük Değerlerinin Hesaplanması.....	82
2.5.13.1. Kayma Gerilmesi Hesabı.....	82
2.5.13.2. Ortak Alan Hesaplanması.....	83
2.5.13.3. Maksimum Düşey Yükün Hesaplanması.....	84
2.5.13.4. Burulma Riskinin Hesabı.....	84
2.5.14. İzolatörün Kurşun Kısmının Tasarımı.....	85
2.5.14.1. Kurşun Kısmın Çapının Belirlenmesi.....	85
2.5.14.2. Akma Sınırında Kesme Kuvveti Hesabı.....	85
2.5.14.3. Kesme Kuvvetine Karşı İzolatör Çapının Kontrol Edilmesi	86
3. Materyal ve Metot.....	90
4. Bulgular.....	91
4.1. Formülasyon.....	92
4.2. Çözüm Yöntemi.....	94
4.3. Sayısal Analiz.....	99
5. Sonuç ve Öneriler.....	110
6. Kaynaklar.....	113

SEMBOLLER LİSTESİ

M : Sistemin kütle matrisi

K : Sistemin rijitlik matrisi

C : Sistemin sönüm matrisi

x : Yere göre bağıl deplasman vektörü

\dot{x} : Yere göre bağıl hız vektörü

\ddot{x} : Yere göre bağıl ivme vektörü

B : Kontrol kuvveti yerleşim vektörü

H : Deprem etkisi yerleşim vektörü

A_n : n. moda ait durum değişken matrisi

D_{1n} : n. moda ait kontrol etki yerleşim vektörü

D_{2n} : n. moda ait deprem etki yerleşim vektörü

z_n : n. moda ait durum değişken vektörü

δ : Deprem etki vektörü

a_g : Deprem ivme kaydı

x_g : Yer deplasmanı

ϕ : Modal matris

ϕ_n : n. mod

q : Modal koordinat vektörü

q_n : n. modal koordinat

u : Kontrol kuvveti

ω_n : n. moda ait doğal frekans

ξ_n : n. moda ait sönüm oranı

σ : Kayma yüzeyi

ε : Sınır tabaka kalınlığı

\hat{a} : Kontrol edilen sistemde tahmin edilen toplam belirsizlik

t : Zaman

k_2 : Kauçuk kısmın elasto-plastik rijitliği

\mathcal{V}_D : İzolatörün kauçuk kısmının gerilmesi

Q_y : Akma kuvveti

P_{cr} : Kritik kuvvet

A' : İzolatörün ortak alanı

γ_v : Düşey yüklerden oluşan kayma gerilmesi

T_v : Düşey titreşim periyodu

k_h : Yatay rijitlik

T_h : Yatay periyot

k_γ : Eğilmeden oluşan düşey rijitlik

k_e : Basınçtan oluşan düşey rijitlik

k_γ : Kayma gerilmesinden oluşan düşey rijitlik

E_c : Kompozit basınç modülü

Δt : Düşey yerdeğiştirme

k_e : Tüm pad (tampon) için düşey rijitlik

t_0 : İzolatörün kauçuk kısmının kalınlığı

S: Kauçuk tabakaların şekil katsayısı

$E_{eff,v}$: Düşey doğrultudaki basıncın efektif (etkin) modülü

e: Geçici eksentrisite

b: Yapı boyut bileşeni

d: Yapı boyut bileşeni

D: Pad (tampon)' in çapı

A: Pad (tampon)'in kesit alanı

t: Pad (tampon)yüksekliği

B: Sönüm azaltma katsayısı

$d_{M,min}$: Maksimum yerdeğiştirme

$d_{D,min}$: Tasarım yerdeğiştirmesi

W: Yapı toplam ağırlığı

$k_{M,min}$: Minimum efektif (etkin) rijitlik

E: Elastisite modülü

G: Kayma modülü

T_D : Tasarım aşaması periyodu

T_M : Maksimum-mümkün deprem periyodu.

Δ_f : Faya olan mesafe

β_{eff} : Yalıtımlı sistemin efektif (etkin) sönüm katsayısı

$C_{VM}, C_{AM}, C_{VD}, C_{AD}$:Sismik katsayılar

M_M : Maksimum-mümkün deprem davranış katsayısı

N_b, N_v : Sismik kaynak yakınlığı katsayıları

Z : Sismik bölge katsayısı

T_M : Maksimum-mümkün düzeltme periyodu

T_D : Tasarım aşaması periyodu

A_0 : Efektif (etkin) ivme değeri

I : Yapı önem katsayısı

S : Spektrum katsayısı

R : Sismik yük azaltma katsayısı

V_t : Toplam taban kesme kuvveti

m_t : Toplam bina kütlesi (izolatör hariç)

w_t : Toplam bina ağırlığı (izolatör hariç)

\mathcal{M}_t : Taban devrilme momenti

m_i : i. Katın kütlesi

m_f : İzolatör kütlesi

c_f : İzolatör sönüm matrisi

c_b : Binanın sönüm matrisi

ξ_f : İzolatör sönüm oranı

T_f : İzolatör periyodu

ξ_i : Binanın i. mod şekline uygun sönüm oranı

ω_{0i} : Titreşim frekansı

$\{\phi_i\}$:Kütleyle göre normalleştirilmiş mod şekli

M_i :Modal kütle

$\{a\}_j$:Temele ankastre binanın j. titreşim mod şekli

$\{a\}_i$: Titreşim mod şekilleri

k : İzolatörlü temel sisteminin rijitlik matrisi

k_f : İzolatör rijitlik matrisi

k_b : Temele ankastre binanın rijitlik matrisi

\bar{k}_i : i. Sonlu elemanın lokal koordinat sisteminde rijitlik matrisi

\bar{k}_i : Global koordinat sisteminde rijitlik matrisi

\bar{k}_{i+} : Global koordinat sisteminde tüm sistemin serbestlik derecesi sayısına kadar genişletilmiş rijitlik matrisi

τ_i : i. Sonlu elemanın topoloji matrisi

\bar{T}_i : i. Sonlu elemanın lokal koordinat sisteminden global koordinat sistemine dönüşüm matrisi

L_i : Yapı kat yüksekliği

E_i : Elastisite modülü

$\{u\}_0$: Başlangıç yerdeğişmesi,

$\left\{ \begin{matrix} \dot{u} \\ u \end{matrix} \right\}_0$: Hız

$\{F\}_0$: Başlangıç kuvveti

$\left\{ \begin{matrix} \ddot{u} \\ \dot{u} \\ u \end{matrix} \right\}_0$: Başlangıç ivme değeri

Δt : Zaman adımı

k_e : Etkin (efektif) rijitlik matrisi

$\left\{ \begin{matrix} \ddot{\Delta u} \\ \dot{\Delta u} \\ \Delta u \end{matrix} \right\}_i$: İvme artışı

$\{\Delta u\}_i$: Yerdeğişme artışı

$\left\{ \begin{matrix} \ddot{u} \\ \dot{u} \\ u \end{matrix} \right\}_{i+1}$: İvme

$\{S\}_{i+1}$: Sismik kuvvetler

$\{V\}_{i+1}$: Kat kesme kuvvetleri

$\{V_t\}_{i+1}$: Taban kesme kuvveti

$\{M\}_{i+1}$: Kat devrilme momentleri

$\{M_t\}_{i+1}$: Taban devrilme momenti

H_i : Bina tabanından i. kata kadar olan yükseklik

t_* : Devrilme momentine denk zaman

s : Rasgele nitelik

$\langle \rangle$: Ortalama

! : Faktöriyel işareti

m_k : S rasgele niceliğinin k.derece merkezi momenti

A_s : S rasgele niceliğinin asimetriklik karakteristiği

E_s : S rasgele niceliğinin basıklık karakteristiği

P : S niceliğinin $[S_1, S_2]$ aralığında olma olasılığı

L_1 : İzolatör yüksekliği

U_b, U_s : Rölatif yerdeğiştirmeler

ξ_b, ξ_s : Sönüm oranı

m_b, m : Kütle

M : Model üst kütle

M_b : Temel kütle

X : Üst kütlede elastik sapma

C : Sistem lineer sönüm katsayısı

K : Üst kütle taşıyan dört elastik malzemenin sertliği

μ : Sürtünme katsayısı

g : Yer çekimi ivmesi

Z : Sönüm faktörü

ω : Sistem doğal frekansı

$\mu_{\text{sgn}}(X)$: Sürtünme terimi

$\ddot{U}(t)$: Temel ivme

(S_0) : Düz güç spektrum yoğunluğu

ŞEKİLLER LİSTESİ

- 1-Şekil-2.1.1 İzolatörlü Sistemin Teorik Gösterimi
- 2-Şekil-2.2.1 Binanın Fiziksel Modeli
- 3-Şekil-2.2.2 Birinci ve En Üst Katın Kontrolcülü ve Kontrolcüsüz Zaman Tepkileri
- 4-Şekil-2.2.3 Kontrol Voltajının Zaman Tepkisi ve ATMD'nin Yerdeğiştirmesi
- 5-Şekil-2.2.4 En Üst Katın Kontrolcülü ve Kontrolcüsüz Frekans Tepkileri
- 6-Şekil-2.3.1 N Katlı Bir Binanın Matematik Modeli
- 7-Şekil-2.3.2 Kayma Yüzeyi Kavramı
- 8-Şekil-2.3.3 1992 Erzincan Depreminin Doğu-Batı İvme Bileşeni
- 9-Şekil-2.3.4 1999 Düzce Depremi Düzce Kaydı Doğu-Batı İvme Bileşeni
- 10-Şekil-2.3.5 1999 Düzce Depremi Bolu Kaydı Kuzey-Güney İvme Bileşeni
- 11-Şekil-2.3.6 Yapının Birinci Moduna Ait Genelleştirilmiş Tek Serbestlik Dereceli Sistem
- 12-Şekil-2.3.7 Sekizinci Katın Kontrollü ve Kontrolsüz Yerdeğiştirmesi
- 13-Şekil-2.3.8 Kontrol Elemanına Uygulanan Kontrol Kuvveti (sınır tabaka uygulanmadan)
- 14-Şekil-2.3.9 Kontrol Elemanına Uygulanan Kontrol Kuvveti
- 15-Şekil-2.3.10 Kayan Tipli Kontrolün Parametrik Belirsizliğe Olan Duyarlılığı
- 16-Şekil-2.3.11 1999 Düzce Depremi Düzce Kaydı Doğu-Batı İvme Bileşeni Etkisindeki Yapının Sekizinci Katının Kontrollü ve Kontrolsüz Yerdeğiştirmesi
- 17-Şekil-2.3.12 1999 Düzce Depremi Bolu Kaydı Kuzey-Güney İvme Bileşeni Etkisindeki Yapının Sekizinci Katının Kontrollü ve Kontrolsüz Yerdeğiştirmesi
- 18-Şekil-2.4.1 Kütle M 'nin İki Kenarında Sürtünme Elemanlarını Gösteren Test Modellerinin Şematik Gösterimi
- 19-Şekil-2.4.2 Test Araç-Gereçleri Yerleşim Düzeni
- 20-Şekil-2.4.3 Sürtünme Elemanlarının Yokluğunda Zaman-Tanımlı Kayıtlarının Güç Spektrumu
- 21-Şekil-2.4.4 Temeli Tekerlikli Modelin Sol ve Sağ Sürtünme Elemanlarının Tepkilerinin Zaman Tanımlı Kayıtları
- 22-Şekil-2.4.5 Sürtünme Elemanlarının Yokluğunda Temeli Tekerlikli Modelin Zaman Tanımlı Kayıtların Güç Spektrumu

- 23-Şekil-2.4.6 Sürtünme Elemanları Mevcut İken Temeli Tekerlekli Modelin Zaman Tanımlı Kayıtlarının Güç Spektrumu
- 24-Şekil-2.4.7 Temeli Tekerlekli Modelin Sürtünme Elemanları Mevcut İken Gösterdiği Tepkinin Muhtemel Yoğunluk Fonksiyonları
- 25-Şekil-2.4.8 Sürtünme Elemanlarının Yokluğunda Temeli Tekerlekli Modelin Tepkisinin Ortalama Kareyle Olan Bağlılığı
- 26-Şekil-2.4.9 Sürtünme Elemanları Var İken Temeli Tekerlekli Modelin Tepkisinin Ortalama Kareyle Olan Bağlılığı
- 27-Şekil-2.5.1 TDY-98 Yönetmeliği Tasarım Spektrumu
- 28-Şekil-2.5.2 UBC-97 Yönetmeliği Tasarım Spektrumu
- 29-Şekil-2.5.3 N_a Katsayıları
- 30-Şekil-2.5.4 N_v Katsayıları
- 31-Şekil-2.5.5 Spektrum Azaltma Katsayıları (B)
- 32-Şekil-2.5.6 Burulmadan Dolayı Oluşan Eksentrisitelerin Gösterimi
- 33-Şekil-2.5.7 Tabakalı Elastomerik Pad (tampon)'in Gösterimi
- 34-Şekil-2.5.8 Dairesel Kauçuk Tabakası ve Parabolik Basınç Dağılımı
- 35-Şekil-2.5.9 İzolatörde Düşey Yüklerden Oluşan Kayma Gerilmelerinin Gösterimi
- 36-Şekil-2.5.10 Kayma Yerdeğiştirmesi ve Ortak Alan
- 37-Şekil-2.5.11 Temel Histerez Döngü Parametreleri
- 38-Şekil-4.1 Yapıya Etkiyen Tasarım Sismik Kuvvetlerinin Bulunma Kriterlerinin Grafikselsel Tasviri (Gösterimi)
- 39-Şekil-4.2 Rijit Kat Çerçeve Taşıyıcı Sistemli, Temel İzolatörlü Bina
- 40-Şekil-4.3 $\sigma_{T_1} = 0.05\langle T_1 \rangle$ Durumu İçin Devrilme Momentinin Yoğunluk Fonksiyonu
- 41-Şekil-4.4 $\sigma_{m_1} = 0.05\langle m_1 \rangle$ Durumu İçin Taban Devrilme Momentinin Histogramı

TABLolar LİSTESİ

1-Tablo-2.3.1 Binanın Kütle ve Rijitlik Özellikleri

2-Tablo-2.4.1 Tepkinin Ortalama Karesi

3-Tablo-2.5.2 Sismik Katsayı C_a

4-Tablo-2.5.3 Sismik Katsayı C_v

5-Tablo-2.5.4 Maksimum-Mümkün Deprem Tepki Katsayısı, M_M

6-Tablo-2.5.5 Sismik Katsayı C_{AM}

7- Tablo-2.5.6 Sismik Katsayı C_{VM}

8-Tablo-4.1 İzolatörsüz 5 Katlı Binanın 1940 El-Centro Depreminin Doğu-Batı Bileşeni Etkisine Tepki Sonuçları

9-Tablo-4.2 İzolatörlü 5 Katlı Binanın 1940 El-Centro Depreminin Doğu-Batı Bileşeni Etkisine Tepki Sonuçları

10-Tablo-4.3 Temel İzolatörü Parametrelerinin Rasgele Değişimine İzolatörlü Yapı Tepkisinin Hassaslığının Değerlendirilmesi Sonuçları

11-Tablo-4.4 Yapı Parametrelerinin Rasgele Değişimine İzolatörlü Yapı Tepkisinin Hassaslığının Değerlendirilmesi Sonuçları

1.Giriş

Yapılmış olan bu tez, bilimsel olarak günümüzde oldukça güncel olan deprem afetinden önceden korunmanın bir yolu olan sismik yalıtım konusunda dikkat edilmesi gereken konuları içermektedir. Tez giriş, genel bilgiler, materyal ve metot, bulgular, sonuç ve öneriler, kaynaklar olmak üzere altı bölümden oluşmaktadır.

Son birkaç on yılda temel yalıtımı tekniğinin uygulanması sonucu deprem etkisinden binaların hasarının azaltılması doğrultusunda büyük başarıya ulaşılmıştır [Kelly,1986- Izumi, 1988- Mineo, Hideyuki, 1994- Wu, Samali, Nguyen, 2000- Wu, Samali, 2002- Skinner, Moverry, Robinson, 1992- Ceccoli, Mazzotti ve Savioa, 1999]. Bu çalışmaların hepsinin ortak amacı yapıya etkiyen deprem etkilerinin en aza indirilmesidir. Yapılmış olan çalışmada bu ortak hedef esas alınmıştır.

Gerek akademik çevrelerin, gerekse sismik yalıtımlı yapıların tasarımı, yalıtım gereçlerinin modellenmesi ve yalıtımlı yapıların sayısal analizi ile uğraşan kişilerin güvenlik kriterlerini daha dikkatli olarak değerlendirmelerinin gerektiği sayısal olarak irdelenmiştir.

Sismik yalıtım gereçlerinin sahip olduğu parametrelerin belirli sınırlar dahilinde değişmesi gerektiği, aksi takdirde yapıya faydadan çok zarar getirebileceği bulunan bulgular kısmında hem teorik hem de sayısal olarak değerlendirilmiştir.

Ayrıca yapılan incelemelerde Türkiye' nin şu an sahip olmadığı yalıtımlı yapılar hakkındaki yönetmeliğin zaman kaybedilmeksizin ortaya çıkarılmasının gerekli olduğu tavsiye edilmekte ve bu yönde öncü olması için UBC-97 yönetmeliğinin incelemesi yapılmıştır. Şu an için Türkiye şartlarına göre düzenlenmeyen yönetmeliklere göre sayısal değerlendirmelerin yapılmasının ne derece doğru olduğu, bu kanaatin oluşmasında baş etken olmuştur.

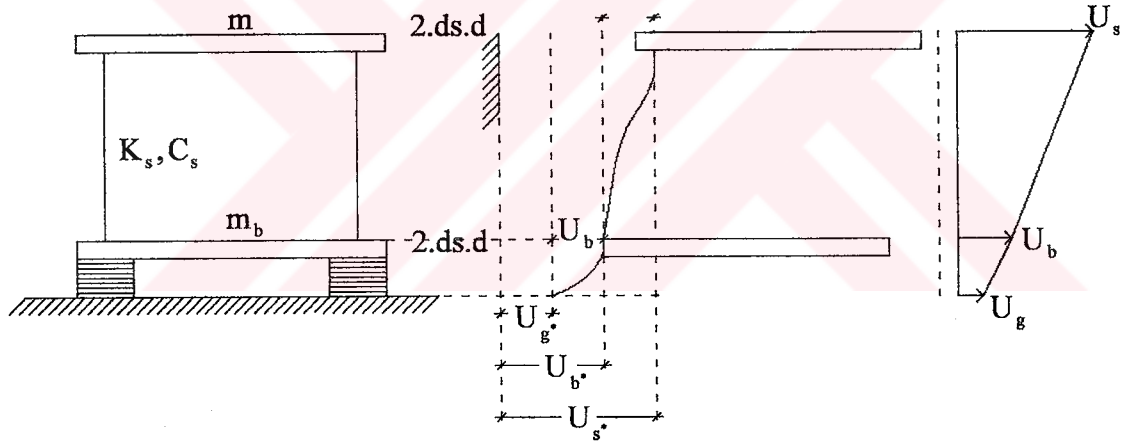
2.Genel Bilgiler

Çalışmanın bu bölümünde konu hakkında daha önce yapılan çalışmalar:

Temel yalıtımlı binanın klasik sönümlü bütün olarak incelenmesi, aktif kütle sönümleyicili çok serbestlik dereceli bir yapının depreme karşı LQR kontrolü, yapıların sismik izolasyonunda kayan modlu aktif kontrol yöntemi, sürtünme-temel yalıtımı ilişkisinin deneysel araştırılması, sismik yalıtım için analitik incelemeler başlıkları altında verilmiştir.

2.1.Temel Yalıtımlı Binanın Klasik Sönümlü Bütün Olarak İncelenmesi

Hareket denklemleri Şekil-2.1.1' de verilen sistemler için iki dinamik serbestlik dereceli klasik sönümlü bütün olarak maksimum izolasyon yerdeğiştirmesi, yapı yerdeğiştirmesi ve taban kesme katsayısı bulunabilir [Kelly, 1986].



Şekil-2.1.1 İzolatörlü Sistemin Teorik Gösterimi

Şekil-2.1.1' de sistem detayı verilen izolatör için

$$[m]. \left\{ \ddot{U} \right\} + [C]. \left\{ \dot{U} \right\} + [K]. \left\{ U \right\} = -m \ddot{\Delta}(t) \quad \text{eşitliği yazılacak olursa}$$

m_b , m kütlelerin tam yeri U_b , U_s rölatif yerdeğiştirmeleri

$$U_b = U_{b^*} - U_{g^*}$$

$$U_s = U_{s^*} - U_{b^*}$$

olur.

Eşitlikte;

U_b = İzolatörün deformasyonları ile ortaya çıkan yerdeğiştirme.

U_s = Sistemin deformasyonları ile ortaya çıkan yerdeğiştirme.

2 dinamik serbestlik dereceli sistemin kütle sönüm ve rijitlik matrisleri hareket denklemleriyle düzenlenir.

$$\begin{bmatrix} m+m_b & m \\ m & m \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \ddot{U}_b \\ \ddot{U}_s \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} C_b & 0 \\ 0 & C_s \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{U}_b \\ \dot{U}_s \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} K_b & 0 \\ 0 & K_s \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} U_b \\ U_s \end{pmatrix} = - \begin{bmatrix} m+m_b & m \\ m & m \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot \Delta''$$

(2.1.1)

Elastik tip davranışındaki yüksek sönümle, düşük yapı sönümü arasındaki farklılık kombine olunmuş sistemde sönüm klasik değildir.

$$T_s = \frac{C}{2m\omega_s} ; T_b = \frac{2\pi}{\omega_b}$$

$$\begin{bmatrix} m+m_b & m \\ m & m \end{bmatrix} , \gamma = \frac{m}{m+m_b} = \frac{m}{M} , \omega_s^2 = \frac{K_s}{m} , \omega_b^2 = \frac{K_b}{m+m_b} , \epsilon = \frac{\omega_b^2}{\omega_s^2}$$

$$\begin{bmatrix} m+m_b & m \\ m & m \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \ddot{U}_b \\ \ddot{U}_s \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} C_b & 0 \\ 0 & C_s \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{U}_b \\ \dot{U}_s \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} K_b & 0 \\ 0 & K_s \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} U_b \\ U_s \end{pmatrix} = - \begin{bmatrix} m+m_b & m \\ m & m \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot \Delta''$$

$$\left. \begin{aligned} \left(M \cdot \ddot{U}_b + m \ddot{U}_s \right) + \left(C_b \cdot \dot{U}_b + K_b \cdot U_b \right) &= \begin{bmatrix} m+m_b \\ m \end{bmatrix} \\ \left(m \cdot \ddot{U}_b + m \ddot{U}_s \right) + \left(C_s \cdot \dot{U}_s + K_s \cdot U_s \right) &= \begin{bmatrix} m+m_b \\ m \end{bmatrix} \end{aligned} \right\}$$

$$\begin{aligned} K_b &= \omega_b^2 \cdot M & M &= \frac{m}{\gamma} \\ K_s &= \omega_s^2 \cdot m \end{aligned}$$

$$\frac{M}{\gamma} \cdot \ddot{U}_b + \ddot{U}_s + C_b \cdot \dot{U}_b + \omega_b^2 \frac{M}{\gamma} \cdot U_b = - \begin{pmatrix} M \\ m \end{pmatrix} \cdot \ddot{\Delta}$$

$$m \cdot \ddot{U}_b + m \cdot \ddot{U}_s + C_s \cdot \dot{U}_s + \omega_s^2 \cdot m \cdot U_s = - \begin{pmatrix} M \\ m \end{pmatrix} \cdot \ddot{\Delta}$$

her taraf m'e bölünürse

$$\frac{1}{\gamma} \cdot \ddot{U}_b + \ddot{U}_s + \frac{C_b \cdot \dot{U}_b}{m} + \omega_b^2 \frac{1}{\gamma} \cdot U_b = - \begin{pmatrix} 1 \\ \gamma \\ 1 \end{pmatrix} \cdot \ddot{\Delta}$$

$$\ddot{U}_b + \ddot{U}_s + \frac{C_s \cdot \dot{U}_s}{m} + \omega_s^2 U_s = - \begin{pmatrix} 1 \\ \gamma \\ 1 \end{pmatrix} \cdot \ddot{\Delta}$$

$$C_b = M \cdot 2\omega_b \xi_b$$

$$C_b = \frac{m}{\gamma} \cdot 2\omega_b \cdot \xi_b$$

$$C_s = m \cdot 2\omega_s \cdot \xi_s$$

$$\frac{1}{\gamma} \cdot \ddot{U}_b + \ddot{U}_s + \frac{m}{\gamma \cdot m} \cdot 2\omega_b \xi_b \cdot \dot{U}_b + \omega_b^2 \frac{1}{\gamma} \cdot U_b = - \begin{pmatrix} 1 \\ \gamma \\ 1 \end{pmatrix} \cdot \ddot{\Delta}$$

$$\ddot{U}_b + \ddot{U}_s + \frac{m \cdot 2\omega_s \cdot \xi_s}{m} \cdot \dot{U}_s + \omega_s^2 U_s = - \begin{pmatrix} 1 \\ \gamma \\ 1 \end{pmatrix} \cdot \ddot{\Delta}$$

her taraf γ ile çarpılırsa. (üst satırda)

$$\left. \begin{aligned} \ddot{U}_b + \gamma \cdot \ddot{U}_s + 2\omega_b \xi_b \cdot \dot{U}_b + \omega_b^2 \cdot U_b &= -\ddot{\Delta} \\ \ddot{U}_b + \ddot{U}_s + 2\omega_s \cdot \xi_s \cdot \dot{U}_s + \omega_s^2 \cdot U_s &= -\ddot{\Delta} \end{aligned} \right\}$$

$\varepsilon = 0(10^{-2})$ mertebesinde olduğu kabul edilirse

sönüm faktörü (sönüm oranları) ξ_b, ξ_s aşağıdaki gibi verilir.

$$2\omega_b \xi_b = \frac{C_b}{m + m_b}$$

$$2\omega_s \xi_s = \frac{C_s}{m}$$

$$\xi_b = \frac{C_b}{2(m + m_b)\omega_b} ; \quad \xi_s = \frac{C_s}{2m\omega_s}$$

Bu işaretlemlerle (2.1.1) hareket denklemleri aşağıdaki şekli alır.

$$[m] \cdot \left\{ \ddot{U} \right\} + [C] \cdot \left\{ \dot{U} \right\} + [K] \cdot \left\{ U \right\} = -[m] \cdot \left\{ \ddot{r} \right\} \cdot \ddot{\Delta} \quad (2.1.2)$$

$$\left. \begin{aligned} \ddot{U}_b + \gamma \cdot \ddot{U}_s + 2\omega_b \xi_b \cdot \dot{U}_b + \omega_b^2 \cdot U_b &= -\ddot{\Delta} \quad (a) \\ \ddot{U}_b + \ddot{U}_s + 2\omega_s \cdot \xi_s \cdot \dot{U}_s + \omega_s^2 \cdot U_s &= -\ddot{\Delta} \quad (b) \end{aligned} \right\} \quad (2.1.3)$$

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 1 & \gamma \\ 1 & 1 \end{bmatrix}}_{[m]} \cdot \underbrace{\begin{pmatrix} \ddot{U}_b \\ \ddot{U}_s \end{pmatrix}}_{[c]} + \underbrace{\begin{bmatrix} 2\omega_b \xi_b & 0 \\ 0 & 2\omega_s \xi_s \end{bmatrix}}_{[c]} \cdot \underbrace{\begin{pmatrix} \dot{U}_b \\ \dot{U}_s \end{pmatrix}}_{[K]} + \underbrace{\begin{bmatrix} \omega_b^2 & 0 \\ 0 & \omega_s^2 \end{bmatrix}}_{[K]} \cdot \underbrace{\begin{pmatrix} U_b \\ U_s \end{pmatrix}}_{[K]} = -\ddot{\Delta} \quad (2.1.3b)$$

Böylece incelediğimiz sistemin hareket denklemleri aşağıdaki şekli alır.

$$[m].\{\ddot{U}\} + [C].\{\dot{U}\} + [K].\{U\} = -\Delta \{r\}; \quad (2.1.4)$$

burada

$$[m] = \begin{bmatrix} 1 & \gamma \\ 1 & 1 \end{bmatrix}; \quad [C] = \begin{bmatrix} 2\omega_b \xi_b & 0 \\ 0 & 2\omega_s \xi_s \end{bmatrix}; \quad [K] = \begin{bmatrix} \omega_b^2 & 0 \\ 0 & \omega_s^2 \end{bmatrix};$$

$$\{U\} = \begin{pmatrix} U_b \\ U_s \end{pmatrix}; \quad r = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

(2.1.4) denklemini incelemek için, önce uygun sönümsüz sistemin öz değer, öz vektör probleminin çözümü gerekir.

$$[\delta]. [m]. \{a\} = \frac{1}{\omega^2} \{a\}$$

$$[K]^{-1}. [m]. \{a\} = \frac{1}{\omega^2} \{a\}$$

$$[C]. \{a\} = \frac{1}{\omega^2} \{a\}$$

$\{a_{1,2}\}, \omega_{1,2}^2$ 'nin bulunması

$$[m] = \begin{bmatrix} 1 & \gamma \\ 1 & 1 \end{bmatrix}; \quad [K] = \begin{bmatrix} \omega_b^2 & 0 \\ 0 & \omega_s^2 \end{bmatrix}$$

$$[\delta] \cdot [m] \cdot \{a\} = \frac{1}{\omega^2} \{a\} \quad [\delta] = [K]^{-1}$$

$$[K]^{-1} \cdot [m] \cdot \{a\} = \frac{1}{\omega^2} \{a\}$$

$$[C] \cdot \{a\} = \frac{1}{\omega^2} \{a\}$$

ifade soldan $[C]^{-1}$ ile çarpılırsa

$$\{a\}\omega^2 = [C]^{-1} \cdot \{a\}$$

$$[D]\{a\} = \omega^2 \cdot \{a\}$$

$$[D] = [C]^{-1} ;$$

$[C]^{-1}$ 'i bu ifadeden elde edilir.

$$[C] = [K]^{-1} \cdot [m] = \begin{bmatrix} \frac{1}{\omega_b^2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\omega_s^2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & \gamma \\ 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\omega_b^2} & \frac{\gamma}{\omega_b^2} \\ \frac{1}{\omega_s^2} & \frac{1}{\omega_s^2} \end{bmatrix}$$

$$\det[C] = \frac{1}{\omega_b^2 \omega_s^2} - \frac{\gamma}{\omega_b^2 \omega_s^2} = \frac{1-\gamma}{\omega_b^2 \omega_s^2}$$

$$b_{11} = \frac{1}{\omega_s^2} ; \quad b_{12} = -\frac{\gamma}{\omega_b^2} ; \quad b_{21} = -\frac{1}{\omega_s^2} ; \quad b_{22} = \frac{1}{\omega_b^2}$$

$$[C]^{-1} = \frac{1}{\det[C]} \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} = \frac{\omega_b^2 \omega_s^2}{1-\gamma} \begin{bmatrix} \frac{1}{\omega_s^2} & -\frac{\gamma}{\omega_b^2} \\ -\frac{1}{\omega_s^2} & \frac{1}{\omega_b^2} \end{bmatrix}$$

$[C] \cdot \{a\} = \frac{1}{\omega^2} \{a\}$ ifadesi soldan $[C]^{-1}$ ile çarpılırsa

$$\{a\} = \frac{1}{\omega^2} \cdot [C]^{-1} \cdot \{a\}$$

$$\{a\} \omega^2 = [D] \cdot \{a\}$$

$$[D] \cdot \{a\} = \omega^2 \cdot \{a\}$$

$$D = [C]^{-1} = \frac{\omega_b^2 \omega_s^2}{1-\gamma} \begin{bmatrix} \frac{1}{\omega_s^2} & -\frac{\gamma}{\omega_b^2} \\ -\frac{1}{\omega_s^2} & \frac{1}{\omega_b^2} \end{bmatrix}$$

$\{a\}$, ω^2 'yi bulursak

$$D = \begin{bmatrix} \frac{\omega_b^2}{1-\gamma} & -\frac{\gamma \omega_s^2}{1-\gamma} \\ -\frac{\omega_b^2}{1-\gamma} & \frac{\omega_s^2}{1-\gamma} \end{bmatrix} \quad [D] \cdot \{a\} = \omega^2 \cdot \{a\} \quad (2.15)$$

$$\det \begin{bmatrix} d_{11} - \omega^2 & d_{12} \\ d_{21} & d_{22} - \omega^2 \end{bmatrix} = 0$$

$$(d_{11} - \omega^2)(d_{22} - \omega^2) - d_{21}d_{12} = 0$$

$$d_{11}d_{22} - \omega^2(d_{11} + d_{22}) + \omega^4 - \frac{\gamma \omega_b^2 \omega_s^2}{(1-\gamma)^2} = 0 ;$$

$$\frac{\omega_b^2 \omega_s^2}{(1-\gamma)^2} - \frac{\omega^2(\omega_b^2 + \omega_s^2)}{(1-\gamma)} + \omega^4 - \frac{\gamma \omega_b^2 \omega_s^2}{(1-\gamma)^2} = 0 ;$$

$$\frac{\omega_b^2 \omega_s^2 (1-\gamma)}{(1-\gamma)^2} - \frac{\omega^2(\omega_b^2 + \omega_s^2)}{(1-\gamma)} + \omega^4 = 0 ;$$

(2.1.6)

$$\frac{\omega_b^2 \omega_s^2}{(1-\gamma)} - \frac{\omega^2(\omega_b^2 + \omega_s^2)}{(1-\gamma)} + \omega^4 = 0 ;$$

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

$$\omega_{1,2}^2 = \frac{\omega_b^2 + \omega_s^2 \pm \sqrt{(\omega_b^2 + \omega_s^2)^2 - 4(1-\gamma)\omega_b^2 \omega_s^2}}{2(1-\gamma)} \quad (2.1.7)$$

$$\omega_{1,2}^2 = \frac{\omega_b^2 + \omega_s^2 \mp \sqrt{(\omega_b^2 + \omega_s^2)^2 - 4(1-\gamma)\omega_b^2 \omega_s^2}}{2(1-\gamma)}$$

$$= \frac{\omega_b^2 \frac{\omega_s^2}{\omega_s^2} + \omega_s^2 \frac{\omega_b^2}{\omega_b^2} \mp \sqrt{\left(-\omega_b^2 \frac{\omega_s^2}{\omega_s^2} - \omega_s^2 \frac{\omega_b^2}{\omega_b^2}\right)^2 - 4(1-\gamma)\omega_b^2 \omega_s^2 \frac{\omega_s^2}{\omega_s^2}}}{2(1-\gamma)}$$

$$= \frac{\omega_s^2 \left\{ \epsilon + 1 \mp \sqrt{(-\epsilon - 1)^2 - 4(1-\gamma)\epsilon} \right\}}{2(1-\gamma)}$$

$D = (-\varepsilon - 1)^2 - 4(1 - \gamma)\varepsilon > 0$ koşulunun sağlanıp sağlanmadığına bakılır.

$$D = (-\varepsilon - 1)^2 - 4(1 - \gamma)\varepsilon = \varepsilon^2 + 2\varepsilon + 1 - 4\varepsilon + 4\gamma\varepsilon = \varepsilon^2 - 2\varepsilon + 4\gamma\varepsilon + 1 = (\varepsilon - 1)^2 + 4\gamma\varepsilon > 0$$

$<1 \quad <1 \qquad \qquad \qquad >0 \quad >0$

$D > 0$ olduğundan 2 gerçek kök veya $(1 - \varepsilon)^2 + 4\gamma\varepsilon \quad (-1)^2 = +1$

$$\omega_{1,2}^2 = \frac{\omega_s^2 \left\{ \varepsilon + 1 \mp \sqrt{(\varepsilon - 1)^2 + 4\gamma\varepsilon} \right\}}{2(1 - \gamma)} \quad D > 0 \quad (2.1.8)$$

$$\omega_{1,2}^1 = \frac{\omega_s^2}{2(1 - \gamma)} \left[\varepsilon + 1 \mp \sqrt{[(\varepsilon - 1) - 2\gamma\varepsilon]^2} \right] =$$

$$\begin{aligned} & (\varepsilon - 1)^2 - 4\gamma\varepsilon \overbrace{(\varepsilon - 1)}^{\approx -1} + 4\gamma^2 \underbrace{\varepsilon^2}_{\ll 1 \ll 1} \\ & \approx (\varepsilon - 1)^2 + 4\gamma\varepsilon \end{aligned}$$

dolayısı ile

$$(\varepsilon - 1)^2 + 4\gamma\varepsilon \approx [(\varepsilon - 1) - 2\gamma\varepsilon]^2$$

$$= \frac{\omega_s^2}{2(1 - \gamma)} \left[\varepsilon + 1 - [(\varepsilon - 1) - 2\gamma\varepsilon] \right]$$

$$= \frac{\omega_s^2}{2(1 - \gamma)} \left[\varepsilon + 1 - \varepsilon + 1 + 2\gamma\varepsilon \right]$$

$$2 + 2\gamma\varepsilon = 2(1 + \gamma\varepsilon)$$

1. Mertebe ε için=

$$\omega_s^2 \approx \frac{\omega_s^2}{(1-\gamma)} (1+\gamma\epsilon) \quad (2.1.9a)$$

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

denkleminde $ax^2 + bx + c = 0$;

$$a = (1-\gamma) \quad , \quad b = (-\omega_s^2 - \omega_b^2) \quad , \quad c = \omega_b^2\omega_s^2$$

$$\text{Kökler çarpımı} = \frac{c}{a}$$

$$\text{Kökler toplamı} = -\frac{b}{a}$$

$$\frac{c}{a} = \frac{\omega_b^2\omega_s^2}{(1-\gamma)} = \omega_2^2 - \omega_1^2 = \frac{\omega_s^2}{(1-\gamma)} (1+\gamma\epsilon)\omega_1^2$$

$$\omega_1^2 = \frac{\omega_b^2}{(1+\gamma\epsilon)}$$

pay ve payda eşleniği ile çarpılırsa

$$\omega_1^2 = \frac{\omega_b^2(1-\gamma\epsilon)}{(1+\gamma\epsilon)(1-\gamma\epsilon)} = \frac{\omega_b^2(1-\gamma\epsilon)}{1+\gamma\epsilon-\gamma\epsilon-\underbrace{\gamma^2\epsilon^2}_{\ll 0 \ll 0}} \quad \omega_1^2 = \omega_b^2(1-\gamma\epsilon)$$

1. Mertebe ϵ için

$$\omega_1^2 \approx \omega_b^2(1-\gamma\epsilon) \quad (2.1.9b)$$

(2.1.5) denkleminin yaklaşık bulunmuş (2.1.9a,b) öz değerleri denklem halinde yazılırsa

$$\{a_1\} = \begin{pmatrix} a_{1,1} \\ a_{2,1} \end{pmatrix} = \{a_b\} = \begin{pmatrix} a_{b1} \\ a_{b2} \end{pmatrix} ; \quad \{a_2\} = \begin{pmatrix} a_{1,2} \\ a_{2,2} \end{pmatrix}$$

$\{a_1\}, \{a_2\}$ öz vektörlerinin bulunması=

K. öz vektörünün 1. elemanı=

$a_{1,K} = 1$ kabul ederek ($K = 1,2$)

K. öz vektörün 2. elemanını aşağıdaki bağıntıdan buluruz.

$$\overbrace{(d_{11} - \omega_K^2)}^1 \cdot a_{1,K} + d_{12} \cdot a_{2,K} = 0$$

$$d_{21} \cdot \underbrace{a_{1,K}}_1 + (d_{22} - \omega_K^2) \cdot a_{2,K} = 0$$

K. öz vektörün 2. elemanı ; $a_{2,K}$

$$a_{2,K} = -\frac{d_{21}}{d_{22} - \omega_K^2} ; \quad (K = 1,2) \quad (2.1.10a)$$

1. öz vektörün 2. satırdaki elemanı=

$$a_{2,1} = -\frac{d_{21}}{d_{22} - \omega_1^2} = \frac{-\frac{\omega_b^2}{1-\gamma}}{\frac{\omega_s^2}{1-\gamma} - \frac{\omega_b^2(1-\gamma\epsilon)(1-\gamma)}{(1-\gamma)}} = -\frac{\omega_b^2}{\omega_s^2 - \omega_b^2(1-\gamma\epsilon)(1-\gamma)}$$

pay ve payda ω_s^2 'ye bölünürse

$$= \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon(1 - \gamma\varepsilon)(1 - \gamma)} = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon \left(1 - \gamma - \underbrace{\gamma\varepsilon}_{\ll} + \underbrace{\gamma^2\varepsilon}_{\ll} \right)}$$

(2.1.10b)

$$a_{2,1} \approx \varepsilon$$

2. öz vektörün 2. satırdaki elemanı=

$$a_{2,2} = -\frac{d_{21}}{d_{22} - \omega_2^2} = \frac{-\frac{\omega_b^2}{1 - \gamma}}{\frac{\omega_s^2}{1 - \gamma} - \frac{\omega_s^2(1 + \gamma\varepsilon)}{1 - \gamma}} = \text{pay ve payda } \omega_s^2 \text{'ye bölünürse}$$

$$= \frac{\varepsilon}{1 - 1(1 + \gamma\varepsilon)} = \text{pay ve payda } \gamma \text{'ya bölünürse}$$

$$= \frac{\frac{\varepsilon}{\gamma}}{-\gamma\varepsilon} \text{ pay ve payda } -\frac{1}{\varepsilon} + 1 - \gamma \text{ ile çarpılırsa}$$

$$= \frac{-\frac{1}{\gamma} + \frac{\varepsilon}{\gamma} - \frac{\gamma\varepsilon}{\gamma}}{\gamma - \underbrace{\gamma\varepsilon}_{\ll} + \underbrace{\gamma^2\varepsilon}_{\ll}} = -\frac{1}{\gamma} [1 - \varepsilon(1 - \gamma)]$$

$$a_{2,2} \approx -\frac{1}{\gamma} [1 - \varepsilon(1 - \gamma)] \quad (2.1.10c)$$

$$\omega_1^2 ;$$

(2.1.11a)

$$\{a_1\} = \begin{pmatrix} a_{11} \\ a_{21} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ \varepsilon \end{pmatrix}$$

$$\omega_2^2 ;$$

(2.1.11b)

$$\{a_2\} = \begin{pmatrix} a_{12} \\ a_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ -\frac{1}{\gamma} [1 - (1 - \gamma)\epsilon] \end{pmatrix}$$

(2.1.1) denklemlerinin Mod birleştirme yöntemi ile çözümü:

Orijinal $\begin{pmatrix} U_b \\ U_s \end{pmatrix}$ yerdeğiştirmelerinin zamana bağlı modal $(q_1(t), q_2(t))$ koordinatlarında ifadeleri

$$\{U\} = \sum_{i=1,2} q_i(t) \cdot \{a_i\} = [a] \cdot \{q(t)\}; \quad (2.1.12)$$

Açık şekilde yazılırsa

$$\begin{aligned} \{U\} &= \begin{pmatrix} U_b \\ U_s \end{pmatrix} = q_1(t) \cdot \{a_1\} + q_2(t) \cdot \{a_2\} = q_1(t) \cdot \begin{pmatrix} a_{11} \\ a_{21} \end{pmatrix} + q_2(t) \cdot \begin{pmatrix} a_{12} \\ a_{22} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} a_{11}q_1 + a_{12}q_2 \\ a_{21}q_1 + a_{22}q_2 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

(2.1.12), (2.1.1)'de yerine yazılıp soldan $[a]^T$ ile çarpılırsa

$$\begin{aligned} [m] &= \begin{bmatrix} \bullet & 0 \\ 0 & \bullet \end{bmatrix} & [C] &= \begin{bmatrix} \bullet & 0 \\ 0 & \bullet \end{bmatrix} & [K] &= \begin{bmatrix} \bullet & 0 \\ 0 & \bullet \end{bmatrix} & \{L\} &= \begin{pmatrix} L_1 \\ L_2 \end{pmatrix} \\ [T]^T \cdot [m] \cdot [a] \cdot \{\ddot{q}\} &+ [a]^T \cdot [C] \cdot [a] \cdot \{\dot{q}\} &+ [a]^T \cdot [K] \cdot [a] \cdot \{q\} &= -[a]^T \cdot [m] \cdot [r] \cdot \Delta ; \end{aligned} \quad (2.1.13a)$$

i. titreşim modu için

$$M_i = \{a_i\}^T \cdot [m] \cdot \{a_i\} ; \quad C_i = \{a_i\}^T \cdot [C] \cdot \{a_i\} ; \quad K_i = \{a_i\}^T \cdot [K] \cdot \{a_i\} ; \quad (2.1.13b)$$

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} \\ a_{12} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m + m_b & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} (m + m_b)a_{11} + ma_{21} & ; & m(a_{11} + a_{21}) \\ (m + m_b)a_{12} + ma_{22} & ; & m(a_{12} + a_{22}) \end{pmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} M_1 & 0 \\ 0 & M_2 \end{bmatrix}$$

$$M_1 = \{a_1\}^T \cdot [m] \cdot \{a_1\} = (a_{11} \quad a_{21}) \begin{bmatrix} m + m_b & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{pmatrix} a_{11} \\ a_{21} \end{pmatrix} =$$

$$= [a_{11}(m + m_b) + a_{21}m \quad ; \quad (a_{11} + a_{21})m] \begin{pmatrix} a_{11} \\ a_{21} \end{pmatrix} = [a_{11}(m + m_b) + a_{21}m]a_{11} + [(a_{11} + a_{21})m]a_{21} =$$

Ortogonal $\{a_i\}, \{a_j\}$ vektörleri için

$$a_{ki} \cdot a_{ij} \neq 0 \quad ; \quad \text{gerçek} \quad \begin{matrix} k = n \\ i = \gamma \end{matrix}$$

$$= 0 \quad ;$$

diğer durumlar için

ε 'un 1. mertebesi ile yetinilirse

$$M_1 = (m + m_b) \cdot 1 + \varepsilon \cdot m \cdot 1 + (1 + \varepsilon) \cdot \varepsilon m$$

$$= M + m\varepsilon + m\varepsilon + \varepsilon^2 M = M + \underbrace{2m\varepsilon}_{\gamma M} = M(1 + 2\gamma \varepsilon)$$

$$M = m + m_b$$

$$\begin{aligned}
M_2 &= \{a_2\}^T \cdot [m] \cdot \{a_2\} = (a_{12} \quad a_{22}) \begin{bmatrix} m + m_b & m \\ m & m \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a_{12} \\ a_{22} \end{pmatrix} \\
&= [a_{12}(m + m_b) + a_{22}m \quad ; \quad (a_{12} + a_{22})m] \begin{pmatrix} a_{12} \\ a_{22} \end{pmatrix} \\
&= [a_{12}(m + m_b) + a_{22}m]a_{12} + [(a_{12} + a_{22})m]a_{22}
\end{aligned}$$

ϵ 'un 1. mertebesi ile yetinilirse $\frac{m}{M} = \gamma$; $M = m + m_b$

$$\begin{aligned}
M_2 &= (m + m_b) \cdot a_{12} \cdot a_{12} + m \cdot a_{22} \cdot a_{12} + (a_{12} + a_{22}) \cdot a_{22} \cdot m \\
&= M \cdot 1 + m \left[-\frac{1}{\gamma} [1 - (1 - \gamma)\epsilon] \right] \cdot 1 + \left\{ 1 - \frac{1}{\gamma} [1 - (1 - \gamma)\epsilon] \right\} \cdot \left\{ -\frac{1}{\gamma} [1 - (1 - \gamma)\epsilon] \right\} \cdot m \\
&= M \left[1 + \gamma \left[\left(-\frac{1}{\gamma} [1 - (1 - \gamma)\epsilon] \right) + \left(1 - \frac{1}{\gamma} [1 - (1 - \gamma)\epsilon] + \frac{1}{\gamma^2} [1 - (1 - \gamma)\epsilon]^2 \right) \right] \right]
\end{aligned}$$

Paydalar eşitlenirse

$$\begin{aligned}
&= M \cdot \left[1 + \gamma \left[\left(-\frac{\gamma}{\gamma^2} [1 - (1 - \gamma)\epsilon] \right) + \left(-\frac{\gamma}{\gamma^2} [1 - (1 - \gamma)\epsilon] + \frac{1}{\gamma^2} [1 - (1 - \gamma)\epsilon]^2 \right) \right] \right] \\
&= 1 + \frac{\gamma (-2\gamma + 2\gamma\epsilon - 2\gamma^2\epsilon + 1 - 2\epsilon + 2\gamma\epsilon + \epsilon^2 - 2\gamma\epsilon + \gamma^2\epsilon^2)}{\gamma^2} \\
&= \frac{\gamma - 2\gamma + 2\gamma\epsilon - 2\gamma^2\epsilon + 1 - 2\epsilon + 2\gamma\epsilon}{\gamma} = \frac{-\gamma + 1 - 2\epsilon + 2\gamma\epsilon + 2\gamma\epsilon - 2\gamma^2\epsilon}{\gamma} \\
&= \frac{(1 - \gamma)[1 - 2(1 - \gamma)\epsilon]}{\gamma}
\end{aligned}$$

Bu işlemlerden sonra bağımsız hale gelmiş (2.1.13a) denklemleri aşağıdaki gibi yazılır.

$$[M] \cdot \{\ddot{q}\} + [C] \cdot \{\dot{q}\} + [K] \cdot \{q\} = -\{L\} \ddot{\Delta} \quad ; \quad (2.1.14a)$$

$$\{q\} = \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \end{pmatrix} \quad \begin{bmatrix} M_1 & 0 \\ 0 & M_2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} C_1 & 0 \\ 0 & C_2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} K_1 & 0 \\ 0 & K_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} L_1 \\ L_2 \end{pmatrix} = [a]^T \cdot [m] \cdot \{r\}$$

$$\{L\} = \begin{pmatrix} L_1 \\ L_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{bmatrix} m+m_b & m \\ m & m \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ M_1 \\ 1 \\ M_2 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} (a_{11}(m+m_b) + a_{21}m) & ; & (a_{11} + a_{21})m \\ (a_{12}(m+m_b) + a_{22}m) & ; & (a_{12} + a_{22})m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ M_1 \\ 1 \\ M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{a_{11}(m+m_b) + a_{21}m}{M_1} \\ \frac{a_{12}(m+m_b) + a_{22}m}{M_2} \end{pmatrix} \quad (2.1.11a, b)$$

Aşağıdaki işaretlemeler kabul edilirse

$$2\omega_i \xi_i = \frac{C_i}{M_i} \quad ; \quad \omega_i = \frac{K_i}{M_i} \quad ; \quad (M_i, K_i, C_i) \quad (2.1.13b)$$

$$\left. \begin{aligned} \ddot{q}_1 + 2\omega_1 \xi_1 \dot{q}_1 + \omega_1^2 q_1 &= -L_1 \ddot{\Delta} \\ \ddot{q}_2 + 2\omega_2 \xi_2 \dot{q}_2 + \omega_2^2 q_2 &= -L_2 \ddot{\Delta} \end{aligned} \right\} \quad (2.1.14b)$$

$$K \text{ değerleri için } a_1^T = (1, \epsilon) \quad ; \quad a_2^T = \left\{ 1, -\frac{1}{\gamma} \left[1 - \frac{1}{\gamma} [1 - (1-\gamma)\epsilon] \right] \right\}$$

$$L_1 = \frac{1 \cdot (m+m_b) + \epsilon m}{M_1} = \frac{M + \epsilon \gamma M}{M(1 + 2\gamma\epsilon)} \quad \text{payda eşleniği ile çarpılırsa}$$

$$M = M(1 + 2\gamma\epsilon)$$

$$L_1 = \frac{(1 + \epsilon\gamma)(1 - 2\epsilon\gamma)}{1 - \underbrace{4\gamma^2\epsilon^2}_{<0 <0}} = \frac{1 - 2\gamma\epsilon + \epsilon\gamma - 2\gamma^2\epsilon^2}{1} = 1 - \gamma\epsilon$$

$$L_2 = \frac{1(m + m_b) + \left[-\frac{1}{\gamma}[1 - (1 - \gamma)\epsilon]\right]m}{M_2} = \frac{M + \left[-\frac{1}{\gamma}[1 - (1 - \gamma)\epsilon]M\gamma\right]}{\frac{M(1 - \gamma)[1 - 2(1 - \gamma)\epsilon]}{\gamma}} = \frac{\gamma\{1 - [1 - (1 - \gamma)\epsilon]\}}{(1 - \gamma)[1 - 2(1 - \gamma)\epsilon]}$$

$$= \frac{\gamma(1 - \gamma)\epsilon}{(1 - \gamma)[1 - 2(1 - \gamma)\epsilon]} = \frac{\gamma\epsilon}{(1 - \gamma)[1 - 2(1 - \gamma)\epsilon]}$$

$$(1 - \gamma)[1 - 2(1 - \gamma)\epsilon] =$$

$$1 - 2(1 - \gamma)\epsilon - \gamma + 2\gamma\epsilon(1 - \gamma) = (1 - \gamma) - 2(1 - \gamma)\epsilon + 2\gamma\epsilon(1 - \gamma) = \underbrace{1 - \gamma - 2\epsilon}_{\approx 1} + \underbrace{2\gamma\epsilon}_{<0 <0} + \underbrace{2\gamma\epsilon}_{<0 <0}$$

$$- \underbrace{2\gamma^2\epsilon}_{0} = 1$$

$$L_2 = \gamma\epsilon$$

$2\omega_1\xi_1$ ve $2\omega_2\xi_2$ bulunursa

$$M_1 2\omega_1 \xi_1 = [a]^T [C] [a]$$

$$M_1 2\omega_1 \xi_1 = (1 \quad \epsilon) \begin{bmatrix} C_b & 0 \\ 0 & C_s \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ \epsilon \end{pmatrix}$$

$$M_1 = M(1 + 2\gamma\epsilon)$$

$$\frac{C_b}{M} = 2\omega_b \xi_b$$

$$M_2 2\omega_2 \xi_2 = \begin{pmatrix} 1 & -\frac{1}{\gamma} [1 - (1-\gamma)\epsilon] \end{pmatrix} \begin{bmatrix} C_b & 0 \\ 0 & C_s \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ -\frac{1}{\gamma} [1 - (1-\gamma)\epsilon] \end{pmatrix}$$

$$M_2 = \frac{M(1-\gamma)[1-2(1-\gamma)\epsilon]}{\gamma}$$

$$\frac{C_s}{M} = 2\omega_s \xi_s$$

$$2\omega_1 \xi_1 = \frac{(C_b + \epsilon^2 C_s)(1-2\gamma\epsilon)}{M \left(1 - 4\underbrace{\gamma^2 \epsilon^2}_{\ll 0} \right)} = \frac{\overset{\ll 0}{C_b \epsilon^2} C_s - 2C_b \gamma \epsilon - 2C_s \gamma \epsilon^3}{M}$$

$$2\omega_1 \xi_1 = \frac{C_b(1-2\gamma\epsilon)}{M} \Rightarrow 2\omega_1 \xi_1 = 2\omega_b \xi_b (1-2\gamma\epsilon)$$

$$\begin{aligned} 2\omega_2 \xi_2 &= \frac{\frac{(C_b \gamma^2 + C_s [1 - (1-\gamma)\epsilon]^2) \gamma}{\gamma^2}}{M(1-\gamma)[1-2(1-\gamma)\epsilon]} = \frac{C_b \gamma^2 + C_s [1 - 2(1-\gamma)\epsilon + (1-\gamma)^2 \epsilon^2]}{\gamma M(1-\gamma)[1-2(1-\gamma)\epsilon]} \\ &= \frac{C_b \gamma^2}{\gamma M [(1-\gamma) - 2(1-\gamma)^2 \epsilon]} = \frac{C_b \gamma^2}{\underbrace{\gamma M}_{<0} \left[1 - \gamma - 2\epsilon \left(1 - 2\gamma + \underbrace{\gamma^2}_{\ll 0} \right) \right]} = \frac{C_b \gamma}{M(1-\gamma)} = \frac{2\gamma \omega_b \xi_b}{1-\gamma} \\ &= \frac{C_s [1 - 2(1-\gamma)\epsilon + (1-\gamma)^2 \epsilon^2]}{\gamma M(1-\gamma)[1-2(1-\gamma)\epsilon]} = \frac{C_s}{\frac{m}{\gamma} (1-\gamma) \gamma} = \frac{2\omega_s \xi_s}{(1-\gamma)} \end{aligned}$$

$$2\omega_2 \xi_2 = \frac{1}{1-\gamma} (2\omega_s \xi_s + 2\gamma \omega_b \xi_b)$$

$$\frac{m}{M} = \gamma \quad M = \frac{m}{\gamma}$$

$$\text{Buradan } \xi_1 = \xi_b \left(1 - \frac{3}{2} \gamma \epsilon\right) \quad \xi_2 = \frac{\xi_s + \gamma \xi_2 \epsilon^{\frac{1}{2}}}{(1 - \gamma)^{\frac{1}{2}}} \left(1 - \frac{\gamma \epsilon}{2}\right)$$

(2.1.14b) denkleminin çözümü (Duhamel integraliyle) ile yerdeğiştirmenin $\{U\} = [a] \{q(t)\}$ modal birleştiricisi $q_1(t)$, $q_2(t)$ bulunur.

$$\begin{aligned} q_1 &= \frac{L_1}{w_1} \int_0^t \Delta(t-\tau)^{-\omega_1 \xi_1 \tau} e^{-\omega_1 \tau} \sin \omega_1 \tau d\tau ; \\ q_2 &= \frac{L_2}{w_2} \int_0^t \Delta(t-\tau)^{-\omega_2 \xi_2 \tau} e^{-\omega_2 \tau} \sin \omega_2 \tau d\tau ; \end{aligned} \quad (2.1.15)$$

$q_1(t)$, $q_2(t)$ 'nin maksimum değerleri

$$\begin{aligned} |q_1|_{\max} &= L_1 S_D(\omega_1, \xi_1) \\ |q_2|_{\max} &= L_2 S_D(\omega_2, \xi_2) \end{aligned} \quad (2.1.16)$$

Burada $S_D(\omega_i, \xi_i)$ ω_i frekanslı ve ξ_i sönümlü sistemin Δ yer ivmesine yerdeğiştirme tepkisidir. (2.1.16) denklemini (2.1.12) denkleminde $\{U\} = [a] \cdot \{q(t)\}$ dikkate alınırsa yapı izolasyonunun maksimum yerdeğiştirmesi ve maksimum yapı yerdeğiştirmesi $|S_s|_{\max}$ bulunur.

($|U_b|_{\max}$, SRSS metodu uygulamasıyla);

$$|U|_{\max} = \begin{pmatrix} |U_b|_{\max} \\ |U_s|_{\max} \end{pmatrix} = [a] \{q(t)\}_{\max} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} |q_1|_{\max} \\ |q_2|_{\max} \end{pmatrix}$$

$$|U_b|_{\max} = \sqrt{(a_{11}|q_1|_{\max})^2 + (a_{12}|q_2|_{\max})^2}$$

$$|U_s|_{\max} = \sqrt{(a_{21}|q_1|_{\max})^2 + (a_{22}|q_2|_{\max})^2}$$
(2.1.17)

(2.1.16) denklemini (2.1.17)denkleminde yerine yazarsak

$$|U_b|_{\max} = \sqrt{[a_{11}L_1S_D(\omega_1, \xi_1)]^2 + [a_{12}L_2S_D(\omega_2, \xi_2)]^2}$$

$$|U_s|_{\max} = \sqrt{[a_{21}L_1S_D(\omega_1, \xi_1)]^2 + [a_{22}L_2S_D(\omega_2, \xi_2)]^2}$$
(2.1.18)

(2.1.18) denkleminde $a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}$ ifadeleri (2.1.11a, 2.1.11b)'de yazılırsa maksimum izolasyon yerdeğiştirmesi ve yapı yerdeğiştirmesi bulunur. Bu ifadelerde ϵ 'nin 1. mertebesi ile yetinilirse $|U_b|_{\max}, |U_s|_{\max}$ ifadeleri çok daha basitleşir. Uygun şekilde taban kesme katsayısı C_s aşağıdaki gibi bulunur.

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

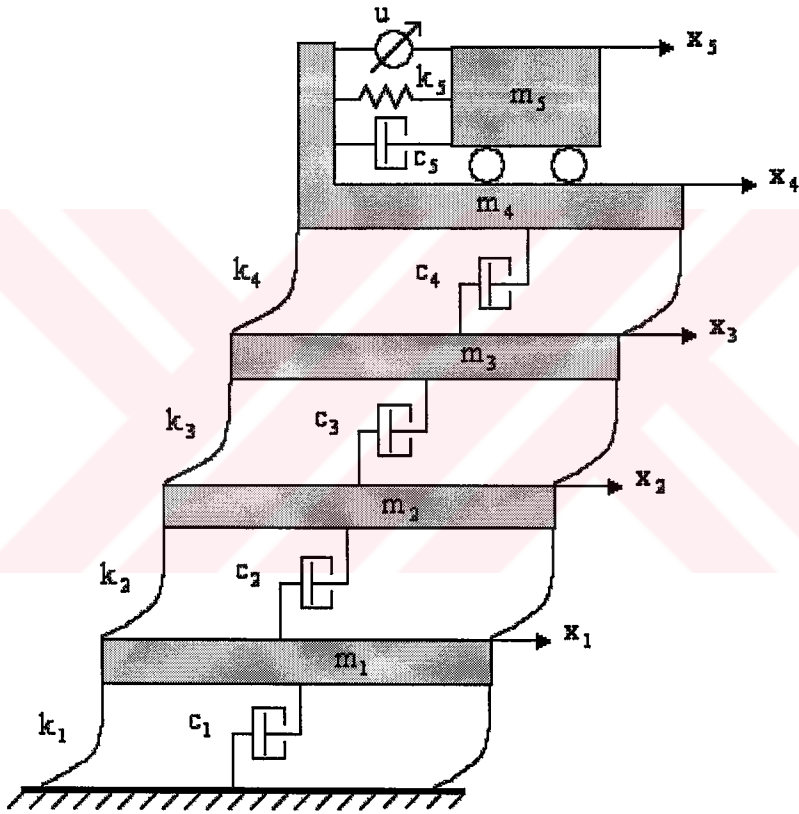
2.2. Aktif Kütle Sönümleyicili Çok Serbestlik Dereceli Bir Yapının Depreme Karşı LQR Kontrolü

[Yağız, Güçlü ve Yüksek, 2001]' in yapmış olduğu çalışma kapsamında, 17 Ağustos 1999 tarihinde Marmara Bölgesinde meydana gelen depremin binalarda sebep olduğu hasar, binalarda depreme karşı titreşim kontrolünü bir kez daha gündeme getirmiştir. [Yağız, Güçlü ve Yüksek, 2001]' in çalışmasında, Aktif Kütle Sönümleyici (ATMD)'ye sahip çok serbestlik dereceli bir gerçek bina modelinin deprem veya rüzgar kaynaklı titreşimlerini önlemek için bir İkinci Dereceden Doğrusal Düzenleyici (LQR) tasarlanmıştır. Simülasyonu yapılan sistem beş serbestlik derecesine sahiptir. Kontrol cihazı olarak doğrusal bir motor kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda, kontrol edilmeme ve LQR kontrollü yapının her ikisinin de, kat yerdeğiştirmelerinin zaman ve frekans tepkileri sunulmuş, sonuçlar tartışılmıştır.

17 Ağustos 1999 tarihinde olan Marmara Depremi gibi şiddetli yer sarsıntılarının dünya ölçeğinde yaptığı yıkıntı, yapı malzeme ve yöntemlerinin geliştirilmesinin yanı sıra, deprem karşısında binaların titreşim kontrolü konusundaki araştırmaları da hızlandırmıştır. Bu çerçevede, son dönemlerde yapısal titreşimlerin kontrolü, gerek teorik gerekse pratik olarak oldukça hızlı bir gelişme göstermiştir. Elastik yatak kullanılarak titreşim izolasyonu gerçekleştirmek, pasif titreşim kontrol metodlarının en popüler olanlarından biridir. Kauçuk yaprak ve çelik plakalar içeren elastik yatak, deprem karşısında iyi sonuç verebilmektedir. Ayrıca, literatürde yarı aktif titreşim metodları da önerilmektedir. [Yoshida ve Fujio, 1999], titreşim kontrolünde, viskoz sönüm katsayısı değiştirilen yarı aktif bir kontrol metodunu temele uygulamıştır. Son yıllarda, deprem kaynaklı titreşimleri izole etmek için kullanılan aktif ikaz edicilerle ilgili yapılmış çalışmalar vardır. [Fukushima vd., 1996], yüksek binalarda rüzgar ve depremden kaynaklanan titreşimleri azaltmayı amaçlayan aktif-pasif kompozit ayarlı kütle sönümleyici geliştirdiler. Binalarda, belirsizlikler ve sabit olmayan sistem parametreleri mevcut olduğundan, yapıların aktif kontrolü için robust (dayanıklı) kontrol metodları önerilmektedir [Nishimura vd., 1996]. [Yağız vd., 2000], yapısal titreşimleri azaltmak için Kayan Kipli Kontrol metodu kullanmıştır.

Bu çalışmanın amacı, gerçek bir bina modeline İkinci Dereceden Doğrusal Düzenleyici (LQR) uygulamaktır. Bu metot, ilgili zaman aralıklarındaki yapısal tepki ve kontrol kuvvetlerini de içeren ikinci dereceden performans indeksinin minimum yapılmasına dayanmaktadır [Anderson ve Moore, 1990]. Bu kontrol metodu, yapısal titreşimi azaltmakta ve kontrol sisteminin enerjisini korumaktadır.

2.2.1. Binanın Dinamik Modeli



Şekil-2.2.1 Binanın Fiziksel Modeli

Çalışma konusu bina 4 katlıdır. ATMD kütlesi ile beraber 5 Serbestlik derecesine sahip yapısal sistemin tüm hareketi yatay doğrultudadır. Ana yapının ilk titreşim moduna eşit olarak ayarlanan kontrolcülü ATMD, en üst katın üzerine yerleştirilmiştir. ATMD kontrol sisteminin amacı, yüksek binaların rüzgar ve deprem kaynaklı titreşimlerini azaltmaktır. Fiziksel sistem Şekil-2.2.1'de gösterilmiştir. Her bir katın kütlesi sırasıyla

m_1, m_2, m_3 ve m_4 olup, m_5 de ATMD'nin kütlesidir. x_1, x_2, x_3, x_4 ve x_5 de ilgili yatay yerdeğiştirmeleridir. Katlara ait tüm yay ve sönüm elemanları, yatay yönde hareket etmektedir. Gerçek bir binaya ait olan sistem parametreleri Ek'te verilmiştir.

Sistemin hareket denklemi aşağıdadır:

$$[M]\underline{X} + [C]\underline{X} + [K]\underline{X} = \underline{F}_u + \underline{F}_d \quad (2.2.1)$$

Burada, $\underline{X} = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5]^T$ ve $\underline{F}_u = [0 \ 0 \ 0 \ F_u \ -F_u]^T$ ' dir. F_u , doğrusal motor tarafından üretilen kontrol kuvvetidir. F_d ise yapısal sisteme uygulanan bozucu kuvvet vektörüdür. $[M]$, $[C]$ ve $[K]$; kütle, sönüm ve katılık matrisleri olup, Ek'te sunulmuştur. Bu tür yapısal sistemlerde doğrusal motorların kullanımı deneysel çalışmalarla ispatlanmıştır (Nishimura ve diğeri, 1996). Bu tür bir doğrusal motorun denklemi,

$$R_i + K_e(x_5 - x_4) = u \quad (2.2.2)$$

u ve i , sırasıyla bobin sargısının voltaj ve akımıdır. Burada u , aynı zamanda kontrol voltaj girişidir. R ve K_e , bobin sargısının direnç değeri ve etki eden voltaj sabitidir. Bobin sargı akımı ile kontrol kuvveti arasında aşağıdaki ilişki vardır:

$$F_u = K_f i \quad (2.2.3)$$

K_f , bobin sargısının itme sabitidir. Bobin sargısının endüktans akımı ihmal edilmiştir. Denklem (2.2.1) ile (2.2.3) birleştirilerek düzenlenirse, durum uzayı biçiminde denklemleri yeniden düzenlemek de mümkündür.

2.2.2.LQR Tasarımı

Bu yaklaşım bir durum kontrol problemidir. Optimum kontrol girişini hesaplamak için performans indeksi, tüm durum değışkenleri göz önüne alınarak girilir:

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \left[\sum_{i=1}^n q_i x_i^2 + \sum_{j=1}^m R_j u_j^2 \right] dt \quad (2.2.4)$$

matris formunda,

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} [\mathbf{x}^T(t) \mathbf{Q} \mathbf{x}(t) + \mathbf{u}^T(t) \mathbf{R} \mathbf{u}(t)] dt \quad (2.2.5)$$

burada ölçüm matrisi;

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} q_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & .. & 0 & 0 \\ 0 & 0 & .. & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q_n \end{bmatrix} \quad (2.2.6)$$

Tüm ölçüm değişkenleri q_i ve R , performans indeksini pozitif sonsuz yapmak için pozitif olarak alınmalıdır. Kontrol kanununa göre LQR için en iyi kontrol girişi aşağıdaki gibi verilir:

$$\mathbf{u} = \mathbf{G}_{opt} \mathbf{x} = \mathbf{R}^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P} \mathbf{x} \quad (2.2.7)$$

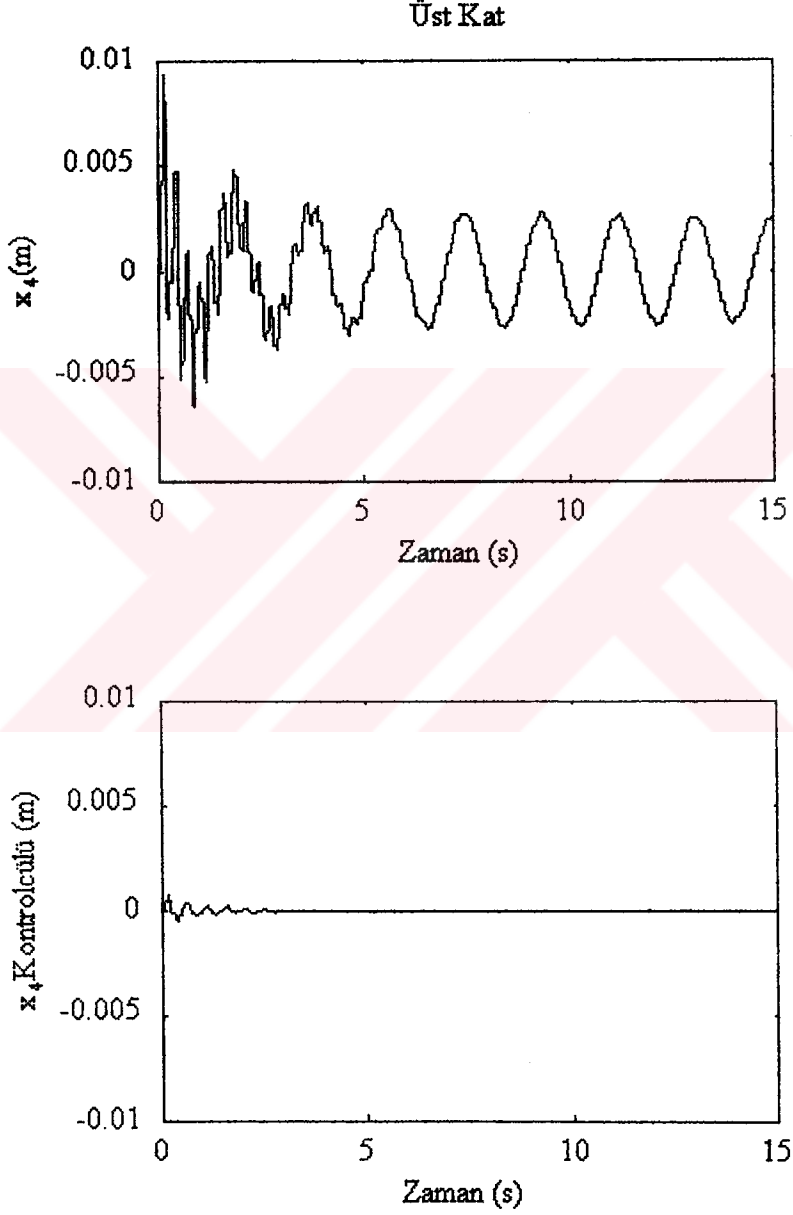
P , aşağıdaki Riccati denkleminin çözümüdür:

$$\mathbf{A}^T \mathbf{P} - \mathbf{P} \mathbf{B} \mathbf{R}^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P} + \mathbf{P} \mathbf{A} + \mathbf{Q} = 0 \quad (2.2.8)$$

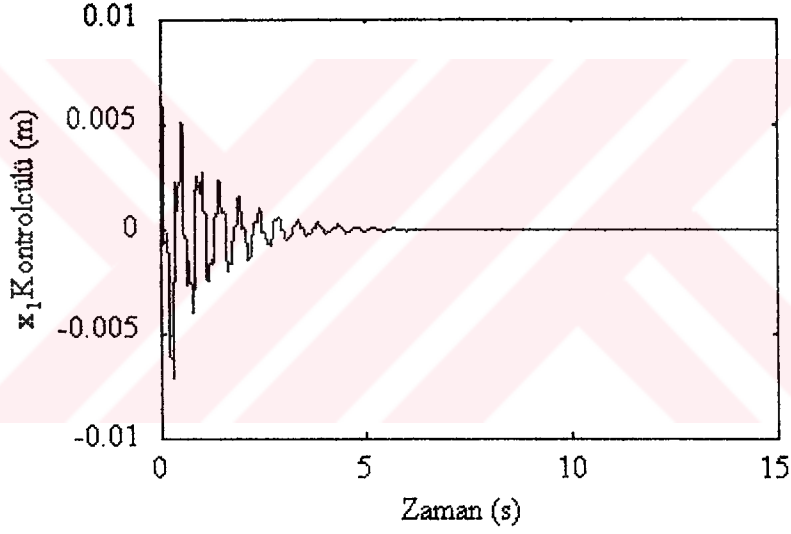
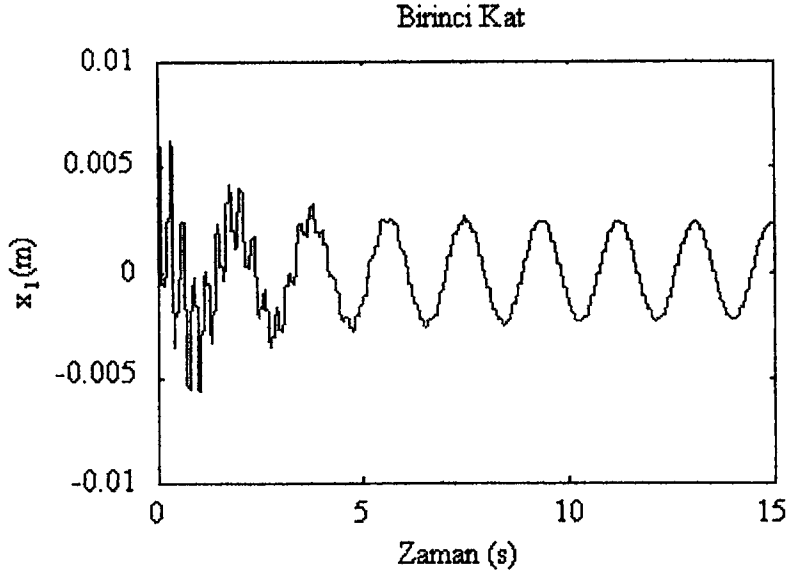
Burada, sistemin kontrol edilebildiği ve durum değişkenlerinin de ölçülebildiği varsayılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan Q matrisinin bütün diyagonal terimleri 1'e eşittir, ancak $q_4 = 10^{20}$ olarak seçilmiştir. $R = 1$ 'dir.

2.2.3. Simülasyon

Yapısal sistemin, birinci katının başlangıç anında yerdeğiştirme değerinin 0.01 m olduğu kabul edilerek, simülasyonu yapılmıştır. Şekil-2.2.2a ve 2.2.2b, en üst ve birinci katların kontrolcülü ve kontrolcüsüz zaman tepkilerini göstermektedir. Yapının yatay yerdeğiştirmeleri göz önüne alındığında önemli bir gelişmenin olduğu



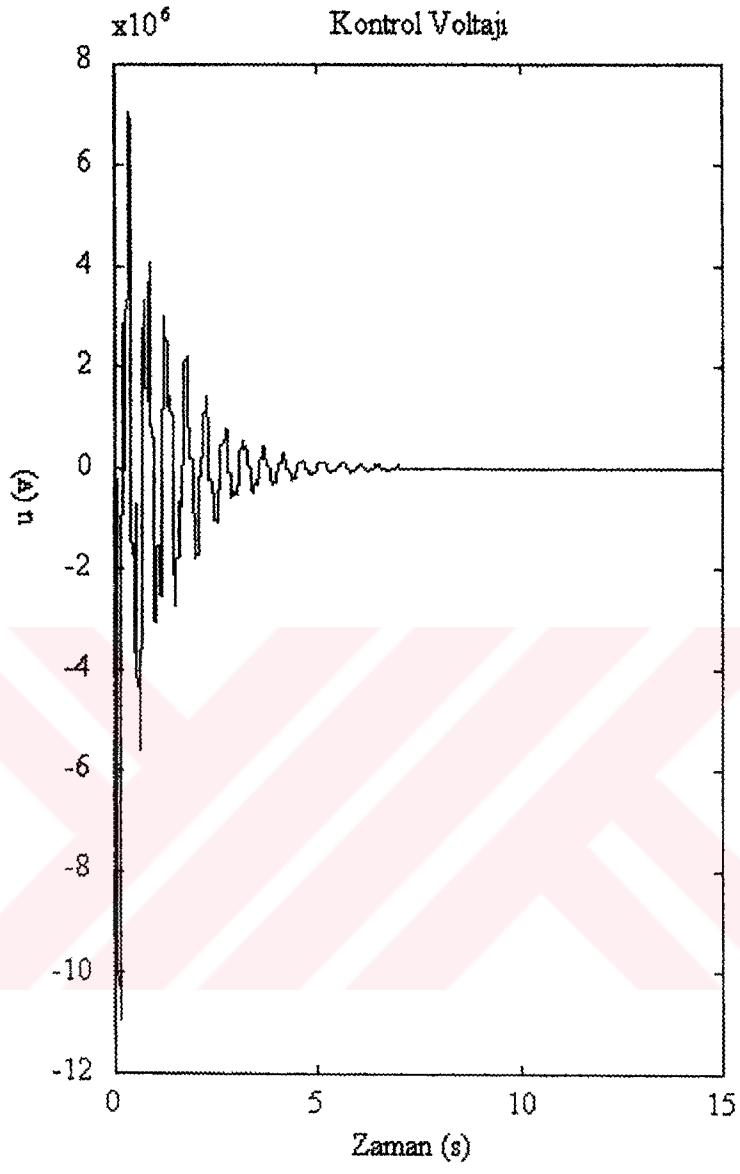
(a)



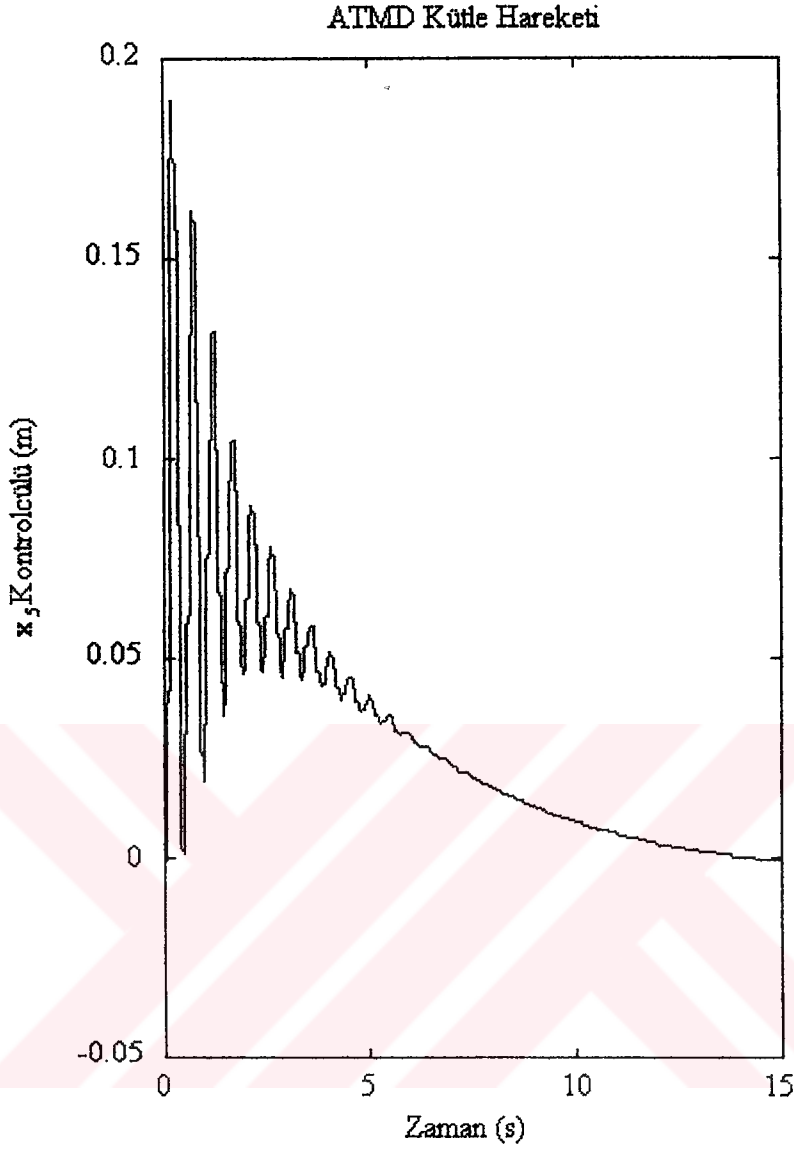
(b)

Şekil-2.2.2 Birinci ve En Üst Katın Kontrolcülü ve Kontrolcüsüz Zaman Tepkileri

Şekil-2.2.3a, voltaj girişindeki değişimi göstermektedir. ATMD kütesinin hareketi de, Şekil-2.2.3b' de gösterilmiştir.

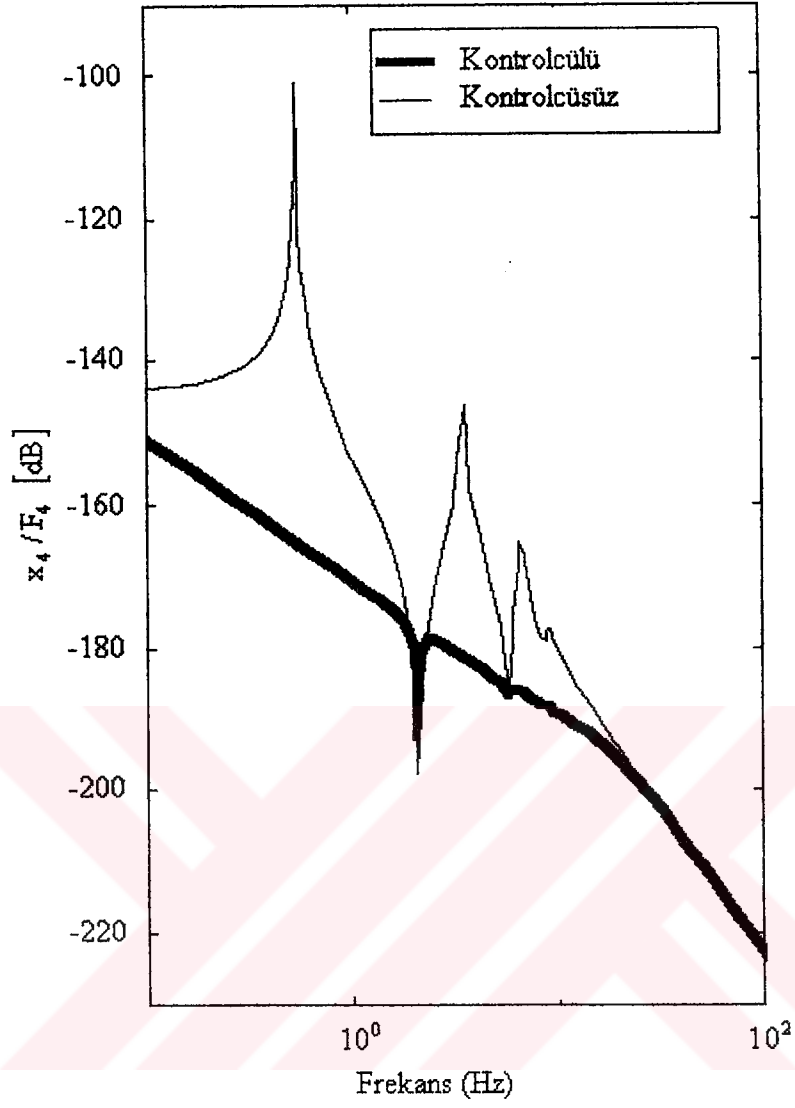


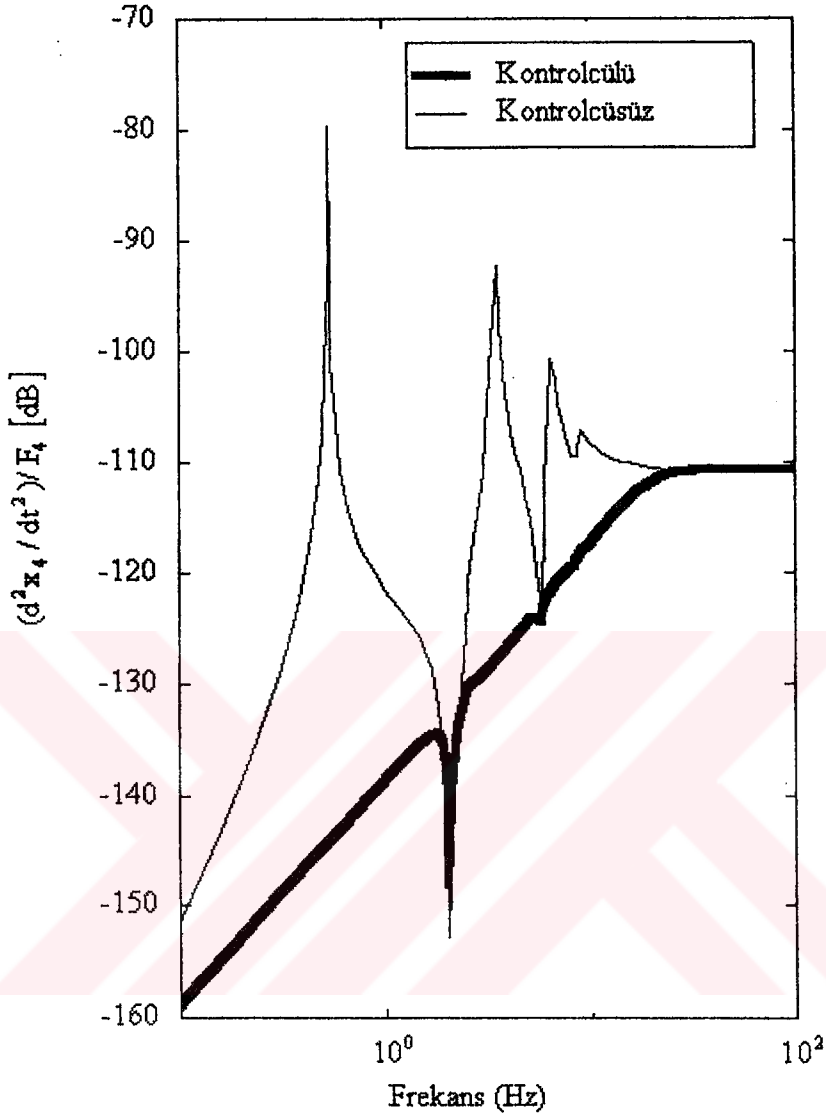
(a)



Şekil-2.2.3 Kontrol Voltajının Zaman Tepkisi ve ATMD'nin Yerdeğiştirmesi

Şekil-2.2.4, kontrolcölü ve kontrolcölüz yapılar için sırasıyla en üst katın yerdeğiştirme ve ivmelerinin frekans tepkilerini göstermektedir. Binanın doğal frekansları; 0.5969, 3.561, 6.565 ve 8.876 Hz. değerindedir. ATMD'nin doğal frekansı ise birinci doğal frekansa eşit olacak şekilde ayarlanmıştır.





Şekil-2.2.4 En Üst Katın Kontrolcülü ve Kontrolcüsüz Frekans Tepkileri

Şekil-2.2.4.'teki yüksek rezonanslı eğriler, kontrolcü kullanılmayan binaya aittir. Amaçlandığı gibi, en üst katınki dahil tüm rezonans değerlerinde ciddi bir iyileştirme elde edilmiştir.

2.2.4. Bina Parametreleri

$$m_1 = 450\,000 \text{ kg}, m_2 = m_3 = m_4 = 345\,000 \text{ kg}, m_5 = 40\,000 \text{ kg}$$

$$k_1 = 18,05 \cdot 10^6 \text{ N/m}, k_2 = 340 \cdot 10^6 \text{ N/m}, k_3 = 326 \cdot 10^6 \text{ N/m}, k_4 = 285 \cdot 10^6 \text{ N/m}$$

$$k_5 = 482 \cdot 10^3 \text{ N/m}$$

$$c_1 = 26\,170 \text{ N.s/m}, c_2 = 490\,000 \text{ N.s/m}, c_3 = 467\,000 \text{ N.s/m}, c_4 = 410\,000 \text{ N.s/m}$$

$$c_5 = 1\,970\,000 \text{ N.s/m}$$

$$K_f = 2 \text{ N/A}, K_e = 2 \text{ V.s/m}, R = 4,2 \text{ W}, x_1(0) = 0,01 \text{ m}$$

2.2.4.1. Kütle, Sönüm ve Rijitlik Matrisleri

Kütle matrisi,

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 \end{bmatrix}$$

Sönüm matrisi,

$$[C] = \begin{bmatrix} (c_1 + c_2) & -c_2 & 0 & 0 & 0 \\ -c_2 & (c_2 + c_3) & -c_3 & 0 & 0 \\ 0 & -c_3 & (c_3 + c_4) & -c_4 & 0 \\ 0 & 0 & -c_4 & (c_4 + c_5) & -c_5 \\ 0 & 0 & 0 & -c_5 & c_5 \end{bmatrix}$$

Rijitlik matrisi,

$$[K] = \begin{bmatrix} (k_1 + k_2) & -k_2 & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) & -k_3 & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & (k_3 + k_4) & -k_4 & 0 \\ 0 & 0 & -k_4 & (k_4 + k_5) & -k_5 \\ 0 & 0 & 0 & -k_5 & k_5 \end{bmatrix}$$

LQR kontrolcülü bir ATMD, dört katlı gerçek bir bina modeli için tasarlanmıştır. Deprem ve rüzgar kaynaklı titreşimler, yatay yönde yıkıcı ve rahatsız edici etkiye sahip olduğundan, bu çalışmada serbestlik dereceleri sadece bu yönde göz önüne alınmıştır. Bina, kontrol cihazı olarak kullanılan doğrusal motor dinamiği dahil edilerek modellenmiştir. Görülmektedir ki, bina üzerindeki olumsuz etkilere karşı LQR kontrolcününün tasarlanması, sismik izolasyon performansını oldukça iyileştirmiştir. Bina katlarının yerdeğiştirme ve ivme tepkilerindeki gelişme, depremlerin yıkıcı etkilerine karşı, aktif kontrollü yapıların ciddi bir çözüm alternatifi olduğunu göstermektedir.



2.3.Yapıların Sismik İzolasyonunda Kayan Modlu Aktif Kontrol Yöntemi

Bu bölümdeki kuramsal çalışmada [Alli ve Calayır, 2002] deprem etkisi altındaki yapıların titreşimlerini azaltmak için aktif kontrol yöntemlerinden biri olan kayan modlu kontrol yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemin, değişen dinamik yükler, modelleme hatası ve parametrik belirsizliğin olduğu durumlardaki performansı ortaya konmuştur. Sayısal uygulama için dinamik etkiye maruz lineer sönümlü sekiz katlı bir bina göz önüne alınmıştır. Dinamik etki olarak, 1992 Erzincan depremi doğu-batı ivme bileşeni ile 1999 Düzce depreminin Düzce kaydı doğu-batı ivme bileşeni ve Bolu kaydı kuzey-güney ivme bileşeni kullanılmıştır. Elde edilen çözümler birbirleriyle karşılaştırılmış ve sonuçlar grafiksel olarak sunulmuştur.

Değişen dış etkilere karşı yapıların kendini adapte edebilme yeteneği ile ilgili çalışmalar son yıllarda önem kazanmıştır [Sture, 1997; Utku, 1998]. Rüzgar ve deprem gibi sürekli değişen dinamik yüklere maruz yapıların titreşim kontrolü, pasif ve aktif kontrol yöntemleriyle gerçekleştirilmektedir. Pasif kontrol yöntemleri, herhangi bir dış enerji kaynağına ihtiyaç duyulmadan taban izolasyon sistemleri ve pasif enerji sönümleyicileri gibi enerji yutan sistemleri içermektedir [Soong vd., 1997]. Aktif kontrol sistemleri ise, sistemde hazır bulundurulan dış enerji kaynakları kullanılarak yapıya daha önce belirlenen şekilde kontrol kuvvetlerinin uygulandığı sistemlerdir. Pasif kontrol sistemlerinin değişen dış etkilere karşı kendini adapte edebilme yeteneğinden yoksun olması ve taban izolasyonlarının verimli olarak genelde alçak binalara uygulanabilirliği, aktif kontrolün gerekliliğini ortaya çıkarmıştır

[Soong vd., 1994; Singh ve Matheu, 1997]. Ayrıca, yapıların esnekliğinin ve yüksekliğinin artması aktif kontrol sistemlerinin önemini daha da artırmaktadır.

Aktif kontrol yöntemlerinden birisi kayan modlu kontrol yöntemidir. Kayan modlu kontrolün dış etkilere ve parametrik değişikliklere duyarsız oluşu en büyük avantajlarından birisidir. Gelişen teknolojinin de bu tür kontrol yöntemlerinin uygulanabilirliğine zemin hazırlaması, bu yöntemi daha da cazip hale getirmektedir. Son yıllarda bu kontrol yöntemi, yapıların titreşim kontrolü ile ilgili araştırmalarda sıkça kullanılmaktadır [Zhao vd., 2000; Matheu, 1998; Yang vd., 1997; Wu, 1998]. Aktif kontrol kuvvetleri aktif kütle sönümleyicileri ve aktif destek elemanları vasıtasıyla sağlanabilmektedir [Soong, 1998]. Aktif destek sistemlerinde kontrol kuvveti tabana

yerleştirilen bir elektro-hidrolik tahrik makinesine bağlı destekler vasıtasıyla yapıya uygulanmaktadır. Aktif kütle sönümleyicileri ise binanın üst katına yerleştirilir ve hidrolik sistem tarafından kütle harekete geçirilerek gerekli kontrol kuvveti meydana getirilir. [Adhikari vd., 1997] aktif kütle sönümleyicili yüksek bir binanın titreşimlerini kontrol etmek amacıyla kayan modlu bir kontrol algoritması geliştirmişlerdir . Bu çalışmada, aktif kütle sönümleyicisi binanın üst katının üzerine yerleştirilmiş olup, başlangıç şartları ve rüzgar kuvveti etkimesi durumları için binanın dinamik tepkileri ayrı ayrı elde edilmiştir. Sayısal çözümler, yapının birinci modu dikkate alınarak yapılmıştır. Bu çalışmada, depreme dayanıklı bina tasarımında aktif kontrol yöntemi olarak kayan modlu kontrol yöntemi uygulanmaktadır. Sayısal uygulama için lineer sönümlü sekiz katlı planda ve düşeyde simetrik, kayma çerçevesi olarak çalıştığı kabul edilen bir bina ele alınmaktadır. Kayan modlu kontrolün birbirinden farklı karakterlere sahip depremlerdeki performansını görmek amacıyla, 1992 Erzincan depremi doğu-batı ivme bileşeni ile 1999 Düzce depreminin Düzce kaydı doğu-batı ivme bileşeni ve Bolu kaydı kuzey-güney ivme bileşeni kullanılmaktadır. İlk olarak, deprem yer hareketine maruz yapının hareket denklemleri elde edilmekte ve daha sonra kayan modlu kontrolün formülasyonu verilmektedir. Hareket denklemlerinin çözümü için MATLAB paket programı kullanılmaktadır. Son olarak, üç farklı deprem datası için elde edilen çözümler grafiksel olarak verilmekte ve sonuçlar irdelenmektedir.

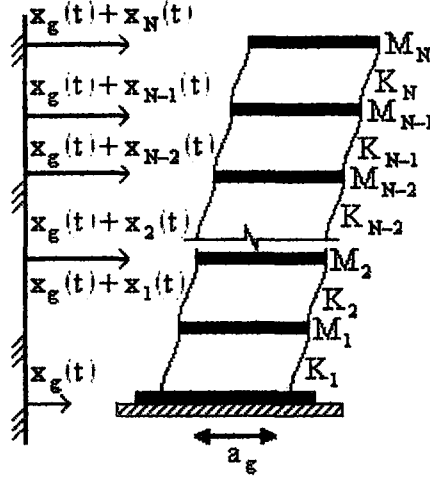
2.3.1. Matematiksel Formülasyon

Çok katlı planda ve düşeyde simetrik ve kayma çerçevesi davranışı gösterecek şekilde modellenen bir binanın simetri eksenlerinden biri doğrultusunda yatay yer hareketi etkisindeki davranışı şekil-2.3.1 'de görülmektedir. Aktif olarak kontrol edilen sistemin yatay yer hareketi etkisindeki davranışı,

$$M\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = Bu(t) + H_a(t) \quad (2.3.1)$$

bağıntısıyla ifade edilebilir. Burada M, C ve K matrisleri (NxN) boyutlu olup, sistemin sırasıyla kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini temsil etmektedir. (Nx1) boyutunda olan \ddot{x} , \dot{x} ve x vektörleri sistemin, sırasıyla yere göre bağlı ivme, hız ve deplasman vektörleridir. B ,kontrol kuvvetinin (Nx1) boyutlu yerleşim vektörü ve $H = -M\delta$

vektörü, $(N \times 1)$ boyutlu deprem etkisi yerleşim vektörüdür. Burada δ , tüm terimleri 1 olan $(N \times 1)$ boyutlu deprem etki vektörüdür. $a_g(t)$ ise, göz önüne alınan depremin ivme kayıdır.



Şekil-2.3.1 N Katlı Bir Binanın Matematik Modeli

yerdeğiştirme vektörü x 'in çözümü için yaygın olarak modların süper pozisyonu yöntemi uygulanır. Bu yöntemde önce sistemin sönümsüz serbest titreşim denklemleri olan

$$M\ddot{x}(t) + Kx(t) = 0 \quad (2.3.2)$$

ifadesi çözülerek, sistemin serbest titreşim frekansları ve modları bulunur. Daha sonra sistemin sönümlü ve zorlanmış davranışı ele alınarak, çözümün

$$x = \phi q(t) \quad (2.3.3)$$

şeklinde olduğu kabul edilmektedir. Burada ϕ modal matrisi, q ise modal koordinat vektörünü göstermektedir. Eşitlik 2.3.3, 2.3.1' de yerine yazılırsa

$$M\phi\ddot{q}(t) + C\phi\dot{q}(t) + K\phi q(t) = Bu(t) + Ha_g(t) \quad (2.3.4)$$

bağıntısı elde edilir. Bu denklemin her iki tarafı ϕ^T ile çarpılır ve sistemin klasik viskoz sönümlü olduğu kabul edilirse

$$\phi^T M \phi \ddot{q}(t) + \phi^T C \phi \dot{q}(t) + \phi^T K \phi q(t) = \phi^T B u(t) + \phi^T H a_g(t)$$

veya

$$M_n \ddot{q}_n + C_n \dot{q}_n + K_n q_n = \phi_n^T B u(t) + \phi_n^T H a_g(t) \quad (n = 1, 2, 3, \dots, N) \quad (2.3.5)$$

eşitliği ile verilen birbirinden bağımsız N adet denklem elde edilir. Burada, M_n , C_n ve K_n sırasıyla n . modal kütle, n . modal sönüm ve n . modal rijitliği göstermektedir. ϕ_n ve

q_n ise sırasıyla n.mod ve n. modal koordinat olmaktadır. Eşitlik 2.3.6'nın sağ tarafı ise modal yükü $P_n(t) = \phi_n^T B u(t) + \phi_n^T H a_g(t)$ belirler. Eşitlik 2.3.6,

$$\ddot{q}_n + 2\xi_n \omega_n \dot{q}_n + \omega_n^2 q_n = \left[\frac{\phi_n^T B u(t) + \phi_n^T H a_g(t)}{M_n} \right] \quad (n = 1, 2, 3, \dots, N)$$

formunda yazılabilir. Burada ω_n ve ξ_n sırasıyla, n. moda ait doğal frekansı ve sönüm oranını göstermektedir.

2.3.2. Kayan Modlu Kontrolün Tasarımı

Kayan modlu kontrol özel bir tür değişken yapıli kontroldür. Kullanıcı tarafından seçilen ve kayma yüzeyi olarak adlandırılan bir yüzey, durum uzayında seçilir. İlk olarak, durum değişkenleri, kayma-yüzeyi üzerine gitmeye zorlanır. Durum değişkenleri kayma yüzeyine ulaştıktan sonra, bu yüzey üzerinde orijine doğru yöneltecek kontrol sinyalleri belirlenir. Bu kontrol türünün en önemli özelliği, dış etkenlere ve parametre değişikliklerine duyarsız olmasıdır [Slotine vd, 1991]. Sistem davranışını temsil eden eşitlik 2.3.7, durum uzayı vektörü kavramı kullanılarak

$$\dot{z}_n(t) = A_n z_n(t) + D_{1n} u(t) + D_{2n} a_g(t) \quad (2.3.8)$$

şeklinde birinci mertebe diferansiyel denklem olarak da ifade edilebilir. Burada

$$A_n = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_n^2 & -2\xi_n \omega_n \end{bmatrix}, D_{1n} = \begin{bmatrix} 0 \\ \phi_n^T B \\ M_n \end{bmatrix}, D_{2n} = \begin{bmatrix} 0 \\ \phi_n^T H \\ M_n \end{bmatrix}, z_n(t) = \begin{bmatrix} q_n(t) \\ \dot{q}_n(t) \end{bmatrix} \quad (2.3.9)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. A_n , n. moda ait durum değişken matrisini; D_{1n} , D_{2n} ve z_n ise sırasıyla, n. moda ait kontrol etki yerleşim vektörünü, deprem etki yerleşim vektörünü ve durum değişken vektörünü belirtmektedir. Kayma yüzeyi, şekil-2.3.2'de görüldüğü gibi,

$$S = \{z : \sigma(z, t) = 0\} \quad (2.3.10)$$

bağıntısıyla tanımlanabilir. Eşdeğer kontrol, Utkin-Drazenovre' nin eşdeğer kontrol yöntemi uygulanarak elde edilebilir [Adhikari vd, 1997]. Bu yöntem kayma yüzeyi üzerinde kalma şartını aşağıdaki şekilde ifade etmektedir. Bir lineer sistem için seçilen kayma yüzeyi

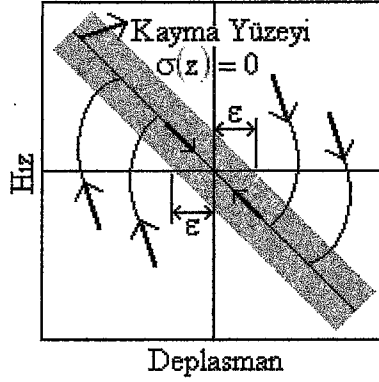
$$\sigma(z) = Sz \quad (2.3.11)$$

ise,

$$\dot{\sigma}(z) = 0 \text{ ve } \sigma(z) = 0 \quad (2.3.12)$$

şartını sağlayacak eşdeğer kontrol kuvveti:

$$u_{eq}(z, t) = -(SD_1)^{-1} [SAz(t) + SD_2 a_g(t)] \quad (2.3.13)$$



Şekil-2.3.2 Kayma Yüzeyi Kavramı

eşitliği ile tanımlanabilir. Burada S ($1 \times 2n$) boyutlu sabit bir matristir. Eşitlik 2.3.13'te verilen kontrol kanununun, $a_g(t)$ dış tahriki daha önce bilinmediğinden dolayı, açıkça sentezi yapılamaz. Fakat uygun şartlar altında, bilinen sistem parametreleri kullanılarak ve kontrol sinyali süreksiz hale getirilerek (yani çok sık olarak yön değiştirmeye müsaade edilerek), yukarıdaki kontrol kanunu gerçekleştirilebilir. Bundan dolayı eşitlik 2.3.13'te $a_g(t)$ 'yi ihmal ederek, bunun yerine dış tahrikteki belirsizliğin yerini almak için uygun bir η parametresi seçilir. η , kontrol kuvvetinin, durum değişkenlerini kayma yüzeyine ulaştırmasını garanti edecek şekilde seçilir. Matematiksel olarak bu şart.

$$\sigma(z)\dot{\sigma}(z) < 0 \quad (2.3.14)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu denklem aşağıdaki sonucu doğurmaktadır.

$$\eta \geq |(SD_1)^{-1} S \hat{a}(t)| < 0$$

Burada $\hat{a}(t)$, kontrol edilen sistemde tahmin edilen toplam belirsizliği ifade etmektedir.

Bundan dolayı elde edilen kontrol kuvveti

$$u_{eq}(z, t) = -(SD_1)^{-1} SAz(t) - \eta \text{sgn}(\sigma(z))$$

bağıntısıyla verilebilir. Burada sgn fonksiyonu işaret fonksiyonudur. Fakat bu kontrol yönteminin en önemli dezavantajı, kontrol girişinin sürekli olmaması ve kontrol

sinyallerinin çok sık bir şekilde yön değiştirmesidir (chattering). Bu ise arzu edilmeyen bir durumdur. Bundan dolayı bu dezavantajı gidermek için, kontrol sinyalini kayma yüzeyi üzerinde tutmak yerine, kalınlığı ε olan ince bir sınır tabakası içinde, sistemi tutacak şekilde belirlenir (Şekil-2.3.2). İdeal kayma hali için kullanılan işaret fonksiyonu nedeniyle sık sık işaret değiştiren kontrol sinyalinde daha düzgün ve sürekli bir yapı elde etmek amacıyla işaret fonksiyonu yerine daha farklı fonksiyonlar kullanılabilir. Böylelikle kontrol sinyali kayma yüzeyi yerine ,yüzey etrafındaki $\pm \varepsilon$ bandı içerisinde belirlenmiş olur. Yüzey etrafındaki bant genişliğini belirleyen ε , bir tasarım parametresi olup, meydana gelecek hata (bu problem için titreşim genliği ve hızının denge durumundan olan farkı) ve yön değiştirme sayısı arasındaki ilişkiyi belirleyecektir. Hatanın az olması istendiğinde kontrol sinyalinin yön değiştirme sayısı artacaktır. Kontrol sinyalinde süreklilik istendiğinde ise hata artacaktır. Seçilen ε parametresi ile kontrol sinyali yön değiştirme sayısı ve hata arasında denge kurulmaya çalışılır. Bunu sağlayacak kontrol kuvveti

$$u_{eq}(z, t) = -(SD_1)^{-1} SAz(t) - \eta \text{sat}(\sigma(z)) \quad (2.3.17)$$

denklemleriyle hesaplanabilir. Burada sat fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\text{sat}(\sigma(z)) = \begin{cases} \sigma(z) & \text{eğer } |\sigma(z)| \leq \varepsilon \\ \text{sgn}(\sigma(z)) & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2.3.18)$$

Ancak, pratikte bütün tahrik elemanları her zaman sınırlı kapasiteye sahip olduklarından, probleme, aşağıdaki sınırlayıcı eklenmiştir.

$$u(z, t) = \begin{cases} u(z, t) & \text{eğer } |u(z, t)| \leq u_{maks} \\ \frac{u(z, t)}{|u(z, t)|} u_{maks} & \text{eğer } |u(z, t)| > u_{maks} \end{cases} \quad (2.3.19)$$

Burada u_{maks} , tahrik elemanının maksimum kapasitesini göstermektedir.

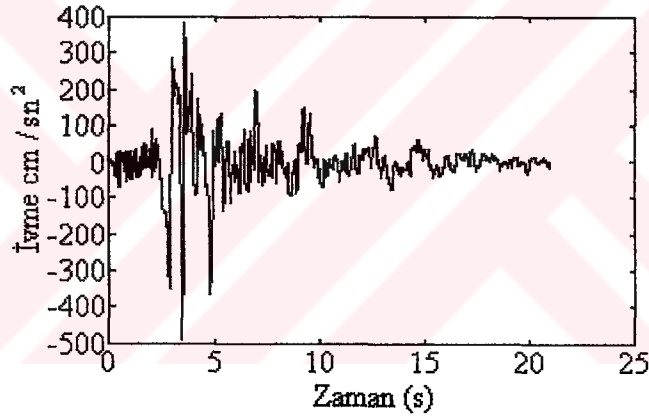
2.3.3. Sayısal Örnek

Yukarıda verilen kayan modlu kontrol algoritmasının uygulanması için lineer sönümlü sekiz katlı bir bina örnek olarak seçilmiştir. Binanın plan ve düşeyde simetrik olduğu ve kayma çerçevesi davranışı gösterdiği kabul edilmiş olup, bu binaya ait kütle ve rijitlik özellikleri tablo-2.3.1 'de verilmiştir.

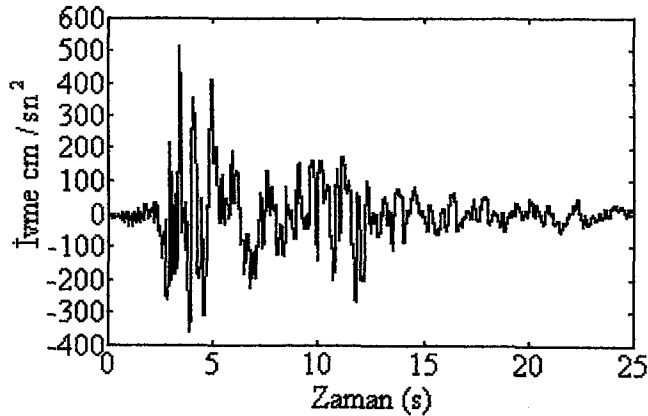
Tablo-2.3.1 Binanın Kütle ve Rijitlik Özellikleri

Kat No	Kütle Değeri (kg)	Rijitlik Değeri (N/m)
1	535000	3426000×10^3
2	535000	3426000×10^3
3	523000	1615000×10^3
4	523000	1615000×10^3
5	523000	1615000×10^3
6	517000	473400×10^3
7	517000	473400×10^3
8	517000	473400×10^3

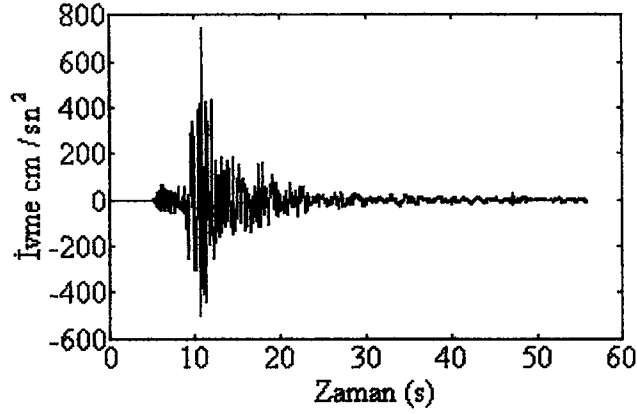
Bu yapıya, 1992 Erzincan depremi doğu-batı ivme bileşeni ile 1999 Düzce depreminin Düzce kaydı doğu-batı ivme bileşeni ve Bolu kaydı kuzey-güney ivme bileşeni ayrı ayrı uygulanmaktadır. Bu ivme kayıtları şekil-2.3.3, 2.3.4, 2.3.5'de verilmiştir (Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi). Bu şekillerden de görüleceği gibi bunlar farklı karakterlerdeki depremleri temsil etmektedir.



Şekil-2.3.3 1992 Erzincan Depreminin Doğu-Batı İvme Bileşeni

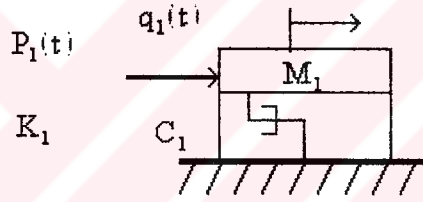


Şekil-2.3.4 1999 Düzce Depreminin Düzce Kaydı Doğu-Batı İvme Bileşeni



Şekil-2.3.5 1999 Düzce Depremi Bolu Kaydı Kuzey-Güney İvme Bileşeni

Binanın titreşim tepki analizinde, yapının birinci modunun baskın olduğu görüldüğünden, çözümde sadece bu modun katkısı göz önüne alınmıştır. Dolayısıyla sekiz katlı bina şekil-2.3.6' da verilen tek serbestlik dereceli bir sistemle temsil edilmektedir.



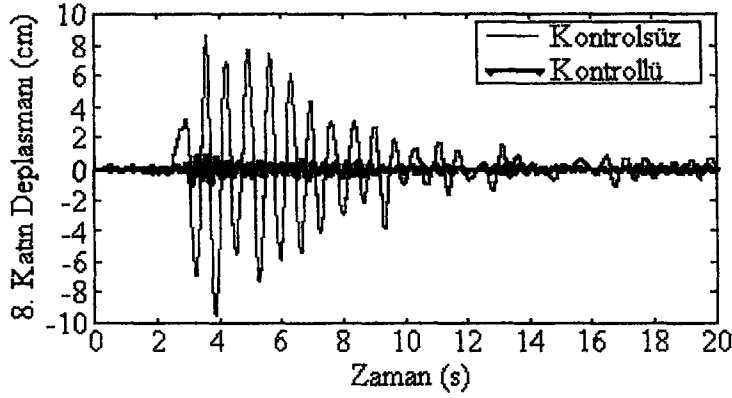
Şekil-2.3.6 Yapının Birinci Moduna Ait Genelleştirilmiş Tek Serbestlik Dereceli Sistem
Binanın ilk doğal frekansı $\omega_1 = 10.32$ rad/sn olarak elde edilmiştir. Kontrol yönteminin etkinliğini açıkça görmek amacıyla yapının modal sönüm oranı, $\xi_1 = 0.01$ gibi küçük bir değer seçilmiştir. Bu yapının birinci moda ait durum denklemi;

$$\dot{z}_1(t) = A_1 z_1(t) + D_{11} u(t) + D_{21} a_g(t) \quad (2.3.20)$$

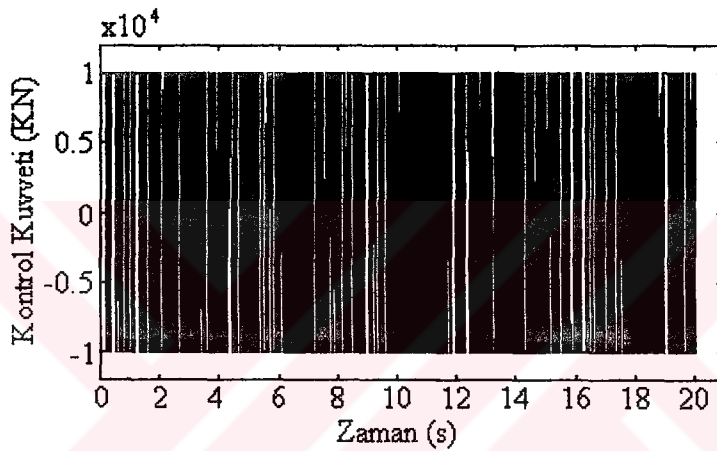
bağıntısıyla verilebilir. Burada

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_1^2 & -2\xi_1\omega_1 \end{bmatrix}, D_{11} = \begin{bmatrix} 0 \\ \phi_1^T B \end{bmatrix}, D_{21} = \begin{bmatrix} 0 \\ \phi_1^T H \\ M_1 \end{bmatrix} \quad (2.3.21)$$

dır. Kontrol kuvvetinin binanın üst katı hizasında etki ettiği kabul edilmiştir. En iyi çözüm $S = [0.45 \ 1]$ seçilerek elde edilmiştir. η parametresi 20 KN' luk sabit bir değer olarak alınmıştır. Hareket denkleminin çözümü için MATLAB paket programı kullanılmıştır.

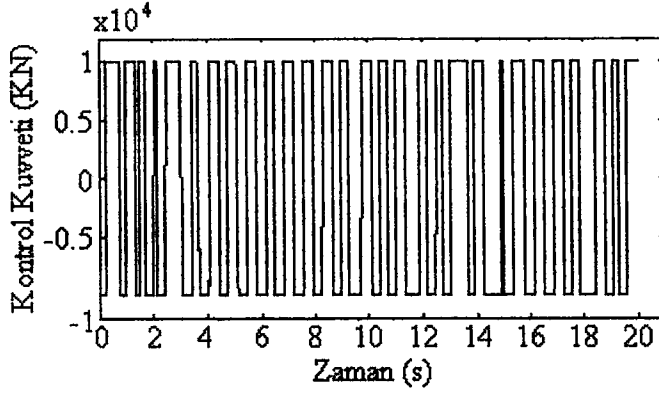


Şekil-2.3.7 Sekizinci Katın Kontrollü ve Kontrolsüz Yerdeğişirmesi



Şekil-2.3.8 Kontrol Elemanına Uygulanan Kontrol Kuvveti
(sınır tabaka uygulanmadan)

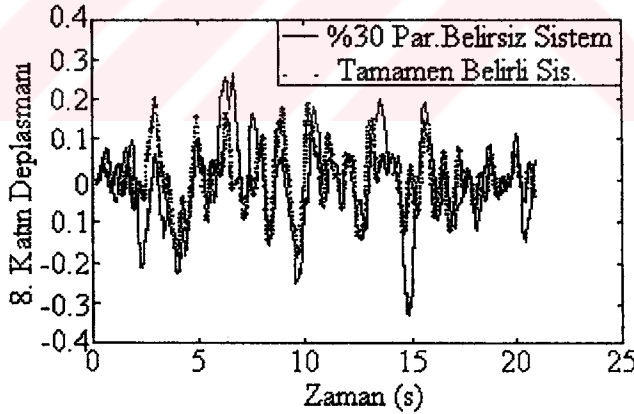
Yapının 1992 Erzincan depremi doğu-batı ivme bileşeni etkisindeki aktif kontrollü ve kontrolsüz 8. kat deplasmanının zamanla değişimi Şekil-2.3.7' de sunulmuştur. Titreşimlerin büyük bir ölçüde azaldığı ve kayan modlu kontrolün performansının çok yüksek olduğu görülmektedir. Titreşim genliklerindeki azalışa paralel olarak, kat kesme kuvvetleri ve momentlerinde de düşmeler olacaktır. Bu sonuç yapıların sismik izolasyonunda aranan bir özelliktir. Şekil-2.3.8' de ise aynı deprem etkisi altında sınır tabaka uygulanmadan kontrol kuvvetinin zamanla değişimi görülmektedir. Burada $|u_{maks}| = 10$ KN olarak alınmıştır. Bu kontrolün dezavantajı olan kontrol sinyalinin çok sık sayıda yön değişirmesi açıkça görülmektedir. Sonuç olarak tahrik elemanı bu çok sayıda yön değişirme işlemini takip edemeyebilir. Bundan dolayı sınır tabaka uygulama zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.



Şekil-2.3.9 Kontrol Elemanına Uygulanan Kontrol Kuvveti

($\varepsilon = 0.001$ sınır tabaka uygulanması durumunda)

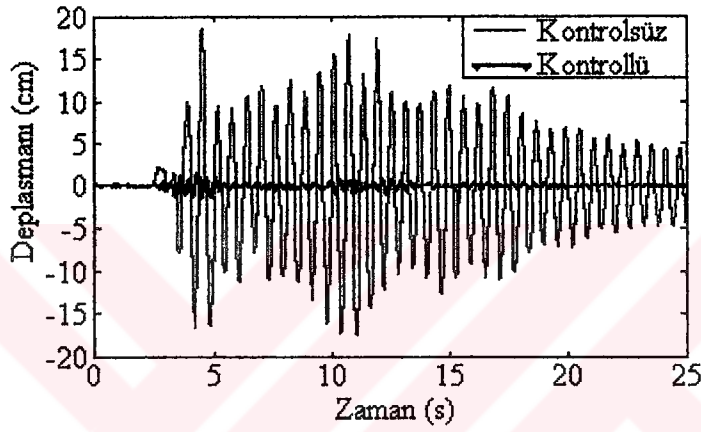
Sınır tabakası uygulamasının etkisini görmek amacıyla, $\varepsilon = 0.001$ alınarak çözümler tekrarlanmıştır. Sınır tabakası uygulamasının 8 inci kat yerdeğiştirmesini pek etkilemediği ve bu yerdeğiştirmenin şekil-2.3.7' de verilen yerdeğiştirmeye benzer değişim gösterdiği görülmüştür. Buna karşılık, kontrol kuvveti değişimi önemli ölçüde etkilenmektedir. Şekil-2.3.9' da sınır tabakası uygulandığı durumdaki kontrol kuvvetinin zamanla değişimi verilmekte ve kontrol sinyalinin yön değiştirme sayısında önemli ölçüde azalma meydana geldiği görülmektedir.



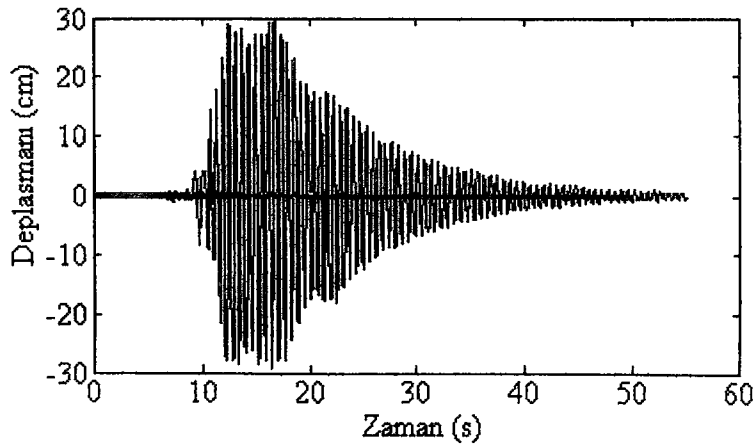
Şekil-2.3.10 Kayan Tipli Kontrolün Parametrik Belirsizliğe Olan Duyarlılığı

Yapı modellemesi ve sistem parametreleri (rijitlik, kütle, sönüm) hesabında belirli ölçüde hatalar mevcuttur. Bu ve benzeri tür hataların kayan modlu kontrol üzerindeki etkisini görmek amacıyla fiziksel parametreler belirli bir oranda değiştirilmiştir. Şekil-2.3.10' da görüldüğü gibi, aynı deprem etkisi kullanılarak, fiziksel parametrelerin (kütle ve rijitlik) %30 değiştirilmesine rağmen 8 inci katın yerdeğiştirmesinde önemli ölçüde

bir artma görülmemektedir. Bu da kayan modlu kontrolün parametrik belirsizliğe duyarlı olmadığını göstermektedir. Kayan modlu kontrolün farklı karaktere sahip depremlerdeki performansını ortaya koymak amacıyla göz önüne alınan binanın, 1999 Düzce depreminin Düzce kaydı doğu-batı ivme bileşeni ve Bolu kaydı kuzey-güney ivme bileşeni etkisindeki kontrollü ve kontrolsüz yerdeğiştirme çözümleri şekil-2.3.11, 2.3.12' de verilmiştir. Bu şekillerden de görüleceği gibi yerdeğiştirmeler önemli ölçüde azalmaktadır. Bundan dolayı, kayan modlu kontrolün söz konusu depremler için performansının yüksek olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.



Şekil-2.3.11 1999 Düzce Depremi Düzce Kaydı Doğu-Batı İvme Bileşeni Etkisindeki Yapının Sekizinci Katının Kontrollü ve Kontrolsüz Yerdeğiştirmesi



Şekil-2.3.12 1999 Düzce Depremi Bolu Kaydı Kuzey-Güney İvme Bileşeni Etkisindeki Yapının Sekizinci Katının Kontrollü ve Kontrolsüz Yerdeğiştirmesi

Bu çalışmada, farklı karakterdeki depremlere maruz planda ve düşeyde simetrik ve kayma çerçevesi davranışı gösteren sekiz katlı lineer sönümlü bir binanın titreşimlerini azaltmak için, parametrik belirsizliğe olan duyarsızlığı nedeniyle kayan modlu kontrol yöntemi uygulanmıştır. Uygulanan kontrol yönteminin, göz önüne alınan farklı karakterdeki depremler için titreşim genliklerinde önemli ölçüde azalmalar meydana getirdiği görülmüştür. Ayrıca, kayan modlu kontrol algoritmasına sınır tabakası uygulandığında, kontrol sinyalinin yön değiştirme sayısında azalma meydana gelmiştir. Sistemin fiziksel parametrelerinde olabilecek büyük orandaki belirsizliklerin, bu kontrol yöntemi uygulandığı zaman, sistemin titreşim tepkisine önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar kayan modlu yöntemin yapı sistemleri için etkin bir yöntem olduğunu göstermiştir.

2.4. Sürtünme-Temel Yalıtımı İlişkisinin Deneysel Araştırılması

Bu bölümde [Pirrotta ve İbrahim, 1997]' nin yaptığı çalışmaya yer verilmiştir. Yapılmış olan çalışmada sürtünme elemanlarının davranışları, yoğunluk fonksiyonu kurulma şekli ve Monte-Carlo simülasyonu göz önüne alınmıştır. Yapısal titreşim kontrolü deprem şüphesi olan bölgelerdeki binaların yapısal güvenilirliği ile ilgilenen sivil mühendislerin asıl amaçlarından biridir . Bu bölgedeki araştırma çok amaçlı-disiplinli bir araştırma ve materyaller içerir.(bilim,kontrol teori,uygulanan dinamikler ve muhtemel teori) birkaç pasif ,aktif ve hibrit kontrol projesi belirtilmiştir. Bazı ciddi çevresel durumlarda yapısal deformasyonları kontrol etmek için bu kontrol projeleri sunulmuştur. Pasif yaklaşım, temel yalıtım sistemleri ve sismik titreşim enerjisini dağıtmak için özel sürtünme araçlarını içerir. Bu yaklaşımın arkasındaki temel fikir fren yastıklarının sürtünme mekanizması ile aynıdır. Kuru sürtünme ; büyük esnek yapılar, turbo makine ağızları ve kirişlerde kayan yüzeylerinde oluşur. Destekli köşeler de sürtünme enerji dağıtımının bir kaynağı olarak devam eder. Bununla birlikte kayma , sistem dinamik özelliklerinde düzensiz çeşitliliklerle sonuçlanır. Örneğin doğal frekanslar ve sönüm katsayısı. [Pirrotta ve İbrahim, 1997] mekanik ve kaymada, kontak mekanik ve sürtünmenin kapsamlı açıklamasını sunmuştur.

Her zaman maksimum enerji dağılımı vardır. Böylelikle bir yapının dinamik tepkisi belirgin şekilde azaltılabilir.[Grigorian ve Popov, 1993], yapısal dinamik tepki sırasında

enerji dağıtımı için basit ve delikli cıvatalı bağlantılar kullanmışlardır. Yer çekimi ivmesinin yayılımında ki azalma nedeni ile eğer sürtünme katsayısı küçük ise geleneksel kayan tip sistemlerde mükemmel yalıtım performansı sağlanır. Bununla birlikte eğer sürtünme katsayısı büyük ise yapı sadece büyük depremlerde izole olacak ve kayan sistem küçük ve orta depremlerde aktive olmayacaktır. Çeşitli sürtünme söndürücülerini de yapı tepki karakterlerini değiştirmek için kullanılmıştır. [Dowdell ve Cherry, 1994] yapının tepki fonksiyonu olarak kayma kuvvetlerinin değişmesi ile sabit kaymalı, kuvvet sürtünmeli söndürücülerinden kaynaklanan performansı artırmak için iki yarı-aktif kontrol metodu sunmuşlardır. Bu metotlar aç-kapa sürtünme söndürücüsü ve çeşitli genlikte yarı-aktif sürtünme söndürücüsüdür. Bu projelerin asıl amacı , katlar arası ötelemenin karekökünü minimum hale getirmektir.

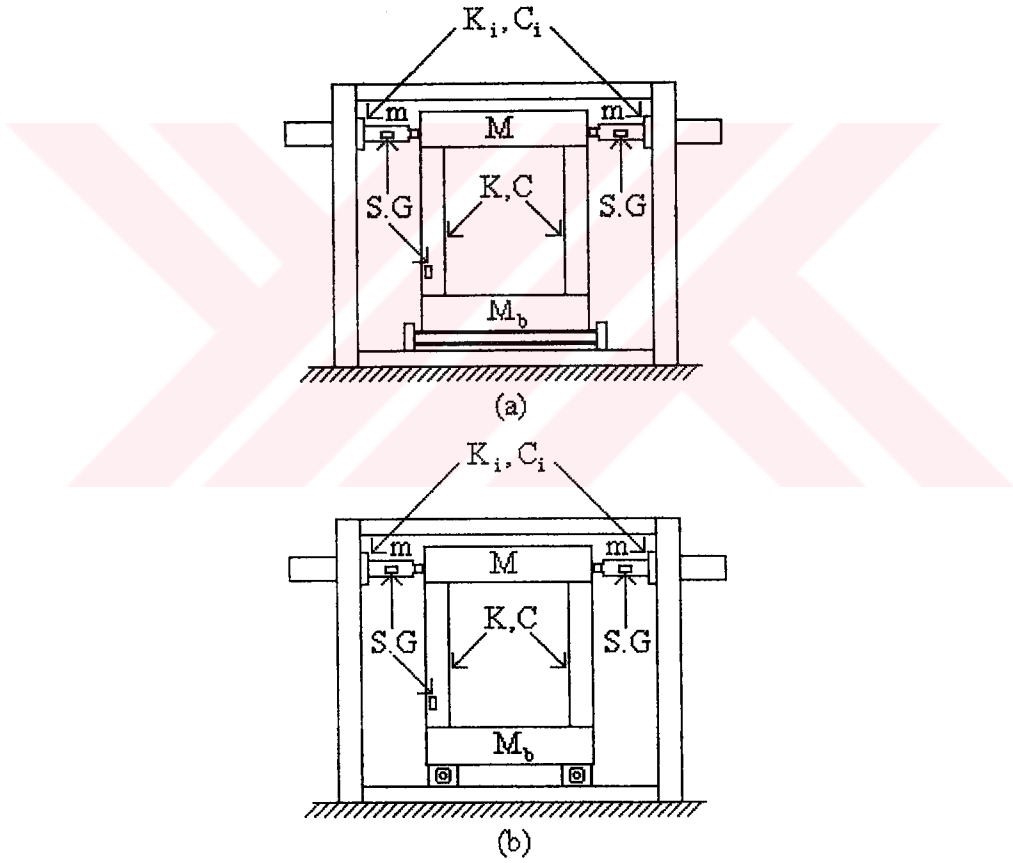
Temel yalıtım fikri,yapı ve bulunduğu yer arasında yerleşmiş olan sistemde enerji emilim kapasitesi ve esneklik ile deprem hareketinin zararlı bileşenlerinden yapının ayrılması esasına dayanır. Temel yalıtım sistemlerinin performansı iki ana karaktere dayanır. Bunlar kayan sistemlerin ve izolatörlerin enerji dağılımıdır. Temel yalıtım sistemleri çeşitli tipteki yapılar için geliştirilmiştir. Temel olarak bu yalıtım sistemlerinin hepsi iki ana kategoride sınıflandırılır;kurşun çekirdekli yada çekirdeksiz kauçuk kaplamalı izolatörler ve sürtünmeli tip kayan izolatörlerdir. İlk bahsedilen izolatör tipinin pratik uygulamaları varken son bahsedilen izolatör tipi gelişmenin erken basamaklarındadır. Su,L. ve arkadaşları depreme karşı yapıları korumak için kullanılan temel yalıtım sistemlerinin karşılaştırmalı bir çalışmasını sunmuşlardır.

Deneysel rasgele değişen titreşim testleri önemlidir. Çünkü teori ile tahmin edilemeyen kompleks ve belirsiz dinamik olayları gösterirler. Bu çalışma temel sürtünme için iki farklı düzenleme ile bağımsız sistemin tek dereceli rasgele değişen uyarımının deneysel araştırmasını sunmaktadır.

Birincisi kuru sürtünmeli temeli içerirken ,ikincisi sürtünmesiz özelliktedir. Her iki durumunda da osilatör kütle hareketine karşı farklı bir sürtünme uygulanır. Tepki ve uyarım çevirgeçlerinden gelen sinyaller istatistik parametrelerinin tahmini(bunlar ortalama karesi , oto korolasyon fonksiyonları, güç spektrumu ve muhtemel yoğunluk fonksiyonları) için dijitalize olarak işleme tabi tutulur. Uyarım ortalama karesinin , ortalama kare tepkisinin bağımlılığı, lineer bölgeleri ve tepki eğilimini tahmin etmek için haritası çıkarılır.

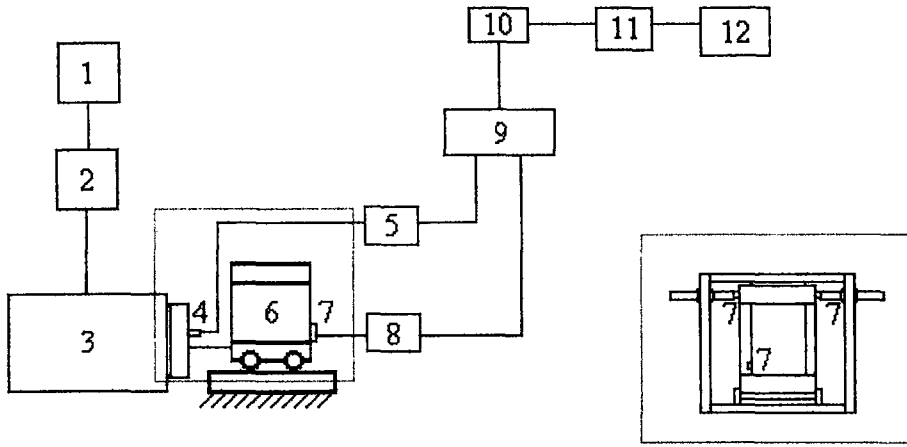
2.4.1. Deneysel Model ve Veri Kaydı Yapılması

Şekil-2.4.1 model ve onun sürtünme elemanları ile testin şematik diyagramını göstermektedir. Model, santral dikdörtgen delik ile (14.8x11.8cm) dikdörtgen alüminyum blok (16.5x13.5x3.7cm) içerir ve ağırlığı 1.8 kg' dır. Blok her biri 12 cm uzunluğunda ve çapraz 2.5x0.089cm vanadyum araç çelikten yapılmış dört yaprakçıktan hazırlanır. Yaprakçıkların diğer uçları temel bloğun tek bir yönde hareket etmesini sağlayacak şekilde temel bloğa bağlanır. Temel temasın iki farklı tipi kullanılır. Birinci düzenleme şekil-2.4.1-a da görülür. Dört tekerlekli bir set içerir. Şekil-2.4.1-b tek bir yönde yuvarlanmayı sağlayacak daha az sürtünmeli thomson setidir.



Şekil-2.4.1 Kütleye M'nin İki Kenarında Sürtünme Elemanlarını Gösteren Test Modellerinin Şematik Gösterimi

(a)-Temeli tekerlekli model , (b)-Thomson temeli model



- 1-HP 3565S VISTA
- 2-Techron 7560 Amplifikatörler
- 3-VTS VG-600 Elektro Dinamik Sarsıcı
- 4-Bruel&kjaer 4383 model İvme Ölçer
- 5-Bruel&kjaer 2626 model Şarj Amplifikatör
- 6-Deneysel Model
- 7-Mikro Gerilme Ölçerler 350 ohm
- 8-Mikro Gerilme Ölçerler 2310 model Sinyal Ayarlayıcı Amplifikatör
- 9-Veri Dönüştürme Kartı DT-2828
- 10-İşemlerin Yürütüldüğü Bilgisayar
- 11-SparcStation 10 Yazılımı
- 12-Lazer Yazıcı

Şekil-2.4.2 Test Araç-Gereçleri Yerleşim Düzeni

Temel bloğun bir ucu sert çelik bir parça ile VTS-600 elektro manyetik sarsıcının armatürüne bağlanır. Sarsıcı rasgele değişen bir ivme ($\ddot{U}(t)$) ile temeli uyarır. Modelin temeli dikkatlice yatay yerleştirilmiş sert düzgün platform üzerinde hareket eder. Sarsıcı 2669N' luk itme gücüne sahip en yüksek yerdeğiştirmesi 0.0254 m' dir. Bu sarsıcı, itme ve çekme işlemi için dizayn edilmiş iki tane Techron 7560 güç amplifikatörleri ile güçlendirilmiştir. İki tane dönmeye karşı sabitlenmiş mikrometre (Mitutoyo 153 Serisi) yukarıdaki kütlenin iki kenarına sert dik duvarlarına yerleştirilir. Her bir mikrometrenin serbest ucu kısa yaprakçıklara bağlanır. Bu yaprakçıkların boyu 3.81 cm , çaprazda 1.28x0.89cm ve serbest uçlarında sürtünme elemanı vardır. Sürtünme elemanları 0.64 çapında sert kurşun küreciklerden yapılmıştır. Her bir kürenin serbest ucu hareket planı boyunca uzanan ana bloğun her bir kenarında kayabilmektedir. Başlangıç normal kuvveti küreyi ve onun bağlantısını döndürmeksizin mikrometrenin kulpunu döndürerek temas noktasında kullanabilir.

Deneysel düzenlemenin bloğu şekil-2.2.2' de gösterilir. Sarsıcı , HP titreşim jeneratöründen rasgele değişen sinyal alır. Anti filtreli yapılmış, rasgele değişen ve diğer çıkış sinyalleri sağlayan HP3565S ölçüm aletinin kaynak modelinde HP titreşim jeneratörü vardır. Çıkış genliği 1.26 mili volttan 10 mili volta kadar programlanır. Uyarım sarsıcı platformuna kurulmuş Bruel ve Kjaer model 4383 piezoelektrik ivme ölçer kullanılarak ölçülür. İvme ölçer 31.5 piko coulomb/g (pc/g) hassasiyete sahiptir ve 2-5000 Hz faydalı lineer frekans aralığına sahiptir. Bruel ve Kjaer model 2626 düşük titreşimli amplifikatör ivme ölçerden gelen sinyali yükseltmek için kullanılır . Tepki sinyalleri ;modelde üç bölgede yarım köprü şeklinde yerleşmiş CEA-06-250UW-350 tip gerilme ölçerler kullanılarak tespit edilir. Birincisi modelin yerdeğiştirimesini göstermek için ana modelin ön bacağına yerleştirilir. Diğer iki tanesi dinamik test boyunca sürtünme kuvvetini ölçmek için mikrometreye bağlanmış iki yaprakçığa yerleştirilir. 4DX2-66V gateway 2000 kişisel bilgisayarda yerleştirilmiş DT-2828 analog dijital çevirici levha, çeviri sinyalleri dijitalize etmek için kullanılır. Levhadan alınan sinyaller voltaj konumundadır. İkilik sisteme ve dijital sayılara çevrilir. Dijitalize sinyaller interaktif laboratuvar sistemi (ILS) ve veri çevirici görsel mühendislik çevresi (DTVEE) kullanılarak istatistiksel parametreleri tahmin etmek için işlenir. Levha saniyede 100000 örnek eş zamanlı örnek hızı ile dört kanala sahiptir. Bu deneysel araştırma için DTVEE yazılımı serbest vibrasyon testleri için kullanılır ve ILS kuvvet titreşim testleri kullanılır. Veri işleminde PC' nin kullanımı optimum hale getirmek için hızlı işlemli network ağı ile işlenmiş veri alan SUN SparcStation-10 da ILS yazılım paketi de yerleştirilir. N!Power yazılım paketi istatistiksel parametrelerin (örneğin güç spektrumu ve oto korolasyon fonksiyonlarının) tahmininde ve işlenmesinde kullanılır.

2.4.2. Test İşlemi

Test işlemi serbest ve zorlanmış titreşimleri içerir. Bu ilk testlerin asıl amacı rasgele değişen uyarım testlerinin örnek oranını , uyarım parametrelerini ve modeli ölçmektir. Temassız model ve sürtünme küre elemanlarının sabitleri, doğal frekansları ve sönüm oranlarını oluşturur. Bu parametreler serbest titreşim sistemlerinin yapılması ile ölçülür. Modelin doğal frekansı 9.5Hz' dir. (sürtünme elemanlarının yokluğunda) Sürtünme elemanlarının doğal frekansı sağ ve sol elemanlar için sırası ile 148.4ve 152.3Hz' dir. Model sönüm oranının ortalama değeri $\xi_r=0.0027$ ' dir, sürtünme

elemanlarının sönüm oranı sağ ve sol elemanlar için $\zeta = 0.01$ ve $\xi_1 = 0.007$ ' dir. Serbest titreşim testleri model kütle ile temasta olan sürtünme elemanları ile modelde yapılır. Modelin doğal frekansı kuvvet vibrasyon testleri kullanıldığında aynı normal kuvvetler altında sürtünme olduğunda 16Hz' e çıkar. Uyarım merkez frekansı, asıl kütle doğal frekansına yakın olan sınırlı bantta rasgele değişen olacak şekilde seçilir.

Uyarım seviyesi minimum-muhtemel ve maksimum- güvenli seviyeleri tanımlayan birkaç testle daha sonra karşılaştırılır. Farklı uyarım seviyelerinde testlerin bir serisi uyarım ortalama kare seviyeleri de tepki istatistiklerinin bağımlılığını incelemek için yapılır. Örnek frekansı verinin alındığı frekans olarak tanımlanır ve bu sebeple veri noktaları arasında kesin bir zaman miktarı vardır. (Δt).örnekleme hızı gözlemlenebilen frekans aralığını etkiler. Çünkü bir frekans bileşenini tanımlamak için her devirde en az iki örnek istenir. Bu frekans Nyguits frekansı yada katlı frekans olarak belirtilir ve aliasing oluşumundan kaçınmak için bu frekans maksimum sinyal frekansının en az iki katı olmalıdır. Model karakterlerine dayanarak örnek frekans 256Hz seçilir. Bu deneysel çalışma için test süresi 200sn' dir. Bu 200 sn sinyal sabitine ulaşmak ve sistemin bütün dinamik karakterlerini göstermek için yeterli bir zamandır.

2.4.3. Veri Analizi ve Sonuçlar

Rasgele değişen bir uyarım testler serisi sürtünme olmadığında tepki istatistiklerini karakterize etmek ve sistem tepkisinde sürtünmenin etkisini incelemek için yapılır. Testler uyarım seviyelerinin geniş bir aralığını içerir ve her iki yönde tekrarlanır. Artan ve azalan uyarım seviyesini takip eden istatistiksel parametreler sürtünme varlığında ve yokluğunda her bir rasgele değişen uyarım testinin zaman-tanımlı kaydından tahmin edilir.

1-Zamana bağlı ortalama kareler ve oto korolasyon fonksiyonları

2-Güç spektrumu

3-Hem uyarım hem de tepki sinyallerinin muhtemel yoğunluk fonksiyonu

4-Uyarım ortalama karelerinin, tepki ortalama karelerine bağımlılığı

Test sonuçları temel durumunun her iki durumu içinde elde edilir. Örnek : Dört teker üzerinde hareket eden temel ile Thomson seti üzerinde hareket eden temel ki bunlar

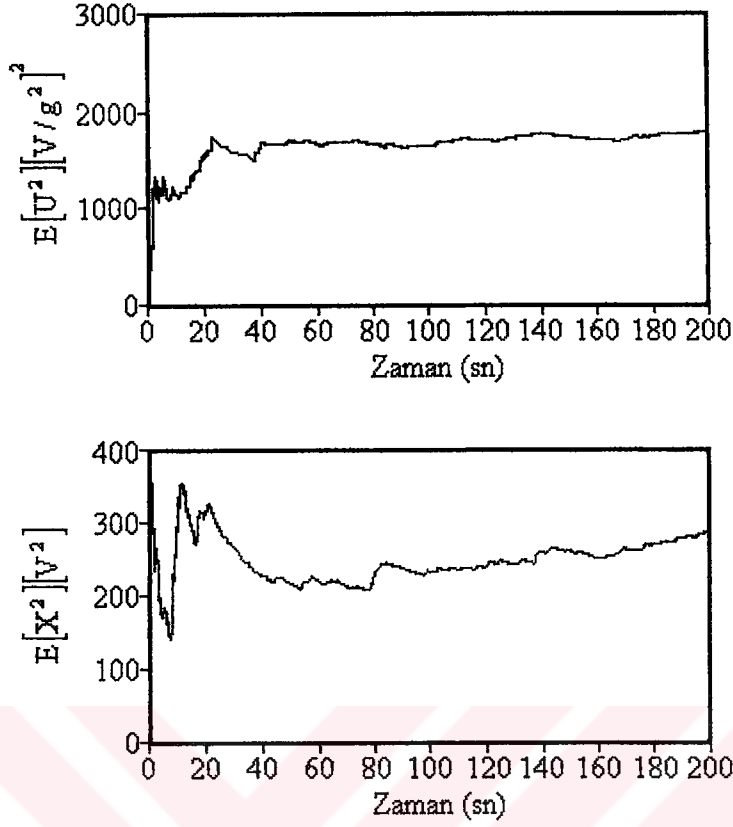
gelecek bölümde tartışılacaktır. Temeli tekerlekli modele bağlı deneysel sonuçların bir örneği sunulacak ve Thomson modeliyle karşılaştırılacaktır.

2.4.4. Zaman-Tanımlı Kayıtların Ortalamalarının Kareleri

Zaman ile ortalama karenin değişimi önemlidir. Bu değişim hem geçici hem de sabit tepkileri gösterir. Ortalama kare şu formülü kullanılarak temin edilir.

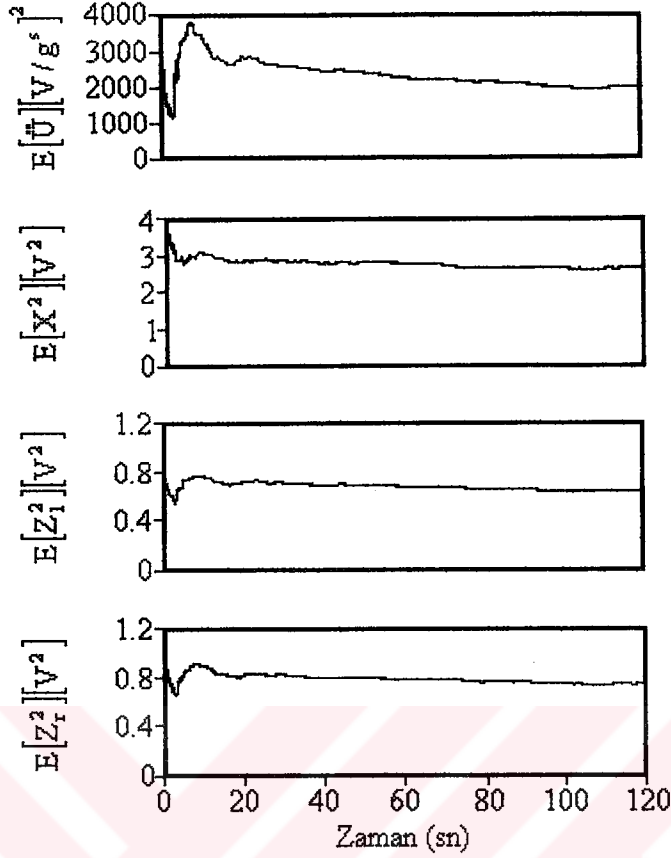
$$E[X^2(t_n)] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X^2(t_i) \quad n = 1, 2, 3, \dots, N$$

Burada $E[X^2(t_n)]$ bütün veri noktalarına kadar olan ve n 'de içeren ortalama kare değeridir ve N testteki veri noktalarının toplam sayısıdır. Düşük uyarım seviyeleri için temeli tekerlekli modelin tepkisi dar ve rasgele değişen bir şekilde karakterize edilir. Bu işlemin ortalama karesi kısa bir süreden sonra sabit olur. Bununla birlikte daha yüksek uyarım seviyesi için tepki şekil-2.4.3 'de gösterildiği gibi durağan değildir. Thomson temel ile diğer modelin zaman-tanımlı kayıtları genellikle sabittir. Bu sonuçlar ve bazı kayıtlara dayanarak temel sürtünmenin varlığı tepki ortalama karesinde sabitliğe sebep olmaz.



Şekil-2.4.3 Sürtünme Elemanlarının Yokluğunda Zaman-Tanımlı Kayıtlarının Güç Spektrumu

Modele sürtünme uygulandığında ve aynı testler yapıldığında temeli tekerlekli model için şekil-2.4.4' ün incelenmesi ile büyük farklılıklar gözlenebilir. Birinci fark bütün uyarım seviyelerinde tepkiye sahip olmasıdır ki sürtünme enerji dağılımı nedeniyle tepki sinyalinde belirgin düşme bulunmaktadır. Her iki elemanın sürtünme ortalama kareleri bütün uyarım seviyelerinde aynı değildir. Bunun başlıca sebebi iki elemanın aynı dinamik karakterlere sahip olmamasıdır. (farklı doğal frekanslar ve farklı sönüm oranları). Sürtünme asimetrisinin diğer kaynağı, modelin kaçınılmaz yanal hareketi nedeniyle oluşan büyük tepki asilasyonlarıdır. (sinyalin sönmesi) Bu her bir kürede eşit olmayan yüklemelere sebep olur. Gözlenmiştir ki; temeli tekerlekli modelin sürtünmeye tepkisinin zaman-tanımlı kaydındaki değişime kayma neden olmaktadır. Thomson temeli ile temeli tekerlekli modelin zaman-tanımlı kayıtları uyumludur.

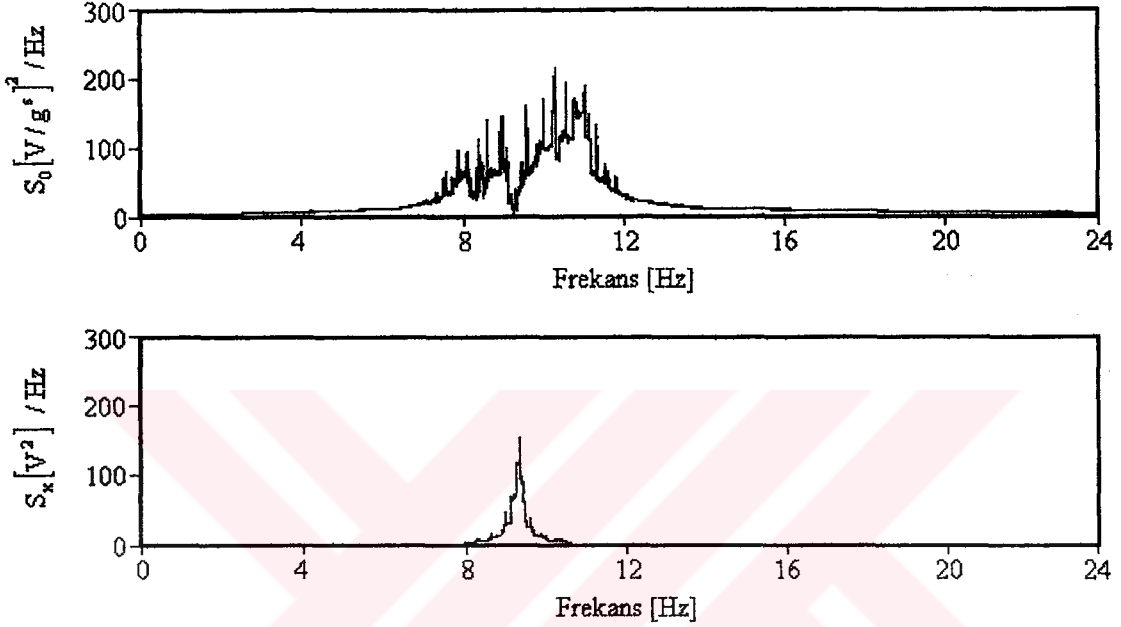


Şekil-2.4.4 Temeli Tekerlikli Modelin Sol ve Sağ Sürtünme Elemanlarının Tepkilerinin Zaman Tanımlı Kayıtları

Sürtünme elemanlarının yokluğundaki uyarımlarının oto korolasyon fonksiyonları ve her iki modelin tepki sinyalleri tahmin edilir. Her iki temel modelinde uyarım kısa korolasyon periyoduna sahiptir. Tepki ise temel olarak kısa şeritlidir bununla birlikte sürtünmenin varlığında ve yokluğunda sistem tepkisinin oto korelasyonları arasında belirgin fark vardır. Sürtünmenin yokluğunda korelasyon periyodu sürtünmeli olandan daha uygundur. Bunun asıl sebebi sürtünme varlığında sistem tepkisinin sürtünme elemanlarıyla birleşmesi ve sürtünme kuvvetinin sistem hareketine geri yansıtılmasıdır. Ek olarak sistem dinamik karakterleri (örnek , doğal frekans ve sönüm oranı) sürtünme elemanları tarafından etkilenir.

2.4.5. Güç Spektrumu

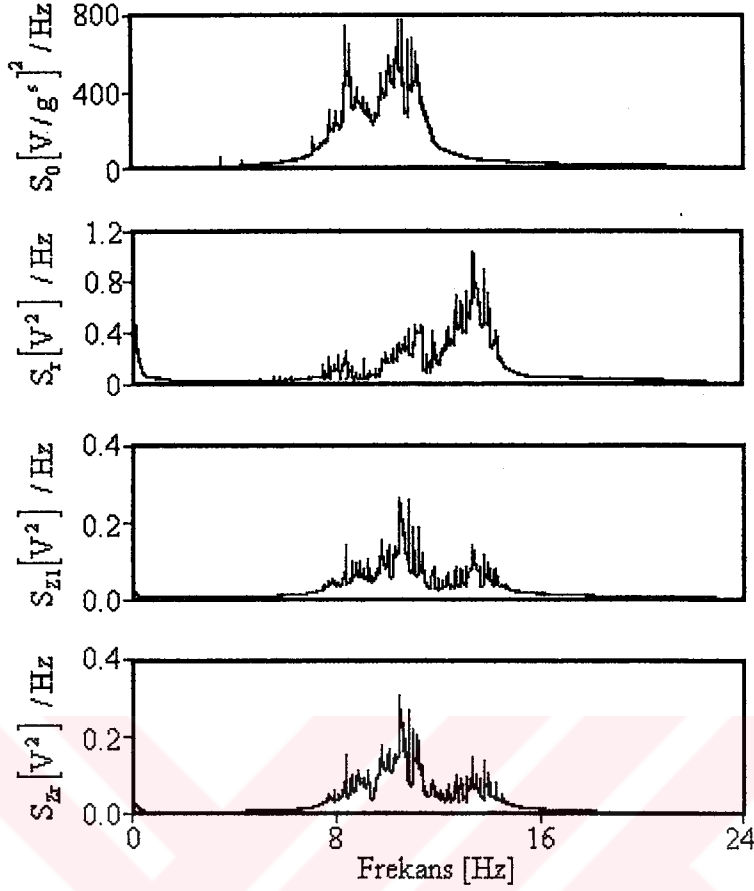
Güç spektrumu yoğunluk fonksiyonu, rasgele değişen sinyalli frekans bileşenini gösterir ve tahmini bant genişliğinin başka bir yolunu sunar. Spektrum yoğunluk fonksiyonu oto korelasyon fonksiyonunun fourier değişimi ile verilir. Bu analiz için güç spektrum yoğunluğu N!Power yazılımı kullanılarak hesaplanır.



Şekil-2.4.5 Sürtünme Elemanlarının Yokluğunda Temeli Tekerlekli Modelin Zaman Tanımlı Kayıtların Güç Spektrumu

Şekil-2.4.3' de gösterilen sürtünme elemanlarının yokluğunda zaman tanımlı kayıtların güç spektrumu şekil-2.4.5' de işaretlenmiştir. Uyarım güç spektrum yoğunluğu model doğal frekansı ile uyumlu frekansta bir düşüş gösterir. Bunun anlamı şudur ki; model enerjinin bir kısmını sarsıcı armatüre geri verir ve sarsıcı ile etkileşir. Sistem tepkisi , tepki spektrum yoğunluğu sıfır frekansta sıfır değere sahiptir. Bu da göstermektedir ki; sürtünme olmadığında sıfır ortalama uyarım altında model tepkisi sıfır ortalama değere sahiptir. Sürtünme elemanlarının yokluğunda tepki sistem doğal frekansında merkezi yerleşmiş dar bir banttır. Bununla birlikte Thomson modeliyle tepkinin tepe değeri temeli tekerlekli modele göre daha yüksek frekansta olur. Thomson setinde 10Hz , temeli tekerlekli modelde 9Hz' dir. Bunun anlamı şudur; temel sürtünme sistemi doğal frekansı azaltır. Üst kütlede sürtünme elemanlarının verdiği tepki ve sürtünme sinyallerinin güç spektrumu şekil-2.4.6' da gösterilmiştir. Hem tepki hem de

sürtünme elemanlarının güç spektrumu sistemin doğal frekansından farklı bir frekansla sınırlı ve merkeze konulmuş geniş bir banttır. Geniş bant tepkisine geçişin sebebi Makris ve Constantinou'nun bildirdiği gibi anormal duruşların (bir periyotta pek çok durma) varlığı nedeniyle olabilir. Uyarım spektrumu sıfır frekansta her zaman sıfır ortalama değere sahipken tepki ve sürtünme spektrumu sıfır frekansta sıfır olmayan frekansa sahiptir. Yine görülmüştür ki; model tepkisinin bant genişliği sürtünmesiz olan uygun durumda belirgin düşme ile sağa doğru kayar. Ek olarak sürtünme elemanları ve model tepkisi bazı derecelerde etkileşime sahiptir. Tepki spektrumunun tepe değerine uygun frekansta sürtünme elemanlarının spektrumunda da azalma gözlemlendiği gibi, iki temel durum spektrumunda bazı farklılıklar yansıtır. Temeli tekerlekli modelde tepki, güç spektrum tepe değeri, uyarım merkez frekansında sağa doğru kayarken Thomson modelinde tepki spektrumunun tepe değeri sola kayar. Sürtünme varlığında sürtünme elemanlarının yokluğuna göre karşılaştırıldığında tepki spektrumunun tepe değerinde belirgin bir düşme vardır.

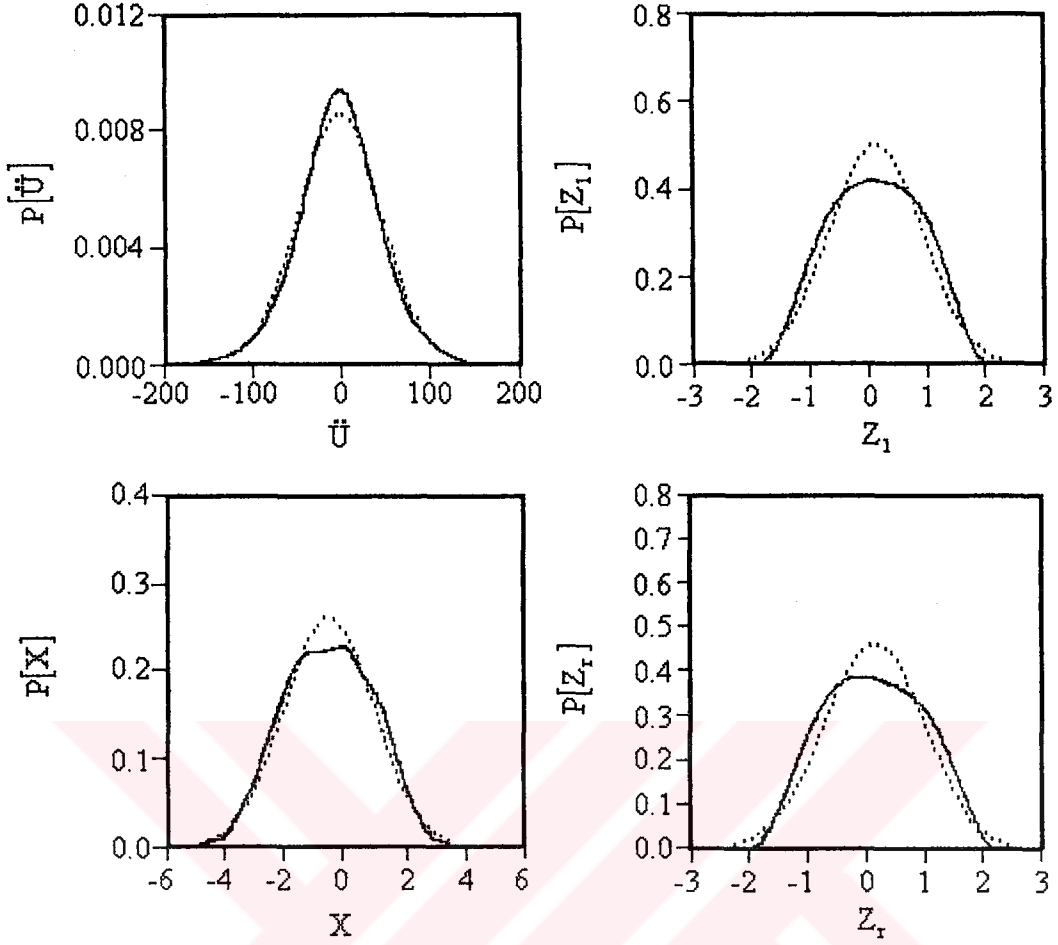


Şekil-2.4.6 Sürtünme Elemanları Mevcut İken Temeli Tekerlekli Modelin Zaman Tanımlı Kayıtlarının Güç Spektrumu

2.4.6. Muhtemel Yoğunluk Fonksiyonları

İdeal bir durumda eğer sistem sabit katsayılar ile lineer ise dinamik sisteme Gaussian dağılımı ile giriş , gaussian dağılım tekisi ile sonuçlanacaktır. Tepki dağılımında normalden sapma sistemin doğal non lineeritesinden ve kuru sürtünmenin varlığından kaynaklanabilir. Bu sapma sistem parametrelerinin bir fonksiyonu, non lineeritesinin bir derecesi ve uyarım seviyesi olabilir. Normal dağılım ile karşılaştırma sağlamak için Gaussian dağılımı, her bir işlemin standart sapmasına ve ortalamasına dayanarak işaretlenmiş kaymalar ile her bir grafiğin üst üste bindirilmesiyle olur. Uyarım tepki sinyallerinin muhtemel yoğunluk fonksiyonları IMLS (international mathematic and statistical laboratory) kullanılarak tahmin edilir. Her iki temel durumunda sürtünme yokluğunda uyarım ve sistem tepkilerinin tahmini muhtemel

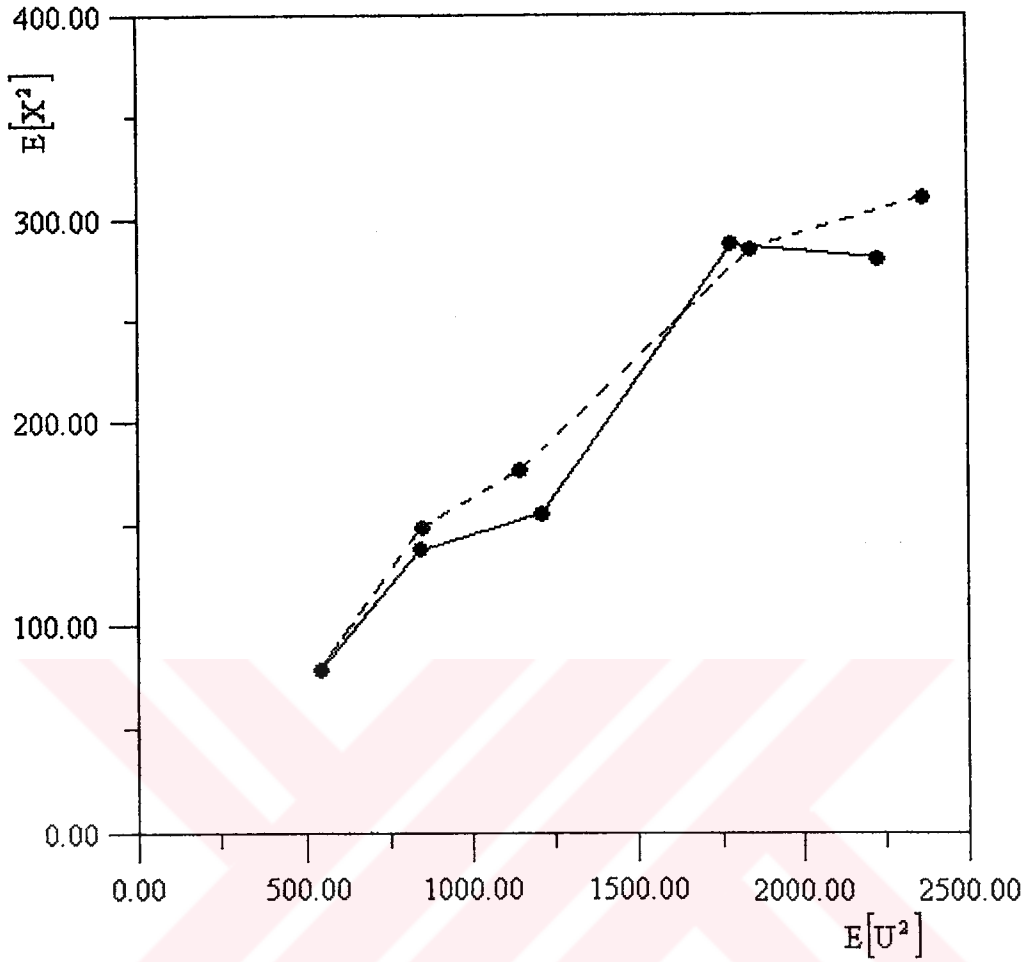
yoğunluk fonksiyonları düşük uyarım seviyeleri altında normalden hafif sapmış bulunurken uyarım seviyeleri arttığında normalden belirgin sapar. Bu gözlenen sapma temel sürtünme ve doğal sistem non lineeritesinden kaynaklanabilir. Bu özel sistem için non lineeritenin ana kaynakları, eylemsizlik ve kayma non lineeritesidir. Muhtemel yoğunluk, uyarım, model tepki ve sürtünme elemanları işaretlenmiştir ve şekil-2.4.7' de gösterilmiştir. Bu sürtünme varlığında ve temeli tekerlekli model içindir. Görülmüştür ki; temeli tekerlekli modelde sürtünme non zero ortalama ile tepki de non gaussianity ile sonuçlanır. Sürtünme elemanlarının muhtemel yoğunluk fonksiyonları non gaussianity'dir ve aynı değildir. Bununla birlikte Thomson modeli kullanıldığında sistem tepkisi sıfır eğim ile normalden hafif sapma gösterir. Bu iki sürtünme elemanının muhtemel yoğunluğu üzerinde direkt etkiye sahiptir. Uyarım seviyesi arttığında normalden sapma daha belirgin hale gelir. Burada sürtünme düzgün olmaya doğanın non lineeritesine başka bir kaynak ekler. Ek olarak sürtünme muhtemel yoğunluğu güçlü bir şekilde non gaussianity'dir.



Şekil-2.4.7 Temeli Tekerlekli Modelin Sürtünme Elemanları Mevcut İken Gösterdiği Tepkinin Muhtemel Yoğunluk Fonksiyonları

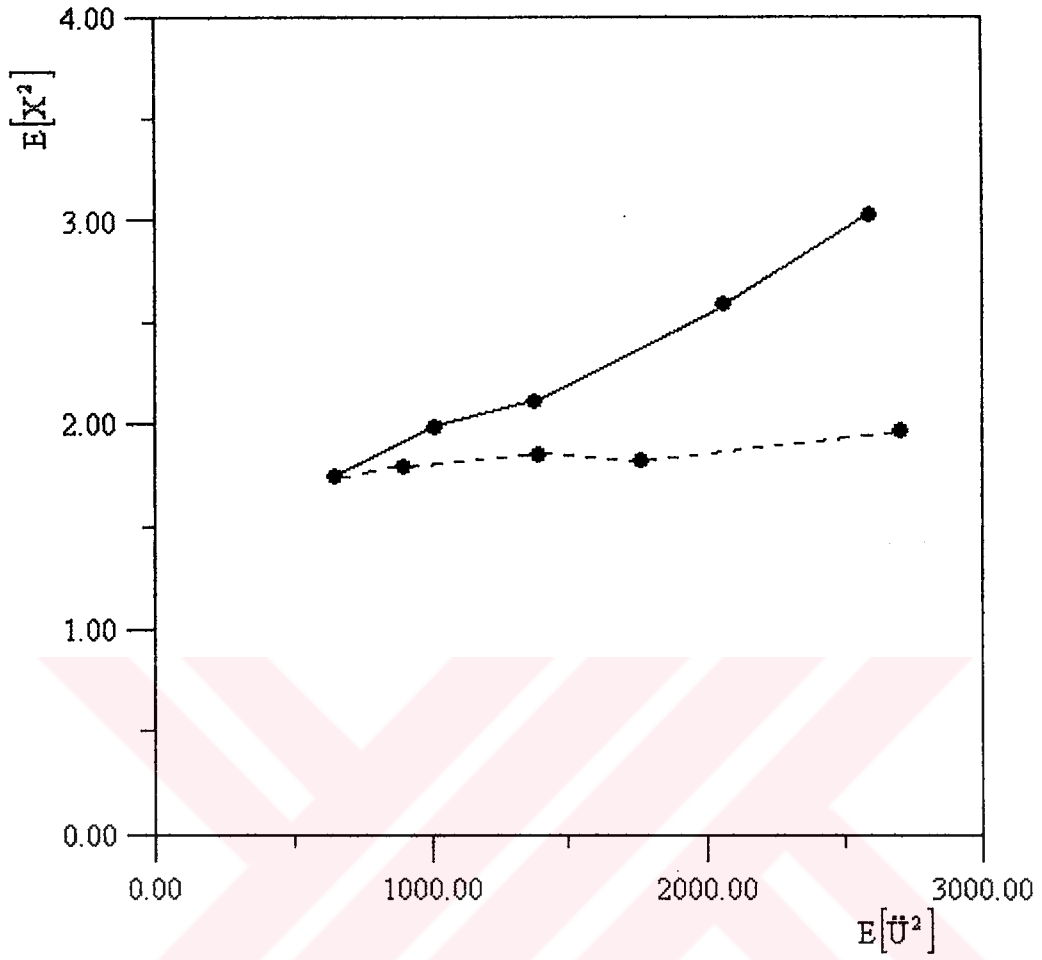
2.4.7.Uyarım Seviyesinde Tepki Ortalama Karesinin Bağımlılığı

Uyarımın ortalama karesinde, tepkinin ortalama karesinin bağımlılığı non lineeritenin tepkisini göstermede önemlidir. Farklı uyarım seviyelerinde ortalama kare tepkisine karşılık uyarım ortalama karelerinin ölçümü ile lineer ve non lineer tepkilerde uyarım seviye aralıkları tahmin edilebilir. Sürtünme elemanları yokluğunda temeli tekerlekli model için uyarım ortalama karesinde ortalama kare tepki bağımlılığı şekil-2.4.8' de gösterilmiştir. Ayrıca testler iki kez yapılmıştır.



Şekil-2.4.8 Sürtünme Elemanlarının Yokluğunda Temeli Tekerlekli Modelin Tepkisinin Ortalama Kareyle Olan Bağlılığı

Solid eğri daha yüksek uyarım seviyeleri ile başlayan test serilerine aitken, noktalı eğri uyarım seviyeleri artarken elde edilmiştir. Temel tekerleği ile ilişki; uyarım seviyesi $E[\dot{U}^2]=1200'$ e kadar lineerken 1200' ün üstünde sistemin doğal non lineeritesi ve temel sürtünmesi nedeniyle non lineerdir. Thomson modeli ile temel sürtünme ortadan kaldırılır ve orjinden lineer ilişki gözlemlenir. Uyarım seviyesi $E[\dot{U}^2]=800$ olana kadar lineer kalır. Thomson modelinde tekrarlanma korunurken şekil-2.4.8' de temel sürtünmesi nedeniyle tekrarlanmanın azaldığı görülebilir.



Şekil-2.4.9 Sürtünme Elemanları Var İken Temeli Tekerlekli Modelin Tepkisinin Ortalama Kareyle Olan Bağlılığı

Sürtünme elemanlarının varlığında temeli tekerlekli model için aynı testler şekil-2.4.9' da gösterilmiştir. Şekil-2.4.8 ve 2.4.9' un karşılaştırılması ile aynı uyarım seviyesinde sürtünme elemanları sebebiyle tepkinin ortalama karesinde belirgin düşme gözlemlenebilir. Bununla birlikte kayma tepkisi temel sürtünmenin belirgin olduğu temeli tekerlekli modelde 1,1' e yakın RMS' de dik aksın kesişmesi ile elde edilen verinin ekstra işaretlenmesi ile açıklanabilir. Noktalı eğim solid eğimden daha düşüktür. Bunun anlamı noktalı eğim ile birlikte olan sürtünme kuvvetinin solid eğim ile olandan daha yüksek olmasıdır. Bunun sebebi de yüzeyden kaynaklanan temas bölgesinin büyüklüğüdür. Bu kayma temel sürtünmenin ihmal edilebilir olduğu Thomson modelinde ihmal edilebilir. Bu, temel yalıtımı ile binanın dizaynı için çok önemli bir sonuçtur.

2.4.8. Analitik ve Sayısal Sonuçlar ile Karşılaştırma

Bu bölüm sabit sürtünme kuvvetlerinin varlığında ve yokluğunda iki modelin analitik ve sayısal tepki istatistiklerini incelemiştir. Genel olarak model dinamikleri hareket denklemleri tanımlanabilir.

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + KX = -M\ddot{U}(t) - (M + M_b)\mu g \operatorname{sgn}(\dot{X}) \quad (2.4.1a)$$

M model üst kütle M_b temel kütle, X üst kütleden elastik sapma, C sistem lineer sönüm katsayısı, K üst kütle taşıyan dört elastik malzemenin sertliği, μ sürtünme katsayısı ki bu analitik modelde sabit olarak düşünülmüştür. g ise yer çekimi ivmesidir. Alternatif olarak ;

$$\ddot{X} + 2\xi\omega\dot{X} = \omega^2 X + \bar{\mu}g \operatorname{sgn}(\dot{X}) = -\ddot{U}(t) \quad (2.4.1b)$$

şeklinde de yazılabilir. Z sönüm faktörüdür. ω sistem doğal frekansdır ve

$$\bar{\mu} = \mu(1 + M_b / M) \text{ dir.}$$

Denklem 2.4.1, sürtünme terimi $\mu g \operatorname{sgn}(X)$ nedeniyle nonlineer farklı bir denklemdir. Signum fonksiyonu düzgün fonksiyon

$$\operatorname{sgn}(\dot{X}) \cong \tilde{a}\dot{X} + \tilde{b}\dot{X}^3 \quad (2.4.2)$$

açıklaması ile değiştirilebilir. Burada \tilde{a} ve \tilde{b} katsayıları ortalama kare hatasının minimize edilmesiyle sağlanır.

$$E[e^2] = \int_{-\infty}^{\infty} [\operatorname{sgn}(\dot{X}) - \tilde{a}\dot{X} - \tilde{b}\dot{X}^3]^2 p(\dot{X}) d\dot{X} \quad (2.4.3)$$

Üst hatayı minimize eden durumlar

$$\frac{\partial E[e^2]}{\partial \tilde{a}} = 0 \quad \frac{\partial E[e^2]}{\partial \tilde{b}} = 0 \quad (2.4.4)$$

Bu durumları iyileştiren işlem a ve b için sırasıyla takip eden değerleri ortaya çıkarır.

$$\tilde{a} = \frac{E[\dot{X}^6]E[\dot{X} \operatorname{sgn}(\dot{X})] - E[\dot{X}^4]E[\dot{X}^3 \operatorname{sgn}(\dot{X})]}{E[\dot{X}^2]E[\dot{X}^6] - (E[\dot{X}^4])^2} \quad (2.4.4a)$$

$$\tilde{b} = \frac{E[\dot{X}^4]E[\dot{X}^3 \operatorname{sgn}(\dot{X})] - E[\dot{X}^4]E[\dot{X}^3 \operatorname{sgn}(\dot{X})]}{E[\dot{X}^2]E[\dot{X}^6] - (E[\dot{X}^4])^2} \quad (2.2.4b)$$

Eğer $b=0$ ise hareket sistem denklemi lineerdir ve tepki istatistikleri kapalı formda sağlanabilir. Non lineeriteyi düşünerek hareket denklemi aşağıdaki formu alır.

$$\ddot{X} + (2\xi\omega + \bar{\mu}g\tilde{a})\dot{X} + \omega^2 X + \bar{\mu}g\tilde{b}\dot{X}^3 = \frac{dB(t)}{dt} \quad (2.4.5)$$

Burada $-\dot{U}(t)$ Brownion hareketi $B(t)$ den türetilen formül zamanı olarak yazılmıştır. Signum fonksiyonlarının ilişkisini içeren momentlerin değerlendirilmesi özel dikkat ister. Bu momentler, tepki momentlerine dayanan tepki muhtemel yoğunluk fonksiyonuna ön veri ister. Bununla birlikte muhtemel yoğunluk fonksiyonu kapalı tekniğe dayanarak değerlendirilecektir.

$$E[\dot{X}^n \text{sgn}(\dot{X})] = \int_{-\infty}^{\infty} \dot{X}^n \text{sgn}(\dot{X}) p(\dot{X}) d\dot{X} \quad (2.4.6)$$

$p(\dot{X})$ bu Gram-Cherlier yayılımından verilir.

$$P(\dot{X}) = \sum_{j=1}^{\infty} \frac{1}{j!} C_j \frac{dp_0(\dot{X})}{d\dot{X}^j} \quad (2.4.7)$$

C_j [R.A.İbrahim, 1997]'den liste edilen sabitlerdir. ve $p_0(X)$ gaussian muhtemel yoğunluk fonksiyonudur. Parçalarla tamamlanarak verilen

$$E[\dot{X}^n \text{sgn}(\dot{X})] = \lambda_0^n + \sum_{j=4,6}^j \frac{1}{j!} \lambda_j^n C_j \quad (2.4.8)$$

Burada ;

$$\lambda_j^n = \begin{cases} \sqrt{\frac{2}{\pi}} [n(n-1)\dots(n-j+1)][2 \cdot 4 \dots (n-j-1)] \\ \sigma_X^{(n-j)} & n, n > j \text{ ise} \\ (-1)^{(j-n-1)/2} \sqrt{\frac{2}{\pi}} [n(n-1)\dots 2][1 \cdot 3 \dots (j-n-1)] \\ \sigma_X^{(n-j)} & 0 \leq (j-n) \text{ ise} \\ 0 \end{cases} \quad (2.4.9)$$

dördüncü sıra kapalı bir projeyi uygulayarak signum fonksiyonunu içeren momentler değerlendirilebilir.

$$E[\dot{X} \operatorname{sgn}(\dot{X})] = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left[\sigma_{\dot{X}} - \frac{1}{24} \frac{E[\dot{X}^4] - 3E^2[\dot{X}^2]}{\sigma_{\dot{X}}^3} \right] \quad (2.4.10)$$

$$E[\dot{X}^3 \operatorname{sgn}(\dot{X})] = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left[2\sigma_{\dot{X}}^3 + \frac{1}{4} \frac{E[\dot{X}^4] - 3E^2[\dot{X}^2]}{\sigma_{\dot{X}}} \right]$$

katsayılar a ve b

$$\tilde{a} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{\{270E^4[\dot{X}^2] - 135E^2[\dot{X}^2]E[\dot{X}^4] + 7E[\dot{X}^4]\}}{8\sigma_{\dot{X}}\{30E^4[\dot{X}^2] - 15E^2[\dot{X}^2]E[\dot{X}^4] + E[\dot{X}^4]\}} \quad (2.4.11)$$

$$\tilde{b} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{\{30E^4[\dot{X}^2] - 21E^2[\dot{X}^2]E[\dot{X}^4] + E[\dot{X}^4]\}}{24\sigma_{\dot{X}}\{30E^4[\dot{X}^2] - 15E^2[\dot{X}^2]E[\dot{X}^4] + E^2[\dot{X}^4]\}}$$

'den alınır.

Farz edilmektedir ki; temel ivme $\ddot{U}(t)$, düz güç spektrum yoğunluğu (S_0) ile (ki bunun frekans bandı sistemin doğal frekansından daha büyüktür) bir gaussian rasgele değişen işlemidir. Bu demektir ki, denklem 2.4.1' in tepkisi Markov işlemi ile tanımlanabilir ve Ito stokastik farklı denklemlerinin terimlerinde yazılabilir.

$$\begin{aligned} dX &= \dot{X}dt \\ d\dot{X} &= -\left\{ \omega^2 X + 2\xi\omega\dot{X} + \bar{\mu}g(\tilde{a}\dot{X} + \tilde{b}\dot{X}^3) \right\}dt + dB(t) \end{aligned} \quad (2.4.12)$$

Ito stokastik hesabı yada Fokker-Planck denklemini kullanarak, birleşik tepki momentlerinin ilk-sıra genel farklı denklemi yapılabilir. Bu denklem, dördüncü sıra Non gaussian kapalılığı kullanılarak kapatılabilen, sonsuz birleştirilen denklemlerin bir setini oluşturur. Monte Carlo denklemleri ile birlikte kapalı proje sonuçları deneysel olarak ölçülerle karşılaştırılır. Tablo-2.4.1, üç yaklaşımdan sağlanan tepkinin ortalama karesi arasında bir kıyaslama gösterir.

Tablo-2.4.1 Tepkinin Ortalama Karesi

S_0	$E[X^2]$			
	Ölçülmüş Değerler		Hesaplanmış Değerler	
	Thomson Modeli	Sürtünmeli Durum	Lineer Teori	Monte Carlo
168	114	79-05	113-93	78-57
560	358	289	379-79	276-23

Görülmüştür ki; sürtünmesiz Thomson temeli ile ölçülmüş sistem tepkisi ve lineer teori iyi kabul görmüştür. Bununla birlikte, uyarım seviyesi arttığında, ölçülen tepki tahmini lineer teoriden daha küçüktür. Dikkat edilmelidir ki; sistem hareketi arttığında, sistemin doğal non lineeritesi (örneğin eylemsizlik non lineeritesi) belirgin hale gelir. Temelde sürtünmenin varlığında, tahmin edilen ve ölçülen tepkinin ortalama karesi arasındaki fark oldukça küçüktür ve sürtünme, sistemin tepkisinin ortalama karesini azaltmada bir söndürücü olarak etki eder. Küçük uyarım seviyesi için Monte Carlo simülasyonu, deneysel sonuçlarla mükemmel ve çok iyi uyumludur. Bununla birlikte, non gaussian kapalıyı, düşük uyarım seviyesinde daha az tepki gösterirken, yüksek uyarım seviyesinde daha fazla tepki gösterir.

Farklı temel yalıtımlarında, iki farklı, tek dereceli, bağımsız osilatörlerin tepki istatistiklerinin deneysel ölçümleri rasgele değişen temel ivme altında sağlanır. Temel düzenlemeleri, osilatör kütlelerinde uygulanan sürtünme varlığında ve yokluğunda test edilmiştir. İstatistiksel ölçümler; ortalama kareler, oto korelasyon fonksiyonları, güç spektrumu ve muhtemel yoğunluk fonksiyonlarını içerir. Asıl kütlede sürtünme elemanlarının yokluğunda; tepki, sistemin doğal frekansında yerleşmiş uç nokta ile dar bir bantta bulunmuştur. Ölçülen sonuçlar ve Monte Carlo simülasyonu ile tahmin edilenlerle aynı bulunmuştur. Bununla birlikte, sürtünme elemanlarının varlığında; özellikle tepki spektrumu, geniş bantlı rasgele değişen değerler almıştır. Uyarım seviyesinde tepki ortalama karelerinin bağımlılığı, düşük uyarım seviyelerinde doğrusallık gösterir ve daha yüksek uyarım seviyelerinde non lineer olur. Sürtünmenin varlığında, ilişki orijinden geçmez, sürtünme ile oluşan kaymayı gösterir.

Ölçülen tepki istatistik parametreleri, sürtünme ve doğal sistem non lineeritesini tanımlamak için kullanılabilir. Açıktır ki; deneysel model tepki istatistikleri non lineeritesi ve asıl kütleyle destekleyen dört kirisinin yatay azalmasına bağlı non lineer eylemsizlik vardır.

Bu modelin sürtünme elemanları, iki sistemin kurulması ile oluştuğu model ile etkileşen temas sürtünmesinin başka bir derecede bağımsızlığını oluşturur. Monte Carlo simülasyonu ile birlikte tepki analizi ve analitik modelleme otörler tarafından araştırılmaktadır. Bu araştırma, NSF grant INT-9311774 ile desteklenmiştir.

2.5. Sismik Yalıtım İçin Analitik İncelemeler

Bu bölümde, (UBC-97) ve (TDY-98) yönetmeliklerinin gerektirdiği koşullara göre sismik yalıtım ifade edilecektir. İlk olarak, 1998 Türkiye Deprem Yönetmeliğinde (TDY-98) sismik yükler için belirlenen koşullar özetlenecektir. İkinci olarak 1997 Uniform Building Code, (UBC-97)'ye göre tanımlamalar ve koşullar ifade edilecektir.

2.5.1. Analiz Metodunun Seçilmesi

Burada yapılan analizde kullanılan yöntemin neye dayanarak seçildiğinden kısaca bahsedilecektir.

2.5.1.1. Sağlam Zeminler

TDY-98 yönetmeliğinde yer alan Z1, Z2 ve Z3 türü zeminler, UBC-97 yönetmeliğinde yer alan S_A, S_B, S_C ve S_D türü zeminlere karşılık gelmektedir. "Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi" elastomerik izolatörler için aşağıdaki koşullar sağlandığı takdirde kullanılabilir.

- 1) Geçişli fay hattına olan mesafe 10 km' den fazlaysa
- 2) Kat yksekliti (H) 20 m' den az değilse, kat sayısı (N) 4' den az değilse
- 3) Tasarım aşaması depreminin, doğal hedef periyodu (yalıtımlı yapı için) yalıtımsız yapının periyodundan 3 kat büyükse ($T_D \geq 3T_{fix}$)
- 4) Maksimum tasarım aşaması depreminin hedeflenen doğal periyodu (yalıtımlı yapıda $T_M \leq 3$ sn ise

Bu şartlardan biri dahi sağlanamıyorsa "Mod Birleştirme Yöntemi" nin kullanılması yerinde olacaktır.

2.5.1.2. Zayıf Zeminler

TDY-98 yönetmeliğinde yer alan Z4 türü zemin , UBC-97 yönetmeliğinde yer alan S_E ve S_F türündeki zeminlere karşılık gelmektedir. Bu zemin türleri için “Zaman Tanım Alanında” analiz yapabilmek için koşul şudur. Geçişli fay hattına olan mesafe 10 km’ den uzak ise analiz yapılabilir. Ancak bu mesafe 10 km’ den yakın ise düzenli olarak zemin etüt çalışmaları yapmak gerekmektedir. Bu çalışmalarda yapılması gerekenler aşağıdaki gibidir.

1) Arazide (yerinde) ve laboratuvar ortamında detaylı zemin incelemeleri yapılmalıdır.

2) Kaya tabakasının ile yüzeye olan mesafesi arasında sismik dalgaların yayılması gözlemlenerek analitik incelemeler yapılmalıdır.

3) Tahmin edilen dönüş periyodu (sismik dalgaların) ile birlikte maksimum deprem büyüklüğünün (magnetüt) olası değeri belirlenmelidir.

4) İncelenen zeminin maksimum yer ivmesine uygun olarak üretilen yapay deprem kayıtları oluşturularak, bu kayıtlar altında zeminin doğal periyodu ve enerji zarfları elde edilmelidir.

2.5.2. 1998 Türkiye Deprem Yönetmeliğine Göre (TDY-98) Sismik Yüklerin Belirlenmesi

Toplam taban kesme kuvveti V_t , tüm binada uygun deprem doğrultusunda ortaya çıkar, TDY-98 bölüm 6.7’de şöyle tanımlanmaktadır.

$$V_t = \frac{A_0 IS}{R} W \quad (2.5.1)$$

Burada;

W = Yapısal ve yapısal olmayan elemanların örneğin : kirişler, kolonlar, döşemeler, duvarlar v.b. dahil edilerek elde edilen yapının toplam ağırlığıdır.

A_0 = Efektif (etkin) ivme değeri (Tablo 6.2-TDY98)

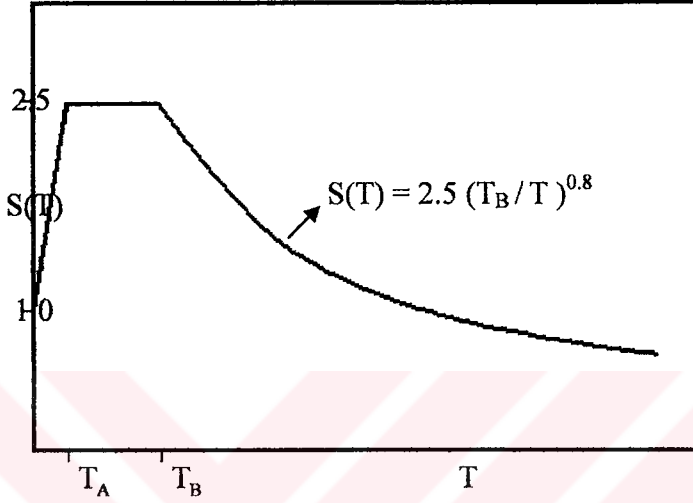
I = Yapı önem katsayısı (Tablo 6.3)

S = Spektrum katsayısı (6.2 Denklemi)

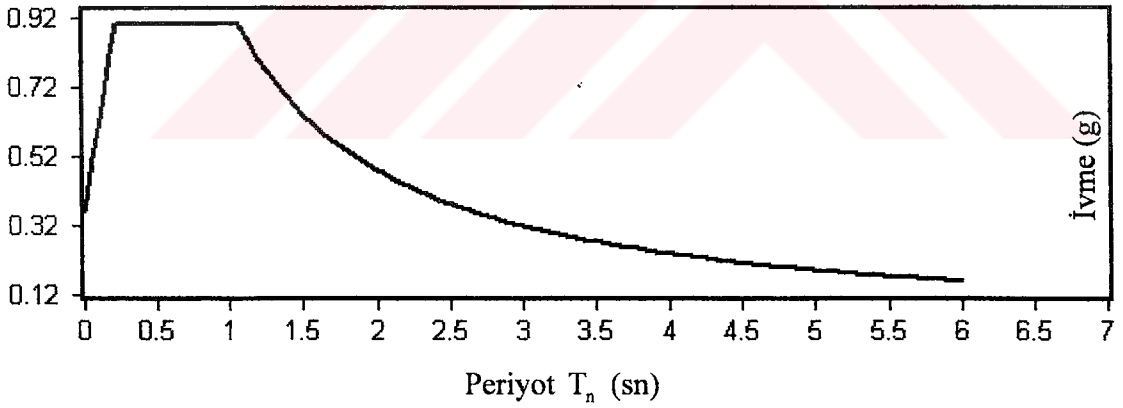
R = Sismik yük azaltma katsayısı (Tablo 6.5)

Sismik yükler her kat için aşağıdaki şekilde belirlenir;

$$F_i = \left(\frac{W_i H_i}{\sum W_i H_i} \right) V_t \quad (2.5.2)$$



Şekil-2.5.1 TDY-98 Yönetmeliği Tasarım Spektrumu



Şekil-2.5.2 UBC-97 Yönetmeliği Tasarım Spektrumu

Yukarıda gösterilmiş olan UBC-97 yönetmeliği tasarım spektrumu;

S_E Zemin türü, Sismik bölge $Z=4$, Sismik kaynak tipi A ve faydan 15 km mesafe için elde edilmiş olan spektrumdur.

2.5.3. UBC-97 Yönetmeliğinin Terminolojik Tanımlanması

UBC-97 yönetmeliğinde tanımlanan ve sismik izolasyon için sıklıkla kullanılan terimlerin açıklamaları aşağıdaki paragrafta sunulmuştur;

2.5.3.1. Tasarım-Esas Depremi (DBE)

Yer hareketinin 50 yıl içinde aşamalı olarak yaklaşık %10 artırılması öngörülmektedir.(Deprem hareketinin dönüş periyodu 475 yıldır.)

2.5.3.2. Maksimum Mümkün Deprem (MCE)

Maksimum yer hareketinin yapının yerinde tahmin edildiği durumdur.Yer hareketinin 100 yıl içinde aşamalı olarak yaklaşık %10 artırılması öngörülmektedir.

2.5.3.3. Efektif (Etkin) Sönüm

Yalıtımlı sistemin periyodik enerji dağılımı sürecindeki uygun viskoz sönüm değeridir.

2.5.3.4. Efektif (Etkin) Rijitlik

Yanal yerdeğiştirmeye uygun olarak ,yalıtımlı sistemde dağıtılan yanal kuvvetin değeridir.

2.5.3.5. Tasarım Yerdeğiştirmesi

Tasarım esaslı ,deprem etkisinden oluşan yanal yerdeğiştirmedir. Asıl ve ek olarak ortaya çıkan burulmalardan oluşan yerdeğiştirmeleri içermez, yalıtımlı sistemin Tasarımı için gereklidir.

2.5.3.6. Maksimum Yerdeğiştirme

Maksimum-mümkün deprem yanal yerdeğiştirmesidir. Asıl ve ek olarak ortaya çıkan burulmalardan oluşan yerdeğiştirmeleri içerir, yalıtımlı sistemin Tasarımı için gereklidir.

2.5.3.7. Toplam Tasarım Yerdeğiştirmesi

Tasarım esaslı ,deprem etkisinden oluşan yanal yerdeğiştirmedir, Asıl ve ek olarak ortaya çıkan burulmalardan oluşan yerdeğiştirmeleri içerir, yalıtımlı sistemin tasarımı için gereklidir.

2.5.3.8. Toplam Maksimum Yerdeğiştirme

Maksimum-mümkün deprem yanal yerdeğiştirmesidir. Asıl ve ek olarak ortaya çıkan burulmalardan oluşan yerdeğiştirmeleri içerir, yalıtımlı sistemin stabilitesinin değerlendirilmesi, yapı ayrılmalarının tasarımı ve birim izolatör prototiplerinin düşey yükler altında testleri için gereklidir.

2.5.3.9. Tasarım Aşaması Periyodu (T_D)

Efektif (etkin) periyottur, birimi saniyedir, sismik yalıtımlı yapıda hesaplama yönündeki tasarım yerdeğiştirmesinden oluşur.

2.5.3.10. Maksimum-Mümkün Düzeltme Periyodu (T_M)

Efektif (etkin) periyottur, birimi saniyedir, sismik yalıtımlı yapıda hesaplama yönündeki maksimum yerdeğiştirmeden oluşur.

2.5.4. UBC-97 Yönetmeliğine Göre Yanal Yük Değerlerinin Tanımlanması

2.5.4.1. Sismik Bölge Katsayısının Belirlenmesi

Sismik bölge katsayısı Z , UBC-97 yönetmeliğinde 4.bölüm, tablo 16-I' da tanımlanmıştır. Sismik bölgeler UBC-97 yönetmeliği 4.bölüm, şekil 16-2' de tanımlanmıştır.

2.5.4.2. Yapının Bulunduğu Zeminin Profil Kategorisinin Belirlenmesi

Yapının bulunduğu zemin türüne göre UBC-97 yönetmeliği 4.bölüm, tablo 16-J' de tanımlanmıştır.

2.5.4.3. Sismik Kaynak Tipinin Belirlenmesi

Yapının bulunduğu zeminin özelliklerine göre sismik kaynak tipi UBC-97 yönetmeliği 4.bölüm, tablo 16-U' da tanımlanmıştır.

2.5.4.4. Kaynak Yakınlığı Katsayısı Belirlenmesi

Sismik kaynak yakınlığı katsayıları, N_a ve N_v , uygun sismik kaynağa göre UBC-97 yönetmeliği 4.bölüm, tablo 16-S ve tablo 16-T' de tanımlanmıştır.

2.5.4.5. Tasarım-Esas Depremi Titreşim Şiddetinin Hesaplanması

Z ve N_v katsayılarının çarpımından DBE titreşim şiddeti değeri belirlenir.

2.5.4.6. Maksimum-Mümkün Deprem Davranış Katsayısının Belirlenmesi

Tasarım-esas depremi titreşim şiddeti değeri kullanılarak maksimum-mümkün deprem davranış katsayısı (M_M)' in değeri UBC-97 yönetmeliği 4.bölüm, tablo A-16-D' den

alınır.

2.5.4.7. Sismik Katsayıların Belirlenmesi

Sismik katsayılar C_{VD} ve C_{AD} UBC-97 yönetmeliği 4.bölüm, tablo 16-R ve tablo 16-Q' dan alınır.

M_M, Z, N_a ve M_M, Z, N_v değerlerinin kendi aralarında çarpımından α ve α' değerleri elde edilir. Bu değerlere uygun C_{VM} ve C_{AM} değerleri UBC-97 yönetmeliği 4.bölüm, tablo A-16-F ve tablo A-16-G ' den alınır.

$$\alpha = M_M Z N_a \rightarrow C_{AM} = 1.1\alpha \quad (2.5.3)$$

$$\alpha' = M_M Z N_v \rightarrow C_{VM} = 1.6\alpha \quad (2.5.4)$$

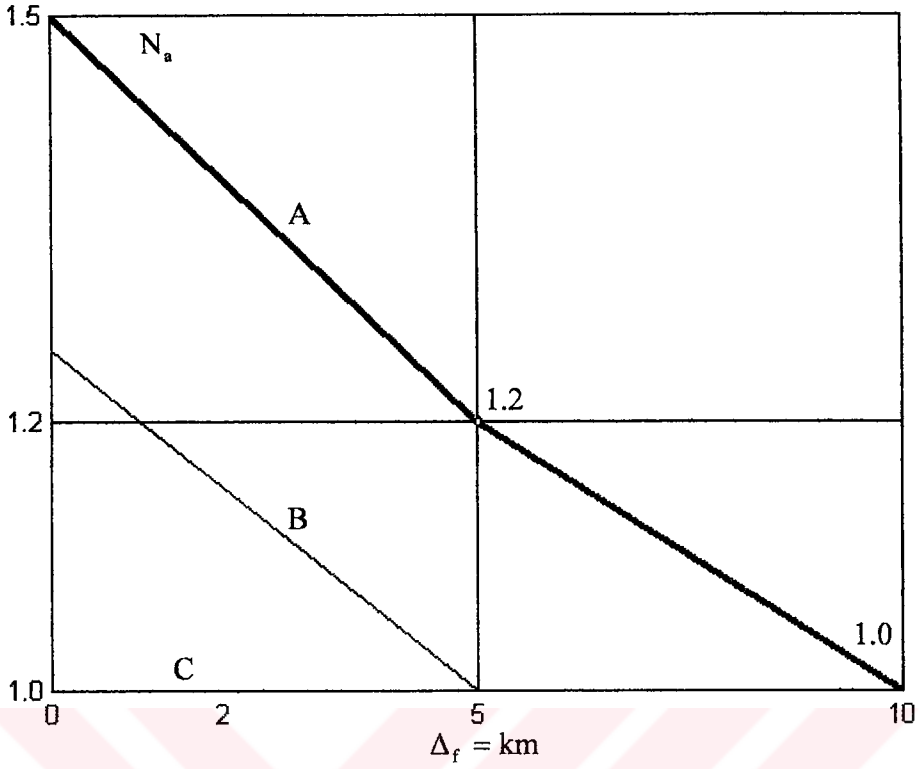
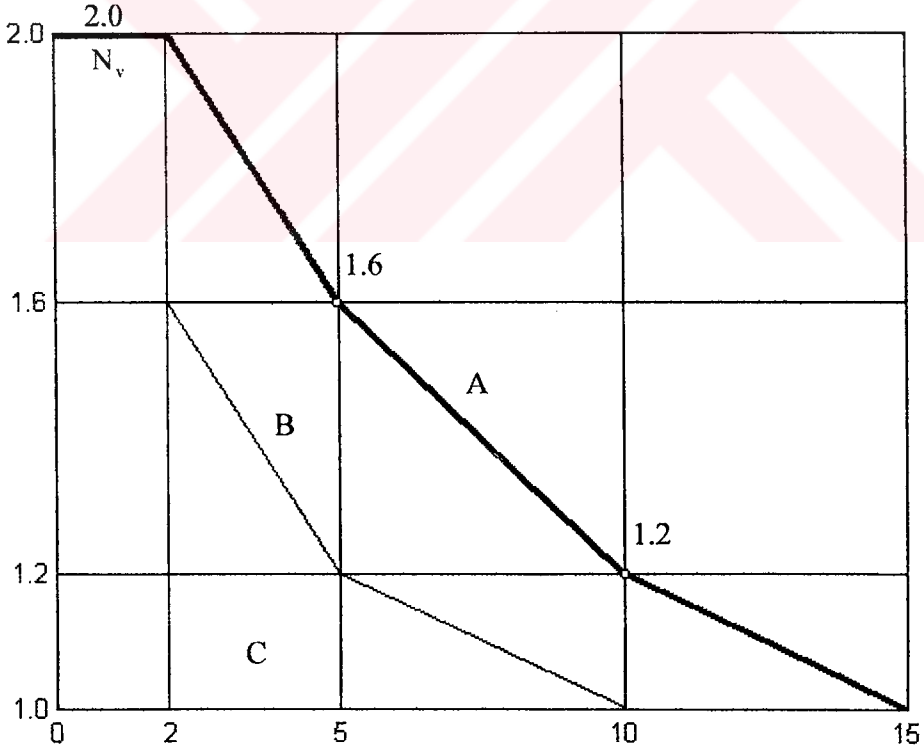
$$0.11C_a I W \leq V = \frac{C_v I}{RT} W \leq \frac{2.5C_a I}{R} W \quad (2.5.5)$$

2.5.4.8. Yalıtımlı Sistemin Efektif (Etkin) Sönüm Katsayısının Belirlenmesi

Yalıtımlı sistemin efektif (etkin) sönüm katsayısı β_{eff} , kullanılan pad (tampon)'in cinsine göre UBC-97 yönetmeliği 4.bölüm, formül 65-2' den alınır.

2.5.4.9. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısının Belirlenmesi

Taşıyıcı sisteme uygun olarak UBC-97 yönetmeliği 4.bölüm tablo A-16-E' den alınır.

Şekil-2.5.3 N_a KatsayılarıŞekil-2.5.4 N_v Katsayıları

Burada Δ_f = Faya olan mesafedir. (km)

Fay Tipi	Büyükük (Magnitüd=M)	Kayma Miktarı=SR (yıl)
Tip A	$M \geq 7$	$SR \geq 5$ mm
Tip B	$6.5 < M < 7$	$2 < SR < 5$ mm
Tip C	$M < 6.5$	$SR < 2$ mm

Tablo-2.5.1 Kaynak Yakınlığı Katsayıları

2.5.4.10. Sönüm Azaltma Katsayısının Belirlenmesi

Sönüm azaltma katsayısı B, UBC-97 yönetmeliği 4.bölüm, tablo A-16-E' den alınır.

2.5.5. Yalıtımlı Sistem İçin Hedeflenen Periyot Değerlerinin ve Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

Yalıtımlı sistemler için titreşim periyodunun esas değerinin 2.0 ve 3.0 sn olarak elde edilmesi istenen bir durumdur. T_D ve T_M sırasıyla 'tasarım aşaması' ve 'maksimum-mümkün deprem' periyotlarıdır. Elastisite modülü E, kayma modülü G, maksimum kayma gerilmesi γ_{max} değerleri seçilmiş olan pad (tampon)türüne göre belirlenir.

2.5.6. Minimum Yanal Rijitlik Değerinin Hesaplanması

Minimum efektif (etkin) rijitlik $k_{D,min}$, yatay hesaplama doğrultusunda tasarım yerdeğiştirmesinden yalıtımlı sistem için , UBC-97 yönetmeliği 4.bölüm, formül 58-2' den hesaplanır.

$$k_{D,min} = \frac{4\pi^2 W}{T_D^2 g} \quad (2.5.6)$$

Minimum efektif (etkin) rijitlik $k_{M,min}$, yatay hesaplama doğrultusunda tasarım yerdeğiştirmesinden yalıtımlı sistem için , UBC-97 yönetmeliği 4.bölüm, formül 58-4' den hesaplanır.

$$k_{M,min} = \frac{4\pi^2 W}{T_M^2 g} \quad (2.5.7)$$

Burada W; yapının toplam ağırlılığının her izolatöre dağıtılmasıyla oluşan bir izolatöre düşen ağırlık miktarıdır.

2.5.7. Minimum Yerdeğiştirmelerin Hesabı

2.5.7.1. UBC-97 Yönetmeliğine Göre Hesaplama

Tasarım yerdeğiştirmesi $d_{D,min}$, yalıtımlı sistemin rijitlik merkezinde hesaplama doğrultusunda UBC-97 yönetmeliği 4.bölüm, formül 58-1' den hesaplanır.

$$d_{D,min} = \frac{g C_{VD} T_D}{B(4\pi^2)} \quad (2.5.8)$$

Maksimum yerdeğiştirme $d_{M,min}$, yalıtımlı sistemin uygun yükleme yönündeki rijitlik merkezinde oluşur, UBC-97 yönetmeliği 4.bölüm, formül 58-3' den hesaplanır.

$$d_{M,min} = \frac{g C_{VM} T_M}{B(4\pi^2)} \quad (2.5.9)$$

2.5.7.2. TDY-98 Yönetmeliğine Göre Hesaplama

Yürürlükte olan 1998 Türkiye Deprem Yönetmeliğinde (TDY-98) sismik izolatörlerin Tasarımı ve hesap yöntemleri ile ilgili içerik bulunmamaktadır. Ancak yanal

yerdeğiştirme ve minimum yanal yerdeğiştirmelerin hesaplanması için UBC-97 yönetmeliğine paralel koşullar ve formüller bulunmaktadır.

$$d_D = \frac{V_t}{k} \geq d_{\min} \quad (2.5.10)$$

$$d_{\min} \geq A_0 (0.10R) \frac{gT^2}{4\pi^2} \quad (2.5.11)$$

spektrum katsayıları ve elemanların rijitlik değeri k,

$$S = 2.5 \left(\frac{T_b}{T} \right)^{0.8} \quad (T_b < T)$$

$$k = \frac{4\pi^2}{T^2} \frac{W}{g}$$

(2.5.9)' dan d_D şu şekilde alınır.

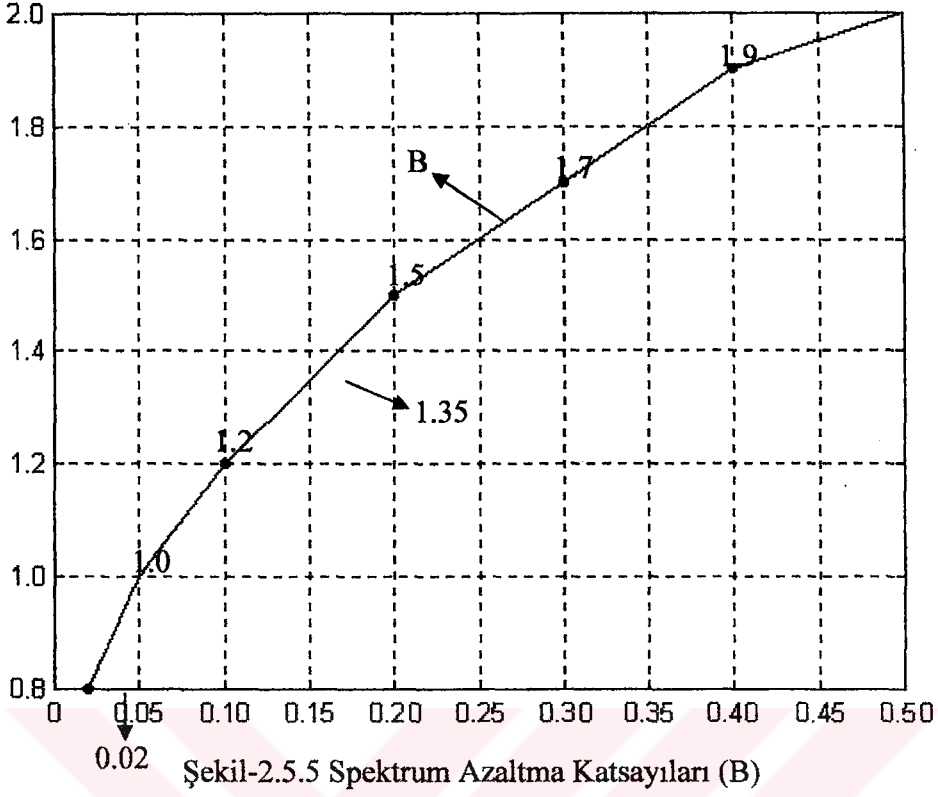
$$d_D = \frac{A_0 S}{\frac{4\pi^2}{T^2}} = A_0 (2.5) \left(\frac{T_b}{T} \right)^{0.8} \frac{gT^2}{4\pi^2}$$

$$d_D = 0.063 A_0 g T_b^{0.8} T^{1.2}$$

Sonuçta, spektrum azaltma katsayısı B, göz önüne alınırsa d_D ve d_{\min} şöyle ifade edilir.

$$d_D = \frac{0.063}{B} A_0 g T_b^{0.8} T^{1.2} \geq d_{\min} \quad (2.5.12)$$

$$d_{\min} = \frac{0.0025}{B} A_0 g R T^2 \quad (2.5.13)$$



2.5.8. İzolatör Disk Çapının Belirlenmesi

Pad (tampon) yüksekliği t ,

$$d_D = t\gamma_{\max} \rightarrow t = \frac{d_D}{\gamma_{\max}} \quad (2.5.14)$$

Pad (tampon)'in kesit alanı A ,

$$K_d = \frac{AG}{t} \rightarrow A = \frac{k_D t}{G} \quad (2.5.15)$$

Sonuçta, pad (tampon)'in çapı D ,

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (2.5.16)$$

2.5.9. Yalıtımlı Yapı İçin Taban Kesme Kuvvetinin Hesaplanması

Yalıtımlı yapıda, izolatörlü bir çerçevenin toplam rijitliği ile efektif (etkin) periyot hesaplanır ve hedeflenen periyot ile karşılaştırılır.

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{\sum k_D g}}$$

Yapısal elemanlar veya yalıtımlı sistemin altında oluşan taban kesme kuvveti, UBC-97 yönetmeliği 4.bölüm, formül 58-7' den hesaplanır.

$$V_D = (\sum k_D) d_D \quad (2.5.17)$$

Yalıtımlı sistem elemanlarının üstünde oluşan taban kesme kuvveti, UBC-97 yönetmeliği 4.bölüm, formül 58-8' den hesaplanır.

$$V_{S,D} = (\sum k_D) d_D (B/R_i) = V_D (B/R_i) \quad (2.5.18)$$

UBC-97 yönetmeliğine göre yalıtımsız durumdaki yapı için yanal sismik kuvvetler aynı ağırlık değeri W için yalıtımlı sistemdeki periyot T_D değeriyle aynı şekilde hesaplanır.

$$V_{\text{fixed}} = \frac{C_v I}{RT_D} W \geq 0.11 C_a I W \quad (2.5.19)$$

UBC-97 yönetmeliği 4.bölüm, 1658.4.3 koşuluna göre $V_{S,D}$ ' nin değeri V_{fixed} değerinden küçük olmamalıdır ve tamamıyla yalıtımlı sistem 1.5 katsayısı ile değerlendirildiğinde alınan değeri de aşmamalıdır.

2.5.10. Burulmadan Oluşan Toplam Yerdeğiştirmenin Hesaplanması

Toplam yerdeğiştirme değeri . UBC-97 yönetmeliği 4.bölüm, formül 58-5' den hesaplanır.

$$d_{\text{total}} = d_D \left(1 + \frac{12xe}{b^2 + d^2} \right) \quad (2.5.20)$$

$$x = e + d/2$$

$$x = X - e_x \quad (2.5.21)$$

Burada; e, geçici eksentrisite, b ve d yapının boyutlarıdır. Buradaki e ve d değerleri deprem doğrultusuna dik olarak alınır. UBC-97 yönetmeliği 4.bölüm, 1658.3.5 koşuluna göre, d_{total} değeri d_D değerinin 1.1 katından küçük olamaz.

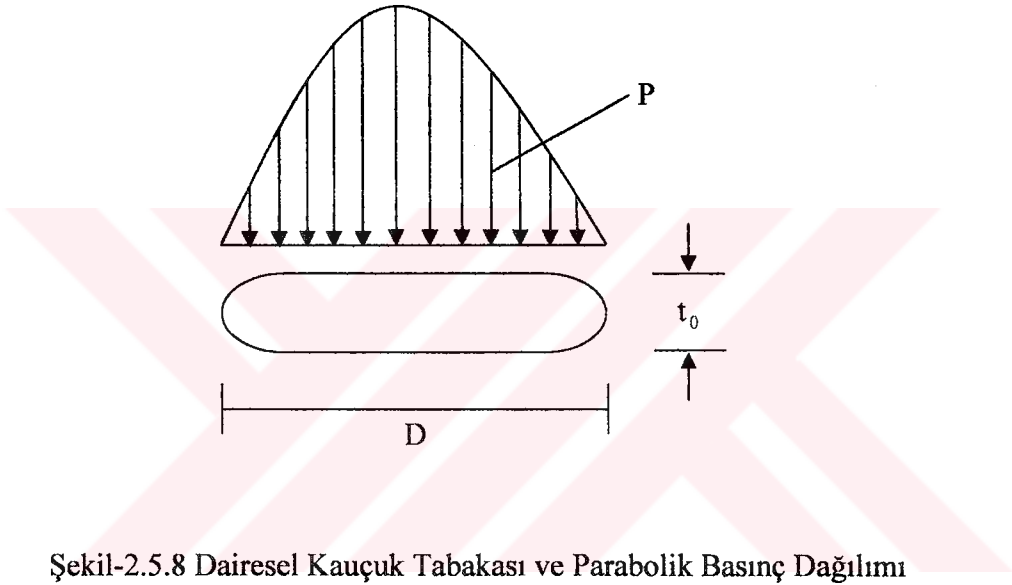
$$e_x = e_r \mp 0.05d \quad (2.5.22)$$

$$e_r = \frac{\sum X_i k_{yi}}{\sum k_{yi}} \quad (2.5.23)$$

$$\frac{D}{80} \leq t_0 \leq \frac{D}{40} \quad (2.5.24)$$

$$S = \frac{\text{Disk Alanı}}{\text{Kauçuk Alanı}} = \frac{\pi D^2 / 4}{\pi D t_0} = \frac{D}{4 t_0} \quad (2.5.25)$$

2.5.12. Düşey Titreşim Periyodunun Hesaplanması



Şekil-2.5.8 Dairesel Kauçuk Tabakası ve Parabolik Basınç Dağılımı

Tüm pad (tampon) için düşey rijitlik, k_ϵ ;

$$k_\epsilon = \frac{AE_c}{t} \quad (2.5.26)$$

Burada t pad (tampon) yüksekliğini belirtmektedir. Düşey yerdeğiştirme, Δt ;

$$\Delta t = \frac{Wt}{AE_c} = \frac{W}{k_\epsilon} \quad (2.5.27)$$

Eğilmeden oluşan düşey rijitlik ;

$$k_{\gamma} = \frac{W}{\Delta t} = 6S^2 \frac{AG}{t} \quad (2.5.28)$$

DüŖey yönde basıncın efektif (etkin) modülü:

$$\frac{1}{k_v} = \frac{1}{k_{\varepsilon}} + \frac{1}{k_{\gamma}} \quad (2.5.29)$$

Burada;

k_{ε} = Basıncıtan oluŖan düŖey rijitlik = $W / \Delta t$

k_{γ} = Kayma gerilmesinden oluŖan düŖey rijitlik $\gamma_v = AE/t$

E_c = Kompozit basınc modülü

$$E_{\text{eff},v} = \frac{6GS^2 E_c}{6GS^2 + E_c} \quad (2.5.30)$$

Eğilmeden oluŖan düŖey rijitlik;

$$k_{\gamma} = 6S^2 \frac{AG}{t}$$

Eğilmeden oluŖan düŖey periyot ;

$$T_v = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gk_{\gamma}}} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g \frac{6S^2 AG}{t}}}$$

Yatay rijitlik ;

$$k_h = \frac{AG}{t}$$

Yatay periyot ;

$$T_h = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gk_h}} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g \frac{AG}{t}}}$$

Buradan ,

$$\frac{T_h^2}{T_v^2} 6S^2 \rightarrow \frac{T_h}{T_v} = \sqrt{6S}$$

Sonuçta, düşey titreşim periyodu T_v ;

$$T_v = \frac{T_h}{\sqrt{6S}} \quad (2.5.31)$$

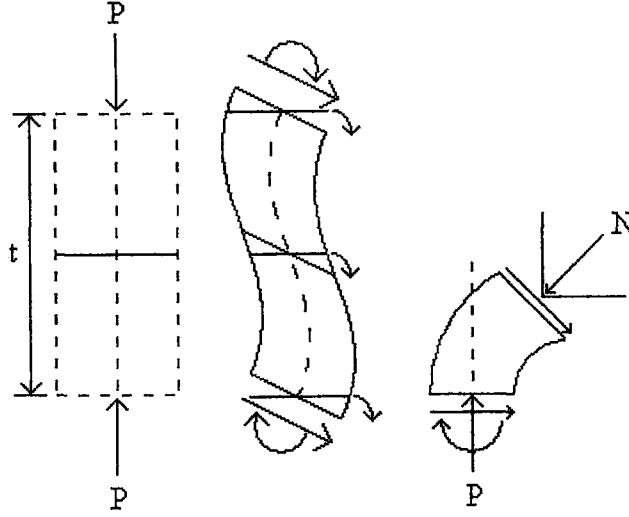
2.5.13. Kayma Gerilmesi ve Düşey Yük Değerlerinin Hesaplanması

2.5.13.1. Kayma Gerilmesi Hesabı

Düşey yüklerden oluşan kayma gerilmesi , γ_v ' nin bulunması ;

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta t}{t_0} \quad (2.5.32)$$

$$\gamma_v = 6S\varepsilon_z \quad (2.5.33)$$



Şekil-2.5.9 İzolatörde Düşey Yüklerden Oluşan Kayma Gerilmelerinin Gösterimi

Düşey yüklerden oluşan kayma gerilmesi γ_v ' nin bulunması için esas alınan sistemin şekliyle yanal yüklerden oluşan kayma gerilmesi, γ_s ' in bulunması ;

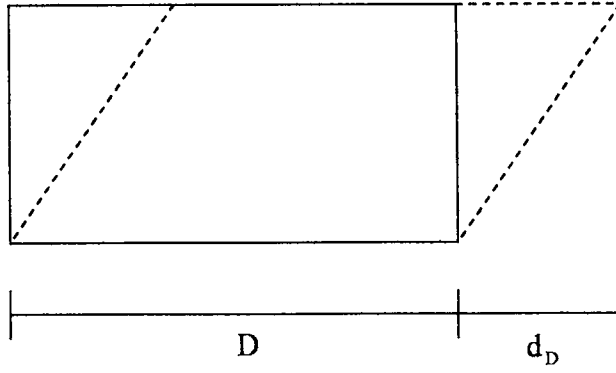
$$\gamma_s = \frac{\tau}{G} = \frac{V_D}{AG} = \frac{k_D d_D}{AG}$$

$$\gamma_{\max} = \gamma_s + \gamma_v \quad (2.5.34)$$

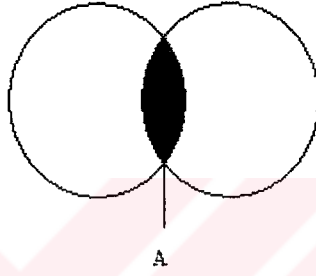
2.5.13.2. Ortak Alan Hesaplanması

İzolatörün ortak alanı A' nün hesaplanması ;

$$A' = A \left[1 - \frac{2}{\pi} (\theta + \sin \theta \cdot \cos \theta) \right] \quad (2.5.35)$$



$$\sin \theta = d_D / D$$



Şekil-2.5.10 Kayma Yerdeğiştirmesi ve Ortak Alan

2.5.13.3. Maksimum Düşey Yükün Hesaplanması

Maksimum düşey yük tekrar hesaplanır;

$$W = A' GS \gamma_v \quad (2.5.36)$$

2.5.13.4. Burulma Riskinin Hesabı

Burulma riski için kritik kuvvet P_{cr} hesaplanır;

$$P_{cr} = \sqrt{\frac{AG\pi^2 E_{eff,v} I}{3t^2}} \quad (2.5.37)$$

$$I = \frac{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^4}{4} \quad (2.5.38)$$

2.5.14. İzolatörün Kurşun Kısımının Tasarımı

2.5.14.1. Kurşun Kısımın Çapının Belirlenmesi

Kurşun kısmın çapı ve alanı şöyle belirlenir;

$$d_1 < \frac{t}{1.5}; \quad A_{\text{lead}} = \frac{\pi d_1^2}{4} \quad (2.5.39)$$

2.5.14.2. Akma Sınırında Kesme Kuvveti Hesabı

Akma kuvveti Q_y 'nin yaklaşık ilk değeri şöyle belirlenir;

$$A_{\text{lead}} = \tau_y A_{\text{lead}} \quad (2.5.40)$$

Q_y 'nin belirlenmesinde kullanılan başka bir seçenek şöyledir;

$$A_{\text{loop}} \cong 4Q_y (d_D - d_y)$$

Burada d_y 'yi ihmal edebiliriz;

$$A_{\text{loop}} \cong 4Q_y d_D$$

Akma sınırındaki kesme kuvveti;

$$Q_y \cong \frac{A_{\text{loop}}}{4d_D} \quad (2.5.41)$$

Döngü alanı;

$$A_{\text{loop}} = \beta [2\pi k_D d_D^2] \quad (2.5.42)$$

ve β 'nin değeri bulunur;

$$\beta = \frac{A_{\text{loop}}}{2\pi k_D d_D^2} = 0.15$$

2.5.14.3. Kesme Kuvvetine Karşı İzolatör Çapının Kontrol Edilmesi

İzolatörün kauçuk kısmının gerilmesi V_D ;

$$V_D = V_{\text{lead}} + V_{\text{rubber}} = Q_y + k_2(d_D - d_y)$$

Kauçuk kısmın elasto-plastik rijitliği k_2 ;

$$k_2 = k_{\text{rubber}} = k_{\text{eff}} - \frac{Q_y}{d_D} \quad (2.5.43)$$

$$k_1 \cong 10k_2$$

$$d_y = \frac{Q_y}{k_1}$$

Kauçuk kısmın gerilmesi belirlenir;

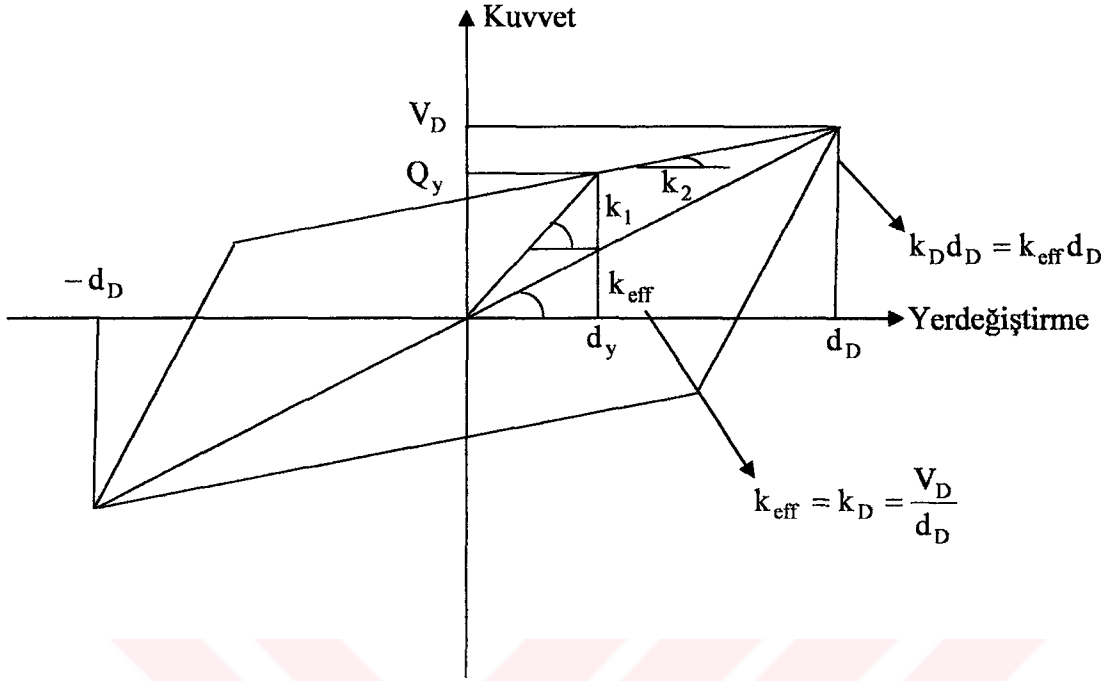
$$V_D = Q_y \left(1 - \frac{k_2}{k_1} \right) + k_2 d_D \quad (2.5.44)$$

Sonra, kurşun kısmın alanı tekrar hesaplanır (2.5.35);

$$A_{\text{lead}} = \frac{Q_y}{\tau_y}$$

ve hesaplanan kurşun kısmın çapı kontrol edilir.

$$d_1 = \sqrt{\frac{4A_{\text{lead}}}{\pi}}$$



Şekil-2.5.11 Temel Histerez Döngü Parametreleri

Tablo-2.5.2 Sismik Katsayı C_a

Zemin Profili Tipi	Sismik Bölge Faktörü, Z				
	Z=0.075	Z=0.15	Z=0.2	Z=0.3	Z=0.4
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	Not 1' e bakınız				

Not 1: S_F zemin türü için, sismik katsayılar yerinde dinamik tepki analizi ve zemine özgü geoteknik incelemeler sonucu belirlenir.

Tablo-2.5.3 Sismik Katsayı C_v

Zemin Profili Tipi	Sismik Bölge Faktörü, Z				
	Z=0.075	Z=0.15	Z=0.2	Z=0.3	Z=0.4
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	Not 1' e bakınız				

Not 1: S_F zemin türü için, sismik katsayılar yerinde dinamik tepki analizi ve zemine özgü geoteknik incelemeler sonucu belirlenir.

Tablo-2.5.4 Maksimum-Mümkün Deprem Tepki Katsayısı, M_M

Tasarım Esas Depremi ZN _v	Maksimum-Mümkün Deprem Tepki Katsayısı, M_M
0.075	2.67
0.15	2.0
0.20	1.75
0.30	1.50
0.40	1.25
≥ 0.50	1.20

Tablo-2.5.5 Sismik Katsayı C_{AM}

Maksimum-Mümkün Deprem Sarsma Şiddeti $M_M ZN_a$					
Zemin Profili Tipi	$M_M ZN_a$ (0.075)	$M_M ZN_a$ (0.15)	$M_M ZN_a$ (0.2)	$M_M ZN_a$ (0.3)	$M_M ZN_a$ (0.4)
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	0.24	0.33	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	Not 2' ye bakınız				

Not 2: S_F zemin türü için, sismik katsayılar yerinde dinamik tepki analizi ve zemine özgü geoteknik incelemeler sonucu belirlenir.

Tablo-2.5.6 Sismik Katsayı C_{vM}

Maksimum-Mümkün Deprem Sarsma Şiddeti $M_M ZN_v$					
Zemin Profili Tipi	$M_M ZN_a$ (0.075)	$M_M ZN_a$ (0.15)	$M_M ZN_a$ (0.2)	$M_M ZN_a$ (0.3)	$M_M ZN_a$ (0.4)
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	0.13	0.25	0.32	0.45	$1.4 M_M ZN_a$
S_D	0.18	0.32	0.40	0.54	$1.6 M_M ZN_a$
S_E	0.26	0.50	0.64	0.84	$2.4 M_M ZN_a$
S_F	Not 2' ye bakınız				

Not 2: S_F zemin türü için, sismik katsayılar yerinde dinamik tepki analizi ve zemine özgü geoteknik incelemeler sonucu belirlenir.

Tablo-2.5.5 ve Tablo-2.5.6' de yer almayan değerler için lineer interpolasyon kullanılarak istenen değer elde edilebilir.

3. Materyal ve Metot

Tezde, öncelikle genel bilgiler kısmında yer alan “Temel yalıtımlı binaların klasik sönümlü bir bütün olarak ele alınması” konusu ele alınmış burada klasik sönümün ve mod birleştirme yöntemlerinin yetersiz kaldığı irdelenmiştir. Diğer yönlerden sürtünme elemanlarının performansı göz önüne alınarak “Sürtünme-Temel Yalıtımı İlişkisinin Deneysel Araştırılması” , deprem veya rüzgar kaynaklı titreşimlerini önlemek için “Aktif kütle sönümleyicili çok serbestlik dereceli bir yapının depreme karşı LQR kontrolü”, deprem etkisi altındaki yapıların titreşimlerini azaltmak için aktif kontrol yöntemlerinden biri olan “Yapıların sismik izolasyonunda kayan modlu aktif kontrol yöntemi” ve son olarak “Sismik yalıtım için analitik incelemeler” başlığı altında yer alan yalıtımlı sistemler için şu an için ülkemizde mevcut olmayan ancak dünyada yaygın şekilde kullanılan UBC-97 yönetmeliği irdelenmiş mevcut TDY-98 yönetmeliğine karşılık gelen bazı noktalar belirtilmiştir.

Tüm bu incelemelerden hareketle deprem etkisine sonlu dinamik serbestlik dereceli temeli izolatörlü rijit katlı yapı-temel izolatör parametrelerinin rasgele değişimine tepkisini inceleyebilmek için gereken metotların tayini yapılmıştır. İstatistik verilerin analizi için Monte-Carlo yöntemi, rasgele nicelik ve matrislerin her gerçekleşmesi için sistemin hareket denkleminin zaman alanında adım-adım sayısal integrallenmesinin (Wilson- θ) yöntemi ile yapılmasının uygun olacağı kanaatine varılmıştır. Ayrıca tüm bu işlemler ve yaklaşımlarda stokastik diferansiyel denklem takımlarının çözümleri de yapılmıştır.

Belirlenen bu metotlar;

5 katlı, rijit kat çerçeve taşıyıcı sistemli, temel izolatörlü, betonarme bina modelinde sayısal olarak uygulanmıştır.

4. Bulgular

Bu bölümde deprem etkisine sonlu dinamik serbestlik dereceli temeli izolatörlü rijit katlı yapı-temel izolatör parametrelerinin rasgele değişimine tepkisi incelenmiştir, karakter niceliklerin istatistik karakteristikleri ve yoğunluk fonksiyonu kurulmuş, emniyet kriterleri ve değerlendirmesi verilmiştir.Yapı ve temel izolatörünün sönümü bir matriste yerleştirilerek klasik olmayan sönüm şeklinde ele alınmıştır. Sistem rijitlik matrisi sonlu elemanlar yöntemi ile kurulmuştur. [Kasumov, 2000] İstatistik analiz Monte-Carlo yöntemi ile yapılmıştır. Rasgele nicelik ve matrislerin her gerçekleşmesi için sistemin hareket denklemleri zaman alanında adım-adım sayısal integralleme (Wilson- θ) yöntemi ile yapılmıştır. Sistemin tepkilerinin ekstremal durumu olarak yapı tabanındaki devrilme momentinin ekstremum değerine uygun etki zamanındaki durumu ele alınmıştır. Sayısal örnekler verilmiş, sonuçlar açıklanmıştır.

[Kasimzade, Tuhta, 2003] Deprem yer hareketinin yatay bileşeni yapıda hasar oluşturan en büyük etkenlerdendir.Bundan dolayı kat ötelemesi ve ivmesinin azaltılması yapıda hasarın önlenmesi doğrultusunda tasarım felsefesinin temelini oluşturmaktadır.Sismik yalıtım bu tasarım felsefesini sağlayan ve böylelikle yapının kendisini hasardan koruyan ekonomik bir çözümdür. Temel yalıtımı (izolatörü) önemli pasif koruma sistemidir ve başlıca hedefi yapının periyodunu büyütürken onu rezonanstan uzaklaştırmak, yatay kuvvet geçiriciliğini azaltmaktır. Kauçuk bileşkeli temel yalıtımı popüler ve daha kolay imal edilebilmektedir. Bu konudaki çalışmaların olumlu sonuçları bazı ülkelerin ilgili yönetmeliklerinde temel yalıtımlı yapıların tasarımı konusunun yer almasına neden olmuştur. Bunun devamında son birkaç on yılda temel yalıtımı tekniğinin uygulanması sonucu deprem etkisinden binaların hasarının azaltılması doğrultusunda büyük başarıya ulaşılmıştır [Kelly, 1986- Izumi, 1988- Mineo, Hideyuki, 1994- Wu, Samali, Nguyen, 2000- Wu, Samali, 2002- Skinner, Moverry, Robinson, 1992-Ceccoli, Mazzotti ve Savioa, 1999]. Çalışmalarda Temel izolasyonlu modelin performansının büyük oranda deprem yer hareketi tipine ve tabiatına bağlılığı görülmüştür[Kelly, 1986- Izumi, 1988-Wu, Samali, 2002-Ceccoli, Mazzotti ve Savioa, 1999]. Kısa süreli (yaklaşık ≤ 20 san) yüksek frekanslı (yaklaşık $\ddot{U}_{max} = 3.5 \text{ m / s}^2$) deprem etkilerine temel yalıtımının her zaman verimli olduğu, uzun süreli (yaklaşık ≥ 45 san) düşük frekanslı (yaklaşık $\ddot{U}_{max} = 1.5\text{m/s}^2$) deprem etkilerine temel izolatörü

rijitliğinin çok küçük bir aralığında belki verimli olabilirliği gözetlenmiştir [Ceccoli, Mazzotti ve Savioa, 1999]. Görüldüğü gibi deprem etkisindeki temel yalıtımlı yapı sisteminin verimli tepkisini büyük olasılıkla tasarlamak için bu tepkinin yapı ve temel izolatörünün parametrelerine hassaslığının değerlendirilmesi ve uygun emniyet kriterinin formüle edilmesi gerekmektedir. Bu inceleme hem izolatör tasarım ve imalatında parametrelerinin sınırlanmasında ve hem de yapıda hasarın tahribatsız belirlenmesinde de gerekmektedir [Mehdi, Kharrazi, Ventura, Brincker, Dascotte, 2002]. [Kasumov, 1999] çalışmasında deprem etkisinde yapının rasgele zemin parametrelerinin değişimine tepkisi incelenmiştir. [Kasimzade, 2002] çalışmasında aynı etkiye yalıtımsız yapı tepkisi bulanık mantık uygulanarak değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada amaç, deprem etkisinde yapı, temel izolatörü parametrelerinin rasgele değişimine sistemin ihtimalli kalitatif analizini yapmak, bu değişime sistemin hassaslığını değerlendirmek, emniyet kriterini formüle etmek, “emniyet değerini” bulmaktır.

4.1. Formülasyon

Yapı kütlelerinin kat seviyelerinde toplandığı ve izolatörlü temelle temas ettiği kabul edilir. Bakılan sistemin deprem etkisinde $\left(\ddot{x}_g(t) \right)$ hareket denklemi şöyle ifade olunur.

$$[m]\{\ddot{u}\} + [c]\{\dot{u}\} + [k]\{u\} = \{F_*\} \quad (4.1)$$

Burada bina, izolatörlü temel sisteminin kütle $[m]$ ve sönüm $[c]$ matrisleri uygun olarak aşağıdaki şekilde ifade olunur:

$$[m] = \begin{bmatrix} m_1 + \sum_{i=1, N} m_i & m_1 & m_2 & \cdots & m_i & \cdots & m_N \\ m_1 & m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ m_2 & 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 & 0 \\ m_i & 0 & 0 & 0 & m_i & 0 & 0 \\ \vdots & 0 & 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 \\ m_N & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_N \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

$$[c] = \begin{bmatrix} [c_1] & [0] \\ [0] & [c_b] \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

$$c_1 = 2\xi_1 \left(\sum_{i=1, N} m_i + m_1 \right) \left(\frac{2\pi}{T_1} \right) \quad (4.4)$$

$$[c_b] = [m] \sum_{i=1, N} \frac{2\xi_i \omega_{0i}}{M_i} \{\phi\}_i \{\phi\}_i^T [m] \quad (4.5)$$

$$\{\phi\}_i = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\{a\}_j^T [m] \{a\}_j}} \quad (4.6)$$

$$M_i = \{\phi\}_i^T [m] \{\phi\}_i \quad (4.7)$$

Bu ifadelerde m_1, m_i uygun olarak izolatörün ve bina i. katının kütesidir; $[c_1] = c_1, [c_b]$ uygun olarak izolatörün ve binanın sönüm matrisleridir; ξ_1, T_1 uygun olarak izolatörün sönüm oranı ve periyodudur; $\xi_i, \omega_{0i}, \{\phi\}_i, M_i$ uygun olarak temele ankastre binanın i. mod şekline uygun sönüm oranı, titreşim frekansı, kütleyle göre normalleştirilmiş mod şekli ve modal kütesidir.; $\{a\}_j$ temele ankastre binanın j. titreşim mod şeklidir.

(4.5, 4.6) bağılıklarının içerdiği doğal titreşim frekansları (ω_{0i}) ve titreşim mod şekilleri $\{a\}_i$ uygun özdeğer probleminin çözümünden bulunmuşlar:

$$[m] \{\ddot{u}\} + [k] \{u\} = \{0\} ;$$

$$\{u\} = \{a\} \sin \omega_0 t ; \quad (4.8)$$

$$([k] - \omega_0^2 [m]) \{a\} = \{0\} ;$$

$$[k] = \begin{bmatrix} [k_1] & [0] \\ [0] & [k_b] \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

$$k_I = \left(\sum_{i=1, N} m_i + m_I \right) \left(\frac{2\pi}{T_I} \right)^2 ; \quad (4.10)$$

$$[k_b] = \sum_{i=1, N} [\bar{k}_{i+}] ; \quad [\bar{k}_{i+}] = [\tau_i]^T [\bar{k}_i] [\tau_i] ; \quad [\bar{k}_i] = [\bar{T}_i] [\bar{k}_i] [\bar{T}_i]^T \quad (4.11)$$

Bu ifadelerde $[k_b], [k_I] = k_I, [k_b]$ uygun olarak bina , izolatörlü temel sisteminin, izolatörün, temele ankastre binanın rijitlik matrisleridir; $[\bar{k}_i], [\bar{k}_i], [\bar{k}_{i+}]$ uygun olarak i. sonlu elemanın lokal koordinat sisteminde, global koordinat sisteminde ve global koordinat sisteminde tüm sistemin serbestlik derecesi sayısına kadar genişletilmiş rijitlik matrisidir; $[\tau_i]$ -i.sonlu elemanın topoloji matrisidir; $[\bar{T}_i]$ i. sonlu elemanın lokal koordinat sisteminden global koordinat sistemine dönüşüm matrisidir.

Hareket denkleminin sağ tarafındaki etki vektörü aşağıdaki şekilde ifade olunur:

$$\{F_*\} = (F_{*1} F_{*2} \cdots F_{*i} \cdots F_{*N})^T ; \quad (4.12)$$

$$F_{*i} = -m_i \ddot{x}_g(t) ; \quad (4.13)$$

Yapı kat yükseklikleri (L_i), elastisite modülleri (E_i), kat kütleleri (m_i), izolatör periyodu (T_i), sönüm oranı (ξ_i) normal dağılımlı rasgele parametreler olarak kabul edilir ve matematik ortalama değerleri (d_0) ve $[0,1]$ aralığında üniform dağılmış, beklenen değeri $\langle s \rangle = 0$; standart sapması $\sigma_s = 1$ olan rasgele (s) niceliğine bağlı aşağıdaki şekilde ifade olunurlar:

$$\tilde{d} = d_0 + d(s) ; \quad (4.14)$$

4.2.Çözüm Yöntemi

(4.1) Stokastik diferansiyel denklem takımının çözüm düzeni aşağıdaki gibidir. (4.14) bağıllığı ile gerçekleştirilmiş yukarıda adı geçen her bir yapı ve izolatör parametreleri

için (4.2),(4.3),(4.9) formülleri ile yapı-izolatörlü temel sisteminin kütle $[m]$, sönüm $[c]$, rijitlik $[k]$ matrisleri oluşturularak hareket denklemini zaman alanında adım-adım sayısal integralleme (Wilson- θ) yöntemi ile aşağıdaki algoritma takip edilerek yapılır:

-başlangıç yerdeğiştirme $\{u\}_0$, hız $\{\dot{u}\}_0$, başlangıç kuvvet $\{F\}_0$ değerleri belirlenir;

-başlangıç ivme değeri $\{\ddot{u}\}_0$ hesaplanır;

$$\{\ddot{u}\}_0 = \{F\}_0 - [c]\{\dot{u}\}_0 - [k]\{u\}_0 ; \quad (4.15)$$

-zaman adımı Δt , θ faktörü ($\theta \geq 1.38$ olduğunda integralleme yöntemi koşulsuz stabil olur ve adeta $\theta = 1.4$ olarak ele alınır) kabul edilerek aşağıdaki bağlantılardan

τ , α_1 , α_2 , α_3 , α_4 parametreleri belirlenir.

$$\tau = \theta \Delta t ; \alpha_1 = \frac{3}{\tau} ; \alpha_2 = \frac{6}{\tau} ; \alpha_3 = \frac{\tau}{2} ; \alpha_4 = \frac{6}{\tau^2} ; \quad (4.16)$$

-etkin (efektif) rijitlik matrisi $[k_e]$ şekillendirilir.

$$[k_e] = [k] + \alpha_4 [m] + \alpha_1 [c] ; \quad (4.17)$$

Her bir zaman adımı için aşağıdaki hesaplamalar yapılır:

-Lineer interpolasyonla $t_i \div t_i + \tau$ zaman aralığı için kuvvet artışı hesaplanır

$$\{\Delta F\}_i = \{F\}_{i+1} + (\{F\}_{i+2} + \{F\}_{i+1})(\theta - 1) - \{F\}_i \quad (4.18)$$

- $t_i \div t_i + \tau$ zaman aralığında etkin (efektif) kuvvet artışı hesaplanır

$$\{\Delta F_e\}_i = \{\Delta F\}_i + (\alpha_2 [m] + 3[c])\{\dot{u}\}_i + (3[m] + \alpha_3 [c])\{\ddot{u}\}_i \quad (4.19)$$

-uygun bağılıktan yerdeğiştirme artışı bulunur

$$[k_e]\{\Delta u_e\}_i = \{\Delta F_e\}_i \Rightarrow \{\Delta u_e\}_i = [k_e]^{-1} \{\Delta F_e\}_i \quad (4.20)$$

- τ zaman artışına uygun ivme artışı $\{\Delta \ddot{u}\}_i$ bulunur

$$\left\{ \Delta \ddot{\mathbf{u}}_e \right\}_i = \alpha_4 \left\{ \Delta \mathbf{u}_e \right\}_i - \alpha_2 \left\{ \dot{\mathbf{u}} \right\}_i - 3 \left\{ \ddot{\mathbf{u}} \right\}_i \quad (4.21)$$

-normal interval için ivme artışı bulunur

$$\left\{ \Delta \ddot{\mathbf{u}} \right\}_i = \frac{\left\{ \Delta \ddot{\mathbf{u}}_e \right\}_i}{\theta} \quad (4.22)$$

- $t_i \div t_i + \Delta t$ zaman aralığında hız artışı $\left\{ \Delta \dot{\mathbf{u}} \right\}_i$ ve yerdeğiştirme artışı $\left\{ \Delta \mathbf{u} \right\}_i$

hesaplanır

$$\left\{ \Delta \dot{\mathbf{u}} \right\}_i = \left\{ \ddot{\mathbf{u}} \right\}_i \Delta t + \frac{1}{2} \left\{ \Delta \ddot{\mathbf{u}} \right\}_i \Delta t \quad (4.23)$$

$$\left\{ \Delta \mathbf{u} \right\}_i = \left\{ \dot{\mathbf{u}} \right\}_i \Delta t + \frac{1}{2} \left\{ \ddot{\mathbf{u}} \right\}_i \Delta t^2 + \frac{1}{6} \left\{ \Delta \ddot{\mathbf{u}} \right\}_i \Delta t^2 \quad (4.24)$$

- $t_{i+1} = t + \Delta t$ zamanı için yerdeğiştirme ve hız hesaplanır

$$\left\{ \mathbf{u} \right\}_{i+1} = \left\{ \mathbf{u} \right\}_i + \left\{ \Delta \mathbf{u} \right\}_i \quad (4.25)$$

$$\left\{ \dot{\mathbf{u}} \right\}_{i+1} = \left\{ \dot{\mathbf{u}} \right\}_i + \left\{ \Delta \dot{\mathbf{u}} \right\}_i \quad (4.26)$$

- $t_{i+1} = t + \Delta t$ zamanı için direkt denge denklemlerinden ivme $\left\{ \ddot{\mathbf{u}} \right\}_{i+1}$ bulunur

$$[\mathbf{m}] \left\{ \ddot{\mathbf{u}} \right\}_{i+1} = \left\{ \mathbf{F}_* \right\}_{i+1} - [\mathbf{c}] \left\{ \dot{\mathbf{u}} \right\}_{i+1} - [\mathbf{k}] \left\{ \mathbf{u} \right\}_{i+1} ; \quad (4.27)$$

buradan

$$\left\{ \ddot{\mathbf{u}} \right\}_{i+1} = [\mathbf{m}]^{-1} \left(\left\{ \mathbf{F}_* \right\}_{i+1} - [\mathbf{c}] \left\{ \dot{\mathbf{u}} \right\}_{i+1} - [\mathbf{k}] \left\{ \mathbf{u} \right\}_{i+1} \right) ; \quad (4.28)$$

Yerdeğiştirme, hız, ivme değerleri için (4.25), (4.26), (4.28) formülleri ile hesaplama sonuçları $t_{i+1} = t_i + \Delta t$ zamanına uygun olup integralleme işleminin $(i+1)$.döngüsünü oluşturmaktadır. Bu $(i+1)$.döngü sırasında belirlenmiş yerdeğiştirmelere $\left\{ \mathbf{u} \right\}_{i+1}$

dayanarak dinamik serbestlik dereceleri yönünde etkiyen sismik kuvvetler $\{S\}_{i+1}$, kat kesme kuvvetleri $\{V\}_{i+1}$, taban kesme kuvveti $\{V_t\}_{i+1}$, kat devrilme momentleri $\{M\}_{i+1}$, taban devrilme momentini $\{M_t\}_{i+1}$ bulunurlar:

$$\{S\}_{i+1} = [k]\{u\}_{i+1} \quad (4.29)$$

$$\{V\}_{i+1} = (V_1 \ V_2 \ \dots \ V_j \ \dots \ V_N)_{i+1}^T ; \quad (4.30)$$

$$(V_j)_{i+1} = \sum_{i=j,N} S_i \quad (4.31)$$

$$\{V_t\}_{i+1} = \sum_{i=1,N} S_i \quad (4.32)$$

$$\{M\}_{i+1} = (M_1 \ M_2 \ \dots \ M_j \ \dots \ M_N)_{i+1}^T$$

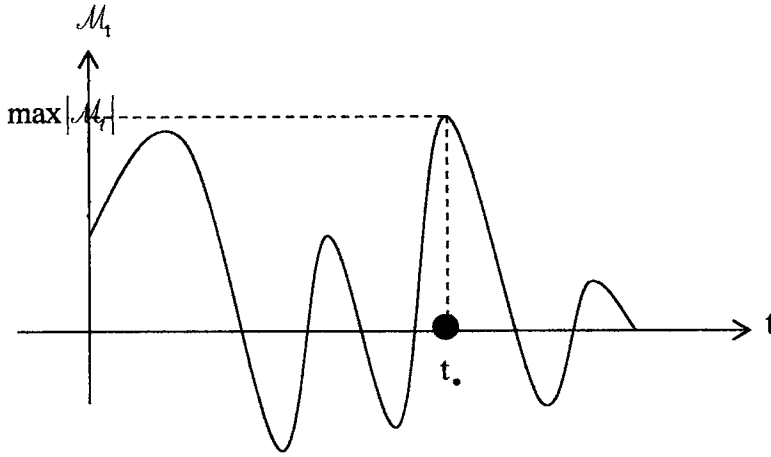
$$(M_j)_{i+1} = \sum_{i=j,N} S_i (H_i - H_j)$$

$$(M_t)_{i+1} = \sum_{i=1,N} S_i H_i \quad (4.33)$$

Burada H_i bina tabanından i. kata kadar olan yüksekliktir

Yapı-izolatörlü temel sisteminin rasgele parametrelerinin her bir gerçekleşmesi için taban devrilme momentinin zamana bağlılığında (şekil-4.1) mutlak değerce maksimum devrilme momentine denk zaman (t_*) esas alınarak, yapıya etkiyen tasarım sismik kuvvetleri bu zamana karşılık gelenleri ele alınır:

$$\{S_{\text{tasarım}}\} = \{S(t_*)\}; \quad (4.34)$$



Şekil-4.1 Yapıya Etkiyen Tasarım Sismik Kuvvetlerinin Bulunma Kriterlerinin Grafikselsel Tasviri (Gösterimi)

β olasılığı ile S (taban kesme kuvveti, devrilme momenti, v.s.) niceliğinin aritmetik ortalama değerinin onun beklenen değerinden ε ' dan fazla farklı olmaması için sistemin rasgele parametrelerinin \mathcal{N}_* sayıda gerçekleşmesi gerekir:

$$\mathcal{N}_* = \left(\frac{\sqrt{m_2}}{\varepsilon} \right)^2 \left[\Phi^{-1} \left(\frac{\beta}{2} \right) \right]^2 \quad (4.35)$$

(s) rasgele niteliği \mathcal{N}_* kere gerçekleştirildikten sonra, hedeflenen S niceliğinin (burada taban kesme V_t ve devrilme momenti M_t için oluşturulmuştur) yoğunluk fonksiyonu $P(S)$ aşağıdaki (A Sharlye serisi) şeklinde ifade olunur:

$$P(\eta) = \frac{1}{\sigma_s} \left[\Psi(\eta) + \frac{A_s \Psi'''(\eta)}{3!} + \frac{E_s \Psi^{IV}(\eta)}{4!} \right]; \quad (4.36)$$

$$\eta = \frac{S - \langle S \rangle}{\sigma_s}; \quad \Psi(\eta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\eta^2}{2}\right); \quad A_s = \frac{m_3}{(\sigma_s^2)^{3/2}}; \quad E_s = \frac{m_4}{\sigma_s^4} - 3$$

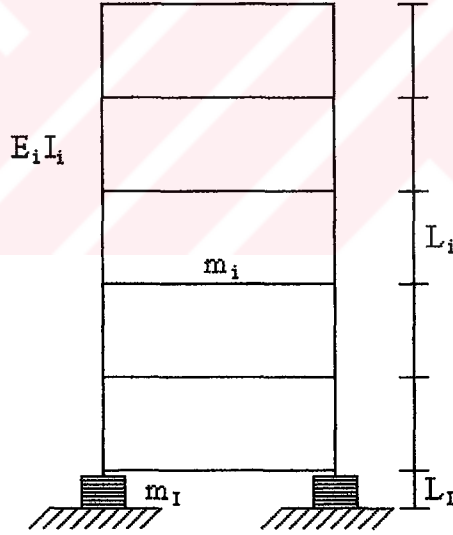
Burada $\langle \rangle$ ortalama; ! faktöriyel işareti; m_k , S rasgele niceliğinin k . derece merkezi momentidir; A_s, E_s ise S rasgele niceliğinin asimetriklik ve basıklık karakteristikleridir.

(4.36) formülü ile ifade olunmuş yoğunluk fonksiyonuna dayanarak S niceliğinin $[S_1, S_2]$ aralığında olma olasılığı (P) hesaplanır.

$$P = \int_{S_1}^{S_2} P(\xi) d\xi ; \quad (4.37)$$

4.3. Sayısal Analiz

Örnek olarak şekilde gösterilmiş ve aşağıdaki gibi fizik ve geometrik özelliklere sahip bina 1940 El-Centro Depreminin Doğu-Batı ivme etkisine incelenmiştir. Karşılaştırma için temele ankastre izolatörsüz sistem, izolatörlü sistem deterministik analiz sonuçları uygun olarak tablo-4.1, 4.2' de; temel izolatörlü yapının yapı, temel izolatörü parametrelerinin rasgele değişimine inceleme sonuçları tablo-4.3, 4.4' de verilmiştir. Giriş verilerinden sonra bir kaç karakter durumlar için bulunmuş olasılık yoğunluk fonksiyonları ve histogramlar şekil-4.3, 4.4, 4.5' de gösterilmiştir.



Şekil-4.2 Rijit Kat Çerçeve Taşıyıcı Sistemli, Temel İzolatörlü Bina

Bina kolon taşıyıcı elemanlarının elastisite modülü (E), kat yüksekliklerinin (L_i), kattaki kolonların deprem etki yönünde toplam atalet momenti (I), dinamik serbestlik dereceleri yönünde modal sönüm oranı (ξ), kat kütlesi (m_i) parametrelerinin ortalama değerleri aşağıda gösterilmiştir:

$$\{E\}_0 = (E_0 \ E_0 \ E_0 \ E_0 \ E_0)^T$$

$$E_0 = \langle E_i \rangle = 1,2604 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2 \quad i = 1,5$$

$$\{L\}_0 = (L_0 \ L_0 \ L_0 \ L_0 \ L_0)^T$$

$$L_0 = \langle L_i \rangle = 3 \text{ m}, \quad i = 1,5$$

$$\{I\}_0 = (I_0 \ I_0 \ I_0 \ I_0 \ I_0)^T$$

$$I_0 = \langle I_i \rangle = 0.0405 \text{ m}^4, \quad i = 1,5$$

$$\{\xi\} = (\xi_0 \ \xi_0 \ \xi_0 \ \xi_0 \ \xi_0)^T$$

$$\xi = \langle \xi_i \rangle = 0.05, \quad i = 1,5$$

$$\langle m_i \rangle = m_0 = 7400 \text{ kg}, i = 1,5$$

İzolatör kütlesi (m_I), sönüm oranı (ξ_I), yüksekliği (L_I), doğal titreşim periyodu (T_I) parametrelerinin ortalama değerleri ($m_{I_0}, \xi_{I_0}, L_{I_0}, T_{I_0}$) uygun olarak aşağıda gösterilmiştir.

$$m_{I_0} = \langle m_I \rangle = 7400 \text{ kg}; \quad \xi_{I_0} = \langle \xi_I \rangle = 0.15;$$

$$L_{I_0} = \langle L_I \rangle = 0.4 \text{ m}; \quad T_{I_0} = \langle T_I \rangle = 2 \text{ sn};$$

Temel izolatörünün ortalama parametrelerine dayalı hesaplanmış izolatör rijitliği, kütle ve sönümünün uygun olarak ortalama değerleri:

$$k_{I_0} = \left(\frac{2\pi}{T_{I_0}} \right)^2 \cdot \left(\left\langle \sum_{i=1,5} m_i \right\rangle + m_{I_0} \right) = 4.3821 \cdot 10^5 \text{ N/m}$$

$$c_{I_0} = \xi_{I_0} \cdot 2 \left(\left\langle \sum_{i=1,5} m_i \right\rangle + m_{I_0} \right) \cdot \frac{2\pi}{T_{I_0}} = 4.1846 \cdot 10^4 \text{ Nsn/m}$$

Ortalama değerlere uygun bina ve bina izolatörlü temel sisteminin hesaplanmış rijitlik, sönüm matrisleri uygun olarak aşağıda verilmiştir.

$$[k_b] =$$

$$\begin{bmatrix} 4.5375 & -2.2687 & 0 & 0 & 0 \\ -2.2687 & 4.5375 & -2.2687 & 0 & 0 \\ 0 & -2.2687 & 4.5375 & -2.2687 & 0 \\ 0 & 0 & -2.2687 & 4.5375 & -2.2687 \\ 0 & 0 & 0 & -2.2687 & 2.2687 \end{bmatrix} \times 10^7 \text{ N/m}$$

$[k]=$

$$\begin{bmatrix} 0.0438 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4.5375 & -2.2687 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -2.2687 & 4.5375 & -2.2687 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2.2687 & 4.5375 & -2.2687 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2.2687 & 4.5375 & -2.2687 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2.2687 & 2.2687 \end{bmatrix} \times 10^7 \quad \text{N/m}$$

 $[m_b]=$

$$\begin{bmatrix} 7400 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 7400 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 7400 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 7400 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 7400 \end{bmatrix} \quad \text{kg}$$

 $[m]=$

$$\begin{bmatrix} 44400 & 7400 & 7400 & 7400 & 7400 & 7400 \\ 7400 & 7400 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 7400 & 0 & 7400 & 0 & 0 & 0 \\ 7400 & 0 & 0 & 7400 & 0 & 0 \\ 7400 & 0 & 0 & 0 & 7400 & 0 \\ 7400 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7400 \end{bmatrix} \quad \text{kg}$$

 $[c_b]=$

$$\begin{bmatrix} 5.5626 & -1.5947 & -0.2733 & -0.1103 & -0.0703 \\ -1.5947 & 5.2893 & -1.7050 & -0.3436 & -0.1806 \\ -0.2733 & -1.7050 & 5.2190 & -1.7753 & -0.4539 \\ -0.1103 & -0.3436 & -1.7753 & 5.1087 & -2.0486 \\ -0.0703 & -0.1806 & -0.4539 & -2.0486 & 3.5141 \end{bmatrix} \times 10^4 \quad \text{Nsn/m}$$

$[c]=$

$$\begin{bmatrix} 4.1846 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5.5626 & -1.5947 & -0.2733 & -0.1103 & -0.0703 \\ 0 & -1.5947 & 5.2893 & -1.7050 & -0.3436 & -0.1806 \\ 0 & -0.2733 & -1.7050 & 5.2190 & -1.7753 & -0.4539 \\ 0 & -0.1103 & -0.3436 & -1.7753 & 5.1087 & -2.0486 \\ 0 & -0.0703 & -0.1806 & -0.4539 & -2.0486 & 3.5141 \end{bmatrix} \times 10^4 \quad \text{Nsn/m}$$

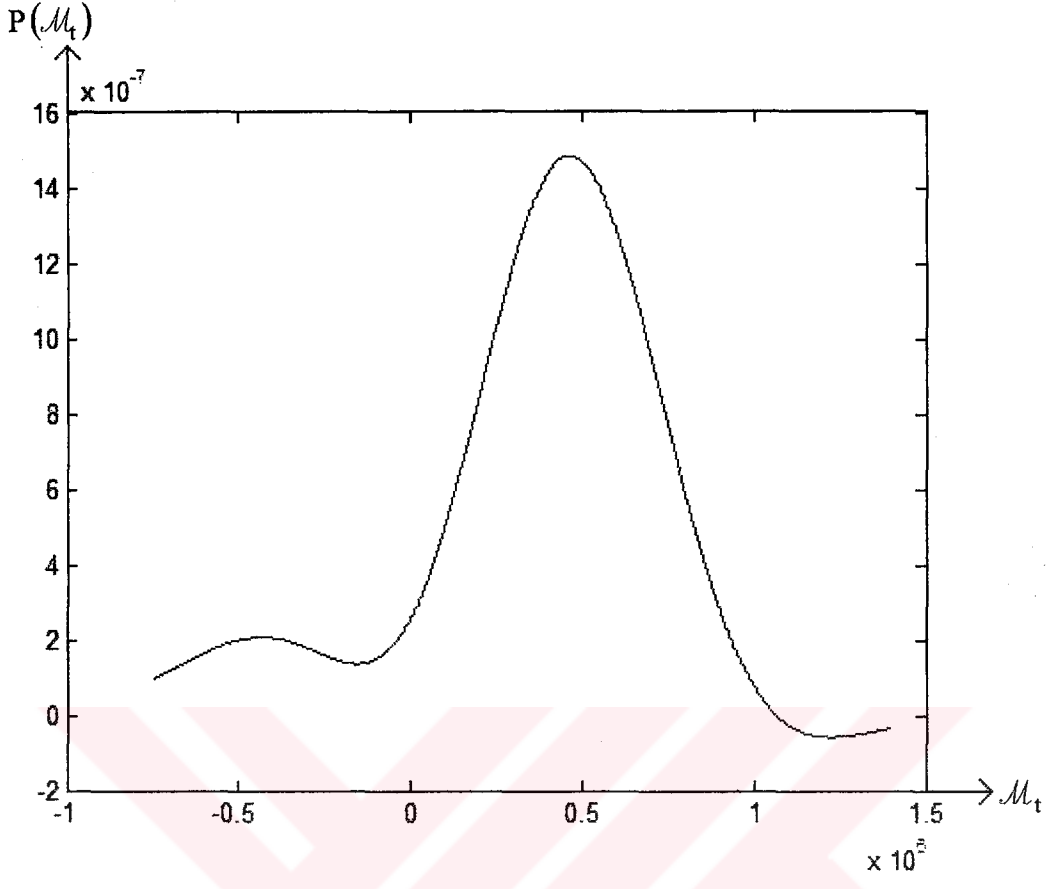
 $[L]=$

$$\begin{bmatrix} 0.4000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3.0000 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3.0000 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3.0000 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3.0000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3.0000 \end{bmatrix} \quad \text{m}$$

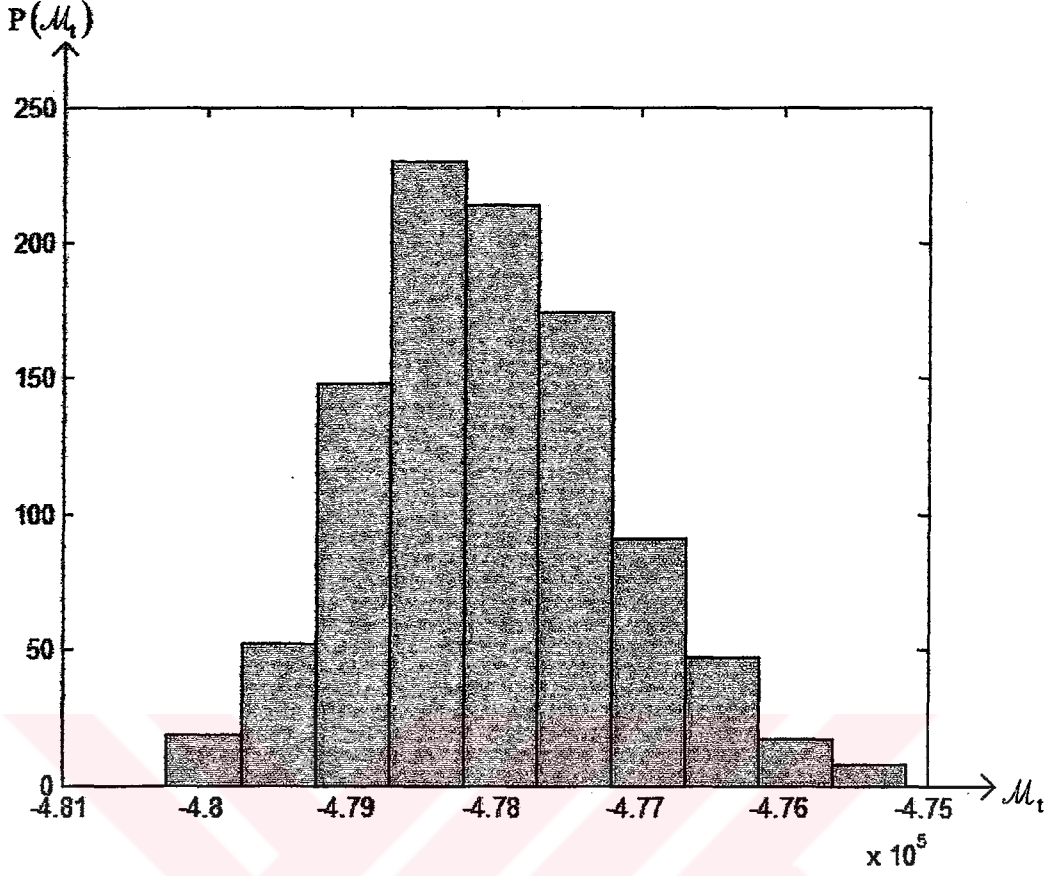
$$T_b = [0.3987 \quad 0.1366 \quad 0.0866 \quad 0.0674 \quad 0.0591] \text{ sn}$$

$$T = [2.0296 \quad 0.2168 \quad 0.1132 \quad 0.0802 \quad 0.0655 \quad 0.0587] \text{ sn}$$

Şekil-4.3' de örnek olarak her bir mod şekli için izolatör periyodunun ortalama değerinden 0.05 sapmaları için devrilme momentinin (4.36) formülü ile hesaplanmış yoğunluk fonksiyonu gösterilmiştir. İstatistik analizde gereken deney sayısı (4.35) formülü ile bulunarak ve tüm nicelikler için ortalananarak bulunmuş 1000 sayıda deney için yapılmıştır.



Şekil-4.3 $\sigma_{T_1} = 0.05 T_1$ Durumu İçin Devrilme Momentinin Yoğunluk Fonksiyonu



Şekil-4.4 $\sigma_{m_I} = 0.05 \langle m_I \rangle$ Durumu İçin Taban Devrilme Momentinin Histogramı

Tablo-4.1, 4.2' de deterministik tepki sonuçlarından görüldüğü gibi izolatörsüz binada taban kesme kuvveti bina ağırlığının %78.088 'ini, izolatörlü binada ise %25.8282 'sini oluşturmaktadır.

Tablo-4.4' den görüldüğü gibi kat yükseklik değişimine bina tepkisi hassastır. Pratikte bina kat yüksekliğinin değişimi %1-2 arasındadır. Bu nedenle yapılan incelemelerde %2 değişim göz önüne alınmıştır. Kat yüksekliğinin %2 değişimi için devrilme momentinin %39.9138, taban kesme kuvvetinin %67.3058 saptığı görülmüştür. Aşağıda kat yüksekliğinin %2 değişimi için devrilme momentinin yoğunluk fonksiyonu gösterilmiştir.

Tablo-4.1 İzolatörsüz 5 Katlı Binanın 1940 El-Centro Depreminin Doğu-Batı Bileşeni Etkisine Tepki Sonuçları

Kat No: (titreşi m mod No)	Periyot (sn)	Rölatif Yerdeğiştirme (m)	Rölatif Hız (m/sn)	Rölatif İvme (m/sn ²)	Kat Sismik Kuvvetleri (10 ⁴ (N))	Kat Kesme Kuvvetleri (V _i /10 ⁵) (N)	(V _i /m _i)	(V _i /m _i)	(V _i /w _i)	V _i /10 ⁵ (N)	$\frac{V_i}{w_i} \times 100$ (% ile)	$\mathcal{M}_i / 10^6$ (N · m)	Oluştuğu Zaman (sn)
1	0.3987	-0.0125	-0.0082	2.0163	-2.6199	-2.8344	-38.3022	-7.6604	-0.7809				
2	0.1366	-0.0238	-0.0102	4.4195	-4.4102	-2.5724	-34.7617	-6.9523	-0.7087	-2.8344	78.0880	-3.0031	2.68
3	0.0866	-0.0332	-0.0083	5.8325	-5.5105	-2.1313	-28.8020	-5.7604	-0.5872				
4	0.0674	-0.0402	-0.0268	7.7736	-6.8835	-1.5803	-21.3553	-4.2711	-0.4354				
5	0.0591	-0.0441	-0.0490	10.6516	-8.9195	-0.8920	-12.0534	-2.4107	-0.2457				

m_i = toplam bina kütlesi (izolatör hariç) V_i = taban kesme kuvveti

w_i = toplam bina ağırlığı (izolatör hariç) \mathcal{M}_i = taban devrilme momenti

$m_i = i$. Katın kütlesi

Tablo-4.2 İzolatörlü 5 Katlı Binanın 1940 El-Centro Depreminin Doğu-Batı Bileşeni Etkisine Tepki Sonuçları

Kat No: (titreşim mod No)	Periyot (sn)	Rölatif Yerdeğiştirme (m)	Rölatif Hız (m/sn)	Rölatif İvme (m/sn ²)	Kat Sismik Kuvvetleri (10 ⁴ (N))	Kat Kesme Kuvvetleri (V _i /10 ⁵) (N)	(V _i /m _i)	(V _i /m _i)	(V _i /w _i)	V _i /10 ⁵ (N)	$\frac{V_i}{w_i} \times 100$ (% ile)	$\mathcal{M}_i / 10^6$ (N · m)	Oluştuğu Zaman (sn)
1	2.0296	-0.1081	-0.1316	0.8703	-4.7363	-0.9373	-12.6661	-2.5332	-0.2582				
2	0.2168	-0.0020	-0.0003	0.1526	-0.7639	-0.4636	-6.2657	-1.2531	-0.1277	-0.9373	25.8228	-0.4781	2.80
3	0.1132	-0.0038	0.0007	0.2804	-0.8630	-0.3872	-5.2334	-1.0467	-0.1067				
4	0.0802	-0.0051	0.0013	0.3507	-0.9158	-0.3010	-4.0672	-0.8134	-0.0829				
5	0.0655	-0.0060	0.0016	0.4918	-1.0190	-0.2094	-2.8297	-0.5659	-0.0577				
6	0.0587	-0.0065	0.0024	0.5619	-1.0750	-0.1075	-1.4527	-0.2905	-0.0296				

Tablo-4.3 Temel İzolatörü Parametrelerinin Rasgele Değişimine İzolatörü Yapı Tepkisinin Hassaslığının Değerlendirilmesi Sonuçları

	$\sigma_{\xi_1} = 0.05 \langle \xi_1 \rangle$		$\sigma_{m_1} = 0.05 \langle m_1 \rangle$		$\sigma_{L_1} = 0.05 \langle L_1 \rangle$		$\sigma_{T_1} = 0.05 \langle T_1 \rangle$	
	\mathcal{M}_t	V_t	\mathcal{M}_t	V_t	\mathcal{M}_t	V_t	\mathcal{M}_t	V_t
m_0	3.8716e+5	7.4965e+4	4.7805e+5	9.37015e+4	4.7806e+5	9.3729e+4	3.2680e+5	6.4326e+4
Moda	4.8115e+5	9,5032e+4	4.8027e+5	9,5015e+4	4.8397e+3	9,3729e+4	5.7659e+5	11.808e+4
S	2.8133e+5	5.7719e+4	873.615	431.4493	1.8980e+3	3.4925e-10	3.5686e+5	7.4124e+4
S_k	-2.7824	-2.7816	-0.3333	0.0373	-0.0966	-1	-1.7759	-1.7621
Ex	5.7423	5.74	0.0567	-0.0669	-0.1635	-2	1.1732	1.1499
κ	%672.6663	%676.9946	%0.1827	%0.4604	%0.397	%3.7261e-13	%109.1993	%115.2328
$\max[P(\eta)]$	2.7085e-6	1.3199e-5	4.6580e-4	9.1706e-4	2.0617e-4	1.9035e+7	1.4836e-6	7.1197e-6

Tablo-4.4 Yapı Parametrelerinin Rasgele Değişimine İzolatörü Yapı Tepkisinin Hassaslığının Değerlendirilmesi Sonuçları

	$\sigma_{\xi_1} = 0.05 \langle \xi_1 \rangle$		$\sigma_{m_1} = 0.05 \langle m_1 \rangle$		$\sigma_{L_1} = 0.02 \langle L_1 \rangle$		$\sigma_{I_1} = 0.05 \langle I_1 \rangle$		$\sigma_{E_1} = 0.05 \langle E_1 \rangle$	
	\mathcal{M}_t	V_t	\mathcal{M}_t	V_t	\mathcal{M}_t	V_t	\mathcal{M}_t	V_t	\mathcal{M}_t	V_t
m_0	4.7813e+5	9.3729e+4	4.6669e+5	8.9833e+4	4.6554e+5	8.9445e+4	4.6947e+5	9.1236e+4	4.7467e+5	9.2750e+4
Moda	4.8180e+5	9.3839e+4	5.1372e+5	9.9605e+4	4.4775e+6	1.2690e+6	4.7927e+5	9.3929e+4	4.7942e+5	9.3941e+4
S	1.031e+3	45.7232	1.1942e+5	4.3959e+4	1.8582e+5	6.0202e+4	9.5108e+4	2.7765e+4	6.0855e+4	1.7140e+4
S_k	0.0749	0.0349	-10.9145	-14.1019	6.7901	2.5176	-11.1377	-11.4872	-18.4094	-18.4717
Ex	0.2128	0.1661	128.1516	234.0941	235.3524	191.9766	122.7683	133.4177	339.9448	342.8882
κ	%0.2156	%0.0488	%25.5935	%48.9345	%39.9138	%67.3058	%20.2585	%30.4315	%12.8206	%18.4797
$\max[P(\eta)]$	3.9747e-4	0.0089	5.7643e-5	2.7616e-4	6.5392e-5	1.6569e-4	6.9398e-5	2.5679e-4	2.8642e-4	0.001

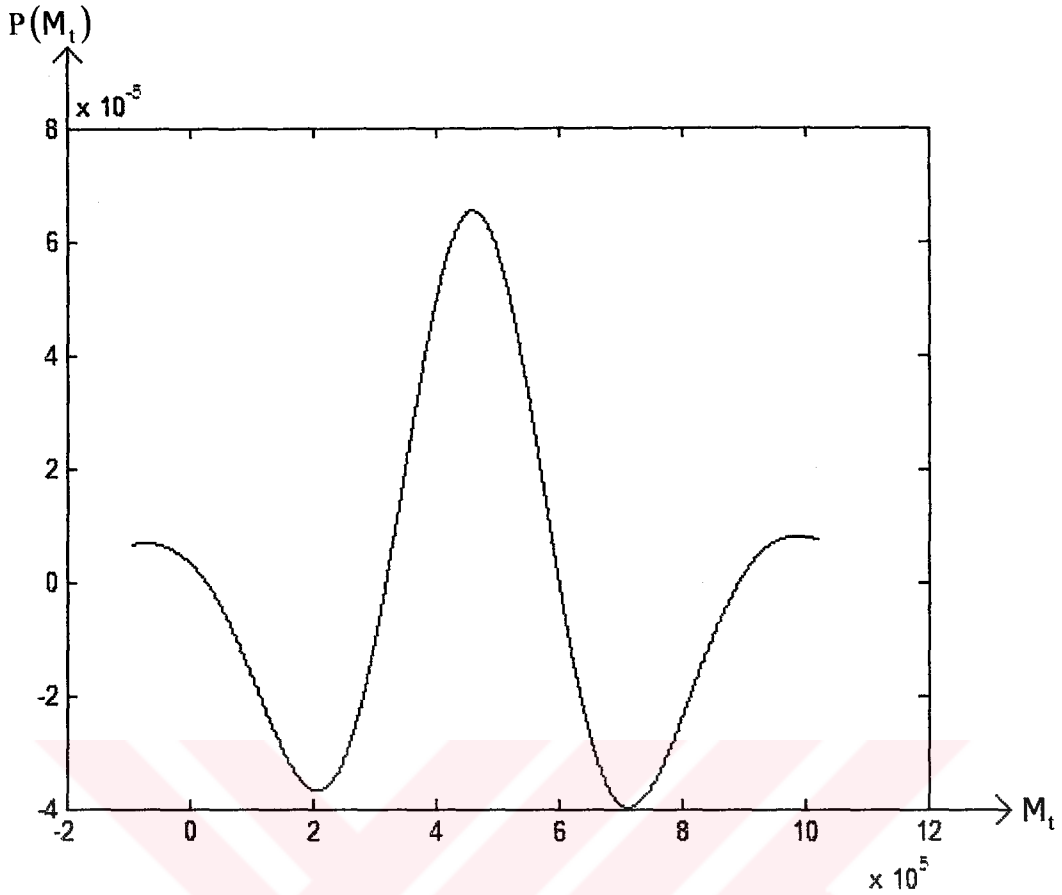
$\max\{P(\eta)\}$ -Bakılan niceliğin yoğunluk fonksiyonunun maksimumudur.

$\kappa = \frac{\sigma_s}{\langle s \rangle} \cdot 100$ -Bakılan niceliğin standart sapmasının ortalama değerine oranının yüzde ile

ifade edilmiş değeridir.

$\sigma_s = \alpha \langle s \rangle$ - Bakılan giriş niceliğinin standart sapması (σ_s) onun ortalama ($\langle s \rangle$) değerine oran yüzdesi α 'dır.





Şekil-4.5 $\sigma_{L_i} = 0.02\langle L_i \rangle$ Durumu İçin Taban Devrilme Momentinin Yoğunluk Fonksiyonu

Tablo-4.3-4.4 'de bina ve izolatör parametrelerinin rasgele değişimine yapı tepkisinin hassaslığı değerlendirilmiştir. Bu tablolardan görüldüğü gibi en fazla tepki izolatör sönümü ve periyodunun ayrı ayrı ortalama değerlerinden %5 sapmasına uygun olarak yapı tabanında devrilme momentinin uygun olarak %72.66 ve %109.19 sapmasına neden olmaktadır. Dolayısı ile sırasıyla yapı kat yüksekliği, izolatör doğal periyodu, izolatör sönüm oranı temel izolatörlü bina tepkisinin en fazla hassas olduğu parametrelerdir.

Giriş parametrelerinin yoğunluk fonksiyonları normal olduğu halde, Şekil-4.3' den görüldüğü gibi çıkış (incelenen örnekte devrilme momenti, taban kesme kuvveti) parametrelerinin yoğunluk fonksiyonları normal dağılımdan sapmaktadır. Bu gerçeklik öngörülerek çıkış parametrelerinin dağılım fonksiyonlarını kurmak için A-Sharliye serisi kullanılmıştır.

Kurulmuş yoğunluk fonksiyonuna dayanarak çıkışın verilmiş aralıklarda olma olasılığı, dolayısı ile sistemin bu kritere dayalı güvenliği belirlenir. İncelenen örnekte izolatör periyodunun standardının ortalamasının %5 'ine eşit olduğu normal dağılım durumu için, yapı güvenlik kriteri olarak taban devrilme momentinin standart sapmasının ortalamasının \pm %10 'nu aşmama koşulu ise, bu analize uygun şekil-4.3' deki yoğunluk fonksiyonuna esasen yapı güvenliğinin aşağıdaki değeri hesaplanır.

$$G = \int_{m_0 - \%10m_0}^{m_0 + \%10m_0} P(\xi) d\xi = 0.1710$$

Yapı tepkisi en fazla kat yüksekliği (L_i), izolatör doğal periyodu (T_1) ve sönüm oranı (ξ_1) parametrelerinin değişimine çok hassastır. Bakılan örnekte: %2 kat yüksekliği sapmasına karşı taban devrilme momentinin standart sapması %39.9139' dur; %5 izolatör periyodu ve sönüm oranının sapmasına karşı taban devrilme momentinin standart sapması uygun olarak %72.6665 ve %109.1993' dür.

Temel izolatörlü yapıların tasarımında gereken güvenliğe ulaşmak için kat yüksekliği sapmalarını %1'den fazla olmayacak şekilde, izolatör periyodu ve sönüm oranı sapmalarını %5'in çok altında tutmak gerekmektedir. Aksi durumda yapı (temel izolatörlü bina) çok düşük güvenilirliğe sahip olacak (bakılan örnekte kabul edilen güvenlik kriterine göre 0.1710' a eşit bulunmaktadır.)

5.Sonuç ve Öneriler

Sismik yalıtım, dünyada oldukça popüler olan ve sürekli gelişim gösteren depreme karşı yapıların korunumu için önemli bir metottur.Sismik yalıtımın ana gereçlerinden olan izolatörler de uygun şekilde değişerek teknolojiye ayak uydurmaktadır.

Tezin ana hedefi olan “sismik-yalıtım yapı etkileşiminin hassaslığının değerlendirilmesi” konusu doğrultusunda materyal ve metot kısmında yer alan yöntemleri içeren çalışmalar incelenmiş belirlenen hedefe ulaşmak için gerekli yöntemler irdelenmiştir.

-“Temel yalıtımlı binaların klasik sönümlü bir bütün olarak ele alınması” konusu ele alınmış burada klasik sönümün ve mod birleştirme yöntemlerinin yetersiz kaldığı görülmüştür.Bu yüzden yapılmış olan deneysel çalışmada klasik olmayan sönüm ele alınmıştır.Ayrıca bakılmış olan incelemede kütle matrisinin diyagonal elemanlarının haricindeki değerlerin her zaman sıfır olmaması da gözlemlenmiş sismik katsayılar belirlenmiştir.

- “Sürtünme-temel yalıtımı ilişkisinin deneysel araştırılması” adlı deneysel çalışma incelenmiş deneysel çalışmada sürtünme etkisinin etkisi değerlendirilmiştir.Dünya geneline bakıldığında sürtünme etkisiyle sönümleme yapan sismik gereçlerin sıklıkla kullanılmaması bu yöntemin kullanılma düşüncesini olumsuz yönde etkilemiştir. Bununla birlikte, sürtünme elemanlarının varlığında özellikle de tepki spektrumunun geniş bantlı rasgele değişen değerler alması sismik yalıtım gereçlerinin lineer ve non lineer davranışlarının oldukça hassas olduğunu ve bu hassas değerlere karşı yapının tepkisi, dolayısıyla deprem performansının büyük oranda etkilendiği gözlemi elde edilmiştir.

- “Aktif kütle sönümleyicili çok serbestlik dereceli bir yapının depreme karşı LQR kontrolü” adlı deneysel çalışma incelenmiş (ATMD)’ye sahip çok serbestlik dereceli bir gerçek bina modelinin deprem veya rüzgar kaynaklı titreşimlerini önlemek için bir ikinci dereceden doğrusal (LQR) tasarlanması konusunda yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir.

Yapıların sismik yalıtımında kullanılan yöntemlerden biri olan aktif ve yarı-aktif kontrol sistemlerine dahil olan yalıtım gereçlerinden aktif kütle sönümleyiciler (ATMD) dünyada sıklıkla tercih edilmemektedirler.Bunun başlıca sebebi, gereçlerin komplike

hale gelmesiyle bakım gerektirir hale gelmeleridir. Depremi yer, zaman, şiddet v.s. parametrelerini günümüzde tahmin etmenin mümkün olmadığı düşünülürse sürekli bir bakımla ATMD'lerin ilk günkü gibi çalışır halde tutulmasının çok zor olduğu görülmüştür. Deneysel çalışma sonucunda geliştirilen ATMD' nin dört katlı bir bina üzerinde yapılan incelemeleri sonucunda yapı parametrelerinin kontrolünün (belirli oranda) mümkün olduğu görülmüştür. Ancak yapılmış olan çalışmanın yüksek katlı olmamasından dolayı yüksek katlı binalarda vereceği performansın tartışılabilirliği sınırlı kalmıştır.

Bilindiği gibi rüzgar etkisi;

Bina yüksekliği, bina boyutları, binanın bulunduğu yerin rüzgar parametresi, iklim koşulları v.s. gibi parametrelere bağlıdır. Buda demektir ki yapının çeşitli parametreleri için ATMD tasarımının değiştirilmesi gerekmektedir.

- "Yapıların sismik izolasyonunda kayan modlu aktif kontrol yöntemi" deprem etkisi altındaki yapıların titreşimlerini azaltmak için aktif kontrol yöntemlerinden biridir. Yapılmış olan incelemede kullanılan yöntemin gelişme aşamasında olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca kullanılmış olan sekiz katlı binanın planda ve düşeyde simetrik ve kayma çerçevesi davranışı gösteren sekiz katlı lineer sönümlü bir bina olması asimetrik davranışta göstereceği performansı görmemizi engellemiştir. Kullanılmış farklı karakterdeki depremler için titreşim genliklerinde önemli ölçüde azalmalar meydana geldiği görülmüştür. Bunlara göre kayan modlu yöntemin yapı sistemleri için etkin bir yöntem olduğu, ancak gelişime ihtiyaç duyduğu kanaatine varılmıştır.

- "Sismik yalıtım için analitik incelemeler" başlığı altında yapılmış olan yer yer TDY-98 yönetmeliği ile UBC-97 yönetmeliğini karşılaştıran çalışmalarda ülkemizin "Akdeniz Deprem Kuşağında" bulunması, geçmişte büyük hasar ve can kayıplarına sebep olan depremlere gelecekte de maruz kalacağı açıktır. Depremler doğru şekilde dersler çıkartılması durumunda minimum hasarlarla atlatılabilmektedir. Bu hedeflere ulaşabilmek için aktif ve pasif kontrol sistemlerinin ülkemizde kullanımının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Tüm bunları yapabilmek ve yapanlara da yol göstermek amacıyla uyulması gereken kuralları içeren bir yönetmeliğin ivedilikle gün ışığına çıkması gerekmektedir. Başlangıç maliyeti normal bir yapıya göre belirli oranda yüksek olsa da deprem sonrasında hayatta kalmanın karşılığında bunun ne derecede önemli olduğu ortadadır.

-Yapı tepkisinin en fazla kat yüksekliği (L_i), izolatör doğal periyodu (T_1) ve sönüm oranı (ξ_1) parametrelerinin değişimine çok hassas olduğu, yapılan incelemede kat yüksekliğinin %2 sapmasına karşı taban devrilme momentinin standart sapmasının %39.9139 olduğu, izolatör periyodu ve sönüm oranının %5 sapmasına karşı taban devrilme momentinin standart sapmasının sırasıyla %72.6665 ve %109.1993 olduğu belirlenmiştir. Bu noktadan hareketle oldukça önemli sonuçlar elde edilmiştir. Yapının parametrelerinin hangisinin değişiminin daha önemli olduğu saptanmıştır. Buradan görüldüğü gibi izolatör periyodu ve sönüm oranına yapının oldukça hassas olduğu, bu parametrelerin belirli değerlerin altında tutulması gerektiği önerilmektedir. Yapılan değerlendirmelere göre izolatör periyodu ve sönüm oranının %5, yapı kat yüksekliğinin %1' in altında tutulması gerekliliği ortaya koyulmuştur. Bakılan örneğin güvenliğinin 0.1710 değerini almış olması da dikkat çekilecek bir diğer önemli noktadır.

Önerilen sonuçlardan bir diğeri de, üreticilerin üretim aşamasında yaptıkları sayısal modellemelerde belirtilen parametreleri sınır değerlerin içinde tutmalarıdır. Sınır değerler içinde tutulmayan parametrelere sahip şekilde üretilen izolatörün faydadan çok zarar getirebileceği de düşünülmelidir.

6.KAYNAKLAR

- 1-A.Pirrotta, R.A. Ibrahim, 1997, Experimental Investigation of Friction-Base Isolation
- 2-Adhikari R., Yamaguchi H., 1997, "Sliding Mode Control of Buildings with ATMD", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, V. 26, p. 409-422.
- 3-Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 2 Temmuz 1998 tarih, 23.390 sayılı Resmi Gazete, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- 4-Alli Hasan., Calayır Yusuf., 2002, Yapıların Sismik İzolasyonunda Kayan Modlu Aktif Kontrol Yöntemi, Cilt: 4, Sayı: 3, sayfa 45-56, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi.
- 5-Anderson, B.D.O., Moore, J.B., 1990, "Optimal Control: Linear Quadratic Methods", Prentice-Hall, N.J.
- 6-C.Ceccoli , C.Mazzotti and M.Savioa, 1999, Non-Linear Seismic Analysis of Base-Isolated RC Frame Structures , Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 28, 633-653.
- 7-Dowdell, D. J. and Cherry, S., 1994, Structural control using semi-active friction dampers., CA, , pp.(FA1) 59-68, First World Conf. on Structural Control. Los Angeles
- 8-Fukushima, I., Kobori, T., Sakamoto, M., Koshika, N., Nishimura, I., Sasaki, K., 1996 " Vibration Control of a Tall Building Using Active-Passive Composite Tuned Mass Damper", Third International Conference on Motion and Vibration Control, Chiba, Japan.
- 9-Grigorian, C. E. and Popov, E. P., 1993, Slotted bolted connections for energy dissipation, ATC-17-1 Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control, San Francisco, CA, pp.545-556
- 10-Izumi, M. State of the art report: Base isolation and passive seismic response control, 1988, Proc., 9th Word Conf.Earthquake Engineering, Int. Association for Earthquake Engrg, 385-396.
- 11-Kasimzade A.A., 2002, Bounds of the Structural Response Imprecisely-defined Systems under earthquake action, P. Journal of Application Sciences 2(10): 969-974.
- 12-Kasimzade A.A., Tuhta S., Stochastic Analysis of Base Isolated Building Under Earthquake Action, P. Journal of Application Sciences: (Baskıda)

- 13-Kasumov A. A., 2000, *Elastisite Teorisi ve Uzay Çubuk, Membran, Plak, Kabuk, Solid Sistemlerin Yapı Statiği*, Beta Yayınları.
- 14-Kasumov A. A., 1997, *Yapı Dinamiği, Stabilitesi Plastik Analizi*, Beta Yayınları.
- 15-Kasumov A. A., 1999, *Seismic Action to the Structure foundation System with Random Rigidity Characteristics of Ground*, NATO Advanced Research Workshop on Strong Motion Instrumentation for Civil Engineering Structures, İstanbul, Bogazici University, Turkey, 9 p.
- 16-Kelly J.M., 1986, *Aseismic base isolation: review and bibliography*. *Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering* ; 5 (3): 209-216.
- 17-Matheu E. E., 1998, “Output – Feedback Sliding Mode Control with Generalized Sliding Surface for Civil Structures under Earthquake Excitation”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, V. 27, p. 259-283.
- 18-Mehdi H.K. Kharrazi, C.E. Ventura, R. Brincker, E. Dascotte, 2002, *A Study on Damage Detection using Output-Only Modal Data*. *Proceedings of the 20th International Modal Analysis Conference (IMAC)*, Los Angeles, California.
- 19-Mineo T, Hideyuki T., 1994, *Experimental study on the stacked type rubber bearing*. In: *First World Conference on Structural Control*, Los Angeles, CA.
- 20-Nishimura, H., Ohkubo, Y., Nonami, K., 1996, “Active Isolation Control for Multi-Degree-of-Freedom Structural System”, *Third International Conference on Motion and Vibration Control*, Chiba, Japan.
- 21-Singh M. P., Matheu E.E., 1997 “Active and Semi-Active Control of Structures under Seismic Excitation”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, V. 26, p. 193-213.
- 22-Skinner R.I, Moverry G.H, Robinson W.H., 1992, “Developments in understanding, analysing and designing structures with aseismic isolation”, In: *Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering*, Madrid Spain.
- 23-Slotine F.F.E., Li W., 1991 “*Applied Nonlinear Control*”, Prentice Hall, New Jersey.
- 24-Soong T. T., 1998, “Experimental Simulation of Degrading Structures through Active Control”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, V. 27, p. 143-154.
- 25-Soong T. T., Constantinou M.C., 1994, “*Passive and Active Structural Vibration Control in Civil Engineering*, Springer”, Verlag, New York.

- 26-Soong T. T., Dargush G.F., 1997, "Passive Energy Dissipation Systems in Structural Dynamics", V. 26, p. 1137-1156.
- 27-Sture S., 1997, Structural Control: Past, Present and Future, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Special Issue, V. 123, No:9.
- 28-Tezcan Semih S., Cimilli Serra., 2002, Seismic Base Isolation, Bebek, İstanbul
- 29-Uniform Building Code, May 1985, International Conference of Building Officials, 5360 Workman Mill Rd, Whittier California, 90 601, USA.
- 30-Utku Ş. (1998): "Theory of Adaptive Structures", Incorporating Intelligence into Engineered Products, Boca Raton, CRC Press, New York.
- 31-Wu J. C. (1998): "Application of Sliding Mode Control to Benchmark Problem", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, V. 27, p. 1247-1266.
- 32-Wu Y.M, Samali B, Nguyen H., 2000, Shake table tests on the seismic response of five-story benchmark model isolated with rubber bearings. In: The Fifth International Conference on Motion and Vibration Control, p.353-358, Sydney, Australia.
- 33-Yağız, N., Yüksek, İ., Güçlü, R., 2000, "Sliding Mode Control of a Multi-Degree-of-Freedom Structural System", 2nd International Symposium on Mechanical Vibrations, Islamabad, Pakistan.
- 34-Yağız Nurkan., Güçlü Rahmi. ve Yüksek İsmail., 2001, Aktif Kütle Sönümleyicili Çok Serbestlik Dereceli Bir Yapının Depreme Karşı LQR Kontrolü.
- 35-Yang J.N., Wu J.C., Agrawal A.K., Hsu S.Y., 1997, "Sliding Mode Control with Compensator for Wind and Seismic Response Control", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, V. 26, p. 1137-1156.
- 36-Yoshida, K., Fujio, T., 1999, "Semi-Active Base Isolation for a Building Structure", Proceedings of the 1999 ASME Design Engineering Technical Conference, Las Vegas, Nevada.
- 37-Zhao B., Lu X., Wu M., Mei Z., 2000, "Sliding-Mode Control of Buildings with Base Isolation Hybrid Protective System", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, V.29, p. 315-326.

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Samsun’ da doğdum.Üniversite eğitimimi 19 Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünde 1999-2000 ders yılında bölüm ikincisi olarak tamamladım. 2000-2001 ders yılında İnşaat Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimime başladım. 03.01.2002 tarihinden itibaren İnşaat Mühendisliği Bölümünde Yapı Anabilim dalında araştırma görevlisi olarak çalışmaktayım. İngilizce bilmekteyim.

