

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİNALARIN DEPREME KARŞI
GÜÇLENDİRİLMESİNDE KLASİK YÖNTEM İLE
SÜRTÜNMELİ SARKAÇ SİSTEMLERİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Oğuzhan AYHAN**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2006

**BİNALARIN DEPREME KARŞI
GÜÇLENDİRİLMESİNDE KLASİK YÖNTEM İLE
SÜRTÜNMELİ SARKAÇ SİSTEMLERİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Oğuzhan AYHAN
(501041088)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Nisan 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Haziran 2006**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Zeki HASGÜR
Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Zekai CELEP (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Kaya ÖZGEN (İ.T.Ü.)**

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Yapıların depreme dayanıklı tasarımı, genellikle yapıları, depremde gelen yükleri taşıyabilecek ya da bir başka deyişle depremde gelen titreşim enerjisini tüketebilecek güçte tasarlayıp inşa etmekle sağlanmaktadır. Bu yaklaşımda depremin yapıya getirdiği yük ya da titreşim enerjisi girdisi, olduğu gibi kabul edilmekte bu girdinin düzeyine herhangi oynama yapılmamaktadır.

Oysa depreme dayanıklı yapı tasarımında depremde yapıya gelebilecek yüklere de etkiyen ve bunları azaltan tasarım yaklaşımı da olabilir. Yapıların temellerinin ayrılarak depremde yapıya gelen yatay yüklerin ya da titreşim enerjisinin azaltılması depreme dayanıklı yapı tasarımında bir başka seçenek olabilir. Geçmiş yıllarda depreme dayanıklı yapı tasarımında yapıya gelen deprem yüklerini azaltma yolunda önemli adımlar atılmış ve yöntemler geliştirilmiş ve yapılara uygulanmış. Bu yöntemle tasarlanıp yapılmış önemli sayıda yapı şiddetli depremlerin deneyinden geçerek kendilerini ve temel ayırıcı yönteminin etkinliğini kanıtlamışlardır.

Sunulan bu çalışmada, temel ayırıcı sistemlerden biri olan sürtünmeli sarkaç mesnetler yakın merceğe alınmıştır ve yapıların güçlendirilmesinde bilinen klasik yöntemle güçlendirme ile yapıların sürtünmeli sarkaç mesnetlerle güçlendirilmesi arasında çeşitli açılardan kıyaslamalar yapılarak, sürtünmeli sarkaç sistemler hakkında bir takım yargılara varılmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde zamanını ve engin bilgilerini benimle paylaşan hocam sayın Prof. Dr. Zeki HASGÜR'e şükranlarımı sunarım. Ayrıca, tezin hazırlanma sürecinde her türlü destekleriyle yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran, 2006

Oğuzhan AYHAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
2. TEMEL AYIRICI SİSTEMLER	2
2.1. Temel Ayırıcı Sistemlerin Genel Felsefesi	2
2.2. Yumuşak Zeminlerde Temel Ayırıcı Sistemler	4
2.3. Ankastre Mesnetli Yapı ile Temel Ayırıcı Sistemli Yapının Davranışları	5
2.4. Temel Ayırıcı Sistemlerde Yakın Fay Etkisi	5
3. TEMEL AYIRICI SİSTEMLERDE KULLANILAN ELEMANLAR	7
3.1. Genel Bilgiler ve Tarihçe	7
3.2. Temel Ayırıcı Sistemlerinin Sınıflandırılması	8
3.3. Kauçuk Esaslı Sistemler	9
3.3.1. Düşük sönümlü kauçuk mesnetler	9
3.3.2. Yüksek sönümlü kauçuk mesnetler	11
3.3.3. Kurşun gövdeli kauçuk mesnetler	12
3.4. Kayıcı Sistemler	13
3.4.1. Sürtünmeli sarkaç mesnetler	13
3.4.2. Esnek sürtünmeli temel ayırıcı mesnetleri	14
3.5. Yay Tipi Sistemler	16
4. KLASİK YÖNTEMLE BİNALARIN GÜÇLENDİRİLMESİ	18
4.1. Yapıların Taşıma Gücünün Arttırılması İlkeleri	18
4.1.1. Yapı ağırlığının azaltılması	18
4.1.2. Yapı sünekliğinin arttırılması	18
4.1.3. Yapının taşıma gücünün arttırılması	19
4.1.4. Yapının dinamik özelliklerinin iyileştirilmesi	19
4.1.5. Yapıda burulma etkisinin azaltılması	19
4.2. Betonarme Kolonların Güçlendirilmesi	20
4.2.1. Güçlendirme yöntemleri	20
4.2.2. Mantolama	20
4.2.3. Mantolama ile kolon güçlendirilmesi üzerine öneriler	20
4.2.4. Betonarme kolonların kanat eklenerek güçlendirilmesi	21

4.2.5. Kolonların güçlendirme yöntemlerinin etkinliği	23
4.3. Perde Duvarla Güçlendirme	23
4.3.1. Çerçeveleri doldurma yöntemleri	24
4.3.2. Dolgu duvarla güçlendirmenin etkinliği	27
4.3.3. Çerçevenin perde duvara dönüşmesinin yaratacağı sorunlar	28
5. DÜNYADAKİ TEMEL AYIRICI SİSTEM UYGULAMA ÖRNEKLERİ	29
5.1. The Salt Lake City and Country Binası	29
5.2. San Francisco Uluslararası Havalimanı Terminali	30
5.3. Birleşik Devletler İstinaf Mahkemesi	31
5.4. Washington Eyaleti Acil Operasyon Merkezi	32
5.5. Sıvılaştırılmış Doğalgaz Tankı	33
5.6. Atatürk Uluslararası Havalimanı Terminali	35
5.7. Seahawks Futbol Stadyumu	36
5.8. Benicia-Martinez Köprüsü	37
6. ANALİZDE KULLANILACAK YAPILAR VE DEPREMLER	38
6.1. Analizde Kullanılacak Yapılar	38
6.1.1. Kısa periyotlu konut binası	38
6.1.2. Uzun periyotlu hastane binası	40
6.2. Housner Şiddeti	43
6.3. Analizde Kullanılan Deprem İvme Kayıtları	43
6.3.1. Düzce depremi Bolu D-B ivme kaydı	43
6.3.2. Erzincan depremi Erzincan D-B ivme kaydı	44
6.3.3. Mexico City depremi Mexico City K-G ivme kaydı	45
6.3.4. Kobe depremi Kobe D-B ivme kaydı	47
6.3.5. Kocaeli depremi Yarımca D-B ivme kaydı	48
6.3.6. Kocaeli depremi Sakarya D-B ivme kaydı	49
6.3.7. Kocaeli depremi İzmit D-B ivme kaydı	50
6.3.8. Dursunbey depremi Dursunbey D-B ivme kaydı	51
7. ANALİZ	52
7.1. EDYY ile Analiz	52
7.1.1. Konut binasının EDYY ile analizi	52
7.1.2. Hastane binasının EDYY ile analizi	56
7.2. Dinamik Analiz	59
7.3. Performans Kavramına Dayalı Tasarım	61
8. MALİYET ANALİZİ	64
8.1. Konut Binasının Maliyet Analizi	65
8.1.1. Konut binasının klasik güçlendirme maliyeti	65
8.1.2. Konut binasının SSS ile güçlendirilme maliyeti	67
8.2. Hastane Binasının Maliyet Analizi	68
8.2.1. Hastane binasının klasik güçlendirme maliyeti	68
8.2.2. Hastane binasının SSS ile güçlendirilme maliyeti	69

9. SONUÇLAR	72
KAYNAKLAR	74
EK-A : TABAN KESME KUVVETLERİ	76
EK-B : TABAN DEVRİLME MOMENTLERİ	93
ÖZGEÇMİŞ	110

KISALTMALAR

ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik
IBC	: International Building Code
YTL	: Yeni Türk Lirası
SSS	: Sürtünmeli Sarkaç Sistem
DBE	: Design Basis Earthquake
MCE	: Maximum Capable Earthquake
EDYY	: Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntem

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 7.1 : Binaların çeşitli depremler altında taban kesme kuvvetleri...	59
Tablo 7.2 : Binalarda çeşitli depremler altında oluşan devrilme momentleri.....	60
Tablo 7.3 : Binalarda çeşitli depremler altında oluşan maksimum yerdeğiştirmeler.....	60
Tablo 7.4 : Binaların çeşitli depremler altında ki maksimum kat öteleme açıları.....	61
Tablo 8.1 : Konut Binasının klasik güçlendirme kaba inşaat malzeme maliyeti.....	66
Tablo 8.2 : Konut binasının klasik güçlendirme maliyeti.....	66
Tablo 8.3 : Konut binasına uygulanan sürtünmeli sarkaç sistemin malzeme ve işçilik maliyetleri.....	67
Tablo 8.4 : SSS ile güçlendirmenin toplam maliyeti.....	68
Tablo 8.5 : Hastane Binasının malzeme maliyeti.....	68
Tablo 8.6 : Konut binasının klasik güçlendirme maliyeti.....	69
Tablo 8.7 : Hastane Binasına uygulanan SSS'lerin malzeme ve işçilik maliyetleri.....	70
Tablo 8.8 : Hastane Binasında perdelerin ve mantoların malzeme maliyeti.....	70
Tablo 8.9 : Hastane Binasını SSS ile güçlendirmenin toplam maliyeti....	71

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Sert zeminler üzerinde alınmış tipik kuvvetli yer hareketi ivme spektrumu.....	2
Şekil 2.2 : Sert zeminler üzerinde alınmış kuvvetli yer hareketi öteleme spektrumu.....	3
Şekil 2.3 : El Centro depremi ivme spektrumu.....	4
Şekil 2.4 : Vrança depremi, 1977, kuzey-güney bileşeni deprem ivme spektrumu.....	4
Şekil 2.5 : Ankastre mesnetli ve temel ayırıcı sistem uygulanmış yapı davranışları.....	5
Şekil 3.1 : Düşük sönümlü kauçuk mesnedin kesit ve elemanları.....	10
Şekil 3.2 : Düşük sönümlü kauçuk mesnedin şematik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı.....	10
Şekil 3.3 : Yüksek sönümlü kauçuk mesnedin şematik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı.....	11
Şekil 3.4 : Kurşun saplamalı kauçuk mesnedin kesit ve elemanları.....	12
Şekil 3.5 : Kurşun saplamalı kauçuk mesnedin kuvvet-yerdeğiştirme davranışı.....	12
Şekil 3.6 : Kurşun saplamalı kauçuk mesnedin doğrusal olan ve olmayan omurga eğrisi.....	13
Şekil 3.7 : Sürtünmeli sarkaç mesnedin kesit ve elemanları.....	14
Şekil 3.8 : Sürtünmeli sarkaç mesnedin kuvvet-yerdeğiştirme değişimi.....	14
Şekil 3.9 : Esnek sürtünmeli temel ayırıcı mesnedin kesit ve elemanları....	15
Şekil 3.10 : Esnek sürtünmeli temel ayırıcı mesnedin şematik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı.....	15
Şekil 3.11 : Gerb yay tipi sistemler.....	16
Şekil 3.12 : Viskoz sönümleyicinin bileşenleri.....	16
Şekil 4.1 : (a) Kolonun yalnızca kesme dayanımını arttıran mantolama, (b) Kolonun hem kesme hem de moment dayanımını arttıran mantolama.....	21
Şekil 4.2 : Kolonun iki yanına kanat eklenmesi.....	22
Şekil 4.3 : Kanatla güçlendirmenin yatay yük altında davranışa etkisi.....	22
Şekil 4.4 : Değişik kolon güçlendirme yöntemlerinin karşılaştırmalı etkinliği.....	23
Şekil 4.5 : Perdelerin çerçeveler ile birlikte çalışması için uygun ayrıntılar.....	25
Şekil 4.6 : Çerçeve açıklığının değişik yöntemlerle doldurulmasının dayanım ve deformasyon gücü üzerindeki etkileri.....	28
Şekil 5.1 : The Salt Lake City and Country Binası.....	29
Şekil 5.2 : San Francisco Uluslararası Havalimanı Terminali.....	30
Şekil 5.3 : San Francisco Uluslararası Hava Terminali'nde kullanılan SSS	31
Şekil 5.4 : San Francisco Uluslararası Hava Terminali'nin yapımı.....	31

Şekil 5.5	: Birleşik Devletler İstinaf Mahkemesi.....	32
Şekil 5.6	: Birleşik Devletler İstinaf Mahkemesi'nde uygulanan SSS.....	32
Şekil 5.7	: Washington Eyaleti Acil Operasyon Merkezi.....	33
Şekil 5.8	: Washington Eyaleti Acil Operasyon Merkezinde kullanılan SSS.....	33
Şekil 5.9	: Sıvılaştırılmış Doğalgaz Tankı.....	34
Şekil 5.10	: Tankın temeline koyulmuş SSS'ler.....	34
Şekil 5.11	: Tankın temelinde ki SSS'lerden birinin yakından görüntüsü	34
Şekil 5.12	: Atatürk Havalimanı'nın dışarıdan görüntüsü.....	35
Şekil 5.13	: Atatürk Havalimanında kullanılan bir sürtünmeli sarkaç mesnet.....	35
Şekil 5.14	: Seahawks Futbol Stadyumu.....	36
Şekil 5.15	: Seahawks Futbol Stadyumunda kullanılan bir SSS.....	36
Şekil 5.16	: Benicia-Martinez Köprüsü.....	37
Şekil 5.17	: Benicia-Martinez Köprüsünde kullanılan bir SSS.....	37
Şekil 6.1	: Klasik güçlendirilmiş Konut Binasının 1.katının planı.....	38
Şekil 6.2	: Klasik güçlendirilmiş Konut Binasının 2, 3, ve 4. katlarının planı.....	39
Şekil 6.3	: SSS ile güçlendirilmiş Konut Binasının tüm katlarının planı.....	39
Şekil 6.4	: Konut Binasının üç boyutlu modelinden bir görüntü.....	40
Şekil 6.5	: Hastane Binasının 1.kat planı.....	41
Şekil 6.6	: Hastane Binasının 2.-10. katların planı.....	41
Şekil 6.7	: SSS ile güçlendirilmiş Hastane Binası.....	42
Şekil 6.8	: Hastane Binasının 3 boyutlu modelinden bir görüntü.....	42
Şekil 6.9	: Düzce Depremi Bolu D-B ivme kaydı ivme spektrumu eğrisi...	44
Şekil 6.10	: Düzce Depremi Bolu D-B ivme kaydı hız spektrumu eğrisi.....	44
Şekil 6.11	: Erzincan Depremi Erzincan D-B ivme kaydı ivme spektrumu eğrisi.....	45
Şekil 6.12	: Erzincan Depremi Erzincan D-B ivme kaydı hız spektrumu eğrisi.....	45
Şekil 6.13	: Mexico City Depremi Mexico City K-G ivme kaydı ivme spektrumu eğrisi.....	46
Şekil 6.14	: Mexico City Depremi Mexico City K-G ivme kaydı hız spektrumu eğrisi.....	46
Şekil 6.15	: Kobe Depremi Kobe D-B ivme kaydı ivme spektrumu eğrisi.....	47
Şekil 6.16	: Kobe Depremi Kobe D-B ivme kaydı hız spektrumu eğrisi.....	47
Şekil 6.17	: Kocaeli Depremi Yarımca D-B ivme kaydı ivme spektrumu eğrisi.....	48
Şekil 6.18	: Kocaeli Depremi Yarımca D-B ivme kaydı hız spektrumu eğrisi.....	48
Şekil 6.19	: Kocaeli Depremi Sakarya D-B ivme kaydı ivme spektrumu eğrisi.....	49
Şekil 6.20	: Kocaeli Depremi Sakarya D-B ivme kaydı hız spektrumu eğrisi.....	49
Şekil 6.21	: Kocaeli Depremi Kocaeli D-B ivme kaydı ivme spektrumu eğrisi.....	50
Şekil 6.22	: Kocaeli Depremi Kocaeli D-B ivme kaydı hız spektrumu eğrisi.....	50

Şekil 6.23	: Dursunbey Depremi Dursunbey D-B ivme kaydı ivme spektrumu eğrisi.....	51
Şekil 6.24	: Dursunbey Depremi Dursunbey D-B ivme kaydı hız spektrumu eğrisi.....	51
Şekil 7.1	: Tasarım Depremi Spektrumu (ABYYHY-1998).....	52
Şekil 7.2	: Maximum Deprem Spektrumu (IBC-2000).....	52
Şekil 7.3	: Konut Binasında kullanılan FP8831–6 temel ayırıcı.....	54
Şekil 7.4	: Hastane Binasında kullanılan FP8836–11 temel ayırıcı.....	57
Şekil A.1	: Konut Binası Düzce Depremi Bolu D-B kaydı taban kesme kuvveti.....	77
Şekil A.2	: Konut Binası Erzincan Depremi D-B kaydı taban kesme kuvveti.....	78
Şekil A.3	: Konut Binası Mexico City Depremi K-G kaydı taban kesme kuvveti.....	79
Şekil A.4	: Konut Binası Kobe Depremi D-B kaydı taban kesme kuvveti.....	80
Şekil A.5	: Konut Binası Kocaeli Depremi Yarımca D-B kaydı taban kesme kuvveti.....	81
Şekil A.6	: Konut Binası Kocaeli Depremi Sakarya D-B kaydı taban kesme kuvveti.....	82
Şekil A.7	: Konut Binası Kocaeli Depremi İzmit D-B kaydı taban kesme kuvveti.....	83
Şekil A.8	: Konut Binası Dursunbey Depremi D-B kaydı taban kesme kuvveti.....	84
Şekil A.9	: Hastane Binası Düzce Depremi Bolu D-B kaydı taban kesme kuvveti.....	85
Şekil A.10	: Hastane Binası Erzincan Depremi D-B kaydı taban kesme kuvveti.....	86
Şekil A.11	: Hastane Binası Mexico City Depremi K-G kaydı taban kesme kuvveti.....	87
Şekil A.12	: Hastane Binası Kobe Depremi D-B kaydı taban kesme kuvveti.....	88
Şekil A.13	: Hastane Binası Kocaeli Depremi Yarımca D-B kaydı taban kesme kuvveti.....	89
Şekil A.14	: Hastane Binası Kocaeli Depremi Sakarya D-B kaydı taban kesme kuvveti.....	90
Şekil A.15	: Hastane Binası Kocaeli Depremi İzmit D-B kaydı taban kesme kuvveti.....	91
Şekil A.16	: Hastane Binası Dursunbey Depremi D-B kaydı taban kesme kuvveti.....	92
Şekil B.1	: Konut Binası Düzce Depremi Bolu D-B kaydı taban devrilme momenti.....	94
Şekil B.2	: Konut Binası Erzincan Depremi D-B kaydı taban devrilme momenti.....	95
Şekil B.3	: Konut Binası Mexico City Depremi K-G kaydı taban devrilme momenti.....	96
Şekil B.4	: Konut Binası Kobe Depremi D-B kaydı taban devrilme momenti.....	97
Şekil B.5	: Konut Binası Kocaeli Depremi Yarımca D-B kaydı taban devrilme momenti.....	98

Şekil B.6	: Konut Binası Kocaeli Depremi Sakarya D-B kaydı taban devrilme momenti.....	99
Şekil B.7	: Konut Binası Kocaeli Depremi İzmit D-B kaydı taban devrilme momenti.....	100
Şekil B.8	: Konut Binası Dursunbey Depremi D-B kaydı taban devrilme momenti.....	101
Şekil B.9	: Hastane Binası Düzce Depremi Bolu D-B kaydı taban devrilme momenti.....	102
Şekil B.10	: Hastane Binası Erzincan Depremi D-B kaydı taban devrilme momenti.....	103
Şekil B.11	: Hastane Binası Mexico City Depremi K-G kaydı taban devrilme momenti.....	104
Şekil B.12	: Hastane Binası Kobe Depremi D-B kaydı taban devrilme momenti.....	105
Şekil B.13	: Hastane Binası Kocaeli Depremi Yarımca D-B kaydı taban devrilme momenti.....	106
Şekil B.14	: Hastane Binası Kocaeli Depremi Sakarya D-B kaydı taban devrilme momenti.....	107
Şekil B.15	: Hastane Binası Kocaeli Depremi İzmit D-B kaydı taban devrilme momenti.....	108
Şekil B.16	: Hastane Binası Dursunbey Depremi D-B kaydı taban devrilme momenti.....	109

SEMBOL LİSTESİ

ξ	: Sönüm oranı
β_D	: DBE sönümü
β_{eff}	: Efektif sönüm
β_M	: MCE sönümü
$A(T)$	: Spektral ivme katsayısı
A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
b	: Binanın planda x yönünde ki uzunluğu
B_D	: DBE sönüm katsayısı
B_M	: MCE sönüm katsayısı
d	: Binanın planda y yönünde ki uzunluğu
D	: Yerdeğiştirme
D_D	: DBE tasarım yerdeğiştirmesi
D_M	: MCE tasarım yerdeğiştirmesi
D_{TD}	: DBE toplam tasarım yerdeğiştirmesi
D_{TM}	: MCE toplam tasarım yerdeğiştirmesi
e	: Eksantrisite
f	: Sürtünme katsayısı
g	: Yerçekimi ivmesi
k_{eff}	: Efektif rijitlik
R	: SSS'de küresel yüzeyin eğrilik yarıçapı
R_a	: Deprem yükü azaltma katsayısı
R_I	: SSS'li sistemde deprem yükü azaltma katsayısı
S_a	: Spektral ivme
S_v	: Spektral hız
SI	: Housner Şiddeti
T	: Doğal titreşim periyodu
T_D	: DBE efektif sistem periyodu
T_M	: MCE efektif sistem periyodu
V_S	: Üst yapı için tasarım kuvveti
V_t	: Taban kesme kuvveti
W	: Yapı toplam ağırlığı
W_I	: SSS'li yapının toplam ağırlığı

BİNALARIN DEPREME KARŞI GÜÇLENDİRİLMESİNDE KLASİK YÖNTEM İLE SÜRTÜNMELİ SARKAÇ SİSTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Olası bir büyük depreme karşı zayıf olan mevcut binalar çeşitli yöntemlerle güçlendirilerek depreme dayanıklı hale getirilmelidir. Yapıları güçlendirmenin en bilinen yöntemi klasik güçlendirmedir. Klasik güçlendirmede yapıya yeni elemanlar eklenmek suretiyle yapının taşıma gücü artırılır. Bunu yaparken, binanın periyodunun azalması ve binanın toplam yükünün artması nedeniyle, binaya depremden dolayı ekstra yükler gelebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Güçlendirmenin diğer bir yöntemi de yapıyı temelinden, yatay yönde rijitliği düşük elemanlarla ayırmakla yapılabilir. Bunun amacı yapının periyodunu arttırarak yapıya gelebilecek yükleri azaltmaktır.

Bu çalışmada, binaları güçlendirme yöntemlerinden klasik güçlendirme ve sürtünmeli sarkaç mesnetler ile güçlendirme yöntemleri, karşılaştırmalı olarak ele alınmış ve birbirlerine karşı üstünlükleri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca temel ayırıcı sistemlerin çeşitleri ve klasik güçlendirme yöntemleri de tezin içeriğinde mevcuttur.

Bu amaç doğrultusunda, kısa ve uzun periyotlu iki ayrı yapı ele alınmıştır. Kısa periyotlu yapı 4 katlı bir konut binası olup 1. doğal titreşim periyodu 0,461s'dir. Uzun periyotlu yapı ise 10 katlı bir hastane binasıdır ve 1. doğal titreşim periyodu 1,238s'dir. Bu yapılar, klasik yöntemle ve sürtünmeli sarkaç sistemle olmak üzere iki ayrı şekilde güçlendirilmişlerdir. Klasik güçlendirilmiş konut binasının 1. doğal titreşim periyodu 0,201s'ye düşerken, sürtünmeli sarkaç sistemle güçlendirilmiş konut binasının 1. doğal titreşim periyodu 2,279s'ye çıkmıştır. Hastane binasında ise: Klasik güçlendirilmiş durumda 1. doğal titreşim periyodu 0,761s'ye düşerken, sürtünmeli sarkaç sistemle güçlendirilmiş durumda 1. doğal titreşim periyodu 2,428s'ye çıkmıştır. Daha sonra bu yapılar, 8 ayrı deprem ivme izi ile zaman tanım alanında analiz edilmişlerdir. Bu deprem ivme izleri 1999 Düzce Depremi Bolu ivme izi, 1992 Erzincan Depremi Erzincan ivme izi, 1985 Mexico City Depremi Mexico City ivme izi, 1995 Kobe Depremi Kobe ivme izi, 1999 Kocaeli Depremi Yarımca, Sakarya, İzmit ivme izleri ve 1979 Dursunbey Depremi Dursunbey ivme izidir. Bu depremlerin yapılarda oluşturdukları yer değiştirmeler, kat öteleme açıları, taban kesme kuvvetleri ve taban devrilme momentleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler sayesinde hem farklı deprem ivme izlerinin farklı özellikte ki yapılarda oluşturduğu etkiler kıyaslanmış hem de klasik güçlendirme ile sürtünmeli sarkaç sistemle güçlendirme arasında kıyaslamalar yapılmıştır. Ayrıca yapılan güçlendirme

yöntemlerini maliyet açısından kıyaslamak için, iki yapıda da uygulanan iki ayrı güçlendirme yönteminin maliyetleri çıkartılmıştır. Konut Binasının Klasik Güçlendirme yöntemiyle güçlendirilmesinin maliyeti 122000 YTL iken, Sürtünmeli Sarkaç Sistem ile güçlendirilmesinin maliyeti 354000 YTL'dir. Hastane Binasının Güçlendirilmesinde ise Klasik Güçlendirme yapılmasının maliyeti 450000 YTL iken, Sürtünmeli Sarkaç Sistemle güçlendirmenin maliyeti 528000 YTL'dir.

Sonuç olarak yumuşak zeminlerde, klasik güçlendirme yöntemi tercih edilmesi gereken yöntem, sert ve orta sertlikte zeminlerde ise sürtünmeli sarkaç sistem tercih edilmesi gereken yöntem olduğu belirlenmiştir. Çünkü klasik güçlendirme yöntemi yapının periyodunu düşürerek yapıyı sert ve orta sertlikteki zeminlerin hâkim periyoduna yaklaştırarak yapıya daha fazla yük gelmesine sebebiyet verir. Bu tür zeminlerde sürtünmeli sarkaç sistemi yapının periyodunu arttırdığından zeminin hâkim periyodundan uzaklaşmasını sağlayarak yapıya daha az yük gelmesini sağlar. Bu durum yumuşak zeminlerde ise tam tersinedir. Sürtünmeli sarkaç sistemle güçlendirme yapının periyodunu arttırıp zeminin hâkim periyoduna yaklaştırırken, klasik güçlendirme yapının periyodunu düşürerek zeminin hâkim periyodundan uzaklaştırmak suretiyle yapıya depremden gelecek yüklerin azalmasını sağlar.

Sürtünmeli Sarkaç Sistem ile güçlendirme ve klasik yöntemle güçlendirme, maliyet açısından kıyas edildiğinde, Sürtünmeli Sarkaç Sistem ile güçlendirmenin maliyetinin daha fazla olduğu görülür. Fakat binanın performansının artması, bir dahaki gelebilecek olan depremi hasarsız atlatıp oluşabilecek olan hasarın onarımından doğacak maliyet, klasik güçlendirmenin uzun bir zaman içinde yapılabilecek olmasından doğan zaman kaybı, yapının içinde yaşayan kişilerin depremi daha az hissetmesinin vereceği psikolojik etki ve yapının içerisinde, yapıdan daha pahalı olan donanımların veya değerli eşyaların zarar görmeyeceği, gibi durumlar da hesaba katılırsa, Sürtünmeli Sarkaç Sistem ile güçlendirmenin uzun vadede daha ekonomik bir yöntem olduğu sonucuna varılabilir. Buna ek olarak, Sürtünmeli Sarkaç Sistem ile güçlendirmenin Türkiye'de yaygınlaşması ve malzeme üretiminin burada yapılması, Sürtünmeli Sarkaç Sistem ile güçlendirmenin maliyetini bir hayli aşağıya çekecek ve klasik güçlendirmeden maliyet açısından da daha ucuza mal olacaktır.

COMPARISON WITH CLASSICAL METHOD AND FRICTION PENDULUM SYSTEM FOR STRUCTURES RETROFIT AGAINST EARTHQUAKE

SUMMARY

Existing buildings which are weak against probable major earthquake have to be retrofitted by various methods as to become earthquake resistant behaviour. The most known retrofit method is classical retrofit. The capacity of structure is increased by adding new structural elements in classical method. By doing this, the period decreasing and total vertical load increasing of structure cause extra earthquake loads which must be considered. Another retrofit method can be used with isolating structure from its foundation by low lateral rigidity bearings. The goal is reducing lateral earthquake loads by increasing the period of structure.

In this study, classical retrofit method and retrofit by friction pendulum system method had been compared in order to determine better behaviour against earthquake. Also variety of base isolation systems and classical retrofit methods exist in thesis.

Two different structures that one of them has short period and another has long period, had been considered. Having short period structure is four-story-residence and its natural vibration period is 0.461 sec. Having long period structure is ten-story-hospital and its natural vibration period is 1.238 sec. These structures had been retrofitted by classical method and friction pendulum system. As the natural vibration period of retrofitting with classical method resistance building decreased to 0.201 sec, the natural vibration period of retrofitting with friction pendulum system resistance building increased to 2.279 sec. For the hospital building, as the natural vibration period of retrofitting with classical method decreased to 0.761 sec, the natural vibration period of retrofitting with friction pendulum system increased to 2.428 sec. After that, time history analysis with 8 distinct acceleration trace had been carried out to these structures. Used acceleration traces are 1999 Duzce earthquake Bolu acceleration trace, 1992 Erzincan earthquake Erzincan acceleration trace, 1985 Mexico City earthquake Mexico City acceleration trace, 1995 Kobe earthquake Kobe acceleration trace, 1999 Kocaeli earthquake Yarımcı, Sakarya, İzmit acceleration traces and 1979 Dursunbey earthquake Dursunbey acceleration trace. Displacements, story drift angles, base shear forces and base overturning moments of structures had been determined for these earthquakes. With getting results from analysis, both behaviours of structures having different character against different earthquake acceleration traces had been observed and classical retrofit and friction pendulum system retrofit methods had been compared. Also, cost analysis was done for two different retrofitted buildings in order to consider comparing retrofit methods.

In conclusion, it's determined that classical retrofit method is suitable for soft soils and retrofitting by friction pendulum system is suitable for hard and middle-hard soils. Because, classical retrofit method decreases the natural vibration period of structure that closes to dominant period of hard and middle-hard soils. It causes to increase lateral loads for structure. For these soils, because the friction pendulum system increases natural vibration period of structure, the dominant period of soil don't close to the natural vibration period of structure therefore, structure is exposed to less lateral loading. This case is opposite for soft soils. As retrofitting by friction pendulum system increases the natural vibration period of structure and closes to dominant period of soil, classical retrofitting decreases the natural vibration period of structure and removes from dominant period of soil so provides to decrease earthquake loads.

Retrofitting by friction pendulum system has less cost than retrofitting by classical method if we compare two different retrofit methods about their cost. However, if friction pendulum system is used: performance of building will increase, probable next major earthquake can be overcome undamaged so retrofit cost won't exist, retrofit construction time will be shorter, earthquake will be felt less so persons who live in building will be more relax during earthquake, valuable equipments which are more expensive than buildings won't be damaged. If these important cases are considered, retrofitting by friction pendulum system method is cheaper than classical retrofit method for long time period. Moreover, whether retrofitting by friction pendulum system becomes widespread and production of friction pendulum system becomes a reality in Turkey, the cost of retrofitting by friction pendulum system will decrease and this system will more suitable than classical retrofit method.

1. GİRİŞ

Uzun zaman binaların deprem etkilerine karşı korunmasında ana amaç, meydana gelen etkileri karşılayacak biçimde taşıyıcı sistemin oluşturulması ve elemanlarının boyutlandırılması şeklinde olmuştur. Bu amaç genellikle daha rijit taşıyıcı sistemlerin çıkmasına sebep olur. Bu durumda depremde etkili olan serbest titreşim periyotları azalır ve bunun sonucu olarak da karşılanması gereken deprem kuvvetleri artar. Bu yaklaşımda depremin yapıya getirdiği yük ya da titreşim enerjisi girdisi, olduğu gibi kabul edilip bu girdinin düzeyine herhangi oynama yapılmamaktadır [1].

Bir yapının etkin rezonans periyodu genellikle 0.1 ile 1.0 saniye periyot aralığındadır. Bu periyot aralığı aynı zamanda pek çok şiddetli depremin baskın periyot aralığını da kapsar. Doğal periyotları bu kritik aralıkta bulunan yapılar zeminden aktarılan ivmeleri genellikle yükseklikleri boyunca artırır. Bu tür yapıların depreme dayanıklı tasarımında yapı mühendislerinin karşılaştığı en önemli zorluk aynı anda hem görelî kat ötelemelerinin hem de kat ivmelerinin sınırlandırılması koşuludur. Görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılması, döşemeler arasındaki kolonlar ve bölme duvarlar, tavanlar veya hafif donanımlar gibi yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki olası zararı azaltılabilmek için gereklidir. Diğer yandan kat ivmelerinin azaltılması, hiç yapısal hasar gözlemlenmese bile, hassas iç donanımlara, eşyalara, makinelere ve binanın içinde yaşayan insanlara gelebilecek zararı azaltmak için gereklidir. Yapının rijitliği artırılarak görelî kat ötelemeleri azaltılabilir. Ancak bu durumda yapının rijitliğindeki artış zemin hareketlerinin yapıda güçlenmesiyle kat ivmelerinin artmasına neden olacaktır. Binaya esneklik katmak bu problemi çözebilir. Fakat bu durumda, yapının esnekliği, rüzgâr yüklerinde ya da küçük depremlerde döşemelerin ayakların altında hareket etmesine, bölme duvarların çatlamasına ve belki de hepsinden önemlisi görelî kat ötelemelerinin artmasına neden olacaktır. Sismik temel ayırıcı yöntemi, görelî kat ötelemelerini ve kat ivmelerini aynı anda azaltmanın pratik yollarından biridir [2].

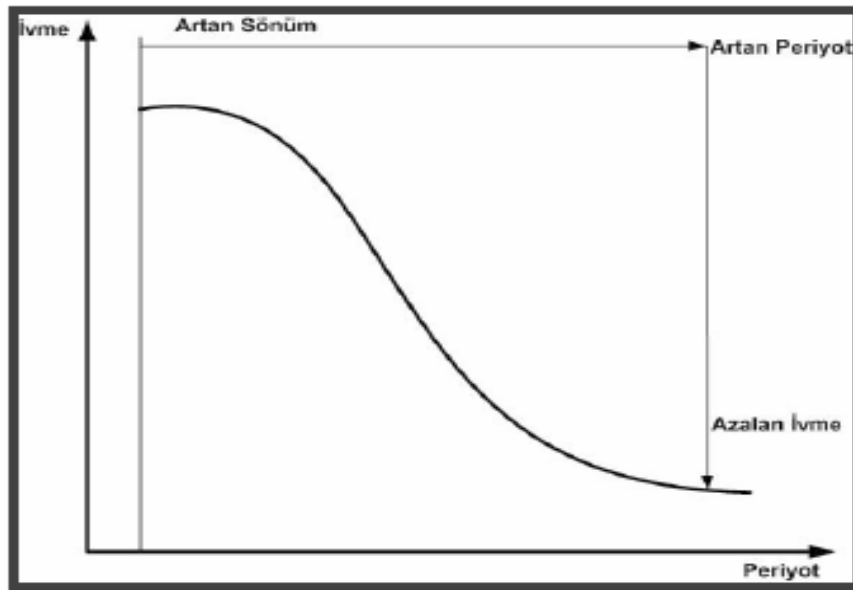
Binalarda deprem etkisinde kullanılan koruyucu önlemlerden birisi olan deprem etkisine karşı temel ayırıcı sistem yapılması konusunun ortaya konulması oldukça eskidir. Ancak, uygulamaya dönük teknolojinin ortaya çıkması ise yeni sayılabilir.

2. TEMEL AYIRICI SİSTEMLER

2.1. Temel Ayırıcı Sistemlerin Genel Felsefesi

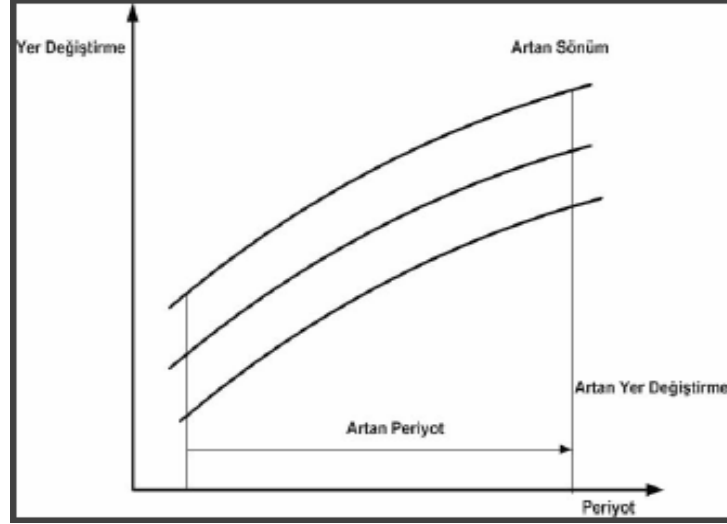
Taban yalıtımı kavramının kullanılması oldukça basittir. Deprem sırasında, yeryüzünde bir hareket meydana gelir. Bu olay bir dalga şeklinde her doğrultuda yayılır ve hareket bir yapıya eriştiğinde temellerini sallamaya başlar. Temeller de kendisine bağlı olan taşıyıcı sistemi sallar ve sistem elemanlarının kesitlerinde atalet kuvvetlerinin oluşturduğu etkiler meydana gelir. Yapının temelinin taşıyıcı sistemden ayrılarak titreşimin yapıya erişmesinin önlenmesi, depremde taban yalıtımının ana fikrini oluşturur.

Taban yalıtımı olmayan ve doğrudan temele bağlı bir sistemde deprem titreşimleri temel yoluyla yapıya iletilir. Bu kısa zamanda yön değiştiren titreşimler, temel ile üst yapı arasında relatif küçük yerdeğştirmeler meydana getirmesine rağmen, yapı elemanlarına ve birleşim bölgelerinde önemli etkiler oluşturur. Temel ayırıcı sistem sayesinde, yatay deprem titreşimlerinin ancak bir bölümü üst yapıya geçer. Bunun sonucu olarak üst yapıdaki etkiler azaltılmış olur. Ancak, temel deprem etkisinde hareket ederken, üst yapıdaki yerdeğştirmeler sonucu, temel ile yapı arasında önemli bir relatif hareket görülür [1].



Şekil 2.1 : Sert zeminler üzerinde alınmış tipik kuvvetli yer hareketi ivme spektrumu

Yapılara depremlerde gelen yatay yüklerin yapıların dinamik özelliklerine göre değişimini gösteren mukabele spektrumlarının incelenmesinden aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir (Şekil 2.1, Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : Sert zeminler üzerinde alınmış kuvvetli yer hareketi öteleme spektrumu

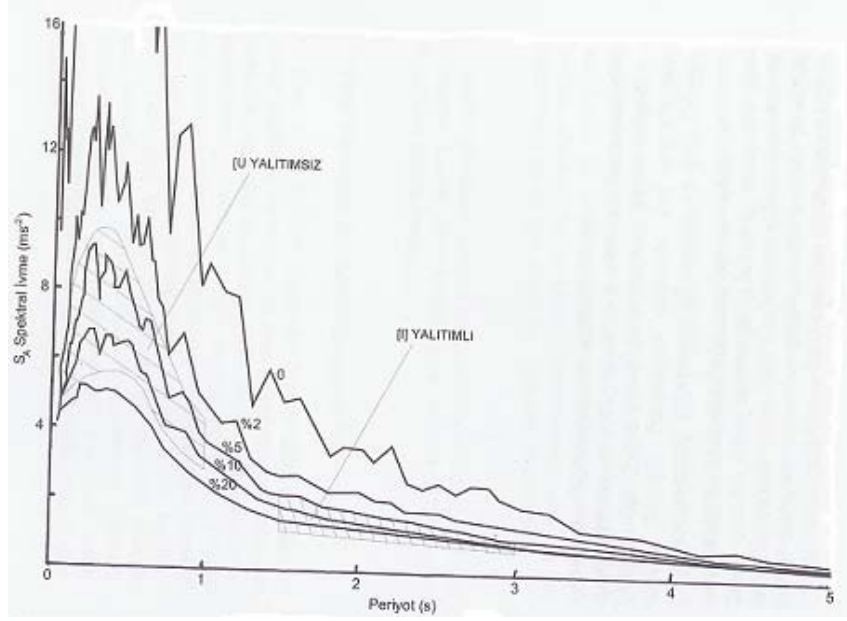
- Uzun periyotlu yapılara gelen deprem yükleri ve ivmeleri küçüktür. Yapının periyodu "uzatılırsa" daha küçük bir deprem kuvvetine göre tasarım yeterlidir. Yapıya daha az deprem kuvveti gelecektir. Ancak uzun periyotlu yapılar daha çok ötelenmektedir. Yapı periyodu daha uzun ise ivme azalacak, ancak ötelenme artacaktır.
- Yapının sönümü artırılırsa yapıya gelen hem ivme hem de ötelenme azalacaktır.
- Yapının periyodu yaklaşık 2.0-2.5 s 'ye kadar uzatılırsa, deprem kuvvetlerinde önemli bir azalma olmaktadır.
- Yapı periyodu yapının kütlesi ile doğru, rijitliği ile ters orantılıdır. Yapının ağırlığının azaltılması daha güç olduğu için yapının rijitliği azaltılabilir ve yapı periyodu uzatılabilir.

Yapı tabanına konulacak yalıtım araçlarının:

- Düşey yönde rijitliği büyük olmalıdır. Böylece düşey yönde tabanda rijit kütle olarak dönmesi azaltılmalıdır.
- Yalıtım araçları yapının düşey yükünü normal kullanım koşullarında büyük güvenlikle taşıyabilmelidir.

Temel ayırıcı kullanılmasıyla, depremde gelecek kuvvetleri azaltarak yapı hasarını önleme ve yapının her koşulda kullanımını sağlanacaktır. Şekil 2.3'ten görüleceği

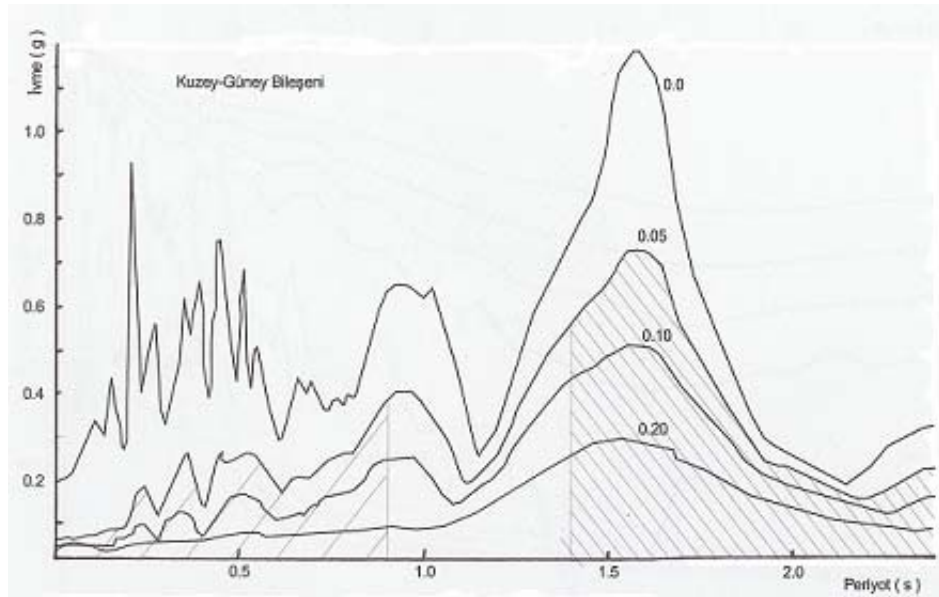
gibi yapıların altına yatay yüklere göre rijitliği az olan temel ayırıcılar konularak yapının periyodu uzatılırsa yapılara gelen yatay yüklerde 5 kat azalma olmaktadır.



Şekil 2.3 : El Centro depremi ivme spektrumu

2.2. Yumuşak Zeminlerde Temel Ayırıcı Sistemler

Yapı yumuşak zemin üzerinde ise; Şekil 2.3'te verilen spektrum örneği oldukça sert bir zemin üzerinde ve depremin merkezine oldukça yakın bir noktada ölçülmüş El-Centro 1940 depreminin kaydından hesaplanmıştır. Ancak daha yumuşak zeminler üzerinde ve oldukça uzakta olmuş depremlerin kuvvetli yer hareketi kayıtlarından hesaplanmış spektrumlar biraz farklıdır.

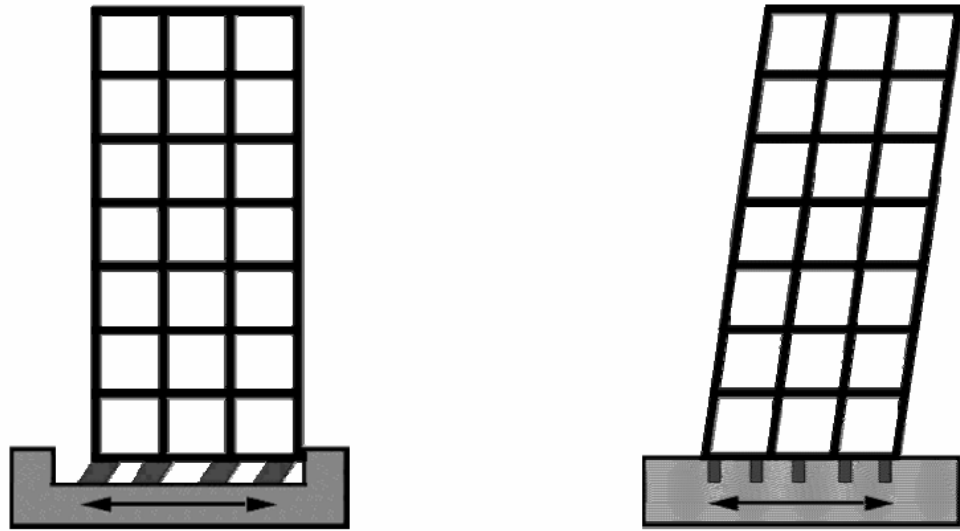


Şekil 2.4 : Vrança depremi, 1977, kuzey-güney bileşeni deprem ivme spektrumu

2.3. Ankastre Mesnetli Yapı ile Temel Ayırıcı Sistemli Yapının Davranışları

Şekil 2.5'de ankastre mesnetli bir yapı ile temel ayırıcı sistem uygulanmış yapının deprem esnasındaki davranışı görülmektedir. Ankastre mesnetli taşıyıcı sistem yatay deprem yükünü binaya üst katlara doğru lineer artan şekilde uygulamakta ve dolayısıyla yüksek kat kuvvetleri ve büyük kat ötelenmeleri meydana gelmektedir.

Temel ayırıcı sistem uygulanmış bir yapıda ise önemli yerdeğiştirmeler temel ayırıcı katı seviyesinde oluşur ve üstyapı neredeyse rijit ötelenme hareketi yapar. Kat kuvvetlerinin azalması sonucu yapıdaki yerdeğiştirmelerin istenen sınırlar içerisinde kalması sağlanır. Böylece taşıyıcı sistem ve yapısal olmayan mimari elemanlardaki hasar önlenerek yapı güvenliği artırılmış olur [4].



Şekil 2.5 : Ankastre mesnetli ve temel ayırıcı sistem uygulanmış yapı davranışları

2.4. Temel Ayırıcı Sistemlerde Yakın Fay Etkisi

1994 Northridge depremi ile temel ayırıcı sistemler ilk olarak ciddi bir tehdit almıştır. Aktif fay yakınlığında elde edilen sismik kayıtlarda yüksek periyotlu bileşenler tespit edilmiştir. Bu bileşenler temel ayırıcı sisteminde rezonans benzeri büyük yatay yer değiştirmeler meydana getirmektedir. Yönetmeliklerde de bu sebeple aktif fayların belli bir mesafe yakınında yapılara temel ayırıcı uygulanmaması gerektiği belirtilir.

Bunun üzerine temel ayırıcıları korumak için temel ayırıcıların seviyesinde pasif viskoz sönümleyiciler eklenmiştir. Bu sayede temel ayırıcı hareketi sınırlandırılmış fakat bu seferde üst yapıdaki katlar arası deplasmanlar ve ivmeler artmıştır. Bu ise temel ayırıcı sistem felsefesine tamamen terstir. Temel ayırıcı seviyesinde eklenmesi

gereken optimum sönüm miktarı ise yer hareketinin dinamik karakteristiklerine bağlı olduğundan önceden kesin olarak belirlenmesi zordur. Konu ile ilgili olarak 1998 yılında ABD ve Japonya'lı araştırmacılar 5 yıl süren ortak bir çalışma yapmışlar ve temel ayırıcı seviyesinde yerleştirilmek üzere yarı aktif sönümleyiciler geliştirmişlerdir. Bu tür yarı aktif temel ayırıcıları sayesinde hem temel ayırıcılar korunmakta hem de üst yapıdaki katlar arası deplasman ve ivmeler artmamaktadır [5].

3. TEMEL AYIRICI SİSTEMLERDE KULLANILAN ELEMANLAR

3.1. Genel Bilgiler ve Tarihçe

İlk olarak 1909 yılında İngiltere'nin Scarborough şehrinde tıp doktoru olan Calantarients tarafından kayıcı bir sistem önerilmiştir. Bu yöntemle göre, temel ayırımı malzemesi olarak kum, mika ve pudra kullanılarak yapı ile temel birbirinden ayrılmış, yapının yatay yükler altında kayma hareketi yapacağı ve üstyapıya aktarılan kuvvetlerin azalacağı öngörülmüştür. O yıllarda bu yöntemin patenti alınmış ve boru hatlarına uygulanmıştır.

1908 yılında İtalya'da 160000 kişinin ölümüne sebep olan Messimo-Reggio depremi sonrasında İtalya hükümeti tarafından atanan komisyon depreme dayanıklı yapı tasarımı için iki adet yaklaşım geliştirmiştir.

- Binanın temelde kum tabakası ile zeminden ayrılması veya kolonların altına binanın yatayda hareket etmesine izin veren bilya rulman yatakların kullanılması
- Yapı yüksekliği sınırlamaları ve yatay kuvvet altında ankastre mesnetli tasarım

Bu tarihlerde ikinci yaklaşım kabul edilmiş ve kayıcı temel ayırıcı sistemleri kullanılmamıştır.

Wright, 1921 yılında Tokyo'daki Imperial Hotel'in temellerinde temel ayırımı fikrini ilk uygulayan kişi olmuştur. Wright, birbirine yakın aralıklarla yerleştirilen kazıklarla yumuşak ve çamurlu bir zemin tabakasını daha aşağıda bulunan oldukça iyi durumdaki bir zemin tabakası ile birleştirmiştir. Imperial Hotel, 1923 yılındaki Tokyo depreminde ayakta kalabilen ender birkaç yapıdan biri olmuştur.

Hindistan'daki 1930 Dubai ve 1934 Bihar depremlerinde temeli üzerinde kayabilen küçük yığma yapıların depremi atlatabildiği ancak ankastre mesnetli davranan yığma yapıların yıkıldığı görülmüştür. Bu gözlemlere dayanarak Arya tarafından yığma yapılar için kayıcı bir sistem önerilmiştir. Sarsıntı tablası kullanılarak yapılan deneyler bu yaklaşımın geçerliliğini göstermiştir.

Depreme karşı güvenliğin artırılmasındaki ilk yaklaşımlardan biri olarak binaların birinci katının esnek yapılması fikri ileri sürülmüştür. Bu yaklaşım ilk olarak 1929 yılında Martel tarafından önerilmiştir. Bu konuda daha sonra 1935 yılında Green ve 1938 yılında Jacobsen tarafından çalışılmıştır. Fintel ve Khan ise deprem hareketinde

oluşan taban kesme kuvvetlerini azaltmak amacıyla birinci kat kolonları akma dayanımının yüksek olması gerektiğini önermiştir. Bu konudaki ilk bilgisayar programı Chopra tarafından yazılmıştır.

Binalarda birinci katın esnek yapılmasının zor olması sebebiyle çeşitli temel ayırıcı mesnet mekanizmaları önerilmiştir. Bu mekanizmaların bazıları patentlenip test edilmiş ancak deprem hareketinin yapıya herhangi bir yönde gelişigüzel olarak gelebileceği gerçeği bunların yaygınlaşmasını engellemiştir. Bunun sonucu olarak her yönde harekete izin veren küresel mesnetlerin veya iki yönde hareket edebilen mesnetlerin kullanılması fikri ağırlık kazanmıştır.

Çindeki 1976 Tangshan depreminde, duvar altlarında yaklaşık 6 cm. kaymaya izin veren yığma yapıların depremi atlattığı görülmüştür. Daha fazla teorik analiz sonrasında 1/8 ölçeğinde sarsıntı tablası testi ve 1/1 ölçeğindeki bir binada patlama testi yapılmıştır. Bu yaklaşımla bir dizi küçük bina inşa edilmiştir. Bunların en büyüğü Beijing'te inşa edilen 4 katlı öğrenci yurdu binasıdır. Bu binada temel üzerinde ve zemin kat duvar altlarında paledyen plakalar arasına yerleştirilen özel kum katmam kayma yüzeyini oluşturmaktadır.

Modern anlamda temel ayırımına sahip yapılar, yapının temeli ve taban arasına yerleştirilen yatay yönde esnek ve düşey yönde rijit olan taşıyıcılar içermektedir. Bu taşıyıcılar temel ayırıcı sistemleri olarak bilinmektedir. Bu ayırım işleminde kullanılan kauçuk veya kompozit birleşimli özel mesnetlere temel ayırıcı denilmektedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan temel ayırıcı sistemlerinin çoğu ya doğal kauçuk veya sentetik bileşimli elastomer temel ayırıcılardan veya kayma yüzeyi teflon ya da paslanmaz çelik olan kayıcı sistemlerden oluşmaktadır [6].

3.2. Temel Ayırıcı Sistemlerinin Sınıflandırılması

Günümüzde kullanılmakta olan temel ayırıcı sistemleri şu şekilde sınıflandırılabilir.

- Kauçuk esaslı sistemler
 - Tabakalı kauçuk mesnetler
 - Düşük sönümlü kauçuk mesnetler
 - Yüksek sönümlü kauçuk mesnetler
 - Kurşun saplamalı kauçuk mesnetler
- Kayıcı sistemler
 - Sürtünmeli sarkaç mesnetler
 - Esnek sürtünmeli temel ayırıcı mesnetleri
- Yay tipi sistemler

3.3. Kauçuk Esaslı Sistemler

Doğal kauçuk mesnetler ilk olarak Makedonya'nın Üsküp şehrinde bir okul binasında kullanılmıştır. Bu bina 3 katlı bir betonarme yapı olup 1969 yılında tamamlanmıştır. Mesnet sistemi olarak doğal kauçuk bloklar kullanılmış ancak mesnet içerisine çelik plakalar yerleştirilmediğinden düşey yönde istenen rijitlik sağlanamamıştır. Ayrıca kauçuk blokların yanlara doğru şişmesi söz konusu olmuştur. Sistemin düşey yöndeki rijitliği yaklaşık olarak yatay yöndeki rijitliğinin birkaç katı olduğundan ve kullanılan kauçuk göreceli olarak sönümsüz olduğundan deprem hareketi esnasında bina ileriye veya geriye doğru sallanıp yukarıya doğru sıçrayabilmektedir. İlerleyen zamanlarda mesnetler çelik plakalarla takviye edilerek bu zorlukların üstesinden gelinmiştir. Bu sistem bugün hala kullanılmakta olup zaman zaman incelenmektedir.

Bina tamamlandıktan sonra birçok bina da benzer şekilde doğal kauçuk mesnetlerle inşa edilmiş ancak bu binalarda mesnetlerin yanal burkulmasını önleyici ve düşey rijitliği arttırıcı çelik plakalar kullanılmıştır. İç çelik plakalar, yatay rijitliğin birkaç yüz katı kadar düşey rijitlik sağlamaktadır. Bu mesnetler aynı zamanda yapıların vibrasyon ayırımını da sağlamaktadır.

3.3.1. Düşük Sönümlü Kauçuk Mesnetler

Düşük sönümlü kauçuk mesnetler ek sönüm araçları olan viskoz sönümleyiciler, çelik çubuklar, kurşun çubuklar gibi elemanlar ile birleşik olarak Japonya'da yaygın bir biçimde uygulanmıştır. Japonya'da kullanılan bu mesnetler doğal kauçuk içerirken, Fransa'daki bazı projelerde ise neopran kullanılmıştır.

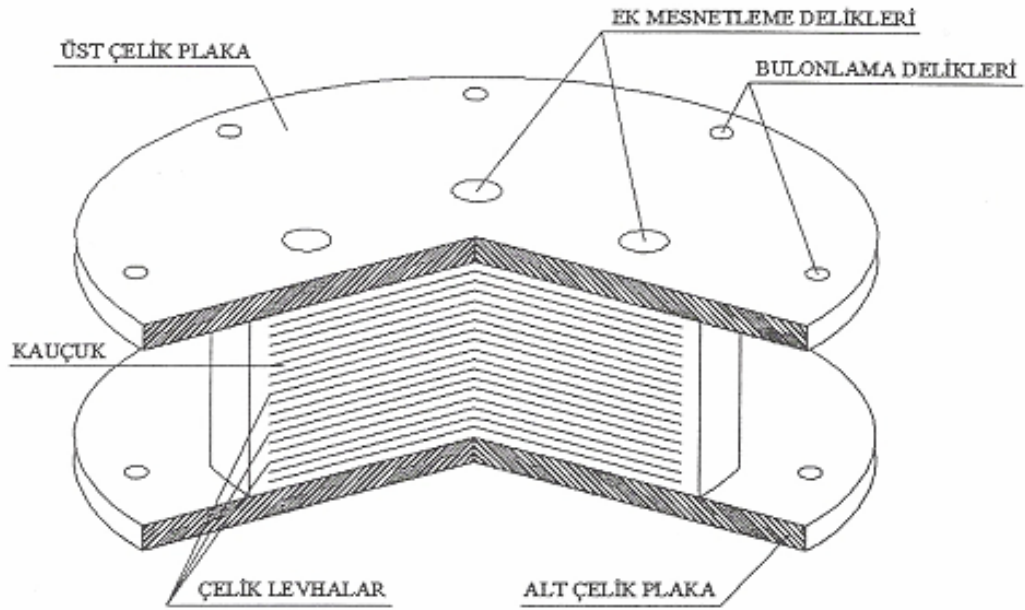
Bu tip temel ayırıcılar iki kaim dış çelik plaka arasında pek çok ince çelik levha içerir. Kauçuk tek bir işlemle yüksek sıcaklık ve basınç altında çeliğe yapıştırılır. Arada kullanılan ince çelik levhalar kauçuğun eğilmesini ve burkulmasını önlerken düşey rijitliğe yüksek derecede katkı yapar. Ancak bu çelik levhaların yatay rijitliğe önemli bir katkısı yoktur çünkü yatay rijitlik kauçuğun kayma modülü tarafından belirlenmektedir. %100 kayma şekil değiştirmeleri üzerine kadar kaymada malzemenin davranışı lineerdir. Malzemede sünme gözlenmezken kayma modülü uzun dönemli etkiler altında değişmemektedir.

Kauçuk esaslı dairesel temel ayırıcılar şu aşamalardan geçerek üretilmektedir.

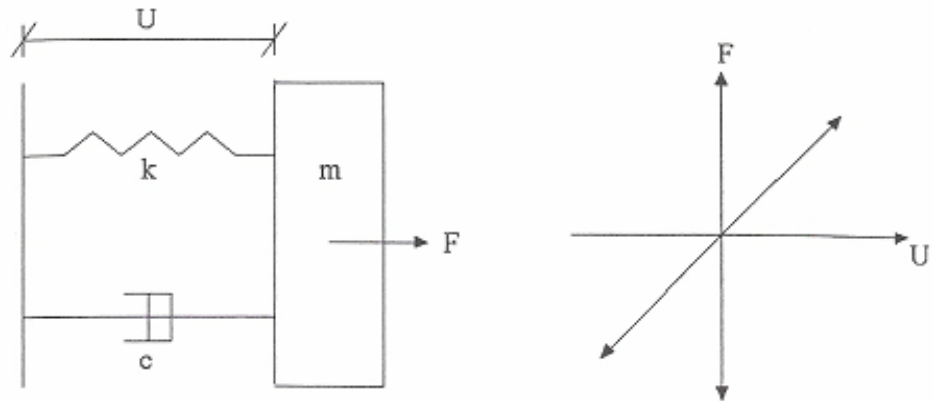
- Kauçuğa mekanik dayanım, çekme dayanımı, rijit ve sönüm arttırıcı katkı maddeler konur. Rijitlik ve sönüm artışı için doğal kauçuğa karbon siyahı konur ve karıştırılır.
- Kauçuk rulo yapılır.
- Kauçuk rulo belirli bir kalınlıkta daire biçiminde kesilir.

- Kauçuklar kat kat yerleştirilir ve aralarına birkaç mm. kalınlığında çelik levhalar konur. Levhaların kauçuğa iyi yapışması için yüzeyleri parlatılır.
- Yüzeylere yapıştırıcı maddeler konur.
- Kauçuk vulkanize edilir. Bu işlem sırasında kauçuk kalıptan dışarı taşabilir. Kalıbın çevresine konan kauçuk çeliği paslanma ve yangın etkilerinden korur.

Düşük sönümlü tabakalı kauçuk mesnedin kesidi ve elemanları Şekil 3.1'de, sistemin şematik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Düşük sönümlü kauçuk mesnedin kesit ve elemanları



Şekil 3.2 : Düşük sönümlü kauçuk mesnedin şematik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı

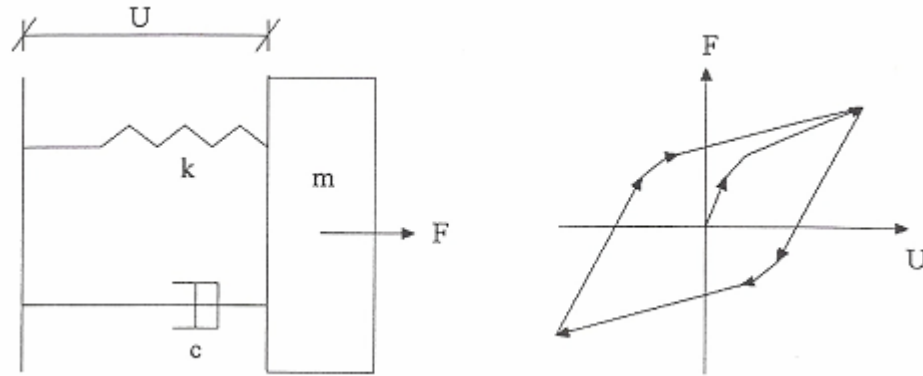
Düşük sönümlü kauçuk mesnetlerin pek çok avantajı vardır. Bu mesnetler kolay imal edilebilir, kolay modellenebilir ve mekanik özellikleri sıcaklıktan ve zamandan etkilenmez. Tek bir sakınca ise genellikle bu mesnetlerle birlikte ek bir sönüm sistemine ihtiyaç duyulur. Bu ek sönüm sistemlerinin düğüm noktası bağlantıları dikkatli ve özenli hazırlanmalıdır. Metal sönümleyicilerin kullanılması durumunda yorulma etkileri oluşabilir.

3.3.2. Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnetler

Yeteri kadar bünyesel sönüm içeren ve yapıda ekstra sönüm elemanlarına ihtiyacı ortadan kaldıran doğal kauçuk mesnetler 1982 yılında İngiltere'de geliştirilmiştir. Sönüm, ekstra karbon blok, yağ ve reçine gibi dolgu elemanlarıyla arttırılmıştır. %100 kayma şekil değiştirmesinde sönüm %10 ile %20 arasında arttırılmıştır.

Malzeme, %20'den küçük kayma şekil değiştirmelerinde, düşük sismik yük ve rüzgâr yükleri altında cevabı minimize eden, yüksek sönüm ve yüksek rijitlikte lineer olmayan davranış göstermektedir. %20-%120 kayma şekil değiştirmesi aralığında malzemenin kayma modülü düşük ve sabittir. Yüksek şekil değiştirmelerde ise kauçuktaki şekil değiştirme kristalizasyonu dolayısıyla malzemenin kayma modülü artar ve bu etken de enerji sönümlemesini arttırır. Rijitlikteki ve yüksek şekil değiştirmelerde sönümdeki artma, düşük sismik yükler altında rijit, tasarım seviyesindeki sismik yükler altında sünek ve lineer, tasarım seviyesini aşan sismik yükler altında ise deplasmanların sınırlanabildiği sistemler üretmek için kullanılır.

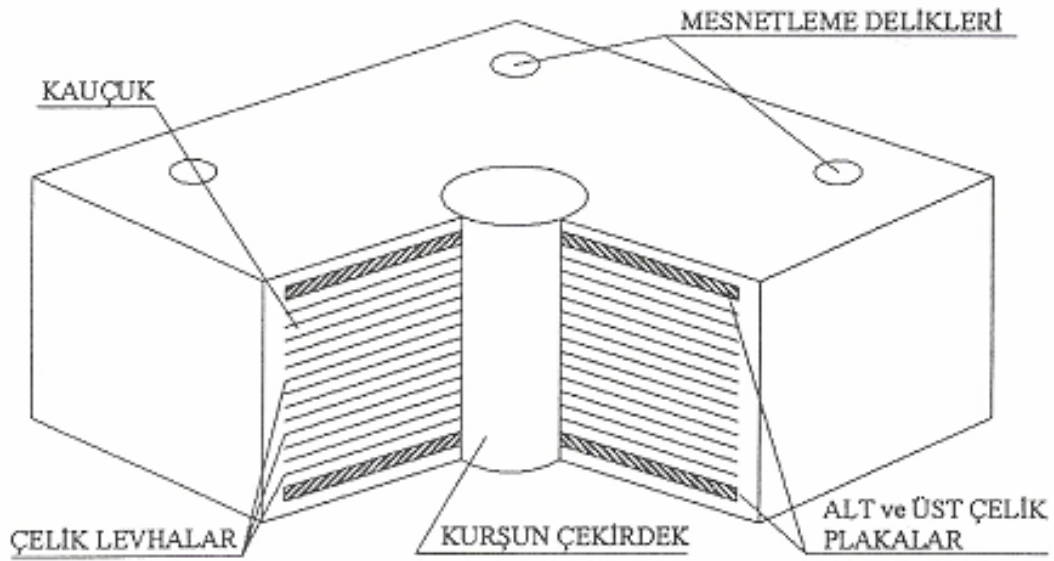
Yüksek sönümlü kauçuk sistemlerin bir diğer avantajı da çevre titreşimlerinin azaltılmasında kullanılabilmeleridir. Temel ayırıcılar, trafik ve komşu yeraltı demiryolu hattı gibi unsurların yapı üzerinde yarattığı yüksek frekanslı düşey titreşimlerin filtrelenmesinde rol oynar. Şekil 3.3'de, sistemin şematik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı gösterilmiştir.



Şekil 3.3 : Yüksek sönümlü kauçuk mesnedin şematik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı

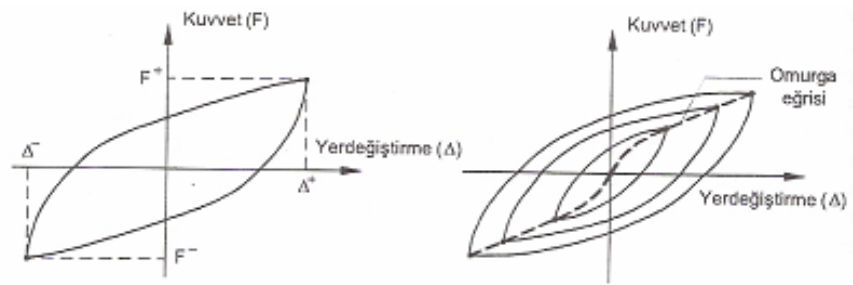
3.3.3. Kurşun Gövdeli Kauçuk Mesnetler

Kurşun gövdeli kauçuk mesnetler ilk olarak 1975 yılında Yeni Zelanda'da kullanılmaya başlandığından bu mesnetlere Yeni Zelanda mesnedi de denilmektedir. Bu mesnetler Yeni Zelanda, Japonya ve ABD'de yaygın şekilde kullanılmıştır. Kurşun gövdeli mesnetler aslında kompozit kauçuk mesnetler olup düşük sönümlü kauçuk mesnetlere benzemektedir. Ancak mesnedin deliklerine yerleştirilen bir veya birkaç kurşun kısım içerir. Kurşun kısmın mesnetle beraber çalışması için, önceden üretilen deliğin kurşunun çapından daha küçük tutulması ve kurşunun deliğe kuvvet uygulanarak yerleştirilmesi gerekmektedir.

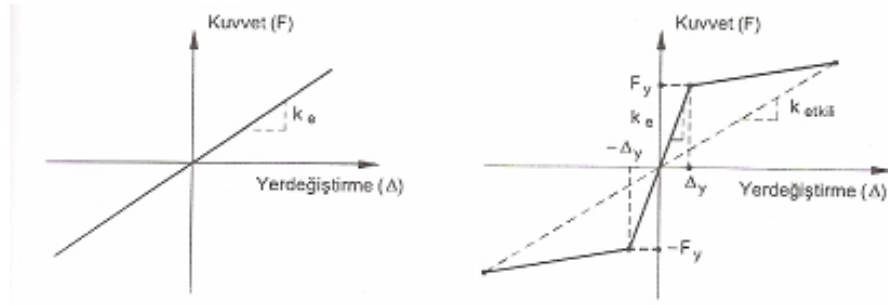


Şekil 3.4 : Kurşun saplamalı kauçuk mesnedin kesit ve elemanları

Bu mesnetlerdeki çelik plakalar kurşunu kesmede şekil değiştirmeye zorlar. Kurşun çekirdek teorik olarak 10 MPa gerilme civarında fiziksel olarak şekil değiştirirken mesnedin bilineer cevap üretmesini sağlar. Bu mesnetler histeretik sönümleyiciler gibi davranırlar. Histeretik sönümleyici elemanların kuvvet-yerdeğiştirme özelliği gerçekçi olarak lineer olmayan diferansiyel denklemler kullanılarak modellenebilmektedir.



Şekil 3.5 : Kurşun saplamalı kauçuk mesnedin kuvvet-yerdeğiştirme davranışı



Şekil 3.6 : Kurşun saplmalı kauçuk mesneden doğrusal olan ve olmayan omurga eğrisi

Şekil 3.5’de temel ayırımındaki tipik bir yatay kuvvet ve yerdeğiştirme ilişkisi görülmektedir. Bu tür sistemler doğrusal sistem olarak bilinir ve esas iki parametresi söz konusu olur. Bunlar rijitlik ve eşdeğer viskoz sönümdür:

Eğer sistemde sönüm küçük ise, kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi düz bir çizgiye yaklaşır. Ancak, çevrim türünden sönüm durumunda, yük arttıkça çevrimlerin alanı da büyüyecektir. Bunların uçlarının birleştirilmesinden ortaya çıkan eğri Şekil 3.5’de gösterilmiş olup, sistemin Omurga Eğrisi olarak bilinir. Bu eğri Şekil 3.6’da gösterildiği gibi, tamamen doğrusal olabilir. Ancak, temel ayırıcı sistemlerinin omurga eğrisi genel olarak doğrusal olmayan türden ortaya çıkar, ayırımındaki kuvvetin akma sınırına erişmemesi durumunda, eğer sönüm yoksa davranış tamamen omurga eğrisi üzerinde ileri-geri şeklinde olacaktır. Eğer önemli bir sönüm varsa davranış Şekil 3.5’deki gibi, omurga eğrisini ortada bırakan bir çevrimsel eğri üzerinde ortaya çıkacaktır. Böyle bir sistem, elastik yay ve viskoz sönümle modellenebilir. Eğer omurga eğrisinin Şekil 3.6’daki gibi elastik ve pekleşen kısımları mevcutsa, akma durumundan sonra pekleşme rijitliğinin göz önüne alınması gerekli olur [1].

3.4. Kayıcı Sistemler

Kayıcı temel ayırıcı sistemleri düşünülen en eski ve en basit sistemdir. Salt kayıcı bir sistem ilk olarak 1909 yılında Calantarients adlı bir tıp doktoru tarafından İngiltere’de önerilmiştir. Kayıcı mesnetlerde en çok kullanılan malzemeler boşluklu veya boşluksuz teflon ve paslanmaz çeliktir. Sistemin sürtünme özellikleri ortamın sıcaklığı, hareketin hızı, yorulma derecesi ve sürtünme yüzeyinin temiz olup olmaması gibi bazı parametrelere bağlıdır.

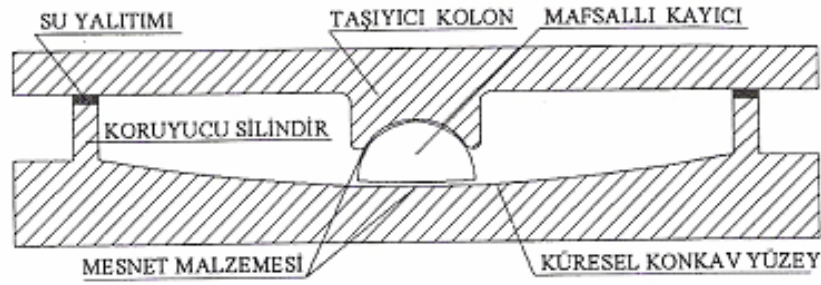
3.4.1. Sürtünmeli Sarkaç Mesnetler

Sürtünmeli sarkaç sistemi, Şekil 3.7’de gösterildiği gibi iki paslanmaz çelik levha arasına yerleştirilen sürtünme katsayısı düşük kompozit malzeme ile kaplı bir

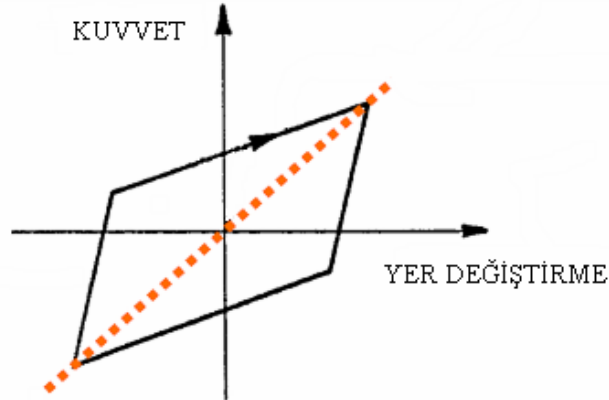
kayıcının hareketinden oluşur. Bu kayıcı temas ettiği levhanın küresel yüzeyi boyunca hareket eder. Sistem, geometrisi nedeniyle üst yapıyı denge konumuna zorlayan bir özelliğe sahiptir. Bu sistemlerde yapıların burulma etkileri en aza indirgenmiştir. Bunun sebebi ise kütle merkezi ile rijitlik merkezinin üst üste düşmesidir [8].

Kayıcı, küresel yüzeyde hareket ettikçe, mesnetlenen kütle yükselir ve sistem içinde geri çağırım kuvveti elde edilir. Mafsallı kayıcı ile küresel yüzey arasındaki sürtünme sistemin sönümünü sağlar ve dolayısıyla sürtünme ile deprem enerjisi sönümlenir. Temel ayırıcının efektif rijitliği ve yapının periyodu konkav yüzeyin eğrilik yarıçapı tarafından kontrol edilir ve yapının kütlelerinden bağımsızdır. İstenen periyot değeri eğrilik yarıçapının değiştirilmesi ile elde edilir. Şekil 3.8’de sürtülmeli sarkaç mesnedin kuvvet-yerdeğiştirme değişimi verilmiştir.

Mesnedin kinematiği ve uygulaması konkav yüzeyin üstte veya altta olmasından etkilenmez.



Şekil 3.7 : Sürtülmeli sarkaç mesnedin kesit ve elemanları



Şekil 3.8 : Sürtülmeli sarkaç mesnedin kuvvet-yerdeğiştirme değişimi

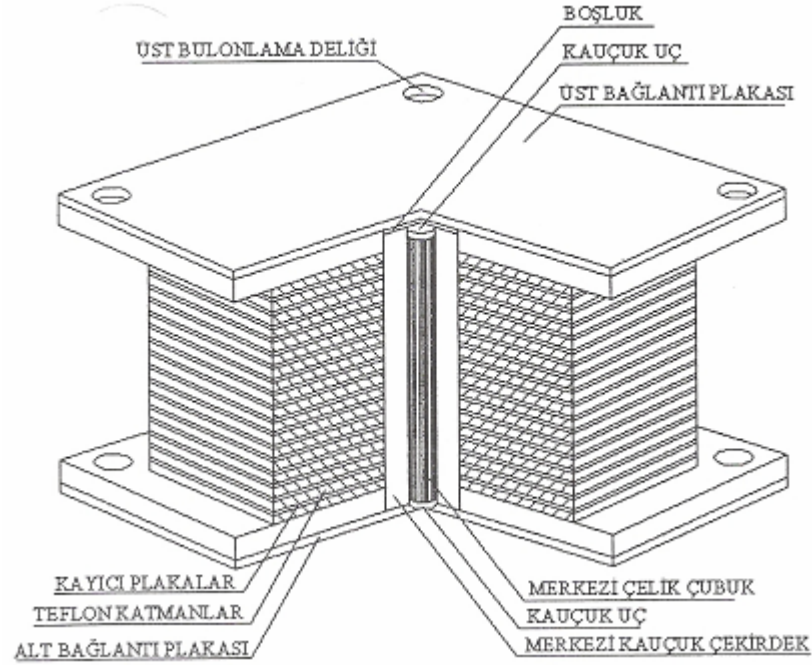
3.4.2. Esnek Sürtülmeli Temel Ayırıcı Mesnetleri

Esnek sürtülmeli temel ayırıcı sistemi, son yıllarda Mostaghel ve Khodaverdian tarafından önerilmiştir. Bu temel ayırıcıları birbirleriyle sürtülmeli olarak temas eden teflon kaplamalı eşit merkezli daireler halindeki plakalardan ve merkezi kauçuk

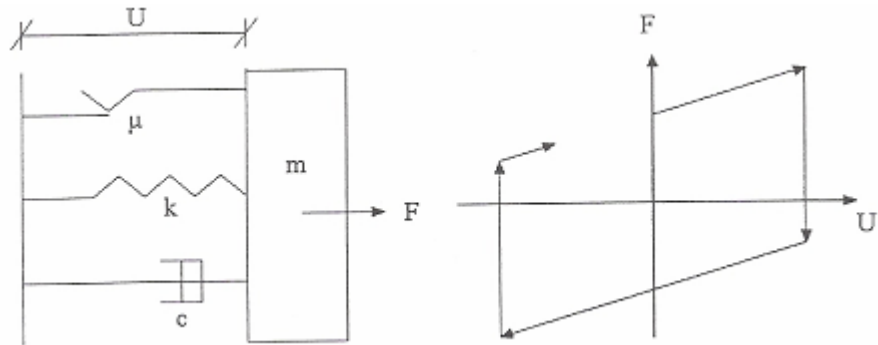
çekirdekten oluşmaktadır. Merkezi kauçuk çekirdek, mesnet yerdeğiştirmesinin ve hızın mesnet yüksekliği boyunca dağıtılmasını sağlamaktadır. Kauçuktaki kesme gerilmesini sınırlandırmak ve daha büyük yerdeğiştirme yeteneği kazandırmak amacıyla klasik çelik tabakalı kauçuk mesnetlere sürtünmeli plaka eklenerek esnek sürtünmeli temel ayırıcı sistemleri düzenlenmiştir.

Esnek sürtünmeli temel ayırıcı sistemi, merkezi ve çevresel kauçuk çekirdeklerle birbiri üzerinde kayabilen yassı kayıcı halkalardan oluştuğu için kayıcı tipli temel ayırıcı sistemleri grubuna girmektedir. Yapılan birçok deneyle deprem etkileri altında davranışı incelenmiş ve iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Esnek sürtünmeli temel ayırıcı mesnedinin kesit ve elemanları Şekil 3.9'da sistemin şematik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı da Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 : Esnek sürtünmeli temel ayırıcı mesnedin kesit ve elemanları

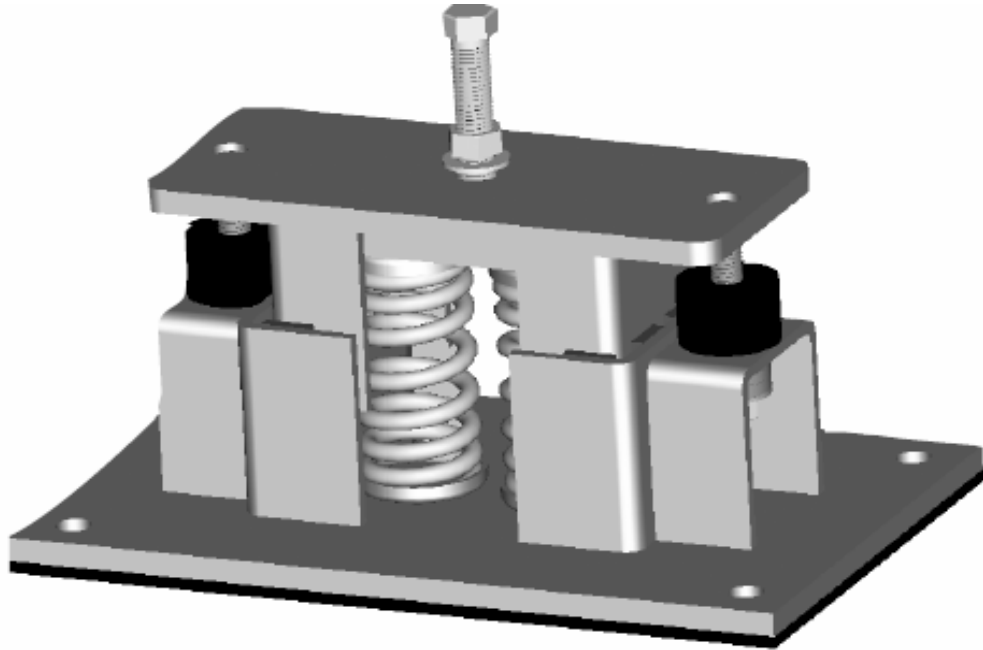


Şekil 3.10 : Esnek sürtünmeli temel ayırıcı mesnedin şematik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı

3.5. Yay Tipi Sistemler

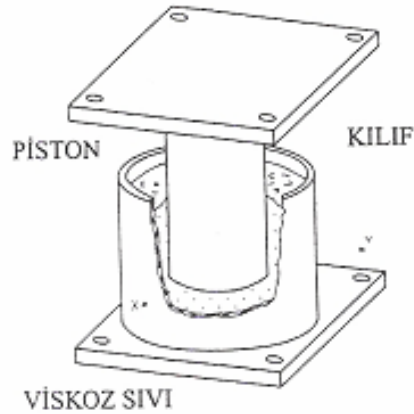
Kauçuk esaslı ve kayıcı temel ayırıcı sistemleri genellikle yatay yönde temel ayırımını sağlamak amacıyla kullanılır. Eğer depremin düşey bileşenine karşı düşey yönde de temel ayırımı sağlanmak isteniyorsa genellikle kullanılması tercih edilen temel ayırıcı sistemleri sarmal yaylardan oluşan yay tipi sistemlerdir. Almanya'da Gerb firması yay tipi temel ayırıcılar ve bunların değişik kombinasyonları üzerine üretim yapmaktadır. Bu sistemlerde çelik yaylar sönümsüz olup sistem daima viskoz sönümleyicilerle beraber kullanılmaktadır.

Şekil 3.11'de Gerb salt yay tipi bir temel ayırıcı ve viskoz sönümleyici ile birleştirilmiş bir yay tipi temel ayırıcı görülmektedir.



Şekil 3.11 : Gerb yay tipi sistemler

Şekil 3.12'te yay tipi sistemlerin bileşenleri görülmektedir.



Şekil 3.12 : Viskoz sönümleyicinin bileşenleri

Çelik yaylar çekme gerilmesi taşıyamadığı için viskoz sönümleyici ile birleşik yay sistemleri üretilmiştir. Bunlar hem çekme hem de basınç kuvveti taşıyabilirler. Viskoz sönüm iki bileşenden oluşmaktadır. Sönümün ilk parçası yüksek viskoz sıvıyla doldurulmuş çevresel kılıf, diğer parçası da yaya mesnetlenmiş pistondur. Bu sistemde mekanik enerji ısı enerjisine dönüştürülmektedir. Viskoz sönümle birlikte sistemin düşey doğrultusunda %20 ile %30 arası kritik sönüm elde edilmektedir. Düşey frekans genellikle yatay frekansın 3 ile 5 katı arasındadır.

Bu sistemlerin daha çok makine ekipmanlarının titreşim ayırımı ve nükleer güç santrallerinin titreşim temel ayırımı gibi uygulamaları mevcuttur ancak bina tipi sistemlere de uygulanmaktadır. Bu sistemlerin matematik modellemesi oldukça karmaşıktır [7].

4. KLASİK YÖNTEMLE BİNALARIN GÜÇLENDİRİLMESİ

4.1. Yapıların Taşıma Gücünün Arttırılması İlkeleri

Yapıların taşıma gücünün arttırılmasında iki durum göz önüne alınır:

- a. Yapı taşıyıcı elemanları hasar görmüş olup, taşıma güçlerini yitirmişlerdir. Bu elemanların eski taşıyıcılıklarına, güçlerine kavuşturulması amaçlanır.
- b. Yapıda herhangi bir değişiklik nedeni ile taşıyıcı elemanların taşıma güçlerinin daha üst düzeyinde bir taşıma gücüne kavuşmaları amaçlanır.

Bir yapının her iki durumda taşıma gücünün arttırılması hasarın nedenine bağlıdır. Amaç hasarın nedenlerini ortadan kaldıracak önlemlerin saptanması ve hasarın oluşturduğu mukavemet kaybını gidermek veya hasarın bir kez daha olmaması için gerekli olan güçlendirme önlemlerinin belirlenmesidir. Farklı hasar nedenleri farklı iyileştirme ilkelerinin uygulanmasını gerektirir. Bunun dışında kullanılacak ortak nedenler de vardır. Bu ortak nedenlere kısaca aşağıda değinilmiştir.

4.1.1. Yapı Ağırlığının Azaltılması

Herhangi bir taşıyıcı elemanda (çatlamanın) olma nedenlerinden biri de aşırı yüklenmiş olmasıdır. Yükün azaltılması ile çatlamanın ilerlemesi önlenabilir. Ayrıca yapı yükünün azaltılması deprem yüklerinin de azalmasına neden olur.

4.1.2. Yapı Sünekliğinin Arttırılması

Bir yapının sünekliği, o yapının enerji yutma kapasitesidir. Betonarme karkas binalarda, kolon ve kirişlerin birleşim noktalarının çatlama sonucu bu noktalar mafsala dönüşerek enerji yutarlar. Mafsallaşan birleşim noktalarında yük taşıma gücünde belirgin bir azalma olmamalıdır. Depremden hasar gören yapıların taşıma gücünün arttırılması için kesit büyütülmesi, çerçeve boşluklarına perde duvar yerleştirilmesi gibi önlemler alınmaktadır. Bu önlemler genellikle yapının düktilitesini değil, rijitliğini arttırırlar. Ayrıca kesit büyütülmesi durumunda da yüksek oranda donatı kullanıldığından rijitlik artar, düktilite azalır.

4.1.3. Yapının Taşıma Gücünün Arttırılması

Bir yapı taşıyıcı sisteminin mukavemeti az ise, yapıda hasarlar oluşabilir. Bir taşıyıcı elemanın mukavemeti yeterli düzeye eriştilirse, o taşıyıcı sistemde bir hasar gözlenmez. Bu nedenle bir elemanın taşıma gücü yetersiz ise, mukavemetinin arttırılması gerekir. Depremde hasar görmüş yapının yatay kuvvetlere karşı taşıma gücü azalır. Düşey yükler değişmemiştir. Ancak depremin oluşturduğu hasar yapının düşey yük taşıma güvenliğini de azaltmıştır. Depremin oluşturduğu yatay kalıcı yer değiştirmeler sonucu çatlayan kolon ve kiriş en kesitleri mukavemetlerini kaybeder. Yapının düşey yükleri taşıma güvenliği kritik noktalara ulaşabilir. Yapı güçlü bir depremin tekrarı sonucu yıkılabilir. Yapıda depremde gelen yatay, yükleri taşıyacak elemanlar yetersiz ise ya bu elemanların yatay yük taşıma güçleri artırılır ya da yeni yatay yük taşıyacak elemanlar yerleştirilir.

Bu durumda yapının onarımı için iki aşamalı bir çalışma gerekir:

1. Düşey yük taşıma gücü; yapının askıya alınarak eleman en kesitlerinin mantolanması ile
2. Yatay yük taşıma gücü, yapıya yanal yük alacak perdelerin eklenmesi ile sağlanır.

4.1.4. Yapının Dinamik Özelliklerinin İyileştirilmesi

Yapının öz titreşim periyodu ile zeminin hakim titreşim periyodunun yakın olması ile oluşan "Rezonans" sonucu bir yapı hasar görmüş ise, yapının dinamik özellikleri değiştirilip, yapı öz titreşim periyodu ile zemin hakim periyodunun birbirinden uzaklaştırılmasına çalışılır. Bunun için zeminin hakim titreşim periyodunun belirlenmesi başka bir deyişle zeminin dinamik özelliklerinin saptanması gerekir.

Yapı rijitliğinin üst katlardan aşağı doğru artması yapının sönüm oranını arttırır. Yapı depremden gelen enerjiyi kısa sürede sönümlemelidir.

4.1.5. Yapıda Burulma Etkisinin Azaltılması

Deprem sonucu oluşan hasarların birçoğu, yapının katlarındaki ağırlık ve rijitlik merkezlerinin çakışmaması sonucu oluşan (burulma) etkisi ile meydana gelmektedir.

Yapılardaki "perde duvarların" bir yanda toplanmış olması veya taşıyıcı olmayan bölme duvarların katlarda dengeli olarak dağılmamış olması, yapının ağırlık ve rijitlik merkezleri arasında fark oluşturmaya neden olmaktadır. Sonuçta oluşan (burulma etkisi), burulmaya göre hesap edilmemiş elemanlarda, çatlamlar meydana getirerek yapının güvenliğini azaltabilir [9].

4.2. Betonarme Kolonların Güçlendirilmesi

4.2.1. Güçlendirme Yöntemleri

Betonarme kolonların güçlendirilmesi onların eksenel yük, moment ve kesme kuvveti taşıma güçlerinin artırılmasıdır. Bu işlem genellikle ya betonarme kesitin artırılması, kolona yeni donatılı en kesit eklenmesi ya da kolonun çelik bir kafes içine alınarak betona yandan destek verilerek taşıma gücünün artırılmasıdır. Konulan çelik çerçeve de düşey yük taşıma gücünü artıracaktır.

Betonarme kesitin artırılması ya kolonun bütün çevresinde olur buna "mantolama" ya da "gömlek geçirme" denir; ya da kolonun yalnızca iki kenarına yeni kesitler eklenir. Bu yöntem de "kanat ekleme" olarak nitelenir.

Çelik kafes içine alarak güçlendirmede birbirinden farklı iki malzemenin birlikte çalışması için çelik kafes ile beton arasında tam bir yapışma ve çelik kafesin kolonun eksenel yükünden payı alacak biçimde kirişlere de bağlanmasıdır.

4.2.2. Mantolama

Betonarme kolonun betonarme elemanlarla onarımı ya da güçlendirilmesi kolonun beton en kesidinin ve boyuna donatısının artırılmasıdır. Donatı miktar olarak artırılır ancak yüzde olarak aynı kalabilir ya da artırılabilir. Güçlendirmede en önemli nokta kolona eklenen bölüme eski var olan bölümden yük aktarılmasıdır. Mantolamanın temel amacı kolonun düşey yük taşıma kapasitesini artırarak düşey yüklere karşı güvenlik payını yükseltmektir.

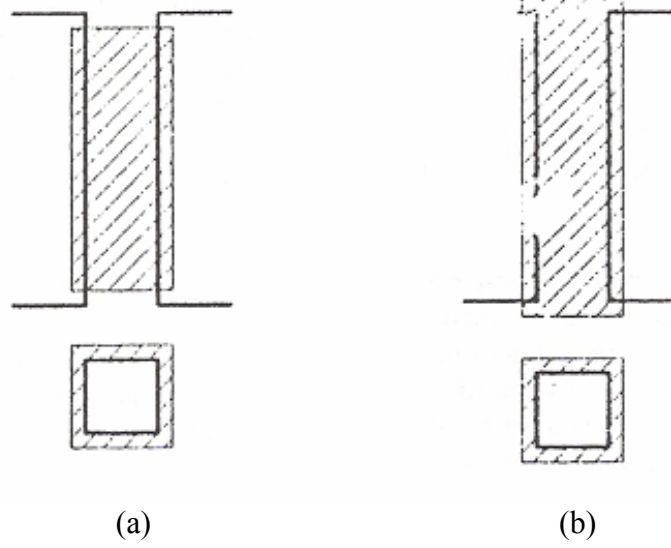
Genellikle bir katta kolon mantolanmasına ihtiyaç varsa, bu temele kadar inmeli ve manto donatısı temele filizlerle bağlanmalıdır. Kolonun mantolanmasıyla değişen rijitlik, daha büyük deprem momentlerinin kolonda dolayısıyla temelde oluşmasına yol açar. Bu durumda temelin de incelenmesi söz konusu olabilir [1].

4.2.3. Mantolama İle Kolon Güçlendirilmesi Üzerine Öneriler

1-Kolonların betonarme mantolama ile güçlendirilmesinde boyuna donatı oranı %'den az olamayacağı gibi, % 1 'in çok üzerine de çıkılmamalıdır. Çünkü donatı oranı % 1 olan kolonların sünek davranan en ekonomik donatı oranlı kolonlar olduğu deneysel olarak çıkarılmıştır.

2- Hasarsız kolonun mantolanması ile elde edilen elemanın, tüm kesit (manto dâhil) için hesaplanan rijitliği ve dayanımı %10 azaltılmalıdır. Hasarlı kolonun mantolanması ile elde edilen elemanın bir döküm varsayımı ile hesaplanan rijitliği, %30, dayanımı ise %10 azaltılmalıdır [11].

3- Şekil 4.1(a)'da gösterilen biçimde onarım ile kolonun kesme kuvveti taşıma kapasitesi artarken moment ve eksenel yük taşıma gücünde bir artış olmaz. Buna karşılık Şekil 4.1(b)'deki gibi bir onarım ile mantolanmış bölüm boyuna donatılarının mevcut kolon boyuna donatılan ile bağlantısı sağlanmış ise kesme kuvveti taşıma gücünün artışı yanında moment ve eksenel yük taşıma gücünde de artışlar beklenmelidir.



Şekil 4.1 : (a) Kolonun yalnızca kesme dayanımını arttıran mantolama, (b) Kolonun hem kesme hem de moment dayanımını arttıran mantolama

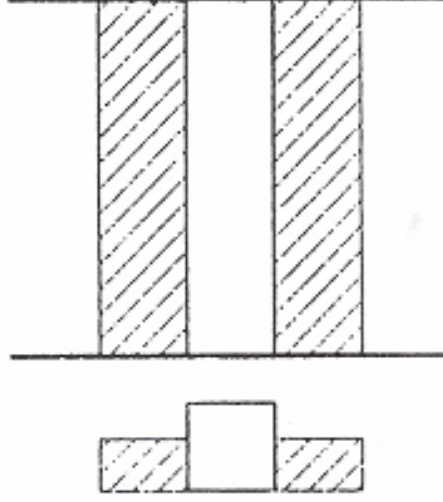
4-Yapılan deneylerde hasarsız kolonların güçlendirilmesinde kolon yükünün askıya alındığı ve onarımın yük altında yapıldığı durumlarda mantolamanın etkinliğinin % 90'a ulaştığını, hasarlı kolonlarda yapılan mantolama sonrası yükleme deneylerinde ise kolonun yükünün askıya alınarak yapılan mantolamanın % 80 etkili olduğu, kolonun askıya alınmadan yük altında mantolamanın yapıldığı durumlarda ise etkinliğin ancak % 50 kadar olduğu gözlenmiştir. Bu açıdan hasarlı kolon onarımının kesinlikle kolonun yükü askıya alınarak yapılması önerilmektedir.

Yapı üzerindeki yükün boşaltılması bazı şartlara bağlı olarak şu şekillerde yapılabilir; mevcut ilave inşaatın kaldırılması, payanda ve verenlerle yükü almak, yeni elemanlarla kesitlere ön gerilmeler uygulamak [12].

4.2.4. Betonarme Kolonların Kanat Eklenerek Güçlendirilmesi

Kolonlarda uygulanan bir başka güçlendirme biçimi kolonun iki yanına kanat biçiminde perde duvar eklenmesidir. (Şekil 4.2.) Bu yöntem ile perdenin yatay donatısı kolonun yatay donatılarına kaynaklanmaktadır. Daha sonra betonlama ile eski kolon betonunun yeni perde betonu ile tek parça olarak birlikte çalışması sağlanmaktadır.

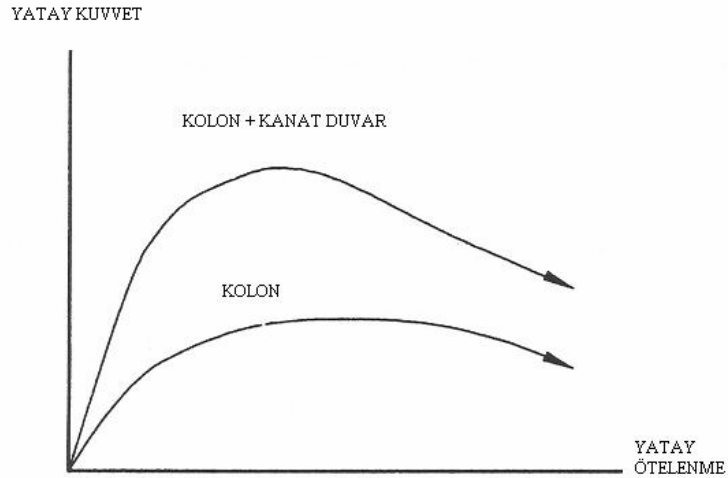
Kanat eklenerek takviye edilmiş kolonlar üzerinde yapılan deneylerde kanatsız ve kanatlı kolonun yatay yükler altında davranışı incelenmiştir. Kolonlara kanat eklenmesi ile hem moment hem de kesme kuvveti taşıma gücü artmaktadır. İnce olan kanatlardaki basınç bölgesi betonunun etriyelerle kısıtlanması oldukça güç olduğu için genellikle süneklik artışı az olmaktadır.



Şekil 4.2 : Kolonun iki yanına kanat eklenmesi

Ancak daha sonradan yapılan deneylerde kolona eklenen kanatlar kolon kalınlığında olduğu ve çekirdek betonu etriyeler ve boyuna donatı ile iyi sarıldığı ve eklenen bölüm ile eski bölümler arasında tam bir yapışma sağladıkları için yüksek süneklik gerçekleşmiştir.

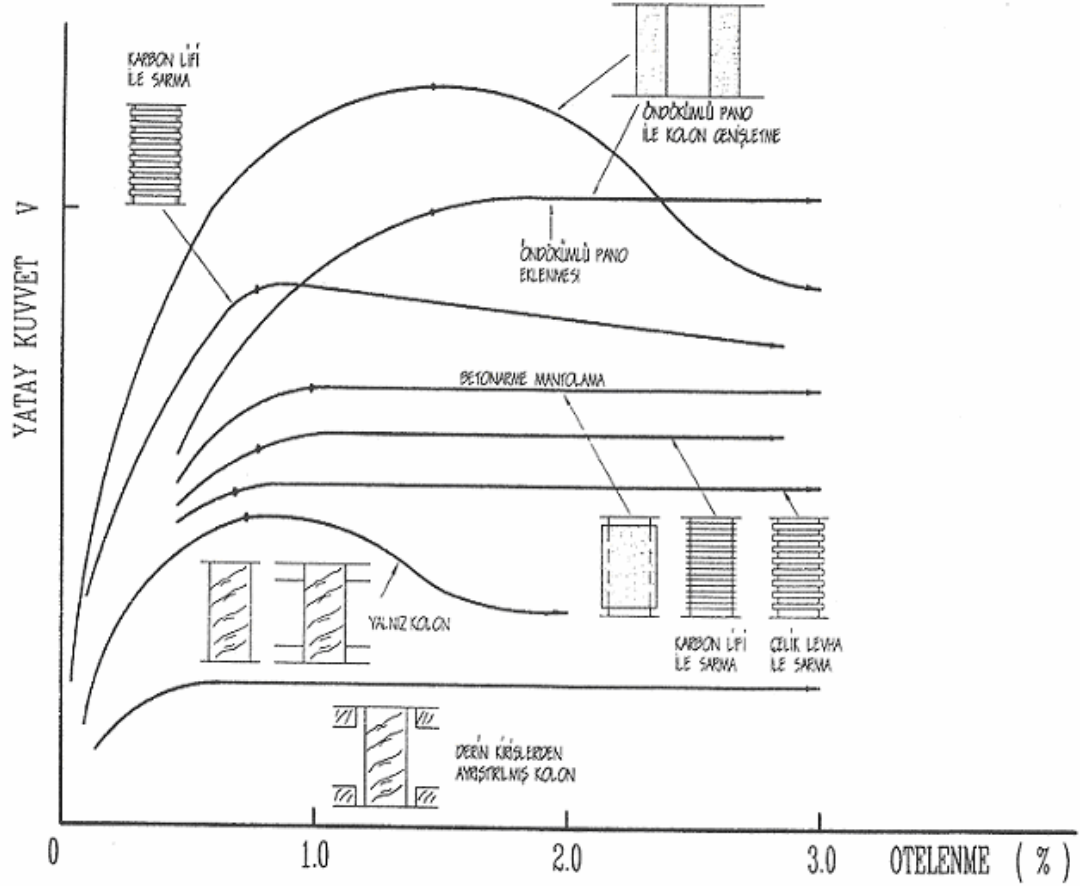
Kanat eklenmiş kolonların davranışı başlangıçta perde duvar davranışına yaklaşmakta daha sonra kanatların hasarının gelişmesinden sonra kanatsız kolonun davranışına yaklaşmaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 : Kanatla güçlendirmenin yatay yük altında davranışa etkisi

4.2.5. Kolonların Güçlendirme Yöntemlerinin Etkinliği

Şekil 4.4'te değişik kolon güçlendirme yöntemlerinin karşılaştırmalı etkinliği verilmektedir.



Şekil 4.4 : Değişik kolon güçlendirme yöntemlerinin karşılaştırmalı etkinliği

Yapılan deneylerde onarılmış kolon rijitliğinin monolitik olarak aynı boyutta ve donatıda yapılmış olan örneklerine göre % 75 daha az olduğunu gözlemişlerdir. Güçlendirilmiş, daha önceden hasar görmemiş kolonlarda ise güçlendirmenin etkinliği monolitik olarak yapılmış kolonlardan farklı olmadığı gözlenmiştir.

4.3. Perde Duvarla Güçlendirme

Burada taşıyıcı sistem kolonlarının mantolanması ve perde ilavesiyle güçlendirme yaygın biçimde kullanılır. Taşıyıcı sistemin toplam deprem güvenliği kolonların mantolanması ile elde edilebileceği gibi, güçlendirme perdelerinin öngörülmesiyle de sağlanabilir. Ancak, yüksek yapılarda ve asmolen döşemeli yapılarda güçlendirme perdesi konulmadan yönetmeliğin yer değiştirme için koyduğu şartların sağlanması oldukça zordur. Güçlendirmenin olabildiğince bütün katlarda yapılması sağlanmalıdır [1].

Betonarme yapıların yatay yüklere karşı dayanımını artırmak için değişik güçlendirme yöntemleri vardır, en uygun çözüm yapıya perde duvar yerleştirilmesidir. Amaç yapıya daha çok yatay yük taşıyabilecek elemanlar konulmasıdır. Kolonların mantolanması ile kolon düşey yük taşıma gücü artırılırken sağlanacak yatay yük taşıma gücü artışı ve güvenilirliği sınırlıdır. En etkili yatay yüklere karşı güçlendirme çerçeve boşluklarına rijit ve yüksek taşıma güçlü elemanlar konulmasıdır. Böyle bir güçlendirme ile

1- Yapının yatay yüklere karşı rijitliği artırılarak hafif depremlerde mimari hasar önenebilir. Özellikle bölme duvarları olmayan ya da hafif bölme duvarlı büro tipi yapılarda hafif şiddetli depremlerde olan mimari zarar azaltılır. Çok şiddetli depremlerde ise yıkım önlenir.

2- Planda ya da düşeyde düzensizlikleri olan ve bu nedenle de burulma etkisi sonucu hasar görmüş ya da görebilecek yapılarda bu tür düzensizlikleri gidermek için çerçeve aralıklarına dolgu duvar konulabilir,

3- Yatay yük taşıma gücü artırılabilir.

Yapıya depremde gelecek yatay yükleri taşıyacak betonarme perde duvarların eklenmesi ile yapıdaki kolonların depremden gelen kat kuvvetlerinden aldıkları pay önemli miktarda azalacaktır. Kolon momentlerinin azalması ise bu kolonlara bağlı kiriş uç momentlerinin de azalmasına neden olacaktır. Bu durum kiriş uçlarında beklenen mafsallaşmanın daha düşük bir düzeyde olmasına, kiriş uçundaki çatlaklar daha kılcal boyutta ve daha küçük bir bölgede olacaktır. Ancak daha büyük yatay kuvvet alacak perdelerin eğilme momenti daha büyük ve bu perdelerle bağlı kirişler momentleri artacağından daha çok zorlanacak ve kolonlara bağlı kiriş uçlarında mafsallaşma olmazken perdelerle bağlı kiriş uçlarından daha ileri düzeylerde mafsallaşma olacaktır.

Bu nedenle eklenen perdelerle bağlı kirişlerin uçlarındaki moment taşıma güçlerinin artırılması ya da kiriş uçlarının sık etriye ile dıştan sarılması ya da çelik levha ve epoksili cam ya da karbon lifli dokumalarla sarılması düşünülebilir.

Güçlendirme için konulmuş betonarme perdelerle bağlı kirişlerin uçlarında şiddetli depremde olacak mafsallaşma yapının genel olarak yıkılmasına yol açacak bir mekanizma olmadığı için çok da önemli değildir. Perdeye bağlı kiriş uçlarında olacak mafsallaşma depremden sonra onarılabilir.

4.3.1. Çerçeveleri Doldurma Yöntemleri

Betonarme çerçevelerin dolgu duvarlarla güçlendirilmesi çeşitli biçimlerde olabilir:

1- Donatısız yığma duvarlarla doldurma

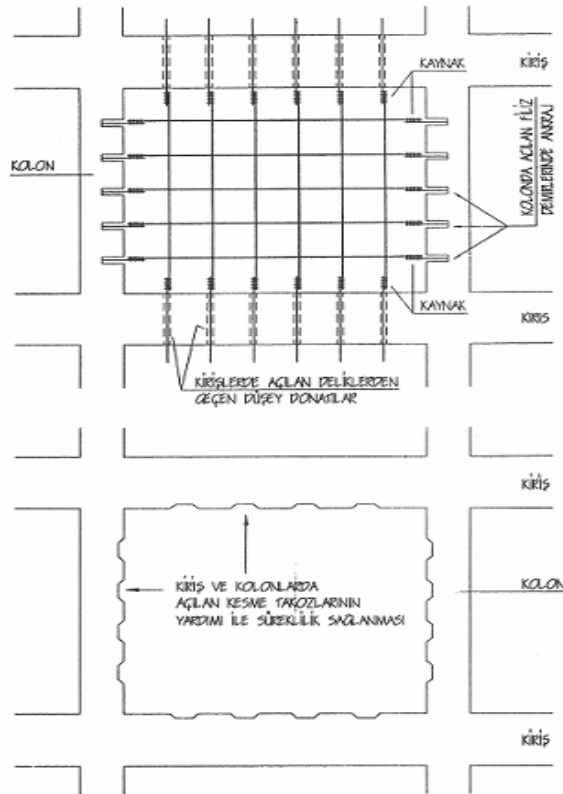
- 2- Donatılı yığma duvarlarla doldurma
- 3- Yerinde dökme betonarme perde duvarla doldurma
- 4- Perde duvarın kalınlaştırılması
- 5- Hazır dökülmüş panolarla dolgu
- 6- Çelik diyagonal elemanlarla güçlendirme

4.3.1.1. Donatısız Yığma Duvarlarla Doldurma

Çerçeve açıklığına taşıyıcı tuğla ile duvar örerek doldurma aslında çok zayıf bir güçlendirme yöntemidir. Çok sınırlı bir taşıma gücü artışı sağlanırken, düktilite artışı sağlanamaz.

4.3.1.2. Donatılı Yığma Duvarla Doldurma

Bu yöntemde çerçeve boşluğuna örülen tuğla, beton briket vb. malzemeden yapılmış duvarın her iki yüzüne hem yatay hemde düşey yönde donatıların yerleştirilmesi ile yapılır. Yatay donatıların, Şekil 4.5'te gösterildiği gibi kolonlarda, düşey donatılarında kirişlerde açılan deliklerden geçirilerek yapı yüksekliği boyunca sürekliliğinin sağlanması gerekir. Donatıların yardımı ile hem moment taşıma gücü hemde kesme kuvveti taşıma gücü artırılacaktır. Donatılı duvarın perde duvar olarak davranması için donatılar yapı yüksekliği boyunca sürekli olmalıdır [10].



Şekil 4.5 : Perdelerin çerçeveler ile birlikte çalışması için uygun ayrıntılar

4.3.1.3. Yerinde Dökme Perde Duvarla Dolgu

Bu yöntem en çok önerilen yöntemdir. Çünkü betonun basınç ve kesmeye karşı dayanımı tuğla ya da beton briket duvardan çok daha büyüktür. Ayrıca yapıya tuğla duvara göre çok daha büyük rijitlik sağlar. Çerçevelerin arasına perde duvar yapımı yapı temelinden başlayarak en üst kata kadar sürekli olmalıdır. Perde duvarın her hangi bir katta kesilmesi yapıda o katta gerilme birikimi ve deprem davranışının ani olarak değişmesine neden olduğu için kritik olmaktadır [13].

Ayrıca yapının yatay yük hesabından bulunan miktarda yatay yük taşıyabilmesi için gerekli perde en kesitine göre donatılması da gerekir. Yerinde dökme perde duvarla güçlendirmede çerçevelerin uçlarındaki kolonlarında mantolanarak güçlendirilmesi gerekmektedir. Perde uçlarındaki kolonlarda depremde perdeye gelecek eğilme momentinden dolayı büyük basınç ve çekme kuvvetleri oluşmaktadır. Eğer kolon boyuna donatıları yeterli bir biçimde etriyelerle sarılmamış ise burkulmakta, perdenin sağlaması gereken moment taşıma gücüne ulaşamamaktadır.

4.3.1.4. Perde Duvarın Kalınlaştırılması

Betonarme perdelerle güçlendirmenin bir başka biçimi mevcut perde duvarın kalınlaştırılmasıdır. Bu uygulamada da mevcut ince perde duvar yanına bir yeni duvar eklenerek daha kalın perde yapılmaktadır. Burada eski ve yeni duvarın birlikte yük taşıması için gereken ayrıntıların uygulanması gerekir.

4.3.1.5. Hazır Dökülmüş Panolarla Dolgu

Yerinde dökme betonarme duvar yapımı yerine hazır dökülmüş duvar elemanları da kullanılabilir. Hazır elemanlar standart açıklıklar varsa daha kullanışlı olabilir. Hazır dökülmüş panolarla dolgu yaparak güçlendirme yerinde dökme betonarme perde duvarlarla güçlendirmeye göre daha az yatay yük taşıma gücü sağlar. Ancak hazır dökülmüş panolarla yapılan güçlendirmenin daha sünek olduğu görülmektedir.

4.3.1.6. Çelik Diyagonal Elemanlarla Güçlendirme

Betonarme perde duvarların konulması yapının ağırlığını ve dolayısı ile yapıya gelen yatay deprem yüklerini de artırabilir. Bu artıştan kaçınmak ya da yapının ağırlığını artırmadan rijitliğini ya da daha önemlisi olan sünekliğini artırmak için çerçeve boşlukları arasına çelik çerçeveler ya da diyagonal elemanlar konularak güçlendirme yapılabilir. Bu tip güçlendirme diğer yöntemlere göre çok daha kısa bir süre içinde gerçekleştirilebilir. Çerçevenin betonarme kolonlara özel bir biçimde bağlanması gerekir. Çelik çerçeveler yatay kuvvet taşıma gücü bakımından betonarme perde duvarlara göre hem daha güçsüzdürler hem de bedelleri daha yüksektir. Ancak daha

kısa sürede yapılabilmesi ve bir deprem sonrasında acil olarak yapıların hasarlı bölümlerinin desteğe alınmasında kullanılabilme gibi üstünlükleri de vardır.

4.3.2. Dolgu Duvarla Güçlendirmenin Etkinliği

Dolgu duvarla çerçevelerin güçlendirilmesi yöntemi ile elde edilecek ek taşıma gücü, rijitlik artışı, süneklik ve kesme kuvveti taşıma gücü açısından bir karşılaştırma yapılması uygulanacak yöntemin seçiminde yol gösterici olabilir. Çerçevelerin dolgu duvarları ile güçlendirilmesinin etkinliği çeşitli araştırmacılarca incelenmiştir.

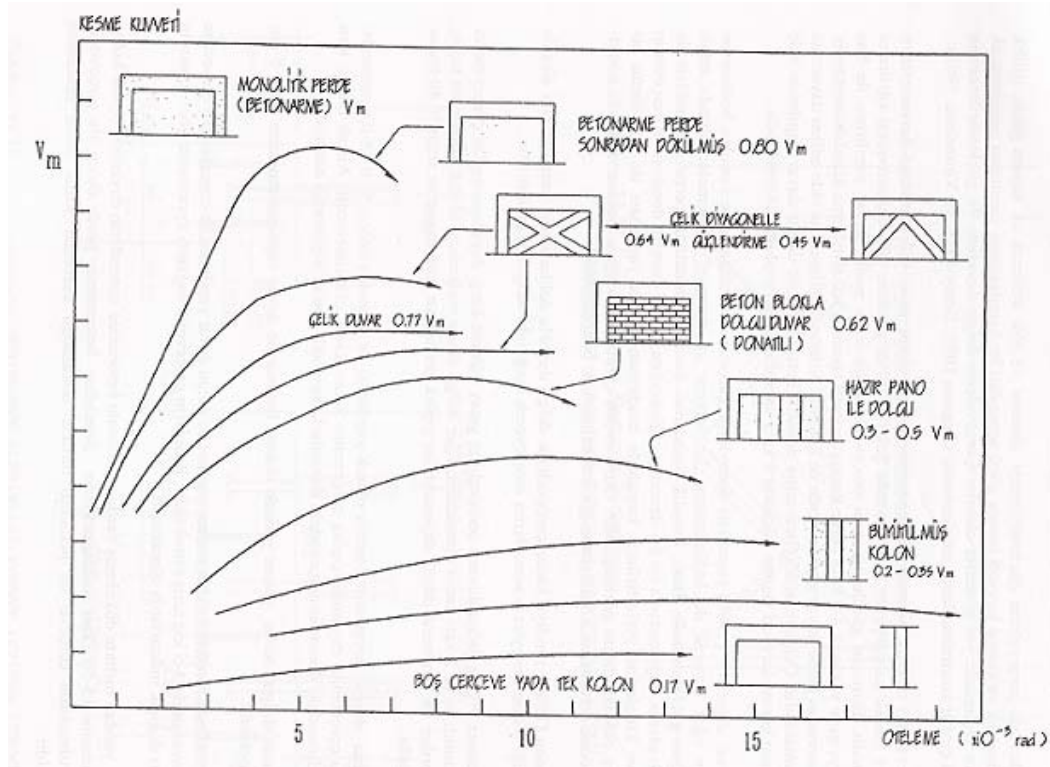
Değişik biçimde güçlendirilmiş çerçevelerin yatay yük altındaki davranışlarını deneysel olarak karşılaştıran çalışmada Şekil 4.6'da görülen yük deformasyon eğrilerini vermektedir. Buradan görüleceği gibi çerçeve boşluğu içine perde duvar yapılması ile boş çerçeveye göre yaklaşık 4-5 kata varan kesme kuvveti taşıma gücü artışlarına ulaşılabilmektedir. Ancak sonradan perde duvar yapımı perde ile kolonun birlikte dökülmesi ile elde edilen dayanıma ulaşamamaktadır. Çerçeve açıklığının içine donatılı beton blok ile dolgu duvar yapılması bile çerçevenin kesme kuvveti taşıma gücünde 3 kata varabilen artışlar oluşturabilmektedir.

Yapılan deneylerde çerçeve sisteminin içine konulan betonarme perdenin eğer çerçeve ile bağlanmamış ise tersinir ve devresel yüklemeler altında etkili olmadığını gözlemişlerdir. Buna karşılık betonarme perdenin donatıları çerçeve donatıları ile kaynaklı olarak bağlanırlarsa iyi bir davranış sağlandığını, perde duvarın donatısının çerçevenin kolon ve kirişlerine yerleştirilmiş kamalarla bindirmeli olarak yapılması ile çok üstün bir davranış elde edildiğini görmüşlerdir. Öte yandan çerçeve açıklığına betonarme perde konulmadan önce çerçevenin kolonlarının güçlendirilmesi de önerilmektedir.

Şimdiye kadar çerçevelerin dolgu duvarla doldurularak yatay yükler altında denendiği bütün deneylerin sonuçlarını inceleyerek aşağıdaki bulguları çıkarmıştır:

- 1- Donatısız yığma dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yüklere karşı dayanımı çıplak çerçevelerin dayanımının en az 2 katı kadar olmaktadır.
- 2- Yığma dolgu duvarların donatılı olarak yapılması ile donatı yüzdesi % 0.15–0.6 arasında, dolgulu çerçevenin dayanımı çıplak çerçevenin 5 katı kadar olabilmektedir.
- 3- Yığma dolgu duvar yerine yerinde dökme betonarme duvar yapılırsa dayanım artışı 6 kat olabilmektedir.
- 4- Ön dökümlü (prefabrike) betonarme panolar ile dolgu duvar yapılması ile duvarsız boş çerçeveye göre dayanımda 3–5 kat artış olmaktadır
- 5- Öte yandan birlikte dökülmüş perde ve kolonlu betonarme sistemlerin dayanımı çıplak kolon dayanımının 15–50 katı olabilmektedir. Sonradan betonarme perde

duvar ile çerçevenin doldurulmasının çerçeve ile perdenin birlikte döküldüğü durumlar kadar etkin olmaması normaldir.



Şekil 4.6 : Çerçeve açıklığının değişik yöntemlerle doldurulmasının dayanım ve deformasyon gücü üzerindeki etkileri

4.3.3. Çerçevenin Perde Duvara Dönüşmesinin Yaratacağı Sorunlar

Çerçevelerin perde duvara çevrilmesi ile yapıya rijit elemanlar yerleştirilmektedir. Yapıya gelen kuvvetlerin tamamına yakın bir bölümü bu perde tarafından taşınacaktır. Bu ise perdenin temelinde büyük dönme momenti oluşturacak ve bunu taşıyacak boyutta temel olması gerekecektir. Bu nedenle yapıya perde eklenmesi ile bu perdelerin yeterli temelinin de bulunması gerekmektedir.

Yalnızca moment etkisi altında olan bir temelin, üstelik depremde gelen yatay yüklerin tümünü alan bir perdenin temelini, boyutları son derece büyük olacaktır. Bu sorun perdelerin temelleri yapının diğer kolonlarının temelleri ile bütünleştirilerek çözülmüştür. Büyük yatay rijitliği nedeni ile depremde gelen yatay yüklerin büyük bir bölümünü perde duvar taşımaktadır.

Bu momentin taşınabilmesi için çok büyük boyutlu temeller gerekebilir. Yapının diğer kolonları ile birleştirilmiş perdenin temeli deprem sırasında gelen eğilme momentleri altında döndüğü zaman, yapının düşey yüklerini taşıyan diğer kolonların temeli ile bağlantılı olduğu için, bu kolonların düşey yükleri perde temelini dönmesini azaltacak ve zeminde büyük gerilmelerin oluşması önlenecektir [10].

5. DÜNYADAKİ TEMEL AYIRICI SİSTEM UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Dünya üzerinde temel ayırıcı sistem ile yapılmış birçok bina mevcuttur. Bu sistemler gerek mevcut binayı güçlendirmek amaçlı kullanılmış, gerekse de sıfırdan yapılan binalarda kullanılmıştır. Yapılan bu uygulamalarda elastomer mesnetlerin de, sürtünmeli sarkaç mesnetlerin de kullanımına rastlanmaktadır. Bu çalışmanın sürtünmeli sarkaç mesnetler ile ilgili olması nedeniyle, daha çok bu tip mesnetlerle yapılan binalara yönelik örnekler verilecektir.

5.1. The Salt Lake City and Country Binası

The Salt Lake City binası temel ayırıcı sistem kullanılmış ilk tarihi yapı özelliğini taşımaktadır. Plan görünümü $80 \times 40 \text{ m}^2$, ortalama ağırlığı 34000 ton ve toplam beş kat olan bu tarihi yapı 19. yüzyıl sonlarına doğru taş duvar, tuğla ve kum taşından inşa edilmiştir.



Şekil 5.1 : The Salt Lake City and Country Binası

Plandaki boyutu 4 m^2 olan, 69 m yüksekliğinde ve 12 katlı saat kulesinin alanı aynı zamanda desteklenmemiş taş duvarlardan oluşturulmuştur. Büyük temel sistemi ve yapı arasına 447 adet elastomerik mesnet monte edilmesi ile temel ayırımı sağlanmıştır. Kuleye gelecek rüzgâr yüklerini hesaba katmak için dış duvarların altlarına başlangıç rijitliği yüksek olan kurşun gövdeli kauçuk mesnetler

kullanılmıştır. Yapı çevresinde, yalıtım seviyesinde görelî deplasman sağlayacak 30 cm lik bir sismik boşluk oluşturulması için bir betonarme istinat duvarı teşkil edildi.

Temel ayırıcı sistem, diğer güçlendirme yöntemleri arasında mimari yönden estetik ve üç alternatif güçlendirme planı içerisinde, kuvvetli bir deprem sonrasında hasarı azaltmada en etkili yol olarak seçilmiştir. Bina Wasatch fayına 2 mil uzaklıkta, yüksek sismik potansiyeli olan bir alana konuşlandırılmıştır. Temel ayırıcı sistem sayesinde sismik kuvvetlerin neden olduğu etki 6 kat azaltılmış ve bu nedenle geleneksel güçlendirme yöntemleri elenmiştir.

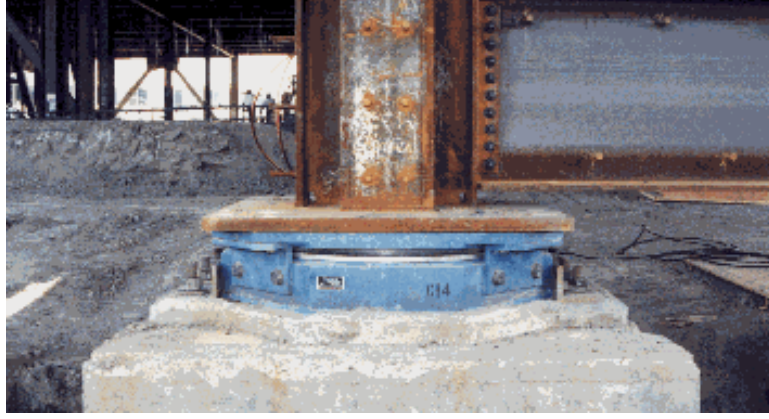
Yapı, değişken deprem kayıtları ile geniş tabanlı bir dinamik analize tabi tutulmuştur. Analizin amacı; maksimum zemin ivmesi 0.20 g olan olası bir depremde taban kesme kuvveti ve deplasman limitlerini belirlemek, aynı zamanda maksimum ivmesi 0.40 g olan bir deprem için temel ayırıcıların stabilitesini gözlemlemek olmuştur. Lineer olmayan analizlerin sonuçları yapısal kapasitenin kontrolü için kullanılmıştır. Zemin salınıminin farklı türlerini, deprem hareketinin doğrultularının değişimi, zeminin titreşim seviyesi, kütle dışmerkezi ve duvarların rijitliğindeki değişimin etkileri üzerinde bir dizi nonlinear analiz gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen simülasyonlarda tasarım zemin ivmesi 0.20 g için yapının elastik sınırlar içerisinde salınım yaptığı ve hasar görmeden bu tür zemin ivmesine sahip bir depreme rahatlıkla dayanabileceği gösterilmiştir. Maliyeti 30 milyon \$'dır. [14].

5.2. San Francisco Uluslararası Havalimanı Terminali

San Francisco Uluslararası Havalimanı Terminali; geniş iç alanı, 25 m yükseklikte kolonları, 215 m açıklıklı çatı makasları ve camdan dış duvarları ile çok çarpıcı mimari özelliklere sahip bir yapıdır. Bu yapı, San Andreas fayında oluşabilecek 8 büyüklüğünde bir depreme mukavemet edecek şekilde tasarlanmıştır. Binanın yapımında 267 adet sürtünmeli sarkaç mesnet kullanılmıştır. Bu yapı, sismik ayırıcı sistem ile yapılmış dünyanın en büyük yapısıdır.



Şekil 5.2 : San Francisco Uluslararası Havalimanı Terminali



Şekil 5.3 : San Francisco Uluslararası Hava Terminali'nde kullanılan bir SSS



Şekil 5.4 : San Francisco Uluslararası Hava Terminali'nin yapımı

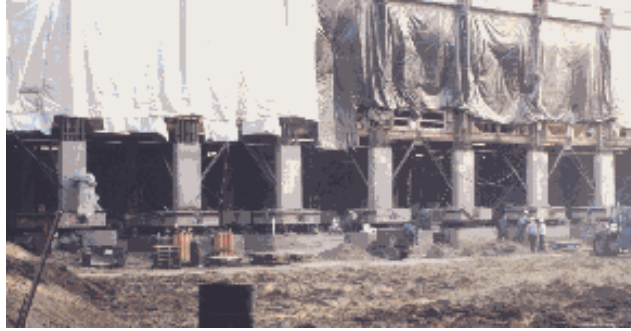
Sürtünmeli sarkaç mesnetler sayesinde binanın periyodu 3 saniyeye çıkarılmıştır ve bu sayede deprem yüklerinde % 70 civarında azalma sağlanmıştır. Sürtünmeli sarkaç mesnetlerin seviyesinde binaya 51 cm yatay deplasman yapabilme imkânı sağlanmıştır. Sürtünmeli sarkaç sistem, arzulanan deprem performansına ulaşılmasında en ucuz yöntem olması sebebiyle tercih edilmiştir. Buna ek olarak sürtünmeli sarkaç mesnet kullanımı ile kauçuk mesnetlerin kullanımı arasında kıyas yapılmıştır. Buna göre; sürtünmeli sarkaç mesnetler yerine kauçuk mesnetler kullanılmış olsaydı, daha büyük kolon ve kiriş kesitlerine ihtiyaç duyulacak olmasının yanında, 680 ton daha fazla yapısal çelik kullanılması gerekecekti.

5.3. Birleşik Devletler İstinaf Mahkemesi

Birleşik Devletler İstinaf Mahkemesi 32500 m² alana sahip tarihi eser bir yapıdır. Dış yapısı işlenmiş granit taştan yapılmıştır. İçerisi ise oyulmuş mermer, gürgen ve dekoratif alçıdan yapılmıştır. 1994 yılında güçlendirilmesi yapılan bu binanın güçlendirilmesinde 256 adet sürtünmeli sarkaç mesnet kullanılmıştır. Yapıldığı tarihte temel ayırıcı sistem kullanılarak güçlendirilmiş olan dünyanın en büyük yapısı unvanını almıştır.



Şekil 5.5 : Birleşik Devletler İstinaf Mahkemesi



Şekil 5.6 : Birleşik Devletler İstinaf Mahkemesi'nde uygulanan SSS

Güçlendirmeyi yapan mühendis ve mimarların beyanına göre; bu yapı için, sürtünmeli sarkaç mesnet kullanımı, kauçuk mesnet kullanımına kıyasla, % 24 daha tasarrufludur. Bu sayede 7,6 milyon \$ tasarruf sağlanmıştır. Ayrıca mesnetlerin yüksekliğinin az olması nedeniyle 7500 m²'lik kullanılabilir durumda ki bodrum katıda korunmuştur.

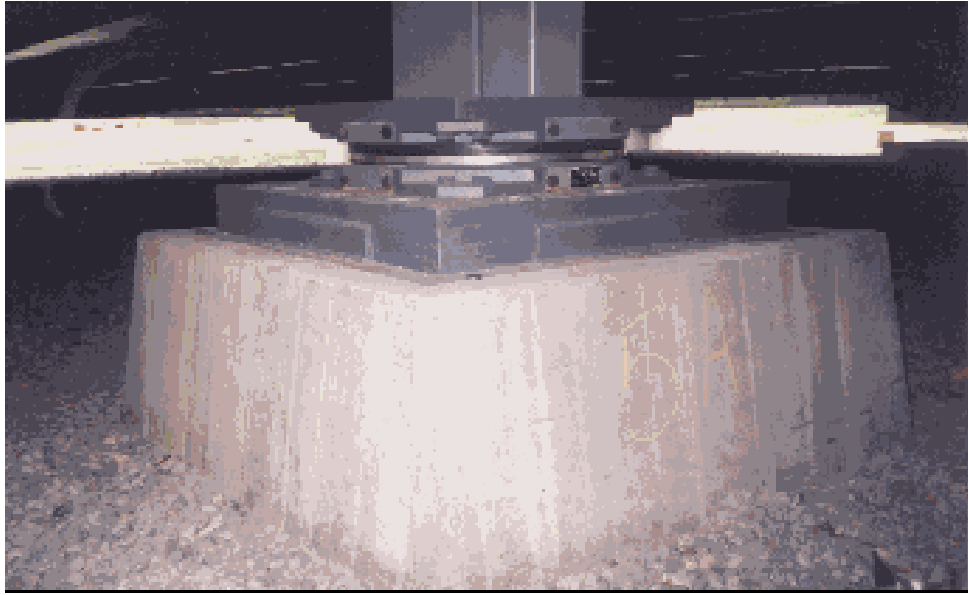
Maketi üzerinde yapılan mühendislik testleri sonucunda, sürtünmeli sarkaç sistemin, depremin bu tarihi yapı üzerinde yapacağı etkiyi, % 80 azalttığı görülmüştür. Birbirleriyle teknolojik rekabet içerisinde olan, kurşun gövdeli kauçuk mesnet, yüksek sönümlü kauçuk mesnet ve sürtünmeli sarkaç mesnedin, tedarikçilerinin teklifleri değerlendirilmiş ve sürtünmeli sarkaç mesnet, yapımda kullanılmak üzere seçilmiştir. Buna sebep olarak sürtünmeli sarkaç sistemin daha yüksek teknik standartlarda olması ve düşük maliyeti gösterilmiştir.

5.4. Washington Eyaleti Acil Operasyon Merkezi

Washington Eyaleti Acil Operasyon Merkezi, bu eyaletteki tüm acil durumlar için koordine merkezi olarak görev yapmakta olup çok önemli pozisyonda görev içeren bir kuruluşun binasıdır. Binanın içerisinde çok büyük öneme sahip haberleşme ve bilgisayar donanımları mevcuttur.



Şekil 5.7 : Washington Eyaleti Acil Operasyon Merkezi

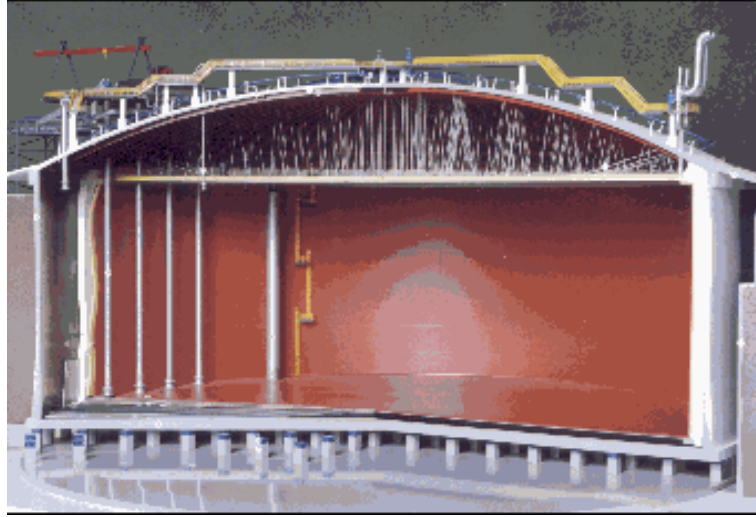


Şekil 5.8 : Washington Eyaleti Acil Operasyon Merkezinde kullanılan SSS

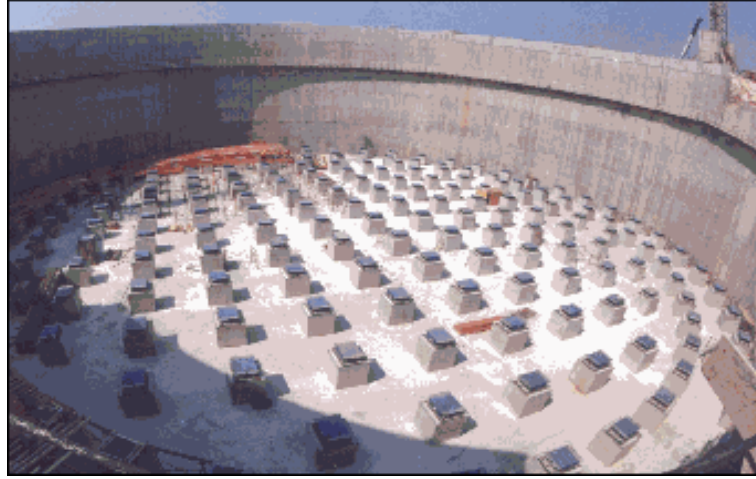
Bina, Seattle bölgesinde olabilecek maksimum depreme karşı koyabilecek şekilde sürtünmeli sarkaç mesnetlerle tasarlanmıştır. Bina, 28 Şubat 2001’de Seattle’ da meydana gelen 6,8 Magnitüdlü depremin merkezine 10 km mesafededir. Bu depremde, bina ve içindeki tüm teçhizat hasar almamış ve eyalette ki kurtarma, yangın ve polis gibi acil operasyonlar kesilmeden aralıksız devam edebilmiştir.

5.5. Sıvılaştırılmış Doğalgaz Tankı

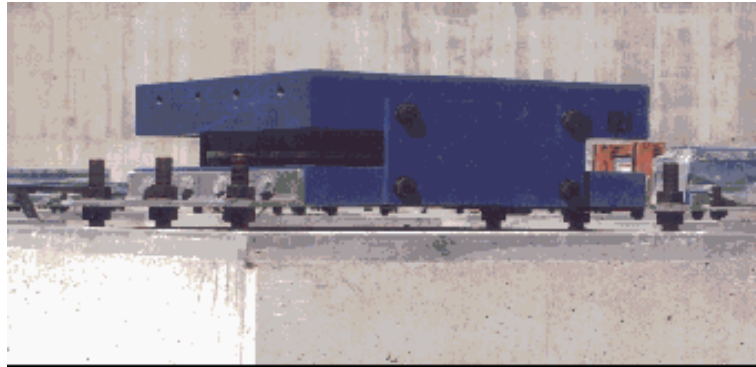
Yunanistan da bulunan, Kamu Gaz Kuruluşuna ait iki adet gaz tankı yapımında sürtünmeli sarkaç mesnetler kullanılmıştır. Atina şehrine yakın, Revithoussa adasında bulunan sıvılaştırılmış doğal gaz tankları, Avrupa’nın deprem riski en yüksek olan bölgesinde yapılmıştır. Her bir tank, 70 m çapında ve 30 m yüksekliğinde olup 212 adet sürtünmeli sarkaç mesnet ile desteklenmiştir. Bu tanklar dünyanın, temel ayırıcı sistemle yapılmış en büyük ve an ağır tanklarıdır.



Şekil 5.9 : Sıvılaştırılmış Doğalgaz Tankı



Şekil 5.10 : Tankın temeline koyulmuş SSS'ler



Şekil 5.11 : Tankın temelinde ki SSS'lerden birinin yakından görüntüsü

Bu yapıda, elastomer mesnetlere tercihen sürtünmeli sarkaç mesnetler seçilmiştir. Bunun sebebi; sürtünmeli sarkaç sistemin yapılan testler sonucunda arzulan performans seviyesine ulaştıran en iyi sistem olmasıdır. Mesnetler depreme göre tasarımıda, yatay kesme kuvvetlerini % 80 oranında azaltmıştır. Her bir mesnet 9000

kN düşey yük taşıma kapasitesine sahip, 0,05 sürtünme katsayısı olan, periyodu 2,75 s olan ve öteleme kapasitesi 30,5 cm olan mesnet özelliklerine sahiptir.

5.6. Atatürk Uluslararası Havalimanı Terminali

İstanbul'daki, Atatürk Uluslararası Havalimanı Terminali 300 milyon \$'a mal olmuş, her yıl 14 milyon hava yolcusunun Türkiye'ye girişine imkân sağlayan, çok büyük bir yapıdır. 235000 m²'lik arazi üzerine kurulan hava limanının ana bölümü, 225 m'ye, 250 m boyutlarında olup, piramit şeklinde uzay kafes çatıya sahip ve çatısında üçgen şeklinde cam pencereler bulunan bir yapıdır.



Şekil 5.12 : Atatürk Havalimanı'nın dışarıdan görüntüsü



Şekil 5.13 : Atatürk Havalimanında kullanılan bir sürtünmeli sarkaç mesnet

Bu narin çatı yapısı 130 sürtünmeli sarkaç mesnetle desteklenmiştir. Sürtünmeli sarkaç mesnetler, 7 m yüksekliğindeki kolonlar ile çatı arasında bulunmaktadır. Mesnetler, olabilecek 8 büyüklüğünde bir depreme karşı güvenlikle yapılmıştır.

5.7. Seahawks Futbol Stadyumu

Washington Eyaleti, Seattle şehrinde yapılan üstü açık futbol stadyumunun yapımında sürtünmeli sarkaç mesnetler kullanılmıştır. Bu silindirik mesnetler çatıyı tutan dört tane kulenin üstüne monte edilmiştir.



Şekil 5.14 : Seahawks Futbol Stadyumu



Şekil 5.15 : Seahawks Futbol Stadyumunda kullanılan bir SSS

Her bir mesnet 13500 kN düşey yük taşıyabilme kapasitesindedir. Stadyum 2002 yılında tamamlanmıştır ve 70000 seyirci kapasitelidir. Mesnetler 28 Şubat 2001’de meydana gelen depremde harekete geçmiş ve görevini başarıyla yapmıştır.

5.8. Benicia-Martinez Köprüsü

Benicia-Martinez köprüsü, San Francisco'nun üç tane çok kritik ve önemli köprüsünden birisidir. Bu köprü 6 şeritli olup, ortalama günde yüz bin aracın geçişini sağlamaktadır. Depremden sonra da hizmet verebilmesi çok önemlidir ve gereklidir. Yapıldığı tarihte sürtünmeli sarkaç mesnetle yapılmış en uzun köprü olma özelliğine sahipti. Köprünün depreme göre tasarımında dikkate alınan önemli bir nokta; yakın fay etkisi ve yumuşak zemin etkisi sebebiyle yer hareketi sonucu, spektral ivme değeri 7g'nin üzerine çıkmıştır.



Şekil 5.16 : Benicia-Martinez Köprüsü



Şekil 5.17 : Benicia-Martinez Köprüsünde kullanılan bir SSS

Sürtünmeli sarkaç mesnetler, beton köprü ayakları ile araçların geçtiği yolun altındaki çelik makasların arasına koyulmuştur. Her bir köprü ayağının üstüne 2 adet mesnet koyulmuştur. Bu mesnetler şu ana kadar üretilen, dünyanın en büyük mesnetleridir. 4 m çapında ve 18 ton ağırlığındadır. 1,35 m yatay deplasmana izin vermekte ve 23000 kN servis yükü taşıyabilme kapasitesine sahiptir [15].

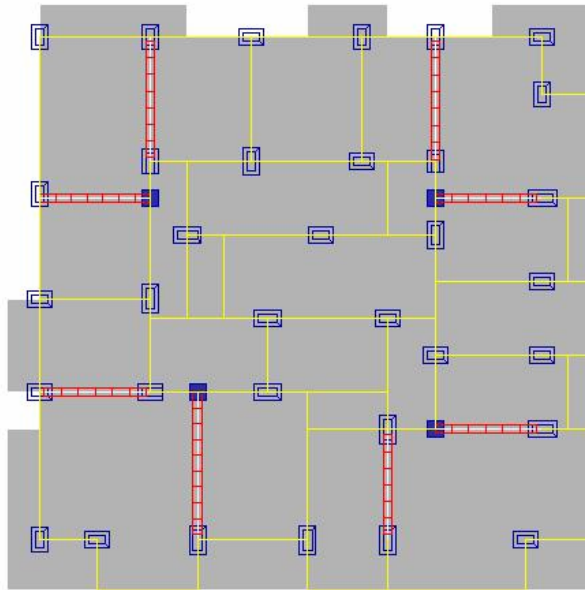
6. ANALİZDE KULLANILACAK YAPILAR VE DEPREMLER

6.1. Analizde Kullanılacak Yapılar

Bu çalışmada iki adet yapı, karşılaştırma amacı ile ele alınmıştır. Bu yapıların biri kısa periyotlu diğeri ise uzun periyotlu olacaktır. Kısa periyotlu yapı 4 katlı bir konut binası olup periyodu 0,461s'dir. Uzun periyotlu yapı ise 10 katlı bir hastane binasıdır ve periyodu 1,238s'dir. Bu yapılar, klasik yöntemle ve sürtünmeli sarkaç sistemle olmak üzere iki ayrı şekilde güçlendirilmişlerdir. Klasik güçlendirilmiş konut binasının periyodu 0,201s'ye düşerken, sürtünmeli sarkaç sistemle güçlendirilmede periyot 2,279s'ye çıkmıştır. Hastane binasında klasik güçlendirilmiş durumda periyot 0,761s'ye düşerken, sürtünmeli sarkaç sistemle güçlendirilmiş durumda periyot 2,428s'ye çıkmıştır. Şekil 6.4'te görülen kısa periyotlu yapı 4 katlı bir konut binasıdır. Şekil 6.8'de görülen uzun periyotlu olan yapı ise 10 katlı bir hastane binasıdır.

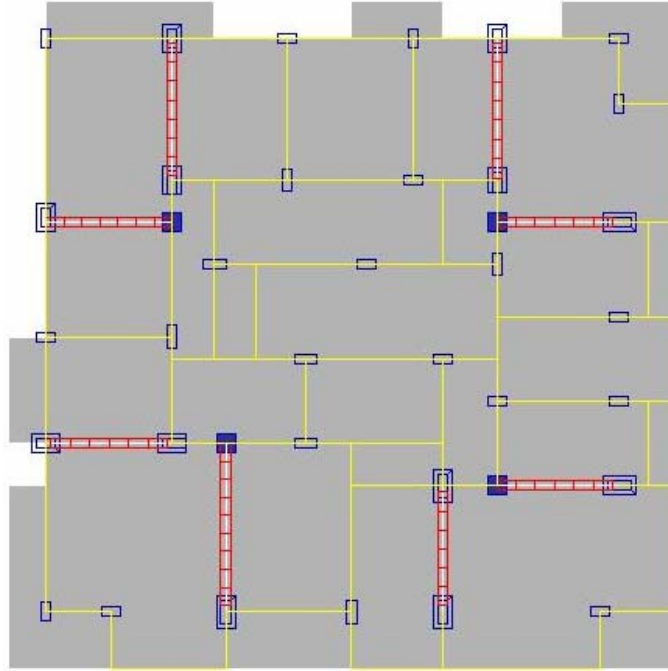
6.1.1. Kısa Periyotlu Konut Binası

Binanın klasik yöntemle güçlendirilmesi ile sürtünmeli sarkaç mesnet ile güçlendirilmesi durumlarının, çeşitli deprem ivme izleri etkileri altında, farklı açılardan karşılaştırmaları yapılacaktır.

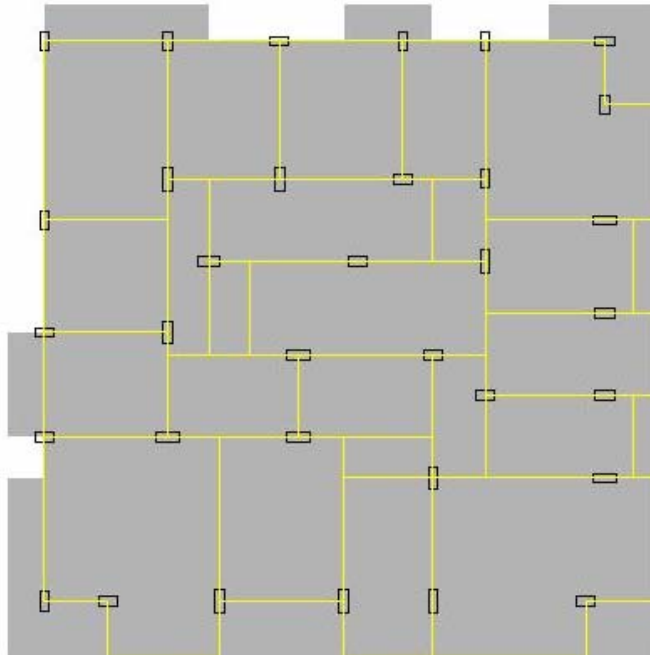


Şekil 6.1 : Klasik güçlendirilmiş Konut Binasının 1.katının planı

Binanın boyutları; X doğrultusunda 17,80 m, Y doğrultusunda 17,50 m olup, yüksekliği; her bir katın yüksekliği 2,8 m olmak üzere toplam 11,2 m'dir. Klasik güçlendirme yapılırken ilave edilen elemanlar Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de görüldüğü şekliyle; boyutları 2 ile 4 metre arasında değişen, her iki doğrultuda da 4'er tane olmak suretiyle, 8 adet perde ve kolonların mantolanması şeklinde yapılmıştır.



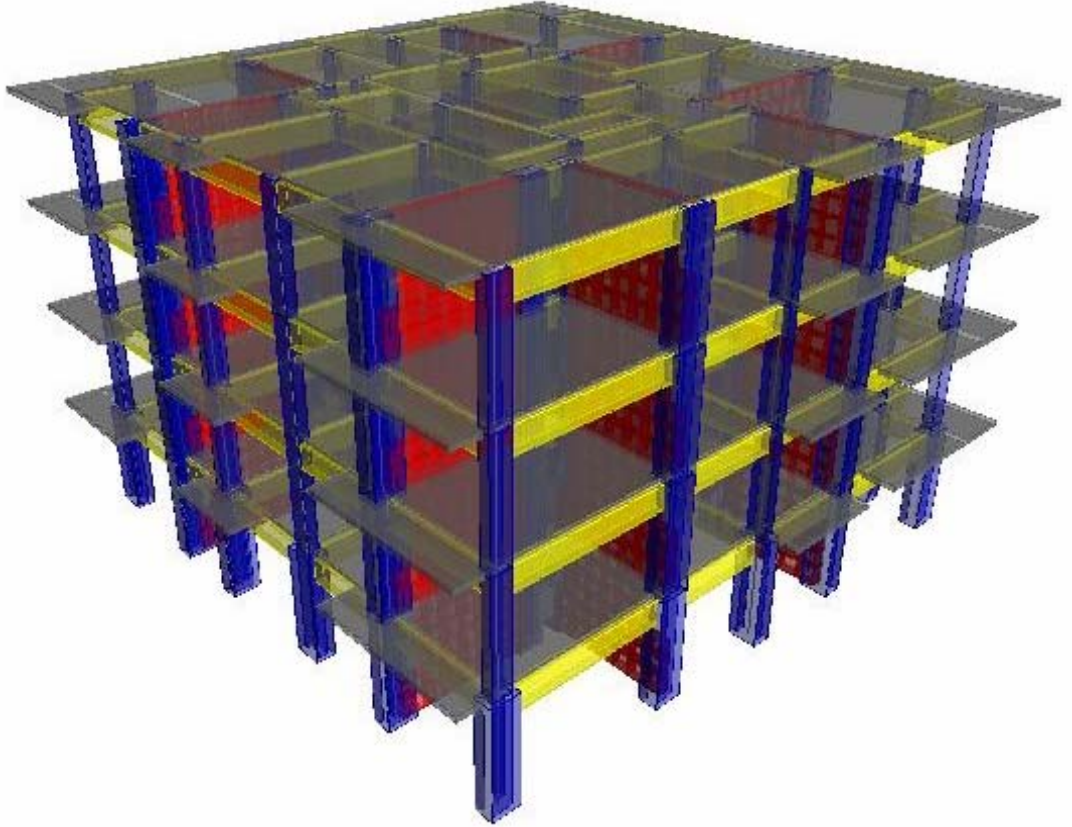
Şekil 6.2 : Klasik güçlendirilmiş Konut Binasının 2, 3, ve 4. katlarının planı



Şekil 6.3 : SSS ile güçlendirilmiş Konut Binasının tüm katlarının planı

İlk katta bütün kolonlarda, diğer katlarda ise yalnızca perdelerin yanında ki kolonlarda olmak üzere bütün kolonlar 12'şer cm kalınlığında mantolar ile güçlendirilmiştir. Perdelerin kalınlıkları ise 30 cm'dir.

Yukarıda belirtilmiş olan klasik güçlendirilmiş bina bu çalışmada birinci model olarak ifade edilecektir. İkinci model ise Şekil 6.3'te verilen binanın sürtünmeli sarkaç mesnetler konularak güçlendirilmesidir. Ayrıca sürtünmeli sarkaç mesnedin koyulduğu yerin hemen üstüne, rijit diyafram bir çalışma gerçekleşebilmesi için döşeme ilave edilmiştir.

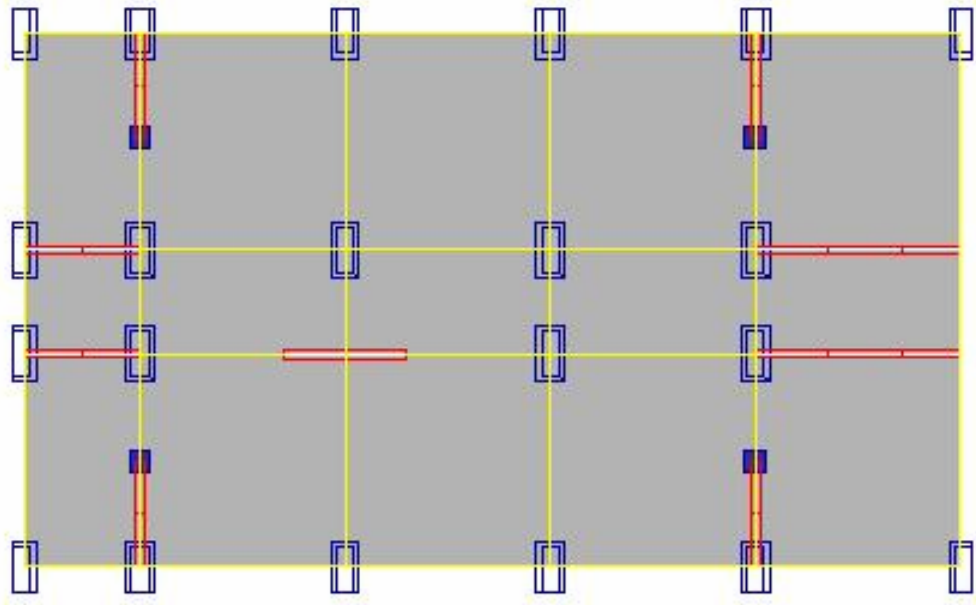


Şekil 6.4 : Konut Binasının üç boyutlu modelinden bir görüntü

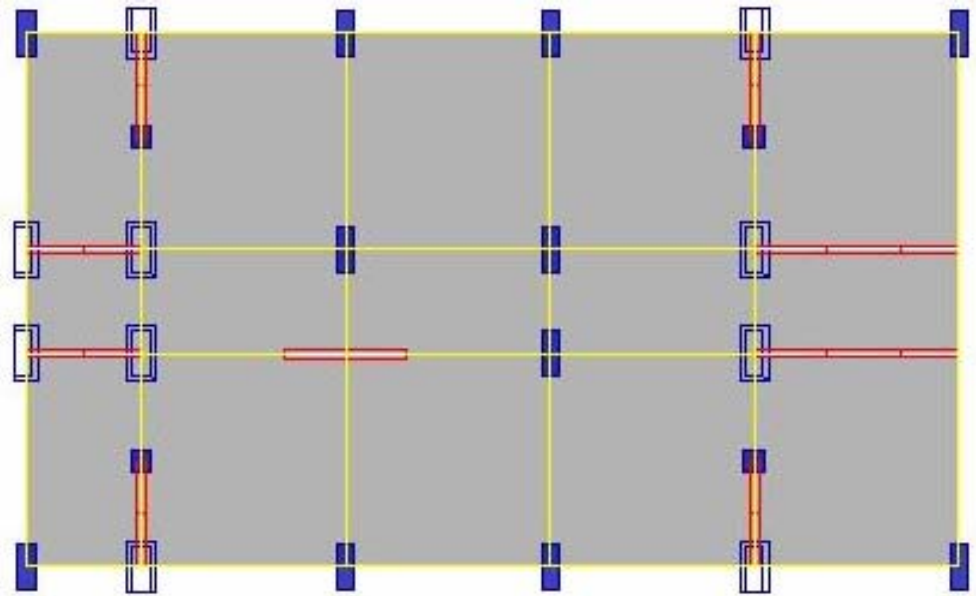
6.1.2. Uzun Periyotlu Hastane Binası

Bina, 10 katlı bir hastane binasıdır. Binanın boyutları; X doğrultusunda 26,90 m, Y doğrultusunda 15,30 m olup, yüksekliği her bir katın yüksekliği 3,4 m olmak üzere toplam 34,0m'dir. Klasik güçlendirme yapılırken Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da görüldüğü gibi; her iki yönde de 4'er adet olmak suretiyle, 8 adet perde elemanı x ve y doğrultularında dolgu elemanı yerine yerleştirilmiştir. Buna ek olarak ilk katta bütün kolonlarda, diğer katlarda ise yalnızca perdelerin yanında ki kolonlarda olmak üzere bütün kolonlar 15'er cm kalınlığında mantolar ile güçlendirilmiştir.

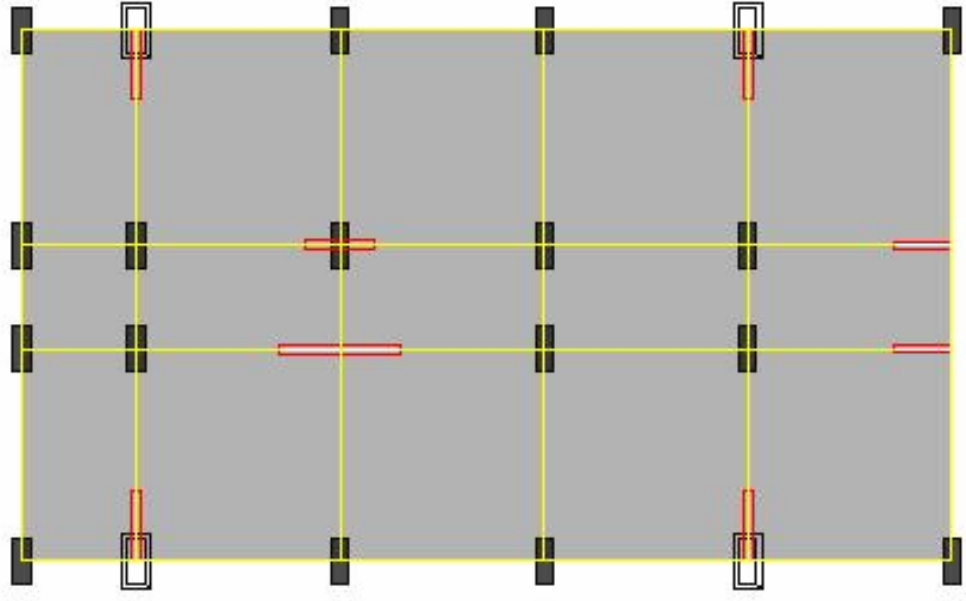
Yukarıda belirtilmiş olan klasik güçlendirilmiş bir bina olup bu, binanın birinci modelini teşkil eder. İkinci model ise X ve Y doğrultusunda, kolonlara kanat eklemek ve Y yönünde ki kanatların olduğu kolonları 5. kata kadar mantolamak suretiyle, güçlendirme yapılmıştır. Buna ek olarak temelin üstüne, kolonların altına gelecek şekilde sürtünmeli sarkaç tipi mesnetler konularak, üst yapı ile temel ayrılmıştır. Ayrıca mesnetlerin tatbik edildiği yerin hemen üstüne döşeme yapılarak rijit diyafram etkisi elde edilmek istenmiştir. Kolonlara kanat eklenmesinin yapılma nedeni; üst yapıda meydana gelen, yönetmelikteki sınırları aşan, yer değiştirmeleri azaltmak suretiyle yapı rijitliğini arttırmaktır.



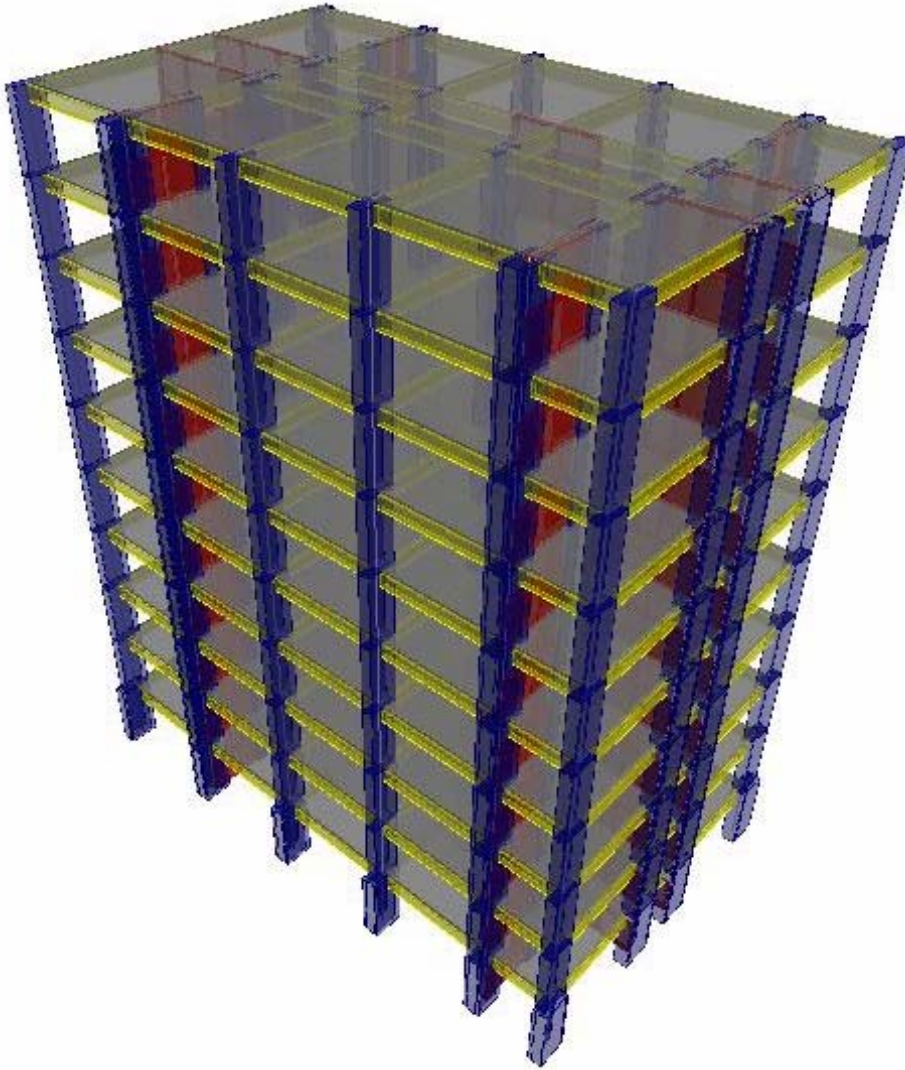
Şekil 6.5 : Hastane Binasının 1.kat planı



Şekil 6.6 : Hastane Binasının 2.-10. katların planı



Şekil 6.7 : SSS ile güçlendirilmiş Hastane Binası



Şekil 6.8 : Hastane Binasının 3 boyutlu modelinden bir görüntü

6.2. Housner Şiddeti

Mühendislik tasarımı amacı ile zemin hareketinin gücünü tayin etmek oldukça zor bir problem olduğu gibi böylesine karmaşık bir olayı tek bir parametre ile de tanımlamak hemen hemen imkânsız gibidir. Bu yüzden çok sayıda araştırmacı bu gücün belirlenmesinde çeşitli parametreleri inceleme konusu yapmıştır. Deprem manyitüdünün büyüklüğü yanında, kaydedilmiş kuvvetli deprem ivme kayıtlarından doğrudan ya da dolaylı olarak hesaplanan mühendislik şiddetlerinin de deprem hareketinin gücünü belirlemede önemli yeri vardır.

Çeşitli deprem kayıtlarının, yapıya tatbikinde dikkat çekici önemli bir nokta, Housner şiddetleri sıralamasının, depremlerin binada oluşturduğu taban kesme kuvveti ve maksimum yerdeğiştirme sıralaması ile son derece uyum içinde olduğudur [16].

Hız spektrum eğrileri deprem hareketinin yapıya olan en büyük etkisini gösteren bir ölçüdür. Bu nedenle değişik sönüm oranları için periyoda bağlı olarak verilen bu eğrilerin altında kalan alan, yer hareketinin büyüklüğünün diğer bir ölçüsü olarak alınabilir. Böylece çeşitli periyot değerlerinde ki spektral hızlar integrasyonla bir anlamda, bir değer ile ifade edilmektedir.

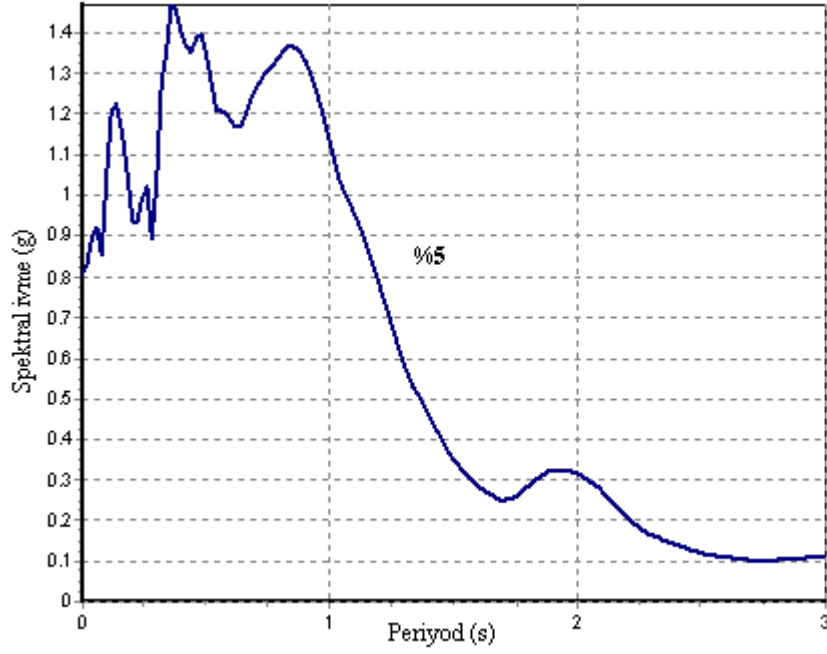
Bu açıklamaya uygun olarak Housner tarafından %20 sönümlü olarak Housner Şiddeti tanımlanmıştır. Bu büyüklük deprem hareketinin, periyodu 0,1 s ve 2,5 s arasında ki yapılarda meydana getirebileceği hasarın bir ölçüsü olarak da kabul edilebilir. Bu büyüklük deprem kayıtlarından çıkarıldığı için, Mercalli Şiddetine göre, depremin yapıların dayanım düzeyinden bağımsız daha gerçekçi bir mutlak ölçüsü olarak görülebilir. Bunun kullanılmasıyla belirli bir yaklaşımla depremleri birbirleri ile kıyas etmek mümkün olabilir. Normal bir dayanıma sahip yapı türü kabul edilerek Housner Şiddeti ile Mercalli Şiddeti arasında bağıntı kurulabilir [1].

$$SI(0,2) = \int_{0,1s}^{2,5s} S_v(0,2;T)dT \quad (6.1)$$

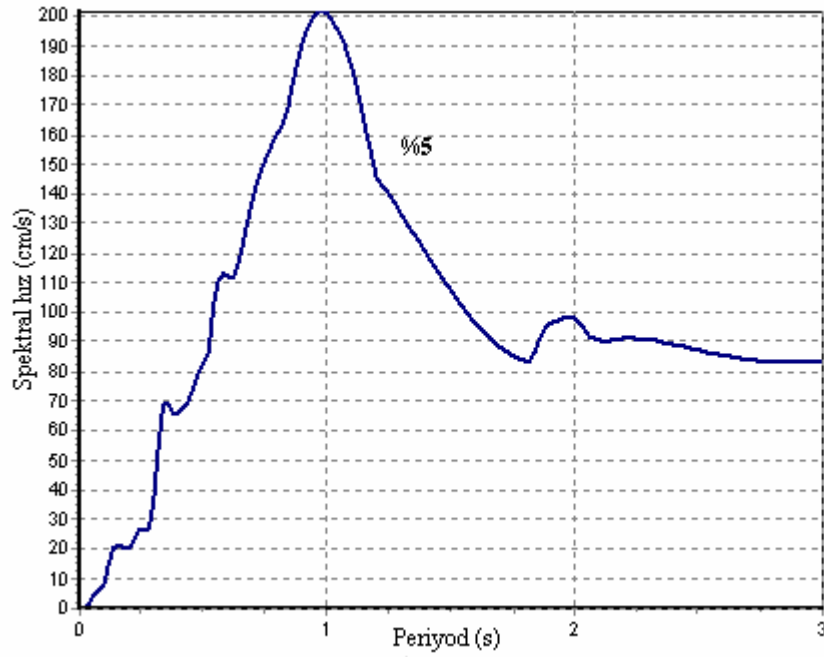
6.3. Analizde Kullanılan Deprem İvme Kayıtları

6.3.1. Düzce Depremi Bolu D-B İvme Kaydı

12 Kasım 1999 Düzce Depreminin Bolu ilinden alınan deprem ivme kayıdır. Housner Şiddeti 193 cm'dir. Maksimum ivmesi 805 cm/s² 'dir. Bu depreme ait ivme ve hız spektrumları şekil 6.9 ve şekil 6.10'da verilmiştir.



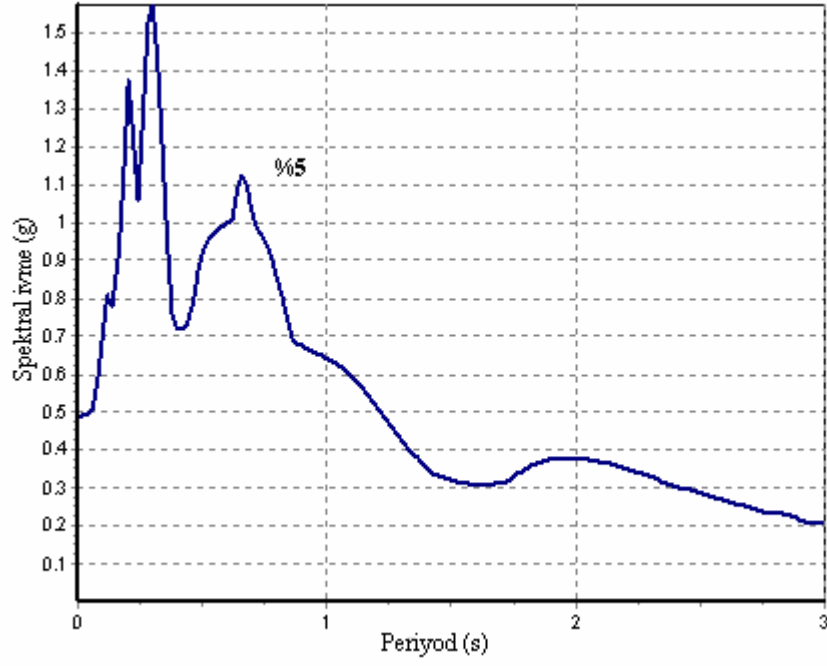
Şekil 6.9 : Düzce Depremi Bolu D-B ivme kaydı ivme spektrumu eğrisi



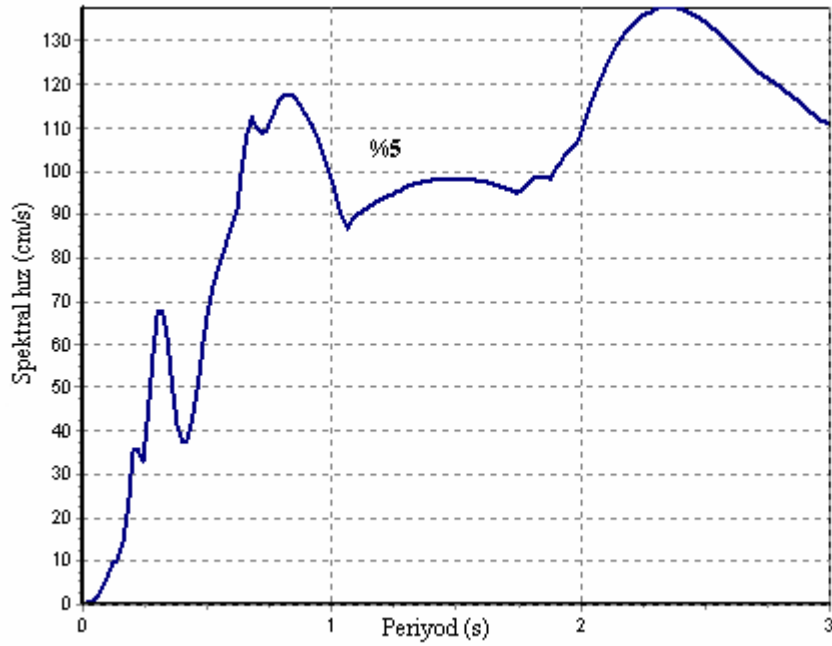
Şekil 6.10 : Düzce Depremi Bolu D-B ivme kaydı hız spektrumu eğrisi

6.3.2. Erzincan Depremi Erzincan D-B İvme Kaydı

13 Mart 1992 Erzincan depreminin merkez üssünden alınan deprem ivme kaydıdır. Housner Şiddeti 165 cm'dir. Maksimum ivmesi 489 cm/s^2 'dir. Bu depreme ait ivme ve hız spektrumları Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'de verilmiştir.



Şekil 6.11 : Erzincan Depremi Erzincan D-B ivme kaydı ivme spektrumu eğrisi

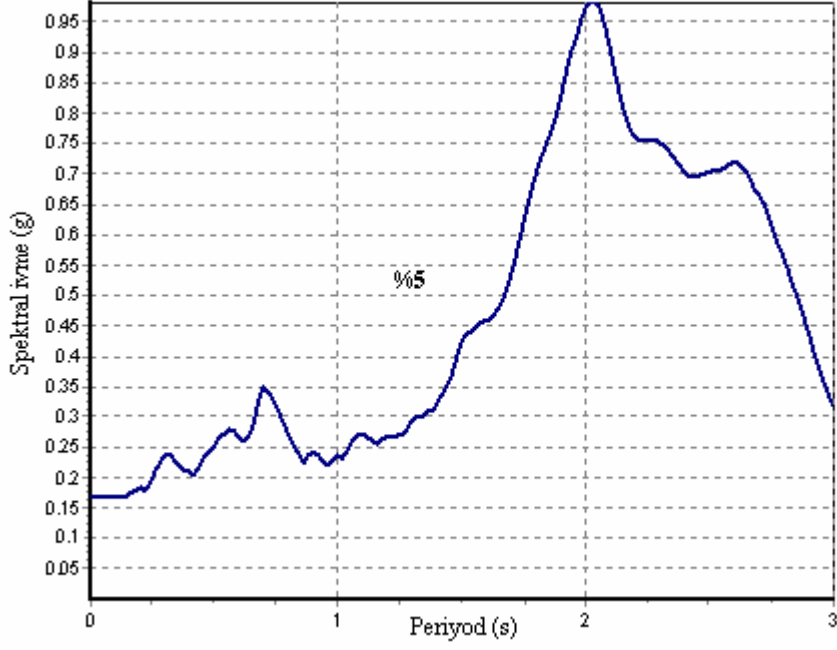


Şekil 6.12 : Erzincan Depremi Erzincan D-B ivme kaydı hız spektrumu eğrisi

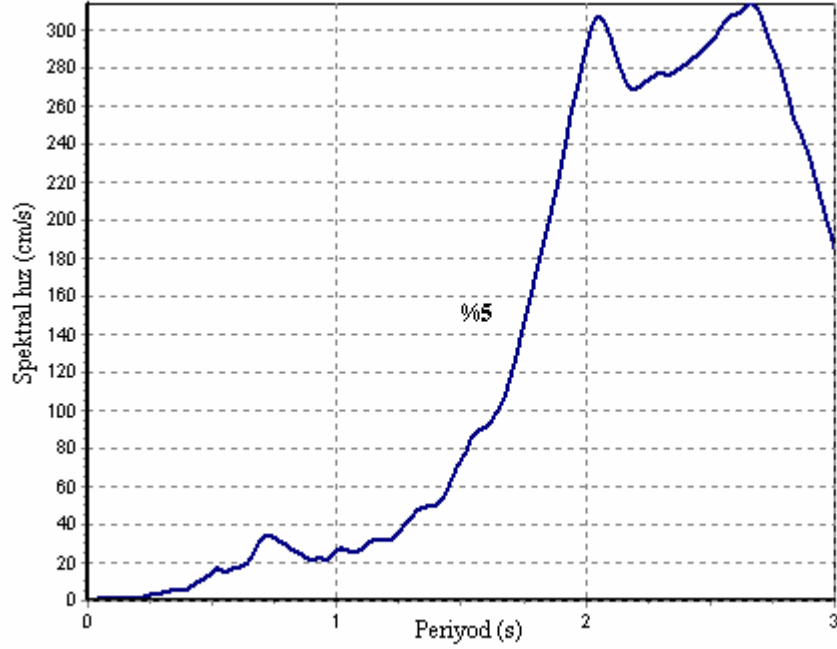
6.3.3. Mexico City Depremi Mexico City K-G İvme Kaydı

19 Eylül 1995 Mexico City depreminin merkez üssüne uzak bir yerden alınan ivme kaydıdır. Housner Şiddeti 129 cm'dir. Maksimum ivmesi 168 cm/s^2 'dir. Deprem kaydı merkez üssüne uzak bir mesafeden ve yumuşak zeminden alınması nedeniyle

baskın periyodu 2 s'dir. Bu depreme ait ivme ve hız spektrumları Şekil 6.13 ve Şekil 6.14'te verilmiştir.



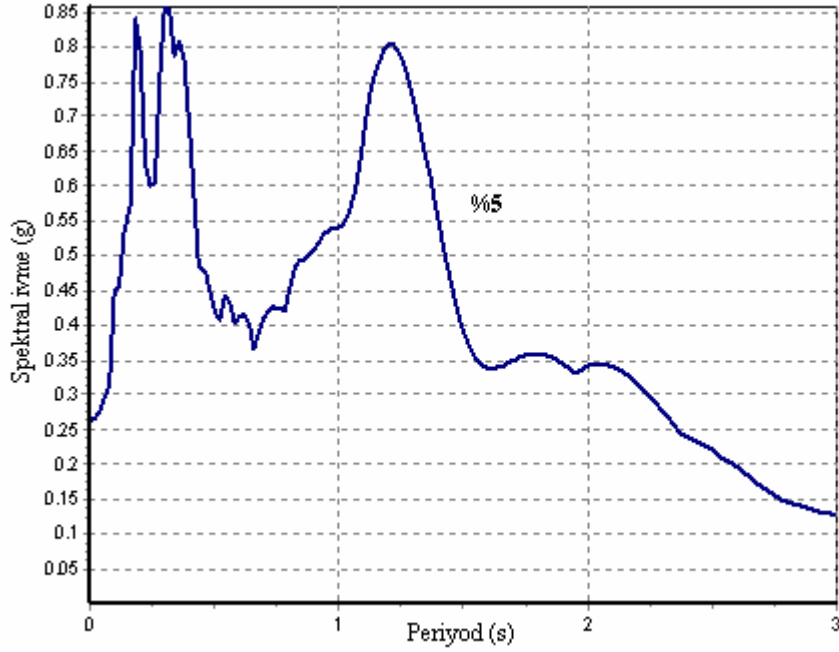
Şekil 6.13 : Mexico City depremi Mexico City K-G ivme kaydı ivme spektrumu eğrisi



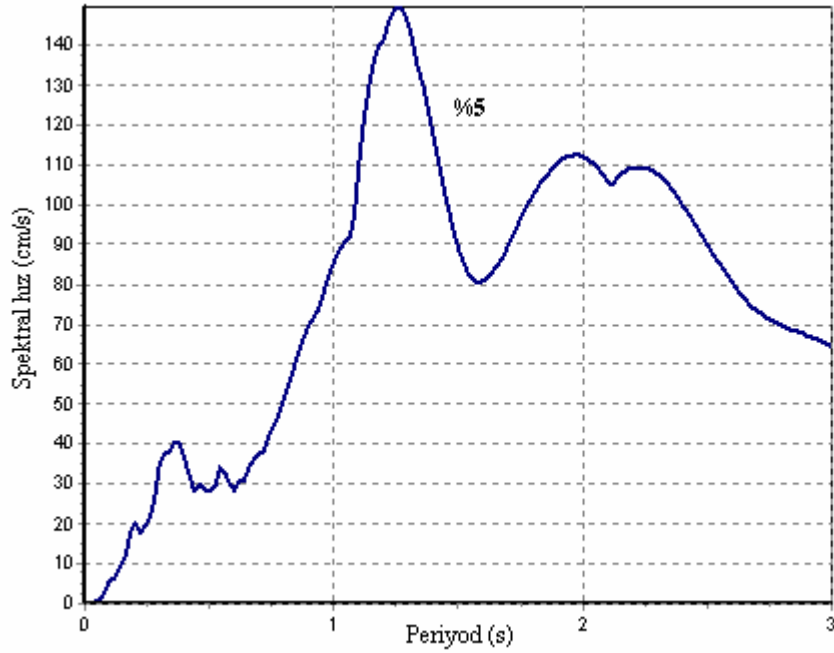
Şekil 6.14 : Mexico City depremi Mexico City K-G ivme kaydı hız spektrumu eğrisi

6.3.4. Kobe Depremi Kobe D-B İvme Kaydı

17 Ocak 1995 Kobe depreminin merkez üssünden alınan deprem ivme kaydıdır. Housner Şiddeti 121 cm'dir. Maksimum ivmesi 262 cm/s^2 'dir. Bu depreme ait ivme ve hız spektrumları Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'da verilmiştir.



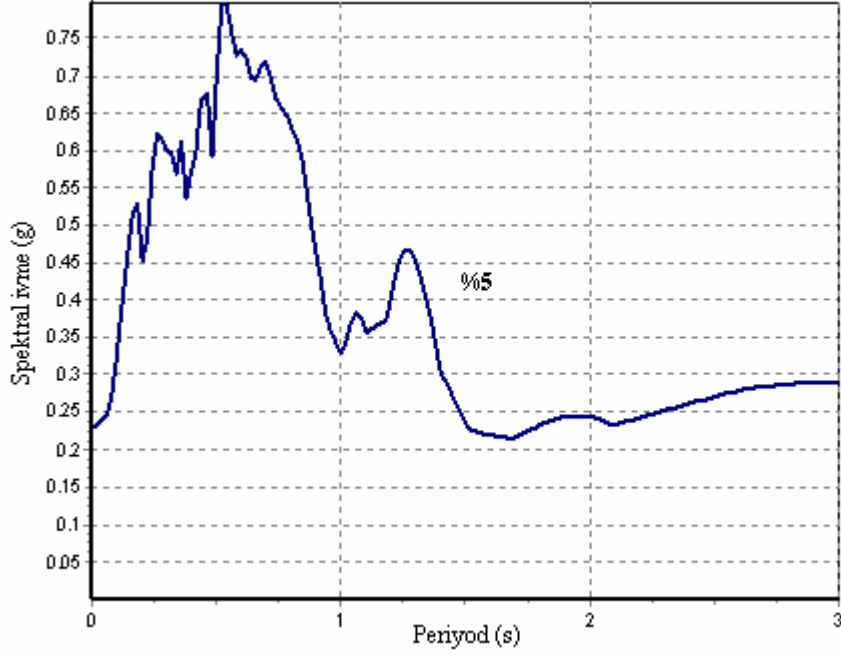
Şekil 6.15 : Kobe Depremi Kobe D-B ivme kaydı ivme spektrumu eğrisi



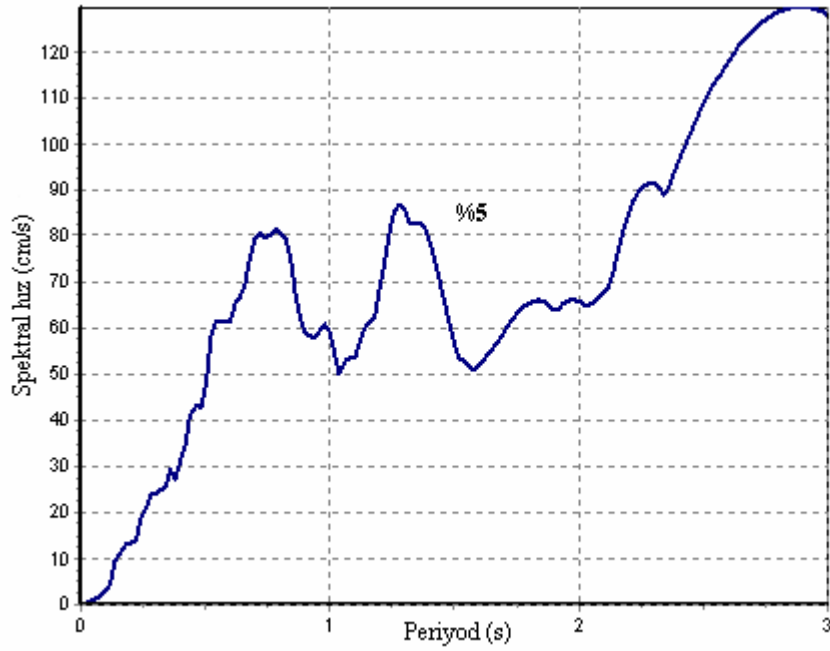
Şekil 6.16 : Kobe Depremi Kobe D-B ivme kaydı hız spektrumu eğrisi

6.3.5. Kocaeli Depremi Yarımca D-B İvme Kaydı

17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde Yarımca da bulunan Pektim Fabrikasından alınan deprem ivme kaydıdır. Housner Şiddeti 92 cm'dir. Maksimum ivmesi 230 cm/s² 'dir. Bu depreme ait ivme ve hız spektrumları Şekil 6.17 ve Şekil 6.18'de verilmiştir.



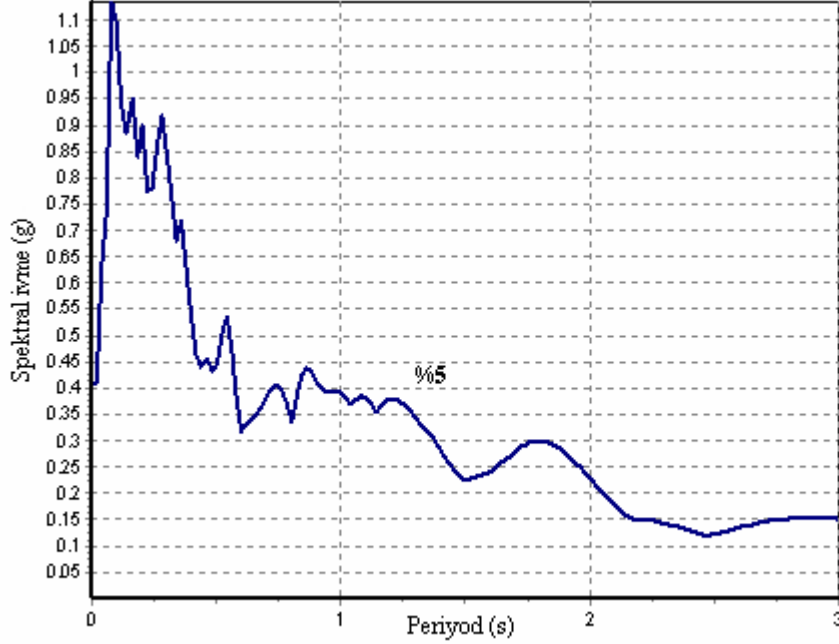
Şekil 6.17 : Kocaeli Depremi Yarımca D-B ivme kaydı ivme spektrumu ivmesi



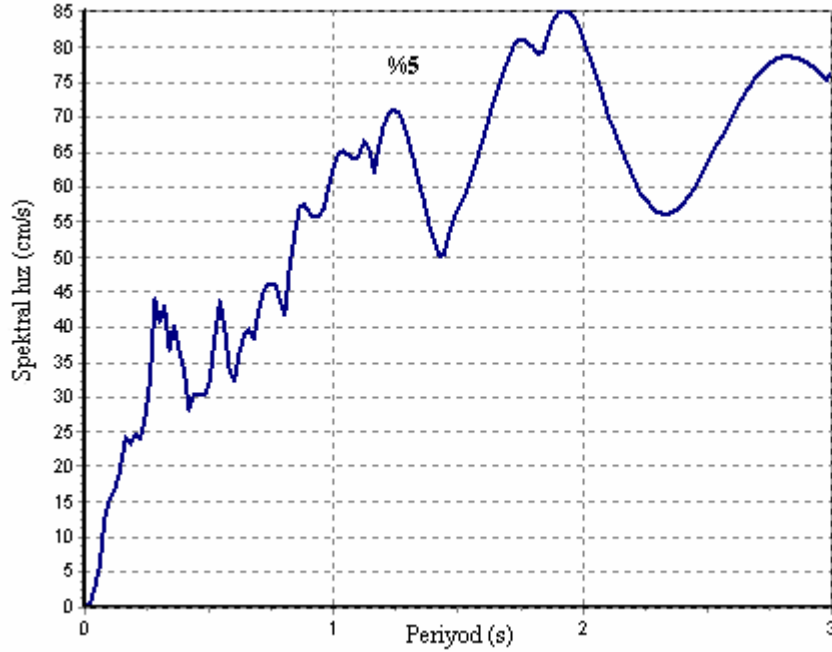
Şekil 6.18 : Kocaeli Depremi Yarımca D-B ivme kaydı hız spektrumu eğrisi

6.3.6. Kocaeli Depremi Sakarya D-B İvme Kaydı

17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin Sakarya ilinden alınan deprem ivme kaydıdır. Housner Şiddeti 84 cm'dir. Maksimum ivmesi 407 cm/s^2 'dir. Bu depreme ait ivme ve hız spektrumları Şekil 6.19 ve Şekil 6.20'de verilmiştir.



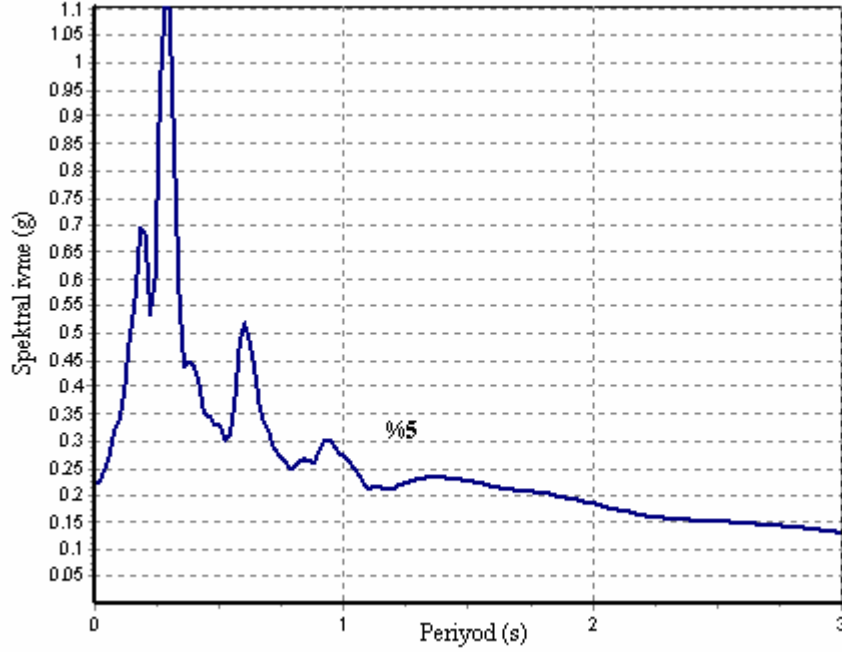
Şekil 6.19 : Kocaeli Depremi Sakarya D-B ivme kaydı ivme spektrumu eğrisi



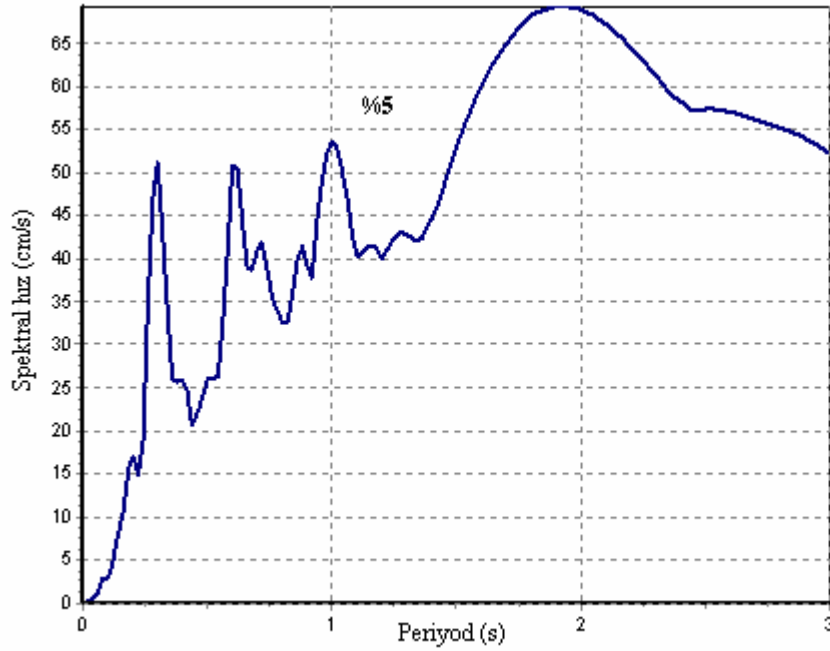
Şekil 6.20 : Kocaeli Depremi Sakarya D-B ivme kaydı hız spektrumu eğrisi

6.3.7. Kocaeli Depremi İzmit D-B İvme Kaydı

17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin Kocaeli'nin Merkez ilçesi İzmit'ten alınan deprem ivme kaydıdır Housner Şiddeti 80 cm'dir. Maksimum ivmesi 225 cm/s^2 'dir. Bu depreme ait ivme ve hız spektrumları Şekil 6.21 ve Şekil 6.22'de verilmiştir.



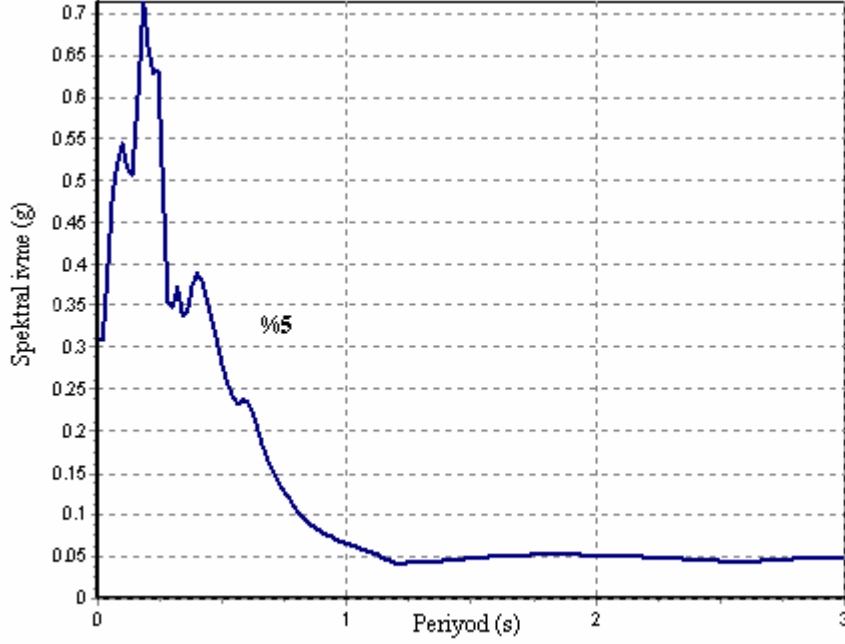
Şekil 6.21 : Kocaeli Depremi İzmit D-B ivme kaydı ivme spektrumu eğrisi



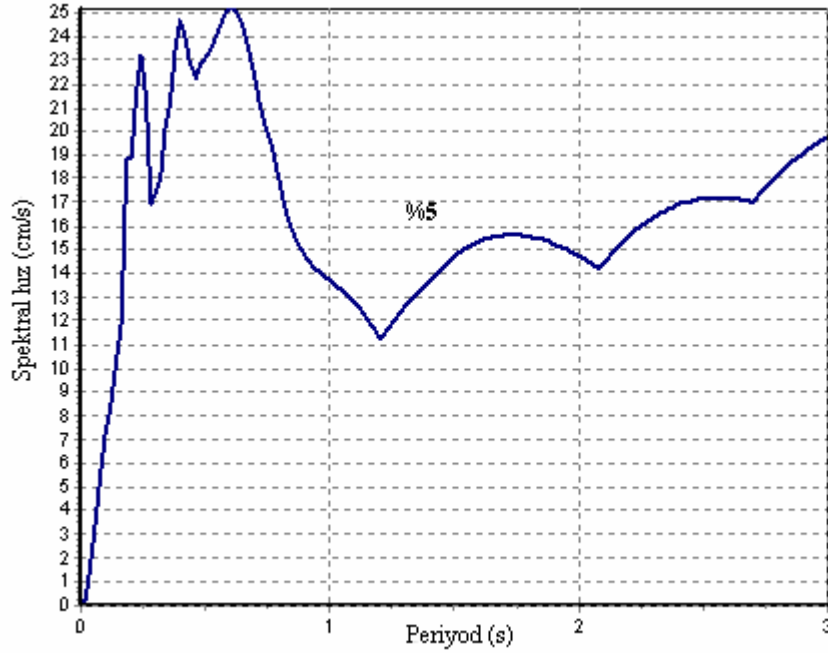
Şekil 6.22 : Kocaeli Depremi İzmit D-B kaydı hız spektrumu eğrisi

6.3.8. Dursunbey Depremi Dursunbey D-B İvme Kaydı

18 Temmuz 1979 Dursunbey depreminin merkez üssünden alınan deprem ivme kaydıdır. Housner Şiddeti 32 cm'dir. Maksimum ivmesi 309 cm/s^2 'dir. Bu depreme ait ivme ve hız spektrumları Şekil 6.23 ve Şekil 6.24'te verilmiştir.



Şekil 6.23 : Dursunbey Depremi Dursunbey D-B ivme kaydı ivme spektrumu eğrisi



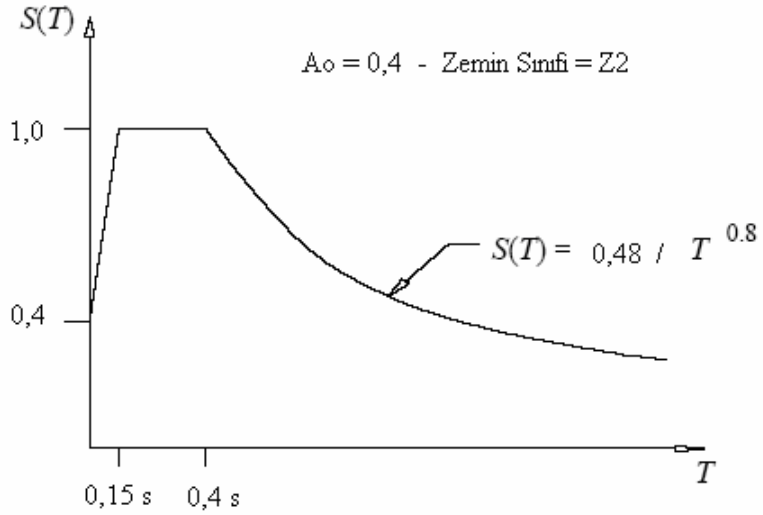
Şekil 6.24 : Dursunbey Depremi Dursunbey D-B ivme kaydı hız spektrumu eğrisi

7. ANALİZ

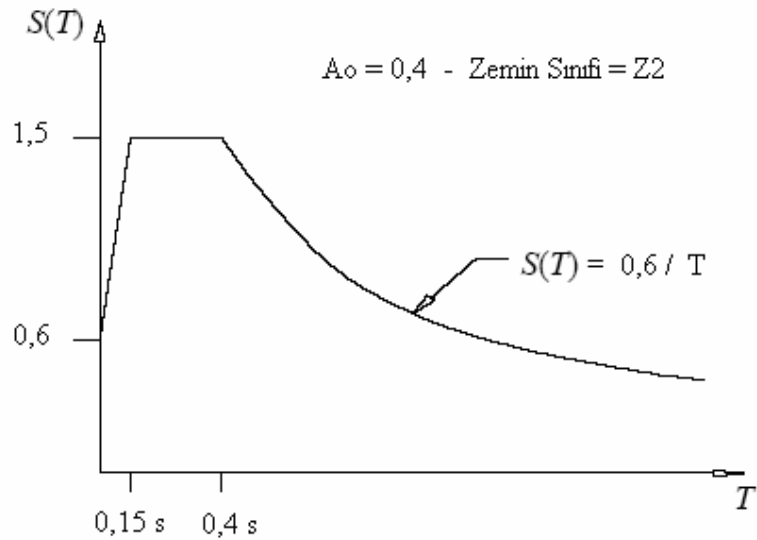
7.1. EDYY ile Analiz

7.1.1. Konut Binasının EDYY ile Analizi

Altıncı bölümde tanıtılmış olan konut binasının, klasik güçlendirilmiş ve SSS ile güçlendirilmiş durumlarının statik ve dinamik analizleri yapılacaktır. Analizler yalnızca Y doğrultusunda yapılacaktır. Binanın X ve Y yönlerinin periyotları birbirine çok yakın olması sebebiyle yalnızca bir yönde hesap yapmak yeterlidir.



Şekil 7.1 : Tasarım Depremi Spektrumu (ABYYHY-1998)



Şekil 7.2 : Maximum Deprem Spektrumu (IBC-2000)

Şekil 7.1 deki Tasarım Spektrumu Türk Deprem Yönetmeliğinde bulunmasına karşın, Şekil 7.2 deki Maksimum Deprem Spektrumu Türk Deprem Yönetmeliğinde mevcut değildir. Tasarım spektrumunun 1,5 katı büyüklüğünde ve uzun periyotlarda davranışı $1/T$ şeklindedir. Binanın ömrü boyunca gelebilecek en büyük depreme karşı davranışını belirlemek için kontrol amaçlı olarak kullanılır.

7.1.1.1. Klasik Güçlendirilmiş Konut Binasının EDYY ile Analizi

Periyot : 0,201s (Dinamik analizle hesaplandı)

W : 14000 kN

$R_a = 5,8$

$$V_t = W \times A / R_a \quad (7.1)$$

$$V_t = 2415 \text{ kN}$$

7.1.1.2. SSS ile Güçlendirilmiş Konut Binasının EDYY ile Analizi

Etkili Rijitlik;

$$k_{\text{eff}} = \frac{W}{R} + \frac{f \cdot W}{D} \quad (7.2)$$

Çevrim başına sönmölen enerji;

$$EDC = 4fWD \quad (7.3)$$

Etkili periyot;

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g \times k_{\text{eff}}}} = 2\pi \sqrt{\frac{1}{\frac{f \times g}{D} + \frac{g}{R}}} \quad (7.4)$$

Etkili sönüm;

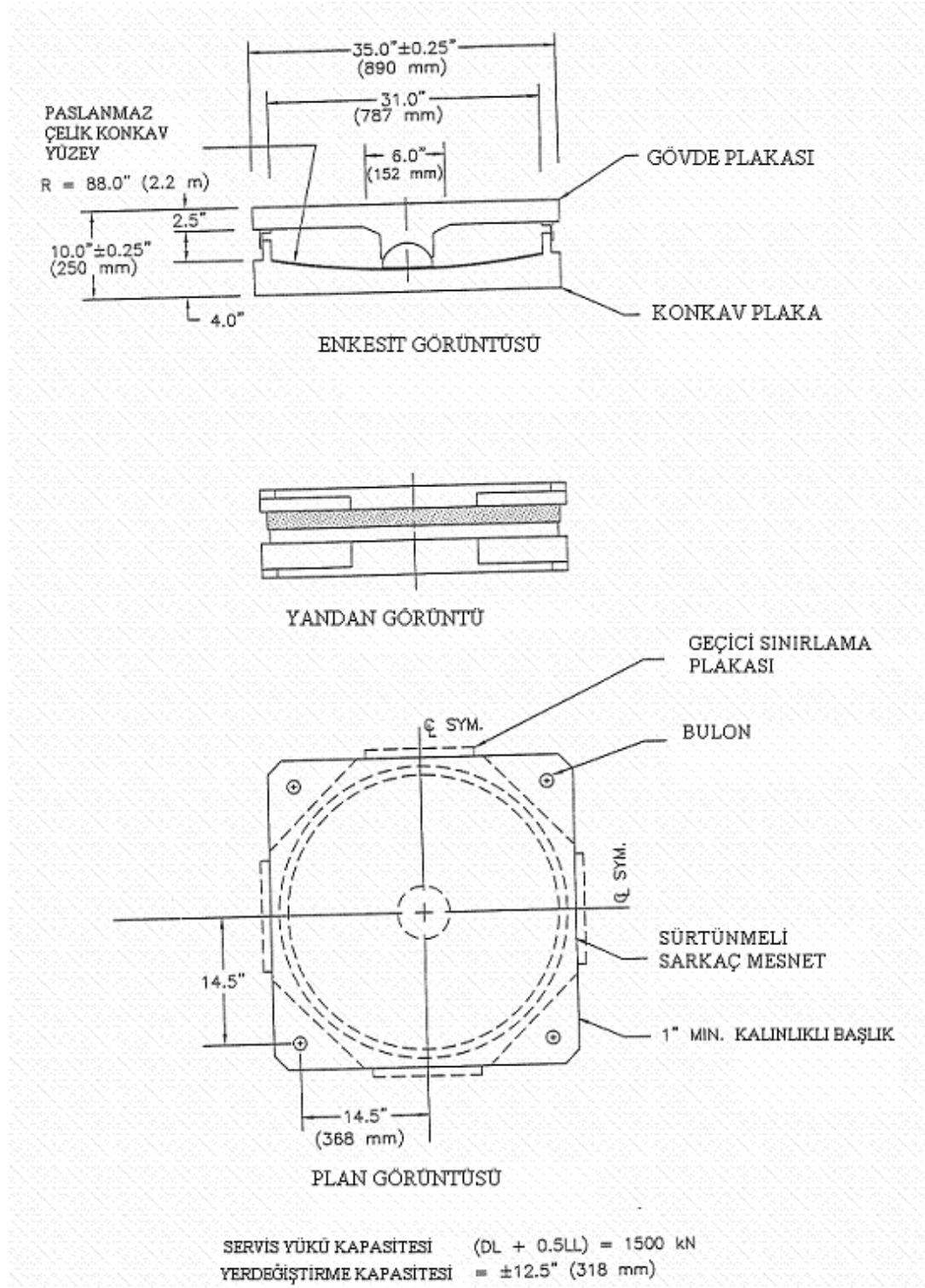
$$\beta = \frac{EDC}{2\pi \times k_{\text{eff}} \times D^2} = \frac{2}{\pi} \left(\frac{f}{f + D/R} \right) \quad (7.5)$$

Binaya yerleştirilen SSS'lerin birlikte hareket edebilmeleri için, SSS'lerin bulunduğu seviyenin hemen üstüne döşeme eklenmiştir. Eklenen döşemenin ağırlığı 800 kN'dur. Binanın SSS eklenmeden önceki ağırlığı 11200 kN'dur. Şekil 7.3'te gösterilen FP8831–6 etiketli SSS binada kullanılmıştır.

Binanın ağırlığı : 11200 + 800 = 12000 kN

Binaya konulan SSS sayısı	: 34 adet
SSS başına gelen yük	: 353 kN
SSS servis yükü taşıma kapasitesi	: 1500 kN

Bir SSS'ye gelen yük, SSS servis yükü taşıma kapasitesinden yeter derecede güvenle küçük olmalıdır.



Şekil 7.3 : Konut Binasında kullanılan FP8831-6 temel ayırıcı

Sürtünme katsayısı alt sınırı = 0,055

Sürtünme katsayısı üst sınırı = 0,075

Yerdeğiştirme hesabında maksimum deprem spektrumu baz alınarak, yerdeğiştirme kontrolü yapılır.

$f = 0,055$; Maksimum deprem spektrumu

$D = 240$ mm, kabul edilirse; $R = 2235$ mm

$T_M = 2,44$ s

$\beta_M = 0,215 \rightarrow B_M = 1,532$ (denklem 7.5'ten hesaplanan etkili sönüm, IBC2000' de yer alan tablo vasıtasıyla B_M ' ye çevrilmiştir.)

$$S_a = \frac{0,6}{T_M \cdot B_M} g \quad (7.6)$$

$$S_a = 0,16.g$$

$$D = \frac{S_a}{4.\pi^2} T_M^2 \quad (7.7)$$

$D = 237$ mm $\rightarrow D_M = 240$ mm, sağlanmıştır.

$$D_{TM} = D_M \left[1 + y \frac{12.e}{b^2 + d^2} \right] \quad (7.8)$$

$b = 15$ m, $d = 15$ m, $e = \text{dışmerkezlik} = 0,05 \times 15 = 0,75$

$y = \text{en dıştaki mesnedin rijitlik merkezine uzaklığı} = 7,5$ m

$$D_{TM} = 240 \times \left[1 + 7,5 \frac{12 \times 0,75}{15^2 + 15^2} \right] = 276 \text{ mm}$$

Kullanılan SSS'de izin verilen maksimum yer değiştirme 318mm'dir. Bu sayede maksimum yer değiştirme, SSS'nin yerdeğiştirme kapasitesinin sınırları içerisinde kalmaktadır.

Analiz kısmında, $f = 0,055$ ve $f = 0,075$ sürtünme katsayısı değerleri için iki ayrı hesap yapılacaktır.

$f = 0,075$ için;

$D = 120$ mm, kabul edilirse;

$T_D = 1,94$ s, $\beta_D = 0,37 \rightarrow B_D = 1,84$

$$S_a = \frac{0,4.g}{B_D \cdot T_D^{0,8}} = \frac{0,4}{1,84 \times 1,94^{0,8}} \times g = 0,13 g$$

$$D_D = \frac{S_a}{4\pi^2} T_D^2 = 120 \text{ mm} , \text{ sağlanmıştır.}$$

$$V_s = \left(\frac{D_D}{R} + f \right) \frac{W_I}{R_I} \quad (7.9)$$

$$R_I = R_a \times 3/8 \text{ ve } 1 \leq R_I \leq 2 \quad (7.10)$$

$$R_a = 4$$

$$R_I = 1,5$$

$$V_s = \left(\frac{120}{2235} + 0,075 \right) \frac{12000}{1,5} = 1030 \text{ kN}$$

$f = 0,055$ için;

$D = 160 \text{ mm}$, kabul edilirse;

$$T_D = 2,26 \text{ s}, \beta_D = 0,276 \rightarrow B_D = 1,652$$

$S_a = 0,126$, $D_D = 160 \text{ mm}$, sağlanmıştır.

$$V_s = \left(\frac{160}{2235} + 0,055 \right) \frac{12000}{1,5} = 1013 \text{ kN}$$

Eşdeğer deprem yükü yöntemine göre analizde taban kesme kuvveti SSS kullanımıyla 2415kN'dan, 1030kN'a inmiştir.

7.1.2. Hastane Binasının EDYY ile Analizi

Altıncı bölümde tanıtılmış olan hastane binasının statik ve dinamik analizleri, klasik yöntemle güçlendirilmiş ve SSS ile güçlendirilmiş durumlarına göre ayrı ayrı yapılacaktır. Yalnızca X yönünde analiz yapılacaktır. Binanın X ve Y yönlerinin periyotları birbirine çok yakın olması nedeniyle yalnızca X yönünde analiz yapılması yeterli olacaktır.

7.1.2.1. Klasik Güçlendirilmiş Hastane Binasının EDYY ile Analizi

Periyot : 0,761s (Dinamik analizle hesaplanmıştır.)

W : 58000 kN

$V_t = 16730 \text{ kN}$ (Denklem 7.1' den elde edilmiştir.)

7.1.2.2. SSS ile Güçlendirilmiş Hastane Binasının EDYY ile Analizi

Binaya konulan SSS'lerin birlikte çalışabilmesi için SSS'lerin bulunduğu seviyenin hemen üzerine döşeme yapılmıştır. Döşemenin ağırlığı 1200 kN'dur. Binanın ağırlığı

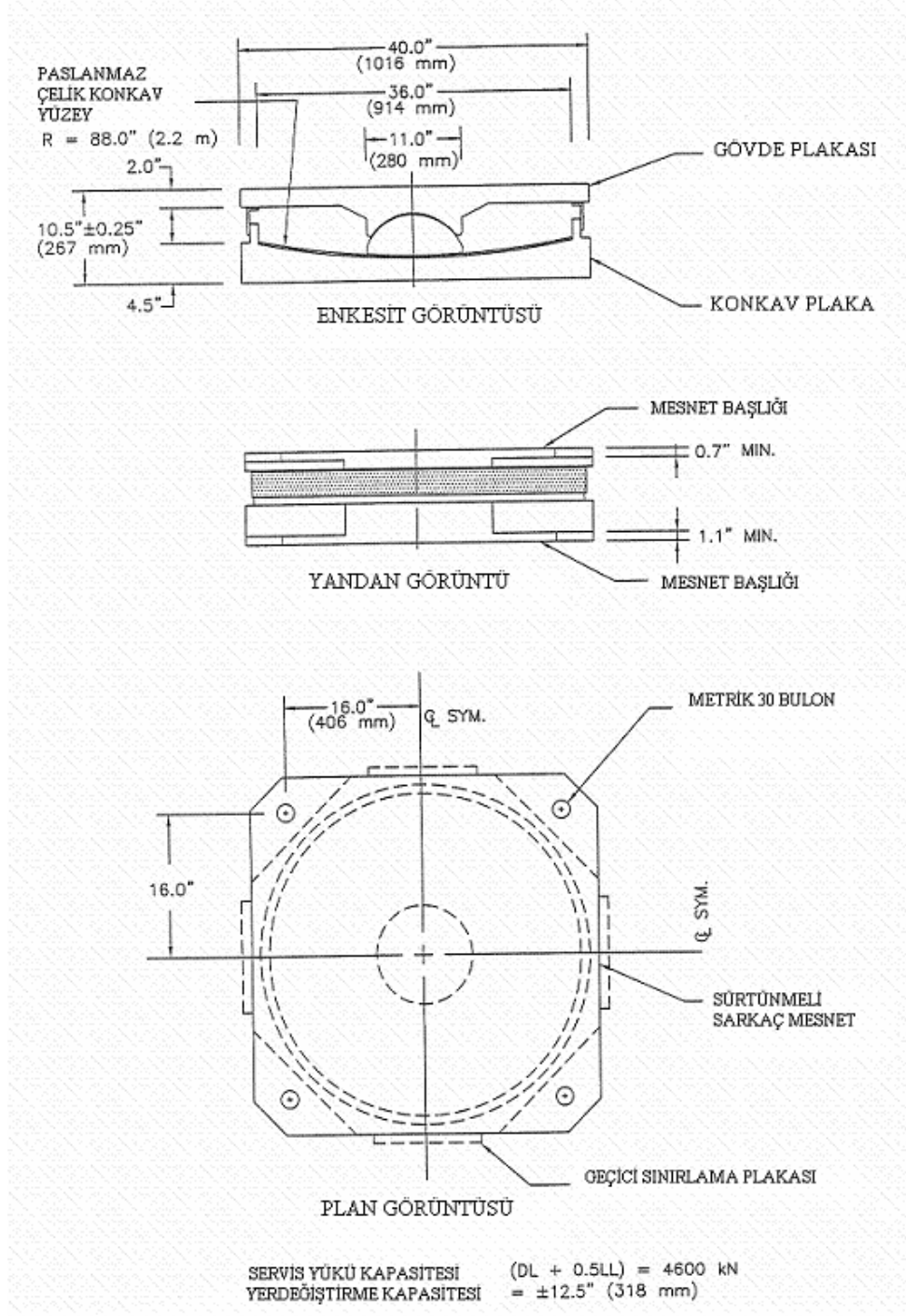
53800 kN'dur. Şekil 7.4'te verilen FP8836-11 mesnedi binada temel ayırıcı olarak kullanılmıştır.

Binanın ağırlığı : 53800 + 1200 = 55000 kN

Binaya konulan SSS sayısı : 33 adet

SSS başına gelen yük : 1670 kN

SSS servis yükü taşıma kapasitesi : 4600 kN



Şekil 7.4 : Hastane Binasında kullanılan FP8836-11 temel ayırıcı

Sürtünme katsayısı alt sınırı = 0,055

Sürtünme katsayısı üst sınırı = 0,075

Yerdeğiştirme hesabında maksimum deprem spektrumu temel alınarak, deplasman kontrolü yapılır.

$f = 0,055$; Maksimum deprem spektrumu

$D = 240$ mm kabul edilsin; $R = 2235$ mm

$T_M = 2,44$ s

$\beta_M = 0,215 \rightarrow B_M = 1,532$ (denklem 7.5'ten hesaplanan etkili sönüm, IBC2000' de yer alan tablo vasıtasıyla B_M ' ye çevrilmiştir.)

$S_a = 0,16.g$

$D = 237$ mm $\rightarrow D_M = 240$ mm

$b = 26,90$ m, $d = 15,30$ m, $e = \text{dışmerkezlilik} = 0,05 \times 26,90 = 1,345$

$y = \text{en dıştaki mesnedin rijitlik merkezine uzaklığı} = 14$ m

$$D_{TM} = 240 \times \left[1 + 14 \times \frac{12 \times 1,345}{26,9^2 + 15,3^2} \right] = 296,6 \text{ mm}$$

Kullanılan SSS'nin maksimum yer değiştirme kapasitesi 318mm'dir. Bu durumda maksimum yerdeğiştirme, SSS'nin yerdeğiştirme kapasitesinin sınırları içerisinde kalmaktadır.

Analiz kısmında, $f = 0,055$ ve $f = 0,075$ sürtünme katsayısı değerleri için iki ayrı hesap yapılacaktır.

$f = 0,075$ için;

$D = 120$ mm, kabul edilsin

$T_D = 1,94$ s, $\beta_D = 0,37 \rightarrow B_D = 1,84$

$$S_a = \frac{0,4.g}{B_D \cdot T_D^{0,8}} = \frac{0,4}{1,84 \times 1,94^{0,8}} \times g = 0,13 g$$

$$D_D = \frac{S_a}{4\pi^2} T_D^2 = 120 \text{ mm} , \text{ sağlanmıştır.}$$

$$R_I = 4 \times \frac{3}{8} = 1,5$$

$V_s = 7075$ kN (Denklem 7.9'dan elde edilmiştir)

$f = 0,055$ için;

$D = 160$ mm, kabul edilirse

$T_D = 2,26$ s, $\beta_D = 0,276 \rightarrow B_D = 1,652$

$S_a = 0,126$, $D_D = 160$ mm, sağlanmıştır.

$V_s = 6960$ kN (Denklemler 7.9' dan elde edilmiştir)

Statik analize göre taban kesme kuvveti, SSS kullanımıyla 16730 kN'dan, 7075 kN'a inmiştir.

7.2. Dinamik Analiz

Her iki bina klasik güçlendirilmiş ve sürtünmeli sarkaç sistem ile güçlendirilmiş olarak, altıncı bölümde verilen deprem ivme izleriyle zaman tanım alanında hesap yöntemiyle, ayrı ayrı analiz edilmişlerdir. Yapılan analizler sonucunda, binaların yer değiştirmeleri, kat öteleme açıları, taban kesme kuvvetleri ve devrilme momentleri elde edilmiştir.

Tablo 7.1 : Binaların çeşitli depremler altında taban kesme kuvvetleri (kN)

(kN)	Konut Binası		Hastane Binası		Housner Şiddetleri (cm)
	Klasik Güçlendirilmiş	SSS ile Güçlendirilmiş	Klasik Güçlendirilmiş	SSS ile Güçlendirilmiş	
Bolu	1720	650	14520	3590	193
Erzincan	2260	1290	10210	8330	165
MexicoCity	400	2930	3750	18900	129
Kobe	1320	1100	5520	6440	121
Yarımca	720	980	8050	7220	92
Sakarya	1260	560	6320	3370	84
Kocaeli	1100	620	3440	4210	80
Dursunbey	840	180	2950	1250	32
Periyot(s)	0,201	2,279	0,761	2,428	%5 sönüm

Tablo 7.1'de binaların çeşitli depremler altında ki taban kesme kuvvetleri ve Housner şiddetleri verilmiştir. Altıncı bölümde bahsedildiği gibi Housner Şiddeti depremlerin büyüklüğünü belirlemede kullanılan bir büyüklüktür. Tablodan da görüldüğü üzere Housner Şiddeti sıralaması ile taban kesme kuvveti sıralaması birbirine benzer şekilde değişiklik göstermektedir. Yalnızca Mexico City depreminden alınan ivme kaydının çok yumuşak bir zeminden alınan deprem ivme kaydı olması sebebiyle bu sıralamaya uyması beklenemez

Görüldüğü gibi Dursunbey depremi gibi kaya bir zeminden alınan deprem ivme kaydı altında SSS kullanmak, binanın taban kesme kuvvetini oldukça düşürüyor. Bunun yanında Mexico City depremi gibi çok yumuşak bir zeminden alınan deprem ivme kaydı altında, binaya SSS koyulması, ters etki yapmış ve taban kesme kuvvetini yaklaşık 7 kat arttırmıştır. Daha evvelden de bahsedildiği gibi temel ayırıcı sistem,

çok özen gösterilmesi ve üzerinde dikkatli çalışmalar yapıldıktan sonra uygulanması gereken bir güçlendirme yöntemidir. Aksi takdirde yapı eskisinden daha fazla deprem yüküne maruz kalabilir.

Tablo 7.2 : Binalarda çeşitli depremler altında oluşan devrilme momentleri (kNm)

(kNm)	Konut Binası		Hastane Binası		Housner Şiddetleri (cm)
	Klasik Güçlendirilmiş	SSS ile Güçlendirilmiş	Klasik Güçlendirilmiş	SSS ile Güçlendirilmiş	
Bolu	12320	4610	369300	85140	193
Erzincan	18150	9090	251400	150000	165
MexicoCity	2690	20490	86600	365400	129
Kobe	10670	7680	121300	119400	121
Yarımca	5590	6810	185800	138500	92
Sakarya	10430	3900	113300	69460	84
Kocaeli	8560	4260	70720	82360	80
Dursunbey	7010	1330	41370	24700	32
Periyot	0,201	2,279	0,761	2,428	%5 sönüm

Tablo 7.3 : Binalarda çeşitli depremler altında oluşan maksimum yer değiştirmeler (m)

(m)	Konut Binası		Hastane Binası		Housner Şiddetleri (cm)
	Klasik Güçlendirilmiş	SSS ile Güçlendirilmiş	Klasik Güçlendirilmiş	SSS ile Güçlendirilmiş	
Bolu	0,0023	0,0810	0,0811	0,1207	193
Erzincan	0,0035	0,1608	0,0575	0,2699	165
MexicoCity	0,0005	0,3644	0,0186	0,6374	129
Kobe	0,0020	0,1366	0,0258	0,2135	121
Yarımca	0,0010	0,1217	0,0400	0,2427	92
Sakarya	0,0020	0,0697	0,0242	0,1164	84
Kocaeli	0,0015	0,0765	0,0163	0,1404	80
Dursunbey	0,0012	0,0230	0,0075	0,0413	32
Periyot	0,201	2,279	0,761	2,428	%5 sönüm

Tablo 7.2’ de binalarda oluşan devrilme momentleri verilmiştir. Taban kesme kuvvetleri ile benzer sonuçlar görülmektedir.

Tablo 7.3’te ise oluşan yer değiştirmeler verilmiştir. Yer değiştirmelerde dikkati çeken bir durum klasik güçlendirilmiş binalara nazaran SSS ile güçlendirilmiş binaların yer değiştirmeleri çok büyüktür. Bunun sebebi; depremlerin yer değiştirme spektrumlarında görülen, periyodun büyümesiyle yer değiştirmenin artması durumuyla açıklanabilir. Sismik ayırıcı uygulandığı zaman periyot artacaktır ve dolayısıyla maksimum yer değiştirmede buna bağlı olarak artacaktır. Lakin SSS’li

yapılarda yerdeğiştirmelerin büyük bir bölümü SSS'lerin bulunduğu seviyede meydana gelir ve yapının üst kısmı rijit bir hareket yapar. Hatta öyle ki klasik güçlendirilmiş yapının yerdeğiştirmesinden daha az bir yerdeğiştirme gözlenir. Bu da Tablo 7.4'te verilen maksimum kat öteleme açılarının kıyaslamasıyla görülebilir.

Tablo 7.4 : Binaların çeşitli depremlemler altında ki maksimum kat öteleme açıları

Kat Öteleme Açıları	Konut Binası		Hastane Binası		Housner Şiddetleri (cm)
	Klasik Güçlendirilmiş	SSS ile Güçlendirilmiş	Klasik Güçlendirilmiş	SSS ile Güçlendirilmiş	
Bolu	0,000314	0,001689	0,003056	0,001888	193
Erzincan	0,000558	0,003399	0,002212	0,003224	165
MexicoCity	0,000083	0,007716	0,000690	0,007867	129
Kobe	0,000305	0,002835	0,000964	0,002572	121
Yarımca	0,000212	0,002639	0,001505	0,002978	92
Sakarya	0,000335	0,001474	0,001004	0,001488	84
Kocaeli	0,000348	0,001633	0,000629	0,001768	80
Dursunbey	0,000225	0,000497	0,000340	0,000527	32
Periyot	0,201	2,279	0,761	2,428	%5 sönüm

Tablo 7.4'ten de görülebileceği gibi Mexcico City Depremi hariç hemen hemen tüm depremlerde, maksimum kat öteleme açısı azalmış ve yapının üst kısmı rijit bir harekete yakın bir davranış gösterir hale gelmiştir.

7.3. Performans Kavramına Dayalı Tasarım

Binaların performans kavramına dayalı tasarımı yapılırken 3 tip deprem çeşidi kullanılır. Bunlar kullanım depremi, tasarım depremi ve maksimum depremdir.

Kullanım Depremi olarak tanımlanan %50/50yıl depremi tasarım depreminin yaklaşık yarısı olarak kabul edilebilir. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 75 yıl olan bu depremin binanın ömründe en az bir kere veya daha fazla ortaya çıkması muhtemeldir.

Tasarım Depremi de %10/50yıl etkisiyle yönetmeliklerde yeni yapılar için verilen etkileri doğurur. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 500 yıl olan bu deprem yapının ömrü boyunca ortaya çıkması sık olmayan bir olaydır.

Maksimum Deprem ise yaklaşık 2500 yıllık dönüş periyodu ile bölgede jeolojik bilgiler göz önüne alınarak belirlenebilecek en büyük deprem olarak kabul edilir. Bu deprem etkileri tasarım depreminin yaklaşık 1,5 katı kadardır. Deprem yönetmeliklerinde tasarım depremi etkisinin, bina önem katsayısı ile arttırılması sonucu böyle bir deprem tanımlanmaya çalışılır.

Taşıyıcı sistem elemanlarında deprem etkisinde meydana gelecek muhtemel hasara ve bu hasarla ilgili olarak binanın kullanımına bağlı olarak yapısal performans seviyeleri ve aralıkları aşağıdaki gibi tanımlanır.

1. Hemen kullanım: Depremden sonra çok sınırlı hasar meydana gelmiştir. Binanın taşıyıcı sisteminin depremden önceki bütün taşıyıcılık özelliği ve kapasitesi hemen hemen devam etmektedir. Yapısal hasardan oluşan bir yaralanma söz konusu değildir. Bina depremde sonra sınırsız olarak kullanıma açıktır.
2. Hasar kontrolü: Bu durum 1 ve 3 seviyeleri arasındaki bir aralığa karşı gelmektedir. Can güvenliğinin sağlanması yanında, hasarın da belirli ölçüde sınırlandırılmasına karşı gelir. Deprem yönetmeliklerinde yeni binalar için 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10 olarak tanımlanan (50 yıl/% 10 olasılık) deprem etkisinde öngörülen performans seviyesi bu aralığa düşer.
3. Can güvenliği: Deprem sonrası taşıyıcı sistemde önemli sayılabilecek hasar olmasına karşılık, binanın yerel veya toptan göçmesi söz konusu değildir. Binada bu duruma ulaşmayı önleyecek bir ek kapasite kalmıştır. Yaralanmaların muhtemel olmasına rağmen, can güvenliği tehlikesi bulunmamaktadır.
4. Sınırlı güvenlik: Bu durum 3 ve 5 seviyeleri arasındaki bir aralıktır. Bir binanın güçlendirilmesinde can güvenliğinin tam olarak sağlanamaması durumunda göz önüne alınabilir.
5. Toptan göçmenin önlenmesi: Bu seviye taşıyıcı sistemin güç tükenmesi sınırında bulunması durumuna karşı gelir. Yatay kuvveti karşılayan sistemde önemli hasarlar oluşmuş olup, yanal rijitlik ve dayanımda azalmalar başlamıştır. Buna rağmen düşey yük karşılamaya devam edilmektedir. Binanın tümünde stabilite mevcut olmasına karşılık, düşen parçalardan dolayı binanın içinde ve dışında önemli yaralanma tehlikesi bulunmaktadır. Devam eden artçı depremler binanın yıkılmasına sebep olabilir [1].

Performans kavramına dayalı tasarımda kullanılan terimler ile açıklama yapılırsa:

1997 ABYYHY’i esas alarak değerlendirme yapılacak olursa, yapıların gelebilecek maksimum deprem altında yapısal stabilite seviyesine gelmesini ve tasarım depremi altında ise can güvenliği seviyesine gelmesi beklenir. Bu performans seviyeleri, önemi yüksek yapılarda önem katsayısının hesaba katılmasıyla daha da iyileştirilir. SSS kullanarak yapılan güçlendirmelerde ise, R_a azaltma katsayısının düşük alınması sebebiyle ve yapıya gelecek kuvvetin azalması nedeniyle, yapıların performans seviyeleri yükselecektir. Maksimum deprem altında hasar kontrol aralığı seviyesinde

bir performans seviyesi beklenirken, tasarım depreminde hemen kullanım performans seviyesi veya lineer sınırdan çıkmama gibi bir durum beklenmektedir.

Biraz ayrıntılı bir anlatımla, ankastre mesnetli yapılar, azaltma katsayıları olarak bilinen azaltma katsayısı R_a 'ya bölünür ve elde edilen değerler tasarım değerleri olarak kabul edilir. SSS ile güçlendirme de ise azaltma katsayısı olarak R_I değeri kullanılır. R_I sayısını elde etmek şu şekilde mümkün olur; R_a sayısı 3/8 ile çarpılır ve çıkan sonuç 1 ile 2 arasında bir değerde tutulur. Eğer çıkan sayı 2'den büyükse, $R_I=2$ olarak kabul edilir, 1'den küçükse de, 1 olarak kabul edilir. Bu sayede SSS'li yapıların tasarımında kullanılan değerler, ankastre mesnetli olan yapıların tasarımında kullanılan değerlere nazaran yaklaşık 2 ile 4 kat arasında daha güvenli tarafta kalması durumuna göre hesaplanır. Yani gerçekte, ankastre mesnetli ve SSS'li yapılar arasında, yapıya gelen deprem yükleri açısından 6-7 kat fark varken, bu oran yaklaşık 2 civarına düşürülür. Bu 6-7 katlık bir azalma, yapının performansını çok üst düzeylere taşır [17].

8. MALİYET ANALİZİ

SSS uygulamaları yapıya ek bir başlangıç maliyet getirmesine rağmen, sisteminin daha iyi sismik performans sağlaması ve zararı azaltma özelliklerinden dolayı yapısal ömrü uzun olan yapılarda maliyetin ekonomiklik sınırlarda kalması bakımından her zaman tercih nedenidir.

Özellikle yeni inşa edilen bir yapıya SSS tatbik edebilmek için yapı maliyetinin %1 ila %5 arasında değişen ek bir başlangıç maliyete gereksinim duyulabilir. Ancak, geleneksel yöntemler ile tasarlanan zemine ankastre yapıların ayakta kalmasını sağlayan yapısal hasara neden olmaksızın, SSS uygulanan yapılar bu tür hasarların oluşumunu engelleyerek kuvvetli depremlere karşı yapıyı başlangıç koşullarında tutmak için tasarlanırlar. Var olan bir yapının sismik güçlendirilmesi için bu metot kullanıldığında, maliyetteki azalış; yapının sismik performans kapasitesinin seviyesine, arzu edilen sismik güçlendirmeye ve yapıda bu sistemi kullanımını engelleyici sınırlamalara göre sonuçlanabilir. Köprü inşaatlarında, sismik güçlendirmelerde ve yapılarda teşkil edilen sismik yalıtım genellikle deprem sonrası yapısal maliyetin azaltılmasına ve özellikle tasarımda yüksek performans gereksinimleri göz önüne bulundurulmak istenirse sisteme büyük oranda katkıda bulunur.

Geleneksel tasarım yöntemleri ile sismik yalıtımın farklı performans seviyeleri, davranışları ile ilişkili belirsizlikler ve her bir metodun izin verdiği belirli hasar seviyelerinden dolayı her iki yöntemin ekonomik boyutlarını karşılaştırmak oldukça zordur. Belirli bir deprem kaydı için ve iki farklı tasarımla modellenmiş yapılarda, kabul edilebilir seviyedeki hasarların oluşumu göz önüne alınır ise SSS kullanımı kesinlikle yapının başlangıç inşa maliyetlerini azaltmaktadır. Bu yargıyı destekleyen bir örnek olarak, depremde performans gereksinimleri kesin bir dille tanımlanmış olan nükleer santraller verilebilir.

Maliyet bakımından daha önemli bir kazanım küçük ölçekli, sismik olan veya olmayan titreşimlerin yarattığı yapıdaki mekaniksel ve elektriksel donanım gereksinimlerinin azaltılması olmaktadır. Aksine, daha büyük sismik yükler göz önüne alındığında binadaki yapısal olmayan hasarı azaltmak için geleneksel yöntemlerle tasarlanan depreme dayanıklı yapılarda daha rijit elemanlar ve yapısal olmayan gereksinimler kullanmak zorunluluğu vardır. Birçok kez SSS kullanımı

seçeneği geleneksel tasarım seçenekleri ile karşılaştırılmaktadır, fakat bu karşılaştırma farklı performans seviyeleri için yapılır. Sismik yalıtımın amacı; aynı performans seviyesi için başlangıçtaki inşa maliyetlerini azaltmaktan çok yapının ankastre olarak zemine mesnetlenmesi ile meydana gelen yapısal hasardan kaçınarak, yapının deprem esnasında daha iyi performans sergilemesini sağlamaktır. Makul bir maliyet ile SSS'nin bu amacına geleneksel depreme karşı yapı tasarımı ile asla ulaşılamaz.

SSS'nin var olan yapılara uygulamalarında, yapıları günlük faaliyetlerinin aksatılmasının önlenmesi ve bundan dolayıcı parasal anlamda ekonomik bir kaybın önüne geçilebilmesi bu sistem sayesinde bir kazanım olarak görülebilir. SSS kullanımı gibi etkili bir depreme dayanıklı tasarım ilkesinin kullanımı, artan yapı güvenliği yanında yaralanmalar ve ölümlerin azaltılması sayesinde hem lk ekonomisine hemde yapı sektörüne olumlu faydalar getirmiştir. Ancak, birçok sigorta şirketi sürtünmeli sarkaç sistemleri ile inşa edilen yapılar için özel denekler ayıramadıklarından sigorta masraflarından kazanımlar şuan ki durumda tahmin edilememektedir [14].

Duvarlarda çatlaklar mimari ve tesisat elemanlarında hasar, bina içindeki eşya ve donanımlarda büyük hasar olabilir. Yapı bir süre kullanılmayabilir, yapının mimari onarımı büyük bedeller alabilir. Mze gibi yapılarda yerine konulamayacak ve benzersiz sanat ve kültürel eserler yitirilebilir. Giderek mimari ve tesisat bedellerinin yapı maliyetlerinin çok önemli bir bölümünü oluşturduğu günümüz yapılarında yapının kullanımı aksamaması ve çok büyük mimari hasar onarım bedelleri karşısında yapı içindeki eşyaların korunması ve mimari hasarın kısıtlanması önem kazanmaktadır. Yapının tabanında yapılacak bir tür "yalıtım" ile depremde açık alanda oluşan kuvvetli yer hareketi ivmesinin yapıya etkisi sınırlanabilir.

Maliyet analizinde kullanılan birim fiyatlar, Bayındırlık ve İşkan Bakanlığı 2006 yılı birim fiyat listesinden alınmıştır.

8.1. Konut Binasının Maliyet Analizi

8.1.1. Konut Binasının Klasik Güçlendirme Maliyeti

Konut binasında, klasik güçlendirme için yapılanlar; 4 kat boyunca çıkan 8 adet perde ile boyutları 25cm × 50cm ile 25cm × 60cm arasında değişen, zemin katta 34 tane, diğer katlarda ise perdelerin yanındaki 12'şer kolona olmak üzere uygulanan, kalınlığı 12cm olan mantolamalar yapılmıştır.

Tablo 8.1 : Konut Binasının klasik güçlendirme kaba inşaat malzeme maliyeti

	Perdeler	Mantolamalar	
Kullanılan (BS30) Beton Miktarı (m ³)	56	45	
1m ³ (BS30) Betonun Fiyatı (YTL)	78	78	
Kullanılan Donatının Miktarı (ton)	7,8	21,9	
1 ton Donatının Fiyatı (YTL)	645	645	
Toplam Maliyet (YTL)	9400	17600	27000 YTL

Kaba inşaatın işçilik maliyeti, yaklaşık olarak malzeme maliyetinin yarısı olduğu kabul edilirse;

Kaba inşaat işçilik maliyeti	:13500 YTL
Perde ve mantoların oluşturulmasında kullanılan kalıplar	: 375 m ²
Kalıp birim fiyatı	: 14,85 YTL/m ²
Kalıp toplam maliyeti	: 5570 YTL

Klasik güçlendirme yapılırken birçok yer kırılması gerekir. Buna ek olarak ta yeni eklenen elemanların gelmesi ile ince iş yapılması gereği doğar. İnce işin, binanın tüm alanının %40'ı olması gerektiği düşünülürse, toplam alan 1150 m² olduğuna göre 384m² ince işin çıkar. İnce işin maliyeti;

İnce işin metrajı	: 460 m ²
İnce işin birim fiyatı	: 110 YTL/m ²
İnce işin toplam maliyeti	: 50600 YTL
İnce işin işçilik maliyeti, malzeme maliyetinin yarısı olduğu düşünülürse;	
İnce işin işçilik maliyeti	: 25300 YTL

Tablo 8.2 : Konut binasının klasik güçlendirme maliyeti

Kaba İnşaat Malzeme Maliyeti	27000 YTL
Kaba İnşaat İşçilik Maliyeti	13500 YTL
Kalıp Maliyeti	5570 YTL
İnce İş Malzeme Maliyeti	50600 YTL
İnce İş İşçilik Maliyeti	25300 YTL
TOPLAM	122000 YTL

Klasik güçlendirme maliyeti 122000 YTL'dir. Burada dikkati çeken, ince işlerin maliyeti işçilik dâhil, toplam maliyetin yarısından fazlasını oluşturuyor olmasıdır.

8.1.2. Konut Binasının SSS ile Güçlendirilme Maliyeti

Konut binasında, SSS ile güçlendirme için yapılanlar; tüm kolonların altına, temelin üstünde olacak şekilde toplam 34 adet FP8831–6 sürtünmeli sarkaç mesnet koyulmuştur. Bu mesnetlerin seçilmesinde servis yüklerini belirli güvenlikte taşıyabilmesi koşulu ve mesnetlerin, binanın SSS'lerin seviyesinde gerekli yer değiştirmeyi yapabilecek büyüklükte olması dikkate alınmıştır. Ayrıca SSS'lerin hemen üstüne, sürtünmeli sarkaç mesnetlerin birlikte çalışmasını sağlayabilmek için 12 cm kalınlığında döşeme eklenmiştir.

Tablo 8.3 : Konut binasına uygulanan sürtünmeli sarkaç sistemin malzeme ve işçilik maliyetleri

1 Adet FP8831–6 Temel Ayırıcının Fiyatı	8000 YTL
1 adet FP8831–6 Temel Ayırıcının Montaj Maliyeti	2000 YTL
Kullanılan izolatörün adedi	34 adet
Toplam Maliyet	340000YTL

Eklenen döşemenin maliyeti ve işçiliği : 5000 YTL

SSS'nin hareketinin kısıtlanmaması gereklidir. SSS'nin salınım yaparken hareketi engellenirse görevini yapamaz. Bu yüzden SSS'nin bulunduğu yere kadar kazı yapılması gereklidir. Bu boşluğun en azından maksimum yerdeğiştirme kadar olması gerekir. Ayrıca zeminin kaymasını engellemek için zeminin önüne istinat duvarı yapılmalıdır.

Toplam kazı miktarı : 50 m³

Kazı ve nakliye birim maliyeti : 12,7 YTL/m³

Kazı ve nakliye toplam maliyeti : 635 YTL

İstinat duvarı için gerekli beton : 27 m³

İstinat duvarı için gerekli donatı : 1,6 ton

İstinat duvarı için gerekli kalıp : 250 m²

Beton birim fiyatı : 78 YTL

Donatı birim fiyatı : 645 YTL

Kalıp birim fiyatı : 14,85 YTL/m²

İşçilik maliyeti : 1500 YTL

İstinat duvarı toplam maliyeti : 8350 YTL

Tablo 8.4 : SSS ile güçlendirmenin toplam maliyeti

SSS Maliyeti	340000 YTL
Kazı Maliyeti	635 YTL
İstinat Duvarı Maliyeti	8350 YTL
Eklenen Döşemenin Maliyeti	5000 YTL
TOPLAM	354000 YTL

SSS ile yapılan güçlendirmenin maliyeti 354000 YTL'dir. Görüldüğü üzere SSS ile güçlendirme, klasik güçlendirmeye nazaran daha pahalı bir yöntemdir. SSS ile güçlendirme bugün için daha pahalı bir yöntem, fakat ilerleyen zamanlarda, bu yöntemin Türkiye'de sıkça kullanılmaya başlanmasıyla ve üretimin Türkiye'ye gelip, malzemenin ucuzlamasıyla SSS ile güçlendirmenin maliyeti, klasik güçlendirmenin maliyetinin altına inecektir.

8.2. Hastane Binasının Maliyet Analizi

8.2.1. Hastane Binasının Klasik Güçlendirme Maliyeti

Hastane Binasının klasik güçlendirilmesinde eklenen elemanlar; 10 kat boyunca çıkan 8 adet perde, boyutları 130cm x 50cm olan, zemin katta 21 tane, diğer 9 katta ise perdelerin yanındaki 10 kolona olmak üzere uygulanan, kalınlığı 15cm olan mantolamalardır.

Tablo 8.5 : Hastane Binasının malzeme maliyeti

	Perdeler	Mantolamalar	
Kullanılan (BS30) Beton Miktarı (m ³)	260	198	
1m ³ (BS30) Betonun Fiyatı (YTL)	78	78	
Kullanılan Donatının Miktarı (ton)	36	90	
1 ton Donatının Fiyatı (YTL)	645	645	
Toplam Maliyet (YTL)	43500	71500	115000 YTL

Kaba inşaatın işçilik maliyeti, yaklaşık olarak malzeme maliyetinin yarısı olduğu kabul edilirse;

Kaba inşaat işçilik maliyeti : 57500 YTL

Perde ve mantoların oluşturulmasında kullanılan kalıplar : 375 m²

Kalıp birim fiyatı : 14,85 YTL/m²

Kalıp toplam maliyeti : 5570 YTL

Klasik güçlendirme yapılırken birçok yer kırılması gerekir. Buna ek olarak ta yeni eklenen elemanların gelmesi ile ince iş yapılması gereği doğar. İnce işin, binanın tüm alanının %40'ı kadar olması gerektiği düşünülürse, toplam alan 4115 m² olduğuna göre, 384m² ince iş yapılması gerektiği sonucu çıkar. İnce işin maliyeti;

İnce işin metrajı	: 1645 m ²
İnce işin birim fiyatı	: 110 YTL/m ²
İnce işin toplam maliyeti	: 180000 YTL

İnce işin işçilik maliyeti, malzeme maliyetinin yarısı olduğu düşünülürse;

İnce işin işçilik maliyeti	: 90000 YTL
----------------------------	-------------

Tablo 8.6 : Konut binasının klasik güçlendirme maliyeti

Kaba İnşaat Malzeme Maliyeti	115000 YTL
Kaba İnşaat İşçilik Maliyeti	57500 YTL
Kalıp Maliyeti	5570 YTL
İnce İş Malzeme Maliyeti	180000 YTL
İnce İş İşçilik Maliyeti	90000 YTL
TOPLAM	450000 YTL

Klasik güçlendirmenin maliyeti 450000 YTL'dir. Burada dikkati çeken, ince işlerin maliyeti işçilik dahil, toplam maliyetin yarısından fazlasını oluşturmaktadır.

8.2.2. Hastane Binasının SSS ile Güçlendirilme Maliyeti

Hastane binasında, SSS ile güçlendirme için yapılanlar; tüm kolonların altına, temelin üstünde olacak şekilde toplam 31 adet FP8836–11 sürtünmeli sarkaç mesnet koyulmuştur. Bu SSS'nin seçilmesinde servis yüklerini belirli güvenlikte taşıyabilmesi ve binanın izolasyon seviyesinde gerekli deplasmanı yapabilmesi, koşullarına uygun olması dikkate alınmıştır. Ayrıca sürtünmeli sarkaç mesnetlerin hemen üstüne, rijit diyafram çalışmayı sağlayabilmek için 12 cm kalınlığında döşeme eklenmiştir. Buna ek olarak, deplasmanı azaltabilmek adına bazı kolonlara kanat eklendi, bunun etkisiyle de bazı kolonlar, eksenel yüklerinin artmasıyla belli bir kata kadar mantolanmıştır. Kanat ekleme ve mantolamaya ilişkin detaylı bilgi ve maliyet hesabı Tablo 8.8'de verilmiştir.

SSS'nin hareketinin kısıtlanmaması gerekli. SSS'nin salınım yaparken hareketi engellenirse görevini yapamaz. Bu yüzden SSS'nin bulunduğu yere kadar kazı yapılması gereklidir. Bu boşluğun en azından maksimum yerdeğiştirme kadar olması

gerekir. Ayrıca zeminin kaymasını engellemek için zeminin önüne istinat duvarı yapılmalıdır.

Tablo 8.7 : Hastane Binasına uygulanan SSS’lerin malzeme ve işçilik maliyetleri

1 Adet FP8836–11 Mesnetin Fiyatı	11000 YTL
1 adet FP8836–11 Mesnetin Montaj Maliyeti	2000 YTL
Kullanılan SSS adedi	33 adet
Toplam Maliyet	429000 YTL

Binaya eklenen döşemenin maliyeti 10000 YTL

Toplam kazı miktarı	: 85 m ³
Kazı ve nakliye birim maliyeti	: 12,7 YTL/m ³
Kazı ve nakliye toplam maliyeti	: 1080 YTL
İstinat duvarı için gerekli beton	: 49 m ³
İstinat duvarı için gerekli donatı	: 3 ton
İstinat duvarı için gerekli kalıp	: 390 m ²
Beton birim fiyatı	: 78 YTL
Donatı birim fiyatı	: 645 YTL
Kalıp birim fiyatı	: 14,85 YTL/m ²
İşçilik maliyeti	: 2500 YTL
İstinat duvarı toplam maliyeti	: 13060 YTL

Tablo 8.8 : Hastane Binasında perdelerin ve mantoların malzeme maliyeti

	Perdeler	Mantolamalar	
Kullanılan (BS30) Beton Miktarı (m ³)	60	32	
1m ³ (BS30) Betonun Fiyatı (YTL)	78	78	
Kullanılan Donatının Miktarı (ton)	8	13	
1 ton Donatının Fiyatı (YTL)	645	645	
Toplam Maliyet (YTL)	9840	10860	20700 YTL

Hastane binası 10 katlı olması nedeniyle, yanal yük altında yönetmeliğin izin verdiği kadar daha çok yer değiştirme yapacaktır. Bunu engellemek için 4 tane Y yönünde tek taraflı kanat perde, 1 tane de X yönünde iki taraflı kanat perde eklenmiştir. Y yönünde kanat eklenen kolonlar 5. kata kadar mantolanmıştır. Bunun nedeni deprem momentlerinin artması ve dolayısı ile kanat perdelerin başlıklarına

gelen eksenel basıncın artmasıdır. 6. katta kolon kesitleri yeterli görülmüş ve mantolamalar kesilmiştir.

Hastane Binasında perdelerin ve mantoların işçilik maliyeti : 10350 YTL

İnce işlerin maliyeti yaklaşık, perdelerin ve mantoların maliyeti kadar düşünülürse;

İnce işlerin malzeme maliyeti : 20700 YTL

İnce işlerin işçilik maliyeti : 13500 YTL

Tablo 8.9 : Hastane Binasını SSS ile güçlendirmenin toplam maliyeti

SSS Maliyeti	429000 YTL
Kazı Maliyeti	1080 YTL
İstinat Duvarı Maliyeti	13060 YTL
Ek perdeler ve mantoların malzeme maliyeti	20700 YTL
Ek perdeler ve mantoların işçilik maliyeti	13500 YTL
İnce işlerin malzeme maliyeti	27000 YTL
İnce işlerin işçilik maliyeti	13500 YTL
Eklenen Döşemenin Maliyeti	10000 YTL
TOPLAM	528000 YTL

SSS ile yapılan güçlendirmenin maliyeti 528000 YTL'dir. Yüksek binalarda SSS ile yapılan güçlendirmede, yer değiştirmeyi sınırlamak için yapılan ek perdeler ve mantolar gerek malzeme maliyetleriyle, gerek işçilik maliyetleriyle, gerekse çıkardıkları ince işlerin maliyeti ile olsun, ek maliyet çıkmasına neden olurlar.

Mevcut uygulamalarda kullanılan SSS'lerin çoğunluğu, yurtdışından getirildiğinden hem malzeme maliyetleri, hem nakliye maliyeti hem de dışarıdan alınan teknik destekten dolayı çok pahalıya mal olmaktadır. Uygulama yaygınlaştığında yabancı firmaların Türkiye'de üretim yapmaları söz konusu olabilecek ve projelendirme de yerli mühendisler tarafından yapıldığında maliyetler azalacaktır [5].

9. SONUÇLAR

Yapılan çalışma kapsamında ele alınan, kısa ve uzun periyotlu iki ayrı bina klasik güçlendirilmiş ve sürtünmeli sarkaç mesnetlerle güçlendirilmiş durumlarında, değişik karakteristikte 8 ayrı deprem ivme izi ile zaman tanım alanında analiz edilmişlerdir. Yapılan analizlerin incelenmesinden şu sonuçlara varılmıştır.

1. Binalarda yapılan SSS ile güçlendirmenin, binanın depreme karşı davranışında, binaya çok olumlu katkılar sağladığı görülmüştür. Fakat binaya uygulanan SSS, her hal ve şart altında binaya olumlu katkı yapar diye bir kanıya varılamamıştır. Bu çalışmada Mexico City deprem ivme kaydı ile yapılan zaman tanım alanında analiz, binalarda sürtünmeli sarkaç sistem kullanımının binalara gelen deprem yüklerini arttırarak binaları olumsuz yönde etkilediğini göstermiştir. Ancak çok titiz ve ayrıntılı fizibilite çalışmaları sonucunda binalara uygulanabilecek olan bir sistemdir.
2. Klasik yöntemle güçlendirmede yapıların periyotları azalırken, SSS ile güçlendirmede yapıların periyotları artar. Bu durumda sert zeminde klasik güçlendirme yapmak periyodu azaltır ve dolayısıyla yapıya gelecek deprem yüklerini arttırır. Burada SSS ile güçlendirme yapmak, bu sistemin periyodunu arttırıp binaya gelecek yükleri azaltması nedeniyle uygun çözümdür. Fakat yumuşak zeminlerde durum tersinedir. Yapıyı SSS ile güçlendirmek periyodu arttırır dolayısıyla yapıya gelen yükleri arttırır. Burada mümkün olduğunca yapının periyodunu azaltıp zemin hâkim periyodundan uzaklaştırmak, yapılması gereken çözümdür. Bu durumda yapıyı klasik yöntemle güçlendirmek uygun olan çözüm olur.
3. SSS ile yapılan güçlendirmede yapının yer değiştirmesi büyük bir oranda artmaktadır. Fakat bu artışın çok büyük bir bölümünün SSS seviyesinde olduğu görülür. Üst yapı rijit bir hareket yapmaktadır. Bunu da kat öteleme açılarıyla görmek mümkündür. Fakat yapı yüksek bir yapıysa, yerdeğiştirmeleri yönetmeliğin izin verdiği sınırlar içerisinde tutmak oldukça zor olacaktır. Bu durumda kolonlara kanat perde eklemek veya perde eklemek suretiyle, yerdeğiştirmelerin yönetmelikte istenen sınırların içerisinde olması sağlanır.
4. SSS ile güçlendirmede, yapıda ele alınan tasarım yükü bulunurken kullanılan azaltma katsayısının, ankastre mesnetli yapılarda kullanılan azaltma

katsayılarından 2,66 ile 4 arasında bir değerde daha küçük olması nedeniyle, SSS'li binaların daha yüksek performansta dizayn edildikleri söylenebilir. Bu tez kapsamında yapılan analizlerde her iki durum içinde bulunan tasarım kuvvetlerinin birbirlerinden çok farklı olmamasının nedeni de budur.

5. SSS ile güçlendirilmiş yapılarda kat ivmeleri, klasik güçlendirilmiş yapılara nazaran daha düşüktür. Bunun sonucunda da yapıların içerisinde bulunan değerli eşyalar veya önemli ekipmanlar, deprem dolayısıyla oluşan eylemsizlik kuvvetlerinde ki azalma sonucunda, depremi hasarsız atlatabilirler.
6. SSS ile güçlendirme ve klasik yöntemle güçlendirme, maliyet açısından kıyas edildiğinde, SSS ile güçlendirmenin maliyetinin daha fazla olduğu görülür. Fakat binanın performansının artması, bir dahaki gelebilecek olan depremi hasarsız atlatıp oluşabilecek olan hasarın onarımından doğacak maliyet, klasik güçlendirmenin uzun bir zaman içinde yapılabilecek olmasından doğacak zaman kaybı, yapının içerisinde yaşayan kişilerin depremi daha az hissetmesinin vereceği psikolojik etki ve yapının içerisinde, yapıdan daha pahalı olan donanımların veya değerli eşyaların zarar görmeyeceği, gibi durumlar da hesaba katılırsa, SSS ile güçlendirmenin uzun vadede daha ucuz bir yöntem olduğu sonucuna varılabilir. Buna ek olarak, SSS ile güçlendirmenin Türkiye'de yaygınlaşması ve malzeme üretiminin burada yapılması, SSS ile güçlendirmenin maliyetini bir hayli aşağıya çekeceği ve klasik güçlendirmeden maliyet açısından da daha ucuza mal olabileceği hususu da unutulmamalıdır.

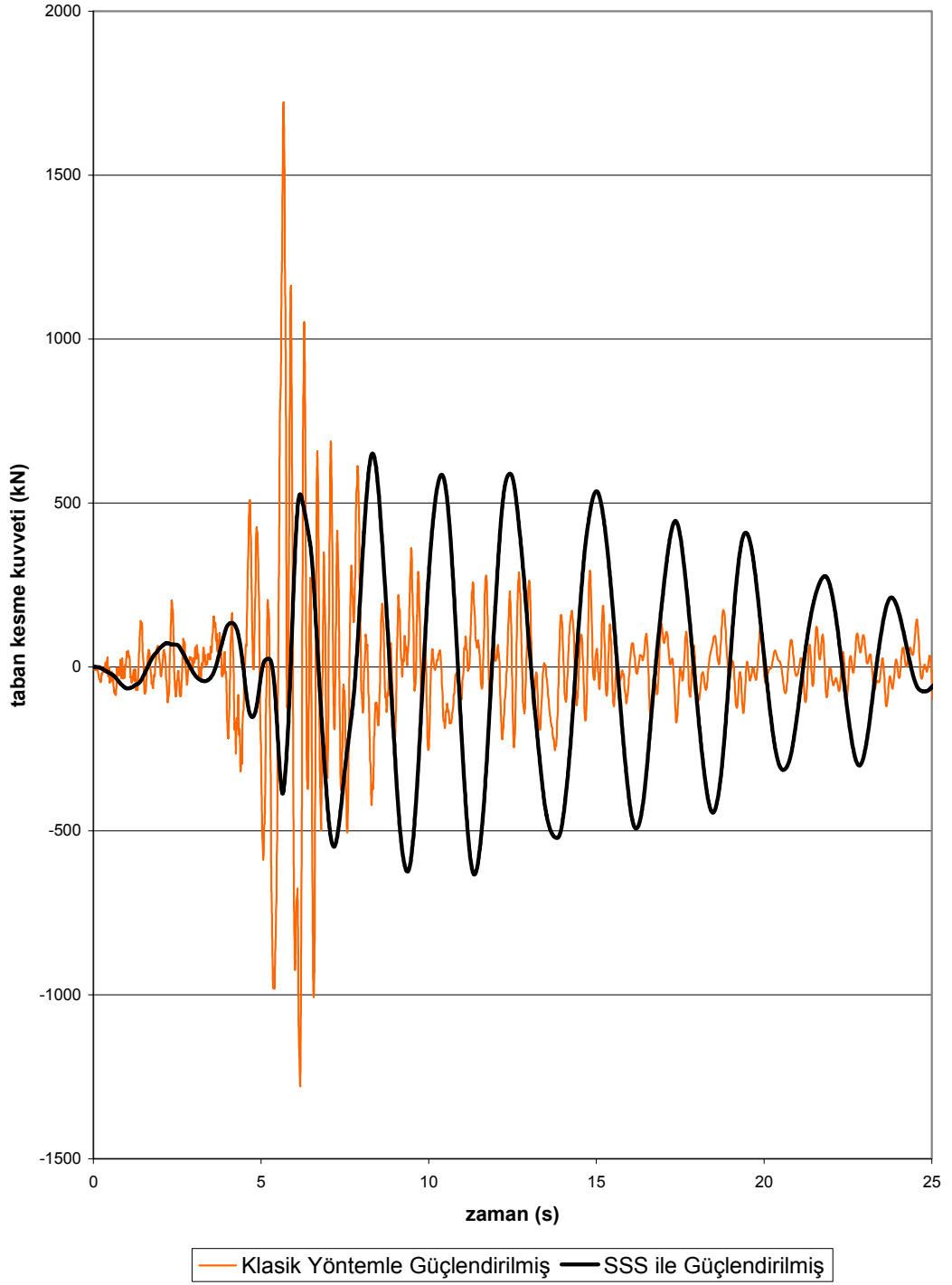
KAYNAKLAR

- [1] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [2] **Pınarbaşı, S. ve Akyüz, U.**, 2005. Sismik İzolasyon ve Elastomerik Yastık Deneyleri, *İMO Teknik Dergi*, **237**, 3581-3598.
- [3] **Bayülke, N.**, 2002. Yapıların Deprem Titreşimlerinden Yalıtımı, Sistem Ofset Yayınları, İstanbul.
- [4] **Naeim, F.**, 2001. The Seismic Design Handbook, Kluwer Academic Publishers, United States of America.
- [5] **Aldemir, Ü. ve Aydın, E.**, 2005. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Yeni Yaklaşımlar, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, **435**, 81-89.
- [6] **Naeim, F. and Kelly, J.M.**, 1999. Design of Seismic Isolated Structures, Jhon Wiley & Sons, Inc., New York.
- [7] **Baştuğ, B.K.**, 2004. Yapı Sistemlerinde Depreme Karşı Sismik İzolatör Kullanılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] **Ayhan, C.**, 2005. Yapılarda Değişken Frekanslı Sürtünmeli Elemanlar İle Sismik Kontrol, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] **Çamlıbel, N.**, 2000. Yapıların Taşıma Gücünün İyileştirilmesi, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [10] **Bayülke, N.**, 2001. Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İzmir.
- [11] **Kumbasar, N., Eren, İ., Aydoğan, M. ve İlki, A.**, 2003. Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi Alanında Gelişmeler, Maya Basın Yayın, İstanbul.
- [12] **Akman, M.S.**, 2000. Yapı Hasarları ve Onarım İlkeleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul.
- [13] **Demir, H.**, 1992. Depremlerden Hasar Görmüş Betonarme Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

- [14] **Komodromos, P.**, 2000. Seismic Isolation for Earthquake-Resistant Structures, WIT Press, Southampton.
- [15] <http://www.earthquakeprotection.com/buildings.html>, Example building applications
- [16] **Hasgür, Z.**, 1991. Türkiye’de Gözlenmiş Deprem Şiddetleri’nin Yapı Mühendisliği Açısından İncelenmesi, *İMO Teknik Dergi*, **24**, 319-333
- [17] **Tezcan, S.S. and Cimilli, S.**, 2002. Seismic Base Isolation, Boğaziçi University, İstanbul.
- [18] **Deprem Yönetmeliği**, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, İzmir.
- [19] **International Building Code**, 2000. Structural Design

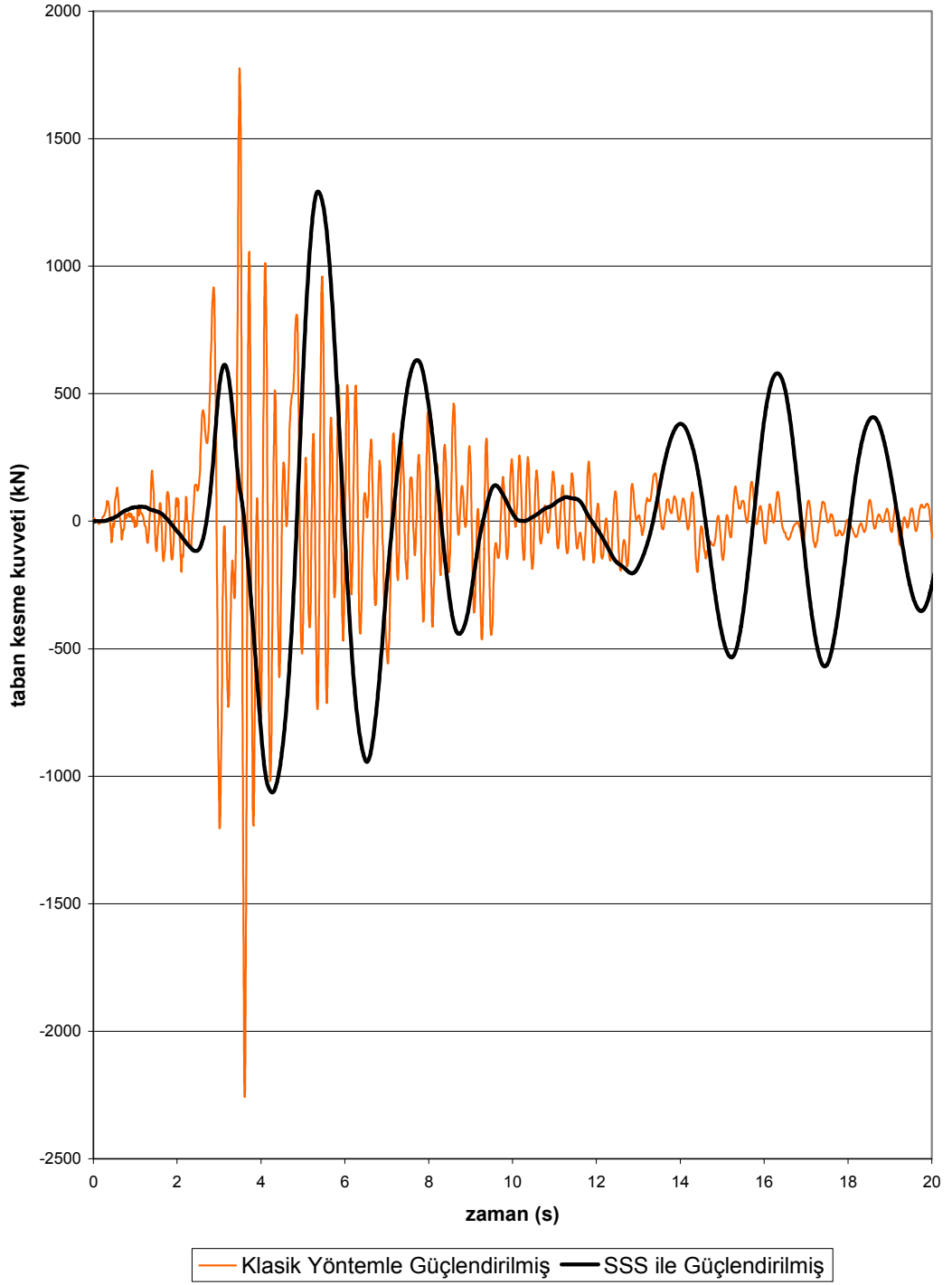
EK-A : TABAN KESME KUVVETLERİ

Düzce Depremi Bolu D-B Kaydı Konut Binası



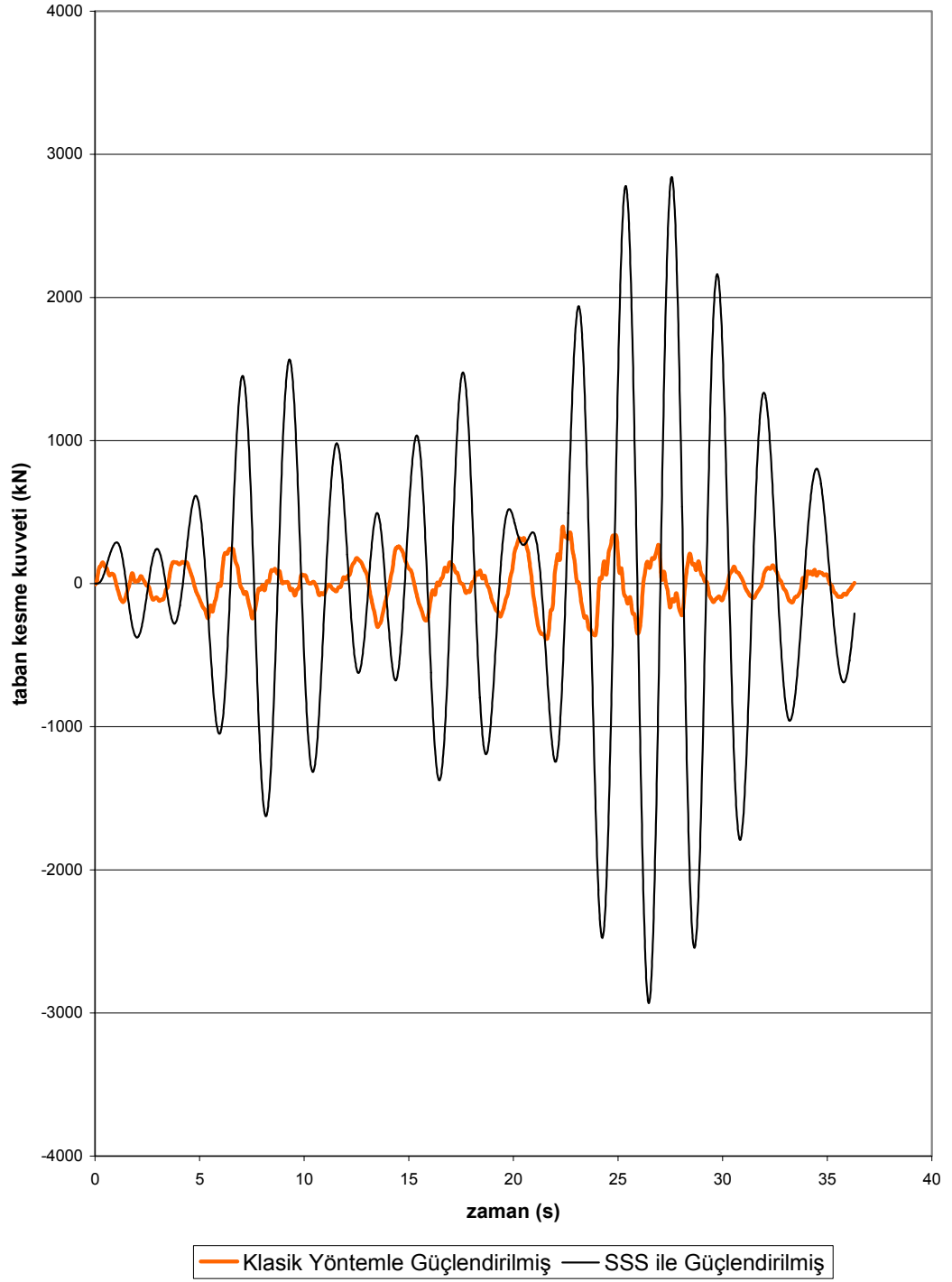
Şekil A.1 : Konut Binası Düzce Depremi Bolu D-B kaydı taban kesme kuvveti

Erzincan Depremi D-B Kaydı Konut Binası



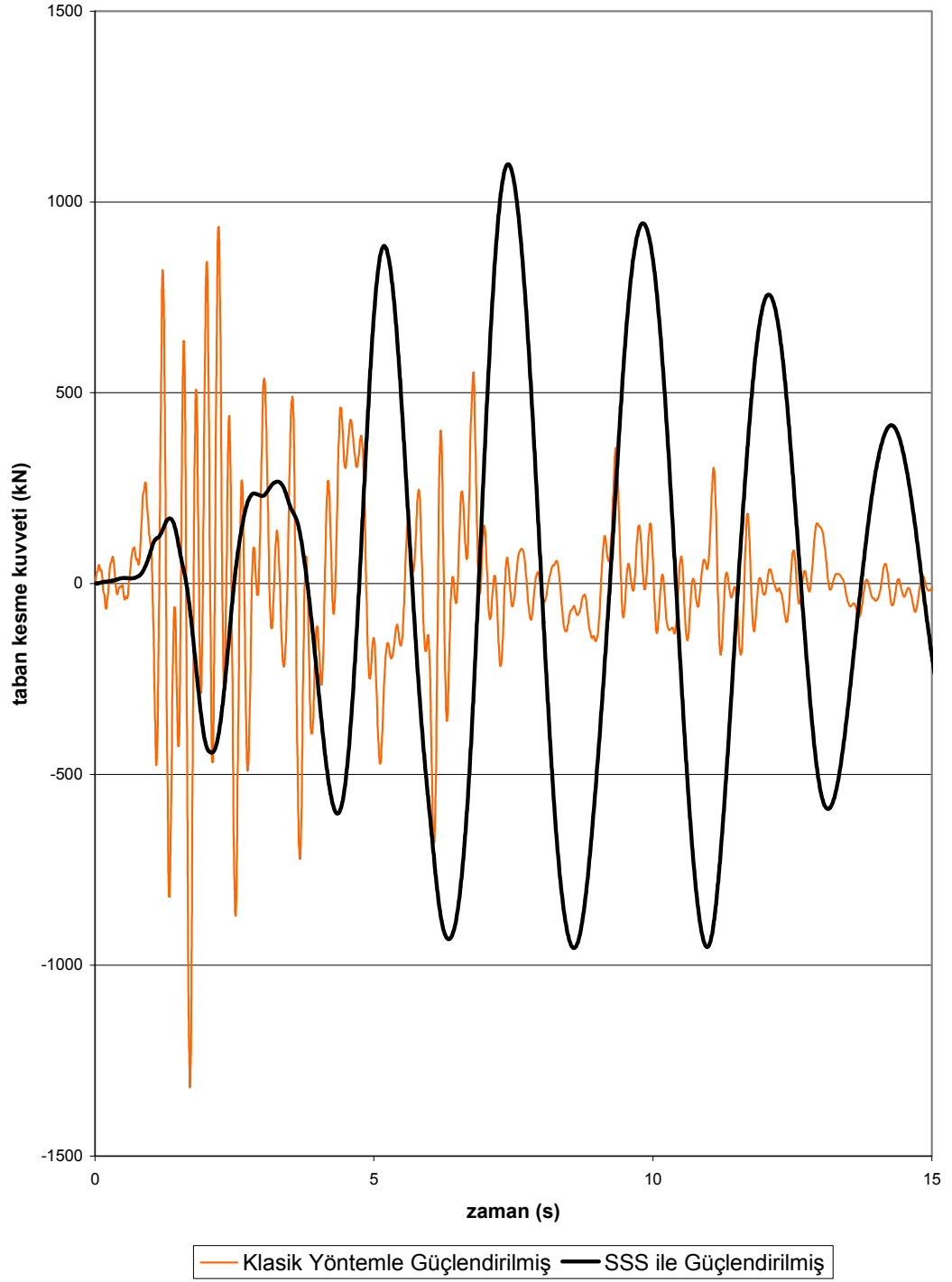
Şekil A.2 : Konut Binası Erzincan Depremi D-B kaydı taban kesme kuvveti

MexicoCity Depremi K-G Kaydı Konut Binası



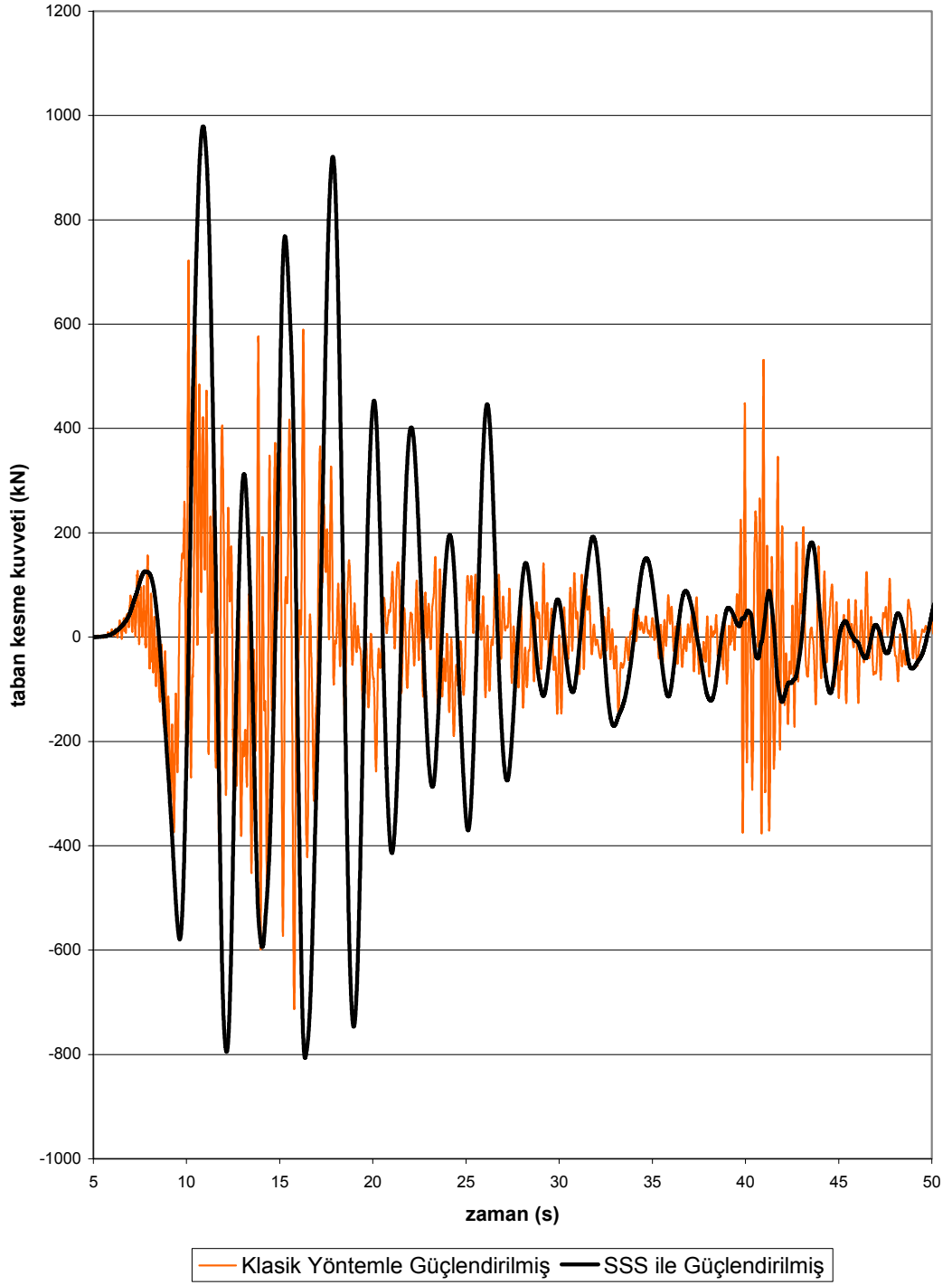
Şekil A.3 : Konut Binası Mexico City Depremi K-G kaydı taban kesme kuvveti

Kobe Depremi D-B Kaydı Konut Binası



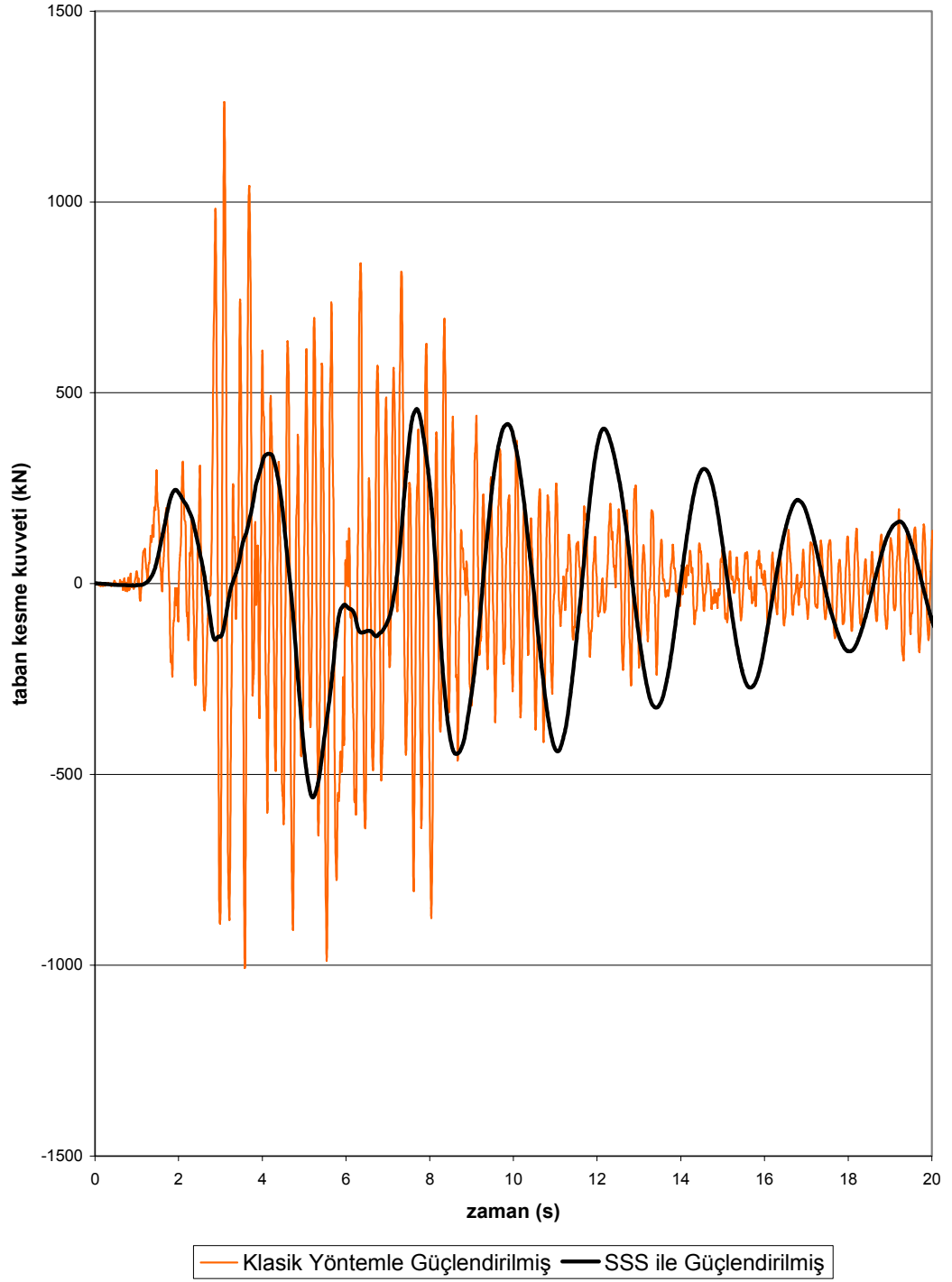
Şekil A.4 : Konut Binası Kobe Depremi D-B kaydı taban kesme kuvveti

Kocaeli Depremi Yarımcı D-B Kaydı Konut Binası



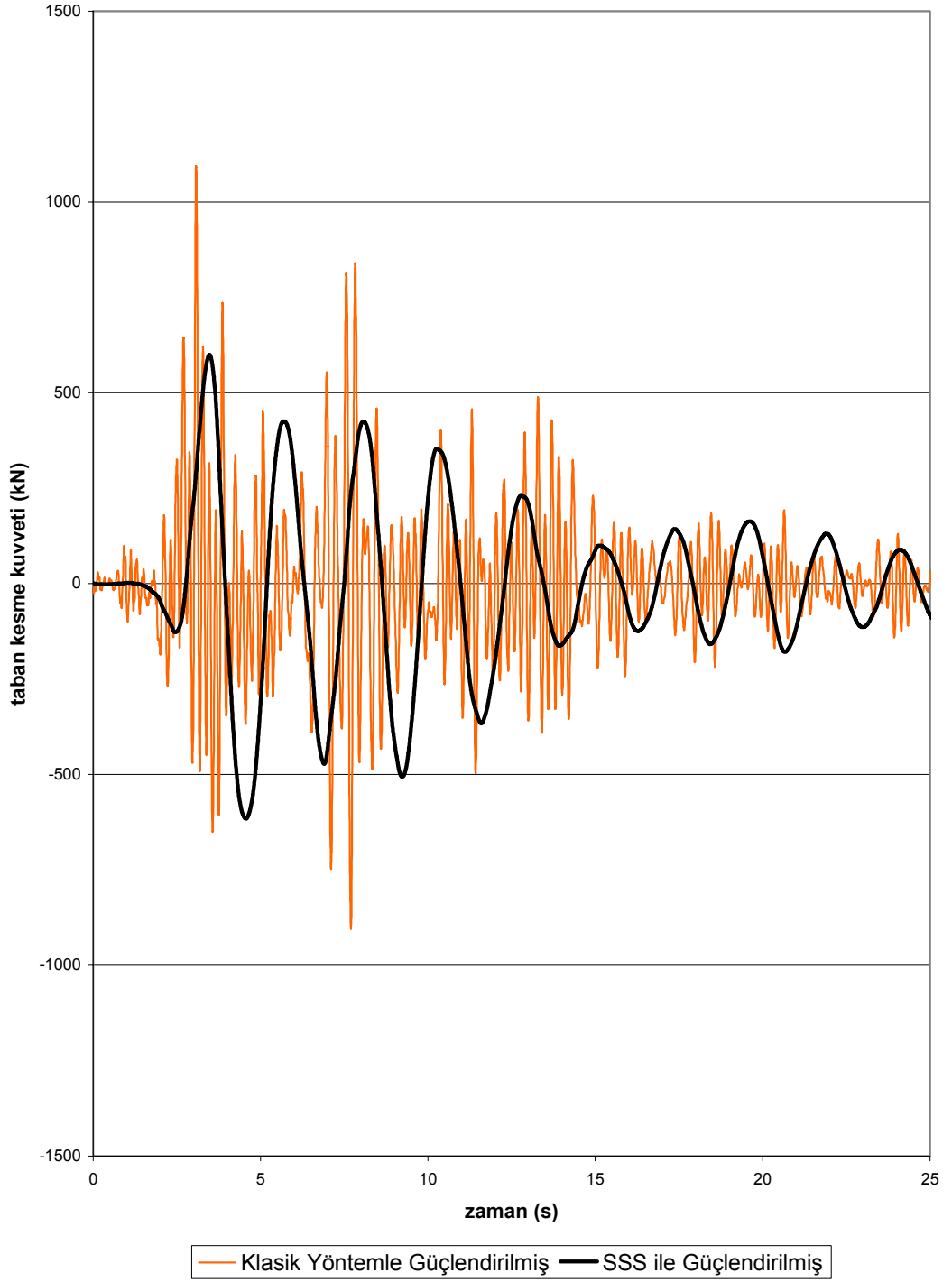
Şekil A.5 : Konut Binası Kocaeli Depremi Yarımcı D-B kaydı taban kesme kuvveti

Kocaeli Depremi Sakarya D-B Kaydı Konut Binası



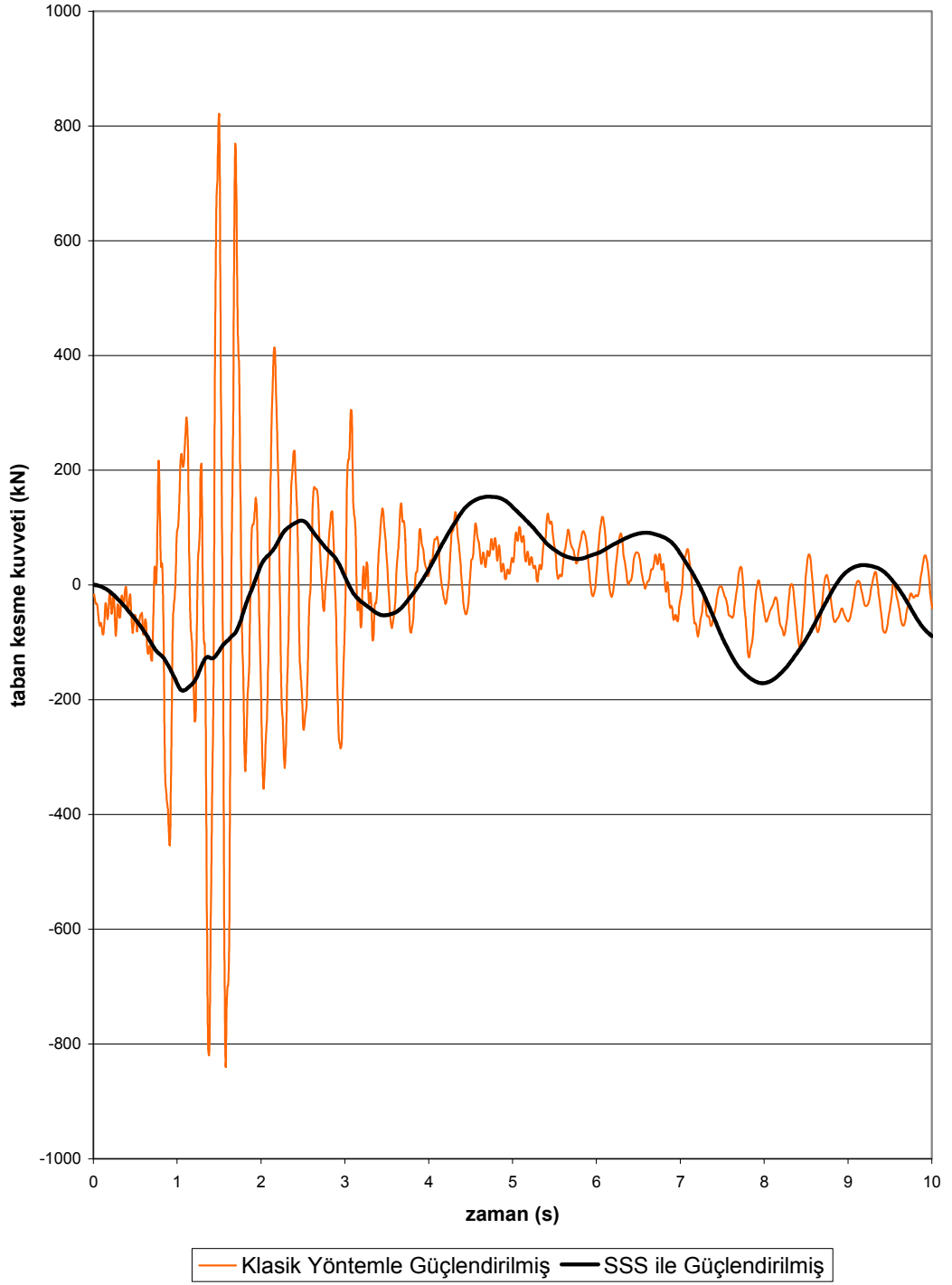
Şekil A.6 : Konut Binası Kocaeli Depremi Sakarya D-B kaydı taban kesme kuvveti

Kocaeli Depremi İzmit D-B Kaydı Konut Binası



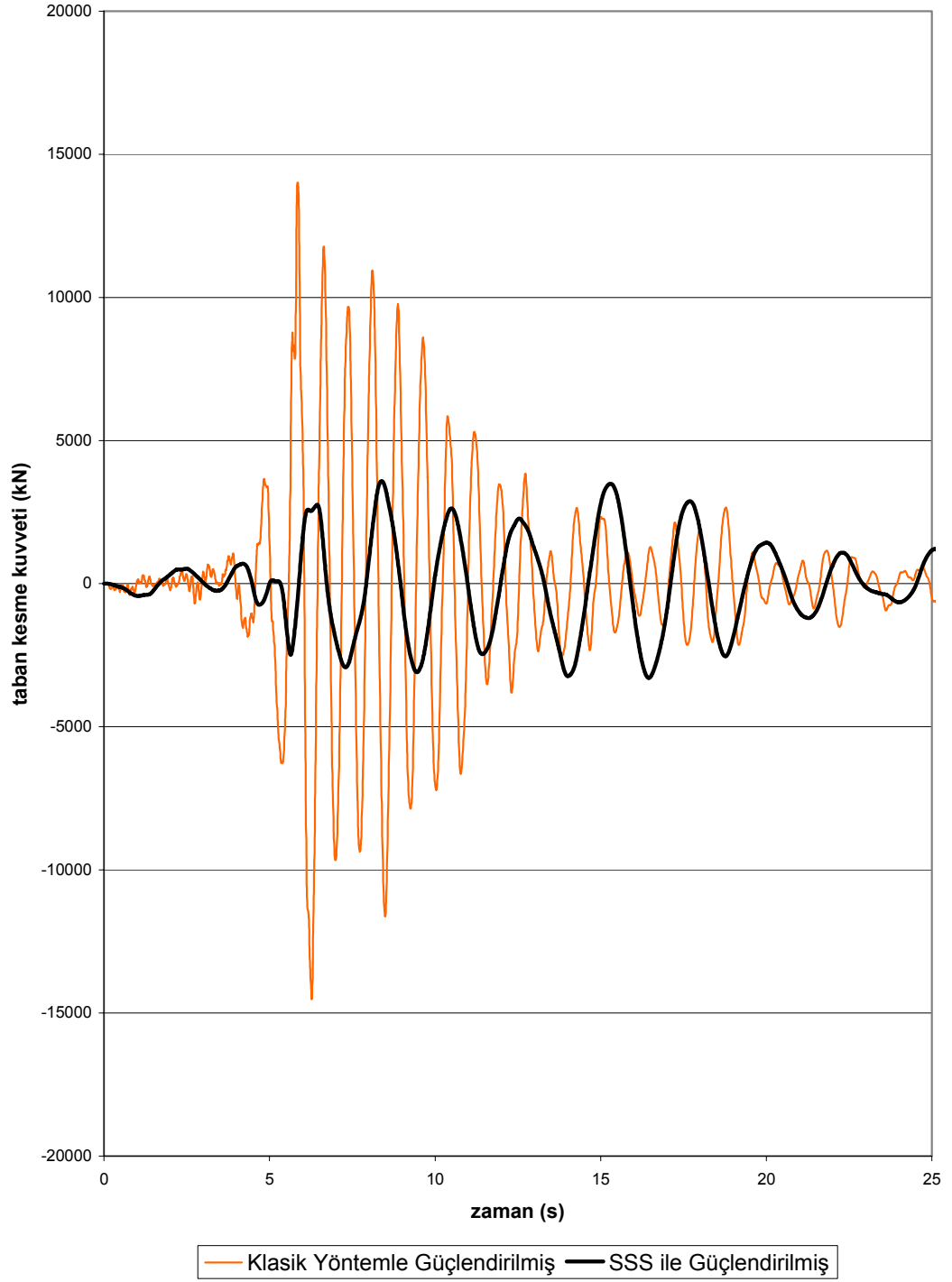
Şekil A.7 : Konut Binası Kocaeli Depremi İzmit D-B kaydı taban kesme kuvveti

Dursunbey Depremi D-B Kaydı Konut Binası



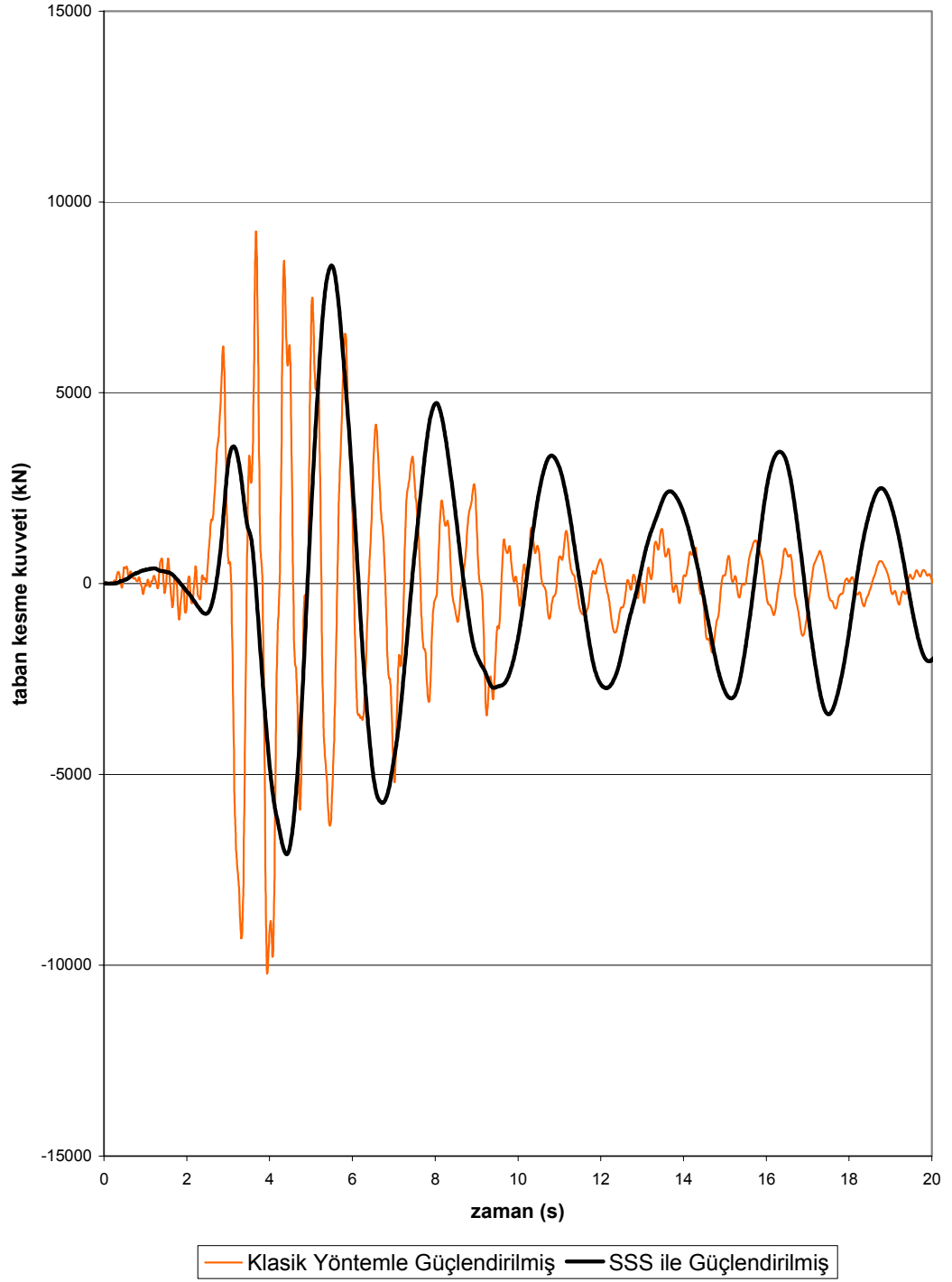
Şekil A.8 : Konut Binası Dursunbey Depremi D-B kaydı taban kesme kuvveti

Düzce Depremi Bolu D-B Kaydı Hastane Binası



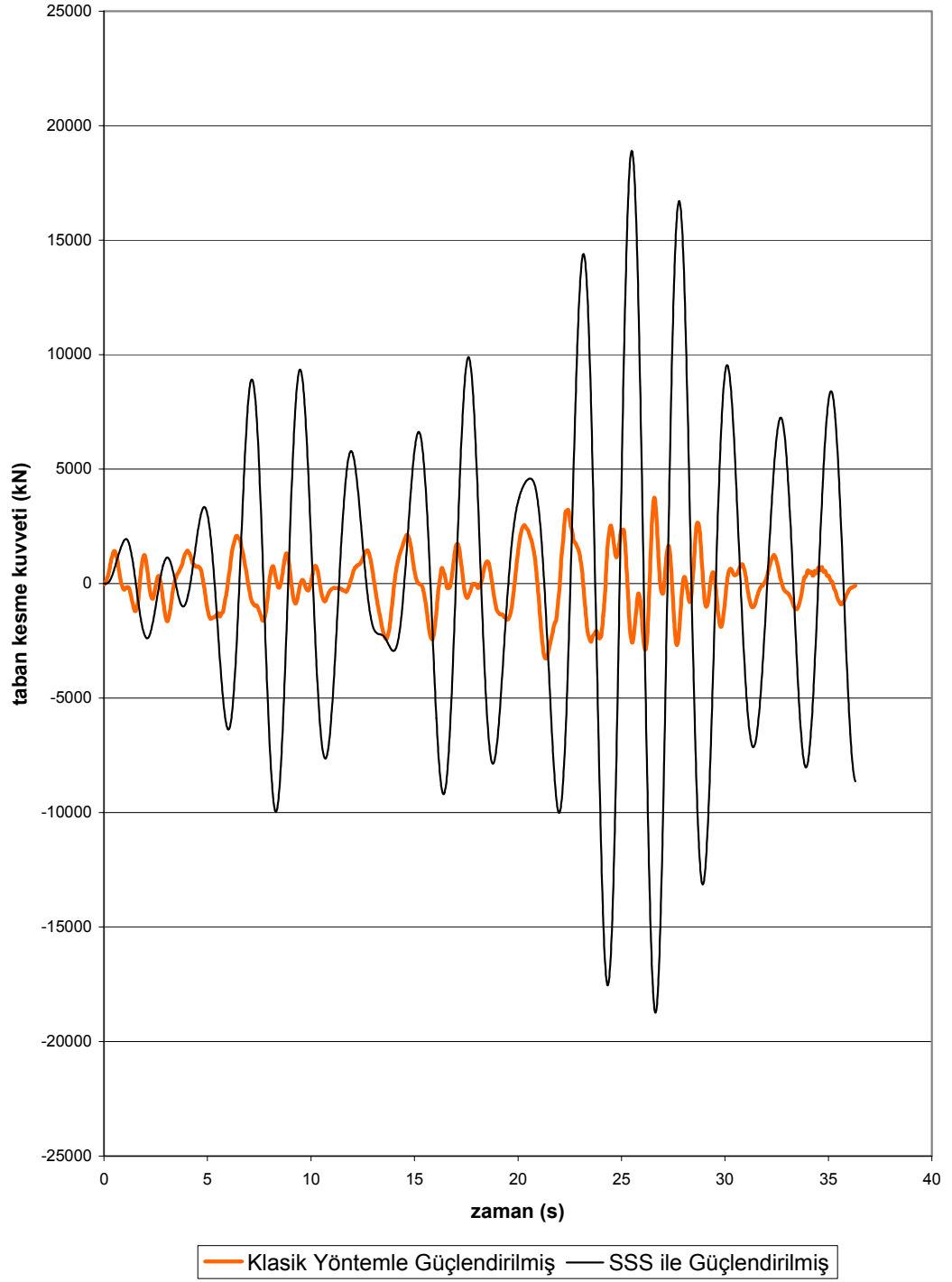
Şekil A.9 : Hastane Binası Düzce Depremi Bolu D-B kaydı taban kesme kuvveti

Erzincan Depremi D-B Kaydı Hastane Binası



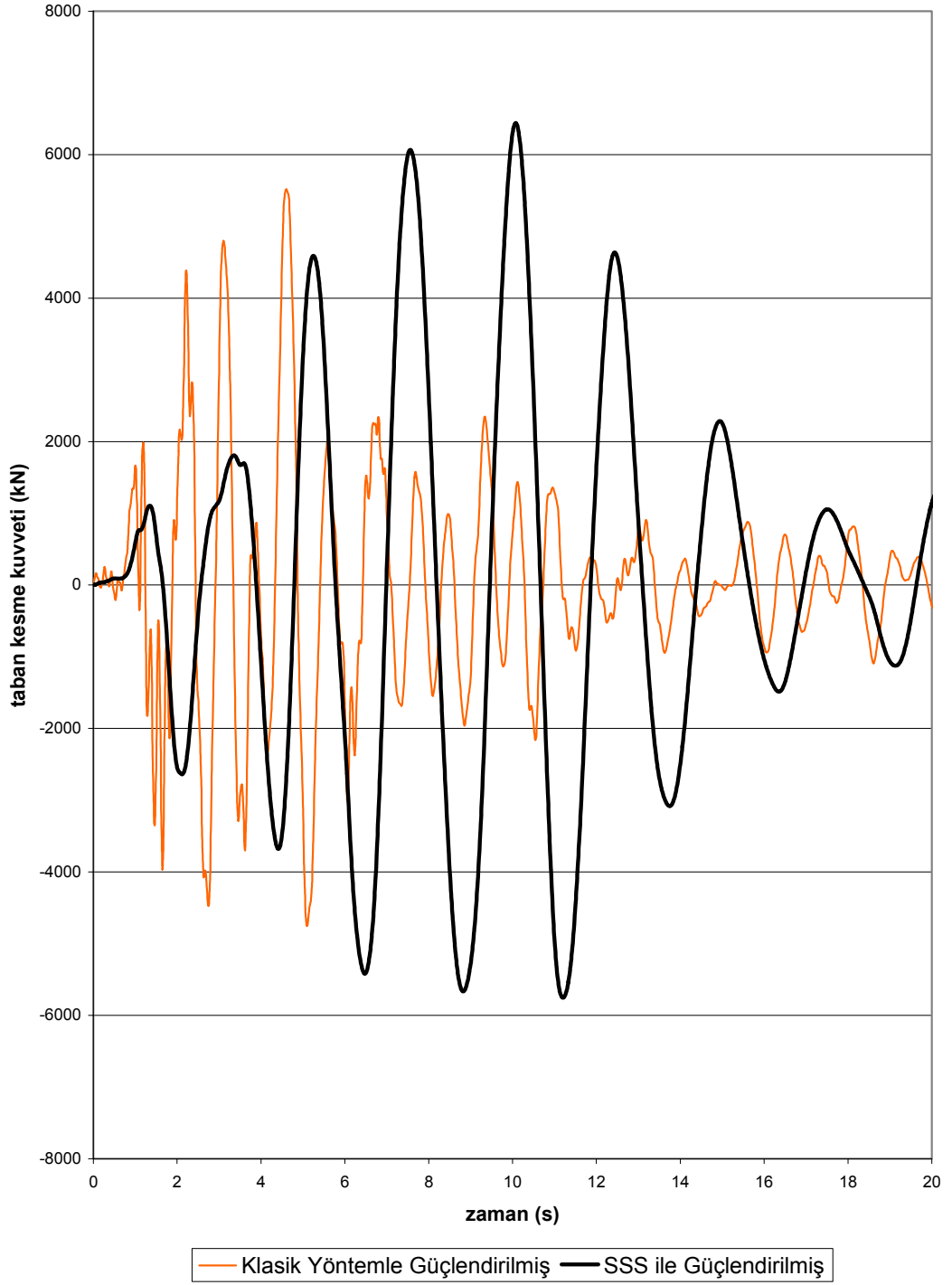
Şekil A.10 : Hastane Binası Erzincan Depremi D-B kaydı taban kesme kuvveti

MexicoCity Depremi K-G Kaydı Hastane Binası



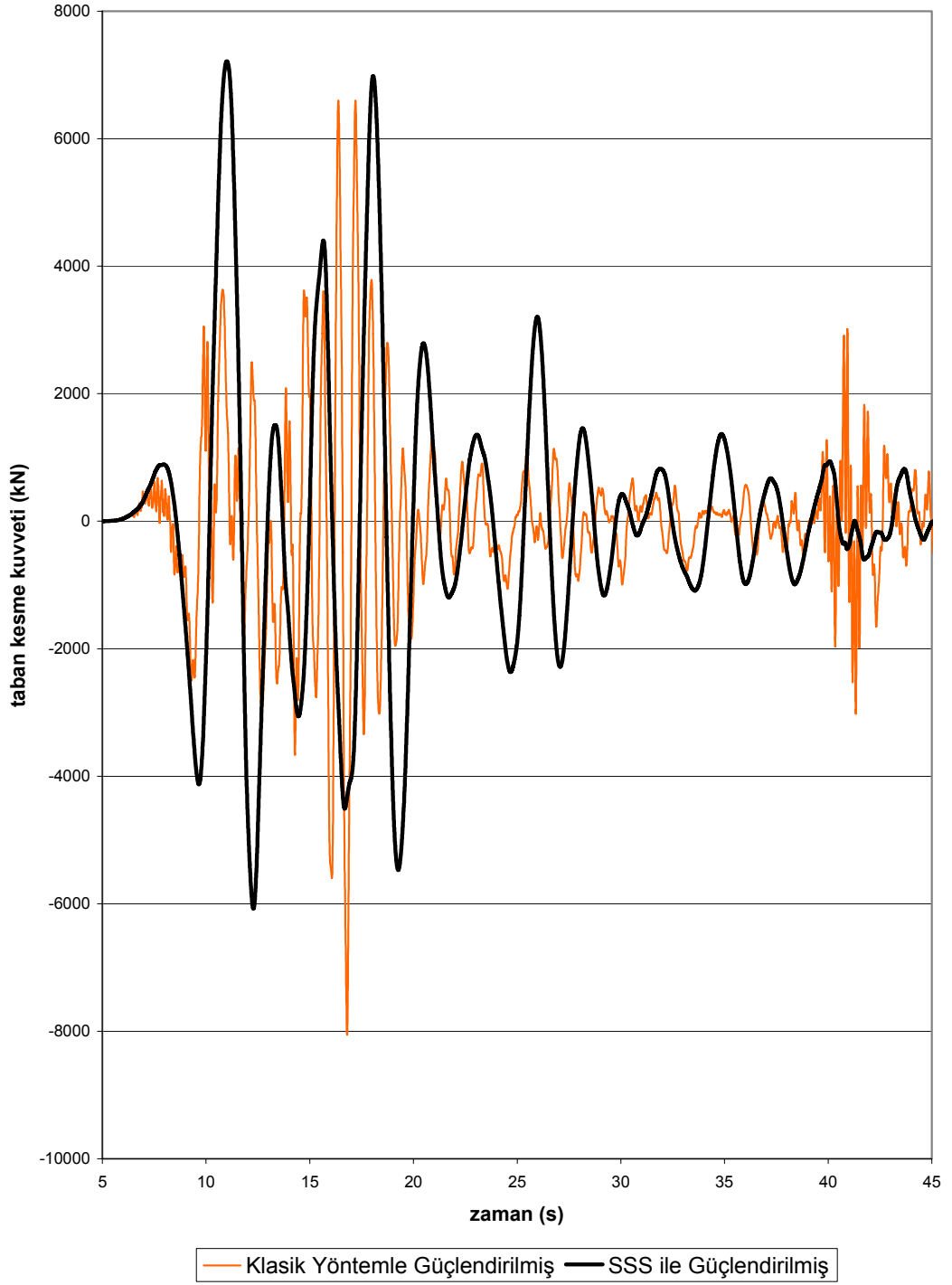
Şekil A.11 : Hastane Binası Mexico City Depremi K-G kaydı taban kesme kuvveti

Kobe Depremi D-B Kaydı Hastane Binası



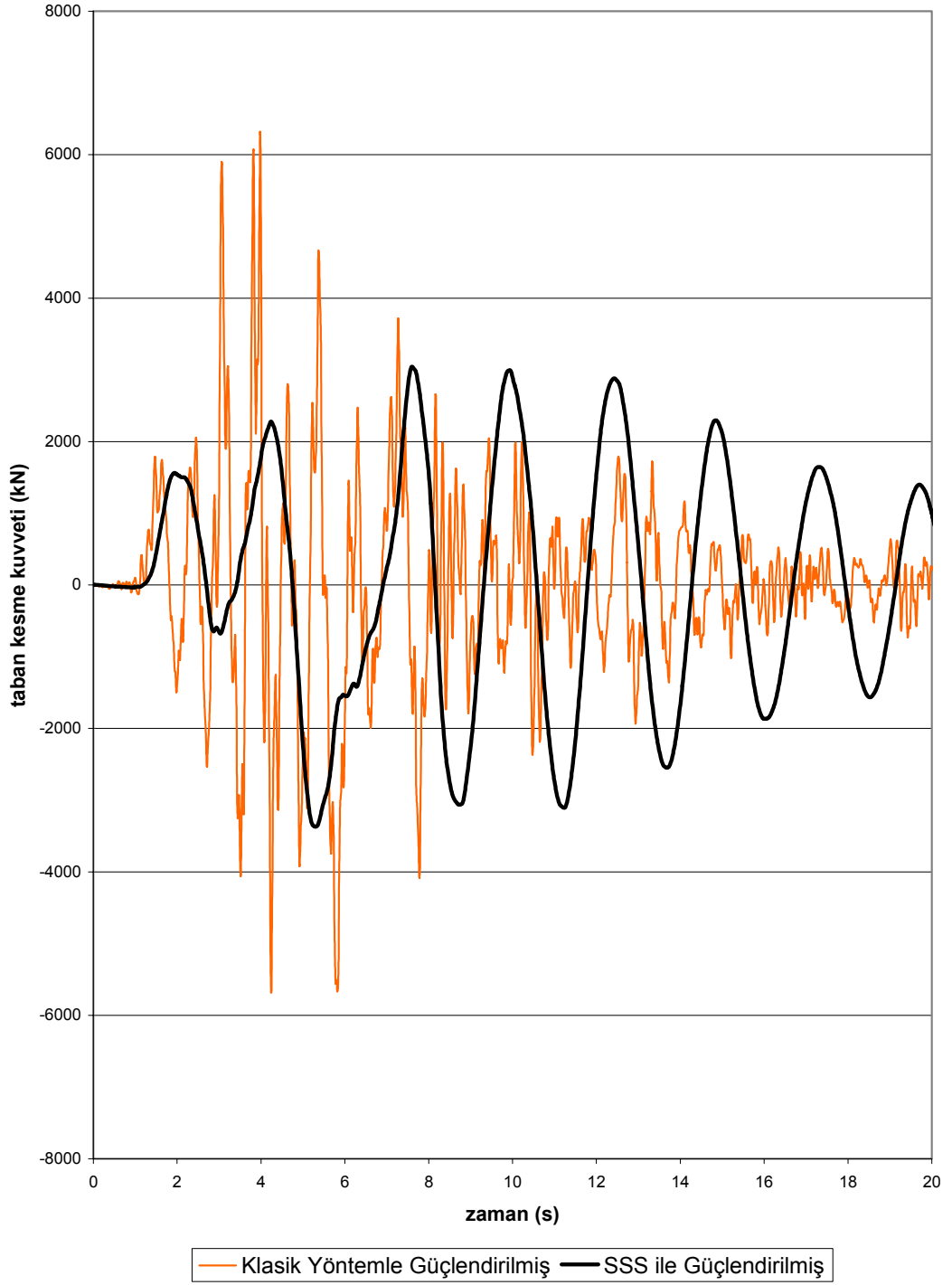
Şekil A.12 : Hastane Binası Kobe Depremi D-B kaydı taban kesme kuvveti

Kocaeli Depremi Yarımcı D-B Kaydı Hastane Binası



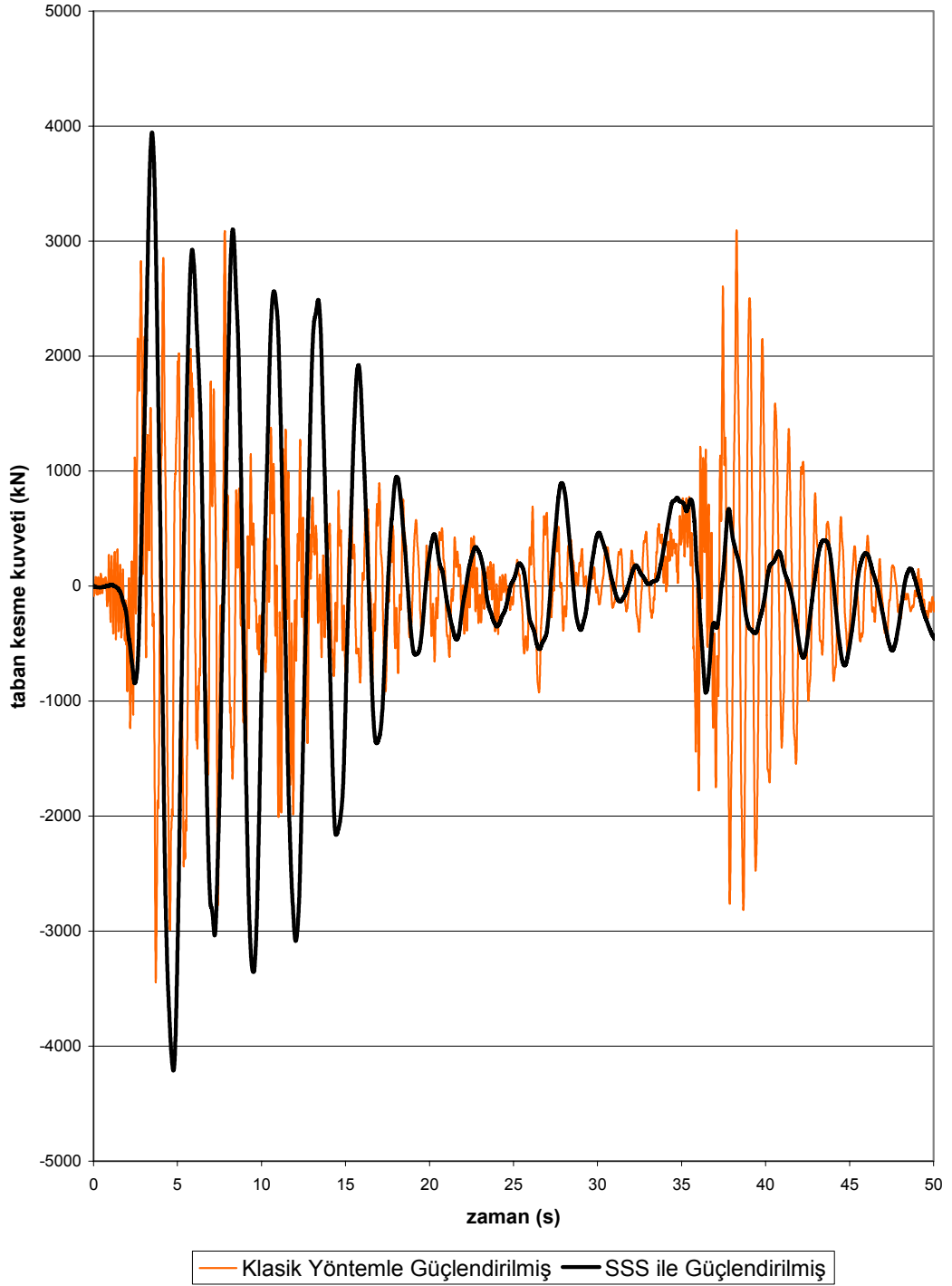
Şekil A.13 : Hastane Binası Kocaeli Depremi Yarımcı D-B kaydı taban kesme kuvveti

Kocaeli Depremi Sakarya D-B Kaydı Hastane Binası



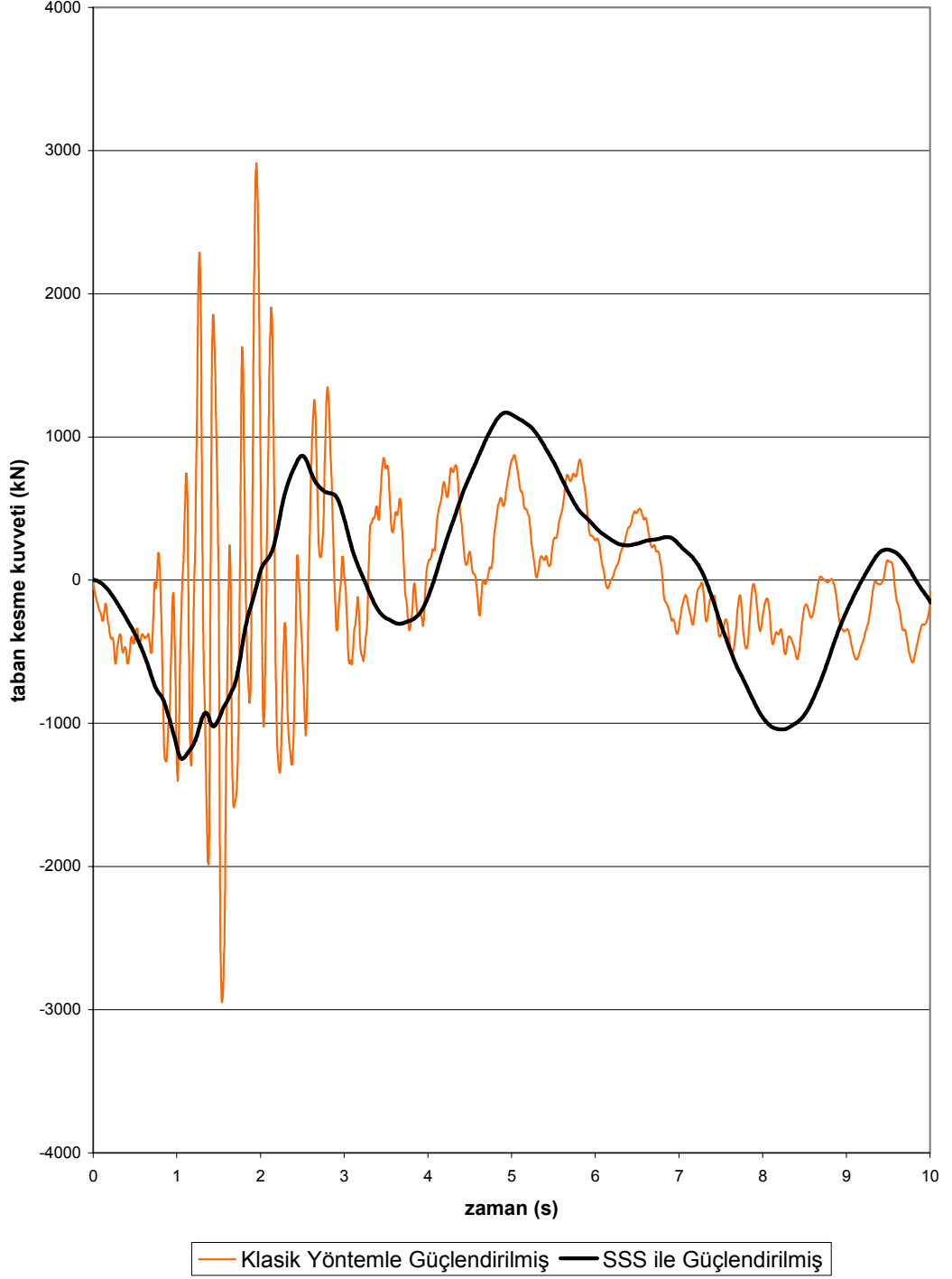
Şekil A.14 : Hastane Binası Kocaeli Depremi Sakarya D-B kaydı taban kesme kuvveti

Kocaeli Depremi İzmit D-B Kaydı Hastane Binası



Şekil A.15 : Hastane Binası Kocaeli Depremi İzmit D-B kaydı taban kesme kuvveti

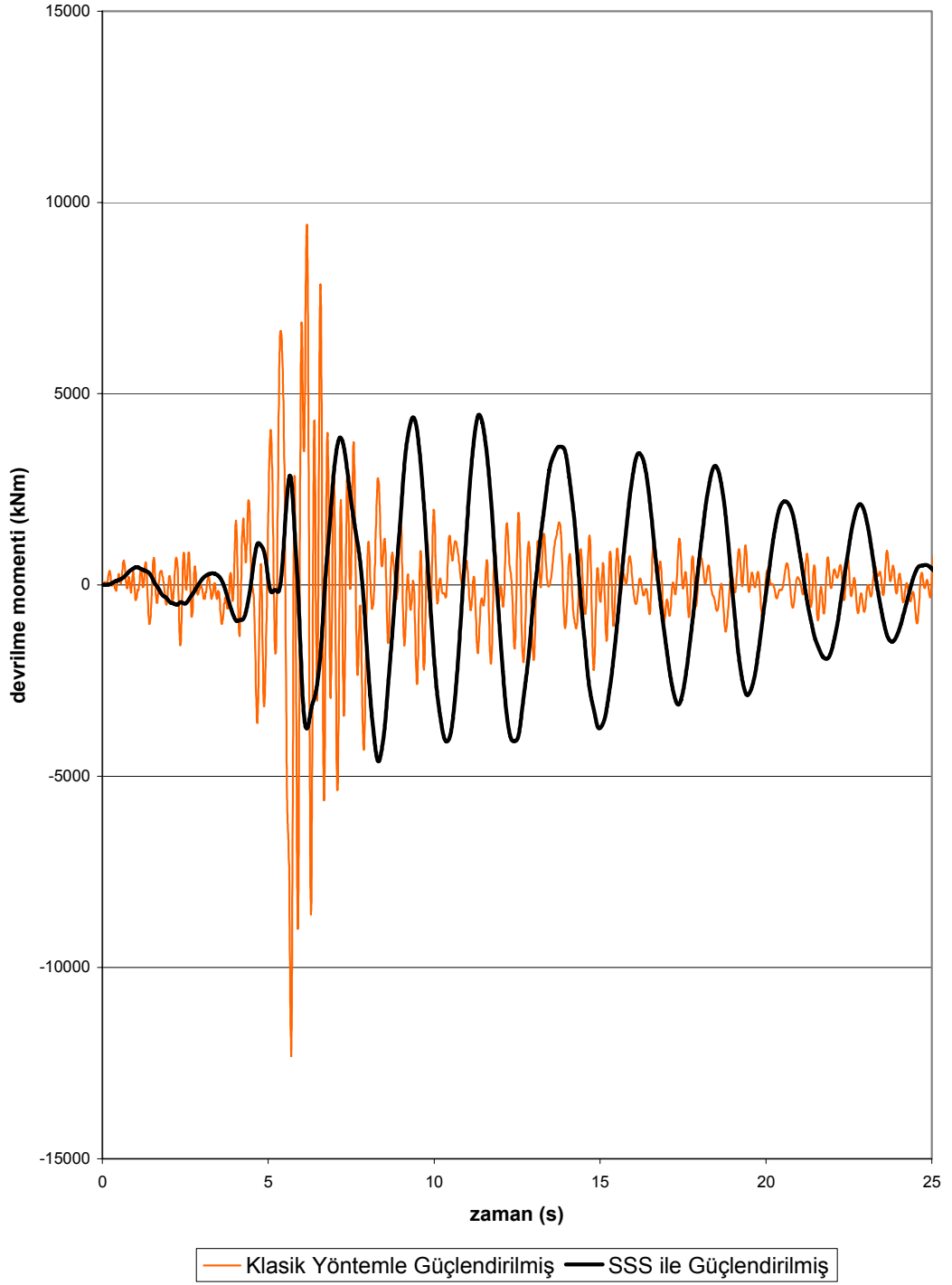
Dursunbey Depremi D-B Kaydı Hastane Binası



Şekil A.16 : Hastane Binası Dursunbey Depremi D-B kaydı taban kesme kuvveti

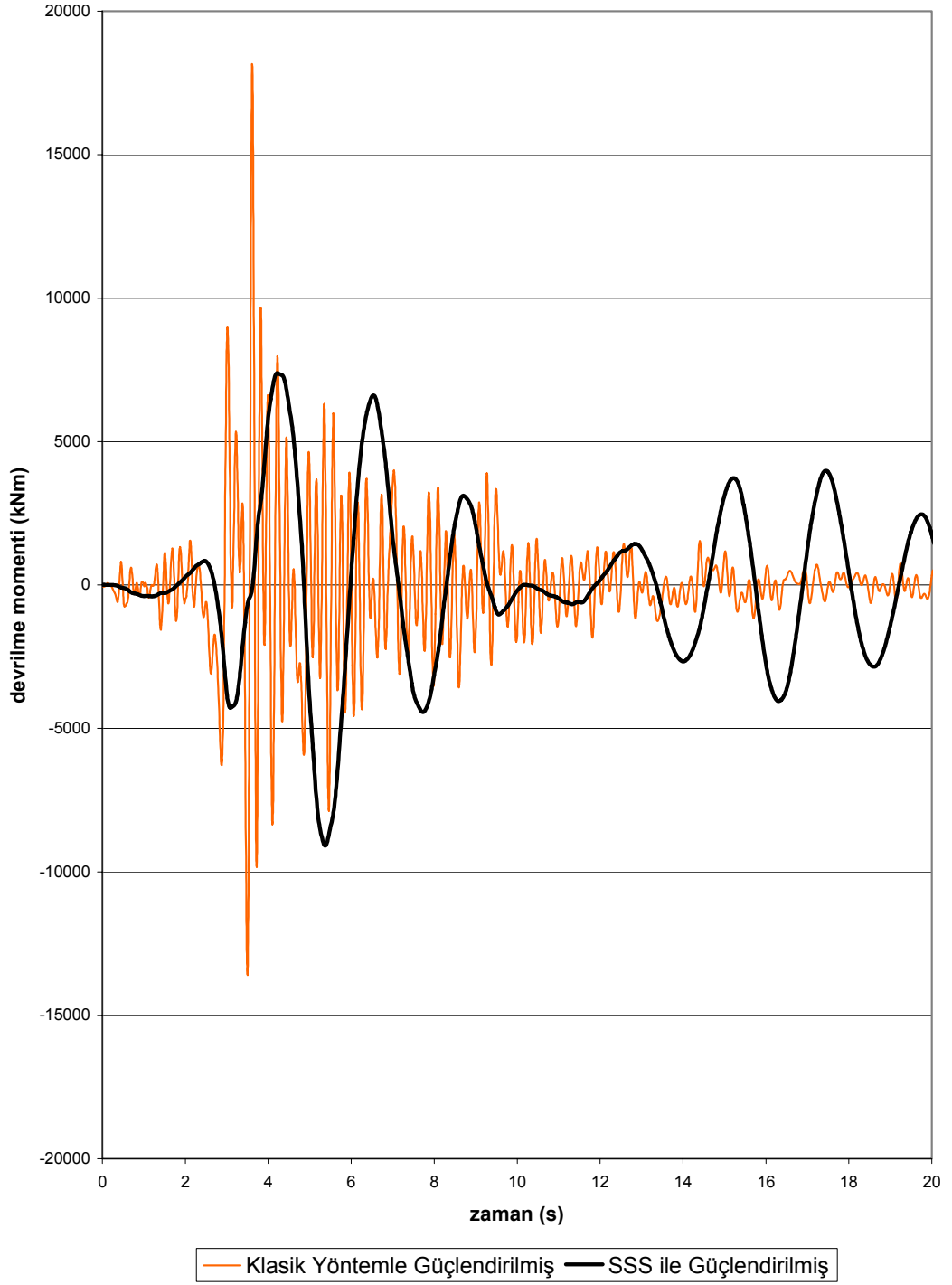
EK-B : TABAN DEVRİLME MOMENTLERİ

Düzce Depremi Bolu D-B Kaydı Konut Binası



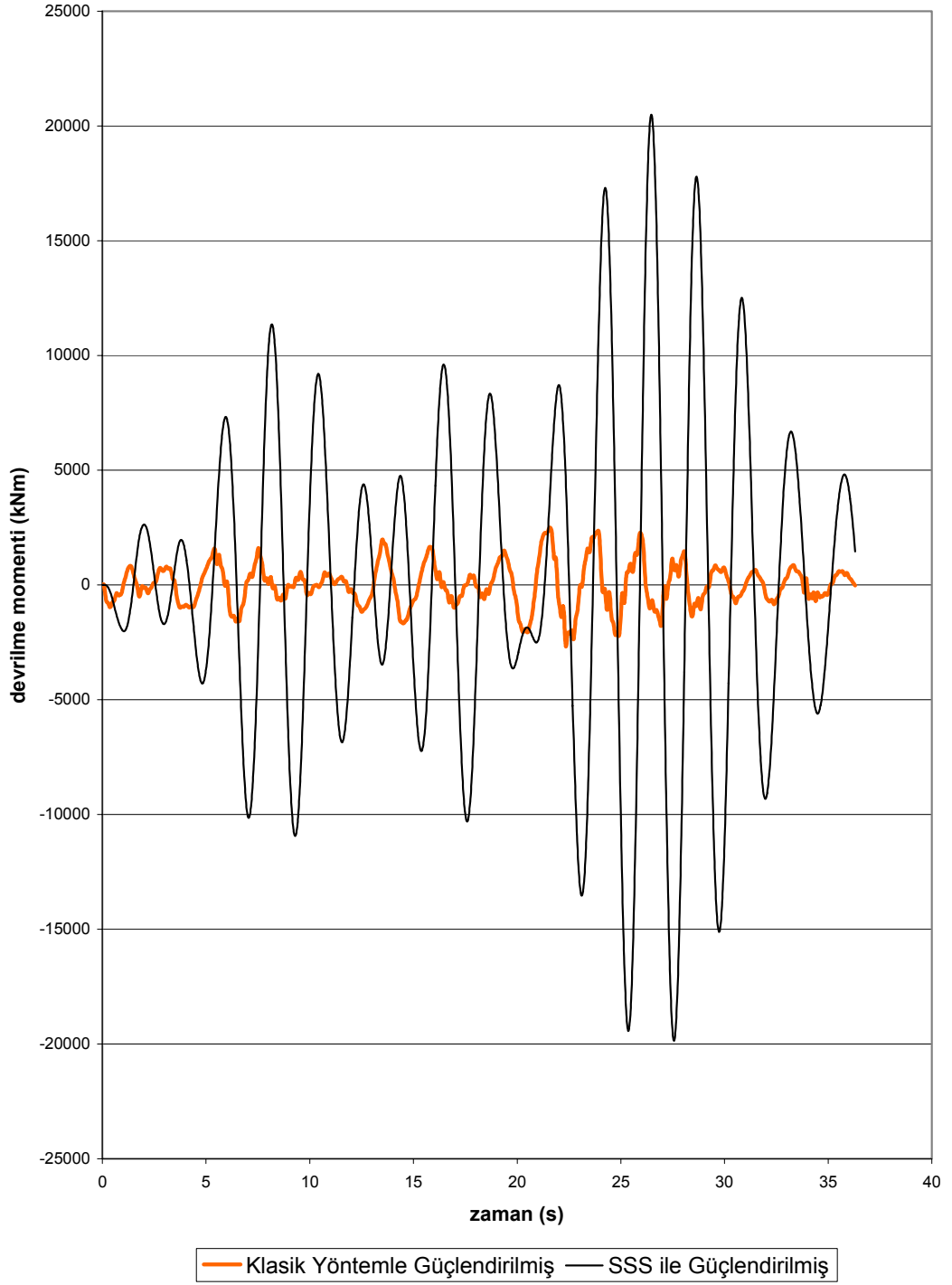
Şekil B.1 : Konut Binası Düzce Depremi D-B kaydı taban devrilme momenti

Erzincan Depremi D-B Kaydı Konut Binası



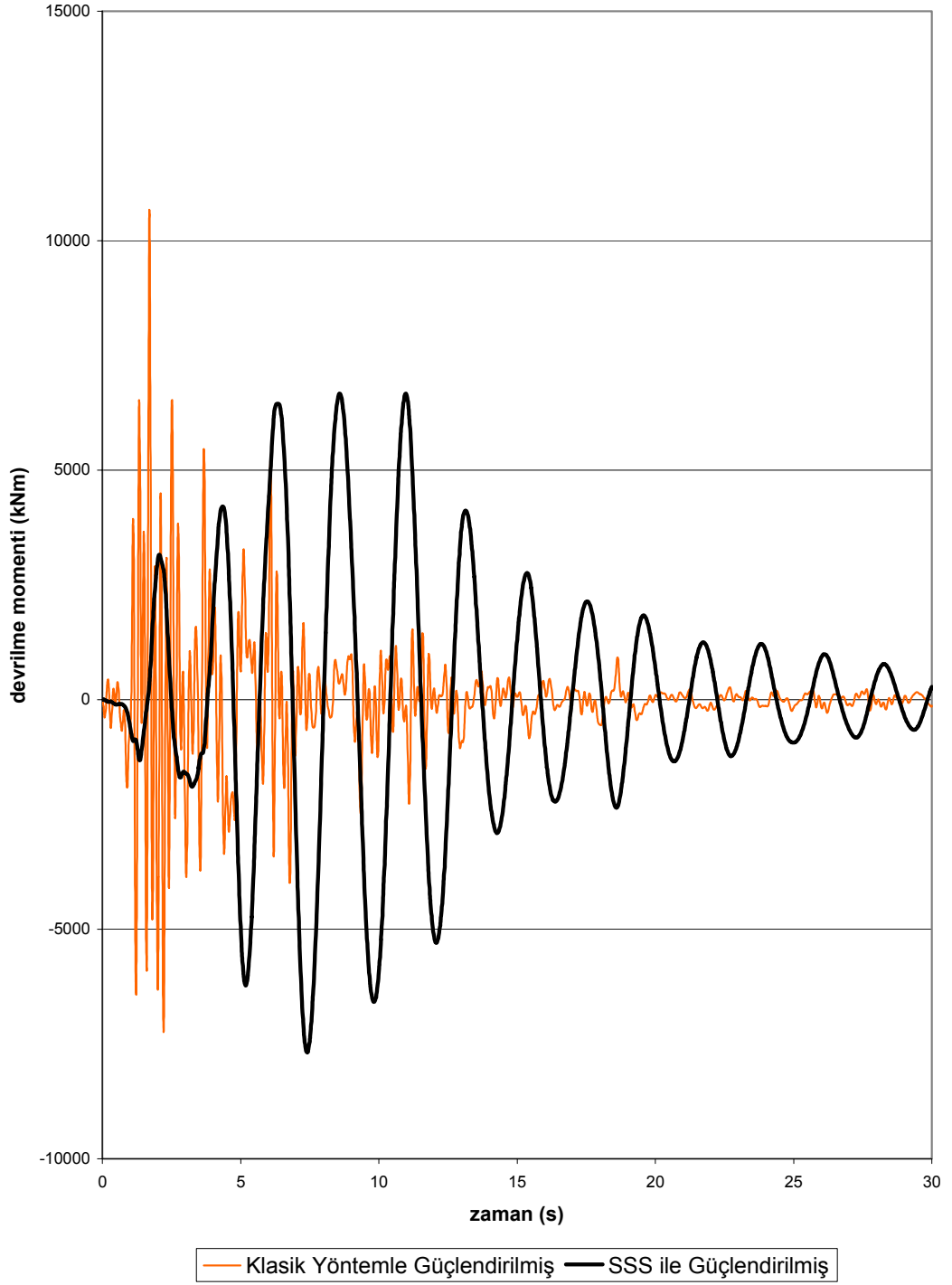
Şekil B.2 : Konut Binası Erzincan Depremi D-B kaydı taban devrilme momenti

MexicoCity Depremi K-G Kaydı Konut Binası



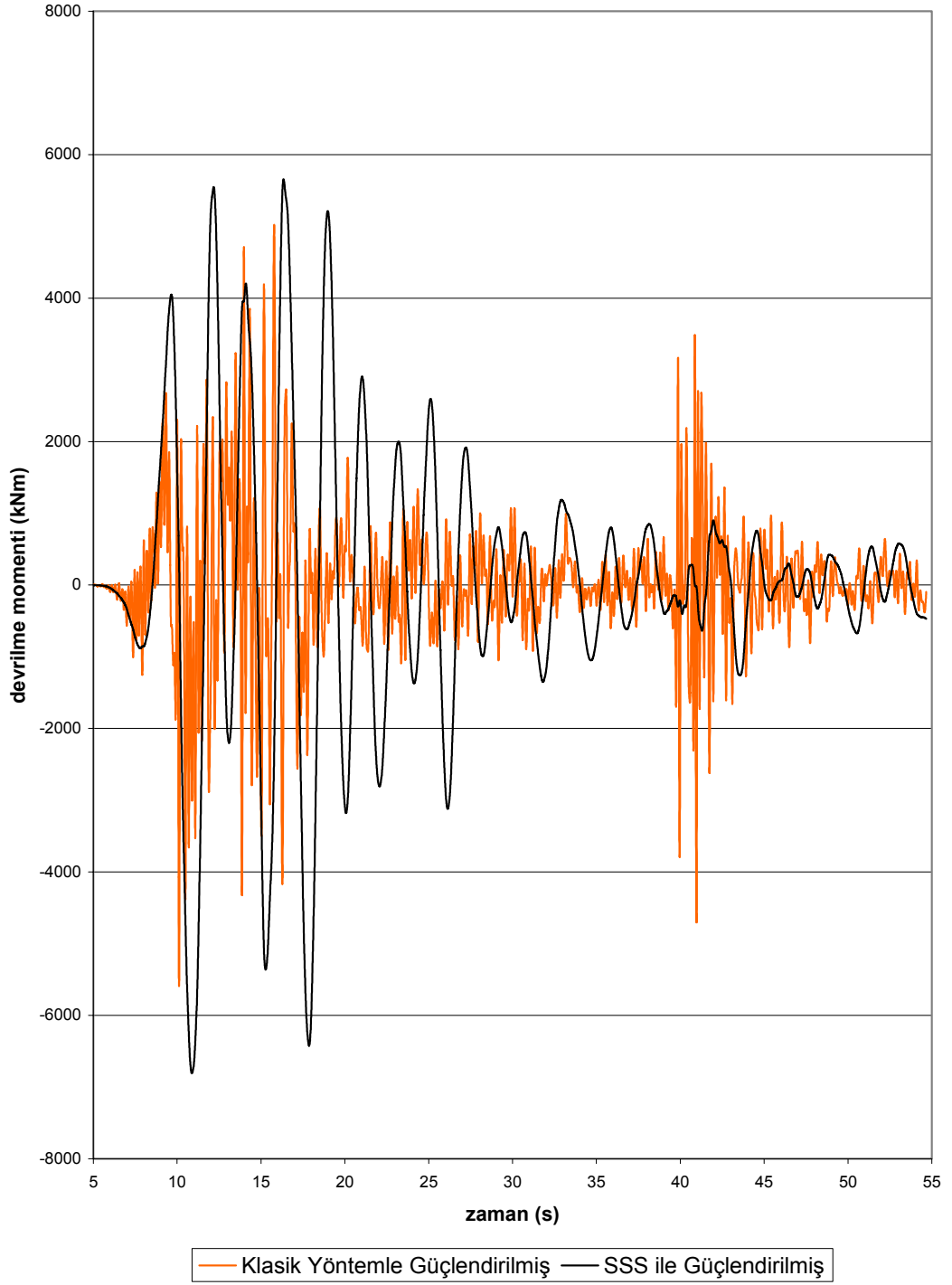
Şekil B.3 : Konut Binası Mexico City Depremi K-G kaydı taban devrilme momenti

Kobe Depremi D-B Kaydı Konut Binası



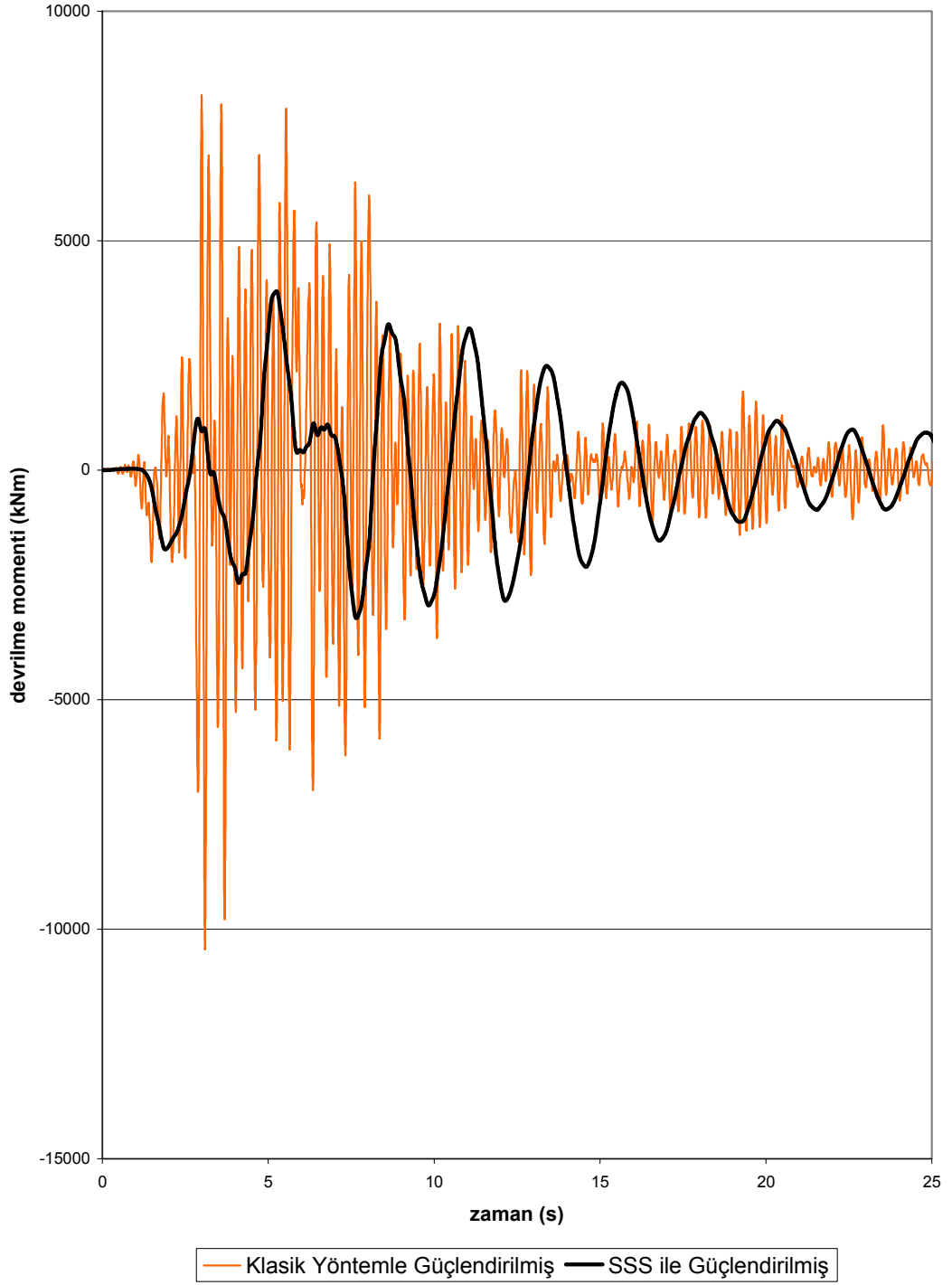
Şekil B.4 : Konut Binası Kobe Depremi D-B kaydı taban devrilme momenti

Kocaeli Depremi Yarımca D-B Kaydı Konut Binası



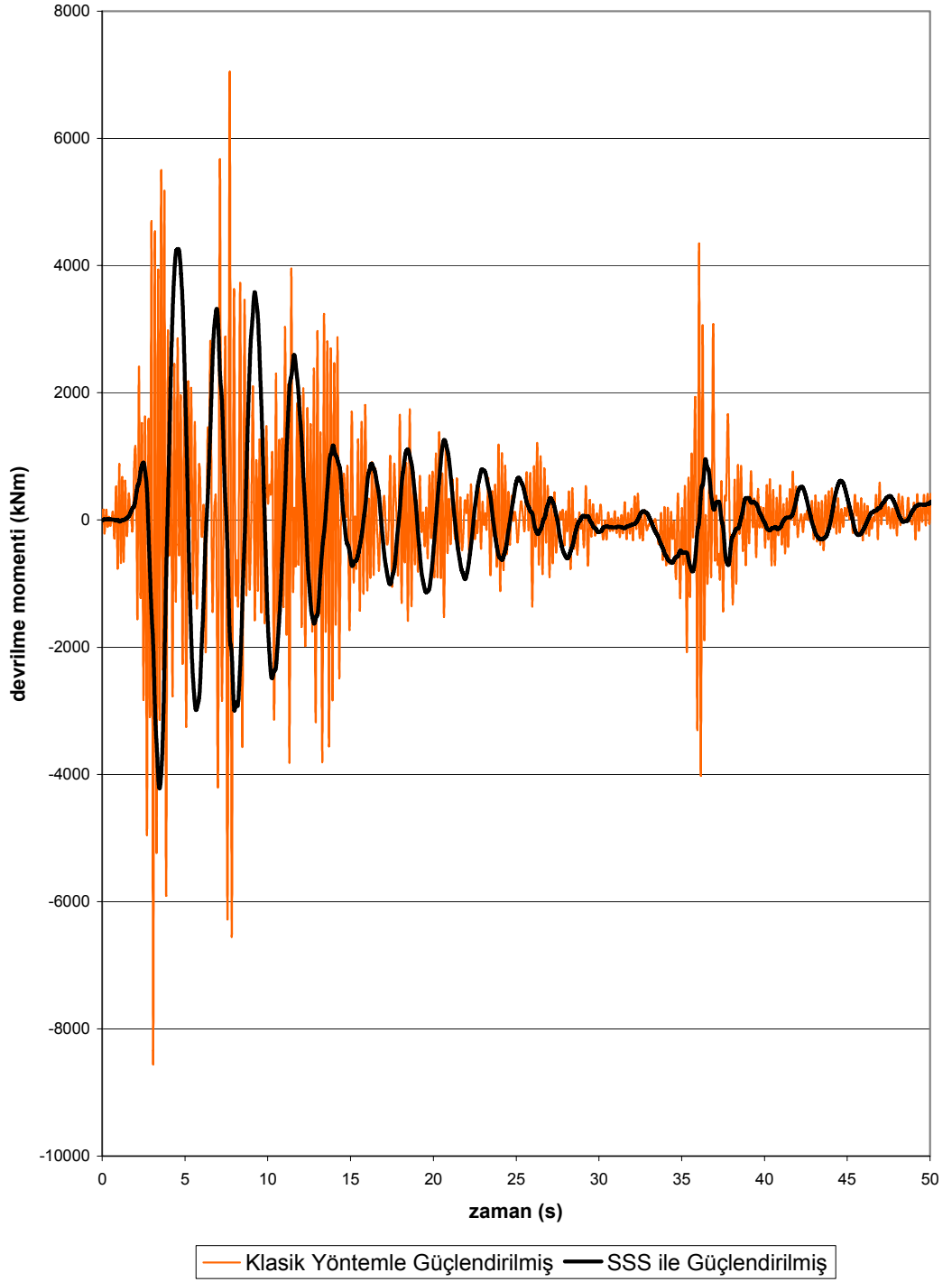
Şekil B.5 : Konut Binası Kocaeli Depremi Yarımca D-B kaydı taban devrilme momenti

Kocaeli Depremi Sakarya D-B Kaydı Konut Binası



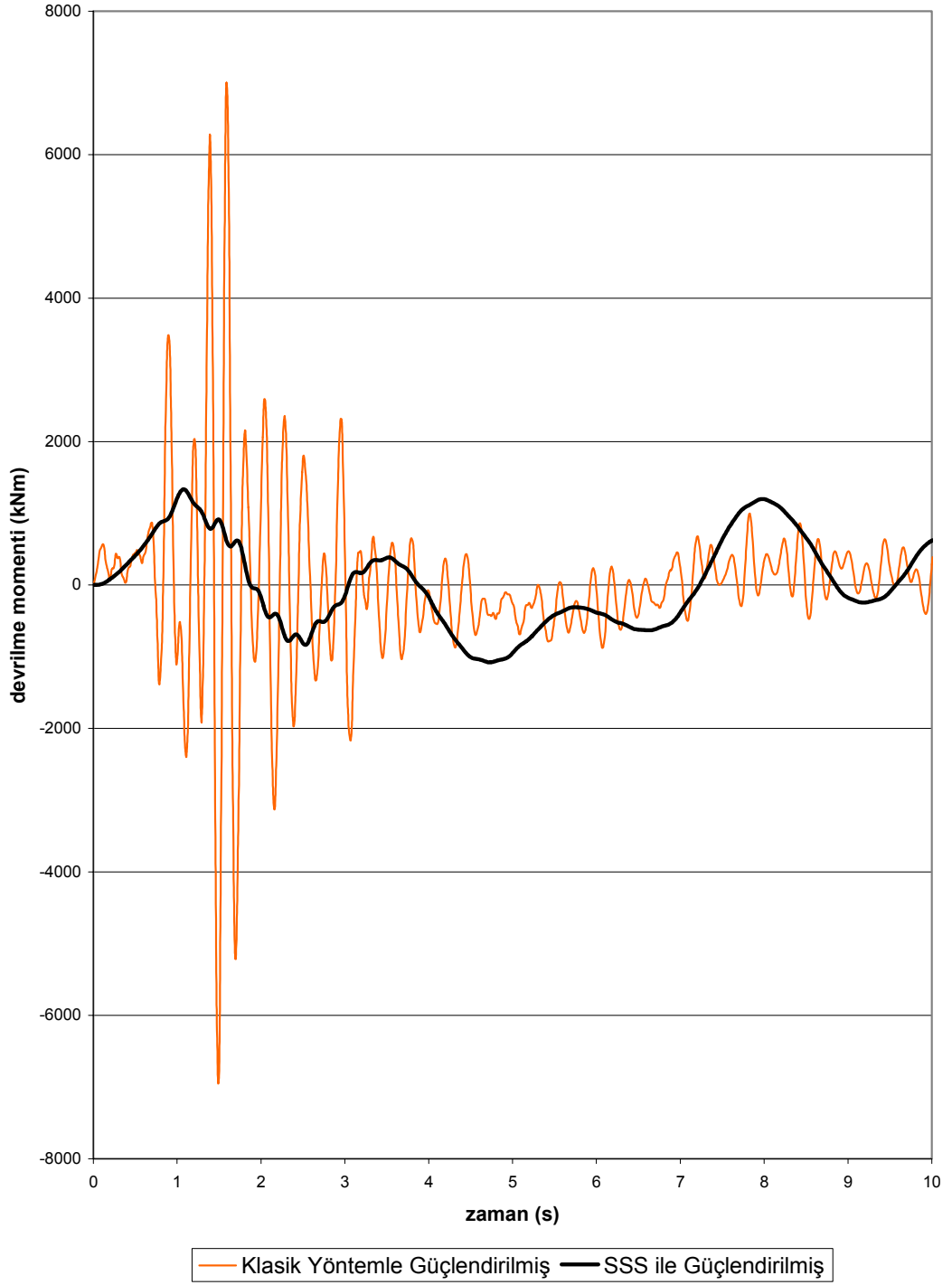
Şekil B.6 : Konut Binası Kocaeli Depremi Sakarya D-B kaydı taban devrilme momenti

Kocaeli Depremi İzmit D-B Kaydı Konut Binası



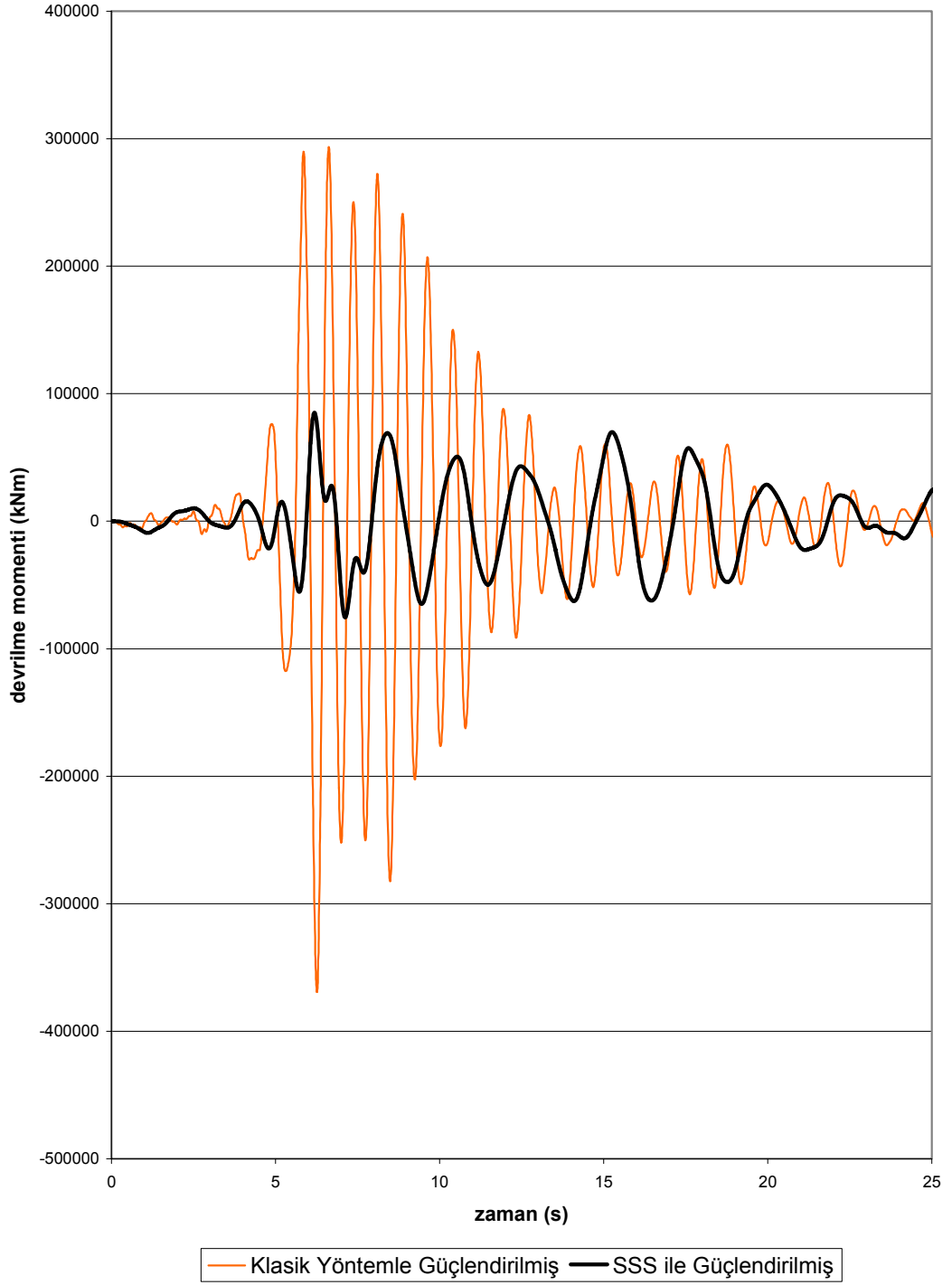
Şekil B.7 : Konut Binası Kocaeli Depremi İzmit D-B kaydı taban devrilme momenti

Dursunbey Depremi D-B Kaydı Konut Binası



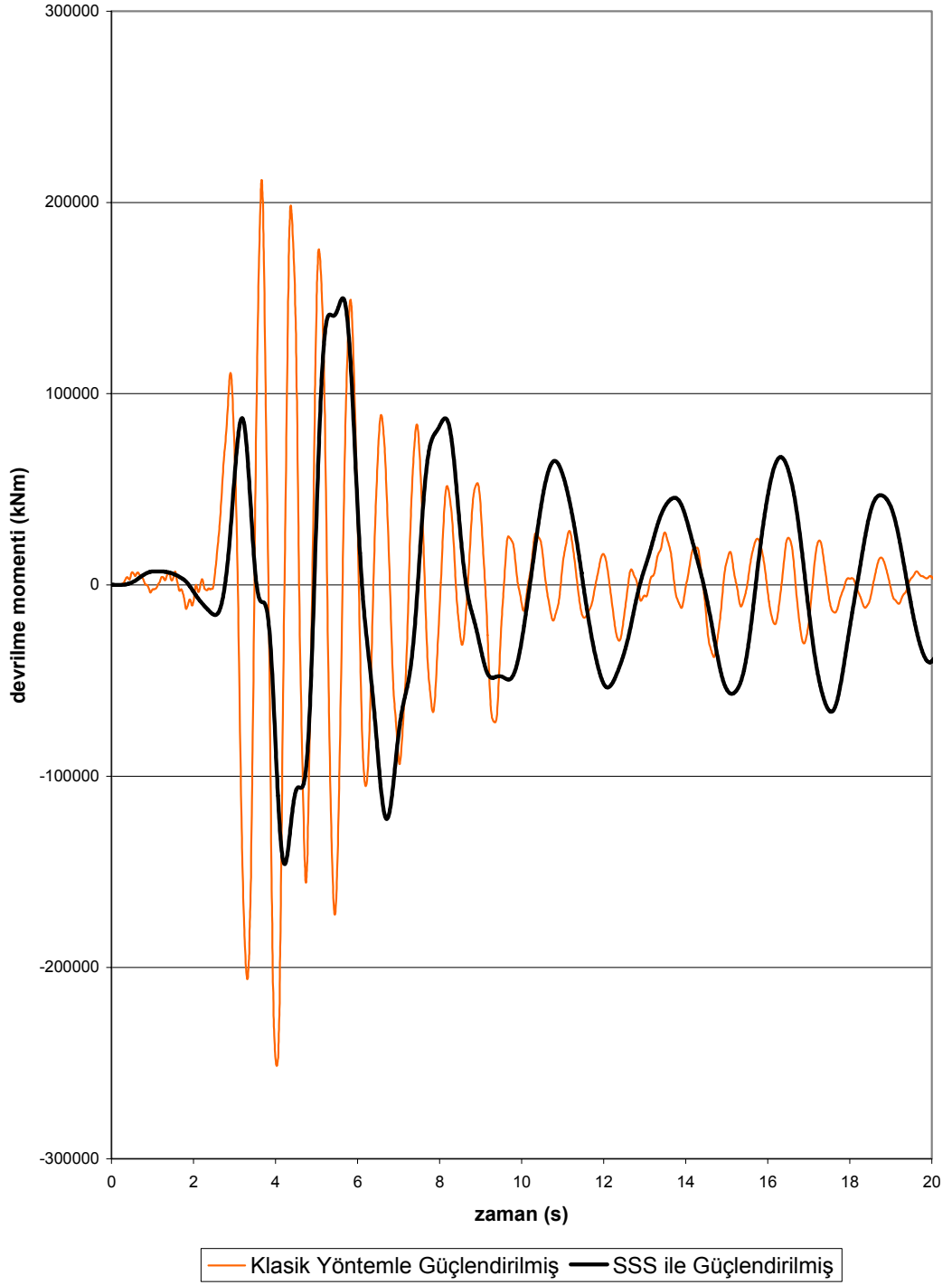
Şekil B.8 : Konut Binası Dursunbey Depremi D-B kaydı taban devrilme momenti

Düzce Depremi Bolu D-B Kaydı Hastane Binası



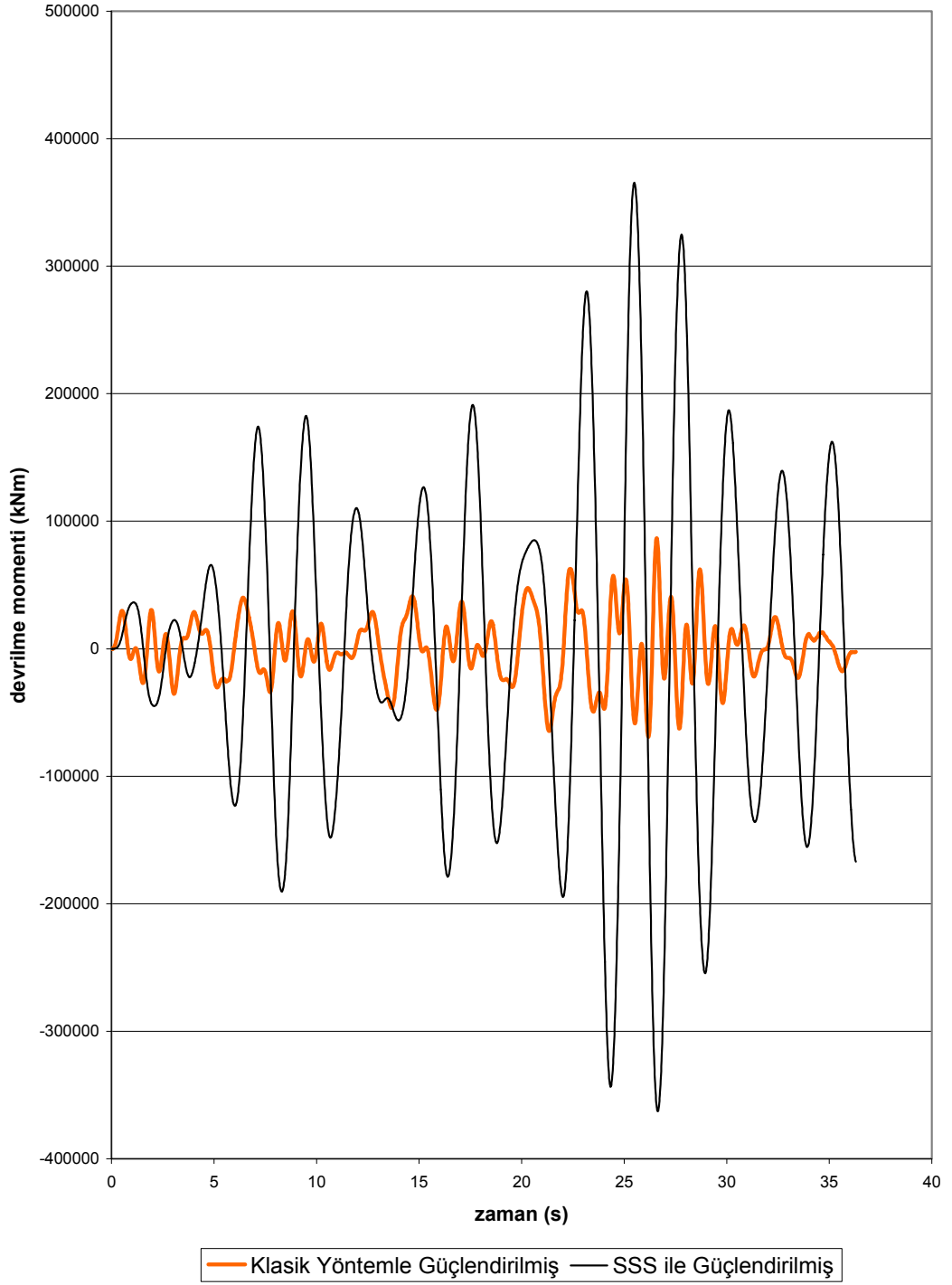
Şekil B.9 : Hastane Binası Düzce Depremi Bolu D-B kaydı taban devrilme momenti

Erzincan Depremi D-B Kaydı Hastane Binası



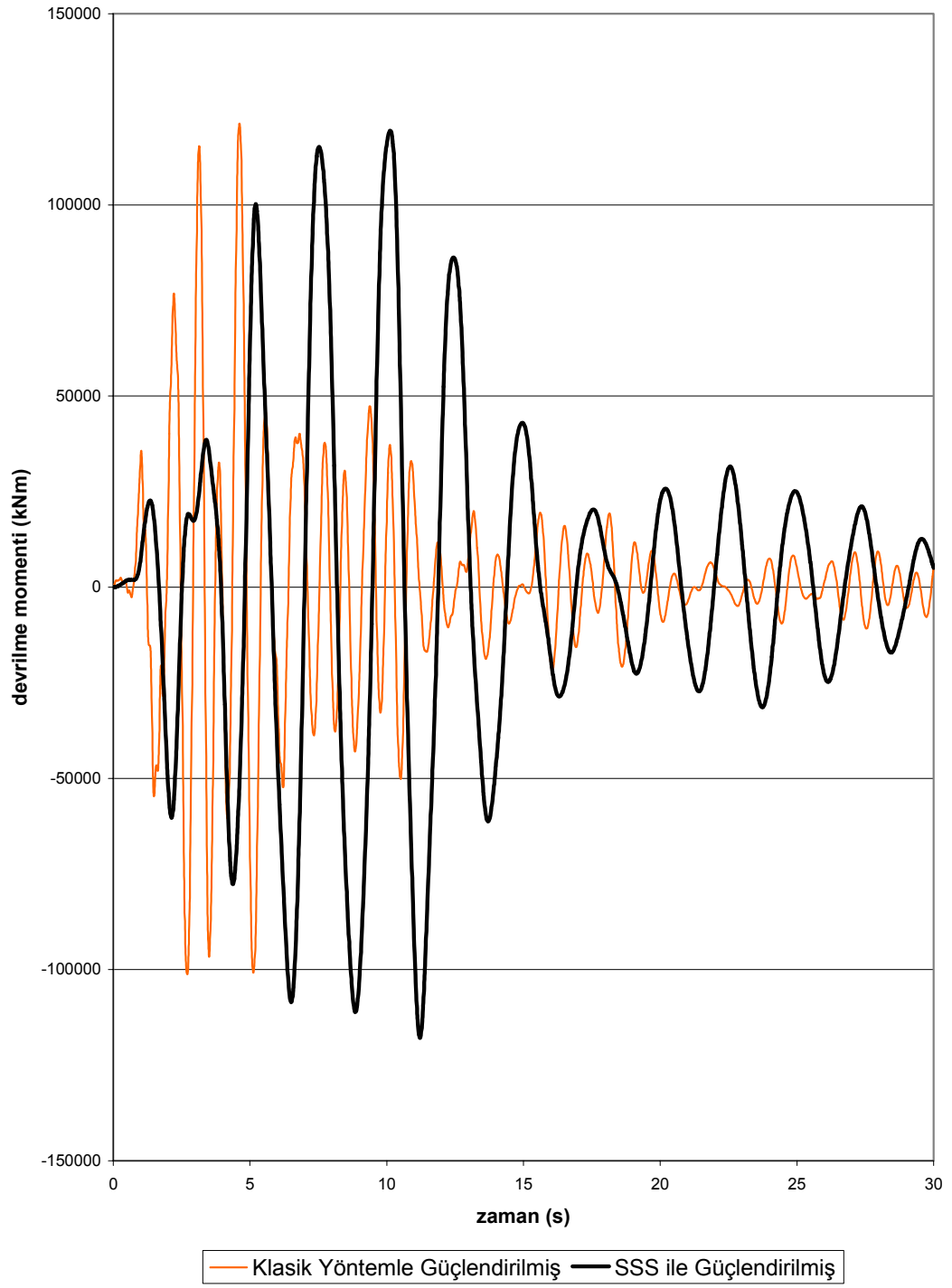
Şekil B.10 : Hastane Binası Erzincan Depremi D-B kaydı taban devrilme momenti

MexicoCity Depremi K-G Kaydı Hastane Binası



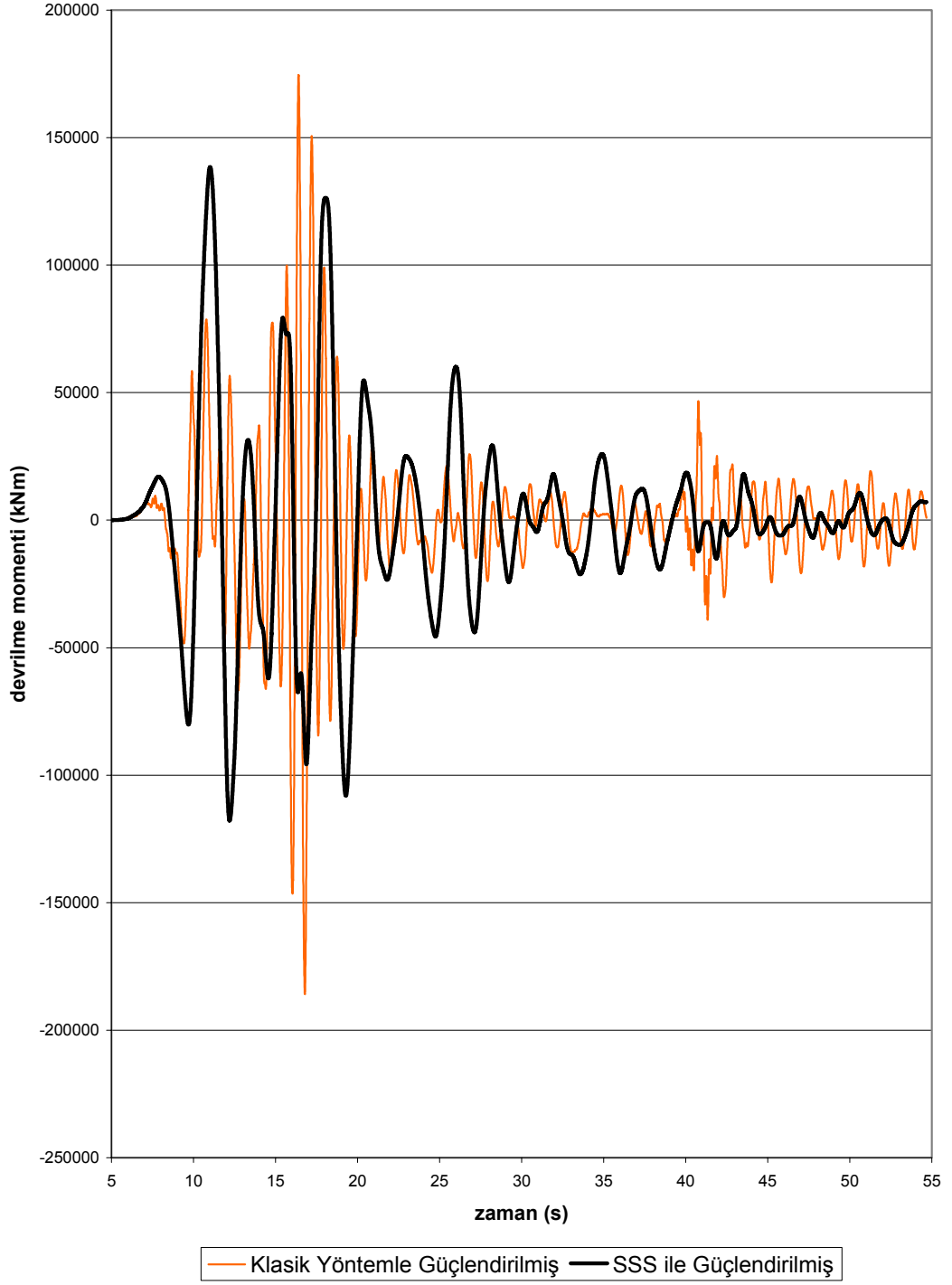
Şekil B.11 : Hastane Binası Mexico City Depremi K-G kaydı taban devrilme momenti

Kobe Depremi D-B Kaydı Hastane Binası



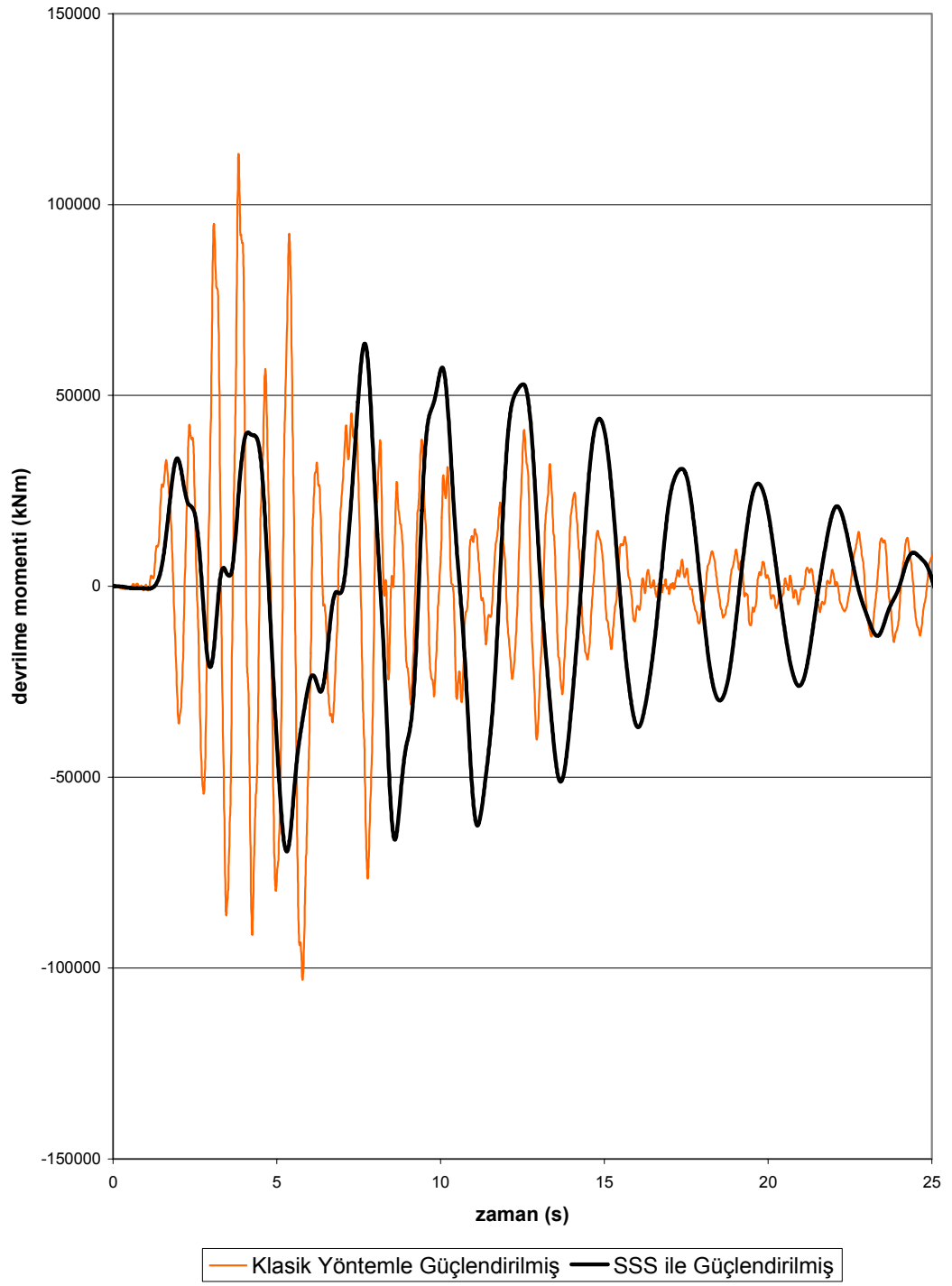
Şekil B.12 : Hastane Binası Kobe Depremi D-B kaydı taban devrilme momenti

Kocaeli Depremi Yarımca D-B Kaydı Hastane Binası



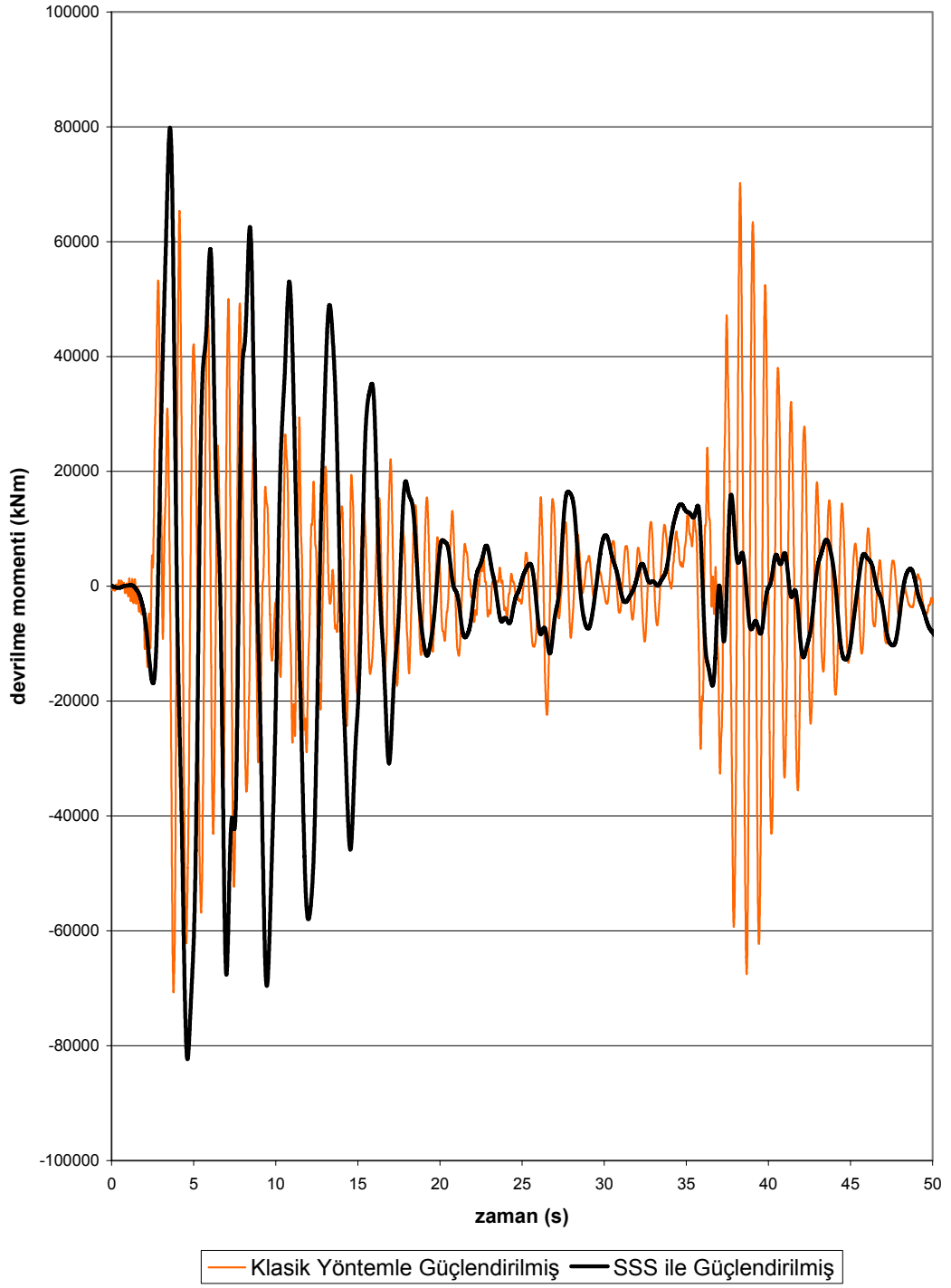
Şekil B.13 : Hastane Binası Kocaeli Depremi Yarımca D-B kaydı taban devrilme momenti

Kocaeli Depremi Sakarya D-B Kaydı Hastane Binası



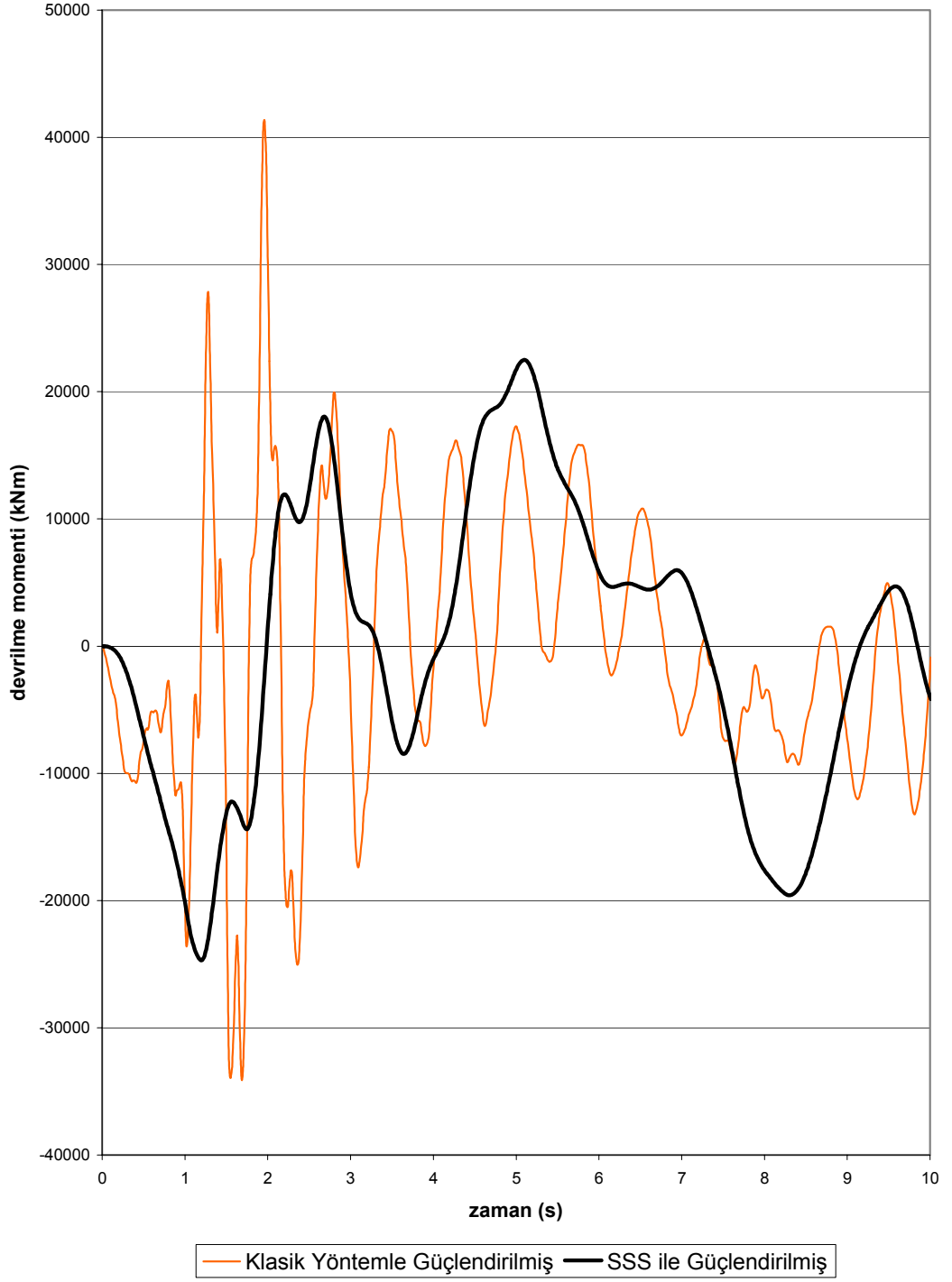
Şekil B.14 : Hastane Binası Kocaeli Depremi Sakarya D-B kaydı taban devrilme momenti

Kocaeli Depremi İzmit D-B Kaydı Hastane Binası



Şekil B.15 : Hastane Binası Kocaeli Depremi İzmit D-B kaydı taban devrilme momenti

Dursunbey Depremi D-B Kaydı Hastane Binası



Şekil B.16 : Hastane Binası Dursunbey Depremi D-B kaydı taban devrilme momenti

ÖZGEÇMİŞ

Oğuzhan Ayhan 01.01.1982’de Kocaeli’de doğdu. Lise öğrenimini Atafen Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 1999–2000 döneminde İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’ne başladı ve 2004 Haziran’da mezun oldu. 2004–2005 döneminde İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı Yapı Mühendisliği Yüksek Lisans programına kaydoldu.