

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

83268

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

VİSKOELASTİK TABAN İZOLASYONLU BİNALARIN
LİNEER OLMAYAN DİNAMİK ANALİZİ

İnş. Müh. Şevket ATEŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İnşaat Yüksek Mühendisi”
Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28.07.1999

Tezin Savunma Tarihi : 02.09.1999

83268

Tez Danışmanı : Prof. Dr. A. Aydın DUMANOĞLU

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ahmet DURMUŞ

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Muzaffer DOĞAN

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Asım KADIOĞLU

TEZ YAKINLAŞTIRMA
DOKÜMANI
Trabzon 1999

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Zemin-yapı etkileşiminin önemi bilinmektedir. Pratikte, yapılar modellenirken genellikle ankastre tabanlı olarak ele alınmaktadır. Bu durum, yapı ile zemin arasında var olan etkileşiminin ihmal edilmesidir. Bu etkileşimin ihmal edilmesinin sakıncalı olabileceği bilinmektedir. Yer hareketi zemin ortamı aracılığı ile yapı sistemine aktarılmaktadır. Zeminden yapıya aktarılan etki ne kadar büyük olursa yapının tepkisi de o kadar büyük olur. Zemin-yapı etkileşimi olarak tanımlanan bu olay zeminden yapıya ve yapıdan zemine enerji aktarılması biçiminde yorumlanabilir. Zemin ile yapı arasındaki etkileşimin azalmasıyla yer hareketinin yapıda meydana getireceği etkilerinden yapı sisteminin korunabileceği anlamı ortaya çıkmaktadır. Bu amaca yönelik olarak yapı tabanı zeminden izolasyon işlemleri ile ayrılmaktadır. Bunun sonucunda, yer hareketlerinden dolayı yapı üzerinde meydana gelebilecek etkiler azaltılmış olacaktır. Böylece yapıların depremden daha az etkilenmesi sağlanmış olacaktır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, binaların zeminden ayrılmasını sağlayan izolasyon tekniklerinin araştırılmasını içermektedir. "Viskoelastik Taban İzolasyonlu Binaların Lineer Olmayan Dinamik Analizi" adlı bu çalışmayı bana öneren ve çalışmanın başlangıcından sonuna kadar benimle ilgilenen ve bana bilimsel çalışma disiplini veren danışman hocam, Sayın Prof. Dr. A. Aydın DUMANOĞLU'na minnet ve şükranlarımı sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca bana emeği geçen tüm hocalarımı saygıyla anar, kendilerine minnettar olduğumu belirtirim.

Çalışmam sırasında bana büyük destek veren ve çeşitli konularda yardımlarını gördüğüm, Sayın Doç. Dr. Alemdar BAYRAKTAR, Araş. Gör. Murat MUVAFIK, Araş. Gör. Kurtuluş SOYLUK, Araş. Gör. Mehmet AKKÖSE ve Araş. Gör. Süleyman ADANUR'a teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım süresince en büyük desteği veren ailemin tüm fertlerine teşekkür eder, bu çalışmanın ülkemize faydalı olmasını temenni ederim.

Trabzon, Temmuz 1999

Şevket ATEŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET.....	IX
SUMMARY.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ	XXVI
SEMBOLLER DİZİNİ	XXVII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.1.1. Sismik Taban İzolasyonunda Tarihsel Gelişim.....	1
1.2. Taban İzolasyon Sistemleri	3
1.2.1. Tabakalı Kauçuk Mesnet (TKM) Sistemi	3
1.2.2. Yeni Zelanda Mesnet (YZM) Sistemi.....	5
1.2.3. Sürtünmeli (S) Sistem	6
1.2.4. Elastik-Sürtünmeli Taban İzolasyon (ESTİ) Sistemi	7
1.2.5. Fransız Elektrik (FE) Sistemi.....	9
1.2.6. Kaygan Elastik Sürtünmeli (KES) Sistem	10
1.2.7. Sürtünmeli Sarkaç(SS) Sistem	11
1.2.8. Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet (YSKM) Sistemi.....	11
1.3. Taban İzolasyonlu Yapılar İle İlgili Daha Önce Yapılan Çalışmalar	13
1.4. Taban İzolasyon Elemanlarının Modellenmesi.....	25
1.4.1. Lineer Elastik Elemanlar	25
1.4.2. Lineer Viskoz Elemanlar.....	25
1.4.3. İki Eksenli İzolatör Modeli	25

1.4.3.1. Kayıcı Mesnetler için İki Eksenli Model	26
1.4.3.2. Kauçuk Mesnetlerin İki Eksenli Modeli	27
1.4.4. Tek Eksenli İzolatör Modeli.....	28
1.4.5. Lineer Olmayan Sönüm Elemanı	28
1.4.6. Sürtünmeli Sarkaç Sistem Modeli.....	30
1.4.7. Kauçuk izolasyon Modeli	32
1.5. Taban İzolasyonlu Yapıların Hareket Denklemi.....	33
1.6. Taban İzolasyonlu Yapıların Hareket Denklemine Ait Çözüm Algoritması	36
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	40
2.1. Giriş.....	40
2.2. Kalıp Planı.....	40
2.3. Kolonlar.....	43
2.4. Kirişler.....	43
2.5. Döşemler	43
2.6. Yer Hareketi	43
2.7. Taban İzolasyon Sistemleri	46
2.7.1. Sürtünmeli Sarkaç Sistemler	46
2.7.1.1. Tecment-B Mesnet Malzemesi.....	46
2.7.1.2. Örülmüş Teflon Mesnet Malzemesi	46
2.7.1.3. Sürtünme Katsayısı	48
2.7.2. Kauçuk Mesnet Sistemi.....	49
2.7.3. Kuvvet-Yerdeğiştirme İlişkileri	50
2.7.3.1. Sürtünmeli Sarkaç için Kuvvet-Yerdeğiştirme İlişkisi	50
2.7.3.2. Kauçuk Mesnetler için Kuvvet-Yerdeğiştirme İlişkisi	51
3. BULGULAR	52
3.1. Giriş.....	52
3.2. Üç Boyutlu Bina için Elde Edilen Bulgular	52
3.2.1. El-Centro Depremi Kullanılarak Elde Edilen Bulgular	53

3.2.1.1. Sürtünmeli Sarkaç Sistem ile Yapılan İzolasyon için Elde edilen	
Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri	53
3.2.1.1.1. Kat ve Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri.....	53
3.2.1.1.2. Taban ve Kat Kesme Kuvvetleri.....	54
3.2.1.1.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki	
İlişki.....	59
3.2.1.2. Kauçuk Mesnet Sistem ile Yapılan İzolasyon için Elde Edilen	
Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri.....	60
3.2.1.2.1. Kat ve Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri.....	61
3.2.1.2.2. Taban ve Kat Kesme Kuvvetleri.....	61
3.2.1.2.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki	
İlişki.....	61
3.2.1.3. Lineer Sönümlü Kauçuk Mesnet(LSKM) Sistemi ile İzolasyonda	
Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri.....	67
3.2.1.3.1. Kat ve Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri.....	67
3.2.1.3.2. Taban ve Kat Kesme Kuvvetleri.....	67
3.2.1.3.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki	
İlişki.....	67
3.2.1.4. Lineer Olmayan Sönümlü Kauçuk Mesnet(LOSKM) Sistem ile	
Yapılan İzolasyonda Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri.....	73
3.2.1.4.1. Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri.....	74
3.2.1.4.2. Taban Kesme Kuvvetleri.....	74
3.2.1.4.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki....	74
3.2.2. Erzincan Depremi Kullanılarak Elde Edilen Bulgular	76
3.2.2.1. Sürtünmeli Sarkaç Sistem ile Yapılan İzolasyon için Elde Edilen	
Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri.....	76
3.2.2.1.1. Kat ve Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri.....	76
3.2.2.1.2. Kat ve Taban Kesme Kuvvetleri.....	76

3.2.2.1.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki.....	77
3.2.2.2. Kauçuk Mesnet Sistem ile Yapılan İzolasyon için Elde Edilen Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri.....	83
3.2.2.2.1. Kat ve Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri.....	83
3.2.2.2.2. Kat ve Taban Kesme Kuvvetleri.....	83
3.2.2.2.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki.....	83
3.2.2.3. Lineer Sönümlü Kauçuk Mesnet Sistemi ile İzolasyonda Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri.....	89
3.2.2.3.1. Kat ve Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri.....	89
3.2.2.3.2. Kat ve Taban Kesme Kuvvetleri.....	89
3.2.2.3.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki.....	89
3.2.2.4. Lineer Olmayan Sönümlü Kauçuk Mesnet Sistem ile İzolasyonda Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri.....	95
3.2.2.4.1. Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri.....	95
3.2.2.4.2. Taban Kesme Kuvvetleri.....	95
3.2.2.4.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki.....	96
3.3. Üç Boyutlu Perdeli Bina için Elde Edilen Bulgular.....	98
3.3.1. Giriş.....	98
3.3.2. El-Centro Depremi Kullanılarak Elde Edilen Bulgular	98
3.3.2.1. Sürtünlü Sarkaç Sistem ile Yapılan İzolasyon için Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri.....	98
3.3.2.1.1. Kat ve Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri.....	99
3.3.2.1.2. Kat ve Taban Kesme Kuvvetleri.....	99
3.3.2.1.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki.....	99

3.3.2.2. Kauçuk Mesnet Sistem ile Yapılan İzolasyon için	
Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri.....	106
3.3.2.2.1. Kat ve Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri.....	107
3.3.2.2.2. Taban ve Kat Kesme Kuvvetleri.....	107
3.3.2.2.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki.....	107
3.3.2.3. Lineer Sönümlü Kauçuk Mesnet (LSKM) Sistem ile İzolasyonda	
Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri.....	113
3.3.2.3.1. Kat ve Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri.....	113
3.3.2.3.3. Taban ve Kat Kesme Kuvvetleri.....	113
3.3.2.3.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki.....	113
3.3.2.4. Lineer Olmayan Sönümlü Kauçuk Mesnet Sistem ile İzolasyonda	
Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri.....	119
3.3.2.4.1. Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri.....	119
3.3.1.4.2. Taban Kesme Kuvvetleri.....	119
3.3.2.4.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki.....	120
3.3.3. Erzincan Depremi Kuılamı olarak Elde Edilen Bulgular	122
3.3.3.1. Sürtünlü Sarkaç Sistem ile Yapılan İzolasyon için	
Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri.....	122
3.3.3.1.1. Kat ve Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri.....	122
3.3.3.1.2. Taban ve Kat Kesme Kuvvetleri.....	122
3.3.3.1.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki.....	122
3.3.3.2. Kauçuk Mesnet Sistem ile Yapılan İzolasyon için Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri.....	128
3.3.3.2.1. Kat ve Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri.....	128
3.3.3.2.2. Kat ve Taban Kesme Kuvvetleri.....	128

3.3.3.2.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki.....	128
3.3.3.3. Lineer Sönümlü Kauçuk Mesnet Sistem ile İzolasyonda Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri.....	134
3.3.3.3.1. Kat ve Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri.....	134
3.3.3.3.2. Taban ve Kat Kesme Kuvvetleri.....	134
3.3.3.3.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki.....	134
3.3.3.4. Lineer Olmayan Sönümlü Kauçuk Mesnet Sistem ile İzolasyonda Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri.....	140
3.3.3.4.1. Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri.....	140
3.3.3.4.2. Taban Kesme Kuvvetleri.. ..	140
3.3.3.4.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki.....	140
4. İRDELEME.....	143
4.1. El-Centro Depremi Kullanılarak Elde Edilen Bulguların İrdelenmesi	143
4.1.1. Üç Boyutlu Perdesiz Binalar	143
4.1.2. Üç Boyutlu ve Perdeli Binalar	145
4.2. Erzincan Depremi Kullanılarak Elde edilen Bulguların İrdelenmesi.....	147
4.2.1. Üç Boyutlu Perdesiz Binalar	147
4.2.2. Üç Boyutlu ve Perdeli Binalar	149
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	151
6. KAYNAKLAR.....	153
7. ÖZGEÇMİŞ.....	160

ÖZET

Bu çalışmada, viskoelastik taban izolasyonlu binaların lineer olmayan dinamik analizi sürtünmeli ve kauçuk izolasyon sistemleri kullanılarak elde edilmektedir.

Bir yapıyı, güçlü deprem kuvvetlerinin meydana getirdiği yer hareketlerinin etkilerinden koruyabilmek, deprem mühendisliği alanında çalışan araştırmacıların ve mühendislerin sürekli gündemlerinde olmuştur. Depremden dolayı yapı üzerinde meydana gelebilecek etkileri azaltmak amacıyla, yerden yapıyı ayıran izolasyon tekniklerinin kullanımı önemli bir odak noktası olmaktadır. Bu amaçla, mühendislikte sismik izolatörler veya taban izolatörleri olarak isimlendirilmekte olan pek çok izolasyon sistemi önerilmektedir.

Binalarda taban izolasyonu yapılmasının faydalarından bir tanesi, izolasyon işlemi yapının frekansını azaltmasıdır. Dolayısıyla, üst yapı rölatif olarak rijit kalabilmektedir. Şekil değiştirmeler daha çok izolatörlerde meydana gelmektedir. Diğer bir faydası ise, frekansın küçülmesi ile ivme spektrumunun azalan bölgesine ulaşılmaktadır. Böylece yapıya etkileyen ivmeler küçülmekte ve tepkileri de buna bağlı olarak azalmaktadır,

Dinamik dış etki olarak 18 Mayıs 1940 El-Centro ve 13 Mart 1992 Erzincan depremleri dikkate alınmaktadır. Analizler sonunda, ankastre tabanlı ve viskoelastik taban izolasyonlu binaların dinamik davranışları karşılaştırılmaktadır.

Bu tez çalışması, yedi bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm, viskoelastik taban izolasyonlu binaların tarihsel gelişimi, daha önce yapılan çalışmalar, viskoelastik taban izolasyonlu binaların dinamik analizleri için gerekli olan hareket denkleminin çıkarılışı, çözüm teknikleri ve çözüm algoritması verilmektedir. İkinci bölümde, seçilen üç boyutlu bina için yapılan çözümler yer almakta olup, bu sistemlere perde etkisi de ilave edilmektedir. Üçüncü bölümde, elde edilen bulgular grafikler yardımıyla değerlendirilmektedir. Dördüncü bölümde, elde edilen bulguların irdelenmesi yapılmaktadır. Beşinci bölümde ise, çalışmadan çıkarılan sonuçlar ve öneriler verilmektedir. Altıncı bölüm, yapılan bu çalışmada kullanılan kaynakları içermektedir. Yedinci bölümde, son bölüm olup çalışmayı yapan kişinin öz geçmişi sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Taban İzolasyonlu Binalar, Lineer Olmayan Analiz, Zaman Artımı Yöntemi, Kuvvet-Yerdeğiştirme İlişkisi, Kauçuk Mesnet, Sürtünmeli Sarkaç

SUMMARY

Nonlinear Dynamic Analysis of Viscoelastic Base Isolated Building Structures

In this study, nonlinear dynamic analysis of viscoelastic base isolated buildings is performed by using frictional pendulum system and lead rubber isolation bearing.

Protecting buildings from damages caused by strong earthquakes have been always in the agenda of the researchers and engineers in the field of earthquake engineering. As a result, the usage of isolation techniques, which isolate the building from the ground, to reduce the effects of the earthquake on the building has become the focus of attention. These isolation devices are called seismic isolators or base isolators in the engineering.

The techniques used in the buildings provide many advantages. Firstly, the process of isolation causes to reduce the fundamental frequency of the superstructure and makes the superstructure less stiffer. The deformation also occurs at the isolators. Therefore, the superstructure remains almost rigid and the resistance of the structure against earthquake ground motion incredibly increases. The second advantage is that transmitted acceleration to the superstructure due to earthquake motion is reduced and the isolation techniques provide flexibility without reducing the safety of the building. This will lead to a known fact that the structure will likely to experience less dynamic forces.

18 May El-Centro and 13 March 1992 Erzincan earthquakes are used as earthquake records in time history analysis. The results obtained are compared. This thesis consists of seven chapters. In the first chapter, the historical development of base isolated structures, the previous works, the formulation and the equation of motion of base isolated structures, the solution algorithm are presented. In the second chapter, the nonlinear dynamic analysis of building structures either base isolated or fixed base, are performed. In addition, the effect of shear walls for these buildings is considered. In the third chapter, the results obtained from the nonlinear dynamic analysis of base isolated buildings using various earthquake records are presented. In the fourth chapter, the results obtained from these analyses are examined. In the fifth chapter, the conclusions and suggestions drawn are explained. In the sixth chapter implies references used in this study. In the seventh chapter, the curriculum vitae of the author of this thesis is presented.

Key Words : Base Isolated Building, Nonlinear Analysis, Time History Analysis, Force-Deformation Curve, Lead Rubber and Frictional Pendulum System

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Tabakalı kauçuk mesnet sisteminin, a) kesiti ve elemanları, b) matematik modeli, c) kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi.....	4
Şekil 2. Yeni Zelanda mesnet sisteminin a) kesiti ve elemanları, b) matematik modeli, c) kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi.....	5
Şekil 3. Sürtünlü sistemin; a) matematik modeli, b) kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi	6
Şekil 4. Elastik sürtünlü taban izolasyon sisteminin; a) kesiti ve elemanları, b) matematik modeli, c) kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi.....	8
Şekil 5. Fransız elektrik sisteminin; a) matematik modeli, b) kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi	9
Şekil 6. Kaygan elastik sürtünlü sisteminin; a) matematik modeli, b) kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi	10
Şekil 7. Sürtünlü sarkaç sisteminin kesiti ve görünüşü	11
Şekil 8. Yüksek sönümlü kauçuk mesnet sisteminin; a) kesiti ve elemanları, b) kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi.....	12
Şekil 9. Çok serbestlik dereceli taban izolasyonlu yapı modeli	13
Şekil 10. Lineer olmayan viskoz söndürücünün kuvvet-hız eğrisi.....	29
Şekil 11. Basit sarkaç hareketinin kayıcı ve sürtünlü sarkaç sistemine dönüşü	30
Şekil 12. Sürtünlü sarkaç sisteminin kesiti.....	31
Şekil 13. Çok serbestlik dereceli taban izolasyonlu bir yapının yerdeğiştirme koordinatları	34
Şekil 14. Üç boyutlu binanın kesiti ve kalıp planı.....	42
Şekil 15. 18 Mayıs 1940 El-Centro depreminin kuzey-güney bileşeni.....	45
Şekil 16. 13 Mart 1992 Erzincan depreminin doğu-batı bileşeni.....	45
Şekil 17. Sürtünlü sarkaç sistemlerin çeşitli yerleşim detayları	47
Şekil 18. Sürtünme katsayısının mesnet basıncı ile değişimi.....	49

Şekil 19. Sürtünmeli sarkaç sistemlerde kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi.....	50
Şekil 20. Kauçuk mesnet sistemlerinde kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi.....	51
Şekil 21. El-Centro depremi için sürtünmeli sarkaç izolasyon sistemi ile kat kütle merkezine göre, 1. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	55
Şekil 22. El-Centro depremi için sürtünmeli sarkaç izolasyon sistemi ile kat kütle merkezine göre, 2. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	55
Şekil 23. El-Centro depremi için sürtünmeli sarkaç izolasyon sistemi ile kat kütle merkezine göre, 3. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	56
Şekil 24. El-Centro depremi için sürtünmeli sarkaç izolasyon sistemi ile kat kütle merkezine göre, 4. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	56
Şekil 25. El-Centro depremi için sürtünmeli sarkaç izolasyon sistemi ile kat kütle merkezine göre, 5. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	57
Şekil 26. El-Centro depremi için sürtünmeli sarkaç izolasyon sistemi ile kat kütle merkezine göre, 6. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	57
Şekil 27. El-Centro depremi için sürtünmeli sarkaç izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi	58
Şekil 28. El-Centro depremi için sürtünmeli sarkaç ile taban izolasyonlu binada meydana gelen, Y-doğrultusundaki maksimum taban ve kat kesme kuvvetlerinin kat yüksekliğine göre değişimi	58
Şekil 29. El-Centro depremi için sürtünmeli sarkaç izolasyon sisteminde meydana Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi.....	59

Şekil 30. El-Centro depremi için sürtünmeli sarkaç sisteminde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişki	60
Şekil 31. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli izolasyon sistemi ile kat kütle merkezine göre, 1. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi	62
Şekil 32. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli izolasyon sistemi ile kat kütle merkezine göre, 2. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi	62
Şekil 33. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli izolasyon sistemi ile kat kütle merkezine göre, 3. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi	63
Şekil 34. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli izolasyon sistemi ile kat kütle merkezine göre, 4. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi	63
Şekil 35. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli izolasyon sistemi ile kat kütle merkezine göre, 5. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi	64
Şekil 36. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli izolasyon sistemi ile kat kütle merkezine göre, 6. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi	64
Şekil 37 .El-Centro depremi için kauçuk mesnetli izolasyon sistemi ile İzolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	65
Şekil 38. El-Centro depremi için kauçuk mesnet sistemi ile taban izolasyonlu binada meydana gelen, Y-doğrultusundaki maksimum taban ve kat kesme kuvvetlerinin kat yüksekliğine göre değişimi	65
Şekil 39. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli izolasyon sisteminde meydana gelen, Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi	66

Şekil 40. El-Centro depremi için kauçuk mesnet sistemde, taban kesme kuvveti- yerdeğiştirme arasındaki ilişki	66
Şekil 41. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli izolasyon ile kat kütle merkezine göre, 1. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	68
Şekil 42. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli izolasyon ile kat kütle merkezine göre, 2. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	68
Şekil 43. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli izolasyon ile kat kütle merkezine göre, 3. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	69
Şekil 44. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli izolasyon ile kat kütle merkezine göre, 4. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	69
Şekil 45. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli izolasyon ile kat kütle merkezine göre, 5. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	70
Şekil 46. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli izolasyon ile kat kütle merkezine göre, 6. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	70
Şekil 47. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	71
Şekil 48. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli izolasyon ile taban izolasyonlu binada meydana gelen, Y-doğrultusundaki maksimum taban ve kat kesme kuvvetlerinin kat yüksekliğine göre değişimi	71

Şekil 49. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi.....	72
Şekil 50. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnet sistemde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişki.....	72
Şekil 51. Linner ve lineer olmayan kauçuk mesnet için sönüm kuvveti-hız ilişkisi	73
Şekil 52. El-Centro depremi için lineer olmayan kauçuk mesnet izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	74
Şekil 53. El-Centro depremi için lineer olmayan mesnet izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi	75
Şekil 54. Lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnet sistemde, taban kesme kuvveti-yer değiştirme arasındaki ilişki	75
Şekil 55. Erzincan depremi için sürtünmeli sarkaç sistemi ile kat kütle merkezine göre, 1. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi	78
Şekil 56. Erzincan depremi için sürtünmeli sarkaç sistemi ile kat kütle merkezine göre, 2. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi	78
Şekil 57. Erzincan depremi için sürtünmeli sarkaç sistemi ile kat kütle merkezine göre, 3. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi	79
Şekil 58. Erzincan depremi için sürtünmeli sarkaç sistemi ile kat kütle merkezine göre, 4. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi	79

Şekil 59. Erzincan depremi için sürtünmeli sarkaç sistemi ile kat kütle merkezine göre, 5. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	80
Şekil 60. Erzincan depremi için sürtünmeli sarkaç sistemi ile kat kütle merkezine göre, 6. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	80
Şekil 61. Erzincan depremi için sürtünmeli sarkaç sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki taban yerdeğiştirmesinin zamanla değişimi	81
Şekil 62. Erzincan depremi için sürtünmeli sarkaç sistemi ile Y-doğrultusundaki maksimum taban ve kat kesme kuvvetlerinin kat yüksekliğine göre değişimi	81
Şekil 63. Erzincan depremi için sürtünmeli sarkaç izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi.....	82
Şekil 64. Erzincan depremi için sürtünmeli sarkaç sistemde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişki	82
Şekil 65. Erzincan depremi için kauçuk mesnet ile kat kütle merkezine göre, 1. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	84
Şekil 66. Erzincan depremi için kauçuk mesnet ile kat kütle merkezine göre, 2. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	84
Şekil 67. Erzincan depremi için kauçuk mesnet ile kat kütle merkezine göre, 3. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	85
Şekil 68. Erzincan depremi için kauçuk mesnet ile kat kütle merkezine göre, 4. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	85
Şekil 69. Erzincan depremi için kauçuk mesnet ile kat kütle merkezine göre, 5. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	86
Şekil 70. Erzincan depremi için kauçuk mesnet ile kat kütle merkezine göre, 6. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	86

Şekil 71. Erzincan depremi için kauçuk mesnet izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	87
Şekil 72. Erzincan depremi için kauçuk mesnet ile Y-doğrultusundaki maksimum taban ve kat kesme kuvvetlerinin kat yüksekliğine göre değişimi	87
Şekil 73. Erzincan depremi için kauçuk mesnet izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi	88
Şekil 74. Erzincan depremi için kauçuk mesnet sistemde, taban kesme kuvveti yer değişirme arasındaki ilişki	88
Şekil 75. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnet ile kat kütle merkezine göre, 1. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi	90
Şekil 76. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnet ile kat kütle merkezine göre, 2. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi	90
Şekil 77. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnet ile kat kütle merkezine göre, 3. kat Y- önu yatay yerdeğiştirmesinin zamanla değişimi	91
Şekil 78. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnet ile kat kütle merkezine göre, 4. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi	91
Şekil 79. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnet ile kat kütle merkezine göre, 5. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi	92
Şekil 80. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnet ile kat kütle merkezine göre, 6. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi	92

Şekil 81. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnet izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	93
Şekil 82. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnet ile izolasyonda Y-doğrultusundaki maksimum taban ve kat kesme kuvvetlerinin kat yüksekliğine göre değişimi.....	93
Şekil 83. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnet izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi.....	94
Şekil 84. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk sistemde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişki	94
Şekil 85. Erzincan depremi için lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnet izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	96
Şekil 86. Erzincan depremi için lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnet izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi.....	97
Şekil 87. Erzincan depremi için lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnet sistemde, taban kesme kuvveti-yer değiştirme arasındaki ilişki	97
Şekil 88. Üç boyutlu ve perdeli binanın kesiti ve kalıp planı.....	100
Şekil 89. El-Centro depremi için sürtünmeli sarkaçlı ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 1. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi	101
Şekil 90. El-Centro depremi için sürtünmeli sarkaçlı ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 2. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi	101
Şekil 91. El-Centro depremi için sürtünmeli sarkaçlı ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 3. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi	102

Şekil 92. El-Centro depremi için sürtünmeli sarkaçlı ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 4. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi	102
Şekil 93. El-Centro depremi için sürtünmeli sarkaçlı ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 5. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi	103
Şekil 94. El-Centro depremi için sürtünmeli sarkaçlı ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 6. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi	103
Şekil 95. El-Centro depremi için sürtünmeli sarkaçlı ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	104
Şekil 96. El-Centro depremi için sürtünmeli sarkaçlı ve perdeli binanın Y-doğrultusundaki maksimum taban ve kat kesme kuvvetlerinin kat yüksekliğine göre değişimi.....	104
Şekil 97. El-Centro depremi için sürtünmeli sarkaçlı ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki kesme kuvvetinin zamanla değişimi.....	105
Şekil 98. El-Centro depremi için sürtünmeli sarkaçlı ve perdeli binanın izolasyon sisteminde, taban kesme kuvveti-yer değiştirme arasındaki ilişki.....	105
Şekil 99. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 1. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi	108
Şekil 100. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 2. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi	108

Şekil 101. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 3. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	109
Şekil 102. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 4. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	109
Şekil 103. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 5. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	110
Şekil 104. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 6. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	110
Şekil 105. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	111
Şekil 106. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli ve perdeli binanın Y-doğrultusundaki maksimum taban ve kat kesme kuvvetlerinin kat yüksekliğine göre değişimi.....	111
Şekil 107. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi.....	112
Şekil 108. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişki.....	112
Şekil 109. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 1. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	114
Şekil 110. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 2. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	114

- Şekil 111. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 3. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....115
- Şekil 112. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 4. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....115
- Şekil 113. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 5. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....116
- Şekil 114. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 6. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....116
- Şekil 115. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....117
- Şekil 116. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın Y-doğrultusundaki maksimum taban ve kat kesme kuvvetlerinin kat yüksekliğine göre değişimi117
- Şekil 117. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi118
- Şekil 118. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişki118
- Şekil 119. El-Centro depremi için lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....120

- Şekil 120. El-Centro depremi için lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi.....121
- Şekil 121. El-Centro depremi için lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde, taban kesme kuvveti- yerdeğiştirme arasındaki ilişki121
- Şekil 122. Erzincan depremi için sürtünmeli sarkaç sistemli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 1. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....123
- Şekil 123. Erzincan depremi için sürtünmeli sarkaç sistemli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 2. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....123
- Şekil 124. Erzincan depremi için sürtünmeli sarkaç sistemli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 3. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....124
- Şekil 125. Erzincan depremi için sürtünmeli sarkaç sistemli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 4. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....124
- Şekil 126. Erzincan depremi için sürtünmeli sarkaç sistemli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 5. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....125
- Şekil 127. Erzincan depremi için sürtünmeli sarkaç sistemli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 6. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....125
- Şekil 128. Erzincan depremi için sürtünmeli sarkaç sistemli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....126

Şekil 129. Erzincan depremi için sürtünmeli sarkaç sistemli ve perdeli binanın Y-doğrultusundaki maksimum taban ve kat kesme kuvvetlerinin kat yüksekliğine göre değişimi.....	126
Şekil 130. Erzincan depremi için sürtünmeli sarkaç sistemli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi.....	127
Şekil 131. Erzincan depremi için sürtünmeli sarkaç sistemli ve perdeli binanın sistemde; taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişki	127
Şekil 132. Erzincan depremi için kauçuk mesnet sistemli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 1. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	129
Şekil 133. Erzincan depremi için kauçuk mesnet sistemli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 2. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	129
Şekil 134. Erzincan depremi için kauçuk mesnet sistemli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 3. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	130
Şekil 135. Erzincan depremi için kauçuk mesnet sistemli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 4. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	130
Şekil 136. Erzincan depremi için kauçuk mesnet sistemli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 5. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	131
Şekil 137. Erzincan depremi için kauçuk mesnet sistemli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 6. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	131
Şekil 138. Erzincan depremi için kauçuk mesnet sistemli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	132

- Şekil 139. Erzincan depremi için kauçuk mesnet sistemli ve perdeli binanın Y-doğrultusundaki maksimum taban ve kat kesme kuvvetlerinin kat yüksekliğine göre değişimi.....132
- Şekil 140. Erzincan depremi için kauçuk mesnet sistemli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi.....133
- Şekil 141. Erzincan depremi için kauçuk mesnet sistemli ve perdeli binanın sistemde; taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişki133
- Şekil 142. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 1. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....135
- Şekil 143. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 2. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....135
- Şekil 144. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 3. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....136
- Şekil 145. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 4. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....136
- Şekil 146. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 5. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....137
- Şekil 147. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 6. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....137
- Şekil 148. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....138

- Şekil 149. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın Y-doğrultusundaki maksimum taban ve kat kesme kuvvetlerinin kat yüksekliğine göre değişimi138
- Şekil 150. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi139
- Şekil 151. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişki139
- Şekil 152. Erzincan depremi için lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....141
- Şekil 153. Erzincan depremi için lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi.....141
- Şekil 154. Erzincan depremi için lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişki.....142

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Taban izolasyonlu olarak inşaa edilen yapılar ve faaliyet gösteren kurumlar	23
Tablo 1. Taban izolasyonlu olarak inşaa edilen yapılar ve faaliyet gösteren kurumlar (devam).....	24
Tablo 2. Kauçuk mesnet sitemlerinin özellikleri	50
Tablo 3. Üç boyutlu ve perdeli bina için kauçuk mesnetlerin özellikleri	106
Tablo 4. Üç boyutlu perdesiz binaya ait maksimum kat ivmeleri	144
Tablo 5. Üç boyutlu perdesiz binaya ait maksimum kat yatay yerdeğıştirmeleri	144
Tablo 6. Üç boyutlu perdesiz binaya ait maksimum kat ve taban kesme kuvvetleri.....	144
Tablo 7. Üç boyutlu ve perdeli binaya ait maksimum kat ivmeleri	146
Tablo 8. Üç boyutlu ve perdeli binaya ait maksimum kat yerdeğıştirmeleri	146
Tablo 9. Üç boyutlu ve perdeli binaya ait maksimum kat ve taban kesme kuvvetleri.....	146
Tablo 10. Üç boyutlu perdesiz binaya ait maksimum kat ivmeleri	148
Tablo 11. Üç boyutlu perdesiz binaya ait maksimum kat yerdeğıştirmeleri	148
Tablo 12. Üç boyutlu perdesiz binaya ait maksimum kat ve taban kesme kuvvetleri.....	148
Tablo 13. Üç boyutlu ve perdeli binaya ait maksimum kat ivmeleri	150
Tablo 14. Üç boyutlu ve perdeli binaya ait maksimum kat yerdeğıştirmeleri	150
Tablo 15. Üç boyutlu ve perdeli binaya ait maksimum kat ve taban kesme kuvvetleri.....	150

SEMBOLLER DİZİNİ

a	: Sürtünme katsayısının maksimum ile minimum değerleri arasında geçişi kontrol eden ve hıza bağlı bir katsayı
a_i	: İntegrasyon sabitleri ($i=1...6$)
A, γ, β	: Histeretik döngünün şeklini kontrol eden boyutsuz sabitler
$[c_b]$: Taban sönüm matrisi
$[C]$: Sönüm matrisi
$[\tilde{C}]$: Kısaltılmış sönüm matrisi
f	: Kayıcı veya kauçuk tipi mesnetler için hareketi içeren kuvvet
f_{\max}	: Maksimum sürtünme katsayısı
f_{\min}	: Minimum sürtünme katsayısı
$f_{\max o}$: Mesnet basıncının yaklaşık olarak sıfır olması durumunda maksimum sürtünme katsayısı
$f_{\max p}$: Maksimum mesnet basıncı için sürtünme katsayısı
F_x, F_y	: Enine ve boyuna doğrultuda oluşan kuvvetler
F_d	: Sönüm kuvveti
F^Y	: Akma kuvveti
g	: Yerçekimi ivmesi
$[k_b]$: Taban rijitlik matrisi
K	: Plastik rijitlik
K_o	: Elastik rijitlik
$[K]$: Rijitlik matrisi
$[\tilde{K}]$: Kısaltılmış rijitlik matrisi
m	: Öz vektörlerin sayısı
$[m_b]$: Taban kütle matrisi
$[M]$: Kütle matrisi
$[\tilde{M}]$: Kısaltılmış kütle matrisi

$\{\tilde{P}\}$: Kısaltılmış yük vektörü
P	: Mesnet basıncı
R	: Küresel yüzeyin eğrilik yarıçapı
$\{R\}$: Deprem etki katsayı vektörü
t	: Zaman
T	: İzolasyonlu yapının periyodu
$\{u_b\}$: Taban yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{u}_b\}$: Taban hız vektörü
$\{U\}$: Yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{U}\}$: Hız vektörü
$\{\ddot{u}\}$: Taban ivme vektörü
$\{\ddot{U}\}$: İvme vektörü
$\{\ddot{U}_g\}$: Yer hareketinin ivme vektörü
$\{U^*\}$: Tabana göre normalleştirilmiş yerdeğiştirme vektörü
$\{\tilde{U}\}$: Kısaltılmış yerdeğiştirme vektörü
$\{\tilde{\dot{U}}\}$: Kısaltılmış hız vektörü
$\{\tilde{\ddot{U}}\}$: Kısaltılmış ivme vektörü
$Q(t)$: Zamana bağlı taban kesme kuvveti
W	: Yapının toplam ağırlığı veya mesnedin taşıdığı ağırlık
Y	: Akma yerdeğiştirmesi
Z_x, Z_y	: Histeretik boyutsuz değerler
α	: Plastik rijitliğin elastik rijitliğe oranı
ω_b	: Kauçuk mesnedin doğal frekansı
ξ_b	: Kauçuk mesnedin sönüm oranı
ω_i	: Ankastre tabanlı yapının i. modundaki doğal frekans
ξ_i	: Ankastre tabanlı yapının i. modundaki sönüm oranı
μ_s	: Sürtünme katsayısı

$[\phi]$: Kütfe matrisine göre normalleştirilmiş modal matris
Δt	: Zaman artımı
Δf	: Zahiri kuvvet
ε	: Maksimum sürtünme katsayısının yüksek ve düşük basınçlar arasındaki geçişini kontrol eden bir katsayı
ESTİ	: Elastik sürtünmeli taban izolasyonu
FE	: Fransız Elektrik sistemi
KES	: Kaygan elastik sürtünmeli sistem
S	: Sürtünmeli sistem
SS	: Sürtünmeli sarkaç sistem
TKM	: Tabakalı kauçuk mesnet sistemi
YSKM	: Yüksek sönümlü kauçuk mesnet sistemi
YZM	: Yeni Zelanda mesnet sistemi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

1.1.1. Sismik Taban İzolasyonunda Tarihsel Gelişim

Ülkemizin %92'sinin aktif deprem kuşağı üzerinde olması, yapı sistemlerinin projelendirilmesinde ve uygulamasındaki önemin artırılmasında etkili olmaktadır. Bu durum, deprem mühendisliği alanında çalışmakta olan araştırmacıların ve mühendislerin gündeminde kalmasını sağlamaktadır. Büyük deprem kuvvetlerinin, yapılar üzerinde meydana getirebileceği hasarları azaltmaya çalışmak bu araştırmacıların hedefi olmalıdır.

Zemin-yapı arasındaki etkileşimin var olması, büyük yer hareketlerden dolayı yapılar üzerinde büyük hasarlara ve can kayıplarına neden olabilmektedir. Bundan dolayı, yapıyı yerden ayırmak amacıyla kullanılan izolasyon teknikleri deprem hareketinin yapı üzerindeki etkilerini oldukça azaltmaktadır. Bu amaçla pek çok izolasyon teknikleri tavsiye edilmektedir. Tavsiye edilen bu teknikler; tabakalı kauçuk mesnet [1], Yeni Zelanda mesnet [2], sürtünmeli mesnet [3], elastik sürtünmeli taban izolasyonu [4,5], Fransız elektrik [6], kaygan elastik sürtünmeli mesnet [7], sürtünmeli sarkaç [8, 9] ve yüksek sönümlü kauçuk mesnet [10] sistemleridir. Bu izolasyon elemanları mühendislikte sismik izolatörler veya taban izolatörleri olarak isimlendirilmektedir [11].

Yapılarda taban izolasyonunun yapılmasının pek çok faydaları olabilmektedir. Bunlardan bir tanesi, izolasyon işlemi yapının hakim frekansını azaltabilmesidir. Dolayısıyla, üst yapı rölatif olarak rijit kalabilmektedir. Yerdeğiştirmeler daha çok izolatörde meydana gelebilmektedir. Bunun sonucunda, yapının deprem hareketine karşı direnci artmaktadır. Diğer bir faydası ise, deprem hareketinden dolayı yapıya aktarılan ivmeler azalmakta ve izolasyon sistemi, yapının kullanımda negatif değerlendirilmelere neden olmaksızın yapıya esneklik kazandırabilmektedir.

Frank Lloyd Wright, 1921 yılında Tokyo'daki Imperial Hotel'in temellerinde taban izolasyon fikrini ilk uygulayan kişi olmuştur [11,12]. Wright, birbirine yakın aralıklarla yerleştirilen kazıklarla yumuşak, çamurlu bir zemin tabakasını daha aşağıda bulunan

oldukça iyi bir zemin tabakasıyla birleştirmiştir. Imperial Hotel batı tarzında inşaa edilmiş olup, 1923 yılında Tokyo depreminde ayakta kalabilen birkaç yapıdan biri olmuştur [11].

Binalarda birinci katın esnek yapılması kavramı, binaların izolasyon yapılarak depreme karşı güvenliğinin artırılmasındaki ilk yaklaşımlardan biri olmuştur. Bu yaklaşım ilk defa 1929 yılında Martel tarafından önerilmiştir [11]. Bu konu daha sonra 1935 yılında Green ve 1938 yılında da Jacobsen tarafından çalışılmıştır [11]. Fintel ve Khan ise deprem hareketi esnasında oluşan taban kesme kuvvetlerini azaltmak amacıyla birinci kat kolonlarının akma dayanımı yüksek olmasının gerektiğini önermiştir [11]. Ayrıca bu konuda ilk bilgisayar programını Chopra vd [13] tarafından yazılmıştır.

Binalarda birinci katın esnek yapılmasının zor olması nedeniyle taban izolasyonu temini amacı ile hareketli mesnet mekanizmaları önerilmiştir [11]. Bunlardan bazılarında patent alınıp ve test edilmiştir [11]. Ancak, deprem hareketinin yapıya herhangi bir yönde gelebileceği gerçeği bu tür mesnet mekanizmaların yaygınlaşmasını engellemiştir. Bunu sonucunda, her yönde harekete izin verebilen küresel mesnetler veya iki yönde hareket edebilen mesnetlerin kullanımının gerekliliği fikri hakim olmuştur.

Depremden korunmak amacıyla ilk kauçuk mesnet Yugoslavya'nın Skopje şehrinde bir okul binasında kullanılmıştır [11]. Bu bina 3 katlı bir betonarme yapı olup 1969 tamamlanmıştır. Mesnet sistemi olarak doğal kauçuk bloklar kullanılmıştır. Kauçuk içerisine çelik plakalar yerleştirilmediğinden düşey yönde istenen rijitlik elde edilememiştir. Zira, kauçuk blokların yanlara doğru şişmesi söz konusu olmuştur. Sistemin düşey yöndeki rijitliği yaklaşık olarak yatay yöndeki rijitliğe eşit olduğundan deprem hareketi esnasında bina ileriye veya geriye doğru sallanıp yukarıya doğru sıçrayabilmektedir. Mesnetler çelik plakalarla takviye edilerek yukarıda karşılaşılan zorlukların üstesinden gelinmiştir.

Modern anlamda taban izolasyonuna sahip yapılar, yapının temeli ve tabanı arasında yerleştirilen, yatay yönde esnek ve düşey yönde ise rijit olan taşıyıcılarla yapılabilmektedir. Bu taşıyıcılar, izolasyon aletleri veya izolatör sistemleri olarak bilinmektedir.

Derham (1985), bir yapının deprem etkilerinden ve istenmeyen titreşimden eşzamanlı olarak korunabileceğini kauçuk taşıyıcılar kullanarak göstermiştir. Kullanılan bu kauçuk taşıyıcılar, 7 kata kadar inşaa edilen betonarme veya yığma yapılar için uygun

olabilmiştir. Bu tip binaların mesnetlerinde yukarıya doğru kalkma meydana gelmeyecek ve rüzgar yükleri etkili olmayacaktır [1].

Sismik izolasyon sisteminde kullanılmak amacıyla, uygun özelliklere sahip olan kauçuklar geliştirilmiştir [11]. Taban izolasyonu için gerekli kauçuklar ve bu kauçukların özellikleri Kadir [14] ve Roeder vd [15] tarafından araştırılmıştır. Ayrıca, kauçuk mesnetlerin stabilitesi, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir [16, 17].

Skinner vd [18,19] tarafından yapılan çalışmada, histeretik söndürücüler olarak adlandırılan özel elemanlara sahip mekanizmaların kullanılmasıyla birlikte binaların depreme karşı dayanımlarının artırabildiğini ortaya koymuştur. Bu histeretik söndürücüler, orta şiddetteki depremler esnasında yapısal şekil değiştirmeleri azaltmaya yarayan rijit aletler olarak görev yaparken, güçlü depremler esnasında ise yapısal şekil değiştirmeler ve kuvvetlerin zahiri rezonansını sağlayan enerji yutucular olarak görev yapabilmektedirler.

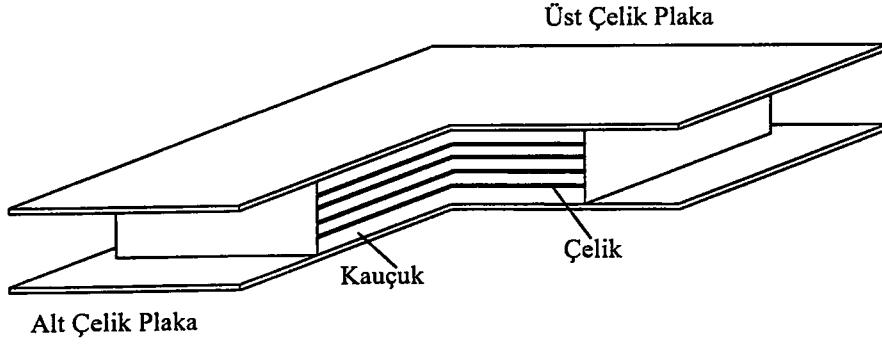
Yapıların taban izolasyonunun gerçekleştirilmesi amacıyla önerilen izolasyon sistemleri aşağıda kısaca açıklanacaktır.

1.2. Taban İzolasyon Sistemleri

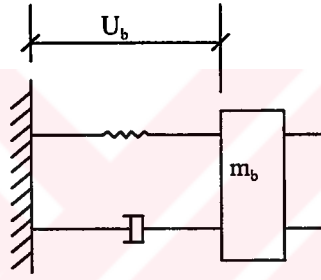
1.2.1. Tabakalı Kauçuk Mesnet (TKM) Sistemi

Tabakalı kauçuk sistemler, taban izolasyonunda en yaygın olarak kullanılanlardır [11]. Bu sistemin temel öğeleri tabakalar halinde kullanılmakta olan çelik ve kauçuk plakalardır. Ayrıca, sönümün ve rijitliğin paralel etkileri bu sistemin en önemli özelliğidir. Genellikle TKM sistemi yatayda esneklik ve düşeyde rijitlik özelliği ile yüksek sönüm kapasitesi gösterir. Bu sisteminin ayrıca iki karakteristik özelliği daha vardır ki bunlar sırasıyla doğal frekans (ω_b) ve sönüm sabiti (ξ_b)'dir. Sistemin sönüm sabiti mesnedin şekil değiştirmesine bağlıdır. Bu sonuç Tracis [20] tarafından yapılan deneylerden elde edilmiştir. Tracis tarafından yapılan çalışmada, sönüm oranının mesnetteki şekil değiştirmelere bağlı olduğu; şekil değiştirme %2 iken sönüm oranı 0.18 ve şekil değiştirme %50 iken sönüm oranı 0.10 olduğu kabul edilmiştir. TKM sisteminde tavsiye edilen değerler: taban izolasyonlu yapının periyodu 2 saniye iken $\omega_b = \pi$ rad/sn ve $\xi_b = 0.10$ 'dir.

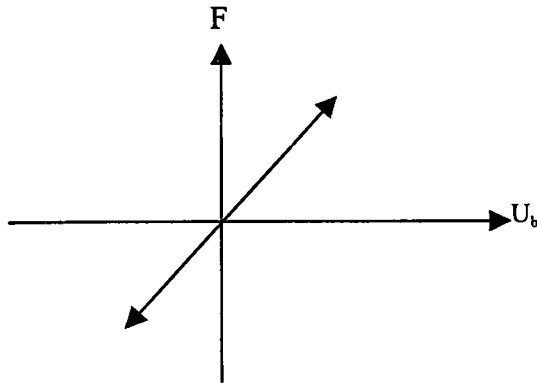
TKM sisteminin kesiti ve elemanları Şekil (1.a)'da, bu sistemin matematik modeli Şekil (1.b)'de ve kuvvet, F , -yerdeğiştirme, U_b , ilişkisi Şekil (1.c)'de gösterilmiştir.



a) Kesit ve elemanlar



b) Matematik model

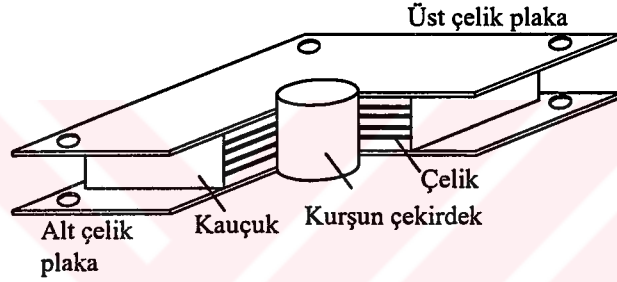


c) Kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi

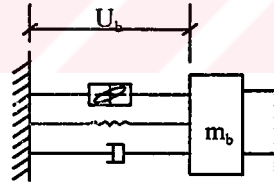
Şekil 1. Tabakalı kauçuk mesnet sisteminin, a) kesiti ve elemanları, b) matematik modeli, c) kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi

1.2.2. Yeni Zelanda Mesnet (YZM) Sistemi

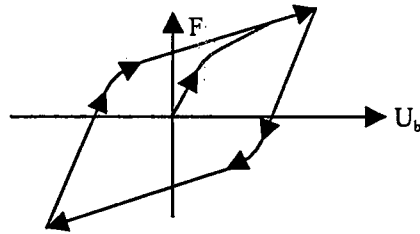
Yeni Zelanda mesnet sistemi, TKM sisteminin benzeridir. Fakat, kurşun çekirdek enerji dağılımında ilave bir rijitlik sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Kurşun çekirdeğin enerji absorbe edebilme kapasitesi izolatörün yatay yerdeğiştirmesini azaltır. Bu sistem prensip olarak histeretik söndürücü aletler gibi davranmaktadır [18,19]. Histeretik söndürücü aletin kuvvet-yerdeğiştirme karakteristik özelliği gerçekçi olarak lineer olmayan diferansiyel denklemler kurularak modellenenmektedir [21]. Bu mesnet sisteminin en önemli mahsuru; güçlü yer hareketinden sonra kurşun çekirdeğin zarar görüp görmediğinin dışarıdan tespit edilememesidir. YZM sistemi Şekil (2.a)'da, matematik modeli ise Şekil (2.b)'de ve kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil (2.c)'de gösterilmektedir.



a) Kesit ve elemanlar



b) Matematik model



c) Kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi

Şekil 2. Yeni Zelanda mesnet sisteminin a) kesiti ve elemanları, b) matematik modeli, c) kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi

1.2.3. Sürtünmeli (S) Sistem

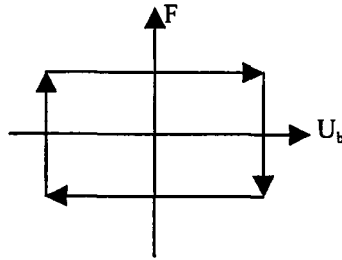
S taban izolasyon sistemi prensipte bir sürtünmeli kayan mekanizmadır [6, 22]. Yatay sürtünme kuvvetleri, enerjiyi yok eder ve harekete karşı koyar. Bina temelinde bir silindir veya bir kum tabakası kullanımı bu sisteme verilebilecek en basit örnektir. Çin’de az katlı yapıları depreme karşı korumak amacıyla geliştirilmiştir. Mostaghel ve Tanbakuchi [23], Kelly ve Beucke [24] sürtünmeli sistemin deprem ve sinüzoidal hareketler altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Sürtünmeli izolasyon sistemlerinin geleneksel kauçuk mesnet sistemleriyle karşılaştırılmasıyla elde edilen üstünlükleri aşağıdaki gibidir [11];

- Bu sürtünmeli izolasyon sistemi, geniş frekans dağılımı için etkili olabilmektedir.
- Sürtünme kuvveti temelde meydana gelirken kayan mesnedin rijitlik merkezi ve kütle merkezi yapının kütlesiyle orantılı olabilmektedir. Bunun sonucu olarak, simetrik olmayan yapılarda meydana gelen burulma etkileri azalmaktadır.

S sisteminin matematik modeli Şekil (3.a)’da ve kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil (3.b)’de verilmiştir.



a) Matematik model



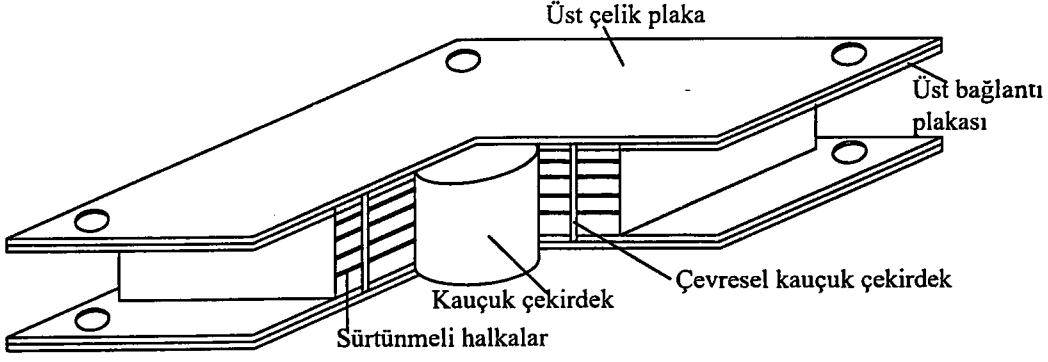
b) Kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi

Şekil 3. Sürtünmeli sistemin; a) matematik modeli, b) kuvvet- yerdeğiştirme ilişkisi

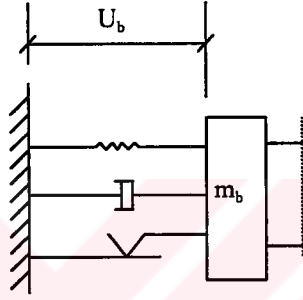
1.2.4. Elastik-Sürtünlü Taban İzolasyon (ESTİ) Sistemi

ESTİ sistemi, son yıllarda Mostaghel ve Khodaverdian [4] tarafından önerilmiştir. Bu taban izolatörleri, birbirleriyle sürtünlü olarak temas eden teflon kaplamalı eşit merkezli daireler halindeki plakalardan ve merkezi bir kauçuk çekirdekten oluşmaktadır. Plakaların birleşimleri sürtünme özelliği nedeni ile sönümü artırmaktadır. Merkezi kauçuk çekirdek, mesnet yerdeğiştirmesi ve hızı mesnet yüksekliği boyunca dağıtılmasını sağlamaktadır. Ayrıca, sistem tepki kuvveti, sönüm ve sürtünme kuvvetinin davranışları birbirine paraleldir ve karakteristik özellikleri; doğal frekans (ω_b), sönüm sabiti (ξ_b) ve sürtünme katsayısı (μ)'dır. Bu parametreler için; Mostaghel ve Khodaverdian $\omega_b = \pi/2$ rad/sn, $\xi_b = 0.10$ ve $0.03 \leq \mu \leq 0.05$ değerlerinin alınmasını tavsiye etmişlerdir [4, 5].

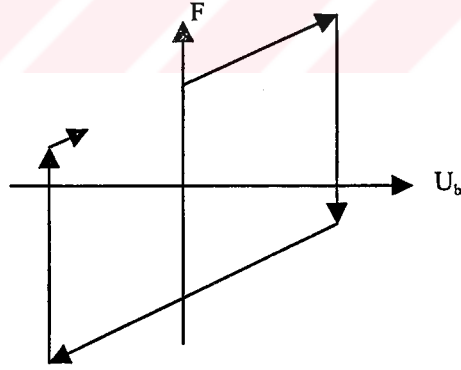
ESTİ sisteminin kesiti ve elemanları Şekil (4.a)'da, matematik modeli Şekil (4.b)'de ve kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi ise Şekil(4.c)'de verilmiştir.



a) Kesit ve elemanlar



b) Matematik model



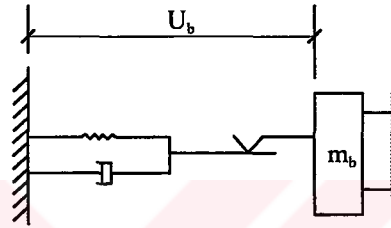
c) Kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi

Şekil 4. Elastik sürtüneli taban izolasyon sisteminin; a) kesiti ve elemanları, b) matematik modeli, c) kuvvet- yerdeğiştirme ilişkisi

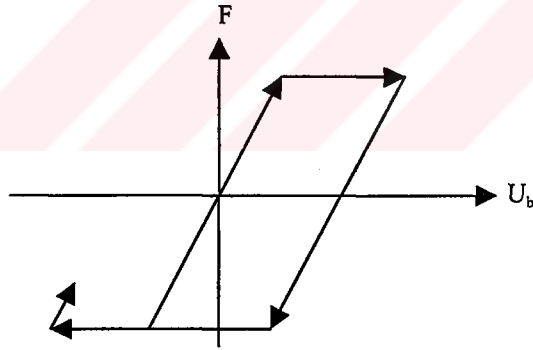
1.2.5. Fransız Elektrik (FE) Sistemi

Önemli bir sürtünlü taban izolasyon sistemi olan, FE, Fransız Elektrik Kurumu'nun desteği ile geliştirilmiştir ve deprem bölgelerindeki nükleer güç santralleri için standartlaştırılmıştır. FE sisteminin kesiti TKM sistemiyle aynıdır. Sürtünlü yüzeyler, izolasyon sisteminin işlem ömrü boyunca sürtünme katsayısı 0.2 alınarak tasarlanmıştır.

FE sisteminin matematik modeli Şekil (5.a)'da ve kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil (5.b)'de şematize edilmiştir.



a) Matematik model



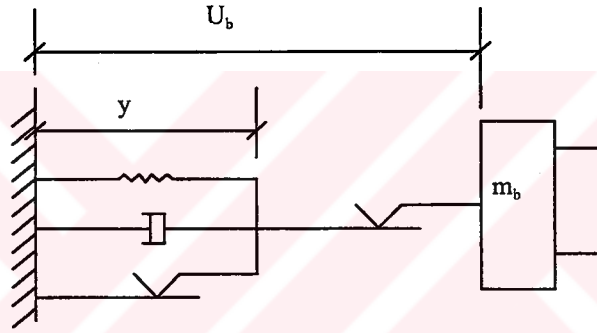
b) Kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi

Şekil 5. Fransız elektrik sisteminin; a) matematik modeli, b) kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi

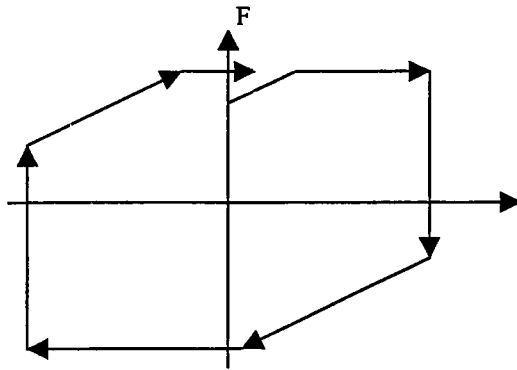
1.2.6. Kaygan Elastik Sürtünmeli (KES) Sistem

KES taban izolasyon sistemi Su vd [7] tarafından önerilmiştir. Bu izolatör sistemi ESTİ ve FE sistemlerinin özelliklerini içermektedir. ESTİ sisteminin üst yüzeyine sürtünmeli bir tabaka yerleştirilmektedir. Bunun sonucunda FE sisteminde olduğu gibi yapı temelinin üzerinde kayabilmektedir. Sismik hareketin en düşük olması durumu için sistem ESTİ gibi davranmaktadır. Yer ivmesinin yüksek olması durumunda ise üst sürtünmeli plakada kayma meydana gelebilir ki bu durumda beklenmedik şiddetli yer hareketleri için ilave güvenlik sağlamaktadır.

KES sisteminin matematik modeli Şekil (6.a)'da, kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil (6.b)'de gösterilmektedir.



a) Matematik model



b) Kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi

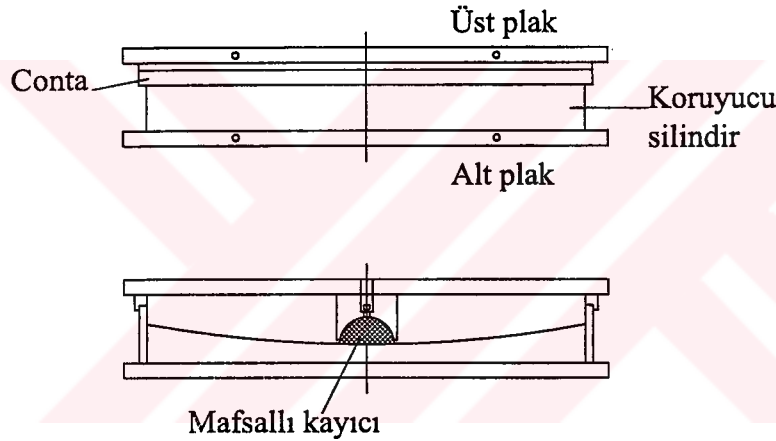
Şekil 6. Kaygan elastik sürtünmeli sisteminin; a) matematik modeli, b) kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi

1.2.7. Sürtünmeli Sarkaç(SS) Sistem

Yeni bir sismik izolasyon sistemi olan sürtünmeli sarkaç sistemi, yukarıda tanımlanan sistemlere göre üretimi kolay ve dayanıklıdır. SS, arzu edilen sismik izolasyon sonuçlarını elde etmede ağırlık ve geometrisinden yararlanmaktadır. Çevresel etkilere karşı dayanıklı ve uzun ömürlüdür [8,9].

SS'de sarkaç hareketinin mühendislik prensiplerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Zira, bu sistemle mesnetlenen yapı, deprem hareketlerine karşı küçük genlikli sarkaç hareketi ile tepki vermektedir. Ayrıca, sistemin sürtünmeli olması özelliği de deprem enerjisini absorbe etmesini sağlamaktadır [9].

SS'nin kesiti ve görünüşü Şekil 7'de verilmiştir.



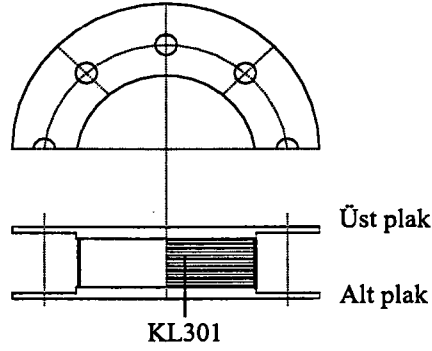
Şekil 7. Sürtünmeli sarkaç sisteminin kesiti ve görünüşü

1.2.8. Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet (YSKM) Sistemi

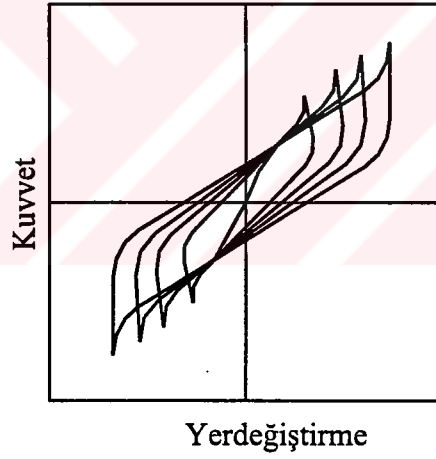
Bu sistemde kauçuk mesnetler, doğal kauçuktan yapılmıştır. KL301 adı verilen yüksek sönümlü elastik bir maddenin karışımıyla Japonya'da bulunan Bridgestone firması tarafından üretilmektedir [11]. KL301'in çok küçük şekil değiştirmelerde kesme modülü 4300 kPa, %50 şekil değiştirmede 650 kPa, %100 şekil değiştirmede 430 kPa ve %150 şekil değiştirmede 340 kPa'dır. Mesnetler 2 mm kalınlığında olan 20 adet kauçuk tabakasından oluşmakta olup altta ve üstte 2 mm kalınlığında birer çelik levha bulunmaktadır. Eksenel hesap basıncı 3.23 Mpa'dır. Bu mesnet modeli, üst yapıyla temel

arasında kolay bir birleşim yapabilmek amacıyla yanlarında kulakçıklar yapılmıştır. Bu şekilde tasarlanan 15 tane YSKM Kelly vd [25] tarafından test edilmiştir.

YSKM sisteminin kesiti ve elemanları Şekil (8a)'da ve kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil(8b)'de görülmektedir.



a) Kesit ve elemanlar

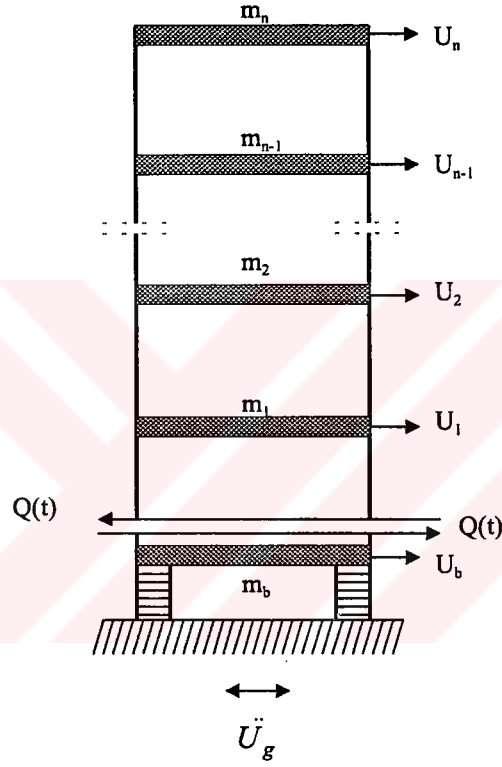


b) Kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi

Şekil 8. Yüksek sönümlü kauçuk mesnet sisteminin; a) kesiti ve elemanları, b) kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi

1.3. Taban İzolasyonlu Yapılar İle İlgili Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Taban izolasyonu üzerine yapılan analitik çalışmaların çoğunda yapıların 2 boyutlu olarak modellenmesi tercih edilmiştir. Fakat, son yıllarda yapılan sadece birkaç çalışmada 3 boyutlu veya burulma etkisindeki sistemler düşünülmüştür [25, 26,27, 28, 29]. Önceden yapılar genellikle ya kayma çerçevesi yada rijit bloklar halinde modellenmiş ve Şekil 1-8'de verilen izolatörlerden istenilen bir tanesi tercih edilmiştir.



Şekil 9. Çok serbestlik dereceli taban izolasyonlu yapı modeli

Deprem hareketine maruz yapı sistemleri için hareket denklemleri Şekil 9'da verilen çok serbestlik dereceli taban izolasyonlu yapı modeli için,

$$[\mathbf{M}]\{\ddot{\mathbf{U}} + \ddot{\mathbf{U}}_b\} + [\mathbf{C}]\{\dot{\mathbf{U}}\} + [\mathbf{K}]\{\mathbf{U}\} = -[\mathbf{M}]\{\boldsymbol{\delta}\}\ddot{U}_g \quad (1)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $[M]$, $[C]$, $[K]$ sırasıyla yapının kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini, $\{U\}$, $\{\dot{U}\}$, $\{\ddot{U}\}$ de sırasıyla yerdeğiştirme, hız ve ivme vektörlerini, ayrıca $\{\ddot{U}_b\}$ temelin yere göre ivme vektörünü ve \ddot{U}_g yer hareketine ait ivmeyi göstermektedir. $\{\delta\}$ ise deprem doğrultu vektörüdür. Sadece izolatörün hareket denklemi ise,

$$m_b \ddot{u}_b + c_b \dot{u}_b + k_b u_b - Q(t) = -m_b \ddot{U}_g \quad (2)$$

şeklinde yazılabilir. Burada m_b , c_b , k_b sırasıyla tabanın kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini, u_b , \dot{u}_b , \ddot{u}_b sırasıyla yerdeğiştirme, hız ve ivme vektörlerini, $Q(t)$ zamana bağlı taban kesme kuvvetini ve \ddot{U}_g yer hareketine ait ivmeyi göstermektedir. Gerek (1) gerekse (2) denklemlerinde sisteme etkiyen birden çok yer ivmeleri mevcut ise (yer hareketinin x, y ve z doğrultularındaki bileşenleri gibi) o zaman \ddot{U}_g bu yer ivmelerini tanımlayan vektöre dönüşür.

(1) denklemi, taban izolasyonlu yapının hareket denklemini, (2) denklemi ise taban izolasyonun hareket denklemini ifade etmektedir. (2) denklemi, izolatörlerin karakteristik özelliklerine bağlı olarak lineer veya lineer olmayabilir. Şekil.1-8'den de görüldüğü gibi izolasyon sistemlerine ait olan kuvvet-yerdeğiştirme arasındaki ilişki lineer veya lineer değildir.

Kuvvet-yerdeğiştirme eğrisindeki eğimli bölgeler işaret fonksiyonuyla ifade edilebilirler. Birbirine bağlı olan (1) ve (2) denklemleri yer hareketine ve zamana bağlı olarak çeşitli çözüm teknikleri kullanılarak gerçekleştirilebilir.

TKM sistemi kullanılarak yapılan taban izolasyonunda, hareket denkleminin çözümü kuvvet-yerdeğiştirme eğrisinin lineer olmasından dolayı fazla bir zorluk içermemektedir. Geleneksel zemin-yapı etkileşimli esnek tabanlı yapıların çözümünde kullanılan benzer çözüm teknikleri kullanılarak bu problem çözülebilmektedir.

Tadjbakhsh ve Ma [31], harmonik yer hareketine maruz TKM izolasyon sisteminin kullanılmasıyla birlikte rijit bir modelin çözümünü ele almışlardır.

Pan ve Kelly [30], El-centro depremine maruz ve TKM sistemine sahip taban izolasyonlu burulmalı bir yapının tepkisini hesaplamışlardır. Yapıyı rijit bir kütle olarak idealize eden Pan ve Kelly, kütle merkeziyle rijitlik merkezi arasındaki eksantirisiteyi dikkate alarak burulma etkilerini araştırmışlardır. Sistemin tepkisini ifade etmek amacıyla Duhamel integralini ve deprem tepki spektrumunu kullanarak analiz yapmışlardır. Hem sönümlü hem de sönümsüz salınışların fonksiyonunu ifade edebilmek amacıyla Green fonksiyonundan yararlanmışlardır. Yine Pan ve Kelly [32], düşey yönde deprem hareketine maruz iki boyutlu bir taban izolasyonlu bir çerçevenin sismik tepkisi konusunda araştırmalar yapmışlardır.

Constantinou ve Tadjbakhsh [33, 34], Kanai-Tajimi yer ivme spektrumuna ve beyaz gürültü olarak ifade edilen rast gele yer hareketine maruz, TKM ile izolasyon yapılmış iki boyutlu bir kayma çerçevesinin dinamik analizlerini yapmışlardır. Sistemin karesel ortalama tepkisini elde edebilmek amacıyla frekans alanında spektral analizi kullanmışlardır.

Lee ve Medland [35], El-Centro depremine maruz ve YZM tipi izolasyon sistemlerini kullanarak iki boyutlu çok katlı bir kayma çerçevesinin etkinliğini araştırmışlardır. YZM sisteminin histeretik kuvvet-yerdeğiştirme davranışını iki lineer doğrudan oluşan lineer olmayan davranış olarak modellemişlerdir.

Constantinou ve Tadjbakhsh [36], Kanai-Tajimi yer ivme spektrumuna maruz, YZM izolasyon sistemlerini kullanarak iki boyutlu bir kayma çerçevesinin dinamik analizlerini yapmışlardır. İzolatörün kuvvet-yerdeğiştirme davranışını, lineer olmayan differansiyel denklemler kullanarak modellemişlerdir. Tepkinin hem stasyonel hem de stasyonel olmayan değişimlerini elde etmişlerdir.

Shenton and Lin [37], yer hareketi olarak 18 tane deprem kaydının ortalama değerlerinden faydalanarak bir tasarım spektum eğrisi elde ederek ankastre tabanlı ve taban izolasyonlu sistemlerin dinamik davranışlarını karşılaştırmışlardır. Ayrıca, sistemi kayma çerçevesi ve perdeli olarak düşünmüşlerdir. İzolatörün kuvvet-yerdeğiştirme davranışını iki lineer doğrudan oluşan lineer olmayan davranış olarak modellemişlerdir.

Chen ve Ahmadi [38], taban izolasyonlu kesme kirişi olarak modellenen bir yapı sisteminde ikincil sistemlerin stokastik tepkilerini araştırmışlardır. TKM, ESTİ ve FE izolatörlerini, taban izolasyonu için düşünmüşlerdir. Stokastik modeller için yer hareketi

olarak 1940 El-centro ve 1985 Mexico City depremlerini kullanmışlardır. Eşdeğer doğrusallaştırma tekniğini kullanan Chen ve Ahmadi, birincil ve ikincil yapının tepkisini elde etmek için kareler toplamının karekökünü tercih etmişlerdir. Bu çalışmada, izolasyon sistemlerini yapıların depreme dayanıklılığın da bir koruma tekniği olduğunu ileri sürmüşlerdir. Özellikle TKM sistemiyle yapılan izolasyonda, ikincil sistemlerin tepkilerindeki azalmaların oldukça etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Sinüzoidal ve sismik yer hareketine maruz taban izolasyonlu çok katlı yapıların kat tepkilerini inceleyen çalışmasında Fan ve Ahmadi [39]; TKM, SS, ESTİ, FE ve KES izolasyon sistemlerini kullanarak analizleri gerçekleştirmişlerdir. Kat tepkilerini elde etmek amacıyla 1940 El-centro, 1971 Pacoima Barajı ve 1985 Mexico City depremlerine ait kayıtları kullanmışlardır. Farklı izolasyonların kullanılmasıyla elde edilen sonuçları ankastre tabanlı yapılar ile karşılaştırmışlardır.

Novak ve Henderson [40], radye veya tekil temel sistemlerinden oluşan zemin-yapı etkileşimini ihtiva eden bina sistemlerine ait hareket denklemlerini tanımlayıp, zemin-yapı karşılıklı etkileşiminin; yapıdaki muhtemel etkilerini ve temelin sallanmasını modeller üzerinde denemişlerdir. Analizlerde kolaylıklar tavsiye eden Novak ve Henderson, zemin-yapı etkileşimlerinin teorik çalışmasını yapmışlardır.

Deprem ve harmonik harekete maruz kayıcı izolasyon sistemleri ile mesnetlenen tek katlı bir binanın analizleri, Mostaghel ve Tanbakuchi [41] tarafından yapılmıştır. Hareket denklemlerinin lineer olmamasına rağmen, bu denklemler kayan veya kaymayan durumlar için Duhamel integrali kullanılarak çözülmüştür.

Constantinou ve Tadjakhsh [42], kauçuk ve sürtünmeli taşıyıcılardan oluşan sismik izolasyonlu iki boyutlu kayma çerçevesinin analizlerini yapmışlardır. Birinci titreşim modu için lineer olmayan hareket denklemlerini çözmüşlerdir. Ayrıca, beyaz gürültü yer ivmesi için stokastik tepkileri elde etmişlerdir. Taban izolasyon sistemleri olarak yaylar veya söndürücü aletleri kullanmışlardır. Bu söndürücüler yatay yönde lineer ve viskoz bir sönüm sağlamadığı kabul edilmiştir.

ESTİ izolasyon sistemiyle mesnetlenen düzlem bir bina çerçevesinin analizleri Mostaghel ve Khodaverdian [4, 5] tarafından yapılmıştır. Mesnette kayma olmaması durumunda sistem, ankastre tabanlı yapı gibi davranmaktadır. Ancak, mesnette kayma olması durumunda taban kütesine ait hareket denklemi doğrusal ivme yaklaşımı

kullanılarak çözümlenip ve buna karşılık üst yapı tepkileri standart mod birleştirme yöntemi kullanılarak yapılmıştır [4, 5].

Fan ve Ahmadi [43], ESTİ sistemini kullanılarak izolasyonu yapılan rijit bir yapının frekans alanında beyaz gürültü hareketine karşı tepkisini analiz etmişlerdir. Fan ve Ahmadi, lineer olmayan tepkiyi elde etmek amacıyla; eşdeğer lineer, stokastik ortalama ve eşdeğer lineer olmayan yöntemleri uygulamışlardır. Elde edilen tepkilerin karelerinin toplamının ortalaması ile Monte-Carlo Yönteminden elde edilen sonuçlarla karşılaştıran Fan ve Ahmadi, sürtünmenin küçük değerleri için yaklaşımların uygun olabileceğini ileri sürmüşlerdir. Ancak, daha büyük sürtünme katsayıları için doğrusallaştırma tekniğinin doğruluğu azalmaktadır [43].

Taban izolasyonlu yapılarda hafif iç elemanların tepkilerinin teorik analizlerini Kelly ve Tsai [44] yapmışlardır. Binanın kauçuk mesnetlerle izolasyonunu yapan bu araştırmacılar, sistem tepkilerini elde etmek amacıyla davranış spektrumunu kullanmışlardır. Ayrıca Tsai ve Kelly [45], mesnetler üzerindeki izolasyonlu yapıda bulunan donanımın tepkisini de elde etmişlerdir. Aynı araştırmacılar başka bir çalışmalarında ise, klasik mod birleştirme yöntemini kullanarak iç donanımlı sınıflandırılmamış sönümlü taban izolasyonlu binanın uygun bir doğrulukta çözülebileceğini de göstermişlerdir [46].

Sistemlerin hareket denklemleri rast gele titreşimlerin harmonikleri için frekans alanında çözülebilir. Deprem kayıtlarının hızlı fourier dönüşümleri kolaylıkla elde edilebilir ve çözümler her harmonik etki için gerçekleştirilebilir. Taban izolasyon sistemi binanın en üst katına yerleştirilen aktif bir enerji absorbe edici sınır ile birleştirildiği zaman yapı davranışlarını kontrol için en iyi sonuçların elde edilebileceği pek çok araştırmacı tarafından vurgulanmıştır. Bu anlamda Inaudi vd [47], hem pasif hem de bir aktif kontrol sistemiyle yapının izolasyonunu tavsiye etmişlerdir.

Koh ve Balendra [48], mesnetlerdeki P- Δ etkilerinin dikkate alan taban izolasyonlu yapıların analizini yapmışlardır. Mesnet üzerindeki basıncın etkisi ilave edildiğinde tabanda dönme serbestlik derecesi de analize dahil edilmektedir. Üst yapı ve temel için hareket denklemleri ayrı ayrı yazılabilir. Sistemin tepki analizi adım adım (step-by-step) sayısal integrasyon kullanılarak elde edilmiştir. İzolatörün burkulma güvenlik faktörü küçük ise P- Δ etkisinin ihmal edilmesinin önemli hatalara yol açabileceğini

göstermişlerdir. Sayısal sonuçları, taban izolasyonlu beş katlı kesme türü yapıdan elde etmişlerdir. Bina ve taşıyıcı mesnetler için sönüm oranlarını sırasıyla 0.05 ve 0.10 olarak taşıyıcı mesnetler için izolasyon periyodunu 2 sn olarak kabul etmişlerdir.

Kauçuk mesnetlerin kuvvet-yerdeğiştirme davranışını tanımlamak için bir Kelvin modeli Koh ve Kelly [49] tarafından sunulmuştur. Taban izolasyonlu yapılara ait hareket denklemlerinin çözümü için sayısal integral düzeni uygulamışlardır. Yapılan sayısal örnekler geliştirilen algoritmanın iyi bir yaklaşım olduğunu göstermiştir. Ayrıca, sarsma tablası üzerinde yapılan deneysel çalışmalardan kelvin modelinin kabul edilebilir olduğu gösterilmiştir.

Henderson ve Novak [50], 2.4 metre genişliğinde ve 24.4 metre uzunluğundaki rüzgar tüneline taban izolasyonlu bir binanın ani esen rüzgara karşı tepkisini elde etmişlerdir. Bu binayı esnek temelli olarak kabul etmişler ve bu temelin esnekliğini ise iki doğrudan oluşan lineer olmayan kuvvet-yerdeğiştirme davranışına sahip izolatörün başlangıç rijitliğine bağlı olduğunu kabul etmişlerdir.

Zemin-yapı etkileşiminin analogisi taban izolasyonlu yapıların dinamik davranışlarına benzetilebilmektedir. Bunun için esnek zemin üzerinde mesnetlenmiş taban izolasyonlu yapıların analizi için basitleştirilmiş bir yöntem Constantinou [51] tarafından sunulmuştur. Yapı sistemi, tek katlı üstyapıdan, rijit bir tabandan ve visko-elastik yarı uzay homojen zemin üzerinde bir daire temelden oluşmaktadır. İzolasyon sistemi ise, temel ile yapı tabanı arasına yerleştirilen kauçuk taşıyıcılarıdır. Basitleştirilmiş bu yöntemde, rijit zemin üzerinde bulunan sönümlü tek serbestlik dereceli sistem gerçek yapı sistemini ifade etmektedir. Yapının dinamik davranışları için gerekli dinamik özellikler olan doğal frekans ve sönüm faktörü tek serbestlik dereceli sistemden elde edilmektedir. Siddiqui ve Constantinou [52], diğer bir çalışmada ise yukarıda sunulan basitleştirilmiş yöntemi çok katlı yapılara uygulamışlardır. Basitleştirilmiş yöntem ile elde edilen taban kesme kuvveti ve yerdeğiştirmeler; çok serbestlik dereceli sistem olarak modellendirilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalardan; sonuçların yeterli yaklaşıklıkta olduğu gösterilmiştir.

Taban izolasyonlu yapılar üzerinde zemin yapı etkileşiminin dinamik davranışları pek çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır [52, 53, 54]. Constantinou [51], Siddiqui ve Constantinou [52], Constantinou [54], kauçuk tabanlı mesnetler üzerinde taban

izolasyonlu bir yapının analizinde zemin-yapı etkileşiminin ele alınışı sadece üst yapı frekansının taban izolasyonu frekansına oranının 15'ten küçük olması ve deprem dalgası parametrelerinin 10'dan küçük olması durumları için izin verilebileceği gösterilmektedir. Bununla birlikte, taban izolasyonlu yapılarda zemin-yapı etkileşimi ankastre tabanlı yapılarda etkili olduğu kadar önemli olmamaktadır.

Taban izolasyonlu bir nükleer güç santral binasının lineer olmayan sismik analizleri frekans-zaman alanı yöntemi kullanılarak Darbre [55] tarafından yapılmıştır. Kayıcı özelliğe sahip taban izolatörleri üzerinde bulunan santral binasının yarı sonsuz zemin modeliyle birlikte zemin-yapı etkileşimi incelenmiştir. Bu çalışmada, zemin dinamik rijitlik matrisi sınır elemanlar yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Zemin-yapı karşılıklı etkileşimi için hareket denklemleri frekans-zaman alanında elde edilmiştir. Bu yöntemin avantajları hem sönüm oranı yüksek olan zemin ortamının hem de çözümü frekans alanında olmasıdır. Diğer bir avantajı ise, frekans alanında yapılan çözümlerin etkili bir çözüm işlemi olmasıdır.

Nagarajaiah vd [28], 3-boyutlu taban izolasyonlu yapıların lineer olmayan dinamik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca, bu amaçla 3D-BASIS isimli bir bilgisayar programı da üretmişlerdir. İki yönlü yer hareketine maruz taban izolasyonlu yapıların davranışları Jangid ve Datta [26] tarafından incelenmiştir. YZM ve S izolasyon sistemleri kullanılarak 3 serbestlik dereceli bir sistemin davranışlarını değerlendirmişlerdir. Üst yapıda ve taban izolasyonunda, rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki farktan dolayı meydana gelen eksantirisiteyi dikkate almışlardır. Sistemin tepkisi deprem kayıtları kullanılarak elde edilmiştir.

Yüksek sönümlü taban izolasyon sistemli çok katlı yapıların lineer olmayan analizleri için bir modal işlem Malangone ve Ferraioli [53] tarafından önerilmiştir. Analizlerde yüksek sönümlü tabakalı kauçuk ve Yeni Zelanda sistemleri iki farklı taban izolatörleri olarak düşünülmüştür.

Taban izolasyonlu yapıların davranışlarını ve en etkin özelliklerini ayırt edebilmek amacıyla pek çok parametrik çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda başlıca parametreler; yapının periyodu, sönümü ve izolatörlerin akma dayanımı, akma şekil değiştirmeleridir. Ayrıca, sürtünmeli taban izolatörleri için en önemli olan parametreler ise kaygan yüzeyin sürtünme katsayısıdır.

TKM sistemiyle izolasyonu yapılan bir yapının tasarımında en uygun parametre yer hareketinin hakim frekansının, ω_g , yapının frekansına, ω_1 , oranı olduğu Constantinou ve Tadjbakhsh [33, 34] tarafından ifade edilmiştir. ω_g/ω_1 oranının ve özellikle taban izolasyon frekansının, ω_b , yapının frekansına, ω_1 , oranının, ω_b/ω_1 , küçük değerleri için taban izolasyonu etkisiz olmaktadır. Üst yapının esnekliğinin artması halinde taban izolasyonunun etkililiği de azalmaktadır. ω_g/ω_1 oranı 1'e yaklaşırken sistemin daha çok etkili olacağı bu araştırmacılar tarafından elde edilmiştir. Ayrıca, ω_b/ω_1 oranı artarken taban yerdeğiştirmeleri azalmaktadır. İzolasyonun, rijit bir temel üzerindeki yapı için daha etkili olacağını bu ibareler göstermektedir. Yapının hakim frekansının optimum değeri ise genellikle 2 saniye olarak belirlenmektedir [33, 34].

Stasyonel rast gele deprem hareketine maruz taban izolasyonlu bir binanın tepkileri Lin [56] tarafından çalışılmıştır. İzolasyon sisteminin etkililiğinin öncelikle enerji absorbe yapı periyodunu değıştirmesine bağılı olduğunu göstermişlerdir.

Sürtünmeli taban izolasyonunda öncelikle sürtünme katsayısı üst yapının tepkisini kontrol etmektedir. Mostaghel ve Tanbakuchi [41], Fan vd [57] kayıcı mesnetin düşük bir sürtünme katsayısı için ivme tepkilerinin, yer hareketinin frekansına bağılı olarak değışmediğini göstermişlerdir. Bu durum kayıcı mesnetlerin, sert zemin veya yumuşak zemin olan tüm bölgelerde etkili olarak kullanabileceğini ifade etmektedirler.

Fan ve Ahmadi [43], karesel ortalama tepkisinin azalmasında sürtünme kuvvetinin oldukça etkili olduğunu rapor etmişlerdir. Constantinou ve Tadjbakhsh [42], sürtünmenin küçük bir değerinin sistemin etkililiğini artırdığını sürtünmeli eleman içermeyen sistemlerle karşılaştırarak göstermişlerdir.

Lin ve Hone [58] tarafından önerilen izolasyon sisteminde; yapı temeli altında karşılıklı ortagonal olarak yerleştirilen serbest dönebilen çubuklar kullanmışlardır. Sürtünme katsayısı artarken yapının tepkisinin artması elde edilen sonuçlardandır. Liauw vd [59], deprem hareketinin yatay ve düşey hareketine maruz, kayıcı mesnetler üzerindeki bir yapının tepkilerini elde etmişlerdir. Çalışmada yer hareketinin düşey bileşenin; hem izolator yerdeğiştirmelerini ve hem de yapının tepkilerini etkilendiğini göstermişlerdir.

Novak ve Henderson [60], izolatörler zeminden daha fazla esnek ise sismik kuvvetler ve modal özellikler üzerindeki zemin-yapı etkileşiminin etkileri küçük olduğunu

elde etmişlerdir. Bu esneklik en az 10 kat olmalıdır. Ancak, esneklikleri karşılaştırılabilir ise; zemin, taban izolasyonlu yapının davranışına yardım edebilir [60].

İzolasyon sistemlerinin kuvvet-yerdeğiştirme davranışları, izolasyonlu yapı modelinin karakteristik tepkileri gibi parametreler kullanılarak çeşitli izolasyon teknikleriyle birlikte pek çok deneysel çalışma yapılmıştır [61, 62, 63, 64, 65].

Constantinou vd [66], sürtünmeli sistemlerde sürtünme katsayısını elde etmek amacıyla teflon-çelik ara yüzeyi üzerinde deneysel çalışmalar yapıp ara yüzeyin sürtünme özellikleri elde edilmiştir. Yapılan bu deneysel çalışmalarda teflon ve çelik arasındaki sürtünme, hareketin ivmesi artmasıyla birlikte artmış ve mesnetteki basıncın artmasıyla azalmıştır. Teflon-çelik ara yüzey, düşük ivmelerde dahi, sürekli olarak kaymaya eğilimli olup Coulomb sürtünme yasasını teflon-çelik ara yüzey için kullanılamamıştır [66, 67, 68].

Mokha vd [69], 6 katlı çeyrek ölçekli bir yapının sarsma tablası üzerinde sürtünmeli sarkaç modeli ile taban izolasyonu yaparak deprem ivmelerine maruz bırakmışlardır. Yapının farklı frekanslara sahip güçlü deprem kuvvetlerine karşı koyabilecek durumda olduğunu ve önemli derecede taban yerdeğiştirmelerinin azalmış olduğunu göstermişlerdir. Aynı yapı sistemi sarsma tablası üzerinde teflon mesnetler ve helisel çelik yaylar kullanılarak Costantinou vd [70] tarafından çalışılmıştır. Yine farklı frekanslara sahip güçlü deprem kuvvetlerine karşı yapının dayanımı oldukça etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca aynı araştırmacılar teflon mesnetlerde sürtünme özelliklerini ve mesnedin performansını çalışmışlardır. İki eksenli harekete maruz teflon kayıcı mesnetler üzerinde deneysel çalışmalarını yaparak mesnet ara yüzeyindeki sürtünme kuvvetlerinin dik bileşenleri arasında bir etkileşimin var olduğunu göstermişlerdir. Bu etkilerin ihmal edilmesi izolasyon yerdeğiştirmelerinin az ve yapısal kesme kuvvetlerinin fazla olarak tahmin edilmesine neden olabileceğini ortaya koymuşlardır [71,72].

İzolasyonlu yapıların farklı modellenme kavramları sürtünmeli sarkaç sistemler kullanılarak Almazan vd [73] tarafından yapılmıştır. 4 katlı bir bina çerçevesi ve tek katlı yapılar için sürtünmeli sarkaç sistemlerinin farklı yapısal modelleri geliştirilerek test edilmiştir. Ayrıca, sürtünmeli sarkaç sistemlerin kuvvet-yerdeğiştirme arasındaki ilişkiyi temsil eden formülasyonu da sunmuşlardır.

17 ülkede sismik taban izolasyonlu olarak çeşitli yapılar inşaa edilmiştir. 8 ülkede de sismik izolasyonla ilgili araştırma programları yürütülmektedir. Yapılmış ve yapılmakta

olan taban izolasyonlu yapıların sayısı yaklaşık olarak 102 tane olduğu bilinmektedir [11] Taban izolasyonlu yapıların; 38 tanesi bina (ev, okul veya iş hanı), 51 tanesi köprü, 6 tanesi nükleer güç santrali ve 7 tanesi de endüstriyeldir. Ayrıca, İtalya ve Japonya'da yerel olarak izolasyonu yapılan 136 tane de köprü olduğu literatüre geçmiş kaynaklardan öğrenilmektedir [2, 11, 12].

Tablo.1'de sismik taban izolasyonlu yapılar, yapının bulunduğu ülke ve faaliyet gösteren kurumlar verilmektedir [11].



Tablo 1. Taban izolasyonlu olarak inşaa edilen yapılar ve faaliyet gösteren kurumlar

Ülke	İnşaa Edilen Yapılar	Aktif Kurumlar
Belçika		D'Appolonia
Kanada	1 tane Kömür Yükleyicisi, Prens Rupert B.C.	İngiliz Kolombiya Üni. Vancouver Pall Dinamik, Montreal Swan Wooster Engineering, Vancouver Khanna Grubu
Şili	1 tane Maden Yükleyicisi, Guacolda	Şili Üniversitesi
Çin	2 tane Bina (1975)	Beijing İnşaat ve Yapı Araştırma Enstitüsü Merkezi
	1 tane Yol İstasyonu, (1980)	
	1 tane 4 katlı Yurt Binası, Beijing (1981)	
İngiltere	1 tane nükleer yakıt geri dönüşümü yapabilen santral	Malezya Kauçuk Üreticileri Araştırma Birliği, Imperial Fen ve Teknoloji Koleji, Southhampton Londra Üniversitesi
Fillandiya		Imatran Voima Grubu
Fransa	4 tane Bina (1977-1982)	Ulusal Fen Bilimleri Araştırma Merkezi, Saclay Nucleer Enstitüsü Merkezi, Fransız Elektrik, Spie Batignolies
	1 tane 3 katlı Okul, Lambesc (1978)	
	2 tane Nükleer Atık Depolama Ünitesi, Cruas ve Le Pellirin (1982)	
Almanya		GERB, Berlin, Kraftwerke Derneği, Mühendislik Analizi, Polensky ve Zolher, Frankfurt, Jupp Grote
Greece	2 İşhanı	Patras Üniversitesi
Macaristan		Budapeşte Teknik Üniversitesi
İzlanda	5 Köprü	İzlanda Kara Yolları
Hindistan		Roorkee Üniversitesi, Bhabha Atom Araştırma Merkezi
İran/İrak	1 tane Nükleer Güç Santrali, Karun Irmağı, (1978)	
	1 tane 12 katlı Bina, Tahran, (1968)	

Tablo 1. Taban izolasyonlu olarak İnşaa edilen yapılar ve faaliyet gösteren kurumlar(devam)

İsrail		İsrail Teknoloji Enstitüsü
İtalya	3 tane viyadük	Austrade, Roma, TESIT, Milano, Milan Politeknik
Japonya	4 tane Bina	Taisei Şirketi, Tokyo Kenchiku, Okumura Şirketi, Ohbayashi-gumi şirketi, Oiles Endüstri, Sumitomo İnşaat, Takenaka Komuten Şirketi, Kajima Şirketi, Shimizu İnşaat Şirketi, Bayındırlık Bakanlığı, Tokyo Üniversitesi, Tohoku University, Ulusal Elektrik Enerjisi Kurumu
	7 tane Araştırma laboratuvarı	
	2 adet Müze	
	5 tane İşhanı	
Meksika	1 tane 4 katlı okul, Meksika City, (1974)	Gonzales Flores, Mühendisler Odası
Ortadoğu	Propan ve Butan Gaz Depolama Tankları	
Yeni Zellanda	3 tane İşhanı, Auckland ve Wellington (1982, 1983 ve 1989)	Fizik ve Mühendislik Laboratuvarı, Auckland Üniversitesi, Araştırma ve Geliştirme Bakanlığı, vb.
	37 tane Köprü	
	2 tane Endüstri Yapısı	
Romanya	Bina	Jassy Politeknik Enstitüsü
Rusya	3 tane Bina, Sivastopol	
	1 tane 3 katlı Bina	
Güney Afrika	1 tane Nükleer Güç Santrali, Koeberg	
İsviçre		İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü, Zürih
Amerika	6 tane Köprü	Dinamik İzolasyon Sistemleri, Kaliforniya Üniversitesi, Berkeley, Reid ve Tracis Taban İzolasyon Danışmanlıkları, Forell, Elsesser, Reaveley Mühendislikleri, KPFF Mühendisler Odası Bazı Ulaştırma Bölümleri
	6 tane Bina	
	3 tane Endüstri Yapısı	
Yugoslavya	1 tane 3 Katlı Okul, Skopje, (1969)	Kiril ve Metodij Üniversitesi

1.4. Taban İzolasyon Elemanlarının Modellenmesi

İzolasyon sistemi, her bir izolatörün kuvvet-yerdeğiştirme eğrisine ve bir veya iki eksenli olmasına göre modellenir. İzolatörlerin düşey doğrultuda rijit olduğu ve her birinin burulma dayanımının ihmal edildiği kabul edilmiştir.

İzolatörlerin analitik olarak modellenmesi için lineer elastik yaylar, viskoz söndürücüler, kauçuk taşıyıcılar, kayıcı taşıyıcılar ve sürtünmeli sarkaç mesnetler kullanılmaktadır.

1.4.1. Lineer Elastik Elemanlar

Lineer elastik elemanlar, sönümlü kauçuk mesnetlerin davranışlarını yaklaşık olarak ifade edebilmek amacıyla kullanılan yaylardan ibarettir. Yayların boyuna ve enine rijitlikleri sırası ile K_x ve K_y , dönme rijitliği ise K_r olarak tanımlanır.

1.4.2. Lineer Viskoz Elemanlar

Lineer viskoz elemanlar, viskoz özellikli izolatörlerinin davranışını ifade etmek amacıyla kullanılabilir; boyuna ve enine ötelenme sönüm katsayıları sırası ile C_x ve C_y , dönme sönüm katsayısı ise C_r olarak tanımlanır.

1.4.3. İki Eksenli İzolatör Modeli

Enine ve boyuna doğrultuda düzlem hareketlere sahip bir mesnette meydana gelen yatay kuvvetler, iki eksenli etkileşimi ifade etmektedir. Yatay kuvvetlere ilave olarak burulma momentleri de meydana gelebilir. Fakat, bu izolatörlerin her birinin burulma momentleri toplam burulma momentleri yanında ihmal edilebilmektedir [63].

İzolatör yerleştirilmiş bir mesnetteki hareketi engelleyici kuvvetlerin yönü hareketin yönüne karşı koymaktadır. İki doğrultuda bileşeni olan hareketin doğrultusu,

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\dot{U}_y}{\dot{U}_x} \right) \quad (3)$$

şeklindedir. Burada θ , x eksenine göre kaymanın yönünü, \dot{U}_x ve \dot{U}_y sırası ile x ve y yönlerindeki hızları ifade etmektedir. İki doğrultuda hareketleri izole edebilecek iki eksenli izolatörler için Park, Wen ve Ang [67] tarafından tavsiye edilen matematik model,

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

şeklinde ifade edilir. Burada Z_x ve Z_y sırasıyla histeretik boyutsuz değerleri, Y akma yerdeğiştirmesini ve A, γ, β histeretik döngünün şeklini kontrol eden boyutsuz sabitlerdir. $A = 1, \gamma = 0.9$ ve $\beta = 0.1$ değerleri hesaplar için tavsiye edilmiştir [63]. Akma başladığında,

(4) ifadesinde $\frac{A}{\beta + \gamma} = 1$ ise,

$$Z_x = \text{Cos}\theta \quad (5a)$$

$$Z_y = \text{Sin}\theta \quad (5b)$$

özel çözümü ortaya çıkmaktadır [63]. Burada Z_x ve Z_y ± 1 değerleri arasında sınırlandırılmıştır. Ayrıca, histeretik kuvvetlerin iki eksenli etkileşimi ve yönleri dikkate alınmaktadır. (4) ifadesiyle verilen kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi elipssel ve sürekli dir.

1.4.3.1. Kayıcı Mesnetler için İki Eksenli Model

Boyuna ve enine doğrultularda kayabilen bir kayıcı mesnet için, hareketi engelleyici kuvvetler aşağıda verilen denklemlerle,

$$F_x = \mu_s W Z_x \quad (6a)$$

$$F_y = \mu_s W Z_y \quad (6b)$$

şeklinde ifade edilebilir [63]. Burada W mesnet tarafından taşınan düşey yükü, μ_s , mesnet basıncına, θ açısına ve kayma hızına bağlı olarak değişen sürtünme katsayısını göstermektedir. Kayma hızı,

$$\dot{U} = \sqrt{(\dot{U}_x)^2 + (\dot{U}_y)^2} \quad (7)$$

şeklindedir. Sürtünme katsayısı ise,

$$\mu_s = f_{\max} - (f_{\max} - f_{\min}) e^{(a|\dot{U}|)} \quad (8)$$

şeklinde ifade edilebilir [63]. Burada, f_{\max} , sürtünme katsayısının maksimum değerini, f_{\min} ise sürtünme katsayısının minimum değerini göstermektedir. a sürtünme katsayısının maksimum ile minimum değerleri arasındaki geçişi kontrol eden ve hıza bağlı bir katsayıdır. \dot{U} , hızı ifade etmektedir. f_{\max} , f_{\min} , a genellikle θ açısının ve basıncın bir fonksiyonudur.

1.4.3.2. Kauçuk Mesnetlerin İki Eksenli Modeli

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

$$F_x = \alpha \frac{F^Y}{Y} U_x + (1 - \alpha) F^Y Z_x \quad (9a)$$

$$F_y = \alpha \frac{F^Y}{Y} U_y + (1 - \alpha) F^Y Z_y \quad (9b)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada F_x ve F_y sırasıyla enine ve boyuna doğrultudaki kuvvetleri, α plastik rijitliğin elastik rijitliğe oranını, F^Y akma kuvvetini, Y akma yerdeğiştirmesini göstermektedir. Z_x ve Z_y değerleri (4) denkleminde verilmiş olup histeretik kuvvetlerin iki eksenli etkileşimiyle ilgili boyutsuz değerlerdir.

1.4.4. Tek Eksenli İzolatör Modeli

(4) denkleminde verilen iki eksenli izolatör eleman modeline ait matrisin diagonal dışı elemanlarının yerine sıfır yazılarak iki eksenli etkileşim ihmal edilebilir. Bu, iki dik doğrultuda ya sürtünmeli yada iki doğrulu bağımsız elemanlı bir eksenli model olarak sonuçlanır. Bu tanım içinde (4) denklemi,

$$\dot{Z}Y = A\dot{U} - |Z|^n (\gamma \text{Sign}(\dot{U}Z) + \beta) \dot{U} \quad (10)$$

indirgenebilir [74]. Parametreler (4) denkleminde tanımlanmıştır. Burada $n=2$, iki eksenli izolasyon modelinde elastik bölgeden plastik bölgeye geçişi kontrol etmektedir. Bu parametrenin değeri, izolatöre ait düzgün iki doğrulu kuvvet-yerdeğiştirme davranışı yerine yaklaşık iki doğrulu kuvvet-yerdeğiştirme davranışını elde edebilmek için artırılabilir. Tek eksenli kayıcı izolatör eleman için (8) denkleminde verilen sürtünme katsayısı \dot{U}_x veya \dot{U}_y 'ye bağlıdır.

1.4.5. Lineer Olmayan Sönüm Elemanı

Fiziksel sistemlerin çoğunda sönüm lineer olmayan ifadelerle tanımlanabilmektedir. Coulomb ve viskoz sönümler örnek olarak verilebilir. Bu amaçla çeşitli akışkan viskoz ve sürtünmeli sönüm aletleri önerilmektedir. Lineer olmayan sönüm aletleri ve kuvvetleri, “p” ye bağlı olarak tanımlanabilir. Sönüm kuvveti,

$$F_d = \left(\sum_{i=1}^n F_{oi} + C_i \left| \dot{U} \right|^{p_i} \right) \text{sign}(\dot{U}) \quad i = 1, \dots, n \quad (11)$$

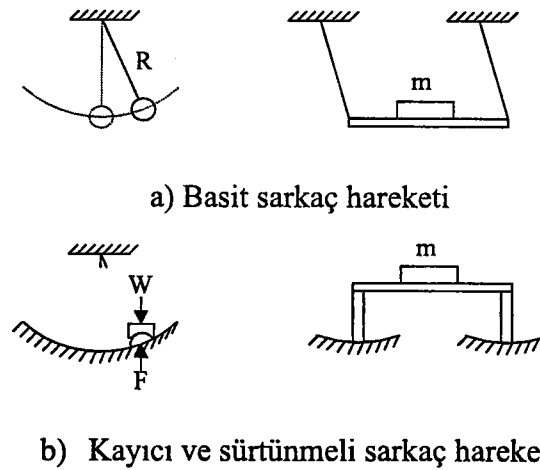
$$F_d = \left(\sum_{i=1}^n F_{oi} + C_i |\dot{U}|^2 \right) \text{Sign}(\dot{U}) \quad (14)$$

olarak elde edilebilir [76].

1.4.6. Sürtünlü Sarkaç Sistem Modeli

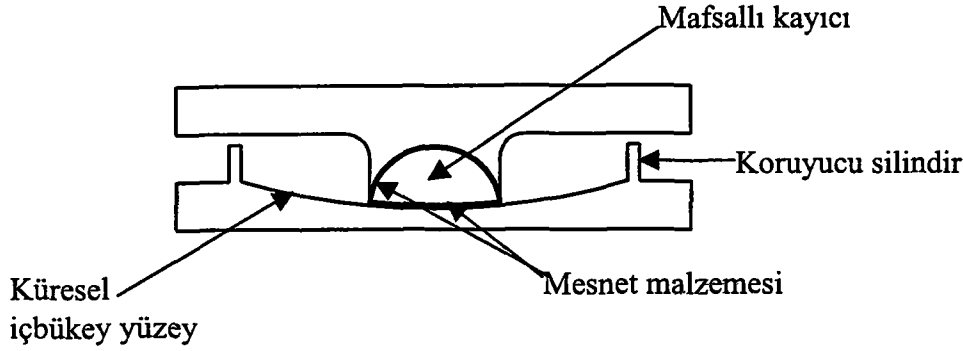
Sürtünlü sarkaç sisteminin prensipleri Zayas [8, 9], Mokha vd [69] ve Constantinou vd [63, 67] tarafından verilmiş olup bu prensipler bütün sürtünlü küresel kayıcı mesnetler için de geçerlidir. Zira, küresel sürtünlü kayıcı mesnetler sarkaç prensibi ile çalışmaktadır.

Sürtünlü sarkaç sistemlerin geometrisi ve taşıdıkları ağırlık önemli parametrelerdir. Zira, bu sistemin davranışı basit bir sarkaç hareketinin temel ilkelerine bağlıdır, Şekil 11. Sürtünlü sarkaç izolatörü ile mesnetlenen yapı, deprem hareketine karşı küçük genlikli sarkaç hareketi ile tepki verebilmektedir. Sarkaç sistemi, kayıcı olup silindirik içbükey yüzey üzerinde kayabilen ve yüzeyi bir kauçuk mesnet malzemesi ile kaplanan mafsallı bir kayıcıdan oluşmaktadır. Bu mesnet malzemesi yüksek basınç mukavemetine sahiptir. Sürtünlü sarkaç sisteminin bir mesnede dönüşümü Şekil 11'de görülmektedir. Mesnedin küresel yüzeyi aşağı veya yukarıya yönelik olabilir. Bu her iki tür de aynı davranışı göstermektedir, Şekil 12.



Şekil 11. Basit sarkaç hareketinin kayıcı ve sürtünlü sarkaç mesnet sistemine dönüşü

Sürtünlü sarkaç sistemlerinde bulunan koruyucu silindir, yatay yerdeğıştirmelerin engellenmesinde etkili olmaktadır. Ayrıca, çevresel kirlilikten iç elemanların korunmasını sağlamaktadır. Koruyucu silindir tarafından sağlanan yerdeğıştirme kontrolü, deprem yükleri aşırı olarak hesap yüklerini geçmesi durumunda çok önemli bir güvenlik sağlamaktadır [8].



Şekil 12. Sürtünlü sarkaç sisteminin kesiti

Sürtünlü sarkaç sistemi olarak kullanılan izolatörler, yapının periyodunun değıştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadırlar. Öyle ki, titreşimin doğal periyodu,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} \quad (15)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada, R küresel yüzeyin eğrilik yarıçapını ve g yerçekimi ivmesini ifade etmektedir. (15) ifadesinden de görülebileceği gibi titreşim periyodu kütleden bağımsız, fakat küresel yüzeyin eğrilik yarı çapı ile doğru orantılıdır. Bundan dolayı yapının periyodunun değıştirilmesi oldukça kolay olabilmektedir. Ayrıca, yapının ağırlığının değışmesinde ilk doğal periyodu değışmeyecektir. Bu periyot, hem sürtünlü sarkaç sistem üzerinde kayan bir kütlenin periyodu hem de sürtünlü sarkaç sistem üzerinde mesnetlenen rijit bir yapının izolasyonlu periyodudur. İzolatörlerin sürtünme kuvveti aşıldığında izolasyonlu periyot aktif olmaktadır. Kayma hareketi başladığında aktif olan sürtünme kuvveti, mesnet malzemesinin seçilmesiyle kontrol edilmektedir. Deprem kuvvetleri sürtünme kuvvetinden az olduğu sürece sürtünlü sarkaç sistemlerle

mesnetlenen yapı, titreşimin izolasyonsuz periyodunda geleneksel yöntemlerle mesnetlenen bir yapı gibi tepki vermektedir. Sürtünme kuvvetleri aşıldığı zaman dinamik tepkiler sürtünmeli sarkaç izolatörleri tarafından kontrol edilmektedir. Ayrıca, yapı; titreşimin izolasyonlu periyoduna karşılık olabilen tepki gösterecektir.

Herhangi bir yönde sürtünmeli sarkaç sistemin kuvvet-yerdeğiştirme arasındaki ilişki,

$$F = \frac{W}{R}U + \mu_s W \text{Sign}(\dot{U}) \quad (16)$$

şeklinde açıklanabilir. Burada μ_s, W, R, U sırası ile sarkaç yüzeyindeki sürtünmeyi, mesnedin taşıdığı toplam ağırlığı, sarkacın yarıçapını ve yerdeğiştirmeyi ifade etmektedir. Sarkaç hareketinin rijitliği,

$$K = \frac{W}{R} \quad (17)$$

şeklinde dir. (17) denkleminde de görüldüğü gibi rijitlik taşınan ağırlık ile doğru orantılıdır.

Sürtünmeli sarkaç sistemin diğer bir özelliği ise, mesnedi belli bir ölçüde kayıcı mesnet haline getirmesidir. Kayıcı sistemin yarı küresel tasarımı ile yatay ve düşey yükler için homojen düzgün temas basınçlarının meydana gelmesine neden olur.

1.4.7. Kauçuk izolasyon Modeli

Kauçuk izolasyon modeli; kauçuk levhalar arasına çelik plakalar koyularak elde edildiğinden, düşey yönde oldukça rijit ve yatay yönde ise oldukça esnek özellik gösterir. Bu tür mesnetler, tabakalı kauçuk mesnet sistemleri olarak isimlendirilir. Yapıya, deprem hareketinin düşey bileşeni nispeten değişmeden aktarılırken, buna karşılık yatay bileşenin etkileri bu kauçuk mesnetler tarafından kısmen absorbe edilmektedir; böylece yapı deprem etkilerine karşı korunmaktadır. Düşey ivmeler normal olarak çoğu binalar için bir sorun

meydana getirmemektedir. Kauçuk mesnetler üzerindeki bir yapı istenmeyen titreşimlerden ve deprem etkisinden eşzamanlı olarak korunmaktadır.

Kauçuk mesnedin katı cisim mod periyodu,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{Kg}} \quad (18)$$

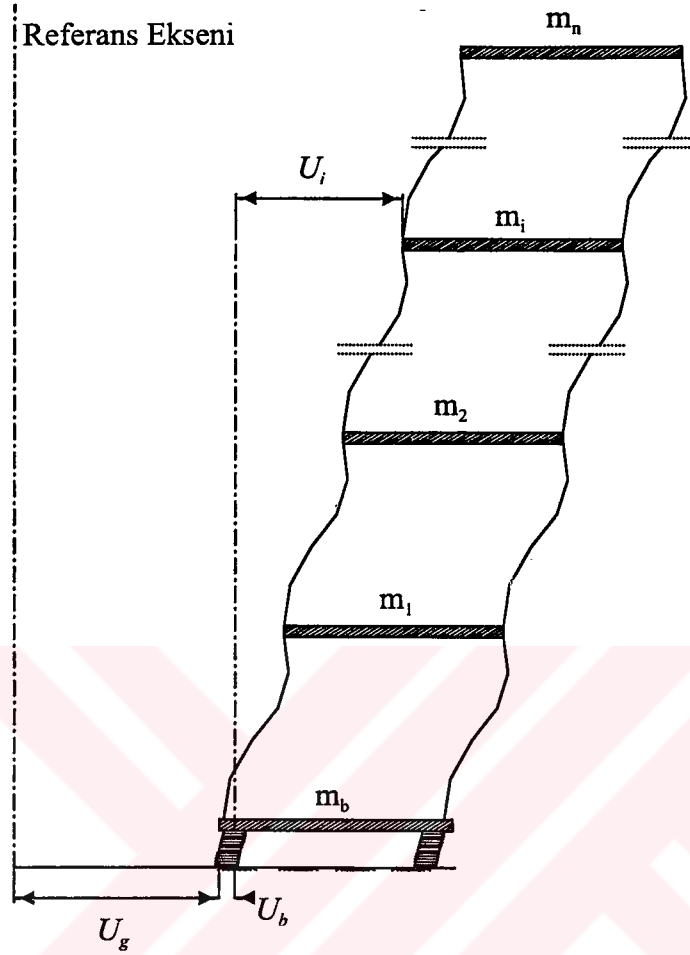
olarak ifade edilebilir [28]. Burada W normal kuvveti veya mesnedin taşıdığı ağırlığı, K mesnedin plastik rijitliğini ve g yerçekimi ivmesini göstermektedir. Elastik rijitlik ise,

$$K_o = \frac{F^Y}{Y} \quad (19)$$

şeklinde ifade edilebilir [75]. Burada F^Y akma kuvvetini ve Y ise akma yerdeğiştirmesini göstermektedir. İzolasyon modelinin başlangıç elastik rijitliği izolasyonsuz yapının rijitliğine eşit olmaktadır. Modelin plastik rijitliği, izolatörün etkisini ve yapının esnekliğinin birleşimini içermektedir.

1.5. Taban İzolasyonlu Yapıların Hareket Denklemi

Lineer elastik özellik gösteren çerçeve ve perdelerden oluşan binalar ve temelleri, kütleleri katların ağırlık merkezlerine toplanmış olarak idealize edilebilir. Bu idealize de katlara 3 serbestlik dereceli, 2 ötelenme ve 1 dönme, olarak verilebilir. Bu şekilde tanımlanan analitik modelde temel ve döşemeler planda sonsuz bir rijitliğe sahip olduğu kabul edilmektedir. Binaların bu modeli için izolasyon sistemi; kauçuk veya kayıcı sistemli mesnetlerden, yaylardan, viskoz elemanlardan ve lineer olmayan söndürücü elemanlardan alınabilir.



Şekil 13. Çok serbestlik dereceli taban izolasyonlu bir yapının yerdeğiştirme koordinatları

Bu modelleme ile, lineer elastik üst yapının, Şekil 13, matematik modeli olarak;

$$\mathbf{M}_{n \times n} \ddot{\mathbf{U}}_{n \times 1} + \mathbf{C}_{n \times n} \dot{\mathbf{U}}_{n \times 1} + \mathbf{K}_{n \times n} \mathbf{U}_{n \times 1} = -\mathbf{M}_{n \times n} \mathbf{R}_{n \times 3} (\ddot{\mathbf{U}}_g + \ddot{\mathbf{U}}_b)_{3 \times 1} \quad (20)$$

yazılabilir. Burada, n yapının serbestlik derecesini, \mathbf{M} , \mathbf{C} , \mathbf{K} ve \mathbf{R} sırası ile kütle, sönüm, rijitlik matrislerini ve deprem etki vektörünü ifade etmektedir. $\ddot{\mathbf{U}}$, $\dot{\mathbf{U}}$ ve \mathbf{U} sırası ile temele göre yapının ivme, hız ve yerdeğiştirme vektörleridir. Ayrıca, $\ddot{\mathbf{U}}_b$, $\ddot{\mathbf{U}}_g$ sırası ile yere göre taban izolasyonun ve yer hareketinin ivmeleridir.

Taban için hareket denklemi ise,

$$\mathbf{R}_{3 \times n}^T \mathbf{M}_{n \times n} \mathbf{I}(\ddot{\mathbf{U}}) + \mathbf{R}(\ddot{\mathbf{U}}_b + \ddot{\mathbf{U}}_g)_{n \times 1} + \mathbf{M}_{b3 \times 3}(\ddot{\mathbf{U}}_b + \ddot{\mathbf{U}}_g)_{3 \times 1} + \mathbf{C}_{b3 \times 3}(\dot{\mathbf{U}}_b)_{3 \times 1} + \mathbf{K}_{b3 \times 3}(\mathbf{U}_b)_{3 \times 1} + (\mathbf{f})_{3 \times 1} = 0 \quad (21)$$

şeklinde yazılabilir. Burada \mathbf{M}_b rijit tabanın diyagonal kütle matrisi, \mathbf{C}_b viskoz izolasyon elemanlarının sonuç sönüm matrisi, \mathbf{K}_b elastik izolasyon elemanlarının sonuç rijitlik matrisi, \mathbf{f} kayıcı veya kauçuk tipi mesnetler gibi lineer olmayan izolasyon elemanlarında hareketi içeren kuvvet vektörüdür. Yerdeğiştirmeler, \mathbf{U} , modal matris, Φ , modal genliklere, \mathbf{U}^* , bağlı olarak

$$\mathbf{U}_n = \Phi_{n \times m} \mathbf{U}_{m \times 1}^* \quad (22)$$

ifade edilebilir. Burada, m çözümde ele alınan öz vektörlerin sayısı ve n , döşeme orta noktasında bulunduğu kabul edilen serbestlik derecelerinin sayısıdır. (20)'den (22)'e kadar olan denklemler birleştirilerek matris formunda,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I} & \Phi^T \mathbf{M} \mathbf{R} \\ \mathbf{R}^T \mathbf{M} \Phi & \mathbf{R}^T \mathbf{M} \mathbf{R} + \mathbf{M}_b \end{bmatrix}_{(m+3) \times (m+3)} \begin{pmatrix} \ddot{\mathbf{U}}^* \\ \ddot{\mathbf{U}} \end{pmatrix}_{(m+3) \times 1} + \begin{bmatrix} 2\xi_i \omega_i & 0 \\ 0 & \mathbf{C}_b \end{bmatrix}_{(m+3) \times (m+3)} \begin{pmatrix} \dot{\mathbf{U}}^* \\ \dot{\mathbf{U}} \end{pmatrix}_{(m+3) \times 1} + \begin{bmatrix} \omega_i^2 & 0 \\ 0 & \mathbf{K}_b \end{bmatrix}_{(m+3) \times (m+3)} \begin{pmatrix} \ddot{\mathbf{U}}^* \\ \ddot{\mathbf{U}} \end{pmatrix}_{(m+3) \times 1} + \begin{pmatrix} 0 \\ \mathbf{f} \end{pmatrix}_{(m+3) \times 1} = - \begin{bmatrix} \Phi^T \mathbf{M} \mathbf{R} \\ \mathbf{R}^T \mathbf{M} \mathbf{R} + \mathbf{M}_b \end{bmatrix}_{(m+3) \times 1} \ddot{\mathbf{U}}_{g3 \times 1} \quad (23)$$

yazılabilir. Burada ξ_i ankastre tabanlı yapının i .modundaki modal sönüm oranını ve ω_i ankastre tabanlı yapının i .modundaki doğal frekansını göstermektedir. (23) denklemini toplu olarak aşağıdaki gibi,

$$\tilde{\mathbf{M}} \ddot{\mathbf{U}}_t + \tilde{\mathbf{C}} \dot{\mathbf{U}}_t + \mathbf{K} \mathbf{U}_t + \mathbf{f}_t = \tilde{\mathbf{P}}_t \quad (24)$$

yazılabilir. $t + \Delta t$ zamanında (24) denklemini,

$$\tilde{\mathbf{M}}\ddot{\tilde{\mathbf{U}}}_{t+\Delta t} + \tilde{\mathbf{C}}\dot{\tilde{\mathbf{U}}}_{t+\Delta t} + \mathbf{K}\tilde{\mathbf{U}}_{t+\Delta t} + \mathbf{f}_{t+\Delta t} = \tilde{\mathbf{P}}_{t+\Delta t} \quad (25)$$

olur. Artımlı şekilde yazılırsa,

$$\tilde{\mathbf{M}}\Delta\ddot{\tilde{\mathbf{U}}}_{t+\Delta t} + \tilde{\mathbf{C}}\Delta\dot{\tilde{\mathbf{U}}}_{t+\Delta t} + \mathbf{K}\Delta\tilde{\mathbf{U}}_{t+\Delta t} + \Delta\mathbf{f}_{t+\Delta t} = \tilde{\mathbf{P}}_{t+\Delta t} - \tilde{\mathbf{M}}\ddot{\tilde{\mathbf{U}}}_t - \tilde{\mathbf{C}}\dot{\tilde{\mathbf{U}}}_t - \mathbf{K}\tilde{\mathbf{U}}_t - \mathbf{f}_t \quad (26)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada $\tilde{\mathbf{M}}, \tilde{\mathbf{C}}, \mathbf{K}$ ve $\tilde{\mathbf{P}}$ sırasıyla kısaltılmış kütle, sönüm, rijitlik matrisleri ve yük vektörüdür. Bununla birlikte üstyapının ve tabanının hareketinin ivme, hız ve yerdeğişimleri $\ddot{\tilde{\mathbf{U}}}, \dot{\tilde{\mathbf{U}}}$ ve $\tilde{\mathbf{U}}$ vektörleri ile verilmektedir.

1.6. Taban İzolasyonlu Yapıların Hareket Denkleminin Ait Çözüm Algoritması

(26) denkleminde verilen artımsal lineer olmayan kuvvet vektörü $\Delta\mathbf{f}_{t+\Delta t}$ bilinmemektedir. Bu vektör (26) denkleminin sağ tarafına geçirilir ve zahiri kuvvet vektörü olarak işlem görür. Çözüm algoritması 2 adımlıdır. İlk adımda, kararlı şartsız Newmark ortalama ivme (Newmark Average Acceleration) yöntemi kullanılarak hareket denklemlerinin çözümü, ikinci adımda ise diferansiyel denklemlerin çözümü için uygun olan ön şartsız yarı kapalı Runge-Kutta yöntemi kullanılarak lineer olmayan davranışın genel çözümünü içermektedir. Bununla birlikte, denge sağlanana kadar her bir adım için de bir doğrulayıcı zahiri kuvvetlerden oluşan bir iteratif işlem uygulanır. Özellikle kaygan sistemli taban izolasyonlu yapıların çözümü için iterasyonlu zahiri kuvvet kullanılmaktadır. Taban izolasyonlu yapıların çözümü için geliştirilen çözüm algoritması aşağıdaki sırayla verilmektedir [20]:

1. Başlangıç şartları

- a. \mathbf{K} , rijitlik matrisi, $\tilde{\mathbf{M}}$, kütle matrisi ve $\tilde{\mathbf{C}}$, sönüm matrislerinin oluşturulması,
- b. $\tilde{\mathbf{U}}_0, \dot{\tilde{\mathbf{U}}}_0$ için başlangıç değerlerini seç ve $\ddot{\tilde{\mathbf{U}}}_0$ hesapla

- c. Δt zaman adımını seç,
d. $\delta = 0.25$ ve $\theta = 0.50$ için integrasyon sabitlerini hesapla;

$$a_1 = \frac{1}{\delta(\Delta t)^2} \quad (27a)$$

$$a_2 = \frac{1}{\delta\Delta t} \quad (27b)$$

$$a_3 = \frac{1}{2\delta} \quad (27c)$$

$$a_4 = \frac{\theta}{\delta\Delta t} \quad (27d)$$

$$a_5 = \frac{\theta}{\delta} \quad (27e)$$

$$a_6 = \Delta t \left(\frac{\theta}{2\delta} - 1 \right) \quad (27f)$$

- e. Etkili rijitlik matrisinin kurulması,

$$\mathbf{K}^* = a_1 \tilde{\mathbf{M}} + a_4 \tilde{\mathbf{C}} + \tilde{\mathbf{K}} \quad (28)$$

- f. Gauss Eliminasyon Yöntemini kullanarak \mathbf{K}^* üçgenleştir (sadece zaman adımı bir önceki adımdan farklı olursa),

2. Her bir zaman artımı için iterasyon yap,

- a. $i=1$ adımında zahiri vektörü;

$$\Delta \mathbf{f}_{t+\Delta t}^i = 0 \quad (29)$$

olarak kabul edilir.

- b. $t + \Delta t$ zamanında etkili yük vektörünü hesapla,

$$\mathbf{P}_{t+\Delta t}^* = \Delta \tilde{\mathbf{P}}_{t+\Delta t} - \Delta \mathbf{f}_{t+\Delta t}^i + \tilde{\mathbf{M}}(a_2 \dot{\tilde{\mathbf{U}}}_t + a_3 \ddot{\tilde{\mathbf{U}}}_t) + \tilde{\mathbf{C}}(a_5 \dot{\tilde{\mathbf{U}}}_t + a_6 \ddot{\tilde{\mathbf{U}}}_t) \quad (30)$$

$$\Delta \tilde{\mathbf{P}}_{t+\Delta t} = \tilde{\mathbf{P}}_{t+\Delta t} - (\tilde{\mathbf{M}} \ddot{\tilde{\mathbf{U}}}_t + \tilde{\mathbf{C}} \dot{\tilde{\mathbf{U}}}_t + \tilde{\mathbf{K}} \tilde{\mathbf{U}}_t + \mathbf{f}_t) \quad (31)$$

c. $t + \Delta t$ zamanında yerdeğiştirmeleri hesapla,

$$\mathbf{K}^* \Delta \mathbf{U}_{t+\Delta t}^i = \mathbf{P}_{t+\Delta t}^* \quad (32)$$

d. $t + \Delta t$ zamanında hareket ifadesini güncelleştir,

$$\tilde{\mathbf{U}}_{t+\Delta t} = \tilde{\mathbf{U}}_t + a_1 \Delta \tilde{\mathbf{U}}_{t+\Delta t}^i - a_2 \dot{\tilde{\mathbf{U}}}_t - a_3 \ddot{\tilde{\mathbf{U}}}_t \quad (33)$$

$$\dot{\tilde{\mathbf{U}}}_{t+\Delta t} = \dot{\tilde{\mathbf{U}}}_t + a_4 \Delta \tilde{\mathbf{U}}_{t+\Delta t}^i - a_5 \dot{\tilde{\mathbf{U}}}_t - a_6 \ddot{\tilde{\mathbf{U}}}_t \quad (34)$$

$$\tilde{\mathbf{U}}_{t+\Delta t} = \tilde{\mathbf{U}}_t + \Delta \tilde{\mathbf{U}}_{t+\Delta t}^i \quad (35)$$

e. Her bir mesnette hareket ifadesini hesapla ve Runge-Kutta yöntemini kullanarak lineer olmayan kuvvetler için çöz,

f. Yapı tabanında var olduğu kabul edilen kütle merkezindeki lineer olmayan kuvvet vektörünü hesapla,

$$\Delta \mathbf{f}_{t+\Delta t}^{i+1} \quad (36)$$

g. Hata miktarını hesapla,

$$\text{hata} = \frac{|\Delta \mathbf{f}_{t+\Delta t}^{i+1} - \Delta \mathbf{f}_{t+\Delta t}^i|}{\text{Ref. Max. Moment}} \quad (37)$$

Bu hesap işleminde taban kütle merkezinde referans maksimum moment, taban kesme kuvveti ile tabanın uzun kenar boyutunun çarpılmasıyla yaklaşık olarak hesaplanabilir. Bu değer hesaplamalarda yakınsama kriteri olarak kullanılmaktadır.

- h. Hata \geq tolerans ise, daha fazla iterasyon gereklidir; 2.a adımından başlayarak iterasyon yap ve fiktif vektör olarak $\Delta \mathbf{f}_{t+\Delta t}^{i+1}$ 'i ve t zamanında $\tilde{\mathbf{U}}_t, \dot{\tilde{\mathbf{U}}}_t, \ddot{\tilde{\mathbf{U}}}_t$ hareket ifadelerini kullan.
- i. hata \leq tolerans ise , daha fazla iterasyona gerek yoktur; lineer olmayan yük vektörünü güncelleştir,

$$\mathbf{f}_{t+\Delta t} = \mathbf{f}_t + \Delta \mathbf{f}_{t+\Delta t}^{i+1} \quad (38)$$



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Mühendislik yapıları, hafif depremlerde hasar görmeyecek şekilde, orta şiddetli depremlerde ise yapıda meydana gelen hasarların onarılabilecek nitelikte olmasına müsaade edilebilecek şekilde projelendirilebilir. Çok şiddetli depremlerde ise yapı hasar görebilir, fakat göçmeyecek ve ayrıca can kayıpları olmayacak şekilde projelendirilmesi temel prensibidir. Bu nedenle, güçlü depremlerin yıkıcı tahribatlarından yapıyı korumak deprem mühendisliğinin ve araştırmacıların amacı olmaktadır.

Zemin ile yapı arasındaki etkileşimden dolayı yapı deprem veya yer sarsıntılarında maruz kaldığında bu hareketlerden çok çabuk etkilenmektedir. Zemin ile yapı arasındaki etkiyi azaltmak amacıyla çeşitli izolasyon teknikleri ve izolatörler önerilmektedir. Bu tez çalışmasında, önerilen bu izolasyon teknikleri kullanılarak taban izolasyonlu binaların dinamik davranışları üzerinde çalışılmaktadır. Bu amaçla Şekil 14'de kalıp planı ve kesiti verilen 6 katlı 3-boyutlu bir bina modeli analitik çözüm için seçilmiştir. Bu bina modelinde kesitler belirlenerek, temel tabanı kauçuk mesnetler ve sürtünmeli sarkaç sistemler kullanılarak izolasyonu yapılmıştır. Aynı izolasyon sistemleri kullanılarak perde olması durumunda meydana gelebilecek etkiler de araştırılmıştır. Ayrıca, her iki bina modeli, perdesiz izolasyonlu ve perdeli izolasyonlu, geleneksel olarak bilinen ankastre yapı modeli olarak da ele alınarak analizleri yapılmıştır. İzolasyonlu ve izolasyonsuz sistemler için elde edilen analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

2.2. Kalıp Planı

Yapılan çalışmada, dinamik analizleri yapılmak üzere Şekil 14' de verilen 6 katlı ve 3-boyutlu bina modeli ele alınmıştır. Bu modelde, serbestlik dereceleri döşeme orta noktasında olduğu kabul edilen kütle merkezinde olmak üzere 3 tanedir. Bu serbestlik derecelerinin 2 tanesi boyuna ve enine doğrultulardaki yerdeğiştirmeler ve 1 tanesi de düşey eksen etrafındaki dönme serbestlik dereceleridir. Kütleler: ötelenme ve dönme

serbestlik dereceleri için sırasıyla taban seviyesinde ve 6.katta $119.878 \text{ kN.s}^2/\text{m}$ ve $5132.722 \text{ kN.s}^2/\text{m}$, 1-5. katlarda ise $133.639 \text{ kN.s}^2/\text{m}$ ve $5848.318 \text{ kN.s}^2/\text{m}$ olarak hesaplanmıştır. Döşemelerin yatay rijitliklerinin sonsuz olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca, kolon ve perde şeklindeki taşıyıcıların boy uzamaları ihmal edilmektedir.



2.3. Kolonlar

Tüm kolon kesitleri 30cm/60cm olarak ön boyutlandırılmıştır. Betonun elastisite modülü 2.85×10^7 kN/m² alınmıştır. Kolon uzun kenar boyutu bina kısa kenar yönünde olacak şekilde yerleştirilmiştir. Ayrıca, analizlerde kolon boy uzamaları ihmal edilmektedir.

2.4. Kirişler

Tüm kiriş kesitleri 30cm/50cm olarak ön boyutlandırılmıştır. Betonun elastisite modülü 2.85×10^7 kN/m² alınmıştır.

2.5. Döşemler

Tüm katlarda döşeme kalınlığı 12cm ve betonun elastisite modülü 2.85×10^7 kN/m² alınmıştır. Döşemelerin yatay yöndeki rijitlikleri sonsuz olduğu kabul edilmektedir.

2.6. Yer Hareketi

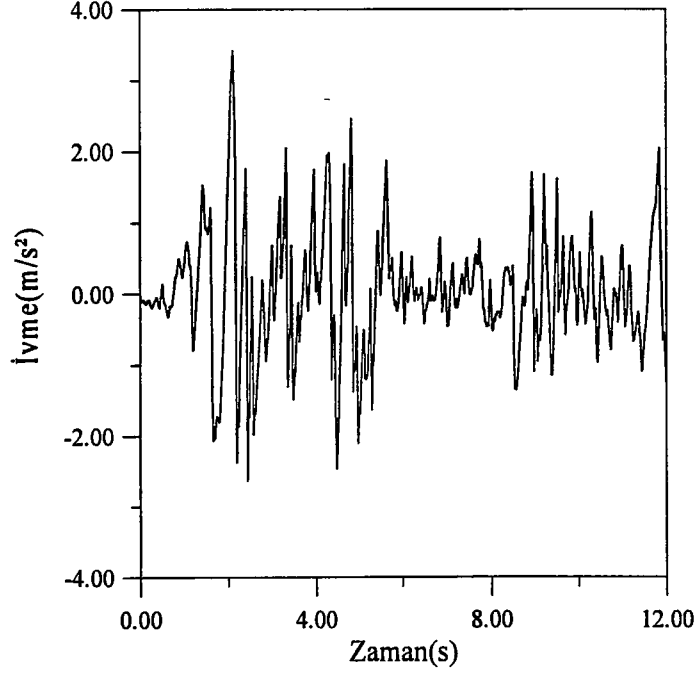
Dinamik analizde yer hareketi olarak 18 Mayıs 1940 tarihinde meydana gelen El-Centro depreminin Kuzey-Güney bileşeni ile 13 Mart 1992 tarihinde meydana gelen Erzincan depreminin Doğu-Batı bileşeni kullanılmıştır. El-Centro ve Erzincan depremlerinin zaman artım adımları sırasıyla 0.02 sn ve 0.01 sn'dir. El-Centro depremi sert kaya türü zeminde okunabilecek bir deprem, Erzincan depremi ise yumuşak ve derin alüvyon tabakalarda oluşan bir türü ifade edebilmek için tercih edilmiştir. Deprem hareketleri binaya kısa kenar doğrultusunda etkidiği kabul edilmektedir. Dinamik analizler Zaman artımı (Time-History) yöntemi kullanılarak yapılmış ve öz vektörler için mod sayısı 6 alınmıştır.

Ayrıca çözüm için gerekli olan integrasyon zaman adımı 0.01 saniye ve Newmark Metodu için gama(γ) ve beta(β) sabitleri sırasıyla 0.5 ve 0.25 olarak seçilmiştir.

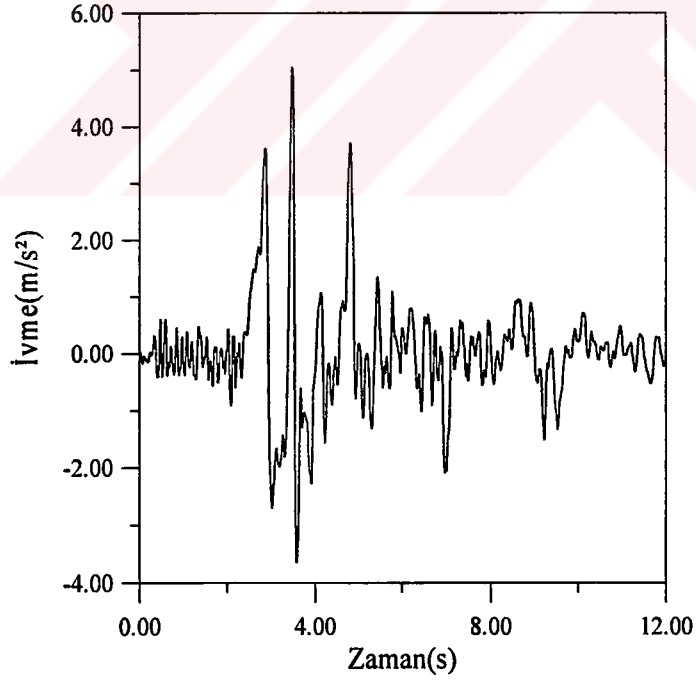
Her bir mod için ise, binanın sönüm oranı 0.05 olarak alınmıştır. Lineer ve lineer olmayan analizlerde çözüm zamanının uzun olması nedeni ile, deprem kayıtlarının ilk 12 sn'lik bölümleri dikkate alınmıştır.

Söz konusu deprem kayıtları Şekil 15 ve Şekil 16'da verilmiştir.





Şekil 15. 18 Mayıs 1940 El-Centro depreminin kuzey-güney bileşeni



Şekil 16. 13 Mart 1992 Erzincan depreminin doğu-batı bileşeni

2.7. Taban İzolasyon Sistemleri

Bu çalışmada, sürtünmeli sarkaç, kauçuk mesnetler ve lineer olmayan söndürücüler taban izolatörleri olarak kullanılmaktadır. İzolasyon sistemi, lineer olmayan bir davranış gösterirken üst yapı lineer elastik olarak davranmaktadır.

2.7.1. Sürtünmeli Sarkaç Sistemler

Temel prensipleri bölüm 1.4.6' da verilen sarkaç sistemler yapının tabanı ile temeli arasına yerleştirilmektedir. Bu mesnet sistemi küresel yüzey üzerinde kayabilen mafsallı bir kayıcıdan oluşmaktadır. Mesnedin küresel yüzeyi, aşağı veya yukarıya doğru yönelik olabilmektedir. Her iki durumda da, davranış prensipleri aynı olmaktadır. Sürtünmeli sarkaç sistemlere ait yerleşim detayları Şekil 17' de verilmektedir.

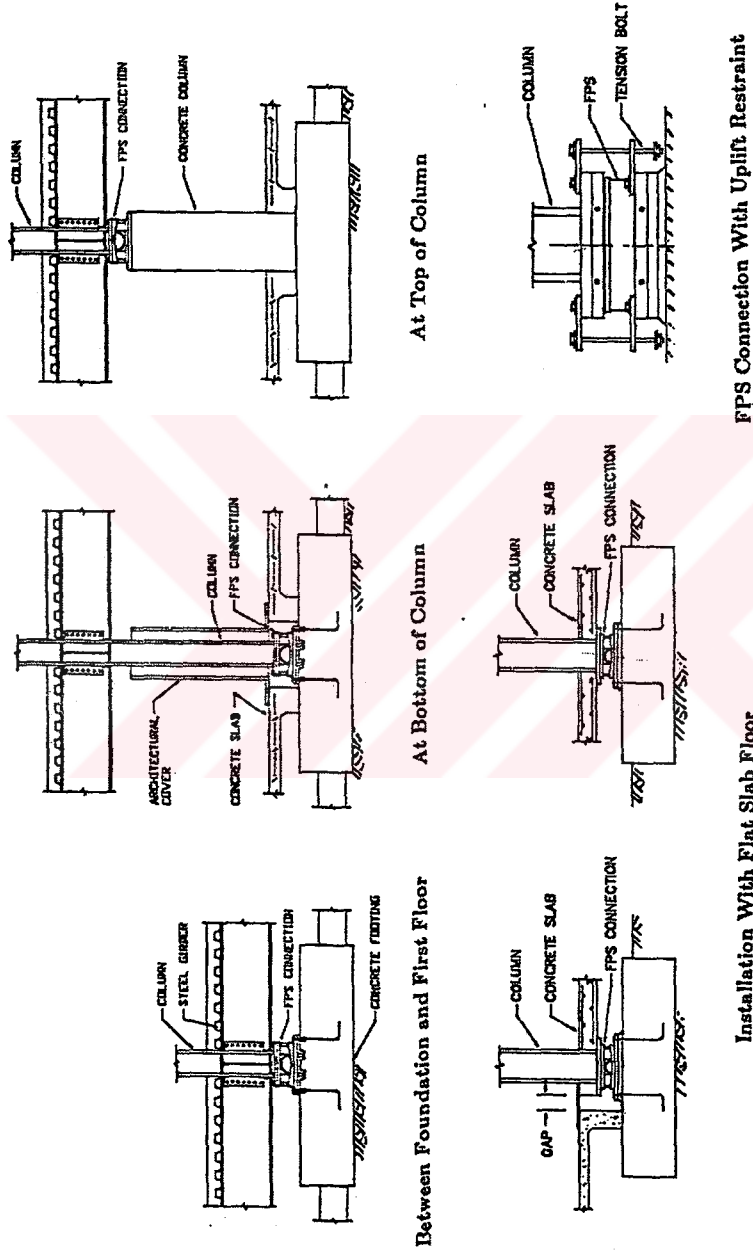
Ayrıca, içbükey yüzey ile temas halinde bulunan ve mafsallı kayıcı olarak adlandırılan kısmın yüzeyi yüksek basınca dayanabilen sürtünmeli mesnet malzemesinden kaplanmaktadır. Bu amaçla yaygın olarak kullanılmakta olan iki çeşit mesnet malzemesi mevcuttur [63]. Buna ilave olarak, bu mafsallı kayıcı kolondan gelen yükün mesnet üzerinde meydana gelen basıncın düzgün olarak yayılmasını sağlamaktadır. Sürtünme kuvveti ise basınca bağlı olarak değişmektedir [63].

2.7.1.1. Tecment-B Mesnet Malzemesi

Bu mesnet malzemesi, Japonya'da bir petrol ürünleri endüstrisi şirketi tarafından üretilmektedir. Kaygan ara yüzey yaklaşık olarak 48.3 MPa basınca dayanabilmektedir. Bu malzeme içbükey yüzey ile mafsallı kayıcı arasında sürtünmeyi sağlamaktadır.

2.7.1.2. Örülmüş Teflon Mesnet Malzemesi

Kablolarla güçlendirilerek elde edilen Örülmüş Teflon, yüksek taşıma kapasitesi sağlamaktadır. Kaygan ara yüzey basıncı yaklaşık olarak 138 MPa basınca dayanabilmektedir.



Şekil 17. Sürtünmeli sarkaç sistemlerinin çeşitli yerleşim detayları

2.7.1.3. Sürtünme Katsayısı

Sürtünme katsayısı mesnet basıncına bağlı olarak değişmektedir [63]. Sürtünme katsayısı,

$$\mu_s = f_{\max} - (f_{\max} - f_{\min})e^{(a|\dot{U}|)} \quad (39)$$

şeklinde ifade edilebilir [63]. Burada f_{\max} sürtünme katsayısının maksimum değerini, f_{\min} ise sürtünme katsayısının minimum değerini göstermektedir. a sürtünme katsayısının maksimum ile minimum değerleri arasındaki geçişi kontrol eden ve hıza bağlı bir katsayıdır. \dot{U} ise hızı ifade etmektedir. f_{\min} değerinin basınç ile değişmediği kabul edilir [63]. Buna karşılık f_{\max} değeri basınca bağlı olarak değiştiğinden maksimum sürtünme katsayısı,

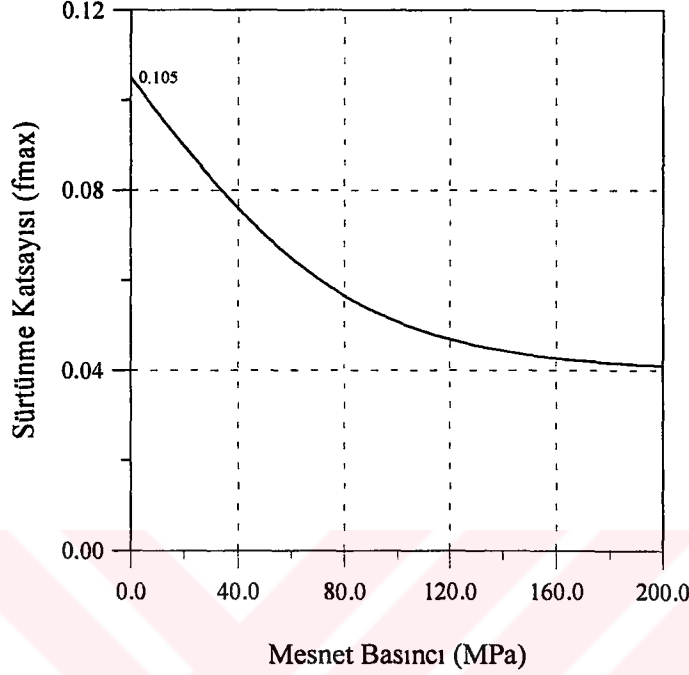
$$f_{\max} = f_{\max 0} - (f_{\max 0} - f_{\max p}) \tanh(\varepsilon P) \quad (40)$$

şeklinde ifade edilebilir [63]. Burada $f_{\max 0}$, mesnet basıncının yaklaşık olarak sıfır olması durumunda sürtünme katsayısı, $f_{\max p}$, mesnet basıncına bağlı sürtünme katsayısıdır. ε , maksimum sürtünme katsayısının yüksek ve düşük basınçlar arasındaki geçişini kontrol eden bir katsayıyı ve P ise mesnet basıncını göstermektedir. Sürtünme katsayısının mesnet basıncına bağlı olarak değişimi Şekil 18’de verilmiştir [78].

Bu çalışmada, mesnet basıncı $P = 134 \text{ MPa}$ için $\varepsilon = 0.012$, $f_{\max 0} = 0.105$ ve $f_{\max p} = 0.04$ alınmış olup maksimum sürtünme katsayısı $f_{\max} = 0.045$ olarak hesaplanmıştır. Minimum sürtünme katsayısı ise $f_{\min} = 0.03$ alınmıştır.

Mesnet basıncı, kolon yükünün temas alanına bölünmesiyle elde edilen değer olup temas alanı ise yarım küre şeklindeki mafsalı kayıcının iç bükey yüzeyle temas eden dairesel bölgesinin alanıdır. Ayrıca, sürtünme katsayısının maksimum ile minimum değerleri arasındaki geçişi kontrol eden a katsayı 31.5 s/m ve akma yerdeğiştirmesi 0.000508 m olarak alınmıştır [63].

İzolasyon periyodu 2 saniye alınarak ve (15) denkleminde faydalanarak sürtünmeli sarkacın içbükey yüzey çapı $R=1.00$ m olarak hesaplanır. Sarkaç rijitliği ise (17) denkleminde hesaplanabilir.



Şekil 18. Sürtünme katsayısının mesnet basıncı ile değişimi

2.7.2. Kauçuk Mesnet Sistemi

Bu çalışmada, tabakalı kauçuk mesnet sistemi ve içerisinde kurşun silindirik çekirdek bulunan Yeni Zelanda mesnet sistemleri kullanılmıştır.

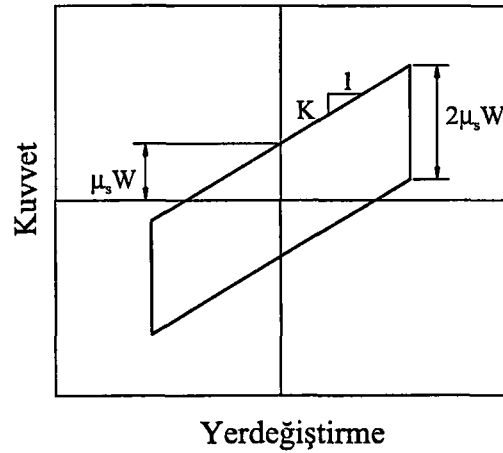
W yapının toplam ağırlığını göstermek üzere akma seviyesi $Q_d=0.045W$ ve toplam akma kuvveti $F^Y=0.055W$ değerlerini almaktadır [76]. Ayrıca izolasyon periyodu $T=2$ sn alınarak 1.4.3.2 ve 1.4.7 bölümlerinde verilen formüllerden yararlanılarak elde edilen farklı boyutlara sahip kauçuk mesnetlerin özellikleri Tablo 2'de verilmektedir. Yapılan analizlerde, B tipi kauçuk mesnet izolasyon için tercih edilmiştir.

Tablo 2. Kauçuk mesnet sistemlerinin özellikleri [75]

Mesnet No	A	B	C	D
Boyutlar (mm x mm)	380 x 380	600 x 600	540 x 540	530 x 530
Mesnet yüksekliği (mm)	220	220	220	220
Kauçuk tabaka sayısı (adet)	13	13	13	13
Kauçuk tabakalarının kalınlığı (mm)	9.50	9.50	9.50	9.50
Kurşun çekirdek çapı (mm)	70	100	90	0
Elastik rijitlik, K_0 (kN/m)	4683	3469	5630	24490
Plastik rijitlik, K (kN/m)	448	448	448	448
Akma Seviyesi, Q_d (kN)	20.04	20.04	20.04	20.04
Plastik rijitlik/Elastik rijitlik, α	0.096	0.129	0.080	0.0183
Akma Kuvveti, F^Y (kN)	24.49	24.49	24.49	24.49
Akma yerdeğiştirmesi, Y (mm)	5.23	7.06	4.35	1.00

2.7.3. Kuvvet-Yerdeğiştirme İlişkileri

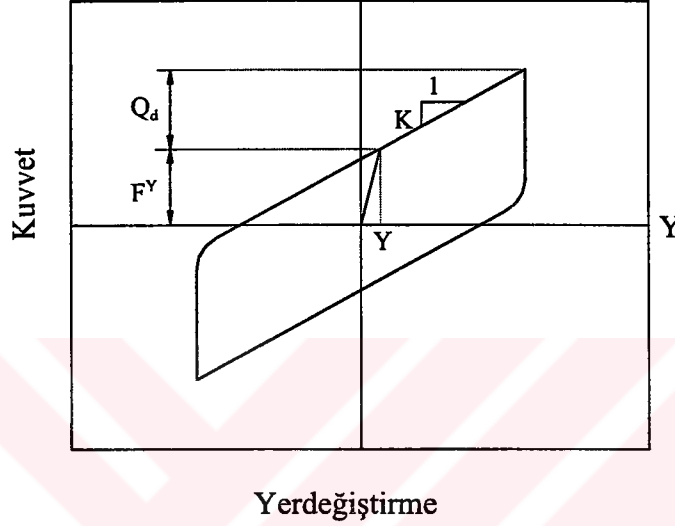
2.7.3.1. Sürtünlü Sarkaç için Kuvvet-Yerdeğiştirme İlişkisi



Şekil 19. Sürtünlü sarkaç sistemlerde kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi

Sürtünmeli sarkaç sistemlerde, izolatörün kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi, yapı ağırlığı ile orantılı olan dinamik sürtünme katsayısına bağlı olarak kolay bir şekilde modellenebilir, Şekil 19. İzolatörün akma sınırından sonraki rijitliği akma rijitliğine eşit alınmaktadır. Bu değer plastik rijitlik olarak daha önceden tanımlanmıştır.

2.7.3.2. Kauçuk Mesnetler için Kuvvet-Yerdeğiştirme İlişkisi



Şekil 20. Kauçuk mesnet sistemlerinde kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi

Kauçuk mesnetlerde kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi lineer olmayan bir davranış sergilemektedir. Bu durumu ifade edebilmek amacıyla; W mesnede gelen toplam ağırlığı veya normal kuvveti göstermek üzere akma kuvveti $F^Y=0.055W$ ve akma seviyesi $Q_d=0.045W$ olarak hesaplanabilir. Ayrıca bu eğride Y , akma yerdeğiştirmesini ve K plastik rijitliği ifade etmektedir.

3. BULGULAR

3.1. Giriş

Uygulama amacıyla seçilen 6 katlı ve 3 boyutlu bir binanın dinamik zaman artımı analizleri, taban izolasyonlu ve ankastre tabanlı olarak yapılmıştır. Ayrıca yapının perde duvarlara sahip olması durumuna göre de analizler gerçekleştirilmiştir. Taban izolasyonu olarak ise, kauçuk mesnetler ve sürtünmeli sarkaç sistemler seçilmiştir. Analizlerde kullanılmakta olan bina modelinde üst yapı lineer bir davranış gösterirken izolatörler lineer olmayan bir davranış göstermektedirler. Dinamik dış yük olarak 18 Mayıs 1940 El-Centro ve 13 Mart 1992 Erzincan depremleri tercih edilmiştir.

Yukarıda da söz edildiği gibi izolasyon sistemlerinin çoğu lineer olmayan davranış gösterirler. Kuvvet-yerdeğiştirme özellikleri, aksenal kuvvete, iki taraflı kuvvete ve yükleme oranlarına bağlıdır [75]. Bu şartlar altında, son yıllarda taban izolasyonlu yapılar için geliştirilmiş olan bilgisayar programları dinamik zaman artımı analizini içermektedir. Bu analiz, daha önceden bahsedilen kuvvet-yerdeğiştirme özelliklerinin ve izolatör birimlerinin uzaysal dağılımını hesaplara katabilmektedir [75]. Taban izolasyonlu yapıların dinamik analizinde, lineer olmayan dinamik zaman artımı analizlerini yapabilen, bilgisayar programları 3D-BASIS-TABS [76, 77, 78] ve hem ankastre tabanlı hem de taban izolasyonlu yapıların analizinde etkili olan bilgisayar programı SAP2000 [79] kullanılmıştır. Ancak ilk programda sürtünmeli sarkaç sistemler için lineer olmayan özellik, lineer olmayan davranış gösteren sürtünmeli elemanın ve lineer elastik davranış gösteren yayın her bir mesnede yerleştirilmesiyle elde edilen kuvvetlerin toplanması ile sürtünmeli sarkaç davranışı elde edilmiştir. Ayrıca, sarkacın mesnet basıncına bağlı olarak değişen sürtünme katsayısını belirlemek amacıyla yazılan bir program da ilave edilmiştir.

3.2. Üç Boyutlu Bina için Elde Edilen Bulgular

Dinamik dış etki olarak 18 Mayıs 1940 El-Centro depreminin kuzey-güney (K-G) bileşeni Zaman Artımı Analizi kullanılarak, 2. Bölümde verilen 3 boyutlu taban

izolasyonlu binanın analizleri yapılmıştır. Analizlerde binanın kendi ağırlığı ve binanın kullanılmasında meydana gelebilecek hareketli yükler göz önünde bulundurulmuştur. Analizler sonucunda, her bir döşeme ve taban orta noktasında ki kütle merkezine göre kat yatay yerdeğiştirmeleri, kat kesme kuvvetleri, izolatörlerde ki yerdeğiştirmeler ve kesme kuvvetleri, izolatörlerde meydana gelen kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişkiler hesaplanmıştır.

3.2.1. El-Centro Depremi Kullanılarak Elde Edilen Bulgular

Kat ve taban yatay yerdeğiştirmeleri, kütle merkezinde verilen üç serbestlik derecesine göredir. Bunların iki tanesi yatay yerdeğiştirme ve bir tanesi düşey eksen etrafındaki dönmeden ibarettir. Bu çalışmada üç boyutlu binaya deprem kuvveti binanın planda ki kısa kenar doğrultusunda etkiği için yatay yerdeğiştirmelerde bu doğrultuda hesaplanmıştır.

Söz konusu üç boyutlu 6 katlı binanın; sürtünmeli sarkaç, Yeni Zelanda tipi kauçuk mesnet, lineer sönümlü kauçuk mesnet ve lineer olmayan kauçuk mesnetler ile taban izolasyonu yapılmıştır.

3.2.1.1. Sürtünmeli Sarkaç Sistem ile Yapılan İzolasyon için Elde edilen Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri

Temel prensipleri (1.2.7) ve (1.4.6)'da verilen sürtünmeli sarkaç sistem yapının taban izolasyonunda kullanılmaktadır.

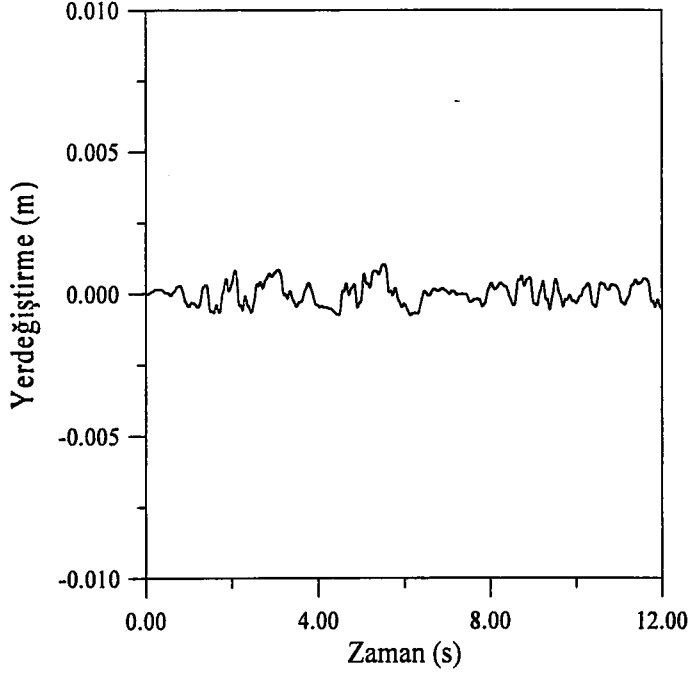
3.2.1.1.1. Kat ve Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri

Katlara ve bina tabanına ait yatay yerdeğiştirmeler Şekil 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27'de verilmiş olup, bu değerler El-Centro depremiyle yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilmiştir.

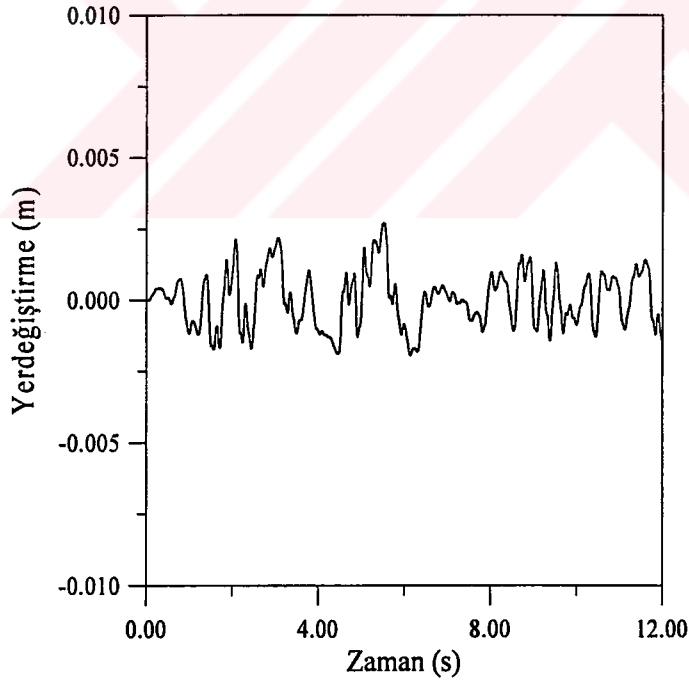
3.2.1.1.2. Taban ve Kat Kesme Kuvvetleri

Bina tabanına ve katlara ait maksimum kesme kuvvetleri Şekil 28 ve 29'da El-Centro depremiyle yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilen taban ve kat kesme kuvvetleri verilmektedir.

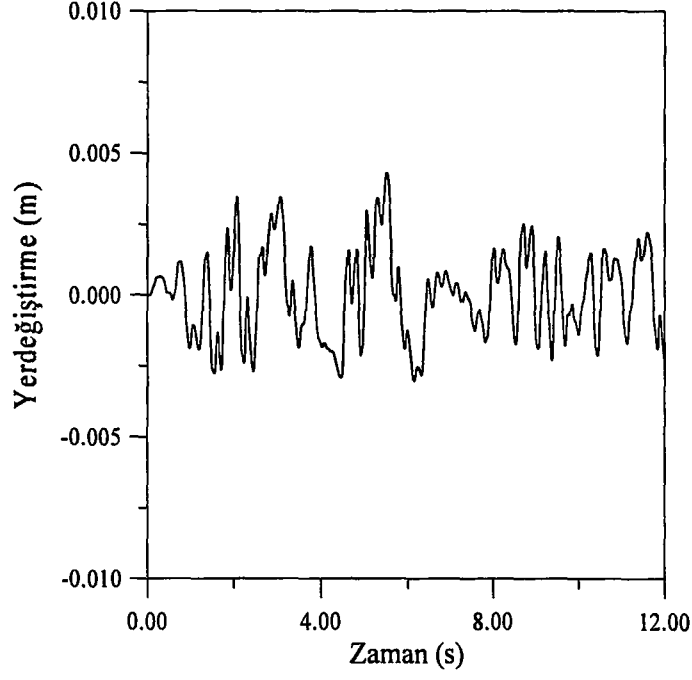




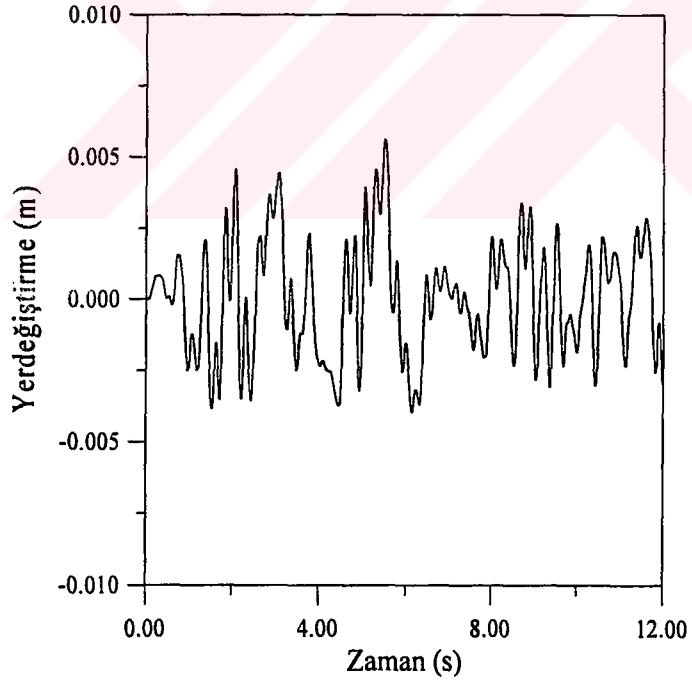
Şekil 21. El-Centro depremi için sürtünlü sarkaç izolasyon sistemi ile kat kütle merkezine göre, 1. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



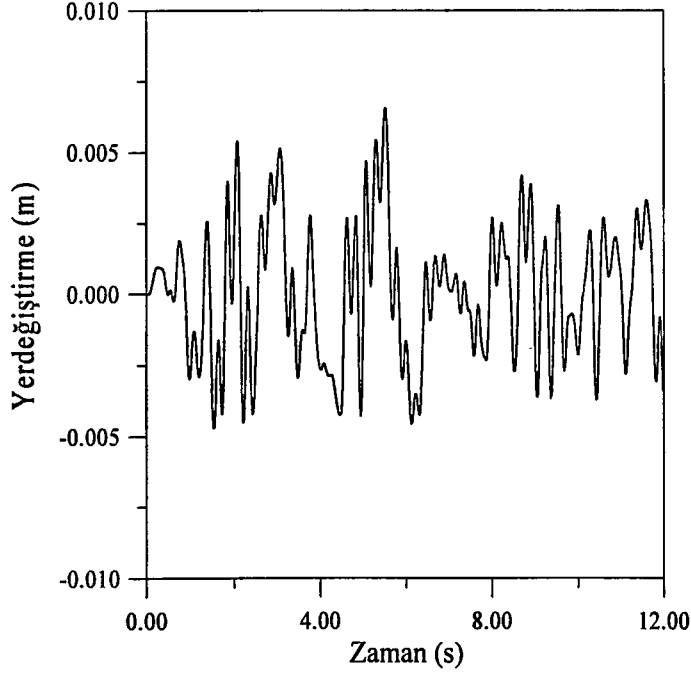
Şekil 22. El-Centro depremi için sürtünlü sarkaç izolasyon sistemi ile kat kütle merkezine göre, 2. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



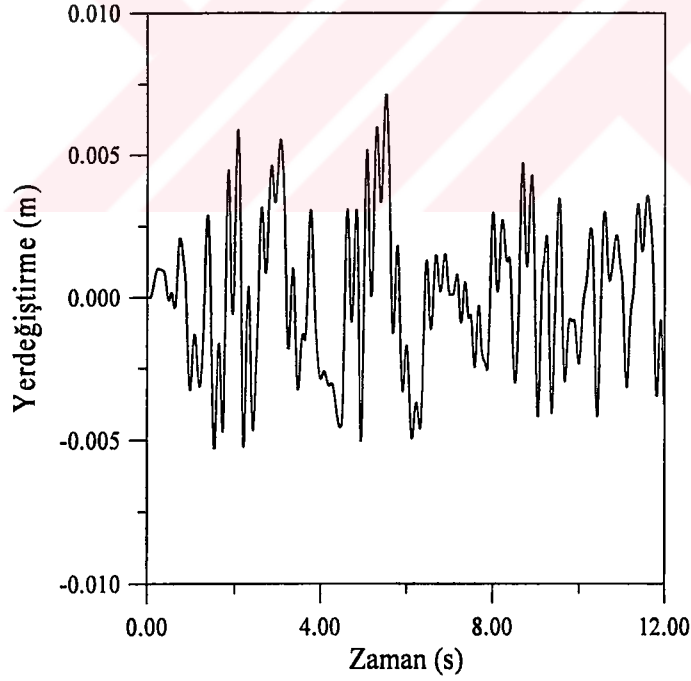
Şekil 23. El-Centro depremi için sürtünlmeli sarkaç izolasyon sistemi ile kat kütle merkezine göre, 3. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



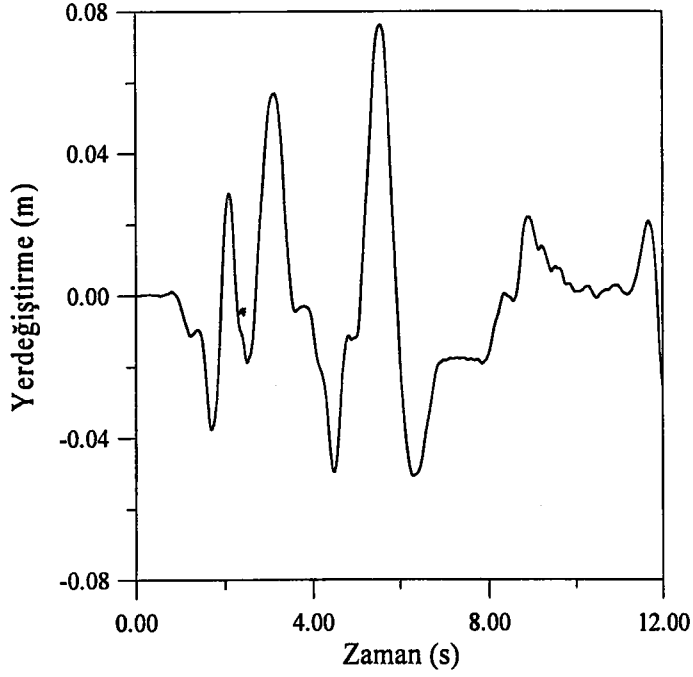
Şekil 24. El-Centro depremi için sürtünlmeli sarkaç izolasyon sistemi ile kat kütle merkezine göre, 4. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



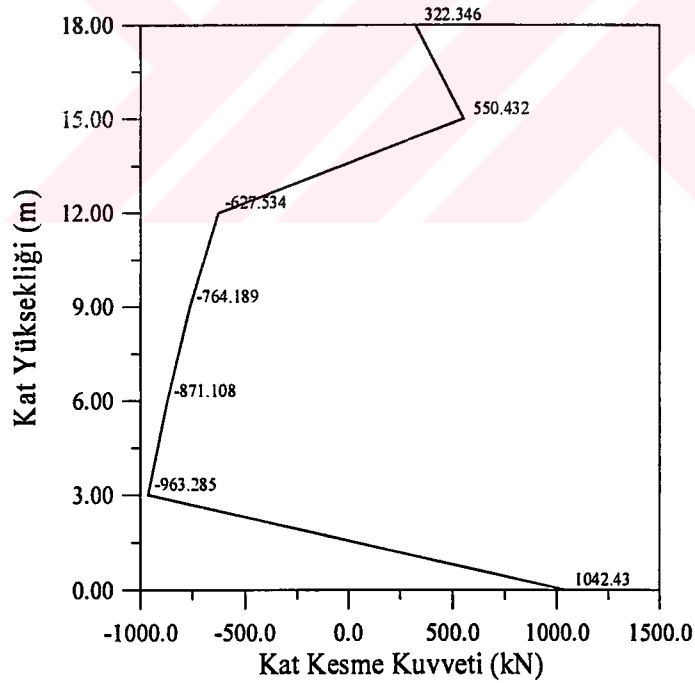
Şekil 25. El-Centro depremi için sürtünlü sarkaç izolasyon sistemi ile kat kütle merkezine göre, 5. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



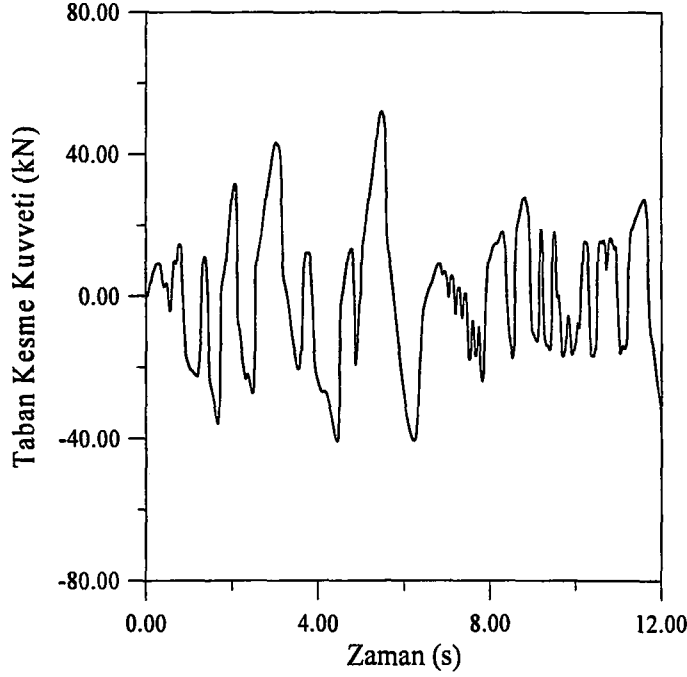
Şekil 26. El-Centro depremi için sürtünlü sarkaç izolasyon sistemi ile kat kütle merkezine göre, 6. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



Şekil 27. El Centro depremi için sürtünlü sarkaç izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



Şekil 28. El-Centro depremi için sürtünlü sarkaç ile taban izolasyonlu binada meydana gelen, Y-doğrultusundaki maksimum taban ve kat kesme kuvvetlerinin kat yüksekliğine göre değişimi

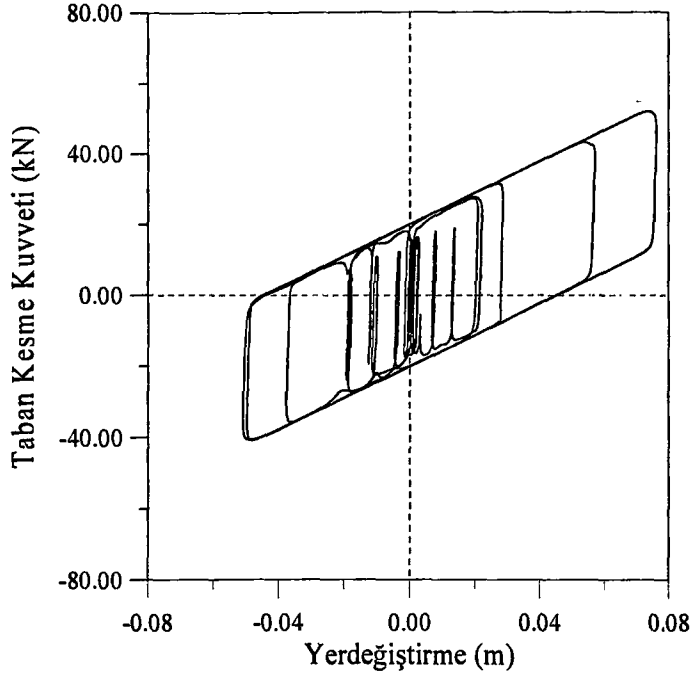


Şekil 29. El-Centro depremi için sürtünlü sarkaç izolasyon sisteminde meydana Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi

3.2.1.1.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki

Sürtünlü sarkaç sistemler lineer olmayan bir davranış göstermektedirler. Yapılan analizler sonucunda, izolatör seviyesindeki taban kesme kuvveti ve taban yerdeğiştirmeleri arasındaki elde edilen ilişki Şekil 30'da verilmektedir.

Elde edilen bu sonuç; sarkaç yarıçapının $R=100$ cm, izolasyonlu binanın temel periyodunun $T=2$ saniye, maksimum ve minimum sürtünme katsayılarının sırasıyla 0.045 ve 0.030 değerleri içindir.



Şekil 30. El-Centro depremi için sürtümlü sarkaç sisteminde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişki

3.2.1.2. Kauçuk Mesnet Sistem ile Yapılan İzolasyon için Elde Edilen Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri

Temel prensipleri (1.2.2), (1.4.3.2) ve (1.4.7)'de verilen kauçuk mesnet sistemi, binanın taban izolasyonunda kullanılmaktadır. Bu mesnette, tabakalar halindeki kauçuk ve çelik plakalar mevcut olup, yatayda esneklik ve düşeyde oldukça rijit bir özellik göstermektedirler. Ayrıca, merkezi bir kurşun çekirdek enerji dağılımına katkıda bulunmak için bir vasıta olarak kullanılmaktadır. Kauçuk mesnetli sistem, Yeni Zelanda sistemi olarak da anılmaktadır.

Bu çalışmada, kauçuk mesnet sistemi için kullanılan parametreler Tablo 2'de verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri ve yerdeğiştirmelerin zamanla değişimleri incelenmektedir.

3.2.1.2.1. Kat ve Taban Yatay Yerdeşistirmeleri

Katlara ve bina tabanına ait yatay yerdeşistirmeler Şekil 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37’de sunulmuş olup, bu incelemelerde El-Centro depremi kullanılmış ve lineer olmayan zaman artımı analizlerinden yararlanılmıştır.

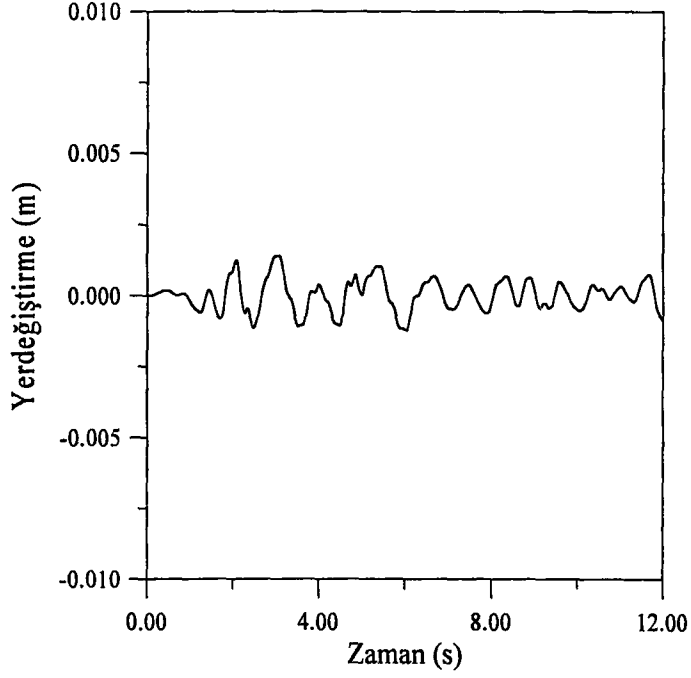
3.2.1.2.2. Taban ve Kat Kesme Kuvvetleri

Bina tabanına ve katlara ait maksimum kesme kuvvetleri Şekil 38 ve 39’da El-Centro depremiyle yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilmiştir.

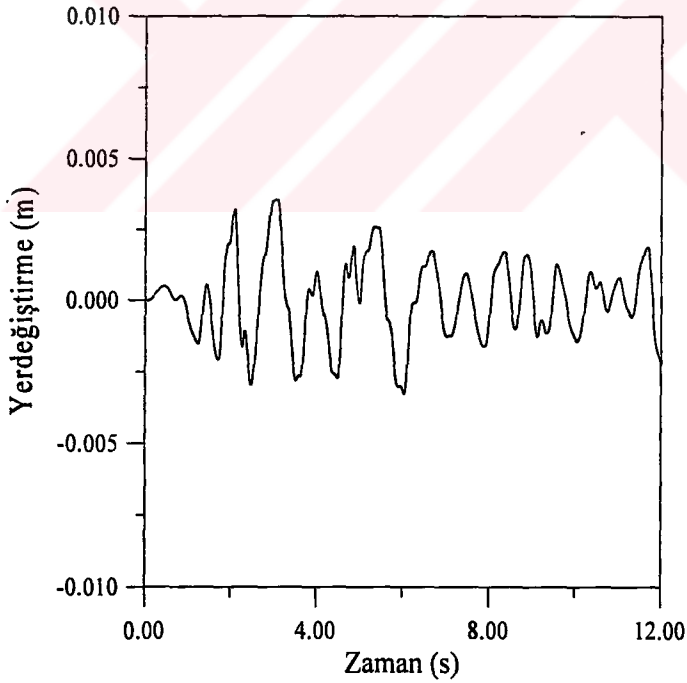
3.2.1.2.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeşistirmesi Arasındaki İlişki

Kauçuk mesnet sistemler lineer olmayan bir davranış gstermektedirler. Yapılan analizler sonucunda, izolatör seviyesindeki taban kesme kuvveti ve taban yerdeşistirmeleri arasındaki elde edilen ilişki Şekil 40’da verilmektedir.

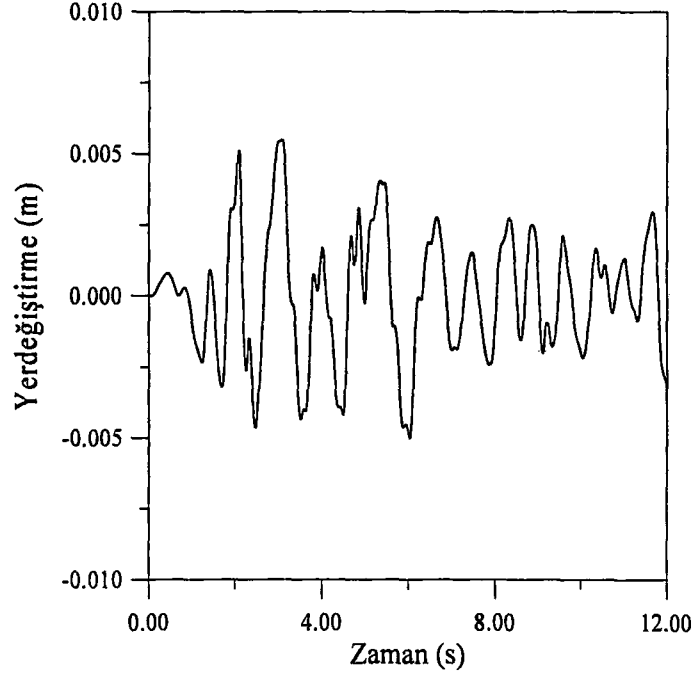
Elde edilen bu sonuç; izolasyonlu binanın temel periyodunun $T=2$ saniye olması içindir.



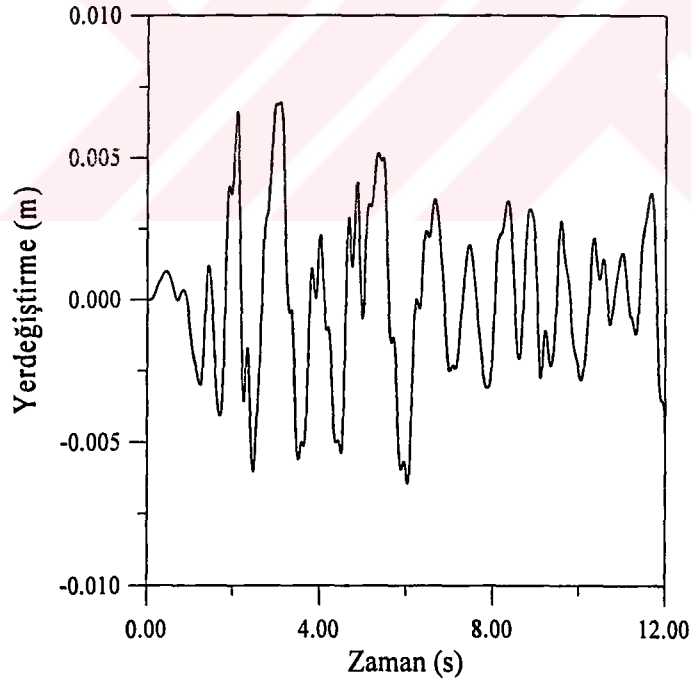
Şekil 31. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli izolasyon sistemi ile kat kütle merkezine göre, 1. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



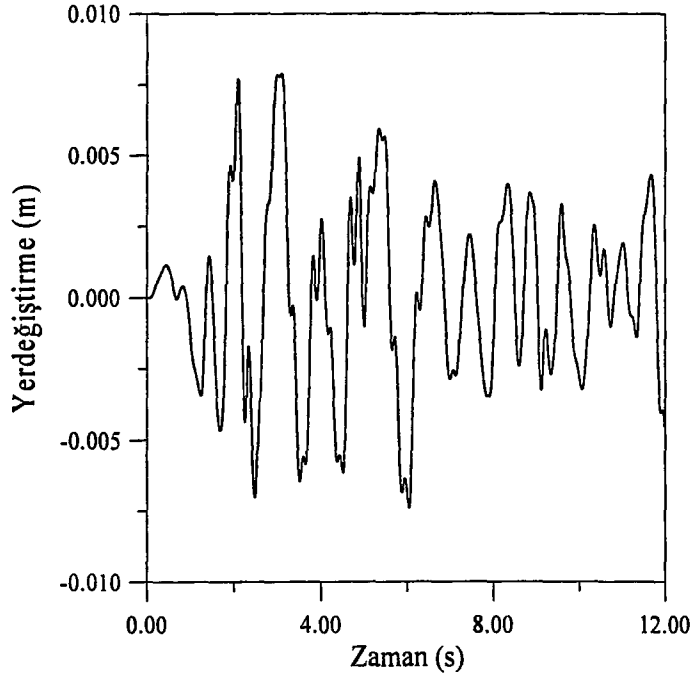
Şekil 32. El Centro depremi için kauçuk mesnetli izolasyon sistemi ile kat kütle merkezine göre, 2. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



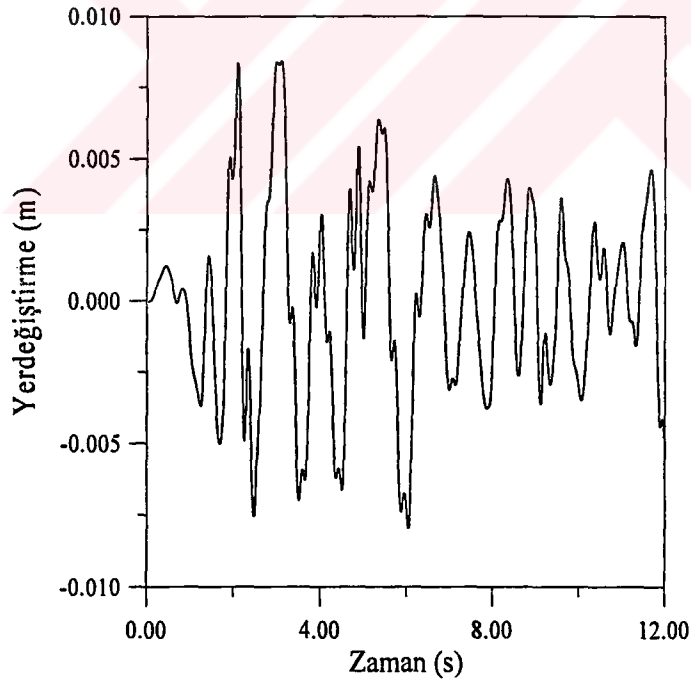
Şekil 33. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli izolasyon sistemi ile kat kütle merkezine göre, 3. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



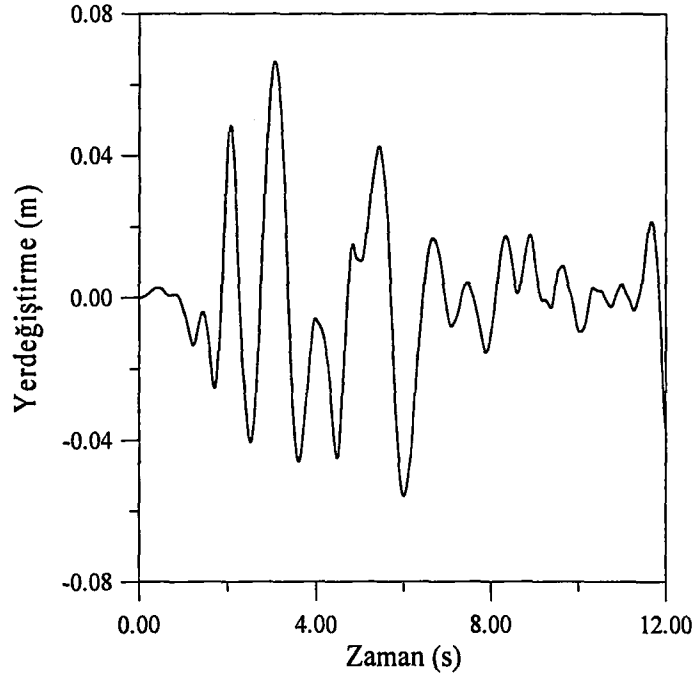
Şekil 34. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli izolasyon sistemi ile kat kütle merkezine göre, 4. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



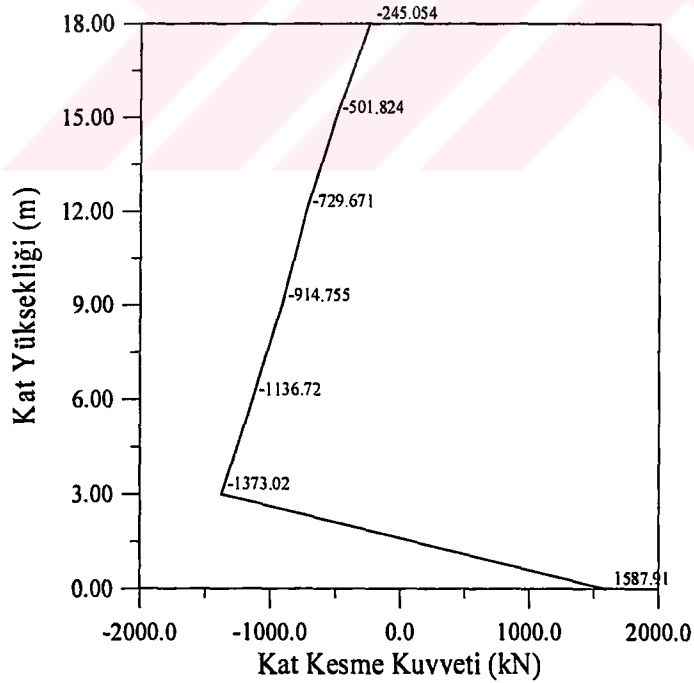
Şekil 35. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli izolasyon sistemi ile kat kütle merkezine göre, 5. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



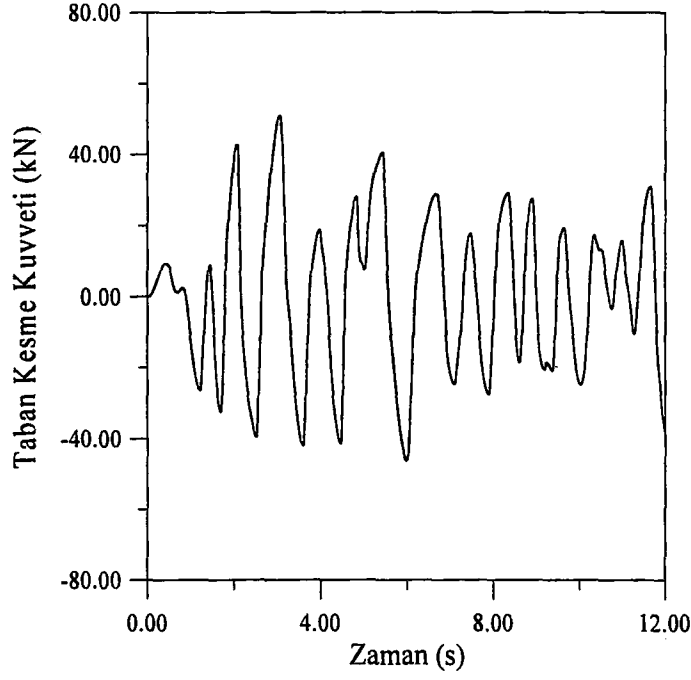
Şekil 36. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli izolasyon sistemi ile kat kütle merkezine göre, 6. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



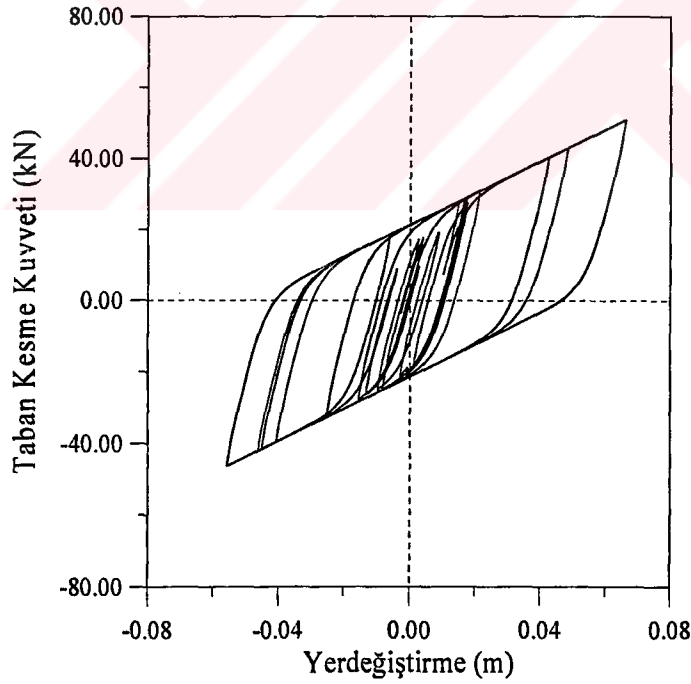
Şekil 37. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli izolasyon sistemi ile İzolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



Şekil 38. El-Centro depremi için kauçuk mesnet sistemi ile taban izolasyonlu binada meydana gelen, Y-doğrultusundaki maksimum taban ve kat kesme kuvvetlerinin kat yüksekliğine göre değişimi



Şekil 39. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli izolasyon sisteminde meydana gelen, Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi



Şekil 40. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli sistemde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişki

3.2.1.3. Lineer Sönümlü Kauçuk Mesnet (LSKM) Sistemi ile İzolasyonda Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri

Temel prensipleri (1.2.2), (1.4.2), (1.4.7) ve (2.7.2)'de verilen kauçuk mesnet sistemi ve lineer sönüm elemanları, yapının taban izolasyonunda kullanılmaktadır. Tabakalar halindeki kauçuk ve çelik plakalardan oluşan mesnede ilave olarak kullanılan lineer viskoz elemanlar, kauçuk sistemin lineer sönüm özelliğini ifade edebilmek amacıyla kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, kauçuk mesnet sistemi için kullanılan parametreler Tablo 2'de verilmiştir. Kauçuk mesnedin %50 şekildeğiştirmesine karşılık gelen lineer sönüm katsayıları $C_x=0.10$, $C_y=0.10$ ve $C_r=0.10$ olarak alınmaktadır. Bu sönüm katsayıları sırasıyla x, y yönlerindeki ötelenme ve düşey eksen etrafındaki dönmeye karşılık gelmektedir.

Kauçuk mesnedin lineer sönümünü ifade etmek için yapı tabanının dört köşesine lineer söndürücüler yerleştirilmiştir [76].

3.2.1.3.1. Kat ve Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri

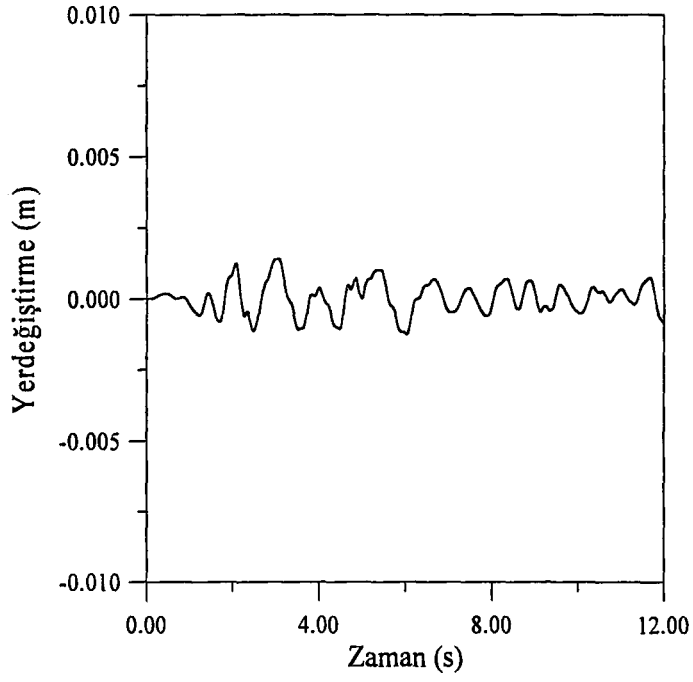
El-Centro depremi kullanılarak yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilen, katlara ve bina tabanına ait yatay yerdeğiştirmeler Şekil 41, 42, 43, 44, 45, 46 ve 47'de verilmiştir.

3.2.1.3.2. Taban ve Kat Kesme Kuvvetleri

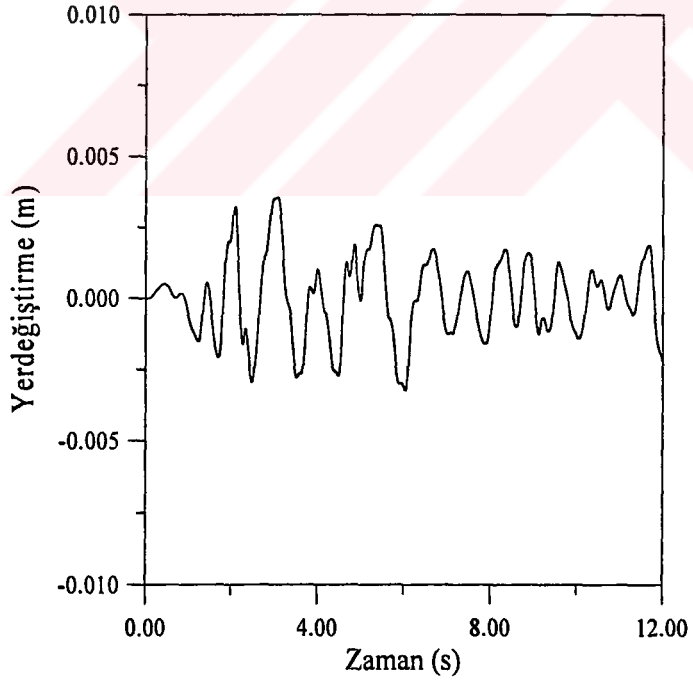
Bina tabanına ve katlara ait maksimum kesme kuvvetleri Şekil 48 ve 49'da El-Centro depremi kullanılarak yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilmiştir.

3.2.1.3.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki

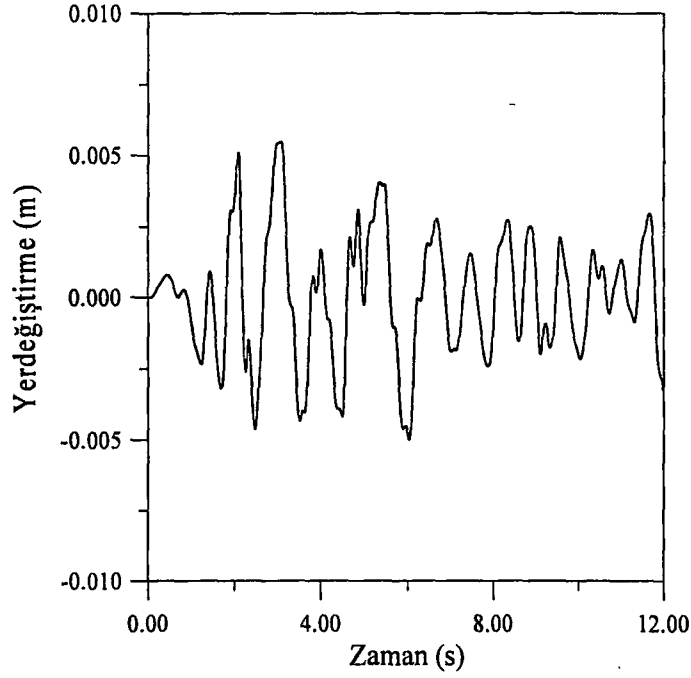
Kauçuk mesnet sistemler lineer olmayan bir davranış göstermektedirler. Yapılan analizler sonucunda, izolatör seviyesindeki taban kesme kuvveti ve taban yerdeğiştirmeleri arasındaki elde edilen ilişki Şekil 50'de verilmiştir.



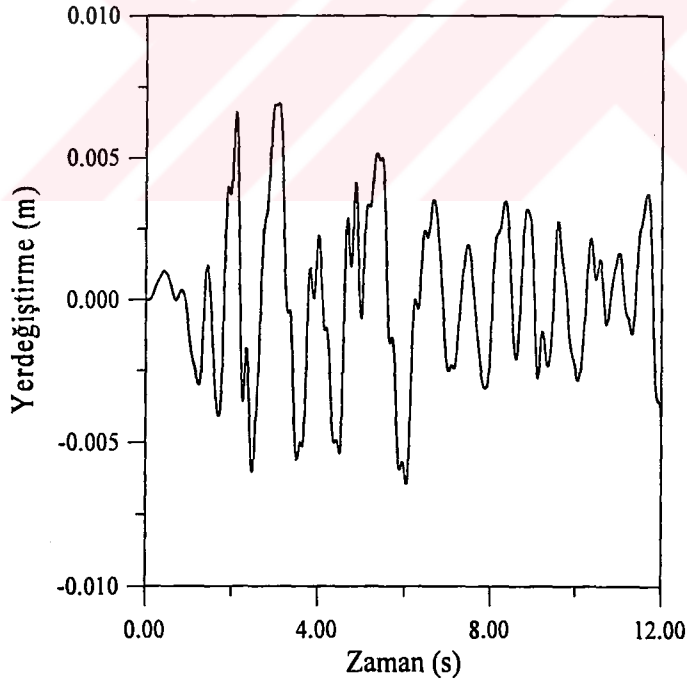
Şekil 41. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli izolasyon ile kat kütle merkezine göre, 1. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



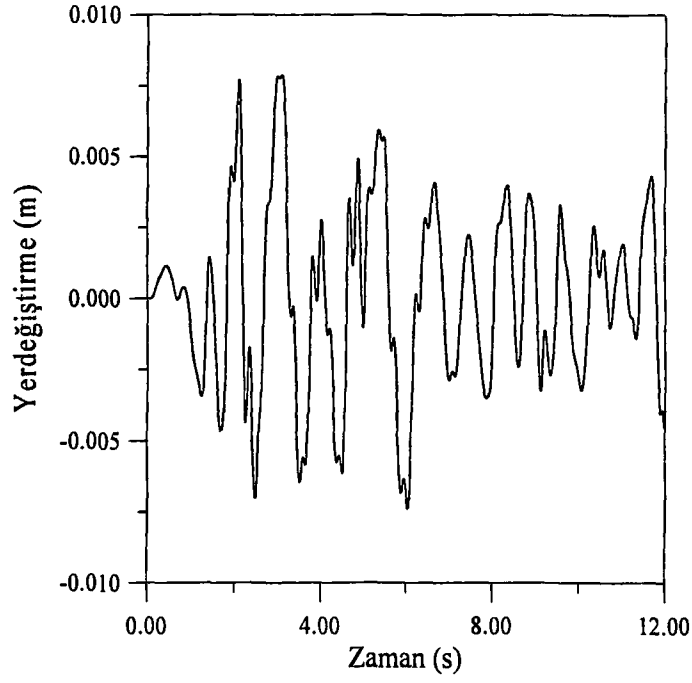
Şekil 42. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli izolasyon ile kat kütle merkezine göre, 2. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



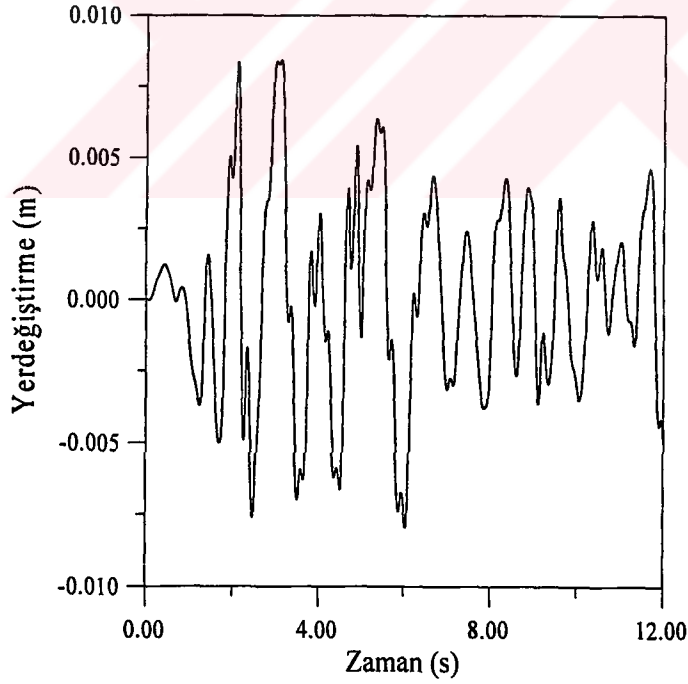
Şekil 43. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli izolasyon ile kat kütle merkezine göre, 3. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



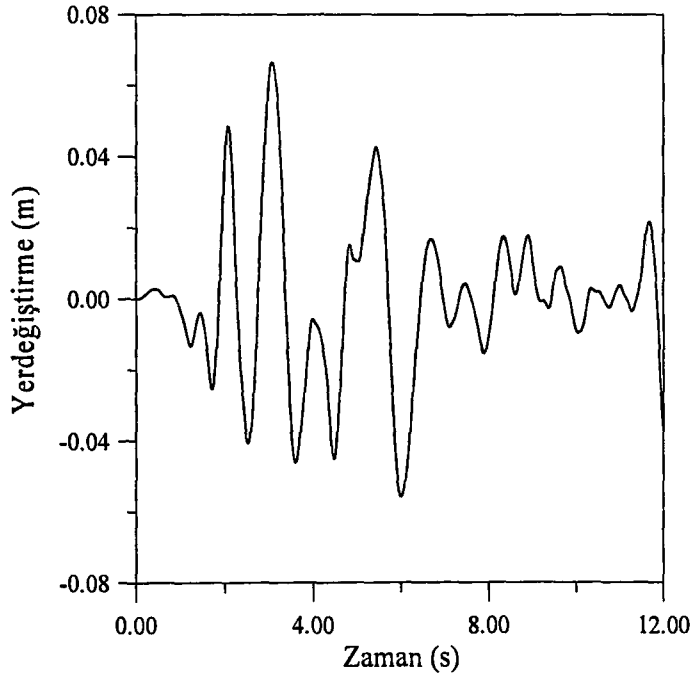
Şekil 44. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli izolasyon ile kat kütle merkezine göre, 4. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



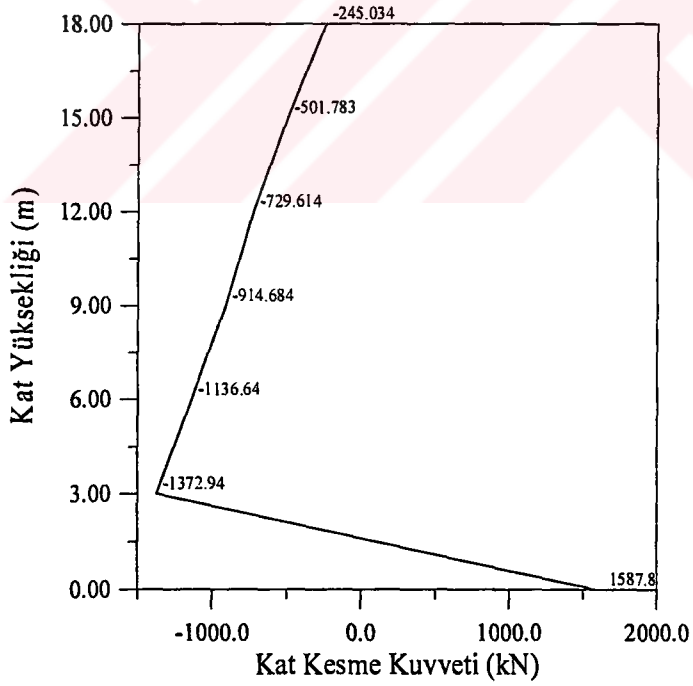
Şekil 45. El Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli izolasyon ile kat kütle merkezine göre, 5. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



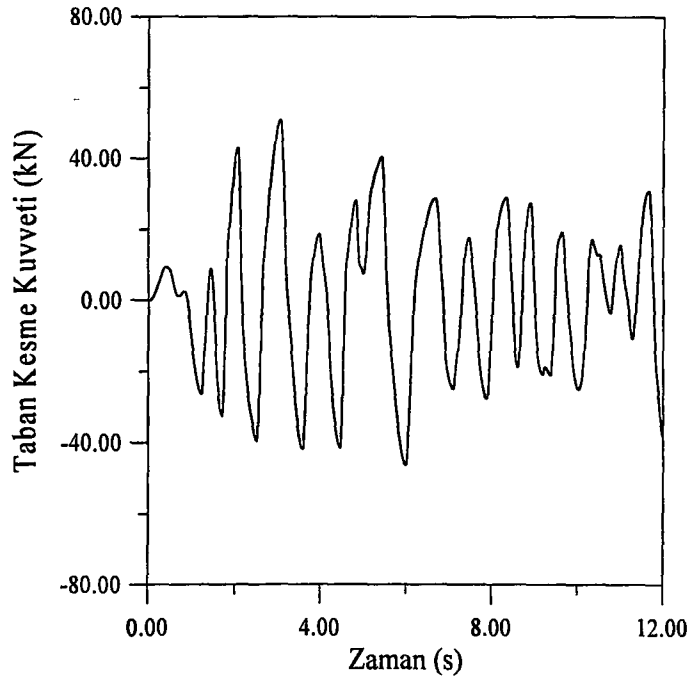
Şekil 46. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli izolasyon ile kat kütle merkezine göre, 6. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



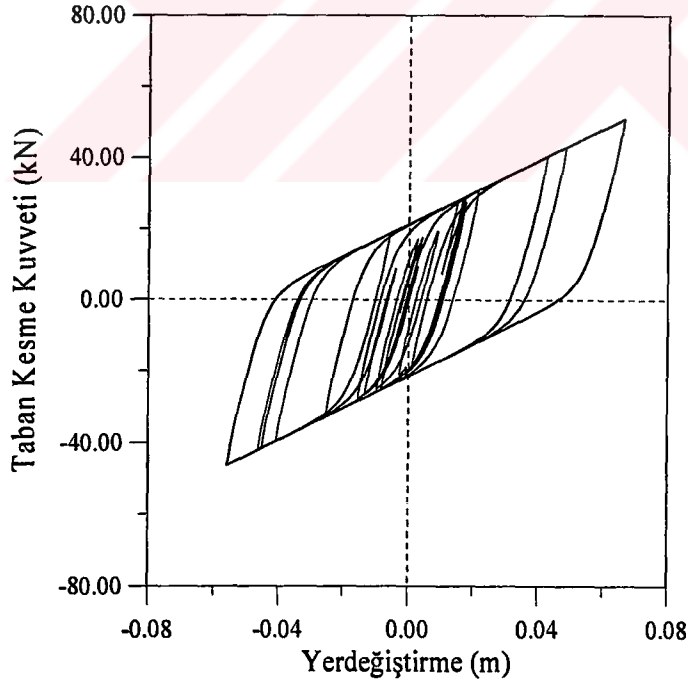
Şekil 47. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



Şekil 48. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli izolasyon ile taban izolasyonlu binada meydana gelen, Y-doğrultusundaki maksimum taban ve kat kesme kuvvetlerinin kat yüksekliğine göre değişimi



Şekil 49. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi



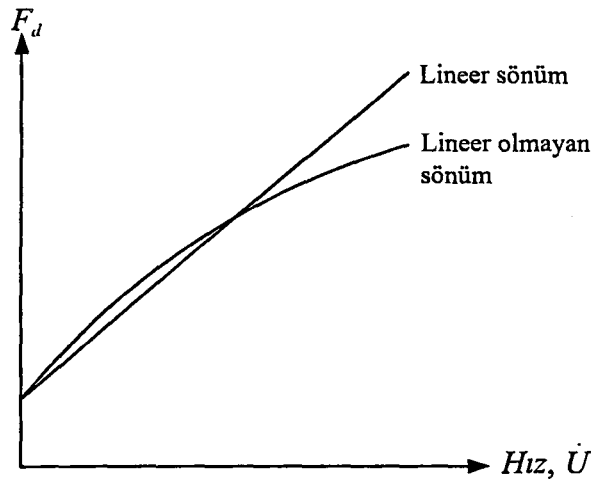
Şekil 50. El Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnet sistemde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişki

3.2.1.4. Lineer Olmayan Sönümlü Kauçuk Mesnet (LOSKM) Sistem ile Yapılan İzolasyonda Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri

Temel prensipleri (1.2.2), (1.4.5) ve (1.4.7) bölümlerinde verilen kauçuk mesnet sistemi ve lineer olmayan sönüm elemanları, binanın taban izolasyonunda kullanılmaktadır. Tabakalar halindeki kauçuk ve çelik plakalardan oluşan mesnede ilave olarak bina tabanına yerleştirilen lineer olmayan viskoz elemanlar, kauçuk sistemin lineer olmayan sönüm özelliğini ifade edebilmek amacıyla kullanılmaktadır. Söndürücüler, bina tabanında dört köşeye yerleştirilmiştir [76]. Bu yapı elemanların sönüm özellikleri Dumanoğlu ve Severn [81] tarafından yapılan deneysel çalışma ile belirlenebilmektedir.

Bu çalışmada, kauçuk mesnet sistemi ve lineer olmayan sönüm aletleri için kullanılan parametreler Şekil 10'da verilen lineer olmayan viskoz söndürücünün kuvvet-hız ilişkisine göre; her bir söndürücü düşük hızda lineer bir davranış göstermekte olup $C_{01}=877$ kN.sn/m, $P=1$, $F_{01}=70$ kN değerleri, lineer olmayan davranış 10 cm/s hızda başlar ise, $C_{02}=182.6$ kN.sn/m, $P=0.5$, $F_{02}=100$ kN ve 35 cm/s'den daha fazla hızlar için maksimum kuvvet 200 kN olarak alınır [76].

Yapılan analizler sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri ve yerdeğiştirmelerin zamanla değişimleri aşağıdaki bölümlerde sunulmaktadır. Lineer olmayan söndürücünün etkisi özellikle taban yerdeğiştirmesinin azaltılmasında görüldüğünden, Şekil 51, bu çalışmada sadece taban kesme kuvvetleri ve yerdeğiştirmelerini vermekle yetinilmiştir.



Şekil 51. Lineer ve lineer olmayan kauçuk mesnet için sönüm kuvveti-hız ilişki

3.2.1.4.1. Taban Yatay Yerdeşiftirmeleri

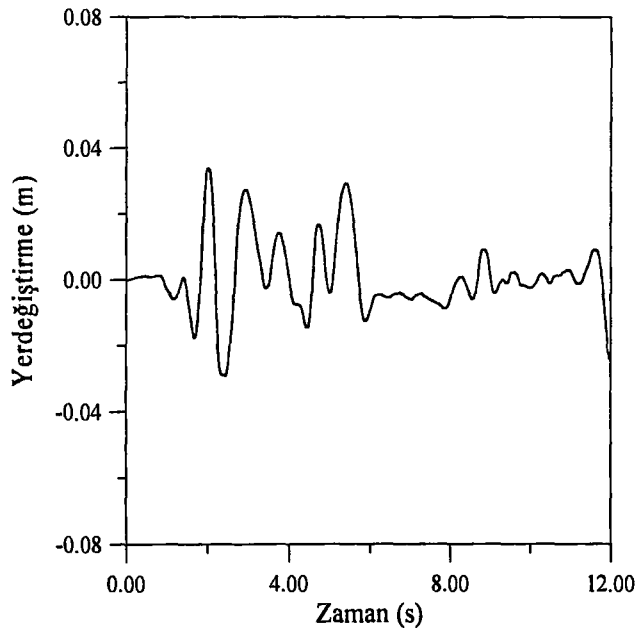
El-Centro depremi kullanılarak yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilen bina tabanına ait yatay yerdeşiftirmeler Şekil 52’de verilmektedir. Taban yerdeşiftirmesi, sadece kauçuk kullanılmasına göre maksimum 6.6 cm iken lineer olmayan söndürücü ile birlikte kullanıldığında 3.4 cm’ ye kadar indiği analiz sonuçlarından görülmektedir.

3.2.1.4.2. Taban Kesme Kuvvetleri

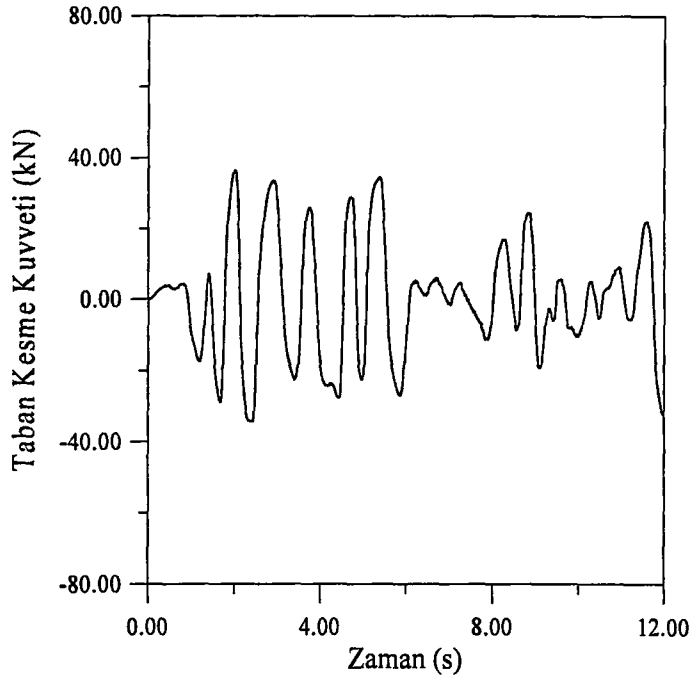
El-Centro depremiyle yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilen bina tabanına ait kesme kuvvetinin zamanla değişimi Şekil 53’de verilmektedir. Taban kesme kuvveti, sadece kauçuk kullanılmasına göre maksimum 51.01 kN iken lineer olmayan söndürücü ile birlikte kullanıldığında 36.48 kN’a kadar indiği analiz sonuçlarından görülmektedir.

3.2.1.4.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeşiftirmesi Arasındaki İlişki

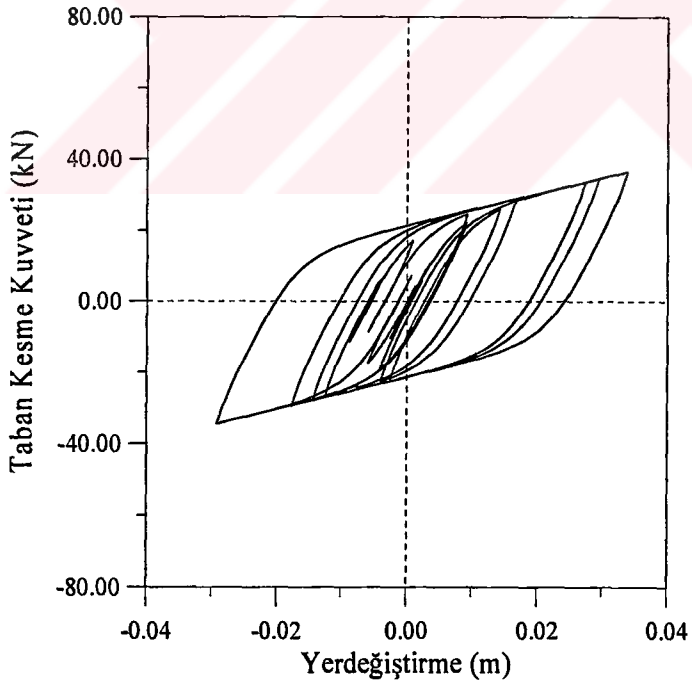
Kauçuk mesnet sistemi ile birlikte lineer olmayan söndürücüden kullanılarak yapılan analizler sonucunda, izolatör seviyesindeki taban kesme kuvveti ve taban yerdeşiftirmeleri arasındaki elde edilen ilişki Şekil 54’de verilmiştir.



Şekil 52. El-Centro depremi için lineer olmayan kauçuk mesnet izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeşiftirmenin zamanla değişimi



Şekil 53. El-Centro depremi için lineer olmayan kauçuk mesnet izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi



Şekil 54. Lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnet sistemde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişki

3.2.2. Erzincan Depremi Kullanılarak Elde Edilen Bulgular

Dinamik dış etki olarak 13 Mart 1992 Erzincan depreminin doğu-batı (D-B) bileşeni Zaman Artımı Analizi kullanılarak, 2. Bölümde verilen 3 boyutlu taban izolasyonlu binanın analizleri için kullanılmıştır. Analizlerde binanın kendi ağırlığı ve hareketli yükler göz önünde bulundurulmuştur. Analizler sonucunda, her bir döşeme ve taban orta noktasında ki kütle merkezine göre kat yatay yerdeğiştirmeleri, kat kesme kuvvetleri, izolatörlerde ki yerdeğiştirmeler ve kesme kuvvetleri, izolatörlerde meydana gelen kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişkiler elde edilmiştir. Kat ve taban yatay yerdeğiştirmeleri, kütle merkezindeki üç serbestlik derecesine göredir. Bunların iki tanesi yatay yerdeğiştirme ve bir tanesi düşey eksen etrafındaki dönmeden ibarettir. Bu çalışmada üç boyutlu binaya deprem kuvveti binanın planda ki kısa kenar doğrultusunda etkidiğı kabulü yapıldığından yatay yerdeğiştirmelerde bu doğrultu için hesaplanmıştır.

Söz konusu üç boyutlu 6 katlı bina; sürtünmeli sarkaç, Yeni Zelanda tipi kauçuk mesnet, lineer sönümlü kauçuk mesnet ve lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnetler ile taban izolasyonu yapılmıştır.

3.2.2.1. Sürtünmeli Sarkaç Sistem ile Yapılan İzolasyon için Elde Edilen Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri

3.2.2.1.1. Kat ve Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri

Erzincan depremiyle yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilen katlara ve bina tabanına ait yatay yerdeğiştirmeler Şekil 55, 56, 57, 58, 59, 60 ve 61'de verilmiştir.

3.2.2.1.2. Kat ve Taban Kesme Kuvvetleri

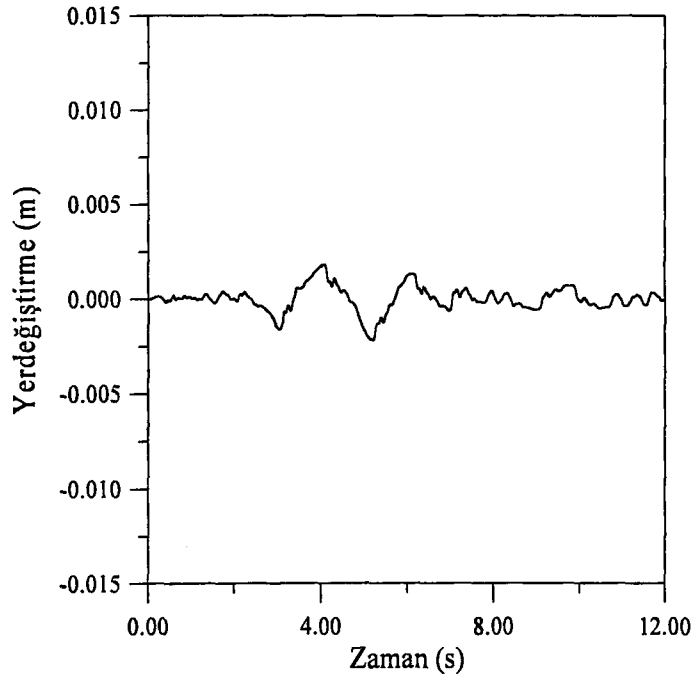
Bina tabanına ve katlara ait maksimum kesme kuvvetleri Şekil 62 ve 63'de Erzincan depremiyle yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilmiştir.

3.2.2.1.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki

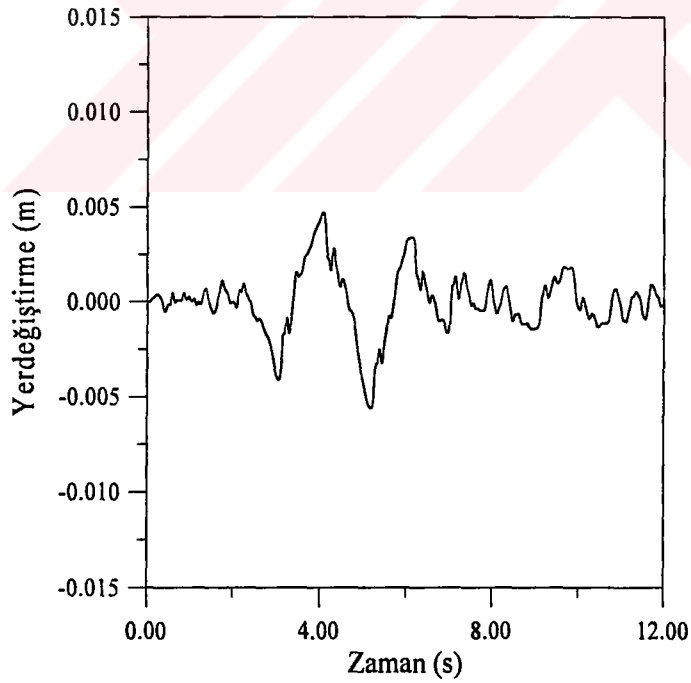
Sürtünmeli sarkaç sistemler lineer olmayan bir davranış göstermektedirler. Yapılan analizler sonucunda, izolatör seviyesindeki taban kesme kuvveti ve taban yerdeğiştirmeleri arasındaki elde edilen ilişki Şekil 64'de verilmektedir.

Elde edilen bu sonuçlar; sarkaç yarıçapının $R=100$ cm, izolasyonlu binanın temel periyodunun $T=2$ saniye, maksimum ve minimum sürtünme katsayılarının sırasıyla 0.045 ve 0.030 olması içindir.

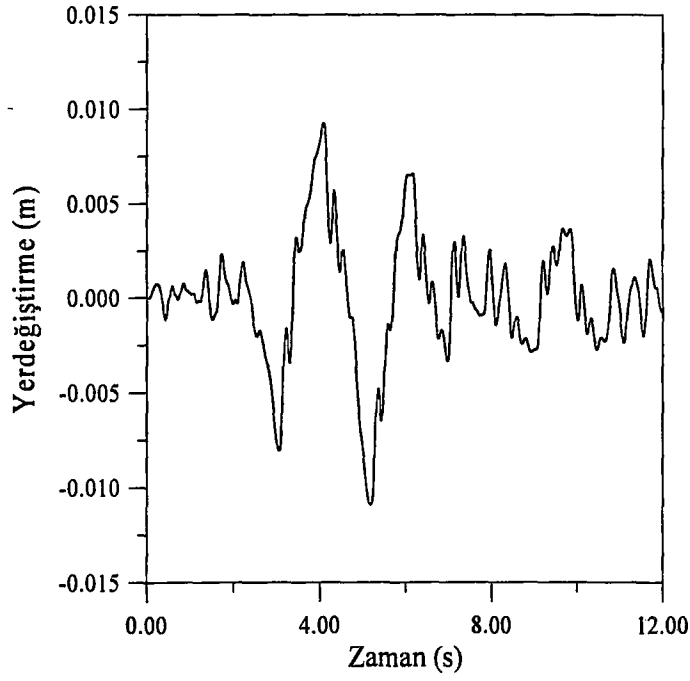




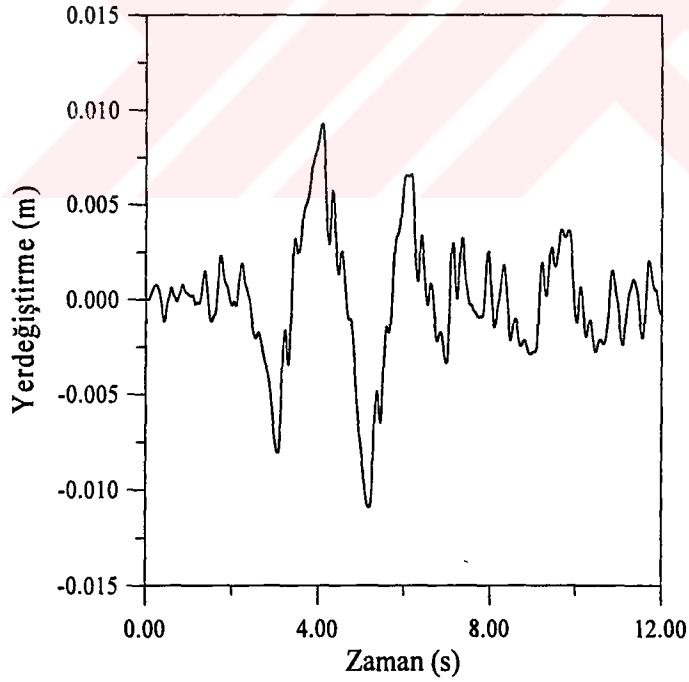
Şekil 55. Erzincan depremi için sürtünlü sarkaç sistemi ile kat kütle merkezine göre, 1. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



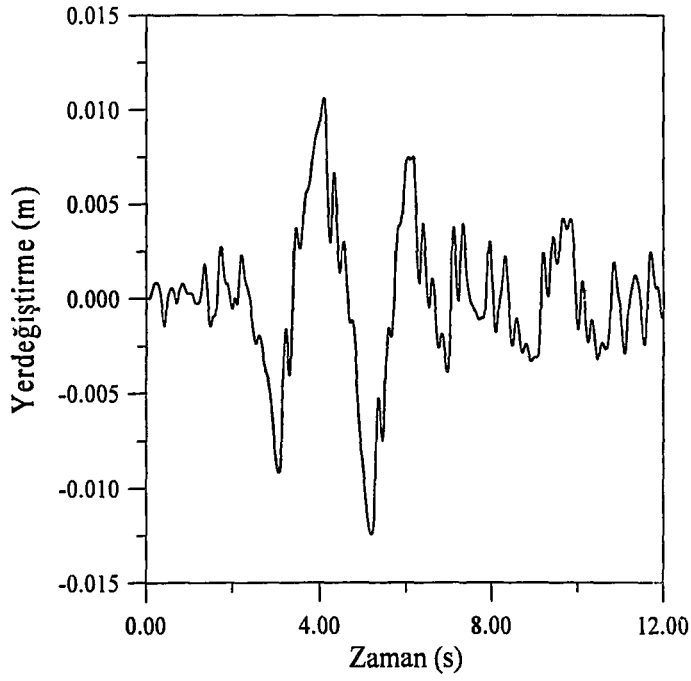
Şekil 56. Erzincan depremi için sürtünlü sarkaç sistemi ile kat kütle merkezine göre, 2. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



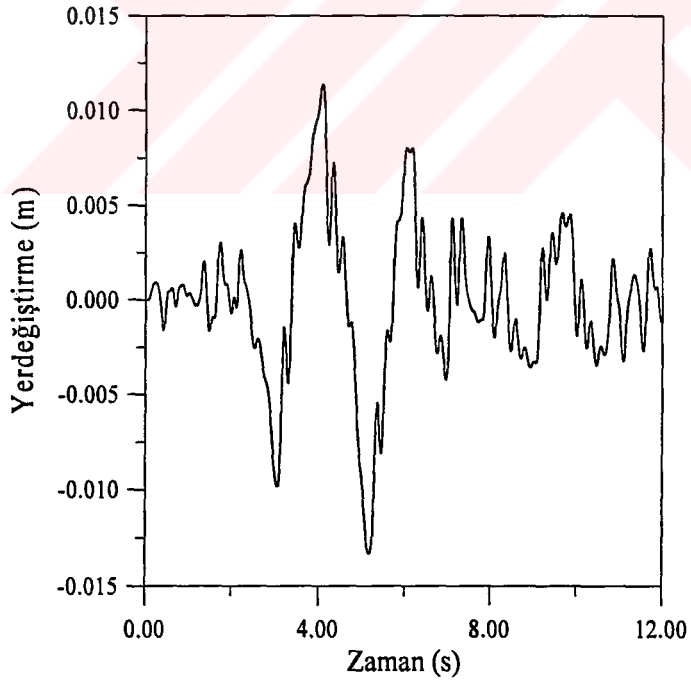
Şekil 57. Erzincan depremi için sürtünlü sarkaç sistemi ile kat kütle merkezine göre, 3. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



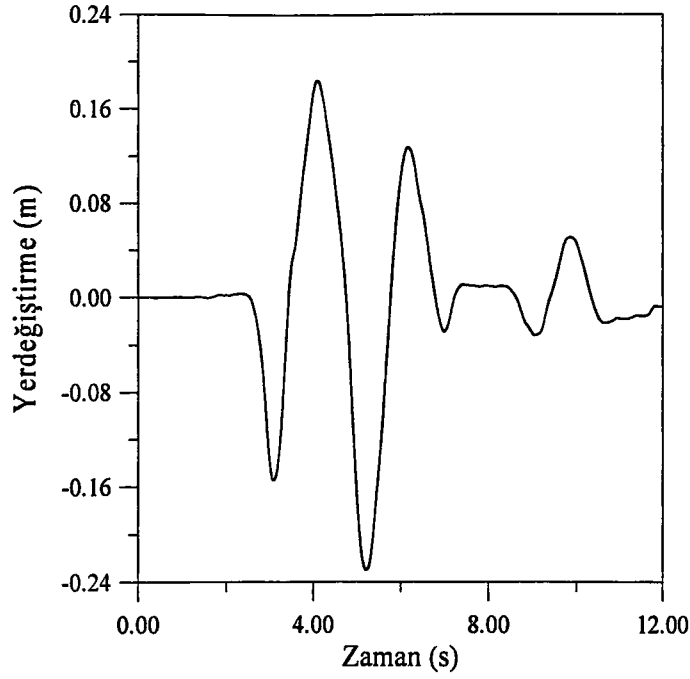
Şekil 58. Erzincan depremi için sürtünlü sarkaç sistemi ile kat kütle merkezine göre, 4. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



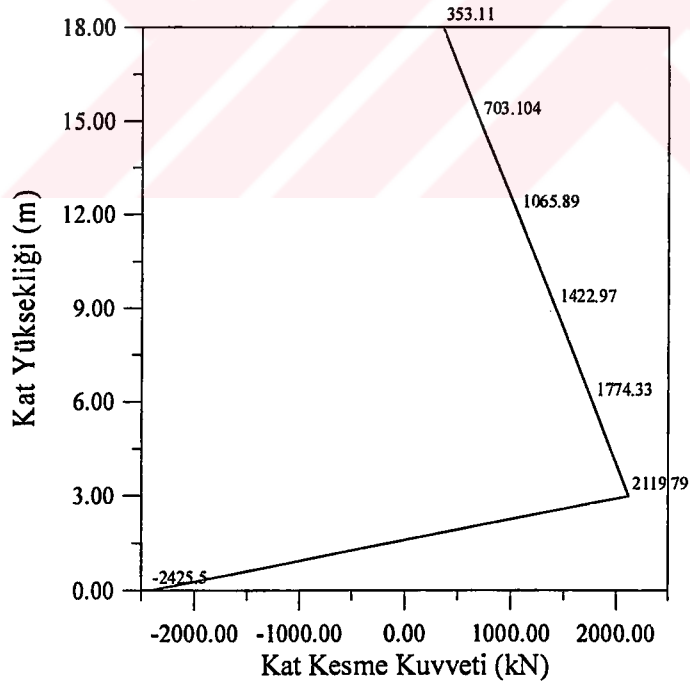
Şekil 59. Erzincan depremi için sürtünlü sarkaç sistemi ile kat kütle merkezine göre, 5. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



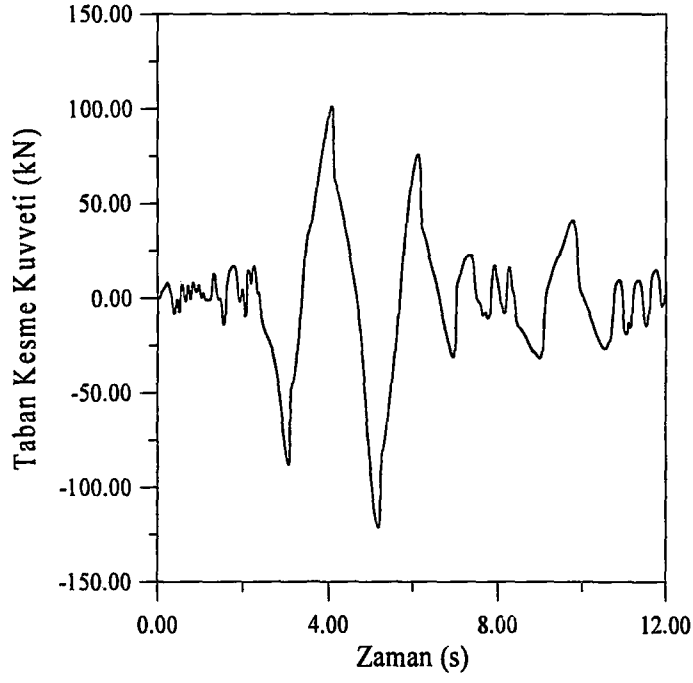
Şekil 60. Erzincan depremi için sürtünlü sarkaç sistemi ile kat kütle merkezine göre, 6. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



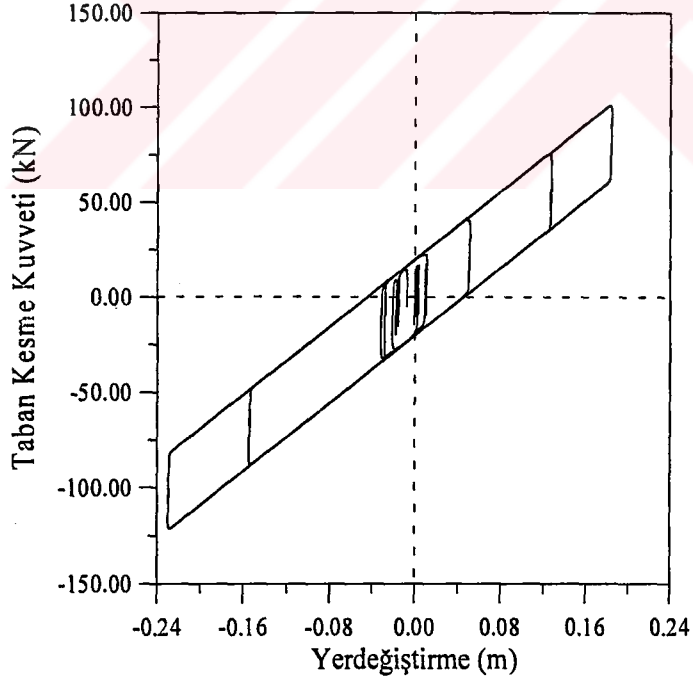
Şekil 61. Erzincan depremi için sürtünlü sarkaç sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki taban yerdeğiştirmesinin zamanla değişimi



Şekil 62. Erzincan depremi için sürtünlü sarkaç sistemi ile Y-doğrultusundaki maksimum taban ve kat kesme kuvvetlerinin kat yüksekliğine göre değişimi



Şekil 63. Erzincan depremi için sürtülmeli sarkaç izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi



Şekil 64. Erzincan depremi için sürtülmeli sarkaç sistemde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişki

3.2.2.2. Kauçuk Mesnet Sistem ile Yapılan İzolasyon için Elde Edilen Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri

Özellikleri (1.2.2), (1.4.3.2) ve (1.4.7) nolu bölümlerde verilen kauçuk mesnet sistemler ile taban izolasyonu yapılan bina, 13 Mart 1992 Erzincan depreminin doğu-batı bileşeni için dinamik analizi yapılmıştır. Söz konusu deprem kaydının maksimum ivme değeri 0.52g olup El-Centro depreminin ise 0.35g'dir. Bundan dolayı Erzincan depreminden elde edilen tepkiler daha büyük olmaktadır. Ayrıca, El-Centro depreminin aksine Erzincan depremi alüvyonlu zemin katmanları üzerinde oluşan depremlere örnektir.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri ve yerdeğiştirmelerin zamanla değışimleri aşağıda sunulmuştur.

3.2.2.2.1. Kat ve Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri

Erzincan depremiyle yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilen katlara ve bina tabanına ait yatay yerdeğiştirmeler Şekil 65, 66, 67, 68, 69, 70 ve 71'de verilmiştir.

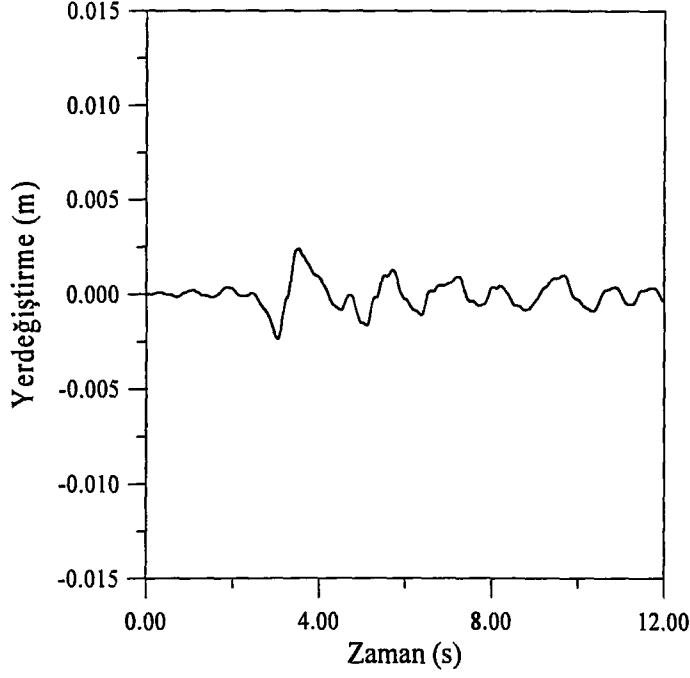
3.2.2.2.2. Kat ve Taban Kesme Kuvvetleri

Erzincan depremiyle yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilen katlara ve bina tabanına ait maksimum kesme kuvvetleri Şekil 72 ve 73'de verilmiştir.

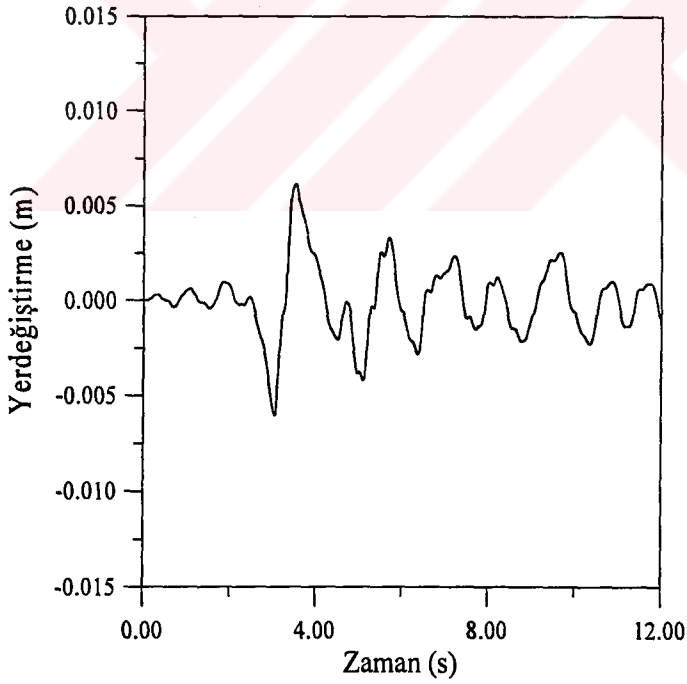
3.2.2.2.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki

Kauçuk mesnet sistemler lineer olmayan bir davranış göstermektedirler. Yapılan analizler sonucunda, izolatör seviyesindeki taban kesme kuvveti ve taban yerdeğiştirmeleri arasındaki elde edilen ilişki Şekil 74'de verilmiştir.

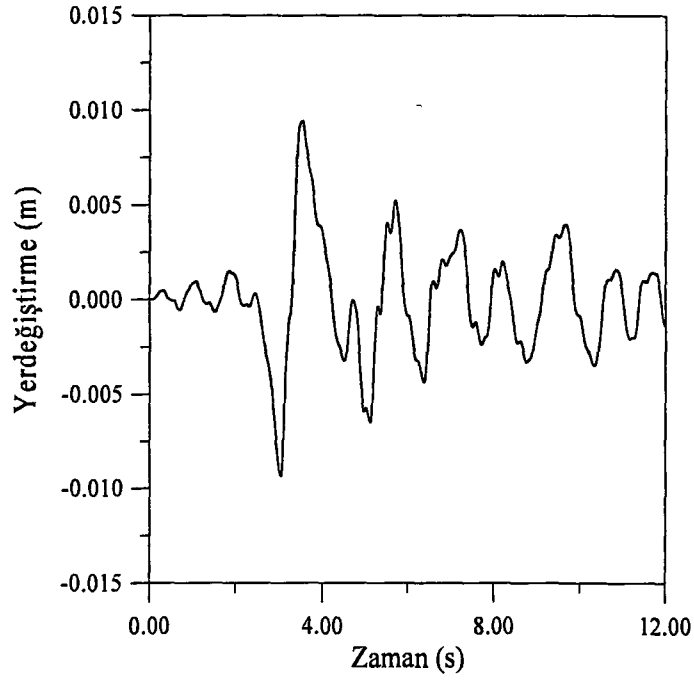
Elde edilen bu sonuçlar; izolasyonlu binanın temel periyodunun $T=2$ saniye olması hali içindir.



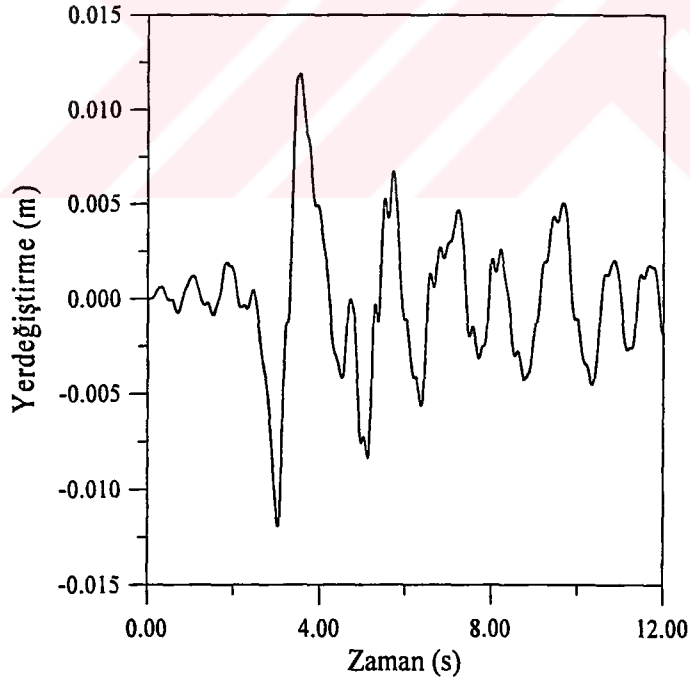
Şekil 65. Erzincan depremi için kauçuk mesnet ile kat kütle merkezine göre, 1. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



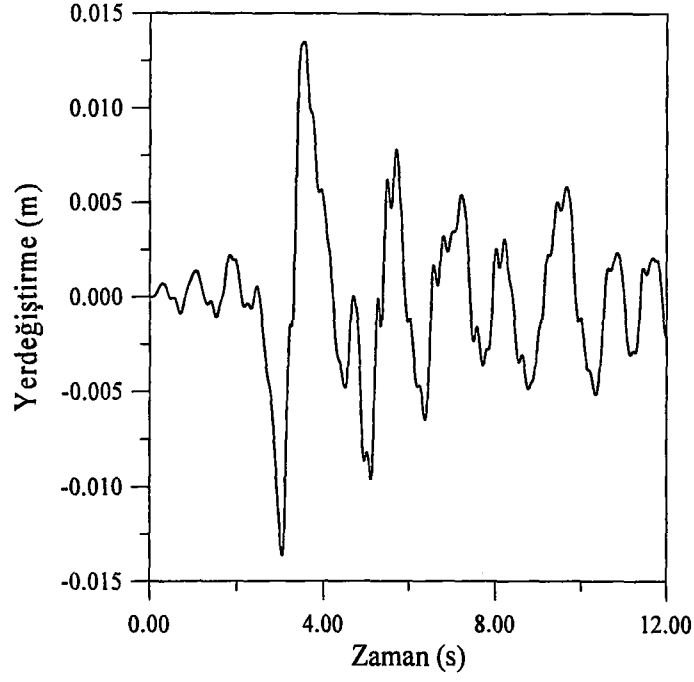
Şekil 66. Erzincan depremi için kauçuk mesnet ile kat kütle merkezine göre, 2. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



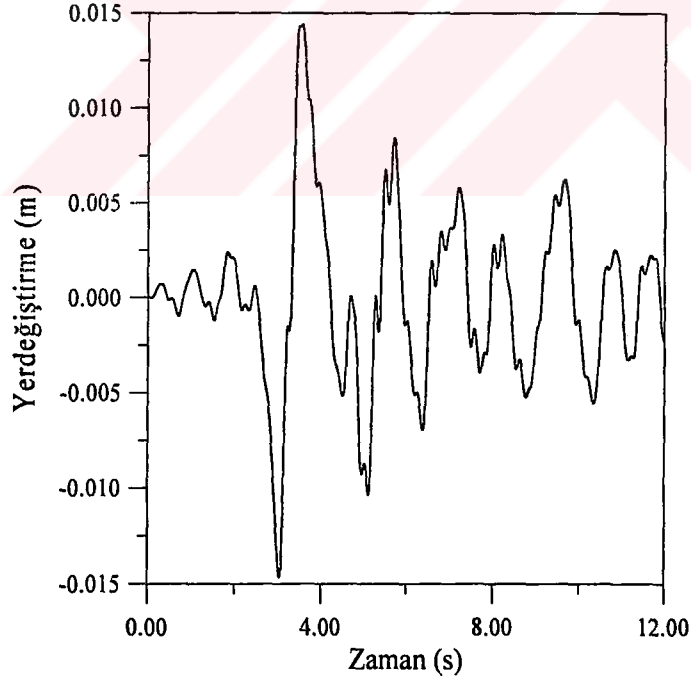
Şekil 67. Erzincan depremi için kauçuk mesnet ile kat kütle merkezine göre, 3. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



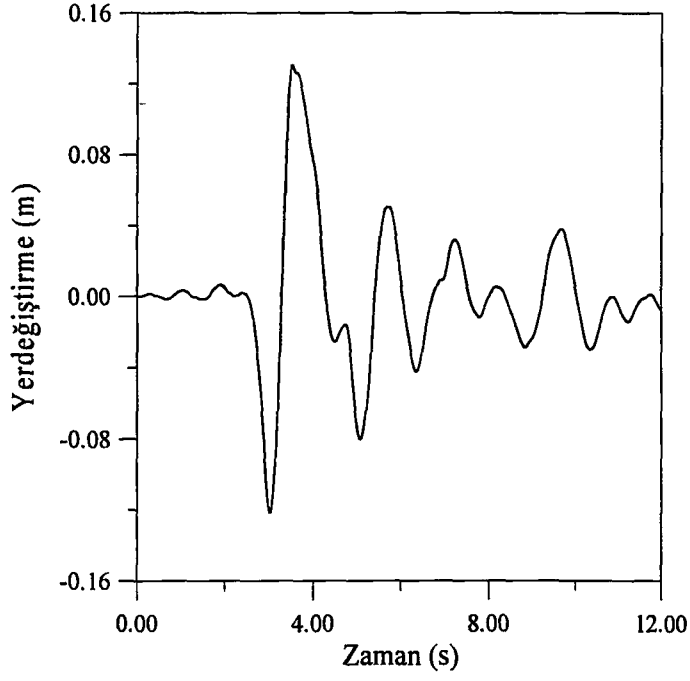
Şekil 68. Erzincan depremi için kauçuk mesnet ile kat kütle merkezine göre, 4. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



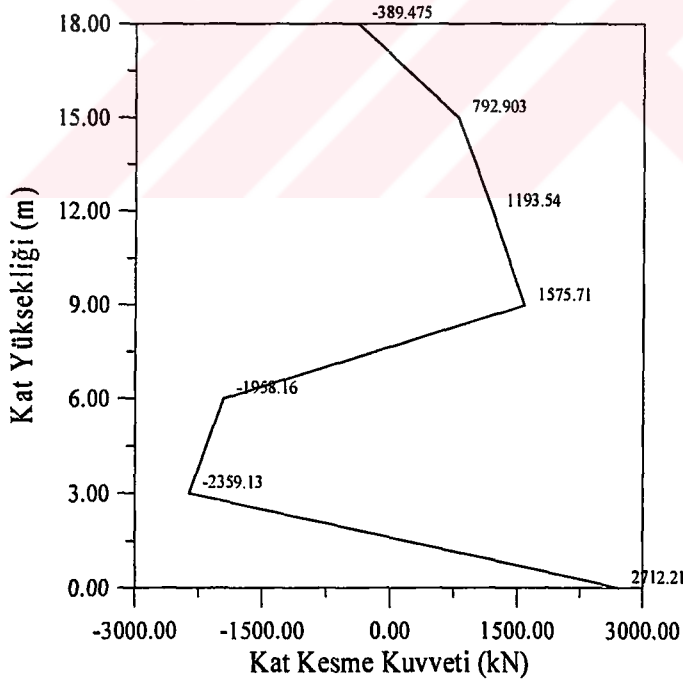
Şekil 69. Erzincan depremi için kauçuk mesnet ile kat kütle merkezine göre, 5. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



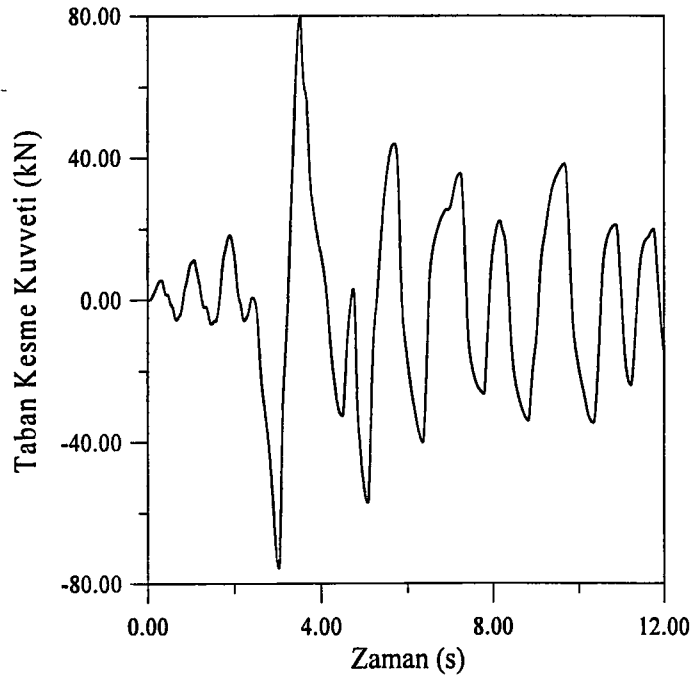
Şekil 70. Erzincan depremi için kauçuk mesnet ile kat kütle merkezine göre, 6. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



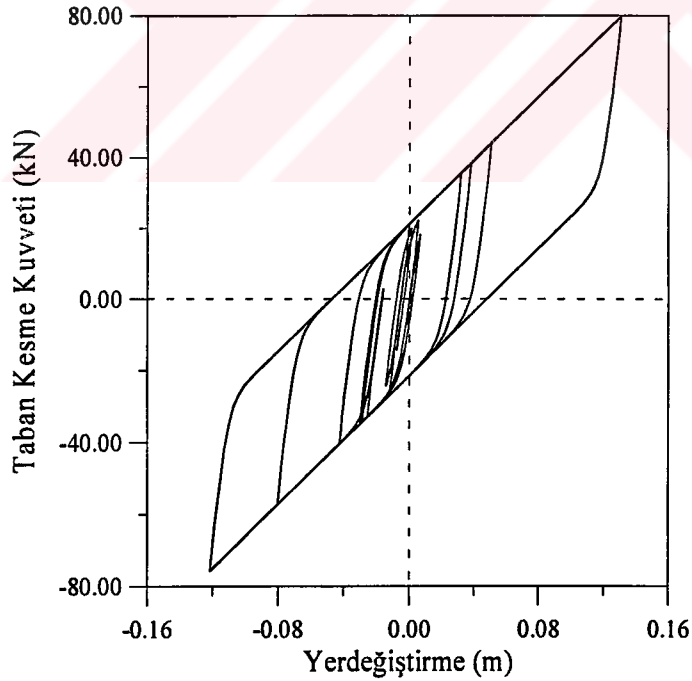
Şekil 71. Erzincan depremi için kauçuk mesnet sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



Şekil 72. Erzincan depremi için kauçuk mesnet ile Y-doğrultusundaki maksimum taban ve kat kesme kuvvetlerinin kat yüksekliğine göre değişimi



Şekil 73. Erzincan depremi için kauçuk mesnet izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi



Şekil 74. Erzincan depremi için kauçuk mesnet sistemde, taban kesme kuvveti yerdeğiştirme arasındaki ilişki

3.2.2.3. Lineer Sönümlü Kauçuk Mesnet Sistemi ile İzolasyonda Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri

Bu çalışmada, kauçuk mesnet sistemi için kullanılan parametreler Tablo 2’de verilmiştir. Buna ilave olarak, sönüm elemanlarının öteleneme ve dönme yönlerindeki katsayıları, kauçuk mesnedin %50 şekildeğiştirmesine karşılık gelen $C_x=0.10$, $C_y=0.10$ ve $C_r=0.10$ olarak alınmaktadır. Bu sönüm katsayıları sırasıyla x ve y yönlerindeki ötelenme ve dönme yönündeki sönümleri ifade etmektedir.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri ve yerdeğiştirmelerin zamanla değişimleri aşağıdaki bölümlerde sunulmaktadır.

3.2.2.3.1. Kat ve Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri

Erzincan depremiyle yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilen katlara ve bina tabanına ait yatay yerdeğiştirmeler Şekil 75, 76, 77, 78, 79, 80 ve 81’de verilmiştir.

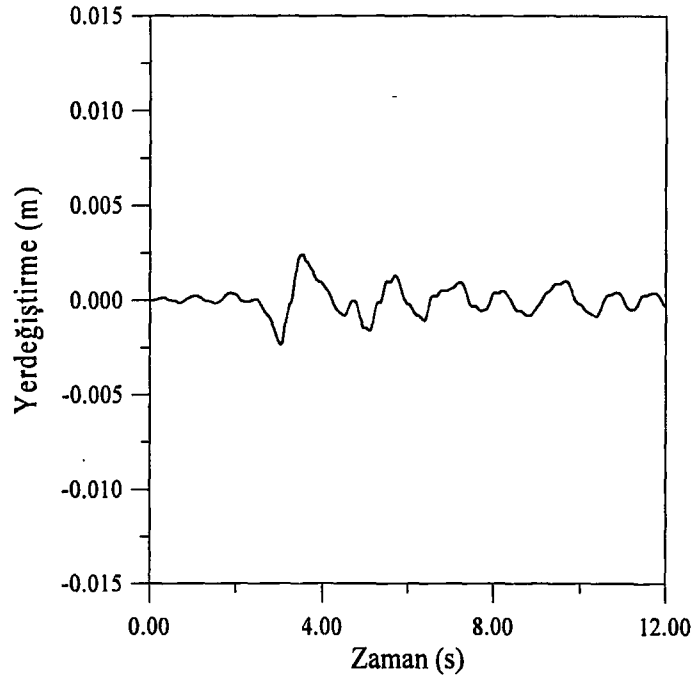
3.2.2.3.2. Kat ve Taban Kesme Kuvvetleri

Erzincan depremiyle yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilen bina tabanına ve katlara ait maksimum kesme kuvvetleri Şekil 82 ve 83’de verilmiştir.

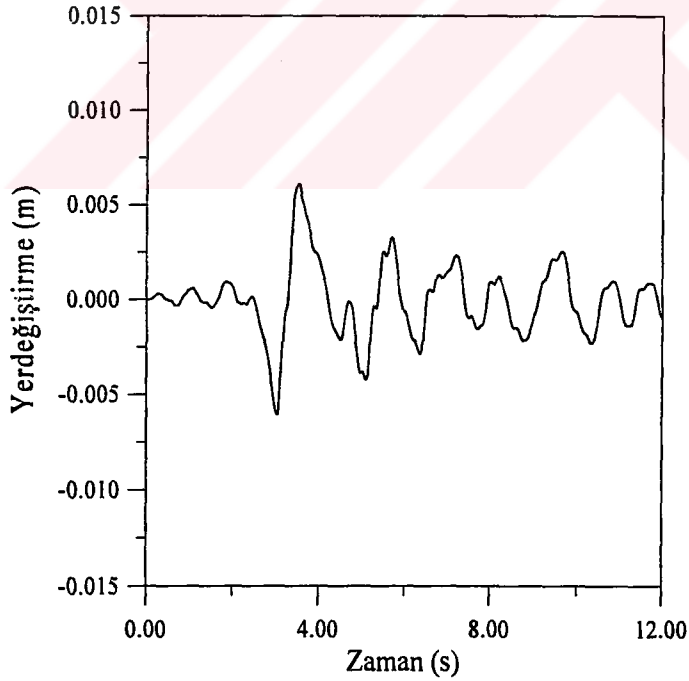
3.2.2.3.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki

Yapılan analizler sonucunda, izolatör seviyesindeki taban kesme kuvveti ve taban yerdeğiştirmeleri arasındaki elde edilen ilişki Şekil 84’de verilmiştir.

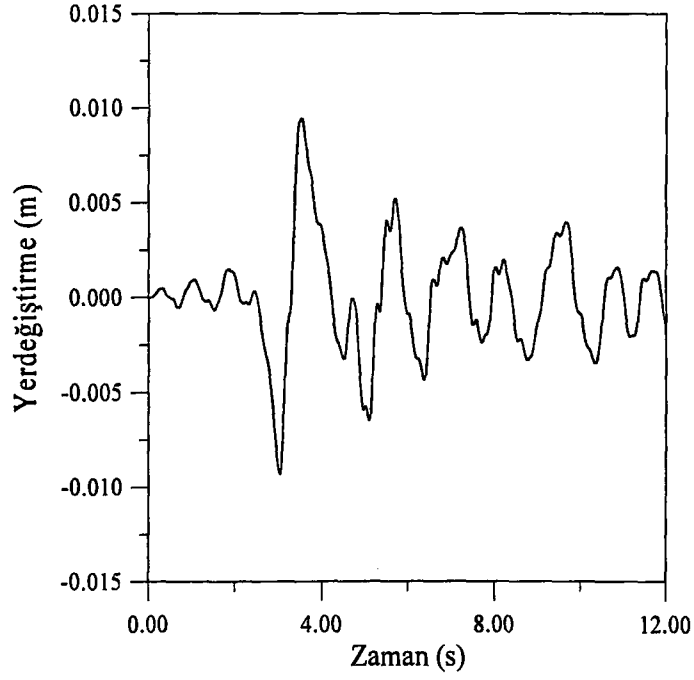
Elde edilen bu sonuç; izolasyonlu binanın temel periyodunun $T=2$ saniye olmasına göredir.



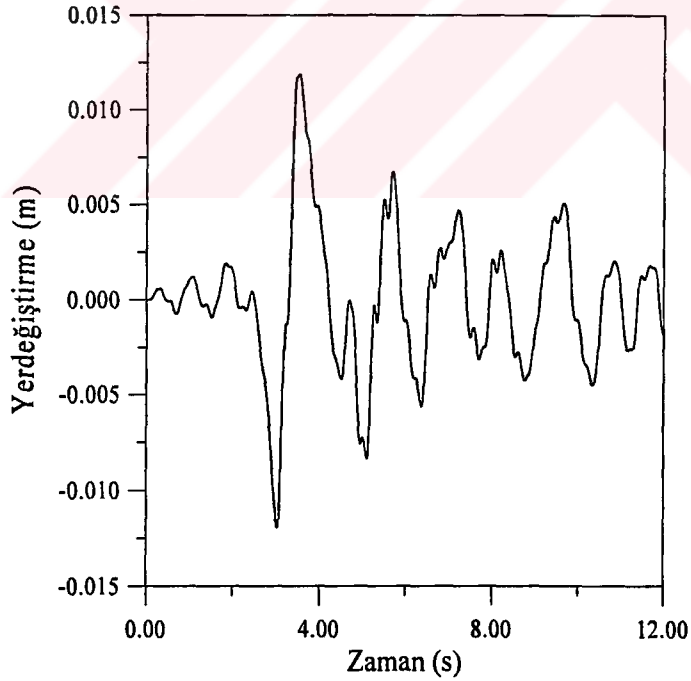
Şekil 75. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnet ile kat kütle merkezine göre, 1. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



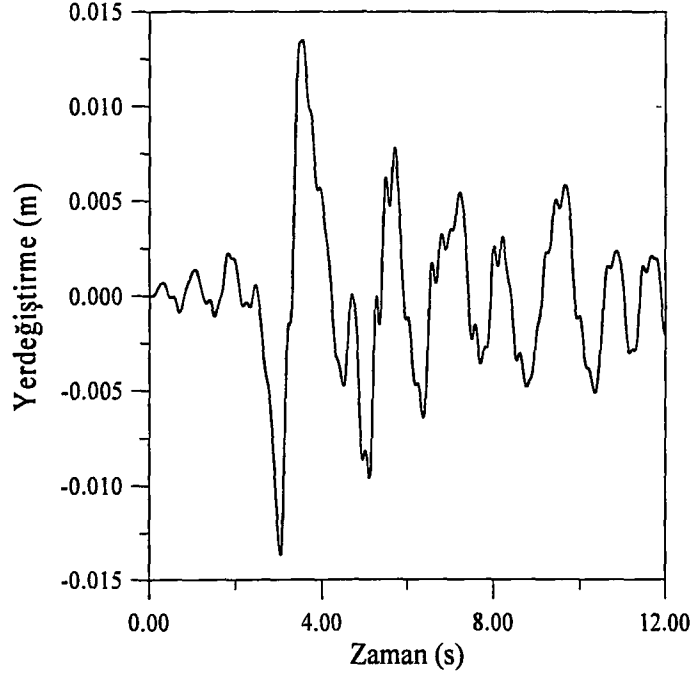
Şekil 76. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnet ile kat kütle merkezine göre, 2. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



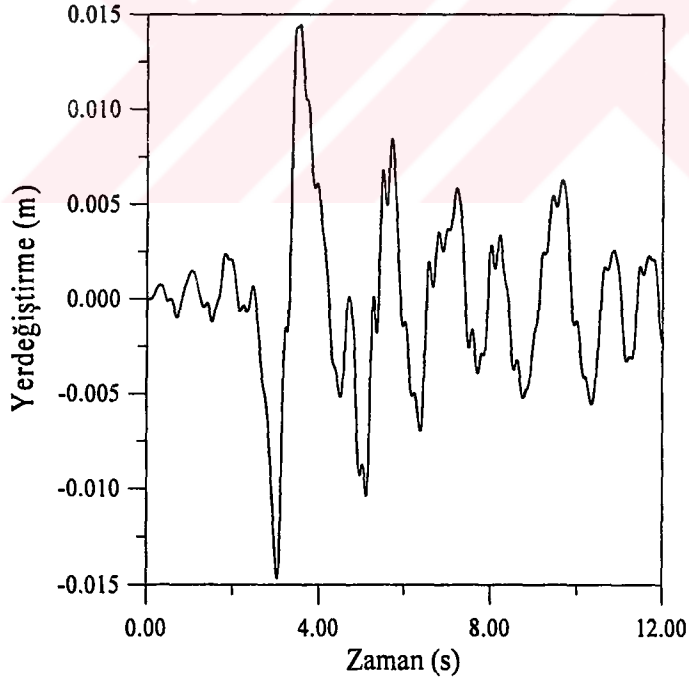
Şekil 77. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnet ile kat kütle merkezine göre, 3. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



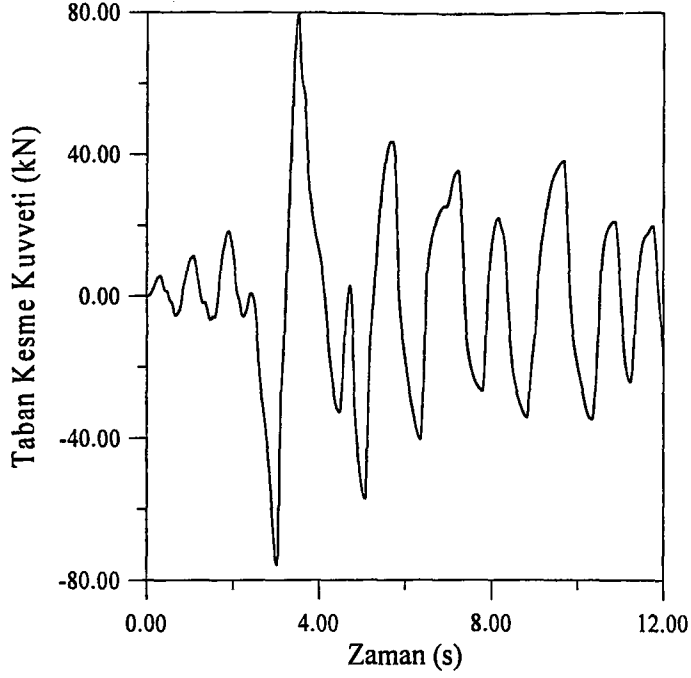
Şekil 78. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnet ile kat kütle merkezine göre, 4. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



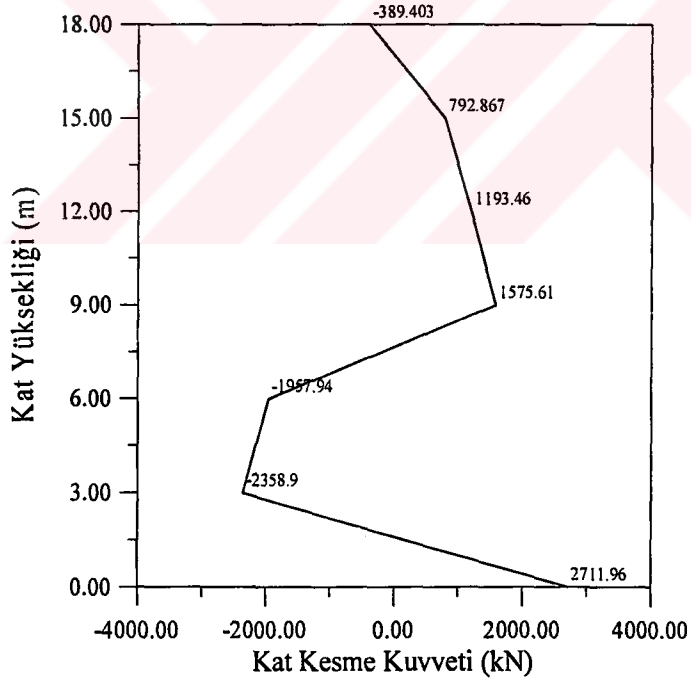
Şekil 79. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnet ile kat kütle merkezine göre, 5. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



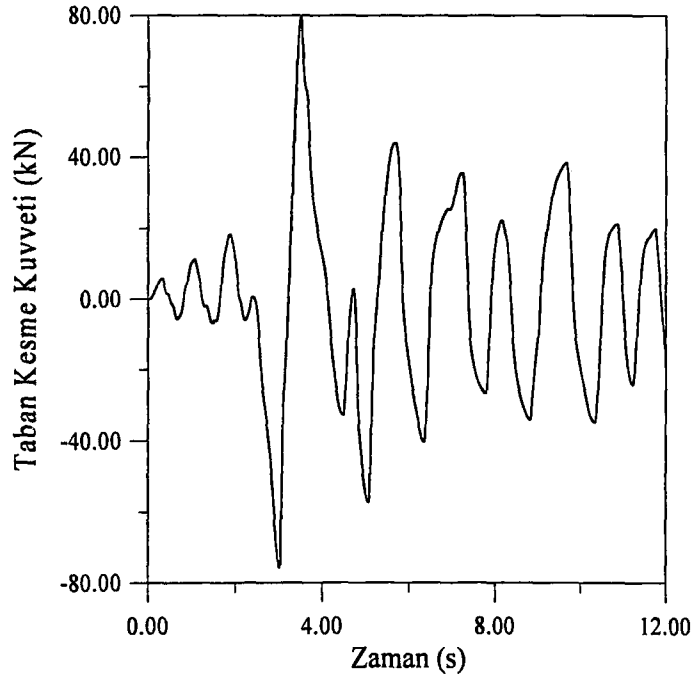
Şekil 80. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnet ile kat kütle merkezine göre, 6. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



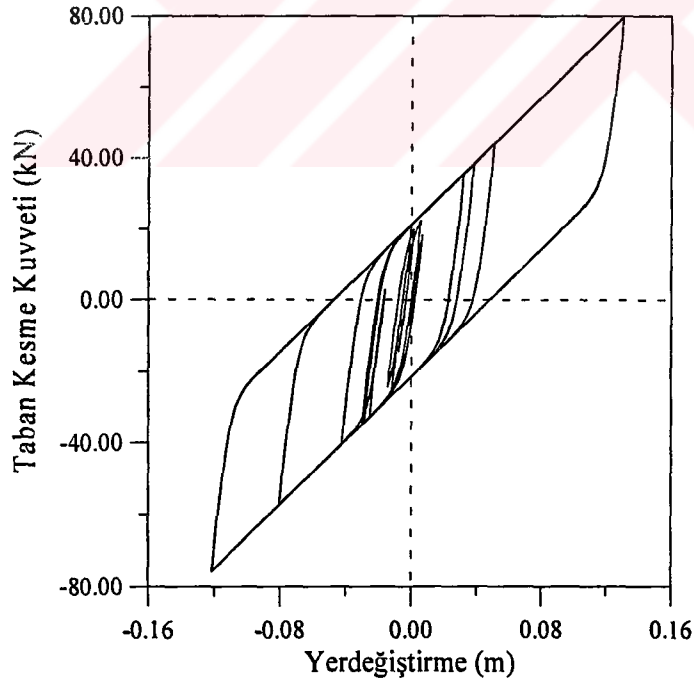
Şekil 81. Erzincan depremi için linear sönümlü kauçuk mesnet izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



Şekil 82. Erzincan depremi için linear sönümlü kauçuk mesnet ile izolasyonda Y-doğrultusundaki maksimum taban ve kat kesme kuvvetlerinin kat yüksekliğine göre değişimi



Şekil 83. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnet izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi



Şekil 84. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk sistemde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişki

3.2.2.4. Lineer Olmayan Sönümlü Kauçuk Mesnet Sistem ile İzolasyonda Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri

Kauçuk mesnet sistemi ve lineer olmayan sönüm elemanları, yapının taban izolasyonunda kullanılmaktadır. Tabakalar halindeki kauçuk ve çelik plakalardan oluşan mesnede ilave olarak bina tabanının köşelerine yerleştirilen lineer olmayan viskoz elemanlar, kauçuk sistemin lineer olmayan sönüm özelliğini ifade edebilmek amacıyla kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, kauçuk mesnet sistemi ve lineer olmayan sönüm aletleri için kullanılan parametreler Şekil 10'da verilen lineer olmayan viskoz söndürücünün kuvvet-hız fonksiyonuna göre; her bir söndürücü düşük hızda lineer bir davranış göstermekte olup $C_{01}=877$ kN.sn/m, $P=1$, $F_{01}=70$ kN değerleri, lineer olmayan davranış 10 cm/s hızda başlar ise, $C_{02}=182.6$ kN.sn/m, $P=0.5$, $F_{02}=100$ kN ve 35 cm/s'den daha fazla hızlar için maksimum kuvvet 200 kN değeri alınır [76].

Erzincan depremine göre yapılan analizler sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri ve yerdeğiştirmelerin zamanla değişimleri aşağıdaki bölümlerde sunulmaktadır. Lineer olmayan söndürücü taban yerdeğiştirmesinin azaltılmasında oldukça etkilidir. Bundan dolayı sadece taban kesme kuvvetleri ve yerdeğiştirmeleri verilmektedir.

3.2.2.4.1. Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri

Şekil 85'de verilen bina tabanına ait yatay yerdeğiştirmeler Erzincan depremiyle yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilmiştir. Taban yerdeğiştirmesi, sadece kauçuk kullanılmasına göre maksimum 13.05 cm iken lineer olmayan söndürücü ile birlikte kullanıldığında 8.33 cm'ye kadar indiği analiz sonuçlarından görölmektedir.

3.2.2.4.2. Taban Kesme Kuvvetleri

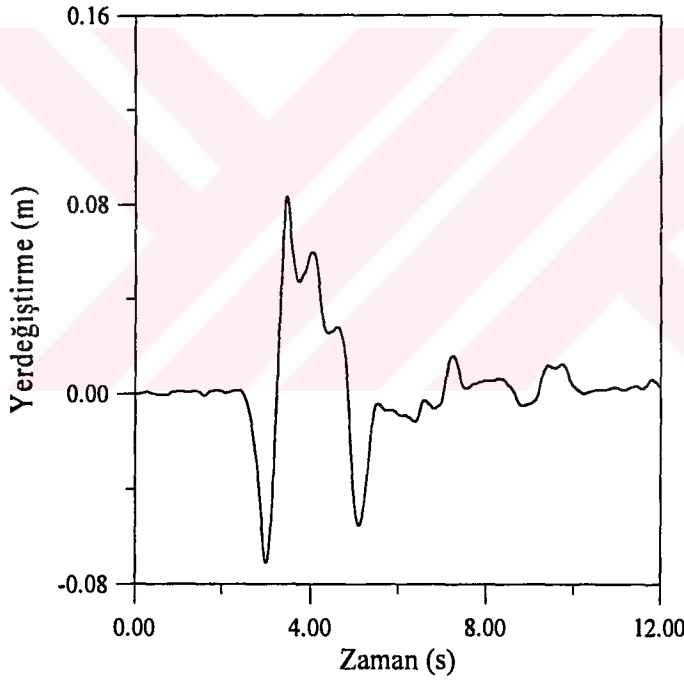
Bina tabanına kesme kuvvetinin zamanla değişimi Şekil 86'da Erzincan depremiyle yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilerek verilmektedir.

Taban kesme kuvveti, sadece kauçuk kullanılmasına göre maksimum 79.75 kN iken lineer olmayan söndürücü ile birlikte kullanıldığında 58.62 kN'a kadar indiği analiz sonuçlarından görülmektedir.

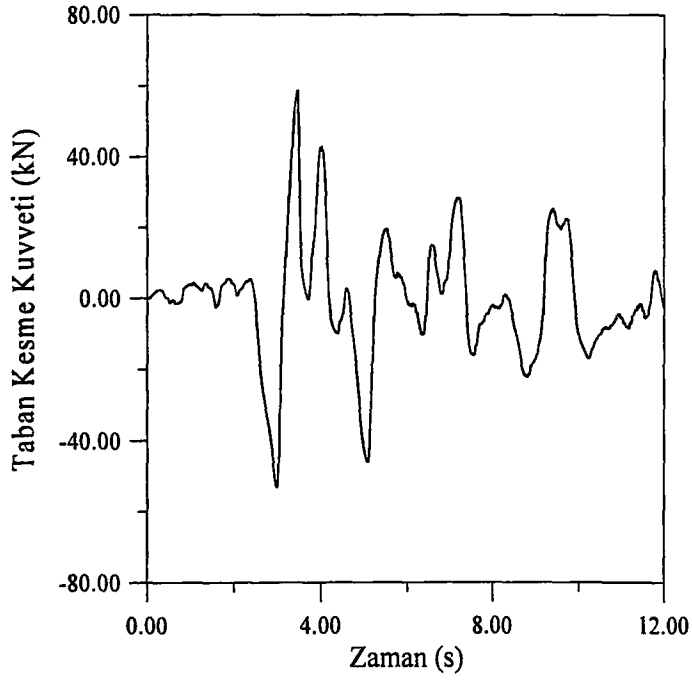
3.2.2.4.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki

Kauçuk mesnet sistemi ile birlikte lineer olmayan söndürücüden kullanılarak yapılan analizler sonucunda, izolatör seviyesindeki taban kesme kuvveti ve taban yerdeğiştirmeleri arasındaki elde edilen ilişki Şekil 87'de verilmiştir.

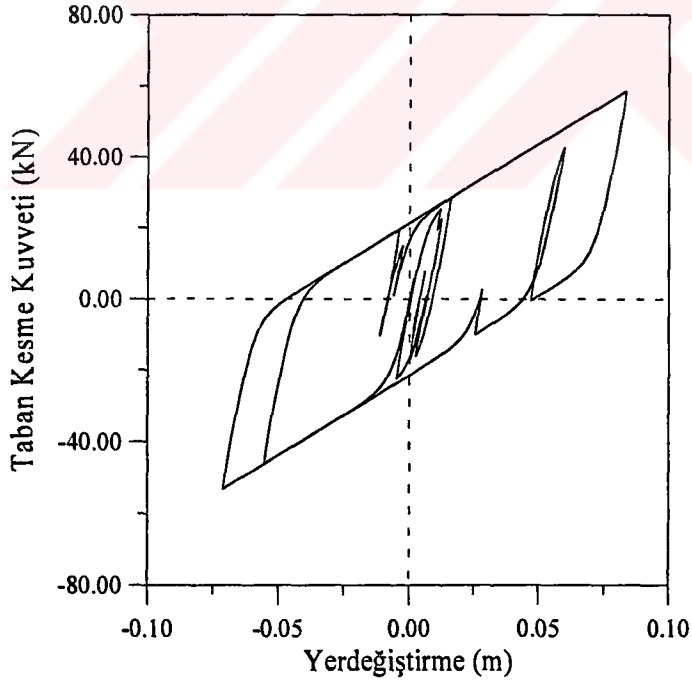
Elde edilen bu sonuç; izolasyonlu binanın temel periyodunun $T=2$ saniye olması içindir.



Şekil 85. Erzincan depremi için lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnet sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



Şekil 86. Erzincan depremi için lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnet sistemde meydana gelen Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi



Şekil 87. Erzincan depremi için lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnet sistemde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişki

3.3. Üç Boyutlu Perdeli Bina için Elde Edilen Bulgular

3.3.1. Giriş

Şekil 88’de verilen 6 katlı ve 3 boyutlu bir perdeli binanın taban izolasyonlu ve ankastre tabanlı olması durumları için zaman artımı analizleri yapılmıştır. Taban izolasyonu olarak ise, sürtünmeli sarkaç ve kauçuk mesnetler sistemler seçilmiştir. Analizlerde kullanılan binanın üst yapısının lineer davranış gösterirken izolasyon sistemi lineer olmayan bir davranış göstermektedirler. Dinamik dış yük olarak 18 Mayıs 1940 El-Centro ve 13 Mart 1992 Erzincan depremleri tercih edilmiştir.

Binanın döşeme orta noktalarında olduğu kabul edilen kütle merkezinde ve serbestlik derecesi 3 tanedir. Bunların 2 tanesi yatay yerdeğiştirme ve 1 tanesi de düşey eksen etrafında dönme serbestlik dereceleridir.

Kütleler; taban seviyesinde ve 6. katta $125.994 \text{ kN.s}^2/\text{m}$ ve $5255.046 \text{ kN.s}^2.\text{m}$, 1-5. katlarda ise $145.872 \text{ kN.s}^2/\text{m}$ ve $6092.966 \text{ kN.s}^2.\text{m}$ olarak hesaplanmıştır.

Döşemelerin yatay rijitliklerinin sonsuz olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca, kolon ve perde şeklindeki taşıyıcı duvarların boy uzamaları ihmal edilmektedir.

Söz konusu üç boyutlu 6 katlı binanın, sürtünmeli sarkaç, Yeni Zelanda tipi kauçuk mesnet, lineer sönümlü kauçuk mesnet ve lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnetler ile taban izolasyonu yapılmıştır.

Sürtünmeli sarkaç ve kauçuk mesnetler binanın temeli ile zemin kat kolonları arasına toplam 20 tane yerleştirilmiştir. Ayrıca, Lineer ve lineer olmayan söndürücüler ise binanın köşelerine yerleştirilerek kauçuk mesnedin sönüm oranı ifade edilmiştir.

3.3.2. El-Centro Depremi Kullanılarak Elde Edilen Bulgular

3.3.2.1. Sürtünmeli Sarkaç Sistem ile Yapılan İzolasyon için Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri

Bu bölümde (2.2) bölümünde ki binanın aynısı kullanılmış olup sadece perde duvarlar ilave edildiğinden yapının toplam ağırlığı artmıştır. Fakat, sürtünmeli sarkaç ile

izolasyonu yapılan binada sarkacın periyodu kütlede bağısız olduğundan binanın temel periyodu değişmemektedir. Ancak, binanın kendisinin periyodu kütleyle bağlı olduğundan kütlede artmasıyla orantılı olarak değişecektir. Binanın toplam ağırlığı 9625.876 kN'dur. Sarkaç yarıçapı ise 100 cm olduğundan, sürtüneli sarkaç sisteminin toplam rijitliği ise 9625.876 kN/m olmaktadır.

Kat ve taban yatay yerdeğistirmeleri, kütle merkezinde kabul edilen üç serbestlik derecesi için hesaplanmıştır. Bunların iki tanesi yatay yerdeğistirme ve bir tanesi düşey eksen etrafındaki dönmeden ibarettir. Bu çalışmada üç boyutlu binaya deprem kuvveti binanın plandaki kısa kenar doğrultusunda etkidiği kabul edildiği için yatay yerdeğistirmelerde bu doğrultuda hesaplanmıştır.

3.3.2.1.1. Kat ve Taban Yatay Yerdeğistirmeleri

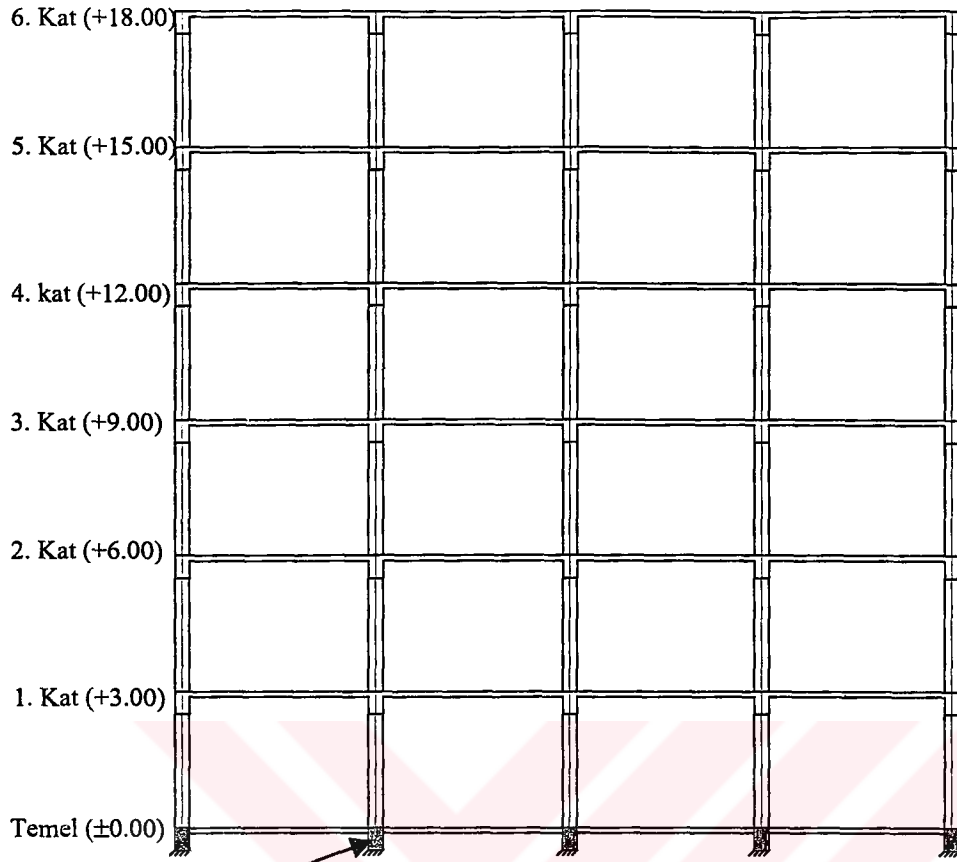
El-Centro depremi kullanılıp, lineer olmayan zaman artımı analizleri yapılp katlara ve bina tabanına ait yatay yerdeğistirmeler Şekil 89, 90, 91, 92, 93, 94 ve 95'de verilmiştir.

3.3.2.1.2. Kat ve Taban Kesme Kuvvetleri

El-Centro depremiyle yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilen taban ve kat kesme kuvvetleri Şekil 96 ve 97'de verilmiştir.

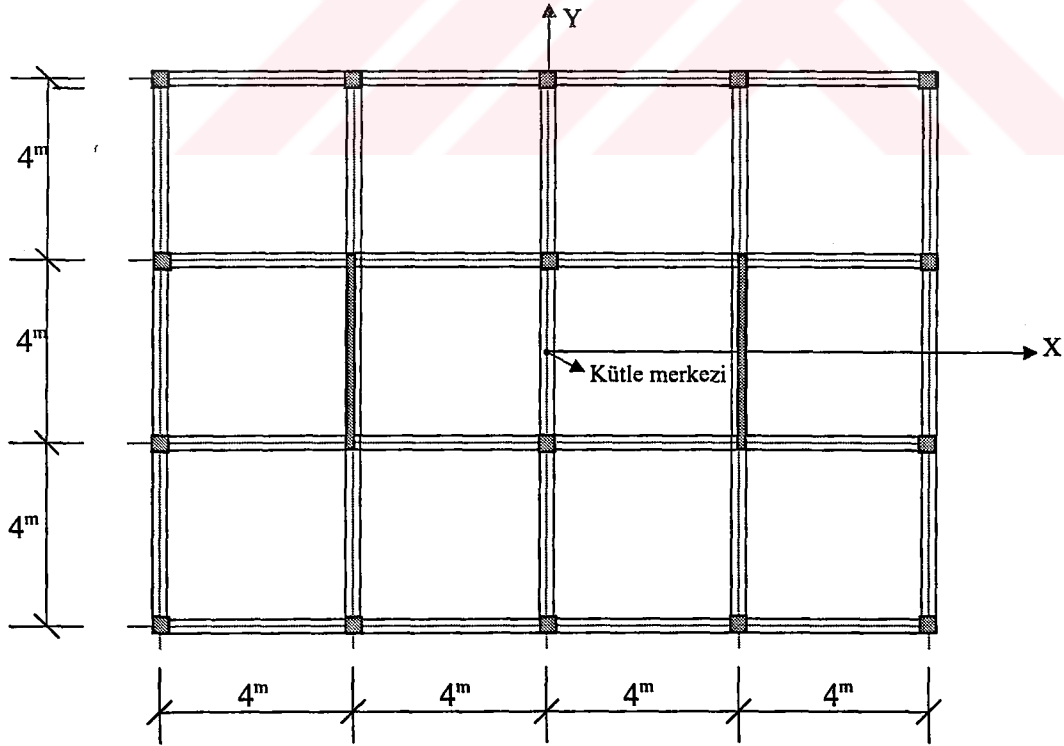
3.3.2.1.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğistirmesi Arasındaki İlişki

Yapılan analizler sonucunda, sürtüneli sarkaç izolatör seviyesindeki taban kesme kuvveti ve taban yerdeğistirmeleri arasındaki elde edilen ilişki Şekil 98'de verilmiştir. Bu ilişki; izolasyonlu binanın temel periyodunun $T=2$ saniyelik değeri içindir.



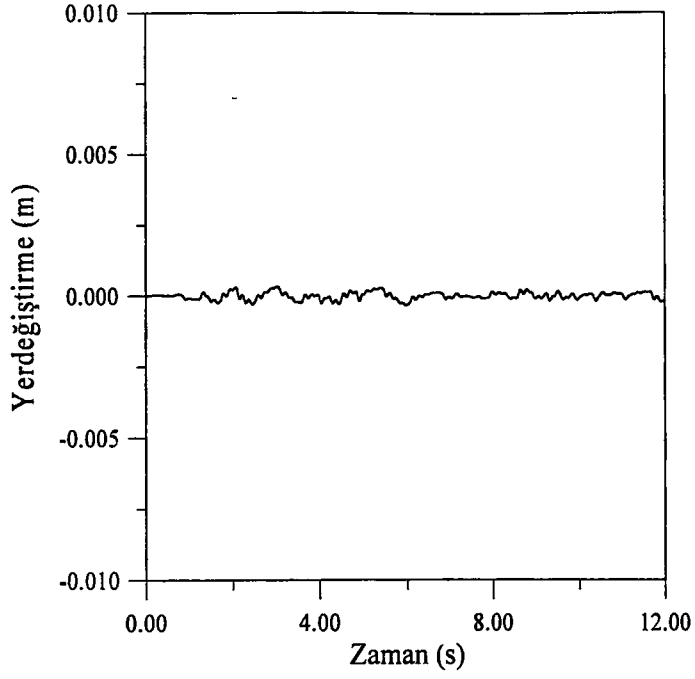
Taban İzolatörleri

a) Kesit

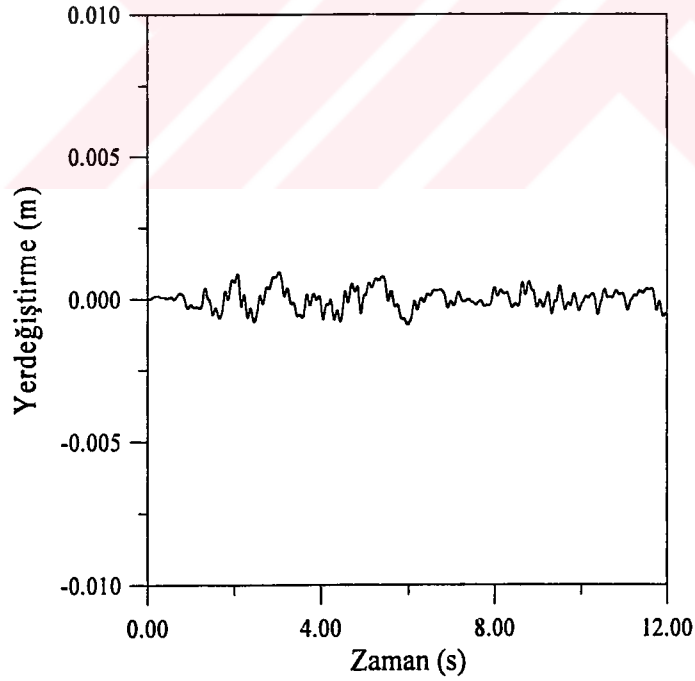


b) Kalıp planı

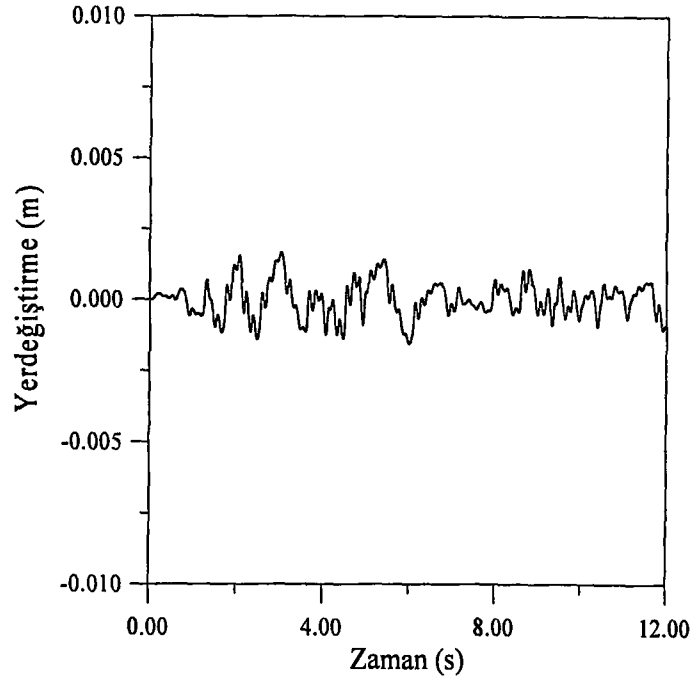
Şekil 88. Üç boyutlu perdeli binanın kesiti ve kalıp planı



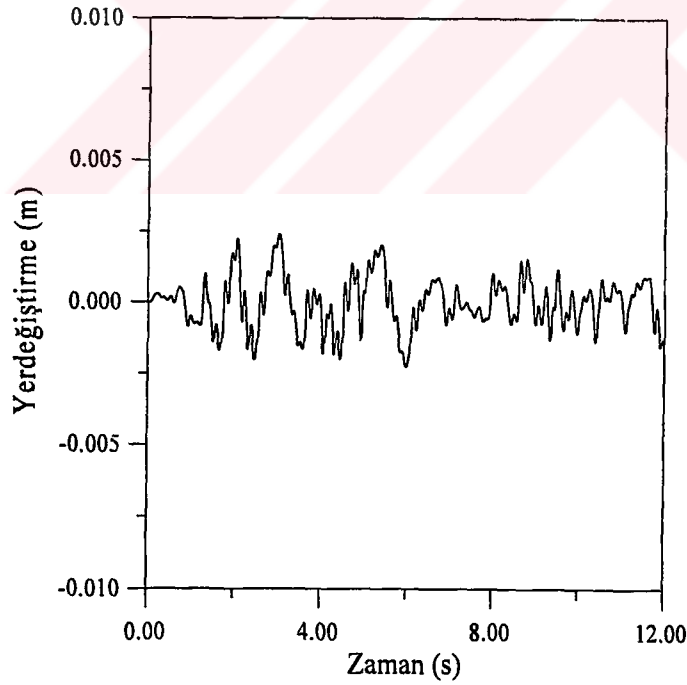
Şekil 89. El-Centro depremi için sürtünmeli sarkaçlı ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 1. kat Y-doğrultusundaki yerdeğişirmenin zamanla değişimi



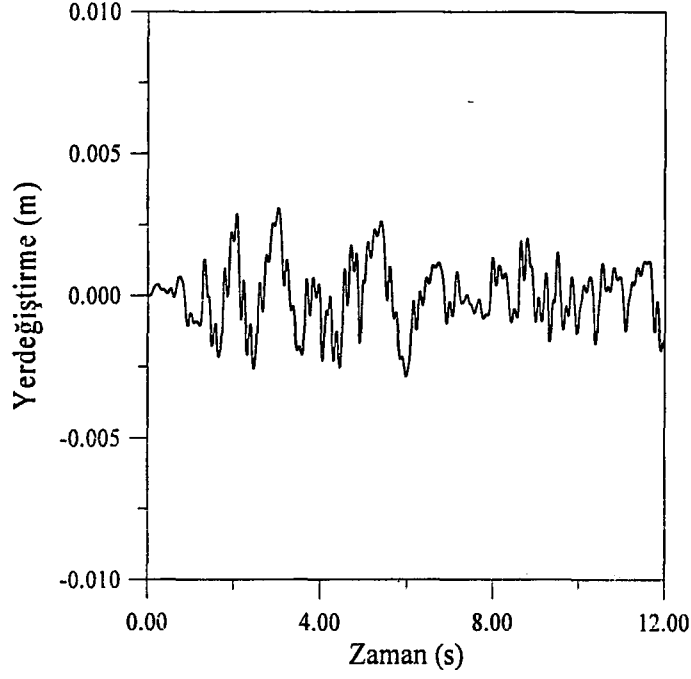
Şekil 90. El-Centro depremi için sürtünmeli sarkaçlı ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 2. kat Y-doğrultusundaki yerdeğişirmenin zamanla değişimi



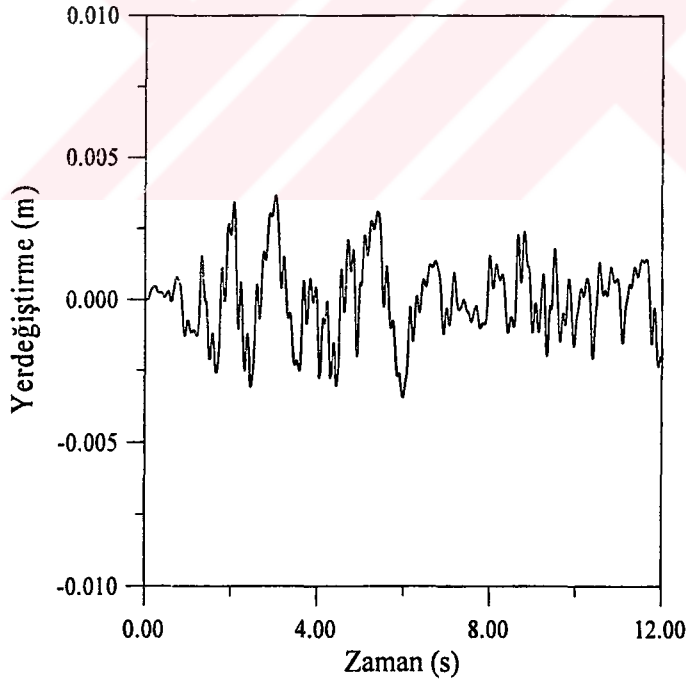
Şekil 91. El-Centro depremi için sürtünlü sarkaçlı ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 3. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



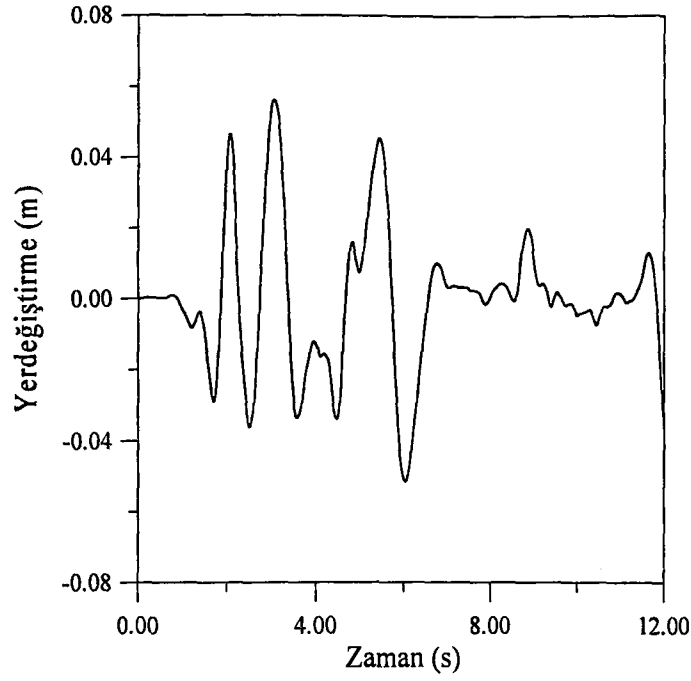
Şekil 92. El-Centro depremi için sürtünlü sarkaçlı ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 4. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



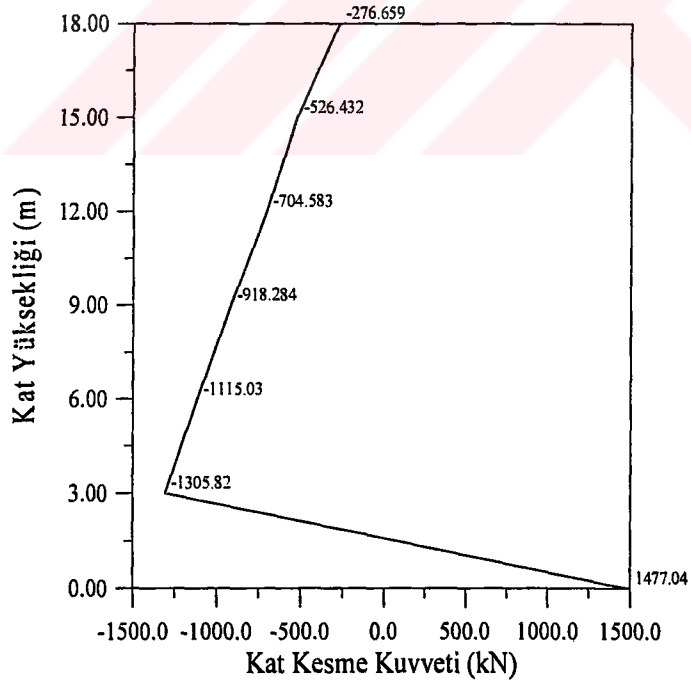
Şekil 93. El-Centro depremi için sürtünmeli sarkaçlı ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 5. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



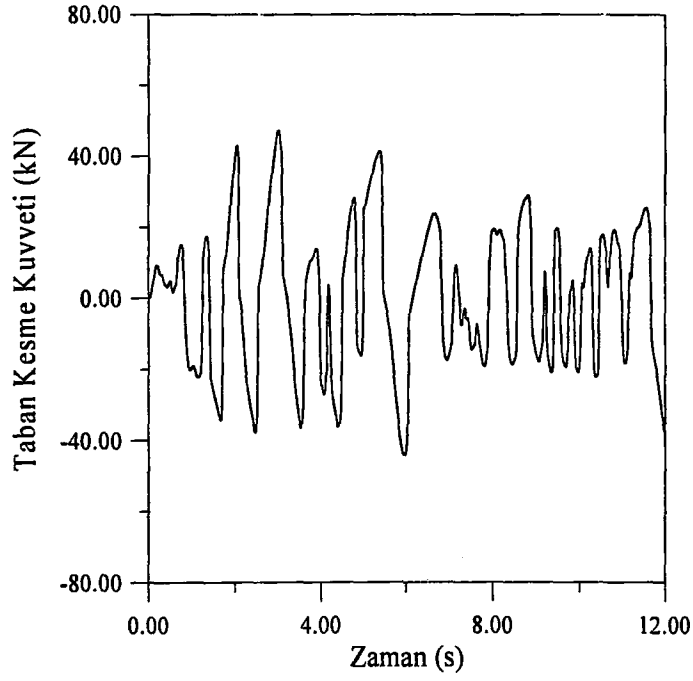
Şekil 94. El-Centro depremi için sürtünmeli sarkaçlı ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 6. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



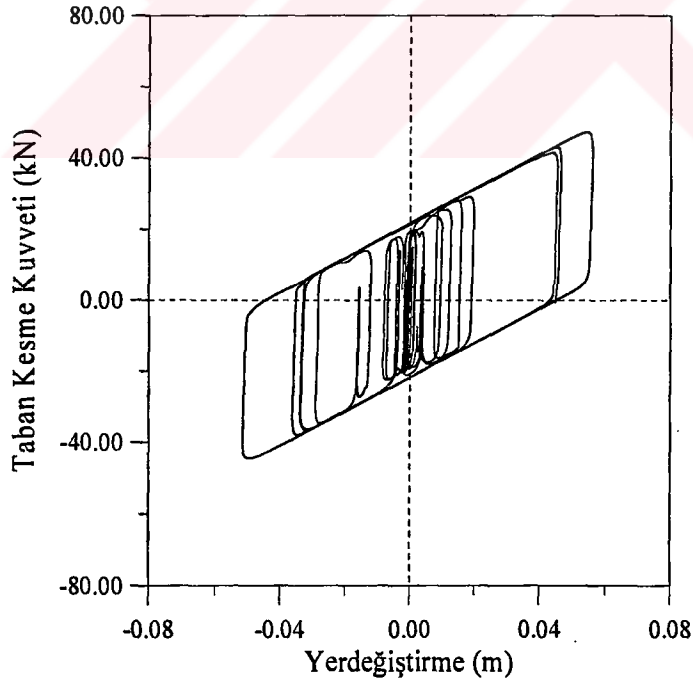
Şekil 95. El-Centro depremi için sürtülmeli sarkaçlı ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



Şekil 96. El-Centro depremi için sürtülmeli sarkaçlı ve perdeli binanın Y-doğrultusundaki maksimum taban ve kat kesme kuvvetlerinin kat yüksekliğine göre değişimi



Şekil 97. El-Centro depremi için sürtülmeli sarkaçlı ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki kesme kuvvetinin zamanla değişimi



Şekil 98. El-Centro depremi için sürtülmeli sarkaçlı ve perdeli binanın izolasyon sisteminde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişki

3.3.2.2. Kauçuk Mesnet Sistem ile Yapılan İzolasyon için Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri

Daha önce özellikleri verilen kauçuk mesnetli sistemler ile taban izolasyonu yapılan bina, perde duvarların ilavesi ile 18 Mayıs 1940 El-Centro depreminin kuzey-güney bileşenine maruz bırakılarak analiz edilmiştir. Söz konusu deprem kaydının maksimum ivme değeri 0.35g'dir. Perde duvarların ilave edilmesinden dolayı yapının ağırlığı artmaktadır. Bu ağırlığa göre hesaplanan çeşitli kauçuk mesnet özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Üç boyutlu ve perdeli bina için kauçuk mesnetlerin özellikleri [75]

Mesnet No	A	B	C	D
Boyutlar (mm x mm)	380 x 380	600 x 600	540 x 540	530 x 530
Mesnet yüksekliği (mm)	220	220	220	220
Kauçuk tabaka sayısı (adet)	13	13	13	13
Kauçuk tabakalarının kalınlığı (mm)	9.50	9.50	9.50	9.50
Kurşun çekirdek çapı (mm)	70	100	90	0
Elastik rijitlik, K_e (kN/m)	5091.78	3771.95	6121.84	26630
Plastik rijitlik, K (kN/m)	484.22	484.22	484.22	484.22
Akma Seviyesi, Q_d (kN)	21.79	21.79	21.79	21.79
Plastik rijitlik/Elastik rijitlik, α	0.096	0.1284	0.080	0.0182
Akma Kuvveti, F^Y (kN)	26.63	26.63	26.63	26.63
Akma yerdeğiştirmesi, Y (mm)	5.23	7.06	4.35	1.00

Bu çalışmada, B tipi kauçuk mesnet izolasyonda tercih edilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri ve yerdeğiştirmelerin zamanla değışimleri sunulmaktadır.

3.3.2.2.1. Kat ve Taban Yatay Yerdeşistirmeleri

Katlara ve bina tabanına ait yatay yerdeşistirmeler Şekil 99, 100, 101, 102, 103, 104 ve 105’de verilif olup, bu değerler El-Centro depremiyle yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilmiştir.

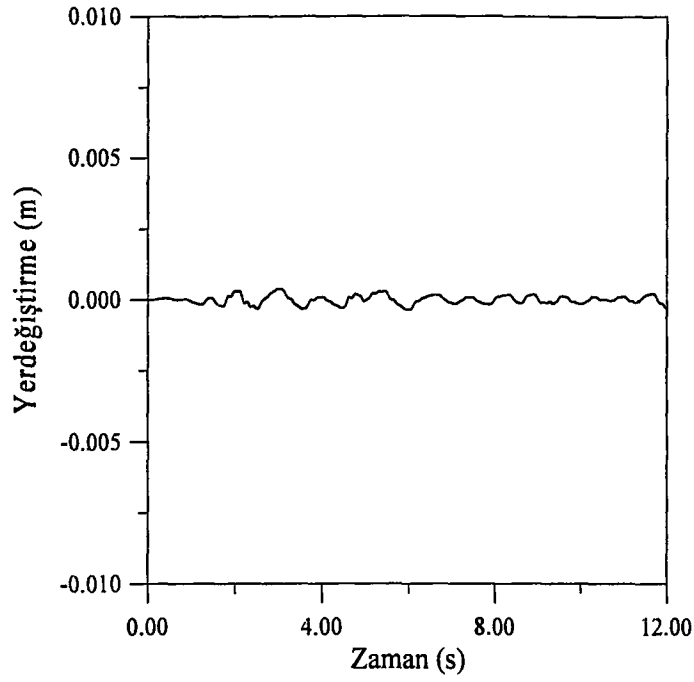
3.3.2.2.2. Taban ve Kat Kesme Kuvvetleri

Bina tabanına ve katlara ait maksimum kesme kuvvetleri Şekil 106 ve 107’de verilmiş olup, bu değerler El- Centro depremiyle yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilmiştir.

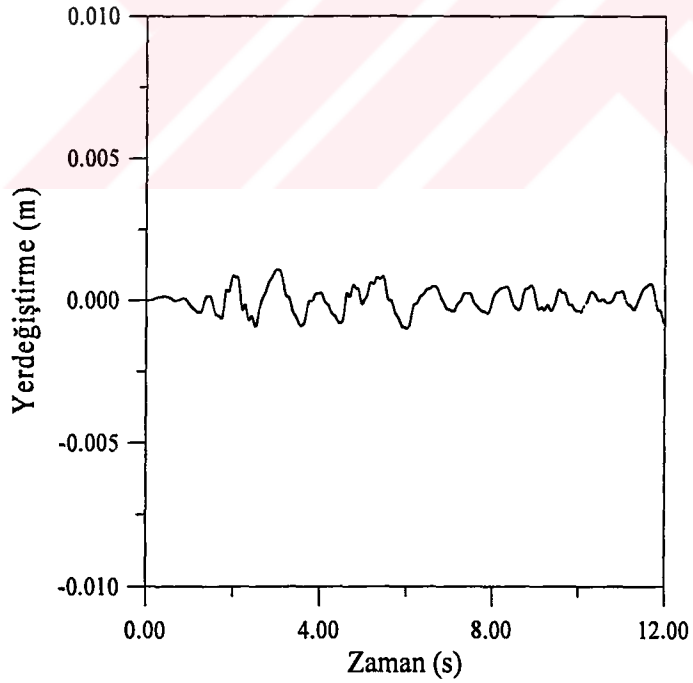
3.3.2.2.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeşistirmesi Arasındaki İlişki

Yapılan analizler sonucunda, izolatör seviyesindeki taban kesme kuvveti ve taban yerdeşistirmeleri arasındaki elde edilen ilişki Şekil 108’de verilmiştir.

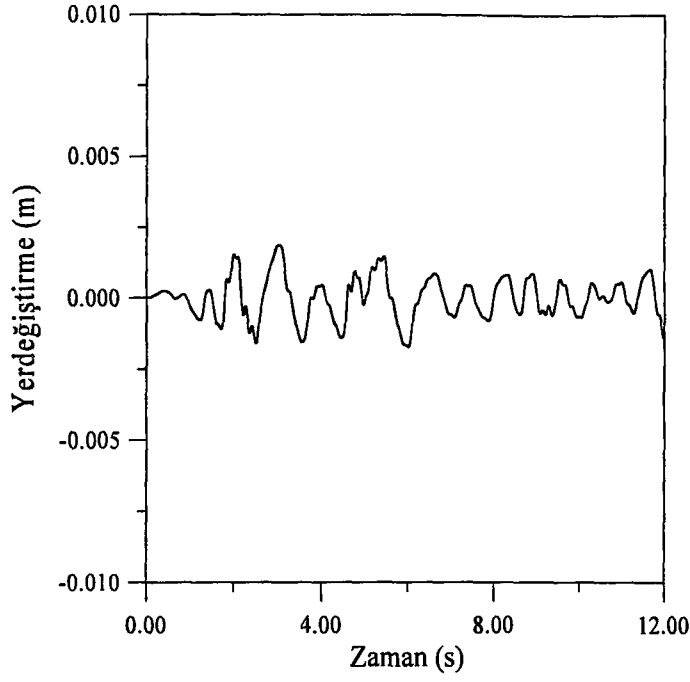
Elde edilen bu sonuçlar; izolasyonlu binanın temel periyodunun $T=2$ saniye olmasına goredir.



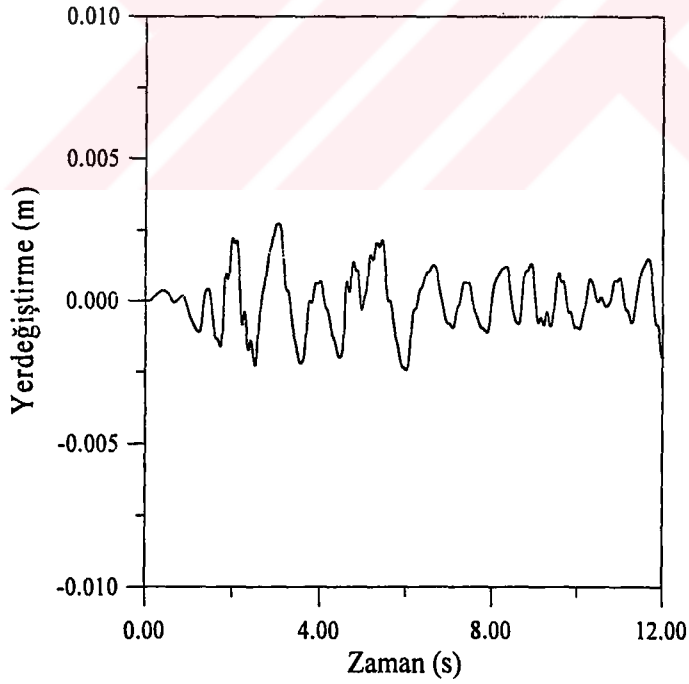
Şekil 99. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 1. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



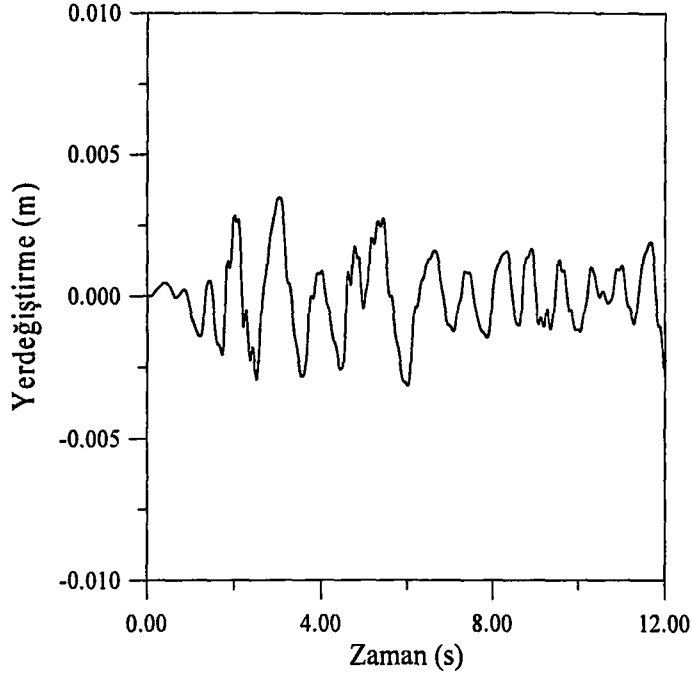
Şekil 100. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 2. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



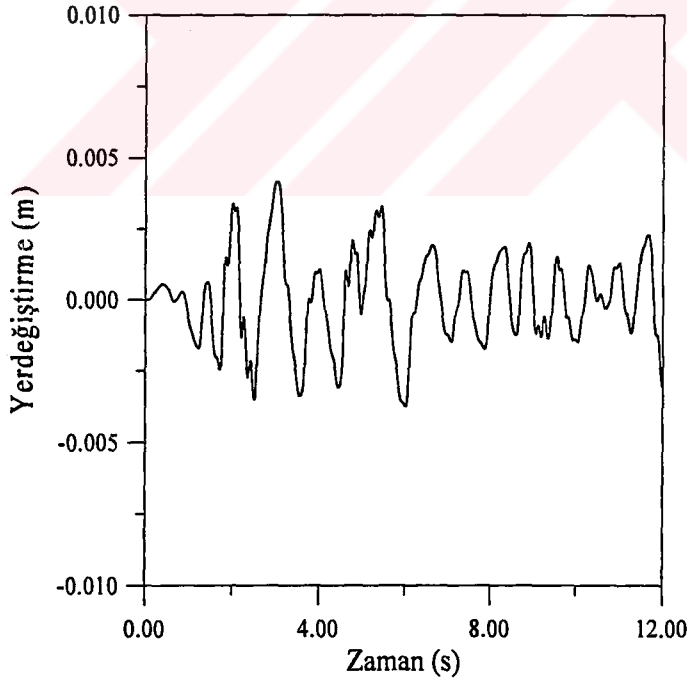
Şekil 101. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 3. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



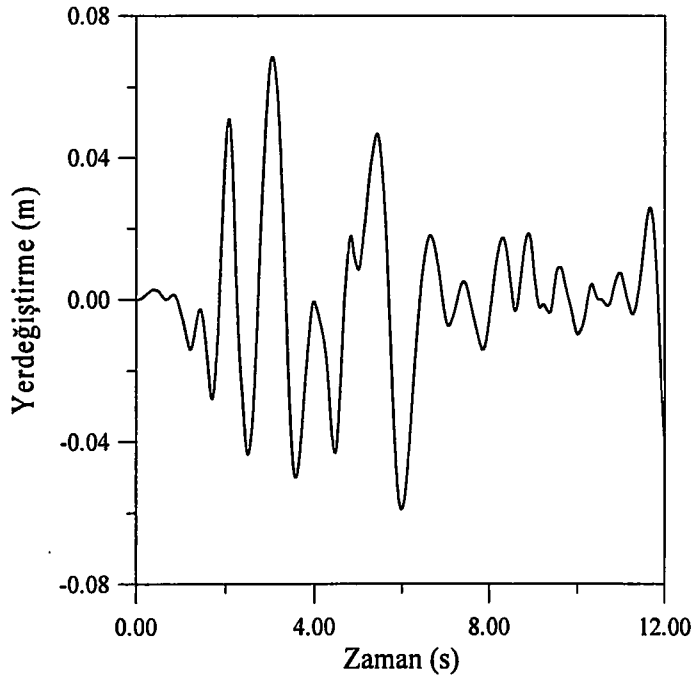
Şekil 102. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 4. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



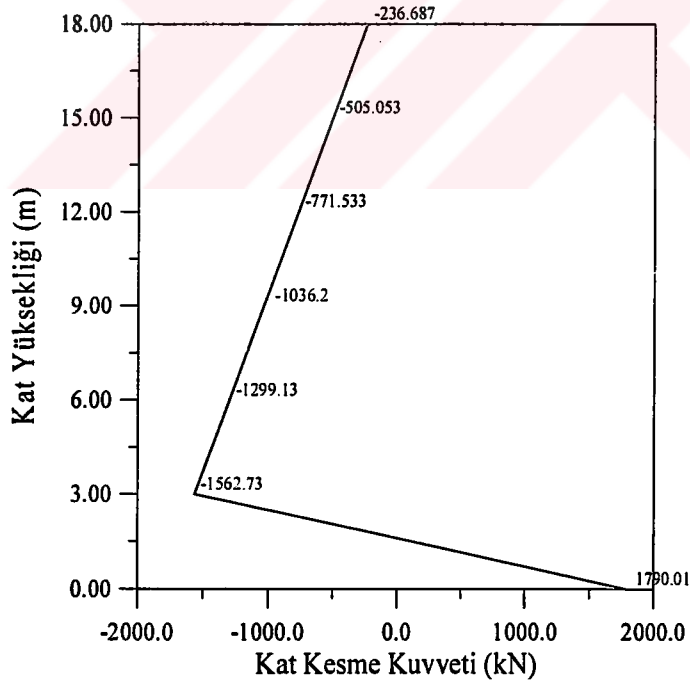
Şekil 103. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 5. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



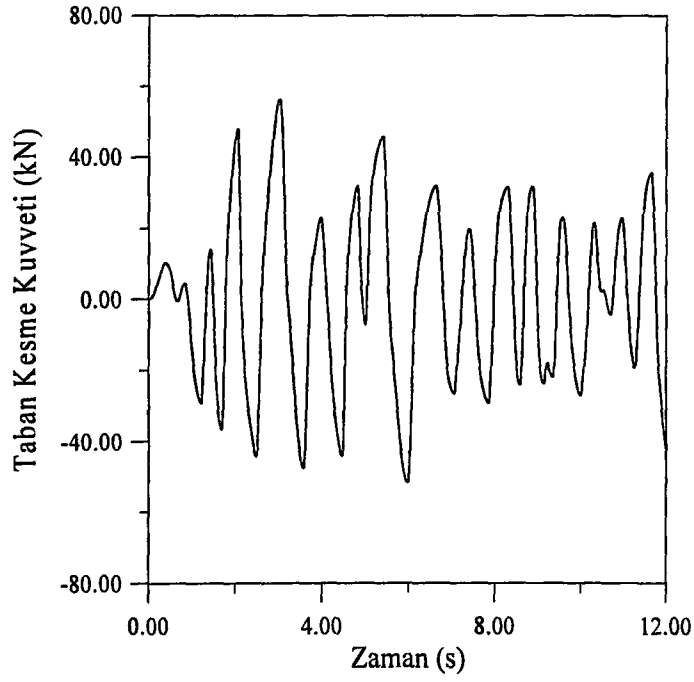
Şekil 104. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 6. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



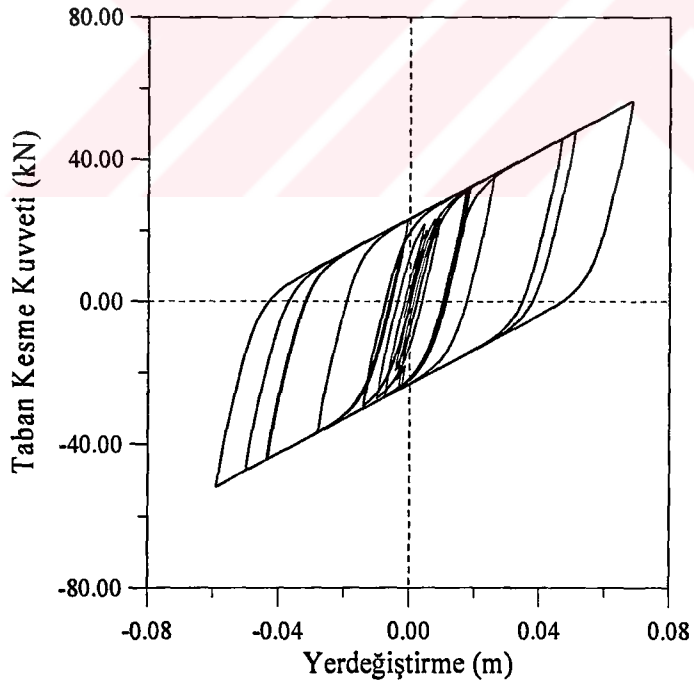
Şekil 105. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



Şekil 106. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli ve perdeli binanın Y-doğrultusu maksimum taban ve kat kesme kuvvetlerinin kat yüksekliğine göre değişimi



Şekil 107. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusu taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi



Şekil 108. El-Centro depremi için kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişki

3.3.2.3. Lineer Sönümlü Kauçuk Mesnet (LSKM) Sistem ile İzolasyonda Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri

(2.2) bölümünde verilen binanın aynısı kullanılmış olup sadece perde duvarlar ilave edildiğinden binanın toplam ağırlığı artmıştır. Kauçuk mesnet sistemi ve lineer sönüm elemanları, perdeli binanın taban izolasyonunda kullanılmaktadır. Tabakalar halindeki kauçuk ve çelik plakalardan oluşan mesnedin sönümü ilave olarak kullanılan lineer viskoz elemanlarla sağlanmaktadır. Bu sönüm elemanları kauçuk sistemin lineer sönüm özelliğini ifade etmektedir.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri ve yerdeğiştirmelerin zamanla değişimleri aşağıdaki bölümlerde sunulmuştur.

3.3.2.3.1. Kat ve Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri

Katlara ve binanın tabanına ait yatay yerdeğiştirmeler Şekil 109, 110, 111, 112, 113, 114 ve 115’de verilmiş olup, bu değerler El-Centro depremiyle yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilmiştir.

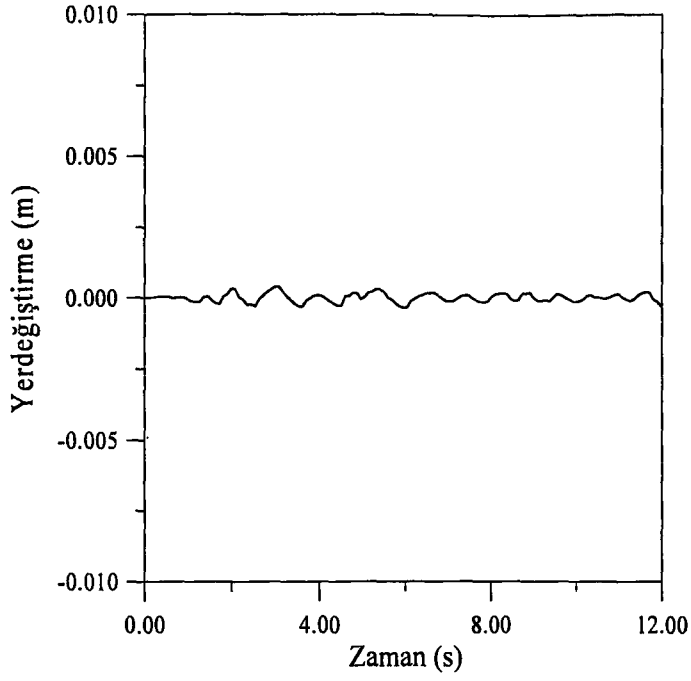
3.3.2.3.3. Taban ve Kat Kesme Kuvvetleri

Bina tabanına ve katlara ait maksimum kesme kuvvetleri Şekil 116 ve 117’de verilmiş olup, bu değerler El-Centro depremiyle yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilmiştir.

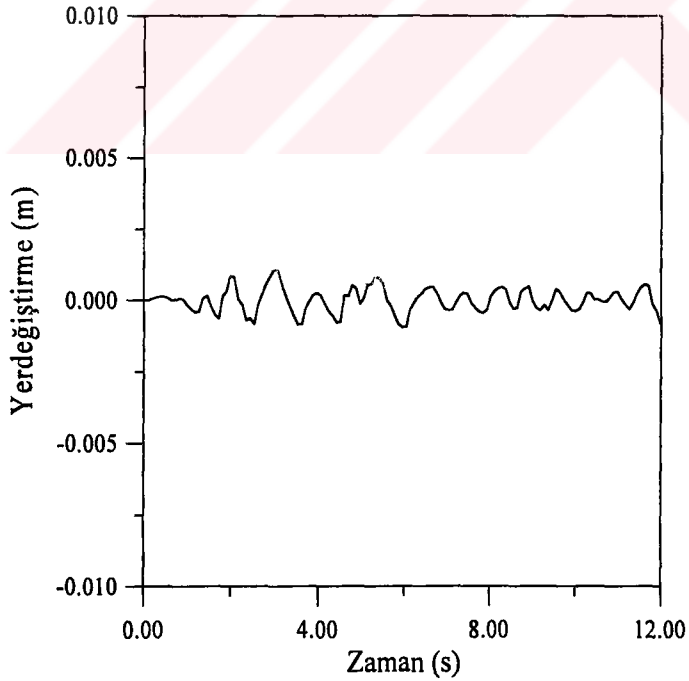
3.3.2.3.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki

Yapılan analizler sonucunda, izolatör seviyesindeki taban kesme kuvveti ve taban yerdeğiştirmeleri arasındaki elde edilen ilişki Şekil 118’de verilmiştir.

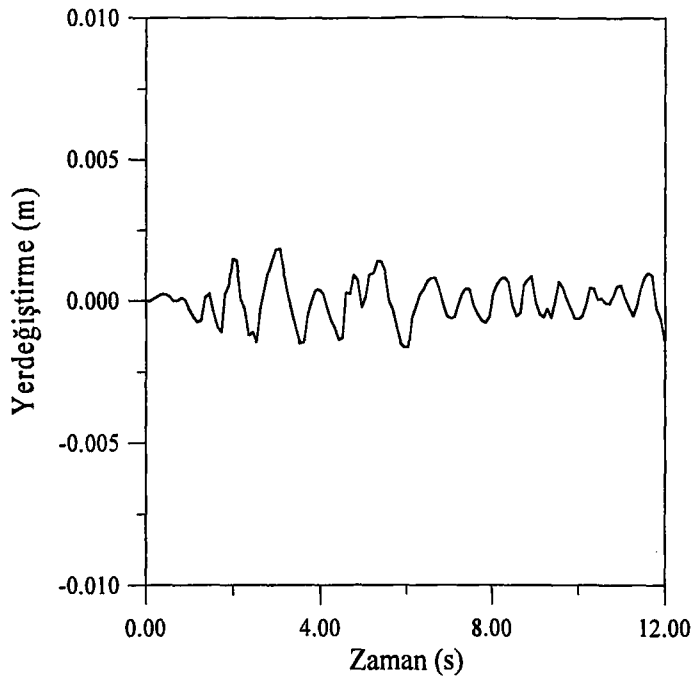
Elde edilen bu sonuç; izolasyonlu binanın temel periyodunun $T=2$ saniye olmasına göredir.



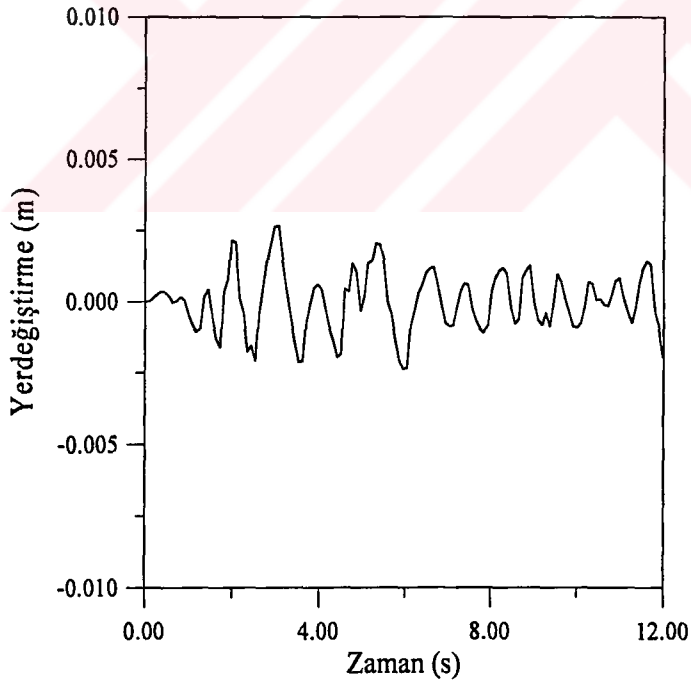
Şekil 109. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 1. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



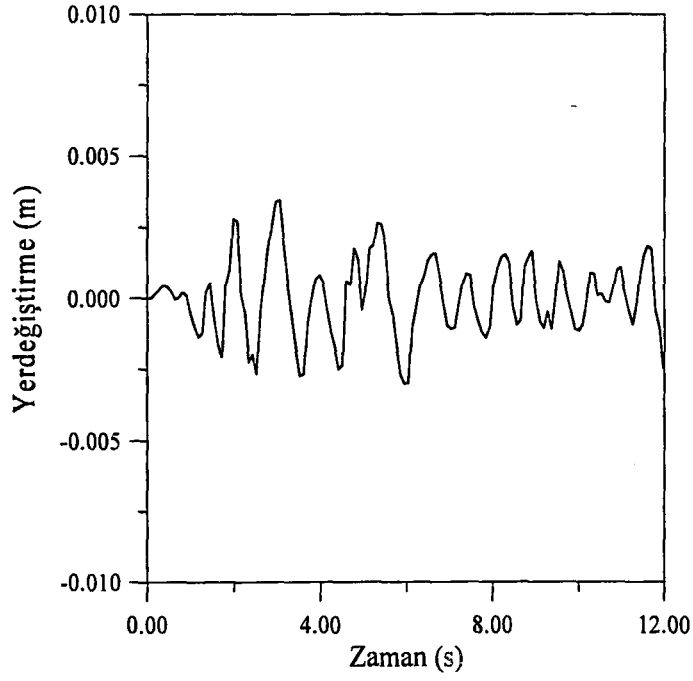
Şekil 110. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 2. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



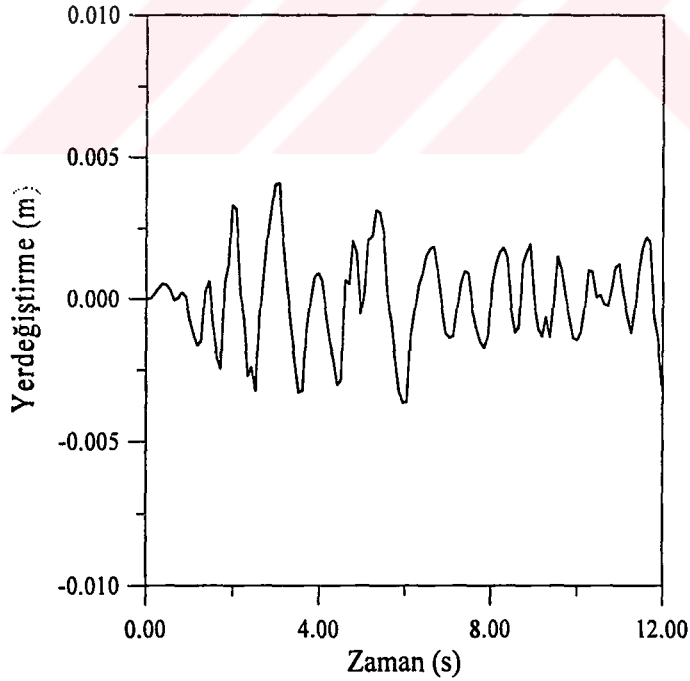
Şekil 111. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 3. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



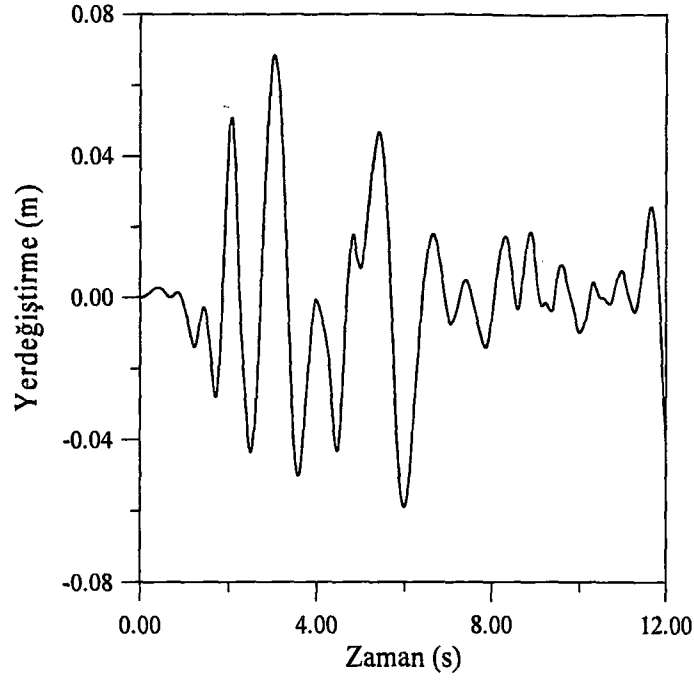
Şekil 112. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 4. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



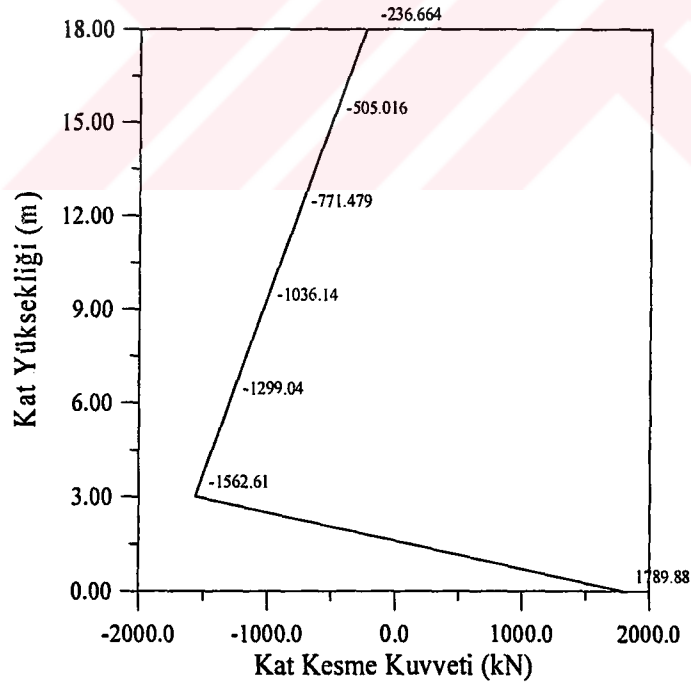
Şekil 113. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 5. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



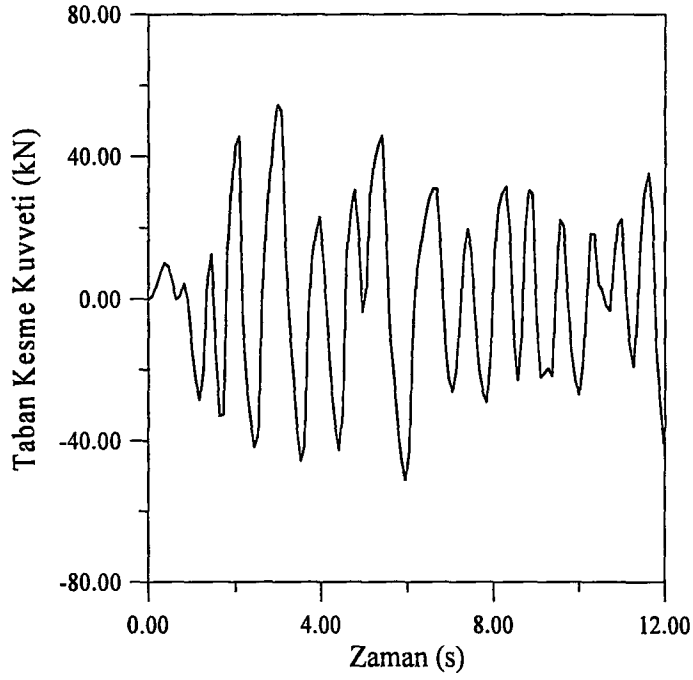
Şekil 114. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 6. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



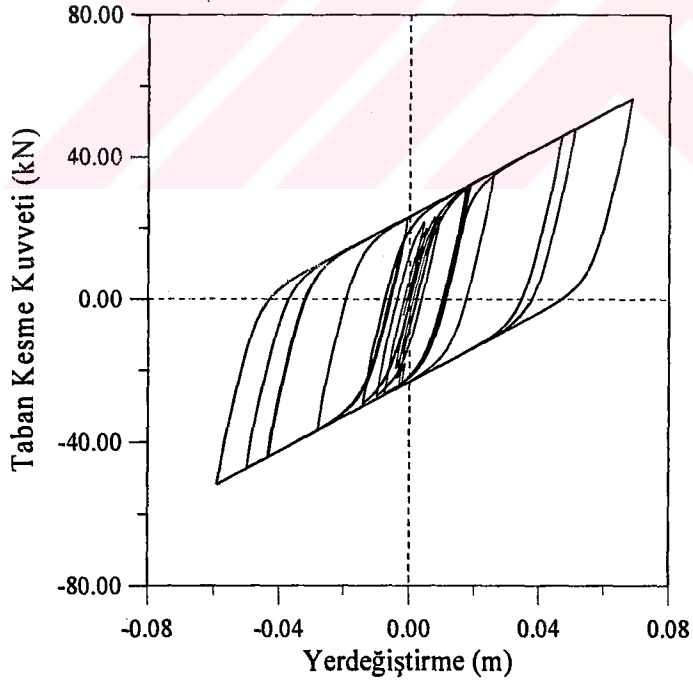
Şekil 115. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



Şekil 116. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın Y-doğrultusundaki maksimum taban ve kat kesme kuvvetlerinin kat yüksekliğine göre değişimi



Şekil 117. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi



Şekil 118. El-Centro depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişki

3.3.2.4. Lineer Olmayan Sönümlü Kauçuk Mesnet Sistem ile İzolasyonda Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri

Perde duvarlı bir binanın taban izolasyonu, lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnet sistemi ile yapılmıştır. Kauçuk mesnedin lineer olmayan sönümünü ifade edebilmek için bina tabanında lineer olmayan ilave söndürücüler kullanılmaktadır. Bu amaçla kullanılmakta olan lineer olmayan söndürücüler bina tabanının dört köşesine yerleştirilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri ve yerdeğiştirmelerin zamanla değişimleri aşağıdaki bölümlerde sunulmaktadır. Lineer olmayan söndürücünün taban yerdeğiştirmesinin azaltılmasında etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca perdelerin ilavesiyle bina toplam ağırlığı arttığından taban kesme kuvvetleri artarken taban yerdeğiştirmelerinin de azaldığı görülmüştür.

3.3.2.4.1. Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri

Bina tabanına ait yatay yerdeğiştirmeler Şekil 119'da El-Centro depremiyle yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilmektedir. Taban yerdeğiştirmesi, sadece kauçuk kullanılmasına göre maksimum 6.85 cm iken lineer olmayan söndürücü ile birlikte kullanıldığında 3.58 cm'ye kadar indiği yapılan analizlerden görülmektedir.

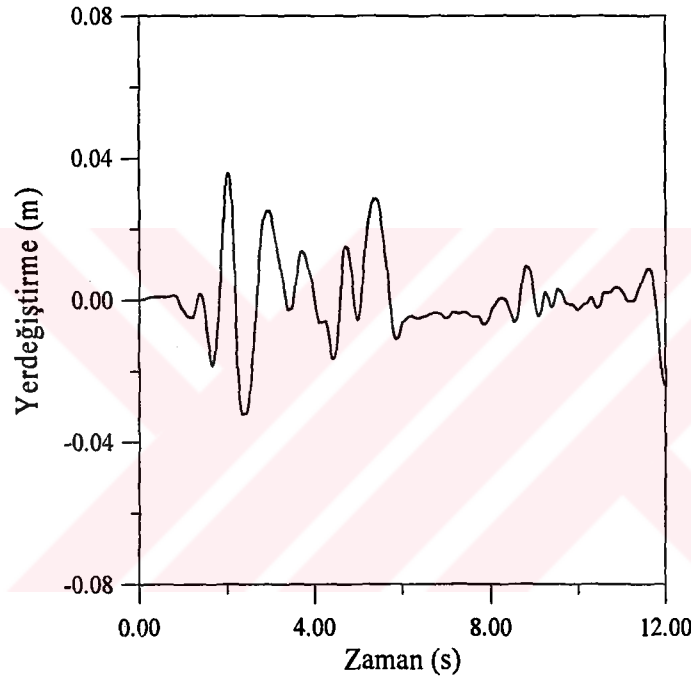
3.3.1.4.2. Taban Kesme Kuvvetleri

Bina tabanına kesme kuvvetinin zamanla değişimi Şekil 120'de El-Centro depremiyle yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilerek verilmektedir. Taban kesme kuvveti, sadece kauçuk kullanılmasına göre maksimum 56.39 kN iken lineer olmayan söndürücü ile birlikte kullanıldığında 40.53 kN'a kadar indiği yapılan analizlerden görülmektedir.

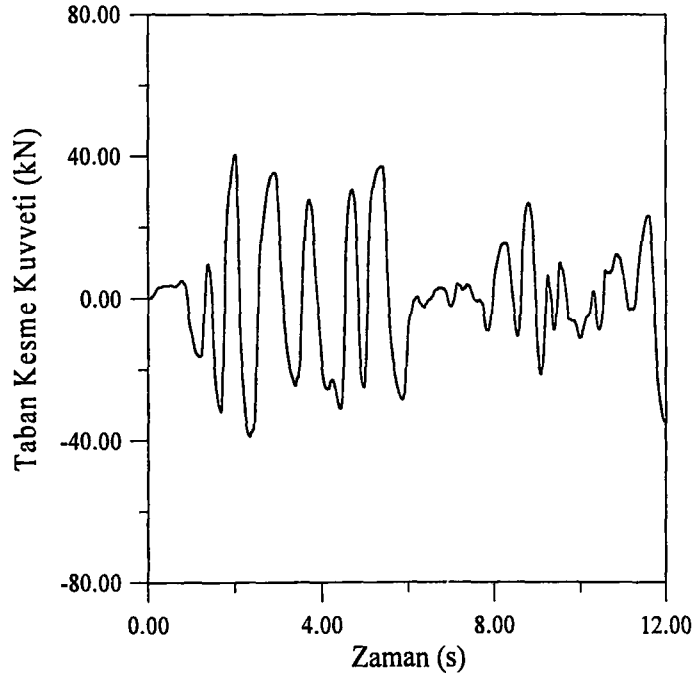
3.3.2.4.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki

Kauçuk mesnet sistemi ile birlikte lineer olmayan sönümcüden kullanılarak yapılan analizler sonucunda, izolatör seviyesindeki taban kesme kuvveti ve taban yerdeğiştirmeleri arasındaki elde edilen ilişki Şekil 121’de verilmektedir.

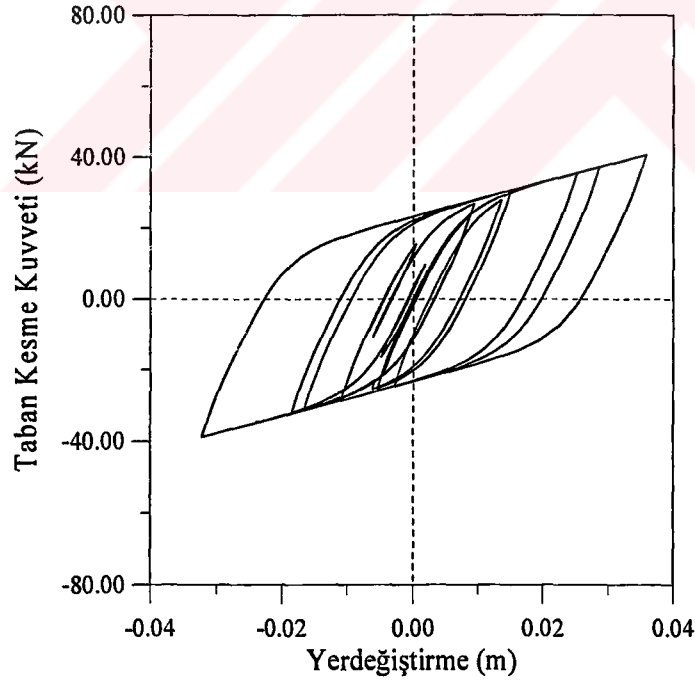
Elde edilen bu sonuçlar; izolasyonlu binanın temel periyodunun $T=2$ saniye olmasına göreler.



Şekil 119. El-Centro depremi için lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



Şekil 120. El-Centro depremi için lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi



Şekil 121. El-Centro depremi için lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişki

3.3.3. Erzincan Depremi Kullanılarak Elde Edilen Bulgular

3.3.3.1. Sürtünmeli Sarkaç Sistem ile Yapılan İzolasyon için Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri

Bu bölümde aynı binaya perde duvarlar ilave edildiğinden yapının toplam ağırlığı artmıştır. Fakat, sürtünmeli sarkaç ile izolasyonu yapılan binanın periyodu kütlelen bağısız olduğundan dolayı binanın periyodu değışmeyecektir. Yalnızca sarkacın rijitliğı kütleyle bağılı olduğundan dolayı, kütlelen artmasıyla doğıru orantılı olarak değışecektir. Binanın toplam ağırlığı 9625.876 kN'dur. Sarkaç yarıçapı ise 100 cm olduğundan izolasyon sisteminin toplam rijitliğı 9625.876 kN/m olmaktadır.

3.3.3.1.1. Kat ve Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri

Erzincan depremi için perdeli bir binanın, yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilen katlara ve yapı tabanına ait yatay yerdeğiştirmeler Şekil 122, 123, 124, 125, 126, 127 ve 128'de verilmiştir.

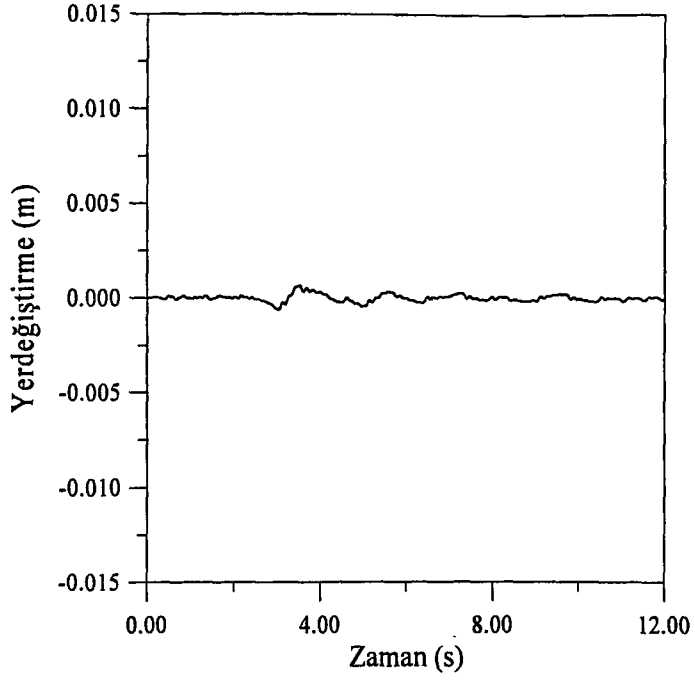
3.3.3.1.2. Taban ve Kat Kesme Kuvvetleri

Şekil 129 ve 130'da Erzincan depremiyle yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilen taban ve kat kesme kuvvetleri verilmiştir.

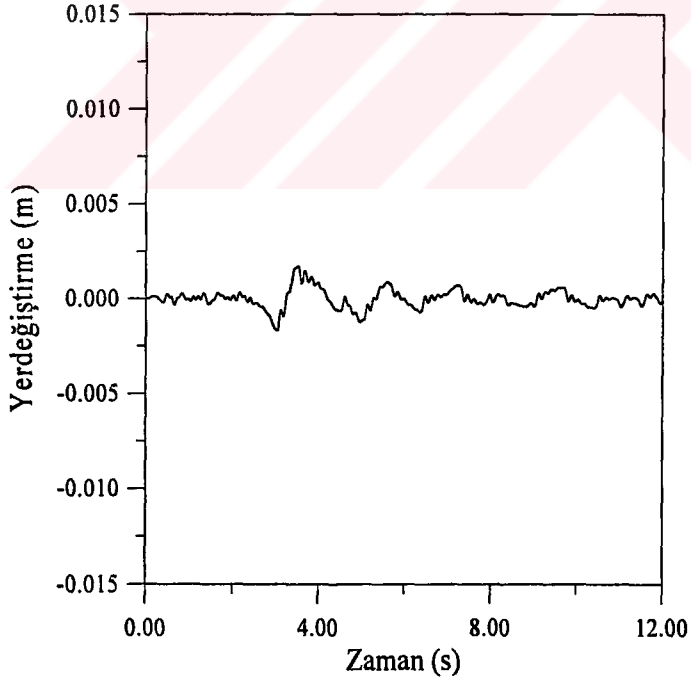
3.3.3.1.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki

Yapılan analizler sonucunda, sürtünmeli sarkaç izolatör seviyesindeki taban kesme kuvveti ve taban yerdeğiştirmeleri arasındaki elde edilen ilişki Şekil 131'de verilmiştir.

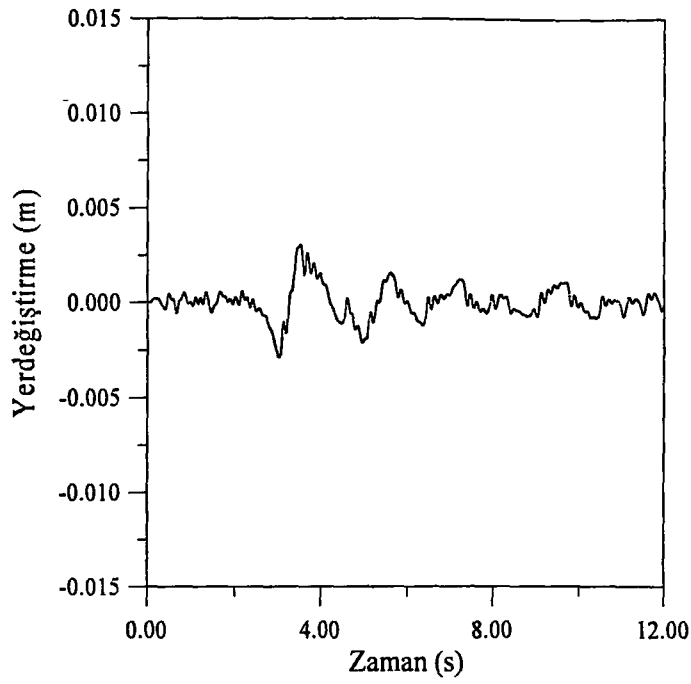
Elde edilen bu sonuç; izolasyonlu binanın temel periyodunun $T=2$ saniye olmasına görelerdir.



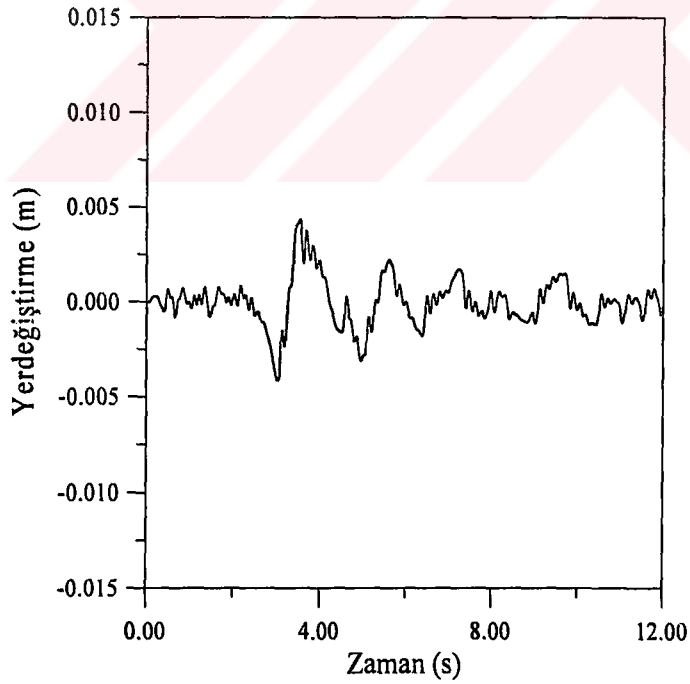
Şekil 122. Erzincan depremi için sürtünlü sarkaç sistemli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 1. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



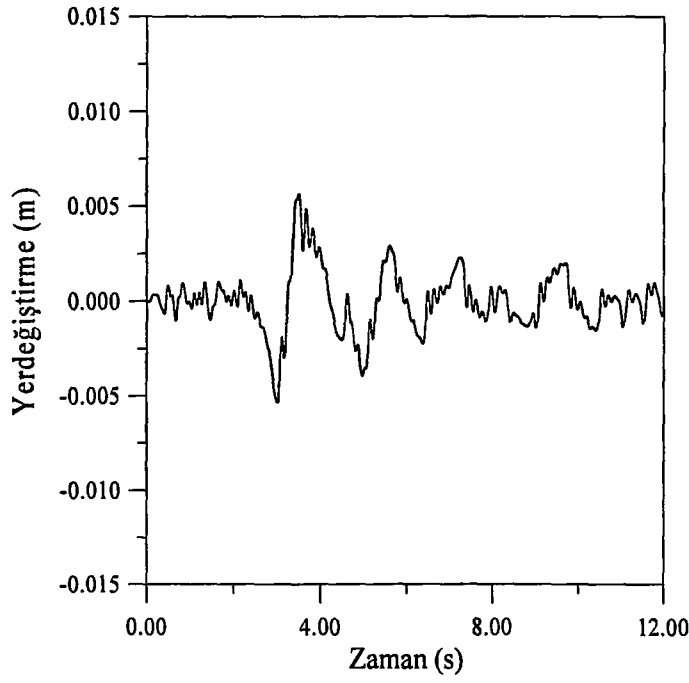
Şekil 123. Erzincan depremi için sürtünlü sarkaç sistemli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 2. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



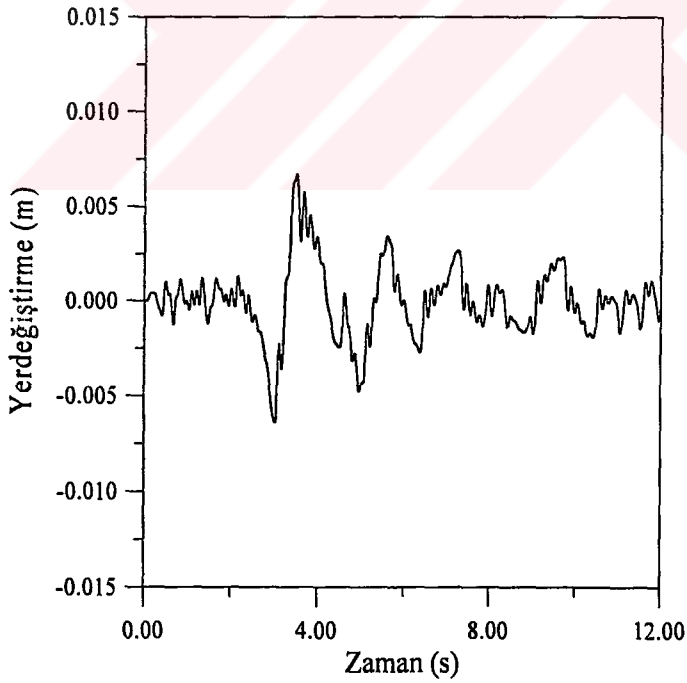
Şekil 124. Erzincan depremi için sürtünlü sarkaç sistemli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 3. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



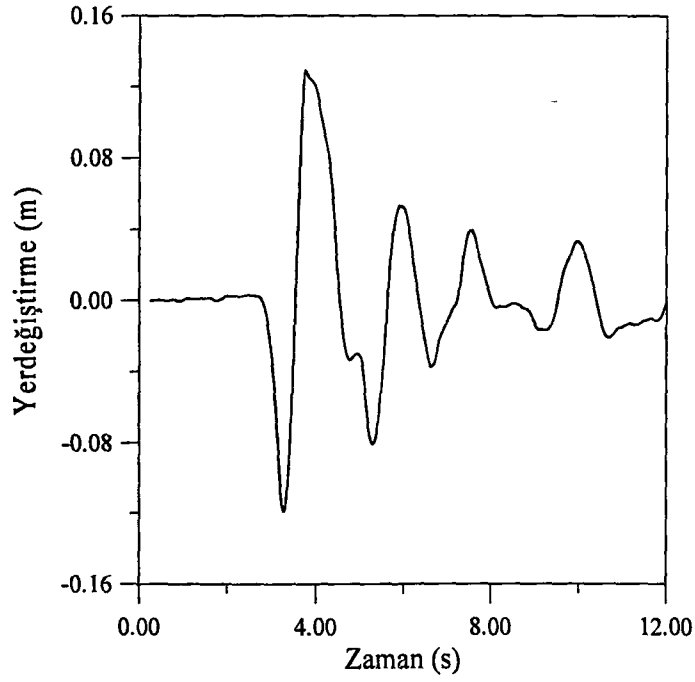
Şekil 125. Erzincan depremi için sürtünlü sarkaç sistemli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 4. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



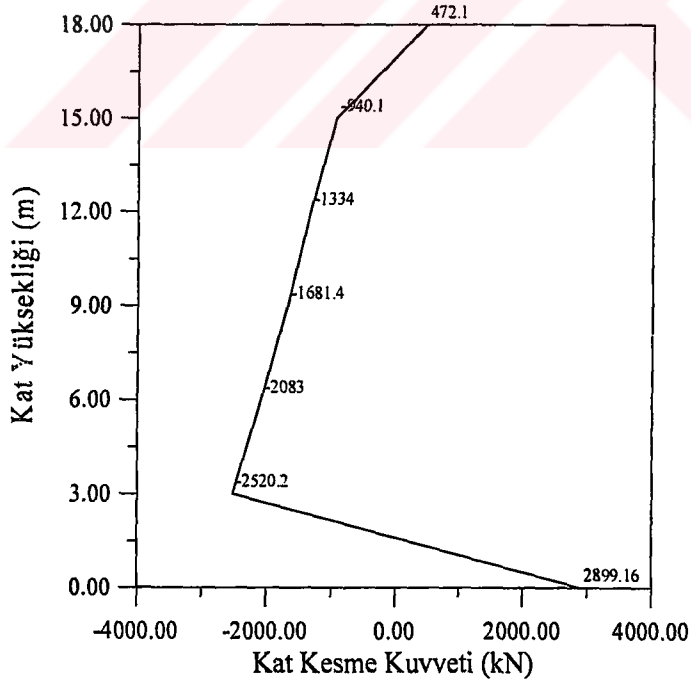
Şekil 126. Erzincan depremi için sürtünlü sarkaç sistemli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 5. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



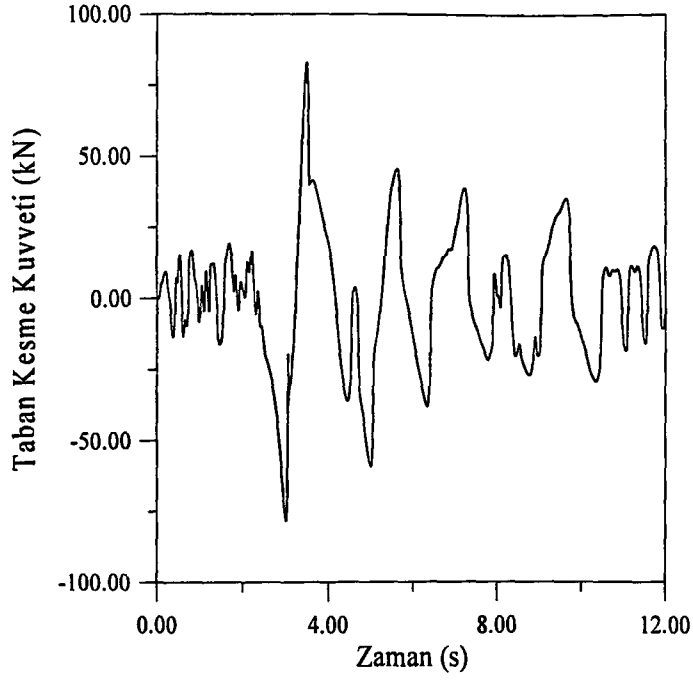
Şekil 127. Erzincan depremi için sürtünlü sarkaç sistemli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 6. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



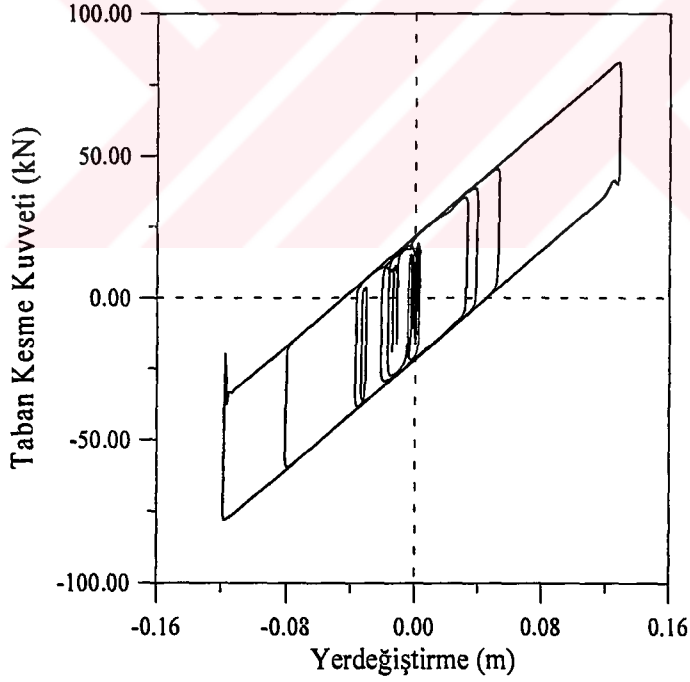
Şekil 128. Erzincan depremi için sürtülmeli sarkaç sistemli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



Şekil 129. Erzincan depremi için sürtülmeli sarkaç sistemli ve perdeli binanın Y-doğrultusundaki maksimum taban ve kat kesme kuvvetlerinin kat yüksekliğine göre değişimi



Şekil 130. Erzincan depremi için sürtünlü sarkaç sistemli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y- yönü taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi



Şekil 131. Erzincan depremi için sürtünlü sarkaç sistemli ve perdeli binanın izolatör sisteminde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişki

3.3.3.2. Kauçuk Mesnet Sistem ile Yapılan İzolasyon için Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri

Daha önce özellikleri verilen kauçuk mesnet sistemler ile taban izolasyonu yapılan bina, 13 Mart 1992 Erzincan depreminin kuzey-güney bileşenine maruz bırakılarak analiz edilmiştir. Söz konusu deprem kaydının maksimum ivme değeri 0.35g'dir. Perde duvarların ilave edilmesinden dolayı binanın ağırlığı artmaktadır.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri ve yerdeğiştirmelerin zamanla değişimleri sunulmaktadır.

3.3.3.2.1. Kat ve Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri

Erzincan depremiyle yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilen katlara ve bina tabanına ait yerdeğiştirmeler Şekil 132, 133, 134, 135, 136, 137 ve 138'de verilmiştir.

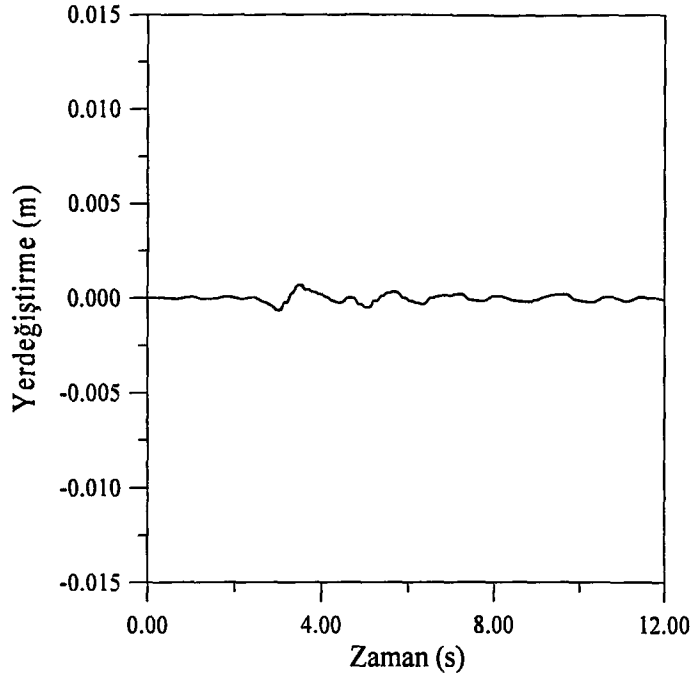
3.3.3.2.2. Kat ve Taban Kesme Kuvvetleri

Bina tabanına ve katlara ait maksimum kesme kuvvetleri Şekil 139 ve 140'da Erzincan depremiyle yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilmiştir.

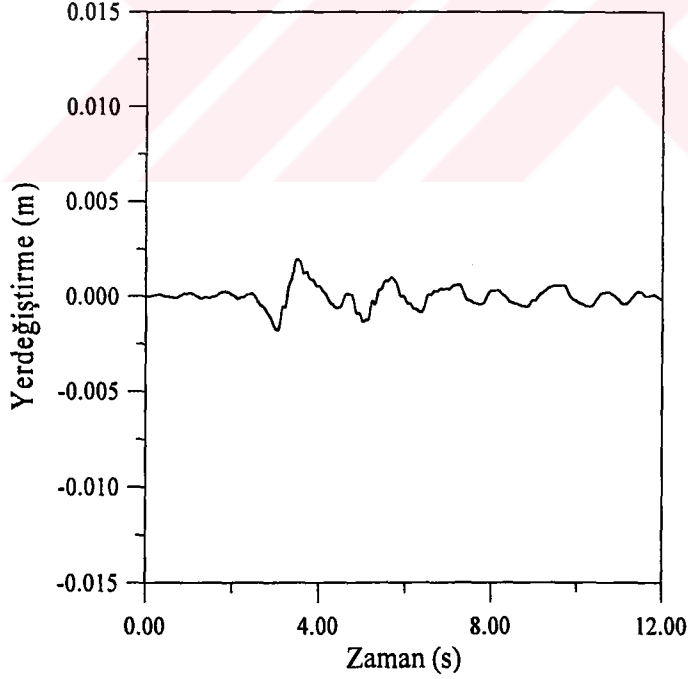
3.3.3.2.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki

Yapılan analizler sonucunda, izolatör seviyesindeki taban kesme kuvveti ve taban yerdeğiştirmeleri arasındaki elde edilen ilişki Şekil 141'de verilmiştir.

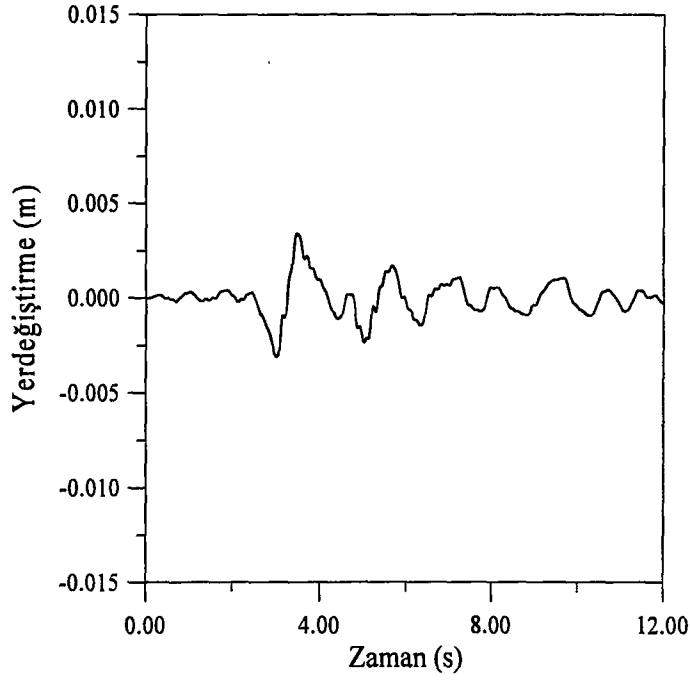
Elde edilen bu sonuçlar; izolasyonlu binanın temel periyodunun $T=2$ saniye olmasına göreder.



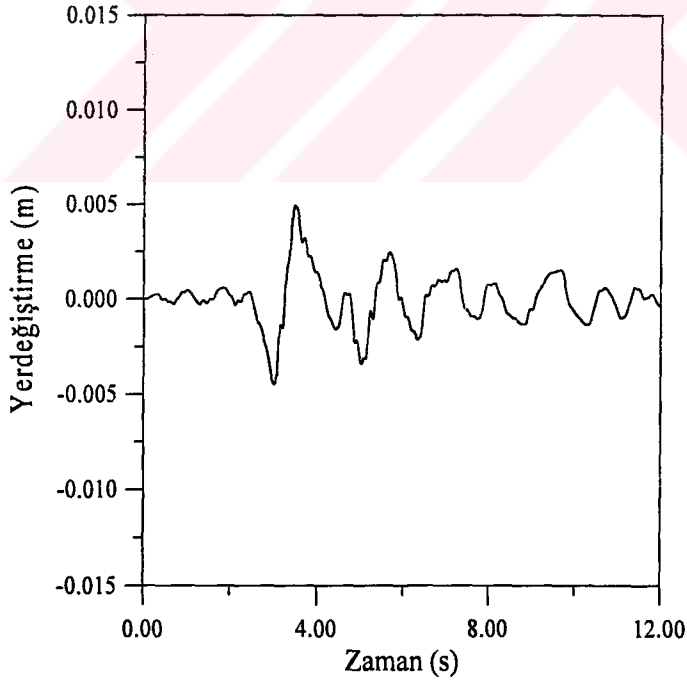
Şekil 132. Erzincan depremi için kauçuk mesnet sistemli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 1. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



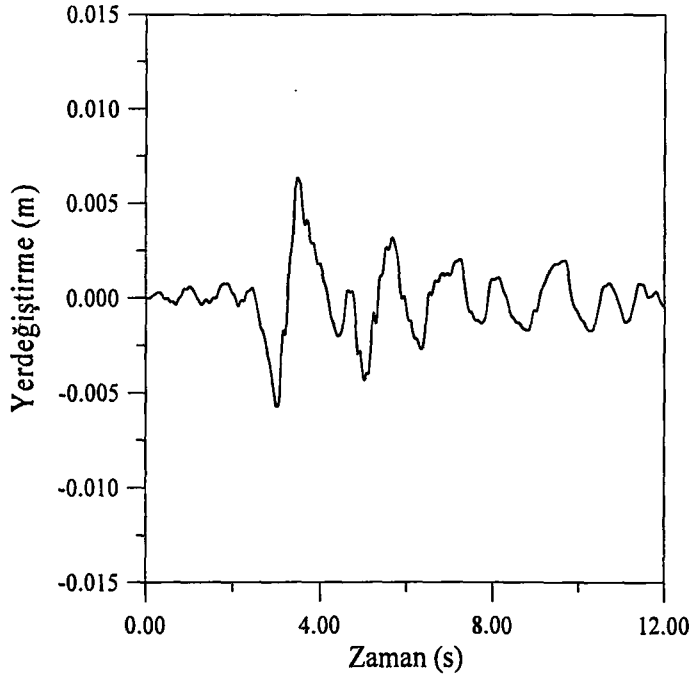
Şekil 133. Erzincan depremi için kauçuk mesnet sistemli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 2. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



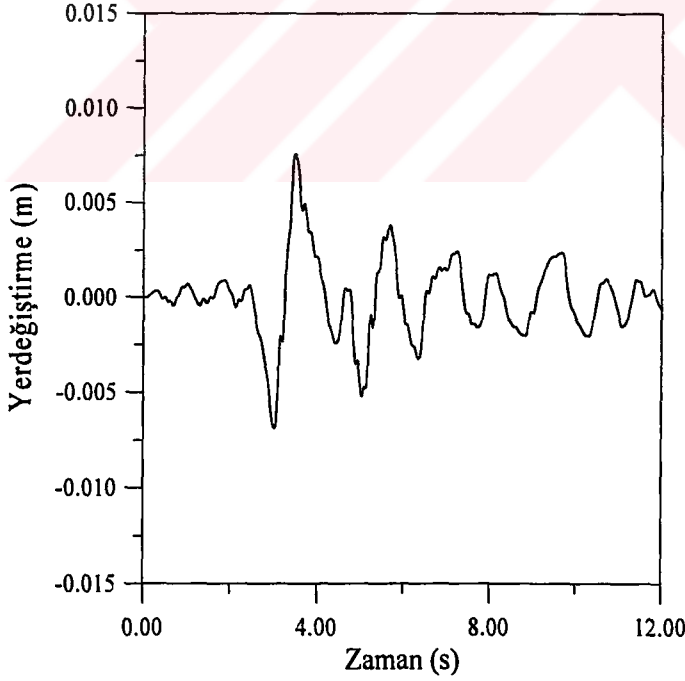
Şekil 134. Erzincan depremi için kauçuk mesnet sistemli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 3. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



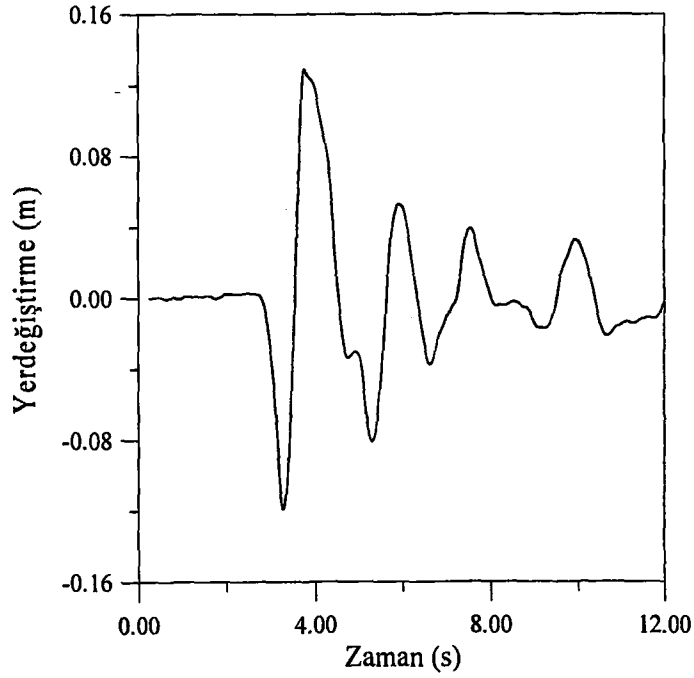
Şekil 135. Erzincan depremi için kauçuk mesnet sistemli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 4. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



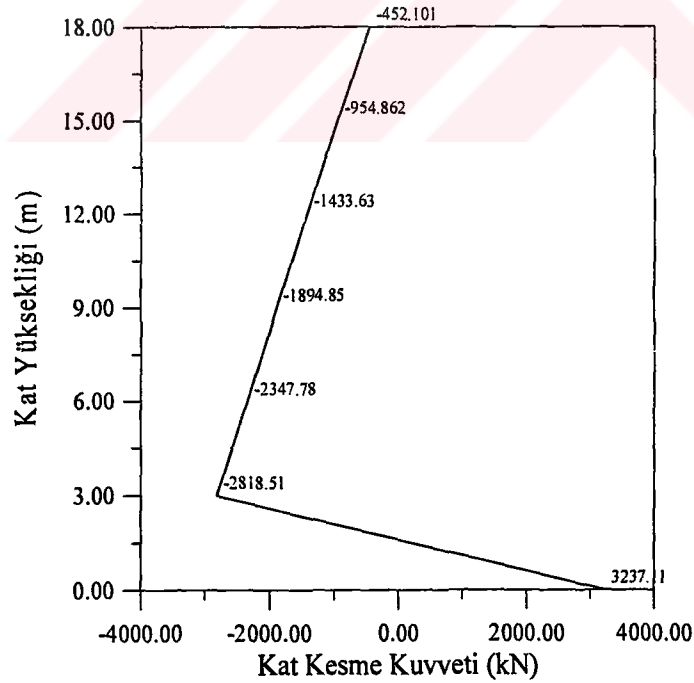
Şekil 136. Erzincan depremi için kauçuk mesnet sistemli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 5. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



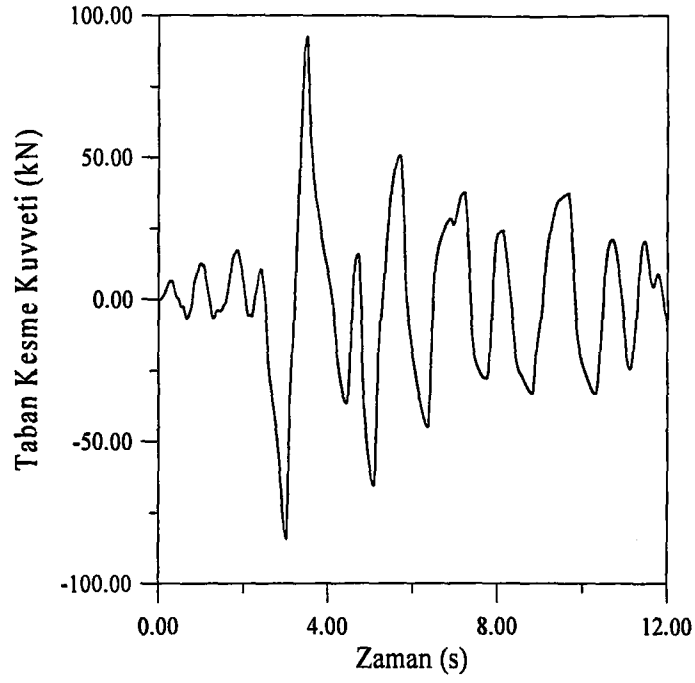
Şekil 137. Erzincan depremi için kauçuk mesnet sistemli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 6. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



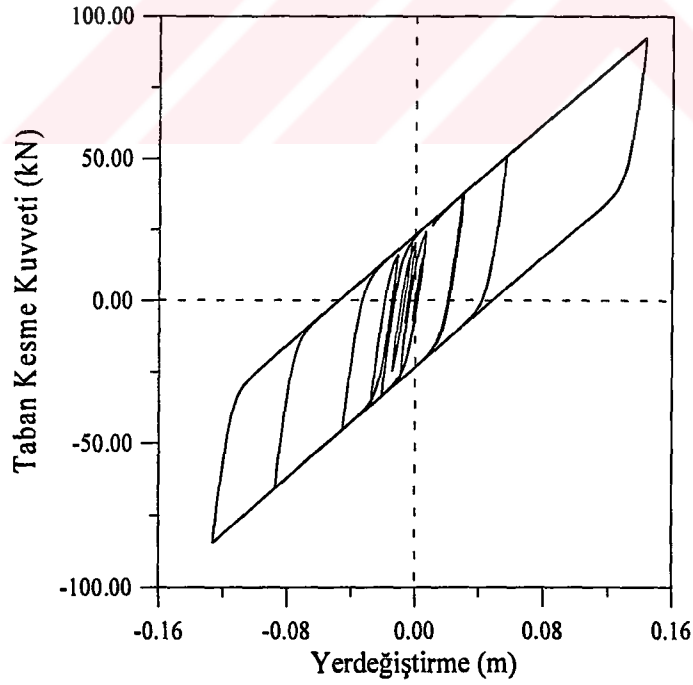
Şekil 138. Erzincan depremi için kauçuk mesnet sistemli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



Şekil 139. Erzincan depremi için kauçuk mesnet sistemli ve perdeli binanın Y-doğrultusundaki maksimum taban ve kat kesme kuvvetlerinin kat yüksekliğine göre değişimi



Şekil 140. Erzincan depremi için kauçuk mesnet sistemli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi



Şekil 141. Erzincan depremi için kauçuk mesnet sistemli ve perdeli binanın izolatör sisteminde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişki

3.3.3.3. Lineer Sönümlü Kauçuk Mesnet Sistem ile İzolasyonda Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri

Kauçuk mesnet sistemi ve lineer sönüm elemanları, binanın taban izolasyonunda kullanılmaktadır. Bu mesnette, tabakalar halindeki kauçuk ve çelik plakalara ilave olarak lineer viskoz elemanlar kullanılmaktadır. Bu sönüm elemanları kauçuk sistemin sönüm özelliğini ifade edebilmek amacıyla kullanılmaktadır.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri ve yerdeğiştirmelerin zamanla değişimleri aşağıdaki bölümlerde sunulmaktadır.

3.3.3.3.1. Kat ve Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri

Erzincan depremi için yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilen katlara ve bina tabanına ait yatay yerdeğiştirmeler Şekil 142, 143, 144, 145, 146, 147 ve 148'de verilmiştir.

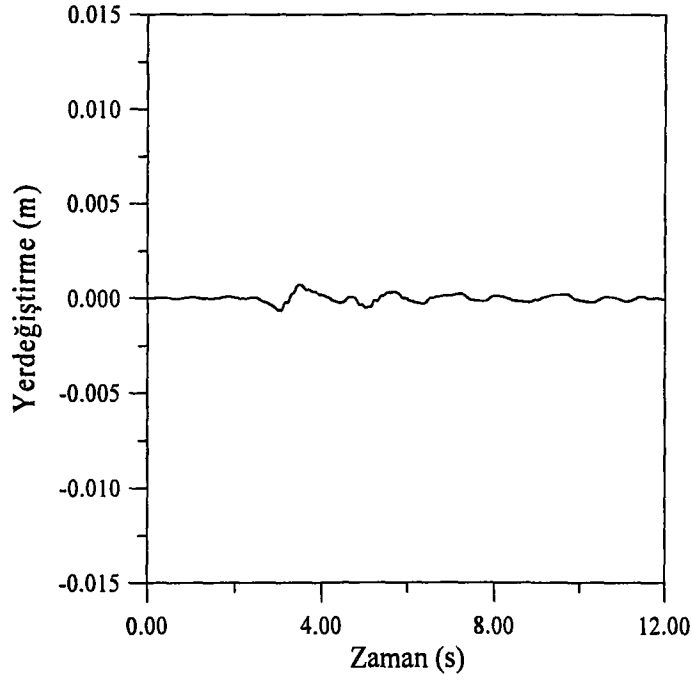
3.3.3.3.2. Taban ve Kat Kesme Kuvvetleri

Bina tabanına ve katlara ait maksimum kesme kuvvetleri Şekil 149 ve 150'da Erzincan depremiyle yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilmiştir.

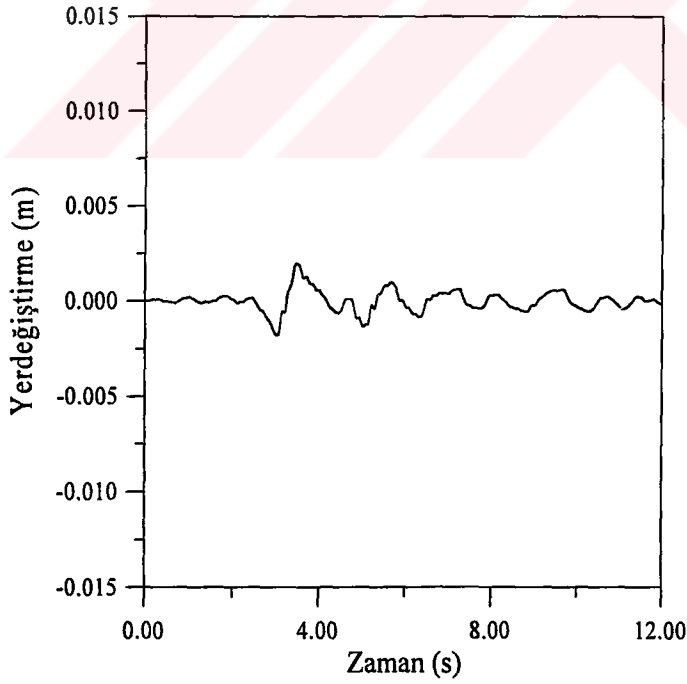
3.3.3.3.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki

Yapılan analizler sonucunda, izolatör seviyesindeki taban kesme kuvveti ve taban yerdeğiştirmeleri arasındaki elde edilen ilişki Şekil 151'de verilmiştir.

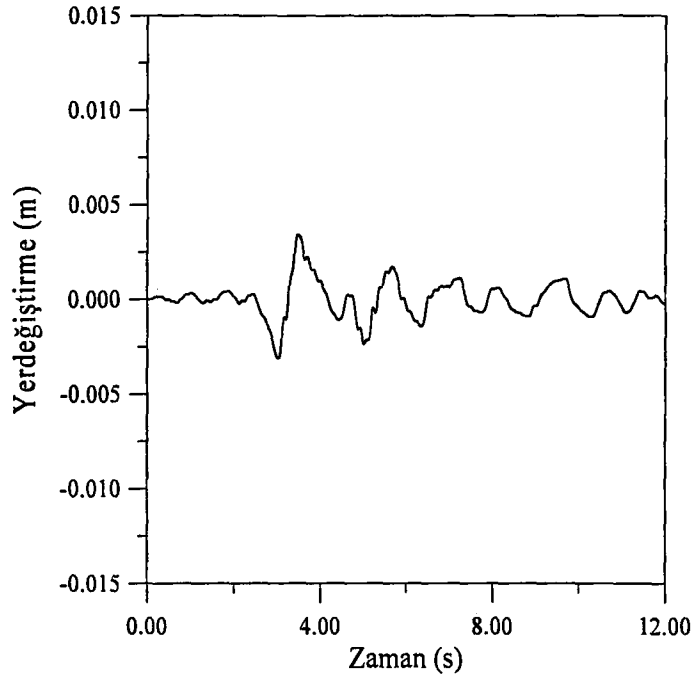
Elde edilen bu sonuçlar; izolasyonlu binanın temel periyodunun $T=2$ saniye olmasına göredir.



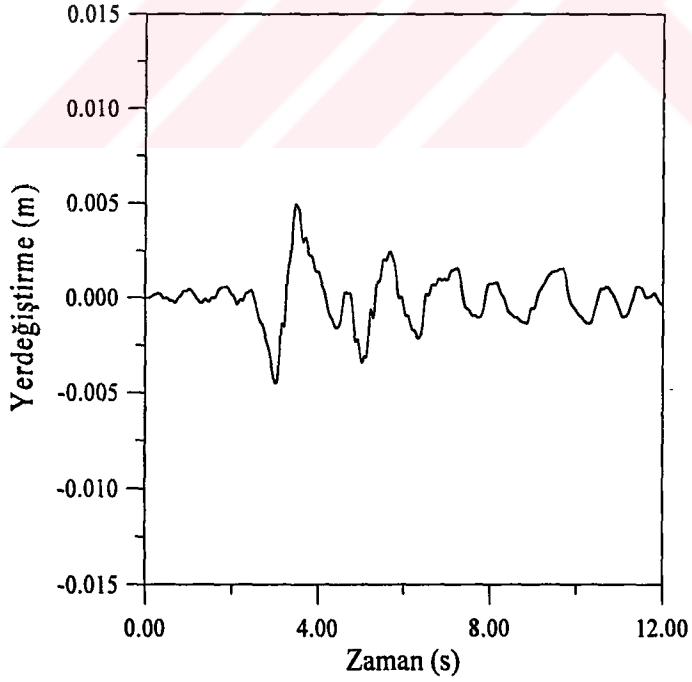
Şekil 142. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 1. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



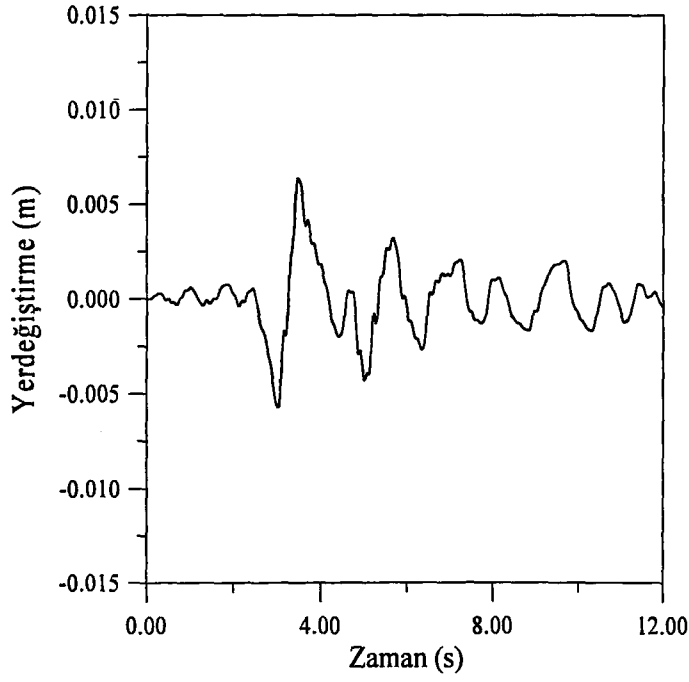
Şekil 143. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 2. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



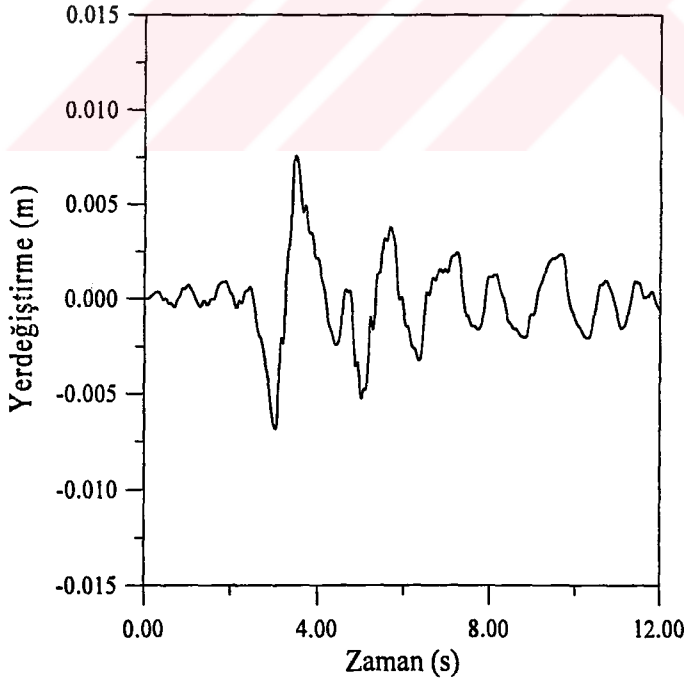
Şekil 144. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 3. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



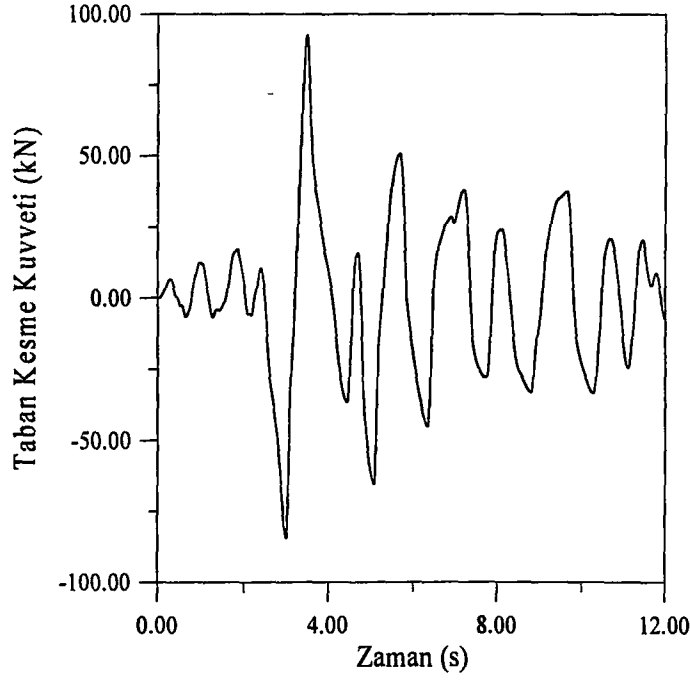
Şekil 145. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 4. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



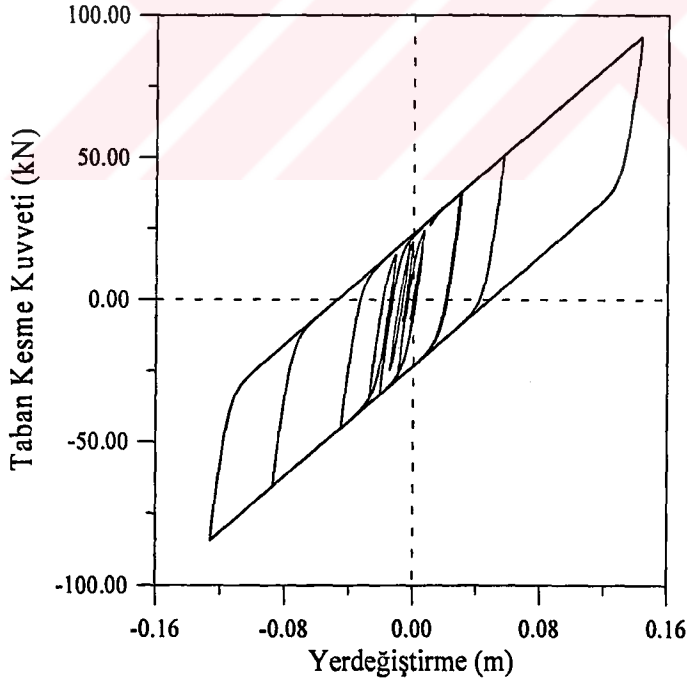
Şekil 146. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 5. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



Şekil 147. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın kat kütle merkezine göre, 6. kat Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



Şekil 150. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusu taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi



Şekil 151. Erzincan depremi için lineer sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişki

3.3.3.4. Lineer Olmayan Sönümlü Kauçuk Mesnet Sistem ile İzolasyonda Yerdeğiştirmeler ve Kesme Kuvvetleri

Kauçuk mesnet sistemi ve lineer olmayan sönüm elemanları, perdeli binanın taban izolasyonunda kullanılmaktadır.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri ve yerdeğiştirmelerin zamanla değişimleri aşağıdaki bölümlerde sunulmaktadır. Lineer olmayan söndürücü taban yerdeğiştirmesinin azaltılmasında etkili olduğu görülmüştür. Bundan dolayı sadece taban kesme kuvvetleri ve yerdeğiştirmeleri verilmiştir.

3.3.3.4.1. Taban Yatay Yerdeğiştirmeleri

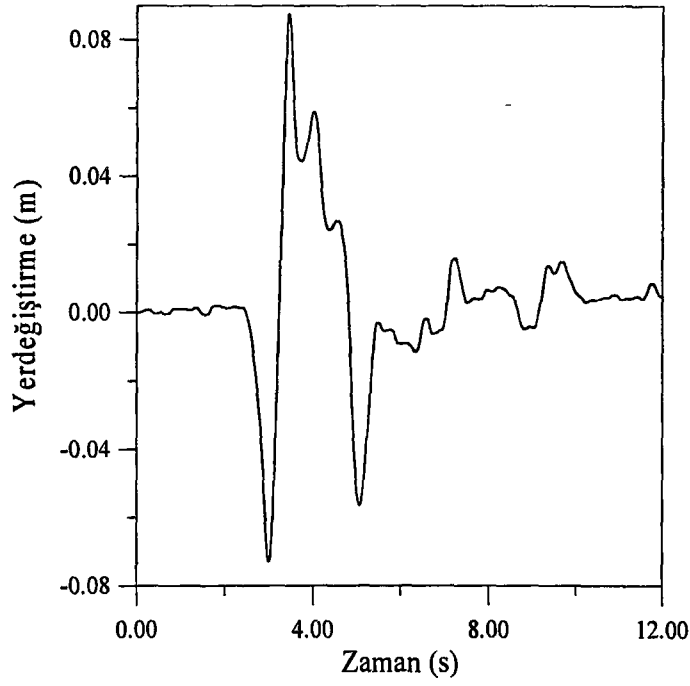
Bina tabanına ait yatay yerdeğiştirmeler Şekil 152'de Erzincan depremiyle yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilmektedir. Taban yerdeğiştirmesi, sadece kauçuk kullanılmasına göre maksimum 14.33 cm iken lineer olmayan söndürücü ile birlikte kullanıldığında 8.74 cm'ye kadar indiği yapılan analizlerden görülmektedir.

3.3.3.4.2. Taban Kesme Kuvvetleri

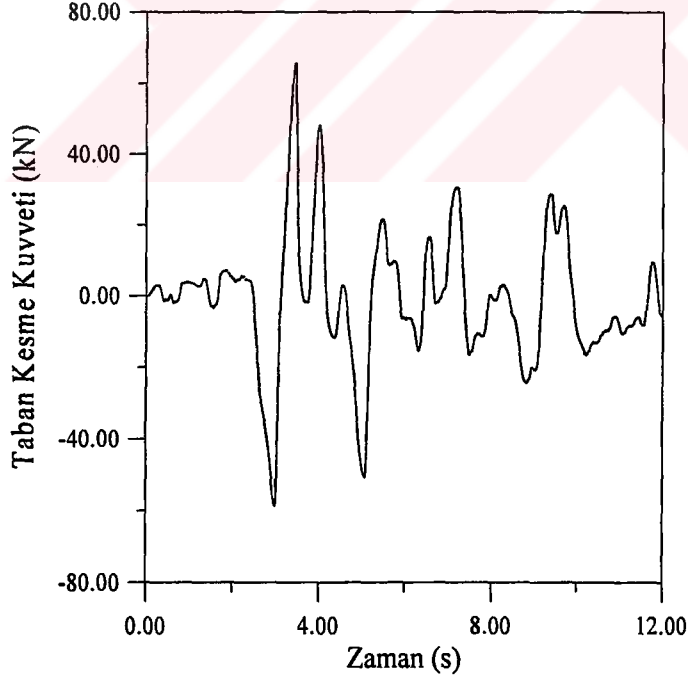
Bina tabanına kesme kuvvetinin zamanla değişimi Şekil 153'de Erzincan depremiyle yapılan lineer olmayan zaman artımı analizleri sonucunda elde edilerek verilmektedir. Taban kesme kuvveti, sadece kauçuk kullanılmasına göre maksimum 92.61 kN iken lineer olmayan söndürücü ile birlikte kullanıldığında 65.55 kN'a kadar indiği yapılan analizlerden görülmektedir.

3.3.3.4.3. Taban Kesme Kuvveti ve Taban Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki

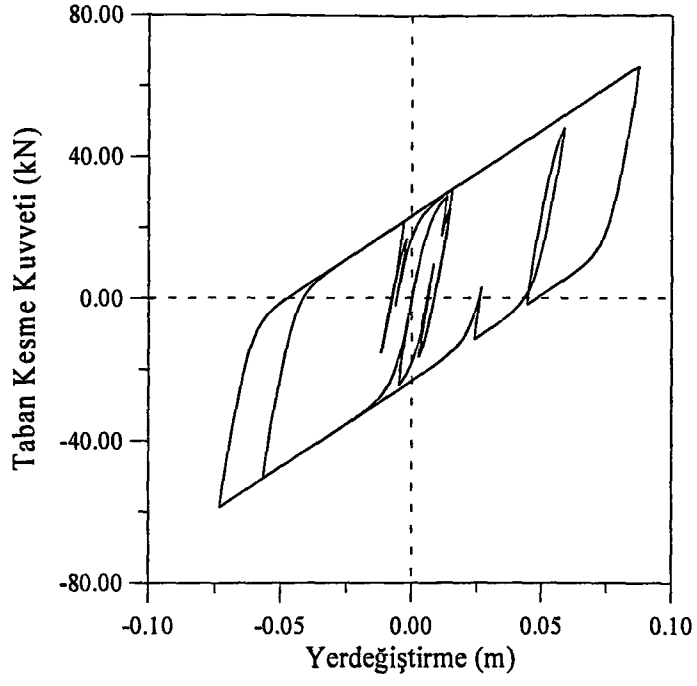
Kauçuk mesnet sistemi ile birlikte lineer olmayan söndürücüden kullanılarak yapılan analizler sonucunda, izolatör seviyesindeki taban kesme kuvveti ve taban yerdeğiştirmeleri arasındaki elde edilen ilişki Şekil 154'de verilmiştir.



Şekil 152. Erzincan depremi için lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



Şekil 153. Erzincan depremi için lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde meydana gelen Y-doğrultusundaki taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi



şekil 154. Erzincan depremi için lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnetli ve perdeli binanın izolasyon sisteminde, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme arasındaki ilişki

4. İRDELEME

4.1. El-Centro Depremi Kullanılarak Elde Edilen Bulguların İrdelenmesi

4.1.1. Üç Boyutlu Perdesiz Binalar

Sürtünmeli sarkaç ve kauçuk mesnet sistemleriyle taban izolasyonu yapılan 6 katlı ve 3-boyutlu bir binanın tepkileri, kullanılan farklı izolasyon tipleri için ve binanın ankastre tabanlı olarak inşa edilmesi ile elde edilen tepkiler karşılaştırılmıştır. Bu amaçla zaman artımı yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen maksimum kat ivmeleri, maksimum kat yatay yerdeğiştirmeleri ve maksimum taban ve kat kesme kuvvetleri Tablo 4,5 ve 6'da verilmiştir.

Yer hareketi olarak kullanılan El-Centro depreminin maksimum ivmesi 3.42 m/s^2 'dir. Binanın geleneksel olarak bilinen ankastre tabanlı olarak yapılması durumlarında, yer hareketinden dolayı binaya aktarılan ivmeler bina temelinden üst kata doğru artmaktadır. Aynı zamanda bu ivmeler yer hareketinin ivmesini de oldukça aşmaktadır. Buna karşılık taban izolasyonlu binanın kat ivmeleri, yapı temelinden üst kata doğru fazla bir artış göstermemekle birlikte, her zaman yer hareketinin ivmesinden daha düşük olmaktadır.

Taban izolasyonlu binada meydana gelen kat yerdeğiştirmeleri, ankastre tabanlıya göre yaklaşık olarak %90 daha az olmaktadır. Bu durum ise binada meydana gelecek olan kesit tesirlerini azaltmaktadır. Dolayısıyla bina boyutları daha ekonomik olarak boyutlandırılabilir.

Binanın toplam ağırlığı $W=8905.881 \text{ kN}$ olup, ankastre tabanlı binada maksimum taban kesme kuvveti $0.449W$ olmaktadır. Buna karşılık taban izolasyonlu binada maksimum taban kesme kuvveti ise; sürtünmeli sarkaç kullanılması durumunda $0.117W$, kauçuk mesnet ve lineer sönümlü kauçuk mesnet olması durumlarında $0.178W$, lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnet olması durumunda ise, $0.184W$ olmaktadır. Dolayısıyla taban kesme kuvveti, ankastre tabanlıya göre %60-%74 daha az olduğu görülmektedir.

Tablo 4. Üç boyutlu perdesiz binaya ait maksimum kat ivmeleri

Mesnet Türü	İvme (m/s ²)					
	1. kat	2.kat	3. kat	4. kat	5. kat	6. kat
Ankastre	2.548	5.290	7.476	8.876	10.63	11.92
S. sarkaç	1.688	-1.348	1.280	-1.338	1.736	2.681
Kauçuk	-1.806	-1.801	-1.782	-1.773	-1.921	-2.044
Kauçuk ¹	-1.806	-1.801	-1.781	-1.773	-1.921	-2.044
Kauçuk ²	-2.309	2.345	2.353	-2.309	-2.075	-2.548

Tablo 5. Üç boyutlu perdesiz binaya ait maksimum kat yatay yerdeğıştirmeleri

Mesnet Türü	Yerdeğıştirme (m)						
	İzolatör	1. kat	2.kat	3. kat	4. kat	5. kat	6. kat
Ankastre	-	0.0166	0.0370	0.0570	0.0743	0.0873	0.0945
S. sarkaç	0.075	0.0010	0.0027	0.0043	0.0056	0.0066	0.0071
Kauçuk	0.066	0.0014	0.0036	0.0055	0.0069	0.0079	0.0084
Kauçuk ¹	0.066	0.0014	0.0036	0.0055	0.0069	0.0079	0.0084
Kauçuk ²	0.034	0.0015	0.0037	0.0058	0.0075	0.0087	0.0093

Tablo 6. Üç boyutlu perdesiz binaya ait maksimum kat ve taban kesme kuvvetleri

Mesnet Türü	Kesme Kuvveti (kN)							
	İzolatör	Taban	1. kat	2.kat	3. kat	4. kat	5. kat	6. kat
Ankastre	-	3998.8	-	-	-	-	-	-
S. sarkaç	52.12	1042.4	-963.3	-871.1	-764.2	-627.5	550.4	322.3
Kauçuk	51.01	1587.9	-1373.0	-1136.7	-914.8	-729.7	-501.8	-245.0
Kauçuk ¹	51.01	1587.8	-1372.9	-1136.6	-914.7	-729.6	-501.8	-245.0
Kauçuk ²	36.48	1639.3	-1390.7	-1210.5	-1062.6	-797.2	-549.9	-305.5

¹ Lineer sönümlü² Lineer olmayan sönümlü

4.1.2. Üç Boyutlu ve Perdeli Binalar

Sürtünmeli sarkaç ve kauçuk mesnet sistemleriyle taban izolasyonu yapılan 6 katlı, perde duvarlı ve 3-boyutlu bir binanın tepkileri, kullanılan farklı izolasyon tipleri için ve binanın ankastre tabanlı olarak yapılması ile elde edilen tepkiler karşılaştırılmıştır. Bu amaçla zaman artımı yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen maksimum kat ivmeleri, maksimum kat yatay yerdeğiştirmeleri ve maksimum taban ve kat kesme kuvvetleri Tablo 7,8 ve 9'da verilmiştir.

Yer hareketi olarak kullanılan El-Centro depreminin maksimum ivmesi 3.42 m/s^2 'dir. Binanın geleneksel olarak bilinen ankastre tabanlı olarak yapılması durumlarında, yer hareketinden dolayı yapıya aktarılan ivmeler yapı temelinden üst kata doğru artmaktadır. Aynı zamanda bu ivmeler yer hareketinin ivmesini de oldukça aşmaktadır. Buna karşılık taban izolasyonlu binanın kat ivmeleri, bina temelinden üst kata doğru fazla bir artış göstermemekle birlikte, her zaman yer hareketinin ivmesinden daha düşük olmaktadır.

Taban izolasyonlu ve perdeli binada meydana gelen kat yerdeğiştirmeleri, ankastre tabanlıya göre yaklaşık olarak %80 daha az olmaktadır. Bu durum ise binada meydana gelecek olan kesit tesirlerini azaltmaktadır. Dolayısıyla bina boyutları daha ekonomik olarak boyutlandırılabilir.

Binanın toplam ağırlığı $W=9625.876 \text{ kN}$ olup, ankastre tabanlı binada maksimum taban kesme kuvveti $0.389W$ olmaktadır. Buna karşılık taban izolasyonlu yapıda maksimum taban kesme kuvveti ise; sürtünmeli sarkaç kullanılması durumunda $0.150W$, kauçuk mesnet ve lineer sönümlü kauçuk mesnet olması durumlarında $0.186W$, lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnet olması durumunda ise, $0.184W$ olmaktadır. Dolayısıyla taban kesme kuvveti, ankastre tabanlıya göre %53-%62 daha az olduğu analizlerden görülmektedir.

Tablo 7. Üç boyutlu ve perdeli binaya ait maksimum kat ivmeleri

Mesnet Türü	İvme (m/s ²)					
	1. kat	2.kat	3. kat	4. kat	5. kat	6. kat
Ankastre	0.881	2.678	4.997	7.577	10.13	12.59
S. sarkaç	-1.593	-1.530	-1.501	-1.584	-1.712	-2.196
Kauçuk	-1.808	-1.815	-1.823	-1.833	-1.849	-1.879
Kauçuk ¹	-1.808	-1.815	-1.823	-1.833	-1.849	-1.879
Kauçuk ²	-2.459	1.975	-1.809	1.864	2.023	-2.392

Tablo 8. Üç boyutlu ve perdeli binaya ait maksimum kat yerdeğıştirmeleri

Mesnet Türü	Yerdeğıştirme (m)						
	İzolötör	1. kat	2.kat	3. kat	4. kat	5. kat	6. kat
Ankastre	-	0.0015	0.0045	0.0084	0.0127	0.0171	0.0212
S. sarkaç	0.0560	0.0004	0.0010	0.0017	0.0024	0.0031	0.0037
Kauçuk	0.0685	0.0004	0.0011	0.0019	0.0027	0.0035	0.0042
Kauçuk ¹	0.0690	0.0004	0.0011	0.0019	0.0027	0.0035	0.0042
Kauçuk ²	0.0358	0.0004	0.0011	0.0020	0.0028	0.0036	0.0043

Tablo 9. Üç boyutlu ve perdeli binaya ait maksimum kat ve taban kesme kuvvetleri

Mesnet Türü	Kesme Kuvveti (kN)							
	İzolötör	Taban	1. kat	2.kat	3. kat	4. kat	5. kat	6. kat
Ankastre	-	3747.0	-	-	-	-	-	-
S. sarkaç	47.22	1447.0	-1305.8	-1115.0	-918.3	-704.6	-526.4	-276.7
Kauçuk	56.39	1790.0	-1562.7	-1299.1	-1036.2	-771.5	-505.0	-236.7
Kauçuk ¹	56.39	1789.9	-1562.6	-1299.0	-1036.1	-771.5	-505.0	-236.7
Kauçuk ²	40.53	1770.1	-1528.5	1309.4	1086.2	839.0	-580.8	-301.4

¹ Lineer sönümlü

² Lineer olmayan sönümlü

4.2. Erzincan Depremi Kullanılarak Elde edilen Bulguların İrdelenmesi

4.2.1. Üç Boyutlu Perdesiz Binalar

Sürtünlü sarkaç ve kauçuk mesnet sistemleriyle taban izolasyonu yapılan 6 katlı ve 3-boyutlu bir binanın tepkileri, kullanılan farklı izolasyon tipleri için ve binanın ankastre tabanlı olarak yapılması ile elde edilen tepkiler karşılaştırılmıştır. Bu amaçla zaman artımı yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen maksimum kat ivmeleri, maksimum kat yatay yerdeğiştirmeleri ve maksimum taban ve kat kesme kuvvetleri Tablo 10,11 ve 12’de verilmiştir.

Yer hareketi olarak kullanılan Erzincan depreminin maksimum ivmesi 5.053 m/s²’dir. Binanın geleneksel olarak bilinen ankastre tabanlı olarak yapılması durumlarında, yer hareketinden dolayı binaya aktarılan ivmeler yapı temelinden üst kata doğru artmaktadır. Aynı zamanda bu ivmeler yer hareketinin ivmesini de oldukça aşmaktadır. Buna karşılık taban izolasyonlu binanın kat ivmeleri, bina temelinden üst kata doğru fazla bir artış göstermemekle birlikte, her zaman yer hareketinin ivmesinden daha düşük olmaktadır.

Taban izolasyonlu binada meydana gelen kat yerdeğiştirmeleri, ankastre tabanlıya göre yaklaşık olarak %90 daha az olmaktadır. Bu durum ise binada meydana gelecek olan kesit tesirlerini azaltmaktadır. Dolayısıyla bina boyutları daha ekonomik olarak boyutlandırılabilir.

Binanın toplam ağırlığı $W=8905.881$ kN olup, ankastre tabanlı binada maksimum taban kesme kuvveti $0.80W$ olmaktadır. Buna karşılık taban izolasyonlu binada maksimum taban kesme kuvveti ise; sürtünlü sarkaç kullanılması durumunda $0.272W$, kauçuk mesnet ve lineer sönümlü kauçuk mesnet olması durumlarında $0.305W$, lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnet olması durumunda ise, $0.290W$ olmaktadır.

Tablo 10. Üç boyutlu perdesiz binaya ait maksimum kat ivmeleri

Mesnet Türü	İvme (m/s ²)					
	1. kat	2.kat	3. kat	4. kat	5. kat	6. kat
Ankastre	4.234	8.629	11.320	12.930	15.250	17.640
S. sarkaç	2.603	2.658	2.704	2.767	2.760	2.946
Kauçuk	-3.039	-3.104	-3.121	-3.061	3.100	-3.249
Kauçuk ¹	-3.038	-3.103	-3.120	-3.061	3.100	-3.248
Kauçuk ²	-2.865	-3.208	-3.428	-3.328	-3.319	-3.618

Tablo 11. Üç boyutlu perdesiz binaya ait maksimum kat yerdeğıştirmeleri

Mesnet Türü	Yerdeğıştirme (m)						
	İzolator	1. kat	2.kat	3. kat	4. kat	5. kat	6. kat
Ankastre	-	-0.0303	-0.0680	-0.1030	-0.1326	-0.1546	-0.1666
S. sarkaç	-0.2300	-0.0022	-0.0056	-0.0086	-0.0109	-0.0124	-0.0133
Kauçuk	0.1310	0.0024	0.0061	0.0094	-0.0119	-0.0137	-0.0146
Kauçuk ¹	0.1310	0.0024	0.0061	0.0094	-0.0119	-0.0137	-0.0146
Kauçuk ²	0.8300	0.0023	0.0059	0.0092	0.0118	0.0137	0.0148

Tablo 12. Üç boyutlu perdesiz binaya ait maksimum kat ve taban kesme kuvvetleri

Mesnet Türü	Kesme Kuvveti (kN)							
	İzolator	Taban	1. kat	2.kat	3. kat	4. kat	5. kat	6. kat
Ankastre	-	7146.5	-	-	-	-	-	-
S. sarkaç	-121.30	-2425.5	2119.8	1774.3	1423.0	1065.9	703.1	353.1
Kauçuk	79.75	2712.2	-2359.1	-1958.2	1575.7	1193.5	792.9	-389.5
Kauçuk ¹	79.75	2712.0	-2358.9	-1957.9	1575.6	1193.5	792.9	-389.4
Kauçuk ²	58.62	2584.6	-2261.1	-1878.2	-1596.4	-1263.5	874.5	-433.7

¹ Lineer sönümlü² Lineer olmayan sönümlü

4.2.2. Üç Boyutlu ve Perdeli Binalar

Sürtünmeli sarkaç ve kauçuk mesnet sistemleriyle taban izolasyonu yapılan 6 katlı, perde duvarlı ve 3-boyutlu bir binanın tepkileri, kullanılan farklı izolasyon tipleri için ve binanın ankastre tabanlı olarak yapılması ile elde edilen tepkiler karşılaştırılmıştır. Bu amaçla zaman artımı yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen maksimum kat ivmeleri, maksimum kat yatay yerdeğiştirmeleri ve maksimum taban ve kat kesme kuvvetleri Tablo 13,14 ve 15’de verilmiştir.

Yer hareketi olarak kullanılan Erzincan depreminin maksimum ivmesi 5.053 m/s^2 ’dir. Binanın geleneksel olarak bilinen ankastre tabanlı olarak yapılması durumlarında, yer hareketinden dolayı binaya aktarılan ivmeler bina temelinden üst kata doğru artmaktadır. Aynı zamanda bu ivmeler yer hareketinin ivmesini de oldukça aşmaktadır. Buna karşılık taban izolasyonlu binanın kat ivmeleri, bina temelinden üst kata doğru fazla bir artış göstermemekle birlikte, her zaman yer hareketinin ivmesinden daha düşük olmaktadır.

Binanın toplam ağırlığı $W=9625.876 \text{ kN}$ olup, ankastre tabanlı binada maksimum taban kesme kuvveti $0.766W$ olmaktadır. Buna karşılık taban izolasyonlu binada maksimum taban kesme kuvveti ise; sürtünmeli sarkaç kullanılması durumunda $0.301W$, kauçuk mesnet ve lineer sönümlü kauçuk mesnet olması durumlarında $0.336W$, lineer olmayan sönümlü kauçuk mesnet olması durumunda ise, $0.296W$ olmaktadır.

Tablo 13. Üç boyutlu ve perdeli binaya ait maksimum kat ivmeleri

Mesnet Türü	İvme (m/s ²)					
	1. kat	2.kat	3. kat	4. kat	5. kat	6. kat
Ankastre	1.294	3.932	7.338	11.10	14.88	18.48
S. sarkaç	-3.093	-3.017	-2.958	-2.934	-3.242	3.747
Kauçuk	-3.347	-3.326	-3.301	-3.318	-3.447	-3.588
Kauçuk ¹	-3.347	-3.325	-3.300	-3.318	-3.446	-3.588
Kauçuk ²	-2.708	-2.790	-2.893	-3.000	-3.134	-3.721

Tablo 14. Üç boyutlu ve perdeli binaya ait maksimum kat yerdeğıştirmeleri

Mesnet Türü	Yerdeğıştirme (m)						
	İzolatör	1. kat	2.kat	3. kat	4. kat	5. kat	6. kat
Ankastre	-	0.0034	0.0103	0.0192	0.0291	0.0390	0.0485
S. sarkaç	0.129	0.0006	0.0017	0.0030	0.0044	0.0056	0.0067
Kauçuk	0.143	0.0007	0.0020	0.0034	0.0049	0.0064	0.0076
Kauçuk ¹	0.143	0.0007	0.0020	0.0034	0.0049	0.0064	0.0076
Kauçuk ²	0.870	0.0007	0.0018	0.0031	0.0045	0.0058	0.0069

Tablo 15. Üç boyutlu ve perdeli binaya ait maksimum kat ve taban kesme kuvvetleri

Mesnet Türü	Kesme Kuvveti (kN)							
	İzolatör	Taban	1. kat	2.kat	3. kat	4. kat	5. kat	6. kat
Ankastre	-	7374.9	-	-	-	-	-	-
S. sarkaç	83.04	2899.2	-2520.2	-2083.0	-1681.4	-1334.0	-940.1	472.1
Kauçuk	92.61	3237.1	-2818.5	-2347.8	-1894.9	-1433.6	-954.9	-452.1
Kauçuk ¹	92.60	3236.8	-2818.2	-2347.6	-1894.7	-1433.6	-954.8	-452.1
Kauçuk ²	65.55	2847.4	2513.1	-2119.8	-1715.4	-1294.6	-926.1	-468.8

¹ Lineer sönümlü² Lineer olmayan sönümlü

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Genellikle yapı sistemleri modellenirken ankastre tabanlı olarak ele alınmaktadır. Bu durum, yapı ile zemin arasında var olan zemin-yapı etkileşiminin ihmal edilmesine karşılık gelmektedir. Oysa ki, zeminlerde meydana gelen oturmalar yapıyı doğrudan etkilemektedir. Fakat, ankastre mesnet kullanımından dolayı bu oturmalar vb. ihmal edilerek yapı üzerindeki etkileri göz ardı edilmektedir.

Bu çalışmada, 3-boyutlu taban izolasyonlu binaların lineer olmayan dinamik analizleri elde edilmiştir. Çalışmanın temel amacı, ankastre tabanlı olarak modellenen bina zeminden gelecek etkiler için izole edilmiştir. Bu sayede, zeminde meydana gelebilecek etkilerden bina daha az etkilenecektir. Bu amaçla, bina ile zemini bir birinden ayırmada kullanılan sürtünmeli ve kauçuk sistemlerden oluşan izolatörler kullanılmaktadır.

Sürtünmeli sistem ile bina tabanının izolasyonunda en yaygın olarak sürtünmeli sarkaç sistemler kullanıldığından bu çalışmada da tercih edilmiştir. Ayrıca, bina tabanı kauçuk mesnet sistemlerine bir örnek olması açısından Yeni Zelanda kauçuk mesnet sistemi ile izole edilmiştir. Bu mesnet sistemine ilave olarak lineer ve lineer olmayan söndürücüler de kullanılmıştır.

Dinamik analizlerde dış etki olarak 18 Mayıs 1940 El Centro ve 13 Mart 1992 Erzincan depremine ait yer hareketleri kullanılmıştır. Lineer olmayan dinamik analizlerde üst yapı için %5'lik sönüm oranı tercih edilmiştir. Çalışmada zaman artımı yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemi kapsayan bilgisayar programları 3D-BASIS-TABS ve SAP2000 kullanılmış ve ilk program çalışmanın anlamı için yorumlanarak düzenlenmiştir.

Sayısal örnek olarak, 6 katlı 3-boyutlu bir binanın perde duvar olması ve olmaması durumlarına göre lineer olmayan dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar maddeler halinde sıralanacak olursa,

1. Ankastre tabanlı bir binada ivmeler birinci kattan itibaren en üst kata doğru artmakta olup, yer hareketinin maksimum ivmesinden de büyük çıkmıştır. Buna karşılık taban izolasyonlu binada, gerek sürtünmeli sarkaç gerekse kauçuk mesnet sistemleri kullanılsın kat ivmeleri yer hareketinin maksimum ivmesinden daha küçük çıkmaktadır. Ayrıca, kat ivmeleri ilk kattan üst kata doğru fazla bir artış

göstermeden artmaktadır. Dolayısıyla, taban izolasyonlu binalarda yer hareketinden dolayı binaya aktarılan ivmeler azalarak etkimektedir.

2. Taban izolasyonlu binada kat yatay yerdeğiştirmeleri ankastre tabanlı binaya göre oldukça azalmaktadır. Dolayısıyla, kesit tesirleri azaldığından bina boyutlandırılmasında kesitler daha küçük çıkmaktadır. Bu durumda binanın ekonomik olarak elde edilmesinde etkili olabilmektedir.
3. Taban izolasyonlu sistemlerde, sürtünmeli sarkaçlar kullanıldığında izolatör seviyesindeki yerdeğiştirmeler kauçuk mesnetler göre daha fazla çıkmaktadır. Kat yatay yerdeğiştirmeleri ise, kauçuk mesnet kullanılmasına göre daha azdır.
4. Taban kesme kuvvetleri, ankastre tabanlı sistemlere göre oldukça azalmaktadır.
5. Kauçuk mesnetler ile yapılan izolasyonlarda izolatör seviyesindeki kesme kuvvetleri sürtünmeli sarkaç kullanımına göre daha azdır. Fakat buna karşılık sürtünmeli sarkaç kullanımında kat kesme kuvvetleri daha azalmaktadır.
6. Kauçuk mesnetler ilave olarak lineer olmayan söndürücüler kullanıldığında elde edilen sonuçlar, izolatör seviyesinde ki kesme kuvvetleri ve kat kesme kuvvetleri daha da azalmaktadır.
7. Kauçuk mesnetler ilave olarak lineer söndürücüler kullanıldığında elde edilen sonuçlar, sadece kauçuk mesnet kullanılmasına göre fazla değişmemektedir.
8. Sürtünmeli sarkaç sistemler ile yapılan analizlerde, sarkacın sürtünme katsayısı azaltıldığında taban kesme kuvvetleri de azalmaktadır. Buna karşılık yerdeğiştirmeler artmaktadır.
9. Sürtünmeli sarkaç sistemler ile yapılan analizlerde, izolasyonlu binanın periyodu artırıldığında, dolayısıyla sarkaç periyodu artırıldığında, taban kesme kuvvetleri bir önceki sarkaç periyoduna göre azalmaktadır. Buna karşılık yerdeğiştirmeler ise artmaktadır.

6. KAYNAKLAR

1. Derham C., Kelly, J., M., Thomas, A., G., Non-linear Natural Rubber Bearings for Seismic Isolation, Nuclear Engineering and Design, 84 (1985) 417-428.
2. McKay, G., R., Chapman, H., E., Kirkcaldie, D., K., Seismic Isolation: New Zealand Applications, Earthquake Spectra, 6,2 (1990) 203-222.
3. Jangid, R., S., Response of Pure-Friction Sliding Structures to Bi-directional Harmonic Ground Motion, Engineering Structures, 19,2 (1997) 97-104.
4. Mostaghel, N., Khodaverdian, M., Dynamics of Resilient-Friction Base Isolator (R-FBI), Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 15 (1987) 379-390.
5. Mostaghel, N., Khodaverdian, M., Seismic Response Structures Supported on (R-FBI) System, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 16 (1988) 839-854.
6. Su, L., Ahmadi, G., Tadjbakhsh, I., G., A Comparative Study of Performances of Various Base Isolation Systems, Part I: Shear Beam Structures, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 18 (1989) 11-32.
7. Su, L., Ahmadi, G., Tadjbakhsh, I., G., Performance of Sliding Resilient-Friction Base Isolation System , Journal of Structural Engineering, 117 (1989) 165-181.
8. Zayas, V., A., Low, S., S., Mahin, S., A., A Simple Pendulum Technique for Achieving Seismic Isolation, Earthquake Spectra, 6, 2 (1990) 317-333.
9. Zayas, V., A., Low, S., S., Mahin, S., A., Bozzo L., Feasibility and Performance Studies on Improving the Earthquake Resistance of New Existing Building Using the Friction Pendulum System, Report No.UCB/EERC 89-09, University of California, Berkeley, 1989.
10. Ceccoli, C., Mazzotti C., Savoia, M., Non-linear Seismic Analysis of Base Isolated R/C Frame Structures, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 28 (1999) 633-653.
11. Jangid, R., S., Datta, T., K., Seismic Behaviour of Base-Isolated Buildings: A State of Art Review, Proc. Instn Civ. Engrs Structsand Bldgs, 110 (1995) 186-203.
12. Bukle, I. G., Mayes R., L., Seismic Isolation: History, Application, and Performance- A World View, Earthquake Spectra, 6, 2 (1990) 161-201.

13. Chopra, A., K., Clough, D., P., Clough, R., W., Earthquake Resistance of Buildings with a Soft First Story, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 1 (1973) 347-355.
14. Kadir, A., Rubber Properties Important in the Design of Bearings, International Conference on Natural Rubber for Earthquake Protection of Building and Vibration Isolation, Kuala Lumpur, (1982), 211-227.
15. Roeder, C., W., Stanton, F., J., Elastomeric Bearings: State of Art, Journal of Structural Engineering, ASCE, 109 (1983) 2853-2871.
16. Simo, J., C., Kelly J., M., Finite Element Analysis of the Stability of Multi-layer Elastomeric Bearings, Engineering Structures, 6, 3 (1984) 162-174.
17. Stanton, J., F., Scroggins, G., Taylor, Stability of Laminated Elastomeric Bearings, Journal of Structural Engineering, ASCE, 116 (1990) 1351-1371.
18. Skinner, R., I., Kelly, J., M., Heine A., J., Hysteretic Dampers for Earthquake Resistant Structures, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 3 (1975) 287-296.
19. Skinner, R., I., Beckand J., L., Bycroft G., N., A Practical System for Isolating Structures from Earthquake Attack, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 3 (1975) 297-309.
20. Tracis, A., C., The Implementation of Base Isolation for Foothill Communities Law and Justice Center, Report NSF and Country of San Bernardino, San Francisco, (1984).
21. Costantinou, M., C., Tadjbakhsh, I., G., Hysteretic Dampers in Base Isolation: Random Approach, Journal of Structural Engineering, ASCE, 111, 4 (1985) 705-721.
22. Su, L., Ahmadi, G., Tadjbakhsh, I., G., A Comparative Study of Performances of Various Base Isolation Systems, Part II: Sensitivity Analysis, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 19 (1990) 21-33.
23. Mostaghel , N., Tanbakuchi, J., Response of Sliding Structures to Earthquake Support Motion, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 11 (1983) 729-783.
24. Kelly, J., M., Beucke A Friction Damped Base Isolation System with Fail-Safe Characteristics, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 11 (1983) 33-56.
25. Kelly, J., M., The Implementation of Base Isolation in the United States, Report No.UCB/EERC 92-13, University of California, Berkeley, 1992.
26. Jangid, R., S., Datta T., K., Non-linear Response Torsionally Coupled Base Isolated Structure , Journal of Structural Engineering, ASCE, 120 (1994) 1-22.

27. Lee, D., M., Base Isolation for Torsion Reduction in Asymmetric Structures under Earthquake Loading, , Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 8 (1980) 349-359.
28. Nagarajaiah, S., Reinhorn, A., M., Constantinou, M., C., Nonlinear Dynamic Analysis of 3D Base-Isolated Structures, Journal of Structural Engineering, ASCE, 117 (1991) 2035-2054.
29. Nagarajaiah, S., Reinhorn, A., M., Constantinou, M., C., Torsional Coupling in Sliding Base-Isolated Structures, Journal of Structural Engineering, ASCE, 119 (1993) 130-149.
30. Pan, T., C., Kelly, J., M., Seismic Response of Torsionally Coupled Base Isolated Building, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 11 (1983) 749-770.
31. Tadjbakhsh, I., G., Ma, J., J., Rigid-body Response of Base Isolated Structures, Journal of Structural Engineering, ASCE, 108 (1982) 1806-1814.
32. Pan, T., C., Kelly, J., M., Seismic Response of Base Isolated Structures with Vertical Rocking Coupling, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 12 (1984) 681-702.
33. Constantinou, M., C., Tadjbakhsh, I., G., Probabilistic Optimum Base Isolation of Structures, Journal of Structural Engineering, ASCE, 109 (1983) 676-689.
34. Constantinou, M., C., Tadjbakhsh, I., G., Optimum Characteristic of Isolated Structures, Journal of Structural Engineering, ASCE, 111 (1985) 2733-2750.
35. Lee, D., M., Medland, I., C., Base Isolation Systems for Earthquake Protection of Multi-storey Shear Structures, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 7 (1979) 555-568.
36. Constantinou, M., C., Tadjbakhsh, I., G., Hysteretic Dampers in Base Isolation: Random Approach, Journal of Structural Engineering, ASCE, 111 (1985) 705-721.
37. Shenton, H., W., Lin, A., N., Relative Performance of Fixed-Base and Base-Isolated Concrete Frames, Journal of Structural Engineering, ASCE, 119 (1993) 2592-2968.
38. Chen, Y., Ahmadi, G., Stochastic Earthquake Response of Secondary Systems in Base-Isolated Structures, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 21 (1992) 1039-1057.
39. Fan, F., G., Ahmadi, G., Floor Response Spectra for Base-Isolated Multi-Storey Structures, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 19 (1990) 377-388.

40. Novak, M., Henderson, P., Base-Isolated Buildings with Soil-Structure Interaction, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 18 (1989) 761-765.
41. Mostaghel, N., Tanbakuchi, J., Response of Sliding Structures to Harmonic Support Motion, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 11 (1983) 355-366.
42. Constantinou, M., C., Tadjbakhsh, I., G., The Optimum Design of a Base-Isolation System with Frictional Element, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 12 (1984) 203-214.
43. Fan, F., Ahmadi, G., Random Response Analysis of Frictional Base Isolation System, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 116 (1990) 1881-1901.
44. Kelly, J., M., Tsai, H., C., Seismic Response of Light Internal Equipment in Base Isolated Structures, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 13 (1985) 711-732.
45. Tsai, H., C., Kelly, J., M., Non-Classical Damping in Dynamic Analysis of Base-Isolated Structures with Internal Equipment, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 16 (1988) 29-43.
46. Tsai, H., C., Kelly, J., M., Seismic Response of the Superstructure and Attached Equipment in Base-Isolated, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 18 (1989) 551-564.
47. Inaudi, J., Almansa, F., L., Kelly, J., M., Rodellar, J., Predictive Control of Base-Isolated Structures, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 21 (1992) 471-482.
48. Koh, C., G., Balendra, T., Seismic Response of Base Isolated Buildings Including P- Δ Effects of Isolation Bearings, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 18 (1989) 461-473.
49. Koh, C., G., Kelly, J., M., Application of Fractional Derivatives to Seismic Analysis of Base-Isolated Models, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 19 (1990) 229-241.
50. Henderson, P., Novak, M., Response of Base-Isolated Buildings to Wind Loading, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 18 (1989) 1201-1217.
51. Constantinou, M., C., A Simplified Analysis Procedure for Base-Isolated Structures on Flexible Foundation, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 15 (1987) 963-983.

52. Siddiqui, F., M., A., Simplified Analysis Method for Multistorey Base-Isolated Structures on Viscoelastic Halfspace, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 18 (1989) 163-77.
53. Malangone, P., Ferraioli, M., A Model Procedure for Seismic Analysis of Non-Linear Base-Isolated Multistorey Structures, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 17 (1998) 397-412.
54. Constantinou, M., C., Kneifati C., M., Dynamic of Soil-Base-Isolated-Structure Systems, Journal of Structural Engineering, ASCE, 114 (1988) 211-221.
55. Darbre, G., R., Seismic Analysis of Non-linearly Base-Isolated Soil-Structure Interacting Reactor Building by way of the Hybrid Frequency-Time Domain Procedure, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 19 (1990) 725-738.
56. Lin, B., C., Response of Base Isolated Buildings to Random Excitation Described by C-P Spectral Model, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 18 (1990) 49-62.
57. Su, L., Ahmadi, G., Tadjbakshs, I., G., A Comparative Study of Performance of Various Base Isolation System Part I: Shear Beam Structures, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 18 (1989) 11-32.
58. Su, L., Ahmadi, G., Tadjbakshs, I., G., A Comparative Study of Performance of Various Base Isolation System Part I: Sensitivity Analysis, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 19 (1990) 21-33.
59. Lin, T., Hone, C., Base Isolation by Free Rolling Rods Under Basement, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 19 (1990) 377-388.
60. Liauw, T., C., Tian, Q., L., Cheung, Y., K., Structures on Sliding Base Subjected to Horizontal and Vertical Motions, Journal of Structural Engineering, ASCE, 114 (1988) 2119-2129.
61. Novak, M., Henderson, P., Base Isolated Building with Soil-Structure Interaction, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 18 (1989) 751-765.
62. Kelly, J., M., The Role of Damping in Seismic Isolation, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 28 (1999) 3-20.
63. Constantinou, M., Mokha, A., Reinhorn, A. M., Teflon Bearing in Base Isolation II: Modeling, Journal of Structural Engineering, ASCE, 116 (1990) 455-474.
64. Nagarajaiah, S., Reinhorn, A., M., Constantinou, M., C., Torsion in Base-Isolated Structures with Elastomeric Isolation Systems, Journal of Structural Engineering, ASCE, 119 (1992) 2932-2951.

65. Kelly, J., M., Beucke, K., E., A Frictional Damped Base Isolation System with Fail-Safe Characteristics, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 11 (1983) 33-56.
66. Constantinou, M., C., John, C., Harris G., H., Frictional Characteristics of Teflon-Steel Inter-faces Under Dynamic Conditions, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 15 (1987) 751-759.
67. Constantinou, M., C., Mokha, A., S., Reinhorn, A., M., Teflon Bearings in Base Isolation II: Testing, Journal of Structural Engineering, ASCE, 116 (1990) 438-454.
68. Nagarajaiah, S., Reinhorn, A., M., Constantinou, M., C., Experimental Study on Sliding Isolated Structure with Uplift Restraint, Journal of Structural Engineering, ASCE, 118 (1992) 1666-1682.
69. Mokha, A., Constantinou, M., C., Reinhorn, A., M., Experimental Study of Friction-Pendulum Isolation System, Journal of Structural Engineering, ASCE, 117 (1991) 1201-1217.
70. Constantinou, M., C., Mokha, A., S., Reinhorn, A., M., Study of Sliding Bearing and Helical-Steel-Spring Isolation System, Journal of Structural Engineering, ASCE, 117 (1991) 1257-1275.
71. Mokha, A., S., Constantinou, M., C., Reinhorn, A., M., Verification of Friction Model of Teflon Bearings Under Triaxial Load, Journal of Structural Engineering, ASCE, 119 (1993) 240-261.
72. Mokha, A., S., Constantinou, M., C., Reinhorn, A., M., Further Results on Frictional Properties of Teflon Bearings, Journal of Structural Engineering, ASCE, 117 (1991) 622-626.
73. Almazan, L., J., Llera, J., C., D., L., Inaudi, J., A., Modelling Aspects of Structures Isolated with the Frictional Pendulum System, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 27 (1998) 845-867.
74. Park, Y., J., Wen, Y., K., Ang, A., H., S., Random Vibration of Hysteretic Systems Under Bi-directional Ground Motions, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 14 (1986) 543-557.
75. Tsopelas, P., C., Nagarajaiah, S., Constantinou, M., C., Reinhorn, A., M., Nonlinear Dynamic Analysis of Multiple Building Base Isolated Structures, Computers and Structures, 50,1 (1994) 47-57.

76. Reinhorn, A., M., Nagarajaiah, S., Constantinou, M., C., Tsopelas, P., Li, R., 3D-BASIS-TABS, Computer Program for Nonlinear Dynamic Analysis of Three Dimensional Base Isolated Structures, Technical Report NCEER-94-0018, State University of New York at Buffalo, 1994.
77. Nagarajaiah, S., Reinhorn, A., M., Constantinou, M., C., 3D-BASIS, Nonlinear Dynamic Analysis of Three Dimensional Base Isolated Structures : Part II, Technical Report NCEER-91-0005, State University of New York at Buffalo, 1991.
78. Tsopelas, P., C., Constantinou, M., C., Reinhorn, A., M., 3D-BASIS-ME, Computer Program for Nonlinear Dynamic Analysis of Seismically Isolated Single and Multiple Structures and Liquid Storage Tanks, Technical Report NCEER-94-0010, State University of New York at Buffalo, 1994.
79. SAP2000, Integrated Finite Element Analysis and Design Structures, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, 1997.
80. Kelly, J., M., Base Isolation: Linear Theory and Design, Earthquake Spectra, 6,2 (1990) 223-244.
81. Dumanoglu, A., A., Severn, R., T., The Dynamic Foundation Interaction of Multi-storey Frames, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 4,6 (1976).

159
30
189

TC. YÜKSEKÖĞRETİM ENSTİTÜSÜ
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

7. ÖZGEÇMİŞ

Şevket ATEŞ, 1972 yılında Kelkit, Gümüşhane’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini sırasıyla Trabzon 24 Şubat İlkokulu’nda, Cumhuriyet Orta Okulu’nda ve Trabzon Lisesi’nde 1980-1990 yılları arasında tamamladı. 5 Temmuz 1996 tarihinde Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden onur öğrencisi olarak mezun oldu. Ekim 1996’da aynı üniversitede yüksek lisans öğrenimine başladı. 31 Aralık 1997 tarihinde KTÜ Mühendislik-Mimarlık Fakültesine Araştırma Görevlisi olarak atandı.

İngilizce bilen Şevket ATEŞ, KTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümündeki görevine devam etmektedir.