

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKASTRE VE SÜRTÜNMELİ SARKAÇ MESNETLİ BİNALARIN DİNAMİK
DAVRANIŞLARININ TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ 2018' E GÖRE
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Zafer KURT

NİSAN 2019

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKASTRE VE SÜRTÜNMELİ SARKAÇ MESNETLİ BİNALARIN DİNAMİK
DAVRANIŞLARININ TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ 2018' E GÖRE
BELİRLENMESİ**

Zafer KURT

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

“İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ”

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 02 / 04 / 2019

Tezin Savunma Tarihi : 26 / 04 / 2019

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Şevket ATEŞ

Trabzon 2019

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Zafer KURT Tarafından Hazırlanan**

**ANKASTRE VE SÜRTÜNMELİ SARKAÇ MESNETLİ BİNALARIN DİNAMİK
DAVRANIŞLARININ TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ 2018'E GÖRE
BELİRLENMESİ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 09 / 04 / 2019 gün ve 1799 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK



Üye : Prof. Dr. Şevket ATEŞ



Üye : Doç. Dr. Barış SEVİM



Prof. Dr. Asim KADIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmada; günümüzde ülkemizde de sıklıkla kullanılan sürtünmeli sarkaç izolatörler uygulanarak TBDY 2018' e göre analizi yapılan bir hastane binasının dinamik davranışı ankastre mesnetli çözümü ile karşılaştırılarak incelenmiştir.

Çalışmanın oluşturulmasında bilgi, deneyim, destek ve zamanını esirgemeyen saygıdeğer hocam, danışmanım, sayın Prof. Dr. Şevket ATEŞ' e, Arş. Gör. Mehmet ŞENTÜRK' e, Arş. Gör. Mustafa ERGÜN'e, Arş. Gör. Dr. Barbaros ATMACA'ya ve Dr. Öğr. Üyesi Zeliha TONYALI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın her aşamasında yanımda olan meslektaşım, arkadaşım Arş. Gör. Erman ÇAVDAR' a, Arş. Gör. V. Alperen BAKI'ye, Arş. Gör. Murat HACIOSMANOĞLU'na, Arş. Gör. Hamdi KULEYİN'e, Arş. Gör. Orhan Barış GANGAL'a ve Arş. Gör. Doğançan SAMUK'a teşekkür ederim.

Çalışmalarımı yürütürken teknik bilgisini benimle paylaşmaktan çekinmeyen İnş. Yük. Müh. Cem YILMAZ'a ve İnş. Yük. Müh. Mustafa Deniz GÜLER'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, eğitim ve öğrenim hayatı boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, sahip olduğum için kendimi şanslı hissettiğim başta annem Fevziye KURT' a, babam Mustafa KURT'a ve kardeşlerime, özellikle bu yolda yürümemde katkısı olan tüm hocalarıma teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Zafer KURT
Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Ankastre ve Sürtünmeli Sarkaç Mesnetli Binaların Dinamik Davranışlarının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’e Göre Belirlenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Şevket ATEŞ’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 26/04/2019

Zafer KURT

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ	XVI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XVII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
1.3. Konu ile İlgili Önceden Yapılmış Çalışmalar	3
1.4. Sismik İzolasyon Metodu.....	9
1.4.1. Sismik İzolasyon Kavramı	9
1.4.2. Sismik İzolasyon Uygulamasının Katkıları.....	13
1.4.3. Sismik İzolasyon Uygulamasının Zorlukları ve Dezavantajları..	15
1.4.4. Sismik İzolasyon Metodunun Tarihi.....	17
1.4.5. Sismik İzolasyon Metodunun Türkiye'deki Gelişimi	21
1.4.6. Sismik İzolasyon Çeşitleri.....	27
1.4.6.1. Tabakalı Kauçuk Mesnet Sistemi	28
1.4.6.2. Yeni Zelanda Mesnet Sistemi.....	28
1.4.6.3. Sürtünlü Mesnet Sistemi	30
1.4.6.4. Çelik Bilyalı İzolatör.....	31
1.4.6.5. Çapraz Doğrusal Hareket Sistemi.....	31
1.4.6.6. Fransız Elektrik Sistemi	32
1.4.6.7. Düşük Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnetler (LDRB)	33
1.4.6.8. Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnetler (HDRB).....	34
1.4.6.9. Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (EERC) Birleşik Sistemi	35
1.4.6.10. Esnek Sürtünlü Taban İzolasyon Sistemi (R-FBI)	35

1.4.6.11.	TASS Sistemi (Tasei Shake Suspansion System)	36
1.4.6.12.	Sürtünlmeli Sarkaç Sistem (FPS)	36
1.5	Sismik İzolasyon Çalışması ile İlgili TBDY 2018 Kuralları	41
1.5.1	Tanımlar	41
1.5.2.	Genel Tasarım İlkeleri.....	42
1.5.3.	Tasarımda Uygulanacak Hesap Yöntemi	43
1.5.3.1.	Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Tasarım Yöntemi...	43
1.5.3.2.	Deprem Kayıtlarının Seçimi.....	46
1.5.3.3.	Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirme Kuralları.....	46
1.5.3.4.	Doğrusal Olmayan Hesap için Taşıyıcı Sistem Modellemesinde Kullanılacak Kurallar	47
1.5.4.	Sürtünlmeli Sarkaç İzolatör Tasarımı	48
1.6.	Sismik İzolasyonlu Yapıların Hareket Denklemi	51
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	54
2.1.	Binanın Modellenmesi	54
2.2.	Analiz İçin Kullanılan Hedef Spektrumların Elde Edilmesi	58
2.3.	Etkin Kesit Rijitlik Çarpanlarının Uygulanması için Etabs Teorik Bilgilerinin İncelenmesi	62
2.4.	Deprem Kayıtları ve Ölçeklendirilmesi	63
3.	BULGULAR VE İRDELEME	64
3.1	Ankastre Mesnetli Binanın Tasarımı	64
3.1.1.	Ankastre Mesnetli Binanın Modal Analiz Sonuçları ve Mod Şekilleri	64
3.1.2.	Ankastre Mesnetli Binanın Dinamik Analizi İçin Ölçekleme Verileri	67
3.1.3.	Ankastre Mesnetli Binanın Kat Yerdeğiştirme Grafikleri	68
3.1.4.	Ankastre Mesnetli Binanın Kat İvmeleri Grafikleri	76
3.1.5.	Ankastre Mesnetli Binanın Kat Kesme Kuvvetleri Grafikleri	78
3.1.6.	Ankastre Mesnetli Binanın Kat Momentleri Grafikleri	79
3.1.7	Ankastre Mesnetli Binanın Kat Eksenel Kuvvetleri Grafikleri...	80
3.2.	Sismik İzolasyonlu Binanın Tasarımı	81
3.2.1	Sismik İzolasyonlu Binanın DD-2 Depremi Üst Sınır için Analizi	81
3.2.1.1.	Sismik İzolasyonlu Binanın DD-2 Depremi Üst Sınır için Modal Analiz ve Mod Şekilleri	81

3.2.1.2.	Sismik İzolasyonlu Binanın DD-2 Depremi Üst Sınır için Kat Yerdeğiştirme, Kat İvmeleri, Kat Kesme Kuvvetleri, Kat Momentleri ve Kat Eksenel Kuvvetlerinin Grafikleri	85
3.2.2.	Sismik İzolasyonlu Binanın DD-1 Depremi Alt Sınır için Analizi... ..	91
3.2.2.1.	Sismik İzolasyonlu Binanın DD-1 Depremi Alt Sınır için Modal Analiz ve Mod Şekilleri	91
3.2.2.2.	Sismik İzolasyonlu Binanın DD-2 Depremi Üst Sınır için Kat Yerdeğiştirme, Kat İvmeleri, Kat Kesme Kuvvetleri, Kat Momentleri ve Kat Eksenel Kuvvetlerinin Grafikleri	95
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	102
5.	KAYNAKLAR.....	105
	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ANKASTRE VE SÜRTÜNME Lİ SARKAÇ MESNETLİ BİNALARIN DİNAMİK
DAVRANIŞLARININ TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ 2018' E GÖRE
BELİRLENMESİ

Zafer KURT

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Şevket ATEŞ
2019, 111 Sayfa

Geçmişteki büyük ölçekli depremlerin oluşturduğu etkiler araştırıldığında, büyük sayıdaki can kayıplarının yanı sıra depremin ardından günlük hayatın sürdürülebilmesi için önemli ve kullanılması gerekli olan yapıların büyük kısmının göçtüğü veya kullanılması imkansız hale geldiği saptanmıştır. Ülkemizin özellikle büyük fay hatlarının üzerinde bulunması depreme dayanıklı yapı tasarımının önemini artırmaktadır. Depreme dayanıklı yapı tasarımı yöntemlerinden biri olan sismik izolasyon yöntemlerinde hedef; yapının zeminle olan etkileşimini deprem izolatörleri vasıtası ile yalıtarak zeminden deprem hareketi ile yapıda oluşan etkilerin azaltılmasıdır.

Hazırlanan yüksek lisans tez çalışmasında depreme dayanıklı yapı tasarımının geleneksel ilkelerinden bahsedilmiş ve ayrıca günümüzde yaygın olarak kullanılan sismik izolasyon yöntemleri örnekleri ile açıklanmıştır. Sismik izolasyonların hesap ve tasarım ilkeleri Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de yer bulduğundan dolayı, hesap ve tasarım Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre yapılmıştır. Ankastre mesnetli ve sürtünmeli sarkaç izolatör uygulanan betonarme hastane binasının analizi ETABS sonlu eleman paket programıyla malzeme, kesit ve ölçüleri sabit tutularak yapılmıştır. Her iki binanın zaman tanım alanında analizi 11 adet deprem kaydı ve 90 derece döndürülerek elde edilen yükleme durumlarına göre yapılmış, yerdeğiştirme ve kesit etkileri elde edilmiştir.

Hazırlanan tez çalışmasının son kısmında elde edilen mutlak kat ötelemeleri, kat ivmeleri, taban kesme kuvvetleri ve kesit tesirleri grafik olarak her iki bina için sunulmuş, sismik izolasyonun depremin etkilerini sönmülemeadaki etkinliği elde edilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018, Depreme dayanıklı yapı tasarımı, Sismik izolasyon yöntemi, Sürtünmeli sarkaç izolatör, ETABS, Zaman tanım alanında deprem analizi

Master Thesis

SUMMARY

DETERMINATION DYNAMIC BEHAVIOURS OF BUILDING WITH FIXED BASE AND FRICTION PENDULUM BEARING TO TURKISH BUILDING EARTHQUAKE CODE 2018

Zafer KURT

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Şevket ATEŞ
2019, 111 Pages

When the effects of large-scale earthquakes in the past are investigated, besides the large number of life losses, it has been determined that most of the structures that are important and necessary to be used for continuing the daily life have demolished or have become impossible to use after earthquake. The fact that our country is located especially on the large fault lines increases the importance of earthquake resistant structural design. Target in the seismic isolation methods which are one of earthquake resistant structural design methods is to reduce the effects of the earthquake motion by the earthquake to isolate the interaction of the structure with the ground with the aid of earthquake isolators.

In the master thesis study prepared; the traditional principles of the earthquake resistant structural design are mentioned and also frequently used seismic isolation examples are explained. Because of the fact that calculations and design of seismic isolations take place Turkey Building Seismic Code 2018, calculations and design have been made according to this seismic code. Analysis of the reinforced concrete hospital building with fixed supported and friction pendulum isolator has been carried out by keeping the material, section and dimensions constant with ETABS integrated finite element package program. Time history dynamic analysis of both building has been performed to 11 earthquake record and 90 degrees rotation loading case, displacement and cross-section effects has obtained.

In the last part of the thesis; absolute story displacements, story accelerations, story shear forces and cross-section effects has been presented as graphic for both building. Efficiency of seismic isolation in damping the effects of earthquake has been try to obtain.

Key Words: Turkey Building Seismic Code 2018, Earthquake resistant structural design, Seismic isolation method, Friction pendulum isolator, ETABS, Time history dynamic analysis.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Yapının deprem yükleri altında davranışı	10
Şekil 1.2. Kat ivmelerinin iki farklı yapıdaki etkileri.....	10
Şekil 1.3. Ankastre mesnetli yapı ve sismik izolasyon uygulanmış yapı	11
Şekil 1.4. Artan periyodun spektral ivme ve yer değiştirmeye etkisi.....	12
Şekil 1.5. Klasik yapı ve izolasyonlu yapının yer değiştirmesi	12
Şekil 1.6. Yapılarda burulma halinin etkisi	13
Şekil 1.7. Tacoma köprüsünün rezonans etkisiyle yıkılması	14
Şekil 1.8. Yumuşak zeminlerde spektral ivme değişimi.....	17
Şekil 1.9. Artemis tapınağı ilkel sismik izolasyon uygulaması	18
Şekil 1.10. Dr. Calantarients'in önerdiği sismik izolasyon çalışması	19
Şekil 1.11. Bolu viyadüğü sürtünmeli sarkaç izolatör uygulaması.....	22
Şekil 1.12. Kocaeli hastanesi sismik izolatör uygulaması.....	23
Şekil 1.13. İstanbul Atatürk havalimanı sarkaç tipi izolatör uygulaması.....	23
Şekil 1.14. Antalya havalimanı kauçuk izolatör uygulaması.....	24
Şekil 1.15. İstanbul Sabiha Gökçen havalimanı izolatör uygulaması	25
Şekil 1.16. Tarabya oteli ve kolonlarına yerleştirilen sürtünmeli sarkaç izolatör....	26
Şekil 1.17. Erzurum devlet hastanesi ve uygulanan sismik izolatör	26
Şekil 1.18. Aliğa bulunan lng tankları	27
Şekil 1.19. Söğütözü kongre merkezi ve uygulanan izolatör.....	27
Şekil 1.20. Tabakalı kauçuk mesnet sistemi	28
Şekil 1.21. Yeni Zelanda mesnet sistemi.....	29
Şekil 1.22. Sürtünmeli mesnet sistemi.....	30
Şekil 1.23. Çelik bilyalı izolatör uygulaması.....	31
Şekil 1.24. Çapraz doğrusal hareket sistemi uygulaması	32
Şekil 1.25. Fransız elektrik sistemi çalışma prensibi	33
Şekil 1.26. Düşük sönümlü kauçuk izolatör kesiti	34
Şekil 1.27. Yüksek sönümlü kauçuk izolatörün mekanik özellikleri	35
Şekil 1.28. Esnek sürtünmeli taban izolasyon sisteminin kesiti	36
Şekil 1.29. Sürtünmeli sarkaç mesnet kesiti	37
Şekil 1.30. Basit sarkaç modeli	37

Şekil 1.31.	Sürtünmeli sarkaç sistemin yapıya uygulanması.....	38
Şekil 1.32.	Sürtünmeli sarkaç mesnet sisteminin analitik modeli ve kuvvet-yer değiştirme ilişkisi.....	39
Şekil 1.33.	Çift eğrilikli sürtünmeli sarkaç sistemi	40
Şekil 1.34.	Üç eğrilikli sarkaç izolatör kesiti.....	41
Şekil 1.35.	Sürtünmeli sarkaç izolatörler için kuvvet- yerdeğiştirme grafiği.....	49
Şekil 1.36.	Sürtünmeli sarkaç izolatörlerin tasarımı için hazırlanan excel programı	50
Şekil 1.37.	Çok serbestlik dereceli sismik izolasyonlu bir yapının yerdeğiştirme koordinatları	51
Şekil 2.1.	Analizi yapılan binanın kalıp planı.....	55
Şekil 2.2.	Analizi yapılan binanın a-a aksı	56
Şekil 2.3.	Analizi yapılan binanın 3d görünümü.....	56
Şekil 2.4.	Binanın kolon aplikasyon planı	57
Şekil 2.5.	Bina kat planı için sonlu eleman modeli	57
Şekil 2.6.	AFAD deprem tehlikesi haritası bilgi girişi	58
Şekil 2.7.	Kullanıcının girdiği veriler.....	58
Şekil 2.8.	Hedef spektrum için spektral veriler	59
Şekil 2.9.	Yerel zemin etki katsayısı (Fs)	59
Şekil 2.10.	Yerel zemin etki katsayısı (F1).....	59
Şekil 2.11.	Ölçekleme için kullanılan elastik yatay tasarım spektrumları.....	61
Şekil 2.12.	Veri bankası için hazırlanmış DD-2 deprem düzeyi için hedef spektrum.....	61
Şekil 2.13.	Etabs programı için çatlamış kesit teorik bilgileri-1.....	62
Şekil 2.14.	Etabs programı için çatlamış kesit teorik bilgileri-2.....	62
Şekil 3.1.	Ankastre mesnetli bina için mod şekilleri.....	65
Şekil 3.2.	Ankastre mesnetli bina DD-2 deprem düzeyi için veri tabanı ölçeklendirme aralığı.....	67
Şekil 3.3.	Ankastre mesnetli bina DD-2 deprem düzeyi dinamik analizi için ölçeklenen depremler	68
Şekil 3.4.	Ankastre mesnetli binanın kat yerdeğiştirmelerinin değişimi için referans alınan düğüm noktası.....	68
Şekil 3.5.	Ankastre mesnetli binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 6, RSN 20, RSN 30 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	69

Şekil 3.6.	Ankastre mesnetli binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 93, RSN 122, RSN 186 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	69
Şekil 3.7.	Ankastre mesnetli binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 190, RSN 191, RSN 266 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	70
Şekil 3.8.	Ankastre mesnetli binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 314, RSN 316 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	70
Şekil 3.9.	Ankastre mesnetli binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 6, RSN 20, 30 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	71
Şekil 3.10.	Ankastre mesnetli binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 93, RSN 122, RSN 186 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	71
Şekil 3.11.	Ankastre mesnetli binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 190, RSN 191, RSN 266 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	72
Şekil 3.12.	Ankastre mesnetli binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 314, RSN 316 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	72
Şekil 3.13.	Ankastre mesnetli binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 6, RSN 20, RSN 30 depremler ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	73
Şekil 3.14.	Ankastre mesnetli binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 93, RSN 122, RSN 186 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	73
Şekil 3.15.	Ankastre mesnetli binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 190, RSN 191, RSN 266 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	74
Şekil 3.16.	Ankastre mesnetli binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 314, RSN 316 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	74
Şekil 3.17.	Ankastre mesnetli binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 6, RSN 20, RSN 30 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	75
Şekil 3.18.	Ankastre mesnetli binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 93, RSN 122, RSN 186 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	75
Şekil 3.19.	Ankastre mesnetli binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 190, RSN 191, RSN 266 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	76

Şekil 3.20.	Ankastre mesnetli binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 314, RSN 316 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	76
Şekil 3.21.	Ankastre mesnetli binanın DD-2 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için X,Y ve Z doğrultularında kat ivmelerinin katlara göre değişimi	77
Şekil 3.22.	Ankastre mesnetli binanın DD-1 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için X,Y ve Z doğrultularında kat ivmelerinin katlara göre değişimi	77
Şekil 3.23.	Ankastre mesnetli binanın DD-2 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için X ve Y doğrultularında kat kesme kuvvetlerinin katlara göre değişimi	78
Şekil 3.24.	Ankastre mesnetli binanın DD-1 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için X ve Y doğrultularında kat kesme kuvvetlerinin katlara göre değişimi	78
Şekil 3.25.	Ankastre mesnetli binanın DD-2 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için X ve Y doğrultularında kat momentlerinin katlara göre değişimi	79
Şekil 3.26.	Ankastre mesnetli binanın DD-1 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için X ve Y doğrultularında kat momentlerinin katlara göre değişimi	79
Şekil 3.27.	Ankastre mesnetli binanın DD-2 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için maksimum normal kuvvetlerin katlara göre değişimi	80
Şekil 3.28.	Ankastre mesnetli binanın DD-1 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için maksimum normal kuvvetlerin katlara göre değişimi.....	80
Şekil 3.29.	Sismik izolasyonlu bina DD-2 deprem düzeyi üst sınır için mod şekilleri.....	82
Şekil 3.30.	Sismik izolasyonlu bina DD-2 deprem düzeyi üst sınır için ölçeklenen depremler	85
Şekil 3.31.	Sismik izolasyonlu binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 6, RSN 20, RSN 30 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	85
Şekil 3.32.	Sismik izolasyonlu binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 93, RSN 122, RSN 186 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	86
Şekil 3.33.	Sismik izolasyonlu binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 190, RSN 191, RSN 266 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	86
Şekil 3.34.	Sismik izolasyonlu binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 314, RSN 316 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	87

Şekil 3.35.	Sismik izolasyonlu binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 6, RSN 20, RSN 30 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	87
Şekil 3.36.	Sismik izolasyonlu binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 93, RSN 122, RSN 186 depremler ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	88
Şekil 3.37.	Sismik izolasyonlu binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 190, RSN 191, RSN 266 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	88
Şekil 3.38.	Sismik izolasyonlu binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 314, RSN 316 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	89
Şekil 3.39.	Sismik izolasyonlu binanın DD-2 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için X,Y ve Z doğrultularında kat ivmelerinin katlara göre değişimi	89
Şekil 3.40.	Sismik izolasyonlu binanın DD-2 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için X ve Y doğrultularında kat kesme kuvvetlerinin katlara göre değişimi	90
Şekil 3.41.	Sismik izolasyonlu binanın DD-2 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için X ve Y doğrultularında kat momentlerinin katlara göre değişimi	90
Şekil 3.42.	Sismik izolasyonlu binanın DD-2 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için maksimum normal kuvvetlerin katlara göre değişimi	91
Şekil 3.43.	Sismik izolasyonlu bina DD-1 deprem düzeyi alt sınır için mod şekilleri.....	92
Şekil 3.44.	Sismik izolasyonlu binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 6, RSN 20, RSN 30 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	96
Şekil 3.45.	Sismik izolasyonlu binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 93, RSN 122, RSN 186 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	96
Şekil 3.46.	Sismik izolasyonlu binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 190, RSN 191, RSN 266 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	97
Şekil 3.47.	Sismik izolasyonlu binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 314, RSN 316 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	97
Şekil 3.48.	Sismik izolasyonlu binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 6, RSN 20, RSN 30 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	98

Şekil 3.49.	Sismik izolasyonlu binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 93, RSN 122, RSN 186 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	98
Şekil 3.50.	Sismik izolasyonlu binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 190, RSN 191, RSN 266 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	99
Şekil 3.51.	Sismik izolasyonlu binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 314, RSN 316 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi.....	99
Şekil 3.52.	Sismik izolasyonlu binanın DD-1 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için X,Y ve Z doğrultularında kat ivmelerinin katlara göre değişimi	100
Şekil 3.53.	Sismik izolasyonlu binanın DD-1 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için X ve Y doğrultularında kat kesme kuvvetlerinin katlara göre değişimi	100
Şekil 3.54.	Sismik izolasyonlu binanın DD-1 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için X ve Y doğrultularında kat momentlerinin katlara göre değişimi	101
Şekil 3.55.	Sismik izolasyonlu binanın DD-1 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için maksimum normal kuvvetlerin katlara göre değişimi.....	101

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Deprem tasarım sınıfına göre sismik izolasyonlu binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme /tasarım yaklaşımları	45
Tablo 1.2. Deprem yükü azaltma katsayısı (R) ve dayanım fazlalığı katsayıları (D)	46
Tablo 1.3. Ortalama malzeme dayanımları	47
Tablo 1.4. Sismik izolasyonlu yapıların modellenmesinde kullanılan etkin kesit rijitliği çarpanları.....	48
Tablo 2.1. Tüm dinamik analizlerde kullanılan deprem kayıt ve ölçek katsayıları	63
Tablo 3.1. Ankastre mesnetli bina için modal analiz sonuçları.....	64
Tablo 3.2. Tüm dinamik analizlerde kullanılan deprem bileşenleri.....	67
Tablo 3.3. Sismik izolasyonlu bina DD-2 depremi üst sınır için modal analiz sonuçları	81
Tablo 3.4. Sismik izolasyonlu bina DD-1 depremi alt sınır için modal analiz sonuçları	92

SEMBOLLER DİZİNİ

b, d	: Yapının plandaki boyutları
c_b	: İzolatör sönümü
d_1, d_2	: İzolatör Yerdeğiştirmesi
D	: Dayanım Fazlalılığı Katsayısı
D_D	: İzolatörün tasarım deprem yer hareketi için yerdeğiştirmesi
D_M	: İzolatörün en büyük deprem yer hareketi için yerdeğiştirmesi
D_{TD}	: Tasarım deprem yer hareketi düzeyinde dikkate alınan doğrultuda izolasyon sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak yerdeğiştirme
D_{TM}	: En büyük deprem yer hareketi düzeyinde dikkate alınan doğrultuda izolasyon sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak yerdeğiştirme
D_y	: Etkin akma yerdeğiştirmesi
e	: Dışmerkezlik
E	: Elastisite modülü
F	: D yerdeğiştirmesine karşı gelen kuvvet
F_Q, F_y	: Etkin akma dayanımı
h_1, h_2	: İzolatörün üst ve alt yükseklikleri
H_N	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümünün toplam yüksekliği (m)
I	: Bina Önem Katsayısı
k_1	: Başlangıç rijitliği
k_2	: İkincil rijitlik
k_e	: D yerdeğiştirmesine karşı gelen rijitlik
k_b	: İzolatör Eşdeğer Rijitliği
m_b	: İzolatör Kütlesi
n	: Hareketli yük azaltma katsayısı
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_a	: Elastik Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
R_1, R_2	: İzolatörün üst ve alt eğrilik yarıçapları
T	: Binanın hakim periyodu
T_D	: Tasarım Deprem Yer Hareketi Düzeyi İçin Doğal Titreşim Periyodu

T_M :	: En büyük Yerdeğiştirme Altında sismik izolasyonlu binanın etkin titreşim periyodu
T_P	: Binanın en büyük doğal titreşim periyodu
T_V	: İzolatörün Düşeydeki Doğal Titreşim Periyodu
u	: Yerdeğiştirme
v_b :	: İzolatör uzunluğu
V_D	: Tasarım deprem yer hareketi düzeyi için hesaplanan üst yapıya etkiyen kuvvet
V_M	: En büyük deprem yer hareketi düzeyi için hesaplanan üst yapıya etkiyen kuvvet
y	: Hesap yapılan doğrultuda bina rijitlik merkezini en dışta bulunan izolatöre olan dik uzaklığı
β_e	: Yerdeğiştirme çevriminde sönmölenen enerji
η_D, η_M	: Sönüm Ölçeklendirme Katsayıları
ξ	: Etkin Sönüm Yüzdesi
μ_1, μ_2	: İzolatörün üst ve alt sürtünme katsayıları
μ_s	: Sürtünme Katsayısı
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
ÇDH	: Çapraz Doğrusal Hareket Sistemi
DCFP	: Çift Eğrilikli Sürtünmeli Sarkaç İzolatörler
DD-1	: En Büyük Deprem Yer Hareketi
DD-2	: Tasarım Deprem Yer Hareketi
DGT	: Dayanıma Göre Tasarım
FEMA	: Federal Acil Yönetim Teşkilatı
FPS	: Sürtünmeli Sarkaç Sistemi
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi
HDRB	: Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatör
KK	: Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi
KH	: Kontrollü Hasar Performans Düzeyi
LRB	: Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör
LRDB	: Düşük Sönümlü Kauçuk İzolatör
R-FBI	: Esnek Sürtünmeli Taban İzolasyon Sistemi
SH	: Sınırlı Hasar Performans Düzeyi

ŞGDT:	: Şekil Değiştirmeye Dayalı Tasarım
TASS	: Tasei Sarsıntı Süspansiyon Sistemi
TFP	: Üç Eğrilikli Sürtünmeli Sarkaç İzolatörler
TKM:	: Tabakalı Kauçuk Mesnet Sistemi
YZM	: Yeni Zelanda Mesnet Sistemi
XY-FP	: Çekme Alabilen Sürtünmeli İzolatörler



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yer kabuğunda gerçekleşen kırılmalar sebebiyle aniden meydana gelen titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yeryüzünü sarsma durumuna ‘deprem’ denilir. Deprem, insanın üzerinde yaşadığı ve hareketsiz sandığı ya da kabul ettiği, üzerine yapılarını inşa edip içinde yaşadığı yer küreninde bir gün hareket edip can kaybı veya yapı göçmelerine neden olabileceğini gösteren bir doğa olayıdır. Deprem, şiddet ve büyüklük ile ifade edilmektedir. Şiddet ile kastedilen yarattığı hasarın ölçütü, büyüklük ise ortaya çıkardığı enerjinin ölçütüdür. Bilindiği üzere ülkemiz dünyanın en aktif deprem kuşaklarından birinde yer almaktadır. Geçmiş yüzyıllardan beri ülkemizde yıkıcı hasara neden olan birçok deprem olmuş ve gelecekte de olması muhtemeldir. Deprem Tehlike Haritası’na göre ülkemizin %92’sinin deprem bölgelerinde bulunduğu, ülke nüfusunun %95’inin deprem tehlikesinde yaşamını sürdürdüğü ve aynı zamanda büyük sanayi merkezlerinin %98’i ve barajlarımızın %93’ünün deprem bölgesinde bulunduğu tahmin edilmektedir [1].

İlk çağlardan beri, depremler sebebiyle büyük felaketlerin yaşandığı, tarihi eser ve kalıntılardan anlaşılabilir. Son yarım asrı aşkın süre içerisinde depremler nedeniyle 60 bin vatandaşımız hayatını kaybetmiş, 125 bin insan yaralanmış, yaklaşık 415 bin bina yıkılmış veya ağır hasar görmüştür. Bu nedenle depreme karşı her zaman hazırlıklı olmak bir zorunluluktur [2].

Yapılan araştırmalar ile birlikte zemin-yapı arasındaki etkileşimin azaltılmasıyla birlikte depremlerin yapılar üzerindeki etkilerinin azaltılabileceği ortaya çıkarılmıştır. Bu amaçla zemin ve yapıyı kısmen birbirinden ayıran deprem izolatörleri geliştirilmiştir. Yapıyı zeminden izole etmek gayesiyle kullanılan yalıtım sistemleri deprem hareketinin yapılarda oluşan etkilerini azaltabilmektedir [87].

Deprem yönetmeliği 2007’ye göre hafif şiddetteki depremlerde yapıların hasar almamaları, orta ve yüksek şiddetteki depremlerde yapıların sünekliğini kullanıp hasar alarak can güvenliğinin sağlanması beklenmektedir. Ayrıca Deprem Yönetmeliği 2007’de depremler şiddetlerine göre hafif, orta ve büyük olarak tanımlanmışlardır [3]. Türkiye

Bina Yönetmeliği 2018’de ise deprem şiddetleri dörde ayrılmış ve beklenen performans hedefleri ise yönetmelikte TBDY 2018 Tablo 3.5 ‘te verilmiştir [4].

Görüldüğü üzere yönetmelikler can güvenliğini temel alıp yapıların kontrol altında yani yıkılacağını haber verecek şekilde hasar almasını öngörmektedirler. Yapıların depremin enerjisini hasar alarak sönmemesine izin vermek günlük hayatın kesintiye uğramadan sürdürülebilmesi için gerekli olan yapılar (köprüler, hastaneler, okullar, santraller vb.) için tasarlandığı amaca hizmet edememesinin yanında büyük bir ekonomik kayıp oluşturmaktadır. Öte yandan büyük yer hareketlerinin etkilerini yok etmek ya da hafifletmek için yapılacak olan yapının dayanımını artırmak, görelî kat ötelemelerini azaltırken yapıda büyük kat ivmelerinin oluşmasına sebebiyet verir. Yüksek kat ivmeleri ise fonksiyonelliği önemli olan ya da içinde çok önemli derecede malzeme veya eşya bulunduran müze ya da hastane gibi yapılarda sorunlara sebep olmaktadır. Bu durumda yüksek kat ivmelerini sınırlandırmak istenildiğinde yapının sünekliği artırılabilir ancak, sünekliği artırmak görelî kat ötelemelerini artıracaktır. Bu iki istenmeyen durumun oluşmasını engellemek için bazı yapı kontrol yöntemleri ortaya çıkmıştır. Bu kontrol yöntemleri, yapının büyük yer hareketlerine karşı koyabilmesi için yapının dayanımını artırmak yerine büyük yer hareketlerinin yapıda oluşturacağı etkinin azaltılması esasına dayanır. Yapı kontrol yöntemlerinin dünyada ve ülkemizde en yaygın kullanılan türü sismik izolasyon yöntemidir. Sismik izolasyon yöntemi, zemin ile yapı arasında oluşan etkileşimi azaltır ve yapının tabanında, düşeyde rijit ancak yatayda esnek, hedeflenen miktarda yerdeğiştirme kapasitesine sahip aygıtlar yerleştirilerek üst yapıyı yer hareketinden izole etme yöntemidir [5].

Sismik izolasyon yönteminde kullanılan sismik izolatörler, deprem ardından hayatın sürdürülebilmesi için hemen kullanılması gereken okullar, hastaneler, enerji dağıtım şebekeleri, kolluk kuvvetleri binaları, terminaller ve köprüler de sıklıkla kullanılır [6].

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, deprem kuvvetleri etkisindeki ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 12 katlı bir hastane binasının dinamik analizlerini zaman tanım alanında hesap yöntemi ile TBDY 2018 göre yapmak ve elde edilen sonuçları her iki bina için de karşılaştırmaktır. Aynı zamanda elde edilen sonuçlar ile sismik izolasyon kullanımının kat yerdeğiştirmelerini, kat ivmelerini ve kat kesme kuvvetlerini azalttığını elde etmektir.

1.3. Konu ile İlgili Önceden Yapılmış Çalışmalar

Sismik izolasyon metodu, yapıya etkiyen deprem kuvvetlerini azaltmak için kullanılan çok etkili bir yöntemdir. Yapıya gelen deprem etkisini sönümleyerek taban kesme kuvvetlerini ve kat ivmelerini oldukça azalttığı bilinmektedir. Ülkemizde de son yıllarda sismik izolasyon uygulaması oldukça kullanılır bir hale gelmiş, üzerinde birçok çalışmalar yapılmış ve yerli üretim izolasyonlar uygulanmıştır [34].

Yapılar için uygulama bulmuş olan sismik izolatörün ilkel ilk örneği Jules Touaillon tarafından Amerika' da 1870 yılında yapıldığı bilinmektedir. 1908 yılında 100,000'den fazla kişinin ölümüne neden olan Messimo- Reggio depreminin ardından İtalyan hükümeti tarafından görevlendirilen teknik ekip bu soruna iki farklı tarzda çözüm bulmuştur. Bu çözümlere göre ya yapının yüksekliği sınırlandırılacak, yanal kuvvetlerin etkisinin dikkate alındığı ankastre mesnetlere sahip yapılar inşa edilecekti ya da binaların temeli zeminden ayrılarak zemin ile yapı arasına büyük hareketlere izin verecek şekilde rulman koymaktı. O dönemde ilk yaklaşım daha uygulanabilir bulunmuştur [84].

Yıl 1921 olduğunda ise Imperial Oteli'nin temelinde kullanılan sismik izolatör uygulamasını ortaya atan ünlü mimar Wright olmuştur. Farklı zemin tabakaları için uygulanan sistem ile birlikte Imperial Oteli büyük Tokyo depremini yıkılmadan atlatabilen nadir yapılardan biridir.

Martel (1929), depreme dayanıklı yapı tasarımının ilk düşüncelerinden biri olan birinci katın esnek inşa edilme fikrini ortaya atmıştır. Ancak sonradan yapılan çalışmalarda birinci katın inşa edilmesi zor olduğundan sismik izolasyon uygulanması üzerinde tartışılmıştır. Depremin yapıya etkidiği noktanın tam olarak tahmin edilememesinden dolayı bu fikir zamanla önemini kaybetmiştir. Bu fikrin yerini iki yönde hareket edebilen mesnetleri kullanma fikri almıştır [21].

Davranışları açısından sismik izolatörler iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar sürtünmeli ve kauçuk sismik izolatörlerdir. Kauçuk izolatörler ilk defa Makedonya'da bulunan 3 katlı bir ilkokul binasında kullanılmıştır. O yıllarda kauçuk izolatörler içinde çelik levhalar bulunmadığından düşey yönde stabilite sağlanamamıştır. Bina deprem esnasında ileri geri hareket etmiş ve düşey yönde zıplamıştır. Kauçuk mesnet arasına çelik levha eklenerek bahsi geçen olumsuzlukların engellenmesine çalışılmıştır [79].

Zaman ilerledikçe diğerlerine göre uygulanması daha kolay ve dayanıklı olan sürtünmeli sarkaç sistemleri geliştirilmiş ve deneyleri yapılmıştır. Mokha vd. (1996), sürtünmeli sarkaç sistemler ile güçlendirilen binalar ve yeni yapılacak olan yapılarda yaygın olarak uygulanan bir sistem olduğunu belirtmişlerdir [80].

Zayas, Low ve Mahin (1987), sismik izolatörlerin 100 den fazla deprem similasyonu ve deprem kayıtları için deneylerini gerçekleştirmişlerdir [81].

Nagarajaiah [7] tarafından 1991 yılında hazırlanan çalışmada; 3 boyutlu taban izolasyonlu yapıların nonlinear dinamik analizleri yapılmıştır.

Jangit ve Datta [8] tarafından 1994 yılında hazırlanan çalışmada; çift doğrultuda deprem hareketi etkisinde izolasyonlu yapıların davranışlarını incelemiştir.

Tsopelas [9] tarafından 1996 yılında yapılan çalışmada; sarsma tablasında izolasyon uygulanan ve izolasyon uygulanmayan bir köprünün dinamik etkileri elde edilmiş, izolasyonlu köprüde sönümleyici sıvılar ve kayıcı mesnetleri kullanarak çeşitli deneyler yapılmıştır.

Naeim vd. [10] tarafından 1999 yılında sismik izolasyon tasarımı hakkında detaylı bilgiler içeren "Design of Seismic Isolated Structures" kitabı yayınlanmıştır.

Ateş [11] tarafından 1999 yılında yapılan çalışmada; viskoelastik taban izolasyonlu binaların lineer olmayan dinamik analizi sürtünmeli ve kauçuk izolasyon sistemleri kullanılarak elde edilmiştir.

Asher vd. [12] tarafından 2001 yılında yapılan çalışmada; yakınındaki fay hatlarına uzaklığı 3 ve 15 km gibi yakın mesafelerde bulunan Arrowhead Bölge Sağlık Merkezinin yüksek sönümlü kauçuk izolatör ve viskoz sönümleyicilerle tasarımı yapılmıştır.

Wu vd. [13] tarafından 2002 yılında yapılan çalışmada; kauçuk izolatörlü ve izolatörsüz beş katlı yapının sarsma tablası yardımıyla dinamik karakteristikleri elde edilmiştir. İzolatörün etkinliğini belirlemek için belirli depremler altında dinamik analizleri yapılmış ve maksimum yerdeğiştirme, görelî yerdeğiştirme, taban kesme kuvvetleri ve ivmelerin önemli derecede azaldığı gösterilmiştir.

Tsai, Chiang ve Chen [83] tarafından 2003 yılında yapılan çalışmada; sürtünmeli sarkaç sistemlerin yakın fay etkisi altındaki yapısal davranışı incelenmiştir. Bu çalışmada, o dönem için gelişmiş bir taban izolatörü olan değişken eğrilikli sürtünmeli sistem (VCFPS) önerilmiştir. İzolatörün yerdeğiştirme artışı ile bu sistemin eğrilik yarıçapı uzamaktadır. Böylelikle taban izolasyonlu yapının temel titreşim periyodu yakın fay etkisindeki yer hareketinin hakim periyodundan uzaklaştırılmaktadır. Ayrıca bu çalışmada,

VCFPS sisteminin sonlu eleman formülasyonu da verilmektedir. Bu çalışmanın sonuçları göstermiştir ki; bu taban izolasyon sisteminin kullanılması ile yakın fay etkisindeki yapının kat ötelenmeleri ve taban kesme kuvvetleri arzu edilen aralıkta kontrolü sağlanabilmektedir. Bu nedenle yakın fay etkisindeki yapılarda kullanılması önerilmektedir.

Hong vd. [14] tarafından 2004 yılında yapılan çalışmada; esnek sürtünmeli taban izolasyon sistemli yüksek katlı yapıların gösterdiği performans incelenmiş ve metodolojinin uygunluğu elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır.

Özpalanlar [15] tarafından 2004 yılında yapılan yüksek lisans tezinde; enerji yutan yöntemler ve sismik izolasyonun açıklaması ve çalışmalarına yer verilmiş, ayrıca sayısal model oluşturulup etkinliği incelenmiştir.

Celep ve Kumbasar [16] tarafından 2004 yılında deprem dayanıklı yapı tasarımı, deprem mühendisliği, deprem sonrası hasar belirleme ve güçlendirme yöntemleri hakkında detaylı bilgiler içeren “Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı” kitabı yayınlanmıştır.

Ateş vd. [82] tarafından 2004 yılında yapılan çalışmada; sürtünmeli sarkaç izolatörler ile modellenen üç açıklıklı köprüyü ele almışlardır. İzolasyonlu ve izolasyonsuz köprülerin dinamik analizlerinden elde ettikleri periyotları, yerdeğiştirmeleri, ivmeleri ve kesme kuvvetlerini karşılaştırmışlardır. Yaptıkları analizler ile sismik izolasyonun periyotları artırdığını, diğer etkileri ise önemli ölçüde azalttığını göstermişlerdir.

Uyar [17] tarafından 2005 yılında yapılan çalışmada; temel izolasyonu ve izolasyonda kullanılan yöntemler hakkında bilgi verilmiş, yönetmeliklere göre sismik veriler incelenmiş, izolasyonlu ve izolasyonsuz yapılar analiz edilerek karşılaştırılmıştır.

Ercan ve Nuhoglu [18] tarafından 2005 yılında yapılan çalışmada; konut türü yapılar üzerinde dinamik davranış açısından sismik izolasyonun etkinliğini incelemek amacıyla farklı kat ve planlara sahip izolasyonlu ve ankastre mesnetli yapıların modellenmesi ve analizi yapılmış, elde edilen verilerle sismik izolasyonun deprem etkisini azalttığı gösterilmiştir.

Yücesoy [19] tarafından 2005 yılında yapılan çalışmada; literatürde bulunan sismik izolatörlerle ilgili genel bilgiler verilmiş, sismik izolatörlerin yapı üzerinde oluşturduğu davranışı belirlemek amacıyla 5 katlı yapı sismik izolasyonlu ve izolasyonsuz olarak analiz edilmiş ve dinamik parametreler açısından karşılaştırılmıştır.

Türker [20] tarafından 2005 yılında yapılan çalışmada; sismik izolasyon yöntemlerinin tarifi yapılmış, söz konusu yöntemin etkinliğini ortaya koymak için iki adet hastane binası; bir tanesi perdeli-çerçeve taşıyıcı sistemli diğeri ise kurşun çekirdek izolatörlü olmak üzere modellenip belirli deprem kayıtlarıyla dinamik analizleri yapılmıştır. Ayrıca iş kalemleri ortaya konularak perdeli sistem ve sismik izolasyonlu sistemin maliyet analizi yapılmış ve sismik izolasyonlu sistemin daha az maliyet getirebileceği gösterilmiştir.

Ayhan [21] tarafından 2006 yılında yapılan çalışmada; uzun ve kısa periyotlu iki yapıda, geleneksel güçlendirme ve sürtünmeli sarkaç sistemler ile güçlendirme teknikleri kullanılarak güçlendirme yapılmış, dinamik analizleri yapılarak bu güçlendirme sistemlerinin etkinliği kıyaslanılarak irdelenmiştir.

Urgu [22] tarafından 2006 yılında yapılan çalışmada; sismik izolasyon yöntemlerinin tarifi yapılarak mekanik özellikleri ve teorik esaslar detaylı bir şekilde verilmiştir. Ayrıca üç farklı tip sismik izolasyon tipi SAP 2000 sonlu eleman paket programı kullanılarak analizi yapılmış ve dinamik veriler karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

Mum [23] tarafından 2006 yılında hazırlanan çalışmada; İzmit ilindeki bir betonarme köprüye kauçuk izolatörler uygulanmış, SAP 2000 paket programıyla modellenerek analizi yapılmış ve elde edilen verilere irdelenerek sunulmuştur.

Yılmaz vd. [24] tarafından 2006 yılında hazırlanan çalışmada; Türkiye’de ilk kez kullanılan kurşun çekirdekli izolatör yerleştirilerek güçlendirme işleminin Antalya Havalimanında operasyon kesintisine neden olmadan nasıl gerçekleştirildiğinin ayrıntılarına değinilmektedir.

Hoşbaş [25] tarafından 2006 yılında hazırlanan çalışmada; çok katlı betonarme yapının perdelerle güçlendirilmiş ve sismik izolatör uygulanmış hali yapısal davranış ve inşaat maliyeti yönünden karşılaştırılmıştır.

Daniel M. Fenz ve Michael Constantinou [84] tarafından 2006 yılında yapılan çalışmada; çift eğrilikli sürtünmeli sarkaç sistemin davranışı analitik ve deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmada, çift eğrilikli sürtünmeli sarkaç sistemdeki iki adet kayan yüzeyin sürtünme katsayısı ve eğrilik yarıçaplarının farklı olması durumları incelenmiştir. Eğrisel yüzeyler için genelleştirilmiş kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi ve mafsallı kayıcının yüksekliğinin etkisi sunulmuştur. Ayrıca kayma hareketinin temel prensipleri ve karakteristikleri sunulmuştur. Bu sistemin davranışı, iki tek eğrilikli sürtünmeli sarkaç sistem ve kayıcı mafsallı kütlesinin birleşimi olarak modellenabilir. Geleneksel sürtünmeli

sarkaç sistemle karşılaştırıldığında çift eğrilikli sarkaç sistem kuvvet deformasyon ve kapasite ilişkisini sunan bir dizi parametre sunar. Bu sistemin temel yararı plan boyutlarındaki geleneksel sürtünmeli sarkaç sisteme göre oldukça büyük yerdeğiştirme yapabilme kapasitesidir. Ayrıca, denge durumu göz önüne alınarak kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisinin gelişimi sunulmuş, aynı ve farklı sürtünme katsayısı ve yarıçaplar kullanılarak yapılan karakterizasyon testleri ile bu gelişim onaylanmıştır.

Pekgökgöz vd. [26] tarafından 2007 yılında yapılan çalışmada; 2007 deprem yönetmeliğine göre 1. derece deprem bölgesinde olduğu varsayılan 6 kata sahip betonarme bir konutun sismik izolasyonlu ve ankastre sistemli modelinin İdeCAD Statik ve ETABS paket programları kullanılarak maliyet analizi yapılmıştır. Ayrıca sismik izolasyon uygulamasının o günün şartlarında %40-45 arası ek bir maliyet getireceğini göstermiştir.

Erdik [5] tarafından 2007 yılında yapılan çalışmada; uluslararası nitelikli ABD, AB ve Japonya yönetmelikleri incelenmiş ve ülkemizdeki uygulamalarla ilgili bilgiler verilmiştir.

Tracy C. Becker ve Stephen A. Mahin [85] tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada; üç eğrilikli sürtünmeli sarkaç izolatörlerin iki ortogonal doğrultudaki analitik ve deneysel çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmada, üç eğrilikli sarkaç izolatörler için nonlineer kinematik bir model oluşturulmuş, analitik olarak incelenmiş ve iki yatay yöndeki davranışı elde edilmiştir. Deneysel davranış analizi için Berkeley Peer Earthquake Simulator laboratuvarında rijit bloklar üzerine monte edilmiş sarkaç izolatörler üzerinde hem deplasman kontrollü hem de deprem hareketi etkisinde toplam 58 adet deney yapılmıştır. Elde edilen sönüm grafikleri analitik modellerle karşılaştırılarak sunulmuştur. Kontrollü deplasman analizi için kullanılan hareket karakteristikleri için sinüs dalgası, dairesel, karesel ve sekiz figürlü yörüngeler kullanılmıştır. Kontrollü-yerdeğiştirme hareketi için yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarının karşılaştırılmasından elde edilen bulgulara göre; karmaşık 2D titreşimlerinde dahi çalışmada önerilen model izolatör davranışını kesin olarak tanımladığı görülmüş ve neredeyse deprem tepkisini oluşturmuştur. Deneysel çalışmalar 2D titreşimli davranış karakteristiklerini anlamak ve TFP (Triple Friction Pendulum) izolatörlerinin iki yönlü analitik modelini geçerli kılmak için gerçekleştirilmiştir.

Yurdakul [87] tarafından 2011 yılında yapılan yüksek lisans çalışmasında; üç eğrilikli sürtünmeli sarkaç izolatörlü yapıların dinamik davranışına zemin eğilebilirliğinin

etkisini incelemiştir. Bu amaçla SAP2000 paket programında 8 katlı düzlem çerçeve ve Gülburnu Köprüsünün modellerinin analizi yapılmıştır. Aynı zamanda yapılan analizler ile birlikte, zemin-yapı etkileşimi dikkate alındığında izolasyon uygulanmış durumdaki taban kesme kuvvetinin %30 azaldığını belirtmiştir.

Kitayama ve Constantinou [86] tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada; ASCE/SEI 7' ye göre tasarlanan sismik izolasyonlu ve sismik izolasyonlu olmayan binaların sismik çökme performansının analitik çalışması yapılmıştır. Çalışmada; Kaliforniya'daki 6 katlı çevresel çerçeve ve özel eşmerkezli çapraz çerçeve izolasyonlu bina ASCE/SEI 7-10 ve ASCE/SEI 7-16 yönetmeliklerinin minimum kriterlerine göre incelenmiştir. Kullanılan sismik izolasyon sistemi, yerdeğiştirme kısıtlayıcısı olmayan ve büyük yerdeğiştirmelerde katılma davranışına sahip üç eğrilikli sarkaç sistemdir. Buna ek olarak, iki eğrilikli kayıcı izolatörler, ASCE/SEI-7 'nin minimum kriterlerine göre tasarlanıp kullanılmıştır. Ayrıca moment çerçeve ve çaprazlı ankastre binalar ASCE/SEI - 7' nin minimum kriterlerine göre tasarlanıp üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda istatistiksel hesaplamalar ile çökme olasılığı verileri elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler ışığında; ASCE/SEI 7-10 veya ASCE/SEI 7-16 ' ya göre tasarlanan izolatörlü binalarda dikkate alınan risk hedefli deprem için kabul edilemeyecek oranda çökme olasılığı bulunmuştur. Ayrıca, bu yönetmeliklerin minimum kriterlerini karşılayan ancak yerdeğiştirme kısıtlayıcı mekanizmaya sahip olmayan sismik izolasyonlu binalarda da kabul edilemeyecek oranda çökme olasılığına sahip olduğu gözlenmiştir.

Paolo Calvi ve Gian Calvi [74] tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada; günümüzde ülkemizde de yaygın olarak kullanılan sürtünmeli sarkaç izolatörlerin gelişiminin günümüze kadar olan serüvenini ele almışlardır. Klasik sürtünmeli sarkaç izolatörler, çift eğrilikli sarkaç izolatörler, üç eğrilikli sarkaç izolatörlerde kullanılan düşük sürtünmeli malzemeler, ısınma etkileri, bağlantı basınçları ve hızları geçmişteki çalışmalar, günümüzün nümerik ve deneysel çalışmalarının ışığında ele alınmıştır. Avrupa'da yapılmış iki çalışma (Bolu viyadüğü ve Complessi Antisismici Sostenibili Ecocompatibili projesi) ele alınmıştır. Aynı zamanda izolatörlerde kalkmayı önlemek için geliştirilen sürtünmeli sarkaç sistemlerin şimdiye kadar tam olarak çözüm getirilemeyen yüksek düzey ivmelerin tepkisi, izolatör kalkması durumu (çekme alması) ve kalıcı yerdeğiştirme konuları ele alınmıştır. Son olarak yenilikçi bir izolatör türü olan ve oluşabilecek çekme gerilmelerine karşı koyabilecek tasarıma sahip olan XF-FP izolatörlerine değinilmiştir.

Sismik izolasyon uygulamalarıyla ilgili yapılan deneysel ve teorik çalışmalar zaman geçtikçe çoğalmış ve literatürde yer edinmiştir [28-88].

1.4. Sismik İzolasyon Metodu

1.4.1. Sismik İzolasyon Kavramı

Yüzyıllardır dünyada ve ülkemizde birçok yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Bu depremler nedeniyle birçok kişi yaşamını yitirmiş ya da yaralanmış, birçok önemli bina göçmüş ve insanlığın yıllar boyu süregelen birikimi çok büyük miktarda zarar görmüştür. Bu duruma birçok mühendis, mimar ve araştırmacı çözüm bulmak için uğraşmıştır.

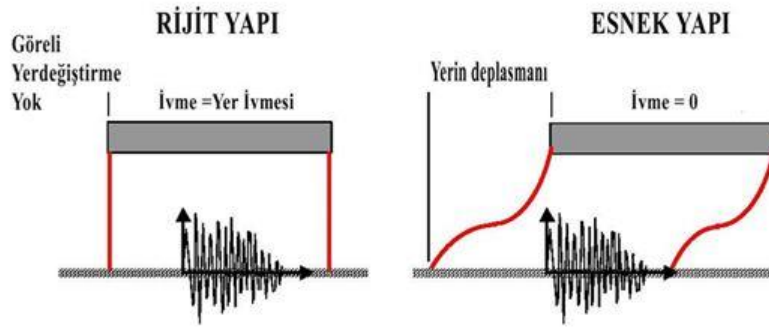
Yönetmelikler, yapıların göçmeden ayakta kalarak hasar alsa bile can kaybı olmamasını hedefler. Ancak taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasar vakit, para ve değer kaybıdır. Bu nedenle depremden sonra hemen kullanılması gereken, içinde özel ve kıymetli eşyalar barındıran hastane, santral, itfaiye binası, müze gibi yapıların güçlendirilmesi ekonomik olmamaktadır.

Deprem nedeniyle yapıda oluşan enerji ya ısı enerjisine dönüşerek kaybolur ya da potansiyel ve kinetik enerjiye dönüşür. Sismik izolasyon sistemleri gibi yapıya eklenen sistemler ile birlikte deprem nedeniyle oluşan enerjinin yapıya etki eden kısmı önemli ölçüde azaltılarak yapının depreme karşı ayakta kalabilmesi için gerekli performans sağlanmaktadır. Bu yöntem ile yapının deprem enerjisi nedeniyle yapacağı hareket, yapıdaki izolatörler tarafından yapıldığı için oluşacak enerjinin bir kısmı sönmekte olduğundan yapıya etkileyen deprem yükü azalmaktadır. Böylece yapının depreme karşı gösterebileceği performansı veya dayanımı artırılmış olmaktadır [19].

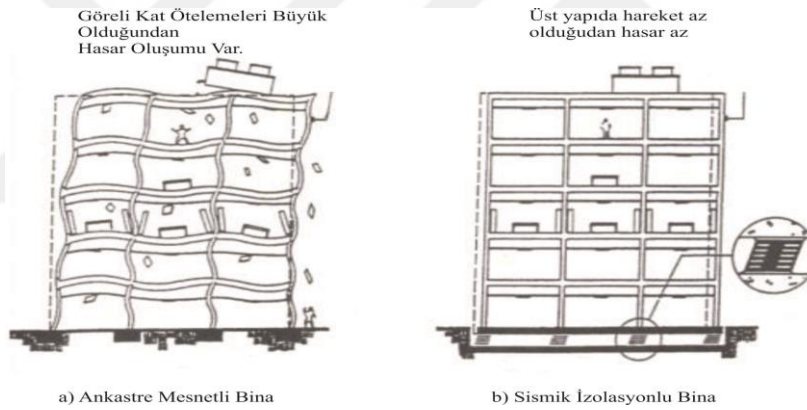
Sismik izolasyon metodu, yapıların depremden sonra ayakta kalabilmesi için keşfedilmiş bir yöntemdir. Sistemin hedefi deprem esnasından yapıya etkileyen dinamik yüklerin azaltılmasıdır. Sismik izolasyon, yapının depreme karşı dayanımını artırmak yerine depremden dolayı etkileyecek yüklerin azaltılmasını esas alan bir depreme dayanıklı yapı tasarımı anlayışıdır. Sismik yalıtım anlayışında, yapının yer hareketinden oluşacak yatay yükün 5-6 kat daha az bir yanal yükü taşıyabileceği öngörülür. Şiddetli sayılan bir depremde ise yapının depreme karşı direnç gösterebilmesi ve göçmemesi sağlanır [19].

Geleneksel depreme dayanıklı yapı tasarımında depreme yapının karşı koyması, ya dayanımı ve rijitliği yüksek ya da yüksek sünek özelliğe sahip olmasıyla sağlanır. Yapı

dayanımı ve rijitliği fazla olması periyodun azalmasına ve dolayısıyla spektral ivme artışına yol açarak daha fazla deprem yüküne neden olur. Yüksek sünek olması ise görelî kat ötelemelerinin artışına yol açar. Bu iki olumsuz duruma sebep olmadan deprem yüklerini sönmülemenin ya da depremden yıkıcı hasar almadan kurtulabilmek için keşfedilen alternatif yöntem sismik izolasyon metodudur [27].

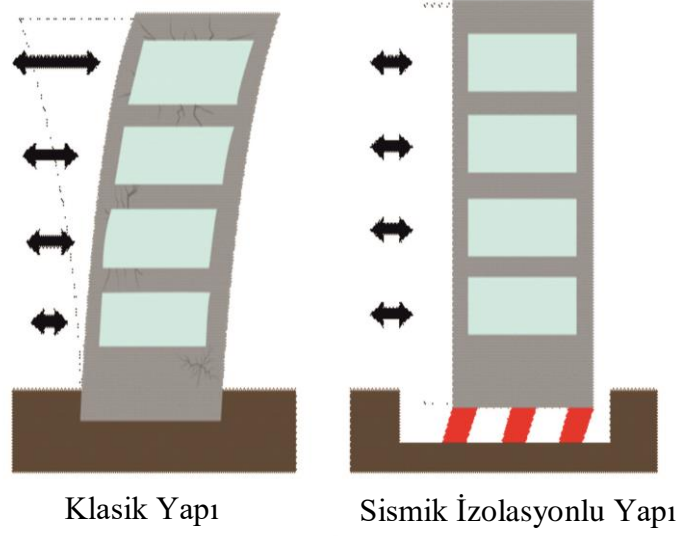


Şekil 1.1. Yapının deprem yükleri altında davranışı [15].



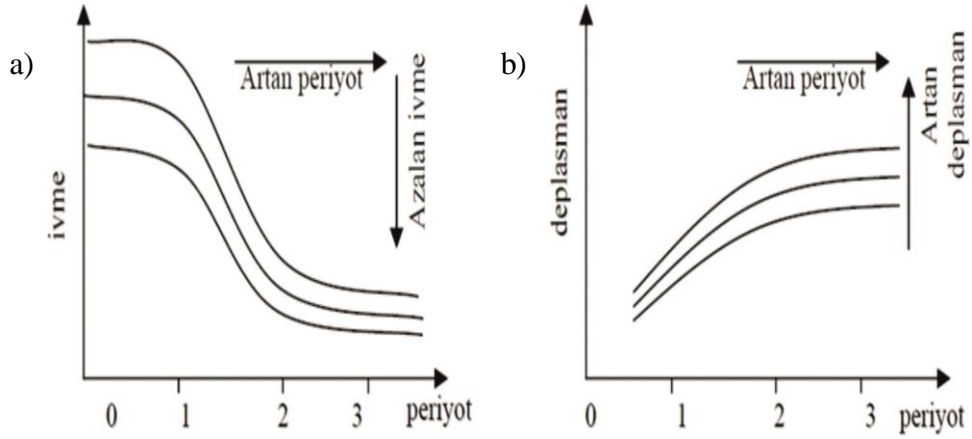
Şekil 1.2. Kat ivmelerinin iki farklı yapıdaki etkileri [25].

Sismik izolasyon metodunda; genelde yapı ile temeli arasında yerleştirilen, düşey rijitliği çok yüksek, ancak yanal rijitliği yer değiştirme yapabilmesi için düşük malzemeler ile yapı ve zemin arasındaki etkileşim sınırlandırılmaktadır. Yapı temeli haricinde yapının farklı bölgelerinde (katlar arası, kolon ortası, çatı vb.) montajı yapılabilmektedir. Ancak büyük kısmı yapının temel seviyesinde uygulandığından "taban izolasyonu" adı da verilmektedir [10]. Aşağıdaki şekilde ankastre mesnetli klasik yapı ve sismik izolasyon uygulanmış yapı şematik olarak gösterilmiştir.



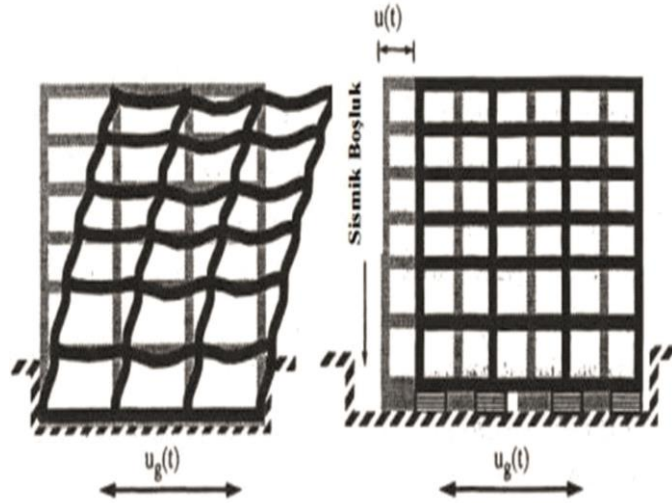
Şekil 1.3. Ankastre mesnetli yapı ve sismik izolasyon uygulanmış yapı

Deprem hareketi sırasında yapının titreşim periyodu ile zeminin hakim periyodunun aynı ya da yaklaşık olduğu hallerde deprem nedeniyle oluşan yükler birkaç kat artabildiğinden dolayı uzun periyoda sahip yapılar kısa periyoda sahip zeminlere, kısa periyoda sahip yapılar ise uzun hakim periyoda sahip zeminlere inşa edilerek oluşacak bu rezonans durumundan kaçınılmaya çalışılmaktadır [27]. Sismik izolatörler yaptıkları büyük yatay yer değiştirmeler ile zeminden gelen düşük periyotlu ve yüksek frekanslı titreşimleri, yüksek periyotlu ve düşük frekanslı titreşimlere çevirerek spektral ivme değerini azaltır (Şekil 2.3). Yönetmeliklerden de görülebileceği gibi gelen deprem yükü spektral ivme ile doğru orantılı olduğundan yapının taban kesme kuvveti yani bir anlamda hasar büyük oranda düşer [25].



Şekil 1.4. a) Artan periyodun spektral ivme ve b) yerdeğiştirmeye etkisi [47].

Şekil 2.3 yorumlanacak olursa, belirli bir sönüm oranı için verilen grafikte periyot arttıkça oluşan ivmenin düştüğü, ancak deplasmanın arttığı söylenebilir. Fakat, deplasmanın büyük çoğunluğu izolator katında oluşur ve üst yapı rijit kütle hareketi yapar. Bu rijit kütle hareketinden dolayı, üst yapıdaki görel kat ötelemeleri önemsenmeyecek düzeyde kalır (Şekil 2.4). Görel kat ötelemeleri sınırlandırıldığından oluşacak olan hasar ya da plastik mafsallar sınırlandırılacağından yapının güvenlik elde edilmiş olur [12].



Şekil 1.5. Klasik yapı ve izolasyonlu yapının yer değiştirmesi [51].

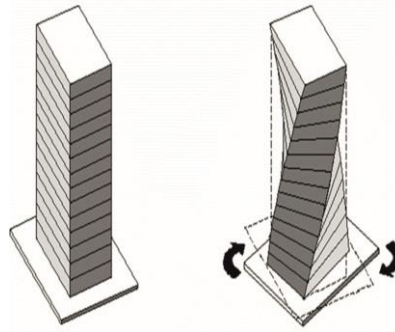
Genellikle depremlerin düşey bileşeninin büyüklüğü, yatay bileşenlerine göre düşük seviyededir. Bu sebepten ötürü, yapıyı depremden yalıtılmak için kullanılan izolatörlerin, genellikle yüksek düşey rijitliğe sahip olacak biçimde tasarımı yapılır. Bu amaçla tasarlanan yapı yatay yönde tek serbestlik dereceli sarkaç gibi davrandığı düşünülebilir. İyi

bir tasarım ile belli bir kütlesi olan taban izolasyonlu bir yapı, zeminin hakim frekansından uzak bir titreşim frekansına sahip olacak özellikte tasarımı yapılabilir [19].

1.4.2. Sismik İzolasyon Uygulamasının Katkıları

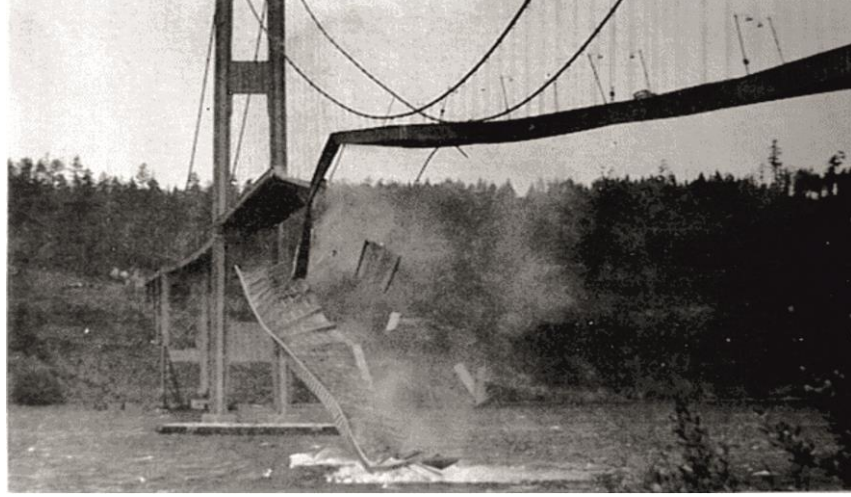
Sismik izolasyon uygulaması deprem nedeniyle oluşacak kat ivmeleri ve görelî kat ötelemeleri sorununa aynı anda çözüm olur. Uygulandığı yapının titreşim periyodunu, ankastre mesnetli sistemin titreşim periyodunun birkaç katına çıkararak yapının esnekliğini artırmış olur. Esnekliği artmış bir yapının kat ivmeleri yapıya zarar vermeyecek seviyeye düşmüş olur. Böylelikle içinde değerli eşya barındıran yapılar, depremin vereceği maddî zarardan kurtulmuş olur. Esneklikten dolayı oluşacak görelî kat ötelemeleri yalıtım katında oluşur ve üst yapı rijit kütle hareketi yapacağından görelî kat ötelemeleri sınırlandırılmış olur. Yapıda elastik ötesi davranışlara çoğunlukla görelî kat ötelemeleri neden olduğundan sismik izolasyon kullanımıyla yapının hasar alması önlenmiş veya sınırlandırılmış olur.

Doğru tasarlanmış bir izolasyon sistemi ile üst yapının dış merkezliğinden dolayı oluşabilen burulma halinden de kaçınılabilmektedir. İzolasyon sistemi ile üst yapının rijitlik sistemi karşılaştırılarak burulma etkileri yapıdan izole edilebilir [25].



Şekil 1.6. Yapılarda burulma halinin etkisi [25].

Sismik izolasyonun en önemli özelliğinden biri, yapının titreşim periyodunu artırması veya frekansını azaltmasıdır. Böylece zeminin hakim frekansından yapının frekansı uzaklaştırılarak rezonansın yıkıcı etkisinden yapı uzaklaştırılabilir [51].



Şekil 1.7. Tacoma köprüsünün rezonans etkisiyle yıkılması [52].

Sismik izolasyonun bilinen diğer kazanımı ise enerji dağıtım olayıyla ilgilidir. Geleneksel depreme dayanıklı yapı tasarımında enerji dağılım işleyişi yapı içinde dağılmış alanlardaki plastik mafsalları ile oluşmaktadır. Sismik yalıtım sisteminde ise enerji dağılım işleyişinin büyük çoğunluğu izolasyon seviyesinde gerçekleşir, böylece tersinir yükler etkisindeki birçok plastik çevrimlere karşı koyabilmesi için basit bir tasarım yapılabilir ve sönüm işleyişinin uygunluğunun gözlemlenebilmesi sağlanabilir. Dikkat çekilmesi gereken önemli nokta, yapı sisteminin enerji dağıtım işleyişinin gerekli görüldüğü takdirde kolaylıkla değiştirilebilmesine olanak sağlamasıdır. Sismik izolasyon uygulanmış bir yapının sönümleme işleyişi üst yapının sünekliğine dayalı olmadığı ve yalıtım sisteminin enerji dağılım işleyişine dayalı olduğu için üst yapının süneklik gereksiniminden tamamen olmasa da kısmen vazgeçilebilir [53].

Tasarımı doğru yapılmış sismik izolatörler yatay deprem yükünün aktarılması ve dağıtılmasının kontrol altına alınmasında kullanılabilir. Sismik izolasyonun klasik depreme dayanıklı yapı tasarımından farklı olarak bu faydayı sağlaması maliyetlerde önemli azalmaya neden olabilmektedir [51].

Sismik izolasyon genellikle temel seviyesinde yoğunlaştığından geçmişte deprem yükü dikkate alınmadan inşa edilmiş tarihi önemi büyük yapılarda, mimari tasarıma diğer güçlendirme yöntemlerinden çok daha az etki ettiğinden dolayı birçok uygulamada kullanılmaktadır. Ofis ya da iş merkezi gibi yüksek yapıların güçlendirilmesinde kullanılan klasik güçlendirme metodları büyük iş kesintilerine sebep olacağından, bu yapılarda

mimariye ve üst yapıya daha az etki yaptığından dolayı genellikle güçlendirme yöntemi olarak sismik izolasyon kullanılmaktadır [51].

Sismik izolasyon yönteminin bir diğer avantajı ise taşıyıcı sistemin olmasa da toplam sistemin sönümünü artırmasıdır. Sismik izolasyonda, taşıyıcı sistemin hasar alarak deprem enerjisini sönümlenme görevi taşıyıcı sistemin üzerinden alınarak taşıyıcı sistemin elastik bölgede kalması sağlanır [39].

Sismik izolasyonda üst yapı rijit kütle hareketi yaptığından, yapının davranışı oldukça sade matematik ifadeler ile elde edilebilir. Bu sisteme sahip yapıların projelendirilmesinde birçok kolaylıklar görülebilir. Aynı zamanda ankastre mesnetli yapıların projelendirilmesinde yapılan bir sürü kabuller olabildiğinden dolayı yapı davranışı öngörülenden farklı olabilmektedir. Sismik izolasyonda ise bu tip durumların görülebilmesi çok düşük bir ihtimale sahiptir [54].

1.4.3. Sismik İzolasyon Uygulamasının Zorlukları ve Dezavantajları

Sismik izolasyon çalışmalarında ortaya çıkan temel problem, yapının ekonomik ömrü boyunca gerçekleşmesi gereken izolasyon seviyesi ile üst yapı arasındaki yerdeğiştirmedir. Yalıtım katındaki yerdeğiştirme izolasyon alanını daraltır. Bu yerdeğiştirme enerji sönümlenme sistemleri kullanarak azaltılabilir. Birçok enerji sönümlenme sistemi var olmasından ziyade kurşun veya çelik gibi metallerin plastik deformasyon yapmasına dayalı sistemler daha çok uygulanmaktadır. Aynı zamanda kullanılan kauçuğun sönümlenme özelliğinin artımına bağlı olarak kullanılan sönüm mekanizmaları da bulunmaktadır. Sismik izolasyon uygulanmasındaki diğer bir zorluk, izolatörlerin havaya kalkması ihtimalidir. Büyük yer hareketleri esnasında, büyük yanal kuvvetler ve oluşturduğu momentlerin etkisiyle eksenel kuvvetlerin yer çekimi kuvvetlerinden büyük değerler alabilmesi muhtemeldir. Bu durumda izolatörlere tasarımda göz önünde bulundurulmayan çekme kuvvetleri etkiyebilir ve izolatörün gerçekleştirilmesi beklenen performansı düşebilir. Montaj ayrıntıları ve yapı planına uygun yerleşimleri ile izolatörlerin kalkması engellenebilir. Yapı yüksekliği arttıkça izolatörün havaya kalkma ihtimali artar. Ayrıca yükseklik/genişlik oranının artmasıyla artan devrilme momentleri izolatör kalkması ihtimalini artıran bir durumdur. Bu nedenden dolayı yüksek yapılarda izolatör uygulaması yapmak zor bir durumdur [25].

Sismik izolasyon teknolojisinin kullanılmasında yapının zemin özellikleri, bulunduğu bölgenin depremselliği, yapının kütlesi ve rijitliği, yapı ve izolatörün diğer tasarım koşulları önem taşısa da inşa edilecek yapının belli bir yüksekliğe sahip olması gerekir. Çok yüksek binalarda ortaya çıkabilecek devrilme momenti nedeniyle yapı tabanında çekme kuvvetleri oluşabilir. Bu nedenlerle kolonları üzerinde aksenal çekme kuvvetleri oluşan yapıda sismik izolatörler tek başlarına kullanılamazlar [22].

Sismik izolasyonun, periyodu rezonans riski taşıyan aralıkta bulunmayan esnek yapılar için uygulanması uygun değildir. Çünkü izolasyonun temel amaçlarından biri oluşabilecek rezonansı engel olmaktır ve izolasyonun esnek yapılara etkisi yoktur. Bu duruma ek olarak, yüksek yapılar rüzgar yüklerine deprem yüklerine nazaran daha hassas olduğundan rüzgar yüklerini engellemek için sismik izolasyonun etkisi yoktur. Yüksek binalar için bu durumlarda enerji sönmek için aktif veya pasif farklı sistemler kullanılabilir [25].

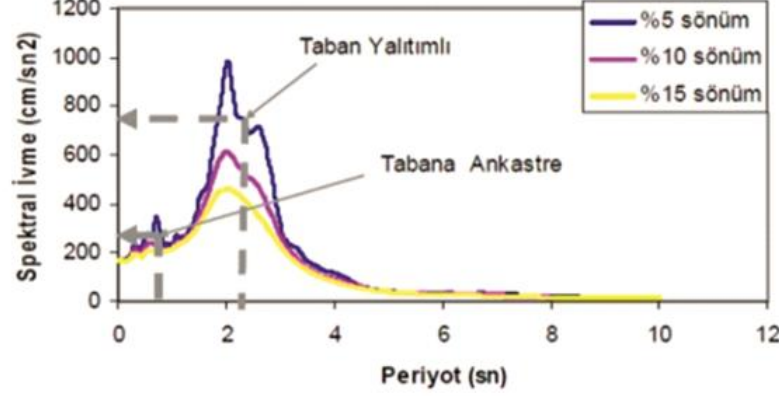
1994 Norridge depremi izolasyon sistemlerine büyük tehdit oluşturmuştur. Faal fay hattı civarlarından alınan kayıtlarda büyük periyoda sahip bileşenler olduğunun farkına varılmıştır. Bu bileşenler sismik izolasyon üzerinde rezonansa benzer büyük yerdeğiştirmelere sebep olmaktadır. Bu nedenle yönetmeliklerde faal ya da aktif fay hattına belli uzaklıktaki yapılara yalıtım sistemi yapılmaması gerektiği söylenilir. [21].

Sismik izolasyon yöntemi ağır kütleli yapılar üzerinde daha etkin çalışmaktadır. Etkili bir izolasyon sistemi oluşturmak için yapı periyodu büyük seçilmelidir. Yapı periyodu yapının kütlesiyle doğru, rijitliği ile ters orantılıdır. İstenen izolasyon periyodunu sağlayabilmek için hafif kütleli yapı düşük rijitlikle ilişkilendirilmelidir. Aksi durumlarda izolasyon beklenen etkiyi göstermeyecektir. Örneğin; elastomerik türdeki izolatörlerin yanal yükler etkisi altında stabilitesini sağlaması için belirli bir minimum çapa sahip olması gerekir. Ancak kayıcı izolatörlü yöntemlerin çapla ilişkisi olmadığından hafif yapılarda bu sistemler kullanılabilir [48].

Sismik izolasyon için en uygun yapılar yapı periyodu 1 sn civarında olan yapılardır. Bu ifade; binalar için on kattan fazla olmayan, rijit çelik çerçeveli yapılar için beş kattan fazla olmayanlar için geçerli olmaktadır. İzolasyon sistemleri yapının periyodunu 1,5-3,5 sn civarına ötelemektedirler. Eğer yapı periyodu halihazırda bu aralığın içinde ise sismik izolasyon yöntemi bu yapıda beklenen etkiyi göstermeyecektir [37].

İzolasyon yöntemi en verimli olarak kaya ve sert zeminlerde uygulanabilmektedir. Yumuşak zeminler zemin hareketinin etkisinin büyümesine ve izolasyon periyot aralığında

rezonansa benzer büyük yerdeştirmelere neden olabilir. Şekil 2.8 'te yumuşak zeminlerde spektral ivmenin değişimi görülmektedir [37].



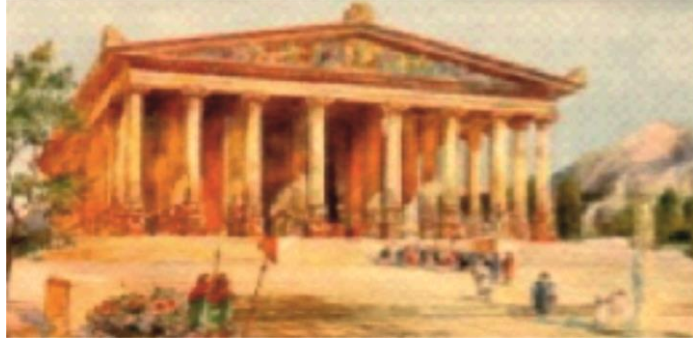
Şekil 1.8. Yumuşak zeminlerde spektral ivme değişimi [37].

Sismik izolatörler deprem anında izolatör seviyesinde büyük yerdeğtirmeler yapmaktadır. Yapı civarında yapı ömrü boyunca kullanılmak üzere 10 cm ila 20 cm arası bir boşluk bırakılması üst yapı ile temel arasında büyük yerdeğtirme yapabilme kapasitesi sağlanması veya yapının büyük bir salınım yapabilmesi açısından çok önemlidir. Bu mesafe belirlenirken bölgenin depremselliğine dikkat edilmelidir. Bundan dolayı sismik izolasyon uygulaması bitişik nizam yapılar için uygun olmamaktadır. Eğer bu boşluk bırakılmazsa çekiçleme denilen durum ortaya çıkabilir ve izolasyon sistemi yerdeğtirme yapamadığından dolayı görevinin yerine getiremez [37,48].

Sismik izolasyon tasarımında rüzgar ve diğer ikinci yanal yüklerin belirlenmesi ve sınırlandırılması yapılmalıdır. Bu ikincil yükler belirlenirken yapının etkin fay hatlarına uzaklığı belirlenmelidir [48].

1.4.4. Sismik İzolasyon Metodunun Tarihi

İlk sismik izolasyon uygulamasının 2500 yıl kadar öncesine dayandığı düşünülmektedir. Dünyanın yedi harikasından sayılan Efes'teki Artemis tapınağının temellerine kömür parçaları ve üstlerine koyun yn konularak zemin düzenlenmiştir [56].



Şekil 1.9. Artemis tapınağı ilkel sismik izolasyon uygulaması [56].

1870 yıllarında Tokyo Üniversitesi Maden Mühendisliği profesörlerinden olan Dr. Milne sismik izolasyon çalışmalarının öncülerindedir. Dr. Milne 25 cm çapında dökme demir bilyelere oturan bir yapı inşa etmiştir. Hafif büyüklükteki bir depremde iyi bir davranış sergilemesine rağmen, kuvvetli rüzgarlar altında stabilite sorunları meydana gelmiştir [56]. Dr. Milne sonrasında yaptığı çalışmalarında bilyelerin çapını 2,5 cm 'ye çevirerek deprem yükleri etkisinde stabilite problemi oluşturmayan bir bina tasarlayabilmiştir [54].

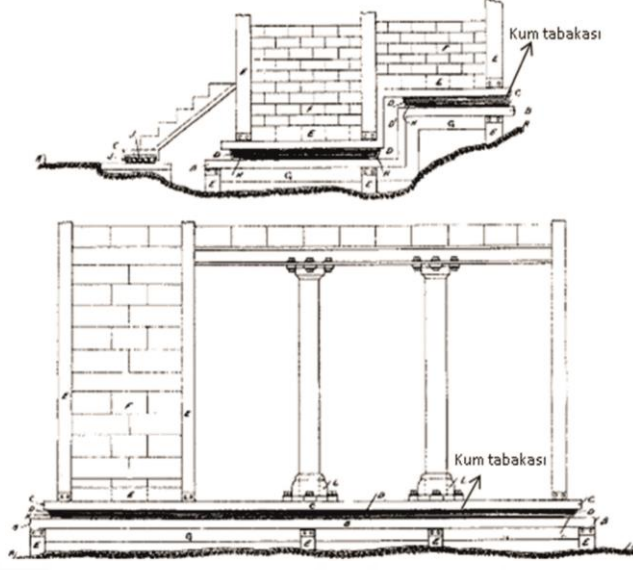
J. Touaillon 1870 yılında çift konkav yüzeyler arasında oturan kürelerin olduğu bir sismik izolasyon yöntemi ile ABD patent ofisine başvurmuştur [41].

A. Westwood 1897 yılında bir blok kayıcının konkav yüzeyleri arasında kaymasından oluşan bir yalıtım sistemi fikri ortaya atmıştır [41].

Jacob Bechtold (Münih) 1906 yılında bina altına uygulanmış rijit bir taban plakasının sert kürelerin üzerinde kaydığı sistem ile ABD patent ofisine başvurdu [41].

Sismik izolasyon yöntemi fikrinin depreme dayanıklı yapı tasarımı önerisi olarak ilk kez 1908 yılında Messimo-Reggio depreminden sonra İtalyan Hükümeti tarafından başlatılmıştır [51].

İngiltere'nin Scarborough şehrinde tıp doktoru olan Johannes Avetican Calantarients tarafından 1909 yılında Santiago'daki sismoloji servisi yöneticisine mektup yazılmış, deprem bölgelerinde ayakta kalabilecek yapılar inşa edebilmek için kayıcı bir sistem önerilmiş ve patent başvurusu yapılmıştır. Sistemin temel ayırıcı malzemesi olarak kum, pudra ve mika kullanılmış, yapı ile temeli ayrılmış, yapının yanal yükler etkisinde kayacağı ve üst yapıya gelecek yükün azalacağı tahmin edilmiştir. Önerilen bu sistem zaman ile geliştirilerek bugünkü haliyle sismik izolasyon ismini almıştır [51].



Şekil 1.10. Dr. Calantarients'in önerdiği sismik izolasyon çalışması [42].

Frank Lloyd Wright, 1921 yılında Tokyo'daki Imperial Hotel'in temellerinde taban yalıtımını düşüncesini hayata geçiren ilk kişi olmuştur. Wright, binanın zemininin 2,5 m kalınlığındaki sağlam zemin tabakası ile onun altındaki yaklaşık 20 cm kalınlıktaki yumuşak çamur tabakasından oluştuğunu belirlemiştir. Wright, binayı yer hareketinden yalıtım için sağlam zemine yakın mesafelerde kazıklar ekleyerek bina ile sağlam zemin tabakasını birleştirmiş ve bunun sonucunda çamur tabakası üstünde hareket eden bir mekanizma oluşturmaya gayret etmiştir. Imperial Hotel binası 1923 yılında meydana gelmiş olan büyük Tokyo depreminden ayakta kalabilen birkaç yapıdan biri olmayı başarmıştır [87].

Bina türü yapılarda birinci katın esnek olması düşüncesi, binalarda izolasyon uygulanması fikrinin ilk yaklaşımlarından olmuştur. Bu yaklaşım 1929 yılında ilk kez Martel tarafından önerilmiştir. Bu konu sonrasında 1935 yılında Green ve 1938 yılında da Jacobsen tarafından irdelenmiştir. Fintel ve Khan tarafından yer hareketi anında oluşan taban kesme kuvvetlerini azaltmak amacıyla birinci kat kolonlarının akma dayanımının yüksek olması gerektiği önerilmiştir [87].

Binalarda birinci katın esnek yapılması oldukça zor olduğundan taban izolasyonu amacı ile hareketli mesnet mekanizmaları önerilmiştir. Bunlardan bazılarının patenti alınıp test edilmiştir [57]. Fakat, depremin yönünün önceden belirlenememesi gerçeği bu tür mesnet mekanizmalarının kullanımının yaygınlaşmasını önlemiştir. Bu nedenle her yönde

hareket edebilen küresel mesnetler ve iki yönde hareketine izin verilen mesnetlerin kullanılması fikri yaygınlaşmıştır [47].

Depremi yalıtılması amacıyla ilk kauçuk mesnet 1969 yılında Yugoslavya'nın Skopje şehrinde üç katlı betonarme bir okul binasında kullanılmıştır. Sistem doğal kauçuk malzemelerden oluşturulmuştur. Kauçuk içerisine ilk başta çelik plakalar yerleştirilmediğinden dolayı düşey yönde gerekli olan rijitlik sağlanamamış ve izolatörler yatay yönde şişmiştir. Uygulanan sistemin düşey yöndeki rijitliği yatay yöndeki rijitliğine yakın olduğundan dolayı, yer hareketi sırasında bina yatay yönde hareket ederken aynı zamanda düşey yönde sıçrama hareketi yapabilmektedir. Bu durumdan kaçınmak ve istenilen düşey rijitliği sağlamak için kauçuk tabakanın arasına çelik plakalar eklenmiştir. Bu gelişmeler ile birlikte yatay yönde rahatlıkla hareket edebilmesi için rijitliği düşük, düşey yönde ise yana doğru şişmemesi için rijitliği yüksek taban izolasyonlu yapılar inşa edilebilmektedir [51].

1970'ten sonra doğal kauçuğa vulkanize edilerek şekil verilmesi ve dayanım elde edilmesi, ince çelik plakalarla birleştirilerek çok tabakalı elastomerik mesnet haline getirilmesiyle sismik izolasyon gerçek yapılarda kullanılmaya başlanmıştır. Uygulamada sismik izolasyon kullanımının artması için birçok çalışma yapılmıştır. Örnek verilmesi gerekirse; William Robinson 1974 yılında Yeni Zelanda'da kurşun çekirdekli izolatörü icat etmiş [41]; 1982 yılında "Malaysian Rubber Producers" Research Association (MRPRA)" tarafından yüksek sönümlü kauçuk izolatörler geliştirilmiş [22]; Roeder ve Stanton 1983 yılında sismik izolasyonda kullanılabilecek kauçukları ve bu kauçukların özelliklerini belirlemek için çalışmalar yapmış [58]; 1985 yılında ABD'deki ilk sismik izolasyon uygulanan bina olan "Foothill Communities Law and Justice Center" in inşası yapılmış; Victor Zayas 1985 yılında sürtünmeli sarkaç izolatörü icat etmiş; 1987 yılında Zayas V. A., Low S. S., ve Mahin S. A. sürtünmeli sarkaçlarla ilgili deneysel çalışmaları yapmışlardır [22]. Daha sonra ise analiz yöntemlerinin gelişmesiyle birlikte sonlu eleman yönteminin kullanılmasıyla kauçuk mesnetlerin stabilite tahkikleri gerçekleştirilmiştir [58].

Kelly, Griffith ve Aiken tarafından 1988 yılında elastomerik izolasyon sistemlerinin içine yerleştirilebilen bir yerdeğiştirme denetim aygıtı tasarlamışlardır. Bu cihaz ile birlikte mesnetlerde oluşacak yerdeğiştirmelerin sınırlandırılması sağlanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar ile birlikte bu kontrol cihazının, yapının mesnetlerinde oluşan kaldırma kuvvetlerine karşı koyabildiği, yatay yerdeğiştirmeleri sınırladığı gözlenmiştir [52,59].

Chopra, 1995 yılında ilk defa bilgisayar programı yazarak sismik izolasyon hesaplarının çok daha kolay yapılabilmesini sağlamıştır [52,60].

Kelly, 1999 yılında sismik izolasyon sistemlerinde sönümlemenin etkisini incelemiş ve yerdeğiştirme sınırlandırmak gayesi ile sönümleyici ilave edilen lineer bir modelin teorik temelleri çalışılmıştır [10,52].

Ryan ve Chopra 2001 yılında asimetrik planlı sismik izolasyonlu binaların analiz edilebilmesi için yaklaşık bir yöntem üzerine çalışmışlardır. Rayleigh-Ritz metodunun doğrudan uygulanması, etkili dışmerkezlilik için basitleştirme kullanılması ve üst yapının rijit olduğu kabulüyle üç farklı yöntem üzerine çalışmışlardır [52,61].

1.4.5. Sismik İzolasyon Metodunun Türkiye'deki Gelişimi

Türkiye'de sismik izolasyon kavramı özellikle Marmara depremi sonrasında önem kazanmıştır. Türkiye'de az sayıda üniversite bu konu ile ilgili çalışmalar yapmaktadır. Gerekli ekipman ve cihaz eksikliği izolasyon kavramını gelişimini olumsuz etkilemektedir. Yapılan çalışmaların çoğunluğu yüksek lisans ve doktora tezleridir [62].

Türkiye'de yeni deprem yönetmeliğimiz yayımlanana kadar sismik izolasyonla ilgili yönetmelik ve şartnameler bulunmamakta idi. Sıklıkla yapılan tasarım ve tez çalışmalarında Amerikan yönetmeliği olan UBC 97 (Uniform Building Code) kullanılmaktaydı. Ancak 2006 yılında kurulan Deprem İzolasyon Derneği, birçok üniversiteden katılan öğretim üyelerinden oluşan bir kurul oluşturarak bu alanda çalışmalarda bulunmuşlardır. Tüm bu olumsuzluklara rağmen Türkiye'de yeterli sayılamasa da izolasyon yöntemi bakımından dünyada yer edinebilecek yapılar inşa edilebilmiştir. Örnek vermek gerekirse;

Tarsus- Adana- Gaziantep Otoyolu Viyadükleri,

Gümüşova- Gerede otoyolu viyadüğü (Bolu Viyadüğü),

İstanbul Atatürk Havalimanı Dış Hatlar Binası,

İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı MRO Hangarı,

İzmir Aliağa Sıvılaştırılmış Gaz Depolama Terminali,

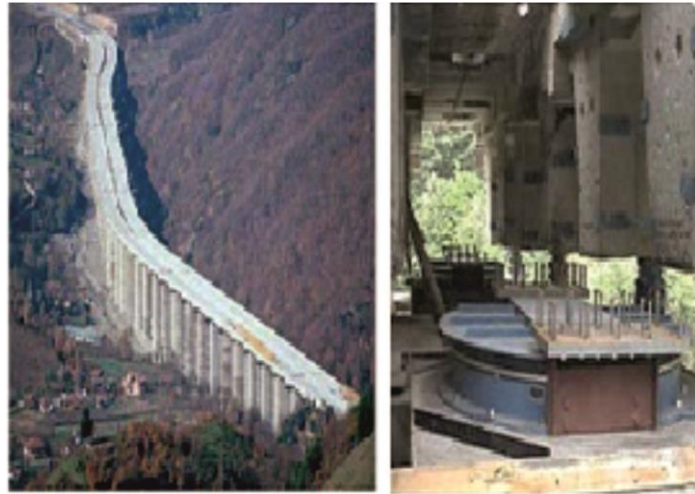
Kocaeli Üniversite Araştırma Hastanesi,

Ankara Büyükşehir Belediyesi Ego Genel Müdürlüğü Söğütözü Kongre ve Ticaret Merkezi,

Atatürk Havalimanı,

Sabiha Gökçen Havalimanı,
 Antalya Havalimanı Uluslararası Dış Hatlar Terminali,
 Tarabya Oteli,
 Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi,
 Türk Ekonomi Bankası(TEB) Genel Müdürlüğü Binası,
 İstanbul Okmeydanı Hastanesi,
 İstanbul Göztepe Hastanesi,
 Kartal Lütü Kırdar Hastanesi,
 Adana Sağlık Kompleksi,
 Elazığ Hastanesi,
 Sakarya Bozuyük- Mekece Karayolu Köprüsü,
 Bitlis Çayı Viyadüğü,
 Seyrantepe Stadyumudur [6,41,42,47,74].

Türkiye’de ilk sismik izolasyon 1993-1998 yılları arasında yapılan Tarsus- Adana-Gaziantep (TAG) Otoyolu’daki viyadüklerin bazı kısımlarında uygulanmıştır. Projenin 5 nolu viyadüğünde kurşun çekirdekli izolatörler kullanılmıştır. 1993 yılında yapımına başlanan ancak 1999 Düzce Depremi’nde hasar gördüğü için 2007 yılında faaliyete giren Bolu Dağı Geçiş Projesi 4,6 km uzunluğunda 4 adet viyadük ve 900 m uzunluğunda 3 adet köprüden oluşmaktadır. Güçlendirme uygulaması kapsamında; 1999 ASSHTO yönetmeliğine göre hesaplanan, 70 ile 90 cm çaplı sürtünmeli sarkaç tip izolatörler ve EP, VP, VPJ tip sönümleyiciler kullanılmıştır [63].



Şekil 1.11. Bolu viyadüğü sürtünmeli sarkaç izolatör uygulaması [63].

Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Kampüsü'nde inşaatına 2002 yılında başlanmış olan, 12,500 m² taban alanı ve 67,500 m² kapalı alana sahip olan tıp merkezi Türkiye'de sismik izolatör kullanılarak yapılan ilk yapıdır. İnşasında 256 adet izolatör yapı yer hareketi esnasında 27 cm yerdeğiştirme yapabilme kapasitesine sahiptir [42].



Şekil 1.12. Kocaeli hastanesi sismik izolatör uygulaması [65].

Yapımına 1998 yılında başlanan, 1999 Kocaeli Depremi'nden sonra projesi revize edilen Atatürk Havalimanı Dış Hatlar Terminali'nde sürtünmeli sarkaç türü izolatörler kullanılmıştır. Türkiye'de sismik izolatör kullanarak güçlendirilmiş ilk yapıdır. Sismik izolasyon uygulaması, 6000 tonluk uzay çatı ile 162 tane taşıyıcı kolon arasına yapılmıştır. Dış hatlar terminal binasında yapılan bu sismik izolatör uygulaması ile 2001 yılında American Consulting Engineering Council büyük ödülünü almaya hak kazanmıştır [87]. Çatının mesnetleri 8 büyüklüğündeki bir depreme karşı koyabilecek şekilde tasarlanmıştır. Uzay çatıya eklenen izolatörler ile çatı 26 cm yerdeğiştirme yapabilme kabiliyeti kazanmıştır [64].



Şekil 1.13. İstanbul Atatürk havalimanı sarkaç tipi izolatör uygulaması [25].

Antalya Havalimanı 1998 yılında tamamlandığında ülkemizin en büyük havalimanıydı. Yıllık 5 milyon yolcuya hizmet vermesi için tasarlandığı halde 2004 yılında 12.5 milyon yolcuya hizmet vermiştir. Havalimanının tasarımı 1996'da yapıldığından dolayı, 1975 Deprem Yönetmeliği'ne göre yapılmıştır. Ancak 1998 yılında yönetmelik büyük bir revizyon geçirmiş ve uygulanması gereken deprem yükleri bina türüne bağlı olmak üzere 2-6 kat arasında artmıştır. Aynı zamanda 1998 yönetmeliğine sismik harita eklenmiş ve eski yönetmelikte 0.1 olan sismik katsayı yeni yönetmelikte Antalya için 0.3 olmuştur. Binanın önemi göz önüne alındığında, binanın performansı en azından yeni yönetmeliğin şartlarını sağlaması için binanın projesi yeniden gözden geçirilmiş ve sismik izolasyon uygulanmıştır. Bina tekil temel üzerine kurulu perde duvar ve betonarme moment çerçevelerinden, çatısı ise uzay kafes sistemden oluşmaktadır. Binanın taban alanı yaklaşık 23 bin m², terminal binasının toplam kullanım alanı 55 bin m² bina yüksekliği 18 m'dir. Bina dilatasyon derziyle ayrılmış beş ana bölümden oluşmaktadır [24].

Sismik izolasyon çalışması için binada bodrum katı olmadığından, kolon tabanından 1.2 m yükseklikten kolonlar kesilerek 7 farklı tip ve 341 adet kurşun çekirdekli kauçuk izolatör yerleştirilmiştir. Ayrıca perde elemanlar tabandan kesilerek kayıcı mesnetler montaj edilmiş, uzay kafes sistem olan çatıya ise 28 adet sürtünmeli sarkaç tipi izolatör yerleştirilmiştir. Bu yapılan işlemlerden sonra binanın periyodu ilk başta 2.72 sn' ye uzamış ve yaklaşık 24 cm 'lik yerdeğiştirme kapasitesi kazanmıştır [24].



Şekil 1.14. Antalya havalimanı kauçuk izolatör uygulaması [24,42]

İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı MRO Hangarı, ülkemizde sismik izolasyon uygulaması yapılan yapılardan biridir. Toplam kullanım alanı 45000 m² olup, taban alanı 15000 m² 'dir. Yapı yüksekliği yaklaşık 20 m olup, toplam 30 kolona oturan 2000 ton ağırlığındaki çatının ısı yükleri ve deprem yüklerinden izole edilmesi için kolonlar ve çatı

arasına toplam 30 adet Robinson Sismik Ltd. kauçuk izolatörleri monte edilmiştir. Kullanılan bu izolatörlerden, düşey kuvvetin az olduğu 2 kenar aksa toplamda 20 adet HDRB (Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatör) , orta betonarme kolonların bulunduğu aksta ise 10 adet LRB (Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör) yerleşimi yapılmıştır. Şiddetli bir rüzgar hareketinde orta akstaki izolatörlerde kullanılan kurşun çekirdek çatının hareketini önlemiştir. Böyle büyük bir yapıda izolatör kullanımı yapının ortasında teşkil edilmesi gereken dilatasyon ve böylelikle yapılması gereken yaklaşık 100 ton ağırlığındaki çatı makası iptal edilerek izolatör masrafları karşılanmıştır [42].



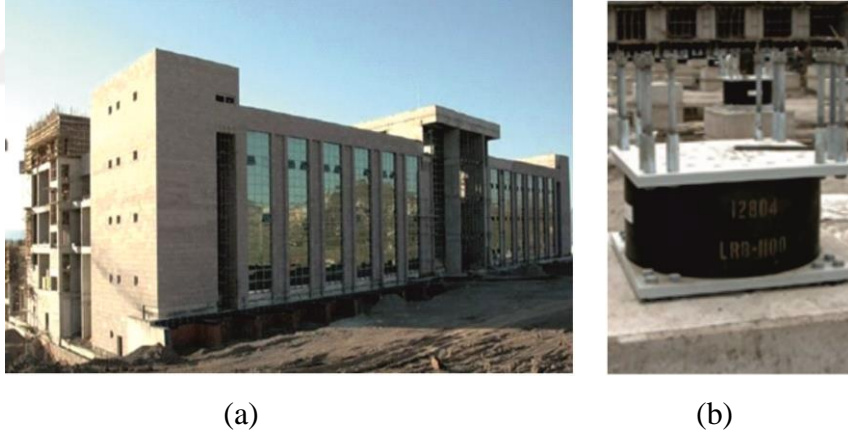
Şekil 1.15. İstanbul Sabiha Gökçen havalimanı izolatör uygulaması [66].

İstanbul'da yaklaşık 45 yıl önce inşa edilen ve Marmara Depreminden sonra bazı temel bağlantılarının mevcut olmadığı belirlenen Tarabya Oteli'nin depreme karşı güçlendirilmesi düşünülmüştür. Bu sebeple, Tarabya otelinin en alt kolonları kesilerek güçlendirme amaçlı sürtünmeli sarkaç mesnetler yerleştirilmiştir [42,87]. Mevcut bina FEMA 356 ve Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik (2007) şartlarına göre güçlendirilmiştir. Yapı, teşkil edilen sismik izolasyon uygulaması ile birlikte depremde her yönde 30 cm yerdeğiştirme kapasitesine sahiptir [42].



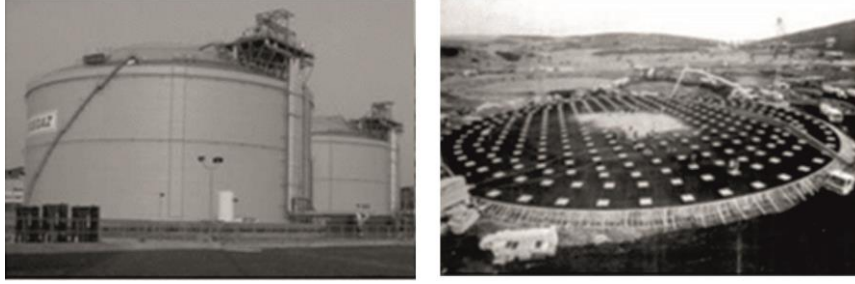
Şekil 1.16. a) Tarabya oteli ve b) kolonlarına yerleştirilen sürtünmeli sarkaç izolatör

Türkiye’de sismik izolasyon yönteminin başarıyla uygulandığı yapılardan bir tanesi de Erzurum Devlet Hastanesi’dir. Erzurum Devlet Hastanesi’nin deprem izolasyonu için 386 adet kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kullanılmıştır. Kullanılan izolatörler 80, 90, 100, 110 cm uzunluğunda çaplara sahiptir. 80 cm çapa sahip olanların bir kısmında kurşun çekirdek kullanılmamıştır [42].



Şekil 1.17. Erzurum devlet hastanesi ve uygulanan sismik İzolatör [87].

Deprem esnasında şehirler arası ulaşımın kesinti yapmaması için viyadüklerde sismik izolasyona başvurulduğu gibi sanayi sektöründe de bu uygulama yapılmış ve İzmir Aliğa’da bulunan Ege Gaz terminalindeki LNG tanklarının inşası sismik izolasyonlu olarak yapılmıştır. 140.000 m³ hacme sahip bu tankların kenar kısımlarında 112 adet kurşun çekirdekli kauçuk mesnet (LRB) ve iç kısımlarda 221 adet düşük sönümleyicili kauçuk mesnetler (LRDB) kullanılmıştır [42].



Şekil 1.18. Aliğa bulunan lng tankları [42]

Ankara Söğütözü Kongre ve Ticaret Merkezi, Eskişehir Yolu'nda, Söğütözü mevkiinde bulunan ve inşası yarım kalan yapıdır. Bina tamamlandığında yaklaşık 210000 m² 'lik kullanım alanına ve 70 m yüksekliğe sahip olması bekleniyordu. Binanın bulunduğu yer deprem bölgesi olmayıp Kuzey Anadolu Fay hattına 110 km uzaklıktadır. Ancak bina aynı anda binlerce kişiyi bünyesinde bulunduracağından, prestij sahibi bu bina depremden korunmak istenmiştir. Böylece betonarme ve karma taşıyıcı sisteme sahip bu yapının betonarme kolonları ve çelik konstrüksiyon kısmı arasına 113 adet sürtülmeli sarkaç mesnet sistemleri yerleştirilmiştir. Bu şekilde tasarlanan yapıdaki izolatörler 14 cm'lik yerdeğiştirme yapabilme kapasitesine sahiptir [87].



(a)

(b)

Şekil 1.19. a) Söğütözü kongre merkezi ve b) uygulanan izolatör [87].

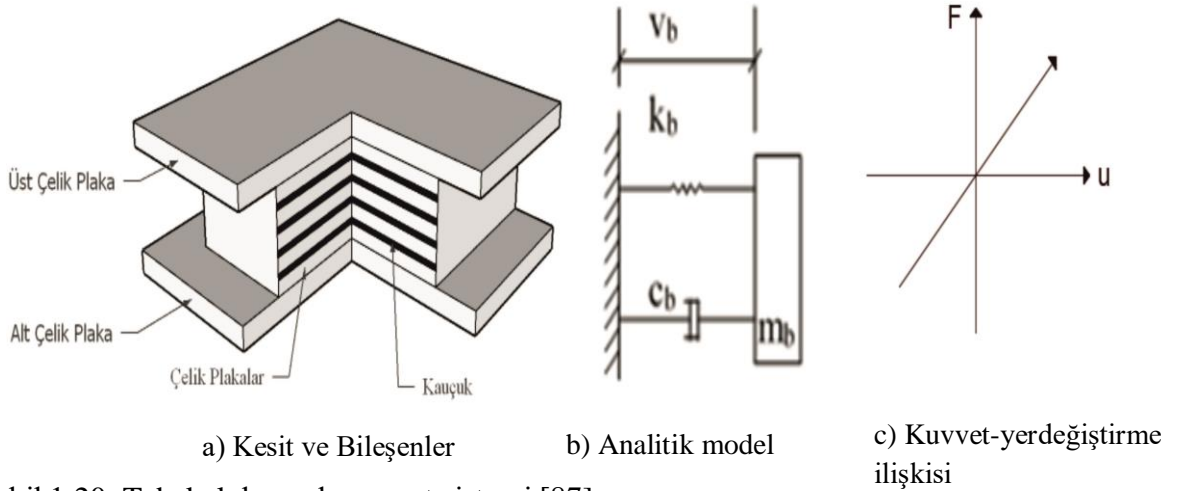
1.4.6. Sismik İzolasyon Çeşitleri

Sismik izolasyon sistemleri, uygulanacak olan yapının temeli ve kolonları arasına yerleştirilen yatay yönde harekete izin vermesi için rijitliği düşük, düşey yönde yük taşıyıp burkulmaması için rijitliği yüksek taşıyıcılar olarak bilinmektedir. Sismik izolasyon

yönteminde kullanılmakta olan izolatör türleri, biçimleri, boyutları ve imal edildikleri malzeme açısından farklılıklar içermektedirler. Genel olarak sismik izolasyon sistemleri; kauçuk ve sürtünmeli izolatörler olarak sınıflandırılabilir.

1.4.6.1. Tabakalı Kauçuk Mesnet Sistemi

Tabakalı kauçuk mesnet sistemi (TKM), sismik izolasyon sistemlerinden en fazla tercih edilen sismik izolasyon çeşididir [57]. Bu sistemi oluşturan temel bileşenler, tabakalar halinde kullanılan çelik ve kauçuk plakalardır. Sönümün ve rijitliğin paralel etkileri bu sistemin en önemli niteliğidir. Genellikle TKM sistemi yatay doğrultuda esnek hareket edebilen ve düşeyde rijit olan yüksek sönüm gösteren sismik izolasyon sistemi olarak tanımlanır. Tracis'e göre (1984) göre, bu sistemin doğal frekans ve sönüm sabiti olmak üzere iki karakteristik özelliği bulunmaktadır. Tracis (1984) tarafından yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlarda, sistemin sönüm sabiti mesnedin şekil değiştirmesine bağlı olmaktadır. Şekil değiştirme %2 olduğunda sönüm oranı 0,18 ve şekil değiştirme %50 olduğunda sönüm oranının 0,10 olduğu kabul edilmiştir. TKM sisteminde tavsiye edilen değerler; sismik izolasyonlu yapının periyodu 2 saniye iken doğal frekans rad/s, sönüm 0,10 dir. TKM sisteminin kesiti ve bileşenleri, analitik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 2.20'de gösterilmiştir.



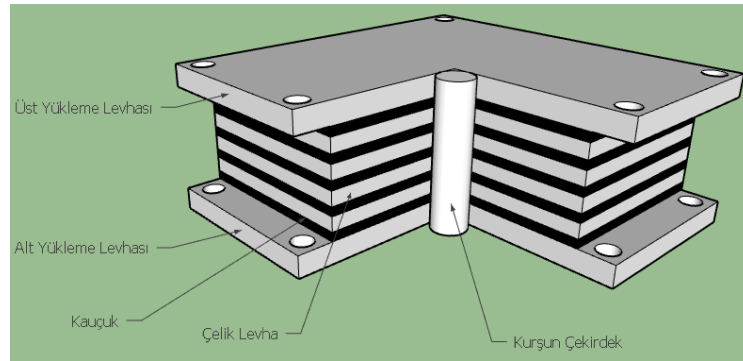
Şekil 1.20. Tabakalı kauçuk mesnet sistemi [87].

1.4.6.2. Yeni Zelanda Mesnet Sistemi

Bu mesnet sistemi 1975'te Yeni Zelanda'da kullanılmaya başladığından bu yana Yeni Zelanda Mesnet Sistemi olarak adlandırılmıştır. Yeni Zelanda Mesnet sistemi, TKM

sisteminin benzeri bir sistemdir. Ancak, enerji dağılımında ek bir rijitlik sağlamak amacıyla kurşun çekirdek kullanılır. Kurşun çekirdeğin enerji tüketme kapasitesi izolatörün yatay yerdeğiştirmesini oldukça azaltır. Kurşun çekirdek, elastomer tabakaya sıkıca mesnetlidir ve ilave olarak yaklaşık 10 MPa'lık bir akma gerilmesi sağlamaktadır. Büyük yükler altında kurşun akar ve böylelikle izolatörün yatay rijitliği büyük oranda düşer ve bu durum izolatörün kullanılma sebebini de oluşturan periyot artışını neden olur. Kauçuk orta ya da büyük depremlerden dolayı oluşan yerdeğiştirmelere maruz kaldığında kurşun çekirdek plastik deformasyon yaparak enerjii sönümler. Sönümleme oranı yerdeğiştirmenin bir fonksiyonu olarak elde edilir ve genellikle %15 ve %30'la seviyesindedir [37]. Bu sistem prensip olarak histeretik söndürücü elemanlar gibi davranış sergilemektedir [67]. Histeretik söndürücü aletin kuvvet- yerdeğiştirme özelliği gerçeğe yakın olarak lineer olmayan diferansiyel denklemler çözülerek elde edilir [68]. Eğer sistemde sönüm küçük ise, kuvvet-yerdeğiştirme grafiği düz bir çizgiye yaklaşır. Ancak, çevrim türünden sönüm durumunda, yük arttıkça çevrimlerin alanında büyüyecektir [21].

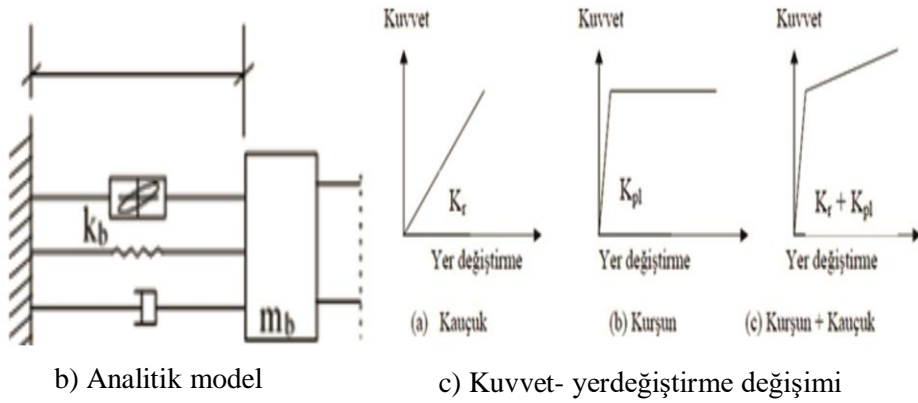
YZM sisteminin en önemli faydası servis durumundaki rijitliği deprem durumundaki esneklikle birleştirip tek bir alet gibi çalışabilmesidir. Bu durum ise yüksek sönüm gerektiren durumlarda bu sistemi en çok kullanılan izolatör türü yapmaktadır [23]. Bu sistemin en önemli dezavantajı güçlü bir deprem sonrası kurşun çekirdeğin zarar görüp görmediğinin bilinmemesidir. Bu sistem büyük depremlerin görüldüğü Yeni Zelanda, Amerika ve Japonya gibi ülkelerde yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Bu sistemin kesiti Şekil (21.a)'da, matematik modeli Şekil (21.b)'de, kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi grafiği Şekil (21.c)'de, uygulamadaki hali ise Şekil (21.d)'de verilmektedir.



a) Kesit ve Bileşenler

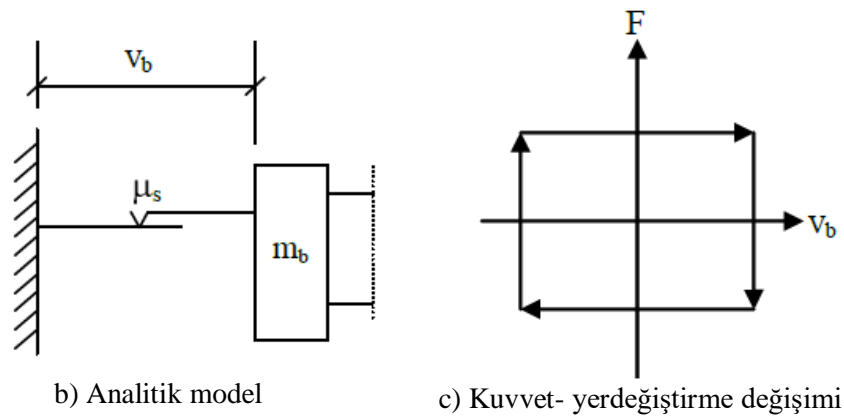
Şekil 1.21. Yeni Zelanda mesnet sistemi

Şekil 1.21'in devamı



1.4.6.3. Sürtünmeli Mesnet Sistemi

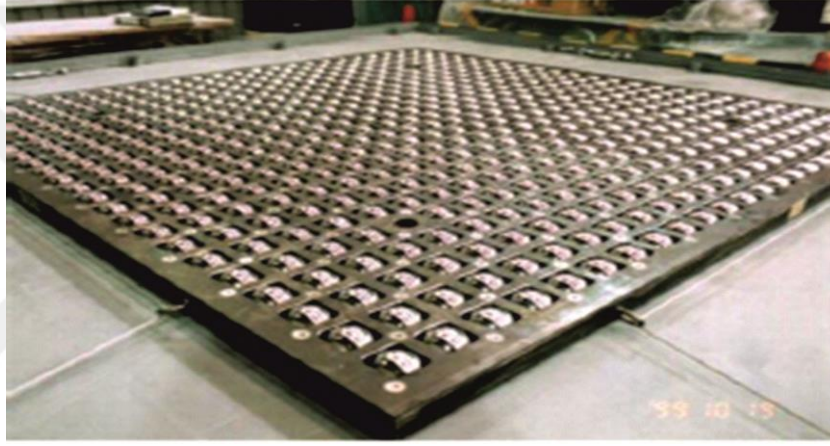
Sürtünmeli mesnet sistemi, sürtünmeli kayan bir mekanizmadır [69,70]. Yanal sürtünme kuvvetleriyle birlikte oluşan yer hareketine karşı koyar ve ortaya çıkan enerjiyi absorbe eder. Sürtünmeli mesnet sistemi, kum tabakası ve binanın temelinde bir silindir kullanmak bu sistem için örnek verilebilir. Bu sistem birçok yıkıcı depremin görüldüğü Çin'de az katlı binalarda kullanmak amacıyla ortaya çıkarılmıştır. Mostaghel ve Tanbakuchi tarafından deprem ve sinüzoidal tipteki hareketlerin oluşturduğu etkilerin sürtünmeli mesnet ile korunmuş yapıdaki etkisi üzerine çalışma yapılmıştır [72]. SMS geniş dağılımlı frekanslar için etkili olmaktadır. Bu sistemde, sürtünme kuvvetleri yapının temelinde meydana gelirken hareket halinde olan mesnedin kütle ve rijitlik merkezi söz konusu yapının kütlesiyle orantılı olabilmektedir. Bunun sonucu olarak asimetrik yapılarda ortaya çıkabilecek burulma etkileri azaltılabilmektedir. Şekil 2.22(a)'da sistemin matematik modeli ve Şekil 2.22(b)'de kuvvet-yerdeğiştirme etkisi verilmektedir.



Şekil 1.22. Sürtünmeli mesnet sistemi [87].

1.4.6.4. Çelik Bilyalı İzolatör

Çelik bilyalı izolatör, düşük sürtünme katsayısı oluşturmak amacıyla iki adet çelik levha arasına çok sayıdaki bilyanın sıkıştırılmasıyla oluşur (Şekil 2.23). Bilyaların adedi, binanın düşey yüklerini taşıyabilecek kapasitede olması kaydıyla, sismik izolasyon sistemi tasarımı sırasında kolaylıkla belirlenmektedir. Bu izolatör tipi genel olarak kurşun çekirdekli izolatörlerle (YZM Sistemi) ve diğer tür sönümleyicilerle birlikte kullanılabilir [20].



Şekil 1.23. Çelik bilyalı izolatör uygulaması [47].

1.4.6.5. Çapraz Doğrusal Hareket Sistemi

Bu sistemler, tabakalı kauçuk mesnet sistemlerinin kullanımında ortaya çıkan; izolatörlerde burkulma olması ve fazla çekme kuvvetine maruz kalarak kopması gibi yapısal sorunları ortadan kaldırmak için geliştirilmiştir. Bu sistem üzerinde birçok deneysel veriler, yer hareketi kayıtları, teori ve analiz çalışmaları kullanılarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Sistem yapılan bütün çalışmalarda uygulanabilir olduğunu ve gerekli kriterleri taşıdığını göstermiştir. Bu sistemdeki ana hedef; sismik izolasyon yöntemini hafif yapılara, yüksek yapılara, kule şeklindeki yapılara ve uzun doğal periyotlara sahip zayıf zeminlere inşa edilmesi uygun görülen yapılara uygulanabilmesidir. Çapraz doğrusal hareket sistemi (ÇDH ya da CLB); her iki düzlemde birbirine dik doğrultularda çapraz şekilde hareket eden, kayan çelik bir gövde yapı ile üzerinde hareketi sağlayan yivlerin bulunduğu bir ray

elemanından oluşmaktadır. Gövde küçük bir sürtünme kuvveti ile hareket etmektedir. İzolatörün taşıma kapasitesi; çelik bilyelerin çapına, etkin bilye ve ray adedine bağlıdır [37].

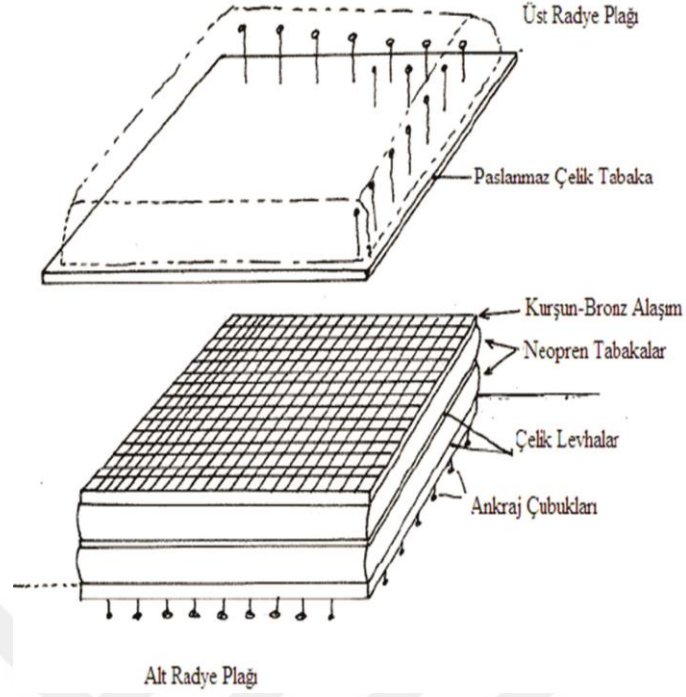
Çapraz doğrusal hareket sisteminde var olan tampon bloklar çok düşük bir sürtünme katsayısına sahiptir ve az miktarda kesme kuvvetine karşı koymaktadır. CLB'in bir diğer avantajı ise basınç kuvvetleri ile birlikte çekme kuvvetlerine karşı da etkili olabilmesidir. CLB türü izolatörler, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler ve diğer tip izolatörler ile entegre edilerek kullanılabilir [20].



Şekil 1.24. Çapraz doğrusal hareket sistemi uygulaması [47].

1.4.6.6. Fransız Elektrik Sistemi

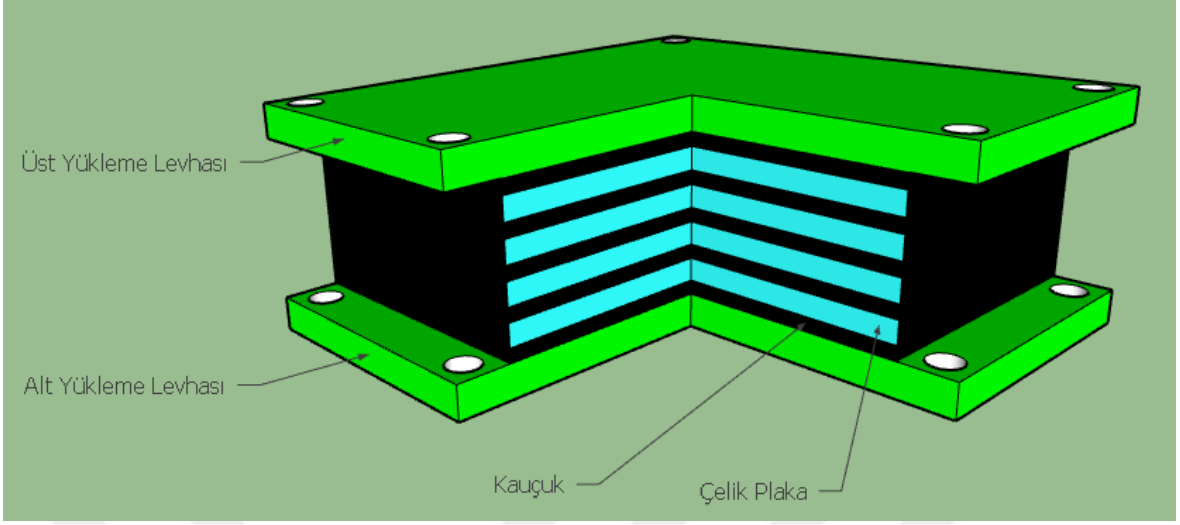
Bu sistem 1970'li yıllarda enerji ihtiyacının çoğunluğunu karşılayan nükleer santrallerin korunması için Fransız Elektrik Kurumu'nun katkısıyla geliştirilmiştir ve deprem bölgelerinde inşa edilecek nükleer güç santralleri için standart haline getirilmiştir. Bu sistemin kesiti TKM sistemi ile aynıdır. Bu sismik sistem, kompozit neopren mesnetleri paslanmaz çelikle temas halindeki kurşun-bronz alaşımıyla birleştirilerek elastomer mesnetler üzerine oturtulmuş kayma yüzeyleri meydana getirmektedir. Sistemde kullanım ömrü boyunca kayma yüzeyinin sürtünme katsayısı 0.2 olarak öngörülmüştür. Neopren tabakların yer değiştirme kapasitesi (± 5 cm) aşıldığında sistemde hareket oluşur. Sistemin denge konumuna geri getirici bir mekanizma bulunmadığından kalıcı yer değiştirmeler meydana gelmektedir. Bu sistem Güney Afrika'da sadece bir sefer Koeberg santralinde kullanılmıştır.



Şekil 1.25. Fransız elektrik sistemi çalışma prensibi [39].

1.4.6.7. Düşük Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnetler (LDRB)

Doğal kauçuk, sismik izolasyon yönteminde kullanılan ilk elastomerdir. Bu mesnet tipi kauçuk tabakalar arasında düşey rijitliği sağlamak için çelik plakalar eklenerek oluşturulmuştur. Kauçuk malzemeye vulkanize işlemi yapılarak bir kalıp içinde uygulanan yüksek sıcaklık ve basınç altında çelik plakalar ile bağlanır. Bu mesnetler sismik izolasyon kavramına uygun olarak düşeyde çok rijit, yatayda ise hareket oluşması için çok düşük bir rijitliğe sahiptir. Yanal rijitlik, kauçuk tabakaların kalınlığı ve adedine bağlıdır. Genel olarak yanal rijitlik tabaka kalınlığı sabit tutularak tabaka sayısının istenilen rijitliğe göre seçilmesiyle ayarlanır. Yüksekliğin artması burkulma etkilerini ortaya çıkaracağından dolayı yükseklik mesnetin yarısı olacak şekilde seçilmektedir. Bu tür izolatörlerin efektif sönümü genelde 0.07'den düşüktür. Bu elemanların davranışını viskoz ve histeretiktir. Kayma durumunda malzeme %100'ün üzerindeki şekil değiştirmelerde bile lineer kabul edilebilecek bir davranış gösterir. Üretimleri ve modellenmeleri kolaydır, mekanik özellikleri dış etkilerden sınırlı seviyede etkilenir. Ancak çoğu zaman ilave bir sönüm elemanına ihtiyaç duymaktadırlar. Bu ek elemanlar ise karmaşık bağlantı detayları gerektirmekte olup metalik türde sönümleyici kullanılması durumunda kısa zamanda aşınmaktadırlar [22].

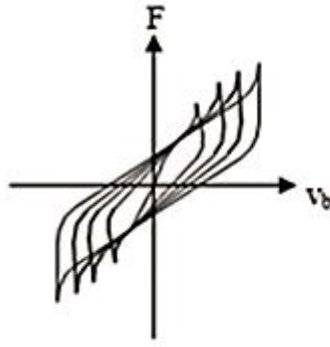


Şekil 1.26. Düşük sönümlü kauçuk izolatör kesiti

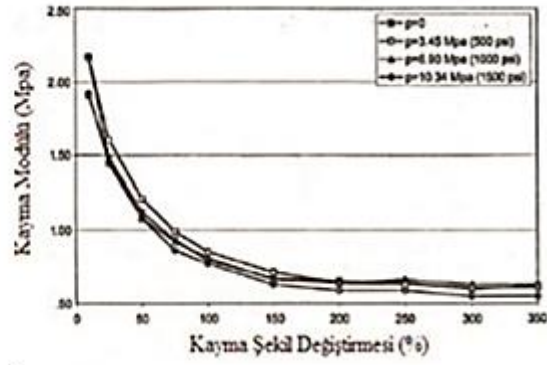
1.4.6.8. Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnetler (HDRB)

Yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatörler, düşük sönümlü doğal kauçuk izolatörlerin ilave sönümleyici ihtiyacını gidermek için Malezya Kauçuk Üreticileri Birliği (MRPRA) tarafından 1982 yılında ortaya çıkarılmıştır. Eklenen karbon bloklar, reçineler veya diğer özel dolgu malzemeleri ile sönüm oranı artırılmıştır. Bu tür katkıların eklenmesi izolatörün mekanik özelliklerini değiştirmemesine rağmen kauçuk malzemenin sönüm kapasitesini artırmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalar ile %100 kayma deformasyonları altında sönüm miktarı %10-20 oranında artırıldığı doğrulanmıştır. Bu tip izolatörlerdeki sönüm viskoz ile histeretik arasında bir davranış sergilemektedir. Düzgün eliptik histeresiz eğri ile modellenebilmektedirler. Yüksek sönümlü kauçuk mesnetlerin enerji sönümleme kabiliyetleri hem düşük hem de yüksek şekil değiştirmelerde elverişlidir [49].

Bu sistem ile yalıtılmış bir yapı, izolasyon sisteminin yatay yöndeki esneklik kapasitesinden dolayı büyük bir periyoda sahiptir. Fakat, bu tür bir sistem hakim frekans değeri izolasyon sisteminin etkin frekansına denk olan rüzgar yüklerine maruz kalırsa yapının rezonansa girebileceği bilinmektedir. Yeni Zelanda Mesnet sistemi ise bu etkiden bağımsızdır. Bu nedenle, uygulamada yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatörler Yeni Zelanda mesnet sisteminden daha az kullanılmaktadır [51].



a) Kuvvet yerdeğiştirme grafiği



b) Kayma şekil değiştirmesi- kayma modülü ilişkisi

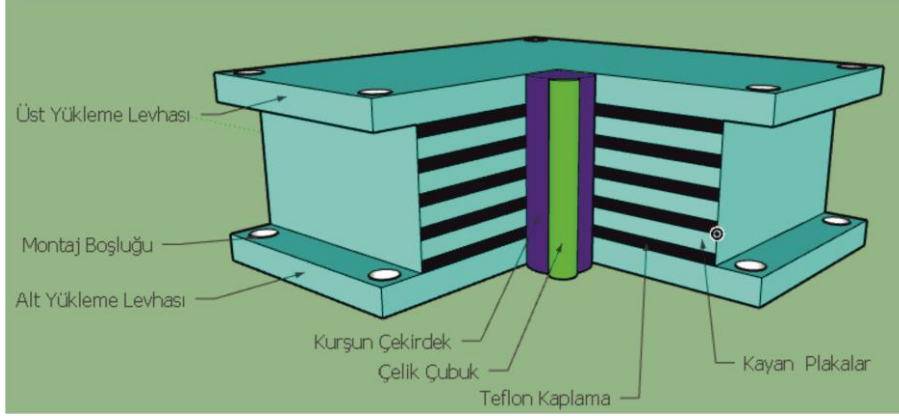
Şekil 1.27. Yüksek sönümlü kauçuk izolatörün mekanik özellikleri [22].

1.4.6.9. Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (EERC) Birleşik Sistemi

Yapının iç kısımdaki kolonlarının kayıcı elemanlar üzerindeki teflon ile, dış kısmında kalan kolonlarını ise düşük sönümlü kauçuk mesnet ile taşıyan; kayıcı ve elastomer mesnetlerin birleşimi olan izolatör türüdür. Sistemin kauçuk kısmı hareket sonrası yapının yeniden denge konumuna dönebilmesini, kayıcı kısım ise enerji absorbe edilebilmesini sağlamaktadır. Kauçuk mesnet ayrıca burulma davranışını kontrol edebilmektedir.

1.4.6.10. Esnek Sürtünmeli Taban İzolasyon Sistemi (R-FBI)

Eş merkezli, teflon kaplı levhalar ve merkezi kauçuk çekirdekten oluşan izolatör tipidir. Plaka birleşimlerinde oluşan sürtünmeden etkisinden dolayı sönüm kapasitesi artmaktadır. Mesnedin yerdeğiştirmesi ve hızının mesnet yüksekliği boyunca dağılımını merkezi kauçuk çekirdek sağlamaktadır. Kayıcı sistemlerin denge konumuna dönmesini sağlayacak yeni bir sistem arayışı ile birlikte bu sistem üzerinde çalışılmaya başlanmıştır. Tipik elastomer mesnetten farkı ilave edilen sürtünmeli levhalardır ve merkezdeki kauçuktur. Merkezdeki kauçuk çekirdek; hızın mesnet yüksekliği boyunca dağıtılmasını ve izolatöre geri döndürücü bir kuvvet oluşmasını sağlar. Yapılan deneysel çalışmalarla birlikte, yerdeğiştirmelerin tek bir yüzeyde oluşmasını engellemek için kauçuk çekirdeğin merkezine çelik çubuk yerleştirilmiştir. İzolatör kayma hızı tabaka sayısı değiştirilerek ayarlanabilmektedir.



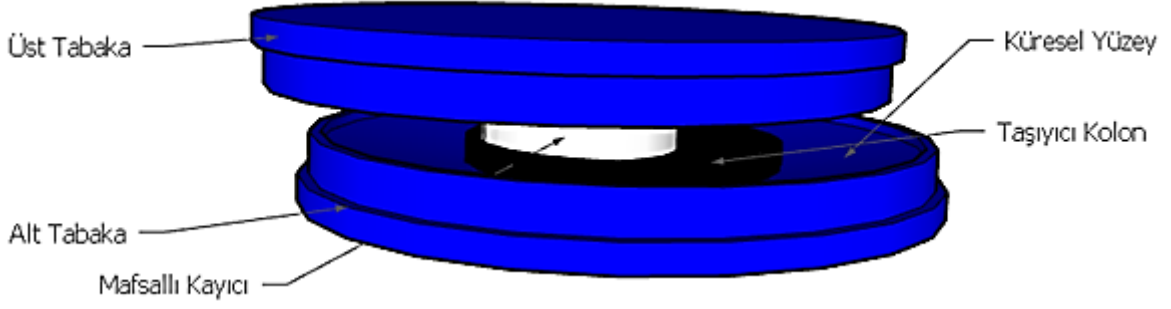
Şekil 1.28. Esnek sürtümlü taban izolasyon sisteminin kesiti

1.4.6.11. TASS Sistemi (Tasei Shake Suspension System)

Bu sistem Japonya’da TASEI şirketi tarafından bulunmuştur. Bu sistemde tüm düşey yük teflon-paslanmaz çelik elemanlar üzerinde taşınmaktadır ve ek olarak yük taşımayan kompozit neopren mesnetler kullanılmaktadır. Kompozit neopren mesnetler sisteme geri döndürücü bir kuvvet sağlarlar. Teflon kayma yüzeyi yaklaşık olarak 10 MPa basınca dayanabilmekte ve düşük kayma hızlarında sürtünme katsayısı 0.05; yüksek kayma hızlarında ise 0.15 aralığında değişebilmektedir. En önemli dezavantaj olarak elastomer mesnetin düşey yük taşıma kapasitesi olmadığı söylenebilir. Bundan dolayı sistemde çekme gerilmeleri oluşur; kayıcı yüzeyin hız hassasiyeti olduğundan modellenmeleri çok zor olmaktadır [49,51].

1.4.6.12. Sürtümlü Sarkaç Sistem (FPS)

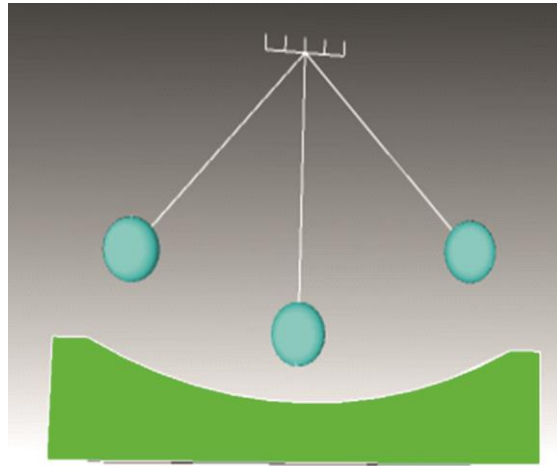
Zayas vd. (1987) tarafından üretilen sürtümlü sarkaç sistemleri diğer sistemlere göre üretimi basit ve uzun ömürlüdür [73]. Sürtümlü sarkaç yöntemi, Şekil 2.29’da görüldüğü şekilde iki paslanmaz çelik levha arasına yerleştirilen sürtünme katsayısı çok düşük kompozit malzeme ile kaplı bir kayıcının hareketinden oluşmaktadır. Sistem, geometrisi nedeniyle deprem hareketi sonrası geri döndürücü bir etkiye sahiptir. Bu sistemlerde kütle merkezi ile rijitlik merkezi üst üste düştüğünden dolayı burulma etkileri azalmaktadır [21].



Şekil 1.29. Sürtünmeli Sarkaç Mesnet Kesiti

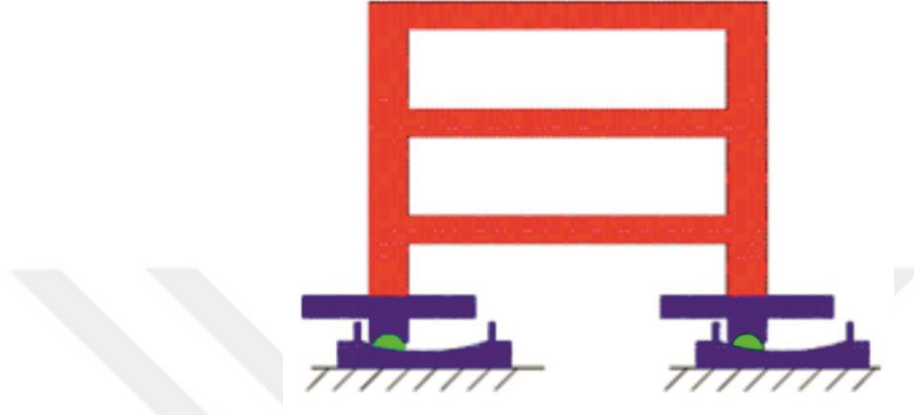
Mafsallı kayıcı küresel yüzey boyunca hareket ettiğinde, mesnetlenen yapı yükselir ve sisteme geri çağırıcı bir kuvvet oluşur. Mafsallı kayıcı ile küresel geometriye sahip yüzey arasındaki sürtünme ile birlikte yer hareketinin oluşturduğu yanıl kuvvetler sönümlenir. Yapının doğal titreşim periyodu içbükey yüzeyin eğrilik yarıçapı ile kontrol edilir ve yapının kütesine bağlı değildir. Yapıda oluşması istenen doğal titreşim periyodu eğrilik yarıçapının değiştirilmesiyle elde edilebilir. İçbükey yüzey altta veya üstte olabilir. Bu yüzeyin konumu bu sistemin uygulanmasını veya mesnedin mekanik özelliklerini değiştirmemektedir.

Bir deprem sırasında yapı, izolatörler vasıtasıyla yerdeğiştirebilmektedir. Sürtünme kuvveti ile birlikte izolatörü oluşturan parçalardan biri diğerine göre farklı yönde hareket ettiğinden dolayı bu hareket basit sarkacın hareketine benzetilmektedir. Geri döndürücü bir kuvvet, üst yapı küresel mesnedin içbükey yüzey üzerinde yarıçapın izin verdiği ölçüde yükseldiği ve ağırlığından dolayı yüzeyin merkezine doğru hareketinden dolayı oluşmaktadır.



Şekil 1.30. Basit sarkaç modeli

Enerji sönümlemesi kayıcı mafsallarla küresel yüzey arasında oluşmaktadır. Fakat, kayma öncesi ve sonrası rijitlikler arası ani değişimler yapının yüksek frekanstaki titreşimler ortaya çıkarmasına sebep olabilmektedir. Bundan dolayı yapıda kat ivmeleri artabilmekte ve yapıda hasar oluşumuna neden olabilmektedir [51].



Şekil 1.31. Sürtünmeli sarkaç sistemin yapıya uygulanması

Yapıda ötelenme oluşturacak yatay kuvvet izolatörün eğrilik çapına ve düşey yüke bağlıdır. Eğrilik çapı, izolatörün tasarımı yapılırken istenilen rijitliği ve periyodun elde edilebilmesi için dikkatle belirlenmelidir.

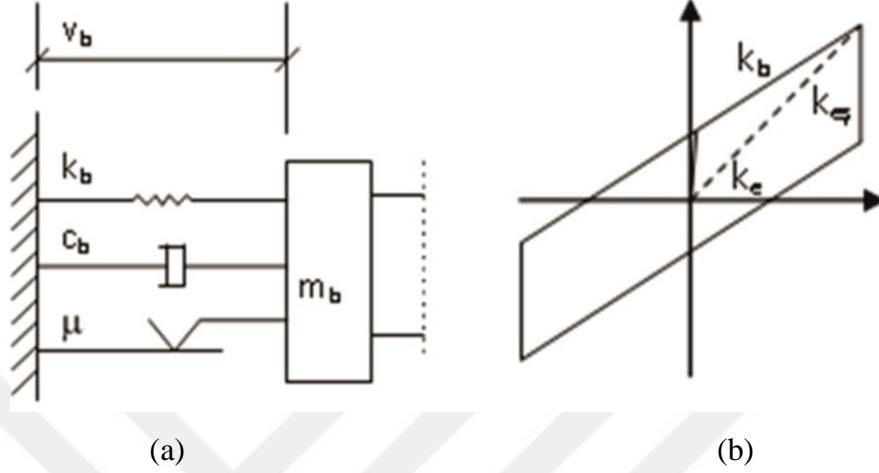
Sürtünmeli sarkaç sistemlerdeki koruyucu silindir hem sarkacın istenilenden fazla hareketine bir sınır getirmekte hem de iç kısmın çevresel koşullardan korunmasını sağlamaktadır. Deprem yüklerinin tasarım yüklerini aşması gibi olası bir durumda koruyucu silindir koruyucu bir görev üstlenmektedir. İzolatörün efektif rijitliği ve yapının izolasyonlu titreşim periyodu,

$$T=2\pi \cdot \sqrt{R/g} \quad (1.1)$$

Burada, R eğrilik yarıçapını ve g yerçekimi ivmesini ifade etmektedir. Sürtünmeli sarkaç sisteminde yüzey eğriliği vurgulanmak istenirse ve denklem (2.1) düzenlenirse,

$$R= 24.8 \cdot T^2 \quad (1.2)$$

Burada $T= 2.5$ s düşünülürse sürtünmeli sarkaç mesnet sisteminin eğrilik çapı, 155 cm civarında olmaktadır. Aşağıdaki şekilde SSM sisteminin analitik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi verilmektedir.



Şekil 1.32. a) Sürtünmeli sarkaç mesnet sisteminin analitik modeli ve b) kuvvet- yer değiştirme ilişkisi

Yapıya gelen deprem yükü izolatörün sürtünme kuvvetinden küçük olduğu durumda hareket oluşmaz. Yapı ankastre mesnetli gibi tepki verir ve periyodu izolasyonsuz yapının periyoduna eşit olur. Yapıya gelen deprem yükü sürtünme kuvvetini aştığı zaman izolasyon sistemi harekete geçer ve yapının doğal titreşim periyodu izolasyonlu yapının periyoduna eşit olmaktadır.

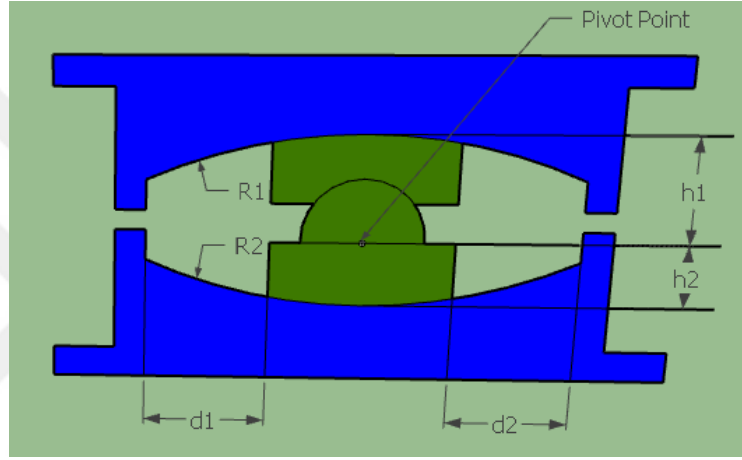
Sürtünmeli sarkaç izolatörlerde hareketin periyodu artırıldığında tabandaki kesme kuvveti düşer, izolatörün yerdeğiştirmesi artar. Eğrilik yüzeyinde sürtünme kuvveti azaltılır ise tabandaki kesme kuvveti azalır, izolatördeki yerdeğiştirme aynı şekilde artar.

Kayıcı sistemlerin dezavantajı olarak izolatör yüzeyindeki sürtünme katsayısının sabit olmaması söylenebilir. İçbükey yüzeyler zamanla ve sıcaklık etkisiyle başlangıçtaki özelliklerini kaybedebilmektedir.

Sürtünmeli sarkaç sistemler; tek eğrilikli sürtünmeli sarkaç sistemler (FP), çift eğrilikli sürtünmeli sarkaç sistemler (DCFP), üç eğrilikli sürtünmeli sarkaç sistemler (TFP) olarak sınıflandırılabilir. Ancak son yıllarda sürtünmeli sarkaç sistemlerde oluşacak çekme gerilmelerini karşılayabilecek XY-FP türü izolatör sistemleri de geliştirilmiştir [74].

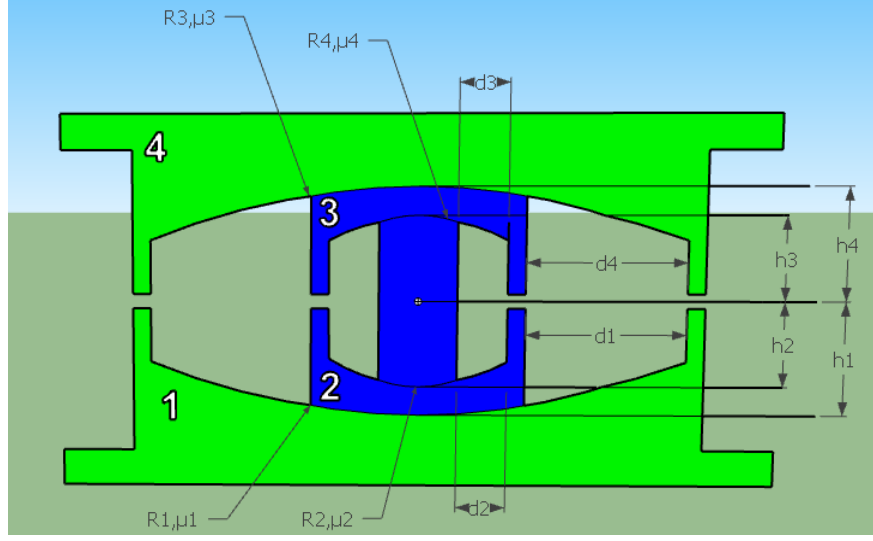
Tsai vd. 2003 yılında, iki adet küresel içbükey yüzey ve bunların arasına yerleştirilen kayıcı bir mafsaldan oluşan iki eğrilikli sarkaç sistemi önermişlerdir. Bu sistem depreme karşı koyabilme efektifliğini artırmak ve çok daha küçük boyutlarda bir izolasyon sistemi

kullanılarak deprem yalıtımının sağlanabilmesi amacıyla ortaya çıkarılmıştır. Çalışma sistemi iyi bilinen tek eğrilikli sürtünmeli sarkaç sistemden esinlenerek ortaya çıkmıştır ve çalışma yöntemi aynıdır. Getirdiği ek özellik ise tek eğrilikli sistemden daha fazla yerdeğiştirebilme kapasitesine sahip olmasıdır. Tek eğrilikli sürtünmeli sarkaç sistemde yerdeğiştirme kapasitesi $d1$ ya da $d2$ olurken çift eğrilikli sürtünmeli sarkaç sistemde yerdeğiştirme kapasitesi $d1+d2$ olmaktadır. Aynı zamanda iki farklı kayıcı yüzeyde farklı sürtünme katsayılarına ve eğrilik yarıçaplarına sahiptir. Eğrilik yarıçapları ve sürtünme katsayıları istenilirse aynı da olabilmektedir [87].



Şekil 1.33. Çift eğrilikli Sürtünmeli Sarkaç Sistemi

Üç eğrilikli sürtünmeli sarkaç sistemi, kendiliğinden ayarlanabilen sönüm ve rijitlik özelliklerine sahip pasif bir izolatör sistemidir. Bu ayarlanabilen davranış ise kontrol edilebilen deplasman büyüklüklerindeki değerlerin öncesinde bilinmesi ile rijitliğin sürtünme katsayısının değiştirilmesidir. Bu davranışta dışardan herhangi bir ek kuvvete ihtiyaç duyulmaz. Aynı zamanda mesnedin tüm parametreleri tek eğrilikli sürtünmeli sarkaç mesnedin bilinen teorisinden oluşturulur [87].



Şekil 1.34. Üç Eğrilikli Sarkaç İzolatör Kesiti

1.5. Sismik İzolasyon Çalışması ile ilgili TBDY 2018 Kuralları

1.5.1. Tanımlar

Yalıtım Sistemi: Yapıya, izolatör yerleştirilen arayüzde düşeyde yüksek rijitlik, yatayda düşük rijitlik ve hareket edebilme özelliği sağlayan aygıtların hepsine verilen teknik terimdir.

Yalıtım Arayüzü: İzolasyon sisteminin montajının yapıldığı düzlemdir.

Altyapı: Binanın yalıtım arayüzünün, temel de içinde olması şartıyla, alt kısmında bulunan bölgedir.

Üstyapı: Binanın yalıtım arayüzünün üst kısmında kalan tüm bölgedir.

Tasarım Deprem Yer Hareketi: TBDY 2018 2.2.2' de tanımlanan DD-2 deprem yer hareketi düzeyidir.

En Büyük Deprem Yer Hareketi: TBDY 2018' de 2.2.1'de tanımlanan DD-1 deprem yer hareketi düzeyidir.

Etkin Sönüm Oranı: İzolasyon sisteminin, belirli genlikteki yerdeğiştirmeler altında göstereceği etkin sönüm oranıdır (tasarım yerdeğiştirmesi ve en büyük yerdeğiştirme için ayrı ayrı belirlenir).

Etkin Rijitlik: İzolasyon sisteminde oluşan toplam kesme kuvvetinin, izolasyon sistemi rijitlik merkezindeki görelî yerdeğiştirme değerine bölünmesi ile elde edilen rijitlik değeridir (tasarım yerdeğiştirmesi ve en büyük yerdeğiştirme için ayrı ayrı belirlenir).

Etkin Rijitlik Merkezi: İzolasyon sistemindeki birimlerin tasarım deprem yer hareketi altındaki yerdeğiştirmeye karşı gelen etkin yatay rijitliklerine bağlı olarak hesaplanan rijitlik merkezidir.

Etkin Yalıtım Periyodu: Kütlesi üstyapı kütlesine eşit ve rijitliği yalıtım sisteminin etkin yatay rijitliğine eşit olan tek serbestlik dereceli bir sistemin doğal titreşim periyodudur (tasarım yerdeğiştirmesi ve en büyük yerdeğiştirme için ayrı ayrı belirlenir).

1.5.2. Genel Tasarım İlkeleri

1. Sismik izolasyon tasarımı yapılan binalarda; bina önem katsayısı göz önüne alınmaksızın Bina Önem Katsayısı $I=1$ olarak dikkate alınacaktır.
2. Uygulanan tasarım için aşağıda belirtilen ve TBDY 2018 2.2’de tanımlanan iki farklı düzeyde deprem yer hareketine göre tasarım yapılacaktır.
 - a) DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi (Tasarım Deprem Yer Hareketi)
 - b) DD-1 Deprem Yer Hareketi Düzeyi (En Büyük Deprem Yer Hareketi)
3. İzolatörlerin en büyük yerdeğiştirme hesabı DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde yalıtım birimlerine ait parametrelerin alt sınır değerleri ile üstyapıya etkileyen en büyük yatay kuvvetin hesabı ise DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde yalıtım birimlerine ait parametrelerin üst sınır değerleri ile yapılacaktır.
4. İzolasyon sistemi herhangi bir D yerdeğiştirmesinde yatay merkezleme kuvveti oluşturabilecek şekilde tasarlanacak ve ikincil (elastik ötesi) rijitliği kullanılarak hesaplanan titreşim periyodu 6 saniyeden daha büyük olmayacaktır.
5. İzolasyon sistemi uygulanacak yapının sonlu eleman modeli yapılırken kullanılacak etkin kesit rijitlik çarpanları TBDY 2018 Tablo 13.1 kullanılarak elde edilecektir.
6. İzolatörlere ait üst ve alt sınır değerleri sürtünmeli sarkaç izolatörler için TBDY 2018 14.13.1’e göre belirlenecektir.
7. İzolasyon tasarımında herhangi bir deprem yer hareketi düzeyinde izolatörlerde, çekme kuvveti oluşmaması gerekmektedir.
8. İzolasyonlu binaların Deprem Tasarım Sınıfı’na göre performans hedefleri ve uygulanacak tasarım yaklaşımları TBDY 2018 Tablo 3.5’de verilmiştir.

1.5.3. Tasarımda Uygulanacak Hesap Yöntemi

1.5.3.1. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Tasarım Yöntemi

1. Üst yapı ve alt yapı her koşulda TBDY 2018 5.7' de verilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile hesaplanabilir.
2. Binanın düşeydeki doğal titreşim periyodu $T_v \leq 0.1$ sn ise depremin iki yatay bileşeni, $T_v > 0.1$ sn ise depremin iki yatay bileşenine ek olarak düşey bileşeni de dikkate alınacaktır.
3. İzolasyon uygulanan yapıların zaman tanım alanında deprem hesabında kullanılacak deprem kayıtlarının seçiminde TBDY 2018 2.5' te verilen kuralların tümü geçerlidir. Ancak TBDY 2018 2.5.2' de tanımlanan $0.2T_p$ yerine $0.5T_M$ (T_M en büyük yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın üst sınır değerleri ile hesaplanmış etkin titreşim periyodu), $1.5T_p$ yerine ise $1.25T_M$ (T_M en büyük yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın alt sınır değerleri ile hesaplanmış etkin titreşim periyodu) kullanılacaktır.
4. Tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için yalıtım birimi yerdeğiştirmesi D_D Denk. (1.3) ile hesaplanacaktır.

$$D_D = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) T_D^2 \eta_D S_{ae}^{(DD-2)}(T_D) \quad (1.3)$$

5. Tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için bina etkin periyodu T_D Denk.(1.4) ile hesaplanacaktır.

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK_D}} \quad (1.4)$$

6. En büyük deprem yer hareketi düzeyi DD-1 için izolatör yanal yerdeğiştirmesi D_M Denk.(1.5) ile hesaplanabilir.

$$D_M = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) T_M^2 \eta_M S_{ae}^{(DD-1)}(T_M) \quad (1.5)$$

7. En büyük deprem yer hareketi düzeyi DD-1 için bina etkin periyodu T_M Denk.(1.6) ile hesaplanacaktır.

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK_M}} \quad (1.6)$$

8. Sönüm ölçeklendirme katsayıları η_D ve η_M Denk.(1.7) ile hesaplanacaktır.

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \quad (1.7)$$

Burada ξ , DD-1 veya DD-2 deprem yer hareketi düzeyindeki izolatör yerdeğiştirmeleri için hesaplanan etkin sönüm yüzdesidir.

9. DD-2 ve DD-1 deprem düzeylerindeki sismik izolatör toplam yerdeğiştirmesi, Denk. 1.3 ve Denk. 1.5 ile hesaplanan değerlere ek olarak üstyapı ve izolasyon sistemi burulmasından gelen ilave yerdeğiştirmelerin eklenmesi ile hesaplanacaktır. Düzgün bir dağılım olması durumunda ise toplam yerdeğiştirmeler Denk. 1.8 ve Denk. 1.9'ten elde edilen verilerden daha az olmayacaktır.)

$$D_{TD} = D_D \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad (1.8)$$

$$D_{TM} = D_M \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad (1.9)$$

Burulma etkisinin dikkate alınmasıyla hesap edilen yerdeğiştirme değerlerinin Denk. 1.8 ve Denk. 1.9'deki değerlerden daha küçük olması durumunda Denk. 1.8 ve Denk.1.9 'deki değerler yerine hesaptan elde edilecek değerler ile $1.1D_M$ ve $1.1D_D$ değerlerinden büyük olanları seçilecektir. Burada; b ve d yapının plandaki boyutları, y hesap yapılan doğrultuda bina rijitlik merkezinin en dıştaki yalıtım birimine olan dik uzaklık, e ise eksantirisitedir.

10. Üstyapıya etkiyecek olan kuvvet, tasarım deprem hareketi düzeyi DD-2 için Denk. 1.10 , DD-1 yer hareketi düzeyi için Denk. 1.11 ile hesaplanacaktır.

$$V_D = \frac{S_{ae}^{(DD-2)}(T_D)W\eta_D}{R} \quad (1.10)$$

$$V_M = \frac{S_{ae}^{(DD-1)}(T_M)W\eta_M}{R} \quad (1.11)$$

11. R değeri Tablo 1.1.'deki performans hedeflerine göre Tablo 1.2.'den alınacaktır.

Tablo 1.1. Deprem tasarım sınıfına göre sismik izolasyonlu binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme /tasarım yaklaşımları

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DTS=1,2,3,3a,4,4a		DTS=1a,2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-2	SH	DGT	KK	DGT
DD-1	-	-	-	-

- (a) Yeni inşa edilecek sismik izolasyonlu binalar-üstyapı

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DTS=1,2,3,3a,4,4a		DTS=1a,2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı		Normal Performans Hedefi
DD-2	KH	DGT	DD-2	KH
DD-1	-	-	DD-1	-

- (b) Sismik izolasyon yapılarak güçlendirilecek mevcut binalar-üstyapı

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DTS=1,2,3,3a,4,4a		DTS=1a,2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı		Normal Performans Hedefi
DD-2	-	-	DD-2	-
DD-1	KK	ŞGDT ⁽¹⁾ -DGT ⁽²⁾	DD-1	KK

- (c) Yeni inşa edilecek ve güçlendirme yapılacak sismik izolasyonlu binalar-yalıtım sistemi ve altyapı

- (1) Yalıtım sistemi için uygulanacaktır.
(2) Altyapı için uygulanacaktır.

Tablo 1.2. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı (R) ve Dayanım Fazlalığı Katsayıları(D)

Performans Hedefi	R	D
KK	1.2	1.2
SH	1.5	1.5

1.5.3.2. Deprem Kayıtlarının Seçimi

1. Binaların taşıyıcı sistemlerinin zaman tanım alanında deprem hesabında kullanılacak deprem kayıtlarının seçiminde tasarımda kullanılacak deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları dikkate alınarak yapılacaktır.
2. Bir veya iki boyutlu hesap için seçilecek deprem kayıtlarının ve üç boyutlu hesap için seçilecek deprem kaydı takımlarının sayısı en az onbir olacaktır. Aynı depremden seçilecek kayıt ve kayıt takımı sayısı üçü geçemez.

1.5.3.3. Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirme Kuralları

1. Bir veya iki boyutlu hesap için seçilen tüm deprem kayıtlarına ait spektrumların ortalamasının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin, TBDY 2.3.4 ve 2.4.1'e göre tanımlanan tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerinden küçük olmaması şartına göre, deprem kayıtları ölçeklendirilecektir.
2. Üç boyutlu hesap için seçilen her bir deprem kaydı takımının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilecektir. Seçilen tüm kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalamasının $0.5T_M$ ve $1.25T_M$ periyotları arasındaki genliklerinin, tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklere oranının 1.3'ten küçük olmaması şartına göre deprem yer hareketi bileşenlerinin genlikleri ölçeklendirilecektir. Bir veya iki boyutlu hesap için seçilen tüm deprem kayıtlarına ait spektrumların ortalamasının $0.5T_M$ ve $1.25T_M$ periyotları arasındaki genliklerinin, TBDY 2.3.4 ve 2.4.1'e göre tanımlanan tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerinden küçük olmaması şartına göre, deprem kayıtları ölçeklendirilecektir. Her iki yatay bileşenin ölçeklendirilmesi için aynı ölçek katsayısı kullanılacaktır.

1.5.3.4. Doğrusal Olmayan Hesap İçin Taşıyıcı Sistem Modellemesinde Kullanılacak Kurallar

1. Bina taşıyıcı sistemleri her zaman üç boyutlu olarak modellenmelidir.
2. Eksenel kuvvetlerin şekil değiştirmiş taşıyıcı sistemde meydana getirdiği ikinci mertebeye etkileri dikkate alınmalıdır.
3. Taşıyıcı sistemde kullanılacak olan beton ve donatı çeliği için ortalama malzeme dayanımları Tablo 1.3. de verilmiştir.

Tablo 1.3. Ortalama Malzeme Dayanımları

Beton	$f_{ce}=1.3f_{ck}$
Donatı çeliği	$f_{ye}=1.2f_{yk}$
Yapı çeliği (S235)	$f_{ye}=1.5f_{yk}$
Yapı çeliği (S275)	$f_{ye}=1.3f_{yk}$
Yapı çeliği (S355)	$f_{ye}=1.1f_{yk}$
Yapı çeliği (S460)	$f_{ye}=1.1f_{yk}$

4. Kiriş ve kolonlar, çerçeve (çubuk) sonlu eleman olarak modelleneyecektir. Doğrusal olmayan davranış, elemanların uçlarındaki sonlu plastik şekil değiştirme bölgelerinde TBDY 2018 5.3.1'e göre yığılı plastik davranış modeli veya TBDY 2018 5.3.2'ye göre yayılı plastik davranış modelleri ile modellenebilir.
5. Kiriş ve kolonların birleştiği düğüm noktalarında altı serbestlik derecesi dikkate alınacaktır. Döşemelerin rijit diyafram olarak tanımlandığı durumlarda bu serbestlik derecelerinin rijit harekete karşılık gelenleri kaldırılacaktır.
6. Kolon ve kirişlerde plastik mafsallar kolon ve kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konulabilir.
7. TBDY 2018 3.6.2.2'ye göre A2 ve A3 türü düzensizliklerin bulunmadığı ve düzlem içi önemli şekil değiştirmelerin meydana gelmeyeceğinin beklendiği planda düzenli binalarda, betonarme döşemeler rijit diyafram olarak modellenebilir.
8. TBDY 2018 3.6.2.2'ye göre A2 ve A3 türü düzensizliklerin bulunmadığı ve düzlem içi önemli şekil değiştirmelerin meydana gelmeyeceğinin beklendiği planda düzenli binalarda, betonarme döşemeler rijit diyafram olarak modellenebilir.

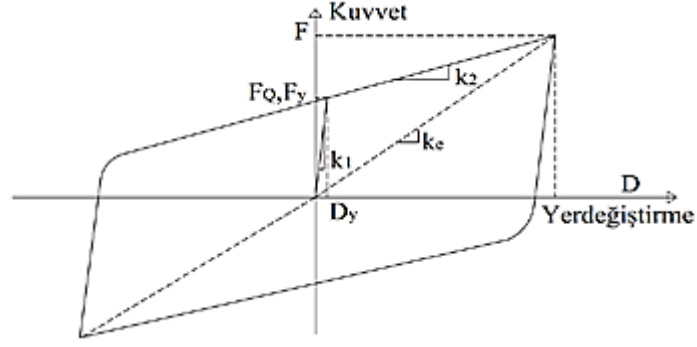
9. Sismik izolasyonlu yapının modellenmesinde kullanılacak etkin kesit rijitliği çarpanları Tablo 1.4.'de verilmiştir.

Tablo 1.4. Sismik İzolasyonlu Yapıların Modellenmesinde Kullanılacak Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
<i>Perde-Döşeme(Düzlem içi)</i>	<i>Eksenel</i>	<i>Kayma</i>
Perde	0.75	1.00
Bodrum perdesi	1.00	1.00
Döşeme	0.50	0.80
<i>Perde-Döşeme(Düzlem dışı)</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Perde	1.00	1.00
Bodrum perdesi	1.00	1.00
Döşeme	0.50	1.00
<i>Çubuk eleman</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Bağ kirişi	0.30	1.00
Çerçeve kirişi	0.70	1.00
Çerçeve kolonu	0.90	1.00
Perde (eşdeğer çubuk)	0.80	1.00

1.5.4. Sürtünmeli Sarkaç İzolatör Tasarımı

Sürtünmeli türdeki izolatörlerde eğrilik yarıçapı belirlenmesi ile yapı periyodu belirlenmektedir. Tasarım için öncelikle ön tasarım yapılarak iterasyon adımlarıyla ilerlenmektedir. Bu adımlar ile birlikte sürtünmeli sarkaç izolatörün mekanik ve yapısal özellikleri belirlenmektedir. Analizi yapılacak binada yapılması öngörülen maksimum yerdeğiştirme, taban kesme kuvveti gibi parametreler ile birlikte ön tasarım işlemi yapılarak izolatörün eğrilik yarıçapı, etkin ya da efektif rijitliği gibi değerlere karar verilerek izolatör tasarımı yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında, tek yüzeyli sarkaç izolatörler kullanılacağından TBDY 2018 Bölüm 14'e göre kullanılacak temel kuvvet-yerdeğiştirme grafiği aşağıda verilmiştir.



Şekil 1.35. Sürtünlü sarkaç izolatörler için kuvvet- yerdeğiştirme grafiği

Şekil 1. 35' te $F_Q=F_y$ etkin akma dayanımını, k_1 başlangıç rijitliğini, k_2 ikincil rijitliği, k_e D yerdeğiştirmesine karşı gelen rijitliği, F D yerdeğiştirmesine karşı gelen kuvveti, D_y etkin akma yerdeğiştirmesini göstermektedir.

Karakteristik dayanım, düşey yük (P) ve etkin sönüm katsayısına (μ_e) bağlı olarak Denklem 1.12 ile aşağıdaki şekilde bulunur.

$$F_Q=F_y=\mu_e * P \quad (1.12)$$

İkincil rijitlik ise düşey yük (P) ve etkin eğrilik yarıçapına (R_c) bağlı olarak Denklem 1.13 ile aşağıdaki gibi bulunur.

$$k_2 = \frac{P}{R_c} \quad (1.13)$$

Yukarıda verilen yükleme grafiğindeki etkin rijitlik; Denklem 1.14'deki verilen bağıntı ile bulunabilir.

$$k_e = \frac{F}{D} = \frac{P}{R_c} + \frac{\mu_e * P}{D} \quad (1.14)$$

Etkin sönüm oranı olarak adlandırılan β_e ; yerdeğiştirme çevriminde sönümlenen enerji (W_d) ve D yerdeğiştirmesine karşılık gelen kuvvete (F) bağlı olarak Denklem 1.15 ile aşağıdaki gibi bulunmaktadır.

$$\beta_e = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{W_d}{FD} \right] = \frac{2}{\pi} \left[\frac{\mu_e}{\mu_e + D/R_c} \right] \quad (1.15)$$

Genel olarak taban izolasyonlu yapılar için ön tasarımda efektif periyot olarak 2-3 sn arasında bir değer seçilerek tasarım yapılmaktadır. Başlangıçta ön tasarım için belirlenmekte olan maksimum değerler yapının ekonomik ömrü içinde meydana gelmesi tahmin edilen yer hareketi düzeyine karşı ayakta kalması için dikkate alınan parametreler olarak karşımıza çıkmaktadır. Yukarıda belirtilen denklemleri kullanan bir Excel dosyası ile tasarım için gerekli iterasyonları yapan program hazırlanmıştır.

1	GİRİLECEK DEĞİŞKENLER(UB-DBE)				
2					
3	Me(üzey sönümü)	0,087			
4				Nonlineer Özellikler(U2-U3)	
5	R(m)(izolator yarıçapı)	3,50		P*UB*Me/Dy	
6				KE=	758,2566
7	P(G+NQ)(kN)	4005		P=Düsey Kuvvet	
8				UB=üst limit	
9	Ke	2156,7857		Me=Sürtünme Katsayısı	293,3333
10				Dy=Sürtümlü İzolator Akma Yerdeğiştirmesi	245,4862
11	UB(Üst Limit)	1,5			538,8196
12					
13					
14					
15	İlk Yerdeğiştirme(D)	0,5162			
16					
17				İTERASYONUN HATA GRANI(%)	-0,02007
18					
19	Hesaplanan Değerler				
20	Pi	3,2425927			
21					
22	2/pi	0,6366198			
23	Mü*UB	0,1305			
24	Mü*UB+D/R	0,2779857			
25					
26					
27	Be=kıssı	0,2988603			
28					

Şekil 1.36. Sürtümlü sarkaç izolatörlerin tasarımı için hazırlanan Excel programı

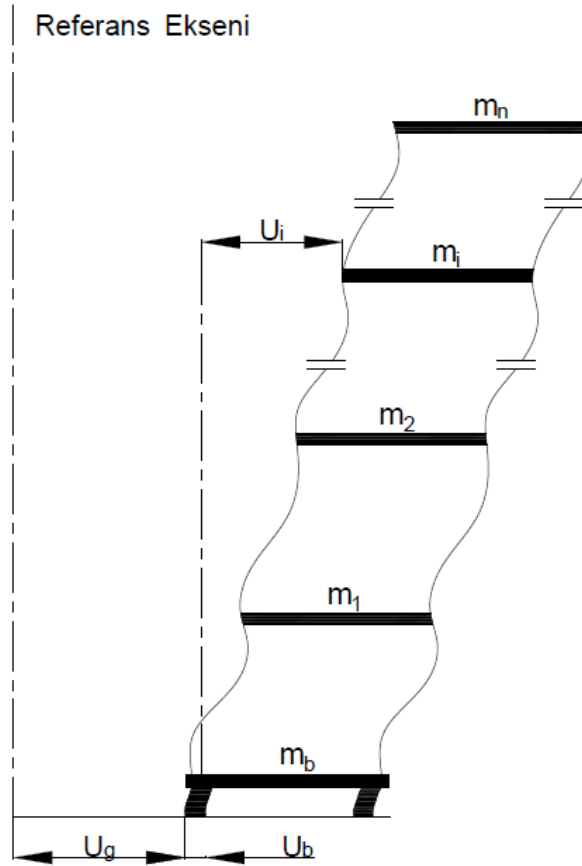
Tasarım için sürtünme katsayısı $\mu = 0.087$, izolatör eğrilik yarıçapı $R = 3.5$ m, hedef izolatör yerdeğiştirmesi DD-2 depremi üst sınır için yapılan hesapta $D = 0.577$ m ve DD-1 depremi alt sınır için yapılan hesapta $D = 0.703$ m olarak iterasyon sonucu bulunmuştur. Bu değerler için tasarım yapılmış, hedef periyotlar DD-2 depremi üst sınır için $T = 2.72$ s (hedef) ve $T = 2.74$ s (ETABS); DD-1 depremi için alt sınır için $T = 3.34$ s (hedef) ve

$T= 3.16$ s (ETABS) bulunmuştur. Aynı zamanda sürtülmeli sarkaç izolatörler için geri merkezleme kuvvetinin sağlanması için geçerli şart $\frac{D}{R} > \mu$ 'dür [22].

DD-2 depremi için $0.577/3.5=0.165>0.087$ ve DD-1 depremi için $0.703/3.5=0.2>0.087$ olduğundan tasarımda geri merkezleme kuvvetinin şartı sağlanmıştır.

1.6. Sismik İzolasyonlu Yapıların Hareket Denklemi

Doğrusal elastik özelliğe sahip çerçeve ve perdelerin oluşturduğu binalar ve temelleri, kütleleri kat seviyelerinin ağırlık merkezlerine toplanmış olarak düşünülerek basit olarak modellenebilirler. Bu modelde katlara 3 serbestlik derecesi 2 ötelenme ve 1 dönme olarak tanımlanabilir. Bu şekilde idealize edilen modelde, döşemeler ve temelin planda sonsuz rijit olduğu varsayılmaktadır. Binaların bu şekilde modellenmesinde yalıtım sistemi; kauçuk ve kayıcı mesnetlerden, viskoz elemanlardan ve doğrusal olmayan sönümleyici elemanlardan seçilebilir.



Şekil 1.37. Çok serbestlik dereceli sismik izolasyonlu bir yapının yerdeğiştirme koordinatları

Bu modelleme ile, doğrusal elastik üst yapının, Şekil 1.37, matematik modeli olarak;

$$\mathbf{M}_{n \times n} \ddot{\mathbf{U}}_{n \times 1} + \mathbf{C}_{n \times n} \dot{\mathbf{U}}_{n \times 1} + \mathbf{K}_{n \times n} \mathbf{U}_{n \times 1} = -\mathbf{M}_{n \times n} \mathbf{R}_{n \times 3} (\ddot{\mathbf{U}}_g + \ddot{\mathbf{U}}_b)_{3 \times 1} \quad (1.16)$$

yazılabilir. Bu ifadede, 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, yerdeğiştirme vektörleridir. $\ddot{\mathbf{U}}_b$, $\ddot{\mathbf{U}}_g$ sırası ile yere göre sismik izolasyonun ve yer hareketinin ivmeleridir.

Taban için hareket denklemleri ise,

$$\mathbf{R}_{3 \times n}^T \mathbf{M}_{n \times n} [(\ddot{\mathbf{U}}) + \mathbf{R}(\ddot{\mathbf{U}}_b + \ddot{\mathbf{U}}_g)]_{n \times 1} + \mathbf{M}_{b3 \times 3} (\ddot{\mathbf{U}}_b + \ddot{\mathbf{U}}_g)_{3 \times 1} + \mathbf{C}_{b3 \times 3} (\dot{\mathbf{U}}_b)_{3 \times 1} + \mathbf{K}_{b3 \times 3} (\mathbf{U}_b)_{3 \times 1} + (\mathbf{f})_{3 \times 1} = 0 \quad (1.17)$$

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 doğrusal olmayan izolasyon elemanlarında hareketi muhteva eden kuvvet vektörüdür. Yerdeğiştirmeler, \mathbf{U} , modal matris, Φ , modal genliklere, \mathbf{U}^* , bağlı olarak

$$\mathbf{U}_n = \Phi_{n \times m} \mathbf{U}_{m \times 1}^* \quad (1.18)$$

yazılabilir. Burada, m çözümde kullanılan öz vektörlerin miktarı ve n , döşeme orta noktasında bulunduğu kabul edilen serbestlik derecelerinin sayısıdır. (1.16)'den (1.18)'e kadar olan denklemler birleştirilerek matris formunda,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I} & \Phi^T \mathbf{M} \mathbf{R} \\ \mathbf{R}^T \mathbf{M} \Phi & \mathbf{R}^T \mathbf{M} \mathbf{R} + \mathbf{M}_b \end{bmatrix}_{(m+3) \times (m+3)} \begin{pmatrix} \ddot{\mathbf{U}}^* \\ \dot{\mathbf{U}}^* \\ \mathbf{U}^* \end{pmatrix}_{(m+3) \times 1} + \begin{bmatrix} 2\xi_i \omega_i & 0 \\ 0 & \mathbf{C}_b \end{bmatrix}_{(m+3) \times (m+3)} \begin{pmatrix} \dot{\mathbf{U}}^* \\ \dot{\mathbf{U}}^* \end{pmatrix}_{(m+3) \times 1} + \begin{bmatrix} \omega_i^2 & 0 \\ 0 & \mathbf{K}_b \end{bmatrix}_{(m+3) \times (m+3)} \begin{pmatrix} \mathbf{U}^* \\ \mathbf{U}^* \end{pmatrix}_{(m+3) \times 1} + \begin{pmatrix} 0 \\ \mathbf{f} \end{pmatrix}_{(m+3) \times 1} = \begin{bmatrix} \Phi^T \mathbf{M} \mathbf{R} \\ \mathbf{R}^T \mathbf{M} \mathbf{R} + \mathbf{M}_b \end{bmatrix}_{(m+3) \times 1} \ddot{\mathbf{U}}_{g3 \times 1} \quad (1.19)$$

yazılabilir. Burada, ξ_i ankastre tabanlı yapının i . modundaki modal sönüm oranını ve ω_i ankastre tabanlı yapının i . modundaki doğal frekansını ifade etmektedir. (1.19) denklemi toplu olarak aşağıdaki şekilde,

$$\tilde{M} \ddot{\tilde{U}}_t + \tilde{C} \dot{\tilde{U}}_t + \tilde{K} \tilde{U}_t + f_t = \tilde{P}_t \quad (1.20)$$

yazılabilir. $t + \Delta t$ zamanında (1.20) denklemi,

$$\tilde{M} \ddot{\tilde{U}}_{t+\Delta t} + \tilde{C} \dot{\tilde{U}}_{t+\Delta t} + \tilde{K} \tilde{U}_{t+\Delta t} + f_{t+\Delta t} = \tilde{P}_{t+\Delta t} \quad (1.21)$$

elde edilir. Artımlı olarak yazılırsa,

$$\tilde{M} \Delta \ddot{\tilde{U}}_{t+\Delta t} + \tilde{C} \Delta \dot{\tilde{U}}_{t+\Delta t} + \tilde{K} \Delta \tilde{U}_{t+\Delta t} + \Delta f_{t+\Delta t} = \tilde{P}_{t+\Delta t} - \tilde{M} \ddot{\tilde{U}}_t - \tilde{C} \dot{\tilde{U}}_t - \tilde{K} \tilde{U}_t - f_t \quad (1.22)$$

şeklinde olacaktır. Burada, \tilde{M} , \tilde{C} , \tilde{K} ve \tilde{P} sırasıyla kısaltılmış kütle, sönüm ,rijitlik matrisleri ve yük vektörüdür. Aynı zamanda üst yapı ve izolasyon seviyesinin ivme, hız ve yerdeğiştirmeleri $\ddot{\tilde{U}}$, $\dot{\tilde{U}}$, \tilde{U} vektörleri ile ifade edilmektedir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1 Binanın Modellenmesi

Hastane binası toplam 12 katlıdır. Kat yüksekliği her kat için 3,5 m'dir. Toplam bina yüksekliği 42 m'dir. Taban alanı 240 m²'dir. Yapı betonarme olarak inşa edilecek ve hastane olarak hizmet verecektir. Analizi yapılmış olan binanın kalıp planı ve A-A aksı aşağıda verilmiştir. Kullanılan kolonlar 70x70 cm², kirişler ise 30x70 cm² kesit alanına sahiptir. Her katın döşeme yükseklikleri 22 cm ve radye temelin kalınlığı ise 120 cm olarak öngörülmüştür. Yapının ölü yükleri için; dış duvar yükleri 6 kN/m, iç duvar yükleri 4 kN/m, normal kat döşemelerinin kaplama yükü 1,5 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Hareketli yükler için ise tabliyenin kenar döşemelerinde 2 kN /m², iç döşemelerde ise 5 kN/m² olarak dikkate alınmıştır. Kullanılan malzemelerin özellikleri ve zemin parametreleri aşağıda verilmektedir.

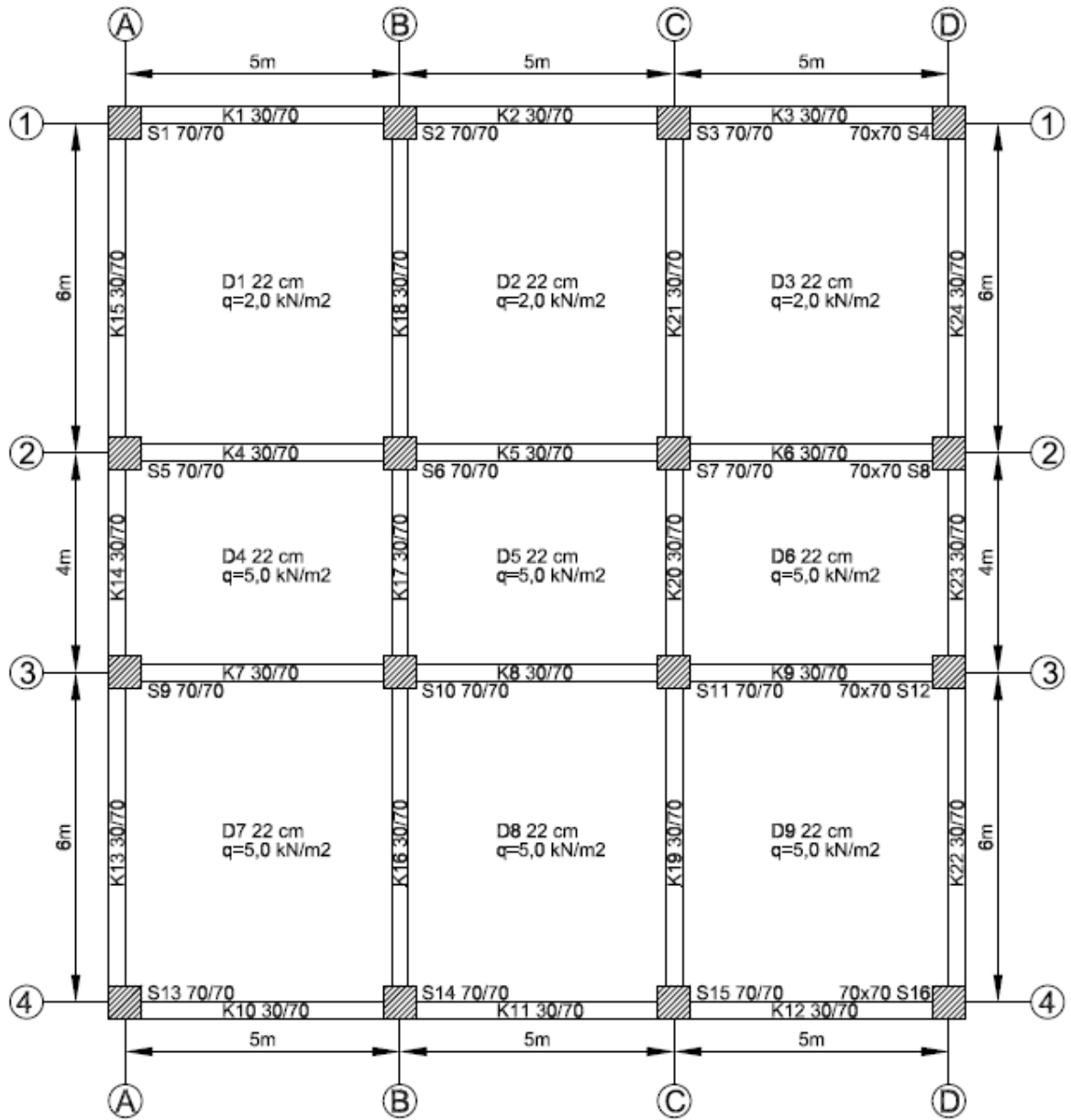
Kullanılan Malzemenin Özellikleri:

Beton sınıfı	: C30/37 ($f_{ck} = 30$ MPa)
Donatı sınıfı	: S420 ($f_{yk} = 420$ MPa)
Beton elastisite modülü (E_c)	: 32000 MPa
Donatı elastisite modülü (E_s)	: 210000 MPa

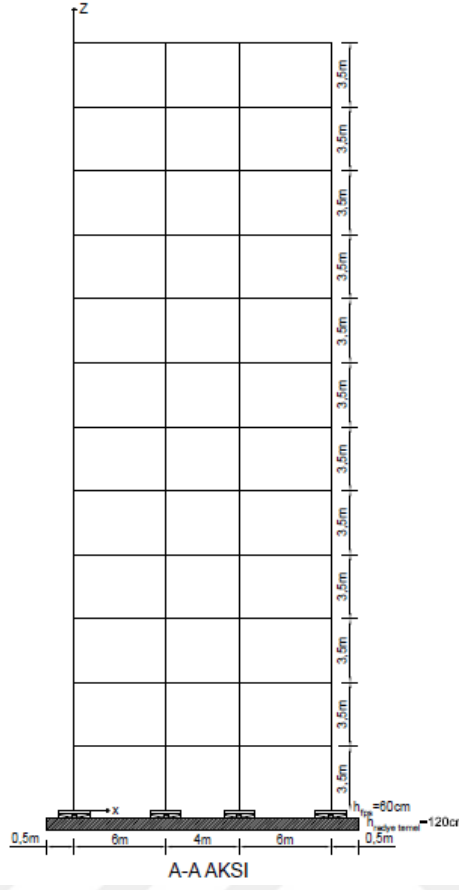
Zemin Parametreleri:

Yerel zemin sınıfı	: ZD
Zemin emniyet gerilmesi	: 187 kN/m ²
Zemin yataklanma katsayısı	: 2000 kN/m ³

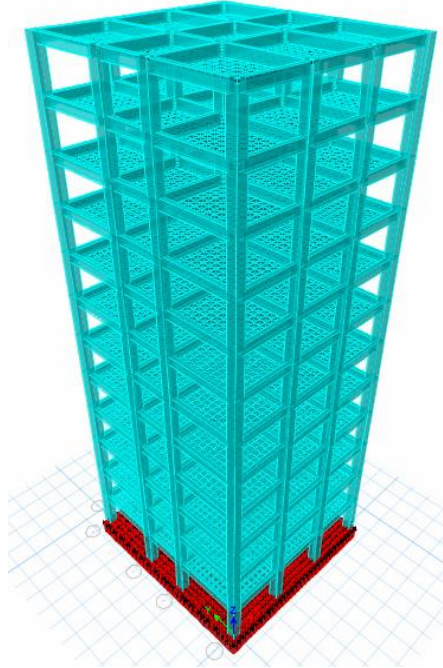
Yapı taşıyıcı sistemi süneklik düzeyi yüksek çerçevesel sistem olarak seçilmiş, döşeme sistemi ise plak döşeme olarak belirlenmiştir. Tüm analiz aşamalarında ETABS sonlu eleman paket programı kullanılması tercih edilmiştir.



Şekil 2.1. Analizi yapılan kalıp planı

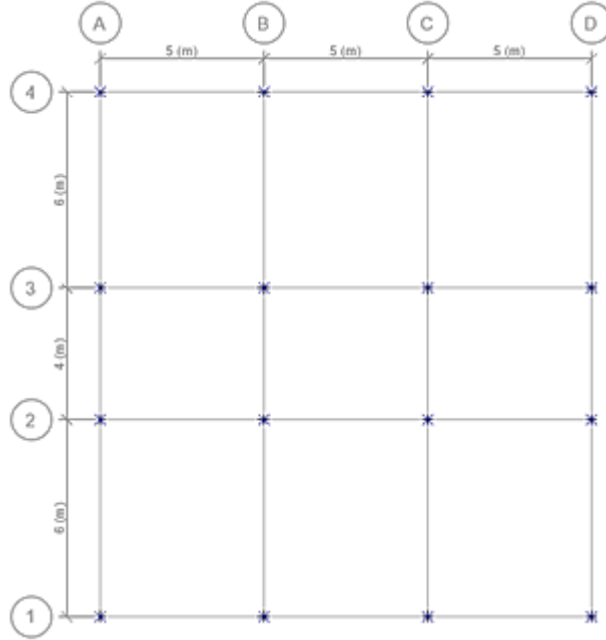


Şekil 2.2. Analizi yapılan binanın a-a aksı

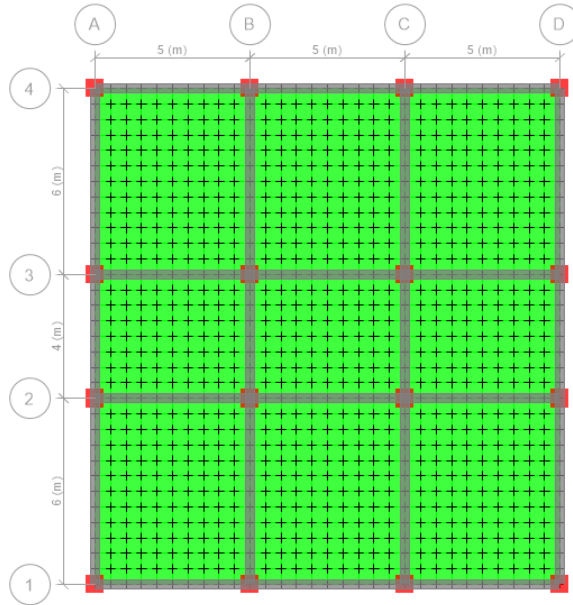


Şekil 2.3. Analizi yapılan binanın 3D görünümü

Yapıda 12 kolonun altına FPS (Friction Pendulum Slider) türü izolatörlerin montajı yapılmış olarak analizi yapılmıştır. Ayrıca; bina döşemelerinin analiz sonuçlarının daha doğru elde edilmesi amacıyla döşemeler 0,5 m aralıklarla sonlu elemanlara ayrılmıştır.



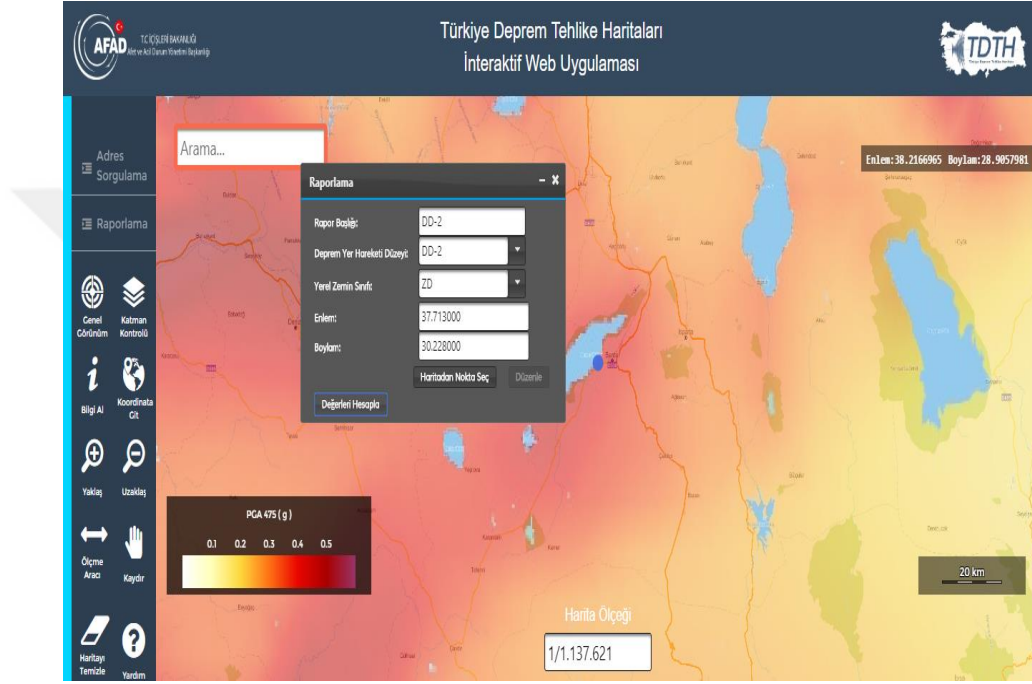
Şekil 2.4. Binanın kolon aplikasyon planı



Şekil 2.5. Sonlu elemanlara bölünmüş bina kat planı

2.2. Analiz İçin Kullanılan Hedef Spektrumların Elde Edilmesi

Analizde kullanılacak hedef spektrumun elde edilmesi için AFAD'ın deprem tehlikesi verileri kullanılmıştır. Söz konusu binanın inşa edileceği lokasyon olan Burdur ili Merkez ilçesi Bahçelievler Mahallesi 37.713 enlem ve 30.228 boylam lokasyonu için koordinatlar girilerek hedef spektrum için gerekli parametreler elde edilmiştir.



Şekil 2.6. AFAD deprem tehlikesi haritası bilgi girişi

Kullanıcı Girdileri		Özet Raporu Göster Yazdır
Rapor Başlığı	DD-2	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları
Enlem	37.713°	
Boylam	30.228°	

Şekil 2.7. Kullanıcının Girdiği Veriler

Çıktılar

$S_S = 1.015$	$S_1 = 0.234$	$PGA=0.428$	$PGV=23.824$
---------------	---------------	-------------	--------------

S_S : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

Şekil 2.8. Hedef spektrum için spektral veriler

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_S					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Şekil 2.9. Yerel zemin etki katsayısı (F_S)

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Şekil 2.10. Yerel zemin etki katsayısı (F_1)

yatay deprem hareketi için %5 sönümlü tasarım ivme spektrumu TBDY (2018)'e göre tasarım spektral ivmeleri, tasarım spektral ivme katsayıları ve doğal titreşim periyotlarına bağlı olarak aşağıdaki bağıntılarda verilmiştir.

$$S_{DS} = S_S * F_S = 1.015 * 1.094 = 1.110$$

$$S_{D1} = S_1 * F_1 = 0.234 * 2.132 = 0.499$$

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)

S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)

T_A ve T_B : Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyotları

T_L : Sabit Bölgeye Geçiş Periyodu

$$(0 \leq T \leq T_A) \text{ için } S_{ae}(T) = (0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}) S_{DS}$$

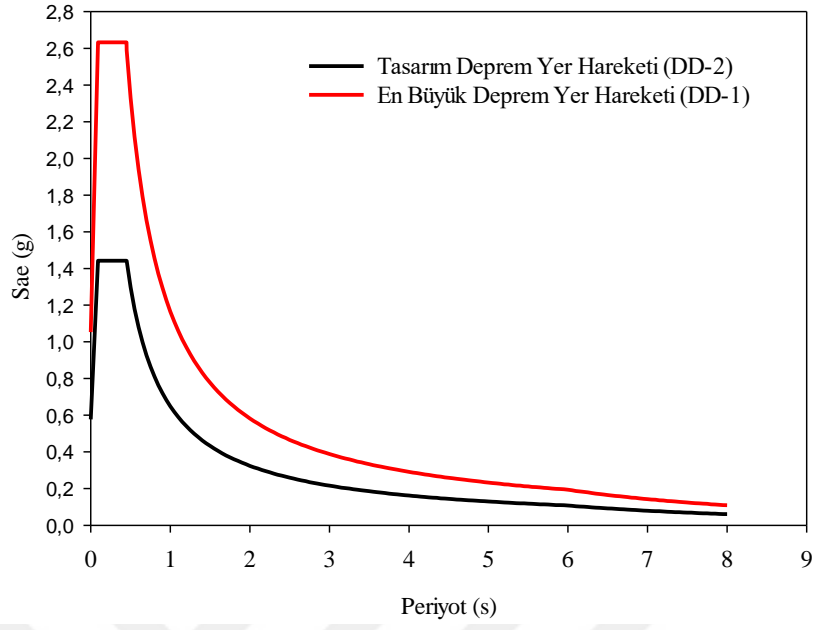
$$(T_A \leq T \leq T_B) \text{ için } S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T}$$

$$(T_B \leq T \leq T_L) \text{ için } S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T}$$

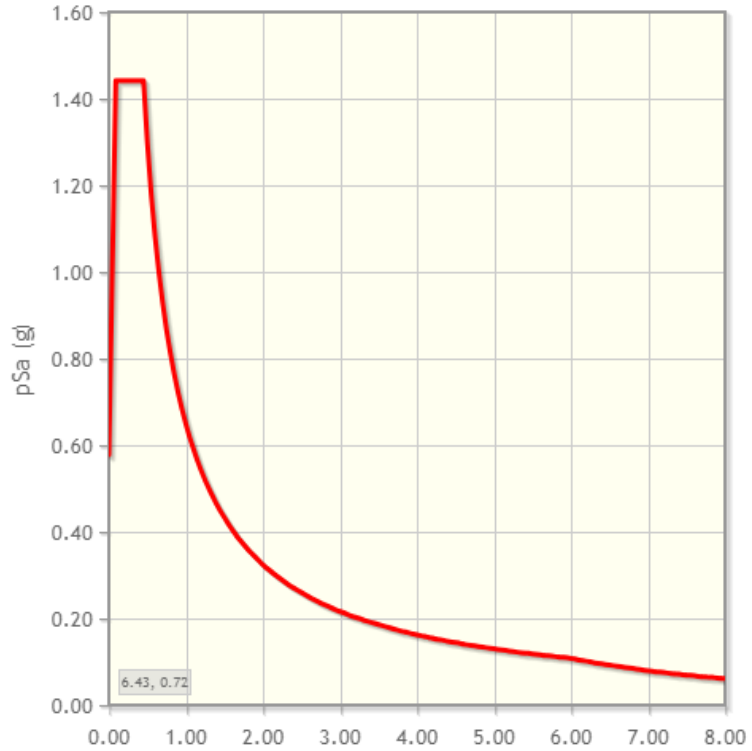
$$(T_L \leq T) \text{ için } S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} * T_L}{T^2}$$

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}, \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}, \quad T_L = 6sn$$

Bölgenin depremselliği, faya yakınlığı gibi parametrelere bakılarak seçilen 11 deprem kaydı Peer Ground Motion Database deprem kaydı veri tabanı kullanılarak bu deprem kayıtları aşağıda verilen hedef spektrumlara göre ölçeklenmiştir. Ölçekleme sonucunda elde edilen ölçek katsayıları her bir deprem yükleme durumu için ölçek katsayısı olarak ETABS sonlu eleman paket programına girilmiştir.



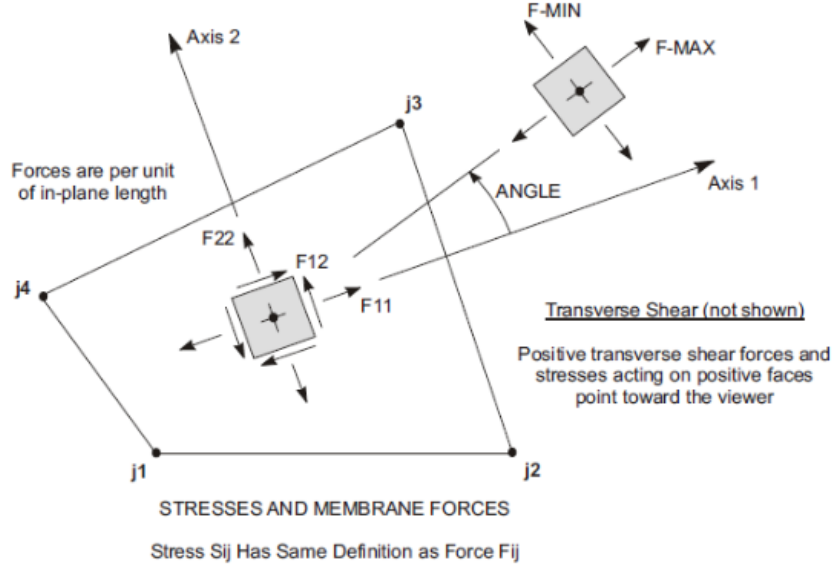
Şekil 2.11. Ölçekleme için kullanılan elastik yatay tasarım spektrumları



Şekil 2.12. Veri bankası için hazırlanmış DD-2 deprem düzeyi için hedef spektrum

2.3. Etkin Kesit Rijitlik Çarpanlarının Uygulanması İçin Etabs Teorik Bilgilerinin İncelenmesi

Ankastre mesnetli yapının analizi yapılmadan önce yeni yönetmelikte yer alan etkin kesit rijitliği çarpanları uygulanması için ETABS paket yazılımının manuelinde yer alan teorik bilgilere göz atılarak ilgili çarpanlar programa girilmiştir (TBDY 2018 Madde 4.5.8.1).



Şekil 2.13. ETABS programı için çatlamış kesit teorik bilgileri-1

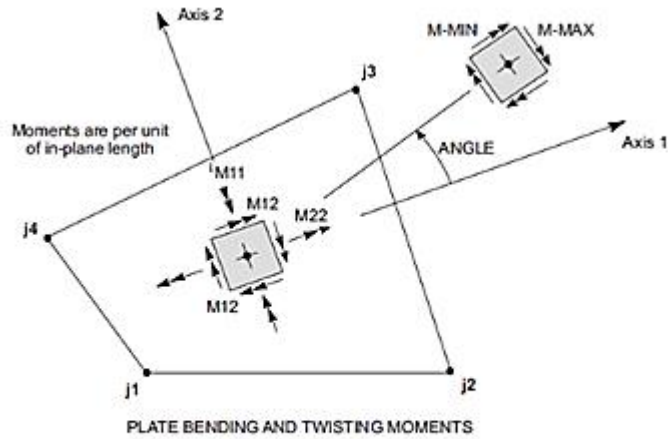


Figure
Shell Element Stresses and Internal Resultant Forces and Moments

Şekil 2.14. ETABS programı için çatlamış kesit teorik bilgileri-2

2.4. Ölçeklenen Deprem Kayıtları ve Ölçek Katsayıları

Yukarıda verilen bilgiler için f değerleri yönetmelikteki düzlem içi duruma, m değerleri ise düzlem dışı duruma karşılık gelmektedir. Aşağıda dinamik analiz için seçilen deprem kayıtlarının özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.1. Tüm dinamik analizlerde kullanılan deprem kayıt ve ölçek katsayıları

No	RSN	Deprem İsmi	İstasyon	Yıl	Ölçek Katsayıları			
					Ankastre Mesnetli Bina		Sismik İzolasyonlu Bina	
					DD-2	DD-1	DD-2	DD-1
1	6	Imperial Valley-02	El Centro Array #9	1940	1.3252	2.3821	1.3904	2.5903
2	20	Northern Calif-03	Ferndale City Hall	1954	1.4766	2.6544	1.1743	2.3688
3	30	Parkfield	Cholame - Shandon Array #5	1966	2.2500	4.0447	2.9205	5.3624
4	93	San Fernando	Whittier Narrows Dam	1971	5.7712	10.3746	4.9423	8.1029
5	122	Friuli, Italy-01	Codroipo	1976	4.2321	7.6079	5.2464	10.7786
6	186	Imperial Valley-06	Niland Fire Station	1979	4.8481	8.7152	4.8204	8.3302
7	190	Imperial Valley-06	Superstition Mtn Camera	1979	9.9257	17.8428	9.4234	16.9240
8	191	Imperial Valley-06	Victoria	1979	6.7625	12.1565	7.4862	12.6225
9	266	Victoria, Mexico	Chihuahua	1980	2.0748	3.7297	1.6049	2.7900
10	314	Westmorland	Brawley Airport	1981	4.4413	7.9839	4.7188	8.9681
11	316	Westmorland	Parachute Test Site	1981	1.3951	2.5078	1.1457	1.9906

3. BULGULAR VE İRDELEME

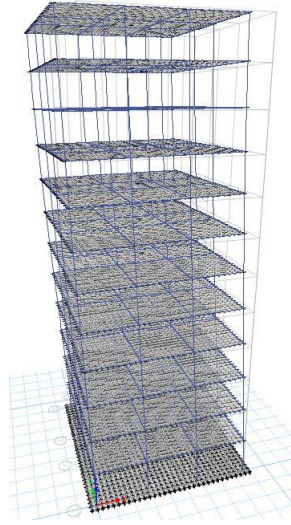
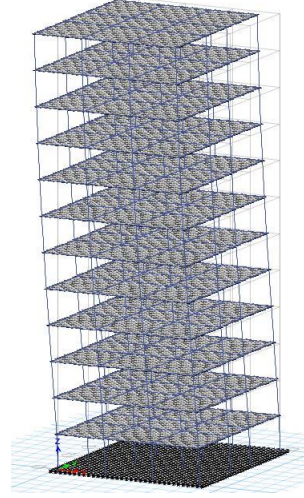
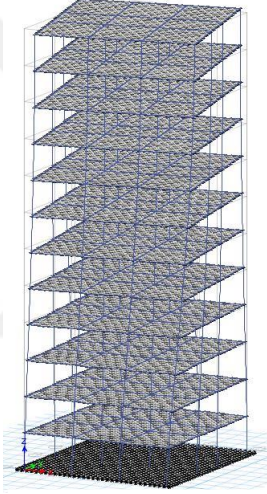
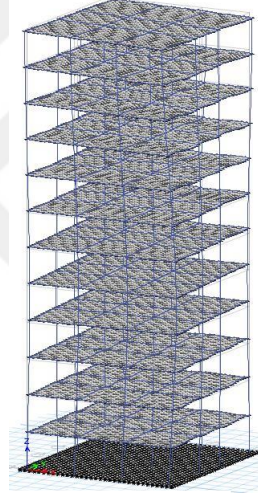
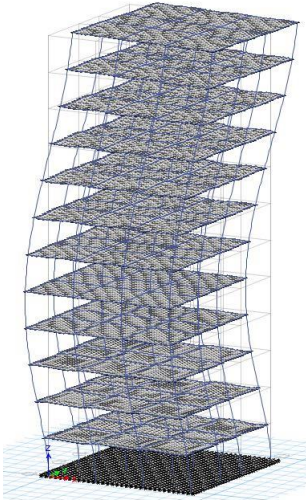
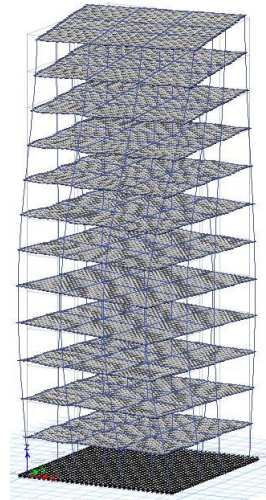
3.1. Ankastre Mesnetli Binanın Tasarımı

3.1.1. Ankastre Mesnetli Binanın Modal Analiz Sonuçları ve Mod Şekilleri

TBDY 2018 Madde 4.8.1.2 'de yeterli titreşim modu belirlenmesi için hesaplanan taban kesme kuvveti toplam modal kütlelerinin her iki yöne %95 olmalı ve %3'ten büyük olan her mod dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir. Ankastre mesnetli bina için yapılan modal analize bakıldığında ilk 12 modun dikkate alınmasının yeterli olduğu görülmektedir. Aşağıda ankastre mesnetli binanın modal analizi ve mod şekilleri verilmiştir.

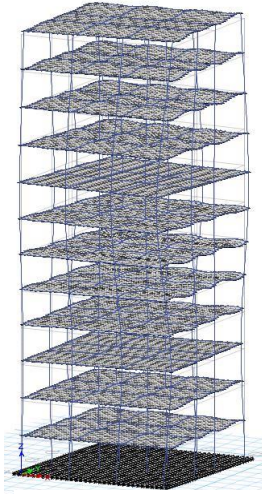
Tablo 3.1. Ankastre mesnetli bina için modal analiz sonuçları

Modal Kütle Katılım Oranları						Toplam		
Yükleme	Mod	Periyot (s)	UX	UY	UZ	UX	UY	UZ
Modal	1	2.0270	0.5137	0.2578	0.0000	0.5137	0.2578	0.0000
Modal	2	2.0010	0.2658	0.5223	0.0000	0.7795	0.7801	0.0000
Modal	3	1.3890	0.0091	0.0082	0.0000	0.7885	0.7883	0.0000
Modal	4	0.5710	0.0235	0.0783	0.0000	0.8121	0.8666	0.0000
Modal	5	0.5570	0.0810	0.0264	0.0000	0.8931	0.8930	0.0000
Modal	6	0.4400	0.0038	0.0028	0.0000	0.8969	0.8958	0.0000
Modal	7	0.3200	0.0089	0.0242	0.0000	0.9058	0.9200	0.0000
Modal	8	0.3130	0.0245	0.0101	0.0000	0.9303	0.9301	0.0000
Modal	9	0.2490	0.0012	0.0009	0.0000	0.9314	0.9310	0.0000
Modal	10	0.2140	0.0000	0.0000	0.9730	0.9314	0.9310	0,9730
Modal	11	0.2090	0.0064	0.0148	0.0000	0.9379	0.9458	0,9730
Modal	12	0.2030	0.0154	0.0074	0.0000	0.9533	0.9531	0,9730

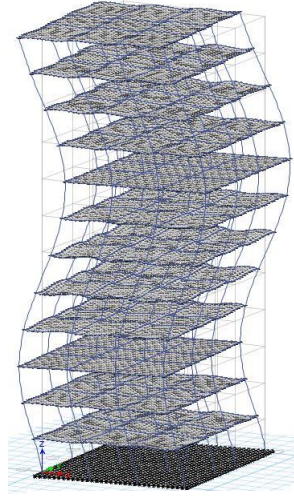
a) Mod 1; $T=2.027$ sb) Mod 2; $T=2.001$ sc) Mod 3; $T=1.389$ sd) Mod 4; $T=0.571$ se) Mod 5; $T=0.557$ sf) Mod 6; $T=0.440$ s

Şekil 3.1. Ankastre mesnetli bina için mod şekilleri

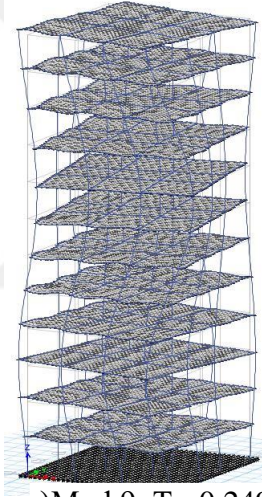
Şekil 3.1'in devamı



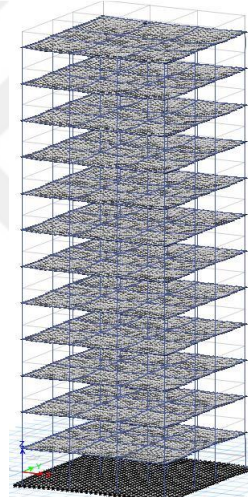
g) Mod 7; $T = 0.320$ s



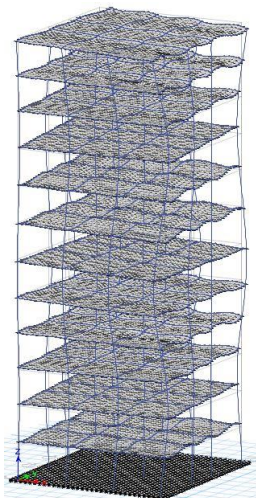
h) Mod 8; $T = 0.313$ s



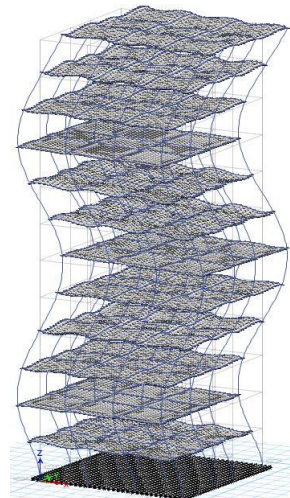
i) Mod 9; $T = 0.249$ s



i) Mod 10; $T = 0.140$ s



j) Mod 11; $T = 0.209$ s



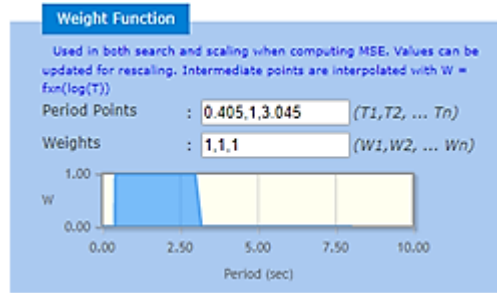
k) Mod 12; $T = 0.203$ s

3.1.2. Ankastre Mesnetli Binanın Dinamik Analizi İçin Ölçekleme Verileri

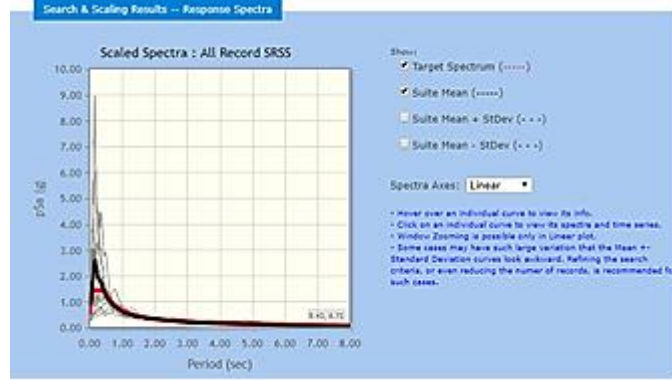
Ankastre mesnetli olarak modal analizi yapılan binanın hakim periyodu $T_p=2.03$ sn bulunmuştur. TBDY 2018 Bölüm 2.5.2(a) belirtildiği üzere seçilen deprem kayıtları $0.2T_p=0.405$ sn ve $1.5T_p=3.045$ sn genlikleri arasında veri tabanında ölçeklenmiştir.

Tablo 3.2. Tüm dinamik analizlerde kullanılan deprem bileşenleri

Deprem Kodu	Deprem İsmi	Deprem Yönü	Deprem Kaydı
RSN 6-1	_IMPVALL.I_I-ELC	U1;U2;U3	180; 270; UP
RSN 6-2		U1;U2;U3	270; 180; UP
RSN 20-1	_NCALIF.FH_H-FRN	U1;U2;U3	044; 314; UP
RSN 20-2		U1;U2;U3	314; 044; UP
RSN 30-1	_PARKF_C0	U1;U2;U3	5085; 5355; DWN
RSN 30-2		U1;U2;U3	5355; 5085; DWN
RSN 93-1	_SFERN_WND	U1;U2;U3	143; 233; DWN
RSN 93-2		U1;U2;U3	233; 143; DWN
RSN 122-1	_FRIULI.A_A-COD	U1;U2;U3	000; 270; UP
RSN 122-2		U1;U2;U3	270; 000; UP
RSN 186-1	_IMPVALL.H_H-NIL	U1;U2;U3	090; 360; UP
RSN 186-2		U1;U2;U3	360; 090; UP
RSN 190-1	_IMPVALL.H_H-SUP	U1;U2;U3	045; 135; UP
RSN 190-2		U1;U2;U3	135; 045; UP
RSN 191-1	_IMPVALL.H_H-VCT	U1;U2;U3	075; 345; UP
RSN 191-2		U1;U2;U3	345; 075; UP
RSN 266-1	_VICT_CHI	U1;U2;U3	102; 192; DWN
RSN 266-2		U1;U2;U3	192; 102; DWN
RSN 314-1	_WESMORL_BRA	U1;U2;U3	225; 315; UP
RSN 314-2		U1;U2;U3	315; 225; UP
RSN 316-1	_WESMORL_PTS	U1;U2;U3	225; 315; UP
RSN 316-2		U1;U2;U3	315; 225; UP



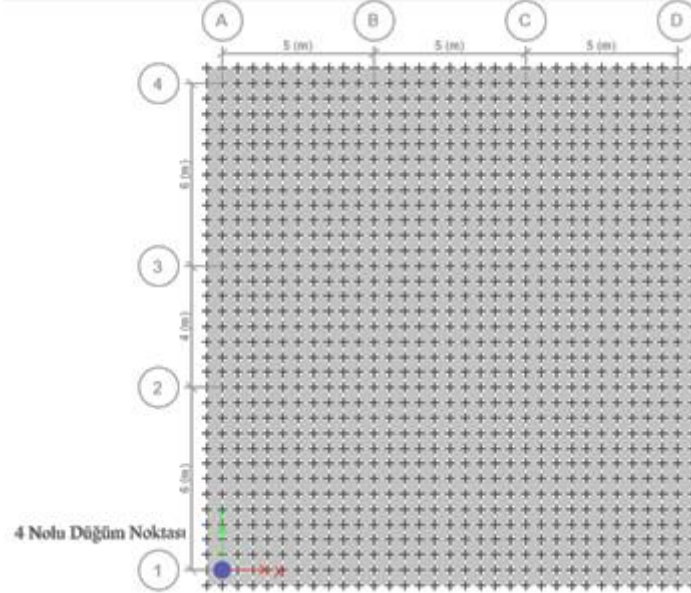
Şekil 3.2. Ankastre mesnetli bina DD-2 deprem düzeyi için veri tabanı ölçeklendirme aralığı



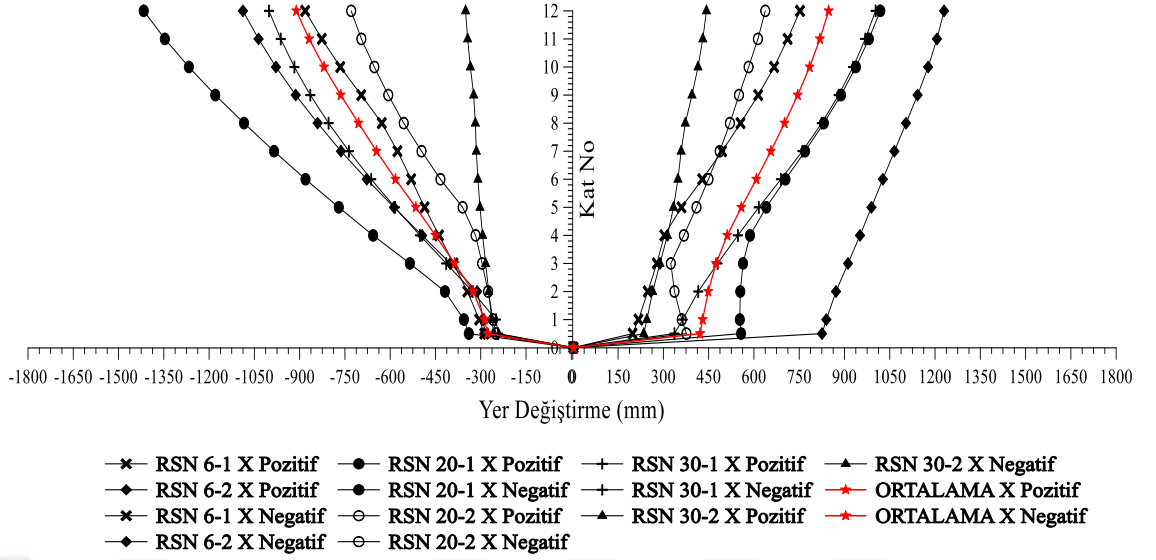
Şekil 3.3. Ankastr mesnetli bina DD-2 deprem düzeyi dinamik analizi için ölçeklenen depremler

3.1.3. Ankastr Mesnetli Binanın Kat Yerdeğiştirme Grafikleri

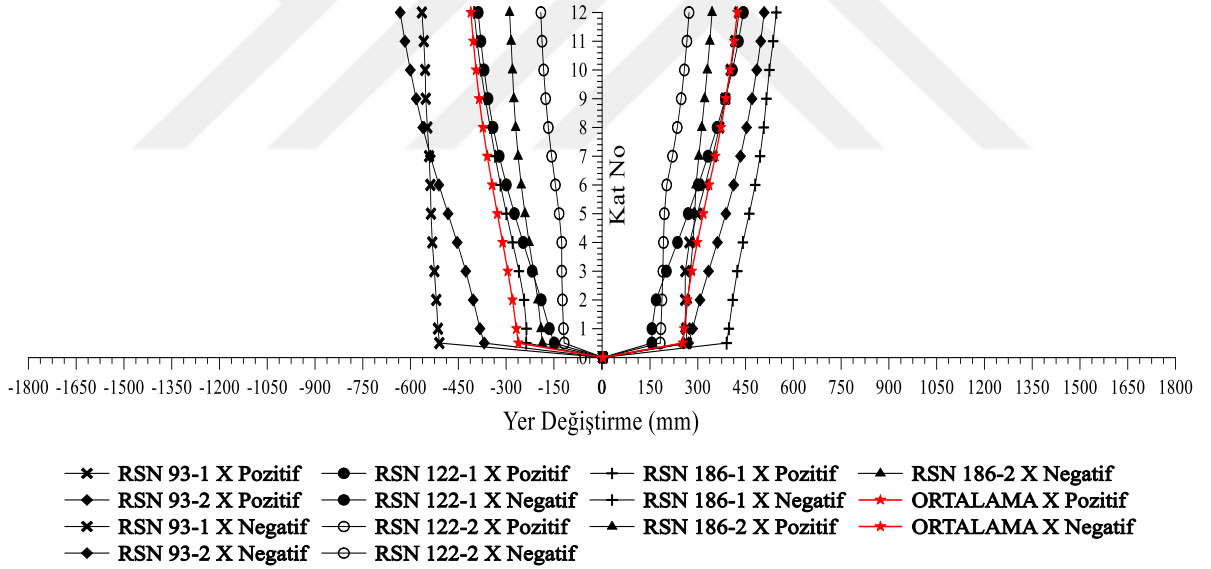
Ankastr mesnetli yapının kat yerdeğiştirmelerinin belirlenmesi için köşe noktasındaki (A1 Aks Kesişim- Label 4) düğüm noktalarının yerdeğiştirmeleri belirlenmiş ve 11 farklı deprem kaydı ve yatay eksenlerin 90 derece döndürülmüş 22 deprem durumu için değişimlerinin grafiği aşağıda verilmiştir.



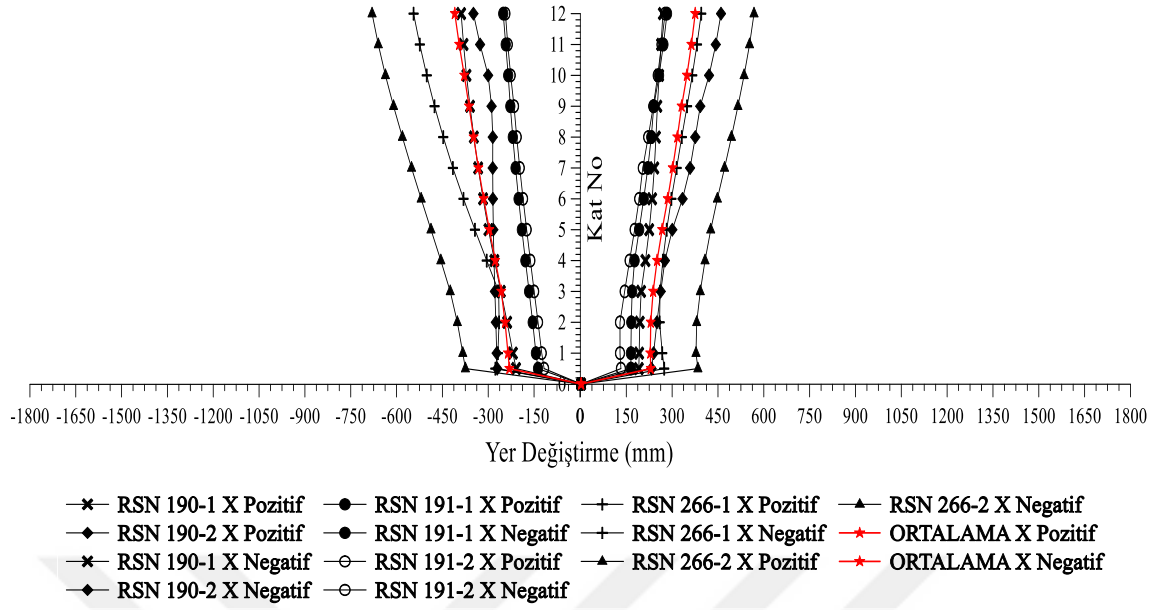
Şekil 3.4. Ankastr mesnetli binanın kat yerdeğiştirmelerinin değişimi için referans alınan düğüm noktası



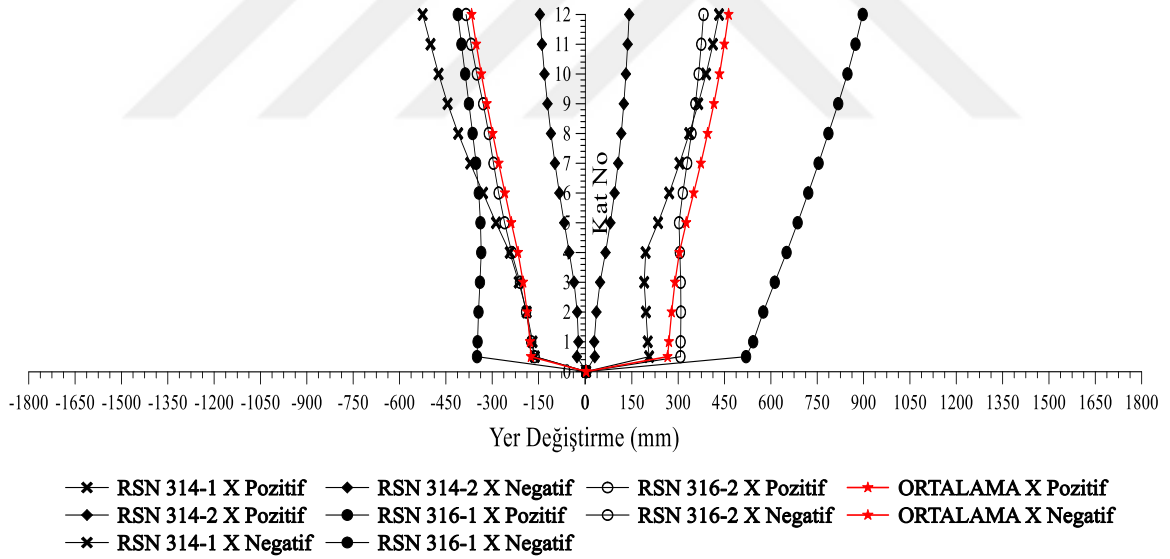
Şekil 3.5. Ankastr mesnetli binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 6, RSN 20, RSN 30 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi



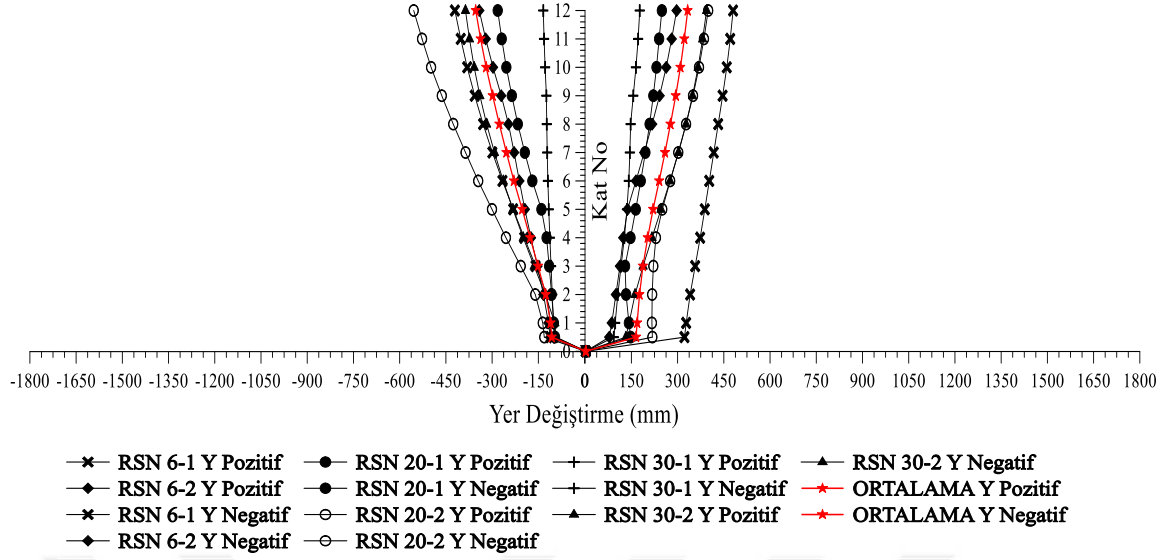
Şekil 3.6. Ankastr mesnetli binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 93, RSN 122, RSN 186 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi



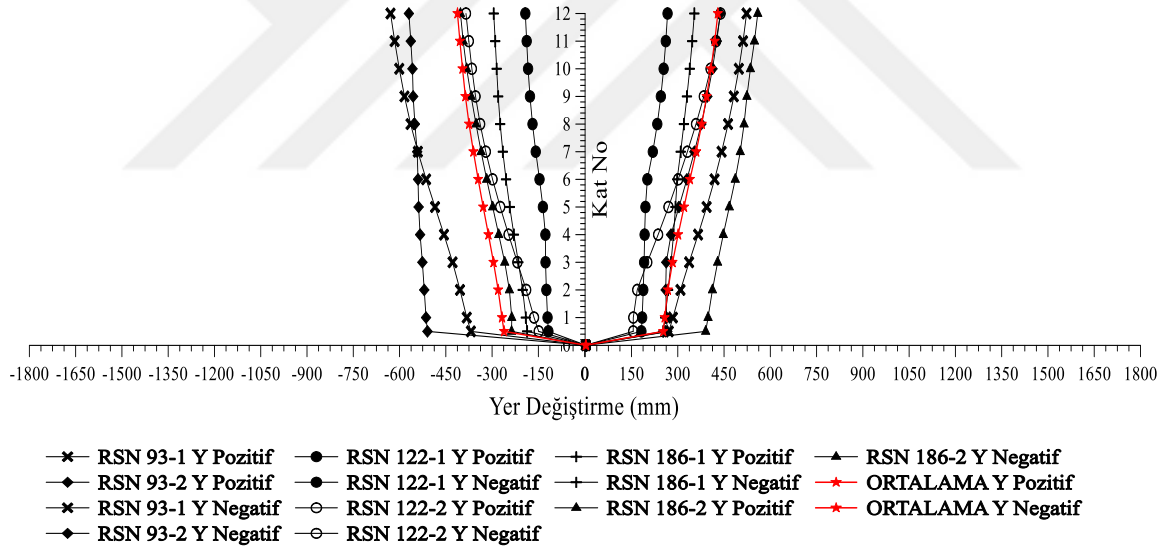
Şekil 3.7. Ankastr mesnetli binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 190, RSN 191, RSN 266 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi



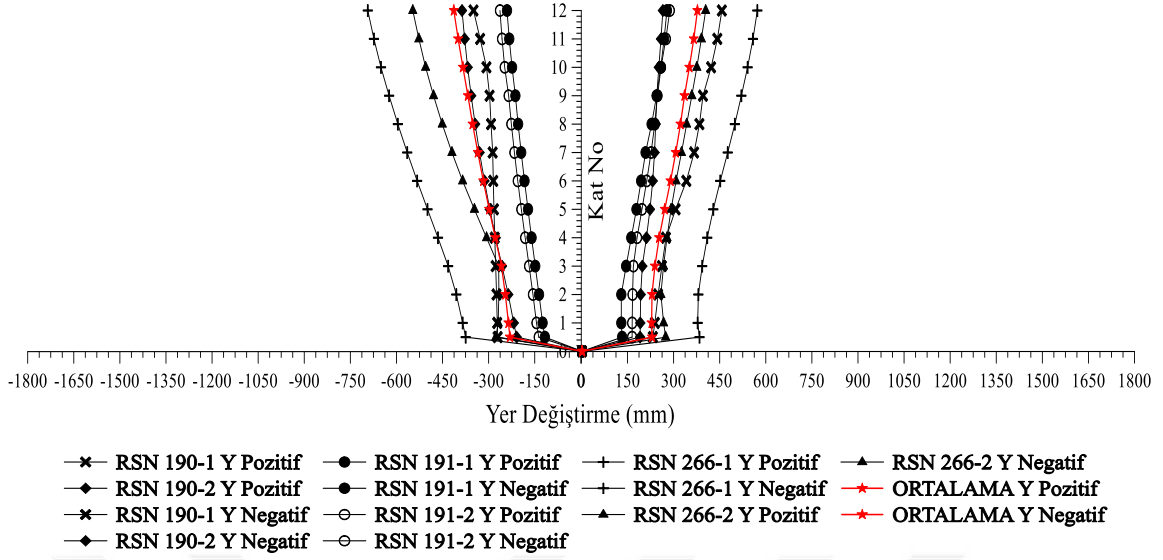
Şekil 3.8. Ankastr mesnetli binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 314, RSN 316 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi



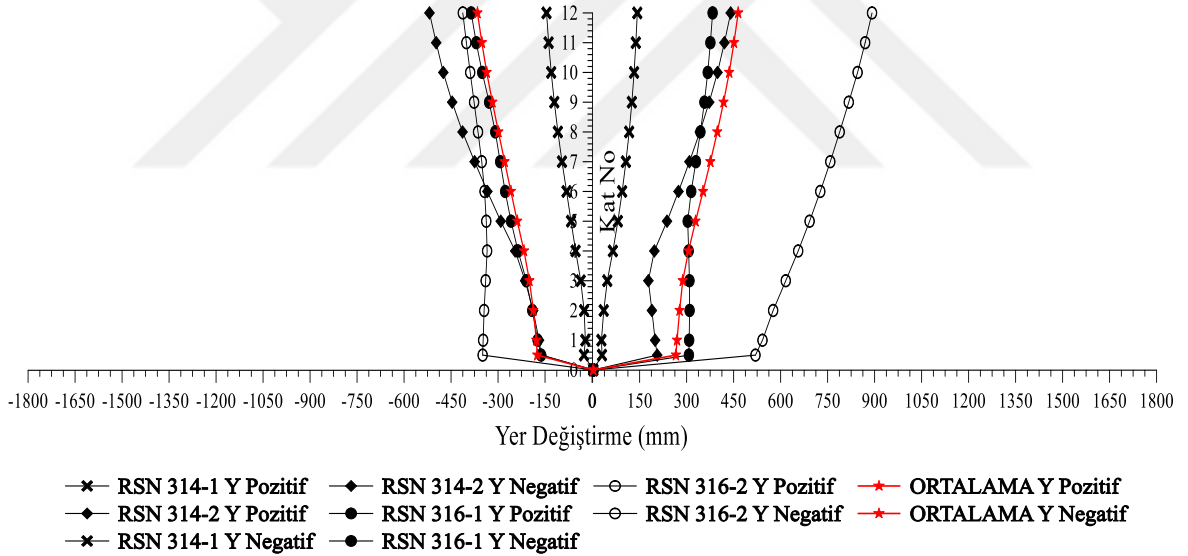
Şekil 3.9. Ankastr mesnetli binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 6, RSN 20, RSN 30 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğıştirmelerinin değışimi



Şekil 3.10. Ankastr mesnetli binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 93, RSN 122, RSN 186 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğıştirmelerinin değışimi

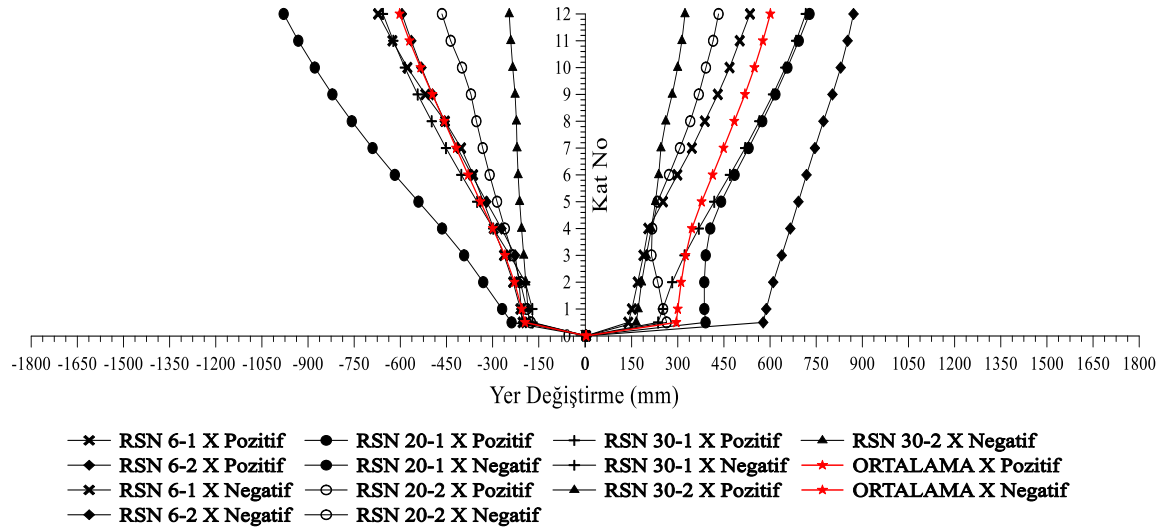


Şekil 3.11. Ankastr mesnetli binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 190, RSN 191, RSN 266 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi

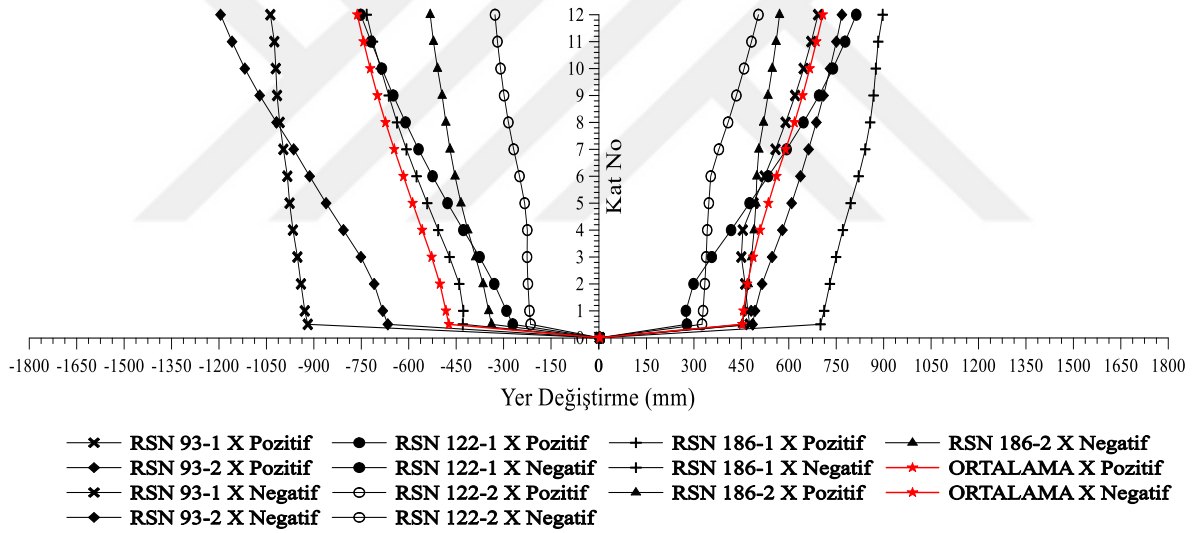


Şekil 3.12. Ankastr mesnetli binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 314, RSN 316 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi

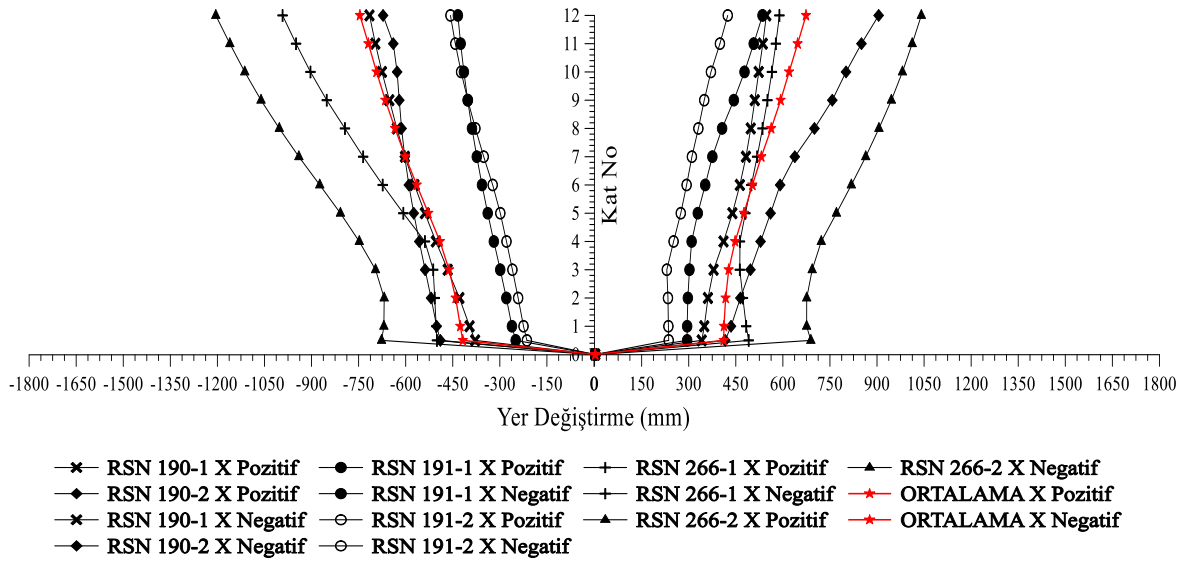
TBDY 2018’de tasarım yapilirken hem DD-2 deprem düzeyi hem de DD-1 düzeyi için tasarım yapılması belirtilmektedir. Bundan dolayı karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla ankastr mesnetli binanın yukarıda belirtilen düğüm noktasının katlara göre DD-1 deprem düzeyi için X ve Y doğrultusunda yaptığı yerdeğiştirmeler aşağıda verilmektedir.



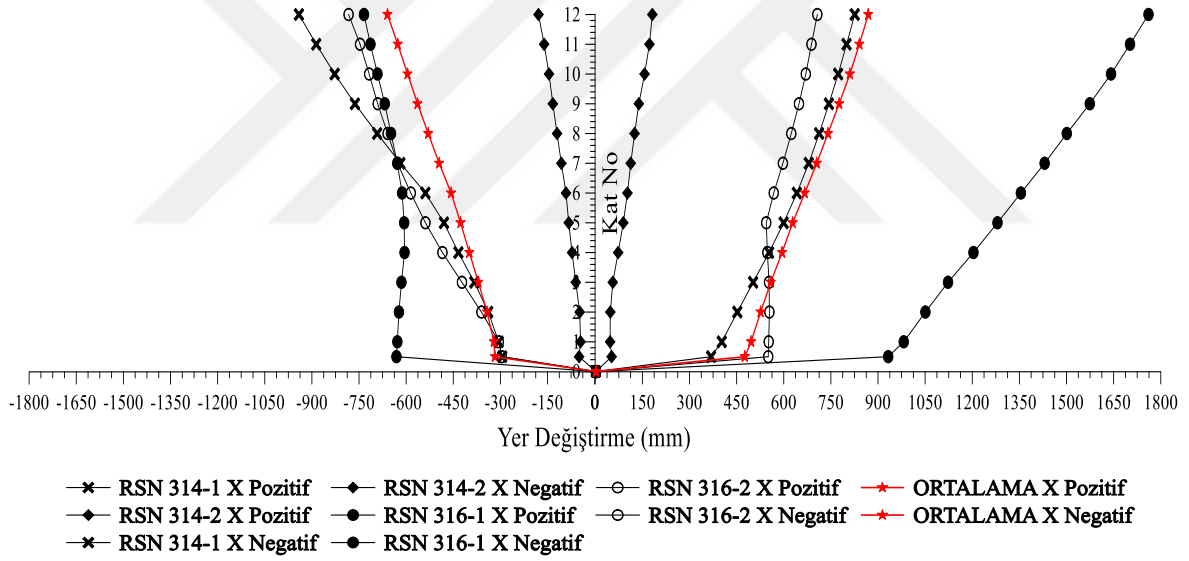
Şekil 3.13. Ankastr mesnetli binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 6, RSN 20, RSN 30 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğıştirmelerinin değişimi



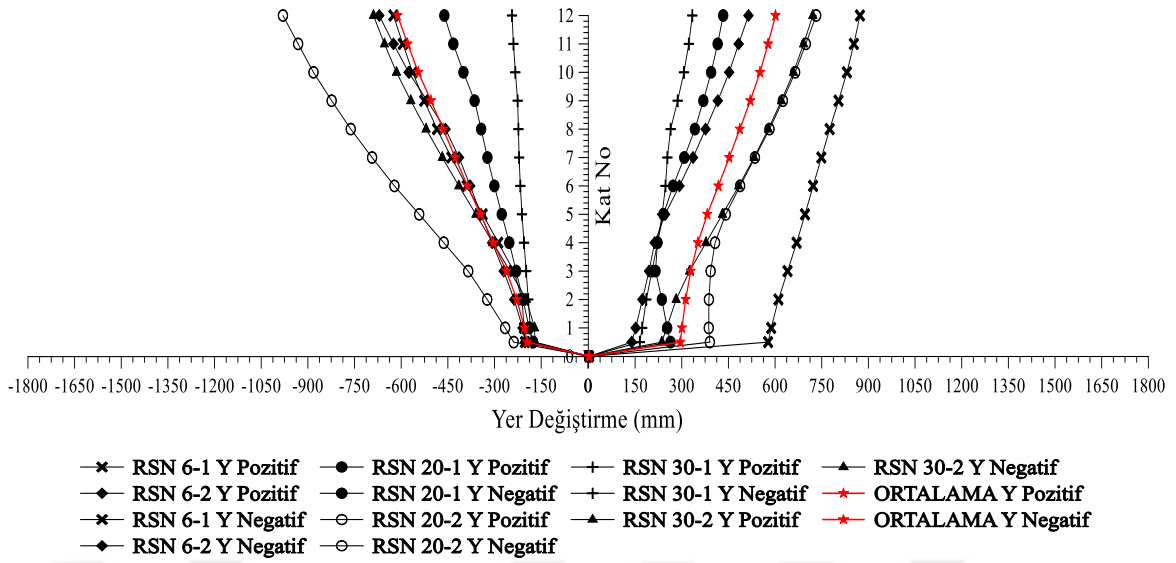
Şekil 3.14. Ankastr mesnetli binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 93, RSN 122, RSN 186 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğıştirmelerinin değişimi



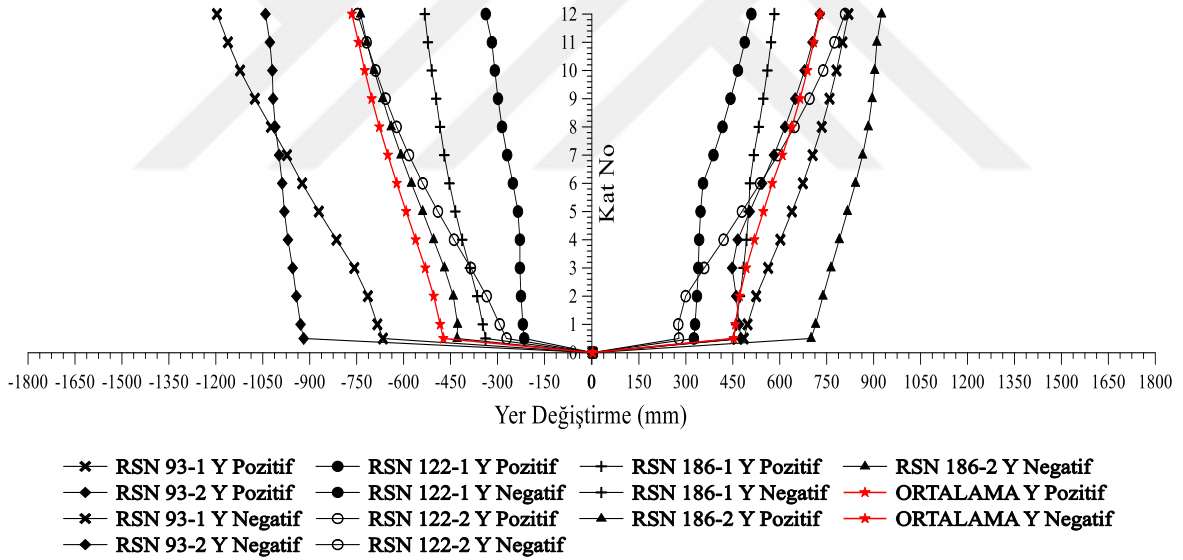
Şekil 3.15. Ankastr mesnetli binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 190, RSN 191, RSN 266 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğıştirmelerinin değışimi



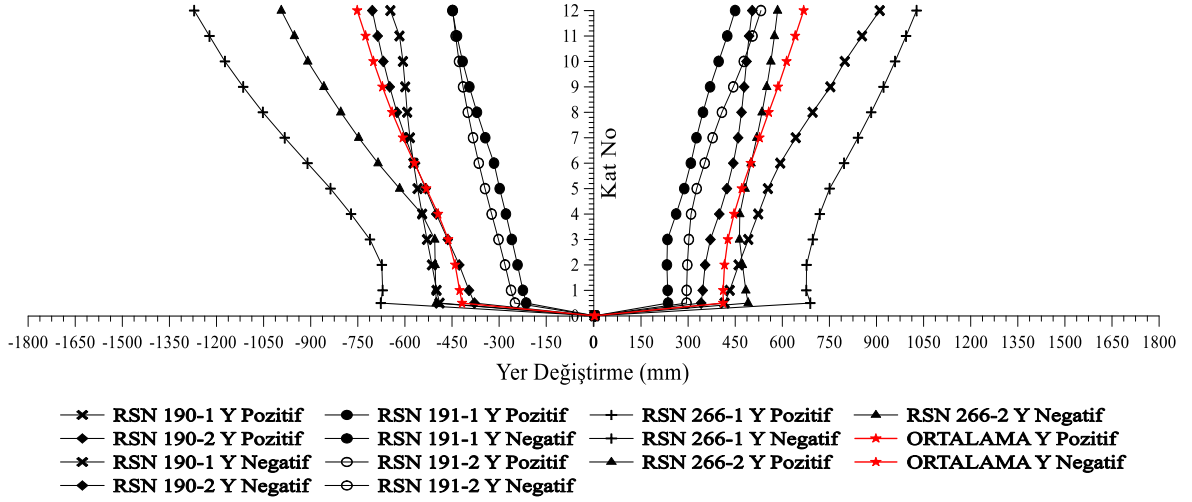
Şekil 3.16. Ankastr mesnetli binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 314, RSN 316 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğıştirmelerinin değışimi



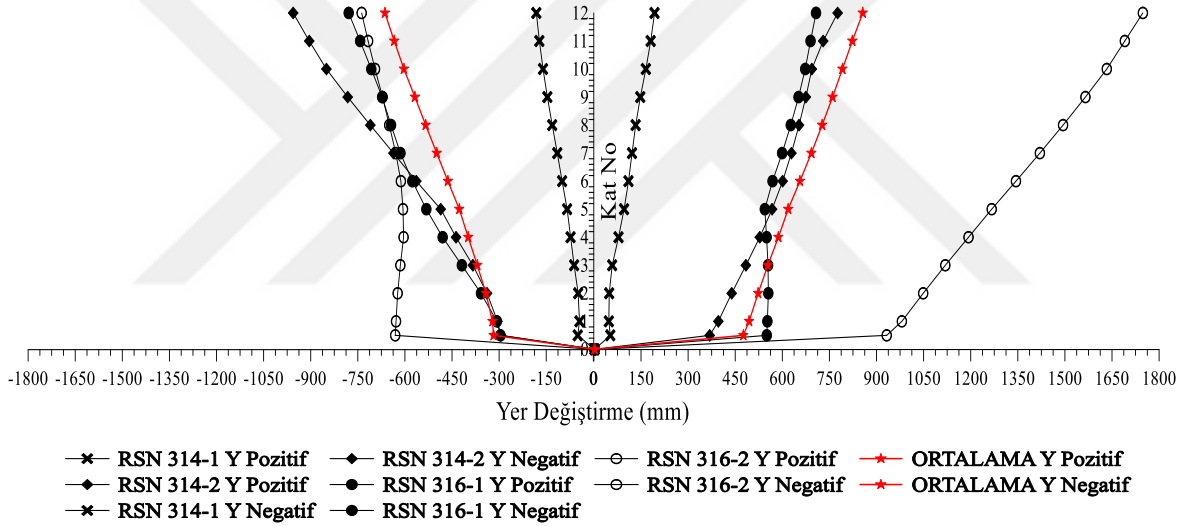
Şekil 3.17. Ankastr mesnetli binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 6, RSN 20, RSN 30 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğıştirmelerinin değışimi



Şekil 3.18. Ankastr mesnetli binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 93, RSN 122, RSN 186 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğıştirmelerinin değışimi



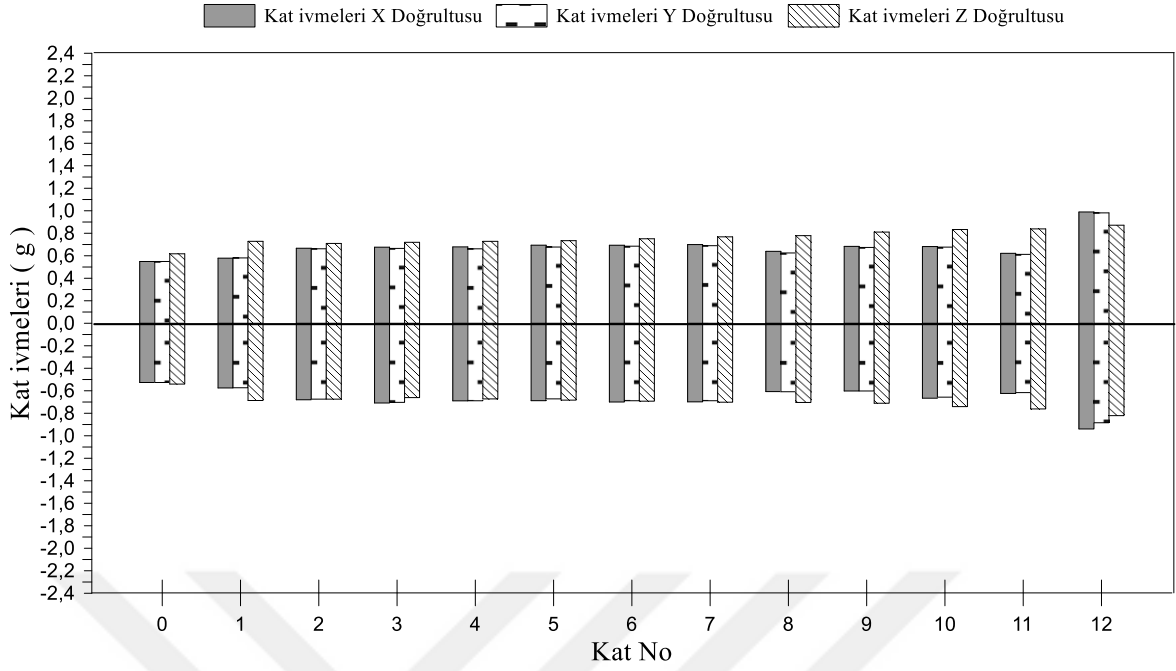
Şekil 3.19. Ankastr mesnetli binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 190, RSN 191, RSN 266 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğıştirmelerinin değışimi



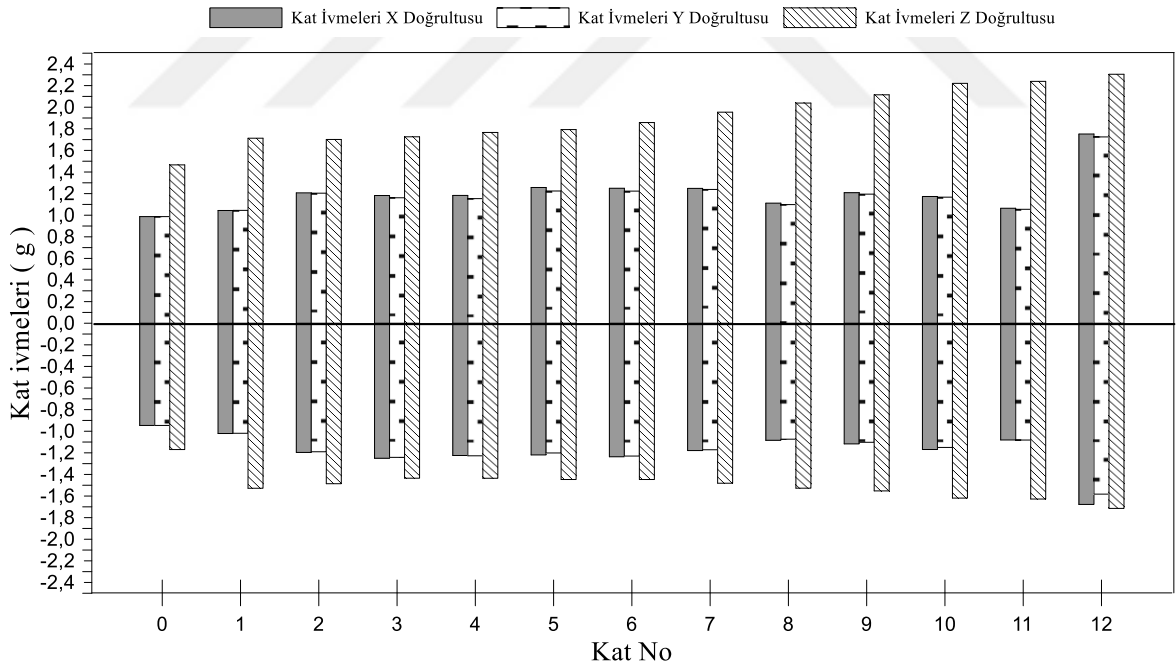
Şekil 3.20. Ankastr mesnetli binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 314, RSN 316 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğıştirmelerinin değışimi

3.1.4. Ankastr Mesnetli Binanın Kat İvmeleri Grafikleri

Bilindiğı üzere sismik izolasyon çalışması kat ivmeleri üzerinde azaltıcı etkiler yaratmaktadır. Büyük ve önemli yapıların içinde bulunan özel ve pahalı malzemeleri depremlerin oluşturduğu titreşimlerin zararlarından kurtarmak için sismik izolasyon yöntemi verimli bir yöntem olarak literatürde yer bulmaktadır. Bu özelliğinin ankastr mesnetli sistemle karşılaştırılabilmesi için aşağıda DD-2 ve DD-1 deprem düzeylerine göre ankastr mesnetli binanın kat ivmelerinin grafikleri verilmiştir.



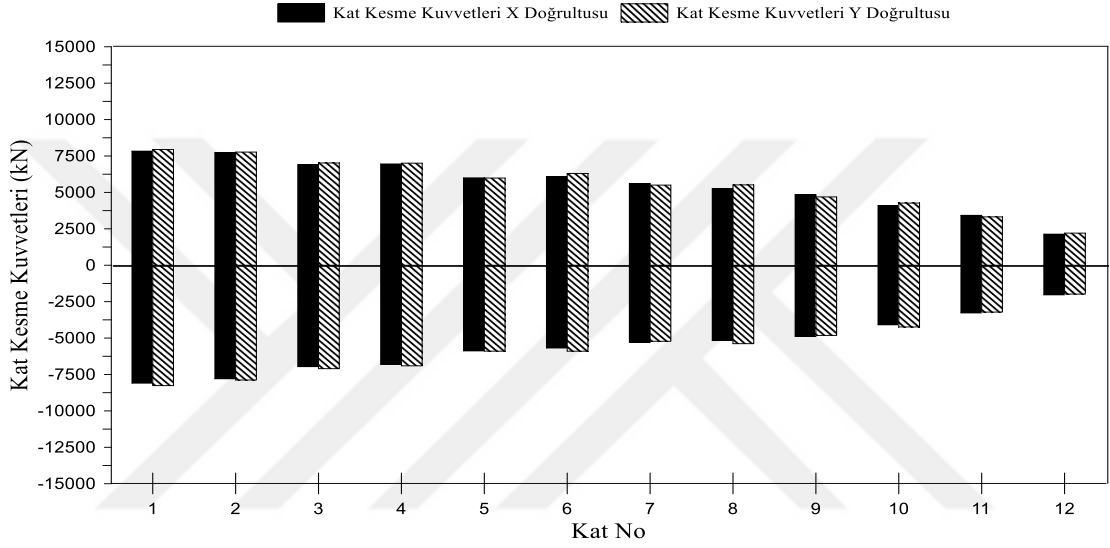
Şekil 3.21. Ankastre mesnetli binanın DD-2 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için X,Y ve Z doğrultularında kat ivmelerinin katlara göre değişimi



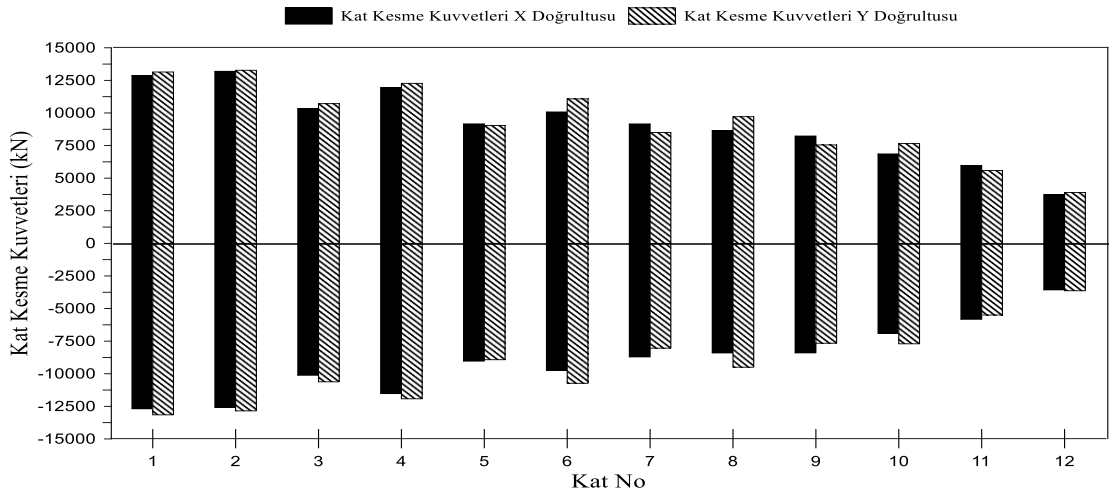
Şekil 3.22. Ankastre mesnetli binanın DD-1 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için X,Y ve Z doğrultularında kat ivmelerinin katlara göre değişimi

3.1.5. Ankastre Mesnetli Binanın Kat Kesme Kuvvetleri Grafikleri

Sismik izolasyon yöntemi uygulandığı binanın periyodunu düşürerek binaya gelecek yatay yükün düşmesini sağlamaktadır. Bu durumun önemli bir ölçütü ise kat kesme kuvvetleridir. İki yöntem arasında karşılaştırma amacıyla aşağıda ankastre mesnetli binanın DD-2 ve DD-1 deprem düzeyleri için kat kesme kuvvetleri her kat düzeyinde verilmektedir.



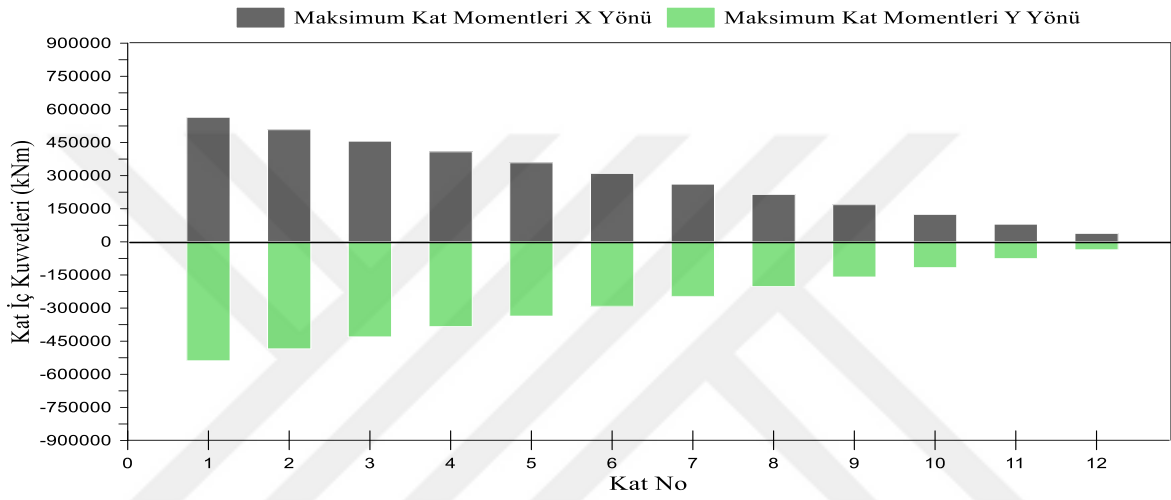
Şekil 3.23. Ankastre mesnetli binanın DD-2 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için X ve Y doğrultularında kat kesme kuvvetlerinin katlara göre değişimi



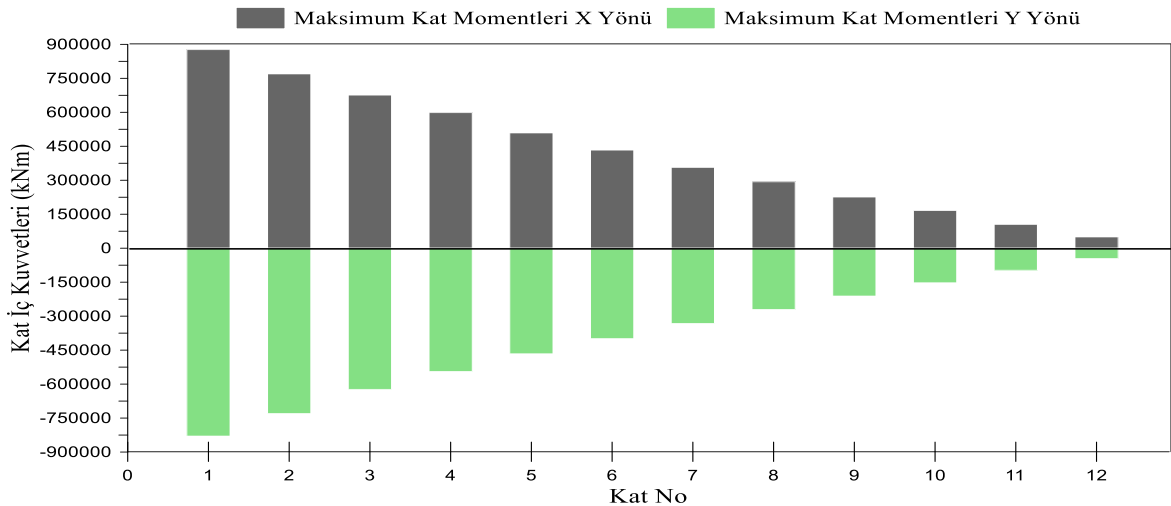
Şekil 3.24. Ankastre mesnetli binanın DD-1 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için X ve Y doğrultularında kat kesme kuvvetlerinin katlara göre değişimi

3.1.6. Ankastre Mesnetli Binanın Kat Momentleri Grafikleri

Binanın taşıyıcı elemanlarının betonarme tasarımı yapılırken iç kuvvetlerin boyutları önemli bir faktör olmaktadır. İç kuvvetleri daha az olan binalarda daha ekonomik tasarımlar elde edilebilmektedir. Bu anlamda karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla ankastre mesnetli binanın iç kuvvetlerinin katlara bağlı olarak maksimum değerlerinin değişimi aşağıda verilmektedir.



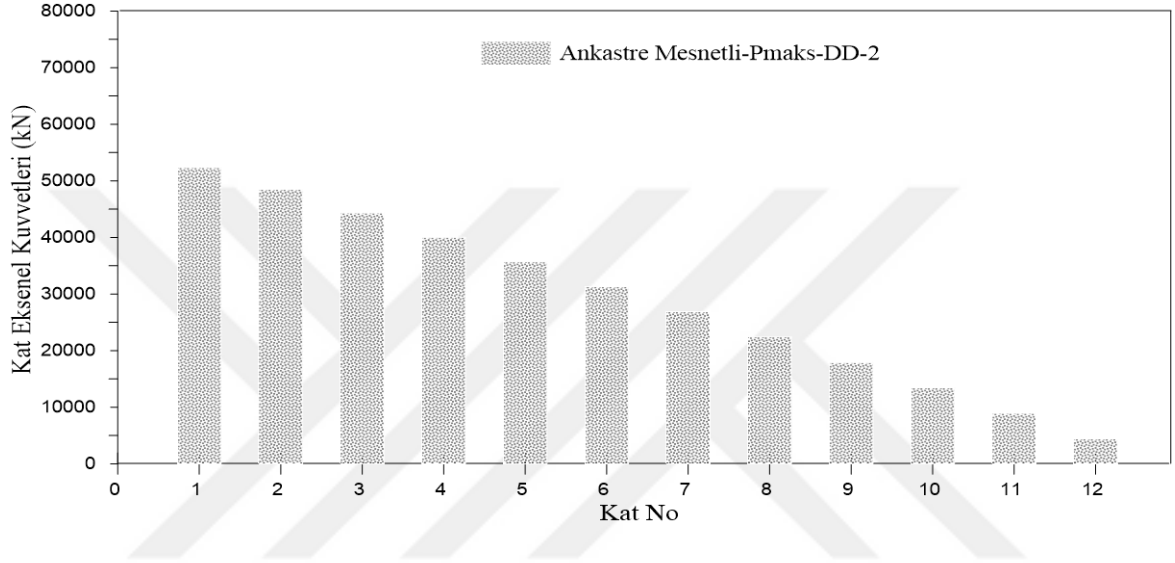
Şekil 3.25. Ankastre mesnetli binanın DD-2 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için X ve Y doğrultularında kat momentlerinin katlara göre değişimi



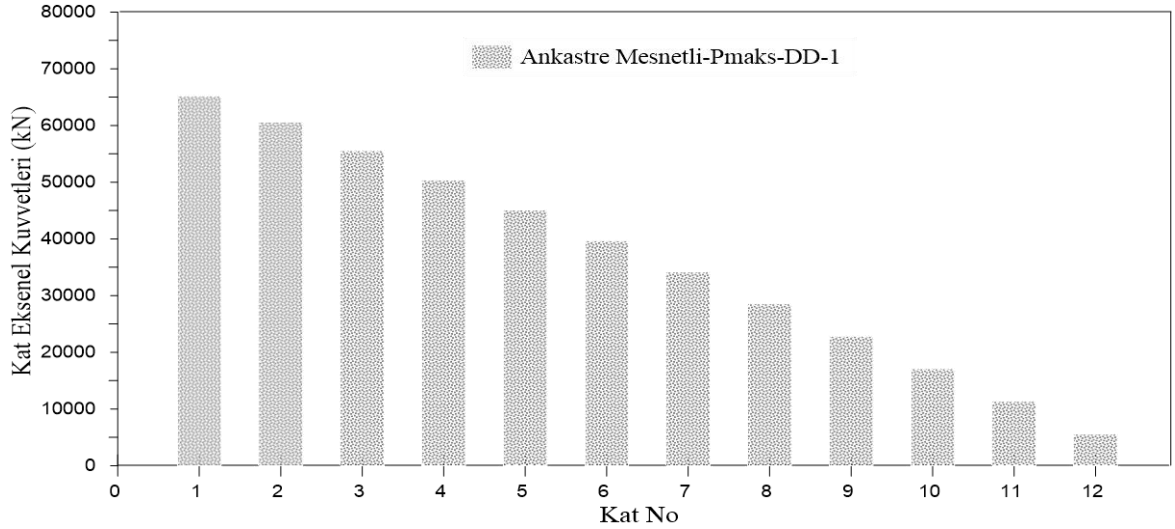
Şekil 3.26. Ankastre mesnetli binanın DD-1 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için X ve Y doğrultularında kat momentlerinin katlara göre değişimi

3.1.7. Ankastre Mesnetli Binanın Kat Eksenel Kuvvetleri Grafikleri

Kat eksenel kuvvetleri kolon tasarımında önemli bir faktör olmaktadır. Sismik izolasyon kullanımının maksimum kat eksenel kuvvetlerine etkisini görebilmek amacıyla aşağıda ankastre mesnetli binanın DD-2 ve DD-1 deprem düzeyleri için normal kuvvetlerin katlara bağlı olarak değişimi verilmiştir.



Şekil 3.27. Ankastre mesnetli binanın DD-2 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için maksimum normal kuvvetlerin katlara göre değişimi



Şekil 3.28. Ankastre mesnetli binanın DD-1 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için maksimum normal kuvvetlerin katlara göre değişimi

3.2. Sismik İzolasyonlu Binanın Tasarımı

Sismik izolasyonlu bina tasarımında üç durum bulunmaktadır. Bu durumlar üst sınır durumu (Upper Bound-UB), normal sınır durumu (Nominal Bound-NO) ve alt sınır durumu (Lower Bound-LO)'dur. Sismik izolasyonlu bina tasarımı yapılırken genellikle DD-2 deprem düzeyinde üst sınır durumu için analiz yapıp üst yapı yerdeğiştirmelerine, DD-1 deprem düzeyinde alt sınır durumu için analiz yapıp izolatör yerdeğiştirmelerine, normal sınır durumunda ise kat ivmeleri gibi kullanılabilirlik sınır durumlarına bakılmaktadır. Yapılan çalışmada, sismik izolasyonlu yapı tasarlanırken üst ve alt sınır durumu için tasarım yapılmış ve aynı deprem düzeylerinde ankastre mesnetli bina ile karşılaştırma yapılması amaçlanmıştır.

3.2.1. Sismik İzolasyonlu Binanın DD-2 Depremi Üst Sınır İçin Analizi

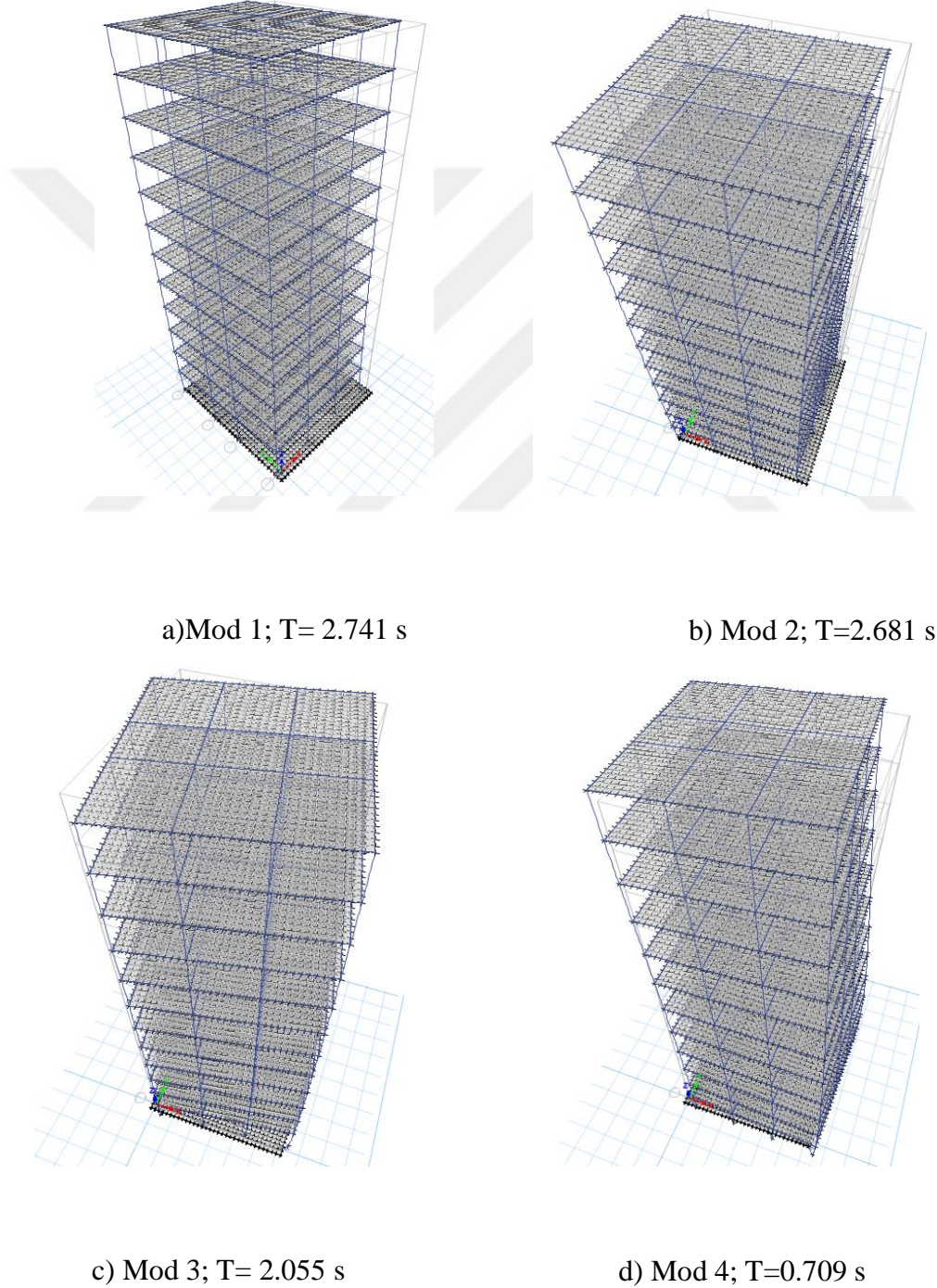
3.2.1.1. Sismik İzolasyonlu Binanın DD-2 Depremi Üst Sınır İçin Modal Analiz ve Mod Şekilleri

Sismik izolasyonlu olarak DD-2 deprem düzeyi için modal analizi yapılan binanın hakim periyodu $T_M=2.741$ sn bulunmuştur. TBDY 2018 Bölüm 14.14.4.2'de belirtildiği üzere seçilen deprem kayıtları $0,5T_M = 1.37$ sn ve $1.25T_M = 3.426$ sn genlikleri arasında Peer Ground Motion Database veri tabanında ölçeklenmiştir. Aşağıda sismik izolasyonlu bina DD-2 depremi üst sınır için modal analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.3. Sismik izolasyonlu bina DD-2 depremi üst sınır için modal analiz sonuçları

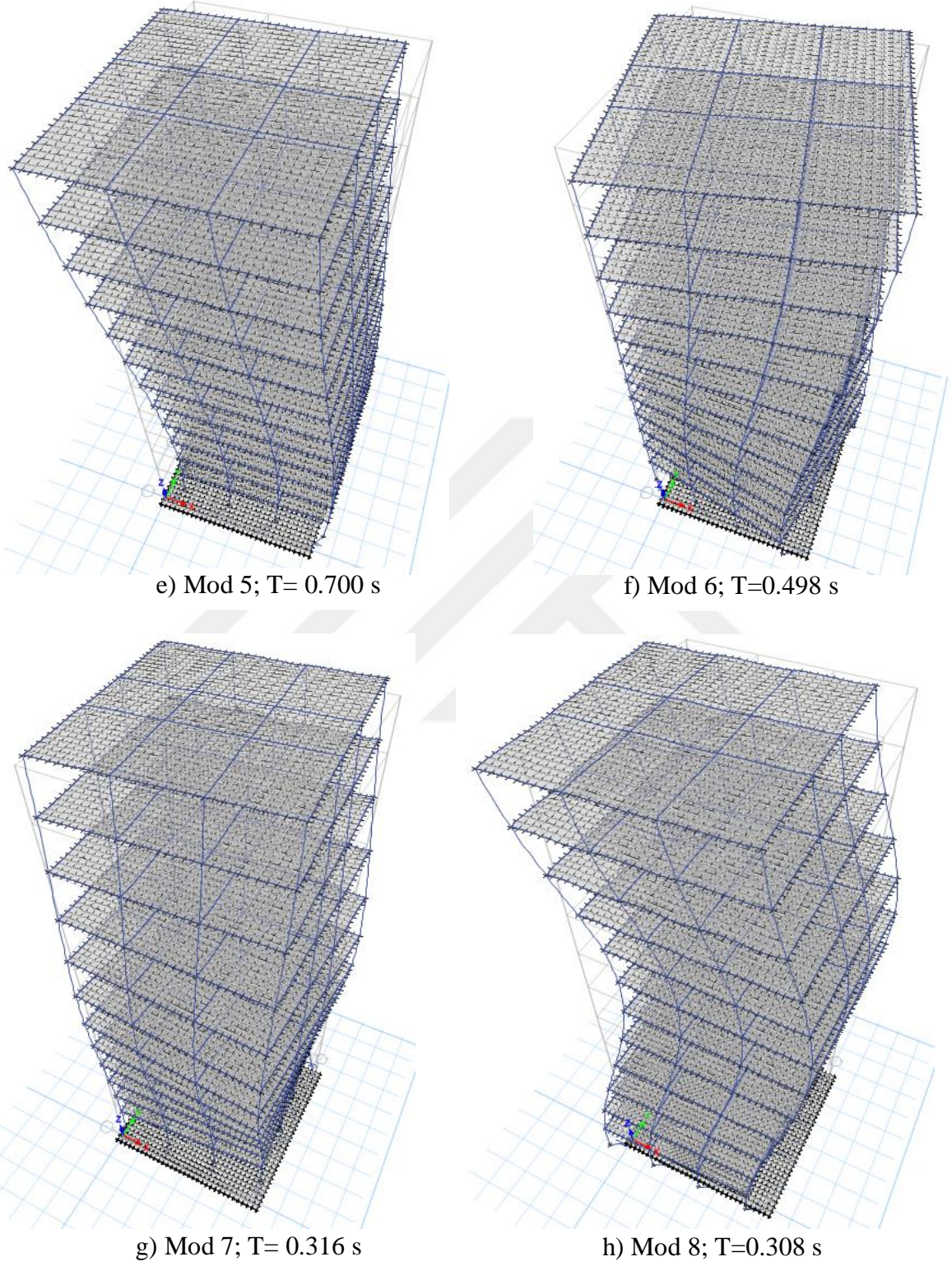
Modal Kütle Katılım Oranları						Toplam		
Yükleme	Mod	Periyot (s)	UX	UY	UZ	UX	UY	UZ
Modal	1	2.7410	0.5439	0.3685	0.0000	0.5439	0.3685	0.0000
Modal	2	2.6810	0.3936	0.5730	0.0000	0.9374	0.9415	0.0000
Modal	3	2.0550	0.0286	0.0259	0.0000	0.9660	0.9675	0.0000
Modal	4	0.7090	0.0202	0.0100	0.0000	0.9862	0.9775	0.0000
Modal	5	0.7000	0.0109	0.0195	0.0000	0.9971	0.9970	0.0000
Modal	6	0.4980	0.0004	0.0004	0.0000	0.9975	0.9974	0.0000
Modal	7	0.3160	0.0004	0.0011	0.0000	0.9979	0.9985	0.0000
Modal	8	0.3080	0.0011	0.0005	0.0000	0.9990	0.9990	0.0000
Modal	9	0.2520	0.0001	0.0001	0.0000	0.9991	0.9990	0.0000
Modal	10	0.2140	0.0000	0.0000	0.9754	0.9991	0.9990	0.9754
Modal	11	0.2100	0.0001	0.0004	0.0000	0.9992	0.9994	0.9754
Modal	12	0.2060	0.0004	0.0001	0.0000	0.9996	0.9995	0.9754

Yukarıda sismik izolasyonlu olarak tasarlanan binanın analizi yapılırken önceden bahsedildiği gibi TBDY 2018 Madde 4.8.1.2 'de yeterli titreşim modu belirlenmesi için hesaplanan taban kesme kuvveti toplam modal kütlelerinin her iki yöne %95 olmalı ve %3'ten büyük olan her mod dikkate alınmalıdır. Modal analize bakıldığında sismik izolasyonlu yapı için ilk 3 modun dikkate alınmasının yeterli olduğu görülmektedir. Ancak ankastre mesnetli yapı ile karşılaştırılabilmesi açısından ilk 12 mod şematik olarak aşağıda verilmiştir.

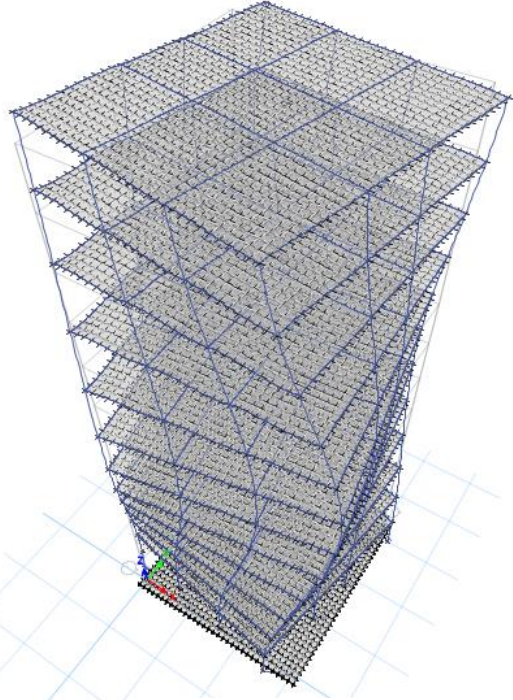


Şekil 3.29. Sismik izolasyonlu bina DD-2 deprem düzeyi üst sınır için mod şekilleri

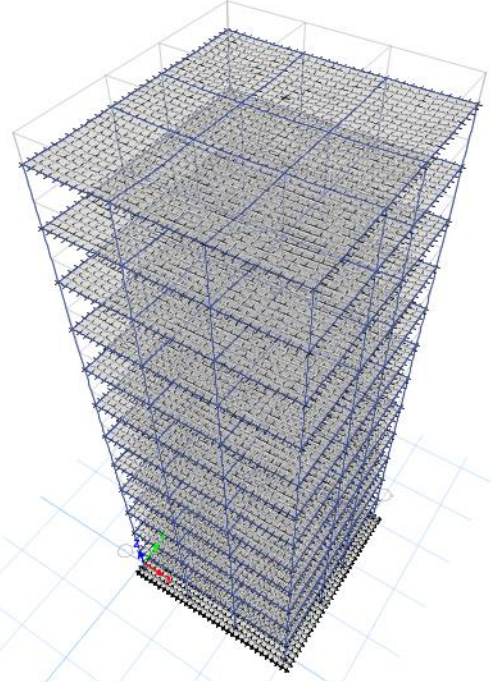
Şekil 3.29'un devamı



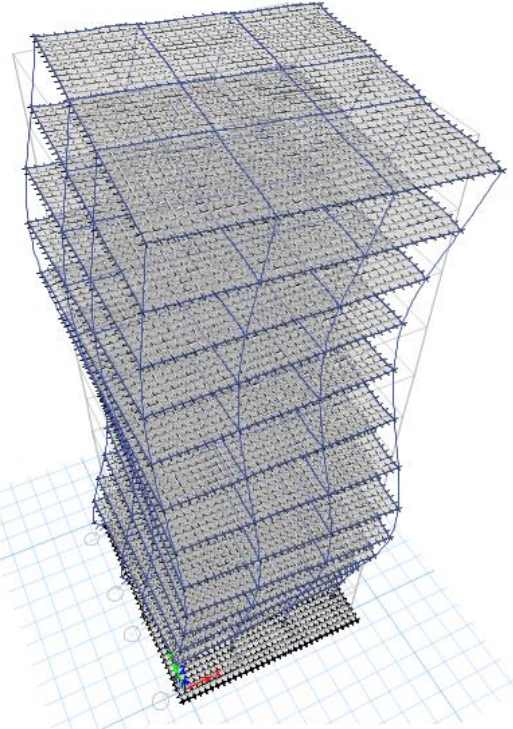
Şekil 3.29'un devamı



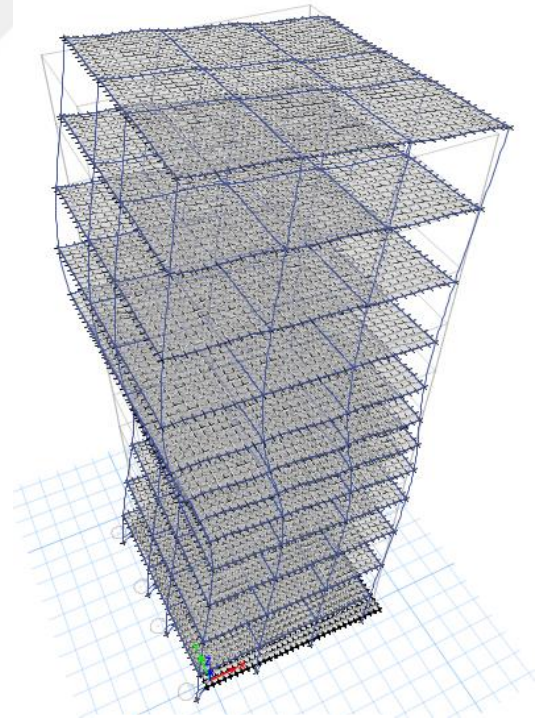
i) Mod 9; $T= 0.252$ s



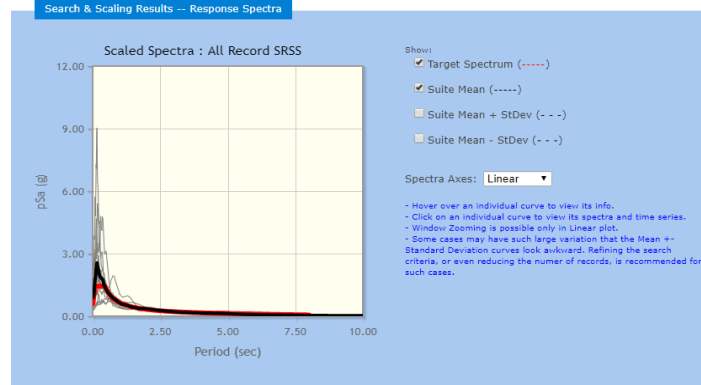
i) Mod 10; $T=0.214$ s



j) Mod 11; $T= 0.210$ s



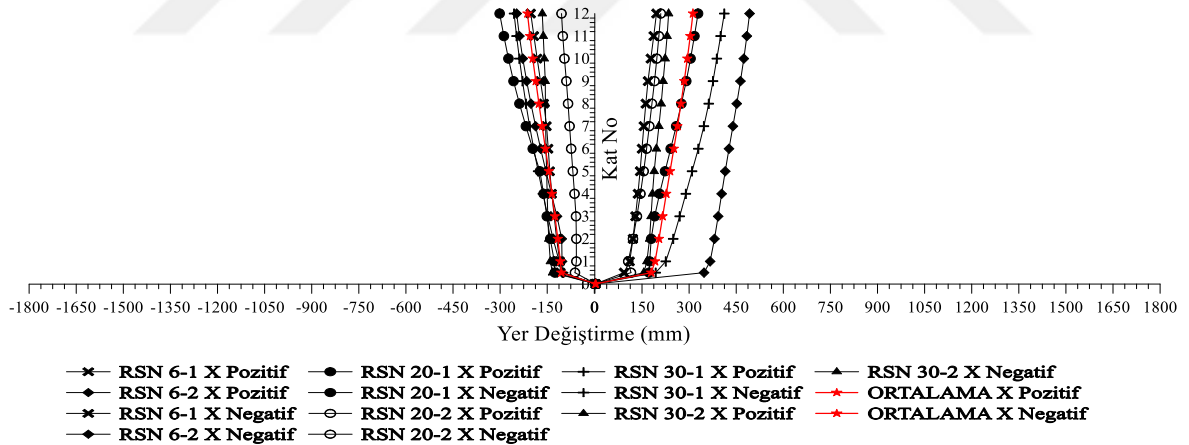
k) Mod 12; $T=0.206$ s



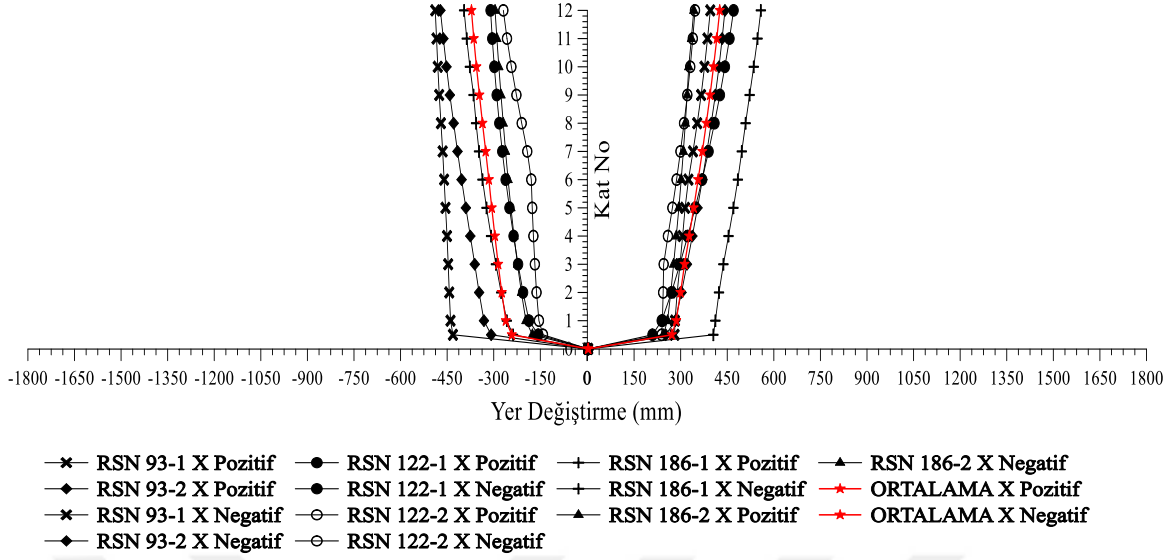
Şekil 3.30. Sismik izolasyonlu bina DD-2 deprem düzeyi üst sınır için ölçeklenen depremler

3.2.1.2 Sismik İzolasyonlu Binanın DD-2 Depremi Üst Sınır İçin Kat Yerdeğiştirme, Kat İvmeleri, Kat Kesme Kuvvetleri, Kat Momentleri ve Kat Eksenel Kuvvetlerinin Grafikleri

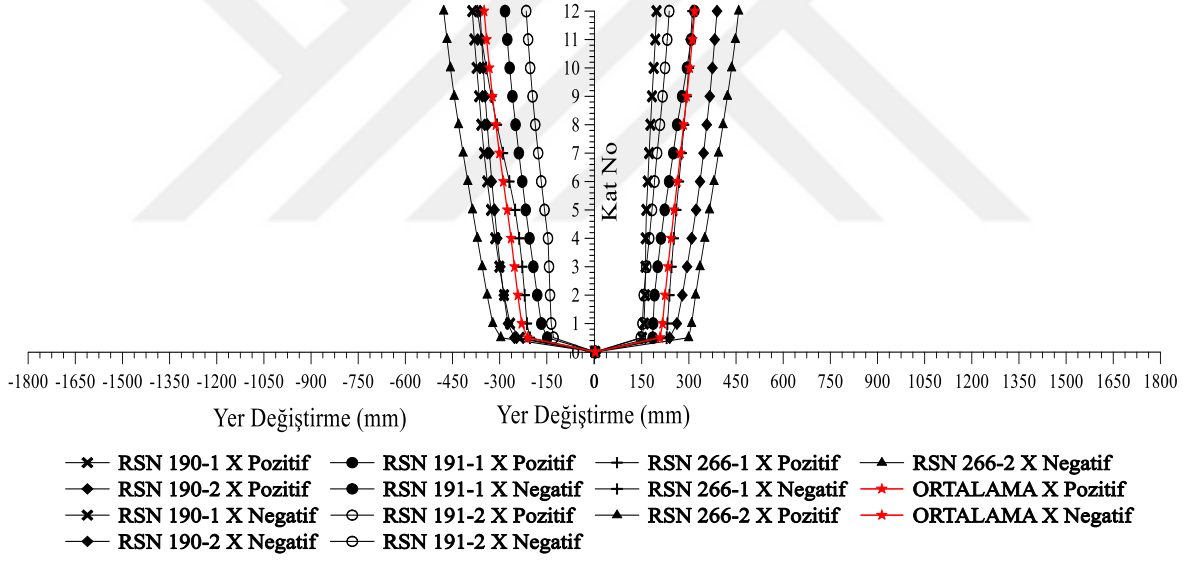
Sismik izolasyonlu yapı DD-2 deprem düzeyi üst sınır değerleri ile yapılan analiz sonucunda elde edilen yerdeğiştirmeler, kat ivmeleri, kat kesme kuvvetleri, kat momentleri ve kat eksenel kuvvetleri katlara bağlı olarak değişimleri verilmiştir.



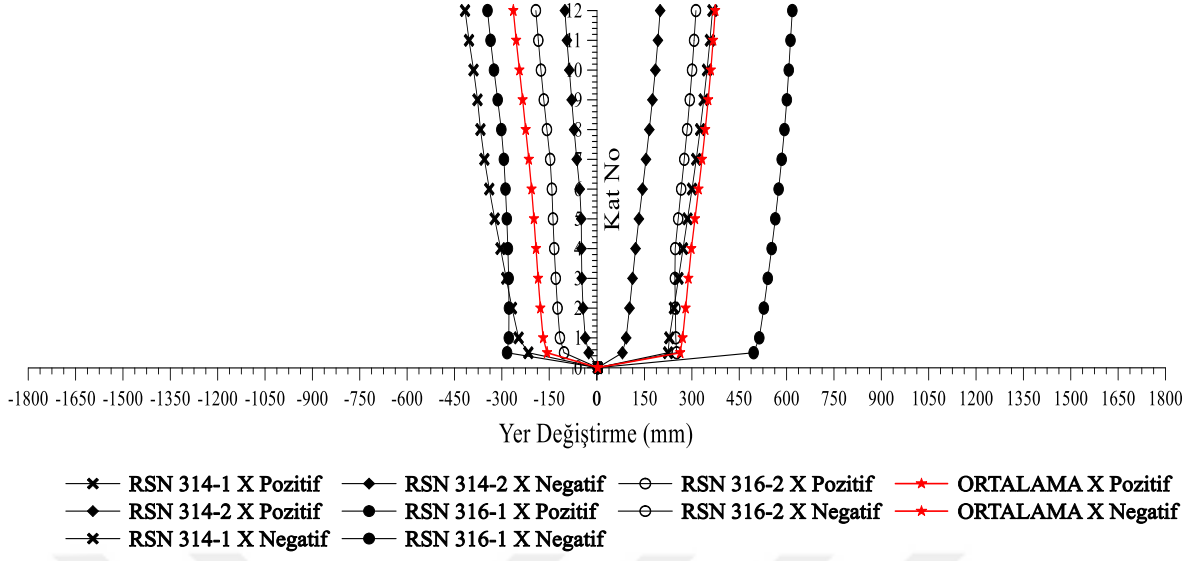
Şekil 3.31. Sismik izolasyonlu binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 6, RSN 20, RSN 30 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi



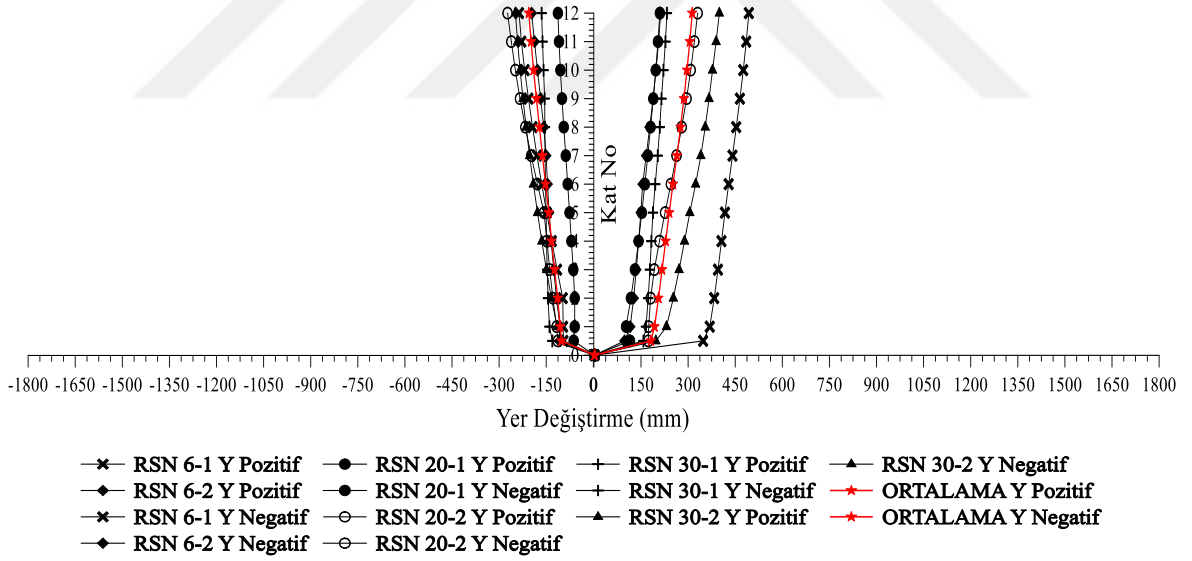
Şekil 3.32. Sismik izolasyonlu binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 93, RSN 122, RSN 186 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğişmelerinin değişimi



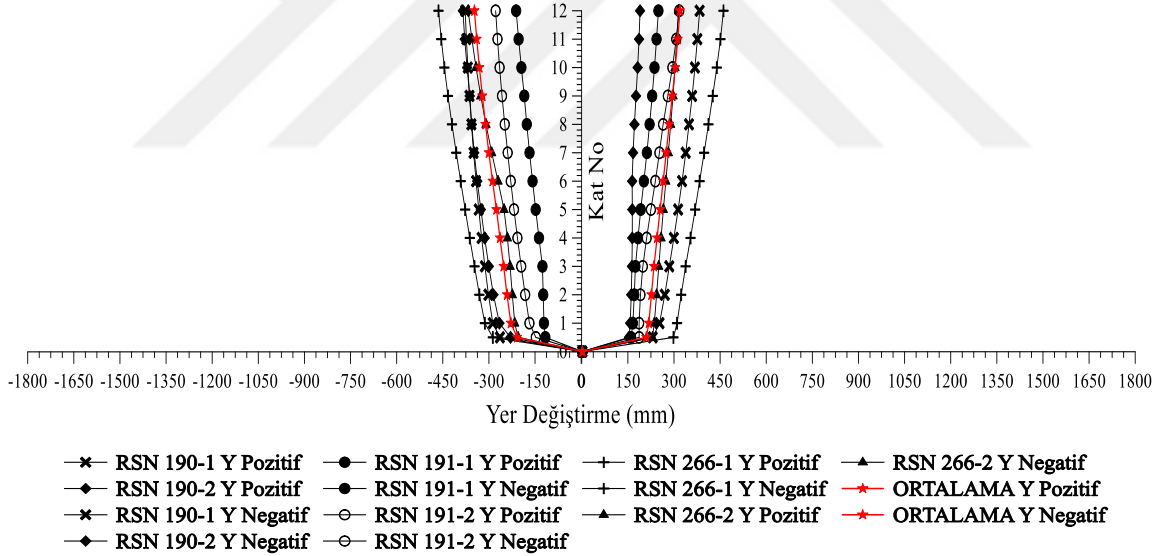
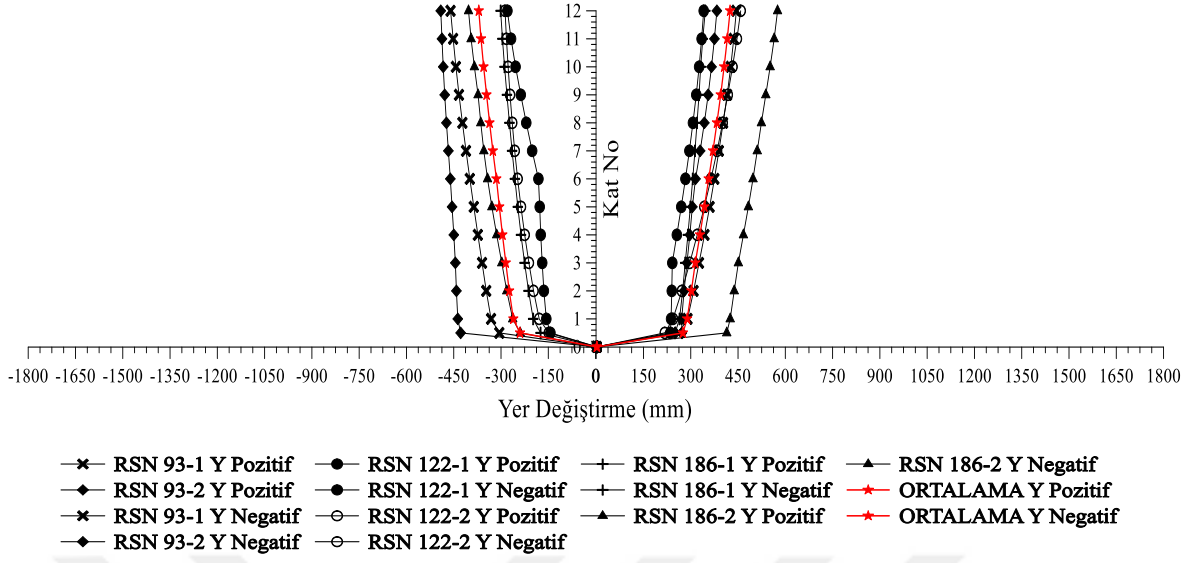
Şekil 3.33. Sismik izolasyonlu binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 190, RSN 191, RSN 266 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğişmelerinin değişimi

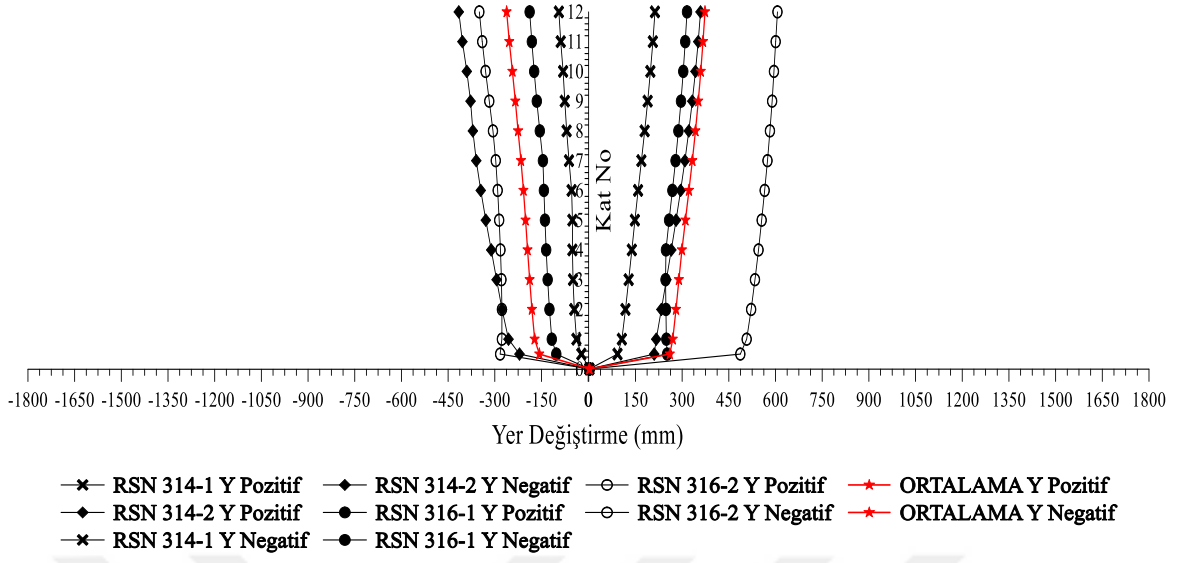


Şekil 3.34. Sismik izolasyonlu binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 314, RSN 316 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi

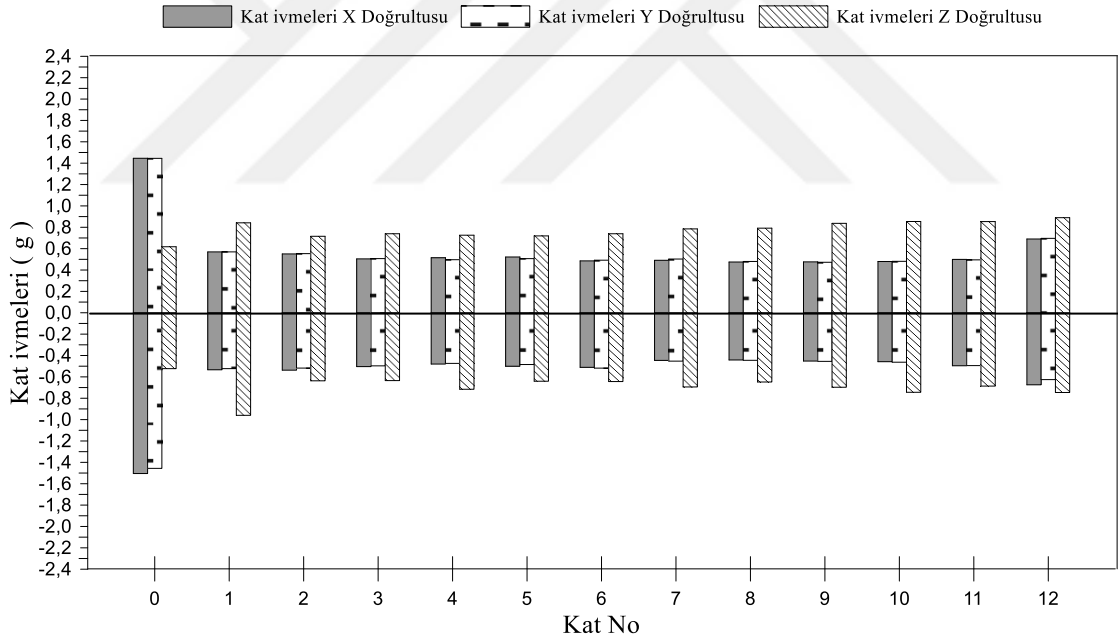


Şekil 3.35. Sismik izolasyonlu binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 6, RSN 20, RSN 30 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi

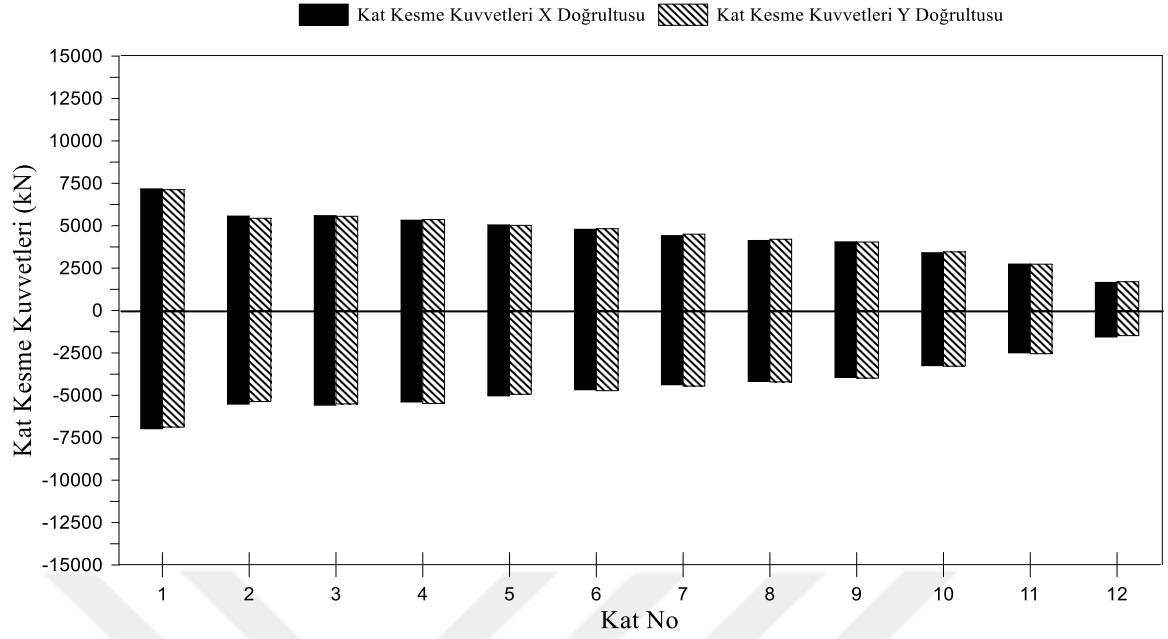




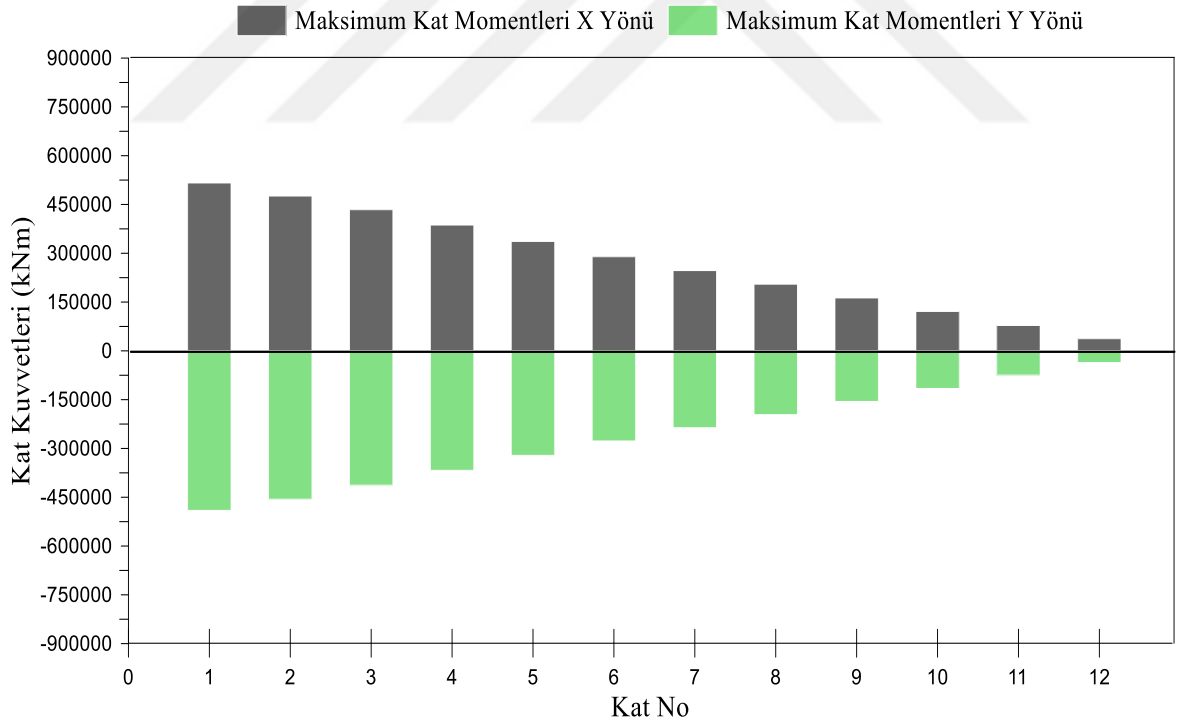
Şekil 3.38. Sismik izolasyonlu binanın DD-2 deprem düzeyinde RSN 314, RSN 316 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi



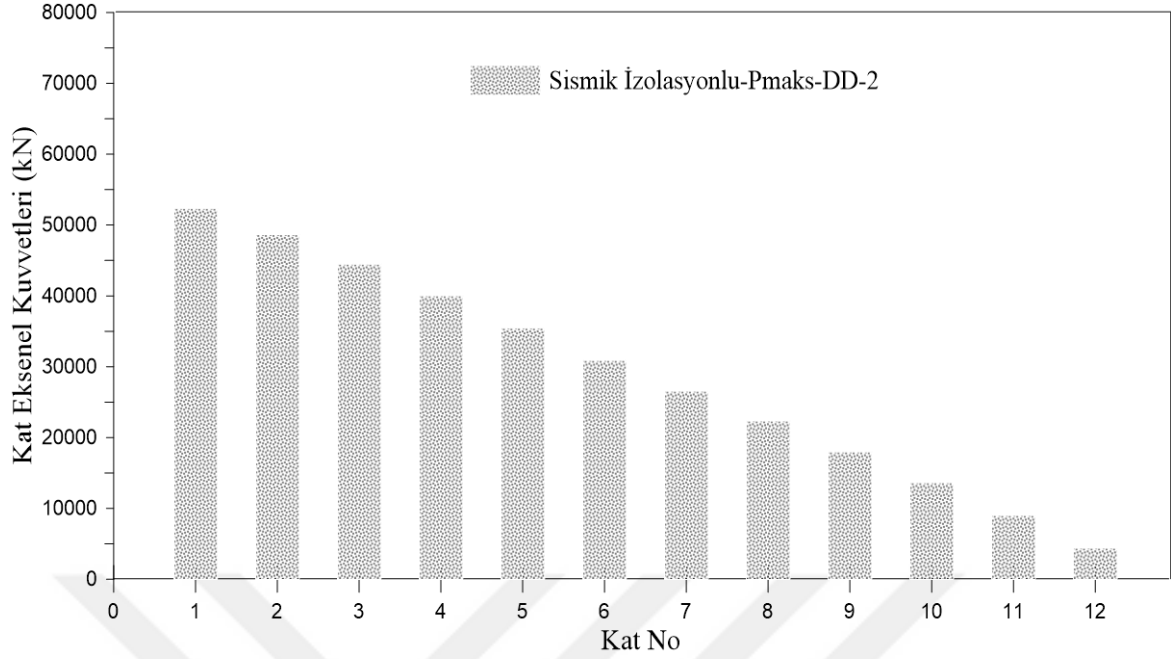
Şekil 3.39. Sismik izolasyonlu binanın DD-2 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için X, Y ve Z doğrultularında kat ivmelerinin katlara göre değişimi



Şekil 3.40. Sismik izolasyonlu binanın DD-2 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için X ve Y doğrultularında kat kesme kuvvetlerinin katlara göre değişimi



Şekil 3.41. Sismik izolasyonlu binanın DD-2 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için X ve Y doğrultularında kat momentlerinin katlara göre değişimi



Şekil 3.42. Sismik izolasyonlu binanın DD-2 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için maksimum normal kuvvetlerin katlara göre değişimi

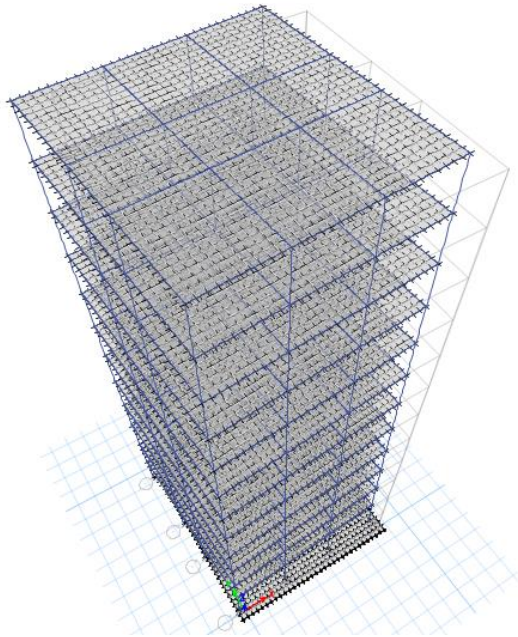
3.2.2. Sismik İzolasyonlu Binanın DD-1 Depremi Alt Sınır İçin Analizi

3.2.2.1. Sismik İzolasyonlu Binanın DD-1 Depremi Alt Sınır İçin Modal Analiz ve Mod Şekilleri

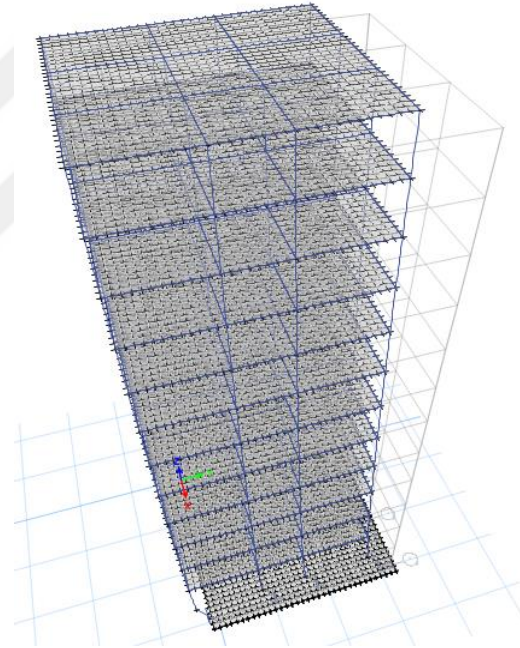
TBDY 2018 Madde 14.3.3' te sismik izolasyon tasarımında iki farklı deprem yer hareketi düzeyi tanımlanmıştır. Bu yer hareketi düzeylerinden biri de DD-1 Deprem Yer Hareketi Düzeyi (En Büyük Deprem Yer Hareketi) 'dir. Bu yer hareketi düzeyi için sismik izolasyonlu sistem alt sınır düzeyi için çözülmüş ve sonuçlar aşağıdaki grafiklerde sunulmuştur. Sismik izolasyonlu olarak DD-1 deprem düzeyi için modal analizi yapılan binanın hakim periyodu $T_M=3.162$ sn bulunmuştur. TBDY 2018 Bölüm 14.14.4.2'de belirtildiği üzere seçilen deprem kayıtları $0.5T_M = 1.58$ sn ve $1.25T_M= 3.95$ sn genlikleri arasında Peer Ground Motion Database veri tabanında ölçeklenmiştir. Aşağıda sismik izolasyonlu bina DD-1 deprem düzeyi-alt sınır için modal analiz sonuçları ve mod şekilleri verilmektedir.

Tablo 3.4. Sismik izolasyonlu bina DD-1 depremi alt sınır için modal analiz sonuçları

Modal Kütle Katılım Oranları						Toplam		
Yükleme	Mod	Periyot (s)	UX	UY	UZ	UX	UY	UZ
Modal	1	3.1620	0.5233	0.3904	0.0000	0.5233	0.3904	0.0000
Modal	2	3.0840	0.4217	0.5591	0.0000	0.9450	0.9494	0.0000
Modal	3	2.3940	0.0354	0.0318	0.0000	0.9804	0.9813	0.0000
Modal	4	0.7430	0.0132	0.0046	0.0000	0.9936	0.9858	0.0000
Modal	5	0.7330	0.0050	0.0127	0.0000	0.9986	0.9985	0.0000
Modal	6	0.5120	0.0002	0.0002	0.0000	0.9988	0.9987	0.0000
Modal	7	0.3200	0.0002	0.0006	0.0000	0.9990	0.9993	0.0000
Modal	8	0.3110	0.0006	0.0002	0.0000	0.9995	0.9995	0.0000
Modal	9	0.2550	0.0000	0.0000	0.0000	0.9996	0.9996	0.0000
Modal	10	0.2140	0.0000	0.0000	0.9754	0.9996	0.9996	0.9754
Modal	11	0.2110	0.0001	0.0002	0.0000	0.9996	0.9997	0.9754
Modal	12	0.2070	0.0002	0.0001	0.0000	0.9998	0.9998	0.9754



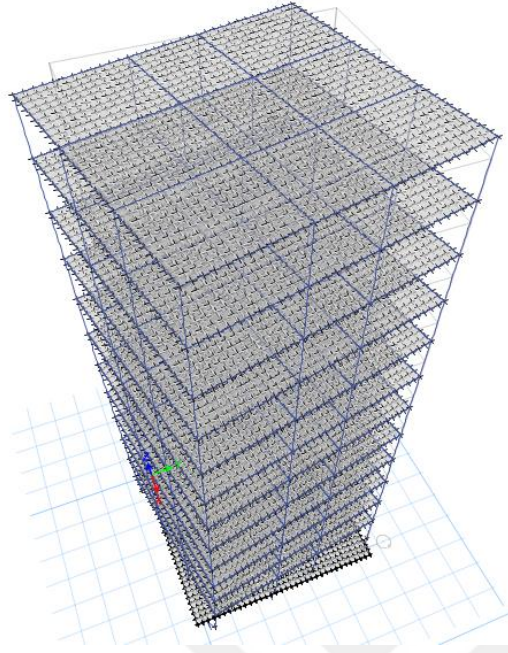
a) Mod 1; T=3.162 s



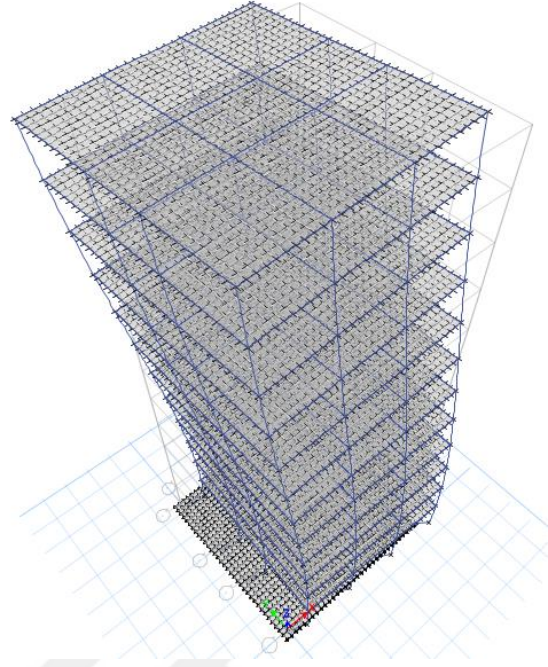
b) Mod 2; T=3.084 s

Şekil 3.43. Sismik izolasyonlu bina DD-1 deprem düzeyi alt sınır için mod şekilleri

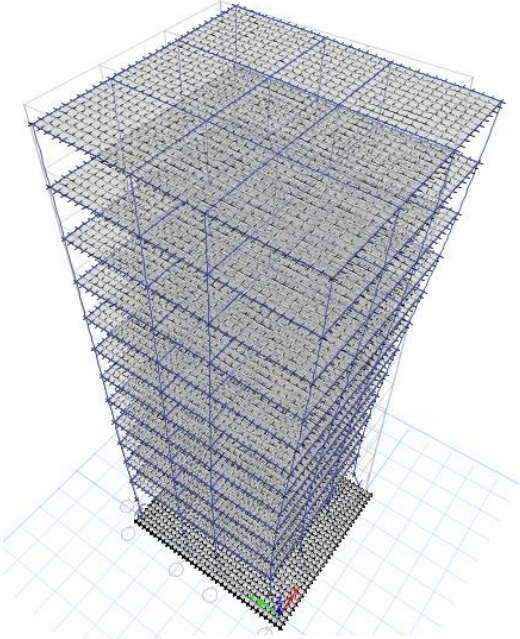
Şekil 3.43'ün devamı



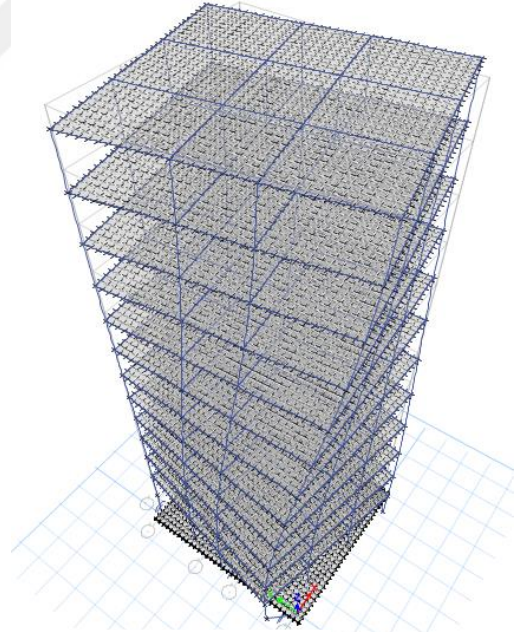
c) Mod 3; $T=2.394$ s



d) Mod 3; $T=0.743$ s

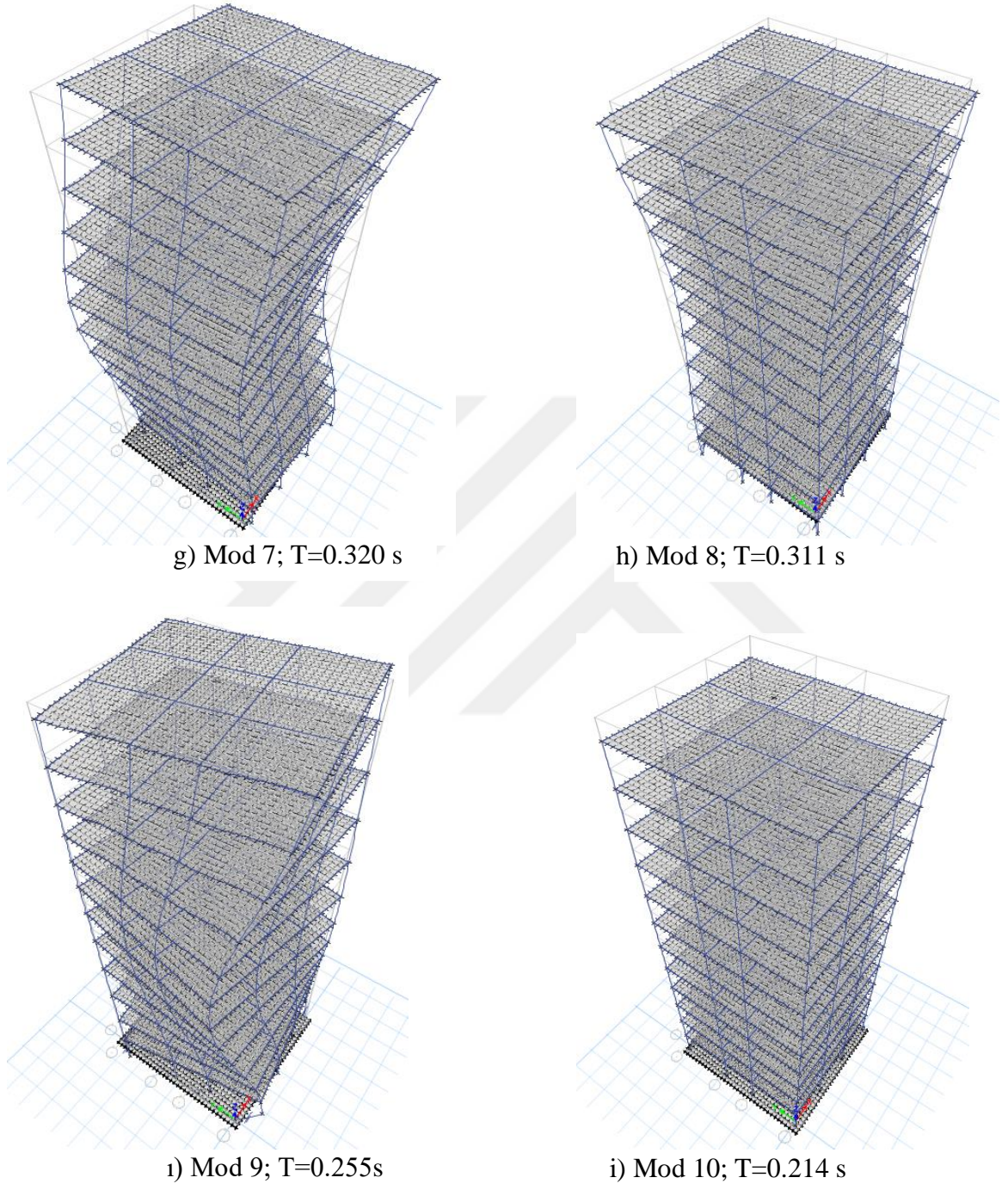


e) Mod 5; $T=0.733$ s

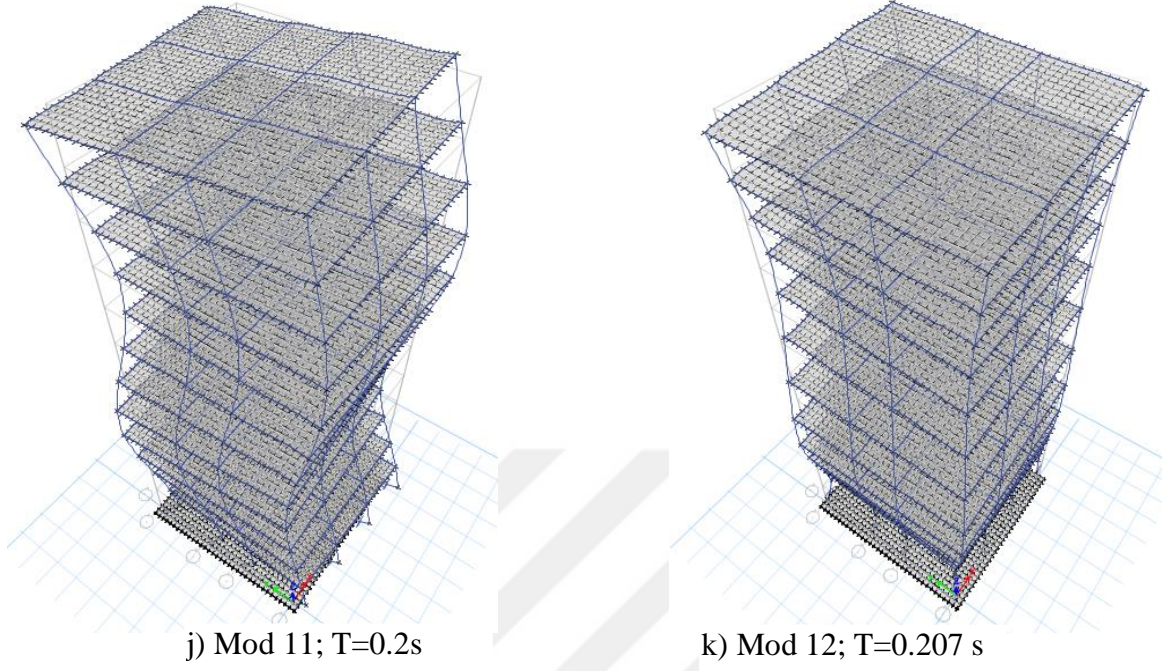


f) Mod 6; $T=0.512$ s

Şekil 3.43'ün devamı

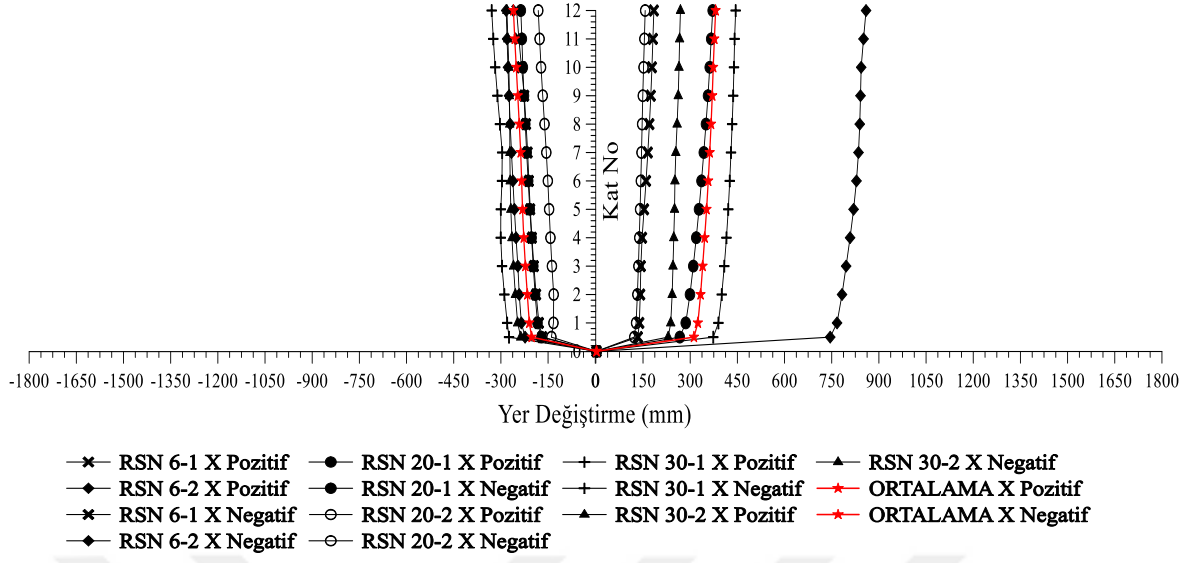


Şekil 3.43'ün devamı

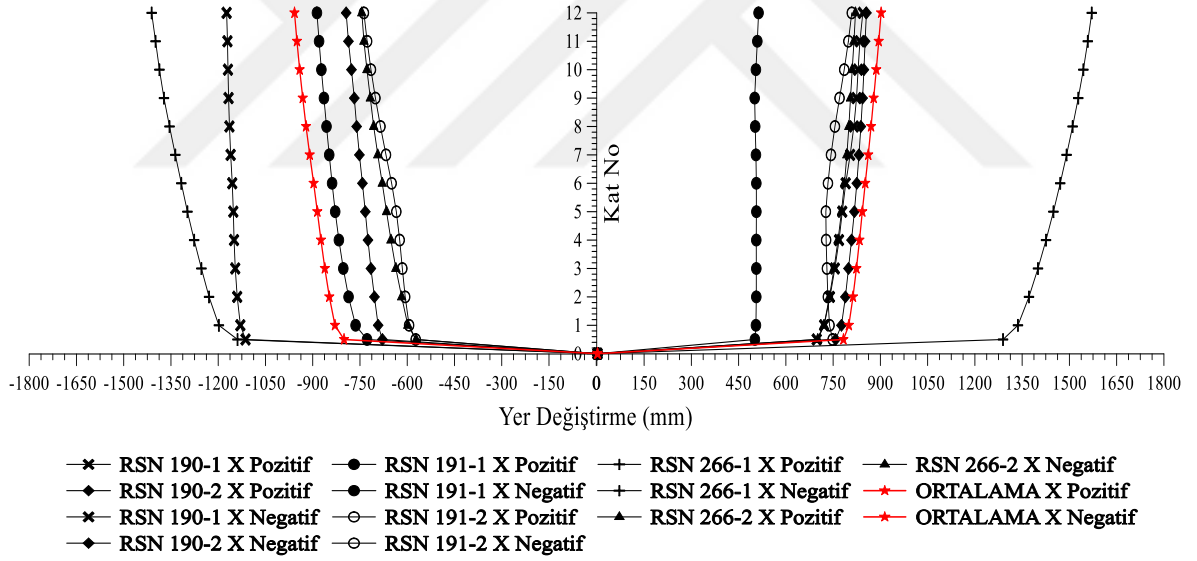


3.2.2.2. Sismik İzolasyonlu Binanın DD-1 Depremi Alt Sınır İçin Kat Yerdeğiştirme, Kat İvmeleri, Kat Kesme Kuvvetleri, Kat Momentleri ve Kat Eksenel Kuvvetlerinin Grafikleri

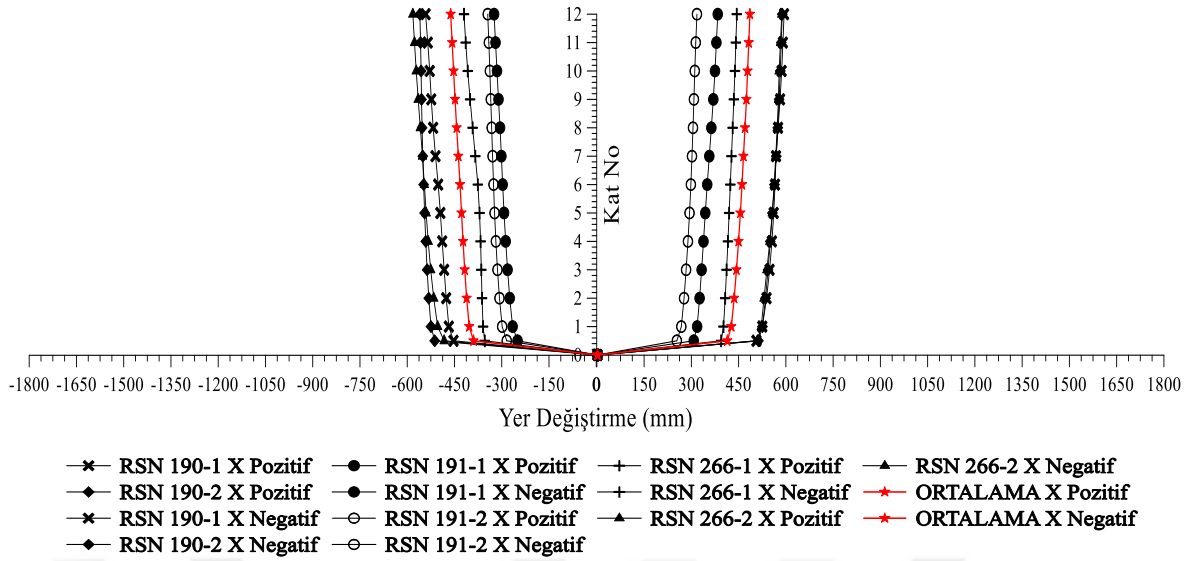
Yöntemin etkinliğinin incelenebilmesi ve diğer yöntem ve deprem düzeylerinin karşılaştırılabilmesi amacıyla sismik izolasyonlu sistem DD-1 depremi-alt sınır için kat yerdeğiştirmeleri, kat ivmeleri, kat kesme kuvvetleri, kat momentleri ve kat eksenel kuvvetleri aşağıda verilmiştir.



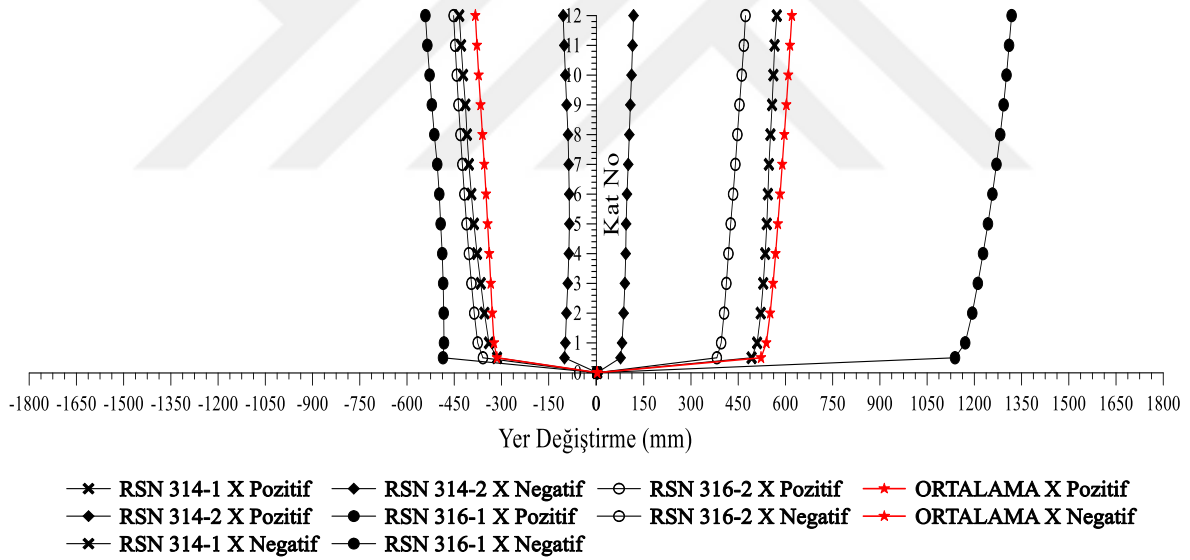
Şekil 3.44. Sismik izolasyonlu binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 6, RSN 20, RSN 30 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğıştirmelerinin değışimi



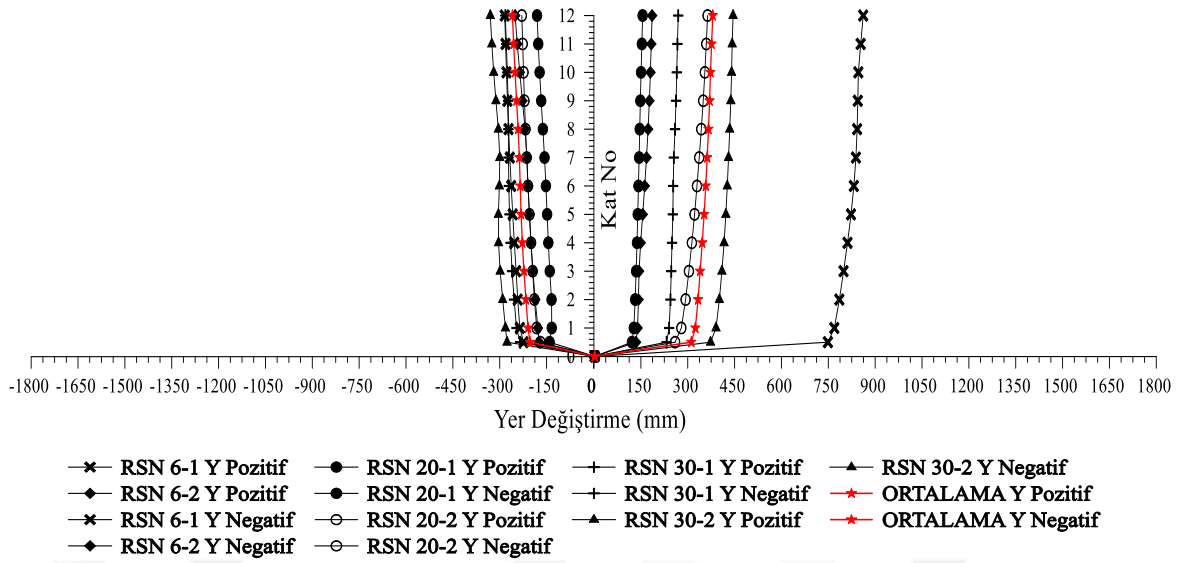
Şekil 3.45. Sismik izolasyonlu binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 93, RSN 122, RSN 186 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğıştirmelerinin değışimi



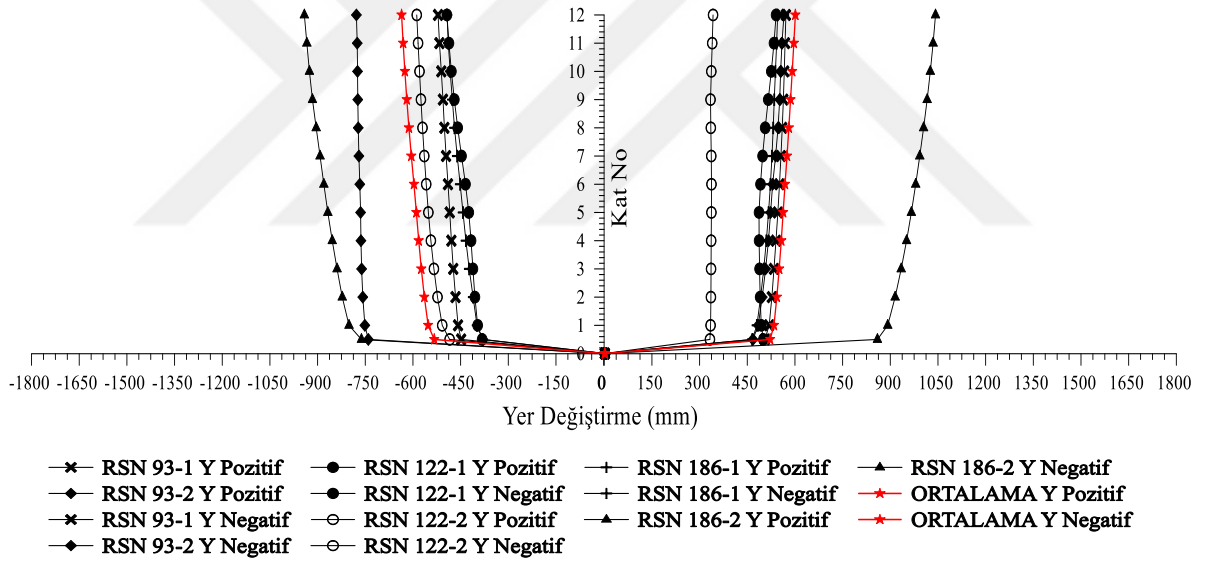
Şekil 3.46. Sismik izolasyonlu binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 190, RSN 191, RSN 266 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi



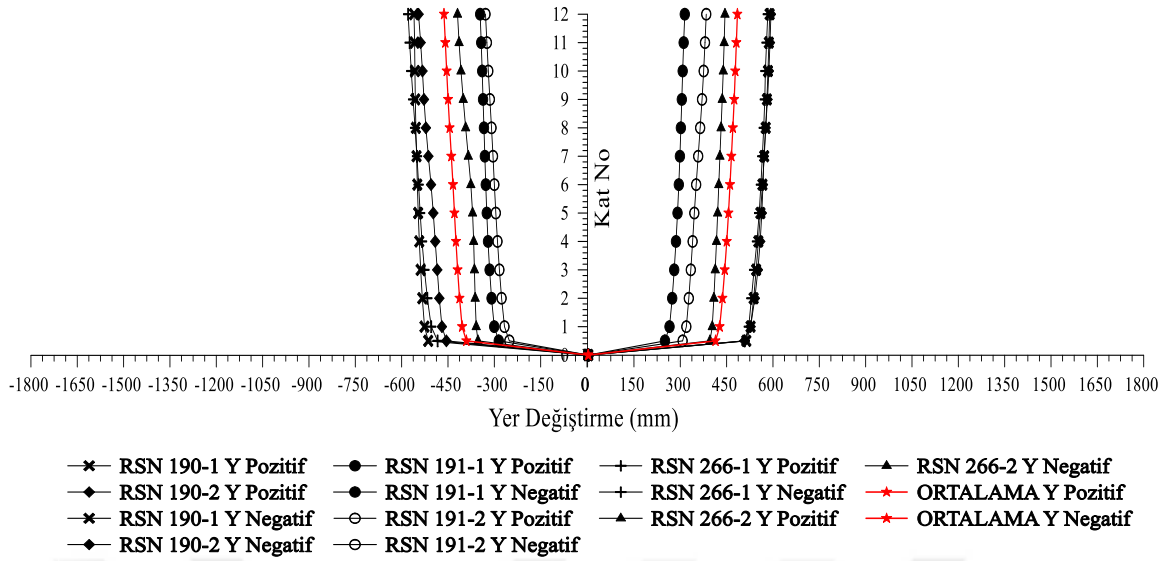
Şekil 3.47. Sismik izolasyonlu binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 314, RSN 316 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için X doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi



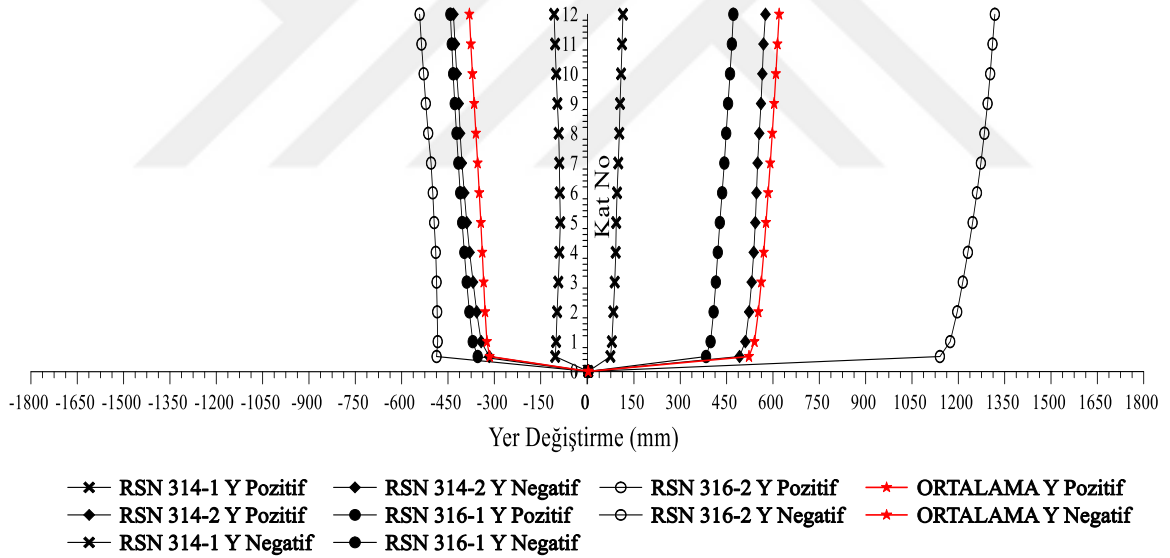
Şekil 3.48. Sismik izolasyonlu binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 6, RSN 20, RSN 30 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğıştirmelerinin değişimi



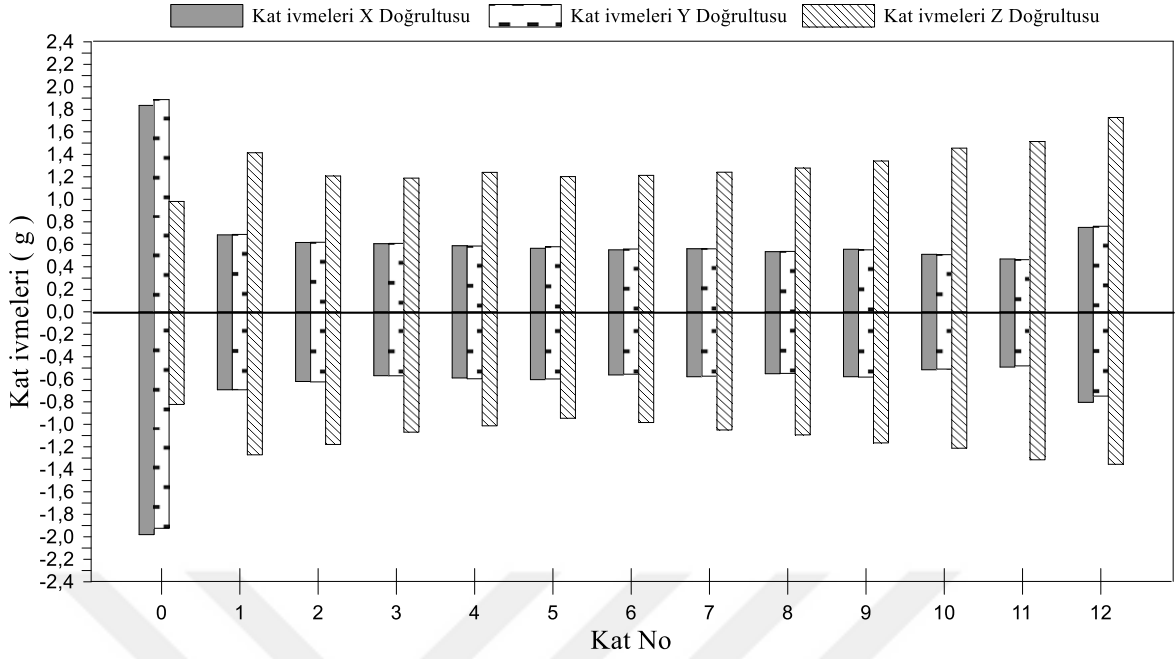
Şekil 3.49. Sismik izolasyonlu binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 93, RSN 122, RSN 186 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğıştirmelerinin değişimi



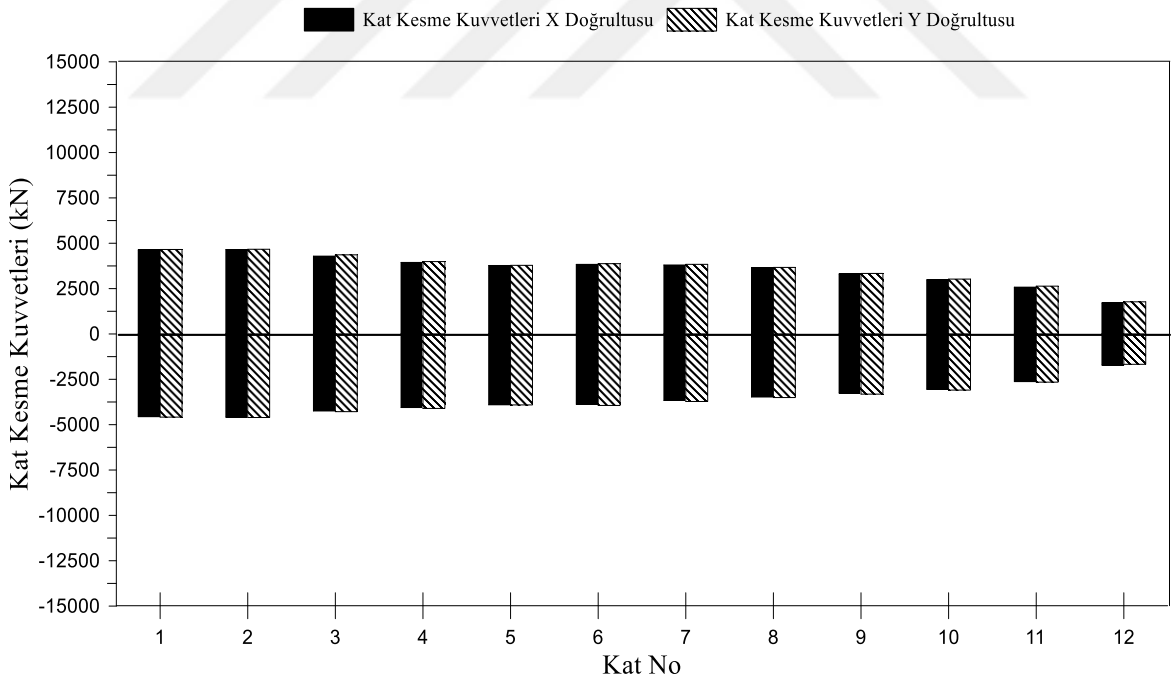
Şekil 3.50. Sismik izolasyonlu binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 190, RSN 191, RSN 266 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi



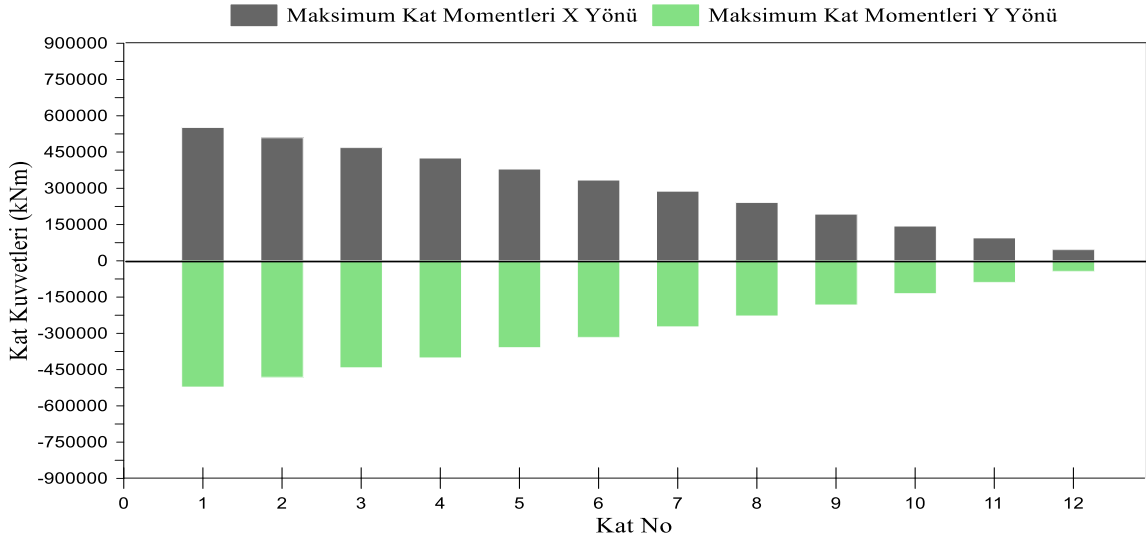
Şekil 3.51. Sismik izolasyonlu binanın DD-1 deprem düzeyinde RSN 314, RSN 316 depremleri ve bu depremlerin ortalamaları için Y doğrultusunda katlara göre yerdeğiştirmelerinin değişimi



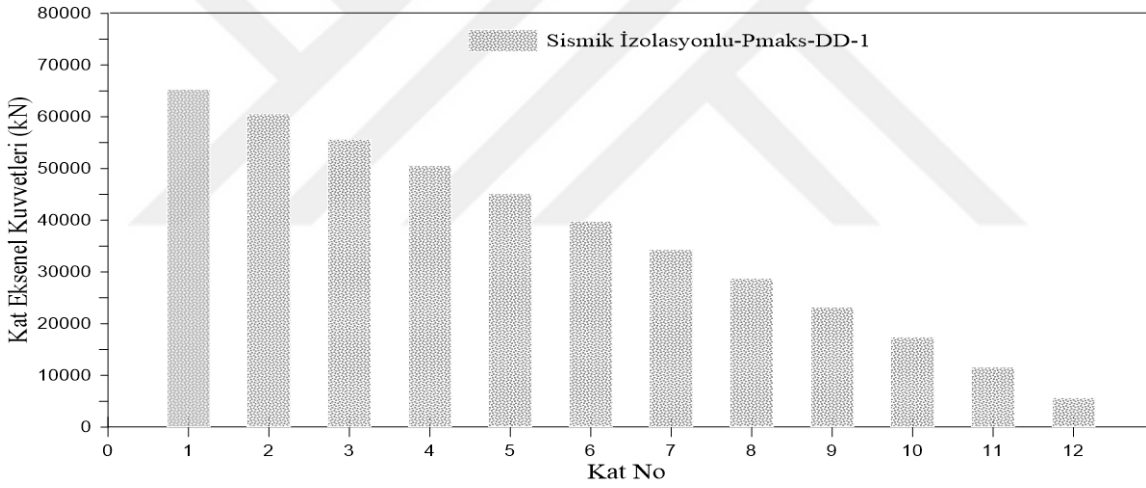
Şekil 3.52. Sismik izolasyonlu binanın DD-1 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için X,Y ve Z doğrultularında kat ivmelerinin katlara göre değişimi



Şekil 3.53. Sismik izolasyonlu binanın DD-1 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için X ve Y doğrultularında kat kesme kuvvetlerinin katlara göre değişimi



Şekil 3.54. Sismik izolasyonlu binanın DD-1 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için X ve Y doğrultularında kat momentlerinin katlara göre değişimi



Şekil 3.55. Sismik izolasyonlu binanın DD-1 deprem düzeyinde tüm depremlerin ortalamaları için maksimum normal kuvvetlerin katlara göre değişimi

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemiz büyük ve aktif fay hatları üzerinde bulunduğu için depreme dayanıklı yapı tasarımı kriterlerine özen göstermek, yıkıcı maddi ve manevi kayıpları önlemek için depreme dayanıklı yapı tasarlamak zorundadır. Depreme dayanıklı yapı tasarımı için günümüzde sıklıkla kullanılan ve yeni yayınlanan 2018 TBDY'ne de konu olan yöntem sismik izolasyon yöntemidir.

Ülkemiz binlerce yıllık medeniyetlerin maddi ve manevi katkılarıyla oluşturulan birçok tarihi eser, müze ya da mabetlere sahiptir. Bunların yanında depremden sonra kesintisiz kullanılması gereken itfaiye binaları, okullar, havaalanları, hastaneler, haberleşme istasyonları gibi yapıların depremden en az hasarla çıkabilmesi ve içindeki değerli malzemelerin depremin oluşturduğu ivmelerden ve titreşimlerden korunması için sismik izolasyon kullanımı gereksinimden öte artık zorunluluk arz etmektedir. Sismik izolatörler binaya gelen deprem yükünü sönmüleyerek, üst kata doğru depremin etkisini azaltarak binada oluşacak hasar seviyelerini azaltmaktadırlar.

Yapılan bu tez çalışmasında, 12 katlı bir hastane binasının temeli ile kolonları arasına uygulamada sıklıkla kullanılan tek yüzeyli sürtünmeli sarkaç izolatörler yerleştirilmiştir. Yerleştirilen bu sürtünmeli izolatörlerin dinamik analizi TBDY 2018'e uygun şekilde seçilen 11 deprem kaydı takımının 90 derece döndürülmesiyle oluşturulan 22 kayıt için zaman tanım alanında yapılmıştır. Aynı zamanda aynı deprem kaydı ve yönetmeliğe uygun olarak ankastre mesnetli olarak düşünülen aynı binanın dinamik analizi yapılmış ve sismik izolasyon uygulamasının binanın yapısal davranışına etkisi araştırılmıştır.

Yapılan analiz sonucunda ankastre mesnetli binanın hakim periyodu $T_{\text{ankastre}}=2.03$ s olurken sismik izolasyonlu bina DD-2 üst sınır durumu için $T_{\text{DD-2}}=2.74$ s ,sismik izolasyonlu bina DD-1 alt sınır durumu için $T_{\text{DD-1}}=3.16$ s olmuştur. Artan periyot değeri ile birlikte binaya gelen ivme değeri düşmüş, bununla birlikte yapıya gelen yüklerin azaldığı sunulan grafiklerden anlaşılmaktadır.

Analiz sonuçlarına modal analiz açısından bakılırsa; ankastre mesnetli binanın yönetmelik kuralı olan %95 kütle katılım oranı şartını 12. Modda yakaladığı, sismik

izolasyonlu binada ise bu oranın 3.modda yakalandığı görülmektedir. Bu açıdan bakıldığında sismik izolasyon kullanımının binanın yapısal parametrelerini ve dinamik davranışını olumlu yönde değiştirdiği anlaşılmaktadır.

Analiz sonuçlarına kat yerdeğiştirmeleri açısından bakıldığında; en üst katın yerdeğiştirmesinin ortalama olarak ankastre mesnetli bina DD-2 depremi için 385.6 mm, ankastre mesnetli binanın DD-1 depremi için 689.1 mm, sismik izolasyonlu bina DD-2 depremi için 324.8 mm, sismik izolasyonlu binanın DD-1 depremi için 472.5 mm olduğu görülmüştür. Sismik izolasyon kullanımını kat yerdeğiştirmelerini DD-2 depremi için yaklaşık %15.8 ;DD-1 depremi için %31.4 azalttığı görülmüştür. Aynı zamanda sismik izolasyonlu binada, binanın yerdeğiştirmelerinin çoğunluğunun izolasyon seviyesinde gerçekleştiği yerdeğiştirme değişimi grafiklerinden DD-1 depremi için daha net bir şekilde görülmektedir. DD-2 depremi daha küçük boyutlu deprem olduğundan bu deprem etkisi altında sismik izolasyonlu bina ankastre mesnetli bina gibi davranmış, daha büyük bir deprem olan DD-1 depremi etkisi altında sismik izolatörler daha iyi çalıştığından sismik izolasyonlunun etkinliği daha çarpıcı bir şekilde görülmektedir.

Sismik izolasyon kullanımının sonuçlarına kat ivmeleri açısından bakılırsa; ankastre mesnetli yapıda kat ivmeleri üst katlara doğru artarken, sismik izolasyonlu yapıda izolatörlerin hareketinden dolayı ivmeler izolatör seviyesinde maksimum olurken üst katlara doğru ivmelerin azaldığı görülmektedir. Binanın en üst katında kat ivmeleri ortalama olarak ankastre mesnetli bina DD-2 depremi için 0.949 g; ankastre mesnetli bina DD-1 depremi için 1.684 g; sismik izolasyonlu bina DD-2 depremi için 0.672 g, sismik izolasyonlu bina DD-1 depremi için 0.766 g olduğu görülmüştür. Böylelikle sismik izolasyon kullanımı kat ivmelerini DD-2 depremi için yaklaşık %29.2, DD-1 depremi için ise %53.5 azalttığı görülmektedir.

İzolatör kullanımına kat kesme kuvvetleri açısından bakılırsa; zemin katın alt kısmındaki maksimum kesme kuvvetleri ortalama olarak ankastre mesnetli bina DD-2 depremi için 8035.3 kN; ankastre mesnetli bina DD-1 depremi için 12964 kN; sismik izolasyonlu bina DD-2 depremi için 7033.85 kN; sismik izolasyonlu bina DD-1 depremi için 4607.61 kN olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak; izolatör kullanmak kat kesme kuvvetlerini tabanda yaklaşık olarak DD-2 depremi için %12.5; DD-1 depremi için ise %64.5 azaltmıştır. DD-2 depremi DD-1 depremine göre daha küçük boyutlu bir deprem olduğundan DD-2 depreminde izolatörler DD-1 depremine göre nispeten küçük etkiler

altında ankastre mesnetli bina gibi davranmış, kat kesme kuvvetlerini azaltma etkisi yüzde olarak DD-1 depremine göre küçük kalmıştır.

Sürtünmeli sarkaç izolator kullanımı kat momentleri açısından incelendiğinde; zemin kattaki maksimum kat momentleri ortalama olarak ankastre mesnetli bina DD-2 depremi için 551321 kNm; ankastre mesnetli bina DD-1 depremi için 853221 kNm; sismik izolasyonlu bina DD-2 depremi için 503395 kNm; sismik izolasyonlu bina DD-1 depremi için 536985 kNm olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak; sismik izolasyon kullanılan bina için kat momentleri DD-2 depremi için %8.7; DD-1 depremi için %37.1 azalmıştır.

İzolatorlara kat eksenel kuvvetleri açısından bakıldığında; ankastre mesnetli bina ve sismik izolasyonlu bina arasında anlamlı bir fark görülmemiştir.

TBDY 2018' e göre zaman tanım alanında yapılan analizlerin sonucunda sismik izolasyon yönteminin deprem kuvvetlerini azaltmak için kullanılan verimli bir yöntem olduğu sonucuna varılabilir.

Ayrıca sismik izolasyon yöntemi tarihi yapıların güçlendirilmesinde, yeni yapılacak olan ve günlük hayatın sürdürülmesinde vazgeçilmez olan hastane, itfaiye, kolluk kuvvetleri binaları gibi kamu kurumlarının binalarının projelendirilmesinde ve inşasında depremden sonra kesintisiz hizmet için kullanılması elzemdir.

4. KAYNAKLAR

1. <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/personel/comoglu/depremnedir/index.htm> 15 Kasım 2018.
2. Atabey, E., Deprem, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları, No:34, Ankara,2000.
3. DBYBHY, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Türkiye, 2007.
4. TBDY , Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, Türkiye, 2018.
5. Erdik, M., Binalarda Deprem Yalıtımı ve Ülkemizdeki Uygulamaları, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Ekim 2007, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 181-205.
6. Şengel, H., Erol, H. ve Yavuz, E., Sismik İzolasyon Tekniği ve Kullanışına İlişkin Örnek Uygulama, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Eskişehir, 22, 2, 2009.
7. Nagarajaiah.,S., Nonlinear Dynamic Analysis of 3D Base-Isolated Structures, Journal of Structural Engineering, 117, 7 (1991) 2035-54.
8. Jangid, R., S. ve Datta T., K. Nonlinear Response Torsionally Coupled Base Isolated Structure, Journal of Structural Engineering, 120, 1 (1994) 1-22.
9. Tsopelas, Experimental study of FPS System in Bridge Seismic Isolation, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 25 (1996) 65-78.
10. Naeim, F. ve Kelly, J.M., Design of Seismic Isolated Structures, John Wiley & Sons Inc, USA, 1999.
11. Ateş, Ş., Viskoelastik Taban İzolasyonlu Binaların Lineer Olmayan Dinamik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1999.
12. Asher, J.W., Young, R.P. ve Ewing, R.D., Seismic Isolation Design of the Arrowhead Regional Medical Center”’ Structural Design of Tall Buildings, 10, 5 (2001) 321-334.
13. Wu, Y.M. and Samali, B., Shake Table Testing of a Base Isolated Model, Engineering Structures, 24, 9 (2002) 1203-1215.
14. Hong, W.K. and Kim, H.C., Performance of a Multi-Story Structure with a Resilient-Friction Base Isolation System, Computer and Structures, 82 (2004) 2271- 2283.

15. Özpalkanlar, C.G., Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sismik İzolasyon ve Enerji Sönümleyici Sistemler, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2004.
16. Celep, Z. ve Kumbasar, N., Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, 3. Baskı, İstanbul, 2004.
17. Uyar, M., Yapılarda Temel İzolatörlerinin Kullanılışı, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2005.
18. Ercan, E. ve Nuhoglu, A., Taban İzolatörlü ve Pasif Enerji Sönümleyicili Yapıların Dinamik Davranışı, Deprem Sempozyumu, Mart 2005, Kocaeli, Bildiriler Kitabı: 512-520.
19. Yücesoy, A., Sismik İzolatörler ile Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya, 2005.
20. Türker, H., Sismik İzolasyon Sistemlerinin Kullanılış Tipleri Örnek Bir Maliyet Analizi, Deprem Sempozyumu, Mart 2005, Kocaeli, Bildiriler Kitabı: 538-545.
21. Ayhan, O., Binaların Depreme Karşı Güçlendirilmesinde Klasik Yöntem ile Sürtülmeli Sarkaç Sistemlerin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
22. Urgan, M., İ., Sismik İzolasyonlu Yapıların Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2006.
23. Mum, N., Betonarme Köprülerde Sismik İzolasyon Etkisinin İncelenmesi ve Bir Uygulama Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
24. Yılmaz, Ç., Booth, E. and Sketchley, C., Retrofit of Antalya Airport International Terminal Building, Turkey Using Seismic Isolation, Fifth European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, September 2006, Geneva, Paper No: 1259.
25. Hoşbaş, A.B., Çok Katlı Betonarme Yapının Sismik İzolatörlerle Modellenmesi ve Yapının Perdelerle Güçlendirilmiş Durumu ile Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
26. Pekgökgöz, R., K., Gürel, M., A., Kömür, M. ve Çılı, F., Cost Analysis of Building with Seismic Base Isolation System, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 3, 25 (2007) 236-246.
27. Yavuz, S., Sismik İzolasyon Tekniği ve Kullanılışına İlişkin Örnek Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2008.
28. Demir, S., Sismik İzolasyon Sistemleriyle Yapıların Tasarımı ve Mevcut Bir Yapıya Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2008.

29. Atımtay, E., Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Açıklamalar ve Örnekler”, I-II, Ankara, 2008.
30. Erdik M. ve Yüzügüllü Ö., Deprem Mühendisliği Açısından Yapı Dinamiğine Giriş, ODTÜ Yayınevi, Ankara, 1980.
31. DYY, Deprem Yalıtım Yönetmeliği, Deprem İzolasyon Derneği, I. Baskı, Ankara, 2008.
32. Spyrakos, C., C., Maniatakis, C., A. and Koutromanos, I., A., Soil-Structure Interaction Effects on Base Isolated Buildings Founded on Soil Stratum, Engineering Structures, 31,3 (2009) 729-737.
33. Karabörk, T., Deneme İ.Ö. ve Bilgehan R.P., Temeli İzole Edilen Yapılarda Dinamik Yapı-Zemin Etkileşimi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6,1 77-87, 2010.
34. DİS , Deprem İzolatör Sistemleri, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, I. Baskı, Ankara, 2011.
35. Alhan, C. ve Şahin, F., Protecting Vibration-Sensitive Contents: an Investigation of Floor Accelerations in Seismically Isolated Buildings, Bulletin of Earthquake Engineering, 9,4 (2011) 1203-1226.
36. Özmen, A., Şadan, B., Kubin, J., Kubin, D., Akkar, S., Yücel, O., Aydın, H., Özmen, A. ve Eroğlu, E., Deprem Yalıtımlı Hastane Tasarımı Uygulaması: Erzurum Sağlık Kampüsü, 1.Türkiye Deprem ve Sismoloji Konferansı, Ekim 2011, Ankara, Paper No:12.
37. Güner, G., Bir Hastane Yapısının Klasik Yöntemle ve Sismik İzolatör Kullanılarak Tasarımının Dinamik Yönden Karşılaştırılmasının Yapılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
38. Mirkelam, Z.A. ve Derdiman, M.K., Taban Yalıtım Tekniğinin Betonarme Binaların Deprem Performansına Etkisinin Araştırılması, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2,8 (2012) 1-11.
39. Toprak, T., Burulma Düzensizliği Olan Yapılarda Sismik İzolasyon Kullanımının Deprem Yükleri Altındaki Davranışa Olan Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
40. Turan, G. ve Ercan, E., Ölçütlendirilmiş Yapılar İçin Zemin İzolatör Uygulaması, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eylül 2013, Hatay.
41. Dicleli, M., Sismik İzolasyon ve Enerji Emici Sistemlerle İlgili Teknik Gelişmeler ve Sismik Performansı İyileştirme Amaçlı Özel Uygulamalar, Deprem Yalıtım Yöntemleri ve Uygulamaları Sempozyumu, 28 Şubat- 1 Mart 2013, Ankara.
42. Dinçer, E., A., Temel İzolasyonlu Yapıların Dinamik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2013.

43. Chen, J., Zhao, C., Xu, Q. and Yuan, C., Seismic Analysis and Evaluation of the Base Isolation System in AP1000 NI under SSE Loading, Nuclear Engineering and Design, 278 (2014) 117-133.
44. Shrimali, M.K., Bharti, S.D. and Dumne, S.M., Seismic Response Analysis of Coupled Building Involving MR Damper and Elastomeric Base Isolation, Ain Shams Engineering Journal, 2,6 (2014) 457-470.
45. Luco, J.E., Effects of Soil-Structure Interaction on Seismic Base Isolation, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 66 (2014) 167-177.
46. Cicen, C., Mevcut Bir Betonarme Kamu Binasının Performans Analizi ve Sismik İzolasyon ile Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014.
47. Baki, S., Betonarme Bir Binada Sismik İzolasyonlu Ve İzolasyonsuz Çözümlerin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2015.
48. Karakurt, P., Sismik İzolatörlü Binalarda Kat Adedi Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 2015.
49. Sevim, E., Sismik İzolatörlerin Bina Türü Yapıların Dinamik Davranışına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016.
50. Sağlam, D., Sismik İzolatörlerin Yüksek Binalarda Deprem Davranışına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2017.
51. Murat, E., Binaların Tabanlarına Elastomer Mesnetler Yerleştirilerek Sismik Yalıtım Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
52. <https://www.bilgiustam.com/rezonans-nedir/> 5 Kasım 2018.
53. Komodromos, P., Seismic Isolation for Earthquake Resistant Structures, Advances in Earthquake Engineering, WIT Press, Southampton, Boston, 2000.
54. Tezcan, S., S. and Cimilli, S., Seismic Base Isolation, Yüksek Öğrenim Eğitim ve Araştırma Vakfı, İstanbul, 2002.
55. Kelly, T., Base Isolation Design of Structures; Design Guidelines, Wellington, New Zealand, 2002.
56. Coşkun, E., Sismik İzolasyon ve Sismik Sönümleyiciler Ders Notları, İstanbul Kültür Üniversitesi.
57. Jangid, R., S. and Datta, T., K., Seismic Behavior of Base-Isolated Building: A State of Art Review, Proc. Instn Civ. Engrs Structs and Bldgs, 110 (1995) 186-203.

58. Stanton, F., J. and Scroggins, G., T., Stability of Laminated Elastomeric Bearings, Journal of Structural Engineering, 116, 6 (1990) 1351-1371.
59. Griffith, M., C., Kelly, J., M. ve Aiken, I., D., A Displacement Control and Up Lift Restraint Device for Base Isolated Structures, Proceedings Ninth World Conference On Earthquake Engineering, Tokyo, 1988.
60. Chopra, A.K., Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering Prentice Hall, New Jersey, 1995.
61. Ryan, K.L. ve Chopra, A.K. Estimating Bearing Response in Symmetric and Asymmetric-Plan Isolated Buildings with Rocking and Torsion. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 35, 8 (2001) 1009-1036.
62. Alku Z., Sismik İzolatörler, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2009.
63. Roussis, P.C., Constantinou, M.C., Erdik, M., Durukal, E. ve Dicleli, M., Assessment of Performance of Seismic Isolation System of Bolu Viaduct, J. Bridge Eng., 8, 4 (2003) 182-190.
64. Constantinou, M., C., Whittaker, A., S., and Velivasakis, E., Seismic Evaluation and Retrofit of the Atatürk International Airport Terminal Building, MCEER Structures 2001, 1-8.
65. Kan, Ö., Kaymaz, K., Zengin, B. ve Özcan M., Türkiye'deki Depreme Dayanıklı Yapıların Sismik İzolasyon Tiplerinin İncelenmesi, Bilim ve Gençlik Dergisi, 5,1 (2017).
66. <https://www.emke.com.tr/sabiha-gokcen-mro-hangar> 20 Ekim 2018.
67. Skinner, R., I., Kelly, J., M. and Heine, A., J., Hysteretic Dampers for Earthquake Resistance Structures, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 3 (1975) 287-296.
68. Constantinou, M., C. and Tadjbakhsh, I., G., Hysteretic Dampers in Base Isolation: Random Approach, Journal of Structural Engineering, 111 (1985) 705-721.
69. Jangid, R., S., Response of Pure-Friction Sliding Structures to Bi-Directional Harmonic Ground Motion, Engineering Structures, 19, 2 (1997) 97-104.
70. Su, L., Ahmadi, G. and Tadjbakhsh, I., G., Performance of Sliding Resilient-Friction Base Isolation System, Journal of Structural Engineering, 117 (1989a) 165-181.
71. Su, L., Ahmadi, G. and Tadjbakhsh, I., G., A Comparative Study of Performances of Various Base Isolation Systems, Part I: Shear Beam Structures, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 18, 1 (1989b) 11-32.
72. Mostaghel, N. and Tanbakuchi, J., Response of Sliding Structures to Earthquake Support Motion, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 11, 6 (1983) 729-748.

73. Zayas, V., Low, S., S. and Mahin, S., A., A Simple Pendulum Technique for Achieving Seismic Isolation, *Earthquake Spectra*, 6, 2 (1990) 317-333.
74. Calvi, P., M. and Calvi, G., M., Historical Development of Friction-Based Seismic Isolation Systems, *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 106 (2018) 14–30.
75. PEER 2014. Pacific Earthquake Engineering Research Center, Ground Motion Database, University of California, Berkeley, USA. <http://ngawest2.berkeley.edu/>.
76. ETABS, Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Computers and Structures Inc, Berkeley, California, USA, 2018.
77. Altunışık, A. C., Ateş, Ş. ve Adanur, S., İnşaat Mühendisliğinde SAP2000 Uygulamaları, Golden Light Publishing, Trabzon, Türkiye, 2018.
78. Ozmen, G., Orakdogen. E. ve Darılmaz, K., ETABS, Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye, 2013.
79. Ateş, Ş. ve Dumanoglu, A., A., Taban İzolasyonlu Binaların Dinamik Davranışına Zemin Eğilebilirliğinin Etkisi, 13. Ulusal Mekanik Kongresi, Eylül 2003, Gaziantep, Bildiriler Kitabı: 165-174.
80. Mokha, A., S., Amin, N., Constantinou, M., C., and Zayas, V., Seismic Isolation Retrofit of Large Historic Building, *Journal Structural Engineering*, 122, 3 (1996) 298-308.
81. Zayas, V., Low, S. and Mahin, S., A., The FPS Earthquake Resisting System Experimental Report, EERC Technical Report, 1987, UBC/EERC, 87-01.
82. Ateş, Ş. Bayraktar, A. ve Dumanoglu, A.A., Sürtülmeli Sarkaç Mesnet Modeli ile Taban İzolasyonu Yapılan Köprülerin Deprem Davranışının Belirlenmesi, Türkiye İnşaat Mühendisliği On Yedinci Teknik Kongre ve Sergisi, Bildiriler Metni (CD), Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2004.
83. Tsai C., S., Chiang T., C. and Chen B., J., Finite element formulations and theoretical study for variable curvature friction pendulum system, *Engineering Structures*, 25, 14 (2003) 1719-1730.
84. Fenz, D., M. and Constantinou, M., C., Behavior of the Double Concave Friction Pendulum Bearing, *Earthquake Engng. Struct. Dyn.*, 35 (2006) 1403-1424.
85. Becker, T., C. and Mahin, S., A., Experimental and Analytical Study of the Bi-Directional Behavior of the Triple Friction Pendulum Isolator, *Earthquake Engng Struct. Dyn.*, 41(2012) 355-373.
86. Kitayama S. and Constantinou M., C., Probabilistic seismic performance assessment of seismically isolated buildings designed by the procedures of ASCE/SEI 7 and other enhanced criteria, *Engineering Structures*, 179 (2019) 566-582.

87. Yurdakul, M., Üç Eğrilikli Sürtünmeli Sarkaç Mesnetli Yapıların Dinamik Davranışına Zemin Eğilebilirliğinin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2011.
88. Yurdakul, M., Üç Eğrilikli Sürtünmeli Sarkaç Mesnet Sistemi ile Sismik İzolasyonu Yapılan Karayolu Köprüsünün Değişerek Yayılan Yer Hareketi Altında Stokastik Analizi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2016.



ÖZGEÇMİŞ

Zafer KURT, 01.08.1993'de Trabzon'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini sırasıyla Yeşilova Mustafa Kemal İlköğretim Okulu'nda, Merkez Uğurlu İlköğretim Okulu'nda ve Trabzon Lisesi'nde 1999-2011 yılları arasında tamamladı. 4 Haziran 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden onur öğrencisi olarak mezun oldu. Mart 2016 'da İşkur işbaşı eğitimi ile A.K.B Yapı Denetim Limited Şirketinde İnşaat Mühendisi olarak işe başladı. Haziran 2016'da aynı üniversitede yüksek lisans öğrenimine başladı. 16 Şubat 2018 tarihinde Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Anabilim Dalı'na araştırma görevlisi olarak atandı. İyi derecede İngilizce bilmekte olan Zafer KURT, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi'ndeki görevine devam etmektedir.