



**BURULMA DÜZENSİZLİĞİNE SAHİP TABAN
İZOLASYONLU YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ**

Alper Tolga DÖKER



T.C.

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BURULMA DÜZENSİZLİĞİNE SAHİP TABAN İZOLASYONLU YAPILARIN
DEPREM DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Alper Tolga DÖKER

Prof. Dr. Ramazan LİVAOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2020

Her Hakkı Saklıdır.

TEZ ONAYI

Alper Tolga DÖKER tarafından hazırlanan “Burulma Düzensizliğine Sahip Taban İzolasyonlu Yapıların Deprem Davranışlarının İncelenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Ramazan LİVAOĞLU

ORCID: [0000-0001-8484-6027](https://orcid.org/0000-0001-8484-6027)

Başkan :

Prof. Dr. Ramazan LİVAOĞLU

ORCID: [0000-0001-8484-6027](https://orcid.org/0000-0001-8484-6027)

Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye :

Doç. Dr. Hakan Tacettin TÜRKER

ORCID: 0000-0001-5162-1606

Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye :

Prof. Dr. Beyhan BAYHAN

ORCID: 0000-0003-0962-9174

Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa
Bilimleri Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN

Enstitü Müdürü

../..../(Tarih)

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

.. / .. /

İmza

Alper Tolga DÖKER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BURULMA DÜZENSİZLİĞİNE SAHİP TABAN İZOLASYONLU YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Alper Tolga DÖKER

Bursa Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ramazan Livaoglu

Günümüzde sismik izolatör sistemleri olarak da bilinen sismik taban yalıtımı, dünya çapında büyük depremlerde zarar görme eğilimi olan yapılarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. 2012 yılında Türkiye’de Sağlık Bakanlığı tarafından 100 yatak ve üzeri kapasitesi olan hastanelerde kullanımı zorunlu hale getirilmiştir. Sismik taban yalıtımı bu gibi büyük yapılarda Kesintisiz Kullanım (KK) kriterlerine uyulabilmesi için etkili bir çözümdür. Mimari gereklilikler sebebiyle oluşan düzensizlikler, yapının burulma tepkisinin çok daha önemli bir hale getirmektedir. Bu çalışmada inşası Acemler, Bursa’da devam etmekte olan Ali Osman Sönmez Devlet Hastanesi incelenmiştir. Sismik taban yalıtımlı olarak tasarlanan yapının orijinal hali referans olarak alınarak simetrik hale getirilmiş ve farklı zemin türleri altında karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuç olarak bazı durumlarda taban yalıtım sistemlerinin burulma düzensizliğinin etkilerini arttırdığı ve bazı durumlarda da yapının taşıyıcı sistemindeki izin verilen durumların ötesinde düzensizlik katsayıları elde edildiği görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sismik Taban Yalıtımı, Yapı Düzensizlikleri, Burulma Düzensizliği

ABSTRACT

MSc Thesis

SYSMIC ANALYSIS OF BASE ISOLATED IRREGULAR STRUCTURES

Alper Tolga DÖKER

Bursa Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ramazan LİVAOĞLU

Seismic base isolation, also known as base isolation system, nowadays is commonly applied worldwide to protect buildings prone to devastating earthquake events. The application was also stipulated by the Ministry of Health in 2012. The system is an effective solution for huge buildings like hospitals whose capacity is hundreds of beds that are required to reach the criterion of Immediate Occupancy (IO) in qualitative performance levels after earthquake events. Moreover, the application of the system is vital as the torsional response becomes more significant because of some irregularities related to architectural requirements. In this study, a hospital, namely Ali Osman Sönmez State Hospital, that is under construction in Acemler, Bursa city is investigated. As designed, there are some irregularities ambiguously rising the torsional performances. Aim at the effectiveness of the base isolation system applied to the building, its performances under various ground motions are compared with the counterparts of a reference structure that is modeled symmetrically. As a result, it is seen that in some cases, the base isolation systems increases the effects of torsional irregularity, and in some cases irregularity coefficients are obtained beyond the allowable limits in the structural system of the structure.

Key words: Seismic Base Isolation, Structural Irregularities, Torsional Irregularity

TEŐEKKÖR

Tez çalıőmamın her aşamasında yanımda duran benden vazgeçmeyen ve her zaman doğru yönlendirmeler yapan çok değerli, saygıdeğer hocam Prof. Dr. Ramazan Livaoğlu'na en içten teőekkÖrlerimi sunuyorum.

YÖksek lisans yaptığım dÖnem boyunca beni hep destekleyen annem ve kardeőime minnetlerimi sunuyor ve bu tezi onlara ithaf ediyorum.

Alper Tolga DÖKER

17/02/2020

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
2.1. Sismik İzolatörler.....	2
2.1.1. Kayma mantığına dayanan izolasyon sistemleri:.....	4
2.1.2. Kauçuk esaslı elastomerik izolasyon sistemleri:.....	9
2.1.3. Yay tipi sistemler.....	14
2.1.4 Taban izolasyonu tarihçesi.....	15
2.1.5. Taban izolasyonu uygulamaları ve bazı yapı örnekleri.....	18
2.1.6. İzolatörlerin avantajları ve dezavantajları.....	22
2.2. Yapı Düzensizlikleri.....	24
2.3. Literatür Özetleri.....	27
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	32
3.1. Modellenen Yapı Özellikleri.....	32
3.2. Sayısal Model ve Analiz.....	33
4. BULGULAR.....	48
4.1. Yapı Simetrisinin Davranış Üzerindeki Etkilerinin Karşılaştırılması.....	52
4.2. Taban İzolasyonlu Sistemler ile Ankastre Durumun Karşılaştırılması.....	63
4.2.1. Asimetrik modellerde taban izolasyon sistemi tipinin etkisi.....	63
4.2.2. Simetrik modellerde mesnetlenmenin etkisi.....	70
4.3. Zemine Bağlı Olarak Sistem Tepkilerinin Karşılaştırılması.....	75
4.3.1. Ankastre Model için Zemin etkisi.....	76
4.3.2. Sürtünmeli sarkaç taban izolasyonlu model için zemin etkisi.....	81
4.3.3. Kurşun çekirdekli kauçuk taban izolasyonlu model için zemin etkisi.....	85
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	90
KAYNAKLAR.....	93
ÖZGEÇMİŞ.....	95

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
$\sum A_e$	Etkili kesme alanı
$\sum A_g$	Binada, hesap yapılmakta olan deprem doğrultusuna paralel olarak çalışan perde olarak tanımlanan taşıyıcı sistem elemanlarının en kesit alanlarının toplamı
$\sum A_w$	Depreme dik doğrultudaki kolon çıkıntılarının alanları hariç, kolon en kesiti etkin gövde alanları toplamı
$\sum A_k$	Pencere ve kapı boşlukları çıkarıldıktan sonra hesap yapılan deprem doğrultusuna paralel olan dolgu duvar alanlarının toplamı
A_b	Boşluk alanları toplamı
A	Brüt kat alanı
a_x	X yönü boşluk
D_i	Dış merkezliği arttırma katsayısı
L_x	X yönü bina toplam uzunluğu
L_y	Y yönü bina toplam uzunluğu
η_{bi}	Burulma düzensizliği katsayısı
η_{ki}	Rijitlik düzensizliği katsayısı
Δ_i	Görelî kat ötelenmesi
U_1	X doğrultusunda deprem etkileri altındaki yer değiştirme
U_2	Y doğrultusunda deprem etkileri altındaki yer değiştirme

Kısaltmalar	Açıklama
ASAZA	Asimetrik ankastre modelin ZA zemin sınıfındaki analizi
ASAZC	Asimetrik ankastre modelin ZC zemin sınıfındaki analizi
ASAZE	Asimetrik ankastre modelin ZE zemin sınıfındaki analizi
ASİZA	Asimetrik sürtünme tip izolatörlü modelin ZA zemin sınıfındaki analizi
ASİZC	Asimetrik sürtünme tip izolatörlü modelin ZC zemin sınıfındaki analizi
ASİZE	Asimetrik sürtünme tip izolatörlü modelin ZE zemin sınıfındaki analizi
SİZA	Simetrik sürtünme tip izolatörlü modelin ZA zemin sınıfındaki analizi
SİZC	Asimetrik sürtünme tip izolatörlü modelin ZC zemin sınıfındaki analizi
SİZE	Simetrik sürtünme tip izolatörlü modelin ZE zemin sınıfındaki analizi
SAZA	Simetrik ankastre modelin ZA zemin sınıfındaki analizi
SAZC	Simetrik ankastre modelin ZC zemin sınıfındaki analizi
SAZE	Simetrik ankastre modelin ZE zemin sınıfındaki analizi
ASİMKİZA	Asimetrik Kauçuk izolatörlü modelin ZA zemin sınıfındaki analizi
ASİMKİZC	Asimetrik Kauçuk izolatörlü modelin ZC zemin sınıfındaki analizi
ASİMKİZE	Asimetrik Kauçuk izolatörlü modelin ZE zemin sınıfındaki analizi
SİMKİZA	Simetrik Kauçuk izolatörlü modelin ZA zemin sınıfındaki analizi
SİMKİZC	Simetrik Kauçuk izolatörlü modelin ZC zemin sınıfındaki analizi
SİMKİZE	Simetrik Kauçuk izolatörlü modelin ZE zemin sınıfındaki analizi
TBDY	Türk Bina Deprem Yönetmeliği
ROTA	Rijit Olmayan Taraf
RİTA	Rijit Taraf

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Basit sarkaç ile sürtünmeli sarkaç çalışma prensipleri	4
Şekil 2.2. Kayıcı sistemlerden sarkaç tipi izolatörlerin açık hali.....	5
Şekil 2.3. Sürtünmeli sarkaç mesnedin kesit ve elemanları.....	6
Şekil 2.4. Sürtünmeli sarkaç sisteminin karakteristik davranış modeli.....	6
Şekil 2.5. Esnek sürtünmeli taban izolasyonu mesnet kesitleri	7
Şekil 2.6. Deprem etkisinde yatakların tepkisi	7
Şekil 2.7. Kauçuk esaslı elastomerik izolatörün testler sırasındaki şekil değiştirmesi.....	9
Şekil 2.8. Düşey yüke maruz kalmış tek kauçuklu sistem ile çelik plaklarla senkronize çalışan sistemin davranışları	10
Şekil 2.9. Kurşun çekirdekli küresel ve kare elastomer mesnet kesitleri.....	11
Şekil 2.10. Kurşun gövdeli elastomer bir izolatörün yüklemeler altındaki kuvvet- yer değiştirme grafiği	12
Şekil 2.11. Düşük Sönümlü Elastomer Mesnet Kesiti.....	13
Şekil 2.12. Yay tipi sistemlere bir örnek.....	14
Şekil 2.13. Belediye binasının mod şekilleri ve dış görünüşü.....	19
Şekil 2.14. Kolonların kesilmesi ve izolatörün yerleştirilmesi.....	20
Şekil 2.15. Atatürk havalimanı üstten görünüşü ve sürtünmeli sarkaç izolatörler	20
Şekil 2.16. Atatürk havalimanı sürtünmeli sarkaç izolatör örneği.....	21
Şekil 2.17. Bursa Kestel Rafet Kahraman Devlet Hastanesi dış görünüşü.....	21
Şekil 2.18. Bursa Kestel Rafet Kahraman Devlet Hastanesi Sürtünmeli Sarkaç tipi izolatörlerin dağılımı.....	22
Şekil 2.19. Burulma momentinin etkisi	25
Şekil 2.20. Deprem yönetmeliğinde burulma düzensizliğin gösterimi.....	26
Şekil 3.1. Ali Osman Sönmez Devlet Hastanesi bitmiş hal üç boyutlu görüntüsü.....	32
Şekil 3.2. Ali Osman Sönmez Devlet Hastanesi kat planı.....	33
Şekil 3.3. Çalışmada kullanılacak yapının üç boyutlu modeli.....	34
Şekil 3.4. Asimetrik sisteme ait kalıp planı üzerinde karşılaştırmaya esas teşkil eden eleman isimlendirmeleri.....	36
Şekil 3.5. Kullanılacak modelden türetilmiş Simetrik Model üç boyutlu görüntüsü.....	36
Şekil 3.6. Çalışmada kullanılacak simetrik modelin kat planı ve karşılaştırma ve sonuç kısımlarında kullanılacak noktalar	37
Şekil 3.7. Analiz sırasında kullanılan tepki spektrumları	37
Şekil 3.8. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatöre ait bilineer kuvvet deplasman eğrisi.....	45
Şekil 4.1. Zemin sınıflarına göre tepki spektrumları ve model periyotları.....	50
Şekil 4.2. Çeşitli kat kesme kuvveti karşılaştırmaları.....	51
Şekil 4.3. ZA zemin sınıfına göre X ve Y doğrultusu deprem kuvvetleri altında yer değiştirme değerleri.....	53
Şekil 4.4. ZA zemin sınıfına göre X ve Y doğrultusu için normalleştirilmiş kesme kuvvetleri değerleri	54
Şekil 4.5. ZA zemin sınıfına göre X ve Y doğrultusu moment tepkileri.....	55
Şekil 4.6. ZA zemin sınıfına göre X ve Y doğrultusu görel kat ötelenmeleri	56
Şekil 4.7. ZA zemin sınıfına göre X ve Y doğrultusu için burulma düzensizliği kat sayıları	58
Şekil 4.8. ZE zemin sınıfı, X ve Y doğrultusu deprem kuvvetleri altında yer değiştirme değerleri.....	59
Şekil 4.9. ZE zemin sınıfı X ve Y doğrultusu için kesme kuvveti karşılaştırmaları.....	60

Şekil 4.10. ZE zemin sınıfı, X ve Y doğrultusu deprem kuvvetleri altında moment değerleri.....	61
Şekil 4.11. ZE zemin sınıfı, X doğrultusu deprem kuvvetleri altında burulma düzensizliği katsayısı η_{bi}	62
Şekil 4.12. ZE zemin sınıfı, X doğrultusu deprem kuvvetleri altında görel kat ötelenme değerleri.....	63
Şekil 4.13. RİTA için yer değiştirme değişimleri.....	64
Şekil 4.14. Y doğrultusu için ROTA ve RİTA için karşılaştırmalar	65
Şekil 4.15. Asimetrik modellerin farklı zemin sınıflarındaki kesme kuvveti değerleri..	66
Şekil 4.16. Asimetrik modellerin farklı zemin sınıflarına göre moment değerleri.....	67
Şekil 4.17. Asimetrik modellerin farklı zemin sınıflarında burulma düzensizliği kat sayıları.....	68
Şekil 4.18. Asimetrik modellerin farklı zemin sınıflarında görel kat ötelenmeleri	69
Şekil 4.19. Simetrik modellerin farklı zemin sınıflarında X ve Y doğrultusundaki deprem kuvvetleri altında yer değiştirme değerleri	71
Şekil 4.20. Simetrik modellerin farklı zemin sınıflarında X ve Y doğrultusundaki deprem etkileri altında kesme kuvveti değerleri	72
Şekil 4.21. Simetrik modellerin farklı zemin sınıflarında X ve Y doğrultusundaki deprem etkileri altında moment değerleri	74
Şekil 4.22. Simetrik modellerin farklı zemin sınıflarında görel kat ötelenmeleri	75
Şekil 4.23. Ankastre mesnetlenmiş modellerin X ve Y yönü deprem etkileri altında yer değiştirme değerleri.....	77
Şekil 4.24. Asimetrik, ankastre mesnetlenmiş modellerin X ve Y yönü deprem doğrultularına göre kesme kuvveti değerleri.....	78
Şekil 4.25. Asimetrik ve simetrik, ankastre mesnetlenmiş modellerin X ve Y doğrultusu deprem yükleri altında burulma düzensizliği katsayısı.....	79
Şekil 4.26. Asimetrik ve simetrik, ankastre mesnetlenmiş modellerin X ve Y doğrultusu deprem yükleri altında görel kat ötelenmeler	80
Şekil 4.27. Sürtünme tip izolatörlü modellerin X ve Y yönü deprem etkileri altında yer değiştirme değerleri.....	82
Şekil 4.28. Sürtünme tip izolatörlü modellerin X ve Y yönü deprem doğrultularına göre kesme kuvveti değerleri	83
Şekil 4.29. Sürtünme tip izolatörlü modellerin X ve Y yönü deprem doğrultularına göre görel kat ötelenmeleri.....	84
Şekil 4.30. Sürtünme tip izolatörlü modellerin X ve Y yönü deprem doğrultularına göre burulma düzensizlik katsayıları.....	85
Şekil 4.31. Asimetrik, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü modellerin X ve Y doğrultusundaki deprem etkileri altında yer değiştirme değerleri	86
Şekil 4.32. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü modellerin X ve Y doğrultusundaki deprem etkileri altında kesme kuvveti değerleri	87
Şekil 4.33. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü modellerin X ve Y doğrultusundaki deprem etkileri altında burulma düzensizliği katsayısı η_{bi}	88
Şekil 4.34. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü modellerin X ve Y doğrultusundaki deprem etkileri altında görel kat ötelenmeleri	89

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Asimetrik model için kurşun çekirdekli izolatör modellenmesinde kullanılan değerler.....	38
Çizelge 3.2. Asimetrik model için kurşun çekirdekli izolatör boyutlandırması için gerekli işlemler.....	39
Çizelge 3.2. Asimetrik model için kurşun çekirdekli izolatör boyutlandırması için gerekli işlemler. (devam).....	40
Çizelge 3.3. Asimetrik model için boyutlandırılan izolatörlerin koşullar ve sınır değerlerin kontrol tablosu.....	41
Çizelge 3.4. Simetrik model için kurşun çekirdekli izolatör modellenmesinde kullanılan değerler.....	42
Çizelge 3.5. Simetrik model için kurşun çekirdekli izolatör boyutlandırması için gerekli işlemler.....	42
Çizelge 3.5. Simetrik model için boyutlandırılan izolatörlerin koşullar ve sınır değerlerin kontrol tablosu (devam)	43
Çizelge 3.6. Simetrik model için boyutlandırılan izolatörlerin koşullar ve sınır değerlerin kontrol tablosu.....	44
Çizelge 4.1. Modeller için kullanılan kısaltmalar	49
Çizelge.4.2. Modellerin periyotları ve katılım oranları.....	50

1. GİRİŞ

Günümüz bina projelendirmelerine ve şartnamelerimize göre yaptığımız binalarda can güvenliği önceliklidir. Yapı sistemleri tasarımında ön kabul diğer bir ifadeyle ülkemizin sahip olduğu deprem tehlikesi düşünüldüğünde kullanım ömrü boyunca bir kere yaşaması belirli bir olasılıkla muhtemel tasarıma esas deprem hareketi için yapıların toplam göçme olmaksızın depremi güvenli bir şekilde atlatabilmesidir. Bu bağlamda tasarım sırasında öncelikli hedef can kayıplarını önlemektir. Bu durum kullanım amacına bağlı olarak farklı bina sistemleri için ise farklı şekilde değerlendirilmelidir. Deprem yönetmeliklerinde deprem sonrası hemen kullanımı gerektiren binalar için özel şartlar olmakla birlikte, bu durumun ülkemizde meydana gelen geçmiş depremlerde okul, hastane ve bunlar gibi binalar için kötü tecrübeleri defaten yaşamış bulunmaktayız. En iyi ihtimalle bu binalar toptan göçmemiş olsalar dahi tam olarak işlevselliğini korumakta zorlandıkları birçok kez tecrübe edilmiş bir gerçeklik olarak karşımızda durmaktadır. Bu nedenlerle özellikle hastane vb. doğal afet sonrası acilen ve tam teşekküllü olarak kullanılması gereken yapılarda çok daha ciddi önlemler alınması elzemdir. Bu nedenle T.C. Sağlık Bakanlığı 2012 yılında yayınladığı bir genelge ile 100 yatak ve üzeri hastanelerin taşıyıcı sistemlerinin sismik izolatörlü olarak projelendirileceğini karara bağlamış, bu tarihten sonra yapılan tüm hastanelerde bu sistem uygulanmaktadır. Bununla birlikte benzer şekilde öneme sahip birçok yapı sistemi de ülkemizde bu şekilde inşa edilmektedir. Burada hedeflenen yalnızca deprem sonrası hastanelerin ayakta kalması değil aynı zamanda yapıların depremden hiç hasar almadan depremden hemen sonra ve afet durumlarında etkin olarak kullanılmasıdır.

Ülkemizdeki en büyük tasarım sorunlarından biri de yapılarda mimari kaygı veya kimi zorunluluklar nedeniyle görülen yapı düzensizlikleridir. Hastane gibi büyük ve kompleks yapılar da kullanım kolaylıkları vb. durumlar nedeniyle planda veya düşeyde düzensiz yapılar yapmak zorunluluğu çok daha sık görülmektedir.

Bu çalışmada planda burulma düzensizliğinin olması durumunda, farklı zemin koşulları için taban izolasyonlu yapıların yapısal davranışlarının nasıl değiştiği ve izolatörlerin düzensizlikler üzerindeki etkileri araştırılmaktadır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Sismik İzolatörler

Binaların deprem sırasında daha iyi performans gösterebilmeleri için birçok yöntem düşünülmüş ve uygulanmıştır (Matsagar ve Jangid 2008). Bunlara yapının deprem davranışının kontrolü veya yapısal kontrol şeklinde isimler verilmiştir. Bu yapısal davranış kontrolü genel olarak iki başlıkta literatürde; (I) Aktif yapısal kontrol sistemleri, (II) Pasif yapısal kontrol sistemleri olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca bu iki başlık altındaki sistemlerin ortak kullanımıyla daha farklı kontrol sistemlerinden de bahsetmek mümkündür.

Bu sınıfları dallarına ayırmak gerekirse;

1. Pasif yapısal kontrol sistemleri
 - a. Dağıtılmış sönümleyiciler sistemi (Distributed Damper)
 - b. Ayarlı kütle sönümleyiciler sistemi (Tuned Mass Damper)
 - c. Ayarlı sıvı sönümleyiciler Sistemi (Tuned Liquid Damper)
 - d. Taban izolasyonu (Base Isolation)
2. Aktif Kontrol Sistemleri
 - a. Tam aktif kütle sönümleyici sistem (Full Active Mass Damper)
 - b. Yarı aktif kütle sönümleyici sistem (Semi Active Mass Damper)
 - c. Karma sistem (Hybrid Mass Damper)

Aktif kontrol sistemleri pasif kontrol sistemlerinin aksine kurulum bittikten çok sonra bile tekrardan ayarlanabilir ve oluşan beklenmedik durumlara göre revize edilebilirler. Kısaca bir monitör sayesinde mevcut veriyi kontrolöre verir ve onun vereceği eylem planına göre komutları uygulayarak istenen duruma tekrar sistem getirilebilir durumdadır. Teknolojik gelişmeler sayesinde bu sistemler gün geçtikçe daha çok kullanılabilir ve daha erişilebilir olacaktır (Derdiman 2006).

Pasif kontrol sistemlerinin altında malzemenin veya sistemin enerji sönümlenme becerisi yatar. Hareketli bir sistemin sürtünme veya başka bir enerji tüketim yoluyla enerjii dağıtmasına sönümlenme denir. Sönümlenme sırasında enerji ya dağıtılır ya da yutulur. Örneğin kinetik enerji ısı enerjisine dönüştürülebilir. Yapının denge konumuna geçme

süresi, sönüm oranıyla doğrusal olarak bağlantılıdır. Sönümlenme sistemi tekrar denge konumuna getiren hareketi yani kinetik enerjiyi bitiren etkidir. Sönüm mekanizmasının olmaması durumunda hareket hiçbir şekilde şiddetini yitirmeden devam edecektir (Mengi ve ark. 1986, Yazıcı 2008).

Enerjinin sönümlenmesi üzerindeki en önemli etki malzemenin viskozitesidir. Viskozite yer değiştirmelerin zamana göre değişim hızına bağlıdır ve bu çeşit sönümlenmelere malzeme sönümü olarak isimlendirilmektedir.

Enerji dağıtılması, birbiri ile esnek olarak temas halindeki iki materyalin üzerindeki kuvvetlerin sürtünmeyi aşarak onları harekete geçirmesi ile oluşur. Sürtünme kuvvetinin sabit olduğu Coulomb sönümü bu durumu ifade etmektedir. Yapısal sönümlenme daha genel sürtünme sönümlenmesi mekanizmasıdır ki, bu değişken bir sürtünme kuvveti büyüklüğüne izin verir

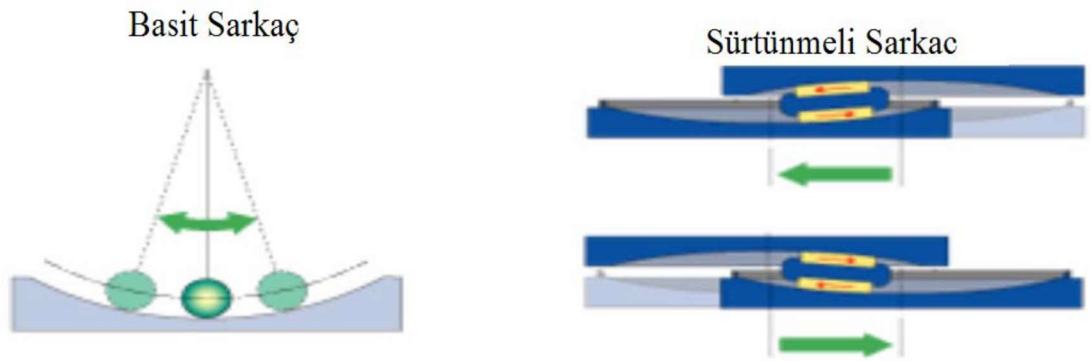
Bu çalışmada pasif kontrol sistemlerinden taban izolasyonu sistemini kullanılacağından taban izolasyonu için kullanılmakta olan izolasyon sistemleri aşağıda sınıflandırılmaktadır.

1. Kayma mantığına dayanan izolasyon sistemleri
 - 1.1. Sürtünme Sarkacı sistemi (Friction Pendulum)
 - 1.2. Esnek sürtünmeli taban yalıtım sistemi (Resilient-Friction)
 - 1.3. Fransa Elektrik Kurumu Sistemi (Electricité-de-France sistemi)
 - 1.4. TASS sistemi
 - 1.5. EERC bileşik sistemi
2. Kauçuk esaslı elastomer izolasyon sistemleri
 - 2.1. Kurşun gövdeli elastomer mesnetler (LRB)
 - 2.2. Yüksek sönümlü elastomer mesnetler(HDRB)
 - 2.3. Düşük sönümlü elastomer mesnetler (LDRB)
3. Yay tipi sistemler
 - 3.1. GERB sistemi

2.1.1. Kayma mantığına dayanan izolasyon sistemleri:

Sürtünme sarkacı sistemi:

Bu tür sistemler düşük sürtünme katsayısı olan malzemeler kullanarak düşük bir taban kesme kuvvetine izin vermesi için tasarlanabilirler. Paslanmaz çelik ve teflondan yapılmış kayıcı bir yüzeye sahip olan sistemler en sık kullanılanlarıdır. Yapıya iletilen kesme kuvvetinin büyüklüğü deprem büyüklüğünden bağımsızdır ve tamamen malzeme sürtünme katsayısı ile belirlenebilmektedir. Bu sayede şiddetli depremlerin etkilerini çok yüksek oranda azaltmaktadır. Maddi olarak da diğer sistemlere göre daha uygun olması nedeniyle uygulamada daha çok tercih edilen sistemlerdir. Ancak bu sistemlerin en büyük zaafı geri dönücü kuvvetin olmaması nedeniyle kalıcı yer değiştirme yapma ihtimali ve bu değişimden sonra bir sonraki depremde etkinliğinin ve yer değiştirme potansiyelinin azalmasıdır. Bunu gidermek için de elastomer mesnetler ile kullanılması gibi çözümleri mevcuttur. Bu tür sistemlerin dezavantajlarını ortadan kaldıran bir diğer çözüm ise bir yüzeyi küresel olarak şekillendirilmiş olan sürtünmeli sarkaç prensibine dayalı kayıcı izolasyon sistemlerinin kullanılmasıdır. Sürtünme sarkacı sisteminin fiziksel açıklaması ve işleyişi oldukça basittir. Paslanmaz çelikten üretilen küresel yüzey yanal hareket sırasında üst yapıyı düşeyde yer değiştirmesine neden olur ve yapı ağırlığının oluşturduğu kuvvet geri döndürücü kuvvet olarak kullanılır bu sayede sistem ilk başladığı konuma dönmek için harekete geçer ve sonunda stabil durumunu korur (Şekil 2.1). Bu hareket bir sarkacın hareketine çok benzediğinden ismi sürtünmeli sarkaç olarak literatüre geçmiştir.



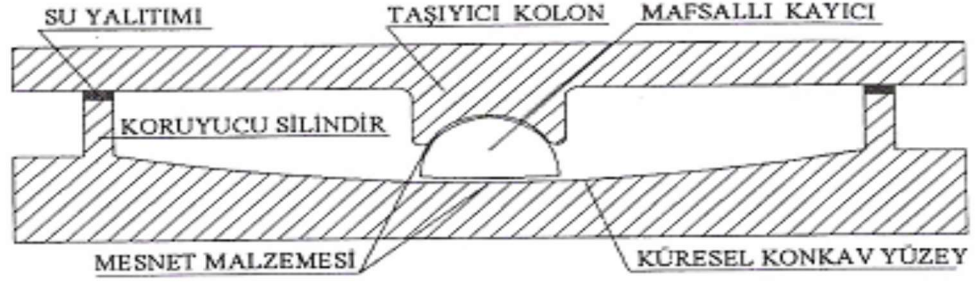
Şekil 2.1. Basit sarkaç ile sürtünmeli sarkaç çalışma prensipleri

Sürtünmeli sarkaç sistemleri seçilir ve projelendirilirken sistemin eğrilik çapının seçimi özenle yapılmalıdır (Şekil 2.2). Bunun nedeni yapı rijitliği ve frekansı yapılacak seçime göre değişiklik göstermesidir. Sürtünmeli sarkaç kullanılan yapılarda ani kayma olma ihtimallinden dolayı rijitlikte ani değişimler yapının yüksek frekanstaki titreşimler üretmesine neden olabilmektedir. Bu durumda kat ivmelerinde ani artışlara neden olabilir ve bu durum da yapı içerisinde hasar oluşma olasılığını artırır. Bu sebeple bu tip kayıcı sistemler içeride hassas malzemelerin olduğu yapılar için yeterli bir koruma göstermemem olasılığı her zaman mevcuttur.



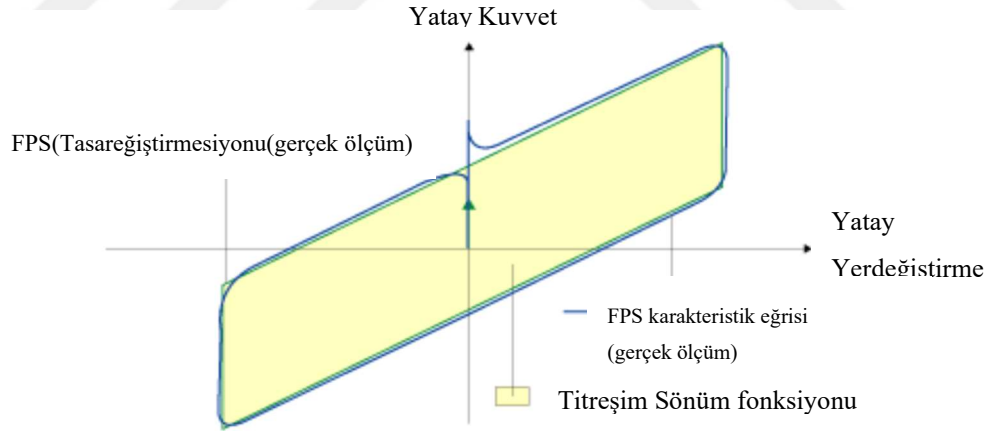
Şekil 2.2. Kayıcı sistemlerden sarkaç tipi izolatörlerin açık hali.

Kayıcı sistemlerinin diğer bir dezavantajı ise izolatör yüzeyindeki sürtünme katsayısının sabit olmamasıdır. Konkav yüzeylerin zamanla ve sıcaklıkla özelliğini yitirmesinden dolayı bu katsayı değişkenlik gösterebilmektedir. Eğer tasarım aşamasında daha düşük seviyeli sismik kuvvetler düşünülür ise katsayıdaki bu olumsuz etki, daha fazla hasara neden olabilen sismik kuvvetlerin ani bir artışına olanak sağlamaktadır (Şekil 2.3). Elastomer mesnetlerin kayıcı tip mesnetler ile kombinasyonu, her bir bireysel sistemin avantajlarına sahip hibrit tip sistemlerin oluşumuna imkan vermekle birlikte bunun yanında bu sistemlerin bazı dezavantajları ve sınırlamaları da az da olsa kullanım alanlarını etkileyebilmektedir.



Şekil 2.3. Sürtünlü sarkaç mesnedin kesit ve elemanları.

Üzerinde test yapılan modellerle tasarlanmış modellerin davranışlarındaki benzerliğin karşılaştırılmasında da görüldüğü gibi büyük depremler ve büyük kuvvetler altında sistemde oldukça büyük yanal yer değiştirmeler oluşmaktadır. Şekil 2.4'te görüldüğü üzere tasarımda kabul edilen değer ile test modellerindeki fiziksel ölçüm değerleri neredeyse tamamen aynıdır.

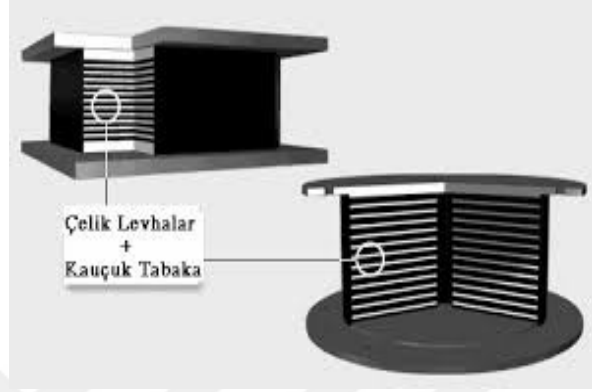


Şekil 2.4. Sürtünlü sarkaç sisteminin karakteristik davranış modeli.

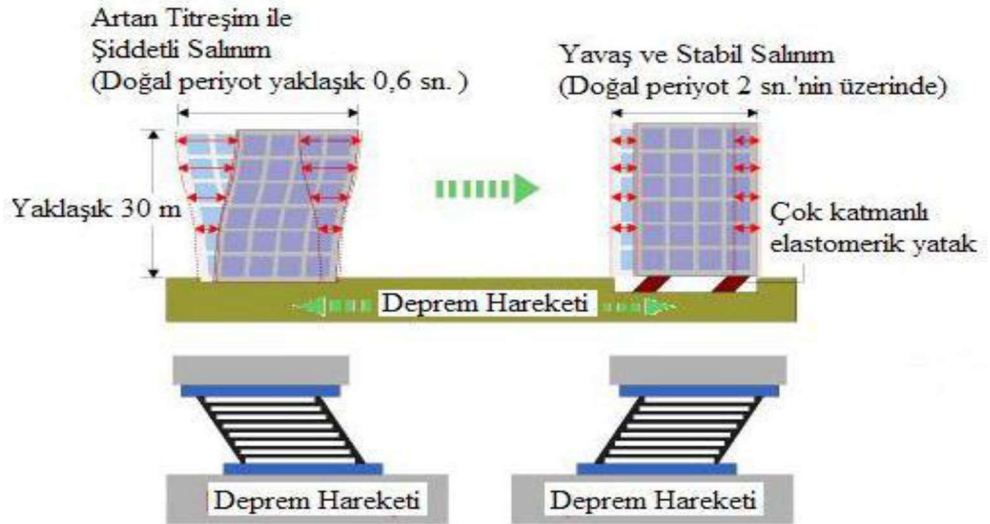
Esnek Sürtünlü Taban İzolasyonu Mesnetleri:

Bu sistem Monstaghel ve Khodaverdian tarafından önerilmiş bir sistemdir. Bu sistemde birbirleri ile sürtünlü olarak temas eden teflon kaplamalı dairesel plakalardan ve merkezi kauçuk çekirdekten oluşmaktadır. Merkezde bulunan kauçuk çekirdek kısım

izolatörün deplasmanı sırasında hızın izolatör yüksekliğince dağılmasını sağlar. Esnek sürtünmeli taban izolasyonu sistemi, merkezi kauçuk çekirdeklerle birbirinin üzerinde kayabilen kayıcı halkalardan oluştuğu için kayıcı tipli izolasyon sistemleri grubuna girmektedir. Yapılan deneylerde oldukça verimli sonuçlar veren sistem son yıllarda çok daha sık kullanılır hale gelmiştir. Bir kesiti Şekil 2.5'te ve Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.5. Esnek sürtünmeli taban izolasyonu mesnet kesitleri



Şekil 2.6. Deprem etkisinde yatakların tepkisi

Fransa Elektrik Kurumu Sistemi:

Bu sistem 1970’li yıllarda nükleer tesislerde uygulanmak için Fransa Elektrik Dairesi (Electricite-de-France) desteği ile geliştirilmiştir. Bu sistemin kesiti tabakalı kauçuk mesnet sistemi ile aynıdır. Ancak bu sistem 0,2g’lik bir sismik harekette dahi ekipmanlar için güvenli olacak bir salınım yapacak derecede kaliteli bir şekilde üretilmiştir. Sistemde katmanlı elastomerik yatakların üstüne konumlandırılmış paslanmaz çelikten olan sürtünme yüzeyi ile temas halindeki neoprene (yüksek moleküler yapıya sahip sentetik kauçuk benzeri ürün) yataklar kurlun ve bronz alaşımıyla çalıştırılmıştır. Sistem sadece Güney Afrika’daki Koeberg’de bulunan nükleer santralde uygulanmıştır.

TASS Sistemi:

Japonya’da bulunan TASEI firması tarafından geliştirilmiş olan TASS sistemi, düşey yük teflon-paslanmaz çelik elemanlar üzerinde taşınmaktadır. Bunlara ilave olarak yük taşıma işlevi olmayan kompozit neopran mesnetler kullanılmaktadır. Bu kompozit neopran mesnetlerin amacı denge konumundan çıkan ve deplasmana başlayan sistemde geri itici-dengeleyici kuvvetleri sağlamaktır. Sistem EERC da sarsıntı tablası deneyine maruz bırakılarak denenmiştir. TASS sisteminde yapıda bulunan dış kolonlar düşük sönümlü doğal kauçuk yataklara otururken iç kolonlar paslanmaz çelik üzerinde kayan teflon yataklara oturmaktadır. Sistemin en büyük dezavantajı elastomer mesnetlerin düşeyde yük taşımaması nedeniyle bu mesnetlerde çekme gerilmesinin oluşması sistemin modellenmesini oldukça zorlaştırmasıdır

EERC bileşik sistemi:

Elastomerik yataklar ve kayma sisteminin birleştirilmesiyle geliştirilmiş olan EERC sistemi de sarsıntı tablası deneyinde test edilmiştir. EERC bileşik sisteminde, dış kolonlar düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetler tarafından taşınırken iç kolonlarda paslanmaz çelikten kayıcı elemanlar üzerindeki teflonlar tarafından taşınmaktadır. Sistem çalışma prensibi olarak denge konumuna geri dönmesini ve yapı burulmasını kontrol altına alma işini elastomer mesnetlere, sönümleme işini ise kayma elemanlarına yaptırmaktadır. Sistemin benzer biçimleri California’da bir hastane binasında ve Nevada Üniversitesi Mackay Okulunun güçlendirilmesinde kullanılmıştır.

2.1.2. Kauçuk esaslı elastomerik izolasyon sistemleri:

Sismik izolatörler arasında en çok kullanılan kauçuk esaslı elastomer izolatörler ince çelik plakalara yapıştırılmış ve kalınlığı değişken olan ama yine de ince kauçuk levhaların üst üste bindirilmesiyle meydana getirilen ve yük dağılımının üst montaj plakalarıyla çözüldüğü bir sistemdir (Şekil 2.7). Yaklaşık çelik kalınlığı 2 ila 3 mm arasında değişmektedir. Kauçuk levha kalınlıkları ise 8 ila 20 mm arasındadır. Elastomerik doğal veya sentetik malzemelerden yapılmış, şekil değişikliğine uğrasa da tekrar eski haline dönebilen esnek kimyasal malzemelere denmektedir.

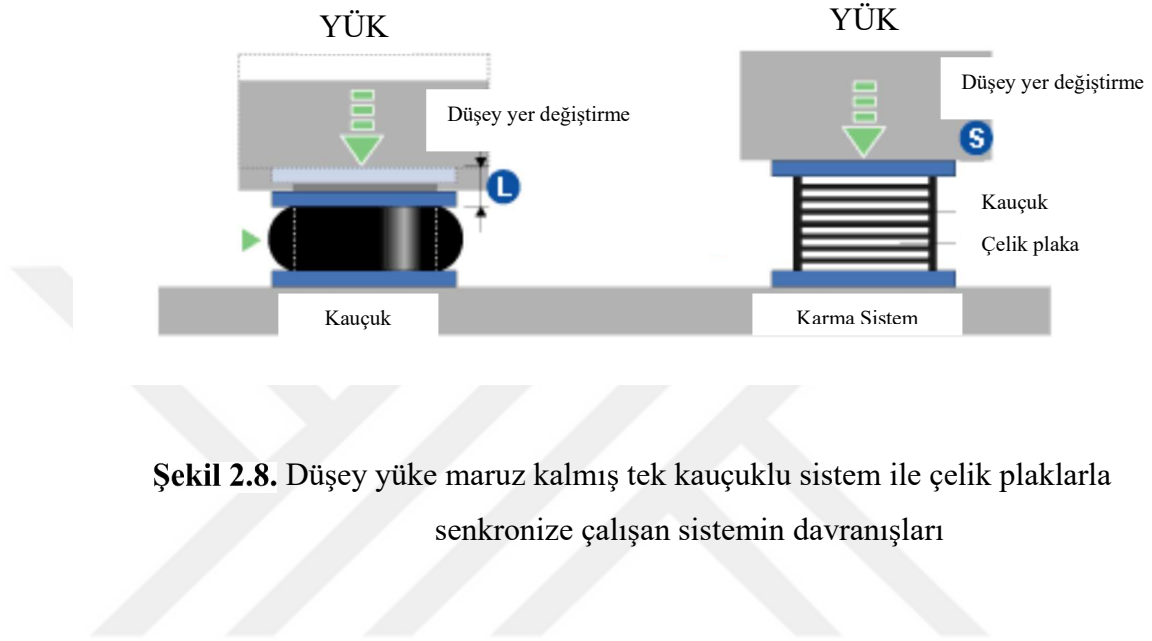
Kauçuk esaslı elastomerik izolatörleri ilk kez Makedonya'nın Üsküp şehrinde bulunan bir okul binasında kullanılmıştır. Bu okul 3 katlı bir betonarme yapıdır ve 1969 yılında tamamlanmıştır.



Şekil 2.7. Kauçuk esaslı elastomerik izolatörün testler sırasındaki şekil değiştirmesi

O zamanlar kullanılan sistemde kauçuk bloklar içinde çelik plakalar barındırmıyordu. Bu sebeple düşeydeki bina ağırlığı yükünü taşımak için %25 oranında deformasyona uğruyorlardı yani istenen rijitlik sağlanamıyordu. Bu şekil değişimi nedeniyle kauçukların yanlara doğru şiştiği bilinmektedir. Kullanılan bu yöntemde deprem sırasında bina yatayda ve düşeyde yüksek yer değiştirmelere maruz kaldığı için sisteme çelik plakalar takviye edilerek bu sorunun üstesinden gelinmiştir (Şekil 2.8). Çelik plaklar yatay rijitliğe nazaran 100 kat daha fazla düşey rijitlik sağlamaktadır. Bu karmaşık işlem sayesinde sistem günümüzde hastanelerde, statlarda, demir yollarında titreşim yalıtımı

amacıyla kullanılabilir. Bu izolatörlerde, kauçuk plaklar daha ince olan çelik plaklara yüksek ısı ve basınç altında yapıştırılırlar. Bu sayede izolatör düşey yüklerle karşı da daha rijit bir hal almış olmaktadır.

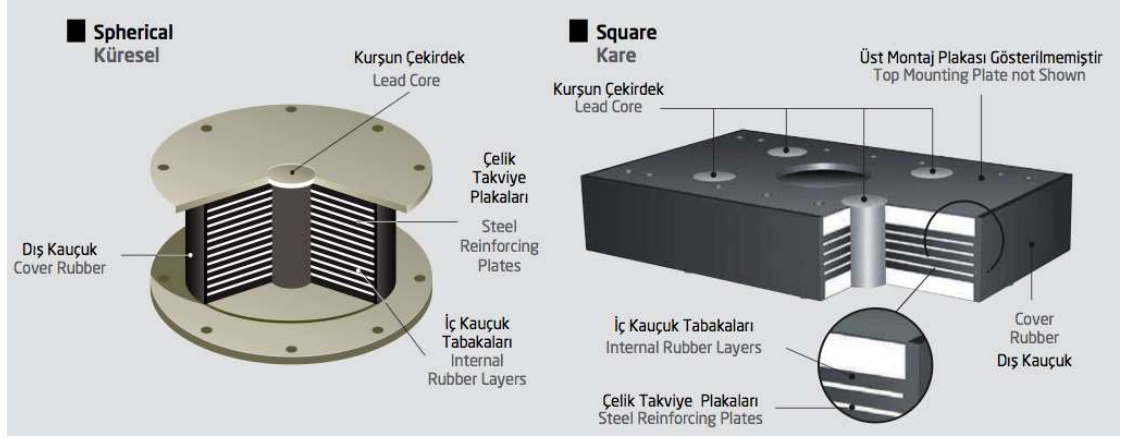


Şekil 2.8. Düşey yüke maruz kalmış tek kauçuklu sistem ile çelik plaklarla senkronize çalışan sistemin davranışları

Elastomerik mesnetlerin avantajlarından birinin de korozyona uğramadıkları için bakım maliyetlerinin çok düşük kalmasıdır. Fakat yapılan uygulamada her sisteme göre özel kesitler yapıldığından dolayı maliyeti konut vb yerler için hala yüksek kalmaktadır.

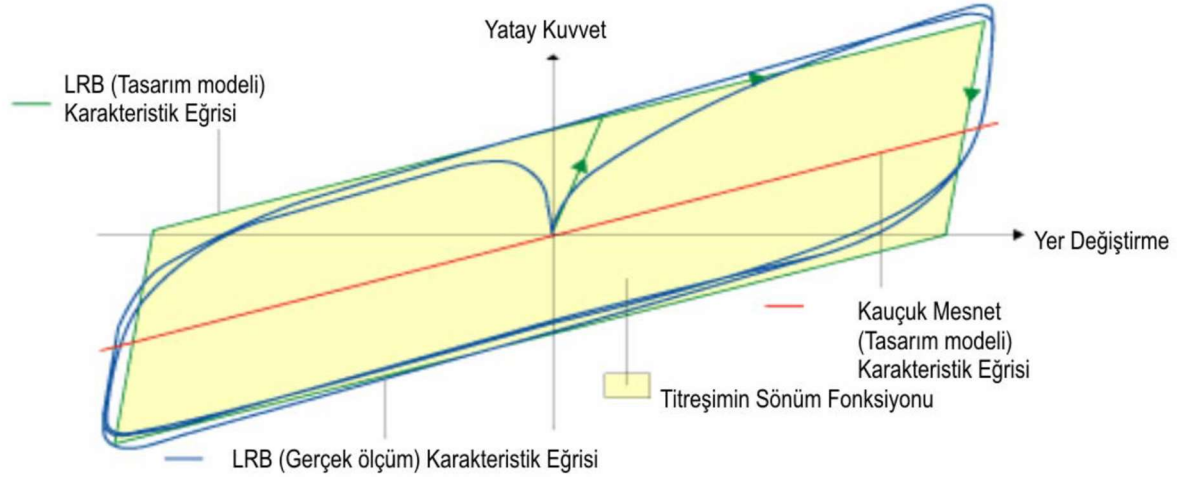
Kurşun gövdeli elastomer mesnetler (LRB):

1975 yılında Yeni Zelanda'da icat edilen kurşun gövdeli elastomer mesnetler Japonya ABD ve Yeni Zelanda olmak üzere dünyanın bir çok yerinde yaygın olarak kullanılmıştır. Kurşun gövdeli elastomer mesnetler çelik plakalar arasına sıkıştırılmış ince doğal ve düşük sönümlü kauçuk katmanlardan oluşmakta ve sönüm özelliğinin artırılması için ortalarına silindirik bir şekilde yerleştirilen ve sistemdeki çelik plakaların bağlandığı bir kurşun çekirdeğin birleşimiyle oluşturulmaktadır (Şekil 2.9) (Türker 2005, Samali ve ark. 2007).



Şekil 2.9. Kurşun çekirdekli küresel ve kare elastomer mesnet kesitleri.

Düşük sönümlü kauçuklar lineer şekil değiştirmesini %100-250 oranına kadar devam ettirebilmektedir ve çok düşük olan kayma modülü sayesinde yatay esnekliğe kolayca ulaşabilmektedir. Kurşun gövdeli elastomer mesnetlerde genel olarak düşük sönümlü kauçuklar kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda düşük sönümlü kauçuğun bu özelliklerinin üretim yılıyla, sıcaklıkla veya yükleme geçmişi ile değişmediğini kanıtlamıştır. Kurşun gövde, akma sınır gerilmesinden daha yüksek deformasyonlara maruz kaldığında kendi yapısını geçici olarak değiştirebilen ve kauçuğun geri döndürücü kuvveti sayesinde deformasyonlar kaldırıldığında tekrar ilk haline dönebilen kristal bir malzemedir. Kurşun yaklaşık $\sigma_y = 10$ Mpa seviyesindeki akma gerilmesinde elastoplastik davranış göstermektedir. Yükleme kaldırıldıktan sonra sistem tamamen ilk haline dönebilmektedir. Şekil 2.10'da sarı ile taranmış alan kurşun gövdeli elastomer izolatörün sönümleyebileceği enerjiyi göstermektedir. Bu kinetik enerji ısıya dönüştürülerek sönümlenmektedir. Kurşun çekirdek plastik deformasyona uğradığı sırada sisteme yüksek sönüm kazandırmasına rağmen bu lineer ötesi davranışlar yapının daha yüksek modlarının zorlanmasına neden olabilmektedir (Ryan ve Chopra, 2003). Kurşun gövdeli elastomer izolatörlerdeki rijitlik ani değişimleri yüksek modal etkileri ortaya çıkarabilmektedir.



Şekil 2.10. Kurşun gövdeli elastomer bir izolatörün yüklemeler altındaki kuvvet- yer değiştirme grafiği

Yüksek sönümlü elastomer mesnetler (HDRB):

Yüksek sönümlü doğal kauçuk mesnetler kendi sönümleri ile yapıdaki ilave sönümleyici ihtiyacı gidermektedirler. Yüksek sönümlü doğal kauçuk mesnetler ilk olarak İngiltere’de 1982 yılında geliştirilmiştir. Kurşun çekirdekli elastomer mesnetlerde (LRB) kullanılan yapıştırma metotları, yüksek sönümlü elastomer mesnetlerde de (HDRB) kullanılmaktadır. Aralarındaki fark ise sisteme yüksek sönümü sağlayan doğal kauçuğun içindeki sönümlemeyi sağlayan, extrafine karbon blokların, petrol veya reçinelerin ve patentli dolgu maddelerinin katılmasıdır.

Kimyasal katkı olarak ilave edilen extrafine karbon bloklar, petrol veya reçinelerin ve patentli dolgu maddelerinin sayesinde artırılan sönüm ile, %100 kayma şekil değiştirmesini %10-20 arasındaki değerlere çekilebilmektedir. Bu sayede rüzgar yükü ve düşük sismik olaylar sırasında tepki eğilimi oldukça kısıtlanmış olur. Karbon blok, petrol veya reçinelerin ve patentli dolgu maddelerinin doğal kauçuğa eklenmesi izolatörün mekaniksel özelliklerini etkilememekte ama sönümünü arttırmaktadır. Bu tür karışımlar olmadan üretilen doğal kauçuktaki moleküler etkileşim fiziksel olarak zayıf çapraz bağlardan oluştuğundan dolayı sürtünmeden kaynaklı oluşan ısı yok sayılabilecek derecededir. Yüksek sönümlü bir elastomer mesnedin enerji sönümleme mekanizması hem küçük hem de büyük şekil değiştirmeler için elde edilebilmesi mümkündür, ayrıca değişken değildir ve düzgün bir elips eğrisi şeklinde karakterize edilir (Yoshida ve ark. 2004). Bir diğer büyük avantajı da raslantı sonucu keşfedilen bitişiginde bulunan metro

gibi kaynaklardan gelen yüksek frekanslı düşey titreşimleri de yalıtabilmesidir. (Naeim ve Kelly, 1999)

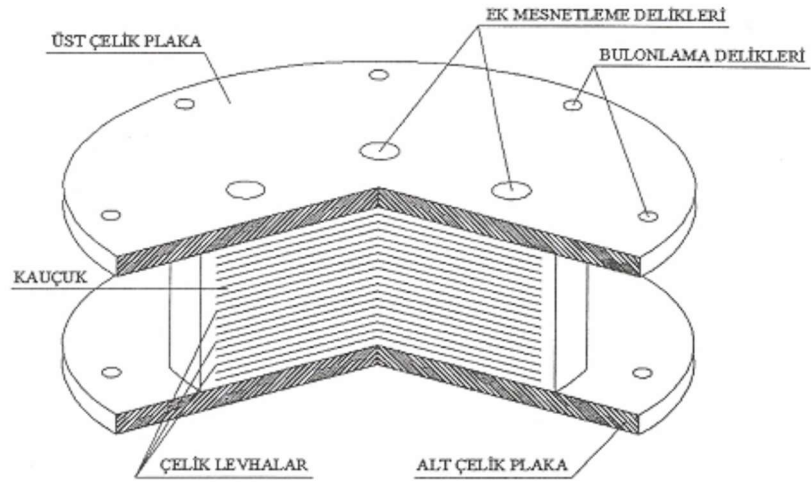
Düşük sönümlü elastomer mesnetler (LDRB):

Düşük sönümlü elastomer mesnetler üst ve altta iki adet kalın çelik levha ve aralarında çok sayıda ince çelik levhadan oluşan ve basit bir işlem ile vulkanizasyon yapılarak çelik levhaların arasına ısı ve basınç ile yerleştirilen doğal kauçuktan oluşmaktadır. İnce çelik levhalar kauçuğun şişmesini engeller ve düşey rijitliğinin artmasını sağlar ancak yatay rijitliğe etkisi hiç yoktur.

Düşük sönümlü elastomer mesnetlerin birçok avantajı vardır:

- İmalatları çok kolaydır,
- Modellemesi kolaydır,
- Sıcaktan, kullanım sıklığından veya kullanım süresinden ve yaşlarından etkilenmezler.

En büyük dezavantajları ise düşük sönümleri nedeniyle ilave sönümleyiciler ile birlikte kullanılmaları gerekmektedir. Şekil 2.11’de düşük sönümlü elastomer mesnet kesiti görülmektedir.



Şekil 2.11. Düşük Sönümlü Elastomer Mesnet Kesiti

Düşük sönümlü elastomer mesnetler Japonya'da oldukça sık kullanılmaktadır. Ülkemizde de otoyol köprülerinde oldukça sık kullanılmaktadır (Akyüz vd. 2007). Uygulama sırasında ilave sönümleyici olarak viskoz sönümleyiciler, çelik ve kurşun çubuklar ile kullanılmaktadır. Fransa'da ise Japonya'daki gibi doğal kauçuk malzeme yerine neoprene (yüksek moleküler yapıya sahip sentetik kauçuk benzeri ürün) olarak isimlendirilen bir malzeme kullanılmaktadır.

2.1.3. Yay tipi sistemler

Diğer sistemlerin aksine yay tipi sistemler 3 boyutlu bir yalıtım sağlamaktadır. Elastomer ve kaymalı yalıtım sistemleri yatay ekseninde sismik izolasyon için uygun olsalar da düşeyde sismik izolasyon için uygun değildir. 3 boyutlu bir yalıtım sağlamak istendiğinde yay tipi sistemler diğer sistemlere nazaran daha etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Örnek bir yay tipi izolatör Şekil 2.12'de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Yay tipi sistemlere bir örnek

GERB Sistemi:

Bu sistem büyük enerji santrallerindeki çok hassas ekipmanların titreşimlerden zarar görmemesi için yalıtılması amacıyla geliştirilmiştir. Çok büyük çelik yaylar kullanılarak hem düşeyde hem de yatayda titreşim kontrolü sağlanır. Bu sistemde bulunan yayların amacı sönümleme değildir. Sönümleme mekanizma içinde bulunan GERB viskoz sönümleyicileri sayesinde yapılır. Bu sistem Huffman tarafından Üsküp'te bulunan sarsıntı tablasında test edilmiştir ve California Santa Monica'da 2 katlı bir çelik bir konut türü yapıda uygulanmıştır. 1994 yılında gerçekleşen depremde evin davranışı yapı sağlığı

izleme yöntemi ile izlenmiş ve yalıtım sisteminin sarsıntı hareketinden kaynaklanan ivmeyi azaltmakta etkili olmadığı görülmüştür (Naeim ve Kelly, 1999).

2.1.4 Taban izolasyonu tarihçesi

Yapıların ve deprem kuvvetli yer hareketlerinin özellikleri göz önüne alınarak; yapıların rijitliklerini azaltarak periyotlarını uzatıp, sönümlerini arttırarak yapılara daha küçük deprem yüklerinin gelmesini sağlayarak, yapıların orta şiddetli depremlerdeki hasarının önlenmesi ve çok şiddetli depremlerdeki hasarının da çok küçük boyutlara indirilmesi “taban yalıtımının” temel ilkesidir. Yapılara gelen deprem yüklerini azaltmak için yapı tabanlarına yatay yönde rijitliği çok az olan elastomer mesnetler konulması ile yapının periyodu ve sönümü artmaktadır. Hem yatay hem de düşeyde sismik hareketleri karşılamak için üç boyutlu izolasyon sistemleri tasarlanmış olsa da bu sistemler çok karmaşık ve uygulama güçlükleri olan sistemlerdir. Ayrıca genel tasarımda bütün yüklerimiz düşey yönde olduğundan ve ana taşıyıcılarımız bu yönde oldukça iyi çalıştığından bu tür bir izolasyon yataydaki izolasyona göre çok daha az önem taşımaktadır. Düşey zemin hareketi de yatay bileşenine nazaran çok daha düşük seviyelerde kalmaktadır ve mevcut sistemlerle de çok rahat bir şekilde yenilmektedir.

Sismik izolasyon yapıyı zeminden gelecek büyük hareketlere karşı izole ederek iç kuvvet oluşumunun engellemesini amaçlayan eski bir yaklaşımın yeni teknikler ve malzemeler yardımıyla günümüzde yaygın şekilde kullanılmaya başlayan modern bir izdüşümüdür. Temel izolasyonu kavramına ait ilk literatüre geçmiş çalışma Tokyo üniversitesi Maden Mühendisliği profesörlerinden Prof. John Milne’ye aittir. Milne 1876-1895 yılları arasında sismik izolasyon kavramını denemek amaçlı deneylerle başladığı bilinmektedir. Bu deneylerde yapı altına yerleştirdiği ve yalıtıcı olarak düşündüğü 25 cm çapında çelik bilyeler kullanmıştır (Saraçoğlu 2013). Deneylerde yapının altına yerleştirdiği 25 cm çapındaki çelik bilyelerin küçük şiddetli depremlerde faydalı olduğunu fakat sürtünme kuvvetindeki eksikliği nedeniyle rüzgar kuvvetlerine karşı başarısız olduğunu gözlemlemiştir. Daha sonrasında deneyini tekrarlamaya karar vermiş fakat bu sefer sürtünme yüzeyini arttırmak amacıyla kullandığı bilye çaplarını onda birine düşürmüştür. 2,5 cm çaplı çelik bilyelerle yaptığı deneylerde 25cm çaplı bilyelerle yaptığı deneylere nazaran rüzgar ve depreme karşı çok daha başarılı sonuçlar almıştır (Tezcan ve Erkal,2002). Bu deneylere rağmen yapıları zemindeki deprem hareketlerinden yalıtılmakla

ilgili ilk bildiri 1891 yılında Japonya’da yayınlanmıştır. İlk patent ise 1905 yılında Amerika Birleşik Devletleri’nde yapılan silindir sistemli taban izolasyonu çalışmaları sonucunda alınmıştır (Murat, 2007). 1908 yılında ise İtalyan hükümeti ilk defa depreme karşı dayanıklı yapı tasarımını tartışma gündemlerine almıştır (Naeim ve Kelly, 1999). 1909 yılında J. A. Calantarients adında bir tıp doktoru çeşitli öneriler ve çözümler sunduğu bir mektup yazmıştır. Bu mektupta binanın serbest bir kayma hareketi yapabileceği bir sistemden bahsetmiştir. Bu sistemde yapı temeliyle zemin arasına mika, yağlanmış kum veya talk malzemeleri yerleştirilerek yapının zeminin deprem anındaki hareketlerinden bağımsız olarak hareket etmesini öngörmüş ve bu çalışmasını detaylandırarak serbest nokta adı altında patentini almıştır.

İlk taban izolasyonu uygulaması olarak ele alabileceğimiz yapı Tokyo’da yapılan Imperial Hotel’dir (Kelly ve diğ., 1980) Bu yapı 1921 yılında Amerikalı bir mimar olan Frank Lyond Wright tarafından yapılmıştır. Yapı yapılmadan önce yapılan ön çalışmalarında yapının oturacağı zeminin altında 3 farklı tabaka olduğu ve ortadaki tabakanın çamurdan oluşan zayıf bir zemin türü olduğu tespit edilmiştir. Bunun üzerine Mimar Wright yapı temelini altına üstteki sağlam ve yine sağlam olan 3. Tabakayı birbirine bağlamak için aralarındaki mesafeler az olan sağlam kazıklar çaktırmıştır. Bu sayede bu iki katmanın birlikte hareket edeceğini ve yapı yüklerinin sağlam iki tabaka tarafından taşınacağını ve zayıf tabakanın etkilerini yok edeceğini düşünmüştür. Nitekim o zaman için emsalsiz bir sistemle yapılan Imperial Hotel, 1923 yılındaki büyük Tokyo depremi hasarsız bir şekilde atlatmış ve pratikte sistemin çalıştığını ortaya koymuştur.

Martel ise 1929 yılında yapıların birinci katının esnek yapılması fikrini ortaya koymuş ve bu konuda daha sonra 1935 yılında Gren ve 1938 yılında Jakobsen tarafından çalışılmasına ön ayak olmuştur. Bu isimlerin yaptığı çalışmalar sismik izolasyon fikrini daha geniş bir kitleye taşımış ve yapılan çalışma sayılarını arttırmıştır.

Sismik izolasyon 1970’li yıllarda tam anlamıyla yapı mühendisliği alanına giriş yapmıştır. Öncelikle köprülerde düşünülmüş daha sonrasında yapı taşıyıcıları için kullanılmaya başlanmıştır. Köprüler mekanik hareketin de yüksek olması nedeniyle köprü üst tabiyesi ve taşıyıcı ayaklar arasında bu sismik izolatörlere çok daha fazla ihtiyaç duyulan bir yapı alanı olmuş ve çalışmalar bu alanda yoğunlaşmıştır. Enerji dağıtım mekanizmasını, esnek elastomerler içerisine eklenerek oluşturulan ilk köprü

uygulamaları hala mevcuttur. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler (LRB) 1970'li yıllarda icat edilmiş ve aynı senelerde izolasyon için kauçuk mesnetleri kullanma amacıyla da projelendirme çalışmaları başlamıştır (Murat, 2007). Fakat bu mesnetler çok düşük rijitlikleri olduğu için küçük yanal kuvvetlere karşı koyma konusunda da (rüzgar) başarısız oldukları tespit edilmiştir.

Zaman içerisinde kauçuk üretme teknolojisinin artmasıyla birlikte, yüksek sönüme sahip kauçuklardan meydana getirilen HDRB olarak adlandırılan yeni kauçuk birleşimleri ortaya çıkmıştır. Söz konusu HDRB tipi kauçuk birleşimi, birim uzaması düşük olduğu zamanlarda yüksek rijitlik, birim uzaması yüksek olduğu zamanlarda ise düşük rijitlik sağlamaktaydı. Yükleme kaldırıldığında bu tür mesnetler önemli ölçüde sönüm miktarına sahip bir histerik döngü oluşturduklarından 1980 yılı öncesi Amerika'daki taban izolasyonlu yapılarda LRB ve HDRB mesnetlerinden birinin tercih edildiği görülmektedir.

Söz konusu uygulamalar neticesinde edinilen tecrübeler kayıcı tip mesnet kullanımının bazı dezavantajlarını ortadan kaldırma gerekliliğini ortaya çıkarttığından, kayıcı tip mesnetlerde sistem geri döndürücü bir kuvvete sahip olmamaları, tek başlarına sismik izolasyon sistemi olarak kullanılmalarının doğru olmadığını göstermiştir. Fakat bazı önemli yapılarda LRB ve HDRB sistemlerine paralel olarak sistemin hafif parçalarında (merdivenler vb.) kullanılmalarının veyahut güncel uygulamalarda bazı yapısal olmayan eleman veya teçhizat için kullanılmasının önünü açmıştır. Kayıcı mesnetlerin tüm yapıyı depremden izole etmek için kullanmanın, deprem sırasında meydana gelebilecek kalıcı yer değiştirmeler ve takip eden artçı depremler nedeniyle riski arttırıcı bir tasarım olacağı düşünülebilir. Bu nedenle kayıcı mesnetlerdeki düz olan kayma yüzeyleri biraz daha geliştirilmiş ve küresel bir yüzeye dönüştürülmüştür. Bu sayede kayma gerçekleştiğinde sistem düşeyde yukarı doğru da yer değiştirecektir ve yer çekimi etkisiyle geri döndürücü bir kuvvet ortaya çıkacaktır. Bu mantıkla üretilen sürtünmeli sarkaç (FPS) mesnetleri büyük yer değiştirmelerin üstesinden gelebilecek şekilde çalışmaktadır.

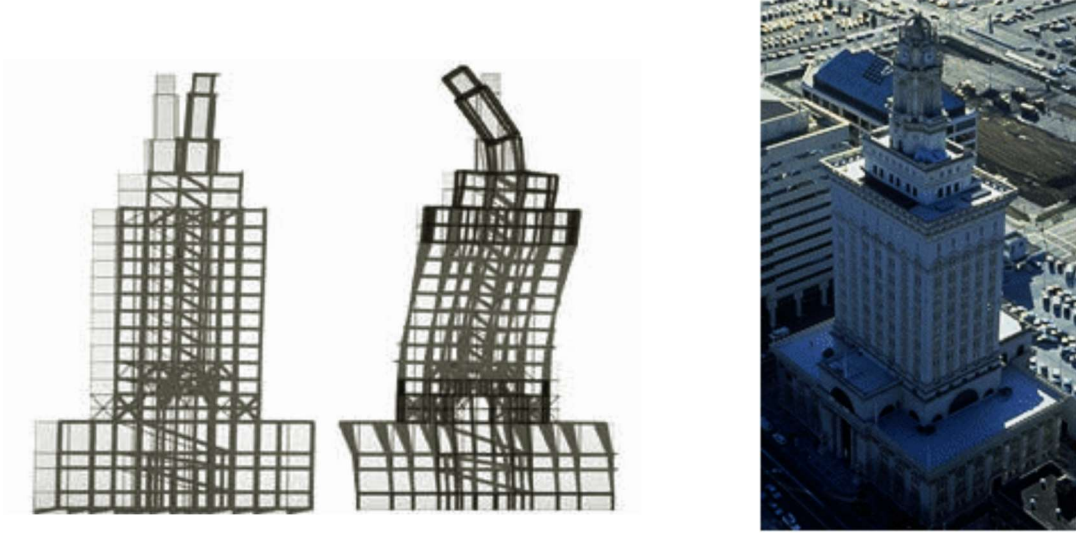
2.1.5. Taban izolasyonu uygulamaları ve bazı yapı örnekleri

Güney Kaliforniya Üniversite Hastanesi (1989): 1994 yılında Northridge'da meydana gelen 6,7 Richter ölçeği büyüklüğündeki depremde onlarca kişi ölmüş binlerce kişi ise yaralanmıştır. Depremden sonra hasar gören yapıların yeniden yapılma maliyeti 800 milyon \$, hasar maliyeti 20-50 milyon \$ arasında olduğu tespit edilmiştir. (Komodromos, 2000). Birçok yapının büyük hasarlar aldığı bu depremde merkez üssünden 36 km uzaklıkta bulunan Güney Kaliforniya Üniversite Hastanesi hasar almadan hizmet vermeye devam edebilmiştir. 1991 yılında inşası tamamlanan Güney Kaliforniya Üniversite Hastanesinin temelinde 149 adet elastomer mesnet kullanılarak sismik izolasyonu sağlanmıştır. Bu sebep zemin ivmesinin yalnızca %35'i binaya etkimiştir. (Nagarajaiah ve Xiaohong, 2000).

Güney Kaliforniya Üniversite Hastanesi 8 katlı bir yapıdır. Yapıda sismik izolasyon kullanılma kararı ön proje aşamasında alınmıştır. Maliyet kıyaslaması yapıldığında taban yalıtımı yapmanın daha ekonomik olduğu kaydedilmiştir. Taşıyıcı sistemde yapılan tasarrufun yalıtım sistemi için kullanılmasına karar verilmiştir. %1,3 civarında mekanik ve mimari detaylardan kaynaklanan artışa karşılık, %1,4 civarında perde duvarlardan dolayı tasarruf sağlanmıştır (yalıtım sisteminde perde duvar zeminde mesnetlenmediği için geleneksel yapıya nazaran daha küçük hacimdedir. Dolayısıyla maliyet artışı söz konusu olmamıştır (Derdiman, 2006).

Oakland Belediye Binası (1914): 99 metre yüksekliği olan, 18 katlı Oakland Belediye Binası 1914 yılında 15000 m² alana oturtulmuş bir yapıdır (Şekil 2.13). İlk yapımında sismik izolatörler kullanılmış olmasa da Loma Prieta Depremi'nde büyük hasarlar alması nedeniyle güçlendirme işlemi sismik izolatörlerle yapılmıştır.

Güçlendirme işlemi sırasında 42 kurşun gövdeli ve 69 kauçuk izolatör kullanılmıştır. İzolatörler dışında perde duvarlar eklenerek yapı rijitliği artırılmıştır.



Şekil 2.13. Belediye binasının mod şekilleri ve dış görünüşü.

C-1 Binası: Bilgisayar donanım merkezi olan C-1 Binası Tokyo Fuchi City’de bulunmaktadır. 1992 yılında yapımı tamamlanan yapı bitirildiği tarih itibariyle dünyada sismik izolasyon uygulanmış en büyük yapı olma özelliğini kazanmıştır. Kompozit betonarme olan yapı 41,4 m yüksekliğindedir ve 7 katlıdır. Bina içerisinde oldukça hassas donanımlar olduğundan dolayı izolasyonun en büyük amacı bu donanımları hasardan korumak olmuş ve ona göre tasarlanmıştır. Yapı da 68 adet izolatör kullanılmıştır.

Antalya Havalimanı: Antalya havalimanınının 1. Dış hatlar terminal binasında sismik izolasyon uygulaması yapılmıştır (Şekil 2.14). Uygulama süresince terminal binası kullanılmaya devam etmiştir. En iyi performansı gösterecek izolasyon sistemi olarak kurşun çekirdekli izolatörler seçildikten sonra toplam 411 adet izolatör kullanılarak süreç tamamlanmıştır. Proje toplam 6 ay süren süreçten sonra kapasite ve adet olarak dünyanın 5. büyük sismik izolasyon projesi unvanını almıştır.



Şekil 2.14. Kolonların kesilmesi ve izolatörün yerleştirilmesi

Atatürk Havalimanı Terminali: Atatürk havalimanı terminali yaklaşık olarak 56000 m² çatı alanına sahiptir. Şekil 2.15'te de görüldüğü üzere bu çatı üzerinde gün ışığından yararlanmak için üçgen piramit şekilden cam yapılar bulunmaktadır. Bu camlar ve çok geniş alanı nedeniyle çok hassas olan çatı elemanı, 7m uzunluğundaki taşıyıcı kolonlarından sürtünmeli sarkaç mesnetler ile ayrılmıştır (Şekil 2.16).



Şekil 2.15. Atatürk havalimanı üstten görünüşü ve sürtünmeli sarkaç izolatörler



Şekil 2.16. Atatürk havalimanı sürtülmeli sarkaç izolatör örneği

Bursa Kestel Rafet Kahraman Devlet Hastanesi: Kestel ilçesinde bulunan izolatör montajları 2016 yılında tamamlanan ve 2019 yılında kullanıma açılan 150 yatak kapasiteli devlet hastanesi betonarme taşıyıcı sisteme sahiptir (Şekil 2.17). Üst yapı temel seviyesinde deprem etkilerine karşı yalıtılmıştır. 192 adet sürtülmeli sarkaç izolatör kullanılmıştır (Şekil 2.18). Kullanılan izolatörlerin deplasman kapasitesi 560 mm olarak tasarlanmıştır.



Şekil 2.17. Bursa Kestel Rafet Kahraman Devlet Hastanesi dış görünüşü



Şekil 2.18. Bursa Kestel Rafet Kahraman Devlet Hastanesi Sürtünmeli Sarkaç tipi izolatörlerin dağılımı.

Bursa Şehir Hastanesi: Bursa ili, Nilüfer İlçesi'nde 745500 m² alana kurulan Bursa Şehir Hastanesi'nin 2019 yılında tamamlanarak hizmete açılması planlanmaktadır. Toplam 1355 yatak kapasiteli olması planlanan yapı Avrupa'nın en büyük 5. Sağlık kompleksi olacaktır. Yapım aşamasında 872 adet sürtünmeli sarkaç tipi sismik izolatör kullanılmıştır.

2.1.6. İzolatörlerin avantajları ve dezavantajları

Sismik izolatörlerin en önemli kullanım amacı deprem sonrası hemen kullanılması gereken yapıları ve bina içerisinde hassas ekipman, malzeme vb. eşyaları korumaktır. Bu korumayı da yapıyı zemin hareketinden bağımsız hale getirmesi bunun neticesinde görelî kat ötelenmeleri ve ivmeyi azaltmak ve bu sayede daha yüksek güvenlik sağlamak hedeflenmektedir. Görelî kat ötelenmelerindeki azalma aynı zamanda binanın düzensizliklerinden kaynaklı etkileri de azaltmakta ve taşıyıcı sistemde istenmeyen ilave yüklerin oluşması da engellemektedir. Tüm bunlara ek olarak yapı periyodunu arttırarak oluşabilecek rezonans benzeri durumlardan binayı deprem karakterine bağılı olarak koruyabilmektedir. Taşıyıcı sistem tasarımında rijit yapılar ile görelî kat ötelenmeleri azaltılabilse de yapının dinamik karakteristiğininin çoğunlukla sismik aktivitedeki hakim frekanslara yaklaşması nedeniyle ivmeler zemin ivmesine yaklaşmaktadır. Bu durum rezonans durumuna daha yakın bir yapı davranışına neden olmaktadır. Diğer taraftan yapı elemanlarında rijitliğin önemli ölçüde arttırılmasının gevrek hasarlara neden olacağından

hareketle yapılarda risk artmaktadır. Sismik izolatörlü bir yapı da ise yapı üst kısmı izolatör sayesinde zemin hareketinden bağımsız hareket ettiği için oldukça rijit davranır ancak bunun yanında periyodu da çok büyük değerlere çıktığı için rijit yapının olumsuz yönlerinden bertaraf edilmiş olur. Tüm bu nedenler ile sismik izolatörlü yapı rijit ve sünek yapının olumlu taraflarını içerdiği gibi olumsuz taraflarını da çoğu durumda ortadan kaldırmaktadır.

Sismik izolatörlerin çokça büyük artısı olsa da bazı durumlarda izolatörlerin beklenen veya beklenmeyen negatif etkileri de görülmektedir. Yakın merkezli depremler karşısında sismik izolatörlü binaların negatif etkiler gösterdiği üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Yakın saha depremlerinde sismik izolatörlü binalardaki kabul edilen hız spektrumlarının gerçekte oluşanlarla büyük farklılıklar gösterdiği ortaya konmuştur (Jangid ve Kelly, 2001). Bu çalışmalar sırasında yakın merkezli depremler sırasında en iyi performans gösteren sistem Fransa Elektrik Sistemi olduğu belirtilmiştir (Jangid ve Kelly, 2001). Ayrıca yakın merkezli faylardan oluşan depremlerde kimi durumlarda hakim periyotlar çok yüksek olabilmektedir. Buna ek olarak zemin ve topografyaya bağlı olarak da deprem karakteri benzer şekilde etkilenebilmektedir. Bu da sismik izolatörlü yapının uzun periyotlu olması nedeniyle rezonans durumuna yaklaşan hareketler sergilemesine neden olabileceğini yapılan çalışmalar göstermiştir. Cenk Alkan ile Seda Öncü Davas'ın (2016) yaptığı çalışmalarında farklı derinlikteki merkezlerden farklı izolatör tipleri ile taban izolasyonu yapılmış yapılar üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışma ile uzun periyotlu depremler sırasında titreşimden etkilenen sistemleri deprem izolatörleri ile korunmasının neredeyse imkansız olduğunu göstermiştir. Bu da özel durumlarda, izolatörün en büyük amaçlarından birini yerine getiremez halde olduğunu göstermektedir. Tüm bunlara ek olarak deprem izolatörlerinin yerleştirilmesi sırasında dış merkezlikteki kaçıklık çok büyük (>%15) olması durumunda binanın kendi dış merkezliğinin de olumsuz etkiler yapmakta olduğu kanıtlanmıştır (Matsagar ve Jangid 2005, Kilar ve Koren 2009).

Buna karşılık yapılan yeni araştırmalarda daha teori aşamasında olan yeni bir düzen ile ilave mekanizmalar kullanılmadan deprem sırasında deprem izolasyonlu sisteme benzer hareket edebilen yapılar üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda eski japon yapıları olan pagodalardan esinlenilmiştir. Pagodalar çok yüksek hareket kabiliyetine sahip yapılar oldukları için yüzyıllardır birçok deprem ve tayfun gibi doğa olaylarından

sağlam çıkmayı başarabilmişlerdir (Freddi ve ark. 2017). Bu yeni yaklaşımda yapı düşük deprem yüklerine kendisi karşı koyarken daha büyük depremlerde iste salınma hareketi yapmakta ve bir yay ve kendi ağırlığıyla geri merkezi konumuna gelmektedir. Ancak yapı doğrusal bir hareket izlemediği için büyük periyotlu depremlerde dahi rezonans benzeri durumlara girmemektedir (Cheng ve Chao 2017).

2.2. Yapı Düzensizlikleri

Deprem sırasında, yapı davranışlarını olumsuz yönde etkileyen, yapıyı istenmeyen olumsuz davranışlara ve istenmeyen yüklere maruz kalmasına neden olan tasarımdan kaynaklanan özel durumlar taşıyıcı sistem düzensizlikleri olarak ifade edilmektedir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2019) bu düzensizlikleri sınıflandırmış ve hangi düzensizlik durumunda nasıl yollar izlememiz gerektiğini gösteren kurallar koymuştur. Bu sınıflandırma iki ana başlıktan oluşmaktadır, planda düzensizlikler (A Tipi Düzensizlik) ve düşeyde düzensizlik (B Tipi Düzensizlik).

Her bir düzensizlik yapının deprem sırasındaki tepki kuvvetlerinin bölgesel veyahut tüm yapı için olumsuz yönde etkileyecek birer durumdur. Yönetmelik tarafından getirilen söz konusu önlemler mühendislik açısından uzak durmamız gereken lokal olarak ya da yapısal olarak depremde yapı sisteminde hasarın doğmasına neden olabilecek tasarımların engellenmesi maksadıyladır ve dünya genelinde tüm yönetmelikler için de durum böyledir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği bu düzensizlikleri çoğunlukla yasaklamamış, sadece tasarımı yapan mühendisi düzensizlik oluşan durumlarda ek önlemler ve ilave kontroller almaya itmektedir.

Planda düzensizlikler ve düşeyde düzensizlikler olarak iki ana başlık altında toplanan düzensizliklerin planda düzensizlik altında üç alt başlığı, düşeyde düzensizlik altında da yine üç alt başlığı bulunmaktadır.

A- Planda Düzensizlikler

A1- Burulma Düzensizliği

A2- Döşeme Süreksizlikleri

A3- Planda Çıkıntılar Bulunması

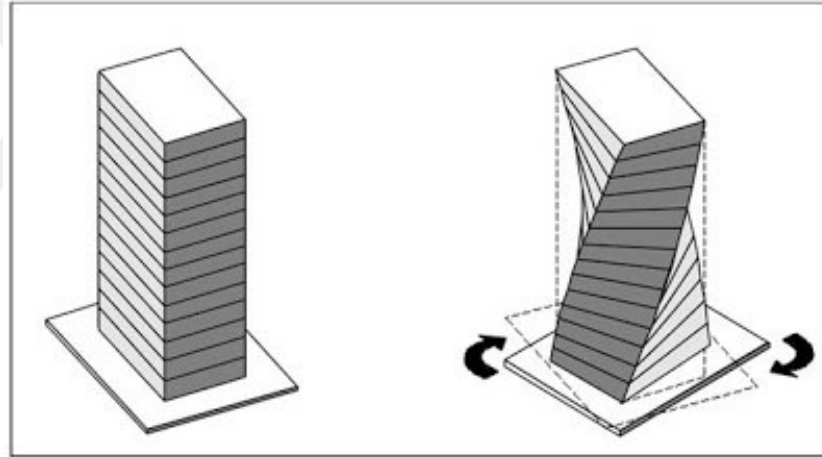
B- Düşeyde Düzensizlikler

B1- Dayanım (Zayıf Kat) Düzensizliği

B2- Rijitlik (Yumuşak Kat) Düzensizliği

B3- Taşıyıcı sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği

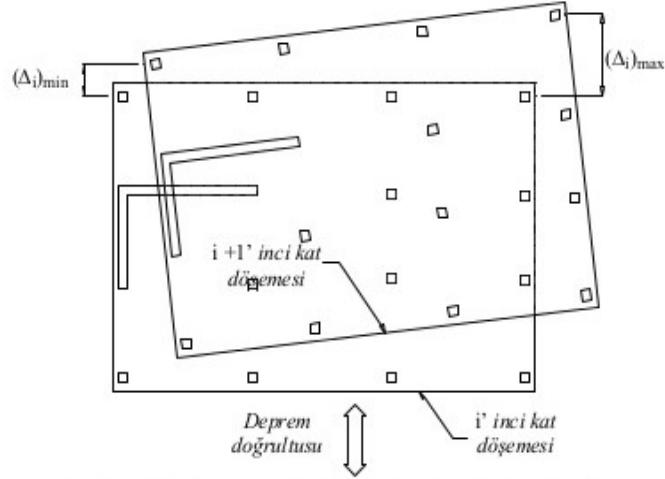
Burulma düzensizliği, plandaki düzensizlik olması ve tasarım sırasında rijitliğin simetrik şekilde dağıtılamaması nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Modern deprem yönetmeliklerinin neredeyse tamamı burulma düzensizliğinden bahsetmektedir. Simetri bozukluğu olduğu zaman etkiyen yatay yükler sistemi dönme eylemine zorlamaktadır. Bu dönmeye de burulma denir. Bir yapının planda simetrisi ne kadar iyi sağlanırsa burulma düzensizliğinden o kadar kaçınılmış olur. (Döndüren ve ark., 2007)



Şekil 2.19. Burulma momentinin etkisi

Eksantrisite bir yapının kat planında rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki uzaklığa verilen isimdir. Simetriden uzaklaştıkça eksantrisite büyümekte bu da istenmeyen burulma momentine sebep olmaktadır. Bu sebeple eksantrisite en düşük değerlerde tutulmalı yani simetriye olabildiğince önem verilmelidir. Katlarda burulma momenti oluşması taşıyıcı elemanlara ilave kesme kuvveti yüklemektedir. Kütle merkezi sabit bir nokta olarak düşünülmelidir. Çünkü kütle merkezinin yerini değiştirmek için kat planını değiştirmeye gidecek kadar büyük değişiklikler gerekir. Rijitlik merkezi ise düşey taşıyıcı rijitliklerine bağlı olduğu için mühendislin elindedir. Kolon perde rijitlikleri değiştirilerek eksantrisite minimuma indirilebilir. (Döndüren ve ark. 2007). Yapı simetrisi bozuldukça oluşan eksantrisite ile yapı ikiye ayrılabilir. Bunlar rijit taraf ve sünek taraf olarak

adlandırılır. Yapılarda düzensizlik arttıkça sünek taraftaki iç kuvvetler artış gösterirken rijit taraftaki elemanlarda iç kuvvetlerin azaldığı görülmektedir (Livaoğlu, 2001).



Döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışmaları durumunda

$$(\Delta_i)_{ort} = 1/2 [(\Delta_i)_{max} + (\Delta_i)_{min}]$$

Burulma düzensizliği katsayısı :

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort}$$

Burulma düzensizliği durumu : $\eta_{bi} > 1.2$

Şekil 2.20. Deprem yönetmeliğinde burulma düzensizliğin gösterimi

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2019) burulma düzensizliğini şu şekilde tanımlamıştır: “Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden *Burulma Düzensizliği Katsayısı* η_{bi} ’nin 1.2’den büyük olması durumu.”.

Kat ötelenmelerinin hesapları yapılırken deprem kuvvetlerinin etkilediği doğrultuya dik bina boyutunun $\pm\%5$ ek dış merkezlik etkileri de göz önüne alınarak yapılmalıdır. $\eta_{bi} > 2,00$ olduğu durumlarda birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde dinamik hesap yapılması zorunlu tutulmuştur. η_{bi} , 1,20 ila 2,00 olduğu durumlarda ise, katlara etkiyen eşdeğer deprem yükü için kabul edilen $\%5$ ek dış merkezliğin D_i katsayısı ile arttırılması gerekmektedir.

$$D_i = (\eta_{bi} / 1,2)^2 \quad (2.1)$$

Bu sayede oluşan burulma düzensizliği daha belirgin bir şekilde ortaya çıkacak ve güvenli tarafta kalınacaktır (Gök 2013).

2.3. Literatür Özetleri

Taban izolasyonu ve binalardaki düzensizlikler günümüzde araştırmacılar tarafından ilgiyle incelenen alanlardan biridir. Bu iki konu üzerine literatürde birçok yayına rastlamak mümkündür. Aşağıda bu çalışmalardan temel olanlarından bir kısmı özet olarak verilmiştir.

Soyluk ve Tuna (2011), düşeyde ve planda düzensizlik durumlarını içeren L şeklinde kalıp planına sahip bir betonarme bina ankastre tabanlı, kurşun kauçuk mesnetli ve yüksek sönümleyici kauçuk mesnetli olarak modellenmiştir. Bunlara ek olarak L şeklinde kalıp planına sahip A3 düzensizliği dışında bir düzensizliğe sahip olmayan bir bina modellenmiş ve zaman tanım alanında dinamik analizi sonucu elde edilen periyot değerleri ile sismik yapı tepkileri karşılaştırılmıştır.

Derdiman (2006), planda düzensiz, kat yükseklikleri değişkenlik gösteren binalarda deprem kuvveti altındaki burulma davranışının taban yalıtımı ve viskoz sönümleyiciler gibi pasif kontrol sistemleri kullanılarak daha iyi sonuçlar elde edilebilir edilemeyeceğini araştırdığı doktora tezidir. Yüzden fazla taban yalıtımlı bina modellenmiş ve ankastre tabanlı modellere ait sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Ryan ve Chopra (2003), sismik izolatörlü asimetrik yapıların sismik sonuçlarının hesaplanmasını nonlineer analiz kullanarak yapmışlardır. Depremsel harekete maruz asimetrik yapının izolatörlerindeki pik yer değiştirmeleri hesaplamışlardır. Bu pik deformasyonların incelenmesi sonucunda ABD şartnamesinin büyük eksikleri olduğu iddia edilmektedir.

Lee vd. (2004), tarihi eserlerin sürtünme sarkacı sistemine benzeyen sismik izolatörlerle güvene alınması üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sarsıntı tablasında yaptıkları ve yuvarlamalı bir tipteki sismik izolatörler kullandıkları deneylerin sonuçlarını analiz ederek deprem ivmelerinin %80'inden fazlasını azaltabileceklerini görmüşlerdir. Bu yöntem ile tarihi eserlerin depreme karşı koruma altına alınabileceğini rapor etmişlerdir.

Murat (2007), iki katlı bir bina üzerinde sismik izolatörlerin pozitif etkileri üzerinde çalışma yapmıştır. Binayı ankastre ve izolatörlü olarak iki farklı şekilde modellemiş ve 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi ivme kayıtlarını kullanarak deprem davranışlarını zaman tanım alanında incelemiştir. Sonuçları eğilme momentleri, model titreşim periyotları, katlar arası görelî ötelenme, taban kesme kuvvetlerindeki değişimler gibi geniş bir yelpazede kıyaslayıp taban izolatörlü modelin çok daha güvenli ve yararlı olduğunu göstermiştir.

Hoşbaş (2006), çok katlı bir yapı üzerinde kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerle sismik izolasyonu yapılmış ve perdelerle güçlendirilmiş hallerini SAP2000 programında modellemiş ve bu iki yapının deprem davranışlarını kıyaslamıştır. Çalışmasının yanında sismik izolasyon kavramını tanımlamış, çeşitleri hakkında bilgiler vermiş ve son olarak da yaptığı çalışmadaki modellerin maliyet kıyaslamasını yapmıştır.

Akyüz vd. (2007), Türkiye’de sıklıkla kullanılan ters T başlıklı kirişli standart karayolu köprülerinin deprem davranışları incelenmiş ve sismik izolatörlerle uygulugu tartışılmıştır. Sürtünme sarkacı ve kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler farklı şekillerde konumlandırılarak deprem davranışları incelenmiş ve sıklıkla kullanılan düşük sönümlü kauçuk mesnetli köprülerle kıyaslanmıştır. Sismik izolatörlerdeki yüksek yer değiştirme kapasitesi nedeniyle çarpma oluşması durumlarına dikkat çekilmiş ve köprülerdeki sismik izolatör kullanımında bu durumu ortadan kaldıracak detaylar seçilmesi tavsiye edilmiştir.

Şengel vd. (2009), sismik izolatörün deprem davranışlarını göstermek için beş katlı bir yapı ve Erzurum Devlet Hastanesi hem ankastre temelli hem de taban yalıtımlı olarak modellenmiş, zaman tanım alanında analizleri yapılmıştır. Sonuçlar karşılaştırmalarında kat ötelenmelerinde ve taban kesme kuvvetlerindeki azalmalara dikkat çekilmiştir. Ayrıca Erzurum Devlet Hastanesi’ndeki güçlendirmeler için öneride bulunulmuştur.

Yazıcı (2008), sıvı depolarının sismik yalıtımı üzerine bir çalışma yapmıştır. Şu ana kadar inşa edilmiş olan sismik izolatörlü su depoları incelenmiş ve en çok silindirik yakıt depolarında sismik izolasyonun kullanıldığı ve bu yapılarda en çok sürtünmeli sarkaç ve kurşun çekirdekli elastomer mesnetlerin kullanıldığı belirlenmiştir. MATLAB üzerinde bir yazılım geliştirmiş ve izolatörlerin hesaplarında kullanılacak parametrelerin araştırılması amacıyla analizler yapmıştır. Yapılan incelemeler sonucu taban ivmelerinde

azalma miktarları sunulmuştur ve tasarım sırasında dikkat edilmesi gereken parametrelerle sonraki çalışmacılara tavsiyelerde bulunulmuştur.

Mengi vd. (1986), nükleer santral projelendirmesi sırasında sismik izolatörlerin en iyi tasarımının nasıl yapılabileceği üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada iki örnek yapı ele almışlar ve izolatörlerin iç kuvvetleri önemli ölçüde azalttığını göstermişlerdir. Ayrıca sismik izolatör boyutlandırması ve malzeme seçimi içinde bir yöntem önermişlerdir.

Saraçoğlu (2013), dört katlı bir yapıyı ankastre mesnetli ve deprem izolatörlü olarak ETABS programında modellemiş ve yapıyı Marmara Depremi'nde kaydedilen ivme kayıtlarına maruz bırakarak çıkan sonuçları karşılaştırmıştır. Sonuç olarak izolatörlerin kullanım amaçları doğrultusunda olumlu etki verdiğini göstermiştir.

Matsagar ve Jangid (2005), farklı izolatör çeşitleriyle izole edilmiş bir yapı modellemişlerdir ve tekrarlı yükler altındaki yerdeğiştirme, burulma gibi etkileri incelemişlerdir. Ayrıca izolatör dışmerkezliliğin önemine vurgu yapmışlardır ve izolatörlerdeki dış merkezliğin yanında yapının dış merkezliğinin öneminin kalmadığını göstermişlerdir.

Matsagar ve Jangid (2010), taban izolasyonlu asimetric ve bitişik yapıların darbeler karşısındaki tepkilerini araştırmışlardır. Gerçek deprem kayıtları kullanılarak farklı izolatör çeşitlerinin performansları irdelenmiştir.

Samali vd. (2003), 5 katlı bir yapıyı görel olarak küçük bir dışmerkezliği olan yapı üzerinde sarsıntı tablası kullanarak iki farklı izolatör cinsini kıyaslamışlardır. İzolatör çeşitlerinin ilki lamine kauçuk tipi (LRB) diğeri ise kurşun çekirdekli kauçuk izolatör (LCRB)dir. İki durumda da yapı dört farklı zemin hareketine maruz bırakılmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Sonuç olarak iki izolatöründe katlar arası ötelenmeleri önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir. Lamine kauçuk izolatörün rölatif ötelenmelerde kurşun çekirdekli izolatöre kıyasla daha etkili olduğu görülmüş ise de kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü modelin daha az burulma açılarını yakaladığı ve daha stabil bir yapı sistemi yarattığı görülmüştür.

Öncü vd. (2009), A3 düzensizliğine (planda çıkıntılar bulunması) sahip 3 yapı ve bir adet düzenli yapı Zaman Tanım Aralığında Analiz yöntemiyle analiz edilmiştir. Çalışma sırasında A3 düzensizliği hakkında bilgiler verilmiştir. Eski deprem kayıtlarının yeni

yönetmeliğe göre nasıl ölçeklendirildiği anlatılmıştır. Sonuç alınan 5 yapının taban devrilme momenti, taban kesme kuvveti, taban burulma momenti değerleri bulunmuş ve karşılaştırılmıştır. Sonuçta da A3 düzensizliği bulunan yapılarda burulma momentinin göz önünde bulundurulması tavsiye edilmiştir.

Gök (2013), birinci derece deprem bölgesinde bulunan süneklik düzeyi yüksek on iki kattan oluşan çok katlı bir yapıyı Türk, Eurocode 8 ve ACI 318 yönetmeliklerine göre tasarlanarak, bu tasarımların arasındaki farkların kıyasladığı bir çalışmadır. Her üç yönetmelikte de bulunan eşdeğer deprem yükü yöntemiyle sistem çözümleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda yapılan kıyaslamada en güvenli tarafta kalan yönetmeliğin Eurocode 8 olduğu, en ekonomik tarafta kalanın ise Türk yönetmeliği olduğu gösterilmiştir. Türk ve Amerikan yönetmeliklerindeki kabullerin ve kontrollerin yapılması konusunda birbirlerine çok benzer olduğu gösterilmiştir.

Demircan (2003), düşeyde düzensiz bir 7 katlı yapı düşük rijitli kauçuk izolatörlü, yüksek rijitliğe sahip kauçuk izolatöre sahip ve ankastre mesnetli olarak modellenmiş ve deprem davranışları incelenmiştir. Yapı periyodunun izolatörlü hallerde çok daha yüksek olduğu ama izolatörün rijitliği arttıkça periyodun da azaldığı gözlemlenmiştir. Düşük rijitliğe sahip kauçuk izolatörlü sistemin yapının düşeyde düzensizliğe sahip olması sebebiyle yer değiştirme sınırı olan 50 cm'yi yer yer aştığı gözlemlenmiştir.

Türker (2005), sismik izolatörler hakkında genel bir bilgi verildikten sonra hastane tipi bir yapıyı önce ankastre mesnetli olarak sonra da kurşun çekirdekli izolatörlerle modellemiş ve bu iki yapıyı da zaman tanım alanında analiz etmiştir. Sonuçları kıyaslamış ve izolatöre sahip modeldeki iç kuvvetlerin azalması nedeniyle kesitlerin boyutlarının düşürülebilmesini hesaba katarak iki sistem arasında maliyet kıyaslamasında bulunmuştur. Toplam inşaat maliyetinde sismik izolasyonlu binanın daha ekonomik bir model olduğunu göstermiştir.

Kılar ve Koren (2009), asimetrik bir yapıda izolatörleri farklı şekillerde konumlandırarak deprem davranışları incelenmiştir. İki farklı şekilde simetrik ve dört farklı asimetrik konumlandırma yapılmıştır. İzolatör olarak kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler kullanılmıştır. Her dizilimin pozitif ve negatif yanları detaylıca incelenmiştir.

Livaoğlu (2001), 1998 Deprem Yönetmeliğinde gelen hesap yöntemlerini incelemiş ve uygulanmasını kolaylaştırmak için akış diyagramları çıkarmıştır. Eşdeğer deprem yükü

yöntemi, zaman tanım alanında hesap yöntemi ve mod birleştirme yöntemi ile hesapların yapıları irdelenmiş ve bu üç yöntem kıyaslanmıştır. Karşılaştırmaları sonucunda eşdeğer deprem yükü yönteminin diğer yöntemlere göre daha büyük değerler verdiğini göstermiştir. Çalışma sırasında simetrik, bir doğrultuda simetrik ve simetrik olmayan 3 model üzerinde analizler gerçekleştirmiş ve burulmanın yapı elemanları üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Burulma düzensizliği bulunan yapıların rijit olmayan tarafta büyük iç kuvvetlere maruz kalırken burulma düzensizliğinin rijit tarafta daha az hatta bazı noktalarda hiç olumsuz etkisi olmadığını göstermiştir.



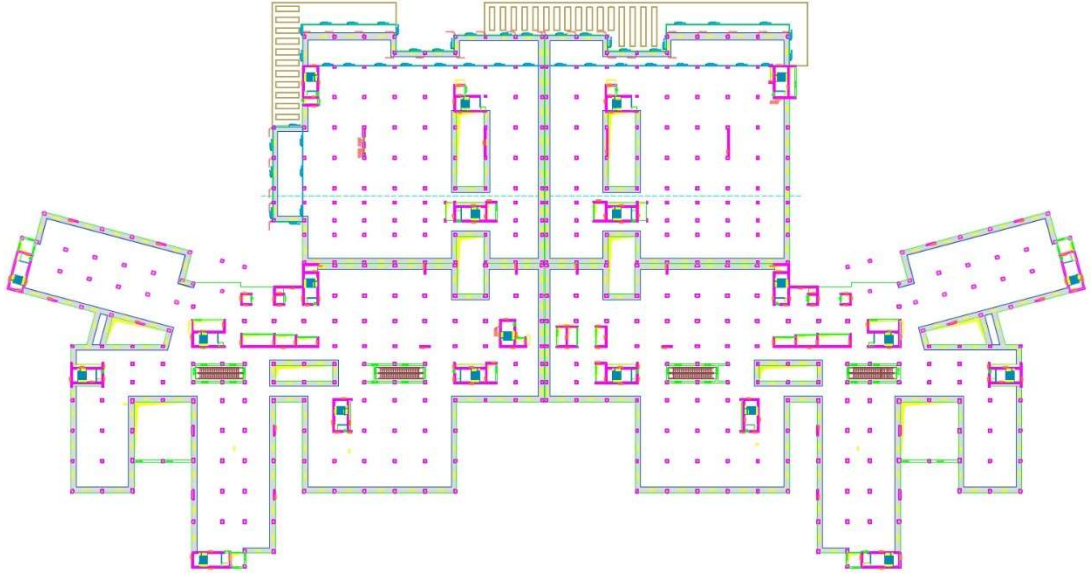
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Modellenecek Yapı Özellikleri

Bu çalışma kapsamında Bursa ili Osmangazi ilçesi Acemler mevkiinde inşası devam etmekte olan Ali Osman Sönmez Devlet Hastanesi örnek yapı olarak seçilmiştir (Şekil 3.1). Söz konusu yapı yerinde sismik izolatörlü olarak tasarlanmış ve uygulanmaktadır. Yapıda kullanılan sismik izolatörler sürtünme sarkaç tipi izolatörlerdir. Konumlandırma ve eksenel yüklerle göre toplam 4 farklı boyutta toplam 142 adet sismik izolatör kullanılmaktadır. Yapı da C40/50 sınıfı beton kullanılmaktadır. Döşeme kalınlıkları 30cm'dir. Yapı tamamlandığında 4 bloktan oluşan 750 yataklı bir hastane olacak şekilde projelendirilmiştir. Projenin yapıldığı parsel 129.495,83 m²'lik bir arazi olup toplam inşaat alanı 260.758 m²'dir. Söz konusu yapının derzlerle ayrılmış olması nedeniyle çalışmada bu bağımsız bloklardan yalnızca bir tanesi dikkate alınarak mevcut durum ile bu durumdan türetilmiş simetrik ve asimetrik durumlarla yapıya burulma düzensizliği kontrollü bir şekilde verilmiştir. Yapıya ait genel bir görünüm Şekil 3.1'de verilmektedir. Yapıya ait kat planı Şekil 3.2'de verilmiştir.



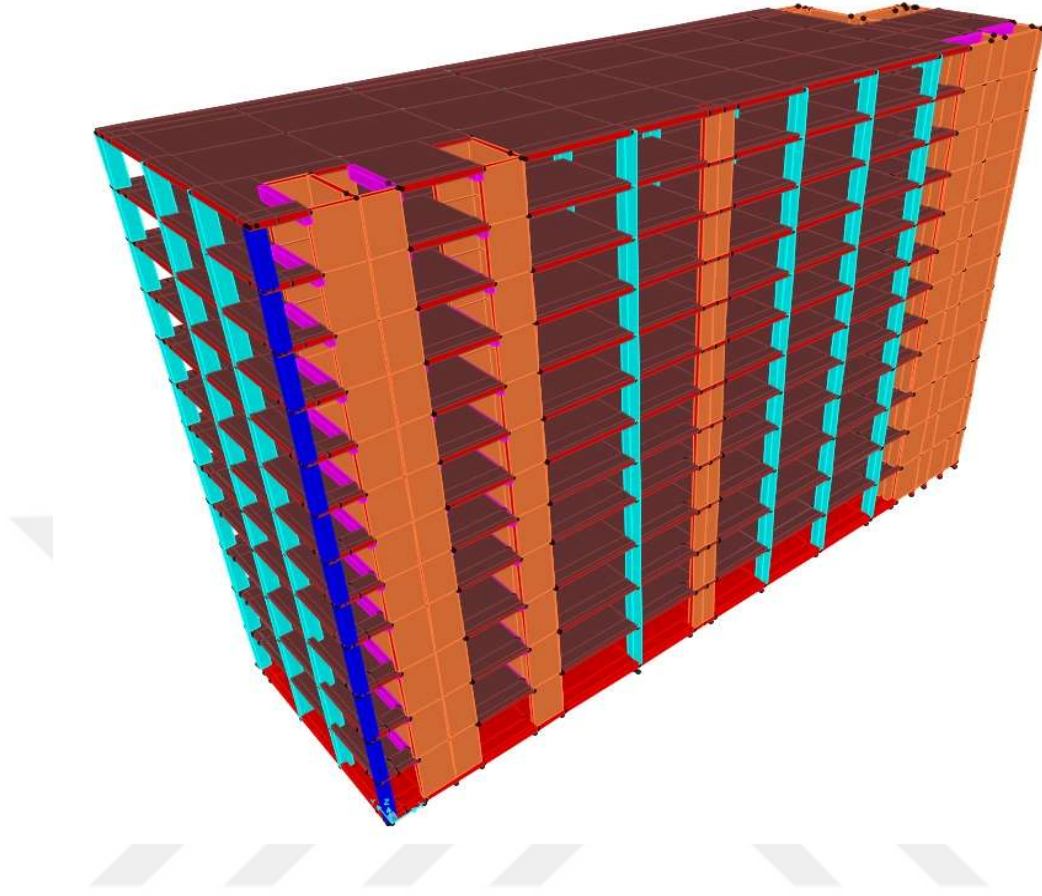
Şekil 3.1. Ali Osman Sönmez Devlet Hastanesi bitmiş hal üç boyutlu görüntüsü



Şekil 3.2. Ali Osman Sönmez Devlet Hastanesi kat planı

3.2. Sayısal Model ve Analiz

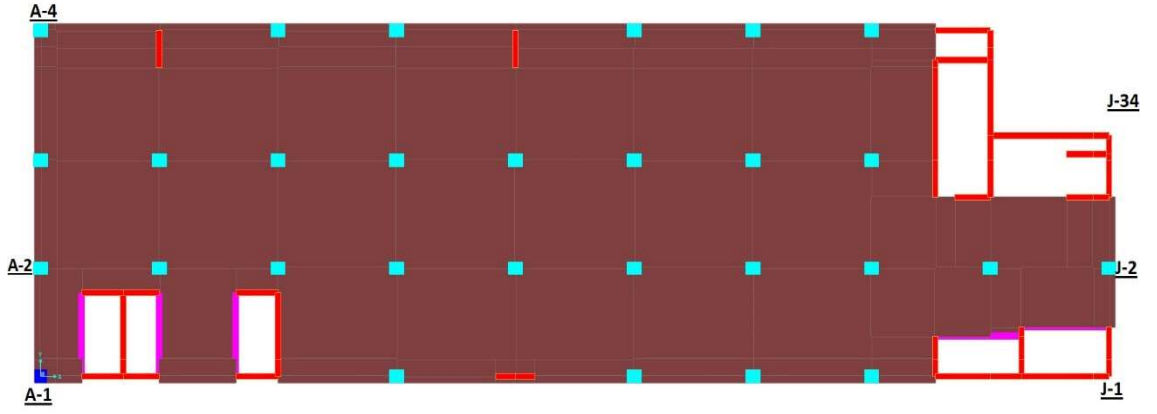
3.1 başlığında da ifade edildiği gibi derzler ile ayrılmış olan bölümlerden çalışmaya konu edilen bloğun Sap 2000 paket programında modellenmiş hali Şekil 3.3'te 3 boyutlu olarak görülmektedir. Yapıdan ayrılarak alınan ve Şekil 3.2'de görünen bölümden tezin devam eden kısımlarında model olarak bahsedilecektir. Modelde 1 adet 80*80, 28 adet 80*100 ebatlarında toplamda 29 adet kolon bulunmaktadır. Model X doğrultusunda 75,6 metre uzunluğundadır. Y doğrultusunda ise 22,40 metre uzunluğundadır. Modelde 5. kata kadar kat yükseklikleri 5,30 metre, 6. Kattan 11. Kata kadar 4,20 metre ve en üst katta ise 4,00 metre olup toplam bina yüksekliği 55,60 metredir.



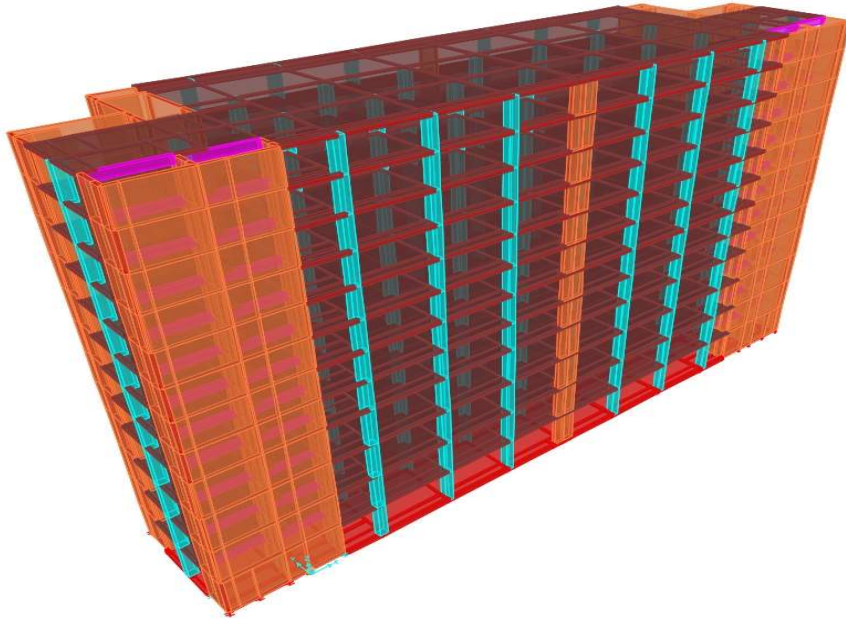
Şekil 3.3. Çalışmada kullanılacak yapının üç boyutlu modeli

Bu noktadan sonra elemanlara ilişkin kullanılacak isimlendirme kuralları ve tartışmalar için kullanılacak elemanların konumları Şekil 3.4'te verilmektedir. Diğer taraftan asimetrik ankastre modelden “ASAM” olarak, asimetrik izolatörlü modelden “ASİM” olarak bahsedilecektir. Simetrik ankastre modelden “SAM”, simetrik izolatörlü modelden ise “SİM” olarak bahsedilecektir.

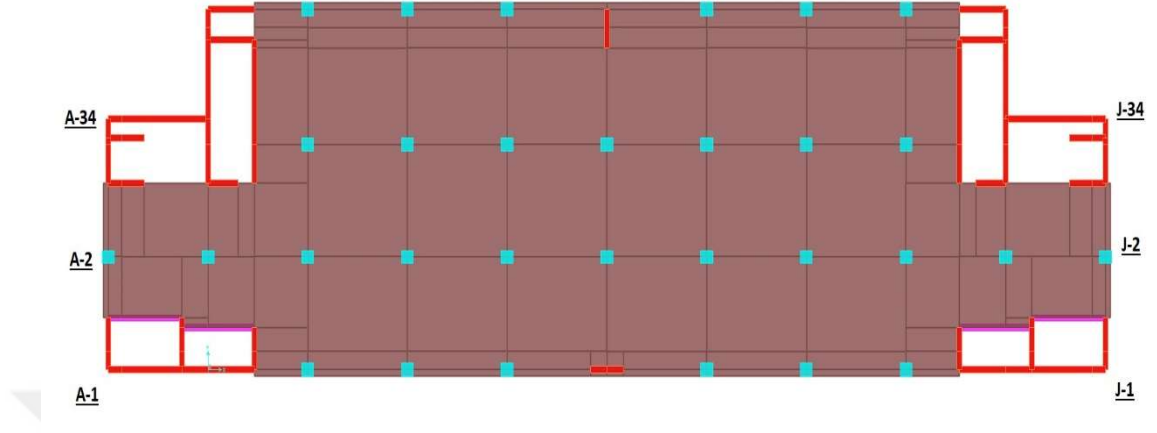
Mevcut haliyle asimetrik olan gerçek yapının simetrik bir versiyonu elde edebilmek amacıyla mevcut modelden türetilen yaklaşık olarak simetrik model Şekil 3.5'te verilmiştir. Simetrik modelin kat planı ve bu modelden kullanılacak noktaların işaretlendiği görsel ise Şekil 3.6'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Asimetrik sisteme ait kalıp planı üzerinde karşılaştırmaya esas teşkil eden eleman isimlendirmeleri

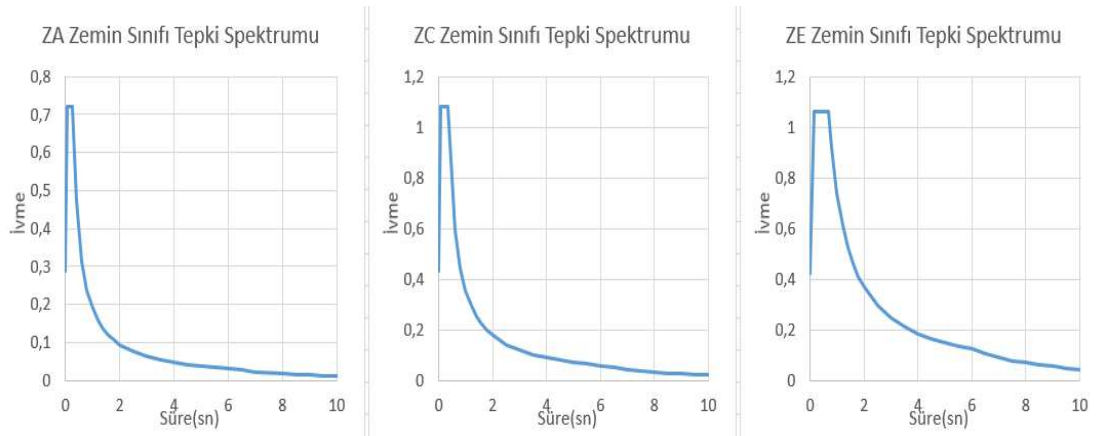


Şekil 3.5. Kullanılacak modelden türetilmiş Simetrik Model üç boyutlu görüntüsü



Şekil 3.6. Çalışmada kullanılacak simetrik modelin kat planı ve karşılaştırma ve sonuç kısımlarında kullanılacak noktalar

Bu çalışma kapsamında yapısal analiz tepki spektrumu yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu maksatla ZA, ZC ve ZE zemin sınıfı için üç farklı spektrum yeni deprem yönetmeliği (TBDY 2019) uyarınca DD2 deprem düzeyi, diğer bir ifadeyle 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan dönüş periyodu 475 yıl olan tasarım depremi ve mevcut yapının konumu kullanılarak elde edilmiştir. Bu yolla elde edilen spektrumlar Şekil 3.7'da verilmiştir.



Şekil 3.7. Analiz sırasında kullanılan tepki spektrumları

Seçilen yapılar ankastre, sürtünmeli sarkaç tip izolatör ve kurşun çekirdekli kauçuk izolatör olarak 3 farklı şekilde modellenmiştir. Yapının mevcut uygulanmakta olan halinde sürtünmeli sarkaç tip izolatörler kullanılmaktadır. Yapının mevcut hali için boyutlandırılan ve uygulanan izolatörlerin boyutlarına sadık kalınmış ve mevcuttaki boyutları ile kullanılmıştır. Kullanılan sürtünmeli tip izolatörlerin çapları 60 cm'dir.

Kurşun çekirdekli izolatörlerin boyutlandırması sırasında TDBY-2019'daki koşullar göz önüne alınmış ve koşullara uyularak boyutlandırma yapılmıştır. Asimetrik model için kurşun çekirdekli izolatör boyutlandırması sırasında kabul edilen ve hesaplanan parametreler Tablo 3.1'de verilmiştir. Asimetrik model için gerekli sınır şartları ve bu sınır koşullarının kontrolü için gerekli hesaplamalar formülleriyle ve açıklamalarıyla beraber Tablo 3.2'de ve Tablo 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.1. Asimetrik model için kurşun çekirdekli izolatör modellenmesinde kullanılan değerler

Simge	Açıklama	Değer	Birim
P _{k1}	Depresiz durumda verilen yük birleşimi altında elde edilen düşey kuvvet	16970	KN
B	Çelik plaka ile yapışmış elastomer levha çapı	1080	mm
BL	Kurşun çekirdek çapı	190	mm
<i>t</i>	Elastomer katman kalınlığı	12	mm
k	Katsayı (kauçuk malzemenin sertlik değerinin 50,60,70 olduğu durumlarda sırası ile 0.75,0.6 ve 0.55 değerlerini alır.)	0,6	
G _v	Elastomer malzeme kayma modülü	0,55	Mpa
D _s	Yatay yüklemeye meydana gelen yatay yer değiştirme miktarı	465	mm
n	Elastomer katman adedi	28	adet
P _{k2}	TBDY-2019 Denk. (14.2)'ye göre hesaplanan yük kombinasyonu	13363,976	KN
T _d	Tasarlanmış periyot	2,5	sn

Çizelge 3.2. Asimetrik model için kurşun çekirdekli izolator boyutlandırması için gerekli işlemler.

Aranan	Açıklama	Formül	Sonuç	Birimler
$\gamma_{e,st}$	Depremsiz durumda basınçta meydana gelen açısai şekil değiştirme	$6 \cdot S \cdot P_{k1} / A_r \cdot E_c$	1,989098118	n/(mm ² *mpa)
Pk1	Depremsiz durumda verilen yük birleşimi altında elde edilen dişey kuvvet		16970	KN
Ar	Tek bir elastomer katmanın çelik plaka ile yapışmış, yüke maruz yüzey alanıdır.	$(\pi / 4)(B^2 - BL^2)$	887735,5441	mm ²
S	şekil katsayısı (dairesei ve kurşun çekirdekli elastomer mesnetler için)	$S = (B^2 - BL^2) / (4Bt)$	21,80362654	
B	Çelik plaka ile yapışmış elastomer levha çapı		1080	mm
BL	Kurşun çekirdek çapı		190	mm
t	Elastomer katman kalınlığı		12	mm
E _c	Elastomer yalıtım birimi basınç modülü	$E_c = E_0 (1 + 2kS^2)$	1257,251064	Mpa
E ₀	Kauçuk malzemenin esneklik modülü	$E_0 = 4G_v$	2,2	Mpa
k	Katsayı (kauçuk malzemenin sertlik değerinin 50,60,70 olduğu durumlarda sırası ile 0.75,0.6 ve0.55 değerlerini alır.)		0,6	
G _v	Elastomer malzeme kayma modülü		0,55	Mpa
$\gamma_{s,st}$	Deprem dışındaki diğer etkilerden dolayı oluşacak yatay yer değiştirmelerden meydana gelen açısai şekil değiştirme	D_s / T_r	1,383928571	

Çizelge 3.2. Asimetrik model için kurşun çekirdekli izolator boyutlandırması için gerekli işlemler. (devam)

Ds	Yatay yüklemekten meydana gelen yatay yer değiştirme miktarı		465	mm
Tr	Elastomer katmanların toplam kalınlığı	$t \cdot n$	336	mm
n	Elastomer katman adedi		28	adet
$\gamma_{r,st}$	yalıtım birimi üst ve alt plakaları arasındaki göreliden meydana gelen birim şekil değiştirme	$B^2 \cdot Q_s / 2 \cdot t \cdot T_r$	0,723214286	
Q_s	Tasarım dönme açısı (min:0.005 rad)		0,005	rad
$\gamma_{c,E}$	DD-1 ve DD-2 deprem hareketi etkisi altında oluşan basınçtan meydana gelen birim şekil değiştirme	$6 \cdot S \cdot P_{K2} / A_{re} \cdot E_c$	3,338203948	
P_{K2}	TBDY-2019 Denk.(14.2)'ye göre hesaplanan yük kombinasyonu	$1.2G + Q + -E_d$	13363,976	KN
A_{re}	Azaltılmış alan	$A_r \cdot (d - \sin d / p)$	416563,0973	mm
d		$2 \cdot \cos^{-1}(D/B)$	2,25137622	
$\gamma_{s,E}$	DD-1 ve DD-2 deprem hareketi etkisi altında oluşan yatay yer değiştirmeden meydana gelen birim şekil değiştirme	D / T_r	0,060952381	
DD	Tasarım yer değiştirmesi	tepki spektrumuna göre	20,48	mm

Çizelge 3.3. Asimetrik model için boyutlandırılan izolatörlerin koşullar ve sınır değerlerin kontrol tablosu

Koşullar (birim şekil değiştirme)				
$\gamma_{c,st}$	$\gamma_{c,st} \leq 3,5$ veya $\gamma_{c,st} < e_b/3$	1,989098		$\leq 3,5$
	$\gamma_{c,st} + \gamma_{s,st} + \gamma_{r,st} \leq 5,0$	4,096241		$\leq 5,0$
	$\gamma_{c,E} + \gamma_{s,E} + 0,5 * \gamma_{r,st} \leq 6,0$	3,760763		$\leq 6,0$
	$\gamma_{s,E} \leq 2,0$	0,060952		$\leq 2,0$
Sınırlar (düşey kararlılık)				
P_{cr}	yatay yer değiştirme olmadığı durumda elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü	$0,218 * (G_v * B^4 / I_{T_r}) * (((1 - B_L/B) * (1 - B_L^2/B^2)) / (1 + B_L^2/B^2))$	31337,81	KN
P'_{cr}	yatay yer değiştirme olduğu durumlarda DD-1 deprem yer hareketi etkisi altında elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü	$P_{cr} * (A_{re}/A)$	14705,02	KN
P_{str}	elastomer yalıtım birimlerinin, birim şekil değiştirmeye bağlı eksenal yük kapasitesi	$3,5 * A_{re} * E_c / 6 * S$	14011,7	KN*mm
291	$\min(P_{cr}, P_{str}) / PK1$	Elastomer yalıtım birimlerinin yatay yer değiştirme olmadığı durumlardaki burkulma yükü sınırı $\min(P_{cr}, P_{str}) / PK1$	0,825675	≤ 2
292	$\min(P_{cr}, P_{str}) / PK2$	Elastomer yalıtım birimlerinin en büyük deprem yer hareketi düzeyinde meydana gelen yatay yer değiştirme altındaki burkulma yükü sınırı $\min(P_{cr}, P_{str}) / PK2$	1,048468	$\leq 1,1$

Simetrik model için kurşun çekirdekli izolatör boyutlandırması sırasında kabul edilen ve hesaplanan parametreler Tablo 3.4'te verilmiştir. Simetrik model için gerekli sınır şartları ve bu sınır şartlarının kontrolü için gerekli hesaplamalar yine formülleri ve açıklamalarıyla birlikte Tablo 3.5 ve Tablo 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.4. Simetrik model için kurşun çekirdekli izolator modellenmesinde kullanılan değerler

Parametreler			
simge	Açıklama	Değer	Birim
P _{k1}	Depresiz durumda verilen yük birleşimi altında elde edilen düşey kuvvet	16960,81	KN
B	Çelik plaka ile yapışmış elastomer levha çapı	1080	mm
BL	Kurşun çekirdek çapı	190	mm
t	Elastomer katman kalınlığı	12	mm
k	Katsayı (kauçuk malzemenin sertlik değerinin 50,60,70 olduğu durumlarda sırası ile 0.75,0.6 ve 0.55 değerlerini alır.)	0,6	
G _v	Elastomer malzeme kayma modülü	0,55	Mpa
D _s	Yatay yüklemeye meydana gelen yatay yer değiştirme miktarı	465	mm
n	Elastomer katman adedi	28	adet
P _{k2}	TBDY-2019 denk.(14.2) ye göre hesaplanan yük kombinasyonu	13318,68	KN
T _d	Tasarlanmış periyot	2,5	sn

Çizelge 3.5. Simetrik model için kurşun çekirdekli izolator boyutlandırması için gerekli işlemler.

Aranan	Açıklama	Formül	Sonuç	Birimler
$\gamma_{e,st}$	Depresiz durumda basınçta meydana gelen açılmal şekil değiştirme	$6 \cdot S \cdot P_{k1} / A_r \cdot E_c$	1,988020934	N/(mm ² *Mpa)
P _{k1}	Depresiz durumda verilen yük birleşimi altında elde edilen düşey kuvvet		16960,81	KN
A _r	Tek bir elastomer katmanın çeklik plaka ile yapışmış, yüke maruz yüzey alanıdır.	$(\pi / 4)(B^2 - BL^2)$	887735,5441	mm ²
S	Şekil katsayısı (dairesel ve kurşun çekirdekli elastomer mesnetler için)	$S = (B^2 - BL^2) / (4Bt)$	21,80362654	
B	Çelik plaka ile yapışmış elastomer levha çapı		1080	mm
BL	Kurşun çekirdek çapı		190	mm
t	Elastomer katman kalınlığı		12	mm
E _c	Elastomer yalıtım birimi basınç modülü	$E_c = E_0 (1 + 2kS^2)$	1257,251064	Mpa
E ₀	Kauçuk malzemenin esneklik modülü	$E_0 = 4G_v$	2,2	Mpa

Çizelge 3.5. Simetrik model için boyutlandırılan izolatörlerin koşullar ve sınır değerlerin kontrol tablosu (devam)

K	Katsayı (kauçuk malzemenin sertlik değerinin 50,60,70 olduğu durumlarda sırası ile 0.75,0.6 ve0.55 değerlerini alır.)		0,6	
G _v	Elastomer malzeme kayma modülü		0,55	Mpa
γ _{s,st}	Deprem dışındaki diğer etkilerden dolayı oluşacak yatay yer değiştirmelerden meydana gelen açısal şekil değiştirme	D _s / T _r	1,383928571	
D _s	Yatay yüklemeyden meydana gelen yatay yer değiştirme miktarı		465	mm
T _r	Elastomer katmanların toplam kalınlığı	t*n	336	mm
n	Elastomer katman adedi		28	adet
γ _{r,st}	Yalıtım birimi üst ve alt plakaları arasındaki görece dönmeden meydana gelen birim şekil değiştirme	B ² *Q _s /2*t*T _r	0,723214286	
Q _s	Tasarım dönme açısı(min:0.005 rad)		0,005	rad
γ _{c,E}	DD-1 ve DD-2 deprem hareketi etkisi altında oluşan basınçtan meydana gelen birim şekil değiştirme	6*S*P _{K2} /A _{re} *E _c	3,326889404	
P _{K2}	TBDY-2019 Denk.(14.2)'ye göre hesaplanan yük kombinasyonu	1.2G+Q+-E _d	13318,68	KN
A _{re}	Azaltılmış alan	A _r *(d-sind/p)	416563,0973	mm
d		2*cos ⁻¹ (D/B)	2,25137622	
γ _{s,E}	DD-1 ve DD-2 deprem hareketi etkisi altında oluşan yatay yer değiştirmeden meydana gelen birim şekil değiştirme	D/T _r	0,060952381	
DD	Tasarım yer değiştirmesi	tepki spektrumuna göre	20,48	mm

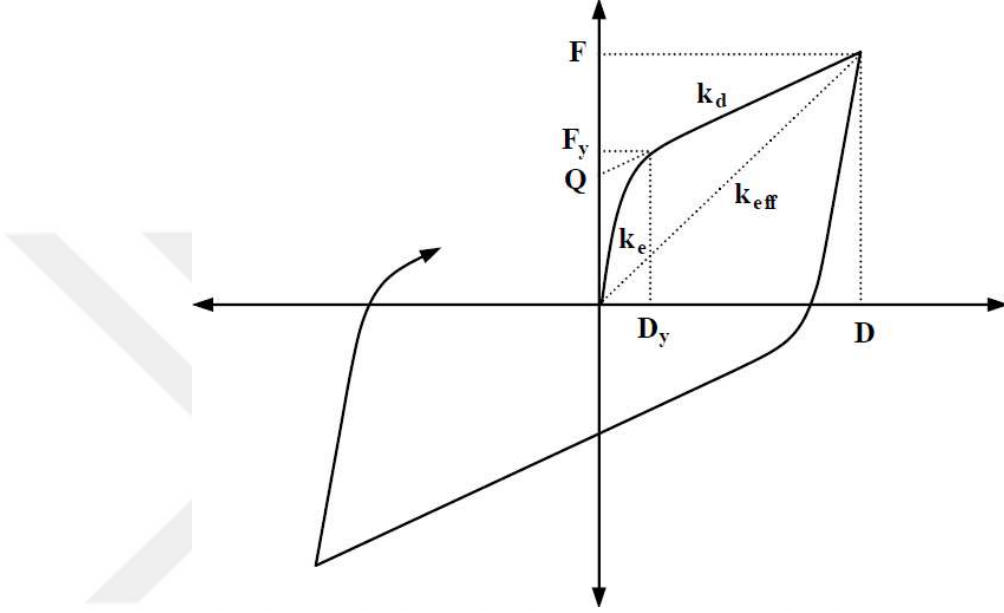
Çizelge 3.6. Simetrik model için boyutlandırılan izolatörlerin koşullar ve sınır değerlerin kontrol tablosu

Koşullar (birim şekil değiştirme)				
$\gamma_{c,st}$	$\gamma_{c,st} \leq 3,5$ veya $\gamma_{c,st} \leq e_b/3$	1,989098		$\leq 3,5$
	$\gamma_{c,st} + \gamma_{s,st} + \gamma_{r,st} \leq 5,0$	4,095163791		$\leq 5,0$
	$\gamma_{c,E} + \gamma_{s,E} + 0,5 * \gamma_{r,st} \leq 6,0$	3,749448928		$\leq 6,0$
	$\gamma_{s,E} \leq 2,0$	0,060952381		$\leq 2,0$
Sınırlar (düşey kararlılık)				
P_{cr}	Yatay yer değiştirme olmadığı durumda elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü	$0,218 * (G_v * B^4 / f T_r) * (((1 - B_L / B) * (1 - B_L^2 / B^2)) / (1 + B_L^2 / B^2))$	31337,81	KN
P'_{cr}	Yatay yer değiştirme olduğu durumlarda DD-1 deprem yer hareketi etkisi altında elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü	$P_{cr} * (A_{re} / A)$	14705,02	KN
P_{str}	Elastomer yalıtım birimlerinin, birim şekil değiştirmeye bağlı aksenal yük kapasitesi	$3,5 * A_{re} * E_c / 6 * S$	14011,7	KN*mm
	$\min(P_{cr}, P_{str}) / PK1$	Elastomer yalıtım birimlerinin yatay yer değiştirme olmadığı durumlardaki burkulma yükü sınırı $\min(P_{cr}, P_{str}) / PK1$	0,826122168	≤ 2
	$\min(P_{cr}, P_{str}) / PK2$	Elastomer yalıtım birimlerinin en büyük deprem yer hareketi düzeyinde meydana gelen yatay yer değiştirme altındaki burkulma yükü sınırı $\min(P_{cr}, P_{str}) / PK2$	1,052033769	$\leq 1,1$

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler için idealize edilmiş kuvvet-deplasman ilişkisi Şekil.3.8'de verilmiştir. Şekilde yer alan k_e ve k_d değerleri sırasıyla izolatöre ait akma öncesi ve akma sonrası yatay rijitlik, D_y akma deplasmanı, F_y akma kuvveti, D maksimum izolatör deplasmanı, F maksimum izolatör kuvveti ve k_{eff} izolatöre ait etkin rijitlik olarak tanımlanmaktadır. Akma öncesi rijitlik k_e , elastik davranışın sergilendiği düşük seviyedeki sismik hareketlerde ve rüzgar yüklemelerinde belirleyici olmaktadır. Tez süresince oluşturulan modeller üzerinde tepki spektrumu analizi yapılmıştır. Bu sebeple analizler sırasında taban izolasyon sistemlerinin nonlinear değil lineer özellikleri ile hesaplamalar yapılmıştır. Etkin rijitlik (k_{eff}) hesap yöntemi Denklem 3.1 de verilmiştir.

Denklemdede kullanılan P_{k1} ve T_D değerleri asimetrik ve simetrik durumlar için sırasıyla Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.4'te verilmiştir.

$$K_{eff} = (P_{k1}/g) * (2\pi/T_D)^2 \quad (3.1)$$



Şekil 3.8. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatöre ait bilineer kuvvet deplasman eğrisi

Kurşun çekirdekli izolatörlerin sönüm oranları:

Kurşun çekirdekli izolatör sönüm oranı TBDY-2019'da Denklem 3.2'deki formül ile hesaplanmaktadır.

$$B_{eff} = (1/2\pi) * [W_d / (F * D)] \quad (3.2)$$

Denklem 3.2'de ki W_d simgesi bir döngüdeki enerji sönümlenme miktarıdır kurşun çekirdekli bir model için Denklem 3.3'teki formül ile hesaplanmaktadır.

$$W_d = 4 * (A_p * T_{yp}) * (D - D_y) \quad (3.3)$$

Denklem 3.3'te A_p kurşun çekirdek alanı T_{yp} ise kurşun çekirdek sabitidir. Çizelge 3.1 ve çizelge 3.4'te verilmiş olan değerler ile Denklem 3.4 çözüldüğünde hem asimetrik hem de simetrik modeller için $B_e=24,031$ sonucuna ulaşılmaktadır.

Tepki spektrum analizleri SAP 2000 paket programında yapılmıştır. Tepki spektrum analizinde yüklemeye lineer olması nedeniyle program deprem izolatörünün de lineer etkiler altındaki sönüm oranını kullanmaktadır. Bu durumda bir döngüdeki sönüm oranı W_d , Denklem 3.4'te verilen formül ile hesaplanabilir.

$$W_d = \pi * \eta * k * D^2 \quad (3.4)$$

Denklem 3.3 ve Denklem 3.4 birlikte çözüldüğünde etkin sönüm oranının formülü Denklem 3.5'teki şeklini alır.

$$B_{eff} = (\eta * k * D) / (2 * F) \quad (3.5)$$

η değeri malzemeye has bir sabittir ve malzemenin viskoz sönümlenme oranının iki katına eşittir. Kauçuk için viskoz sönümlenme oranı 1988 yılında Cremer ve Heckl tarafından standart koşullar altında 0,05 olarak belirlenmiştir. Bu durum Denklem 3.4'e uygulandığında etkin sönümlenme oranının kauçuk izolatörler için en sade formülü denklem 3.5'te verilmiştir.

$$B_{eff} = (0,05 * k * D) / (F) \quad (3.5)$$

Analiz sonucunda oluşan yer değiştirme ve kuvvetlere göre etkin sönümler hesaplandığında sönüm oranları %4,86 ila %5,19 arasında değerler almaktadır. Bu

çalışmada uygulamadan birebir alınan örnekler nedeniyle projenin maruz kaldığı tasarım yükleri açısından kapasitesinin oldukça altında zorlandığından bahsetmek doğru olacaktır. Ankastre durumda dahi kolonların ortalama olarak kesme kapasiteleri açısından %20 oranında çalışıyor olması gösterilebilir. Sonuçlar doğrultusunda görülmüştür ki çalışma yapılan modelde, deprem izolatörlerindeki ortalama %5 oranında bir sönüm katkısı sağlamaktadırlar.



4. BULGULAR

Literatür araştırmasından elde edilen bilgilere ek olarak genel kanı taban izolasyonlu yapıların deprem davranışlarını önemli ölçüde değiştirdiğidir. Ancak söz konusu etkinin değişimine ilişkin belirli bir aralık vermek mümkün görülmediğinden yapı davranışını etkileyen parametrelere, depremin niteliğine ve temel-zemin sisteminin yapı ile olan etkileşimine bağlı olarak bu etkinin değişimi yorumlanmalıdır. Bu nedenle etkinin sabit bir oranla deprem etkilerini azaltmadığı aynı modelde bile farklı deprem etkileri altında farklı sonuçlar verebileceği söylenebilir. Bir örnek vermek gerekirse bu oranlar %30'lardan 11 kata kadar değiştiği literatürdeki birtakım örneklerden söylenebilir.

Bu çalışmada bir önceki bölümde ifade edilen yapı sistemleri farklı zemin koşullarında simetri ve asimetri gözetilerek iki farklı taban izolasyon sistemi için analiz edilmiştir. Söz konusu bu parametreler ışığında karşılaştırmaların yapılabilmesi için elastik tasarım spektrumlarından faydalanılarak tepki spektrumu analizi gerçekleştirilmiştir. Doğrudan elastik tepkiler açısından yapılan bu karşılaştırmalar moment, kesme kuvveti, kat yer değiştirmeleri ve görelî ötelemeler cinsinden takip eden bölümlerde verilmektedir. Yer değiştirmeler dışındaki tüm karşılaştırmalarda farkların daha iyi görülebilmesi maksadıyla normalleştirmeler üzerinden grafikler sunulmaktadır.

Çalışmada dikkate alınan simetri açısından 2, mesnetlenme açısından 3, zemin durumu açısından ise yine 3 farklı durum olduğundan toplamda farklı mesnetleme ve 3 farklı zemin sınıfı üzerinde çalışma yapıldığı için dikkate alınan her bir model bir kısaltma ile ifade edilmiştir. Bu kısaltmalar Tablo 4.1'de verilmektedir. Diğer taraftan asimetric modelde bulunan daha düşük rijitliğe sahip olan taraf (A aksı) için ROTA (rijit olmayan taraf), daha rijit davranış gösteren (J aksı) taraf için ise RİTA (rijit taraf) kısaltması kullanılmaktadır.

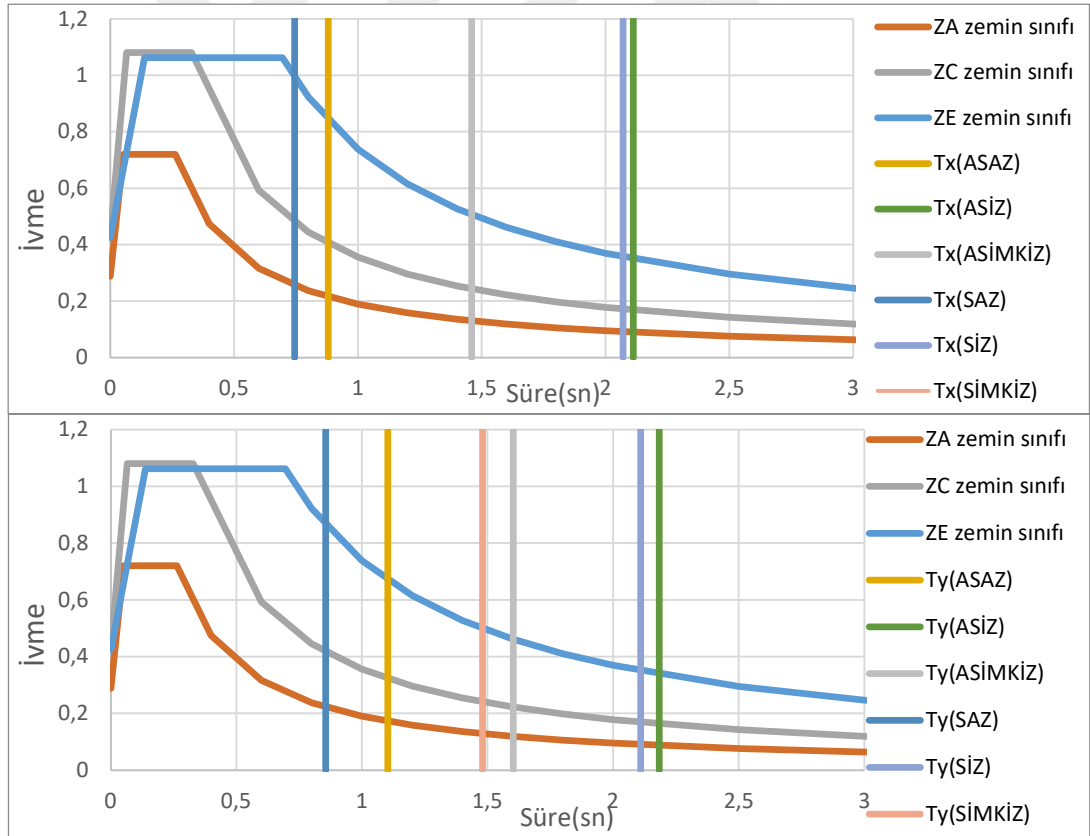
Çizelge 4.1. Modeller için kullanılan kısaltmalar

MODEL	MESNET TİPİ	ZEMİN SINIFI	KISALTMA
Asimetrik	Ankastre	ZA zemin sınıfı	ASAZA
Asimetrik	Ankastre	ZC zemin sınıfı	ASAZC
Asimetrik	Ankastre	ZE zemin sınıfı	ASAZE
Asimetrik	Sürtünme Sarkaç Tip İzolatör	ZA zemin sınıfı	ASİZA
Asimetrik	Sürtünme Sarkaç Tip İzolatör	ZC zemin sınıfı	ASİZC
Asimetrik	Sürtünme Sarkaç Tip İzolatör	ZE zemin sınıfı	ASİZE
Asimetrik	Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör	ZA zemin sınıfı	ASİMKİZA
Asimetrik	Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör	ZC zemin sınıfı	ASİMKİZCE
Asimetrik	Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör	ZE zemin sınıfı	ASİMKİZE
Simetrik	Ankastre	ZA zemin sınıfı	SAZA
Simetrik	Ankastre	ZC zemin sınıfı	SAZCE
Simetrik	Ankastre	ZE zemin sınıfı	SAZE
Simetrik	Sürtünme Sarkaç Tip İzolatör	ZA zemin sınıfı	SİZA
Simetrik	Sürtünme Sarkaç Tip İzolatör	ZC zemin sınıfı	SİZC
Simetrik	Sürtünme Sarkaç Tip İzolatör	ZE zemin sınıfı	SİZE
Simetrik	Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör	ZA zemin sınıfı	SİMKİZA
Simetrik	Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör	ZC zemin sınıfı	SİMKİZCE
Simetrik	Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör	ZE zemin sınıfı	SİMKİZE

Bu çalışmada kullanılan modellerin periyotları ve katılım oranları incelendiğinde ankastre modellerde yüksek modların katılım oranlarının taban izolasyonlu iki modele göre de daha yüksek olduğu görülmüştür. Taban izolasyonlu modellerde ilk modların katılım oranları %90'nın üzerindeyken ankastre modellerde bu oran %55 ortalamasındadır (Çizelge 4.2). Şekil 4.1'de verilen periyotların spektrum üzerine eklenmiş halinde de görülebileceği gibi yüksek modların yüksek katılım oranları ankastre modele etkiyen deprem yüklerini azaltacaktır. Bu sebeple bu çalışmada kullanılan modellerde taban izolasyonu etkileri düşük seviyelerde kalabileceği öngörülmüştür.

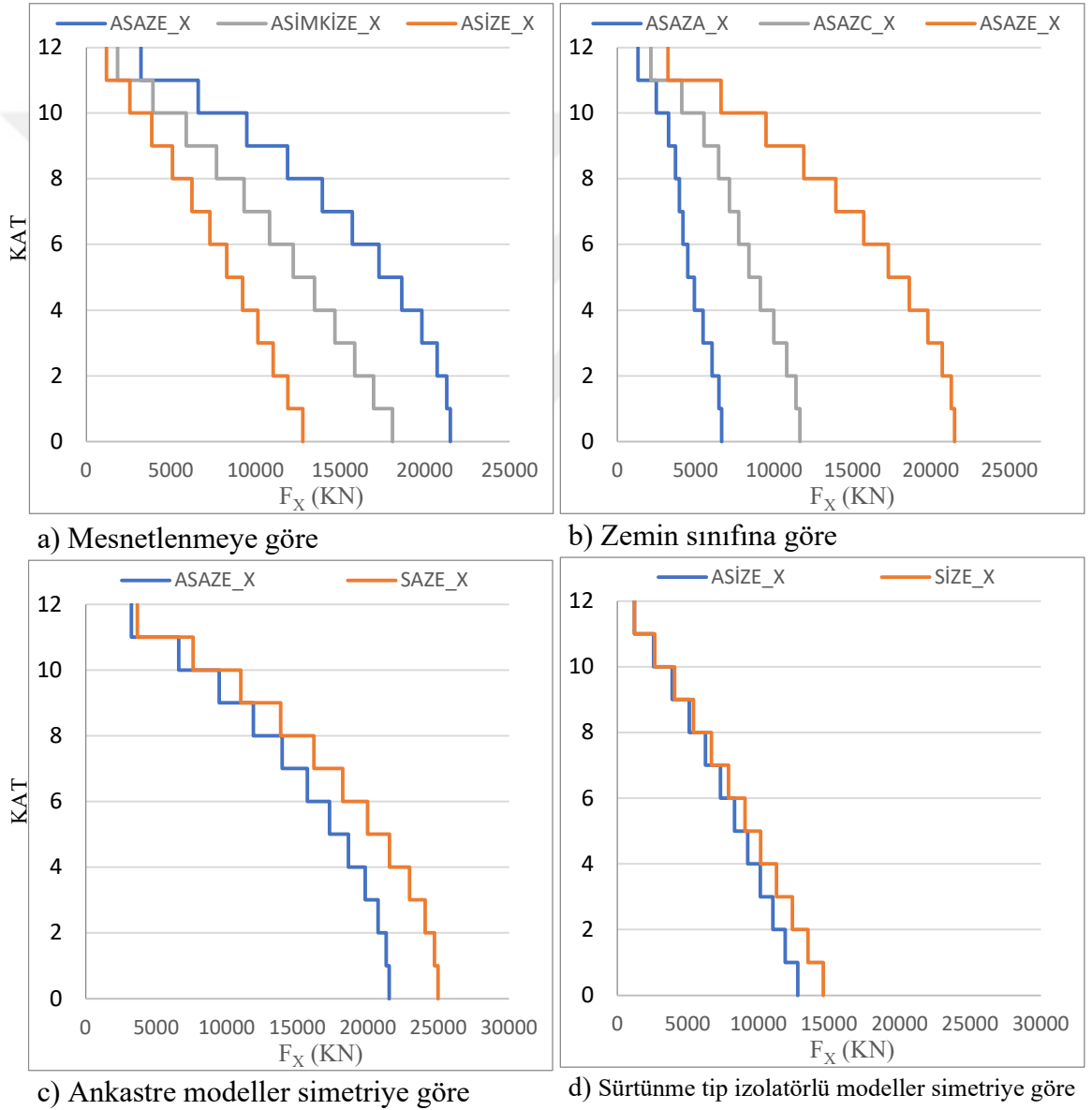
Çizelge.4.2. Modellerin periyotları ve katılım oranları

		X yönü	Y yönü	ROT Z
ASAZ	T(periyot)	0,880187	1,102048	0,689732
	%(katılım oranı)	%65	%55	%0,00006919
ASİZ	T(periyot)	2,111805	2,182603	1,993365
	%(katılım oranı)	%88	%85	%0,00006014
ASİMKİZ	T(periyot)	1,458602	1,602384	1,259105
	%(katılım oranı)	%92	%72	%0,0001596
SAZ	T(periyot)	0,743819	0,855369	0,603634
	%(katılım oranı)	%51	%70	%3,695E-17
SİZ	T(periyot)	2,0700218	2,109194	1,979421
	%(katılım oranı)	%89	%98	%3,29E-11
SİMKİZ	T(periyot)	1,420976	1,479376	1,253703
	%(katılım oranı)	%96	%95	%1,77E-8



Şekil 4.1. Zemin sınıflarına göre tepki spektrumları ve model periyotları

Yapı kat kesmeleri karşılaştırıldığında kat kesmeler arasındaki farklılıkların periyotlar arasındaki farklılıklarla aynı oranda olduğu görülmüştür. Kat kesmeleri yapının simetrik ya da asimetrik oluşuyla bağlantılı değil yapının periyodu ve kütlesi ile bağlantılı olduğu tekrardan görülmüştür. Mesnetlenme farklılıklarında da yine yapı periyodundaki artış ile orantılı bir azalma görülmüştür (Şekil4.2). Yapıdaki asimetriklik kat kesme kuvvetlerini değiştirmezken kat içindeki elemanların iç kuvvetlerinde büyük değişikliklere yol açacağı ön görülmektedir. Bunun nedeni rijit tarafta bulunan noktalarda burulmanın hareketi kısıtlamasıdır.



Şekil 4.2. Çeşitli kat kesme kuvveti karşılaştırmaları

4.1. Yapı Simetrisinin Davranış Üzerindeki Etkilerinin Karşılaştırılması

Bu karşılaştırmada zemin sınıfı ve deprem doğrultuları sabit kabul edilmiştir ve model analiz sonuçları bu sabitlere göre gruplandırılmıştır. Karşılaştırmalar sırasında izolatördeki büyük yer değiştirmelerin karşılaştırmayı zorlaştırmaması için izolatörlü modellerde izolatör seviyesine göre rölatif yer değiştirmeler karşılaştırmaya dahil edilmiştir.

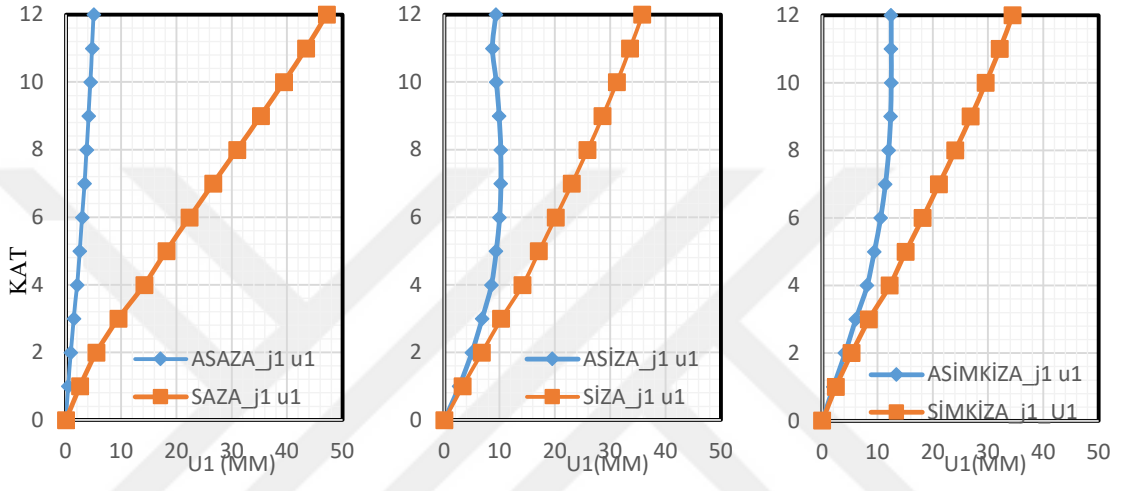
ZA zemin sınıfı, X doğrultusu deprem kuvvetlerinden kısaca ZA-X benzer şekilde Y doğrultusu için ise ZA-Y olarak bahsedilecektir. ZA-X için ankastre model yer değiştirmelerinde simetriden dolayı ortalama 8 kat artış görülebilmektedir. Her iki izolatör tipi için yapılan değerlendirmelerde ise benzer etkiler gözlemlenmektedir. Modeller asimetrik yapıda simetrik yapıya göre üst katlara doğru görelî kat ötelenmesinin artmasına neden olmaktadır. Y yönü için ise ankastre modelde RİTA da fark 12 kat iken ROTA da fark 2 kata kadar inmiştir. Taban izolasyonlu modellerde ise RİTA da fark 3 kat, ROTA'da fark 4 kattır. Örnek karşılaştırma grafikleri Şekil 4.3'de verilmiştir.

Simetrik ve asimetrik yapılarda ankastre modelde kesme kuvveti artış %40 oranındadır. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü modelde %30, sürtünme tip izolatörlü modelde ise 3 kata kadar bu oran ulaşmaktadır. Kesme kuvvetleri Y doğrultusu için irdelendiğinde RİTA bölgesinde %15, ROTA bölgesinde ortalama 2,5 kat artmıştır. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü modelde ise RİTA'da %10, ROTA'da ise ortalama 2,5 kat artmıştır. Örnek grafik Şekil 4.4'te verilmiştir.

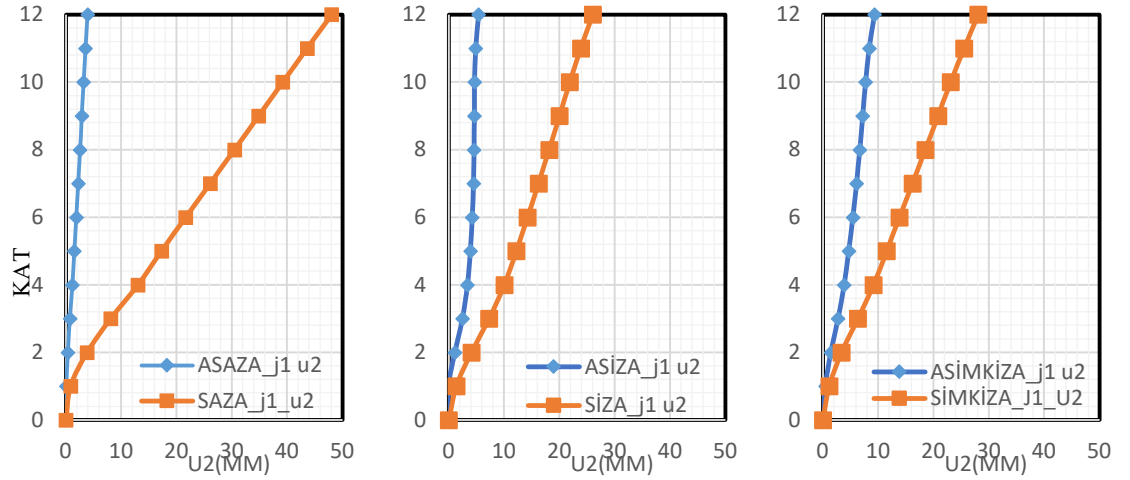
Sürtünme tip izolatörlü modelde ROTA bölgesindeki A-2 kolonunda en alt katta asimetrik modelin simetrik modelden daha düşük moment tepkilerine sahip olduğu görülmüştür. (Şekil 4.3) Ankastre modelde moment artış oranı ortalama %30 olarak gerçekleşirken, RİTA da oran %10 olarak gerçekleşmektedir. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü modelde moment artış oranı ROTA da zemin katta %94 azalmış, en üst katta ise fark %5 olarak gerçekleşmektedir. RİTA'da ise ortalama fark %30 oranındadır. Sürtünme tip izolatörlü modelde RİTA da 2 kat, ROTA'da ise 3 kat artış görülmüştür. Moment değerleri için örnekler Şekil. 4.5'te verilmiştir.

ZA zemin sınıfı, X doğrultusunda hem ankastre hem de taban izolasyonlu modelde simetrik yapılarda görelî kat ötelenmeleri asimetrik yapıya göre daha büyük görelî kat ötelenmeleri yapmıştır (Şekil 4.6). Ancak özellikle taban izolasyonlu modellerde görelî

kat ötelenmelerinin katlar arasında çok ufak değerlerde değiştiği gözlenmektedir. Bu simetrik modellerin çok daha küçük burulma değerlerine maruz kaldığını göstermektedir. Y doğrultusunda ROTA'da simetrik model 3 kat daha küçük görel kat ötelenmeleri yaptığı gözlemlenmiştir. RİTA'da ise burulmanın etkisi ile simetrik modeller ortalama 4 kat daha büyük görel kat ötelenmesi yapmıştır. Burada burulma etkisi ile asimetrik modelde RİTA'da bulunan noktaların hareketinin kısıtlandığı ve daha büyük iç kuvvetler oluşturacakları sonucuna ulaşılmıştır.

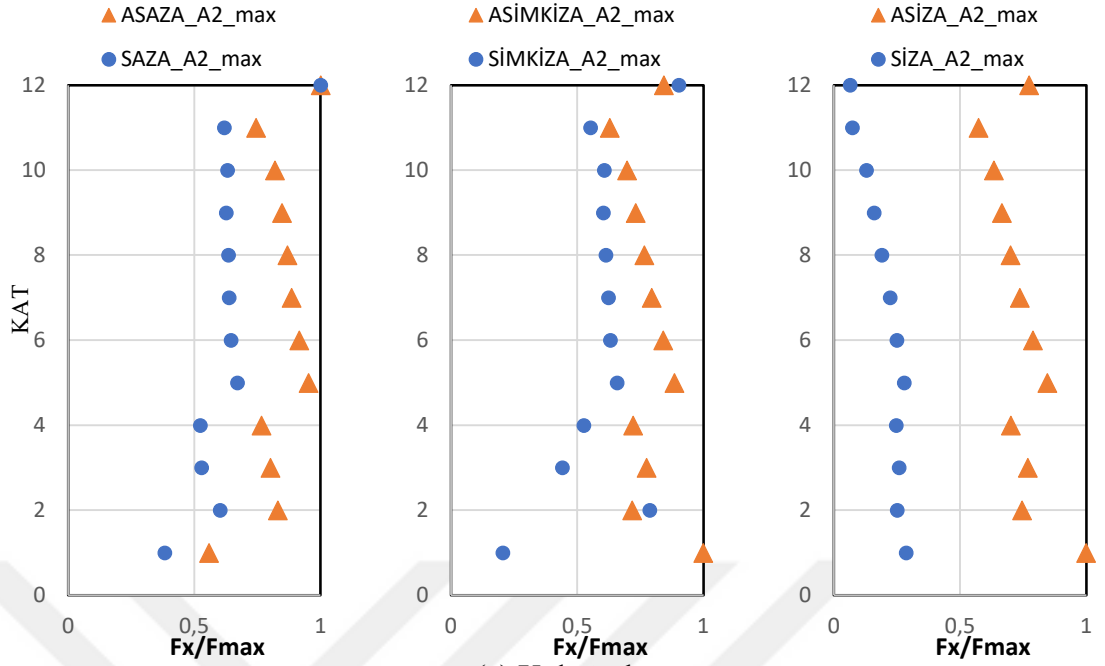


(a) X doğrultusu

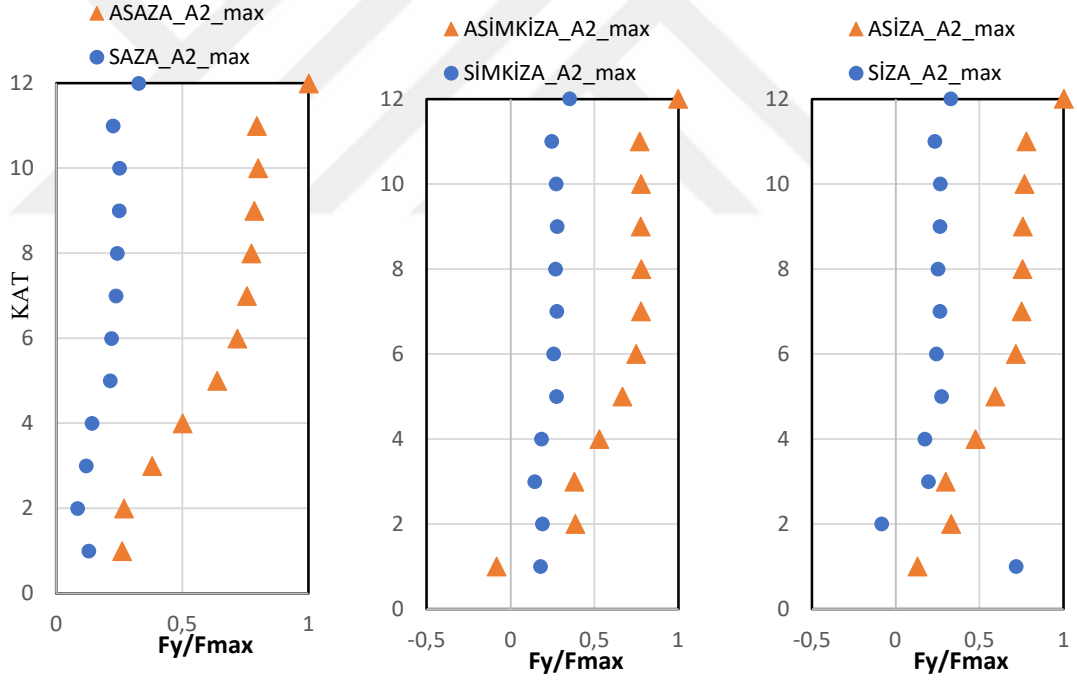


(b) Y doğrultusu

Şekil 4.3. ZA zemin sınıfına göre X ve Y doğrultusu deprem kuvvetleri altında yer değiştirme değerleri

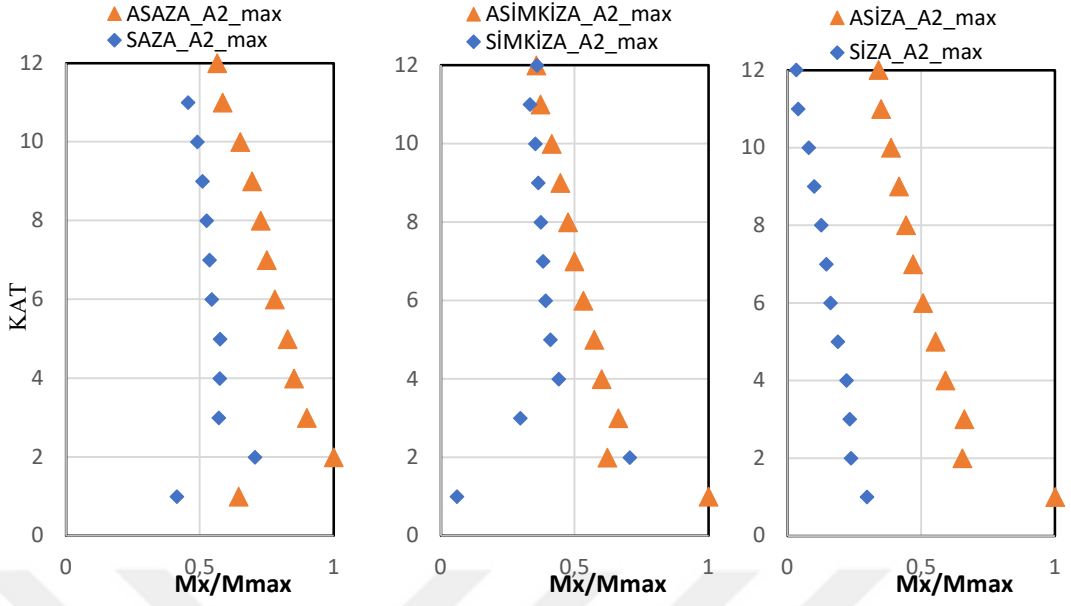


(a) X doğrultusu

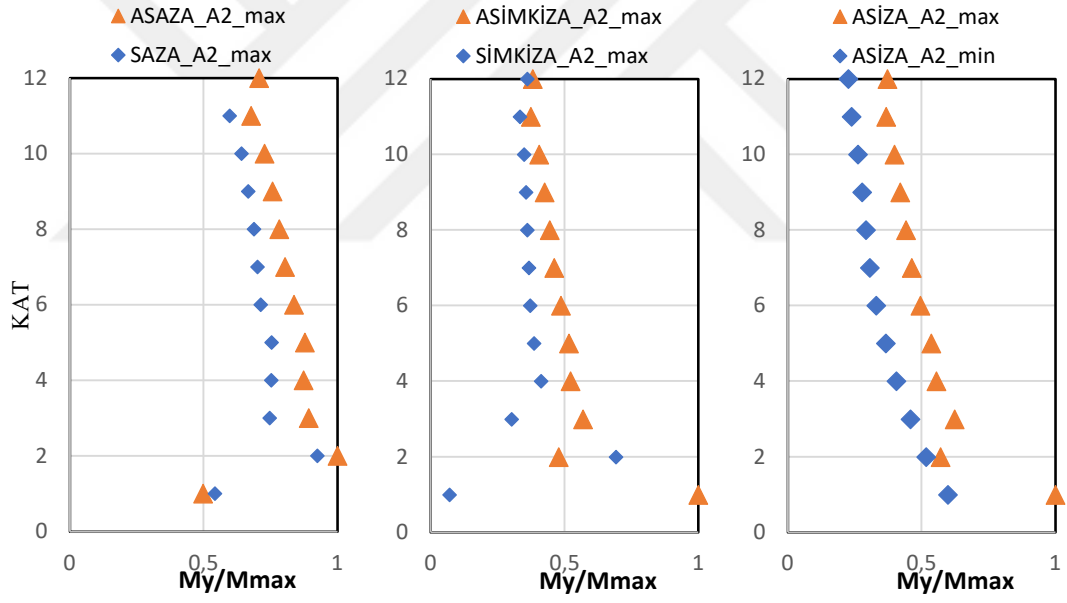


(b) Y doğrultusu

Şekil 4.4. ZA zemin sınıfına göre X ve Y doğrultusu için normalize edilmiş kesme kuvvetleri değerleri

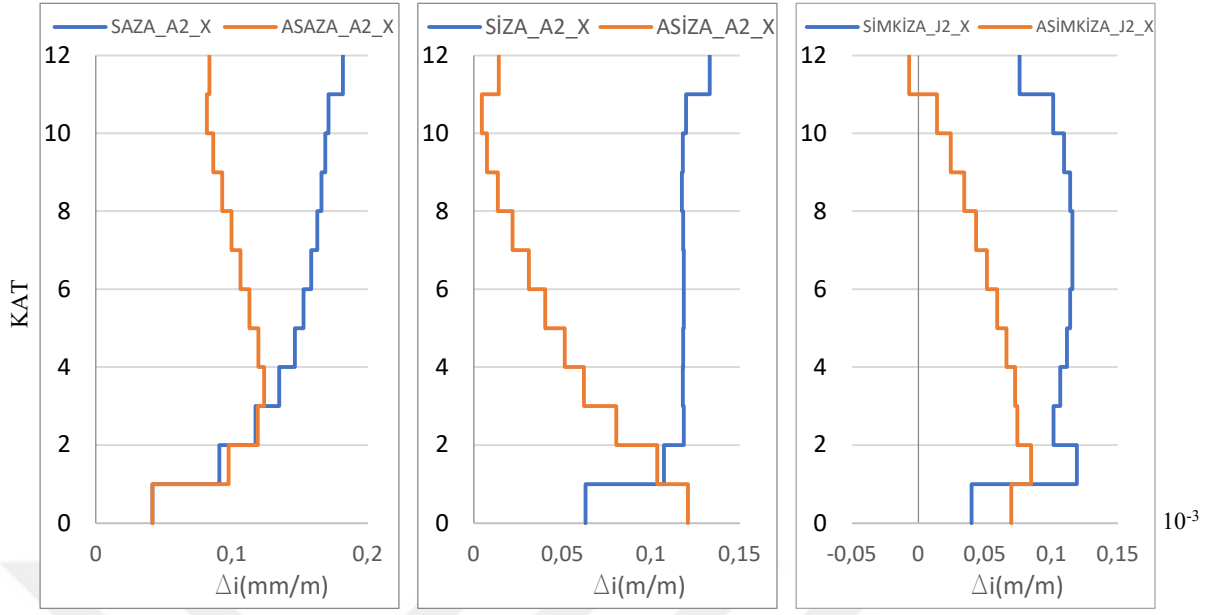


(a) X doğrultusu

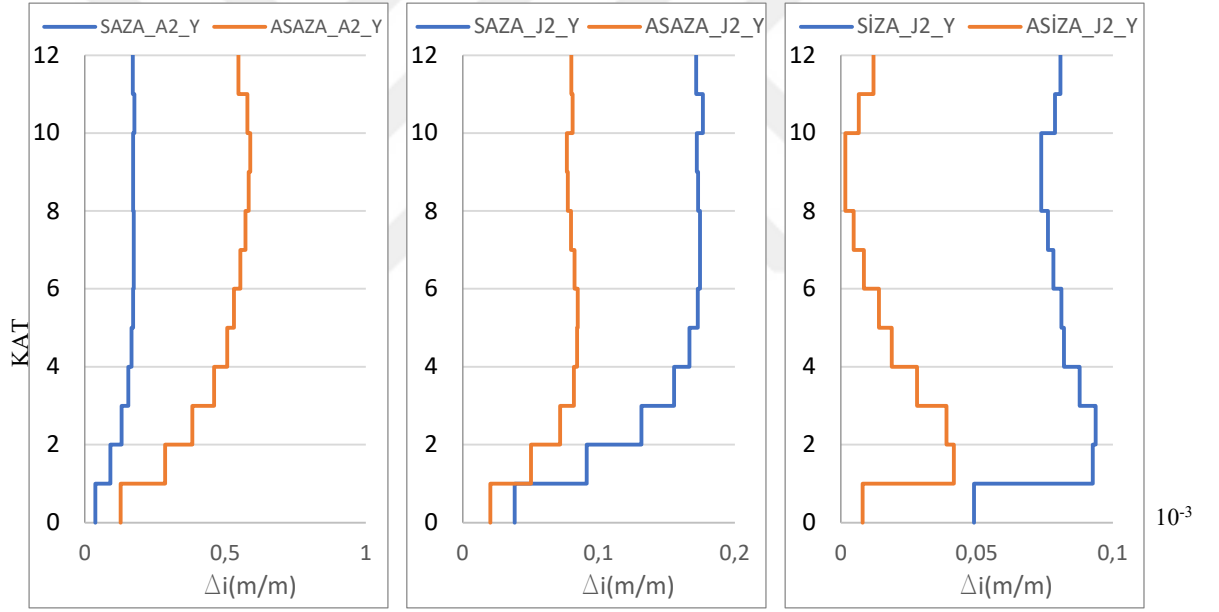


(b) Y doğrultusu

Şekil 4.5. ZA zemin sınıfına göre X ve Y doğrultusu moment tepkileri



(a) X doğrultusu



(b) Y doğrultusu

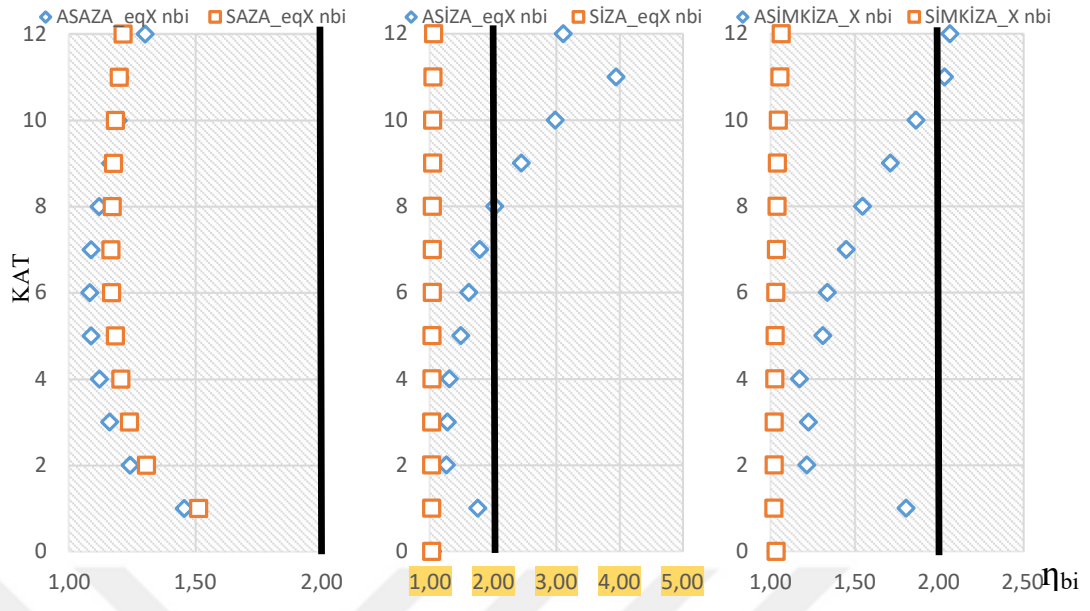
Şekil 4.6. ZA zemin sınıfına göre X ve Y doğrultusu görel kat ötelenmeleri

Y doğrultusu için ankastre modellerde momentlerin değişimi ortalama %25 oranında olmuştur. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü modelde zemin katlarda %80 en üst katta ise %5'lik bir artış olmuştur. Sürtünme tip izolatörlü modelde zemin katlarda %60 en üst katta ise %20'lik artış görülmüştür (Şekil 4.4).

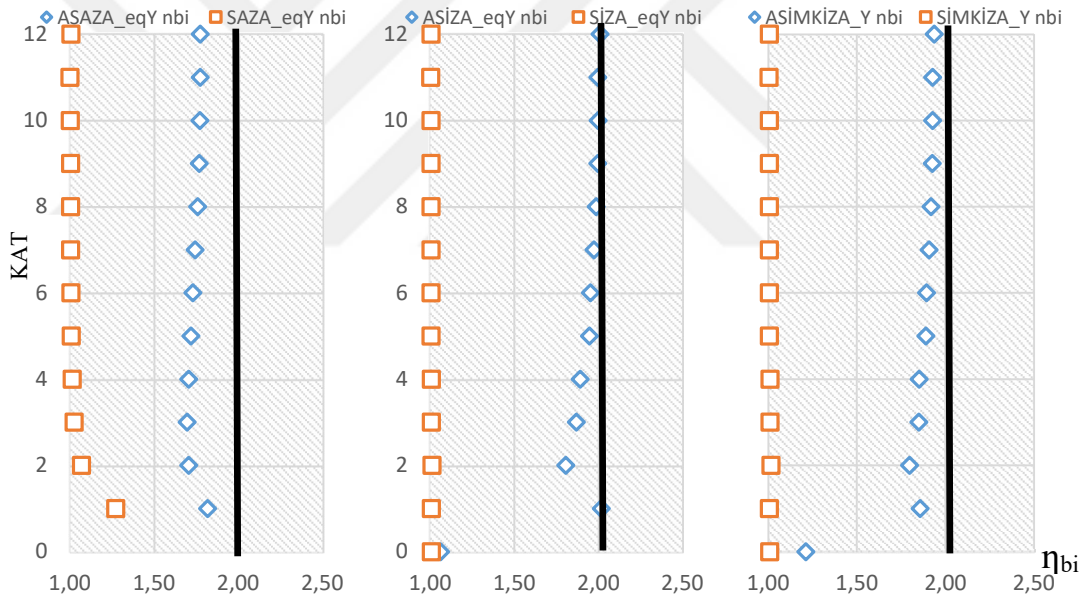
Burulma düzensizlik katsayısı taban izolasyonlu modellerin her ikisinde de simetrik modelde asimetriğe göre daha düşük sonuçlar vermiştir. Ankastre model ZA zemin sınıfında asimetrik ve simetrik yapılarda X doğrultuşumda herhangi bir dış merkezliliğin olmaması nedeniyle benzer sonuçlar verirken Y için dış merkezliğin varlığı nedeniyle birbirinden farklı sonuçlar üretmektedir. Diğer taraftan taban izolasyonlu her iki modelde de X doğrultusunda burulma düzensizliğinin etkileri ankastre modelden farklı olarak gözlemlenmektedir. Bu durum söz konusu sistemlerde yer değiştirmelerin önemli miktarda azalmalarına bağlı olarak katlar arası farklılıklarda oranın aynı oranda azalması ile ilişkilendirilebilir. Y yönündeki deprem kuvvetleri etkisindeki tepki incelendiğinde, simetrik modellerin 1 değerine çok yakınsadığı görülürken, asimetrik durumda ise her üç modelde burulma düzensizliği sınır değerleri üzerinde sonuçlar birbirlerine oldukça yakın gerçekleşmektedir. Burulma düzensizliği katsayıları karşılaştırma grafikleri Şekil 4.7’te verilmiştir.

ZE-X için yer değiştirmeler incelendiğinde asimetrik ankastre modelde RİTA bölgesinde 2 kat, ROTA bölgesinde %60 oranında artış oranı görülmüştür. Bu durum ZA-X ile karşılaştırıldığında oranların birbirinden oldukça farklı oldukları görülmektedir. Her iki taban izolasyonlu modelde de kolonlarda sadece orta katlarda ortalama %20’lik bir artış gözlemlenmektedir. Perdelerde ise artış oranı ortalama %25’tir. ZE-Y’de ankastre model için simetrik modeller ile asimetrik modeller arasındaki yer değiştirme oranı ortalama olarak %70 dolaylarında gerçekleşmektedir. Sürtünme tipi modelde ROTA’da artış oranı %60 iken RİTA’da 7 kat olmuştur. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü modelde ise ROTA’da artış oranı 2,5 kat, RİTA’da artış oranı %50’dir. Örnek yer değiştirme karşılaştırma grafikleri Şekil 4.8’te verilmiştir.

Görelî kat ötelenmeleri ZE zemin sınıfı, X doğrultusunda karşılaştırıldığında özellikle üst katlara doğru simetrik ve asimetrik modeller arasındaki farkın azaldığı, taban izolasyonlu modellerde ise asimetrik durumun daha küçük görelî kat ötelenmeleri yaptığı görülmüştür. Taban izolasyonlu modellerin ankastre modele göre ortalama %50 daha az görelî kat ötelenmeleri yaptığı görülmektedir. (Şekil.4.5) Y doğrultusunda asimetrik ankastre modelin ROTA orta katlarında çok büyük görelî kat ötelenmesi değişimleri gösterdiği gözlemlenmiştir. Ancak ZA zemin sınıfında gözlemlenen ROTA’da simetrik modelin daha büyük görelî kat ötelenmeleri yapması durumu ZE zemin sınıfında oluşmamıştır. Bunun nedeni spektrumlar ve ilk mod katılım oranları arasındaki ilişkidir.

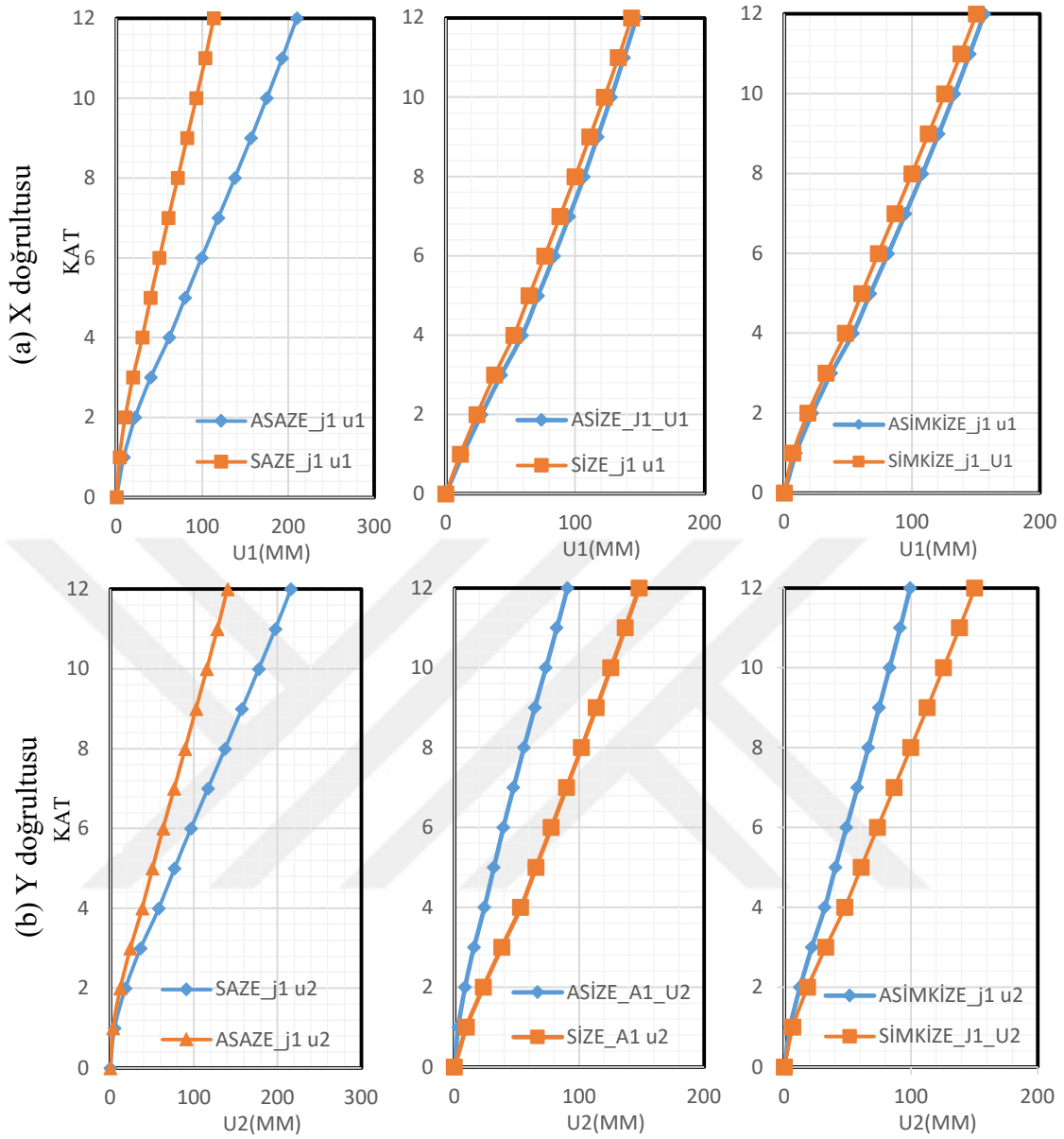


(a) X doğrultusu



(b) Y doğrultusu

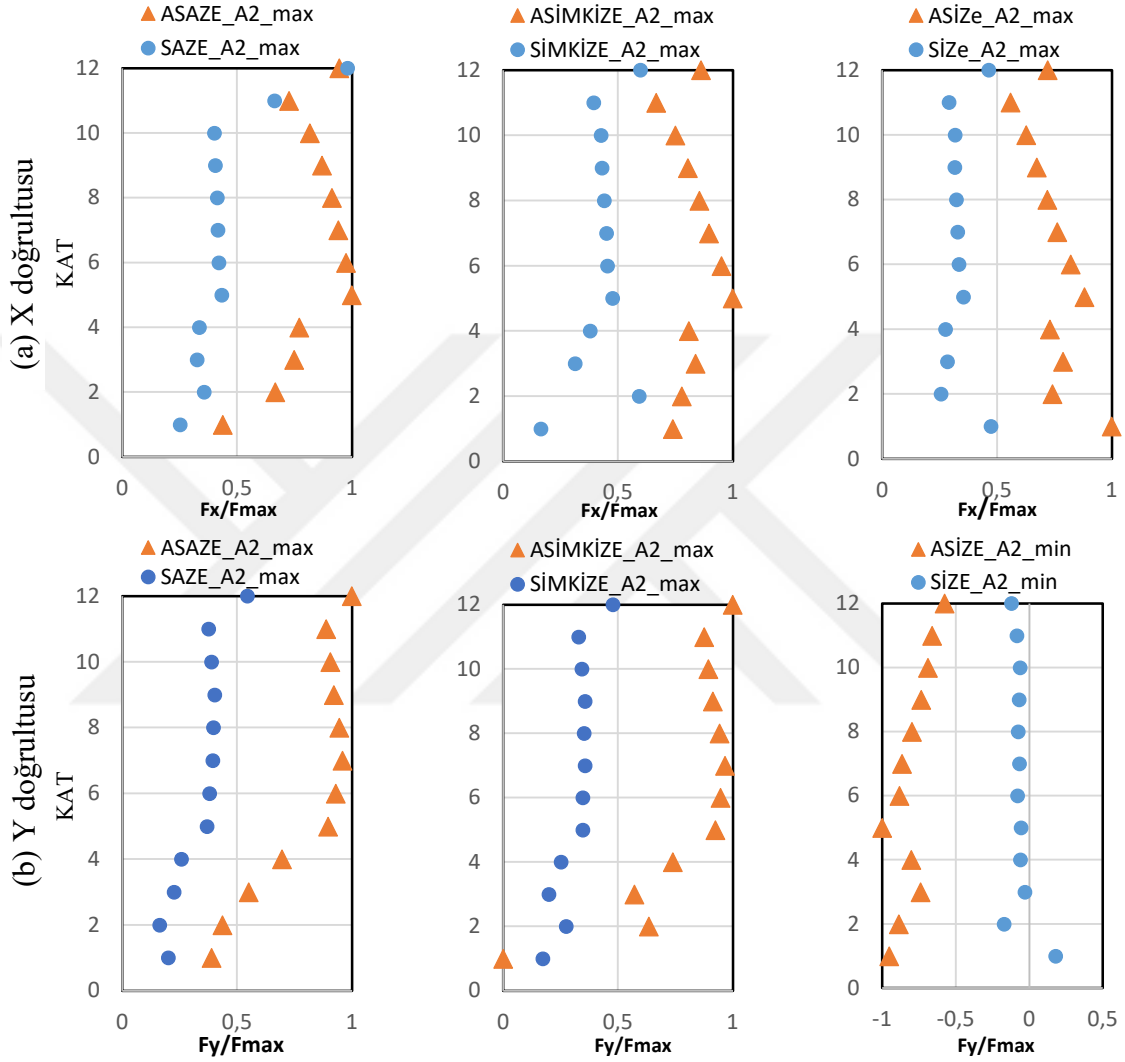
Şekil 4.7. ZA zemin sınıfına göre X ve Y doğrultusu için burulma düzensizliği kat sayıları



Şekil 4.8. ZE zemin sınıfı, X ve Y doğrultusu deprem kuvvetleri altında yer değiştirme değerleri

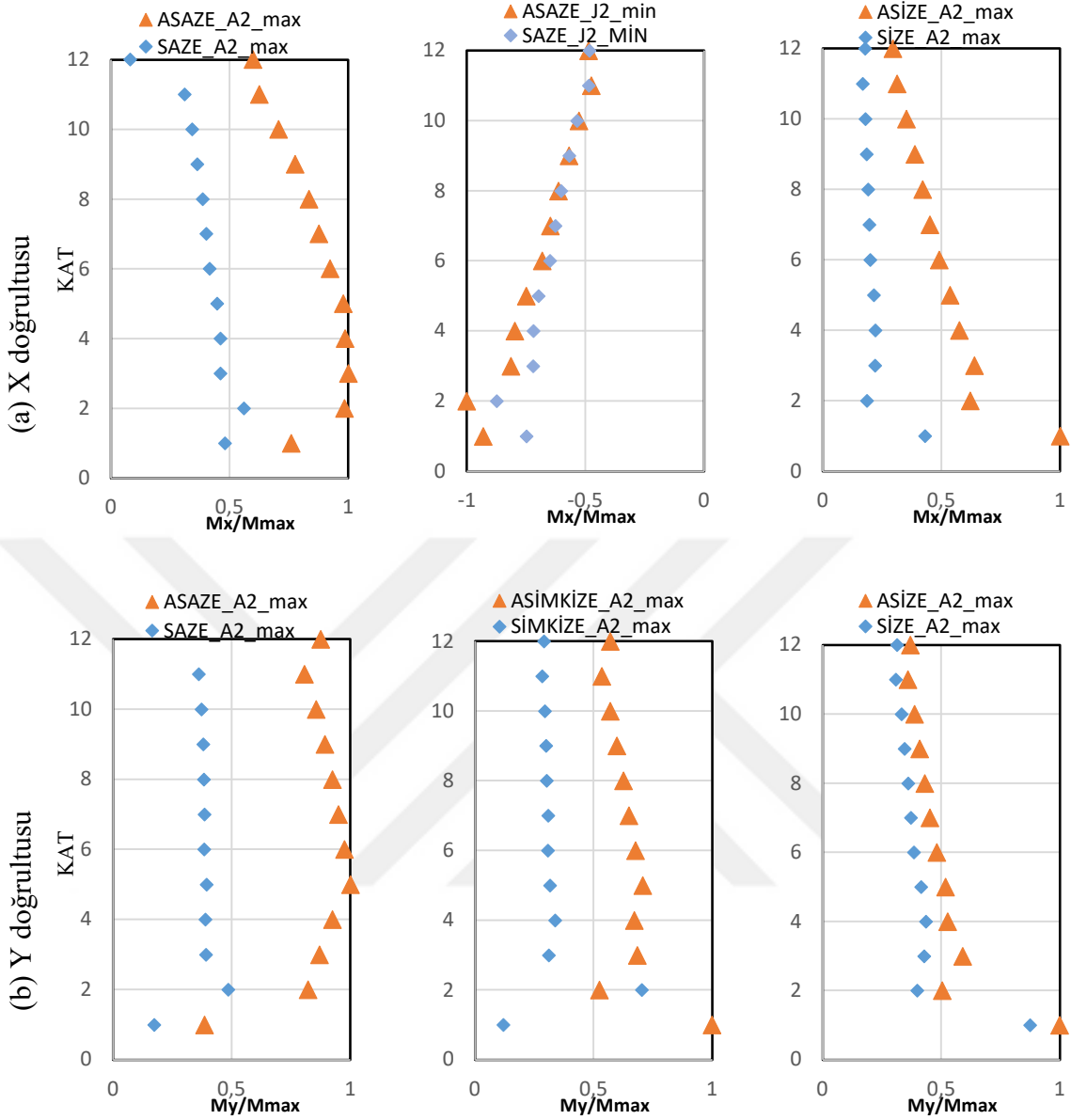
ZE-X çözümlemesi için kesme kuvvetleri ankastre modelde ROTA da orta katlarda 2 kat artış, RİTA'da ise artış oranı ortalama %15 düzeyinde kalmaktadır. Her iki izolatör tipli modelde de artış oranları ankastre model ile aynı olmuştur. Sürtünme tip sarkaç izolatörlü modelde ROTA'da artış oranı %60 iken RİTA'da 7 kat olmuştur. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü modelde ise ROTA'da artış oranı 2,5 kat, RİTA'da artış oranı %50dir.(Şekil 4.9)

Kesme kuvvetleri Y yönü deprem kuvvetleri altında ankastre modellerde ROTA'da 2kat artış RİTA da %20'lik artış olmuştur. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü modelde de ankastre model ile aynı sonuçlara ulaşılmıştır. Örnek karşılaştırma grafikleri Şekil. 4.9'de verilmiştir.



Şekil 4.9. ZE zemin sınıfı X ve Y doğrultusu için kesme kuvveti karşılaştırmaları

Moment karşılaştırmasında her üç durumda da ROTA'da ortalama 2 kat arttığı söylenebilir. RİTA'da ise artış oranı ortalama %10 mertebesindedir. Moment değerleri Y yönü deprem kuvvetleri altında her üç tip model içinde RİTA da ortalama %15'lik bir değişim göstermiştir. ROTA'da ise oran ortalama 2 kattır. Sadece sürtünme tip izolatörlü modelin ROTA'da %20 oranında gerçekleştiği görülmektedir. Örnek karşılaştırma grafikleri Şekil.4.10'da verilmiştir.

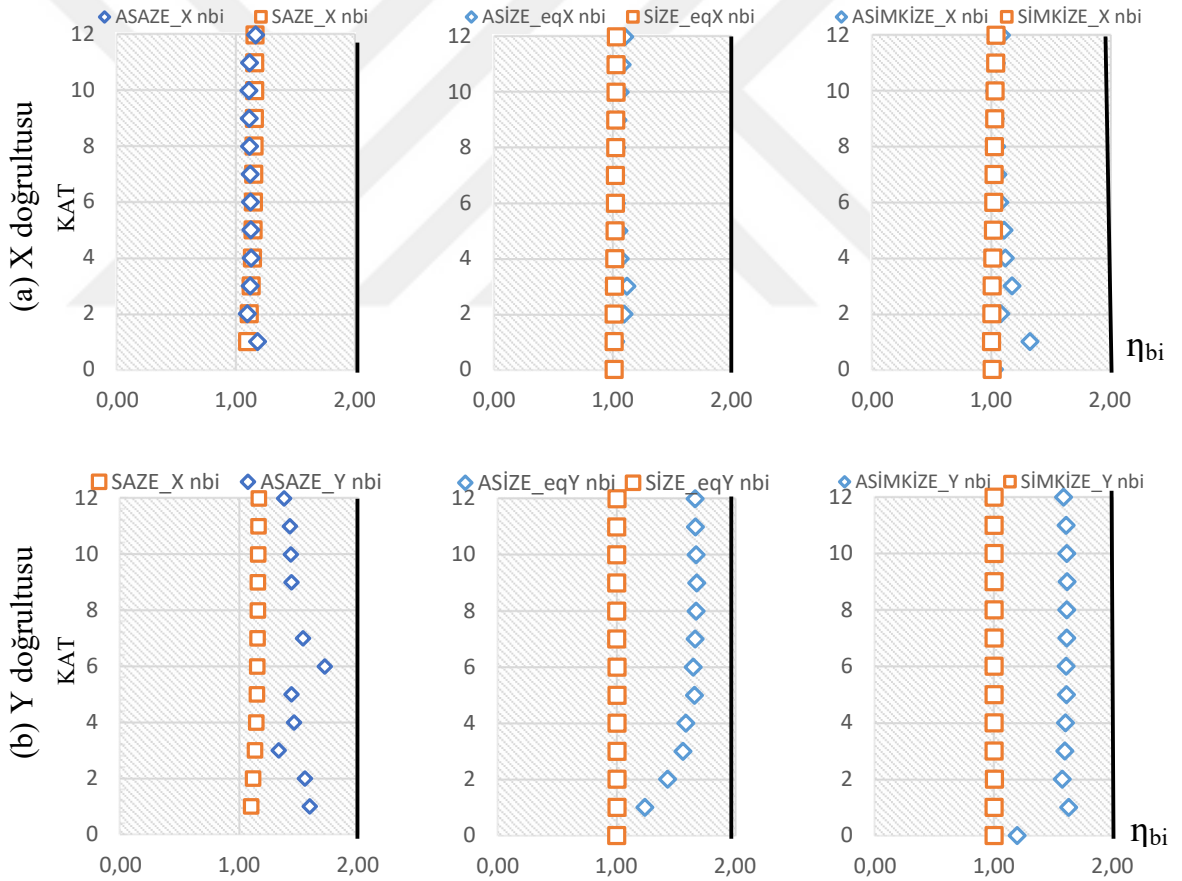


Şekil 4.10. ZE zemin sınıfı, X ve Y doğrultusu deprem kuvvetleri altında moment değerleri

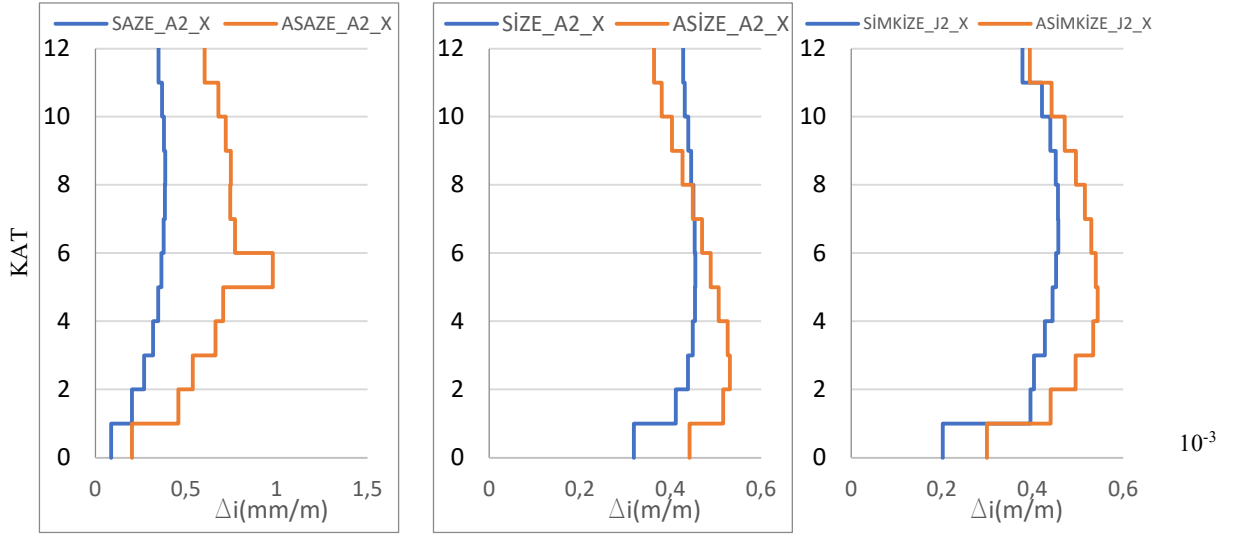
Burulma düzensizliği bulunan tek model kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü modeldir. Simetrik ve izolatörlü modeller düşük burulma katsayılarına sahiptir. Asimetrik ve izolatörlü modellerde ise oranlar unlineerdir. ZE-Y’de simetrik yapı burulma düzensizliği katsayısında her iki izolatörlü model de burulmaya hiç maruz kalmamıştır. Asimetrik ve izolatörlü modeller ise ilk katları dışında bütün katlarda burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} sınır değerini geçmiştir. Ankastre yapı ise hem simetrik hem de asimetrik modelde

bütün katlarda burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} sınırı olan 1,2'nin üzerinde kalmıştır. Karşılaştırma grafikleri Şekil 4.11'de verilmiştir.

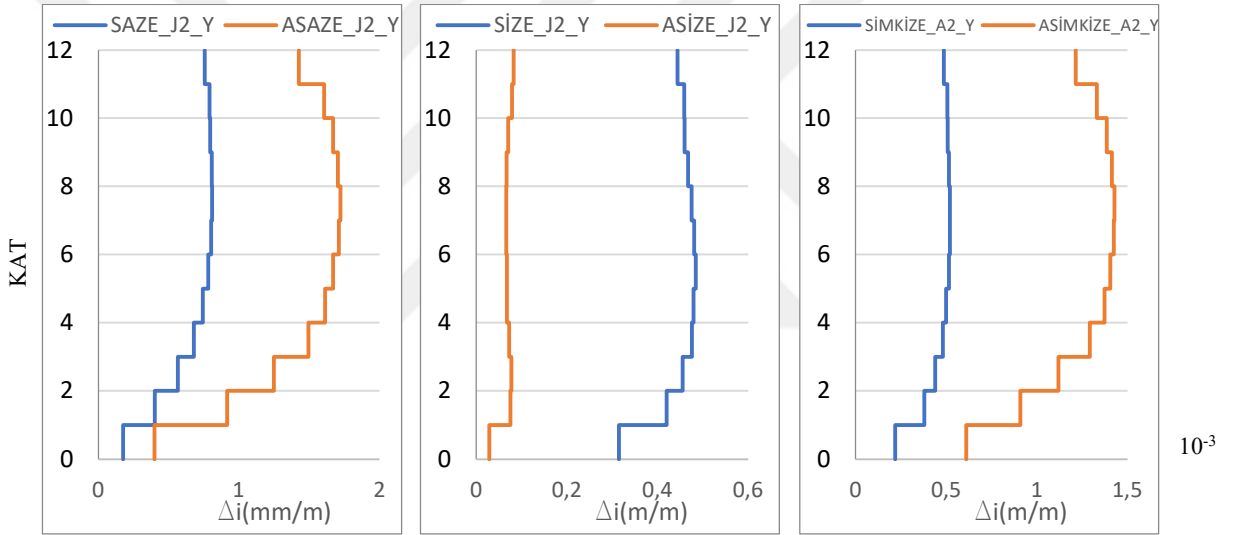
Görelî kat ötelenmeleri ZE zemin sınıfı, X doğrultusunda karşılaştırıldığında özellikle üst katlara doğru simetrik ve asimetrik modeller arasındaki farkın azaldığı, taban izolasyonlu modellerde ise asimetrik durumun daha küçük görelî kat ötelenmeleri yaptığı görülmüştür. Taban izolasyonlu modellerin ankastre modele göre ortalama %50 daha az görelî kat ötelenmeleri yaptığı görülmektedir. (Şekil.4.12) Y doğrultusunda asimetrik ankastre modelin ROTA orta katlarında çok büyük görelî kat ötelenmesi değişimleri gösterdiği gözlemlenmiştir. Ancak ZA zemin sınıfında gözlemlenen ROTA'da simetrik modelin daha büyük görelî kat ötelenmeleri yapması durumu ZE zemin sınıfında oluşmamıştır. Bunun nedeni spektrumlar ve ilk mod katılım oranları arasındaki ilişkidir.



Şekil 4.11. ZE zemin sınıfı, X doğrultusu deprem kuvvetleri altında burulma düzensizliği katsayısı η_{bi}



(a) X doğrultusu



(b) Y doğrultusu

Şekil 4.12. ZE zemin sınıfı, X doğrultusu deprem kuvvetleri altında görelî kat ötelenme değerleri

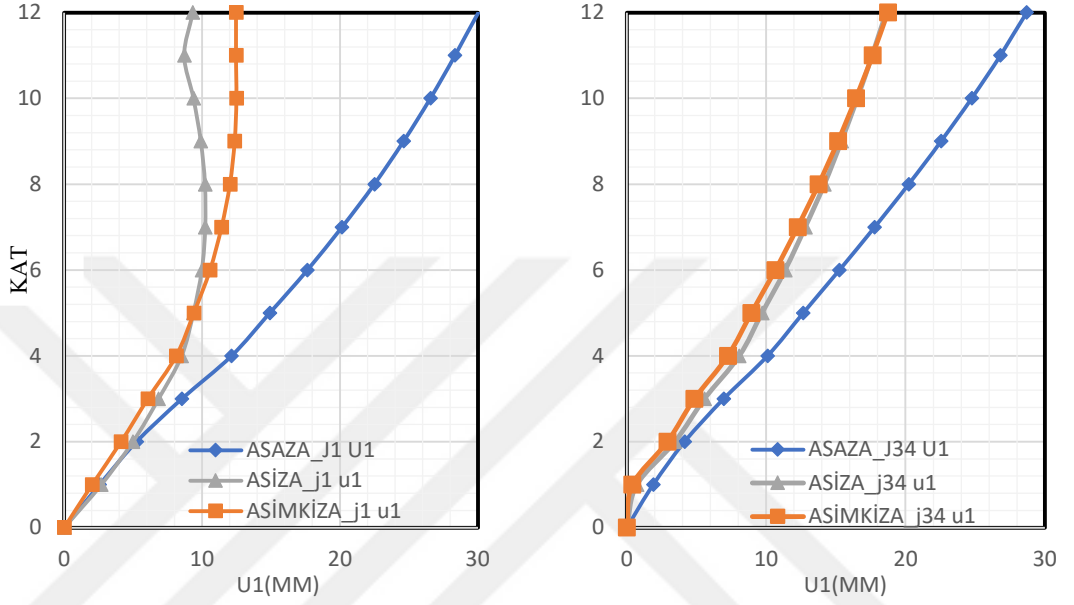
4.2. Taban İzolasyonlu Sistemler ile Ankastré Durumun Karşılaştırılması

Bu çalışmada dikkate alınan 2 farklı taban izolasyon sistemi ile ankastré model arasındaki karşılaştırmalar bu başlık altında sunulmaktadır.

4.2.1. Asimetrik modellerde taban izolasyon sistemi tipinin etkisi

Asimetrik ve ZA zemin sınıfında analiz edilen modeller X yönündeki deprem etkileri altında yer değıştirmeler açısından karşılaştırıldığında RİTA'da izolatörlü modellerin

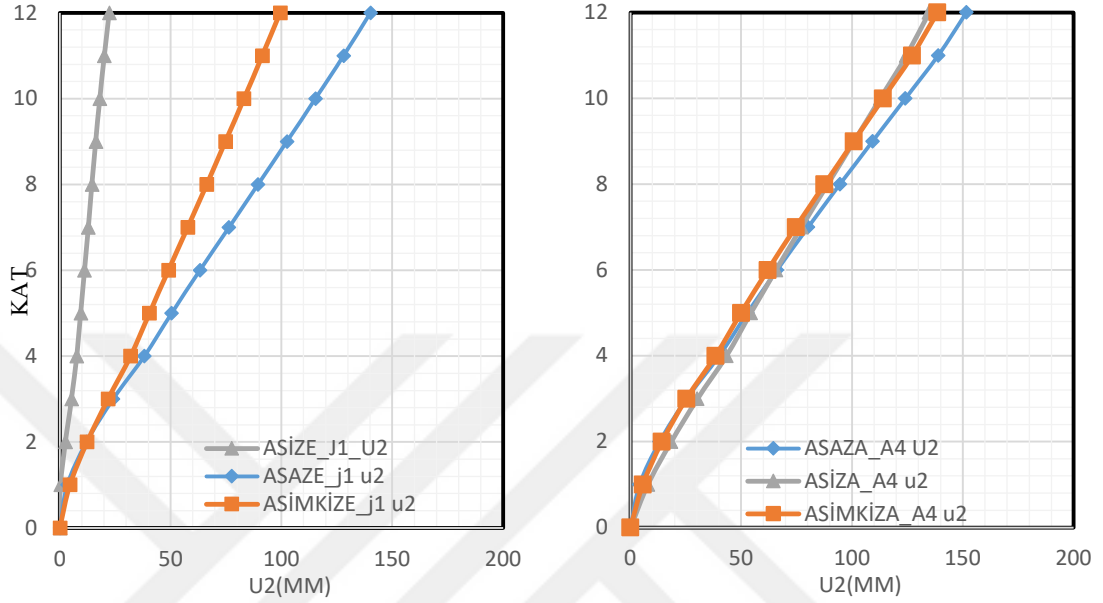
aynı sonuçları verdiği, ankastre modelin ise ortalama 2 kat daha büyük tepkiler ürettiği söylenebilir (Şekil 4.13). ROTA'da ise izolatörlü iki modelde de ilk katlarda ankastre modele göre daha büyük yer değiştirme değerleri hesaplanırken üst katlara doğru negatif görelî kat ötelenmesi yaparak en üst katta ankastre modele göre daha düşük yer değiştirmeler hesaplanmaktadır.



Şekil 4.13. RİTA için yer değiştirme değişimleri

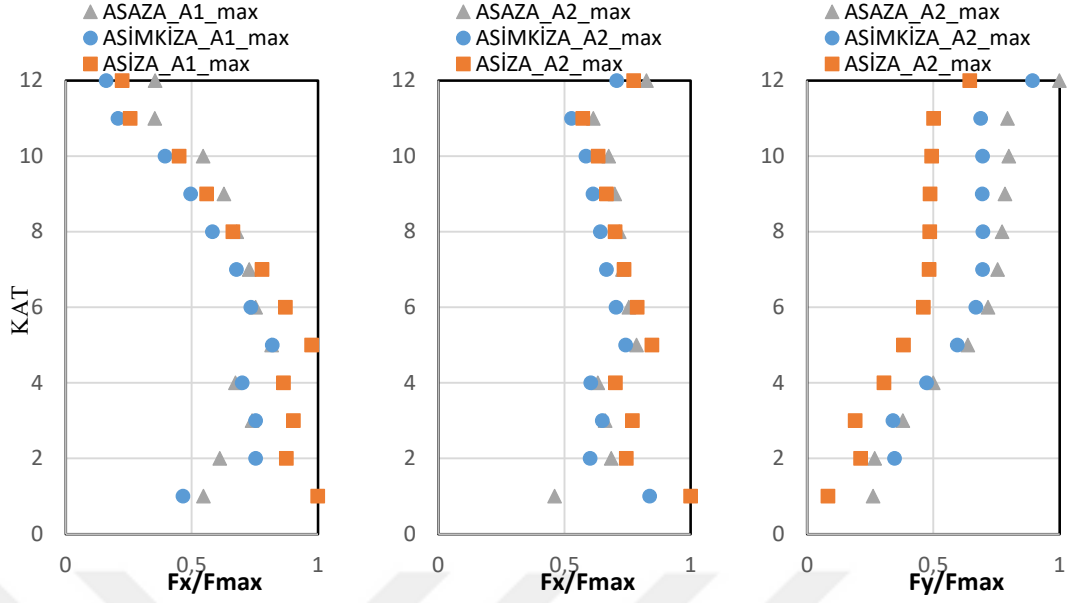
Y yönündeki deprem etkileri altında ROTA'da yer değiştirme farkları %10 oranında olmuştur. RİTA'da ise ankastre sistem izolatörlü sistemlere göre en üst katta ortalama 3 kat daha fazla yer değiştirme yaptığı görülmektedir (Şekil4.14). İzolatörlü sistemler kendi içinde karşılaştırıldığında ise sürtünme tip izolatörün diğer izolatör sistemine göre ortalama %10 daha az yer değiştirme yaptığı, bu sistemler için söylenebilir. ZE zemin sınıfı X doğrultusu deprem kuvvetleri altındaki yer değiştirmeler karşılaştırıldığında ankastre model beklendiği gibi en büyük yer değiştirmeleri yapan modeldir. İzolatörlü modeller arasındaki yer değiştirme farkları %1 düzeyindedir. Ankastre model ile izolatörlü modeller arasındaki fark ise %15 oranındadır. Y yönündeki deprem etkileri altında Sürtünme tip izolatörlü model kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü modele göre RİTA'da %80 daha az yer değiştirmeler yapmıştır. Ankastre modele göre ise %85 daha düşük yer değiştirme değerleri elde edilmiştir. Diğer taraftan ankastre model, kurşun

çekirdekli kauçuk izolatörlü model ile karşılaştırıldığında %40 daha büyük yer değiştirme değerleri elde edilmektedir. ROTA’da en büyük yer değiştirmeleri kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü modelde elde edilirken, ankastre modelden ortalama %20, sürtünmeli tip izolatörlü modelden 4kat daha büyük yer değiştirmeler yapmıştır.

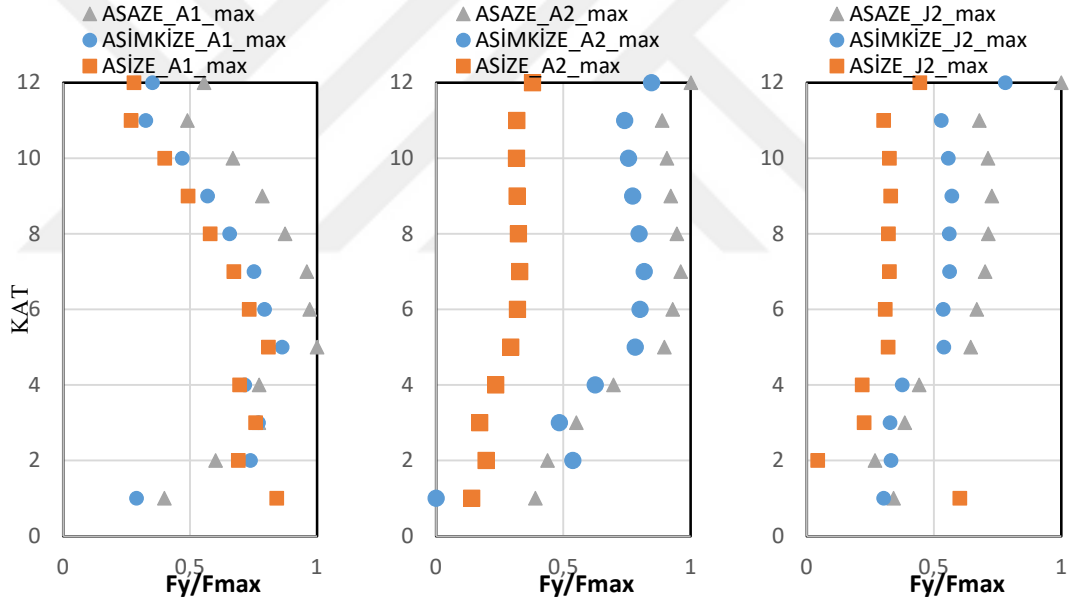


Şekil 4.14. Y doğrultusu için ROTA ve RİTA için karşılaştırmalar

Kesme kuvvetleri incelendiğinde ZA zemin sınıfı X yönündeki deprem kuvvetleri altında ilk katta ankastre sistemin daha küçük tepkiler aldığı gözlemlenirken üst katlarda ise izolatörlü sistemlerin kesmelerinin azaldığı görülmektedir. Diğer taraftan kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü sistem, sürtünme tip izolatörlü sisteme göre %10 daha düşük değerler vermiştir. Y yönündeki deprem etkileri altında ise en düşük değerleri sürtünme tip izolatörlü sistemde elde edilmektedir. Ankastre sistem ile arasındaki fark oranı %45'tir. ZE zemin sınıfı X yönündeki deprem kuvvetleri altında izolatörlü modeller arasında %5'lik bir fark olmuştur. Ankastre modelde izolatörlü sistemlere göre ortalama %20 oranında artış görülmüştür. Y yönündeki deprem kuvvetleri altında en yüksek kesme kuvveti değerleri her durumda ankastre modelde gerçekleşmiştir. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü modelde ankastre modele göre %15, sürtünme tip izolatörlü modelde %50 daha az kesme kuvveti tepkileri elde edilmektedir. Kesme kuvvetleri örnek grafikleri Şekil 4.15'te verilmiştir.



(a) ZA zemin sınıfı

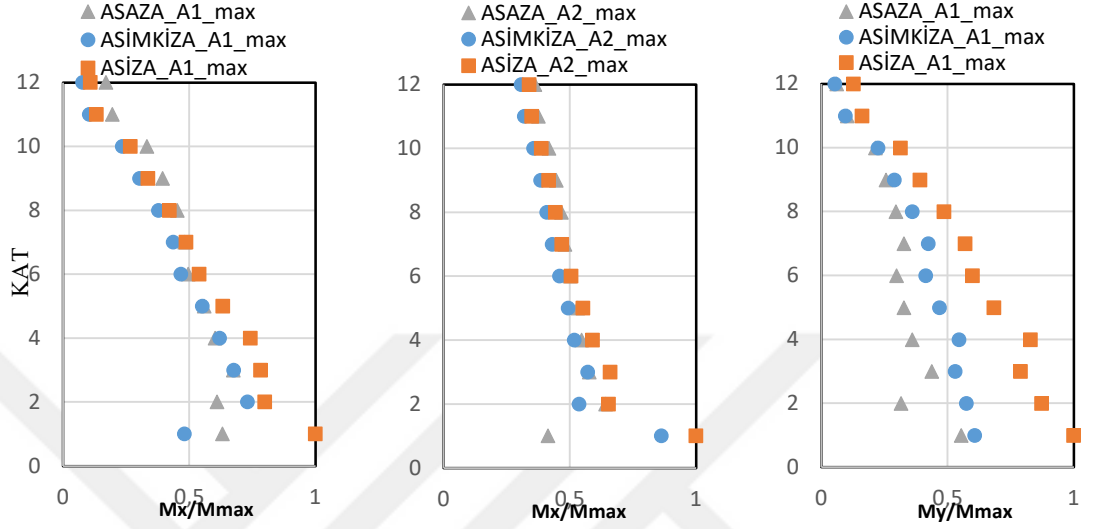


(b) ZE zemin sınıfı

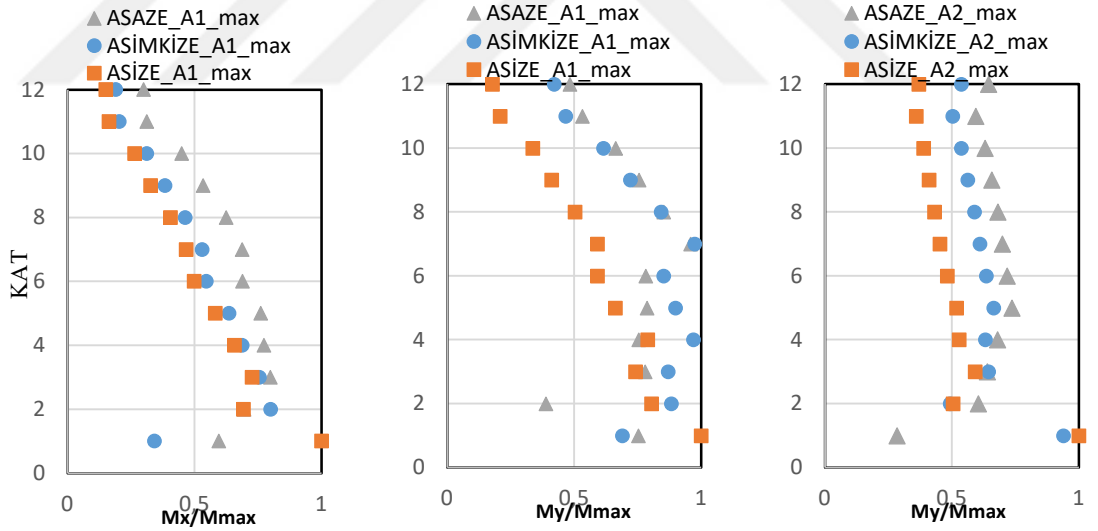
Şekil 4.15. Asimetrik modellerin farklı zemin sınıflarındaki kesme kuvveti değerleri

Moment değerlerinin de ZA zemin sınıfı X yönünde deprem etkileri altında ilk katlarda en büyük moment tepkileri izolatörlü sistemlerde elde edilmektedir. En üst katlarda sistemler arasındaki moment farkları %10'dan daha düşük gerçekleşmektedir. ZE zemin sınıfı X yönündeki deprem kuvvetleri altında ilk katlarda ankastre modelde en küçük değeri üretmektedir. Üst katlarda ise ankastre modelde izolatörlü modellere göre %35 daha büyük moment değerleri elde edilmektedir. Y yönündeki deprem kuvvetleri altında

en düşük değerleri sürtünme tip izolatorl model vermektedir. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatorl model %25, ankastre modelde %40 daha büyük moment değerleri elde edilmektedir. rnek moment değerleri karşılaştırma grafikleri Şekil 4.16'da verilmektedir.



(a) ZA zemin sınıfı

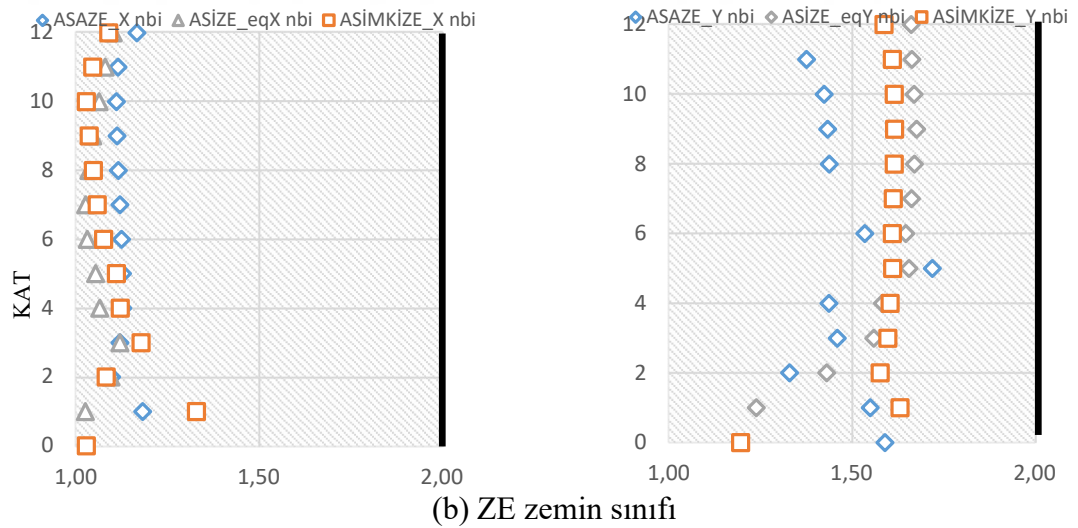
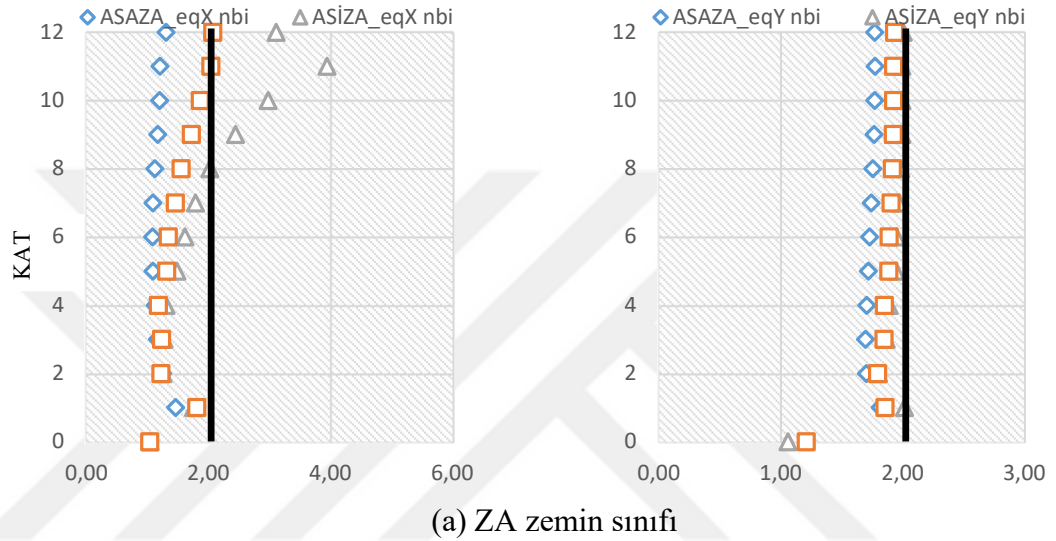


(b) ZE zemin sınıfı

Şekil 4.16. Asimetrik modellerin farklı zemin sınıflarına göre moment değerleri

Burulma düzensizliği katsayıları karşılaştırıldığında ZA zemin sınıfı X doğrultusundaki deprem kuvvetleri altında en iyi değerleri ankastre sistem üretirken, sürtünmeli sarkaç izolatorl modelde ise üst katlarda oldukça büyük değerlerin elde edildiği grlmektedir (Şekil 4.17). Y doğrultusundaki deprem kuvvetleri altında da ankastre sistemin değerleri

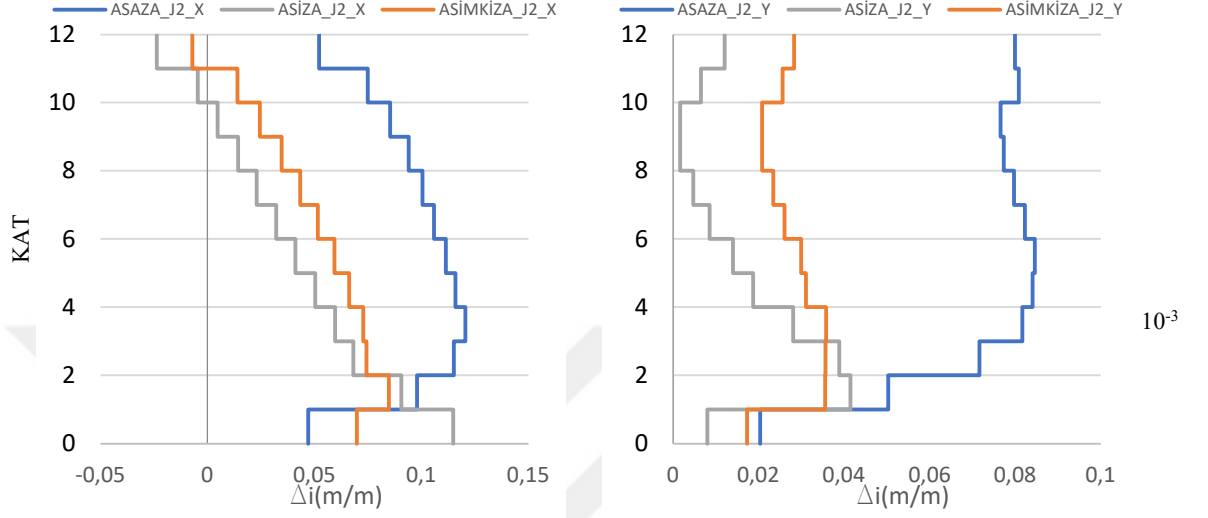
yine benzer şekilde daha düşük gerçekleşmektedir. İstisnasız tüm modeller oldukça büyük burulma düzensizliklerine maruz kalırken, en yüksek değerler sürtünmeli sarkaç izolatorlü modelde gözlemlenmekte ve kabul edilebilir sınırların ötesine geçilmektedir. ZE zemin sınıfı X yönündeki deprem kuvvetleri altında sadece ASİMİKİZE modelinin 1. Katı burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} sınır değeri 1,2'yi aşmıştır. Y yönündeki deprem kuvvetleri altında bütün modellerin bütün katları burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} sınır değerini aşmıştır.



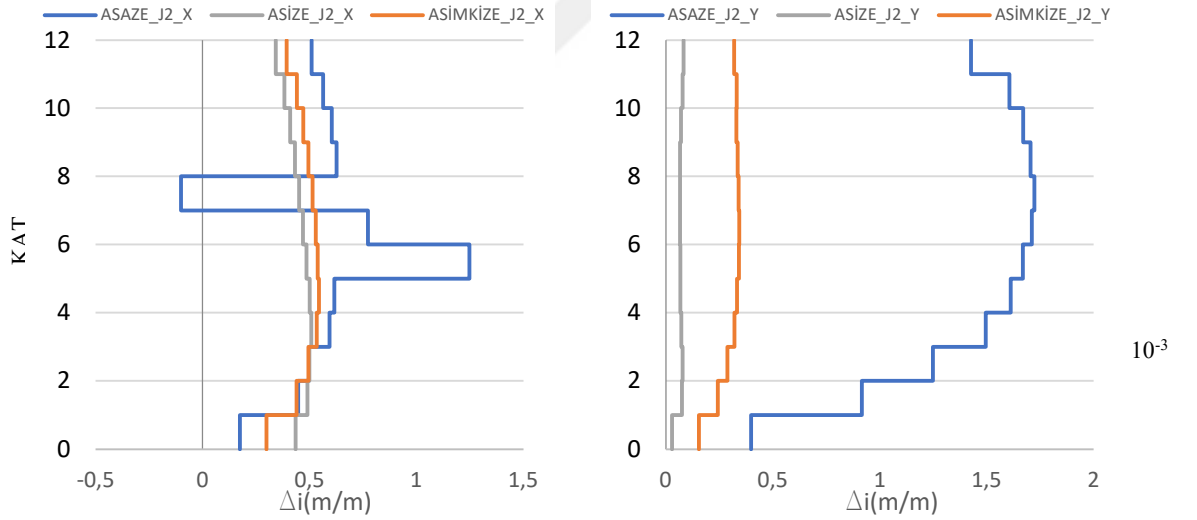
Şekil 4.17. Asimetrik modellerin farklı zemin sınıflarında burulma düzensizliği kat sayıları

Görelî kat ötelenmeleri asimetrik modellerde ZA zemin sınıfında karşılaştırıldığında hem X hem de Y doğrultusunda ilk katlarda ankastre model taban izolasyonlu modellere göre daha düşük değerler verse de ikinci katlardan sonra taban izolasyonlu modellere göre

daha büyük görelî kat ötelenmeleri yapmıştır. Aynı durumda ZE zemin sınıfında ise ankastre modelin değerlerinde ortalama 10 kat artış görölmektedir. Ancak ankastre ve taban izolasyonlu modeller arasındaki davranış farkı ZA zemin sınıfı ile aynıdır (Şekil4.18).



(a) ZA zemin sınıfı



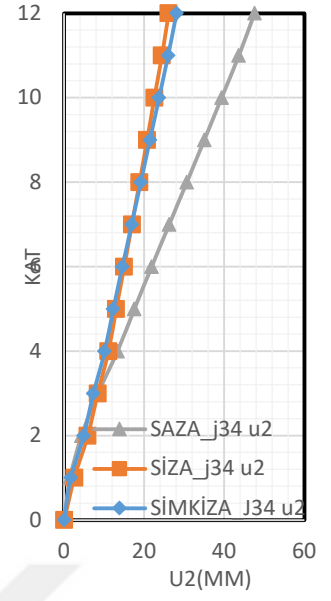
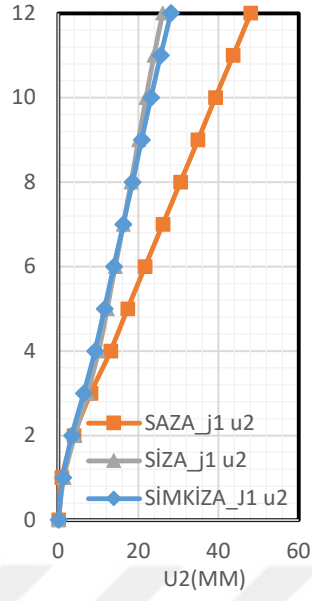
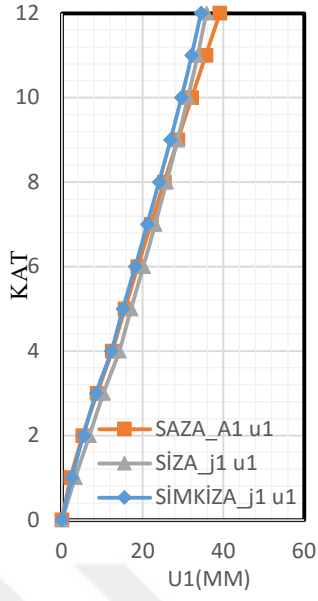
(b) ZE zemin sınıfı

Şekil 4.18. Asimetrik modellerin farklı zemin sınıflarında görelî kat ötelenmeleri

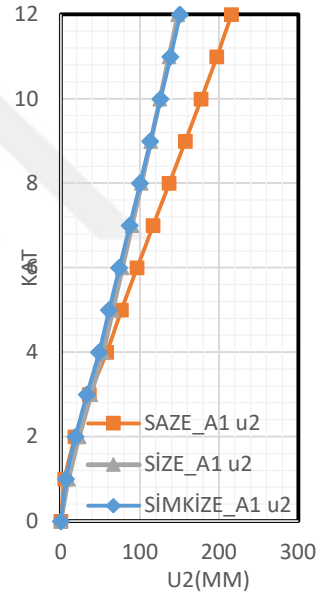
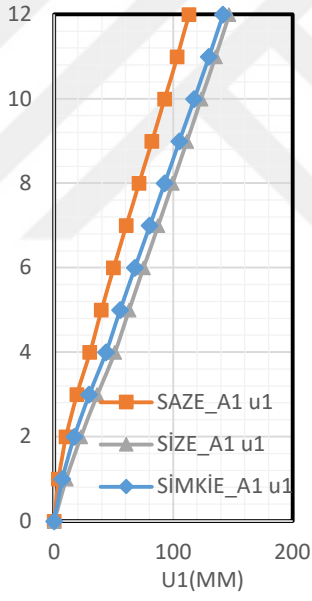
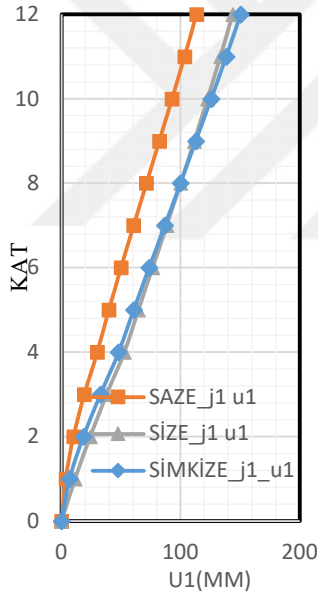
4.2.2. Simetrik modellerde mesnetlenmenin etkisi

ZA zemin sınıfı X doğrultusundaki deprem kuvvetleri altında bütün noktalarda en düşük değer veren sistem kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü sistemdir ve oransal olarak bakıldığında değerler arasında ortalama %10'luk bir fark hesaplanmaktadır. Y doğrultusundaki deprem kuvvetleri altında ise izolatörlü iki sistem aynı hareketi gösterirken ankastre sistem %80 daha büyük yer değiştirmelere maruz kalmaktadır. ZE zemin için ise yer değiştirme karşılaştırması yapıldığında X doğrultusundaki deprem kuvvetleri altında SAZE modeli her noktada izolatörlü diğer iki modelden daha az yer değiştirme yaptığı görölmektedir. SİZE modeli SİMKEZE modeline oranla %10 daha çok yer değiştirme yapmıştır. Y doğrultusundaki deprem kuvvetleri dikkate alındığında SİZE ve SİMKEZE modelleri arasındaki fark %1 ortalamasındadır. SAZE modeli ise en üst katta ortalama %35 daha büyük yer değiştirmeler yapmıştır. Yer değiştirmelerin karşılaştırma grafikleri Şekil 4.19'de verilmiştir.

Kesme kuvvetleri ZA zemin sınıfında karşılaştırıldığı zaman X ve Y yönündeki deprem kuvvetleri altında en küçük değerleri SİZA vermiştir. SİMKEZA ve SAZA modelleri üst katlarda fark %1'dir ZE zemin sınıfında X ve Y yönündeki deprem kuvvetleri altında SİZE modeli en düşük kesme kuvvetlerini vermiştir. En yüksek değerler ise SAZE modelinde oluşmuştur. Artış oranı X yönündeki deprem kuvvetleri altında %15, Y yönündeki deprem kuvvetleri altında ise 3 kat olmuştur. Kesme kuvvetleri karşılaştırma grafikleri Şekil 4.20'da verilmiştir.

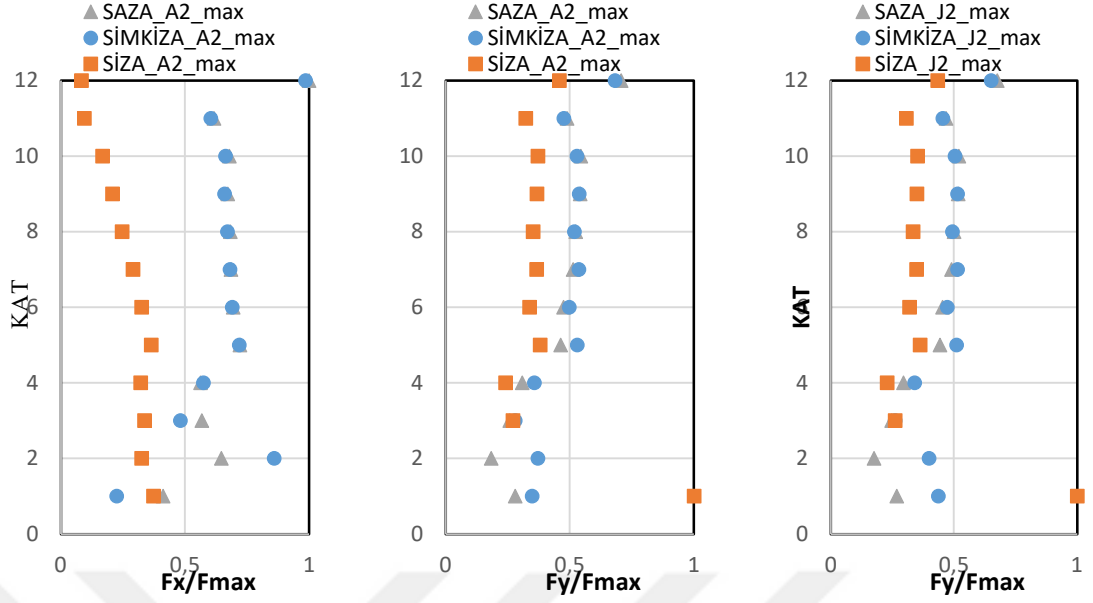


(a) ZA zemin sınıfı

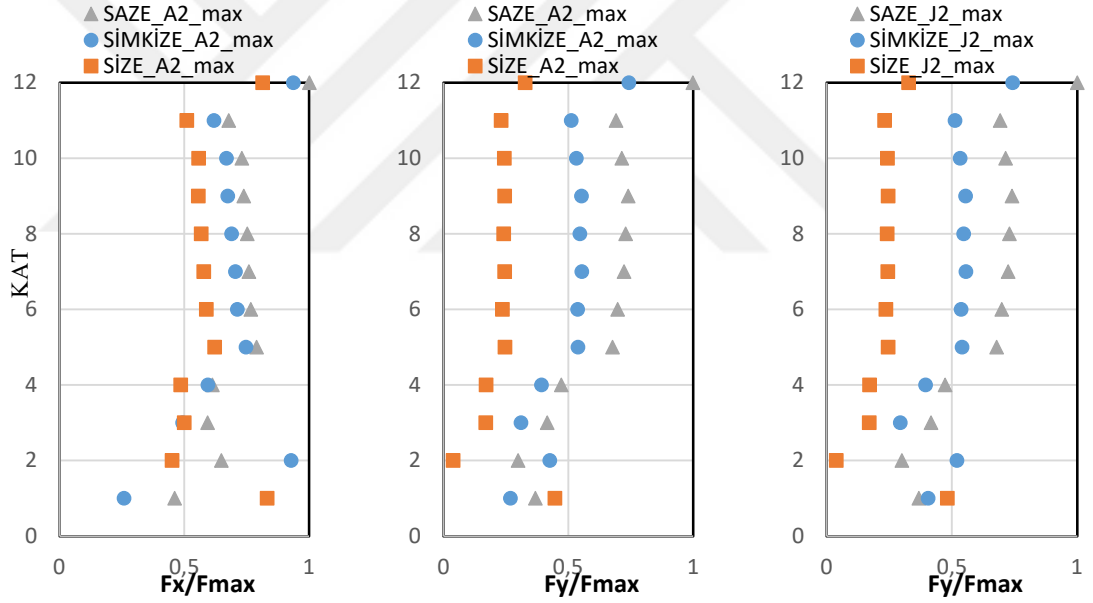


(b) ZE zemin sınıfı

Şekil 4.19. Simetrik modellerin farklı zemin sınıflarında X ve Y doğrultusundaki deprem kuvvetleri altında yer değiştirme değerleri



(a) ZA zemin sınıfı



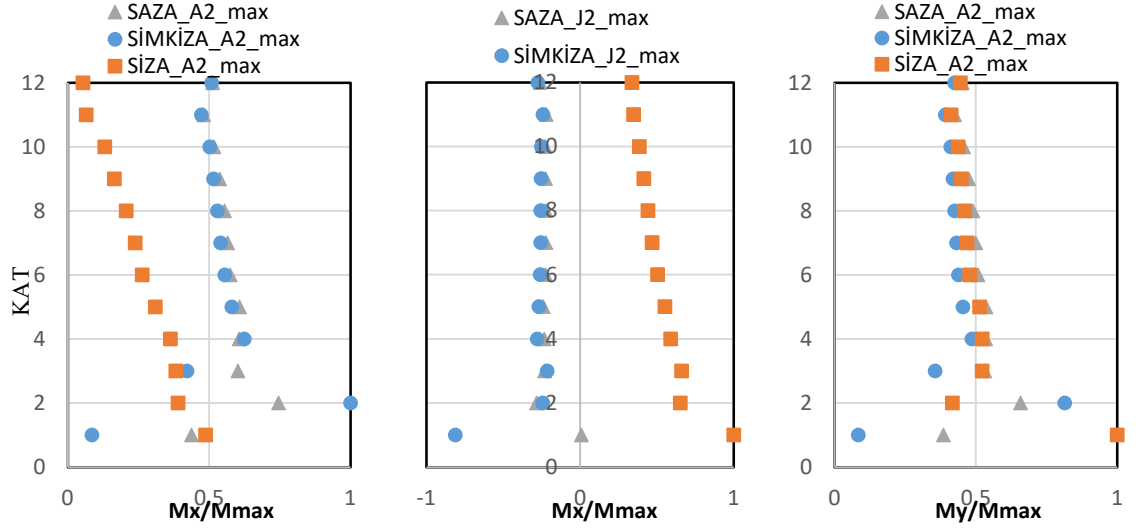
(b) ZE zemin sınıfı

Şekil 4.20. Simetrik modellerin farklı zemin sınıflarında X ve Y doğrultusundaki deprem etkileri altında kesme kuvveti değerleri

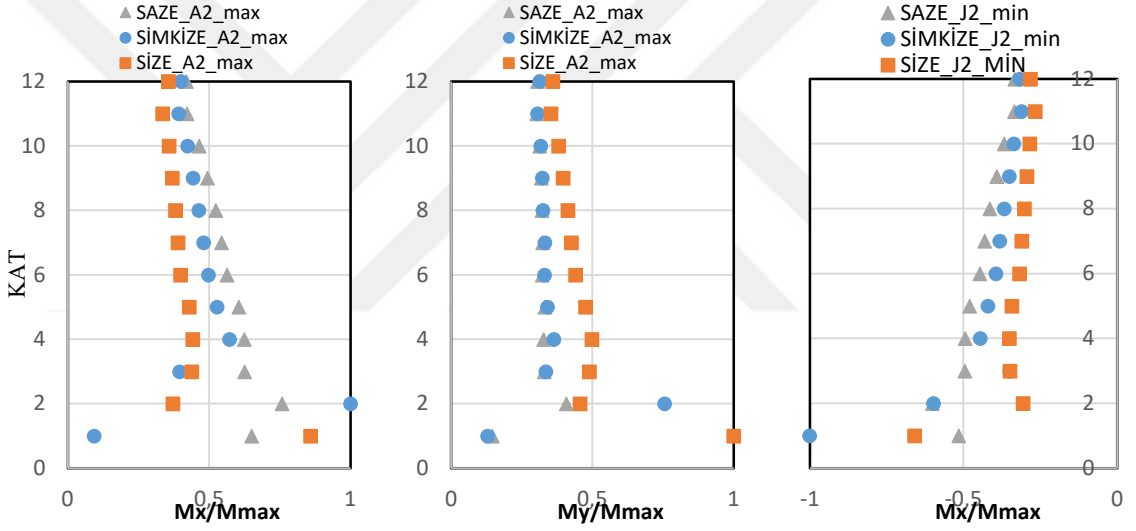
Moment değerleri ZA zemin sınıfında karşılaştırıldığında X doğrultusundaki deprem kuvvetleri altında SİZA en küçük değerleri vermiştir. Y yönündeki deprem kuvvetleri altında izolatörlü iki model de ilk katlarda ankastre modele göre daha büyük değerler

vermiştir. Üst katlarda ise üç model arasındaki moment değer farkları ortalama %2'dir. X yönündeki deprem kuvvetleri altında en büyük moment değerlerini SAZE modeli vermiştir. En düşük değerleri veren SİZE modeliyle arasındaki fark ortalama %30'dur. Y yönündeki deprem etkileri altında en büyük moment değerini SİZE modeli vermiştir ve en düşük değeri veren SAZE modeliyle aralarında fark oranı %30'dur. Moment değerleri karşılaştırma grafikleri Şekil 4.21'de verilmiştir.

Görelî kat ötelenmeleri simetrik modeller arasında karşılaştırıldığında ZA zemimn sınıfında X yönünde taban izolasyonlu modeller birbirlerine çok yakın değerler almıştır. Ankastre model taban izolasyonlu modellere göre ortalama %50 daha büyük görelî kat ötelenmeleri yapmıştır. Y yönünde SİZA'nın, SİMİKİZA'ya oranla %15 daha düşük görelî kat ötelenmeleri yaptığı görülmüştür. Ankastre model ise taban izolasyonlu modellere göre ortalama %90 daha büyük görelî kat ötelenmeleri yapmıştır. Köşe kolonlarında ise SİMİKİZA'nın SİZA'dan %75, SAZA'dan %90 daha küçük görelî kat ötelenmeleri yaptığı görülmektedir. Örnek grafikler Şekil 4. Verilmiştir. ZE zemin sınıfında görelî kat ötelenmeleri karşılaştırıldığında X yönünde ankastre modelin taban izolasyonlu modellere göre ortalama %20 daha düşük görelî kat ötelenmesi yaptığı gözlemlenmiştir. Y yönünde ise ankastre model diğer iki modele oranla 2 kat daha büyük görelî kat ötelenmeleri yapmıştır. Örnek karşılaştırma grafikleri Şekil 4.22'de verilmiştir.

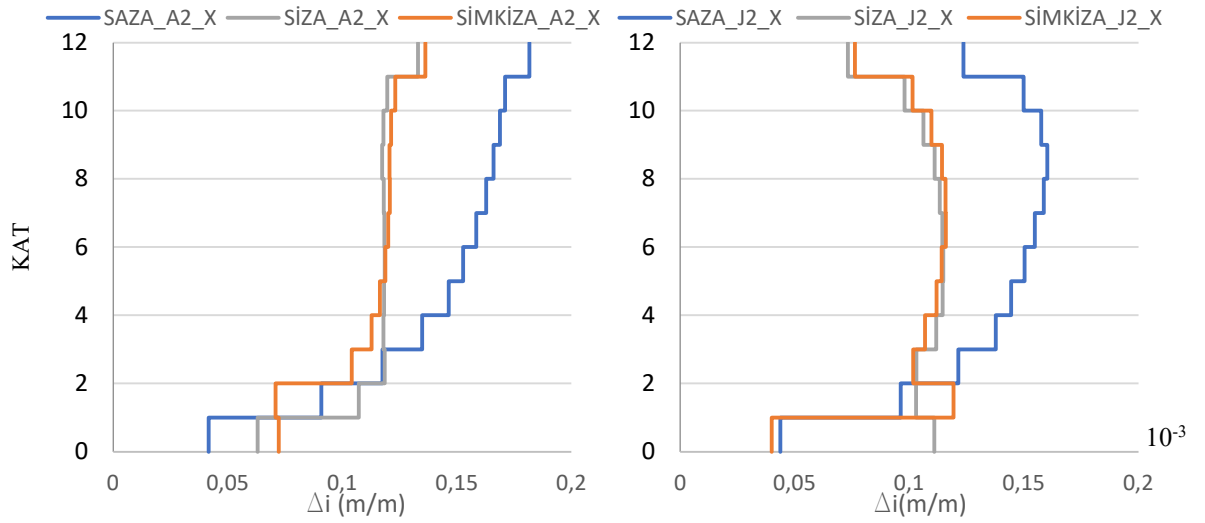


(a) ZA zemin sınıfı

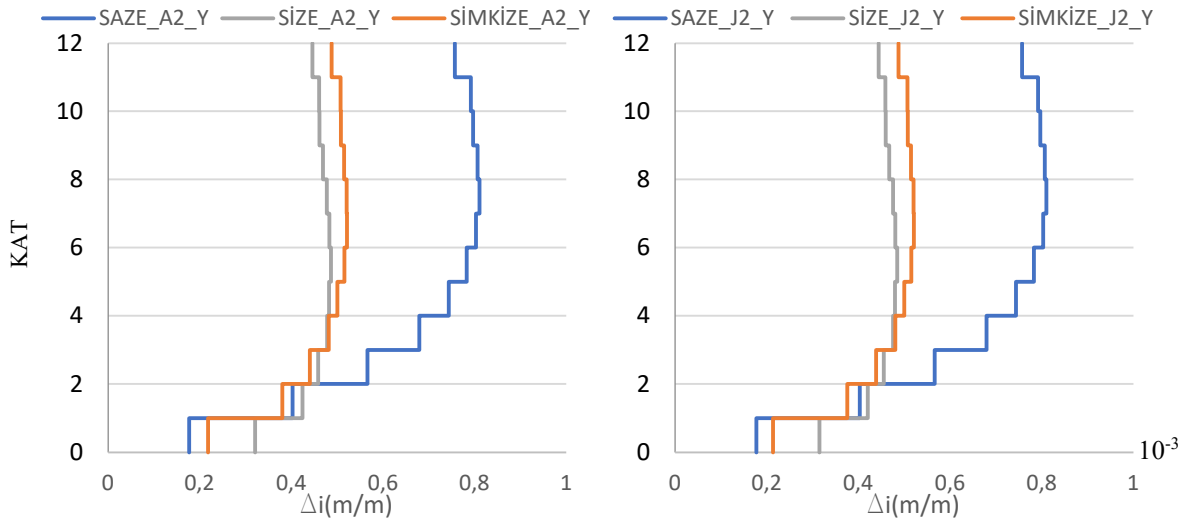


(b) ZE zemin sınıfı

Şekil 4.21. Simetrik modellerin farklı zemin sınıflarında X ve Y doğrultusundaki deprem etkileri altında moment değerleri



(a) ZA zemin sınıfı



(b) ZE zemin sınıfı

Şekil 4.22. Simetrik modellerin farklı zemin sınıflarında göreceli kat ötelenmeleri

4.3. Zemine Bağlı Olarak Sistem Tepkilerinin Karşılaştırılması

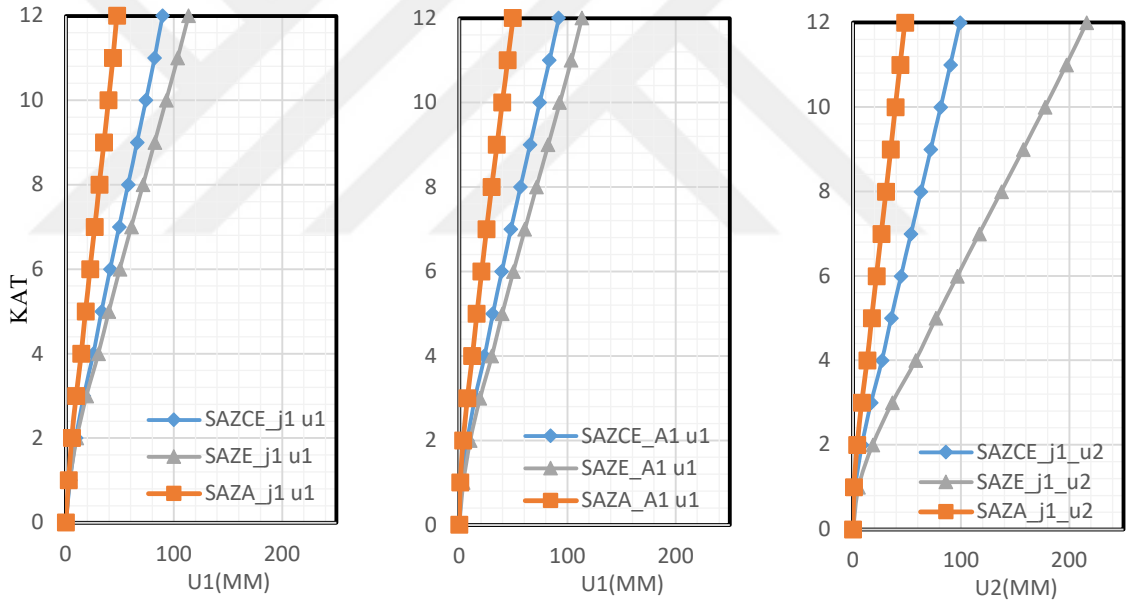
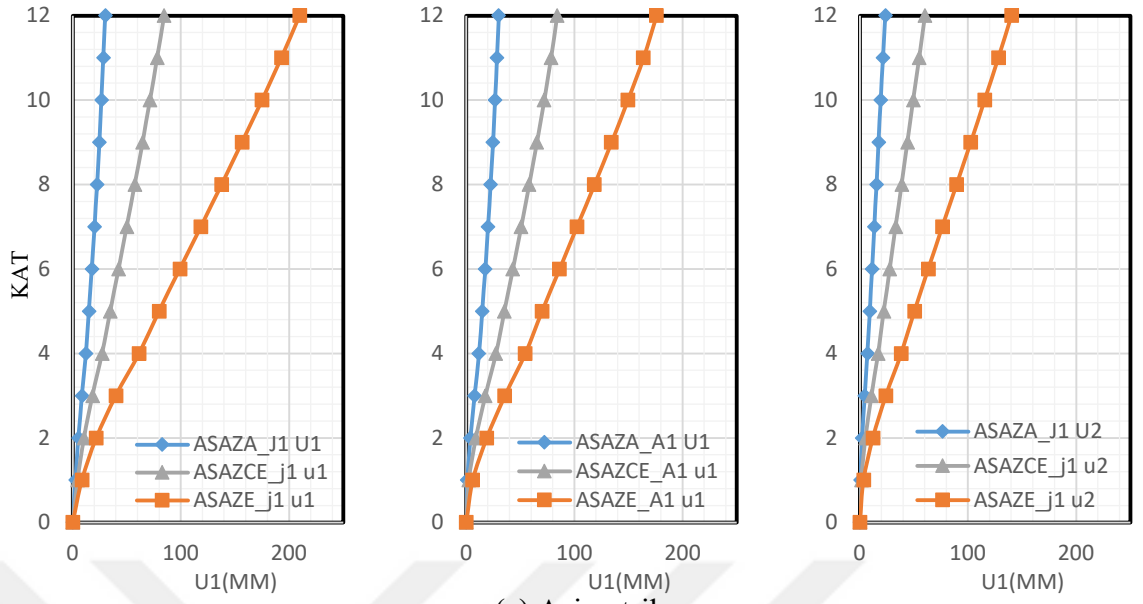
Yapı için oluşturulan her bir model ZA, ZC ve ZE zemin sınıflarında elastik analiz yapılmıştır. ZA, ZC ve ZE sınıfı zemin için ivme değerleri Şekil 3.6'da verilmiştir. Zemin sınıfları için S_s değeri 0.901, S_1 değeri 0.237'dir. ZE zemin sınıfı için en büyük ivme değeri $T_A=0.139$ sn ve $T_B=0.6949$ sn periyotları arasında gerçekleşmiş ve 1.0625 m/sn^2 'dir. ZC zemin sınıfı için en büyük ivme değeri $T_A=0,0658$ sn ve $T_B=0.3288$ sn periyotları arasında gerçekleşmiştir ve 1.0812 m/sn^2 'dir. ZA zemin sınıfı için en büyük

ivme değeri ise $T_A=0,0526\text{sn}$ ve $T_B=0,263\text{sn}$ periyotları arasında gerçekleşmiştir ve $0,7208\text{ m/sn}^2$ 'dir. Zemin sınıfına göre karşılaştırma iki farklı başlık altında ele alınmıştır.

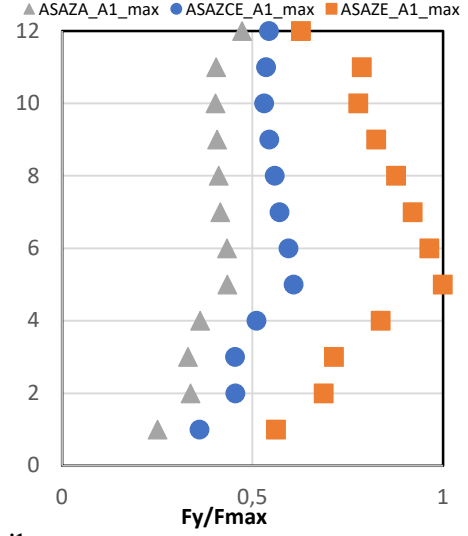
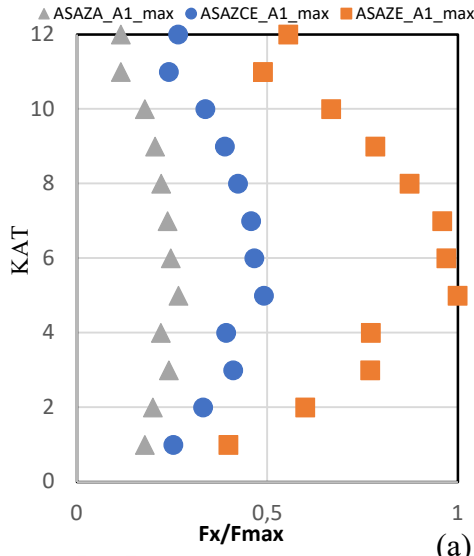
4.3.1. Ankastre Model için Zemin etkisi

Asimetrik modelin ankastre hali için ZA, ZC ve ZE zemin sınıflarına göre yapılan bu gruplandırmada noktaların yer değiştirmeleri ZE sınıfı zemin için ZA sınıfı zemine göre ortalama olarak 7 kat artmıştır. Bu durum sünek taraf olan ROTA'daki A-1 ve A-4 kolonları için 8 kat olarak hesaplanmaktadır. Simetrik modelin ankastre durumu için ZA, ZC ve ZE zemin sınıflarına göre yapılan bu karşılaştırmada seçilen noktaların yer değiştirme değerleri ZE sınıfı zemin için ZA sınıfı zemine göre hem X yönündeki deprem doğrultularında 2,5 kat, Y yönündeki deprem kuvvetleri altında 4 kat olmuştur. X yönü ve Y yönü deprem kuvvetlerine göre yer değiştirmelere örnekler Şekil 4.23'de verilmiştir.

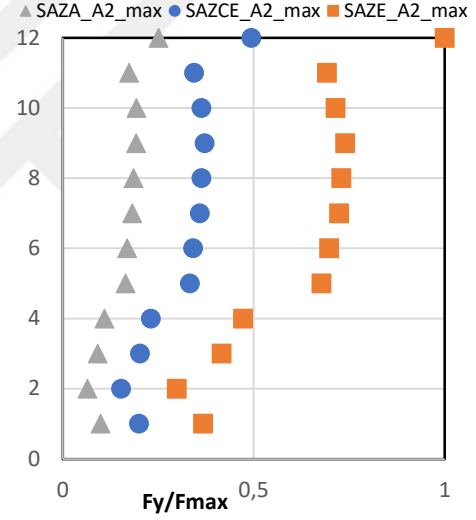
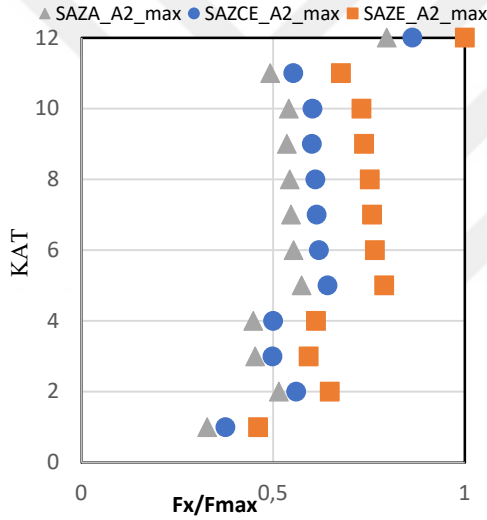
Kesme kuvvetleri orta katlarda maksimum değerlerini almaktadır. ZA ve ZE zemin sınıfları arasındaki fark oranı ortalama 2 kattır. ZC zemin sınıfındaki kesme kuvvetleri ise ZA zemin sınıfına göre %50 daha fazladır. X ve Y yönü deprem kuvvetlerine göre kesme kuvveti karşılaştırmaları için bazı örnek grafikler Şekil 4.19'te verilmiştir. Simetrik model için X yönündeki deprem kuvvetleri altında ZA ve ZE zemin sınıfları arasındaki artış oranı ortalama %30 iken Y yönündeki deprem kuvvetleri altında artış oranı ortalama 4 kat olmuştur. X ve Y yönü deprem kuvvetlerine göre kesme kuvveti karşılaştırma örnek grafikleri Şekil 4.24'te verilmiştir.



Şekil 4.23. Ankastré mesnetlenmiş modellerin X ve Y yönü deprem etkileri altında yer değıştirme değeri



(a) Asimetrik

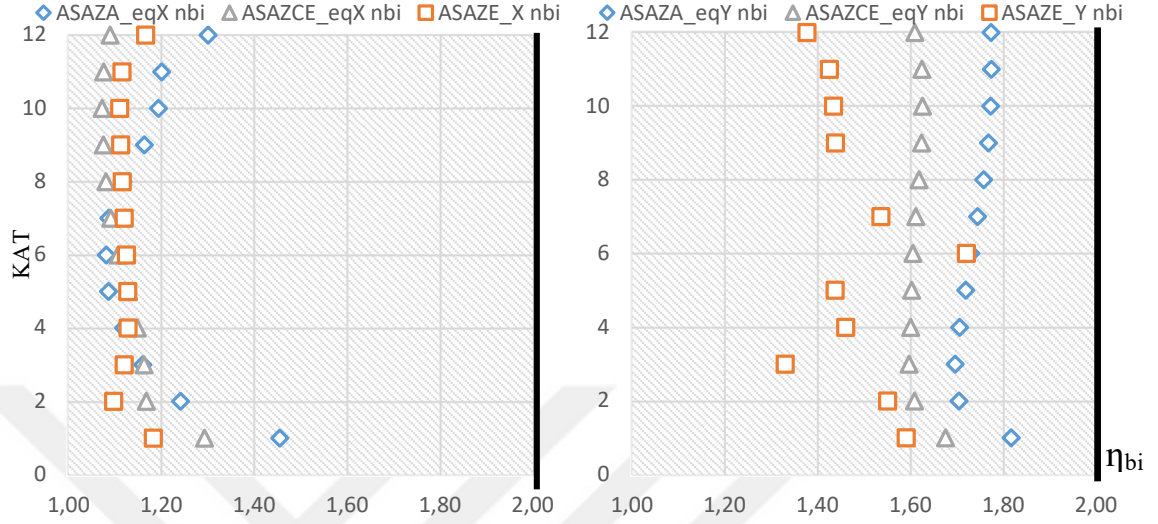


(b) Simetrik

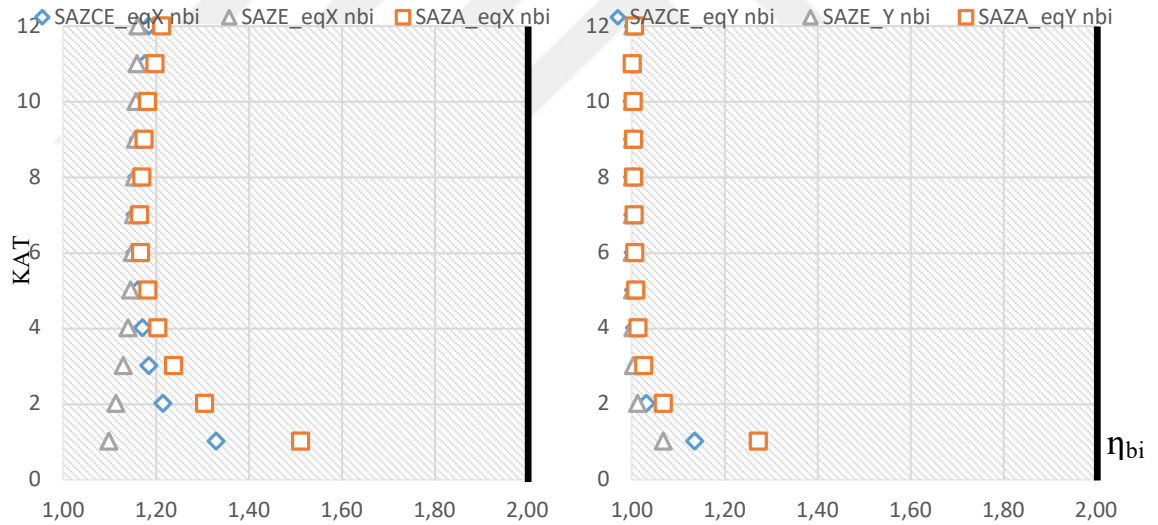
Şekil 4.24. Asimetrik, ankastre mesnetlenmiş modellerin X ve Y yönü deprem doğrultularına göre kesme kuvveti değerleri

Burulma düzensizlikleri zemin sınıfındaki değişimle ters orantılı olmuştur. ZE zemin sınıfında burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} ZA zemin sınıfına göre azalma göstermiştir. ZC zemin sınıfı da her durumda ve her karşılaştırmada iki zemin sınıfına nazaran ortanca değere sahiptir. Simetrik modelde X yönündeki deprem etkileri altında en iyi sonucu ZE zemin sınıfında vermiştir. ZA zemin sınıfında ilk 3 katta ZC zemin sınıfında ilk 2 katta burulma düzensizliği olmuştur. ZE zemin sınıfında ise burulma düzensizliği yoktur. Y yönündeki deprem etkileri altında burulma düzensizliği katsayıları incelendiğinde X

yönüne göre azalma gözlemlenmiştir. ZA zemin sınıfındaki modelin 1. Katında burulma düzensizliği görülmüştür. Üst katlara doğru yapı tamamen rijit bir davranış sergilemiştir. Burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} karşılaştırma grafiği Şekil 4.25'te verilmiştir.



(a) Asimetrik

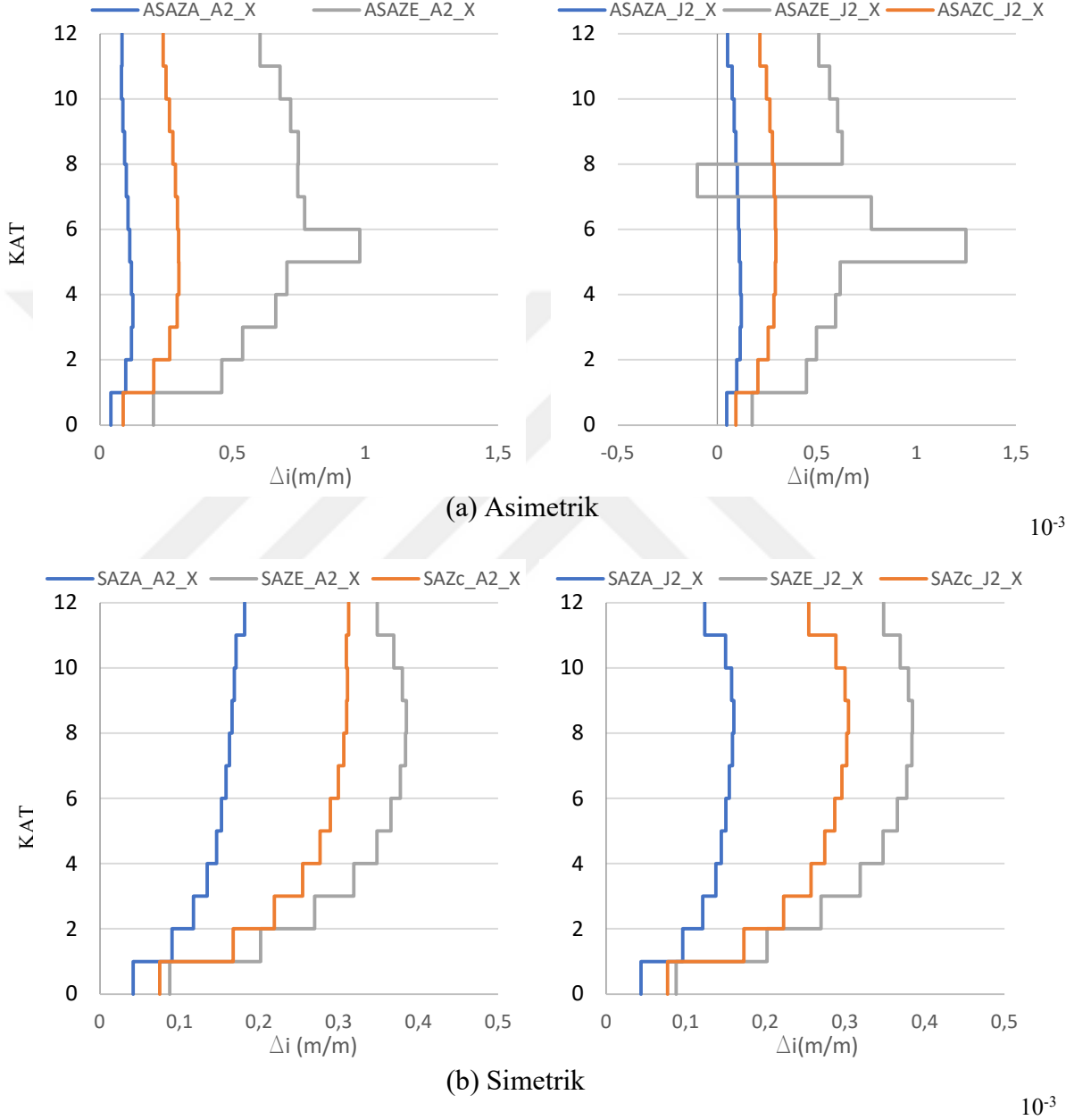


(b) Simetrik

Şekil 4.25. Asimetrik ve simetrik, ankastre mesnetlenmiş modellerin X ve Y doğrultusu deprem yükleri altında burulma düzensizliği katsayısı

Görelî kat ötelenmeleri ankastre modelde X yönünde de Y yönünde de ZA ve ZC zemin sınıfları arasında ortalama 2,5 kat artış gösterirken ZA, ZE zemin sınıfları arasında bu oran 10 kata kadar çıkmıştır. Simetrik modellerde ise asimetrik modellere göre %50 oranında azalma olduğu görülmüştür. Her üç zemin sınıfı içinde katlar arasındaki görelî

kat ötelenmeleri belirli oranlarla artış göstermiştir. Bu oran X yönünde ZA-ZC zemin sınıfları için %80, ZC-ZE zemin sınıfları içinse %30'dur. Y yönünde ise ZA-ZC zemin sınıfları için 2 kat, ZC-ZE zemin sınıfları içinse 2,5 kattır. Örnek grafikler şekil 4.26'te verilmiştir.



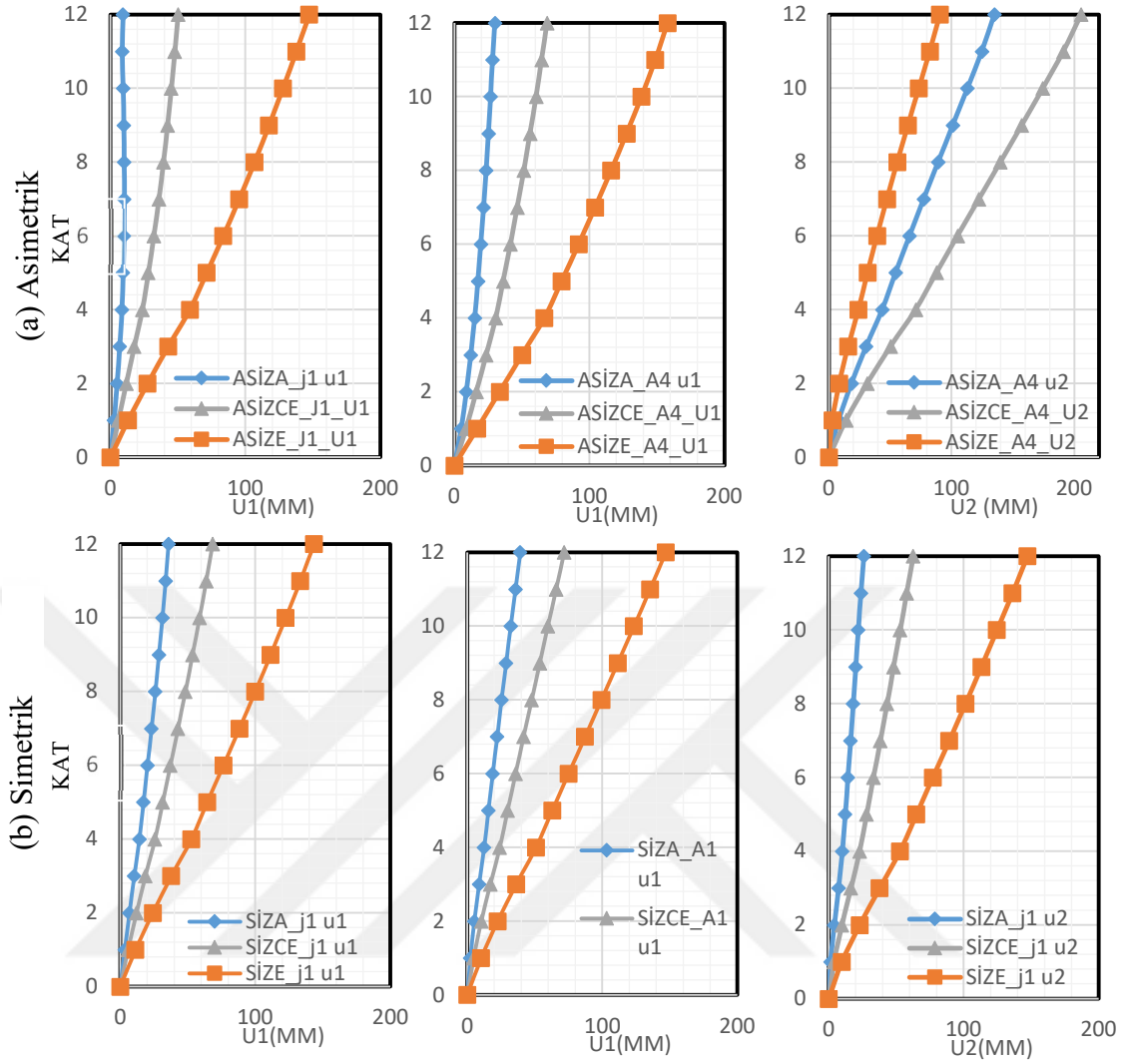
Şekil 4.26. Asimetrik ve simetrik, ankastre mesnetlenmiş modellerin X ve Y doğrultusu deprem yükleri altında görel kat ötelenmeler

4.3.2. Sürtünmeli sarkaç taban izolasyonlu model için zemin etkisi

Asimetrik modelin izolatörlü hali için ZA, ZC ve ZE zemin sınıflarına göre yapılan bu karşılaştırmada X yönü deprem kuvvetleri altında ZA ve ZE zemin sınıfları arasındaki fark oranı RİTA'da ortalama 8,5 kat, ROTA'da ise kolonlar üst katlara doğru negatif görelî kat ötelenmesi yaptığı için ortalama fark altıncı kattan alınmıştır. Altıncı kattaki fark oranı ortalama 6 kattır. Y yönündeki deprem kuvvetleri altında yer değışmeler diğere yöne göre ~%75 oranında düşmüştür. RİTA bölgesinde ortalama fark 4 kat, ROTA bölgesinde ise 2,5 kat olmuştur. SİZE, SİZC ve SİZA' da yer değıştirmeleri ZA ve ZE zemin sınıfları arasında X yönündeki deprem etkileri altında hem RİTA hem de ROTA da 4 kat artış göstermiştir. Y yönündeki deprem etkileri altında oran 5,5 kat olmuştur. örnekler Şekil 4.27' de verilmiştir.

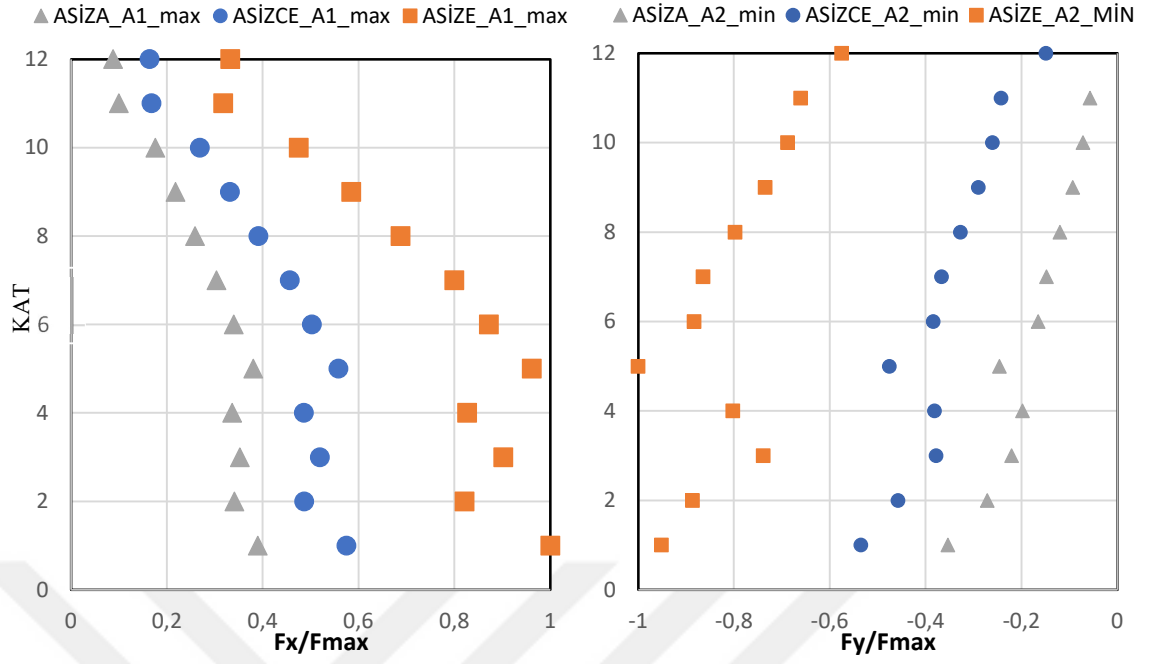
X doğrultusundaki deprem kuvvetleri altında ZE ve ZA zemin sınıfları arasındaki fark ortalama 2 kat olmuştur. Y doğrultusundaki deprem kuvvetleri arasında ise Fmax değıerleri her üç zemin sınıfında da yakın değıerler almışlardır. Fark oranı %30'dur. Simetrik modelde X yönündeki deprem etkileri altında ZA ve ZE zemin sınıflarında karşılaştırıldığında ZE zemin sınıfında 2 kat daha büyük değıerler aldığı görülmüştür. Y yönündeki deprem etkileri altında ise en büyük değıerler ZC zemin sınıfında görülmüştür ve ZA zemin sınıfına göre ortalama artış %90 oranında olmuştur. X ve Y yönü deprem kuvvetlerine göre kesme kuvveti karşılaştırma grafikleri Şekil 4.28'de verilmiştir.

Görelî kat ötelenmeleri incelendiğinde X yönünde zemindeki kötüleşme ile ters orantılı olarak görelî kat ötelenmeleri artış göstermiştir. Ancak Y yönündeki deprem etkileri altında ASİZC modeli ASİZE modelinden ortalama %50 daha büyük görelî kat ötelenmeleri yapmıştır. Bu durum taban izolasyonlu modellerde ilk mod katılım oranının çok yüksek değıerler almasından kaynaklanmaktadır. Simetrik model karşılaştırmaları yapıldığında ise hem X hem de Y yönündeki görelî kat ötelenmeleri artışları zemin sınıflarındaki değıişim ile ters orantılı olarak artmıştır (Şekil 4.29).

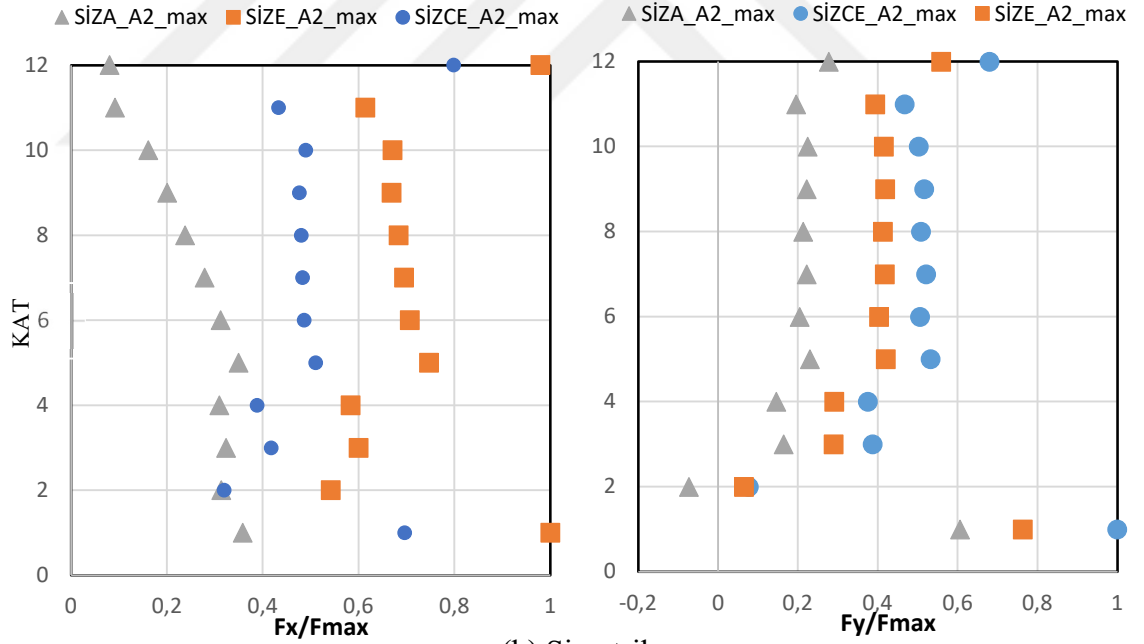


Şekil 4.27. Sürtünme tip izolatörlü modellerin X ve Y yönü deprem etkileri altında yer değiştirme değerleri

Burulma düzensizliği X yönündeki deprem kuvvetleri altında ZC ve ZE zemin sınıflarında çok düşük değerler almıştır. ZA zemin sınıfında ise üst katlarda görelî kat ötelenmelerinin çok düşük olması nedeniyle 4 gibi çok büyük burulma düzensizlik kat sayıları olmuştur. Bu değerler dikkate alınmayacaktır. Her iki yöndeki deprem etkileri altında da en olumsuz sonuç ZA zemin sınıfında bulunmuştur. grafikler sonuç kısmında dikkate alınmayacaktır. Simetrik modelde hem X hem de Y yönündeki deprem etkileri altında en iyi sonucu ZE zemin sınıfı vermiştir. Y yönündeki deprem etkileri altında üç zemin sınıfında da 1.01'in altında kalmıştır. Burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} karşılaştırma grafikleri Şekil 4.30'da verilmiştir.

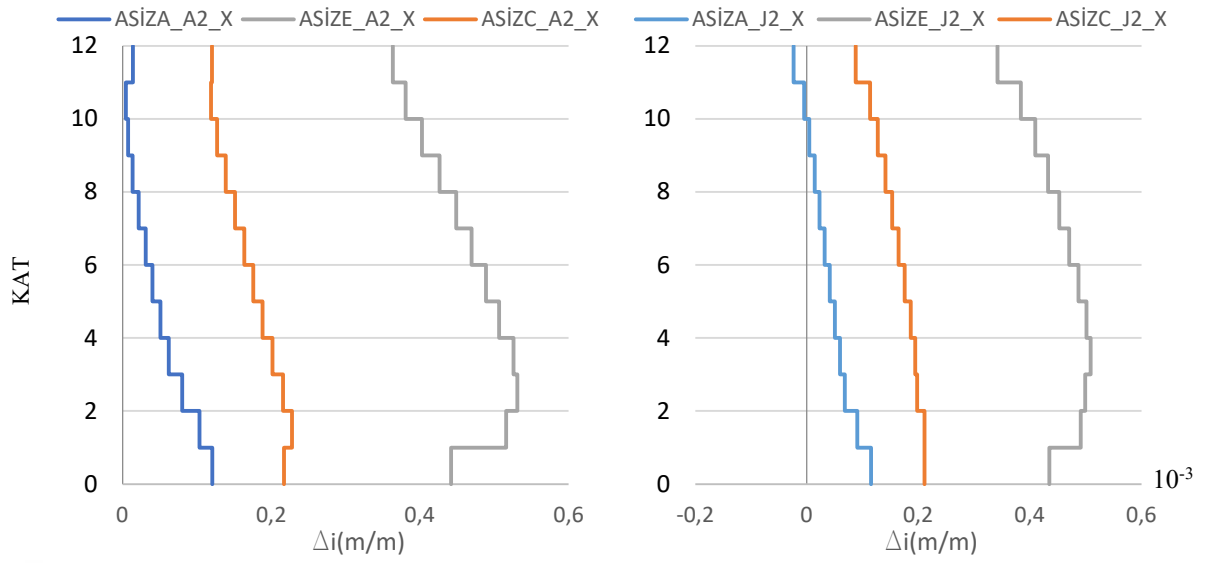


(a) Asimetrik

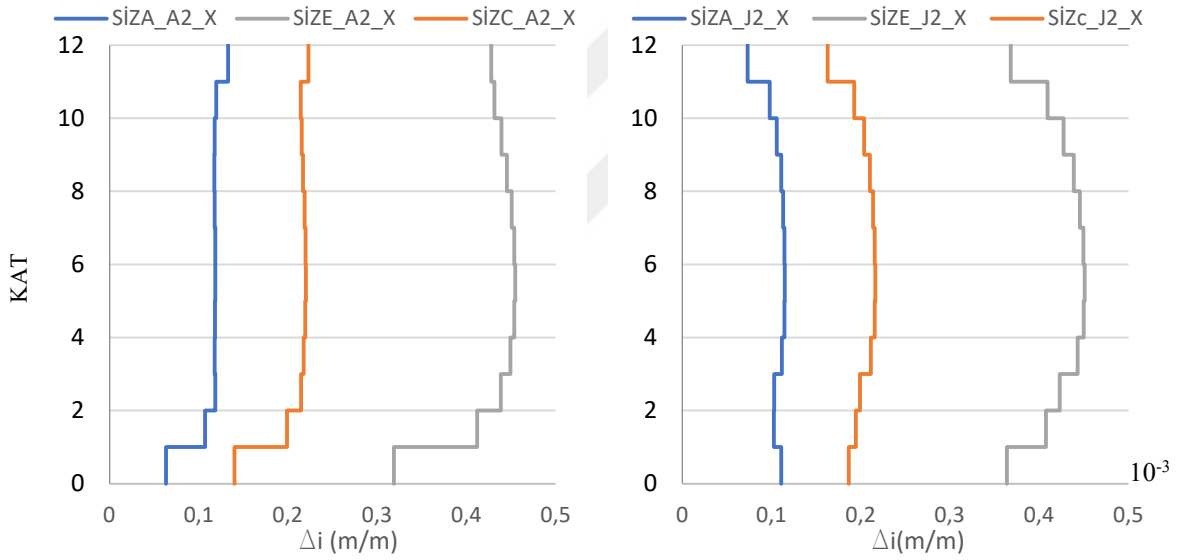


(b) Simetrik

Şekil 4.28. Sürtünme tip izolörlü modellerin X ve Y yönü deprem doğrultularına göre kesme kuvveti değerleri

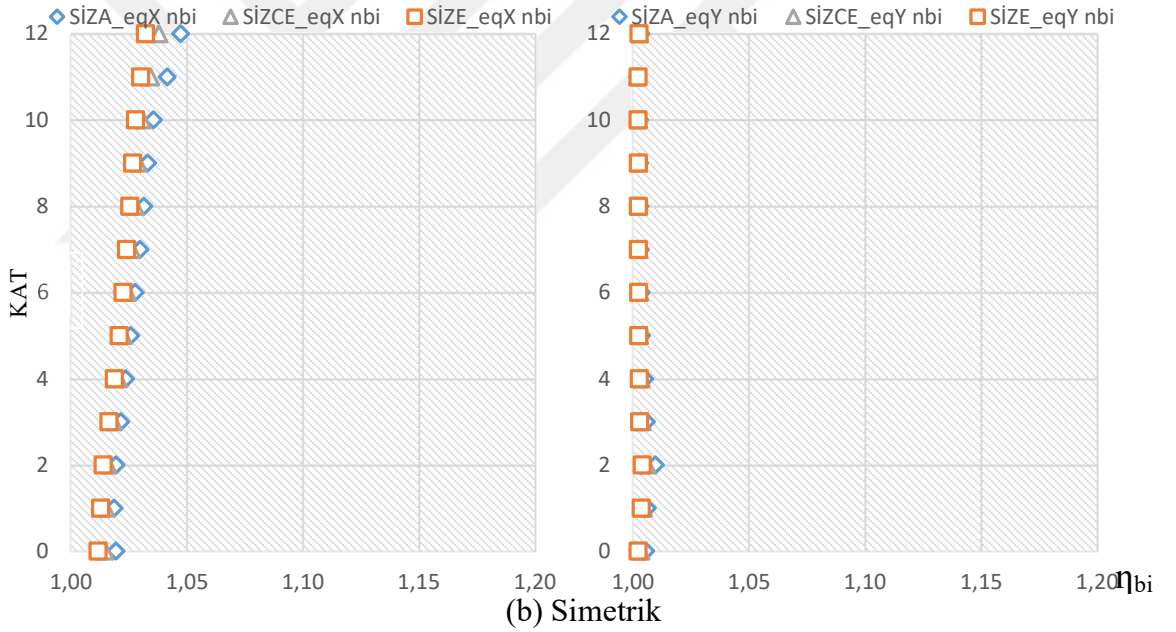
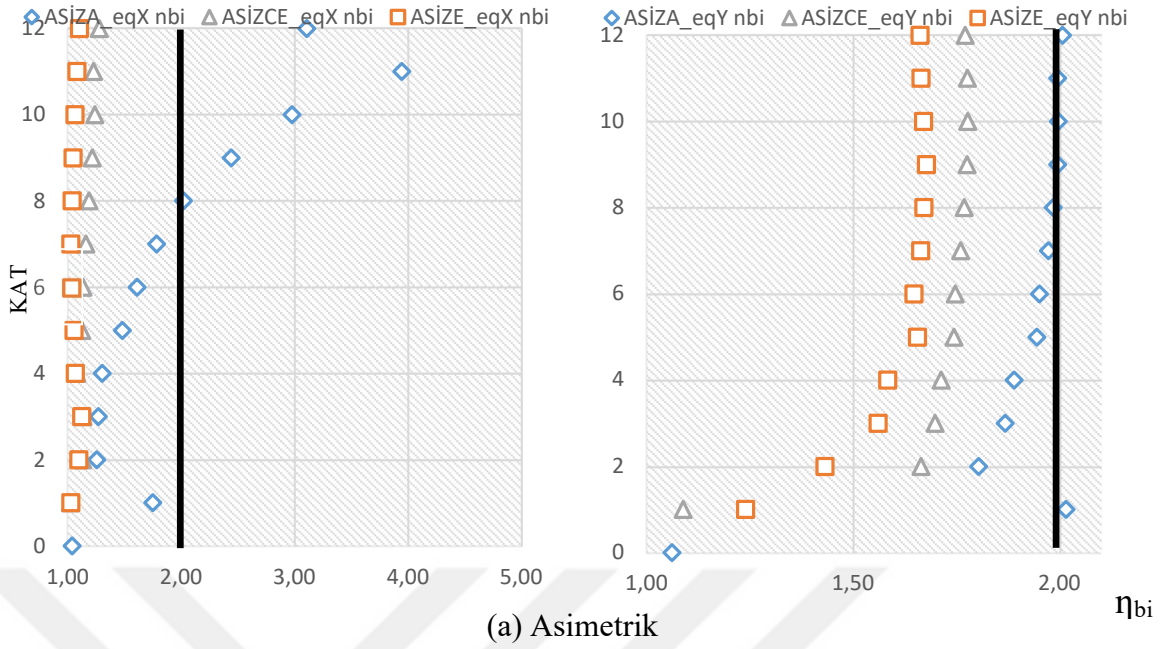


(a) Asimetrik



(b) Simetrik

Şekil 4.29. Sürtünme tip izolatörlü modellerin X ve Y yönü deprem doğrultularına göre görelî kat ötelenmeleri

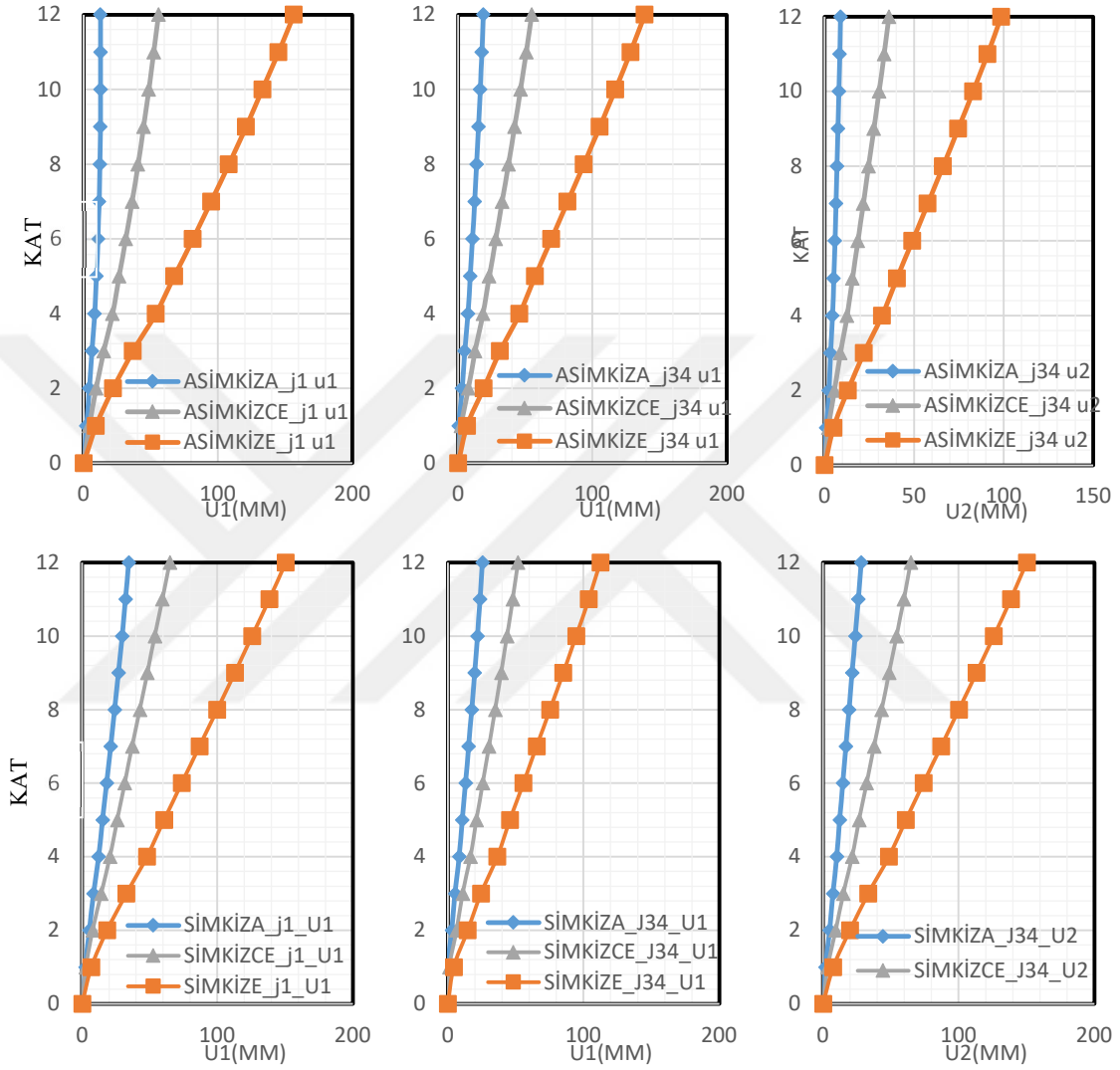


Şekil 4.30. Sürtünme tip izolatörlü modellerin X ve Y yönü deprem doğrultularına göre burulma düzensizlik katsayıları

4.3.3. Kurşun çekirdekli kauçuk taban izolasyonlu model için zemin etkisi

Asimetrik modelin Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü modellemesinde X yönündeki deprem etkileri altında ZA ve ZE zemin sınıfları arasındaki fark oranı 7 kat olmuştur. Y yönündeki deprem etkileri altında ise RİTA'da 9,5 kat, ROTA'da ise 3 kattır. SİMKİZA,

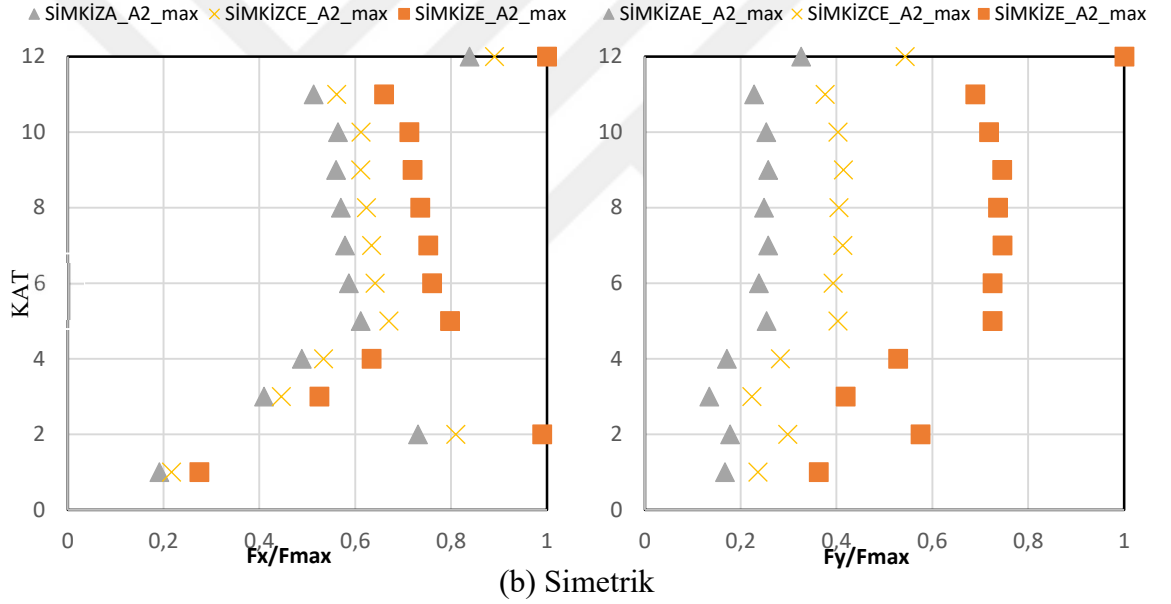
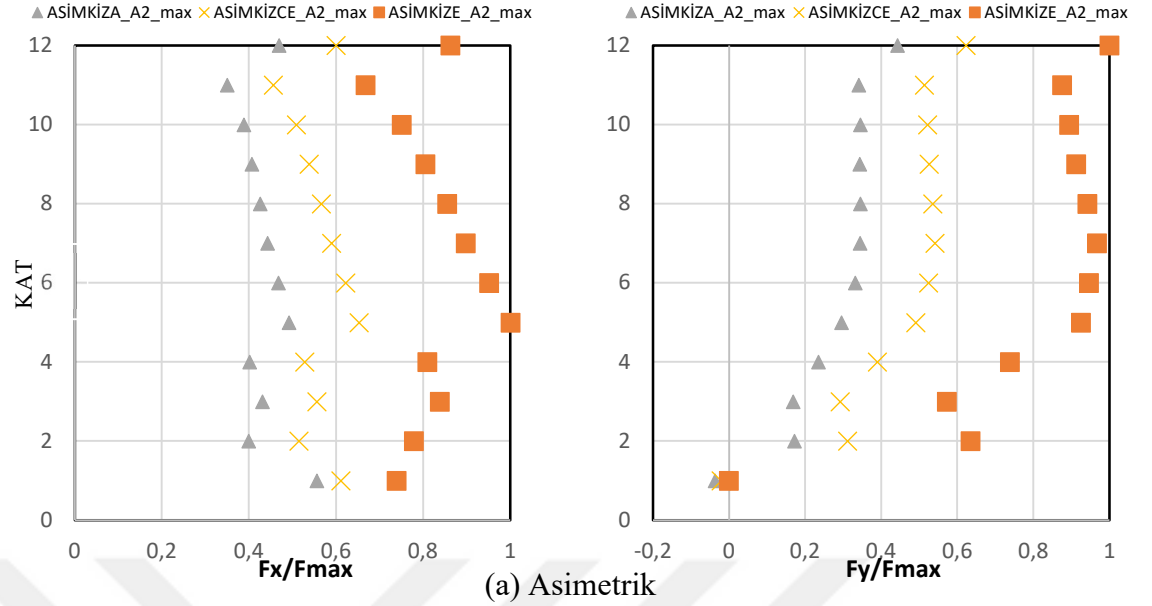
SİM KİZCE ve SİM KİZE’de de rölatif yer değıştirmeler X yönündeki deprem etkileri altında kıyaslandığında ZA ve ZE zemin sınıfları arasında 4,5 kat fark oranı gözlemlenmiştir. Y yönündeki deprem etkileri altında ise bu oran ortalama 5,5 kattır. Yer değıştirme değeri karşılaştırma örnek grafikleri Şekil 4.31’de verilmiştir.



(b) Simetrik

Şekil 4.31. Asimetrik, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü modellerin X ve Y doğrultusundaki deprem etkileri altında yer değıştirme değeri

Kesme kuvvetleri hem X hem de Y yönündeki deprem kuvvetleri altında ZE zemin sınıfında ZA zemin sınıfına göre 2,5 kat artış göstermiştir. Simetrik modellerde X yönündeki deprem kuvvetleri altında ortalama %50 oranında artış göstermiştir. Y yönündeki deprem kuvvetleri altında ise bu oran 3 kat olmuştur. Kesme kuvvetleri karşılaştırma örnek grafikleri Şekil 4.32’de verilmiştir.

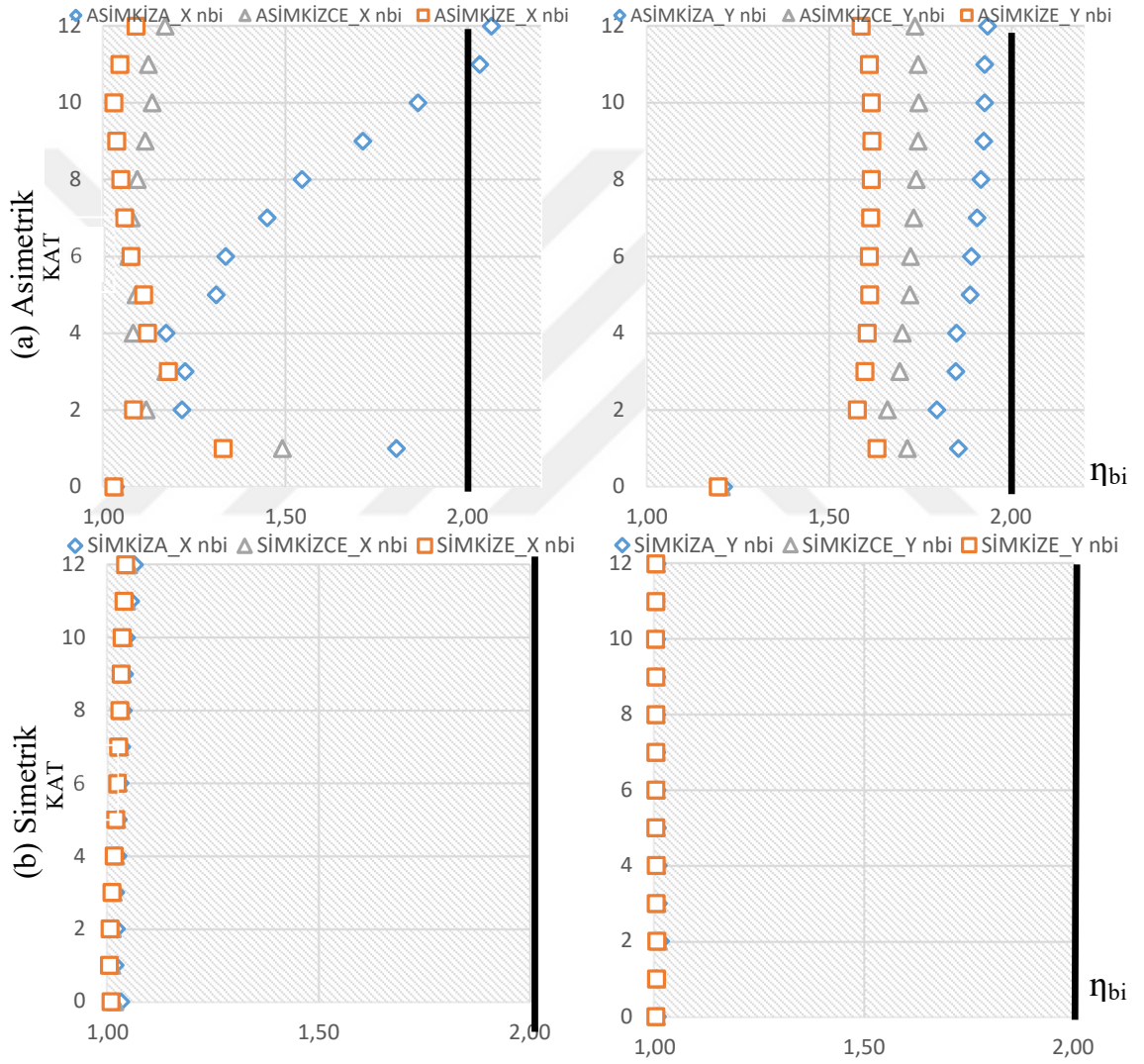


Şekil 4.32. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü modellerin X ve Y doğrultusundaki deprem etkileri altında kesme kuvveti değerleri

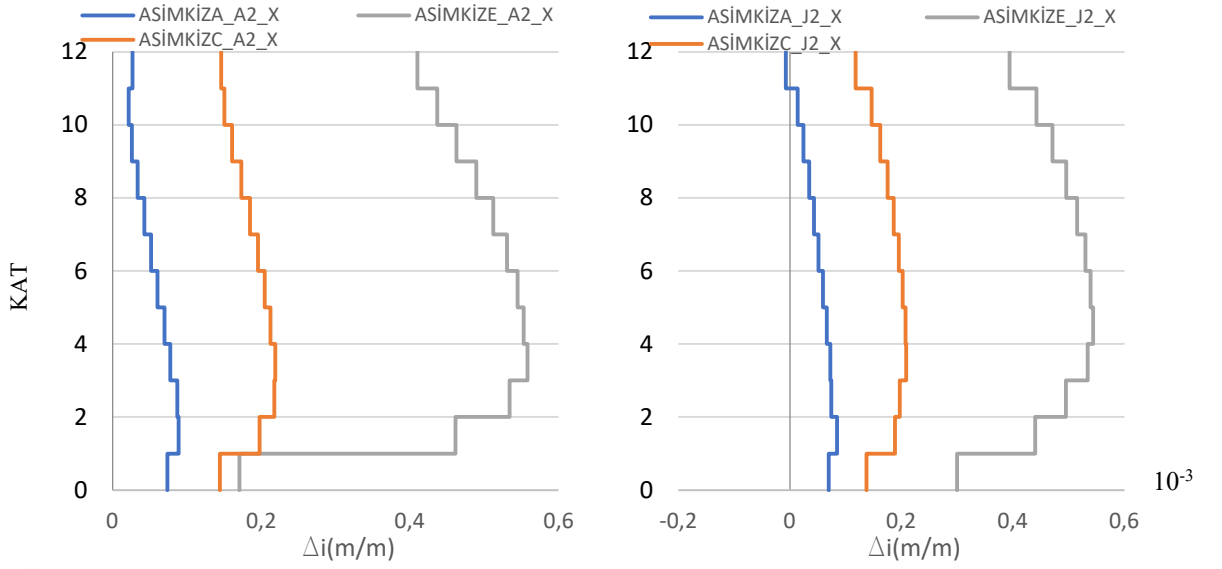
Burulma düzensizliği katsayıları X yönündeki deprem etkisi altında ZA zemin sınıfı üst katlara doğru izin verilebilir sınırların üstüne çıkarken Y yönündeki deprem etkilerinin altında ise bütün zemin sınıflarında yapı burulma düzensizliğinin 1.2'den büyük gerçekleştiği görülmektedir. En büyük düzensizlik katsayısı ZA zemin sınıfında iken en düşük değerler ZE zemin sınıfına ait yapıda gözlemlenmiştir. Simetrik modelde burulma düzensizliği katsayıları arasında zemin tipi nedeniyle oluşan değişiklikler çok düşük

seviyelerdedir. Ancak her iki düzlemde etkiyen deprem etkilerinde de ZA zemin sınıfına ait olan burulma düzensizliği katsayıları en büyük değerleri almıştır. Burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} grafikleri Şekil 4.33'te verilmiştir.

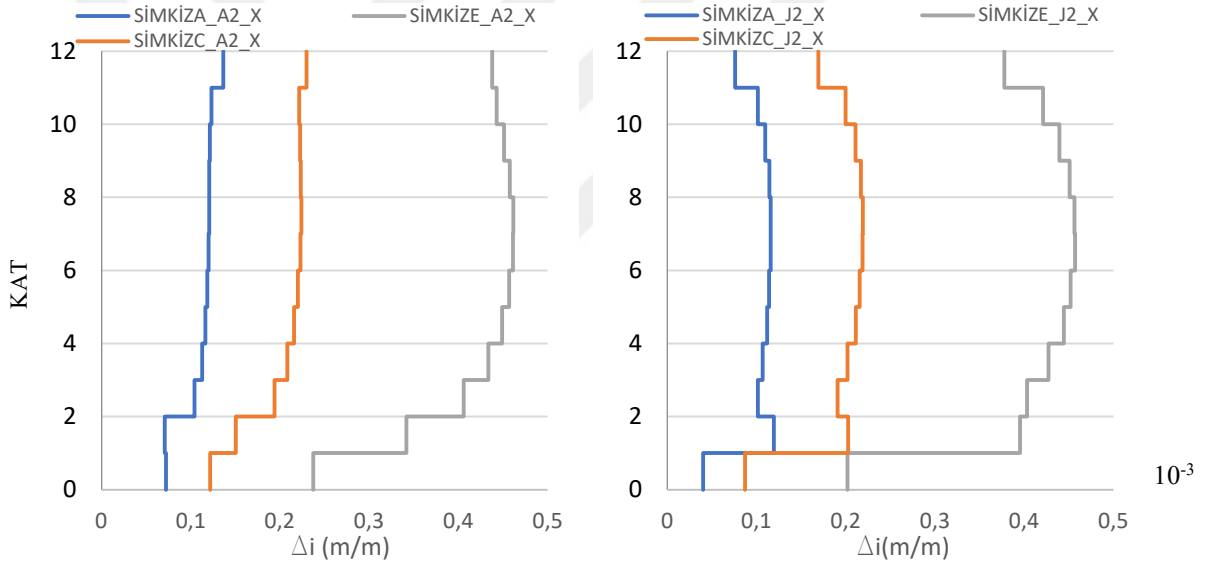
Görelî kat ötelenmeleri kurşun çekirdekli taban izolasyonlu modellerde tamamen beklendiği gibi ZE zemin sınıfından ZA zemin sınıfına gidildikçe azalmıştır. Bu oran ortalama %75'tir. Simetrik durumda da genel olarak aynı hareket gözlemlenmiştir (Şekil 34).



Şekil 4.33. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü modellerin X ve Y doğrultusundaki deprem etkileri altında burulma düzensizliği katsayısı η_{bi}



(a) Asimetrik



(b) Simetrik

Şekil 4.34. Kurşun çekirdekli kauçuk izolotörlü modellerin X ve Y doğrultusundaki deprem etkileri altında görelî kat ötelenmeleri

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmanın temel amacı deprem kuvvetlerinin etkisi altında taban izolasyonuna sahip sistemlerde burulma düzensizliğinin yapı davranışını nasıl etkilediğinin araştırılmasıdır. Söz konusu araştırma kapsamında farklı türde zemin profilleri etkisinde çalışmada dikkate alınmaktadır. Araştırma kapsamında 2 farklı taban izolasyon yaklaşımı gerçek bir uygulama projesi üzerinde hareketle ankastre sistem de dikkate alınarak simetrik ve asimetrik durumlar için 3 farklı zemin sistemi göz önüne alınarak incelenmektedir.

Gerçekleştirilmiş olan bu çalışmanın tümünden çıkartılabilecek bazı sonuç ve öneriler aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır.

1. Bilindiği üzere taban izolasyon sistemleri yapı periyotlarını uzatarak genellikle ivme tepkilerini düşürmekte ve bu yolla yapı periyodunun artması ile birçok depremin hakim periyot aralığından çıkmasını sağlayarak yapının söz konusu hakim periyot bölgesinin dışında kalmasına olanak sağlamaktadır. Söz konusu bu durum bu çalışmada dikkate alınan modeller için de benzer şekilde gerçekleşmektedir. Ancak taban izolasyon sistemli yapılarda yüksek modların etkisinin azaldığı bu çalışmada elde edilen sonuçlardan anlaşılmaktadır. Diğer bir ifadeyle 1. Modun etkinliğinin artması ankastre modele göre bu çalışmada %30 gibi ilgi çekici oranlardadır (Bkz. Çizelge4.2). Bu nedenle ankastre modelde yüksek modların etkisi nedeniyle yüksek modları (x veya y) periyotlarının hakim bölge dışında kalması nedeniyle tepkilerin de nispeten azalacağı söylenebilir.
2. Bu çalışmada ele alınan modellerde taban izolasyon sistemlerinin ankastre mesnetli sistemlere göre; hemen her durumda burulma düzensizliği katsayısını arttırdığı, bazı durumlarda ankastre durumda olmamasına karşın burulma düzensizliği katsayısını eski yönetmeliğe göre kabul edilebilir sınırların üzerine çıkartarak taşıyıcı sistemin yeniden düzenlenmesini zorunlu hale getirdiği görülmektedir. Ancak TBDY-2019'da taşıyıcı sistem değiştirilmesi zorunluluğu kalkmıştır. Bunun yerine yönetmelik mühendisleri, hesap yöntemi değiştirerek dinamik

hesap yöntemlerine yönlendirilmektedir. Bu nedenle asimetric yapılarda da zemin sınıfından bağımsız olarak taban izolasyon sistemleri her ne kadar görelî kat ötelenmelerini çok düşük değerlere çekseler de burulma düzensizliği üzerinde negatif etkileri hesap yöntemlerinin karmaşıklaşmasına sebep olmaktadır.

3. Madde 2.de de belirtildiği üzere, TBDY-2018 kapsamında burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} maksimum 2,00 değerini alabilir. Daha büyük değerler oluştuğunda taşıyıcı sistemin yenilenerek katsayının azaltılması gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan modellerde özellikle ZA zemin sınıfında asimetric modelin η_{bi} değerine bakıldığında taban izolasyonlu sistemlerin taşıyıcı sistemlerinin burulma düzensizliğinin azaltılması için yenilenmesi gerektiği gibi bir sonuç ortaya çıkmaktadır. Taban izolasyon sistemlerinin bu çalışmadaki modellerde burulma etkisini arttırıcı yönde etkilediği gözlemlenmiştir.
4. Bu çalışmada kullanılan modellerde sürtünme tip taban izolasyon sistemlerinin yapı periyotlarının kurşun çekirdekli kauçuk taban izolasyon sistemlerine göre %40 daha fazla uzamasına sebep olduğu bu nedenle de bazı dezavantajlarına karşın, genel manada bir sonuç çıkartmak mümkün olmamakla birlikte, 1. Maddede ifade edilen hakim periyot bölgesinden uzaklaşma durumunun bu tür taban izolasyon sistemlerinde daha etkin bir şekilde gerçekteştiği ifade edilebilir.
5. Elde edilen bulguların karşılaştırılmasından ve yapılan literatür çalışmamasından taban izolasyonlu sistemlerin her durumda ankastre durumdan belirli bir oranda daha küçük tepkilere sahip olacağı sonucunu çıkartmanın mümkün olmadığı, çoğu durumda etkilerin önemli oranda azalmasına karşın, düzensizlik durumu, zemin özellikleri ve yapı dinamik karakteristiğindeki değişimlerin fayda/zarar oranları üzerinde etkili olacağı anlaşılmaktadır.

6. ZA zemin sınıfında ele alınan bütün noktalarda ve ZE zemin sınıfı için ise ele alınan bazı noktalarda asimetric modeldeki yer değiştirmeler hem X hem de Y doğrultusunda, simetric modele göre daha küçük olmuştur. Ancak göreli kat ötelenmeleri asimetric modellerde daha bk elde edilmektedir. Bu sebeple simetric modeldeki yer değiştirmeler asimetric modele göre daha bk olsa da iç kuvvetler asimetric modele göre daha düşük değerler alabilmektedir. Bu durum burulma düzensizliğinin genel karakteri nedeniyle bu çalışmada da ortaya koyulmaktadır.
7. Bu çalışmadaki modellerde taban izolasyonlu sistemlerin ankastre sisteme göre ilk katlarda bazı özel durumlarda daha bk moment değerleri verdiği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni ilk modların katılım oranlarından dolayı izolatörlü sistemlere etkileyen dış kuvvetlerin bazı durumlarda daha bk olmasındır.
8. Zemin sınıflarına göre yapılan karşılaştırmalar sonucunda bilinen bir gerçek olan zemin sınıfındaki ktleşmelerin i kuvvetlerde doğru orantılı olarak artışa sebep olduğu bu çalışmanın sonucunda da grlmektedir.
9. İzolatör sistemlerinin simetric yapılarda kesme ve moment değerlerini ankastre mesnetli sisteme göre daha düşük değerlere çektiği görülürken, asimetric hal ve ZA zemin sınıfında ankastre mesnetlenmiş modele göre daha bk kesme ve moment değerlerine maruz kalabileceğini göstermektedir. Bu nedenle taban izolasyon sistemlerinin asimetric yapılarda negatif etkiler doğurabileceği bu çalışmada incelenen yapılar için grlmektedir.

KAYNAKLAR

- Akyüz, U., Caner, A., Özkaya, C. 2007.** Ekonomik Metodlar ve Sismik İzolasyon Kullanımı ile Standart Karayolu Köprülerinde Deprem Riskinin Azaltılması. Proje, TÜBİTAK, Ankara.
- Alhan, C., Öncü-Davas, S., 2016.** Performance Limits of Seismically Isolated Buildings Under Near-Field Earthquakes. *Engineering Structures*, 116(2016):83-94.
- Cheng, C., Chao, C., 2017.** Seismic Behavior of Rocking Base-Isolated Structures. *Engineering Structures*, 39(2017): 46-58.
- Demircan, Ş. 2003.** Düşeyde Düzensiz Binalarda Temel Yalıtım Uygulaması. *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2): 93-99.
- Derdiman, M. 2006.** Düzensiz Çok Katlı Betonarme Yapıların Davranışının Taban İzolatörleri, Enerji Sönümleyici ve Dağıtıcılarla İyileştirilmesi. *Doktora Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- Freddi, F., Dimopoulos, C. A., Karavasilis, T.L., 2017.** Rocking Damage-Free Steel Column Base with Friction Devices: Design Procedure and Numerical Evaluation. *Earthquake Engng Struct. Dyn.*, 46:2281–2300
- Gök, S. G. 2013.** A3 Düzensizliği Olan Çok Katlı Betonarme Bir Yapının Türk, Eurocode ve Acı318 Yönetmeliklerine Göre Tasarımı. *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Hoşbaş, A.B. 2006.** Çok Katlı Betonarme Yapının Sismik İzolatörlerle Modellenmesi ve Yapının Perdelerle Güçlendirilmiş Durumu ile Karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Jangid, R.S., Kelly, J.M., 2001.** Base Isolation for Near-Fault Motions. *Earthquake Engng. Struct. Dyn.*, 30:691-707.
- Kılar, V., Koren, D. 2009.** Seismic Behaviour Of Asymmetric Base Isolated Structures with Various Distributions Of Isolators. *Engineering Structures*, 31(2009):910-921.
- Kelly, J. M., Beucke, K. E. ve Skinner, M. S. (1980).** *Experimental Testing of an Energy-Absorbing Base Isolation System*. California: University of California, Berkeley. Earthquake Engineering Research Center.
- Livaoğlu, R. 2001.** Yapıların Deprem Hesabında Burulma Düzensizliğinin ve Hesap Yöntemlerinin Etkinliğinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, KATÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Matsagar, V. A., Jangid, R. S. 2005.** Base-isolated Building with Asymmetries Due to the Isolator Parameters. *Advances in Structural Engineering*, 8(6): 603-621.
- Matsagar, V. A., Jangid, R. S. 2010.** Impact Response of Torsionally Coupled Base-isolated Structures. *Journal of Vibration and Control*, 16(11): 1623-1649.
- Mengi, Y., Kıral, E., Dündar, C. 1986.** Nükleer Santrallar için Temel Yalıtım Sistemlerinin Tasarımı. Proje: MAG-634/A, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Mühendislik Araştırma Grubu, Adana.

- Murat, E. 2007.** Binaların Tabanlarına Elastomer Mesnetler Yerleştirilerek Sismik Yalıtım Uygulaması. *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Öcal, C., Yıldız, A., Soykan, O. 2015.** Deprem Yalıtım Sistemleri. Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu, 7-9 Mayıs 2015, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur.
- Öncü, M.E., Yön, B., Ulucan, Z. Ç. 2009.** Zaman Tanım Alanında Analiz Yöntemi Kullanılarak Binalardaki A3 Düzensizliğinin İncelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2): 147-155.
- Samali, B., Wu, Y. M., Li, J. 2007.** Shake table tests on a Mass Eccentric Model with Base Isolation. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 32:1353-1372.
- Saraçoğlu, G.** Sismik Yalıtım Kavramı ve Taban Yalıtımı Uygulanmış Betonarme Bir Yapının Zaman Tanım Alanında Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Şengel, H. S., Erol, H., Yavuz, E. 2009.** Sismik İzolasyon Tekniği ve Kullanılışına İlişkin Örnek Uygulama. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(2): 166-178.
- Türker, H., 2005.** Sismik İzolasyon Sistemlerinin Kullanış Tipleri Örnek Bir Maliyet Analizi. Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart 2005, İMO, Kocaeli.
- Anonim, 2018.** Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Resmi Gazete, Sayı:30364, 2018.
- Yazıcı, G. 2008.** Sismik Yalıtımlı Düşey Silindirik Sıvı Depolarının Deprem Yükleri Altında Davranışlarının İncelenmesi. *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Alper Tolga DÖKER

Doğum Yeri ve Tarihi : 01.01.1990

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Şükrü Şankaya Anadolu Lisesi

Lisans : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Çalıştığı Kurum/Kurumlar :

Oğuzlar İnşaat Eylül 2011- Nisan 2012

MAK İnşaat Nisan 2012- Ağustos 2013

Koru Yapı Denetim Eylül 2013- Nisan 2014

Yetim İnşaat Temmuz 2014- Eylül 2015

Meşe İnşaat Kasım 2014-Eylül 2016

Kafka Yapı Ağustos 2017- Halen

İletişim (e-posta) : alpertolgadoker@gmail.com