

T.C.
ADİYAMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SİSMİK İZOLATÖRLÜ ÇELİK VE BETONARME
HASTANE BİNALARININ DEPREM
DAVRANIŞLARININ İRDELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUSTAFA AKSOY

DANIŞMAN
PROF. DR. MURAT PALA

ADİYAMAN, 2025

ÖZET

SİSMİK İZOLATÖRLÜ ÇELİK VE BETONARME HASTANE BİNALARININ DEPREM DAVRANIŞLARININ İRDELENMESİ

Mustafa AKSOY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Adıyaman Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Aralık/2025, Sayfa: 72

Danışman: Prof. Dr. Murat PALA

Deprem yalıtım sistemleri son yüzyılda geliştirilmekle birlikte özellikle son dönemlerde, dünya ülkelerinde yapıları depremde izole etmek amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Ülkemizde Sağlık Bakanlığının 2012 tarihli deprem bölgelerinde 100 yatak ve üzeri hastane binalarında sismik izolatörlerin kullanılmasını zorunlu kıldığı genelge ile hastane yapılarında yaygın olarak kullanılmıştır. Yapıya etki edecek ivmeleri azaltarak ve görelî kat ötelemelerinin oluşmasını önleyen deprem yalıtım sistemleri geliştirilen teknolojilerle köprü gibi yapılarda da kullanılmaya başlanmıştır. Bu tez kapsamında; 50 yataklı bir hastane binası çelik ve betonarme taşıyıcılı olarak ankastre mesnetli olarak modellenmiştir. Ayrıca bu modeller sismik izolatörlü olarak modellenmiş ve toplamda 4 farklı model olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan bu modeller sonlu elemanlar yöntemiyle hesap yapılan programda, El-Centro depremi etkisi altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemine göre analizler yapılmıştır. Tüm modellere ait kat kesme kuvvetleri, görelî kat ötelemeleri, deplasmanlar, taban kesme kuvvetleri, katları etkileyen ivmeler ve yapı periyotları incelenmiştir. Son olarak ankastre temelli betonarme hastane binası sismik izolatörlü olarak tasarlanmış ve ilave imalatlar hesaplanarak maliyet analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sismik izolatörler; Deprem; Hastane; Betonarme yapılar; Çelik yapılar

ABSTRACT

INVESTIGATION OF EARTHQUAKE BEHAVIOR OF STEEL AND REINFORCED CONCRETE HOSPITAL BUILDINGS WITH SEISMIC ISOLATORS

Mustafa AKSOY

Department at Civil Engineering

Adiyaman University, Graduate Education School, December/2025, Page: 72

Supervisor: Prof. Dr. Murat PALA

Seismic isolation systems have been developed throughout the last century, and have recently been used worldwide to isolate structures from earthquakes. In Turkey, the Ministry of Health issued a 2012 circular mandating the use of seismic isolators in hospital buildings of 100 beds or more in earthquake zones, and these systems have become widely used in hospital buildings. Seismic isolation systems, which reduce the accelerations affecting the structure and prevent the formation of relative floor drifts, have also begun to be used in structures such as bridges with developing technologies. In this thesis, a 50-bed hospital building was modeled with steel and reinforced concrete supports and fixed supports. These models were also modeled with seismic isolators, and a total of four different models were designed. These models were analyzed using the finite element calculation program using a nonlinear time-history analysis method under the impact of the El Centro earthquake. The floor shear forces, relative floor drifts, displacements, base shear forces, accelerations affecting the floors, and building periods for all models were examined. Finally, the reinforced concrete hospital building with fixed foundation was designed with seismic isolators and cost analysis was made by calculating additional manufacturing.

Keywords: Seismic isolators; Earthquake; Hospital; Reinforced concrete's structures; Steel's structures

25/11/2025

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Adıyaman Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Mustafa AKSOY

TEŞEKKÜR

Eğitim hayatına başladığım küçük yaşlardan bu yana kusursuz bir destek sunan anneme ve babama, evlendiğimiz ilk dönemlerden tekrar öğrenci hayatına dönmüş olmama rağmen desteğini esirmeyen eşime teşekkür ediyorum.

Deprem yalıtım sistemleri alanında çalışmamı öneren, desteğini esirgemeyen ve yol gösterici olan değerli Hocam Prof. Dr. Murat PALA'ya teşekkür ediyor, saygılarımı sunuyorum.

Deprem yalıtımlı yapıların tasarımı aşamalarında sorularıma içtenlikle cevap veren ve yol gösterici olan MEF Üniversitesi Dr. Öğretim Üyesi Bahadır ŞADAN Hocama ve yalıtım analizinde yalıtım elmanın maliyeti hususunda desteklerini esirgemeyen TİS Teknolojik İzolatör Sistemlerine teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
BAŞLIK SAYFASI.....	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Deprem ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımına Genel Bir Bakış.....	1
1.2. Tezin Amaç ve Kapsamı.....	1
1.3. Literatür Taraması.....	2
2. DEPREM YALITIM SİSTEMLERİ.....	5
2.1. Deprem Yalıtım Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi.....	6
2.2. Deprem Yalıtım Sistemlerinin Sınıflandırılması	12
2.2.1. Elastomerik yalıtım birimleri.....	12
2.2.1.1. Düşük sönümlü kauçuk izolatörler (LDRB)	13
2.2.1.2. Yüksek sönümlü kauçuk tip yalıtım birimleri (HDRB)	14
2.2.1.3. Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimleri (LRB).....	15
2.2.2. Kayma esaslı yalıtım birimleri.....	16
2.2.2.1. Electricite de france sistemi (EDF)	16

2.2.2.2. Esnek sürtünme taban izolatörü (R-FBI)	17
2.2.2.3. Sürtünmeli sarkaç sistemler (FPS)	17
3. DEPREM YALITIM SİSEMLERİNİN TASARIMI.....	19
3.1. Tasarım İlkeleri	19
3.2. TBDY 2018’de Yalıtım Birimlerinin Temel Özellikleri	20
3.3. Yalıtım Birimi Hesap Esasları.....	22
3.3.1. Elastomer yalıtım birimler	22
3.3.1.1. Tasarımda kullanılacak alt ve üst sınır değerleri.....	23
3.3.1.2. Elastomer yalıtım birimlerinin düşey kararlılığı	26
3.3.1.3. Elastomer yalıtım birimlerinin bağlantıları	27
3.3.2. Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimleri	28
3.3.2.1 Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimlerinin bağlantıları.....	29
3.4 Hesap Yönteminin Seçimi	29
3.4.1. Etkin deprem yükü yöntemi.....	29
3.4.2. Mod birleştirme yöntemi	30
3.4.3. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi.....	31
3.5. Yalıtımlı Binalarda Göreli Kat Ötelemesi Sınırları ve Deprem Derzleri.....	31
3.6. Deprem Yalıtım Cihazı Üreticisinin Seçimi ve Test Edilmesi	32
3.7. Disiplinler Arası Koordinasyonun Önemi.....	32
4. SAĞLIK TESİSİ YAPISINDA SİSMİK İZOLATÖR UYGULAMASI.....	34
4.1. Proje Hazırlık Aşaması	34
4.2. Saha Uygulamaları	34
5. MATERYAL VE YÖNTEM	42
5.1 Ankastre Temelli Betonarme Taşıyıcılı Hastane Binası Modeli.....	43
5.2 Sismik İzolatörlü Betonarme Taşıyıcılı Hastane Binası Modeli.....	44
5.3 Ankastre Temelli Çelik Taşıyıcılı Hastane Binası Modeli	46

5.4 Sismik İzolatörlü Çelik Taşıyıcılı Hastane Binası Modeli.....	47
5.5 Deprem Yalıtımlı Hastane Binalarının Alt Yapı Modeli	49
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	52
6.1 Yapı Periyotları.....	52
6.2 Taban Kesme Kuvvetleri	53
6.2. Katları Etkileyen İvme Değerleri	57
6.3 Maksimum Yer Değiştirmeler ve Katların Göreli Yer Değiştirmeleri.....	60
6.4. Kat Kesme kuvvetleri	61
7. MALİYET ANALİZİ	63
7.1. Betonarme Yapılar Maliyet Analizi	63
7.2. İzolatörlü Yapı İlave Maliyetler	65
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	69
KAYNAKÇA.....	71
ÖZ GEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1. Yeni yapılacak deprem yalıtımlı binalar – üstyapı (TBDY, 2018).....	21
Tablo 3.2. Deprem yalıtımı yapılarak güçlendirilecek mevcut binalar – üstyapı (TBDY, 2018).....	21
Tablo 3.3. Yeni yapılacak ve güçlendirilecek deprem yalıtımlı binalar – yalıtım birimi ve altyapı (TBDY 2018).....	21
Tablo 3.4. Performans hedeflerine karşılık gelen R ve D katsayıları.....	21
Tablo 3.5. Elastomer yalıtım birimleri dayanım ve rijitlik parametreleri alt ve üst sınır öneri değerleri (TBDY, 2018).....	23
Tablo 3.6. Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimleri için alt ve üst sınır öneri değerleri	28
Tablo 5.1. Betonarme yapı için deprem yalıtım elemanı teknik verileri.....	50
Tablo 5.2. Çelik yapı için deprem yalıtım elemanı teknik verileri	51
Tablo 6.1. Yapı ağırlıkları	54
Tablo 6.2. Kat kesme kuvvetleri.....	61
Tablo 7.1. İzolatörlü bina ilave imalatlar.....	63
Tablo 7.2. İzolatörlü bina eksilen imalatlar.....	65
Tablo 7.3. Artan-Eksilen imalatlar mukayesesi.....	66
Tablo 7.4. 2024 Yılı yapılan izolatörlü hastane binaları ve TL/m ² maliyetleri.....	67
Tablo 7.5. 2024 Yılı yapılan klasik temelli hastane binaları ve TL/m ² maliyetleri	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Deprem yalıtımlı (a) ve ankastre mesnetli (b) binalar (Güner, 2012).....	5
Şekil 2.2. Westwood'un önerdiği deprem yalıtım sistemi (Dicleli, 2013:7–8).....	7
Şekil 2.3. Dr. Calantarients'in önerdiği sismik izolasyon çalışması (Naeim & Kelly, 1999).....	8
Şekil 2.4. Pestalozzi okulunda kullanılan yalıtıcılar (Naeim & Kelly, 1999).....	9
Şekil 2.5. Bolu viyadüğü sürtünmeli sarkaç izolatör uygulaması (Roussis, Constantinou, Erdik, Durukal, & Dicleli, 2003).....	10
Şekil 2.6. Kocaeli hastanesi sismik izolatör uygulaması (Kök, 2014:71).....	10
Şekil 2.7. İstanbul Atatürk havalimanı sarkaç tipi izolatör uygulaması (Constantinou, Whittaker, & Velivasakis, 2001).....	11
Şekil 2.8. İstanbul Başakşehir çam ve sakura şehir hastanesi (2068 İzolatör).....	12
Şekil 2.9. Kauçuk ve çelik levhalı mesnetin yük altındaki şekil değiştirmesi (Çağlar, 2002).....	13
Şekil 2.10. Düşük sönümlü elastomer mesnet (Çağlar, 2002).....	13
Şekil 2.11. Düşük sönümlü kauçuk mesnet uygulama aşamaları (Yücesoy, 2005).....	14
Şekil 2.12. Elastomer yalıtım birimi, kuvvet-yerdeğiştirme grafiği (TBDY-2018).....	15
Şekil 2.13. Kurşun çekirdekli sismik izolatör.....	15
Şekil 2.14. Eğri yüzeyli kayma esaslı yalıtım birimleri (TBDY-2018).....	16
Şekil 2.15. Esnek sürtünme taban izolatörü (R-FBI) (Mostaghel, N., 1984).....	17
Şekil 2.16. Sürtünmeli sarkaç mesnedin çalışma prensibi (Yücesoy, 2005).....	18
Şekil 3.1. Basıncıtan meydana gelen açılmal şekil değiştirme (TBDY, 2018).....	24

Şekil 3.2. Deprem dışındaki diğer etkilerden dolayı oluşacak yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen açılmal şekil değiştirme (TBDY, 2018).....	24
Şekil 3.3. Yalıtım birimi üst ve alt plakaları arasındaki göreceli dönmeden meydana gelen birim şekil değiştirme (TBDY, 2018).....	25
Şekil 3.4. Elastomer yalıtım birimlerinin şekil değiştirmiş durumları (TBDY, 2018)....	27
Şekil 3.5. Elastomer yalıtım birimlerinin bağlantıları (TBDY, 2018).....	28
Şekil 3.6. Deprem yalıtımı bina tesisat örneği ve geçiş-kaplama örneği (Alhan Hacıemiroğlu, 2022).....	33
Şekil 4.1. Yalıtım birimi alt yapı kolon-temel.....	35
Şekil 4.2. Yalıtım birimi platform montajı.....	35
Şekil 4.3. Yalıtım birimi alt kolona montajı.....	36
Şekil 4.4. Yalıtım birimi grout harcı için kalıba alınması.....	36
Şekil 4.5. Grout harcının kalıba pompa ile kalıpkaki boşluktan basılması.....	37
Şekil 4.6. İzolatör birimi demontajı.....	37
Şekil 4.7. İzolatör birimi boşluk tespiti için boşluklara alçı ile doldurulması.....	38
Şekil 4.8. Yalıtım katı üst temel imalatı.....	38
Şekil 4.9. Yalıtım katı üst temel imalatı.....	39
Şekil 4.10. Yalıtım katı üst temel imalatı.....	39
Şekil 4.11. Yalıtım katı üst temel imalatı.....	40
Şekil 4.12. Yalıtım katı üst imalatı-kolon başlığı.....	40
Şekil 4.13. Yalıtım katı üst imalatı.....	41
Şekil 4.14. Yapı içi sismik boşluk.....	41

Şekil 5.1. Hastane binası taban oturumu.....	42
Şekil 5.2. Ankastre temelli betonarme modeli	44
Şekil 5.3. Ankastre temelli betonarme modeli	44
Şekil 5.4. Sismik izolatörlü betonarme modeli	45
Şekil 5.5. Sismik izolatörlü betonarme modeli	45
Şekil 5.6. Ankastre temelli çelik taşıyıcılı hastane binası modeli.....	46
Şekil 5.7. Ankastre temelli çelik taşıyıcılı hastane binası YZ görünüşü.....	47
Şekil 5.8. Sismik izolatörlü çelik taşıyıcılı hastane binası modeli.....	48
Şekil 5.9. Sismik izolatörlü çelik taşıyıcılı hastane binası YZ görünüşü.....	48
Şekil 5.10. Çelik taşıyıcılı hastane binaları kompozit döşeme kesiti.....	49
Şekil 5.11. Deprem yalıtımlı hastane binalarının alt yapı modeli	49
Şekil 5.12. Deprem yalıtımlı hastane binalarının alt yapı modeli kesiti.....	50
Şekil 5.13. Deprem yalıtımlı hastane binalarının alt yapı modeli YZ görünüşü.....	50
Şekil 6.1. Tüm yapılara ait T (sn)-Sae(g) grafikleri.....	52
Şekil 6.2. Betonarme yapılara ait T (sn)-Sae(g) grafikleri.....	53
Şekil 6.3. Çelik yapılara ait T (sn)-Sae(g) grafikleri.....	53
Şekil 6.4. Ankastre temelli betonarme yapı taban kesme kuvveti.....	54
Şekil 6.5. Sismik izolatörlü betonarme yapı taban kesme kuvveti.....	55
Şekil 6.6. Ankastre temelli çelik yapı taban kesme kuvveti.....	55
Şekil 6.7. Sismik izolatörlü çelik yapı taban kesme kuvveti.....	56
Şekil 6.8. Yapılara ait maksimum taban kesme kuvvetleri.....	56

Şekil 6.9. Yapılara ait maksimum taban kesme kuvveti oranları	57
Şekil 6.10. Katları etkileyen ivme değerleri	57
Şekil 6.11. Ankastre temelli betonarme yapı katları etkileyen ivme değerleri.....	58
Şekil 6.12. Sismik izolatörlü betonarme yapıda katları etkileyen ivme değerleri.....	58
Şekil 6.13. Ankastre temelli çelike yapıda katları etkileyen ivme değerleri	59
Şekil 6.14. Sismik izolatörlü çelik yapıda katları etkileyen ivme değerleri	59
Şekil 6.15. Kat yer değiştirmeleri.....	60
Şekil 6.16. Göreli kat yer değiştirmeleri.....	60
Şekil 6.17. Betonarme taşıyıcılı modellere ait kat kesme kuvvetleri.....	61
Şekil 6.18. Çelik taşıyıcı modellere ait kat kesme kuvvetleri.....	62
Şekil 7.1. Sismik izolatörlü yapı modeli.....	64
Şekil 7.2. Sismik izolatörlü yapı modeli	64
Şekil 7.3. Ankastre temelli yapı modeli.....	65

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Elastomer yalıtım birimin brüt kesit alanı
A_L	: Elastomer katmanı kenar yüzeyi alanı
A_P	: Kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimlerinde kurşun çekirdeğin alanı
A_r	: Tek bir elastomer katmanının çelik plaka ile yapışmış, yüke maruz yüzey alanı
B	: Yapının en uzun plan boyu d'ye dik doğrultudaki en kısa plan boyu
B	: Çelik plaka ile yapışmış elastomerin çapı
B_L	: Kurşun çekirdek çapı
D	: Yapının en uzun plan boyu
D	: Yalıtım birimi için yerdeğiştirme değeri
D_D	: Tasarım deprem yer hareketi seviyesinde göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak yerdeğiştirme
D_{TD}	: Tasarım deprem yer hareketi seviyesinde göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak toplam yerdeğiştirme
D_M	: En büyük deprem yer hareketi seviyesinde, göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak yerdeğiştirme
D_{TM}	: En büyük deprem yer hareketi seviyesinde, göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak toplam yerdeğiştirme
D_y	: Yalıtım biriminin etkin akma yerdeğiştirmesi
E	: Üstyapı ağırlık merkezi ile yalıtım sistemi rijitlik merkezi arasında ölçülen dış merkezlik ile deprem yüklemesine dik doğrultudaki plan boyutunun %5'i olarak hesaplanan ek dış merkezliğin toplamı
E_d	: Tasarıma esas toplam deprem etkisi
E_c	: Elastomer yalıtım biriminin basınç modülü
$E_{c'}$	: Elastomer yalıtım biriminin sabit hacim kabulüne dayalı basınç modülü

E_o	: Esneklik modülü
E_v	: Düşey rijitlik modülü
F	: Yalıtım biriminde D yerdeğiştirmesine karşı gelen dayanım
F_S	: Üst yapıya etki eden deprem kuvveti
F_y	: Etkin akma dayanımı
F_Q	: Yalıtım biriminin karakteristik dayanımı (kuvvet-yerdeğiştirme çevriminde sıfır yerdeğiştirmeye karşılık gelen kuvvet)
G	: Yer çekimi ivmesi
G	: Sabit yük
G_v	: Elastomer malzemenin kayma modülü
G_e	: Etkin kayma modülü
H	: Yalıtım birimi toplam yüksekliği
h	: i'nci kat ile (i-1)'nci kat arasındaki mesafe (kat yüksekliği)
h_x	: x katının yüksekliği
I	: Bina Önem Katsayısı
K	: Kauçuk malzemenin hacim modülü
KK	: Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi
KD	: Tasarım deprem yer hareketi yerdeğiştirmesi seviyesinde yalıtım sisteminin nominal etkin rijitliği
K_M	: En büyük deprem yer hareketi yerdeğiştirmesi seviyesinde yalıtım sisteminin nominal etkin rijitliği
k_1	: Elastomer yalıtım biriminin başlangıç rijitliği (elastik rijitlik)
k_2	: Elastomer yalıtım biriminin ikincil (elastik ötesi) rijitliği
k_e	: D yerdeğiştirmesine karşılık gelen etkin rijitlik
k_v	: Elastomer yalıtım biriminin düşey rijitliği

P : Düşey yük ve deprem yükünün ortak etkisi altında meydana gelen en büyük düşey yük

P_{cr} : Yatay yerdeğiştirme olmadığı durumda elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü

P_{cr}' : Yatay yerdeğiştirme olduğu durumda elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü

P_{str} : Elastomer yalıtım birimlerinin, birim şekilde değiştirmeye bağlı eksenel yük kapasitesi

R_c : Yalıtım birimi kayma yüzeyinin eğrilik yarıçapı

R : Deprem yükü azaltma katsayısı

S : Şekil katsayısı

SH : Sınırlı Hasar Performans Düzeyi (DD-2)

S_{ae} : Tasarım deprem yer hareketi seviyesinde %5 sönüm için yatay spektral ivme [g]

M : En büyük deprem yer hareketi seviyesinde TM periyodundaki spektral ivme [g]

T : Elastomer katman kalınlığı

T_D : Deprem yalıtımlı binanın tasarım yerdeğiştirmesi seviyesinde etkin titreşim periyodu

T_p = Yalıtım uygulanmamış binanın brüt kesit rijitliği kullanılarak hesaplanmış hakim mod titreşim periyodu

T_M : En büyük yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın etkin titreşim periyodu

T_r : Toplam elastomer kalınlığı

T_v : Elastomer yalıtım birimleri ile yalıtılmış yapının düşey doğrultudaki titreşim periyodu

- V_D : Tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için hesaplanan üstyapıya etkiyen kuvvet
- V_M : En büyük deprem yer hareketi düzeyi DD-1 için hesaplanan üstyapıya etkiyen kuvvet
- y : Yalıtım sistemi rijitlik merkezi ile ilgili eleman arasındaki deprem yüklemesine dik doğrultudaki uzaklık
- Q : TS 498'e göre azaltılmış hareketli yük
- W : Binanın deprem sırasındaki toplam kütleyle karşı gelen ağırlığı
- W_d : Tüketilen enerji (Kuvvet-yerdeğiştirme eğrisinin içinde kalan alan)
- w_i : Binanın i'nci katının sabit yükü
- w_x : x katının toplam ağırlığı β_e = Etkin sönüm oranı γ_p
- τ_{yp} : Kurşun malzemenin kayma akma gerilmesi
- ϵ_b : Elastomer malzemenin kopma birim şekildeğiştirme değeri
- γ_c : Düşey yüklerden kaynaklanan açısall şekildeğiştirme
- $\gamma_{c,E}$: DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi etkisi altında oluşan basınçtan meydana gelen birim şekildeğiştirme
- $\gamma_{c,st}$: Basınçtan meydana gelen açısall şekildeğiştirme
- $\gamma_{r,st}$: Yalıtım birimi üst ve alt plakaları arasındaki görelil dönmeden meydana gelen birim şekildeğiştirme
- γ_s : Toplam deprem tasarım yerdeğiştirmesinden kaynaklanan açısall şekildeğiştirme
- $\gamma_{s,E}$: DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi etkisi altında oluşan yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen birim şekildeğiştirme $\gamma_{s,st}$ = Deprem dışındaki diğer etkilerden dolayı (genleşme, rüzgar vb.) oluşacak yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen açısall şekildeğiştirme
- μ : Etkin sürtünme katsayısı

- η_{bi} : i'inci katta tanımlanan Burulma Düzensizliği Katsayısı
- η_D : Tasarım deprem yer hareketi düzeyi için sönüm ölçeklendirme katsayısı
- η_M : En büyük deprem yer hareketi düzeyi için sönüm ölçeklendirme katsayısı
- Δs : Yatay yüklemeden meydana gelen yatay yerdeğiştirme miktarı
- θ_s : Tasarım dönme açısı
- ξ : DD-1 veya DD-2 deprem yer hareketi düzeyindeki yalıtım birimi için hesaplanan etkin sönüm yüzdesi



1. GİRİŞ

1.1. Deprem ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımına Genel Bir Bakış

Türkiye bulunduğu konum itibarıyla depremselliği yüksek bir bölgede bulunmaktadır. Öyle ki son 100 yılda Türkiyede farklı bölgeler olmak üzere 7 ve üzerinde büyüklüğe sahip 16 deprem meydana gelmiştir (<https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/turkiyede-son-yuzyilda-gerceklesen-buyuk-depremler>). Bu depremlerde binlerce kişi hayatını kaybetmiş, binlerce yapı yıkılmış veya ağır hasar alarak kullanılamaz hale gelmiştir.

Deprem nedeniyle oluşan can ve mal kayıpları ile birlikte ekonomiye getirdiği ağır yük; yapıların depreme dayanıklı olarak tasarlanmasının önemini öne çıkarmaktadır. Depreme dayanıklı yapı tasarımında birçok yöntem bulunmakta iken deprem yalıtım sistemleri yapının depreme dayanım kapasitesini arttırmaktan çok deprem istemini azaltma kavramına yönelik bir tasarım yaklaşımıdır (Deprem yalıtımlı yapıların tasarımı kitabı).

Deprem yalıtım sistemlerinin temel felsefesi; yapı ile temel arasına yatay rijitliği düşük, düşey rijitliği çok yüksek elemanlar yerleştirilerek yapının periyodunu uzatmak ve deprem nedeniyle oluşan etkilerin yapıya aktarılmasına azaltmaktır. Depremden hemen sonra kullanılması gerektiğinden deprem sırasında bünyesinde bulundurduğu cihazların öneminden dolayı Sağlık Bakanlığı 2013 yılında yayımladığı genelge ile 1. ve 2. Deprem bölgelerinde yeni yapılacak 100 yatak ve üzeri kapasiteli hastane binalarının sismik izolatörlerle yalıtılmasını zorunlu kılmıştır. Böylece 2013 yılından sonra deprem bölgelerinde yapılan 100 yatak ve üzeri hastane binaları sismik izolatörlü olarak yapılmıştır. Tez kapsamında Adıyaman ilinde yapımına devam edilen 150 yataklı hastane binası izolatör imalatları (alttemel-kolon kaide, izolatör montajı-demontajı üst temel imalatı) gösterilmiştir.

1.2. Tezin Amaç ve Kapsamı

Betonarme bir yapı çelik taşıyıcılı olarak tasarlandığında bina kütlesi önemli oranda azalırken orantılı olarak taban kesme kuvveti de önemli oranda düşmektedir. Ancak yapı hakim titreşim periyodunda ve katları etkileyen ivme değerlerinde önemli bir değişiklik olmamaktadır. Diğer yandan betonarme geleneksel temelli bir yapı sismik izolatörlü olarak tasarlandığında izolatör seviyesinde yükler sönümlenmekte ve aynı zamanda yapı periyodu uzarken katları etkileyen kat ivmeleri de önemli oranda düşmektedir.

Çalışmamız kapsamında 100 yataktan daha düşük kapasiteli bir hastane binası betonarme izolatörlü ve çelik izolatörlü olarak tasarlanacaktır. İlgili yapıda deprem

nedeniyle yapıyı etkileyecek taban kesme kuvvetleri, kat kesme kuvvetleri, yapı periyotları, kat ivmeleri, görelî kat ötelemeleri irdelenmiştir. Betonarme hastane binası sismik izolatörlü olarak tasarlandığında oluşacak ilave maliyetler Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının yayımlamış olduğu güncel birim fiyatlara göre hesaplanmıştır. Ayrıca sağlık Bakanlığının 2024 yılında yapım ihalesini yapmış olduğu hastane binaları maliyet farklılıkları bakımından incelenmiştir.

1.3. Literatür Taraması

Çok katlı betonarme ve çelik taşıyıcı sistemlerin deprem davranışlarının karşılaştırıldığı araştırmada, deprem yüklerinin betonarme yapılarda çelik yapılara kıyasla yaklaşık 2,5–3 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir (**Kaynak:** Toprak, 2012)

Betonarme yapılarda taban yalıtım tekniğinin deprem performansına etkisinin incelendiği araştırmada, geleneksel temelli bir bina ile farklı türde kauçuk izolatörler kullanılarak modellenmiş yapılar karşılaştırılmıştır. Bulgular, izolatörlü modellerde ivme, taban kesme kuvveti ve görelî kat ötelemelerinin geleneksel modele göre belirgin ölçüde azaldığını göstermektedir (**Kaynak:** Mirkelam ve Derdiman, 2016).

Sismik izolatörlü bir binanın yakın fay ve düşey deprem etkileri altındaki davranışının araştırıldığı çalışmada, 93,2 cm'ye varan yer değiştirme taleplerinin yanı sıra izolatörlerde 1 mm seviyesinde kalkmaların oluştuğu rapor edilmiştir [(**Kaynak:** Alhan ve Hacıemiroğlu, 2023).

Beş katlı betonarme bir yapının, farklı sürtünme yüzeylerine sahip sarkaç tip izolatörlerle zaman tanım alanında analiz edildiği çalışmada; ankastre mesnetli yapıya kıyasla görelî yer değiştirme ve ivmelerde önemli azalmalar elde edilmiştir. Bu azalmalar, ÜSYS için %48,2 ve %84,6; ÇSYS için %46,8 ve %82,4; TSYS için ise %36,7 ve %78,6 olarak rapor edilmiştir. Ayrıca maksimum kesme kuvvetlerindeki düşüş oranları TSYS için %64,2, ÇSYS için %71,9 ve ÜSYS için %76,6 olarak belirlenmiştir (**Kaynak:** Zulfakar ve Karakaş, 2022).

Zemin kat yüksekliği ve kat sayısı farklı olan betonarme binalarda yapılan incelemelerde, sismik izolatör kullanılan modellerde zemin kat yüksekliğinin artışı ile birlikte taban kesme kuvvetlerinin ve üst katlardaki görelî ötelemelerin ankastre mesnetli binalara kıyasla önemli ölçüde azaldığı, buna karşın hakim periyot ve kat yer değiştirmesi değerlerinde kayda değer bir artış gözlenmediği belirlenmiştir (**Kaynak:** Özkan, Gürsor ve Garip, 2023).

Zemin–yapı etkileşimini dikkate alan analizlerde, sekiz katlı betonarme yapı hem ankastre hem de izolatörlü olarak, zemin etkileri hesaba katılarak dört farklı modelle değerlendirilmiştir. Sonuçlar, izolatörlü tasarımlarda ivme ve taban kesme kuvvetlerinde önemli azalmalar elde edildiğini, zemin etkisinin dikkate alınmasının ise ötelenmeler üzerinde belirgin bir rol oynadığını göstermektedir (**Kaynak:** Gürbüz ve Kayıkçı, 2024).

Farklı kat yüksekliklerine sahip yapılarda burulma düzensizliğinin azaltılmasına yönelik yapılan çalışmada, yüksek sönümlü ve kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler kullanılarak iki farklı model oluşturulmuştur. Analiz sonuçları, görelî kat ötelemeleri, momentler ve maksimum kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılmasıyla, burulma düzensizliğinin izolatör kullanımıyla önemli ölçüde azaltılabileceğini göstermiştir (**Kaynak:** Toprak, 2012).

SAP2000 programında farklı kat yüksekliğine sahip (4, 8 ve 16 katlı) yapılar ankastre, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü ve sürtünmeli sarkaç izolatörlü olarak modellenmiş ve 6 Şubat Kahramanmaraş deprem kayıtları ile analiz edilmiştir. Bulgular, her iki izolatör tipinin de ankastre sistemlere kıyasla çok daha düşük ivme ve taban kesme kuvvetlerine maruz kaldığını ortaya koymuştur. Ayrıca sürtünmeli sarkaç izolatörlü modellerde periyot değerinin ve yer değiştirmelerin kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlere göre daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır (**Kaynak:** Baş, 2024).

Ankastre mesnetli bir hastane binasının sürtünmeli sarkaç izolatörler ile deprem yalıtımının yapılarak deprem nedeniyle yapıya etki eden yüklerin incelendiği çalışmada izolatörlü modelde yapı periyodunun uzadığı, taban kesme kuvveti ve kat kesme kuvvetlerinin önemli oranda azaldığı ve katları etkileyen ivmelerin azaldığını ortaya koymuştur. Ayrıca maliyet analizi de yapılarak sismik izolatörlü binanın ankastre mesnetli binaya göre yaklaşık maliyetinin %20 oranında arttığı sonucuna varmıştır (**Kaynak:** Öztürk, 2025).

Yapılan çalışmalar incelendiğinde sismik izolatörlü olarak tasarlanan klasik temelli binalarda yapı doğal titreşim periyodunun uzadığı ve deprem nedeniyle yapılara etki eden yüklerin benzer şekilde azaldığı görülmüştür. Her ne kadar hastane binalarının izolatörlü olarak tasarlanması durumunda deprem performansları incelenmiş olsa da hastane yatak kapasitesinin tasarıma etkisi, sismik izolatör ile ilave imalatların getireceği maliyet hesaplarına yönelik çalışmalar sınırlı kalmıştır. Bu çalışmada 50 yataklı bir hastane binası öncelikle ankastre temelli çelik ve betonarme olarak tasarlanmış ve deprem performansları incelenmiştir. Ankastre mesnetli bu binalar sürtünmeli sarkaç tip izolatörler ile deprem

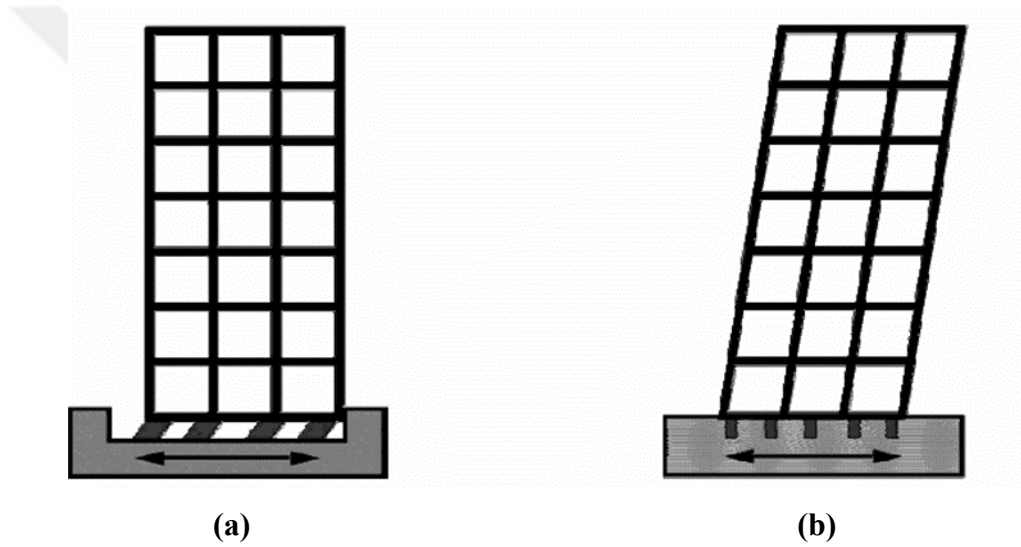
yalıtımı yapılmış ve yapı doğal titreşim periyotları, taban kesme kuvvetleri, kat kesme kuvvetleri, katları etkileyen ivmeler ile görelî kat yer değıştirmeleri incelenmiştir. Ayrıca 50 yataklı betonarme hastane binasının sismik izolatörlü olarak modellenmesi ile getireceğı ilave imalatlar hesaplanmış ve Sağlık Bakanlığının 2024 yılında yapım ihalesini yapmış olduğı izolatörlü ve izolatörsüz hastane binalarının maliyeti ile mukayese edilmiştir.



2. DEPREM YALITIM SİSTEMLERİ

Geleneksel deprem dayanımlı yapı tasarımında temel yaklaşım, yapının ankastre mesnetli bir sistemle temele oturtulması ve deprem etkileri sonucu oluşan yüklerin plastik mafsallar aracılığıyla karşılanmasıdır. Bu plastik mafsallar, kirişlerde veya bölme duvarlarda meydana gelen hasarlarla kendini gösterebilir. Yapının taşıyıcı sistemi yüksek sünekliğe sahip kolon-kiriş çerçevelerden oluştuğunda, katlara etki eden ivmeler azalırken görelî kat ötelemeleri artmakta ve bu durum yapıda hasara yol açabilmektedir.

Görelî kat ötelemelerini azaltmak amacıyla yapı rijitleştirilebilir; fakat bu yaklaşım, kat ivmelerini artırdığı için yapıya etki eden deprem kuvvetlerini büyütür (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Deprem yalıtımlı (a) ve ankastre mesnetli (b) binalar (**Kaynak:** Güner, 2012)

Bu çelişkinin çözümü, temel ile üst yapı arasına yerleştirilen taban yalıtım sistemlerinde (sismik izolatörler) yatmaktadır. Taban yalıtımı, yapının doğal periyodunu uzatarak kat ivmelerini ve görelî ötelemeleri minimuma indirir. Ayrıca, deprem enerjisinin bir kısmı sönmülenerek üst yapıya aktarılacak kuvvetleri azaltır.

Taban yalıtımı temel olarak, yapıyı yer hareketinin yatay bileşenlerinden ayıran düşük yatay rijitliğe sahip elemanlar aracılığıyla sağlanır. Bu sayede yapıya, hem ankastre sistemin hem de temel zeminin hakim frekanslarından çok daha düşük bir doğal frekans kazandırılır. Yalıtılmış yapılarda ilk dinamik mod şekil değişikliği yalnızca yalıtım elemanlarında gerçekleşir; üst yapı neredeyse tamamen rijittir. Daha yüksek modlardaki şekil değişimleri ise ilk moda ve yer hareketine dik olacak şekilde oluşur, bu nedenle yüksek frekanstaki deprem enerjisi yapıya geçemez. Yalıtım sistemi, deprem enerjisini yapının

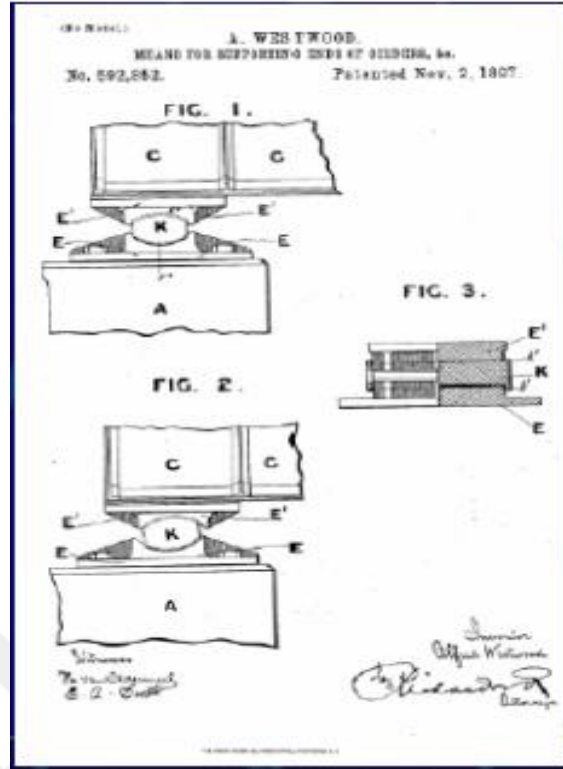
dinamiği içinde yönlendirir ve bu süreç doğrudan sönüme bağlı değildir. Bununla birlikte, belirli bir düzeydeki sönüm, yalıtım frekansında meydana gelebilecek rezonansı sınırlamak açısından faydalı olabilir (**Kaynak:** Naeim, Kelly ve İpek, 1999).

2.1. Deprem Yalıtım Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi

Deprem yalıtım sistemleri, modern mühendislikte özellikle son 60–70 yıl içinde önemli bir gelişim göstermiştir ve Türkiye’de 2013 sonrası projelerde yaygın olarak uygulanmaya başlanmıştır. Bununla birlikte, taban yalıtımı yaklaşımının temel ilkeleri tarih boyunca bazı yapılarda da gözlemlenmektedir. Örneğin, yaklaşık 1200 yıl önce inşa edilen Japon Pagodaları, erken dönem deprem yalıtımı uygulamalarına örnek teşkil eder. Bu yapılarda temel üzerine yerleştirilen yan yana ve üst üste tomruklar, doğal bir taban yalıtımı işlevi görmektedir. Tomruklar arasındaki sürtünme kuvvetleri, deprem enerjisinin bir kısmını sönümleyerek yapının dayanıklılığını artırır. Ayrıca, Pagodaların uzun titreşim periyodu, Japonya’da sık görülen kısa periyotlu depremlerden kaynaklanan rezonans etkilerini azaltarak yapının tarih boyunca korunmasına katkı sağlamıştır (**Kaynak:** Dicleli, 2013).

Benzer bir şekilde, Pekin’deki Kral Zi Jing Ceng Sarayı, taban yalıtımına özgün bir yaklaşım sunar. Saray temeli, kireçtaşı ile kaynatılmış pirinç tanesi kabuklarından oluşan yapay bir kompozit zemin üzerine inşa edilmiştir. Bu zemin, yüksek esneklik ve etkin sönümleme özelliği sayesinde sarayın deprem etkilerine karşı direnç kazanmasını sağlamıştır (**Kaynak:** Dicleli, 2013).

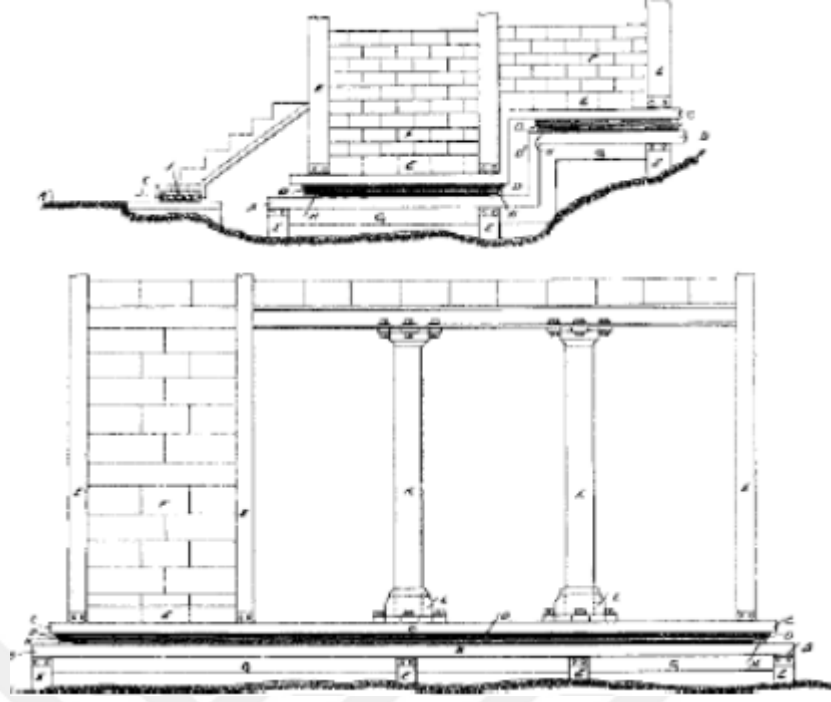
Modern anlamda sismik izolasyon uygulamalarının öncü örnekleri 19. yüzyılda ortaya çıkmıştır. J. Touaillon, 1870 yılında ABD Patent Ofisi’ne yaptığı başvuruda, çift konkav yüzeyler arasına yerleştirilen kürelerden oluşan bir izolasyon sistemi önermiştir. Benzer şekilde, 1897’de A. Westwood, bir blok kayıcının konkav yüzeyler üzerinde kayma prensibini temel alan bir sismik izolasyon sistemi geliştirmiştir (**Kaynak:** Dicleli, 2013). Bu erken dönem çalışmaları, modern taban yalıtımı tekniklerinin gelişimi için temel oluşturmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. *Westwood'un önerdiği deprem yalıtım sistemi (Kaynak: Dicleli, 2013)*

Jacob Bechtold (Münih), 1906 yılında ABD Patent Ofisi'ne yaptığı başvuruda, bina altına yerleştirilen rijit bir taban plakasının sert küreler üzerinde kaymasını sağlayan bir sistem önermiştir [4]. Bu yaklaşım, yapının deprem etkisi altında temel ile üst yapı arasındaki hareketi sınırlayarak, üst yapıya aktarılan kuvvetlerin azaltılmasını hedeflemiştir.

Benzer şekilde, Kuzey İngiltere'nin Scarborough kentinden tıp doktoru J. A. Calantarients, 1909 yılında Santiago, Şili'deki sismoloji servisi müdürüne yazdığı mektupta geliştirdiği inşaat yöntemini tanıtmış ve bu yöntemin temelinde oluşturulan yalıtımlı serbest birleşimin depremin şiddetini azalttığını belirtmiştir. Calantarients, patent başvurusunda, bu serbest birleşimin deprem sırasında kayarak binaya gelecek kuvvetleri düşüreceğini ve yapının deprem kuşaklarında bulunan büyük yapıların korunmasına katkı sağlayacağını ifade etmiştir. Önerilen sistemde, bina temeli ince kum, mika ve talk katmanı gibi kaygan malzemeler üzerine oturtulmuş ve böylece serbest kayma mekanizması oluşturulmuştur (Kaynak: Naeim, Kelly ve İpek, 1999) (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Dr. Calantarients'in önerdiği sismik izolasyon çalışması (**Kaynak:** Mirkelam ve Derdiman, 2016)

Kauçuk taban yalıtımının ilk uygulamalarından biri, 1969 yılında Yugoslavya'nın Üsküp kentinde yer alan Pestalozzi İlkokulu'nda gerçekleştirilmiştir. Üç katlı betonarme bir yapı olan bu okulda, günümüzde kullanılan güçlendirilmiş kauçuk yalıtım elemanlarından farklı olarak, yalıtıcılar güçlendirilmemiş şekilde tasarlanmıştır. Düşey rijitliklerinin düşük olması nedeniyle, yapının ağırlığı altında yalıtıcılar kenarlara doğru savrulmuştur. Deprem yükleri belirli bir eşik değere ulaştığında, yalıtıcılar kırılmaya eğilimli cam bloklar gibi davranacak şekilde tasarlanmıştır. Bununla birlikte, sistemin düşey ve yatay rijitlik değerlerinin birbirine yakın olması, deprem sırasında yapının zıplamasına ve her iki ucunun sırayla yerden kalkmasına yol açmıştır (**Kaynak:** Naeim, Kelly ve İpek, 1999) (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. *Pestalozzi okulunda kullanılan yalıtıcılar* (**Kaynak:** Naeim, Kelly ve İpek, 1999)

1970’lerden sonra, doğal kauçuğun vulkanize edilerek şekillendirilmesi ve dayanımının artırılması, ince çelik plakalarla üst üste bindirilip sıkıştırılarak çok tabakalı elastomerik mesnetlerin üretilmesi, taban yalıtımı amaçlı uygulamaların yaygınlaşmasını sağlamıştır. Bu dönemde, William Robinson 1974 yılında Yeni Zelanda’da kurşun çekirdekli izolatörü geliştirmiştir (**Kaynak:** Constantiinou, Whittaker ve Velivasakis, 2001). 1982 yılında ise “Malaysian Rubber Producers Research Association (MRPRA)” yüksek sönümlü kauçuk izolatörler tasarlamıştır (**Kaynak:** Mirkelam ve Derdiman, 2016).

1985 yılında Victor Zayas, sürtünmeli sarkaç izolatörü icat etmiş; 1987 yılında Zayas, Low ve Mahin, sürtünmeli sarkaçlarla ilgili deneysel çalışmaları yürütmüşlerdir [24]. 1995 yılında Chopra, sismik izolasyon hesaplamalarını kolaylaştırmak amacıyla ilk bilgisayar programını geliştirmiştir.

Türkiye’de ilk sismik izolasyon uygulamaları, 1993–1998 yılları arasında Tarsus-Adana-Gaziantep (TAG) Otoyolu viyadüklerinde gerçekleştirilmiştir. Bu projede, 5 numaralı viyadükte kurşun çekirdekli yalıtım birimleri kullanılmıştır. Ayrıca, 1993 yılında yapımına başlanan ancak 1999 Düzce Depremi’nde hasar gördüğü için 2007 yılında tamamlanan Bolu Dağı Geçiş Projesi, 4,6 km uzunluğunda 4 viyadük ve 900 m uzunluğunda 3 köprüden oluşmaktadır. Güçlendirme kapsamında, 1999 ASSHTO yönetmeliğine göre

hesaplanan 70–90 cm çaplı sürtünmeli sarkaç tip izolatörler ve elastomerik tip sönümleyiciler kullanılmıştır (**Kaynak:** Rousis vd., 2003) (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Bolu viyadüğü sürtünmeli sarkaç izolatör uygulaması (**Kaynak:** Rousis vd., 2003)

Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Kampüsünde inşaatına 2002 yılında başlanan Tıp Merkezi, Türkiye’de deprem yalıtım birimleri kullanılarak inşa edilen ilk yapı olarak dikkat çekmektedir. 12.500 m² taban alanına ve toplam 67.500 m² inşaat alanına sahip olan bu merkezde, 256 adet deprem yalıtım birimi kullanılmış olup, yapının 27 cm’ye kadar yerdeğiştirme yapabilme kapasitesi bulunmaktadır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Kocaeli hastanesi sismik izolatör uygulaması

Yapımına 1998 yılında başlanan Atatürk Havalimanı Dış Hatlar Terminali, 1999 Kocaeli Depremi sonrasında, projesi taban yalıtımlı olarak güçlendirilmiştir. Bu güçlendirme kapsamında sürtünmeli sarkaç tip deprem yalıtım birimleri kullanılmıştır. Deprem yalıtım sistemi, yapımı tamamlanan 6000 tonluk uzay çatı ile 162 taşıyıcı kolon arasına yerleştirilmiştir. Bu uygulamanın amacı, çelik çatının yapıya ilettiği yüklerin azaltılması ve yer değiştirmelerin kontrol altına alınmasıdır. Terminalin uzay çatısı, deprem yükleri altında 26 cm'ye kadar yerdeğiştirme yapabilme kapasitesine sahiptir (**Kaynak:** Constantiinou, Whittaker ve Velivasakis, 2001) (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. *İstanbul Atatürk Havalimanı sarkaç tipi izolatör uygulaması (Kaynak: Constantiinou, Whittaker ve Velivasakis, 2001)*

Ülkemizde özellikle Sağlık Bakanlığının 2013 yılındaki genelgesinden sonra 1. ve 2. Deprem bölgelerinde yapılan 100 yatak ve üzeri hastanelerde yapılması zorunlu hale getirilmiş ve uygulanması ile birlikte günümüzde bir çok konut projesinde de uygulanmaya başlanmıştır.



Şekil 2.8. *İstanbul Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi (2068 İzolatör)*

2.2. Deprem Yalıtım Sistemlerinin Sınıflandırılması

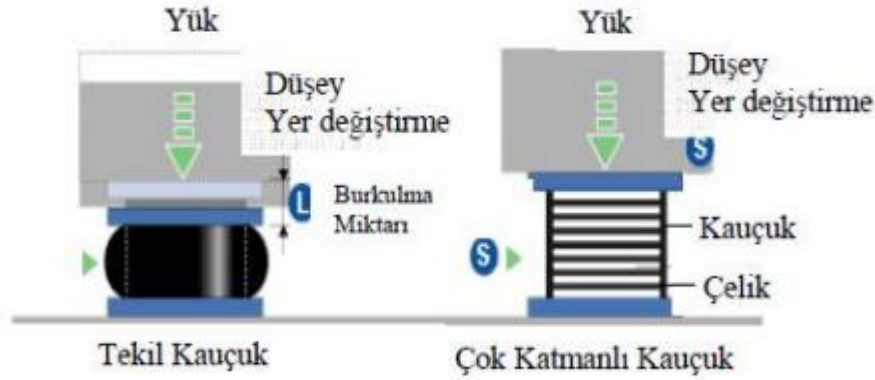
Depremden korunma amacıyla kullanılan ilk doğal kauçuk mesnetler, büyük kauçuk bloklardan oluşmaktaydı ve günümüzdeki gibi çelik plakalarla güçlendirilmediğinden düşey rijitlikleri düşük kalmaktaydı. Bu nedenle, binanın düşey yükü altında mesnetler sıkışmakta ve hasar görmektedir. Mesnetlerin düşey rijitliği, yatay rijitliklerinin yalnızca birkaç katı seviyesinde olup, kauçuk malzeme göreceli olarak sönümsüzdür (**Kaynak:** Naeim, Kelly ve İpek, 1999).

Daha sonraki yıllarda, kauçuğun vulkanize edilmesiyle taban yalıtım birimlerinin çeşitliliği artmış ve kauçuk esaslı izolatörlerin kauçuk katmanları arasına yerleştirilen çelik plakalar sayesinde düşey yük taşıma kapasiteleri yükseltilmiştir; bu uygulamada yüksek basınç ve özel yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Deprem yalıtımında kullanılan yalıtım birimleri, şekil, kullanım alanı, boyut, üretim malzemesi ve çalışma mekanizması gibi kriterler dikkate alınarak sınıflandırılmaktadır.

2.2.1. Elastomerik yalıtım birimleri

Elastomerik izolatörler, taban yalıtım sistemleri arasında en yaygın olarak kullanılan türdür. Bu izolatörler, doğal veya sentetik kauçuğun 5–15 mm kalınlığındaki katmanlarının, 2–3 mm kalınlığındaki çelik levhalara yüksek sıcaklık ve basınç altında yapıştırılmasıyla üretilir. İlk uygulama 1969 yılında Üsküp'te bir okulda gerçekleştirilmiş olup, o dönemde kauçuk bloklar çelik levha ile desteklenmediği için yanal yönde şişmiş ve yeterli düşey rijitlik sağlayamamıştır. Bu durum, yapının deprem etkisi altında yanal yer değiştirme

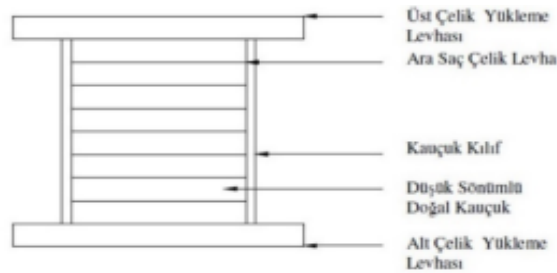
yaparken aynı zamanda yukarı yönde hareket etmesine yol açmıştır. Günümüzde ise, yalıtım birimlerine yerleştirilen çelik ara levhalar hem düşey rijitliği artırmakta hem de yanal burkulmayı önlemektedir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. *Kauçuk ve çelik levhali mesnetin yük altındaki şekil değişimi*

2.2.1.1. Düşük sönümlü kauçuk izolatörler (LDRB)

Elastomerik yalıtım birimleri, çelik plaka başlıklar arasına yerleştirilen vulkanize kauçuk tabakaların basınç ve ısı etkisiyle tek seferde birleştirilmesiyle üretilir. Bu izolatörlerin yatay rijitliği, kauçuğun kalınlığı ve katman sayısına bağlıdır. Gerekli rijitlik, sabit kalınlıktaki tabaka sayısı değiştirilerek sağlanabilir; ancak yalıtım biriminin yüksekliğinin artması burkulma riskini artırdığından, yükseklik genellikle çapın yarısı ile sınırlandırılır. Düşük sönümlü elastomerik izolatörlerin avantajları arasında, lineer olarak modellenebilmeleri, üretim süreçlerinin uzun süredir standartlaşmış olması nedeniyle hata oranının düşük olması ve dış etkilere (sıcaklık, zaman vb.) kolay etkilenebilmeleri sayılabilir. Dezavantajı ise ek bir sönüm elemanına ihtiyaç duymalarıdır; bu nedenle tek başlarına kullanılmaları genellikle tercih edilmez (Şekil 2.10, Şekil 2.11).



Şekil 2.10. *Düşük sönümlü elastomer mesnet*

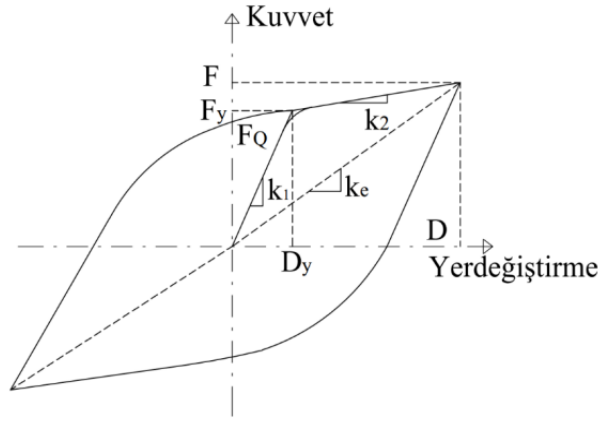


Şekil 2.11. *Düşük sönümlü kauçuk mesnet uygulama aşamaları* (Kaynak: Yücesoy, 2005)

2.2.1.2. Yüksek sönümlü kauçuk tip yalıtım birimleri (HDRB)

Düşük sönümlü kauçuk izolatörlerin sönüm oranı genellikle %2–3 civarındadır; buna karşın, karbon ve reçine gibi özel katkı maddelerinin kullanılmasıyla bu oran %10–20 seviyelerine yükseltilebilmektedir. Bu tür elastomerik yalıtım birimlerinin mesnet kesiti ve tabakaların yapıştırılma yöntemi, düşük sönümlü kauçuk mesnetlerle benzerlik göstermektedir.

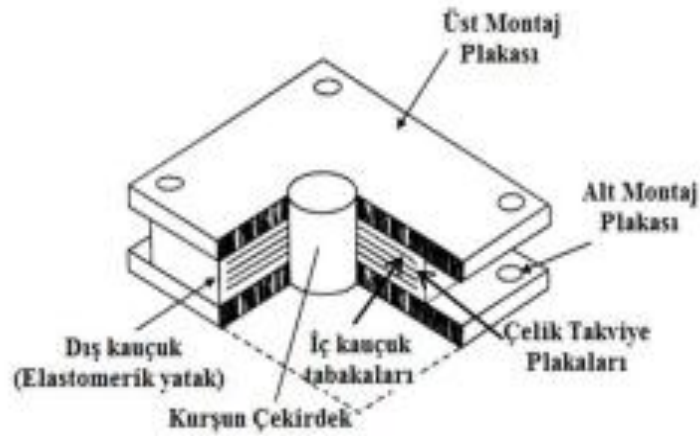
Yüksek sönümlü kauçuk yalıtım birimleri ise ek sönümleyici elemanlara ihtiyaç duymadan deprem enerjisini sönümlemeyi amaçlar. Bu izolatörler, ilk olarak 1982 yılında İngiliz Malaysian Rubber Producers Research Association (MRPRA) tarafından geliştirilmiştir. Kayma şekil değiştirmesi %20'nin altında olduğunda, kauçuk doğrusal olmayan bir davranış sergiler ve yüksek sönüm oranı sayesinde rijit bir karakteristik gösterir; bu sayede düşük deprem kuvvetleri altında hareket etmez ve yapıya gereksiz titreşim iletilmesini önler (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Elastomer yalıtım birimi, kuvvet-yerdeğiştirme grafiği (Kaynak: TBDY, 2018)

2.2.1.3. Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimleri (LRB)

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler, temel olarak düşük sönümlü kauçuk izolatörlerin tasarımına benzemekle birlikte, orta kısmına yerleştirilen kurşun çekirdek ile farklılık gösterir. Kurşun çekirdeğin sayısı ihtiyaca göre artırılabilir ve bu sayede izolatörün sönüm oranı %15–35 seviyelerine ulaşabilir. Kurşun çekirdek, yüksek enerji yutma kapasitesi sayesinde yatay hareketi sınırlar; yatay yük 10 MPa’ya ulaştığında kurşun akar ve izolatör şekil değiştirmeye başlar. Küçük depremlerde ise yatay yük birincil rijitliği aşmadıkça yalıtım birimi hareket etmez. Ayrıca, kurşun çekirdek deprem sonrasında yapının merkezlenmesine katkıda bulunur ve başlangıç koşullarına geri döndürücü bir etki sağlar (Kaynak: Naeim, Kelly ve İpek, 1999) (Şekil 2.13).

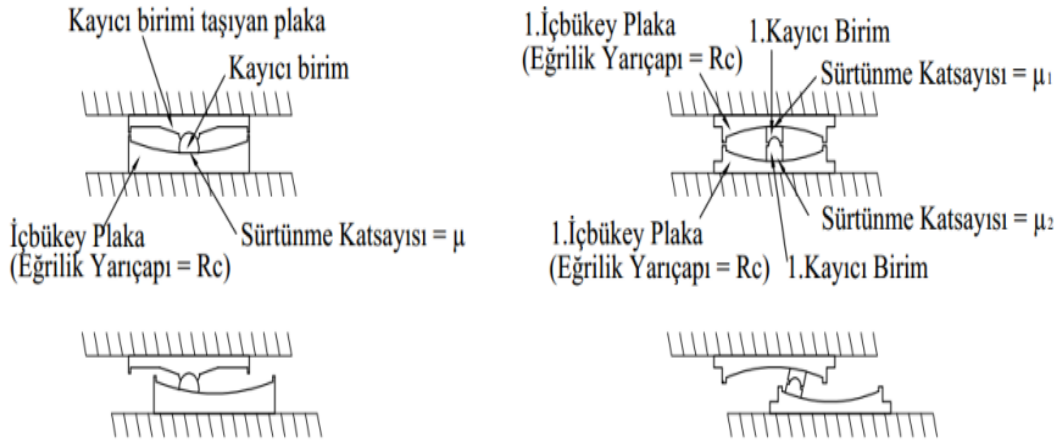


Şekil 2.13. Kurşun çekirdekli sismik izolatör

2.2.2. Kayma esaslı yalıtım birimleri

Yapı ile temel arasında kayma esasına dayanan ve bilinen en eski deprem yalıtım yöntemlerinden biri, 1909 yılında İngiltere’de tıp doktoru Johannes Avetican Calantarients tarafından önerilmiştir. Calantarients, bina ile temel arasına kum gibi malzemeler yerleştirerek, deprem sırasında yapının yatay yükler etkisiyle yer değiştirmesine olanak sağlamış ve böylece yapıya etki eden ivmelerin azaltılabileceğini öngörmüştür.

Kayma esaslı izolatörler, kayma yüzeylerinde kullanılan malzeme türleri veya yüzey geometrilerinin (düz veya eğrisel) farklılaştırılmasıyla çeşitlendirilmiştir (Şekil 2.14). Bu çeşitlilik, sürtünme özellikleri ve sarkaç davranışından kaynaklanmaktadır. Sıklıkla tercih edilen malzemeler arasında, paslanmaz çelik üzerine kaplanan politetrafloroetilen (PTFE) veya teflon bulunmaktadır. Teflon yüzeyler, elastomerik malzemelere kıyasla daha yüksek normal gerilme taşıma kapasitesine sahiptir (Şekil 2.14).



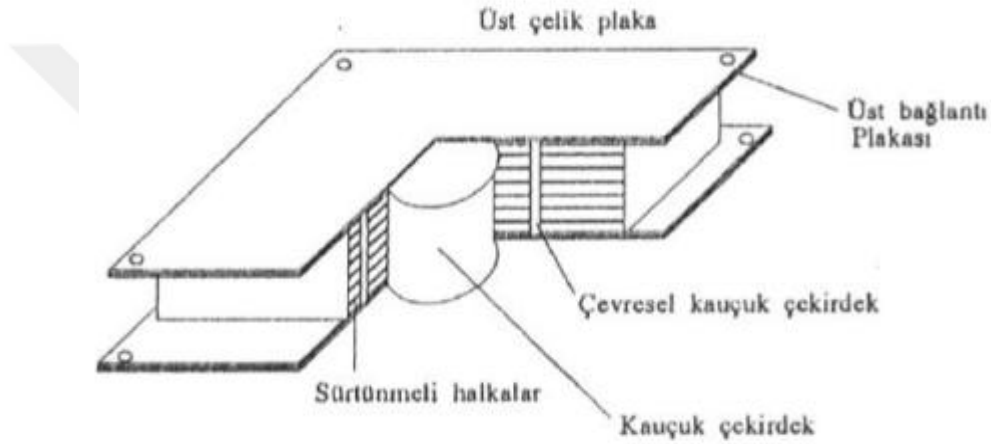
Şekil 2.14. Eğri yüzeyli kayma esaslı yalıtım birimleri (**Kaynak:** TBDY, 2018)

2.2.2.1. Electricite de france sistemi (EDF)

Nükleer güç üretim tesislerinde kullanılmak üzere geliştirilmiş bu sistem, lamine neopren mesnetler ile paslanmaz çelik bağlantılı kurşun-bronz alaşımı bileşenlerden oluşmaktadır. Kayan yüzey, elastomer mesnetin üzerine yerleştirilir ve yalıtıcı ömrü boyunca sürtünme katsayısının yaklaşık 0,2 olduğu varsayılır. Sistemde yapıyı eski konumuna döndürecek bir mekanizma bulunmadığı için, meydana gelen yer değiştirmeler kalıcıdır.

2.2.2.2. Esnek sürtünme taban izolatörü (R-FBI)

Esnek sürtünmeli taban izolasyon sistemlerinde kaymayı sağlayan birden fazla arayüz bulunmaktadır. Bu yapı, mesnette oluşan hızın arayüz sayısına bölünmesini sağlayarak, her katmandaki hızın düşmesine ve dolayısıyla düşük sürtünme katsayısının oluşmasına imkân tanır. Sistemde kayma elemanlarına ek olarak, yer değiştirme sonrası sistemin kendiliğinden geri dönmesini sağlayan kauçuk bir çekirdek merkeze yerleştirilmiştir. Ayrıca, bu kauçuk çekirdeğe çelik bir çubuk eklendiğinde, çubuğun kayan katmanlar arasında yer değiştirmeyi daha homojen bir şekilde dağıttığı gözlemlenmiştir (**Kaynak:** Mostaghel ve Khodaverdian, 1989) (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. Esnek sürtünme taban izolatörü (R-FBI) (**Kaynak:** Mostaghel ve Khodaverdian, 1989)

2.2.2.3. Sürtünmeli sarkaç sistemler (FPS)

Sürtünmeli sarkaç yalıtım sistemleri, alt ve üstü paslanmaz çelik malzemeden oluşan ve aralarına kaymayı sağlayan mafsallı çelik bir elemanın yerleştirildiği mekanizmalardır. Kaymayı sağlayan elemanın yüzeyi, Teflon gibi düşük sürtünmeli malzemelerle kaplanarak sürtünme etkisi minimize edilir. Bu sistemler, düz yüzeyli, tek yüzeyi eğrilikli, iki yüzeyi eğrilikli ve özel bir tip olan üç yüzeyi eğrilikli olmak üzere dört sınıfa ayrılmaktadır. Düz yüzeyli sürtünmeli sistemler, yer değiştirme sonrası geri merkezleme etkisi sağlamadıkları için tek başlarına kullanılamazlar.

Eğrilikli sürtünmeli sarkaç tip izolatörlerde alt ve üst paslanmaz çelik elemanlar konkav bir yüzeye sahiptir. Bu eğrilik, yerdeğiştirme sonrasında yapının geri merkezlenmesini sağlayarak sistemin denge durumuna dönmesine olanak tanır. Kayıcı

eleman ile küresel paslanmaz çelik yüzey arasındaki sürtünme, sönümleme mekanizmasını oluşturur. Yalıtım biriminin etkin rijitliği ve yapının hakim periyodu, küresel yüzeyin eğrilik yarıçapına bağlıdır ve kütleden bağımsızdır. Deprem sırasında yalıtım birimi, basit sarkaç hareketi yaparak yapının periyodunu uzatır; sürtünme etkisi sayesinde deprem yükleri sönümlenir ve yapıya iletilen kuvvetler azalır. Sürtünmeli sarkaç izolatorler, çevrimsel kuvvet-yerdeğiştirme davranışı gösterir ve başlangıç rijitliği (k_1) çok yüksek olup, yalıtım biriminin harekete başlamasıyla sınırlanır (**Kaynak:** TBDY, 2018) (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Sürtünmeli sarkaç mesneden çalışma prensibi (**Kaynak:** Yücesoy, 2016)

3. DEPREM YALITIM SİSEMLERİNİN TASARIMI

Deprem yalıtım sistemleri TBDY 2018 ile Ülkemizde ilk kez deprem yönetmeliğine girmiş olsa da bu yönetmelikten önce de bir çok yapıda (özellikle Hastane binalarında) başarılı olarak uygulanmıştır. Sağlık Bakanlığının 2012 yılında yayımladığı 2012/6 genelge Mevcut ve Yeni Yapılacak Sağlık Tesislerinde Uyulması Gereken Asgari Teknik Standartlar Genelgesi ile 1. ve 2. Deprem bölgelerinde yapılacak 100 ve üzeri yatak kapasiteli hastaneler için zorunlu kılmıştır. Sağlık Bakanlığı 2013 yılında 2013/3 sayılı “Deprem yalıtımlı olarak inşa edilecek yapılara ait proje ve yapım işlerinde uyulması gereken asgari standartlar” genelgesi ile projelendirme ve uygulama esnasında uyulması gereken kuralları belirlemiştir. Gerek 2020 yılında Elazığ Sivrice merkezli deprem gerekse de 2023 tarihli Kahramanmaraş depremlerinden sonra bölgede bulunan sismik izolatörlü Hastane binaları herhangi bir tadilata dahi ihtiyaç duymadan hizmet vermeye devam etmişlerdir.

3.1. Tasarım İlkeleri

Taban yalıtımı, üst yapı ile temel arasında bir ara katman oluşturularak deprem enerjisinin yapıya doğrudan aktarılmasını engellemeyi amaçlar. TBDY-2018’de, yalıtımlı yapıların tasarımında tüm binalar için önem katsayısının 1.0 olarak alınması öngörülmektedir. Yönetmelikte, taşıyıcı sistemin alt yapı ve üst yapı olmak üzere iki kısımda incelendiği, alt yapının DD-1 düzeyindeki en büyük deprem yer hareketine, üst yapının ise DD-2 düzeyindeki tasarım depremine göre boyutlandırıldığı belirtilmektedir (**Kaynak:** TBDY, 2018).

Yalıtım sistemlerinin güvenli çalışabilmesi için üst yapı kütle merkezi ile yalıtım düzleminin etkin rijitlik merkezinin olabildiğince çakışması istenmektedir. Böylece deprem sırasında burulma etkilerinin ortaya çıkması engellenmektedir. Ayrıca, yalıtım elemanlarının farklı yer değiştirme seviyelerinde göstereceği kuvvet değerleri arasında belirli sınırların sağlanması zorunludur. Yönetmelik, en büyük yerdeğiştirmenin %50’sinde elde edilen kuvvet ile en büyük yerdeğiştirme altındaki kuvvet farkının en az 0.025W olması gerektiğini ifade etmektedir.

Bunun yanı sıra, yalıtım sistemleri, deprem sonrasında yapının başlangıç konumuna dönebilmesini sağlayacak şekilde “merkezleme kuvveti” oluşturacak biçimde tasarlanmalıdır. Hesaplarda kullanılan elastik ötesi rijitlik dikkate alındığında, yalıtım sisteminin periyodunun 6 saniyeyi aşmaması gerekir. Devrilme güvenliği açısından ise DD-1 depremi altında yapının güvenlik katsayısının en az 1.0 olması şart koşulmaktadır. Tüm

yük birleşimlerinde, yalıtım elemanlarında olası çekme veya kalkma durumlarının binanın genel stabilitesini bozmadığı hesapla gösterilmelidir (**Kaynak:** TBDY, 2018).

3.2. TBDY 2018’de Yalıtım Birimlerinin Temel Özellikleri

Binalarda kullanılacak yalıtım birimleri, hem yapının kendi ağırlığı hem de deprem etkisi altında oluşacak yer değiştirmelere karşı dayanıklı olacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu elemanların tasarımında yalnızca deprem yükleri değil, rüzgâr, sıcaklık değişimleri, malzemenin yaşlanması, sünme, yorulma ve nem gibi çevresel ve uzun vadeli etkiler de dikkate alınmalı, hesaplamalar en olumsuz koşullar göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.

TBDY 2018’e göre, yalıtım birimlerinde deprem etkisi altında çekme kuvvetlerinin oluşmaması temel prensiptir. Ancak, istisnai durumlarda bu tür kuvvetlerin ortaya çıkabileceği öngörülüyorsa, özel tasarlanmış ve çekme altında çalışabilme kapasitesi deneylerle doğrulanmış yalıtım birimleri kullanılmalıdır. Ayrıca, bu sistemlerin bütün bileşenleri, en büyük yer değiştirmeler sırasında oluşacak eksenel kuvvetleri güvenli biçimde taşıyabilecek kapasiteye sahip olmalıdır (**Kaynak:** TBDY, 2018).

Yalıtım sistemlerinin yalnızca deprem altında değil, rüzgâr yükleri altında da güvenli performans göstermesi beklenir. Bu kapsamda, yalıtım düzlemlerinde oluşabilecek maksimum görelî ötelemelerin, DD-2 deprem düzeyi için tanımlanan görelî kat ötelenmesi sınırlarını aşmaması gerekir. Eğer yalıtım birimi tek başına bu koşulu sağlayamıyorsa, yalnızca rüzgâr yükü altında devreye giren ek kilitleme mekanizmaları kullanılabilir.

Yangın güvenliği açısından, yalıtım birimlerinin dayanım seviyesi, yapının diğer düşey taşıyıcı elemanları ile aynı veya onlardan daha yüksek olmalıdır. Bunun yanı sıra, üretim süreci, yerleştirme koşulları ve çevresel etkiler nedeniyle yalıtım elemanlarının mekanik özelliklerinde zaman içinde meydana gelebilecek değişimler de tasarım aşamasında dikkate alınmalı ve en olumsuz senaryoya göre hesap yapılmalıdır.

Son olarak, tüm yalıtım birimlerinin CE işaretine sahip olması, yani uluslararası geçerliliği olan kalite ve güvenlik standartlarını karşılaması zorunludur. Deprem tasarım sınıflarına göre belirlenen performans hedefleri ve bu hedeflere ulaşmak için uygulanacak yaklaşımlar ise şekil değiştirmeye göre tasarım (ŞGTD) ve dayanıma göre tasarım (DGT) yöntemleri üzerinden tanımlanmakta olup, ayrıntılar Tablo 3.1, Tablo 3.2 ve Tablo 3.3’te sunulmaktadır (**Kaynak:** TBDY, 2018).

a) Yeni yapılacak deprem yalıtımlı binalar – üstyapı

Tablo 3.1. *Yeni yapılacak deprem yalıtımlı binalar – üstyapı (Kaynak: TBDY, 2018)*

Deprem yer h. düzeyi	DTS = 1, 2 , 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/ tasarım yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/ tasarım yaklaşımı
DD-2	SH	DGT	KK	DGT
DD-1	-	-	-	-

b) Deprem yalıtımı yapılarak güçlendirilecek mevcut binalar – üstyapı

Tablo 3.2. *Deprem yalıtımı yapılarak güçlendirilecek mevcut binalar– üstyapı (Kaynak: TBDY, 2018)*

Deprem yer h. düzeyi	DTS = 1, 2 , 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/ tasarım yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/ tasarım yaklaşımı
DD-2	KH	DGT	SH	DGT
DD-1	-	-	-	-

c) Yeni Yapılacak ve Güçlendirilecek Deprem Yalıtımlı Binalar – Yalıtım Birimi ve Altyapı

Tablo 3.3. *Yeni yapılacak ve güçlendirilecek deprem yalıtımlı binalar – yalıtım birimi ve altyapı (Kaynak: TBDY, 2018)*

Deprem yer h. düzeyi	DTS = 1, 2 , 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/ tasarım yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/ tasarım yaklaşımı
DD-2	-	-	-	-
DD-1	KK	ŞGDT-DGT	KK	ŞGDT-DGT

Deprem yalıtımı uygulanan yapıların modellenmesinde DD-2 depremi etkisi altında belirlenen performans hedeflerine ulaşmak için deprem yükü azaltma katsayısı R ve dayanım fazlalığı katsayısı D Tablo 3.4' e göre belirlenecektir.

Tablo 3.4. *Performans hedeflerine karşılık gelen R ve D katsayıları*

Performans Hedefi	R	D
KK	1,2	1,2

Tablo 3.5. (Devam) *Performans hedeflerine karşılık gelen R ve D katsayıları*

SH	1,5	1,5
----	-----	-----

Tasarımda kullanılacak olan yük bileşenleri ise;

a) Yalıtım birimi altında kalan altyapı elemanların tasarımında kullanılacak yük birleşimleri

$$1.6G + 1.4Q$$

$$1.2G + Q \pm Ed$$

$$0.9G \pm Ed$$

b) Yalıtım birimi üzerinde kalan üstyapı elemanların tasarımında kullanılacak yük birleşimleri;

$$G + Q + 0.2S + Ed^H + 0.3Ed^Z$$

$$0.9G + H + 0.2S + Ed^H + 0.3Ed^Z$$

Burada G sabit yük etkisini, Q hareketli yük etkisini, S kar yükü etkisini, Ed^H yatay deprem etkisi altındaki yatay zemin itkisini, Ed^Z ise düşey deprem etkisindeki itkiyi ifade etmektedir.

c) Yalıtım birimleri deneylerinde kullanılacak yük birleşimleri

$$1.6G + 1.4Q$$

$$G + 0.5Q$$

$$1.2G + 0.5Q \pm Ed$$

$$1.2G + Q \pm Ed$$

$$0.9G \pm Ed$$

3.3. Yalıtım Birimi Hesap Esasları

Deprem yalıtımında kullanılan elemanlar, büyük ölçekli yer hareketleri altında bile doğrusal olmayan davranış gösterebilen özel sistemlerdir. Bu nedenle tasarımda, yalıtım birimlerinin DD-1 düzeyindeki deprem hareketi altında zaman tanım alanı analizleri ile belirlenen yer değiştirme ve eksenel yükleri güvenle karşılayabilecek kapasitede olması gerekir (**Kaynak:** TBDY, 2018).

3.3.1. Elastomer yalıtım birimler

Elastomer esaslı yalıtım elemanlarının tasarımında, hesaplarda kullanılacak parametrelerin alt ve üst sınır değerleri dikkate alınmaktadır. Bu sınırlar, nominal parametrelerin deneysel sonuçlar, yaşlanma etkileri ve üretim farklılıkları için belirlenmiş

katsayılarla çarpılmasıyla elde edilir. Eğer deneysel veriler mevcut değilse, yönetmelikte önerilen standart sınır değerler kullanılmaktadır.

Elastomer yalıtım elemanlarının şekil değiştirme sınırları ayrı ayrı kontrol edilmelidir. Basınçtan, yatay yüklerden veya dönme etkilerinden kaynaklanan birim şekildeştirmelerin malzemenin dayanım sınırlarını aşmaması esastır. Ayrıca, yatay yer değiştirme ve dönmenin birlikte etkili olduğu durumlarda oluşacak toplam şekil değiştirme de yönetmelikte tanımlanan limitler içinde kalmalıdır (**Kaynak:** TBDY, 2018).

3.3.1.1. Tasarımda kullanılacak alt ve üst sınır değerleri

Hesaplarda kullanılacak olan yalıtım birimleri parametrelerinin üst sınır ve alt sınır değerleri, yalıtım birimi parametreleri nominal değerlerinin sırasıyla $\lambda_{üst}$ ve λ_{alt} katsayıları ile çarpılması ile elde edilecektir.

$$\begin{aligned}\Lambda_{üst} &= [1 + 0.75(\lambda_{ae,üst} - 1)] \lambda_{deney,üst} \lambda_{spek,üst} \\ \Lambda_{alt} &= [1 + 0.75(\lambda_{ae,alt} - 1)] \lambda_{deney,alt} \lambda_{spek,alt}\end{aligned}\quad (3.1)$$

Herhangi bir $\Lambda_{üst}$ ve Λ_{alt} değerinin prototip veya üretim kontrol deneyleri ile belirlenememesi durumunda, hesaplarda Tablo 3.5'te verilen alt ve üst sınır değerler kullanılacaktır.

Tablo 3.6. Elastomer yalıtım birimleri dayanım ve rijitlik parametreleri alt ve üst sınır öneri değerleri (**Kaynak:** TBDY, 2018)

	Tip	F_{k2}		k_2	
		Alt	Üst	Alt	üst
λ_{ae}	KÇE	1	1.10	1.00	1.30
	YSE	1	1.30	1.00	1.40
λ_{deney}	KÇE	0.7	1.30	0.90	1.30
	YSE	0.7	1.30	0.90	1.30
λ_{spek}	KÇE	0.85	1.15	0.85	1.15
	YSE	0.85	1.15	0.85	1.15

Tablo 3.5'te; kurşun çekirdekli kauçuk tipi yalıtım birimini, YSE yüksek sönümlü kauçuk tipi yalıtım birimini, F_Q yüksek sönümlü kauçuk tipi yalıtım birimini, k_2 kurşun çekirdekli kauçuk tipi yalıtım birimi ikincil (elastik ötesi) rijitliğini, λ_{ae} yaşlanma ve çevresel etkileri, λ_{deney} yükleme hızı ve ısınma gibi etkileri ve λ_{spek} üretimdeki değişkenlikler nedeni ile kullanılacak olan çarpan ifade etmektedir.

Elastomer yalıtım birimlerinde deprem, sabit yükler ve hareketli yükler altında oluşacak birim şekildeştirmeler ve kararlılık durumları kontrol edilecektir.

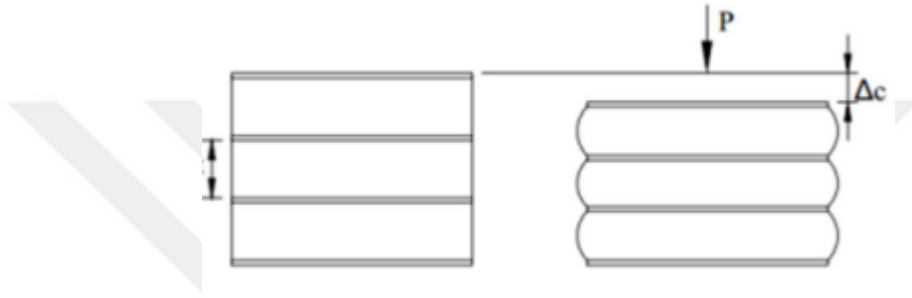
- Depremsiz durumda meydana gelen birim şekildeğiştirme bileşenleri:

a) Basınçtan meydana gelen açısal şekildeğiştirme

$$\gamma_{c,st} = \frac{6SP_{K1}}{A_r E_c}$$

$$S = \frac{A_r}{A_L} \quad (3.2)$$

Denklemden verilen parametreler; P_{K1} yük birleşimi altında elde edilen düşey kuvveti, A_r tek bir elastomer katmanının çelik plaka ile yapışmış, yüke maruz yüzey alanı ifade etmektedir. Şekil 3.1’de basınçtan meydana gelen açısal şekil değıştirme gösterilmektedir.



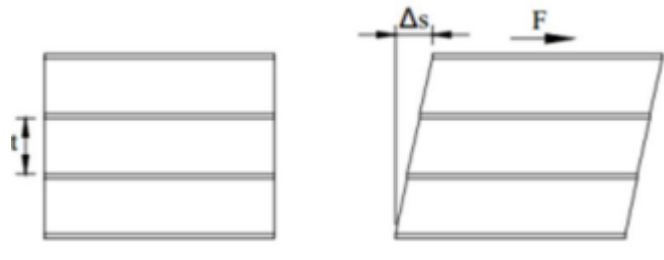
Şekil 3.1. Basınçtan meydana gelen açısal şekil değıştirme (**Kaynak:** TBDY, 2018)

b) Deprem dışındaki diğer etkilerden dolayı (genleşme, rüzgar vb.) oluşacak yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen açısal şekildeğiştirme:

$$\gamma_{r,st} = \frac{B^2 Q_s}{2tT_r}$$

$$\gamma_{r,st} = \frac{\Delta s}{tT_r} \quad (3.3)$$

Δs yatay yüklemeden meydana gelen yatay yerdeğiştirme miktarı, T_r elastomer katmanlarının toplam kalınlığıdır. Deprem dışındaki diğer etkilerden dolayı oluşacak yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen açısal şekil değıştirme Şekil 3.2’de gösterilmektedir.

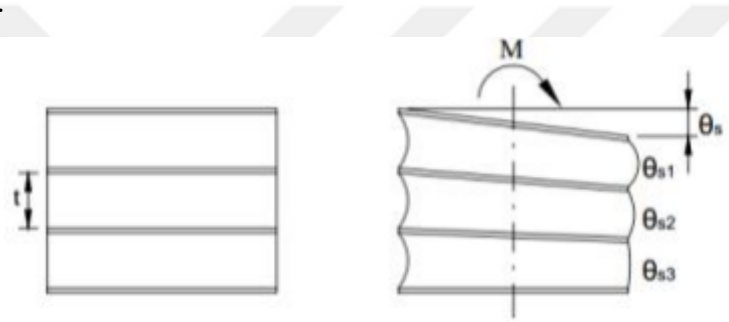


Şekil 3.2. Deprem dışındaki diğer etkilerden dolayı oluşacak yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen açısal şekil değıştirme (**Kaynak:** TBDY, 2018)

c) Yalıtım birimi üst ve alt plakaları arasındaki görelî dönmeden meydana gelen birim şekil değıştirme

$$\gamma_{r,st} = \frac{B^2 Q_s}{2tT_r} \quad (3.4)$$

θ_s tasarım dönme açısı (sabit yük, hareketli yük ve imalat sırasındaki oluşan dönme etkilerini de içerecektir. Bu değeri en az 0.005 radyan olarak alınacaktır.) B çelik plakaya yapışmış olan elastomer çapını, t elastomer katman kalınlığını ifade etmektedir. Yalıtım birimi üst ve alt plakaları arasındaki görelî dönmeden meydana gelen birim şekil değıştirme Şekil 3.3'te gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Yalıtım birimi üst ve alt plakaları arasındaki görelî dönmeden meydana gelen birim şekil değıştirme (Kaynak: TBDY, 2018)

- DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeylerinde, deprem etkisi ve düşey yük etkileri altında elastomer malzemede oluşacak birim şekil değıştirme değeri aşağıda tanımlandığı şekilde hesaplanacaktır:

a) DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi etkisi altında oluşan basınçtan meydana gelen birim şekil değıştirme denklem (3.18) ile hesaplanacaktır.

$$\gamma_{c,E} = \frac{6SQP_{K2}}{A_{re}E_c} \quad (3.5)$$

P_{K2} , denklem (3.2)'de verilen yük birleşimi ile elde edilen düşey kuvvettir.

b) DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi etkisi altında oluşan yatay yerdeğıştirmeden meydana gelen birim şekil değıştirme denklem (3.19) ile hesaplanacaktır.

$$\gamma_{s,E} = \frac{D}{T_r} \quad (3.6)$$

D, ilgili deprem yer hareketi düzeyinde meydana gelen yatay yerdeğıştirmedir.

• Elastomer yalıtım birimlerinde oluşacak birim şekildeğiştirmelerin koşulları:

a) Elastomer malzemede deprem yükü hariç düşey yüklerden meydana gelen birim şekildeğiştirmeler denklem (3.20) ve denklem (3.21)'deki sınırlardan en küçük olanını sağlayacaktır. Bu denklemlerde b ϵ elastomer malzemenin kopma birim şekildeğiştirme değeridir.

$$\gamma_{c,E} \leq 3.5 \text{ veya } \gamma_{c,E} < \epsilon_b/3$$

$$\gamma_{c,st} + \gamma_{s,st} + \gamma_{r,st} \leq 5 \text{ veya } \gamma_{c,st} + \gamma_{s,st} + \gamma_{r,st} \leq 0.75\epsilon_b \quad (3.7)$$

b) Elastomer malzeme ara yüzünde yatay yerdeğiştirmeden ve dönmeden meydana gelen toplam birim şekildeğişme denklem 3.8'deki sınırları sağlayacaktır.

$$\gamma_{c,E} + \gamma_{s,E} + 0.5\gamma_{r,st} \leq 6$$

$$\gamma_{c,E} \leq 2.0 \quad (3.8)$$

3.3.1.2. Elastomer yalıtım birimlerinin düşey kararlılığı

Bu elemanların deprem sırasında burkulmaya karşı güvenli olması gerekir. TBDY 2018'de dairesel veya kare kesitli elastomer birimler ile kurşun çekirdekli tipler için burkulma yükü formülleri tanımlanmıştır. Tasarımda, DD-1 deprem düzeyinde yalıtım birimlerinin burkulma yükü kapasitelerinin yeterli olup olmadığı mutlaka doğrulanmalıdır. Yatay yerdeğiştirme olmadığı durumda elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü olan P_{cr} ;

1) dairesel kesitli, kurşun çekirdek içermeyen kauçuk izolatörler için

$$P_{cr} = 0.218G_vB^4/(tT_r) \quad (3.9)$$

2) kare kesitli, kurşun çekirdek içermeyen kauçuk izolatörler için

$$P_{cr} = 0.340G_vB^4/(tT_r) \quad (3.10)$$

3) kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler için

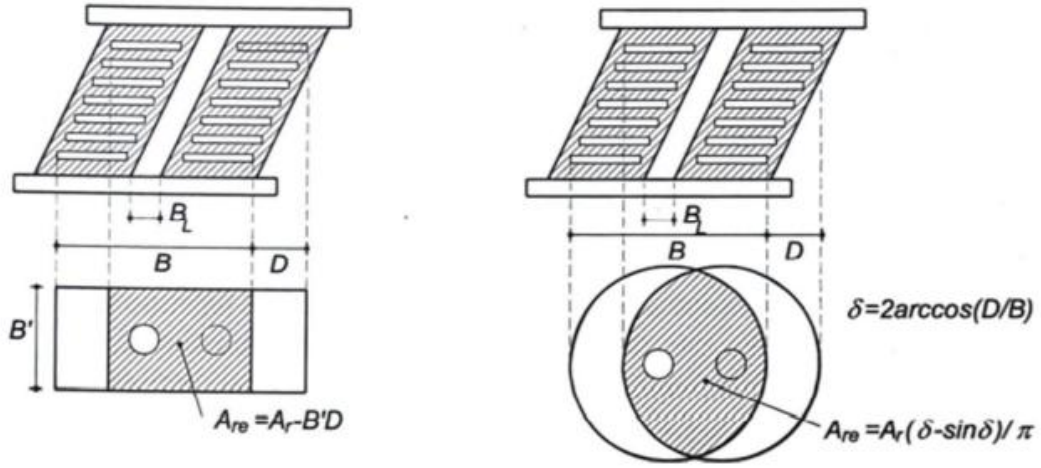
$$p_{cr} = 0.218 \frac{G_vB^4}{tT_r} \cdot \frac{(1 - B_L/B)(1 - B_L^2/B^2)}{(1 + B_L^2/B^2)} \quad (3.11)$$

G_v elastomer malzeme kayma modülünü, B_L kurşun çekirdek çapını ifade etmektedir.

Yatay yerdeğiştirme varsa, DD-1 depremi etkisi altında kauçuk izolatörlerin burkulma yükü P'_{cr} ;

$$P'_{cr} = p_{cr} \left(\frac{A_{re}}{A} \right) \quad (3.12)$$

Burada, A_{re} hesabında D için, yalıtım elemanının etkin rijitlik merkezinde meydana gelen yerdeğiştirme D_{TM} kullanılır. Kauçuk yalıtım elemanlarının şekil değiştirmiş durumları Şekil 3.4' de gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Elastomer yalıtım birimlerinin şekil değiştirmiş durumları (Kaynak: TBDY, 2018)

Kauçuk izolatörlerin şekil değiştirmeye bağlı düşey yük taşıma kapasitesi aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$\frac{\min(p_{cr}, p_{str})}{p_{K1}} \geq 2.0 \quad (3.13)$$

Kauçuk izolatörlerin DD1 depremi olan en büyük deprem yer hareketi düzeyinde oluşan yatay yerdeğiştirme altındaki burkulma yükü sınırı;

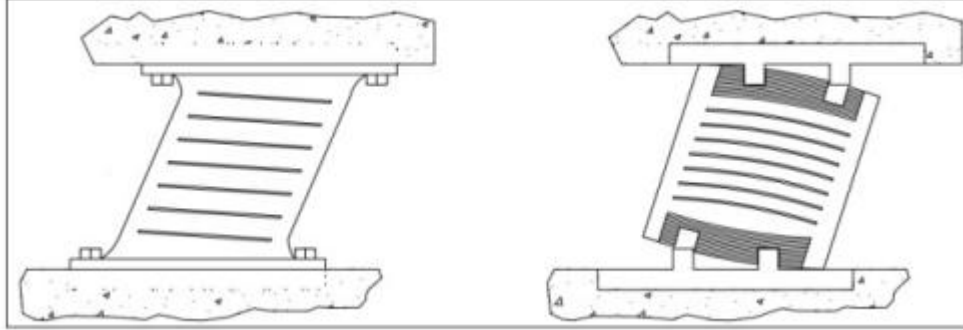
$$\frac{\min(p'_{cr}, p_{str})}{p_{K2}} \geq 1.1 \quad (3.14)$$

3.3.1.3. Elastomer yalıtım birimlerinin bağlantıları

Yalıtım birimlerinin üst yapı ve altyapıya bağlantıları da tasarımın kritik bir parçasıdır. Bu bağlantılar, deprem yüklerinin hem düşey hem de yatay bileşenleri dikkate alınarak boyutlandırılmalıdır. Yönetmelik, bu bağlantıların sürtünme ile değil, mekanik olarak kuvvet aktarabilecek şekilde düzenlenmesini önermektedir. Ayrıca, standart bulonlu bağlantılar kullanıldığında yuvarlanma kararlılığı için ek önlemler gerekmebilir. Ancak farklı bağlantı türlerinde yuvarlanma stabilitesi ayrıca kontrol edilmelidir [20].

$$SD_m \leq \left(\frac{(2/3)p_{K3}}{K_e H + P_{K3}} \right) B \quad (3.15)$$

Burada; D_M , yalıtım elamanının DD1 depremi etkisi altındaki yatay yerdeğiştirmeyi, K_e etkin doğrusal yatay rijitliği, H yalıtım elemanı toplam yüksekliği, P_{K3} düşey kuvveti göstermektedir.



Şekil 3.5. Elastomer yalıtım birimlerinin bağlantıları (Kaynak: TBDY, 2018)

3.3.2. Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimleri

Hesaplarda kullanılacak olan yalıtım birimleri parametrelerinin üst sınır ve alt sınır değerleri, yalıtım birimi parametreleri nominal değerlerinin sırasıyla $\lambda_{üst}$ ve λ_{alt} katsayıları ile çarpılması ile elde edilecektir. $\lambda_{üst}$ ve λ_{alt} değerleri denklem 3.1’de verilen bağıntılar ile hesaplanacaktır. Herhangi bir $\lambda_{üst}$ ve λ_{alt} değerinin prototip veya üretim kontrol deneyleri ile belirlenememesi durumunda, hesaplarda Tablo 3.6’da verilen alt ve üst sınır değerler kullanılacaktır.

Tablo 3.7. Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimleri için alt ve üst sınır öneri değerleri

	μ	
	Alt	Üst
λ_{ae}	1.00	1.20
λ_{deney}	0.70	1.30
λ_{spek}	0.85	1.15

Burada μ eğri yüzeyli, sürtünmeli yalıtım birimi, etkin sürtünme katsayısını belirtmektedir. λ_{ae} yaşlanma ve çevresel etkiler, λ_{deney} yükleme hızı ve ısınma gibi etkiler ve λ_{spek} üretimdeki, değişkenlikler nedeni ile, kullanılacak olan çarpanları ifade, etmektedir.

3.3.2.1 Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimlerinin bağlantıları

Eğri yüzeyli yalıtım birimlerinin üst ve altyapı bağlantıları, DD-1 depreminin, yatay ve düşey birleşeni ile göz önüne alınarak tüm yük birleşimlerinin 1.1 ile çarpılması ile elde edilen yükler, altında hesaplanan yatay ve düşey kuvvetleri taşıyacak şekilde yapılır. Bu işlemde bağlantı yüzeyi ile yalıtım birimi arasındaki sürtünme etkisi dikkate alınmaz.

3.4 Hesap Yönteminin Seçimi

Deprem yalıtımlı binaların analizinde, kullanılan yöntem yapı özelliklerine, zemin koşullarına ve yalıtım sisteminin davranışına bağlı olarak seçilmelidir. TBDY-2018, özellikle eşdeğer deprem yükü yöntemine benzer prensiplere dayanan “Etkin Deprem Yüğü Yöntemi”ni belirli koşullar altında kullanılabilir kabul etmektedir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için; zeminin ZA, ZB, ZC veya ZD sınıfında olması, yalıtımlı sistemin DD-1 depremi altındaki periyodunun 4.0 saniyeden küçük bulunması, kat adedinin dörtten fazla olmaması ve toplam bina yüksekliğinin 20 m’yi aşmaması gerekmektedir. Ayrıca yalıtım birimlerinde çekme veya kalkma oluşmaması ve etkin sönüm oranının %30’un altında kalması zorunludur (**Kaynak:** TBDY, 2018).

Bu koşullar sağlandığında Etkin Deprem Yüğü Yöntemi ile yeterli doğrulukta sonuçlar elde edilebilir. Ancak daha karmaşık yapılarda veya düzensizliklerin bulunduğu durumlarda, mod birleştirme yöntemi veya zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin kullanılması önerilmektedir.

3.4.1. Etkin deprem yükü yöntemi

Tasarım depremi DD-2 için izolatör elemanı yerdeğiştirmesi D_D

$$D_D = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) T_D^2 \eta_D S_{ae}^{DD-2} (T_D) \quad (3.16)$$

ve bina etkin periyodu T_D

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK_D}} \quad (3.17)$$

ile hesaplanır.

Tasarım depremi DD-1 için izolatör elemanı yerdeğiştirmesi D_M

$$D_M = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) T_M^2 \eta_M S_{ae}^{DD-1} (T_M) \quad (3.18)$$

ve tasarım depremi DD-1 için bina etkin periyodu T_M

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK_M}} \quad (3.19)$$

ile hesaplanır

Sönüm ölçeklendirme kat sayıları;

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \quad (3.20)$$

olarak hesaplanır. Burada, ξ her iki durum etkin sönüm oranıdır. DD-2 ve DD-1 depremlerindeki yalıtım arayüzü toplam yerdeğiştirmesi, D_D yerdeğiştirme değerlerine üstyapı ve yalıtım birimi burulmasından gelen ilave yer değiştirmelerin eklenmesi ile hesaplanır. Yatay rijitliklerde düzgün bir dağılım olması durumunda yukardaki hesaba katılan toplam yerdeğiştirmeler

$$\begin{aligned} D_{TD} &= D_D \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \\ D_{TM} &= D_M \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \end{aligned} \quad (3.21)$$

değerlerinden daha küçük olamaz. Eğer bu sağlanmazsa, hesaplanan değerler ile $1.1D_D$ ve $1.1D_M$ değerlerinden büyük olanları gözönüne alınır.

Üstyapıya etkiyen kuvvet, DD-2 ve DD-1 depremleri için

$$\begin{aligned} V_D &= \frac{S_{ae}^{DD-2}(T_D)W\eta_D}{R} \\ V_M &= \frac{S_{ae}^{DD-1}(T_M)W\eta_M}{R} \end{aligned} \quad (3.22)$$

Burada R, Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı olup, ilgili performans hedefine göre Çizelge 3.5'den alınır. Üst yapıya etki eden kuvvet tasarım rüzgar kuvvetinden ve yalıtım biriminin ikincil rijitliğe geçmesi için gerekli olan kuvvetten daha küçük olamaz. Üst yapıya etki eden kuvvet, katlara Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde olduğu gibi, kat kütlesi ve katın temelden yüksekliği ile orantılı olarak dağıtılır. Altyapıya etkiyen kuvvet, $R = 1$ kabul edilerek, DD-1 depremi için kullanılarak hesaplanır.

3.4.2. Mod birleştirme yöntemi

Bu yöntem, özellikle üstyapı ve altyapının dinamik özelliklerinin daha ayrıntılı olarak değerlendirilmesini sağlar. Hesaplanan yerdeğiştirme ve iç kuvvet değerlerinin, Etkin Deprem Yüğü Yöntemi ile bulunan sonuçların belirli oranlarının (düzensizlik bulunmayan yapılarda en az %80, düzensizlik mevcutsa en az %90) altında kalmaması gerekir. Böylece,

daha ayrıntılı analizler ile elde edilen sonuçların yönetmelik sınırlarıyla uyumlu olması sağlanır (**Kaynak:** TBDY, 2018).

3.4.3. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

Yalıtımlı binalar için en güvenilir yöntemlerden biri de doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizidir. Bu yöntemde deprem kayıtları, yapı ve yalıtım sisteminin doğrusal olmayan davranışını yansıtacak biçimde doğrudan hesaba katılır. Yönetmelik, kullanılacak deprem kayıtlarının seçiminde TBDY Bölüm 2.5'teki kuralların uygulanmasını ve analizlerde farklı periyot aralıkları için ölçeklendirilmiş değerlerin dikkate alınmasını öngörmektedir. Özellikle zayıf zemin koşullarında (ZD'den daha düşük sınıflar), yapı-zemin etkileşiminin üç boyutlu olarak modellenmesi zorunlu tutulmaktadır.

Eşdeğer deprem yükü yöntemine benzer şekilde, birinci modu esas alan "Etkin Deprem Yükü Yöntemi" aşağıdaki şartların sağlanması durumunda üstyapının ve altyapının deprem hesabında kullanılabilir.

3.5. Yalıtımlı Binalarda Görelî Kat Ötelemesi Sınırları ve Deprem Derzleri

Deprem yalıtımlı binaların tasarımında, üstyapının yatay yer değiştirmeleri belirli sınırlar içerisinde tutulmalıdır. TBDY-2018'de, görelî kat ötelemeleri için performans seviyelerine bağlı sınır değerler tanımlanmıştır. Buna göre;

Kesintisiz Kullanım (KK) performans düzeyi için görelî kat ötelenmesi $0.005 \cdot h_i$,

Sınırlı Hasar (SH) için $0.01 \cdot h_i$,

Kontrollü Hasar (KH) için ise $0.015 \cdot h_i$ değerini geçmemelidir. Burada h_i , ilgili katın yüksekliğini ifade etmektedir [20].

Deprem derzleri ise, yalıtım düzleminin deprem sırasında yapacağı maksimum yerdeğiştirmeler göz önünde bulundurularak belirlenmektedir. Yönetmelik, bırakılacak derz genişliğinin, yalnızca yalıtım biriminin en büyük yerdeğiştirmesine değil, aynı zamanda üstyapıda oluşabilecek görelî kat ötelenmelerine de bağlı olduğunu vurgulamaktadır. Buna göre, iki farklı bina arasında bırakılacak derz genişliği, her iki yapının deprem altında gerçekleştirdiği mutlak yerdeğiştirmelerin toplamından daha küçük olamaz.

Bu yaklaşım sayesinde, deprem sırasında binaların birbirine çarpması engellenmekte ve yapısal hasar riski azaltılmaktadır. Dolayısıyla deprem derzleri, yalnızca yalıtım

sisteminin değil, yapının bütünsel güvenliğinin de kritik bir parçası olarak görülmelidir (**Kaynak:** TBDY, 2018) .

3.6. Deprem Yalıtım Cihazı Üreticisinin Seçimi ve Test Edilmesi

Deprem yalıtımlı binalarda kullanılacak cihazların seçiminde, yapının projelendirilmesi sonucunda elde edilen parametreler esas alınmalıdır. Yalıtım sistemi seçilirken yalnızca hesap sonuçları değil, aynı zamanda cihazların laboratuvar ortamında test edilmesi de kritik öneme sahiptir. TBDY-2018, yalıtım birimlerinin davranışlarını ve dayanımlarını doğrulamak amacıyla iki farklı deney grubunu tanımlamaktadır:

Prototip Deneyleri: Tasarımda dikkate alınan kuvvet–yer değiştirme özellikleri, etkin rijitlikler, sönüm oranları ve diğer mekanik parametrelerin doğrulanması amacıyla yapılır. Bu deneyler, seçilen yalıtım sisteminin öngörülen performansı sağlayıp sağlayamayacağını ortaya koyar.

Üretim Kontrol Deneyleri: Seri üretim sürecinde cihazların, önceden belirlenmiş sınırlar içinde kalıp kalmadığını teyit etmeye yöneliktir. Böylece üretimden kaynaklanabilecek farklılıkların yapısal güvenliği etkilemesi engellenmiş olur (**Kaynak:** TBDY, 2018).

Uluslararası ölçekte, yalıtım cihazı üreticileri ve test merkezleri özellikle ABD, Japonya, Tayvan, Yeni Zelanda ve Avrupa ülkelerinde yoğunlaşmıştır. Türkiye’de ise bu alandaki test altyapısı sınırlı olmakla birlikte, Eskişehir’de yer alan merkez bu ihtiyacı karşılayacak kapasiteye sahiptir. Bu durum, yalıtım teknolojilerinin ülkemizde daha etkin şekilde kullanılabilmesi açısından önemli bir gelişme olarak değerlendirilebilir.

3.7. Disiplinler Arası Koordinasyonun Önemi

Deprem yalıtımlı bina tasarımında yalnızca taşıyıcı sistemin güvenliği değil, aynı zamanda yapının bütüncül işleyişi de göz önünde bulundurulmalıdır. Deprem sırasında yalıtım sistemleri yapıya önemli miktarda yatay yer değiştirme kazandırdığından, bu durumun mekanik ve elektrik tesisatları da doğrudan etkilemesi kaçınılmazdır. Eğer tesisatlar esnek bağlantılarla veya hareketi tolere edecek detaylarla tasarlanmazsa, deprem sonrası ciddi hasarlar meydana gelebilir. Bu nedenle tesisatların, mimari ve statik tasarımla uyumlu şekilde planlanması hayati önem taşımaktadır.

Bununla birlikte, yalıtım sistemlerinin etkin şekilde çalışabilmesi için sismik boşlukların serbest bırakılması gerekmektedir. Uygulamada, bu boşlukların yanlışlıkla

mimari elemanlar veya kaplamalarla doldurulması, sistemin işlevini büyük ölçüde engelleyebilir. Yalıtım düzlemi çevresinde bırakılacak boşluklar, hareketi kısıtlamayacak mimari çözümlerle korunmalı ve tasarım sürecinde farklı mühendislik disiplinlerinin eşgüdümü sağlanmalıdır (**Kaynak:** Alhan ve Hacıemiroğlu, 2023) (Şekil 3.6.).



Şekil 3.6. Deprem yalıtımı bina tesisat örneği ve geçiş-kaplama örneği (**Kaynak:** Alhan ve Hacıemiroğlu, 2023)

Sonuç olarak, deprem yalıtımlı yapılarda statik, mekanik, elektrik ve mimari disiplinlerin birlikte çalışması yalnızca yapının güvenliği açısından değil, aynı zamanda deprem sonrası fonksiyonelliğin korunması açısından da kritik öneme sahiptir. Disiplinler arası koordinasyonun sağlanmadığı projelerde, yapısal hasar olmasa bile tesisat arızaları veya mimari kısıtlamalar nedeniyle binanın kullanılamaz hale gelmesi mümkündür.

4. SAĞLIK TESİSİ YAPISINDA SİSMİK İZOLATÖR UYGULAMASI

Bu bölümde Sağlık Bakanlığının Adıyaman ilinde yapmış olduğu Adıyaman 150 yataklı devlet hastanesi projesinin hazırlık aşaması ile sismik izolatörlerin sahadaki uygulanması ile ilgili örnekler gösterilmiştir. Ankastre mesnetli bir yapının deprem yalıtımlı olarak tasarlanması durumunda getireceği ilave imalatların daha kolay anlaşılmasına olanak sağlayacaktır.

4.1. Proje Hazırlık Aşaması

Sağlık Bakanlığı tarafından hizmet alımı yapılmak üzere ilgili sağlık tesisinin tüm branşlara yönelik Teknik şartnamesi hazırlanır ve ihale edilir. Bu kapsamda yapının izolatör sistemleri için de deprem yalıtımı özel teknik şartnamesi yer alır. Şartname geniş kapsamlı olup hem TBDY-2018 hem de bakanlığın 2013 de yayımladığı “Deprem Yalıtımlı Olarak İnşa Edilecek Hastanelere Ait Proje ve Yapım İşlerinde Uyulması Gereken Asgari Standartlar” Genelgesini esas alınarak hazırlanmıştır. Deprem yalıtım sistemlerinin tasarımını yapacak İnşaat Mühendisinin daha önce en az bir adet deprem yalıtımlı yapı tasarlamış olması şartını taşıması gerekir. Mimari proje ile tam bir uyumun sağlanmasının ifade edildiği şartnamede yetkinliğe sahip tasarım gözetmenin kontrolü altında olması şartı da şartname kapsamında yer alır. Tasarıma başlamadan önce Zemin etüdünün yapılarak zemin değerlerinin ve zemin sınıfının belirlenmesi tüm yapılar için olduğu gibi deprem yalıtımlı yapılar için de büyük önem taşımaktadır. Tüm disiplinlere ait projelerin sismik izolatörlerin yer değiştirmesine engel olmayacak ya da yer değiştirme etkisiyle herhangi bir hasara uğramayacak malzeme ve ekipmanlar dikkate alınarak tasarlanması gerekmektedir.

4.2. Saha Uygulamaları

Onaylı statik projesi esas alınarak imalatlarına başlanan yapı temeline izolasyon katını oluşturulan kolon başlıklarının donatısı Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Yalıtım alt yapısının DD-1 depremine göre tasarlandığı bu katta, boyuna donatı kalınlığı Q28’dir. Kolon ebatları 160*160 cm olup yalıtım katının toplam yükeklığı 2.20 metredir.



Şekil 4.1. *Yalıtım birimi alt yapı kolon-temel*

Yalıtım birimi alt kolonu demir imalatı tamamlandıktan sonra üzerine montajı yapılacak olan izolatör ölçülerinde hazırlanmış platform donatı üzerine montajı yapılır. İzolatörlerin yatay yük altında taşıyacağı yüklere göre yapılan hesaplar neticesinde belirlenen bulon çapı, derinliği platform ile bire bir aynıdır. Kolon kaide imalatı tamamlandıktan sonra tijler betonda sabit kalırken platform demonte edilerek yalıtım birimi yerine monte edilir (Şekil 4.2, Şekil 4.3).



Şekil 4.2. *Yalıtım birimi platform montajı*



Şekil 4.3. *Yalıtım birimi alt kolona montajı*

Yalıtım birimi katında izolatörün alttaki kolona montajından sonra izolatör altına kolon ve izolatör arasında boşluk kalmayacak şekilde dayanımı en az C60 olan grout harcı ile dolgu yapılır. Bunun için izolatör etrafını saran demir bir kalıp vardır. Bu kalıp yerine, her noktası izolatöre eşit mesafede olacak şekilde yerleştirilir. Harç pompası ile şartnamesine uygun hazırlanan harç kalıptaki bir boşluktan şekilde görüldüğü gibi kalıba yerleştirilir. Harç izolatörün alt kısmını yaklaşık 2 cm geçince tamamlanmış olur. Grout harcında boşluk olmaması büyük önem taşımaktadır. Grout harcı dökülen her 50 izolatörden 2 adet izolatör demonte edilip grout harcının boşluk oranı test edilir ve yeniden montajı yapılır (Şekil 4.4, Şekil 4.5).



Şekil 4.4. *Yalıtım birimi grout harcı için kalıba alınması*



Şekil 4.5. Grout harcının kalıba pompa ile kalıpkaki boşluktan basılması

Demonte edilen Sismik izolatörlerin grout harcındaki boşluk tespit edilmek üzere alçı vb maddeler ile boşluk oranının tespiti için alınar görüntüler test merkezine gönderilir (Şekil 4.6, Şekil 4.7).



Şekil 4.6. İzolatör birimi demontajı

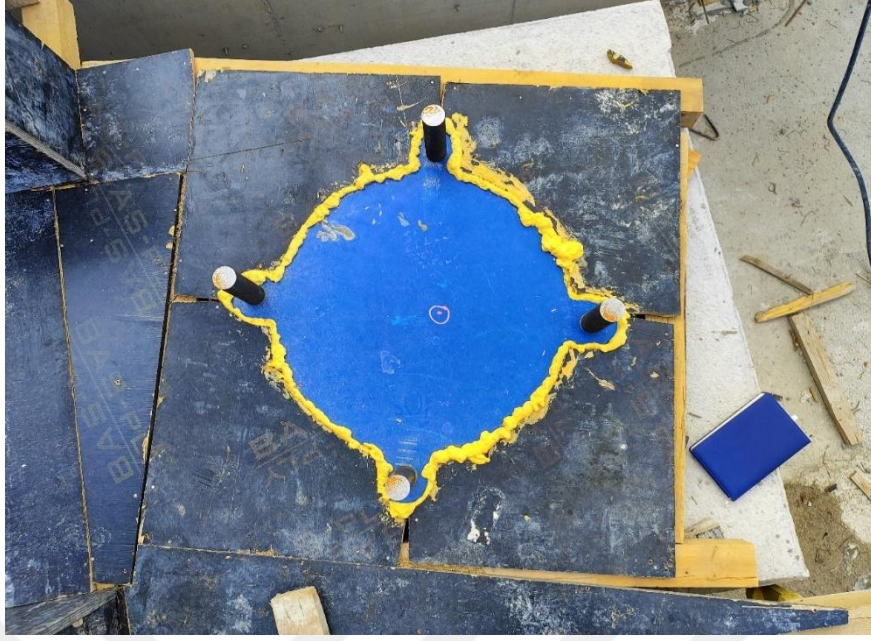


Şekil 4.7. İzolatör birimi boşluk tespiti için boşluklara alçı ile doldurulması

Demonte edilen yalıtım elemanlarının montajı yapıldıktan sonra izolarör birimi üstü temel imalatlarına geçilir. Söz konusu hastane binası için 100x90 kirişler, 25 cm kalınlığında döşeme imalatları yapılmış ve üst yapı imalatlarına geçilmiştir (Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13).



Şekil 4.8. Yalıtım katı üst temel imalatı



Şekil 4.9. *Yalıtım katı üst temel imalatı*



Şekil 4.10. *Yalıtım katı üst temel imalatı*



Şekil 4.11. *Yalıtım katı üst temel imalatı*



Şekil 4.12. *Yalıtım katı üst imalatı-kolon başlığı*



Şekil 4.13. *Yalıtım katı üst imalatı*

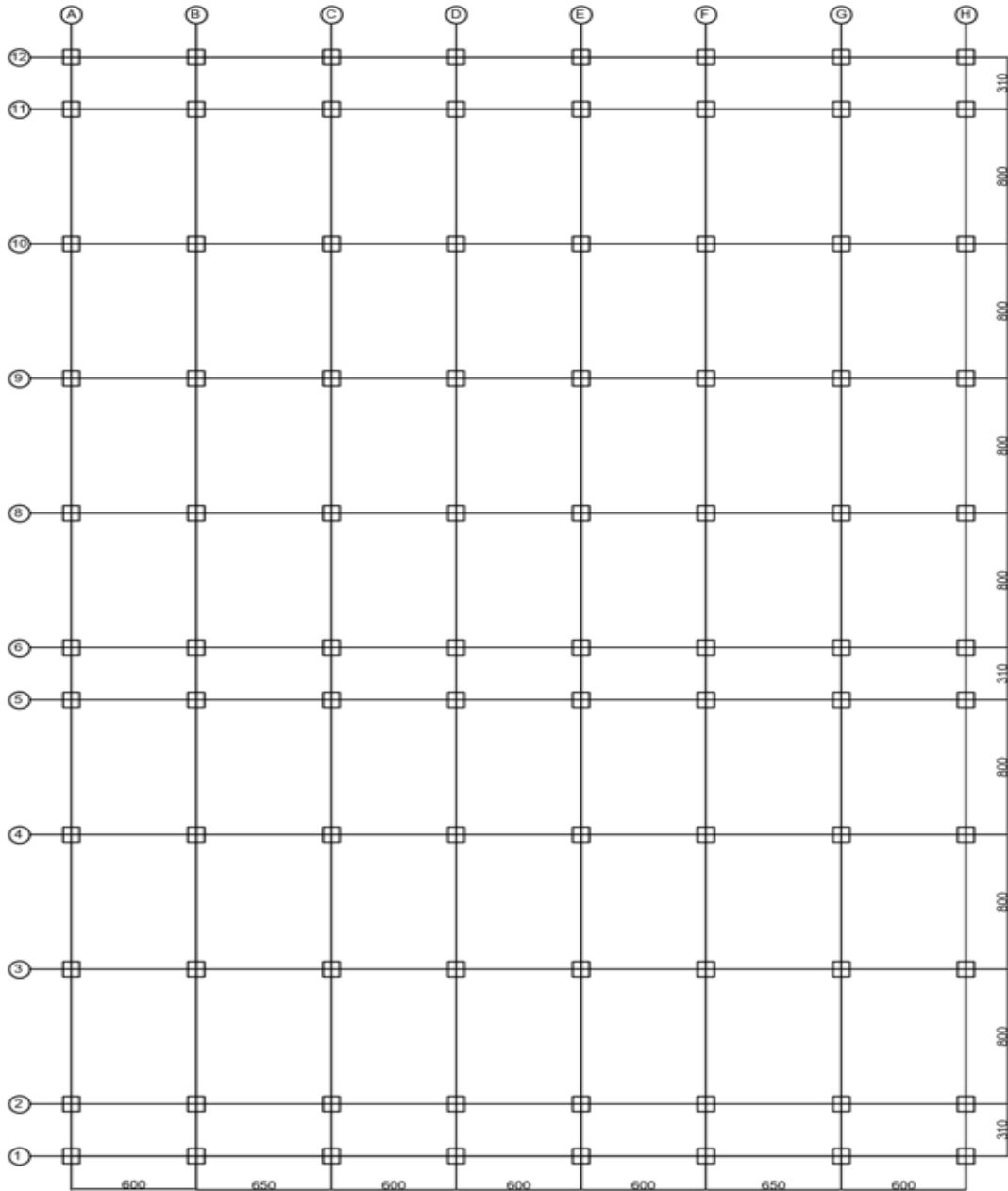
Projeler kapsamında bloklar ayrı olarak da tasarlanabilmektedir. Bu durumda alt temel imalatı bir bütün olarak imal edilse de yapılar için yatay yer değiştirmeler ayrı ayrı hesaplanıp sismik hareket boşluklarının yapı içinde de bırakılması gerekmektedir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. *Yapı içi sismik boşluk*

5. MATERİYAL VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında betonarme ve çelik taşıyıcılı 50 yataklı bir hastane binası modeli tasarlanmıştır. Hastane binası taşıyıcı sistemi ankastre temelli ve sismik izolatörlü çelik veya betonarme bina olmak üzere dört farklı model elde edilmiştir. Söz konusu hastane binası 43x65,3 m ölçülerinde olup taban oturumu 2.807,9 m²'dir. X yönünde aks aralıkları 6 ile 6,5 m iken Y yönünde aks aralıkları 3,1 ile 8 m iken kat yüksekliği 4,5 m dir.



Şekil 5.1. Hastane binası taban oturumu

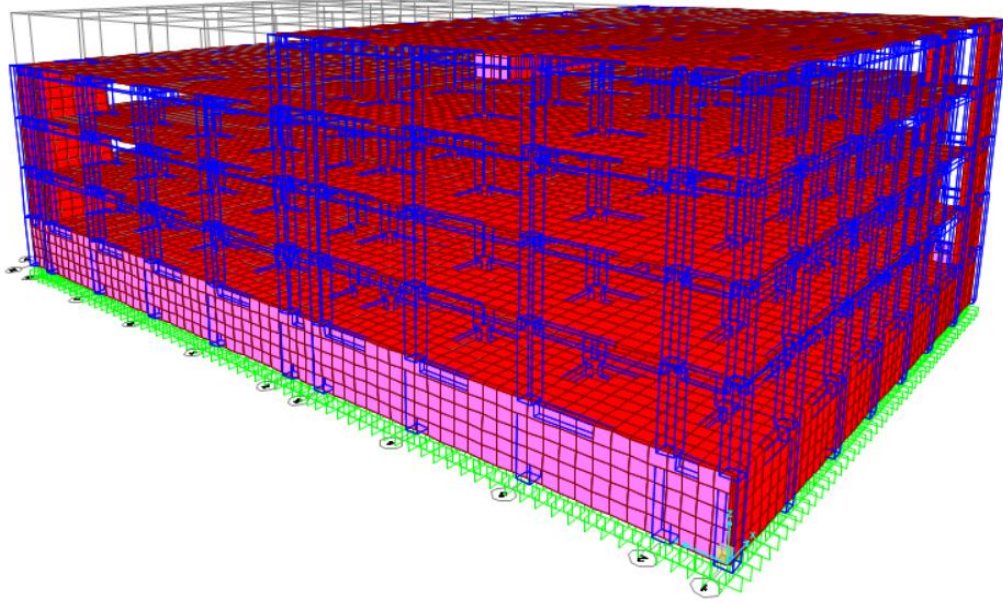
Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018’de betonarme ve çelik yapıların hesap ve tasarımına yönelik kurallar ile Bölüm 14’te verilen deprem yalıtımlı binaların tasarımına yönelik kurallar dikkate alınarak Hastane binası modeli SAP2000 programı V20 versiyonu ile modellenmiştir. Zemin için Adıyaman ilinde Zemin etüdü yapılmış bir parselde ait veriler kullanılmıştır. Zemin sınıfı D olarak hesaplara katılmıştır. Deprem yalıtım elemanı olarak eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tip sismik izolatörler link elemanı olarak tanımlanmıştır. Yapı zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemiyle El-centro depremi etkisiyle analiz edilmiştir.

Geleneksel radye temelli hastane binalarında yapı önem kat sayısı 1,5 alınırken TBDY-2018 bölüm 14’te verilen deprem yalıtımlı binaların tasarım kurallarına göre yalıtımlı binalarda bu değer 1 alınmaktadır. Deprem yalıtımlı binalarda üst yapı DD2 deprem düzeyine göre tasarlanırken yalıtım birimi ve alt yapı DD1 deprem düzeyine ve kesintisiz kullanım performans hedefine göre tasarlanmaktadır.

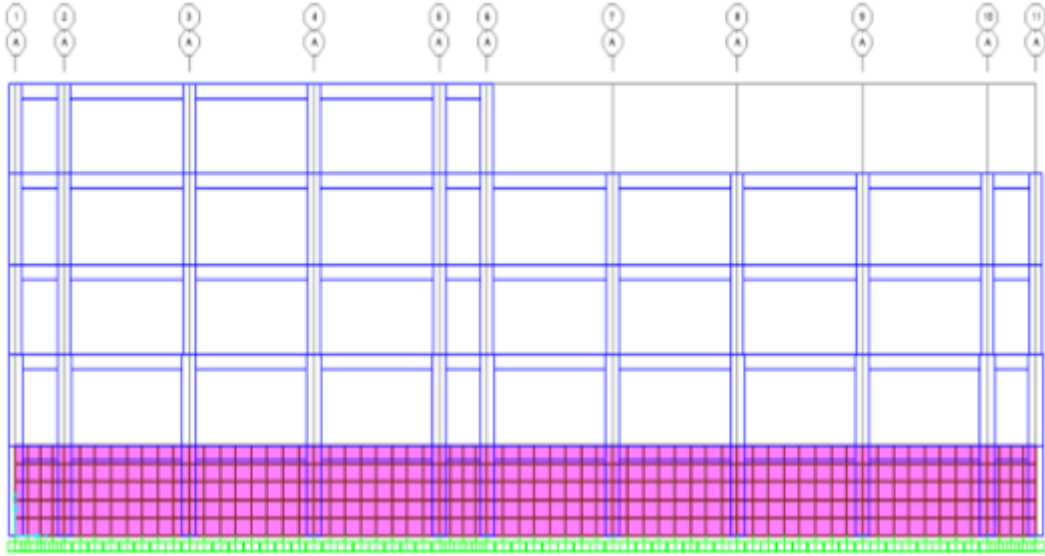
Analiz programında modeller oluşturulurken sismik izolatörlü yapılarda üst yapı ve alt yapı ayrı olarak modellenmiştir. Üst yapının analizi ile elde edilen p-delta momentleri ile yükler alt yapı olarak tasarlanan modelde yüklenerek analizler yapılmıştır.

5.1 Ankastre Temelli Betonarme Taşıyıcılı Hastane Binası Modeli

Ankastre temelli olarak tasarlanan Hastane binası B+Z+3 kattan oluşmaktadır. Bodrum katın dış yüzeyi bodrum perdelerinden oluşmakta iken kolon boyutları 80x80 cm, 85x90 cm ve 90x90 cm’dir. Kiriş boyutları ise 40x70 cm ve 50x70 cm boyutlarındadır. Döşeme kalınlığı 15 cm’dir. Kirişler için duvar yükü olarak gazbeton, döşemelerde ise şap+tesviye ve kaplama yükleri hesaba katılmıştır. Hareketli yük için TS 498 standartları dikkate alınarak koridorlar için 5 kN/m² odalar için 3,5 kN/m² olarak dikkate alınmıştır (Şekil 5.2, Şekil 5.3).



Şekil 5.2. *Ankastre temelli betonarme modeli*

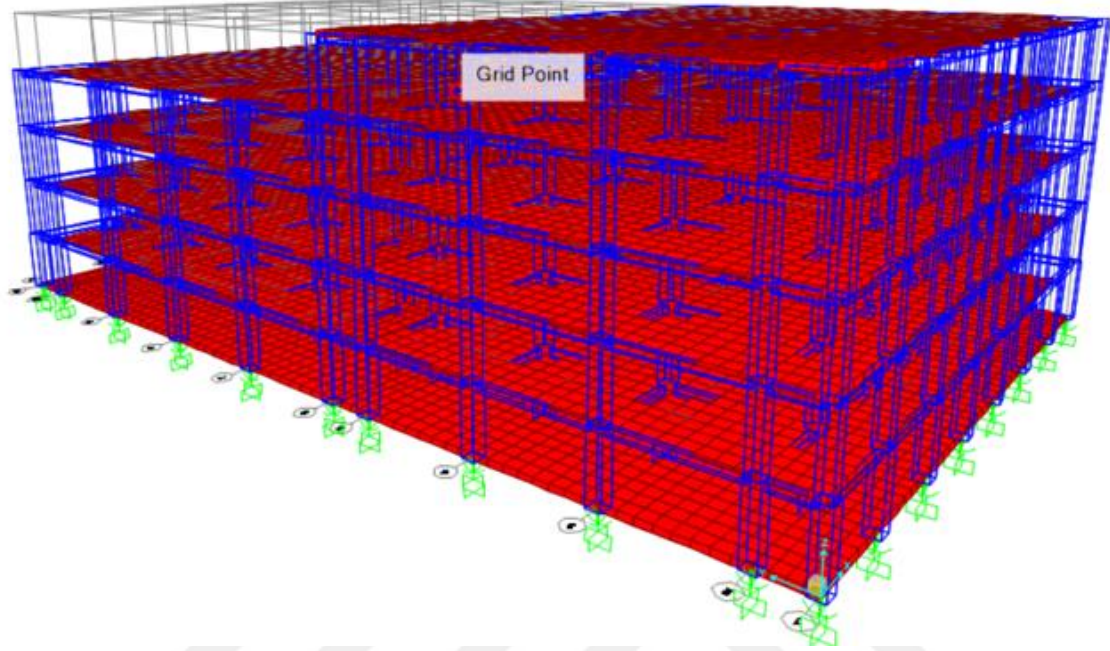


Şekil 5.3. *Ankastre temelli betonarme modeli*

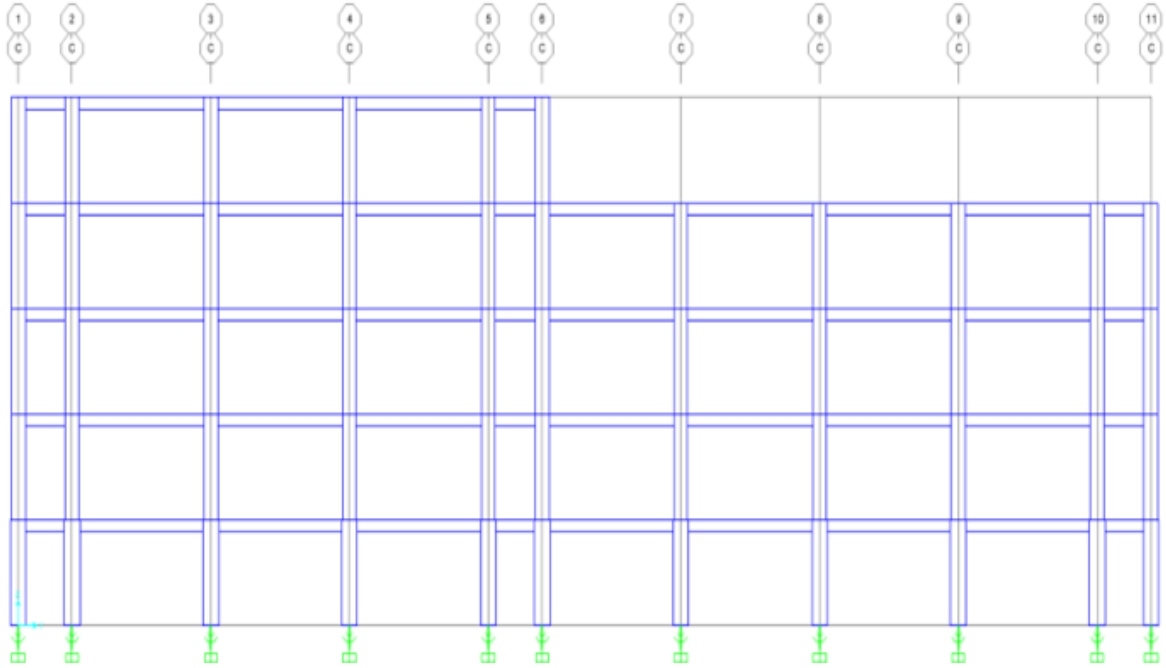
5.2 Sismik İzolatörlü Betonarme Taşıyıcılı Hastane Binası Modeli

Sismik izolatörlü olarak tasarlanan betonarme hastane binası modeli B+Z+3 kattan oluşmaktadır. Bodrum katta dış bodrum perdeleri bulunmamaktadır. Kolon boyutları 70x70 cm ve 80x80 cm'dir. Kirişler genel itibariyle 30x60 cm ve 40x70 cm boyutlarında olup

döşeme kalınlığı 15 cm'dir. Kiriş ile döşeme yüklemeleri betonarme anskastre temelli model ile aynıdır (Şekil 5.4, Şekil 5.5).



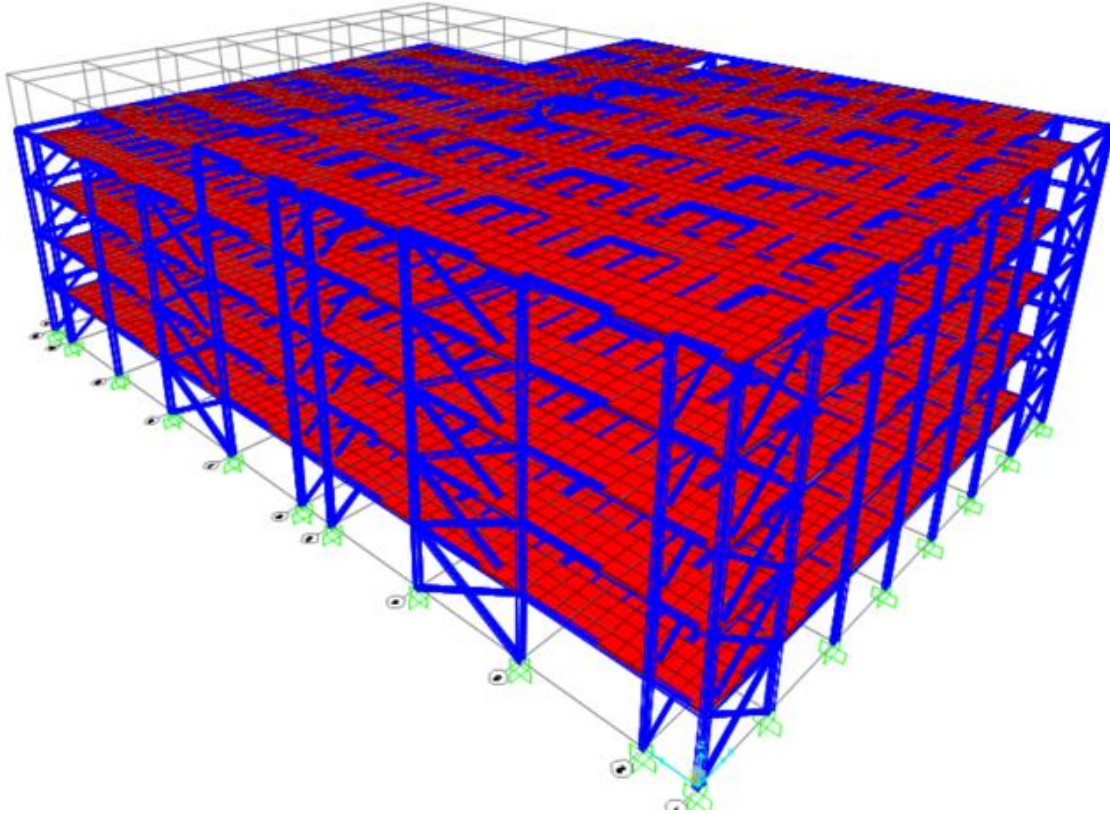
Şekil 5.4. Sismik izolatörlü betonarme modeli



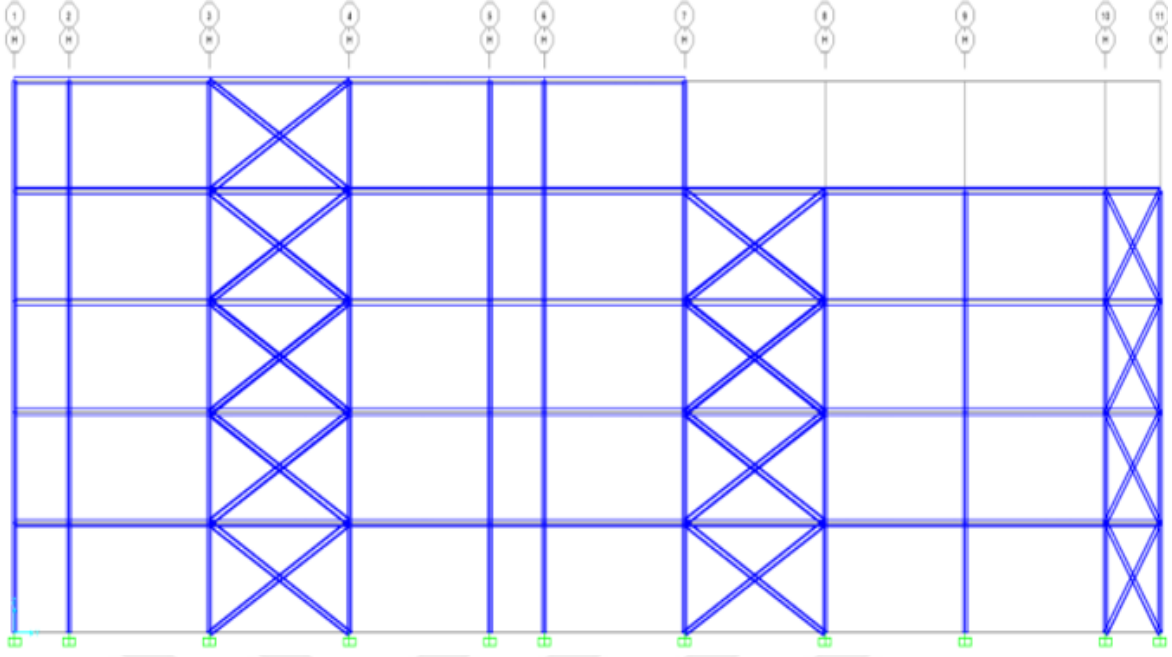
Şekil 5.5. Sismik izolatörlü betonarme modeli

5.3. Ankastre Temelli Çelik Taşıyıcılı Hastane Binası Modeli

Ankastre temelli olarak tasarlanan çelik taşıyıcılı hastane binası için S275 çeliği malzeme olarak seçilmiştir. Kolonlar HEA400 ve HEA360 olarak seçilirken ana kirişler HEA280, tali kirişler IPE100 ve çelik çaprazlar HEA240 seçilmiştir. Döşeme için 1,2 mm sac levha üzerine 10 cm kalınlıkta hasırlı beton imalatı verilmiştir. Kirişlerde duvar yükü olarak çift kat suya dayanıklı alçıpan levha yükü alınırken döşeme ölü yükü olarak tesviye+kaplama yükü hesaba katılmıştır. Hareketli yük için TS 498 standartları dikkate alınarak koridorlar için 5 kN/m² odalar için 3,5 kN/m² olarak dikkate alınmıştır (Şekil 5.6, Şekil 5.7).



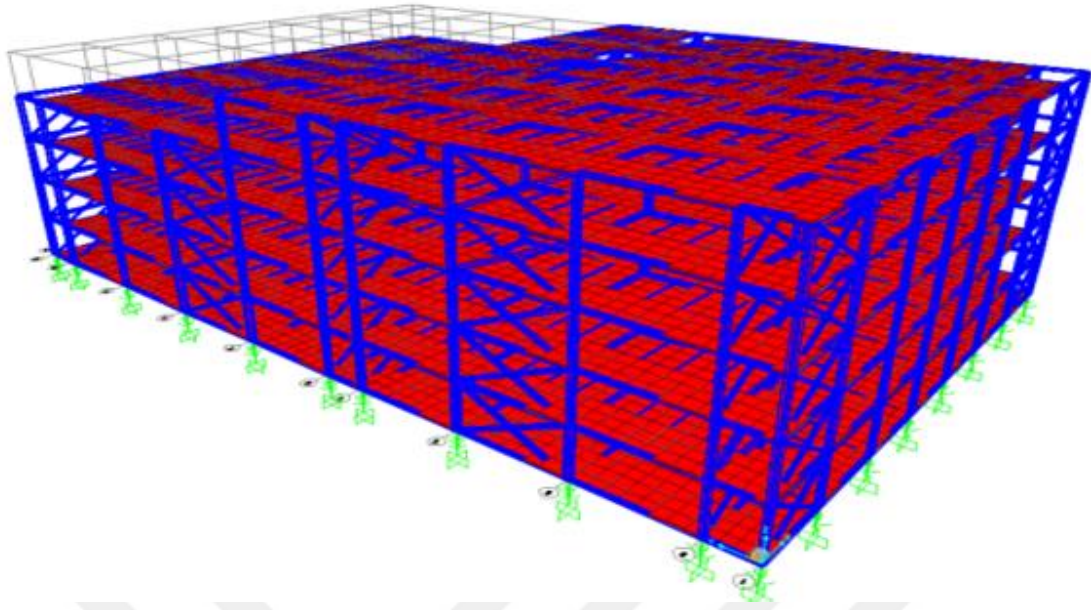
Şekil 5.6. Ankastre temelli çelik taşıyıcılı hastane binası modeli



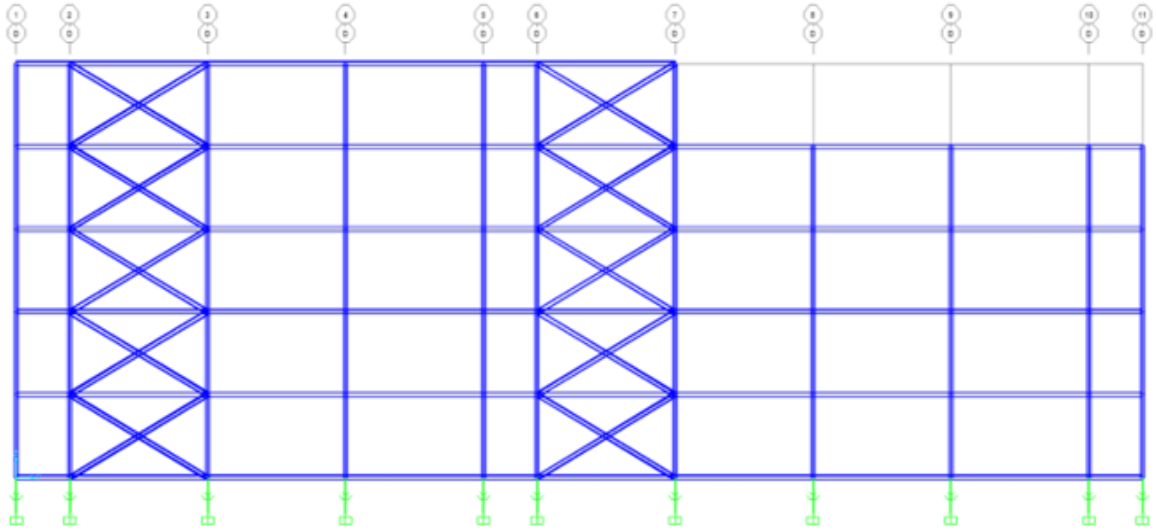
Şekil 5.7. Ankastre temelli çelik taşıyıcılı hastane binası YZ görünüşü

5.4. Sismik İzolatörlü Çelik Taşıyıcılı Hastane Binası Modeli

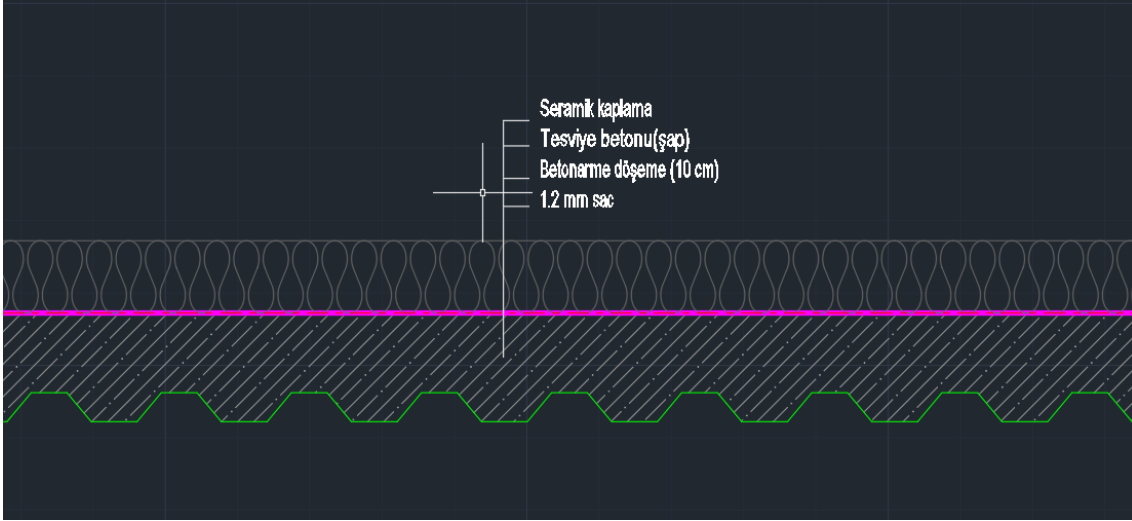
Sismik izolatörlü olarak tasarlanan çelik taşıyıcılı hastane binası için S275 çeliği malzeme olarak seçilmiştir. Kolonlar HE380A ve HE340A olarak seçilirken ana kirişler HE260A, tali kirişler İPE100 ve çelik çaprazlar HE240A seçilmiştir. Döşeme için 1,2 mm sac levha üzerine 10 cm kalınlıkta hasırlı beton imalatı verilmiştir. Kirişlerde duvar yükü olarak çift kat suya dayanıklı alçıpan levha yükü alınırken döşeme ölü yükü olarak tesviye+kaplama yükü hesaba katılmıştır. Hareketli yük için TS 498 standartları dikkate alınarak koridorlar için 5 kN/m² odalar için 3,5 kN/m² olarak dikkate alınmıştır (Şekil 5.8, Şekil 5.9, Şekil 5.10).



Şekil 5.8. Sismik izolatörlü çelik taşıyıcılı hastane binası modeli



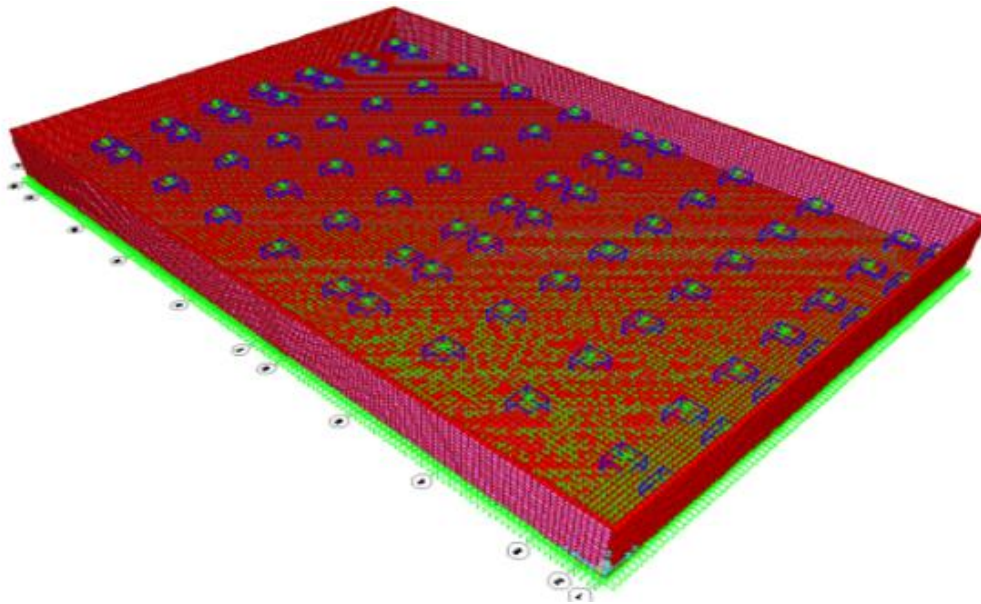
Şekil 5.9. Sismik izolatörlü çelik taşıyıcılı hastane binası YZ görünüşü



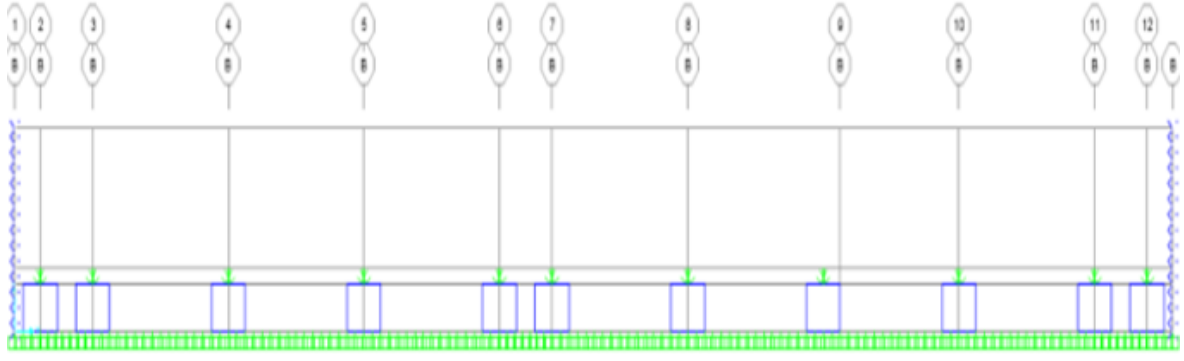
Şekil 5.10. Çelik taşıyıcılı hastane binaları kompozit döşeme kesiti

5.5 Deprem Yalıtımlı Hastane Binalarının Alt Yapı Modeli

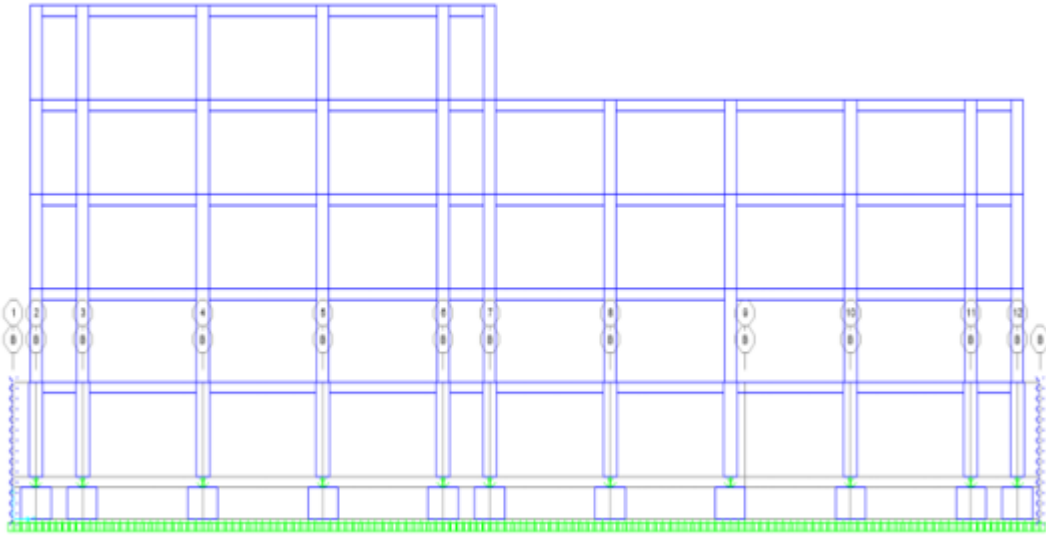
Sismik izolatörlü olarak tasarlanan yapıların üst bölümü 88 kolondan oluşmaktadır. Her kolonun altına gelecek şekilde eğri yüzeyli sürtünmeli tip izolatör elemanları modellenmiştir. İzolatör katı alt bölümünde 1,5 m yüksekliğinde betonarme kaide kolonlar modellenmiştir. Bina çevresinde alt temele ankastre oturan ve sismik izolatör boşluğunu oluşturan betonarme perdeler modellenmiştir. ZD sınıfı zemin değerleri dikkate alınmış olup Alt yapı modeli DD1 deprem düzeyine göre ve kesintisiz kullanım performans düzeyi dikkate alınarak analizler yapılmıştır (Şekil 5.11, Şekil 5.12, Şekil 5.13).



Şekil 5.11. Deprem yalıtımlı hastane binalarının alt yapı modeli



Şekil 5.12. Deprem yalıtımlı hastane binalarının alt yapı modeli kesiti



Şekil 5.13. Deprem yalıtımlı hastane binalarının alt yapı modeli YZ görünüşü

Deprem yalıtımlı betonarme ve çelik taşıyıcılı hastane binalarının $G+0,3Q$ yük kombinasyonlarından elde edilen düşey yük değerleri ile diğer yükleme kombinasyonları dikkate alınarak her iki yapı için tasarlanan yalıtım elemanı ile ilgili veriler Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.1. Betonarme yapı için deprem yalıtım elemanı teknik verileri

Yalıtım eleman teknik verileri	
Toplam adet	88
Maksimum eksenel yük, $N_{ULS} (1.4G+1.6Q)$	4400 kN
Maksimum eksenel yük, $N_{ULS} (1.2G+Q\pm E_{MCE})$	4700 kN
Maksimum eksenel yük, $N_{G+0.3Q}$	3300 kN
Ortalama eksenel yük, $N_{G+0.3Q}$	2650 kN
Eşdeğer nominal dinamik sürtünme katsayısı	4,00%

Tablo 5.2. (Devam)*Betonarme yapı için deprem yalıtım elemanı teknik verileri*

Deplasman kapasitesi	± 440 mm
Dönme kapasitesi	$\pm 0,008$ rad
Eşdeğer eğrilik yarıçapı, R_{eq}	3500 mm
İzolatörün en büyük genişliği	1000 mm
İzolatör toplam kalınlığı	159 mm
Minimum taban plakası kalınlığı	25 mm
Ankraj cıvatası özellikleri	8xM30
Sönüm oranı	25%

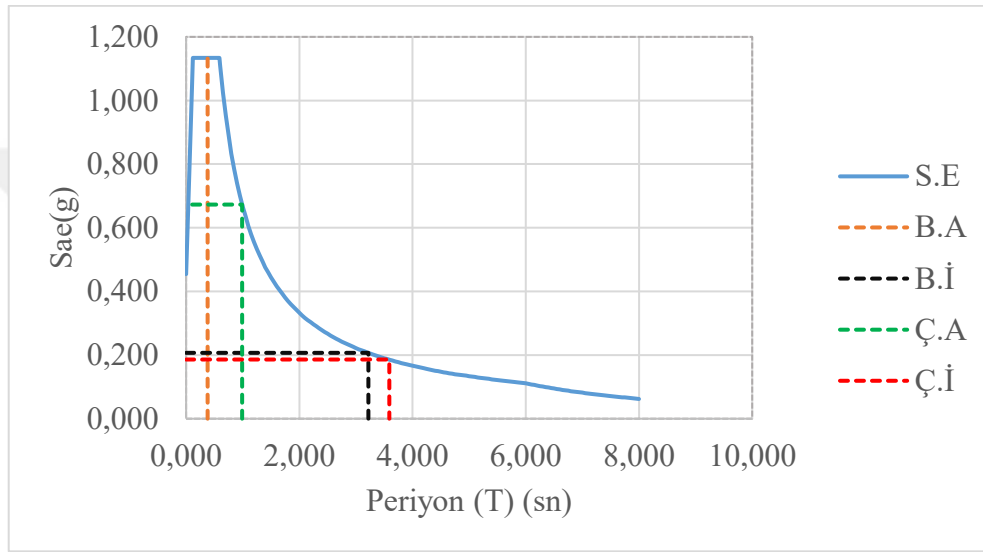
Tablo 5.3. *Çelik yapı için deprem yalıtım elemanı teknik verileri*

Yalıtım eleman teknik verileri	
Toplam adet	88
Maksimum eksenel yük, N_{ULS} (1.4G+1.6Q)	2600 kN
Maksimum eksenel yük, N_{ULS} (1.2G+Q $\pm$ E _{MCE})	2600 kN
Maksimum eksenel yük, $N_{G+0.3Q}$	1700 kN
Ortalama eksenel yük, $N_{G+0.3Q}$	1450 kN
Eşdeğer nominal dinamik sürtünme katsayısı	4,00%
Deplasman kapasitesi	± 440 mm
Dönme kapasitesi	$\pm 0,008$ rad
Eşdeğer eğrilik yarıçapı, R_{eq}	3500 mm
İzolatörün en büyük genişliği	860 mm
İzolatör toplam kalınlığı	137 mm
Minimum taban plakası kalınlığı	20 mm
Ankraj cıvatası özellikleri	8xM24
Sönüm oranı	30%

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

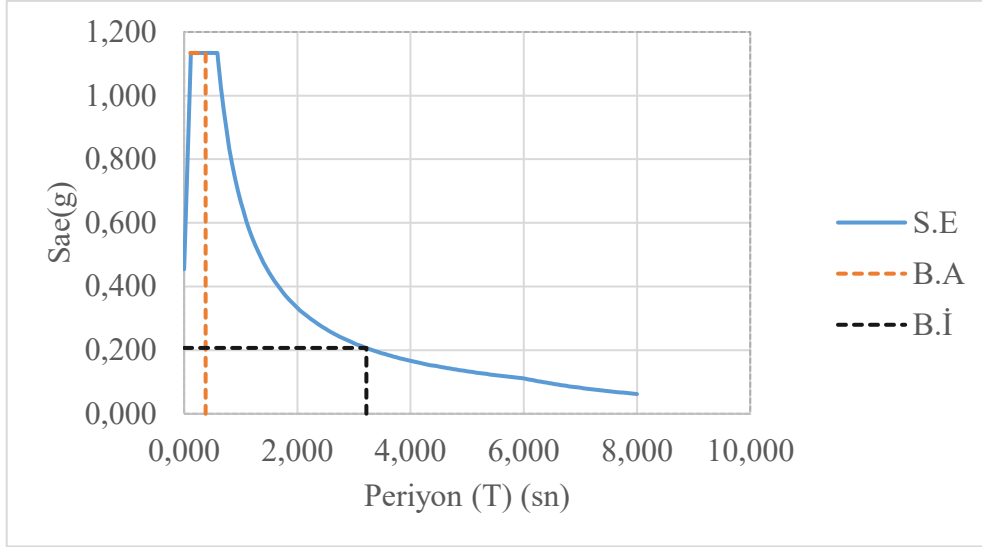
6.1. Yapı Periyotları

50 Yataklı ve farklı taşıyıcı sistemleri ile tasarlanan hastane binalarının analiz sonuçları incelendiğinde; ankastre temelli betonarme binanın hakim periyodu 0,39 sn iken aynı yapı sismik izolatörlü olarak tasarlandığında periyot 3,22 sn olmaktadır. Ankastre temelli çelik yapıda ise hakim periyot 0,99 sn iken aynı yapı sismik izolatörlü olarak tasarlandığında periyot 3,59 sn olarak hesaplanmaktadır (Şekil 6.1).



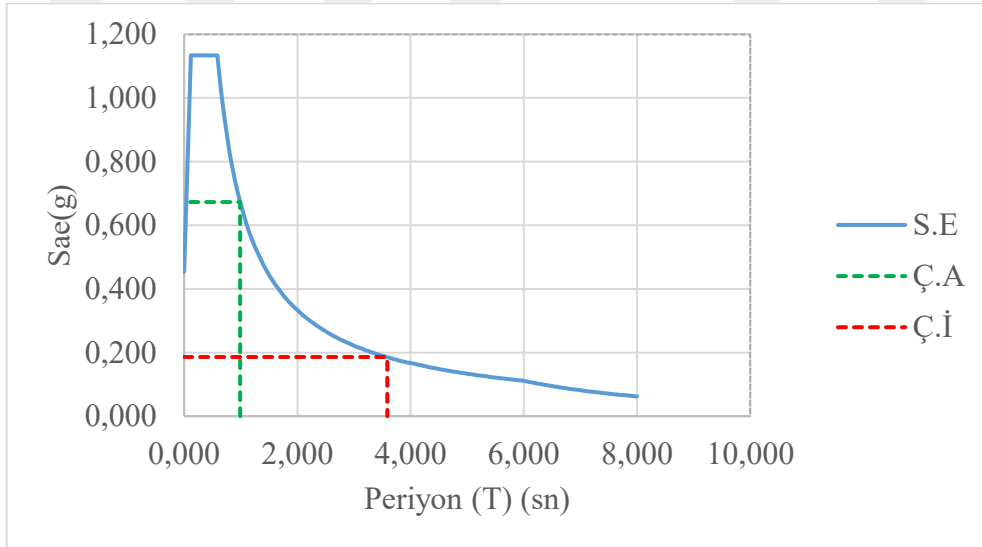
Şekil 6.1. Tüm yapılara ait T (sn)- $S_{ae}(g)$ grafikleri

Ankastre mesnetli betonarme bina modeli periyodu Zemin hakim periyodu ile çakıştığından rezonans etkisi ile yapıya çok daha büyük yükler etki edecektir. Aynı bina modeli izolatörlü olarak tasarlandığında yapı periyodu uzarken yapıya etki edecek olan ivme değeri de 0,207 g seviyelerine düşmektedir (Şekil 6.2).



Şekil 6.2. Betonarme yapılara ait T (sn)- $S_{ae}(g)$ grafikleri

Ankastre mesnetli çelik hastane modelinde Zemin ile yapı periyodu çakışmaz iken 0,673 g'lık bir ivmenin etki edeceği öngörülmekte olup model izolatörlü olarak tasarlandığında ivme değeri 0,186 g olmaktadır (Şekil 6.3).



Şekil 6.3. Çelik yapılara ait T (sn)- $S_{ae}(g)$ grafikleri

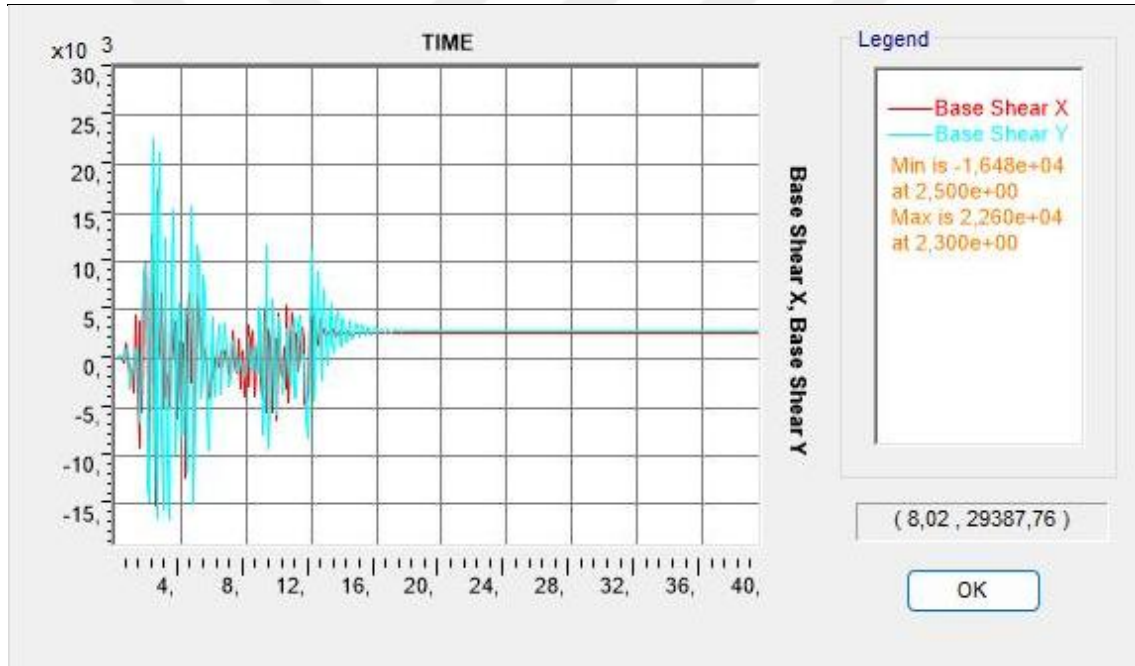
6.2. Taban Kesme Kuvvetleri

Yapıların ağırlıkları incelendiğinde; Ankastre temelli betonarme yapının rijit bodrum perdeleri ve taşıyıcı elemanları boyut farklılıkları nedeniyle sismik izolatörlü yapıya göre daha ağır olduğu görülmektedir. Çelik yapılar kıyaslandığında ise boyutlarda çok fazla

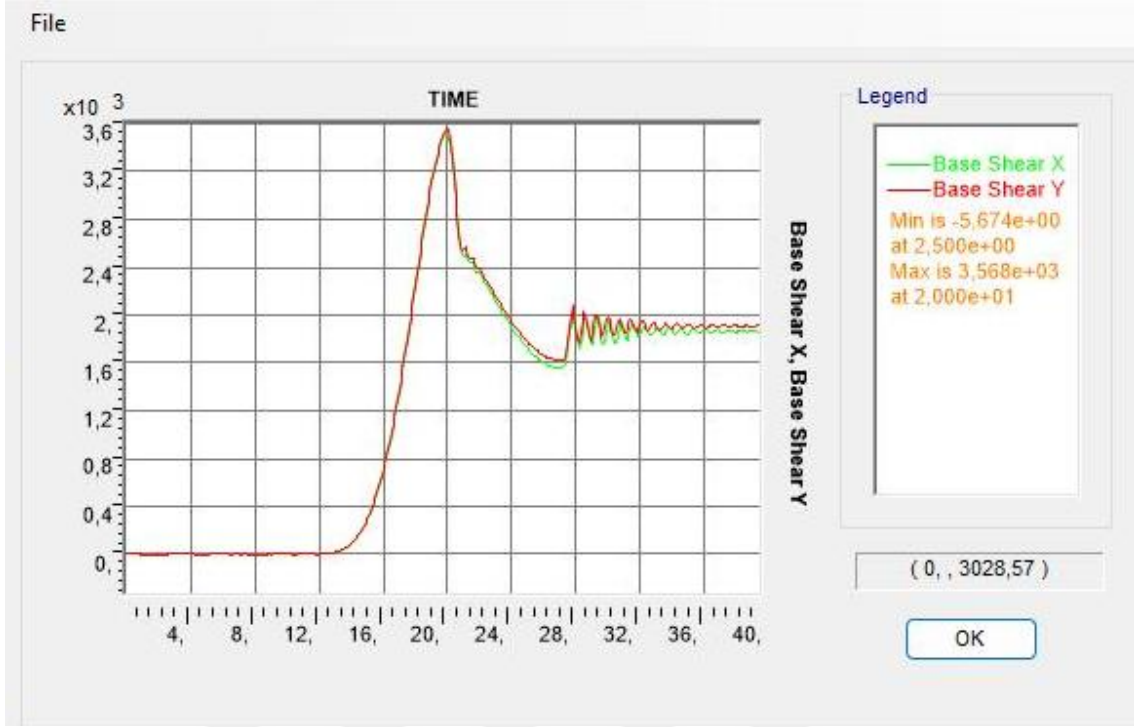
değişiklik olmadığından izolatörlü yapıda izolasyonun hemen üzerinde bulunan temel yapısı etkisiyle ankastre temelli modele göre daha yüksek ağırlığa sahiptir. Betonarme yapıdan dolgu duvarlar gazbeton olarak hesaba alınırken çelik yapılarda dolgu duvarlar alçıpan olarak hesaba katılmıştır. Çelik veya betonarme yapılar arasındaki kütle farkı büyük oranda dolgu duvar etkisinden kaynaklanmaktadır (Tablo 6.1).

Tablo 6.1. *Yapı ağırlıkları*

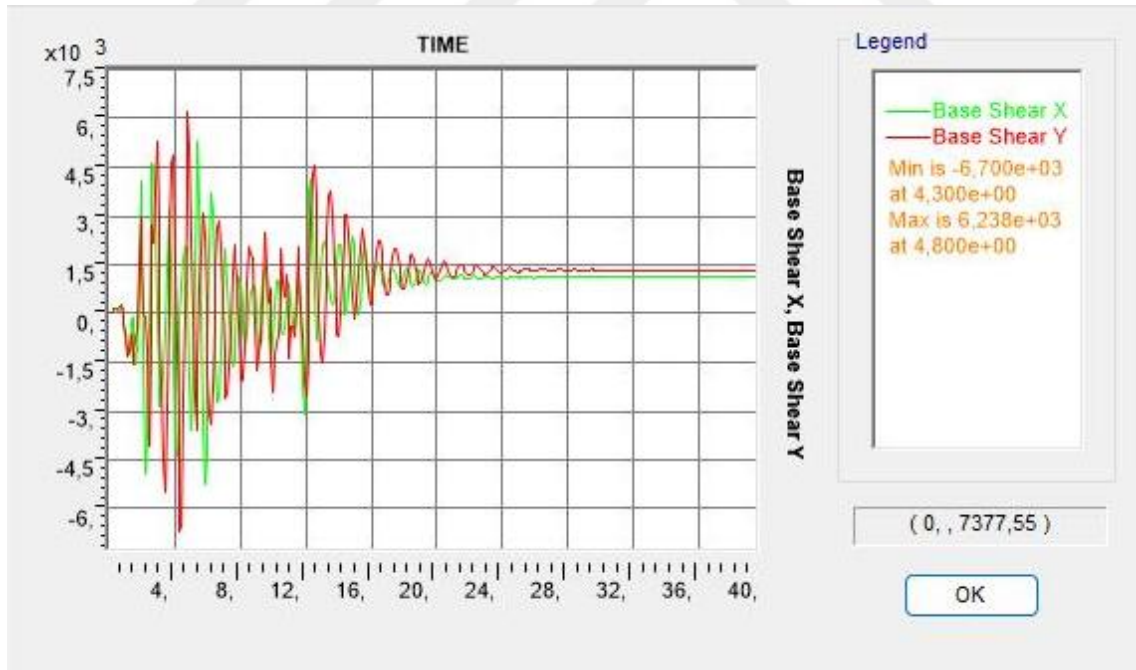
Yapı Türü	Ağırlık (G+0,3Q) (kN)
Betonarme-Ankastre Temelli	209.969,52
Betonarme-Sismik İzolatörlü	184.385,42
Çelik- Ankastre Temelli	87.698,60
Çelik- Sismik İzolatörlü	95.397,71



Şekil 6.4. *Ankastre temelli betonarme yapı taban kesme kuvveti*



Şekil 6.5. Sismik izolatörlü betonarme yapı taban kesme kuvveti

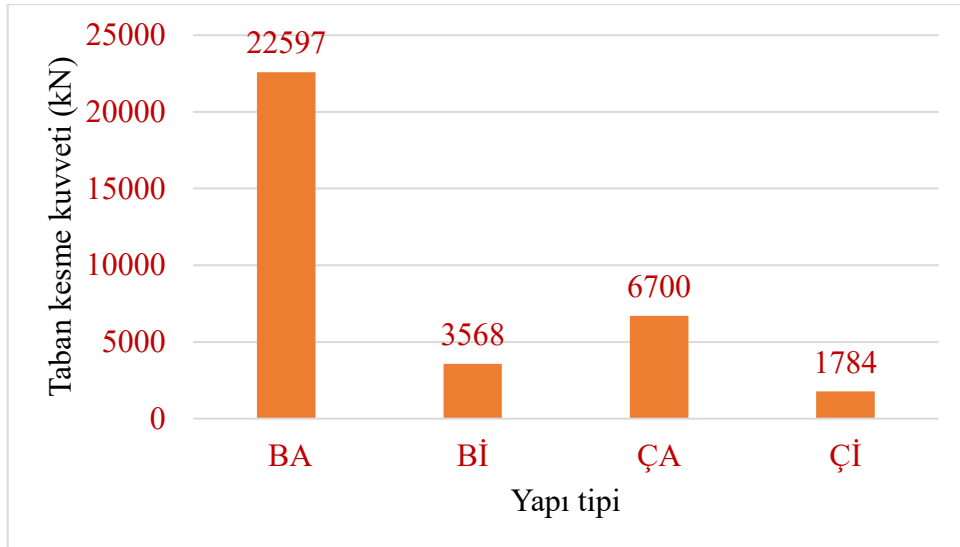


Şekil 6.6. Ankastre temelli çelik yapı taban kesme kuvveti

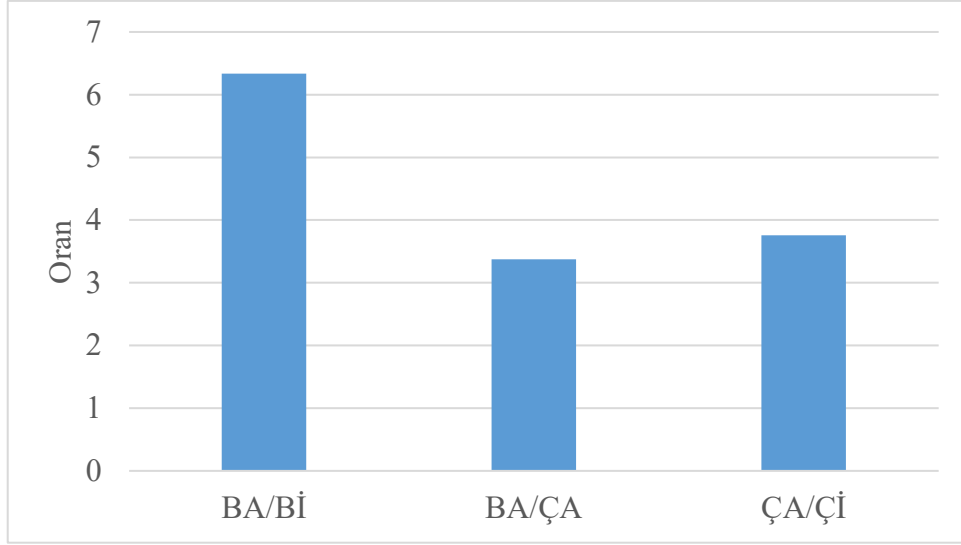


Şekil 6.7. Sismik İzolatörlü çelik yapı taban kesme kuvveti

Yapıları etkileyen taban kesme kuvvetleri incelendiğinde; 22597 kN ile en yüksek taban kesme kuvveti ankastre temelli betonarme yapıda oluşmaktadır. Sismik izolatörlü betonarme yapıda bu değer 3568 kN değerine düşerken; ankastre temelli çelik yapıda 6700 kN ve sismik izolatörlü çelik yapıda 1784 kN olmaktadır (Şekil-69). Ankastre temelli hastane binası sismik izolatörlü olarak tasarlandığında taban kesme kuvveti 6 kat azalırken aynı hastane binası ankastre temelli çelik taşıyıcılı olarak tasarlandığında ise bu kuvvet 3 kat azalmaktadır (Şekil-70).



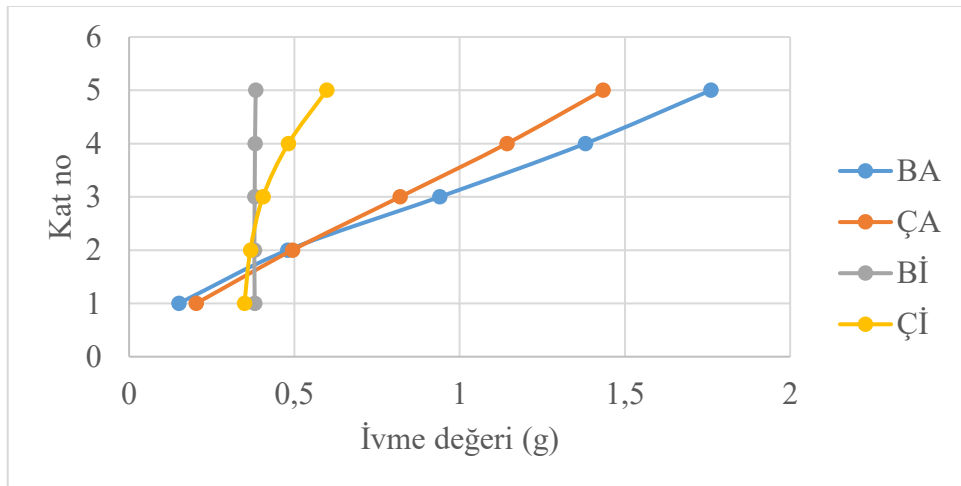
Şekil 6.8. Yapılara ait maksimum taban kesme kuvvetleri



Şekil 6.9. Yapılara ait maksimum taban kesme kuvveti oranları

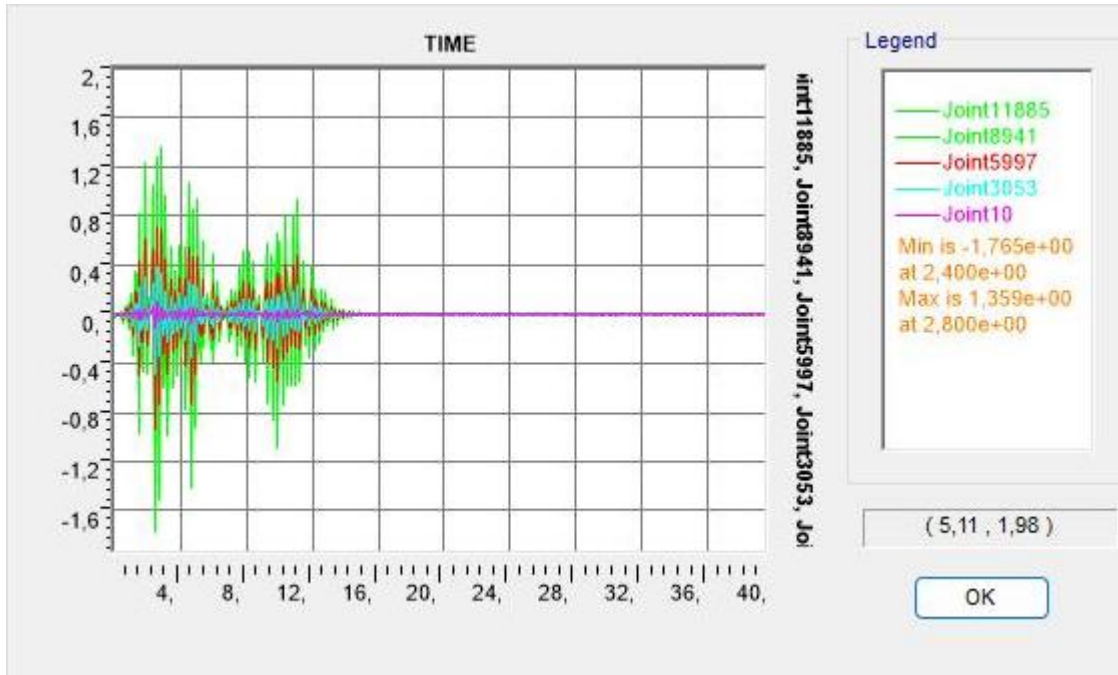
6.2. Katları Etkileyen İvme Değerleri

Hastane binasının önemi gereği depremde yapısal veya yapısal olmayan hasarların meydana gelmemesi kadar deprem nedeniyle yapıya etki edecek ivmelerin cihazlara zarar vermeyecek seviyede kalması önem taşımaktadır. Öyleki deprem esnasında bi ameliyatın devam edebilmesi ya da cihazdan destek alan bir hastanın anlık olarak bu cihazdan ayrılmaması da büyük önem taşımaktadır. Farklı taşıyıcı sistemlerle tasarlanan hastane binası modellerinde katları etkileyen ivme değerleri ankastre temelli modellerde büyük değişiklik gösterirken çalışmada betonarme ankastre mesnetli modelde katlar arasında ivme değişimi yok denecek kadar düşük seviyede kalmıştır (Şekil 6.10).

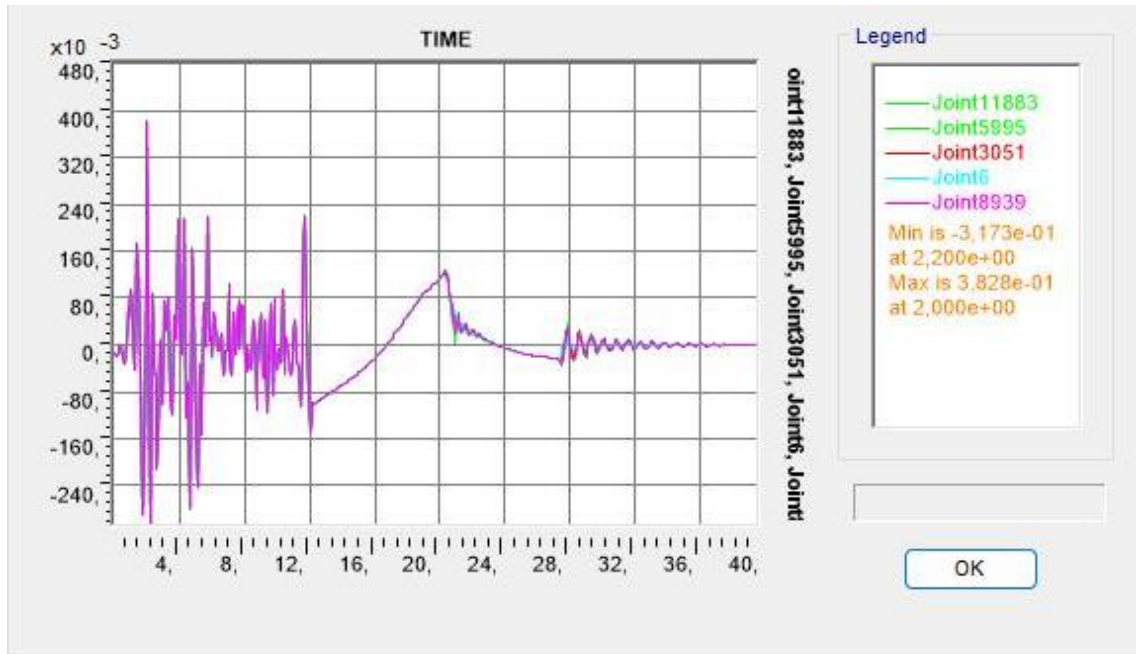


Şekil 6.10. Katları etkileyen ivme değerleri

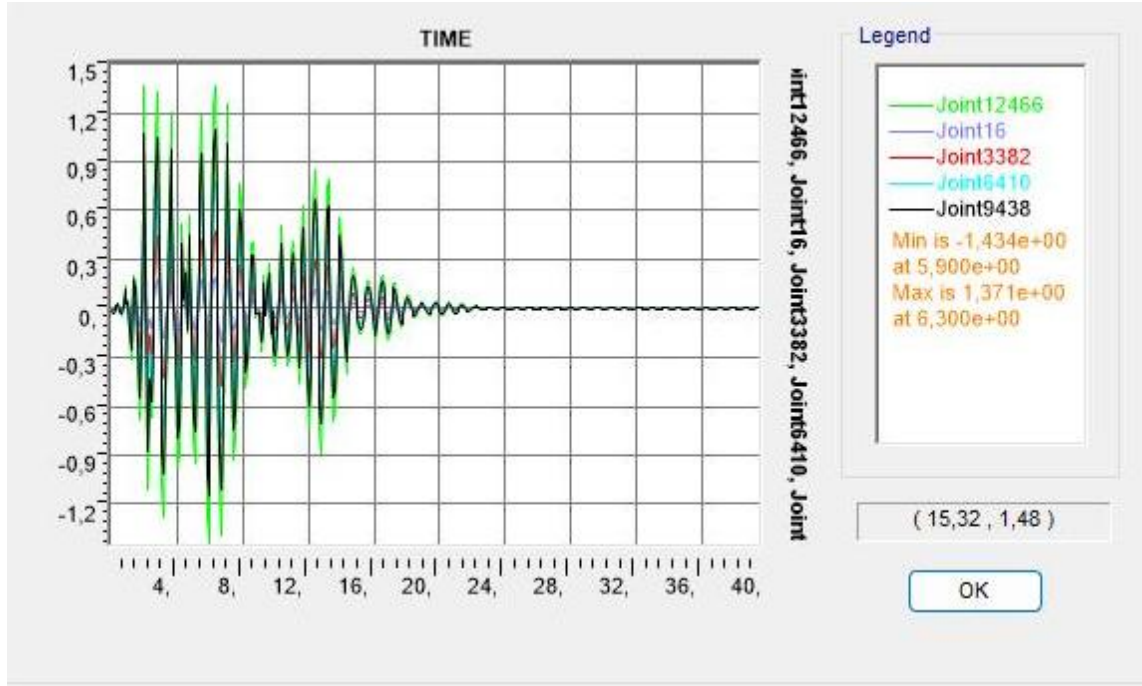
Aşağıdaki grafiklerde tüm modeller için aynı aksta El-centro depremi etkisiyle YZ ekseninde seçilen kat noktalarına ait ivme değerleri elde edilmiştir. Grafikler incelendiğinde ankastre temelli modellerde katlar arasında ivme değerleri üst katlara doğru önemli oranda artarken sismik izolatörlü yapılarda katlar arası değişim çok düşük seviyede kalmaktadır (Şekil 6.11, Şekil 6.12, Şekil 6.13, Şekil 6.14).



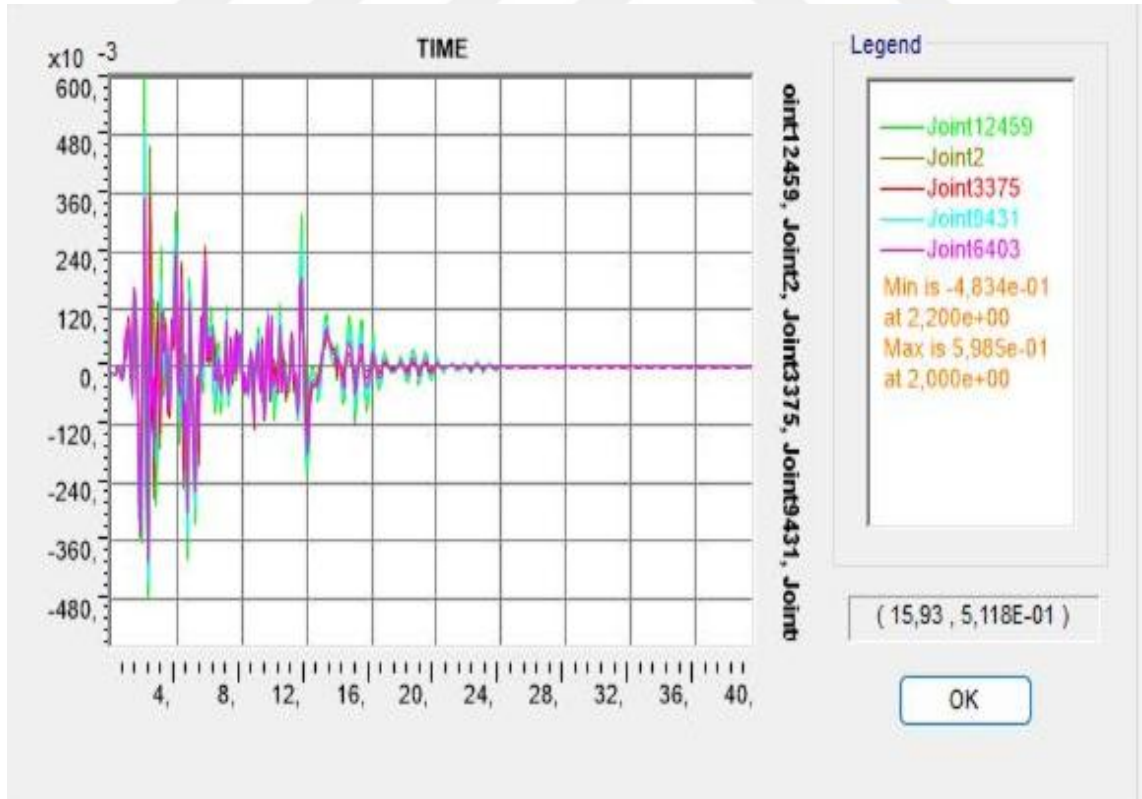
Şekil 6.11. Ankastre temelli betonarme yapı katları etkileyen ivme değerleri



Şekil 6.12. Sismik izolatörlü betonarme yapıda katları etkileyen ivme değerleri



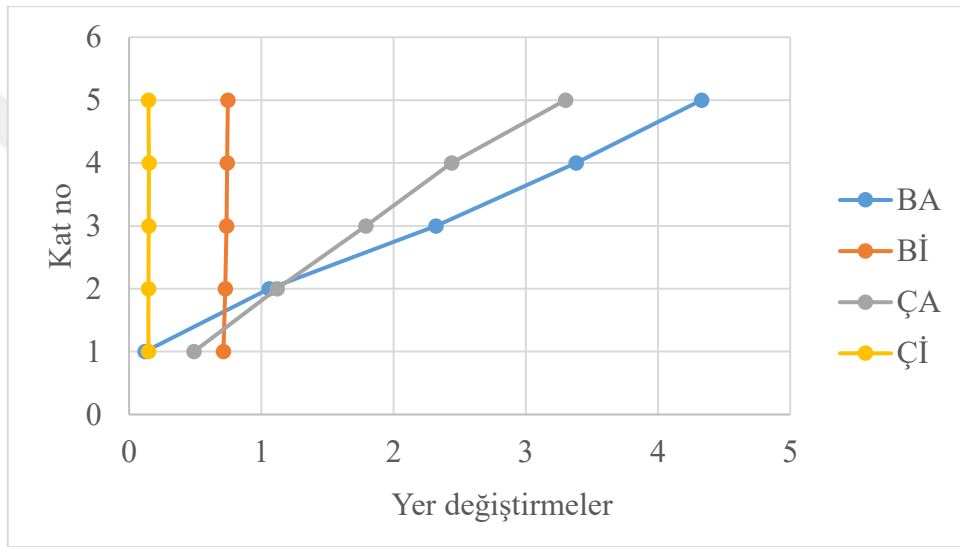
Şekil 6.13. Ankastre temelli çelike yapıda katları etkileyen ivme değerleri



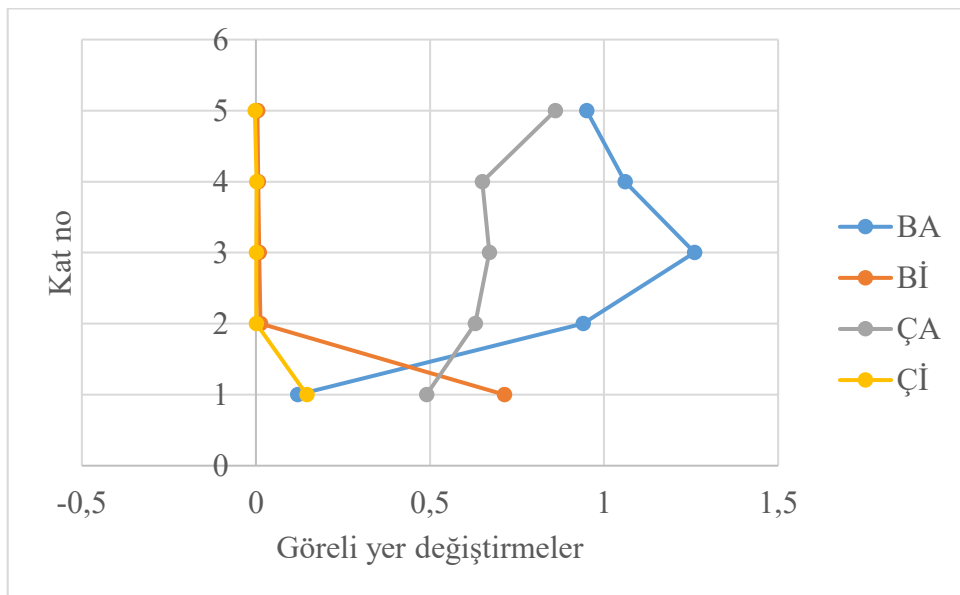
Şekil 6.14. Sismik izolatörlü çelik yapıda katları etkileyen ivme değerleri

6.3. Maksimum Yer Değiştirmeler ve Katların Görelî Yer Değiştirmeleri

Ankastre mesnetli betonarme binada maksimum yer değiştirme yapının en üst katında 4,33 cm olurken yapı izolatörlü olarak tasarlandığında yer değiştirme izolatör seviyesinde 22 cm olarak meydana gelmektedir. Aynı bina ankastre temelli çelik taşıyıcı olarak tasarlandığında yer değiştirme maksimum 3,30 cm olurken aynı bina izolatörlü olarak tasarlandığında yer değiştirme izolatör seviyesinde 38 cm olmaktadır (Şekil 6.15, Şekil 6.16).



Şekil 6.15. Kat yer değiştirmeleri



Şekil 6.16. Görelî kat yer değiştirmeleri

6.4. Kat Kesme kuvvetleri

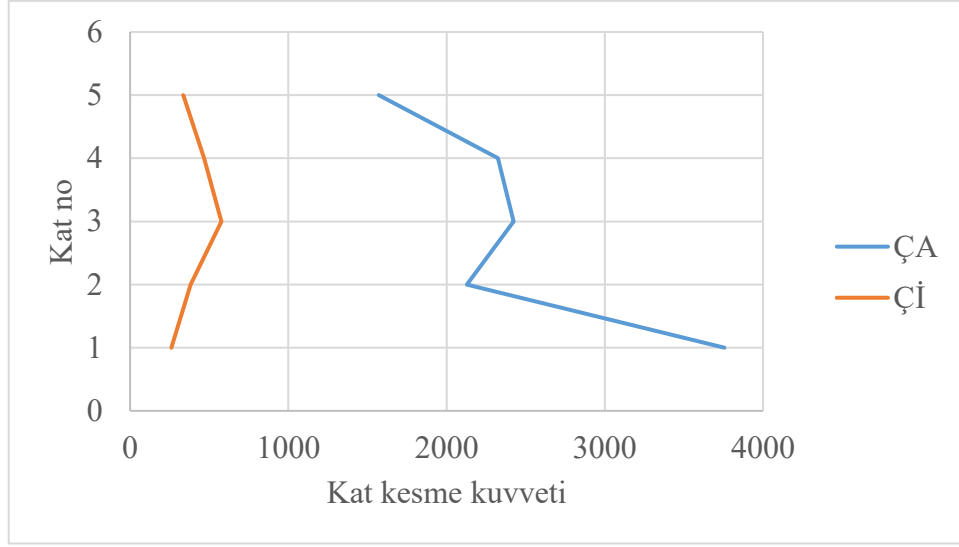
Yapı modellerine ait Tablo 6.2 de verilen kat kesme kuvvetleri incelendiğinde; ankastre temelli hastane modeli sismik izolatörlü olarak tasarlandığında kat kesme kuvvetlerinin 3-5 kat arasında düştüğü görülmektedir. Klasik temelli modelde katlar arasında taban kesme kuvveti ciddi farklar var iken sismik izolatörlü modellerde katlar arasında önemli bir fark görülmemektedir (Şekil 6.17, Şekil 6.18).

Tablo 6.2. Kat kesme kuvvetleri

Betonarme Ankastre	Betonarme İzolatörlü	Çelik Ankastre	Çelik İzolatörlü
335914,2	58967,91	3756,32	260,799
158868,7	45509,54	2127,86	383,148
115364,1	32613,75	2423,18	577,134
104173,7	19438,07	2325,14	467,154
23137,1	6454,24	1571,61	335,223



Şekil 6.17. Betonarme taşıyıcılı modellere ait kat kesme kuvvetleri



Şekil 6.18. Çelik taşıyıcı modellere ait kat kesme kuvvetleri

7. MALİYET ANALİZİ

Bu bölümde betonarme olarak tasarlanan hastane binaları için maliyet analizi yapılmıştır. Tüm hastanenin maliyet hesabının yapılması yerine ankastre mesnetli model sismik izolatörlü olarak tasarlandığında artan ve azalan imalatlar dikkate alınarak oluşacak ilave maliyetler hesaplanmıştır.

7.1. Betonarme Yapılar Maliyet Analizi

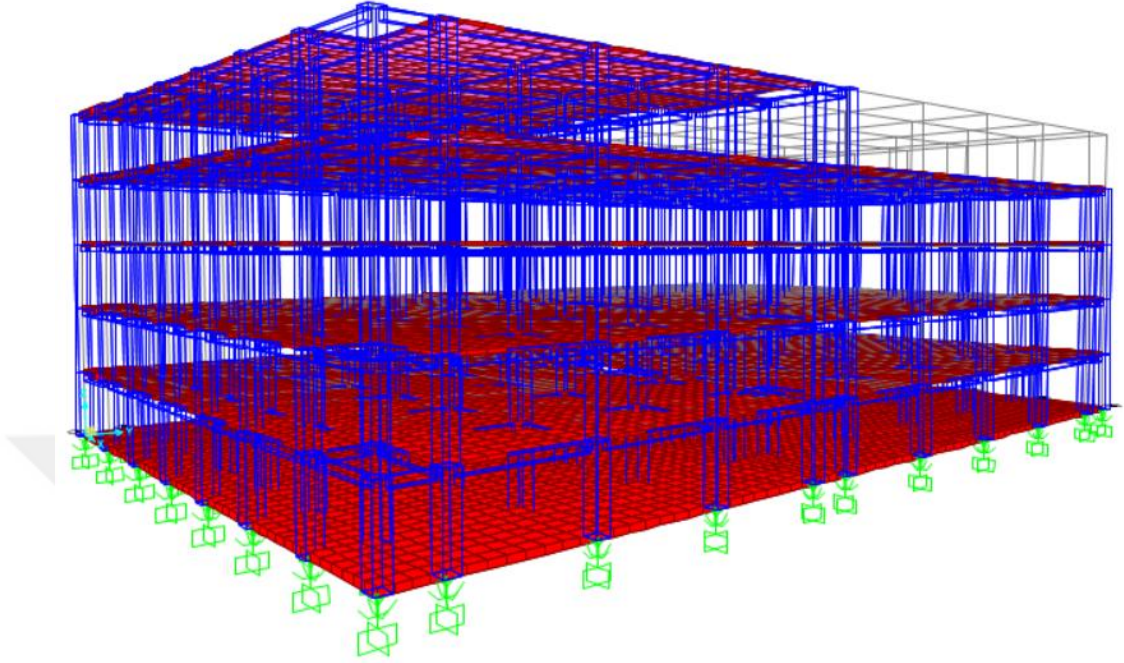
Ankastre mesnetli betonarme hastane modeli deprem yalıtımlı olarak tasarlandığında oluşacak ilave imalatlar Tablo 7.1’de gösterilmiştir.

Tablo 7.1. İzolatörlü bina ilave imalatlar

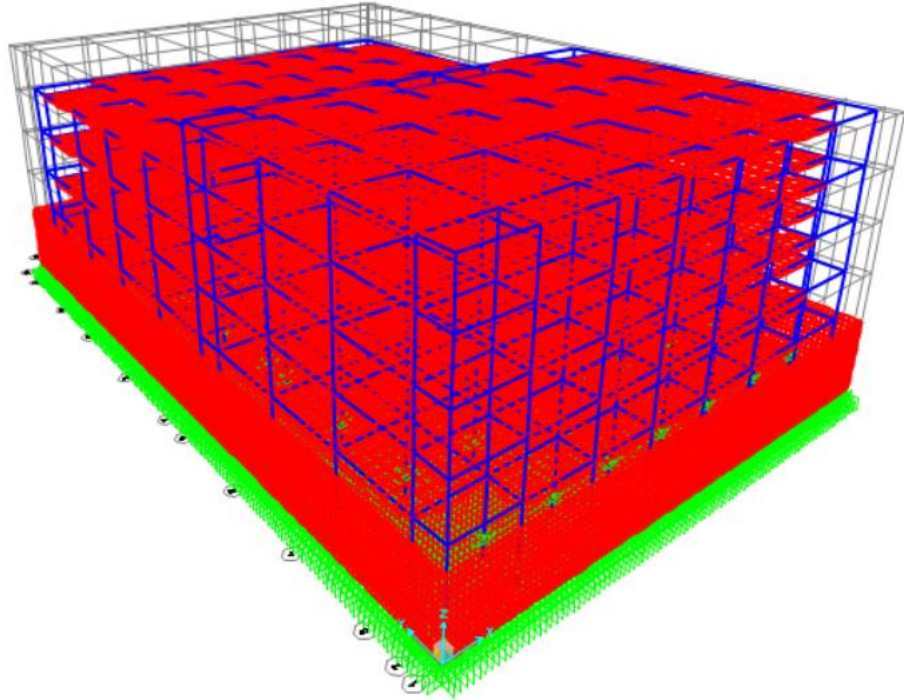
İzolatörlü Bina İlave İmalatlar					
İmalat Türü	Açıklama	Birim	Miktar	Birim Fiyat	Toplam
Kazı	İzolatör katı kazısı	m ³	6302	₺38,25	₺241.051,50
Beton İmalatları	Alt yapı temeli+dış perde+kolon başlıklar+izolatör üstü temeli+izolatör boşluğu sacağı	m ³	8871,74	₺2.842,80	₺25.220.582,47
Donatı imalatları	Alt yapı temeli+dış perde+kolon başlıklar+izolatör üstü temeli+izolatör boşluğu sacağı	Ton	1839,43	₺32.514,45	₺59.807.991,13
Kalıp imalatları	Alt yapı temeli+dış perde+kolon başlıklar+izolatör üstü temeli+izolatör boşluğu sacağı	m ²	6918,4	₺634,51	₺4.389.793,98
İskele İmalatları	Alt yapı temeli+dış perde+kolon başlıklar+izolatör üstü temeli+izolatör boşluğu sacağı	m ³	4731,9	₺81,00	₺383.283,90
Gazbeton imalatla	Bodrum kat dış duvar imalatları	m ²	820,56	₺689,80	₺566.022,29
Yalıtım İmalatları	dışperde ilave yalıtım imalatları	m ²	342,9	₺412,05	₺141.291,95
Yalıtım Elemanı		Adet	88	₺174.960,00	₺15.396.480,00

Sismik izolatörlü hastane binaları incelendiğinde genel itibariyle ayrı bir yalıtım katının tasarlandığı ve izolatörlerin burada alt yapı kolon kaidesi ile üst yapı temeli arasında yerleştirildiği görülmektedir. Çalışma kapsamında da yalıtım katı oluşturulmuştur. Altyapı bölümünü oluşturan kolon kaideler, temel ve sismik boşluğu sağlayan dış perdeler DD1 deprem seviyesi ve kesintisiz kullanım performans hedefi ile analiz edilmiş ve boyutlandırılmıştır. Hesap programında elde edilen sonuçlar doğrultusunda metraj hesapları yapılarak Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının yayımlamış olduğu 2024 birim fiyatlar üzerinden maliyet hesapları yapılmıştır. Yalıtım elemanı maliyetleri için hesaplan

yükler ve performans hedefleri üretici firma ile paylaşılarak teklif alınmış ve maliyete dahil edilmiştir (Şekil 7.1, Şekil 7.2).



Şekil 7.1. Sismik izolatörlü yapı modeli

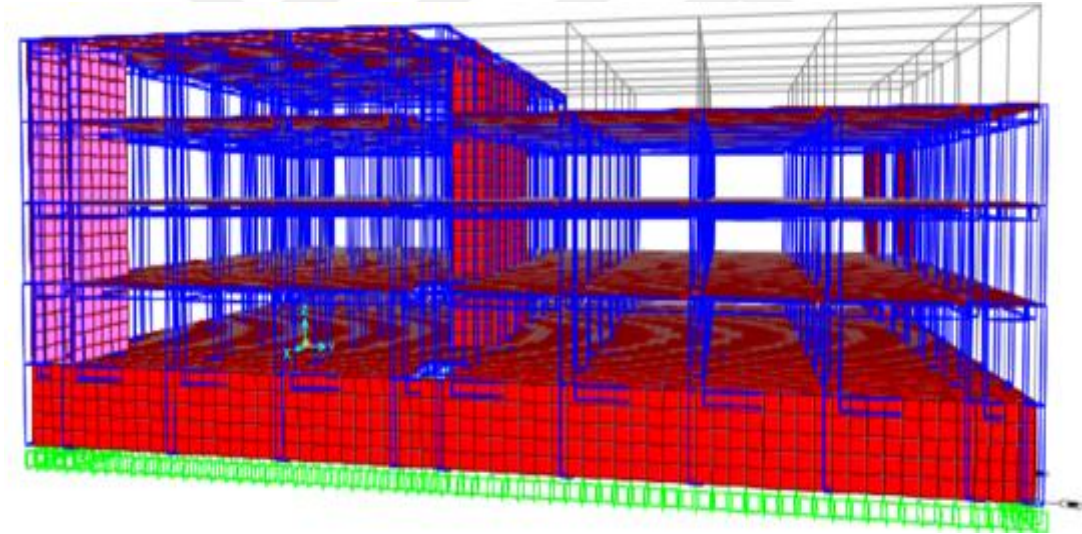


Şekil 7.2. Sismik izolatörlü yapı modeli

Ankastre temelli bina deprem yalıtımlı olarak tasarlandığında ilave imalatların yanında eksilen imalatlar da bulunmaktadır. Bodrum kat perdeleri ve DD2 depremine göre çözülmüş temel imatları ile bodrum kat tesisat geçişleri için yapılan genel itibariyle 50 cm lik hatıl+dolgu+blokaj betonu imatları azalmaktadır. Ayrıca ankastre temelli binada giriş boyutları 50x70 cm iken izolatörlü binada 40x60 cm olarak yükleri güvenle taşıdığına eksilişler meydana gelmektedir (Tablo 7.2).

Tablo 7.2. İzolatörlü bina eksilen imalatlar

İzolatörlü Bina Eksilen İmatlar					
İmat Türü	Açıklama	Birim	Miktar	Birim Fiyat	Toplam
Beton İmatları	Bodrum kat azalan dış perde imatları+temel imatları	m ³	5229,66	₺2.842,80	-₺14.866.877,45
Donatı imatları	Bodrum kat azalan dış perde imatları+temel imatları	Ton	751,41	₺32.514,45	-₺24.431.771,31
Kalıp imatları	Bodrum kat azalan dış perde imatları+temel imatları	m ²	2400,3	₺634,51	-₺1.523.014,35



Şekil 7.3. Ankastre temelli yapı modeli

7.2. İzolatörlü Yapı İlave Maliyetler

Deprem yalıtımlı olarak tasarlanan hastane binasında oluşan ilave imalatlar ile eksilen imalatlar mukayese edildiğinde çalışma kapsamında 50 yataklı olarak tasarlanan hastane binasında 65.324.834,10 TL ilave maliyet getirdiği görülmektedir (Tablo 7.3).

Tablo 7.3. Artan-Eksilen imalatlar mukayesesi

İzolatörlü Bina İlave İmalatlar					
İmalat Türü	Açıklama	Birim	Miktar	Birim Fiyat	Toplam
Kazı	İzolatör katı kazısı	m ³	6302	₺38,25	₺241.052
Beton İmalatları	Alt yapı temeli+dış perde+kolon başlıklar+izolatör üstü temeli+izolatör boşluğu	m ³	8871,74	₺2.842,80	₺25.220.582
Donatı imalatları	Alt yapı temeli+dış perde+kolon başlıklar+izolatör üstü temeli+izolatör boşluğu sacağı	Ton	1839,43	₺32.514,45	₺59.807.991
Kalıp imalatları	Alt yapı temeli+dış perde+kolon başlıklar+izolatör üstü temeli+izolatör boşluğu sacağı	m ²	6918,4	₺634,51	₺4.389.794
İskele İmalatları	Alt yapı temeli+dış perde+kolon başlıklar+izolatör üstü temeli+izolatör boşluğu sacağı	m ³	4731,9	₺81,00	₺383.284
Gazbeton imalatları	Bodrum kat dış duvar imalatları	m ²	820,56	₺689,80	₺566.022
Yalıtım İmalatları	Dışperde ilave yalıtım imalatları	m ²	342,9	₺412,05	₺141.292
Yalıtım Elemanı		Adet	88	₺174.960,00	₺15.396.480
Toplam					₺106.146.497
İzolatörlü Bina Eksilen İmalatlar					
İmalat Türü	Açıklama	Birim	Miktar	Birim Fiyat	Toplam
Beton İmalatları	Bodrum kat azalan dış perde imalatları+temel imalatları	m ³	5229,66	₺2.842,80	-₺14.866.877,45
Donatı imalatları	Bodrum kat azalan dış perde imalatları+temel imalatları	Ton	751,41	₺32.514,45	-₺24.431.771,31
Kalıp imalatları	Bodrum kat azalan dış perde imalatları+temel imalatları	m ²	2400,3	₺634,51	-₺1.523.014,35
Toplam					-₺40.821.663,11
FARK					₺65.324.834,10

Modellenen yapının toplam kapalı alanı 12.958 m²'dir. Hesaplanan ilave imalatlar hastane binasının birim metrekare maliyetini yaklaşık 5.041 TL arttırdığı görülmektedir. Sağlık bakanlığının 2024 yılında yapmış olduğu hastane binaları ile ilgili ihale sonuçları incelendiğinde de izolatörlü olarak tasarlanan binaların birim metrekare maliyetinin izolatörsüz binalara göre ortalama yaklaşık maliyetlerinin 6011 TL daha yüksek olduğu

görülmektedir. Çalışma kapsamında hesaplanan bedelle uyumlu olmakla birlikte aradaki farkın elektrik ve mekanik ilave imatlardan kaynakladığı düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında Sağlık Bakanlığının 2024 yılında yapmış olduğu Hastane binası ihalelerinin sonuçları da değerlendirilmiştir. Yapılan incelemede 2024 yılında ihalesi yapılan izolatörlü hastane binalarında ortalama yaklaşık maliyet 40.705,49 m²/TL olarak hesaplanırken aynı yıl için ihale sonuçları incelendiğinde sözleşme bedellerinin 38.539,72 TL/m² olduğu görülmektedir. (Tablo 7.4)

Tablo 7.4. 2024 Yılı yapılan izolatörlü hastane binaları ve TL/m² maliyetleri

Hastane	İzolatör	Yatak Kapasitesi	Yapım Yılı	Yaklaşık Maliyet	Sözleşme Bedeli	Taban Alan	Kapalı Alan	Y.M/K.A	S.B/K.A
Beykoz	Var	500	2024	4.862.830.123,57	4.185.000.000,00	16222	117715	41310,20	35551,97
Akhisar	Var	450	2024	3.685.632.599,10	3.672.000.000,00	18716,7	104655	35216,98	35086,71
Bolu	Var	150	2024	1.676.994.020,80	1.636.000.000,00	9108	36975	45354,81	44246,11
Kırklareli	Var	250	2024	2.051.191.316,39	1.967.749.000,00	7097	50103	40939,49	39274,08
Ortalama								40705,3685	38539,71747

Aynı yıl izolatörsüz olarak yapım işi projeleri hazırlanan ve ihalesi yapılan klasik temelli hastane binalarında ortalama yaklaşık maliyet 34.589,07 TL/m² olarak hesaplanırken aynı yıl için ihale sonuçları incelendiğinde sözleşme bedellerinin 31.201,42 TL/m² olduğu görülmektedir. (Tablo 7.5)

Tablo 7.5. 2024 Yılı yapılan klasik temelli hastane binaları ve TL/m² maliyetleri

Hastane	İzolatör	Yatak Kapasitesi	Yapım Yılı	Yaklaşık Maliyet	Sözleşme Bedeli	Taban Alan	Kapalı Alan	Y.M/K.A	S.B/K.A
Balıkesir kepsut	Yok	50	2024	440.829.221,07	438.500.000,00	2218	13500	32654,02	32481,48
Kütahya	Yok	75	2024	634.503.615,23	602.470.000,00	5164	19682	32237,76	30610,20
Diyarbakır eğil	Yok	25	2024	304.719.676,13	237.300.000,00	1716	7374	41323,53	32180,63
Rize Çayeli	Yok	50	2024	442.898.197,13	430.000.000,00	2449	13506	32792,70	31837,70
Şanlıurfa Harran	Yok	100	2024	828.934.936,50	745.000.000,00	5600	23493	35284,34	31711,57
Karaman	Yok	200	2024	1.844.668.368,00	1.695.328.813,76	9926	55492	33242,06	30550,87
Şanlıurfa Viranşehir	Yok	250	2024	1.534.081.933,94	1.448.970.000,00	9420	49900	30743,12	29037,47
Ortalama								34589,07	31201,42

Tablo 7.4 ve tablo 7.5 incelendiğinde hastane binası izolatörlü olarak tasarlandığında m² birim maliyetinin %17 civarında arttığı görülmektedir. İlave maliyet artışı daha önce yapılmış olan çalışmalarla da benzerlik göstermektedir (Öztürk M. 2025:580). Tablo 7.4 incelendiğine hastane yatak kapasitesi ve buna bağlı toplam kapalı alan arttığında izolatörlerin getireceği ilave imalatların da buna bağlı olarak m² bazında önemli oranda düştüğü görülmektedir. Hastane binalarının projelendirilmesinde yalıtım katları genel itibariyle 1,8-2 m yükseklikte olmakta ve herhangi bir amaçla kullanılmadığı görülmektedir. Yalıtım katları yüksekliği arttırılarak otopark olarak kullanıldığında maliyete önemli oranda etkileyeceği düşünülmektedir.



8. SONUÇ VE ÖNERİLER

1) Ankastre mesnetli betonarme taşıyıcı sistemli hastane yapısında, birinci hâkim doğal titreşim periyodunun zemin hâkim periyodu ile çakıştığı ve rezonans riski oluşturduğu belirlenmiştir. Ankastre mesnetli çelik taşıyıcı sistemli yapıda ise birinci hâkim periyodun daha büyük olduğu, zemin periyodu ile örtüşmediği ve rezonans etkisinin oluşmadığı tespit edilmiştir.

2) Ankastre temelli hastane yapısının çelik taşıyıcı sistemle tasarlanması durumunda, yapı ağırlığındaki belirgin azalmaya bağlı olarak taban kesme kuvvetinin betonarme taşıyıcı sisteme kıyasla yaklaşık üç kat azaldığı belirlenmiştir.

3) Ankastre temelli betonarme ve çelik taşıyıcı sistemli hastane modellerinin her ikisinde de kat ivmelerinin 1,5 g değerini aşması, yapısal olmayan elemanlar ile hastane ekipmanlarında önemli hasar oluşma potansiyeline işaret etmektedir.

4) Ankastre temelli betonarme hastane yapısının deprem yalıtımlı olarak tasarlanması durumunda, yapının hâkim periyodu 3,22 s'ye yükselmekte ve rezonans etkisi ortadan kalkmaktadır. Bu durumda kat ivmeleri yaklaşık 2 g seviyelerinden 0,5 g seviyelerine düşmekte, göreceli kat ötelemeleri ise yer değiştirmelerin izolatör seviyesinde yoğunlaşması nedeniyle ihmal edilebilir düzeyde kalmaktadır. Buna bağlı olarak yapısal olmayan elemanlarda hasar oluşumu büyük ölçüde önlenmektedir.

5) Sismik izolatörlü olarak tasarlanan betonarme ve çelik taşıyıcı sistemli hastane yapılarında, taban kesme kuvvetinin izolatörsüz durumlara kıyasla yaklaşık 4–6 kat azaldığı hesaplar sonucunda belirlenmiştir.

6) Çalışma bulguları, hastane binalarının deprem sonrasında değil, deprem anında dahi kesintisiz hizmet vermesi gereken yapılar olduğunu ortaya koymaktadır. Sismik izolatörlü hastane binalarının, Sağlık Bakanlığı tarafından 2024 yılında gerçekleştirilen yapım ihalelerine göre izolatörsüz binalara kıyasla yaklaşık %15–20 oranında daha yüksek birim maliyete sahip olduğu görülmektedir. Bu çalışma kapsamında modellenen 50 yataklı hastane yapısında, sismik izolatörlü tasarımın ankastre mesnetli modele göre yaklaşık 5.022 TL/m² ilave maliyet oluşturduğu hesaplanmış olup, bu değer 100 yatak ve üzeri izolatörlü hastane binalarının 2024 yılı ihale verileriyle uyumludur. Hastane binalarının kritik işlevi ve ilave maliyetlerin yatak sayısından bağımsız olarak benzerlik göstermesi dikkate alındığında, deprem bölgelerinde yer alan hastane yapılarının sismik izolatörlü olarak tasarlanması önerilmektedir.

7) Sağlık Bakanlığı tarafından projelendirilerek ihale edilen hastane yapılarında izolatör katlarının genel olarak kullanılmadığı görülmektedir. Bu katların uygun mimari ve yapısal tasarım ile kat yüksekliği artırılarak kullanılabilir hâle getirilmesi durumunda, sismik izolatörlere ait birim metrekare maliyetlerinin önemli ölçüde azaltılabileceği değerlendirilmektedir.



KAYNAKÇA

- [1] Alhan, C., & Hacıemiroğlu, M. (2023). “Direncili Şehirler için Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sismik İzolasyon”. Çevre Şehir ve İklim Dergisi, 2(4), 96-127.
- [2] Baş, A. (2024). Betonarme Yapılarda Sismik İzolatör Kullanımı Ve Sismik İzolatör Tiplerinin İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Yer: Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi.
- [3] Constantinou, M., Whittaker, A. S., & Velivasakis, E. (2001). “Seismic Evaluation and Retrofit of the Atatürk International Airport Terminal Building”. In *Structures 2001: A Structural Engineering Odyssey* (pp. 1-8).
- [4] Dicleli, M. (2013). Sismik İzolasyon ve Enerji Emici Sistemlerle İlgili Teknik Gelişmeler.
- [5] Güner, G. (2012). Bir Hastane Yapısının Klasik Yöntemle Ve Sismik İzolatör Kullanılarak Tasarımının Dinamik Yönden Karşılaştırılmasının Yapılması. (Yüksek Lisans Tezi) Yer: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [6] Gürbüz, A., & Kayıkçı, F. Y. (2024). “Zemin-Yapı Etkileşimini Dikkate Alan Analizlerde Sismik Taban İzolatörünün Etkisi”. Türk Deprem Araştırma Dergisi, 6(2), 271-285.
- [7] Karabörk, T., Deneme, İ. Ö., & Bilgehan, R. P. (2010). “Temeli İzole Edilen Yapılarda Dinamik Yapı-Zemin Etkileşimi”. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 26(1), 77-87.
- [8] Kuşu, A., & Beyen, K. (2019). “Aynı Koşullar Altında Tasarlanan 12 Katlı Çelik ve Betonarme Bir Yapının TBDY 2018 Esaslarına Göre Karşılaştırılması”. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2(2), 64-73.
- [9] Mirkelam, Z. A., & Derdiman, M. K. (2016). “Taban Yalıtım Tekniğinin Betonarme Binaların Deprem Performansına Etkisinin Araştırılması”. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 8(2), 1-11.
- [10] Mostaghel N, Khodaverdian M. (1987). “Dynamics Of Resilient-Friction Base Isolator (R-FBI)”. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 15: 379-390.
- [11] Murota, N., Suzuki, S., Mori, T., Wakishima, K., Sadan, B., Tuzun, C., Sutcu, F., Erdik, M. (2021). “Performance Of High-Damping Rubber Bearings for Seismic Isolation of Residential Buildings in Turkey”. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 143:106620.
- [12] Naeim, F., Kelly, J.M. İpek M. (1999). Deprem Yalıtımlı Yapıların Tasarımı. (Çev.: Muzaffer İpek, Kerem Özdoğan). İstanbul. (2008)
- [13] Özer, E., & İnel, M. (2021). “Sismik İzolatörlerin Betonarme Konut Binasının Performansı Üzerindeki Etkileri”. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 27(3), 303-311.
- [14] Özkan, A. M., Gürsoy, Ş., & Garip, Z. Ş. (2023). “Zemin Kat Yüksekliği ve Kat Adedi Farklı Olan Betonarme Binalarda Sismik İzolatör Kullanımının Bina Davranışına Etkisinin İncelenmesi”. International Journal of Engineering Research and Development, 15(2), 671-688.

- [15] Öztürk, H. (2022). Sismik İzolasyonlu Yapıların Tasarımında Kullanılan Analiz Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 38(1), 117-127.
- [16] Öztürk, M., (2025). “Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatörlerin Hastanelerin Taşıyıcı Sistemine Etkisi”. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 13(2), 570-581.
- [17] Polat H.İ., (2019). “Betonarme Bir Yapıda Geleneksel Yöntem ve Taban İzolatörü Kullanımının Karşılaştırmalı Analizi”. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 15, 43-54.
- [18] Roussis, P. C., Constantinou, M. C., Erdik, M., Durukal, E., & Dicleli, M. (2003). “Assessment Of Performance Of Seismic Isolation System Of Bolu Viaduct”. Journal of Bridge Engineering, 8(4), 182-190.
- [19] Symans M.D., Cofer W.F., Fridley K.J., 2002. “Base Isolation and Supplemental Damping Systems for Seismic Protection of Wood Structures”. Literature Review, Earthquake Spectra, 18(3), 549-572,
- [20] TBDY-2018. “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği”. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Ankara, Türkiye, 30364, 2018
- [21] Teştek, İ. (2019). Çok Katlı Bir Yapının Betonarme Ve Çelik Taşıyıcı Sisteme Sahip Olarak 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’nde Tanımlanan Zemin Sınıflarına Göre Çözümlemesi Ve Ekonomik Açıdan Karşılaştırılması (Yüksek Lisans Tezi). Yer: Gümüşhane Üniversitesi.
- [22] Toprak, T. (2012). Burulma Düzensizliği Olan Yapılarda Sismik İzolasyon Kullanımının Deprem Yükleri Altındaki Davranışa Olan Etkisi (Yüksek Lisans Tezi). Yer: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [23] TS498, 1984. Çelik yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye
- [24] Urgu, M. İ. (2006). Sismik İzolatörlü Yapıların Tasarımı (Yüksek Lisans Tezi). Yer: Dokuz Eylül Üniversitesi.
- [25] Yanik A., Ulus Y., (2023). Soil-Structure Interaction Consideration for Base Isolated Structures under Earthquake Excitation, Buildings, 13(4), 915.
- [26] Yücesoy, A. (2005). Sismik İzolatörler ile Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı (Doctoral dissertation (Yüksek Lisans Tezi). Yer: Mustafa Kemal Üniversitesi.
- [27] Zulfakar, M., & Karakaş, A. İ. (2022). “Farklı Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatörlerin Yapı Sismik Davranışına Etkileri”. Duzce University Journal of Science and Technology, 10(4), 1826-1837.