



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ADANA ALPARSLAN TÜRKER BİLİM VE TEKNOLOJİ
ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE BİNALARIN
DEPREM ETKİSİ ALTINDA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Anıl KILINÇ
YÜKSEK LİSANS



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ADANA ALPARSLAN TÜRKEŞ BİLİM VE TEKNOLOJİ
ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE BİNALARIN
DEPREM ETKİSİ ALTINDA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Anıl KILINÇ
YÜKSEK LİSANS

DANIŞMAN
Prof. Dr. Serkan TOKGÖZ

ADANA 2022

**TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE BİNALARIN DEPREM
ETKİSİ ALTINDA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Anıl KILINÇ tarafından tamamlanan Yüksek
Lisans Tezi onaylanmıştır.**

Doç. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU
Enstitü Müdür V.

Prof. Dr. Faruk Fırat ÇALIM
Anabilim Dalı Başkanı

Prof. Dr. Serkan TOKGÖZ
Danışman

Tez Jürisi

Prof. Dr. Serkan TOKGÖZ
Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi

Prof. Dr. Faruk Fırat ÇALIM
Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji
Üniversitesi

Prof. Dr. Hüseyin R. YERLİ
Çukurova Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi

28/01/2022

ÖZET

TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE BİNALARIN DEPREM ETKİSİ ALTINDA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Anıl KILINÇ

Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Serkan TOKGÖZ

OCAK 2022, 172 sayfa

Sunulan tez çalışmasında, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)'nin başlıca kavramları açıklanmıştır. TBDY-2018 “Deprem Etkisi Altında Yalıtımlı Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar” kapsamında 3 adet betonarme yapı modeli tasarlanmış ve yapısal analizleri gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasında; sismik izolasyon kavramı açıklanmış ve deprem izolatörünün tarihteki kullanımı ile sismik izolatörlü yapıların Türkiye’deki uygulamaları sunulmuştur. Ayrıca çalışmada, deprem izolatörleri çeşitleri hakkında teknik bilgi verilmiştir. Tez çalışmasında; 6 katlı betonarme olarak hastane binası tasarımı yapılmış ve yapı taban yalıtımsız, eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi ve kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimi kullanılarak bilgisayar programı (SAP2000) ile modellenmiştir. TBDY-2018’e göre yalıtım birimlerinin tasarımları gerçekleştirilerek, doğrusal ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler kullanılarak taban kesme kuvvetleri ile etkin görelî kat ötelemeleri arasındaki farklar sunulmuştur. Sunulan çalışmada, deprem izolatörlü yapıların etkin görelî kat ötelemeleri taban yalıtımsız yapılara göre çok daha düşük değerlerde elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: TBDY 2018, deprem yalıtımı, taban yalıtımı, sismik izolasyon.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE BEHAVIOR OF BUILDINGS UNDER EARTHQUAKE EFFECT ACCORDING TO TURKISH BUILDING EARTHQUAKE CODE

Anıl KILINÇ

M.Sc., Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Serkan TOKGÖZ

January 2022, 172 pages

In the presented thesis study, main concepts of the Turkish Building Seismic Code (TBDY-2018) have been explained. In the scope of the TBDY-2018, “Special Requirements for Design of Isolated Building Structural Systems Under Seismic Effect”, a total of three reinforced concrete structural models have been designed and their structural analyses have been carried out. In the thesis study, the concept of seismic isolation has been clarified and the use of seismic isolator in the past and the application of the structures with seismic isolator in Turkey have been presented. In addition, technical information for the different types of seismic isolator has been given in the study. In the thesis work, 6 storey reinforced concrete hospital structure has been designed and the structure has been modelled as without isolator, friction pendulum system and lead rubber bearings using a computer program (SAP2000). Design of the isolator members has been carried out according to the Turkish Building Seismic Code (TBDY-2018), the base shear loads and the effective relative storey displacement differences have been presented by using linear and time history nonlinear analyses. In the presented study, the effective relative storey displacements of the structures having isolator have been obtained much lower than the structures without isolator.

Keywords: TBDY 2018, earthquake isolation, base isolation, seismic isolation.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	1
ABSTRACT	2
İÇİNDEKİLER.....	3
1. GİRİŞ	7
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	8
3. TBDY-2018 BAŞLICA YENİLİKLER VE KAVRAMLAR.....	16
3.1. Deprem Yer Hareketi Seviyeleri.....	16
3.2. Türkiye Deprem Tehlike Haritası	17
3.3. Deprem Tepki Spektrumları.....	19
3.3.1. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu.....	21
3.3.2. Yatay Elastik Tasarım Spektral Yerdeğiştirme Spektrumu	23
3.3.3. Düşey Elastik Tasarım Spektrumu	24
3.4. Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları	25
3.5. Deprem Tasarım Sınıfları.....	26
3.6. Bina Yükseklik Sınıfları ve Bina Yükseklik Aralıkları	27
3.7. Bina Performans Düzeyleri ve Tasarım Yaklaşımları.....	28
3.8. Özel Konularda Tasarım Gözetimi ve Kontrolü	32
4. DAYANIMA GÖRE TASARIM YAKLAŞIMI	33
4.1. Kapasite Tasarımı İlkeleri	33
4.2. Süneklik.....	35
4.3. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı.....	37
4.4. Deprem Hareketi Etkisinin Diğer Kuvvetlerle Birleştirilmesi ve Hesaplanması.....	38
4.4.1. Azaltılmış Tasarım İvme Spektrumu	38
4.4.2. Düşey Deprem Etkisi	38

4.4.3.	Deprem Etkilerinin Birleştirilmesi	39
4.5.	Doğrusal Hesap için Modelleme Kuralları.....	40
4.6.	Kütlelerin Modellenmesi.....	40
4.7.	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları ve Hareketli Yük Katılım Sayıları	41
4.8.	Doğrusal Hesap Yöntemleri	42
4.9.	Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile Doğrusal Deprem Hesabı.....	42
4.10.	Modal Hesap Yöntemleri ile Doğrusal Deprem Hesabı.....	42
4.11.	Azaltılmış İç Kuvvetlerin ve Yerdeğiştirmelerin Eşdeğer Taban Kesme Kuvvetine Göre Büyütülmesi.....	43
4.12.	Görelî Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması	43
5.	ŞEKİLDEĞİŞTİRMEYE GÖRE DEĞERLENDİRME VE TASARIM.....	45
5.1.	Deprem Etkisinin Tanımlanması ve Diğer Etkilerle Birleştirilmesi	45
5.2.	Doğrusal Olmayan Davranış Modelleri	46
5.3.	Modellemede Kullanılacak Malzeme Dayanımları.....	46
5.4.	Doğrusal Olmayan İtme Yöntemleri ile Deprem Hesabı	47
5.5.	Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi ile Deprem Hesabı ...	47
6.	SİSMİK İZOLASYON KAVRAMI	48
6.1.	Sismik İzolasyon	48
6.2.	Taban Yalıtımı.....	49
6.3.	Deprem İzolatörleri Çeşitleri.....	51
6.4.	Kauçuk Esaslı Elastomer Deprem İzolatörleri	51
6.4.1.	Düşük Sönümlü Kauçuk İzolatörler (LDRB).....	51
6.4.2.	Kurşun Çekirdekli Elastomer İzolatör (LRB)	52
6.4.3.	Yüksek Sönümlü Kauçuk Deprem Yalıtım Birimleri (HDRB)	53
6.4.4.	Fiber Takviyeli Elastomerik İzolatörler (FREI).....	56
6.4.4.1.	FREI'nin Tasarımı ve Üretimi	57
6.4.4.2.	FREI'lerin Kullanımı ve Mekanik Özellikleri.....	59

6.4.4.3.	FREI'nin Literatürdeki Yeri	64
6.5.	Sürtünme Esaslı Kayıcı Deprem İzolatörleri	68
6.5.1.	Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatörler (FPS).....	68
6.6.	Deprem İzolatörünün Tarihteki Yeri.....	70
6.7.	Sismik İzolatörlü Yapıların Türkiye'deki Önemli Uygulamaları	83
7.	TBDY-2018'E GÖRE YALITIMLI BINA TASARIMI VE ÖZELLİKLERİ	92
7.1.	Tasarımın Genel Özellikleri	92
7.2.	Tasarımda Kullanılacak Yük Birleşimleri.....	93
7.3.	Yalıtımlı Binalarda Deprem Derzleri ve Görelî Kat Ötelemesi Sınırları.....	93
7.4.	Elastomer Yalıtım Birimleri.....	94
7.4.1.	Depremsiz Durumda Oluşacak Şekildeğiştirmeler	96
7.4.2.	Depremlî Durumlarda Şekildeğiştirmeler	101
7.4.3.	Elastomer Yalıtım Birimlerinin Şekildeğiştirme Sınır Değerleri.....	101
7.4.4.	Elastomer Yalıtım Birimlerinin Düşey Kararlılığı.....	102
7.5.	Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç Tipi Deprem İzolatörleri	104
7.5.1.	Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimlerinin Bağlantıları.....	106
7.6.	Çözüm Yöntemleri	107
7.6.1.	Etkin Deprem Yüğü Yöntemi	107
7.6.2.	Mod Birleştirme Yöntemi	111
7.6.3.	Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi	111
7.7.	Yalıtımlı Binalarda Görelî Kat Ötelemesi Sınırları ve Deprem Derzleri.....	112
8.	MATERYAL VE ANALİZ YÖNTEMLERİ	113
8.1.	Analiz No 1- 6 Katlı Taban Yalıtımsız DGT- Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ...	117
8.1.1.	Deprem Etkisi Altında Binanın Dayanıma Göre Hesabı ve Tasarımı	120
8.1.2.	Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile Doğrusal Deprem Hesabı.....	121
8.1.2.1.	Toplam Eşdeğer Deprem Yüğüünün Belirlenmesi	123
8.2.	Analiz No 2 - Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatör-6 Katlı Yapı.....	134

8.2.1.	Etkin Deprem Yüğü Yöntemi -FPS Tasarımı	134
8.2.2.	Mod Birleştirme Yöntemi-FPS ile Yalıtımlı Bina Hesaplamaları	139
8.2.3.	Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz-FPS.....	144
8.3.	Analiz No 3- LRB Yalıtım Birimi ile 6 Katlı Yapının Analizi.....	154
8.3.1.	Etkin Deprem Yüğü Yöntemi-LRB Tasarımı	155
8.3.2.	Mod Birleştirme Yöntemi-LRB ile Yalıtımlı Bina Hesaplamaları	160
8.3.3.	Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz-LRB.....	164
8.4.	Etkin Görelı Kat Ötelemelerının Değerlendirilmesi	165
9.	SONUÇLAR	168

1. GİRİŞ

Dünyada meydana gelen depremler yapılaşma tekniklerinin gelişmesinde önemli bir rol almıştır. Birçok tarihi yapıdan da görülebileceği gibi, inşaat teknolojisinin gelişiminde temel faktörlerden birisi deprem etkisidir. Modern inşaat teknolojisinin gelişiminde deprem etkisini dikkate alan çeşitli yönetmelikler geliştirilmiştir.

Sunulan tez çalışması kapsamında, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY-2018) yer alan başlıca konular ele alınmakta ve betonarme bina türü 3 adet yapı modeli üzerinde, binaların deprem etkisi altında davranışları TBDY-2018'e göre incelenmektedir. Burada özellikle TBDY-2018'de yer alan ve en önemli yeniliklerden olan deprem yalıtımlı binaların tasarım ve analiz yöntemleri ele alınmıştır. Tez çalışması kapsamında ele alınan yapısal modellerin analizlerinde, Dayanıma Göre Tasarım yaklaşımı ile taban yalıtımsız bir modelde Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi dikkate alınarak taban kesme kuvvetleri ve kat ötelemeleri elde edilmiş ve düzensizlik kontrolleri yapılmıştır.

Çalışma kapsamında, TBDY-2018'de yer alan iki farklı tip yalıtım birimi kullanılarak (Eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi (FPS) ve kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimi (LRB)) tasarımları ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiş ve yalıtımlı binaların deprem etkisindeki davranışları TBDY-2018'de yer alan durumlar dikkate alınarak incelenmiştir. Sunulan çalışmada, deprem izolatörlü yapıların etkin görelî kat ötelemeleri taban yalıtımsız yapılara göre çok daha düşük değerlerde elde edilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde literatürde yer alan, Deprem Yönetmeliği dikkate alınarak deprem analizlerini içeren çalışmalar ile özellikle izolatörlü yapılar üzerine gerçekleştirilen çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Özpalanlar (2004), çalışmasında, sismik izolatör kavram ve analiz yöntemlerini incelemiştir. Sismik izolasyonlu yapıların geçmişteki uygulamaları, dünyadaki uygulamaları hakkında bilgi vermiş, aktif ve pasif koruma sistemlerinin çeşitleri ve özellikleri belirtilmiştir. Çalışmada, UBC-97 kurallarına göre sismik izolatör tasarımı yapılmıştır. Uygulama örnekleri olarak, ankastre tabanlı, kauçuk izolatör kullanılan, sürtünmeli sarkaç tipi izolatör kullanılan, ilave kata uygulanan sismik izolatörlü bina modeli ve viskoz sönümleyicili bina modeli olmak üzere 5 ayrı model; maksimum taban kesme kuvvetleri, orta kolon maksimum kesme kuvvetleri, kat ivmeleri ve göreceli kat deplasmanları kriterlerine göre karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışmada ankastre modele göre deprem yalıtımlı modellerde doğal titreşim periyodu kriterinde daha yüksek değerler olduğu ancak viskoz sönümleyici içeren modelde doğal titreşim periyodunda taban yalıtımsız modele göre fazla bir artış gözlemlenmediği belirtilmiştir.

Urgu (2006), yaptığı çalışmada, yapıların periyotlarını uzatarak deprem etkilerini azaltan deprem yalıtım birimleri ile depreme dayanıklı yapı tasarımını incelemiştir. Araştırmasında yönetmelik olarak UBC-97'yi kullanmış olup bilgisayar programı olarak SAP2000 sonlu elemanlar programını kullanmıştır. İvme kaydı olarak 1999 Düzce Depremi'nin Bolu istasyon kaydının Kuzey ve Güney ivme bileşenlerini kullanmıştır. Sismik izolasyonlu sistemlerin, taban kesme kuvvetine, göreceli kat ötelemelerine ve maksimum kat ivmelerine etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Sismik izolatör kullanılan yapılarda periyot değerlerinin 2 ila 3 s arasında olduğu belirtilerek, yüksek periyoda sahip yapılarda (yüksek katlı binalar, su kuleleri vb.) sismik izolatör kullanımının yapı için avantaj sağlamadığı belirtilmiştir. Kesit boyutlarının sismik izolatörlü yapılarda azalacağı düşünüldüğü ile birlikte, UBC-97 şartlarında deprem yalıtımlı yapılarda yapı davranış katsayısı ankastreli yapılara göre daha düşük alınarak deprem izolasyonu uygulanmış yapıların elastik olarak dayanması gereken yatay kuvvet değerlerinin artırılması nedeni ile kesit boyutlarında dikkate değer bir azalma olmayabileceğine vurgu yapılmıştır. Çalışma sonuçlarında, doğru bir şekilde tasarlanmış sismik izolasyonlu yapıların depreme karşı dayanımının etkili olduğu belirtilmiştir.

Özgür (2010), farklı deprem yalıtımı birimleri kullanılarak doğrusal ve doğrusal olmayan ayrı modellerin analizleri gerçekleştirilerek, yaklaşık doğrusal modelleme uygunluğu incelenmiştir. Eşdeğer doğrusal modelleme ile elde edilen izolatör parametrelerinin doğrusal olmayan modelleme ile elde edilen parametrelerine oranının periyot ve sönüm oranlarına göre incelendiğinde, bu değerlerin kritik değişkenler olduğu ve sonuçları değiştirdiği ancak bariz bir eğilimin ortaya çıkmadığını belirtmiştir.

Karşlıoğlu (2015), 3 m kat yüksekliği olan, 3, 5, 7, 12 ve 15 katlı 5 yapı modelini deprem yalıtımlı ve deprem yalıtımsız olarak deprem analizlerini gerçekleştirmiştir. Çalışma kapsamında yüksek sönümlü ve kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi ile sürtünmeli sarkaç tipi deprem izolatörünün tasarım adımları hesap bazınca sırayla incelenmiştir. Bu işlemlerin sonuçlarında izolatörlerin tasarımları yapılmıştır. Zaman tanım alanında dinamik analizler 3 adet deprem kaydına göre yapılmıştır. Çalışma sonucunda deprem izolatörü kullanılarak analiz edilmiş yapı modelinin sonuçları ankastre model ile karşılaştırılmış ve periyot değerlerinin deprem izolatörlü yapıda daha yüksek çıktığı böylece yapının maruz kaldığı deprem ivmelerinin azaldığı sonucuna varılmıştır. Yüksek katlı binalarda kullanılacak izolatörler ile ilgili bilgi verilen çalışmada; az katlı hafif binalarda düşük rijitliğe sahip izolatörlerin kullanılması tavsiye edilmiştir. Yüksek katlı yapılarda kullanılacak sismik izolatörlerin yeterli olmaması durumunda ilave sönümleyici sistemlerin kullanılabileceği belirtilmiştir.

Dikmen (2018), 10, 15 ve 20 katlı üç adet binada deprem yalıtım sistemlerini uygulayarak, çalışmanın yapıldığı tarihlerde henüz taslak metin olarak bulunan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2016' ya göre yapısal analizler gerçekleştirip bu analizlerin sonuçlarını bina yüksekliği bazında karşılaştırmalı olarak sunmuştur. Bu analizleri gerçekleştirirken deprem yönetmeliği henüz taslak halinde olduğu için ayrıca American Society of Civil Engineers (ASCE 7-10) ve Eurocode 8 kullanılmıştır. Analizleri gerçekleştirilen binalarda, kurşun çekirdekli elastomer ve düz kayar yatak olarak tanımlanabilecek iki tür izolatör birlikte kullanılmıştır. Deprem izolatörü kullanarak 10 ve 15 katlı yapılarda yerdeğiştirme talebinde taban yalıtımsız örneklerle göre yarı yarıya azalma görülmüş ancak 20 katlı yapıda durumun bu şekilde olmadığı görülmüştür. İzolatörlü bina tasarımında periyot ve sönüm arasındaki ilişkide istenilen periyot değeri için hibrit sistemlerin kullanılabileceği belirtilmiştir. Çalışmada ayrıca sismik izolatörlerin etkisinin başarısız olduğu durumlar için yapı içi sönümleme elemanlarının kullanılabileceği de belirtilmiştir.

Serpil (2018), 4 katlı okul tipi yapı modeli ile deprem yalıtımlı ve deprem yalıtımsız modelleri TS500 ve DBYBHY 2007 kuralları çerçevesinde incelemiştir. Çalışmada 4 katlı sabit temelli yapının periyodu X yönünde 0.62 s, Y yönünde 0.61 s olarak bulunmuş olup bu periyot değerleri 3.70 s olarak hesaplanmıştır. Periyot değerindeki bu artışın yansıması olarak göreceli ötelemelerin azalması sonuçları elde edilmiştir. Çalışmada, sabit temelli yapı ile deprem yalıtımlı binanın yapım aşamalarındaki farklar da dikkate alınarak Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2018 Yapı Birim fiyatları ile ayrıntılı maliyet karşılaştırılması yapılmıştır. Deprem yalıtımlı binanın yapım maliyeti 2018 birim fiyatları ile sabit temelli yapıya oranla %71 daha fazla olmuştur. Ancak bu durumun yalnızca ilk yapım maliyetine olan etkisi unutulmamalıdır. Yapıların deprem sonrasındaki onarım maliyetleri ve kullanım amaçlarındaki aksaklıklar da değer tanımında göz önünde bulundurulmalıdır. Çalışmada bu hususa dikkat çekilmiş olup deprem yalıtımlı binaların deprem performanslarının farkına vurgu yapılmıştır.

Ammouri (2018), 3 farklı bina modelinde eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi izolatör kullanarak TDBY 2018 kuralına göre analizler gerçekleştirmiştir. Analizlerde kullanılan yapıların farklılıkları perde elemanların olması veya perde elemanların yönlerinin farklı olmasıdır. Plan geometrisine göre perdelerin yerleşiminde kısa yönde tanımlanmış olan perdeli sistemin uzun yönde tanımlanmış perdeli sisteme göre daha verimli olduğu sonucu belirtilmiştir. Çalışmada ayrıca çekme kuvveti açısından en düşük değer çerçeve sistemli yapıda görüldüğü belirtilmiştir.

Aktekin (2019), 3, 5 ve 7 katlı 3 adet bina modeli için, taban yalıtımsız, taban yalıtımlı ve sönümleyici ilaveli sistemleri her bina modeli için ayrı ayrı olmak üzere analizleri Uniform Building Code (UBC 97) şartnamesi kurallarına uyarak gerçekleştirmiştir. Çalışma sonuçlarında yapının periyodundaki artışın deprem etkisi altındaki davranışında değişimler meydana getirdiğini ve ayrıca yapılarda kullanılan kontrol sistemlerinin dayanıma olumlu katkıda bulunduğunu ortaya koymuştur. Çalışmada, ankastre modele göre deprem yalıtımlı sistemlerin eleman boyutunda daha ekonomik bir çözüm olabileceği belirtilmiştir. Deprem yalıtımlı modelde enerjinin çoğunluğunun deprem yalıtım biriminin yerdeğiştirmesine aktarıldığı ve yapının periyodunda artış görüldüğü sonucuna varılmıştır. Depreme dayanıklı yapı tasarımında yapıların yükseklikleri ve kullanılan deprem yalıtım birimlerinin etkili olduğu ortaya konulmuştur.

Çakat (2019), 5 katlı bir sağlık yapısını iki farklı izolatör ile analiz ederek deprem yalıtımlı binaların etkisini araştırmıştır. Çalışmada kurşun çekirdekli elastomer deprem yalıtım birimi (LRB) ve eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi deprem yalıtım birimi (FPS) TBDY-2018 kurallarına göre tasarlanmış olup LRB için kat kesme kuvvetlerinin azaltılmasının güçlüğünden söz edilmiştir. Ortaya konulan sonuçlarda deprem yalıtım birimi kullanımı ile ankastre modele göre kat kesme kuvvetlerinin ve göreceli ötelemelerin azaldığı belirtilmiştir.

Demirhan (2019), kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimlerinin üretim, test ve uygunluğu konularında kapsamlı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimi yerli üretimi yapılmış olup deneysel olarak testleri gerçekleştirilmiştir. Elastomer malzemenin kayma modülü 0.6 MPa değerine sahip hamurları geliştirilmiş ve sertifikalandırılmıştır. Çalışma sonucunda üretilen numunelerin test sonuçları tasarımda belirtilen değerlere uygun olduğu ayrıca testlerin sonuçlarının da standartlara uygunluğu sayesinde Almanya MPA Karlsruhe'den CE belgesi almıştır. Çalışmanın önemi, tedariki dışa bağımlı olunan kurşun çekirdekli deprem izolatörü cihazının yerli üretimine yapmış olduğu katkıdır.

Çelik (2019), çalışma kapsamında deprem yalıtım birimleri ile bina tasarımında karşılaşılan sorunlar tasarım boyutunda 3 ayrı model ve birbirinden farklı faktörlerin etkisi ile incelenmiştir. Fay hattına yakın bölgede inşa edilecek taban yalıtımlı binalarda ortaya çıkan yüksek deplasman taleplerine vurgu yapıp bu durumda ilave sönümleyici olarak viskoz sönümleyiciler eklenmiş ve izolatör deplasmanlarında azalma olduğu belirtilmiştir. İzolasyon katında bağlı üst yapıda birbirinden bağımsız 3 ayrı blok bulunan model deprem etkisi altında incelenmiş ve bloklar arasındaki rijitlik farkının az olduğu blokta taban kesme kuvvetinde yaklaşık 3 kat artış gözlemlenmiştir. Yüksek titreşim modlarının etkinliğinin azaltılabilmesi için ilave sönümleyiciler kullanılabileceği gibi "Lock&Up" cihazlarının da etkisinin daha uygun olabileceğini belirtmiştir. 3 numaralı son örneğinde ise, düşey yer ivmesi katkısının taban kesme oranındaki artış etkisi gözlemlenmiş ve çözüm olarak düşey yönde de sismik yalıtım yapılabileceği belirtilmiştir.

Kürkçü (2019), TBDY-2018 Dayanıma Göre Tasarım yaklaşımı ve TS500 kurallarına göre, süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeve ve perdeden oluşan 20 katlı betonarme bir yapının tasarımı yapmıştır. Bu çalışmada, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler ile örnek

yapının deprem performansı incelenmiştir. Doğrusal olmayan analizler sonucunda yapıya ait kolonlarda plastikleşme meydana gelmediği gözlemlenmiş, perdeler için ise doğrusal olmayan analizlerde lineer analiz iç kuvvetlerinden daha büyük mertebeler gözlemlenmiştir. Çalışmada, analizleri ve tasarımları gerçekleştirilen yapının deprem performansının, kontrollü hasar seviyesinde olduğu belirlenmiştir.

Nemutlu (2019), Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) 2007, TBDY-2018 ve Amerikan deprem yönetmeliklerinin teorik olarak karşılaştırılması; 4 katlı çerçeveli sistem, 9 katlı perde-çerçeve sistem ve 9 katlı tünel kalıp kullanılacağı düşünülen yapı modeli üzerinde incelenmiştir. Çalışmada, TBDY-2018 yenilikleri ortaya konulmuş ve bu farklılıklar açıklanmıştır. Elde edilen sonuçlardan en dikkat çeken parametre, farklı yönetmelikler ile yapılan analizlerin sonucunda DBYBHY 2007 kullanılarak hesaplanan periyot değerinin TBDY-2018 ile yapılan hesaplama çok az bulunması ve bu durumun nedeninin TBDY-2018’de kullanılan etkin kesit rijitliklerinin olduğu belirtilmiştir.

Yılmaz (2019), sismik izolasyonlu binaların analizlerinde uzun süren tasarım süreçlerine bir öneri olarak taban yalıtım sistemi ve üst yapının ayrı olarak deprem analizlerinin yapılmasını önermiş ve çalışmasına dahil etmiştir. Bu yaklaşımı 3 farklı analiz yöntemi ile incelemiştir. Ortak modelin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerine A yöntemi, öncelikle taban izolatörü sisteminin doğrusal olmayan analizlerinin gerçekleştirilip bu analiz sonuçlarından elde edilen spektrumlar kullanılarak üst yapının analizinin yapılmasına B yöntemi ve sadece üst yapının taban ankastre olarak modellendiği C yöntemi olarak 3 farklı yaklaşım için analizler gerçekleştirmiştir. Yöntem B olarak tanımlanan sistemde ön tasarım aşamasında izolasyon sistemi deplasmanlarının benzer olarak elde edilebileceği sonucuna varılabileceği belirtilmiştir.

Türk (2019), yaptığı çalışmada, 9 adet analizi farklı kat yükseklikleri ve farklı izolatörler kullanarak, izolatör tipi ve kat sayısı arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Bu çalışmada, 2 farklı izolatör; kurşun çekirdekli kauçuk ve eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi izolatör, ankastre mesnetli yapı ile tek deprem kaydı kullanılarak karşılaştırılmıştır. Ankastre tabanlı modelde diğer tüm izolatörlü tasarımlara kıyasla daha küçük periyotlar gözlemlenmiştir. Yapı modellerinin sonucunda en yüksek periyot değeri 18 katlı kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimi kullanılarak oluşturulmuş modelde görülmüştür. Yüksek katlı binalarda sismik izolatör kullanımının etkisini görebilmek için deprem yalıtımlı yüksek katlı binaların tasarımında perde

yapı elemanı eklenmesini tavsiye etmiştir. Yapılan çalışmada sonuç olarak, 6 katlı hastane yapısında eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi yalıtım biriminin kat ivmeleri yönünden daha iyi davranış sergilediği, 12 katlı hastane binasında kurşun çekirdekli izolatör ve 18 katlı hastane binasında ise sürtünmeli sarkaç tipi yalıtım biriminin kat ivmeleri açısından daha iyi sonuçları verdiği belirtilmiştir.

Dönmez (2019), ankastre mesnetli geleneksel yapı modeli ile sismik izolasyon olarak taban yalıtım birimi kullanılarak tasarlanmış modeli karşılaştırmalı olarak uluslararası yönetmeliklerle birlikte ele almıştır. Tasarımlarda ön boyutlandırılmalar yapılmış, izolatör deplasmanları eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi izolatör kullanılarak incelenmiştir. Yapılan ön tasarımlar doğrulanmış ve ayrıntılı olarak analizler gerçekleştirilerek izolatörlerin DD-1 deprem yer hareketi etkisi altında maksimum yerdeğiştirme kapasiteleri belirtilmiştir.

Dushimimana (2019), çalışmasında MATLAB ve SIMULINK programları yardımı ile farklı yapıları, kurşun çekirdekli elastomer mesnet (LCRB) ve basit sürtünmeli yalıtım birimi (B-S) kullanarak modelleyip deprem etkisi altında dinamik etkilerini araştırmıştır. Çalışmada yazar, LCRB kullanılarak tasarlanan yapıların dinamik analizinde MATLAB ya da SIMULINK kullanılabileceğini belirtmiştir. Deneysel çalışma olarak, analizleri incelenen yapıların benzer modeli horasan harcı ile benzeştirilerek sarsma tablasında analizler gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, horasan harcının, sürtünmeli ara yüzü sayesinde sayısal ve deneysel çalışmalar arasında benzerlik sağladığı görülmüştür. Çalışmada ayrıca deprem yalıtım birimlerinin kullanılmasının temel nedeni olan ivme değerlerinin azaltılmasında, basit sürtünmeli yüzeye sahip izolatörlerin geliştirilebileceği bunlardan birinin ise horasan harcı olduğu düşünülebilir. Horasan harcının devrilme momenti olmayan yapılarda ara yüz malzemesi olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Kurt (2019), çalışmasında 12 katlı bir hastane binasının, ankastre tabanlı ve eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi izolatör kullanarak deprem analizlerini TBDY-2018 kurallarına uygun olarak zaman tanım alanında gerçekleştirmiştir. Çalışmada yapılan analizlerde, ankastre modelde yapı doğal titreşim periyodu 2.03 s iken izolasyonlu binada bu değer 2.74 s olduğu belirtilmiş ve bu durumun sonucu olarak da yapıya gelen yüklerde azalma meydana geldiği belirtilmiştir. İzolasyonlu binalarda yapılan deprem analizlerinde farklı deprem yer hareketlerinde izolatörlerdeki farklı deplasman değerlerine vurgu yapılmış olup DD-2 deprem

yer hareketi seviyesinde sismik izolasyonlu binanın ankastre mesnetli yapı davranışına benzer şekilde davrandığı ancak DD-1 deprem yer hareketi etkisi altında sismik izolatörlerin daha iyi çalıştığı belirtilmiştir. Tarihi yapıların güçlendirilmesinde sismik izolasyon kullanımının etkisinin elzem olduğu ifade edilmiştir.

Özaydın (2019), yaptığı çalışmada, TBDY-2018 kurallarını betonarme bina çerçevesinde açıklamış ve bina yüksekliği 94.5 m, kullanım amacı konut, plan boyutları 35x25 olan, 30 katlı yerinde dökme betonarme bir binanın TBDY-2018 kurallarına göre hesap adımlarını yapmıştır. Analizler sonucunda, örnek olarak incelenen yapının deprem karşısındaki performans değeri göçmenin önlenmesi performansını karşıladığı görülmüştür. Yapılan kontrollerde incelenen yapının kolonlarında deprem etkisinden gelen kesme kuvvetlerinin büyük bir kısmının perde yapı elemanları tarafından karşılandığı, bu durumun sonuçlarının devamı olarak kolon elemanlarda plastik mafsallaşma görülmediği ayrıca kolonların kesme kuvveti değerlerinin doğrusal olmayan analizlerde, doğrusal analizlere göre daha düşük çıktığı bu yüzden de elastik ötesi davranışın gözlemlenmediği belirtilmiştir.

Yıldız (2020), yaptığı çalışmada, hastane olarak kullanılması planlanan bir bina modelinde farklı konumlarda tanımlanan deprem yalıtımı biriminin deprem etkisini incelemiştir. Çalışmada kullanılan hastane 7 katlı betonarme binadır. Bu yapı modelinde, deprem yalıtımında kullanılan izolatörler kolon altlarına yerleştirilmiş ve analiz edilmiş ayrıca kolonların üstlerine yerleştirilerek konumsal olarak farklılıkların etkisi incelenmiştir. İzolatörlerin kolonların üstlerine yerleştirilmesi durumunda taban kesme kuvvetinde kolon altlarına konumlandırılan izolatörlerle yapılan analizlere göre azalma görülmüştür. Çalışma sonuçlarına göre çok katlı deprem yalıtımlı binalarda izolatörlerin kolonların üstlerine yerleştirilmesinin daha ekonomik olabileceği belirtilmiştir.

Dede (2020), yaptığı çalışmada, 2006 yılında inşa edilmiş mevcut bir betonarme binanın, DBYBHY 2007 ve TBDY-2018 kurallarına uygun statik ve dinamik çözümler yapılarak, karşılaştırılmalı sonuçlarını deprem performansı özelinde sunmuştur. TBDY-2018 ile mevcut binaların değerlendirilmesinde, şekildeğiştirme sınırlarının hesabı yapılırken; göz önüne alınan doğrultuda enine donatıların hacimsel oranı hesabında, 90 derece kapalı etriyelerin yalnızca %30'unun hesaba dahil edebilmesine vurgu yapılmıştır. Yapı stoğumuzdaki etriye sorunları dikkate alındığında, bu hükmün daha yüksek limitler getirmesi ile birlikte, mevcut binaların

performansının değerlendirilmesinde dikkate değer olduğunu belirtmektedir. 2007 deprem yönetmeliği ile TBDY-2018 kurallarında göre etkin kesit rijitliklerinin farkından dolayı, Şekildeğiştirme durumlarında deplasman değerlerinde önemli farklılıklar ortaya çıktığını göstermiştir.

ner (2020), yapısal olmayan elemanların etkinliğini, eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi deprem yalıtım birimi ve sabit temelli taban yalıtımsız bina modeli kullanılarak tasarlanmış iki model üzerinde incelemiştir. Deprem yalıtımlı bina modelinde taban yalıtımsız modelden daha büyük periyot değerleri ile taban kesme kuvvetinde azalma görülmüştür. Benzer bir sonuç olarak yapısal olmayan elemanlardaki deplasman değerleri deprem yalıtımı uygulanmış yapıda taban yalıtımsız modele göre daha az olduğu belirtilmiştir.

3. TBDY-2018 BAŞLICA YENİLİKLER VE KAVRAMLAR

TBDY-2018'in en dikkat çeken özelliği yeni teknolojileri kullanıma yöneltmesi ve tasarımı yapılacak binaları detaylı bir şekilde bölümlere ayırmasıdır.

DBYBHY-2007'de bulunan geleneksel betonarme tasarım yöntemleri yeni yönetmelikte en az değişime uğrayan kısım olduğu söylenebilir. Ancak bu alandaki yenilikler göz önüne alınarak gelişmeler ve yenilikler yönetmelikte işlenmiştir. Buna örnek olarak temel zemini ve temellerin tasarımı için getirilmiş ayrıntılı kurallar gösterilebilir.

DBYBHY-2007'de kısaca bahsedilmiş olan performansa göre tasarım yaklaşımları TBDY-2018'de kapsamlı olarak ele alınmış ve geliştirilmiştir. Mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesinde, yeni yapılacak yüksek binaların analizlerinde ve özel yapıların tasarımında performans hedefleri kullanılmak üzere yeni yönetmelikte ayrıntılı olarak açıklamıştır. TBDY-2018 kapsamında, yeni tür taşıyıcı sistemlerin ve elamanların, hesap ve tasarımı için özel kurallar açıklanmıştır. Yönetmelikte bu binalara ayrıntılı olarak yer verilmiştir. Yüksek binaların tasarımı için yeni kurallar getirilmiştir ve ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Yalıtımlı binaların tasarımına özel olarak bir başlık açılmış ve bu özel binaların analizleri, kullanılan malzemelerin ayrıntılı deney hususları işlenmiştir. Bu bağlamda yüksek binalar, yalıtımlı binalar, yapısal olmayan elemanların sismik analizi, hafif çelik binaların tasarımına ek olarak burkulması önlenmiş çelik çaprazların kullanılmasına izin verilmesi ve donatılı yığma duvarlar için ayrıntılı tasarım kurallarının belirtilmesi gibi yenilikler önemli bir yer tutmaktadır (Aydınoğlu, Özer, Celep, & Özaydın, 2018).

3.1. Deprem Yer Hareketi Seviyeleri

TBDY-2018'de, Deprem Yer Hareketi Düzeyleri (DD) kavramı yenilik olarak getirilmiştir. Deprem yer hareketleri düzeyleri, deprem etkisinin tanımlanması için rasyonel bir anlam sıralanması olarak görülebilir. Deprem yer hareketleri düzeyleri; spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı ve tekrarlama periyoduna göre, dört farklı tanıma ayrılmıştır (TBDY, 2018). Dört farklı deprem yer hareketi düzeyi Tablo 3.1'de verilmiştir. Deprem etkisindeki belirsizlikler nedeniyle, yapının belirli bir dayanıma sahip olarak tasarlanması istenilir. Binaların hangi deprem yer hareketi etkisi altında nasıl bir davranış sergilediğinin tanımlanmasında, TBDY-2018'deki anlamı ile performansa göre değerlendirme ve tasarım ilkesi gereğince, binaların farklı deprem düzeylerine göre analizlerin yapılması gerekmektedir.

Tablo 3.1. Deprem yer hareketi düzeyleri

Deprem Yer Hareketi Seviyesi İsmi	Açıklama	Spektral Büyükliklerin 50 Yılda Aşılma Olasılığı	Deprem Tekrarlama Periyodu (Yıl)
Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1)	Göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi	%2	2475
Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2)	Standart tasarım deprem yer hareketi	%10	475
Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3)	Sık deprem yer hareketi	%50	72
Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4)	Servis deprem yer hareketi	%68	43

3.2. Türkiye Deprem Tehlike Haritası

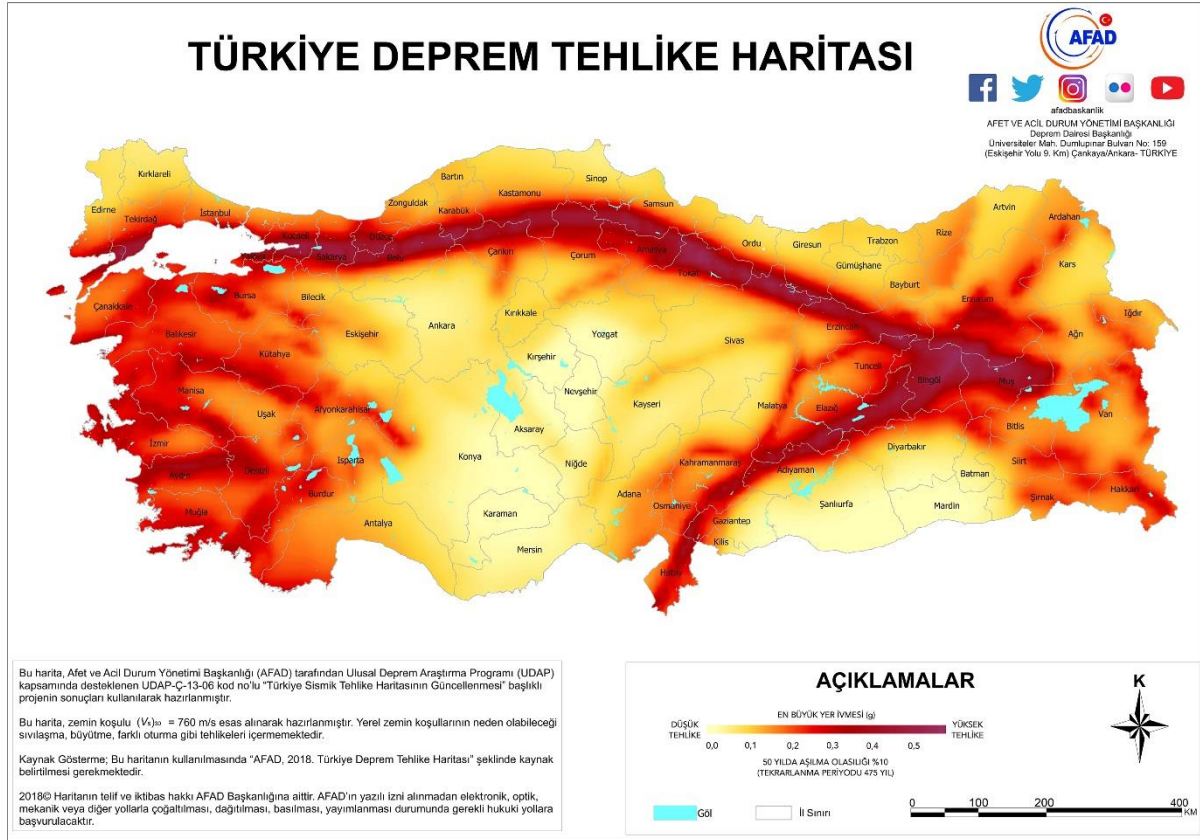
TBDY-2018'e göre binaların tasarımı için gerekli olan mühendislik parametreleri, yönetmelikle aynı tarihte yayımlanan ve kullanımı yürürlüğe giren Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TDTH-2018)'dan alınacaktır. TDTH-2018, *e-devlet* sistemi üzerinden ulaşılabilen, interaktif modern bir deprem tehlikesi veri sistemi olarak tanımlanabilir (Şekil 3.1). Yeni deprem tehlike haritasının yürürlüğe girmesiyle birlikte deprem bölgeleri kavramı ortadan kaldırılmıştır.

TBDY-2018'in 2. Bölümü, deprem etkisinde tasarımı yapılacak binaların hesabında kullanılacak deprem yer hareketlerinin açıklanmasına ayrılmıştır. TBDY-2018'de yatay yer hareketi spektrumu analitik olarak yenilenmiş ve ilk kez düşey yer hareketi spektrumu da tanımlanmıştır.

Taşıyıcı sistemlerin özelliklerine göre, hesaplamalarında kullanılacak deprem yer hareketi düzeyleri farklılık göstermektedir. Deprem yer hareketi düzeylerinin verileri TDTH-2018'den alınır. Bu veriler ile spektrum grafikleri elde edilir. Yapıların performans hedeflerinin anlam ayrımları deprem yer hareketi düzeylerine göre yapılacak analizler sonucunda oluşturulur.

Deprem tehlikesi kavramı; herhangi bir coğrafi yerde, belirli zaman dilimleri arasında göz önüne alınan deprem parametrelerinin belirli bir değerde olması veya söz konusu deprem parametreleri değerlerini aşması olasılığıdır.

1966 yılında yayımlanan Türkiye Deprem Tehlikesi haritası kapsamında deprem tehlikesinin bölgesel sınırlar içerisinde sabit olduğu varsayımı yapılmaktaydı. Gelişen teknolojiler ve yenilenen veriler ışığında bu varsayımların yerini modern deprem haritası almıştır. Yeni Deprem Tehlike Haritasının başlıca özelliği, noktada koordinat verisi ile her bir konuma ayrı deprem verilerinin tanımlanmasıdır.



Şekil 3.1. Türkiye Deprem Tehlike Haritası genel görünüşü

Kaynak: <https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi>

Haritanın kullanımı için; yapının inşa edileceği koordinat bilgisine ihtiyaç vardır. Yerel zemin sınıfı bilgisi ile tasarımda kullanılacak deprem yer hareketi düzeyi bilgilerinin girilmesi ile bir deprem veri raporu oluşturulabilmektedir. Bu rapor ile; ilgili koordinatta, belirli zemin sınıfında, istenilen deprem yer hareketi düzeylerinde; en büyük yer hızı (PGV), en büyük yer ivmesi (PGA), kısa periyot için spektral ivme (S_s), uzun periyot için spektral ivme (S_1) büyüklükleri belirlenebilmektedir.

TDTH-2018 yeni deprem yönetmeliğinde, deprem yer hareketi spektrumlarının oluşturulmasında kullanılır.

Deprem Tehlike Haritasından iki temel parametre elde edilir. Bunlar;

S_s : Kısa periyot bölgesi için harita spektral ivme katsayısı,

S_1 : 1.0 s periyot için harita spektral ivme katsayısı bilgileridir.

Harita spektral ivme katsayıları, dört farklı deprem yer hareketi için, TDTH sisteminden elde edilir.

3.3. Deprem Tepki Spektrumları

Spektrum grafiği kavramı; belirli bir sönüm oranı için belirlenmiş bina doğal titreşim periyoduna bağlı olarak, göz önüne alınan bir deprem yer hareketi etkisi altında, maksimum toplam ivmenin (spektral ivme) veya maksimum yapısal yerdeğiştirmenin (Spektral yerdeğiştirme) belirtildiği bir grafik olarak tanımlanabilir (Aydınoglu, Özer, Celep, & Özaydın, 2018).

TBDY-2018’de bulunan deprem yer hareketi spektrumları; göz önüne alınan deprem yer hareketi düzeyi esas alınarak, %5 sönüm oranı için, TDTH ‘den elde edilen harita spektral ivme katsayılarına ve yerel zemin etki katsayılarına göre standart biçimde veya sahaya özel deprem tehlikesi analizleri yapılarak özel olarak tanımlanabilir.

Tasarım ivme spektrumu, tasarımın deprem yer hareketi ile ilgili temel verisini oluşturmaktadır. Tasarımlarda kullanılacak spektral ivme katsayıları S_{DS} ve S_{D1} , harita spektral ivme katsayıları (S_s ve S_1) ile yerel zemin etki katsayılarına (F_s ve F_1) bağlı olarak aşağıda yer alan Denklem 3.1 ve Denklem 3.2 ile belirlenir;

$$S_{DS} = S_s F_s \quad (3.1)$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 \quad (3.2)$$

Denklem 3.1 ve 3.2’de;

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı,

S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı,

F_s : Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı,

F_1 : 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı,

olarak TBDY-2018 kapsamında tanımlanmıştır.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) 2007’de etkin yer ivmesi katsayı ile tanımlanan A_0 kullanılırken, TBDY -2018’de deprem etkisinin tanımlanmasında S_s ve S_1 değerleri birlikte kullanılır.

Yerel zemin etki katsayıları, TBDY-2018 Bölüm 16’da açıklanan zemin sınıflarına göre yönetmelik kapsamında, 1.0 sn periyot ve kısa periyot bölgesi için, yerel zemin sınıflarına ve harita spektral ivme katsayılarına göre iki tablo şeklinde tanımlanmıştır.

TBDY-2018 Bölüm 16’da yerel zemin sınıfları Tablo 3.2’deki gibi; zeminin üst 30 metresindeki ortalama kayma dalgası hızı $(V_s)_{30}$, ortalama drenajsız kayma dayanımı $(c_u)_{30}$ veya ortalama standart penetrasyon darbe sayısına $(N_{60})_{30}$ bağlı olarak, ZA, ZB, ZC, ZD, ZE ve ZF olmak üzere altı sınıf olarak tanımlanmıştır. Burada bulunan zemin sınıflarının nasıl bulunacağı TBDY-2018 Bölüm 16 kapsamında açıklanmıştır.

Yerel zemin katsayıların kullanılmasının sebebi; TDTH’ da harita spektral ivme katsayılarının referans zemin koşuluna göre tanımlanmasıdır. Referans zeminde üst 30 metredeki ortalama kayma dalga hızı $((V_s)_{30})$ 760 m/s esas alınarak haritadaki spektral ivme katsayıları (S_s ve S_1) kullanıcıya verilmektedir. Dolayısıyla yapının inşa edileceği zemine göre bir düzeltme katsayısı gerekmektedir. Bu noktada yerel zemin etki katsayıları tanımlanmıştır. TBDY-2018 Bölüm 16’da açıklandığı şekilde; $(V_s)_{30} = 760$ m/s durumu ZB ile ZC zemin sınıflarının ayırımında bulunmaktadır. Bu nedenle, ZA ve ZB zemin sınıflarında yerel zemin katsayıları 1’den küçük, ZC, ZD ve ZE zemin sınıflarında ise 1’den büyüktür.

Aşağıdaki iki tabloda (Tablo 3.2 ve Tablo 3.3), yerel zemin sınıflarına ve harita spektral ivme katsayılarına göre, TBDY’de tanımlanan F_s ve F_1 değerleri bulunmaktadır.

Tablo 3.2. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı

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

Tablo 3.3. 1.0 periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı

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

Tablo 3.2 ve Tablo 3.3'den görülebileceği üzere; S_s ve S_1 değerleri büyüdükçe F_s ve F_1 değerleri azalmaktadır. Bu durumun nedeni; deprem etkisinin artmasına bağlı olarak zeminde meydana gelen doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sonucudur (Aydınöglü, Özer, Celep, & Özeydin, 2018).

Yönetmelikte bulunan bir diğer yenilik ise, ZF sınıfı zeminlere sahip konumlarda saha özel zemin davranışı analizi yapılması durumudur.

3.3.1. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

TBDY-2018'de, yatay elastik tasarım spektrumu; boyutsuz olarak bulunan tasarım spektral ivme katsayıları S_{DS} ve S_{D1} ile doğal titreşim periyoduna (T) bağlı olarak oluşturulur. Bu nedenle, tasarım spektral ivme katsayılarının elde edilmesi her deprem yer hareketi düzeyi için ayrıca tanımlanabilir.

Yatay elastik tasarım spektrumu grafiğinden (Şekil 3.2), yapının doğal titreşim frekansına karşılık gelecek olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri ($S_{ae}(T)$) okunur.

TBDY-2018 kurallarına göre tasarım spektral ivmelerinin ($S_{ae}(T)$) belirlenmesi için aşağıdaki formüller kullanılır;

$$S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (3.3)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (3.4)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad (3.5)$$

$$S_{ae}(T) = \left(\frac{S_{D1} T_L}{T^2}\right) S_{DS} \quad (T_L \leq T) \quad (3.6)$$

Tasarım spektral ivmesi herhangi bir T doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yukarıdaki formüller ile yerçekimi cinsinden $[g]$ belirlenir.

Örneğin; yukarıdaki formüller ile birlikte hesaplanan bir $S_{ae}(T)$ değeri, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ile çarpılırsa, tasarım spektral ivmesi $[\text{m/s}^2]$ olarak bulunmuş olur (Aydinoğlu, Özer, Celep, & Özaydın, 2018).

Denklemlerde bulunan T_A ve T_B köşe periyotları bir önceki deprem yönetmeliğinde zemin parametrelerine bağlı olarak jeolojik verilerden elde edilirken, TBDY 2018 ile artık tasarım spektral ivme katsayıları ile tanımlanmaktadır.

Köşe periyotlarının elde edilmesi için TBDY-2018’de aşağıda yer alan Denklem 3.7 ve Denklem 3.8 kullanılır.

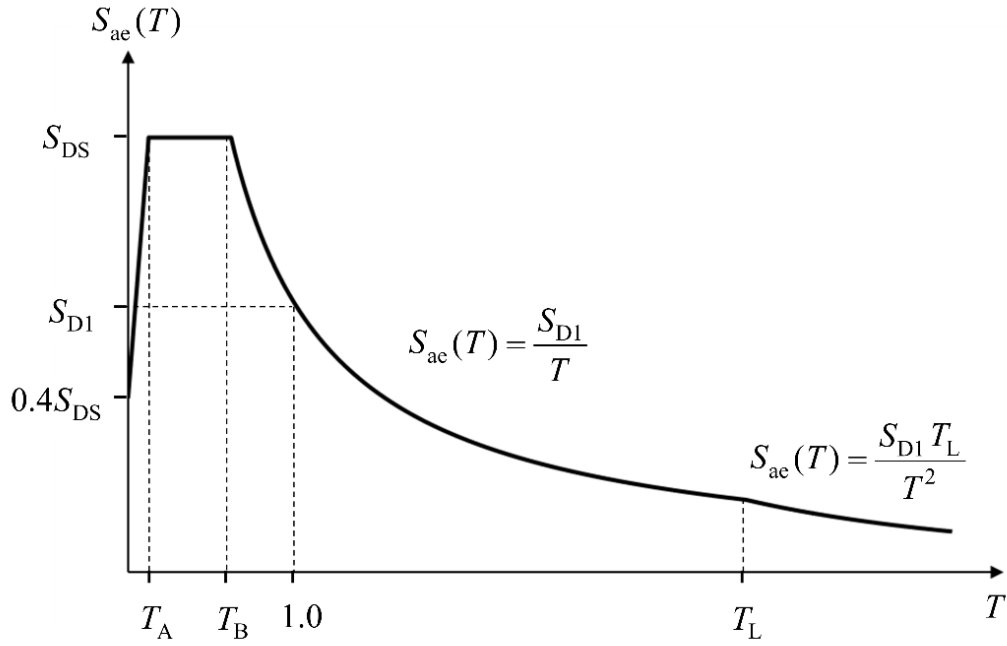
$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.7)$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.8)$$

Denklem 3.7 ve Denklem 3.8’den görüldüğü üzere T_B köşe periyodu; tasarım spektral ivme katsayılarının oranı olarak bulunmaktadır. T_A değeri ise T_B köşe periyodunun %20’si alınarak hesaplanmaktadır. Sabit şekildeğiştirme bölgesi olarak da $T_L = 6 \text{ s}$ olarak tanımlanmıştır.

Yatay elastik tasarım spektrumunda T_B değeri ile T_L periyodu arasında bulunan bölge T ’nin tersi olarak değişmektedir. Bu bölge bir önceki deprem yönetmeliği olan DBYBHY 2007’de $T^{0.8}$ ’in tersi olarak değişmekteydi. Dolayısıyla bunun sonucu olarak uzun periyotlarda spektral ivme değeri görece olarak azalmaktadır (Aydinoğlu, Özer, Celep, & Özaydın, 2018).

Bu bilgiler sonucunda tasarıma esas olarak kullanılabilen yatay elastik tasarım spektrumu TBDY-2018’de Şekil 3.2 ile açıklanmıştır:

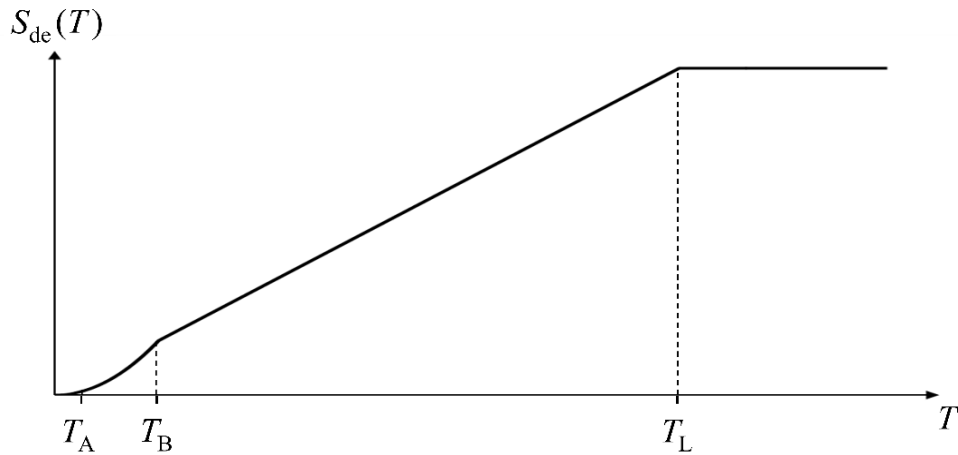


Şekil 3.2. Yatay elastik tasarım spektrumu (TBDY, 2018).

3.3.2. Yatay Elastik Tasarım Spektral Yerdeğiştirme Spektrumu

Hesaba katılan deprem yer hareketi seviyelerine göre, yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmeleri $S_{de}(T)$ (Şekil3.3), binanın doğal titreşim periyoduna göre tasarım spektral ivme $S_{ae}(T)$ cisinden Denklem 3.9 ile metre biriminde tanımlanmıştır (TBDY, 2018).

$$S_{de}(T) = \frac{T^2}{4\pi^2} g S_{ae}(T) \quad (3.9)$$



Şekil 3.3. Yatay elastik tasarım yerdeğiştirme spektrumu (TBDY, 2018).

Buradaki davranış, deprem etkisi altında tek serbestlik dereceli sistemlerin davranışına benzerdir. Rijitlik katsayısı (k) ve kütle (m) olmak üzere, açısal doğal frekans (ω) rad/s birimde;

$$\omega = \sqrt{k/m} \quad (3.10)$$

$$T = 2\pi/\omega \quad (3.11)$$

Sönüm katsayısı (c) olmak üzere, sönüm oranı (ξ);

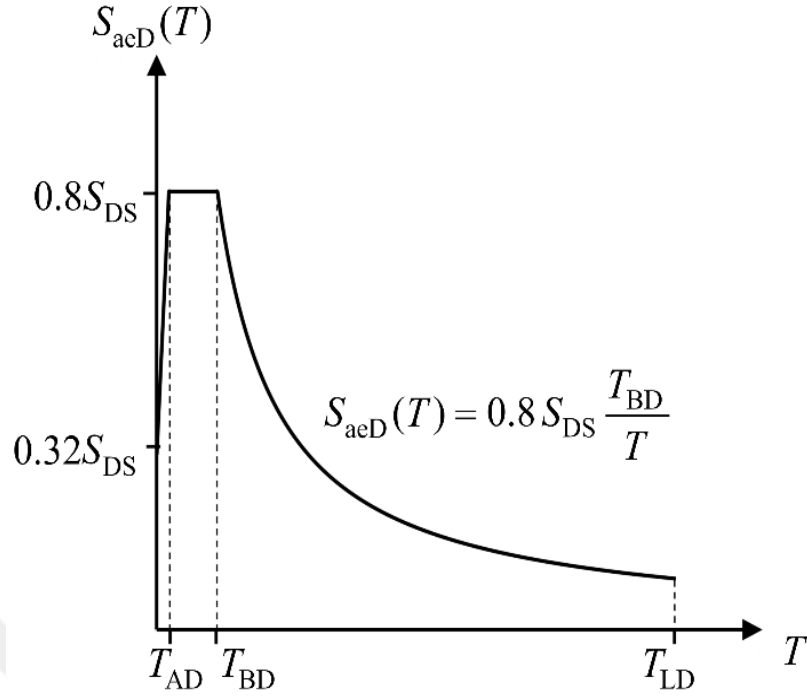
$$\xi = c/(2m \omega) \text{ 'dir.} \quad (3.12)$$

Belirli bir sönüm oranı için spektral ivme ve yerdeğiştirme arasında integral bağıntısı bulunmaktadır. Dolayısı ile yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmeleri de Denklem 3.13 ile ifade edilebilir (Darılmaz, 2019):

$$S_{de}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{\omega^2} g \quad (3.13)$$

3.3.3. Düşey Elastik Tasarım Spektrumu

Düşey elastik tasarım spektral ivmeleri ($S_{aeD}(T)$), tasarıma dahil edilecek olan herhangi bir deprem düzeyi için, Denklem (3.14-3.17)'deki gibi bulunur. $S_{aeD}(T)$ değerleri, yatay deprem hareketine göre doğal titreşim periyoduna (T) ve yatay deprem hareketinin kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına göre, yerçekimi ivmesi (g) cinsinden, Denklem (3.14-3.17)'deki formüllere bağlı olarak, Şekil 3.4'deki grafiğin ordinatından okunur (TBDY, 2018).



Şekil 3.4. Düşey elastik tasarım spektrumu (TBDY 2018).

$$T_{AD} = \frac{T_A}{3} ; \quad T_{BD} = \frac{T_B}{3} ; \quad T_{LD} = \frac{T_L}{2} \quad (3.14)$$

$$S_{aeD}(T) = \left(0.32 + 0.48 \frac{T}{T_{AD}}\right) s_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_{AD}) \quad (3.15)$$

$$S_{ae}(T) = 0.8s_{DS} \quad (T_{AD} \leq T \leq T_{BD}) \quad (3.16)$$

$$S_{ae}(T) = 0.8s_{DS} \frac{T_{BD}}{T} \quad (T_{BD} \leq T \leq T_{LD}) \quad (3.17)$$

3.4. Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları

TBDY-2018’de binalar kullanım amaçlarına göre sınıflara ayrılmıştır. Binaların kullanım amaçlarına göre DBYBHY 2007’ye benzer şekilde bina önem katsayısı verilmiştir. Bina kullanım sınıfları (BKS) ve bina önem katsayıları (I), TBDY-2018’de bulunduğu şekli ile Tablo 3.4’de sunulmuştur.

Tablo 3.4. Bina kullanım sınıflarının ve bina önem katsayılarının TBDY-2018'e göre sınıflandırılması

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	Diğer binalar BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

3.5. Deprem Tasarım Sınıfları

BKS ve S_{DS} katsayısına bağlı olarak, deprem tasarım sınıfları (DTS), TBDY-2018'de tanımlanmıştır (Tablo 3.5).

Bu tanımlamanın temel anlamı; yapıya etkiyecek olan deprem kuvvetlerine göre bir sınıflandırma yapmaktır.

Tablo 3.5. Deprem tasarım sınıfları (TBDY- 2018).

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

3.6. Bina Yükseklik Sınıfları ve Bina Yükseklik Aralıkları

TDBY-2018’de, bina yapısının yüksekliğine ve deprem tasarım sınıfına bağlı olarak, bina yükseklik sınıfı (BYS) ayrımı yapılmaktadır (Tablo 3.6). Bu sınıflandırmada $BYS = 1$ olan binalar yüksek binalar olarak sınıflandırılır ve tasarımında özel kurallar bulunmaktadır.

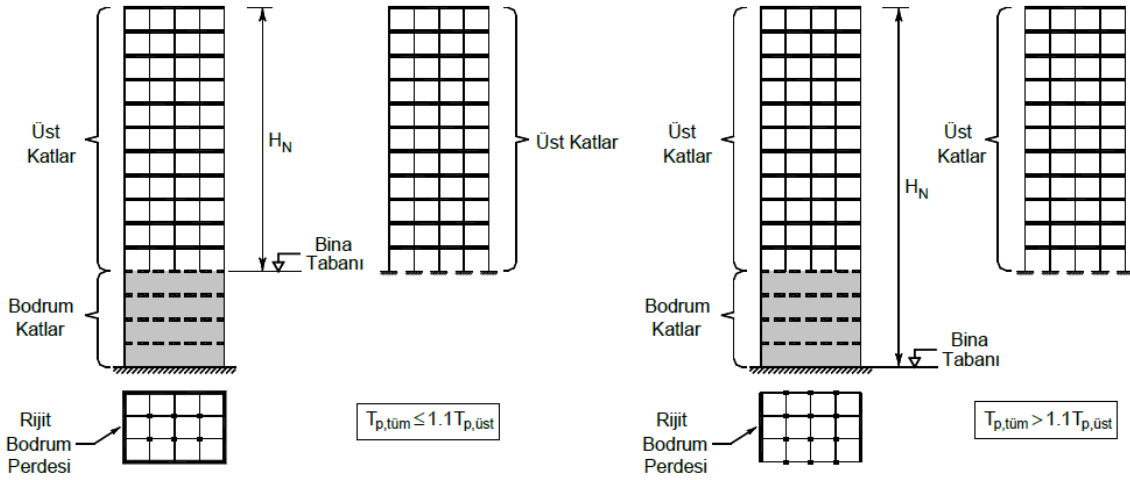
Tablo 3.6. Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları (TBDY, 2018).

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

Tablo 3.6’da H_N , bina yüksekliği olarak tanımlanır ve bina tabanından itibaren ölçülen yüksekliktir (Şekil3.5). Bina tabanı olarak tanımlanacak seviye bodrumsuz binalarda temel üst kotudur. Bodrumlu yapılarda ise iki şarta bağlı olarak baz alınacak bina tabanı seviyesi farklılık gösterebilir. Bodrum perdeli yapılar ile ilgili, bina tabanı seviyesi tayini için iki şart, aşağıda (a) ve (b) koşulları olarak TBDY-2018’de tanımlanmıştır.

- (a) Rijit bodrum perdelerinin, binanın her tarafından veya en az üç tarafından çevrelendiği,
- (b) Bodrum katlar dahil binanın tümü için hesaplanan doğal titreşim periyodunun ($T_{p,tüm}$), zemin kat döşemesi de dahil olmak üzere tüm bodrum kütlelerini hesaba katmadan aynı doğrultuda hesaplanan doğal titreşim periyoduna ($T_{p,üst}$) oranının 1.1’de küçük olduğu durum ($T_{p,tüm} \leq 1.1 T_{p,üst}$). Aralarındaki açı 90° olan bina eksenlerinin doğrultusundaki hakim titreşim periyotları için bu durum geçerli olacaktır.

Yukarıda belirtilen (a ve b) koşullarının her ikisinin de sağlandığı bodrumlu binalarda bina tabanı, bodrum perdelerinin üst kotundaki kat döşemesi seviyesi olarak alınır.



Şekil 3.5. Bina tabanı seviyesinin belirlenmesi (Darılmaz, 2019).

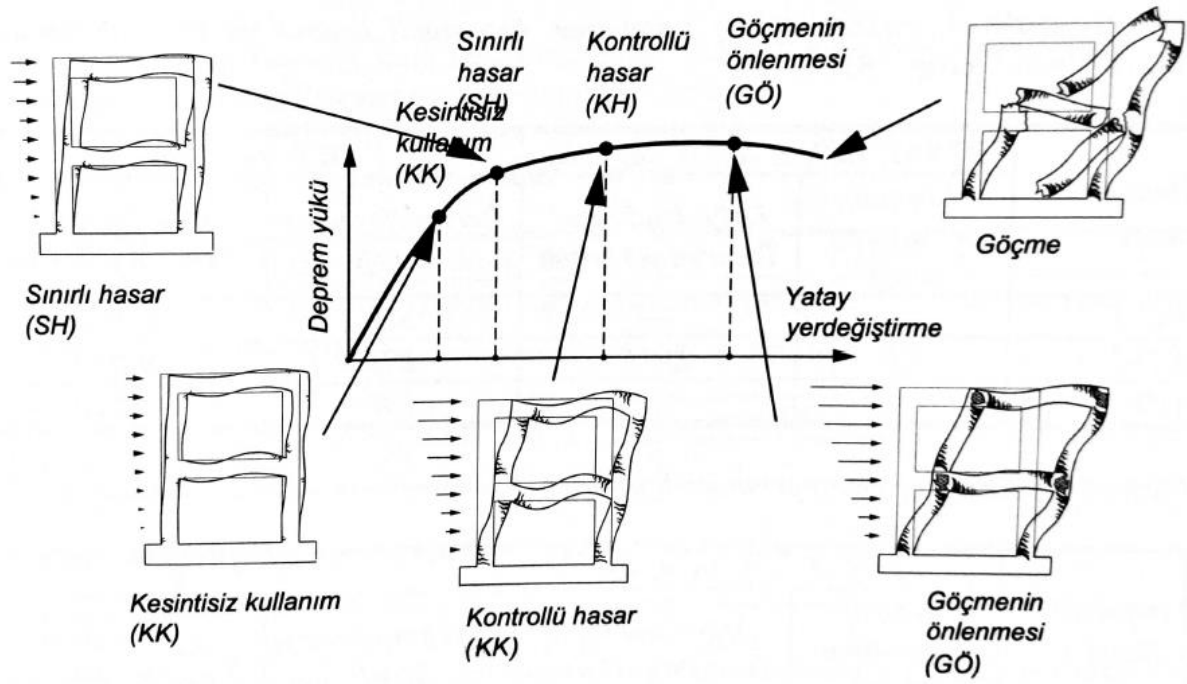
3.7. Bina Performans Düzeyleri ve Tasarım Yaklaşımları

TBDY-2018’de temel yaklaşımlardan biri, performansa göre değerlendirme ve tasarım yaklaşımıdır. Deprem etkisi sonucunda bina yapısının durumunu tanımlayan bir ifade olarak yönetmelikte tanımlanan dört farklı durum bulunmaktadır. Binanın performans düzeyleri binanın yapısal hasarlarına göre tanımlanır.

TBDY-2018 kapsamında dört adet performans hedefi Tablo 3.7’deki gibi tanımlanmıştır.

Tablo 3.7. Bina performans düzeyleri (TBDY, 2018).

Deprem Etkisi Ertesinde Bina Yapısından Beklenen Hedef	Kısaltma	Hedef Durumun Tarifi
Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi	(KK)	Binada yapısal hasarın gerçekleşmediği veya önemsiz derecede olduğu durumdur.
Sınırlı Hasar Performans Düzeyi	(SH)	Doğrusal olmayan davranışın kabul edilebilir aralıkta olduğu durumdur.
Kontrollü Hasar Performans Düzeyi	(KH)	Can güvenliği performans düzeyidir. Onarılması mümkün olan yapısal hasarın meydana geldiği durumdur.
Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi	(GÖ)	Bina yapısının yalnızca göçmediği ve ağır yapısal hasarın meydana geldiği durumdur.



Şekil 3.6. Binaların deprem sonrası hasar durumları (Celep, 2019).

Şekil 3.6’da, yönetmelikte tanımlanmış olan performans seviyeleri yatay yerdeğiştirmeye bağlı olarak görselleştirilmiştir.

Performans hedefi TBDY-2018’in temel yaklaşımlarından birisidir.

Deprem etkisi altında bina performans hedefleri, binanın yükseklik sınıfına ve deprem tasarım sınıfına bağlı olarak TBDY-2018’de kullanılır. Böylece deprem etkilerine maruz kalan binanın, deprem sonrasında hangi hasar durumunda olabileceği sınırlandırılmış olur. Bu durum, yapının kullanım amacına göre çok daha özel bir sonuca hizmet edebilir. Örneğin; fay hattına aynı mesafedeki, kesit boyutları ve bina yükseklikleri de benzer olan iki binadan beklenen performans hedefi, bina kullanım amacına göre farklılık gösterir. Hastane, sağlık ocağı, ulaşım istasyonları gibi deprem sonrası kullanılması mühim olan binalardan istenilen performans hedefi, hizmet durumuna ve kullanımına zarar vermeyecek, bir aksaklığa yol açmayacak hasar durumu olarak ifade edilir.

Ancak performans hedefleri; binanın kullanım amacı, deprem sonrası hizmet verme, insanların uzun süreli ve yoğun olarak kullanılmasının haricinde, tasarımsal özelliklerine de bağlıdır.

Binanın yalıtımlı bina olması, önüretimli betonarme bina olması gibi tasarımsal özelliklere göre performans hedefi değişmektedir.

TBDY-2018'e göre, deprem etkisi altında tasarımı yapılacak olan binanın, deprem tasarım sınıfına ve dört farklı deprem yer hareketi düzeyine göre birer performans hedefi belirlenmiştir. DTS 1a ve 2a için ileri performans hedefleri tanımlanmıştır. Tasarımlarda izlenecek yollar, yapısal özelliklere göre de değişmektedir. Yapı sahibinin tercihinine göre ileri performans hedefleri de kullanılabilir.

TDBY-2018 kapsamında binaların tasarım ve analizinde kullanılacak iki yöntem vardır. Bunlar; dayanıma göre tasarım yaklaşımı (DGT) ile şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım yaklaşımıdır (ŞGDT).

TBDY-2018 kapsamında performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları (Tablo3.8):

Tablo 3.8. Deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak veya mevcut binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları (TBDY, 2018).

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1,1a ⁽¹⁾ , 2, 2a ⁽¹⁾ , 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a ⁽²⁾ , 2a ⁽²⁾	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT ⁽⁵⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	—	—	KH	ŞGDT

TBDY-2018'in en önemli yeniliklerinden olan deprem yalıtımlı binalar için, performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme tasarım yaklaşımları, TBDY-2018'de Tablo 3.9 ve Tablo 3.10'daki gibi tanımlanmıştır:

Tablo 3.9. Yeni yapılacak deprem yalıtımlı binalar – üstyapı

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	—	—	—	—

Tablo 3.10. Yeni Yapılacak ve Güçlendirilecek Deprem Yalıtımlı Binalar – Yalıtım Sistemi ve Altyapı

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 ⁽¹⁾ –DGT ⁽²⁾	KK	ŞGDT ⁽¹⁾ –DGT ⁽²⁾

⁽¹⁾ Yalıtım sistemi için uygulanacaktır.

⁽²⁾ Altyapı için uygulanacaktır.

Performans hedefleri tablolarının okunmasında öncelikle yapının tasarımsal özellikleri belirlenir. Örneğin deprem yalıtımlı binalar için, performans hedeflerinin belirlenmesinde, yeni yapılacak deprem yalıtımlı binalarda üst yapı ve altyapı ile yalıtım birimi olarak ikiye ayrılır. Yeni yapılacak deprem yalıtımlı binaların üst yapısı için, DTS 1, 2, 3, 3a, 4, 4a olan binalarda, DD-2 etkisi altında normal performans hedefi olarak SH hedeflenir ve değerlendirme DGT yaklaşımı ile yapılabilir. Eğer deprem yalıtımlı binanın DTS değeri 1a veya 2a ise, üst yapının tasarımında, DD-2 deprem düzeyinde ileri performans hedefi olarak KK hedeflenir ve DGT yaklaşımı kullanılır.

Performans hedefleri ve değerlendirme yaklaşımları için ileri performans hedefleri yapı sahibinin isteğine bağlı olarak seçilebilir (TBDY 2018).

3.8. Özel Konularda Tasarım Gözetimi ve Kontrolü

TBDY-2018 uygulanmasında, bazı konuların tasarım, analiz ve hesaplarında, tasarım gözetimi ve kontrolü hizmeti alınması zorunlu hale gelmiştir. Bu düzenleme, belirli alanlarda giderek daha karmaşık hale gelmiş olan, karmaşık deprem analizlerinin hesabı konusunda, özel uzmanlık gerektiren konularda uygulanmak üzere Türkiye’de ilk kez hayata geçirilecektir (Aydınöglu, Özer, Celep, & Özaydın, 2018).

Bu konular, yönetmelikte özel uzmanlık gerektiren konular olarak adlandırılmıştır (TBDY, 2018).



4. DAYANIMA GÖRE TASARIM YAKLAŞIMI

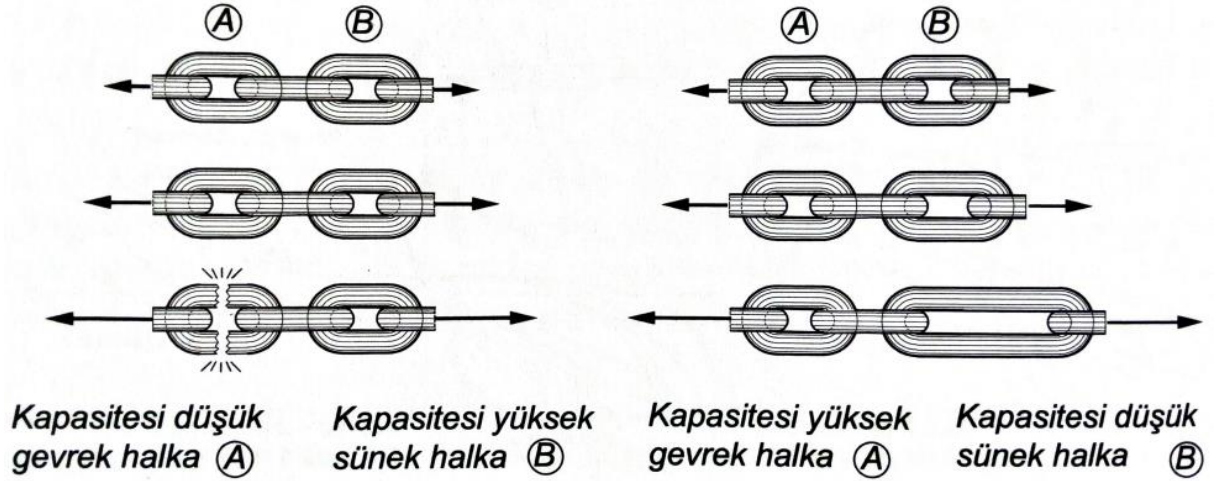
Dayanım Göre Tasarım (DGT) yaklaşımı; TBDY-2018'e göre, binaların deprem etkisi altında tasarımı için iki ana yaklaşımdan biridir. DGT yaklaşımı, doğrusal hesap esaslarının bir bütünüdür.

DGT yaklaşımında, aşağıdaki adımlar izlenir:

- Sağlanması gereken performans hedefine uygun seçilen taşıyıcı sistemin süneklik kapasitesine göre azaltılmış deprem yükleri bulunur.
- Rasyonel olarak belirlenmiş azaltılmış deprem yükleri ile, doğrusal deprem hesabı yapılır. Dayanım talepleri; doğrusal deprem hesabı sonucunda bulunan eleman azaltılmış iç kuvvetleri ile diğer yüklerden meydana gelen iç kuvvetlerle birleştirilerek elde edilir.
- Dayanım talepleri eleman bazındadır. Eleman dayanım talepleri, istenilen performans hedefi için tasarımı yapılan eleman iç kuvvet kapasiteleri (dayanım kapasiteleri) ile karşılaştırılır.
- Göreli kat ötelemeleri uyulması gereken sınırlarla karşılaştırılır.
- Son olarak; istenilen performans hedefi için tanımlanan ve doğrusal deprem hesabı yapılarak elde edilen dayanım talepleri ile tasarımdaki sistemin dayanım kapasiteleri karşılaştırılır. Tasarımdan istenilen dayanım talepleri, dayanım kapasitelerinin altında olmalıdır. Böylece ilk şart sağlanır. İkinci olarak da göreli kat ötelemeleri tasarımın özelinde karşılanması gereken sınırlar dahilinde olduğu gösterilir. Böylece tasarım tamamlanır. İki şartın da aynı anda sağlanması gereklidir. Aksi durumda tasarımdaki elemanların kesitleri değiştirilir ve hesap yenilenerek adımlar tekrarlanır. Çünkü dayanım istekleri veya talepleri eleman boyutundadır.

4.1. Kapasite Tasarımı İlkeleri

Doğrusal olmayan sünek davranış sergileyecek elemanların belirli olması ve diğer elemanların da doğrusal olmayan bu sünek davranışa uygun şekilde hareket edebilecek yeterli dayanım kapasitesinde olması kuralı, kapasite tasarımı ilkelerini oluşturur. İki zincir halkası düşünecek olursak, bu halkaların gevrek kırılmaya dayanıklı olması durumu istenmektedir. Çünkü, binada yıkıma neden olacak kırılma, gevrek kırılmadan kaynaklı olabilmektedir.



Şekil 4.1. Gevrek ve sünek elemanların güç tükenmesi durumu davranışları (Celep, 2019).

Yukarıdaki resimde (Şekil 4.1) birbirine bağlı zincir halkalarına kuvvet uygulanarak güç tükenmesi durumuna getirilmeye çalışılmaktadır. Burada zincire ait halkalardan birisinin gevrek (A-Sınırlı elastik şekil değiştirme yapması ve plastik şekil değiştirme yapmayacağı durum) diğer halkanın sünek (B-Sınır elastik şekil değiştirme yaptıktan sonra daha fazla plastik şekil değiştirme yaparak güç tükenmesine girmesi durumu) davranış gösterdiği kabul edilmiştir. Birinci durumda sünek halkanın kapasitesi gevrek halkadan daha büyüktür ve dolayısıyla zincirin güç tükenmesi durumunu belirleyen halka gevrek halkadır. İkinci durumda ise zincirin kapasitesini belirleyen halka gevrek halkadır ve bu durumda uygulanan kuvvetin sonucu olarak zincirdeki güç tükenmesi sünek halkanın kapasitesine bağlıdır. Kapasite tasarımı, yönetmeliklerde öngörülen etkilerin karşılanmasıyla birlikte, bu etkilerin tahmin edilemeyen bir şekilde büyümesi durumunda güç tükenmesinin sünek olarak, büyük şekil değiştirmelerle karşılanabilmesini sağlamaktır. Bu şart basit olarak aşağıdaki ifade ile verilebilir (Celep, 2019):

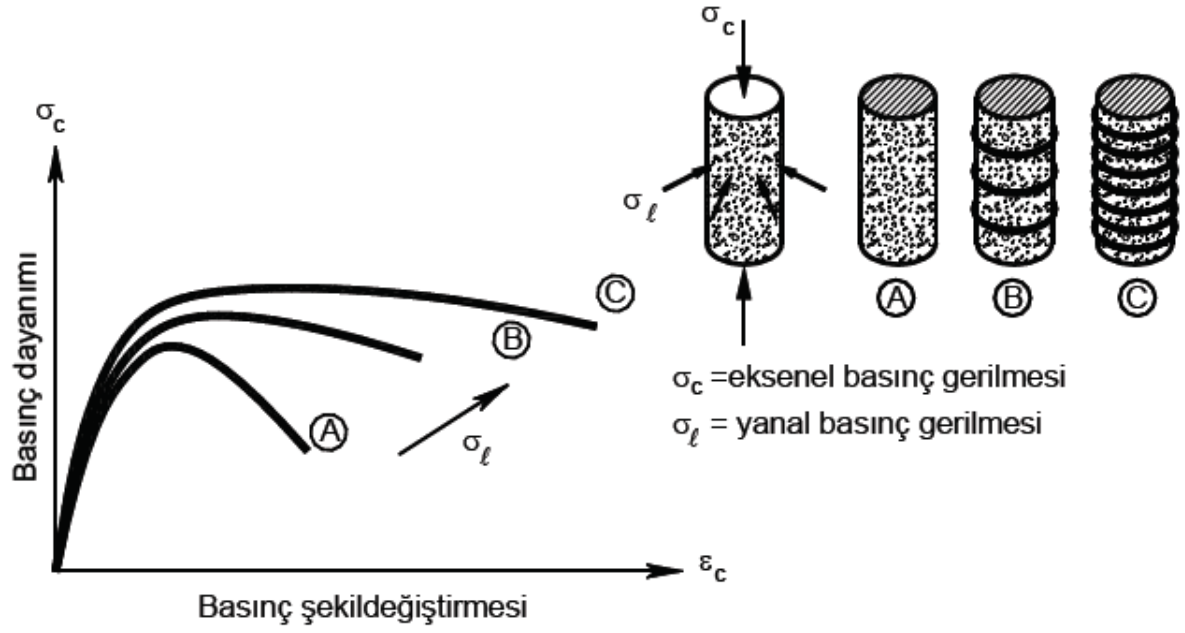
Gevrek halkanın kapasitesi $\geq$ Sünek halkanın kapasitesi

Tasarımda sünek davranışın görülmesinin istenilmesi (azaltılmış deprem yüklerine göre tasarımların yapılması) yapıda hasar oluşumunun kabul edilmesi anlamına gelmektedir. Kapasite tasarıma göre boyutlandırılma yapılan bir taşıyıcı sistemde sağlanması gereken koşullar aşağıda sıralanmıştır (Darılmaz, 2019).

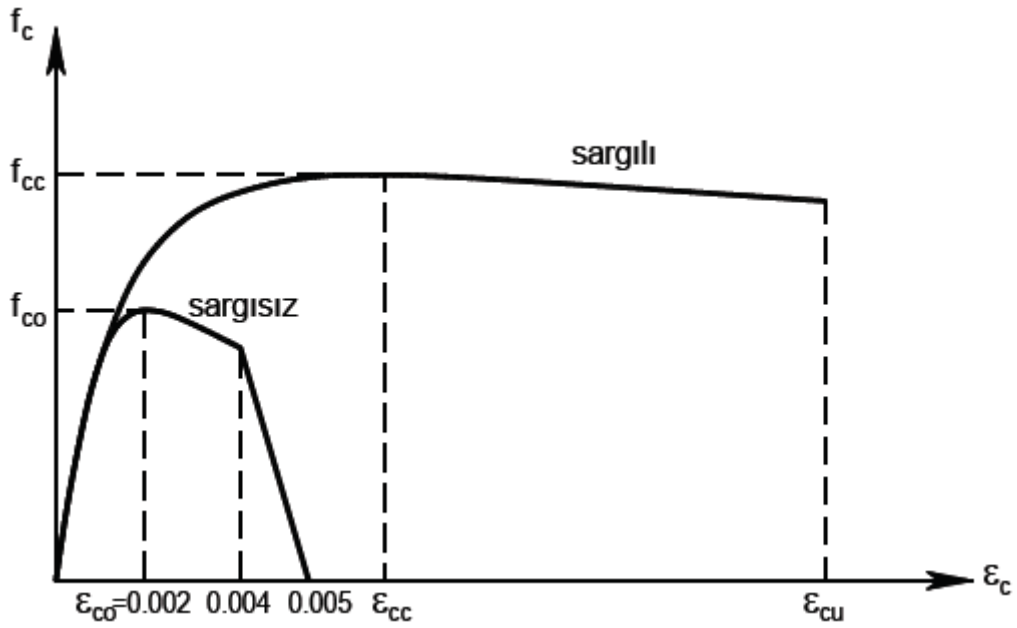
- Tasarımda kullanılan sistem, en az tasarımın başında öngörülen süneklik düzeyini sağlayacak şekilde doğrusal olmayan şekildeğiştirmeleri karşılayabilmelidir.
- Oluşabilecek hasarlar, kesit sünekliği yüksek olan elemanlarda örneğin kirişlerde meydana gelecek şekilde tasarım yapılmalıdır.
- Oluşabilecek hasarlardan dolayı kat mekanizması, sünek olmayan bölgesel veya ani göçme durumlarının gerçekleşmemesi sağlanmalıdır.
- Taşıyıcı elemanların tamamı ve birleşim bölgeleri, öngörülen bölgelerde sünek eğilme hasarından önce kesme ve aderans yetersizliği durumu ortaya çıkmayacak şekilde boyutlandırılmalıdır.

4.2. Süneklik

Dayanım özelliğini kaybetmeden yerdeğiştirme ve büyük şekildeğiştirme yapabilme özelliği süneklik olarak tanımlanmaktadır. Süneklik; malzeme sünekliği, kesit sünekliği, elaman sünekliği ve sistem sünekliği olarak sınıflandırılabilir (Darılmaz, 2019). Deprem etkisine maruz kalan bir yapı sünek davranış sergiliyor ise, elemanlarının ve birleşim bölgelerinin doğrusal olmayan davranış sonucunda büyük enerji tüketimi yaptığı söylenebilir. Yapının maruz kalacağı deprem etkilerinden doğan enerjinin tüketilmesi için sünek davranış sergilemesi istenilen bir tasarımda, sünekliği sağlayan kurallara uyulması gerekir. Deprem enerjilerinin önemli bir bölümünün tüketilebilmesi için yapıda yeterli düzeyde süneklik bulunması gerekir ki bu da süneklik etkisinin deprem durumunda gösterilen olumlu bir davranış olduğunu gösterir. Beton malzemesi ile çelik malzemenin kuvvet yerdeğiştirme durumları incelendiğinde, betonun gevrek çeliğin ise sünek bir malzeme olduğu söylenebilir. Betonun sünekliğinin artırılması sargı donatısı ile sağlanır (Şekil 4.2 ve Şekil 4.3).

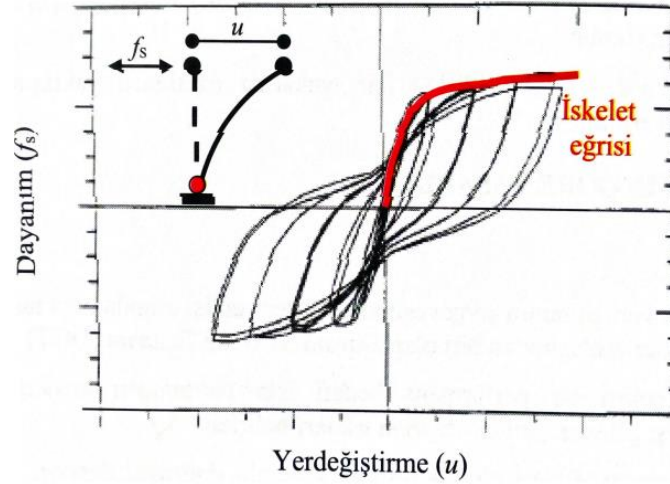


Şekil 4.2. Sargı donatısı ile betonun basınç altında şekildeğiştirme eğrisi (Darılmaz, 2019).



Şekil 4.3. Sargılı ve sargısız beton için gerilme şekildeğiştirme grafiği (Darılmaz, 2019).

Bir betonarme elemanda, örneğin bir düşey konsolun en alt ucunda meydana gelen plastikleşme durumuna bağlı olarak statik itme çekme (Statik çevrimsel yükleme deneyi) sonucu elde edilen histerik eğrilerinden meydana gelen örnek bir doğrusal olmayan (Nonlineer) dayanım – yerdeğiştirme bağlantısı Şekil 4.4’de görülebilir.



Şekil 4.4. Doğrusal olmayan dayanım-yerdeğiştirme bağlantısı (Celep, 2019).

Şekil 4.4’de görülebildiği üzere belirli bir kuvvet altında yerdeğiştirmeler doğrusal olmaktadır. Ancak yerdeğiştirmelerin arttığı noktalarda iskelet eğrisinin yataylaşmaya başladığı yerden itibaren, yükleme ve geri dönüş çizgilerinin çakışmadığı görülmekte ve yükün olmadığı durumlarda oluşan kalıcı yerdeğiştirmenin arttığı görülmektedir. Eğrinin yatıklaşmaya başladığı noktadan sonra kuvvet çok az artmakta ancak yerdeğiştirme çok fazla artmaktadır. İskelet eğrisinin yatıklaşmaya başladığı durum; sistemin belirli bir yük taşıma kapasitesine ulaştığını diğer bir deyişle dayanıma ulaştığını göstermektedir. Bu statik itme çekme örneğini dinamik bir durum içinde düşünecek olursak, Şekil 4.4’deki f_s kuvveti maksimum eşdeğer deprem yükü olarak tanımlanabilir. Bu yük de deprem kuvvetinin büyüklüğünden bağımsız olarak taşıyıcı sistemin dayanımına eşit olur. Böylece doğrusal olmayan sistemde karşılık bulan eşdeğer deprem yükü, depremin büyüklüğünden değil tasarımcı mühendisin sistemde meydana getirdiği dayanım ile doğrudan ilişkili olduğu söylenebilir (Aydınoglu, Özer, Celep, & Özaydın, 2018).

4.3. Deprem Yükü Azaltma Katsayısı

Azaltılmış tasarım ivmelerinin hesabında kullanılacak deprem yükü azaltma katsayısı ($R_a(T)$), binanın doğal titreşim periyoduna (T) göre Denklem 4.1 ve Denklem 4.2 ile iki şekilde belirlenir.

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B \quad (4.1)$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D\right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (4.2)$$

Burada,

R : Taşıyıcı sistemin yapısal davranış katsayısı,

D : Dayanım fazlalığı katsayısı,

olarak TBDY-2018’de belirtilmiştir.

Deprem yükü azaltma katsayısı ile doğrusal elastik deprem yükleri azaltılır.

Bu denklemlerde kullanılan dayanım fazlalığı katsayısı (D) akma dayanımının ($f_y(\mu_k, T)$) tasarım dayanımına ($f_d(\mu_k, T)$) oranı olarak ifade edilir.

4.4. Deprem Hareketi Etkisinin Diğer Kuvvetlerle Birleştirilmesi ve Hesaplanması

4.4.1. Azaltılmış Tasarım İvme Spektrumu

Azaltılmış deprem yüklerinin belirlenmesi için kullanılan azaltılmış tasarım ivme spektrumunun ordinatı olan azaltılmış tasarım spektral ivmesi ($S_{aR}(T)$) Denklem 4.3 ile bulunur:

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (4.3)$$

Denklem 4.3’de;

$S_{aR}(T)$: Azaltılmış tasarım spektral ivmesi [g]

$S_{ae}(T)$: DD-2 deprem yer hareketi için hesaplanan yatay elastik tasarım spektral ivme [g] olarak TBDY-2018’de tanımlanmıştır.

4.4.2. Düşey Deprem Etkisi

Açıklık yatay izdüşümü 20 m ve daha büyük olan kirişlere sahip binalarda, konsolları 5 m veya daha fazla olan binalarda, kirişlere oturan kolonları içeren binalarda, eğik kolonlara sahip binalarda veya DTS=1, 1a, 2, 2a olan binalarda, düşey deprem hesabı; düşey elastik ivme spektrumuna göre yapılır. Depremi düşey etkisinin hesabı, yukarıda tanımlanan yapı elemanlarının yerel düşey titreşim modları hesaba katılarak yalnızca söz konusu elemanlara özel olarak Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılır. Bu yöntemin kullanıldığı durumlarda $R/I= 1$ ve $D= 1$ alınır.

Yukarıda belirtilen durumların olmadığı taşıyıcı sistemlerde ise düşey deprem hesabı daha basit olarak hesaba dahil edilir.

Yaklaşık olarak hesaplanan bu düşey deprem etkisi Denklem 4.4 ile hesaplanır;

$$E_d^{(Z)} \approx (2/3)S_{DS}G \quad (4.4)$$

Burada:

$E_d^{(Z)}$: Düşey yöndeki (Z) tasarıma ait deprem değeri,

G : Sabit yük,

olarak TBDY-2018’de tanımlanmıştır.

4.4.3. Deprem Etkilerinin Birleştirilmesi

Tasarıma esas yatay deprem etkisi ($E_d^{(H)}$) tanımlanırken, birbirine dik (X) ve (Y) doğrultularındaki deprem etkileri Denklem 4.5 ve Denklem 4.6 yardımı ile birleştirilir.

$$E_d^{(H)} = \pm E_d^{(X)} \pm 0.3E_d^{(Y)} \quad (4.5)$$

$$E_d^{(H)} = \pm 0.3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)} \quad (4.6)$$

Denklem 4.5 ve Denklem 4.6’da:

$E_d^{(X)}$: (X) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi,

$E_d^{(Y)}$: (Y) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi,

$E_d^{(H)}$: Doğrultu Birleştirilmesi uygulanmış tasarıma esas yatay deprem etkisidir.

Deprem etkisi diğer etkilerle Denklem 4.7 ve Denklem 4.8 yardımı ile birleştirilir;

$$G+Q+0.2S+ E_d^{(H)}+0.3E_d^{(Z)} \quad (4.7)$$

$$0.9G+H+E_d^{(H)}-0.3E_d^{(Z)} \quad (4.8)$$

Denklem 4.7 ve Denklem 4.8’de:

Q : Hareketli yüklerin etkisi,

S : Kar yüklerinin etkisi,

H : Yatay zemin etkisidir.

4.5. Doğrusal Hesap için Modelleme Kuralları

TBDY-2018’de tasarımı yapılacak binalar için bazı basitleştirilmiş kurallar tanımlanmıştır. Yönetmelikteki bu bölüm ile tasarım mühendisi yaklaşımına basit yardımcı yönlendirme yapılmaktadır. Bu kurallar bütünü tasarımın oluşmasında bazı yenilikleri de beraberinde getirmektedir. Örneğin; perdelerin kesitteki uzunluğunun kalınlığına oranı bu kurallar anlatımında tanımlanarak 6 olarak belirtilmiştir.

Genel olarak bu kurallar:

- Tasarımı yapılacak bina sistemi her zaman üç boyutlu olarak modellenmelidir.
- Birbirine dik iki yatay deprem etkisi her zaman dikkate alınacaktır.
- Sönüm değeri aksi belirtilmedikçe %5 alınarak hesaplamalar yapılacaktır.
- Kiriş ve kolonlar çubuk sonlu elemanlar olarak modellenenecektir.
- Etkin kesit rijitlikleri, analiz yöntemlerine göre TBDY-2018’de tanımlandığı şekilde kullanılacaktır.
- Tasarımdaki bağ kirişleri çubuk sonlu eleman olarak modellenebilir.

4.6. Kütlelerin Modellenmesi

Kütlelerin hesabında Denklem 4.9 kullanılır;

$$w_j^{(S)} = w_{G,j}^{(S)} + n w_{Q,j}^{(S)} \quad ; \quad m_j^{(S)} = \frac{w_j^{(S)}}{g} \quad (4.9)$$

Burada:

$w_j^{(S)}$: Tipik sonlu eleman düğüm noktası j’ye etkiyen tekil ağırlık [kN],

$w_{G,j}^{(S)}$: Tipik sonlu eleman düğüm noktası j’ye etkiyen tekil sabit ağırlık [kN],

$w_{Q,j}^{(S)}$: Tipik sonlu eleman düğüm noktası j’ye etkiyen tekil ek (hareketli) ağırlık [kN],

$m_j^{(S)}$: Tipik sonlu eleman düğüm noktası j’ye etkiyen tekil kütle [t],

n : Hareketli yük katılım katsayısı,

g : Yer çekimi ivmesi [m/s^2],

olarak TBDY-2018’de tanımlanmıştır.

4.7. Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları ve Hareketli Yük Katılım Sayıları

TBDY-2018 kapsamında etkin kesit rijitliği çarpanları ile hareketli yük kütle katılım katsayıları tablo şeklinde verilmiştir.

Kesit rijitlikleri perde, bodrum perdesi ve döşeme olarak düzlem içinde ve düzlem içinde eksenel ile kayma olarak tanımlanmıştır.

Çubuk eleman olarak tanımlanan kolon ve kiriş elemanlarda ise bağ kirişi, çerçeve kolonu ve perde (eşdeğer çubuk için) kesmede ve eğilmede farklı tanımlanmıştır.

Taşıyıcı sistemin modeline göre bu katsayılar tablolardan alınır ve hesaba dahil edilir.

Hareketli yük kütle katılım katsayısı (n), binanın kullanım amacına göre üç farklı katsayı şeklinde tanımlanmıştır. Depo veya okul olarak kullanılacak binalarda farklı hareketli yük değerleri olur. Bu durumun karşılığı olarak katsayılar farklılık gösterir. Betonarme binaların yapısal elemanlarında hesaplamalarda kullanılmak üzere sunulan etkin kesit rijitliği çarpanları ile bina kullanım amacına göre belirlenmiş hareketli yük kütle katsayıları tablosu doğrusal hesaplar için aşağıdaki tablolardan (Tablo 4.1 ve tablo 4.2) alınabilir.

Tablo 4.1. Betonarme sistemlerde yapısal elemanların etkin kesit rijitliği çarpanı değerleri

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
Perde – Döşeme (Düzlem İçi)	Eksenel	Kayma
Perde	0.50	0.50
Bodrum perdesi	0.80	0.50
Döşeme	0.25	0.25
Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)	Eğilme	Kesme
Perde	0.25	1.00
Bodrum perdesi	0.50	1.00
Döşeme	0.25	1.00
Çubuk eleman	Eğilme	Kesme
Bağ kirişi	0.15	1.00
Çerçeve kirişi	0.35	1.00
Çerçeve kolonu	0.70	1.00
Perde (eşdeğer çubuk)	0.50	0.50

Tablo 4.2. Hareketli yük kütle katılım katsayıları.

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, ibadethane, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, otopark, vb.	0.30

4.8. Doğrusal Hesap Yöntemleri

DGT yaklaşımında kullanılan iki doğrusal hesap yöntemi vardır. Bu hesap yöntemleri sırasıyla, Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ve Modal Hesap Yöntemleridir.

4.9. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile Doğrusal Deprem Hesabı

Deprem yönü belirsiz olduğu için, X ve Y doğrultuları için aynı denklemler kullanılarak binaya etki ettirilir.

Toplam Eşdeğer Deprem Yükü Denklem 4.10 ile yönetmelikte tanımlanmıştır.

$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g \quad (4.10)$$

$V_{tE}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) [kN],

m_t : Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümünün toplam kütlesi [kNs^2/m],

$S_{aR}(T_p^{(X)})$: Göz önüne alınan (x) deprem doğrultusunda $T_p^{(X)}$ e göre hesaplanan, azaltılmış tasarım spektral ivmesi [g].

4.10. Modal Hesap Yöntemleri ile Doğrusal Deprem Hesabı

Modal hesap yöntemleri, yapının modal davranışı esas alınarak oluşturulur. Modal hesap yöntemleri; Mod Birleştirme Yöntemi ve zaman tanım alanında hesaba dayalı Mod Toplama Yöntemi'dir.

Modal hesap yöntemlerinde temel yaklaşımlardan öncelikli olarak hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı önem kazanır. Bu duruma göre; her iki deprem doğrultusu için her

bir mod için hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamının ($m_{\text{txn}}^{(X)}$ ve $m_{\text{ty n}}^{(Y)}$), bina kütlelerinin %95'inden daha az olmaması gerekmektedir.

$$\sum_{n=1}^{\text{YM}} m_{\text{tx n}}^{(X)} \geq 0.95 m_t \quad ; \quad \sum_{n=1}^{\text{YM}} m_{\text{ty n}}^{(Y)} \geq 0.95 m_t \quad (4.11)$$

4.11. Azaltılmış İç Kuvvetlerin ve Yerdeğiştirmelerin Eşdeğer Taban Kesme Kuvvetine Göre Büyütülmesi

Her bir deprem yönü için, bir bina yapısının tamamını etkileyen eşdeğer toplam deprem kuvveti değeri, belirli bir ampirik katsayı ile çarpılır. Bu değerden daha düşük bir deprem kuvveti kullanılamaz.

Buna göre örneğin (X) doğrultusu için; $V_{\text{tx}}^{(X)} < \gamma_E V_{\text{tE}}^{(X)}$ olması durumunda;

$$\beta_{\text{tE}}^{(X)} = \frac{\gamma_E V_{\text{tE}}^{(X)}}{V_{\text{tx}}^{(X)}} \geq 1 \quad (4.12)$$

$\beta_{\text{tE}}^{(X)}$ katsayısı ile taban kesme kuvveti değeri büyütülür.

Bu denklemdaki γ_E katsayısı iki duruma göre değışir. Düşeyde oluşan B3 ve B2 türü veya planda oluşan A1 türü düzensizliklerinden biri ya da birkaçı, bina yapısında bulunuyor ise bu değer 0.90 alınır. Eğer düzensizliklerin hiçbirini binada bulunmuyorsa γ_E değeri 0.80 alınabilir.

4.12. Göreli Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması

Dayanıma göre tasarım yaklaşımının temel kurallarından bir değeri de ötelemelerin sınırlandırılması koşullarıdır.

Herhangi bir deprem doğrultusu için bu değerler aynı şekilde uygulanacaktır.

Örneğin (X) deprem doğrultusu için; kolon, kiriş veya perde için ardışık iki kat arasındaki deplasman farkı azaltılmış göreli kat ötelemesi $\Delta_i^{(X)}$ Denklem 4.13 ile ifade edilir:

$$\Delta_i^{(X)} = u_i^{(X)} - u_{i-1}^{(X)} \quad (4.13)$$

Bu formülde dikkat edilmesi gerek husus, $u_i^{(X)}$ ile $u_{i-1}^{(X)}$ tanımlarıdır.

$u_i^{(X)}$ ve $u_{i-1}^{(X)}$: tipik (X) deprem doğrultusu için i'inci ve (i-1)'inci katlarındaki bir kolon veya perdenin uçlarındaki yatay yerdeğiştirmelerdir. Bu yerdeğiştirmeler azaltılmış deprem yüklerine göre yapılan hesaptan okunur.

Etkin görelî kat ötelemesi ($\delta_i^{(X)}$) Denklem (4.14) ile belirlenir;

$$\delta_i^{(X)} = \frac{R}{I} \Delta_i^{(X)} \quad (4.14)$$

Kat ötelemeleri dolgu duvarların yapılış şekillerine göre ikiye ayrılır;

Dolgu duvarlar; esnek derz kullanılmadan gevrek malzemeler ile yapılır ise:

$$\lambda \frac{\delta_{i,\max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.008 \kappa \quad (4.15)$$

Esnek derz kullanılması durumunda veya dolgu duvarların çerçeveden bağımsız olması durumunda:

$$\lambda \frac{\delta_{i,\max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.016\kappa \quad (4.16)$$

Yukarıda verilen iki denklem (Denklem 4.15 ve 4.16) koşulları karşılanmalıdır.

Bu denklemlerde kullanılan;

$\delta_{i,\max}^{(X)}$: Etkin görelî kat ötelemesi değeriinin i'inci kat için, X deprem yönünde, kat dahilinde bulunan en büyük hesap sonucu [m].

h_i : i değeriindeki katın yüksekliğı [m]

κ katsayısı, betonarme yapılarda $\kappa = 1$, çelik yapılarda $\kappa = 0.5$ alınır.

λ : Binanın göz önüne alınan deprem doğrultusundaki hakim titreşim periyodu için tanımlanan DD-3 deprem yer hareketindeki elastik tasarım spektral ivmesinin, DD-2 deprem yer hareketi düzeyindeki elastik tasarım spektral ivmesine oranıdır.

Dayanıma göre tasarım yaklaşımında sağlanması gereken bu deplasman sınırlarının karşılanmadığı durumda, taşıyıcı sistemin rijitliğı artırılarak deprem hesapları yinelenir.

5. ŞEKİLDEĞİŞTİRMEYE GÖRE DEĞERLENDİRME VE TASARIM

Şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarımında (ŞGDT), dayanıma göre tasarım (DGT) yaklaşımına benzer şekilde adımlar izlenir.

- Doğrusal olmayan modelleme yaklaşımları ile, sistem elemanlarının iç-kuvvet şekildeğiştirme değerleri belirlenir.
- Taşıyıcı sistemin, statik veya zaman tanım alanında dinamik artımsal yöntemlerle hesabı yapılır. Bu hesap belirli bir performans hedefine ait deprem yer hareketi ile yapılır. Sünek davranışın şekildeğiştirme istekleri ile gevrek harekete ait dayanım istekleri söz konusu hesap sonucunda hesaplanır.
- Mevcut binalar için; dayanım ve şekildeğiştirmelerin oluşturacağı isteklerin bunlara karşılık gelen kapasitelerin altında olduğu gösterilerek değerlendirme tamamlanır.
- Güçlendirme işlemlerinin uygulanacağı mevcut bina yapıları veya yeni olarak yapılması planlanan binalarda, şekildeğiştirmelerin ve dayanım isteklerinin oluşturacağı etkilerle beraber bu taleplerin karşılığı olan kapasitelerin karşılaştırması yapılır. Kapasitelerin aşılmadığı gösterilerek tasarım tamamlanır. Aksi durumda eleman kesitleri değiştirilir ve hesap tekrarlanır.

Tüm doğrusal olmayan yöntemlerde hesabın başlangıç adımında statik yüklemelerde doğrusal olmayan artımsal statik hesaplar yapılır. Bu hesaplar sonucunda elde edilen iç kuvvetler ve şekildeğiştirmeler yatay deprem hesabında başlangıç değerleri olarak göz önüne alınır.

Örneğin yeni yapılacak binalarda ve güçlendirilen binalarda, bu aşamada, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelere izin verilmez. Ancak, mevcut binaların değerlendirilmesinde, oluşabilecek doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler de başlangıç değeri olabilir.

5.1. Deprem Etkisinin Tanımlanması ve Diğer Etkilerle Birleştirilmesi

Deprem etkisi, düşey deprem etkisi ile birleştirilerek Denklem 5.1'e göre bulunur.

$$G+Q+0,2S+ E_d^{(H)}+0.3E_d^{(Z)} \quad (5.1)$$

Yukarıdaki formülde; $E_d^{(H)}$ doğrusal olmayan deprem hesabının yapıldığı yönteme bağlı olarak iki şekilde hesaplanır,

- İtme yöntemlerinin kullanıldığı çözümlerde $E_d^{(H)}$; birbirine dik durumda olan deprem doğrultularına ait etkilerin Denklem 5.2 ve Denklem 5.3'e göre birleştirilmesi ile elde edilir,

$$E_d^{(H)} = \pm E_d^{(X)} \pm 0.3E_d^{(Y)} \quad (5.2)$$

$$E_d^{(H)} = \pm 0.3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)} \quad (5.3)$$

- Zaman tanım alanında yapılması durumunda $E_d^{(H)}$; (X) ve (Y) deprem kuvvetleri, birlikte eş zamanlı olarak tanımlandığından, $E_d^{(H)}$ bu hesap sonucunda doğrudan elde edilir.

5.2. Doğrusal Olmayan Davranış Modelleri

Yönetmelikte doğrusal olmayan davranış modeli, Yığılı Plastik Davranış Modeli ve Yayılı Plastik Davranış Modeli ile tanımlanmıştır. Söz konusu modeller Yönetmelikte açıklanmıştır.

5.3. Modellemede Kullanılacak Malzeme Dayanımları

Şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarıma esas yapı modellemesinde iki yaklaşım söz konusudur. Bunlardan ilki yapının mevcut bir bina olması durumu, diğeri ise yeni yapılacak binalar olması durumudur.

Mevcut bir binanın şekildeğiştirmeye göre değerlendirilmesinde kullanılacak beton ve donatı çeliği TBDY-2018'in ilgili bölümündeki hesaplamalara göre alınır.

Kapasite tasarımının ilkeleri doğrultusunda ve diğer sünek tasarım kurallarına göre ön tasarım yapılması durumunda, yapısal malzemelerde ortalama dayanımlar; beton malzemesi ortalama dayanımını için f_{ce} ve yapısal çelik beklenen akma dayanımı için f_{ye} sembolleriyle ifade edilerek TBDY-2018'de bulunduğu şekli ile Tablo 5.1'de sunulmuştur.

Tablo 5.1. Bazı yapı malzemelerinin ortalama dayanım değerleri (TBDY, 2018).

Beton malzemesi	$f_{ce} = 1.3f_{ck}$
Donatı eliği için	$f_{ye} = 1.2f_{yk}$
Yapı eliğinde (S235)	$f_{ye} = 1.5f_{yk}$
Yapı eliğinde (S275)	$f_{ye} = 1.3f_{yk}$
Yapı eliğinde (S355)	$f_{ye} = 1.1f_{yk}$
Yapı eliğinde (S460)	$f_{ye} = 1.1f_{yk}$

5.4. Doğrusal Olmayan İtme Yöntemleri ile Deprem Hesabı

Doğrusal olmayan deprem hesabında kullanılan itme yöntemleri, Tek Modlu İtme Yöntemleri ile Çok Modlu İtme Yöntemleridir.

Kapasite tasarımına benzer şekilde, itme yöntemlerinin de sonucunda yapılacak karşılaştırma; Sünek davranışa karşı gelen örneğin plastik dönemler gibi plastik şekildeğıştirmeler ile sünek olmayan (gevrek) davranışa tekabül eden iç kuvvetlerin izin verilen sınırlar dahilinde olduğunun kanıtlanması ile şekildeğıştirmeye göre değerlendirme tamamlanır.

5.5. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi ile Deprem Hesabı

Deprem etkisine maruz kalan taşıyıcı sistemin hareket denklemlerinin zaman artımları ile adım adım doğrudan integrasyonuna karşılık gelen zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözüm yönteminde; taşıyıcı yapısal sistemin doğrusal olmayan davranış sonucunda rijitliğinde meydana gelen değişim göz önüne alınır (Celep, 2019).

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesaplamalarda, yatay doğrultuda birbirlerine dik ivme kayıtları aynı anda sistem modeline etki ettirilir ve daha sonra ivme kayıtlarının eksenleri 90° döndürölerek hesap tekrarlanır.

Tüm doğrusal olmayan yöntemlerde olduğu gibi başlangıç durumunda, deprem kuvveti dışındaki yüklemeler altında doğrusal olmayan artımsal statik hesap yapılır.

Sünek davranışa sahip elemanlarda değerlendirmeye esas şekildeğıştirme talepleri ile sünek davranışa sahip olmayan elemanlarda değerlendirmeye esas iç kuvvet talepleri, yapılan analizlerin (2x11=22 en az) her birinden elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerinin ortalaması olarak hesaplanır.

6. SİSMİK İZOLASYON KAVRAMI

Deprem etkilerinin yapılara verdiği zararlar kolon ve kiriş bölgeleri ile sınırlı değildir. Can güvenliği kavramı olarak birçok yönetmelikte tanımlanan durum yapısal hasarlarla birlikte tanımlanır. Ancak hasar olarak görülmesi gereken parametreler yapıların kullanım amaçlarına göre değişmektedir. Deprem sonrası hemen kullanılması gereken bir hastane binasının deprem sonrasında yapısal hasar almamış olması kullanım amacı doğrultusunda yeterli olmayabilir. Kolon ve kiriş bölgelerinde tasarımda beklenen davranışlar oluşmuş olabilir ancak bir ameliyathanedeki kullanılması elzem bir aletin depremde hareket etmesi nedeni ile zarar görmesi asıl zarar olarak tanımlanabilir. Çünkü deprem sonrası istenilen hizmet gerçekleşemeyebilir. Deprem sırasında can kaybı yalnızca yapısal göçme nedeniyle oluşmayabilir. Yapısal olmayan elemanların davranışları da yine can kaybına neden olabilmektedir. Deprem yönetmelikleri yapı tasarımı yaklaşımında can güvenliği sonucunu yeterli bulabilmektedir. Ancak bazı durumlarda, yapıların can güvenliğinden öte bir performans sergilenmesi gerekmektedir. Bu durumu bina yapıları olarak düşünecek olursak; başta hastaneler olmak üzere deprem sonrasında hemen kullanılması gereken binalarda farklı bir tasarım yaklaşımı gerekli olmaktadır. Bina dışında, iletişim santrallerinde, köprü ayaklarında ya da deprem etkisinden etkilenme seviyesi düşük olması gereken petrol depolama tankları vb. yapılarda da geleneksel deprem tasarımından farklı özel yaklaşımlar gerekli olabilmektedir.

Sismik izolasyon kavramı, yapıların deprem etkisinden sonra kullanım amaçlarına aksamadan hemen devam etmesine olanak sağlayan bir teknoloji olarak ortaya çıkmaktadır. Sistemin gelişmesinin sebebi, yapıların depremden sonra kullanımında aksaklık yaşanmamasıdır.

Bu bölümde; sismik izolasyon tanımı, sismik izolasyon tarihçesi, teknik anlamda sağladığı avantajlar, genel olarak çeşitleri ve kullanım amaçları ele alınacaktır.

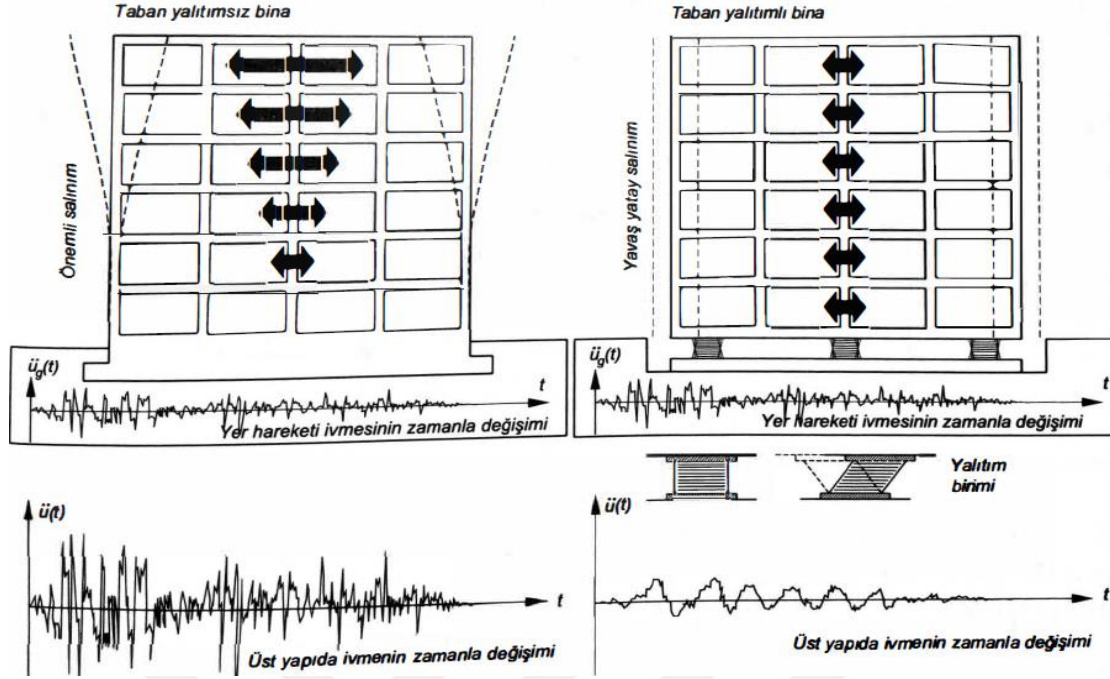
6.1. Sismik İzolasyon

Sismik izolasyon bir başka ifade ile sismik yalıtım ya da deprem yalıtımı sistemleri; deprem etkilerinin azaltılması amacı ile yapılar için geliştirilmiş sistemlerdir. Sistemin amacı; yapıya gelen deprem yüklerinin azaltılmasıdır. Sismik yalıtım, yapının depreme dayanma kapasitesini arttırmak yerine, binaya gelen deprem kuvvetlerini, yapıların periyodunu artırarak azaltma esasına dayanan, deprem etkilerine dayanıklı bir düzenleme yaklaşımıdır (Milli Eğitim

Bakanlığı, 2011). Depreme dayanıklı yapı tasarımında deprem etkilerinin azaltılmasındaki kabul edilen hedef genelde daha rijit bir yapı sisteminin oluşmasına neden olur. Bununla beraber depremde hesaba konu olan serbest titreşim periyotları azalır ve karşılanması gereken deprem etkilerinin sonucu olan deprem kuvvetleri de artar. Bu durumun yerine deprem etkisinin azaltılması daha akılcı bir yöntemdir. Sismik izolasyon yöntemleri ile ulaşılmak istenilen sonuç; binanın doğal titreşim periyodunun uzatılması veya enerji tüketme kapasitesinin artırılmasıdır. Deprem izolatörleri ile deprem etkilerinin azaltılması yöntemlerini ikiye ayıracak olursak; depreme karşı taban yalıtımı sisteminin kullanılması ve pasif olarak enerji tüketen sistemlerin kullanılması olarak söylenebilir (Celep, 2019). Ek olarak sismik izolatörler, zemin ivmelerini ve katlar arası göreceli ötelemeleri de azaltırlar (Erdik, Ülker, Şadan, & Tüzün, 2018).

6.2. Taban Yalıtımı

Sismik izolasyon olarak da bilinen taban yalıtımı, deprem etkisinden dolayı oluşan zemin hareketlerinin oluşturduğu kuvvetlerin ve deformasyonları mümkün olduğunca yapıdan izole etmeye yarayan sistemlerdir (Şekil 6.1). Bu deprem yalıtım sistemleri ile yapının içeriğindeki bütünlüğün korunması ve ayrıca kullanıcıların yaralanma veya ölümden korunması amaçlanır. Temel izolasyon kavramı kökleri uzak geçmişe dayanmasına rağmen günümüzde bina, köprü ve hatta tarihi eserleri korumak için kullanılmaktadır. İstenilen performans seviyesi için neredeyse sınırsız performans seviyesi garanti eden bir mühendislik sistemi olarak da tanımlanabilir. Taban izolasyonu, hareketli zeminde duran bir üst yapıyı alt yapıdan ayıran bir dizi yapısal eleman kullanır. Kullanımdaki tüm taban izolasyon sistemleri, ayrıntılarındaki geniş çeşitliliklere rağmen, belirli ortak özelliklere sahip iki temel yaklaşımı izledikleri için iki ana türe ayrılabilir. Bunlar elastomerik yalıtım birimleri ile sürtünme yüzeyli yalıtım birimleri olarak tanımlanabilirler (Katsikadelis, 2020).



Şekil 6.1. Taban yalıtımsız ve yalıtımlı binanın davranışı (Celep, 2019).

Deprem olayı sırasında, fay hatlarında oluşan kırılmalardan dolayı ortaya çıkan enerji dalgalar halinde her doğrultuda yayılır ve bu hareket yapıya eriştiğinde temel salınımı nedeniyle yapının üst kısımlarına etki eder. Temele bağlı olan üst yapıda, deprem etkisinden dolayı oluşan temel salınımları nedeniyle atalet kuvvetleri oluşur. Yapı ile temel arasındaki bu bağı kesmek, bir başka ifade ile temel ile üst yapıyı ayırarak, depremden dolayı oluşan titreşimin yapıya erişmesinin önlenmesi, depremde taban yalıtımının ana fikrini oluşturur. Bu yapı bir bina olabildiği gibi, bir köprü tabliyesi de olabilir. Taban yalıtımlı bir sistemde, temel deprem etkisinde hareket ederken, üst yapının farklı hareket etmesi sonucunda, temel ile yapı arasında önemli bir görelî hareket meydana gelir. Taban yalıtımının bulunması taşıyıcı sistemin deprem davranışında iki bakımdan faydalı olur. Bunların birincisinde; taban yalıtımlı bir yapının üst kısmında (yalıtım biriminin üzerinde kalan yapı kısmında) rijit bir yapı gibi davranması sonucunda, etkili serbest titreşim periyodu artarken, spektral ivme değerleri azaldığından taban kesme kuvvetleri azalır. İkincisinde; yalıtımın sönümünün üst yapınınkinden büyük olması durumunda, sistemin etkili sönümünün artışı nedeni ile, sönüme bağlı olan spektral ivme değerleri ve bununla beraber taban kesme kuvvetleri azalmaktadır. Taban yalıtımının etkisiyle beraber, taban yalıtımı uygulanmış yapılarda deprem enerjisinin tüketilmesinin arttığı görülür (Celep, 2019).

6.3. Deprem İzolatörleri Çeşitleri

Deprem etkilerinin azaltılması için geliştirilmiş yapı elemanları olarak konu edilebilecek deprem izolatörleri, çalışma prensipleri bakımından çeşitlendirilebilir. Ancak en yaygın olarak kullanılan çeşitleri aşağıda sunulmuştur;

- Kauçuk esaslı yalıtım birimleri
 - Düşük sönümlü elastomer izolatörler (LDRB)
 - Kurşun çekirdekli yalıtım birimleri (LRB)
 - Yüksek sönümlü kauçuk deprem yalıtım birimleri (HDRB)
 - Fiber takviyeli elastomerik izolatörler (FREI)
- Kauçuk-Kayıcı Sistemler
 - Fransız elektrik kurumu sistemi (EDF)
 - TASS sistemi
 - EERC birleşik sistemi
- Sürtünme esaslı kayıcı deprem izolatörleri
 - Sürtünmeli sarkaç tipi deprem izolatörleri (FPS)
 - Tek küresel yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi deprem yalıtım izolatörü
 - Çift küresel yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi deprem yalıtım izolatörü
 - Üç sürtünme yüzeyli sarkaç tipi deprem yalıtım izolatörü
 - Elastik sürtünmeli taban yalıtım birimleri
- Yay tipi deprem izolatörleri
- Sönümleyici deprem yalıtım cihazları
 - Şok emici deprem yalıtım cihazları
 - Viskoz damperler
 - Öngermeli yay damperleri
- Doğrusal olmayan sürtünmeye duyarlı doğal sismik izolatör (NFRNSI)

(Demirhan, 2019).

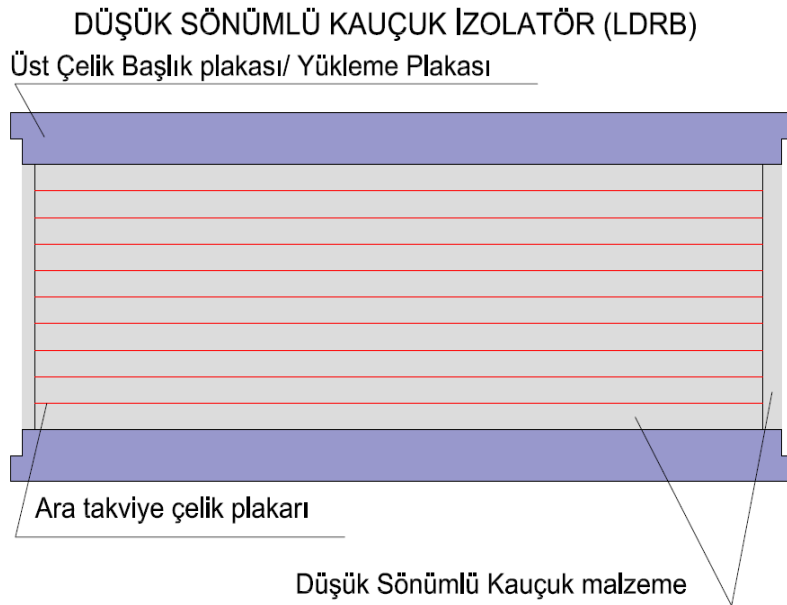
6.4. Kauçuk Esaslı Elastomer Deprem İzolatörleri

6.4.1. Düşük Sönümlü Kauçuk İzolatörler (LDRB)

Düşük sönümlü kauçuk izolatörler (LDRB); doğal ya da sentetik kauçuk malzeme, çelik plaka ve kalın çelik başlık plakalarından oluşur (Şekil 6.2). Doğal kauçuk malzemesi yapılan LDRB

malzemesi, diğer izolatör çözümleriyle birlikte Japonya’da kullanılır. Sentetik kauçuk olarak uygulamaları Fransa’da görülebilir. LDRB sismik izolasyon malzemesi; doğal ya da sentetik kauçuk malzeme arasında volkanize işlemi ile birleştirilmiş ince çelik plakalar ve altı ile üstünde bulunan kalın çelik plakalardan oluşur. Kauçuk malzemenin arasındaki çelik plakalar, izolatörün düşey kuvvetler altında yanal deformasyonunu önlemeye yardımcı olur ve düşey rijitlik sağlar. Kauçuk malzemenin arasında bulunan bu çelik plakalar yatay rijitliğe etki etmez. LDRB malzemesinin yatay davranışının yaklaşık olarak tamamı, kritik sönümün %2-3 aralığı için doğrusaldır. Malzeme neredeyse sünme yapmaz ve uzun ömürlüdür.

LDRB malzemesinin avantajları; modelleme basitliği, imalat kolaylığı, malzeme sarfıyatı, üretim maliyetlerinin düşüklüğü, sıcaklık ve uzun vadede kullanım kolaylığı olarak sıralanabilir. En önemli dezavantajı ise düşük sönüm kapasitesinden dolayı ek bir sönümleme sistemine ihtiyaç duymasındır (Kelly & Naeim, 1999).



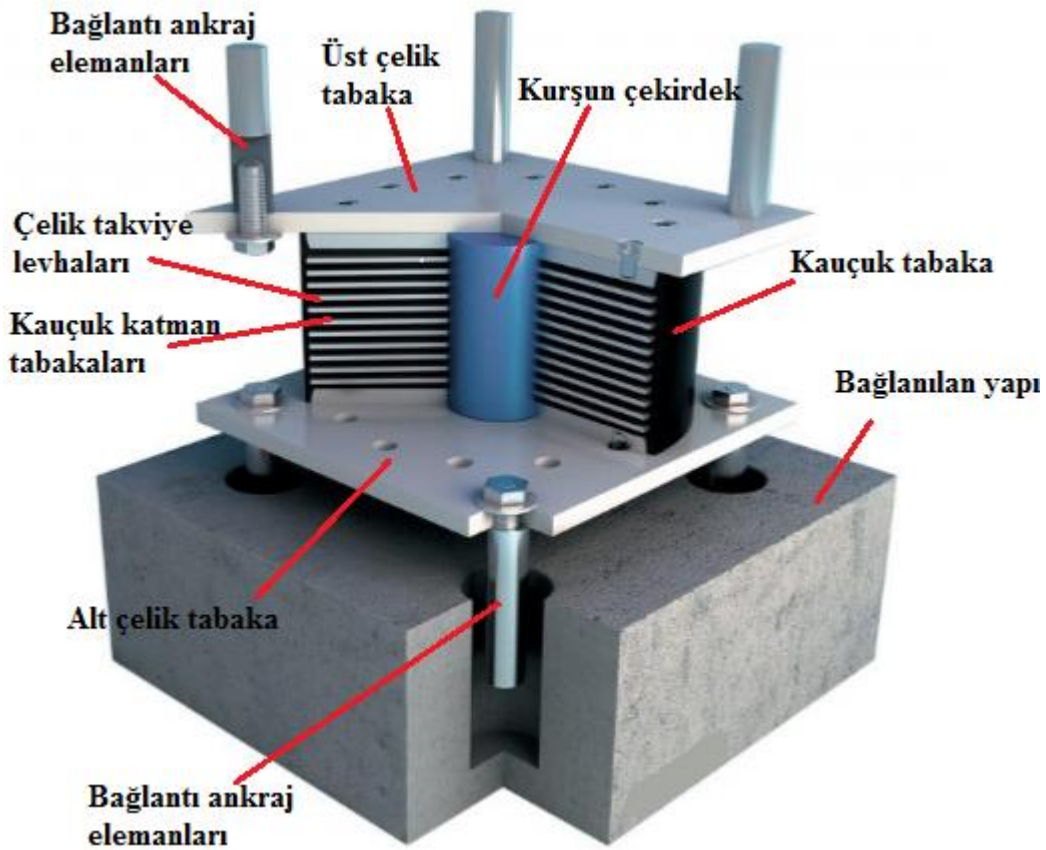
Şekil 6.2. Düşük sönümlü kauçuk izolatör detay çizimi.

6.4.2. Kurşun Çekirdekli Elastomer İzolatör (LRB)

Kurşun çekirdekli elastomer izolatör (LRB), LDRB ile benzerlik taşır. İzolatör biriminin ortasında kurşun bir çekirdek bulunur. LRB yalıtım birimi; kauçuk malzeme arasında çelik takviye plakası ile yalıtım biriminin ortasındaki kurşun çekirdekle beraber alt ve üst kısımlarında bulunan çelik başlıklardan oluşur (Şekil 6.3). Yataydaki çelik plakalar, kurşun çekirdeği yatay harekette kesmede deforme etmeye çalışır. Kurşun çekirdek yatay harekette

deforme olmaya başlayınca şekildeğiştirmesi sırasında doğrusal olmayan bir davranış ortaya çıkar (Kelly & Naeim, 1999).

Kurşun çekirdeğin amacını ikiye indirirsek öncelikli görevi sigorta olarak söyleyebiliriz. Örneğin rüzgar yükleri nedeniyle binanın hareket etmesini önler. Diğer en önemli görevi ise deprem etkileri sırasında enerjiyi emmek için esnek olmayan viskoz sönümler sağlar. Kauçuk malzeme vulkanize işlemi ile takviye edilmiş çelik plakalar, kauçuk malzemenin düşey yük altında yatay deformasyonunu engelleyerek düşey yönde rijit bir hale getirir (Allen & Bailey, 1991).



Şekil 6.3. Kurşun çekirdekli kauçuk izolator.

Kaynak: <https://www.fipmec.it/en/products/anti-seismic-devices/>

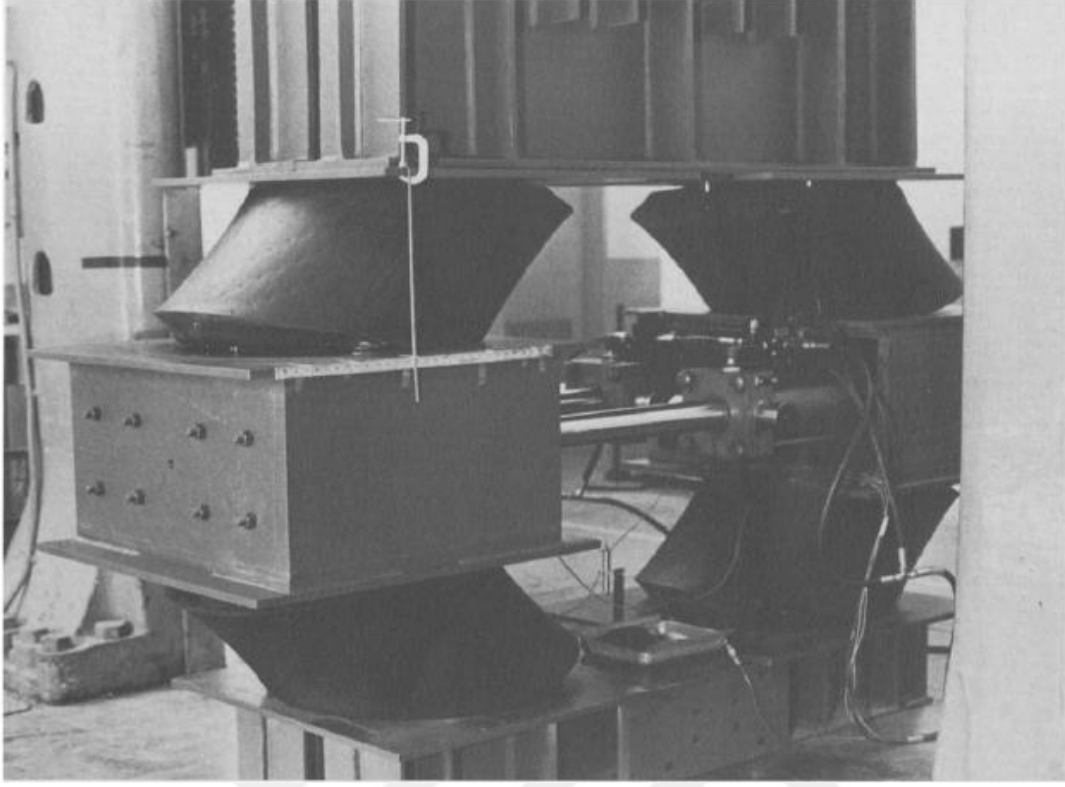
6.4.3. Yüksek Sönümlü Kauçuk Deprem Yalıtım Birimleri (HDRB)

İngiltere’de bulunan Malezya Kauçuk Üreticileri Araştırma Derneği ve Berkeley’de yer alan Kaliforniya Üniversitesi tarafından ortak yürütülen, taban izolasyonu üzerine yaklaşık 10 yıllık

bir araştırma sonucunda, ek sönüm elemanlarını ortadan kaldırmak amacı ile yeterli bir sönüme sahip doğal kauçuk geliştirilmiştir (Derham, Kelly, & Thomas, 1985).

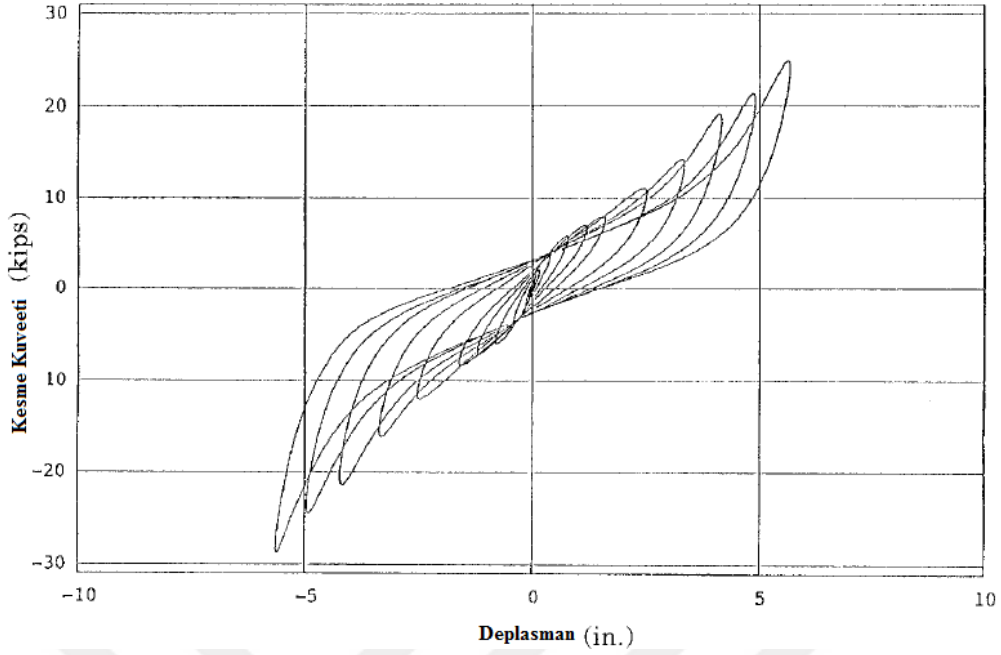
Doğal kauçuk malzemesi ek işlemler yapılarak, karbon bloklar, yağ veya reçineler ile diğer özel dolgu malzemeleri ilave edilerek, izolatörün sönüm oranı artırılmıştır. Yaklaşık olarak %100 oranındaki kayma deformasyonlarında sönüm %10-20 arasındaki değerlere ulaşmıştır. Kauçuk yalıtım birimlerinde en önemli durumlardan birisi düşük etkilerdeki davranışlarıdır. Örneğin düşük bir sismik etkide ya da rüzgar etkisi altındaki davranışı önemlidir. Bu nedenle malzeme, %20'nin altındaki kesme gerilmelerinde doğrusal değildir ve rüzgar yükünde tepkiyi en aza indirmek için yüksek sertlik ve sönümlemeye sahip olmalıdır (Kelly & Naeim, 1999). HDRB sistemlerinde de kauçuk malzemenin arasında bulunan çelik takviye plakaları volkanizasyon yapıştırma işlemleriyle yapılır (Şekil 6.6).

Derham, Kelly, & Thomas, 1985 yılında yaptıkları çalışmada HDRB sistemlerini geliştirirken, aynı anda hem düşey hem de yatay yerdeğiştirmeye izin veren özel test cihazlarında HDRB örneklerini test etmişlerdir. Earthquake Engineering Research Center (EERC)' de bulunan Southwork ve Energy test makinesi tarafından izolatör başına maksimum 5.35 NM (1.2 M lbs)'ye kadar değişen düşey yük uygulanmış ve ayrıca örneğin maksimum yatay yük altında 38 cm kadar çıkabilen yatay yerdeğiştirme ölçümleri yapılmıştır (Şekil 6.4 ve Şekil 6.5).



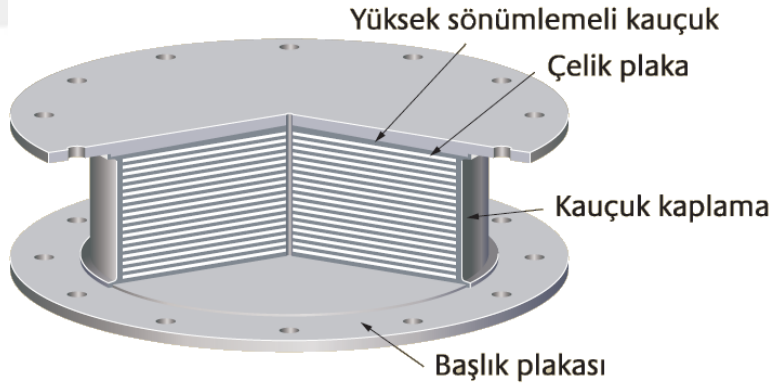
Şekil 6.4. HRDB sistemin, yatay yerdeğiştirmesi (Derham, Kelly, & Thomas, 1985).

HDRB izolatördeki sönümleme ne viskozdur ne de histeriktir, ancak ikisinin arasında gözlemlenmiştir. Tamamen viskoz bir elemanda, enerji kaybı yerdeğiştirme şeklinde 2. dereceden olabilir. Histerik bir sistemde ise yerdeğiştirme doğrusal olma eğilimindedir. EERC’de yapılan birçok deneyde birim döngüde tüketilen enerjinin, yatay deplasmanın yaklaşık olarak 1.5 kuvveti ile orantılı olduğu gözlemlenmiştir (Kelly & Naeim, 1999).



Şekil 6.5. HDRB deprem izolatörünün, yatay yük altındaki deplasman grafiğine bir örnek. Malzemenin deney numarası ID: HR030-2. Kaynak: (Kelly & Naeim, 1999).

HDRB yalıtım birimlerinin bir diğer özelliği de titreşim sönümleyici olmalarıdır. (Kelly & Naeim, 1999).



Şekil 6.6. Yüksek Sönümleyici Kauçuk İzolatör Birimi (HDRB). Kaynak: Bridgestone deprem izolatörü kataloğu (<https://depremizolasyon.com/>).

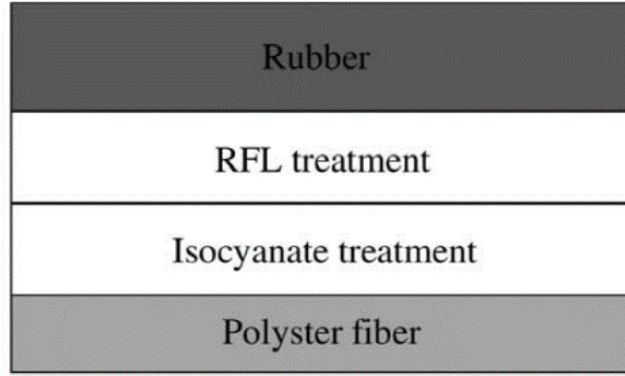
6.4.4. Fiber Takviyeli Elastomerik İzolatörler (FREI)

Fiberle güçlendirilmiş elastomerik izolatörler (FREI'ler), çelik yerine takviye malzemesi olarak fiber kumaş kullanan yeni bir elastomer yalıtım birimidir (Şekil 6.9). FREI'lerin geleneksel çelik takviyeli elastomerik izolatörlere (SREI'lere) göre üstün sönümleme özellikleri, daha düşük üretim maliyeti, hafiflik ve istenilen boyutta kesilebilen izolatörlerle uzun dikdörtgen şeritler halinde üretilme olasılığı dahil olmak üzere bir çok avantajı vardır (Toopchi-Nezhad, Tait, & Drysdale, 2008). Yüksek sönümlü doğal kauçuk ile yapılmış FREI ürünleri, geleneksel

elik takviyeli elastomer yalıtım birimleri ile karşılaştırılabilecek kadar sönüm oranlarına sahiptirler (Russo, Pauletta, & Cortesia, 2013). Deprem yalıtım birimleri genellikle bir ton veya daha fazla ağırlıkta olabilirler. Depreme karşı dayanıklı yapı tasarımında etkili olan bu değerli stratejik ürünün, okul binalarında, konutlarda ve az katlı sayıca fazla olan ticari binalarda da kullanımını artırmak gereklidir. Bir elastomer yalıtım birimini temel olarak kauçuk-elik kompozit eleman olarak niteleyerek temel ağırlık kaynağının dikey sertlik değerini oluşturmaları için eklenen elik plakalar olduğu söylenebilir. Genel olarak bir elastomer yalıtım birimi, iki büyük başlık plakasına (Yaklaşık 2.54 cm) ve 20 adet ince takviye plakasına (yaklaşık 3 mm) sahip olabilir. Maliyeti artıran işlemler; elik levhaların hazırlanması ve elastomer katmanların elik levhalarla bir kalıpta volkanizasyon ile yapıştırılmasıdır. elik levhalar kesilir, kumlanır, asitle temizlenir ve daha sonra bağlayıcı bileşik ile kaplanır. Daha sonra, birbirine birleştirilmiş olan elik plakalar ile elastomer katmanlar bir kalıba konur ve imalat sürecini tamamlamak için basınç altında ısıtılır (Kelly J. M., 1999). Bu işlemler kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimleri için de benzerdir. Tüm bu pahalı ve zahmetli işlemleri ortadan kaldırabilmek için bağlanmamış fiber takviyeli elastomer yalıtım birimleri geliştirilmektedir. elik takviye plakalarının elastomer yalıtım birimlerinden kaldırılması ve bunların yerine fiber takviye ile değiştirilmesinin, deprem yalıtım birimlerinin hem ağırlığını azaltacağı aynı zamanda da maliyetini azaltabileceği öngörülmektedir. Deneysel alışmalar, binaların sismik yalıtımı için kullanılan izolatörlerde elik takviye plakaların fiber kumaş ile değiştirilmesi olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir (Moon, Kang, Kang, & Kelly, 2002).

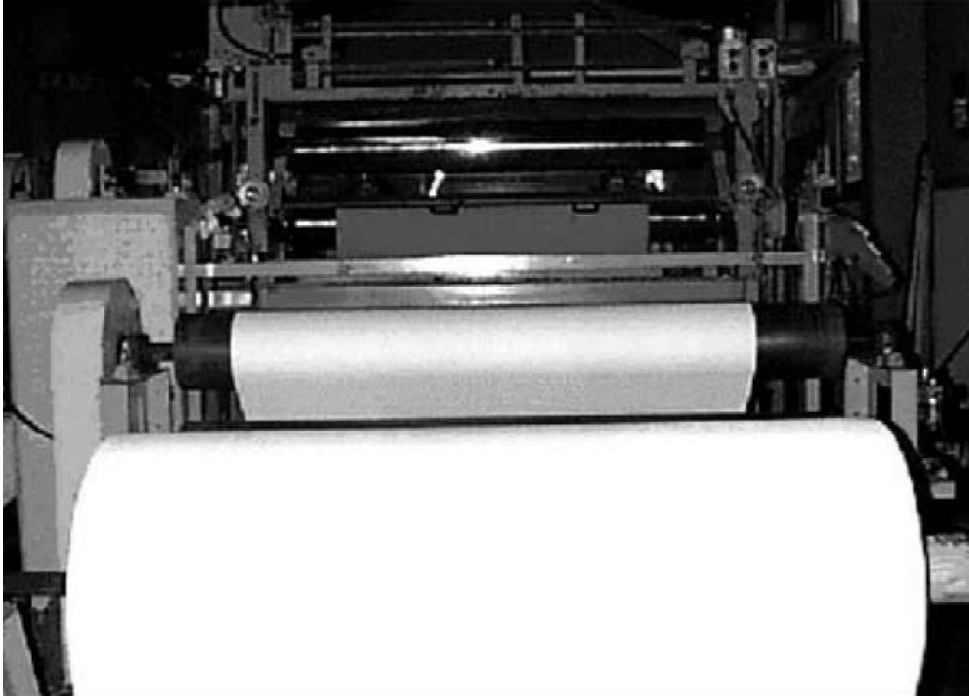
6.4.4.1. FREI'nin Tasarımı ve Üretimi

Fiber takviyeli elastomer yalıtım biriminin deprem etkisine karşı koyabilmek için kullanılan fiber malzemenin yüksek çekme rijitliğine ve yüksek uzamaya sahip olması gereklidir. Bu özelliklerin kazanılabilmesi için doğal kauçuk malzeme ile kimyasal malzemeler birkaç kez karıştırılır. Hammaddeler doğal kauçuk ve fiber kumaştır. Fiber malzeme, izosiyanin ve resorsinol formaldehit lateks (RFL) işleminden oluşan bir daldırma işleminden geçer. Bu daldırma işlemleri Şekil 6.7.'de şematik olarak ve Şekil 6.8.'de uygulama olarak görülebilir.



Şekil 6.7. Fiber malzemenin daldırma işlemi şematik gösterimi.
Kaynak: (Moon, Kang, Kang, & Kelly, 2002).

Şekil 6.7.'de görülen; rubber: doğal kauçuk, RFL treatment: resorsinol formaldehit lateks, Isocyanate treatment: izosiyanin işlemi, Polyster fiber: Polyester fiber kumaş anlamında şematik olarak göstermektedir.



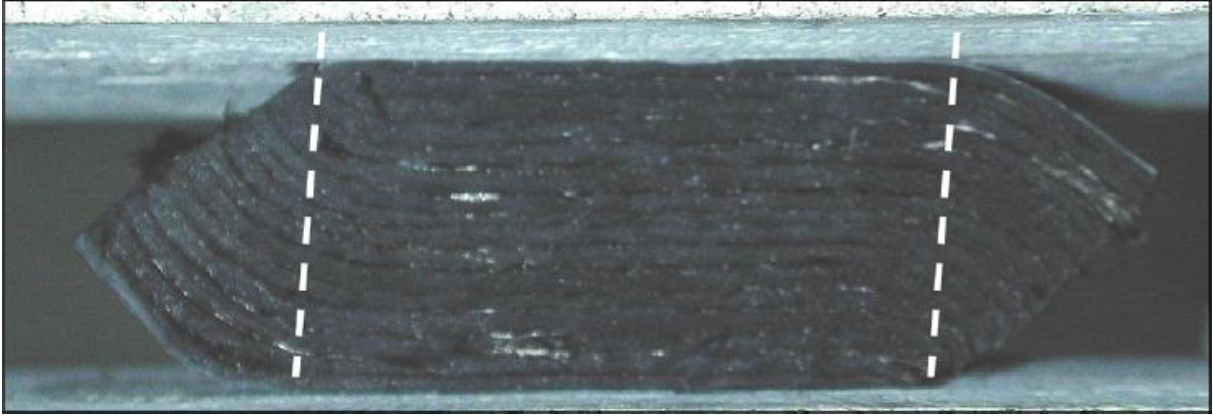
Şekil 6.8. Fiber kumaş ile doğal kauçuk daldırma işlemi.
Kaynak: (Moon, Kang, Kang, & Kelly, 2002).



Şekil 6.9. FREI deprem yalıtım birimi (Moon, Kang, Kang, & Kelly, 2002).

6.4.4.2. FREI’lerin Kullanımı ve Mekanik Özellikleri

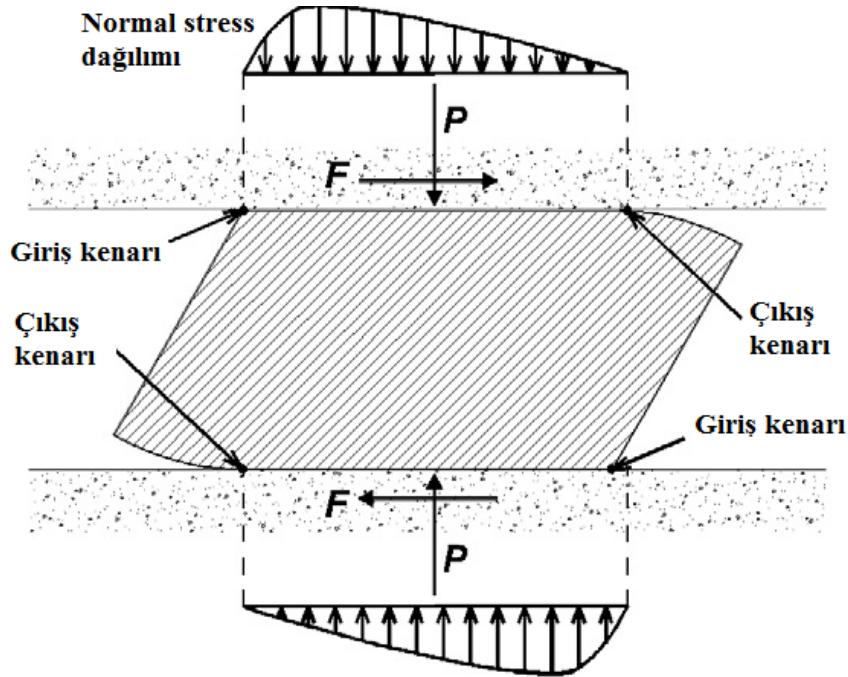
FREI’lerde kullanılan kumaş teknolojisi çeliğe göre hammadde bazında pahalı olsa da çeliğin kumlama, kesme, asitle temizleme ve bağlayıcı malzeme ile kaplama masrafları ile ağırlığa bağlı nakliye ve işçilik masrafları hesaba katıldığında, FREI’lerin geleneksel elastomer yalıtım birimlerine göre maliyet açısından daha avantajlı olduğu söylenebilir. Geleneksel elastomer mesnetlerin yapı ile bağlantısında kalın çelik plakalar kullanılır. Bu plakaların işçiliği ve ağırlığı maliyet olarak yansır. Mekanik olarak ise; yatay deformasyonda saf kesmeye maruz kaldığı düşünülebilir. Bu yatay deformasyon sırasında çelik plakalar ve elastomer malzeme arasında yüksek çekme gerilmeleri gerçekleşir ve yalıtım biriminin ayrıca bu çekme gerilmelerini de karşılaması gerekir (Russo, Pauletta, & Cortesia, 2013). Literatürdeki son çalışmaların, geleneksel elastomer izolatörlerin üretimindeki yoğun işçilik ve şantiye sahasındaki montaj masrafını azaltmaya yönelik olarak, bağlanmamış fiber takviyeli elastomer izolatörler (U-FREI) konusunda yoğunlaştığı söylenebilir. Bu durumun sebebi; izolatörlerin yapı ile bağlantısının yapılması için ayrıca bir işçilik, ek nakliye ve malzeme masrafına gerek duyulmasına karşın, U-FREI’lerin ankrajsız olarak uygulanabilmesinin getirdiği ek kolaylıklardır. Kapasite olarak, çelik takviyeli elastomer yalıtım birimleri (SREI) ile U-FREI karşılaştırması yapıldığında, genel olarak U-FREI’lerin izolasyon kapasitelerinin SREI’lerin kapasitesinden daha iyi olduğu söylenebilir (Pauletta, Di Luca, Russo, & Fumo, 2018).



Şekil 6.10. U-FREI'lerin yatay deformasyon durumu.

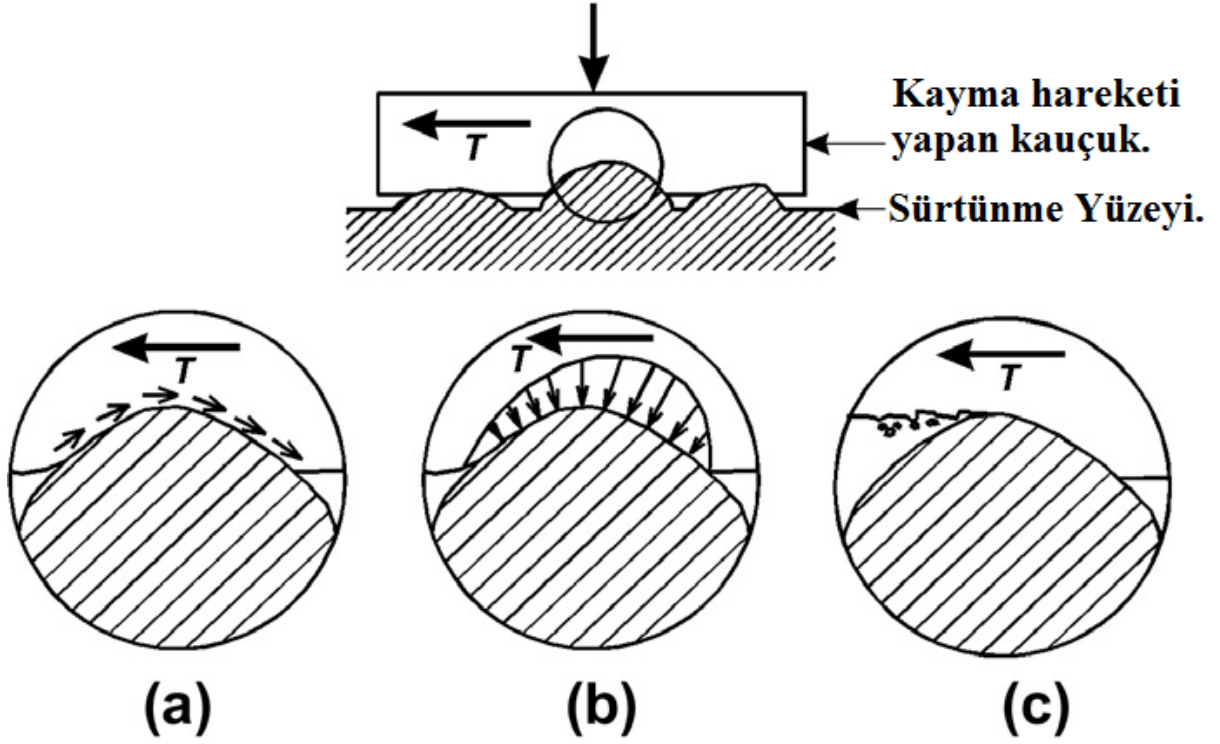
Kaynak: (Russo, Pauletta, & Cortesia, 2013).

Şekil 6.10'da U-FREI'lerin yatay deformasyon durumunda uç kısımlarında, resimde kesikli çizgilerin dışında kalan kısımlarda, fiber kumaş ile elastomer malzeme arasında yüksek bir çekme gerilmesi meydana gelmez (Şekil 6.11). Böylece fiber malzeme ile elastomer malzeme arasında üretim işlemleri sırasında volkanizasyon işlemi yeterli kalabilir. Elastomer malzeme ile fiber takviye kumaşının mekanik özellikleri basınç konusunda tam olarak zıttır. Modelleme konusunda U-FREI geleneksel elastomer yalıtım birimlerine göre daha karmaşık olabilmektedir (Russo, Pauletta, & Cortesia, 2013).



Şekil 6.11. Düşey ve yatay kuvvete maruz kalan U-FREI modeli.

Kaynak: (Russo & Pauletta, 2013).



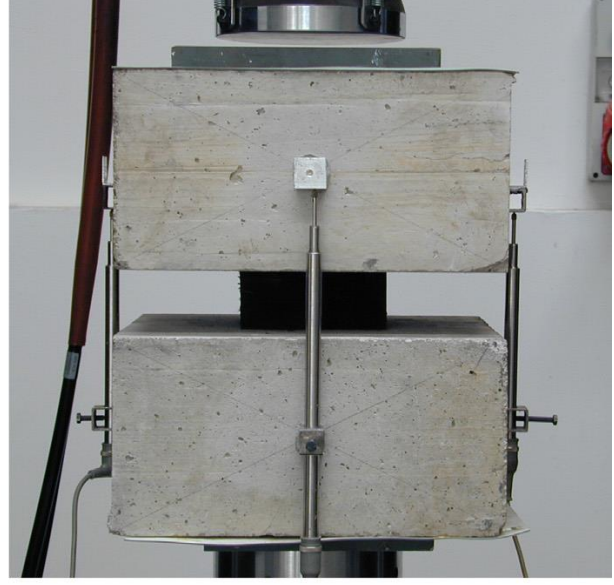
Şekil 6.12. Sürtünme bileşenleri: (a) yapışma, (b) deformasyon ve (c) yırtılma/aşınma.
Kaynak: (Russo & Pauletta, 2013).

Elastomer izolatörlerin beton temas yüzeyine bağlantı elemanı olmadan tatbik edilmesi durumunda, elastomer ile beton malzeme arasında kayma durumunda 3 farklı şekilde sürtünme direnci oluşur (Şekil 6.12 a-b-c): Kauçuk ile beton yüzey arasında kullanılması durumunda yapıştırıcı kuvveti veya geçici moleküler bağ, deformasyon sırasındaki sürtünme direnci (b) ve aşırı yükleme durumunda kauçuğun yırtılma anındaki çekme kuvvetleri ile oluşur (c) (Russo & Pauletta, 2013).

U-FREI'lerin üretiminde betonarme yapı güçlendirmesinde kullanılan karbon fiber kumaşlar kullanılabilir. Şekil 6.13.(a)'da U-FREI'lerin basınç altındaki düşey yerdeğiştirme değerlerinin ölçümü için kullanılan sıkıştırma testinin kurulumu görülmektedir. Burada MTS makinasının hidrolik birimi kullanılarak uygulanan düşey kuvvet etkisiyle numunenin sıkışma miktarı Şekil 6.13.(b)'de görülen deplasman ölçerler (inductive transducers) yardımıyla okunur.



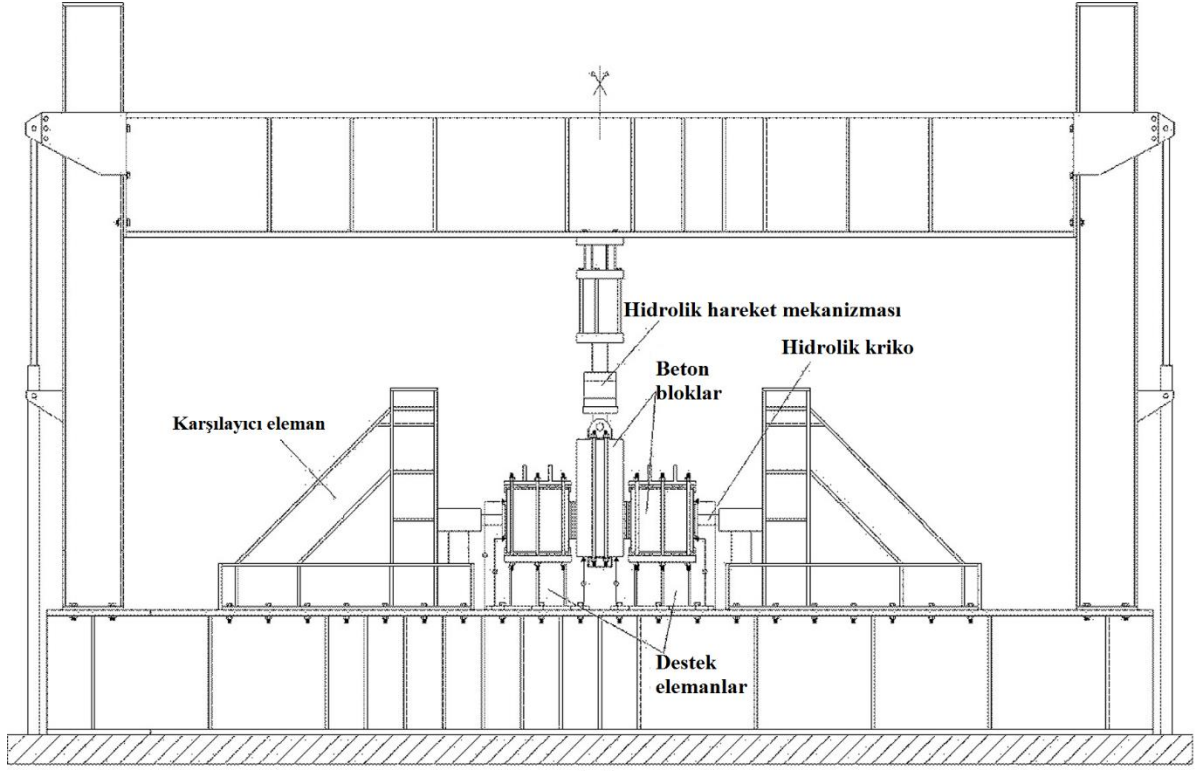
(a)



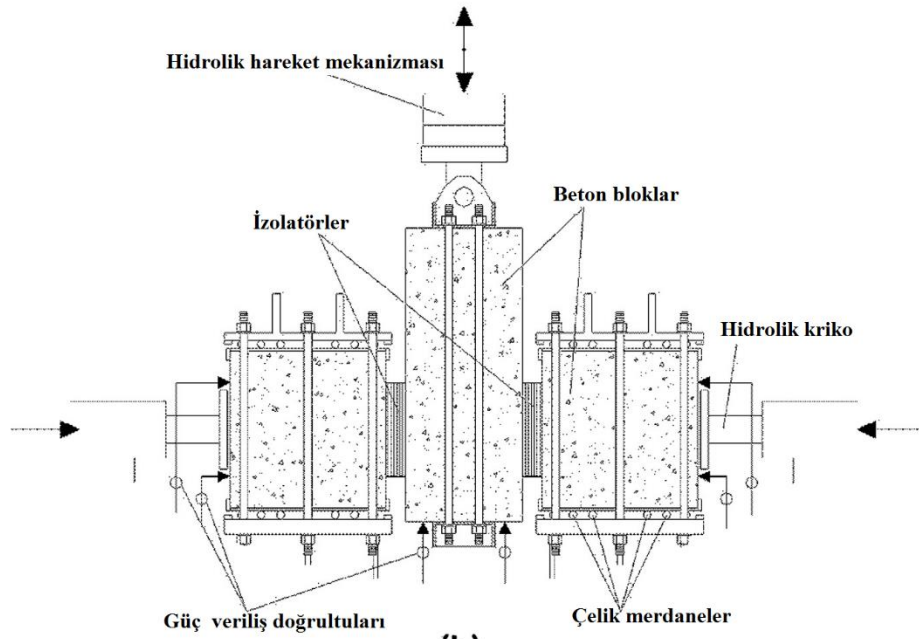
(b)

Şekil 6.13. U-FREI’lerin mekanik özelliklerini belirlemek için kurulmuş MTS makinası düzeneği. (a) Sıkıştırma testi düzeneği (b) Endüktif dönüştürücüler (inductive transducers).
Kaynak: (Russo, Pauletta, & Cortesia, 2013).

U-UFREI’lerin basınç altındaki yatay yerdeğiştirme durumlarının incelenebilmesi için kurulan test düzeneği Şekil 6.14’de şematik olarak belirtilmiştir. Burada; numuneler beton bloklar arasına düşey olarak yerleştirilip sistemde bulunan hidrolik krikolar yardımı ile basınç kuvvetine maruz kalabilmektedir. Kayma durumu normal bir yapıda, izolatörün üzerinde bulunan hali hazırdaki yapı yükü varken deprem kuvvetiyle gerçekleşebilir. Yatay yerdeğiştirme için düşey yönde bir kesme kuvveti oluşturacak hidrolik hareket mekanizması kullanılmıştır. Bu düzenekte (Şekil 6.14.) beton bloklar arasında teste tabi tutulan numuneler U-FREI olduğu için herhangi bir ankraj olmaması nedeni ile beton yüzeyler test öncesinde yüzey pürüzlendirme işlemine tabi tutulabilir. Şekil 6.14. (b)’de, basınç altında yatay yerdeğiştirme hareketinin gözlemlenmesi için kurulan düzeneğin ayrıntısı bulunmaktadır. Şekil 6.15’de ise şematik olarak gösterilen Şekil 6.14 (b)’nin uygulamadaki deney sistemini göstermektedir.



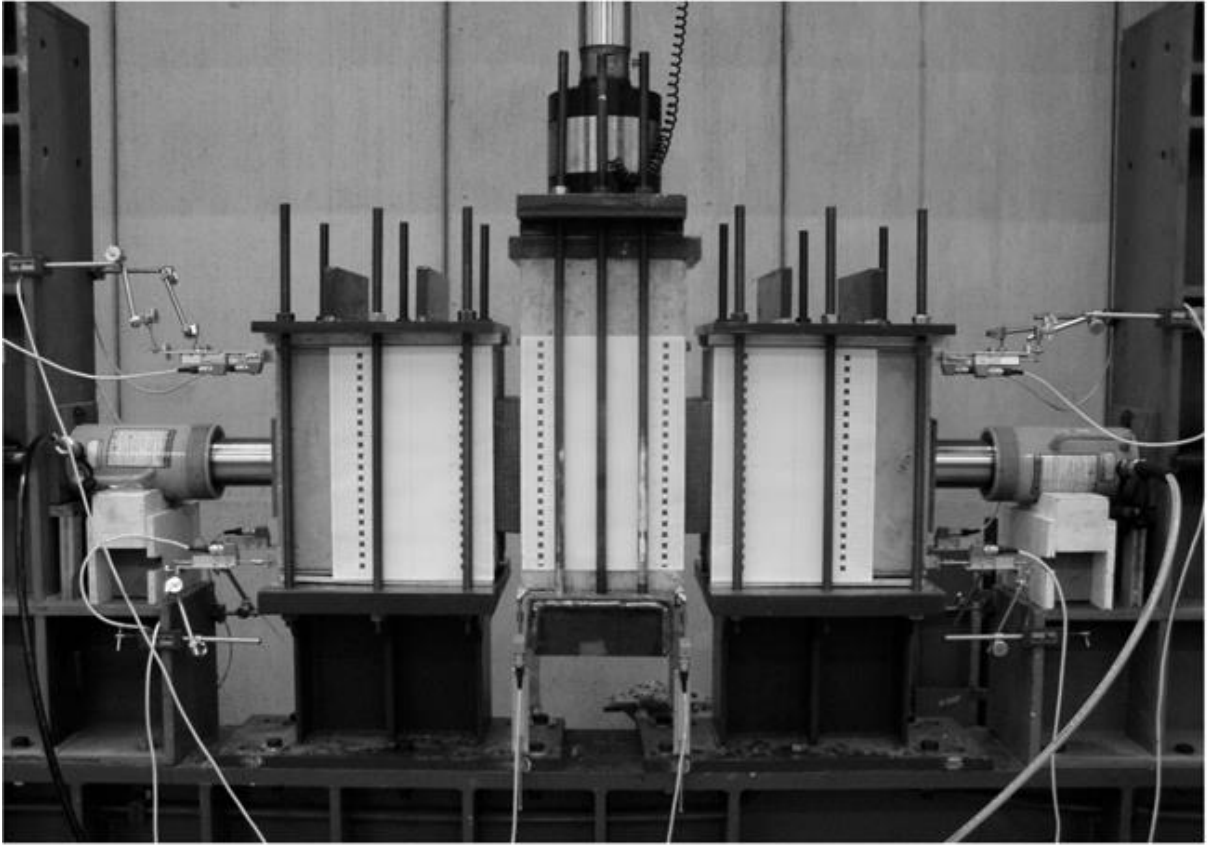
(a)



(b)

Şekil 6.14. U-FREI'nin basınç altında kesme yerdeğiştirmesi için kurulan deney düzeneği şematik gösterimi.

Kaynak: (Pauletta, Cortesia, & Russo, 2015).



Şekil 6.15. U-FREI’lerin basınç altındaki kesme yerdeğiştirme şekillerini incelemek için kurulan deney sistemi.

Kaynak: (Russo & Pauletta, 2013).

Tarihi öneme sahip yığma yapıların güçlendirme tasarımlarında bir seçenek olarak U-FREI’lerin kullanımı faydalı olacağı belirtilmiştir (Pauletta, Di Luca, Russo, & Fumo, 2018). Çünkü U-FREI’lerin kullanımında özellikle montaj esnasında bir ankraj elemana ihtiyaç olmamasının, sahadaki uygulamada maliyetin dışında yapıya etki eden bağlantısal bir deformasyona yol açmaması bakımından önemlidir.

6.4.4.3. FREI’nin Literatürdeki Yeri

Kelly (1999), analitik olarak FREI izolatörlerin davranışlarını araştırmıştır. Normalde çelik plakalarla yapılan takviye elamanlarının yerine fiber kumaş kullanılarak elastomer yalıtım biriminin davranış şekillerini incelemiştir. Çalışmasında lif esnekliğinin, dikey ve yatay sertlik gibi mekanik özelliklere etkisini araştırmış ve çelik takviyeli elastomer izolatörün davranışına yakın bir lif takviyeli izolatörün üretilmesine katkı sağlamıştır. Araştırmanın temel amacı, çelik takviye plakaları ortadan kaldırarak ve bunların yerine bir fiber takviye kullanılarak izolatörlerin hem ağırlığının hem de maliyetinin azaltılabileceğini önermektir.

Moon ve diğ. (2002), çalışmalarında, fiber takviyeli elastomerik izolatörlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için bir takım deneysel analizler yapmışlardır. Deneylerin amacı normalde çelik plakalarla sağlanan elastomer yalıtım birimi performanslarının fiber takviyelerle sağlanması ve farklı fiber donatı türleri arasındaki farkları ortaya çıkartmaktır. Çalışmada, FREI özelliklerinin açıklanabilmesi için 3 çeşit test gerçekleştirilmiştir. Farklı fiber takviye malzemesi türlerinin kesme modülleri üzerindeki etkileri, yatay bir test işlemi ile araştırılmıştır. İlk olarak, dört çeşit naylon elyaf takviyeli elastomer karşılaştırılmıştır. İkinci olarak, cam FREI ve karbon fiber elastomerik izolatör için yatay ve dikey özelliklerin etkileri araştırılmıştır ve karbon elyaf takviyesinin dikey sertliğinin cam elyaf takviyesinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Üçüncü testte ise, karbon takviyeli elastomerik izolatör ve SREI'lerin mekanik özellikleri karşılaştırılmış ve karbon lif takviyesinin dikey sertliğinin, çelik takviyenin dikey sertliğinden üç kat daha fazla olduğu sonucu elde edilmiştir.

Toopchi-Nezhad ve diğ. (2008), yaptıkları çalışmada; düşük katlı hafif konut veya ticari binalarda deprem izolatörü olarak kullanılması amacı ile, Mc Master Üniversitesi'nde yapılan, bağlanmamış FREI (U-FREI) cihazlarının yerdeğiştirme ve sönüm özelliklerini sorgulayan düşey sıkıştırma ve yatay döngü testlerinin raporlarını sunmuşlardır. Bu çalışmada, karbon fiber takviyesinin, yapılan düşey sıkıştırma deneylerine göre izolatör çalışma prensibi bakımından kabul edilebilir bir düşey sertlik sağladığını belirtmiştir.

Russo ve Pauletta (2013) çalışmalarında; bağlanmamış, yapıya sabitlenmemiş fiber takviyeli elastomer izolatörler (U-FREI) ile yapı arasındaki sürtünme davranışını, çift yönlü U-FREI kullanarak deneysel yöntemlerle incelemişlerdir. Bu deneylerde basınç gerilimi düzeyi, kauçuk tipi, beton yüzeyin pürüzlülüğü, yaşlanma ve yükleme hızı gibi farklı parametrelerin sürtünme davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deney sonuçlarında, kauçuk tipi izolatör ile betonarme yüzey arasındaki sürtünme direncinde betonarme yüzeyin pürüzlülüğünden daha etkili bir değişken olduğunu, kayma kararsızlığı denilen izolatörün kontrolsüz kayması durumunun düşük sayılabilecek gerinim değerlerinde, örneğin 0.5 MPa'den küçük, meydana geldiğini belirtilmiştir.

Russo ve diğ. (2013) çalışmalarında, bağlanmamış fiber elastomer izolatörler (U-FREI'ler) ile bu izolatörlerin yatay deformasyon davranışında ortaya çıkan modelleme sorununa ilişkin doğrusal hesap yöntemlerinde kullanılabilecek bir ifade önermişlerdir. Deneysel

çalışmalarındaki izolatörlerde; sentetik kauçuk (neoprene) (durometre sertliği $60 \pm 5 \text{ G} = 0.9 \text{ MPa}$), düşük sönümlü neoprene (durometre sertliği $60 \pm 5 \text{ G} = 1.15 \text{ MPa}$) ve yüksek sönümlü doğal kauçuk (durometre sertliği 54.5 ± 5 , kesme modülü $= 0.8 \text{ MPa}$) olmak üzere 3 farklı elastomer malzeme kullanmışlardır. FREI'lerin takviye elemanı olarak kullanılan karbon fiber kumaş olarak; çift yönlü ve dört yönlü olmak üzere iki çeşit malzeme kullanılmıştır. Bunlardan çift yönlü ve dört yönlü olarak imal edilmiş olan karbon fiber kumaşların sırası ile yüzey yoğunlukları 200 g/m^2 ve 380 g/m^2 , kalınlıkları 0.112 mm ve 0.212 mm olup her iki kumaş içinde nihai kumaş mukavemeti 3500 MPa 'dır. Teste tabi tutulan numunelerin bazılarında yaşlandırma durumu da hesaba katılmıştır. Yaşlandırma işlemi için bazı numuneler 21 gün boyunca 70°C ısıya maruz bırakılmışlardır. Tüm bu değişkenler ile birlikte 17 adet FREI üzerinde basınç ve basınç ile eğilme testleri yapılmıştır. Çalışma ile FREI'lerin basınç ve basınç ile birlikte kesme deney sonuçları karşılaştırılmış, ayrıca FREI'ler için doğrusal denklemler sunulmuştur.

Pauletta ve diğ. (2015) bağlanmamış fiber takviyeli elastomer izolatörlerin yuvarlanma kararsızlığı durumunu deneysel ve analitik olarak incelemişlerdir. Bu amaçla farklı en boy oranlarındaki numuneleri farklı sıkıştırma seviyelerinde deneylere tabi tutup U-FREI'lerin yuvarlanma durumlarında, en boy oranının artmasıyla eşit düzeyde basınç altında U-FREI'lerin yuvarlanma yerdeğiştirmesinin arttığını ortaya koymuşlardır. Aynı en boy oranına sahip numuneler için ise uygulanan basınç gerinimi artırılarak deneye tabi tutulduğunda yuvarlanma yerdeğiştirmesinin önce arttığı sonrasında azaldığı belirtilmiştir.

Pauletta ve diğ. (2018) tarihi öneme sahip yığma bir yapıda, 6 adet kare şekilli bağlanmamış fiber takviyeli elastomer izolatör (U-FREI) ve altı adet düz yüzey kaydırıcılar (FSS) ile hibrit tabanlı bir sismik izolasyon sistemi tasarlayarak, deprem etkisi altında davranışlarını sonlu elemanlar modelinde doğrusal ve doğrusal olmayan analizler yaparak incelemişlerdir. Tarihi yığma yapılarda U-FREI etkinliğini güçlendirme çalışmalarında göstermişlerdir. Yapılan çalışmada, İtalya'da bulunan tarihi yığma yapı örneğinin mevcut durumu incelenmiş ve yapılış tarihinden bugüne kadar geçen zaman diliminde meydana gelmiş olabilecek depremler ile bunların olası etkileri incelenmiştir. Mevcut durumda, hibrit koruma modeli ve çelik takviyeli elastomer izolatörler (SREI) arasında kapasite bakımından karşılaştırma yapılmış ve genel olarak U-FREI'lerin izolasyon kapasitelerinin SREI'lerin kapasitesinden daha iyi olduğunun söylenebileceği ifade edilmiştir. Çalışmanın bir diğer önemi ise mevcut bir yığma yapının U-

FREI ve FSS cihazlarının hibrit bir şekilde kullanımının bilgisayar analizlerindeki yöntemlerini de açıklamasıdır.

Losanno ve diğ. (2019) çalışmalarında, gelişmekte olan ülkelerde sayıca fazla olan hafif konut binalarında kullanılması amaçlanan fiber takviyeli elastomer izolatörlerin (FREI ve U-FREI) 2 farklı takviye elemanı, polyester elyaf kumaş ve çift yönlü karbon fiber kumaş kullanarak karbon takviyeli izolatörlere alternatif olabilecek polyester elyafla güçlendirilmiş U-FREI'lerin deneysel ve analitik araştırmasını sunmuşlardır. Deneye tabi tutulan izolatör numuneleri, sertlik ve sönüm gibi mekanik özelliklerini belirlemek için sıkıştırma ve kesme altında test edilmiş olup bu deneylerde, elastiklik modülü 1176 MPa olan 1.0 mm çift yönlü polyester elyaf kumaş ve elastiklik modülü 234.000 MPa olan 0.23 mm çift yönlü karbon fiber kumaş takviye elemanı olarak izolatör üretiminde kullanılmıştır. Polyester elyafların fiyatının karbon elyaftan çok daha düşük olduğu gerçeği göz önüne alındığında, gelişmekte olan ülkelerde düşük maliyetli bir sismik izolasyon sistemi olarak uygulanma potansiyeli daha yüksek olan çok umut verici bir seçenek gibi görüldüğü belirtilmiştir. Çalışmadaki deneysel sonuçlara göre, dikey esnekliği de hesaba katarak U-FREI'lerin yatay sertliğini tahmin etmek için analitik bir formülasyon geliştirilmiştir. Bu formülasyonun liflerin dikey davranış üzerindeki etkisini göz önünde bulundurarak hem etkin kesme modülü hem de temas alanı dikkate alınarak farklı esnek takviyeli FREI'lerin yatay davranışını tahmin etmek için kullanılabileceği belirlenmiştir.

Lesmana ve Sugihardjo (2019) çalışmalarında; modifiye dairesel delikli-güçlendirilmiş elastomer izolatörlerin (MC-PREI'ler) dikey özelliklerini hem deneysel hem de 3 boyutlu sonlu elemanlar programında analiz ederek araştırmışlardır. Konut tipi hafif yapılarda kullanılabilecek izolatörlerin etkinliklerini artırmaya yönelik bir çalışmadır. Yatay rijitliğin azalması ile hafif yapılarda izolatör kullanımı etkinliği artacaktır. MC-PREI'lerin de öncelikli amacı, izolatörün yüklü alanını azaltarak yatay rijitliği azaltmaktır. Çalışmada dairesel izolatörlerden 4 farklı geometrik şekil, izolatör merkezlerinden çıkartılan dairesel şekil ile oluşturulmuş (simit şekline benzer) yüklü alandaki geometrik farklılıklar ile düşey etki durumları araştırılmıştır. Buna göre izolatördeki bir iç modifikasyonun (geometrik azalmanın) daha büyük çapta olması, tipik olarak izolatörün iç tarafında olmak üzere elastomer tabaka üzerinde şişkinlik etkisi olasılığını artırdığı sonucuna varılmıştır.

Pauletta (2019), çalışmasında; bağlanmamış fiber takviyeli elastomer izolatörler (U-FREI) ve çelik takviyeli elastomer izolatörler (SREI) kullanarak her iki deprem izolatörünün deprem etkisi altında binaların davranışlarına etkilerini 6 katlı betonarme bir binada ayrı ayrı analiz ederek karşılaştırmalı bir örnek sunmuştur. Bina periyotları 6 katlı yapının yüksekliği 18 m olarak hesaba alınmış olup bu değere karşılık gelen ampirik titreşim periyodu 0.66 s olarak belirtilmiştir. U-FREI kullanarak yapılan hesaplamalarda bina periyodu 2.21 s değerine yükselmiş olup bina periyodu değeri SREI kullanımında 2.23 s olarak hesaplanmıştır (1. Mod periyotları). İzolasyonlu örnekte taban izolasyonsuz örneğe göre taban kesme kuvvetinde %40'ın üzerinde bir azalma görülmüştür. Yapısal olmayan elemanların bütünlüğünün U-FREI kullanımında bozulmadığı rapor edilmiştir. Boyutsal olarak kullanılan U-FREI ile SREI'lerin birbirlerine geometrik yakınlıkları bulunmaktadır. Bu çalışmada takviye ve elastomerin mekanik özellikleri ile U-FREI tasarımı ve analizi adım adım belirtilmiştir.

6.5. Sürtünme Esaslı Kayıcı Deprem İzolatörleri

6.5.1. Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatörler (FPS)

Sürtünmeli sarkaç (FP) izolasyon birimleri ile ilgili ilk analitik ve deneysel çalışmalar Zayas, Low, ve Mahin tarafından 1897 yılında yapılmıştır. Sürtünmeli sarkaç tipi izolatörler (FPS) yatay hareketi ve geri yükleme döngüsünü geometri ile birleştiren sistemdir (Şekil 16.6). FPS izolatörü, paslanmaz çelik küresel bir yüzey üzerinde hareket edebilen mafsallı bir kaydıraca sahiptir. Sistemde geri yüklemeyi sağlayan kuvvet, hareketli mafsallın kaydırıcı yüzeydeki hareketi sırasında yükselmesi ile oluşur. Mafsallı sürgü diyebileceğimiz bu kısmın hareketi sırasındaki yüzeyler arasında sürtünme kuvveti oluşur ve bu sürtünme sönmeyi sağlar. Bu tür izolatörlerde önemli parametrelerden birisi de FPS izolatörünün eğrilik yarıçapıdır. Yapının izolasyon süresi, iç bükey küresel yüzeyin eğrilik yarıçapı ile kontrol edilir (Kelly & Naeim, 1999).

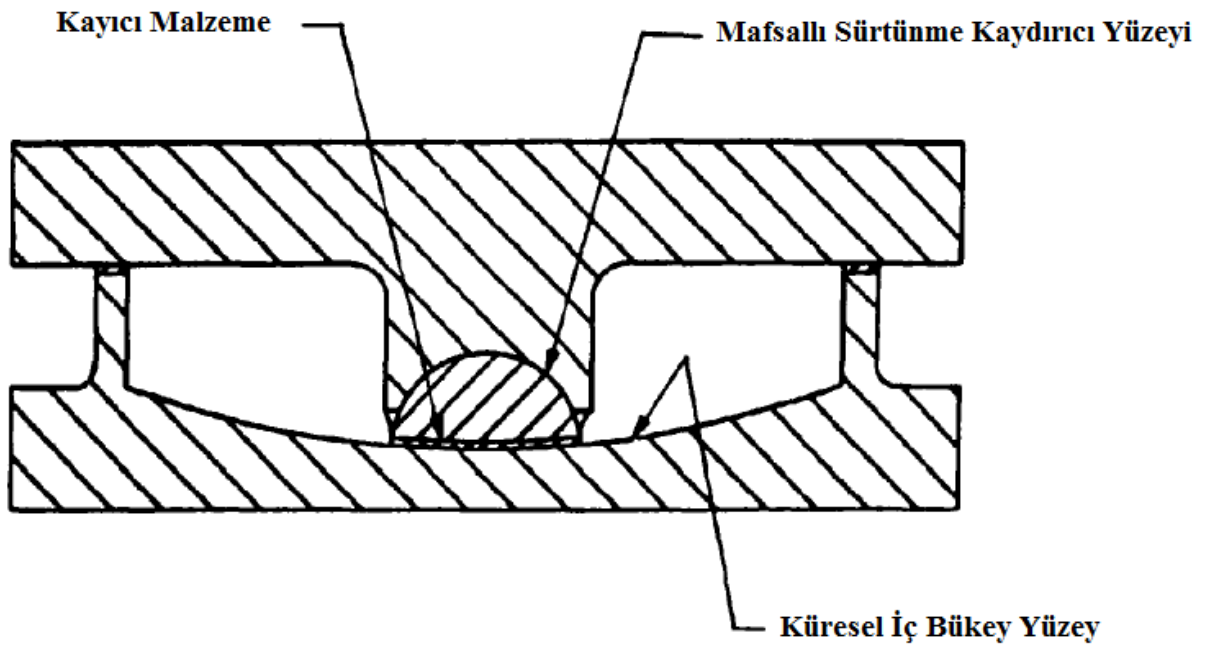
FPS izolatörlerin davranışları basit bir sarkaç gibidir ve temel prensipleri benzerdir. Örneğin sistem periyodu kütleden bağımsızdır. Bu durum eğimli bir yüzeyde aşağı yönde yuvarlanmakta olan bir küresel cismin ivmesinin kütlesinden bağımsız oluşuna benzetilebilir. Basit sarkacın periyodu bağlı bulunduğu ipin uzunluğu ve yerçekimi ivmesi ile bağlantılıdır. Yokuş aşağı yuvarlanan küresel cismin ivmesi yerçekimi ivmesi ve yüzeyin eğimi ile bağlantılıdır. FPS izolatörlerinde de etkili parametrelerden biri eğrilik yarıçapıdır.

FPS izolatör sistemlerinde eğri yüzey altta veya üstte olabilir (Şekil 6.18). Her iki durumda da benzer davranış görülür (Şekil 6.17). Eğri yüzeyin altta veya üstte olması durumu bazı uygulamalarda önemli olmaktadır. Örneğin mesnetlerin çatılarda veya köprülerde olduğu durumlarda izolatörler kolonların üstünde kullanılır. Eğri yüzeyin yukarı tarafta olması bu durum için tercih edilebilir çünkü dışmerkezlikten dolayı kolonlarda $P-\Delta$ momentleri engellenmek istenmektedir (Zayas V. , Low, Bozzo, & Mahin, 1989).

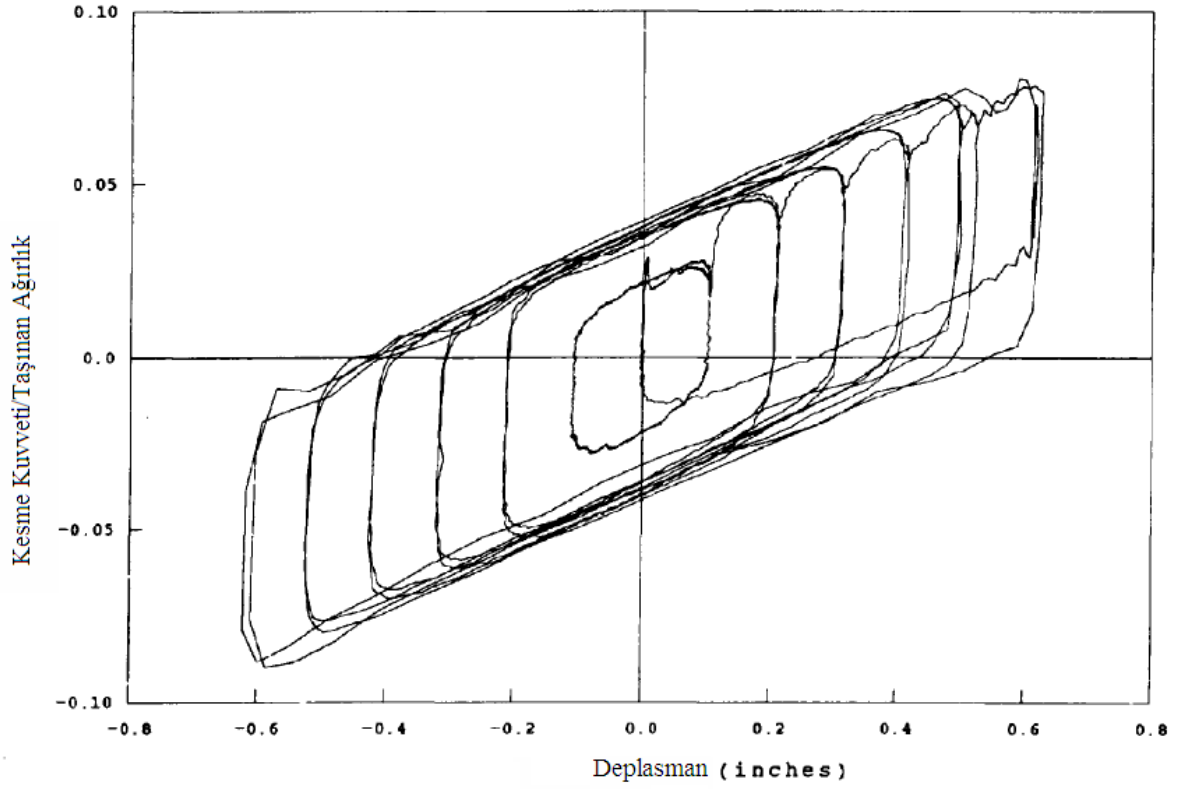
FPS deprem izolatör sistemleri; geometrik şekillerine ve çalışma prensiplerine göre, çift veya tek ya da üç sürtünme yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi izolatör şeklinde çeşitlendirilmesi yapılabilir.

FPS izolatörlerinin yapı tasarımında kullanımını öne çıkartan bir etmen de, yatay rijitliklerin karşılanan ağırlıkla doğru orantılı oluşudur. Bu sayede yapının kütle merkezi ile rijitlik merkezi üst üste gelmiş olur ve burulmadan kaynaklanan momentler düşmüş olur.

FPS tipi izolatörler ile yalıtılmış binalar, izolatörü harekete geçirecek sürtünme kuvvetinin altındaki deprem etkilerinde, ankastre mesnetli yapı gibi davranır. Deprem etkileri bu sürtünme kuvvetini aştıktan sonra yatay hareket başlar ve yapı sisteminin periyodunu yükseltir. Böylelikle artan periyod ile birlikte deprem kaynaklı sismik etkileri azaltmak için deprem izolasyonu sağlanmış olur (Zayas, Low, & Mahin, 1897).



Şekil 6.16. FPS izolatör parçaları (Zayas V. , Low, Bozzo, & Mahin, 1989).



Şekil 6.17. Eğri yüzeyli sarkaç tipi deprem izolatörünün histerik eğrilerine bir örnek (Zayas V. , Low, Bozzo, & Mahin, 1989).



Şekil 6.18. Tek küresel yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi deprem izolatörler.

(a) Sürtünmeli eğri yüzey alt taraftadır (<https://www.tis.com.tr/urunler/#gallerytis-single-pendulum-tsp-2>).

(b) İç bükümlü eğri yüzeyin yukarı kısmında olduğu duruma örnek (<https://www.fipmec.it/en/products/anti-seismic-devices/>).

6.6. Deprem İzolatörünün Tarihteki Yeri

Deprem yalıtımının uygulama örnekleri günümüze göre uzak geçmişe dayanmaktadır. Deprem etkilerinin azaltılması için düşünülen tasarımların ilk örnekleri olarak, Pers İmparatorluğu zamanında yapılan (M.Ö.530) Büyük Keyhüsrev'in (Kiroş) mezarı (13.75×12.5×5.0 m)

gösterilebilir (Tüzün, 2020) (Şekil 6.19). Temel ve mezar arasına konulan taş bloklar depremde hareket edebilmeleri için harçsız inşa edilmiştir.



Şekil 6.19. Büyük Kros'un anıt mezarı.

Kaynak: <https://thesecondachilles.files.wordpress.com/2014/03/image26.jpg>

İstanbul'un Eminönü ilçesinin Sultanahmet Meydanı'nda, tarihi yapıların arasında yer alan, X. Yüzyılda yapılmış, günümüze gelebilmiş, Örme Dikilitaş yapısı (Şekil 6.20), deprem yalıtımı tarihçesinde bir örnek olarak gösterilebilir. Yapının mesnet kısımlarında; “doğrusal olmayan sürtünmeye duyarlı doğal sismik izolatör (Nonlinear Frictional Responsive Natural Seismic Isolator-NFRNSI) işlevi yapan ve günümüzde kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerle (Lead Rubber Bearings LRB) benzer davranışlar sergileyen bir alt yapı sistemi bulunmaktadır. Bu yapı özelinde NFRNSI özelliği gösteren kısım 3.44 metredir. Yapının NFRNSI özelliği gösteren bölgesi, horasan harcı kullanılarak dört kayma yüzeyi oluşturan üç mermer taş ve bir mermer kaideden oluşmaktadır (Şekil 6.21 ve Şekil 6.22). Burada horasan harcı kullanılarak dört kayma yüzeyi oluşturan basamaklar ve mermer kaide, çelik plaka ve sert kauçuk

tabakalardan oluşan modern kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerle (LRB) benzer işlev yapmaktadır. Masif mermer taş LRB'deki kurşun silindir çekirdeği ile benzer görev yaptığı söylenebilir (Bal, 2011).



şekil 6.20. Örme Dikilitaş'ın görünüşünü.

Kaynak: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0a/Walled_Obelisk_Back.jpg



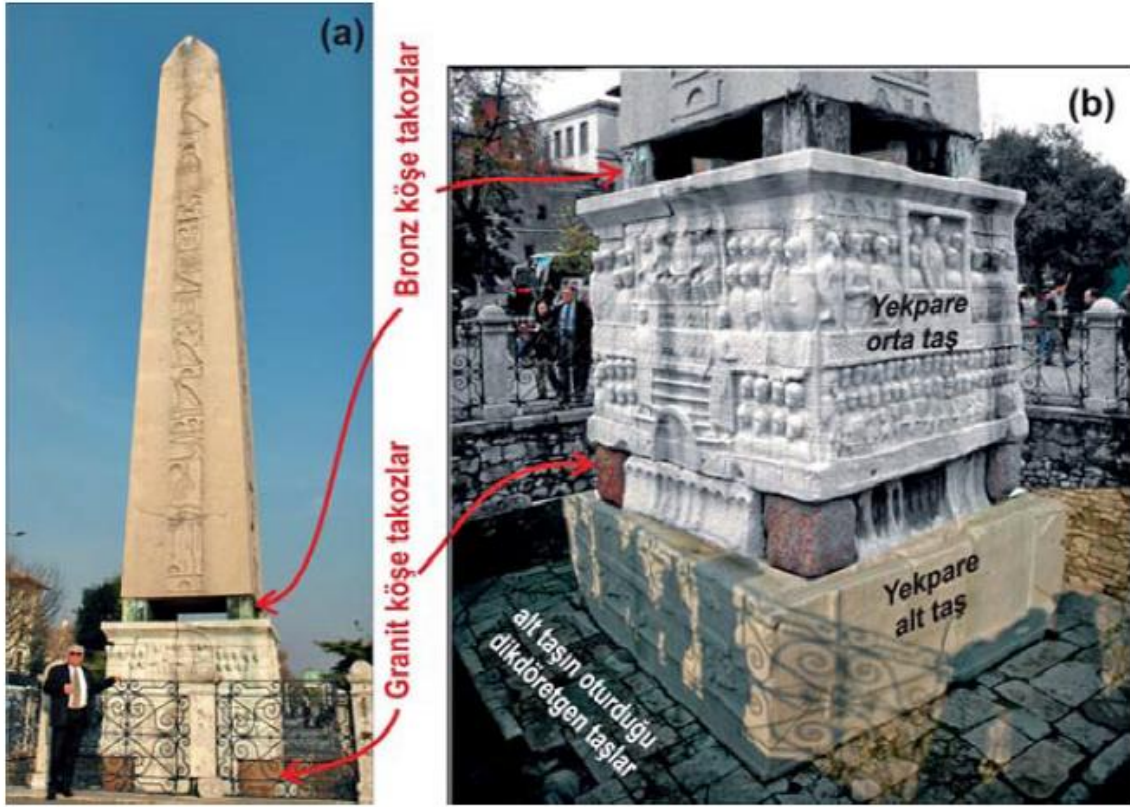
Şekil 6.21. Örne Dikilitaş'ın doğal sismik izolatör işlevi yapan temel kısmı (Bal, 2011).



Şekil 6.22. Örne Dikilitaş, temel kısmı (Bal, 2011).

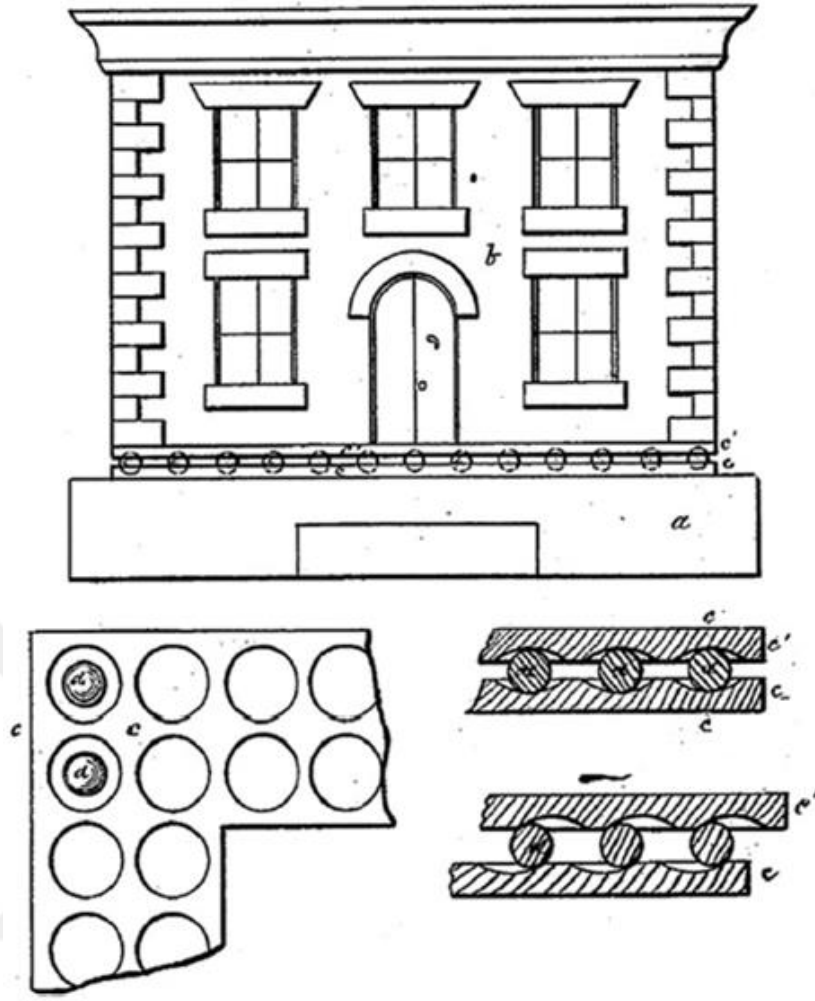
Örme Dikilitaş yapısının, deprem etkilerine karşı 1000 yıldır korunmuş olması, deprem yalıtımının öneminin tarihsel bir kanıtı olarak karşımıza çıkmaktadır. Örme Dikilitaş'ın doğal sismik izolatör görevi gören alt yapısının maksimum yerdeğiştirme yaklaşık olarak 22 cm'dir. Doğal sismik izolatörün dört kayan yüzeyi $22/4 = 5.5$ cm yerdeğiştirme üretir ve sismik tasarımın temel özelliklerinden birini karşılamış olur. NFRNSI olarak tanımlanan alt yapının RP'den farklı olarak tamamen plastik davranış özellik gösterirler ve aynı zamanda dengeli bir biçimde üst kısmı dengede tutar. Muhtemelen üst yapıda kullanılan horasan harcı da üst yapı sönümlemesine katkıda bulunmuş olabilir (Tuhta, 2018). Tüm bu tasarım yaklaşımları ile sonuç olarak 32 metrelik bu tarihi yapı, 1000 yıldır herhangi bir bakım gerektirmeksizin, deprem yalıtımı teknolojisinin temel ilkelerini barındırarak ayakta kalmayı başarmıştır.

Örme Dikilitaş yapısına benzer şekilde, deprem yalıtımı sistemlerine benzer işlevleri olan bir diğer yapı da İstanbul Sultan Ahmet Meydanı'ndaki Dikilitaş (M.S. 379-395) örneğidir (Şekil 6.23). Dikilitaş 18.69 metre yüksekliğinde ve 50×50×50 cm boyutlarında 4 adet bronz küp üzerinde bulunmaktadır. Bu özellikleriyle beraber yapıya bağlanmamış olması yönü ile bağlanmamış elastomerik izolatörlere benzer bir davranış gösterdiği, yuvarlanma hareketi olduğu söylenebilir.



Şekil 6.23. Dikilitaş yapısının deprem izolatörü işlevi gören kısmı (Kaplan, 2009).

Modern iç bükey sürtünmeli sarkaç tipi izolatör benzeri ilk patentli örnek olarak; 1870 yılında, Kaliforniya Eyaleti, San Francisco şehrinden Jules Touaillon'un, binaları deprem etkilerinden korumak için yeni geliştirilmiş bir bina inşa etme yöntemi olarak, ABD'den aldığı patent gösterilebilir. Touaillon'un patentindeki çizimlerde (Şekil 6.24) küresel toparlarla birbirinden ayrılmış içbükey eğri yüzeylerin (Şekil 6.24'de c ve c' olarak gösterilmiş olan) üzerinde yükselen bir bina görülmektedir. Burada dikkat çekici olan durum Touaillon'un patentini açıklarken kendi ifadesinde de görülebilen, iç bükey eğri yüzeylerin yarıçapının içindeki bilyelerden büyük oluşudur. Bu yarıçap farkından dolayı bilyeler, yatay yöndeki hareketi yapabilir ve ağırlık etkisi ile de tekrar denge konumuna gelebilir. Burada açıklanan durum, eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi modern izolatörlerin çoğu kavramı ile örtüşmektedir (Makris, 2018).



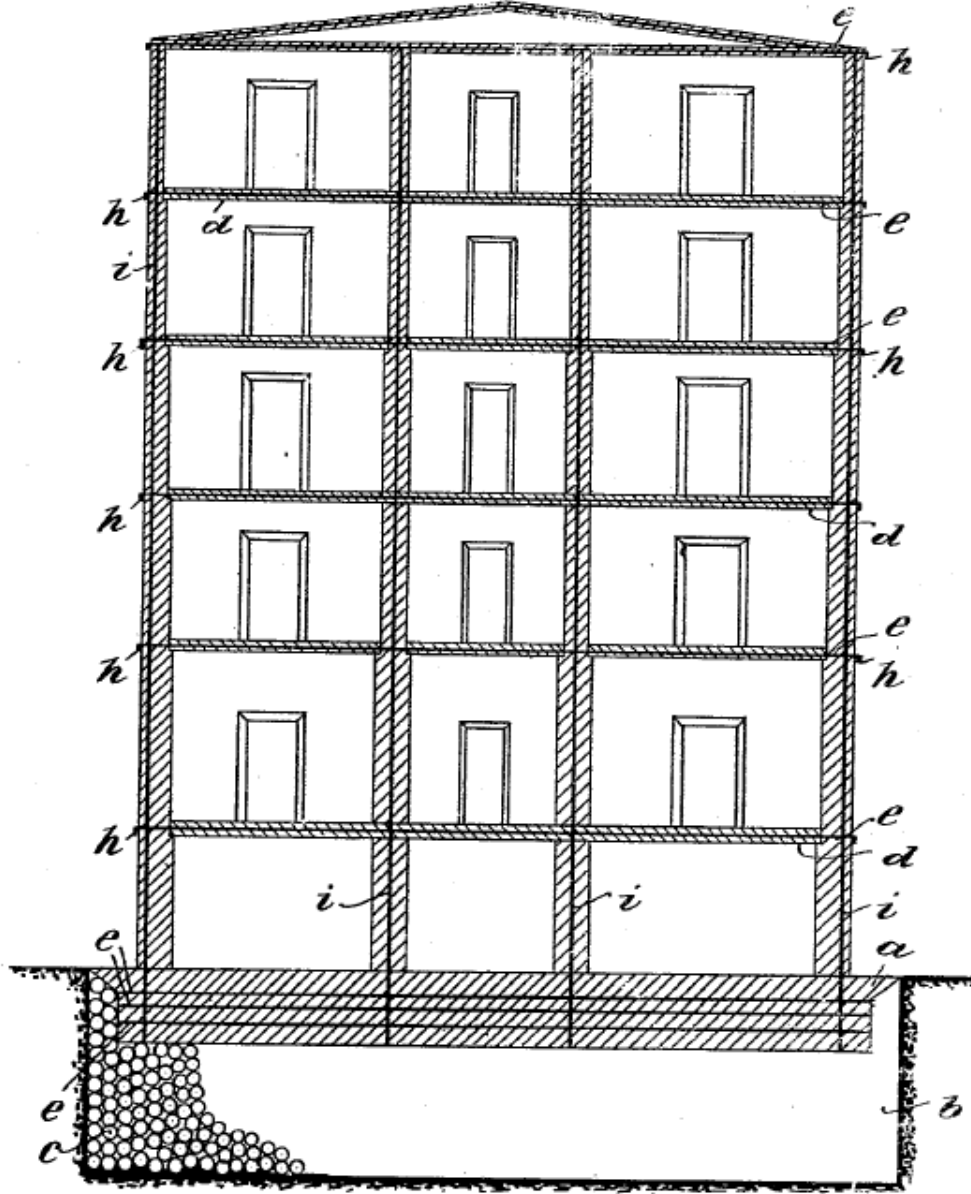
Şekil 6.24. Jules Touaillon'un 1870 yılına ait patentindeki çizimler.

Kaynak: (U.S. Patent No. 99.973, 1870).

Şekil 6.24'de; binanın görüşünü, iç bükey yatakların plan çizimi ve yalıtım sisteminin kesit çizimleri bulunmaktadır.

Touaillon'un patentinden yaklaşık 40 yıl sonra 1097 yılında, Almanya'dan Jacob Bechtold, "Depreme Dayanıklı Yapı" (Earthquake-Proof Building) başlığı ile 1907 yılında bir patent aldı. Bechtold'a ait olan buluş; depreme dayanıklı binalar ile ilgilidir. Bechtold'a göre deprem durumunda binaların rijit temellerinin hareketinden kaynaklanan tehlike, en iyi şekilde, tüm yapıyı gerekli dayanıma sahip taşıma gücü yeterli bir taban plakası üzerine inşa etmekle önlenecektir (Şekil 6.25). Söz konusu taban plakası da dünya yüzeyi ile sağlam bir bağlantı içerisinde olmayacaktır. Bu plaka gevşek çakıl taşları veya toprak üzerine monte edilmiştir. Bir deprem anında, alt yapıda bir hareket etkisi oluşacak ve yapının bu sistemler üzerindeki üst

yapısı her zaman yatay konumda bir bütün halinde hareket etme eğiliminde olacaktır (U.S. Patent No. 845.046, 1907).

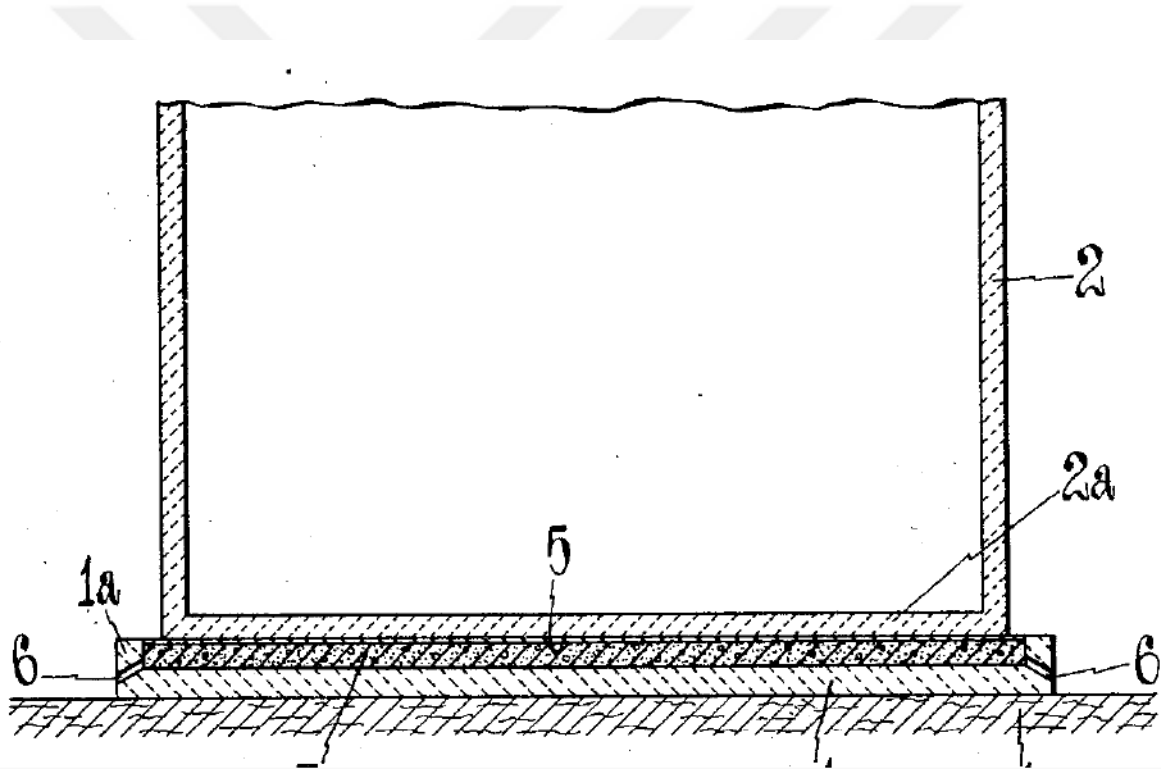


Şekil 6.25. Bechtold'a ait depreme dayanıklı yapı çizimlerinden örnek.
Kaynak: (U.S. Patent No. 845.046, 1907).

Şekil 6.25'de üst yapının ağırlığını taşıyan taban plakası ve altındaki hareket edebilen kısım görülmektedir.

Muhtemelen, modern teknikler ile deprem izolatörü kavramını yakın zamanda kullanan ilk kişi Frank Lloyd Wright'dır. Tasarımı Wright'a ait olan ve Japonya'da 1921 yılında inşa edilmiş olan "Imperial Hotel" yapımı tarihindeki pek çok mühendislik tekniğinden daha yenilikçi bir yaklaşıma sahipti. Üst yapının altında oldukça iyi bir zemin vardı ancak o zeminin de altında

Yaklaşık on yıl gibi kısa bir süre sonra, Yeni Zelanda'dan R. W. De Montalk, deprem etkilerini, ağır trafik titreşimi yüklerini ya da diğer titreşim kaynaklı etkileri en aza indirmek için 1932 yılında bir patent aldı (Şekil 6.26). Bu tasarıma göre titreşimleri ve hareketi sönmüleyecek bir yatak üzerine kurulmuş yapıdan söz edilebilir. Binanın tabanı, basamaklar üzerinde ve gevşek materyal katmanlarına oturacak şekilde şekillendirilmiştir (U.S: Patent No. 1,847,820, 1932).

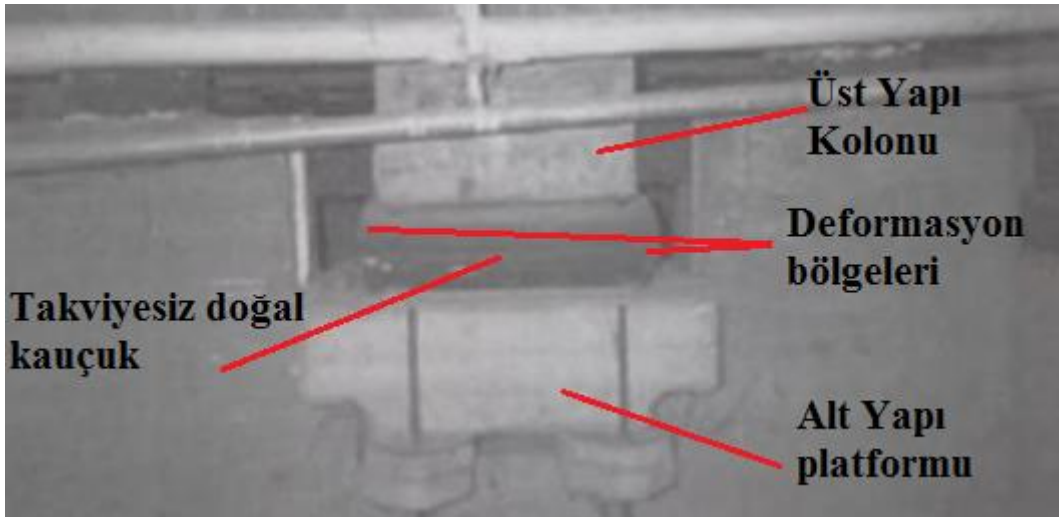


Depreme dayanıklı yapı inşa etmek amacı ile, kauçuk malzeme ile yapılan deprem izolatörlü binaların günümüze yakın ilk örneklerinden biri olarak, Makedonya'nın Üsküp şehrinde bulunan "The Pestolazzi School" ismindeki 3 katlı ilkokul binası gösterilebilir (Şekil 6.27). 1969 yılında yapılan bu bina, takviyesiz doğal kauçuklar üzerinde inşa edilmiştir. Yapımda kullanılan deprem izolatörleri doğal kauçuktur ve takviyesizdir. Bu nedenle kauçuk izolatörde bombeler meydana gelmiştir (Şekil 6.28). Kauçuk mesnetlerin arasına yerleştirilen çelik plakalar sayesinde düşey taşıma kapasitesi için önemli bir parametredir. Bu yatay güçlendirici

plakalar izolasyon malzemesinde dikey yönde sertliği yatay yönde esnek kalarak izolasyon etkisi yaratır (Makris, 2018).



Şekil 6.27. ''The Pestolazzi School''(Mekedonya) (Kelly & Naeim, 1999).



Şekil 6.28. Pestolazzi ilkokulunda bulunan takviyesiz izolatörlerin deformasyonu (Robinson, 2000).

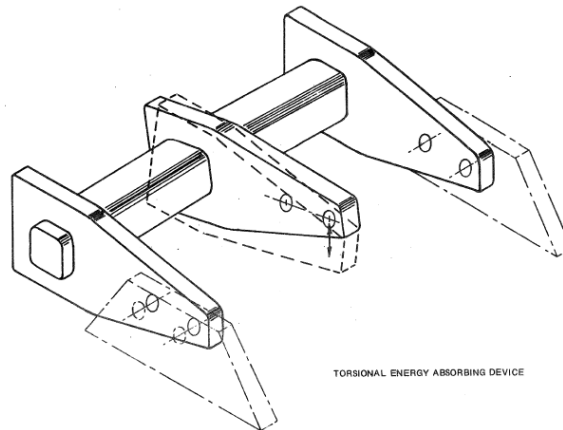
Yeni Zelanda'da bulunan ''Güney Rangitikei Demiryolu Köprüsü'' (South Rangitikei Rail Bridge) yapısı, deprem etkilerini en aza indirmek için geliştirilen sistemlerde çığır açan bir

yaklaşım ile inşa edilmiştir. Güney Rangitikei Demiryolu Köprüsü projesi; 1971 yılında başlamış olup, 75 m yüksekliğinde 6 açıklıklı öngermeli içi boş kirişlere sahiptir ve 315 m uzunluğundadır. Köprü ayaklarının oturduğu kısımlarda, burulma etkilerini esneyerek karşılayabilecek çelik kirişler (Şekil 6.29) sönümleyici damperlerin üzerine yerleştirilmiştir (Makris, 2018).

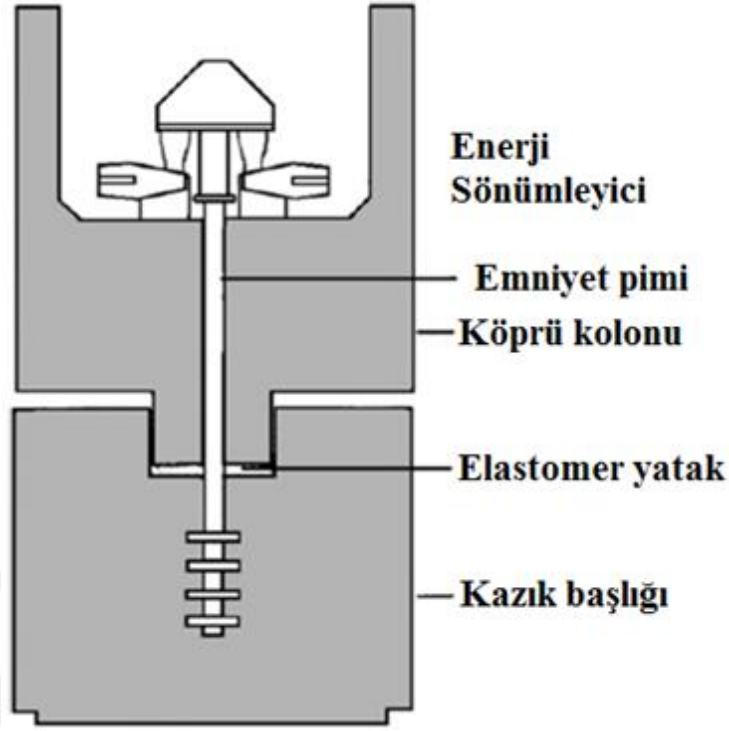


Şekil 6.29. South Rangitikei Rail Bridge, Yeni Zellanda’da bulunmaktadır.
Şekil 6.29. Resim kaynak: (Makris, 2018).

Burulma esnekliğini sağlayan bu çelik kirişli sönümleyici, Profesör James Kelly tarafından Berkeley’deki Kalifornia Üniversitesi’nden R.Ivan Skinner ve Arnold Heine'nin de çalışmalara katkılarıyla birlikte Yeni Zelanda’da geliştirilmiştir (Kelly, Skinner, & Heine, 1972). Yapının önemi kullanılan tekniğin orijinalliğindedir (Şekil 6.30 ve Şekil 6.31) (Makris, 2018).



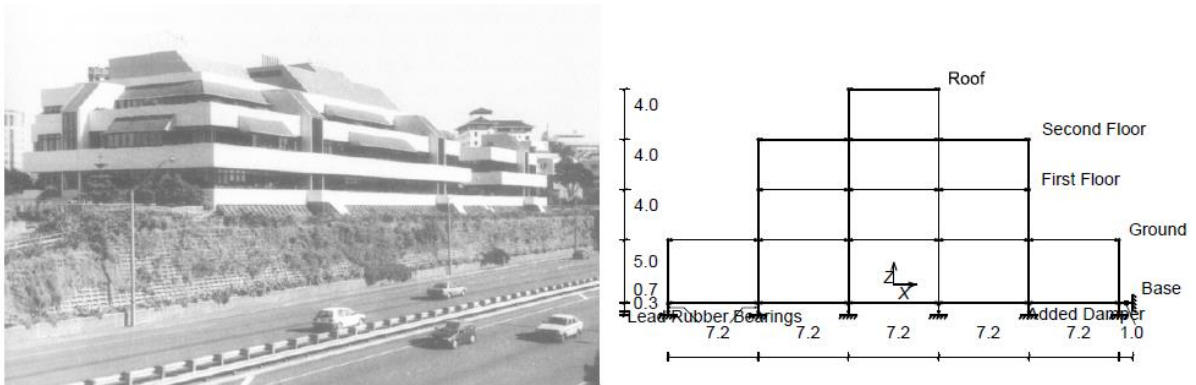
Şekil 6.30. Burulma etkilerini sönümleyen sistem (Kelly, Skinner, & Heine, 1972).



Şekil 6.31. South Rangitikei Rail Bridge de kullanılan elastomer sistem ve çelik sönümleyiciyi gösteren resim (Makris, 2018).

Yeni Zelanda, Wellington şehrinde 1981 yılında tamamlanan, William Clayton Building yapısı (Şekil 6.32), kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler ile inşa edilmiş ilk binadır. Plan boyutları 97×40 m olan dört katlı betonarme karkas binanın 79 kolonunun her birinin altında, deprem etkilerini azaltmak için kullanılan kurşun çekirdekli elastomer izolatörler bulunmaktadır.

Deprem etkileri sırasında yatay yerdeğiştirmenin yapısal olmayan elemanlara zarar vermesini önlemek için su, gaz ve kanalizasyon boruları, oluşabilecek bir yerdeğiştirmeyi (150 mm) karşılayabilecek şekilde detaylandırılmıştır (Makris, 2018).



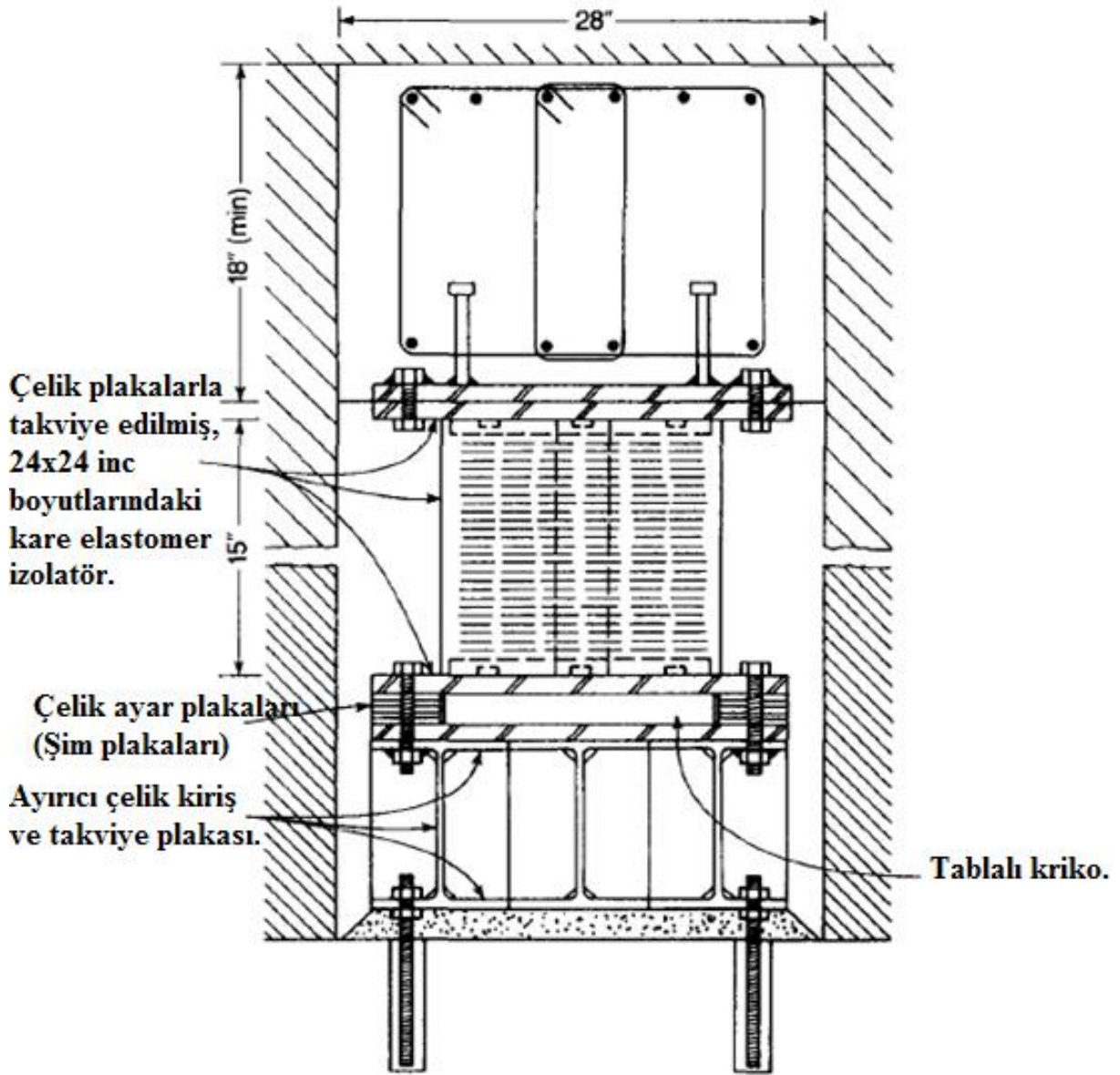
Şekil 6.32. William Clayton Binası (Carden, Davidson, & Buckle, 2001).

Tarihi yapıların güçlendirilmesinde kullanılan izolatörler sayesinde, periyodu 1.0 s'den küçük olan bir tarihi yapı, deprem izolatörleri ile güçlendirilerek periyodu yaklaşık 2.5 s hedefine kadar artırılabilir (Soyluk & Tuna, 2011).

Taban izolatörleri kullanılarak güçlendirilmiş tarihi binaların ilki, 1989 yılında güçlendirme işlemi gerçekleştirilen ve ABD'de bulunan Salt Lake City and County Building binası sayılabilir (Şekil 6.33). Bina, 76 m yüksekliğinde merkezi saat kulesine sahip beş katlı, takviyesiz kagir ve taşlı bir duvar yapısı olup plan boyutları 40×80 m'dir. Kullanılan deprem izolatörleri kurşun çekirdekli kauçuk izolatör olup şekli karedir (Şekil 6.34) (Allen & Bailey, 1991).



Şekil 6.33. ABD'de bulunan, tarihte ilk defa deprem izolatörleri kullanılarak güçlendirilmiş tarihi yapı olan Salt Lake City and County Building (Allen & Bailey, 1991).



Şekil 6.34. Salt Lake City and County Building yapısı güçlendirilmesinde kullanılan izolatörlerin tipik kesiti (Allen & Bailey, 1991).

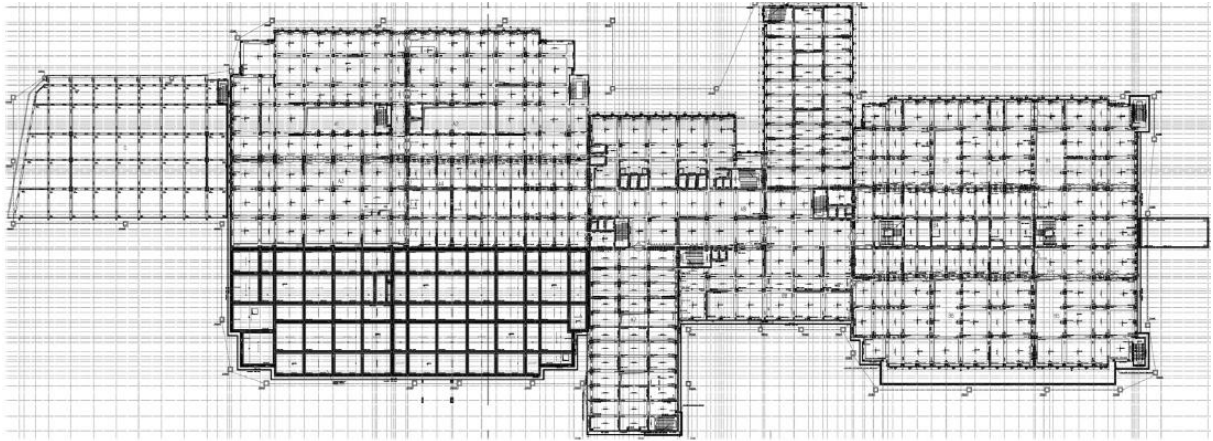
6.7. Sismik İzolatörlü Yapıların Türkiye'deki Önemli Uygulamaları

Sismik izolasyon ile güçlendirilmiş dünyanın en büyük hastanesi, 113.000 m² taban alanına sahip olan İstanbul Başibüyük Eğitim ve Araştırma Hastanesi'dir. Yapı, 2 ile 13 katlı bloklardan oluşur (Şekil 6.35 ve Şekil 6.36). Marmara Üniversitesi'ne bağlı olan Başibüyük Eğitim ve Araştırma Hastanesi, 1991 yılında Türk Deprem Yönetmeliği'nin 1975 yılında geçerli olan şartlarına göre inşa edilmiştir. 1998 yılında değişiklikleri içeren yönetmelik şartlarına göre 2002 yılında, betonarme perde duvarlar eklenerek ve kolonlar mantolanarak güçlendirilmiştir. Bu yıllar boyunca hizmet veremeyen hastane 2007 deprem yönetmeliğine göre 2011 yılında tekrar

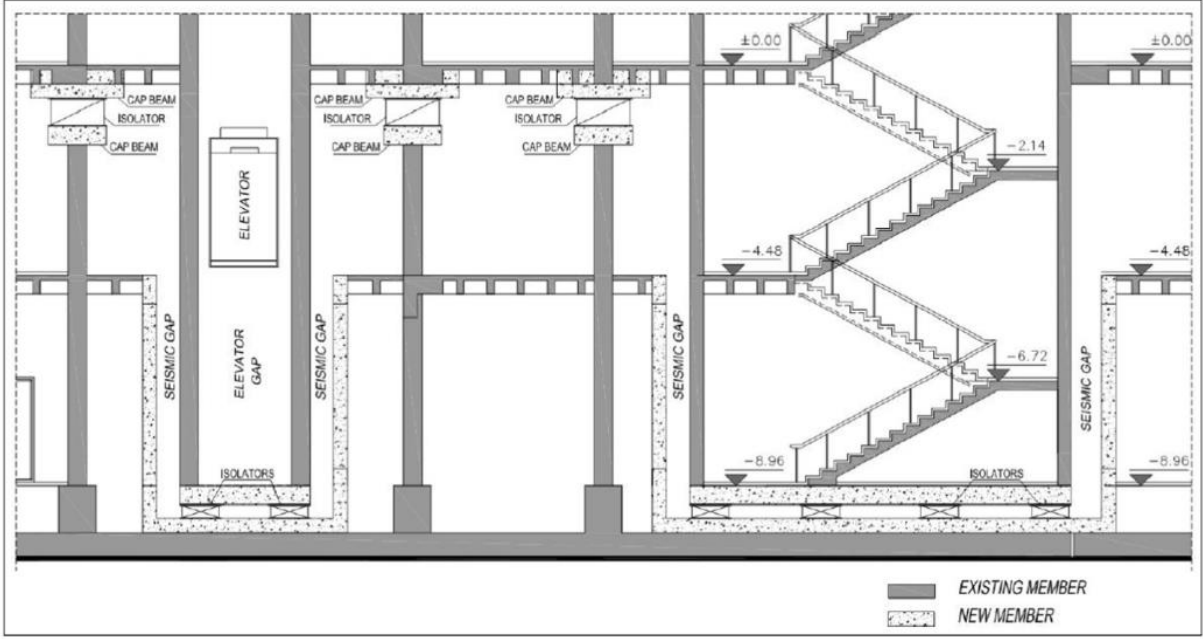
değerlendirilmiş ve gerekli performans hedeflerini karşılamadığı tespit edilip ikinci bir güçlendirme kararı alınmıştır. Güçlendirme işlemi sonucunda acil kullanım hedefinin sağlanabilmesi için sismik izolasyon ile güçlendirme kararı alınıp, ASCE 7-10 Bölüm 17 dikkate alınarak izolasyon sistemleri tasarlanmıştır. Hedef tasarımda tekrar periyodu 475 yıl olan deprem düzeyinde üst yapının ağırlığının %12,5 i ile taban kesme kuvvetinin sınırlandırılması ve tekrarlama periyodu 2475 yıl olan deprem düzeyinde kat ötelemelerinin %1,0 in altında tutulması hedeflenmiştir.



Şekil 6.35. İstanbul Başibüyük Eğitim ve Araştırma Hastanesi güçlendirme öncesi resmi (Erdik, Ülker, Şadan, & Tüzün, 2018).



Şekil 6.36. İstanbul Başibüyük Eğitim ve Araştırma Hastanesi zemin seviyesi planı (Erdik, Ülker, Şadan, & Tüzün, 2018).



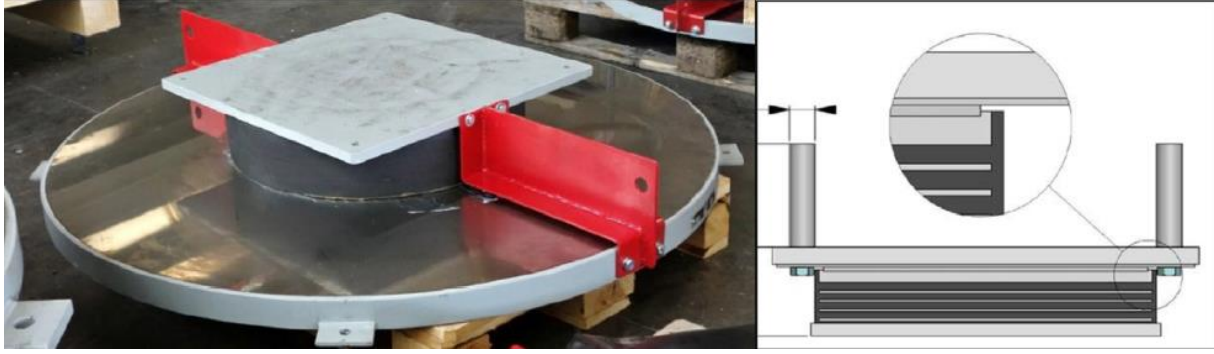
Şekil 6.37. İstanbul Başibüyük Eğitim ve Araştırma Hastanesi, kat kesit görünüşü (Erdik, Ülker, Şadan, & Tüzün, 2018).

Farklı zemin seviyelerinde kullanılmış izolatörler açısından önemli bir örnek resimdir.

Şekil 6.37’de asansör boşluğunun altında kullanılan izolatörler görülmektedir. Asansör perdesi üst katlara doğru devam etmektedir. Bu resimde koyu gri renk ile renklendirilmiş kısımlar mevcut olan yapı elemanlarıdır. Açık gri renk ile renklendirme yapılmış yapı elemanları ise yeni eklenmiş yapı elemanlarıdır. Yeni yapı elemanlarının eklenme nedeni, üst yapı elemanlarının birlikte bir bütün olarak hareket edebilmelerini sağlamaktır. Bu amaçla yapı elemanı sürekliliğini bozmamak amacı ve aynı zamanda üst yapının bir bütün olarak hareketini sağlamak için farklı yüksekliklerde sismik izolatör yerleşimi yapılmıştır.

İzolasyon yapılan kolonların altında (temel ile birleştiği noktada) betonarme mantolama ile güçlendirme yapılmıştır. Deprem etkisi ile oluşacak yerdeğiştirmeleri de göz önünde bulundurarak, yapı elemanları arasında yeterli boşluk bırakılmıştır. Merdivenler için kayıcı sistemler yapılmıştır. İzolasyon birimi altında tüm bloklar birleştirilerek müşterek çalışması sağlanmış ve sonuçta tek bir birim haline getirilmiştir (Erdik, Ülker, Şadan, & Tüzün, 2018).

Farklı çaplarda elastomer mesnetler kullanılmıştır. Bunun nedeni farklı seviyelerde farklı düşey yükler ve farklı yatay deplasmanlar altında stabiliteyi sağlamaktır. Farklı düşey yükler ve farklı deplasman talepleri olması nedeni ile kayar sistemli yalıtım birimleri de kullanılmıştır. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör (LRB) ve kayıcı mesnetler de dahil olmak üzere bu güçlendirme projesinde 687 adet izolatör kullanılmıştır (Şekil 6.38 ve Şekil 6.39).



Şekil 6.38. İstanbul Başibüyük Eğitim ve Araştırma Hastanesi, güçlendirme projesinde kullanılan kayıcı mesnetler (NTM) kayar destekleri (Erdik, Ülker, Şadan, & Tüzün, 2018).

Çelik pullu bir dizi kauçuk tabakadan ve bir çelik kayar plakadan oluşur. Kayma yüzeyi, bir paslanmaz çelik levhaya bağlanmış yüksek mukavemetli teflon yüzeyden oluşur.



Şekil 6.39. İstanbul Başibüyük Eğitim ve Araştırma Hastanesi, güçlendirme projesinde kullanılan kayıcı mesnetler (NTM) kayar destekleri (Erdik, Ülker, Şadan, & Tüzün, 2018).

İstanbul Başibüyük Eğitim ve Araştırma Hastanesi mevcut bir yapının izolatörler ile güçlendirme projesi olduğu için tasarım süreçlerinden daha fazla güçlük gerektiren uygulama tekniklerini içermektedir. Bu durumda izolatörlerin yerleştirilmesi için iki özel kelepçenin kolonlara zarar vermeden ve düşey sapmaya neden olmadan kolonlara tutunması gerekmektedir (Şekil 6.40). Kelepçe görevi gören iki çelik bilezik kriko sistemi ile kolon yükü alınıp elmas tel ile kesilerek aradaki kolon parçası çıkartılıp, izolatör montajı yapılarak kriko ve kelepçe sistemi kaldırılmış ve yük transferi izolatör ile temele aktarılarak kurulum işlemi tamamlanmıştır (Şekil 6.41) (Erdik, Ülker, Şadan, & Tüzün, 2018).



Şekil 6.40. İstanbul Başbüyük Eğitim ve Araştırma Hastanesi kolon kesimini gösterir resim (Erdik, Ülker, Şadan, & Tüzün, 2018).



Şekil 6.41. İstanbul Başbüyük Eğitim ve Araştırma Hastanesi kolon izolator montajı (Erdik, Ülker, Şadan, & Tüzün, 2018).

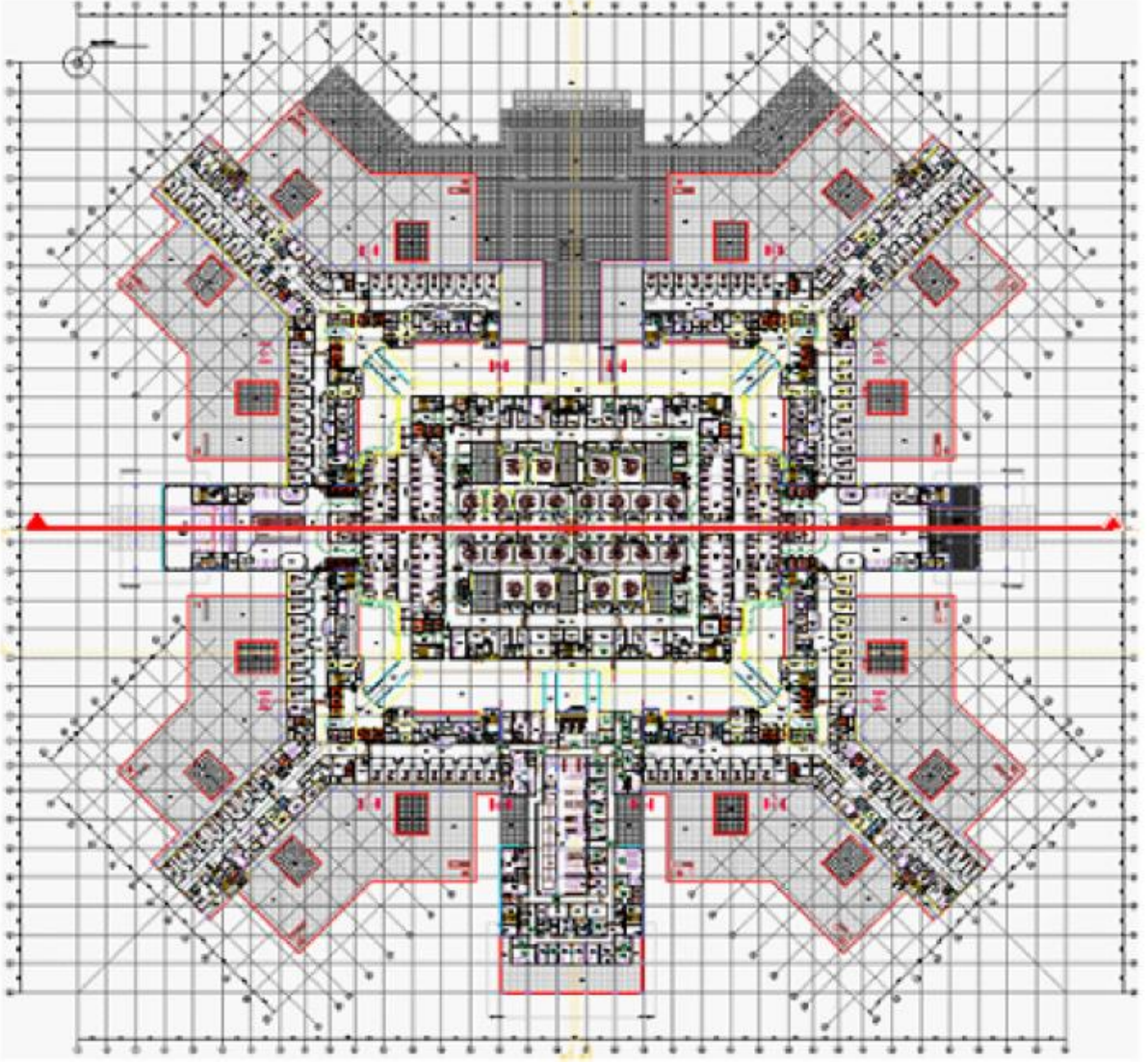
Şekil 6.41’de soldaki resimde kolonların aralarından parça alınmış hali görülmektedir. Bu durumda yük aktarımı kelepçeler ve krikolar ile sağlanmaktadır. Şekil 6.41’de sağdaki resimde ise montajın kısmen tamamlanmış hali görülmektedir. Bu resimde görülen kilit mekanizmaları tüm izolatorlerin montajı tamamlana kadar kilitli montaj olarak yapılmıştır. Bunun nedeni yatay stabilitenin sabit tutulmasıdır.

Diğer bir izolatörlü yapı olan Adana Şehir Eğitim ve Araştırma Hastanesi (Şekil 6.42) yapımında 1512 adet deprem izolatörü kullanılmıştır. Taban alanı 430.000 m² olup 2017 yılında dünyanın en büyük 2. izolatörlü binası seçilmiştir (<https://www.enr.com/articles/42366-the-10->

[largest-base-isolated-buildings-in-the-world](#)). Hastanenin temel sistemi 160-200 cm kalınlığında değişmektedir. Sismik izolatörler ikinci bodrum kolonlarının üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 6.43 ve Şekil 6.44). İzolatörün üzerindeki ilk döşeme (ikinci bodrum katı döşemesi) 60 cm kalınlığında olup ek yeri bulunmayan tek bir betonarme diyaframdır.



Şekil 6.42. Adana Şehir Eğitim ve Araştırma Hastanesi Projesi'nin 3D görseli (Erdik, Ülker, Şadan, & Tüzün, 2018).



Şekil 6.43. Adana Şehir Eğitim ve Araştırma Hastanesi, izolasyon arayüzünün üzerinde kalan kat planı (Erdik, Ülker, Şadan, & Tüzün, 2018).

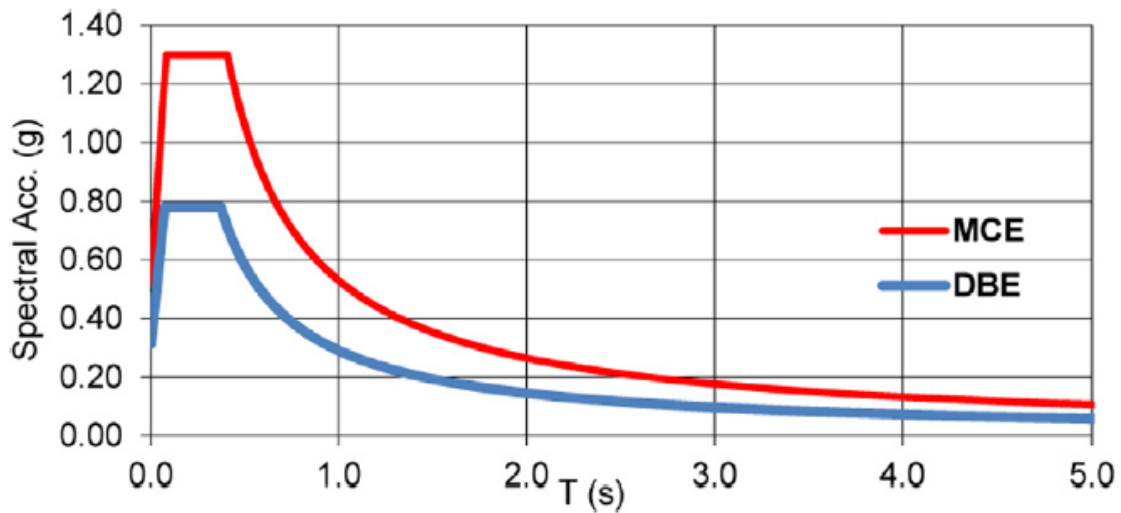


Şekil 6.44. Şekil 6.43.'de bulunan plan görünüşünün kesit görünüşü (Erdik, Ülker, Şadan, & Tüzün, 2018).

Adana Şehir Eğitim ve Araştırma Hastanesi tasarımı sırasında TBDY-2018 bulunmadığı için ASCE 7-10 Binalar ve Diğer Yapılar için Minimum Tasarım Yükleri ile Bölüm 17 "Sismik Olarak Yalıtılmışlar için Sismik Tasarım Gereklilikleri" kullanılmıştır. Beton sınıfları sismik izolatörleri destekleyen kısımlarda C50/60 kalan elemanlarda C40/50 olarak kullanılmıştır. Yapısal çelik kalitesi TS708'e göre B420C (akma gerilmesi: 420 MPa) olarak kullanılmıştır.

Tablo 6.1. Adana Şehir Eğitim ve Araştırma Hastanesi için yapılan sahaya özgü deprem spektral ivme değerleri (Erdik, Ülker, Şadan, & Tüzün, 2018).

Tekrarlama periyodu	TBDY-2018 seviyesi karşılığı	$S_s(0,2\text{ s})$	$S_1(1,0\text{ s})$
475 yıl	DD2	0.78 g	0.29 g
2475 yıl	DD-1	1.30 g	0.53 g

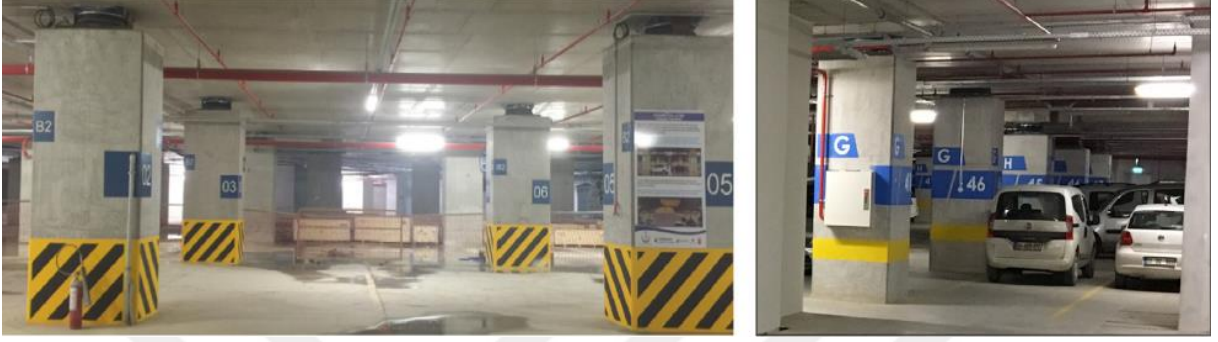


Şekil 6.45. Adana Şehir Eğitim ve Araştırma Hastanesi, tasarım spektral ivme grafikleri. Kaynak: (Erdik, Ülker, Şadan, & Tüzün, 2018).

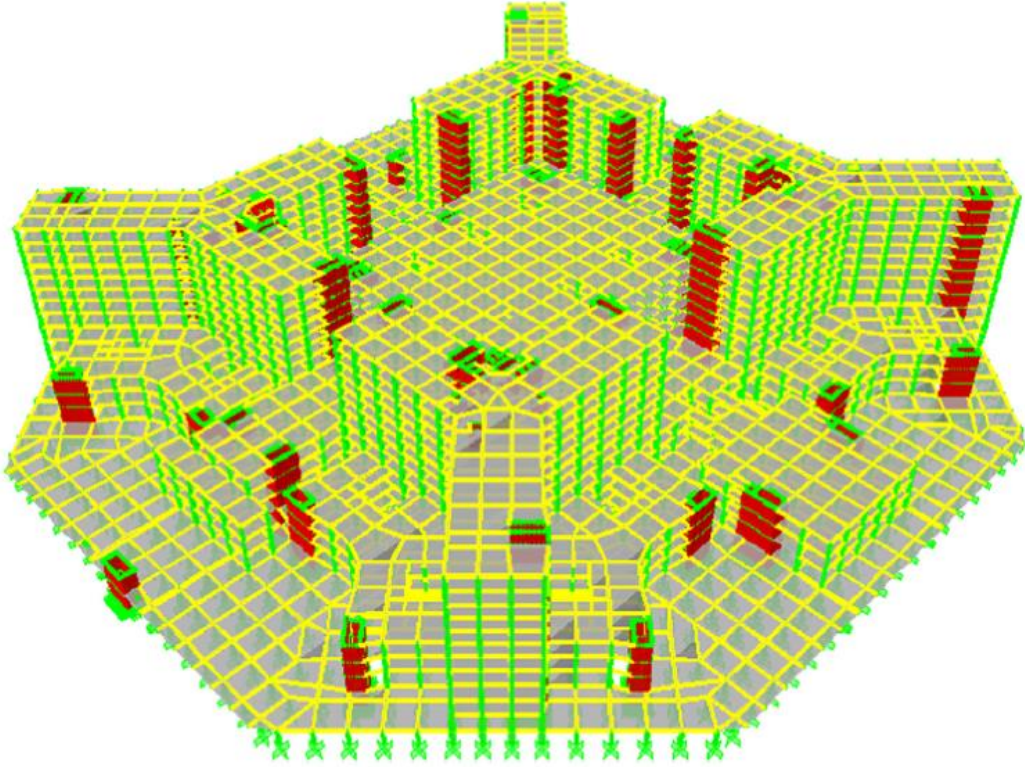
Şekil 6.45'de kırmızı renkli spektrum tekrarlaması periyodu 2475 yıl olan deprem seviyesini, mavi renkli spektrum grafiği ise tekrarlaması periyodu 475 yıl olan deprem seviyesini (Tablo 6.1) göstermektedir.

Tasarım eğri yüzeyli sarkaç tipi izolatörler ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.46). Bu seçimin nedenlerinden biri tedarik durumu olup ikinci nedeni ise yapısal burulma ve gerilme problemlerinin önlenmesidir (Erdik, Ülker, Şadan, & Tüzün, 2018).

Tasarımda hedeflenen taban kesme kuvveti, tekrarlama periyodu 475 yıl olan deprem seviyesinde üst yapı ağırlığının %10'u kadardır. Yapının eksenel yük değerlerindeki farklılıklar nedeni ile üç farklı sismik izolatör kullanılmıştır (Şekil 6.47). Kullanılan izolatörler üç sürtünme yüzeyli sarkaç tipi deprem yalıtım izolatörüdür.



Şekil 6.46. Adana Şehir Eğitim ve Araştırma Hastanesi, izolatörlerin yerleştirilmiş hali.
Kaynak: (Erdik, Ülker, Şadan, & Tüzün, 2018).



Şekil 6.47. Adana Şehir Eğitim ve Araştırma Hastanesi, tasarım modeli.
Kaynak: (Erdik, Ülker, Şadan, & Tüzün, 2018).

7. TBDY-2018'E GÖRE YALITIMLI BINA TASARIMI VE ÖZELLİKLERİ

TBDY-2018 yönetmeliğinin yeniliklerden olan ve en önemli bölümlerinden biri olan Yalıtımlı Binaların Tasarımı özel olarak oluşturulan bir bölümdür. Söz konusu bölüm TBDY-2018'de Bölüm 14'te sunulmuştur. Yönetmeliğin yalıtımlı binalar bölümündeki yeniliğin önemi, yeni yapılacak binaların dışında mevcut yapıların da yalıtımlı bir şekilde güçlendirme şartlarını da içermesidir. Yalıtımlı binaların tasarımı için kurallar, elastomer ve eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimleri için düzenlenmiştir.

7.1. Tasarımın Genel Özellikleri

TBDY-2018' e göre yalıtımlı binaların tasarımının temel özellikleri aşağıda belirtilmiştir; Yalıtımlı bina tasarımında bina önem katsayısı $I = 1$ alınır.

Tasarımı yapılacak yalıtımlı binanın süneklik düzeyi, alt ve üst yapıları için sınırlı düzeyde alınabilir.

Yalnızca izolatör birimleri doğrusal olmayan davranış için modellenip, alt ve üst yapılar için doğrusal modelleme yapılabilir. Söz konusu modelleme tasarımının; alt ve üst yapılar için aynı anda doğrusal elastik olacak şekilde yapılması mümkündür.

Burulma etkilerinin en aza indirilmesi için bir önemli husus, binanın rijitlik merkezi ile ağırlık merkezinin mümkün olduğunca birbirine yakın olmasıdır.

Deprem izolatörünün yapacağı en büyük deplasman değeri, DD-1 deprem seviyesinde, izolatör parametrelerinin alt sınır değerleri ile üst yapının etkilendiği deprem yatay kuvvet değerleri ise, DD-2 deprem seviyesinde, izolatör parametrelerinin üst sınır değerleri kullanılarak hesaplanır.

DD-1 deprem seviyesinde, izolatör birimlerinde oluşacak en büyük deplasman değeri oluşur. En büyük yerdeğiştirme sırasındaki iç kuvvet ile yerdeğiştirmenin %50'sinde iken oluşan iç kuvvetin farkı 0.025W dan küçük olmayacaktır.

DD-2 deprem seviyesi altında oluşması istenilen performans durumu için, dayanım fazlalığı (D) ve deprem yükü azaltma katsayı değerleri (R) Tablo 7.1'e göre alınır.

Tablo 7.1. Dayanım fazlalığının ve deprem yükünün azaltma katsayısının değerleri.

Hedeflenen Performans	D	R
SH	1.5	1.5
KH	1.2	1.2

7.2. Tasarımda Kullanılacak Yük Birleşimleri

Yalıtım arayüzü üzerindeki üst yapıda kullanılacak yük birleşimleri TBDY-2018, Bölüm 4.3.3'te verilmiştir.

Yalıtım arayüzünde bulunan ve altında kalan elemanların hesabında kullanılacak yük birleşimleri;

$$0.9G \pm E_d \quad (7.1)$$

$$1.4G + 1.6Q \quad (7.2)$$

$$1.2G + Q \pm E_d \quad (7.3)$$

Yalıtım birimi deneylerinde kullanılacak yük bileşenleri;

$$1.4G + 1.6Q \quad (7.4)$$

$$G + 0.5Q \quad (7.5)$$

$$1.2G + 0.5Q \pm E_d \quad (7.6)$$

$$1.2G + Q \pm E_d \quad (7.7)$$

$$0.9G \pm E_d \quad (7.8)$$

olarak TBDY-2018'de tanımlanmıştır.

7.3. Yalıtımlı Binalarda Deprem Derzleri ve Göreli Kat Ötelemesi Sınırları

Deprem yalıtımı kullanılarak tasarlanan binalarda, üst yapıda oluşabilecek en büyük göreli kat ötelemesi sınırları Tablo 7.2'de sunulmuştur.

h_i : kat yüksekliği

Tablo 7.2. En büyük görelî kat ötelemesi sınır şartları.

Performans Düzeyleri	Üst Yapıdaki En Yüksek Görelî Kat Ötelemesi Sınırı
Kesintisiz Kullanım (KK)	$0.005h_i$
Sınırlı Hasar (SH)	$0.01h_i$
Kontrollü Hasar (KH)	$0.015h_i$

Derz genişliği; yalıtım sisteminin yapacağı en büyük yerdeğiştirme ile görelî kat ötelemelerinin mutlak değeri toplamından daha küçük yapılamaz.

7.4. Elastomer Yalıtım Birimleri

Kurşun çekirdekli (KÇE) (Şekil 7.1) ve yüksek sönümlü (YSE) elastomer yalıtım birimleri TBDY-2018 kapsamında tanımlanan elastomer yalıtım birimleridir.

Yalıtım birimlerinin nominal değeri bulunur. Bu değeri $\lambda_{üst}$ ve λ_{alt} katsayıları ile çarpılarak, hesaplamalarda kullanılacak olan parametreler elde edilir.

$$\lambda_{üst} = [1 + 0.75(\lambda_{ae,üst} - 1)]\lambda_{deney,üst}\lambda_{spek,üst} \quad (7.9)$$

$$\lambda_{alt} = [1 - 0.75(1 - \lambda_{ae,alt})]\lambda_{deney,alt}\lambda_{spek,alt} \quad (7.10)$$

Eğer $\lambda_{üst}$ ve λ_{alt} katsayıları, deneyler ile elde edilemez ise Tablo 7.3'de yer alan değeri kullanılır.

Burada (Tablo 7.3);

F_Q : Kuvvet-deplasman döngüsünde sıfır deplasman değeriindeki kuvvet (İzolatör karakteristik dayanımı),

k_2 : KÇE için elastik ötesi rijitlik değeri (ikincil rijitlik değeri),

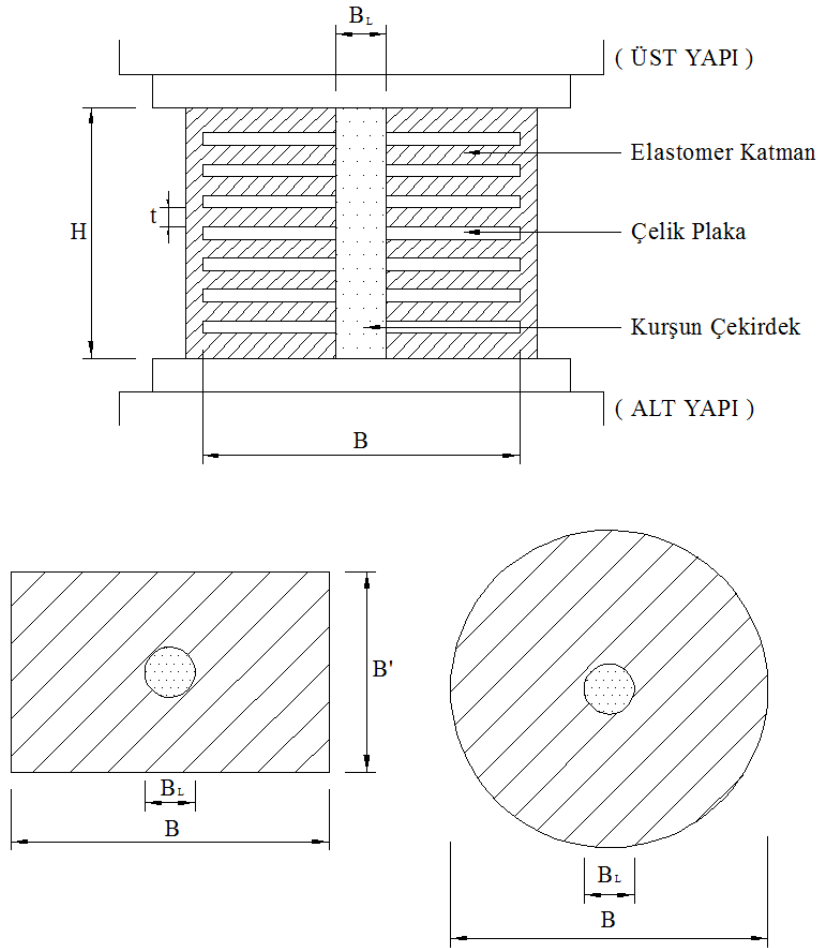
λ_{ae} : Çevreye bağlı ve zamanla oluşan yaşlanma etkileri,

λ_{deney} : Sıcaklık ve yüklemeye bağlı hız benzeri değeri

λ_{spek} : Deprem yalıtımı ürünündeki üretim değeri, sembolize etmektedir.

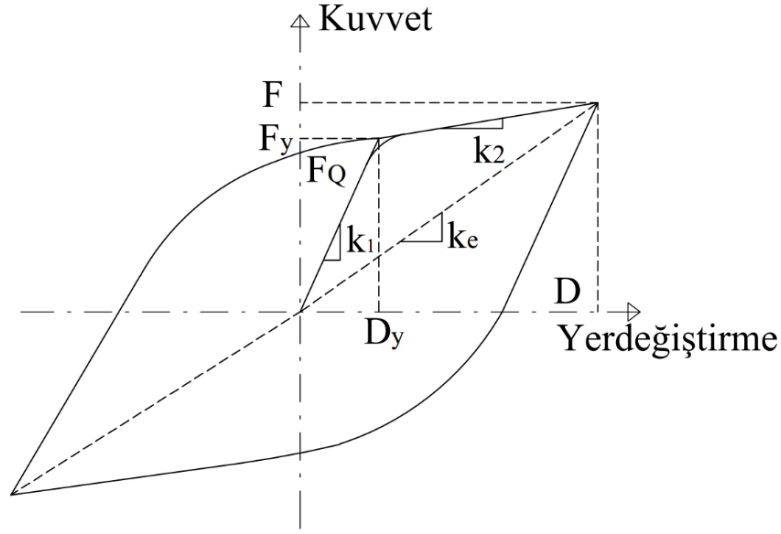
Tablo 7.3. Rijitlik ve dayanım değişkenlerinin üst ve alt sınırlarının elastik malzeme ile yapılmış izolatörler için kullanım değerleri

	Tip	F_Q		k_2	
		alt	üst	alt	üst
λ_{α}	KÇE	1.00	1.10	1.00	1.30
	YSE	1.00	1.30	1.00	1.40
λ_{deney}	KÇE	0.70	1.30	0.90	1.30
	YSE	0.70	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



Şekil 7.1. Elastomer yalıtım birimi ve katmanları (TBDY, 2018).

Bu tür elastomer yalıtım birimlerinin, yük-yerdeğiştirme eğrisi çevrimsel bir şekildedir (Şekil 7.2).



Şekil 7.2. Elastomer yalıtım birimleri yük-yerdeğiştirme eğrisi.

Şekil 7.2’de, elastomer yalıtım biriminin kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi görülmektedir. Bu değişimler çevrimsel bir davranış göstermektedir.

Yukarıdaki grafikte (Şekil 7.2.) bulunan;

D_y : Etkin akma yerdeğiştirme değeri,

F_y : Etkin akma dayanımı,

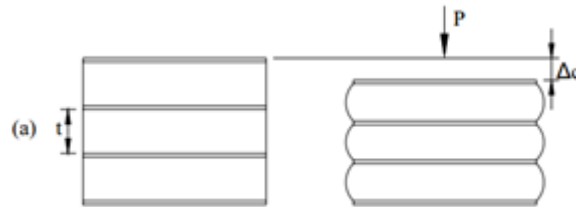
F : D yerdeğiştirmesinde oluşan kuvvet,

k_1 : Elastik rijitlik (Başlangıç rijitlik),

k_e : Etkin rijitliğin D yerdeğiştirmesinde oluşan değerini belirtmektedir.

Elastomer yalıtım biriminde, birim şekildeğiştirmeler ve bu şekildeğiştirmelerdeki davranışları incelenir. Bu değerler TBDY-2018 kapsamında kontrol edilir.

7.4.1. Depremsiz Durumda Oluşacak Şekildeğiştirmeler



Şekil 7.3. Basınç etkisindeki elastomer yalıtım birimi, TBDY-2018.

Şekil 7.3’de elastomer yalıtım biriminin basınç altındaki şekildeğişirmesi gösterilmektedir. Depremsiz durumda, basınçta meydana gelecek olan açısal şekildeğişirme ($\gamma_{c,st}$),

$$\gamma_{c,st} = \frac{6SP_{K1}}{A_r E_c} \quad (7.11)$$

P_{K1} : 1.4G+1.6Q yüklemesi altında (Denklem 7.2) oluşan kuvvet,

A_r : Elastomer katmanın düşey yüke dayanan yüzey alanı değeri,

E_c : Elastomer yalıtım biriminin basınç modülü,

S : Şekil katsayısı,

olarak tanımlanmıştır.

Yüke maruz yüzey alanı (A_r)’nin hesabında, elastomer mesnetin geometrisinin kare veya dairesel olması durumuna göre iki farklı formül (Denklem 7.12 ve Denklem 7.13) tanımlanmıştır.

Dairesel kesitli ve kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimleri için A_r alanı hesabı;

$$A_r = (\pi/4)(B^2 - B_L^2) \quad (7.12)$$

Denklem 7.12’de;

B_L : Orta kısımdaki kurşun çekirdek çapı,

B : Çelik plaka ile yapışmış elastomer levha çapı,

olarak tanımlanmıştır.

Dikdörtgen kesitli ve kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimleri için A_r alanı hesabı;

$$A_r = B B' - (\pi B_L^2/4) \quad (7.13)$$

Şekil katsayısı (S)’nın hesabı, dairesel ve kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimleri için;

$$S = (B^2 - B_L^2) / (4Bt) \quad (7.14)$$

Denklem 7.14’de;

t : Elastomer katman kalınlığıdır.

Elastomer yalıtım birimlerinin düşey rijitliği k_v olmak üzere;

$$k_v = \frac{E_v A_r}{T_r} \quad (7.15)$$

Denklem 7.15’de;

k_v : Elastomer yalıtım biriminin düşey rijitliği,

E_v : Düşey rijitlik modülü,

A_r : Yüke maruz yüzey alanı,

T_r : Toplam elastomer kalınlığı,

olarak tanımlanmıştır.

Denklem 7.15’den anlaşılacağı üzere; elastomer yalıtım birimlerinde, düşey rijitlik modülü ve yüke maruz kalan alan sabit kalmak üzere, elastomer mesnetin yüksekliği artarsa düşey rijitliği azalır.

Elastomer yalıtım birimi için düşey rijitlik modülü (E_v) hesabı;

$$E_v = \frac{1}{\frac{1}{E_c} + \frac{1}{K}} \quad (7.16)$$

Denklem 7.16’da;

K : Kauçuk malzemenin hacimsel elastiklik modülüdür.

TBDY-2018 kapsamında yapılacak tasarımlarda, düşey rijitlik modülü (E_v) hesabında, kauçuk malzemenin hacimsel modülü (K) 2000 MPa alınacaktır.

Elastomer yalıtım birimlerinin basınç modülü (E_c) hesabı;

$$E_c = E_0(1 + 2kS^2) \quad (7.17)$$

Denklem 7.17’de;

E_c : Elastomer yalıtım biriminin basınç elastiklik modülü,

E_0 : Kauçuk malzemenin esneklik modülü,

k : Kauçuk malzemenin sertlik değeridir.

TBDY-2018 kapsamında yapılacak tasarımlarda, kauçuk malzemenin esneklik modülü (E_0);

$$E_0 = 4G_v \quad (7.18)$$

ifadesi ile hesaplanır.

Denklem 7.18’de, G_v değeri; elastomer malzemenin kayma modülüdür.

k katsayısının değeri, TBDY-2018 kuralları gereği, kauçuk malzemenin sertlik derecesine göre Tablo 7.4’de yer alan değerlerde alınır.

Tablo 7.4. Kauçuk malzeme sertlik derecesine göre k katsayısı değerleri.

Kauçuk malzemenin sertlik derecesi	k katsayısının değeri
50	0.75
60	0.60
70	0.55

Kurşun çekirdeğin ikincil rijitliği, KÇE deprem izolatörünün başlangıç rijitliğinde belirleyici parametredir.

Elastik ötesi (İkincil rijitlik) değeri (k_2), elastomer deprem izolatörleri için;

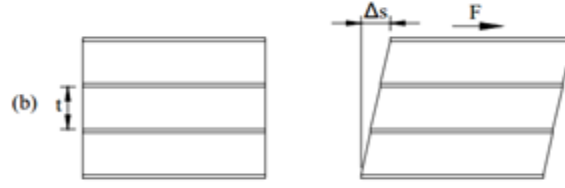
$$k_2 = G_v(A_r/T_r) \quad (7.19)$$

Denklem 7.19’da;

G_v : Elastomer malzemenin kayma rijitliği,

A_r : Yüke maruz yüzey alanı,

T_r : Toplam elastomer kalınlığıdır.



Şekil 7.4. Yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen yerdeğiştirme.

Deprem dışındaki genleşme, rüzgar gibi diğer etkilerden oluşacak yatay yerdeğiştirmeden (Şekil 7.4) meydana gelen açısıl yerdeğiştirme:

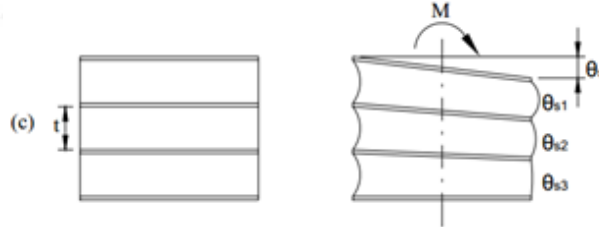
$$\gamma_{s,st} = \frac{\Delta_s}{T_r} \quad (7.20)$$

Denklem 7.20’de;

$\gamma_{s,st}$: Deprem dışındaki diğer etkilerden dolayı (genleşme, rüzgar vb.) oluşacak yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen açısıl şekildeğiştirme,

Δ_s : Yatay yüklemelerden meydana gelen yerdeğiştirme miktarı,

T_r : Elastomer katmanların toplam kalınlığıdır.



Şekil 7.5. Göreli dönmeden meydana gelen şekildeğiştirme.

Yalıtım birimi üst ve alt plakaları arasındaki göreli dönmeden meydana gelen şekildeğiştirme ($\gamma_{r,st}$):

$$\gamma_{r,st} = \frac{B^2 \theta_s}{2tT_r} \quad (7.21)$$

Denklem 7.21’de;

B : Çelik plakaya yapışmış olan elastomer çapı,

θ_s : Tasarım dönme açısı,

t : Elastomer katman kalınlığı,

T_r : Toplam elastomer kalınlığıdır.

Denklem 7.21’de yer alan θ_s açısı (Şekil 7.5), imalatla oluşan dönme etkilerini, hareketli yükleri ve sabit yüklerin oluşturduğu etkileri bulundurmakla birlikte, dönme açısı olarak isimlendirilir. Hesaplamalarda θ_s açısının değeri, TBDY-2018’e göre en az 0.005 radyan olarak alınır.

7.4.2. Depremlı Durumlarda Şekildeğıştirmeler

Deprem etkilerinin de bulunduğu durumlarda oluşan şekildeğıştirme değeri, Denklem 7.22 ve Denklem 7.23 ile belirtilen iki formüle göre hesaplanır.

DD-1 ve DD-2 deprem düzeyinde meydana gelecek, basınç şekildeğıştirmesi ($\gamma_{c,E}$);

$$\gamma_{c,E} = \frac{6SP_{K2}}{A_{re}E_c} \quad (7.22)$$

Denklem 7.22’de;

P_{K2} : $1.2G + Q \pm E_d$ denklemi ile elde edilen düşey kuvvet,

A_{re} : Depremlı durumda yüke maruz alanıdır.

DD-1 ve DD-2 deprem düzeyinde meydana gelecek, yatay birim şekildeğıştirme ($\gamma_{s,E}$);

$$\gamma_{s,E} = \frac{D}{T_r} \quad (7.23)$$

Denklem 7.23’de;

D : İlgili deprem düzeyinde meydana gelen yatay yerdeğıştirmedi.

7.4.3. Elastomer Yalıtım Birimlerinin Şekildeğıştirme Sınır Değeri

TBDY-2018 kapsamında yapılacak yalıtımlı binalarda kullanılmak üzere, deprem yükleri hariç hesaplanan birim şekildeğıştirmelerin kontrol edileceğı değeri bulunmaktadır. Bu sınır değeri en küçüğünün sağlanması istenmektedir.

Depremsiz durumda; düşey yüklerden oluşan birim şekildeğıştirmelerin sınırları için, aşağıdaki koşullardan, en küçük sınır sağlanmalıdır.

$$\gamma_{c,st} \leq 3.5 \quad \text{veya} \quad \gamma_{c,st} < \varepsilon_b / 3 \quad (7.24)$$

$$\gamma_{c,st} + \gamma_{s,st} + \gamma_{r,st} \leq 5.0 \quad \text{veya} \quad \gamma_{c,st} + \gamma_{s,st} + \gamma_{r,st} \leq 0.75 \varepsilon_b \quad (7.25)$$

Denklem 7.24 ile Denklem 7.25’de;

ε_b : Elastomer yalıtım biriminin kopma birim şekildeğiştirme değeridir.

Elastomer yalıtım biriminin yerleştirildiği arayüzde, yerdeğiştirmelerden ve dönmelerden oluşan şekildeğiştirmelerin toplamı aşağıdaki eşitlikleri (Denklem 7.26 ve Denklem 7.27) karşılaması gerekir:

$$\gamma_{c,E} + \gamma_{s,E} + 0.5\gamma_{r,st} \leq 6.0 \quad (7.26)$$

$$\gamma_{s,E} \leq 2.0 \quad (7.27)$$

7.4.4. Elastomer Yalıtım Birimlerinin Düşey Kararlılığı

Yatay yerdeğiştirmelerin olmadığı durumlarda, elastomer yalıtım biriminin burkulma yükü (P_{cr}), elastomer yalıtım biriminin geometrik şekline ve kurşun çekirdekli olmasına göre değişkenlik gösterir.

Dairesel şekildeki YSE için:

$$P_{cr} = 0.218 G_v B^4 / (t T_r) \quad (7.28)$$

Kare şekildeki YSE için:

$$P_{cr} = \frac{0.340 G_v B^4}{t T_r} \quad (7.29)$$

Kurşun çekirdekli yalıtım birimleri için;

$$P_{cr} = 0.218 \frac{G_v B^4 (1 - B_L/B)(1 - B_L^2/B^2)}{t T_r (1 + B_L^2/B^2)} \quad (7.30)$$

Yukarıdaki formüllerde (Denklem 7.28, 7.29 ve 7.30’da);

G_v : Elastomer malzeme kayma modülü,

B_L : Kurşun çekirdek çapı,

B : Çelik plaka ile yapışmış elastomerin çapı,
 T : Elastomer katman kalınlığı,
 T_r : Toplam elastomer kalınlığıdır.

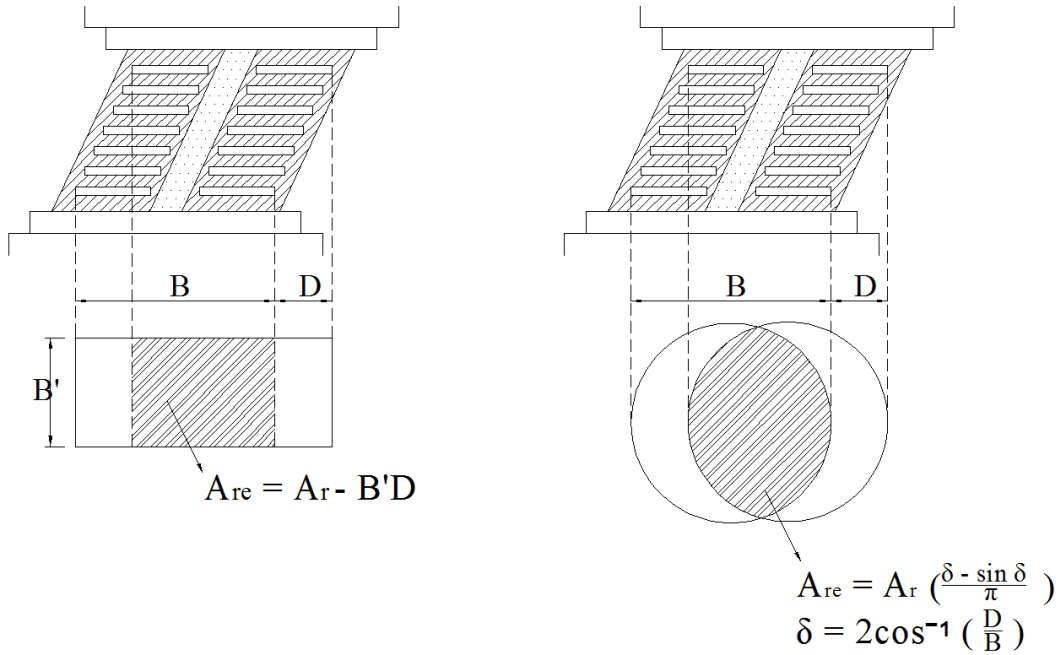
Yatay yerdeğiştirme söz konusu olduğunda, elastomer yalıtım birimlerinin DD-1 deprem yer hareketinde burulma yükü (P'_{cr}),

$$P'_{cr} = P_{cr}(A_{re}/A) \quad (7.31)$$

Denklem 7.31'de;

A_{re} hesabında yalıtım biriminin geometrik şekline göre farklılıklar söz konusudur (Şekil 7.6).

A_{re}' nin hesaplanmasına D değeri olarak D_{TM} kullanılır.



Şekil 7.6. İzolatör yatay yerdeğiştirmesi sırasında oluşan izdüşümü deformasyonlar (TBDY-2018).

TBDY-2018' e göre yapılacak tasarımlarda, elastomer malzeme kullanılarak yapılan deprem izolatörlerinin, eksenel yük kapasiteleri (P_{str});

$$P_{str} = \frac{3.5A_{re}E_c}{6S} \quad (7.32)$$

bağıntısı ile bulunur.

Elastomer deprem izolatörü cihazlarının yatay yöndeki yerdeğiştirmelerinin bulunmadığı durumlardaki burkulma yükü sınır değeri (Denklem 7.33);

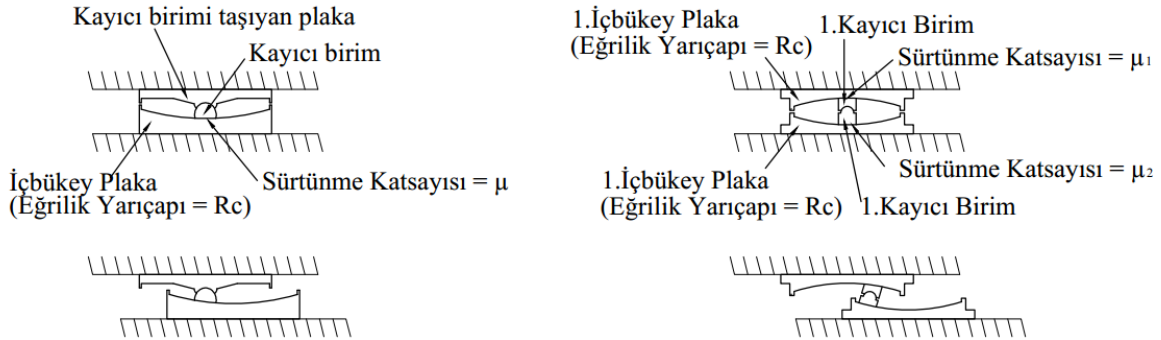
$$\frac{\min(P_{cr}, P_{str})}{P_{K1}} \geq 2.0 \quad (7.33)$$

DD-1 deprem seviyesinde oluşan yatay deplasmandaki burkulma yükü sınır değeri Denklem 7.34 ile verilmiştir.

$$\frac{\min(P'_{cr}, P_{str})}{P_{K2}} \geq 1.1 \quad (7.34)$$

7.5. Eğri Yüzeyle Sürtünmeli Sarkaç Tipi Deprem İzolatörleri

Üst ile alt tabakalarındaki iç bükey çelik elemanlar arasında, hareket edebilen bir elamanın bulunduğu yalıtım birimleri (Şekil 7.7), eğri yüzeyle sürtünmeli sarkaç tipi yalıtım birimi (FPS) olarak adlandırılır. Bu tür yalıtım birimleri de çevrimsel bir kuvvet-yerdeğiştirme davranışına sahiptir.

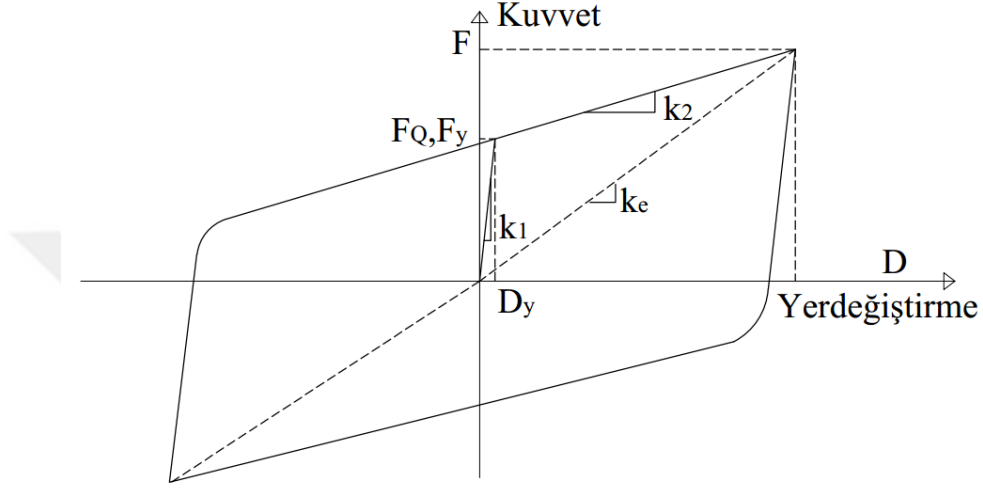


Şekil 7.7. Eğri yüzeyle sürtünmeli yalıtım birimi elemanları (TBDY-2018 EK14B).

TBDY-2018 kuralları gereği, çevresel etkilerden izole edilmiş ve yağlanmış sürtünme tabakasına sahip olan FPS izolatörü parametrelerinin üst veya alt değeri bulunurken birer katsayı ile çarpılması gerekmektedir. Bu katsayılar deney ile elde edilemiyor ise TBDY-2018 de belirtildiği şekilde, Tablo 7.5’den alınır.

Tablo 7.5.FPS tipi deprem izolatörleri için eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimleri için λ_{alt} ile $\lambda_{üst}$ katsayıları için kullanılacak olan değerleri

	μ	
	<i>alt</i>	<i>üst</i>
$\lambda_{\mathcal{A}}$	1.00	1.20
λ_{deney}	0.70	1.30
λ_{spek}	0.85	1.15



Şekil 7.8. Eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi deprem izolatörü kuvvet-yerdeğiştirme grafiği (TBDY-2018).

Yukarıdaki grafikte (Şekil 7.8) kuvvet yerdeğiştirme davranışının çevrimsel olduğu görülmektedir.

Başlangıç rijitliği (k_1) çok yüksektir, ancak etkisi sadece başlangıç ile sınırlıdır.

İkincil rijitlik (k_2), eğrilik yüzeyine etkiyen düşey kuvvetin (P), denge konumuna doğru yönelen ve eğri yüzeyin paralel bileşeni sebebiyle oluşur ve deprem etkisi sırasında üst yapının göreceli hareketine sebep olur (Celep, 2019).

$$k_2 = \frac{P}{R_c} \quad (7.35)$$

Denklem 7.35’de;

P : Düşey kuvvet,

R_c : Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım biriminin etkin eğrilik yarıçapıdır.

Yalıtım birimi yüzeyinde, sıfır yerdeğiştirme durumunda etkin sürtünme katsayısı (μ_e) bulunur. Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım biriminin üzerine etkiyen düşey kuvvet (P) ile bu sürtünme kuvvetinin çarpımı, karakteristik dayanımı veya etkin akma dayanımını oluşturur.

$$F_Q = F_y = \mu_e P \quad (7.36)$$

Denklem 7.36'da;

μ_e : Etkin sürtünme katsayısı,

P : Düşey yüküdür.

Bir yük çevriminde etkili olan etkin rijitlik (k_e);

$$k_e = \frac{F}{D} = \frac{P}{R_c} + \frac{\mu_e P}{D} \quad (7.37)$$

Denklem 7.37'de;

D : Yalıtım birimi için yerdeğiştirme değeri,

R_c : Yalıtım birimi kayma yüzeyinin eğrilik yarıçapıdır.

Bir yerdeğiştirme çevriminde, etkin sönüm oranı (β_e);

$$\beta_e = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{W_d}{FD} \right] = \frac{2}{\pi} \left[\frac{\mu_e}{\mu_e + D/R_c} \right] \quad (7.38)$$

Denklem 7.38'de;

W_d : Kuvvet-yerdeğiştirme çevriminde tüketilen enerjidir.

7.5.1. Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimlerinin Bağlantıları

Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimlerinin alt ve üst yapı bağlantıları, DD-1 depreminin, yatay ve düşey bileşeni dikkate alınarak bütün yük bileşenlerinin 1.1 katsayısıyla çarpılarak elde edilecek yük değerleri ile hesaplanan düşey ve yataydaki kuvvet etkilerini karşılayacak kapasitede tasarlanır.

7.6. Çözüm Yöntemleri

TBDY-2018'e göre; üst yapı ve alt yapının deprem analizleri için 3 farklı yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler, Etkin Deprem Yüğü Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi ile deprem hesaplarıdır.

Hangi hesap yönteminin hangi durumda kullanılabileceği, yapının tasarım parametrelerine göre değişmektedir.

Söz konusu koşullar aşağıda sıralanmıştır:

- Yapının zemin sınıfları ZA, ZB, ZC veya ZD türüdür,
- Tasarımı yapılan deprem izolatörü kullanılan bina türü yapının DD-1 deprem seviyesindeki etkin periyodu 4.0 s' den küçük olması durumu,
- Yalıtım birimleri üzerindeki kat sayısı en fazla 4 adettir ve bina toplam yüksekliği 20 m dir,
- Yalıtım birimlerinin bağlantılarında herhangi bir kalkma veya çekme oluşmamaktadır,
- Etkin sönüm değeri %30 değerinin altındadır,
- Yalıtım sistemi üzerindeki katlarda, burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 2.0$ koşulu sağlanmalı ve B2 düzensizliği olmamalı,
- Tasarımı yapılan binanın düşey doğrultudaki titreşim periyodu $T_v \leq 0.1$ s olmalıdır.

Yukarıdaki tüm şart ve kuralların sağlanması durumunda, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'ne benzer şekilde, birinci modu esas alan Etkin Deprem Yüğü Yöntemi ile deprem hesabı yapılabilir.

(a), (b), ve (d) koşullarının sağlanması durumunda üst yapı ve alt yapı için Mod Birleştirme Yöntemi kullanılabilir.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözüm yöntemi her durumda kullanılabilir.

7.6.1. Etkin Deprem Yüğü Yöntemi

Etkin Deprem Yüğü Yöntemi'nde, öncelikli faktör yalıtım birimi yerdeğiştirmesidir.

DD-2 deprem seviyesinde tasarım yalıtım birimi yerdeğiştirmesi (D_D);

$$D_D = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) T_D^2 \eta_D S_{ae}^{(DD-2)}(T_D) \quad (7.39)$$

Denklem 7.39'da;

- g : Yerçekimi ivmesi,
 T_D : Deprem yalıtımlı binanın tasarım yerdeğiştirmesi seviyesinde etkin titreşim periyodu,
 η_D : Sönüm ölçeklendirme katsayısı,
 $S_{ae}^{(DD-2)}(T_D)$: Tasarım deprem yer hareketi seviyesinde T_D periyodundaki spektral ivmedir [g].

Bu denklemdeki 1.3 katsayısı geometrik anlamdan dolayı gelmektedir.

Tasarım depremi DD-2 için bina etkin periyodu (T_D);

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK_D}} \quad (7.40)$$

Denklem 7.40'da;

- W : Deprem kuvvetlerinin etkidiği sırada binanın kütesine göre ağırlığı,
 K_D : Tasarım deprem yer hareketi yerdeğiştirmesi seviyesinde yalıtım sisteminin nominal etkin rijitliğidir.

DD-1 deprem yer düzeyindeki tasarımda yalıtım birimi yerdeğiştirmesi (D_M); D_D için verilen denkleme benzer olarak, denklem 7.41 ile tanımlanır.

$$D_M = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) T_M^2 \eta_M S_{ae}^{(DD-1)}(T_M) \quad (7.41)$$

Denklem 7.41'de;

- T_M : En büyük yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın etkin titreşim periyodu,
 η_M : Sönüm ölçeklendirme katsayısı,
 $S_{ae}^{(DD-1)}(T_M)$: En büyük deprem yer hareketi seviyesinde T_M periyodundaki spektral ivme [g] olarak tanımlanmıştır.

Tasarım depremi DD-1 için bina etkin periyodu (T_M);

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK_M}} \quad (7.42)$$

Denklem 7.42’de;

K_M : En büyük deprem yer hareketi yerdeğiştirmesi seviyesinde yalıtım sisteminin nominal etkin rijitliğidir.

Sönüm ölçeklendirme katsayılarının (η_M ve η_D) hesabı;

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5+\xi}} \quad (7.43)$$

Denklem 7.43’de;

ξ : Yalıtım birimi yerdeğiştirmelerinde DD-1 ve DD-2 deprem düzeyleri için hesaplanan etkin sönüm oranıdır.

DD-1 ve DD-2 deprem seviyesindeki yalıtım arayüzü toplam yerdeğiştirmeleri, D_D ve D_M deplasman sonuçlarına, deprem izolatörü ve üst yapı burulma etkilerinin oluşturduğu ek deplasmanların dahil edilmesiyle birlikte hesaplanır. Söz konusu toplam yerdeğiştirmeler aşağıdaki değerlerden az olamaz:

$$D_{TD} = D_D \left[1 + y \frac{12e}{b^2+d^2} \right] \quad (7.44)$$

$$D_{TM} = D_M \left[1 + y \frac{12e}{b^2+d^2} \right] \quad (7.45)$$

Denklem 7.44 ve Denklem 7.45’de, hesabı yapılan yönde, deprem yalıtımı cihazının etkin rijitlik merkezindeki toplam yerdeğiştirme miktarları; DD-2 için D_{TD} ve DD-1 için D_{TM} sembolleri ile ifade edilmiştir.

Eğer bu değerler sağlanmazsa, hesaplanan değerler ile 1.1 D_D ve 1.1 D_M deplasmanı değerlerinin büyük olanları hesaplamalarda göz önüne alınır.

DD-2 deprem yer hareketi seviyesinde, üst yapıya etkiyen kuvvet (V_D);

$$V_D = \frac{S_{ae}^{(DD-2)}(T_D)W\eta_D}{R} \quad (7.46)$$

denklemini ile hesaplanır.

DD-1 deprem yer hareketi seviyesinde, üst yapıya etkiyen kuvvet (V_M);

$$V_M = \frac{S_{ae}^{(DD-1)}(T_M)W\eta_M}{R} \quad (7.47)$$

denklemini ile hesaplanır.

Üst yapıya etkiyen kuvvetin hesabında kullanılan R katsayısı, deprem yükü azaltma katsayısı olmak üzere, DD-2 deprem seviyesinde amaçlanan performans düzeyini sağlamak için Tablo 7.6'da yer alan değerler kullanılır.

Dayanım fazlalığı katsayısı (D) ve deprem yükü azaltma katsayısı (R) için, ilgili performans hedefine göre, deprem yalıtımlı binalarda Tablo 7.6'daki değerler alınır.

Tablo 7.6. Deprem yalıtımlı binalarda R ve D katsayısı değerleri.

Performans Hedefi	R	D
KK	1.2	1.2
SH	1.5	1.5

Altyapıya etkiyen kuvvet; $R=1$ alınarak, DD-1 deprem düzeyinde, V_M denklemi kullanılarak bulunur.

Üst yapıya etkiyen kuvvet, Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile hesaplanan değerlere benzer şekilde katın temelden yüksekliği ve kat kütlesi ile doğru orantılı olarak katlara dağıtılır.

Üst yapıya etkiyen kuvvetin katlara dağıtılması;

$$F_s = \frac{V_D w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \quad (7.48)$$

Denklem 7.48'de;

w_x : x katının toplam ağırlığı,

h_x : x katının yüksekliğidir.

Tasarımda kontrol edilmesi gereken bir diğer husus, üst yapıya etki eden kuvvetin, tasarım rüzgar kuvvetinden ve deprem izolatörünün elastik ötesi rijitliğe ulaşması için ihtiyacı olan kuvvetten daha küçük olamaması durumudur.

7.6.2. Mod Birleştirme Yöntemi

Genel Mod Birleştirme Yöntemi'nde olduğu gibi; en büyük modal davranış büyüklüklerinin istatistiksel olarak birleştirilip en büyük davranış değerlerinin elde edilmesi yöntemidir.

Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimlerinin hesabında, genel Mod Birleştirme Yöntemine ek olarak burulma etkileri büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle yalıtım birimlerinin modellenmesinde burulma etkilerinin gösterilmesi ve yerdeğiştirmelerin hassasiyetle gösterilmesi gerekmektedir.

Tasarımı yapılacak binanın düzensizlik durumlarına göre, binadaki yerdeğiştirmeler sınırlandırılmıştır.

Hesaplanan yerdeğiştirmelerle üst yapı ve alt yapı kuvvetleri, binada düzensizlik bulunmaması durumunda, etkin deprem yükü yöntemi ile bulunan değerlerin %80'inden, binada A1, B2 veya B3 düzensizliklerinden en az birinin bulunması durumunda ise %90'ından az olamaz (TBDY, 2018).

Etkin sönüm oranı, Mod Birleştirme Yönteminde, eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimleri için %30 değeri ile sınırlandırılmıştır.

7.6.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Yöntemin uygulanmasında; zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap kuralları uygulanır. Binanın düşey doğrultudaki titreşim periyodu $T_v \leq 0.1s$ olduğu durumlarda depremin iki yatay bileşeni, sağlanamadığı durumlarda ise depremin iki yatay bileşeni ile ek olarak düşey bileşeni de kullanılır.

Deprem kayıtlarının seçimi kurallarına aynen uyulur. Ancak; deprem yer hareketlerinin ölçeklendirilmesinde $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ değerleri yerine sırasıyla $0.5T_M$ ile $1.25T_M$ kullanılır.

ZD sınıfı zeminlerden daha kötü zeminlerde 3 boyutlu dinamik yapı-zemin ilişkisi etkileşim hesapları yapılmalıdır. Bu hesaplar sonucundaki veriler bina hesaplarında göz önünde bulundurulur.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz, 11 adet deprem kayıt çifti için bütün deprem seviyelerinde ve her iki doğrultuda yapılmalıdır. Tasarım için kullanılacak değer, ilgili deprem doğrultusu ve seviyesinde elde edilen en büyük değerlerin ortalamasıdır.

Yalıtım birimi yerdeğiştirmelerinin anlamlandırılmasında vektörel bileşke kullanılır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz kullanılarak tasarımı yapılacak yalıtım birimi yerdeğiştirmeleri, birbirine dik doğrultudaki yerdeğiştirmelerin vektörel bileşkesi alınarak belirlenir.

Yalıtım ara yüzündeki yerdeğiştirmelerin sınırı D_{TD} ve D_{TM} için hesaplanan değerlerin %80'i olarak en küçük değerdir.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap sonucunda elde edilen üstyapı ve altyapı kuvvetleri, binada düzensizlik bulunmaması durumunda, Etkin Deprem Yüğü Yöntemi ile hesaplanan değerlerin %80'inden daha az olamaz.

7.7. Yalıtımlı Binalarda Görelı Kat Ötelemesi Sınırları ve Deprem Derzleri

Üst yapıdaki görelı kat ötelemesi sınırları için; h_i kat yüksekliğı olmak üzere, Kesintisiz Kullanım (KK) performans seviyesi için $0.005h_i$, Sınırlı Hasar (SH) performans seviyesi için $0.01h_i$, Kontrollü Hasar (KH) performans seviyesi için ise $0.015h_i$ değerini aşmaması gerekmektedir.

Yalıtımlı binalarda bırakılacak deprem derzleri de ayrı bir önem taşımaktadır. Bu durum tasarımda dikkate alınmalıdır. Deprem izolatörünün toplam en büyük deplasmanına ek olarak görelı kat ötelemeleri de hesaplamalarda dahil edilmelidir.

TBDY-2018 kapsamında yapılacak deprem yalıtımlı binalarda, derz genişliğı, derzin her iki tarafındaki yapılar için hesaplanan mutlak en büyük yerdeğiştirmelerin toplamından daha az olamaz.

8. MATERYAL VE ANALİZ YÖNTEMLERİ

Bu bölümde, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) yeniliklerinden en dikkat çeken bölüm olan; TBDY-2018 Bölüm 14-Deprem Etkisi Altında Yalıtımlı Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar doğrultusunda yapısal çözümlemeler yapılacak ve sonuçlar, binaların deprem etkisi altında davranışına göre incelenecektir. Taban yalıtımsız ve iki adet farklı deprem yalıtım birimi kullanılarak tasarlanmış deprem yalıtımlı bina örneği ile deprem analizleri gerçekleştirilip etkin görelî kat ötelemeleri arasındaki değişiklik incelenecektir.

Yapısal modelin oluşturulmasında, sonlu elemanlar analizi alanında uluslararası kabul gören SAP2000 isimli bilgisayar programı (SAP2000 (Version 21.2.0) [Computer Software]) kullanılmıştır.

Yapısal analizleri incelenecek tüm yapılar, yerinde dökme betonarme bina taşıyıcı sistemidir.

Yapısal analizleri gerçekleştirilen yapılara ait ortak parametreler:

- Aks bilgileri (Şekil 8.1):

X yönünde 5 açıklık bulunmaktadır. X yönündeki aks aralığı sabit olup 5.00 m'dir.

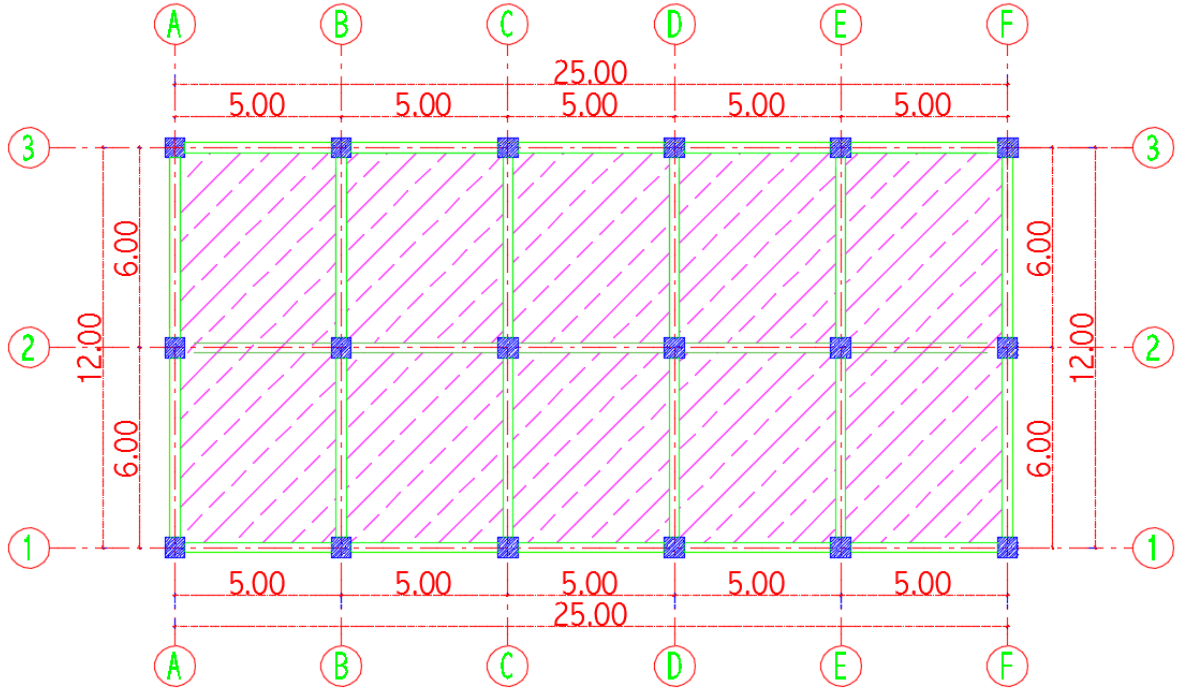
Y yönünde 2 açıklık bulunmaktadır. Y yönündeki aks aralığı sabit olup 6.00 m'dir.

Plandaki kolon, kiriş ve döşeme sayısı her katta aynıdır.

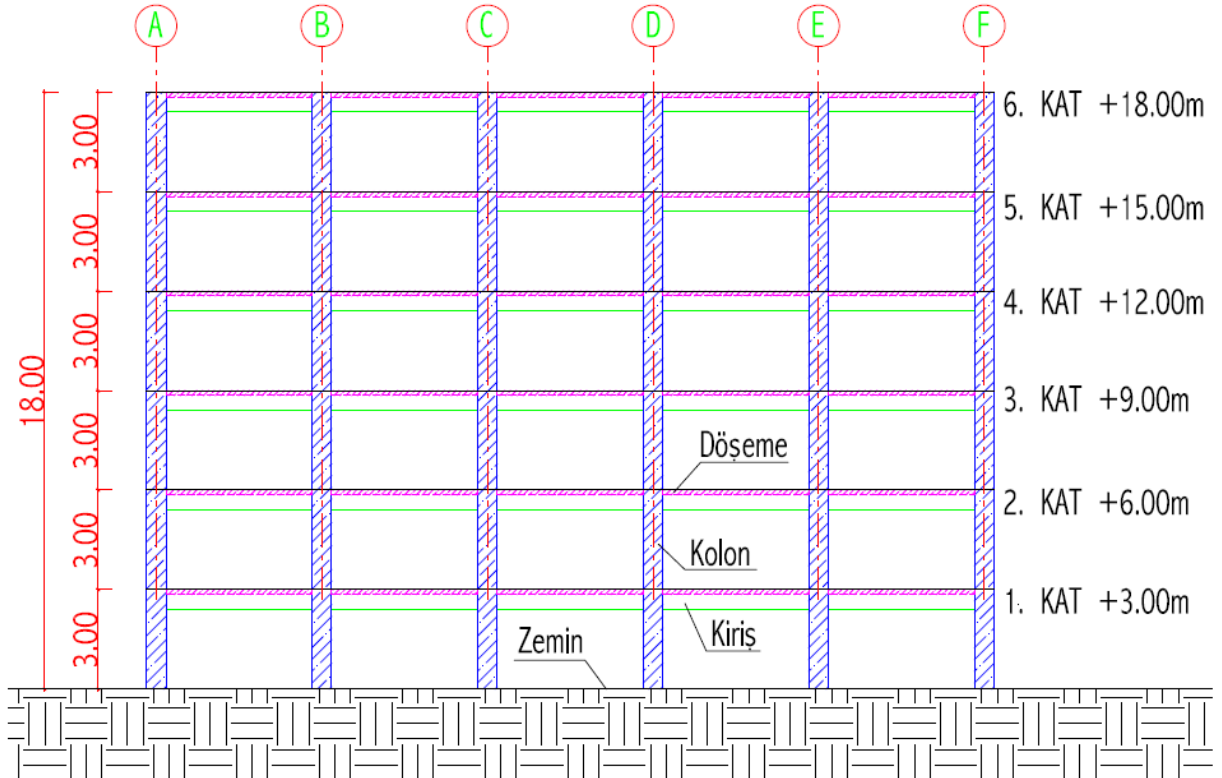
Kolon ve kiriş boyutları her katta aynıdır.

Kat yüksekliği 3.00 m'dir (Şekil 8.2).

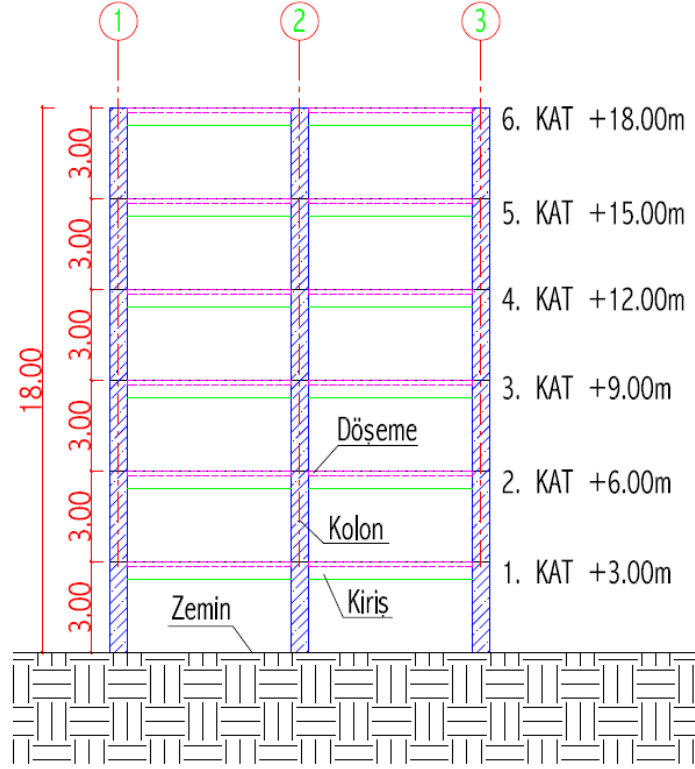
Kat yüksekliği her katta aynıdır (Şekil 8.3).



Şekil 8.1. Analizleri yapılan binanın plan görünüşü (Birimler metredir).



Şekil 8.2. Analizleri yapılan binanın 2-2 aks kesit görünüşü.



Şekil 8.3. Analizleri yapılan binanın B-B aksı kesit görünüşü.

Tablo 8.1. Kullanılan beton sınıfları ve dayanımları.

Beton sınıfı	C35
Karakteristik Basınç Dayanımı (f_{ck})	35 MPa
Karakteristik Eksenel Çekme Dayanımı (f_{ctk})	2.1 MPa
28 Günlük Elastisite Modülü, (E_c)	33000 MPa
Poisson oranı	0.20
Donatılı beton birim hacim ağırlığı	25 kN/m ³
Betonun ısı genleşme katsayısı (α_t)	10 ⁻⁵ / °C
Beton için beklenen (ortalama) dayanım ($f_{ce} = f_{ck} \times 1,3$)	45.5 MPa

Beton sınıflarına ait bilgiler TS 500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (Şubat-2000)'dan alınmıştır (Tablo 8.1).

- Donatı Çeliği:

TS 708'de bulunan B420C nervürlü donatı çeliği seçilmiştir.

Donatı çeliğinin elastisite modülü (E_s): 2×10^5 MPa

Minimum akma dayanımı (f_{yk}) : 420 MPa

Kopma dayanımı (f_{su}) : 500 MPa

Beklenen akma dayanımı ($f_{ye}=1.2f_{yk}$) : 504 MPa

Beklenen kopma dayanımı : 600 MPa

Donatı ağırlığı, beton ağırlığına eklenmiştir.

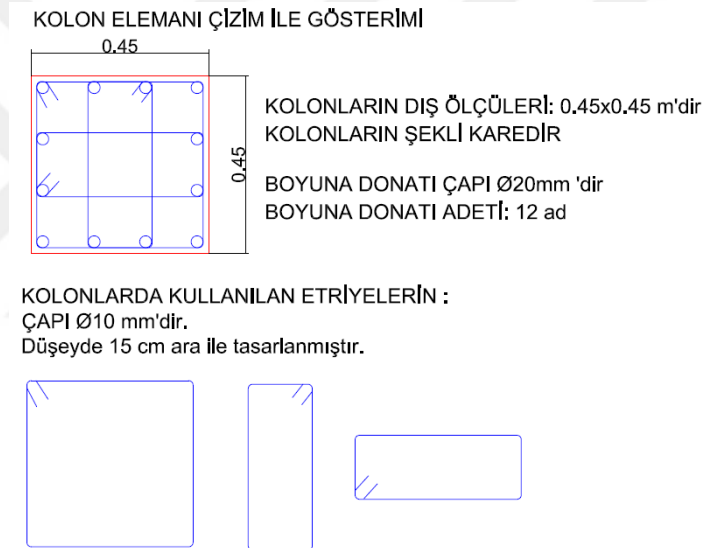
- Kolon boyutları ve donatı yerleşimi (Şekil 8.4):

Kolon boyutları : 45×45cm

Pas payı : 4 cm

Boyuna donatı sayısı : 12Ø20

Etriye : Ø10/15 cm



Şekil 8.4. Kolon yapı elemanı boyutları ve donatı yerleşimi.

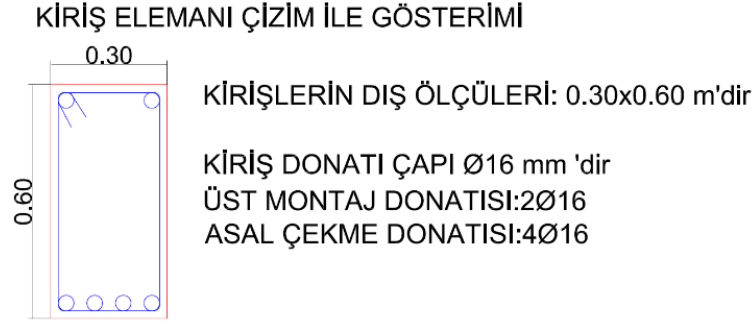
- Kiriş boyutları ve donatı yerleşimi (Şekil 8.5):

Kiriş boyutları : 30×60 cm

Pas payı : 4 cm

Üst montaj donatısı : 2 Ø16

Alt çekme donatısı : 4 Ø16



Şekil 8.5. Kiriş yapı elemanı boyut ve donatı yerleşimi.

- Döşeme kalınlığı : 15 cm
- Düşey sabit ve hareketli yükler
Sabit yükler;
Kaplama yükü (döşemelere) :1.50 kN/m²
Dış duvar yükü (kirişlere) :6 kN/m
İç duvar yükü (kirişlere) :4 kN/m
Çatı katı döşemesindeki kirişlerde duvar yükü bulunmamaktadır.
Hareketli yükler;
Hareketli yükler (döşemelere) :5 kN/m²
Çatı katı döşemesinde hareketli yük :2 kN/m²
Hareketli yük değerleri TS498 (TS 498)'den alınmıştır.
- Yerel Zemin Sınıfı : ZC

8.1. Analiz No 1- 6 Katlı Taban Yalıtımsız DGT- Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Kat adedi 6 olan, taban yalıtımsız yapının TBDY-2018 kurallarına göre Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile deprem hesabı yapılacaktır. TDTH sisteminden, yapının koordinatına, yerel zemin sınıfına göre istenilen depremsellik verileri elde edilir (Tablo 8.2).

Deprem yer hareketi düzeyi DD-2, yerel zemin sınıfı ZC olmak üzere, ilgili koordinat verilerine göre rapor yazdırılır.

DD-2 deprem yer hareketi düzeyine göre;

$$S_5 : 0.705$$

S_5 değeri ve ZC zemin sınıfına karşılık gelen F_5 değeri;

$$F_5 : 1.218$$

$$S_1 : 0.205$$

S_1 değeri ve ZC zemin sınıfına karşılık gelen F_1 değeri;

$$F_1 : 1.5$$

$$S_{DS} = S_S F_S = 0.705 \times 1.218 = 0.859$$

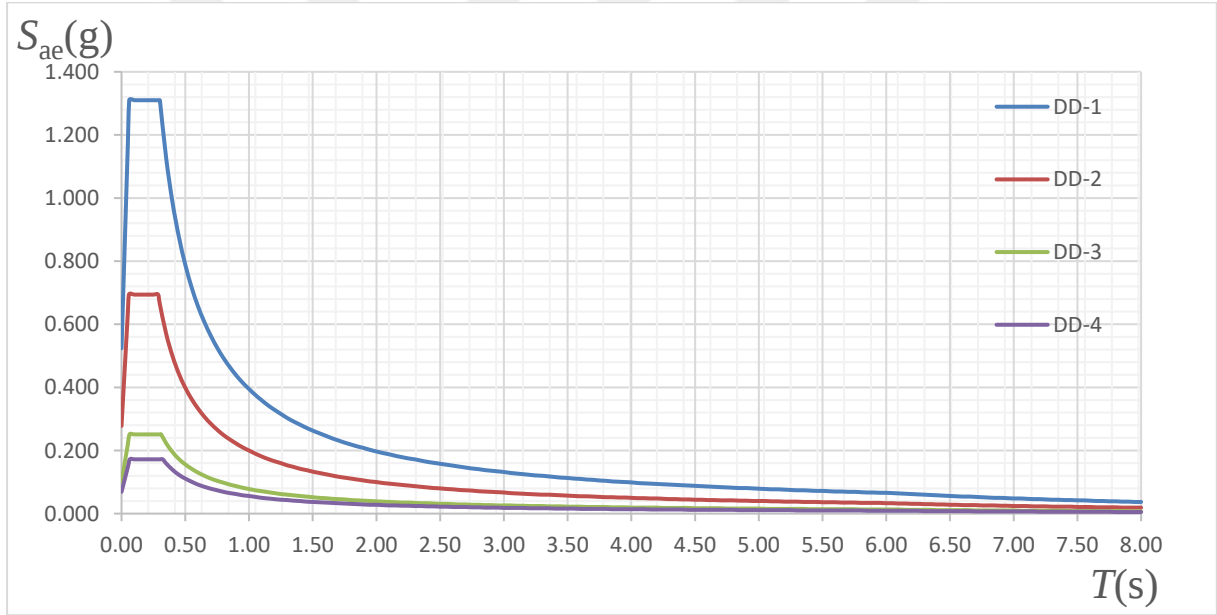
$$S_{D1} = S_1 F_1 = 0.205 \times 1.5 = 0.308$$

Köşe periyotlarının hesabı (DD-2 için):

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.2 \frac{0.308}{0.859} = 0.072 \text{ s}$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0.308}{0.859} = 0.358 \text{ s}$$

TBDY-2018 kurallarına göre analizi yapılan hastane binasının; TBDY-2018’de tanımlanmış dört adet deprem yer hareketi düzeyi için yukarıda tanımlanmış koordinatlarına göre ve ZC yerel zemin sınıfında, yatay elastik tasarım spektral ivmelerinin (S_{ae}), periyoda göre değişim grafiği Şekil 8.6’da görülmektedir.



Şekil 8.6. Yatay Elastik Tasarım Spektrum Grafikleri (DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 için).

Bu grafik (Şekil 8.6.) ile, TBDY-2018 Bölüm 2’de tanımlanmış olan deprem yer hareketi düzeylerinin ilgili bina periyoduna karşılık gelen yatay elastik tasarım spektral ivmeleri (S_{ae}) değerlerinin büyükten küçüğe sırasıyla DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 deprem düzeylerinde olduğu görülmektedir.

TBDY-2018’e göre, binaların deprem etkisi altında davranışının incelenmesinde, deprem kuvvetlerinin hesabında temel veri, ilgili bina periyoduna karşılık gelen ve TDTH’den elde edilen yatay elastik tasarım spektral ivmeleridir.

Tablo 8.2. TDTH sisteminden alınan deprem verileri.

	S_{DS}	S_{D1}
DD-1	1.540	0.530
DD-2	0.859	0.308
DD-3	0.352	0.126
DD-4	0.222	0.084

- Bina Kullanım Sınıfı ve Bina Önem Katsayısının Belirlenmesi

Hesabı yapılacak olan binanın kullanım amacı hastanedir. TBDY-2018, Tablo 3.1'den:

BKS : 1

I : 1.5 olarak alınır.

- Deprem Tasarım Sınıflarının Bulunması. TBDY-2018, Tablo 3.2'den:

BKS=1 ve $S_{DS} = 0.859$ için $0.75 \leq S_{DS}$ olduğundan;

DTS : 1a olarak bulunur.

- Bina Yüksekliği ve Bina Yükseklik Sınıflarının Belirlenmesi.

Analizi yapılan binanın kat adeti 6'dır. Kat yükseklikleri aynı olmak üzere 3.00 m'dir.

Deprem hesabı bakımından bina yüksekliği hesabı;

$H_N = 6 \times 3.00 = 18.00$ m olarak bulunur.

TBDY-2018, Tablo 3.3'e göre:

$17.5 < H_N \leq 28$ aralığında olduğu ve DTS: 1a olduğu için, BYS değeri;

BYS : 5 olarak bulunur.

- Bina Performans Hedeflerinin Belirlenmesi

Analizi yapılan bina; betonarme sistem olarak yerinde dökme metodu uygulanarak yeni yapılacaktır.

DTS:1a, BYS:5 ve dolayısıyla $BYS > 3$ olan bir bina olduğu için, TBDY-2018, Tablo 3.4'e göre;

DD-2 için Normal Performans Hedefi : KH

Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı : DGT

olarak hesaplarda kullanılır.

8.1.1. Deprem Etkisi Altında Binanın Dayanıma Göre Hesabı ve Tasarımı

- Taşıyıcı Sistem Türüne Göre R ve D Katsayılarının Belirlenmesi

Analizi yapılan bina; deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle taşındığı binalar sınıfındadır. $BYS \geq 3$ şartını sağlamaktadır.

Buna göre TBDY-2018 Tablo 4.1'den;

R : 8

D : 3

olarak bulunur.

- Doğrusal Hesap için Taşıyıcı Sistemin Modellenmesi
 - TBDY-2018 madde 4.5.1.1 ve 4.5.1.2 ye göre; hesabı yapılan binanın taşıyıcı sistemi üç boyutlu modellenmiştir ve birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkisi göz önüne alınmıştır.
 - Kolonlar ve kirişler, çubuk (çerçeve) sonlu elemanları olarak modellenmiştir (TBDY-2018 md.4.5.2.1).
 - Döşemelere rijit diyafram atanmıştır (TBDY-2018 mad.4.5.6.3). Döşemelerin rijit diyafram olarak modellenebilmesi, binada A2 ve A3 düzensizliklerinin bulunmaması ve düzlem içi şekildeğiştirmelerin önemli düzeyde olmadığı planda düzenli bina olması şartlarına bağlıdır.

Sistemin planda düzenli olduğu ve düzensizlik şartlarına ilişkin veriler hesaplanıp seçim doğrulanacaktır.
 - Ek dışmerkezlilik göz önüne alınmıştır.
 - Sönüm oranı %5 alınmıştır (TBDY-2018 md.4.5.1.3).
 - Hareketli yük katılım sayısı $n=0.3$ alınmıştır (TBDY-2018 tablo 4.3).
 - Etkin kesit rijitlikleri TBDY-2018, Tablo 4.2'den alınmıştır.

- Doğrusal Hesap Yönteminin Belirlenmesi

DGT yaklaşımı çözümleriyle bina türü yapıların hesaplamalarında kullanılan doğrusal hesap yöntemleri: Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (EDYY) ile doğrusal deprem hesabı ile Modal Hesap Yöntemleridir (Mod Birleştirme ve Mod Toplama Yöntemleri).

Modal Hesap Yöntemleri, DGT yaklaşımı ile tasarlanan tüm binalarda kullanılabilir (TBDY-2018 mad. 4.6.2.1.).

EDYY'nin uygulanabileceği binalar TBDY-2018, Tablo 8.3'de verilmiştir.

Tablo 8.3. EDYY'nin uygulanabileceği binalar.

Bina Türü	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfı	
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a, 4, 4a
Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalar	$BYS \geq 4$	$BYS \geq 5$
Diğer tüm binalar	$BYS \geq 5$	$BYS \geq 6$

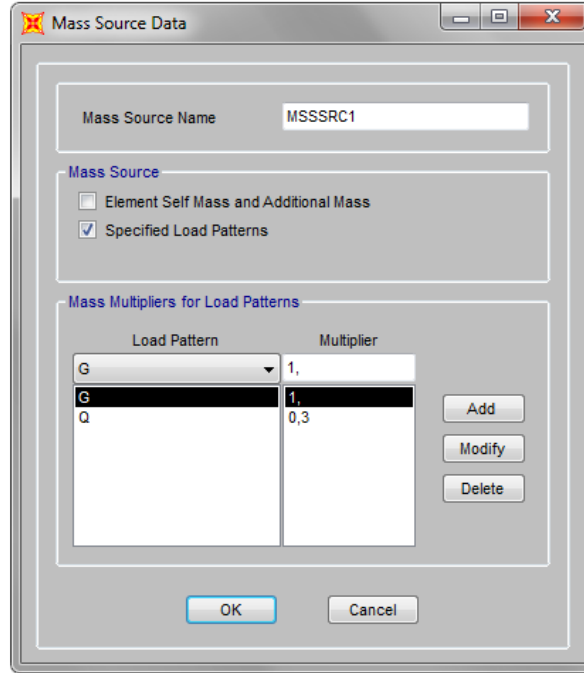
Hesabı yapılan binanın, DTS= 1a için BYS değeri 5'tir. Bu durumda $BYS \geq 5$ şartını sağlamaktadır. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılabilir.

8.1.2. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile Doğrusal Deprem Hesabı

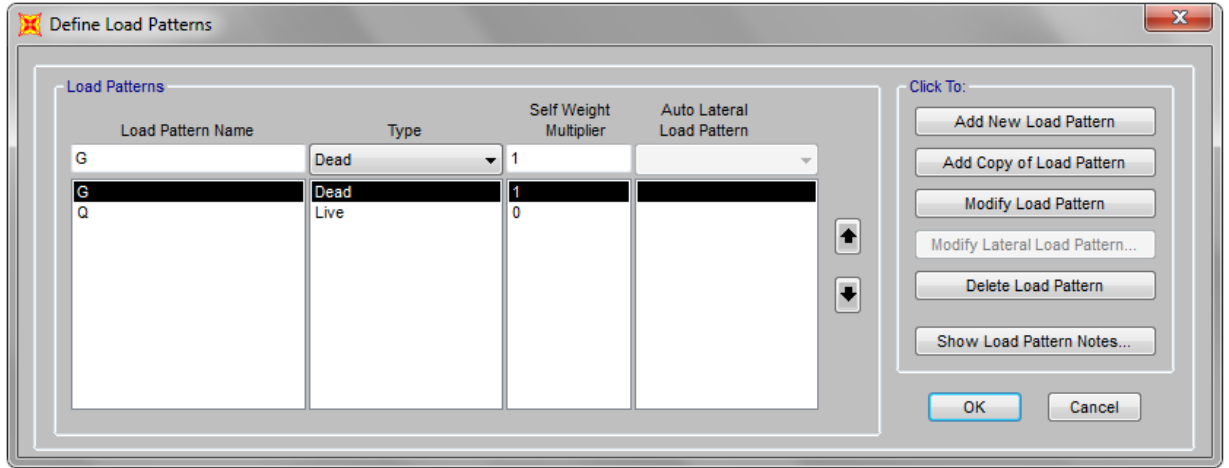
EDYY kat kütesine etkileyen kuvvetlerin hesabına dayanır. Bu durumda öncelikle modellenmesi yapılan binanın kat kütleleri bulunacaktır.

- Kat Kütlelerinin Modellenmesi (Şekil 8.7)

Tekil düğüm noktası kütleleri, sonlu elemanlar kapsamında, kat hizasında yayılı olarak hesaplanmıştır. Sonlu elemanların düğüm noktasına etkileyen tekil kütlelerin hesabında, hareketli yükler de bulunur.



Şekil 8.7. Kütlelerin programa tanıtılması, G+0.3Q veri girişi.



Şekil 8.8. Bilgisayar programında ölü yük ve hareketli yük öz ağırlıklarının tanıtılması.

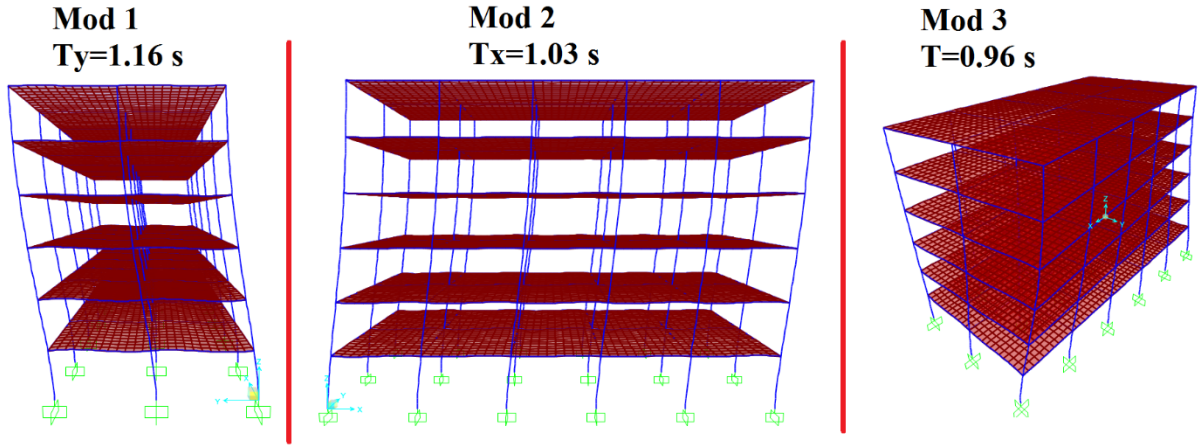
Burada (Şekil 8.8); G ölü yükleri, Q hareketli yükleri sembolize etmektedir. Kat kütlelerinin değerleri Tablo 8.4’de sunulmuştur.

Tablo 8.4. Kat kütlelerinin değerleri

KAT NO	KÜTLE (kNs ² /m)
6	260.82
5	375.29
4	375.29
3	375.29
2	375.29
1	389.15
TOPLAM	2151.13

- Analiz sonuçlarından elde edilen bina periyotlarının kontrolü

Mod-1 için, periyot y yönündedir ve değeri $T = 1.16$ saniyedir. 2. Mod için bina periyodu x yönündedir ve 1.03 s’dir. 3. Mod burulma modudur ve periyodu 0.96 s’dir (Şekil 8.9).



Şekil 8.9. Analiz no 1 için yapılan hesaplamaların bilgisayar programındaki mod şekilleri.

TBDY-2018 madde 4.7.3.2.'ye göre, hesaplanan hakim doğal titreşim periyodu, ampirik olarak hesaplanan doğal titreşim periyodunun (T_{pA}) 1.4 katından fazla olamaz. Bu kurala göre periyot kontrolü yapılır.

(T_{pA}) nın hesabı:

$$C_t = 0.1$$

Betonarme çerçeve taşıyıcı sistemlerden oluşan binalarda C_t değeri 0.1 alınır.

$$H_N^{3/4} = (18)^{0.75} = 8.739$$

$$T_{pA} = C_t H_N^{3/4} = 0.1 \times 8.739 = 0.8739 \text{ s}$$

$$T_{pA} \times 1.4 = 0.8739 \times 1.4 = 1.22346 \text{ s}$$

$$\text{Y-doğrultusunda Hakim Doğal titreşim periyodu } T_p^{(Y)} = 1.16 \text{ s}$$

$$\text{X-doğrultusunda Hakim Doğal titreşim periyodu } T_p^{(X)} = 1.03 \text{ s}$$

$$T_p^{(Y)} = 1.16 < 1.22346 = T_{pA} \times 1.4$$

$$T_p^{(X)} = 1.03 < 1.22346 = T_{pA} \times 1.4$$

Yapı modelinden elde edilen yapı periyotları ampirik hesap ile bulunan periyot değerlerinin 1.4 katından daha küçük olduğu için EDYY hesaplarında hesap modelinden elde edilen periyot değerleri kullanılabilir.

8.1.2.1. Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Belirlenmesi

X yönündeki taban kesme kuvveti (Toplam eşdeğer deprem yükü), x yönünde değeri TBDY-2018 denklem 4.19 ile belirlenir.

X yönü için taban kesme kuvveti hesabı, TBDY-2018 Denklem 4.19'dan;

$$V_{te}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g$$

m_t : 2151.13 kNs²/m, olarak modelden hesaplanmıştır.

$S_{aR}(T_p^{(X)})$ 'nin hesabı:

$$T_p^{(X)} = 1.03 \text{ s ise;}$$

$$T_A = 0.072 \text{ s, } T_B = 0.358 \text{ s, } T_L = 6 \text{ s}$$

$0.358 \leq 1.03 \leq 6$ ($T_B \leq T \leq T_L$) olduğu için, TBDY-2018 Denk. 2.2'den;

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} = 0.308/1.03 = 0.3 \text{ g olarak bulunur.}$$

X yönü için $T > T_B$ olduğu için, $R_a(T)$, TBDY-2018 Denk. 4.1a'dan;

$$R_a(T) = \frac{R}{I} = \frac{8}{1.5} = 5.33 \text{ olarak bulunur.}$$

Azaltılmış tasarım spektral ivmesinin ($S_{aR}(T)$) hesabı, TBDY-2018 Denk. 4.8'den;

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} = \frac{0.3}{5.33} = 0.056 \text{ g olarak bulunur.}$$

Yerçekimi ivmesi 9.81 m/s² alınmıştır.

$$V_{te}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) = 2151.13 \times 0.056 \times 9.81 = 1181.75 \text{ kN}$$

$$V_{te}^{(X)} = 0.04 m_t I S_{DS} g = 0.04 \times 2151.13 \times 1.5 \times 0.859 \times 9.81 = 1087.63 \text{ kN}$$

1181.75 kN > 1087.63 kN olduğu görülür. Büyük olan değer hesaba alınır.

X yönünde taban kesme kuvveti; $V_{te}^{(X)} = 1181.75 \text{ kN}$ bulunur.

Y yönünde taban kesme kuvveti hesabı, TBDY-2018 Denklem 4.19'dan;

$$V_{te}^{(Y)} = m_t S_{aR}(T_p^{(Y)}) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g$$

$$T_p^{(Y)} = 1.16 \text{ s}$$

$0.358 \leq 1.16 \leq 6$ ($T_B \leq T \leq T_L$) olduğu için, TBDY-2018 Denk. 2.2'den;

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} = 0.308/1.16 = 0.266 \text{ g}$$

Y yönü için $T > T_B$ olduğu için, deprem yükü azaltma katsayısı, TBDY-2018 Denk. 4.1a'dan;

$$R_a(T) = \frac{R}{I} = \frac{8}{1.5} = 5.33 \text{ olarak bulunur.}$$

Azaltılmış tasarım spektral ivmenin ($S_{aR}(T)$) hesabı, TBDY-2018 Denk. 4.8'den;

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} = \frac{0.266}{5.33} = 0.05 \text{ g olarak bulunur.}$$

$$V_{te}^{(Y)} = m_t S_{aR}(T_p^{(Y)}) = 2151.13 \times 0.05 \times 9.81 = 1055.13 \text{ kN}$$

$$V_{te}^{(Y)} = 0.04 m_t I S_{DS} g = 0.04 \times 2151.13 \times 1.5 \times 0.859 \times 9.81 = 1087.63 \text{ kN}$$

1087.63 kN > 1054.13 kN olduğu görülür. Büyük olan değer hesaba alınır.

Y yönünde taban kesme kuvveti; $V_{te}^{(Y)} = 1087.63 \text{ kN}$ bulunur.

- Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Belirlenmesi (Tablo 8.5 ve Tablo 8.6)

TBDY-2018 mad.4.7.2' ye göre katlara etkiyen eşdeğer deprem yükü aşağıdaki şekilde belirlenir. X yönü için: TBDY-2018 Denk. 4.21'e göre;

$$V_{te}^{(X)} = \Delta F_{NE}^{(X)} + \sum_{i=1}^N F_{ie}^{(X)}$$

Y yönü için:

$$V_{te}^{(Y)} = \Delta F_{NE}^{(Y)} + \sum_{i=1}^N F_{ie}^{(Y)}$$

Binanın tepesine etkiyen ek eşdeğer deprem yükü $\Delta F_{NE}^{(X)}$ ve $\Delta F_{NE}^{(Y)}$, TBDY-2018 Denk. 4.22'ye göre;

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0.0075 N V_{te}^{(X)} = 0.0075 \times 6 \times 1181.75 = 53.18 \text{ kN}$$

$$\Delta F_{NE}^{(Y)} = 0.0075 N V_{te}^{(Y)} = 0.0075 \times 6 \times 1087.63 = 48.94 \text{ kN}$$

Tablo 8.5. Y doğrultusu için eşdeğer deprem yükünün katlara dağıtılması.

KAT NO	H_i (m)	m_i (ton)	$m_i H_i$	$(V_{te}^{(Y)} - \Delta F_{NE}^{(Y)})$	$F_{ie}^{(Y)}$ (kN)
6	18	260.82	4694.76	1038.69	274.45
5	15	375.29	5629.35		270.40
4	12	375.29	4503.48		216.32
3	9	375.29	3377.61		162.24
2	6	375.29	2251.74		108.16
1	3	389.15	1167.45		56.08
$\sum_{j=1}^6 m_j H_j$			21624.39	$F_{ie}^{(Y)} = (V_{te}^{(Y)} - \Delta F_{NE}^{(Y)}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j}$	

Tablo 8.6. X doğrultusu için eşdeğer deprem yükünün katlara dağıtılması.

KAT NO	H_i (m)	m_i (ton)	$m_i H_i$	$(V_{te}^{(X)} - \Delta F_{NE}^{(X)})$	$F_{ie}^{(X)}$ (kN)
6	18	260.82	4694.76	1128.57	298.20
5	15	375.29	5629.35		293.79
4	12	375.29	4503.48		235.04
3	9	375.29	3377.61		176.28
2	6	375.29	2251.74		117.52
1	3	389.15	1167.45		60.93
$\sum_{j=1}^6 m_j H_j$			21624.39	$F_{ie}^{(X)} = (V_{te}^{(X)} - \Delta F_{NE}^{(X)}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j}$	

Ek dışmerkezlilik etkisi TBDY-2018 mad. 4.5.10.2 uyarınca, iki deprem doğrultusu için kat kütle merkezinden +%5 ve -%5 kadar kaydırılarak etki ettirilen kat kuvvetleri de hesaba katılır. Ek dışmerkezlilik etkisi pozitif veya negatif olması durumu için sırasıyla P ve N harfleriyle deprem doğrultusuyla beraber belirtilmiştir. Örneğin, EXP, (X) deprem doğrultusu ile birlikte pozitif ek dışmerkezlilik etkisini, EYN, (Y) deprem doğrultusu ile birlikte negatif ek dışmerkezlilik etkisini ifade etmek için yükleme adı olarak kullanılmıştır.

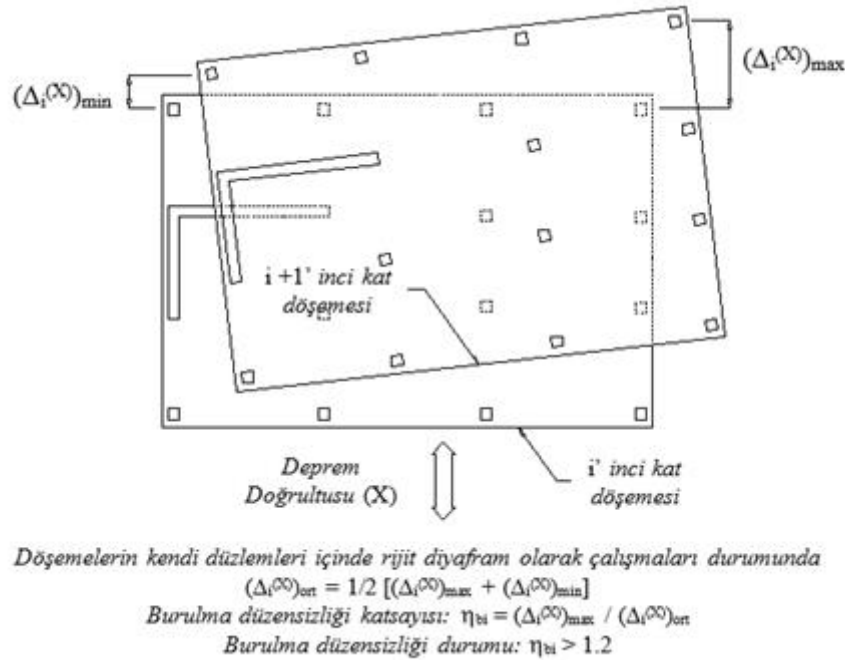
- Binadaki Düzensizliklerin Hesaplanması ve Kontrolleri

TBDY-2018'e göre yapılacak düzensizlik kontrolleri, planda ve düşeyde olmak üzere ikiye ayrılabilir. Düzensizlik kontrolleri; TBDY-2018 Tablo 3.6'ya göre yapılır.

Planda Düzensizlik Kontrolleri

- A1-Burulma düzensizliği kontrolü

Burulma düzensizliğinin nasıl hesaplanacağı TBDY-2018 3.6.1 de aşağıdaki şekil (Şekil 8.10) ile açıklanmıştır. Temel olarak en büyük görelî ötelemenin ortalama görelî ötelemesine oranı tahkikine dayanan bir düzensizlik kontrolüdür.



Şekil 8.10. A1-Burulma düzensizliği (TBDY-2018).

Analizi yapılan binada, birbirine dik iki doğrultudaki deprem etkilerinin $\pm\%5$ ek dışmerkezlilik etkileri ile göz önüne alındığında ortaya çıkan görelî kat ötelemelerinin hesabı yapılmıştır. Bunun için öncelikle yapının köşe noktalarındaki deplasmanlar ölçülmüştür. Bu kat

deplasmanları içerisinde en büyük yerdeğiştirme ile en küçük yerdeğiştirme değeri tabloya eklenmiştir.

Her iki yöndeki deprem doğrultusundaki etkiler ile bu deprem etkisinin ek dışmerkezlik durumuna göre ayrı ayrı deplasmanları tablo haline dönüştürülmüştür.

Bu yerdeğiştirmelerin ismi azaltılmış yerdeğiştirme dir. Bunun nedeni, yatay elastik tasarım spektral ivmelerinin ($S_{ae}(T)$), deprem yükü azaltma katsayısına ($R_a(T)$) bölünmesiyle elde edilen azaltılmış tasarım spektral ivmesine ($S_{aR}(T)$) göre analiz yapılmasıdır.

$$\Delta_i^{(X)} = u_i^{(X)} - u_{i-1}^{(X)} \quad (8.1)$$

Denklem 8.1’de;

$u_i^{(X)}$: (X) deprem doğrultusunda herhangi bir kolon veya perde için, i’inci kattaki azaltılmış yerdeğiştirme dir.

$\Delta_i^{(X)}$: (X) deprem doğrultusunda herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden azaltılmış görel kat ötelemesidir.

$$(\Delta_i^{(X)})_{\max} = u_i^{(X)\max} - u_{i-1}^{(X)\max} \quad (8.2)$$

$$(\Delta_i^{(X)})_{\min} = u_i^{(X)\min} - u_{i-1}^{(X)\min} \quad (8.3)$$

$$(\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}} = 1/2 [(\Delta_i^{(X)})_{\max} + (\Delta_i^{(X)})_{\min}] \quad (8.4)$$

η_{bi} : i’inci katta bulunan Burulma Düzensizliği Katsayısı

$$[\eta_{bi} = (\Delta_i^{(X)})_{\max} / (\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}} > 1.2] \quad (8.5)$$

Sonuç olarak A1 burulma düzensizliği kontrolünde, η_{bi} düzensizlik katsayısının 1.2 katsayısından küçük olması gerekliliği kontrol edilir (Tablo 8.7 ve Tablo 8.8).

Tablo 8.7. EXP ve EXN yüklemeleri için A1 düzensizliği kontrolü.

KAT NO	$u_i^{(X)} \max$ (mm)	$u_i^{(X)} \min$ (mm)	$(\Delta_i^{(X)})_{\max}$	$(\Delta_i^{(X)})_{\min}$	$(\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}}$	η_{bi}
6	24.771	22.729	1.763	1.614	1.688	1.044
5	23.008	21.116	3.239	2.969	3.104	1.043
4	19.769	18.146	4.540	4.161	4.351	1.043
3	15.229	13.985	5.485	5.028	5.256	1.043
2	9.744	8.956	5.825	5.346	5.585	1.043
1	3.919	3.611	3.919	3.611	3.765	1.041

X yönünde $\pm 5\%$ ek dışmerkezlik etkisi ile katlara etkiyen deprem kuvvetleri sonucunda oluşan deplasmanlara göre η_{bi} değerleri 1.2'den küçüktür. Dolayısıyla EXP ve EXN yüklemeleri altında herhangi bir katta A1 burulma düzensizliği yoktur.

Tablo 8.8. EYP ve EYN yüklemeleri için A1 düzensizliği kontrolü.

KAT NO	$u_i^{(Y)} \max$ (mm)	$u_i^{(Y)} \min$ (mm)	$(\Delta_i^{(Y)})_{\max}$	$(\Delta_i^{(Y)})_{\min}$	$(\Delta_i^{(Y)})_{\text{ort}}$	η_{bi}
6	32.419	24.258	2.466	1.870	2.168	1.137
5	29.953	22.388	4.356	3.277	3.816	1.141
4	25.597	19.111	6.058	4.545	5.302	1.143
3	19.540	14.566	7.264	5.439	6.351	1.144
2	12.276	9.127	7.541	5.625	6.583	1.146
1	4.735	3.502	3.502	3.502	4.118	0.850

Y yönünde $\pm 5\%$ dışmerkezlik etkisi göz önüne alınarak hesaplanan deplasmanlara göre, analizi yapılan binada tüm katlarda EYP ve EYN yüklemesi altında η_{bi} katsayısı 1.2'den küçüktür. Dolayısıyla EYP ve EYN yüklemeleri altında hiçbir katta A1 burulma düzensizliği yoktur.

Bu tablolarda EYP ve EYN ile EXP ve EXN yüklemelerinin yerdeğiştirmeleri birlikte verilmiştir. Bunun nedeni, yapının her iki yönde de kendi ekseninde kat kütle merkezine göre simetrik olmasıdır. Kat kütle merkezinde aynı zamanda rijitlik merkezi ile kesişmesidir. Kolon ve kirişlerinin boyutlarının benzer olması, tüm katların benzer olması gibi rijitliği etkileyen durumlarda değişiklik olmamasının sonucudur.

Örneğin, analizi yapılan binada, en son aksta yalnızca bir adet perde elemanı olsaydı, yapının rijitlik merkezi ile kat kütle merkezi arasında mesafe olacak ve bu nedenle EX yüklemesi ile etkiyen deprem kuvveti sonucunda katlarda burulma görülebilirdi.

- A2 Döşeme süreksizlikleri kontrolleri, ilgili madde: TBDY-2018 mad. 3.6.2.2’dir.

Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmalar bulunmamaktadır. Deprem yüklerinin düşey elemanlara aktarılmasını engelleyecek bir döşeme boşluğu bulunmamaktadır. Analizi yapılan binada A2 türü döşeme düzensizliği bulunmamaktadır.

- A3 planda çıkıntılar bulunması kontrolleri, ilgili madde: TBDY-2018 mad. 3.6.2.2’dir.

Analizi yapılan binanın şekli planda dikdörtgendir. Dolayısıyla A3 türü planda çıkıntılar bulunması düzensizliği bulunmamaktadır.

Düşeyde Düzensizlik Kontrolleri

- B1-Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (Zayıf Kat) kontrolü

Analizi yapılan binada, tüm katlarda kolon boyutları aynıdır. Bu binada, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, tüm katlardaki toplam etkili kesme alanı aynıdır. Komşu katlar arası dayanım düzensizliği, analizi yapılan bu binada bulunmamaktadır.

- B2- Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (Yumuşak Kat)

Rijitlik düzensizliği katsayısı η_{ki} ’nin 2.0’ den büyük olması durumu B2 düzensizliğini oluşturur (TBDY-2018 mad. 3.6.1).

Aşağıdaki tablolarda (Tablo 8.9 ve Tablo 8.10), hesaplanan η_{ki} değerinin 2.0’den küçük olduğu görülmektedir.

Binada B2 düzensizliği bulunmamaktadır.

Tablo 8.9. EXP ve EXN yüklemeleri için B2 düzensizliği kontrolü

KAT	h_i (mm)	$(\Delta_i)_{ort}$	$(\Delta_i/h_i)_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}$
6	3000	1.688	0.0006	-	0.544
5	3000	3.104	0.0010	1.839	0.714
4	3000	4.351	0.0015	1.401	0.828
3	3000	5.256	0.0018	1.208	0.941
2	3000	5.585	0.0019	1.063	1.484
1	3000	3.765	0.0013	0.674	-

Tablo 8.10. EYP ve EYN yüklemeleri için B2 düzensizliği kontrolü

KAT	h_i (mm)	$(\Delta_i)_{ort}$	$(\Delta_i/h_i)_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}$
6	3000	2.168	0.0007	-	0.568
5	3000	3.816	0.0013	1.760	0.720
4	3000	5.302	0.0018	1.389	0.835
3	3000	6.351	0.0021	1.198	0.965
2	3000	6.583	0.0022	1.036	1.598
1	3000	4.118	0.0014	0.626	-

Modellemesi yapılan binada, η_{ki} değeri her iki hesaplama şeklinde de 2.0 değerinden küçük olduğu için; B2 türü düzensizlik bulunmamaktadır.

- B3-Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumudur. TBDY-2018 mad.3.6.2.4' te verilen B3 düzensizliği, analizi yapılan bu yapı modelinde bulunmamaktadır.

- Göreli kat ötelenmelerinin değerlendirilmesi

TBDY-2018 mad. 4.9.1' e göre göreli kat ötelenmeleri hesaplanır ve sınırlandırılır.

Her iki deprem doğrultusu için, etkin göreli kat ötelenmesi ($\delta_i^{(X)}$), TBDY-2018, Denk. 4.33'de belirtilen aşağıda yer alan Denklem 8.6 ile hesaplanır.

$$\delta_i^{(X,Y)} = \frac{R}{I} \Delta_i^{(X,Y)} \quad (8.6)$$

Modellemesi yapılan binada tercihen, dolgu duvarlarda esnek derz veya bağlantı kullanılmadığı varsayımı yapılır. Bu durumda etkin göreli kat ötelenmesi için kullanılacak olan formül, TBDY-2018, Denk. 4.34a'da belirtildiği gibi, aşağıda Denklem 8.7 ile sunulmuştur.

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.008 \kappa \quad (8.7)$$

Yönetmelik gereği κ katsayısı betonarme binalar için 1 alınır (TBDY-2018 mad. 4.9.1.4).

λ katsiyısının hesabı için Deprem Tehlikeleri Haritası verilerinden aynı konum ve zemin sınıfı için DD-3 deprem yer hareketi düzeyi için deprem verileri alınır.

Y doğrultusunda, DD3 deprem düzeyi için veriler;

$$S_{DS} = S_S F_S = 0.271 \times 1.300 = 0.352$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 = 0.084 \times 1.500 = 0.126$$

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.2 \times (0.126/0.352) = 0.072 \text{ s}$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = (0.126)/(0.352) = 0.358 \text{ s}$$

$$T_p^{(Y)} = 1.16 \text{ s}$$

$T_B \leq T \leq T_L$ olduğu için aşağıdaki formül kullanılır.

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} = (0.126)/(1.16) = 0.109 \text{ g}$$

X doğrultusunda, DD3 deprem düzeyi için veriler;

$$T_p^{(X)} = 1.03 \text{ s}$$

$T_B \leq T \leq T_L$ olduğu için aşağıdaki formül kullanılır.

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} = (0.126)/(1.03) = 0.122 \text{ g}$$

Elde edilen DD-3 deprem yer hareketi düzeyi elastik tasarım spektral ivmelerinin daha önceden bulunmuş olan DD-2 deprem yer hareketi düzeyi elastik tasarım spektral ivmelerine bölünmesiyle aşağıdaki değerler elde edilir.

$$\lambda_x = \frac{0.122}{0.3} = 0.407$$

$$\lambda_y = \frac{0.109}{0.266} = 0.410$$

Analizi yapılan modelde sınır şartı;

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.008 \kappa \text{ için } 0.008 \kappa = 0.008 \times 1 = 0.008 \text{ değeridir.}$$

Bu oranlar kullanılarak Tablo 8.11 ve Tablo 8.12 elde edilir;

Tablo 8.11. EXP ve EXN yüklemesi için etkin görel kat ötelemesi

KAT	R/I	$(\Delta_i)_{\max}$	$\delta_{i,\max}^{(X)}$	h_i (mm)	λx	$\lambda \frac{\delta_{i,\max}^{(X)}}{h_i}$
6	5.33	1.763	9.401	3000	0.407	0.0013
5	5.33	3.239	17.276	3000	0.407	0.0023
4	5.33	4.540	24.212	3000	0.407	0.0033
3	5.33	5.485	29.252	3000	0.407	0.0040
2	5.33	5.825	31.067	3000	0.407	0.0042
1	5.33	3.919	20.903	3000	0.407	0.0028

Tablo 8.12. EYP ve EYN yüklemesi için etkin görel kat ötelemesi

KAT	R/I	$(\Delta_i)_{\max}$	$\delta_{i,\max}^{(Y)}$	h_i (mm)	λy	$\lambda \frac{\delta_{i,\max}^{(Y)}}{h_i}$
6	5.33	2.466	13.151	3000	0.410	0.0018
5	5.33	4.356	23.230	3000	0.410	0.0032
4	5.33	6.058	32.308	3000	0.410	0.0044
3	5.33	7.264	38.739	3000	0.410	0.0053
2	5.33	7.541	40.218	3000	0.410	0.0055
1	5.33	3.502	18.675	3000	0.410	0.0026

Analizi yapılan modelde, yukarıdaki tablolarda görüldüğü üzere;

$$\lambda \frac{\delta_{i,\max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.008 \kappa \text{ sınır şartı sağlanmıştır.}$$

- II. Mertebe etkilerinin kontrolü

TBDY-2018 mad. 4.9.2.1' e göre, göz önüne alınan (X) deprem doğrultusunda her biri i'inci katta aşağıdaki denklem ile İkinci Mertebe Gösterge Değeri ($\theta_{II,i}^{(X)}$) TBDY-2018 denk. 4.35'de belirtildiği şekli ile Denklem 8.8 ile hesaplanır. Bu hesaplar (Y) deprem doğrultusu için de tekrarlanır.

$$\theta_{II,i}^{(X)} = \frac{(\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}} \sum_{k=i}^N w_k}{V_i^{(X)} h_i} \quad (8.8)$$

Tablo 8.13. EXP ve EXN yüklemesi için II. mertebe etkilerinin kontrolü

KAT	$(\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}}$ (mm)	w_k (kN)	$\sum_{k=i}^N w_k$ (kN)	h_i (mm)	$F_{iE}^{(X)}$ (kN)	$V_i^{(X)}$ (kN)	$\theta_{II,i}^{(X)}$
6	1.688	2558	2558	3000	298.096	298.096	0.005
5	3.104	3680	6238	3000	293.695	591.791	0.011
4	4.351	3680	9918	3000	234.956	826.747	0.017
3	5.256	3680	13599	3000	176.217	1002.964	0.024
2	5.585	3680	17279	3000	117.478	1120.442	0.029
1	3.765	3816	21095	3000	60.908	1181.350	0.022

Tablo 8.14. EYP ve EYN yüklemesi için II. mertebe etkilerinin kontrolü

KAT	$(\Delta_i^{(Y)})_{\text{ort}}$ (mm)	w_k (kN)	$\sum_{k=i}^N w_k$ (kN)	h_i (mm)	$F_{iE}^{(Y)}$ (kN)	$V_i^{(Y)}$ (kN)	$\theta_{II,i}^{(Y)}$
6	2.168	2558	2558	3000	274.354	274.354	0.007
5	3.816	3680	6238	3000	270.303	544.657	0.015
4	5.302	3680	9918	3000	216.243	760.900	0.023
3	6.351	3680	13599	3000	162.182	923.082	0.031
2	6.583	3680	17279	3000	108.121	1031.203	0.037
1	4.118	3816	21095	3000	56.057	1087.260	0.027

X yönü için $\theta_{II,i}^{(X)}$ maksimum değeri = 0.029'dur (Tablo 8.13).

Y yönü için $\theta_{II,i}^{(Y)}$ maksimum değeri = 0.037'dir (Tablo 8.14).

TDBY-2018 Denk. 4.36'ya göre;

$$\theta_{II,\max}^{(X)} \leq 0.12 \frac{D}{C_h R} \text{ koşulu kontrol edilir.}$$

Burada; D= 3 ve R= 8'dir.

C_h betonarme binalar için 0.5'dir (TBDY-2018 mad. 4.9.2.2).

$$\theta_{II,\max}^{(X)} \leq 0.12 \frac{D}{C_h R} = 0.12 \times ((3)/(0.5 \times 8)) = 0.09 \text{ bulunur.}$$

$$\theta_{II,\max}^{(X)} = 0.029 \leq 0.09$$

$$\theta_{II,\max}^{(Y)} = 0.037 \leq 0.09$$

Koşullar sağlanmıştır. TBDY-2018 mad. 4.9.2.2'ye göre; ikinci mertebe etkilerinin tasarıma esas iç kuvvetlerin hesabında göz önüne alınması gerekli değildir.

8.2. Analiz No 2 - Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatör-6 Katlı Yapı

Yukarıda özellikleri verilen 6 katlı betonarme bina, eğri yüzeyli yatılım birimi kullanılarak analiz edilecek ve deprem etkisi altında davranışı incelenecektir. Analizi gerçekleştirilecek olan söz konusu bina, TBDY-2018 Bölüm 14 kurallarına göre tasarlanacaktır. Bina modelinin plan boyutları, yapı elemanı boyutları, yapı konumu, zemin sınıfı, kullanım amacı ve yapı malzemesi diğer tüm analizlerde olduğu gibi aynıdır. Yapı modelinde, izolatör üzerinde yatay rijitliği sağlaması için bir geçiş katı ağırlıksız olarak dikkate alınmıştır. İzolatörler her kolonun altına birer adet olacak şekilde tanımlanmıştır. TBDY-2018'e göre deprem yalıtımı uygulanan yapılarda, bina önem katsayısı $I = 1$ alınır ve tasarımda da bu değer kullanılmıştır. Yapı kullanım amacı hastane yapısı olduğu için $BKS = 1$ alınır. DD-2 deprem düzeyinde $S_{DS} = 0.859$ değeri için, DTS değeri 1a olarak kullanılır. Bina yüksekliği 18 m ve DTS= 1a olduğu için $BYS = 5$ 'dir. DTS 1a olmasından dolayı ileri performans hedeflerinin şartları sağlanmalıdır. Bu kapsamda üst yapı için; ileri performans hedefi olan KK durumu sağlanmalıdır (TBDY-2018 Tablo3.5). Değerlendirme ve tasarım yöntemi olarak DGT yaklaşımı kullanılacaktır. Yalıtım sistemi ve alt yapı için ileri performans hedefi olan KK durumu sağlanacaktır. Değerlendirme ve tasarım yaklaşımı olarak yalıtım sisteminde ŞGDT yaklaşımı kullanılacaktır. KK performans düzeyine ulaşmak için $R = 1.2$ ve $D = 1.2$ olarak kullanılacaktır (TBDY-2018 Tablo 14.1). Analizde, deprem yalıtım sistemi olarak, çift sürtünme yüzeyli sarkaç tipi deprem izolatörü (FPS) kullanılmıştır.

TBDY-2018 Bölüm 14 kullarına göre, hesap yöntemi olarak öncelikle Etkin Deprem Yüğü Yöntemi ile izolatör başlangıç hesaplamaları yapılacaktır. DGT yaklaşımı ile üst yapının hesabında, Mod Birleştirme Yöntemi (MBY) ile etkin görelî kat ötelemeleri, izolatör üst sınır değerleri kullanılarak hesaplanacaktır. Yalıtım birimlerinin en büyük deplasman hesapları için DD-1 seviyesinde, zaman tanım alanında doğrusal olmayan davranış dikkate alınarak ŞGDT yaklaşımı ile izolatör alt sınır değerleri kullanılarak hesaplamalar yapılacaktır. MBY ve Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi ile bulunan değerler, Etkin Deprem Yüğü Yöntemi ile bulunan değerler ile karşılaştırılıp sınır değerlerin sağlandığı gösterilecektir.

8.2.1. Etkin Deprem Yüğü Yöntemi -FPS Tasarımı

Etkin Deprem Yüğü Yöntemi'nde kullanılmak üzere izolatör alt ve üst sınır değerleri hesabı, deney yapılmaksızın kullanılması durumunda aşağıda belirtildiği şekilde yapılır. Bu değerler (Tablo 8.15), işlemler sırasında nominal sürtünme değeri ile çarpılarak kullanılır. Analiz

sırasında üreticiden alınan sürtünme katsayısı ve kullanılan izolatöre ait alt ve üst sınır değerleri izolatör üreticisi firma (TİS) tarafından alınmıştır.

Tablo 8.15. Yalıtım birimi üst sınır katsayıları (TBDY-2018)

	μ	
	<i>alt</i>	<i>üst</i>
λ_{ae}	1.00	1.20
λ_{deney}	0.70	1.30
λ_{spek}	0.85	1.15

Yalıtım birimi üst sınır katsayısı hesaplamaları:

$$\lambda_{üst} = [1 + 0.75(\lambda_{ae,üst} - 1)]\lambda_{deney,üst}\lambda_{spek,üst} \quad (8.9)$$

$$\lambda_{üst} = [1 + 0.75(1.20 - 1)]1.30 \times 1.15 = 1.719$$

Yalıtım birimi alt sınır değerleri:

$$\lambda_{alt} = [1 - 0.75(1 - \lambda_{ae,alt})]\lambda_{deney,alt}\lambda_{spek,alt} \quad (8.10)$$

$$\lambda_{alt} = [1 - 0.75(1 - 1.00)]0.70 \times 0.85 = 0.595$$

Alt ve üst sınır değerleri yalıtım biriminin yüzeyinin sürtünmesindeki değişiklikleri tasarıma aktarmak için kullanılır.

Tablo 8.16. İzolatör üreticisi firma (TİS) tarafından alınan ve analizde kullanılan izolatör alt ve üst sınır değerleri

	μ	
	$\lambda_{üst}$	λ_{alt}
λ	1.6	0.8

Yalıtım birimlerinin hesabında kullanılacak olan bina yükü değeri (TBDY, 2018) :

- Tüm hesaplamalarda yerçekimi ivmesi, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ alınmıştır.
- $G + 0.3Q = 21169.25 \text{ kN}$

TBDY-2018 kurallarına göre FPS izolatörlerin tasarımı:

Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimlerinin temel parametrelerinin hesabı; yatay yerdeğiştirme kapasitesi ve taban plakalarının tasarıma uygunluğu noktasında, genel olarak iki ana başlıkta

yeterlilik kontrollerini içerir. Deprem yalıtım birimi olarak kullanılan eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi izolatör cihazı için, izolatör üreticilerinin katalogları incelenir ve yapı yüküne uygun başlangıç değerleri seçilir. Projenin özelliklerine göre özel izolatör parametreleri (Tablo 8.16) üretici ile birlikte tasarlanabilir. Analizde kullanılan FPS tipi izolatör parametreleri aşağıda verildiği şekilde kabul edilmiştir:

Yalıtım biriminin eğrilik yarıçapı (R_c) = 5.2 m

Nominal Sürtünme Katsayısı (μ) = 0.045

Yalıtım biriminin en büyük yerdeğiştirme hesabı DD-1 deprem yer hareketi seviyesinde, izolatör parametrelerinin alt sınır değerleri ile yapılır.

DD-1 için hesap adımları:

- i. İzolatörün sürtünmeli yüzeyi ile izolatöre etkiyen yükün oluşturduğu kuvvet, ilk hareket için aşılması gereken yüküdür. Karakteristik dayanım (F_Q) ve etkin akma dayanım (F_y) değeri yaklaşık eşittir. Yüzey sürtünmesi ve düşey ağırlıkla ilgili olan bu kuvvet; sıfır yerdeğiştirmedeki etkin sürtünme katsayısı (μ_e) ile izolatöre etkiyen düşey kuvvetin (P) çarpımı olarak:

$$F_Q = F_y = \mu_e P \quad (8.11)$$

şeklinde bulunur (TBDY-2018 Denklem14B.1).

Burada sürtünme katsayısı için alt sınır değerler kullanılır.

- ii. İkincil rijitlik (k_2); izolatörün eğrilik yarıçapına ve düşey kuvvetin büyüklüğüne göre değişir. Bu noktada ileride yapılan hesaplamalarda, değişiklik istendiğinde, izolatörün mekanik tasarım parametresi olan yarıçap değeri değiştirilerek hesaplamalar yenilenebilir.

$$k_2 = \frac{P}{R_c} \quad (8.12)$$

(TBDY-2018 Denklem14B.2)

İkincil rijitliğin de belli olmasından sonra, yatay yerdeğiştirme değerini bulabilmek için iterasyon yapılır.

- Örnek İterasyon:

İterasyon başlangıç değeri olarak $D = 0.60$ m seçilmiş olsun.

Yükleme döngüsündeki etkin rijitlik (k_e); döngüdeki en büyük kuvvet (F) ile ulaşılan maksimum yerdeğiştirmeye (D) bölünmesi ile bulunur:

$$k_e = \frac{\text{Toplam Kuvvet}}{\text{Yerdeğiştirme}} = \frac{\mu_e P + \left(\frac{P}{R_c}\right)D}{D} = \frac{P}{R_c} + \frac{\mu_e P}{D} = \frac{F}{D} \quad (8.13)$$

$k_2 = \frac{P}{R_c}$ olduğu için değeri bellidir. Aynı şekilde $k_2 = \frac{F-F_Q}{D}$ olduğu için D yerdeğiştirmesine karşılık gelen kuvvet bulunabilir. Daha sonra $k_e = F/D$ işlemi ile D yerdeğiştirmesine karşılık gelen etkin rijitlik bulunabilir.

$D= 0.60$ değeri için etkin rijitlik: $k_e = 5341.16$ kN/m bulunur.

Seçilen D için etkin sönüm oranı (β_e) hesaplanır:

$$\beta_e = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{W_d}{FD} \right] = \frac{2\mu_e}{\pi(\mu_e + \frac{D}{R_c})} = 0.15 \text{ olarak hesaplanır.}$$

TBDY-2018'e göre etkin sönüm oranı şartı sağlanmaktadır. Bu kurala göre etkin sönüm oranı %30 değerinden büyük olamaz.

Sönüm ölçeklendirme katsayısı (η_M), DD-1 deprem yer hareketi seviyesi için:

$$\eta_M = \sqrt{\frac{10}{5+\xi}} = 0.70 \text{ olarak hesaplanır.}$$

DD-1 deprem seviyesi için etkin titreşim periyodu (T_M) bulunur:

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK_M}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{\mu_e g}{D} + \frac{g}{R_c}}} = 3.99 \text{ s olarak hesaplanır.}$$

T_M periyoduna karşılık gelen DD-1 ivme değeri ($S_{ae}^{(DD-1)}(T_M)$), yerçekimi ivmesi biriminde $0.133 g$ olarak bulunur ve DD-1 seviyesinde deprem izolatörü yatay deplasman değeri (D_M), TBDY-2018 Denklem 14.30'da belirtildiği şekli ile aşağıdaki formül (Denklem 8.14) ile hesaplanır:

$$D_M = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) T_M^2 \eta_M S_{ae}^{(DD-1)}(T_M) \quad (8.14)$$

$D_M = 0.482$ m bulunur.

$D_{seçilen} > D_M$ olduğu için, tahmin edilen yerdeğiştirme değeri yenilenerek iterasyon tekrarlanabilir. Tasarımcının isteğine göre izolatör parametreleri de değiştirilebilir.

Bu iterasyon adımları DD-2 için, izolatör üst sınır değerleri kullanılarak tekrarlanır. Aşağıdaki tablolarda (Tablo 8.17 ve Tablo 8.19) analizde kullanılan değerler verilmiştir.

Tablo 8.17. Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi, DD-1 için hesap parametreleri

Açıklama	Değer
Seçilen Deplasman, (D)	0.411 m
Yalıtım biriminin eğrilik yarıçapı (R_c)	5.2 m
Sürtünme katsayısı, (μ_e)	0.036
Karakteristik dayanım veya etkin akma dayanımı, ($F_Q = F_y$)	762.09 kN
İkincil rijitlik, (k_2)	4071.01 kN/m
Etkin rijitlik, (k_e)	5925.47 kN/m
Etkin sönüm oranı, (β_e)	0.20
Sönüm ölçeklendirme katsayısı, (η_M)	0.63
DD-1 için bina etkin periyodu, (T_M)	3.79 s
$S_{ae}^{(DD-1)}(T_M)$ değeri	0.140 g
DD-1 için yalıtım yerdeğiştirmesi, D_M	0.411 m

- iii. D_{TM} için değerler hesaplanır. X yönü yapı uzunluğu $b=25$ m, Y yönü yapı uzunluğu $d=12$ m'dir. $y=b/2=12.5$ m'dir. $e=0.05 \times b=1.25$ m'dir. Bu değerler ile D_{TM} :

$$D_{TM} = D_M \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] = 0.51 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

$$1.1 \times D_M = 0.45 \text{ m'dir.}$$

D_{TM} ile $1.1D_M$ değerlerinden büyük olan değer, yalıtım arayüzü toplam yerdeğiştirmesi olarak dikkate alınır. Yalıtım arayüzü toplam yerdeğiştirmesi olarak; $D_{TM} > 1.1 D_M$ olduğu için, 0.51 m değeri kullanılır.

- iv. DD-1 için alt yapıya etkiyen en büyük kuvvet, $R=1$ alınarak Denklem 8.15 ile hesaplanır:

$$V_M = \frac{S_{ae}^{(DD-1)}(T_M) W \eta_M}{R} \quad (8.15)$$

Üst yapıya etkiyen kuvvetin hesabında, KK performans hedefi için $R=1.2$ alınır ve yukarıdaki formül (Denklem 8.15) kullanılarak işlem yapılır. Hesaplanan değerler Tablo 8.18'de belirtilmiştir.

Tablo 8.18. Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi, DD-1 için sonuç değerleri

Açıklama	Değer
D_{TM} değeri	0.51 m
$1.1 \times D_M$ değeri	0.45 m
Yalıtım arayüzü toplam yerdeğiştirmesi, max.(D_{TM} , $1.1 \times D_M$)	0.51 m
Üst yapıya etkileyen kuvvet, DD-1 için, $R=1.2$ ile V_M	1561.907 kN
Alt yapıya etkileyen kuvvet, DD-1 için, $R=1$ ile V_M 'den	1874.29 kN

DD-2 deprem düzeyi için, yalıtım birimi parametreleri üst sınır değerleri kullanılarak yukarıdaki işlemler tekrarlanır. DD-2 deprem düzeyi için, üst sınır değerleri kullanılarak hesaplamalar ve sonuçlar aşağıda tablo halinde sunulmuştur.

Tablo 8.19. Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi, DD-2 için hesap parametreleri

Açıklama	Değer
Seçilen Deplasman, (D)	0.120 m
Yalıtım biriminin eğrilik yarıçapı (R_c)	5.2 m
Sürtünme katsayısı, (μ_e)	0.072
Karakteristik dayanım veya etkin akma dayanımı, ($F_Q = F_y$)	1524.19 kN
İkincil rijitlik, (k_2)	4071.01 kN/m
Etkin rijitlik, (k_e)	16802.68 kN/m
Etkin sönüm oranı, (β_e)	0.30
Sönüm ölçeklendirme katsayısı, (η_D)	0.53
DD-2 için bina etkin periyodu, (T_D)	2.25 s
$S_{ae}^{(DD-2)}(T_D)$ değeri	0.137 g
DD-2 için yalıtım yerdeğiştirmesi, D_D	0.120 m

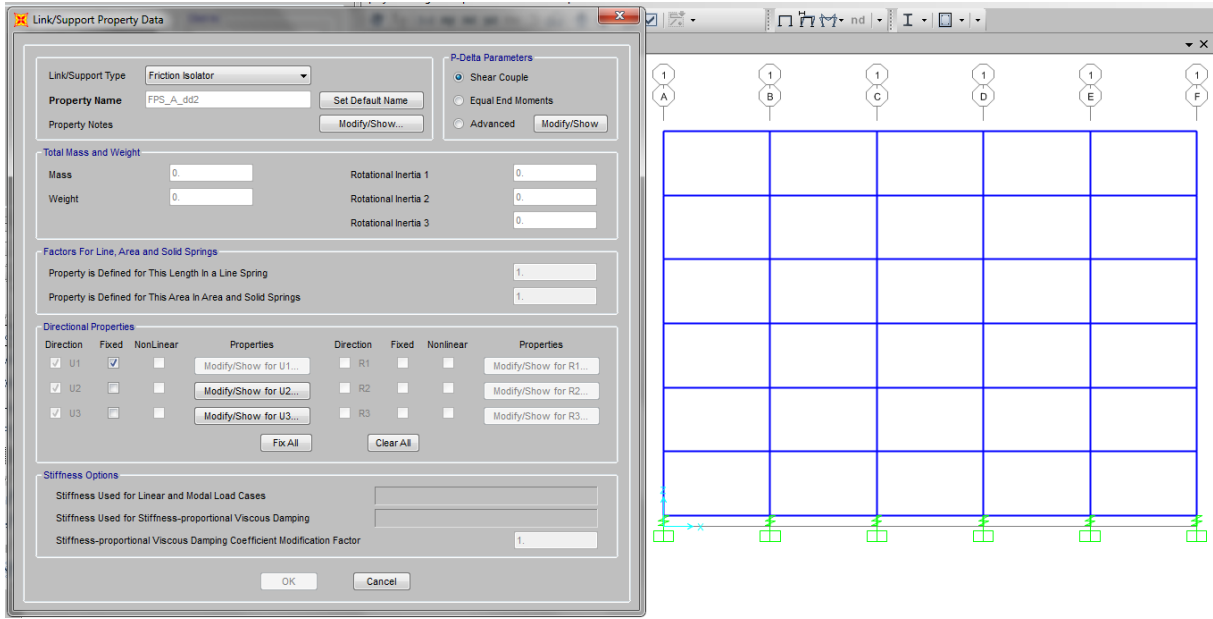
Tablo 8.20. Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi, DD-2 için sonuç değerleri

Açıklama	Değer
D_{TD} değeri	0.149 m
$1.1 \times D_D$ değeri	0.132 m
Yalıtım arayüzü toplam yerdeğiştirmesi, max.(D_{TD} , $1.1 \times D_D$)	0.149 m
Üst yapıya etkileyen kuvvet, DD-2 için, $R=1.2$ ile V_D	1289.83 kN

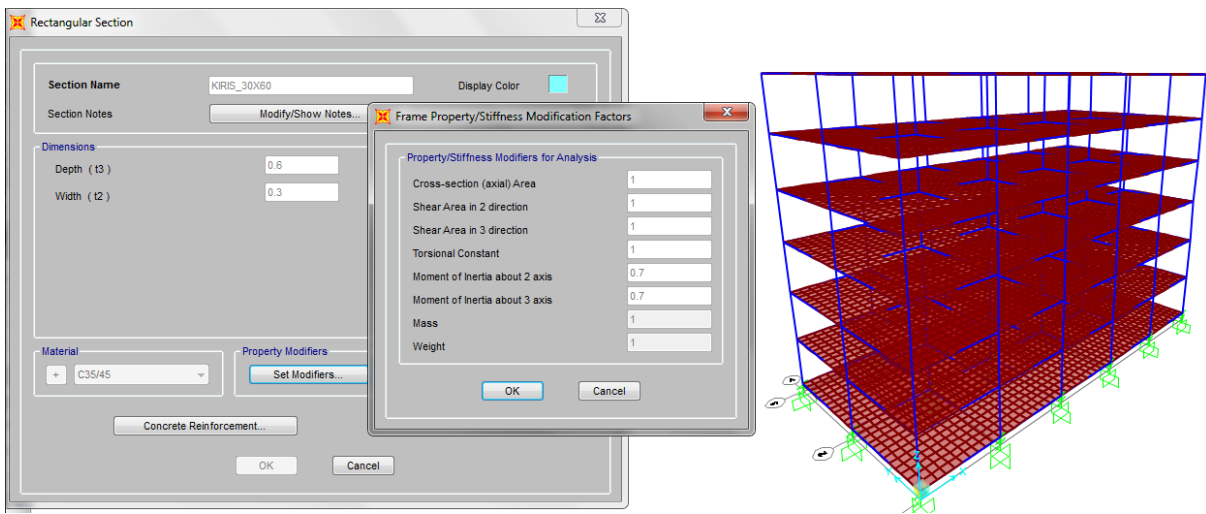
8.2.2. Mod Birleştirme Yöntemi-FPS ile Yalıtımlı Bina Hesaplamaları

MBY'yi uygulamak için, bilgisayar programında modellenmiş yapıda etkin kesit rijitlikleri düzenlenir. TBDY-2018 kurallarına göre, deprem yalıtımlı bina tasarımında kullanılacak etkin

kesit rijitlikleri, taban yalıtımsız olarak tanımlanmış ve analizi gerçekleştirilmiş yapıdan farklı olacaktır. Deprem yalıtımsız betonarme bir binada, çerçeve kirişi için etkin kesit rijitliği çarpanı eğilmede 0.35 iken, aynı betonarme bina deprem yalıtımlı olarak tasarlandığında, etkin kesit rijitliği, çerçeve kiriş için eğilmede 0.70 olarak alınmaktadır (Şekil 8.12). Modelde tüm etkin kesit rijitlikleri TBDY-2018 kurallarına göre düzenlenir. Modele ait her kolonun altına izolatör işlevini yapacak olan elemanlar tanımlanır (Şekil 8.11). İzolatörlerin üzerinde rijitliği ve pratik olarak uygulanabilirliği sağlamak amacı ile ağırlıksız bir döşeme tanımlanmıştır.

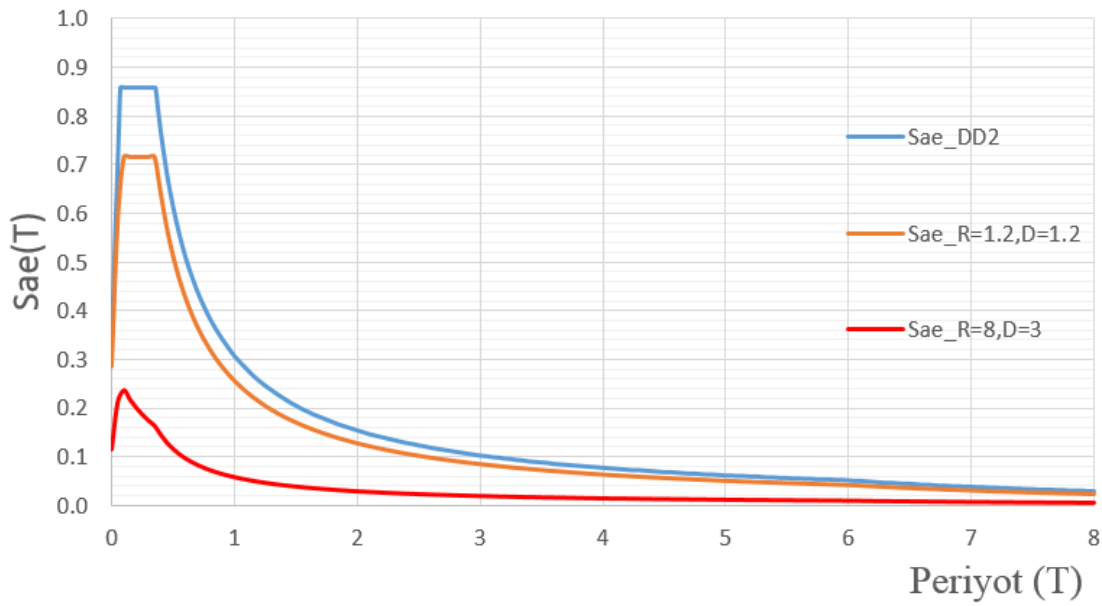


Şekil 8.11. 1 aksından kesit görünüş ile Modelde Link elemanı tanımlanması.



Şekil 8.12. Etkin kesit rijitliklerinin tanımlanması.

Üst yapının hesabı için yapılan Mod Birleştirme Yönteminde, $DTS=1a$ olduğu için ileri performans hedefi KK olacaktır. Mod Birleştirme Yöntemi ile hesaplar DGT yaklaşımı ile DD-2 deprem yer hareketi düzeyi kullanılarak yapılacaktır. TDTH interaktif veri sisteminden DD-2 için alınan yatay elastik tasarım spektrumu verileri, deprem yalıtımlı bina tasarımında kullanılacak R ve D katsayıları ile düzenlenir. Bu analizde performans hedefi KK için $R=1.2$ ve $D=1.2$ alınmıştır. Aşağıdaki grafikte (Şekil 8.13); TDTH veri sisteminden alınan DD-2 için yatay elastik tasarım spektrumu, taban yalıtımlı ve yalıtımsız modelde kullanılan yatay elastik spektrum değerleri gösterilmiştir.



Şekil 8.13. Deprem yalıtımlı ve deprem yalıtımsız modelde kullanılan yatay elastik spektrum değerleri.

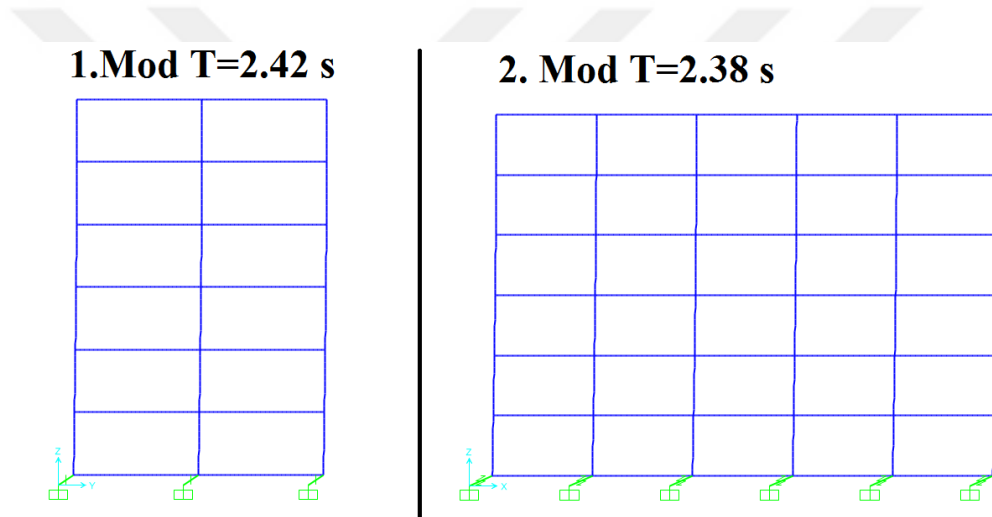
Yukarıdaki grafikte (Şekil 8.13) görüleceği üzere deprem yalıtımlı binanın üst yapısının hesabında kullanılan deprem ivme değerleri, taban yalıtımsız yapıya oranla çok yüksek değerdedir. Etkin kesit rijitliği ile periyot değeri düşmekte ve hesaba katılan ivme değerleri de yüksek alınmaktadır. Bu durum iki farklı yöntemle de ivme değerlerini artırmak olarak yorumlanabilir. $R=1.2$ ve $D=1.2$ alınarak azaltılmış deprem ivmeleri DD-2 için, üst yapının analizinde kullanılmak üzere programa tanıtılır. Etkin Deprem Yüğü Yönteminde hesaplanan sönüm oranı doğrusal hesaplarda spektruma etki ettirilir. Bu hesaplama TBDY-2018 yönetmeliğinde sönüm ölçeklendirme katsayısı ile yapılır. Etkin Deprem Yüğü Yönteminde, DD-2 için hesaplanan izolatör parametreleri bağlantı elemanı özellikleri olarak tanımlanır.

Yazılımda izolator işlevini sağlayan elemanlara tanımlanan özellikler bir adet izolatöre ait parametrelerdir. Mod Birleştirme Yöntemi ile kat deplasmanları bilgisayar programından (SAP2000 Versiyon 21.2.0) okunmuştur.

Taban kesme kuvvetleri, X yönünde 1214 kN, Y yönünde 1196 kN'dur.

Etkin deprem yükü yöntemi ile hesaplanan taban kesme kuvveti değeri 1289.83 kN olup bu değere yakın elde edilmiştir.

Aşağıdaki (Şekil 8.14) resimde analiz sonuçlarına göre programdan okunan periyot değerleri bulunmaktadır.



Şekil 8.14. FPS izolator kullanarak yapılan analiz sonuçlarından kesit görsel.

Taban yalıtımsız model ile karşılaştırma yapabilmek için, izolator üst deplasmanına göre azaltılmış göreceli yerdeğiştirmeler kat deplasmanları olarak hesaba alınacaktır.

Tablo 8.21. X yönü, yalıtımlı bina, kat deplasmanları (İzolator deplasmanına göre göreceli yerdeğiştirmeler)

KAT NO	$u_i^{(X)} \max$ (mm)	$u_i^{(X)} \min$ (mm)	$(\Delta_i^{(X)})_{\max}$	$(\Delta_i^{(X)})_{\min}$	$(\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}}$
6	13.477	13.477	0.632	0.632	0.632
5	12.845	12.845	1.317	1.317	1.317
4	11.529	11.529	2.040	2.040	2.040
3	9.488	9.488	2.743	2.743	2.743
2	6.745	6.745	3.361	3.361	3.361
1	3.384	3.384	3.384	3.384	3.384

Tablo 8.22. Y yönü, yalıtımlı bina, kat deplasmanları (İzolatör deplasmanına göre görelî yerdeğiştirmeler)

KAT NO	$u_i^{(y)}max$ (mm)	$u_i^{(y)}min$ (mm)	$(\Delta_i^{(y)})_{max}$	$(\Delta_i^{(y)})_{min}$	$(\Delta_i^{(y)})_{ort}$
6	18.789	18.789	0.946	0.946	0.946
5	17.843	17.843	1.883	1.883	1.883
4	15.961	15.961	2.882	2.882	2.882
3	13.078	13.078	3.842	3.842	3.842
2	9.236	9.236	4.648	4.648	4.648
1	4.588	4.588	4.588	4.588	4.588

Yukarıdaki tablolardaki (Tablo 8.21 ve Tablo 8.22) görelî yerdeğiştirmeler TBDY 2018’de azaltılmış görelî kat ötelemesi olarak tanımlanır. Bunun nedeni R katsayısı ile azaltılmış deprem yükleri ile hesap yapılmış olmasıdır. Aşağıdaki tabloda, analizi yapılan deprem yalıtımlı yapının etkin görelî kat ötelemeleri ve sınırlandırması bulunmaktadır.

Her iki deprem doğrultusu için, etkin görelî kat ötelemesi TBDY-2018 Denklem 4.33’den:

$$\delta_i^{(X,Y)} = \frac{R}{I} \Delta_i^{(X,Y)} \quad (8.16)$$

olarak hesaplanır.

TBDY 2018 Denklem 4.34a’ya göre DGT için etkin görelî kat ötelemesi sınır değeri:

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.008 \kappa \text{ için } 0.008\kappa = 0.008 \times 1 = 0.008 \text{ değeriğir.}$$

Tablo 8.23. X yönü deprem doğrultusu için etkin görelî kat ötelemesi ($\delta_i^{(X)}$) değeri ve sınırlandırılması.

KAT	R/I	$(\Delta_i)_{max}$	$\delta_{i,max}^{(X)}$	h_i (mm)	λ_x	$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i}$
6	1.20	0.632	0.758	3000	0.409	0.0001
5	1.20	1.317	1.580	3000	0.409	0.0002
4	1.20	2.040	2.449	3000	0.409	0.0003
3	1.20	2.743	3.291	3000	0.409	0.0004
2	1.20	3.361	4.034	3000	0.409	0.0006
1	1.20	3.384	4.061	3000	0.409	0.0006

Tablo 8.24. Y yönü deprem doğrultusu için etkin görelî kat ötelemesi ($\delta_i^{(Y)}$) değerleri ve sınırlandırılması.

KAT	R/I	$(\Delta_i)_{\max}$	$\delta_{i,\max}^{(Y)}$	h_i (mm)	λ_x	$\lambda \frac{\delta_{i,\max}^{(Y)}}{h_i}$
6	1.20	0.946	1.135	3000	0.409	0.0002
5	1.20	1.883	2.259	3000	0.409	0.0003
4	1.20	2.882	3.458	3000	0.409	0.0005
3	1.20	3.842	4.611	3000	0.409	0.0006
2	1.20	4.648	5.578	3000	0.409	0.0008
1	1.20	4.588	5.505	3000	0.409	0.0008

Yukarıdaki tablolarda (Tablo 8.23 ve Tablo 8.24) her iki deprem doğrultusu için etkin görelî kat ötelemeleri hesaplanmıştır.

KK performans hedefi, analizi yapılan deprem yalıtımlı binada TBDY-2018 mad. 14.14.5.1'e göre;

$$0.005h_i = 0.005 \times 3000 \text{ mm} = 15 \text{ mm'dir.}$$

Yönetmelikte bu sınır şartı için görelî kat ötelemeleri ibaresi bulunmaktadır. Analiz sonuçlarından da görülebileceği üzere etkin görelî kat ötelemesi değeri de bu sınır şartını sağlamaktadır.

8.2.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz-FPS

Yalıtım birimlerinin yerdeğiştirme kapasitelerinin belirlenmesi için; DD-1 deprem seviyesi ile zaman tanım alanında deprem izolatörü doğrusal olmayan davranış şekilleri TBDY-2018 kapsamında incelenecektir.

Zaman tanım alanında yapılacak doğrusal olmayan analizlerde kullanılmak üzere, 11 adet deprem yer hareketi takımı kullanılacaktır. Birbirine dik yöndeki deprem yer hareketi kayıtları, analizlerde, yapıya X ve Y yönlerindeki doğrultularında aynı anda birlikte etki ettirilecektir. Daha sonra, analizdeki bu ivme kayıtlarının eksenleri 90° döndürülerek analiz tekrarlanacak ve böylelikle 22 adet analiz yapılmış olacaktır (TBDY-2018 mad. 5.7).

TBDY-2018 kurallarına göre zaman tanım alanında analizlerde kullanılacak olan kayıtların seçiminde, tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, etkin faya olan uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları dikkate alınmalıdır.

Ayrıca, tek depremden kullanılabilen kayıt takımı sayısı en fazla üç olarak TBDY-2018 mad. 2.5’de sınırlandırılmıştır.

Zaman tanım alanında analiz hesaplarına katılacak deprem etkileri, seçimi yapılan deprem kayıtlarından basit ölçekleme yöntemi ile ölçeklendirilerek veya spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülerek elde edilir. Tez kapsamında basit ölçeklendirme yöntemi deprem yalıtımlı binalar için özel değerleri ile kullanılacaktır.

Deprem kayıtlarının elde edilmesinde kullanılacak birçok veri tabanından yararlanılabilmektedir. İçlerinden en yaygın olarak kullanılan veri tabanları aşağıda sıralanmıştır.

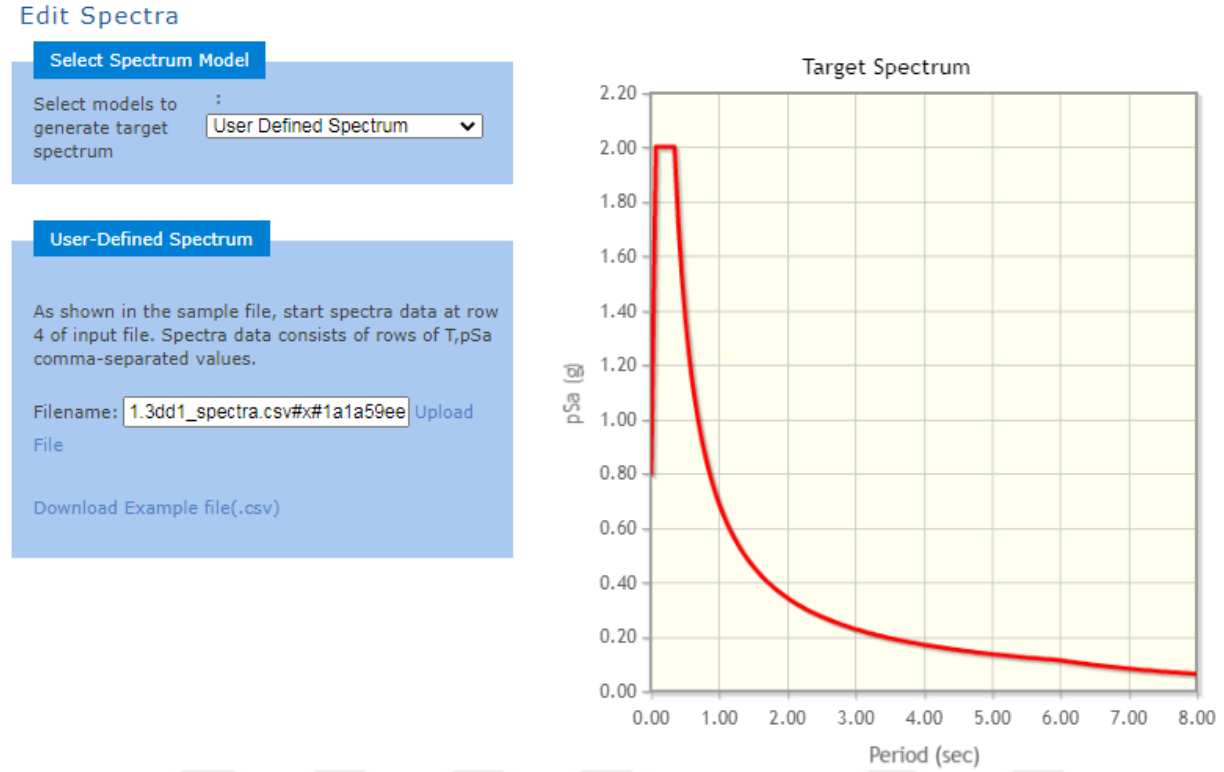
- Building Research Institute (BRI)
- Reference Database for Seismic Ground Motion in Europe (RESORCE)
- The Italian Accelerometric Archive (ITACA)
- The Strong Motion Virtual Data Center (VDC)
- Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)
- The European Strong Motion Database (ESM)

Tez çalışması kapsamında, deprem kayıtlarının seçiminde PEER veri tabanı (Pacific Earthquake Engineering Research Center, 2021) kullanılmıştır. Deprem kayıtlarının PEER veri tabanında araştırılması sırasında; hedef spektrum tanımlaması ile sözde ivme spektrumu tanımlanmış hedef spektrumla uyumlu deprem yer hareketi kayıtları bulunabilir. Deprem yer hareketi kayıtlarının seçilmesinde, DD-1 deprem yer hareketi düzeyindeki yatay elastik tasarım spektrumu kullanılmıştır.

Eğer önceden biliniyor ise, deprem kayıt numarası ile direkt olarak o deprem kaydına erişilebilir. Örneğin; 1999 Kocaeli Depremi, Yarımca İstasyonunun, PEER kayıt numarası 1176’dır. Bu kayıt numarası ile PEER veri tabanından ilgili deprem kaydına erişim sağlanabilir.

Arama kriterleri olarak; deprem adı (Örneğin; San Fernando, Northern Calif-07, vb.), kayıt istasyonu ismi (Örneğin; LA - Hollywood Stor FF, Cape Mendocino, vb.), fay tipi (Doğrultu atımlı, çapraz atımlı, vb.), depremin büyüklüğü (Magnitude değeri), zemin üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı $((V_S)_{30})$ parametreleri ile arama yapılabilir. Deprem

kayıtlarının analizi yapılan yapıya uygunluğu konusunda bu arama parametreleri TBDY-2018 kurallarına göre önem arz etmektedir.



Şekil 8.15. PEER veri tabanında, hedef spektrumun tanımlanması.

PEER veri tabanında deprem verilerinin aranması için tanımlanan hedef spektrum; TDTH sisteminden alınan DD-1 deprem düzeyi için alınan yatay elastik tasarım spektral ivmelerinin 1.3 katıdır (Şekil 8.15).

TBDY-2018 kurallarına göre, deprem yalıtımlı binaların zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile analizinde kullanılacak deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesinde; deprem kayıtlarının birbirine dik iki yatay doğrultudaki bileşenlerinin spektrumlarının karelerini toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrumu elde edilecektir.

TBDY-2018'e göre analiz için seçilen bu deprem kayıtlarına ait bileşke spektrumların ortalamasının $0.5T_M$ ve $1.25 T_M$ periyotları arasındaki genliklerinin, yatay elastik tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranı 1.3'den büyük olacaktır.

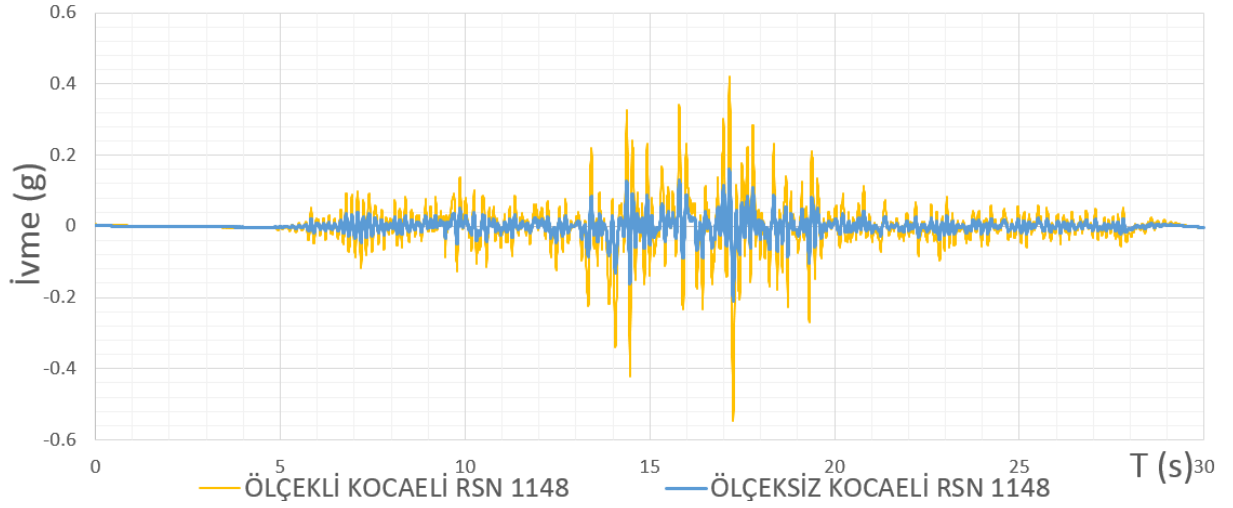
Karşılaştırılma yapılacak yatay elastik tasarım spektrumu, yalıtım birimi yerdeğiştirmeleri için DD-1 deprem yer hareketi seviyesi için oluşturulmuştur. İki yatay deprem değeri için ölçeklendirmesi için de aynı katsayı kullanılır. Sunulan tez çalışması kapsamında deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi için basit ölçeklendirme yöntemi kullanılmıştır.

TBDY-2018’de belirtildiği şekilde, yalıtım birimlerinin yerdeğiştirme değeri için, DD-1 seviyesinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde kullanılmak üzere; deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları hesaba katılarak seçimi yapılan deprem kayıtları Tablo 8.25’de listelenmiştir.

Tablo 8.25. Hesaplamalarda kullanılan deprem kayıtları

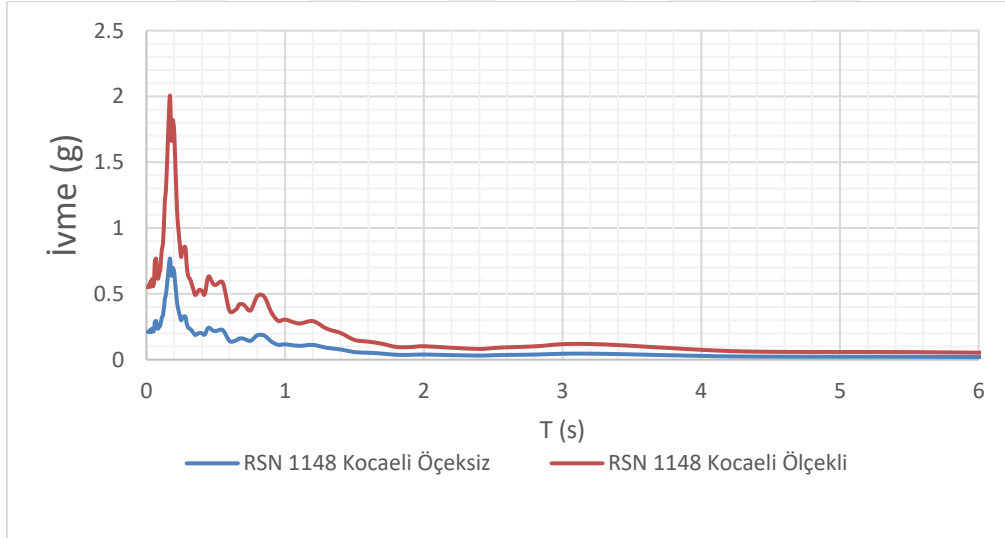
Kayıt Numarası (RSN)	Deprem İsmi	Tarih	Kayıt İstasyonu İsmi	Büyüklük	Vs30 (m/s)	Fay Uzaklığı (km)	Mekanizma	Ölçek
286	Irpinia_ Italy-01	1980	Bisaccia	6.9	496.46	17.51	Normal	2.2289
289	Irpinia_ Italy-01	1980	Calitri	6.9	455.93	13.34	Normal	2.544
313	Corinth_ Greece	1981	Corinth	6.6	361.4	10.27	Normal Oblique	2.5505
587	New Zealand-02	1987	Matahina Dam	6.6	551.3	16.09	Normal	2.0023
864	Landers	1992	Joshua Tree	7.28	379.32	11.03	strike slip	1.6495
1148	Kocaeli_ Turkey	1999	Arcelik	7.51	523	10.56	strike slip	2.6105
1633	Manjil_ Iran	1990	Abbar	7.37	723.95	12.55	strike slip	0.9583
1787	Hector Mine	1999	Hector	7.13	726	10.35	strike slip	1.9209
2704	Chi-Chi_ Taiwan-04	1999	CHY029	6.2	544.74	25.75	strike slip	2.576
3964	Tottori_ Japan	2000	TTR007	6.61	469.79	11.28	strike slip	2.6426
6915	Darfield_ New Zealand	2010	Heathcote Valley Primary School	7	422	24.36	strike slip	2.3926

Örnek olarak; 1999 yılında yaşanan, 7.51 büyüklüğündeki Kocaeli Depremi’nin, Arçelik İstasyonu’ndan elde edilen deprem kaydının ölçeksiz gerçek ivme kaydı ve ölçekli ivme kayıtları aşağıdaki grafikte gösterildiği (Şekil 8.16) gibidir.



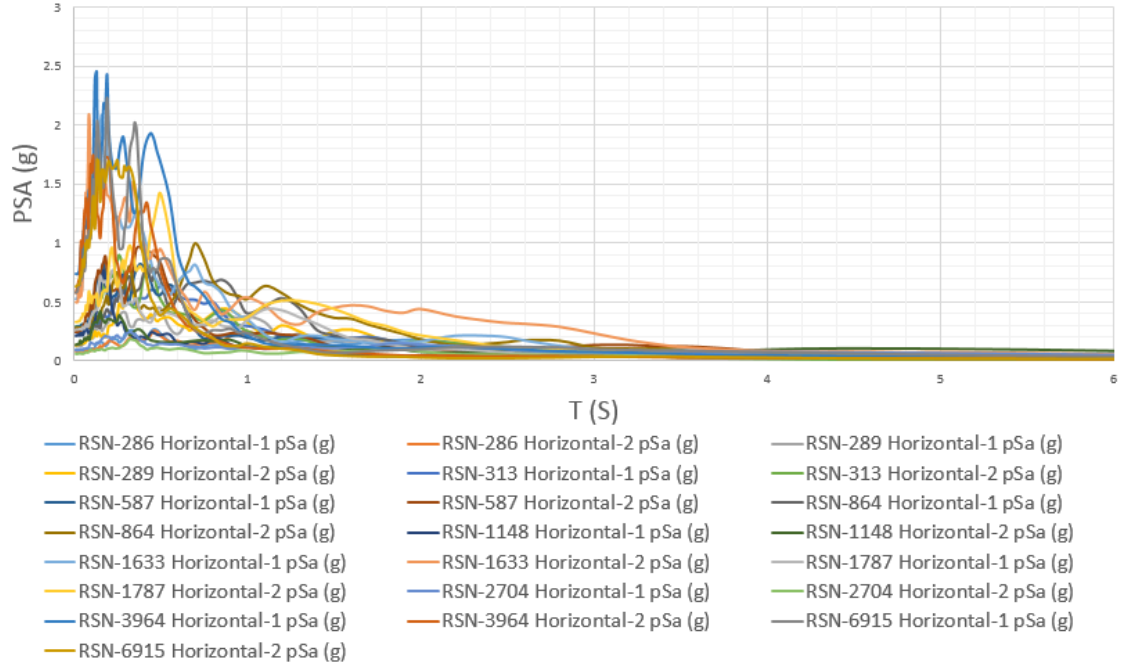
Şekil 8.16. Kocaeli Depremi ölçekli ve ölçeksiz ivme kaydı

Kocaeli depreminin, RSN 1148 numaralı kaydının, aynı yöndeki deprem doğrultusu için, ölçekli ve ölçeksiz değerleri ile deprem davranış spektrumu şeklindeki grafiği Şekil 8.17’de sunulmuştur.



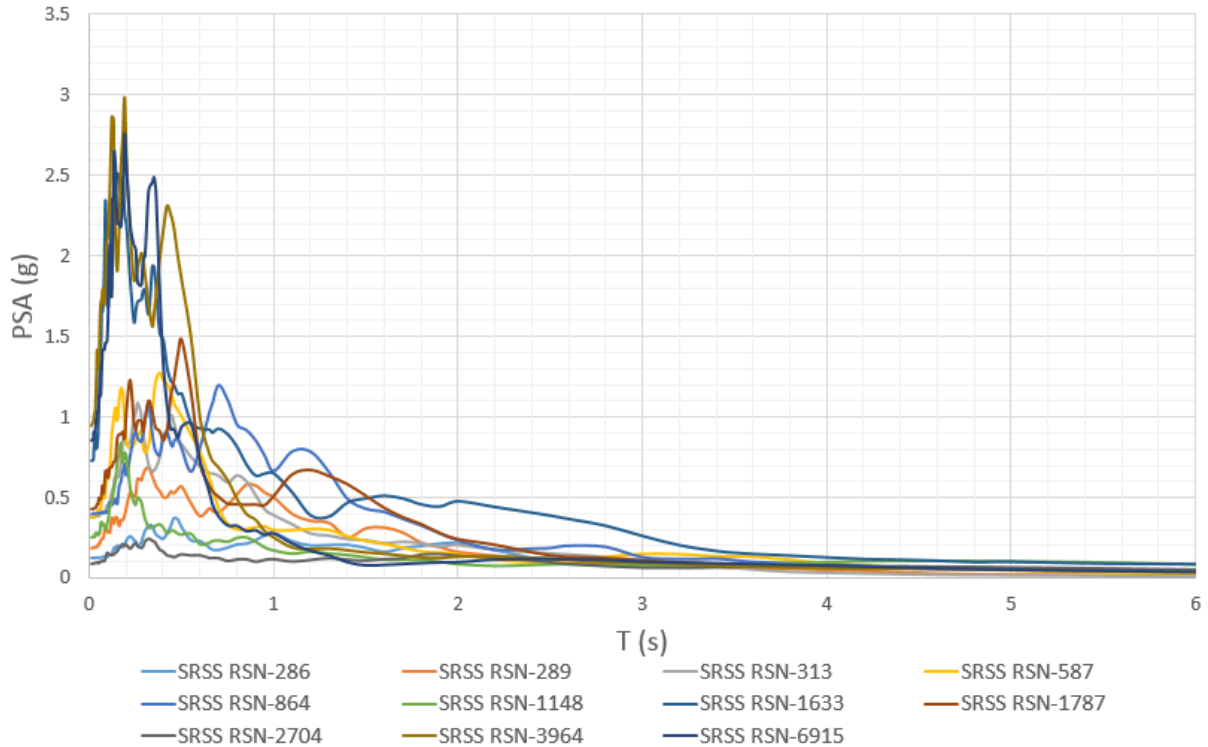
Şekil 8.17. Kocaeli Depremi’nin ölçekli ve ölçeksiz davranış spektrumu grafiği.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde kullanılmak üzere seçilen 11 adet deprem kaydının her iki yöndeki yatay deprem ivme spektrumları Şekil 8.18’de gösterilmiştir.



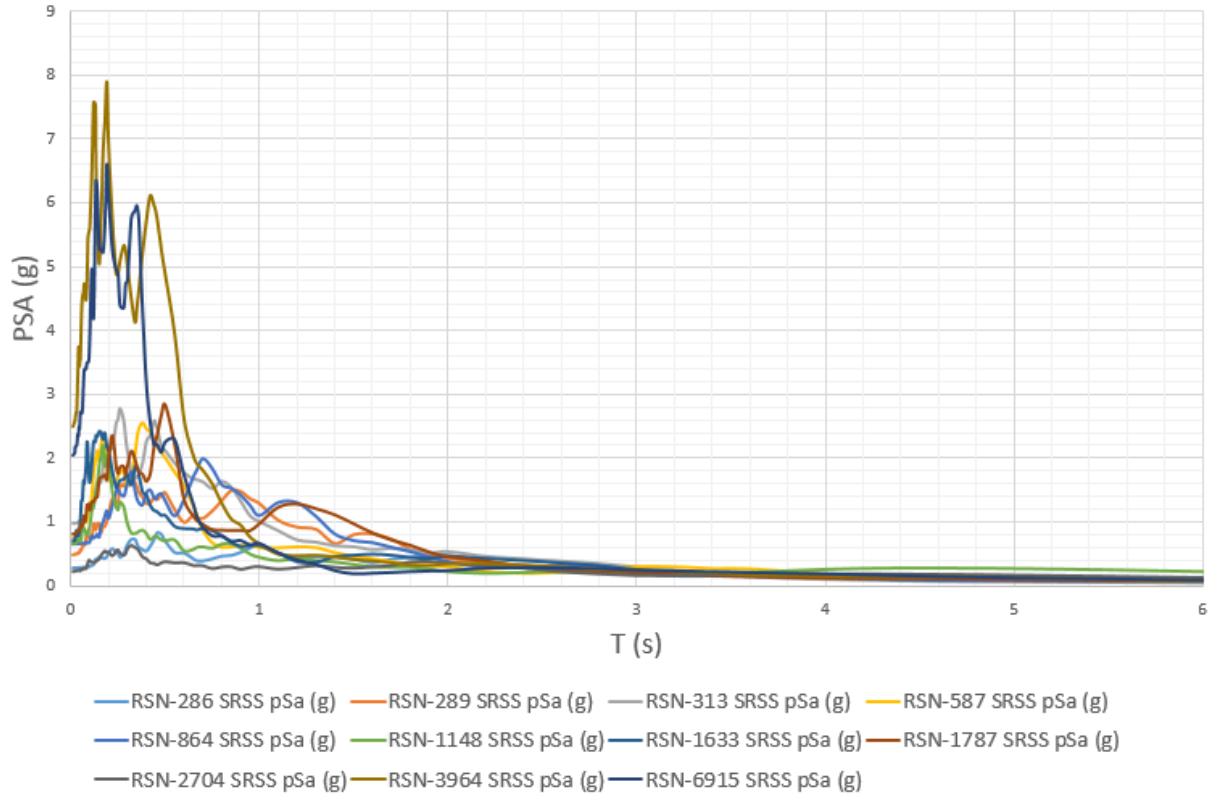
Şekil 8.18. Seçimi yapılan tüm kayıtlara ait iki yatay bileşenin ölçeksiz durumdaki grafiği.

Her bir deprem kaydının iki adet yatay yönde ivme değeri bulunmaktadır (Horizontal-1 ve Horizontal-2). Seçilen her bir deprem kaydı takımının iki yatay bileşene ait spektrumların karelerinin toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrumlar oluşturulmuştur. Oluşturulan bu bileşke yatay spektrumlar aşağıdaki grafikte (Şekil 8.19) gösterilmiştir.



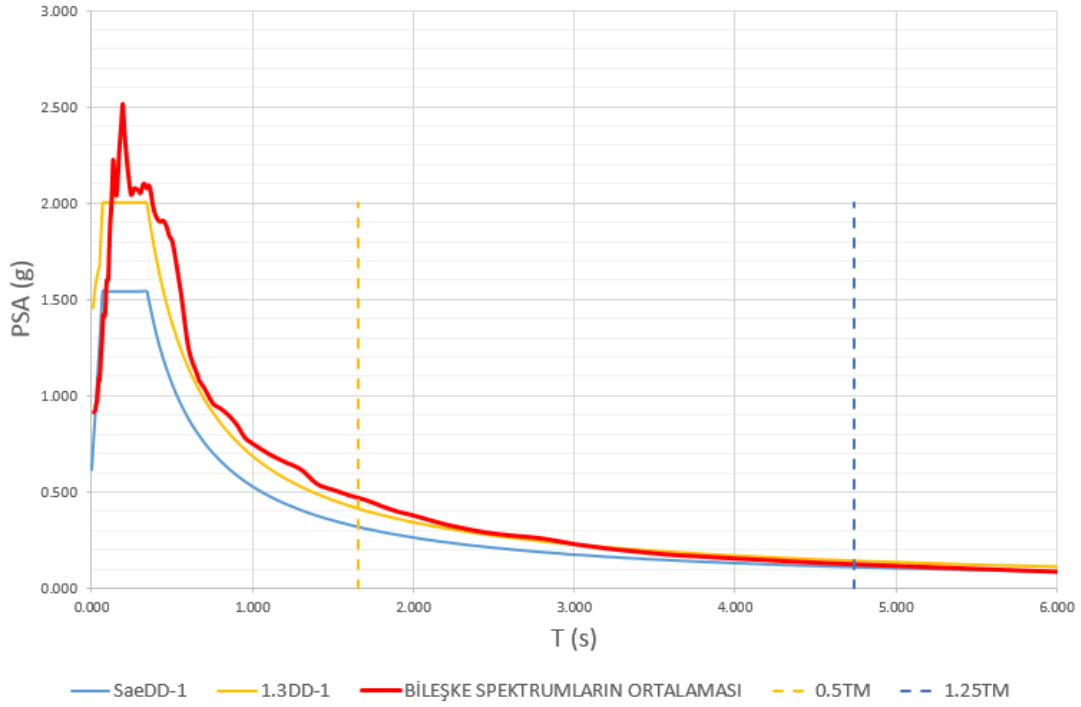
Şekil 8.19. Seçimi yapılan deprem kayıtlarına ait ölçeksiz bileşke yatay spektrumları.

Birbirine dik iki yatay deprem kaydı bileşenlerinin karelerinin toplamının karekökü alınarak oluşturulmuş bileşke yatay spektrumların ölçeklendirilmiş durumdaki ivme zaman grafiği aşağıdaki gibidir (Şekil 8.20).



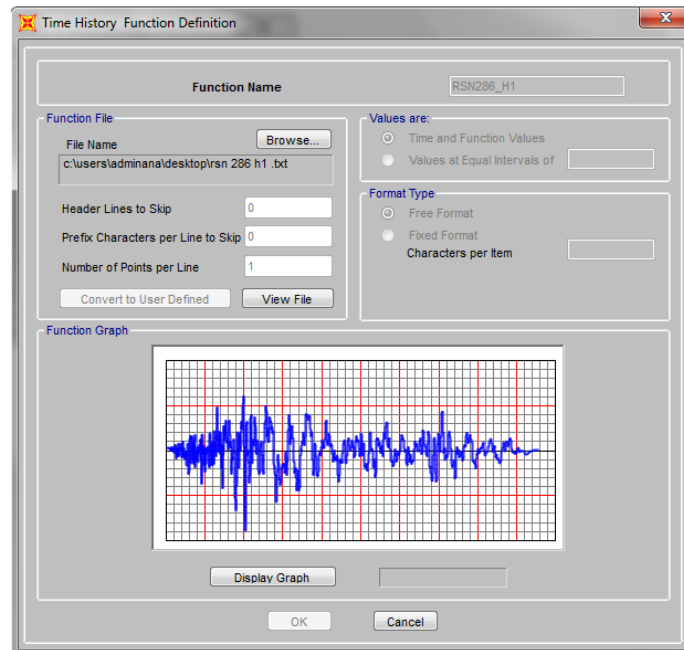
Şekil 8.20. Bileşke yatay spektrumların ölçeklendirilmiş durumdaki ivme zaman grafiği.

Ölçeklendirilmiş bileşke spektrumların ortalamasının, en büyük yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın üst sınır değerleri ile hesaplanmış etkin titreşim periyodunun 0.5 katı ($0.5T_M$) ile en büyük yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın alt sınır değerleri ile hesaplanmış etkin titreşim periyodu ($1.25T_M$) sınır değerleri arasındaki genliklerinin değeri, DD-1 deprem yer hareketi düzeyindeki yatay elastik tasarım spektrumun aynı sınır değerler arasındaki genliklerine oranı 1.3'den büyüktür (TBDY-2018 14.14.4). Bu durumu gösteren grafik aşağıdadır (Şekil 8.21).



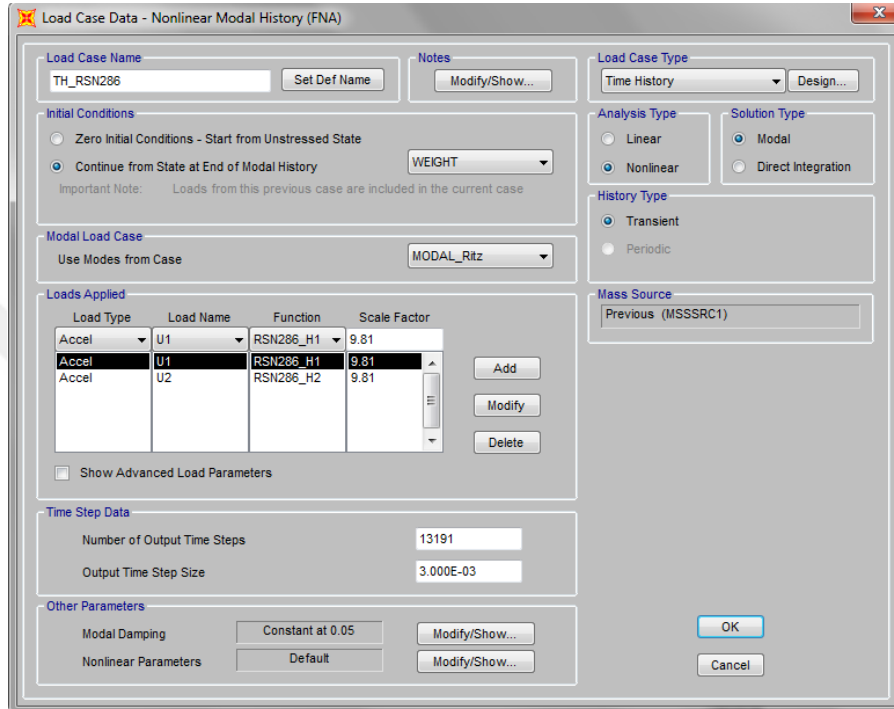
Şekil 8.21. Bileşke spektrumlarının ortalaması ve TBDY-2018 sınırları

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde, kullanılan programa izolatör tanıtırken, k_1 başlangıç rijitliği verisi de tanımlanmaktadır. Böylelikle izolatörün doğrusal olmayan histerik eğrisi bilgisayar tarafından hesaplanmaktadır. Sönüm oranı bu nedenle veri girişi olarak eklenmemektedir. İvme kayıtları, ölçekli olarak programa tanımlanır (Şekil 8.22).



Şekil 8.22. ‘‘Irpina_ Italy-01’’ deprem verisinin ölçekli olarak SAP2000’e tanıtılması.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz için her bir deprem kaydının iki yöndeki yatay deprem ivmesi değerleri aynı anda etki ettirilmektedir (Şekil 8.23). Sönüm etkisi analiz sırasında bilgisayar programı tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır. Söz konusu hesaplamalar k_1 ve k_2 rijitliği verilerine dayandırılarak gerçekleştirilmektedir.



Şekil 8.23. “Irpinia_ Italy-01” isimli deprem verisinin analiz menüsüne eklenmesi.

11 adet deprem kaydına ait birbirine dik iki yatay yöndeki deprem verileri ile gerçekleştirilmiş, toplamda 22 analiz bulunmaktadır. Tüm bu analiz sonuçlarından elde edilen izolatör deplasmanları ile vektörel bileşkesi Tablo 8.26’daki gibidir. Vektörel bileşkelerin de ortalaması alınmıştır.

Tablo 8.26. Analiz no 2 için kullanılan deprem kayıtlarına göre izolatör deplasmanları ve vektörel bileşkeleri hesap sonuçları

Deprem Kaydı Numarası		Ux (mm)	Uy (mm)	Vektörel bileşke (mm)
RSN286	H1	275.95	145.92	312.15
	H2	133.14	271.77	302.63
RSN289	H1	143.63	197.98	244.59
	H2	192.70	140.72	238.61
RSN313	H1	213.29	149.20	260.29
	H2	153.26	201.43	253.11
RSN587	H1	175.10	187.69	256.69
	H2	193.48	173.23	259.70
RSN864	H1	93.39	89.04	129.03
	H2	96.51	100.58	139.40
RSN1148	H1	159.76	756.45	773.14
	H2	749.45	159.01	766.13
RSN1633	H1	178.81	241.48	300.47
	H2	246.49	169.28	299.02
RSN1787	H1	211.79	160.20	265.56
	H2	157.27	221.15	271.36
RSN2704	H1	178.92	242.25	301.16
	H2	238.83	185.75	302.56
RSN3964	H1	52.43	404.88	408.26
	H2	405.51	49.85	408.56
RSN6915	H1	258.60	112.52	282.02
	H2	109.63	254.84	277.42
Vektörel Bileşkelerin Toplamı (mm)				7051.86
Vektörel Bileşkelerin Ortalaması (mm)				320.54

Yukarıdaki tabloda (Tablo 8.26) deprem kayıtları numaraları ile verilmiştir. Örneğin; RSN 286 numaralı deprem kaydının ismi Irpinia_ Italy-01' dir. H1 ve H2 olarak isimlendirilen kısımlar, deprem kayıtlarına ait iki yatay bileşenin birlikte etki ettirilmesini ve 90° döndürülerek analiz yapılmasını ifade etmektedir. Ux ve Uy değerleri, izolatörlere ait en büyük yerdeğiştirme değerini göstermektedir.

Vektörel bileşke kısmındaki değerlerin hesaplanması:

$$\text{Vektörel Bileşke} = \sqrt{Ux^2 + Uy^2} \text{ şeklindedir.}$$

Tüm birimler mm cinsinden yazılmıştır.

8.3. Analiz No 3- LRB Yalıtım Birimi ile 6 Katlı Yapının Analizi

TBDY-2018 kurallarına göre, kurşun çekirdekli elastomer tipi yalıtım birimi (LRB) kullanarak, 6 katlı betonarme binanın analizi yapılacaktır. Yapı, 2 no'lu analizde ele alınan 6 katlı yapı ile aynı özelliktedir (Tablo 8.27). Temel fark, yalıtım birimi olarak kurşun çekirdekli elastomer tipi yalıtım birimi kullanılmasıdır.

Elastomer yalıtım birimi için tasarımda kullanılacak alt ve üst sınır değerler, sürtünmeli sarkaç tipi yalıtım biriminden farklıdır. Alt ve üst sınır değerler prototip veya üretim kontrol deneyleri ile belirlenemez ise, TBDY-2018'de belirtildiği şekilde aşağıda gösterildiği gibi belirlenir ve bu analizde elde edilen değerler kullanılmıştır.

Kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimi için kullanılan alt ve üst sınır değerleri Denklem 8.9 ve Denklem 8.10'da verilen bağlantılar ile:

F_Q için;

$$\lambda_{alt} = [1 - 0.75x(1 - 1)]x0.70x0.85 = \lambda_{Q_{alt}} = 0.595$$

olarak bulunur.

$$\lambda_{üst} = [1 + 0.75x(1.1 - 1)]x1.30x1.15 = \lambda_{Q_{üst}} = 1.607$$

olarak bulunur.

k_2 için;

$$\lambda_{alt} = [1 - 0.75x(1 - 1)]x0.90x0.85 = \lambda_{k_{alt}} = 0.765$$

olarak bulunur.

$$\lambda_{üst} = [1 + 0.75x(1.30 - 1)]1.30x1.15 = \lambda_{k_{üst}} = 1.831$$

olarak bulunur.

Yalıtım birimi elemanlarına etkiyen yüklerin hesabında kullanılacak olan yük birleşimleri, TBDY-2018'de belirtildiği gibi aşağıda hesaplanmaktadır.

$$G + 0.3Q = \text{Bina ağırlığı olmak üzere} = 21169 \text{ kN}$$

$$1.4G + 1.6Q = P_{K1} \text{ olmak üzere} = 39194 \text{ kN}$$

$$1.2G + Q \pm E_d = P_{K2} \text{ olmak üzere DD-1 için} = 30587 \text{ kN}$$

Tüm hesaplamalarda yerçekimi ivmesi $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ alınmıştır.

Tablo 8.27. Analizi yapılan binanın bulunduğu konumun depremsellik özellikleri

	DD-1	DD-2
S_{D1}	0.530	0.308

Hastane yapısı olarak kabul edilen binada; deprem yalıtımlı tasarım gerçekleştirildiği için TBDY-2018’e göre bina önem katsayısı, $I = 1$, BKS değeri kullanım amacı değişmediği için 1, DTS değeri 1a ve BYS değeri 5 olarak alınmaktadır.

Analizi yapılacak olan 6 katlı yapıda, LRB yalıtım birimi kullanılarak tasarım yaklaşımı ve hedef performans seviyesi TBDY-2018 kurallarına göre Tablo 8.28’de görülmektedir.

Tablo 8.28. Tasarım yaklaşımı ve hedef performans seviyesi

Yapı	Deprem Düzeyi	Sınır Değeri	Tasarım Yaklaşımı	Performans Hedefi
Üst Yapı	DD-2	Üst Sınır değerleri ile	DGT	Kesintisiz Kullanım (KK)
Yalıtım Birimi	DD-1	Alt sınır değerleri ile	ŞGDT	Kesintisiz Kullanım (KK)

8.3.1. Etkin Deprem Yüğü Yöntemi-LRB Tasarımı

Bu bölümde, kurşun çekirdekli elastomer deprem yalıtım birimi (LRB) ayrıntılı olarak tasarlanıp, TBDY-2018 kurallarına göre sınır şartları kontrol edilecektir. Burada yapılacak olan analiz için gerekli başlangıç parametreleri üretici firma (Bridgestone) tarafından alınan malzeme verileridir.

Elastomer malzemenin kayma modülü (G_v) = 0.385 MPa olarak alınmıştır.

(G_v değeri, Bridgestone şirketinin LRB kataloğundan alınmıştır).

(Seismic isolation bearings for buildings. Bridgestone corporation, https://www.bridgestone.com/products/diversified/antiseismic_rubber/.)

Kurşun malzemenin kayma akma gerilmesi (τ_{yp}) = 10.00 MPa olarak kullanılmıştır.

(τ_{yp} değeri, “Design of seismic isolated structures: From theory to practice” (Kelly & Naeim, 1999) kaynağından alınmıştır.

İzolator parametreleri için kabul edilmiş olan değerler ve TBDY-2018’de belirtildiği şekilde hesap sonucu bulunan izolator mekanik özellikleri Tablo 8.29’da sunulmuştur.

Tablo 8.29. Tasarımı yapılan LRB izolatöre ait bilgiler

LRB deprem izolatörü için tasarım parametreleri	Değer
Yalıtım birimi adedi	18 adet
Çelik plaka ile yapışmış elastomerin çapı, (B)	800 mm
Kurşun çekirdek çapı, (B_L)	100 mm
Elastomer katman kalınlığı, (t)	10 mm
Kauçuk plaka adedi	30 mm
İç çelik plaka kalınlığı, (t_s)	2 mm
Toplam elastomer kalınlığı, (T_r)	300 mm
Yalıtım birimi toplam yüksekliği, (H)	358 mm
Tek bir elastomer katmanının çelik plaka ile yapışmış, yüke maruz yüzey alanı, (A_r)	494801 mm ²
Kurşun çekirdeğin alanı, (A_p)	7854 mm ²
Şekil katsayısı, (S)	20
Yalıtım biriminin nominal karakteristik dayanımı ($F_Q \cong F_y$)	79 kN
Yalıtım biriminin nominal ikincil (elastik ötesi) rijitliği, (k_2)	635 kN/m
Elastomer yalıtım biriminin başlangıç rijitliği (elastik rijitlik), (k_1)	6350 kN/m
Kauçuk malzemenin esneklik modülü, (E_o)	1540 MPa
Kauçuk malzemenin sertlik değeri	50
“ k ” katsayısı, kauçuk malzemenin sertlik değeri 50 için	0.75
Elastomer yalıtım biriminin basınç modülü, (E_c)	897 MPa
Kauçuk malzemenin hacim modülü, (K)	2000 MPa
Düşey rijitlik modülü, (E_v)	619 MPa
Elastomer yalıtım biriminin düşey rijitliği, (k_v)	1021284 kN/m

Tablo 8.29’da, k_1 rijitliği k_2 rijitliğinin 10 katı olarak kabul edilmiştir (Kelly & Naeim, 1999).

Kurşun çekirdekli elastomer yalıtım biriminin en büyük yerdeğiştirme hesabı, Etkin Deprem Yüğü Yöntemi ile DD-1 deprem seviyesi etkisinde izolatör parametrelerine ait alt sınır değerleri ile hesaplanmıştır. Hesap adımı olarak 2 no’lu analizde belirtildiği şekilde deplasman tahmini yapılarak işlemlere başlanmakta ve iterasyon sonucunda deplasman değeri doğrulanmaktadır. Aşağıda iterasyon sonucunda bulunmuş olan DD-1 etkisi altında Etkin Deprem Yüğü parametreleri sunulmaktadır (Tablo 8.30).

Tablo 8.30. DD-1 için izolatör değerleri-Etkin Deprem Yüğü Yöntemi

LRB deprem izolatörü, DD-1 için sonuç değerleri	Değer
Yalıtım biriminin ikincil (elastik ötesi) rijitliği, (k_2)	485.77 kN/m
Elastomer yalıtım biriminin başlangıç rijitliği (elastik rijitlik), (k_1)	4857.71 kN/m
Yalıtım biriminin karakteristik dayanımı, (F_Q)	46.73 kN
1 adet izolatör için etkin rijitlik, (k_e)	619.51 kN/m
DD-1 için bina etkin periyodu, (T_M)	2.76 s
Yalıtım biriminin etkin akma yerdeğiştirmesi, (D_y)	0.011 m
1 adet izolatörün, 1 çevrimde tükettiği enerji, (W_d)	63.32 kNm
Sönüm oranı, (β_e)	0.13
Sönüm ölçeklendirme katsayıları, (η_M)	0.74
DD-1 için yalıtım birimi yatay yerdeğiştirmesi, (D_M)	0.35 m
D_{TM} değeri	0.435 m
$1.1D_M$ değeri	0.385 m
Yalıtım arayüzü toplam yerdeğiştirmesi, max.(D_{TM} , $1.1D_M$)	0.435 m

Elastomer yalıtım birimlerinin birim şekildeğiştirme sınırları DD-1 deprem yer hareketi etkisi altında alt sınır değerler ile incelenmektedir.

Depremsiz durumda meydana gelen birim şekildeğiştirme değerlerinin (Tablo 8.31), TBDY-2018 sınır şartlarına göre kontrolü Tablo 8.32’de sunulmuştur.

Tablo 8.31. Depremsiz durumda oluşan birim şekildeğiştirmeler

Birim Şekildeğiştirmeler	Değeri
Basınçtan meydana gelen açısıl şekildeğiştirme, ($\gamma_{c,st}$)	0.580
Deprem durumu dışındaki açısıl şekildeğiştirme, ($\gamma_{s,st}$)	0.10
Yalıtım birimi üst ve alt plakaları arasındaki göreceli dönmeden meydana gelen birim şekildeğiştirme, ($\gamma_{r,st}$)	0.53

Tablo 8.31’de yer alan $\gamma_{r,st}$ hesabında, tasarım dönme açısı (θ_s) 0.005 radyan olarak alınmıştır (TBDY-2018 mad. 14.12.2.2.c).

Tablo 8.32. Tasarımı yapılan izolatörün deprem yükü hariç birim şekildeğiştirme sınırlarının TBDY-2018 sınır şartlarına göre kontrolü

TBDY-2018 Sınır Şartı	Tasarımı Yapılan İzolatör Değeri	Uygunluk Durumu
$\gamma_{c,st} \leq 3.5$	0.580	Uygun
$\gamma_{c,st} + \gamma_{s,st} + \gamma_{r,st} \leq 5.0$	1.21	Uygun

Tablo 8.33. Depremlı durumda (DD-1 etkisi altında) meydana gelen birim şekildeğiştirme değerleri

Birim Şekildeğiştirme	Değeri
Δ	1.992 Radyan
A_{re}	170067 mm ²
DD-1 deprem seviyesinde meydana gelen basınçla oluşan birim şekildeğiştirme, ($\gamma_{c,E}$)	1.316
DD-1 deprem seviyesinde meydana gelen yatay yerdeğiştirmeyle oluşan birim şekildeğiştirme, ($\gamma_{s,E}$)	1.17

Tasarımı yapılan izolatörün depremlı durumda (DD-1 için) yatay yerdeğiştirmeden ve dönmeden meydana gelen birim şekildeğiştirme değerlerinin (Tablo 8.33), TBDY-2018 sınır şartlarına göre kontrolü Tablo 8.34’de sunulmuştur.

Tablo 8.34 Yatay yerdeğiştirme ve dönmeden meydana gelen birim şekildeğiştirme kontrolleri

TBDY 2018 Sınır Şartı	Tasarımı Yapılan İzolatör Değeri	Uygunluk Durumu
$\gamma_{c,E} + \gamma_{s,E} + 0.5\gamma_{r,st} \leq 6.0$	2.75	Uygun
$\gamma_{s,E} \leq 2.0$	1.17	Uygun

Elastomer yalıtım birimlerinin düşey kararlılığı da DD-1 Deprem Yer Hareketi etkisi altında incelenmektedir (Tablo 8.35).

Tablo 8.35. Elastomer yalıtım birimi düşey kararlılık değeri

Elastomer Yalıtım Yük Değeri	İzolatör Değeri (kN)
Yatay yerdeğiştirme olmadığı durumda elastomer yalıtım biriminin burkulma yükü, (LRB için), (P_{cr})	9718
Yatay deplasmanın sıfır olduğu durumda, DD-1 deprem seviyesinde elastomer deprem izolatörlerin burkulma yükü, (P'_{cr})	3340.3
Birim şekildeğiştirmeye bağlı eksenel yük kapasitesi, (P_{str}), (Elastomer yalıtım birimleri için)	4519

Elastomer deprem yalıtım birimlerinin yatay yerdeğiştirme olmadığı durumlardaki burkulma yükü sınır şartının kontrolü:

$$\frac{\min(P_{cr}, P_{str})}{P_{K1}} = 2.08 \geq 2.0 \text{ olduğu için, TBDY-2018 kurallarına uygundur.}$$

Yukarıdaki formülde P_{K1} hesabında tek bir izolatöre düşen yük işleme alınmıştır.

Elastomer deprem yalıtım cihazlarının, DD-1 deprem seviyesinde oluşan yatay deplasman değeriindeki burkulma yükü sınırı kontrolü:

$$\frac{\min(P'_{cr}, P_{str})}{P_{K2}} = 1.97 \geq 1.1 \text{ olduğu için, TBDY-2018 kurallarına uygundur.}$$

Yukarıdaki formülde kullanılan P_{K2} değeri tek bir izolatöre düşen yük değeri olarak işleme alınmıştır.

Kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimi kullanılarak tasarlanan yapıda, üst yapıya etkiyen en büyük yatay kuvvetin hesabı Etkin Deprem Yüğü Yöntemi ile, DD-2 deprem seviyesinde izolatör parametreleri üst sınır değerleri ile hesaplanmıştır. İterasyon adımları deplasman tahmini yapılarak sağlanmıştır. Tablo 8.36’da, iterasyon sonucunda bulunmuş olan DD-2 etkisi altında Etkin Deprem Yüğü parametreleri sunulmuştur.

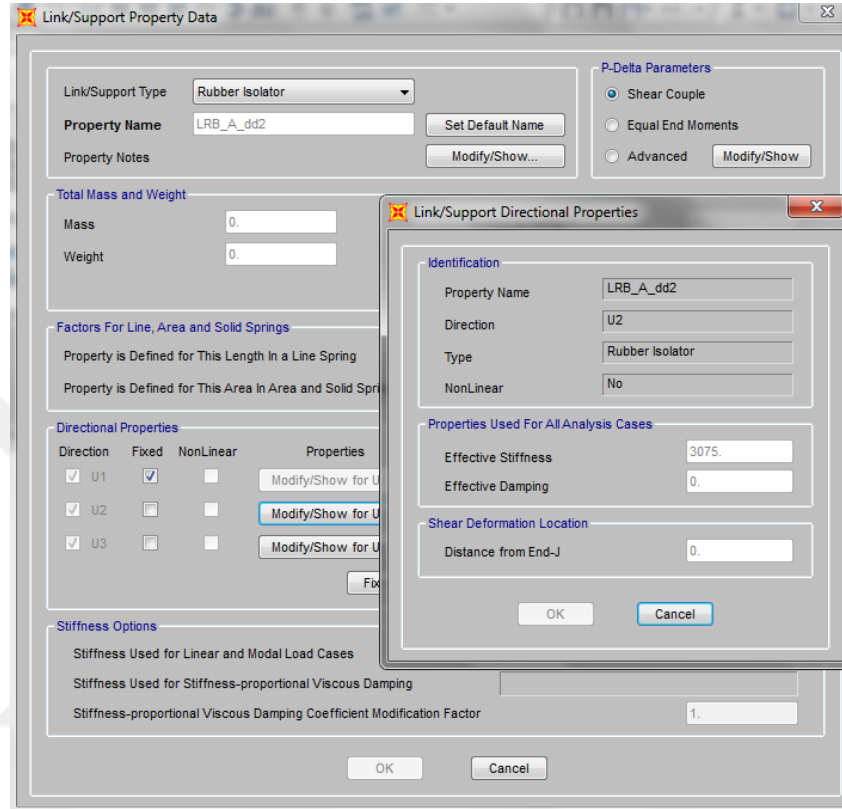
Tablo 8.36. DD-2 için izolatör değerleri-Etkin Deprem Yüğü Yöntemi

LRB deprem izolatörü, DD-2 için sonuç değerleri	Değeri
Yalıtım biriminin ikincil (elastik ötesi) rijitliği, (k_2)	1162.04 kN/m
Elastomer yalıtım biriminin başlangıç rijitliği (elastik rijitlik), (k_1)	11620.40 kN/m
Yalıtım biriminin karakteristik dayanımı, (F_Q)	126.21 kN
1 adet izolatör için etkin rijitlik, (k_e)	3076.56 kN/m
DD-1 için bina etkin periyodu, (T_D)	1.24 s
Yalıtım biriminin etkin akma yerdeğiştirmesi, (D_y)	0.012 m
1 adet izolatörün, 1 çevrimde tükettiğı enerji, (W_d)	27.19 kNm
Sönüm oranı, (β_e)	0.30
Sönüm ölçeklendirme katsayıları, (η_D)	0.53
DD-2 için yalıtım birimi yatay yerdeğiştirmesi, (D_D)	0.07 m
D_{TD} değeri	0.081 m
$1.1D_D$ değeri	0.073 m
Yalıtım arayüzü toplam yerdeğiştirmesi, max. (D_{TM} , $1.1D_M$)	0.081 m

Etkin Deprem Yüğü Yöntemi uygulanarak yapılan analiz sonucunda üst yapıya etkiyen kuvvet (V_D) 2341.58 kN olarak elde edilmiştir.

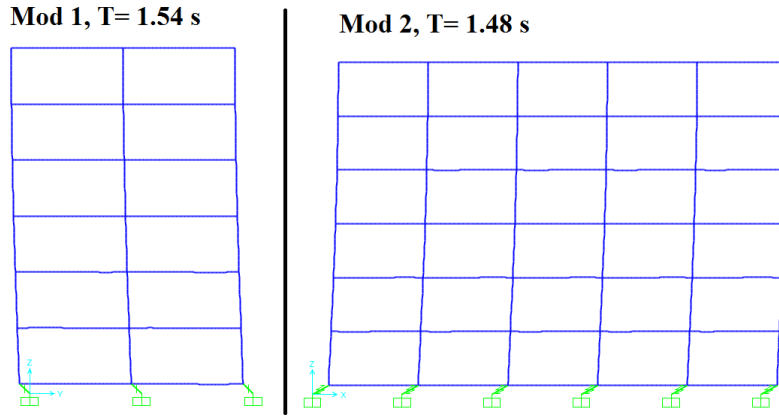
8.3.2. Mod Birleştirme Yöntemi-LRB ile Yalıtımlı Bina Hesaplamaları

MBY ile hesap yapmak üzere, 2 no'lu analizde tanımlanmış olan model kullanılmış olup sadece link elemanları revize edilmiştir. Link elemanlar kullanılan bilgisayar programında kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimlerinin davranışlarını yansıtacak şekilde tanımlanmıştır (Şekil 8.24).



Şekil 8.24. LRB izolatörün, bilgisayar programına tanıtılması.

Analizde, doğrusal hesap yapıldığı için bir adet izolatörün etkili rijitlik değerinin tanımlanması yeterlidir (Şekil 8.24). Sönüm etkisi spektruma çarpan katsayısı ile yansıtılmıştır. Bu katsayı, TBDY 2018 kurallarına göre sönüm ölçeklendirme katsayısıdır. Analizde, DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi yatay ivme değerleri $R= 1.2$ ve $D= 1.2$ katsayıları ile düzenlenmiş şekilde kullanılmıştır. Etkin kesit rijitlikleri, TBDY-2018 kurallarına uygun olarak deprem yalıtımlı binalar için kullanılması gereken değerler ile bilgisayar programına tanıtılmıştır.



Şekil 8.25. Analiz No 3 Mod Birleştirme Yöntemi, periyot değerleri.

MBY ile yapılan analiz sonucunda, yapının 1. Mod periyodu Y yönünde olmak üzere $T_y=1.54$ s, 2. Mod periyodu X yönünde olmak üzere $T_x=1.48$ s olarak elde edilmiştir (Şekil 8.25).

Bilgisayar analizi sonucunda, X yönünde elde edilen taban kesme kuvveti (V_x) 1943.21 kN, Y yönünde elde edilen taban kesme kuvveti ise (V_y) 1859.54 kN olarak bulunmuştur.

TBDY-2018’de, Modal Analiz sonucu hesaplanan kesme kuvvetlerinin, Etkin Deprem Yüğü Yöntemi ile elde edilen değerlerin 0.8 katından küçük olmayacağı koşulu önerilmektedir. Bölüm 8.3.1’de Etkin Deprem Yüğü Yöntemi ile yapılan analizde, DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde, üst yapıya etkiyen en büyük taban kesme kuvveti 2341.58 kN elde edilmiştir. Etkin Deprem Yüğü Yönteminden bulunan taban kesme kuvvetinin 0.8 katı dikkate alındığında taban kesme kuvveti değeri 1873.26 kN olarak elde edilmektedir.

Mod Birleştirme Yöntemi ile hesaplanan ve yukarıda değerleri verilen taban kesme kuvveti, X yönünde koşulu sağlanmaktadır, Y yönü için ise yaklaşık olarak aynı düzeyde elde edildiği görülmektedir.

Analiz sonuçlarından elde edilen kat deplasmanları Tablo 8.37 ve Tablo 8.38’de sunulmuştur.

Tablo 8.37. X yönü, yalıtımlı bina kat deplasmanları (İzolatör deplasmanına göre göreceli yerdeğiştirmeler)

KAT NO	$u_i^{(X)} max$ (mm)	$u_i^{(X)} min$ (mm)	$(\Delta_i^{(X)})_{max}$	$(\Delta_i^{(X)})_{min}$	$(\Delta_i^{(X)})_{ort}$
6	22.364	22.364	1.102	1.102	1.102
5	21.261	21.261	2.272	2.272	2.272
4	18.989	18.989	3.462	3.462	3.462
3	15.527	15.527	4.570	4.570	4.570

2	10.957	10.957	5.503	5.503	5.503
1	5.454	5.454	5.454	5.454	5.454

Tablo 8.38. Y yönü, yalıtımlı bina kat deplasmanları (İzolatör deplasmanına göre görelî yerdeğıştirmeler)

KAT NO	$u_i^{(Y)} \max$ (mm)	$u_i^{(Y)} \min$ (mm)	$(\Delta_i^{(Y)})_{\max}$	$(\Delta_i^{(Y)})_{\min}$	$(\Delta_i^{(Y)})_{\text{ort}}$
6	30.652	30.652	1.636	1.636	1.636
5	29.015	29.015	3.208	3.208	3.208
4	25.808	25.808	4.810	4.810	4.810
3	20.997	20.997	6.281	6.281	6.281
2	14.716	14.716	7.460	7.460	7.460
1	7.256	7.256	7.256	7.256	7.256

Her iki deprem doğrultusu için, etkin görelî kat ötelemesi hesabı yapılır. TBDY-2018'e göre DGT için etkin görelî kat ötelemesi sınır değeri:

$$\frac{\delta_{i,\max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.008 \kappa \text{ için } 0.008\kappa = 0.008 \times 1 = 0.008 \text{ değeri'dir.}$$

Tablo 8.39. X yönü deprem doğrultusu için etkin görelî kat ötelemesi ($\delta_i^{(X)}$) değeri'leri

KAT	R/I	$(\Delta_i)_{\max}$	$\delta_{i,\max}^{(X)}$	h_i (mm)	λ_x	$\lambda \frac{\delta_{i,\max}^{(X)}}{h_i}$
6	1.20	1.102	1.323	3000	0.409	0.0002
5	1.20	2.272	2.726	3000	0.409	0.0004
4	1.20	3.462	4.155	3000	0.409	0.0006
3	1.20	4.570	5.485	3000	0.409	0.0007
2	1.20	5.503	6.603	3000	0.409	0.0009
1	1.20	5.454	6.545	3000	0.409	0.0009

Tablo 8.40. Y yönü deprem doğrultusu için etkin görelî kat ötelemesi ($\delta_i^{(Y)}$) değeri'leri

KAT	R/I	$(\Delta_i)_{\max}$	$\delta_{i,\max}^{(Y)}$	h_i (mm)	λ_x	$\lambda \frac{\delta_{i,\max}^{(Y)}}{h_i}$
6	1.20	1.636	1.964	3000	0.409	0.0003
5	1.20	3.208	3.849	3000	0.409	0.0005
4	1.20	4.810	5.772	3000	0.409	0.0008
3	1.20	6.281	7.537	3000	0.409	0.0010
2	1.20	7.460	8.952	3000	0.409	0.0012
1	1.20	7.256	8.707	3000	0.409	0.0012

KK performans hedefi, analizi yapılan deprem yalıtımlı binada TBDY-2018 mad. 14.14.5.1'e göre;

$$0.005h_i = 0.005 \times 3000 \text{ mm} = 15 \text{ mm'dir.}$$

Yukarıdaki tablolarda (Tablo 8.39 ve Tablo 8.40) görüleceği üzere etkin görel kat ötelemesi değerleri ile KK performans hedefi ele alınan deprem yalıtımlı bina için karşılandığı görülmektedir.

8.3.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz-LRB

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılarak, kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimlerinin yerdeğiştirme değerleri hesaplanmıştır. İlgili periyot aralıklarında ortalama bileşke spektrumu TBDY-2018 şartlarını karşıladığından, hesaplamalarda 2'nolu analizde dikkate alınan deprem kayıtları kullanılmıştır.

Analiz programında, LRB elemanlarının tanımı yapılmış ve 2 no'lu analize benzer şekilde k_1 ve k_2 rijitlik değerleri söz konusu programa tanıtılmıştır. Böylelikle sönüm etkisinin ayrıca tanımlanmasına gerek duyulmamıştır. Sönümün sisteme etkisi program tarafından analiz esnasında göz önüne alınmaktadır.

Kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimi kullanılarak yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler ile yalıtım birimi yerdeğiştirme sonuçları Tablo 8.41'de görülmektedir. Tablo 8.41'de kullanılan isimlendirmeler 2 no'lu analizdeki Tablo 8.26 ile aynı anlamdadır.

Tablo 8.41. Analiz no 3 için kullanılan deprem kayıtlarına göre izolatör deplasmanları ve vektörel bileşkeleri hesap sonuçları

Deprem Kaydı Numarası		Ux (mm)	Uy (mm)	Vektörel bileşke (mm)
RSN286	H1	265.62	115.21	289.53
	H2	121.33	255.02	282.41
RSN289	H1	218.55	174.04	279.38
	H2	189.40	212.47	284.63
RSN313	H1	273.28	195.61	336.08
	H2	204.77	273.12	341.36
RSN587	H1	141.89	282.53	316.16
	H2	276.32	137.39	308.59
RSN864	H1	85.77	204.22	221.50
	H2	204.23	89.63	223.03
RSN1148	H1	112.06	329.90	348.41
	H2	324.08	114.87	343.83
RSN1633	H1	176.40	273.63	325.56
	H2	281.62	177.38	332.83
RSN1787	H1	127.03	187.21	226.24

	H2	199.67	136.90	242.09
	H1	147.42	139.09	202.67
RSN2704	H2	137.52	149.39	203.05
	H1	67.24	340.81	347.38
RSN3964	H2	352.85	71.57	360.04
	H1	264.68	110.93	286.99
RSN6915	H2	113.84	259.86	283.70
Vektörel Bileşkelerin Toplamı (mm)				6385.47
Vektörel Bileşkelerin Ortalaması (mm)				290.25

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan 22 adet analiz sonucunda vektörel bileşke hesabı ile ortalama yerdeğiştirme değeri 290.25 mm olarak elde edilmiştir.

Yalıtım birimleri yerdeğiştirme kapasiteleri, DD-1 deprem seviyesinde yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler sonucunda bulunan yalıtım birimi yerdeğiştirme değerlerini karşılamaktadır.

TBDY-2018’de zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap sonucunda yalıtım arayüzünde hesaplanan yerdeğiştirmelerin, Etkin Deprem Yüğü Yöntemi ile hesaplanan değerin 0.8 katından az olmaması koşulu önerilmektedir.

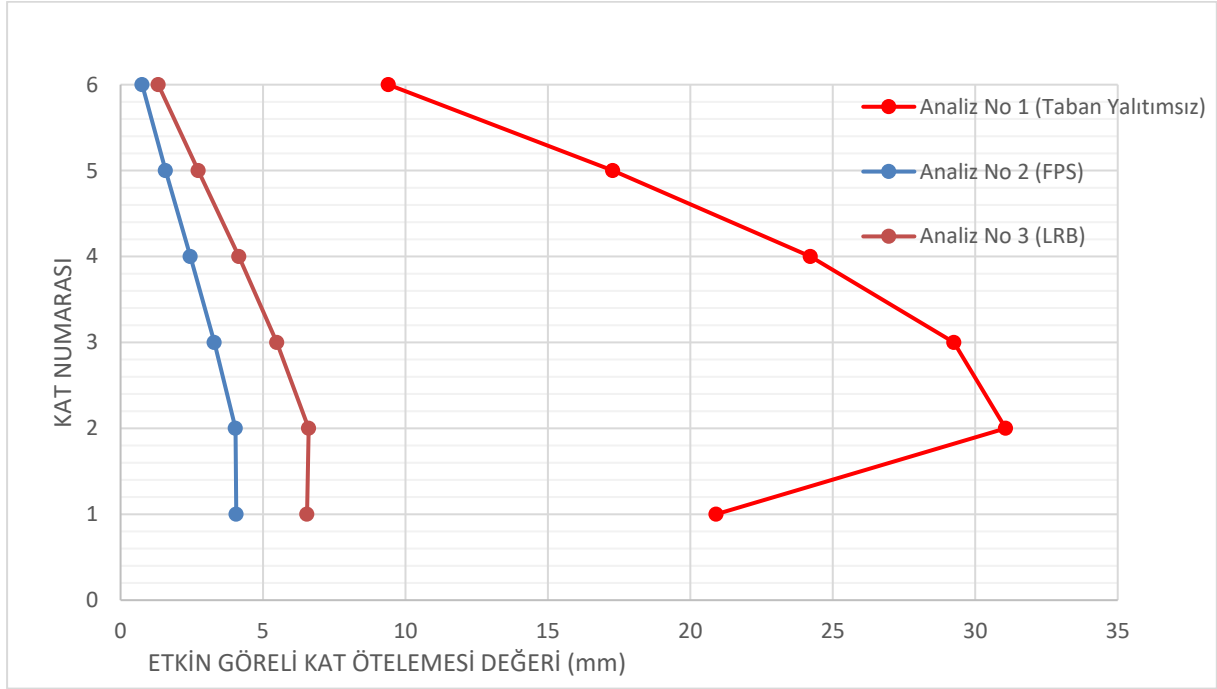
Bölüm 8.3.1’de Etkin Deprem Yüğü Yöntemi ile yalıtım birimi toplam yerdeğiştirme değeri 0.435 m olarak bulunmuştur. Söz konusu değerin 0.8 katı hesaplandığında; $435 \times 0.8 = 348$ mm değeri elde edilmektedir.

TBDY-2018’e göre, yalıtım arayüzünde gerçekleşen yerdeğiştirme değeri, 348 mm değerinden daha küçük alınamadığından, yalıtım birimi toplam yerdeğiştirmesi değeri olarak 348 mm kabul edilir.

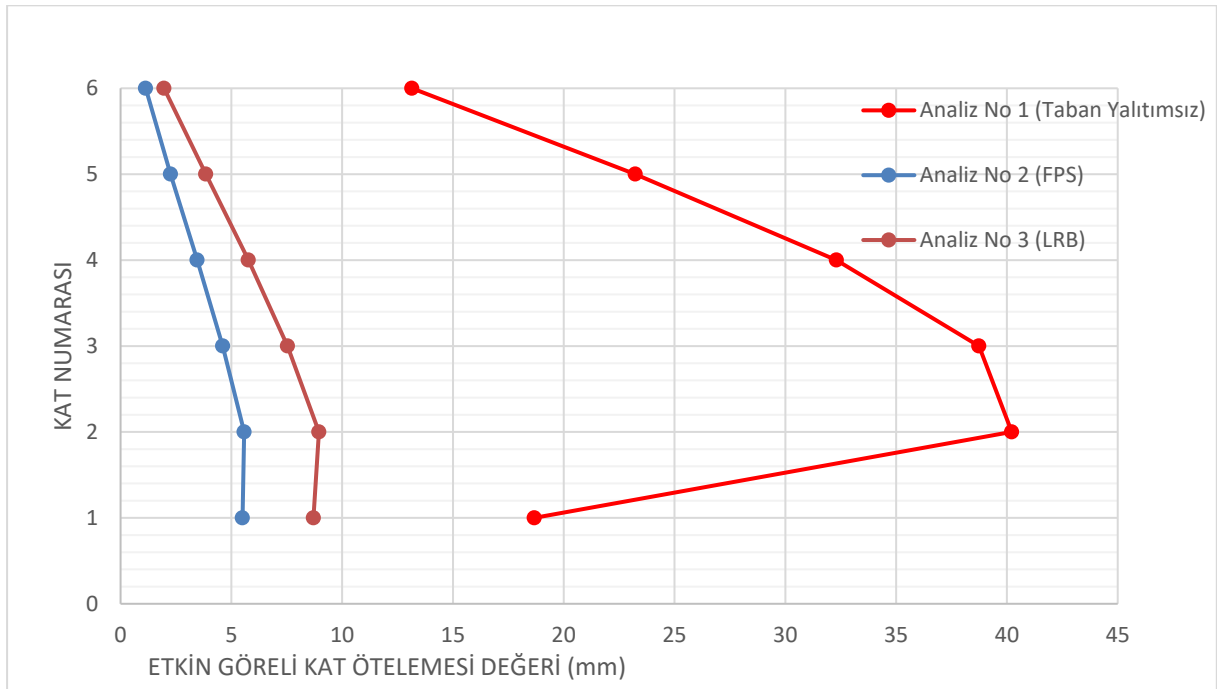
8.4. Etkin Görelî Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi

Sunulan tez çalışması kapsamında değerlendirilen deprem yalıtımlı binalarda etkin görelî kat ötelemeleri ($\delta_i^{(X)}$) değerleri KK performans seviyesini, deprem yalıtımsız modelde ise KH performans seviyesini karşılayarak TBDY-2018’de belirtilen değerler arasında kalmıştır.

DD-2 deprem yer hareketi seviyesi altında yapılan modal analizler sonucunda bulunan etkin görelî kat ötelemeleri değerlerinin karşılaştırma grafikleri her iki deprem doğrultusu için Şekil 8.26. ile Şekil 8.27.'da sunulmuştur.



Şekil 8.26. X Yönü Etkin Görelî Kat Ötelemeleri $\delta_i^{(X)}$ Karşılaştırma Grafiği



Şekil 8.27. Y Yönü Etkin Görelî Kat Ötelemeleri $\delta_i^{(Y)}$ Karşılaştırma Grafiği

Yapılan analizler sonucunda; hesaplanan etkin görelî kat ötelemelerinin hesabında kullanılan R katsayısının farkı açıkça görülebilmektedir. Bu grafiklerde (Şekil 8.25 ile Şekil 8.26.) deprem yalıtımlı 2 ve 3 no'lu modellerde DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için $R=1.2$ alınarak üst yapı analiz sonuçları elde edilmiştir. Taban yalıtımsız 1 no'lu modelde ise $R=8$ alınarak hesaplamalar aynı deprem düzeyi için üst yapıda gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak; deprem yalıtımlı 2 ve 3 no'lu analizlerde etkin görelî kat ötelemelerinde, deprem yalıtımsız 1 no'lu modele göre çok düşük değerler elde edilmiştir.



9. SONUÇLAR

Sunulan tez çalışması kapsamında, 2018 yılında yayımlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) esasları ile uygulamaya konulan başlıca yenilikler açıklanmış ve yerinde dökme betonarme bina türü 3 adet yapı modeli üzerinde, binaların deprem etkisi altında davranışları TBDY-2018'e göre incelenmiştir. TBDY-2018 ile Türkiye'de yayımlanan deprem yönetmeliklerinde ilk defa deprem yalıtımlı binaların tasarım ve analiz yöntemleri açıkça belirtilmiştir. Tez çalışması kapsamında yapılan analizlerde, DGT yaklaşımı ile taban yalıtımsız bir modelde Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak taban kesme kuvvetleri ve kat ötelemeleri belirlenmiş, düzensizlik kontrolleri yapılmıştır.

TBDY-2018'de bulunan iki çeşit yalıtım birimi kullanılarak, eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi (FPS) ve kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimi (LRB) tasarımları ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmış olup deprem etkisi altında yalıtımlı binaların davranışları TBDY-2018'e göre incelenmiştir.

Tez kapsamında aynı model üzerinde; taban yalıtımsız (Analiz 1), eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi (FPS) yalıtım birimi (Analiz 2) ve kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimi (LRB) kullanılarak (Analiz 3) 3 farklı analiz gerçekleştirilmiştir. Pratik uygulamalara örnek olması ve diğer analizlerle karşılaştırma yapılabilmesi bakımından yalıtım cihazları üzerine tanımlanan döşemenin ağırlığı ihmal edilmiştir. Böylece her analizde aynı bina ağırlığı kullanılabilmiştir.

Analiz 1'de; taban yalıtımsız olarak tasarlanmış yapıda DD-2 yer hareketi seviyesinde DGT yaklaşımı uygulanmış olup KH performans seviyesi hedeflenmiştir. TBDY-2018'de doğrusal hesaplar için kullanılan etkin kesit rijitlikleri (TBDY-2018 Tablo 4.2) kullanılmıştır. Taban yalıtımsız modelde, DGT yaklaşımına göre Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'ne göre deprem hesabı yapılmış olup, X yönünde taban kesme kuvveti 1181.75 kN ve Y yönünde taban kesme kuvveti 1087.63 kN olarak bulunmuştur. Taban yalıtımsız yapının X yönündeki doğal titreşim periyodu 1.03 s ve Y yönündeki doğal titreşim periyodu 1.16 s'dir. Katlara etkiyen deprem kuvvetlerine göre kat deplasmanları hesaplanmıştır. Binadaki düzensizlikler kontrol edilip TBDY-2018'de tanımlanan düzensizlik kurallarının sağlandığı sonucuna ulaşılmıştır. Etkin görelî kat ötelemeleri hesaplanmış ve 2. mertebe kontrolleri yapıp TBDY-2018 şartları sağlanmıştır.

Analiz 2’de, TBDY-2018 kurallarına göre FPS tipi deprem izolatörü kullanılarak tasarım ve analizler gerçekleştirilmiştir. 2 no’lu analizde 1 no’lu analizden farklı olarak, deprem yalıtımlı bina olduğu için yapı önem katsayısı, $I = 1$ alınmıştır. Üst yapı ile deprem yalıtımı birimlerinin analizleri için farklı yaklaşımlar kullanılmıştır. Üst yapının analizinde, DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde doğrusal hesap yöntemlerinden Mod Birleştirme Yöntemi ile deprem hesabı yapılmıştır ve $DTS = 1a$ olduğu için üst yapıda KK ileri performans seviyesi hedeflenmiştir. Üst yapının analizlerinde KK performansı hedeflendiğinden dolayı $R = 1.2$ ve $D = 1.2$ alınmıştır. Yapı modelinde etkin kesit rijitlikleri doğrusal analizlerde kullanılan değerlerden farklı olarak TBDY-2018’e göre deprem yalıtımlı bir tasarım olduğu için, II. aşamada uygulanacak etkin kesit rijitliği çarpanları (TBDY-2018 Tablo 13.1) kullanılmıştır.

Analiz 2’de, izolatör parametrelerinin üst sınır değerleri ile Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak DD-2 deprem yer hareketi seviyesinde üst yapı periyodu X yönünde 2.38 s, Y yönünde 2.42 s olarak elde edilmiş olup, X yönünde taban kesme kuvveti 1214 kN, Y yönünde taban kesme kuvveti 1196 kN değerinde hesaplanmıştır.

Analiz 3’de, 2 no’lu analizden farklı olarak FPS tipi deprem izolatörü yerine LRB tipi deprem izolatörü kullanılmıştır. Benzer hesaplamalar 3 no’lu analiz içinde tekrarlanmış olup, izolatör parametrelerinin üst sınır değerleri ile Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak DD-2 deprem yer hareketi seviyesinde üst yapı periyodu X yönünde 1.54 s, Y yönünde 1.48 s olarak elde edilmiş olup, X yönünde taban kesme kuvveti 1943.21 kN, Y yönünde 1859.54 kN olarak hesaplanmıştır.

Yapılan analiz sonuçlarına göre, bina periyotlarına etki eden faktörlerin yapının rijitliği ve kütlesi olduğu anlaşılmıştır. Her modelde yapı kütlesi aynı olduğu için yapı periyotlarındaki değişimin sebepleri; yapı tasarımında kullanılan etkin kesit rijitliği değerleri ile üst yapının alt yapı ile bağlantı şeklidir. Tez çalışması kapsamında söz konusu bağlantı şekilleri; 1 no’lu analizde ankastre bağlantı, 2 no’lu analizde FPS ve 3 no’lu analizde LRB tipi deprem izolatörleri ile değerlendirilmiştir.

Periyot değerlerinin değişimi değerlendirilirken; alt yapı ile üst yapının bağlantı şekli ile birlikte üst yapıda kullanılan etkin kesit rijitliklerinin de etkili olduğu görülmüştür. Söz konusu etkin

kesit rijitliklerinin farkı ile deprem yalıtımlı binalarda üst yapı daha rijit halde hesaplara katılmaktadır.

Yapılan analizler sonucunda; deprem yalıtımı birimi kullanılarak tasarlanmış 2 ve 3 no'lu modellerin periyotlarının taban yalıtımsız 1 no'lu modele göre daha fazla elde edildiği görülmüştür.

DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için taban kesme kuvvetleri; Analiz 1'de, Analiz 2 ve Analiz 3'e göre daha düşüktür. Söz konusu durumun değerlendirilmesinde aşağıda sıralanan hususlar dikkate alınmalıdır:

- Deprem yalıtımlı modellerde R katsayısının 1.2, deprem yalıtımsız modelde ise R katsayısının 8 değeri alınarak hesaplamaların yapıldığı göz önünde bulundurulmalıdır.
- Deprem yalıtımlı modellerde etkin kesit rijitliği çarpanları deprem yalıtımsız modellerde kullanılan değerlerden daha yüksektir. Örneğin; deprem yalıtımlı modellerde çerçeve kolonu etkin kesit rijitliği çarpanı eğilmede 0.90 alınırken, deprem yalıtımsız modelde aynı parametre 0.70 alınmaktadır. Söz konusu parametrelerin farkından dolayı üst yapının rijitliği deprem yalıtımlı binalarda, deprem yalıtımsız modellere göre daha yüksek değerdedir. Üst yapının rijitliğinin artmasının sonucu olarak periyot değeri azalma eğilimindedir. Periyot değerinin azalmasının sonucu olarak da yatay elastik tasarım spektral deprem ivmesi değeri artış göstermektedir (TBDY-2018, Şekil 2.1).
- Deprem yalıtımlı modellerde, üst yapıya etkiyen en büyük yatay kuvvetin hesaplanmasında, DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde izolatör parametrelerinin üst sınır değerinin kullanıldığı göz önünde bulundurulmalıdır.

Sunulan tez çalışması kapsamında incelenen 3 adet analiz modeli için; taban kesme kuvvetlerinin kıyaslanması sonucunda deprem yalıtımlı modellerde üst yapıda eleman boyutlarında bir azalma meydana gelmeyeceği sonucuna varılabilir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, Analiz 2 ve Analiz 3'de kullanılan deprem izolatörlerinin tasarımı için DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde ŞGDT yaklaşımı çerçevesinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler her model için 22 adet olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Söz konusu zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler

sonucunda, 2 ve 3 no'lu analizlerde kullanılan FPS ve LRB tipi deprem izolatörlerinin, DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde izolatör alt sınır değer parametreleri kullanılarak en büyük yerdeğiştirme hesapları yapılmış olup her yapıya özel olan izolatör tasarımının bir sonucu olan söz konusu en büyük yerdeğiştirmeler TBDY-2018 sınır şartları dahilinde kalmıştır.

Sunulan tez çalışmasının 2 ve 3 no'lu analizlerinin hesaplarında kullanılan bazı kabuller üzerine tasarlanan deprem yalıtım birimlerinin, birim şekildeğiştirme sınırları ve düşey kararlılıkları TBDY-2018'de belirtilen söz konusu şartları sağlayacak değerlerde olduğu görölmüştür. Tez çalışması kapsamında ele alınan yapısal modellerden elde edilen analiz sonuçlarına göre, kullanılan her iki tip deprem izolatörünün çalışmada ele alınan modellerde deprem izolasyonu amacıyla uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.