Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul
Fifth National Conference on Earthquake Engineering, 26-30 May 2003, Istanbul, Turkey
Bildiri No:AT-125

KÖPRÜ VE VİYADÜKLERİN DEPREME DAYANIKLI OLARAK PROJELENDİRİLMESİ VE DEPREM İZOLATÖR UYGULAMALARI
EARTHQUAKE RESISTANT DESIGN OF BRIDGES AND VIADUCTS AND APPLICATIONS OF ANTISEISMIC DEVICES

Mete GERÇEK
Dr. İnş. Yük. Müh., Adnan Saygun Cad., Canan Sk., 6/8 , Ulus Mah., İstanbul

ÖZ
Bu yazıda, şiddetli deprem bölgelerindeki otoyol köprü ve viyadüklerinin projelendirilmesinde dikkate alınan son uluslararası yönetmeliklerdeki bazı önemli konular ve yapım metotları ile bu yapıların depreme karşı dayanıklı olarak projelendirme şartlarına ulaşılabilmesi amacıyla kullanılması gereken çeşitli deprem izolatör tipleri anlatılmaktadır. Dünyada olduğu kadar Türkiye' deki son deneyimler, köprü ve viyadüklerde çok kere şiddetli deprem etkilerini karşılayabilmek için Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnetler (HDRB), Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetler (LRB), Lock-Up Devices (LUD), Shock Transmission Units (STU) ve Viskoz Akışkanlı Enerji Söndürücüler (VDD) gibi deprem izolatörlerinin kullanılmalarının gerekli olduğunu göstermiştir. Deprem izolatörleri, köprü ve viyadüklerin depreme dayanıklı olarak optimum bir çözüme ulaşılabilmesi için yapılacak projelendirmenin başlangıç safhasında dikkate alınmaları gerekmektedir. Deprem izolatörleri, mevcut köprü ve viyadüklerin depreme karşı dayanımlarını arttırmak için de geniş çapta kullanılmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Köprüler, Viyadükler, Depreme dayanıklı projelendirme, Deprem izolatörleri

ABSTRACT
This paper presents some important structural aspects to be taken into account in the design studies of the motorway bridges and viaducts considering the latest international specifications and construction methods, as well as various types of the anti-seismic devices which have to be used in those stuctures to achieve the conditions of earthquake resistant design in the severe earthquake zones. Recent experiences in the world, as well as in Turkey, showed that the anti-seismic devices such as High Damping Rubber Bearings (HDRB), Lead Cored Rubber Bearings (LRB), Lock-Up Devices (LUD), Shock Transmission Units (STU) and Viscous Fluid Damping Devices (VDD) are mostly compulsory to overcome the strong earthquake effects. Anti-seismic devices are to be considered in the preliminary design stage for an optimum solution of the earthquake resistant design of the bridges and viaducts. Anti-seismic devices are widely used for the existing bridges and viaducts to increase their seismic performances.
Keywords: Bridges,Viaducts,Earthquake resistant design, Antiseismic devices

GİRİŞ
Deprem Mühendisliği' nin amacı; mühendislik yapılarını, karayolu, otoyol ve demiryolu güzergahlarındaki köprü ve viyadük gibi önemli büyük sanat yapılarını depreme dayanıklı olarak projelendirmektir. Deprem Mühendisliği' nde ve yürürlükteki şartnamelerde amaçlanan, öncelikle deprem etkisine maruz kalabilecek yapılardaki ve çevresindeki canlıların hayatlarını kurtarmak ve en az ekonomik zarar ve hasar ile depremi karşılamaktır. Bu amaca ulaşmanın tek başına yeterli olamayacağı; dünyada ve yurdumuzda son yıllarda yaşanan şiddetli depremlerin meydana getirdiği can kayıpları, ulaşımın engellenmesi ve yapılarda meydana gelen kalıcı hasarlarla önemli işgücü ve üretimdeki gecikmelerin neden olduğu ekonomik kayıplar ile daha iyi anlaşılmıştır. Deprem Mühendisliği' nde son 25 senede kat edilen gelişmeler, deprem etkilerinin deneyimlerle daha iyi anlaşılması, buna paralel olarak malzeme ve imalat teknolojilerindeki yenilikler sayesinde; deprem dinamik yüklerinin mühendislik yapılarına, köprü ve viyadüklere

verebileceği zararların önlenerek ulaşımın sağlanabilmesi amacıyla kullanılan ve deprem dayanım performansını arttıran **"Deprem İzolatörleri"** adı verilen mesnet ve ekipmanlar geliştirilmiştir. Bu mesnet ve ekipmanların amacı, deprem hareketlerinden ilk etkilenecek olan altyapı ile rijit üstyapıyı yatay yönlerde ayırıp dinamik davranışlarını değiştirerek farklı periyotlarda titreşebilmelerini sağlayabilmektir. Deprem izolatörleri sayesinde köprü ve viyadüklerin titreşim periyotları değişir ve üst yapıya etkiyen tabliye kütlesinden kaynaklanan ivme esaslı deprem yükleri önemli ölçüde azaltılmış olur.

KÖPRÜ VE VİYADÜKLERİN DEPREME DAYANIKLI OLARAK PROJELENDİRİLMESİNDE BAZI ÖNEMLİ KONULAR, DEPREM İZOLATÖRLERİNİN AMACI VE ÖZELİKLERİ

Köprü ve viyadüklerin depreme karşı dayanıklı olarak projelendirilmesi için kullanılabilecek en gelişmiş yönetmeliklerden birisi AASHTO ''Standard Specifications for Highway Bridges, 16th. Ed., 1996 '' yönetmeliğidir. Bu yönetmeliğin 5., 6. ve 7. bölümlerinde, temeller dahil projelendirme ile ilgili önemli şartlar ana hatlarıyla verilmiş olup, bu yönetmelik AASHTO '' Commentary – 16th. Ed., Seismic Design, Division I – A, 1999 '' eki ile birlikte değerlendirilmelidir. AASHTO yönetmeliğinin eki ''Guide Specifications for Seismic Design of Highway Bridges, 1983'' esas alınarak yenilenmiş hali ile AASHTO ''Standard Specifications for Highway Bridges , 16th. Ed., Seismic Design I – A, 1999 – Interim Revisions '' yönetmeliğinin 3. bölümü; jeofizik, jeolojik ve geoteknik çalışmalar ile tayin edilecek etkili yerkaya ivme katsayısı (effective bedrock accelaration coefficient) dikkate alınarak yapının sismik performans sınıfının belirlenmesi için; 4. bölümü ise yapının analiz ve projelendirilmesine yön verecek bilgilerin bulunduğu ve yapının sismik performans sınıfına bağlı olarak takip edilmesi gereken hesap metotlarının belirlenmesi için yurdumuzda da çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Deprem izolatörleri ve mesnetler ile ilgili projelendirme çalışmaları için, AASHTO '' Guide Specifications for Seismic Isolation Design, 1st. Ed., 1991 – Interim 2000'', BSI ''BS5400 Steel Concrete and Composite Bridges : Part 9, Bridge Bearings, 1983'' ve ''European Standard on Structural Bearings, Eurocode EN 1337, 1996'' yönetmelikleri dikkate alınabilir. Bu çalışmalardan amaç, statik eşdeğer yatay yük hesap metodu veya daha detaylı ve geniş deneyim gerektiren çok modlu spektral analiz metodunun uygulanacağına karar verilmesidir. Yukarıda adı geçen ve benzeri yönetmelikler, depremde oluşan yer değiştirme hareketlerinin , köprü ve viyadüklerin projelendirilmesinde nasıl değerlendirileceği konusunda yol gösterir. Bilindiği gibi deprem; aktif fay çatlakların üzerinde, zamanla birikmiş bulunan şekil değiştirme enerjisinin aniden boşalarak yer değiştirme hareketine neden olması ve fay kırıkları hareketlerinin elastik dalga hareketleri olarak tanımlanabileceği titreşimlere verilen addır. Bu yer değiştirme miktarı, hareketin süresi ve yapılara verdiği zararlara göre depremin şiddeti, süresi, derecesi ve sınıfı belirlenerek çeşitli şekillerde tanımlanır. Projelendirmede, depremin yer değiştirme hareketlerinin köprü ve viyadüklere deprem yükü olarak nasıl verileceği önemlidir. Belirlenecek hesap esaslarında ve analizlerde nasıl bir yöntem izleneceği, deprem yüklerini doğuracak yer hareketinin ivmesini ve dolayısıyla deprem etkisini ifade edebilmek amacıyla yerçekimi ivmesinin belirli bir yüzdesi esas alınarak bulunacak etkili yerkaya ivme değerine göre nasıl bir hesap yöntemi izleneceği, AASHTO yönetmeliğinde verilmiştir. Deneyimler, yer kaya ivmesinin 0.3g - 0.4g olarak değerlendirilmesi halinde bile deprem izolatörlerinin kullanılmaları, aksi halde depreme dayanıklı projelendirme kriterlerinin sağlanamayacağını göstermiştir. Depremin üstyapıda oluşturduğu salınımları belli limitler arasında tutabilmek için, orta ayaklar (kolonlar) mümkün olduğunca sünek ve üst yapının sürekli ve genleşme derzlerinin sadece iki kenar ayaklarda düşünüleceği ve deprem izolatörlerinin kiriş altlarında (başlık kirişleri üzerine) yerleştirileceği bir taşıyıcı yapı sisteminde ancak kolon başlarına gelecek yatay deprem yükleri azaltılabilecektir. Deprem izolatörlerinin kullanılması ile köprü ve viyadüklerde depreme karşı dayanabilme performansının yükseltilmesi amaçlanmalıdır. Yukarıda açıklanan hesap metotlarının yanı sıra, çok modlu spektrum analizinde uyulması gereken çok önemli konstrüktif esaslar bulunur. Özellikle köprü veya viyadük tipi seçilirken ön projelendirme safhasında kararlaştırılan proje kriterleri ile birlikte inşaat süresi, yapım metodu, estetik görünüm ve toplam maliyet dikkate alınarak deprem izolatörlerinin tipleri ve dinamik hesaplara katkıları da çok iyi araştırılmalıdır.

Depreme dayanıklı olarak projelendirilmemiş veya beklenen depremlerden daha az şiddetli depremlere göre projelendirilip inşa edilmiş olan mevcut köprü ve viyadüklerde aşağıda belirtilen **zayıf noktaların** giderilmesi için de deprem izolatörleri kullanılabilir. Bu gibi köprü ve viyadüklerde,

orta ayaklar (veya kolonlar) genellikle **sünek davranış koşullarını sağlamazlar**,

kirişlerin başlık kirişlerine oturduğu yerlerde **mesnet uzunlukları yetersizdir,**

kiriş alt uçlarında yerleştirilmiş bulunan **mesnetler, deprem yüklerini ve titreşimlerini karşılayacak ve sönümleyecek yeterlikte değildir.**

Depreme dayanıklı olmadığı sonradan anlaşılan viyadüklerde, projelendirildiğinden daha büyük şiddetli bir depreme dayanıklı hale getirilme konusu ise tamamen deprem mühendisliği teorik eğitimi almış ve pratik deneyimi bulunan uzman mühendis ve deneyimli uzman firmalar tarafından yerine getirilebilecek çok önemli bir konudur. Mevcut köprü ve viyadüklerin deprem performanslarını arttırmak için uygulanacak en pratik ve ekonomik metot, mevcut mesnetlerin yerinden sökülerek mevcut geometriye göre projelendirilmiş Yüksel Sönümlü Kauçuk Mesnet (**HDRB**) gibi özel elastomerik deprem izolatör mesnetlerin ve/veya enerji sönümleyici ekipmanların yerleştirilmesidir. Deprem izolatörlerinin kullanılmasıyla deprem yükleri altında köprü ve viyadüklerin titreşim şeklinin (dinamik

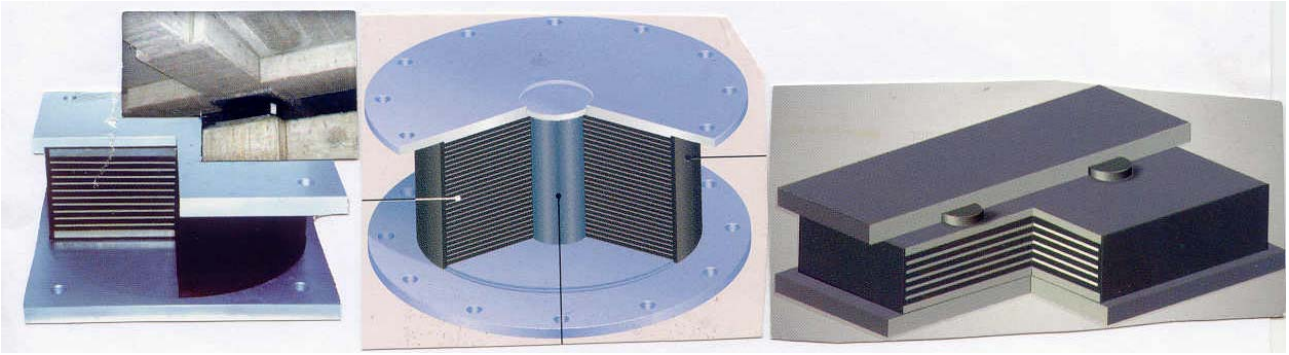
davranışının) değiştirilmesi, üst yapı kütlesine bağlı olarak ivme kaynaklı deprem yüklerinin azaltılması amaçlanmaktadır. Deprem izolatör mesnetlerinin yatay yönlerde esneyerek hareket edebilme kabiliyeti, üst yapı kiriş ve tabliye döşemesi ağırlıklarının oluşturduğu ivmesel deprem yatay yüklerinin azalarak kolon başlıklarına ve kenar ayaklara etkimesini sağlayacaktır. Böylece altyapının ilk projesinde hesaba katılmamış olan aşırı kesme kuvvetleri (yatay yükler) ve moment etkisiyle yapının elastik davranış sınırları aşılarak hasar görmesi önlenebilir.

Bir yapının dinamik davranış modeli; yapı ile zemin etkileşimi, köprü kirişleri ile başlık kirişi ve kenar ayak bağlantıları, titreşimli makine ile oturduğu temel vb. projelendirmelerinde, en basit olarak; ‘’**yapı kütlesine**’’ (mass) etkiyen deprem kuvvetleri ile sabit ve doğru orantılı bir hareketi (yatay deplasmanı) ve ‘’**elastisiteyi**’’ ifade eden sabit katsayılı **yay** (spring) ve zamana bağlı olarak bu hareketin değiştiğini gösteren ve ‘’**sürtünmeyi**’’ ifade eden **sönüm kutusu** (dashpot, damping) modellerinin çeşitli şekillerde yerleştirilmeleri ve birlikte kullanılmaları ile kurulabilir. Deprem izolatör uygulamalarında, genellikle yay modelini çelik levhalarla kuvvetlendirilmiş (vulcanization/ebonitleştirme ile aderansı sağlanmış) elastomerik kauçuk malzemeli çeşitli tip ve boyutlarda, uzman firmalar tarafından patentli ve özel olarak imal edilen mesnetler; sönüm kutusu modelini içinde yüksek viskoz akışkan bulunan piston benzeri enerji söndürücü ekipmanlar yerine getirir.

Deprem İzolatörlerinin amacı; aktif fay hareketlerinin meydana getirdiği etkili yerkaya yatay ivmesinin (oluşturduğu deprem yatay yüklerinin) -genellikle yukarı doğru yayıldıkça- büyüyerek mühendislik yapılarına, köprü ve viyadüklerde rijit kiriş ve tabliyelere ulaşmalarını, kirişlerin kenar ayak ve orta ayakların başlık kiriş mesnetlerinden kurtularak aşağı doğru düşmelerini önlemek şeklinde özetlenebilir. Yüksek Sönümleme Kabiliyetli Kauçuk Mesnet **HDRB** -İzolatör, düşey yükler altında çelik levhaları sayesinde rijit ve yatay yükler altında maksimum 2,0 gibi yüksek bir kayma deformasyon imkanı sağlayan özel kauçuk malzemesi sayesinde elastik davranır. Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnet **LRB -** İzolatör, daha sınırlı bir kayma deformasyonuna sahiptir. Viskoz akışkanlı enerji söndürücü **VDD** deprem izolatörü, içindeki silikon vb. malzemenin kayma direnci ile deprem enerjisini emerek söndürme işlevini, sıkışabilme özeliği ile yay işlevini yerine getirir. Ancak bu şekilde, yapılara etkiyen deprem kuvvetlerinin deprem izolatörleri yardımıyla yapıda yerleştirildikleri kotlarda söndürülerek etkileri azaltılabilir ve üst yapının yatay hareketleri zarar vermeyecek mertebelerde tutulabilir. Örneğin, bir viyadükte kiriş altlarındaki mesnet bölgelerinde kullanılan deprem izolatörleri sayesinde, başlık ve kiriş arası rölatif yatay deplasmanlar çok azalır, bütün viyadük üst yapısı boyunca salınım esnasında mafsallar oluşmaz ve tamamen elastik davranış görülür. Kiriş-tabliye kotunda yatay ivmeler azalır ve dolayısıyla kolon-orta ayak (pier) uçlarına gelen yatay yükler önemli ölçüde küçülür. Deprem izolatörlerinin doğru olarak kullanılması ile, can ve mal güvenliğinin sağlanmasının yanı sıra, depreme karşı dayanım performansı (yapı güvenliği) da arttırılmış olur, böylelikle ulaşım süreklilik kazanır ve depremlerden sonra köprü ve viyadüklerin hasar görmeden kullanılmasına devam edilir. Ayrıca, yeni inşa edilecek köprü ve viyadüklerde deprem izolatörlerinin doğru olarak kullanılması, inşaat maliyetlerini de azaltır. Özellikle deprem anında ve sonrasında, öncelikle sağlam kalması zorunlu olan itfaiye merkezleri, hastaneler, sağlık binaları, kontrol ve bilgi işlem tesisleri, yönetim merkezleri, okullar, acil ihtiyaç duyulacak malların üretimini sağlayan fabrikalar, telekomünikasyon yapıları, depolama tankları gibi hayati önemi olan merkezler arasında ulaşımın devamlılığını sağlayacak köprü ve viyadüklerde deprem dinamik izolatörlerin kullanılması çok daha önem kazanmaktadır**.** Deprem izolatörleri kullanımına karar vermeden önce; önceden gerçekleşmiş şiddetli depremler etkisi altındaki davranışları ve performans deneyimleri, uygunluğu, referansları, projelendirmede statik ve dinamik hesap yöntemlerine uygunluğu, taşıyıcı sistemlere uygulanabilirliği, satın alma maliyetleri, bakım gereksinimi olup olmadığı, yangın dayanımı ve zararlı dış etkenler dikkate alındığında izolatörün ömrü ve performansı gibi faktörler projeci, danışman mühendis ve İdare tarafından çok iyi incelenmelidir. Burada köprü ve viyadüklerden anlaşılması gereken; her tür betonarme, çelik veya kompozit taşıyıcı sistemi (temel, orta ve kenar ayaklar, kirişlerin mesnetlendiği orta ayak başlıkları, ön germeli prekast - yerinde dökme - itme sürme betonarme veya çelik kirişler, beton-çelik veya kompozit döşeme tabliyeleri) bulunan her açıklıktaki alçak, orta ve yüksek köprü ve viyadükler gibi ilgili şartnamelere göre inşa edilmiş olan karayolu, otoyol ve demiryolu büyük sanat yapılarıdır.

Elastomerik kauçuk mesnetler (Rubber Bearings-**RB**); düşey doğrultuda yapının kendi (zati ağırlığını) ve hareketli (trafik) yüklerini, yatay deprem kuvvetleri etkisiyle en gayri müsait durumlarda meydana gelebilecek düşey doğrultuda aşırı basınç (ve çekme) kuvvetlerini taşıyabilecek **sert yay** , yatay deprem kuvvetleri altında ise yatay doğrultularda yatay hareket yapabilme özeliği ile bu yükleri söndürerek rahatça taşıyabilecek **yumuşak yay** görevini üstlenirler. Bu tip mesnetlerin (örneğin: basit, en ekonomik ve sıkça kullanılan **HDRB** -High Damping Rubber Bearings) düşey yükleri taşıma, aynı zamanda deprem titreşimlerini azaltma ve deprem enerjisini söndürme görevleri vardır. Bu tip deprem izolatörlerinin düşey yükler altında rijit ve yatay yükler altında esnek (elastik) davranabilmeleri gerektiğinden, düşey yükler altında dayanımı sağlamak için mesneti kuvvetlendiren **çelik levhalar** ve yatay deplasmanları gerçekleştirebilmek amacıyla gerekli kayma deformasyon kabiliyetini sağlamak için bazı **özel kauçuk malzeme kaliteleri** dikkate alınarak projelendirilmelidir. Bu tip mesnetler, üretici firmaların deneyimlerine bağlı olarak farklı şekillerde ve adlarda üretilirler. Hepsinde aranan özellikler; başta bakım gerektirmemeleri, uzun yıllar dayanım özeliklerini korumaları, ekonomik olmaları, kolay montaj imkanı sağlamaları ve yapı ömrü boyunca dış etkilere (ozon, atmosferik etkiler) karşı dayanıklı olmalarıdır. Kimyasal ve fiziksel özelikleri şartnamelerde istenen değerleri sağladığı testlerle ispat etmeleridir. Diğer deprem izolatörlerinde olduğu gibi, **HDRB** izolatörleri için de dikkat edilmesi gereken önemli diğer bir konu, belli bir süre boyunca devam edebilecek yangından korunma detaylarının etraflıca incelenmesidir. Bu tür mesnetlerin ortasında dolu bir çubuk şeklinde genellikle **kurşun** malzemeden bir çekirdek

ilavesiyle imal edilen (örneğin **LRB** -Lead Rubber Bearings), daha sınırlı kayma deformasyonuna sahip ve az da olsa elastoplastik davranış sergileyen bazı deprem izolatörleri de yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, **0,1g değerinde** etkili yer kaya yatay ivmesi kararlaştırılan bir bölgede inşa edilecek köprü ve viyadüklerin projelendirilmesinde, sadece statik eşdeğer kuvvet metoduna (Single-Mode Spectral Method – AASHTO, 1996, Division I-A) göre hesaplar yapılır ve elastomer kauçuk (tercihen viyadüklerde chloropolypropilen /örneğin Neoprene veya tabii kauçuk ana malzemeli) çelik levhalarla vulkanize yöntemiyle aderansı sağlanarak kuvvetlendirilmiş basit **standart** elastomerik kauçuk mesnetler (**RB** – Rubber Bearings) kullanılmaktadır. Bu mesnetlerde de yatay rijitlik (max. kayma deformasyonu tan γ = 0,7), elastik özelikler, kimyasal ve dayanım özeliklerinin sağlaması gereken değerler için ilgili şartnamelere bakılmalı ve üretim sırasında imalatçı firmanın yapacağı kauçuk malzeme fiziksel ve kimyasal testlerinin raporları istenmeli, ayrıca İdare tarafından imalat sonrasında bitmiş mesnetler arasında gelişigüzel seçilecek numuneler üzerinde tercihen tarafsız bir laboratuarda yükleme, boyut, fiziksel vb. testler yaptırılmalı ve daha sonra onaylanıp kullanım izni verilmelidir. Sıkça kullanılan elastomerik kauçuk standart mesnetlerde, örneğin V=4500 kN düşey yük etkisi altında, toplam 130 mm. kalınlıklı 400x800mm. dikdörtgen veya 650mm. çaplı daire kesitler (ve tan γ = 0,7) için yatay deplasman 65mm. kadardır. Pratikte genellikle kullanılan **HDRB** deprem izolatörlerinde, toplam kalınlıklar 200-450mm. için, yatay deplasmanlar 12-40 cm. mertebelerinde düşünülmekte, projesine göre boyutları büyültülerek yatay hareket kabiliyeti de arttırılabilmektedir. Deprem esnasında oldukça düşük bir periyot ile titreşirler. Deprem enerjisini söndürerek üst yapının salınımlarını azaltır ve dolayısıyla uygulandığı köprü ve viyadüklerin depreme karşı dayanım performanslarını yükseltir. **HDRB** deprem izolatörlerinin dinamik etkilere karşı davranışları bir seri dinamik testler ile araştırılmalıdır. Genelde yük-deplasman testlerinde uygulanan frekanslar 0,3 – 0,9 Hz aralığındadır. Düşey normal yük ve yatay kesme kuvveti uygulanarak yapılan dinamik testlerde, uygulanan yüklere bağlı olarak kayma modülü ve sönüm değerleri, şekil değiştirme kayma oranına bağlı olarak elde edilir. Boyutları aynı olan daha sert kauçuk malzemeli bir HDRB deprem izolatörü daha fazla düşey yük taşır. Hesaplarda dikkate alınan, maksimum şekil değiştirmedeki yatay rijitlik değerleri, en küçük boyutlu sayılabilecek örneğin 30 cm. çaplı bir yumuşak kauçuklu bir HDRB izolatörde 0,35 kN/mm. mertebelerinde iken , aynı boyutlu sert kauçuk malzemeli bir HDRB izolatörde 1,24 kN/mm rijitlik mertebelerine yükselebilmektedir. Yumuşak kauçuk malzeme G modülü 0,4 N/mm^2 iken , bu değer sert kauçuk için 1,4 N/mm^2 değerine yükselmektedir. HDRB deprem izolatörlerinin kauçuk malzeme fiziksel özelikleri BS5400, EN1337, AASHTO Bölüm 14 –25, CNR10018 yönetmeliklerinde verilen değerleri sağlamalıdır. Yukarıda adı geçen mesnetlerin montajları çok hassasiyet gerektirmeden oldukça basit bir şekilde yapılabilmektedir. Standart basit tip kauçuk mesnetlerin (RB) içinde enerji sönümleyici özel bir malzeme (sistem) bulunmayıp, uygulamaların çoğunda enerji sönümleyebilen bazı ekipmanlarla birlikte kullanılmaları gerekir. Buna karşın çelik levhalar ile kuvvetlendirilmiş (kurşun malzemeden yapılmış bir çekirdeği olan LRB veya yüksek sönümleme kabiliyetli HDRB gibi) elastomerik kauçuk özel mesnetler, şiddetli deprem yükleri esas alınan çoğu projelerde, hem düşey yükleri taşıyan standart mesnet işlevi görür, hem de yatay yükleri söndürebilen deprem izolatörü olarak yeterli olmaktadır. **Etkili yerkaya yatay ivmesi** (effective bedrock horizontal acceleration), **0,1g değerinden büyük** elde edilen (kararlaştırılan) bölgelerde inşa edilecek köprü ve viyadüklerin kullanım amacı ve önemine, açıklık sayısına ve diğer bazı kriterlere bağlı olarak daha detaylı dinamik hesapların yapılması gerekebilir. (Multimode Spectral Method – AASHTO, 1996, Division I-A, 1999 Interim Revisions; AASHTO Guide Specifications for Seismic Isolation Design , Interim 2000). Bu hesap metoduna göre; HDRB, LRB gibi geliştirilmiş özel kauçuk mesnetler sınıfındaki deprem izolatörlerinin kullanılması; depreme dayanıklı yüksek performanslı bir yapının yapılabilmesi ve yapıyı etkileyebilecek büyük deprem yüklerinin taşınabilmesi, ayrıca inşaat yapım maliyetinde ekonomi sağlanması açısından önemle dikkate alınmalıdır.

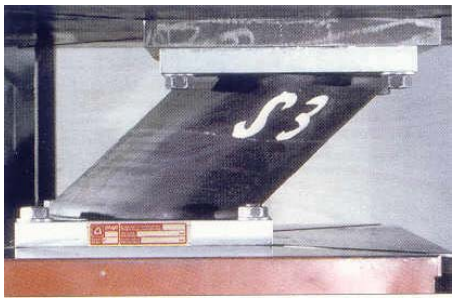


(a) **HDRB** (b) **LRB** (c) **RB**

Şekil 1. Başlıca Kullanılan Elastomerik Kauçuk Mesnet Deprem İzolatörleri (**HDRB**,**LRB**) ve Standart Mesnet (**RB**)

Enerji sönümleyici mesnet ve ekipmanlar (dampers); üretici uzman firmaların deneyimlerine göre çeşitli model ve malzemeler ile farklı tiplerde imal edilmektedirler. Çelik levha ve kauçuk malzemeler kullanılarak imal edilen, oldukça basit ve en ekonomik izolatörlere örnek olarak, yukarıda da belirtildiği gibi, çelik levhalarla kuvvetlendirilmiş yüksek sönümlü özel kauçuk deprem izolatörleri (**HDRB**) verilebilir. HDRB izolatörlerin düşey yöndeki rijitlikleri çok yüksektir, üst yapının düşey yüklerini her zaman bir mesnet gibi taşır aynı zamanda dönerek ezilmeyecek kadar da sağlam olmalıdırlar. HDRB tipi deprem izolatörlerinin proje ömrü 60 yıldır. Bu tip izolatörler düşey yükleri taşır, kayma deformasyonu (tan γ = 1,5 - 2) yapabilme kabiliyetiyle yatay deplasmanlara izin verir ve aynı zamanda deprem

enerjisini söndürür. Bu sırada tekrarlı yükler etkisiyle özel kauçukta oluşabilecek maksimum sıcaklık 5 C derece kadar artabilir. Benzer amaçla kullanılan kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerde (**LRB**), düşey yük taşıma ve biraz daha sınırlı olan kayma deformasyonu kauçuk malzeme ile sağlanır, deprem enerjisi ise mesnet ortasına düşey konumda yerleştirilmiş olan kurşun malzemeli bir çubuk ile söndürülmektedir. Projelendirmede; aynı performans beklenen bu tip deprem izolatörleri arasında; tekrarlı yükler altındaki davranışları, soğuk hava etkileri, kayma deformasyonları/şekil değiştirmeleri, aşınma ve dayanım özellikleri, dönme ve burkulma limitleri, orijinal pozisyonuna geri gelme kabiliyetleri, hesaplanacak izolatör boyutları, imalatları, maliyetleri ve hatta olabilecek aşırı ısınmanın olumsuz etkileri mutlaka dikkate alınmalıdır. AASHTO Guide Spec. ile sadece pasif izolasyon sistemleri incelenmekte olup, bununla birlikte UIC772R, BE1/76, BS5400 Section 9.1, EN1337.1, AS1523, CNRUni10018, ASTM D4014 ve DIN4141 gibi uluslararası önemli şartnamelere de müracaat edilebilir.



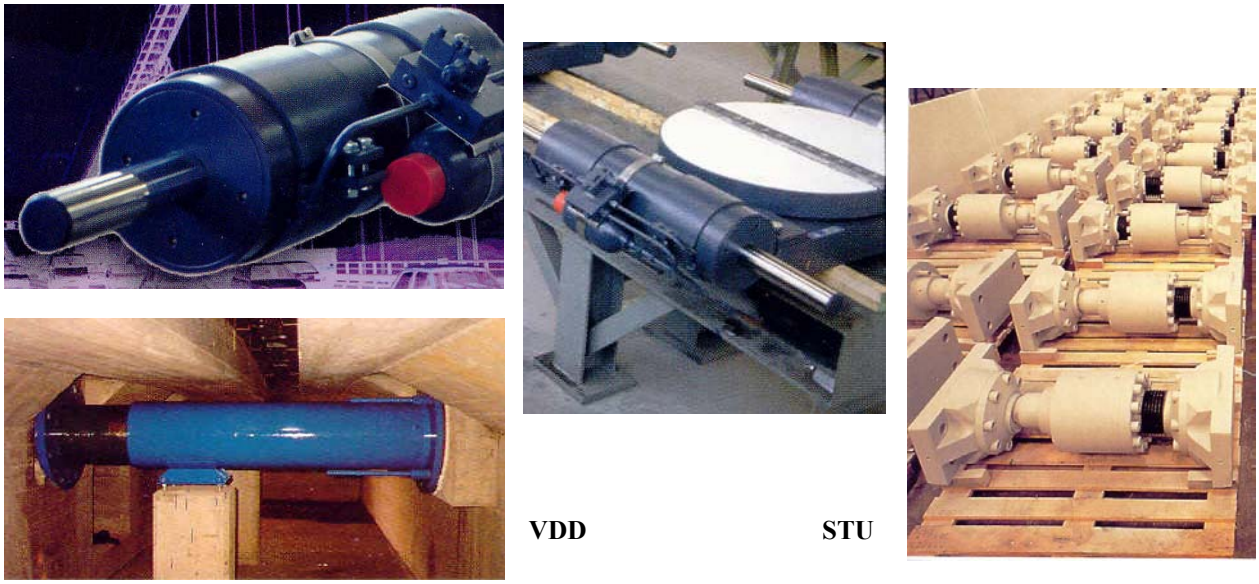
Şekil 2. HDRB Deprem İzolatörü; Dinamik –Tekrarlı Yükleme Testi sırasında ve bir örnek uygulama.

Viskoz akışkanlı (Viscous Damping Device-**VDD,** Viscous Fluid Damper-**VFD)** ve kurşun malzemeli (Lead Extrusion Damper-**LED**) piston benzeri enerji söndürücü izolatörler, sürtünme esaslı enerji söndürücü konkav çelik bir yatak içinde -hareketli veya sabit bilyeli- sarkaç (pendulum) esaslı kayar mesnetler (Friction Pendulum- **FP**) pratikte kullanılan diğer başlıca enerji söndürücülerdir. Esas amaç , deprem titreşimlerini yutarak yok etmek ve kısa zamanda söndürmektir. Çelik çubuk, kurşun çekirdek gibi metal enerji söndürücüler plastisite (ki burada deprem enerjisi ısıya dönüşür), viskoz akışkanlı enerji söndürücüler ise kayma dirençleri ile titreşimleri emerler.

Silikon vb. bir malzeme esaslı akışkan kullanılan piston –amortisör- benzeri deprem izolatörleri (**VDD**), silikon malzemenin sıkışabilme özeliği ile yay işlevi, içindeki sıvının viskozite özeliği ile de enerji söndürme işlevini yerine getirirler. Viskoz akışkanlı deprem izolatörleri, rötre, sünme, farklı sıcaklık gibi etkiler altında kendi boyuna doğrultusunda serbestçe hareket ederler. Aynı prensibe dayalı olarak çalışan, ani şok etkilerini yapının bir elemanından bu yükleri alması istenen diğer bir elemanına taşıyan ve şok yükleri nakledici piston benzeri ekipmanlar (Shock Transmission Unit- **STU**) , yüksek şiddetli deprem yüklerini taşıyabilmek için oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Deprem ve şiddetli fren gibi ani yüklemeleri, yapı elemanları arasında rijit bir bağlantı elemanı gibi karşılayan, ancak servis yükleri ve farklı sıcaklık etkisiyle yavaşça oluşan benzer yükler altında serbest olarak hareket edebilen Lock-Up Device **LUD**, Shock Transmission Unit **STU** gibi benzer amaçlar için kullanılan diğer bazı tip deprem izolatörleri de bulunmaktadır. Viskoz akışkanlı deprem izolatörleri, deprem ve fren gibi ani yükleri karşılarken rijit bir hale gelir. Örneğin, tabliye kirişlerinin ivmesel yatay yükünü , beklenen bu dinamik yüke göre projelendirilmiş (mevcut yapı ise kuvvetlendirilmiş) başlık kirişine aktarırlar. Piston benzeri bu deprem izolatörleri, mümkün olduğunca basit, sağlam, sık bakım ihtiyacı gerektirmeyen ve ekonomik olmalıdır. İşletmeye alınmalarından sonraki en az on yıl içinde hiçbir bakıma ihtiyaç duyulmamalı, daha sonraki yıllarda sadece oluşabilecek toz etkileri, metal paslanması kontrolü amacıyla her 5 senede bir kontrol edilmeleri tavsiye edilir. Bu tip deprem izolatörleri içinde bulunan akışkan malzeme, - 40 ile + 50 C derece sıcaklık aralığında özeliğini kaybetmemelidir. Dinamik yükler altında, standart olarak üretilen bu tip izolatörlerin yük-deplasman davranış testleri imalatçı firmalar tarafından yapılmalı ve performansları rapor halinde temin ve garanti edilmelidir. Bu piston benzeri izolatörler genellikle imalatçı firmaların standart imalat programından seçilebilir. Özel projelerde, beklenen deprem yükleri altında projelendirildikten sonra, özel olarak imal edilmiş (standart dışı imalat olabilir) birkaç izolatör test edilmelidir. Zamana bağlı olarak yüklere karşı dayanımı ve deplasman miktarlarının projelendirmede beklenen performansları sağladığı teyit ve ispat edilmelidir. Testlerde , örneğin 0,5 – 0,8 Hz frekans aralığında ve 20-30 tam tekrarlı yükleme yapılabilmelidir. Standart imalat viskoz akışkan izolatörlerinin boyutları, taşıyacağı yükler ve piston çıkma miktarı tablolar halinde temin edilebilir. Örneğin, VDD 100/100 için toplam stoke 100 mm. olup taşıyacağı yük 100 kN iken VDD 20000/200 toplam stroke 200 mm. ve taşıyacağı proje yükü 20000 kN olarak bu tablolardan temin edilebilir.

Sürtünmeli sarkaç (pendulum) prensibi ile çalışan (konkav küresel bir kaygan tava (pot) yüzey parçası içinde genellikle kayar bir bilyeden oluşan) çok yönlü kayar çelik mesnetler, çelik malzemeler arasında meydana gelen bir sürtünme ile deprem enerjisini söndürürler. Ancak bu tip kayıcı çelik mesnetler, yapıların servis yükleri altında, farklı ısı vb etkiler altında yapıya ilave gerilmeler getirirler ve bazen normal işletme yükleri altında depremin yaratacağından daha olumsuz durumlara neden olurlar. Bu nedenle, bu tip kayıcı mesnetlerin deprem izolatörü olarak kullanılabilirliği her bir projenin özelliğine göre çok iyi araştırılmalıdır. Diğer önemli bir konu, bu tip sürtünmeli bilyeli kayar mesnetlerin düşey yönde gelebilecek deprem titreşimleri altında davranışlarının, özellikle viyadük, hastane, müze vb. yapılarda yaratacağı çok olumsuz etkilerin önceden dikkate alınmasıdır, zira bu tip mesnetler gelen düşey titreşimleri birkaç kat büyüttüğü bazı araştırmalar ile belirlenmiştir. Deprem momentinin oluşturacağı düşey kuvvetler ile yapı yükleri

superpozisyonu sonucunda FP mesnetlere gelen düşey yükler, dolayısıyla FP mesnetlere etkiyen yatay yükler farklı olacak ve taşıdığı üst yapıya olumsuz etkiyecektir. Özellikle, binalarda olduğu gibi köprü ve viyadük gibi yapıların servis yükleri altında da çalışırken oluşabilecek bazı olumsuz etkileri önlemek amacı ile kayıcı mesnetlerdeki sürtünmelerin en az mertebelerde tutulması istenmektedir. DIN4141, EN1313.2, SETRA ve BS 5400 gibi bazı şartnamelerde, bu tip kayıcı mesnetlerde meydana gelen sürtünmelere sınır getirilmiştir. (-30 C derecede sürtünme katsayısı maksimum % 3 olmalıdır.) Mesnetler ile ilgili Avrupa Şartnamesi EN 1337 - 2 (European Standard for Bearings), (ayrıca AASHTO Guide Spec. Section.16) düşey yük taşıyan kayar mesnetlerde kaygan PTFE yüzey kullanılmasını öngörmektedir, (bearing liner-virgin PTFE resin: ASTM D1457). Enerji yutarak titreşimleri sınırlayan hemen hemen bütün deprem izolatör sistemlerinde, çoğu kez zamana bağlı olarak servis yükleri altında bile, az da olsa kalıcı deformasyonlar meydana gelebilir. Beklenenden daha şiddetli bir deprem etkisi altında bazı deprem izolatörleri plastik davranış gösterirler ve yapıya hasar vermese bile orijinal konumundan az da olsa sapmalara sebep olabilirler. Sürtünmeli pendulum konkav yüzeyi içindeki bilyenin yatay yöndeki deprem hareketi sırasında, taşıdığı üst yapı kotunda (geçici) bir yükselme olabilir. Yapının, servis ömrü boyunca farklı ısı yükleri ve hareketli (köprü ve viyadüklerde rüzgar ile trafik yükleri ve mutlaka dikkate alınması gereken fren kuvvetleri) yükler gibi etkiler altında kalacağı düşünüldüğünde, deprem izolatörlerinin oldukça uzun sayılabilecek yapı ömrü süresince yapı ile uyumlu çalışması ve üst yapıda istenmeyen gerilme birikimlerine neden olmaması gerekir. Projelendirme aşamasında, özellikle kayıcı mesnetlerde oluşabilecek aşırı sürtünmeler nedeniyle yapı elemanlarında meydana gelebilecek ilave gerilme birikimlerini karşılayacak önlemler araştırmalı, gerektiğinde kesit büyütmesi ve donatı ilaveleri yapılarak, bundan doğacak ilave maliyetler de dikkate alınmalıdır. Ayrıca, zamanla oluşacak paslanma (metal yüzeyin bozulması) etkisiyle kayıcı veya bilyeli mesnetlerde sürtünme katsayıları artabilir. Bu tip kayıcı mesnetlerde sürtünme, özellikle deprem ilk etkisi anında statik durumdan ilk harekete geçme ve devamında belli salınımları rahatlıkla yapabilmesi açısından çok önemlidir.



Şekil 3. Viskoz Akışkanlı Enerji Söndürücü Deprem İzolatörü (Viscous Damping Device -**VDD**) ,

Lock Up Device -**LUD** (Shock Transmission Unit -**STU**)

Deprem izolatörlerinin seçimi; önceden gerçekleşmiş şiddetli depremler etkisi altındaki davranışları ve performans deneyimleri, ASTM, EN1337, BS5400, AASHTO, CNRUni, SETRA, DIN gibi yönetmelik ve malzeme normlarına uygunluğu, referansları, projelendirmede statik ve dinamik hesap yöntemlerine uygunluğu, taşıyıcı sistemlere uygulanabilirliği, dış etkenlere ve yangına karşı dayanımları, satın alma maliyetleri, bakım gereksinimi olup olmadığı, izolatörün ömrü gibi faktörler dikkate alınarak projeci, danışman mühendis ve İdare tarafından üzerinde titizlikle durulması gereken çok önemli bir konudur. Elastomerik kauçuk deprem izolatör mesnetleri ile yukarıda adı geçen enerji sönümleyici ekipmanlar birlikte veya ayrı ayrı kullanılabilirler. Her bir mevcut veya yeni yapılacak mühendislik yapısının özelliklerine göre deprem izolatör gereksinimi ve tipleri çok detaylı bir şekilde incelenmeli ve uzmanlarca projelendirilmelidir. Projelendirme çalışmalarında kullanılacak malzemeler seçilmeli, geoteknik ve deprem mühendisleri tam bir koordinasyon içinde ve ilgili yönetmelikler dikkate alınarak projelendirme çalışmaları yapılmalıdır. Uluslararası şartname ve yönetmelikler bazı özel durumlarda yetersiz kalabilir. Bu durumda yapının inşa edileceği bölgenin deprem mühendisliği açısında çok iyi incelenmesi gerekebilir, hatta bu incelemeler uzun zaman alabilir. **Projelendirmede en önemli konu, bölgenin etkili yer kaya ivmesinin tayin edilmesidir . Köprü veya viyadüklerin inşa edileceği bölgelere ait etkili yerkaya ivme katsayıları için, yapıların ömrü ve belirli zaman dilimleri dikkate alındığında farklı değerler elde edilebilir**. Deprem mühendisliği açısından en önemli veri olan bu değer, mühendislik jeolojisi, jeofizik ve geoteknik etütler, arazi ve laboratuar deneyleri gibi bir seri çalışmanın sonucunda elde edilebilir. Ayrıca bölgede aktif fay hatları ve bu hatlara uzaklıklar çok iyi araştırılmalıdır. Bu

çalışmaların sonucunda ulaşılması istenen amaç, deprem esnasında oluşabilecek etkili yer kaya ivmelerinin, yerçekimi ivmesinin (örneğin: 0,2g veya 0,4g) bir yüzdesi olarak elde edilmesidir. Köprü veya viyadük inşa edilecek bölge için elde edilecek olan bu etkili yerkaya ivme değerine göre, yukarıda adı geçen özellikle AASHTO yönetmeliği takip edilerek projelendirme yapılabilecektir.

Deprem izolatörlerin ileri imalat teknolojileri ve gelişmiş mühendislik tekniklerine sahip sayılı uzman firmalarca imal edilmeleri ve patentlerinin alınmaya başlanması 25 yıl öncelerine dayanır. 1980' li yıllardan itibaren başta Japonya, İtalya, Amerika Birleşik Devletleri, Kanada, Yeni Zelanda olmak üzere Türkiye, İngiltere, Hindistan, Yunanistan, Romanya, Çin, Malezya, Şili, Meksika, Portekiz, Bangladeş, Danimarka, Azerbaycan, Fransa, Dubai gibi bir çok memlekette deprem izolatörleri ve enerji sönümleyicilerin birçok farklı uygulamaları bulunmaktadır. Köprü ve viyadüklerde, deprem izolatörlerinin maliyeti toplam inşaat maliyetinin, örneğin etkili yerkaya ivmesi 0,3g – 0,4g olan bölgede % 5 – 10 değerlerine kadar çıkabilmektedir. Deprem izolatörlerinin ilk bakışta yüksek gibi görülen bu maliyetlerine karşın sağladığı emniyet, can kaybı ve hasarların önlenmesi, bir o kadar da önemlisi yapının deprem etkisine maruz kaldığı sürelerde ve sonrasında bütün fonksiyonlarını kesintisiz ve eksiksiz yerine getirmesi, yapının verdiği hizmetler ve üretimde sürekliliğin sağlanması, depremlerden sonra yapıda tamir ve kuvvetlendirme gereksinimini ortadan kaldırması dikkate alındığında yanlış bir karar ve pahalı bir yatırım olmadığı açıkça görülür. Ayrıca, deprem izolatörlerinin deprem hesaplarında çözümün en önemli bir parçası olduğu unutulmamalıdır.

Deprem izolatörleri ilk defa, özellikle yeni inşa edilen, deprem esnasında ve hemen sonra hizmetlerini sürdürmesi zorunlu görülen yapılarda uygulanmaya başlanmıştır. Bu izolatör sistemlerinin deprem esnasında gösterdikleri performansları ile kendilerini kanıtlamış olmaları, zamanla önceden inşa edilmiş önemli ve mevcut (öncelikle hastaneler, kontrol merkezleri, tarihi binalar) yapıların da depreme karşı dayanımlarını arttırmak amacıyla kullanılmalarını sağlamıştır. Köprü ve viyadüklerde ise öncelikle ABD, İtalya, Japonya gibi deprem bölgesinde bulunan ve bu konuda uzmanlaşmış memleketlerde kullanılmıştır. Yurdumuzda, 1990 başlarından itibaren ve dünya literatürüne girecek önemde birçok viyadükte proje gereği çeşitli özel mesnet ve deprem izolatörleri başarıyla kullanılmıştır. Deprem bölgelerinde inşa edilecek viyadüklerin ön projelendirme sırasında depreme dayanıklı olarak projelendirilmeleri gerekir, aksi halde viyadük taşıyıcı sistemi değişebilir. Örneğin, etkili yerkaya ivme değeri 0,1 g esas alınarak projelendirilen bir viyadük ile, 0,4 g esas alınarak projelendirilen bir viyadük arasında oldukça farklılıklar olacaktır. Buna, viyadük taşıyıcı sistemi, zemin etkisi, taşıyıcı üst yapının ve özellikle kenar ayakların projelendirilmesi, genleşme derzlerinin yerleri ve özellikleri, tabliyelerin açıklıklar boyunca sürekliliği, orta ayakların geometrisi, narinliği ve yüksek sünekliği, donatı ekleri ve detayları, inşaat metodu gibi birçok örnek verilebilir.

Farklı malzemeler ile , farklı şekiller ve tiplerde geliştirilmiş olan deprem izolatörlerinin (hatta bazı özel önemli yapılar için yeni tip izolatörlerin özel olarak projelendirildiği uygulamalar vardır) kullanılacağı köprü ve viyadük için kabul edilen projelendirme kriterlerine uygunluğu, aynı ölçekte imal edilen izolatör örnekleri üzerinde gerçekleştirilecek bir seri laboratuar yükleme testleri ile ispat edilmelidir. Buradaki amaç, izolatörden deprem esnasında beklenen tekrarlı yükler altında yapacağı deformasyonların, dayanım gibi özeliklerin, hesaplarda kabul edilen değerleri emniyetli bir şekilde sağladığının gösterilmesidir. Bazı durumlarda test sonuçları projelendirmeyi etkileyebilir. Bu çalışmalar, bu konularda teorik ve pratik deneyimi olan danışman kişi ve kuruluşların kontrol ve gözetiminde yapılmalıdır. Tarafsız bir danışmanlık kuruluşunun bu tür önemli projelerde aldığı görev çok önemlidir. İzolatör performans testleri ancak yükleme test aparatları bulunan sayılı bazı laboratuarlarda yapılabilir. Zira uygulanacak yük değerleri çok büyük olabilir. Örneğin; düşey yük (eksenel basınç kuvveti) 5000 ton (=50000 kN) ve eşzamanlı 2000 ton (=20000 kN) değerine varan yatay kuvvet uygulanabilen test düzenleri vardır. Eksenel çekme kuvveti 3000 ton , yatay yük (kesme kuvveti) +1000 ton ve –1000 ton .gibi oldukça büyük yük değerler söz konusu olmaktadır. 1000 Hz değerine kadar varan frekans taramaları uygulayarak dinamik testleri yapabilecek sayılı laboratuarlar, deprem izolatörleri üzerinde istenen performans testlerini gerçekleştirebilmektedir. Avrupa'da bu büyüklükteki testleri yapabilecek çok az sayıda laboratuar bulunmaktadır. Deprem izolatörleri, köprünün (viyadüğün) servis yükleri (hareketli yükler, trafik yükleri, rüzgar yükleri gibi) inşaat sırasında tabliye betonu rötresi, farklı sıcaklık nedeniyle oluşan yükler vb. etkisi altında meydana gelen deplasmanları kontrol altında tutarlar. Örneğin piston tipi izolatörler, ani yükleme altındaki yük taşıma kabiliyeti yanı sıra zamanla yavaş yavaş oluşan yük artışlarını ve eksilmelerini bir uyum içinde karşılarlar. Bu tip izolatörlerde enerji sönümleme kuvveti, stroke hızına bağlı olarak değişir. Viskoz akışkan (silikon akışkan malzeme gibi) ile çalışan piston tipi enerji sönümleyici izolatörler , elastomerik kauçuk izolatörler ile sabit katsayılı yay modellerinin arasında bir model davranışı sergilerler ve tamamen elastik olup kalıcı bir deformasyona izin vermezler, ayrıca farklı sıcaklıklardan etkilenmezler. Deprem izolatör tip seçimi, yukarıda belirtilen izolatör özelikleri dikkate alınarak, köprü ve viyadük proje kriterleri, taşıyıcı sistem ve yükler gibi veriler ile birlikte, gerekirse imalatçı firmaların katkılarıyla projelendirmenin başında yapılmalıdır.

Köprü ve viyadüklerin depreme karşı dayanıklı olarak projelendirilmesinde genellikle kullanılan en gelişmiş yönetmeliklerden birisi olan AASHTO ''Standard Specifications for Highway Bridges, Division I-A, 1996 '' yönetmeliğinde, etkili yerkaya ivme katsayısı (effective bedrock acceleration coefficient) dikkate alınarak yapının sismik performans sınıfının belirlenmesi , dinamik analiz ve projelendirilmesine yön verecek bilgilerin bulunduğu ve yapının sismik performans sınıfına bağlı olarak takip edilmesi gereken hesap metotlarının belirlenmesi için çok önemlidir. Bu çalışmalardan amaç, statik eşdeğer yatay yüke göre (yapı ağırlığının belli bir yüzdesi, yapının ağırlık merkezinin bulunduğu seviyede yatay yük olarak alınarak tek bir mod ile deprem hesaplarının yapılması) veya çok modlu spektral analiz metodunun kullanılarak daha detaylı ve geniş deneyim gerektiren hesap metodunun

uygulanacağına karar verilmesidir. Ancak deprem izolatörlerinin kullanılma zorunluluğu yanı sıra, sağladığı ekonomi ve teknik yararlar dikkate alınıp karşılaştırıldığında çok da yüksek maliyetler olmadığı görülür. Deneyimler, yer kaya ivmesinin 0.3g olarak değerlendirilmesi halinde bile deprem izolatörlerinin kullanılmaları, aksi halde depreme dayanıklı projelendirme kriterlerinin sağlanamayacağını göstermiştir. Yurdumuzda meydana gelen 17.08.1999 Marmara-Gölcük; 12.09.1999 Düzce depremlerinde kayıt edilen etkili yerkaya ivme değerlerinin sırasıyla 0,52g ve 0.85g gibi oldukça yüksek olması, köprü ve viyadüklerin projelendirilmelerinde deprem izolatörlerinin mutlaka dikkate alma gerekliliğini hatırlatmaktadır. Depremin üstyapıda oluşturduğu salınımları belli limitler arasında tutabilmek için, orta ayaklar (kolonlar) mümkün olduğunca sünek (ductile: hareket kabiliyeti sağlayacak esneklikte) ve üst yapının (viyadük tabliyesi) sürekli ve genleşme derzlerinin sadece iki kenar ayaklarda düşünüleceği ve deprem izolatörlerinin kiriş altları ile başlık kirişleri üzerine yerleştirileceği bir yapı sisteminde ancak kolon başlarına gelecek yatay deprem yükleri azaltılabilecektir. Yukarıda açıklanan takip edilmesi gereken hesap metotlarının yanı sıra, çok modlu spektrum analizinde uyulması gereken çok önemli konstrüktif esaslar bulunmaktadır. Bu esaslar deneyimli projeciler tarafından belirtilmeli ve uygulamaları aynı titizlikle kontrol edilmelidir. Örneğin, sünek orta ayakların (kolonların) temele yakın 1/3 yüksekliği boyunca (plastik bölge) düşey donatı bindirme eklerine izin verilmez. Bu bölgelerde bindirme eki yerine manşon vb. donatı ek sistemleri kullanılmalıdır. Özellikle köprü veya viyadük tipi seçilirken, inşaat süresi, yapım metodu, estetik görünüm ve toplam maliyet dikkate alınarak ön projelendirme safhasında proje kriterleri ile birlikte deprem izolatörlerinin, yüksek performanslı depreme dayanıklı bir yapı yapılabilmesi açısından çok iyi araştırılması gerekir.

SONUÇ

Mühendislik ve yeni teknolojilerin önemini depremlerden edindiği deneyimlerle daha iyi kavrayan memleketlerde, köprü ve viyadüklerin deprem yüklerine karşı dayanım performanslarını arttırmak amacıyla deprem izolatörlerinin kullanımının her geçen gün arttığını söylemek mümkündür. Özellikle deprem bölgelerinde bulunan memleketlerde inşa edilen köprü ve viyadüklerde depreme dayanıklı proje kriterlerinin sağlanabilmesi için deprem izolatörlerinin kullanılması zorunlu bir ihtiyaç haline gelmiştir. Yurdumuzda, 1990' lı yıllardan itibaren, etkili yerkaya ivme katsayısının 0.4 olarak belirlenmiş bölgelerde, AASHTO şartnamelerine göre projelendirilerek inşa edilen ve yukarıda anlatılan deprem izolatörlerinin başarılı bir şekilde kullanıldığı birçok köprü ve viyadük bulunmaktadır. Yeni inşa edilecek köprü ve viyadüklerde deprem izolatörlerinin seçimi, ön projelendirme sırasında ele alınmalı ve yapıdan beklenen depreme karşı dayanım kriterlerine göre izolatörlerden beklenen performansın testlerle ispat edilmesi gerekmektedir. Depreme karşı dayanımı az bulunan mevcut köprü ve viyadüklerin depreme karşı dayanım performansını arttırmak amacıyla da deprem izolatörleri kullanılmaktadır.

KAYNAKLAR

American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO (1999). **Interim Revisions** to the Standard Specifications for Highway Bridges 16th Ed. Division I – A, SEISMIC DESIGN, Washington, DC.

American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO (1999). **Commentary** to the Standard Specifications for Highway Bridges 16th Ed., Division I – A, SEISMIC DESIGN, Washington. DC.

American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO (1996). Standard Specifications for Highways Bridges, 16th Ed., Washington, DC.

American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO (1991). Guide Specifications for Seismic Isolation Design. 1st Ed., Washington, DC.

American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO (1983). Guide Specifications for Seismic Design of Highway Bridges, AASHTO, Washington, DC.

British Standards Institution BSI (1983). BS5400-Steel,Concrete and Composite Bridges : Part 9, Bridge Bearings, London.

Design Specifications of Road Bridges (1990). Part V: Seismic Design, Japan Road Association, Tokyo.

European Standard on Structural Bearings (1996). Eurocode EN 1337, Brussels.

Federal Highway Administration (1987). Seismic Design and Retrofit Manual for Highway Bridges, VA.