

# İSPANYA'DAKİ YÜKSEK HIZLI DEMİRYOLU KÖPRÜLERİ VE VİYADÜKLERİ

Renzo MEDEOT\* ve Mehtap TUNCER\*\*

-\* Deprem Mühendisliği Danışmanı – Padua – İtalya  
-\*\* Maurer Söhne Türkiye – Torbalı – İzmir (sunan yazar)

## ÖZET

İspanya yüksek hızlı demiryolu ağını geliştirme programını diğer Avrupa ülkelerine nazaran oldukça geç benimsemiştir. Çoğu zaman olduğu gibi, bir oyuna en yeni girmiş olanlar, ondan önce gelmiş olanların tecrübelerinden faydalanırlar, ve böylece en gelişmiş tasarım düşüncelerinin, inşaat tekniklerinin, materyallerin ve yapısal cihazların avantajını kullanabilirler. Yaygın olan görüşün aksine, İspanya'nın depreme meyilli olan bazı çok önemli bölgeleri vardır, örneğin Endülüs (özellikle Granada civarında), Atlantik kıyısı ve Pyrenees. Bu makalenin amacı, daha talepkar olan AVE (Alta Velocidad = yüksek hız) ağı yapılarında kullanılan modern tasarım yaklaşımlarını göstermektir.

Bu amaca ulaşmak adına üç önemli projenin tanıtımı yapılacaktır, bunlardan ikisi halihazırda tamamlanmış olup, bir tanesi halen inşaat aşamasındadır.

Giriş bölümünde modern sismik tasarım stratejilerinin temel noktaları özetlenecektir.

**Anahtar kelimeler:** sismik izolasyon, enerji dağıtımı, sismik donanım, demiryolu köprüleri

## 1. GİRİŞ

Modern sismik tasarım stratejilerinin ardındaki mantığı daha iyi anlamak için, Enerjinin Korunması Kuralı'na [1] uygun olarak aşağıdaki enerji dengesi denklemiyle başlangıç yapmak uygun olacaktır:

$$E_i = E_s + E_d$$

burada:

$E_i$  enerji girdisidir (deprem sırasındaki yerin hareketiyle yapıya iletilen mekanik enerji)

$E_s$  yapı tarafından depolanan enerjidir (Hem kinetik hem elastik uzama enerjisi)

$E_d$  yapının kendisi veya uygun cihazlar yoluyla dağıtılan enerjidir

Yapılar, bir sismik hareket sırasında oluşabilecek hasarı önlemek için elemanları güçlendirilerek tasarlanırken (ki esneklik limitleri içerisindeki aynı kalacağını varsayar), bu yöntem yalnızca  $E_s$  terimine başvurmayı esas almaktadır.

Ancak, deprem tarafından yapıya iletilen enerji binanın bu enerjiyi aynı esneklikle depolama kapasitesini aştığı takdirde, yapının tümü veya bazı bölümleri tipik olarak çöker veya hasar görür.

Diğer bir deyişle, böyle durumlarda binanın otomatik olarak enerji dengesi denkleminin üçüncü terimi olan  $E_d$ 'ye başvurduğu söylenebilir.

Uzun yıllardan beri ve maalesef halen günümüzde de, yapılar hala  $E_d$  terimi kullanılarak tasarlanmaktadır, böylece yapısal elemanların elastik sınırlarının ötesinde deformasyona maruz kalarak, yapının düktilliğine başvurması gerçeğini baştan kabul etmektedirler.

Zarif terminolojisine rağmen düktillik ardında aslında kesinlikle arzu edilmeyen bir gerçeği saklamaktadır. İşin doğrusu, elastik limitinin ötesinde deformasyonları kabul etmek demek kalıcı yapısal hasara sebebiyet veren bir sönüm mekanizmasına başvurmak anlamına gelmektedir (tipik olarak köprü ayaklarındaki veya binalardaki plastik mafsalların yaratımı).

Sadece son yıllarda  $E_d$ 'yi istendiği zaman önemli ölçüde arttırmanın, ve önceden belirlenmiş uygun stratejik yerlere yerleştirilen enerji sönümleme cihazları kullanarak tüm yapının tepkisini tamamen kontrol etmenin mümkün olduğu anlaşıldı.

$E_s$  ve  $E_d$  terimlerini kullanarak enerji girdisini dengelemek teknik olarak uygulanabilir değilse veya ekonomik olarak dezavantajlıysa, yine de hala enerji girdisi  $E_i$ 'nin kendisini azaltmayı denemek opsiyonu bulunmaktadır. Bu tasarım yaklaşımına genellikle Sismik İzolasyon denir ve hakim olan yapısal kütlelerin temelden ayrılmasını gerektirir.

Yukarıdakilere bakarak, bir kişi en mantıklı yaklaşımın sadece enerji dengesi denklemindeki tüm terimlere başvuran bir şekilde olması gerektiğine kolaylıkla kanaat getirebilir, yani pratik olarak uygulanabilirlik durumunda Enerji Sönümleme ve Sismik İzolasyon'un bir kombinasyonu kullanılır.

Günümüzde Sismik İzolasyon ve Enerji Sönümleme, sismik bölgelerde bitişik yapısal elemanlar arasındaki rölatif ötelemeyi ve iletilen güçleri sınırlamak için tasarım mühendislerinin ellerinde bulunan en etkili yöntemleri temsil etmektedir.

Sismik izolasyonun hangi yapı tiplerinde yaygın kullanım bulabileceğine ilişkin araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalarda yaygın şekilde otoyolu ve demiryolu köprülerinin [2], [3] bulunduğu da bilinmektedir.

Sismik İzolasyon izolator ya da daha yaygın kullanımıyla izolasyon sistemleri kullanılarak yapılır. İzolasyon sisteminin aşağıdaki dört işlevi yerine getirebiliyor olması gerekmektedir:

- 1) Düşey yüklerin iletimi: Bu işlevin kapsamı kendisini açıklar niteliktedir; taşıyıcı sistem hem servis hem de sismik durumlarının gereksinimlerini karşılar nitelikte olmalıdır;
- 2) Yanay esneklik: bu işlevin kapsamı enerji girdisini sınırlamak için yapının hakim olan kütlelerinin (tabliye) zemin hareketlerinden bağlaşımını koparmaktır.
- 3) Enerji sönümleme: bu işlevin amacı izolatorlar arasındaki deformasyonları elverişli bir tasarım seviyesine indirmek ve sismik kuvvetleri sınırlamaktır;
- 4) Merkezlleme: bu işlevin amacı kümülatif deplasmanları önlemek ve kayar izolatorlerdeki seviye farklılığı gibi kusurları karşılamaktır.

Aşağıdaki bölümlerde bu fonksiyonları Demiryolu Köprülerinin Sismik İzolasyonu konusunda inceleyeceğiz.

## 2. DEMİRYOLU KÖPRÜLERİNİN SİSMİK İZOLASYONU

Tarihsel olarak Sismik İzolasyonun ilk uygulandığı binalar üzerinde yapılmıştır (60ların ortaları), bir on yıl sonra da otoyol köprülerinde [4]. Sismik İzolasyon uygulamalarının demiryolu köprülerine uygulanması biraz zaman almıştır. Gerçekte, ilk ortaya çıkışlarını bulmak için geçen yüzyılın son on yılına gitmek gerekir [5].

Bu tasarım stratejisinin uygulamasını geciktiren nedenlerden birisi Demir Yolu İdareciliğinin iyi bilinen muhafazakarlığı olabilir. Her şeye rağmen, bu gecikmenin arkasında nesnel teknik zorluk nedenleri de bulunmaktadır. Doğrusu, demiryolu köprüleri otoyol köprülerine nazaran çeşitli nedenlerden ötürü büyük farklılıklar göstermektedir [6].

İlk olarak, ray trafiği üst ve alt yapı arasında göreceli deformasyonlara izin vermemektedir. Bu sınırlama raylardaki gerilmeyi belli kesin sınırlar içerisinde tutma amacını taşır, amacı hem yolcuların konforunu göz önünde tutarak deformasyonlarından kaçınmak hem de raydan çıkma riskini önlemektir.

Yukarıdaki nokta tabliye ve altyapının daha büyük bir kütle ve rijitliğe sahip olduğunu işaret etmekte olup aralarında özel kısıtlama cihazlarının kullanılmasını gerektirmektedir. Sonuç olarak, sismik bölgelerde bir deprem hareketi sonucunda oluşan etkiler ayaklar, kenar ayaklar ve temeller için daha tehlikelidir.

Dahası, demiryolu köprüleri durumunda hem frenleme hem de hızlanma yüzünden yatay yükler önemli derecede daha yüksektir. Bu gerçek , raylardaki gerilmeyle ilgili gereksinimlerin karşılanmasını daha da karışık bir hale getirmektedir.

Sorunların bu ön anlatımından itibaren, depreme yatkın bölgelerdeki bir demiryolu köprüsü tasarımcısının karşılaştığı zorluklar gayet açıktır.

Bir tarafta hareketlerin engellenmesi ya da en azından onları servis yüklerinin altında tutma gereksinimi varken, diğer taraftan bir izolasyon sisteminin ikinci işlevini yerine getirmek için bir sismik hareket sırasında onlara izin verme gereksinimi var (hakim olan kütlelerin zemin hareketlerinden bağlaşımını koparmak için yanal esneklik).

Diğer bir deyişle, bir mesnet sistemi iki ayrı yük (servis ve deprem) durumunda yeterli olarak iş görebilmeli, ve her şeyden önemlisi cihazların kurulmasından on yıllar sonrasında bile bu yükler arası geçiş sırasında emniyet ve güvenilirliği garanti edebilmelidir.

Genellikle, tasarım mühendisleri ilgilerini bir deprem hareketi sırasında ortaya çıkan durumlara odaklanmaktadır, çünkü bunlar en ciddi olan durumlardır, bu yüzden hizmet durumu sırasındaki koşulları ihmal ederler. Fakat deprem hareketi muhtemelen köprünün yararlı olan ömrü sırasında meydana bile gelmeyebilirken, ikincisi açıkça her zaman mevcuttur ve bu yüzden ortaya dayanıklılık sorununu çıkarmaktadır.

İki yük koşulu arasındaki geçişi kontrol etmek için, onu ayırt eden iki fiziksel parametreye güvenebilirsiniz, yani etki eden güçler ve meydana geldikleri hız.

Belli bir önceden tanımlı güç eşliğinin altında (kopma gücü) bağlantılı parçalar arasındaki herhangi görelî harekete engel olan ve aynı zamanda yukarıda bahsedilen eşik aşıldıktan sonra aynısına izin veren cihazlara Fuse Restraints veya Sacrificial Restraints [7] denir.

Bu cihazlar mekanik tipte olabilir (geçiş kırılğan tutucunun kopma gücüne göre belirlenir) veya hidrolik olabilir (geçiş aşırı basınçlı valfin açılmasıyla yönetilir).

Düşük ve orta sismik aktivitenin olduğu bölgelerde, frenleme sonucunda oluşan kuvvetlerin seviyesi bir deprem tarafından üretilenlere çok benzer olabilir, bu yüzden servis durumundan sismik durumuna geçişi kontrol etmek için çok sofistike cihazların kullanılması gerekmektedir.

Tam tersi şekilde, sadece sismik hareket sırasında çalışması gereken cihazların (örn.: enerji sönümleyiciler) etkinleştirilmesi gerektiğinde, yukarıdaki geçişi sağlamak için hızla başvururuz ve Geçici Bağlantı Cihazları-Temporary Connection Devices (genel olarak Şok İletici Cihazlar-Shock Transmission Units olarak adlandırılırlar) kullanılır.

Isı değişimine bağılı hareketler veya diğeri yavaş oluşan hareketler karşısında, bu cihazlar fark edilebilir reaksiyon olmaksızın hareketlere izin verir, fakat aktivasyon hızı aşıldığı zaman nerdeyse rijit bir hal alırlar. Isı ve/veya zamana bağılı sebeplerden ortaya çıkan yavaş hareketler sismik kaynaklı olanlardan birkaç sınıf daha düşük hızdadırlar. Bu sebeble, servis durumuyla sismik durum arasındaki geçiş kritik olmaz.

Üçüncü işleve geçerse, mevcut pazarın enerji sönümlemesini sağlayabilen birçok cihaz sunduğunu rahatça söyleyebiliriz [8]. Buna karşılık, sadece birkaçı demiryolu köprülerinde kullanılmaya müsaittir.

Bunlar arasında çelik histeretik cihazları, kurşun çekirdekli kauçuk mesnetleri ve hidrolik viskoz damperleri sayabiliriz. Seçim fiyat dahil olmak üzere bir çok nedene bağılıdır. Doğrusu, şartnameyi ve şart koşulan normları karşılayan minimum performans alındıktan sonra, seçme kriteri sadece ekonomiktir.

Ne yazık ki genellikle tam tersi olur, yani egemen olan faktör fiyattır ve normlar zorla yerine getirilir veya bazen yok sayılır, tasarım seviyesinde bir depremin meydana gelmesinin kısa vadede veya garanti süresi boyunca düşük bir ihtimal olduğuna güvenilir.

Dördüncü bir temel işlev olan merkezleme yeteneği ancak son yıllarda tanımlanmıştır, ve bir sismik izolasyon sisteminin temel işlevi olarak listelenmeye başlamıştır.

Bu geç gelen ortaya çıkış belki şu şekilde açıklanabilir; tarihsel olarak ilk sismik izolatörler geleneksel plakalı kauçuk mesnetlerdi – kayma deformasyonuna maruz kaldığında meydana gelen esnek geri çağırım kuvveti sayesinde kauçuk mesnetler yüksek bir merkezleme yeteneğine sahiptir.

Pazara yerleşik bir merkezleme yeteneği olmayan diğeri tiplerdeki anti-sismik cihazların girmesiyle beraber (örn.: kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler, çelik histeretik elemanlı kayar izolatörler, sürtünmeli cihazlar, vs.) bu işlevi sağlama sorunu önemli bir rol oynamaya başladı [9].

Bir standartta bu kriterlerin oluşturulması ilk kez 1991’de AASHTO tarafından “Sismik İzolasyon Tasarımı Rehber Şartnamesi”nde belirlenmiştir [10].

Enerji sönümlenme ve merkezleme yeteneğinin (bazen “geri çağırım kuvveti” de denir) iki zıt işlev olduğu ve önemlerinin öncelikle duruma bağlı olduğu unutulmamalıdır.

“Geri çağırım kuvveti” terimi yanıltıcıdır, bir Sismik İzolasyon Sisteminin merkezleme yeteneğinin değerlendirilmesi güçlerin karşılaştırılması yoluyla yapılmalı fikrini öne sürdüğüne göre, kavramsal olarak hatalı bir şeydir. Aslında, karşılaştırmalar İzolasyon Sisteminin esnek bir şekilde (ya da, daha iyi bir deyişle, tersine çevrilebilir) deprem enerji girdisini depolama ve geri dönülemez şekilde dağıtması arasında yapılmalıdır.

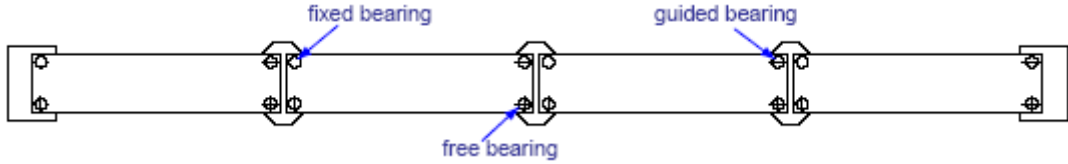
Merkezleme yüksek derecede asimetrik hareketlerle ayrılan depremlerin beklendiği (Yakın Saha etkisi) bir yer kırığına yakın olan binalarda özellikle büyük önem taşır.

Yeniden merkez kurma yeteneği gereksiniminin amacı bir sismik hareket sonunda kalıcı deplasmanı sınırlamak değil, onun yerine sismik olay sırasında kümülatif deplasmanları önlemek ve aynı seviyede olmamak gibi izolator kurulum kusurlarına çözüm getirmektir.

Yukarıdakilere dayanarak, yeniden merkez kurma elemanını yerleştirme kriterinin sistem tarafından geri çevrilebilir biçimde (elastik, potansiyel, vs.) saklanan enerji ile histeretik olarak sönümlenen enerji [11] arasındaki karşılaştırmaya dayandığını söyleyebiliriz.

İncelenmesi gereken son bir yön inşaat tipolojisiyle ilgilidir.

İzostatik köprüler (basitçe mesnetlenen kirişler), frenleme ve hızlanma hareketlerini köprü ayakları arasında kolaylıkla dağıtma gibi hizmet durumlarında kesin avantajlar sunmaktadır. Tipik mesnet modeli aşağıdaki Şekil 1’de gösterildiği gibidir.



Şekil 1: İzostatik köprüler için tipik mesnet modeli

Sismik bir bakış açısından bakıldığında bu çözüm, en önemlisi ayrı tabliyelerin eş zamanlı olarak hareket etmedikleri gerçeği başta olmak üzere bir çok sorun barındırmaktadır. Bu da beraberinde uzunlamasına yönde çok yüksek deplasmanları karşılama ihtiyacını ve özellikle farklı yükseklikteki köprü ayakları ve rayların distorsiyonu karşısında, bitişik tabliyeler arasında çarpma yapma riskini getirir.

Bu sorunlardan kaçınmak için, görelî hareketi sınırlayan veya engelleyen şok-ileticiler gibi cihazların kurulması gerekmektedir.

Enine hareketler de eş-zamanlı değildir, bu da çarpma riskini doğurur. Tabii eğer uzunlamasına hareketlerin yanı sıra yatay düzlemdeki dönüşlü hareketleri bloke etmek için her bir birleşme yeri iki adet şok-ileticiyle donatılmadıysa.

Gerçekte, geçici tutucular sayesinde bir yapı hizmet koşullarında izostatik ve sismik atak sırasında hiperstatik olacak şekilde yaratılır. Her şeye karşın, bu yolla daha yüksek yapısal karışıklık ve daha yüksek fiyatlarla cereme çekmiş oluruz. Yukarıdakilerin hepsi bizi hiperstatik yapısal çözümle beraber devamlı çok-açıklı tabliyenin en uygun şey olduğu sonucuna götürür.

Yine de, bu çözümle beraber zorluklar tersine çevrilir, yani servis koşulları daha fazla ilgi gerektirir ve aşağıdaki uygulanabilir örnekte de göstereceğimiz gibi bunlar duruma göre çözümlenmelidir.

### 3. ALPERA VİYADÜĞÜ

İnceleme altındaki yapı Madrid-Alicante hattındaki bir kırsal bölge bulunan “Alternatif Demiryolu Alpera”yı ve bir “rambla” yani bir çeşit kuru dere yatağını geçen viyadüktür. Bu sebepten dolayı bazen ona “Viaducto de la Rambla” denir (bkz. Şekil 2).

Yapısal tasarımı 1999’da tamamlanmıştır. Bu köprünün hemen hemen aynı sismik izolasyon tasarımı yaklaşımını paylaştığı Türkiye’deki Seyhan Nehri’ni Geçme Köprüsüyle aynı zamanda yapılmış olması ilginç bir noktadır.

Alpera Viyadüğü tabliyesinin genişliği 11,60 m’te eşittir, bu da balastta çift raylı demiryoluyla beraber her iki tarafta 1,20 m genişliğinde yaya yolu barındırmasına olanak sağlamaktadır.

Viyadüğün yerden ortalama yüksekliği yaklaşık 22 m’dir.



Şekil 2: Alpera Viyadüğünün tepeden görünümü

Sürekli tabliye 11 açıklıktan oluşmaktadır:  $30 + 9 \times 45 + 30 \text{ m} = 465 \text{ m}$ . Tabliye 3,20 m enine kesit yüksekliğinde yapı yerinde dökülmüş kutu kirişten oluşmaktadır. Böylece yükseklik / açıklık oranı = 1/14’dür.

Alt yapı 10 adet köprü ayağından ve iki kenar ayaktan oluşmaktadır. Köprü ayakları sabit boşluklu dikdörtgen kesitli betonarmeden yapılmıştır.

Kenar ayaklar açık tiplidir, betonarmeden yapılmıştır ve köprü ayaklarından daha elverişli coğrafi alanlarda bulunmaktadır. Yine de, aşırı yüksek olmalarından ötürü (16 m), kemer ayakları çekme kuvvetlerine karşı koyamamaktadır.

Alpera Viyadüğünün Mesnet ve Sismik İzolasyon Sistemi gösterilen pozisyonlar içerisinde uygun olarak dağıtılmış olan aşağıdaki yapısal cihazlardan oluşmaktadır:

- (a) 4 ad. geleneksel neopren mesnetler, hareketleri sadece uzunlaması yönde kısıtlayan bir rehber-sistemiyle beraber – Pozisyon : Köprü ayağı 5 ve 6.
- (b) 20 ad. PTFE sismik izolator olarak görev yapan kayar pot mesnetler (her bir köprü ayağında bir adet “güdümlü” bir adet “serbest” tipi) – Pozisyon: 5 ve 6. Köprü ayakları hariç tüm köprü ayakları ve kenar ayaklar
- (c) 4 ad uzunlamasına yönde etkin olan hidrolik damperler, enerji sönümleyici ve şok ileticisi olarak görev yapar – Pozisyon: Kenar ayaklar 1 & 2

Böylece, bir izolasyon sisteminin dört temel işlevi aşağıdaki şekilde sağlanır:

- 1) Düşey yüklerin iletimi: neopren mesnetler ve pot mesnetler yoluyla; taşıyıcı sistemin hem servis hem de sismik koşulların gereksinimlerini tam olarak karşıladığından emin olunmalıdır;
- 2) Yatay esneklik: kayar pot mesnetlerin kayma hareketleriyle, elastomer mesnetlerin kesme deformasyonu ve damperlerin eksensel deformasyonu;
- 3) Geri çağırım kuvveti: elastomer mesnetlerin kesme deformasyonu ile birleşmiş geri çeken elastik kuvvet yoluyla;
- 4) Enerji dağıtımı: Hidrolik akışkan kıvamındaki damperler yoluyla;

Damperlerin, frenleme güçleri gibi dinamik servis hareketleri altında geleneksel şok iletici olarak görev yaptığı unutulmamalıdır.

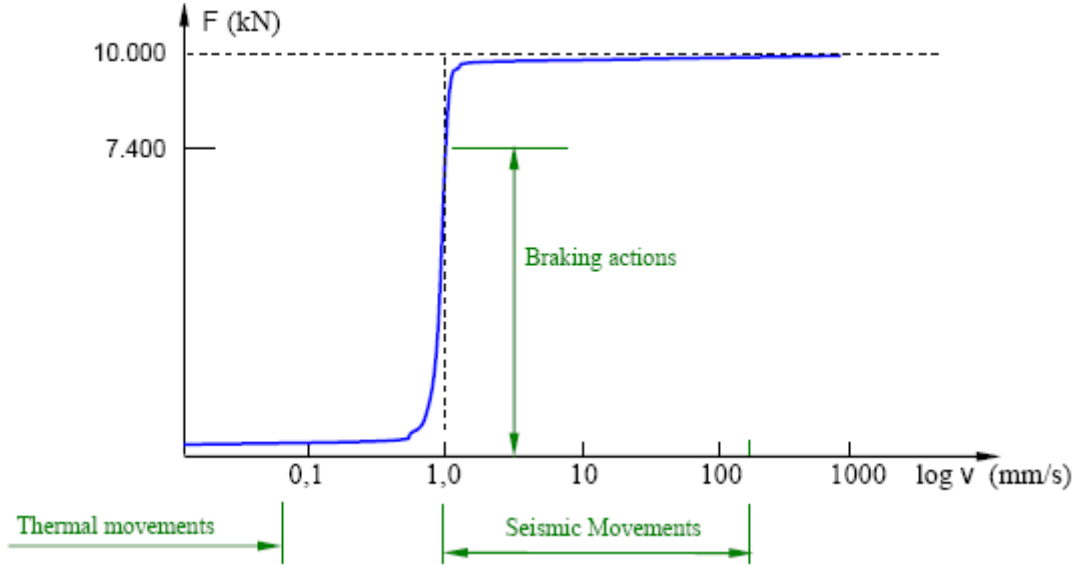


**Şekil 3:** Alpera Viyadüğünün hidrolik damperleri

Bu, düşük dayanma gücünde yavaş hareketleri (ısısal, sünme, rötne) barındırdıkları ve göz ardı edilebilir deformasyonlara sahip ani hareketlere (ör: frenleme) tepki verdikleri anlamına gelmektedir. Bu yolla tabliye yerinde tutulmuş olur. Bu yüzden beşinci bir işlev ekleyebiliriz:

- 5) Hizmet yükleri altındayken rijitlik (temel olarak frenleme güçleri): Viskoz damperlerin Şok iletici işlevi yoluyla.

Sonuç olarak, bu tip bir cihaz iki apayrı işlevi birleştirir ve bu tip bir cihazın davranışı Şekil 4’de gösterilmiştir.



**Şekil 4:** Kenar ayaklar 1 & 2’de kurulmuş olan şok iletici özellikli hidrolik damperlerdeki dört 2500 kN kompleksi için güç vs hız eğrisi (ısısal hareketler, sismik hareketler, frenleme hareketleri)

Servis hareketlerini (frenleme hareketleri) sismik hareketlerden açık bir şekilde ayırabilmek için, Maurer Söhne – Almanya tarafından üretilen belli özelliklere sahip cihazların kullanıldığını belirtmemiz gerekir.

Yukarıdakinin önemini daha iyi anlamak adına, damperin temel yasasından başlamalıyız:

$$F = C \times v^a$$

Burada:

- C viskoz faktörünü
- a damper tipini belirleyen üssü ifade eder.

Bizim durumumuzda bu  $C = 2.500 \text{ [kN/(m/s)}^a\text{]}$ ’dır.

Yaygın olarak pazarlanan viskoz damperlerin a üssü değeri 0,15’ten 0,20’ye kadar değişmektedir. En tatminkar değer olan  $a = 0,15$ ’i alsak bile, geçiş hızında  $v=1 \text{ mm/s}$  ( $0,001 \text{ m/s}$ ) dört cihazın komple kompleks sayısı tepkime kuvveti  $F_t$  şuna eşittir:

$$F_t = 4 \times 2500 \times 0,001^{0,15} = 3548 \text{ kN}$$

Bu değer frenleme hareketlerinin yarısından azdır, bu yüzden ikincisi meydana gelişinde parasitik kaymasına neden olacaktır.

Onun yerine, Alpera Viyadüğü’nde kullanılan hidrolik damperlerin üssü  $a = 0,015$ ’e eşittir, ör. Şu anda pazarlanmakta olan diğer en iyi tip damperlerden bir magnitute daha azdır.

Yukarıdaki hesaplamayı tekrarlırsak, geçiş hızında aşağıdaki tepki kuvvetini elde ederiz:

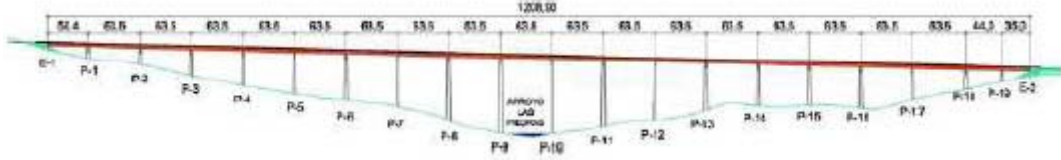
$$F_t = 4 \times 2500 \times 0,001^{0,015} = 9016 \text{ kN}$$

Ki bu da, fren kuvvetinden % 22 daha yüksektir ve böylece yeterli güvenlik marjını sağlar.



#### 4. ARROYO DE LAS PIEDRAS VİYADÜĞÜ

Arroyo de Las Piedras Viyadüğü İspanya'daki ilk çelik-beton kompozit yüksek hızlı demiryolu köprüsüdür ve HSL Cordoba-Malaga'da bulunmaktadır. Yapısal düzenlemesi  $50, 4 + 17 \times 63,5 + 44 + 35 \text{ m} = 1208 \text{ m}$  aralıklardan oluşan sürekli kirişlidir.



Şekil 5: Arroyo de Las Piedras Viyadüğü'nün yan görünüşü

Tasarlanıp (2002) yapıldığı sırada, AVE ağı içerisindeki kendi tipinde en uzun açıklıklı viyadüktü. Köprü ayakları oldukça yüksektir, bazıları 93 m'yi aşmaktadır.

Tabliye enine kesiti iki adet 3,85 m'lik yüksek ikiz plaka kirişten ve 14 m genişliğinde, kalınlığı tabliyenin boyuna ekseninde 0,41 m'yi, konsol kenarında 0,22 m'yi bulan bir üst döşemeden oluşmaktadır.



Şekil 6: Arroyo de Las Piedras Viyadüğü'nün görünümü

Tam ağıl diyaframlar yerine her 8 metrede bir konumlandırılmış enine makas diyaframlar kullanılmıştır, inşaat alanındaki montajı kolaylaştırmıştır ve gereken kaynak miktarını ve çelik ağırlığını önemli ölçüde azaltmıştır.

Ana yapıda S-335 J2G2W tipi Cor-Ten çeliği kullanılmıştır. Bu çelik o bölgedeki atmosfer koşulları için çok uygundur.

Arroyo de Las Piedras Viyadüğü'nün Mesnet ve Sismik İzolasyon Sistemi gösterilen pozisyonlar içerisinde uygun olarak dağıtılmış olan aşağıdaki yapısal cihazlardan oluşmaktadır:

- (a) 8 ad. MSM küresel mesnet (her bir köprü ayağında bir tane “sabit” bir tane de enine “güdümlü”) – Pozisyon: Köprü ayakları 8’den 11’e.
- (b) Sismik izolator olarak görev alan 34 ad. MSM kayar küresel mesnetler (her bir köprü ayağında bir adet “güdümlü” ve bir adet “serbest” tipli) – Pozisyon: Köprü ayakları 8’den 11’e kadar hariç tüm köprü ayakları ve kenar ayaklar.
- (d) 8 ad. uzunlamasına yönde etkin olan hidrolik damperler, enerji sönmüleyici ve şok ileticisi olarak görev yapar – Pozisyon: Kenar ayakları 1 & 2

Böylece, bir izolasyon sisteminin dört temel işlevi aşağıdaki şekilde sağlanır:

- 1) Düşey yüklerin iletimi: küresel mesnetler yoluyla;
- 2) Yanal esneklik:
  - Uzunlamasına yönde: MSM kayar mesnetler ve “sabit” köprü ayakları 8-11’in elastik deformasyonu yoluyla;
  - Enlemesine yönde: köprü ayaklarının elastik deformasyonu yoluyla;
- 3) Geri çağırım kuvveti: “sabit” köprü ayakları 8-11’in geri çeken esneklik kuvveti yoluyla;
- 4) Enerji sönmülemesi: Hidrolik damperler yoluyla (sadece boyuna yönde faaldir);

Alpera Viyadüğü’ndeki duruma benzer şekilde, bu Viyadükteki damperler de aynı şekilde fren kuvvetleri gibi dinamik servis hareketleri altında şok ileticisi olarak görev yapar.



**Şekil 7:** Arroyo de Las Piedras Viyadüğü’nün hidrolik damperleri / şok ileticileri

Ancak, bu kez cihazlar iki iş görürler (baskı ve gerilim) ve her bir damper için eşik seviye gücü 2200 kN’ye ayarlıdır.

## 5. SALITRE–VINALOPÓ VİYADÜĞÜ

İnceleme altındaki yapı Madrid-Alicante AVE hattında, Elda – Alicante kısmında bulunmakta ve Vinalopo Nehri’ni geçmektedir [12].



**Şekil 8:** Salitre – Vinalopó Viyadüğü'nün tepeden görünümü

Yapısal tasarım 2006'da bitirilmiştir ve halen inşaat aşamasındadır.

Sürekli tabliye aşağıdaki bileşenlerdeki 20 açıklıktan oluşmaktadır:

$$45-11\times 50-55-7\times 50-60-50-7\times 48-35 \text{ m} = 1481 \text{ m.}$$

Tabliye 14 m genişliktedir ve 3,75 m enine kesit yüksekliğe sahip bir kutu kirişden oluşur. Böylece en geniş açıklıktaki yükseklik / açıklık oranı 1/16'ya eşittir. Temeller 1,8 m çapındaki 6 kazıktan oluşmaktadır (Köprü ayağı 10 ve 20'de 8 kazık).

Salitre – Vinalopó Viyadüğü'nün Mesnet ve Sismik İzolasyon Sistemi gösterilen pozisyonlar içerisinde uygun olarak dağıtılmış olan aşağıdaki yapısal cihazlardan oluşmaktadır:

- Sismik izolator olarak görev yapan 58 ad. MSM küresel mesnetler (her bir köprü ayağında bir tane “güdümlü” bir tane de “serbest”) – Pozisyon: tüm köprü ayakları ve kenar ayaklar
- Merkezleme cihazları olarak görev yapan 10 ad. geleneksel elastomer mesnetler (tabliyenin iki tarafına düşey olarak konulmuştur) – Pozisyon: Köprü ayakları 12 – 16
- Nr. 6 boyuna yönde etkin olan hidrolik damperler, enerji sönümleyici ve şok ileticisi olarak görev yapar – Pozisyon: Kenar ayakları 1 & 2

Böylece, bir izolasyon sisteminin dört temel işlevi aşağıdaki şekilde sağlanır:

- Düşey yüklerin iletimi: MSM küresel mesnetler yoluyla;
- Yanal esneklik: MSM kayar mesnetlerin kayma hareketleriyle, elastomerik mesnetlerin kesme deformasyonu ve damperlerin eksensel deformasyonu;
- Merkezleme kuvveti: Düşey elastomer mesnetlerin kesme deformasyonu ile birleşmiş geri çeken esnek güç yoluyla;
- Enerji sönümleme: Hidrolik viskoz damperler yoluyla;



**Şekil 9:** Merkezleme cihazları olarak gören yapan düşey elastomer mesnetlerin yerleştirilmesi

Arroyo de Las Piedras Viyadüğü'ndeki durumuna benzer olarak, damperler aynı şekilde fren kuvvetleri gibi dinamik servis hareketleri altında geleneksel şok ileticisi olarak görev yapar, ve böylece fren kuvvetlerini iki kenar ayak arasında dağıtmış olur.

## 6. SONUÇLAR

Sunulan üç projenin ortak yanı aynı sismik tasarım strajesine sahip olmasıdır, ve sismik izolasyonla enerji sönmleme benimsenerek yapılmıştır.

Her üç durumda da, iki apayrı yapısal tipoloji olsa da (beton kutu kirişi ve çelik-beton karışımı kiriş), çok açıklıklı tabliye kullanılmıştır.

Her üç durumda da enerji dağıtımı için hidrolik viskoz damperler kullanılmıştır. Bu tür bir cihazın seçilmesinin nedeni sönmleme etkisinin yüksek, oldukça güvenilir olmasıdır ve ayrıca merkezleme yeteneği işlevine karşı gelmez.

Diğer üç işlev için farklı tipteki cihazlar kullanılmıştır. Düşey yük iletimi ve yanal esneklik uygun olan kauçuk mesnetlerin, PTFE kayar pot mesnetlerin ve MSM küresel mesnetlerin bir kombinasyonu kullanılarak elde edilmektedir.

Merkezleme yeteneği bile üç farklı metod kullanılarak elde edilmiştir. Alpera Viyadüğü olayında, merkez köprü ayaklarındaki elastomer mesnetlerin (izolatörler) kesme deformasyonu ile birleşmiş geri çeken elastik kuvvetlerden faydalanılır.

Arroyo de Las Piedras Viyadüğü olayında, merkezdeki yüksek köprü ayaklarındaki eğilme deformasyonu ile birleşmiş olan geri çeken esnek güçten faydalanılır. Son olarak, Salitre – Vinalopó Viyadüğü olayında, geri çekme kuvvetini yaratan yay, ortadaki köprü ayaklarına uygun olarak tabliyenin her iki tarafına düşey olarak konulmuş olan özel elastomer mesnetler tarafından oluşturulur.

Dinamik analiz ve testler tüm yapıların projenin şartnamelerine ve mevcut yönetmeliklere mükemmel derecede uygun olduğunu göstermiştir.

## Kaynakça

- [1] Bertero V.V., (1992): "Seismic Upgrading of Existing Structures", *Tenth World Conference Earthquake Engineering*, Madrid, Spain.

- [2] Skinner, Robinson & McVerry (1993): "An Introduction to Seismic Isolation", *John WILEY & Ltd.*, West Sussex PO19 1UD, England : 96 - 108
- [3] Buckle I., Mayes R., (1990): "These issue: seismic isolation" *Earthquake spectra*, EERI, 6, No. 201.
- [4] Kelly J.M., (1982): "Seismic Base Isolation", *1st World Congress on Joint Sealing and Bearing Systems for Concrete Structures*, Vol. 1 – Pub. ACI – Boston, USA
- [5] Medeot R., Albajar L. (1992): "The Evolution of Seismic Devices for Bridges in Italy", *Tenth Conference on Earthquake Engineering*, Madrid, Spain.
- [6] Romo J., Sanchez J., Corres H. (2002): Discusión Sobre los Criterios de Diseño de la Subestructura Puentes de Ferrocarril en Zona Sísmica; *Jornada Anual de ACHE sobre los Puentes de Ferrocarril*, Madrid, Spain
- [7] Medeot R., (2006): "The European Standard on Anti-seismic Devices", *6th World Congress on Bearings and Seismic Systems for Concrete Structures*, Halifax, Canada
- [8] Medeot R., (1998): "Energy Dissipation as Technological Answer to Highly Demanding Problems" *US-Italy Workshop*, Columbia University at N.Y., USA
- [9] Medeot R., (2004): "Re-Centring Capability Evaluation of Seismic Isolation Systems Based on Concepts", *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada.
- [10] Medeot R., (2007): "Comparison between US and European Norms on Seismic Hardware", *10th Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibrations Control of Structures*, Istanbul, Turkey,
- [11] Medeot R., (2004): "Aislamiento y Amortiguación en el Diseño Sísmico", *Jornada Anual de sobre el Comportamiento de Estructuras de Hormigón en Zonas Sísmicas*, Madrid, Spain
- [12] Millanes F., Pascual J., Ortega M., (2007): "Viaducto Arroyo las Piedras–El primer Viaducto Mixto las Líneas de Alta Velocidad Españolas", *Revista Hormigón y Acero* N° 243 – Madrid, Spain