PROTA

28. Yıl

Deprem Yalıtımı Yöntemleri ve Uygulamaları Sempozyumu

Seismic Isolation Methods and Practices Symposium

28 Şubat - 1 Mart 2013
ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi

PROTA

Sismik İzolasyon ve Enerji Emici Sistemlerle İlgili Teknik Gelişmeler ve Sismik Performansı İyileştirme Amaçlı Özel Uygulamalar

Prof. Dr. Murat Dicleli

Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Mükendislik Bilimleri Bölümü

Sunum Akışı

- Sismik izolasyon ve enerji sönümleyici (damper) sistemler
- Sismik izolasyon teknolojisinin tarihsel gelişimi
- Sismik izolasyon tipleri ve güncel gelişmeler
- Damper tipleri ve teknolojisindeki gelişmeler
- Hibrit sismik izolasyon uygulamaları
- Performansa dayalı sismik izolasyon uygulamaları

PROTA

Sismik İzolasyon / Damper Teknolojisi

- Sismik izolasyon ve enerji sönümleme (damper) teknolojisi yapının davranışını değiştirerek, yapıya etki eden kuvvetleri ve yapıdaki deplasmanları azaltmaya yarar

Sismik izolasyon ve Enerji Sönümleme Sistemleri

- Pasif Sistemler
  - Sismik İzolasyon
  - Pasif Sönümleme
- Aktif , Hibrit ve Yarı Aktif Sistemler
- Akıllı Malzemeler

Sismik İzolasyon Teknolojisi

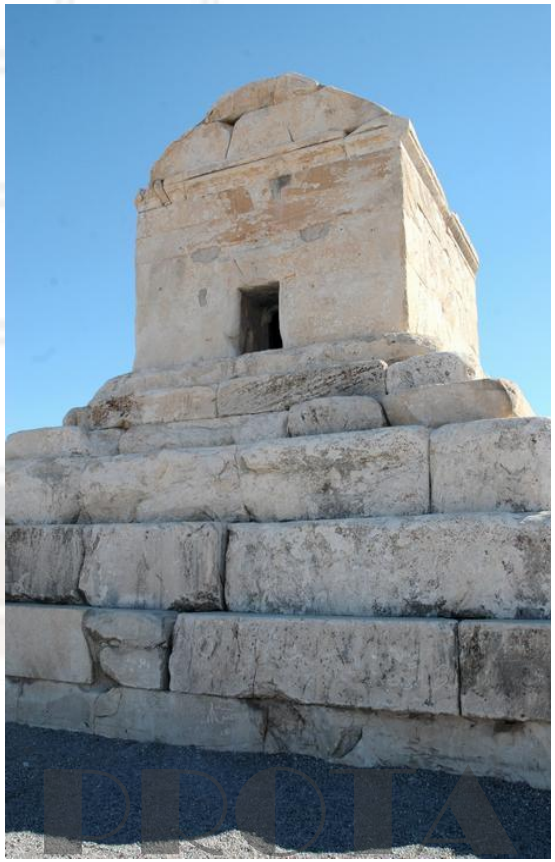
- Lastik (elastomer) esaslı izolatörler
  1- Düşük sönümlü lastik izolatör (enerji emici ile birlikte)
  2- Yüksek sönümlü lastik izolatör
  3- Kurşun çekirdekli lastik İzolatör
  4- Kurşun ve çelik plaka yerine diğer malzemelerin kullanıldığı prototip lastik izolatörler ve diğer varyasyonlar

- Kayma esaslı izolatörler
  1- Sürtünmeli Sarkaç İzolatörler (çeşitli varyasyonlarda)
  2- Düz kayıcı + poliüretan diskli izolatörler (Eradiquake)
  3- Elasto-Plastik Sistemler (pot mesnet + tutucular)

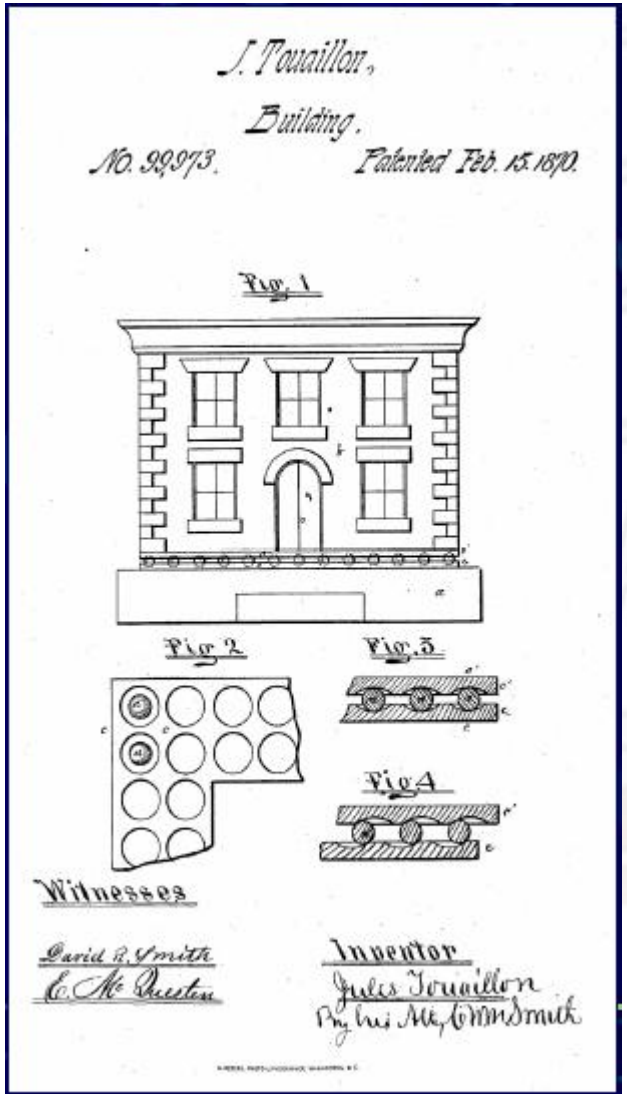
PROTA

Sismik İzolasyon Teknolojisinin Tarihçesi

- Büyük Keyhüsrev'in (Kiroş) mezarı (13.75x12.5x5.0 m) Pers İmparatorluğu (M.Ö. 530)

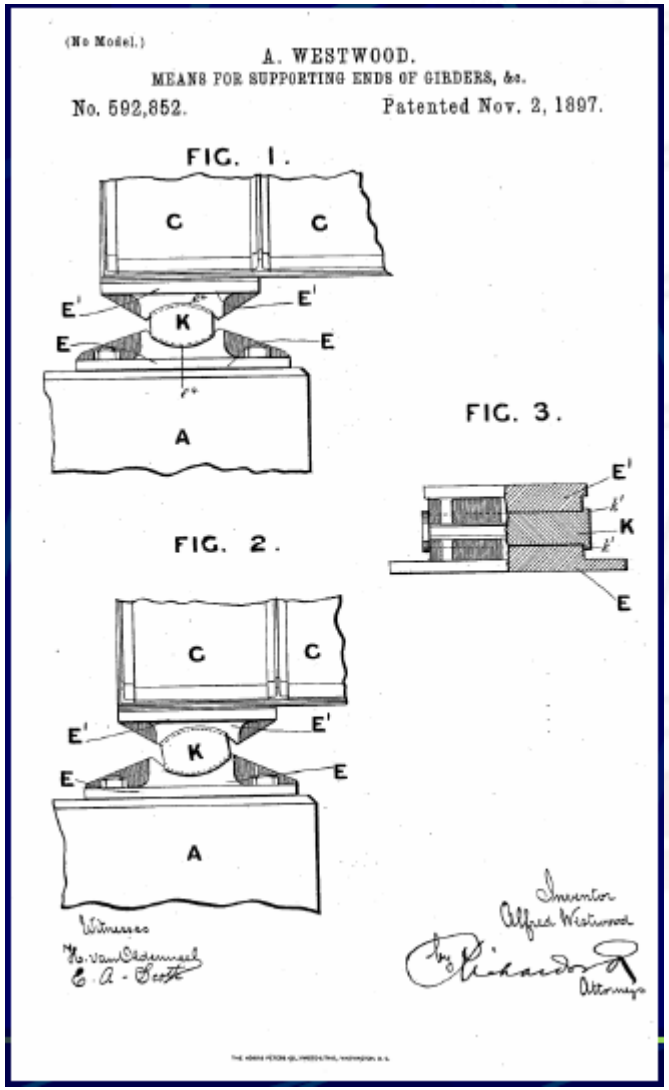


Sismik İzolasyon – Tarihsel Gelişmeler



- J. Touaillon 1870 yılında ABD patent ofisine yaptığı başvurusunda çift konkav yüzeyler arasına oturan kürelerin olduğu bir sismik izolasyon sistemi önermiştir.

Sismik İzolasyon – Tarihsel Gelişmeler



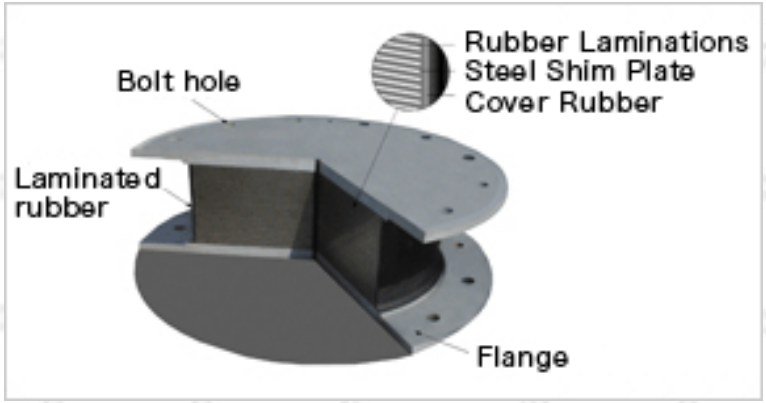
- A. Westwood 1897 yılında bir blok kaycının conkav yüzeyler arasında kaymasından oluşan bir sismik izolasyon sistemi önermiştir.

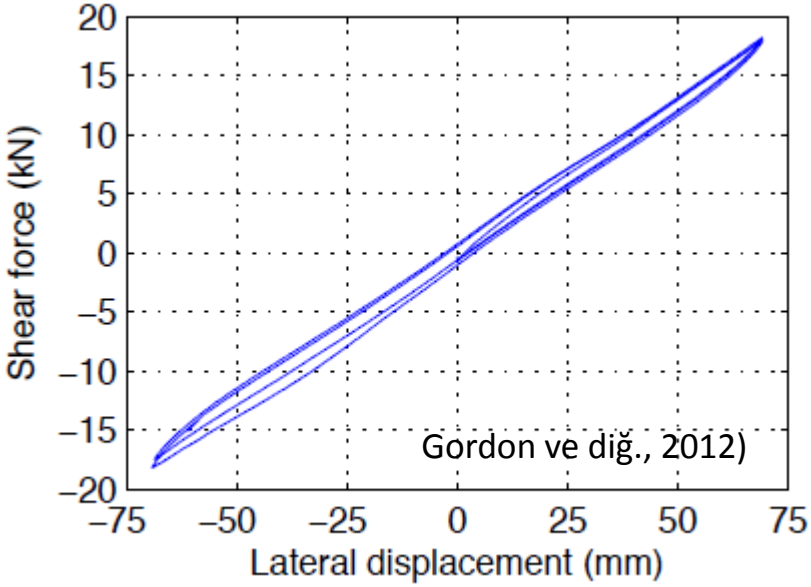
Sismik İzolasyon – Tarihsel Gelişmeler

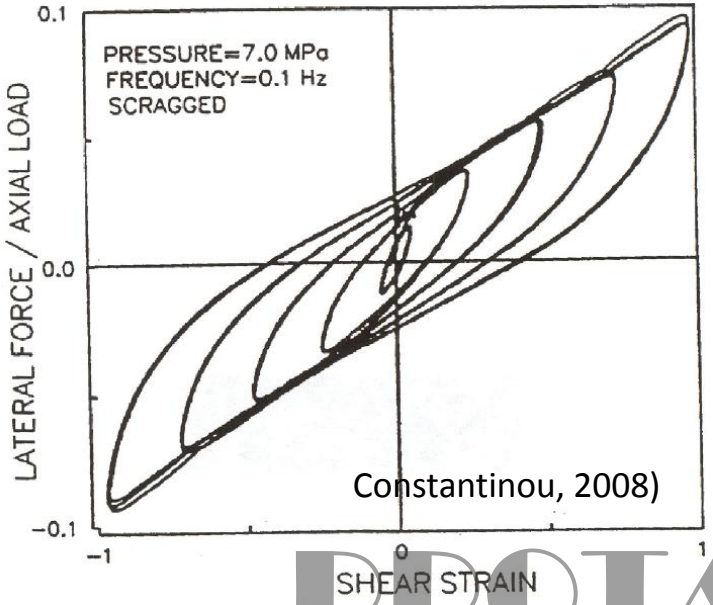
- Jacob Bechtold (Münih) 1906 yılında ABD patent ofisine yaptığı başvuruda bina altına yerleştirilmiş rijit bir taban plakasının sert kürelerin üzerinde kaydığı sistem önerdi
- Calantarines (Scarborough, İngiltere) ismindeki bir tıp doktoru 1909 yılında talk (bir nevi kaygan mineral) malzeme üzerine binanın temelini kaydırma fikri ile ilgili bir patent başvurusu yaptı.
- William Robinson 1974 yılında kurşun çekirdekli izolatörü icat etti (Yeni Zelanda)
- Victor Zayas 1985 yılında sürtünmeli sarkaç izolatörü icat etti (Kaliforniya, ABD)

PROTA

Düşük ve Yüksek Sönümlü Lastik İzolatör







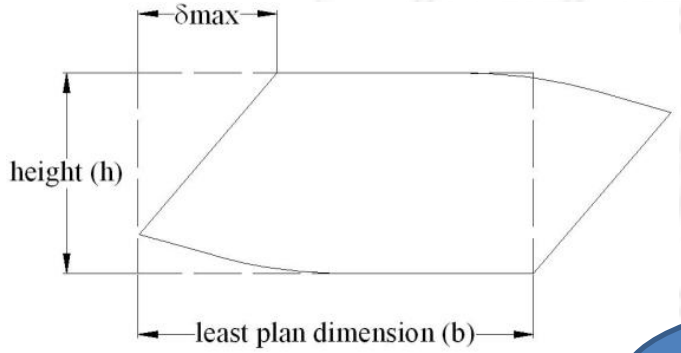
Düşük dönümlü lastik izolatör histeretik eğrisi

Yüksek dönümlü lastik izolatör histeretik eğrisi

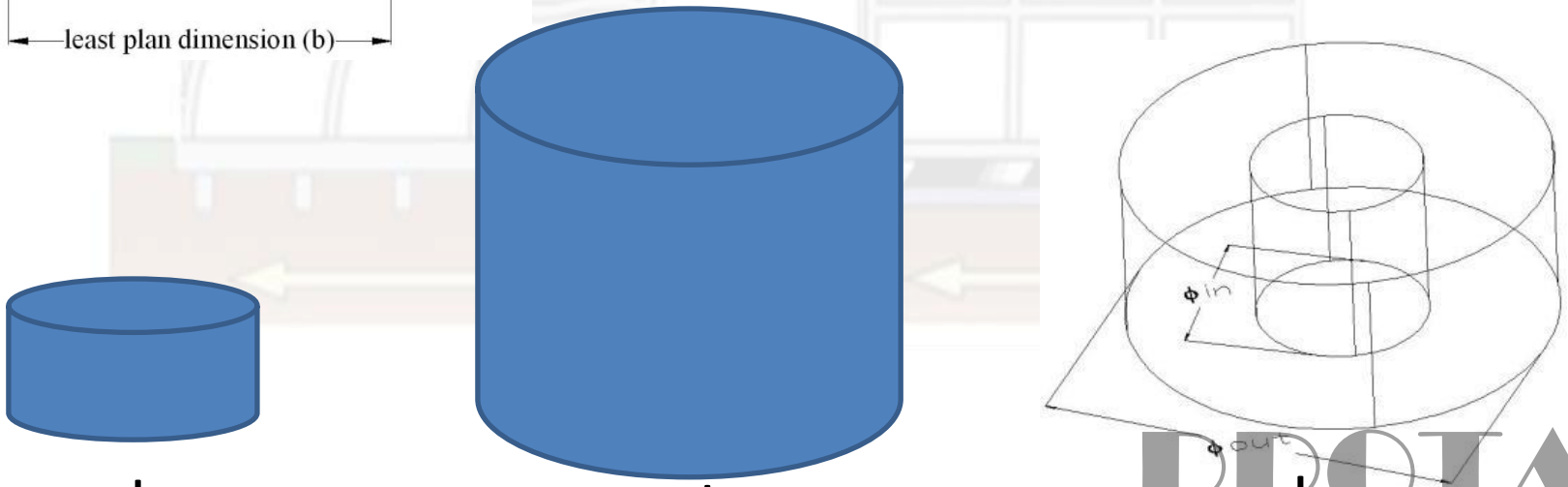
PROTA

Delikli Yüksek Sönümlü Lastik İzolatör

- İzolatörün ortasında bir delik açarak izolatörün alanı küçültülmüş ve bu sayede stabil ancak daha uzun periyotlu bir izolatör elde edilmiştir (Adnan ve diğ., 2011) (Malezya)



$$k = \frac{GA}{t_r}$$

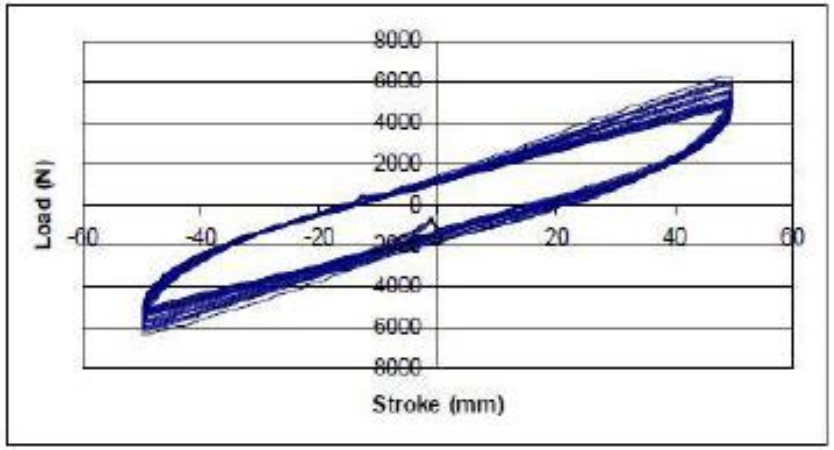


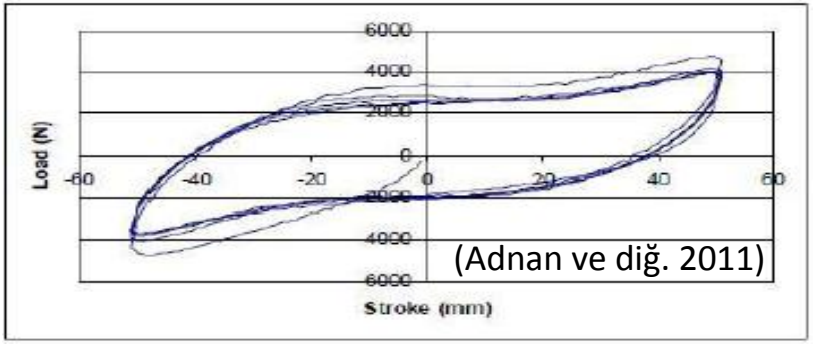
k_1 = k_2 > k_3

PROTA

Delikli Yüksek Sönümlü Lastik İzolatör

Hem normal hemde delikli izolatörler 25 kN düşey yük ve 150% birim kayma deformasyonu altında döngüsel deplasmanlar altında test edilmiştir



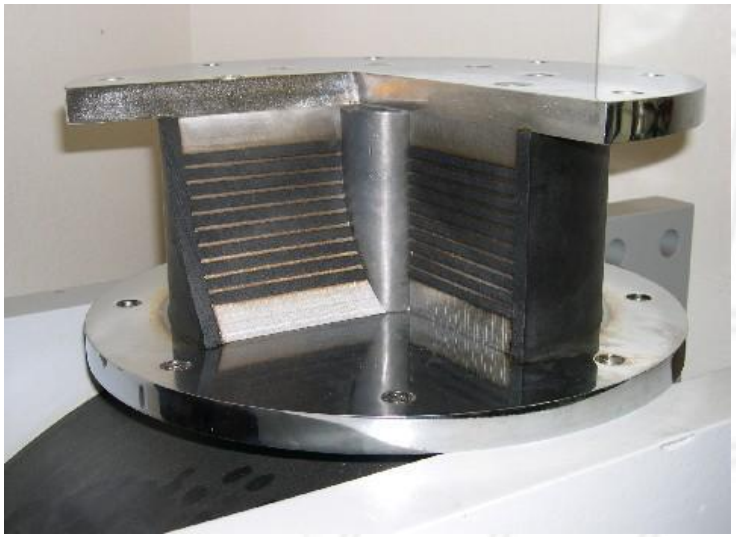


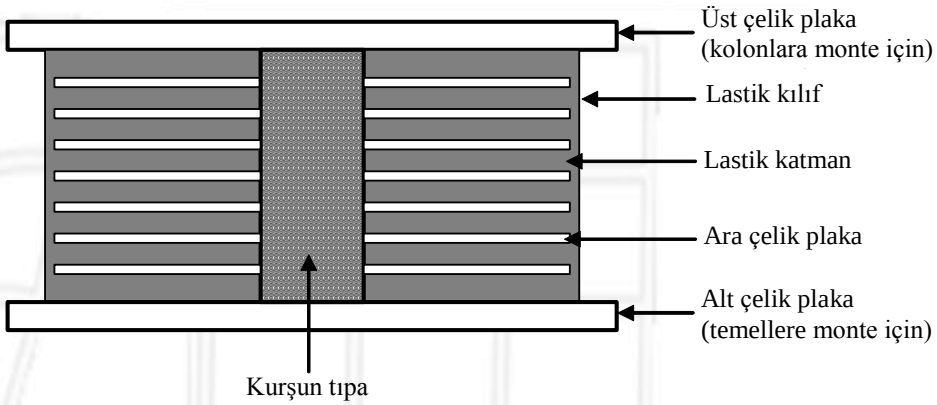
(Adnan ve diğ. 2011)

Normal yüksek sönümlü izolatör

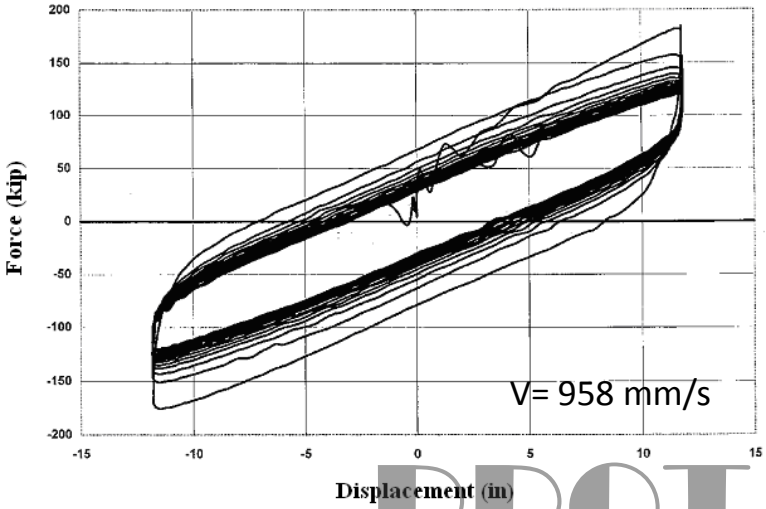
Delikli yüksek sönümlü izolatör

Kurşun Çekirdekli Lastik İzolatör



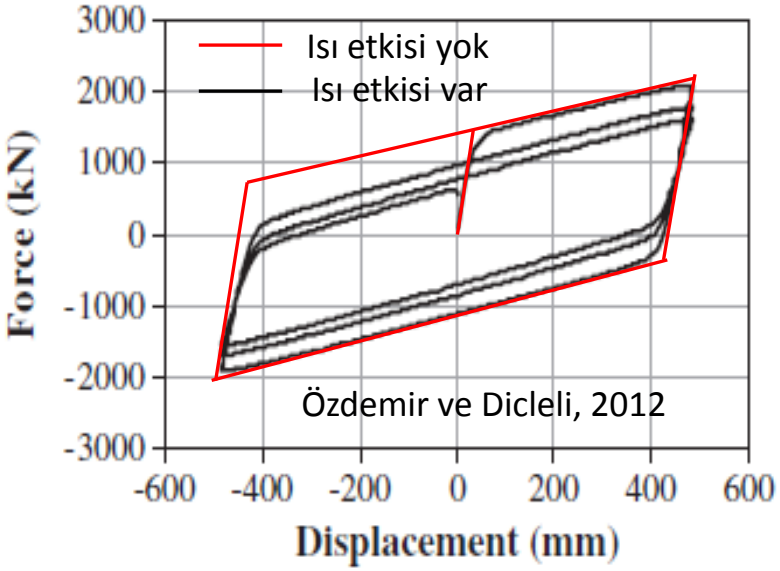


Prof. Constantinou, SUNY



Kalpakidis ve Constantinou, 2008

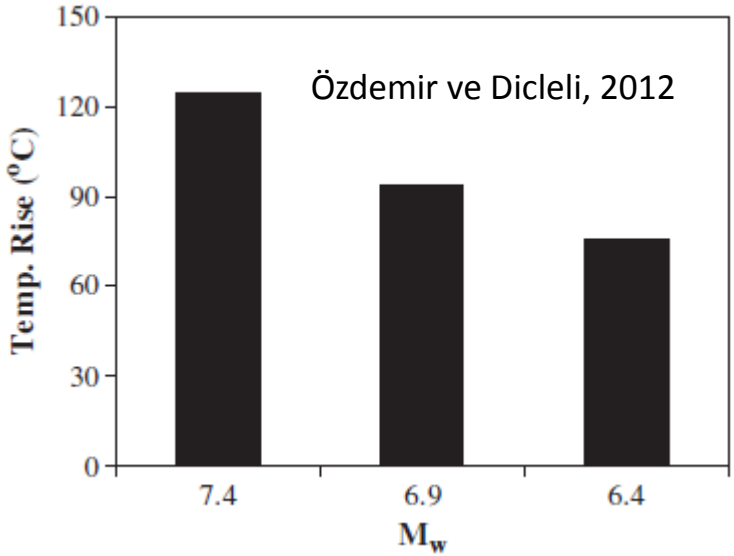
Kurşun Çekirdeğin Isınması

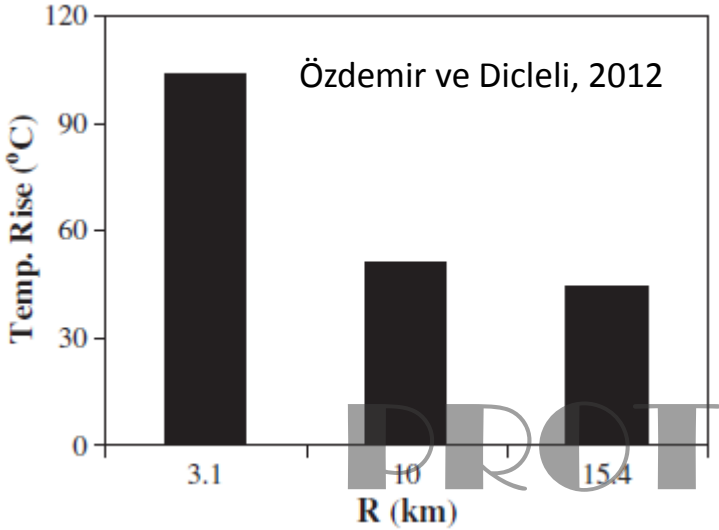


$$\dot{T}_L = \frac{\sigma_{YL}(T_L)\cdot|Z\cdot\dot{U}|}{\rho_L\cdot c_L\cdot h_L} - \frac{k_s\cdot T_L}{d\cdot\rho_L\cdot c_L\cdot h_L}\cdot\left(\frac{1}{F} + 1.274\cdot\left(\frac{t_s}{d}\right)\cdot(t^+)^{-1/3}\right)$$

$$\sigma_{YL}(T_L) = \sigma_{YL0}\cdot\exp(-E_2\cdot T_L)$$

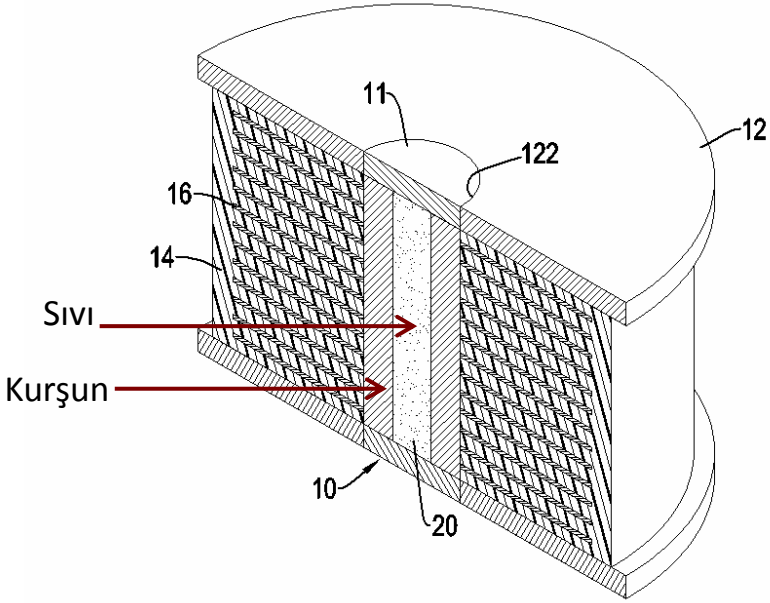
Kalpakidis ve diğ., 2009

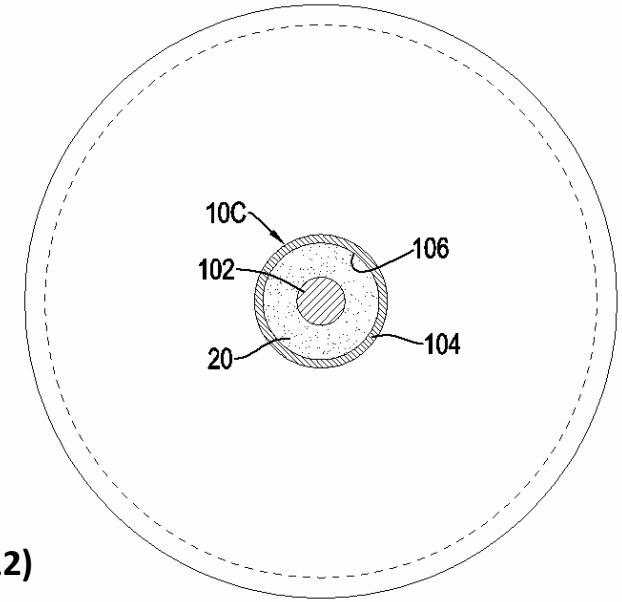




PROTA

Soğutmalı Kurşun Çekirdekli Lastik İzolatör



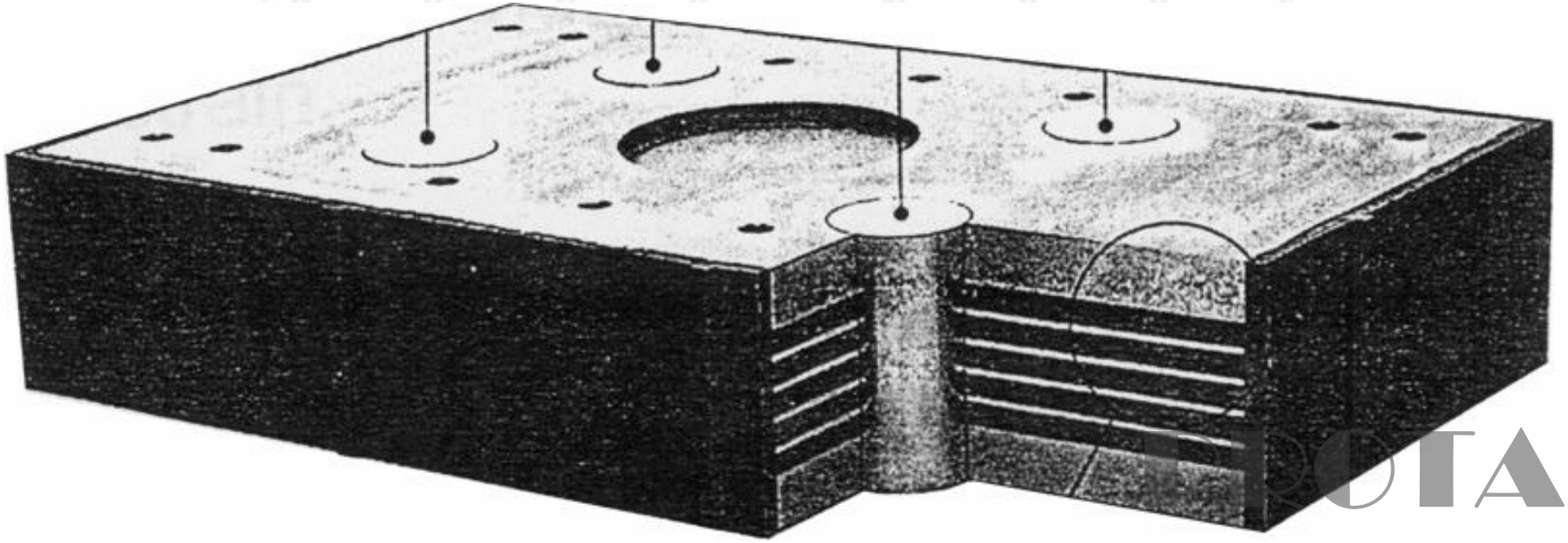


(Tsai, 2012)

- Kurşun'un özgül ısısı 0.0305 Kalori/gr - ^{o}C
- Suyun özgül ısısı 1 Kalori/gr - ^{o}C
- Suyun Poisson sabiti 0.5 (lastikte olduğu gibi sıkıştırılamaz)
- Su kullanılarak kurşun çekirdeğin ısısı düşük seviyede tutulabilir

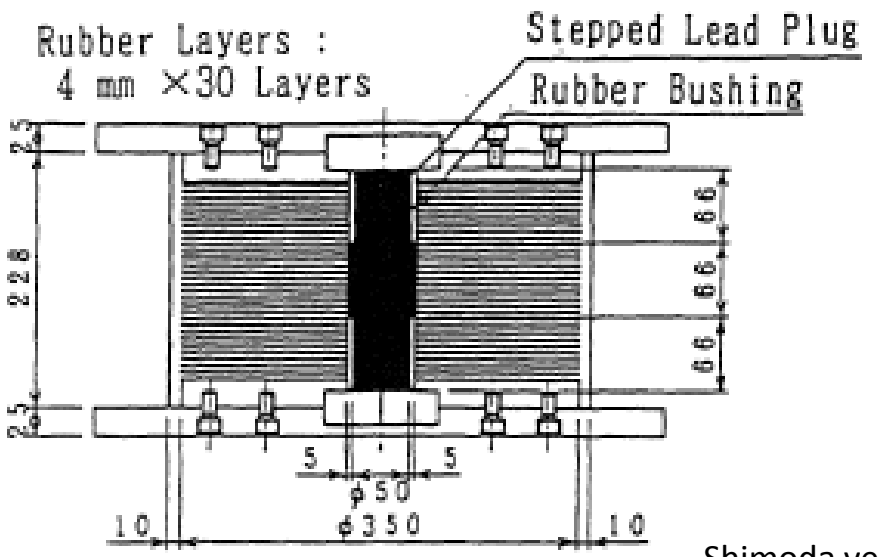
Çoklu Kurşun Çekirdekli Lastik İzolatör

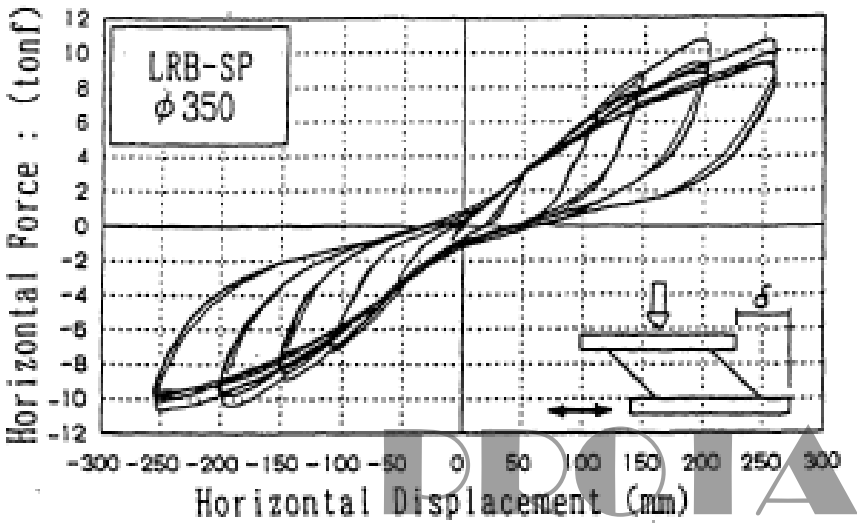
- Kurşun çekirdek içindeki ısı çap büyüdükçe çekirdek içerisinde hapsolmaktadır
- Küçük çapta birden fazla kurşun çekirdek kullanmak suretiyle ısı kısmen çelik plakalara transfer edilmekte ve çekirdekler daha az ısınmaktadır



Kademeli Kurşun Çekirdekli Lastik İzolatör

- Kurşun çekirdek belirli kısımlarda küçültülmek suretiyle sargılama etkisi yok edilmiş, bu sayede eğilmeye zorlanarak küçük depremlerde izolatör periyodunun arttırılması sağlanmıştır. Büyük deprelerde ise kesme etkisi altında deforme olan sargılanmış kısım daha rijit bir sistem yaratarak deplasmanların azaltılması hedeflenmiştir





Shimoda ve diğ, Japonya

Lastik İzolatör + Enerji Emici

Diğer Lastik Esaslı İzolatörler

- Kurşun çekirdek yerine kalay çekirdek kullanılan izolatör (Japonya)
- Kurşun çekirdek yerine granuler malzeme kullanılan izolatör
- Lamine çelik plakalar yerine karbon elyaf kullanılan izolatör
- Lastik yerine, sönümlemeyi arttırmak için demir tuzu – lastik compozit malzeme kullanılan izolatör (Japonya)

PROTA

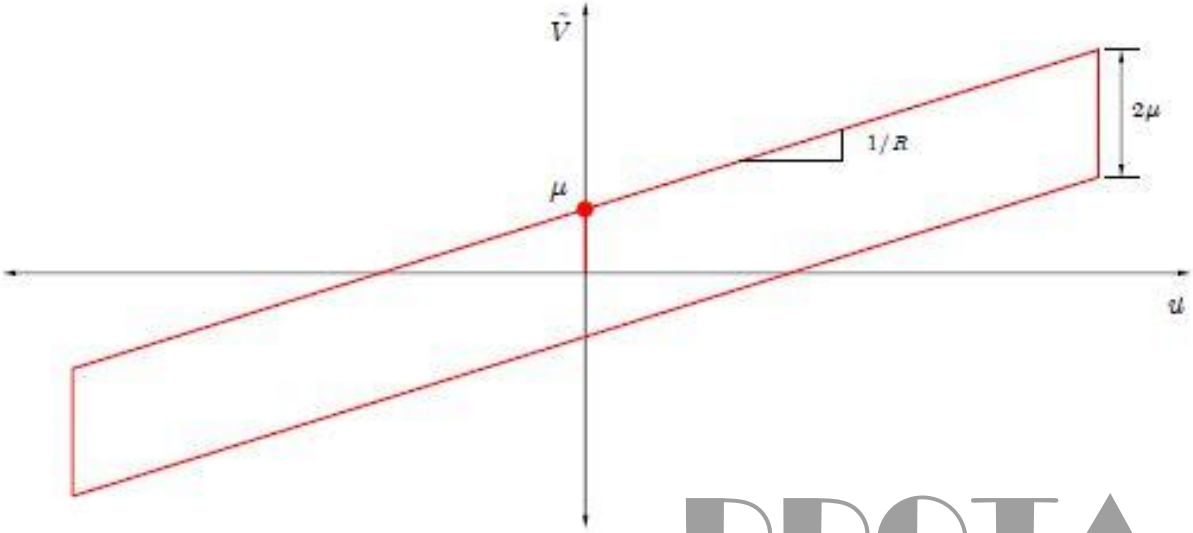
Tek Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolatörler

$$F = \frac{W}{R} \cdot D + \mu \cdot W \cdot \mathrm{sgn}(\dot{D})$$

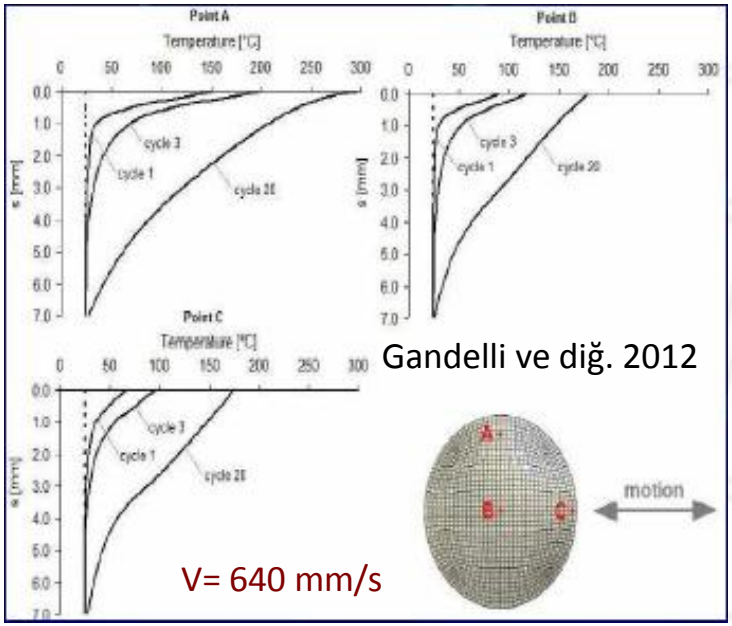
$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g \cdot K_{eff}}}$$

$$K_{eff} = \frac{W}{R} + \frac{\mu \cdot W}{D}$$

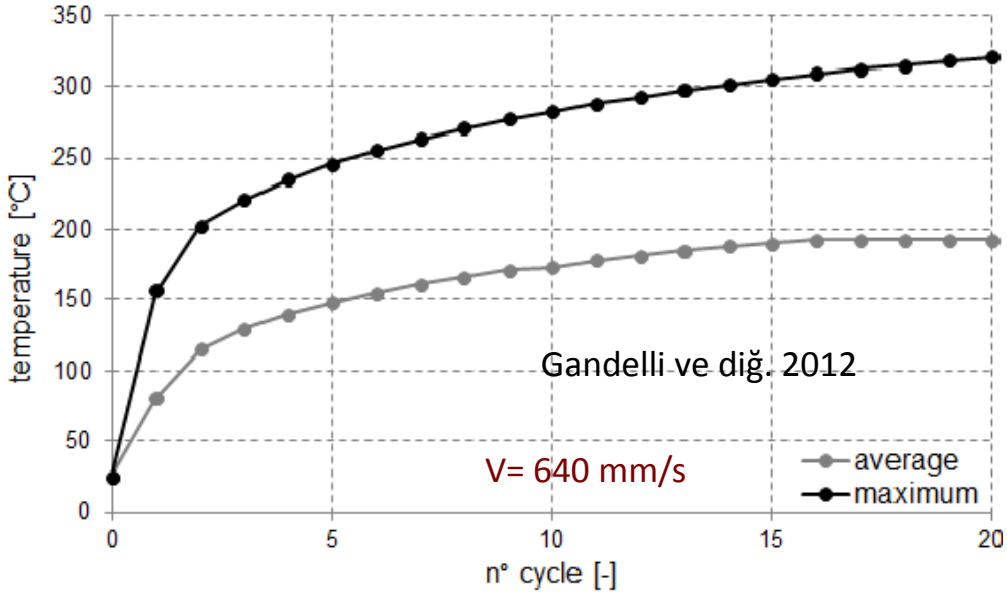
$$\beta_{eff} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\mu}{D/R + \mu}$$



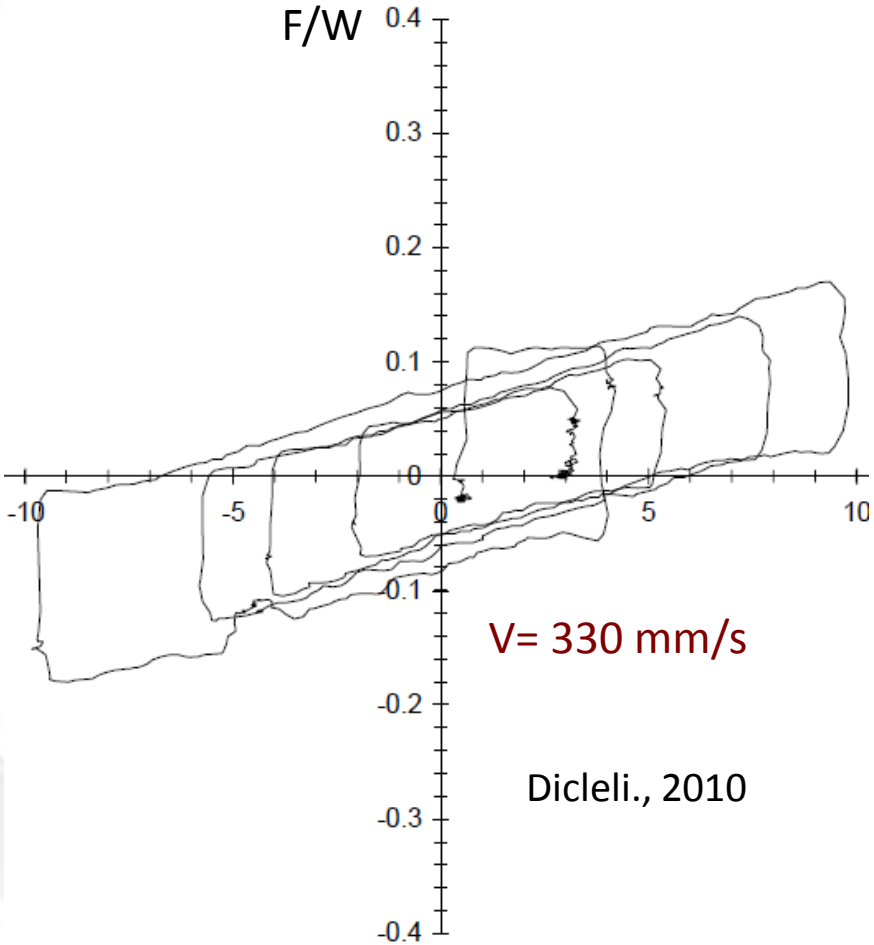
Sürtünmeli Sarkaç İzolatörlerde Isınma



Gandelli ve diğ. 2012



Gandelli ve diğ. 2012

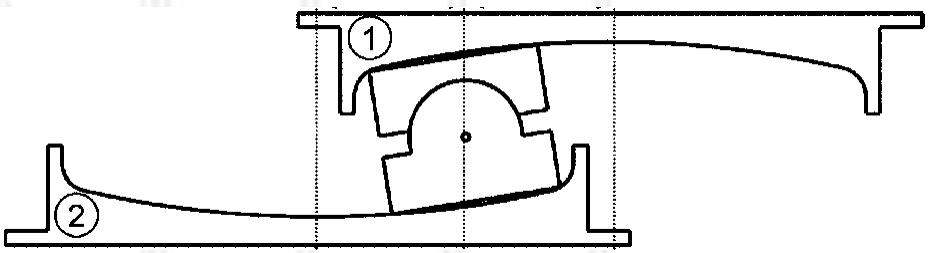


Dicleli., 2010

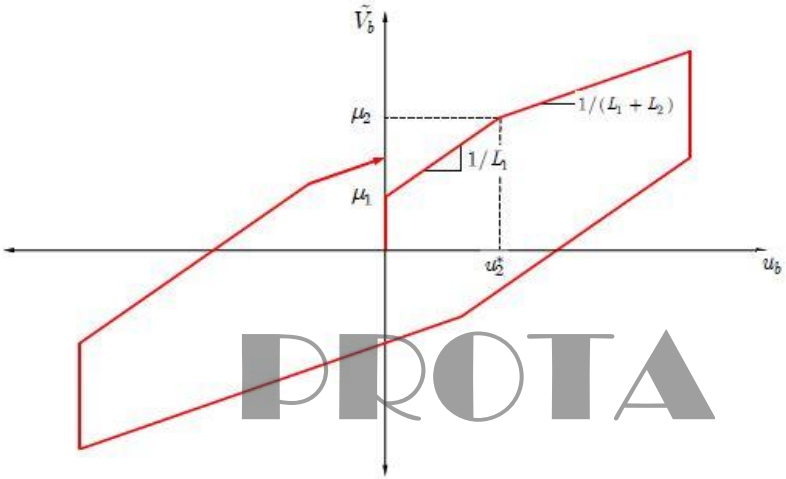
Yatay Deplasman (inch)

Çift Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolatörler

- Deplasman kapasitesi iki katı artarken ısınma problemi %50 azalmakta

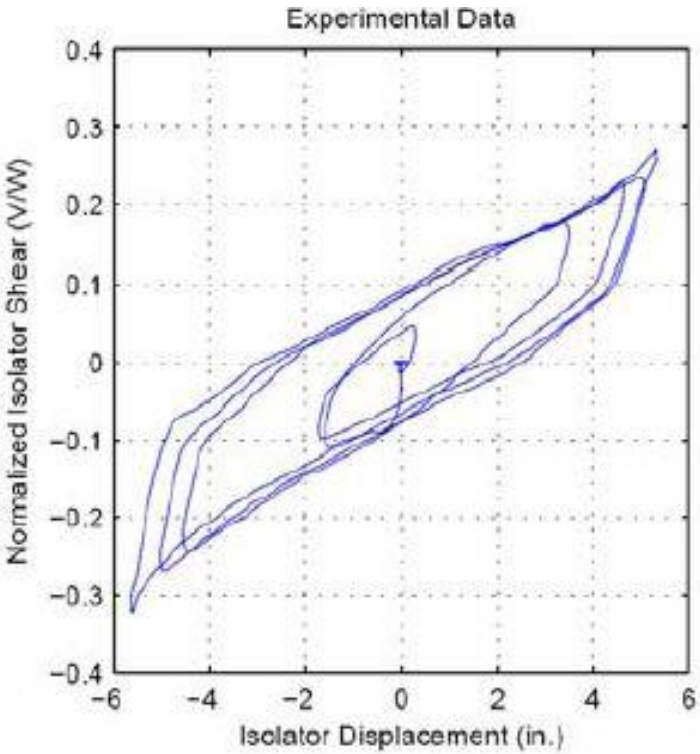


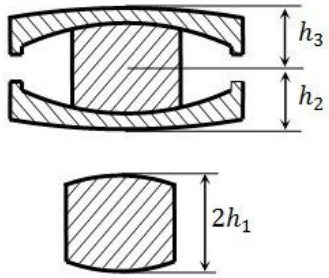
$$F_f = \frac{W}{R_1 + R_2 - h_1 - h_2} D + \frac{\mu_1 (R_1 - h_1) W + \mu_2 (R_2 - h_2) W}{R_1 + R_2 - h_1 - h_2}$$

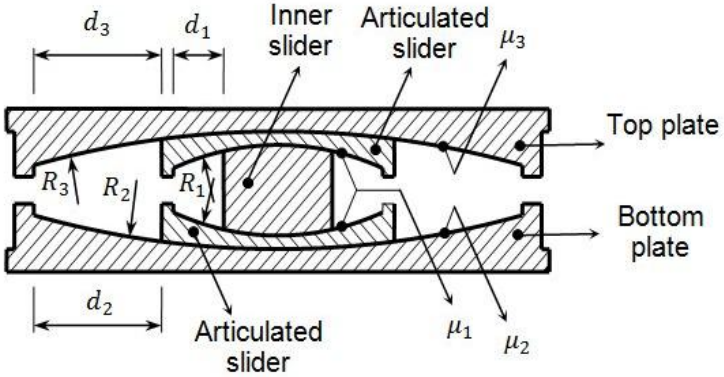


PROTA

Üç Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolatörler

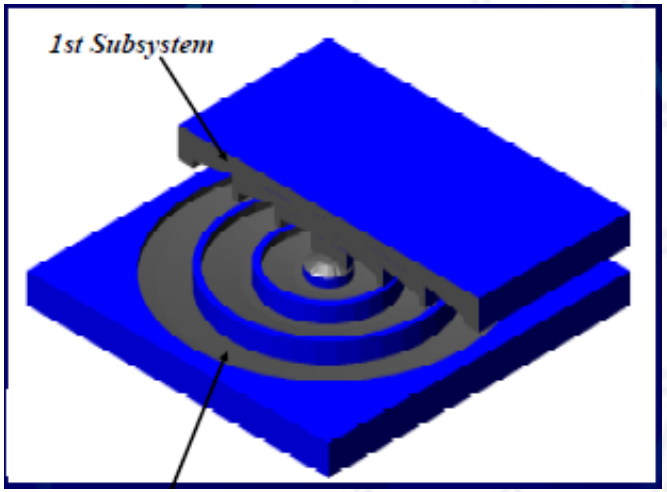




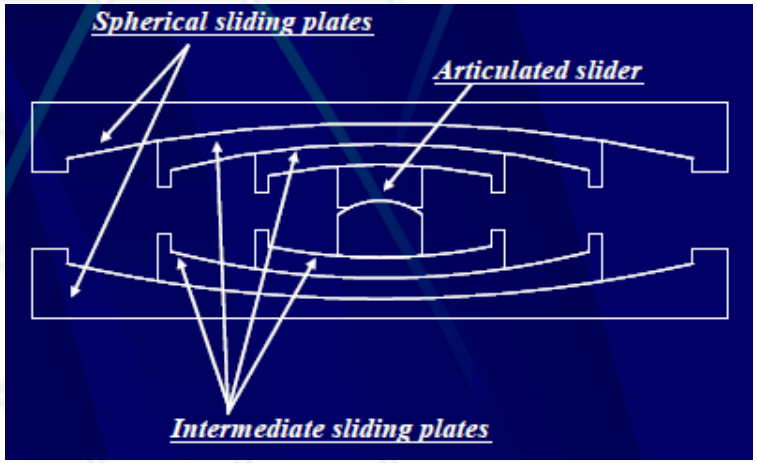


Çoklu Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolatörler

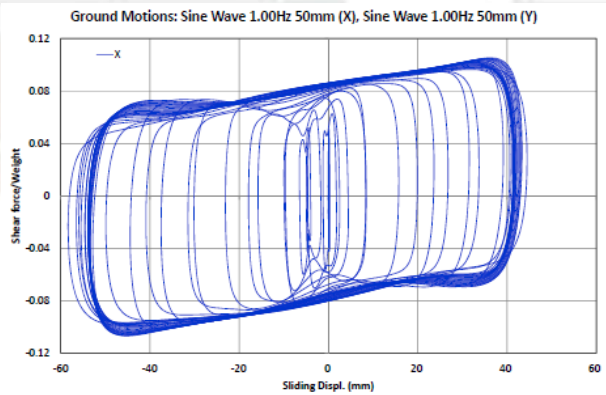
- Deplasman kapasitesi artarken küçük boyutlara sahip izolatör elde etme amaçlı bir tasarım



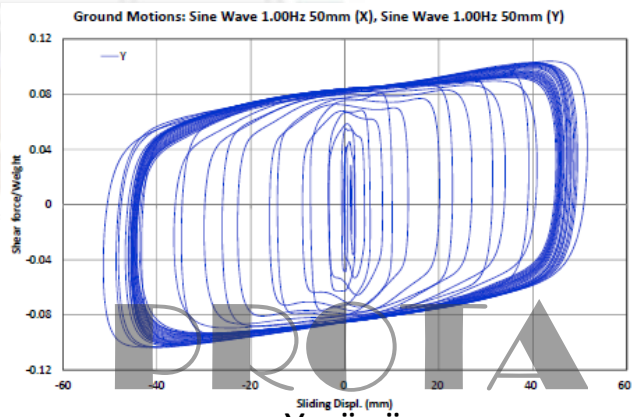
Tsai, 2009



Dört yüzeyli izolatör için çift yönlü test sonuçları (1 Hz'lik Sinüs dalgası ve 50 mm Deplasman)



X-yönü



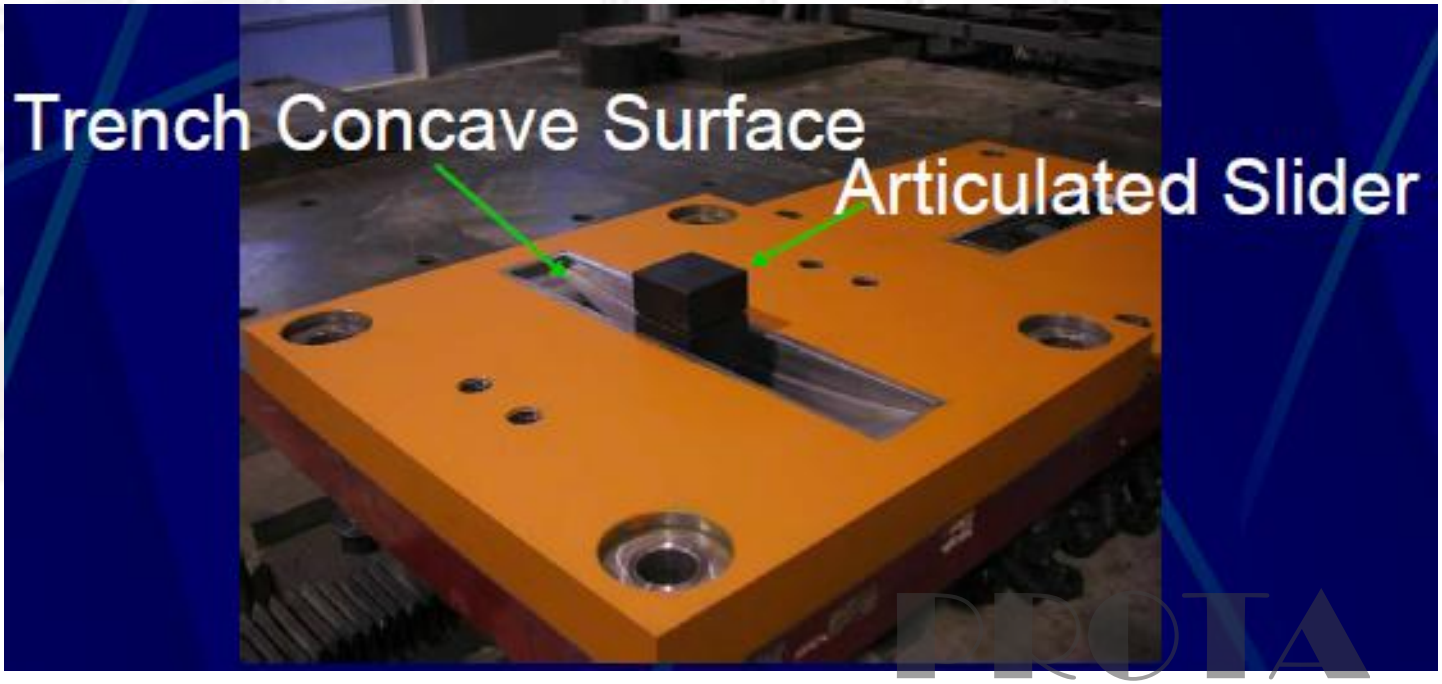
Y-yönü

Çift Oluklu Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolatörler

- Dik iki yönde oluklu konkav yüzeyler ve tek kayıcıdan oluşan sürtünmeli sarkaç izolatör
- iki ayrı dik yönlerde farklı yapı davranışı elde edilmekte ve ısı etkisi iki ayrı yöne dağıtılmakta

$$T_x = 2\pi\sqrt{\frac{R_x}{g}}$$

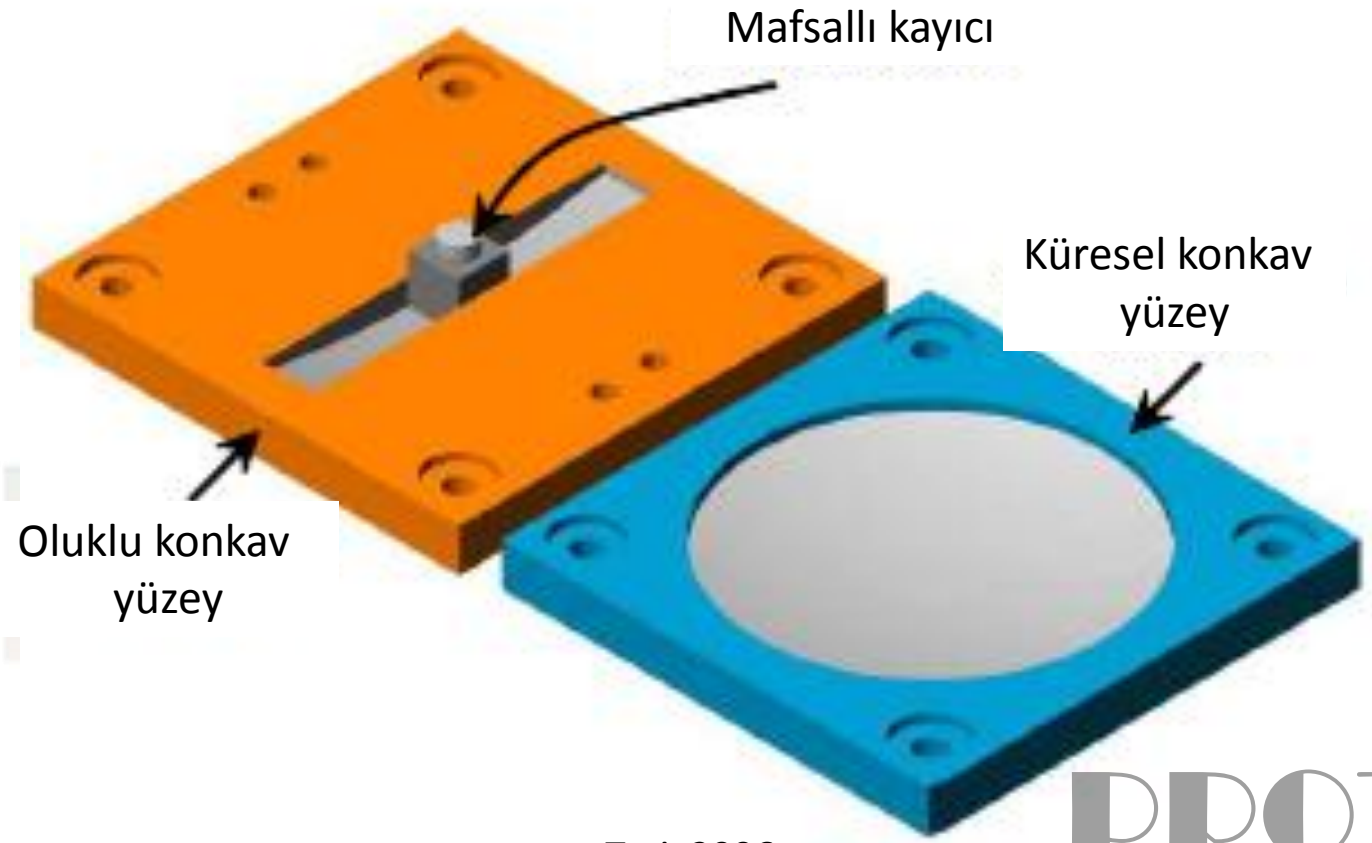
$$T_y = 2\pi\sqrt{\frac{R_y}{g}}$$



Tsai, 2004

Tek Oluklu Çift Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolatörler

- Tek yönde daha fazla deplasman kapasitesi sağlayan sürtünmeli sarkaç izolatör

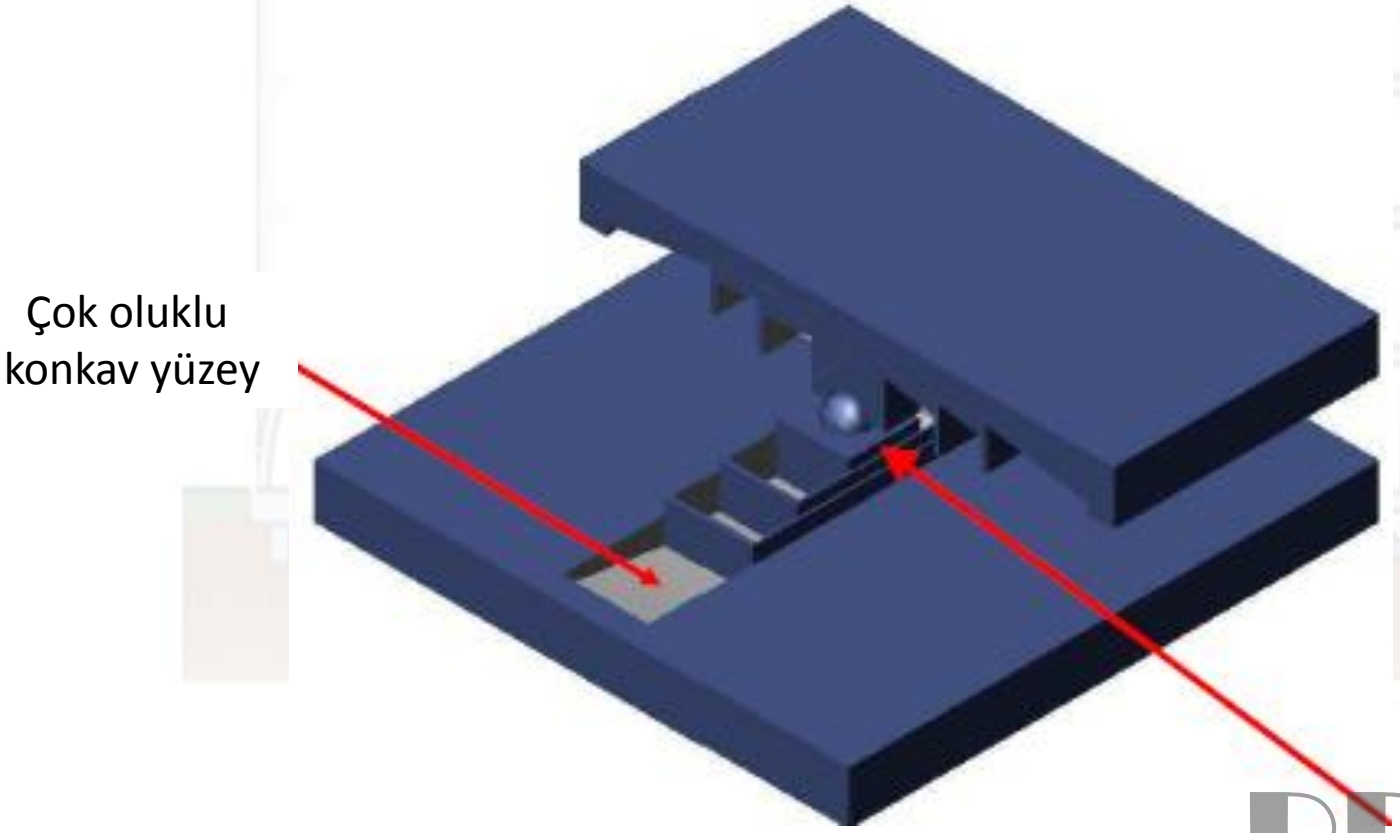


Tsai, 2006

PROTA

Çoklu Oluklu Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolatörler

- Dik iki yönde çoklu oluklu yüzeyler ve tek kayıcıdan oluşan sürtünmeli sarkaç izolatör

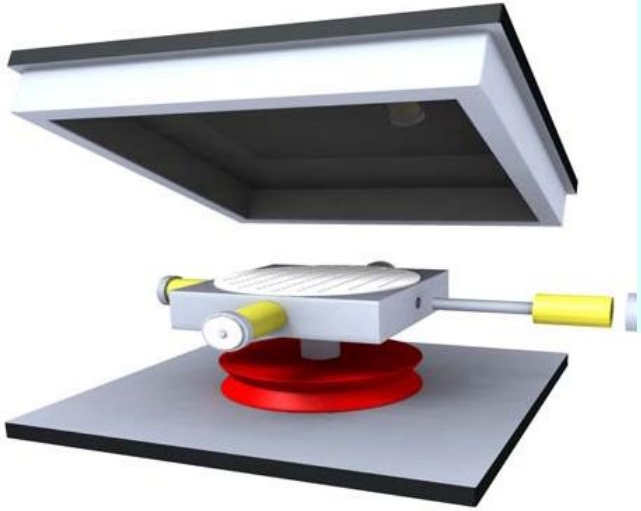


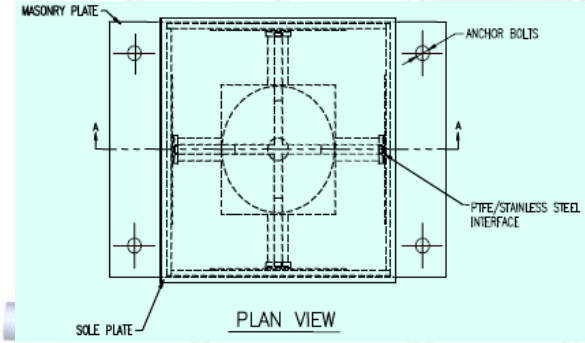
Tsai, 2007

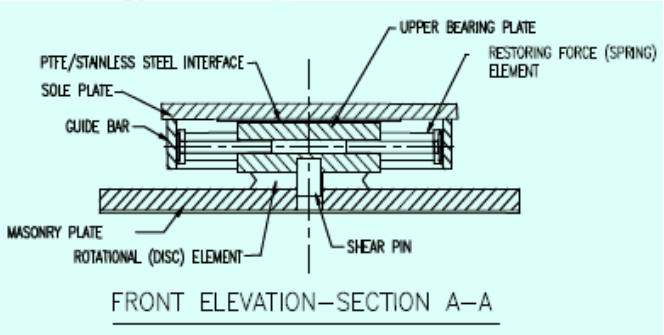
PROTA

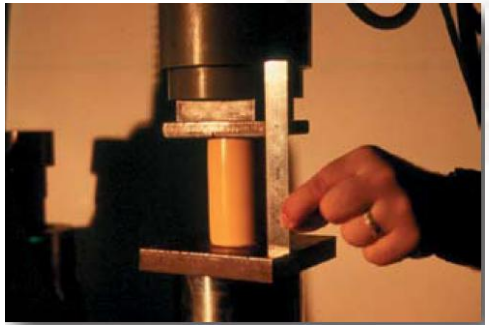
Eradiquake İzolatör

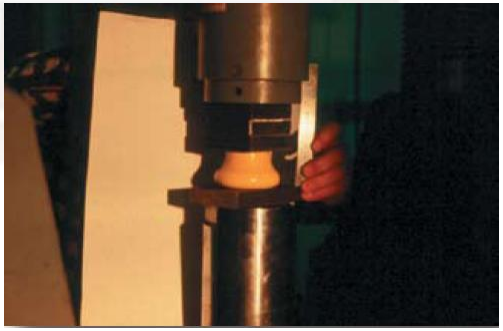
- Düz kayıcı yüzeyli ve poliüretan disklerle merkezleme etkili izolatör tipi

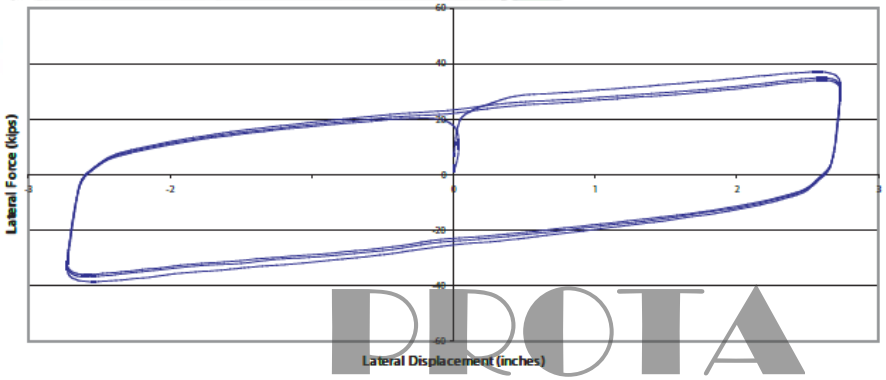






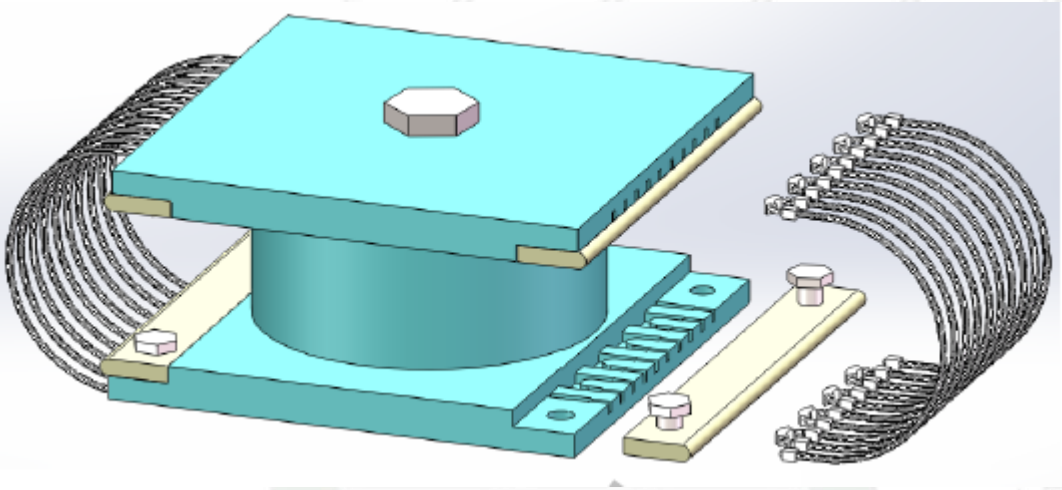


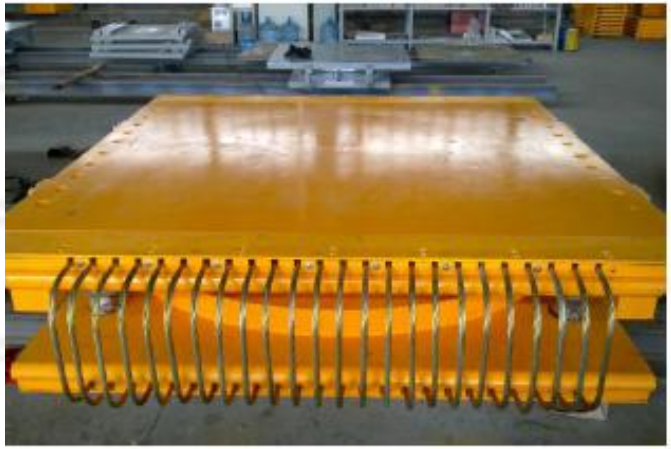




Kendini Merkezleyen Düz Kayıcı Sistemli İzolatör

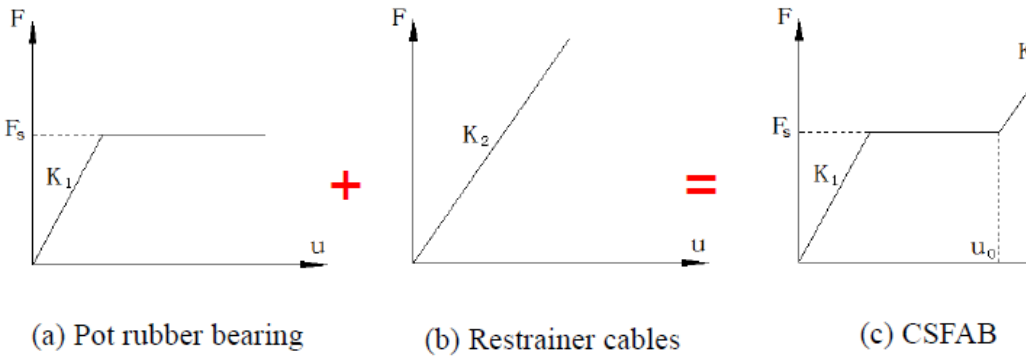
- Pot mesnet, kesme kaması ve tutucu kablolardan oluşan izolatör (Yuan, 2010)



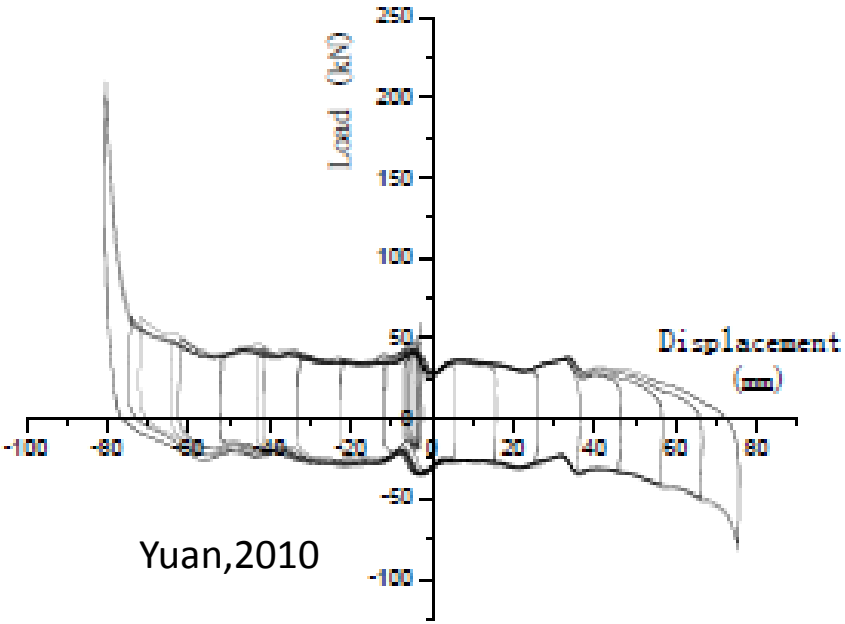


- Servis yükleri altında sabit mesnet gibi davranmakta, deprem, etkisi altında ise kesme kaması kırılarak mesnet hareket etmektedir

Kendini Merkezleyen Düz Kayıcı Sistemli İzolatör



(a) Pot rubber bearing (b) Restrainer cables (c) CSFAB

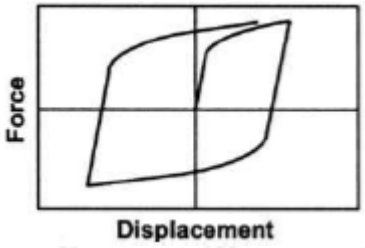


Yuan,2010

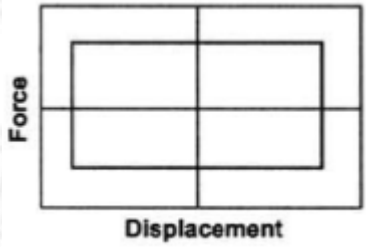
Hangzhou Jiubau Köprüsüne uygulanmıştır

Pasif Damper (Enerji Emici) Teknolojisi

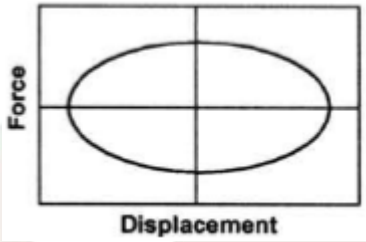
- Metal Damperler



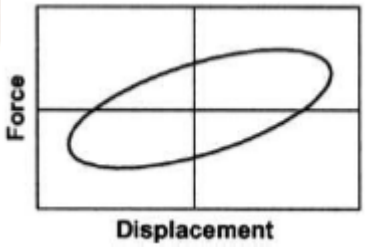
- Sürtünmeli Damperler



- Viskoz Damperler

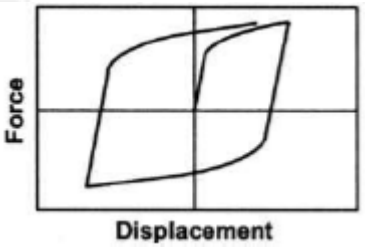


- Viskoelastik Damperler



Metal Damperler

- Avantajlar:

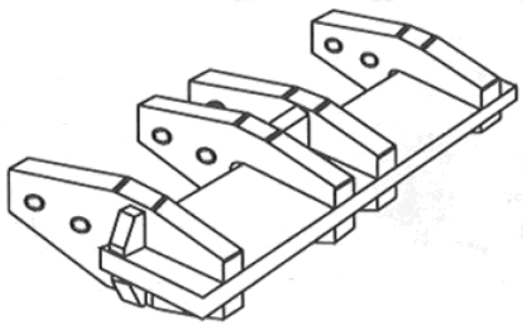


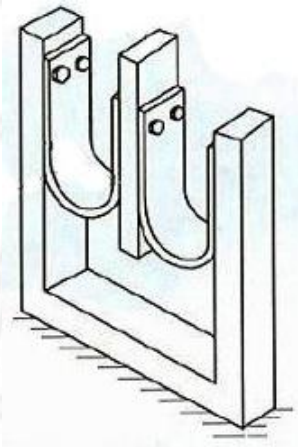
1- Kararlı histeretik davranış
2- Uzun vadeli güvenilirlik
3- Çevresel ısı değişimine karşı duyarsız
4- Malzeme, tasarım mühendisileri tarafından iyi bilinmekte

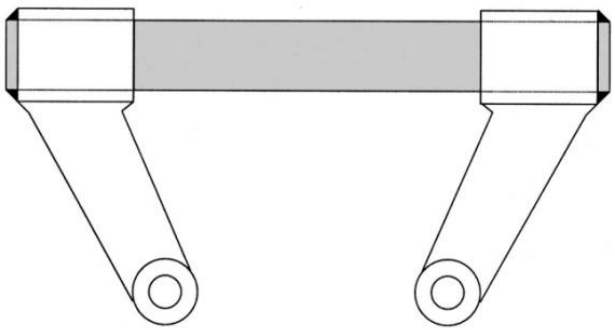
- Dezavantajlar:

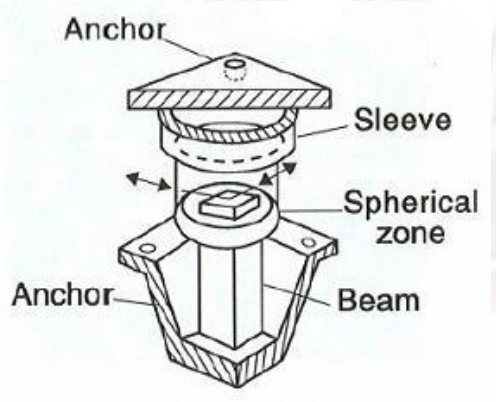
1- Damperin enerji emici elemanları genelde depremde hasar görür
2- Damperin doğrusal olmayan kuvvet-deplasman davranışı doğrusal olmayan analizler gerektirir

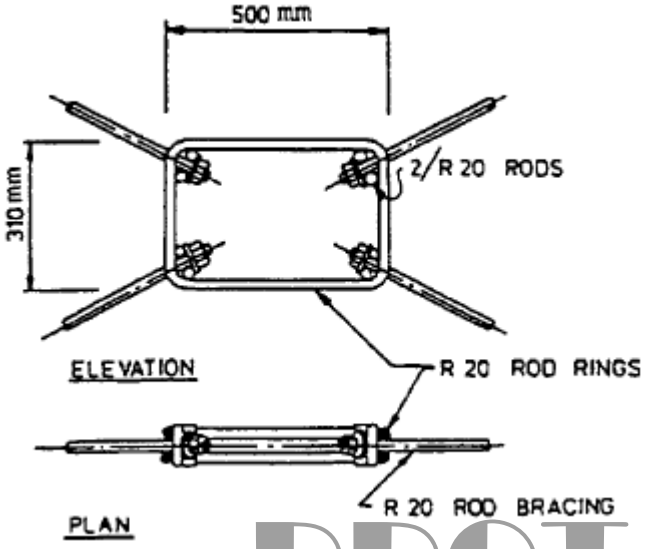
İlk Metal Damperler





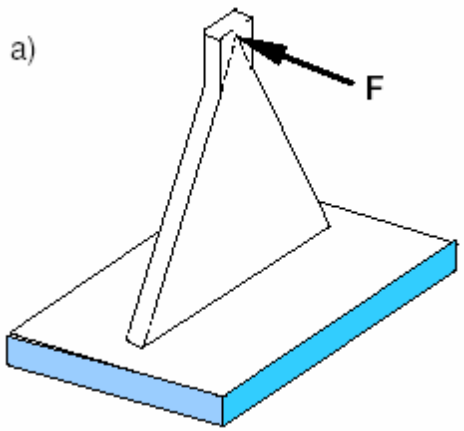


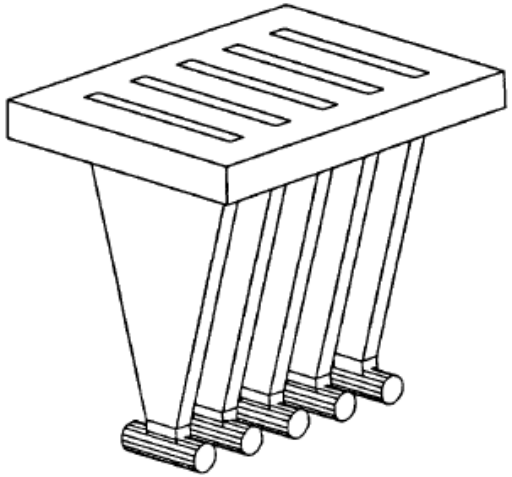


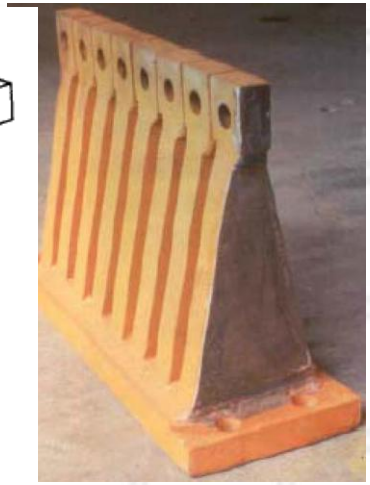


PROTA

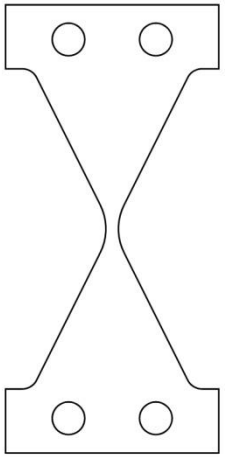
ADAS ve TADAS



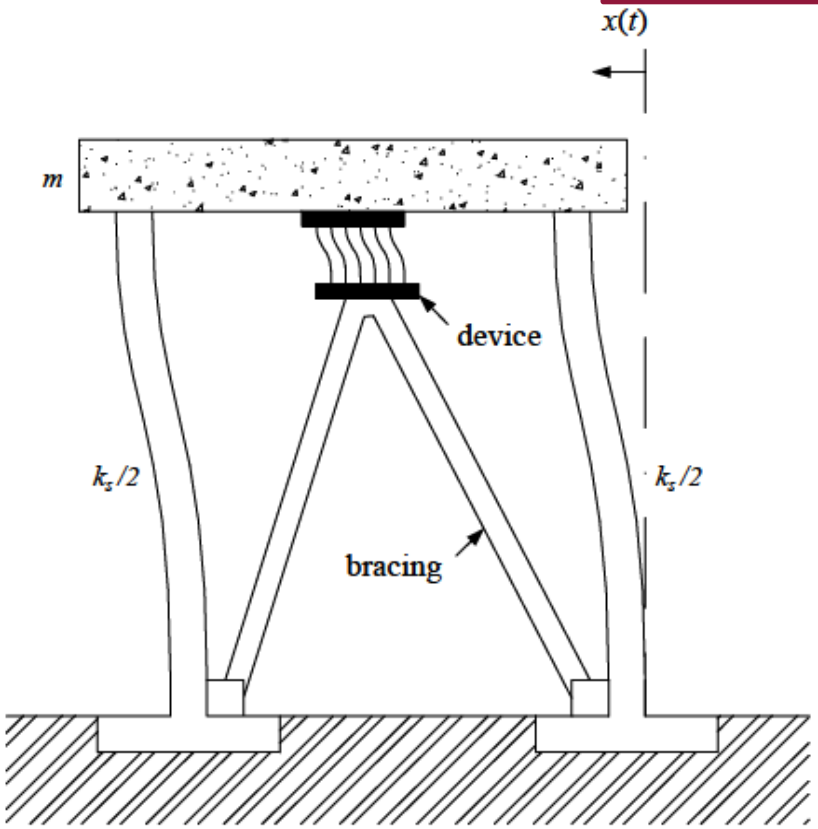


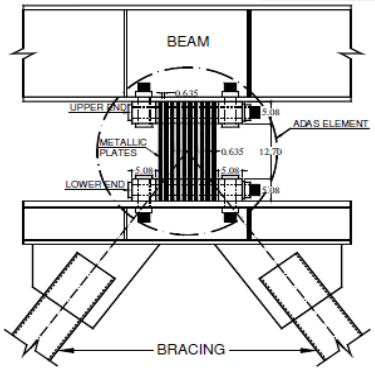


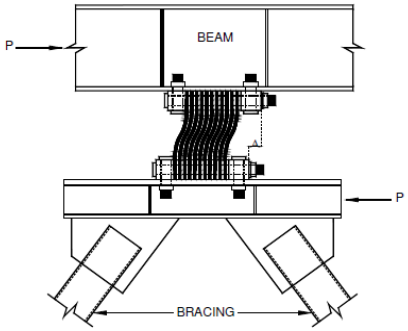
$$P = \left(\frac{NEw_0 h^3}{6L^3} \right) \Delta$$



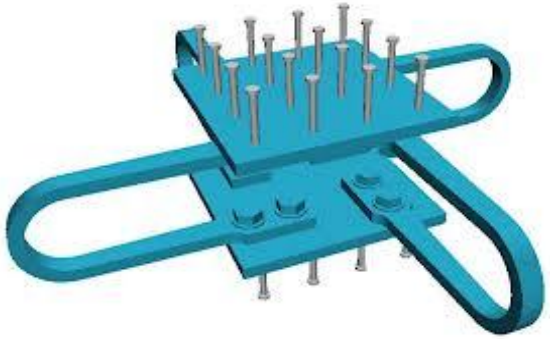
ADAS ve TADAS







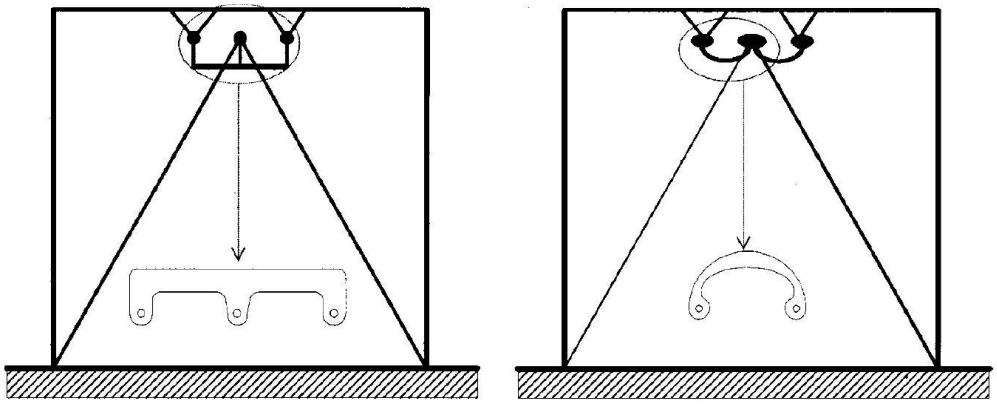
U, E ve C Şekilli Çelik Damperler



U-Damper

Ishinomaki İlkyardım Hastanesi (Japonya)

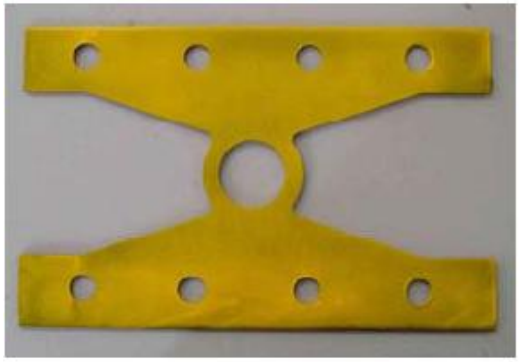
U-Damper

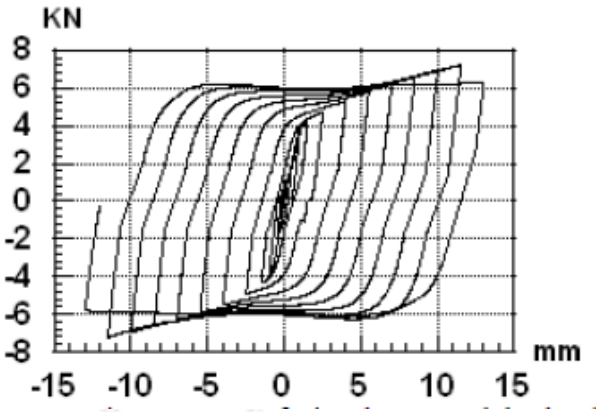


(Ciampi ve diğ. 1993)

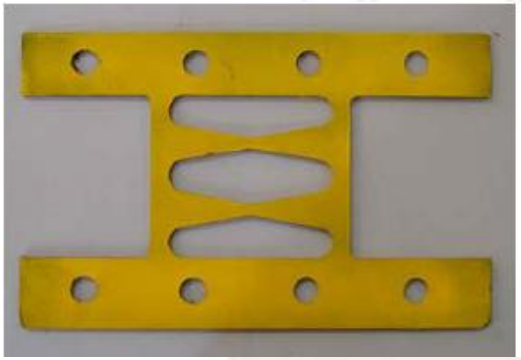
E-Damper **C-Damper**

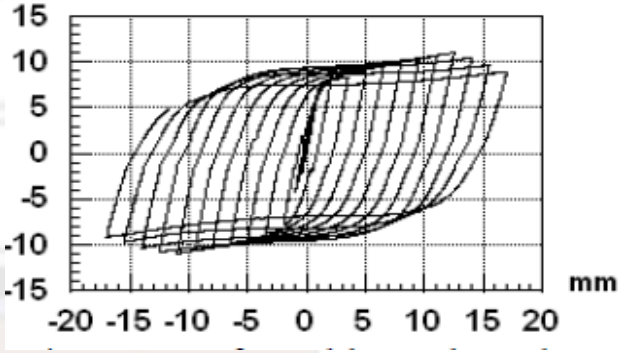
Yuvarlak Delikli ve Çift-X Çelik Damperler





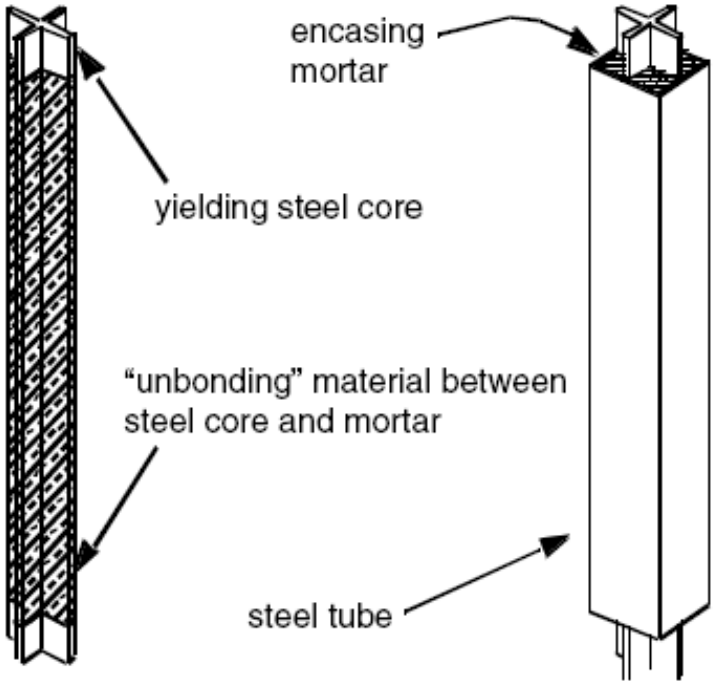
Li H. N. and Li G. (2007)





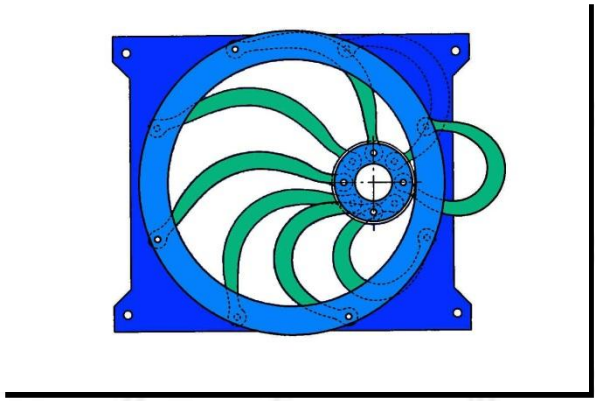
Dalian Teknoloji Üniversitesi, betonarme binaya uygulaması, (Çin)

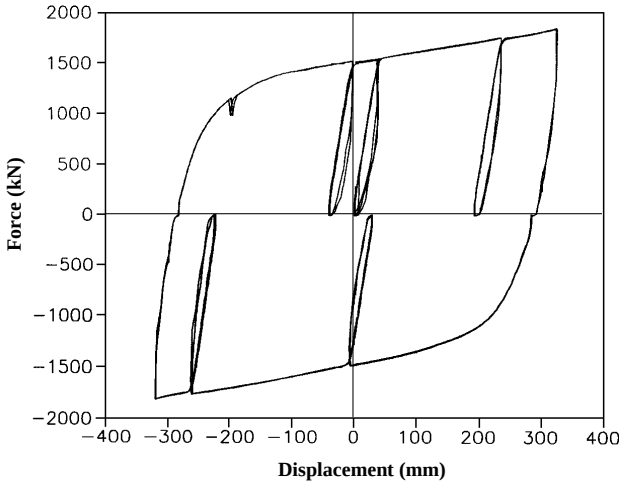
Burkulmayan Çelik Çaprazlar



Santa Clara Hastanesi, California, ABD

Çok Yönlü Eğilmeli Çelik Damperler

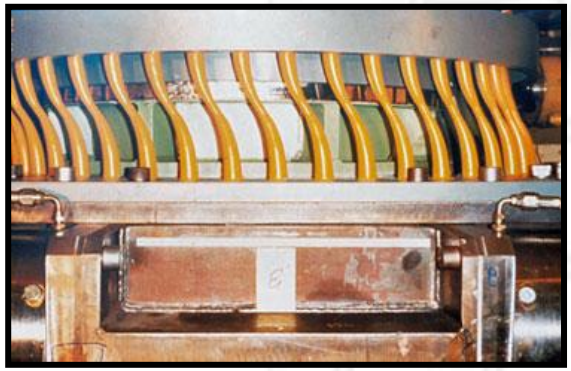


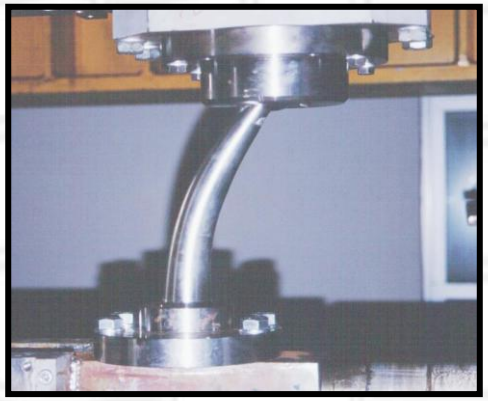


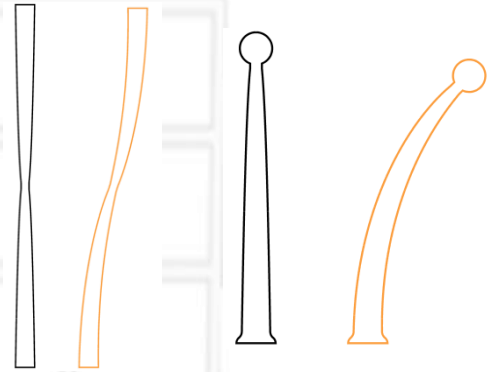
Hilal Şekilli Damper, Marioni, 1995

Bolu Viadüğü

Çok Yönlü Eğilmeli Çelik Damperler





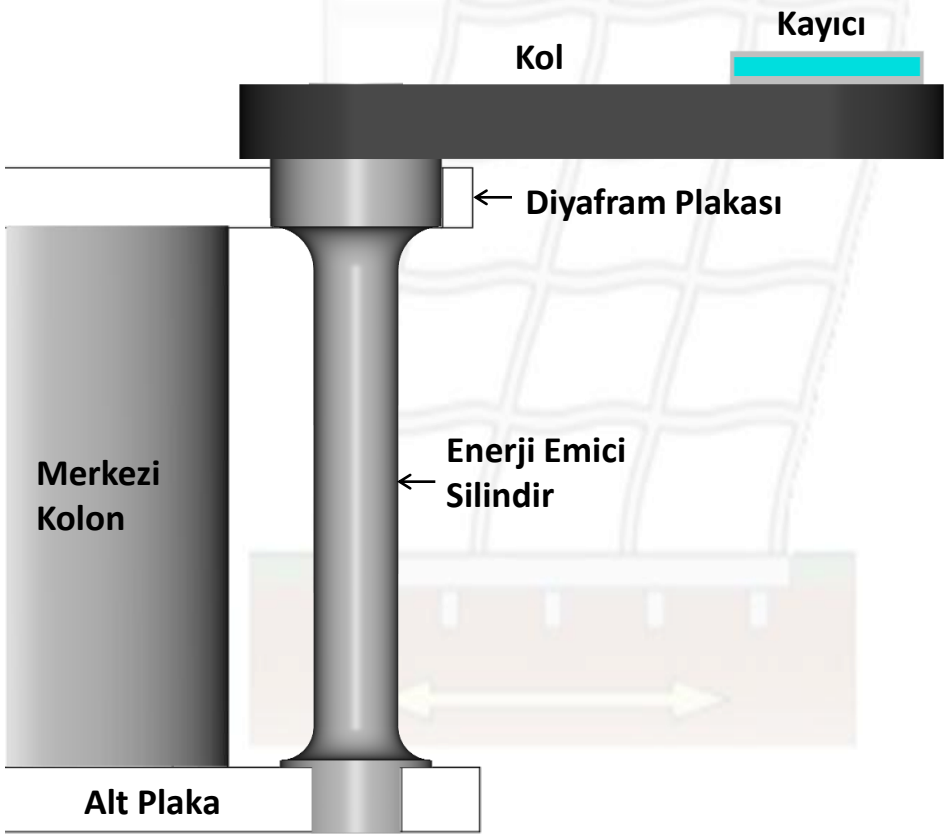


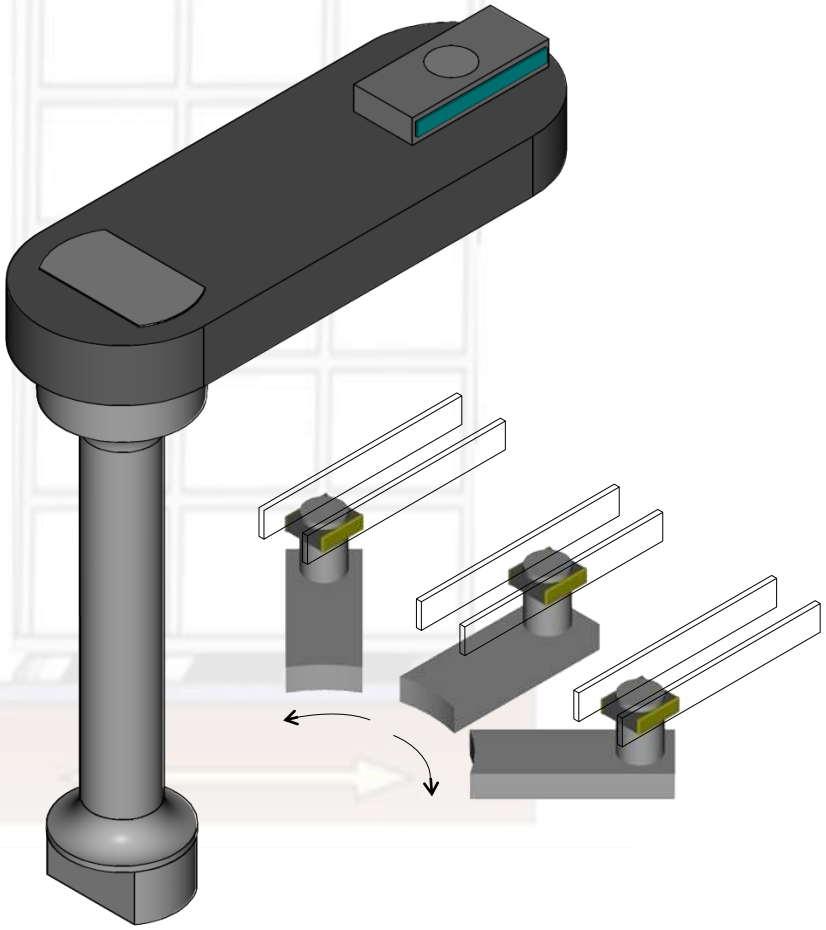
Konik elemanlı damper

Marguam köprüsü,, ABD

PROTA

Çok Yönlü Burulmalı Histeretik Damper



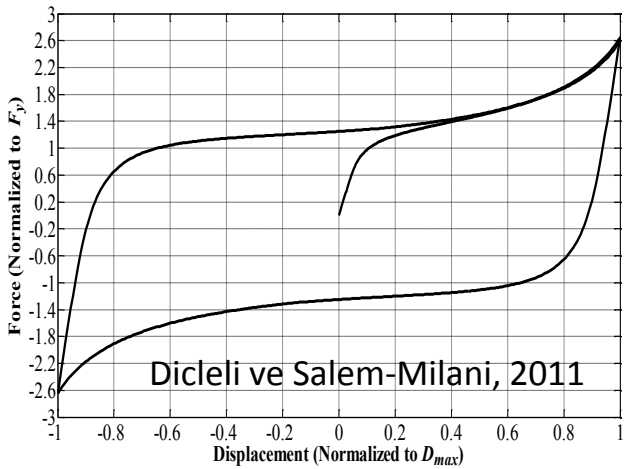


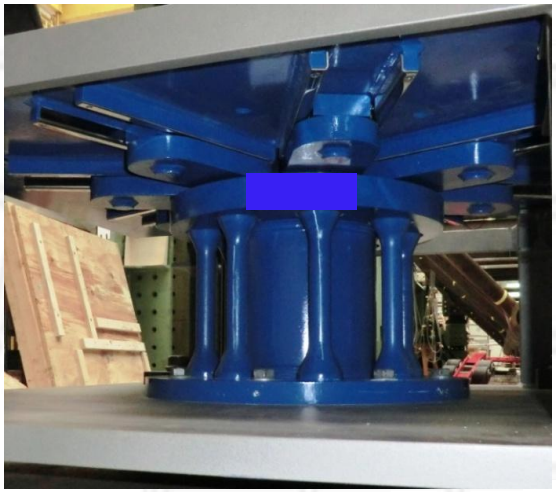
Dicleli ve Salem-Milani, 2011

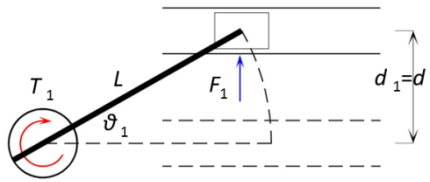
Çok Yönlü Burulmalı Histeretik Damper

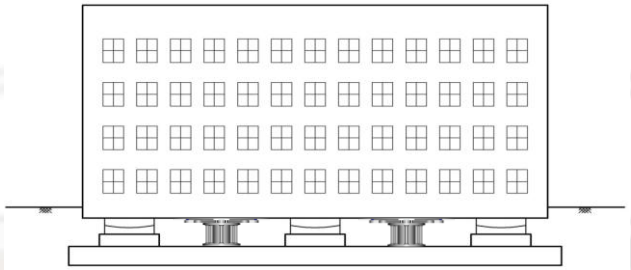
Dicleli ve Salem-Milani, 2011

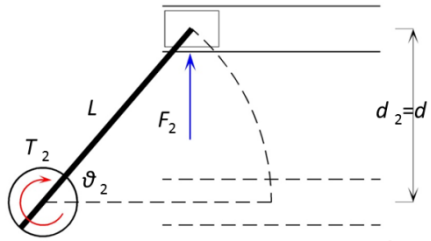
Çok Yönlü Burulmalı Histeretik Damper



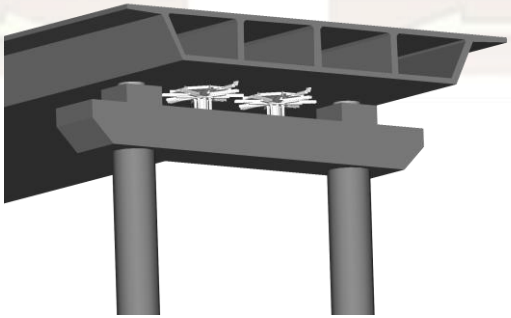


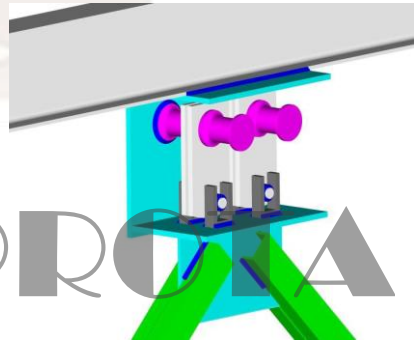




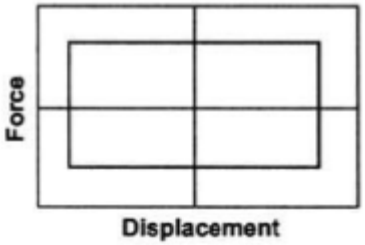


$$T = F.L.\cos\theta$$





Sürtünmeli Damperler



- Avantajlar:

  1- Yüksek enerji sönümleme kapasitesi

  2- Çevresel ısı değişimine karşı daha az duyarlı olması

- Dezavantajlar:

  1- Kayma yüzeyinin özellikleri zamanla değişim gösterebilir

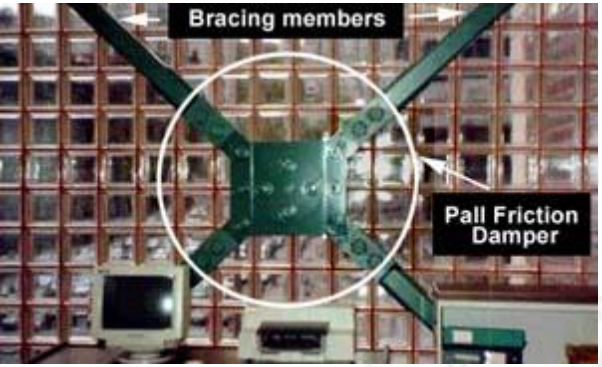
  2- Damperdeki ani kayma binalarda yüksek frekanslı modların devreye girmesine ve titreşime sebebiyet verebilir.

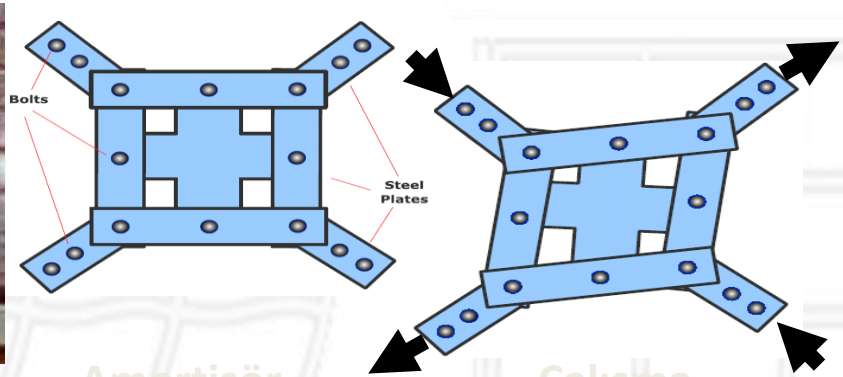
  3- Damperin doğrusal olmayan kuvvet-deplasman davranışı doğrusal olmayan analizler gerektirir

  4- Merkezleme etkisi olmadığından binada kalıcı deplasmanlara neden olabilir.

Sürtünmeli Damperler

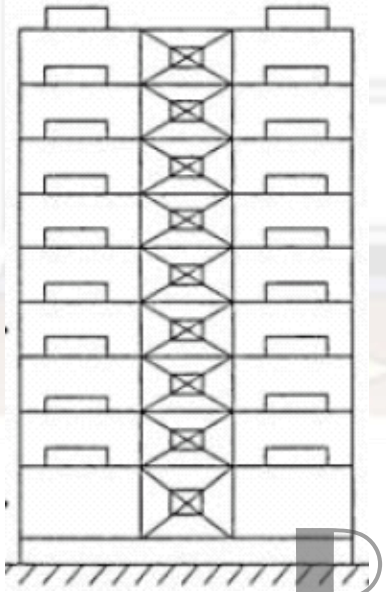
Pall Sürtünmeli Damper



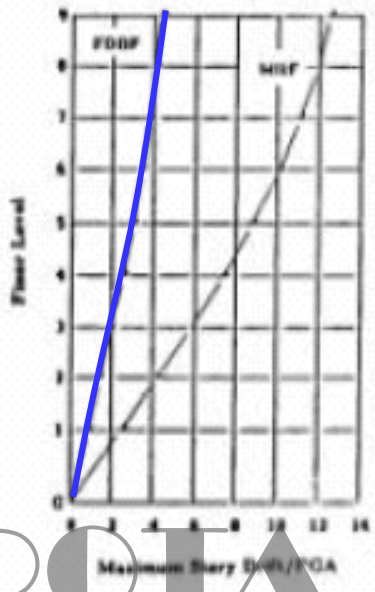


(Boeing fabrikası, WA, ABD, 1998)

(¼ ölçekli model)



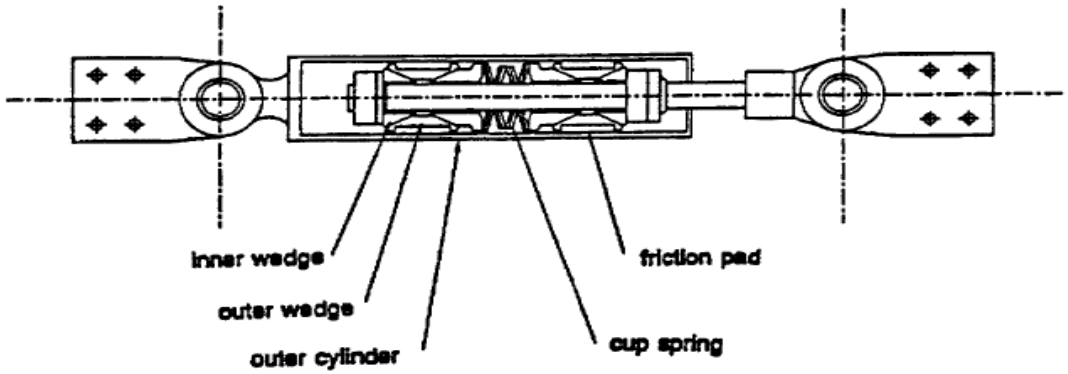
(¼ ölçekli model)

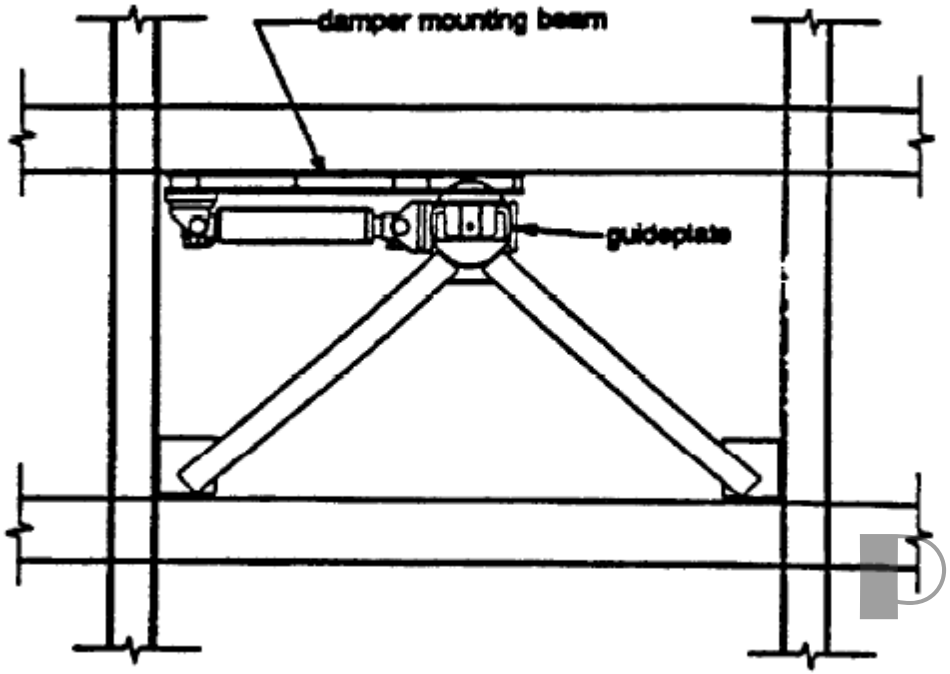


(Aiken ve Diğ., 1988)

Sürtünmeli Damperler

Sumitomo Sürtünmeli Damper





PROTA

Sürtünmeli Damperler

Patent: US2012/0138402 AI, 7 Haziran 2012

[Fig. 6]

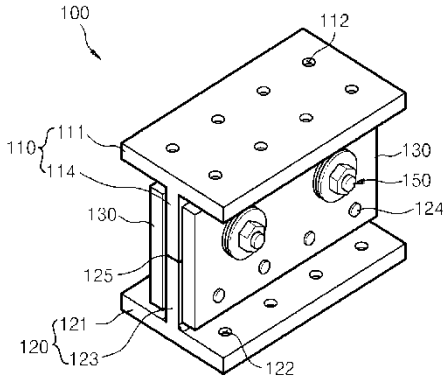


Fig. 3

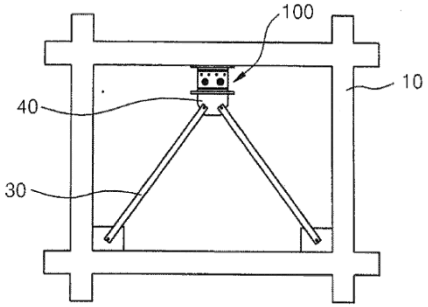


Fig. 4

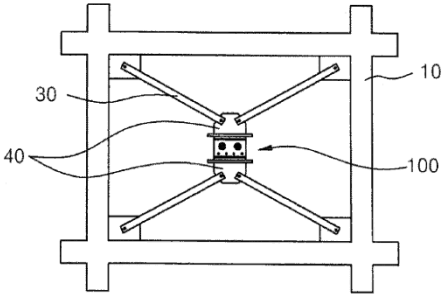
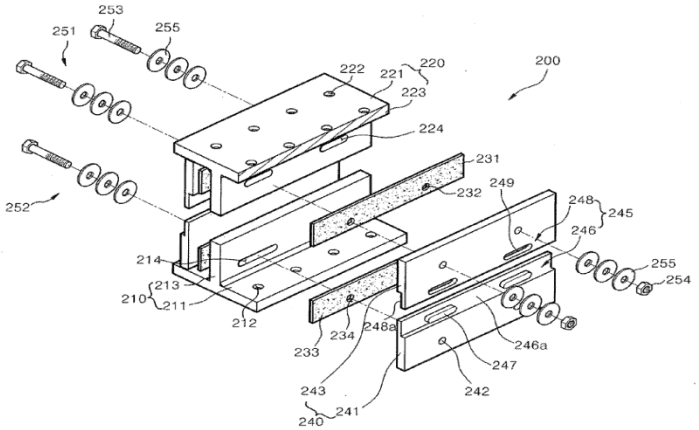
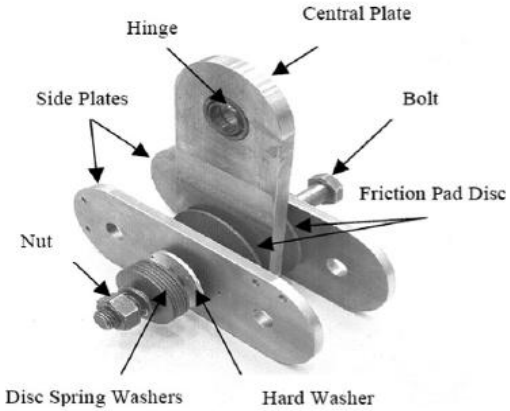
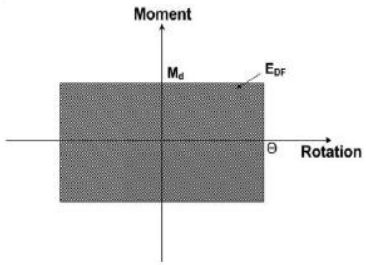


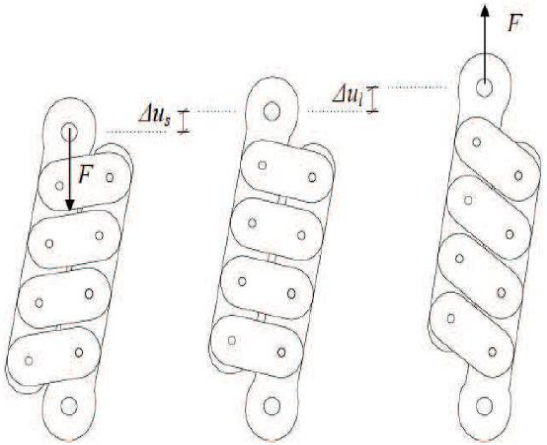
Fig. 10

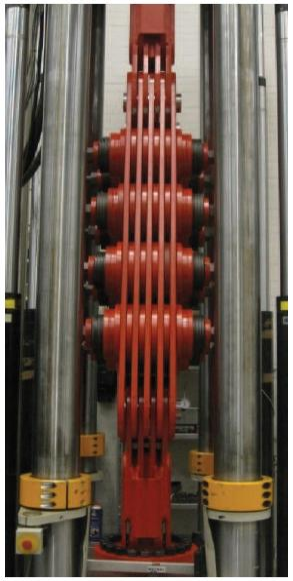


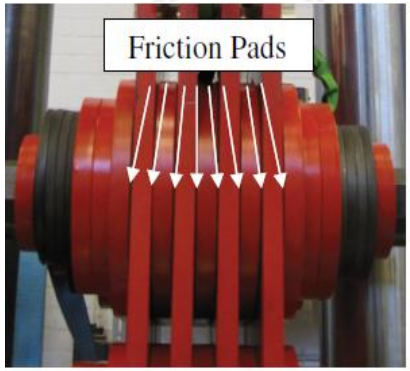
Dönmeli Sürtünmeli Damperler

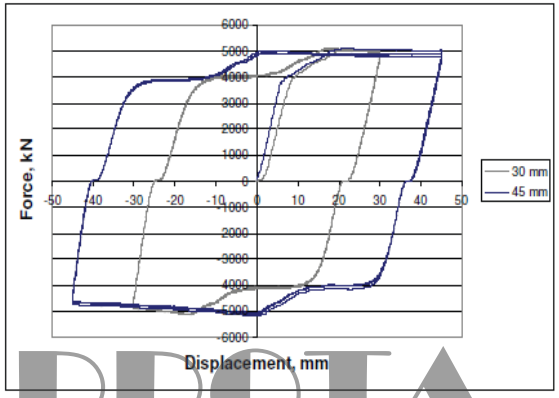




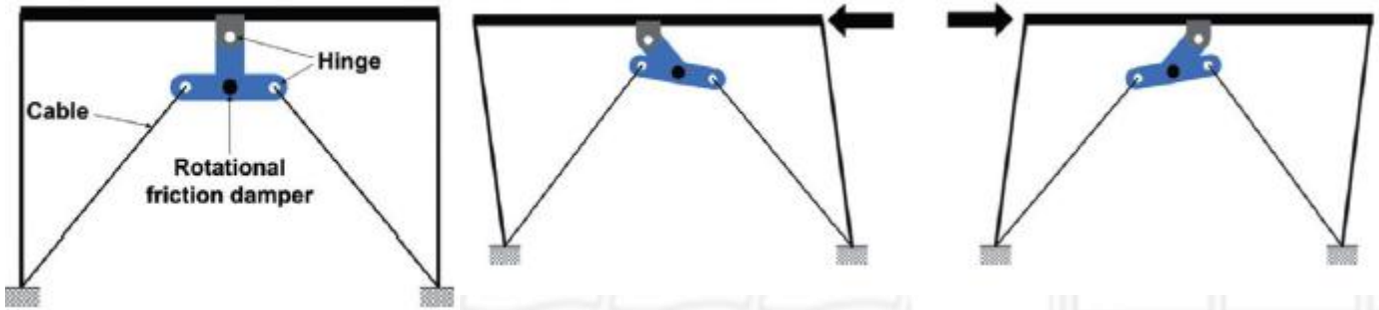


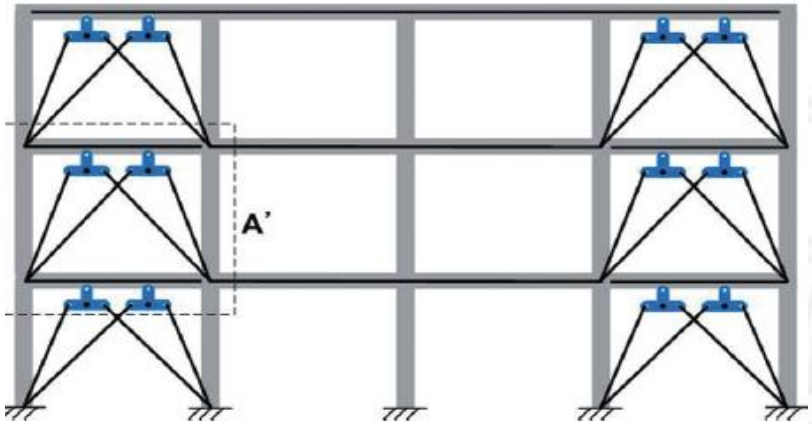


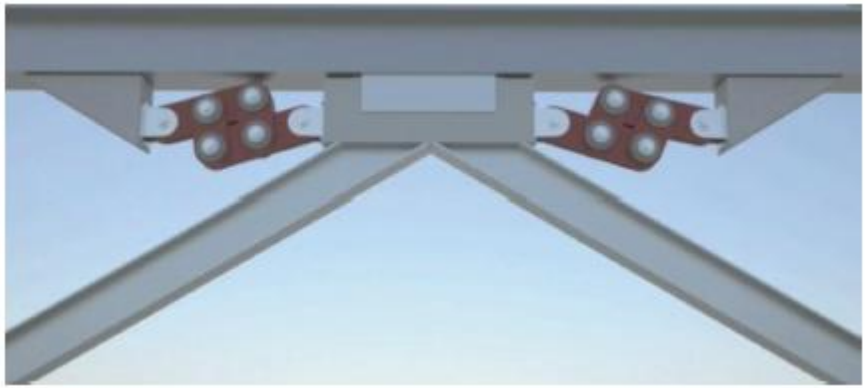




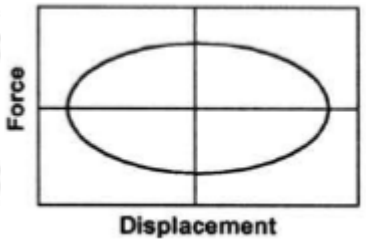
Dönmeli Sürtünmeli Damperler







Viskoz Damperler



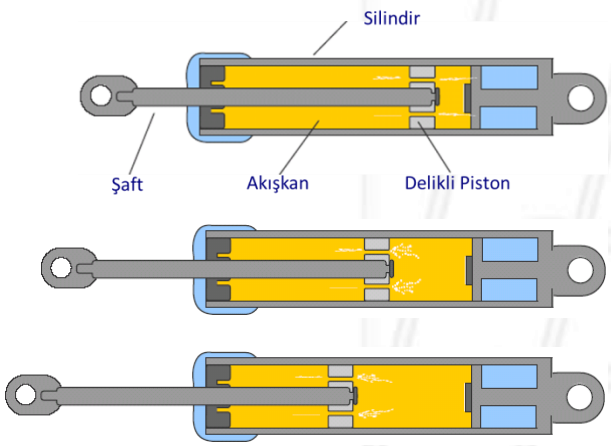
- Avantajlar:

1- Düşük deplasmanlarda aktive edilir
2- Lineer özelliğe sahipse yapısal modelleme kolaydır
3- Bina deformasyonundan oluşan kuvvetlerle aynı fazda kuvvet iletmez
4- Performansı askeri uygulamalarda geniş ölçüde denenmiştir

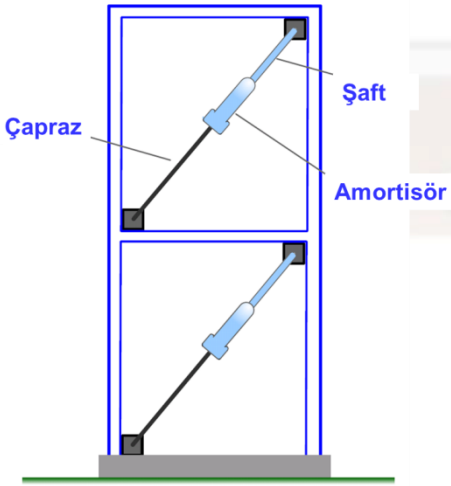
- Dezavantajlar:

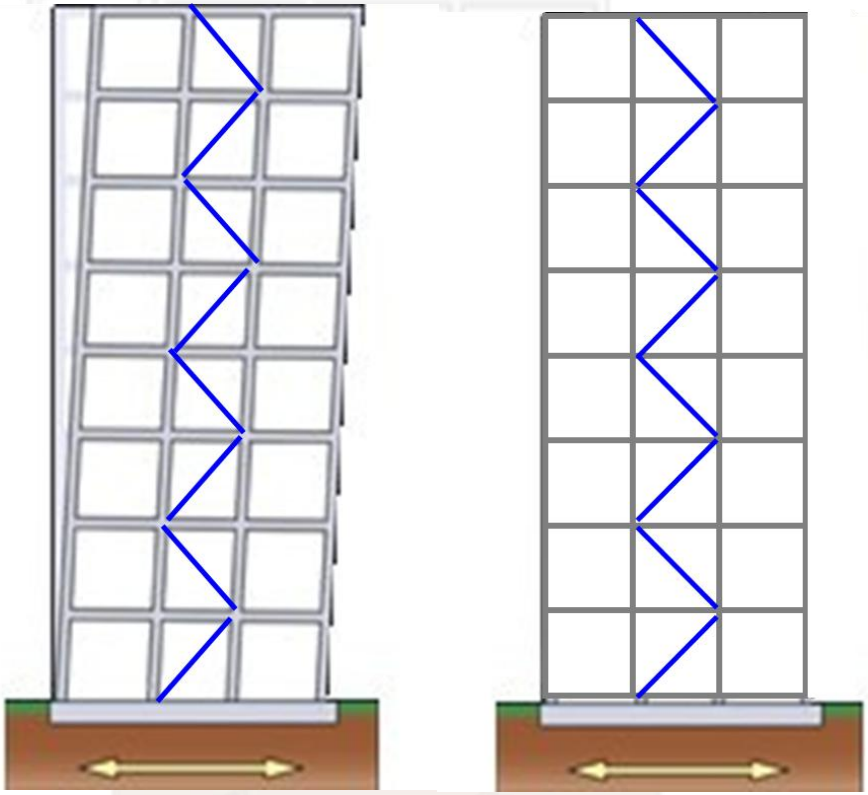
1- Periyodik olarak damperin kontrol edilmesi gerekmektedir
2- Damper sıvı sızdırabilir
3- Genelde daha yüksek maliyetlidir

Viskoz Damperler



$$F=CV^{\alpha}$$



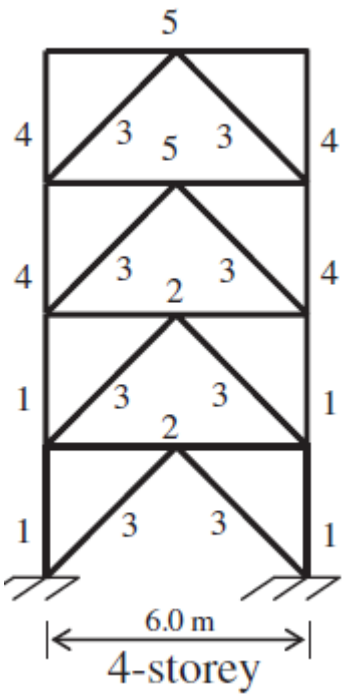


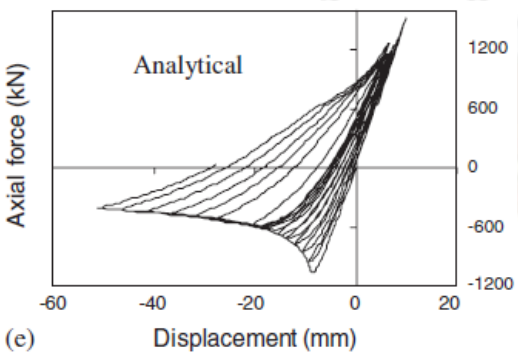
Maximum Öteleme anı
V=0, F=0

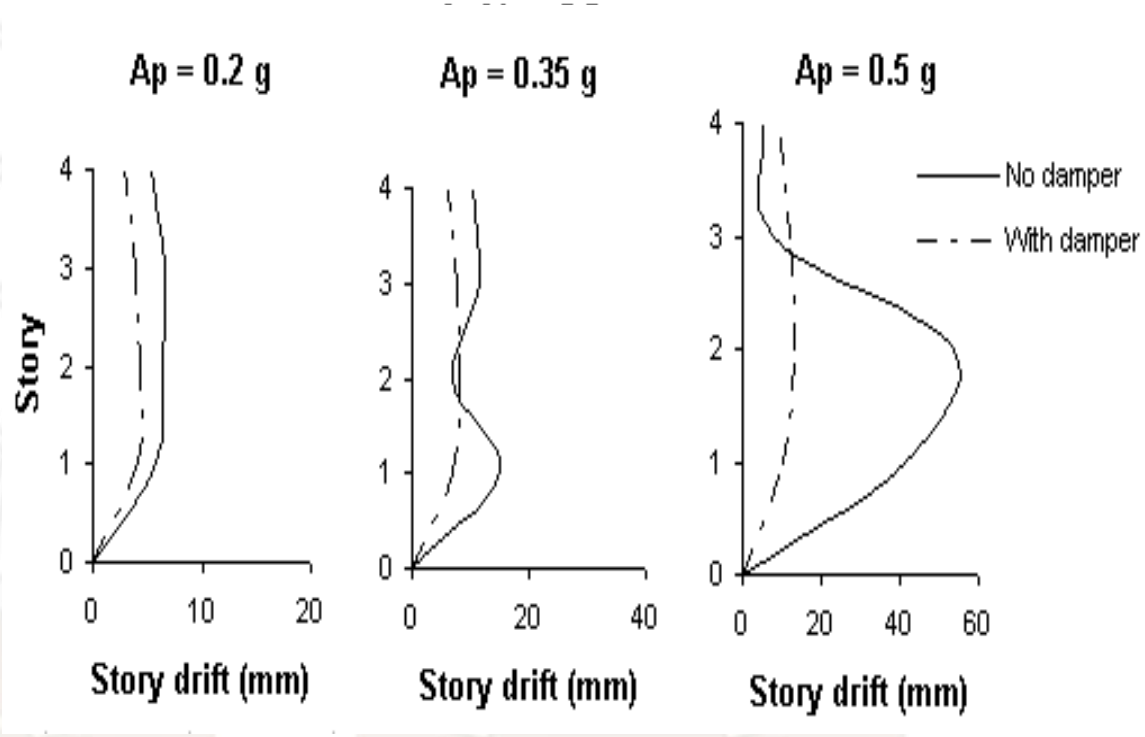
Öteleme = 0 anı
$V = V_{max}$. $F = F_{max}$

PROTA

Viskoz Damperler

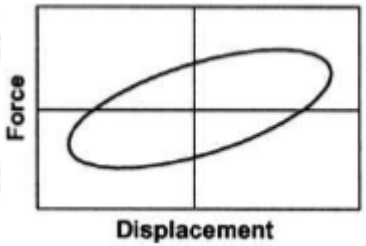






(Dicleli & Mehta, 2007)

Viskoelastik Damperler



- Avantajlar:

  1- Düşük değlasmanlarda aktive edilir

  2- Lineer özelliği nedeniyle yapısal modelleme kolaydır

  3- Merkezleme etkisine sahiptir

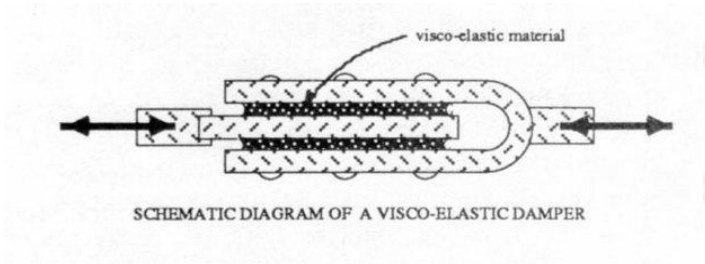
- Dezavantajlar:

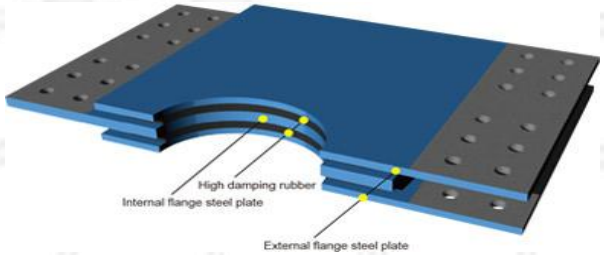
  1- Deplasman kapasitesi sınırlıdır

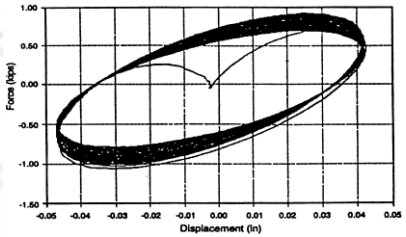
  2- Özellikleri çevresel ısı ve salınım frekansından etkilenir

  3- Viskoelastik malzeme yerinden sıyrılabilir yada yırtılabilir

Viskoelastik Damperler







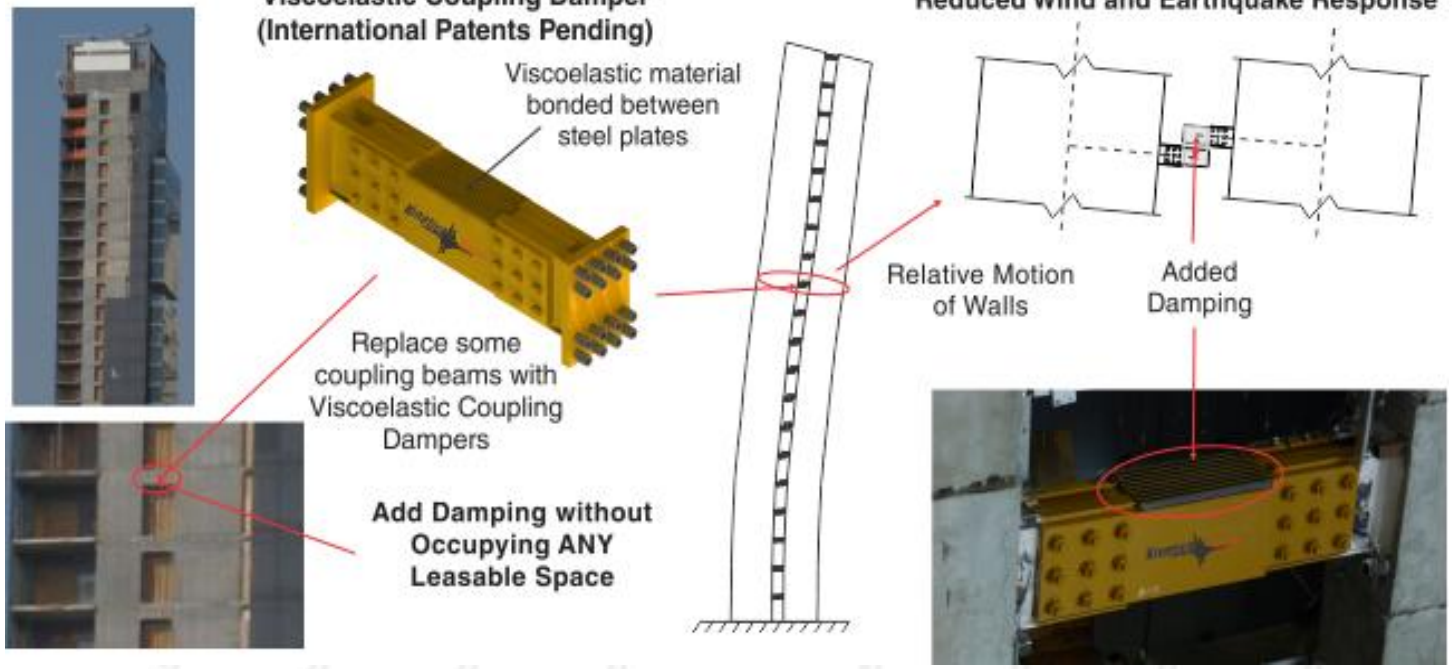
CST30 Viskoelastik damper, (Constec Engi Co.)

ABD'de bir askeri bina

Los Angeles Polis Departmanı binası. ABD

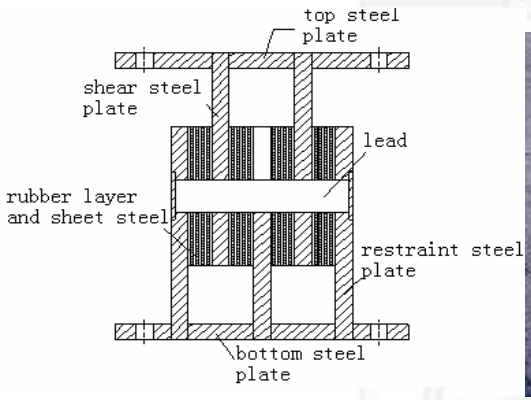
PROTA

Viskoelastik Bağlantı-Kirişi Damperleri

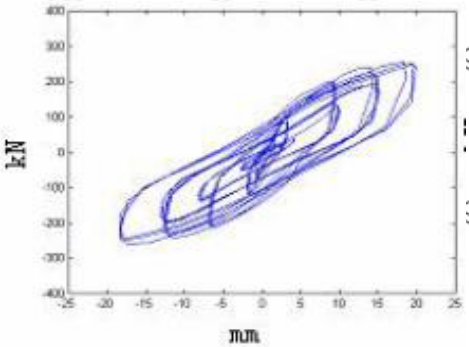


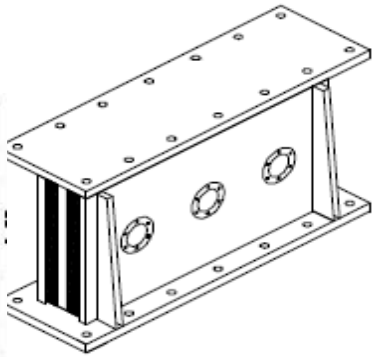
PROTA

Kurşun Çekirdekli Viskoelastik Damperler



KÇVD Zhou ve Diğ., 2008





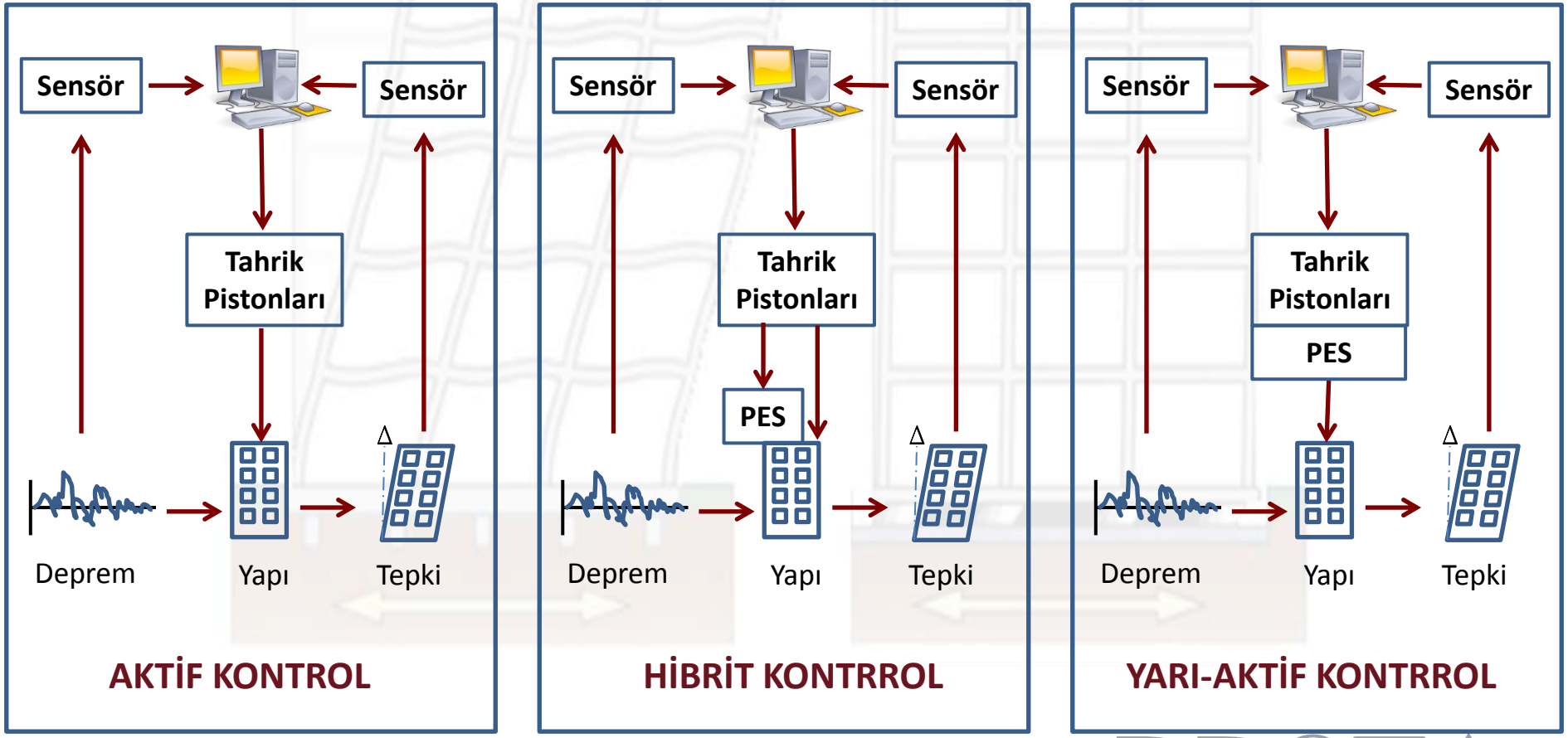
Çoklu KÇVD

Zhou ve Diğ., 2008

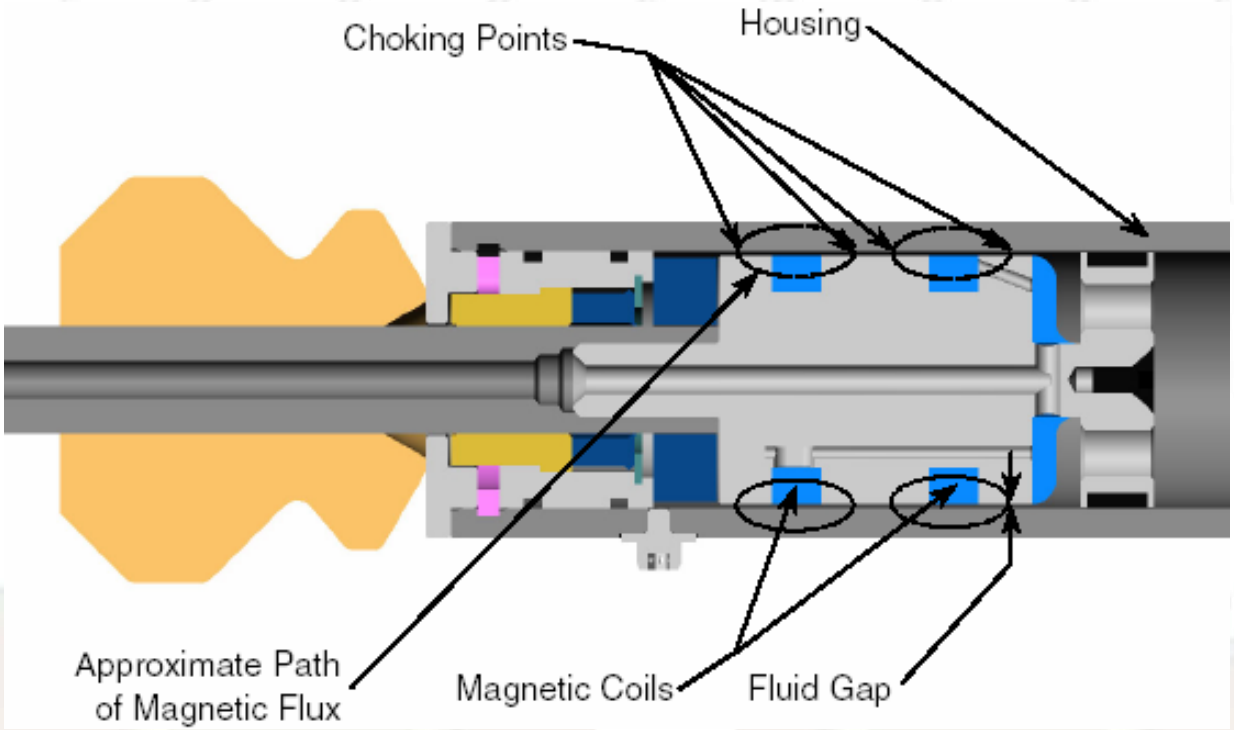
Chaoshan Xinhe Binası. Çin

Dongshan-Jinxuan Binası, Çin

Aktif, Hibrit, Yarı-Aktif Sistemler

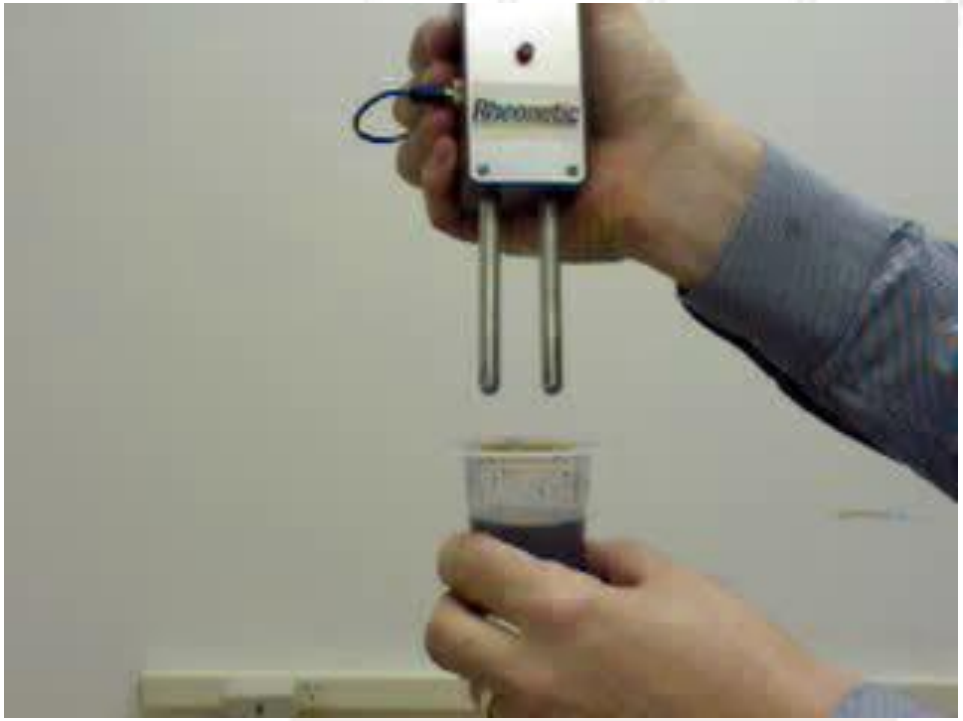


MR Damper (Örnek)



Magneto-Rheological Damper

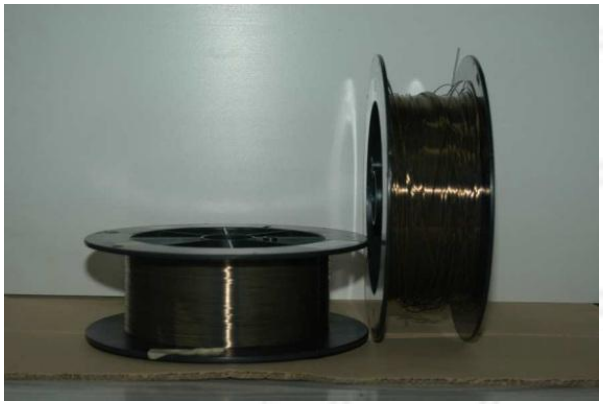
MR Damper Masıl Çalışır

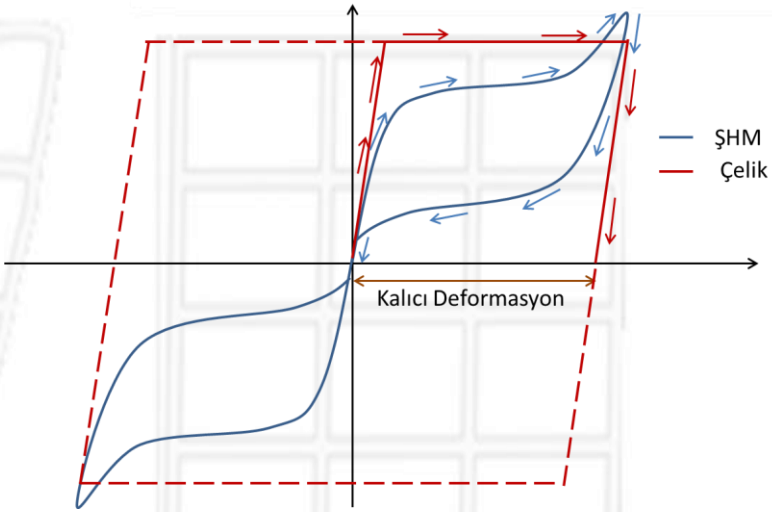


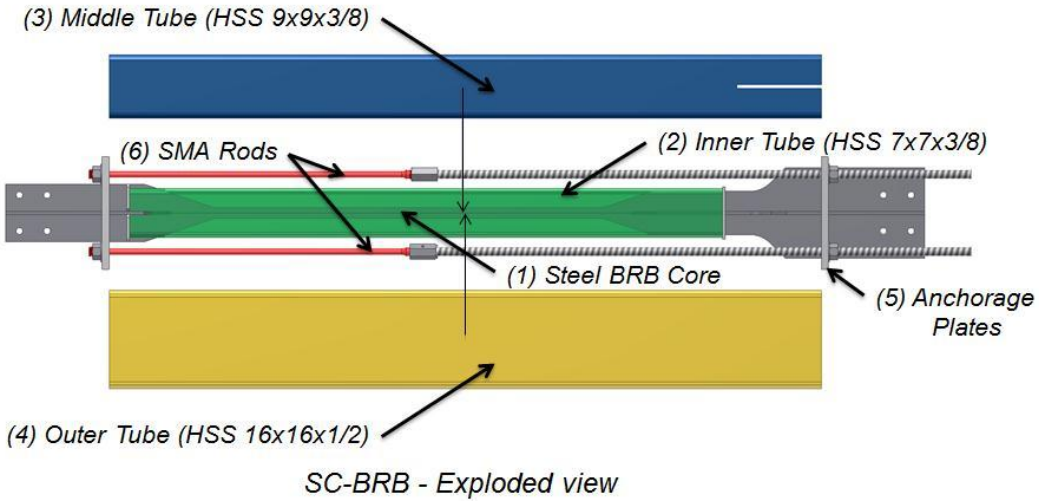
Akıllı Malzemeler

- Şekil Hafızalı Malzemeler (ŞHM) deprem mühendisliğinde kullanılmaktadır
- Deprem enerjisinin tekrarlanan yük/deplasmanlar altında kalıcı deformasyona uğramadan emebilme özelliği
- Malzeme özelliklerini değiştirmak suretiyle çeşitli döngüsel davranış şekillerinin elde edilmesi
- %2 ile %10 arasında birim uzamaya sahip olma özelliği
- Büyük birim uzamalar altında mükemmel malzeme yorulması performansı
- Uzun vadede dayanıklılık ve güvenilirlik

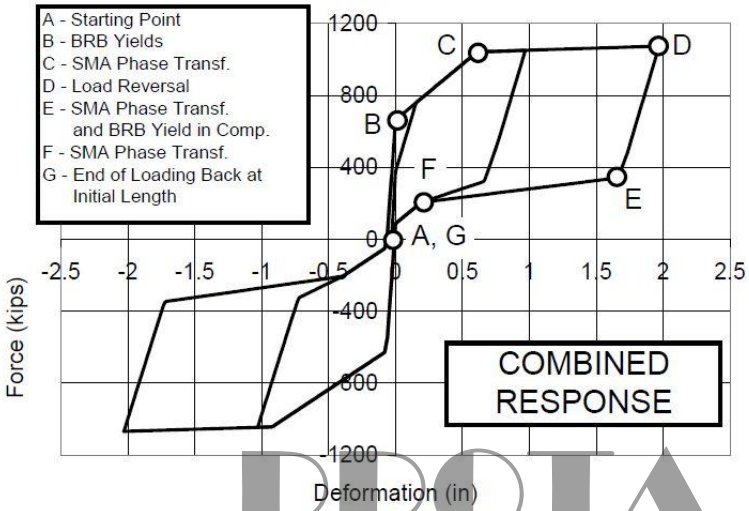
Şekil Hafızalı Malzeme (Örnek)







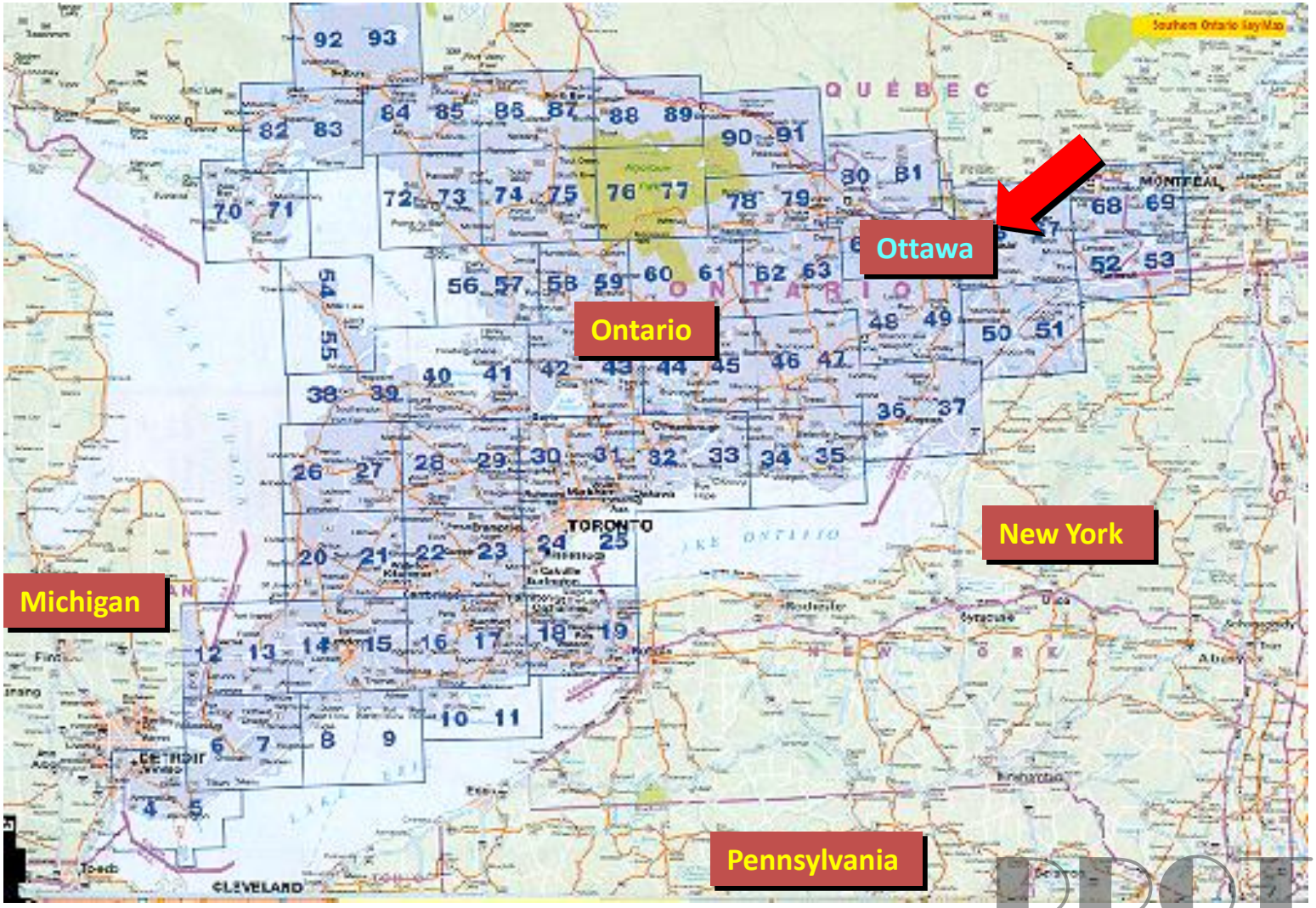
Merkezleme Etkili Burkulmayan Çapraz Eleman



Proje: Dr. Larry Fahnestock, University of Illinois

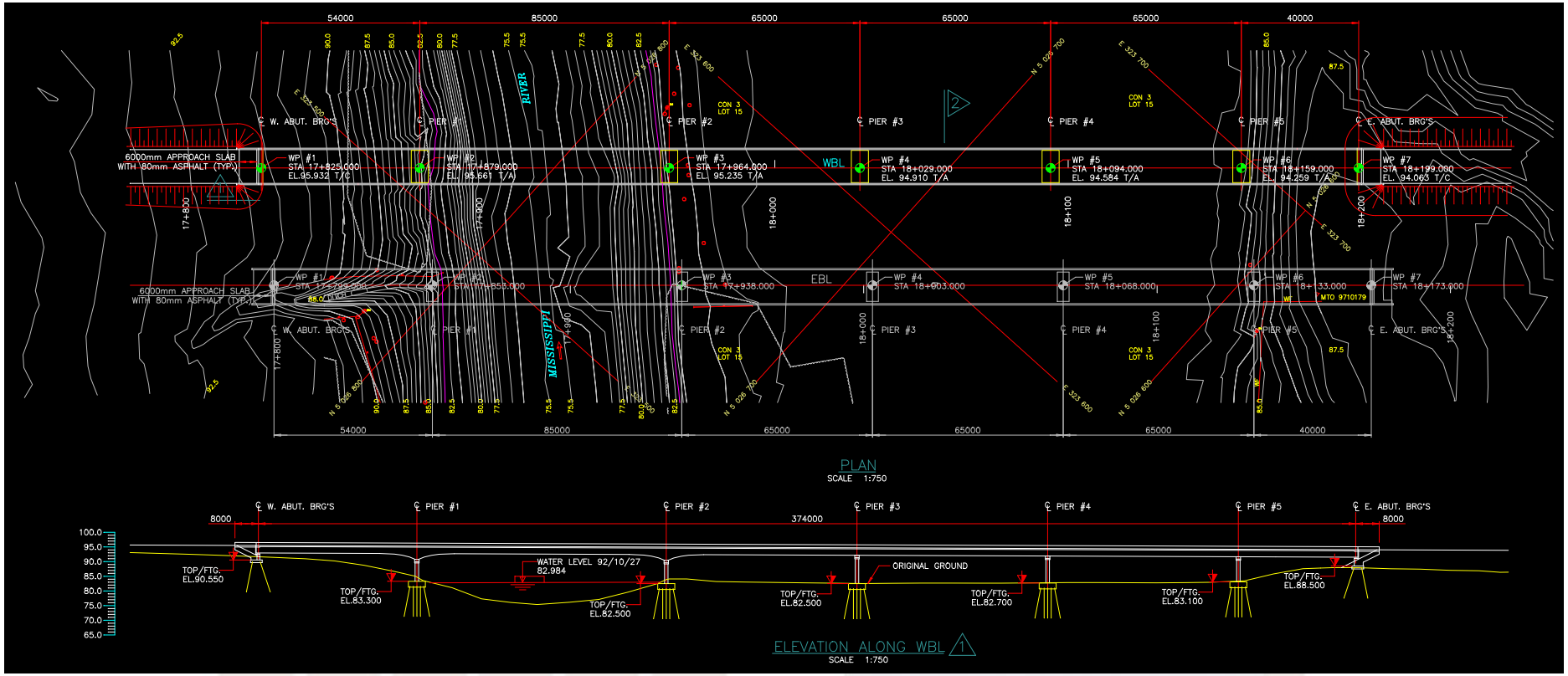
Uygulama 1
Hibrit Sismik İzolasyon
Misisipi Nehri Köprüsü, Ontario, Kanada

Köprünün Konumu



PROTA

Misisipi Nehri Köprüsü – Genel Görünüş



Köprü tipi : Kompozit çelik I kiriş

Toplam uzunluk: 374 m

Genişlik: 11.46 m

Açıklık sayısı: 6

Şerit sayısı: 2

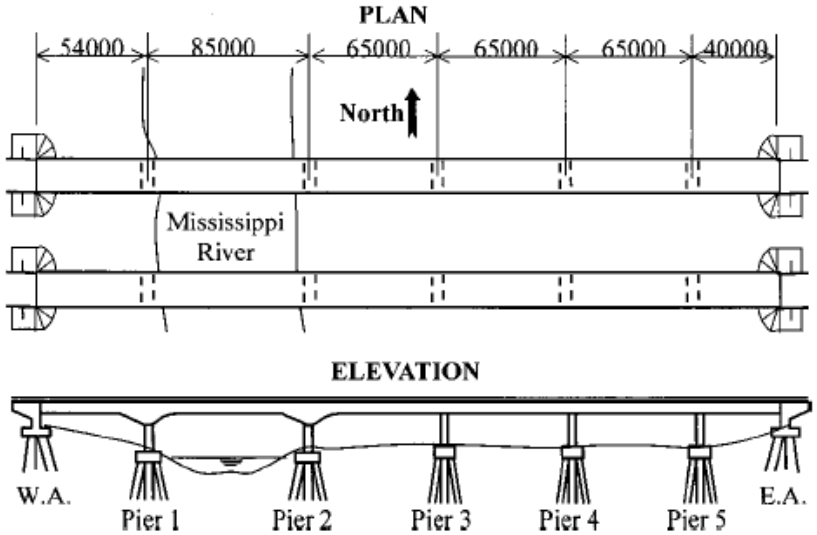
Kiriş sayısı: 4

Guselerde kiriş derinliği: 4 m

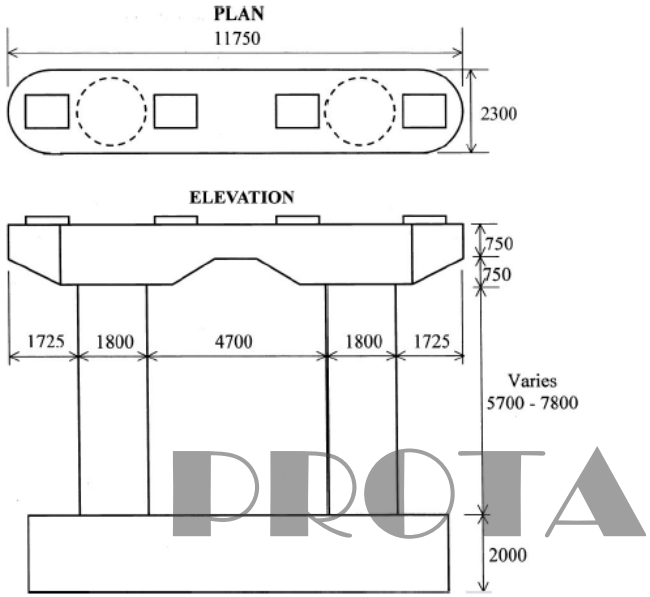
Açıklıkta kiriş derinliği: 2 m

Kiriş aralığı: 3.25 m

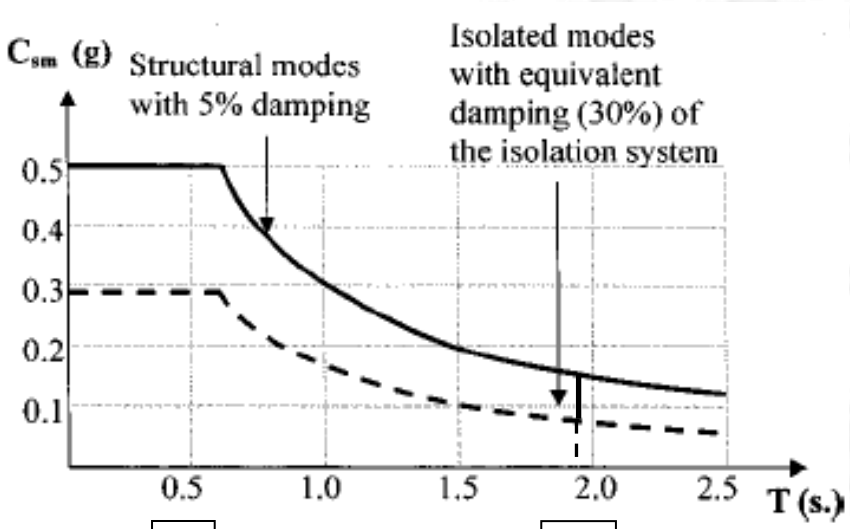
Köprü Detayları



R (kN)	2,028	12,008	11,564	8,236	9,680	8,340	1,712



Saha Spektrumu ve Model



T → T_e

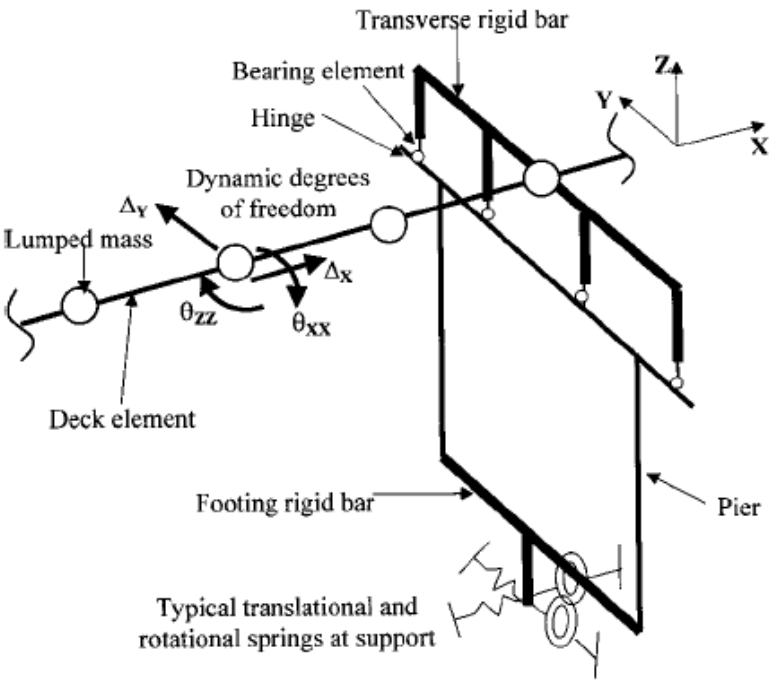
$$C_{sm} = \frac{AS_i}{BT_e} \leqslant 2.5\frac{A}{B}$$

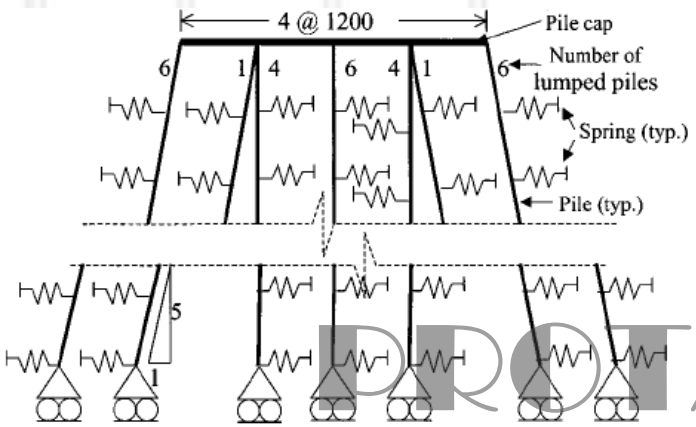
A maximum yer ivmesi, 0.2g

S Saha katsayısı, Sıkı zemin (Tip II) →1.5

T Periyod

B Damping coefficient, d_r = 5% → B=1.0
d_r = 30% → B=1.7

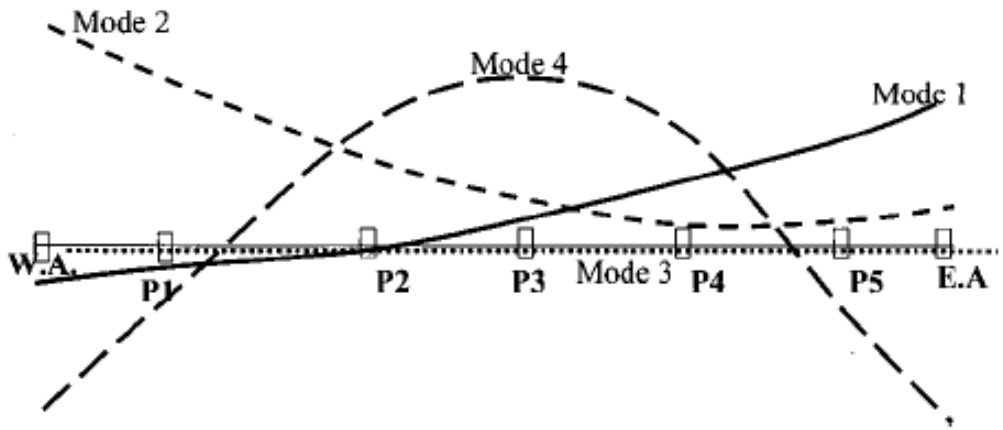




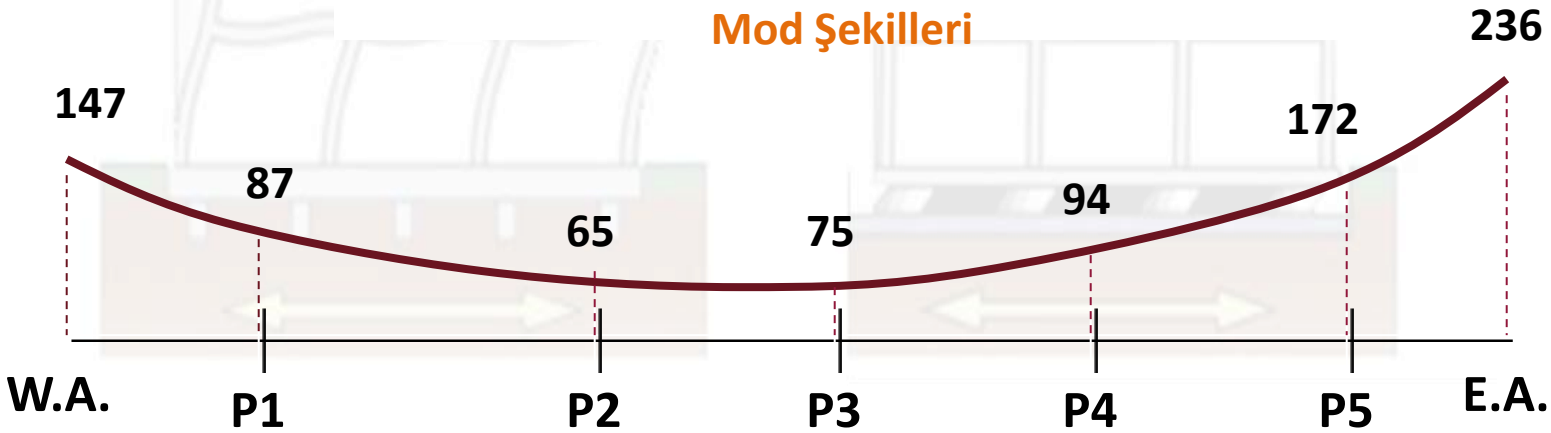
Sürtünmeli Sarkaç Mesnetli Durumda Analiz Sonuçları

Tek yüzeyli sürtünmeli Sarkaç Mesnet, R=2.23 m, Sürtünme katsayısı= 0.07 (Bütün Mesnetlerde)

Mod	T (s)
1	2.09
2	1.98
3	1.95
4	1.63



Mod Şekilleri



	W.A.	P1	P2	P3	P4	P5	E.A.
V (kN)	276	1,308	1,146	852	1,086	1,224	299

Enine Yönde İzolatör Kuvvet (kN) ve Deplasmanları (mm)

Sürtünmeli Sarkaç Mesnetli Durum-Problemler

- Uç ayaklarda izolatör deplasmanlarının çok büyük olması nedeniyle büyük mesnetler gerekmektedir; izolatör deplasmanlarının azaltılması önem arz etmektedir

- Yapıya etki eden deprem kuvvetinin sadece %7 si daha sağlam olan uç ayaklar tarafından taşınmaktadır. Bunun ana sebebi uç ayaklardaki düşük ölü yük reaksiyonları ve buna bağlı düşük sürtünme direncidir.

- Rüzgar kuvvetleri uç ayaklarda, sürtünmeli sarkaç mesnetlerin sağladığı sürtünme direncinden yüksektir. Rüzgar kilitleyiciler kullanmak gerekmektedir

Hibrit Mesnet Yerleşimi

- Uç ayaklarda elastomer, orta ayaklarda sürtünmeli sarkaç izolatör

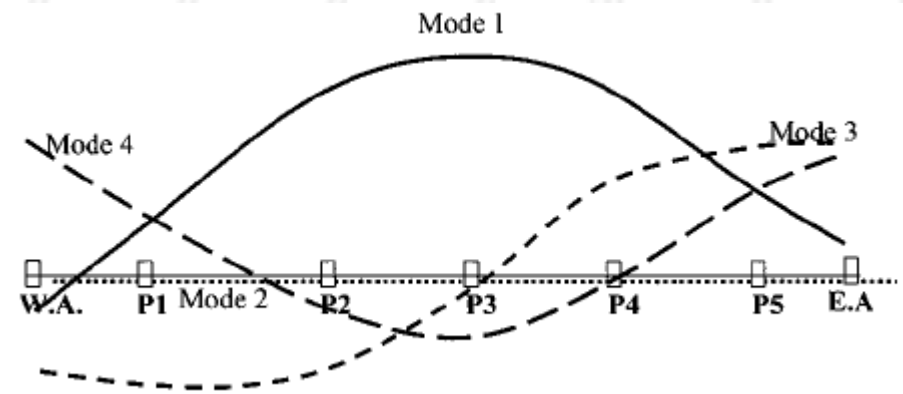
Orta Ayaklarda
Sürtünmeli Sarkaç İzolatör

Uç Ayaklarda
Elastomer Mesnet

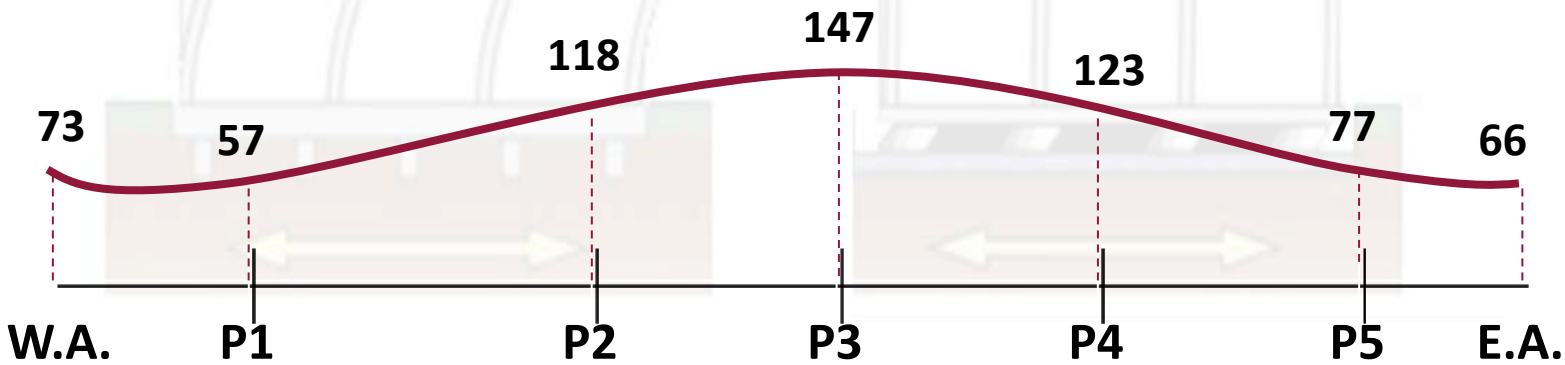
Hibrit Durumda Analiz Sonuçları

Orta ayaklarda sürtünmeli sarkaç uç ayaklarda elastomer izolatörler

Mod	T (s)
1	1.96
2	1.75
3	1.56
4	1.30



Mod Şekilleri



	W.A.	P1	P2	P3	P4	P5	E.A.
V (kN)	536	1,094	1,378	1,096	1,173	836	480

Enine Yönde İzolatör Kuvvet (kN) ve Deplasmanları (mm)

PROTA

Karşılaştırmalı Sonuçlar

Substructure	Dead load reaction (kN)	Seismic shear force (kN)			
		Longitudinal		Transverse	
		FP	HYBRID	FP	HYBRID
East abutment	2,028	246	744	276	536
Pier 1	12,008	1,456	1,373	1,308	1,094
Pier 2	11,564	1,402	1,318	1,146	1,378
Pier 3	8,236	999	951	852	1,096
Pier 4	9,680	1,174	1,112	1,086	1,173
Pier 5	8,340	1,012	960	1,224	836
West abutment	1,712	207	744	299	480

Sonuç Özeti

- Hibrit sistem düşük kuvvetlerin elde edilmesi amacıyla yeterli derecede uzun periyoda sahip bir yapısal sistem oluştururken izolatör deplasmanlarını da azaltmıştır

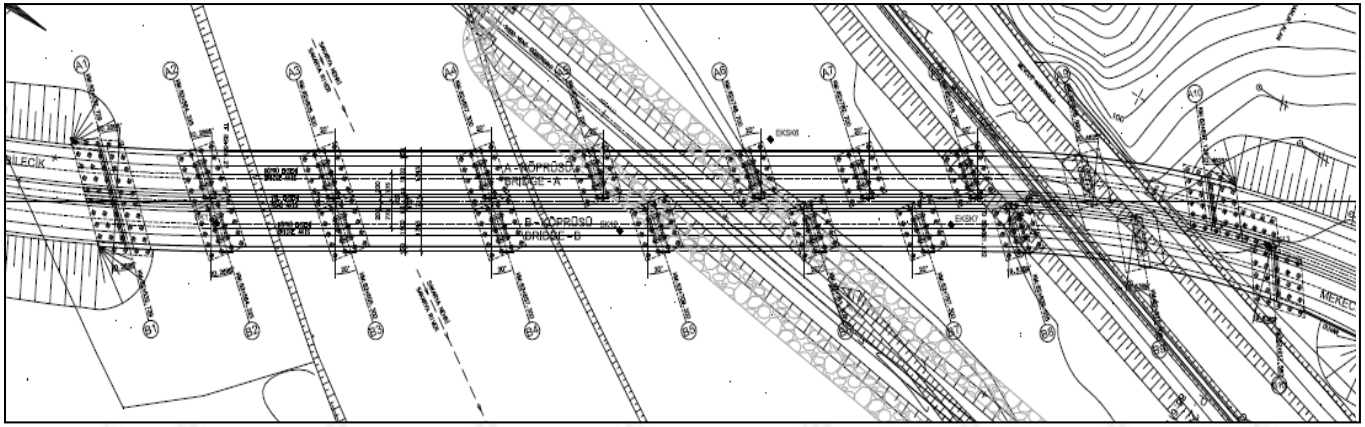
- Hibrit sistem uç mesnetlerde rüzgar kuvvetlerine karşı yeterli derecede direnç sağlamış (elastomer) ve daha küçük mesnetlerin kullanılmasına yolaçmıştır

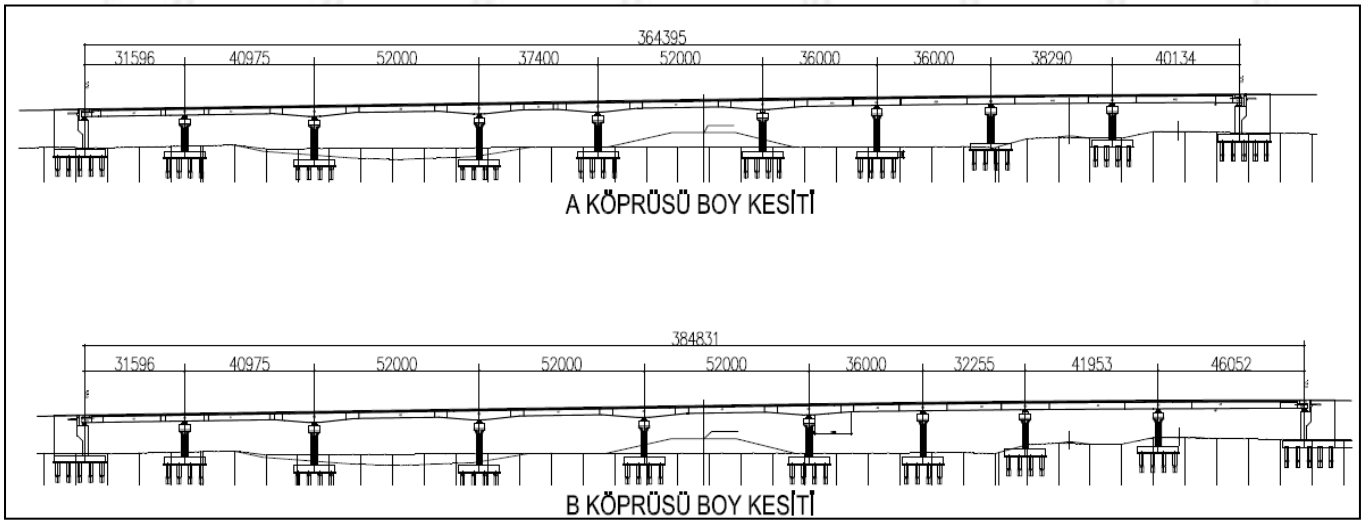
- Hibrit sistem deprem kuvvetlerinin ayaklara daha homojen bir şekilde dağılmasını ve bu sebeble köprünün daha ekonomik olarak tasarlanmasını sağlamıştır

PROTA

Uygulama 2
Hibrit Sismik İzolasyon
Sakarya Köprüsü
Bozuyük-Mekece Karayolu, Sakarya Nehri Geçişi

Sakarya Köprüsü – Genel Görünüş





Köprü tipi : Kompozit çelik I kiriş

Toplam uzunluk: 385 m

Açıklık sayısı: 9

Kiriş sayısı: 6

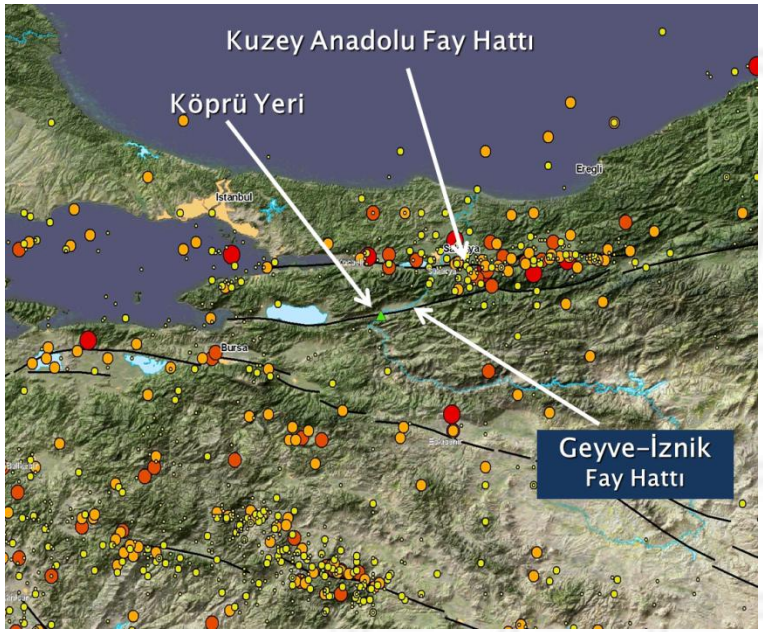
Verev : 20°

PROTA

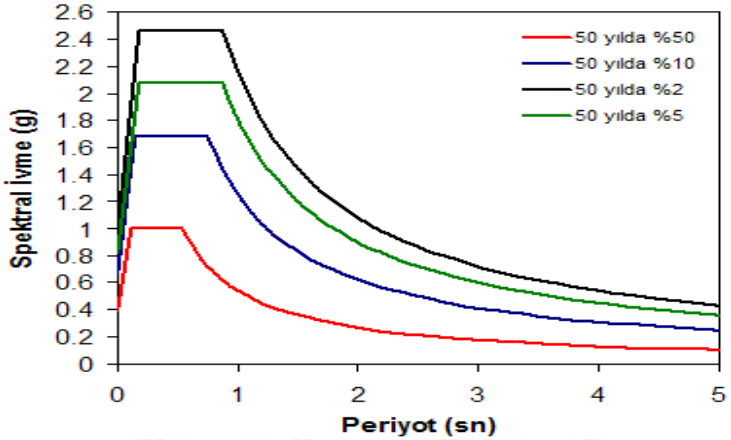
Sakarya Köprüsü

PROTA

Depremsellik

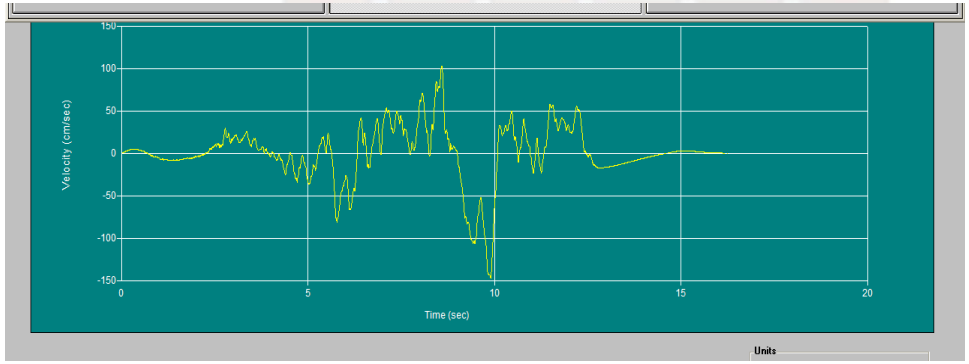


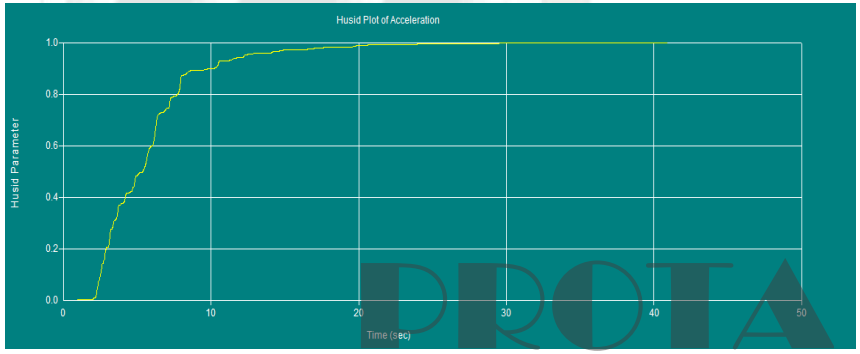
Köprünün fay hattına mesafesi 300 m



Tablo 12. Olasılıksal sismik tehlike analizi sonucu elde edilen maksimum yatay yer ivmeleri

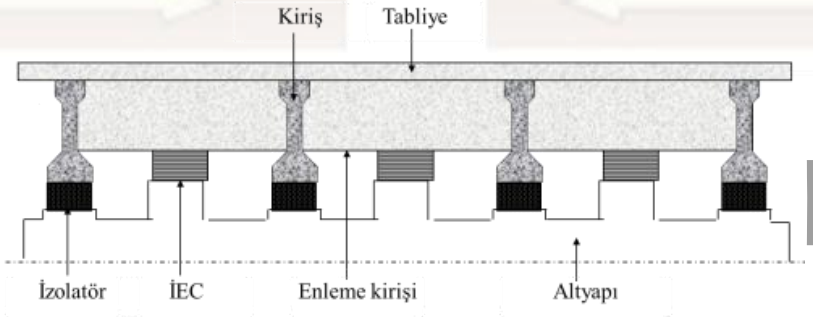
	50 yılda %2 aşılma (g)	50 yılda %5 aşılma (g)	50 yılda %10 aşılma (g)	50 yılda %50 aşılma (g)
Tipik Kaya	1.18	0.96	0.80	0.43
Tipik Zemin	0.80	0.75	0.65	0.41





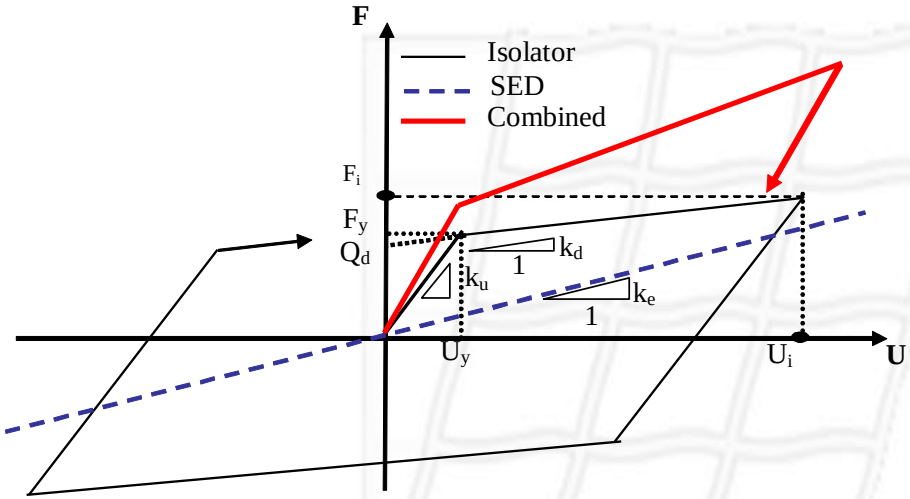
Yakın Saha Etkisi Altında Tasarım

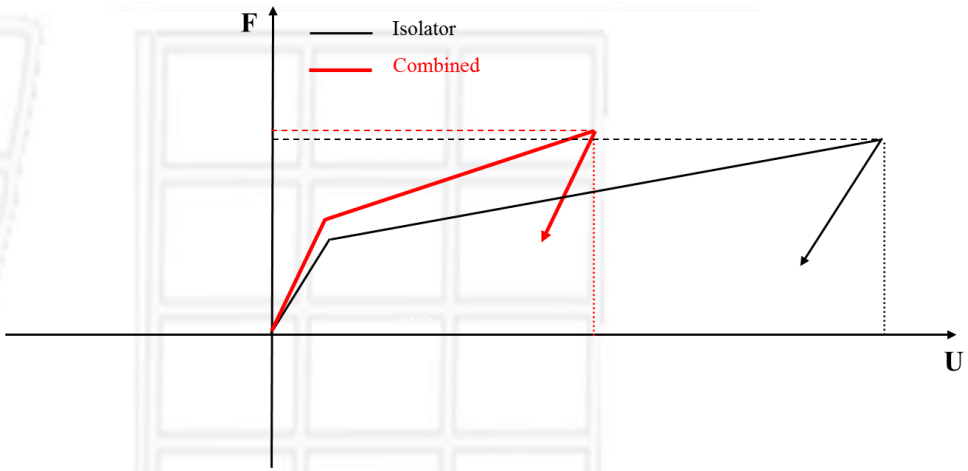
- Yakın saha etkisine maruz kalan sismik izolasyonlu köprülerde izolatör deplasmanlarının oldukça büyük olabileceği görülmüştür (2.0 m kadar)
- İzolatör deplasmanlarını azaltırken, alt yapıya iletilecek kuvvetleri makul sınırlar içerisinde tutabilen etkili ve pratik bir çözümle tasarım gerçekleştirilmelidir
- İlave Elastik Cihazlar – Elastomer Mesnet (Dicleli, 2007) deplasmanları azaltmak ve alt yapı kuvvetlerini makul sınırlar içerisinde tutmak amacıyla kullanılacaktır

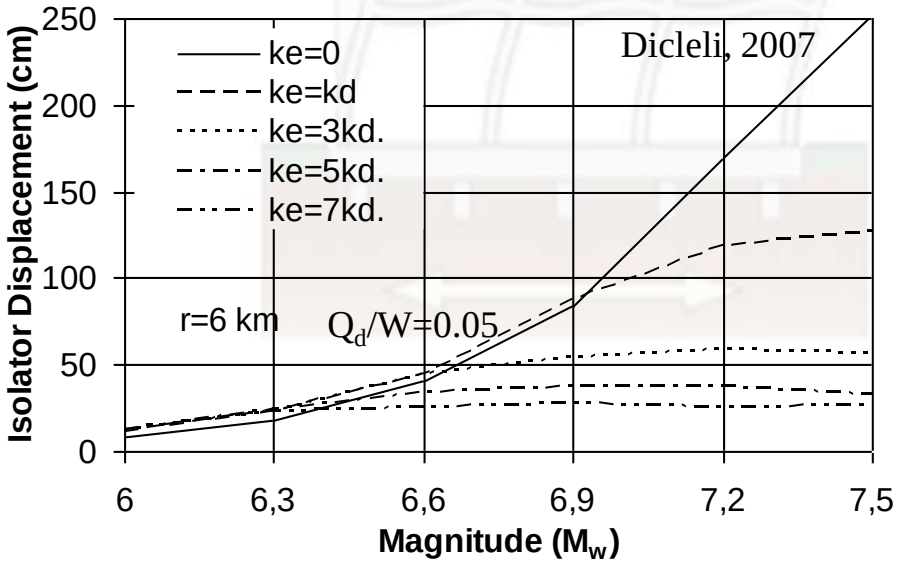


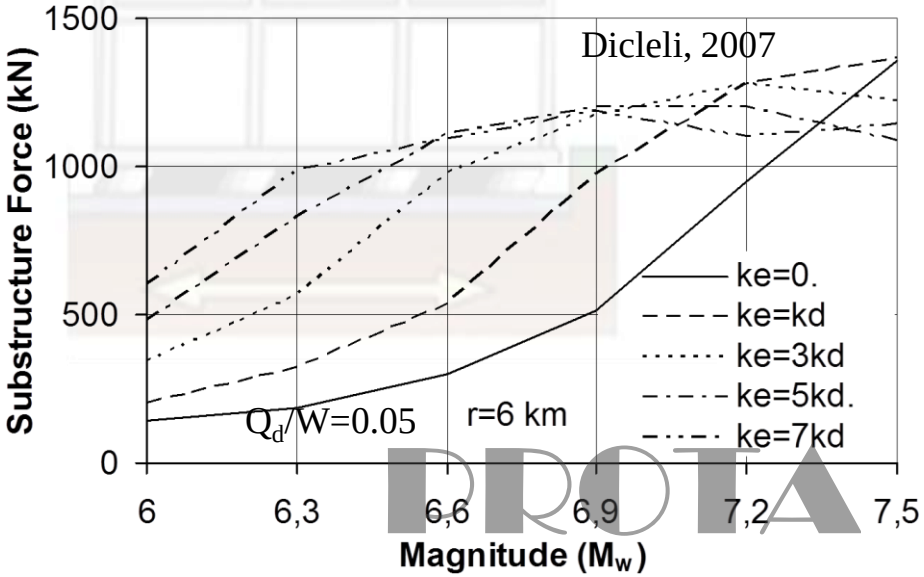
PROTA

İlave Elastomer Etkisi

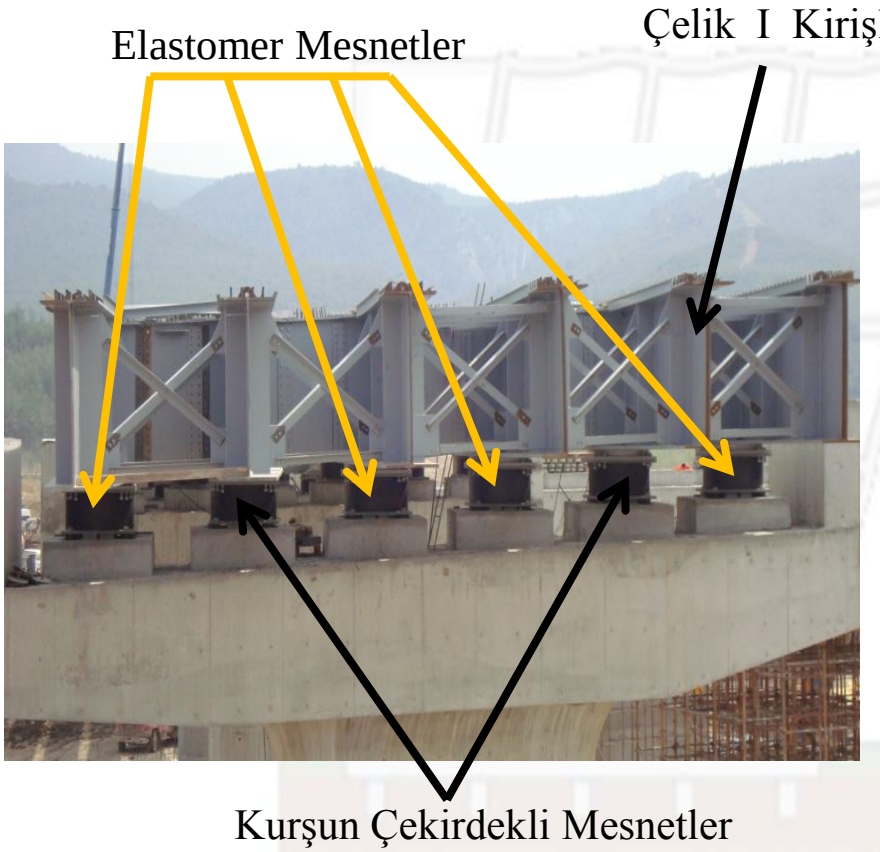








İlave Elastomer Yerleşimi

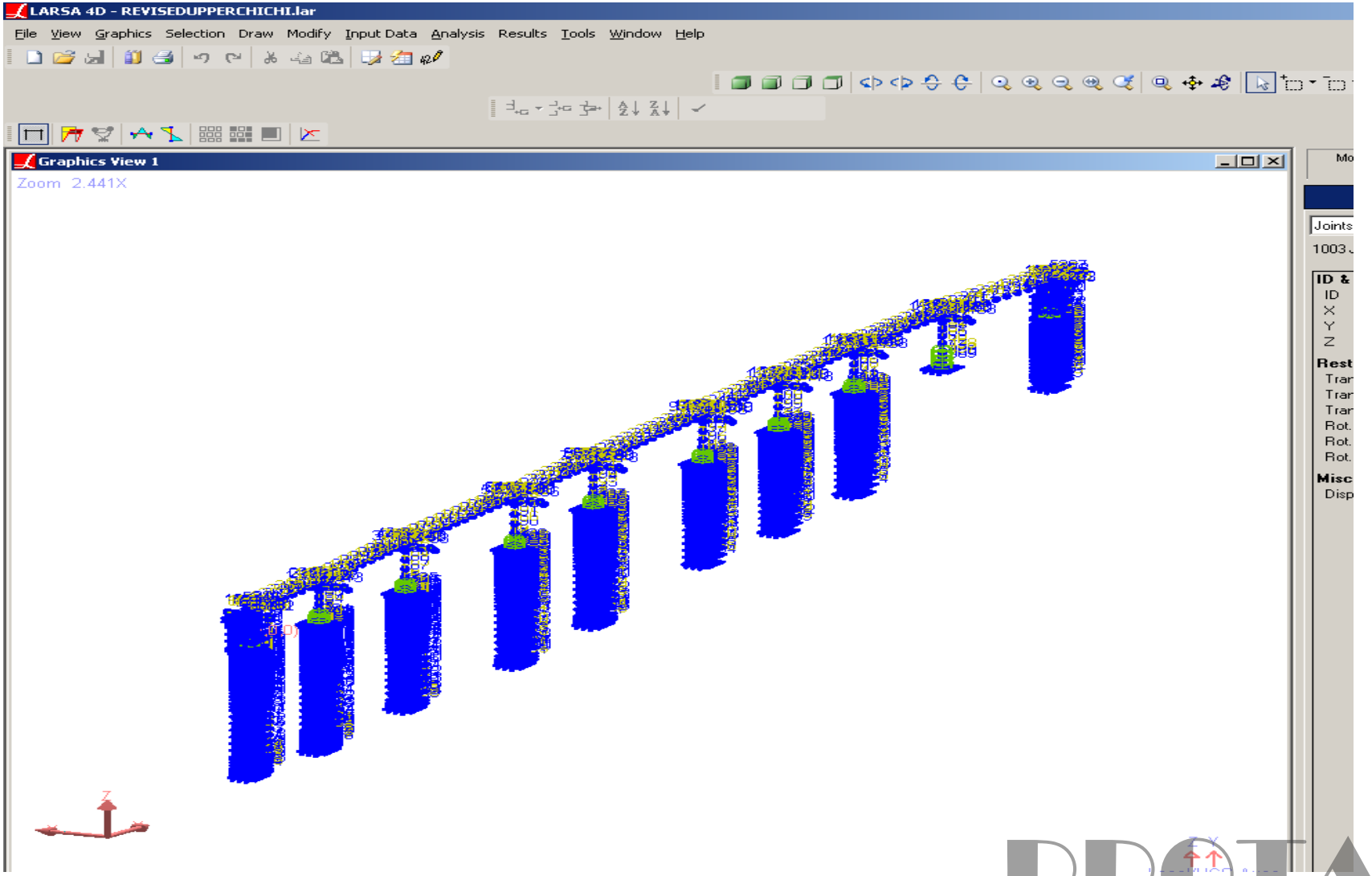


- İki adet izolatör $Q_d/W = 0.1$ (Tüm köprü için)
- İki adet izolatör + dört adet elastomer $T_d = 3$ s
- Mesnet Çapları: 1.2 m, 1.4 m.

PROTA

Kullanılan İzolatörler

Yapısal Model



Analiz Sonuçları

TASARIM MESNET ÖTELENMELERİNİN BELİRLENMESİ:				
BOLU:				
	Zaman (San)	Boyuna Ötelenme (m)	Enine Ötelenme (m)	$(B^2+E^2)^{0.5}$
Maksimum Boyuna Ötelenme:	10.15	0.41	-0.28	0.50
Maksimum Enine Ötelenme:	11.37	0.39	0.80	0.89
GAZLİ:				
	Zaman (San)	Boyuna Ötelenme (m)	Enine Ötelenme (m)	$(B^2+E^2)^{0.5}$
Maksimum Boyuna Ötelenme:	7.585	-0.50	0.17	0.53
Maksimum Enine Ötelenme:	10.605	-0.17	1.00	1.01
LA SEPULVEDA:				
	Zaman (San)	Boyuna Ötelenme (m)	Enine Ötelenme (m)	$(B^2+E^2)^{0.5}$
Maksimum Boyuna Ötelenme:	4.02	-1.17	0.70	1.36
Maksimum Enine Ötelenme:	8.39	-0.17	-0.89	0.90
KOBE:				
	Zaman (San)	Boyuna Ötelenme (m)	Enine Ötelenme (m)	$(B^2+E^2)^{0.5}$
Maksimum Boyuna Ötelenme:	7	-0.24	0.50	0.56
Maksimum Enine Ötelenme:	6.86	-0.16	0.60	0.63
CHI-CHI:				
	Zaman (San)	Boyuna Ötelenme (m)	Enine Ötelenme (m)	$(B^2+E^2)^{0.5}$
Maksimum Boyuna Ötelenme:	30.48	-0.24	-0.09	0.26
Maksimum Enine Ötelenme:	32.64	0.04	-0.52	0.52
SYLMAR:				
	Zaman (San)	Boyuna Ötelenme (m)	Enine Ötelenme (m)	$(B^2+E^2)^{0.5}$
Maksimum Boyuna Ötelenme:	4.295	0.32	-0.50	0.60
Maksimum Enine Ötelenme:	6.87	0.07	0.80	0.80
JENSEN:				
	Zaman (San)	Boyuna Ötelenme (m)	Enine Ötelenme (m)	$(B^2+E^2)^{0.5}$
Maksimum Boyuna Ötelenme:	3.45	-0.40	0.05	0.40
Maksimum Enine Ötelenme:	5.89	0.19	0.58	0.61
ORTALAMA DEĞERLER:				
	Boyuna Ötelenme (m)	Enine Ötelenme (m)	$(B^2+E^2)^{0.5}$ (m)	
	0.47	0.74	0.68	

- $Q_d/W = 0.05$ ve $T_d = 4$ s için izolatör deplasmanı 1200 mm
- $Q_d/W = 0.1$ ve $T_d = 3$ s için izolatör deplasmanı ortalama 700 mm seviyelerine çekildi

Sonuç Özeti

- Her ayakta, İki adet kurşun çekirdekli mesnet ve dört adet elastomer mesnet kullanılarak daha ekonomik bir çözüm elde edildi.

- Hibrit çözüm ile , $Q_d/W = 0.1$ ve $T_d = 3$ s değerlerine sahip bir izolasyon sistemi elde edilerek, deplasmanlar çok daha düşük seviyelere çekildi (1200 mm'den 700 mm'ye)

Uygulama 3
Performansa Dayalı Tasarım
Bitlis Çayı Viyadüğü (1. Kısım - İtme-Sürme)
Ayrım-Bitlis- 9.Bölge Hududu Devlet Yolu II. Kısım

PROTA

Konum

AYRIM-BİTLİS- 9.BÖLGE HUDUDU DEVLET YOLU II.KISIM

Bitlis Çayı Viyadüğü

Köprü tipi : Ard germeli kutu kesit

Toplam uzunluk: 801 m

Genişlik: 19.6 m

Açıklık sayısı: 17

kiriş derinliği: 3 m

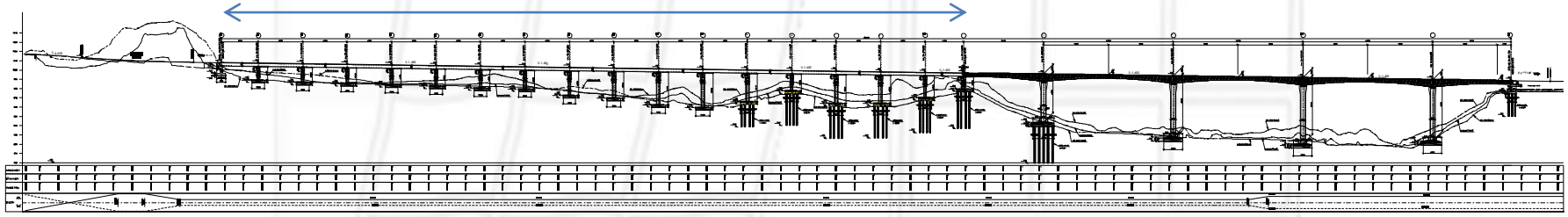
Ayak yüksekliği: 14 - 37 m

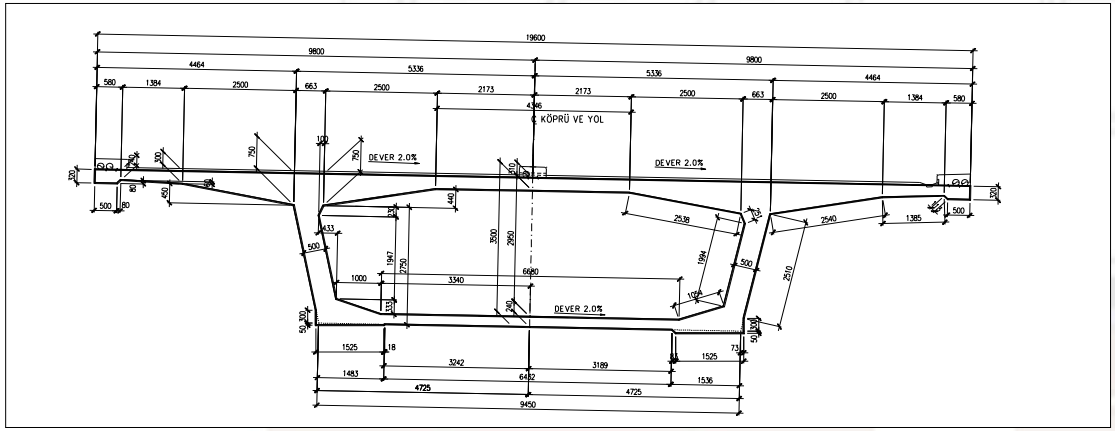
Açıklıklar: 39.75 , 15x48, 41.5 m

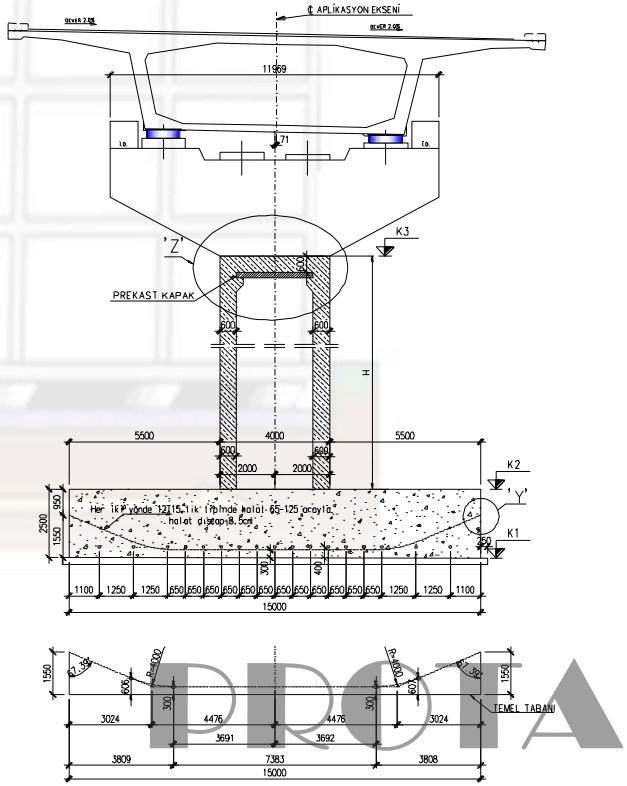
İnşa tekniği: İtme-sürme

Detaylar

1. Kısım itme-sürme L= 801 m

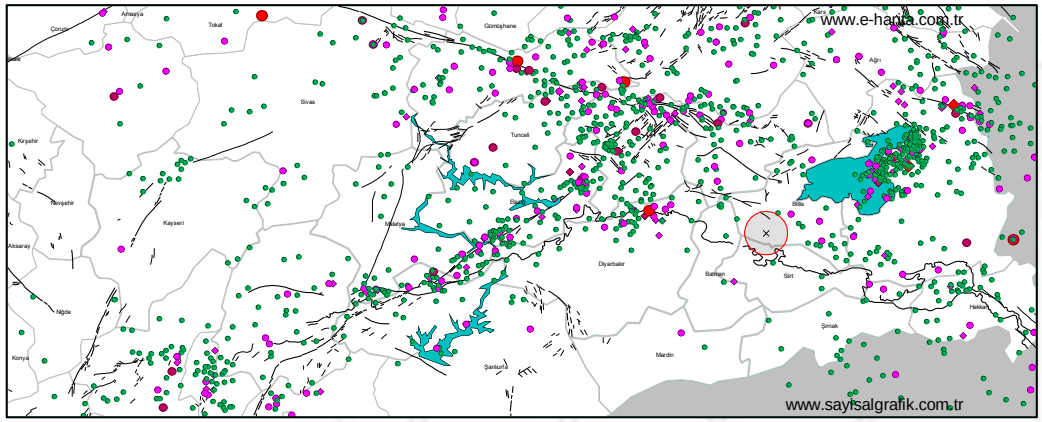




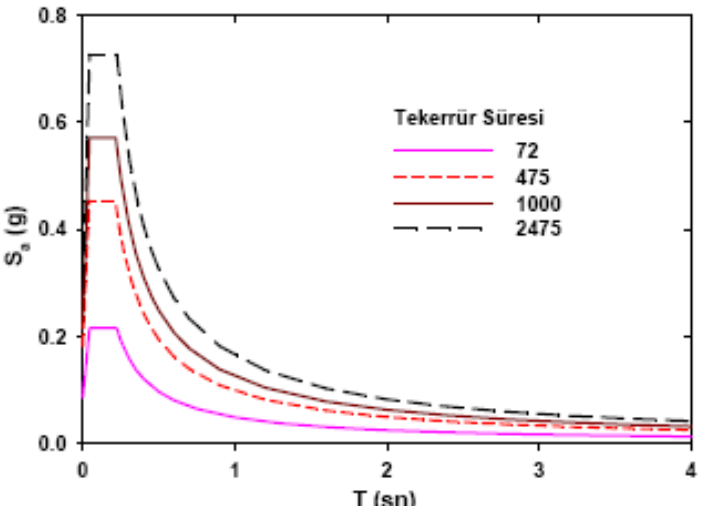


HALAT PROFİLİ

Depremsellik



Bölgede meydana gelmiş deprem büyüklükleri 4 <M<7.4
Fay hattına uzaklık 20 km.



Tekerrür Süresi (Yıl)	PGA (g)				
	Abrahamson & Silva (2008)	Boore & Atkinson (2008)	Campbell & Bozorgnia (2008)	Chiou & Youngs (2008)	Ortalama
72	0.122	0.072	0.092	0.089	0.094
475	0.245	0.139	0.174	0.198	0.189
1000	0.286	0.174	0.210	0.246	0.230
2475	0.373	0.198	0.274	0.300	0.293

- İnşaat süresi için 72 yıllık deprem (Hasar yok)
- 475 yıllık deprem (Hasar yok)
- 2475 yıllık deprem (Kontrollü hasar)

PROTA

Tasarım Spektrumuyla Uyumlu Deprem Kayıtları

Deprem	M_w	Fay Tipi	İstasyon Adı	Kayıt Adı (Kodu)	50 yılda aşılma olasılıkları için ölçekler		
					%10	%5	%2
Imperial Valley, 1979	6.5	Yanal Atımlı	6604 Cerro Prieto	IMPVALL/H-CPE147 (001) IMPVALL/H-CPE237 (002)	1.00	1.25	1.40
Landers, 1992	7.3	Yanal Atımlı	21081 Amboy	LANDERS/ABY000 (003) LANDERS/ABY090 (004)	0.75	0.85	0.90
Kocaeli, 1999	7.4	Yanal Atımlı	Gebze	KOCAELI/GBZ000 (005) KOCAELI/GBZ270 (006)	0.75	0.90	1.00
Düzce, 1999	7.1	Yanal Atımlı	531 Lamont	DUZCE/531-N (007) DUZCE/531-E (008)	1.40	1.70	1.90
Nahanni, 1985	6.8	Bindirme /Ters	6099 Site 3	NAHANNI/S2330 (009) NAHANNI/S2240 (010)	0.75	0.95	1.10
Spitak, 1988	6.8	Bindirme /Ters	12 Gukasian	SPITAK/GUK090 (011) SPITAK/GUK000 (012)	0.90	1.20	1.40
Loma Prieta, 1989	6.9	Bindirme /Ters	58378 APEEL 7	LOMAP/A07000 (013) LOMAP/A07090 (014)	1.00	1.15	1.25

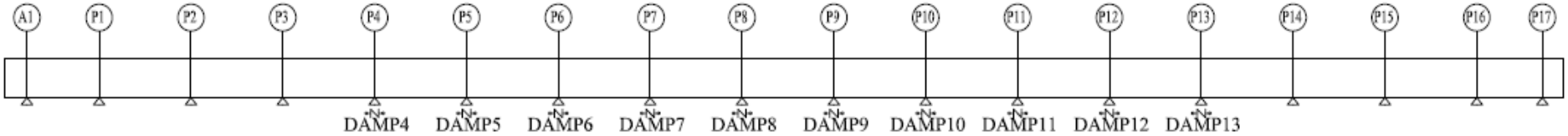
Sismik İzolasyon Sistemi

- Köprünün soğuk ve zor erişilebilir bir bölgede olması nedeniyle ısı ve çevre koşullarından az etkilenen, bakım gerektirmeyen bir sistem seçildi: Pot mesnet ve merkezleme etkisine sahip histeretik damper

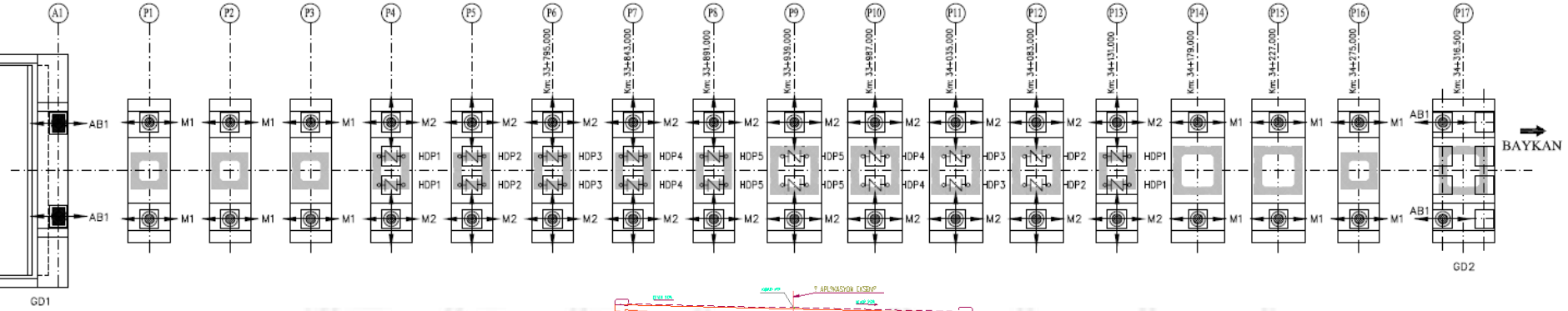
- Damperlerin üst yapı bağlantısında uzunlukları farklı oval delikler bırakmak suretiyle deprem şiddetinin artmasıyla birlikte damperlerin sırayla devreye girmesi sağlandı

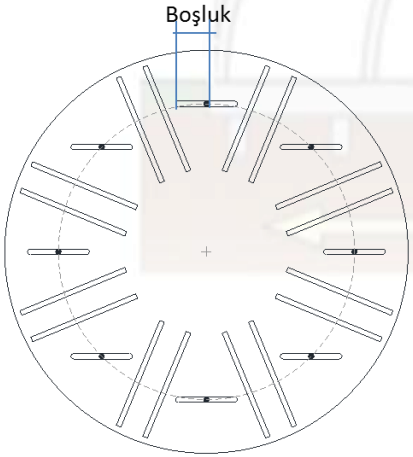
- Oval delikler merkezden uzak olan ayaklarda ısıl genleşmelerin damperler zorlanmadan oluşmasını da sağladı

Sismik İzolasyon Sistemi

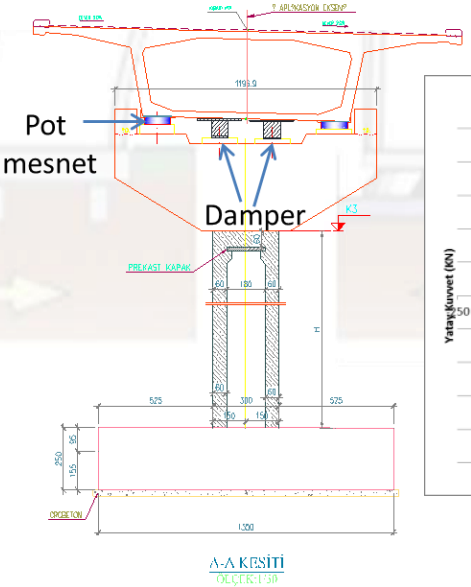


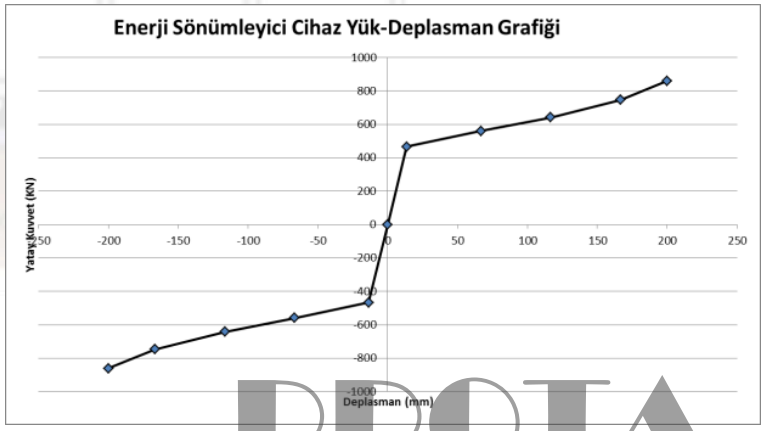
Boşluk (cm) 16 14 10 6 0 0 6 10 14 16





Damper üst plakası





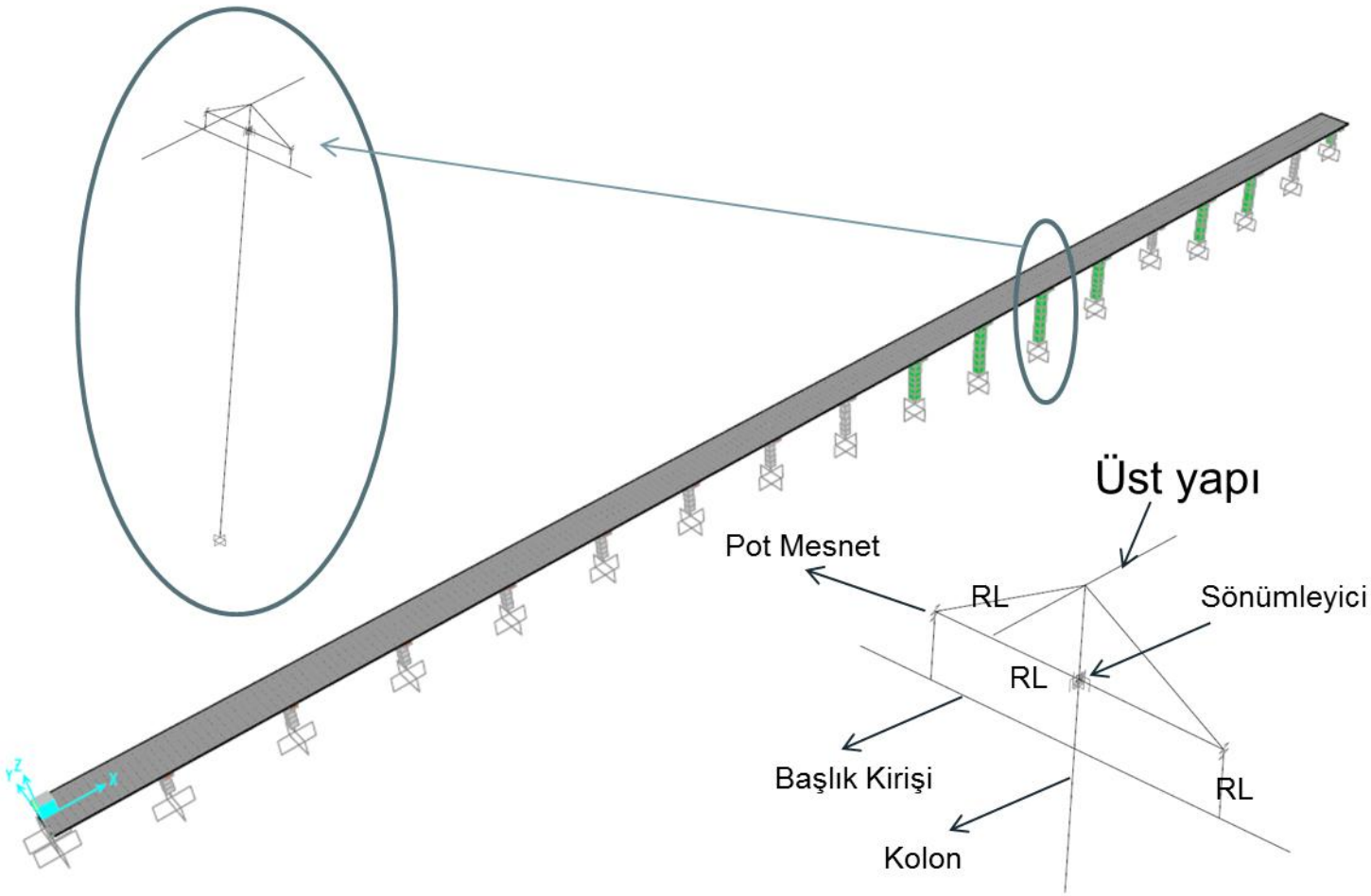
Performans Hedefleri

- 475 yıl tekrar periyotlu depremde köprü merkezine yakın (boşlukları 0 ve 6 cm olan) sadece belirli sayıda damper devreye girecek, ancak yapıda hasar olmayacak. Depremden sonra sadece bir kaç damperin enerji sönümleme elemanları değiştirilecek.

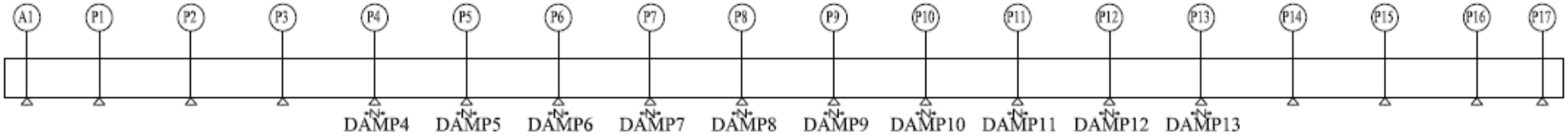
- 2475 yıl tekrar periyotlu depremde köprü merkezine yakın (boşlukları 0 ve 6 cm olan) damperlerle birlikte, merkezden uzak damperler de sarsıntı şiddeti arttıkça birer birer devreye girerek enerji sönümleyecek ve yüksek elastik ötesi rijitliğe sahip damperin ilettiği kuvvet belirli bir seviyeye geldikten sonra alt yapı elemanı akarak tamir edilebilir hasar meydena gelecek.

PROTA

Yapısal Model

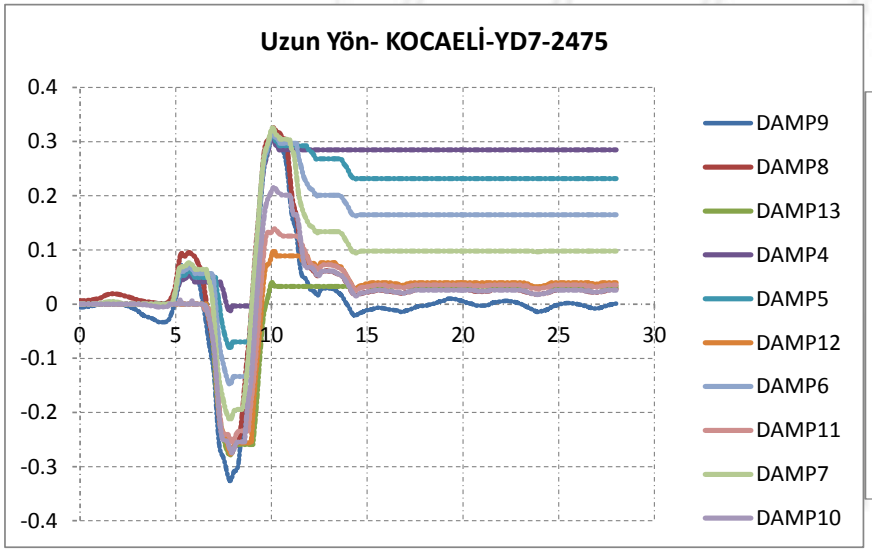


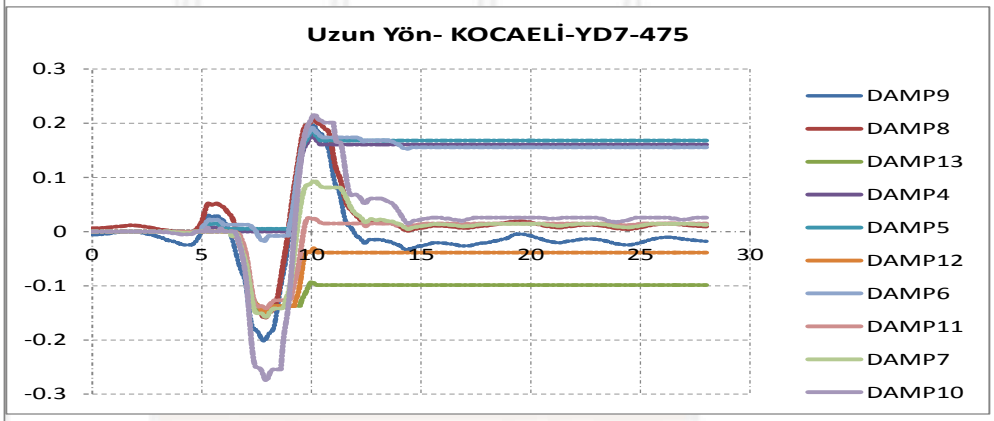
Analiz Sonuçları



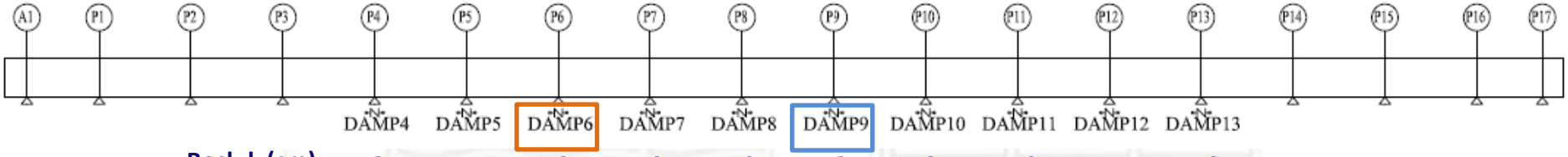
Boşluk (cm)	**16**	**14**	**10**	**6**	**0**	**0**	**6**	**10**	**14**	**16**

Damper Deplasman (m) – Zaman (s) Grafikleri



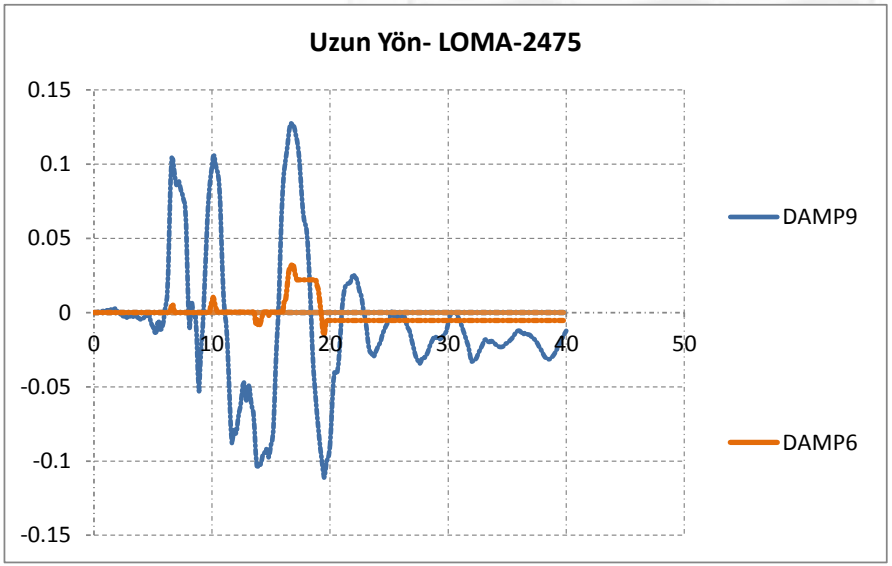


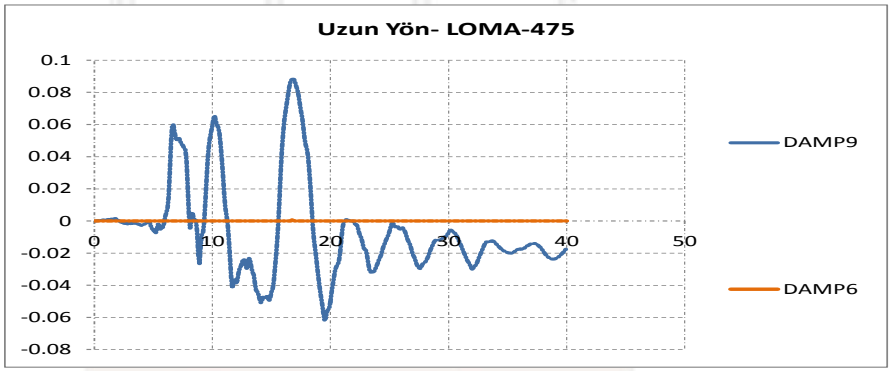
Analiz Sonuçları

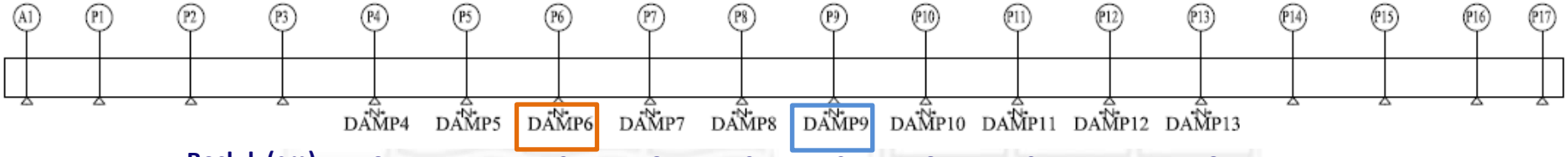


Boşluk (cm)	**16**	**14**	**10**	**6**	**0**	**0**	**6**	**10**	**14**	**16**

Damper Deplasman (m) – Zaman (s) Grafikleri

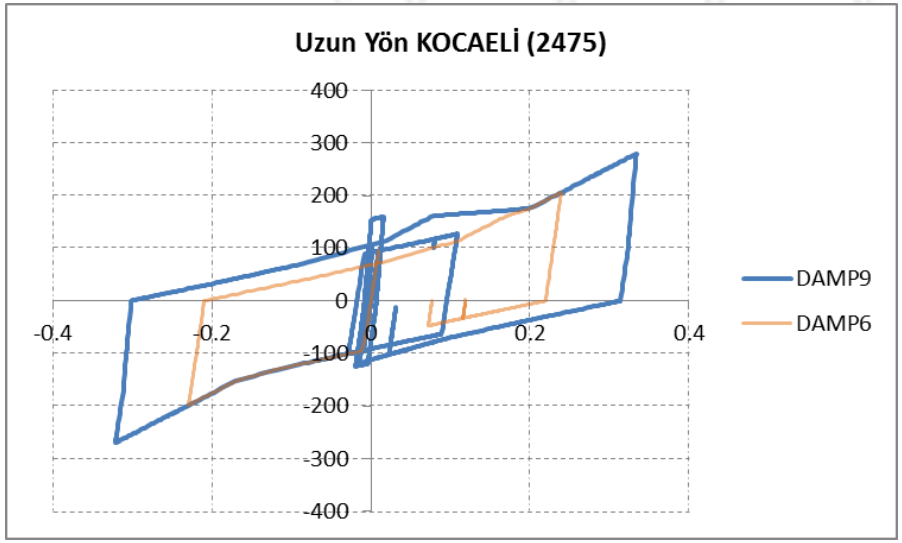


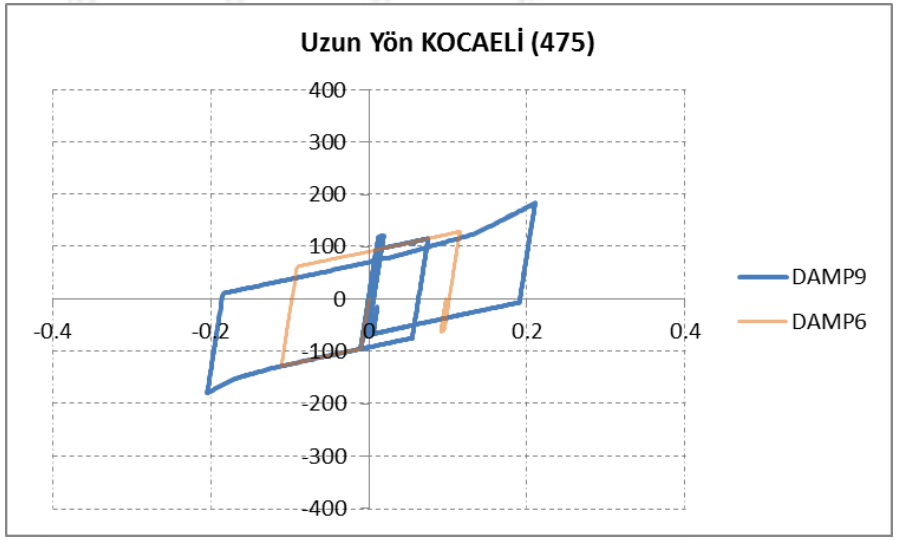




Boşluk (cm)	**16**	**14**	**10**	**6**	**0**	**0**	**6**	**10**	**14**	**16**

Damper Kuvvet (kN) – Deplasman (m) Grafikleri





Sonuç Özeti

- Yapının enerji sönümlemesi artan deprem riskine göre ayarlandı. Böylelikle küçük depremlerde (olma olasılığı daha yüksek olan depremler) damperlerde ve yapıdaki hasar minimize edilirken, büyük depremlerde (olma olasılığı düşük olan depremler) damperler ve yapıdaki hasar deprem büyüdükçe kademeli olarak arttırıldı

- Tasarımda kullanılan adaptif (kendini ayarlayabilen) çözüm sayesinde risk ve hasar dengelenerek ekonomik bir yapı tasarımı elde edildi

Seyrantepe Stadyumu

Uygulama 4
Performansa Dayalı Tasarım
Seyrantepe Stadyumu

Seyrantepe Stadyumu

Plan ölçüleri: 255x215 m

Yerden yükseklik: 57 m

Çatı tipi: Çelik kafes

Çatı açıklığı: 215 m

Çatı ağırlığı: 5000 ton

Seyirci kapasitesi: 55,000

PROTA

Çelik Kafes Çatı

Çatının ana taşıyıcı sistemi , 215 m uzunluğunda iki ana kafes kirişten oluşmaktadır

Deprem Tasarımı

- Çelik çatının ısıl etkiler altında serbestçe genleşmesini sağlamak ve altyapıya iletilen deprem yüklerini azaltarak kontrol etmek amacıyla çatıda sismik izolasyon kullanılmasına karar verildi

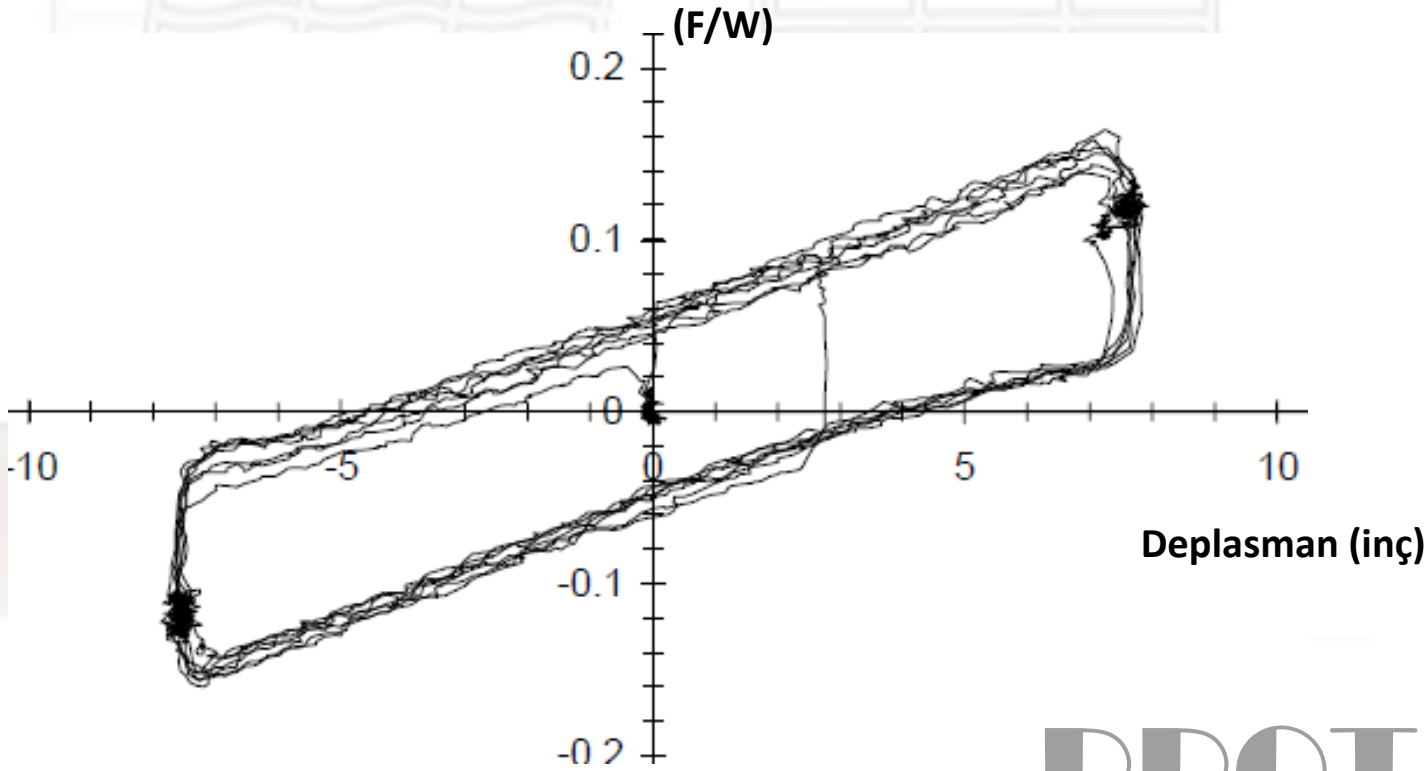
- İlk etapta sismik izolasyon sistemi R=3m konkav yüzey yarıçapı ve 0.08 sürtünme katsayısına sahip sekiz adet sürtünmeli sarkaç mesnetlerden oluşmaktaydı (Her bir kafes kitişin ucunda iki adet izolatör olmak üzere)

- Tasarım sonucunda izolatör deplasmanları 2475 yıl tekrar periyotlu deprem için 300 mm olarak hesaplanmıştı

PROTA

Deprem Tasarımı – Prototip Testler

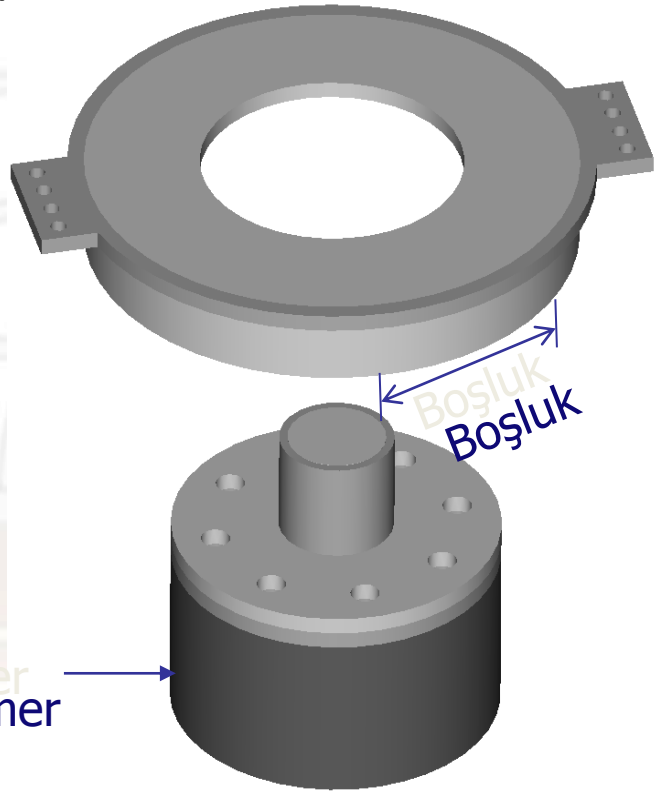
- Ancak izolatörlerin prototip test sonuçlarında tasarımda öngörülen 0.08 değerinden çok daha küçük ortalama sürtünme değerleri elde edildi (ort. Sürtünme= 0.05)



Prototip test sonuçlarından bir örnek

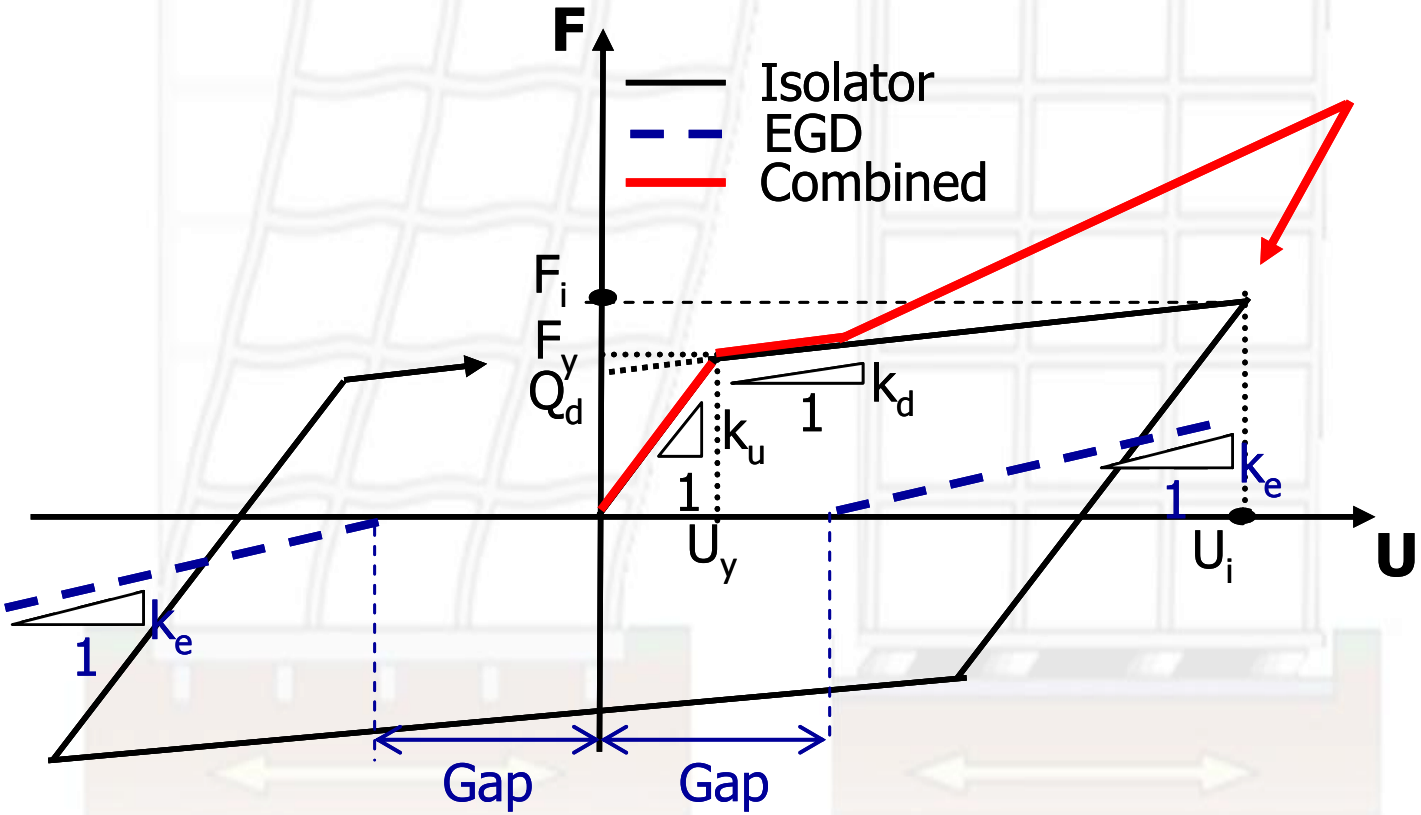
Deprem Tasarımı – Elastik Boşluklu Cihaz

- Düşük sürtünme katsayısından dolayı deplasmanları sınırlamak amacıyla elastik-boşluklu cihazlar (EBC) kullanıldı (Dicleli, 2008)



EBC

Tipik İzolatör ve EBC Davranışı



Analiz sonuçları

- 0.05 sürtünme katsayısı için 475 yıl tekrar periyotlu deprem için izolatör deplasmanı 200 mm olarak hesaplandı

- EBC'ın boşluk seviyesi 200 mm olarak ayarlanmak suretiyle 475 yıllık tekrarlama periyotlu depremde çatı normal izolatörlü bir yapı olarak davranacak ve EBC devreye girmeyecektir

- Daha büyük depremlerde ise EBC devreye girerek izolatör deplasmanları 300 mm altında kalacak şekilde sınırlanacaktır

Uygulama

PROTA

Uygulama

PROTA

Genel Sonuçlar

- Onlarca farklı sismik izolasyon ve sismik damperler yapı mühendislerinin kullanımına sunulmuş vaziyette piyasada mevcuttur

- Mevcut teknolojileri etkili bir şekilde kullanmak suretiyle deprem hasarını asgariye indiren, ekonomik çözümler elde etmek mümkündür

- Yeni teknolojileri takip etmek ve etkili bir şekilde uygulamak suretiyle insanlığa hizmet etmek ve ülke refahına katkıda bulunmak hepimizin görevi olmalıdır

PROTA

Teşekkürler

ORTA DOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

PROF. DR. MURAT DİCLELİ
BÖLÜM BAŞKANI

MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ BÖLÜMÜ
DUMLUPINAR BULVARI
ÇANKAYA ANKARA 06800
Tel: 0 312 210 44 51, Bölüm Sekreterliği Tel: 0 312 210 23 78
Fax: 0 312 210 44 62
mdicleli@metu.edu.tr