

**T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



YAPIYA ÖZEL SİSMİK İZOLATÖR TİPLERİNİN BELİRLENMESİ VE TEST EDİLMESİ

Yüksek Lisans Tez Sunumu

HAZIRLAYAN

BURAK ÇONAY (Y1813.090026)

TEZ DANIŞMANI

PROF. DR. MEHMET FATİH ALTAN

TEŐEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Mehmet Fatih ALTAN'a ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Nisan 2021

Burak ONAY

İnşaat Mühendisi

KISALTMALAR

BRB : Burkulması Engellenmiş Çelik Çaprazlar

DBE : Tasarım Esaslı Deprem

LRB : Kurşun Kauçuk Mesnet

MCE : Beklenen Maksimum Deprem

NRB : Doğal Kauçuk Mesnet

TMD : Ayarlanmış Kütle Sönümleyici

ÖZET

Sismik izolasyon, yapının kendisi ile temeli arasına yerleştirilen deprem yalıtım cihazları sayesinde yapı ile zemin arasında bir katman oluşturarak, yapının ve yapının içindeki tüm bileşenlerin depremin yıkıcı etkilerinden korunmasını sağlayan bir yöntemdir. Bu tezde örnek bir yapı için üretilen prototip sismik izolatör cihazları için gerçekleştirilen testlerin sonuçlarının özetlenmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Test edilen izolatörlerin genel geometrik özellikleri belirtilerek, testlerin gerçekleştiği yük ve deplasman değerleri için beyan değerleri tespit edilecektir. Bu beyan değerleri ile testlerde gerçekleşen değerlerin karşılaştırılması ve kabul kriterlerine uygunluğunun kontrolü incelenecektir. Sismik izolatör cihazlarının önemi yapıların depremden sonra sorunsuz şekilde tekrar kullanılabilmesini sağlamasıdır ve bu da hastane, okul gibi yapılar için son derece önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Sismik Performans, Sismik İzolatör, Akma Sonrası Rijitliği, Etkin Rijitlik, Düşey Rijitlik.

GİRİŞ

Türkiye’de son yıllarda deprem nedeniyle pek çok yapıda büyük hasarlar meydana geldi. Deprem kuvvetleri nedeniyle yapıda yer değiştirme meydana gelir ve bu da yapıya büyük zararlar verir. Hasarı en aza indirmek için sismik izolasyon tekniği kullanılabilir. Yapının depreme karşı korunması için, binanın uygun yerlerine sismik enerjiyi dağıtan elemanların yerleştirilmesi bir çözümdür. Sismik izolasyon cihazları, yapının deprem yükü etkilerine dayanma kapasitesini veya dinamik rijitliği artırır. Sismik izolasyon cihazları ayrıca frekansı artırır ve zemine uygulanan kuvvetleri azaltır. Sismik izolasyon cihazları yapıya etki eden deprem enerjisini azaltır ve binayı zeminden ayırarak üst yapının tepkisini azaltır.

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = p_{eff}(t)$$

$$p_{eff}(t) = -m\ddot{u}_g(t)$$

$$f = \frac{1}{T}$$

Sismik İzolasyon Ne İşe Yarar?

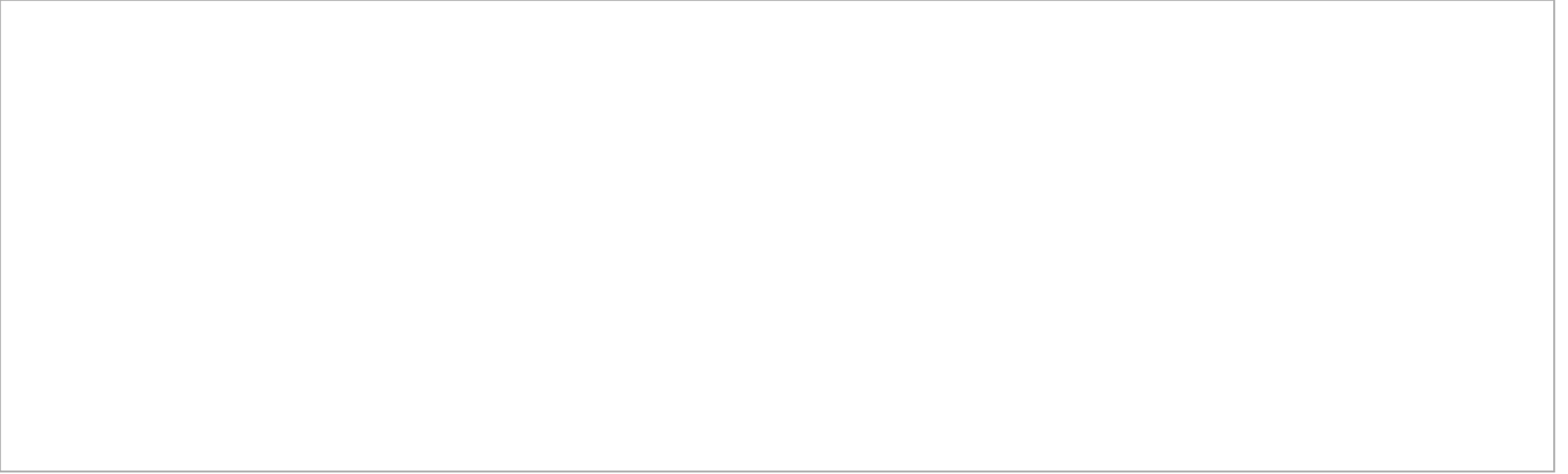
Bir sismik izolasyon cihazı, üst yapıda temel kesme kuvvetini ve katlar arası deplasmanı azaltır. Üst yapıda kaymanın azalması, yapısal bileşenleri ve ayrıca yapısal olmayan bileşenleri korur.

Sismik izolasyon cihazları yapıya gelen deprem enerjisini azaltır ve binayı zeminden ayırarak üst yapının tepkisini azaltır.

Yapıdaki ivme, Spektral ivme, Taban Kesme ve katlar arası deplasman azalır. Titreşim periyodu artar.

Yapının yer hareketi ile ilgili denklemi yapının kütle, rijitlik, enerji sönmleme ve yapıya etkileyen dış sismik kuvvete bağlıdır.

Sismik İzolasyon Cihazı Türleri



Sismik izolasyon cihazları yapı içinde olursa dahili, dışında olursa harici olmak üzere adlandırılır.

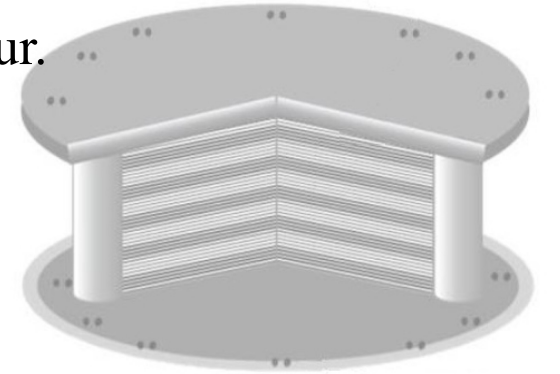
Kauçuk Mesnetler

Doğal kauçuk mesnet (NRB), birlikte vulkanize edilmiş değişken elastomerik katmanlardan ve çelik şimlerden yapılmıştır. Elastomerik katmanlar, doğal kauçuk veya neoprenden yapılmıştır. Yanal esneklik ve elastik geri yükleme kuvveti, elastomerik katmanlar tarafından sağlanır. Çelik plakalar dikey yük kapasitesi uygular ve yanal esnemeyi önler. Düşük sönümlmeli mesnetler, tamamlayıcı sönümlleme cihazlarıyla birlikte kullanılır. Yüksek sönümlleme mesnetleri ise yeterli doğal sönümlleme sağlamaktadır.

Kurşun kauçuk mesnet (LRB), NRB'ye benzer, ancak LRB bir kurşun çekirdek içerir.

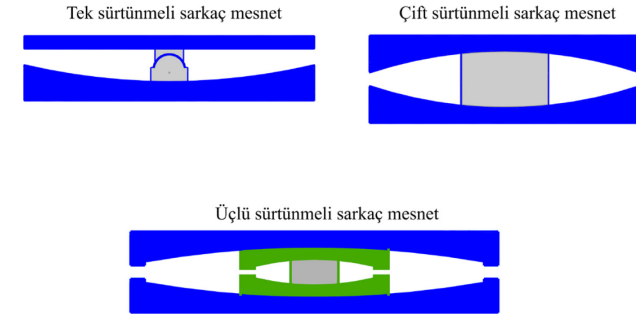
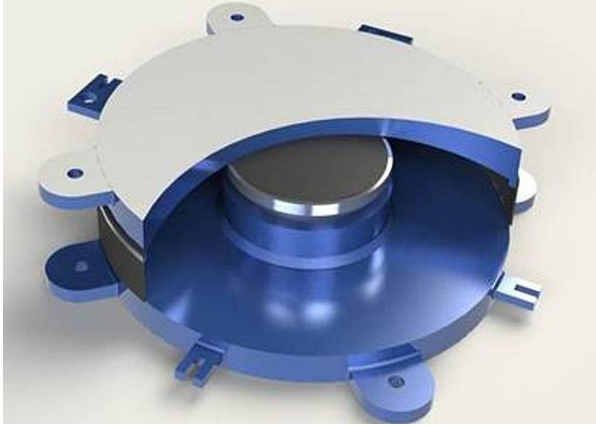
Çelik şimler kurşun dübeli kısıtlar ve bu nedenle makaslama da deforme olur.

Deformasyon meydana geldiğinde ise enerji kaybı gerçekleşir.



Sürtünmeli Sarkaç Mesnetler

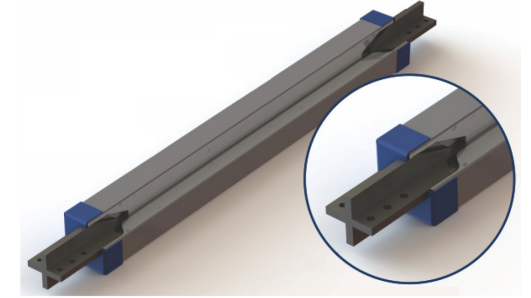
Sürtünmeli sarkaç mesnet cihazları, paslanmaz çelik ile teflon arasındaki sürtünme esasına göre çalışır. Sürtünmeli sarkaç mesnetler düz sürtünmeli sarkaç mesnet ve eğimli sürtünmeli sarkaç mesnet olacak şekilde iki tiptir. Yatay kuvvetler etki ettiğinde düz sürtünmeli sarkaç mesnette eski haline gelme yeteneği yoktur.



Eğimli sürtünmeli sarkaç mesnetin alt kısmında küresel bir yüzey vardır ve düz sürtünmeli sarkaç mesnetin görevinden çok daha fazlasını görür.

BRB elik çaprazlar

Sismik yükün taşınması için destek sağladığımızda, burkulması engellenmiş elik çaprazlar (BRB) ok kullanışlıdır. BRB, yükler altında burkulmadan akmak üzere tasarlanmıştır ve BRB yüksek sneklieğe sahiptir. BRB, hem basınç hem de burkulma olmaksızın akma kabiliyetine sahiptir. elik bölüm, kısıtlayıcı mekanizma ile burkulmaya karşı direnç sağlar.

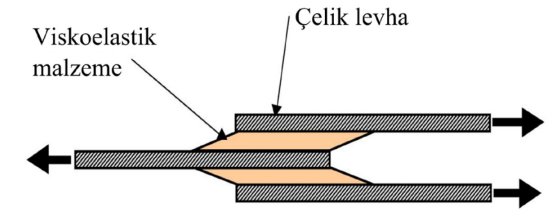
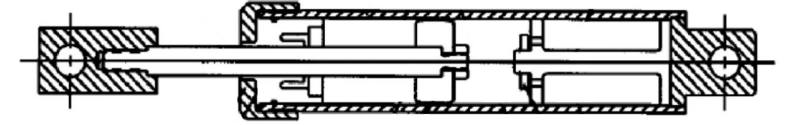


Akışkan ve Visco Elastik Sönümleyiciler

Enerji yayılımından meydana gelen sınırlı bir yer değiştirme üzerine geri yükleme kuvveti uygular. Enerji dağılımı, esas olarak konveksiyon ve iletim süreci ile ısı şeklinde gerçekleşir. Kuvvet uygulandığında piston kolu hareket eder ve bu nedenle sıvı hacminde azalma meydana gelir. Akümülatör yardımı ile sıvı hacminin azalması nedeniyle oluşan geri yükleme kuvveti engellenir.

Visco -Elastic sönümleyiciler, ortam sıcaklığında ve yapının temel frekansında çalışmak üzere tasarlanmıştır.

Çelik plakalara bağlanan visko-elastik bir malzeme içermektedirler.



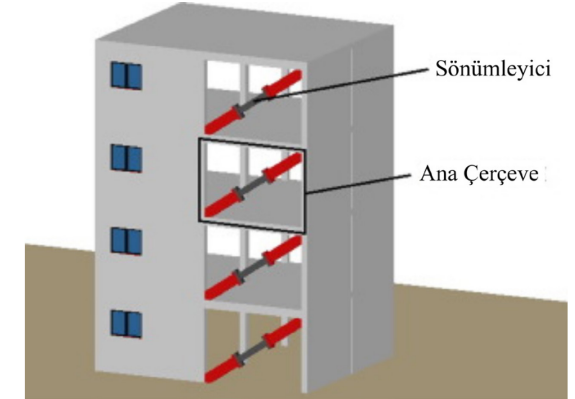
Sürtünme Sönümleyiciler

etkili, ekonomik ve güvenilirdir ve her tür yapı için uygundur. Hareket eden kütleden kinetik enerji alırlar. Sürtünme sönümleyicileri, sürtünmeyi geliştiren bir dizi çelik plakadan oluşur. Çelik plakalar yüksek mukavemetli çelik cıvatalarla sabitlenir ve önceden belirlenen yükte kaymasına izin verilir.



Histeritik Sönümleyiciler

Histeretik sönümleyiciler en güvenilir sismik performansı sağlar. Akma sönümleyicileri olarak da bilinir. Bu sönümleyicide enerji metalik bileşenler tarafından emilir. Bu tip sönümleyicide metalik bileşenlerin akma noktasına ulaşmasına izin verilir.



Ayarlanmış Kütle Damperi (TMD)

Uzun süreli yer hareketi adı verilen yavaş sismik sarsıntılar durumundan ötürü bu hareket, şiddetli depremlerde merkez üssünden uzak yerlerdeki gökdelenlerin düzinelerce dakika boyunca önemli ölçüde sallanmasına neden oldu. Binaların içi hasar görmüştür.

Ayarlanmış kütle damperi (TMD), binanın titreşimine ters yönde hareket ederek onu iptal etmek üzere tasarlanmış, bir cihazdır. Binanın tepesine kurulan TMD güçlü bir depremin ardından uzun süreli yer hareketinin neden olduğu titreşimlerin genliğini azaltır ve titreşimlerin süresini kısaltır.

TMD sistemlerinin en büyük özelliği, sistemin yalnızca güçlü depremlerden kaynaklanan titreşimleri değil, aynı zamanda tayfunların ve diğer kuvvetli rüzgarların neden olduğu küçük ama sık titreşimleride absorbe etmesidir.

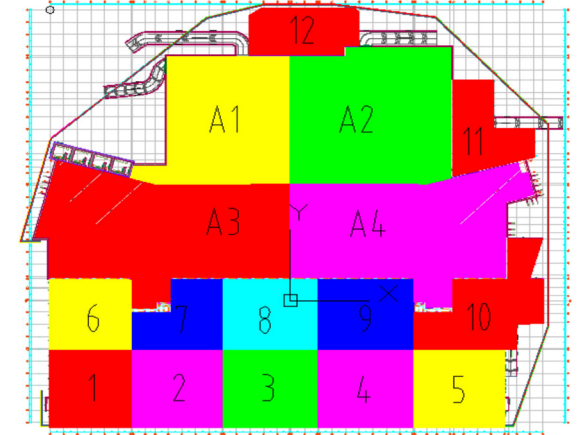
YAPININ PERFORMANS HEDEFLERİ VE TASARIM YÖNTEMİ

Bina yaklaşık 260758 m² kapalı alana sahiptir.

Ana bina izolatörlü olarak, otopark ve teknik merkez binaları ise izolatörsüz tasarlanmıştır.

A1 ve A2 blok 6 kat, A3 ve A4 bloklar 13 katlıdır.

Kat yükseklikleri ilk katta 4 metre, sonraki 4 katta 5.3 metre diğer katlarda ise 4.2 metredir.



Yapı İçin Öngörölen Performans Hedefleri

- Tasarım depreminde kesintisiz kullanım / minimum hasar
- Tasarım depreminde yapısal olmayan elemanlarda kullanım (Maksimum 0.2 g kat ivmesi ve maximum 0.005 katlararası görelİ ötelenme)
- Gözönüne alınan en büyük depremde üst yapıda minimum yapısal hasar
- Gözönüne alınan en büyük depremde izolatör ve izolatör altı seviyelerde operasyonel kullanım

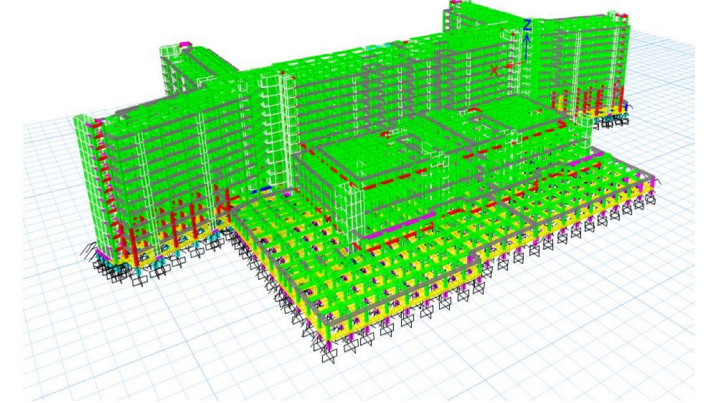
Tasarım Aşamaları

.Ön tasarımda üst yapı için detaylı lineer bir model oluşturulmuş ve deprem kuvveti olarak 0.10 W'luk taban kesme kuvveti uygulanarak taşıyıcı sistem elemanlarının ön boyutları belirlenmiştir.

Deprem kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Her bir kayıt 2 farklı yön için dikkate alınmış ve toplamda DD-1 ve DD-2 için 28 farklı doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak analiz yapılmıştır. Üst yapı lineer olarak modellenmiş ve sönüm oranı % 5 alınmıştır. DD-2 analizlerinde izolatörlerin üst sınırları kullanılarak en büyük taban kesme kuvvetinin elde edilmesi, DD-1 için ise alt sınır özellikleri kullanılarak en büyük yanal yer değiştirme miktarının elde edilmesi amaçlanmıştır.

izolatörlerin altında bulunan pedestal elemanların tasarımında

P- Δ etkileri hesaba katılmıştır.



Yapının Tasarımsal Özellikleri

Konum	Sınıf	f _{ck}	f _{tk}	E
Yapısal Sistem	C40	40	1.45	34000
Temel(teknik merkez)	C40	40	1.45	34000

Tip	Sınıf	f _{yk}	f _{uk} (maks)	E
Donatı	B420C	420	567	210000
Hasır	B500B	500	-	210000

İzolator altı ve izolator seviyesi tasarım kombinasyonları	İzolator üstü tasarım kombinasyonları
1.2 G + 1.6 L	1.4 G + 1.6 L
(1.2 + 0.2 S _{ds})G + 1.0 L + E _{dbe}	(1.2 + 0.2 S _{ds})G + 1.0 L + E _{dbe}
(0.9 - 0.2 S _{ds})G + E _{dbe}	(0.9 - 0.2 S _{ds})G + E _{dbe}
(1.2 + 0.2 S _{ms})G + 1.0 L + E _{mce}	(1.2 + 0.2 S _{ms})G + 1.0 L + E _{mce}
(0.9 - 0.2 S _{ms})G + E _{mce}	(0.9 - 0.2 S _{ms})G + E _{mce}
1.4 G	1.4 G
1.2 G + 1.6 L + 1.6 H	1.2G + 1.6 L + 1.6 H
1.2 G + 1.2 T + 1.0 L	1.2 G + 1.2 T + 1.0 L
0.9 G + 1.6 H	0.9 G + 1.6 H

Konum	Servis Yüğü	İlave Ölü Yüğü	Duvar Yüğü	Mekanik Yüğü	Hareketli Yüğü
Otopark	0.5	2.2	-	-	5.0
Koridor	0.5	2.2	-	-	5.0
Hastane Genel	0.5	2.0	1.5	-	5.0
Hastane Ekipman Alanı	0.5	2.2	1.5	10	3.5
Ofis	0.5	2.5	0.0	-	2.0
Mekanik Kat	1.0 (tavan)	2.2	-	7.5	2.0
Çatı Katı	0.5	3.5	-	-	1.5
Ameliyathane	0.5	2.2	1.5	5.0	5.0
Trafik	0.5	2.2	-	-	15.0

Yükseklik (m)	Rüzgar Hızı (m/s)	Hız Basıncı (kPa)
0-8	28	0.50
9-20	36	0.80
21-100	42	1.10
>100	46	1.30

Durum	Konum/Durum	Sınır
Döşeme, Kiriş (düşey)	Açıklık	L/240
Döşeme, Kiriş (düşey)	Konsol	L/120
Döşeme, Kiriş (düşey @ kiritik)	Açıklık	L/480
Döşeme, Kiriş (düşey @ kiritik)	Konsol	L/240
Görelî Kat ötelemesi	Rüzgar	H/350
Görelî Kat ötelemesi	Deprem (DBE)	H/200
Zemin Oturması	Servis	L/1000

Konum	Değer
Yapı içi	$w_{max} \leq 0.4 \text{ mm}$
Yapı dışı	$w_{max} \leq 0.2 \text{ mm}$
Yapı içi (nemli)	$w_{max} \leq 0.2 \text{ mm}$

Konum	Değer
Toprağa Değen Elemanlar	$C_c \geq 50 \text{ mm}$
Kolon ve Kirişler	$C_c \geq 40 \text{ mm}$
Döşemeler	$C_c \geq 25 \text{ mm}$
Perdeler	$C_c \geq 40 \text{ mm}$
Kazık	$C_c \geq 75 \text{ mm}$

Parametre	Değer
Zemin Grubu	C
Zemin Sınıfı	Z3
$T_a - T_b$	0.15 - 0.60
A_0 (g)	0.40
σ_{em}	260 kPa
K	17370 kN/m ³
Vs30	239 m/s

Probabilistik Spektral İvme

Bursa’ da bulunan yapı için hemprobabilistik hem de deterministik sismik tehlike analizleri yapılmıştır. Hesaplarda azalım ilişkisi olarak Abrahamson ve Silva (2008), Boore ve Atkinson (2008), Campbell ve Bozorgnia (2008) ve Chiou ve Youngs (2008) NGA azalım ilişkileri kullanılmıştır. Zaman bağımlı model kullanılarak B/C sınır zemin koşulları için probabilistik spektral ivme değerleri aşağıda verilmiştir.

TASARIM DEPREMİ	ORTALAMA YİNELENME SÜRESİ - Aşılma Olasılığı	SPEKTRAL İVME	
		Ss (0.2s)	S1 (1.0s)
Tasarım Depremi	475 Yıl – 50 yılda %10	0.65g	0.27g
Enbüyük Deprem	2475 Yıl – 50 yılda %2	1.07g	0.46g

UDAP-Ç-13-36 modelin değerlerin elde edilmesinde referans zemin olarak üst 30 m’de ortalama kayma dalgası yayılma hızı $V_{s30}=760$ m/s olan zemin kullanılmıştır.

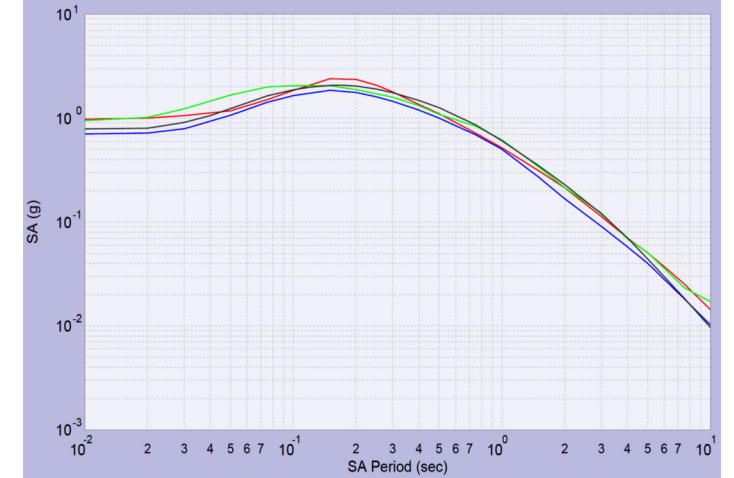
TASARIM DEPREMİ	ORTALAMA YİNELENME SÜRESİ -Aşılma Olasılığı	SPEKTRAL İVME					
		Ss (0.2s)			S1(1.0s)		
D2- Depremi	475 Yıl – 50 yılda %10	1.00	1.00	0.90	0.26	0.23	0.23
D3- Deprem	2475 Yıl – 50 yılda %2	1.90	1.80	1.74	0.52	0.44	0.44

Deterministik Deprem Senaryosu

Buna göre yapıya 2 km mesafede, oluşacak Mw 6.4 büyüklüğünde bir deprem deterministik senaryo deprem olarak seçilmiştir.

Fay Adı	Fay Uzunluğu	Yapıya olan Mesafe	Faylanma Mekanizması	Fay Düzlemi	Deprem Potansiyeli, Mw
Zeytinbağı	36km	25km	Doğru Atımlı	Düşey	6.5
Gençali	24km	17km	Doğru Atımlı	Düşey	6.2
Bursa	35km	2km	Normal	60-70° KD	6.4
Ulubat	44km	8km	Doğru Atımlı + Ters	Düşey	6.8

Bölgeye özel deprem tehlikesi belirleme çalışması esnasında yapılan deterministik analizlerde medyan+1 standart sapma dikkate alınarak, probabilistik hesaplarda kullanılan NGA azalım ilişkileri ile aşağıdaki % 5 sönüm oranlı yatay spektrum elde edilmiştir. Tasarım bazlı deprem Spektrumu parametreleri elde edilmiştir.

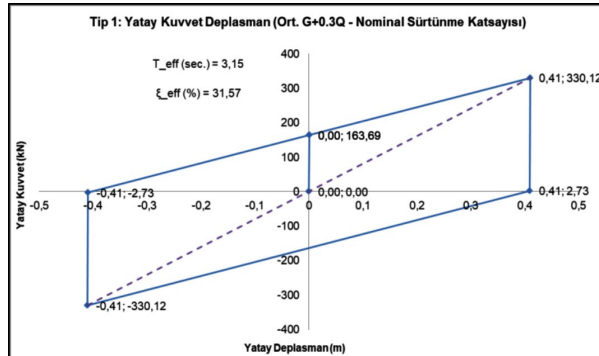


ORTALAMA YİNELENME SÜRESİ - Aşılma Olasılığı	SPEKTRAL İVME	
	S _s (0.2s)	S ₁ (1.0s)
475 Yıl – 50 yılda %10	1.15g	0.48g
2475 Yıl – 50 yılda %2	2.16g	0.82g

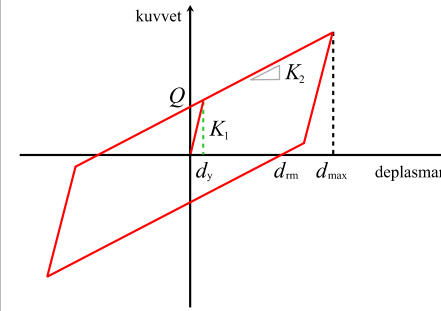
İzolatörlerin Tasarımı & Analizi

Yapı için aksenal yük seviyelerine göre 4 farklı tip izolatör kullanılması amaçlanmıştır. İzolatörlerin davranışı modelleri gösterilen çift doğrusal davranış modelidir.

İzolatörlerin davranış özellikleri eşdeğer eğrilik yarıçapı, sürtünme katsayısı ve izolatör üzerindeki aksenal yük değerlerine doğrudan bağlıdır. Proje kapsamında kullanılacak olan 923 adet İzolatör kullanılmıştır.



Eksenel yükü N , eşdeğer yarıçapı R_e ve eşdeğer sürtünme katsayısı μ_e olan bir cihazın mekanik özellikleri



$$Q = \mu_e N$$

$$K_1 = \frac{Q}{d_y}$$

$$K_2 = \frac{N}{R_e}$$

$$d_y = \frac{Q}{K_1 - K_2}$$

$$K_{eff} = \frac{Q}{d_{max}} + K_2$$

$$T_p = 2\pi \sqrt{\frac{R_{ec}}{g}}$$

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{R_e}{g} \cdot \frac{d_{max}}{d_{max} + \mu_e R_e}}$$

$$\xi_{eff} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\mu_e R_e}{d_{max} + \mu_e R_e}$$

Karakteristik dayanım

İlk rijitlik (genelde sonsuzdur)

Hareket sırasındaki yatay rijitlik

Akma deformasyonu (pratik olarak sıfır)

Etkin rijitlik

Doğal titreşim periyodu

Etkin titreşim periyodu

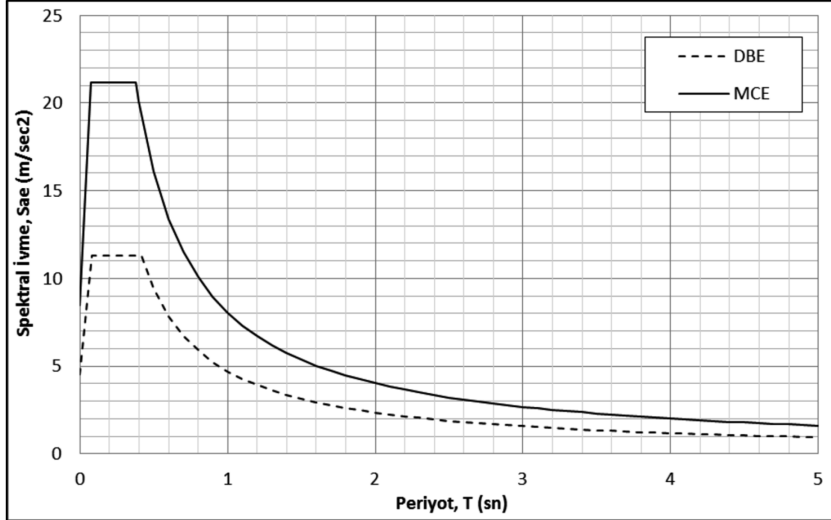
Etkin sönüm oranı

İzolator Çeşitlerinin Teknik Verileri

TEKNİK VERİLER				
Tip No	1	2	3	4
Cihaz Kodu	TDP 4800/410/5	TDP 9200/410/5	TDP 13100/410/5	TDP 17200/410/5
Toplam adet	206	276	243	198
Maks. eksenel yük, $N_{ULS} (1.2G+1.6Q)$	4727 kN	7828 kN	14346 kN	16701 kN
Ort. eksenel yük, N_{st} (1.2G+1.6Q)	2775 kN	5340 kN	6282 kN	6999 kN
Maks. eksenel yük, $N_{ULS} (1.2G+Q+E_{MCE})$	5291 kN	12215 kN	17788 kN	29458 kN
Ort. eksenel yük, N_D (1.2G+Q+E _{MCE})	3410 kN	7326 kN	12954 kN	19871 kN
Maks. eksenel yük, $N_{SM} (G+0.3Q)$	3058 kN	6423 kN	8837 kN	12245 kN
Ort. eksenel yük, N_{SO} (G+0.3Q)	1859 kN	3804 kN	4621 kN	5151 kN
Nominal dinamik sürtünme katsayısı, μ	%5.0	%5.0	%5.0	%5.0
Deplasman kapasitesi	±410 mm	±410 mm	±410 mm	±410 mm
Eşdeğer eğrilik yarıçapı, R_{eq}	4900 mm	4900 mm	4900 mm	4900 mm
GEOMETRİK ÖZELLİKLER				
Destek plakası dış çapı	810 mm	940 mm	1030 mm	1110 mm
İzolatorün en büyük genişliği	1010 mm	1180 mm	1330 mm	1410 mm
İzolator yüksekliği	135 mm	157 mm	175 mm	192 mm
Ankraj cıvatası özellikleri	12xM22 (Cl. 10.9)	12xM30 (Cl. 10.9)	12xM42 (Cl. 10.9)	16xM42 (Cl. 10.9)
Grout özellikleri	t≥50 mm. $f_c \geq 60$ MPa	t≥50 mm. $f_c \geq 60$ MPa	t≥50 mm. $f_c \geq 60$ MPa	t≥50 mm. $f_c \geq 70$ MPa
İzolator tabanında önerilen kolon (veya pedestal) özellikleri	130x130 cm $f_c \geq 40$ MPa	160x160 cm $f_c \geq 40$ MPa	210x210 cm $f_c \geq 40$ MPa	210x210 cm $f_c \geq 40$ MPa
TEST MİKTARLARI				
Prototip testleri	2	2	2	2
Fabrika üretim kontrol testleri (%30)	62	83	73	60

	Technoslide Çapı	Maks. G+0.3Q	Ortalama G+0.3Q	Ortalama 1.63G+Q+E _{MCE}	μ_{dyn} (Maks. G+0.3Q)	μ_{dyn} (Ort. G+0.3Q)	μ_{dyn} (Ortalama 1.63G+Q+E _{MCE})
	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)	(%)	(%)	(%)
Tip 1 TDP 4800/410/5	310	3058	1989	3612	6.34	8.23	5.74
Tip 2 TDP 9200/410/5	460	6423	3863	7930	6.05	8.23	5.33
Tip 3 TDP 13100/410/5	550	8837	4478	13640	6.19	9.34	4.76
Tip 4 TDP 17200/410/5	630	12245	5584	19876	5.99	9.64	4.47

Doğrusal Eşdeğer Analizler ve İzolasyon Sistemi Özellikleri



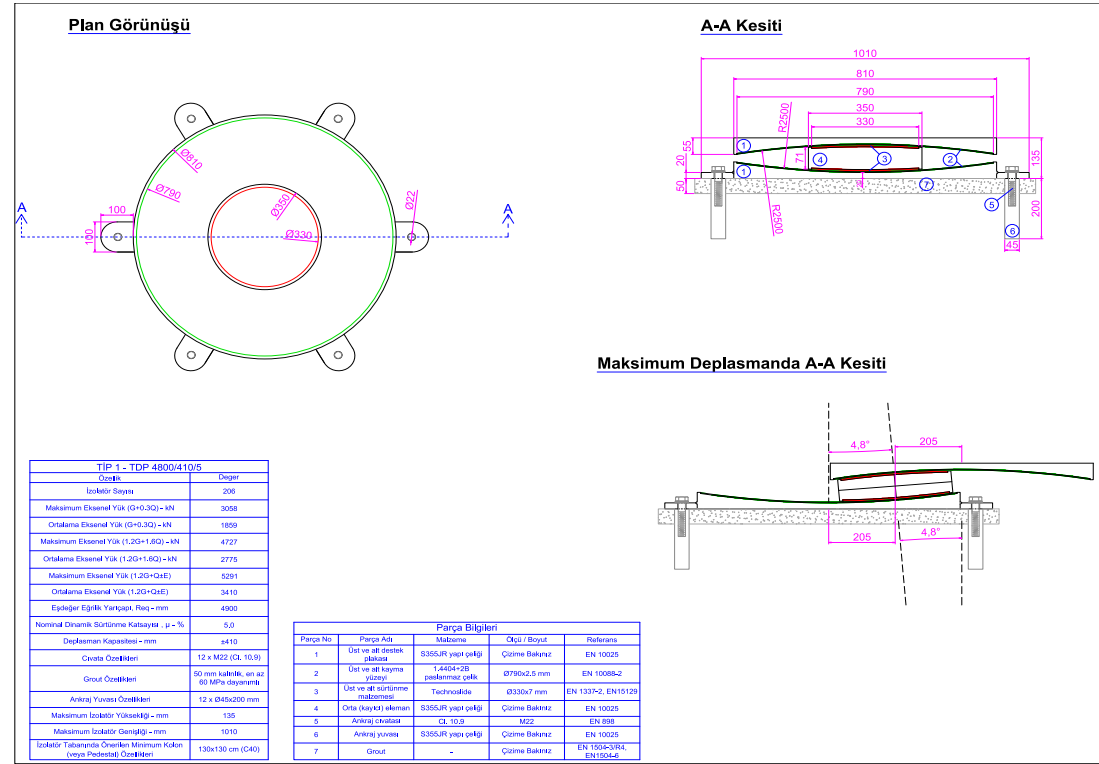
DBE ve MCE seviyesi ivme spektrumları

Yapının toplam sismik ağırlığı, W	3.574.079 kN
NOMİNAL - MCE SEVİYESİ	
Sistemin nominal eşdeğer sürtünme katsayısı, μ	%8,61
Eşdeğer eğrilik yarıçapı, R_{eq}	4900 mm
Etkin periyot, T_{eff}	3,02 sn
Etkin yatay rijitlik, K_{eff}	1579100 kN/m
Etkin sönüm oranı, ξ	%34,3 (%30 ile limittenmiştir)
Maksimum yatay deplasman	± 362 mm
Maksimum taban kesme kuvveti	0,160W (R=1)
NOMİNAL - DBE SEVİYESİ	
Sistemin nominal eşdeğer sürtünme katsayısı, μ	%8,61
Eşdeğer eğrilik yarıçapı, R_{eq}	4900 mm
Etkin periyot, T_{eff}	2,36 sn
Etkin yatay rijitlik, K_{eff}	2587500 kN/m
Etkin sönüm oranı, ξ	%45,7 (%30 ile limittenmiştir)
Maksimum yatay deplasman	± 166 mm
Maksimum taban kesme kuvveti	0,120W (R=1)
ALT SINIR - MCE SEVİYESİ	
Sistemin alt sınır koşullarında minimum eşdeğer sürtünme katsayısı, μ_{LB}	%6,46
Eşdeğer eğrilik yarıçapı, R_{eq}	4900 mm
Etkin periyot, T_{eff}	3,34 sn
Etkin yatay rijitlik, K_{eff}	1290800 kN/m
Etkin sönüm oranı, ξ	27,7%
Maksimum yatay deplasman	± 411 mm (%10 artış ile ± 452 mm. 0.9 katsayısının uygulanması ile ± 407 mm)
Maksimum taban kesme kuvveti	0,149W (R=1)
ÜST SINIR - DBE SEVİYESİ	
Sistemin üst sınır koşullarında maximum eşdeğer sürtünme katsayısı, μ_{UB}	%12,92
Eşdeğer eğrilik yarıçapı, R_{eq}	4900 mm
Etkin periyot, T_{eff}	1,82 sn
Etkin yatay rijitlik, K_{eff}	4340300 kN/m
Etkin sönüm oranı, ξ	%53,0 (%30 ile limittenmiştir)
Maksimum yatay deplasman	± 128 mm
Maksimum taban kesme kuvveti	0,155W (R=1)

Tek dereceli sistem üzerinde çeşitli alternatifleri göz önüne alarak gerçekleştirilen doğrusal elastik analiz sonuçları

İzolatör Tasarım Hesapları

	Tip 1 TDP 48004105	Tip 2 TDP 6004105	Tip 3 TDP 131004105	Tip 4 TDP 172004105	
AC308-11 D.6.2 (Concrete Breakout Strength of Anchor in Shear)					
ϕ	0,75 -	0,75 -	0,75 -	0,75 -	reduction factor, 0,75 for Condition A, 0,70 for Condition B
A_{vc}	459,045 in ²	985,68 in ²	1854,405 in ²	2318,805 in ²	projected area of the failure surface on the side of the concrete member at its edge
A_{100}	459,045 in ²	985,68 in ²	1854,405 in ²	2318,805 in ²	projected area for a single anchor in a deep member with a distance from edges equal or greater than $1,5C_{a1}$ in the direction perpendicular to the shear force
C_{a1}	10,1 in.	14,8 in.	20,3 in.	22,7 in.	Distance from the center of the anchor to the edge of concrete (in the direction of the applied shear)
C_{a2}	15,15 in.	22,2 in.	30,45 in.	34,05 in.	Distance from the center of the anchor to the edge of concrete (perpendicular to C_{a1})
e'_v	0 in.	0 in.	0 in.	0 in.	
$\psi_{ed,v}$	1 -	1 -	1 -	1 -	Modification factor for anchor groups loaded eccentrically in shear
$\psi_{e,v}$	1 -	1 -	1 -	1 -	Modification factor for edge effect
$\psi_{h,v}$	1,550826 -	1,769933 -	1,662001 -	1,757504 -	Modification factor for anchors located in a concrete member (greater than 1)
l_e	5,511815	6,299217	9,842526	9,842526	embedded length of anchor ($l_e < 8d_a$)
λ	1	1	1	1	1 for normal weight concrete
V_b (a)	26353,18 pound	52338,78 pound	102051,5 pound	120674,1 pound	
V_b (b)	20286,4 pound	35984,5 pound	57805,2 pound	68353,64 pound	
V_b	20286,4 pound	35984,5 pound	57805,2 pound	68353,64 pound	basic concrete breakout strength
V_{cb}	31460,67 pound	63690,17 pound	96072,32 pound	120131,8 pound	
ϕV_{cb}	23595,5 pound	47767,63 pound	72054,24 pound	90098,84 pound	
	OK	99% OK	94% ERROR	107% OK	96% CHECK
AC308-11 D.6.3 (Concrete Pryout Strength of Anchor in Shear)					
ϕ	0,75 -	0,75 -	0,75 -	0,75 -	reduction factor, 0,75 for Condition A, 0,70 for Condition B
k_{cc}	24 -	24 -	24 -	24 -	24 for cast-in, 17 for post installed anchors
λ_a	1 -	1 -	1 -	1 -	1 for normal weight concrete
h_{ef}	5,511815 in.	6,299217 in.	9,842526 in.	9,842526 in.	effective embedment depth of anchor
A_{Nco}	273,4209 in ²	357,1212 in ²	871,8779 in ²	871,8779 in ²	projected concrete failure area with an edge distance equal to or greater than $1,5h_{ef}$
A_{Ne}	273,4209 in ²	357,1212 in ²	871,8779 in ²	871,8779 in ²	projected concrete failure area
e'_N	0 in.	0 in.	0 in.	0 in.	
$\psi_{ed,N}$	1,00 -	1,00 -	1,00 -	1,00 -	Modification factor for edge effect
$\psi_{e,N}$	1,25 -	1,25 -	1,25 -	1,25 -	Modification factor (1,25 if no cracking under service loads, 1 if cracking under service load)
$\psi_{cp,N}$	1,00 -	1,00 -	1,00 -	1,00 -	Modification factor (1 for cast-in anchors)
N_b	21808,89 pound	26645,35 pound	52041,7 pound	52041,7 pound	
N_{cb} or N_{cp}	27261,11 pound	33306,69 pound	65052,13 pound	65052,13 pound	
k_{cp}	2 -	2 -	2 -	2 -	1 if $h_{ef} < 2,5in.$, 2 if $h_{ef} > 2,5in.$
V_{cp}	54522,22 pound	66613,38 pound	130104,3 pound	130104,3 pound	
ϕV_{cp}	40891,67 pound	49960,04 pound	97578,19 pound	97578,19 pound	
	OK	57% OK	90% OK	79% OK	89% CHECK



Test Beyan Değerleri

	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4
Eksenel yük, N1 - $N_{(G+0,3Q)ave}$ - kN (Test: P1, D0, D1, D2, D3, RC)	2000	3700	4800	6000
Eksenel yük, N2 - $N_{(1,2G+Q+E)ave}$ - kN (Test: E0-1, E1-1, E2-1, E3-1)	3800	7800	13000	19700
Eksenel yük, N3 - $N_{(0,9G-E)ave}$ - kN (Test: E0-2, E1-2, E2-2, E3-2)	1000	2800	5800	9000
Dinamik sürtünme katsayısı, μ ($N_{(G+0,3Q)ave}$) - % (Test: P1, D0, D1, D2, D3, RC)	8,20	8,45	8,96	9,23
Dinamik sürtünme katsayısı, μ ($N_{(1,2G+Q+E)ave}$) - % (Test: E0-1, E1-1, E2-1, E3-1)	5,56	5,38	4,90	4,49
Dinamik sürtünme katsayısı, μ ($N_{(0,9G-E)ave}$) - % (Test: E0-2, E1-2, E2-2, E3-2)	12,47	10,00	7,99	7,22
Sönüm oranı, ξ (N1, D_M) - % (Test: D3)	31,4	32,0	32,8	33,2
Sönüm oranı, ξ (N1, D_D) - % (Test: D2, RC)	43,8	44,4	45,0	45,4
Sönüm oranı, ξ (N1, $D_D/2$) - % (Test: D1)	51,9	52,3	52,7	53,0
Sönüm oranı, ξ (N1, $D_D/4$) - % (Test: D0)	57,2	57,4	57,7	57,8
Sönüm oranı, ξ (N2, D_M) - % (Test: E3-1)	25,3	24,9	23,4	22,1
Sönüm oranı, ξ (N2, D_D) - % (Test: E2-1)	38,2	37,8	36,2	34,9
Sönüm oranı, ξ (N2, $D_D/2$) - % (Test: E1-1)	47,7	47,5	46,2	45,0
Sönüm oranı, ξ (N2, $D_D/4$) - % (Test: E0-1)	54,6	54,3	53,5	52,8
Sönüm oranı, ξ (N3, D_M) - % (Test: E3-2)	37,9	34,7	30,9	29,3

Kabul Kriterleri

1. Yatay hareket gerekleŖen bütün testlerde kuvvet deplasman eğrisi pozitif artan Ŗekilde olacaktır.
2. Servis testinde (S) gözlenen ortalama sürtünme katsayısı rüzgar yükünden (0.0055W) fazla olmalıdır.
3. Bütün dinamik testlerde (D0, D1, D2, D3, E0, E1, E2, E3); her çevrimde ölçülen etkin rijitlik (effective stiffness, K_{eff}) ve akma sonrası rijitliği (yielded stiffness, K_p) değerleri ile ortalama etkin rijitlik ve akma sonrası rijitliği değerleri arasındaki en büyük sapma $\pm\%15$ olacaktır.*
4. İki numune arasında, bütün dinamik testlerde (D0, D1, D2, D3, E0, E1, E2, E3), her çevrimde ölçülen etkin rijitlik ve akma sonrası rijitliği değerleri arasındaki fark en fazla $\pm\%15$ olacaktır.

-
5. Ortalama etkin rijitlik ve akma sonrası rijitliği değerleri, tasarım aşamasında üst ve alt sınır katsayıları olarak belirlenen $\lambda_{test,max}$ ve $\lambda_{test,min}$ aralığında kalmalıdır. Bu değerler, bu proje için sırasıyla 1.3 ve 0.9 olarak belirlenmiştir.
 6. 10 çevrimlik dinamik test (RC) için, 2. çevrimde gözlenen etkin rijitlik ve sönüm oranları ile, kalan bütün çevrimlerde gözlenen etkin rijitlik ve sönüm oranı değerleri arasındaki fark %30'dan büyük olamaz.
 7. Stabilite (ST) testleri sırasında cihazların düşey ve yatay yük taşıma kapasitelerinde bir kayıp gözlenmemelidir.
 8. Düşey yük taşıma kapasitesinin ölçüldüğü PT testi sırasında ölçülen düşey rijitlik değeri beyan edilen düşey rijitlik değerinden $\pm\%15$ 'ten fazla sapamaz.

Sonuç & Öneriler

Sismik yalıtım, cihazların yanal yönde esnek olması sayesinde, uygulandığı yapının periyodunu büyütür ve deprem anında oluşacak yatay deplasman talebini de izolatör arayüzünde (deprem yalıtım cihazları ile) karşılar.

Normal yapılarda %5 olarak kabul edilen sönüm oranı, deprem yalıtımı söz konusu olunca %20 ve üzerine çıkarak depremin yıkıcı etkilerinin azaltılmasında ekstra bir rol oynar.

Sismik yalıtım uygulanan yapılarda perde duvar ihtiyacı çok azalmakta veya tamamen ortadan kalkmaktadır.

Bu çalışmada, örnek bir yapı için üretilmiş olan 8 prototip izolatör üzerinde U16-30-01r şartnamesine göre gerçekleştirilmiş prototip testlerinin etkin rijitlik, ikincil rijitlik ve düşey rijitlik parametreleri göz önüne alınarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu değerlendirmeler sonucunda, prototip testlerine tabi tutulan sismik yalıtım birimlerinin, kabul kriterlerini ve gerekli performans parametrelerini sorunsuz bir şekilde tamamladığı gözlenmiştir. Bunun için; yapılan analizlerde ve izolatör tasarımlarında, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler sonucu elde edilmiş olana aksenal yük ve deplasman verileri kullanılmıştır.

Bu yapıda kullanılan sürtünmeli sarkaç tipi yalıtım cihazları, deprem yalıtımı alanında kullanılan en yeni teknolojidir ve kauçuk temelli cihazlara göre temel avantajları aşağıdaki gibi listelenebilir:

- Binalarda burulma etkisini ortadan kaldırır.
- Alternatiflerine göre daha küçük (ince) cihazlar tasarlanabilir.
- Çok yüksek ve çok düşük eksenel yüklerde ve deplasmanlarda tasarım ve uygulamaya elveriŐlidir.
- Teorik hesaplar ile pratikteki davranışı çok tutarlı bir Şekilde ngrlebilir.
- Alternatiflerine kıyasla yüksek yangın dayanımına sahiptir.

Rüzgar yükü altında izolasyon sisteminin hareket etmemesi beklenmektedir. Rüzgar yükünün harekete sebep olabilmesi için izolasyon sisteminin düşük hızlardaki sürtünme katsayısını aşması gerekmektedir. Bu proje için önerilen TDP izolatörlerinin düşük hızlardaki eşdeğer sürtünme katsayısı % 4.5 olarak hesaplanmaktadır. Dolayısıyla, izolasyon sisteminde hareket olabilmesi için toplam rüzgar yükünün 0.045 W değerinden büyük olması gerekmektedir.

Yapılan araştırmalar ve testler sonucunda görülmüştür ki düzensiz deprem çevrimlerinin sonunda, yalıtım cihazlarında teorik olarak beklenen kalıcı deplasman değerlerinin çok altında kalıcı deplasmanlar gözlenmektedir (teorik olarak beklenen değerlerin ortalama %5'i kadar). Merkezlemenin sürtünmeli sarkaç tipi yalıtım cihazları için problem olmamasının bir diğer sebebi ise eğrisel kayma yüzeyleridir.

TEŐEKKÜR

BENİ DİNLEDİĞİNİZ İÇİN ÇOK TEŐEKKÜR EDERİM...