

Türk Bina Deprem Yönetmeliği Kapsamında Performansa Dayalı Tasarım Sismik Taban Yalıtımı ve PERFORM-3D ile Mühendislik Uygulamaları

Gebze Teknik Üniversitesi, 2017

Sismik Taban Yalıtımı ve Uygulamaları

İnş. Yük. Müh. Mustafa Deniz Güler & Yrd. Doç. Dr. Barış Erkuş

Bu eğitim sunumlarındaki birçok görsel, kaynakça bilgileri açıkça verilmemekle beraber, çeşitli kaynaklardan derlenmiştir.

Most of the visuals in this training presentation are gathered from various literature although reference information is not stated explicitly.

Taban Yalıtımı Uygulamaları: İçerik

- Örnek Yapının Tanıtımı
- Depremsellik ile ilgili özet bilgi
- Performans Hedefleri
- Efektif Yalıtım Periyodu Seçimi/Belirlenmesi
 - Efektif Periyot
 - Efektif Rijitlik
 - Efektif Sönüm
- Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi
 - Seçilen Yalıtım Birimi Özellikleri
 - Alt ve Üst Limit Değerleri
- İzolatörlerin Modellenmesi
 - Noktasal Link Elemanları
 - Çizgisel Link Elemanları
 - İzolatörlerin Düşey Özellikleri
 - İzolatörlerin Yatay Özellikleri
- Analiz Yönteminin Seçilmesi
 - Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile Analiz
 - Mod Birleştirme Yöntemi ile Analiz
- Tasarım Kombinasyonları
- Yalıtım Birimlerinin Birim Şekildeğiştirme Sınırları
- Yalıtım Birimlerinin Düşey Kararlılığı
- Zaman Tanım Alanında Analiz

Ön Tasarım Hedefleri

Mimari talepleri (aks ölçüleri, kat yükseklikleri, kullanım amaçları vb.) belirlenmiş olan bir yapı için ön tasarım hedefleri;

➤ Depremsellik

- Tasarım depremi (DD2) yapı için uygun görülen taban kesme oranının sağlanması
- Yalıtım birimi deplasmanlarının makul seviyelerde tutulması

➤ Performans Hedefleri

- Yapı Kullanım Amacı: Hastane

Kullanım Amacı : Hastane

Performans Hedefleri:

Üst Yapı:

DD2 (475 Yıl) : «KK»

DD1 (2475 Yıl) : -

Altyapı ve Yalıtım sistemi :

DD2 (475 Yıl) : -

DD1 (2475 Yıl) : «KK»

KK : Kesintisiz Kullanım

Bina Kullanım Sınıfı : BKS = 1

Bina Önem Katsayısı : **1.00***

**Taban yalıtımlı yapılarda bina önem katsayısı 1.00 olarak göz önüne alınır.*

Deprem Tasarım Sınıfı (DTS):

$S_{DS} = 0.99 \leq 1.0 \rightarrow DTS = 1a$

Bina Yükseklik Sınıfı (BYS):

$10.5 \leq H_N = 16 \text{ m} \leq 17.5 \text{ m} \rightarrow BYS = 6$

Tasarım Yaklaşımı : DGT*

**Dayanıma Göre Tasarım*

Ön Tasarım Hedefleri

Mimari talepleri (aks ölçüleri, kat yükseklikleri, kullanım amaçları vb.) belirlenmiş olan bir yapı için ön tasarım hedefleri;

➤ Depremsellik

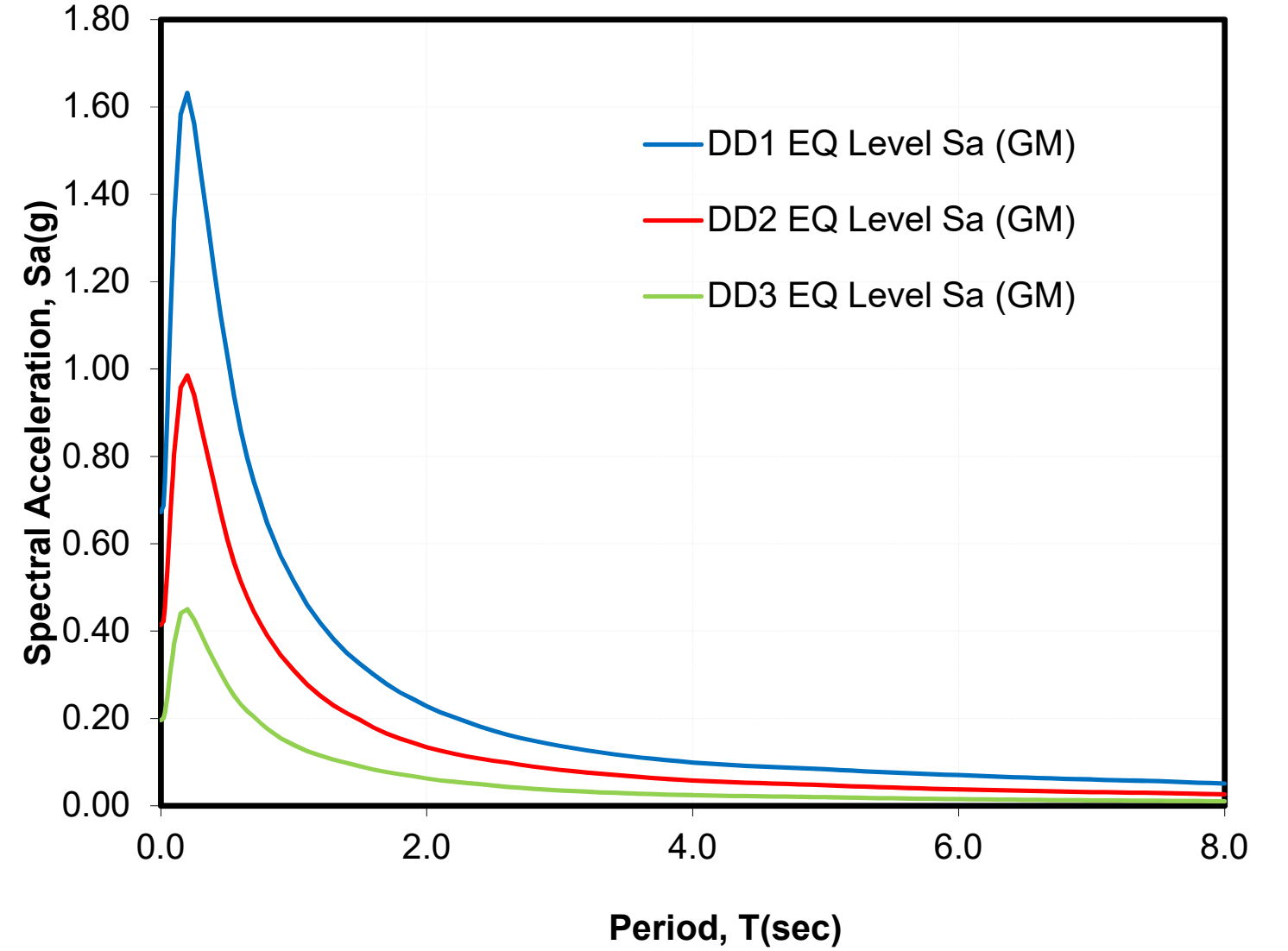
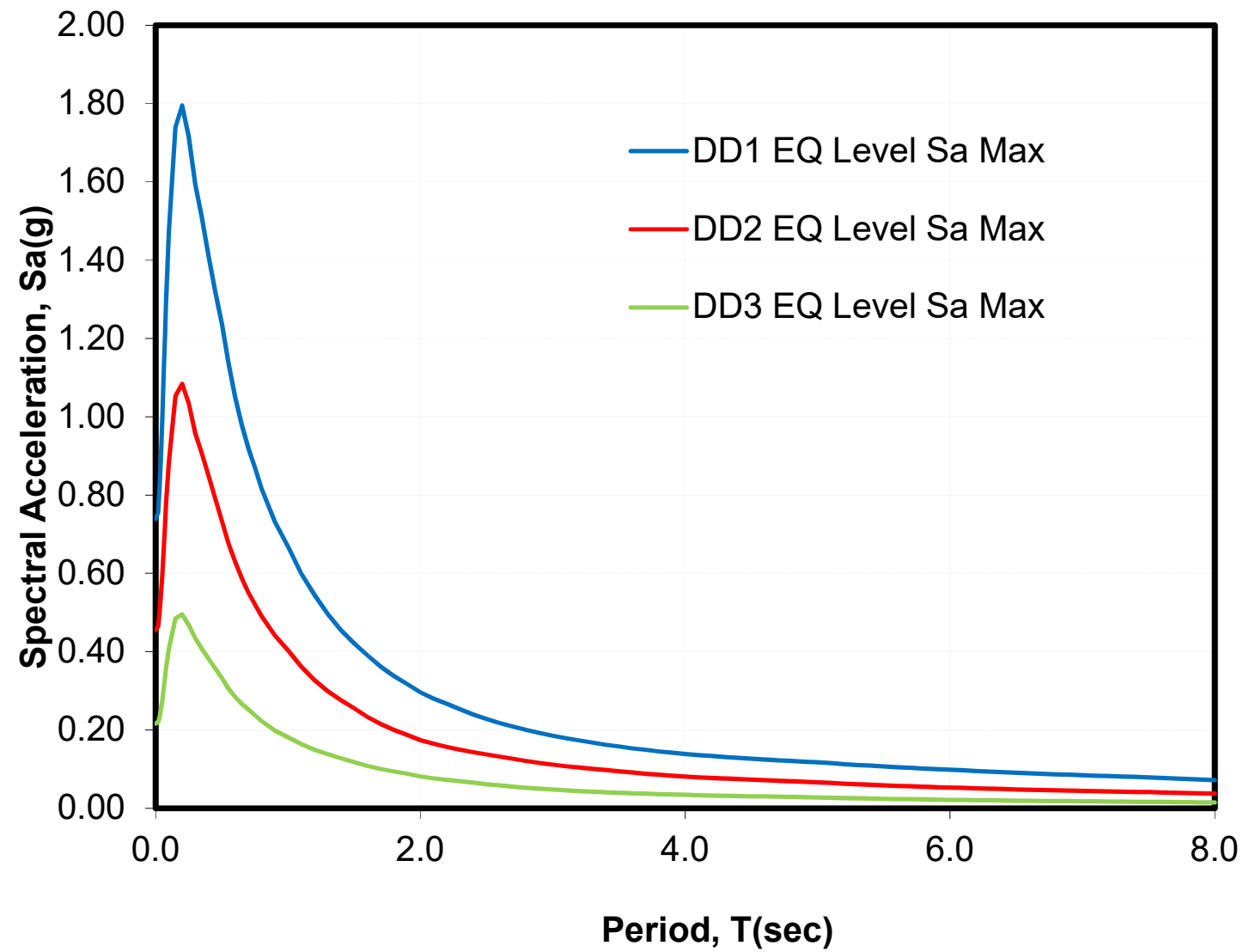
- Tasarım depremi (DD2) yapı için uygun görülen taban kesme oranının sağlanması
- Yalıtım birimi deplasmanlarının makul seviyelerde tutulması

➤ Performans Hedefleri

- Yapı Kullanım Amacı: Hastane

Depremsellik

- Sahaya Özgü Deprem Spektrumu ve Spektrum ile Uyumlu Kayıtlar



Performans Hedefi

Yeni Deprem Yönetmeliği Yaklaşımı:

- Seçilen taşıyıcı sistemden bağımsız olarak aşağıda verilen deprem yükü azaltma ve dayanım fazlası katsayılarının kullanılabilir.
- Deprem Yalıtımı uygulanan binaların alt ve üst yapıları sınırlı süneklik düzeyine göre tasarlanabilir.
- Tasarımda DD2 (475 yıl dönüş periyodu) deprem düzeyi esastır.

Performans Hedefi	R	D
KK	1.2	1.5
HK	1.5	2.0

- Görelî Kat Ötelemeleri Limitleri:

KK için $0.005h_i$

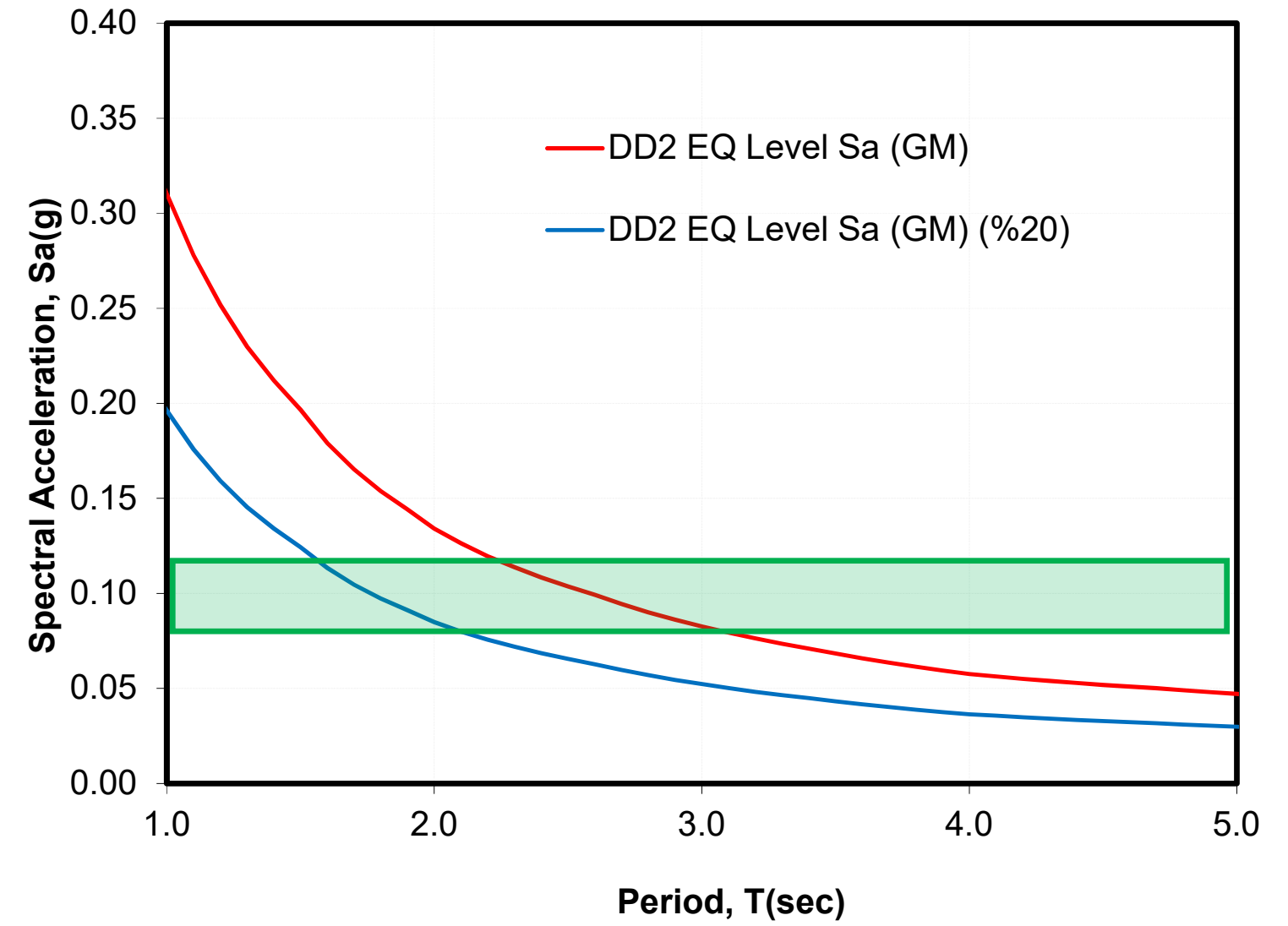
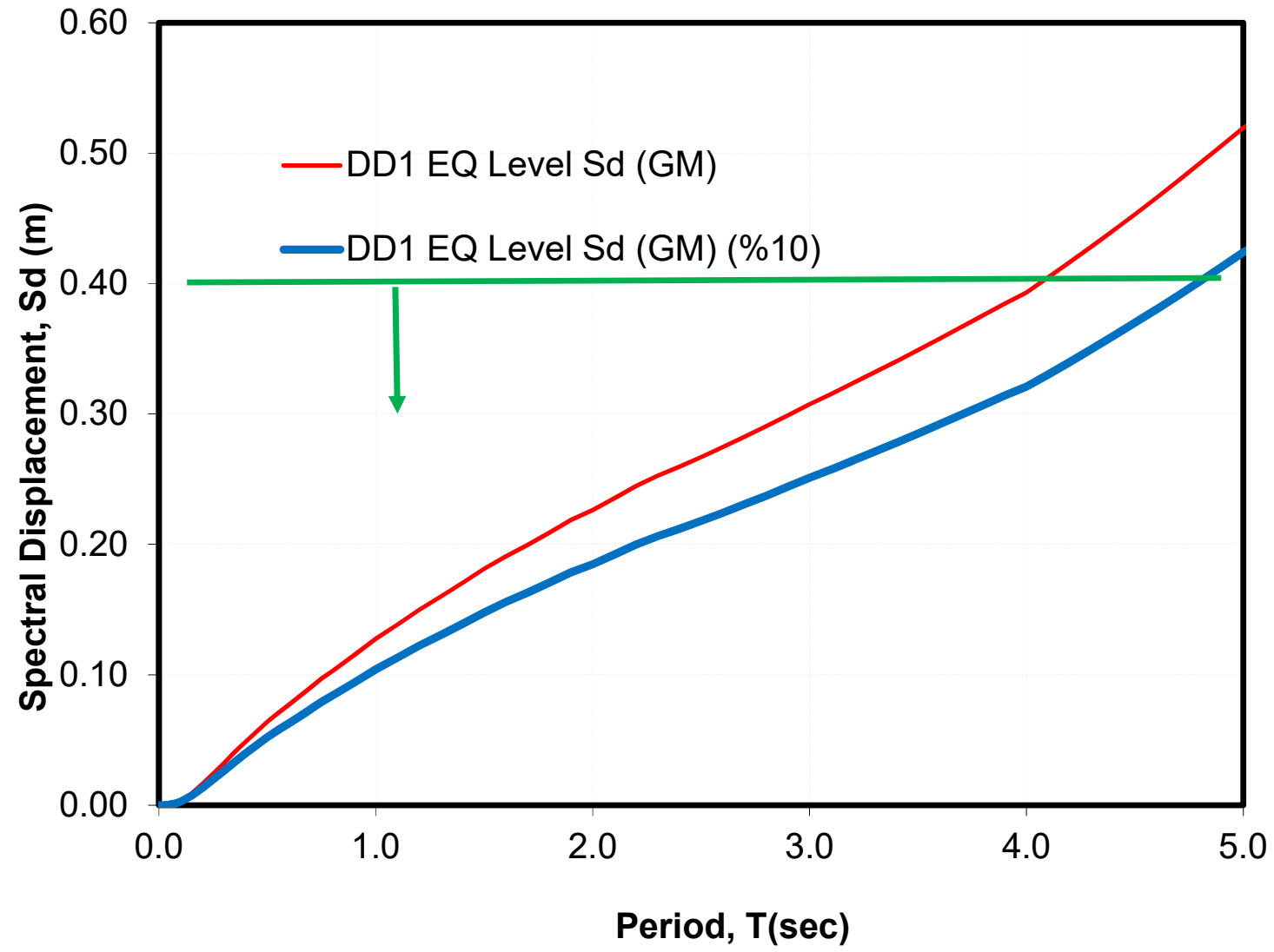
HK için $0.01h_i$

CG için $0.015h_i$

ASCE 7-10:

- Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı (R) seçilen taşıyıcı sistem için tabana ankastre binalarda uygulanmak üzere verilen R katsayılarının $3/8$ 'inden ve 2'den büyük olamaz.
- Yapının bulunduğu bölgenin depremselliğine ve yapı kullanımına da bağılı olarak süneklik düzeyi yüksek sistemlerin kullanılması zorunluluğı bulunmaktadır.
- 475 yıl dönüş periyotlu deprem gözönüne alınarak üst ve alt yapıya etkiyen kuvvetler belirlenir.
**Taslak ASCE7-16'da 2475 yıl dönüş periyotlu deprem göz önüne alınarak kuvvetler belirlenir.*
- İzolasyon düzlemi ve altında kalan tüm yapısal elemanlar yalıtım birimlerinde oluşacak maksimum kesme kuvveti baz alınarak $R=1$ 'e göre tasarlanır.
- Maksimum kat ötelemeleri $0.015h_x$ ile sınırlandırılmakta olup yerdeğıştirme amplifikasyon faktörü seçilen R değeri ile aynı olarak göz önüne alınacaktır.

Ön Tasarım Hedefleri



Ön Tasarım Hedefleri

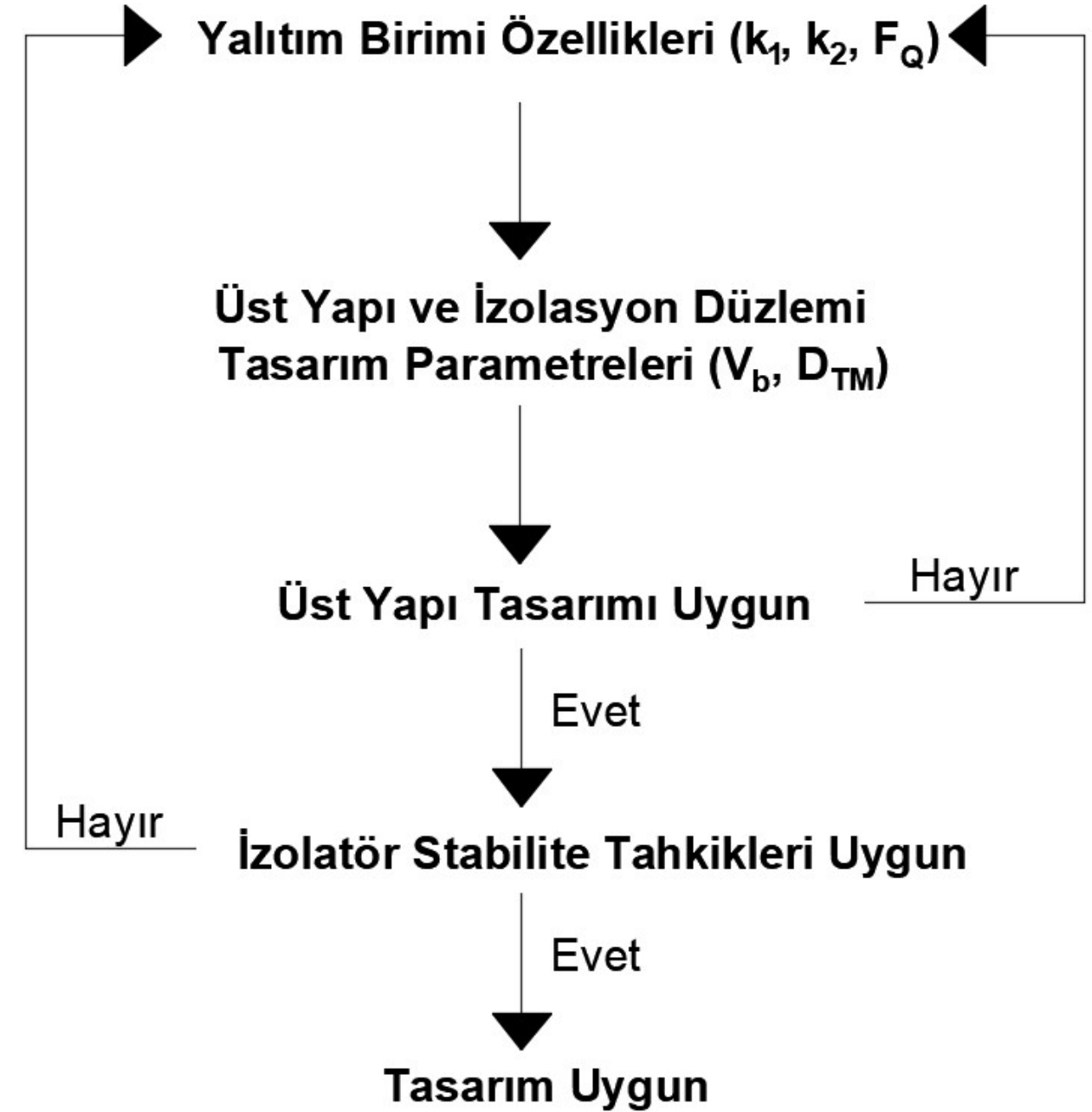
Öngörülen Hedefler ile uyumlu yalıtım birimleri seçimi:

Kauçuk Yalıtım Birimleri:

- Yönetmelik bağıntıları veya üretici tabloları kullanılarak ön tasarım parametreleri belirlenebilir.
- $(F_Q, k_1, k_2 \rightarrow T_{eff}, \beta_e)$
- Kauçuk yalıtım birimlerinde izolatörlerin rijitliği ve eksenel yük kapasiteleri yalıtım birimi boyutlarına bağlıdır.
- Bu nedenle yalıtım birimi boyutlarına göre belirlenen parametreler ile üst yapı tasarımı iteratiftir.

$$F_Q \cong F_y = A_p \tau_{yp}$$

$$k_2 = G_v (A_r / T_r)$$

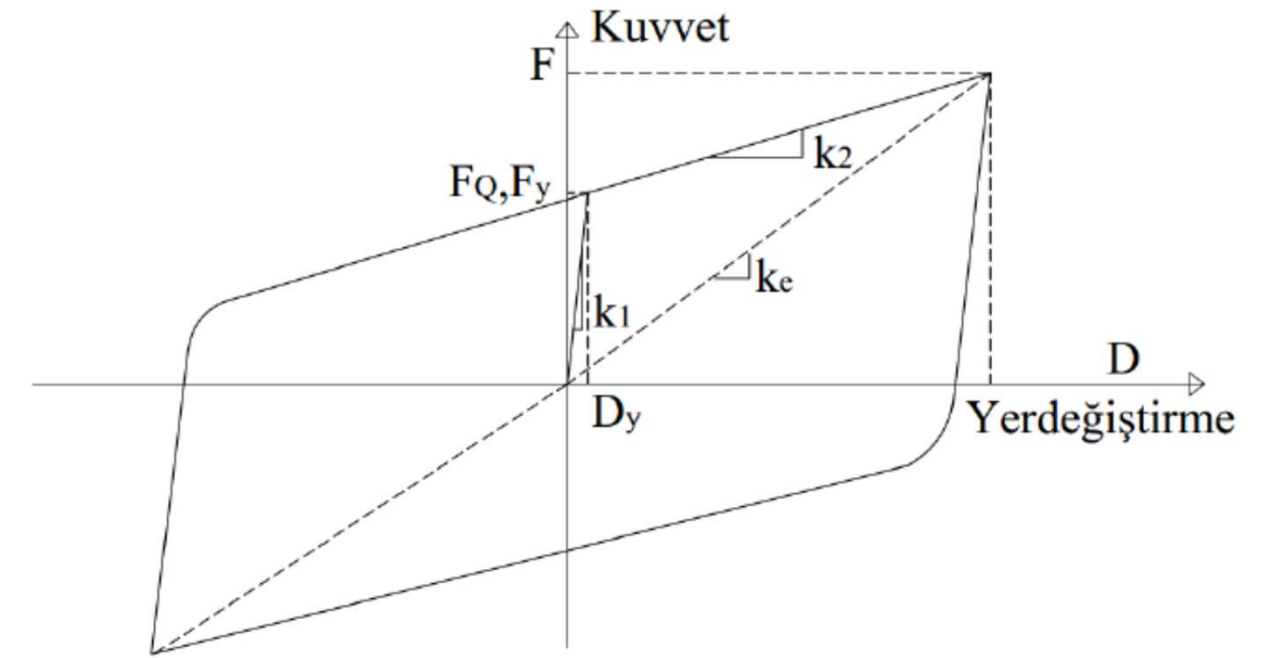
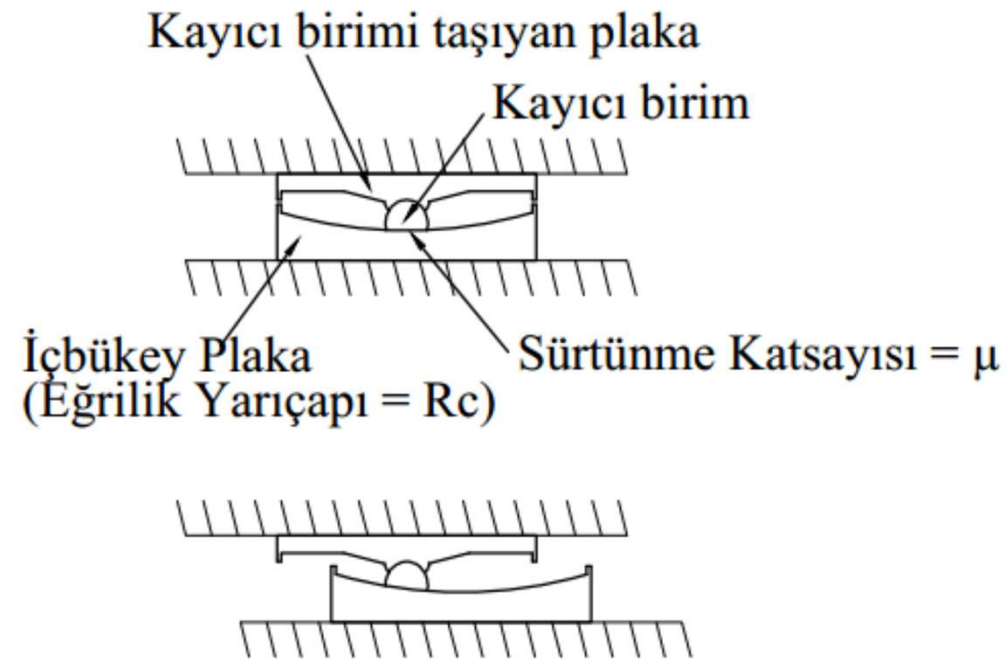


Ön Tasarım Hedefleri

Öngörülen Hedefler ile uyumlu yalıtım birimleri seçimi:

Sürtünmeli Sarkaç Yalıtım Birimleri:

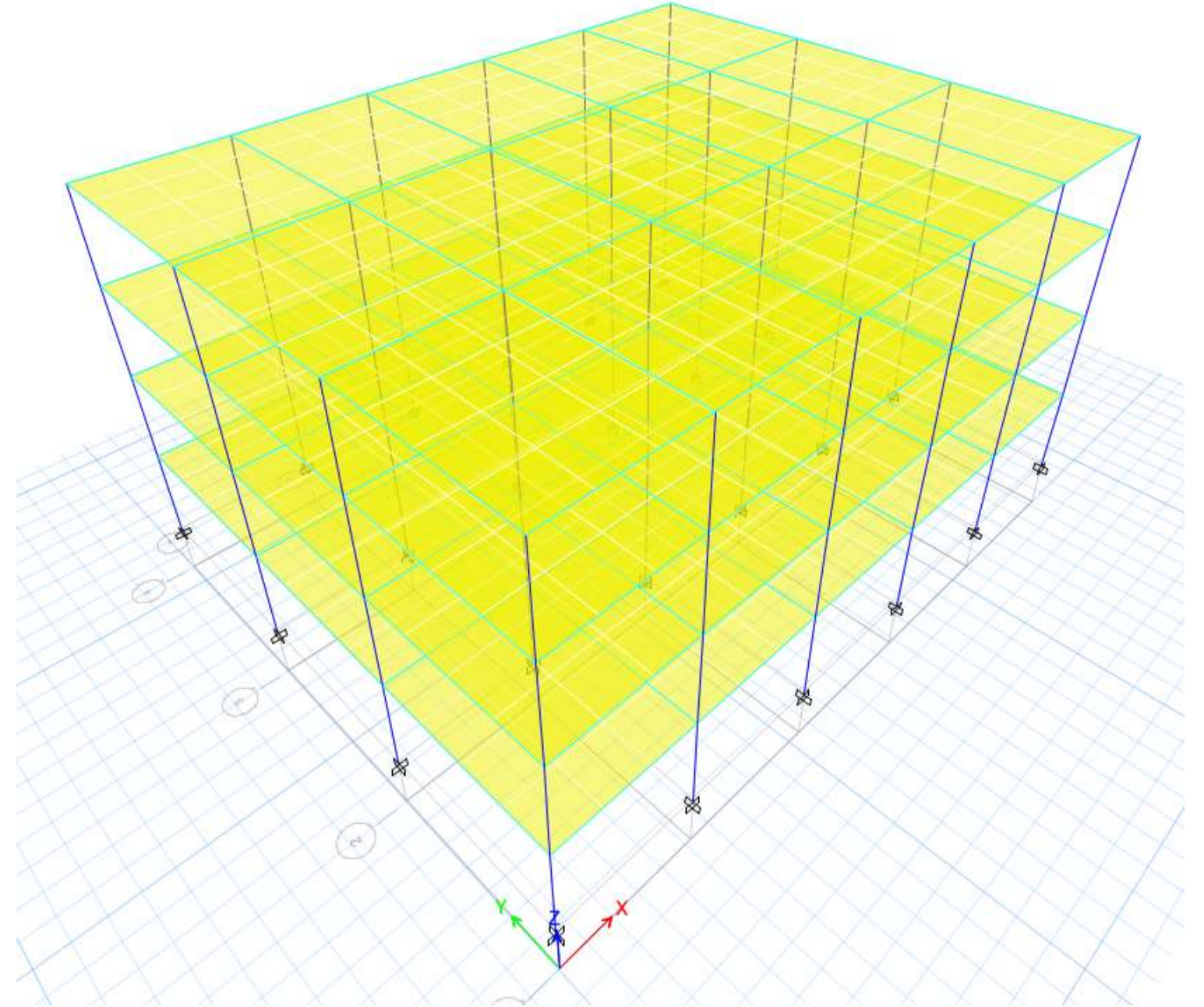
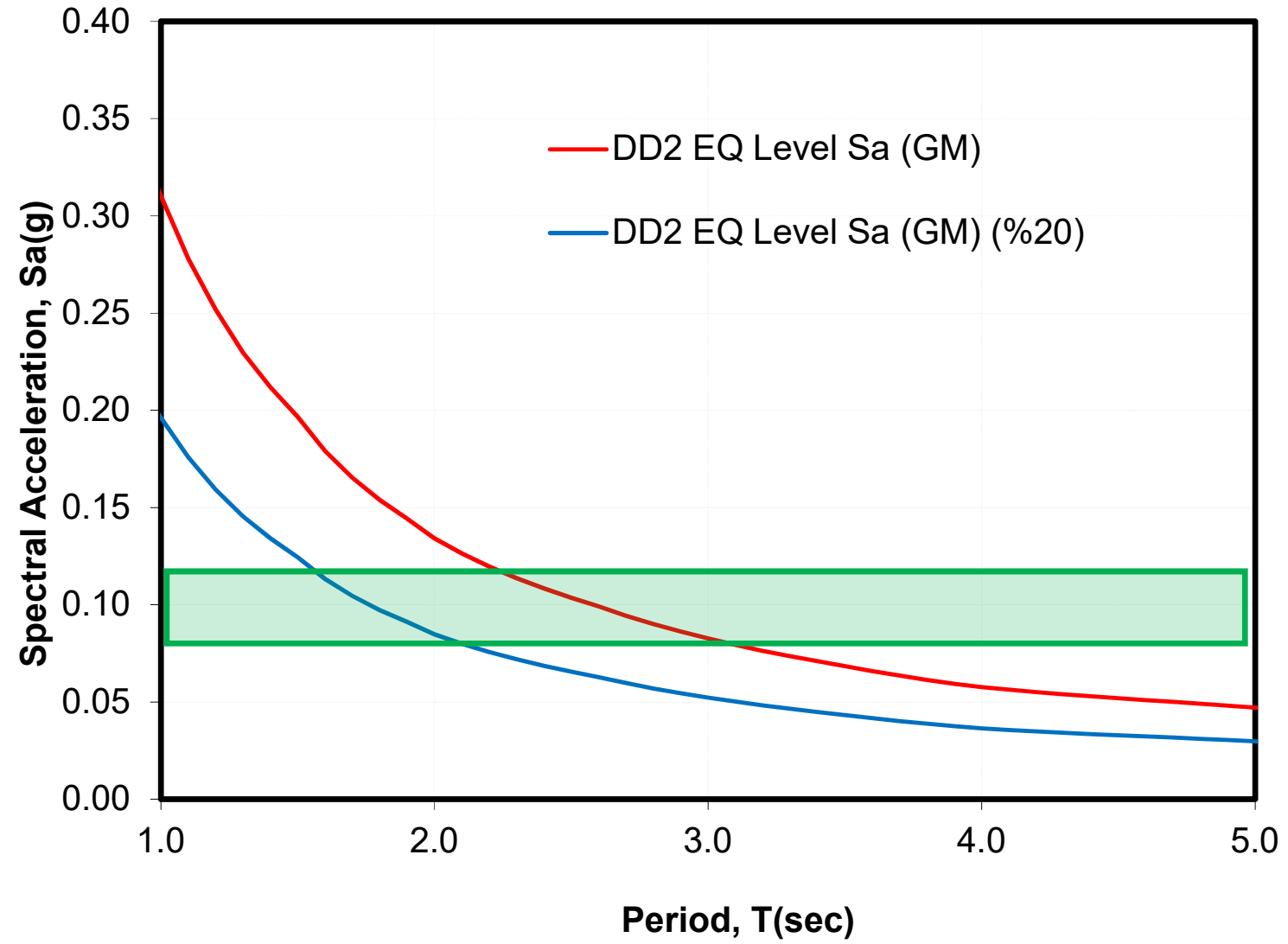
- Yalıtım birimi özellikleri izolatör tipi (tek, çok kademeli), sürtünme değeri ve eşdeğer eğrilik yarıçapına bağlıdır.
- Yalıtım sistemi özellikleri kütleden bağımsızdır.
- Stabilite, dayanım kontrolleri ile karakteristik hesap parametreleri birbirinden bağımsızdır.



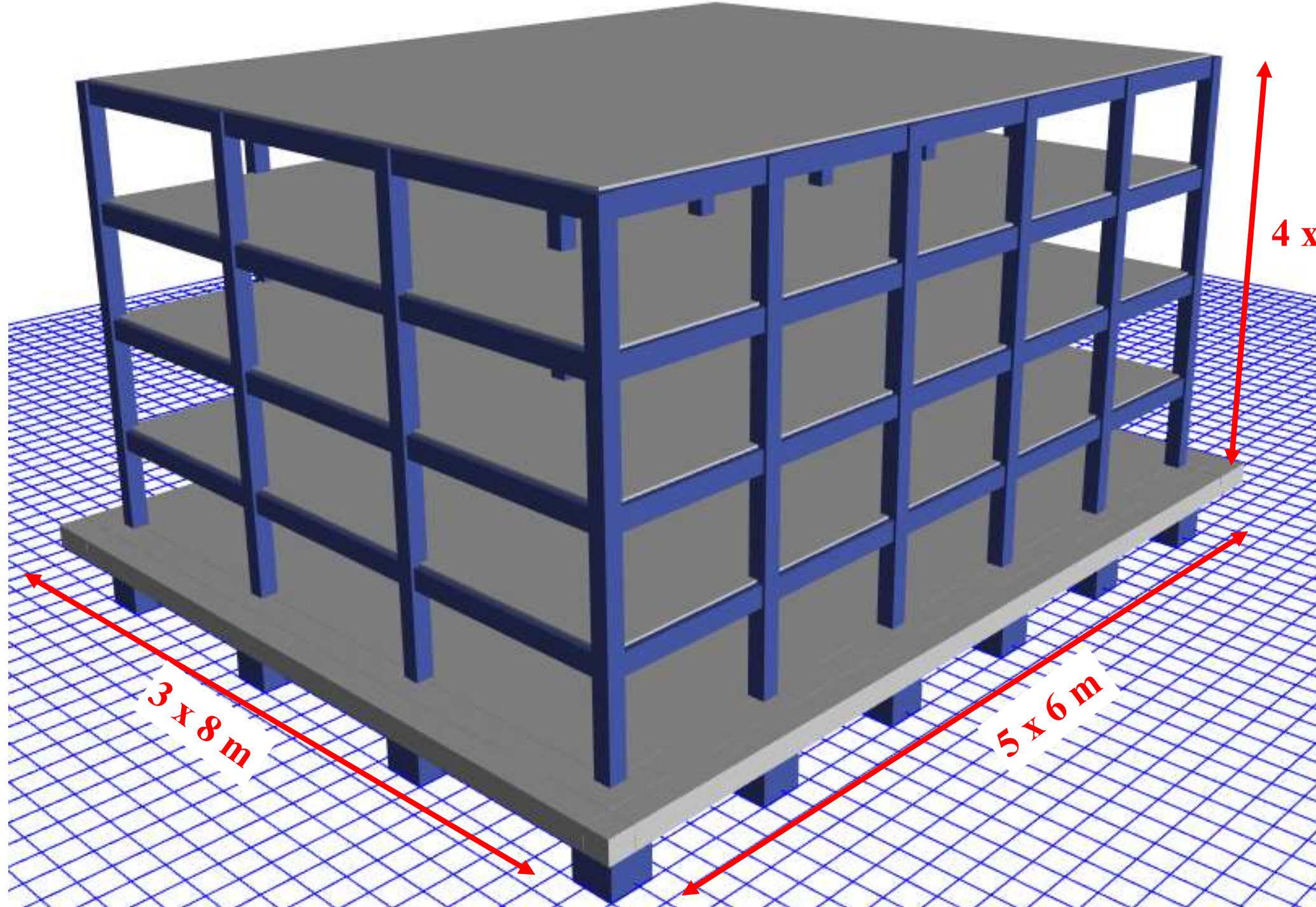
$$F_Q = F_y = \mu_e P$$

$$k_2 = \frac{P}{R_c}$$

Üst Yapı Ön Tasarımı



Yapının Tanımı



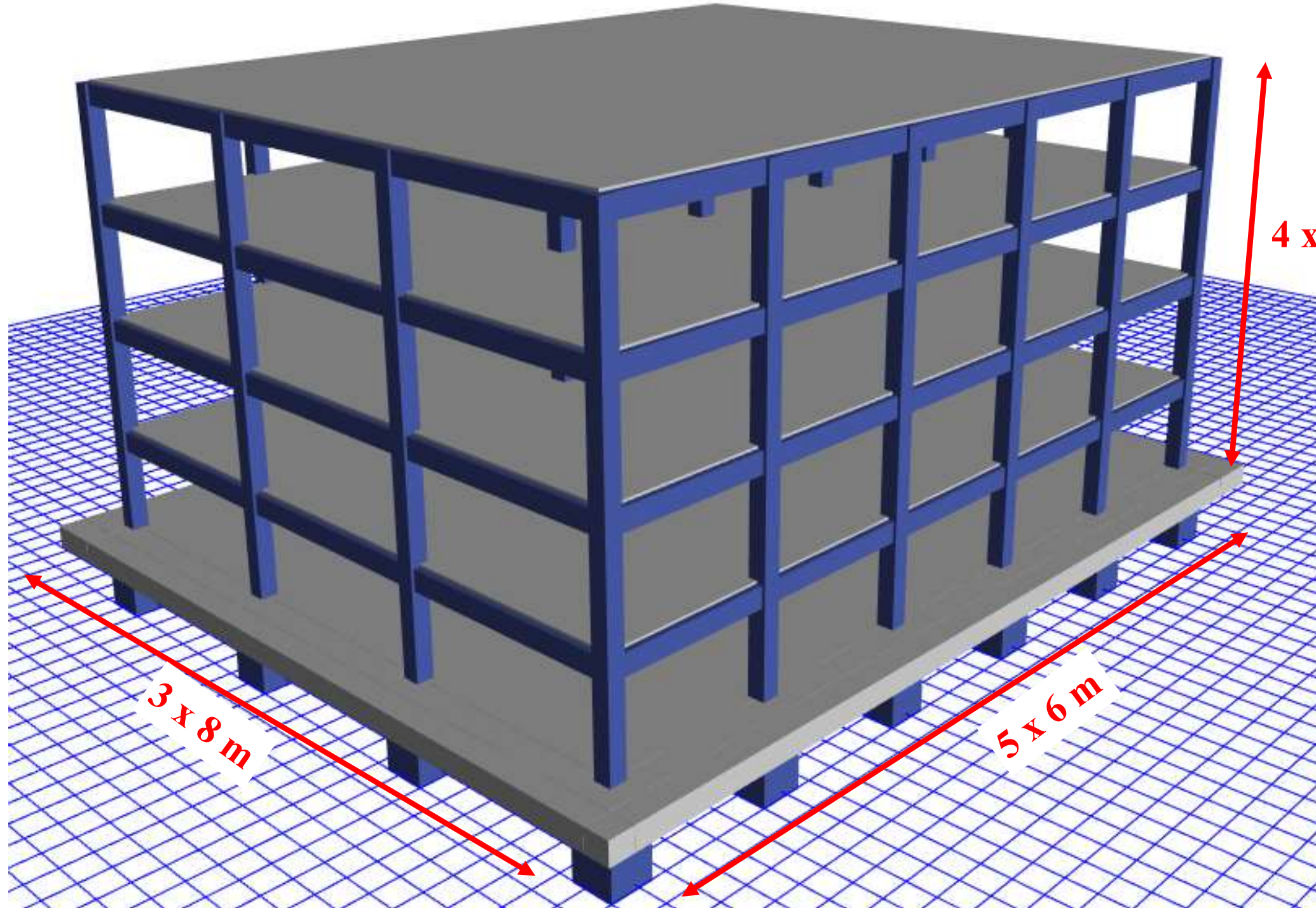
X Doğrultusunda 6 m Açıklıklı 6 Aks
Y Doğrultusunda 8 m Açıklıklı 4 Aks
Tipik Kat Yüksekliği 4 m
Yatay Yük Taşıyıcı Sistem : B.A Çerçeve

Kolonlar	: 60 x 60 cm
Kirişler	: 40 x 70 cm
Döşeme	: 18 cm
İzolasyon Döşemesi	: 80 cm
Kaide Boyutları	: 150 x 150 cm

Beton Kalitesi	: C40
Donatı	: S420

Kaplama Yüğü	: 2 kN/m ²
Hareketli Yüğü	: 5 kN/m ²
Çatı Katı Hareketli Yüğü	: 2 kN/m ²
Tüm Kirişler Üzerinde Duvar Mevcut	
Duvar Yüğü	: 7.8 kN/m
Çatı Katında Sadece Çevre Kirişlerde	
6 kN/m parapet yüğü	

Yapının Tanımı



Kullanım Amacı : Hastane

Performans Hedefleri:

Üst Yapı:

DD2 (475 Yıl) : «KK»

DD1 (2475 Yıl) : -

Altyapı ve Yalıtım sistemi :

DD2 (475 Yıl) : -

DD1 (2475 Yıl) : «KK»

KK : Kesintisiz Kullanım

Bina Kullanım Sınıfı : BKS = 1

Bina Önem Katsayısı : **1.00***

**Taban yalıtımlı yapılarda bina önem katsayısı 1.00 olarak göz önüne alınır.*

Deprem Tasarım Sınıfı (DTS):

$S_{DS} = 0.99 \leq 1.0 \rightarrow DTS = 1a$

Bina Yükseklik Sınıfı (BYS):

$10.5 \leq H_N = 16 \text{ m} \leq 17.5 \text{ m} \rightarrow BYS = 6$

Tasarım Yaklaşımı : DGT*

**Dayanıma Göre Tasarım*

Efektif Yalıtım Periyodu Seçimi/Belirlenmesi

- **Ağırlıklı olarak üç yöntem kullanılmaktadır**

1. Üst yapının makul olarak tasarlanabileceği kuvvet mertebesine göre öngörülen sönüme dayalı efektif periyot

- Taban yalıtımlı bina tasarımı ve yalıtım birimleri konusunda yapılan öngörülerin tutarlı olabilmesi için önemli mertebede tecrübe gerektirir.
- Tasarım çok fazla ilerletilmeden yalıtım birimlerine veya üreticilerden elde edilecek bilgilere göre öngörülerin teyit edilmesi gerekir.

2. Kullanılacak yalıtım birimlerine dayalı olarak tasarım

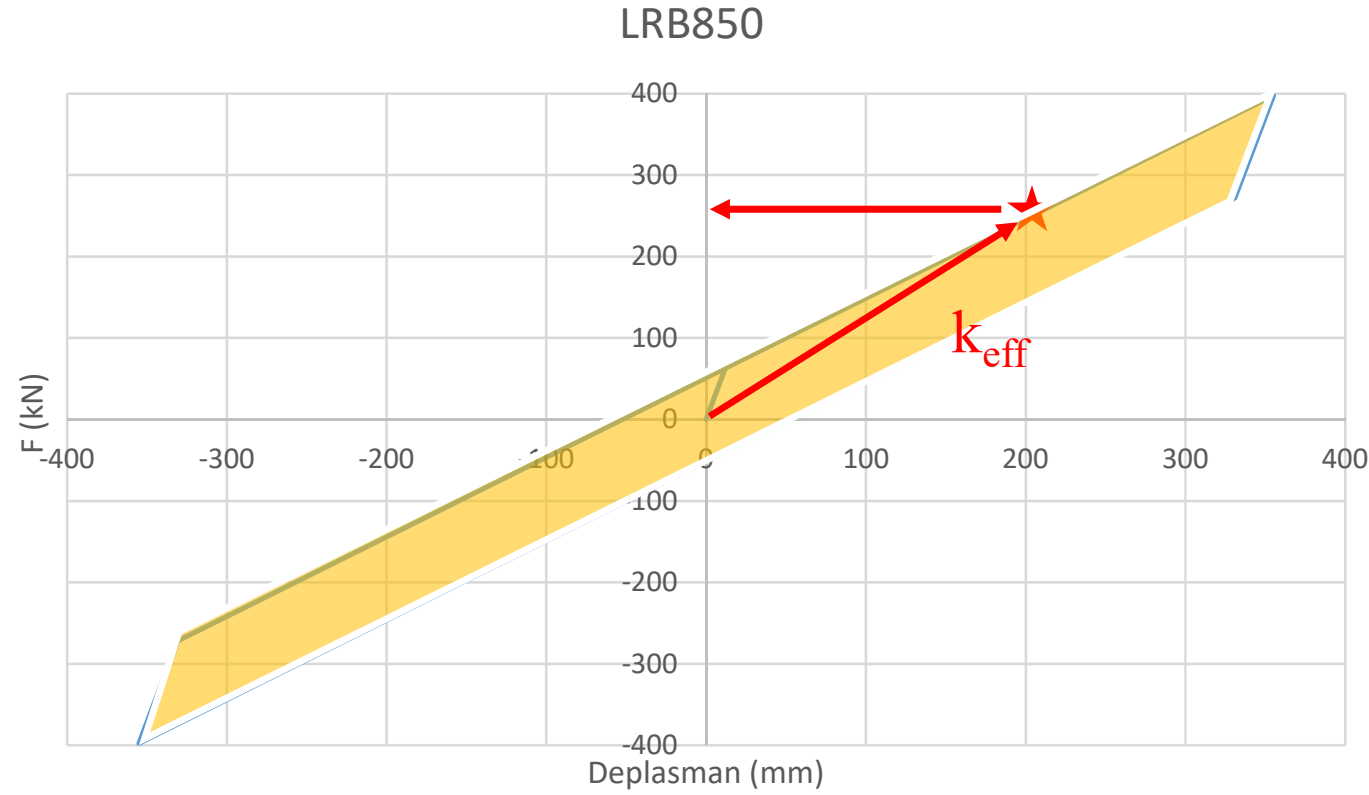
- Yalıtım birimlerinin karakteristikleri ve davranışları konusunda bilgi gerektirir.
- Yalıtım birimleri özelliklerinin üreticiden üreticiye farklılık gösterebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

3. Üreticilerden temin edilen özelliklere göre tasarım

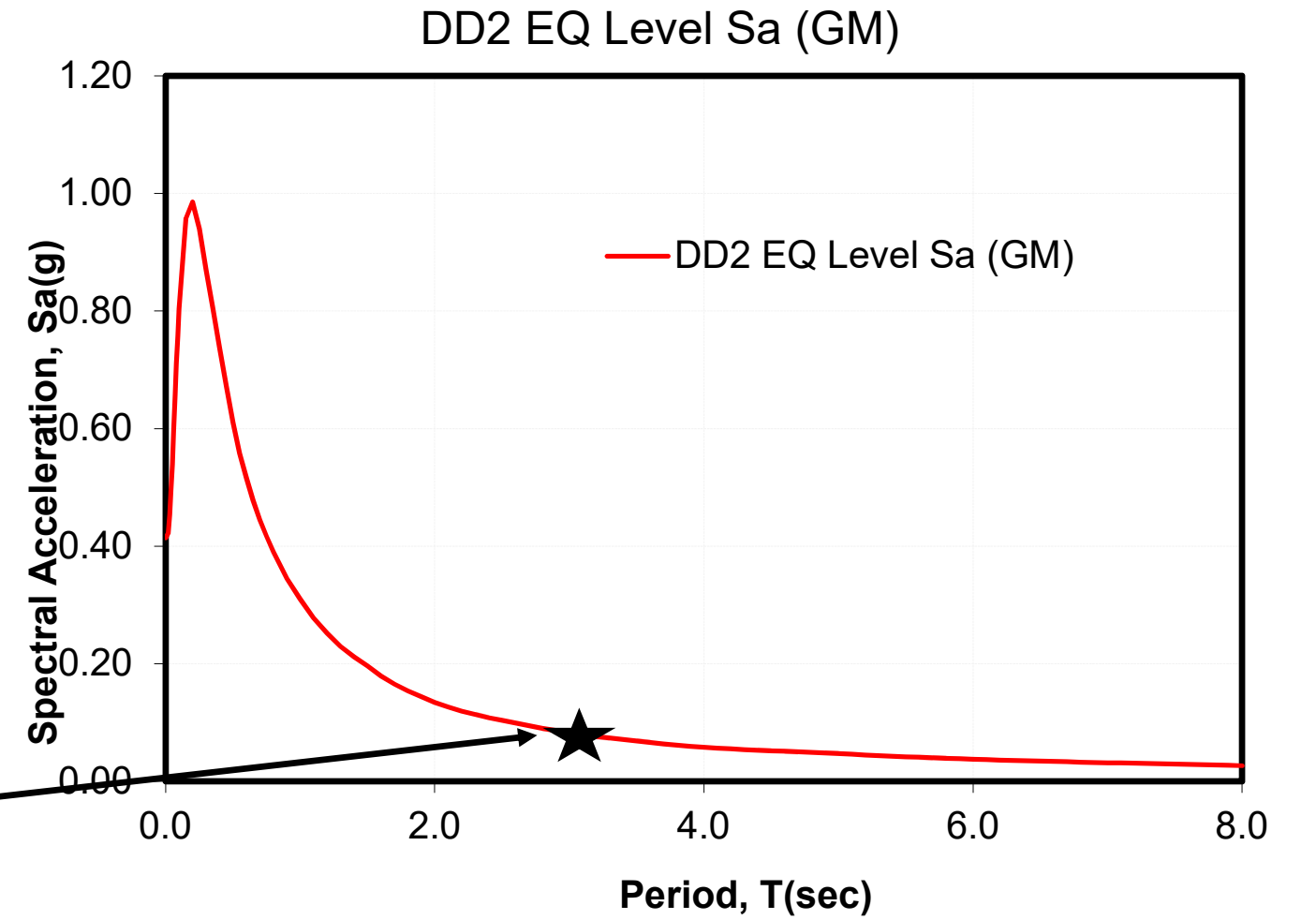
- Belirlenen tasarım hedefleri (üst yapıya etkileyen kuvvetler, ivmeler, deplasman değerleri, sönüm vb.) doğrultusunda üreticinin kendi ürünlerine has belirlediği parametreler kullanılır.

Efektif Yalıtım Periyodu Seçimi/Belirlenmesi

- Seçilen bir yalıtım birimi için efektif periyot, rijitlik ve sönüm;

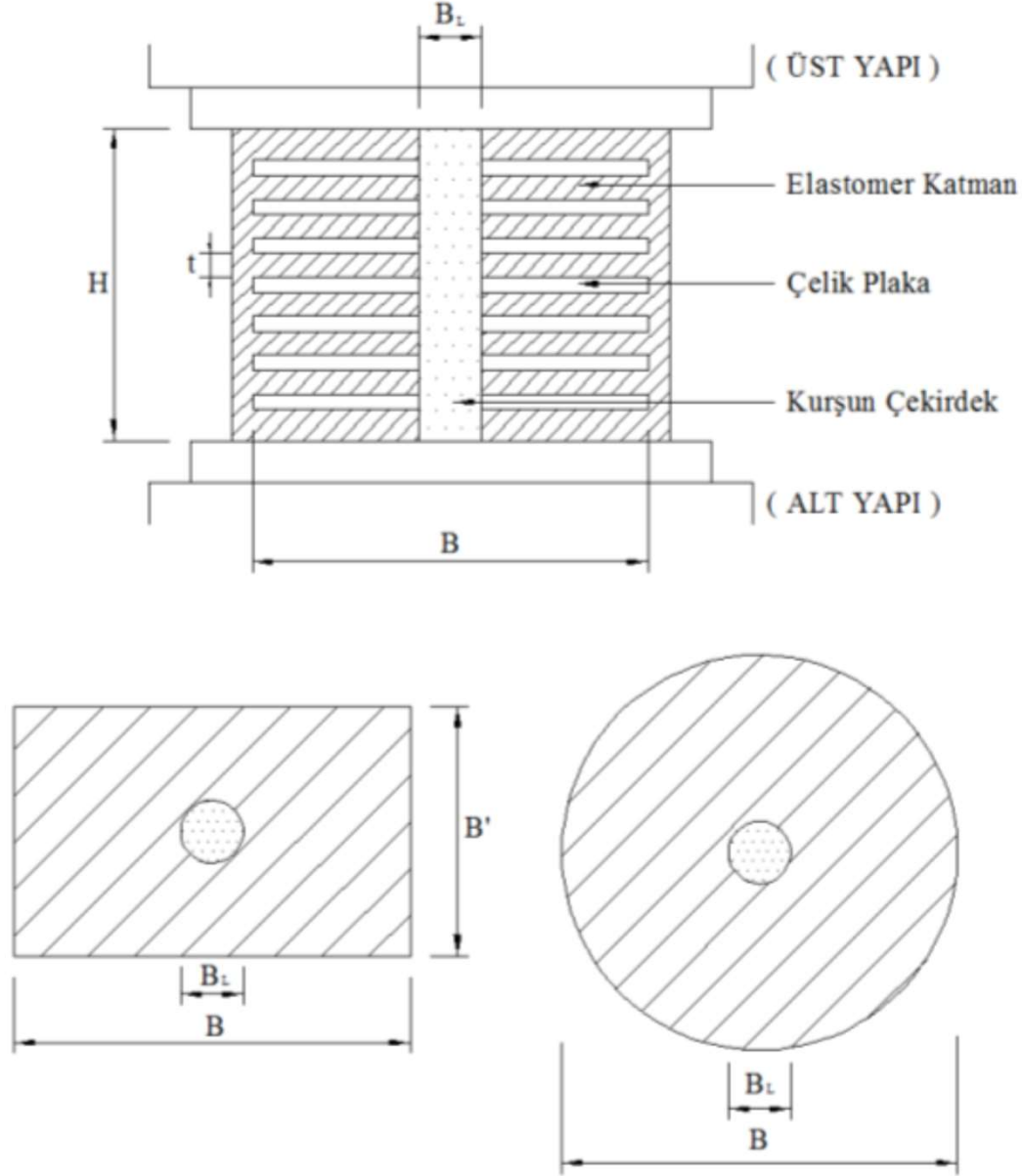


1. Tasarım deplasmanı (D) öngörülür ✓
2. Tasarım Deplasmanına bağlı kuvvet belirlenir ✓
3. Kuvvete ve Deplasmana Bağlı Sönüm ve Sönüm Katsayısı (η) belirlenir ✓
4. Efektif rijitlik ve periyot belirlenir ✓
5. Belirlenen efektif periyot ve sönüm için spektrumdan deplasman ve ivme değeri kontrol edilir. ✓
6. Bu değerler eşitlenene kadar D değiştirilerek iterasyon yapılır

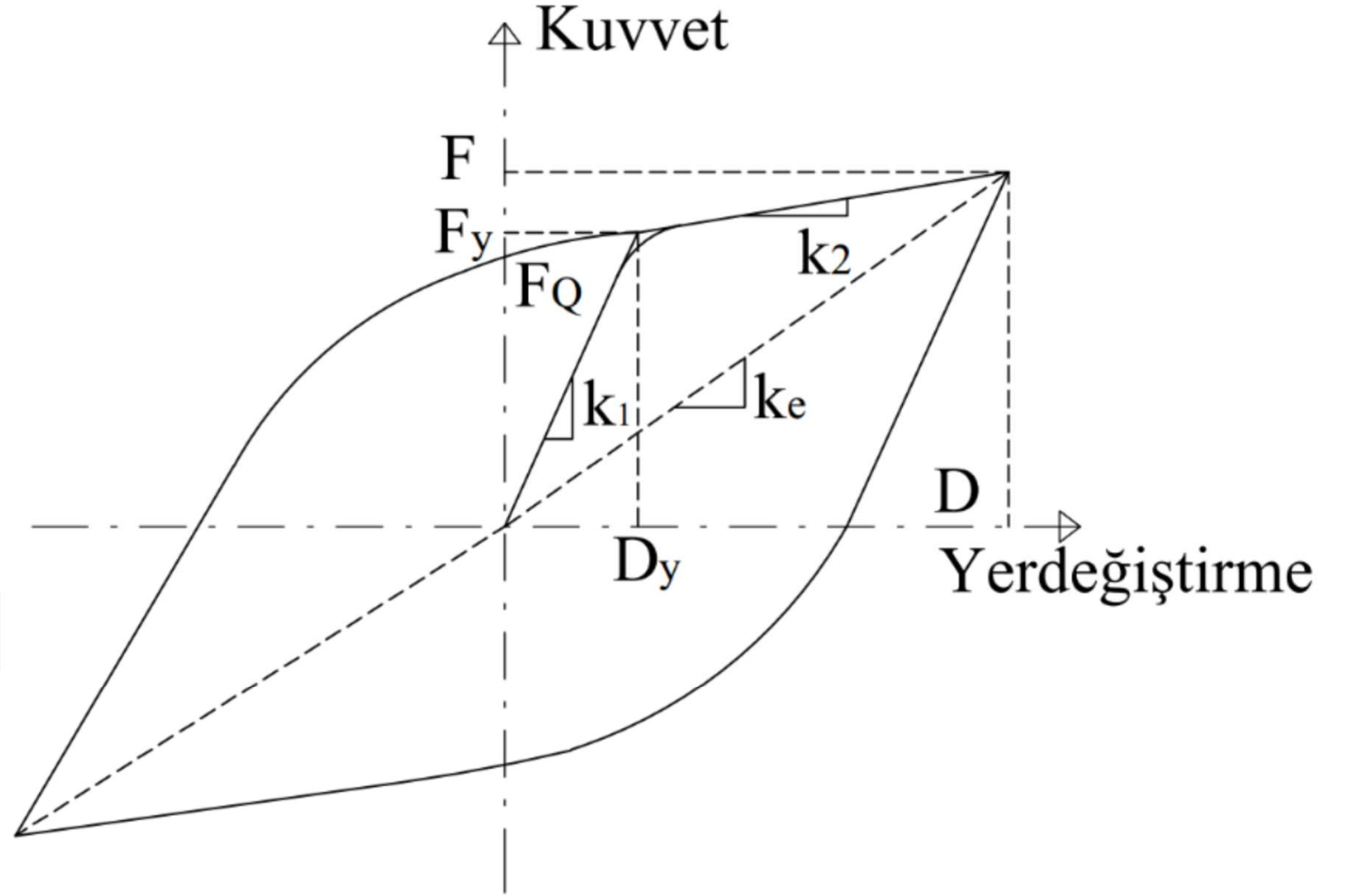


Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi

- Türk Bina Deprem Yönetmeliği Kapsamında Öntasarım Parametreleri



Şekil 14A.1



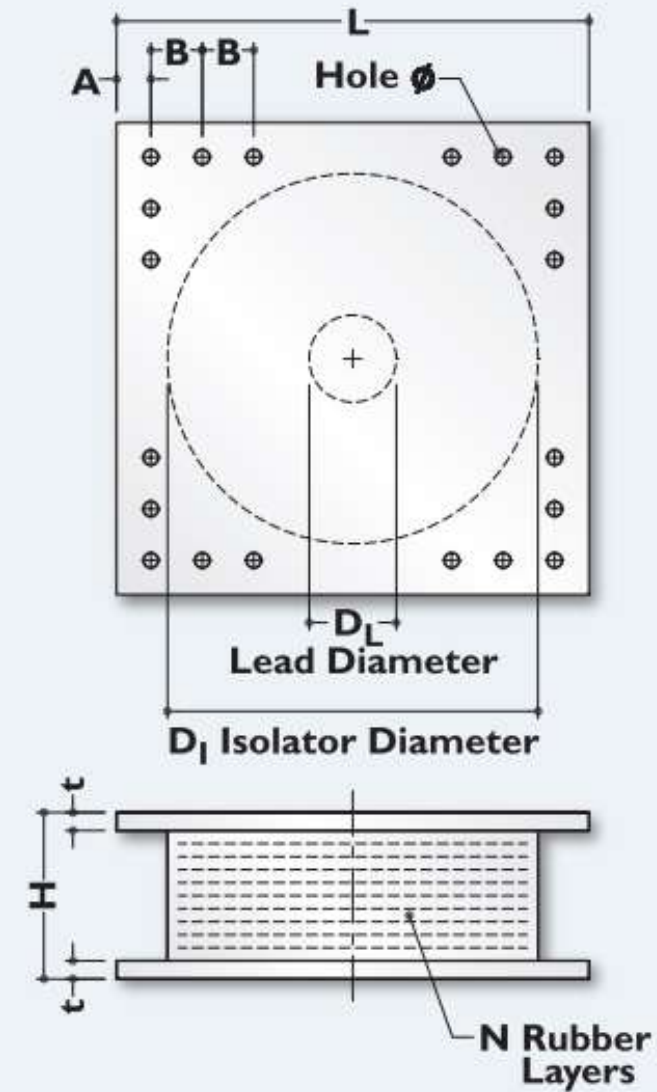
Şekil 14A.2

Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi

- Üretici Tarafından sağlanan tasarım parametreleri

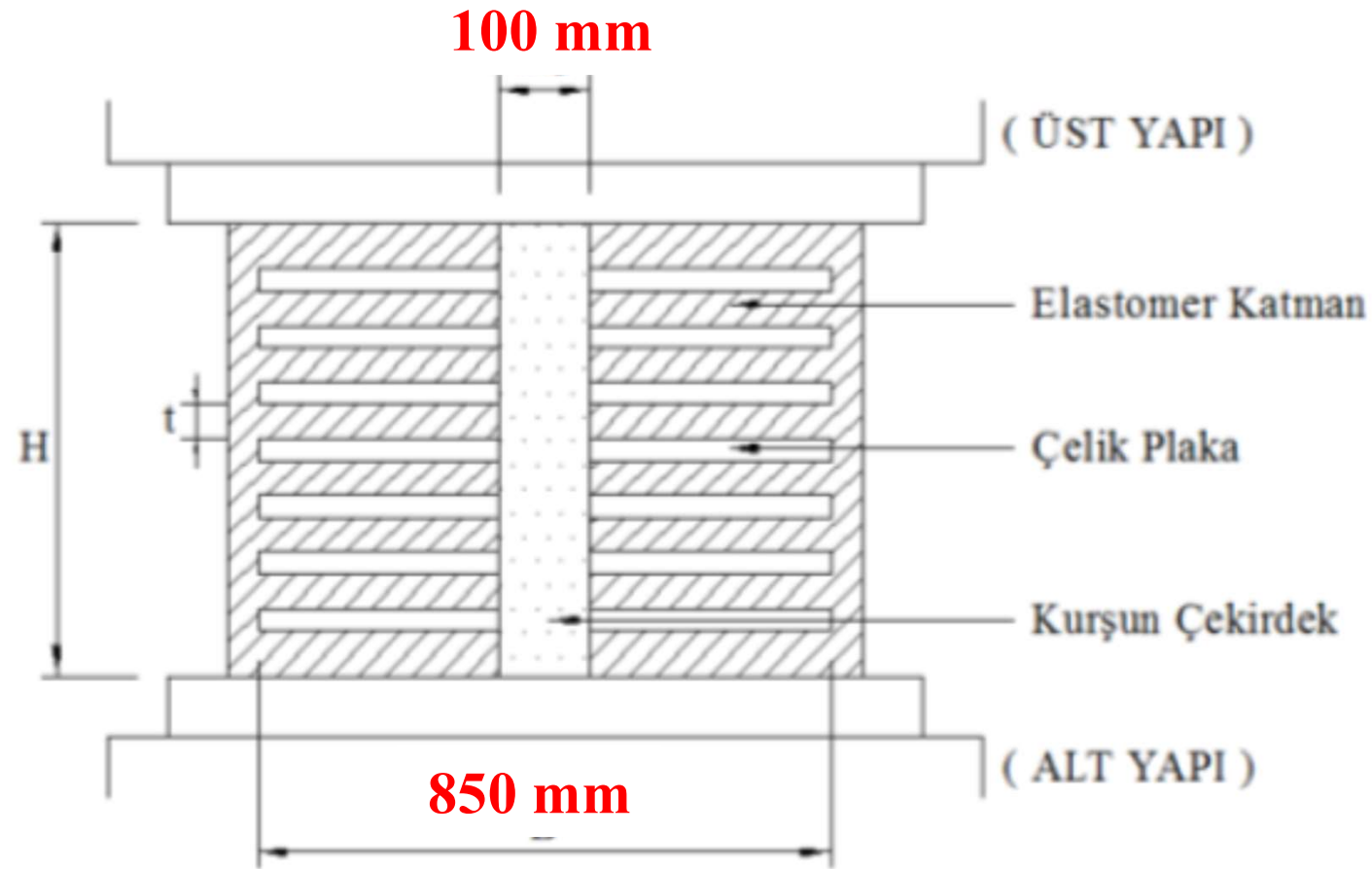
Isolator Diameter, D_I (mm)	DESIGN PROPERTIES			Maximum Displacement, D_{max} (mm)	Axial Load Capacity P_{max} (kN)
	Yielded Stiffness, K_d (kN/mm)	Characteristic Strength Q_d (kN)	Compression Stiffness, K_v (kN/mm)		
305	0.2-0.4	0-65	>50	150	450
355	0.2-0.4	0-65	>100	150	700
405	0.3-0.5	0-110	>100	200	900
455	0.3-0.7	0-110	>100	250	1,150
520	0.4-0.7	0-180	>200	300	1,350
570	0.5-0.9	0-180	>500	360	1,800
650	0.5-1.1	0-220	>700	410	2,700
700	0.5-1.4	0-220	>800	460	3,100
750	0.7-1.6	0-265	>900	460	3,600
800	0.7-1.6	0-265	>1,000	510	4,000
850	0.7-1.8	0-355	>1,200	560	4,900
900	0.7-1.9	0-355	>1,400	560	5,800
950	0.7-2.0	0-490	>1,800	610	6,700
1000	0.8-2.0	0-490	>1,900	660	7,600
1050	0.9-2.1	0-580	>2,100	710	8,500
1160	1.1-2.1	0-665	>2,800	760	13,800
1260	1.2-2.3	0-755	>3,700	810	20,500
1360	1.4-2.5	0-890	>5,100	860	27,600
1450	1.6-2.5	0-1,025	>5,300	910	33,400
1550	1.8-2.5	0-1,025	>6,500	910	40,000

(4) K_d range shown in table is typical for most projects. If needed for specific projects, K_d values up to three times the maximum shown in the range can be achieved by limiting the displacement capacity to 2/3 of the shown value.



Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi

- Türk Bina Deprem Yönetmeliği'nde verilen izolatör temel özellikleri jeneriktir, üreticiden üreticiye değişiklik gösterir!



850 mm dış çaplı ve 100 mm kurşun çekirdek çapı olan LRB yalıtım birimi için;

$$B = 850 \text{ mm}, B_L = 100 \text{ mm}$$

$$\tau_{yp} = 8 \text{ Mpa (kurşun kayma akma gerilmesi)}$$

$$G_v = 0.5 \text{ Mpa (kauçuk kayma modülü)}$$

$$T_r = 200 \text{ mm (Toplam Kauçuk Yüksekliği)}$$

$$A_p = \pi B_L^2 / 4 = 7854 \text{ mm}^2 \text{ (kurşun çekirdek alanı)}$$

$$A_r = (\pi/4)(B^2 - B_L^2) = 559596 \text{ mm}^2 \text{ (kauçuk alanı)}$$

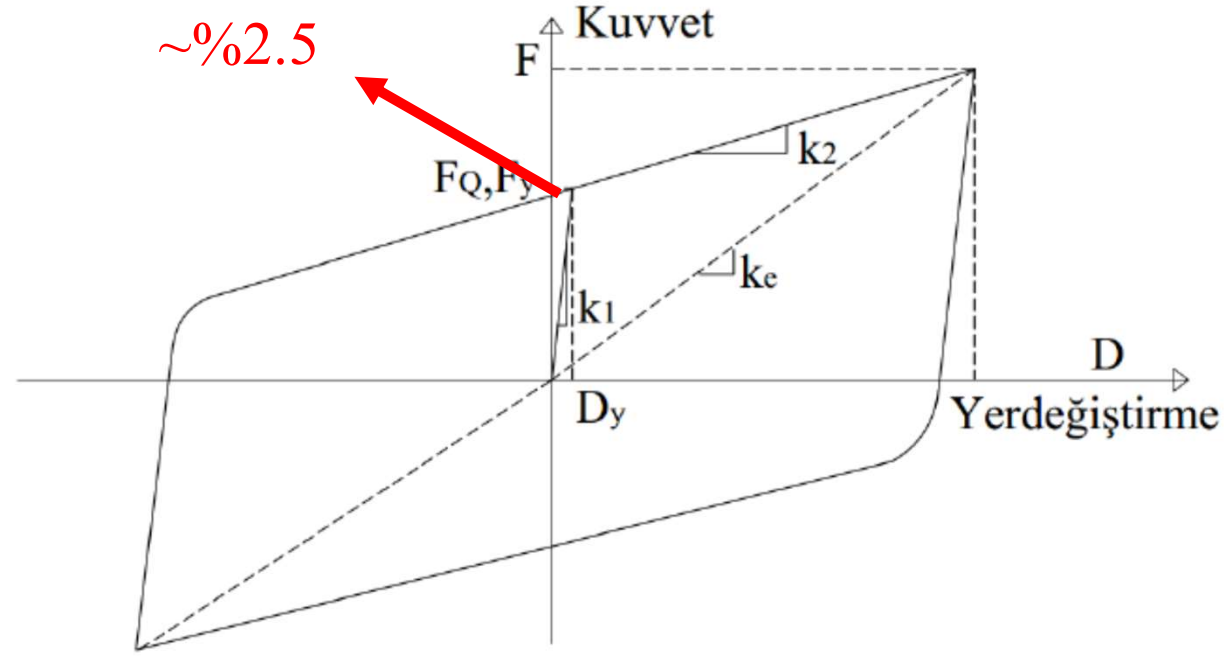
$$F_Q \approx F_y = A_p \tau_{yp} = 62.8 \text{ kN}$$

$$k_2 = G_v(A_r/T_r) = 1399 \text{ kN/m}$$

$$D_y = F_y / (5.5k_2) \text{ (yaklaşık etkin akma yerdeğiştirmesi)}$$
$$= 8.17 \text{ mm}$$

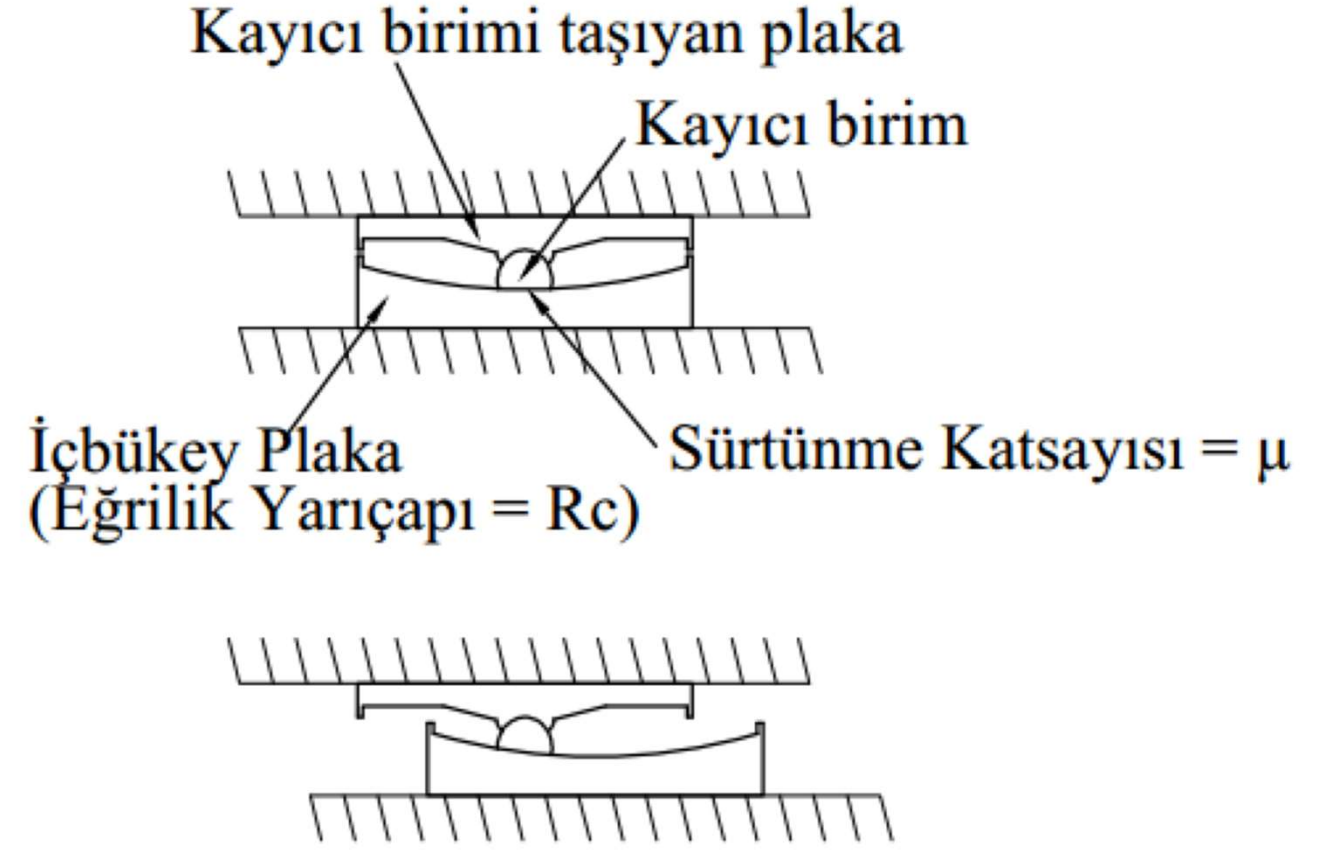
$$k_1 = F_y / D_y = 7694 \text{ kN/m}$$

Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi



$$F_Q = F_y = \mu_e P$$

$$k_2 = \frac{P}{R_c}$$

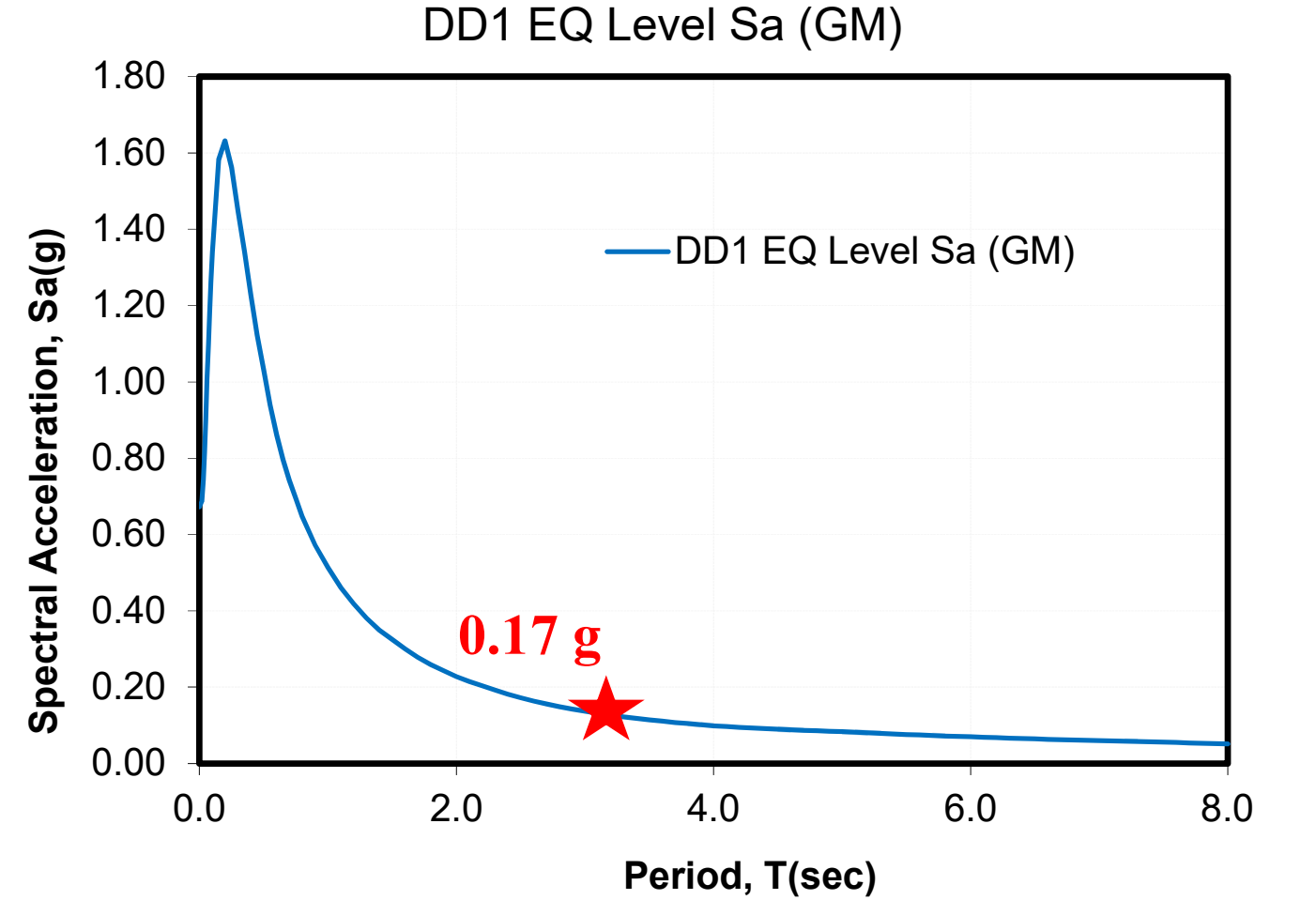
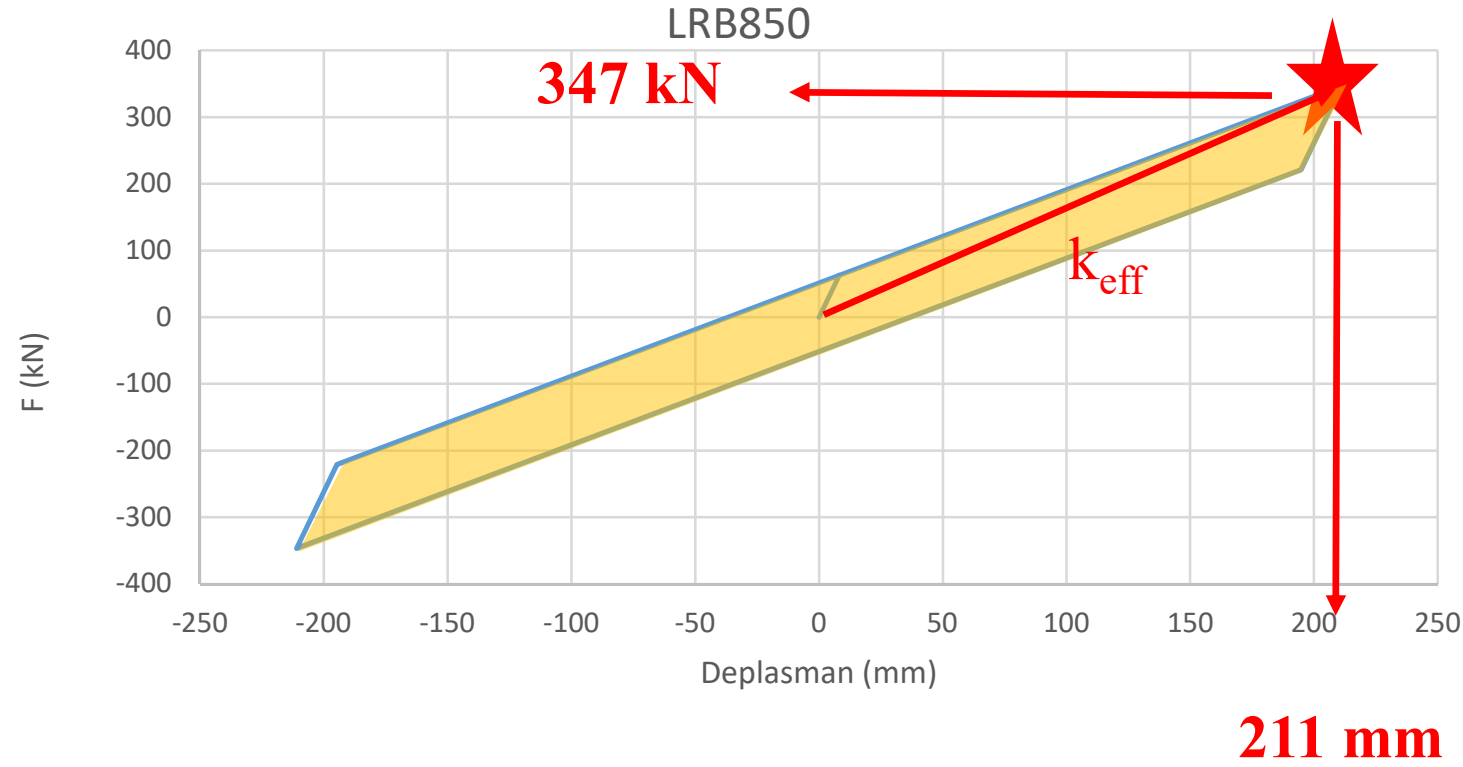


$$k_2 = 1399 \text{ kN/m}$$

$$R_c = 1.85 \text{ m}$$

Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi

- Seçilen yalıtım birimi için (Nominal Özellikler);



- GM_DD1 Spektrumu için deplasman (D) seç $\rightarrow$ 211 mm ✓
- Deplasmana bağlı kuvvet $F_y + k_2(D - D_y) = 347$ kN ✓
- Kuvvete ve Deplasmana Bağlı Sönüm ve Sönüm Katsayısı
(η) $\beta = 1/2\pi[Wd/(FD)] = \%11.09 \rightarrow 0.79$ ✓
- Efektif rijitlik $F/D = 284$ kN/0.214 = 1643 kN/m ✓

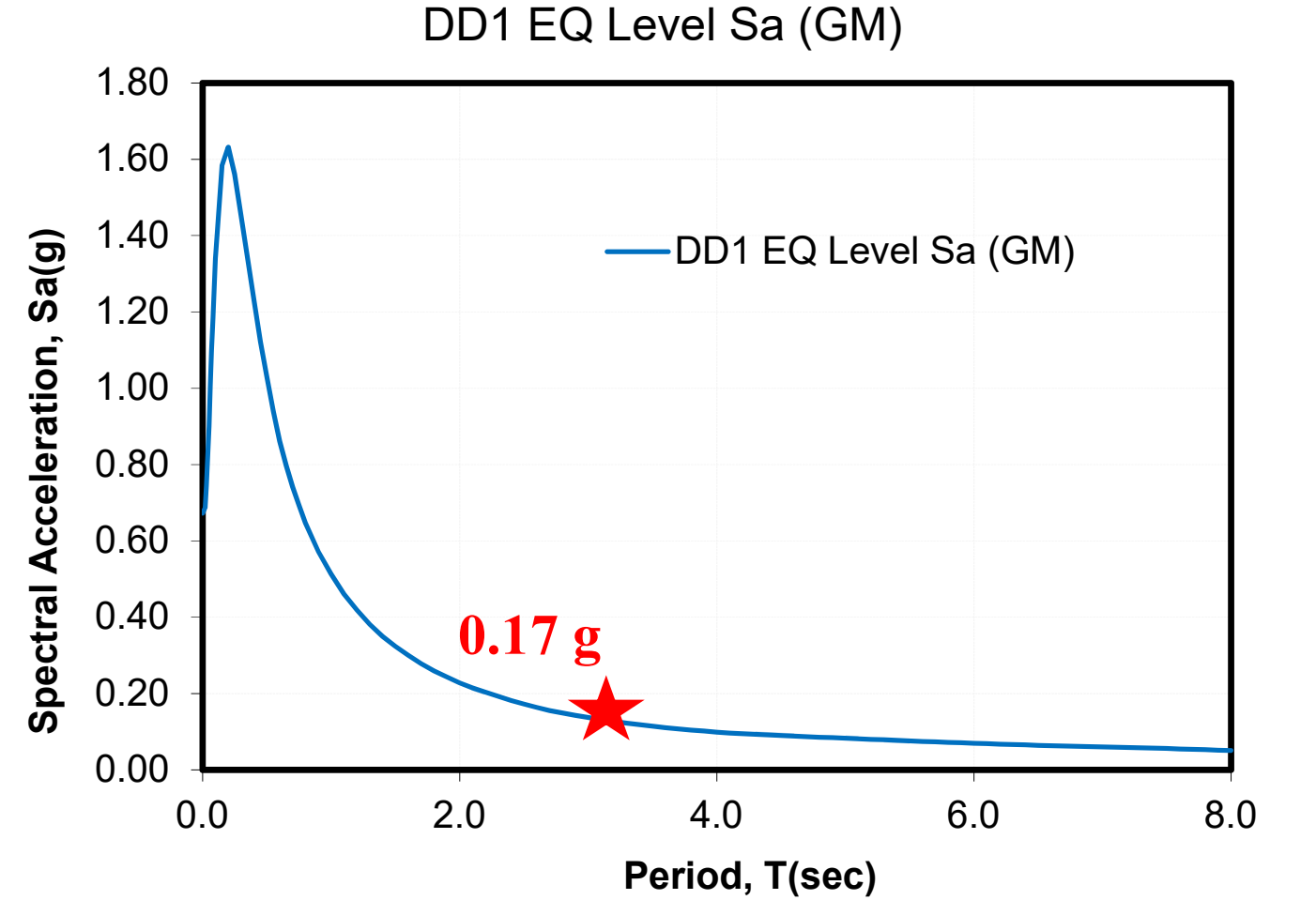
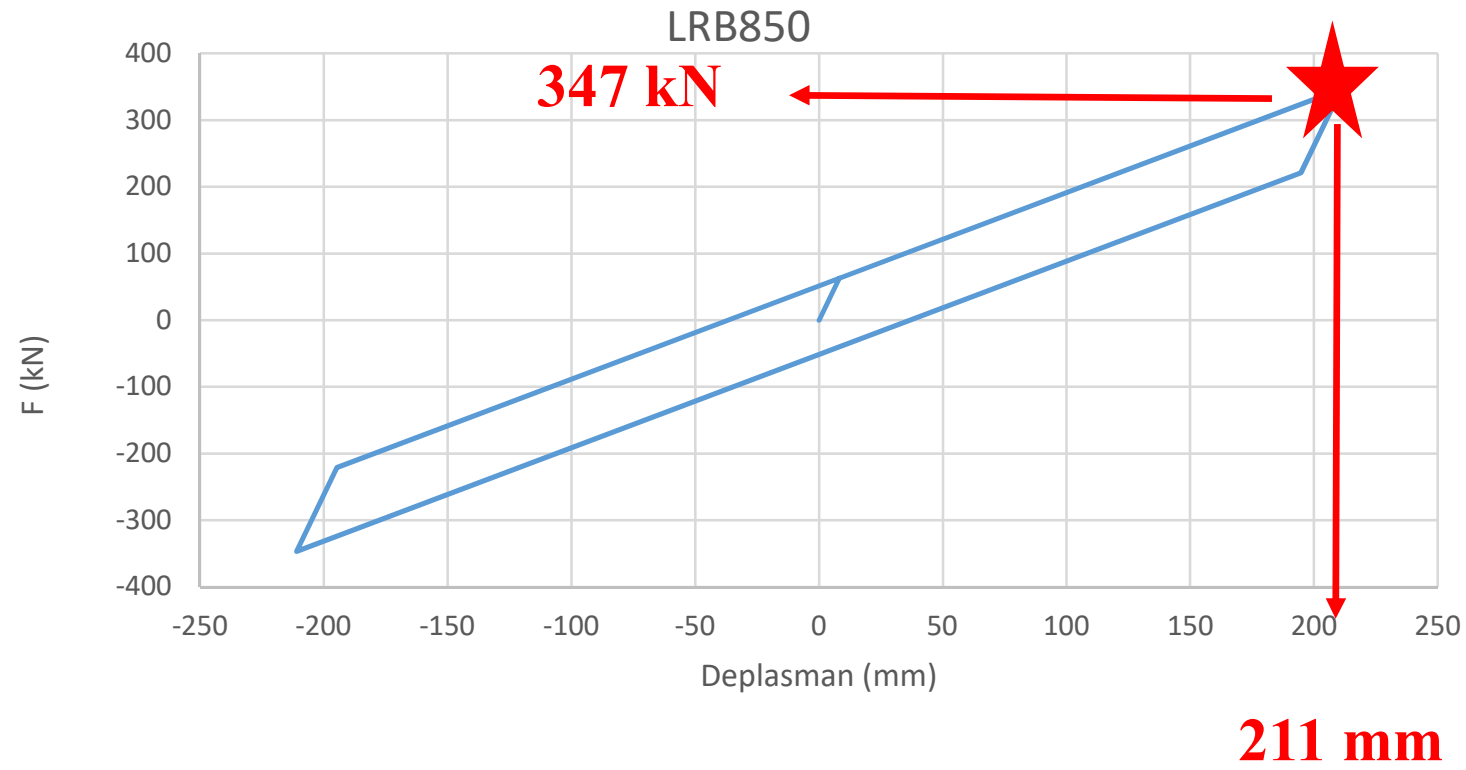
5. Efektif Periyot $T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_{eff}}} = 2.51$ sn ✓

6. Elde edilen periyot ve sönüm değeri için spektrum ivme değerini kontrol et ✓

2.51 sn için spektrum ivme değeri 0.171 g

Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi

- Seçilen yalıtım birimi için (Nominal Özellikler);



6. Elde edilen periyot ve sönüm değeri için spektrum ivme değerini kontrol et

2.51 sn için spektrum ivme değeri 0.171 g

$$0.171 \times 0.79 (\eta) = 0.135 \text{ g}$$

7. Toplam 24 izolatör için $F = 347 \times 24 = 8328 \text{ kN}$

8. $8328 \text{ kN} / 61893 \text{ kN (sismik kütle)} = 0.134$

İki değer yakın, tasarım uygun ✓

Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi

- Alt ve Üst Limit Değerleri

$$\lambda_{üst} = [1 + (0.75(\lambda_{ae,üst} - 1))] \lambda_{deney,üst} \lambda_{spec,üst} \quad (14.9)$$

$$\lambda_{alt} = [1 + (0.75(\lambda_{ae,alt} - 1))] \lambda_{deney,alt} \lambda_{spec,alt} \quad (14.10)$$

	F_Q		k_2	
	<i>üst</i>	<i>alt</i>	<i>üst</i>	<i>alt</i>
λ_{ae}	1.00	1.00	1.30	1.00
λ_{deney}	1.60	0.90	1.30	0.90
λ_{spek}	1.15	0.85	1.15	0.85

Taslak Yönetmelik Değerleri

	Tip	F_Q		k_2	
		<i>alt</i>	<i>üst</i>	<i>alt</i>	<i>üst</i>
$\lambda_{æ}$	KÇE	1.00	1.10	1.00	1.30
	YSE	1.00	1.30	1.00	1.40
λ_{deney}	KÇE	0.70	1.30	0.90	1.30
	YSE	0.70	1.30	0.90	1.30
λ_{spek}	KÇE	0.85	1.15	0.85	1.15
	YSE	0.85	1.15	0.85	1.15

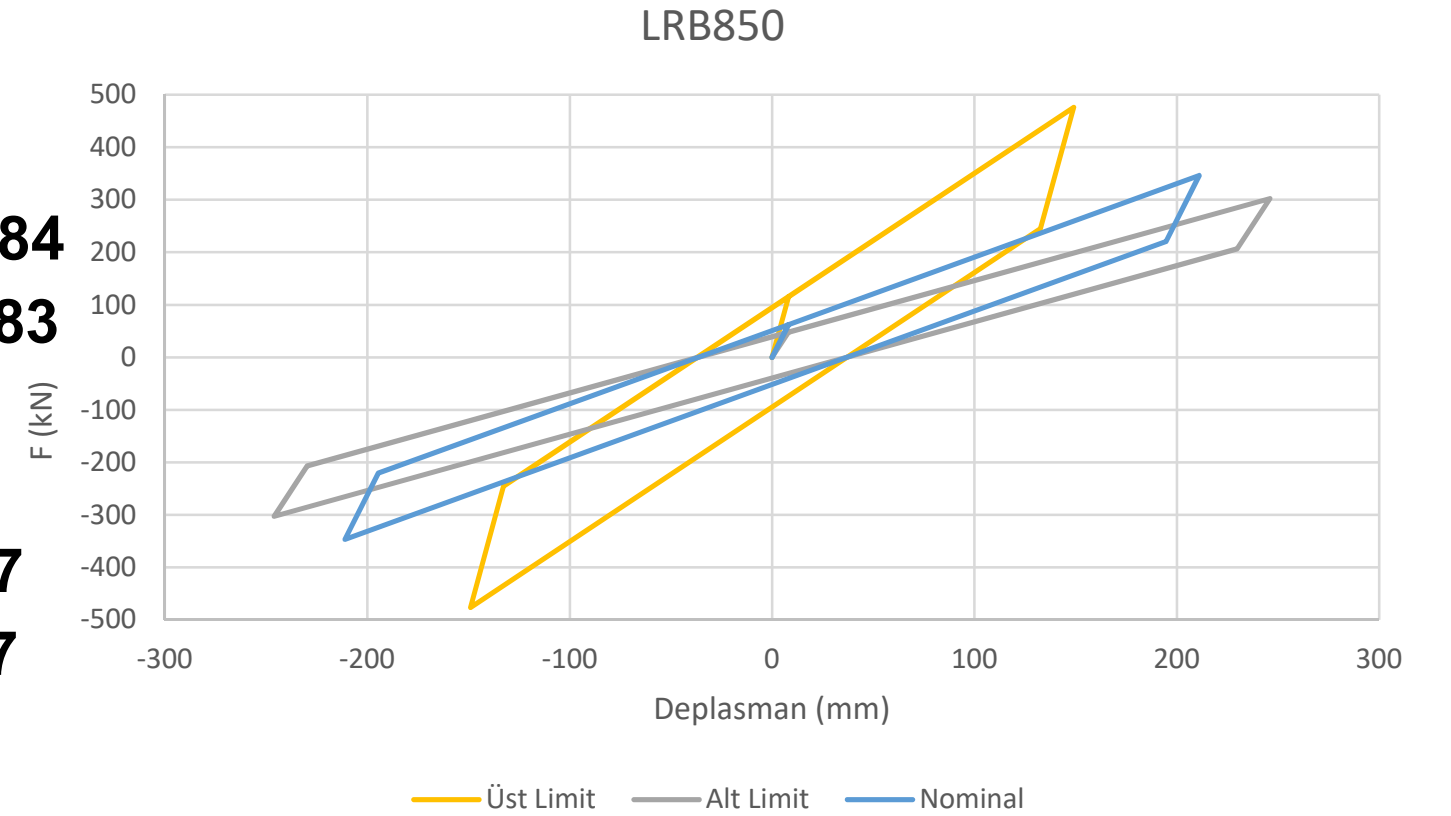
Güncel Yönetmelik Değerleri

Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi

- Alt ve Üst Limit Değerleri

Üst Limit : $F_Q = [1+(0.75(\lambda_{ae,üst}-1))] \lambda_{deney,üst} \lambda_{spec,üst} = 1.84$
 $k_2 = [1+(0.75(\lambda_{ae,üst}-1))] \lambda_{deney,üst} \lambda_{spec,üst} = 1.83$

Alt Limit : $F_Q = [1+(0.75(\lambda_{ae,alt}-1))] \lambda_{deney,alt} \lambda_{spec,alt} = 0.77$
 $k_2 = [1+(0.75(\lambda_{ae,alt}-1))] \lambda_{deney,alt} \lambda_{spec,alt} = 0.77$



- Üst ve alt yapıya etkiyen kuvvetler, istisnalar hariç, yalıtım birimlerinin «Üst Limit» özelliklerine göre belirlenir. İzolasyon sistemi maksimum deplasmanları alt limit özelliklerine göre belirlenir.
- Yönetmelikte verilen değerler prototip ve/veya üretim testleri ile alt ve üst limit değerlerinin belirlenmemesi durumunda ön tasarım aşamasında kullanılacaktır.
- Final tasarımda λ_{deney} ve λ_{spec} değerleri testlerden elde edilir.

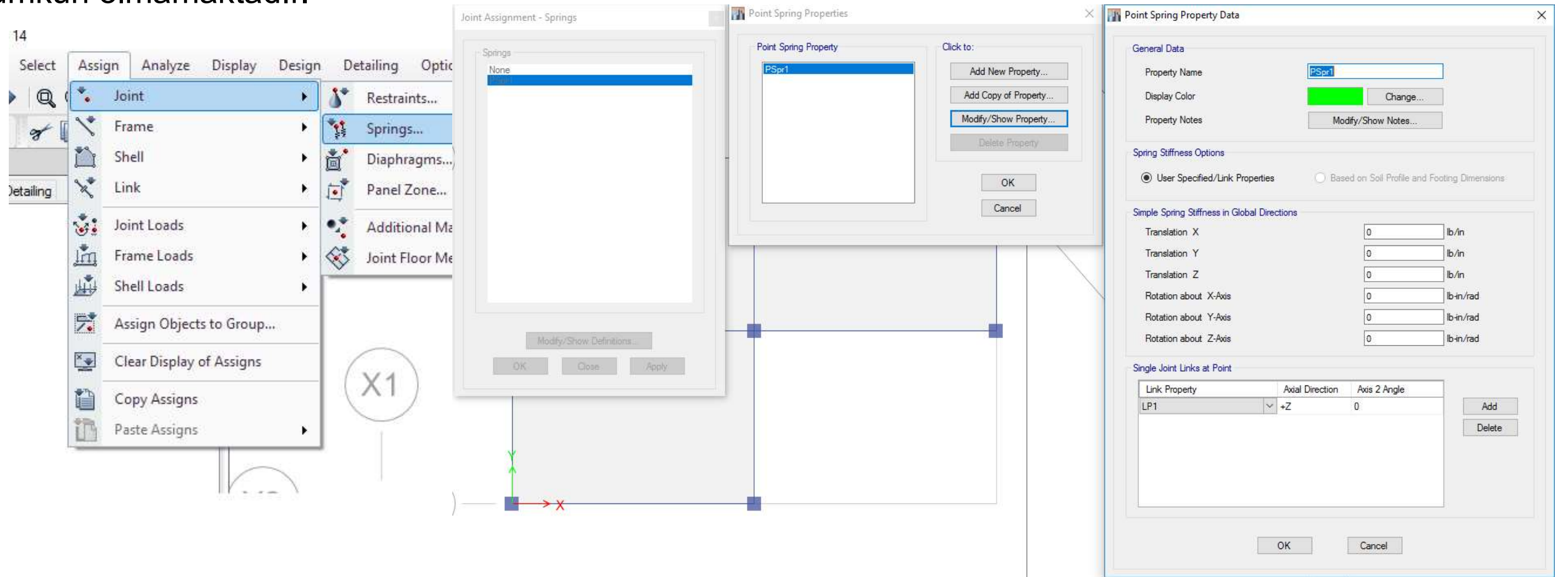
Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi

	Nominal					Alt Limit					Üst Limit				
	GM_DD1	GM_DD2		MR_DD1	MR_DD2	GM_DD1	GM_DD2		MR_DD1	MR_DD2	GM_DD1	GM_DD2		MR_DD1	MR_DD2
Yerdeğiştirme (mm)	211	95		322	152	246	114		380	179	149	67		224	100
Sönüm (%)	11.09%	19.84%		7.77%	14.33%	9.78%	17.61%		6.71%	12.65%	14.60%	24.26%		10.61%	19.26%
Teff (sn)	2.51	2.31		2.58	2.44	2.90	2.71		2.97	2.84	1.80	1.62		1.86	1.72
F/W	0.134	0.071		0.195	0.102	0.117	0.063		0.173	0.090	0.185	0.103		0.259	0.136
Sa (g)	0.135	0.072		0.194	0.101	0.118	0.063		0.173	0.090	0.185	0.103		0.260	0.136
D (mm)	211	95		321	150	246	114		381	179	149	67		224	100
k _{eff} (kN/m)	1643	1940		1559	1737	1230	1415		1174	1290	3197	3974		2984	3508
D _D , D _M (mm)	275	124		321	150	320	148		381	179	194	87		224	100

İzolatörlerin Modellenmesi

- Yalıtım birimleri sıklıkla kullanılan analiz programlarında (SAP, ETABS) noktasal veya çizgisel link elemanları ile modellenenbilir.
- Noktasal Link Elemanları

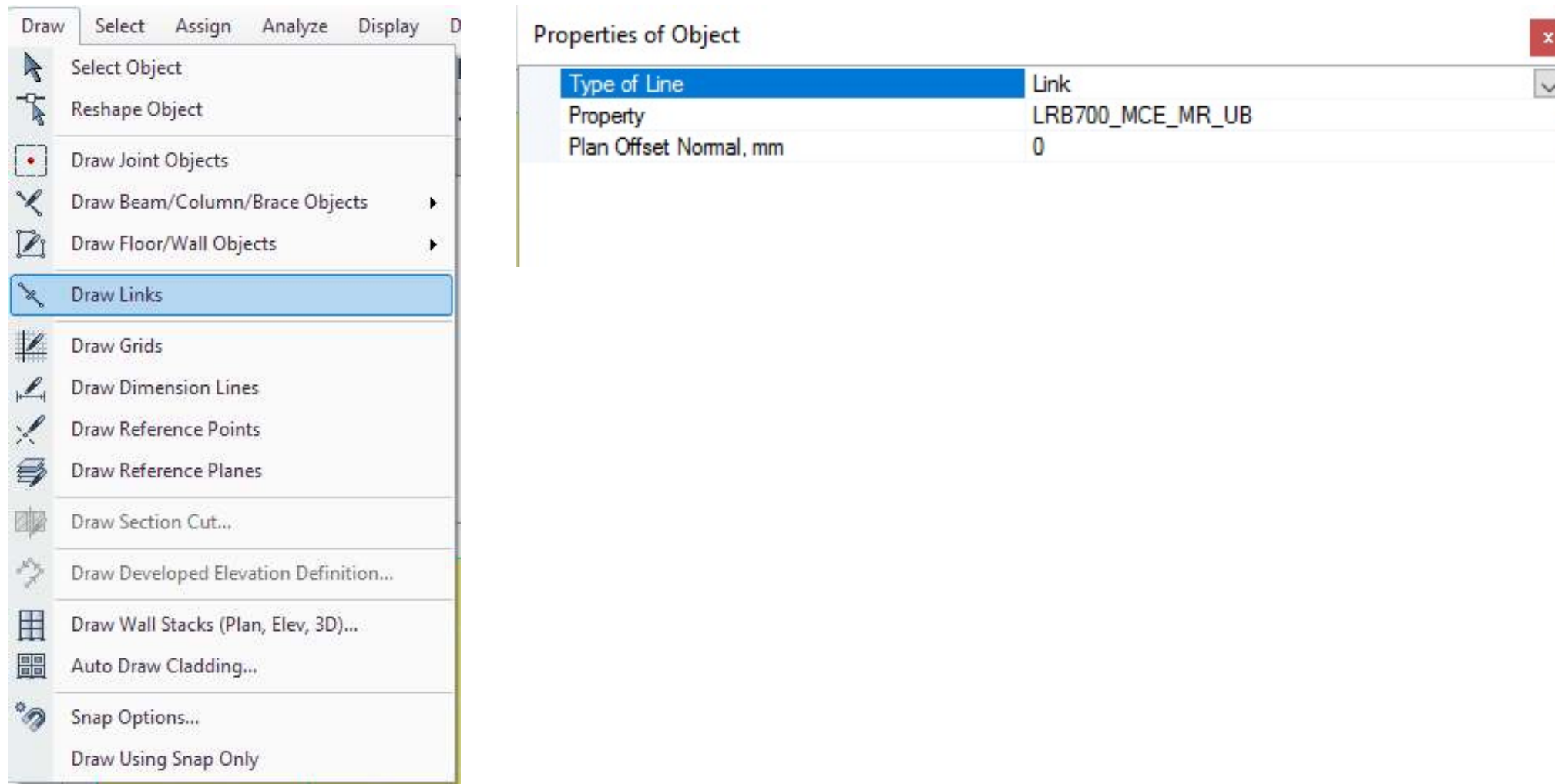
Modelde bulunan noktalara daha önceden tanımlanan link elemanının özelliklerinin atandığı bir «Spring» atayarak yapılabilir. Bu tanımlama şeklinde ikinci mertebe etkilerinin program tarafından göz önüne alınması mümkün olmamaktadır.



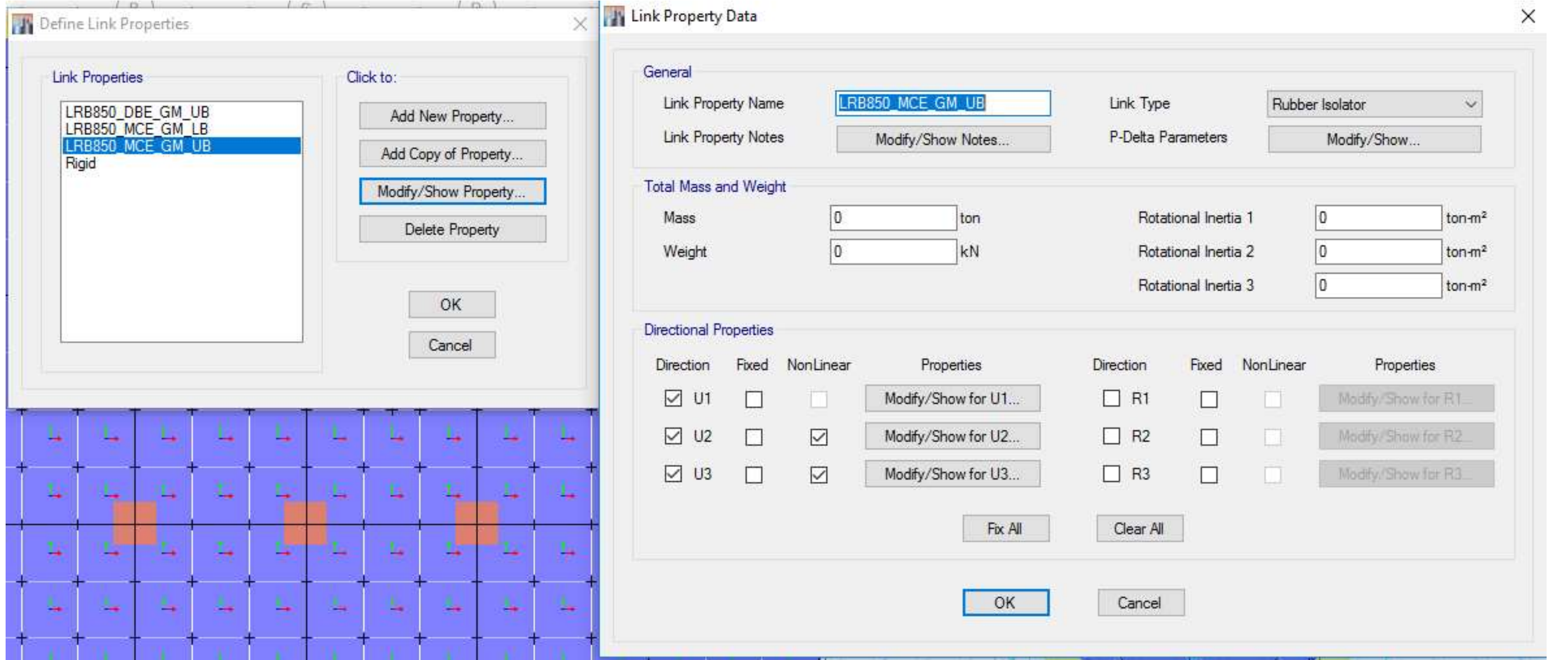
İzolatörlerin Modellenmesi

- Yalıtım birimleri sıklıkla kullanılan analiz programlarında (SAP, ETABS) noktasal veya çizgisel link elemanları ile modellenenabilir.
- Çizgisel Link Elemanları

Çubuk eleman tanımlamasına benzer şekilde seçilen iki nokta arasına link elemanı tanımlanır. İkinci mertebe etkilerinin göz önüne alınması mümkündür.



İzolatörlerin Modellenmesi



İzolatörlerin Modellenmesi

Link Property Data

General

Link Property Name: LRB850_MCE_GM_UB

Link Property Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Link Type: Rubber Isolator

P-Delta Parameters: [Modify/Show...](#)

Total Mass and Weight

Mass: 0 ton

Weight: 0 kN

Rotational Inertia 1: 0 ton-m²

Rotational Inertia 2: 0 ton-m²

Rotational Inertia 3: 0 ton-m²

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
☒ U1	☐	☐	Modify/Show for U1...
☒ U2	☐	☒	Modify/Show for U2...
☒ U3	☐	☒	Modify/Show for U3...

[Fix All](#) [Clear All](#)

[OK](#) [Cancel](#)

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
☐ R1	☐	☐	Modify/Show for R1...
☐ R2	☐	☐	Modify/Show for R2...
☐ R3	☐	☐	Modify/Show for R3...

İzolatörlerin düşey özellikleri.

İzolatörlerin dönme özellikleri bu sekmelerden tanımlanır. Tipik yapılar için dönme özellikleri ihmal edilebilir.

İzolatörlerin yatay özellikleri.

İzolatörlerin Modellenmesi

Link Property Data

General

Link Property Name: LRB850_MCE_GM_UB

Link Property Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Link Type: Rubber Isolator

P-Delta Parameters: [Modify/Show...](#)

Total Mass and Weight

Mass: 0 ton

Weight: 0 kN

Rotational Inertia 1: 0 ton-m²

Rotational Inertia 2: 0 ton-m²

Rotational Inertia 3: 0 ton-m²

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
☒ U1	☐	☐	Modify/Show for U1...
☒ U2	☐	☒	Modify/Show for U2...
☒ U3	☐	☒	Modify/Show for U3...

[Fix All](#) [Clear All](#)

[OK](#) [Cancel](#)

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: LRB850_MCE_GM_UB

Direction: U1

Type: Rubber Isolator

NonLinear: No

Linear Properties

Effective Stiffness: 2224339 kN/m

Effective Damping: 0 kN-s/m

[OK](#) [Cancel](#)

$$k_v = \frac{E_v A_r}{T_r} \quad (14A.9)$$

$$E_v = \frac{1}{\frac{1}{E_c} + \frac{1}{K}} \quad (14A.10)$$

$$E_c = E_0 (1 + 2kS^2) \quad (14A.11)$$

$$S = (B^2 - B_L^2) / (4Bt) \quad (14A.8)$$

İzolatörlerin Modellenmesi

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: LRB850_MCE_GM_UB

Direction: U1

Type: Rubber Isolator

NonLinear: No

Linear Properties

Effective Stiffness: 2224339 kN/m

Effective Damping: 0 kN-s/m

OK Cancel

$$S = (850^2 - 100^2) / (4 \times 850 \times 10) = 20.956$$

$$E_0 = 4G_V = 4 \times 0.5 = 2 \text{ MPa}$$

$$E_c = E_0(1 + 2kS^2) = 1319.45$$

k katsayısı kauçuk malzemenin sertlik değerinin 50, 60 ve 70 olduğu durumlarda sırası ile 0.75, 0.60 ve 0.55 olarak göz önüne alınacaktır.

$$E_v = 1 / (1/E_c + 1/K) = 794.98$$

$$k_v = E_v A_r / T_r = 2224339 \text{ kN/m}$$

İzolatörlerin Modellenmesi

Link Property Data

General

Link Property Name: LRB850_MCE_GM_UB

Link Type: Rubber Isolator

Link Property Notes: Modify/Show Notes...

P-Delta Parameters: Modify/Show...

Total Mass and Weight

Mass: 0 ton

Weight: 0 kN

Rotational Inertia 1: 0 ton-m²

Rotational Inertia 2: 0 ton-m²

Rotational Inertia 3: 0 ton-m²

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
☒ U1	☐	☐	Modify/Show for U1...
☒ U2	☐	☒	Modify/Show for U2...
☒ U3	☐	☒	Modify/Show for U3...

Fix All Clear All

OK Cancel

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: LRB850_MCE_GM_UB

Direction: U2

Type: Rubber Isolator

NonLinear: Yes

Linear Properties

Effective Stiffness: 3197 kN/m

Effective Damping: 0 kN-s/m

Shear Deformation Location

Distance from End-J: 0.2 m

Nonlinear Properties

Stiffness: 14091 kN/m

Yield Strength: 115.6 kN

Post Yield Stiffness Ratio: 0.182

OK Cancel

İzolatörlerin Modellenmesi

$$F_Q \approx F_y = A_p \tau_{yp} = 62.8 \text{ kN}$$

$$k_2 = G_v(A_r/T_r) = 1399 \text{ kN/m}$$

$$K_{2\text{üstlimit}} = 1399 \times 1.83 = 2562$$

$$F_{Q\text{üstlimit}} = 62.8 \times 1.84 = 115.6 \text{ kN}$$

$$D_y = F_y / (5.5k_2) \text{ (yaklaşık etkin akma yerdeğiştirmesi)}$$

$$= 8.17 \text{ mm}$$

$$k_1 = F_y / D_y = 7694 \text{ kN/m}$$

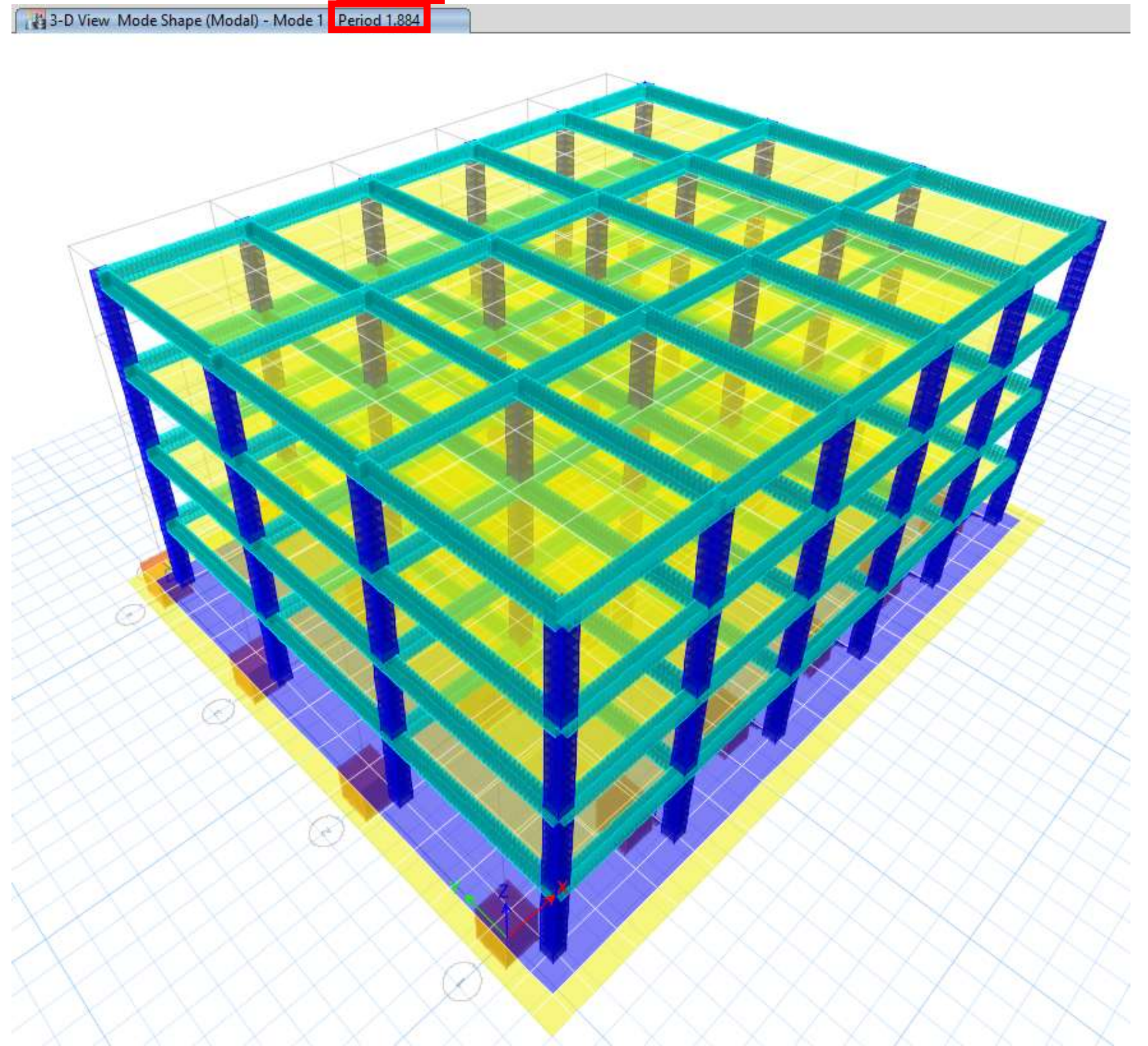
$$k_{1\text{üstlimit}} = 7694 \times 1.83 = 14091 \text{ kN/m}$$

$$k_2/k_1 = 1399/7694 = 0.182$$

	Üst Limit			
	GM_DD1	GM_DD2	MR_DD1	MR_DD2
Yerdeğiştirme (mm)	149	67	224	100
Sönüm (%)	14.60%	24.26%	10.61%	19.26%
Teff (sn)	1.80	1.62	1.86	1.72
F/W	0.185	0.103	0.259	0.136
Sa (g)	0.185	0.103	0.260	0.136
D (mm)	149	67	224	100
k _{eff} (kN/m)	3197	3974	2984	3508

İzolatörlerin Modellenmesi

	Üst Limit				
	GM_DD1	GM_DD2		MR_DD1	MR_DD2
Yerdeğiştirme (mm)	149	67		224	100
Sönüm (%)	14.60%	24.26%		10.61%	19.26%
Teff (sn)	1.80	1.62		1.86	1.72
F/W	0.185	0.103		0.259	0.136
Sa (g)	0.185	0.103		0.260	0.136
D (mm)	149	67		224	100
k _{eff} (kN/m)	3197	3974		2984	3508

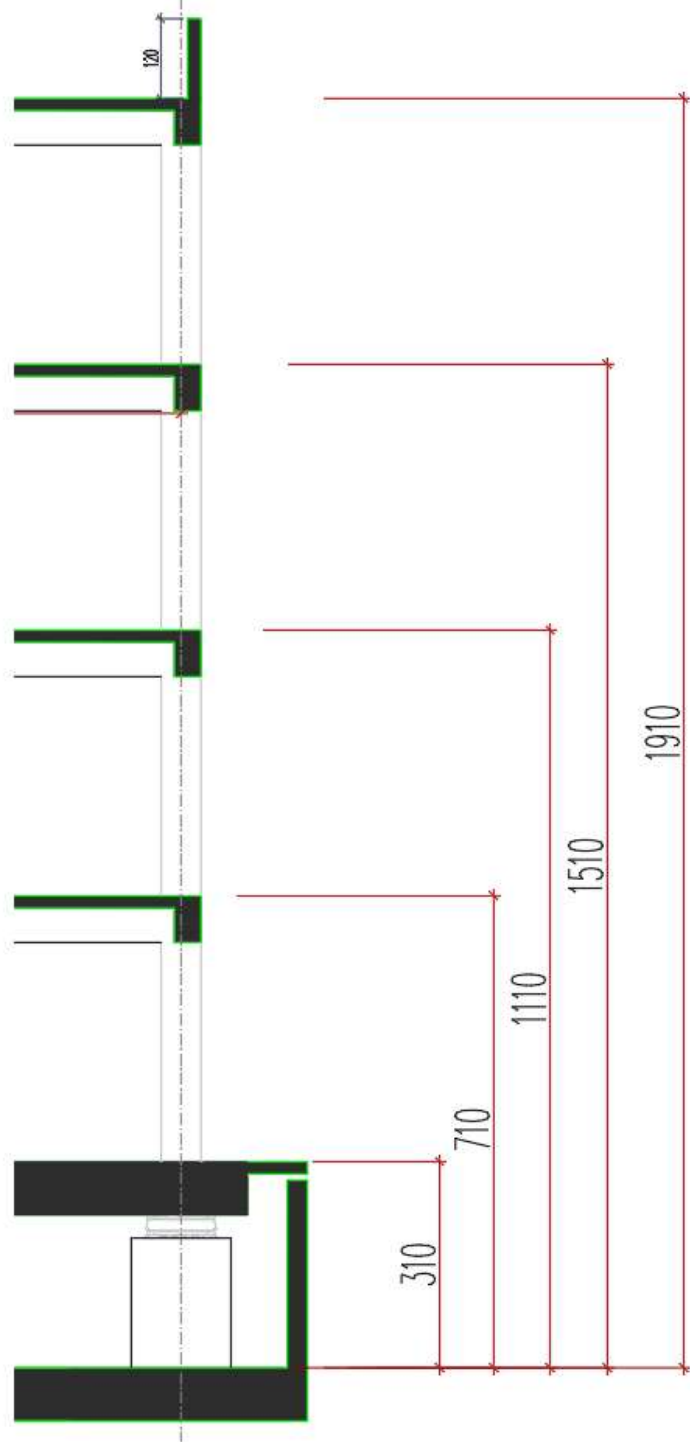


Analiz Yönteminin Seçilmesi

- **Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi** - Ancak aşağıdaki koşullar sağlandığında kullanılabilir:
 - (a) Bina, ZA, ZB, ZC veya ZD türü zeminde bulunmaktadır. ✓
 - (b) DD-1 deprem yer hareketi etkisi altında etkin periyodu < 4.0 s ✓
 - (c) Yalıtım sistemi üzerindeki binanın kat adedi en fazla 4, yalıtım arayüzü üzerindeki toplam yüksekliği ise en fazla 20 metredir. ✓
 - (d) Yalıtım birimlerinde kalkma veya çekme oluşmamaktadır. ✓
 - (e) Yalıtım sistemi üzerindeki binanın her katında burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 2.0$ koşulu sağlanmaktadır ve binada **B2** türü düzensizlik yoktur. ✓
 - (f) Binanın düşey doğrultudaki titreşim periyodu $T_v \leq 0.1$ s'dir. ✗
- **Mod Birleştirme Yöntemi:** Yukarıda verilen (a), (b) ve (d) koşullarının sağlandığı durumlarda üstyapı ve altyapı bu yöntemle hesaplanabilir.
- **Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz:** Üst yapı ve alt yapı, her durumda bu yöntemle hesaplanabilir.

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

- Yatay yüklerin düşey dağılımı (DD-2 Maksimum Yön, Üst Limit Özellikleri ile): ($V_D = 0.106W$)



	Üst Limit			
	GM_DD1	GM_DD2	MR_DD1	MR_DD2
Yerdeğiştirme (mm)	149	67	224	100
Sönüm (%)	14.60%	24.26%	10.61%	19.26%
Teff (sn)	1.80	1.62	1.86	1.72
F/W	0.185	0.103	0.259	0.136
Sa (g)	0.185	0.103	0.260	0.136
D (mm)	149	67	224	100
k _{eff} (kN/m)	3197	3974	2984	3508

			R=1	R=1.2
h_x (m)	w_x (kN)	V_D (GM-DD2)	F_i (kN)	F_i (kN)
16	8312	0.103	2220	1850
12	10372		2078	1731
8	10372		1385	1154
4	10371		692	577
0	22467		0	0
$\sum w_i h_i$	381914	$\sum F_i$	6375	5313

$$F_S = \frac{V_D w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i}$$

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (ASCE 41-13)

- Yatay yüklerin düşey dağılımı

$$V_{st} = V_b \left(\frac{W_s}{W} \right)^{(1-2.2\beta_D)} \quad (\text{ASCE 41-13 Eq. 14-11})$$

$$F_1 = V_b - V_{st} \quad (\text{ASCE 41-13 Eq. 14-12})$$

$$F_x = \frac{V_{st} w_x h_x^{k_{bi}}}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^{k_{bi}}} \quad (\text{ASCE 41-13 Eq. 14-12})$$

$$k_{bi} = 14\beta_D T_S \leq 4$$

V_{st} : İzolasyon katı üzerinde kalan yapı bölümü için tasarım yatay kuvveti

V_b : Toplam yatay kuvvet

W_x : I, n, veya x kotundaki sismik kütle

h_x : I, n, veya x katlarının izolasyon kotu üzerindeki yüksekliği

F_1 : İzolasyon kotuna etkiyen yatay kuvvet

w_i : I, n, veya x katlarındaki sismik kütle

h_i : I, n, veya x katlarının izolasyon kotu üzerindeki yüksekliği

k_{bi} : Atalet kuvvetleri dağılımı üstel katsayısı

W : Efektif Sismik Kütle;

W_s : İzolasyon kotu üzerindeki yapı bölümünün efektif sismik kütlesi;

T_S : İzolasyon kotu üzerindeki yapının periyodu; ve

β_D : Göz önüne alınan deprem düzeyi için izolasyon sistemi efektif sönümü

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (ASCE 41-13)

- Yatay yüklerin düşey dağılımı

$$V_{st} = V_b \left(\frac{W_s}{W} \right)^{(1-2.2\beta_D)} \quad (\text{ASCE 41-13 Eq. 14-11})$$

$$k_{bi} = 14 \times 0.24 \times 0.7 = 2.35$$

$$F_1 = V_b - V_{st} \quad (\text{ASCE 41-13 Eq. 14-12})$$

$$F_x = \frac{V_{st} w_x h_x^{k_{bi}}}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^{k_{bi}}} \quad (\text{ASCE 41-13 Eq. 14-12})$$

$$k_{bi} = 14\beta_D T_S \leq 4$$

h_x (m)	w_x (kN)	$w_x \cdot h_x^{k_{bi}}$	F_x/V_{st}	F_x (kN)
16	8312	5646713	0.519	2675
12	10372	3581763	0.329	1696
8	10372	1380109	0.127	654
4	10371	270323	0.025	128
$\sum w_i h_i$	381914	10878908	1.000	5153

$$F_1 = 6375 - 5153 = 1222 \text{ kN}$$

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

- Yalıtım Birimi Yatay Yerdeğiştirmelerinin (D_M) Hesaplanması (DD-1 Geometrik Ortalama, Alt Limit Özellikleri ile):

14.14.2.3 – En büyük deprem yer hareketi düzeyi DD-1 için yalıtım birimi yatay yerdeğiştirmesi D_M Denk.(14.30) ile hesaplanacaktır.

$$D_M = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) T_M^2 \eta_M S_{ae}^{(DD-1)}(T_M) \quad (14.30)$$

- Bağıntıda verilen «1.3» katsayısı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde «Geometrik Ortalama» spektrumunun kullanılması nedeni ile «Maksimum Yön» spektrumu kullanılarak elde edilecek deplasmanların belirlenmesi içindir.

	Alt Limit			
	GM_DD1	GM_DD2	MR_DD1	MR_DD2
Yerdeğiştirme (mm)	246	114	380	179
Sönüm (%)	9.78%	17.61%	6.71%	12.65%
Teff (sn)	2.90	2.71	2.97	2.84
F/W	0.117	0.063	0.173	0.090
Sa (g)	0.118	0.063	0.173	0.090
D (mm)	246	114	381	179
keff (kN/m)	1230	1415	1174	1290

$$D_M = \left(\frac{9.81}{4\pi^2} \right) 2.97^2 \times 0.92 \times 0.187 = 0.38m$$

Maksimum Yön

$$D_M = 1.3 \left(\frac{9.81}{4\pi^2} \right) 2.90^2 \times 0.82 \times 0.143 = 0.32m$$

Geometrik Ortalama

*Tabloda verilen S_a (ivme) değeri sönüm katsayısı ile çarpılmış olup deplasman hesabında efektif periyoda karşı gelen sönümsüz ivme (0.143 g) kullanılmalıdır.

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

- Yalıtım Birimi Yatay Maksimum Yerdeğıştirmelerinin (D_{MD}) Hesaplanması (Alt Limit Özellikleri ile):

Geometrik Ortalama Spekturumu

$$D_M = 1.3 \left(\frac{9.81}{4\pi^2} \right) 2.90^2 \times 0.82 \times 0.143 = 0.32m$$

Maksimum Yön Spekturumu

$$D_M = \left(\frac{9.81}{4\pi^2} \right) 2.97^2 \times 0.92 \times 0.187 = 0.38m$$

$$D_{MD} = D_M \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad (14.34)$$

D_M : İzolasyon düzleminin rijitlik merkezinde göz önüne alınan doğrultuda hesaplanan en büyük yer değıştirme

y : İzolasyon düzleminin rijitlik merkezi ile göz önüne alınan yalıtım elemanı arasındaki deprem yüklemesine dik uzaklık

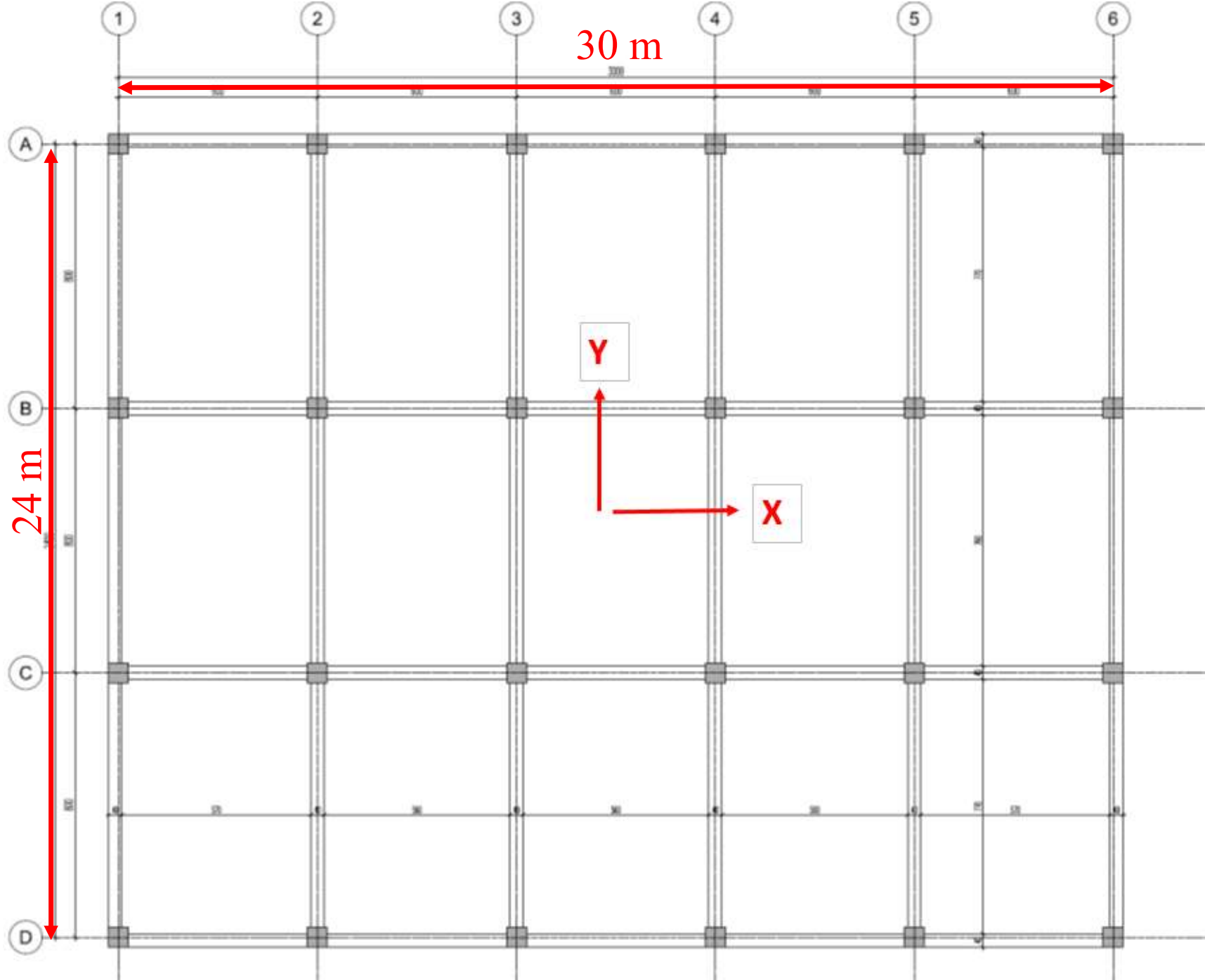
e : Üst yapının kütle merkezi ile izolasyon düzleminin rijitlik merkezi arasındaki egzantisite ve minimum egzantisitenin (deprem doğrultusuna dik olarak yapının en uzun plan doğrultusunun %5'i) toplamı

b : Yapının d'ye dik en kısa plan doğrultusu

d : Yapının en uzun plan doğrultusu

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

- Yalıtım Birimi Yatay Maksimum Yerdeğiştirmelerinin (D_{MD}) Hesaplanması (Alt Limit Özellikleri ile):



X Doğrultusu için;

$$D_{MD} = D_M \left[1 + (24 / 2) \frac{12 \times 0.05 \times 24}{24^2 + 30^2} \right] = 1.12 D_M$$

Y Doğrultusu için;

$$D_{MD} = D_M \left[1 + (30 / 2) \frac{12 \times 0.05 \times 30}{24^2 + 30^2} \right] = 1.18 D_M$$

Yalıtım Birimi Maksimum Yatay Yerdeğiştirmesi (DD-1 Geometrik Ortalama için):

$$0.32 \text{ m} \times 1.18 = 0.377 \text{ m} \approx \underline{\underline{38 \text{ cm}}}$$

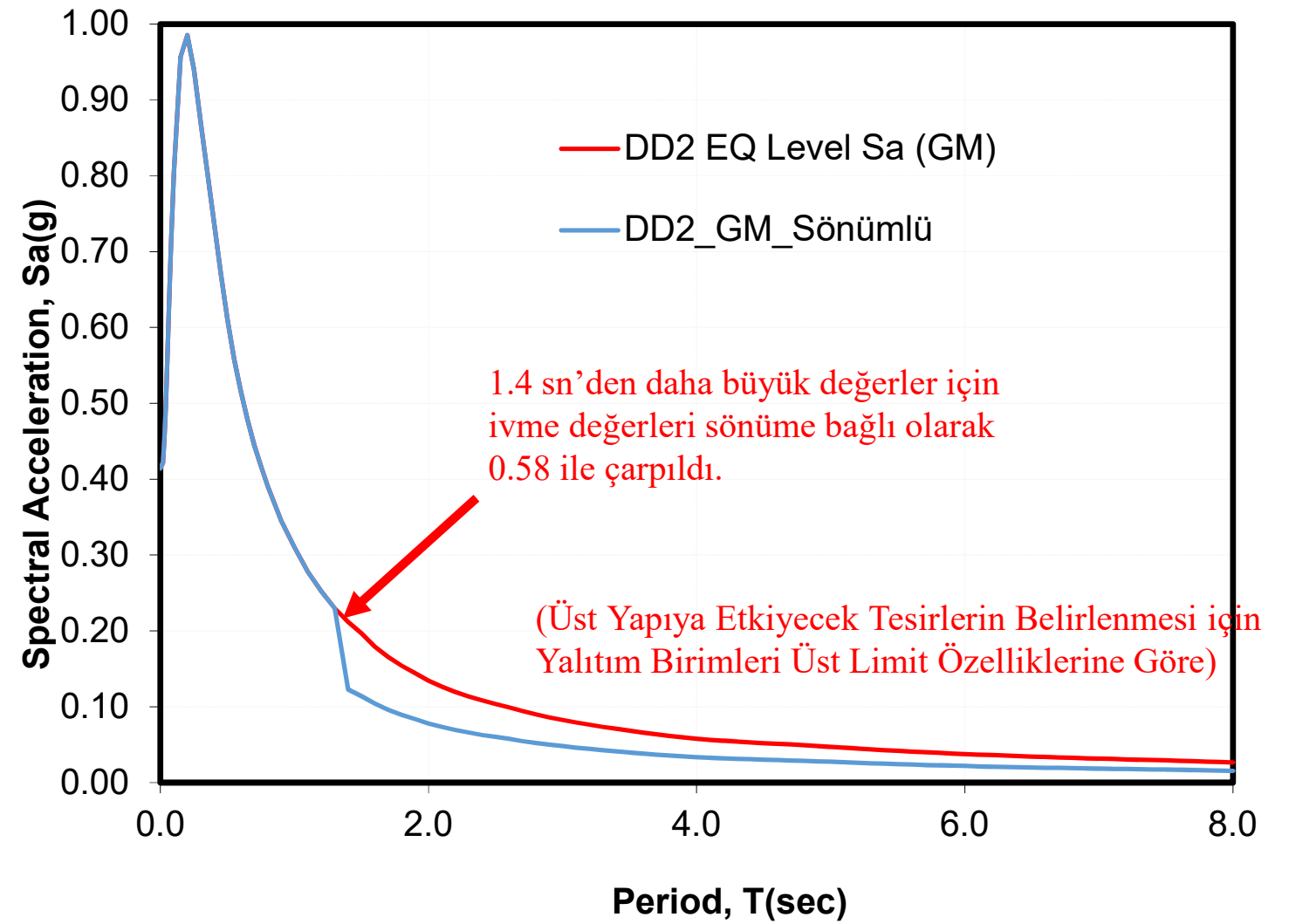
Mod Birleştirme Yöntemi

- Kompozit Spektrum (GM-DD2, Üst Limit Özellikleri)

Yalıtım birimlerinin üreteceği sönüm nedeni ile mod birleştirme yöntemi göz önüne alınan deprem seviyesi için kullanılacak spektrumun izolasyon periyodundan önce öngörülen sönüm mertebesinde azaltılarak kullanılabilir.

	Üst Limit			
	GM_DD1	GM_DD2	MR_DD1	MR_DD2
Yerdeğiştirme (mm)	149	67	224	100
Sönüm (%)	14.60%	24.26%	10.61%	19.26%
Teff (sn)	1.80	1.62	1.86	1.72
F/W	0.185	0.103	0.259	0.136
Sa (g)	0.185	0.103	0.260	0.136
D (mm)	149	67	224	100
k _{eff} (kN/m)	3197	3974	2984	3508

%24 sönüm için $\eta = 0.58$



Mod Birleştirme Yöntemi

Mod birleştirme yöntemi ile hesaplanan alt ve üst yapı kuvvetleri yapıda düzensizlik bulunmaması durumunda Eşdeğer Deprem Yüğü yöntemi ile hesaplanan kuvvetlerin %80'inden, yapıda düzensizlik bulunması durumunda ise %90'ından küçük olamaz.

Kat Kesme Kuvvetleri (kN) (R=1)		
Kat	TDY Eşdeğer	Mod Birleştirme
4. Kat	2220	1124
3. Kat	2078	1314
2. Kat	1385	1021
1. Kat	692	714
İzolasyon	0	1854
Toplam	6375	6028

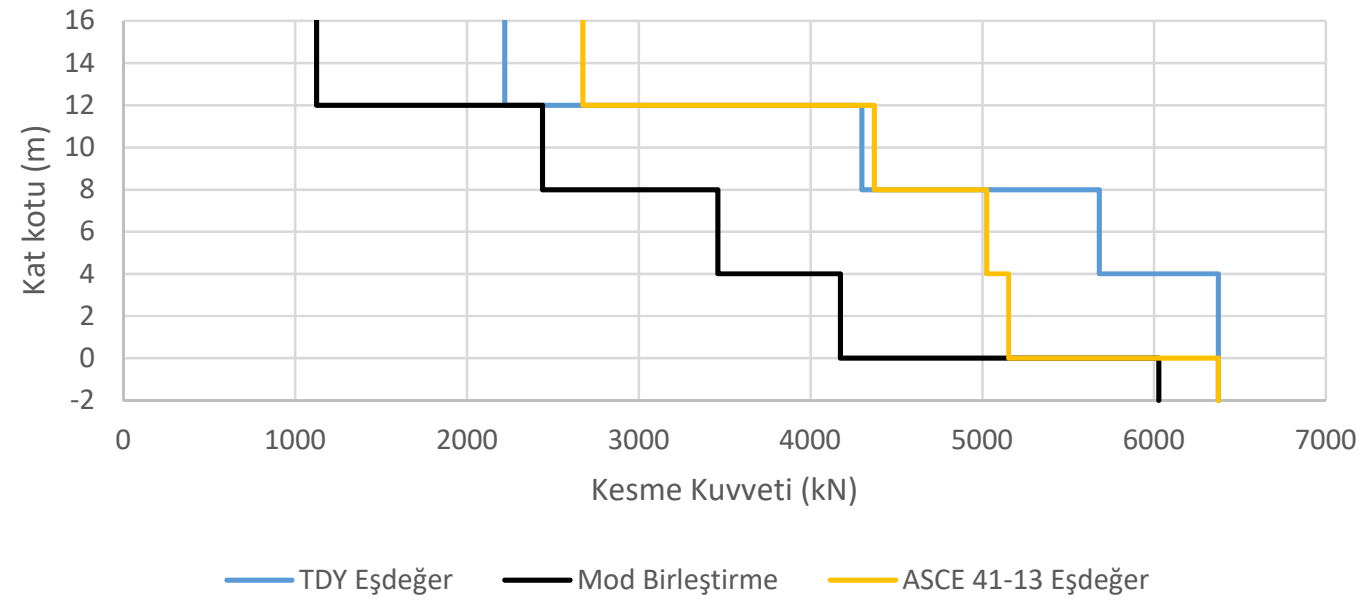
Yapıda düzensizlik yok;

$6028 / 6375 = 0.95$ ✓

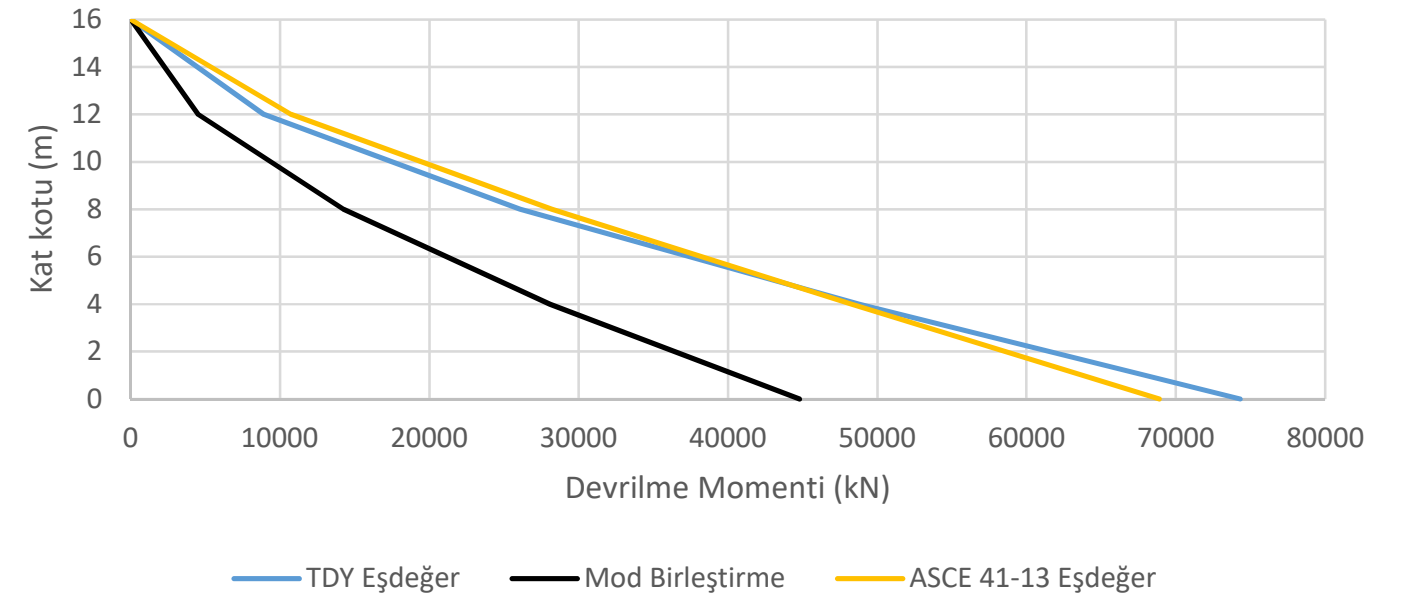
Kat Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması (Üst Limit Özellikleri ile)

Kat Kesme Kuvvetleri (kN) (R=1)			
Kat	TDY Eşdeğer	Mod Birleştirme	ASCE 41-13 Eşdeğer
4. Kat	2220	1124	2675
3. Kat	2078	1314	1696
2. Kat	1385	1021	654
1. Kat	692	714	128
İzolasyon	0	1854	1222
Toplam	6375	6028	6375

Kesme Kuvvetleri Karşılaştırma



Kat Devrilme Momentleri Karşılaştırma



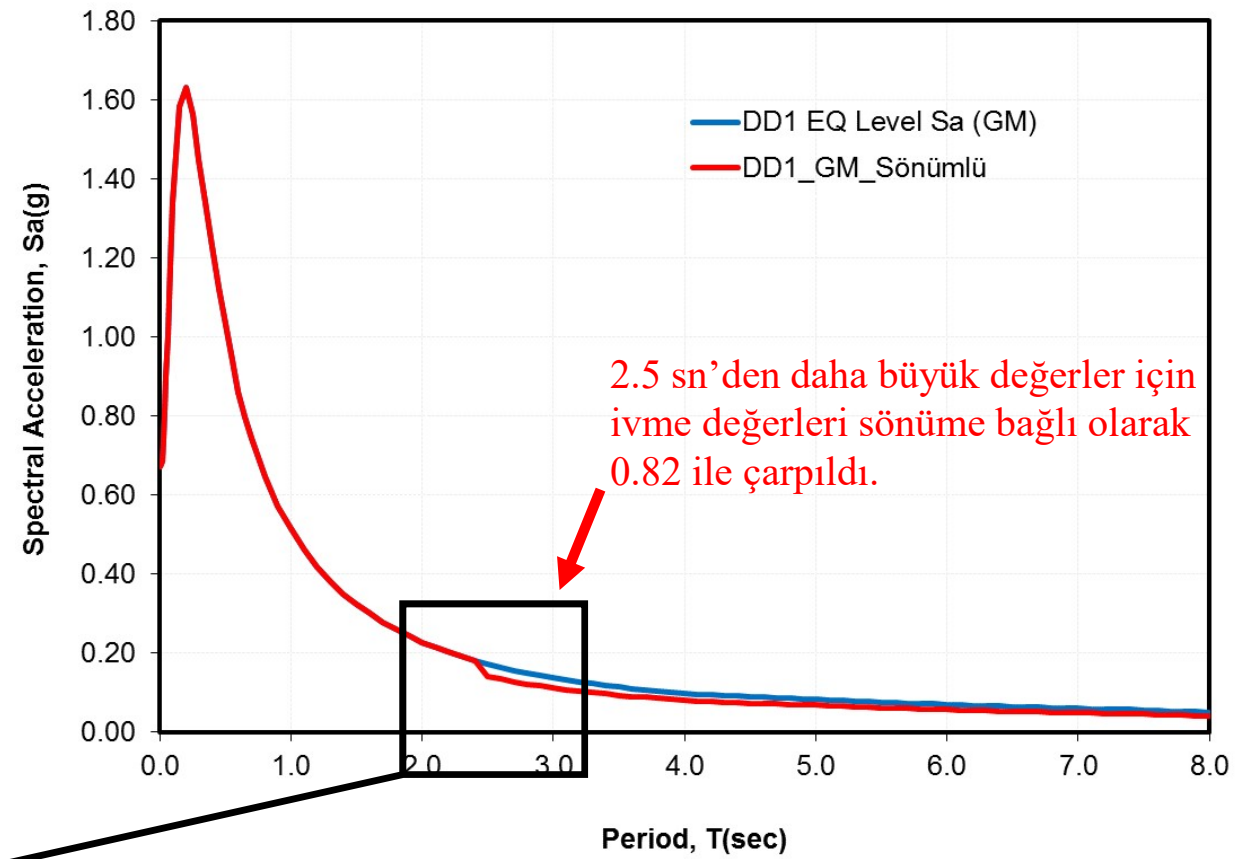
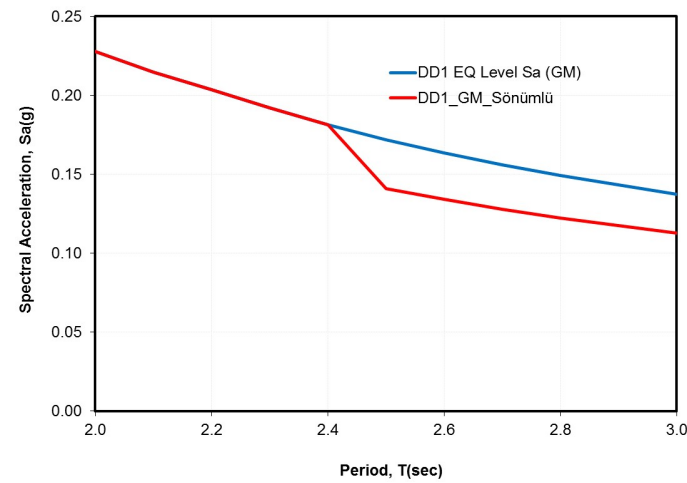
Mod Birleştirme Yöntemi

- Kompozit Spektrum (GM-DD1, Alt Limit Özellikleri)

Yalıtım birimlerinin üreteceği sönüm nedeni ile mod birleştirme yöntemi göz önüne alınan deprem seviyesi için kullanılacak spektrumun izolasyon periyodundan önce öngörülen sönüm mertebesinde azaltılarak kullanılabilir.

	Alt Limit			
	GM_DD1	GM_DD2	MR_DD1	MR_DD2
Yerdeğiştirme (mm)	246	114	380	179
Sönüm (%)	9.78%	17.61%	6.71%	12.65%
Teff (sn)	2.90	2.71	2.97	2.84
F/W	0.117	0.063	0.173	0.090
Sa (g)	0.118	0.063	0.173	0.090
D (mm)	246	114	381	179
keff (kN/m)	1230	1415	1174	1290

%10 sönüm için $\eta = 0.82$



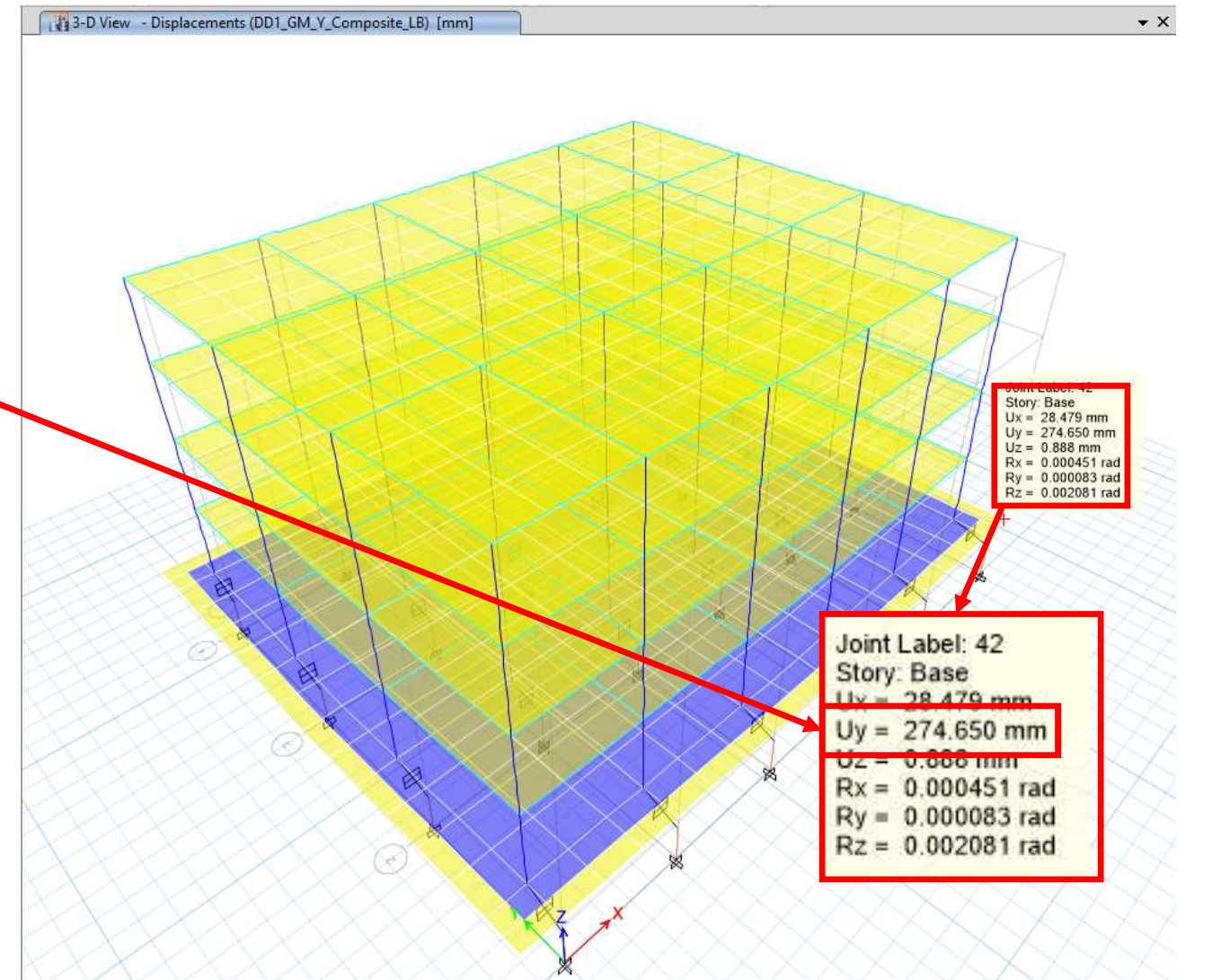
(Maksimum Deplasmanların Belirlenmesi için Yalıtım Birimleri Alt Limit Özelliklerine Göre)

Mod Birleştirme Yöntemi

- Yalıtım Birimi Yatay Maksimum Yerdeğiştirmelerinin (D_{MD}) Hesaplanması (DD-1 Maksimum Yön, Alt Limit Özellikleri):

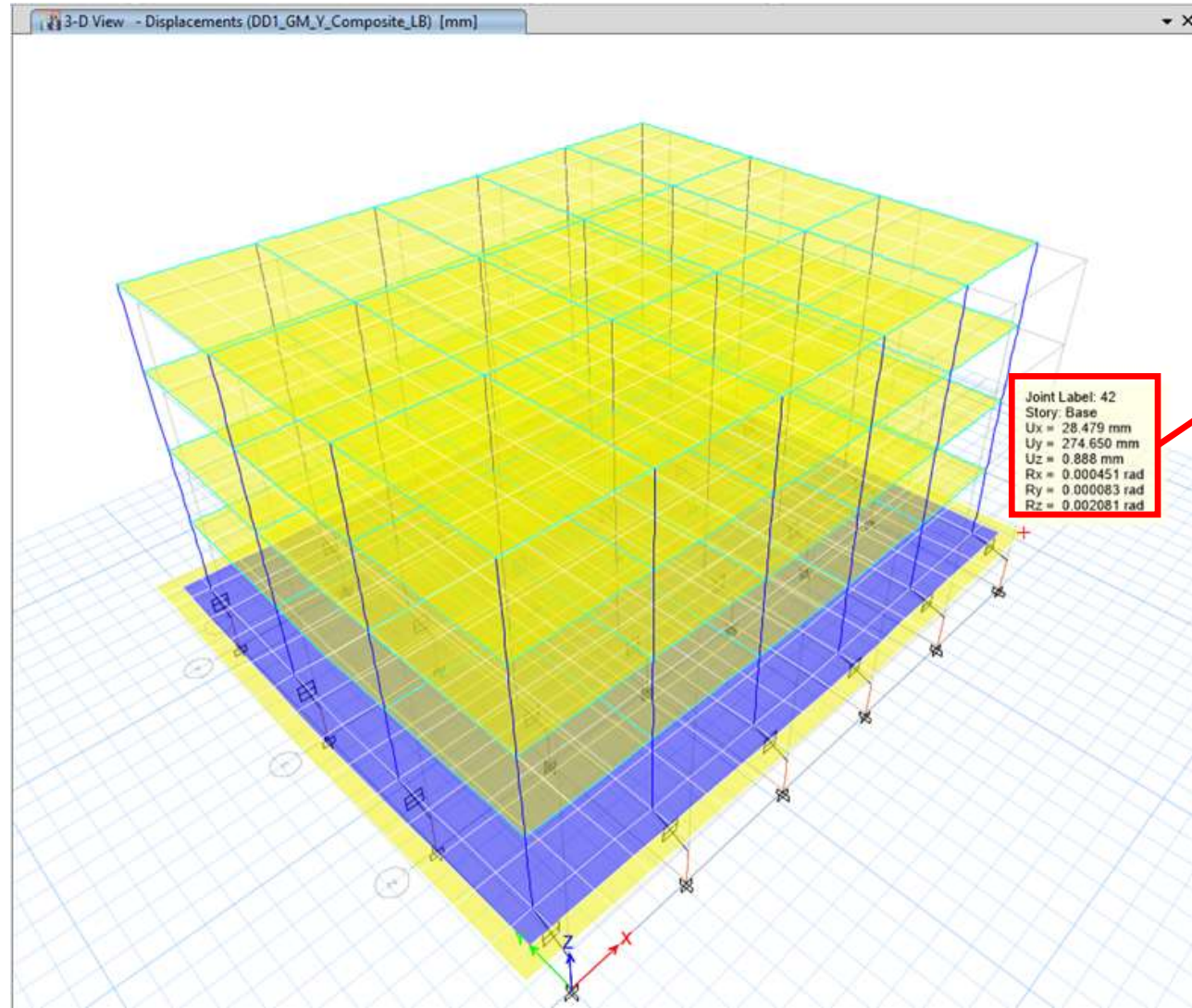
	Alt Limit			
	GM_DD1	GM_DD2	MR_DD1	MR_DD2
Yerdeğiştirme (mm)	246	114	380	179
Sönüm (%)	9.78%	17.61%	6.71%	12.65%
Teff (sn)	2.90	2.71	2.97	2.84
F/W	0.117	0.063	0.173	0.090
Sa (g)	0.118	0.063	0.173	0.090
D (mm)	246	114	381	179
keff (kN/m)	1230	1415	1174	1290

- Yapı kütle merkezinin en olumsuz konumuna göre (gerçek egzantisiteye ilave olarak X ve Y doğrultularında $\pm 5\%$) analizler tekrar edilir ve maksimum deplasman bulunur.



Mod Birleştirme Yöntemi

- Yalıtım Birimi Yatay Maksimum Yerdeğiştirmelerinin (D_{MD}) Hesaplanması (DD-1 Maksimum Yön, Alt Limit Özellikleri):



14.14.3.3 – Hesaplanan yerdeğiştirmeler, binada düzensizlik bulunmaması halinde **14.14.2.6**'ya göre hesaplan değerlerin %80'inden, binada A1, B2 veya B3 düzensizliklerinden en az birinin bulunması halinde ise **14.14.2.6**'ya göre hesaplan değerlerin %90'ından az olmayacaktır.

- Denklem 14.14.2.6 kullanılarak maksimum deplasman 38 cm olarak elde edilmişti.
- Yapının düzenli olması nedeni ile;

$$38 \text{ cm} \times \%80 = 30.5 \text{ cm} > 27.5 \text{ cm} \rightarrow D_{MD} \approx 31 \text{ cm}$$

Tasarım Kombinasyonları

Üst Yapı Tasarımı İçin

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

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

Yalıtım Arayüzü ve Altı

$$1.4G + 1.6Q \quad (14.1)$$

$$1.2G + Q \pm E_d \quad (14.2)$$

$$0.9G \pm E_d \quad (14.3)$$

Burada Q hareketli yük etkisini, S kar yükü etkisini, H ise **Bölüm 16**'da tanımlanan yatay zemin etkisini simgelemektedir. Yatay deprem etkisi $E_d^{(H)}$ 4.4.2'ye göre, düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$ ise 4.4.3'e göre belirlenecektir.

4.4.2. Yatayda Birbirine Dik Doğrultulardaki Deprem Etkilerinin Birleştirilmesi

4.4.2.1 – Yatay deprem etkisi altında taşıyıcı sistemin deprem hesabının 4.7 veya 4.8.2'de verilen yöntemlerden biri ile yapılması durumunda, yatayda birbirine dik (X) ve (Y) doğrultularında tanımlanan depremlerden oluşan deprem etkileri **Denk.(4.5)**'de tanımlandığı şekilde birleştirilecektir:

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

Tasarım Kombinasyonları

4.4.3. Düşey Deprem Etkisi

4.4.3.1 – DTS=1, **DTS=1a**, DTS=2 ve DTS=2a olarak sınıflandırılan ve aşağıdaki elemanları içeren binalarda düşey deprem hesabı, bu *elemanların yerel düşey titreşim modları* esas alınarak *sadece bu elemanlar için 2.3.6’da tanımlanan düşey elastik ivme spektrumu’na göre 4.8.2’de verilen yöntemle* yapılacaktır. *Düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$* ’in bu şekilde hesabında tüm taşıyıcı sistemler için $R/I = 1$ ve $D = 1$ alınacaktır.

- (a) Açıklıklarının yataydaki izdüşümü 20 m veya daha fazla olan kirişleri içeren binalar,
- (b) Açıklıklarının yataydaki izdüşümü 5 m veya daha fazla olan konsolları içeren binalar,
- (c) Kirişlere oturan kolonları içeren binalar.

4.4.3.2 – 4.4.3.1’de belirtilen elemanların dışındaki taşıyıcı sistem kısımlarında ve 4.4.3.1’deki tanımın dışında kalan binalarda *düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$* , özel bir hesap yapılmaksızın, **Denk.(4.6)** ile yaklaşık olarak hesaplanacaktır.

$$E_d^{(Z)} \approx (2/3) S_{DS} G \quad (4.6)$$

$$E_d^{(Z)} \approx (2/3) S_{DS} G \quad (4.6) \longrightarrow \text{GM-DD2 Spektrumu Maksimum İvme Değeri } 0.985g \rightarrow S_{DS} = 0.985g$$

$2/3 S_{DS} = 0.66 \text{ g (Üst Yapı için)}$

Tasarım Kombinasyonları

Alt Yapıya

14.14.2.8 – ~~Üst yapıya~~ etkiyen kuvvet, en büyük deprem yer hareketi düzeyi DD-1 için Denk.(14.36) ile hesaplanacaktır.

$$V_M = \frac{S_{ae}^{(DD-1)}(T_M)W\eta_M}{R} \quad (14.36)$$

$$E_d^{(Z)} \simeq (2/3)S_{DS}G \quad (4.6) \longrightarrow \text{GM-DD1 Spektrumu Maksimum İvme Değeri } 1.63g \rightarrow S_{DS} = 1.63g$$

$2/3S_{MS} = 1.09 \text{ g (Alt Yapı için)}$

Tasarım Kombinasyonları

Üst Yapı Tasarımı İçin

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

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

Alt Yapı Tasarımı İçin

$$1.4G + 1.6Q \quad (14.1)$$

$$1.2G + Q \pm E_d \quad (14.2)$$

$$0.9G \pm E_d \quad (14.3)$$

$$2/3 S_{DS} = 0.66g \rightarrow 0.3E_d^{(Z)} = 0.3 \times 0.66 = 0.2 \text{ g (Üst Yapı için)}$$

$$2/3 S_{MS} = 1.09g \rightarrow 0.3E_d^{(Z)} = 0.3 \times 1.09 = 0.33 \text{ g (Alt Yapı için)}$$

- $(1.0 + 0.2)G + Q + 0.2S \pm E_d^{(H)}$

- $(0.9 - 0.2)G + H \pm E_d^{(H)}$

- $1.4G + 1.6Q$

- $(1.2 + 0.33)G + Q \pm E_d^{(H)}$

- $(0.9 - 0.33)G \pm E_d^{(H)}$

Mod birleştirme yöntemi için düşey spektrum göz önüne alınan deprem seviyesi için 0.3 ile çarpılarak kullanılacaktır.

Tasarım Kombinasyonları

Yalıtım Birimi Düşey Rijitliği: 2224339 kN/m

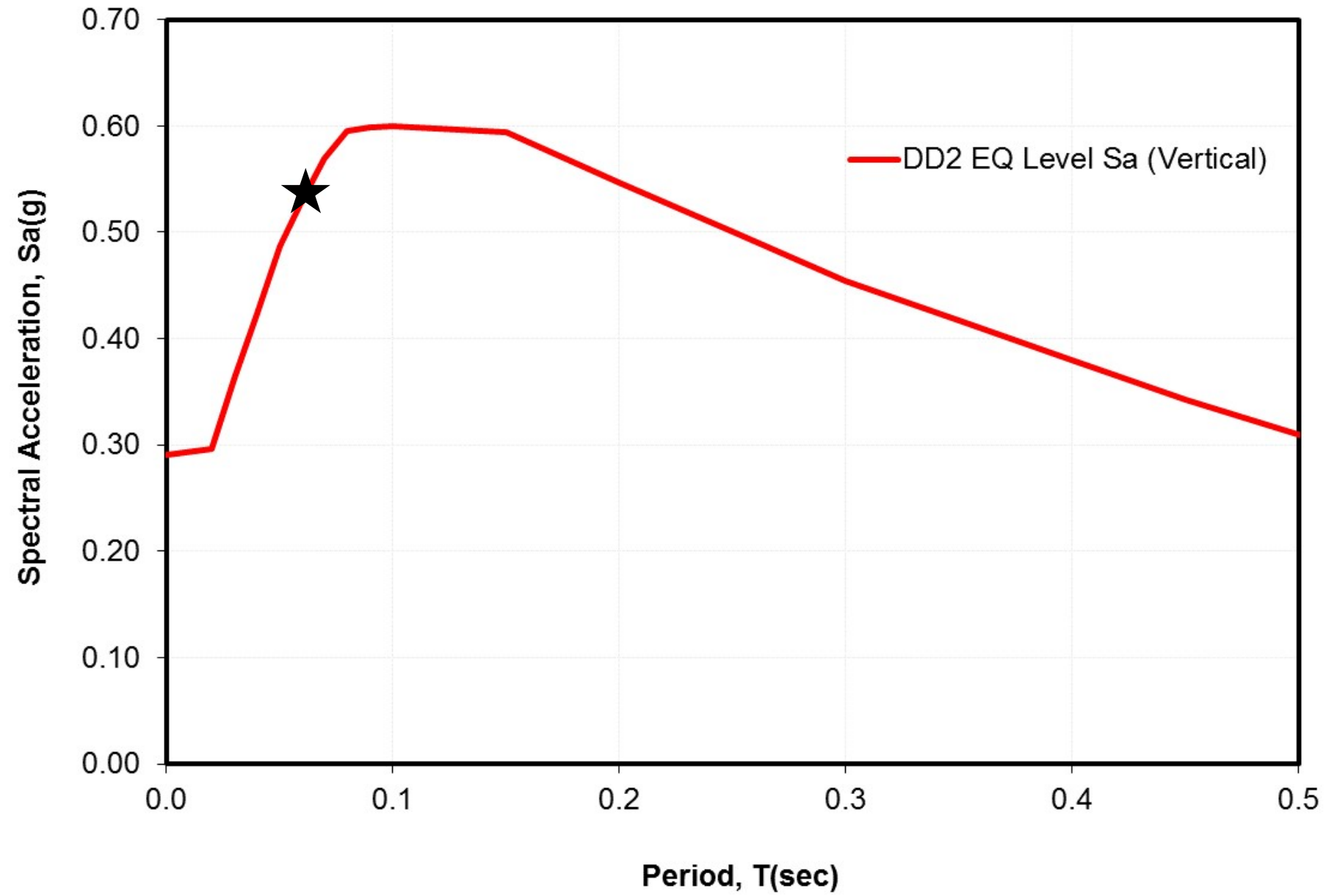
Toplam Sismik Kütle: 61893 kN

Toplam İzolatör Sayısı : 24

$$\text{Yapı Düşey Periyodu} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 0.068sn$$

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ
Modal	10	0.128	0	0	0.5235	1	1	0.5235
Modal	89	0.069	0	0	0.1145	1	1	0.8538
Modal	79	0.077	0	0	0.1131	1	1	0.7255
Modal	95	0.067	0	0	0.0534	1	1	0.9072

Tasarım Kombinasyonları

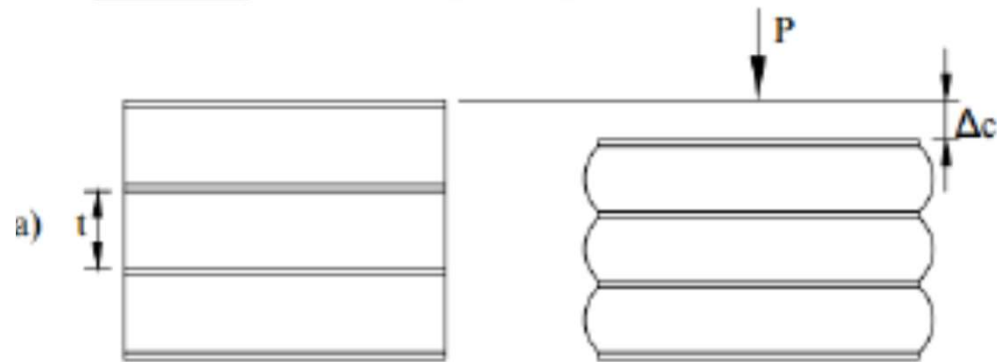


Hesaplanan periyot için DD2 Düşey spektrum ivme değeri : 0.56 g
ETABS DD2 Düşey spektrum kuvveti : $20321 \text{ kN} / 61893 \text{ kN} = 0.33 \text{ g}$

Elastomer Yalıtım Birimlerinin Birim Şekildeğiştirme Sınırları

- Depremsiz Durumda Basıncıtan Meydana Gelen Açısal Şekildeğiştirme;

$$\gamma_{c,st} = \frac{6SP_{K1}}{A_r E_c} \quad (14.11)$$

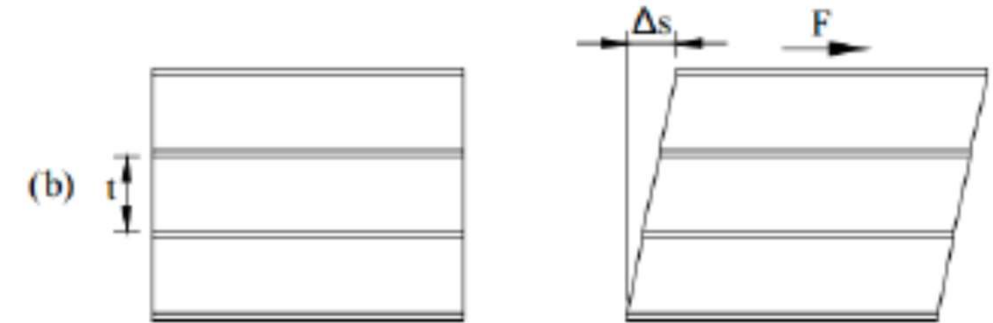


- $P_{K1} = 6375 \text{ kN}$ (1.4G + 1.6Q Kombinasyonu)
- $S = (B^2 - B_L^2)/(4Bt) = (850^2 - 100^2)/(4 \times 850 \times 10) = 20.956$
- $A_r = (\pi/4)(B^2 - B_L^2) = 559596 \text{ mm}^2$
- $E_c = E_0(1 + 2kS^2) = 1319.45$ (elastomer basınç modülü)

- $\gamma_{c,st} = 1.09$

- Deprem dışındaki diğer etkilerden dolayı (ısı genleşme, rüzgar vb.) oluşacak yerdeğiştirmeden meydana gelen açısal şekildeğiştirme;

$$\gamma_{s,st} = \frac{\Delta_s}{T_r} \quad (14.12)$$

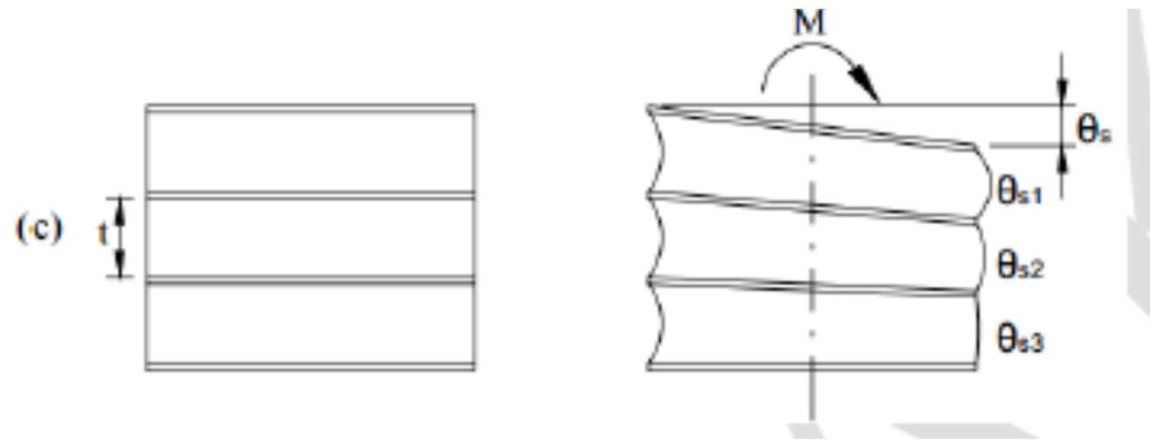


- $\gamma_{s,st} \approx 0$

Elastomer Yalıtım Birimlerinin Birim Şekildeğiştirme Sınırları

- Yalıtım birimi alt ve üst plakaları arasındaki göreceli dönmeden meydana gelen birim şekildeğiştirme;

$$\gamma_{I,st} = \frac{B^2 \theta_s}{2tI_r} \quad (14.13)$$



- $\theta \approx 0$ (minimum 0.005 radyan olarak göz önüne alınır)
- $\gamma_{r,st} = 0.90$

- Şekildeğiştirme Sınırları;

$$\gamma_{c,st} \leq 3.5 \quad (14.16)$$

$$\gamma_{c,st} + \gamma_{s,st} + \gamma_{r,st} \leq 5.0 \quad (14.17)$$

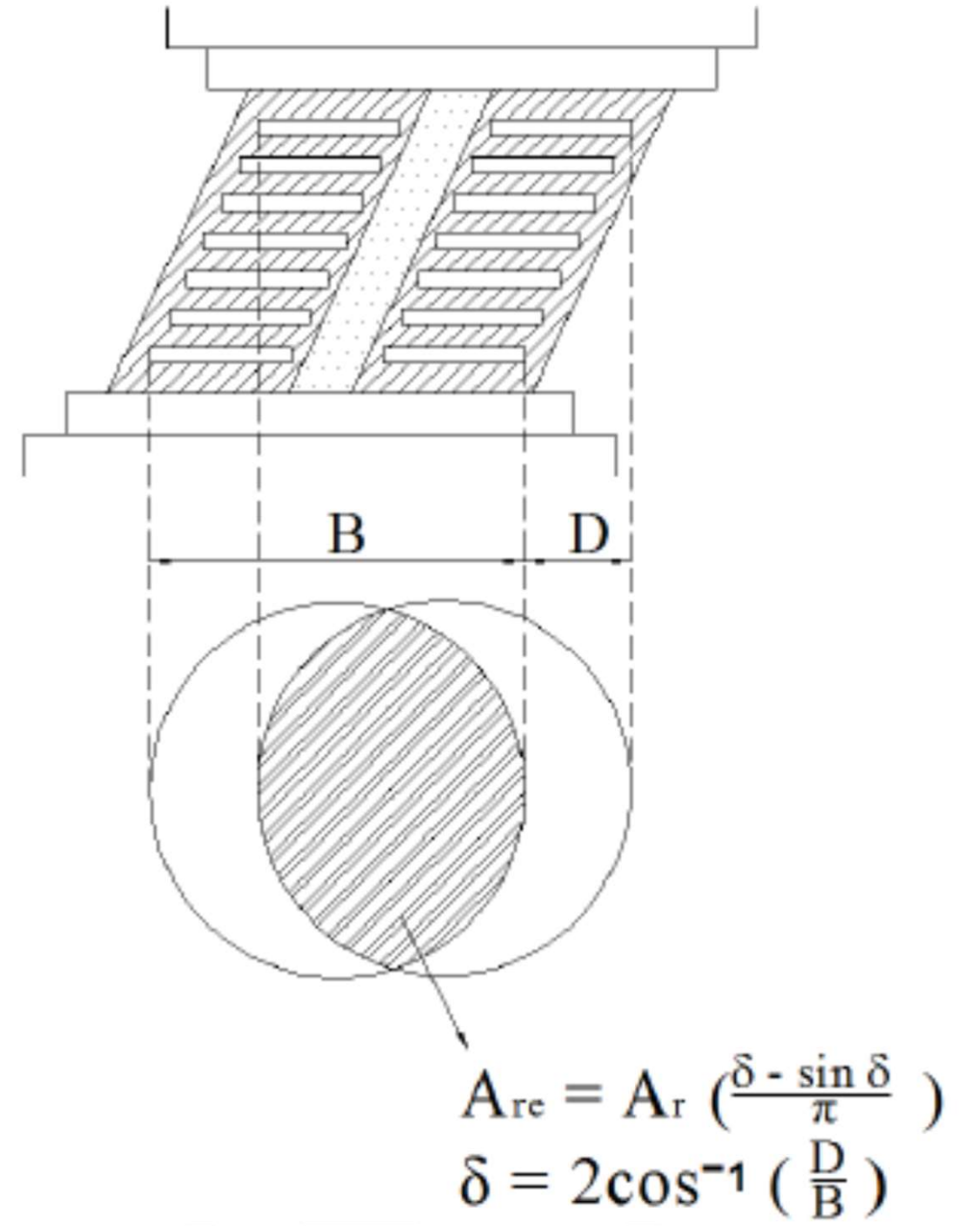
- $\gamma_{c,st} = 1.09 < 3.5$ ✓
- $\gamma_{c,st} + \gamma_{s,st} + \gamma_{r,st} = 1.99 < 5.0$ ✓

Elastomer Yalıtım Birimlerinin Birim Şekildeğiştirme Sınırları

- DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi etkisi altında oluşan basınçtan meydana gelen açılal şekildeğiştirme; (DD1 GM Üst Limit Özellikleri için)

$$\gamma_{c,E} = \frac{6SP_{K2}}{A_{re}E_c} \quad (14.14)$$

- $P_{K2} = 6200 \text{ kN}$ (1.2G + Q ± E_d Kombinasyonu, Üst Limit)
- $S = (B^2 - B_L^2)/(4Bt) = (850^2 - 100^2)/(4 \times 850 \times 10) = 20.956$
- Üst Limit Özellikleri için GM-DD1 D_M = 194 mm
- $\delta = 2\cos^{-1}(D/B) = 2.68$
- $A_r = (\pi/4)(B^2 - B_L^2) = 559596 \text{ mm}^2$
- $A_{re} = A_r (\delta - \sin \delta / \pi) = 398200 \text{ mm}^2$
- $E_c = E_0(1 + 2kS^2) = 1319.45$
- $\gamma_{c,E} = 1.48$

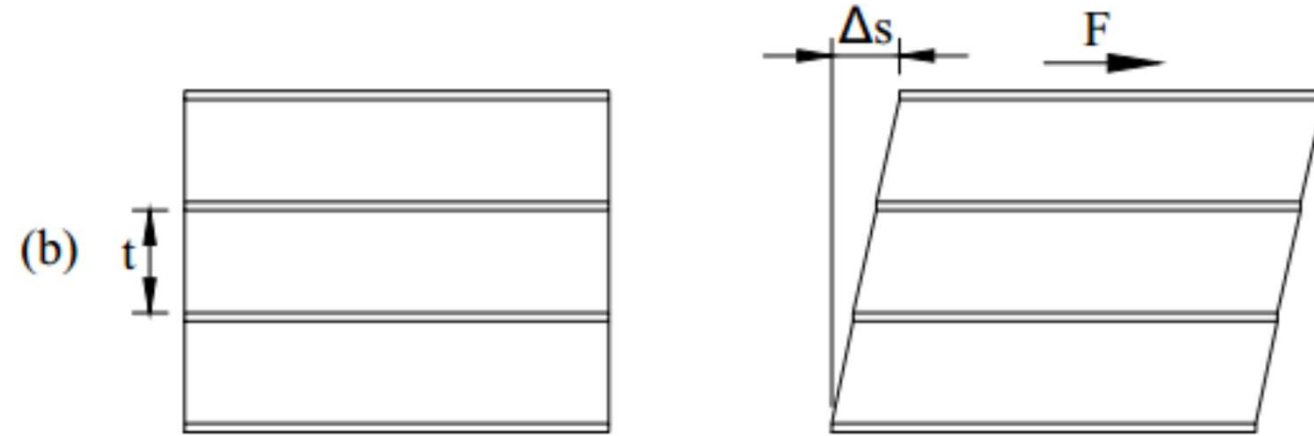


Elastomer Yalıtım Birimlerinin Birim Şekildeğiştirme Sınırları

- DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi etkisi altında oluşan yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen birim şekildeğiştirme;
(DD1 GM Üst Limit Özellikleri için)

$$\gamma_{s,E} = \frac{D}{T_r} \quad (14.15)$$

- DD1 GM Üst Limit için $D = 194 \text{ mm}$
- $T_r = 200 \text{ mm}$
- $\gamma_{s,E} = 0.97$



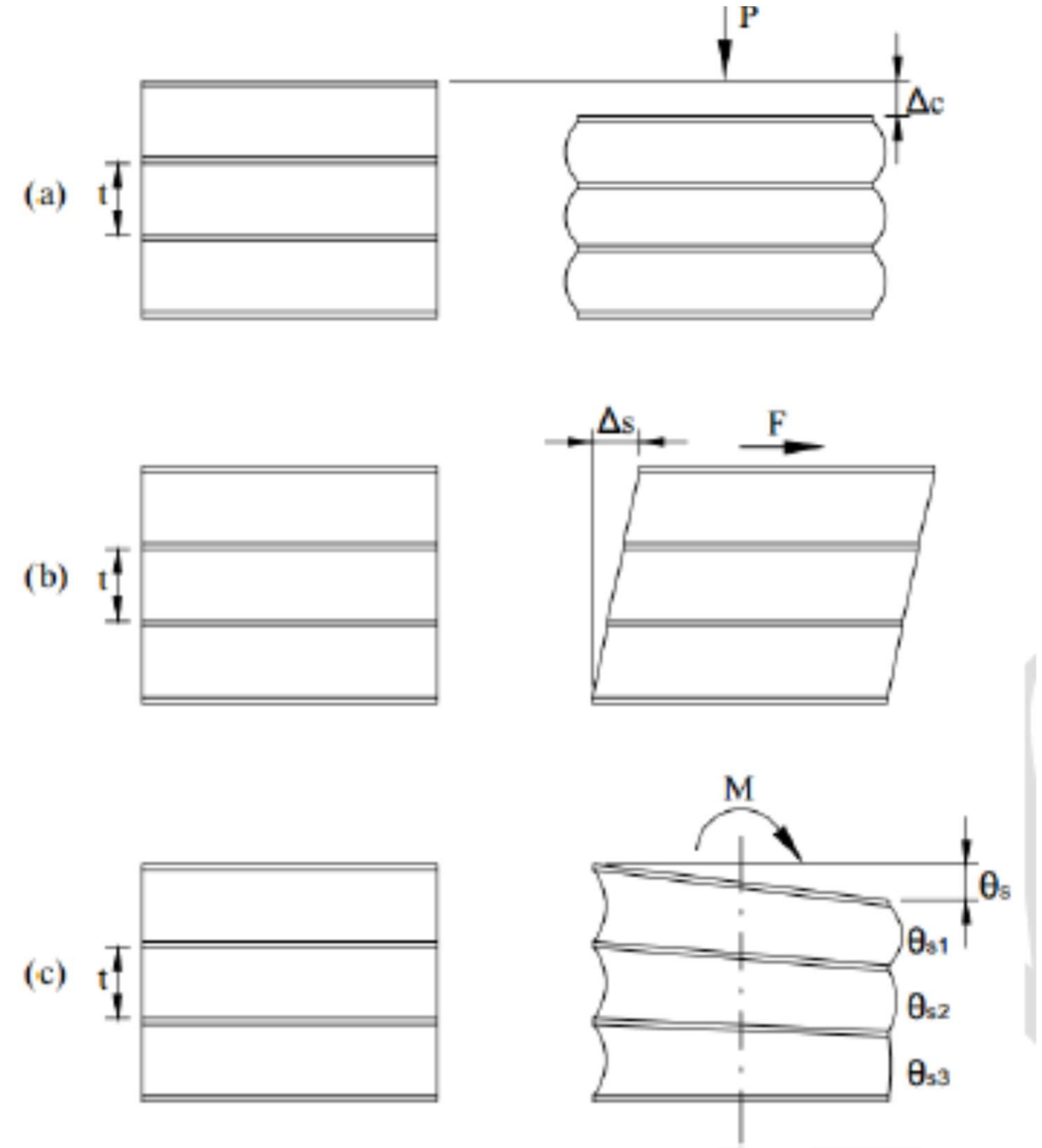
Elastomer Yalıtım Birimlerinin Birim Şekildeğiştirme Sınırları

- Deprem Etkisi Altında Şekildeğiştirme Sınırları;

$$\gamma_{c,E} + \gamma_{s,E} + 0.5\gamma_{r,st} \leq 6.0 \quad (14.18)$$

$$\gamma_{s,E} \leq 2.0 \quad (14.19)$$

- $\gamma_{s,E} = 0.97 < 2.0$ ✓
- $\gamma_{c,E} + \gamma_{s,E} + 0.5\gamma_{r,st} = 1.48 + 0.97 + 0.5 \times 0.9 = 2.9 < 6.0$ ✓

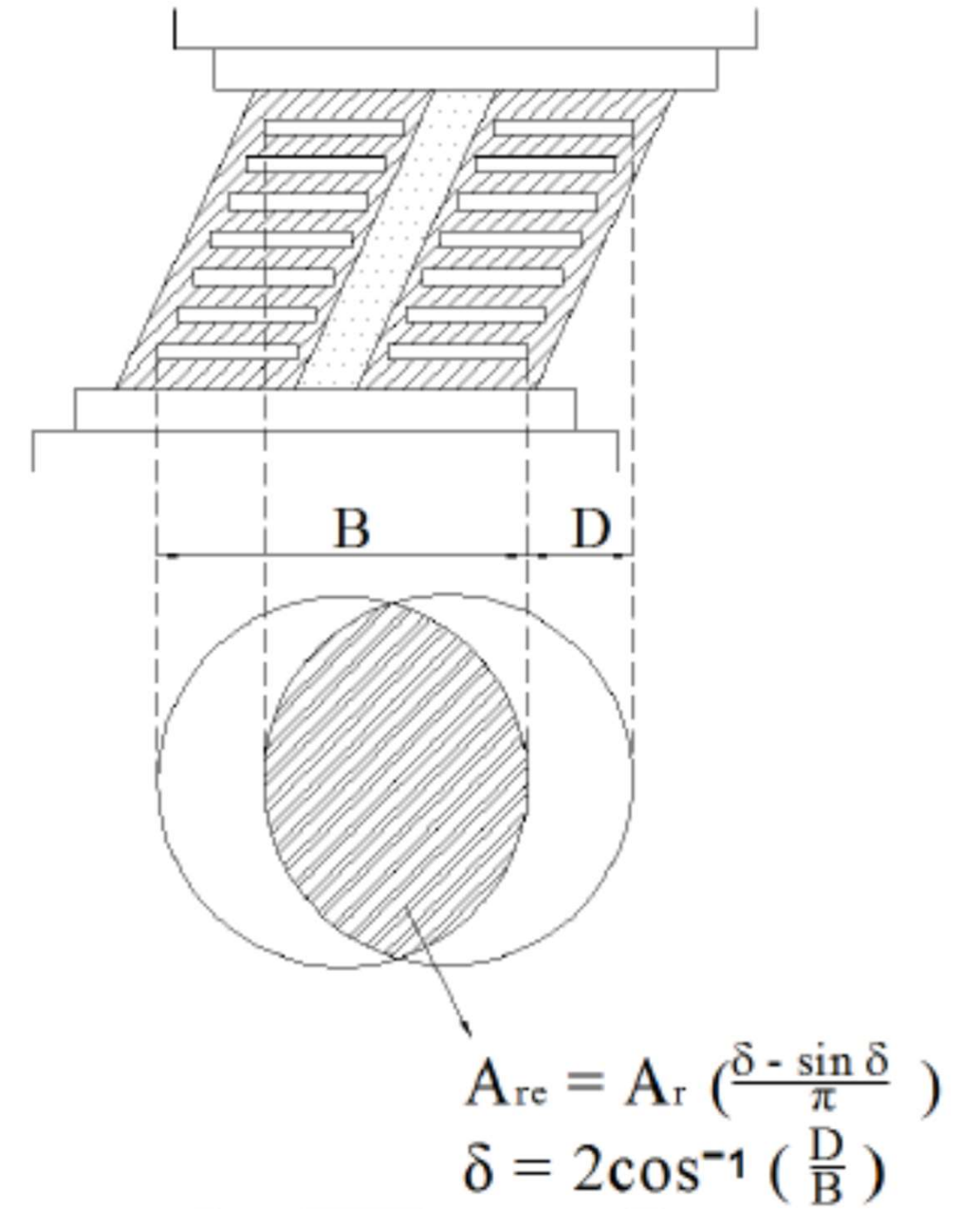


Elastomer Yalıtım Birimlerinin Birim Şekildeğiştirme Sınırları

- DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi etkisi altında oluşan basınçtan meydana gelen açılal şekildeğiştirme; (DD1 GM Alt Limit Özellikleri için)

$$\gamma_{c,E} = \frac{6SP_{K2}}{A_{re}E_c} \quad (14.14)$$

- $P_{K2} = 6200 \text{ kN}$ ($1.2G + Q \pm E_d$ Kombinasyonu, Üst Limit ile aynı kabul edilmiştir)
- $S = (B^2 - B_L^2)/(4Bt) = (850^2 - 100^2)/(4 \times 850 \times 10) = 20.956$
- Alt Limit Özellikleri için GM-DD1 $D_M = 320 \text{ mm}$
- $\delta = 2\cos^{-1}(D/B) = 2.37$
- $A_r = (\pi/4)(B^2 - B_L^2) = 559596 \text{ mm}^2$
- $A_{re} = A_r (\delta - \sin \delta / \pi) = 297639 \text{ mm}^2$
- $E_c = E_0(1 + 2kS^2) = 1319.45$
- $\gamma_{c,E} = 1.99$

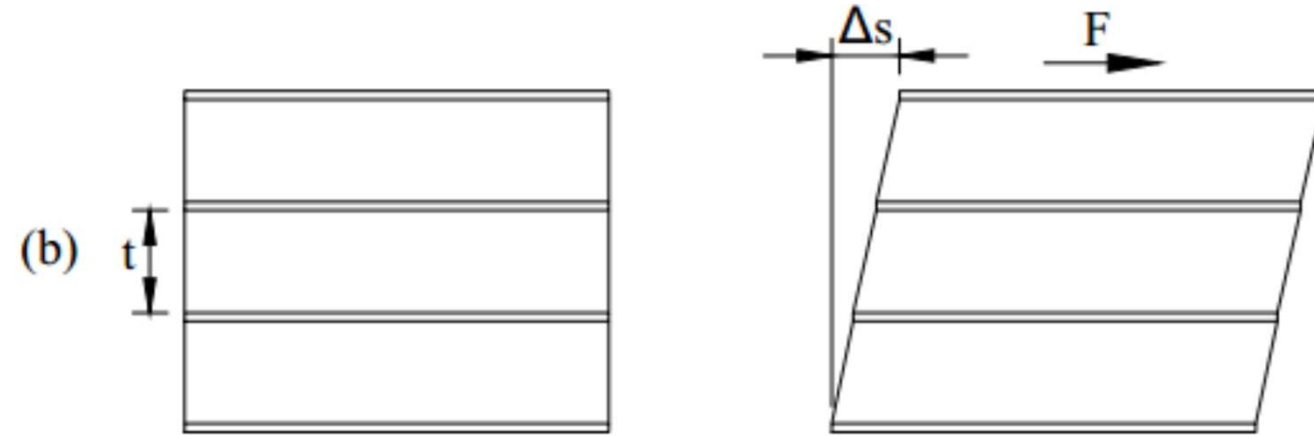


Elastomer Yalıtım Birimlerinin Birim Şekildeğiştirme Sınırları

- DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi etkisi altında oluşan yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen birim şekildeğiştirme;
(DD1 GM Alt Limit Özellikleri için)

$$\gamma_{s,E} = \frac{D}{T_r} \quad (14.15)$$

- DD1 GM Alt Limit için $D = 320$ mm
- $T_r = 200$ mm
- $\gamma_{s,E} = 1.6$



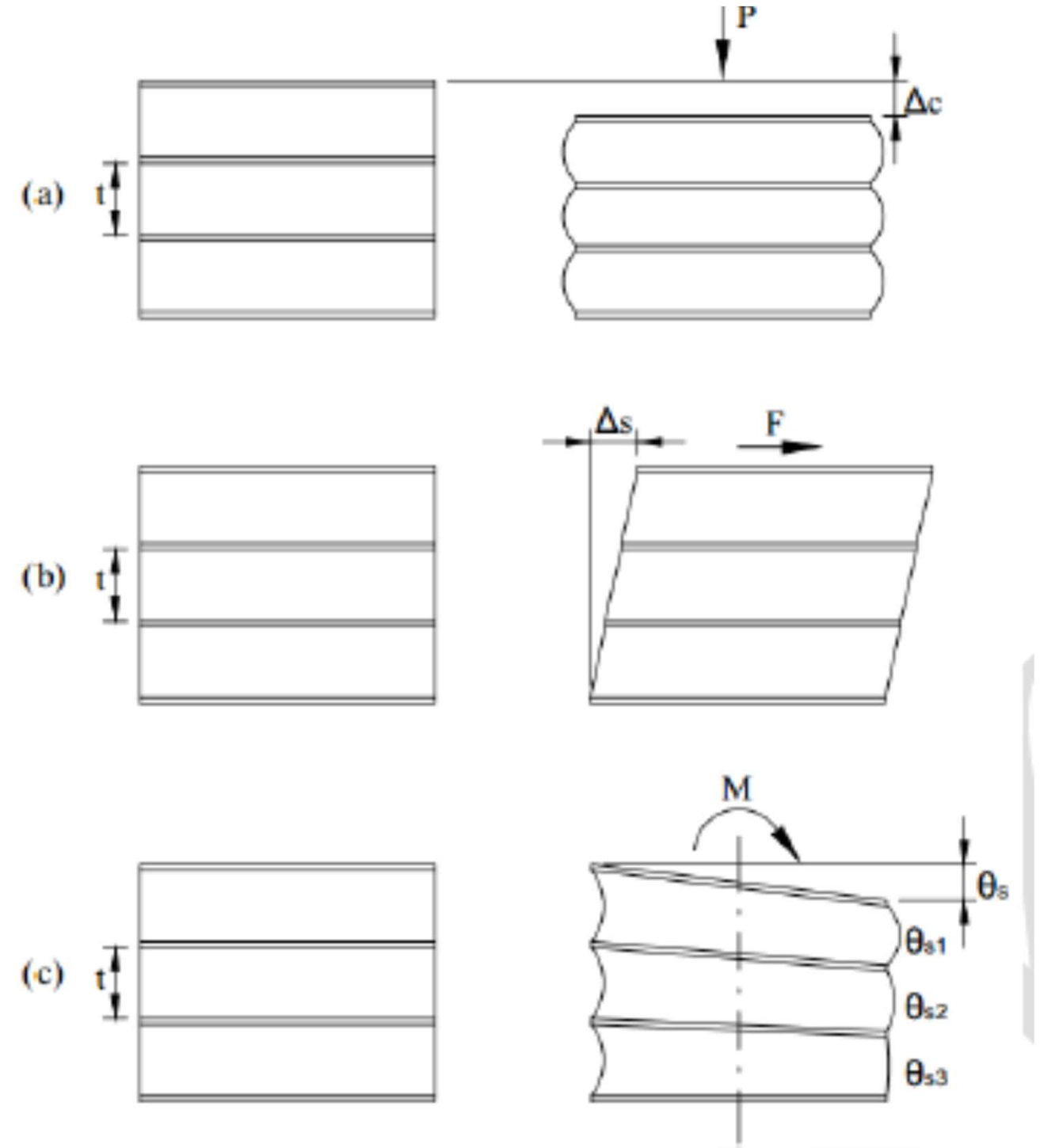
Elastomer Yalıtım Birimlerinin Birim Şekildeğiştirme Sınırları

- Deprem Etkisi Altında Şekildeğiştirme Sınırları;

$$\gamma_{c,E} + \gamma_{s,E} + 0.5\gamma_{r,st} \leq 6.0 \quad (14.18)$$

$$\gamma_{s,E} \leq 2.0 \quad (14.19)$$

- $\gamma_{s,E} = 1.6 < 2.0$ ✓
- $\gamma_{c,E} + \gamma_{s,E} + 0.5\gamma_{r,st} = 1.99 + 1.6 + 0.5 \times 0.9 = 4.04 < 6.0$ ✓



Elastomer Yalıtım Birimlerinin Düşey Kararlılığı

14.12.3.1 – Yatay yerdeğiştirme olmadığı durumda elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü (P_{cr}) dairesel kesitli, kurşun çekirdek içermeyen yalıtım birimleri için **Denk.(14.20)**, kare kesitli, kurşun çekirdek içermeyen yalıtım birimleri için **Denk.(14.21)**, kurşun çekirdekli yalıtım birimleri için ise **Denk.(14.22)** ile hesaplanacaktır.

$$P_{cr} = 0.218 G_v B^4 / (t T_I) \quad (14.20)$$

$$P_{cr} = \frac{0.340 G_v B^4}{t T_I} \quad (14.21)$$

$$P_{cr} = 0.218 \frac{G_v B^4}{t T_I} \frac{\left(1 - \frac{B_L}{B}\right) \left(1 - \frac{B_L^2}{B^2}\right)}{1 + \frac{B_L^2}{B^2}} \quad (14.22)$$

G_v elastomer malzeme kayma modülünü, B_L kurşun çekirdek çapını ifade etmektedir.

Elastomer Yalıtım Birimlerinin Düşey Kararlılığı

14.12.3.2 – Yatay yerdeğiştirme olduğu durumlarda, DD-1 deprem yer hareketi etkisi altında elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü P'_{cr} Denk.(14.23) ile hesaplanacaktır.

$$P'_{cr} = P_{cr} (A_{re} / A) \quad (14.23)$$

A_{re} 'nin belirlenmesinde Şekil 14.2'de tanımlanan D değeri için D_M kullanılacaktır.

14.12.3.3 – Elastomer yalıtım birimlerinin, birim şekilde değiştirmeye bağlı aksenal yük kapasitesi Denk.(14.24) ile hesaplanacaktır.

$$P_{str} = \frac{3.5 A_{re} E_c}{6S} \quad (14.24)$$

14.12.3.4 – Elastomer yalıtım birimlerinin yatay yerdeğiştirme olmadığı durumlardaki burkulma yükü sınırı Denk.(14.25) ile verilmiştir.

$$\frac{\min(P_{cr}, P_{str})}{P_{K1}} \geq 2.0 \quad (14.25)$$

14.12.3.5 – Elastomer yalıtım birimlerinin en büyük deprem yer hareketi düzeyinde meydana gelen yatay yerdeğiştirme altındaki burkulma yükü sınırı Denk.(14.26) ile verilmiştir.

$$\frac{(P'_{cr}, P_{str})}{P_{K2}} \geq 1.33 \quad (14.26)$$

Elastomer Yalıtım Birimlerinin Düşey Kararlılığı

- **Sadece Düşey Yükler Altında**

$$P_{cr} = 24417 \text{ kN}$$

- **Yatay Yerdeğiştirme Olduğu Durumda (D=320 mm):**

$$P'_{cr} = 12987 \text{ kN}$$

- **Birim şekil değiştirmeye bağlı eksenel yük kapasitesi:**

$$P_{str} = 20553 \text{ kN (sadece düşey yükler altında)}$$

$$P_{str} = 10932 \text{ kN (D=320 mm için)}$$

$$\frac{\min(P_{cr}, P_{str})}{P_{K1}} \geq 2.0 \quad \frac{\min(P'_{cr}, P_{str})}{P_{K2}} \geq 1.33$$

$$P_{K1} = 6375 \text{ kN}$$

$$P_{K2} = 6200 \text{ kN}$$

$$20553/6375 = 3.22 > 2.0 \checkmark$$

$$10932/6200 = 1.76 > 1.33 \checkmark$$

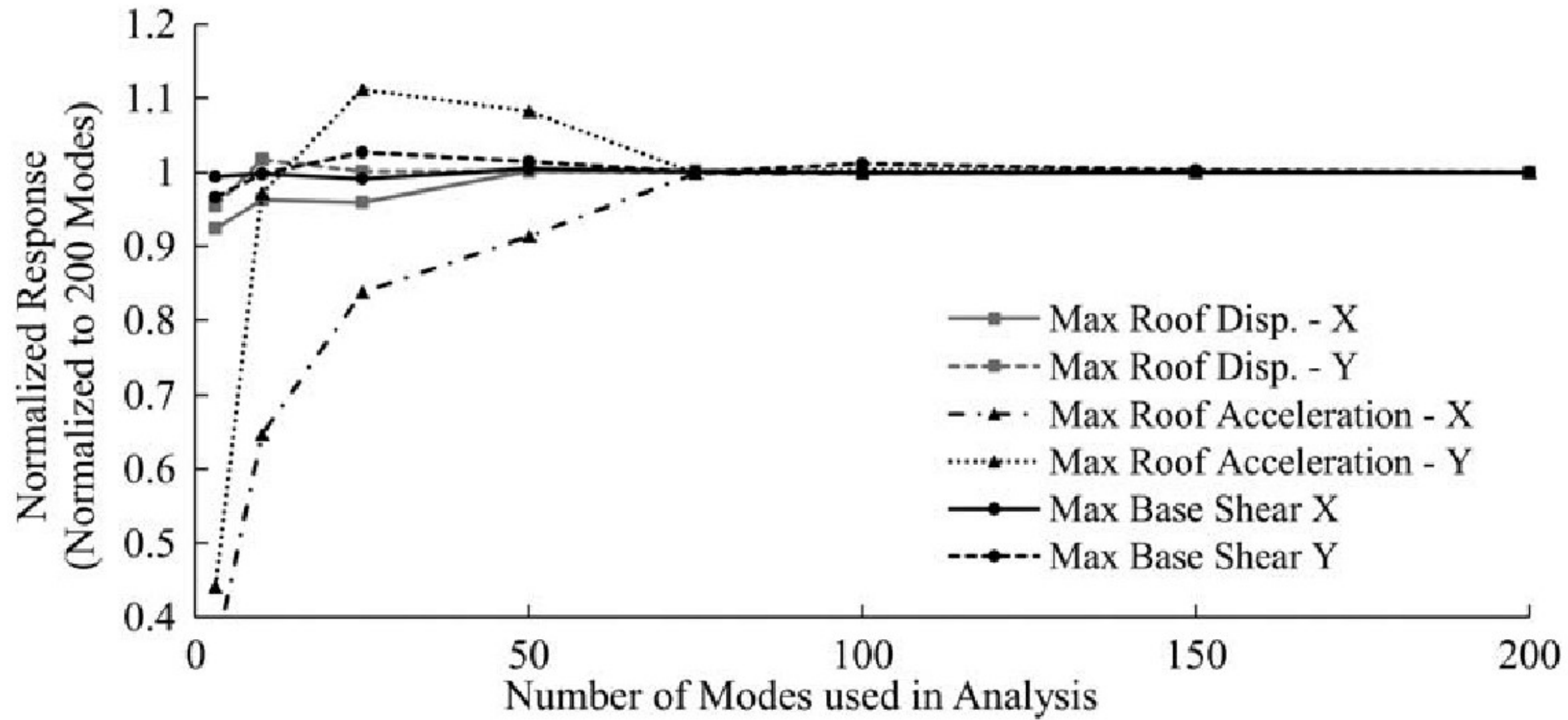
Zaman Tanım Alanında Analiz

- **Fast Nonlinear Analiz (FNA)**

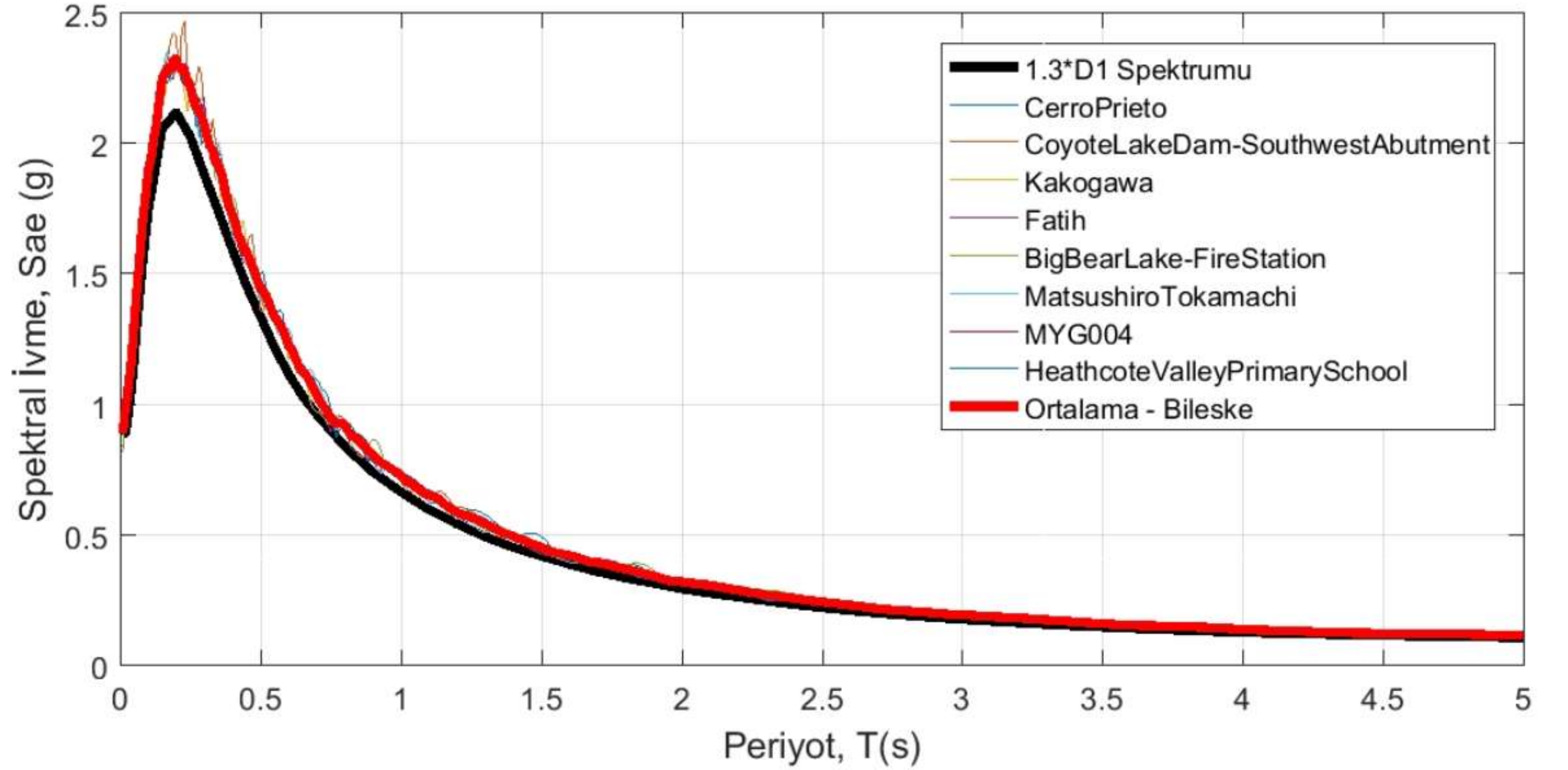
- Doğrusal olmayan davranışın sınırlı olduğu yapılar için uygundur
- Ritz vektörleri ile çözüm yapılır
- «Direct Integration» yöntemine kıyasla çözümler oldukça hızlıdır

Zaman Tanım Alanında Analiz

- Fast Nonlinear Analiz (FNA)



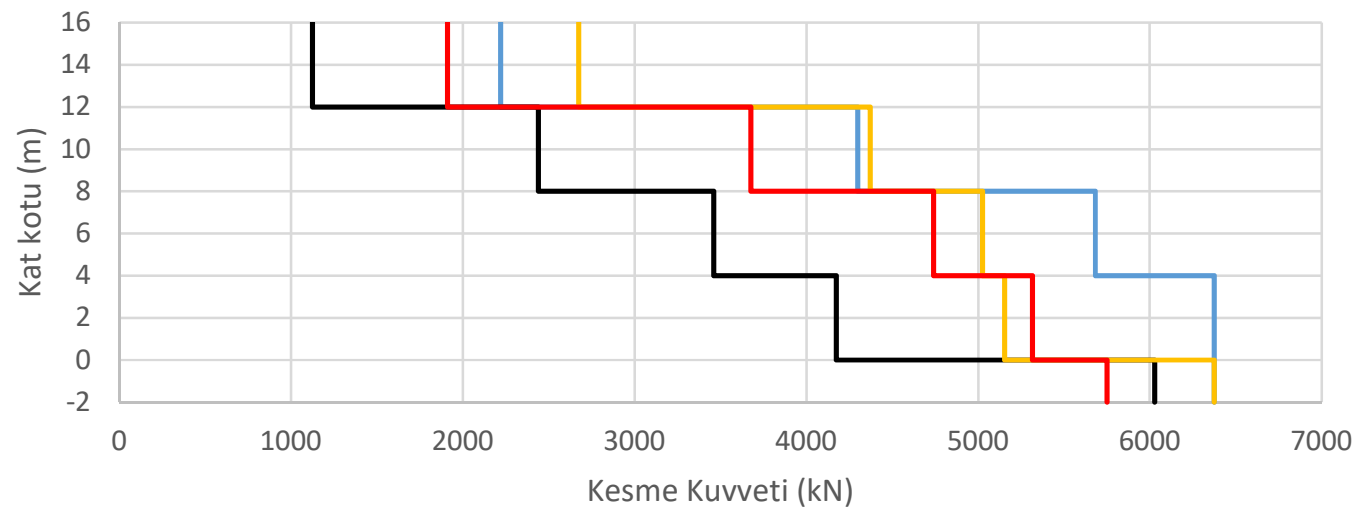
Zaman Tanım Alanında Analiz



Kat Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması (DD2 Üst Limit Özellikleri ile)

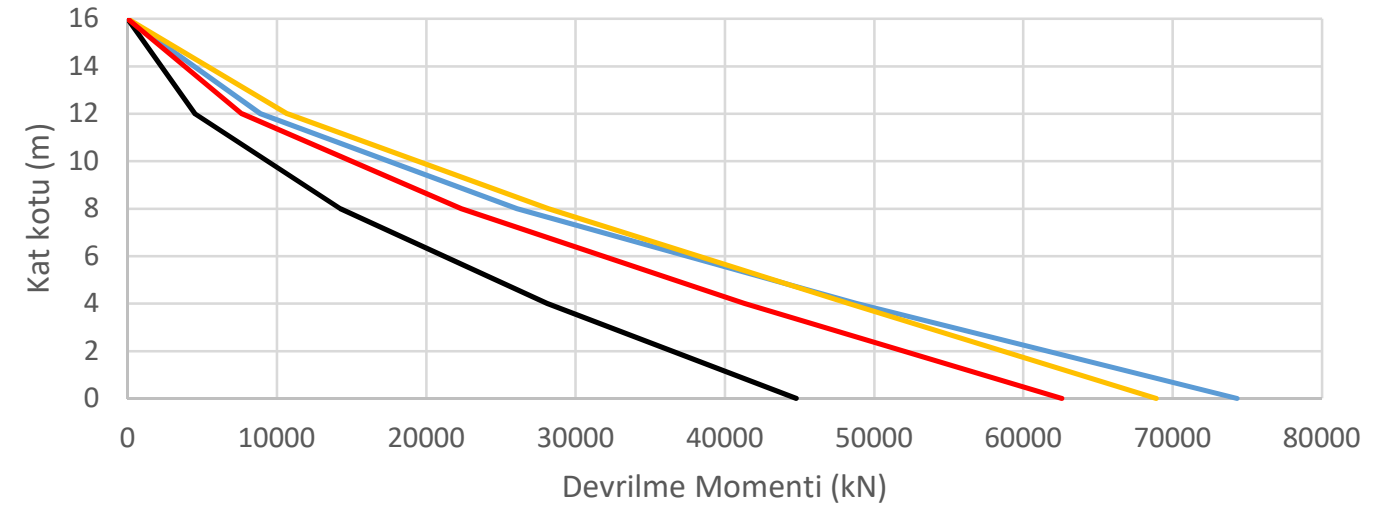
Kat Kesme Kuvvetleri (kN) (R=1)				
Kat	TDY Eşdeğer	Mod Birleştirme	ASCE 41-13 Eşdeğer	NLRHA Ort.
4. Kat	2220	1124	2675	1911
3. Kat	2078	1314	1696	1765
2. Kat	1385	1021	654	1064
1. Kat	692	714	128	577
İzolasyon	0	1854	1222	434
Toplam	6375	6028	6375	5751

Kesme Kuvvetleri Karşılaştırma



— TDY Eşdeğer — Mod Birleştirme — ASCE 41-13 Eşdeğer — NLRHA Ort.

Kat Devrilme Momentleri Karşılaştırma



— TDY Eşdeğer — Mod Birleştirme — ASCE 41-13 Eşdeğer — NLRHA Ort.

Maksimum Deplasmanlar (DD1 Alt Limit Özellikleri ile)

(Kat kütle merkezi X ve Y Doğrultusunda %5 Egzantrisiteli, Maksimum Değerlerin Ortalaması)

			mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Label	Load Case/Combo	Step Type	UX	UY	UZ	Abs Max X	Abs Max Y	X Average	Y Average
42	D1-RSN755-LOMAP	Max	184.19	255.03	1.22	184.19	288.761	212	270
42	D1-RSN755-LOMAP	Min	-154.63	-288.76	-1.30				
42	D1_RSN6915_DARFIELD	Max	169.49	262.51	0.91	265.026	262.512		
42	D1_RSN6915_DARFIELD	Min	-265.03	-239.36	-1.08				
42	D1_RSN5663_IWATE	Max	171.92	307.43	0.98	171.916	307.433		
42	D1_RSN5663_IWATE	Min	-159.87	-239.39	-1.01				
42	D1_RSN4843_CHUETSU	Max	196.92	164.52	0.73	222.044	316.076		
42	D1_RSN4843_CHUETSU	Min	-222.04	-316.08	-0.92				
42	D1_RSN1770_HECTOR	Max	166.50	262.68	1.14	166.503	275.044		
42	D1_RSN1770_HECTOR	Min	-117.95	-275.04	-1.52				
42	D1_RSN1160_KOCAELI	Max	153.32	183.94	1.00	262.94	198.293		
42	D1_RSN1160_KOCAELI	Min	-262.94	-198.29	-0.99				
42	D1_RSN1107_KOBE	Max	213.78	239.09	1.26	213.781	239.092		
42	D1_RSN1107_KOBE	Min	-159.72	-218.93	-1.33				
183	D1-RSN755-LOMAP	Max	218.59	173.57	-2.48	218.589	197.513	232	211
183	D1-RSN755-LOMAP	Min	-199.05	-197.51	-2.52				
183	D1_RSN6915_DARFIELD	Max	171.53	199.07	-2.48	272.855	199.067		
183	D1_RSN6915_DARFIELD	Min	-272.86	-191.22	-2.53				
183	D1_RSN5663_IWATE	Max	165.08	219.33	-2.48	165.081	219.333		
183	D1_RSN5663_IWATE	Min	-150.97	-163.38	-2.52				
183	D1_RSN4843_CHUETSU	Max	221.59	127.93	-2.48	249.873	248.457		
183	D1_RSN4843_CHUETSU	Min	-249.87	-248.46	-2.52				
183	D1_RSN1770_HECTOR	Max	239.99	191.96	-2.48	239.99	242.228		
183	D1_RSN1770_HECTOR	Min	-202.39	-242.23	-2.52				
183	D1_RSN1160_KOCAELI	Max	178.71	178.89	-2.48	276.121	178.886		
183	D1_RSN1160_KOCAELI	Min	-276.12	-169.66	-2.52				
183	D1_RSN1107_KOBE	Max	201.21	173.49	-2.48	201.209	193.105		
183	D1_RSN1107_KOBE	Min	-181.16	-193.11	-2.52				

Her Zaman Adımı için			
Label	Load Case/Combo	SRSS	Ortalama
42	D1_RSN1107_KOBE	266	293
42	D1_RSN1160_KOCAELI	265	
42	D1_RSN1770_HECTOR	300	
42	D1_RSN4843_CHUETSU	327	
42	D1_RSN5663_IWATE	320	
42	D1_RSN6915_DARFIELD	277	
42	D1-RSN755-LOMAP	296	
183	D1_RSN1107_KOBE	250	261
183	D1_RSN1160_KOCAELI	277	
183	D1_RSN1770_HECTOR	284	
183	D1_RSN4843_CHUETSU	250	
183	D1_RSN5663_IWATE	220	
183	D1_RSN6915_DARFIELD	280	
183	D1-RSN755-LOMAP	268	

Çatı Katı İvmeleri (DD2 Nominal Özellikler ile)



Kat İvmelerinin Önemi (Yapısal Olmayan Elemanlar)

Temele Ankastre Yapı Sarsma Tablası Deneyi



Kat İvmelerinin Önemi (Yapısal Olmayan Elemanlar)

Taban Yalıtımlı Yapı Sarsma Tablası Deneyi

