

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

Gebze Teknik Üniversitesi, 2018

Taban Yalıtımlı Yapıların Tasarımına Giriş

Dr. Barış Erkuş (İTÜ)

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 Yalıtımlı Yapıların Tasarımı

- Giriş ve Temel Bilgiler (BE)
- Taban Yalıtımlı Yapıların Analiz ve Tasarımı (CA)
- Örnek Proje (MDG, BE)
- İleri Konular (MDG, BE)

İçerik

- Deprem Tasarımını Yaklaşımları
- Performansa Dayalı Tasarım
- İzolasyonlu Yapıların Temel Prensipleri
- İzolatör Tipleri ve Davranışları
- Tasarımda İzlenen Yol
- Eşdeğer Doğrusal Modelleme
- İzolatörlü Yapıların Modellenmesi
- Temel Analiz Yöntemleri

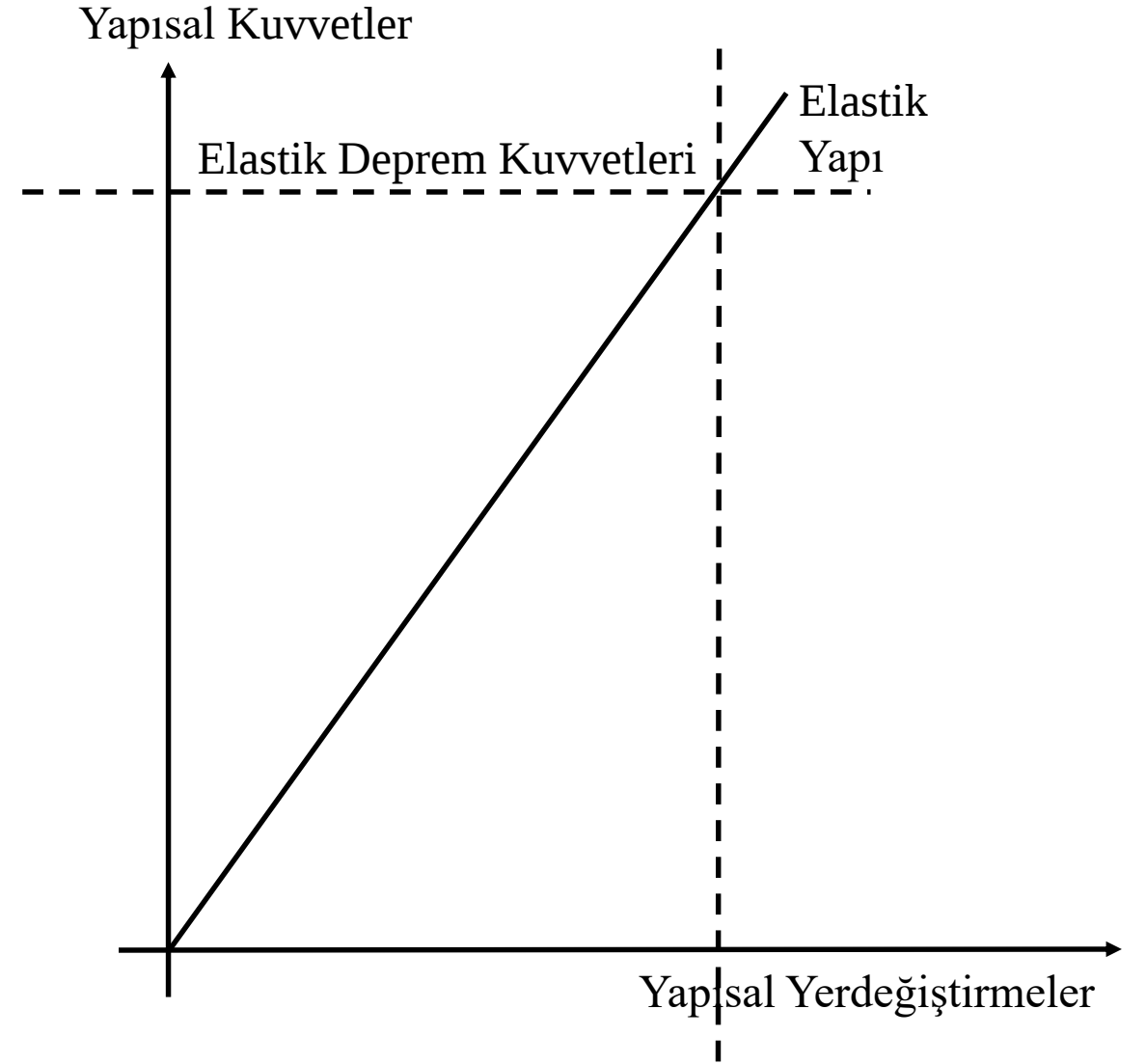
İçerik

- Deprem Tasarımı Yaklaşımları**
- Performansa Dayalı Tasarım
- İzolasyonlu Yapıların Temel Prensipleri
- İzolatör Tipleri ve Davranışları
- Tasarımda İzlenen Yol
- Eşdeğer Doğrusal Modelleme
- İzolatörlü Yapıların Modellenmesi
- Temel Analiz Yöntemleri

Yapıların Deprem Tasarımı

- Elastik Tasarım
- Sünek Tasarım
- Performansa Dayalı Tasarım
- Dirençlilik (Resilience)

Yapıların Deprem Tasarımı: Elastik Tasarım



Tipik Deprem Tasarımı: Elastik Tasarım

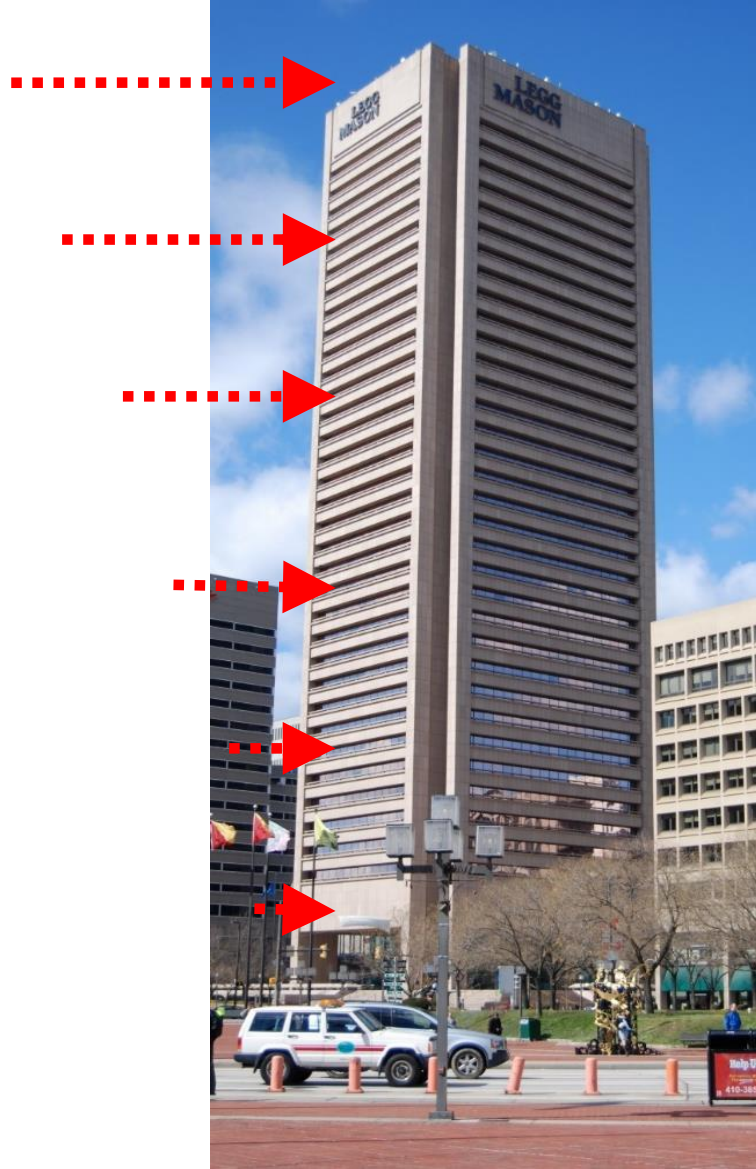
Gevrek



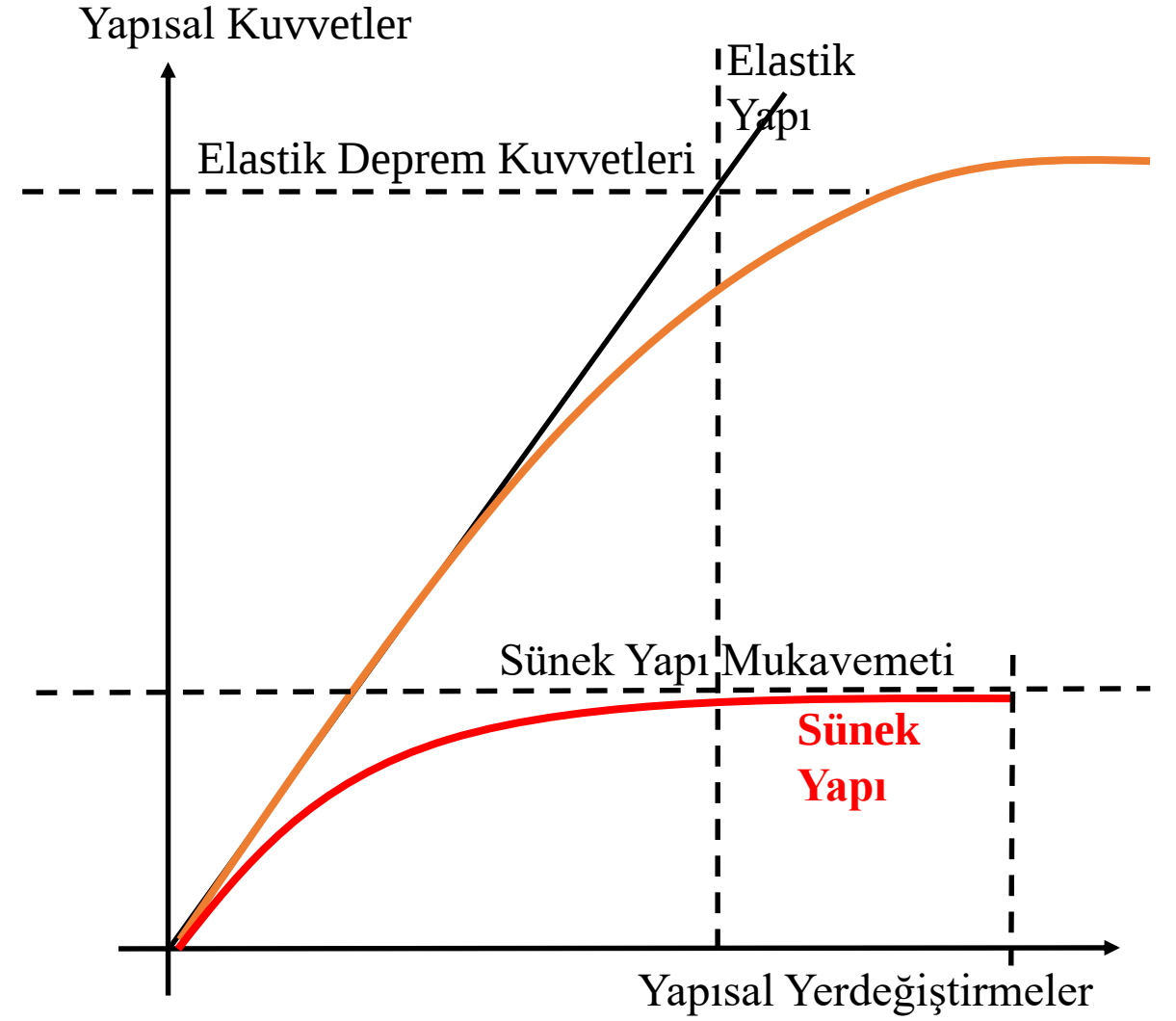
Sünek



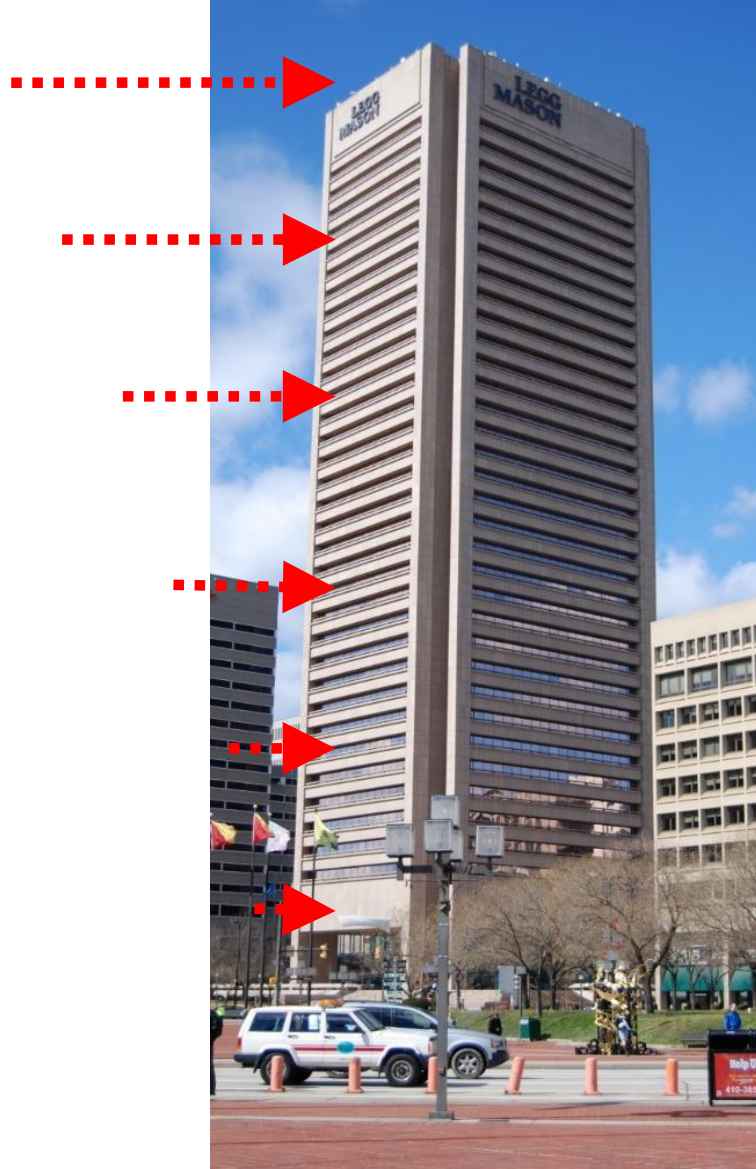
Yapıların Deprem Tasarımı: Sünek Tasarım



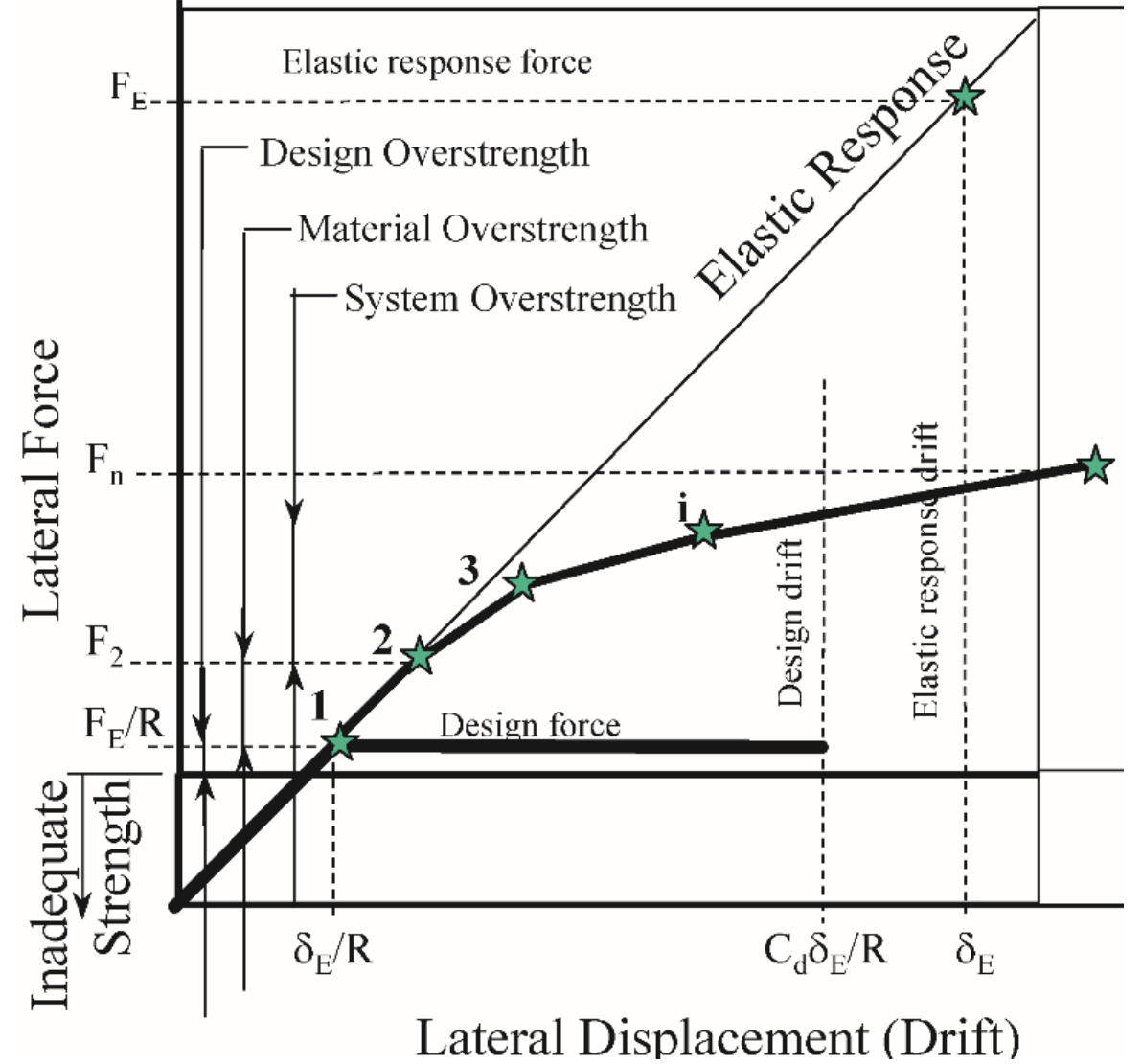
Yer İvmesi



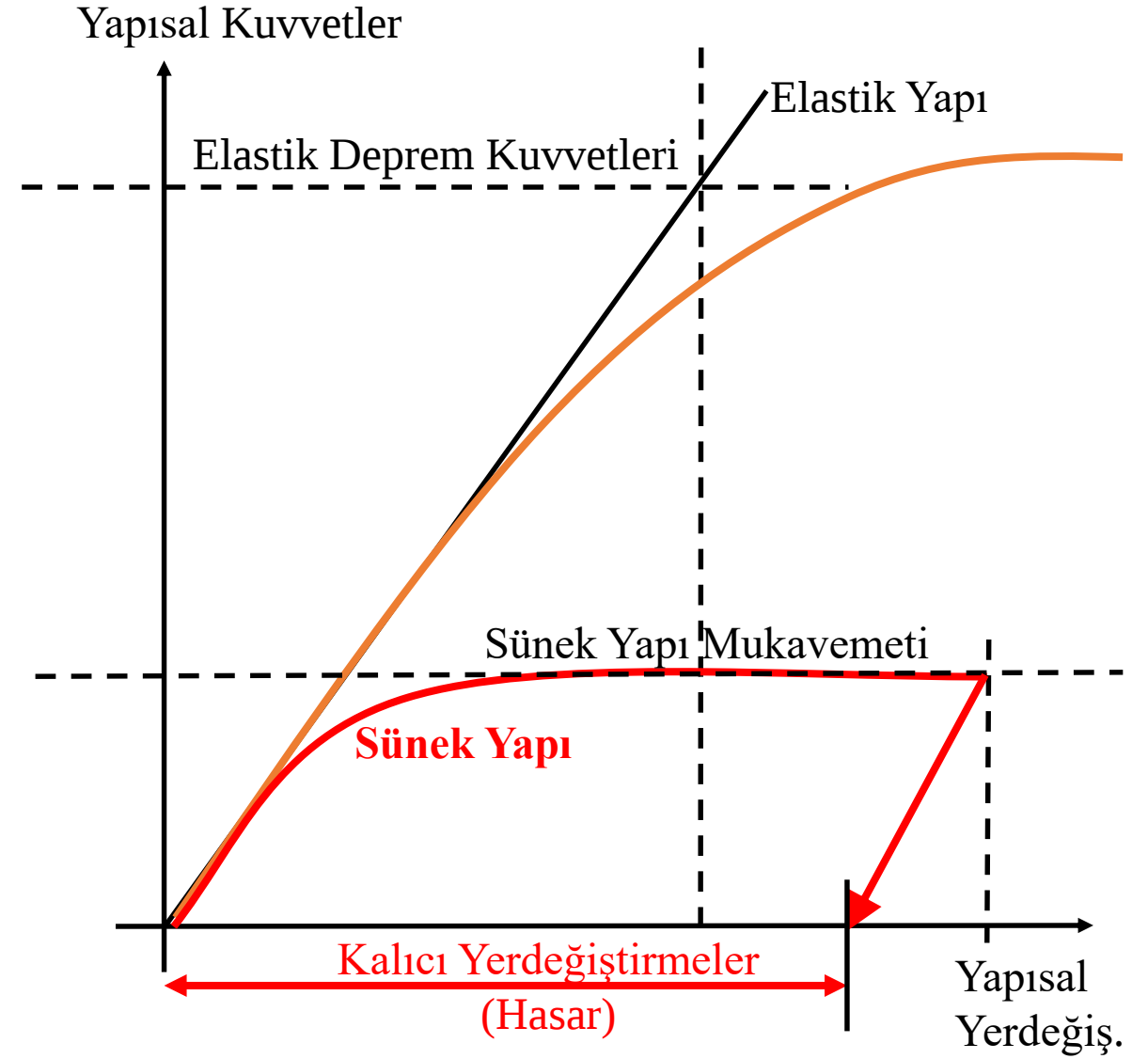
Yapıların Deprem Tasarımı: Sünek Tasarım – R Katsayısı



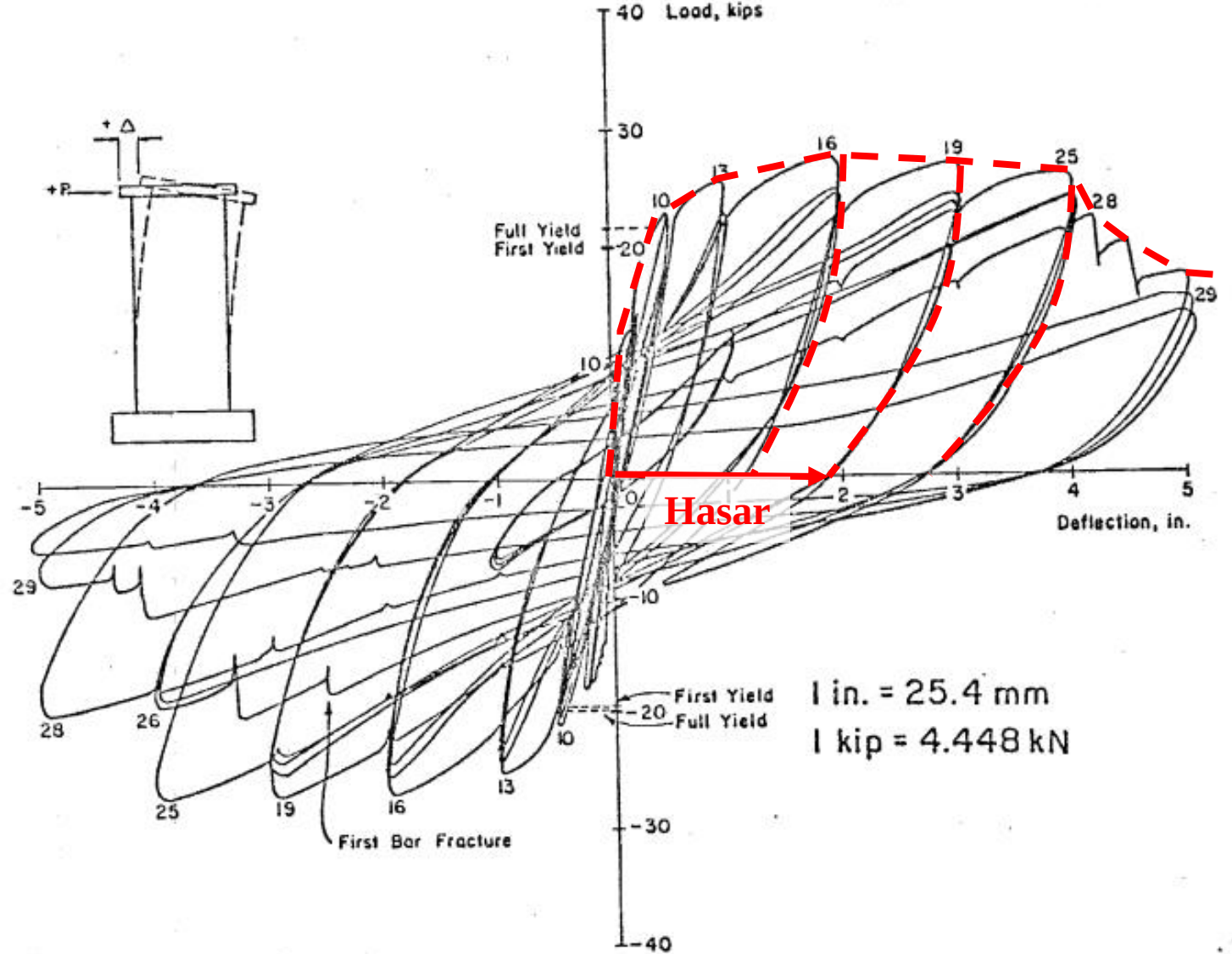
↔
Yer İvmesi



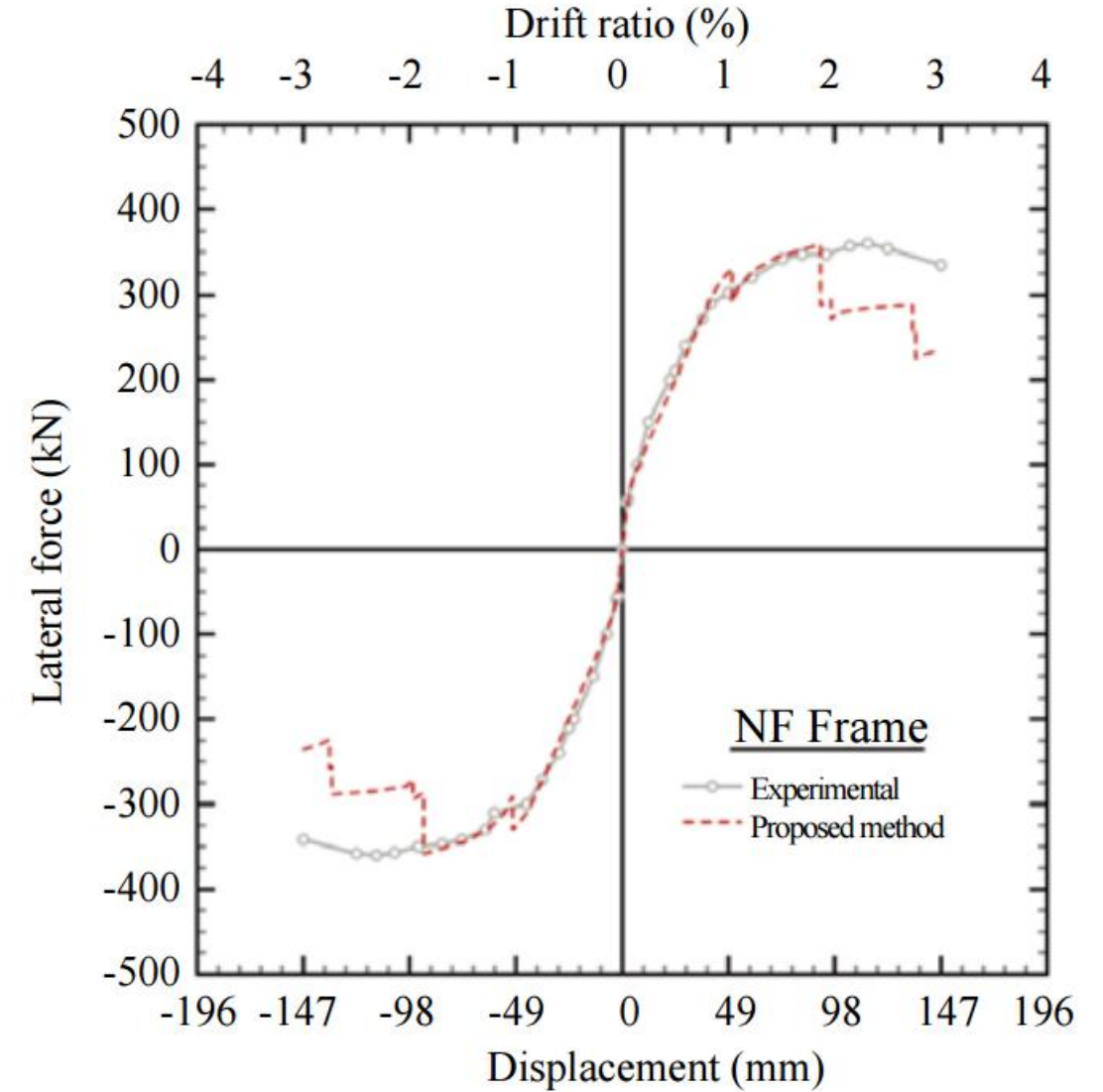
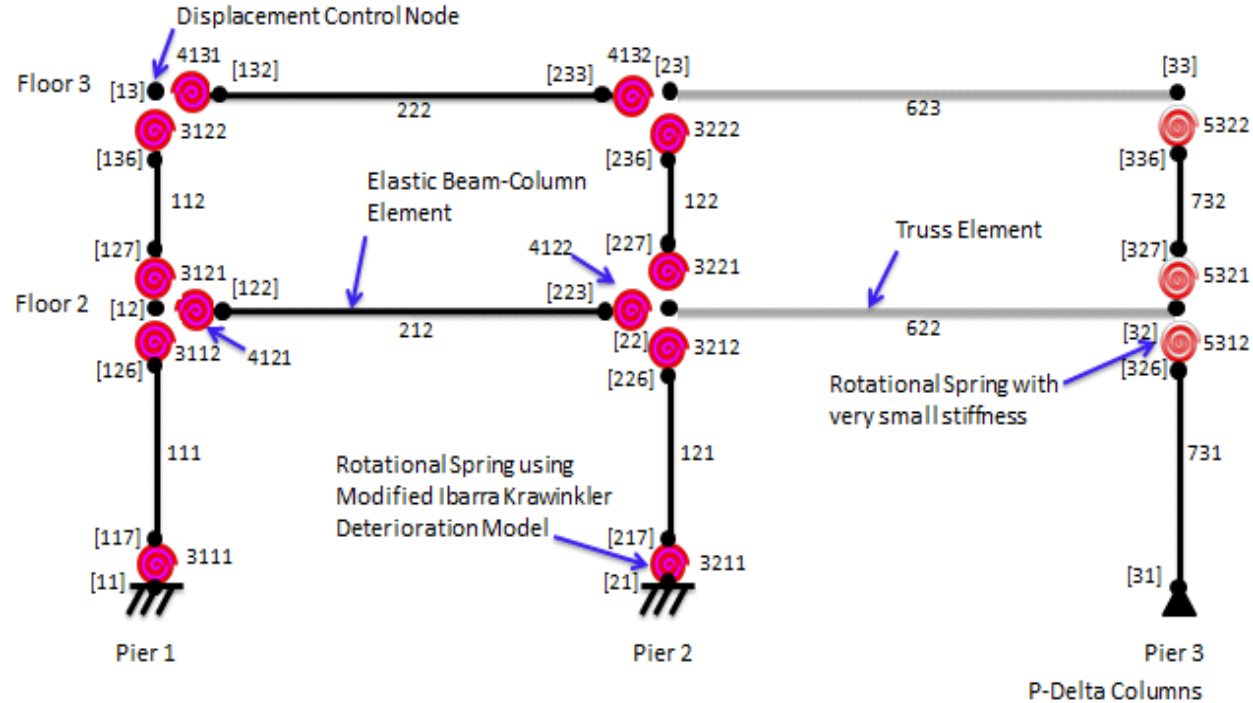
Yapıların Deprem Tasarımı: Sünek Tasarım - Hasar



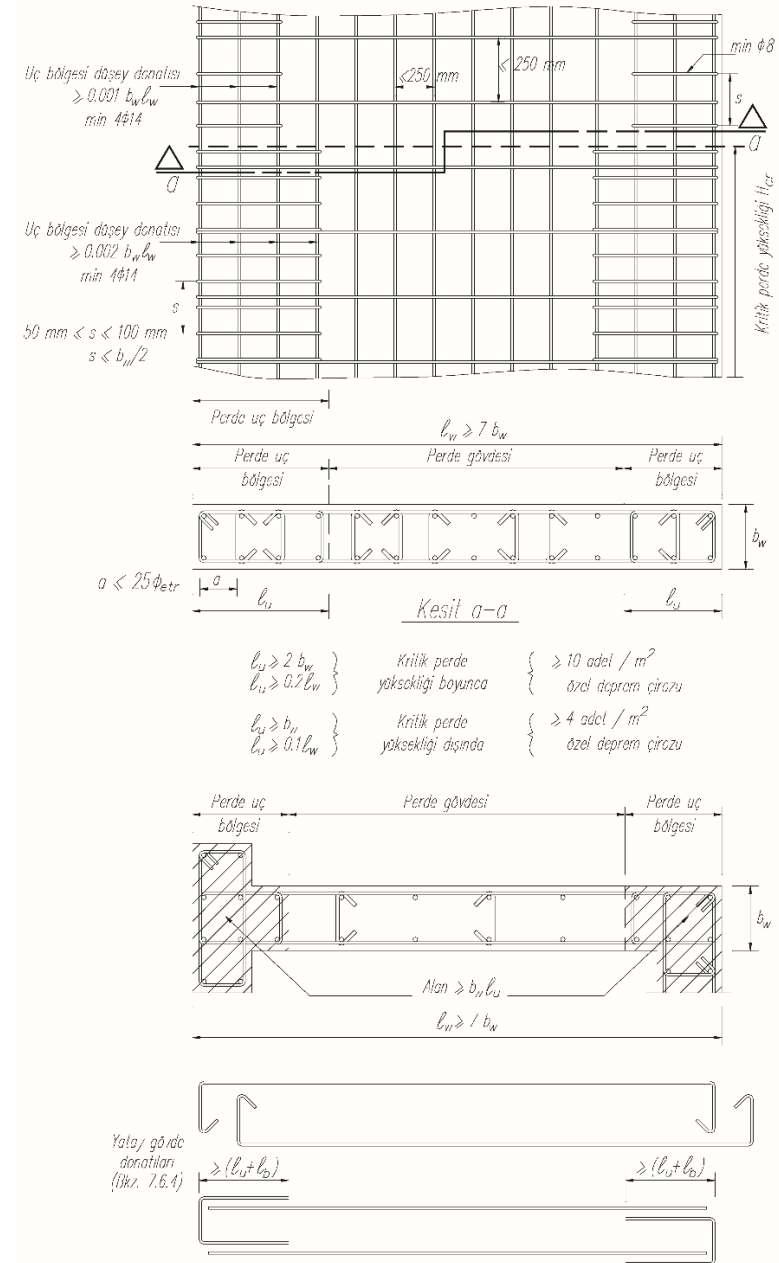
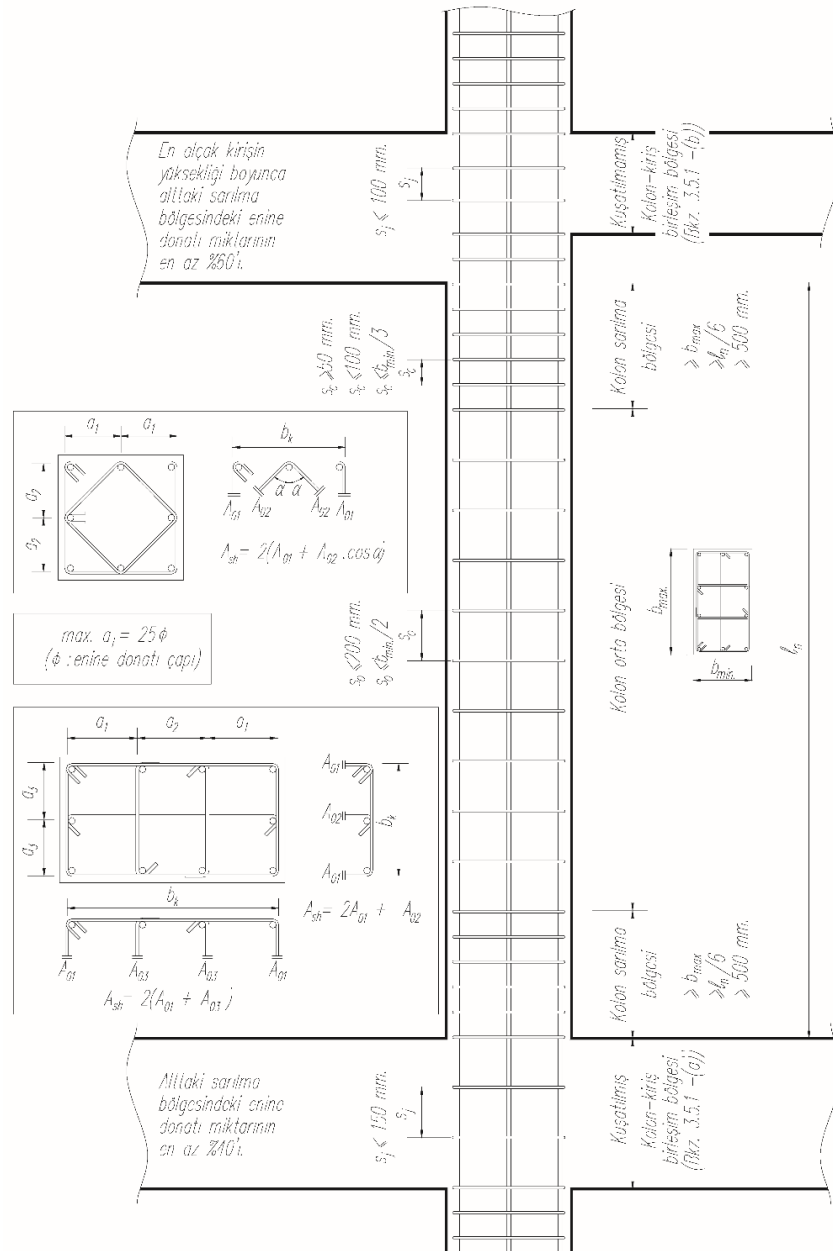
Yapıların Deprem Tasarımı: Sünek Tasarım – İtme Analizi



Yapıların Deprem Tasarımı: Sünek Tasarım – İtme Analiz



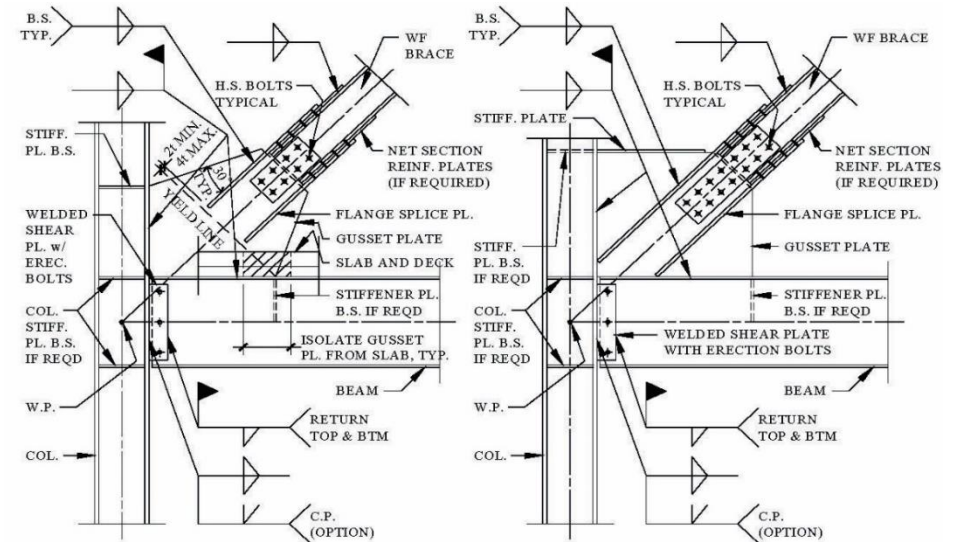
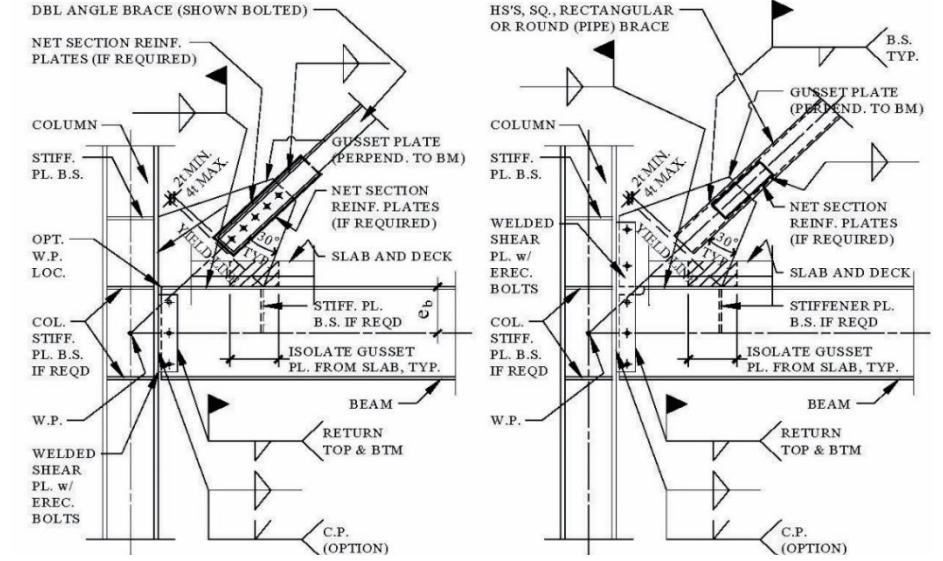
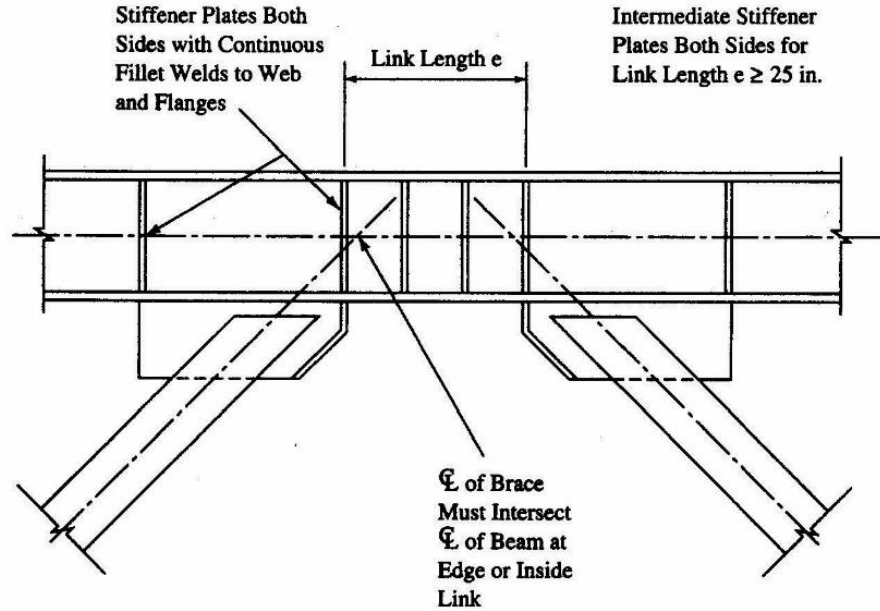
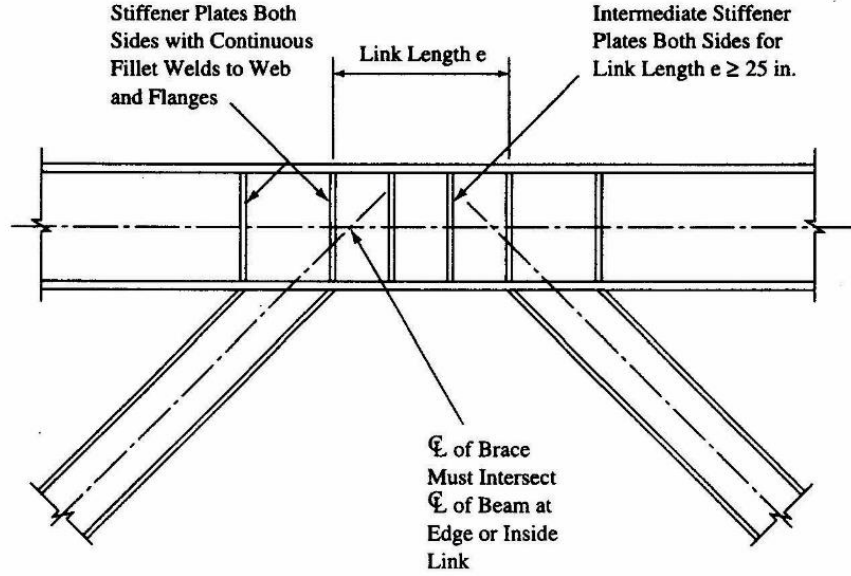
Yapıların Deprem Tasarımı: Sünek Tasarım – Detaylar



Yapıların Deprem Tasarımı: Sünek Tasarım – Detaylar



Yapıların Deprem Tasarımı: Sünek Tasarım – Detaylar



Yapıların Deprem Tasarımı: Performansa Dayalı Tasarım

- Yönetmelikler reçete kullanır.
- Kanunsal olarak minimum şartlar sağlanır
- Reçete uygulanırsa, minimum insan hayatı kurtulacak şekilde bina tasarlandığı Kabul edilir
- Deprem sonrası güçlendirme maliyetlidir.
- Gerçek davranış incelenmez ve bilinemez, ancak tahmin edilir ve/veya varsayılır.

Tipik Yapılar için Uygun



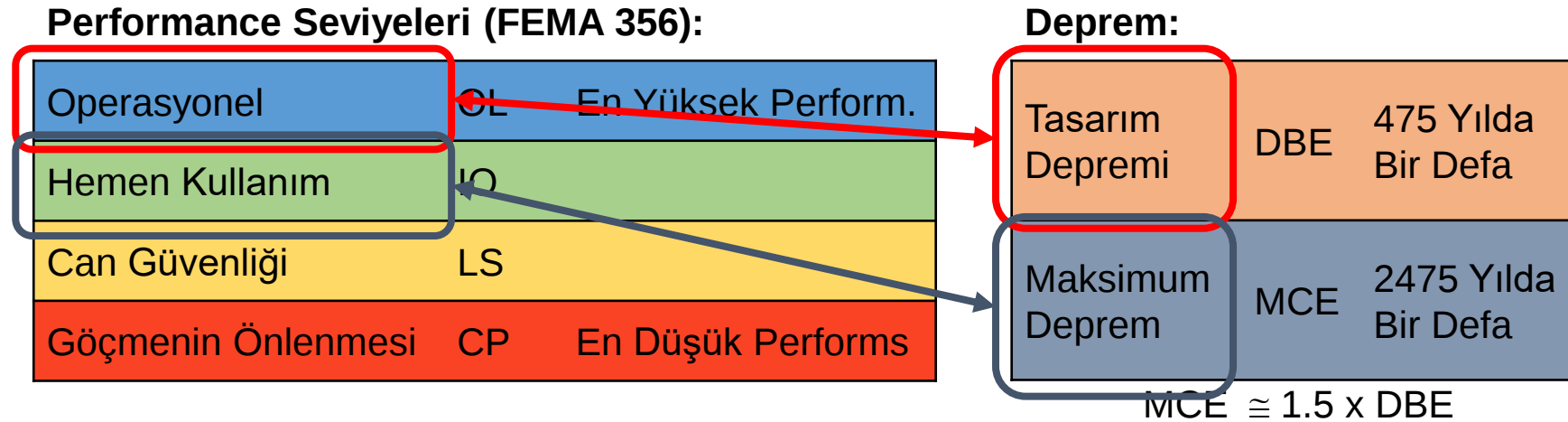
Özel Yapılar için Uygun Değildir

İçerik

- Deprem Tasarımı Yaklaşımları
- Performansa Dayalı Tasarım**
- İzolasyonlu Yapıların Temel Prensipleri
- İzolatör Tipleri ve Davranışları
- Tasarımda İzlenen Yol
- Eşdeğer Doğrusal Modelleme
- İzolatörlü Yapıların Modellenmesi
- Temel Analiz Yöntemleri

Yapıların Deprem Tasarımı: Performansa Dayalı Tasarım

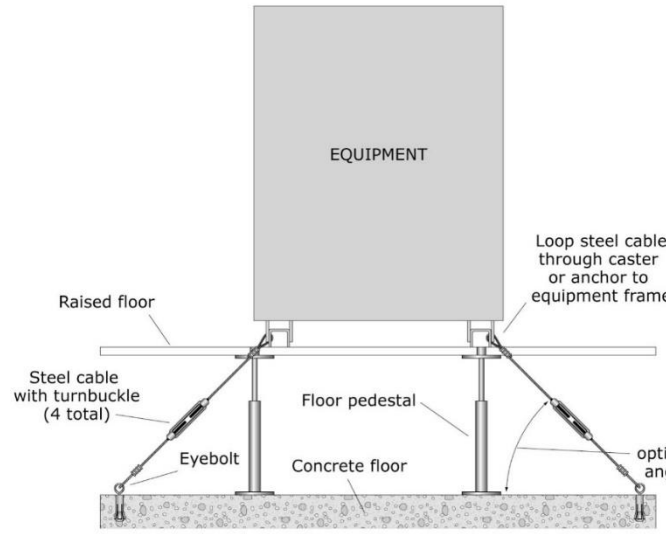
- Performans ve seviyeleri tanımlanır
- Deprem seviyeleri tanımlanır (2 ya da 3 adet).
- Her Deprem için performans hedefi belirlenir
- İleri yöntemler ile istenilen performansa ulaşıp ulaşılmadığı kontrol edilir.



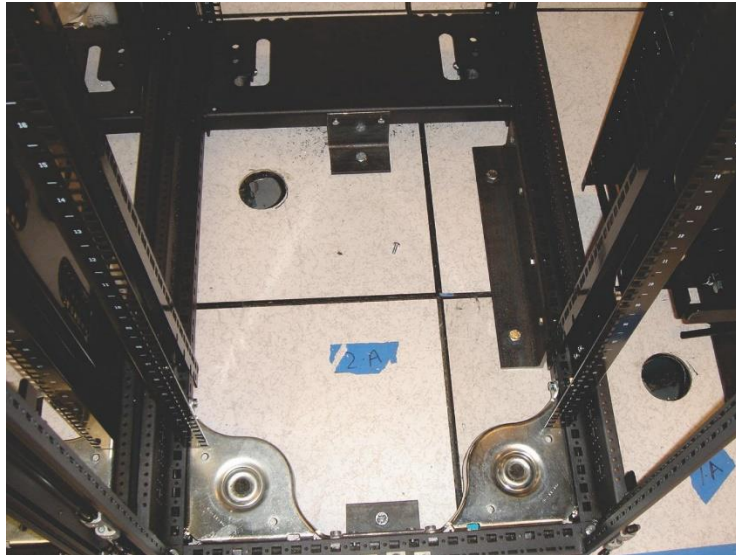
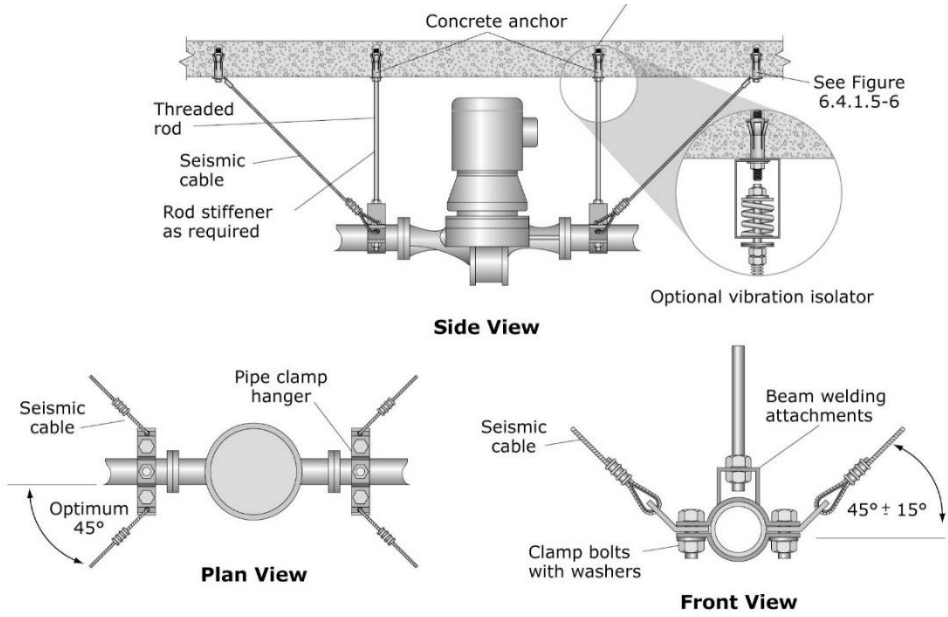
Yapıların Deprem Tasarımı: Performansa Dayalı Tasarım

Düşük Perform. → Yüksek Perform.				
	Collapse Prevention Level (5-E)	Life Safety Level (3-C)	Immediate Occupancy Level (1-B)	Operational Level (1-A)
Overall Damage	Severe	Moderate	Light	Very Light
General	Little residual stiffness and strength, but load-bearing columns and walls function. Large permanent drifts. Some exits blocked. Infills and unbraced parapets failed or at incipient failure. Building is near collapse.	Some residual strength and stiffness left in all stories. Gravity-load-bearing elements function. No out-of-plane failure of walls or tipping of parapets. Some permanent drift. Damage to partitions. Building may be beyond economical repair.	No permanent drift. Structure substantially retains original strength and stiffness. Minor cracking of facades, partitions, and ceilings as well as structural elements. Elevators can be restarted. Fire protection operable.	No permanent drift. Structure substantially retains original strength and stiffness. Minor cracking of facades, partitions, and ceilings as well as structural elements. All systems important to normal operation are functional.
Nonstructural components	Extensive damage.	Falling hazards mitigated but many architectural, mechanical, and electrical systems are damaged.	Equipment and contents are generally secure, but may not operate due to mechanical failure or lack of utilities.	Negligible damage occurs. Power and other utilities are available, possibly from standby sources.
	Reçete Tasarım (MCE)	Reçete Tasarım (DBE)		En Yüksek Performans

Yapıların Deprem Tasarımı: Yapısal Olmayan Elemanlar



Equipment restrained with cables beneath a raised floor



Performansa Dayalı Tasarım: Yüksek Performans Hedefleri

- Yapısal Elemanlar:

Level	DBE	MCE
OL	◆	
IO		◆
LS	◇	
CP		◇

- ◆: Hedef
- ◇: Reçete Tasarım

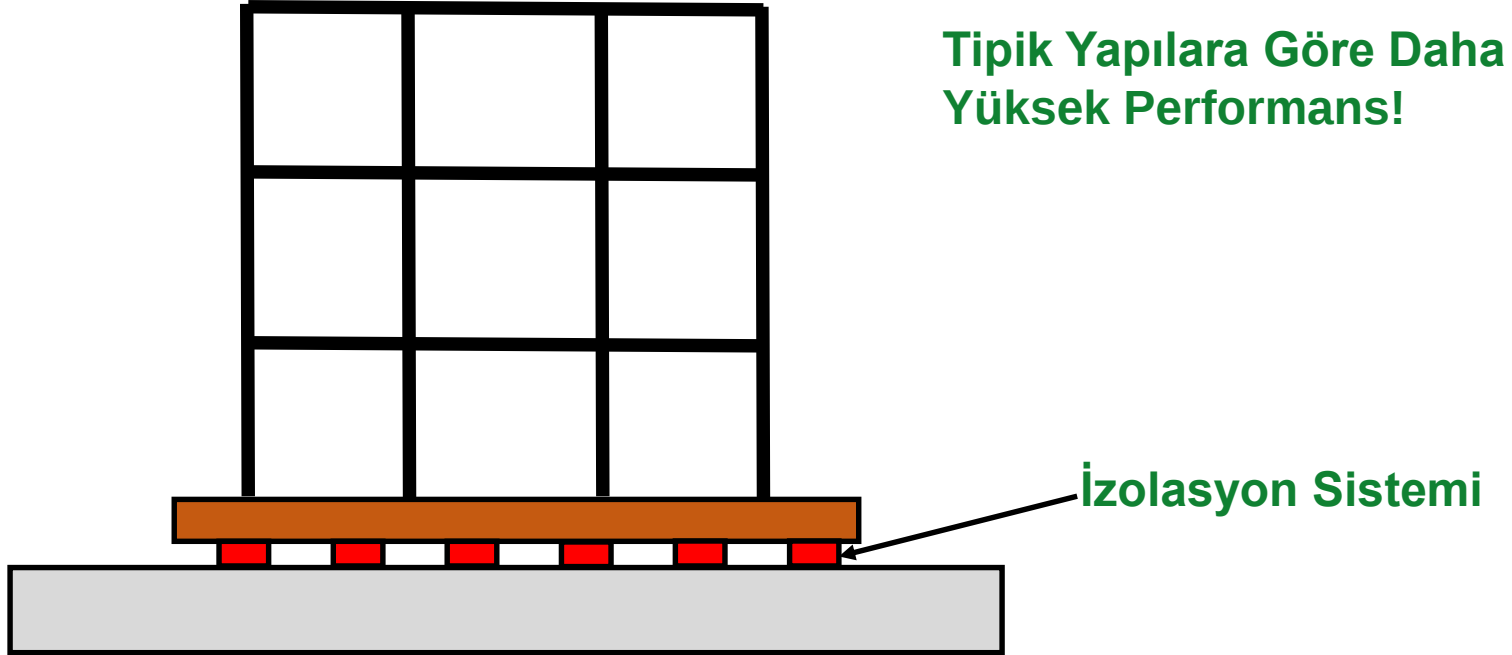
- Yapısal Olmayan Elemanlar:

Level	DBE	MCE
OL	◆	◆
IO		
LS	◇	
CP		◇

- ◆: Hedef
- ◇: Reçete Tasarım

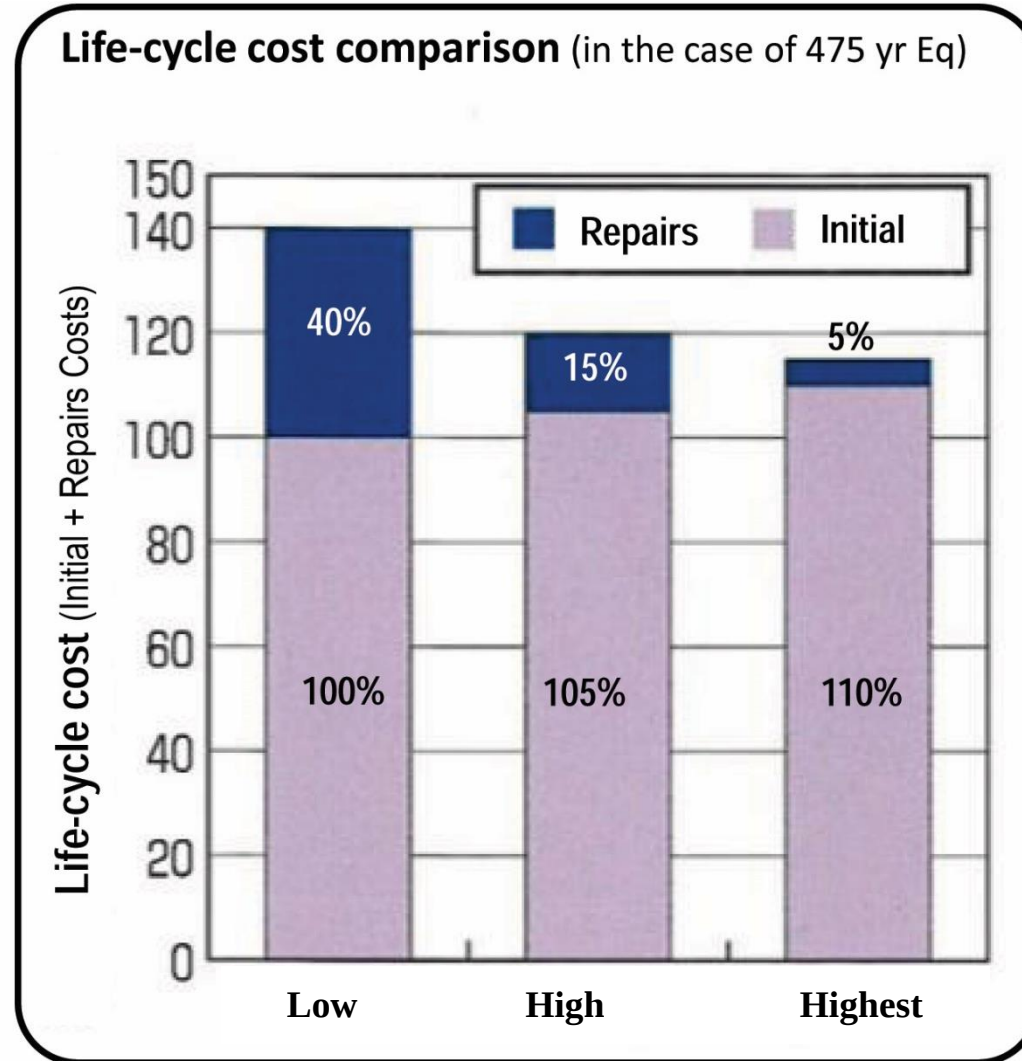
Sismik Taban Yalıtımı

- Yüksek performans hedeflerini tipik taşıyıcı sistemler ile ekonomik olarak yakalamak zordur.
- Bundan dolayı ileri teknolojiler kullanılmaktadır
 - Sismik Taban Yalıtımı
 - Sönümleyiciler



Sismik Taban İzolasyonu

- Maliyet ve Kullanım Ömrü Maliyet Analizi



Japan Structural Consultants Association

Taban İzolasyonlu Yapılar, Giriş – Barış Erkuş (İTÜ)

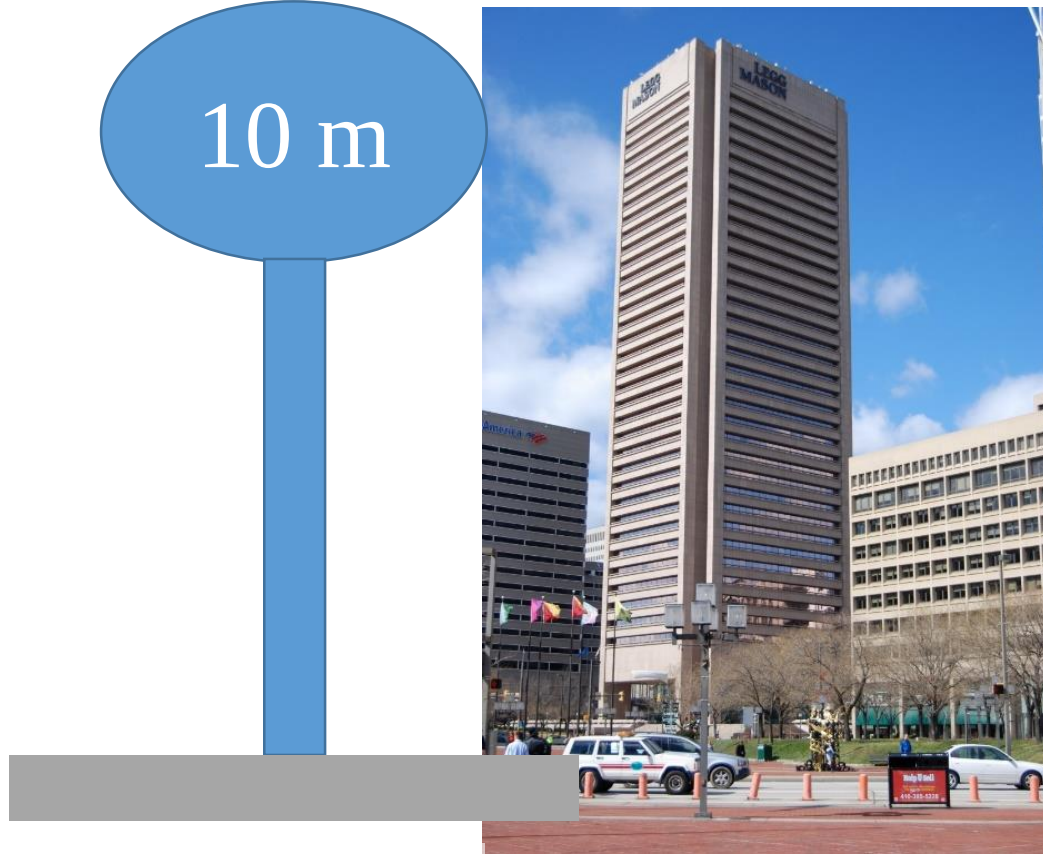
İçerik

- Deprem Tasarımı Yaklaşımları
- Performansa Dayalı Tasarım
- İzolasyonlu Yapıların Temel Prensibi**
- İzolatör Tipleri ve Davranışları
- Tasarımda İzlenen Yol
- Eşdeğer Doğrusal Modelleme
- İzolatörlü Yapıların Modellenmesi
- Temel Analiz Yöntemleri

Sismik İzolasyon Teorisi

- Sismik izolasyon teorisi iki ana temel unsura dayanır:
 - Periyot Uzaması
 - Enerji Sönümleme

Doğal Periyotlar

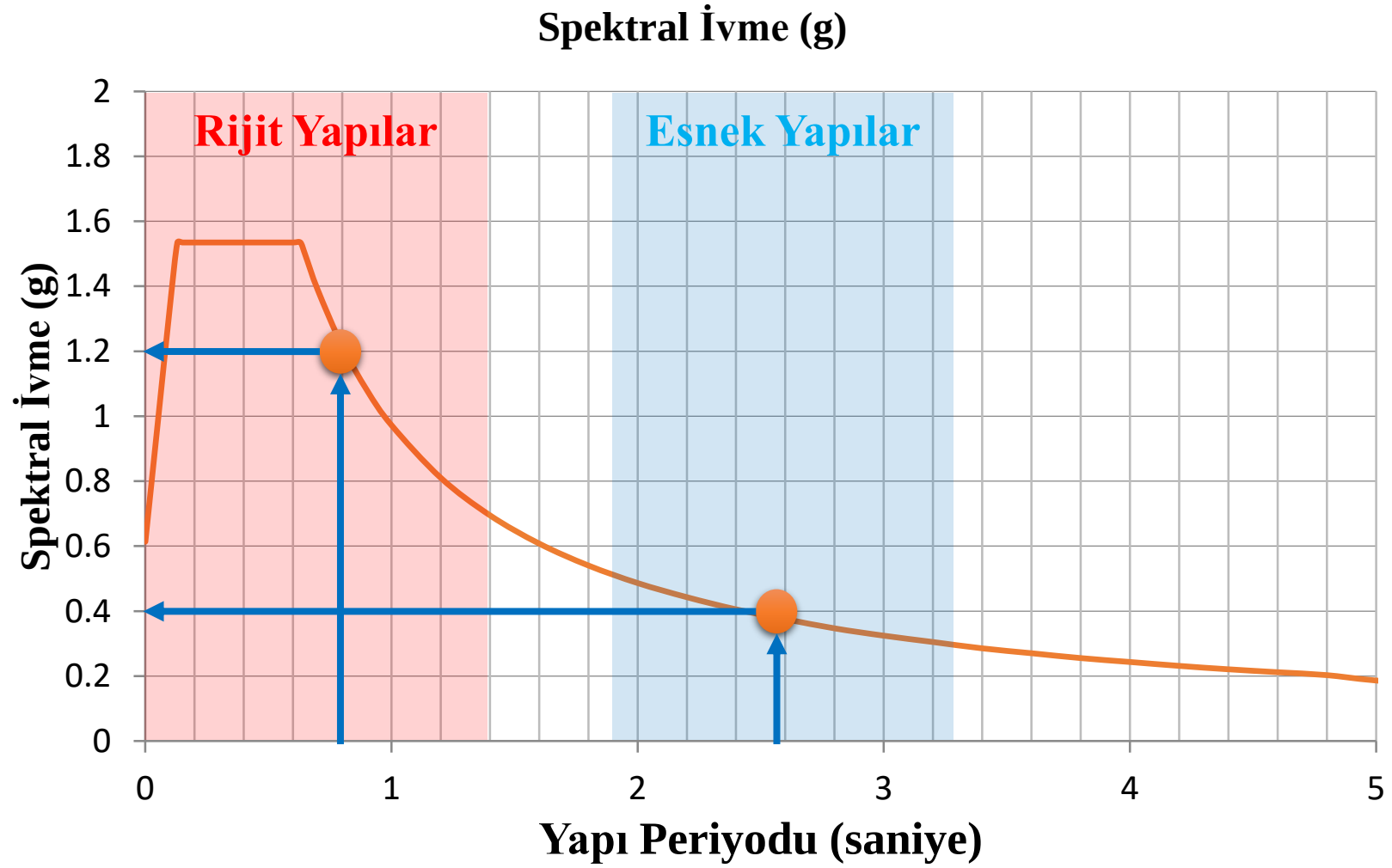


Uzun Periyot

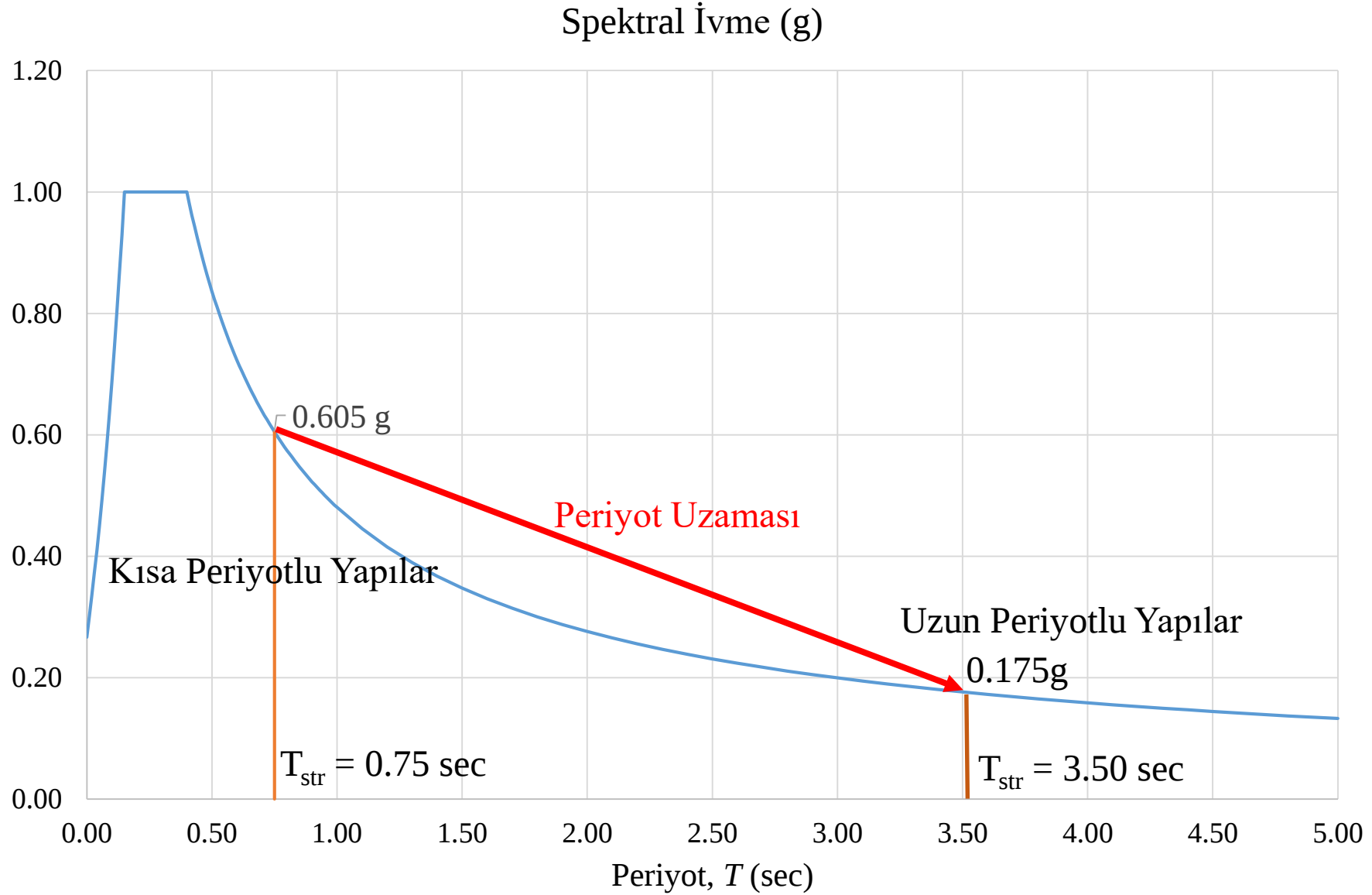


Kısa Periyot

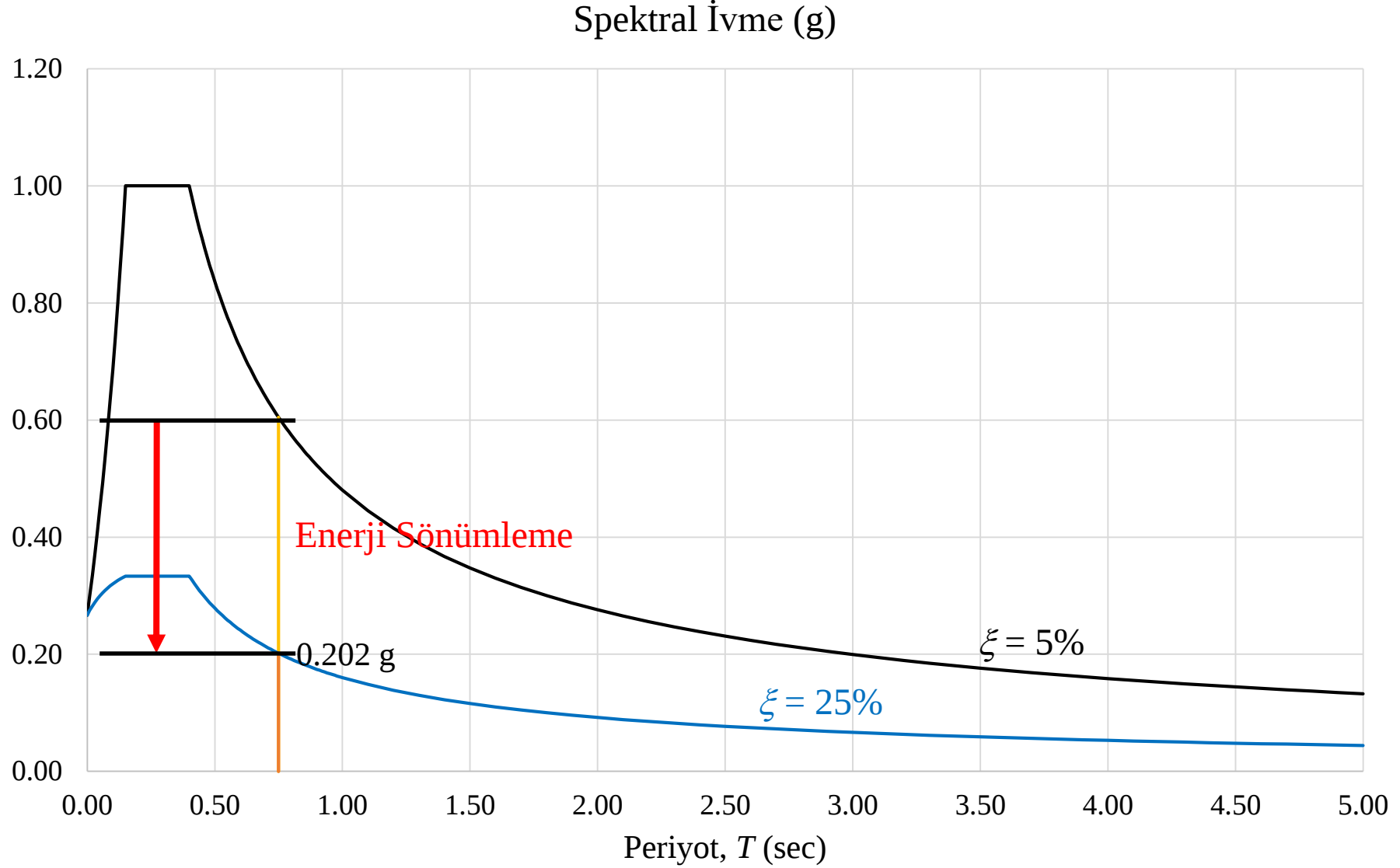
Periyot Uzaması



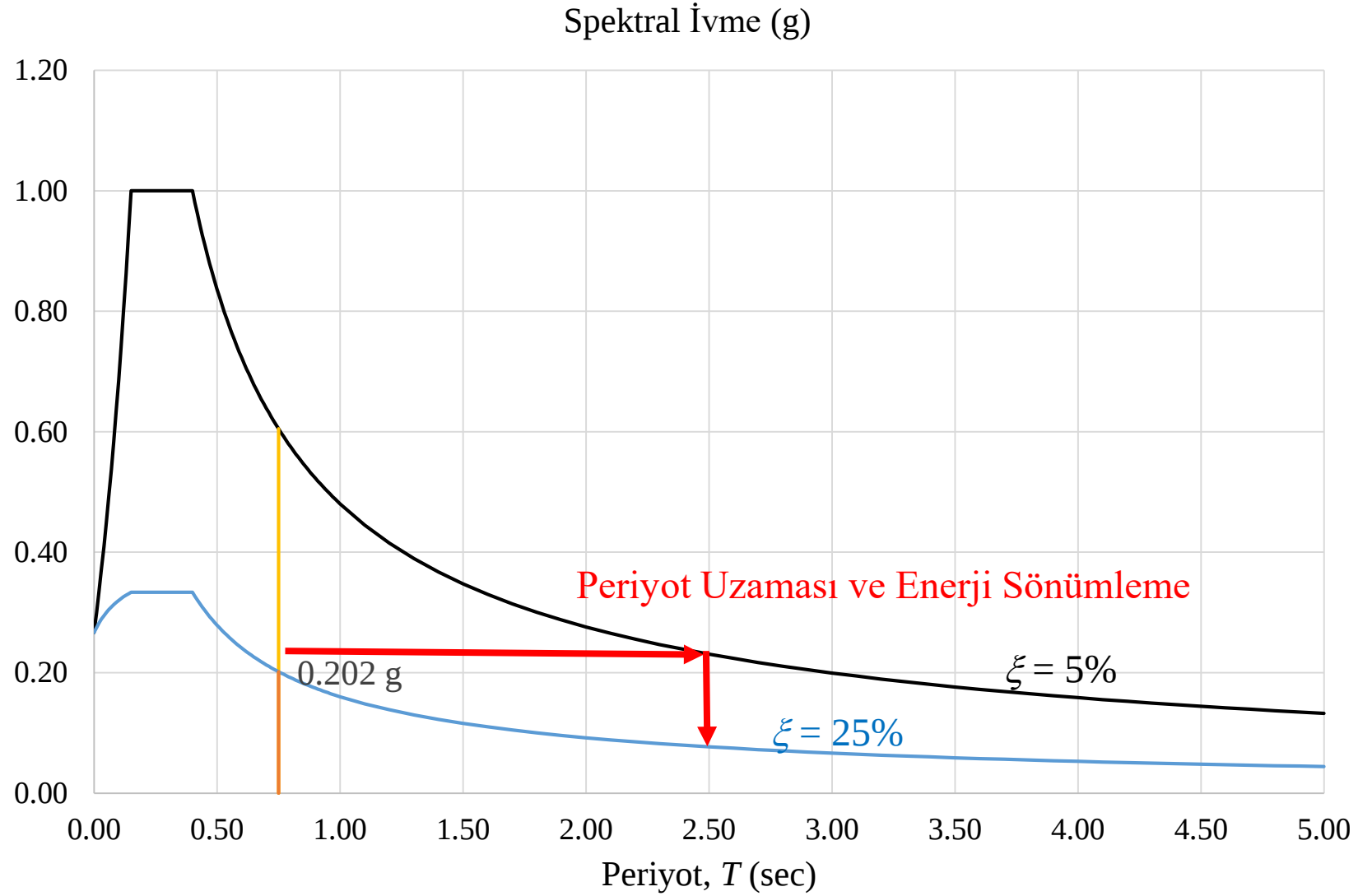
Periyot Uzaması



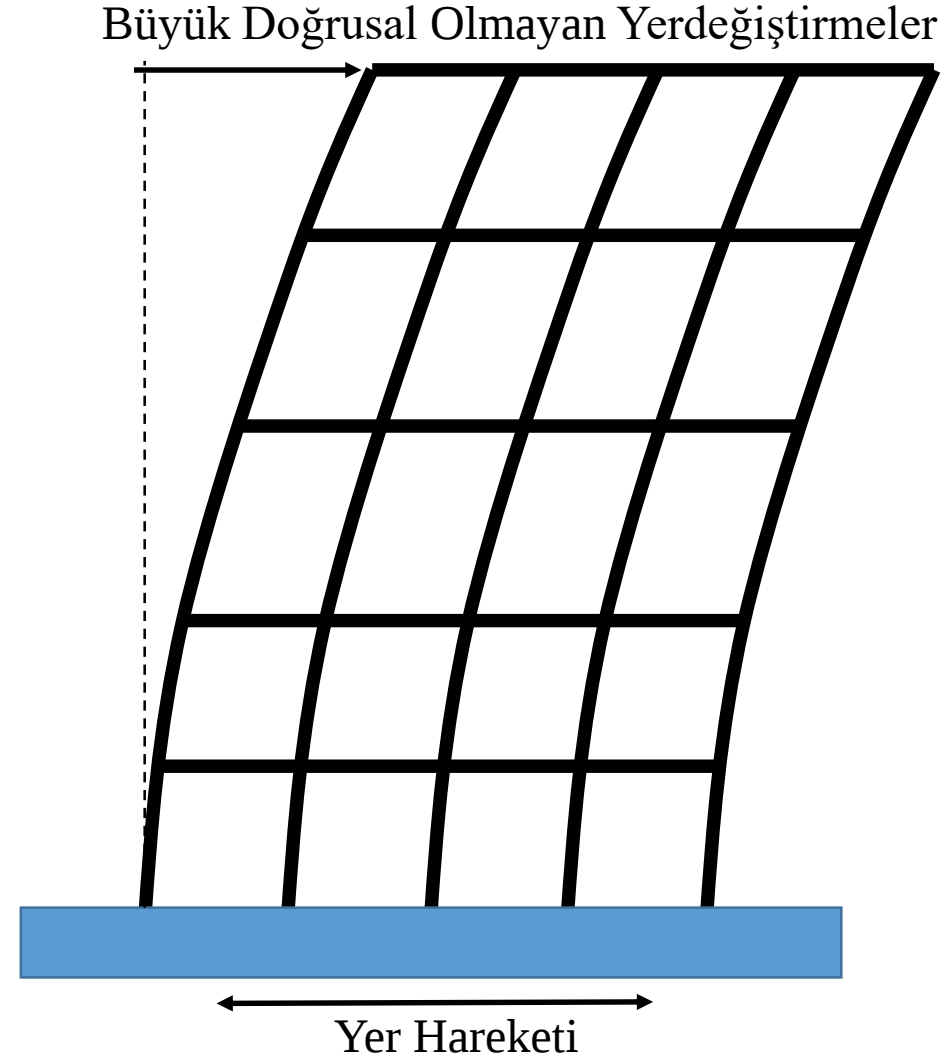
Enerji Sönümlleme



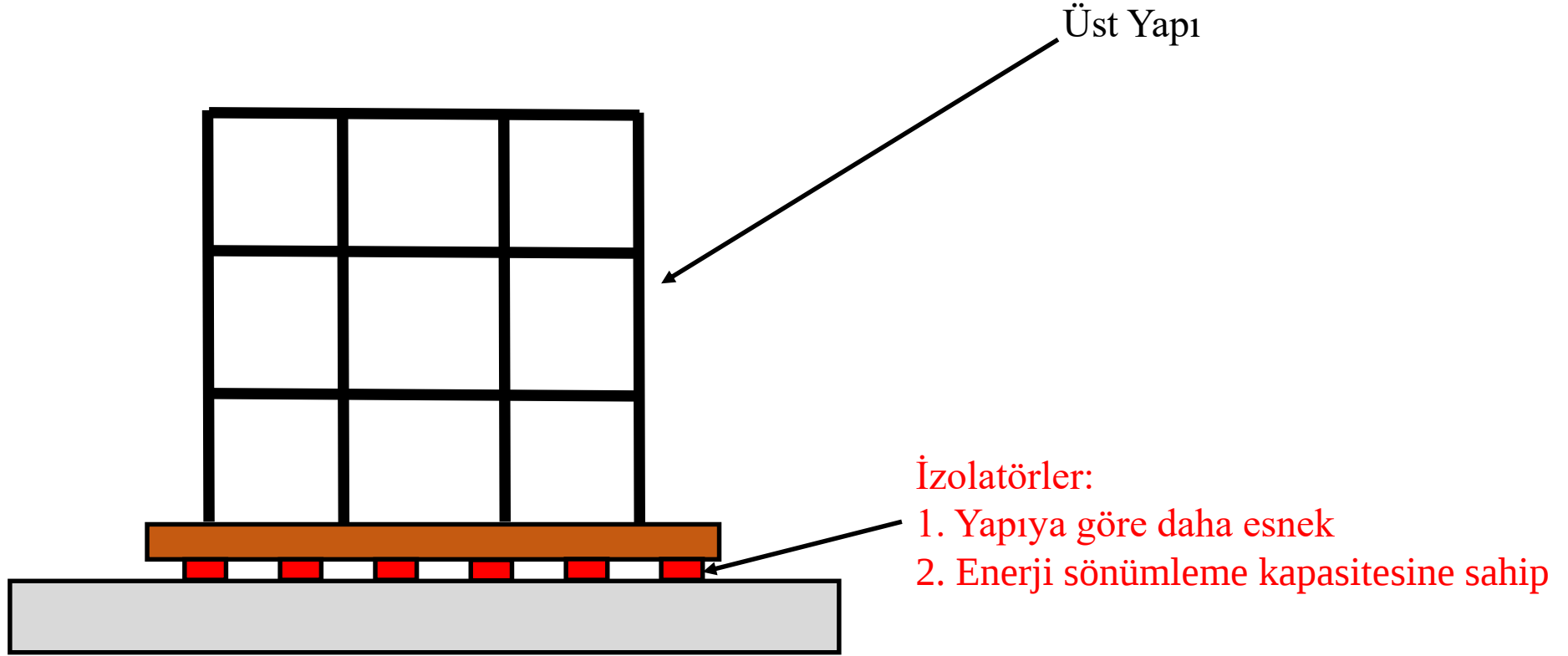
Periyot Uzaması ve Enerji Sönümlleme



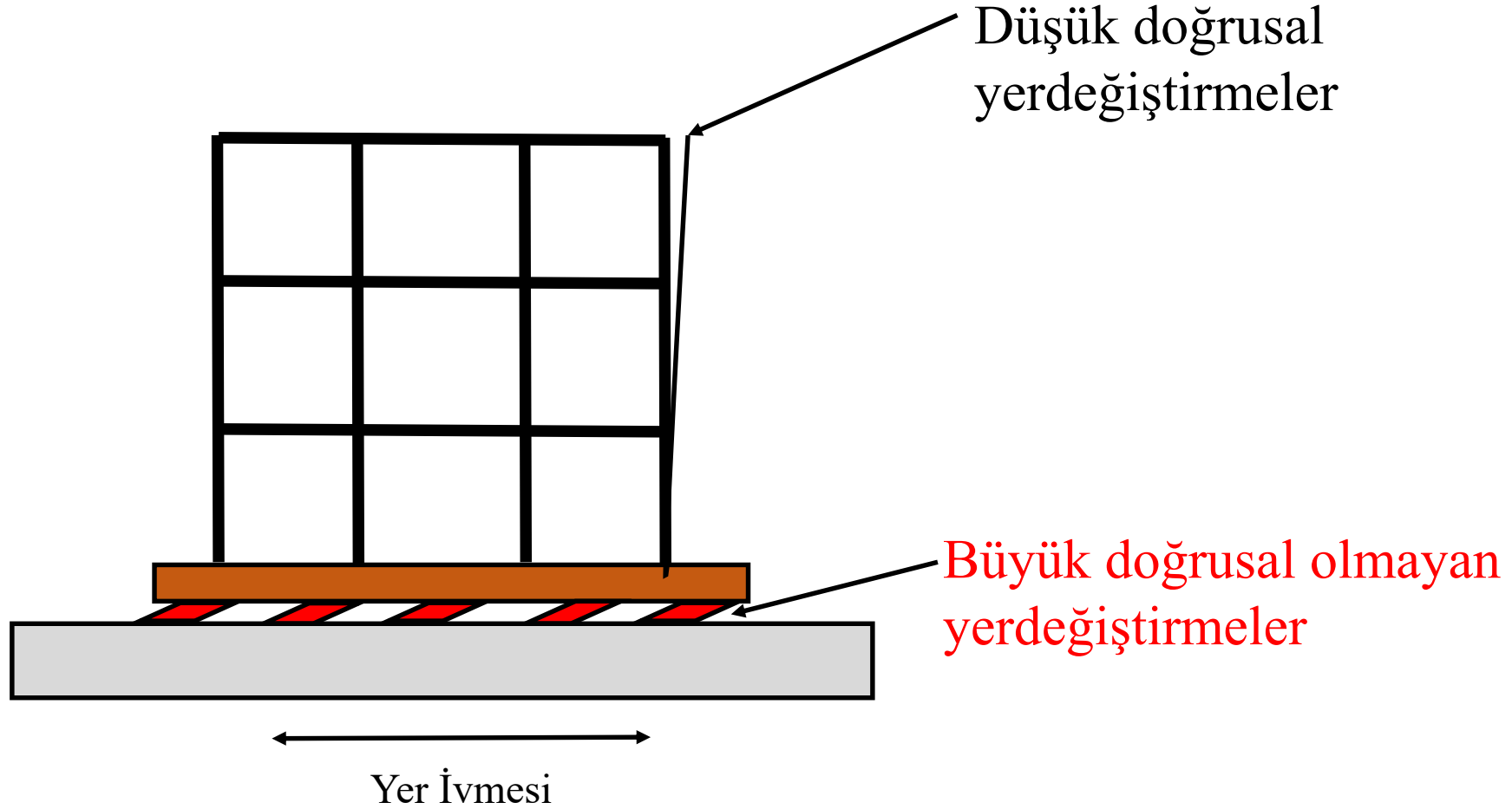
Tipik Bina Davranışı



Sismik İzolasyon



Sismik İzolasyon



İçerik

- Deprem Tasarımı Yaklaşımları
- Performansa Dayalı Tasarım
- İzolasyonlu Yapıların Temel Prensibi
- İzolatör Tipleri ve Davranışları**
- Tasarımda İzlenen Yol
- Eşdeğer Doğrusal Modelleme
- İzolatörlü Yapıların Modellenmesi
- Temel Analiz Yöntemleri

İzolatör Tipleri ve Davranışları

- Elastomer Tabanlı İzolatörler
- Sürtünmeye Dayalı İzolatörler

Elastomer Tabanlı İzolatörler

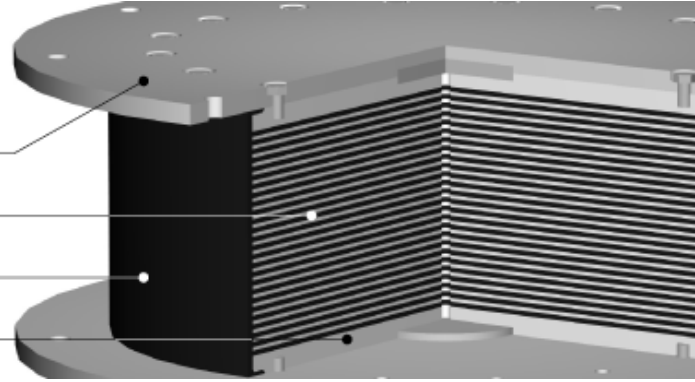
High Damping Rubber Bearing

Flange

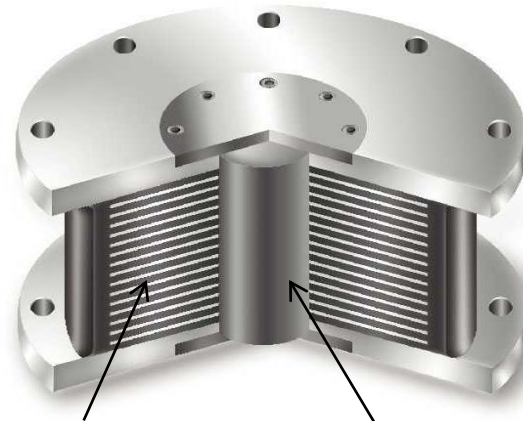
Laminated rubber

Rubber covering

Steel sheet



Lead Rubber Bearing

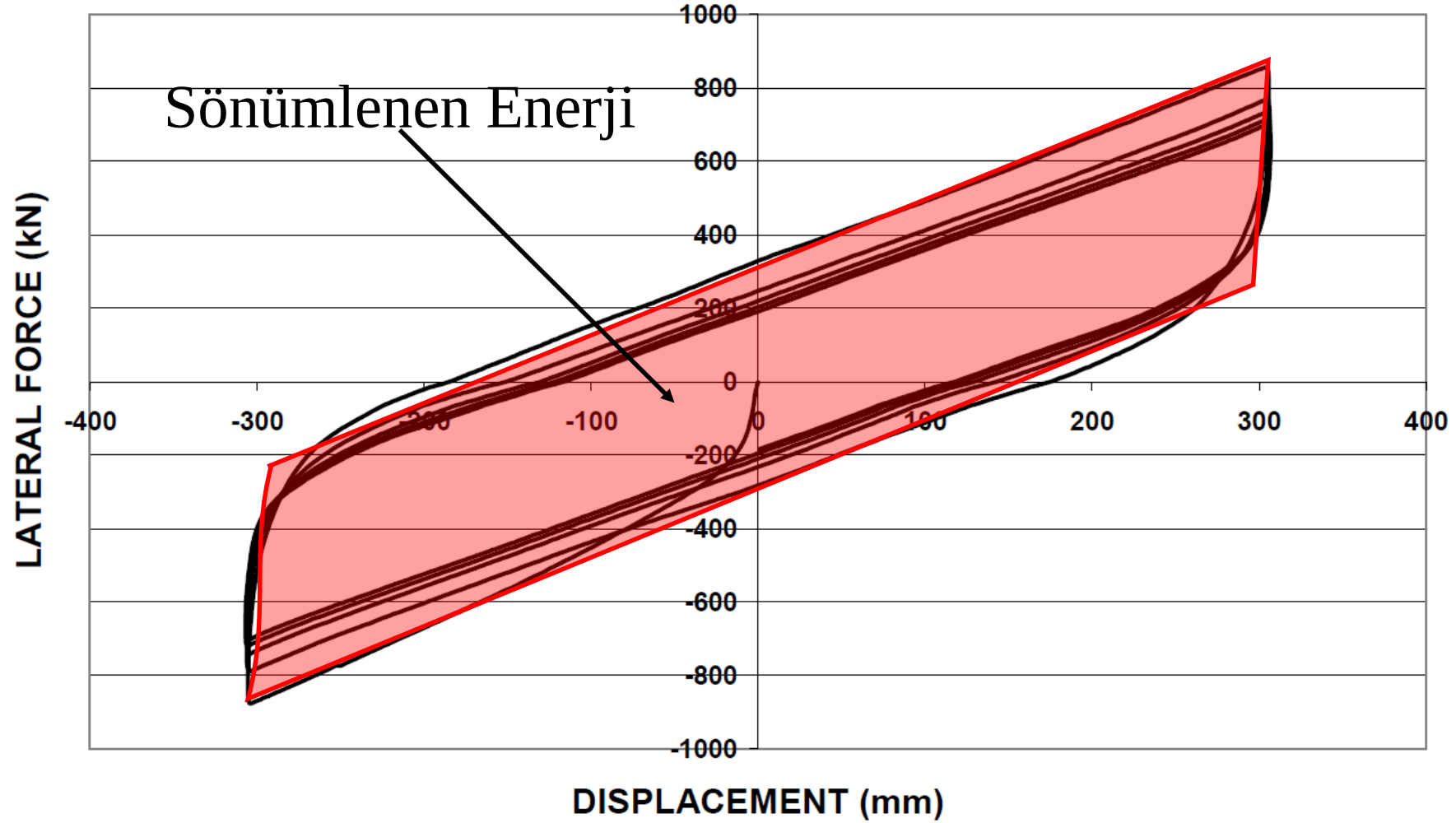


Laminated Elastomer

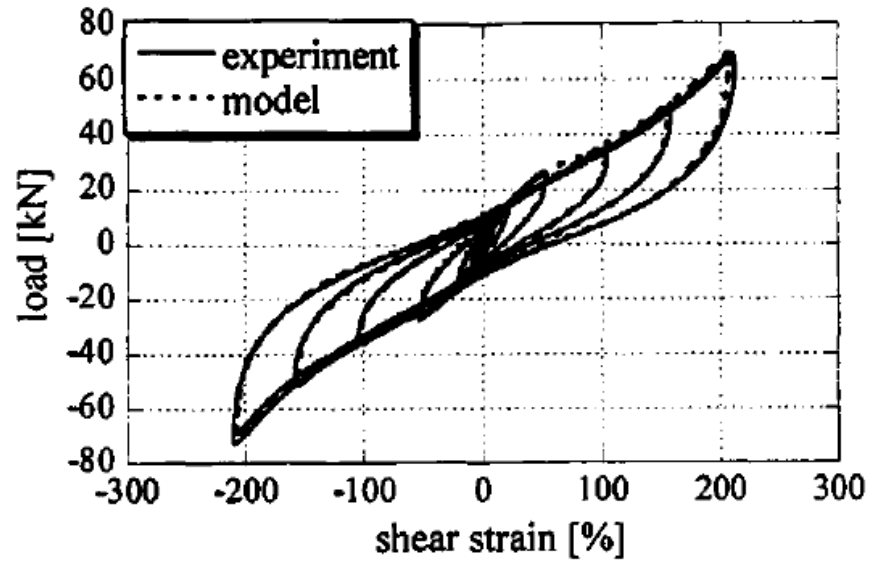
Lead Core



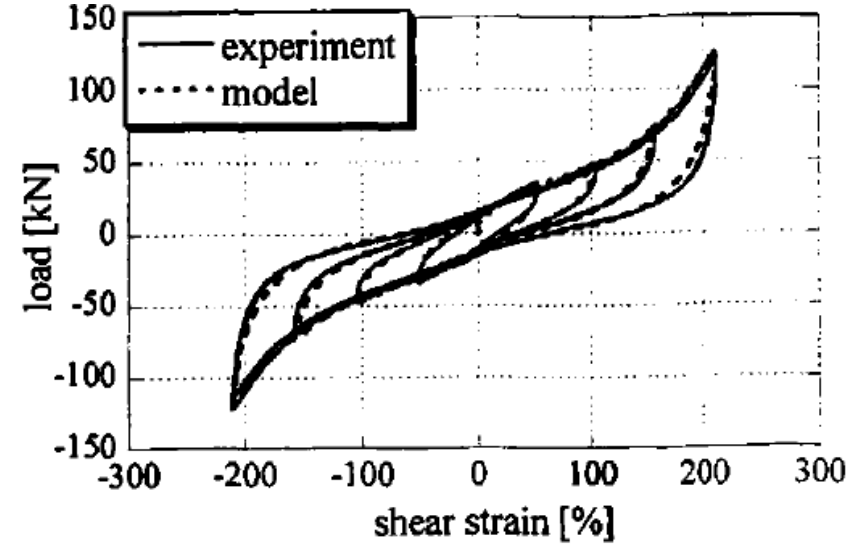
Elastomer Tabanlı İzolatörler: LRB



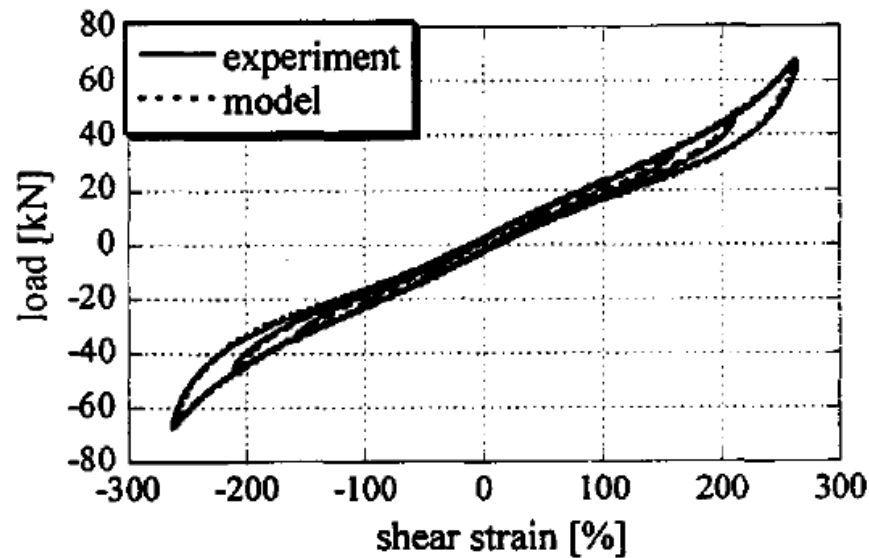
Elastomer Tabanlı İzolatörler: Genel



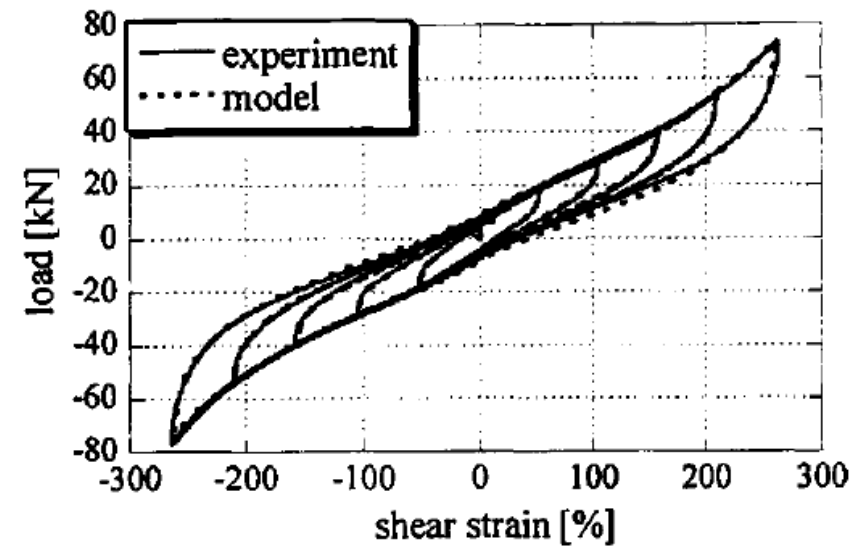
(a) HDR-A



(b) HDR-C

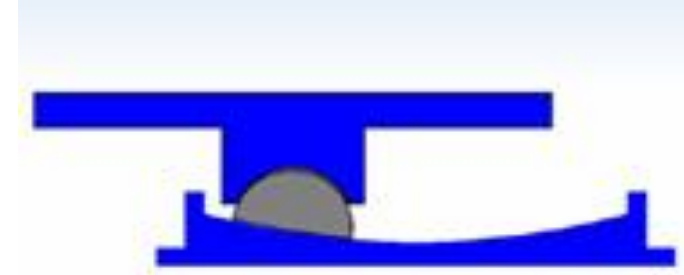


(c) NRB-A

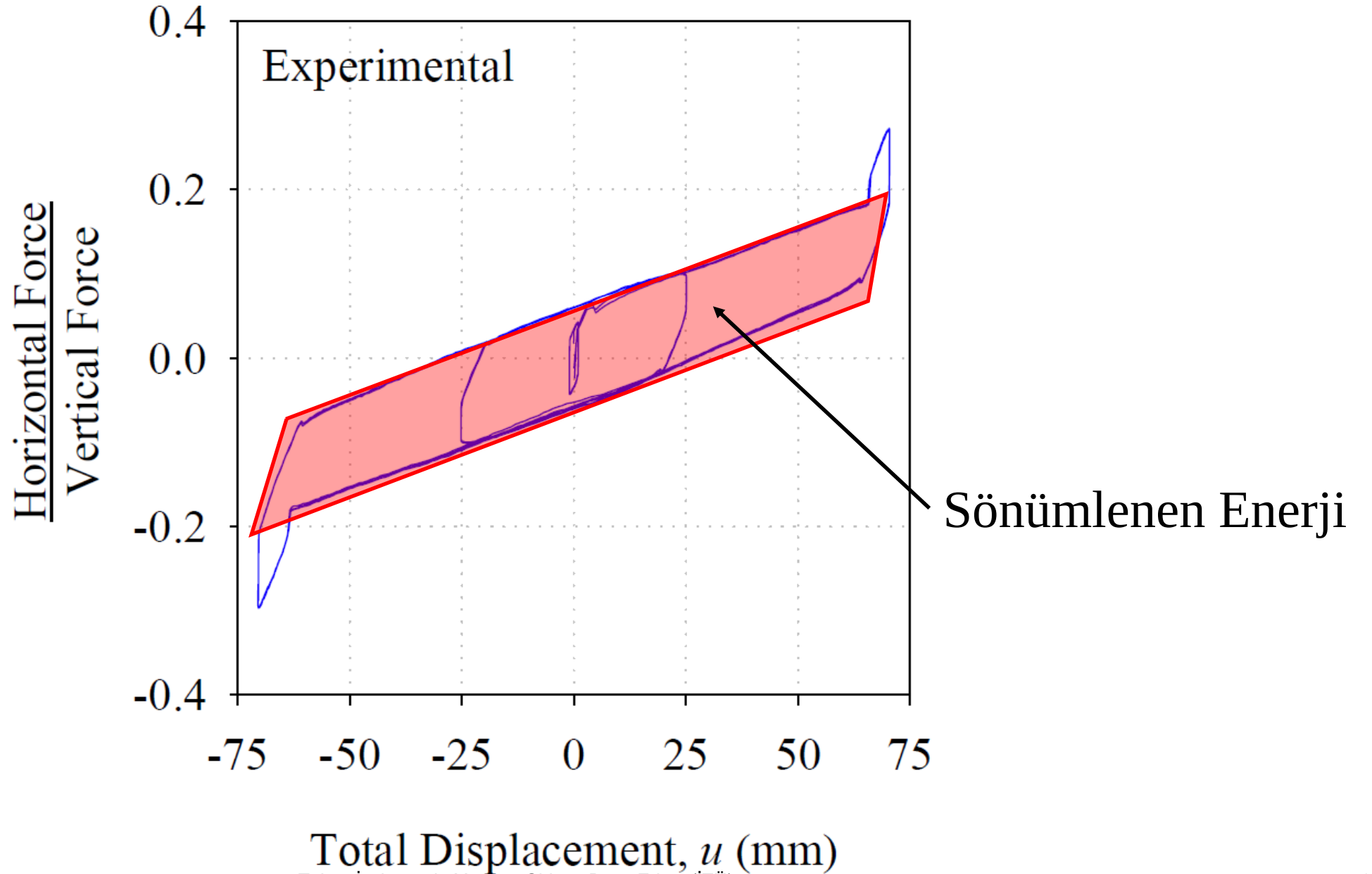


(d) LRB

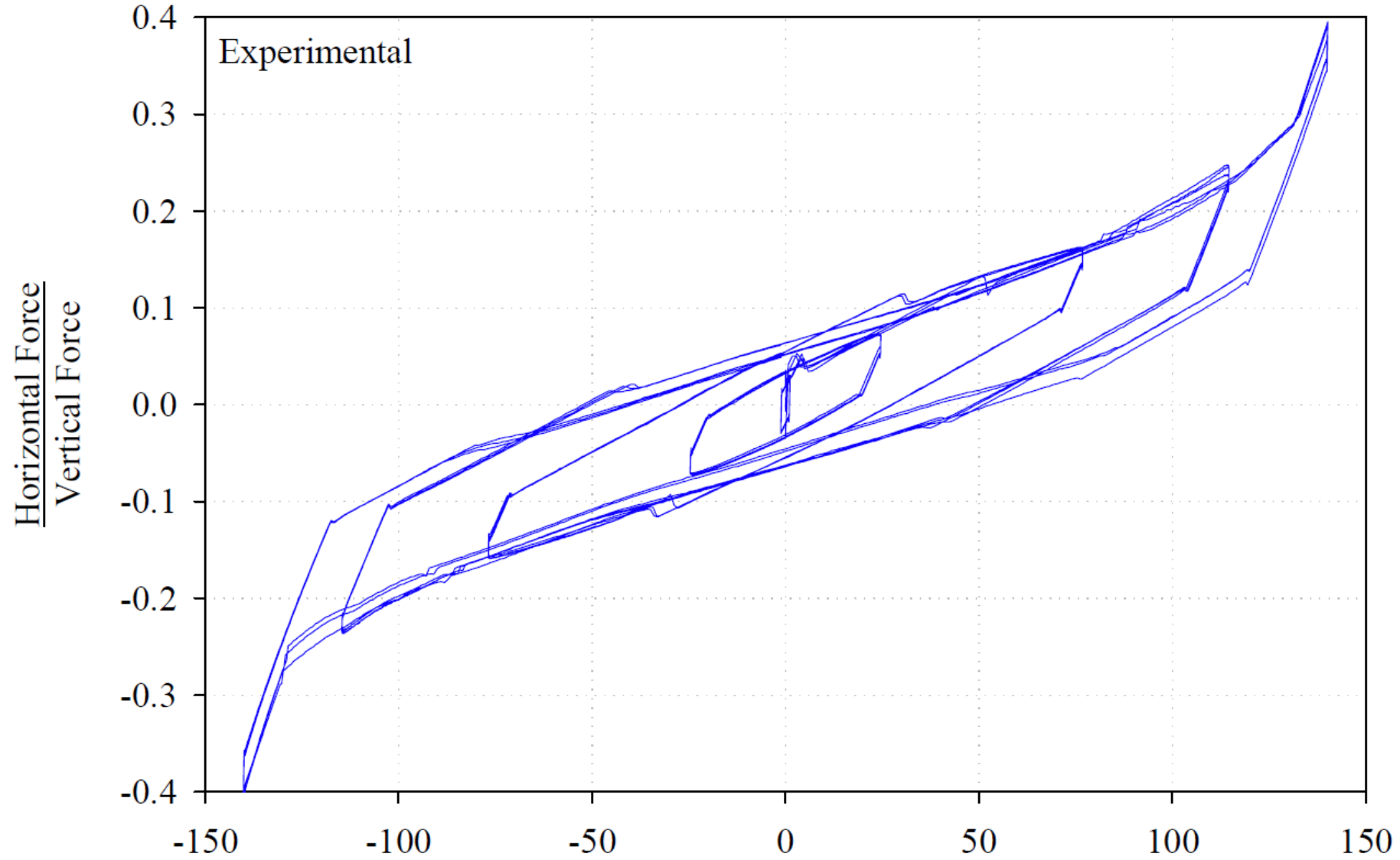
Sürtünmeye Dayalı İzolatörler



Sürtünmeye Dayalı İzolatörler: Üçlü Sürtünme



Sürtünmeye Dayalı İzolatörler: Üçlü Sürtünme



İçerik

- Deprem Tasarımı Yaklaşımları
- Performansa Dayalı Tasarım
- İzolasyonlu Yapıların Temel Prensibi
- İzolatör Tipleri ve Davranışları
- Tasarımda İzlenen Yol**
- Eşdeğer Doğrusal Modelleme
- İzolatörlü Yapıların Modellenmesi
- Temel Analiz Yöntemleri

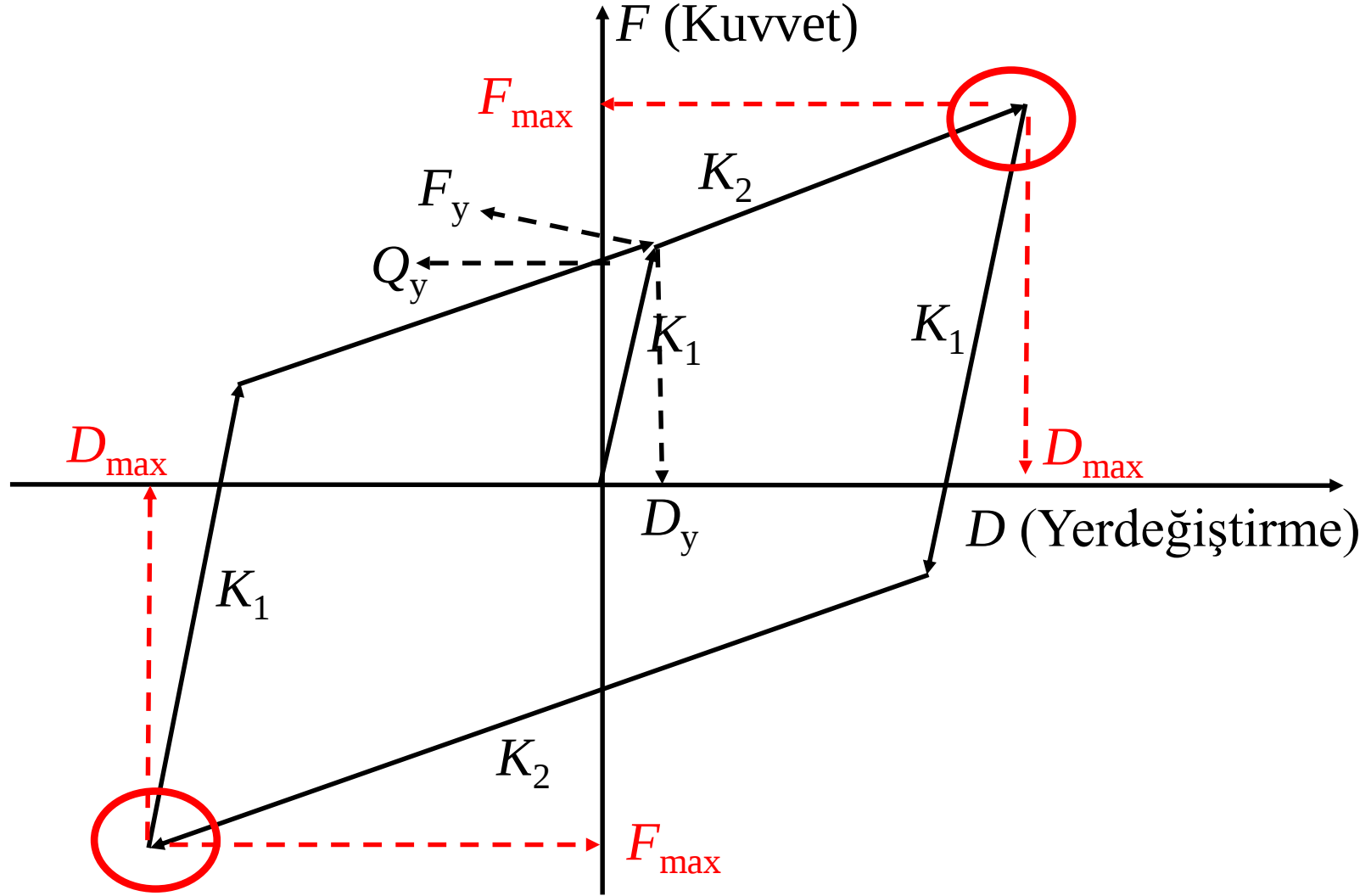
Tasarımda İzlenen Yol

- İzolatör Tasarımı
 - Eşdeğer Statik Yöntem ve TSDS
 - Eşdeğer doğrusal rijitlik ve eşdeğer viskoz sönümlleme (eşdeğer doğrusal model) kullanılır.
 - Doğrusal analizdir.
 - İzolatör tasarımı (yerdeğiştirme ve kuvvetleri) için kullanılır.
 - İzolatör satın alım sürecinde bu değerler kullanılır.
 - Üs yapı ön tasarım için kullanılır.
- Üst Yapı Tasarımı ve İzolatör Tasarımının Teyidi
 - Mod Birleştirme Yöntemi ve ÇSDS
 - Eşdeğer doğrusal rijitlik ve eşdeğer viskoz sönümlleme (eşdeğer doğrusal model) kullanılır.
 - Doğrusal analizdir.
 - İzolatör tasarımı (yerdeğiştirme ve kuvvetleri) teyidi için kullanılır.
 - Üst yapı tasarımı için kullanılır.
- Tüm Tasarımın Teyidi ve Performans Değerlendirmesi
 - Doğrusal Olmayan Analizler (Zaman-Tanım Alanı) ve ÇSDS.
 - İzolatörler için doğrusal olmayan modeller kullanılır.
 - Tüm yapı (izolatör ve üst yapı) tasarımının teyidi için kullanılır (performans değerlendirme)

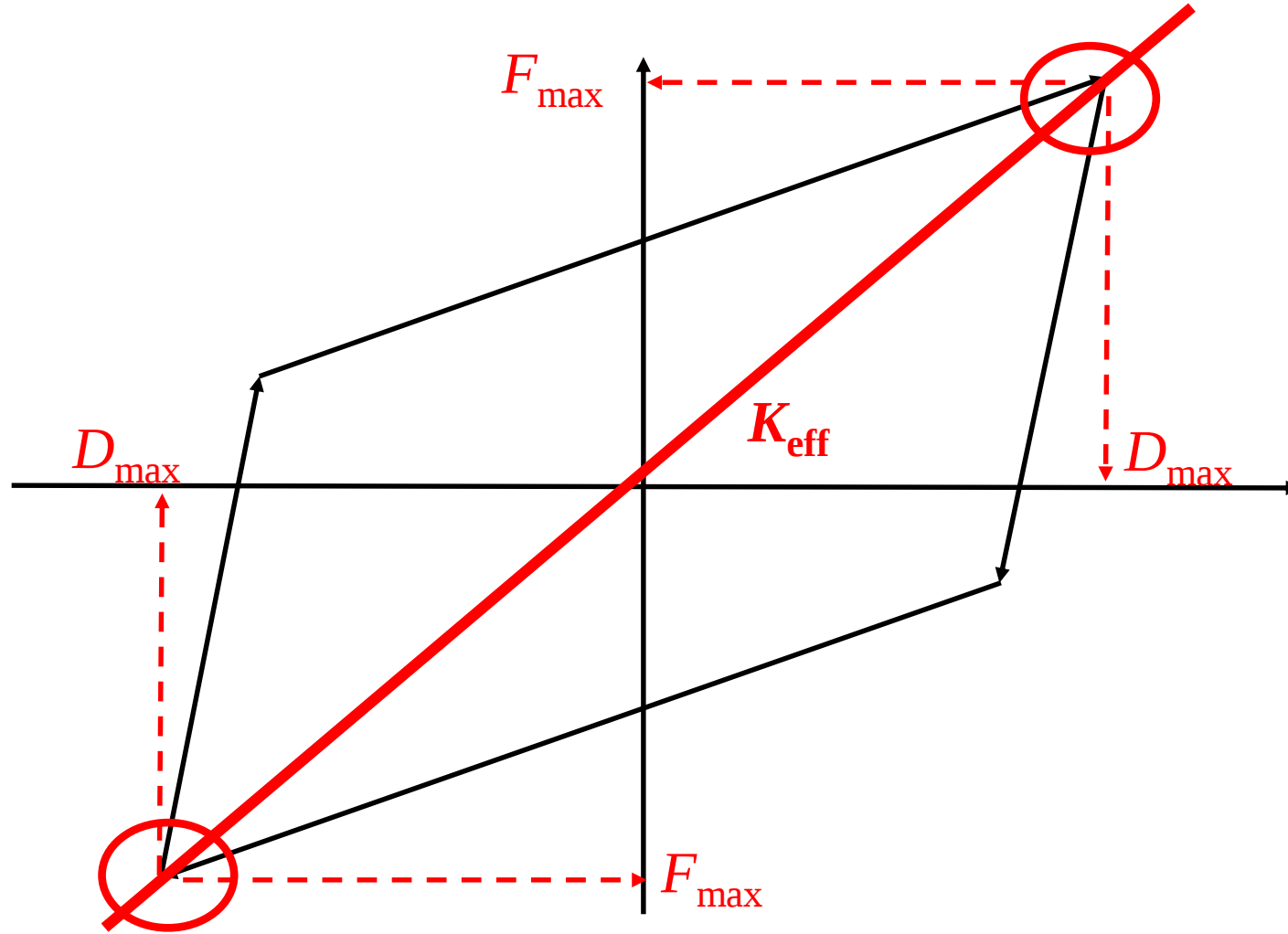
İçerik

- Deprem Tasarımı Yaklaşımları
- Performansa Dayalı Tasarım
- İzolasyonlu Yapıların Temel Prensibi
- İzolatör Tipleri ve Davranışları
- Tasarımda İzlenen Yol
- Eşdeğer Doğrusal Modelleme**
- İzolatörlü Yapıların Modellenmesi
- Temel Analiz Yöntemleri

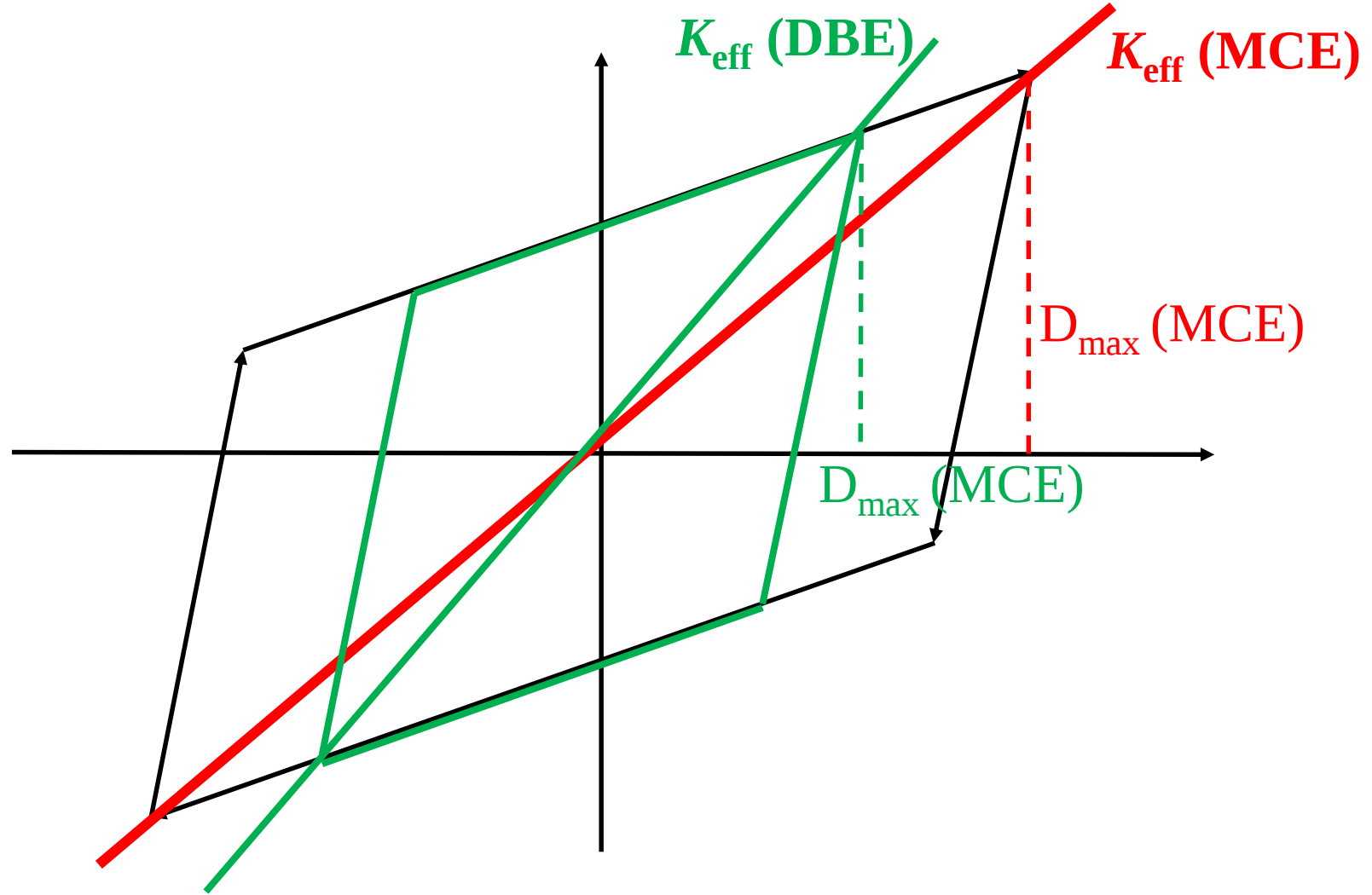
Çift-Doğrusal Davranış



Eşdeğer Doğrusal Rijitlik

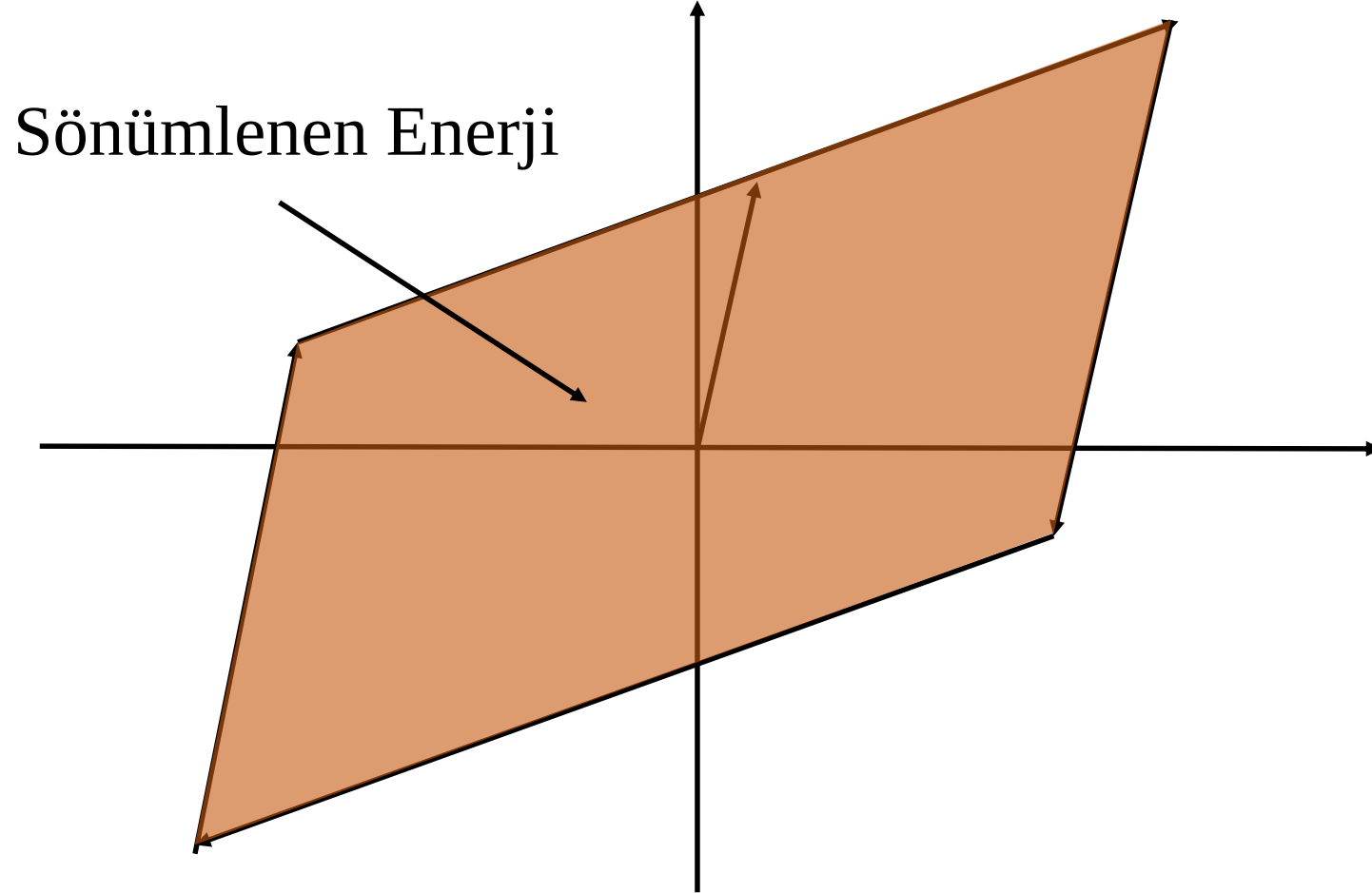


Eşdeğer Doğrusal Rijitlik



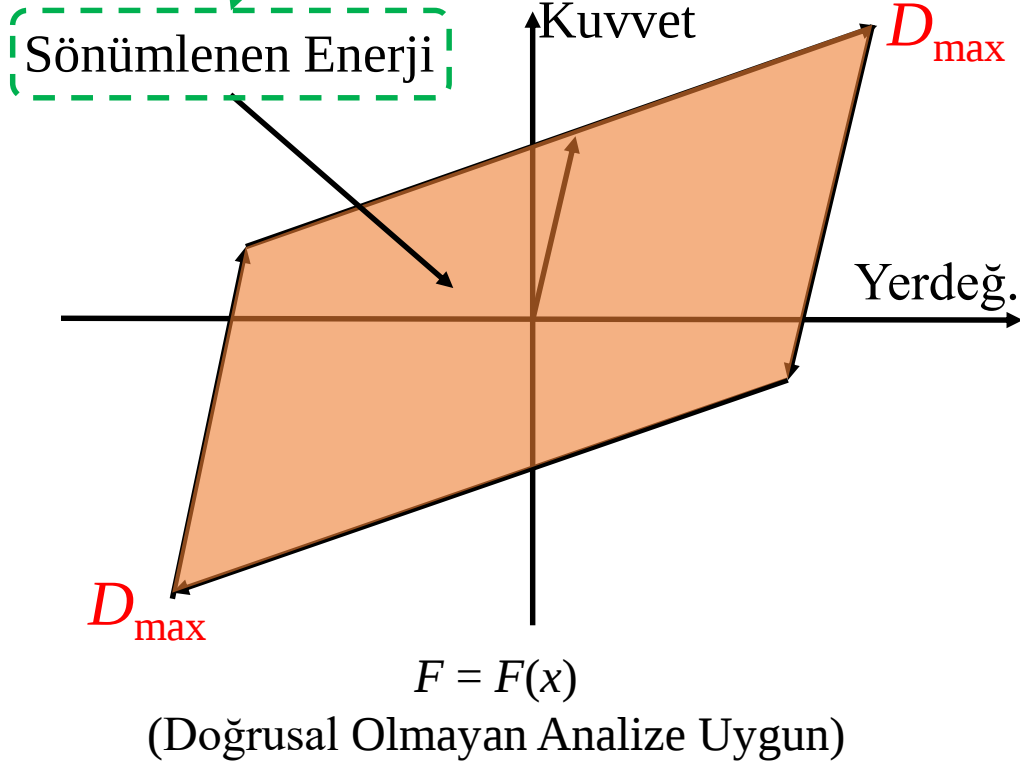
- Farklı deprem seviyeleri için farklı eşdeğer sistemler kullanılması gerekir.

Çift-Doğrusal Davranışda Sönümlenen Enerji

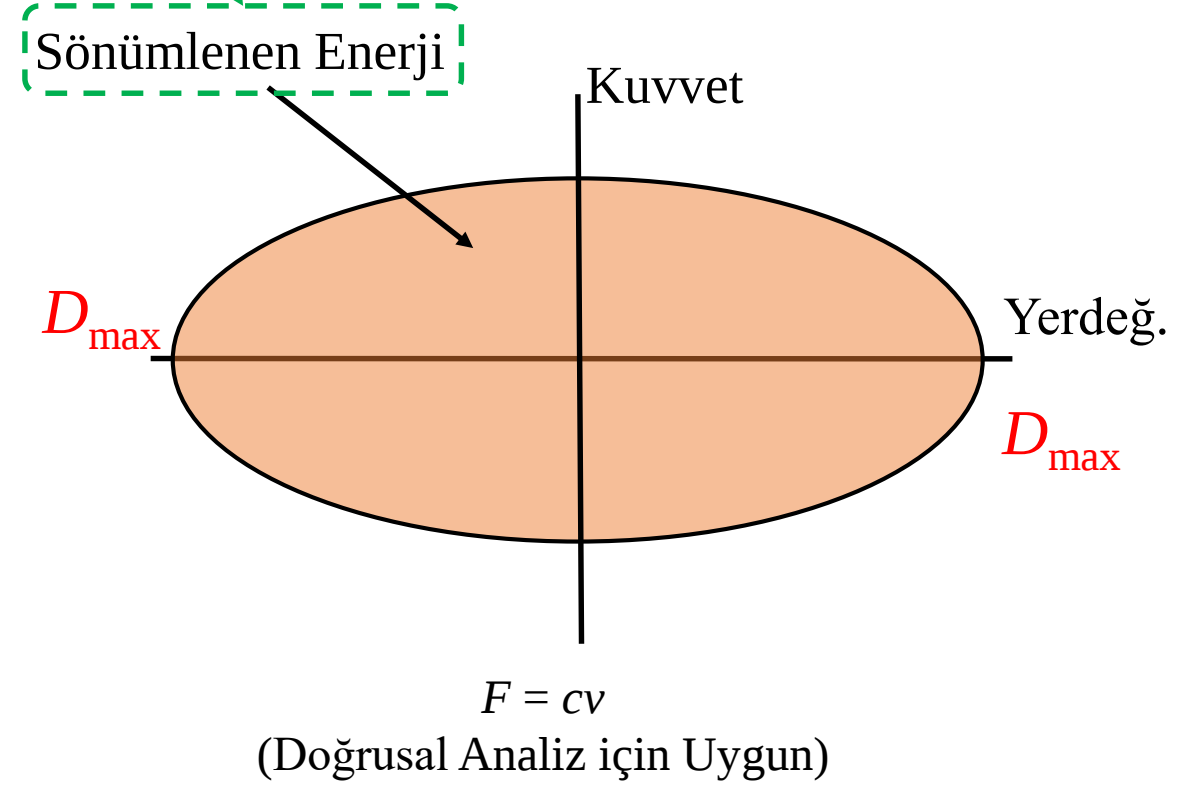


Eşdeğer Viskoz Sönümleme

Çift-Doğrusal Eleman



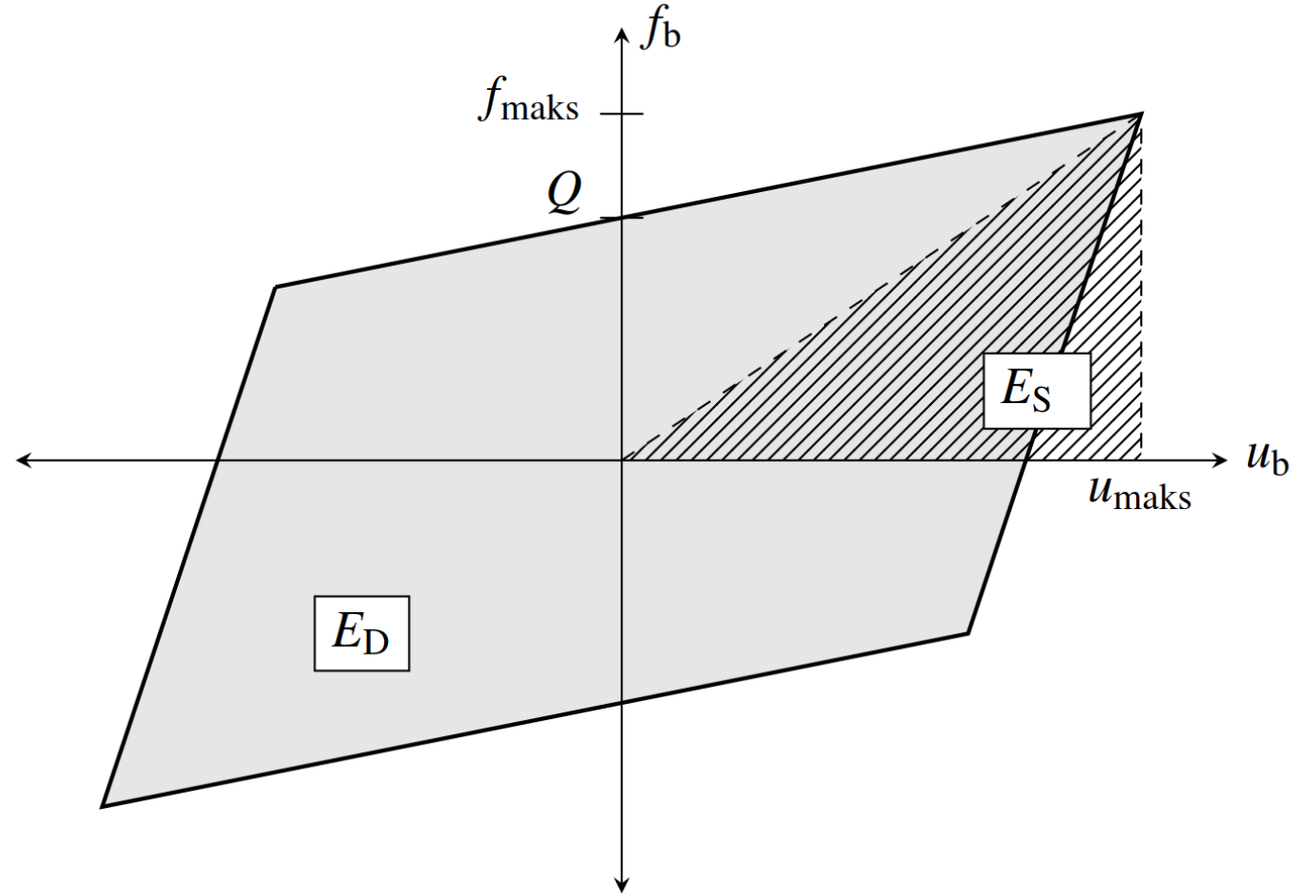
Viskoz Sönümlemee



Eşdeğer Viskoz Sönümleme

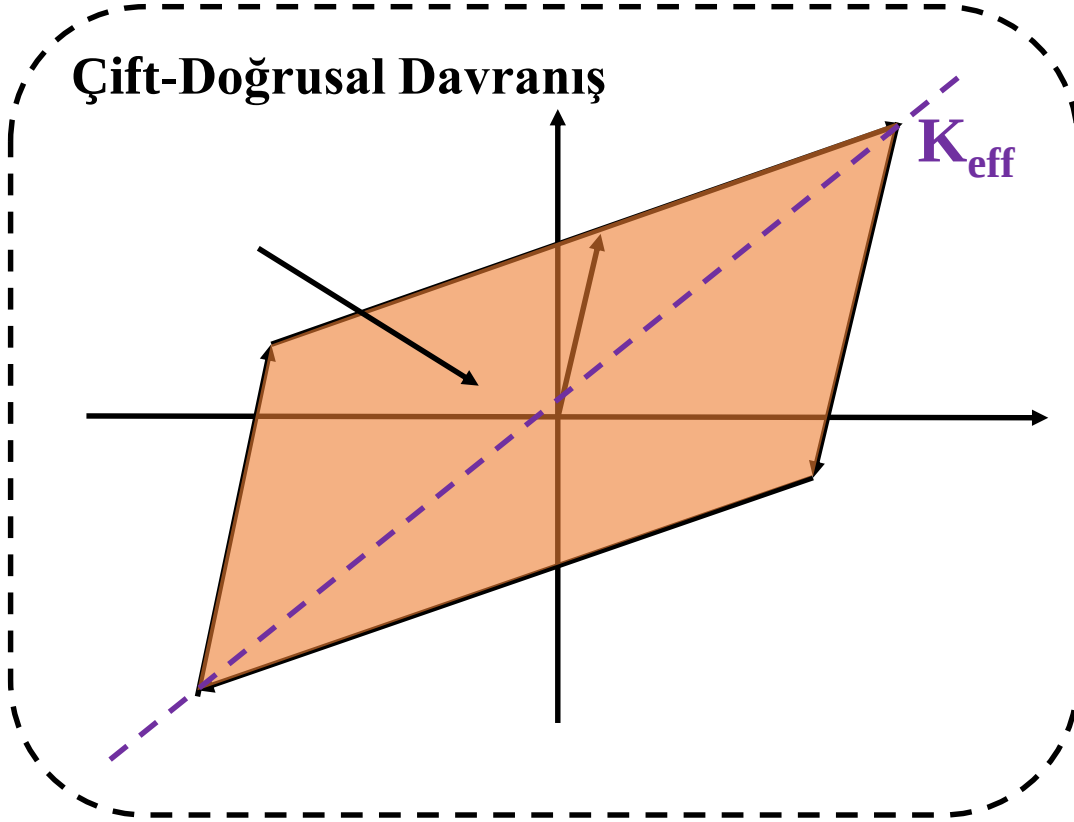
- Eşdeğer Sönümleme:

$$\zeta_{\text{EŞDEĞER}} = \frac{E_D}{4\pi E_S}$$

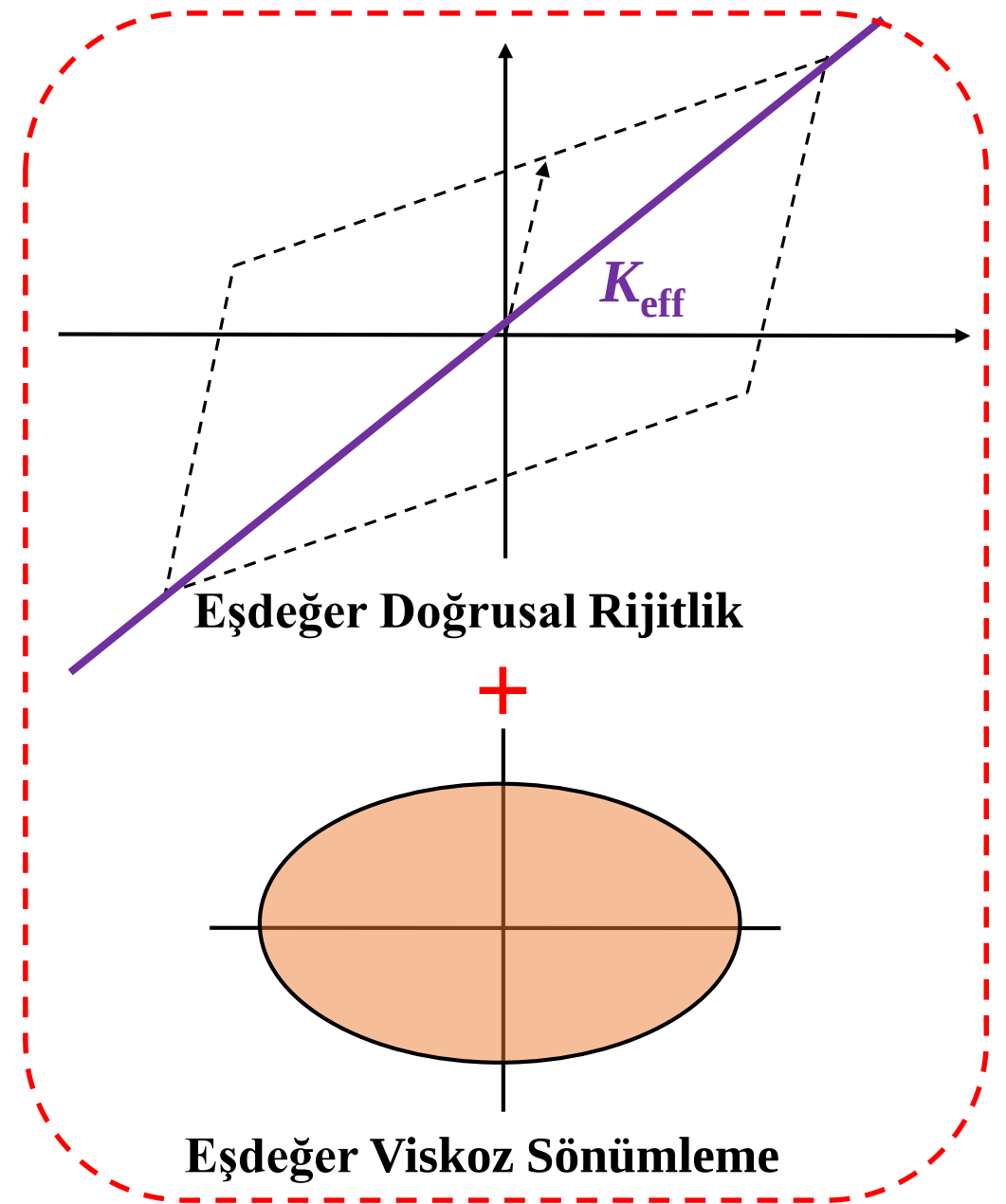


- E_D : Doğrusal Olmayan Elemanlar Tarafından Sönümlenen Enerji
- E_S : Birim Yerdeğiştirme Enerjisi (maks. yerdeğiştirme anında).

Eşdeğer Doğrusal İzolatör

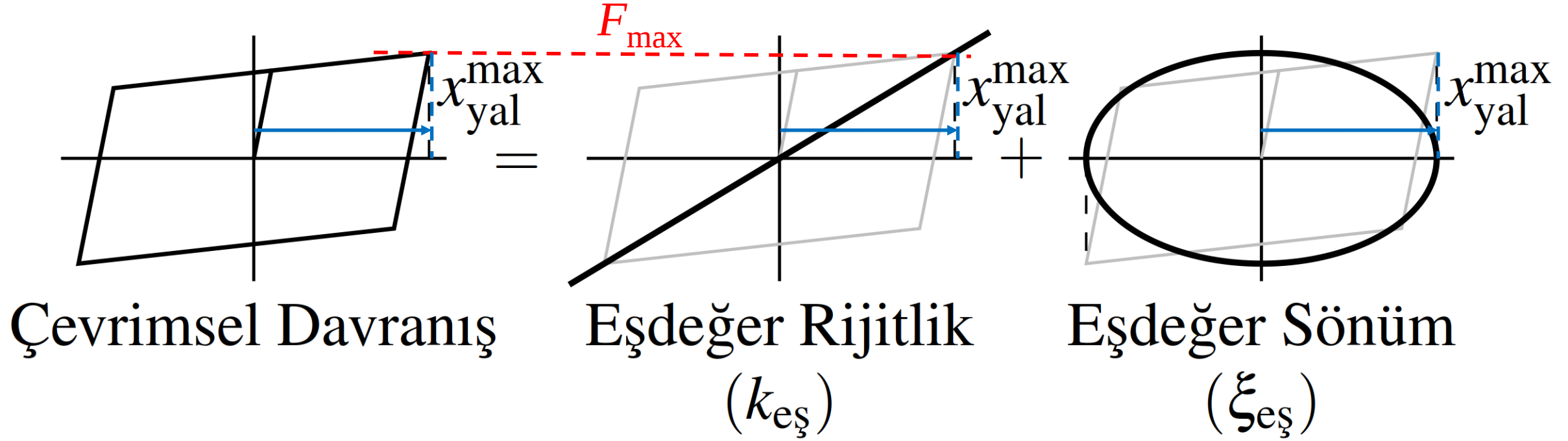


=



Eşdeğer Doğrusal İzolatör

Eşdeğer Doğrusal İzolatör



İçerik

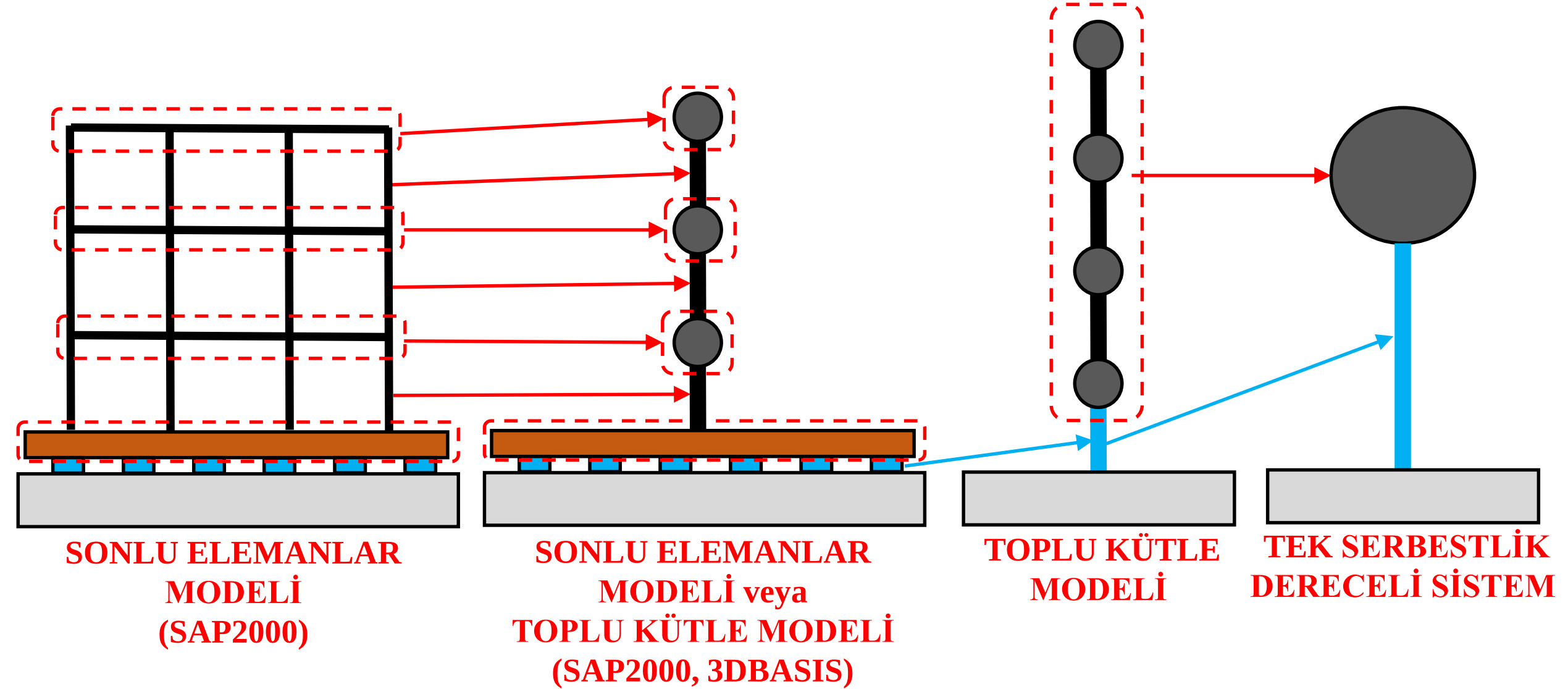
- Deprem Tasarımı Yaklaşımları
- Performansa Dayalı Tasarım
- İzolasyonlu Yapıların Temel Prensipleri
- İzolatör Tipleri ve Davranışları
- Tasarımda İzlenen Yol
- Eşdeğer Doğrusal Modelleme
- İzolatörlü Yapıların Modellenmesi**
- Temel Analiz Yöntemleri

İzolatörlü Yapıların Modellenmesi

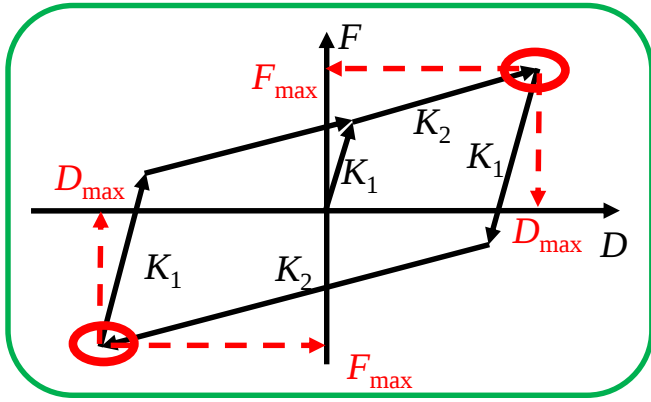
- Farklı Modeller: SE, Toplu Kütle, TSDS
- Doğrusal Olmayan Modeller
- Eşdeğer Doğrusal Modeller

Tüm İzolatörler

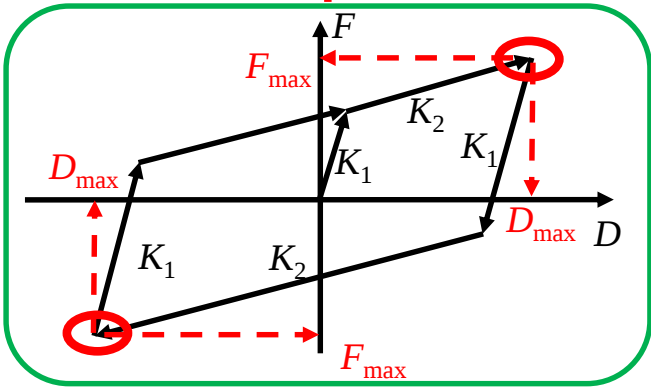
İzolatörlü Yapıların Modellenmesi: SE, Toplu Kütle ve TSDS Modeller



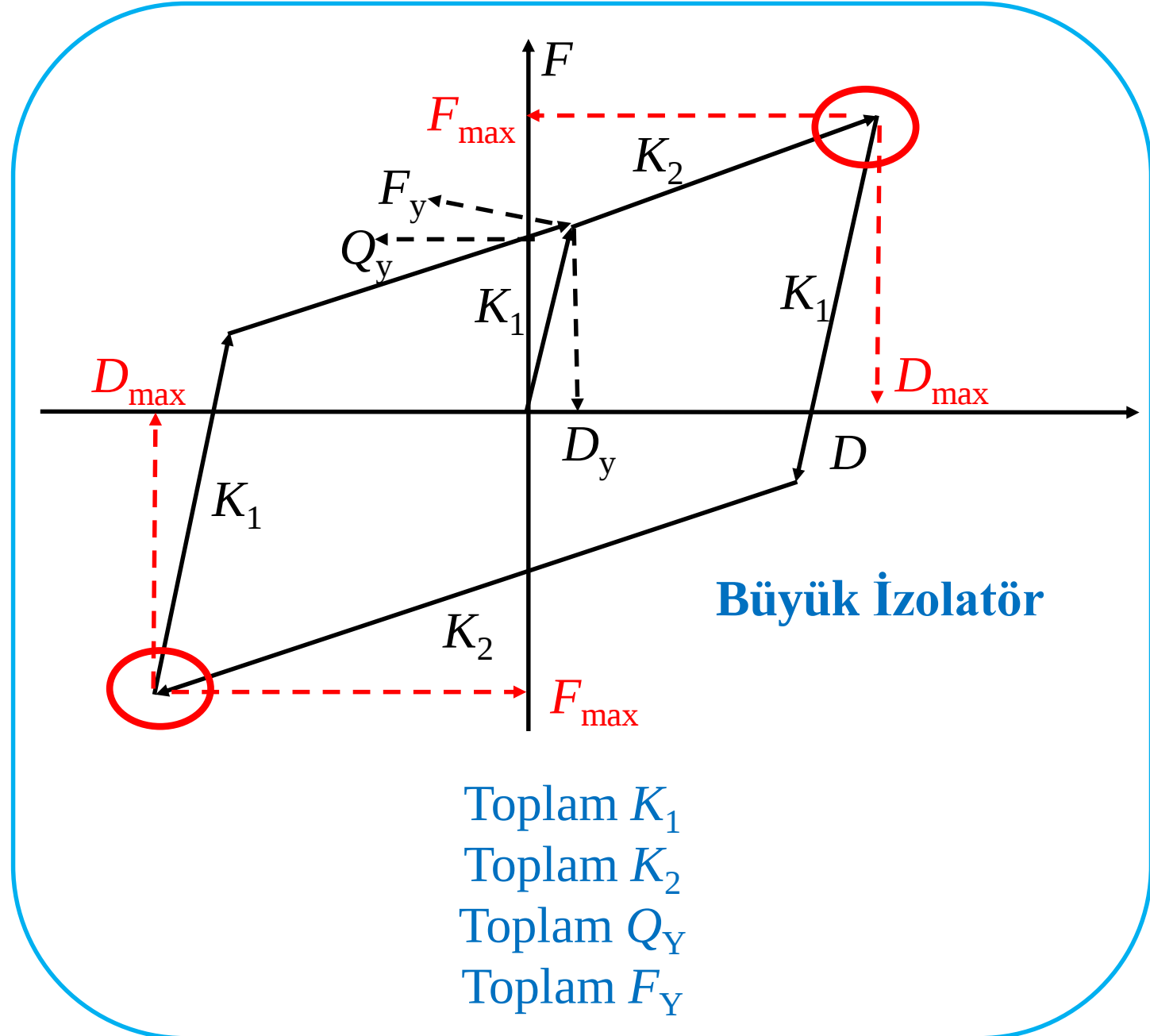
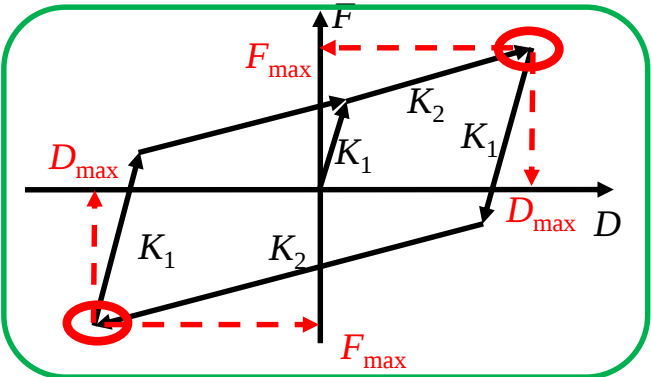
İzolatörlerin Toplanması



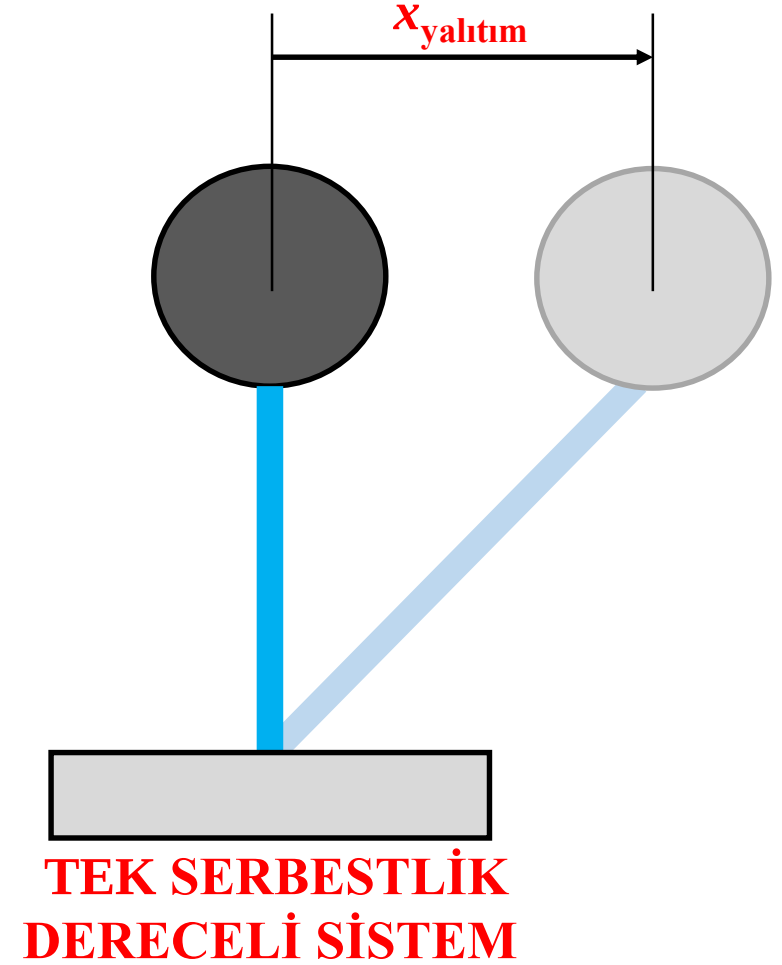
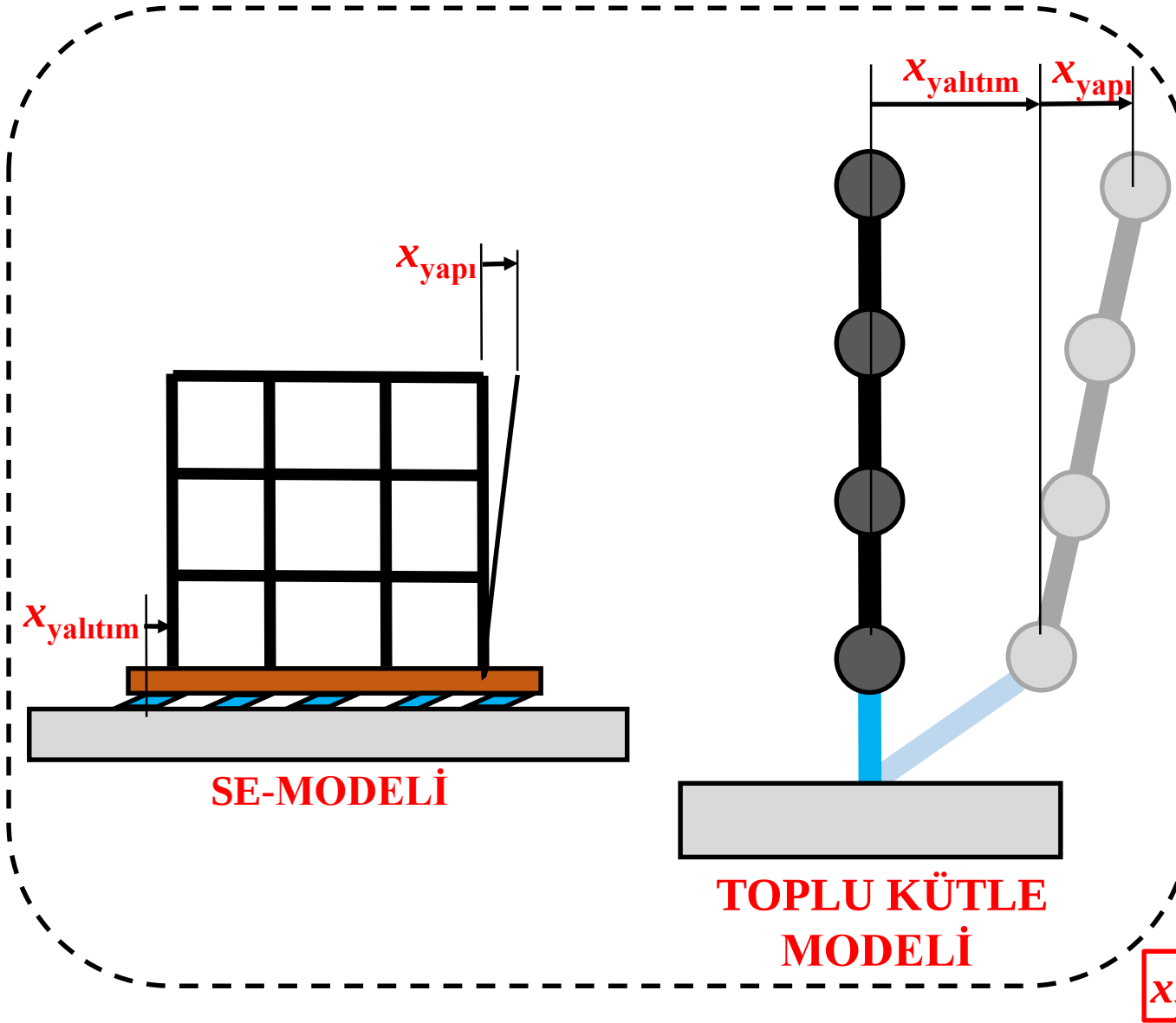
+



+

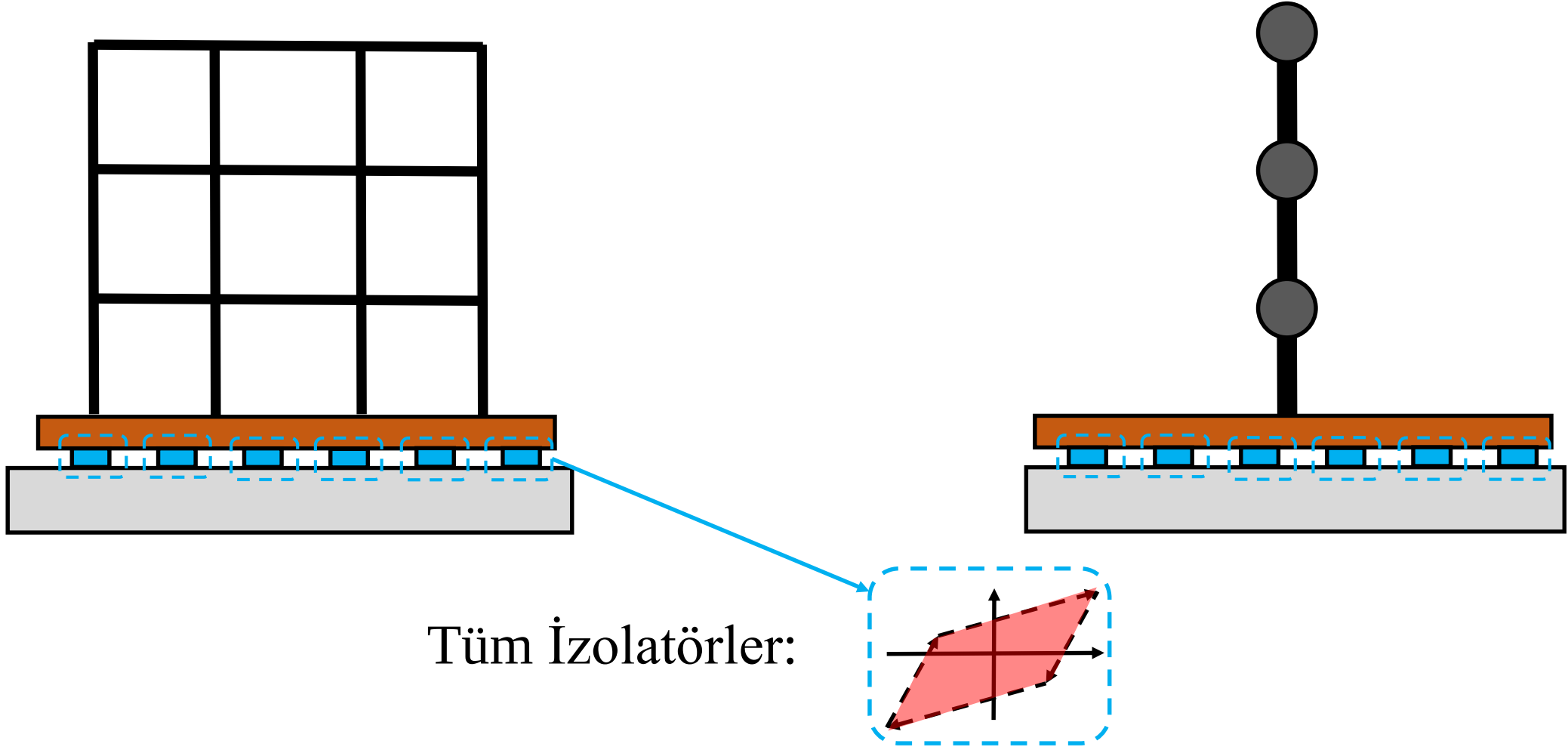


Modeller Arasındaki Önemli Farklar



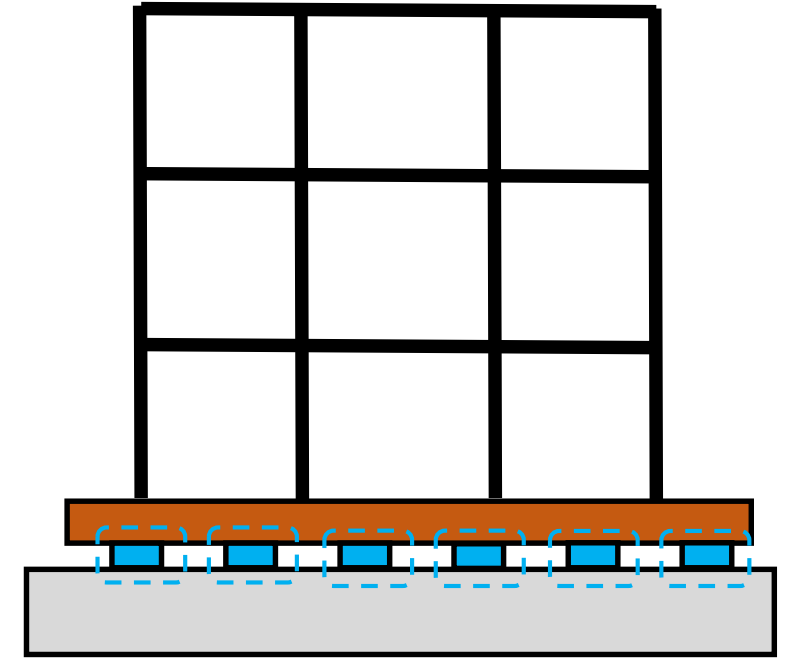
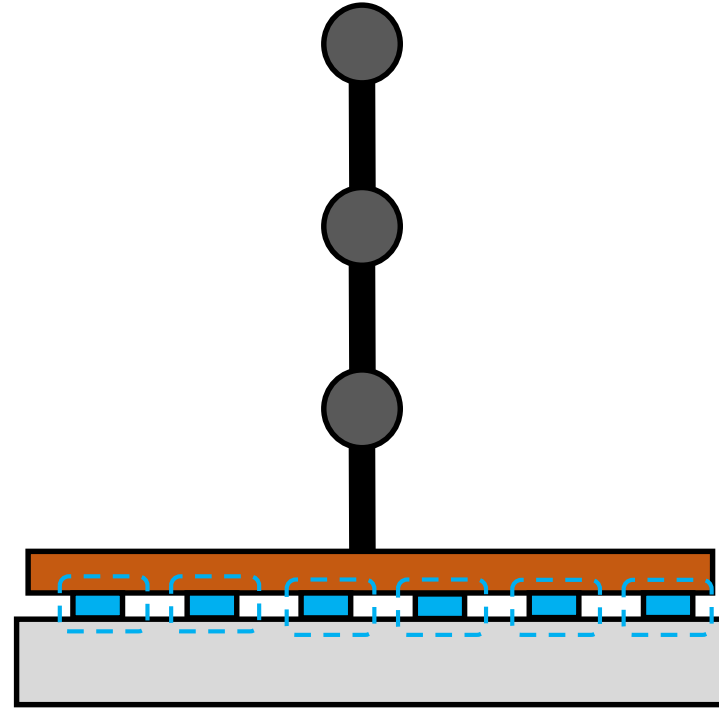
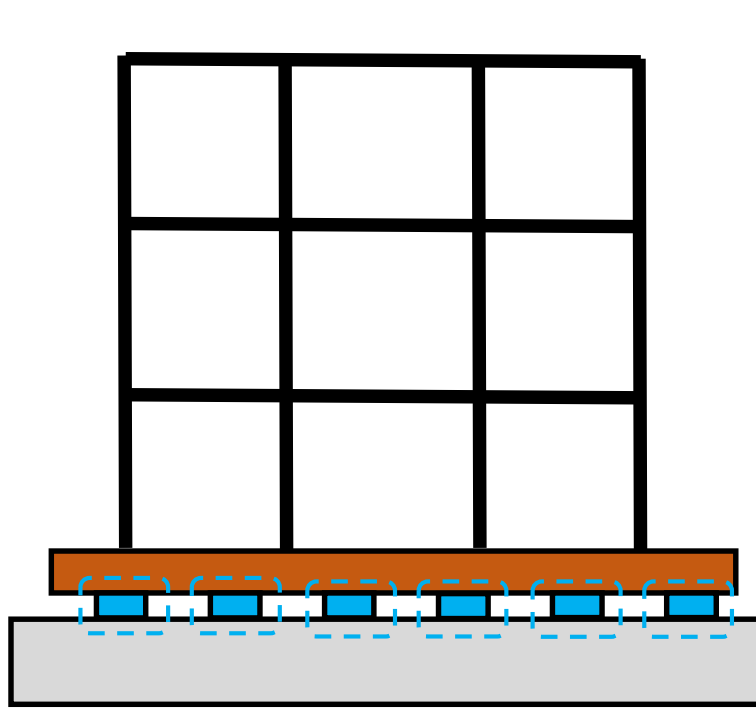
$x_{yapı} = 0$ → Üst Yapı Modlarının Etkisi Modellenmez

Doğrusal Olmayan Sonlu Elemanlar ve Toplu Kütle Modelleri



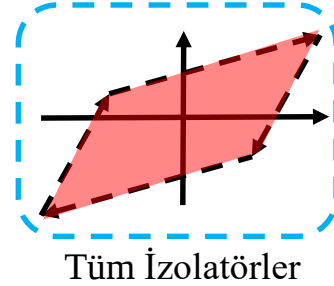
**DOĞRUSAL OLMAYAN SONLU ELEMANLAR VEYA
TOPLU KÜTLE MODELİ**

Eşdeğer Doğrusal Sonlu Elemanlar ve Toplu Kütle Modelleri



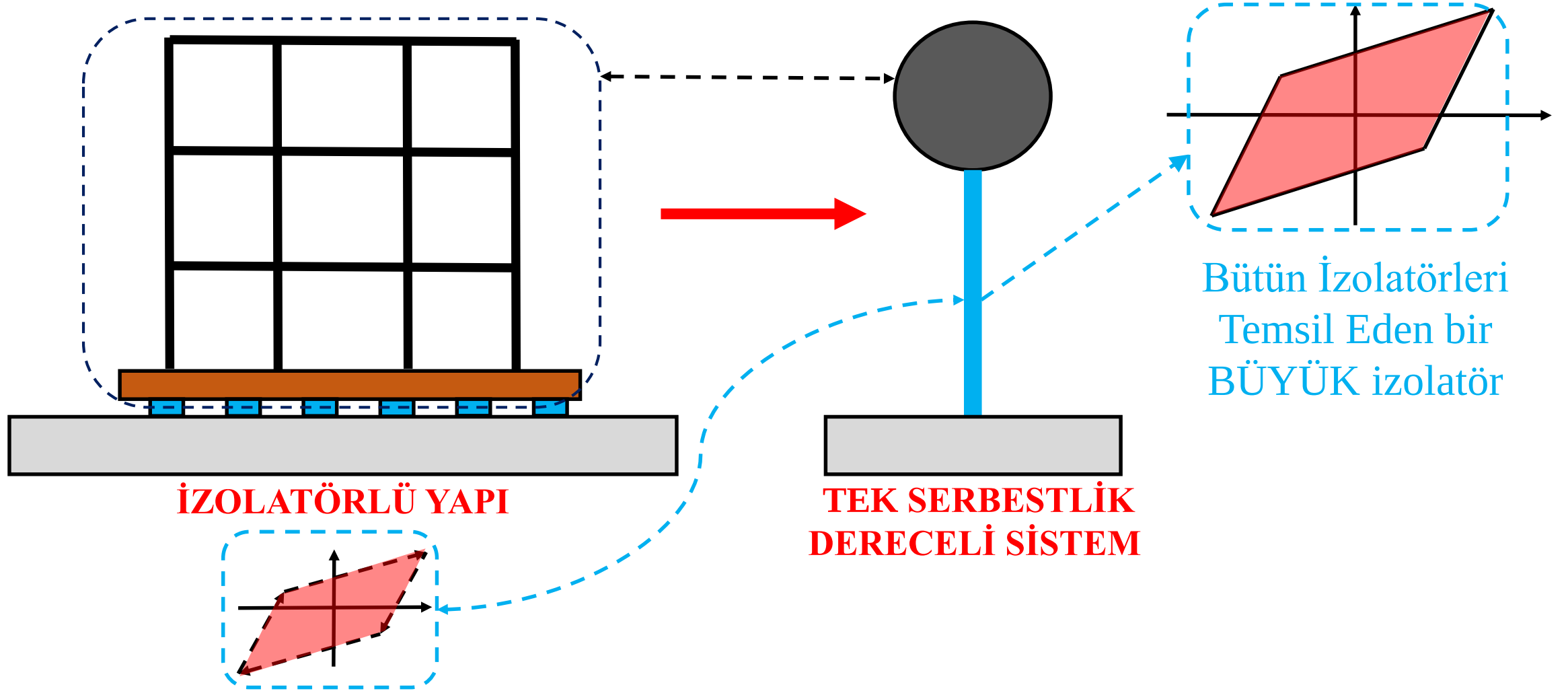
**DOĞRUSAL OLMAYAN SONLU ELEMANLAR VE
TOPLU KÜTLE MODELLERİ**

**DOĞRUSAL SE VE TK
MODELLERİ**

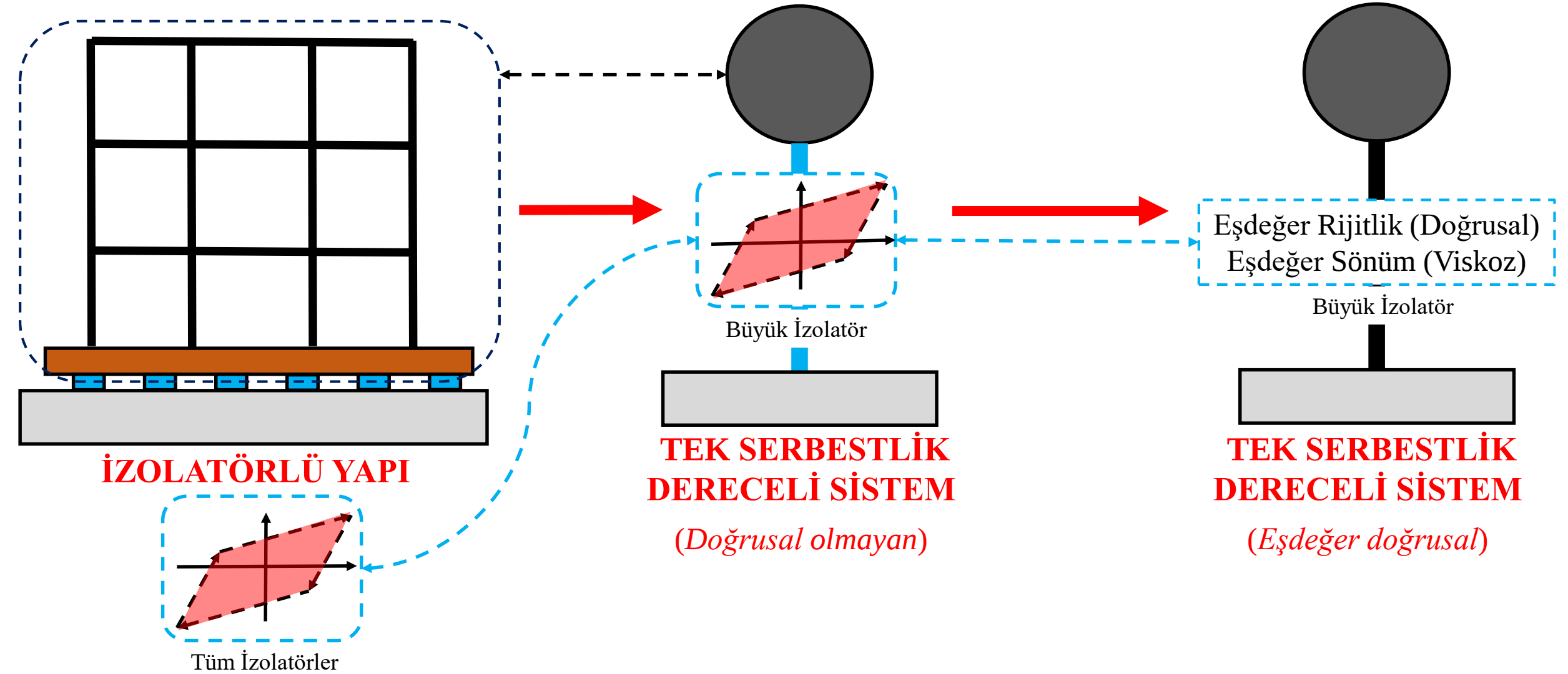


Eşdeğer Rijitlik (Doğrusal)
Eşdeğer Sönüm (Viskoz)
Tüm İzolatörler

Eşdeğer Doğrusal Olmayan TSDS Model



Eşdeğer Doğrusal TSDS Modeli



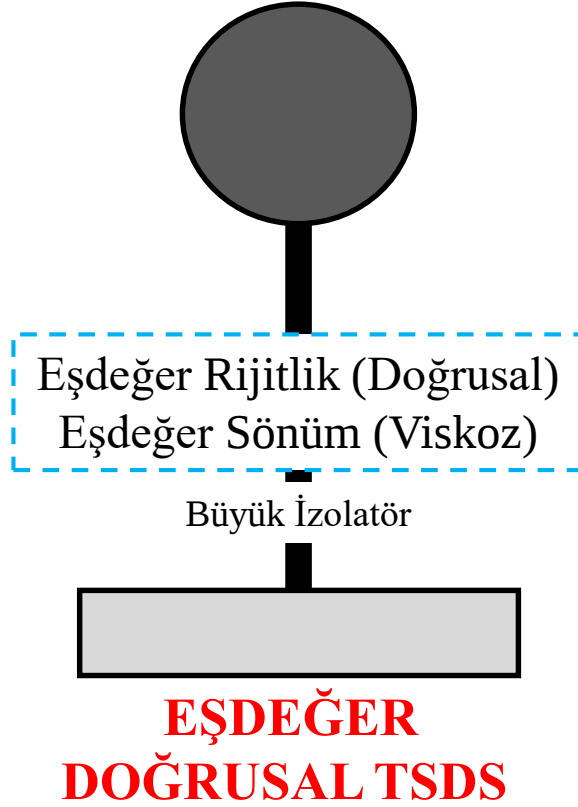
İçerik

- Deprem Tasarımı Yaklaşımları
- Performansa Dayalı Tasarım
- İzolasyonlu Yapıların Temel Prensibi
- İzolatör Tipleri ve Davranışları
- Tasarımda İzlenen Yol
- Eşdeğer Doğrusal Modelleme
- İzolatörlü Yapıların Modellenmesi
- Temel Analiz Yöntemleri**

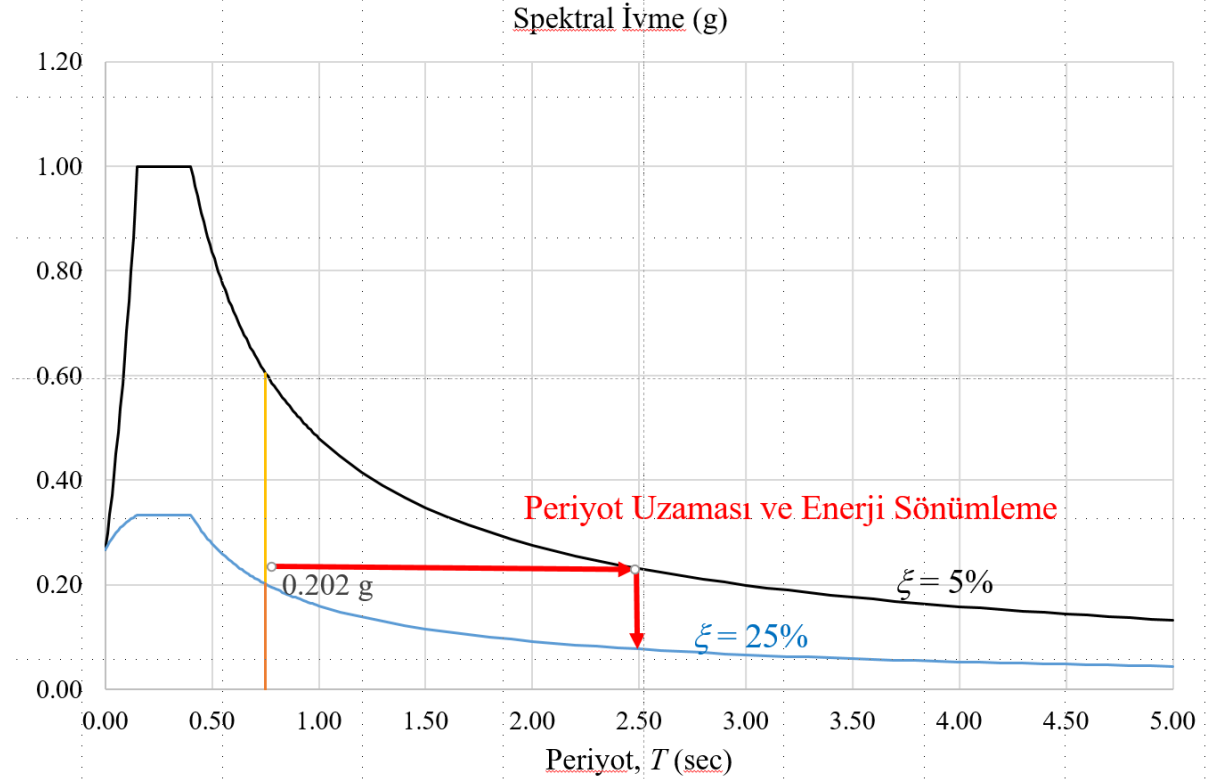
Temel Analiz Yöntemleri

- Eşdeğer Statik Yöntem (TSDS)
- Mod Birleştirme Yöntemi (SE ve Toplu Kütle Modelleri)
- Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Analizleri

Eşdeğer Statik Analiz (TSDS)



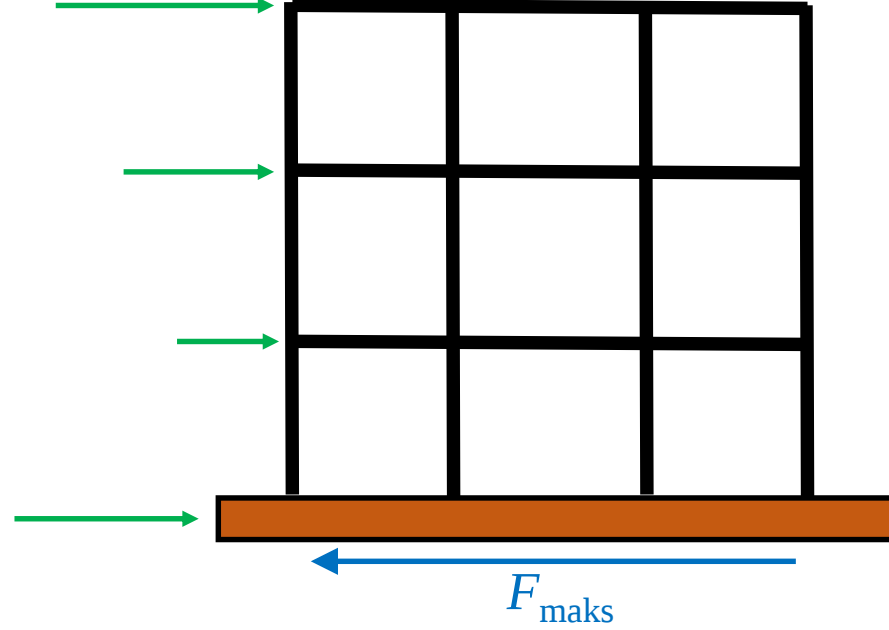
Depremsellik



- Verilen bir depremsellik için, Eşdeğer Rijitlik, Eşdeğer Sönümlenme kullanılarak yinelemeli bir yöntem ile **İzolatör Yerdeğiştirmeleri (D_{maks})** ve **İzolatör Kuvvetleri (F_{maks})** bulunur.
- Üst yapı kuvvetleri bazı kabuller ile statik kuvvetler olarak ifade edilir.
- Üst yapı davranışı modellenmediğinden bu kabullerin ne kadar geçerli olduğu çok önemlidir.

Eşdeğer Statik Analiz (TSDS): Üst Yapı Tasarımı

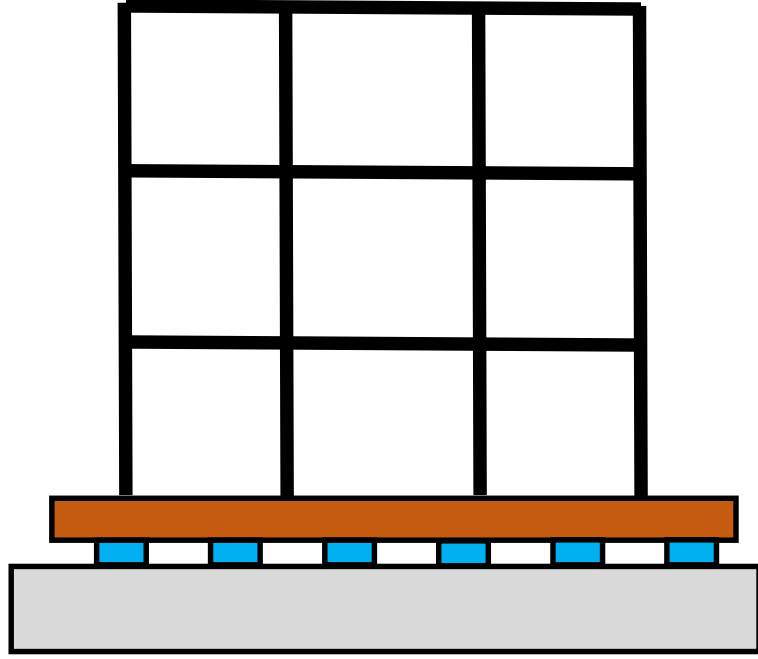
Statik Kuvvet Dağılımı (kabul)



SADECE ÜST YAPI

Tüm İzolatörler

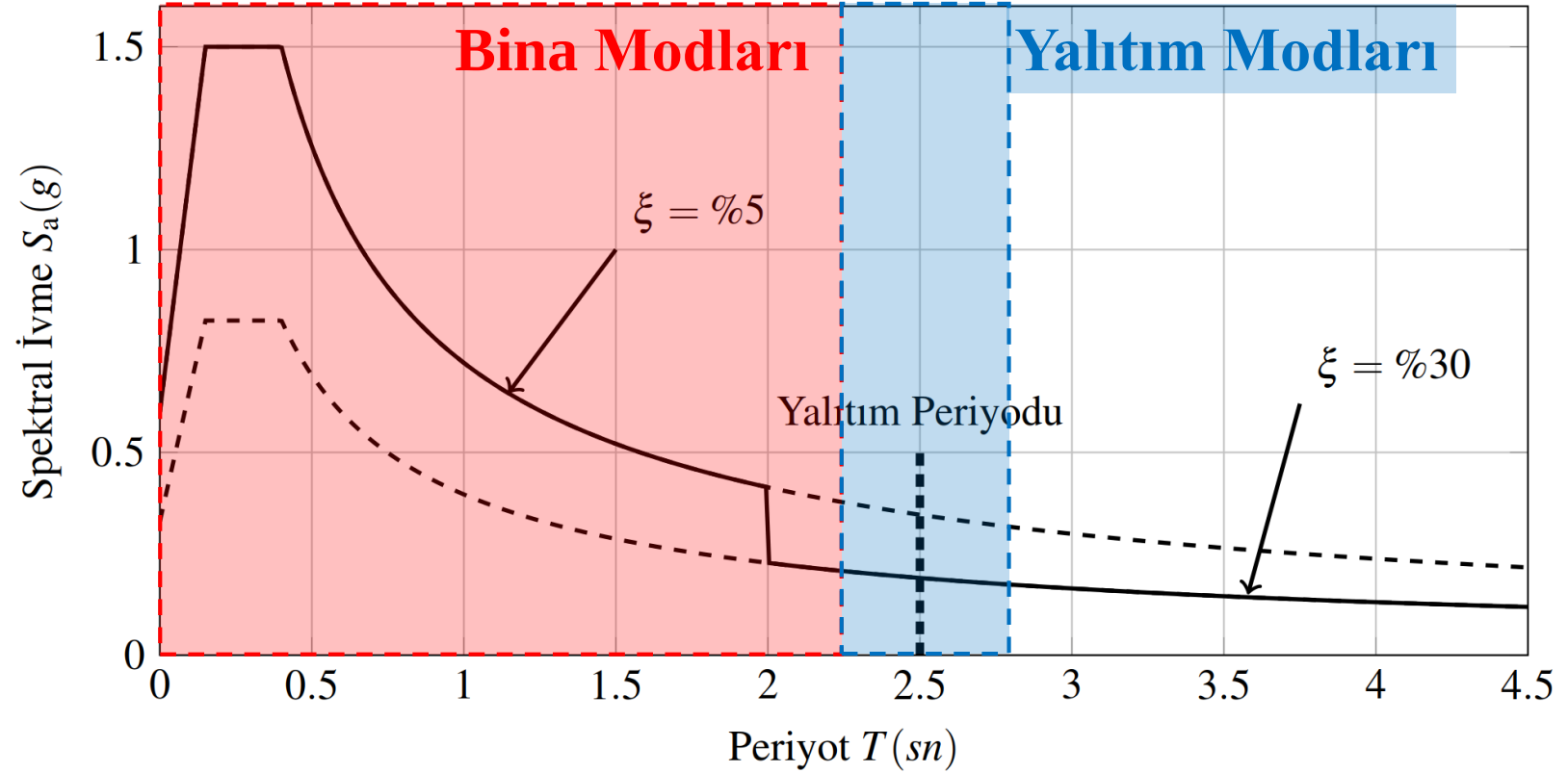
Eşdeğer Mod Birleştirme Analizi (SE, Toplu Kütle)



EŞDEĞER DOĞRUSAL SE/TK MODELİ

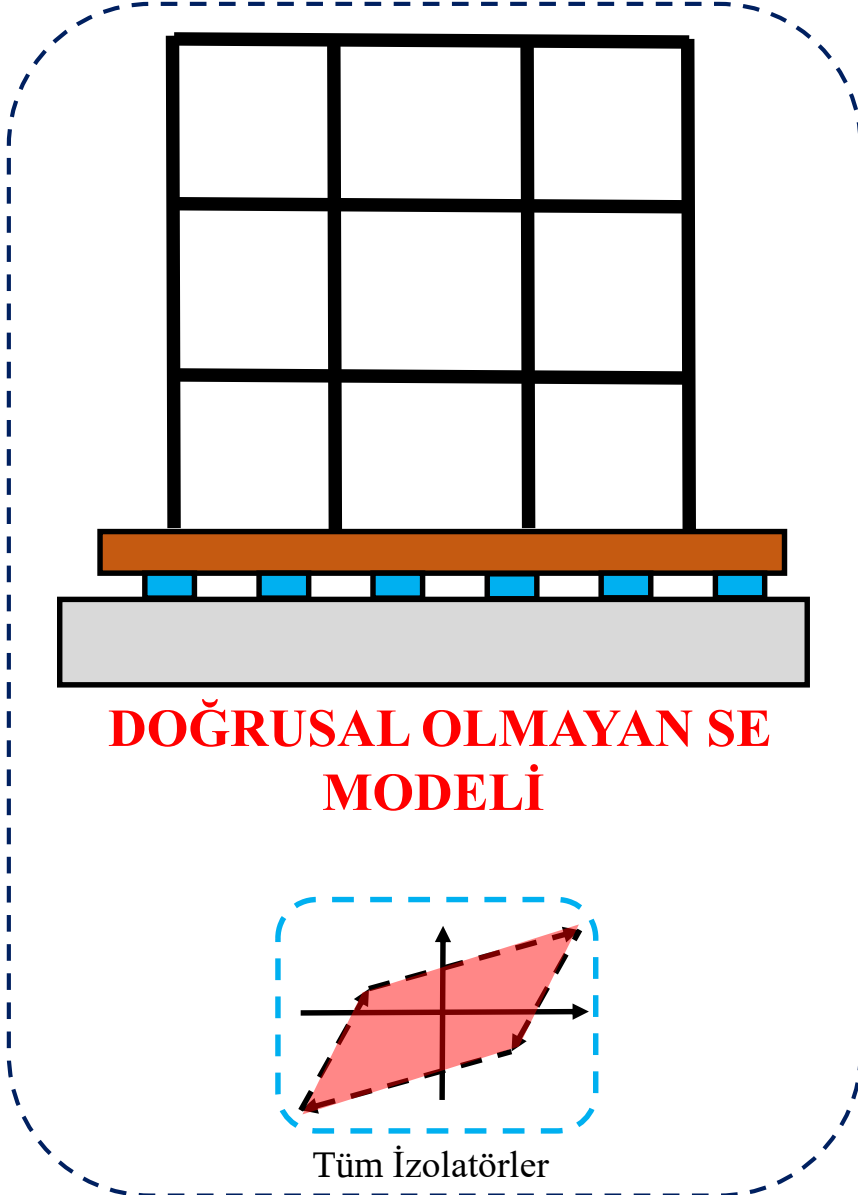
Eşdeğer Rijitlik (Doğrusal)
Eşdeğer Sönüm (Viskoz)

Tüm İzolatörler



- Mod birleştirme yönteminde, yalıtım modları için eşdeğer sönümleme kullanılır, bina modları için üst yapı içsel sönümleme kullanılır.

Doğrusal Olmayan Analizler



Zaman-Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizler

Doğrudan Analiz Zaman-Tanım Alanı Analizleri
(Direct Time-Integration)

Hızlı Modal Analiz
(Fast Nonlinear Analysis)