

# 2025 taslak tebliğ olarak paylaşılan öneri perde talebinin, önceki yönetmelik talepleri ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntemler kullanılarak karşılaştırılması

Sunum: İnş. Yük. Müh. Dr. Onur AVCIOĐLU

Çalışma: İnş. Yük. Müh. Abdullah TOKMAK

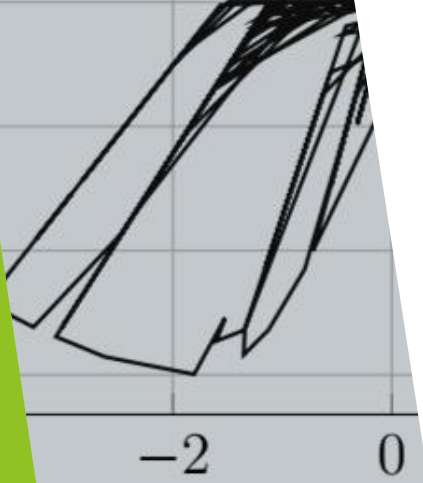
İNş. Yük. Müh. Dr. Onur AVCIOĐLU

Prof. Dr. Engin Orakdögen

# Giriş

- ▶ Ülkemiz geçmiş yıllarda şiddetli depremlere maruz kalmış ve bunun neticesinde bir çok mal ve can kayıpları yaşanmıştır.
- ▶ Deprem etkilerini azaltmanın en iyi yolu depreme karşı güvenilir bir yapı tasarımı ile mümkündür.
- ▶ Son yıllarda yüksek ve komplike binaların artmasıyla birlikte mevcut elastik hesap yöntemlerinin aksine malzemenin elastik ötesi davranışını göz önüne alan analiz yöntemleri önem kazanmıştır.
- ▶ Zaman geçtikçe, malzeme ve uygulama olanaklarındaki gelişmelere paralel olarak yapı projelendirme işlemi, yeni yönetmelik ve metotlarla daha detaylı hale gelmektedir.

Concrete



-2 0  
Strain

Rebar



## Giriş

- ▶ Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY2018), özellikle şekildeğiştirmeye dayalı değerlendirme (ŞDGT) yöntemine ve kesit hücresi (lif) modellerine dayalı analizlerin kullanımını teşvik etmiş, doğrusal olmayan davranışın dikkate alındığı daha gerçekçi yapı performansı değerlendirmelerinin önünü açmıştır.
- ▶ Ancak bu tür analizler, hem hesaplama açısından zaman alıcı hem de modelleme süreci bakımından karmaşıktır. Geliştirilen özel yazılımlar sayesinde bu zorluklar kısmen aşılabilmekte, analiz süreçleri daha sistematik ve güvenilir hale getirilebilmektedir.

# Çalışmanın Kapsamı

- Bu çalışmada, TBDY2018'e uygun olarak hazırlanan bir ölçekleme yazılımı yardımıyla ivme kayıtları elde edilmiştir.
- Bunun için TBDY2018 Madde 2.5.3.'e göre «Deprem Kayıtlarının Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Dönüştürülmesi» işlemi yürütülmüştür



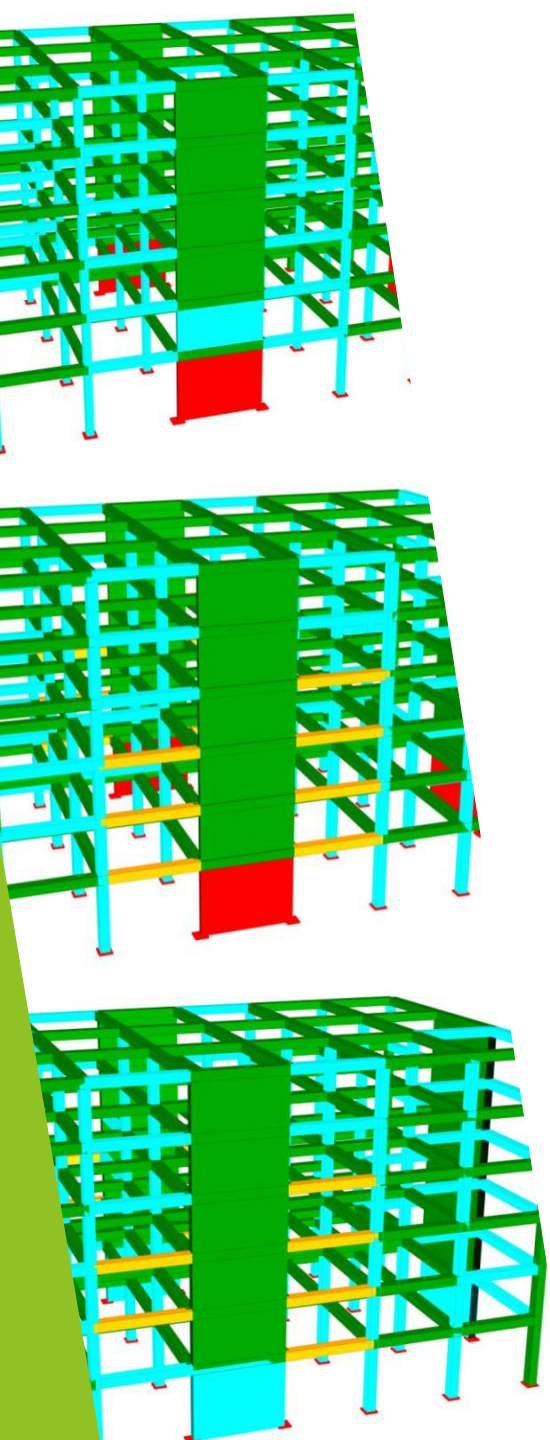


## Çalışmanın Kapsamı

- ▶ Hazırlanan ivme kayıtları ile doğrusal olmayan analizler OpenSees programı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları, yaygın olarak kullanılan ETABS ve Perform-3D programlarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.
- ▶ OpenSees programının doğruluğunun gösterilmesi açısından TDY2007 yönetmeliğine göre tasarlanan binanın ETABS ve Perform-3D programları ile TBDY2018'e göre Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz (ZTADA)'i yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.
- ▶ Karşılaştırma amacıyla aynı geometriye sahip olmak üzere TDY2007, TBDY2018 ve 2025 yılı taslak yönetmeliklerine göre boyutlandırılan üç farklı yapı modeli kullanılmıştır.

# Çalışmanın Kapsamı

- ▶ Daha sonra aynı taşıyıcı sistem geometrisine sahip olmak üzere TDY2007, TBDY2018 ve 2025 yılı taslak yönetmeliğine göre boyutlandırılan üç farklı yapı modelinin doğrusal olmayan performansı karşılaştırılmıştır.
- ▶ Yapılacak analizler için DD1 hedef depremi seçilerek, projelendirilen deprem hedefinden daha büyük deprem gelmesi durumunda yapıların nasıl performans sergileyeceği izlenmiştir
- ▶ Böylece, farklı yönetmeliklerin yapı performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiş ve önerilen tasarım değişikliklerinin yapısal performansa katkıları somut verilerle ortaya konmuştur.



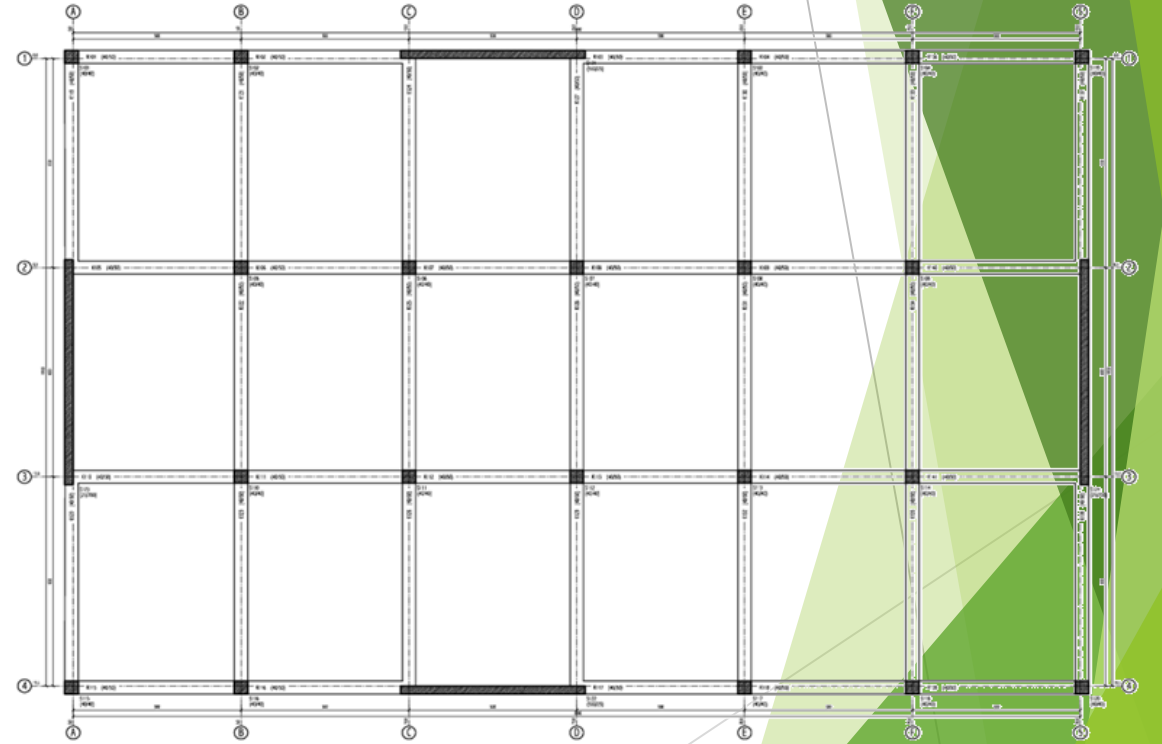


# BÖLÜM 1

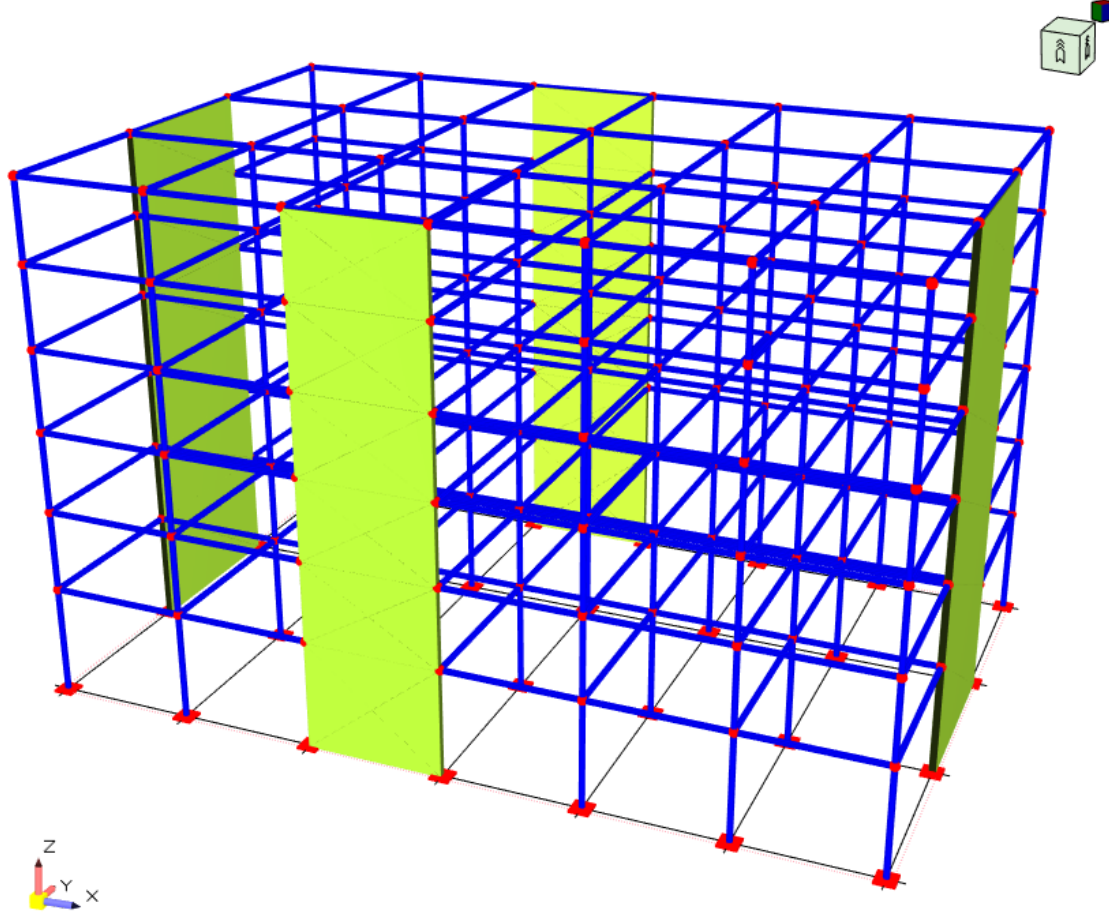
## İNCELENEN YAPI VE MODELLEME ESASLARI

# TDY2007' ye Göre Tasarlanan Yapının Özellikleri

- ▶ TDY2007 yönetmeliği kullanılarak 6 katlı, X yönünde 6 açıklıklı ve Y yönünde 3 açıklıklı yapı tasarlanmıştır.
- ▶ X yönü aks aralıkları 5m, Y yönü aks aralıkları 6.5m'dir.
- ▶ Yapıda iki yönde de ikişer adet perde bulunmaktadır.
- ▶ 6 kattan oluşan yapının zemin kat yüksekliği 4m, normal kat yükseklikleri 3m olup toplam bina yüksekliği 19m'dir.
- ▶ Tipik kolon ölçüleri 40x40 cm, tipik kiriş ölçüleri 40x50 cm, betonarme perde duvar kalınlıkları 25cm'dir.

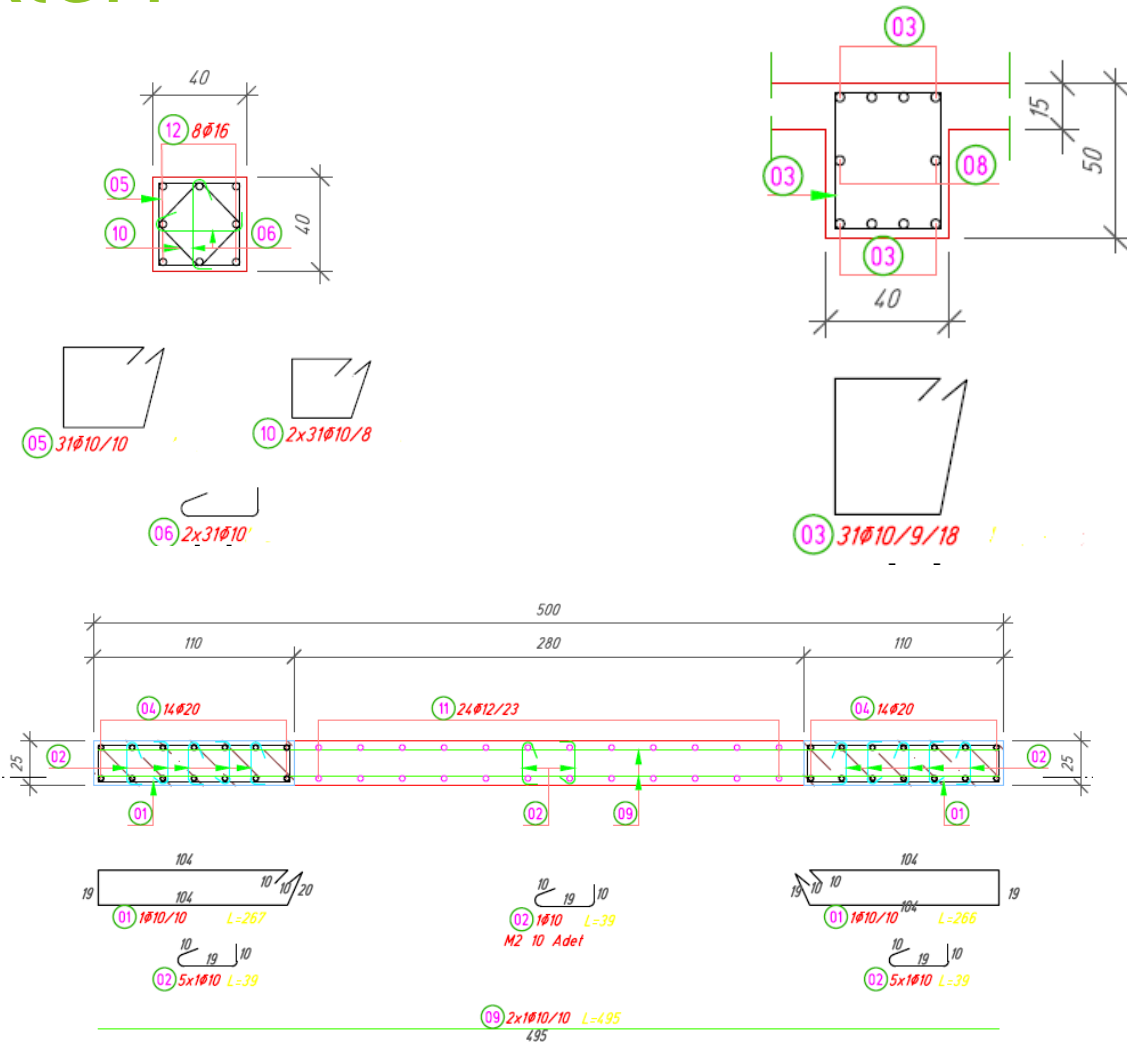


# TDY2007' ye Göre Tasarlanan Yapının Özellikleri

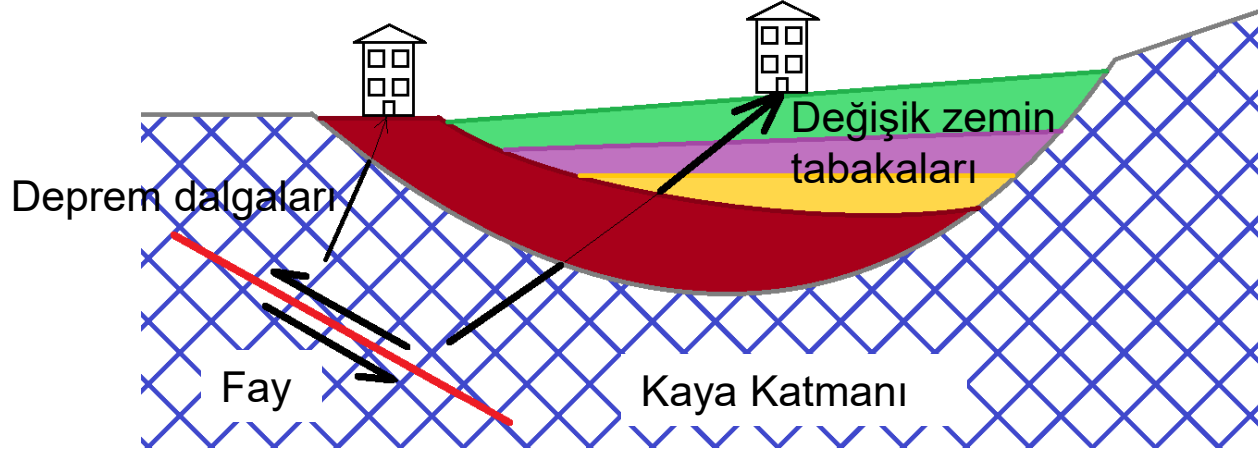


Yapının 3 Boyutlu Görünümü

# TDY2007' ye Göre Tasarlanan Yapının Özellikleri



# Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi



Şekil: Depremın Yayılma şekli

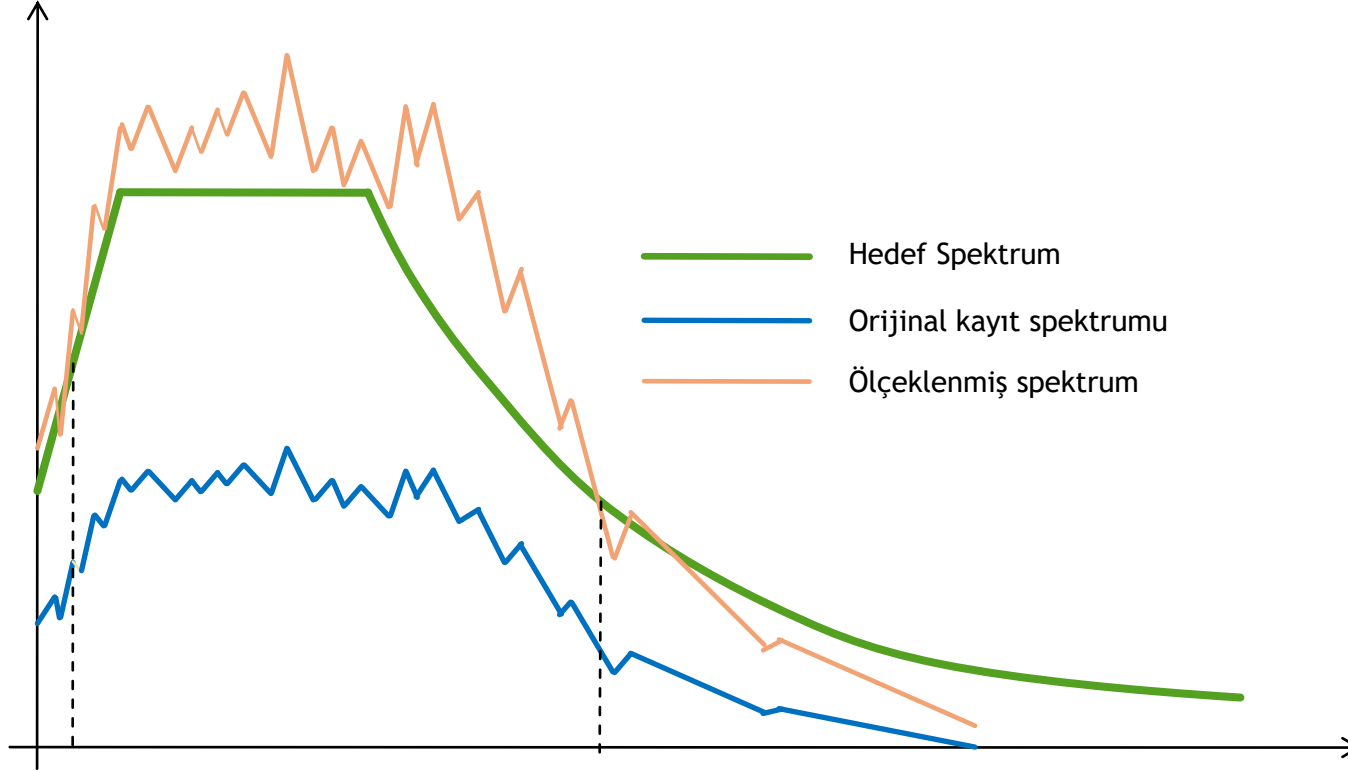
- ▶ Faya uzaklık, fay kırılma biçimi gibi faktörler değerlendirilip, kaya katmanında “Beklenen ihtimal deprem” belirlenir(Türkiye Deprem Tehlike Haritaları)
- ▶ Kaya katmanından yapı temeline kadar olan zemin, belli derinliğe kadar incelenerek “zeminin depremi değiştirme” özellikleri bulunur(geoteknik rapor)
- ▶ Farklı zemin tiplerinin, farklı deprem büyütme katsayıları vardır.
- ▶ Oluşturulan spektrum, yapısal tasarım için inşaat mühendisine sunulur

# Deprem Kayıtlarının Seçimi

Seçilen deprem kayıtları ile doğrusal olmayan hesaplar yapılmadan önce, deprem kayıtları gerekli biçimde ölçeklenmelidir. Ölçekleme sırasında orijinal kayıttan fazla uzaklaşılması için, seçilen kayıtlar aşağıdaki özellikler bakımından analizi yapılacak binanın bulunduğu yere yakın özellikte olmalıdır. Tasarım ivme spektrumu ile eşleştirilecek gerçek kayıtlar seçilirken yapının bulunduğu alandaki jeolojik ve sismolojik şartlar göz önünde bulundurulmalıdır.

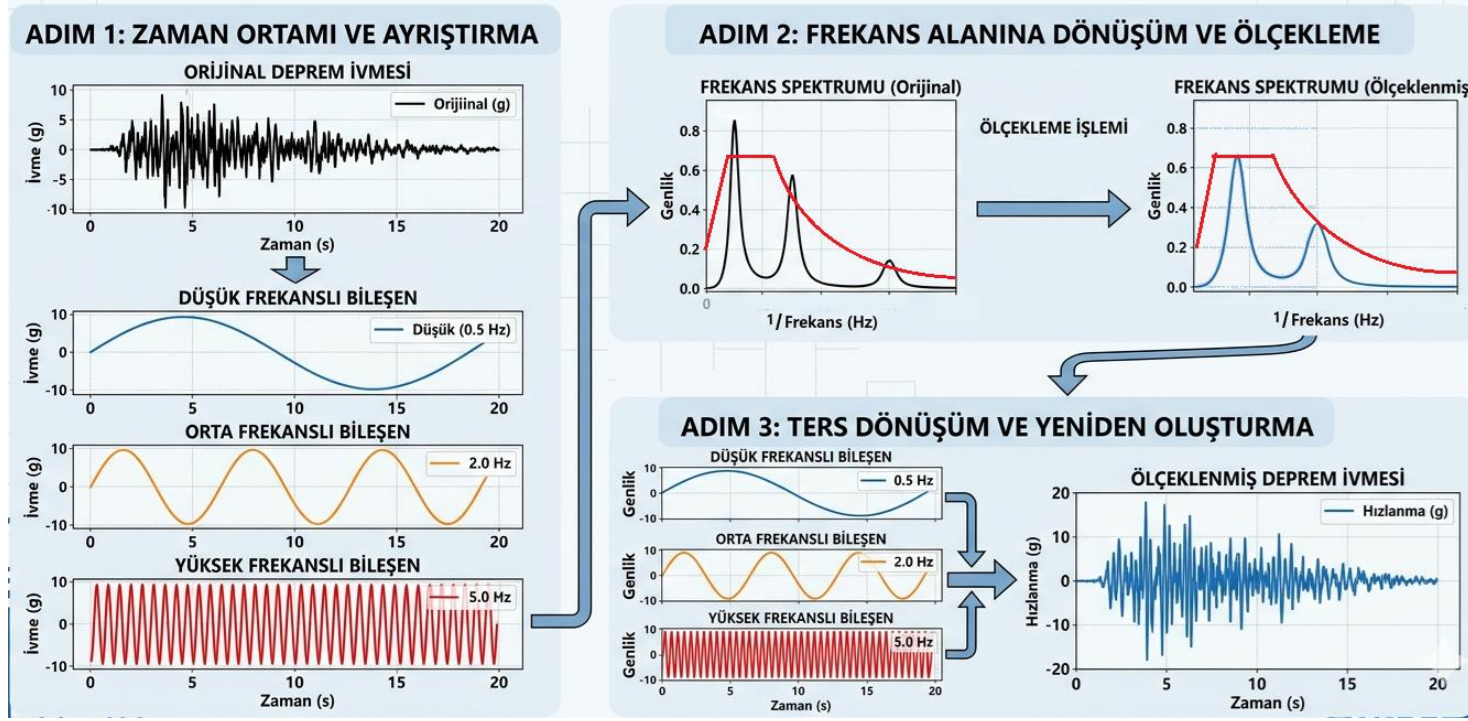
- ▶ Fay kırılma tipi
- ▶ Zemin özellikleri ( $V_{s30}$  kayma hızı)
- ▶ Faya olan yüzey uzaklığı ve derinliği
- ▶ Kayıt uzunluğu, büyük mod şekillerini harekete geçirebilecek kadar uzun olmalıdır
- ▶ Ayrıca aynı depreme ait 3'den fazla kayıt analizler için seçilmemelidir

# Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi



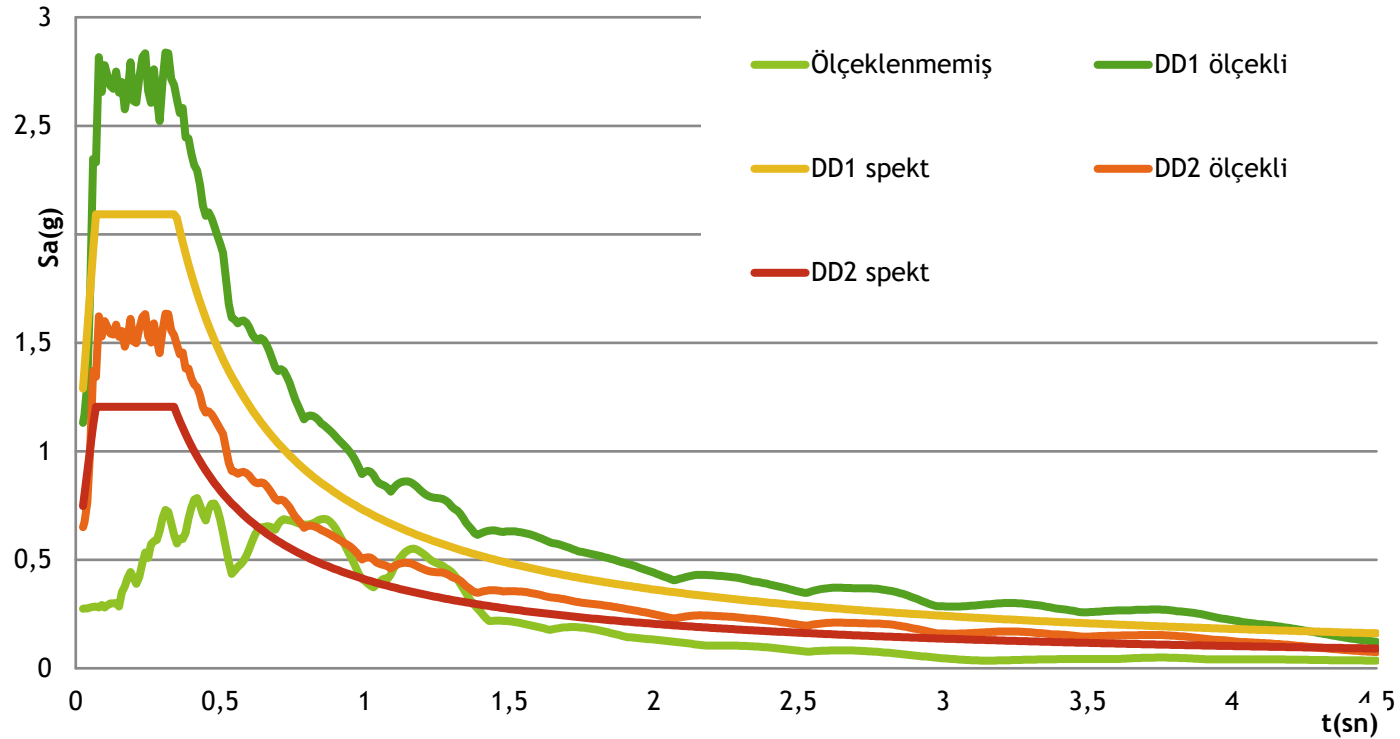
- Yapı performansı belirlenmesi için, binanın karşılaşılabileceği en yakın yer hareketleri alınıp, bu yer hareketleri beklenen tasarım spektrumu ile ölçeklenmelidir
- Önceden olmuş depremlere ait yer hareketlerinden, simülasyon için kullanılacak deprem kaydının şekli alınır. Tasarım spektrumundan ise bu hareketin büyüklüğü alınır (ölçeklenir)

# Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi



- ▶ Ölçekleme işlemi TBDY2018 “2.5.3. Deprem Kayıtlarının Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Dönüştürülmesi” kısmına göre yapılmıştır.
- ▶ Bunun için ölçeklenecek ivme kaydı, Fourier dönüşümü ile onu oluşturan basit dalgalara ayrıştırılmakta, her dalganın genliği hedef spektruma göre ayarlanarak geri dönüşüm yapılmaktadır

# Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi



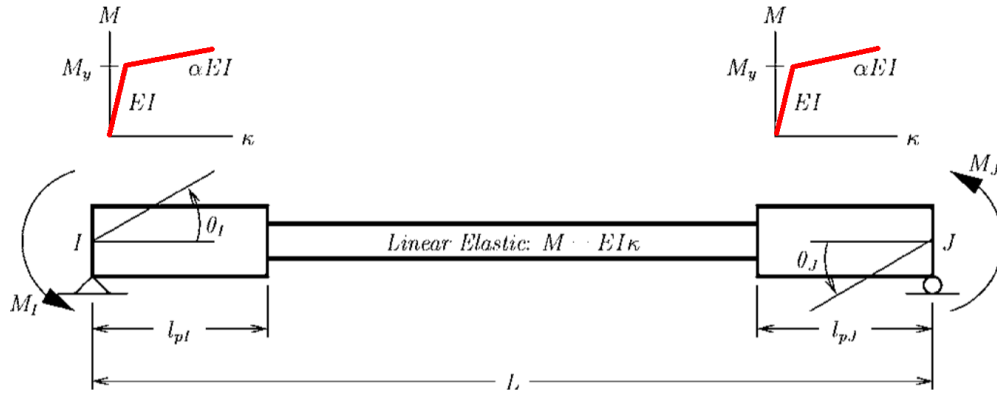
Ölçekleme yapılmadan önce ve sonra deprem spektrumları.

# Doğrusal Olmayan Modelleme

- ▶ Birçok yazılım farklı doğrusal olmayan eleman modelleri sunmaktadır
- ▶ Yapılan hesapların gerçek durumu yansıtması için, uygun doğrusal olmayan eleman modeli kullanılmalıdır. Sıklıkla kullanılan modeller:
- ▶ Kirişler için yığılı plastik mafsalsal
- ▶ Kolonlar için yığılı veya yayılı plastik mafsalsal
- ▶ Perdeler için MVLEM elemanı veya Layered Shell modelleri
- ▶ Doğrusal olmayan hesap yöntemleri ve elemanların gelişmesi 1990'larda hız kazanmış, 2010 ortalarında olgunlaşmıştır. Eski kaynakların güncelliği kontrol edilmelidir. Gelişen deney ve bilgisayar altyapıları sayesinde çok daha gerçekçi eleman modellemeleri yapılabilmektedir

# Doğrusal Olmayan Modelleme: Kirişler

- ▶ Kirişlerin hasarları, üstünde bulunan basınç yükünün az ve genellikle çevrimsel olmaması sebebiyle, uç bölgelerinde birikir
- ▶ Modellemede, TBDY2018'de verilen elastik kısım rijitliği hesaba alınmalıdır



Plastik mafsallı eleman (Yığılı plastikleşme)

(JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING © ASCE / FEBRUARY 2006)

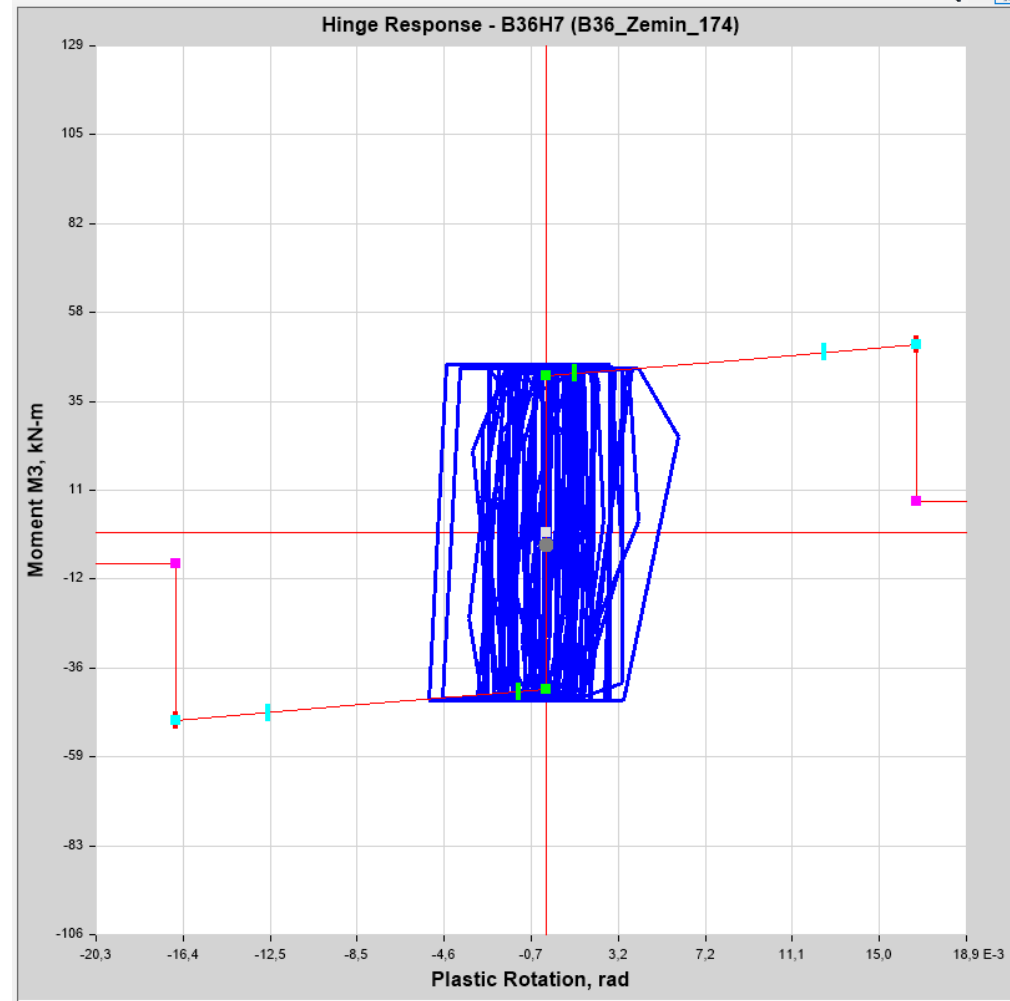


Kiriş Hasarı, 6 Şubat depremi, Hatay/Arsuz

(Milenyum Proje Arşivi)

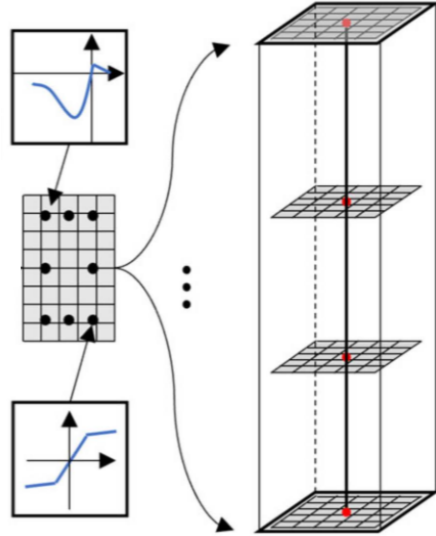
# Doğrusal Olmayan Modelleme: Kirişler

- ▶ Plastik mafsal kabulü ile çözülen kesitlerde, analiz boyunca mafsalda oluşan Plastik Dönme ve Moment grafiği elde edilir.
- ▶ Hesaplanan dönmeler, yönetmelik sınırları ile kontrol edilir
- ▶ Farklı tipte mafsallar da tanımlanabilir. Örneğin çelik çapraz üstünde tek noktada, boyuna şekil değiştirme (kısama-uzama) değerlerine karşılık aksenal kuvvet (basınç-çekme) takibi de plastik mafsallar ile yapılabilir
- ▶ Mafsal sınırları simetrik olmayabilir (kiriş demiri simetrik olmayabilir, çaprazlar basınç-çekme altında farklı prensipte çalışır vs.)



# Doğrusal Olmayan Modelleme: Kolonlar

- Kolon hasarları, kirişler gibi uç bölgede toplanabileceği gibi kolon boyunca da yayılabilir. Bu yüzden plastik mafsalsal model her zaman uygun olmayabilir.
- Hasar oluşmayan bölgelerde yine de rijitlik azalması olabilir. Bu davranış Kesit hücresi modelinde(Fiber Modeli) ortaya çıkar



## Fiber eleman (Yayıllı Plastikleşme)

(NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 4 / October 2010)

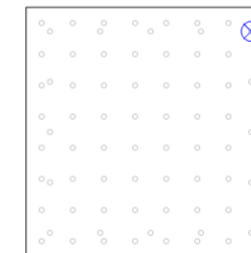
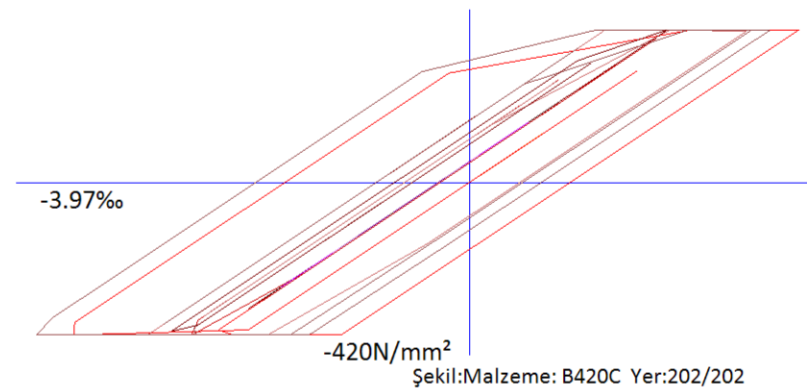
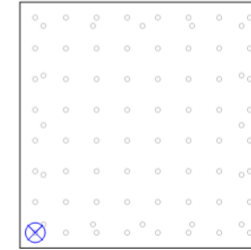
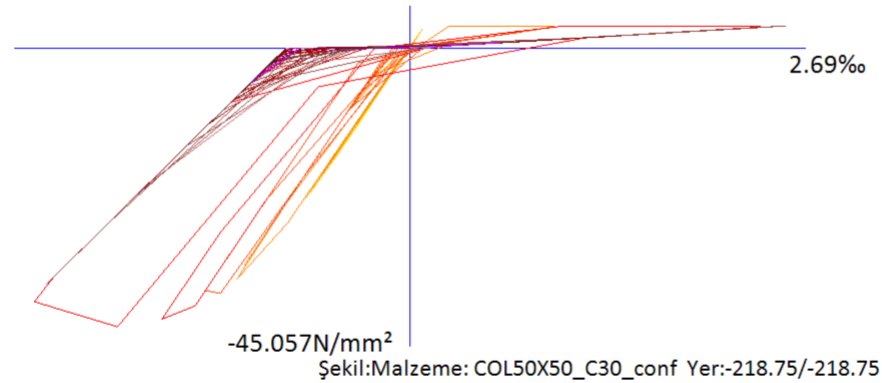
## Kolon Hasarı, 6 Şubat depremi, Hatay

(Milenyum Proje Arşivi)

# Doğrusal Olmayan Modelleme: Kolonlar

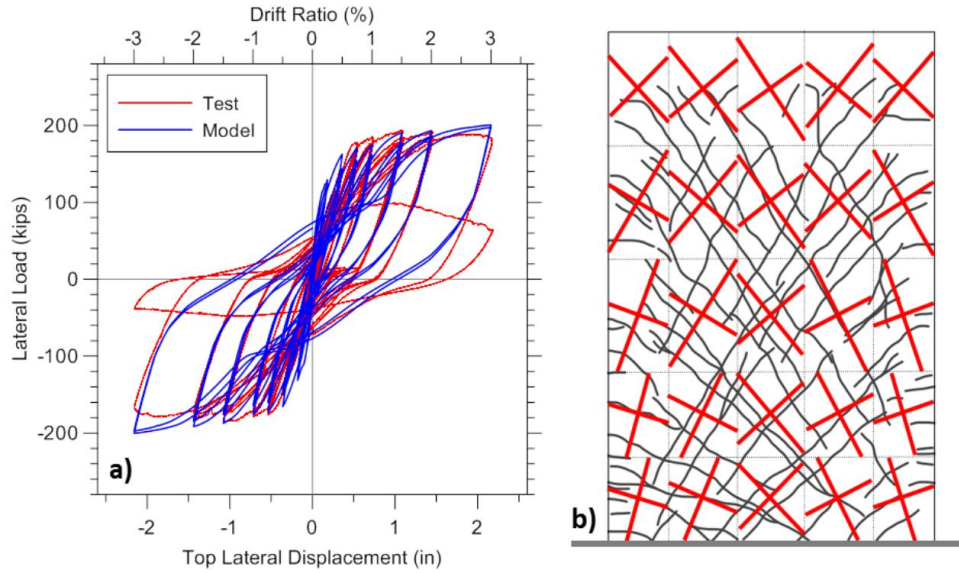
- Kesit hücresi modeli ile çözüm yapılan kolonlarda, kesitte bulunan hücrelere ait şekildeğiştirme-gerilme grafikleri ve tabloları elde edilir

No	Loc[mm]	$\epsilon$ [‰]	$\sigma$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	x:-202	-0.35641	-71.282
2	y:-202	-0.36744	-73.489
3		-0.34294	-68.589
4		-0.31065	-62.129
5		-0.31717	-63.435
6		-0.35237	-70.473
7		-0.34817	-69.634
8		-0.3016	-60.321
9		-0.30963	-61.927
10		-0.37528	-75.056
11		-0.42136	-84.273
12		-0.36019	-72.037
13		-0.26466	-52.932
...	...	...	...



# Doğrusal Olmayan Modelleme: Perdeler

- ▶ Perde hasarlarında, perdenin eğilme etkileri altındaki durumunun yanında kesme kuvveti etkileşimi de oldukça önemlidir
- ▶ Kullanılan mafsalın perde davranışına uygun olması gerekir



MVLEM eleman (Yayılı Plastikleşme)

(PEER 2015/12 December 2015)

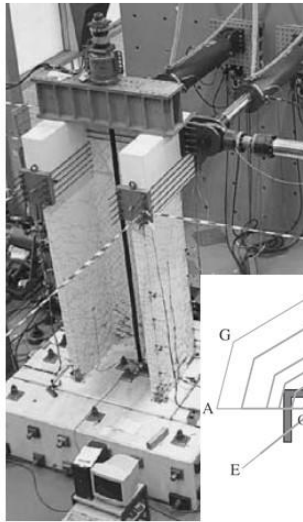


Perde Hasarı, 6 Şubat depremi, Hatay/Kırıkhan

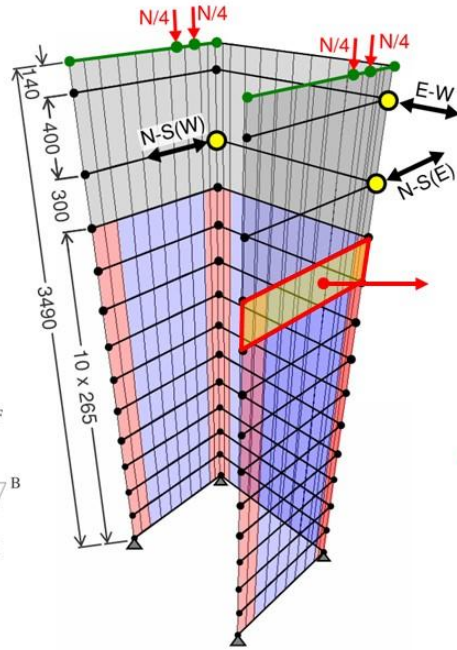
(Milenyum Proje Arşivi)

# Doğrusal Olmayan Modelleme: Perdeler

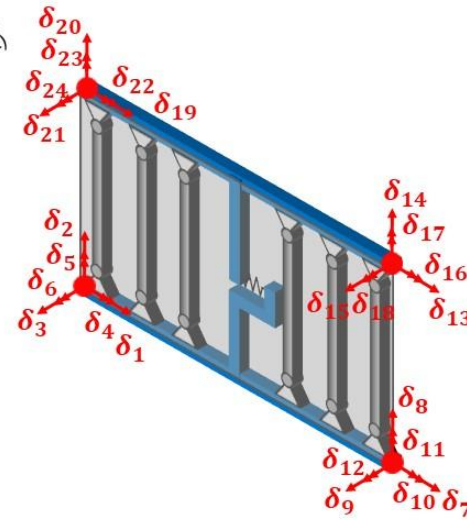
- Beyler ve diğerleri (2008) tarafından test edilen MVLEM modeli, birçok önemli referans tarafından kabul edilmektedir.



a) Specimen TUB  
(Beyler et al., 2008)



b) MVLEM\_3D  
Model of specimen TUB

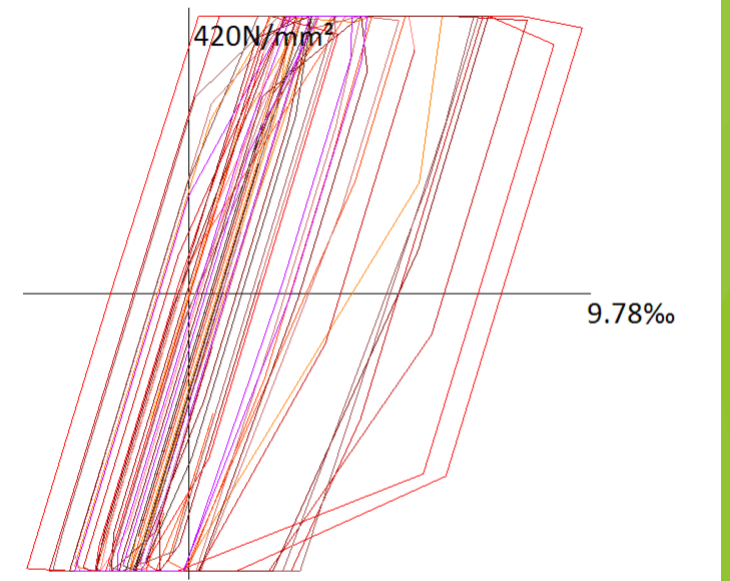
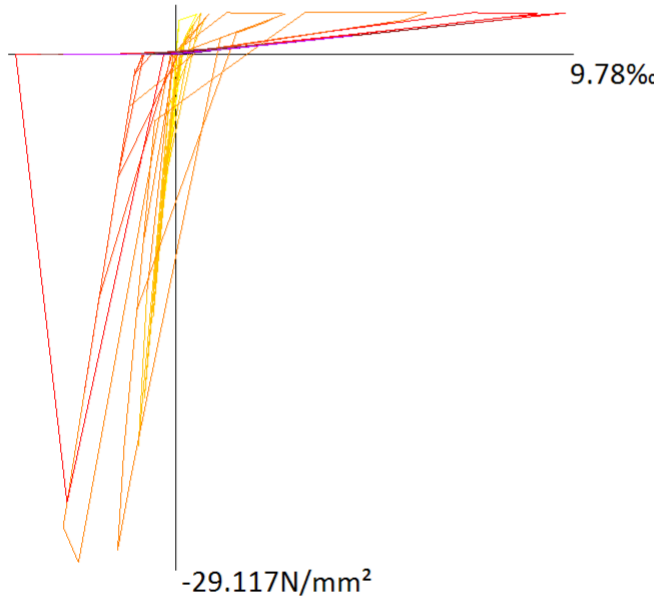


c) MVLEM\_3D  
element

# Doğrusal Olmayan Modelleme: Perdeler

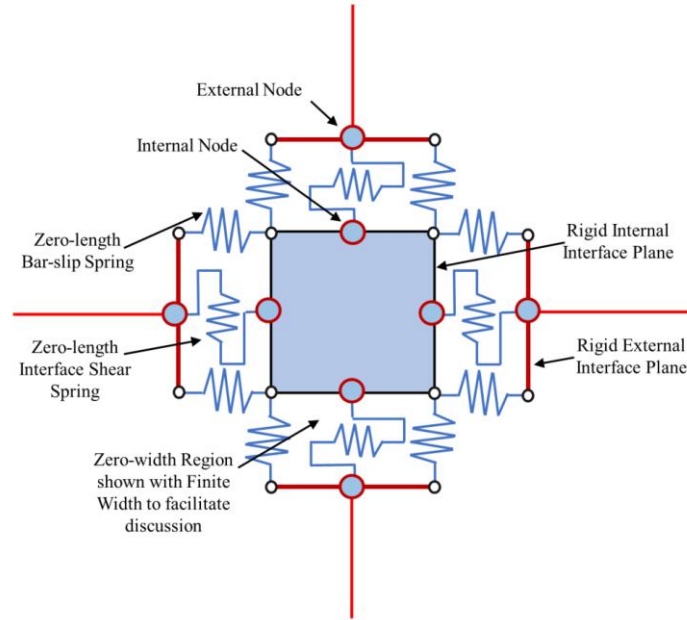
- Kesit hücresi modeli ile çözüm yapılan perdelerde, kesitte bulunan hücelere ait şekildeğiştirme-gerilme grafikleri ve tabloları elde edilir

No	$\epsilon$ [‰]	$\sigma$ -Conc[N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma$ -Steel[N/mm <sup>2</sup> ]
1	-0.069384	-1.8975	-13.877
2	-0.028441	-0.77627	-5.6882
3	-0.074523	-2.0383	-14.905
4	-0.16552	-4.5179	-33.104
5	-0.14805	-4.0371	-29.611
6	-0.060565	-1.6411	-12.113
7	-0.032021	-0.85935	-6.4041
8	-0.1666	-4.5451	-33.321
9	-0.20064	-5.4531	-40.129
10	-0.034946	-0.91524	-6.9892
11	0.0735	2.0129	14.7
12	-0.045139	-1.1944	-9.0278
13	-0.22468	-6.1112	-44.935
14	-0.17091	-4.611	-34.182
15	-0.017329	-0.40499	-3.4658
...	...	...	...



# Doğrusal Olmayan Modelleme: Birleşimler

- Birçok durumda kolon veya kirişin kendisi yerine, bu iki elemanın birleştiği noktada da hasar oluşur
- Bu hasarlar takip edilmek isteniyorsa özel modeller kurulmalıdır



Kolon-Kiriş bölgesi özel modelleri

Pacific Earthquake Engineering Research Center August 2003

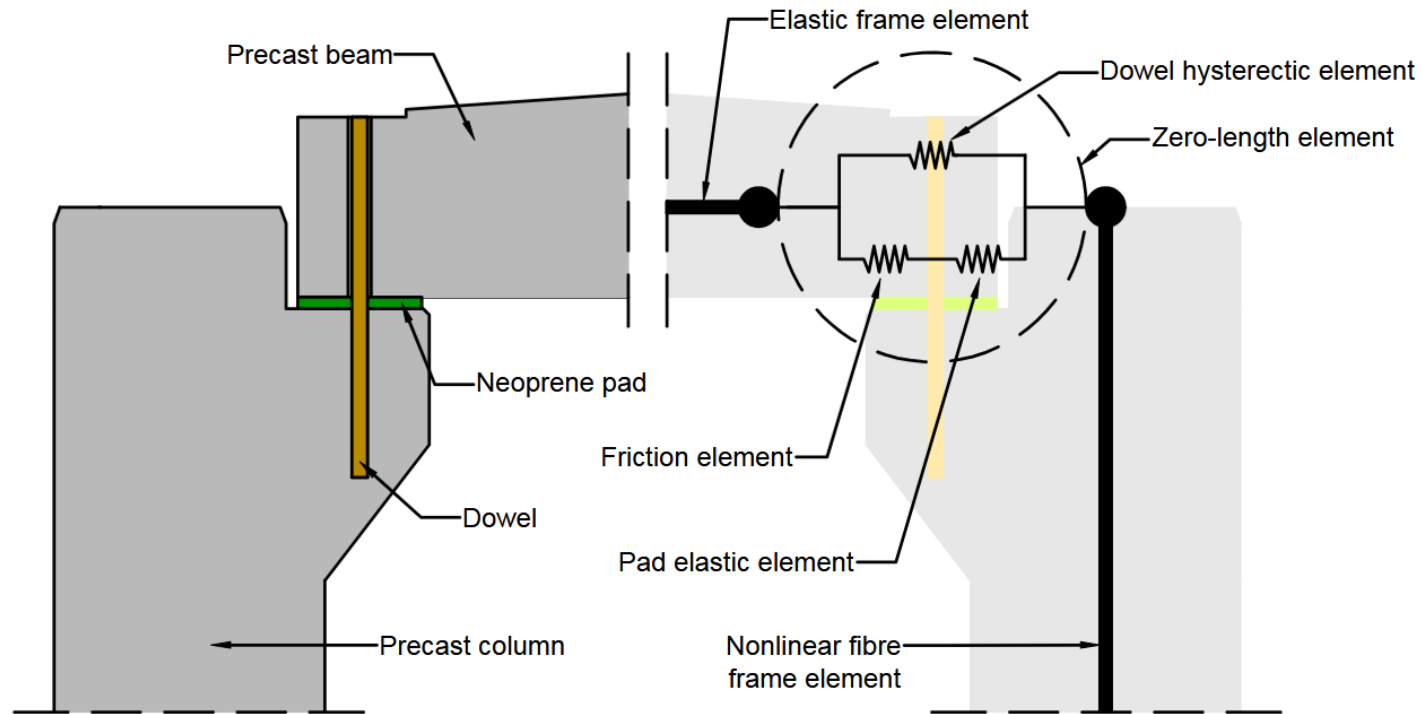


Kolon-Kiriş bölgesi Hasarı, 6 Şubat depremi, Hatay

(Milenyum Proje Arşivi)

# Doğrusal Olmayan Modelleme: Prefabrik Birleşim

- Sousa, Romain et al. “Review of Strategies for Modelling Beam-to-Column Connections in Existing Precast Industrial Rc Buildings.” (2019).





## BÖLÜM 2

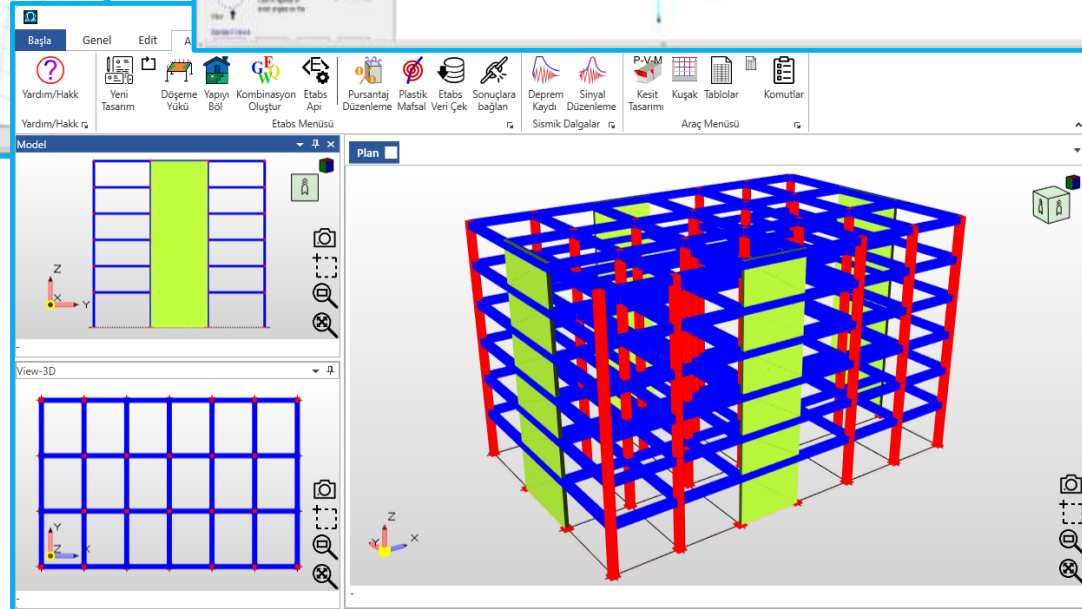
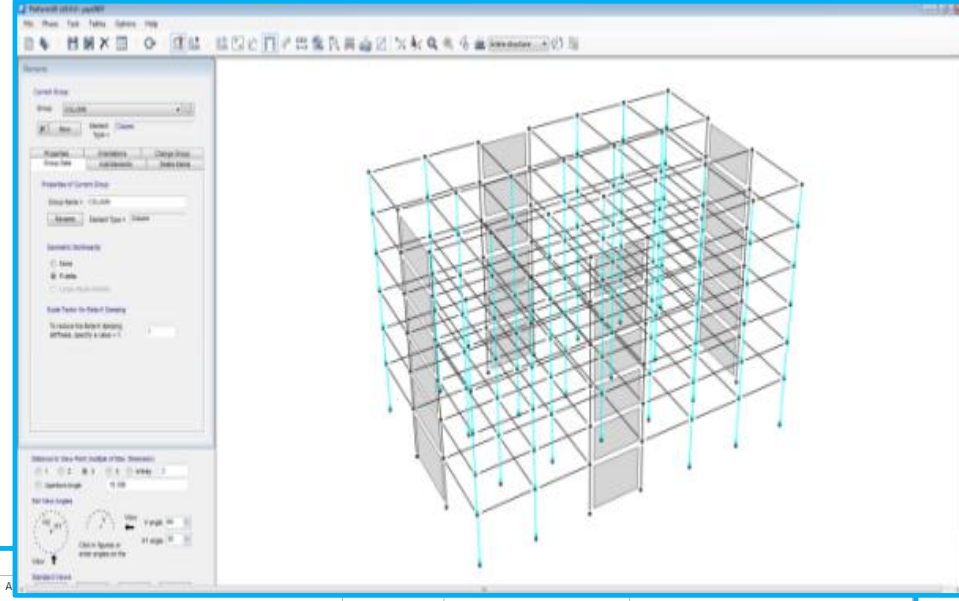
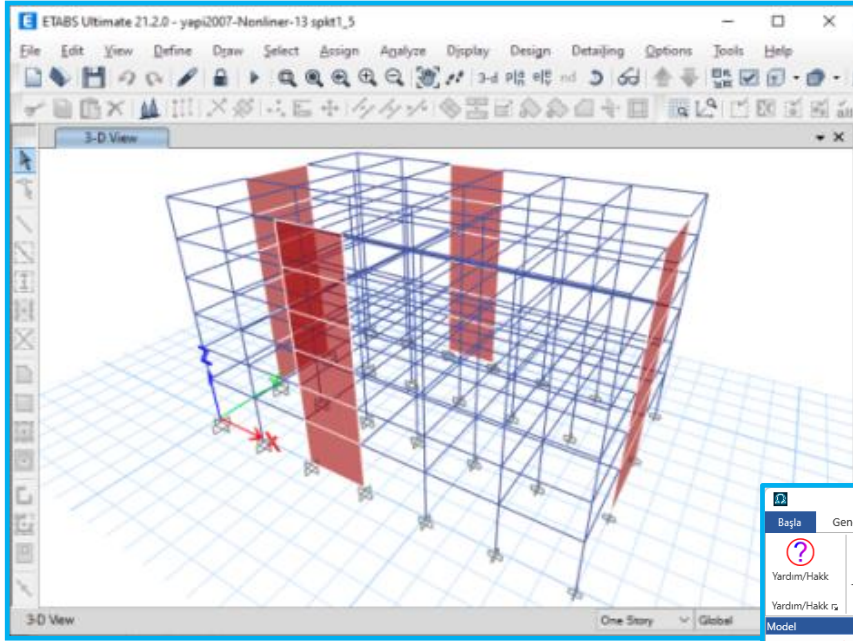
FARKLI YAZILIMLAR İLE  
ÇÖZÜM, SONUÇLARIN  
KARŞILAŞTIRILMASI

# OpenSees, Etabs ve Perform3D yazılımları analiz sonuçlarının karşılaştırılması

2007 yönetmeliğine göre tasarımı yapılan yapının Etabs, OpenSees ve Perform3D programları üzerinden Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yapılarak aşağıdaki sonuçlar karşılaştırılmıştır:

- ▶ Tepe deplasmanın zamanla değişimi,
- ▶ Bir kolon ve perdeye ait beton gerilme-şekildeğiştirme geçmişi,
- ▶ Bir kolon ve perdeye ait donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme geçmişi,
- ▶ Bir kolon ve perdeye ait kesme kuvvetinin zamanla değişimi,
- ▶ Statik İtme eğrileri

# Farklı program modelleri



Etabs, Perform 3D ve Opensees arayüzü (StructPlus) ile modellerin görünümü

# Yazılım Kabulleri Arasındaki Farklar: Malzeme

- ▶ Etabs yazılımı, öntanımlı malzeme modelleri ile gelir.
- ▶ Genellikle eleman sargı durumuna göre malzeme modeli esnek biçimde güncellenebilir

**Nonlinear Material Data**

Material Name and Type  
Material Name: C25/30  
Material Type: Concrete, Isotropic

Miscellaneous Parameters  
Hysteresis Type: Concrete  
Modify/Show Hysteresis Parameters...  
Drucker-Prager Parameters  
Friction Angle: 0 deg  
Dilatational Angle: 0 deg

Acceptance Criteria Strains  
Tension      Compression  
IO: 0,01      -0,003 mm/mm  
LS: 0,02      -0,006 mm/mm  
CP: 0,05      -0,015 mm/mm  
 Ignore Tension Acceptance Criteria

Stress Strain Curve Definition Options  
 Parametric      Mander  
Convert to User Defined  
 User Defined

Parametric Strain Data  
Strain at Unconfined Compressive Strength,  $f_c$ : 0,001613  
Ultimate Unconfined Strain Capacity: 0,005  
Final Compression Slope (Multiplier on E): -0,1

Show Stress-Strain Plot...  
OK      Cancel

Acceptance Criteria Strains  
Tension      Compression  
IO: 0,01      -0,003 mm/mm  
LS: 0,02      -0,006 mm/mm  
CP: 0,05      -0,015 mm/mm  
 Ignore Tension Acceptance Criteria

Dilatational Angle: 0 deg

Stress Strain Curve Definition Options  
 Parametric  
Convert to User Defined  
 User Defined

User Stress-Strain Curve Data  
Number of Points in Stress-Strain Curve: 10

Point Number	Strain	Stress (N/mm <sup>2</sup> )	Point ID
1	-0,006	-11,51	
2	-0,005	-14,61	-E
3	-0,003306	-19,7	
4	-0,001613	-25	-B
5	-0,001129	-23,49	
6	-0,000645	-17,24	
7	-0,000161	-5	
8	0	0	A
9	0,0001	3,11	

Show Plot...  
Add Row  
Delete Rows  
Order Rows  
Show Plot...  
OK      Cancel

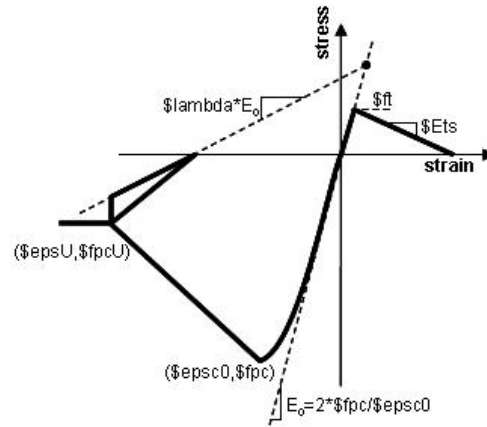
# Yazılım Kabulleri Arasındaki Farklar: Malzeme

opensees.ist.berkeley.edu/wiki/index.php?title=

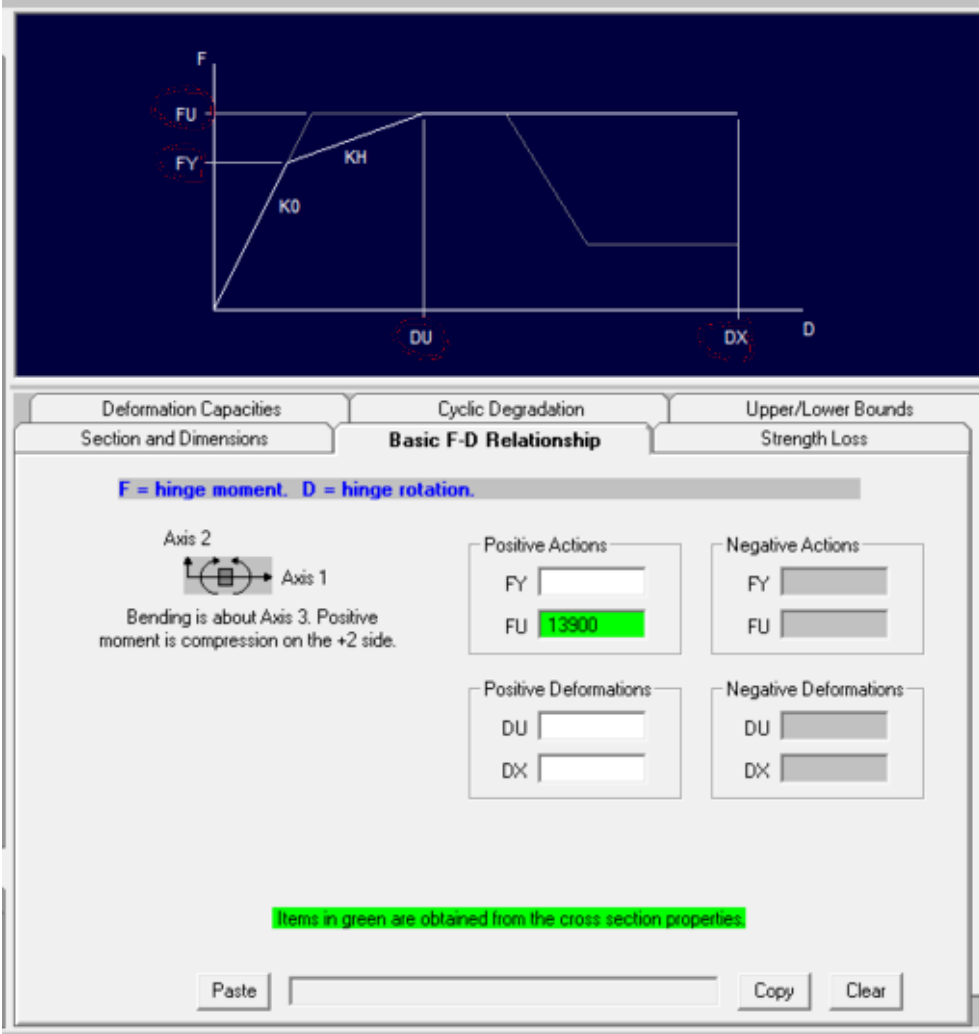
- Concrete Materials
  - Concrete01 Material -- Zero Tensile Strength
  - Concrete02 Material -- Linear Tension Softening
  - Concrete04 Material -- Popovics Concrete Material
  - Concrete06 Material
  - Concrete07 -- Chang & Mander's 1994 Concrete Model
  - Concrete01 Material With Stuff in the Cracks
  - ConfinedConcrete01 Material
  - ConcreteD
  - FRPConfinedConcrete
  - ConcreteCM - Complete Concrete Model by Chang ar

- ▶ Opensees yazılımı açık kaynak kodlu olduğu için yıllar içinde birçok malzeme modeli eklenmiştir
- ▶ Eklenen modeller kapalı fonksiyonlar halinde çalıştığı için yazılımın sayısal çözümleri kuvvetlidir

Mohd Hisham Mohd Yassin, "Nonlinear Analysis of Prestressed Concrete Structures under Monotonic and Cycling Loads", PhD dissertation, University of California, Berkeley, 1994.



# Yazılım Kabulleri Arasındaki Farklar: Malzeme



- ▶ Perform3D Yazılımını beton malzemesi tanımını penceresi
- ▶ Parametreler girildiğinde malzeme modeli otomatik olarak oluşturulmaktadır
- ▶ Opensees yazılımında daha fazla malzeme modelleme seçeneği olması, Opensees'i daha esnek hale getirmektedir
- ▶ Etabs programında is malzeme eğrisi sayısal olarak girilebilmektedir
- ▶ Perform3D yazılımını bu konularda esnek değildir. Bu durumun programa hız ve kararlılık kattığı tarafımızca düşünülmektedir

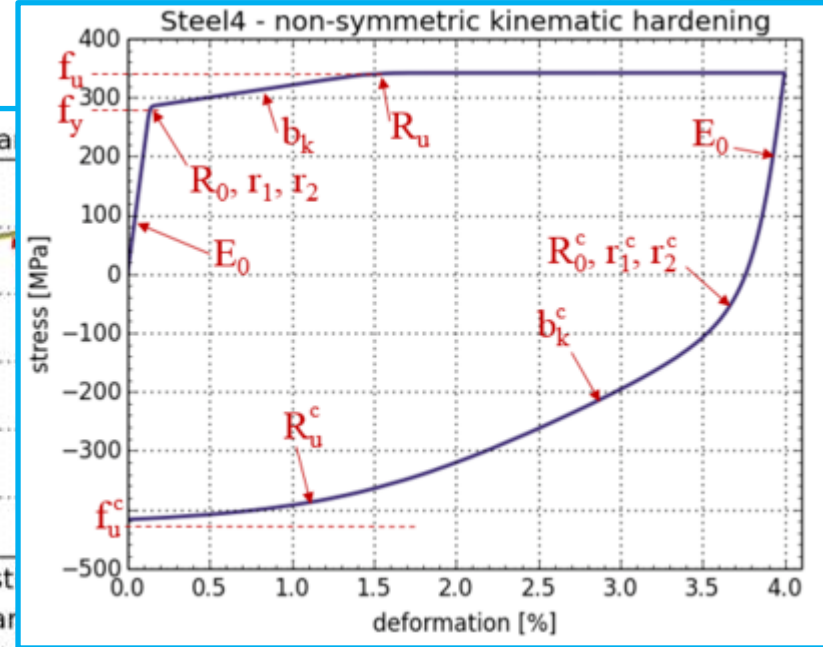
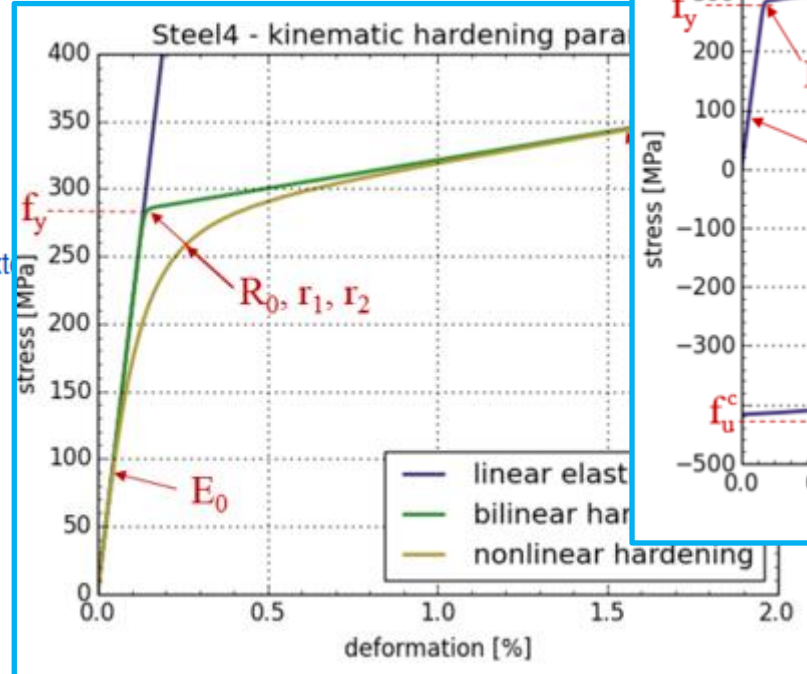
# Yazılım Kabulleri Arasındaki Farklar: Malzeme

opensees.ist.berkeley.edu/wiki/index.php?title=UniaxialMaterial

## • Steel & Reinforcing-Steel Materials

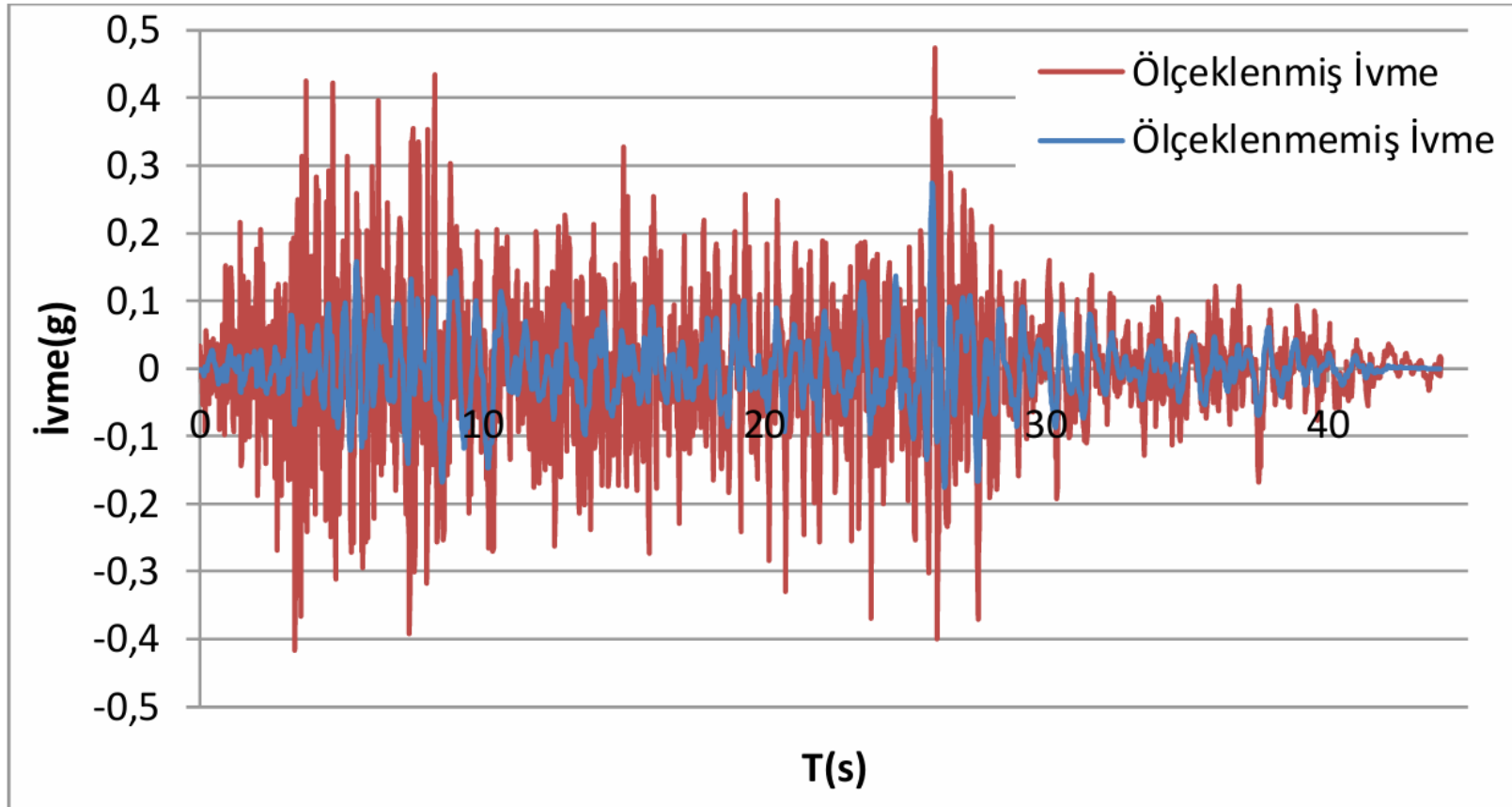
- Steel01 Material
- Steel02 Material -- Giuffré-Menegotto-Pinto Model with Isotropic Strain Hardening
- Steel4 Material
- Hysteretic Material
- Reinforcing Steel Material
- Dodd Restrepo
- RambergOsgoodSteel Material
- SteelMPF - Menegotto and Pinto (1973) Model Extension
- UVCuniaxial (Updated Voce-Chaboche)

- Benzer konu donatı için de geçerlidir, kullanılacak birçok farklı doğrusal olmayan model mevcuttur



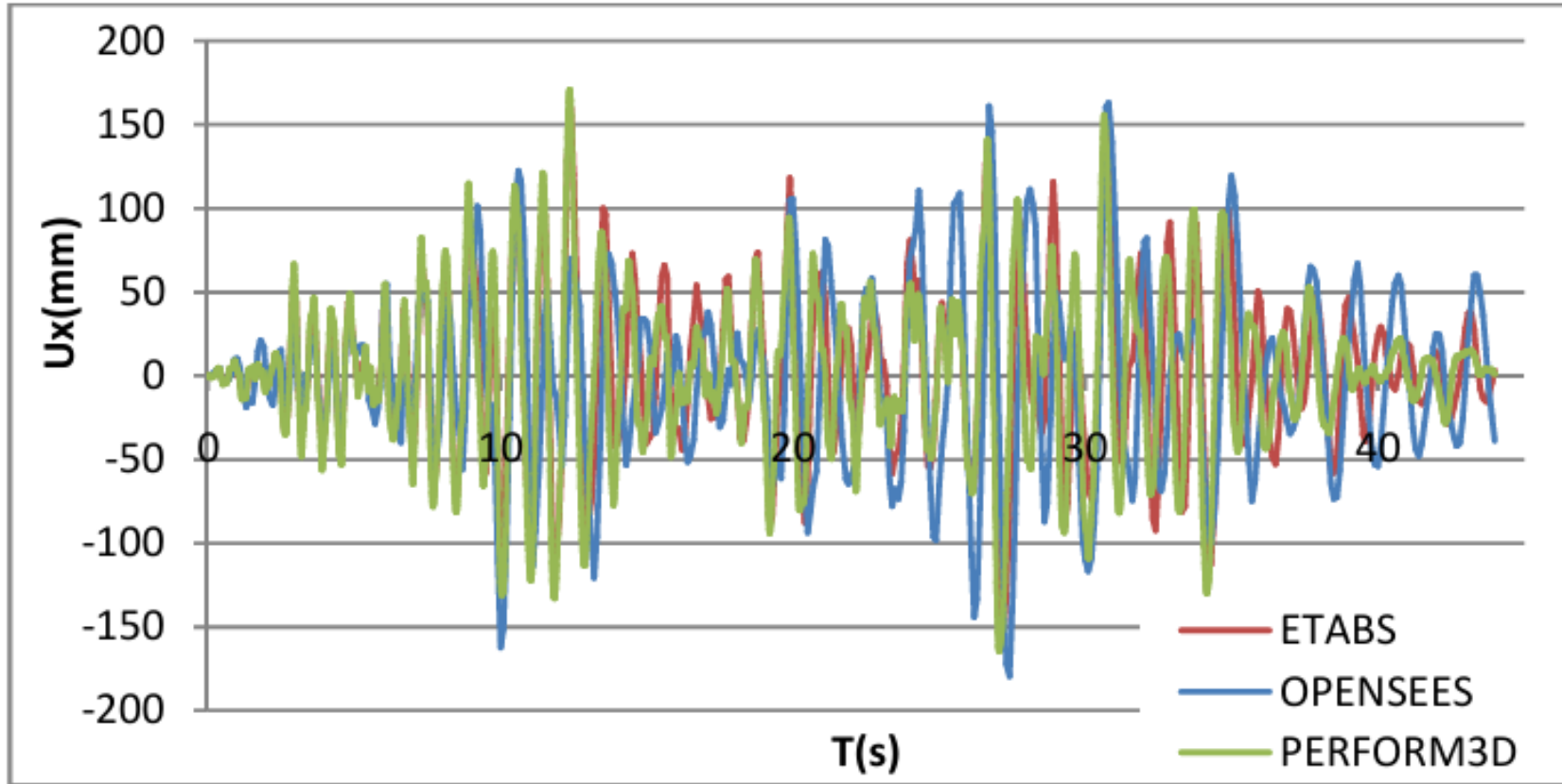
# Kullanılan deprem kaydı

- Karşılaştırma için 1 adet deprem kaydı takımı kullanılmıştır.

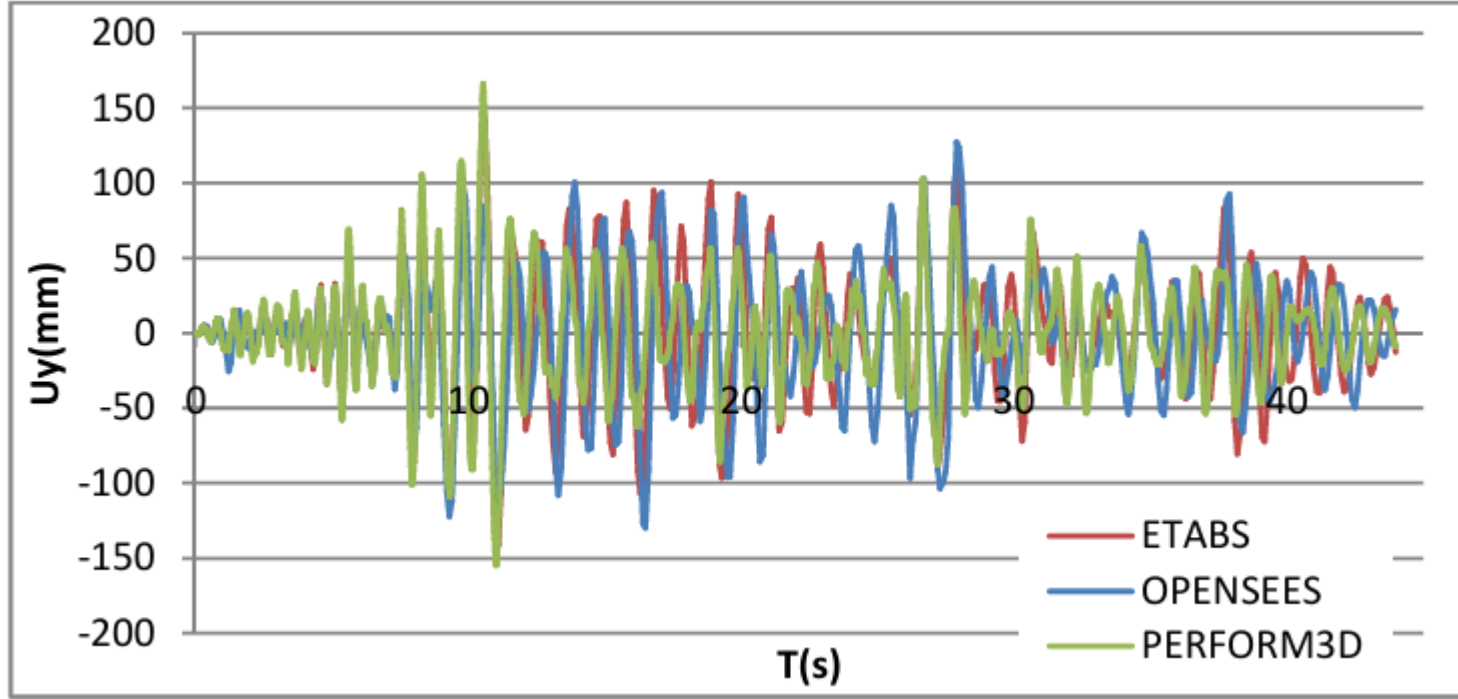


# Sonuçların karşılaştırması: Yerdeğiştirme

- X ve Y doğrultusu Tepe deplasmanın zamanla değişimi her 3 program için aşağıda verilmiştir.



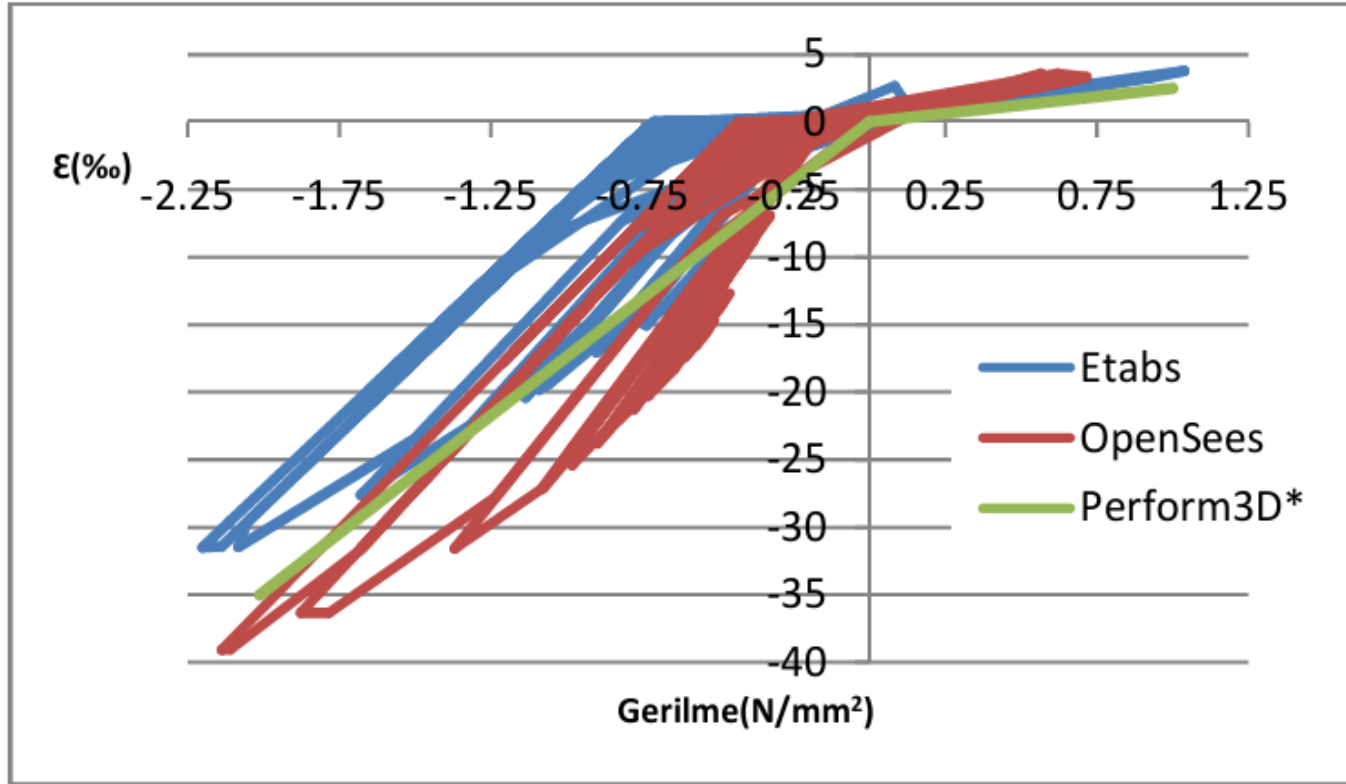
# Sonuçların karşılaştırması: Yerdeğiştirme



	+XMaks(mm)	-X Maks(mm)	+Y Maks(mm)	-Y Maks(mm)
Etabs	159.93	-156.01	141.89	-141.16
Opensees	163.06	-179.31	127.30	-129.85
Perform3D	170.75	-164.68	166.37	-154.79

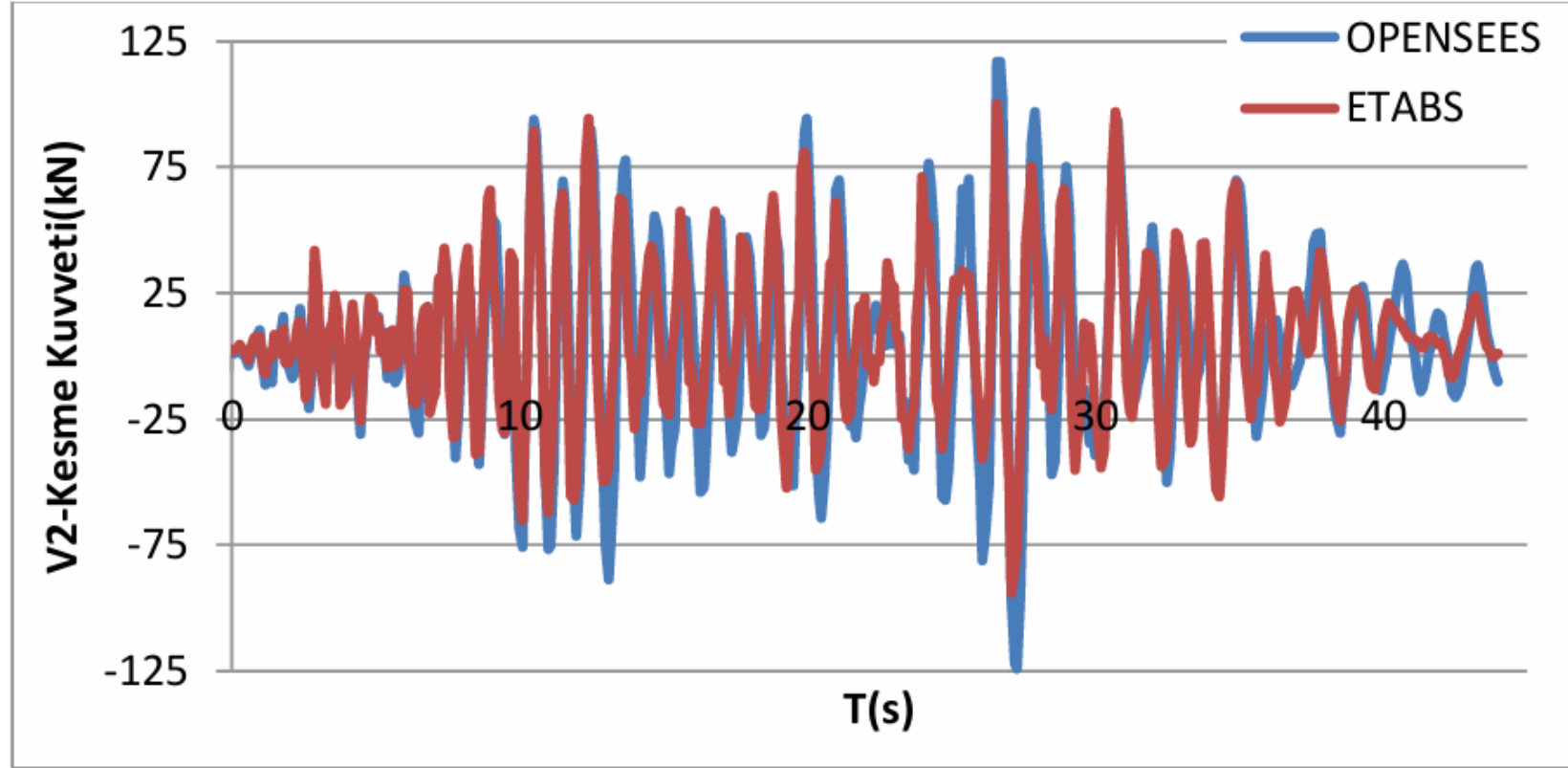


# Sonuçların karşılaştırması: Zemin kat C10 kolonu beton şekildeğiştirmesi

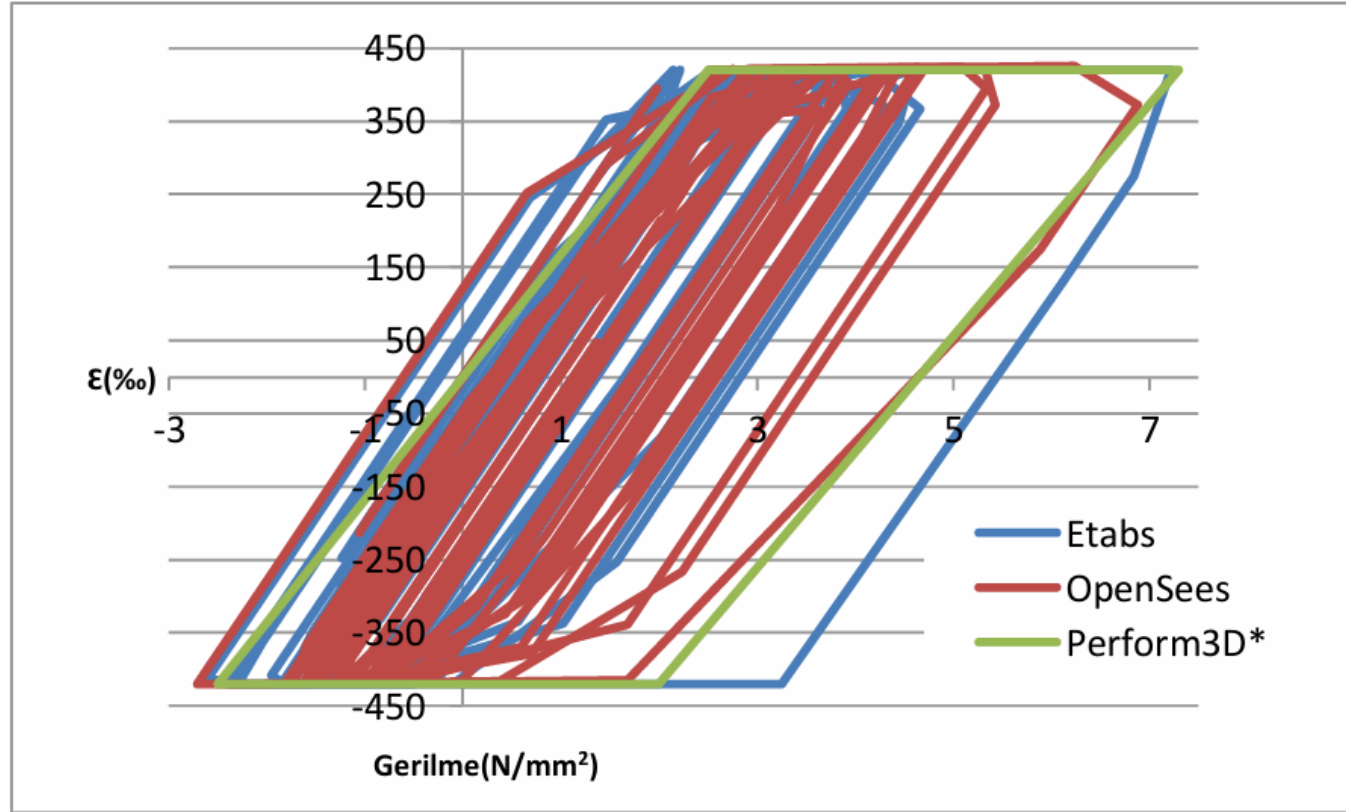


Etabs	Opensees	Perform3D
-2.201‰	-2.214‰	-2.013‰

# Sonuçların karşılaştırılması: Zemin kat C10 kolonu kesme kuvveti

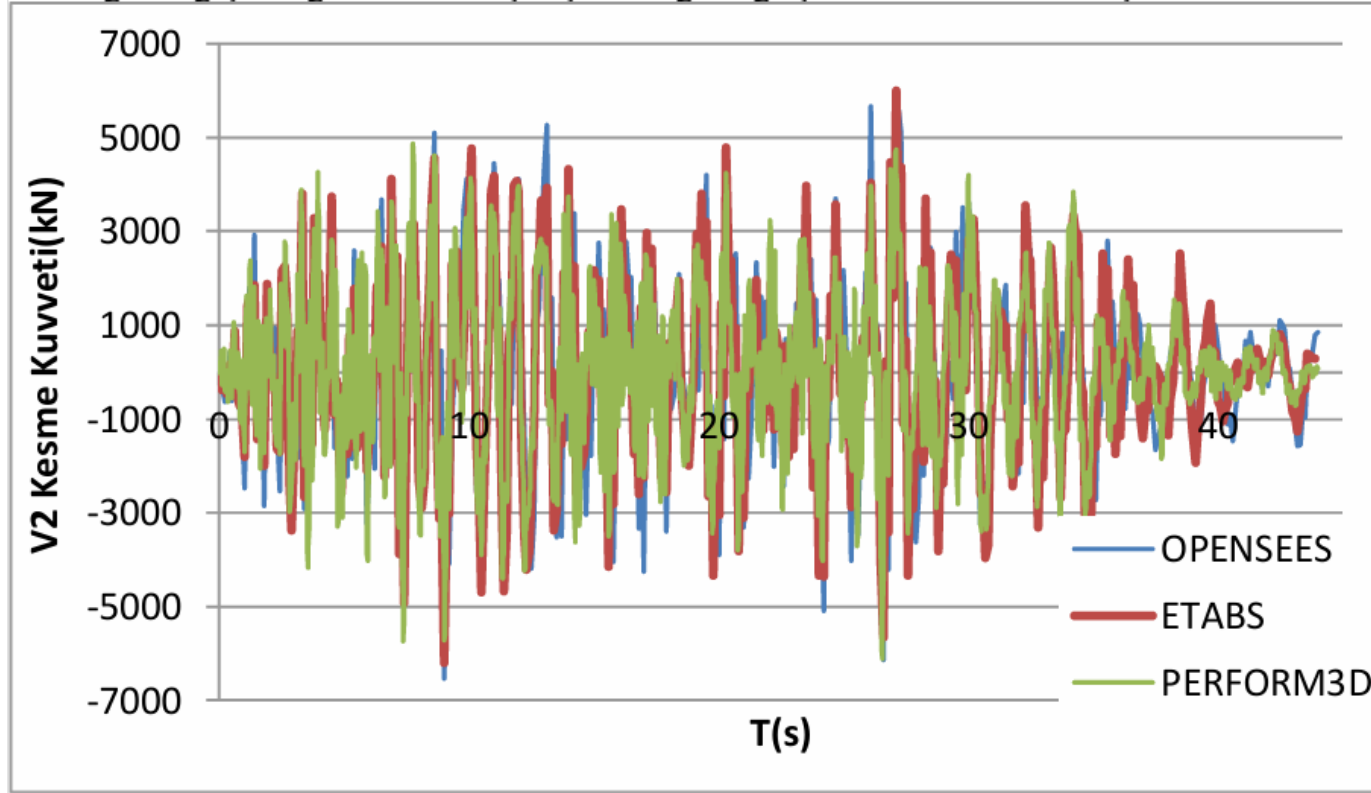


# Sonuçların karşılaştırması: Zemin kat W1 perdesi donatı şekildeğiştirmesi



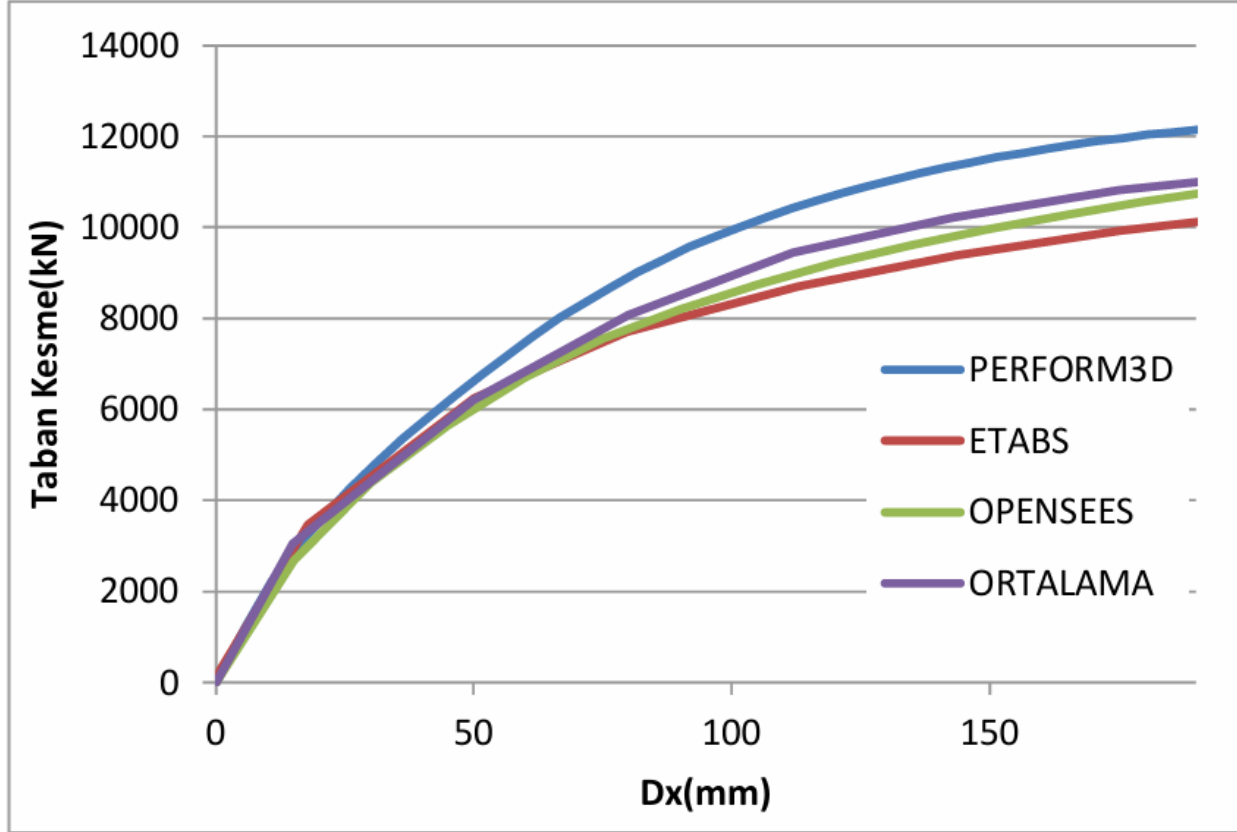
Etabs	Opensees	Perform3D
7.225‰	6.88‰	7.3‰

# Sonuçların karşılaştırması: Zemin kat W1 perdesi kesme kuvveti



Etabs	Opensees	Perform3D
-6191 kN	-6528 kN	-6112 kN

# Sonuçların karşılaştırması: Taban Kesme Kuvveti



Etabs	Opensees	Perform3D
10379 kN	11055 kN	12155 kN

# Üç yazılım üstünden değerlendirme

- ▶ Aynı model üç yazılımda mümkün mertebe aynı sonucu verebilecek biçimde modellenmiştir.
- ▶ Opensees ve Perform3D yazılımlarının önceden belirlenmiş malzeme modeli şablonları bulunmaktadır. Etabs yazılımında, malzeme yükleme eğrisi (backbone) serbestçe girilebilmektedir
- ▶ Opensees yazılımının stabilitesinin daha yüksek olduğu, sayısal hatalara daha az takıldığı görülmüştür. Bunun sebebi, kullanıcı veri kabulünü daha sıkı hale getirmesi olabilir
- ▶ Perform3D yazılımının daha hızlı sonuç ürettiği görülmüştür
- ▶ Etabs yazılımında ise, sonuca ulaşmak için birçok deneme yapılması gerekmiştir. Bu yazılımda döşeme sisteminin de doğrudan hesaba alınması, analizi kendi başına yavaşlatan önemli bir konudur. TBDY2018'e uygun model kurmak için, sadece bodrum kat döşemelerinin ve rijit diyafram olarak çalışmayan döşemelerin hesaba doğrudan alınması gerekmektedir.



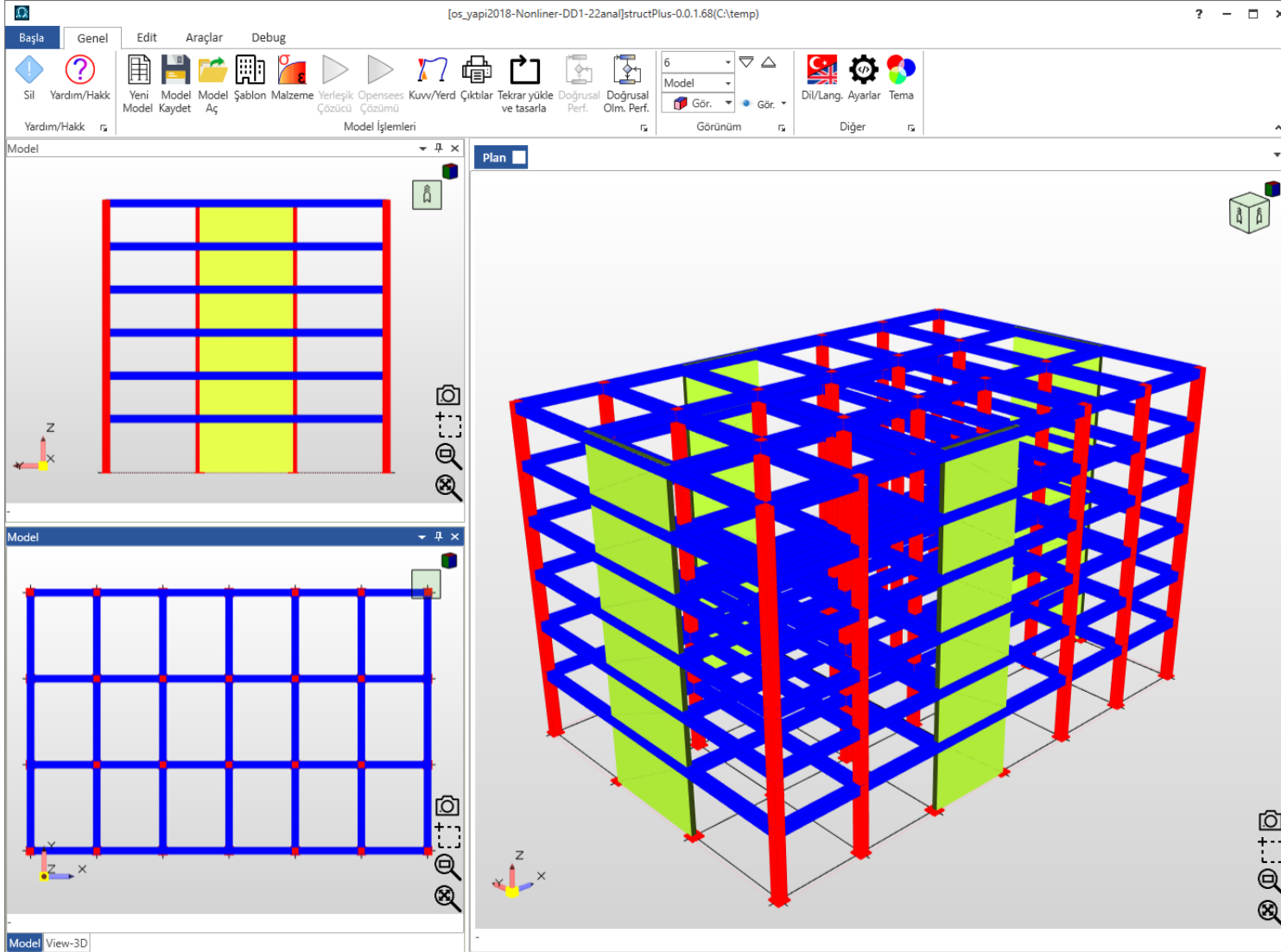
## BÖLÜM 3

TDY2007, TBDY2018  
ve paylaşılan taslak  
tebliğ'e göre tasarım

# Çalışmada Karşılaştırılan Yapılar

- ▶ **A Modeli:** TDY2007 yönetmeliği kullanılarak 6 katlı, X yönünde 6 açıklıklı ve Y yönünde 3 açıklıklı yapı tasarlanmıştır. X yönü aks aralıkları 5m, Y yönü aks aralıkları 6.5m'dir. Yapıda iki yönde de ikişer adet perde bulunmaktadır. 6 kattan oluşan yapının zemin kat yüksekliği 4m, normal kat yükseklikleri 3m olup toplam bina yüksekliği 19m'dir. Tipik kolon ölçüleri 40x40 cm, tipik kiriş ölçüleri 40x50 cm, betonarme perde duvar kalınlıkları 25 cm'dir.
- ▶ **B Modeli:** TBDY2018 yönetmeliği kullanılarak (A) da tanımlanan yapı tekrar tasarlanmıştır. Yeni tasarımda TBDY2018'e göre spektrum seçilmiştir. Artan deprem etkileri sonucunda perde genişliği 25cm'den 30cm'e çıkartılmak zorunda kalınmış, ayrıca kolon kiriş birleşim noktası kesme güvenliği kriterlerinin sağlanabilmesi için kolon ebatları 40x40 yerine 50x50 seçilmesi gerekmiştir. Kiriş ölçüleri de 50x50 olarak belirlenmiştir.
- ▶ **C Modeli:** (B) modeline taslak halindeki "Betonarme Binalarda Perde Zorunluluğu Tebliği" uygulanarak elde edilmiş modelde, perde kalınlıkları tebliğde istenilen koşulları sağlamak amacı ile 50cm olarak seçilmiştir. Kolon ve kiriş ölçüleri TBDY2018'e göre boyutlandırılan yapının kolon ve kiriş ölçüleri ile aynıdır.

# Çalışmada Karşılaştırılan Taşıyıcı



# Tasarım Sonucu Farklılıklar

- ▶ TDY2007 yönetmeliğine göre Kadıköy'de ZC tipi zemin için oluşan maksimum spektral ivme 1.0g olup TBDY2018'e göre 1.2g olduğu için tasarım spektrumları arasında fark bulunmaktadır. Ayrıca spektrum karakteristiklerini ortaya çıkartan  $T_a$  ve  $T_b$  değerleri de farklıdır.
- ▶ TDY2007 formül 3.18'e göre perdenin taşıyabileceği en büyük kesme kuvveti beton ezilme dayanımı ile orantılıyken TBDY2018 formül 7.18'e göre dayanımın karekökü ile orantılıdır. TBDY2007'ye göre C30 beton kalitesi için izin verilen en büyük kesme kuvveti daha fazla olsa da, gelen kesme kuvvetine bağlı olarak oluşan tevzi donatısının sıklığını azaltmak için (B) modelinde perde kalınlığı artırılmıştır.
- ▶ TDY2007 bölüm 3.5.2.2'ye göre birleşim bölgesinin taşıyabileceği en büyük kesme kuvveti beton ezilme dayanımı ile orantılıyken TBDY2018 bölüm 7.5.2.2'ye göre dayanımın karekökü ile orantılıdır. Buna bağlı olarak C30 beton kalitesi için TBDY2018 yönetmeliği TDY2007 yönetmeliğine göre önemli miktarda daha az kesme dayanımı kabul etmektedir. Bu sebeple (B) modelinde kolon ebatları daha fazla seçilmiştir.
- ▶ 2025 yılımda çıkan taslak tebliğin üçüncü bölümüne göre perde alanı seçildiğinde, yapıdaki perdelerin kalınlığını 50cm'e çıkartmak gerekmiştir.

# Taslak tebliğ perde talebi

Bina yükseklik sınıfı (BYS)  $BYS \leq 6$  ve  $N > 1$  olan binalar:

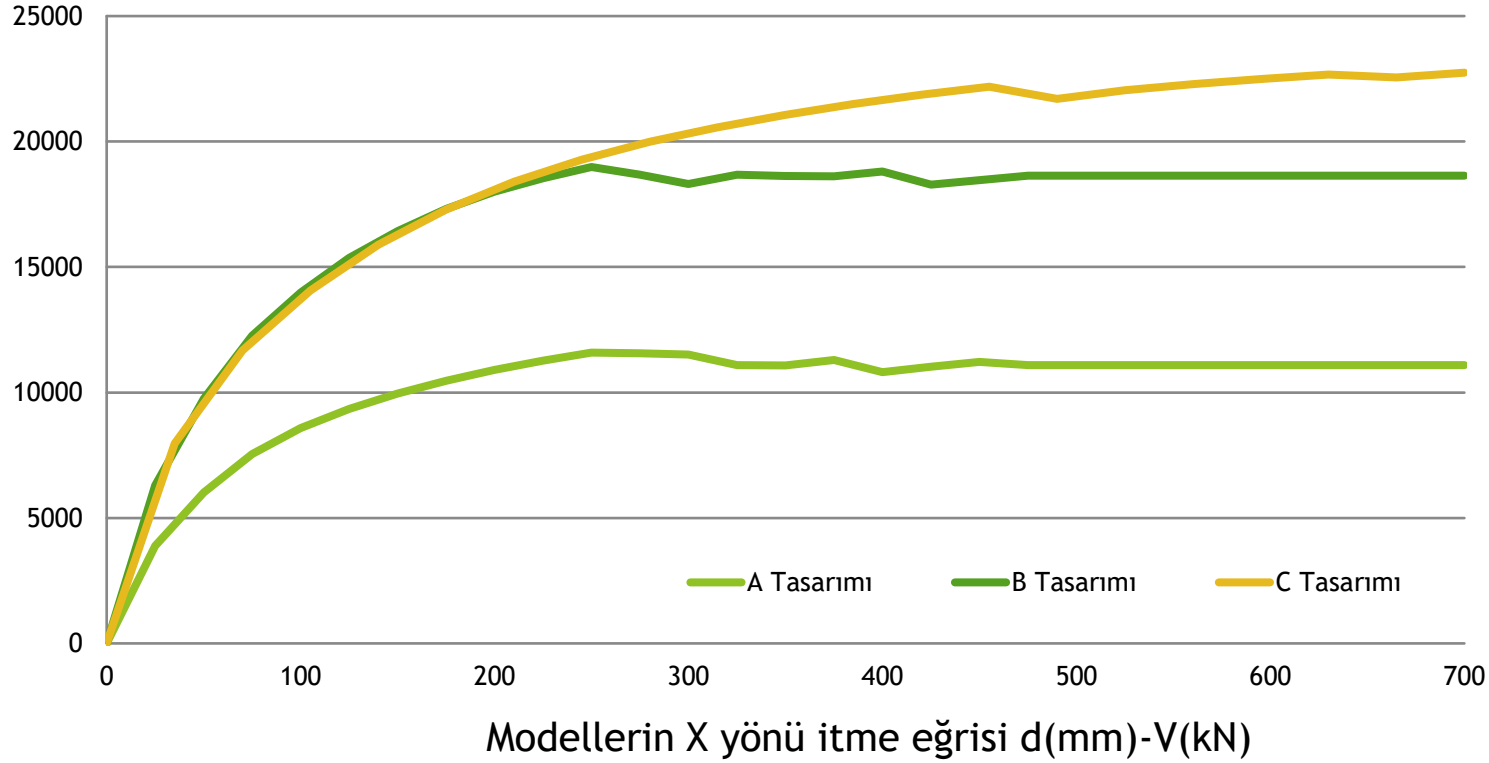
- Herhangi bir katta ve her iki doğrultuda ayrı ayrı toplam perde alanları aşağıdaki koşulu sağlamalıdır.

$$\frac{\sum A_{wi}}{A_{pj}} \geq \min \begin{cases} 0.002 \times N \times S_{ds} \\ 0.02 \times S_{ds} \end{cases}$$

Tablo: 100 m2 kat alanlı bir bina için kat sayısına göre her iki doğrultuda gerekli perde alanları:

5 KATLI BİNA İÇİN	Sds	Min. Kolon oranı	Gerekli perde alanı(m2)	10 KATLI BİNA İÇİN	Sds	min	Gerekli perde alanı(m2)
	0.2	0.002	0.2		0.2	0.2	0.004
0.4	0.004	0.4	0.4	0.4	0.008	0.8	
0.6	0.006	0.6	0.6	0.6	0.012	1.2	
0.8	0.008	0.8	0.8	0.8	0.016	1.6	
1	0.01	1	1	1	0.02	2	
1.2	0.012	1.2	1.2	1.2	0.024	2.4	
1.4	0.014	1.4	1.4	1.4	0.028	2.8	
1.6	0.016	1.6	1.6	1.6	0.032	3.2	
1.8	0.018	1.8	1.8	1.8	0.036	3.6	
2	0.02	2	2	2	0.04	4	

# Bina yatay yük kapasiteleri



Tasarım A

Tasarım B

Tasarım C

11000 kN

18650 kN

22750 kN

# Binalara etkiyen taban kesme kuvveti

	m(Ton)	m*	T(sn)	Sa	Sa*	(m × Sa)*	Vx(kN)	Vx*
A	5001	1	0,576	1,26	1	1	20421	1
B	5605	1,12	0,551	1,31	1,04	1,17	27581	1,35
C	5828	1,16	0,455	1,59	1,26	1,48	28003	1,37

	m(Ton)	m*	T(sn)	Sa	Sa*	(m × Sa)*	V(kN)	V*
A	5001	1	0,473	1,53	1	1	20254	1
B	5605	1,12	0,433	1,67	1,09	1,22	28445	1,40
C	5828	1,16	0,369	1,96	1,28	1,49	33902	1,67

X ve Y yönleri taban kesme kuvveti

- C yapısının kütlesi A yapısına göre %16 daha fazladır
- C yapısında perde alanı daha fazla olduğu için yapının periyodu daha düşük çıkmış, spektral ivme artmıştır
- Spektral ivmenin artması ile deprem yükü X yönünde %37, Y yönünde %67 oranında artmıştır.

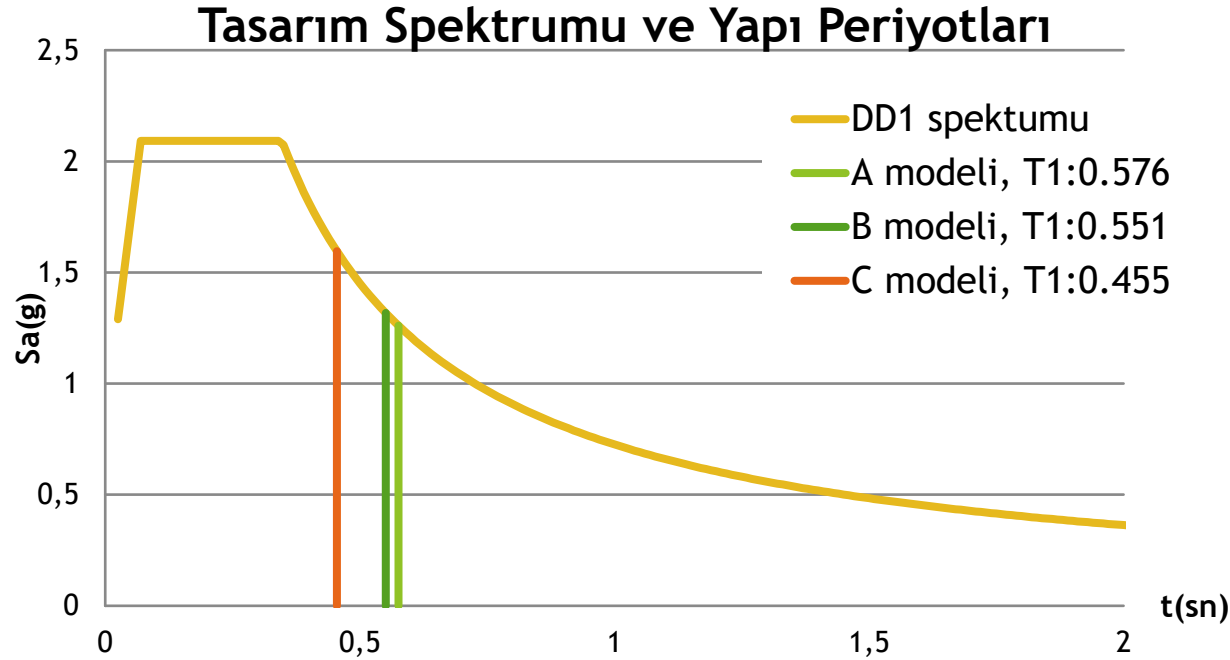
# Kullanılan Yer Hareketleri

- DD2 yer hareketine göre tasarlanan yapılara, **DD1 yer hareketine göre** performans analizi yapılmıştır.
- Performans analizlerinde uygulanan 22 adet deprem kaydı, TBDY2018'ye uygun biçimde frekans alanında ölçekleme yapılarak kullanılmıştır.

Kayıt	Deprem	Yıl	İstasyon	Büy.	Rjb(km)	Rrup(km)	Vs30(m/s)	Süre (sn)
164	Imperial Valley-06	1979	Cerro Prietro	6.53	15.19	15.19	471.53	63.82
265	Victoria, Mexico	1980	Cerro Prietro	6.33	13.8	14.37	471.56	24.53
548	Chalfant Valley-02	1986	Benton	6.19	21.55	21.92	370.94	39.99
864	Landers	1992	Joshua Tree	7.28	11.03	11.03	379.32	44.00
881	Landers	1992	Morong Valley Fire Station	7.28	17.36	17.36	396.41	56.07
1148	Kocaeli, Turkey	1999	Arcelik	7.51	10.56	13.49	523.0	30.00
2739	Chi-Chi, Taiwan-04	1999	CHY080	6.2	12.44	12.53	496.21	112.98
4148	Parkfield-02, CA	2004	Parkfield-Upsar12	6.0	9.0	9.47	466.12	60.00
4149	Parkfield-02, CA	2004	Parkfield-Upsar13	6.0	9.0	9.47	466.12	60.00
4285	Basso Tirreno, Italy	1978	Patti Cabina Prima	6.0	14.6	17.4	441.28	30.88
6878	Joshua Tree, CA	1992	North Palm Springs Fire Sta	6.1	21.4	21.97	367.84	28.52



# Binaya gelen deprem kuvvetinin artması ve Bina Performansı



- C tasarımının kütlesi A tasarımına göre %16 daha fazla olmasına rağmen taban kesme kuvveti X yönünde %37, Y yönünde %67 daha fazladır
- Taban Kesme Kuvveti, doğrusal olmayan analizden elde edilmiştir. Toplam kuvvetin artacağı elastik spektrumdan da anlaşılmaktadır
- Bu artımın olmasına rağmen, C yapısının performansı A yapısından daha iyidir
- Bu örnek özelinde, perde alanını artırmanın daha iyi bir deprem güvenliği sağladığı görülmektedir

# Yapı Maliyeti

	Kalıp(m <sup>2</sup> )	Beton(m <sup>3</sup> )	Donatı(ton)	Maliyet (Milyon TL)	Maliyet*	Toplam Maliyet
TDY2007 Tas.	6046	1504	157,05	13,52	1	1
TBDY2018 Tas	6150	1595	195,11	15,05	1,11	1,04
2025 Tebliğ Tas.	6141	1680	210,82	15,76	1,17	1,06
Malzeme Fiyatı(TL)	220	2400	24000			
İşçilik Fiyatı(TL)	550	150	8000			

\*: TDY2007 Tasarımına göre orantılanmış kaba inşaat maliyeti

- Tabloda ortaya çıkan sonuca göre, 2025 taslak tebliğinin kaba inşaat maliyeti TDY2007 yaklaşımına göre %17 daha fazla, kaba inşaat maliyetinin toplam inşaat maliyetine oranının %30-%35 civarında olduğu düşünüldüğünde, toplam inşaat maliyeti ise %6 kadar fazladır.
- Bununla birlikte yapının deprem performansı çok daha yüksek olduğu için, depremden sonra ortaya çıkacak onarım maliyeti sadece yapısal olmayan duvar, boya-sıva gibi kalemlerden ibaret olacak, böylelikle ortaya çıkan tablo diğer tasarımlara göre oldukça ekonomik olacaktır.
- Birim fiyat ve maliyet oranları, 2025 Haziran ayında çeşitli müteahhitlere sorularak elde edilmiştir.

# Sonuçlar

2025 taslak yönetmeliğine göre tasarlanan modelin taşıyıcı sistem kapasitesi, yapılan itme analizleri sonuçları incelendiğinde TBDY2018'e göre yaklaşık %20, TDY2007'ye göre ise %100'e yakın artış göstermiştir. Bu durum, perde alanı ve eleman boyutlarında yapılan artışların yapı performansına önemli katkı sağladığını göstermektedir.

Hasar dağılımı incelendiğinde, TDY2007'ye göre tasarlanan yapıda zemin kat perdelerinde göçme düzeyinde şekil değiştirmeler gözlemlenmiştir. TBDY2018 ve 2025 tasarımında ise bu hasar düzeyi büyük oranda azalmıştır. Donatı çeliğinde oluşan maksimum birim şekil değiştirmeler, 2025 tasarımında kontrollü seviyede kalmıştır.

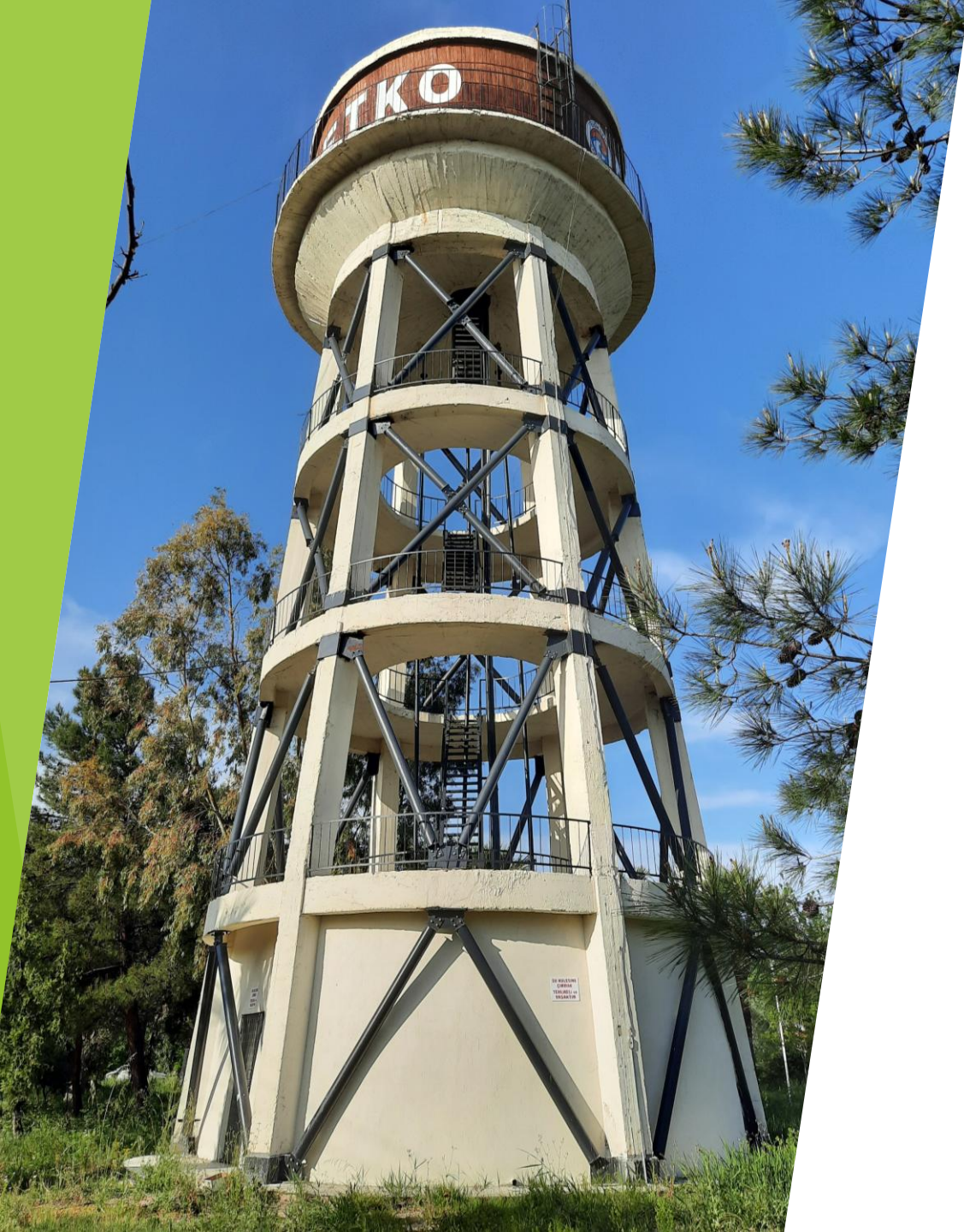
Taban kesme kuvvetleri, artan rijitlik nedeniyle özellikle 2025 tasarımında belirgin şekilde yükselmiştir. Bununla birlikte yapının rijitliği ve dayanımı da arttığı için, artan iç kuvvetlere rağmen yapı doğrusala yakın davranmaya devam etmiştir.

# Sonuçlar

Perde oranı arttıkça perdelerin aldığı kesme kuvveti oranı da artmaktadır. Buna bağlı olarak yapı genelindeki hasar azalmaktadır. Yapı sünekliliği azaldığı için, işçilik hataları daha iyi tolere edilebilmektedir. Perde alanı fazla olan yapının doğrusal davranması bu noktada da avantajlı hale gelmektedir.

Kaba inşaat maliyetleri karşılaştırıldığında, 2025 tasarımının maliyeti 2007 tasarımına göre yaklaşık %17, toplam inşaat maliyeti düşünüldüğünde en fazla %6 daha yüksek bulunmuştur. Buna karşın, elde edilen deprem performansı, artan maliyeti rasyonel kılmakta ve olası bir deprem sonrası onarım ihtiyacını minimize etmektedir.

Bu makalede sunulan bulguları destekleyen tüm model verileri, <https://web.itu.edu.tr/~avcioglu/data.html> adresinde halka açık olarak erişime sunulmuştur. Ayrıca OpenSees için veri hazırlayan arayüzde bu sayfadan indirilerek yayında verilen sonuç ve görseller elde edilebilir.



Dinlediđiniz  
için teŖekkür  
ederiz