

# Hasar Kontrollü Yapısal Tasarım, Ankrajsız Ardgermeli Prekast Sistemlerin Özgün Moment-Dönme Bağlantılarının Elde Edilme Prensipleri ve Bu Bağlantıları Hesaplayan bir Bilgisayar Programı

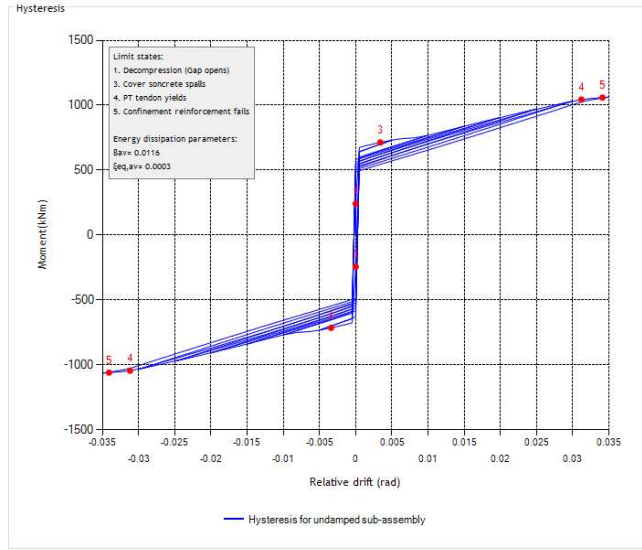
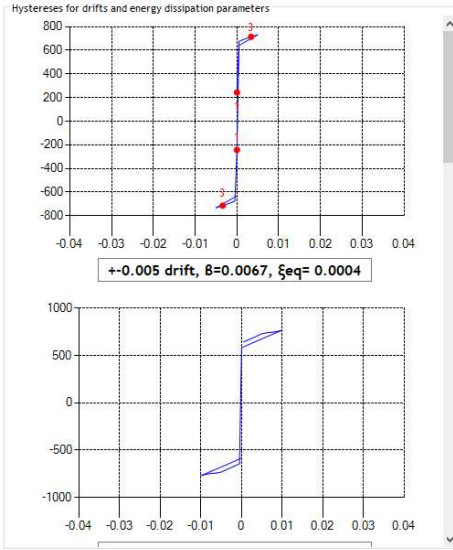
A. Ata Kulaksizoglu, İnşaat Yüksek Mühendisi

## KULTECH

16 Eylül 2020

File Input Analysis Results

KULTECH



## Özet

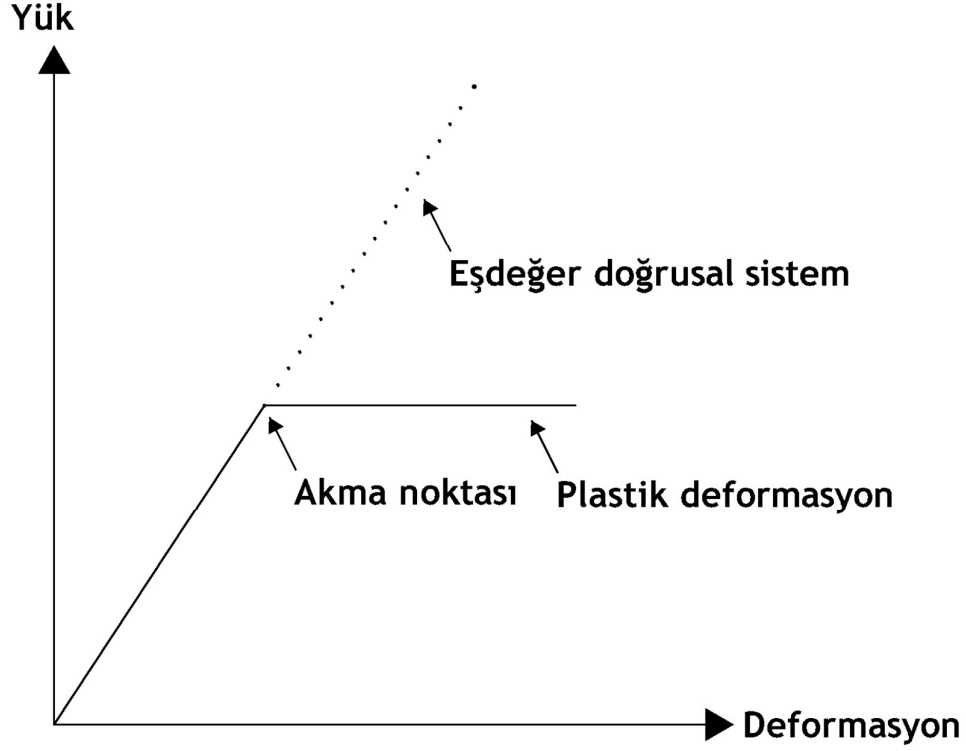
Geleneksel yapı deprem mühendisliği yaklaşımı, binaların deprem yükü altında plastik deformasyonlara uğraması ve yapı elemanının, eleman birleşimlerinin ya da yapının tamamının, bu plastik deformasyonlar altında gevrek kırılmasını önlemek üzerinedir. Binalarda izin verilen plastik deformasyon, kendisini yapısal hasar olarak gösterir. Bu yapısal hasar, çoğu zaman ekonomik olmayan tamir/onarım maliyeti ve/veya yapının bu onarım süresince uzun süre kullanılamaması sonucunu doğurur. Yapı ve deprem mühendisliğindeki son gelişmeler, yapıların deprem sonrası onarımı güç hasara uğramasının tasarım aşamasında önlenmesi yaklaşımını benimser. Hasar kontrollü tasarım, yapıların tasarım deprem etkileri altında ihmal edilebilir ya da kolayca tamir edilebilir hasar alacak şekilde tasarlanması anlamına gelir. Hasar kontrollü sistemlerin en önemlilerinden biri, yapısal hasarım özel olarak tasarlanmış yerel düğüm noktasında olduğu Ankrajsız Ardgermeli Prekast Beton sistemlerdir. Bu sistemlerde, ardgerme halatları tasarım deprem etkileri altında elastik kalacak şekilde tasarlandığından, yapının da deprem sonrası 'dengeye gelmesini' sağlar ve kalıcı deformasyonları azaltır. Ancak, bu sistemlerin geleneksel yöntemlerle modellenmesi ve analiz edilmesini mümkün kılmayan özgün özellikleri bulunmaktadır. Ayrıca, bu sistemler için klasik yapısal hasar sınır tanımları da kullanılamaz. Boşluk açılma prensibi, ardgerme halatlarının ankrajsız olması ve düşük enerji sönmleme kapasiteleri bu sistemler için özel modelleme teknikleri gerektirir. Bu makalede, Ankrajsız Ardgermeli Prekast Beton sistemlerin özgün özellikleri detaylıca anlatılmış, ayrıca bu sistemlerin moment-dönme analizini yapmak için yazılan bir bilgisayar programı hakkında bilgi verilmiştir.

### Hasar Kontrollü Tasarım Nedir?

Yapı mühendisleri yapıları maruz kalacakları tüm olası yükler ve kombinasyonlar altında, olabilecek en ekonomik şekilde tasarlamakla sorumludurlar.

Şekil 1'de tipik bir kuvvet-deformasyon eğrisi verilmiştir. Teorik olarak, hemen hemen her tür yapıyı deprem etkisi altında elastik davranacak şekilde tasarlamak mümkün olmasına rağmen, çoğu durumda bu çözüm ekonomik olarak mantıklı değildir. Bu sebeple geleneksel tasarım felsefesi binanın 'akması', ancak deprem deformasyon talebine ulaşana kadar gevrek kırılmanın önlenmesi, yani yeterli sünekliliğin sağlanmasıdır.

Binanın akma deformasyonuna ulaştıktan sonra yaptığı deformasyonların önemli bir kısmı plastik deformasyondur. Plastik deformasyonlar, geri döndürülemez/kalıcı deformasyonlar olarak da tanımlanabilir. Yapıların deprem yükleri altında gösterdikleri performans, yapısal hasar seviyesine göre *Performansa Dayalı Tasarım* ilkeleri çerçevesinde tanımlanır. *Performansa Dayalı Tasarım* bu makalenin kapsamı dışındadır, ancak burada performansın hasar seviyesine göre belirlenmesi, yani yapısal hasara izin verilmesi önemlidir.



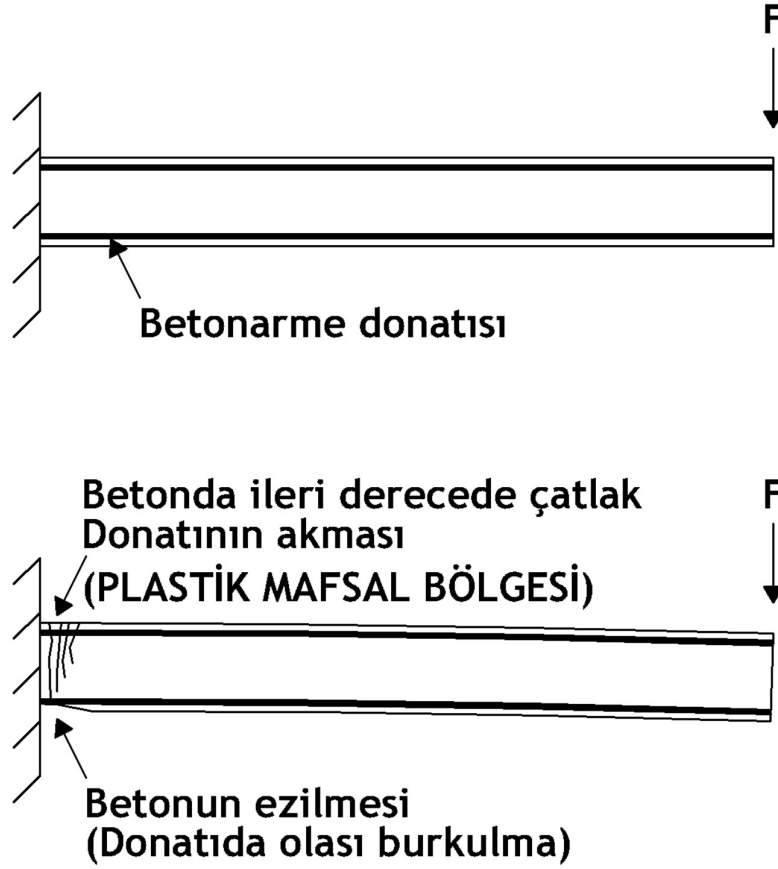
Şekil 1 - İdealize edilmiş iki doğrusal elasto-plastik davranış

Özellikle sözkonusu yapının bir üretim tesisi ya da bir konut olması durumunda, deprem sonrası yapının kullanılmasını önemli bir süre engelleyecek onarım çalışmalarının yapılması istenen bir durum olmaz. Bu sebeple, yapının henüz tasarım aşamasında, ihmal edilebilir ya da kolay onarılabılır yapısal hasar alacak şekilde tasarlanması önem arz etmektedir.

#### **En Etkili Hasar Kontrollü Sistem: UPPC**

Ankrajsız Ardgermeli Prekast Beton Sistemler (Unbonded Post-tensioned Precast Concrete - UPPC), hasar kontrollü sistemlerin en etkili olanlarındandır.

Öncelikle, konvansiyonel yerinde dökme betonarme binalarda yapısal hasarın ne şekilde oluştuğuna göz atalım. Örnek olarak, görece olarak basit (izostatik) bir sistem olan konsol bir kirişi düşünelim ve bu kirişin ucuna artımsal statik düşey yük uygulayalım. Şekil 2’de kesitin altında bulunan donatı basınç donatısı ve konstrüktif donatı, üst donatı ise ana çekme donatısıdır.

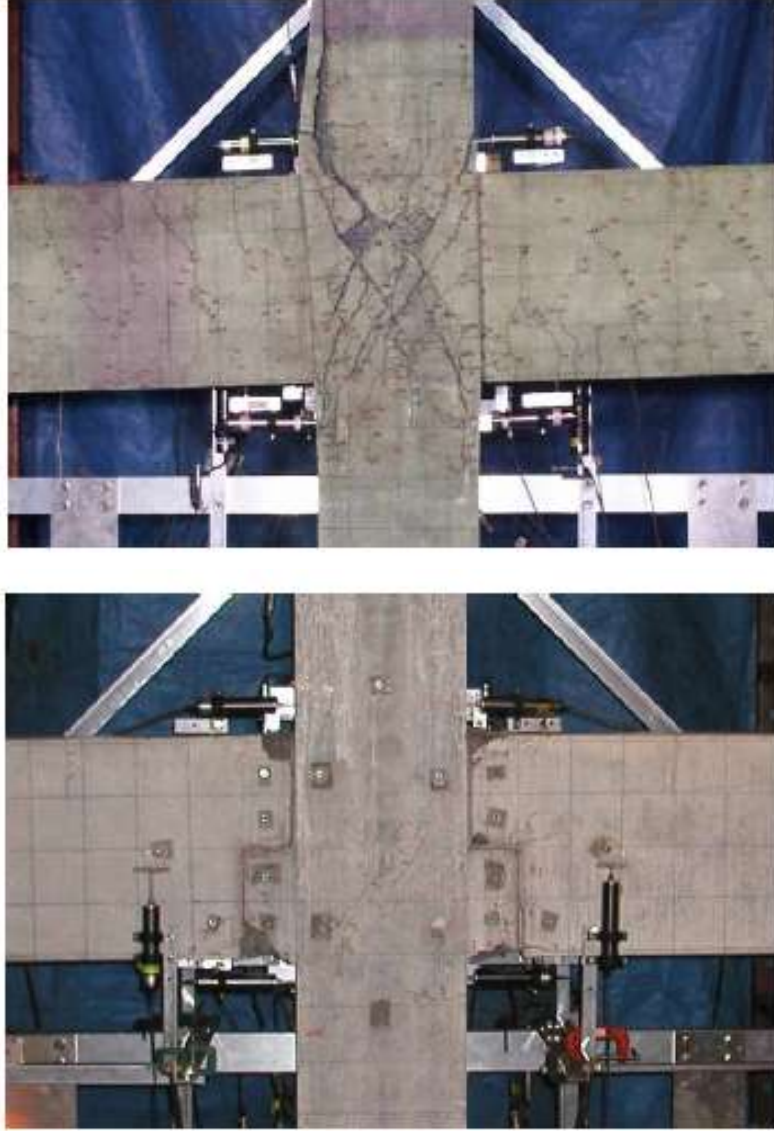


Şekil 2 - Ucunda statik düşey yük olan konsol kirişin plastik mafsallık bölgesi

Kiriş kesiti akma noktasına ulaştıktan sonraki deformasyonların önemli bir kısmı plastik deformasyondur. Bu plastik deformasyonlar, *plastik mafsallık bölgesi* olarak adlandırılan bir uzunluk boyunca yayılırlar. (Yayıllı ya da yığılı plastik bölge kabulleri bu makalenin kapsamı dışındadır) Bu plastik mafsallık bölgesinde yoğunlaşmak üzere, kiriş boyunca plastik deformasyonlar, yapısal hasar olarak kendini gösterir. Bu plastik deformasyonlar genellikle betonun çatlaması/ezilmesi ve donatının akması mekanizmaları ile oluşur. Plastik deformasyona uğramış bir kiriş-kolon birleşimi örneği Şekil 3a'da gösterilmiştir.

Konvansiyonel yerinde dökme birleşimlerle ilgili bir diğer önemli nokta, bu birleşimlerin monolitik olması, başka bir deyişle düğüm noktasının (genellikle) tam rijit kabul edilmesi ve yapısal hasarın belirli bir kesitte değil önemli bir eleman uzunluğu boyunca yayılmasıdır.

Konvansiyonel yerinde dökme sistemlerde oluşan yapısal hasar ile UPPC sistemlerde oluşan yapısal hasarı karşılaştıran güzel bir örnek, aşağıda Şekil 3'te görülebilir.



Şekil 3 -a) Yerinde dökme birleşim b) UPPC birleşimde yapısal hasar [1]

Görüldüğü gibi, yapısal hasar UPPC sistemde sadece yerel düğüm noktasında yoğunlaşmış ve çok az seviyede iken, yerinde dökme sistemde düğüm panel bölgesinde kendisini gösterip kolon boyunca yayılmaktadır.

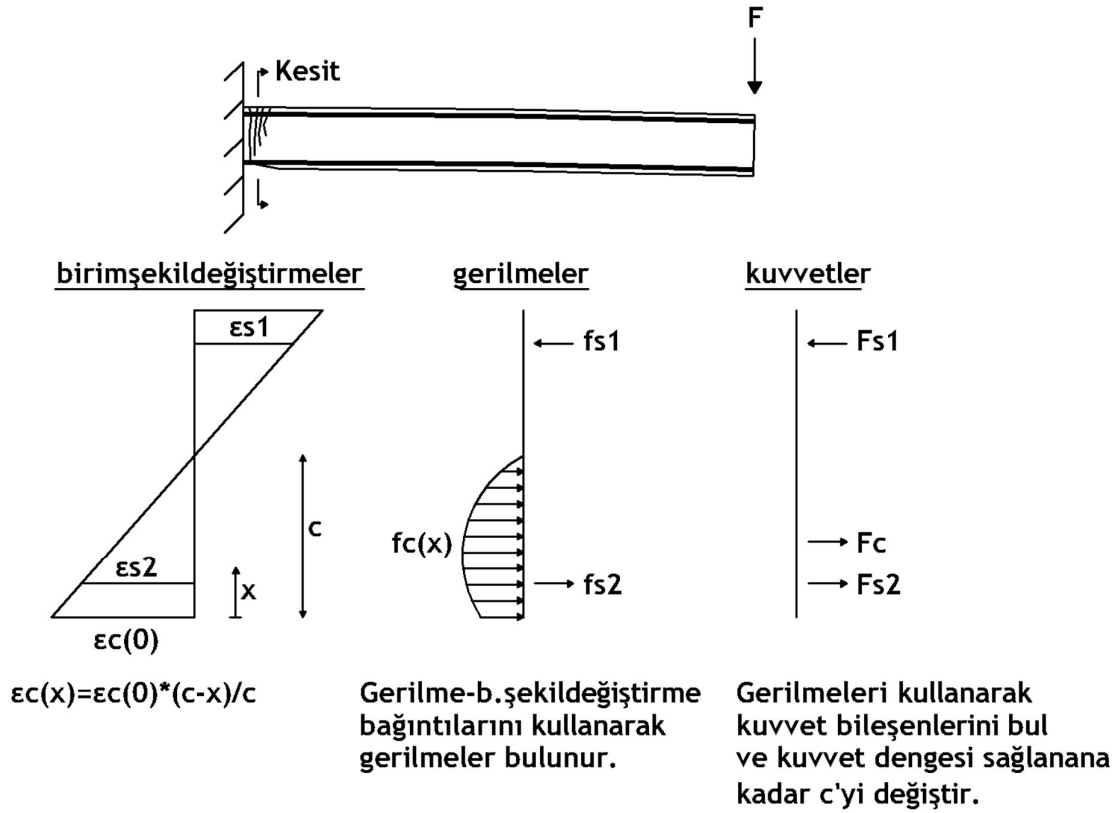
## UPPC sistemleri özgün kılan nedir?

UPPC sistemleri özgün kılan özellikler boşluk açılması, ardgerme halatlarının boylu boyunca beton elemana ankrajsız olması ve düşük enerji sönümlenme kapasiteleridir.

### **Boşluk açılması**

Betonarme derslerinde ilk öğretilen noktalardan biri 'düzlemsel yüzeylerin düzlemsel kalması'dır. Birimşekildeğiştirme uyumu ile bağlantılı olan bu durum, donatı ile beton arasında tam ankraj olduğu prensibine dayanır ve tasarımcıya kesit analizi yaparken donatı birimşekildeğiştirmesini o lifteki beton birimşekildeğiştirmesine eşitlemesini sağlar.

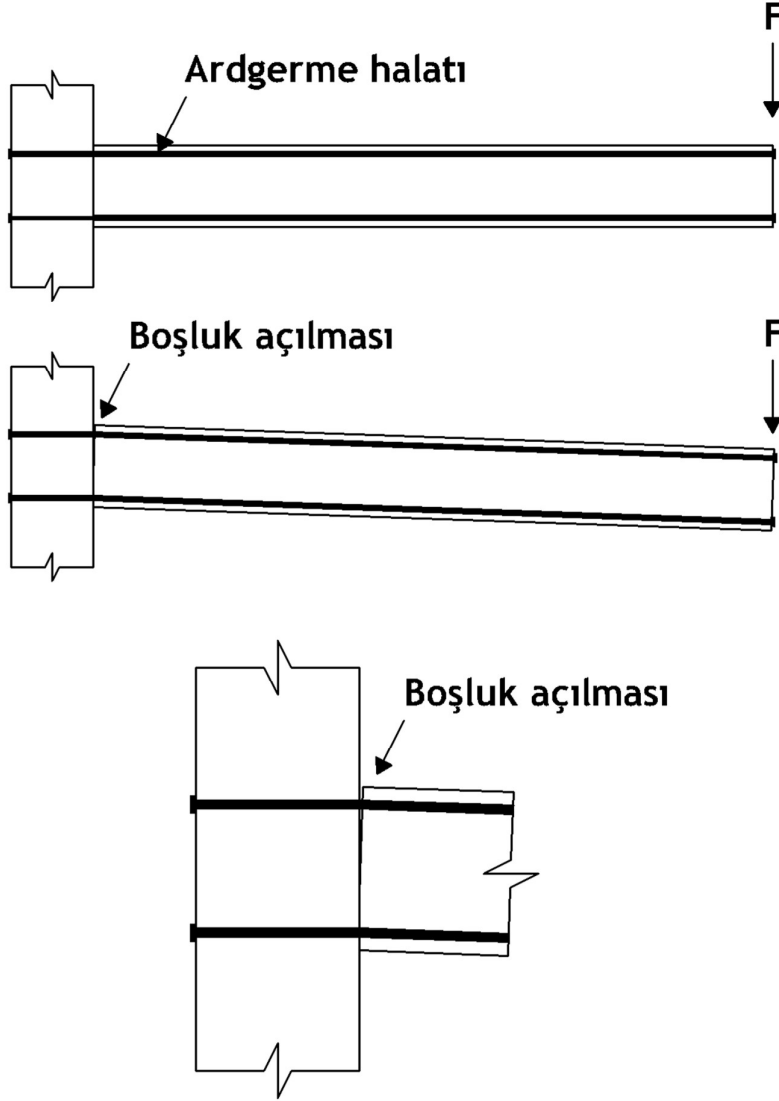
Daha önce örnek verdiğimiz konsol kirişi tekrar düşünelim. Şekil 4 bu konsol kiriş kesiti üzerinde birimşekildeğiştirme uyumu prensibi ve kesit dengesini göstermektedir. (Sargılı/sargısız beton ayrımı yapılmamıştır)



Şekil 4 - Konvansiyonel eleman kesiti için kesit analizi parametreleri

Yukarıda bahsedilen prensipler UPPC sistemler için geçerli değildir. Prefabrikte beton sistemler, fabrikada elemanlar halinde üretilir ve şantiyede birleşimleri sağlanır. Prefabrikasyonda monolitik inşaat ile eşdeğer 'taklit eden' birleşim detayları mevcut ise de, UPPC sistemler için bu geçerli değildir. UPPC sistemlerde, tekil elemanlar (kirişler ve kolonlar), boylu boyunca bu elemanlara ankraji olmayan ardgerme

halatları ile birbirlerine bağlanırlar. Konsol kirişin ucuna yük uygulandığı zaman, kiriş-kolon birleşiminde bir boşluk açılır ve bu boşluk ardgerme halatlarında birimşekildeğiştirme talebi oluşturur. Şekil 5 bu boşluk açılma prensibini göstermektedir.



Şekil 5 - UPPC sistemlerde boşluk açılma prensibi

Deprem yükleri düğüm noktasında boşluk açılmasına sebep olduğu zaman, çekme gerilmeleri ardgerme halatları tarafından karşılanır. Basınç gerilmeleri ise düğüm noktası etrafında yerel olarak gerilme yoğunlaşmaları olarak beton basınç reaksiyonu tarafından karşılanır. Bu düğüm noktası genellikle bu gerilme yoğunlaşmalarına karşı özel olarak tasarlanır ve yapısal hasar en aza indirgenir. Buna ilave olarak, ardgerme halatları tasarım deprem talebi altında elastik kalacak şekilde tasarlanarak deprem sonrası sistemin kendini toparlaması sağlanır.

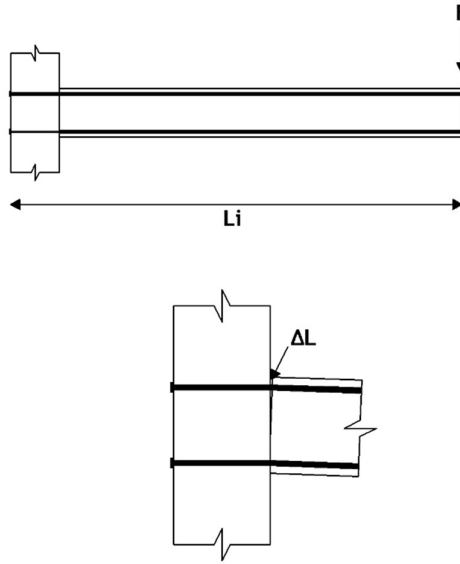
### *Elastik ardgerme halatları*

Ardgerme halatları, uzunlukları boyunca beton elemana ankrajsız olduklarından, nonlinear elastic kafes çubuk elemanı olarak düşünülebilir. Doğal olarak, bu elemenda oluşan iç kuvvetler gerilmelerin, gerilmeler ise birimşekildeğiştirmelerin bir fonksiyonudur. Bu birimşekildeğiştirmeler aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir: (Şekil 6)

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_i}$$

Burada  $\epsilon$  halatlardaki birimşekildeğiştirme,  $\Delta L$  toplam halat boyundaki değişim,  $L_i$  ise halat ankrajları arasındaki başlangıç uzunluğudur.

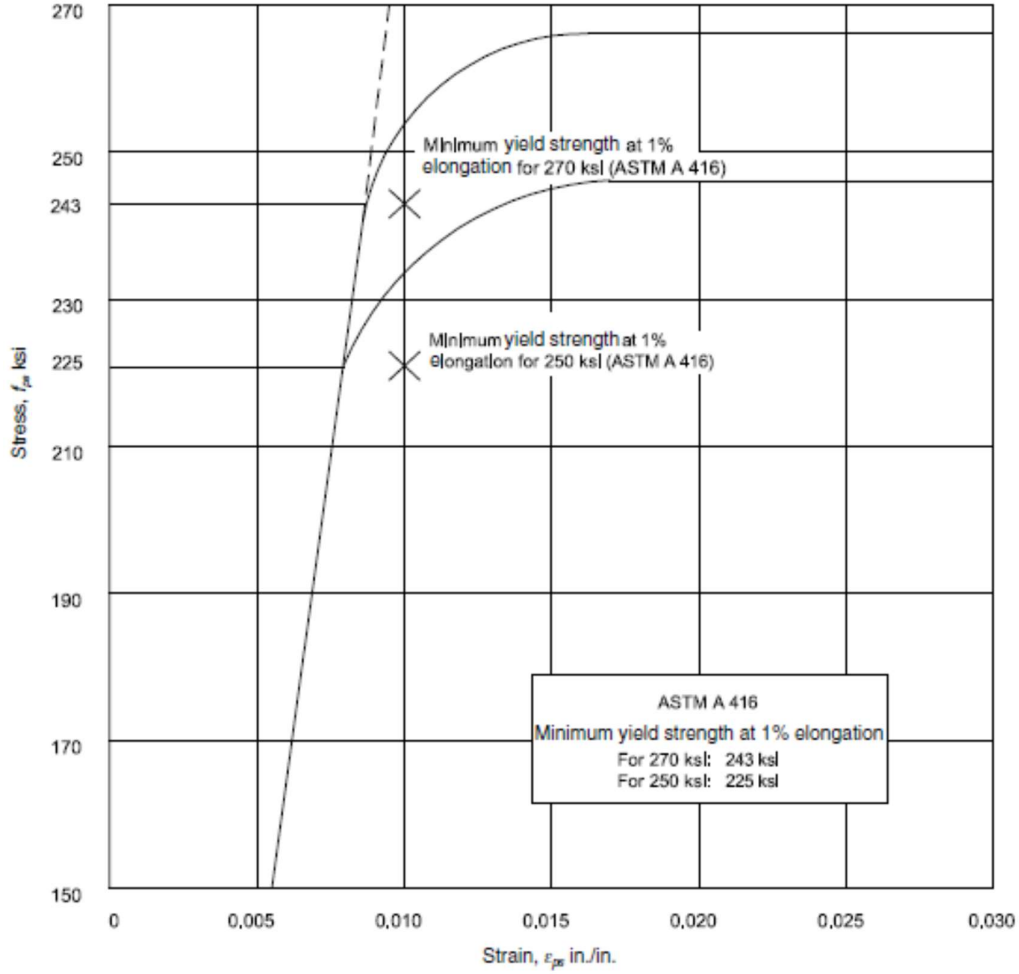
Öngermeli beton, tanım gereği halatların öngermeye gerilmelerine sahip olması anlamına gelir. Başka bir deyişle, bu halatlar henüz diğer yüklere maruz kalmadan başlangıç birimşekildeğiştirmesine sahiptir. Boşluk açılması, Şekil 6'da gösterildiği gibi bu halatlardaki başlangıç birimşekildeğiştirmesine ek birimşekildeğiştirme talebi oluşturur.



Şekil 6 - Halatlarda oluşan birimşekildeğiştirme talebi

Ardgerme halatları için gerilme-birimşekildeğiştirme eğrisi Şekil 7'de verilmiştir. [2] Görüldüğü gibi, linear birimşekildeğiştirme limiti aşıldığında, halatlarda elastisiteden bahsedilemez. Elastisite geri döndürülebilir deformasyondur. Bu sebeple, tasarım deprem etkileri altında halatlardaki birimşekildeğiştirmenin elastic sınırdan olması, sistemin kendini 'geri döndürmesine' yol açar. Böylece kalıcı deformasyonlar en aza indirgenir. Bu da UPPC sistemleri özgün yapan özelliklerden biridir.





Şekil 7 - Ardgerme halatı için gerilme-birimşekildeğiştirme eğrisi

Ardgerme halatları ile ilgili bahsedilmesi gereken bir diğer önemli konu, bu halatların UPPC sistemlerde kirişin alt ve üst bölümlerine konulması ve bunun birimşekildeğiştirme taleplerini arttırmasıdır. Bu sebeple, ilk öngerme gerilmesi kopma gerilmesinin yüzde 50'sini geçmeyecek şekilde sınırlanır.

***Eşdeğer viskoz sönüm oranı  $\xi_{eq}$*** 

Sönüm oranının idealize edilmesi ve rakamsal olarak elde edilmesi çok zor olduğundan, genellikle farklı yapısal sistem ve malzemeler için tanımlanmış oranlar kabul alınır. Konvansiyonel betonarme binalar için bu oran 5%'tir. Ancak, bu oran UPPC sistemler için geçerli değildir. Çünkü bu sistemlerde betonarme sistemlerdeki sönüm mekanizmaları bulunmaz. Bu sebeple, UPPC sistemler için eşdeğer viskoz sönüm oranı ayrıca hesaplanmalıdır.

Eşdeğer viskoz sönüm oranı  $\xi_{eq}$  Chopra [5] tarafından aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir:

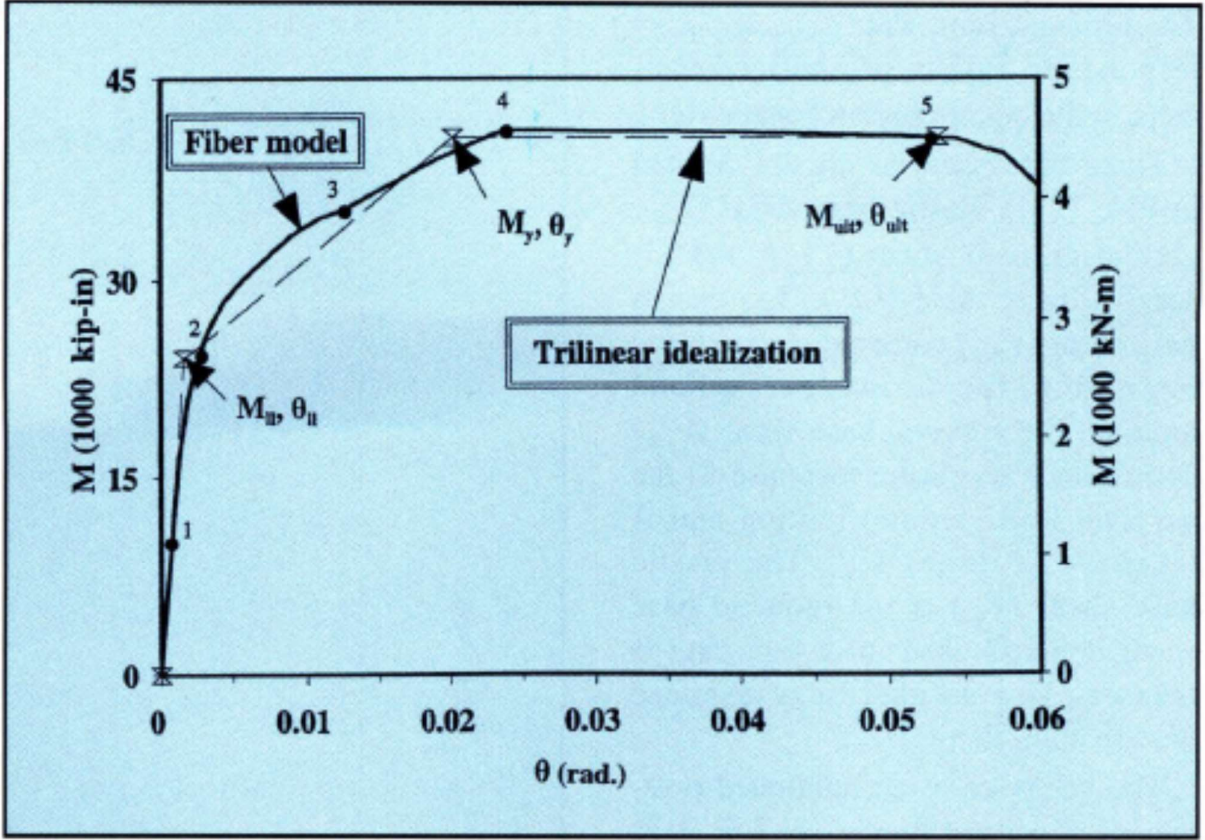
$$\xi_{eq} = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{so}}$$

Enerji sönümlenme konusu çok önemli bir konu olmakta birlikte bir sonraki makalede bu konu ile ilgili daha detaylı bilgi verilecektir. ACI T1.1-01 [6] tarafından tanımlanan göreceli enerji sönümlenme oranı  $\beta$  da bu makalede irdelenecektir.

### UPPC sistemler için performans kriterleri

Ulusal ve uluslararası şartnameler tarafından tanımlanan yapısal hasara dayalı deprem performans kriterleri, UPPC sistemlerin yukarıda bahsettiğimiz özgün özelliklerinden dolayı onlar için geçersizdir. Bu sebeple, UPPC sistemler için özel performans kriterleri tanımlanmıştır.

Bu hasar performans kriterlerini tanımlamadan önce, aşağıda El-Sheikh [3] tarafından moment-dönme eğrisi üzerinde verilen 5 limit durumunu inceleyelim.



Şekil 8 - UPPC sistemler için tipik moment-dönme eğrisi [3]

*Durum 1: Boşluk açılımı limit durumu.* Boşluk açılımı başlar. Bu noktadan sonra moment-dönme ilişkisi a) boşluk açılımının kiriş yüksekliğince yayılması b) betonda oluşan gerilmenin betonu yumuşatması sebebi ile yumuşar.

*Durum 2: Linear limit durumu.* Bu noktadan sonra moment-dönme ilişkisi ilk lineer doğrudan önemli derecede sapar.

*Durum 3: Beton dağılması limit durumu.* Bu noktada sargısız betonun en uç lifi dağılmaya başlar. Böylece sargısız beton gerilmesi hızla düşer, bu da moment-dönme eğrisinin eğimini düşürür.

*Durum 4: Akma limit durumu.* Ardgerme halatı lineer limite ulaşır. Bu noktadan sonra halatta oluşan ek birimşekildeğiştirme plastiktir.

*Durum 5: Taşıma gücü limit durumu.* Bu durumda sargılı betonun en uç lifindeki sargı donatısı kopar. Gevrek göçme oluşur.

Yukarıdaki sınır durumlarının ışığında Kurama [4] UPPC sistemler için aşağıdaki performans kriterlerini tanımlar:

*Hemen Kullanım Performans Düzeyi:*

- Kiriş-kolon birleşiminde boşluk açılması (Durum 1)

*Can Güvenliği Performans Düzeyi:*

- Sargısız betonda dökülme (Durum 3)
- Kolon dibinde plastik mafsal oluşumu

*Göçmeyi Önleme Performans Düzeyi:*

- Ardgerme halatlarının akması (Durum 4)
- Sargılı betonun ezilme sınırında olması (Durum 5)

### **UPPC sistemlerin analitik modellemesi**

UPPC sistemlerin yukarıda anlatılan boşluk açılması ve ankrajsız halat gibi özellikleri, bu sistemlerin özgün yöntemler kullanılarak modellenmesini gerektirir. Bu bölümde UPPC sistemlerin modellenmesinin temellerini oluşturan iki ana konudan bahsedilmiştir.

Ardgerme halatlarında oluşan birimşekildeğiştirme taleplerini gerçekçi olarak elde etmek için, halatlar boylu boyunca nonlineer kafes çubuk elemanı olarak modellenenir. Bu elemanların gerilme-birimşekildeğiştirme bağıntıları, bilineer olarak tanımlanır. İlk öngerme gerilmeleri elemanlara iç kuvvet olarak tanımlanır. Halatların ankraj elemanları, halat lifinde bulunan düğüm noktasının aynı koordinatlara sahip kiriş ya da kolon düğüm noktalarına kinematik olarak bağlanması ile tanımlanır.

Boşluk açılma prensibi ise, düğüm noktasındaki betonun çekme gerilme ve rijitliğini sıfıra eşitleyerek modellenenir. Böylece, boşluk açılması sebebiyle oluşacak rijitlik azalması temsil edilir.

**Bir bilgisayar programı: KULTECH UPPCv0.0**

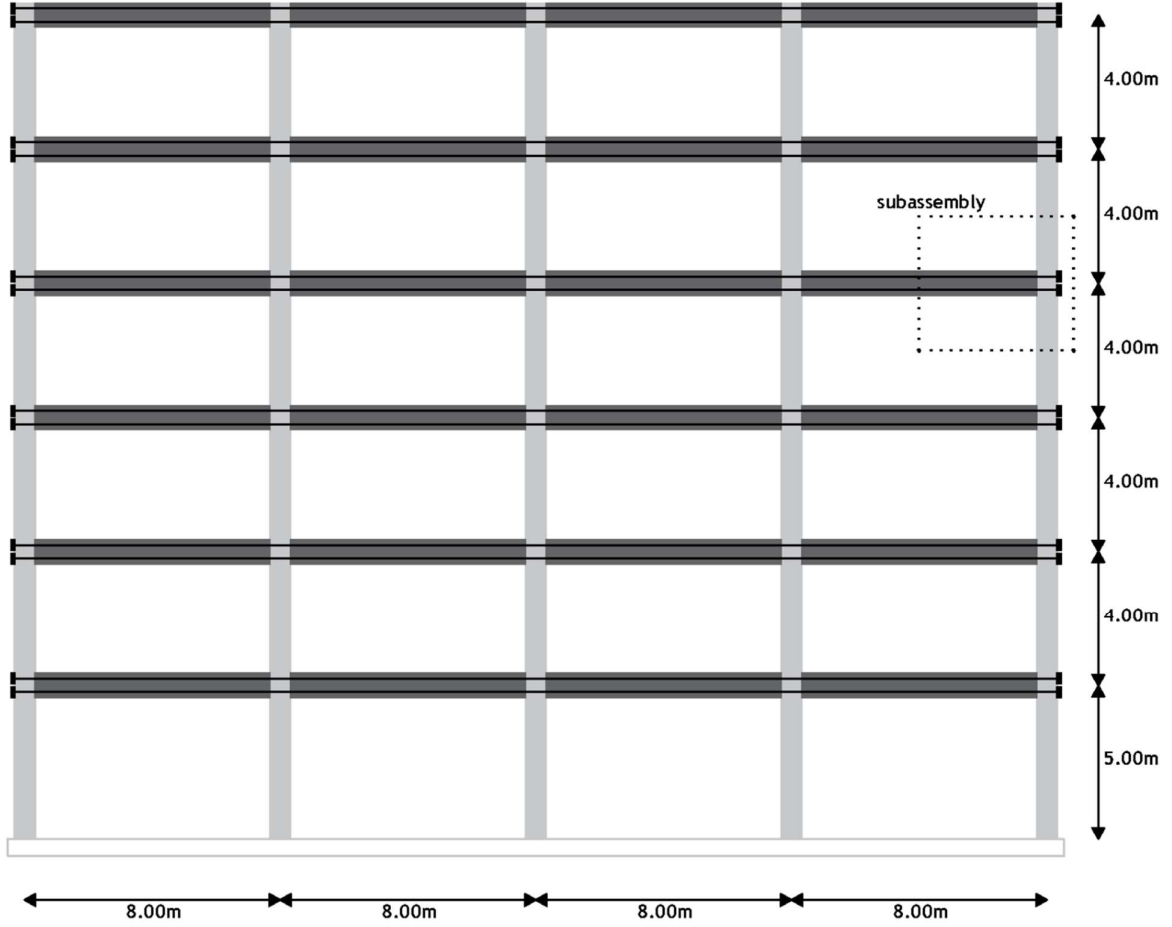
UPPC sistemlerin yukarıda bahsedilen özgün özellikleri, onların analiz ve modellenmesinde geleneksel olmayan yaklaşımları gerektirir. Buna ilave olarak, bu sistemlerin global binalarda modellenmesinin bir yolu da, dışarıdan elde edilen moment-dönme ilişkilerinin, sıfır uzunluklu dönme yaylarına atanmasıdır. Bu sebeple, KULTECH olarak bu sistemlerinin döngüsel ve artımsal moment-dönme ilişkilerini, betonun ve halatların da döngüsel gerilme-birimşekildeğiştirme ilişkileri baz alınarak hesaplayan bir program yazdık. Program, konsol bir kiriş ucuna  $\pm 0.50\%$ ,  $\pm 1.00\%$ ,  $\pm 1.50\%$ ,  $\pm 2.00\%$ ,  $\pm 2.50\%$ ,  $\pm 3.00\%$  ve  $\pm 3.50\%$  görel kat ötelemelerini etkiler her bir öteleme için moment-dönme ilişkisini grafiksel olarak gösterir. Ayrıca, enerji sönümlenme parametreleri  $\beta$  ve  $\xi_{eq}$ 'i de hesaplar. Program, moment-dönme ilişkileri ile birlikte beton ve halatların davranışını da grafiksel ve tablo olarak sunar.

UPPC v0.0 aşağıdaki özelliklere sahiptir:

- Sistemin geometrik özellikleri (kiriş boyu, yüksekliği, derinliği, kolon genişliği, halat dışmerkezliği) ile ilgili bilgi toplar
- Sargısız beton, sargılı beton ve ardgerme halatlarının döngüsel gerilme-birimşekildeğiştirme eğrilerini elde etmek için malzeme verilerini toplar (Pas payı, sargı donatısı alanı ve mesafesi, beton mukavemeti, ilk ardgerme halat gerilmesi, boyuna donatı alanı)
- Analiz modelini oluşturur ve kirişin ucuna görel kat ötelemesi protokolünü uygular. ( $\pm 0.50\%$ ,  $\pm 1.00\%$ ,  $\pm 1.50\%$ ,  $\pm 2.00\%$ ,  $\pm 2.50\%$ ,  $\pm 3.00\%$ ,  $\pm 3.50\%$ )
- Artımsal olarak uyguladığı her bir öteleme değerinde, kesit analizi yapar. Kesit analizi için bir beton basınç bloğu derinliği kabulü yapar ve bu Kabul ile beton basınç gerilmelerini ve halat çekme gerilmelerini hesaplar. Beton için Mander döngüsel modelini kullanır. Daha sonra, denge denklemini sağlayacak blok derinliğini, Newton-Raphson iterasyon metodu ile bulur.
- Kesit dengesi elde edildiğinde, kesitin moment dayanımını hesaplar.
- Analiz bittiğinde, tüm ötelemeler için genel bir moment-dönme eğrisi çizer.
- Bu moment-dönme eğrisinde yukarıda belirtilen limit durumları ve performans seviyelerini işaretler. Ayrıca ortalama enerji sönümlenme oranlarını verir.
- Her bir öteleme için ayrı ayrı moment-dönme eğrisi ve enerji sönümlenme oranı verir.
- Beton ve halatların davranışını grafiksel olarak verir.
- Tüm sonuçları tablo halinde sunar.

**KULTECH UPPC v0.0 ile çözülen bir düğüm noktası**

Şekil 9’da örnek bir bina kesiti gösterilmiştir.



Şekil 9 - Örnek bir UPPC sistemli bina kesiti

Bu çerçevenin bir analizinin ve öntasarımının yapıldığını ve kesitlerin belirlendiğini düşünelim.

KULTECH UPPCv0.0 ile bu ön boyutları, seçtiğimiz halat alanine, malzeme detaylarını kullanarak düğüm noktasının detaylı bir analizini yapabiliriz. Ayrıca, hangi görelî ötelemelerde performans seviyelerinin aşıldığını görüp, global binanın deprem analizinde kullanmak üzere eşdeğer viskoz sönüm oranı  $\xi_{eq}$  ve görelî enerji sönümleme oranı  $\beta$ 'yı elde edebiliriz.

Ele alacağımız düğüm noktası üçüncü katın dış kiriş-kolon birleşimi olsun. Kiriş ve kolon elemanları, moment sıfır noktası kabul edilen orta noktalarından 'kesilir'. (Şekil 9)

Aşağıdaki adımları takip ederek analizi gerçekleştirebilirsiniz.

1. KULTECH UPPCv0.0 ana formu açıldığında, menüden **Input**'a tıklayın. Daha sonra **Geometry Input** 'a tıklayın.

2. Geometry Input formuna aşağıdaki değerleri girin. (Kiriş toplam uzunluğu  $L_b$ 'nin kiriş temiz açıklığının yarısı olduğuna dikkat edin). **Save**'e tıklayın ve Geometry Input formunu kapatın.

The screenshot shows the "Geometry Input" dialog box with the following parameters:

Parameter	Value	Unit
Hb	800	mm
Bb	600	mm
Lb	3700	mm
Hc	600	mm
xps1	150	mm
xps2	150	mm

The diagram on the right illustrates the geometry of the beam. It shows a cross-section of a beam with a total width  $H_b$  and a total height  $L_b$ . The cross-section is divided into a top flange of height  $B_b$  and a bottom flange of height  $H_c$ . The top flange has a width of  $H_b$  and contains two reinforcement bars at positions  $x_{ps1}$  and  $x_{ps2}$  from the left edge. The bottom flange has a width of  $H_b$  and contains two reinforcement bars at positions  $x_{ps1}$  and  $x_{ps2}$  from the left edge.

3. Ana menüden tekrar **Input**'a tıklayın. Buradan **Material Input**'a tıklayın. Formu aşağıdaki gibi doldurun ve **Save**'e tıklayıp malzeme eğrilerini elde edin. Formu daha sonra kapatın.

The screenshot displays the "Material Input" software interface. On the left, there is a table of material properties:

fck	50	MPa
cover	30	mm
Ast	226	mm <sup>2</sup>
ssst	50	mm
Asp	50	mm <sup>2</sup>
ssp	50	mm
dsp	350	mm
Aps1	980	mm <sup>2</sup>
Aps2	980	mm <sup>2</sup>
As	5892	mm <sup>2</sup>
PSi	0,5	

Below the table is a "Save" button. The main area contains two stress-strain diagrams and a cross-section diagram. The top diagram is titled "Stress-strain diagram for concrete" and shows three curves: Unconfined (blue), Rectangular confined (red), and Spiral confined (green). The bottom diagram is titled "Stress-strain diagram for pre-stressing steel" and shows a single blue curve. The cross-section diagram on the right shows a rectangular beam with two vertical reinforcement bars. Labels include "dsp" for the distance between bars, "sp" for spiral reinforcement, "st" for stirrups, "cover" for the concrete cover, and "sst,ssp" for the spacing of spiral and stirrups.

4. Ana menüden **File**'a tıklayın. Dosyayı kaydetmek için buradan **Save**'e tıklayın.

5. Ana menüden **Analysis**'e tıklayın. Buradan **Analyze**'a tıklayın.

Click on **Analysis** on main menu. Click on **Analyze**.

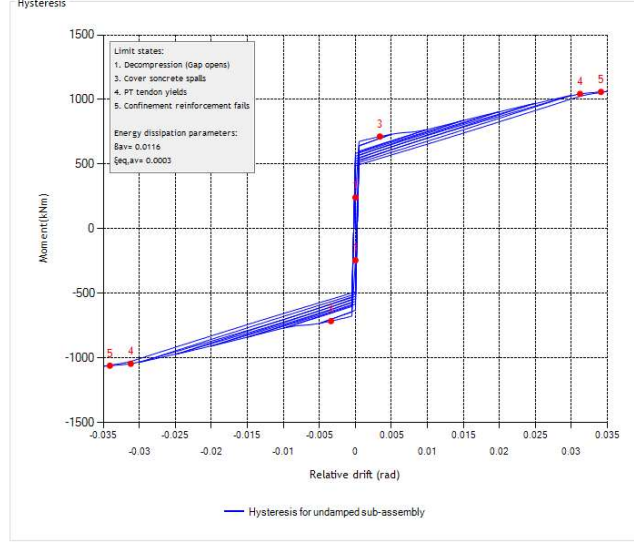
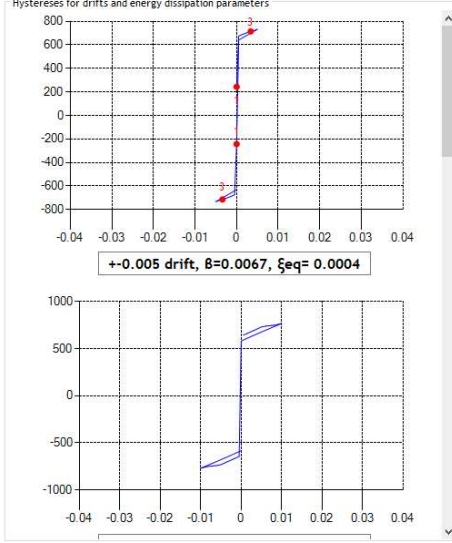


### Çıktılar

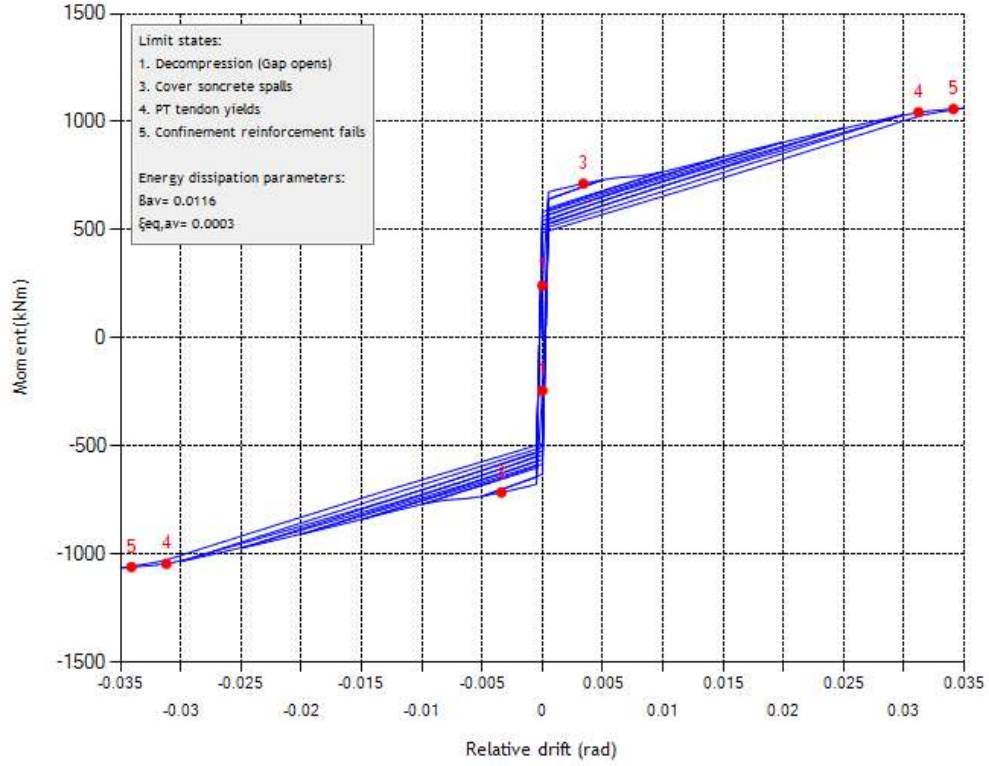
Analiz düğmesine tıkladığınızda, bir süre sonra ana menüde aşağıdaki şekilde figürler görülür:

File Input Analysis Results

**-KULTECH-**

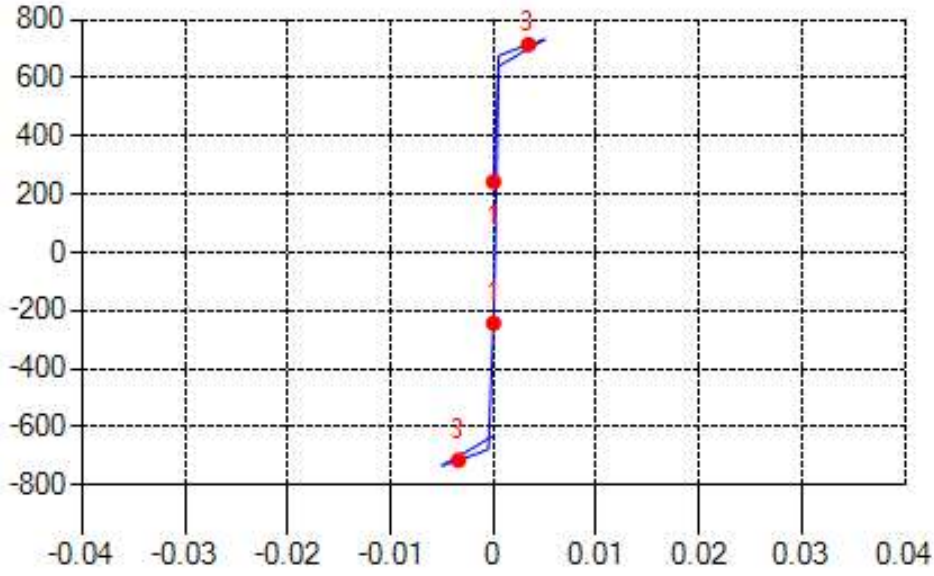


Sağdaki kısım:

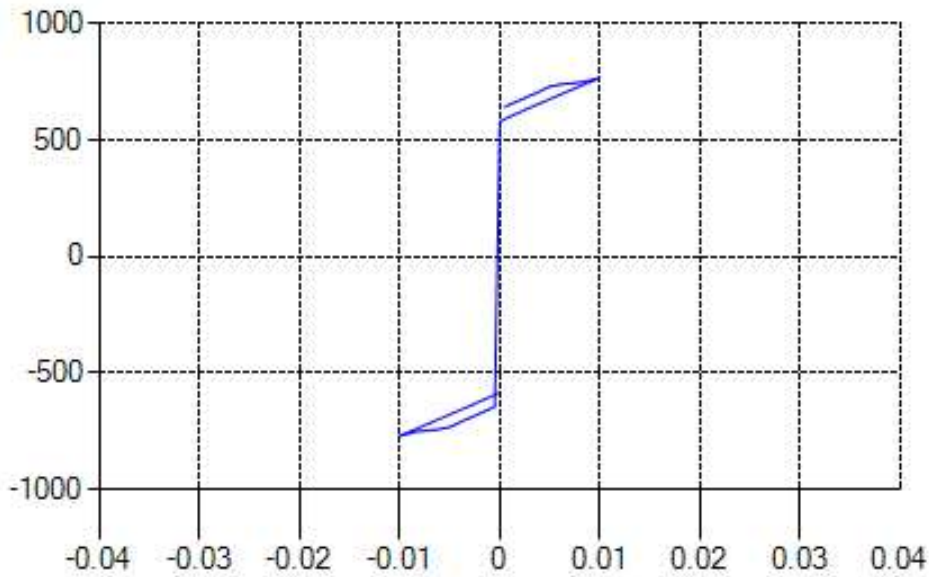


Görüldüğü gibi, limit durumlar işaretlenmiş ve açıklanmıştır. Durum 2 performans seviyesi açısından birşey ifade etmediğinden gösterilmemiştir. Ortalama enerji sönümlenme parametreleri de sol üstte verilmiştir.

Sol tarafta ise, her bir öteleme için ayrı ayrı moment-dönme ilişkisi verilmiş ve enerji sönümlenme parametreleri ayrı ayrı sunulmuştur.

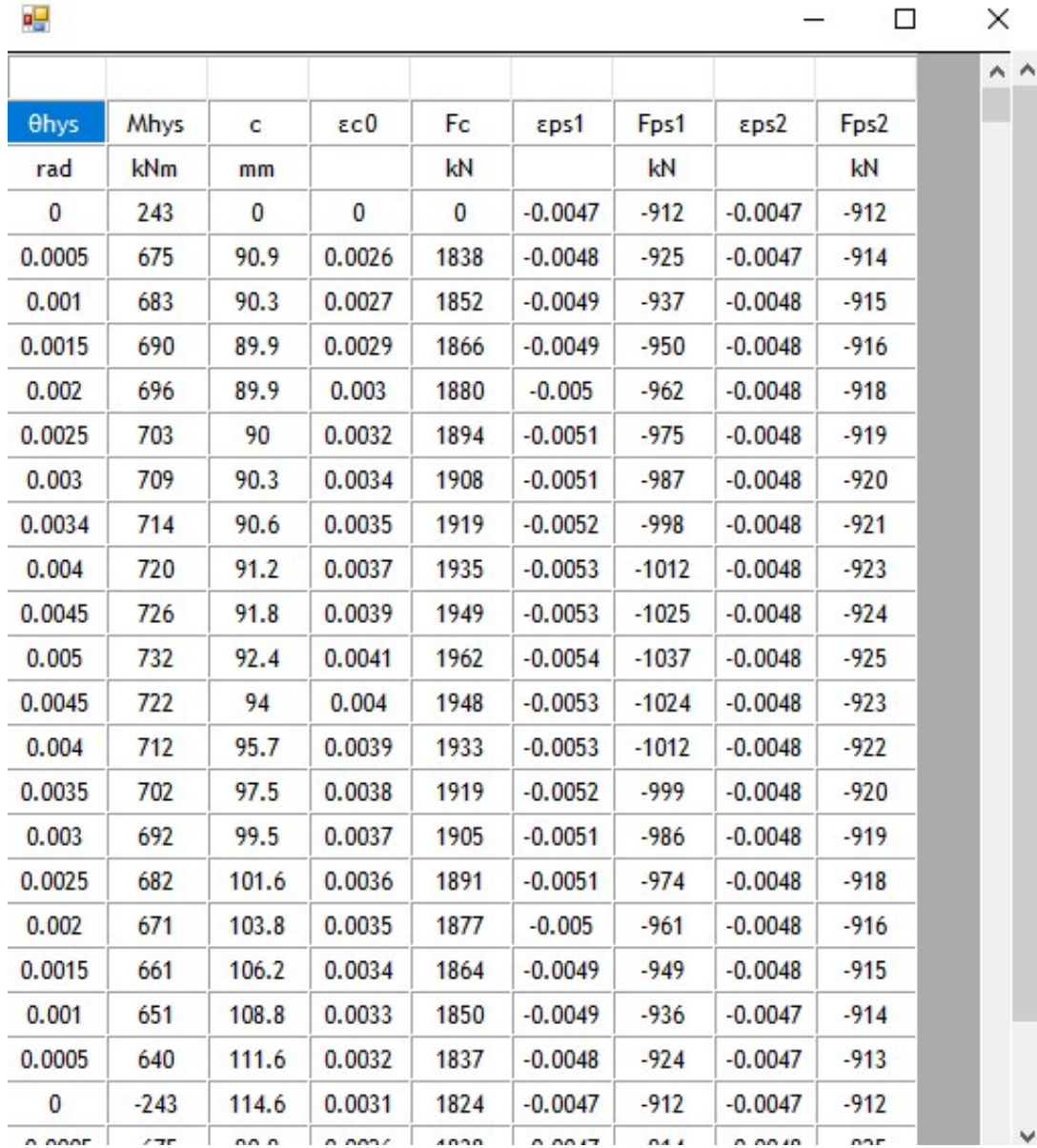


**$\pm 0.005$  drift,  $\beta = 0.0067$ ,  $\xi_{eq} = 0.0004$**



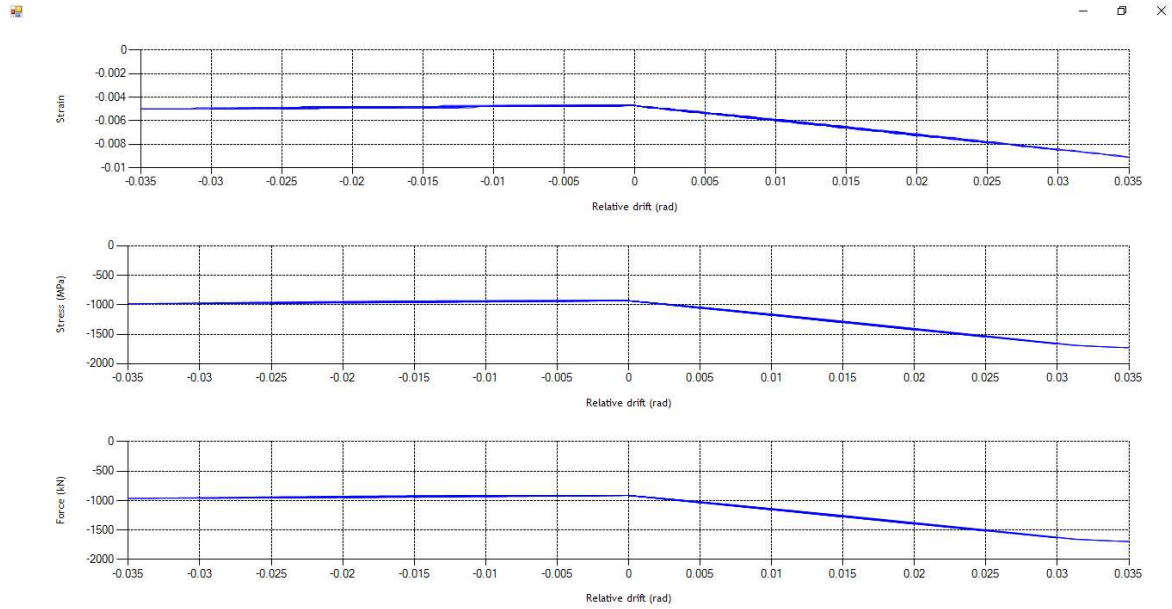
Sonuçları tablo halinde görmek için:

6. **Results**'a tıklayın. **Tables**'a tıklayın. Aşağıdaki tabloda, tüm sonuçları detaylı olarak görürsünüz.

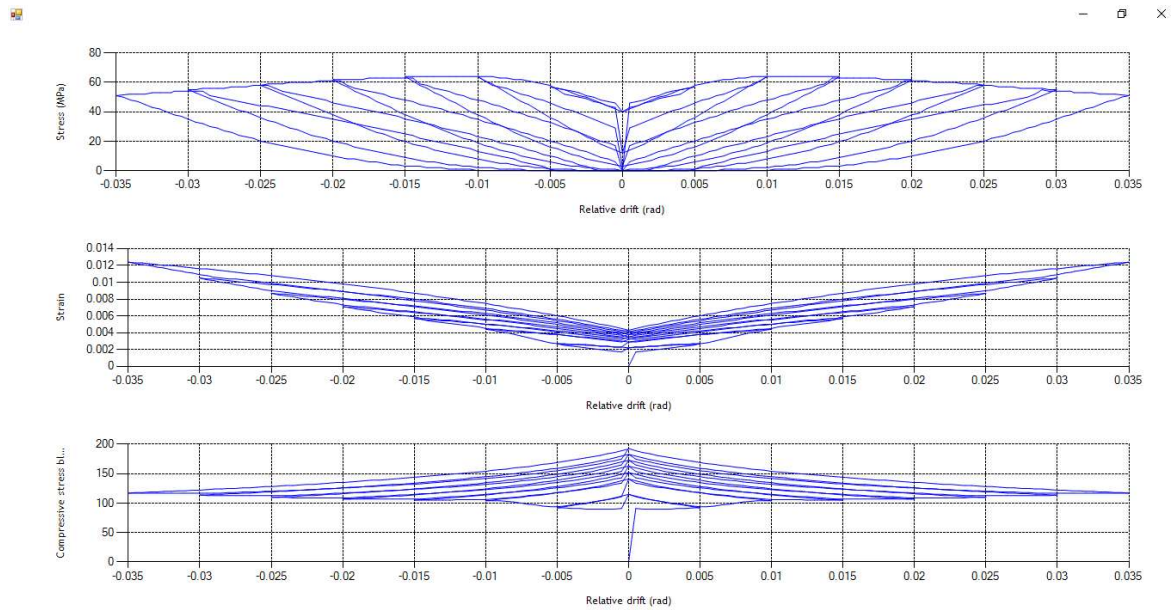


$\theta_{hys}$	$M_{hys}$	$c$	$\epsilon_{c0}$	$F_c$	$\epsilon_{s1}$	$F_{ps1}$	$\epsilon_{s2}$	$F_{ps2}$
rad	kNm	mm		kN		kN		kN
0	243	0	0	0	-0.0047	-912	-0.0047	-912
0.0005	675	90.9	0.0026	1838	-0.0048	-925	-0.0047	-914
0.001	683	90.3	0.0027	1852	-0.0049	-937	-0.0048	-915
0.0015	690	89.9	0.0029	1866	-0.0049	-950	-0.0048	-916
0.002	696	89.9	0.003	1880	-0.005	-962	-0.0048	-918
0.0025	703	90	0.0032	1894	-0.0051	-975	-0.0048	-919
0.003	709	90.3	0.0034	1908	-0.0051	-987	-0.0048	-920
0.0034	714	90.6	0.0035	1919	-0.0052	-998	-0.0048	-921
0.004	720	91.2	0.0037	1935	-0.0053	-1012	-0.0048	-923
0.0045	726	91.8	0.0039	1949	-0.0053	-1025	-0.0048	-924
0.005	732	92.4	0.0041	1962	-0.0054	-1037	-0.0048	-925
0.0045	722	94	0.004	1948	-0.0053	-1024	-0.0048	-923
0.004	712	95.7	0.0039	1933	-0.0053	-1012	-0.0048	-922
0.0035	702	97.5	0.0038	1919	-0.0052	-999	-0.0048	-920
0.003	692	99.5	0.0037	1905	-0.0051	-986	-0.0048	-919
0.0025	682	101.6	0.0036	1891	-0.0051	-974	-0.0048	-918
0.002	671	103.8	0.0035	1877	-0.005	-961	-0.0048	-916
0.0015	661	106.2	0.0034	1864	-0.0049	-949	-0.0048	-915
0.001	651	108.8	0.0033	1850	-0.0049	-936	-0.0047	-914
0.0005	640	111.6	0.0032	1837	-0.0048	-924	-0.0047	-913
0	-243	114.6	0.0031	1824	-0.0047	-912	-0.0047	-912
0.0005	675	90.9	0.0026	1838	-0.0047	-925	-0.0048	-914

7. Ardgerme halatları ile ilgili sonuçları görmek için **Results**'a tıklayın. Burada **PT strands**'e tıklayın.



8. Beton ile ilgili sonuçları görmek için **Results**'a tıklayın. Buradan **Concrete**'e tıklayın.



**Referanslar**

1. Wada, Sakata, Nakano, Matsuzaki, Tanabe, Machida. 2006. 'Study on Damaged Controlled Precast Prestressed Concrete with PC Mild-Press Joint: Part 1', FIB Proceedings of the Second International Congress
2. Precast Concrete Institute Design Handbook 7th Edition
3. 'Seismic Behaviour and Design of Unbonded Post-tensioned Precast Concrete Frames'. El-Sheikh M, Sause R, Pessiki S, Lu L. PCI Journal.
4. 'Friction-damped Unbonded Post-tensioned Precast Concrete Moment Frame Structures for Seismic Regions'. Kurama Y, Morgen B. Structural Engineering Research Report. University of Notre-Dame.
5. 'Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering'. Chopra A.K., Pearson Prentice Hall, 3<sup>rd</sup> Edition.
6. 'Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing ', ACI T1.1-01, American Concrete Institute.