

Deprem ve Yapı Bilimleri



GEBZE TEMSİLCİLİĞİ

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ (SAP2000 UYGULAMASI) *I. Genel Kavramlar*

Dr. Yasin Fahjan

fahjan@gyte.edu.tr

<http://www.gyte.edu.tr/deprem/>

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

- **Sonlu Elemanlar (SE)** Yöntemi, çeşitli mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir **yaklaşım**la çözüm arayan bir **sayısal** çözüm yöntemidir.
- Sonlu elemanlar yöntemi çok güçlü ve çağdaş bir sayısal hesaplama yöntemidir.
- Son 40 yılda **bilgisayarların hızlı gelişimine** paralel olarak gelişen sayısal hesap yöntemleri içinde çok önemli bir yer tutmaktadır.

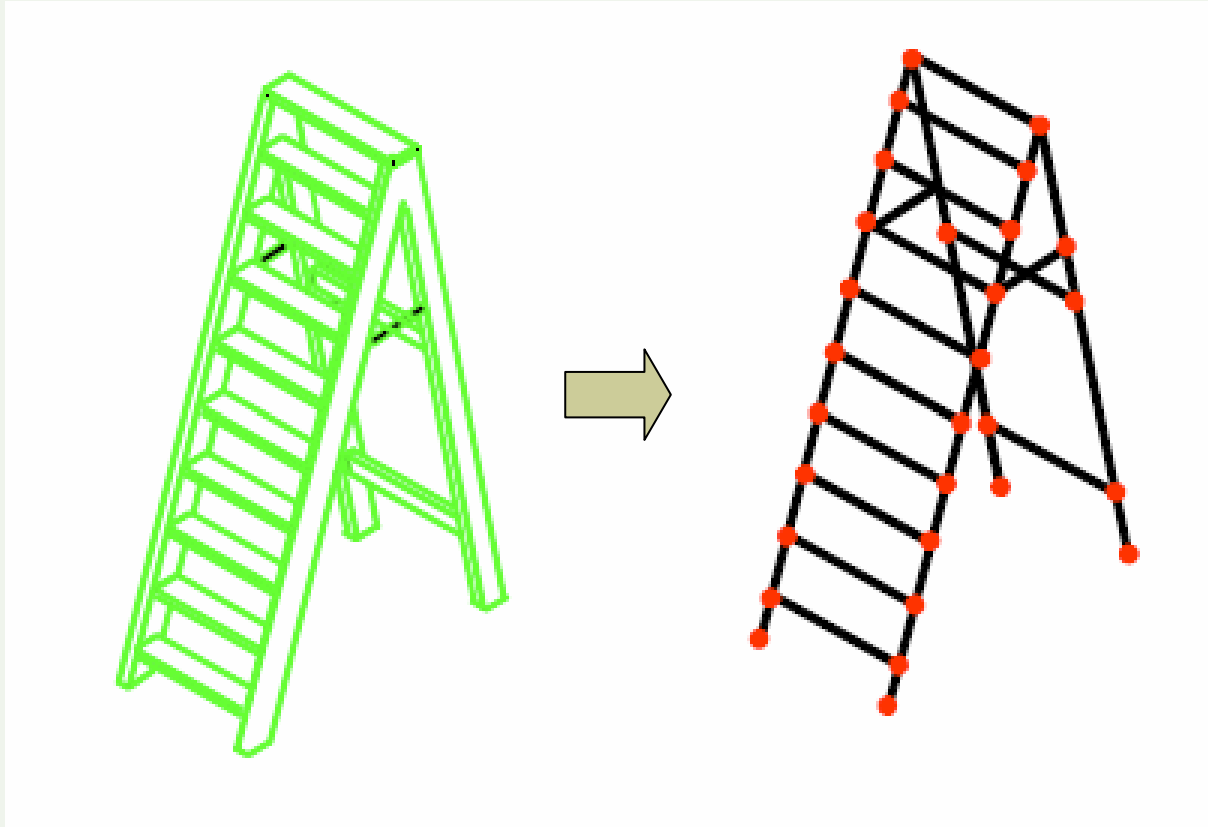
TARİHÇE

- İlk kullanımı 1950'li yıllarda **İnşaat Mühendisliği**'nde oldu
- Etkin kullanımı bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ile mümkün oldu
- Bu sayısal yaklaşım yöntemi her ne kadar orijinal olarak yapı sistemleri için geliştirilmiş olsa da dayandığı esasların genelliği dolayısıyla yöntem **akışkanlar mekaniği, zemin mekaniği, uçak mühendisliği nükleer mühendislik, kaya mekaniği, elektromanyetik alanlar, termal analiz** ve daha sayabileceğimiz pek çok mühendislik ve fizik problemlerinin çözümünde araç olarak kullanılmaktadır

SE İLE ÇÖZÜMLER

- Sonlu Elemanlar Analizi fiziksel bir sistemin matematik olarak ifade edilmesidir. Bu sistem alt parçalara ayrılabilen model olup, malzeme özelliklerine ve uygulanabilir sınır şartlarına sahiptir
- Sonlu Elemanlar (SE) **düzensiz ve karmaşık geometriye** geometrisi sahip sistemlerin incelenmesine olanak sağlar.
- SEY değişik ve karmaşık **malzeme özellikleri** olan sistemlerde uygulanabilir. Örneğin, Malzemenin **heterojen** (beton gibi) olması, anizotrop (ahşap gibi) olması, nonlinear malzeme, .. Vs.
- Karışık ve süreksiz **sınır koşullarının** ve **Yüklemenin üniform olmaması**, süreksiz ve tekil yüklerin sistemine dahil edilebilir,

SONLU ELEMANLAR MODELİNİN OLUŞTURULMASI



GENEL SE İLE STATİK - BETONARME TASARIM PROGRAMLARI KARŞILAŞTIRMA

■ SAP2000

■ STAAD

■ Lusas

■ Adina

■ İdeCad

■ Probina

■ Sta4

Genel SE Yazılım:

Bina, Köprü, Tank,
Baraj, Endüstri..

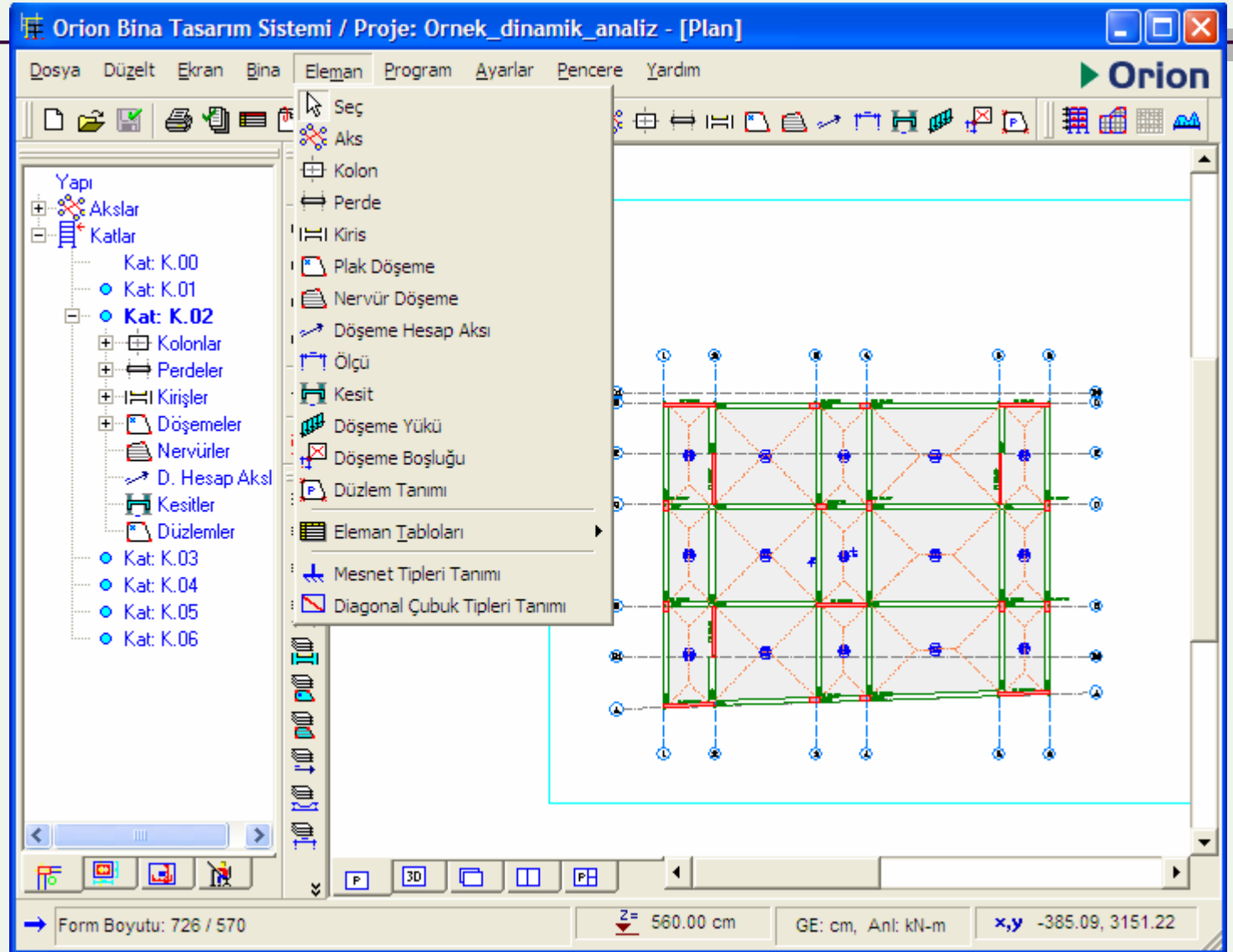
Elemanlar: Çubuk,
Kabuk, Yay, katı

Bina Analizi Betonarme Tasarımı:

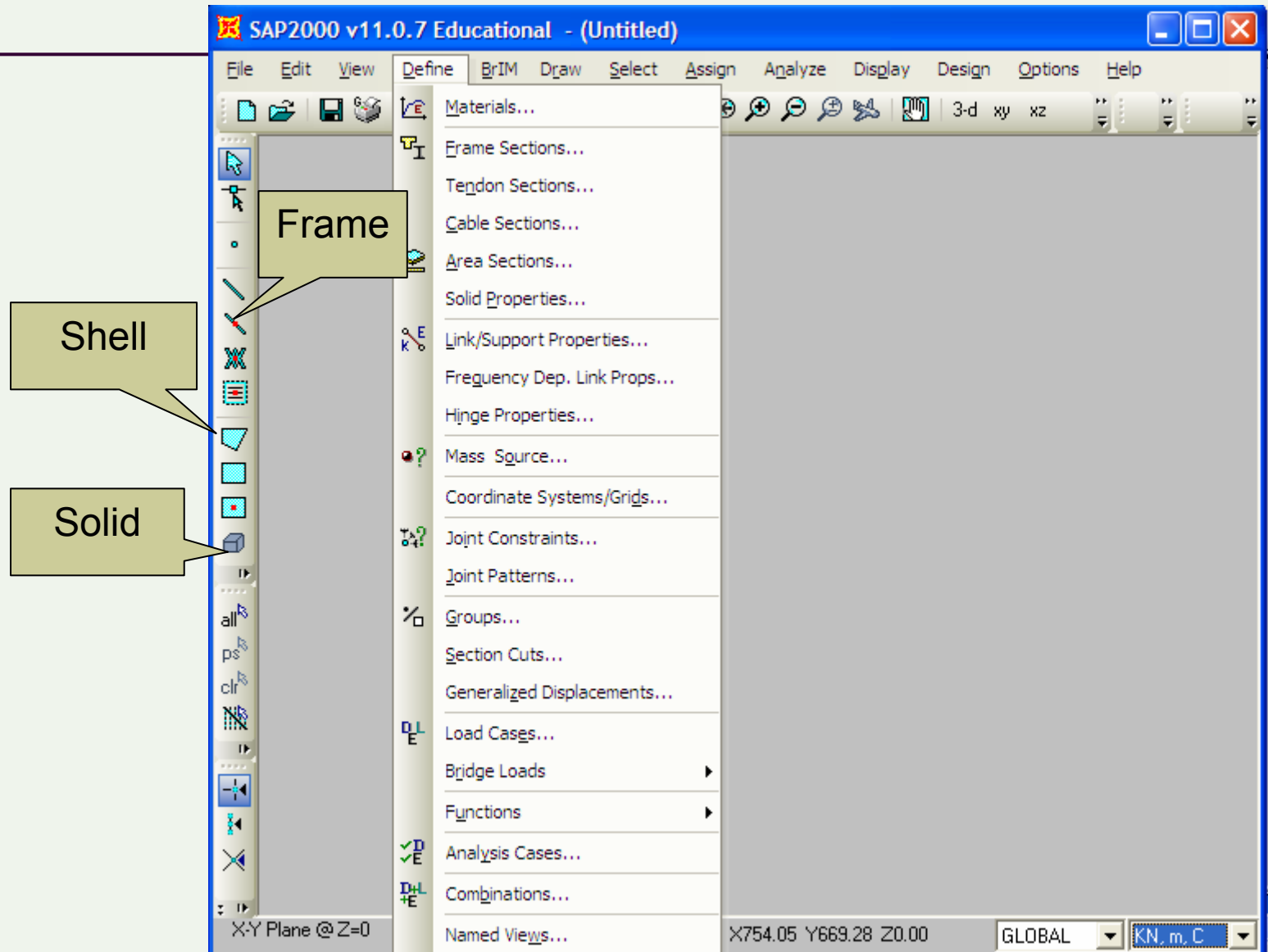
Detay, Pafta, Hesap Raporu

Elemanlar: Kolon, kiriş,
Perde, Döşeme, etc..

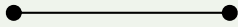
BİNA ANALİZİ BETONARME TASARIMI YAZILIMLARI



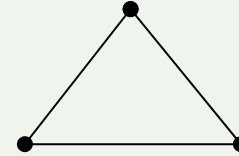
GENEL SE YAZILIMLARI



SE İLE GEOMETRİ MODELLEME



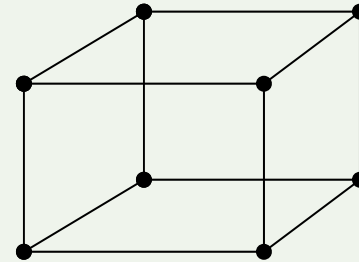
Bir boyutlu çubuk eleman



İki boyutlu üçgen eleman

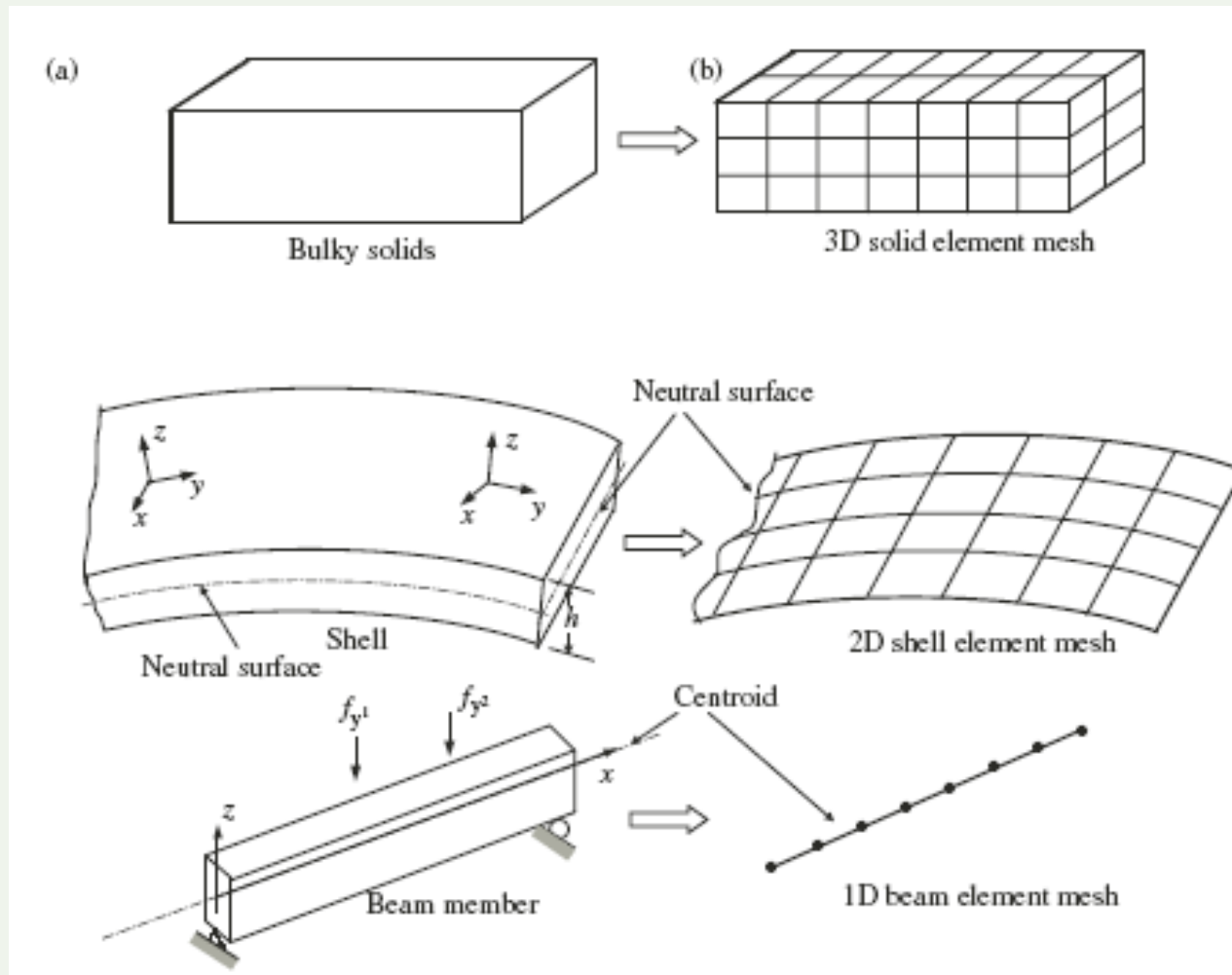


İki boyutlu dörtgen eleman



Üç boyutlu dörtgen
prizma (katı) eleman

SE İLE GEOMETRİ MODELLEME



MODELLEME TEKNİKLERİ

■ Kurallar

- Basit
- İstenilen Detay
- Amaca Uygun
- Zamana ve Maliyete Uygun
- Dikkatli bir modelleme
- Sonuçları iyi yorumlamayı gerektirir

■ Araçlar

- Elemanlar
- Sınır Şartları
- Yüklemeler

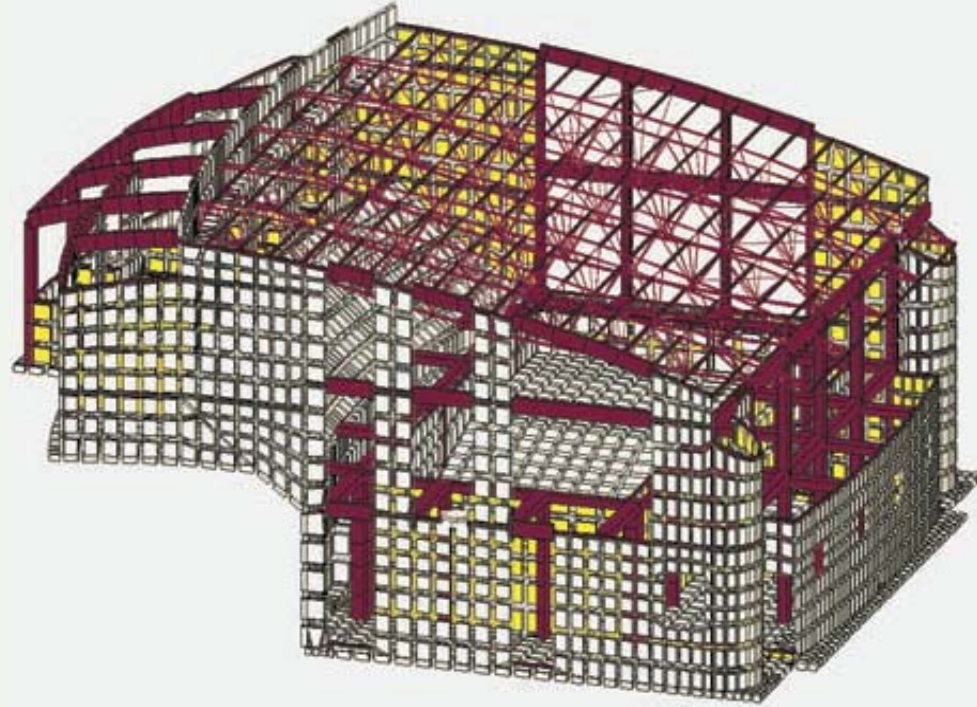
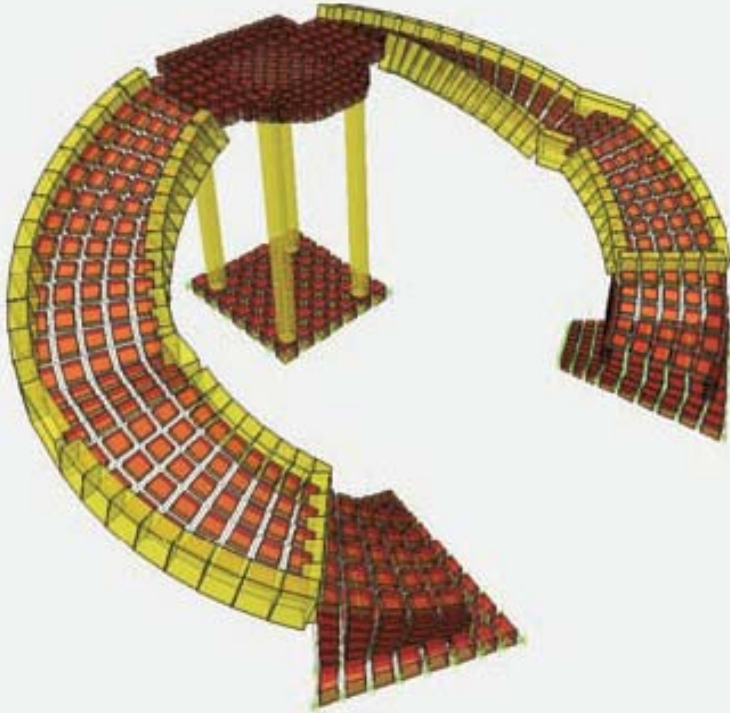
- SE kara kutu değildir.

MODELLEME BAŞLAMADAN ÖNCE

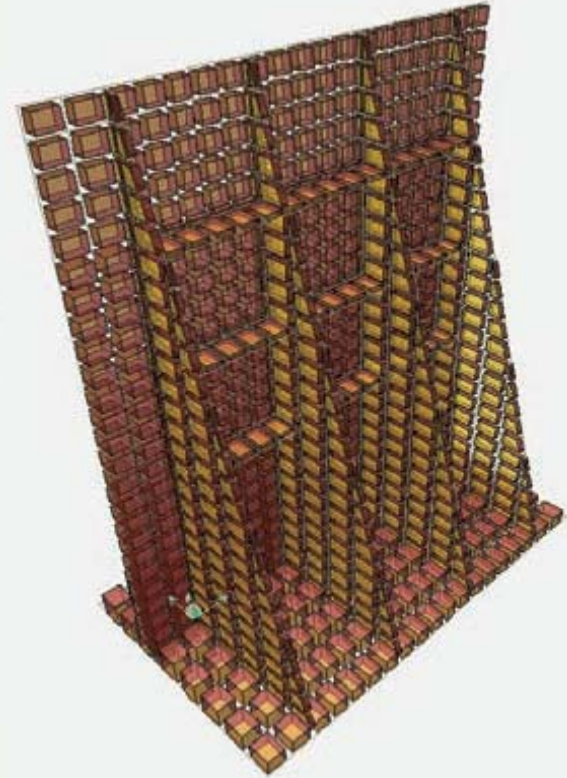
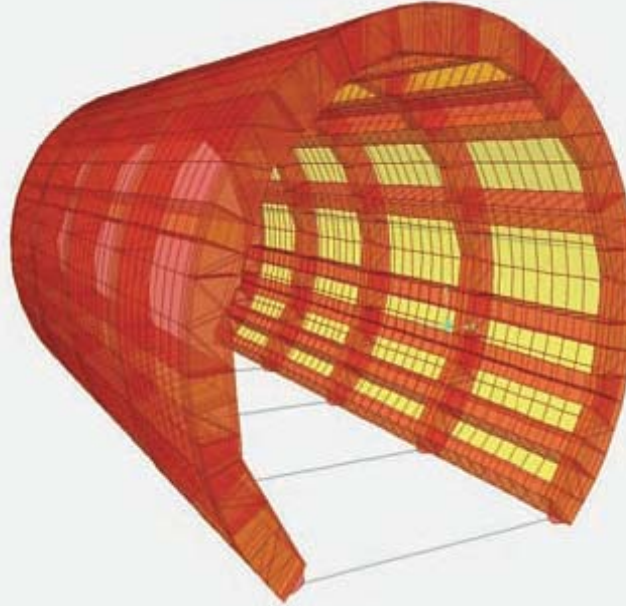
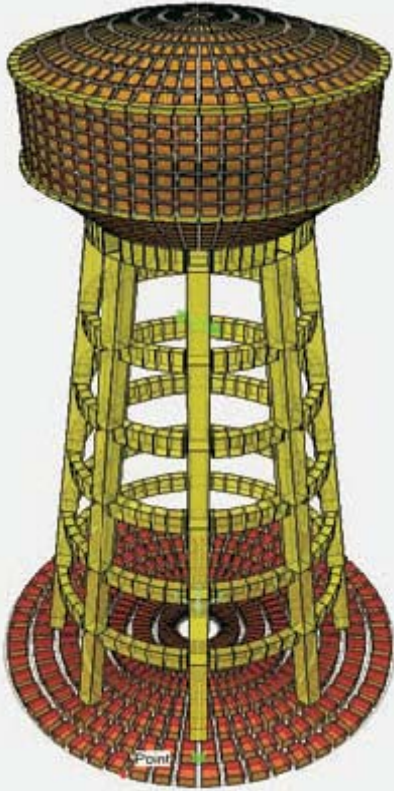
- Dizaynın amaçlarının neler olduğunu belirlemek gerekmektedir.
- Neleri bilmeye ihtiyacın var.
- SE neden yapıyorsun?
- Dizayn kriteri nedir?
- Yapılan dizaynı değerlendirmek için hangi mühendislik kriteri kullanılacaktır.



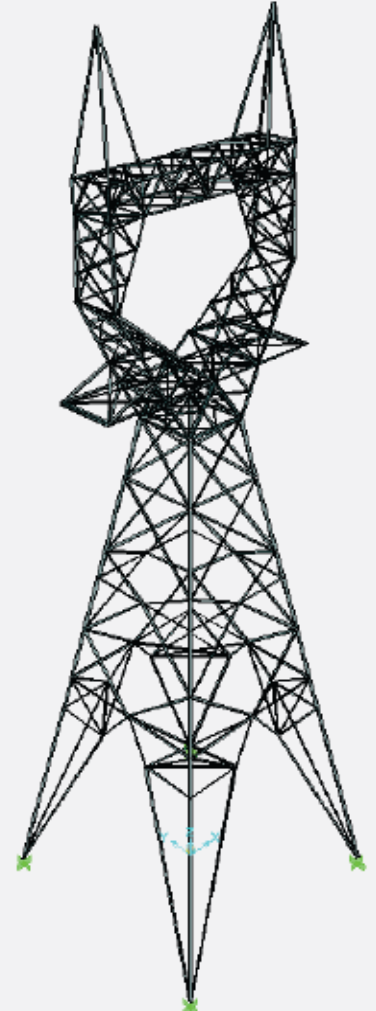
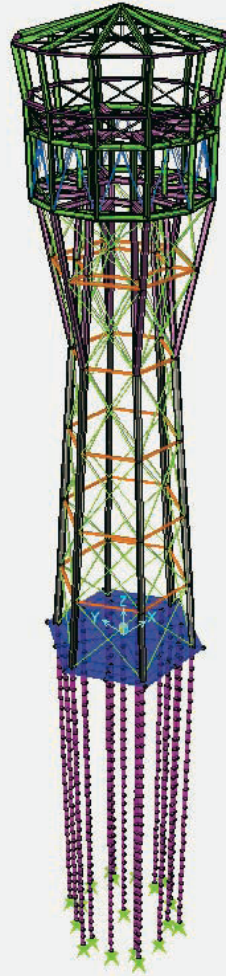
MODELLEME ÖRNEKLERİ



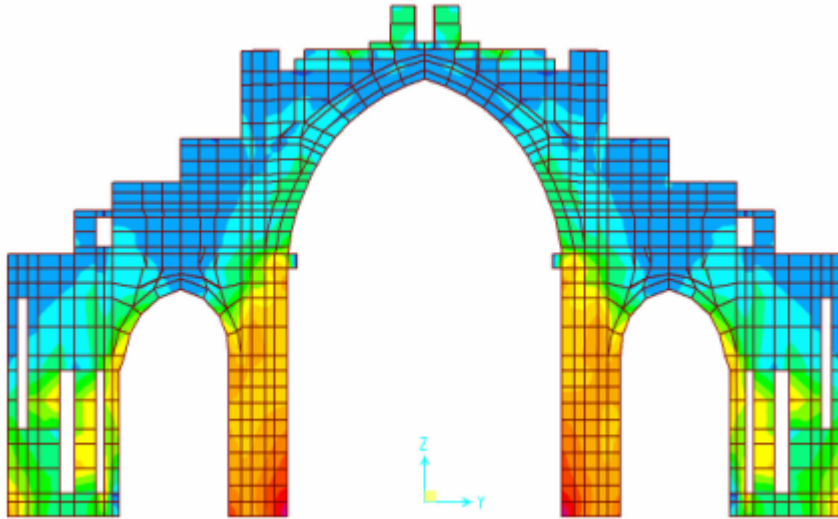
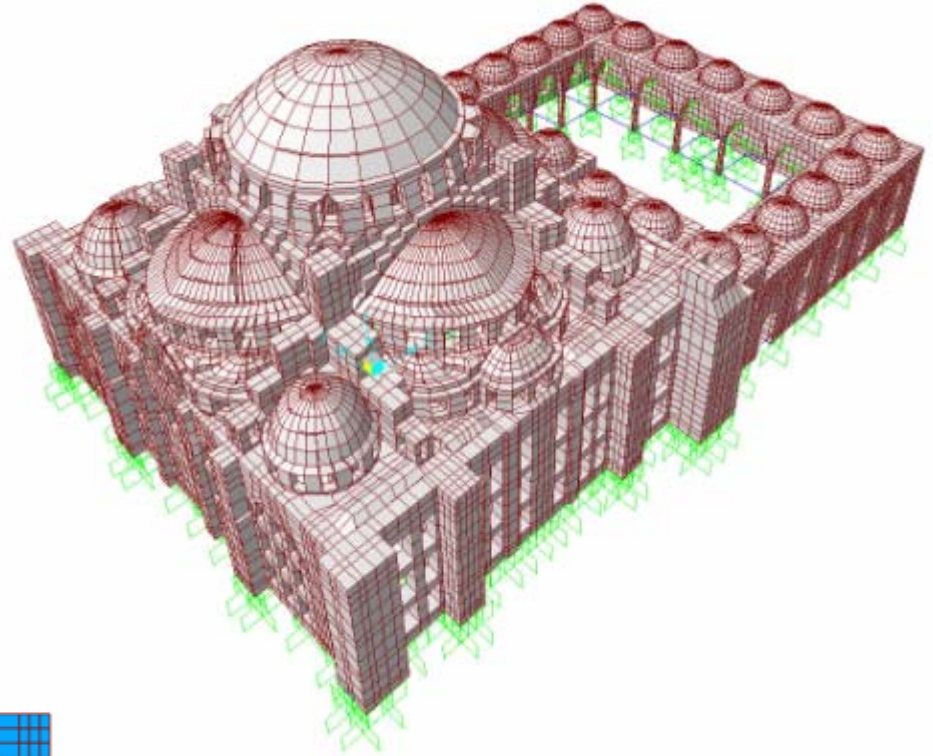
MODELLEME ÖRNEKLERİ



MODELLEME ÖRNEKLERİ



MODELLEME ÖRNEKLERİ



SEY İŞLEM ADIMLARI

1. Yapı sonlu elemanlar ile modellenir (*ayrıklaştırma*)
2. Sistemin Global Aksları, Düğümünün Serbestlik Dereceleri (*DOF*) ve Sınır Şartları Oluşturur
3. Elemanların Rijitlik Matrisleri lokal aksende oluşturur $[k]$
4. Elemanların Rijitlik Matrisleri lokal aksenden Sistem Global Aksanları Çevirilir $[k']=[T'] [k]$
5. Global *Rijitlik Matris* Oluşturur $[K]$
6. Elemanların Yükleri Düğüm Noktalarına Aktarılır
7. Global *Yük Vektörü* Oluşturur $\{F\}$

SEY İŞLEM ADIMLARI (devam)

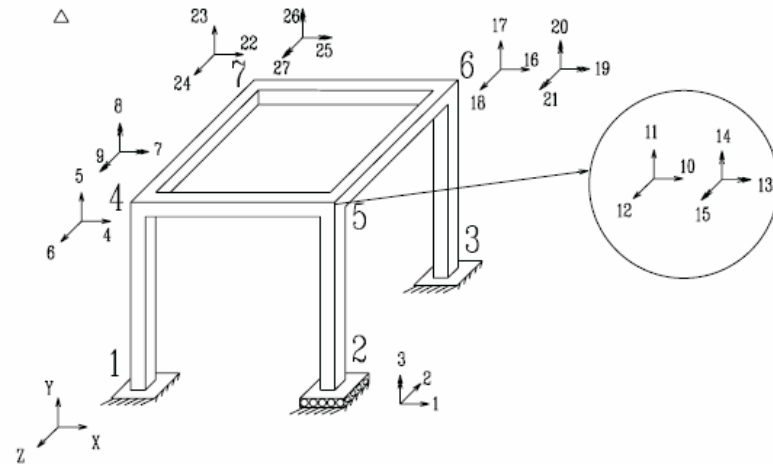
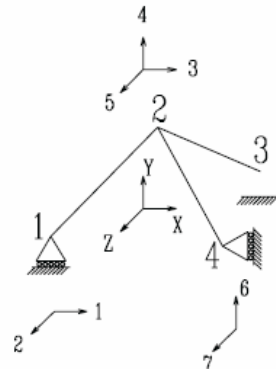
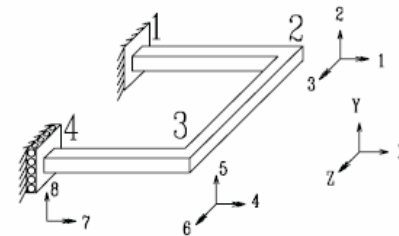
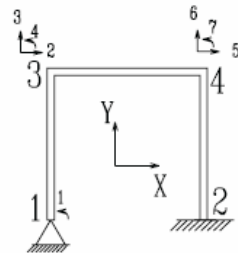
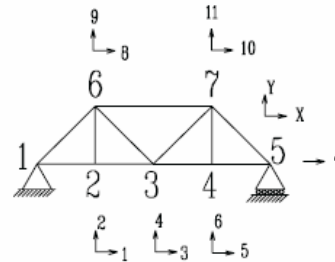
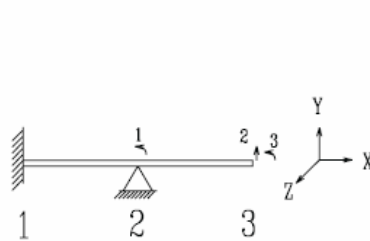
8. Sistem Matris Denklamları Çözülür (Gauss Elimination)

$$[K]\{u\}=\{F\}$$

- **[K]: Global Rijitlik Matrisi**
- **{u}: Bilinmeyen Deplasman vektörü**
- **{F}: Sağ taraf (kuvvet) vektörü**

9. Elemanların local deplasmaları Global Deplasmanlar vektöründen Elde edildikten sonra, İç Kuvvetleri Hesaplanır

SİSTEM SERBESTLİK DERECEŚİ

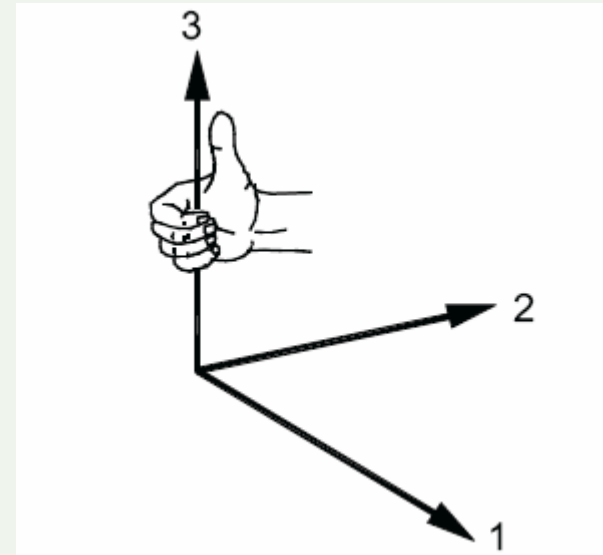
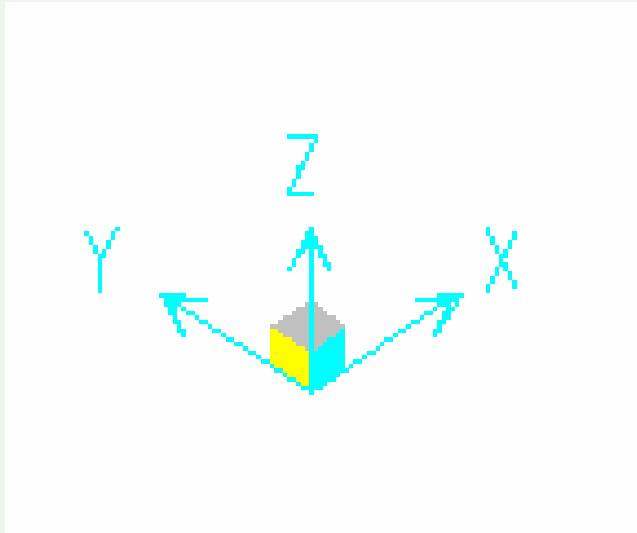


SİSTEM TANIMLARI

- **Genel Eksenler (GLOBAL COORDINATES):** Tüm yapı sisteminin bulunduğu ortamı tanımlayan eksenlerdir. (Kartezyen koordinatlar X, Y, Z)
- **Yerel Eksenler (LOCAL COORDINATES):** Elemanın genel eksenlere göre yerleşimini belirleyen ve elemana ait olan koordinatlardır. Adlandırması $(1, 2, 3)$ şeklindedir.

GENEL VE LOKAL EKSENLER

- SAP2000 de hem genel hem yerel eksen takımları sağ el kuralına uymaktadır. İki eksenin yerleşimi bilindiğinde diğer eksenin belirlenmesi bu kurala göre yapılmaktadır.



DÜĞÜM NOKTALARI

- Sistemin dış ortam ile birleştiği veya elemanların birbirleriyle birleştiği noktalardır.
- SAP2000'de düğüm noktalarına **JOINT** adı verilmektedir.
- SAP2000'de düğüm noktaları adları/numaraları ve koordinatları ile tanımlıdır.

DÜĞÜM NOKTALARI-SAP2000

Object Model - Point Information

Location Assignments Loads

Identification

Label 9

Joint Coordinates	
Coordinate System	GLOBAL
X	-432.
Y	288.
Z	288.
Connectivity	
Frame	6
Frame	38
Frame	46
Special Jt (User Def)	No

Kip, in, F

Reset All

Update Display

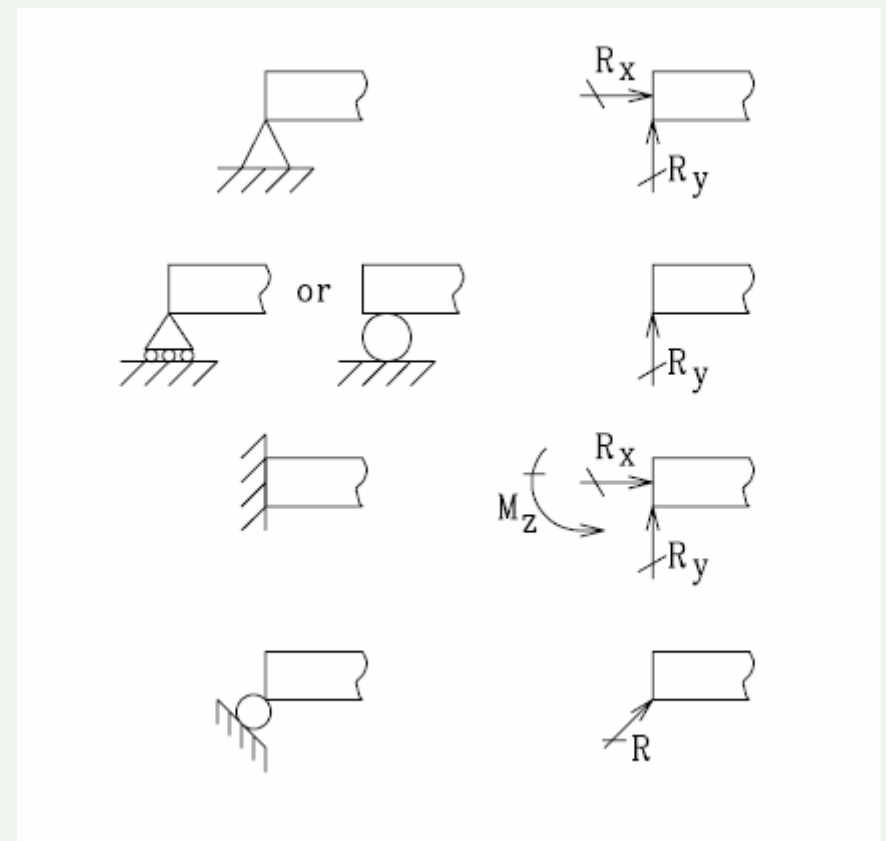
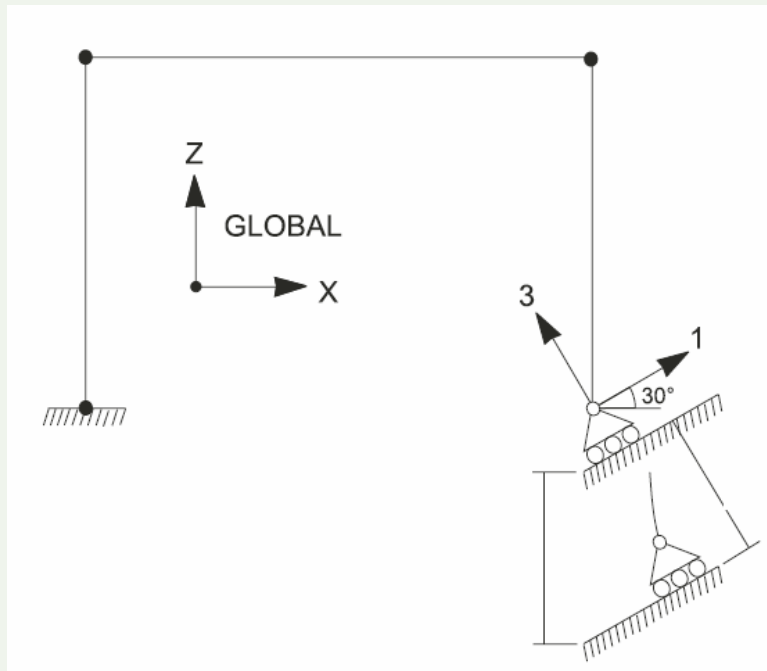
Modify Display

OK

Cancel

Double click white background cell to edit item.

MESNET ŞARTLARI (Restraints)



MESNET ŞARTLARI (SAP2000)

Object Model - Point Information

Location Assignments Loads

Identification

Label 1

Constraints	None
Restraint	u1, u2, u3
Local Axes	Default
Springs	None
Masses	None
Panel Zone	None
Joint Patterns	None
Group	ALL
Generalized Displs	None
RS Named Sets	None
Plot Functions	None
Merge Number	0

Kip, in, F

Reset All

Update Display

Modify Display

OK

Cancel

Double click white background cell to edit item.

RİJİT DİYAFRAM - CONSTRAINTS

Diaphragm Constraint

Constraint Name

Coordinate System

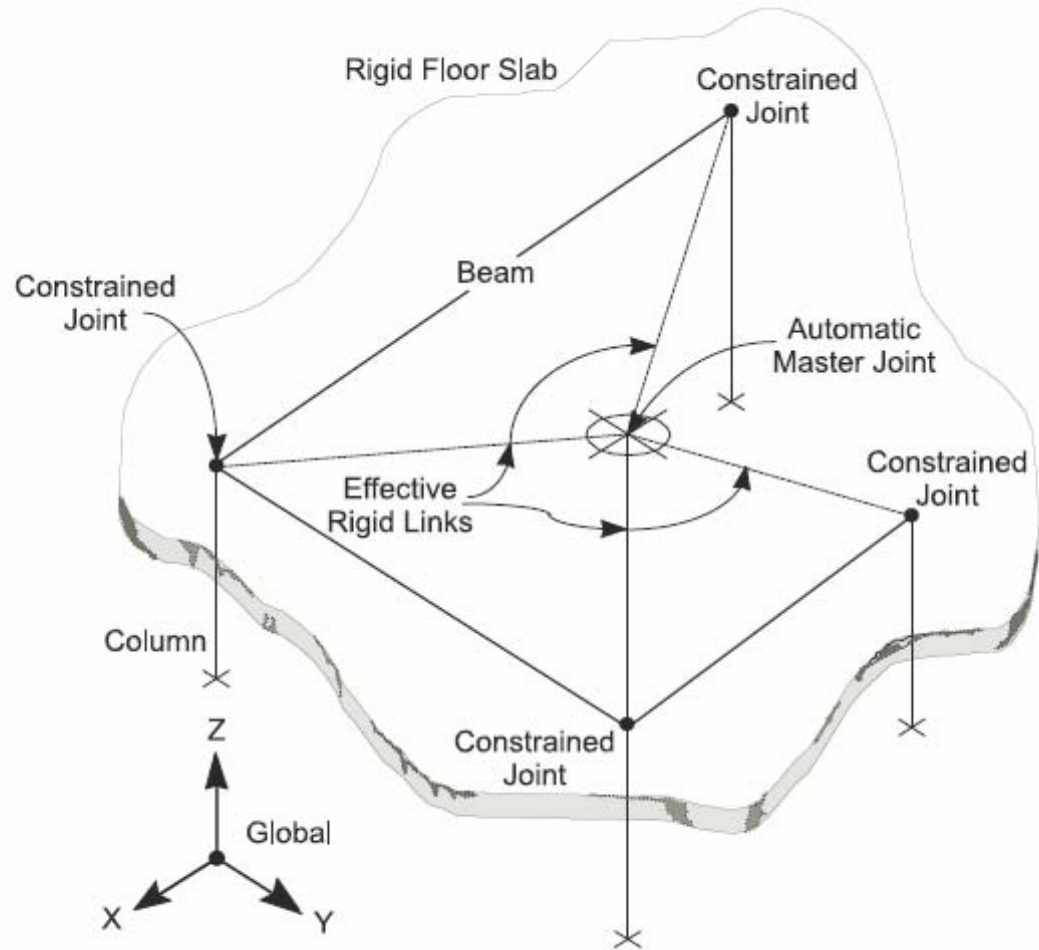
Constraint Axis

☐ X Axis ☐ Auto

☐ Y Axis

☒ Z Axis

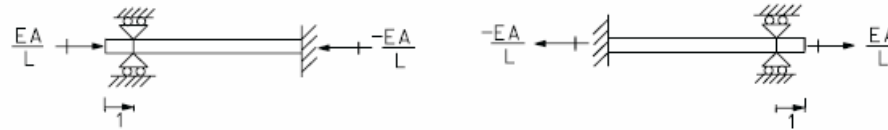
☐ Assign a different diaphragm constraint to each different selected Z level



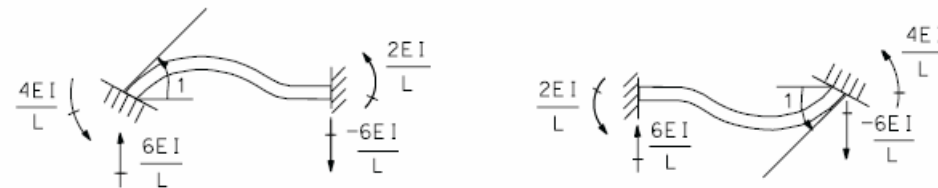
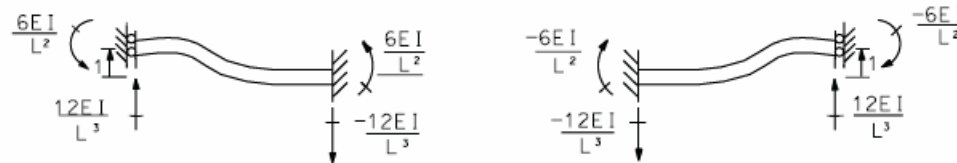
ÇUBUK ELEMAN (FRAME)

- Gerçek sistemde iki boyutu üçüncü boyutunun yanında küçük olan, elemanın eksen ve normal kesitiyle tanımlı olan elemana çubuk eleman adı verilir.
- SAP2000'de bu tür elemanlar **FRAME** olarak adlandırılmaktadır.
- SAP2000'de çubuk elemanlar adları/numaraları, başlangıç bitiş noktalarını gösteren düğüm noktaları ve kesit özellikleriyle tanımlıdır.
- Bina türü sistemlerde kolon, kiriş, bazı durumlarda perde, dişli ve kaset döşemelerin dişleri, sürekli temel, ızgara temel elemanları çubuk (FRAME) eleman kullanılarak modellenenebilir.

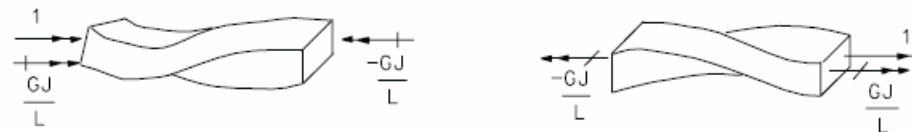
ÇUBUK ELEMAN RİJİTLİK MATRİSİ



Truss



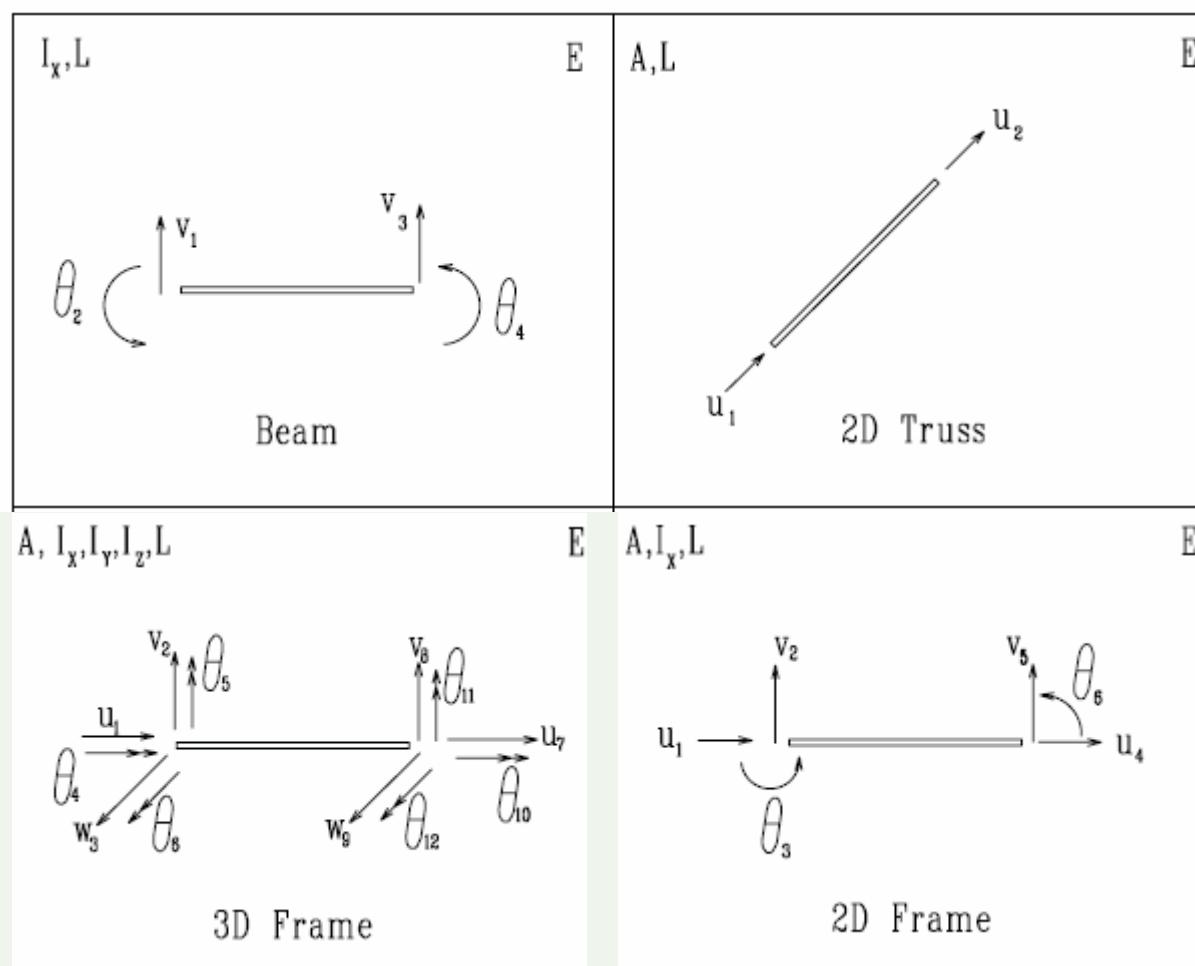
Beam



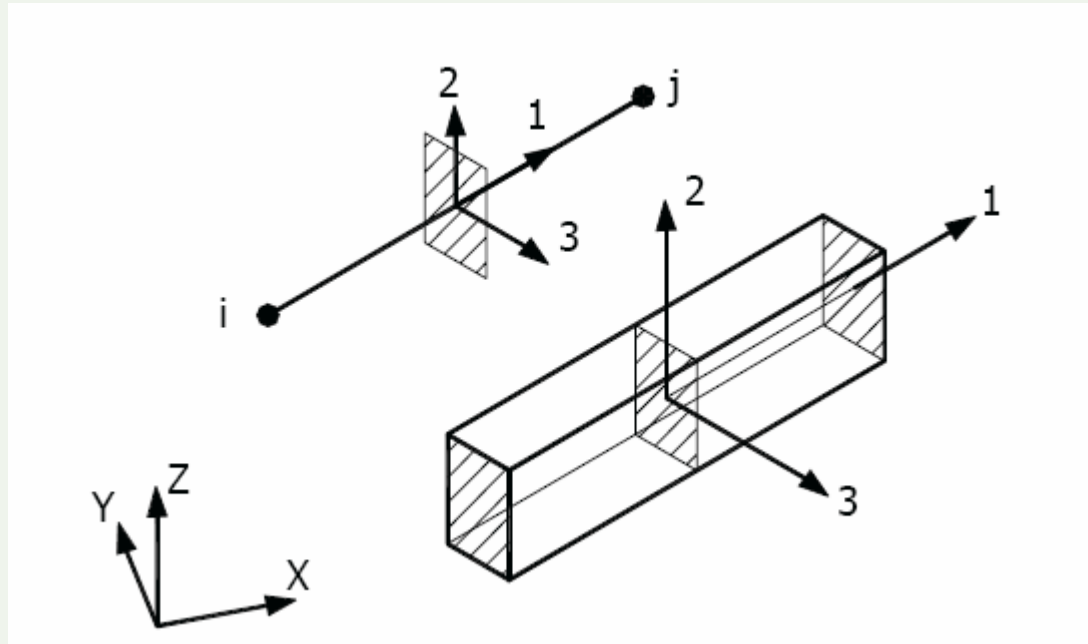
"Grid"

ÇUBUK ELEMAN

UÇ DEFORMASYONLARI



ÇUBUK ELEMAN YEREL EKSENLERİ

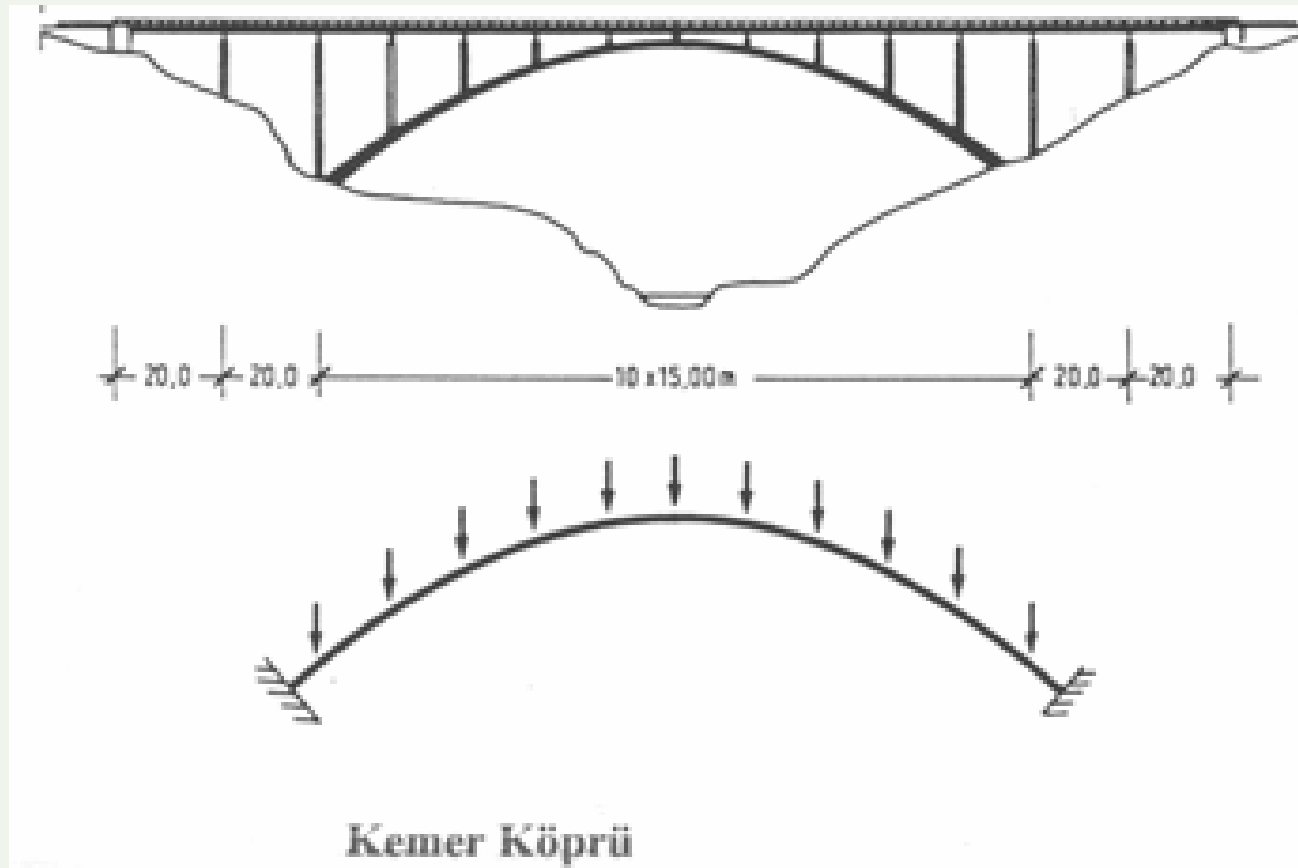


TRUSS ELEMANLAR İLE UYGULAMA

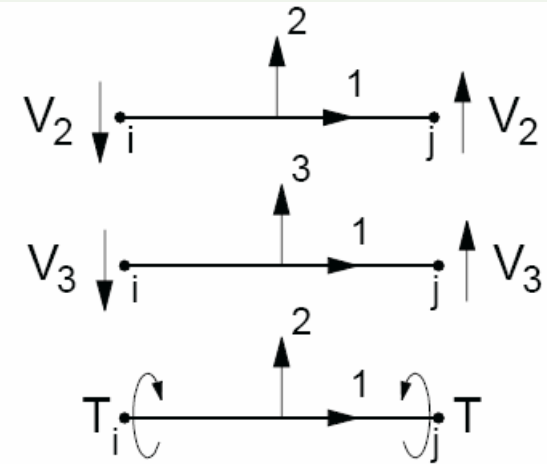
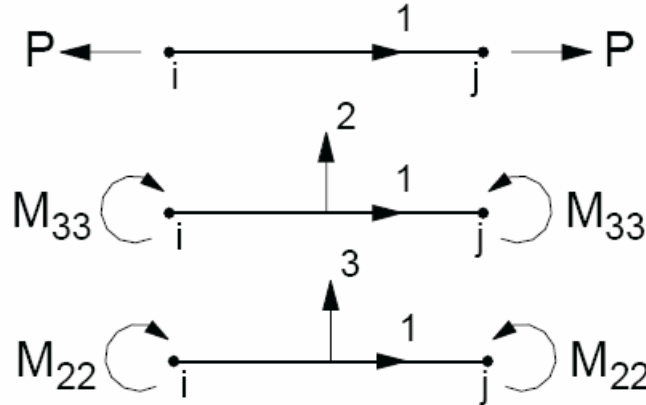
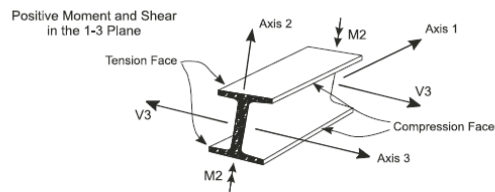
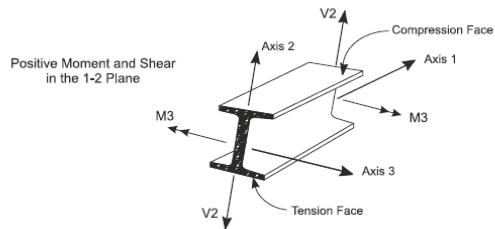
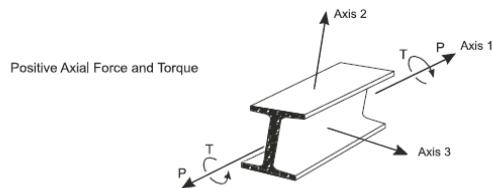


ÇUBUK ELEMAN UYGULAMASI

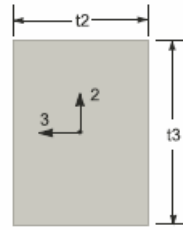
- Kolonlar, kirişler, kemerler



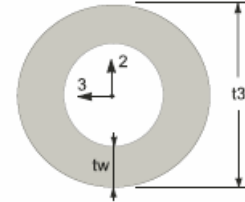
ÇUBUK ELEMAN UÇ İÇ KUVVETLERİ VE POZİTİF YÖNLERİ



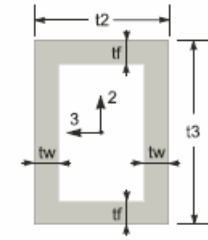
KİRİŞ KESİT ÖZELLİKLERİ



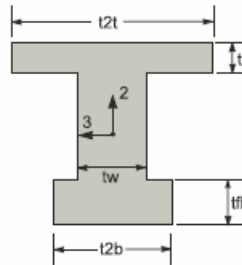
SH = R



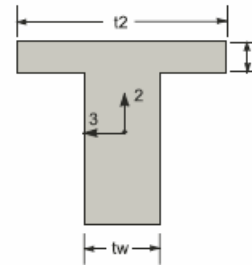
SH = P



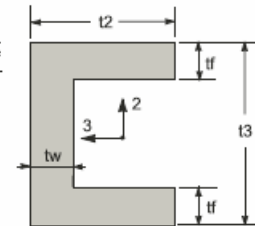
SH = B



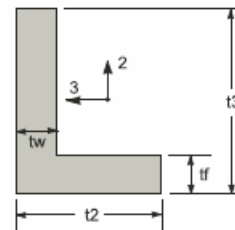
SH = I



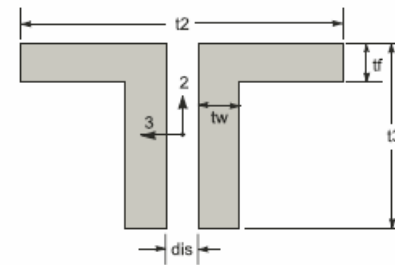
SH = T



SH = C

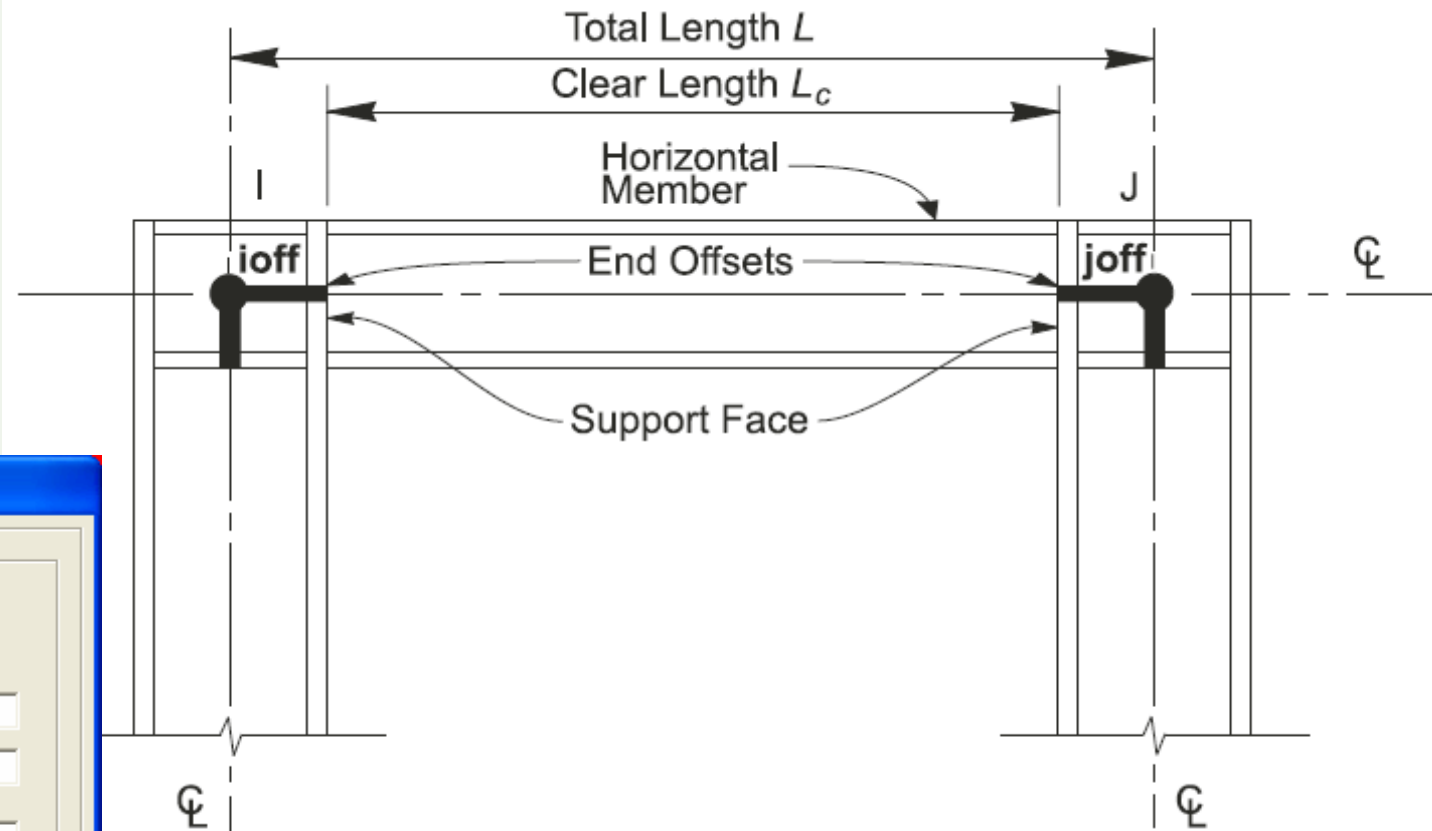


SH = L



SH = 2L

ÇUBUK UÇ RIJITLIĞI (Rigid Ends)



Frame End Length Offsets

End Offset Along Length

☐ Automatic from Connectivity

☒ Define Lengths

End-I

0.

End-J

0.

Rigid-zone factor

0.

OK

Cancel

ÇUBUK UÇ MAFASALLARI (END RELEASES)

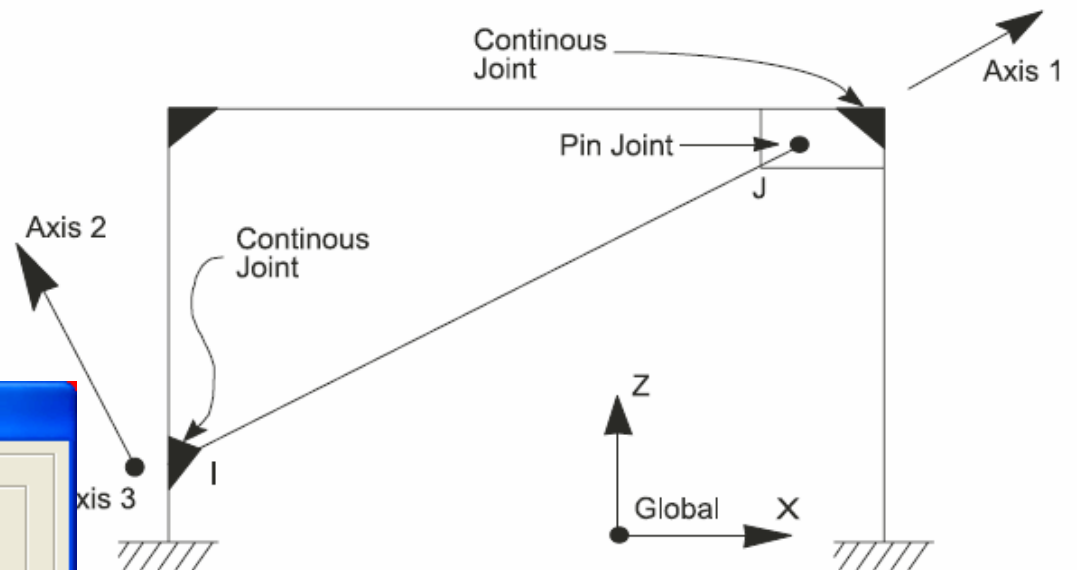
Assign Frame Releases

Frame Releases

	Release		Frame Partial Fixity Springs	
	Start	End	Start	End
Axial Load	☐	☐		
Shear Force 2 (Major)	☐	☐		
Shear Force 3 (Minor)	☐	☐		
Torsion	☐	☐		
Moment 22 (Minor)	☐	☐		
Moment 33 (Major)	☐	☐		

☒ No Releases

OK Cancel



For diagonal element: R3 is released at end J

ÇUBUK ELEMANI YÜKLEMELERİ

Frame Distributed Loads

Load Case Name: Units:

Load Type and Direction:
☒ Forces ☐ Moments
Coord Sys:
Direction:

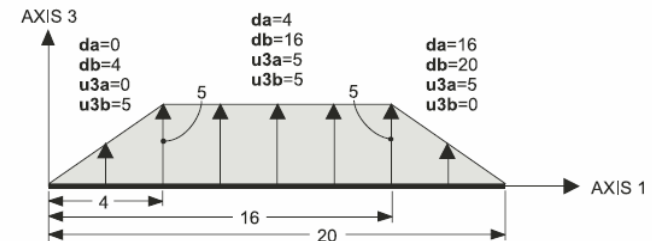
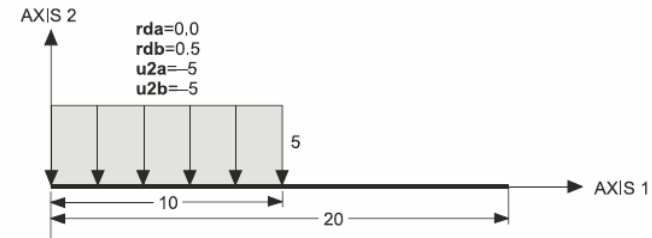
Options:
☐ Add to Existing Loads
☒ Replace Existing Loads
☐ Delete Existing Loads

Trapezoidal Loads:

	1.	2.	3.	4.
Distance	0.	0.25	0.75	1.
Load	0.	100	100	0.

☒ Relative Distance from End-I ☐ Absolute Distance from End-I

Uniform Load:
Load:



KABUK (SHELL)

- Yüzeysel taşıyıcı elemanları modellemek için kullanılan elemandır.
- SAP2000'de bu tür elemanlar **SHELL** olarak adlandırılmaktadır.
- Bu Eleman **PLATE** ve **MEMBRANE rijitlik matrislerinden oluşur**
- SAP2000'de SHELL elemanlar adları/numaraları, düğüm noktaları ve kesit gibi özellikleriyle tanımlıdır.
- SHELL eleman dörtgen veya üçgen şeklinde olabilmektedir.
- Shell: Genel durumda yüzeysel sistemleri modellemek için kullanılır (Kabuk, perde, döşeme, radye temel vb.)

MEMBRANE (MEMBRAN)

- Düzlemi içinde yüklü yüzeysel taşıyıcı elemanları modellemek için kullanılır. (2 boyutlu Perde Analizi)

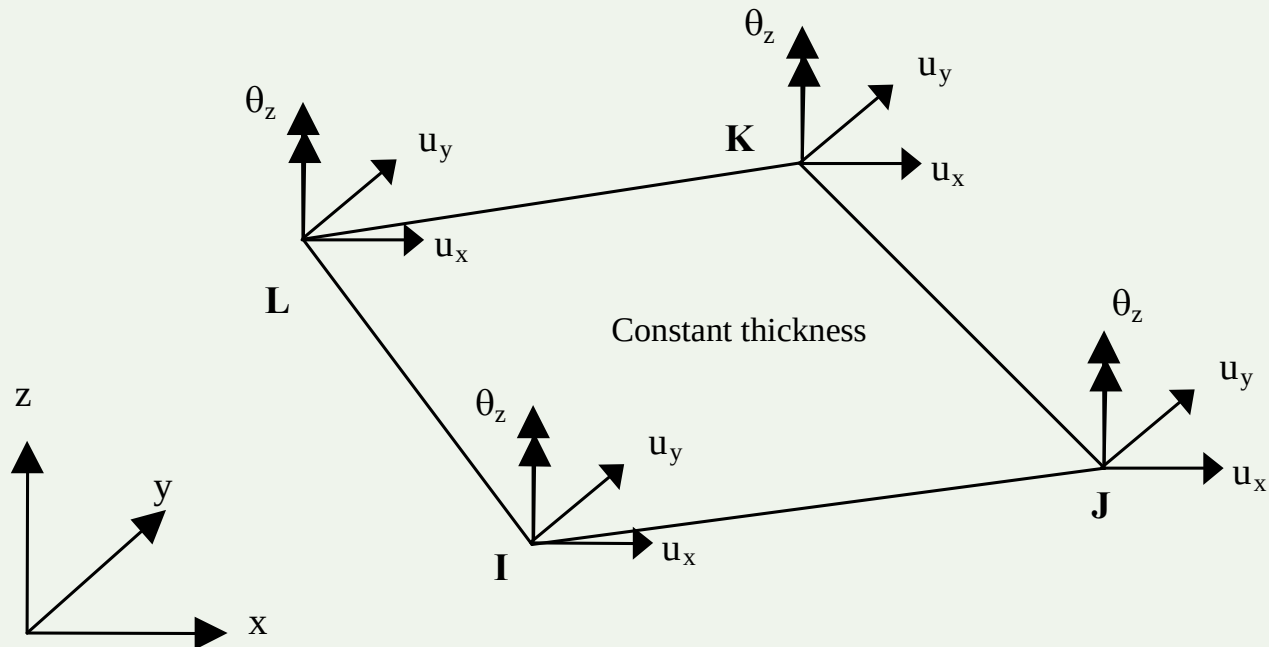
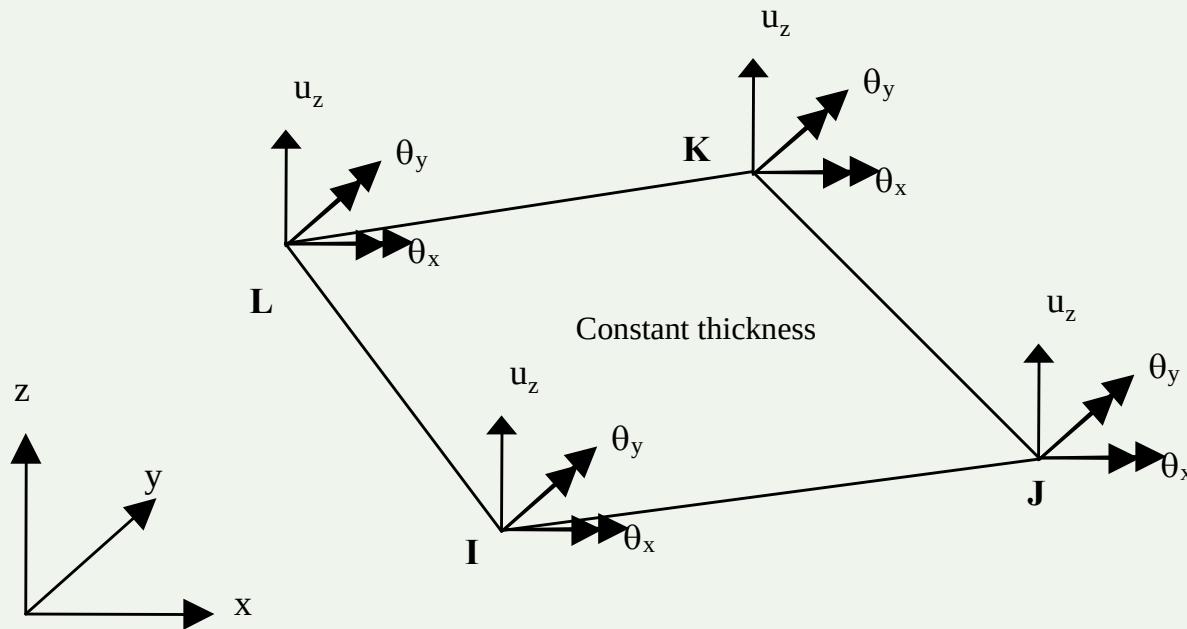


PLATE (PLAK)

- Plate (PLAK) :Yalnızca düzlemine dik yüklü yüzeysel taşıyıcıları modellemek için kullanılır. (Döşemeler, Radye temel)



KABUK ELEMAN RİJİTLİK MATRİSİ

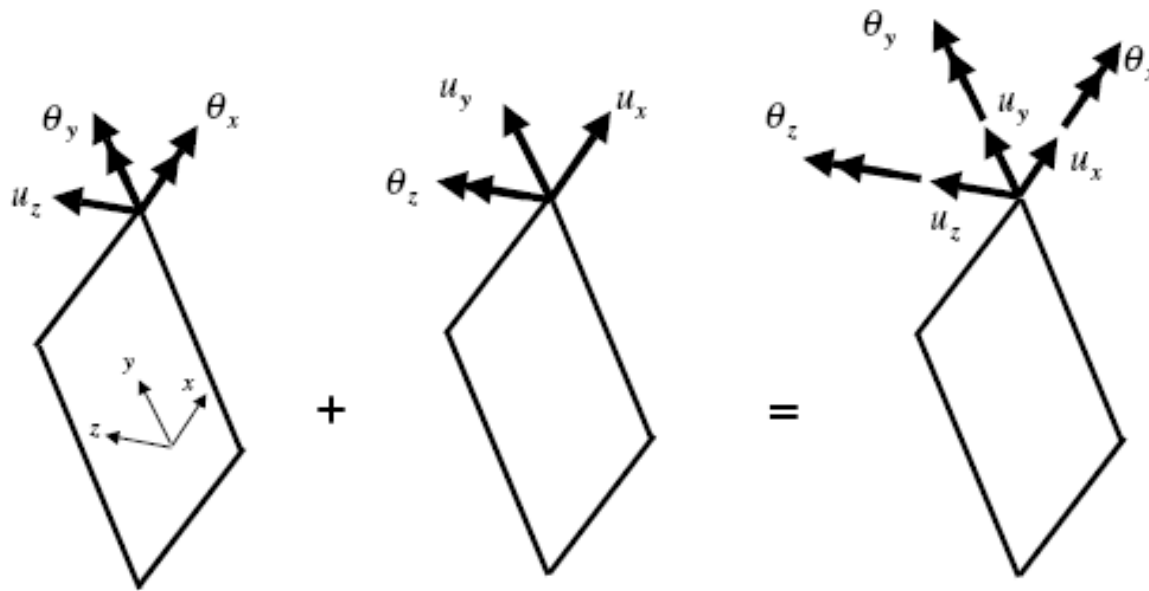


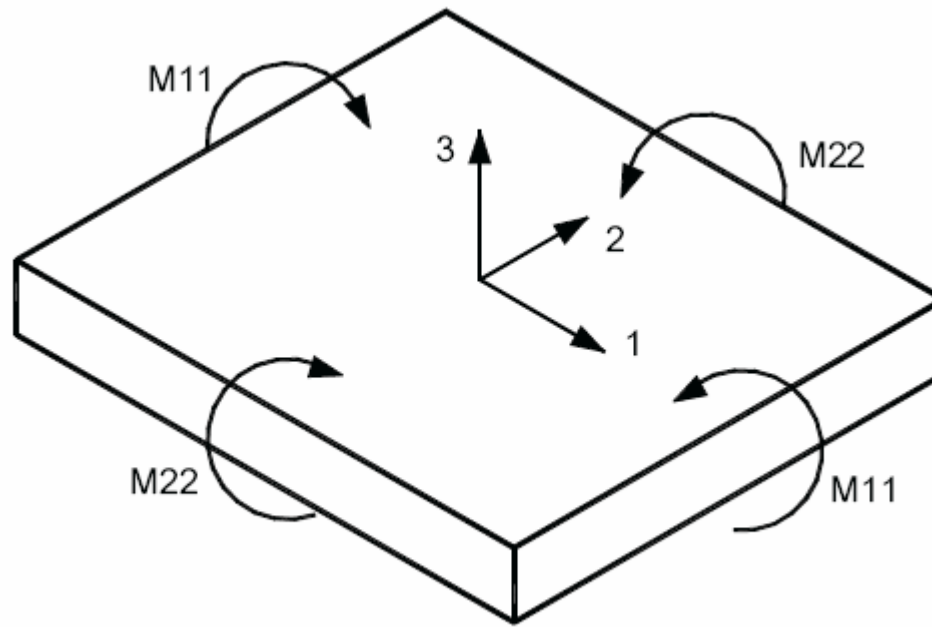
PLATE BENDING ELEMENT + MEMBRANE ELEMENT = SHELL ELEMENT



SHELL ELEMAN İÇ KUVVETLERİ

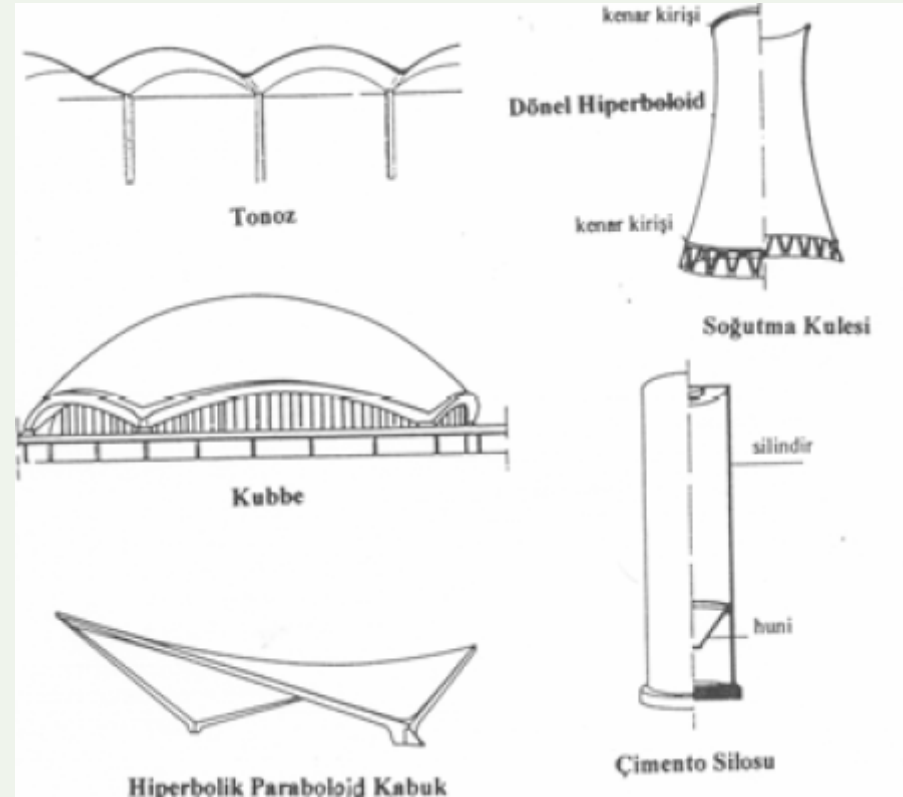
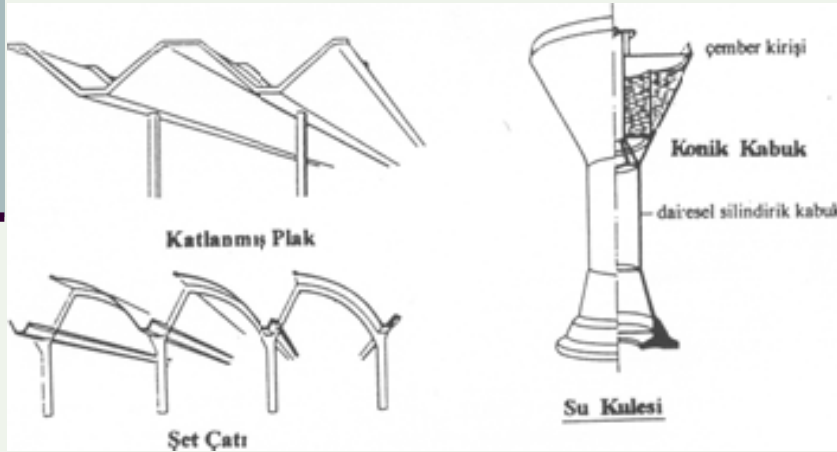
- Shell eleman kullanılarak bulunan çözümlerde elde edilen iç kuvvetler **birim uzunluğa** etkiyen iç kuvvetlerdir. Momentler için pozitif yönler (kesitin altında çekme oluşturan) eleman yerel eksenlerine göre aşağıdaki şekilde gösterilmektedir

SHELL ELEMAN İÇ KUVVETLERİ YÖNLERİ

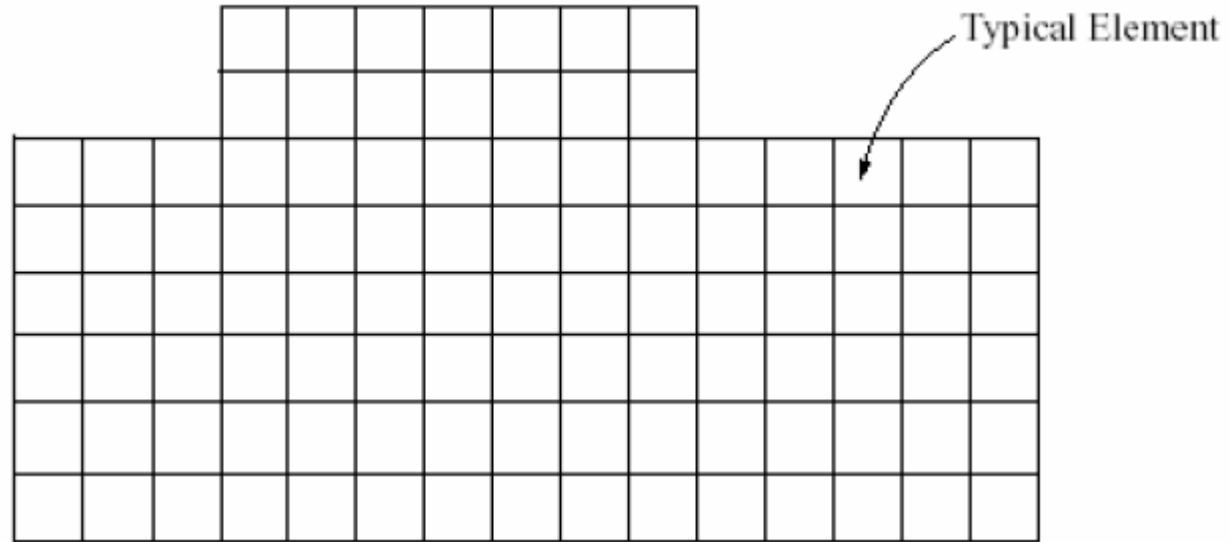


KABUK ELEMAN UYGULAMALAR

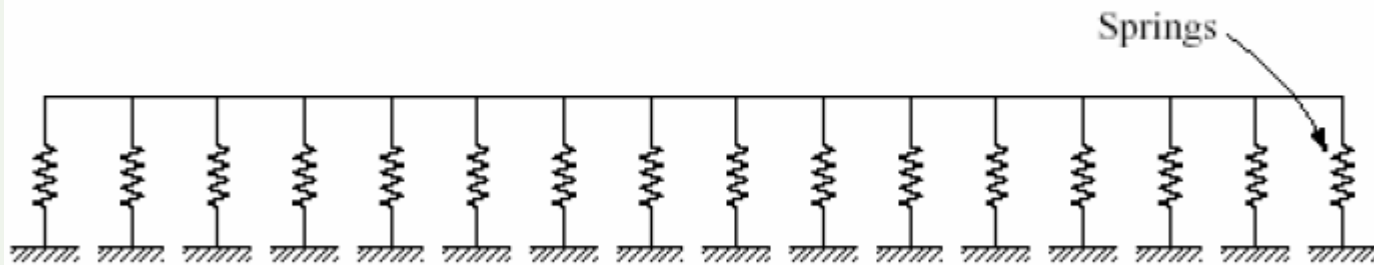
- Çatı, kubbe, tonoz, katlanmış plak, sandık kesitli köprüler, kule,vb.



SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE RADİYE TEMEL PLAK ELEMANLER İLE MODELEMESİ

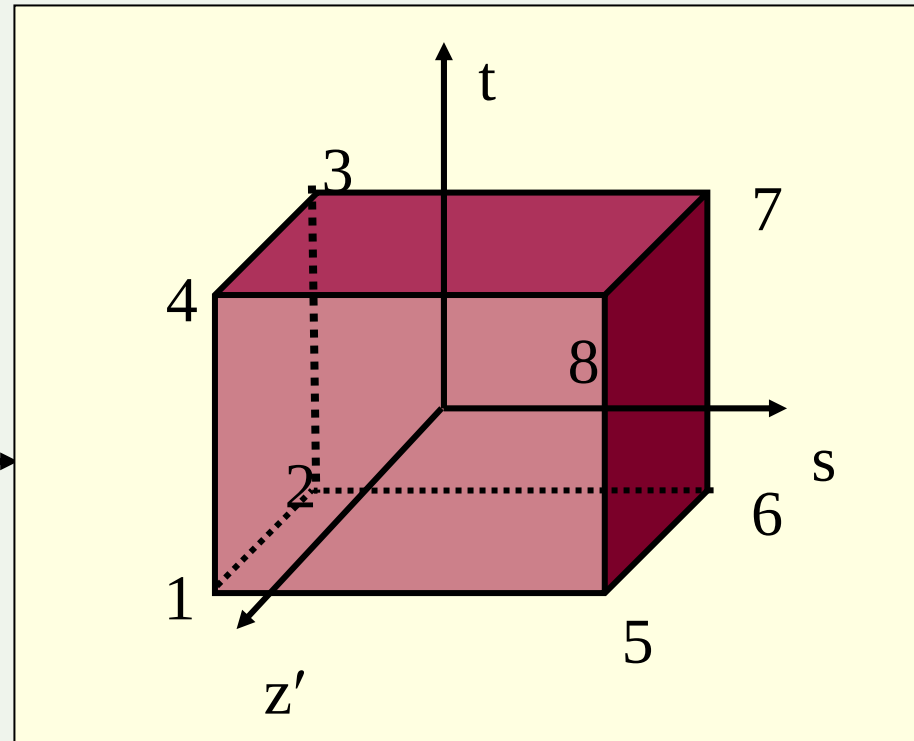
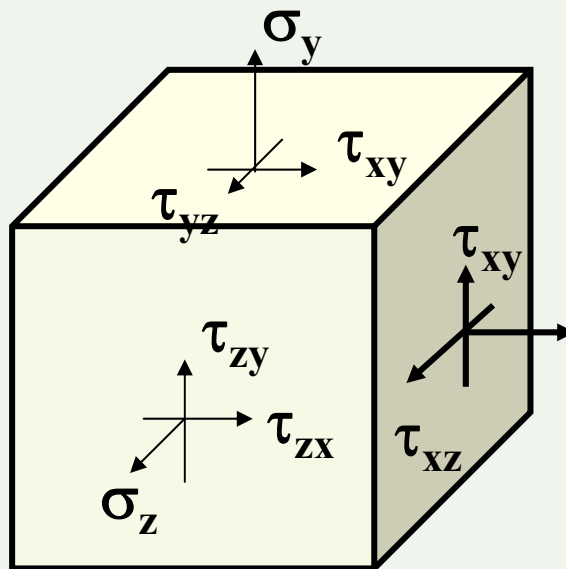


Plan

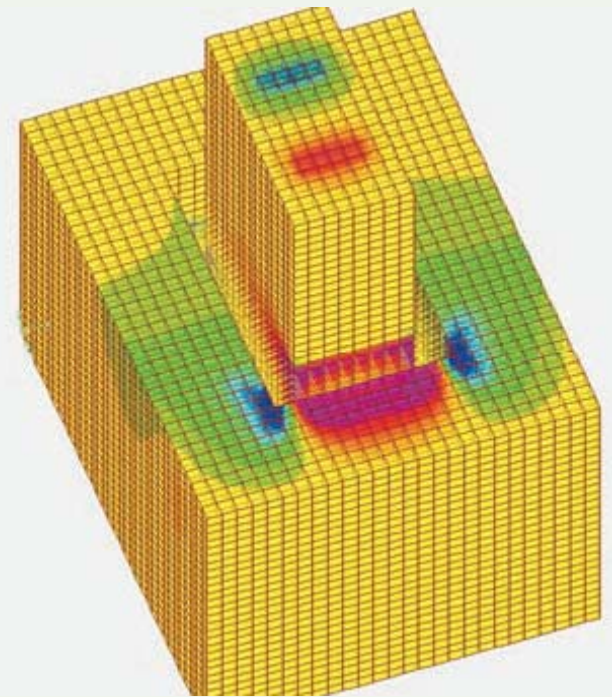
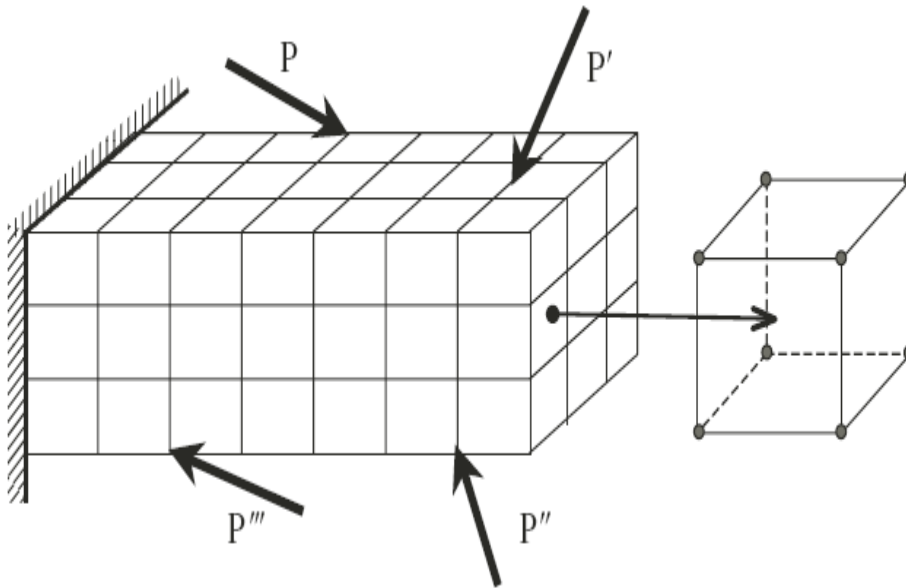


Profile

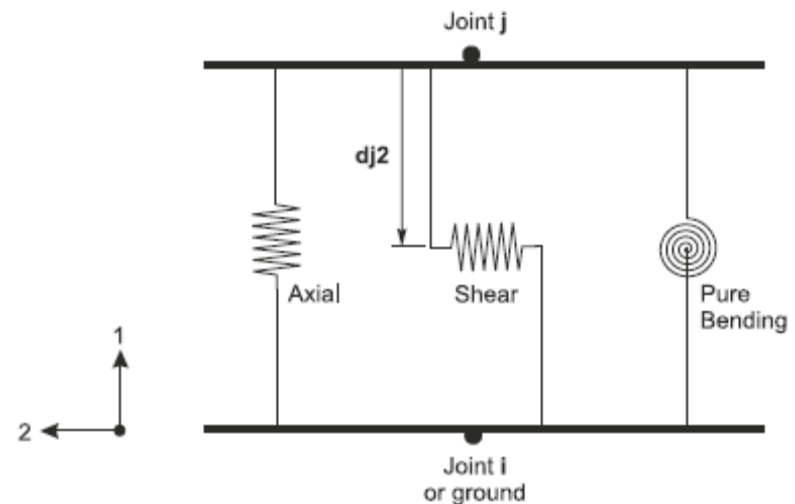
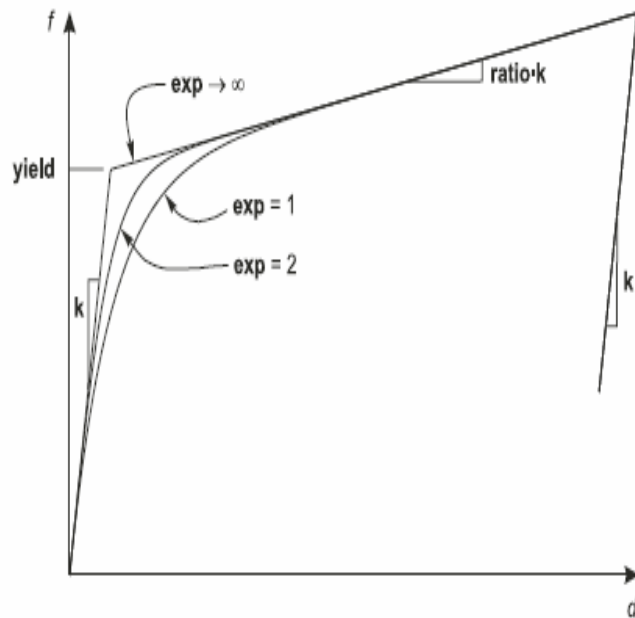
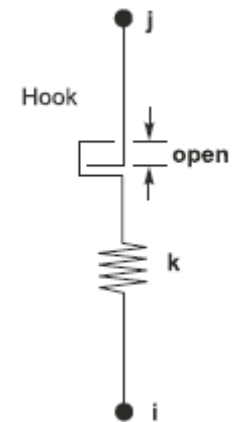
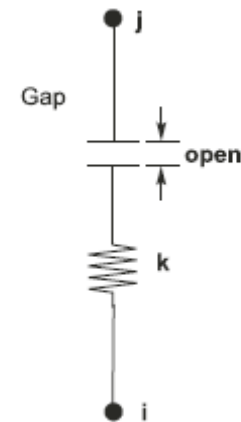
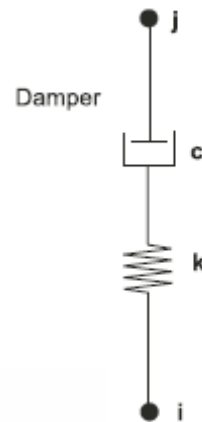
KATI ELEMENI (SOLID)



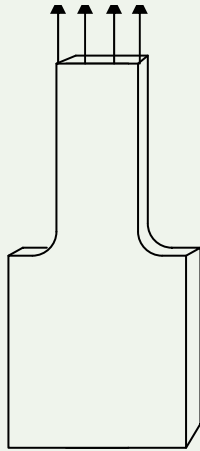
KATI ELEMANI İLE MODELLEME



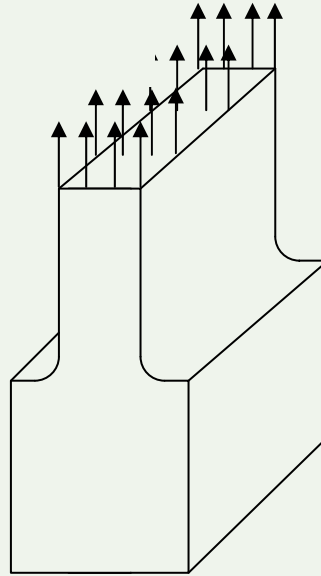
NONLINEAR YAY ELEMANI (NLLINK)



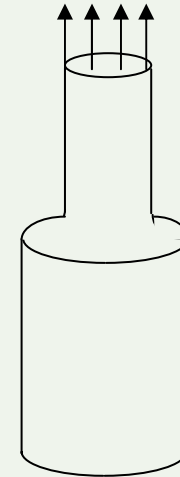
2 BOYUTLU STRES ANALİZİ



Plane Stress

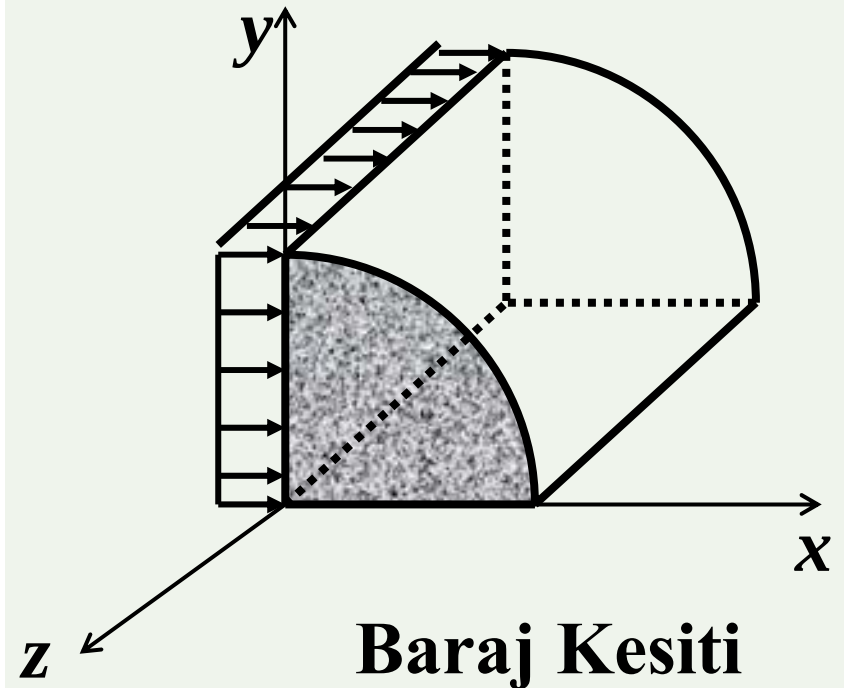
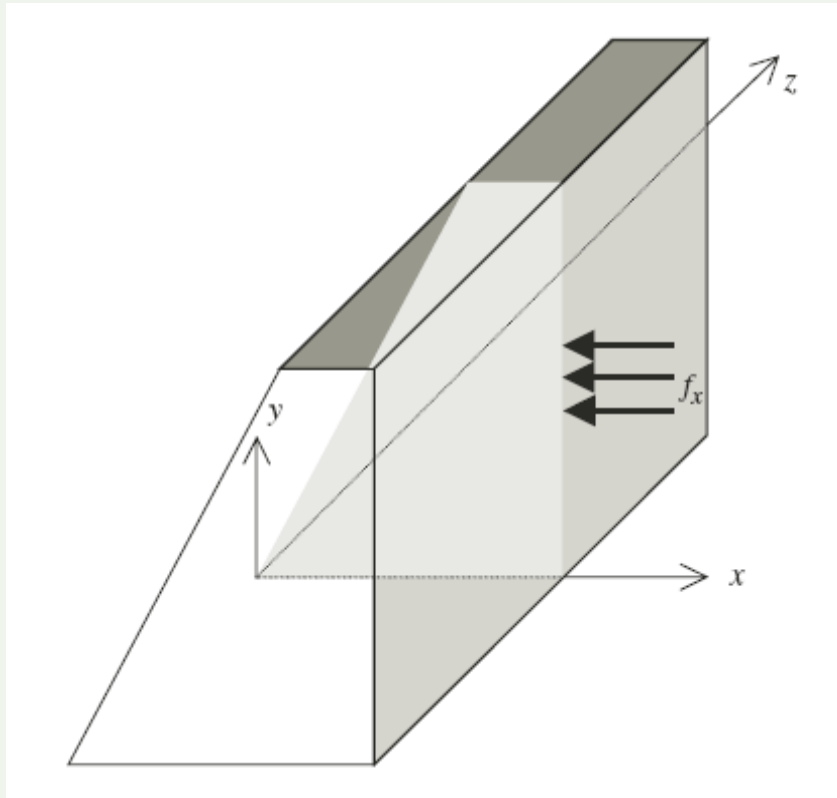


Plane Strain



Axisymmetric

YÜZEYSEL ELEMANLAR: PLAIN STRAIN



SAP2000 STATİK ANALİZ

Define Loads

Loads

Load Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load
SU	WATER PR	0	
H	LIVE	0	
G	DEAD	1	
R	WIND	0	None
SU	WATER PR	0	

Click To:

Add New Load

Modify Load

Modify Lateral Load...

Delete Load

Show Load Notes...

OK

Cancel

ÖZDEĞER ANALİZİ (EIGENVALUE)

$$[K] - \omega^2 [M] = [0]$$

**[K]: Rijitlik
Matrisi**

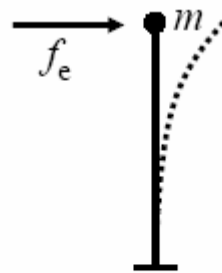
**[M]: Kütle
Matrisi**

**ω =sistem
doğal
frekans**

Analysis Case Data - Modal

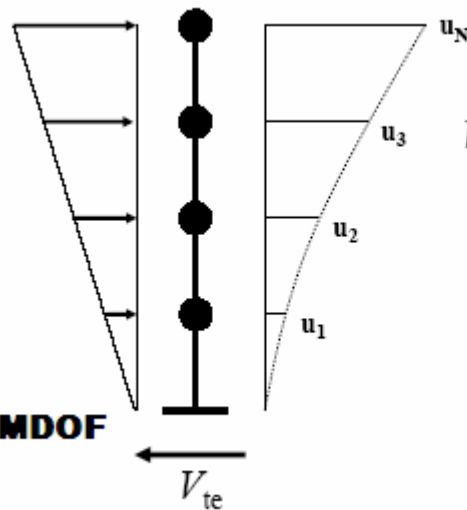
Analysis Case Name MODAL Set Def Name		Notes Modify/Show...	Analysis Case Type Modal
Stiffness to Use ☒ Zero Initial Conditions - Unstressed State ☐ Stiffness at End of Nonlinear Case Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case		Type of Modes ☒ Eigen Vectors ☐ Ritz Vectors	
Number of Modes Maximum Number of Modes: 12 Minimum Number of Modes: 1			
Loads Applied ☐ Show Advanced Load Parameters			
Other Parameters Frequency Shift (Center): 0. Cutoff Frequency (Radius): 0. Convergence Tolerance: 1.000E-09 ☒ Allow Automatic Frequency Shifting		OK Cancel	

EŞDEĞER STATİK ANALİZİ



$$f_e = m S_{ae}(T)$$

SDOF

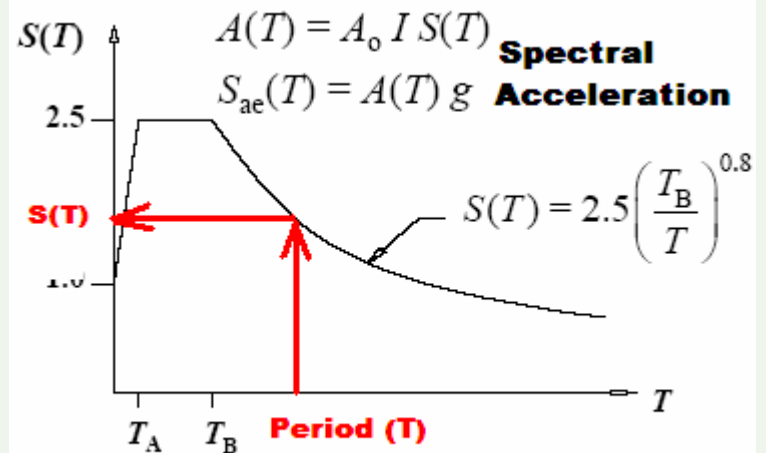


$$V_{te} = M S_{ae}(T_1)$$

$$M = W / g$$

$$W = \sum_{i=1}^N w_i$$

MDOF



EŞDEĞER STATİK ANALİZİ (SAP2000)

Define Loads

Loads

Load Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load
SX	QUAKE	0	User Loads
G	DEAD	1	
SX	QUAKE	0	User Loads
Q	LIVE	0	

↑

↓

Click To:

Add New Load

Modify Load

Modify Lateral Load...

Delete Load

User Seismic Loading

Edit

User Seismic Loads on Diaphragms

Diaphragm	Diaphragm Z	FX	FY	MZ	X	Y
D2	7.3152	1000	0.	5000		
D1	3.6576	1100	0.	5000		

☐ User Specified Application Point

☒ Apply at Center of Mass

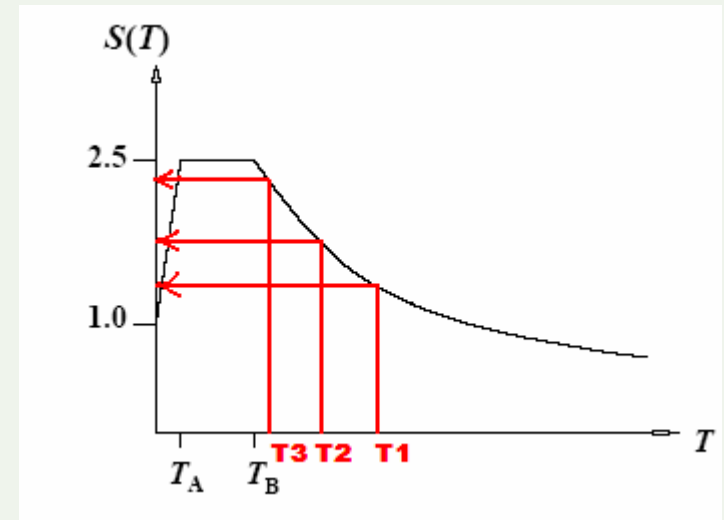
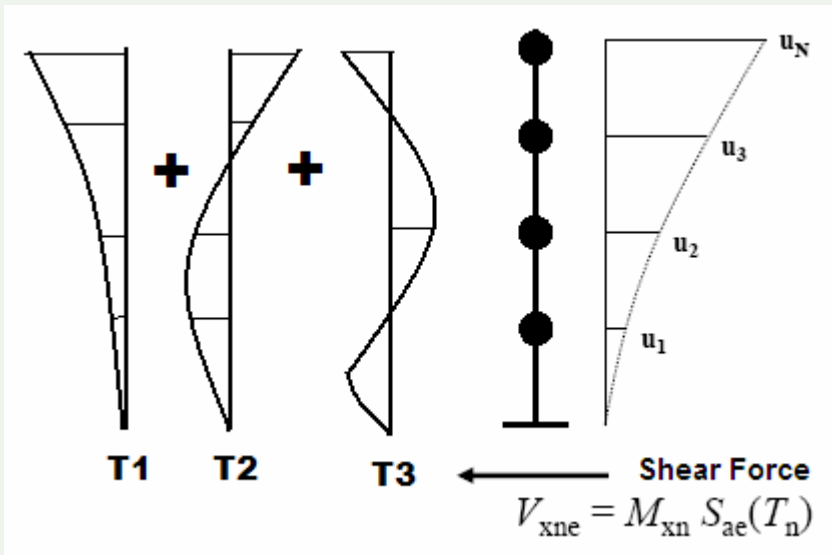
Additional Ecc. Ratio (all Diaph.)

0.05

OK

Cancel

DİNAMİK MOD BİRLEŞTİRME ANALİZİ



DİNAMİK MOD BİRLEŞTİRME İÇİN TASARIM SPEKTRA (SAP2000)

Response Spectrum UBC 97 Function Definition

Function Name: Spect

Function Damping Ratio: 0.05

Parameters

Seismic Coefficient, C_a : 0.4

Seismic Coefficient, C_v : 0.4

Convert to User Defined

Define Function

Period	Acceleration
0.	0.4
0.08	1.
0.4	1.
0.6	0.6667
0.8	0.5
1.	0.4
1.2	0.3333
1.4	0.2857
1.6	0.25

Add

Modify

Delete

Function Graph

Display Graph

(6.2783 , 0.0638)

OK

Cancel

DİNAMİK MOD BİRLEŞTİRME ANALİZİ (SAP2000)

Analysis Case Data - Response Spectrum

Analysis Case Name: Notes: Analysis Case Type:

Modal Combination: ☒ CQC ☐ SRSS ☐ ABS ☐ GMC ☐ 10 Pct ☐ Dbl Sum
GMC f1: GMC f2:

Directional Combination: ☒ SRSS ☐ ABS
☐ Modified SRSS (Chinese)
ABS Scale Factor:

Modal Analysis Case: Use Modes from this Modal Analysis Case:

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	Spect	1
Accel	U1	Spect	1

☐ Show Advanced Load Parameters

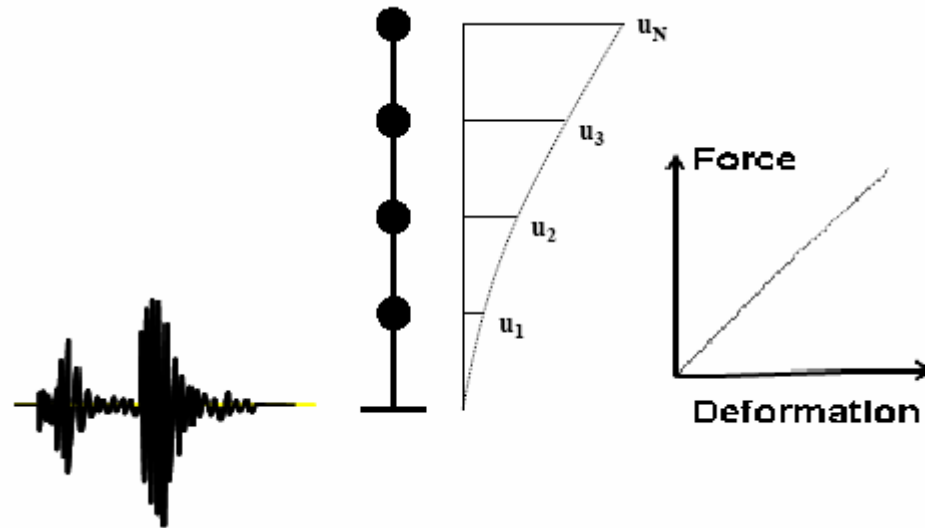
Other Parameters: Modal Damping:

SAP2000 WEB SAYFASI

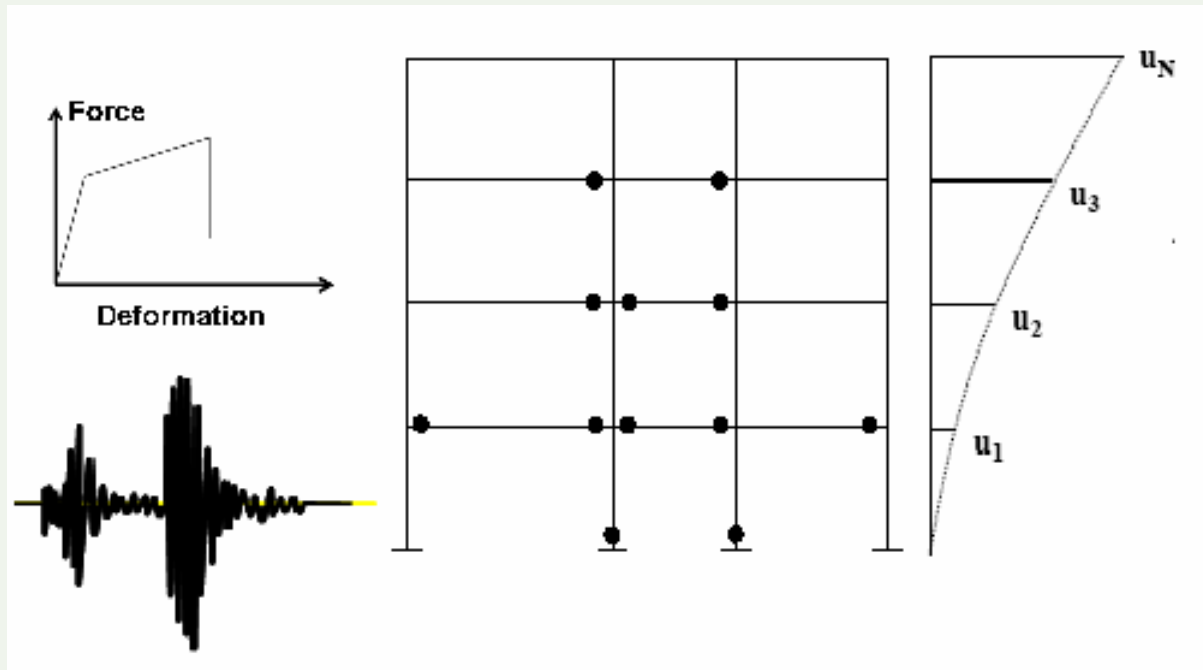
- <http://www.comp-engineering.com/SAPManT.htm>
- <http://www.comp-engineering.com/havuz/>
- <http://www.comp-engineering.com/download.htm>
- <http://www.comp-engineering.com/KAMPANYA.htm>

ZAMAN TANIM ALANINDA LİNEER ANALİZ (TIME HISTORY)

$$K_L u(t) + C \dot{u}(t) + M \ddot{u}(t) + r_N(t) = r(t)$$



ZAMAN TANIM ALANINDA NONLINEER ANALİZİ (TIME HISTORY)



KOMİNASYONLAR (SAP2000)

Response Combination Data

Response Combination Name

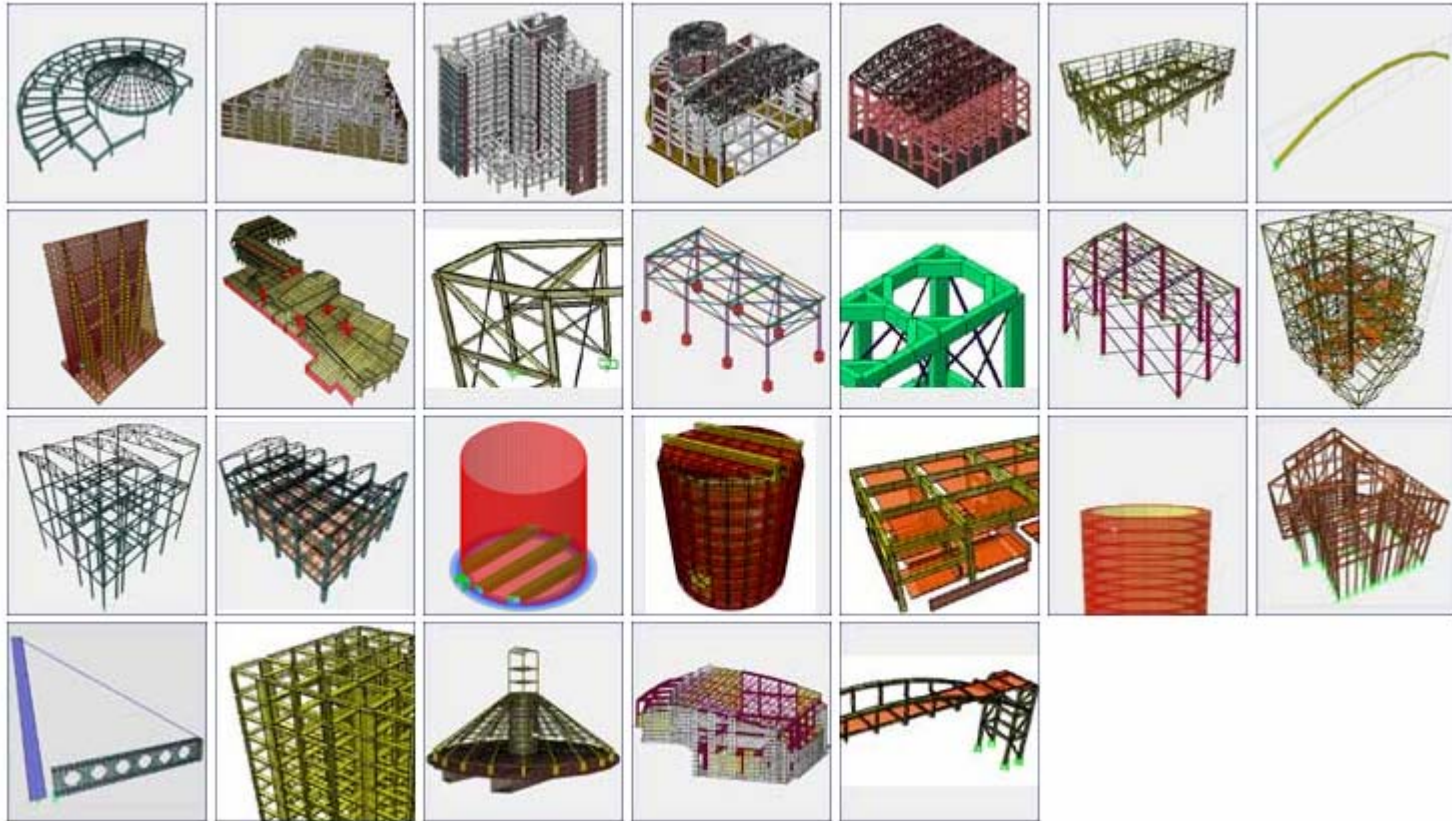
Notes

Combination Type

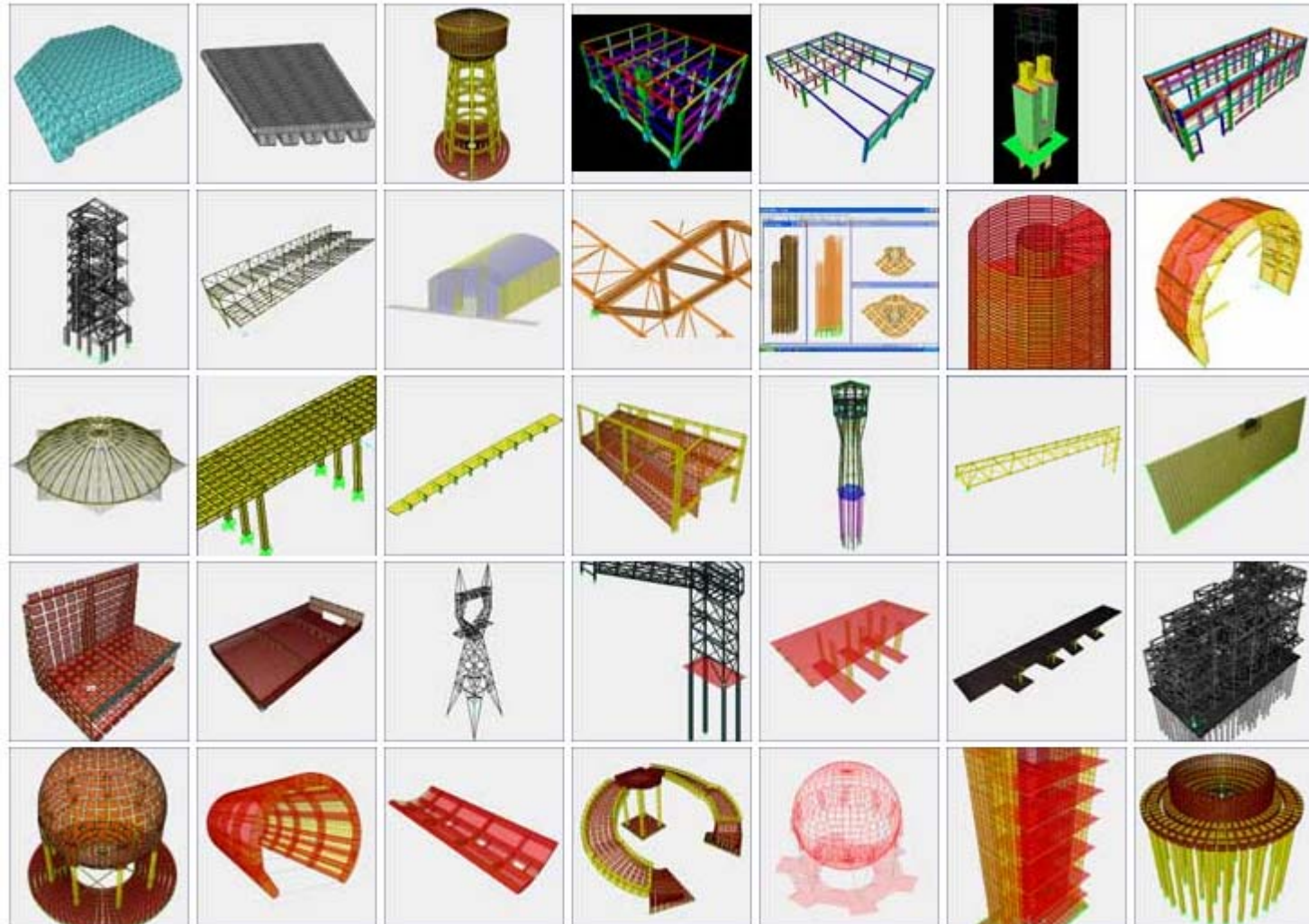
Define Combination of Case Results

Case Name	Case Type	Scale Factor
Q	Linear Static	1.6
DEAD	Linear Static	1.4
Q	Linear Static	1.6

SAP2000 İLE MODELEME



SAP2000 İLE MODELEME



SAP2000 de hesap modeli oluşturulurken aşağıdaki adımlar izlenebilir

- 1. Çalışılacak temel birimler seçilir.
- 2. New Model From Template seçeneği ile taslak geometri oluşturulur.
- 3. Kullanılacak malzeme türleri oluşturulur.
Define→Materials
- 4. Kullanılacak kesit özellikleri tanımlanır.
Define→Frame Sections
Define→Area Sections
- 5. Hesap modelinde gerekli düzenlemeler yapılır.
- 6. Yüklemeler tanımlanır.
Define→Load Cases

SAP2000 de hesap modeli oluşturulurken aşağıdaki adımlar izlenebilir

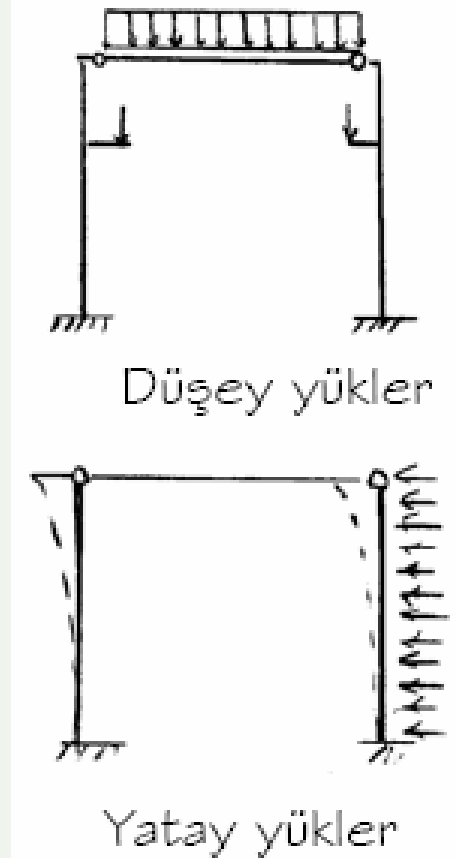
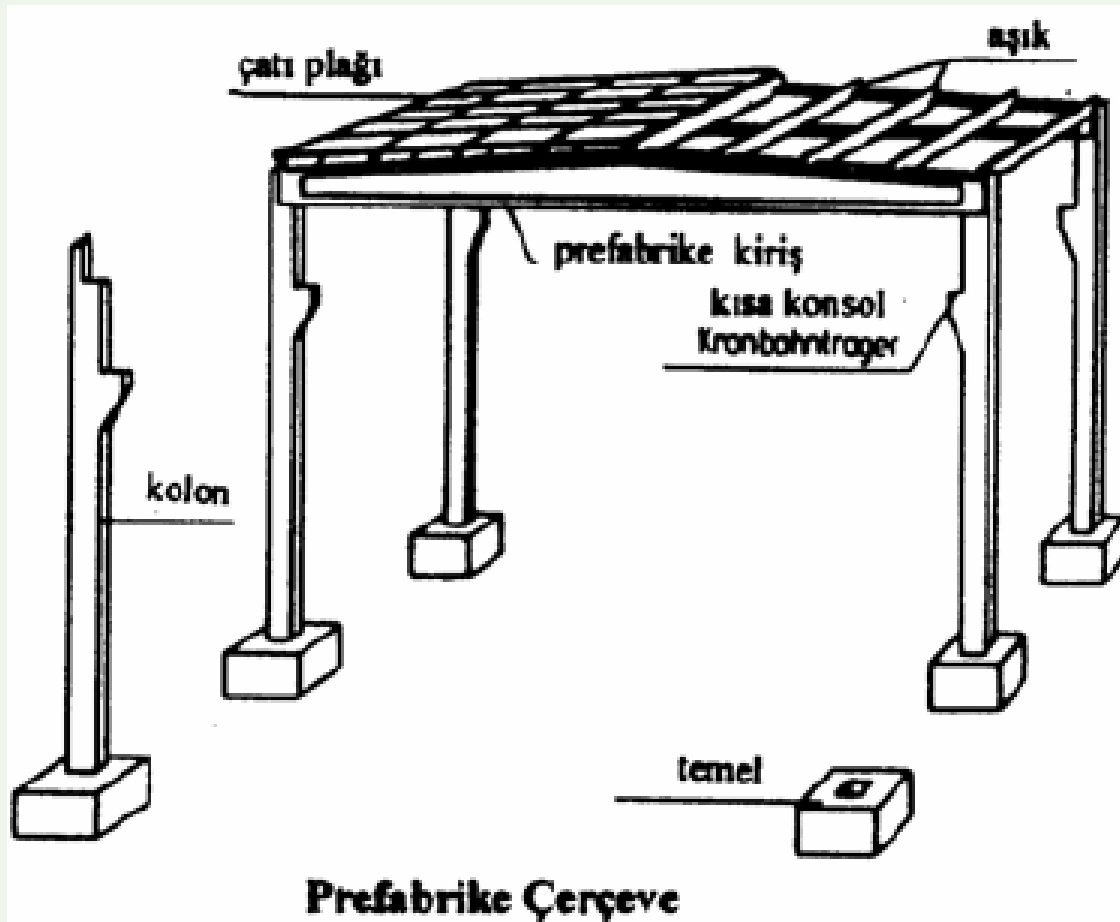
- 7. Çözümleme için kullanılacak yüklemeler tanımlanır
Define→Analysis Cases
- 8. Elemanlara yükler atanır.
Assign→Frame/Cable/Tendon Loads
Assign→Area Loads
- 10. Yüklemeler kullanılarak yük birleşimleri tanımlanır
Define→Combinations
- 11. Çözümleme yapılır.
- 12. Boyutlandırma yapılır.

MODELLEME PLANI

- Ne bulmaya çalışıyoruz?
- Yapıyı modellerken neler dikkate alınacak ve neler ihmal edilebilir?
- Sınır koşulları ve yükler nelerdir?
- Gerilmeleri, Deplasmanları, Frekans, Burkulma veya sıcaklık gibi değişkenlerden hangilerini bilmeniz gerekmektedir?
- Sonlu elemanlar analizi sonuçlarını doğrulamak amaçlı elle basit hesaplamalar, deney sonuçları; yapının nasıl davranacağı ve hangi rakamların anlamlı olacağına dair fikir verecektir.



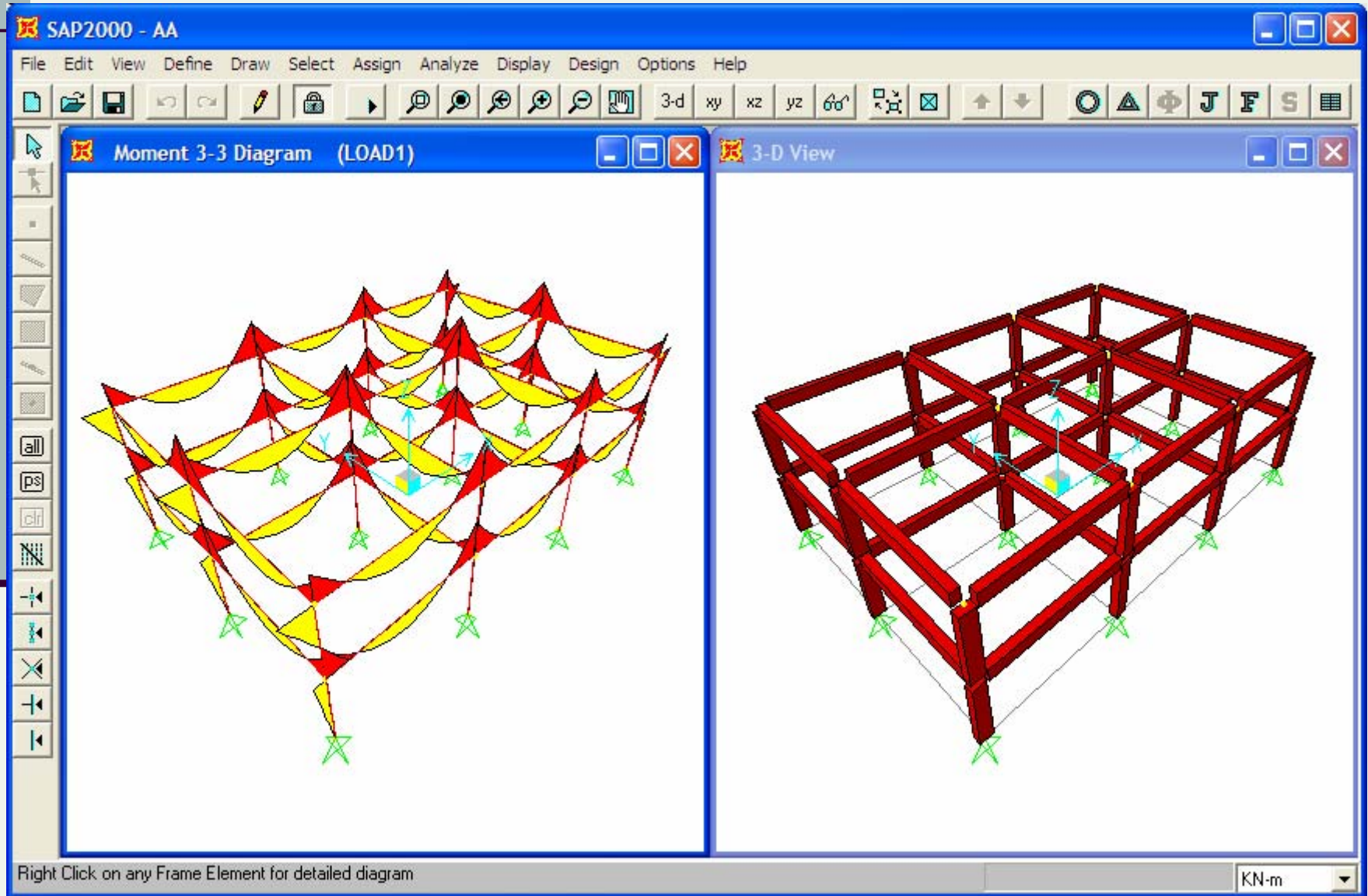
TAŞIYICI SİSTEMLERİN İDEALLEŞTİRİLMESİ



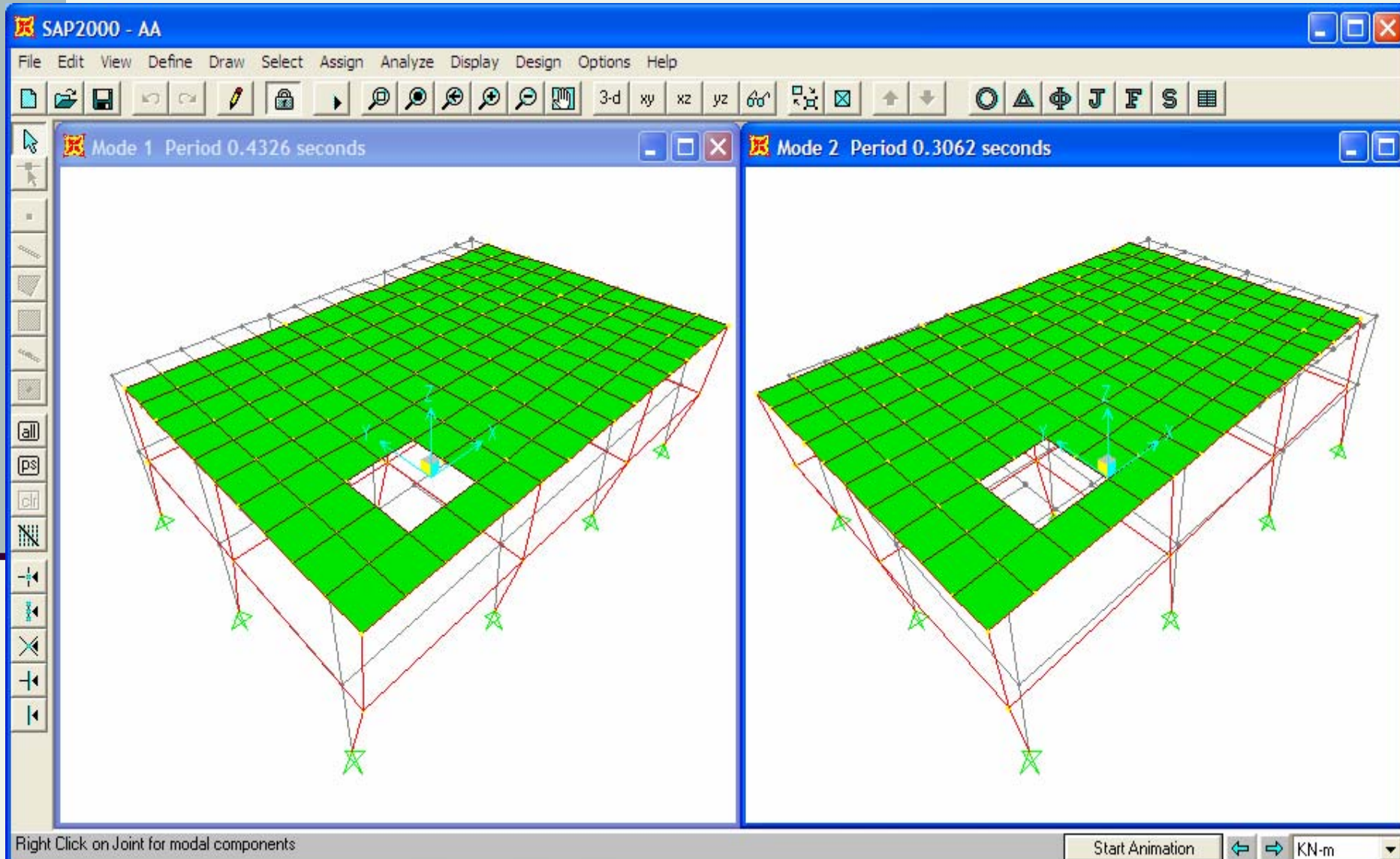
BİNA MODELLEME ÖRNEĞİ

- Statik Analizi
- Dinamik Analizi
- Döşeme Analizi

SE İLE BİNE ÇERÇEVESİ MODELLEMESİ



DİNAMİK ANALİZİ



SE İLE DÖŞEME MODELLEMESİ

