



TAŞIYICI SİSTEMLERİN ANALİZİ

Bir kaç elemandan oluşan yapıların dengesi için, dış kuvvetler gibi iç kuvvetlerin de düşünülmesi gerekir.

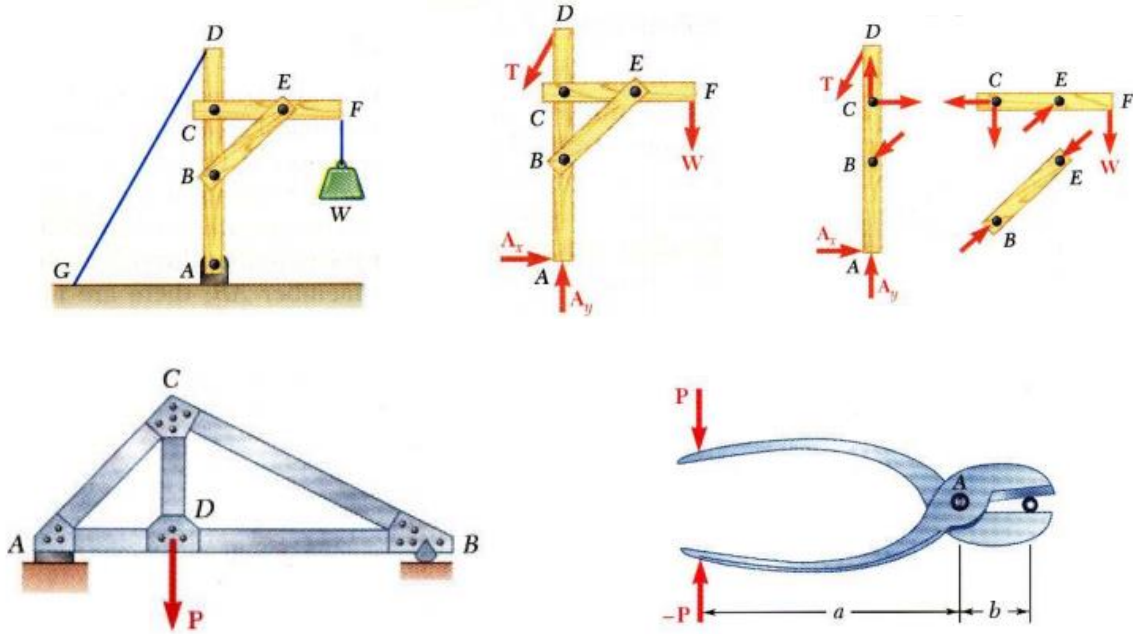
Birleştirilmiş parçalar arasındaki etkileşim, Newton'un 3. yasası ile bulunur: birbirine temas eden cisimlerde etki ve tepki kuvvetleri eş şiddet ve tesir çizgili fakat zıt yönlüdür.

Mühendislik yapıları üç kategoride sınıflandırılır:

a) **Çerçeveler:** En azından bir tane çok-kuvvet (3 veya daha fazla) içeren elemana sahip yapılar.

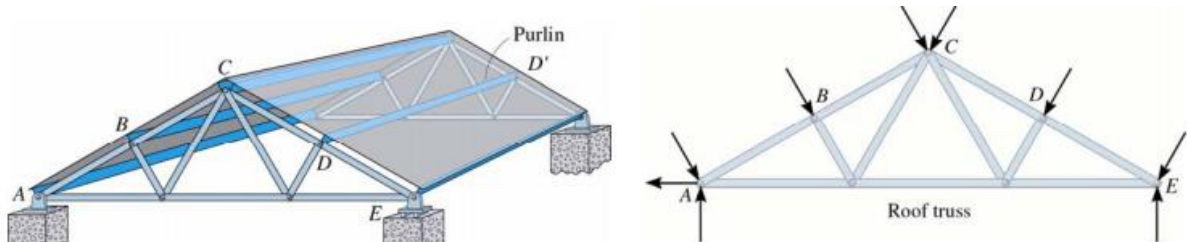
b) **Kafes Sistemler:** İki kuvvet elemanlarından oluşturulmuş yapılar

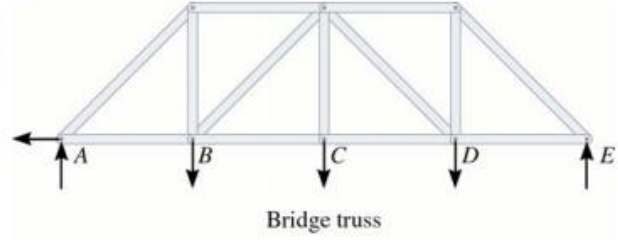
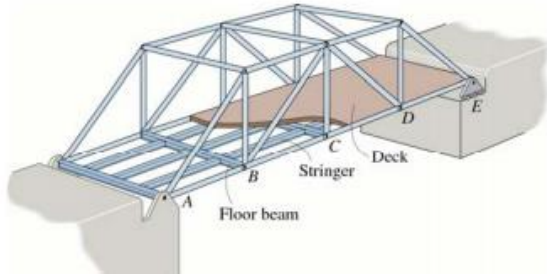
c) **Makinalar:** Kuvvet aktarımı ve kuvvet değişimi için tasarlanmış, hareketli elemanlara sahip yapılar.



KAFES SİSTEMLER

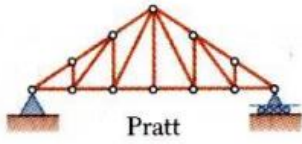
Kafes sistemleri, mühendislikte kullanılan taşıyıcı sistemlerinin tiplerinden biridir. Birçok mühendislik probleminde, özellikle vinç, köprü ve bina projelerinde pratik ve ekonomik bir çözüm sağlar. Bir kafes sistemi, düğüm noktalarında birleşen doğru eksenli çubuklardan meydana gelir; tipik bir kafes sistem şekilde gösterilmiştir. Kafes sistemin çubukları yalnız uç noktalarında birbirlerine bağlanmıştır. Gerçek taşıyıcı sistemler birçok düzlem kafes sistemin bir uzaysal sistem oluşturacak şekilde birleştirilmesinden yapılmıştır. Her kafes sistemi, kendi düzleminde etkiyen yükleri taşıyacak şekilde projelendirildiğinden, iki boyutlu kafes sistem temel olmaktadır. Burada onun için öncelikle iki boyutlu kafes sistemleri ele alınacaktır.



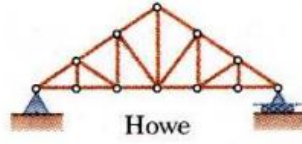


Bridge truss

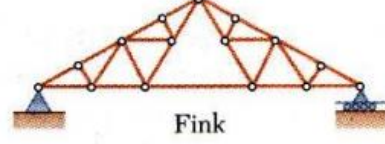
Kafes Kiriş Türleri



Pratt

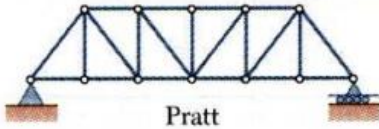


Howe

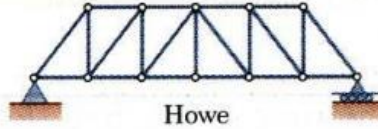


Fink

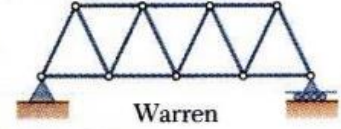
Tipik çatı kafes kirişleri



Pratt



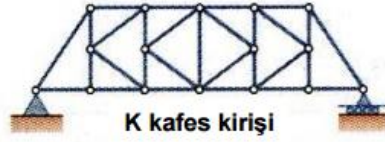
Howe



Warren

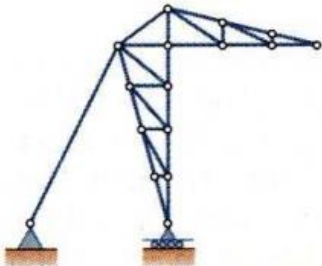


Baltimore



K kafes kirişi

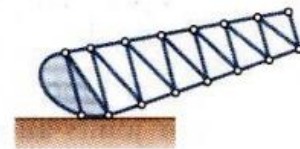
Tipik köprü kafes kirişleri



Stadyum kafes kirişi



Bir kafes kirişin konsol kısmı

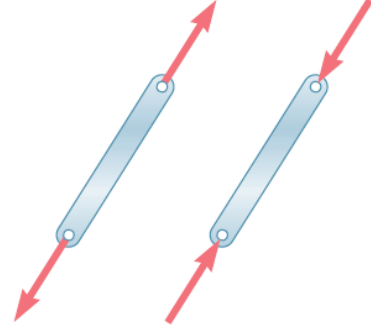
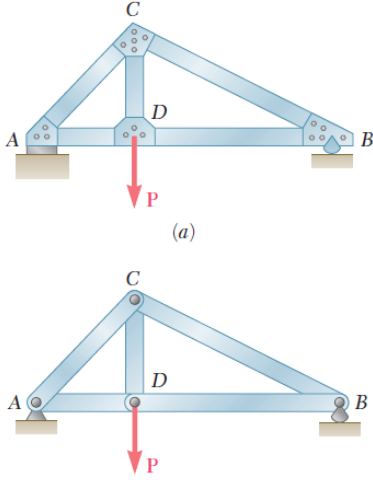


Baskül

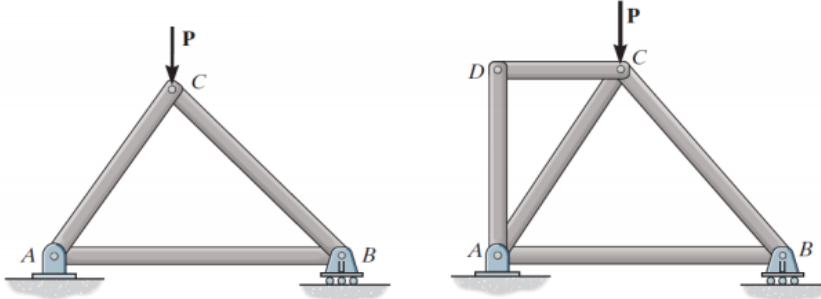
Diğer kafes kirişler



Genel olarak, bir kafes sistemin elemanları narindir ve eksenine dik doğrultudaki yükleri taşıyamaz; bundan dolayı bütün yükler, çubukların kendilerine değil, düğüm noktalarına uygulanmalıdır. İki düğüm noktası arasında bir yayılı yük uygulanacağı zaman bu yükler komşu düğümlere paylaştırılacak şekilde kafes sistemi dizayn edilir.



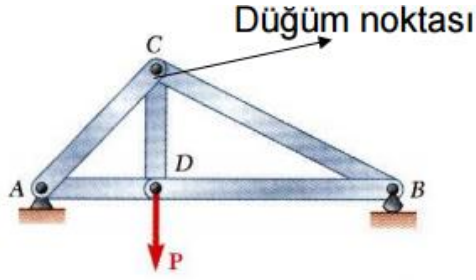
Kafes sistemler, **yalnızca iki kuvvet taşıyan** elemanların birbirine bağlanması ile ortaya çıkan yapılardır. Bu elemanların, serbestçe dönen ve moment iletmediği farz edilen pimlerle birbirine bağlandığı düşünülür. Eğer elemanların tamamı aynı düzlemde yer alıyorsa o zaman düzlem kafes sistemlerden bahsedilir. Elemanlar, elde edilen yapının rijit olabilmesi için, üçgenler oluşturacak şekilde birleştirilirler.



Bir basit kafes sistem inşa edilirken, önce ABC gibi bir üçgen ile başlanır ve ek bir eleman oluşturmak için iki çubuk daha bağlanır. Bu şekilde istenildiği kadar eleman eklenerek büyük kafes sistemler oluşturulabilir. Basit bir üçgenden başlanıldığı için basit kafes sistem olarak adlandırılır. Ağır yükleri taşımakta kullanılan yapıların kendi ağırlıklarının mümkün olduğu kadar hafif olması istenir. Bu amaçla köprüler, çatılar vb. yapılar kafes sistem tekniği ile tasarlanır. Elemanların bağlantı noktalarından geçen doğru, taşıdığı kuvvetlerin ortak tesir çizgisidir ve bu kuvvetler çekme veya basma yönünde olabilirler. Bir eleman herhangi bir yerinden hayali olarak kesilirse o kesitte elemanın ucundaki kuvveti dengeleyecek şekilde bir kuvvet olduğu görülür.

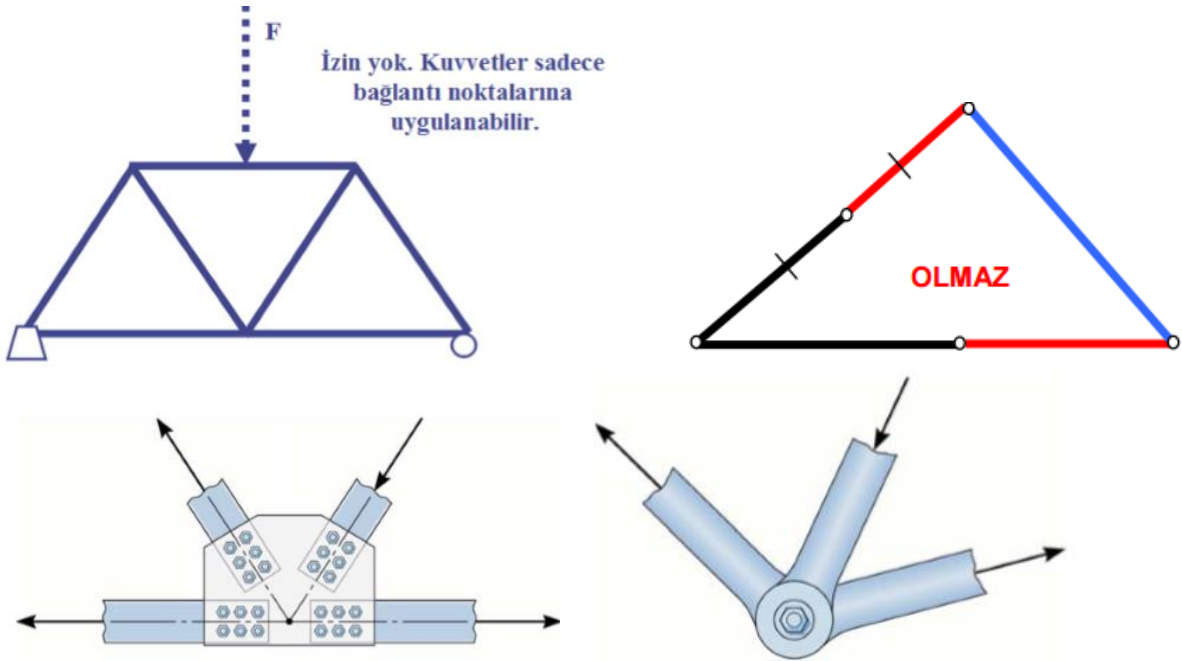
Kuvvetler çubuktan dışarı doğru ise çubuk '**çekme**' etkisindedir. Kuvvetler çubuğa doğru ise çubuk '**basma**' etkisindedir.





Civatalanmış veya kaynaklanmış bağlantılar pim ile bağlanmış gibi düşünülür. Elemana etkiyen kuvvetler tek bir kuvvete indirgenebilir ve kuvvet çifti oluşturmaz. Bunun için iki kuvvetli elemanlar olarak düşünülebilir

- Kafes sistemlerin taşıdığı yükler eğer yayılı yük ise elemanları bağlayan pimplere uygulanan tekil yüklere indirgenirler.
- Tekil yükler elemanların uç noktalarının dışında arada bir yere uygulanmaz.
- Kafes sistemlerin kendi ağırlıkları taşıdıkları yüke nazaran, çoğunlukla, ihmal edilir.
- İhmal edilmediği zaman bir elemanın ağırlığı ikiye bölünerek uç noktalarındaki pimplere uygulanır.
- Kafesler ayrıca rijit olarak kabul edilir. Yani yükleme altında ve destek noktalarından ayrıldıklarında şekillerinin değişmediği kabul edilir.



Kafes sistemler birçok mühendislik probleminde pratik ve ekonomik çözüm sağlar: Köprülerde, çatı sistemlerinde sıkça kullanılır.

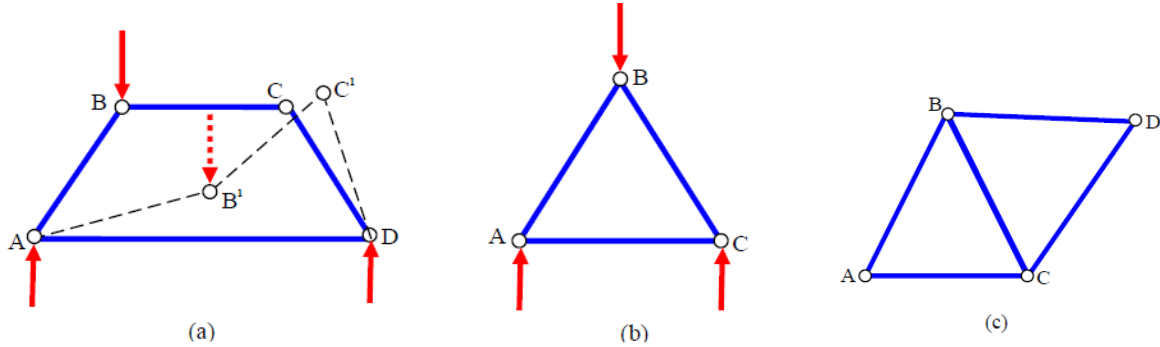
Kafes sistemlerin tasarımı yapılırken elemanların taşıdığı kuvvetler bulunmalıdır. Bu kuvvetleri bulmak amacı ile takip edilen iki temel yaklaşım vardır:

- Düğüm yöntemi,
- Kesim yöntemi.

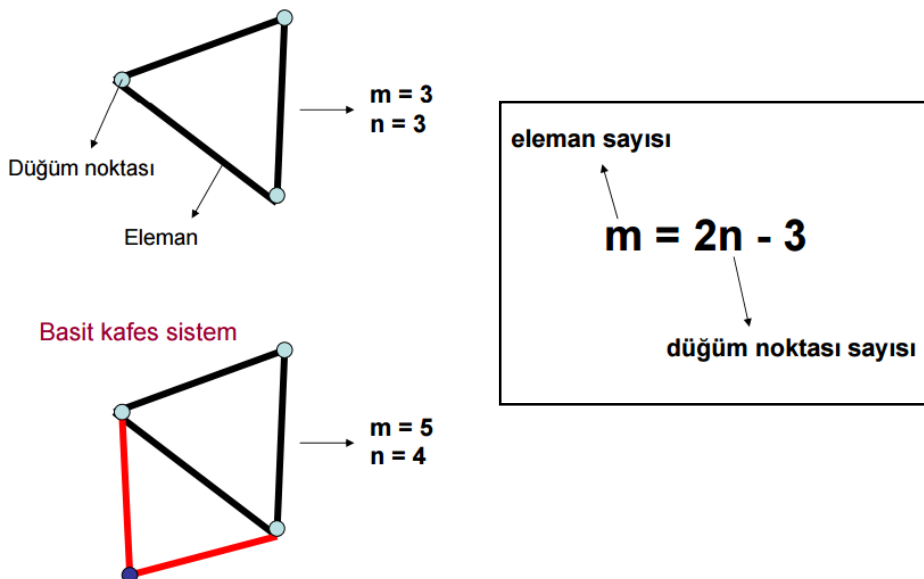


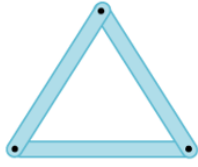
Basit Kafes Sistemleri

A, B, C ve D mafsalları ile birbirine bağlanmış dört çubuktan oluşan Şekil (a)'daki kafes sistemi göz önüne alalım. B noktasına herhangi bir yük uygulanırsa, kafes sistem büyük ölçüde şekil değiştirir ve ilk biçimini tamamen kaybeder. Diğer taraftan A, B, C mafsalları ile birbirlerine bağlanmış üç çubuktan oluşan Şekil (b) deki kafes sistem, B noktasında uygulanan bir yükten dolayı çok az şekil değiştirir. Bu kafes sistem için tek mümkün deformasyon, elemanlarının küçük boy değişimlerinden ibarettir. Şekil (b) deki kafes sistem bir rijit kafes sistem olarak anılır; burada rijit deyiimi kafes sistemin göçmeyeceğini belirtmek üzere kullanılmıştır. Şekil (b) deki baz üçgen kafes sisteme, BD ve CD gibi iki çubuk eklenerek (c)'de gösterildiği gibi, daha büyük bir rijit kafes sistem elde edilebilir. Bu işlem istenildiği kadar çok kere tekrarlanabilir, yeni iki çubuk eklemek, bunları mevcut iki ayrı düğüm noktasına bağlamak ve yeni bir düğüm noktasında birleştirmek şartı ile sonuç kafes sistem rijit olur.

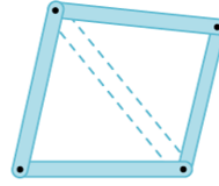


Bir katı cisme tesir eden düzlem kuvvetlerde denge şartları, birbirine bağlı olmayan üç denklem verir. Bilinmeyen sayısı bunlardan fazla olursa, denge şartları problemin çözümüne kâfi gelmez. Bu tip problemlere "**statik bakımdan belirsiz**" veya "**hiperstatik**" problemler denir. Bilinmeyen sayısı denklem sayısından ne kadar fazla ise belirsizlik o derece yüksek olur. Belirli olan sistemlere "**izostatik**" sistemler denir.





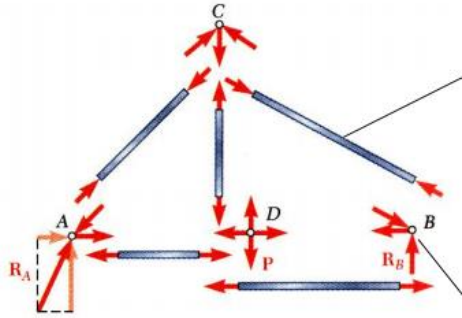
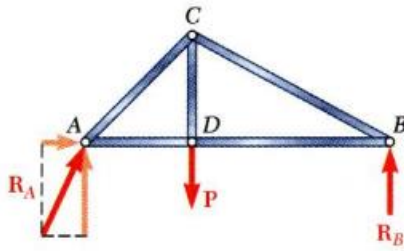
Rijit, çökmez.
Yük taşıyabilir.



Rijit değil, çöker.
Yük taşıyamaz.
İki üçgene bölünürse yük taşıyabilecek hale gelir.

Kafes Sistemlerin Düğüm Noktaları Metodu ile Analizi

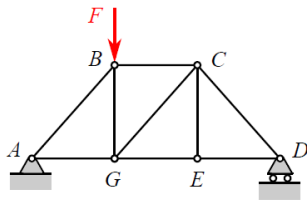
Kafes elemanları çözülerek her bir eleman ve pim için serbest cisim diyagramı çizilir. Kafesin tümü dengede olduğundan her mafsala dengede olmalıdır.



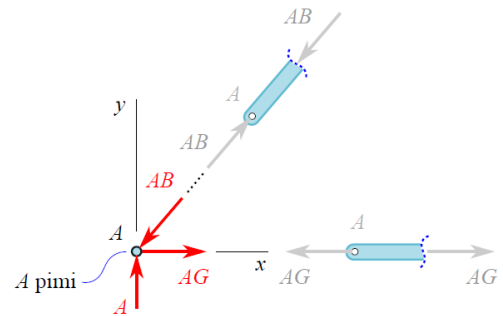
Her elemana etki eden iki kuvvetin eşit şiddetli ve tesir çizgili ve zıt yönlü olması gerekir.

Mafsala eleman tarafından uygulanan kuvvet eş şiddet ve tesir çizgili ve zıt yönlüdür.

Her düğüm noktası için iki denge denklemi vardır.



$$\Sigma F_x = 0$$
$$\Sigma F_y = 0$$



Denge kategorisi bir noktada kesişen kuvvetler kategorisi olduğundan

Bir düğümün dengesinden en fazla 2 bilinmeyen bulunabilir.

Denklem sayısı: $2n$

$2n$ kadar bilinmeyen çözülebilir.

Basit kafes sistem için: $m = 2n - 3$ idi.

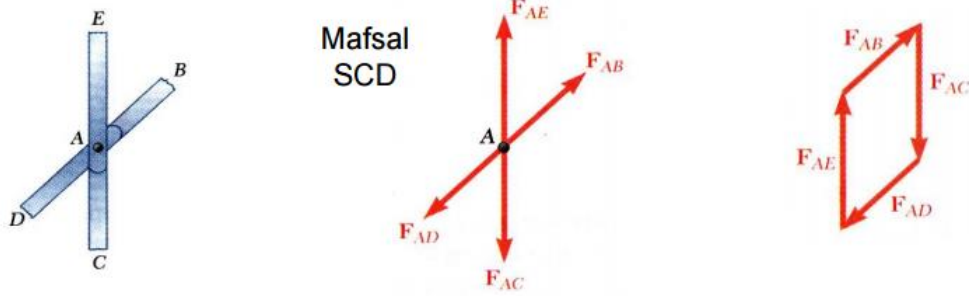
$2n = m + 3$ tür. $m + 3$ kadar bilinmeyen çözülebilir.



Mafsal denge denklemlerine ilave olarak, tüm sistemin denge şartlarından elde edilen 3 denklem daha vardır. Fakat bu denklemler düğüm noktasından bağımsız değildir. Mesnetlerdeki tepki kuvvetlerinin kısa yoldan çözümü için kullanılabilir.

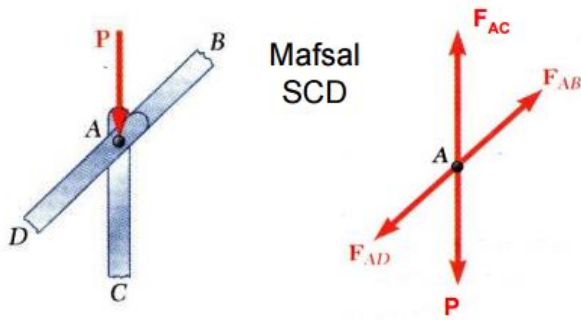
Özel Yükleme Durumlarındaki Düğüm Noktaları

İkişer ikişer aynı doğrultuda bulunan dört çubuğu birleştiren düğüm noktası göz önüne alınsın



Mafsal iki çift zıt yönlü kuvvet etkisindedir. Aynı doğrultudaki karşıt çubuklarda kuvvetler eşittir.

İkisi aynı doğrultuda olan üç çubuğu birleştiren ve bir P yükünü taşıyan düğüm noktası göz önüne alınsın; Aynı doğrultudaki iki karşıt çubukta kuvvetler birbirine eşit ve diğer elemandaki kuvvet P'ye eşittir.



İkisi aynı doğrultuda olan üç çubuğu birleştiren düğüm noktası göz önüne alınsın; Aynı doğrultudaki iki karşıt çubukta kuvvetler birbirine eşit ve diğer elemandaki kuvvet sıfıra eşittir.

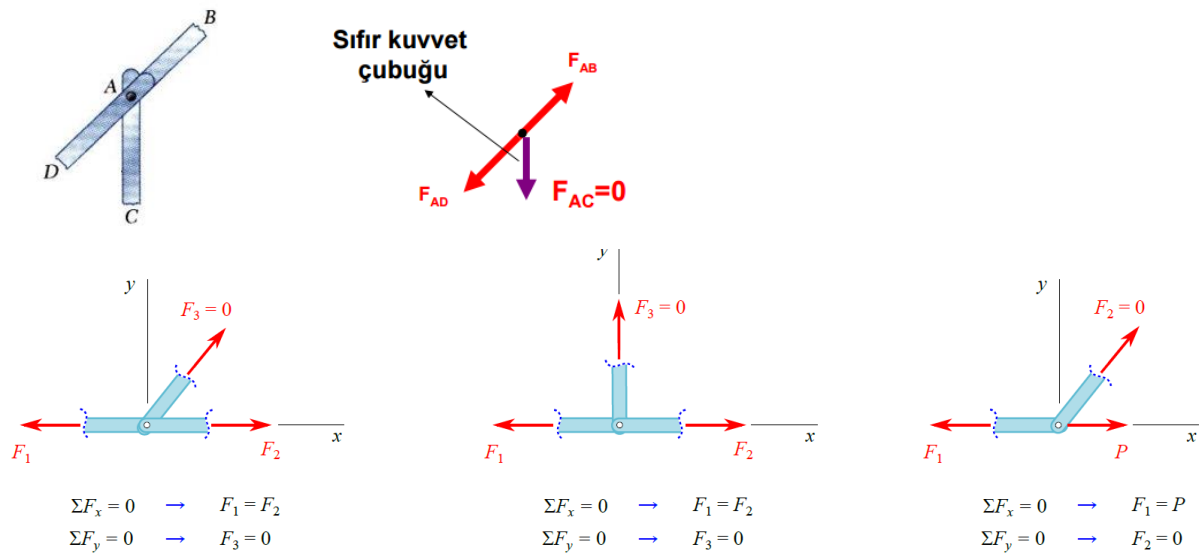
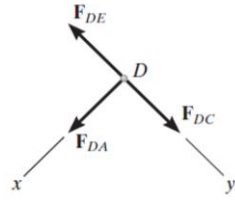
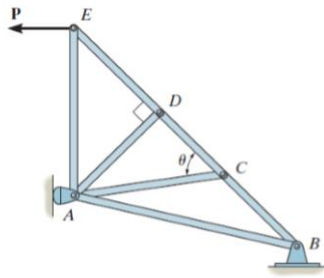




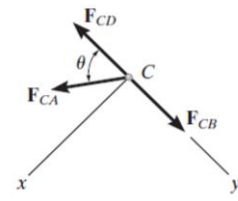
Figure 1.10 shows a truss structure with a horizontal member AF, a vertical member AB, and a diagonal member DE. A force F is applied at A, and a force P is applied at C. The angle θ is shown between the horizontal and the diagonal member DE. The diagram is labeled "Figure 1.10".

Dr. Kürşat GÜLTEKİN



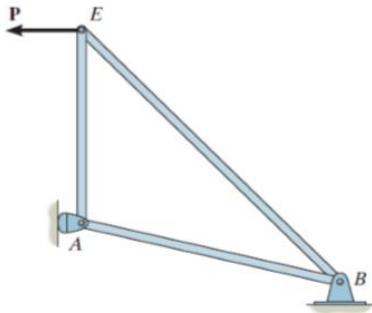
$$+\swarrow \Sigma F_x = 0; F_{DA} = 0$$

$$+\searrow \Sigma F_y = 0; F_{DC} = F_{DE}$$

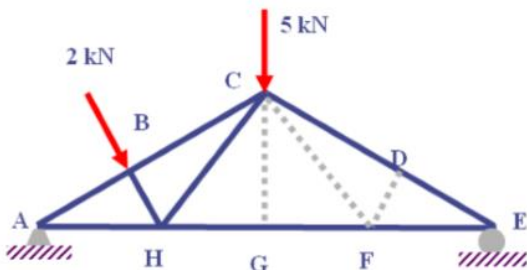
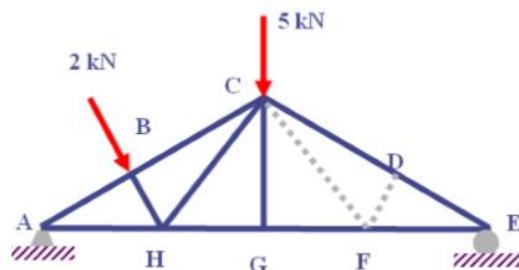
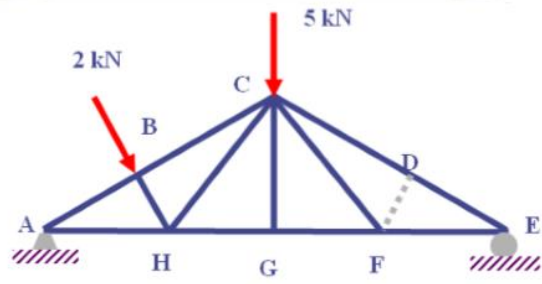
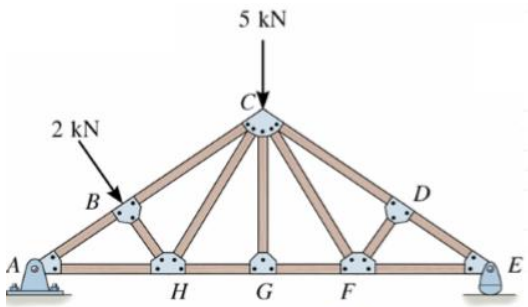


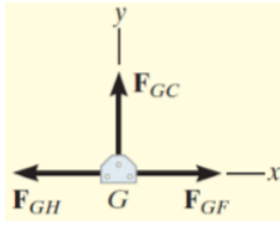
$$+\swarrow \Sigma F_x = 0; F_{CA} \sin \theta = 0; F_{CA} = 0 \text{ since } \sin \theta \neq 0;$$

$$+\searrow \Sigma F_y = 0; F_{CB} = F_{CD}$$

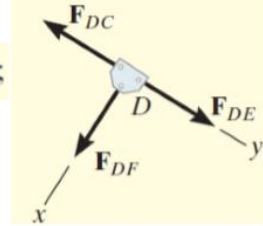


Örnek:

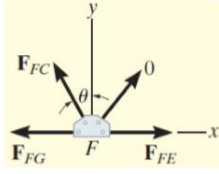




$$+\uparrow \Sigma F_y = 0;$$
$$F_{GC} = 0$$

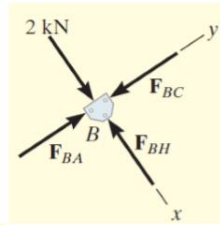


$$+\swarrow \Sigma F_x = 0;$$
$$F_{DF} = 0$$

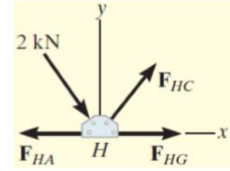


$$+\uparrow \Sigma F_y = 0;$$

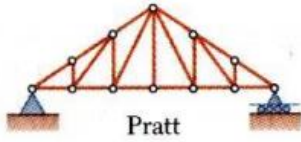
$$F_{FC} \cos \theta = 0 \quad \text{Since } \theta \neq 90^\circ, \quad F_{FC} = 0$$



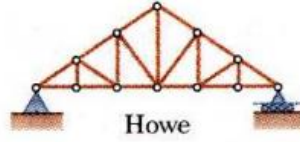
$$+\swarrow \Sigma F_x = 0;$$
$$2 \text{ kN} - F_{BH} = 0$$
$$F_{BH} = 2 \text{ kN}$$



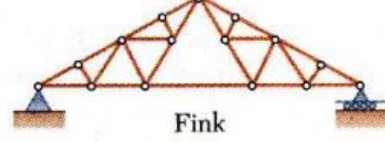
Kafes kiriş türleri



Pratt

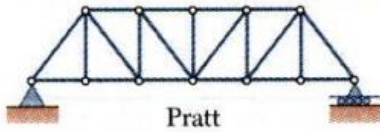


Howe

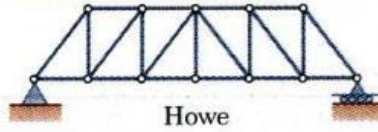


Fink

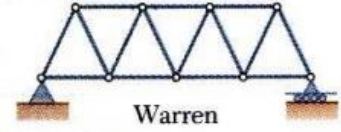
Tipik çatı kafes kirişleri



Pratt



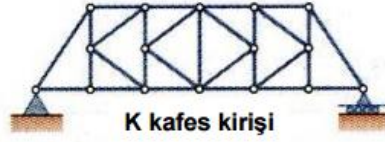
Howe



Warren

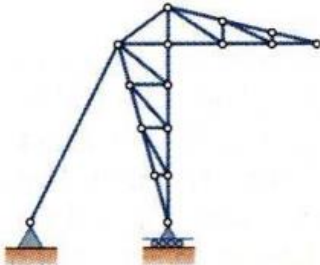


Baltimore



K kafes kirişi

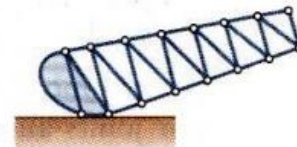
Tipik köprü kafes kirişleri



Stadyum kafes kirişi



Bir kafes kirişin konsol kısmı



Baskül

Diğer kafes kirişler

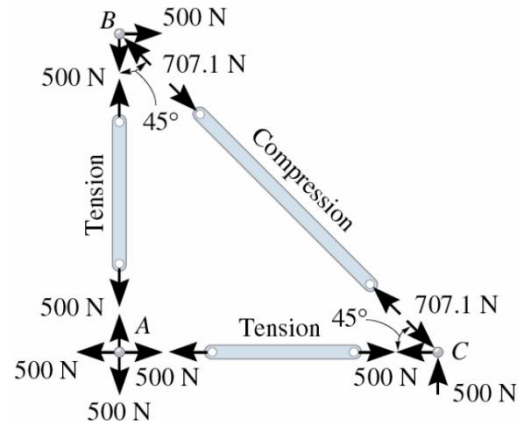
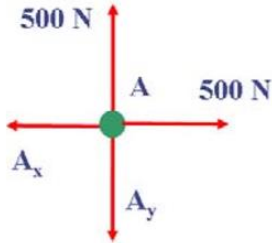
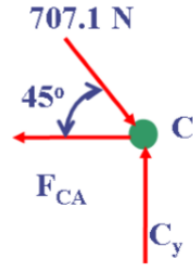
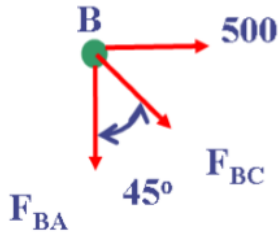
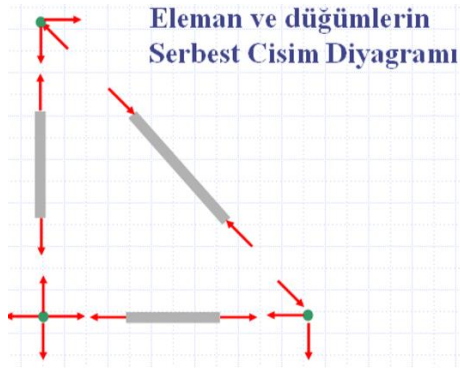
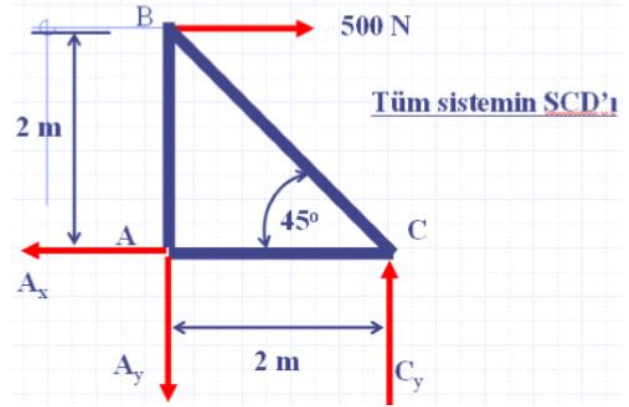
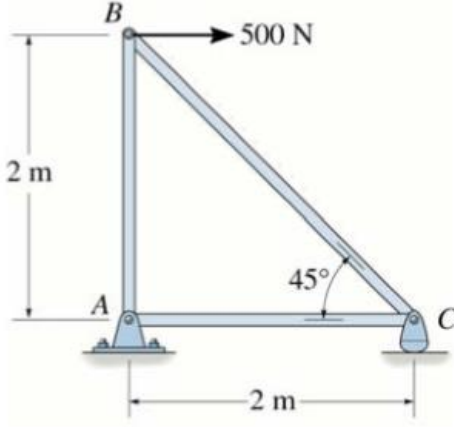
Düğüm yöntemi ile çözümlemede bazen bazı çubukların çekiye mi yoksa basıya mı çalıştığı ilk anda belirlenemeyebilir. Bu yüzden düğüm yöntemini uygulamada genel bir prosedürün ortaya konulması önem arz etmektedir. Düğüm yöntemi aşağıdaki sırada uygulanmalıdır.



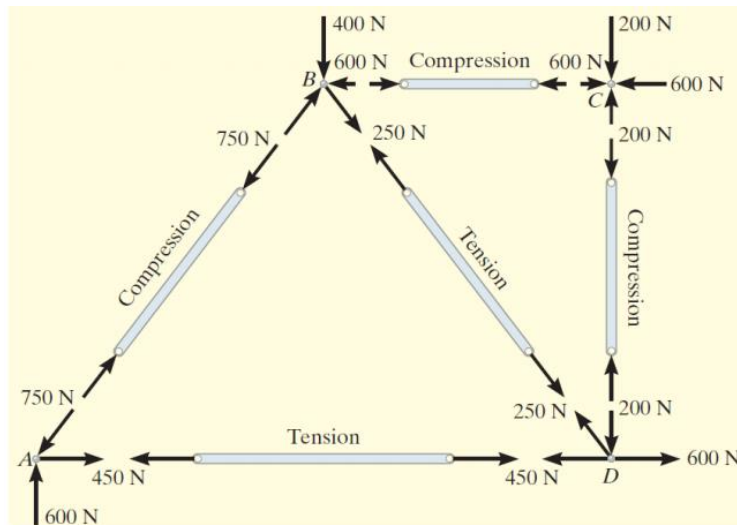
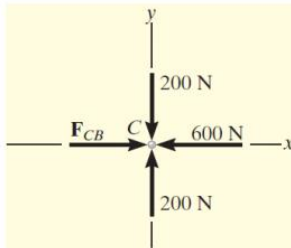
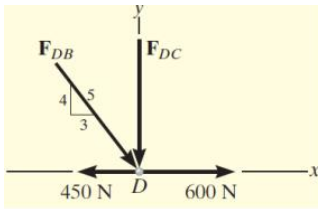
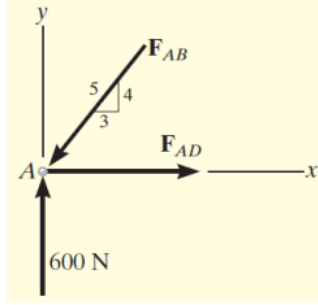
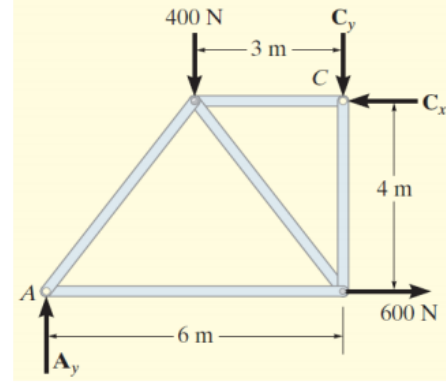
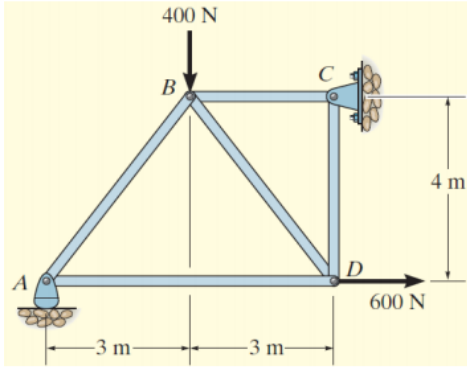
1. Tüm kafesin Serbest Cisim Diyagramı çizilir ve mesnet tepkileri bulunur.
2. En az bir, en fazla iki bilinmeyecek olacak şekilde düğümlerin Serbest Cisim Diyagramları çizilir.
3. Düğümlerin SCD'nda bilinen kuvvetler kendi yönlerinde, bilinmeyen tüm kuvvetler düğümden dışarı olacak şekilde (çeki) yerleştirilir. Bilinmeyen kuvvette sonuç pozitifse çubuk çekidir ve negatifse çubuk basıdır.
4. 3. madde uygulanmayacaksa gözlem sonucu bilinmeyen kuvvetin yönü belirtilir. Bilinmeyen kuvvette sonuç pozitifse alınan yön doğrudur ve negatifse alınan yön terstir.



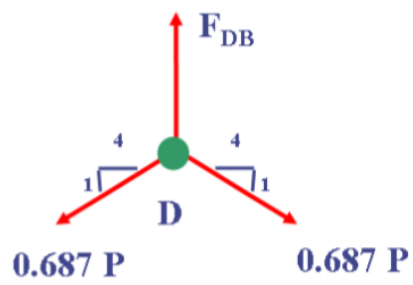
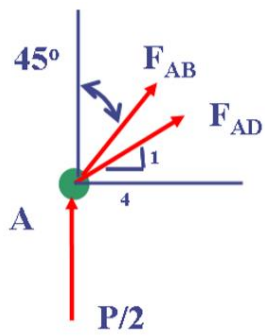
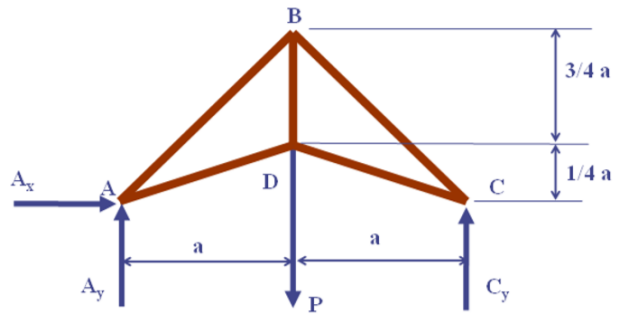
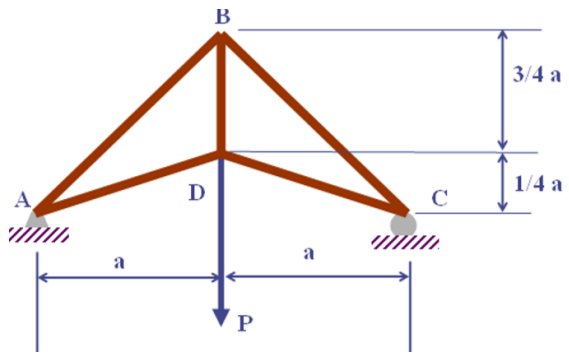
Örnek: Şekilde gösterilen kafes sistemin her bir elemanındaki kuvveti belirleyiniz ve elemanların çekme etkisinde mi yoksa basınç etkisinde mi olduklarını belirtiniz.



Örnek: Şekilde gösterilen kafes sistemin her bir elemanındaki kuvveti belirleyiniz.

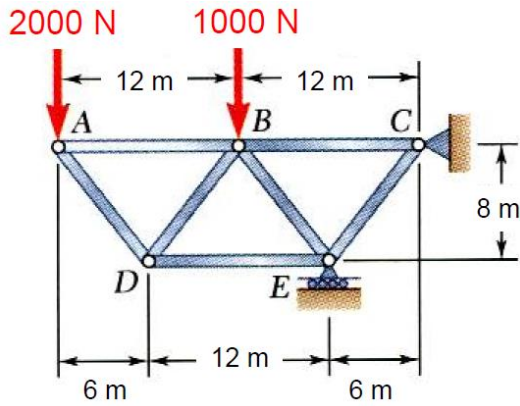


Örnek: Yandaki kafeste her bir çubuktaki kuvvetlerin şiddetini ve çubukların basıya veya çekiye zorlandıklarını bulunuz.

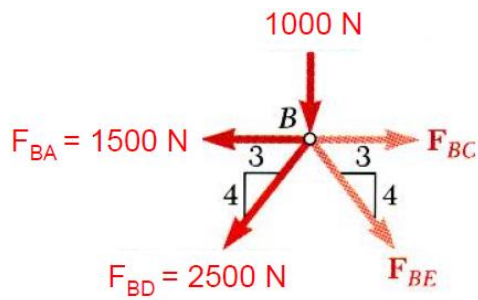
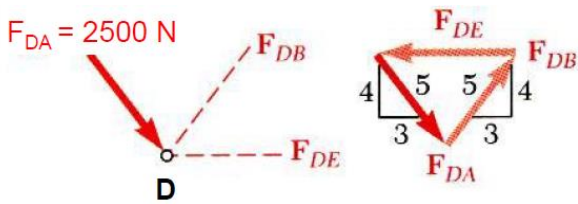
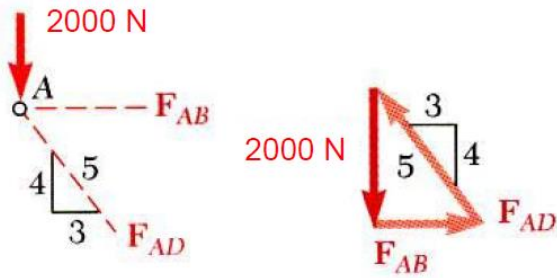
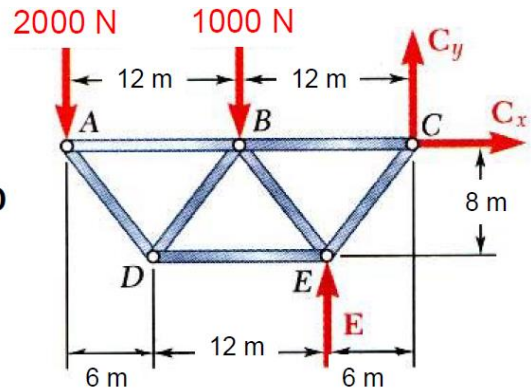


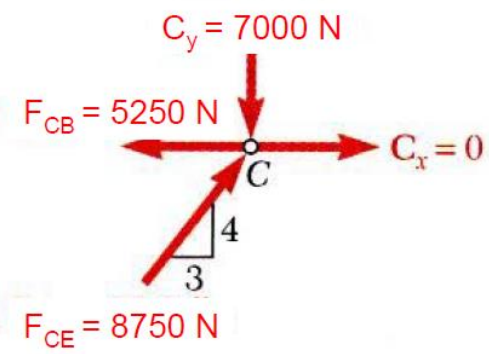
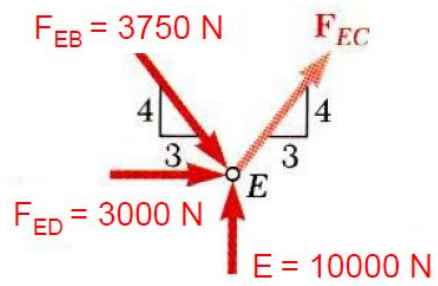


Örnek: Verilen kafes sistemde düğüm noktaları metodunu kullanarak her bir çubuktaki kuvvetleri bulunuz.



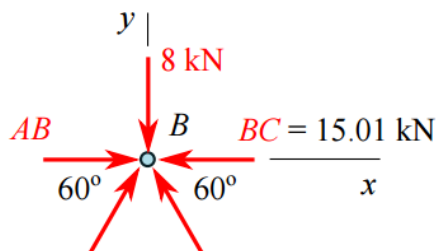
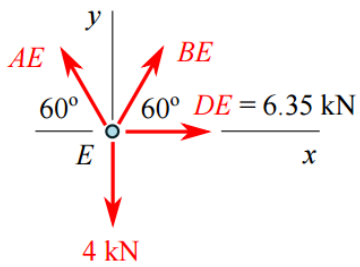
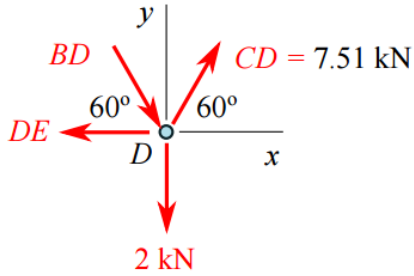
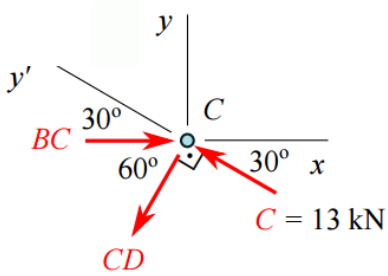
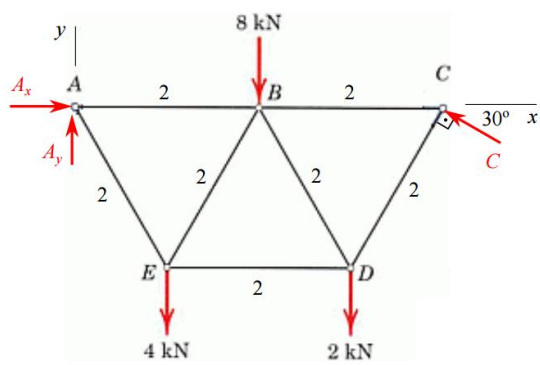
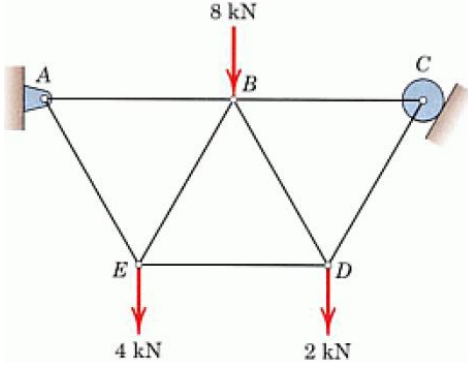
SCD





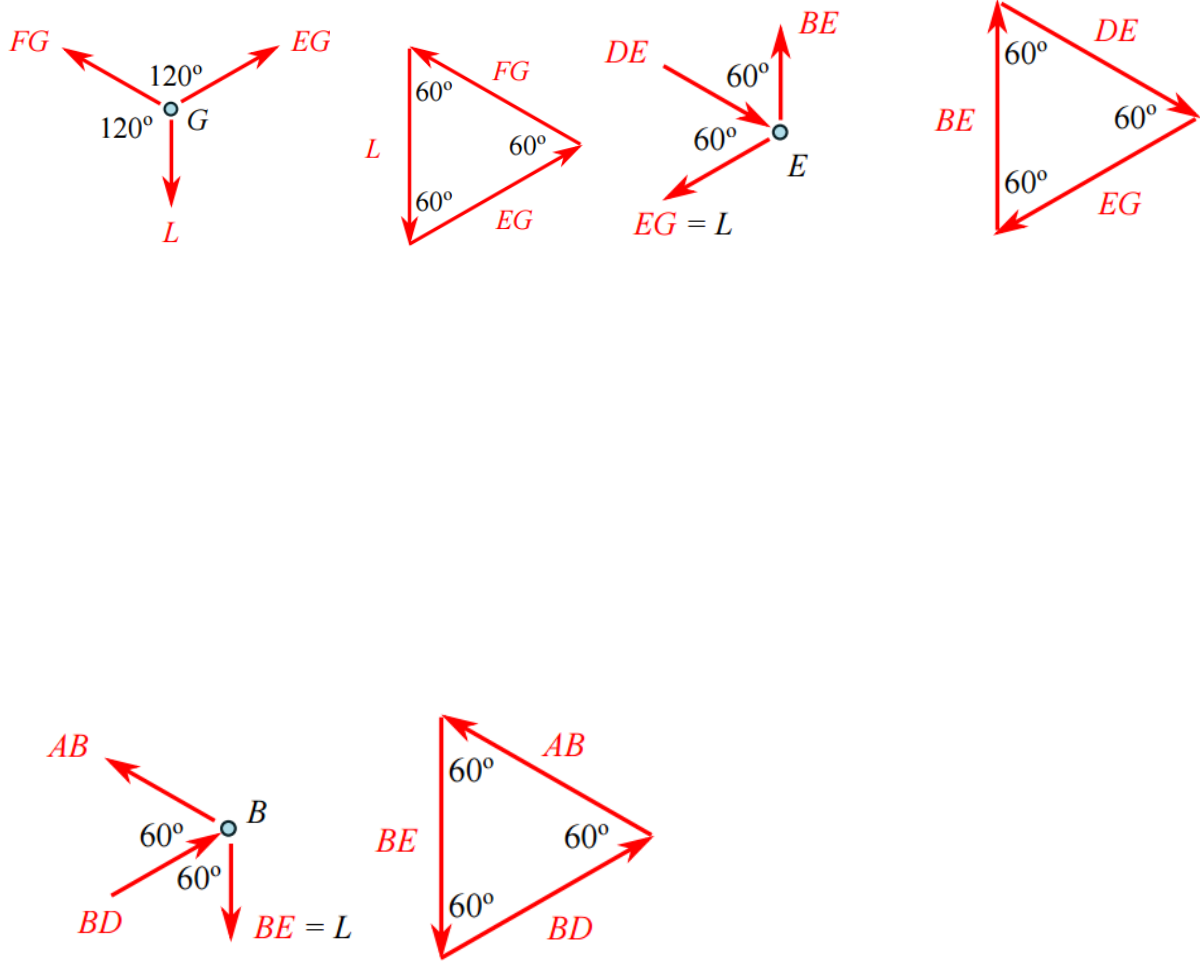
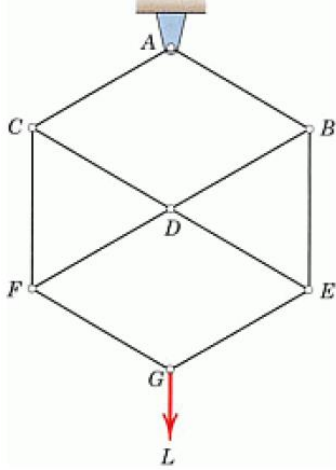


Örnek: Şekildeki gibi mesnetlenmiş ve yüklenmiş olan kafes sistemin her bir çubuğunun taşıdığı kuvveti bulunuz. Bütün üçgenler eşkenardır.



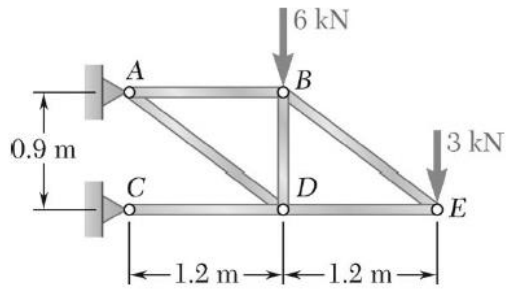


Örnek: Şekildeki gibi mesnetlenmiş ve yüklenmiş olan kafes sistemin BD ve BE çubuklarının taşıdığı kuvvetleri bulunuz. Bütün iç açılar ya 60° veya 120° dir.



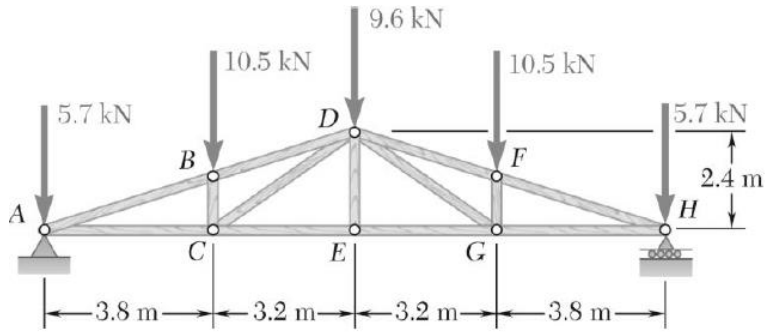


Örnek:





Örnek:





Örnek:

