

TEMEL MEKANİK

14



Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ali Dayıođlu

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliđi Bölümü

Ders Kitapları:

- Mühendisler İçin Vektör Mekaniği, Statik, Yazarlar: Ferdinand P. Beer, E. Russel Johnston, Elliot R. Eisenberg, 2008, Güven Yayınları, İzmir
Çevirenler: Ömer Gündoğdu, Halil Rıdvan Öz, Osman Kopmaz.
- Mühendisler İçin Vektör Mekaniği, Statik, Yazarlar: Ferdinand Pierre Beer, E. Russel Johnston Jr, David F. Mazurek, 2015, Literatür Yayıncılık, İstanbul,
Çevirenler: Ömer Gündoğdu, Osman Kopmaz.

Diğer Kaynaklar:

- Ferdinand Pierre Beer, E. Russel Johnston Jr, David F. Mazurek, 2015. Vector Mechanics for Engineers 11e : Statics : SI Units, McGraw Hill, USA.
- Russell C. Hibbeler, 2016. Engineering Mechanics: Statics in SI Units (14e), Pearson Higher Ed USA.

Özel yükleme koşulları altındaki düğüm noktaları

Az önce açıkladığımız özel yükleme koşulları altındaki işaretli eklemler bir kafesin analizini hızlandıracaktır.

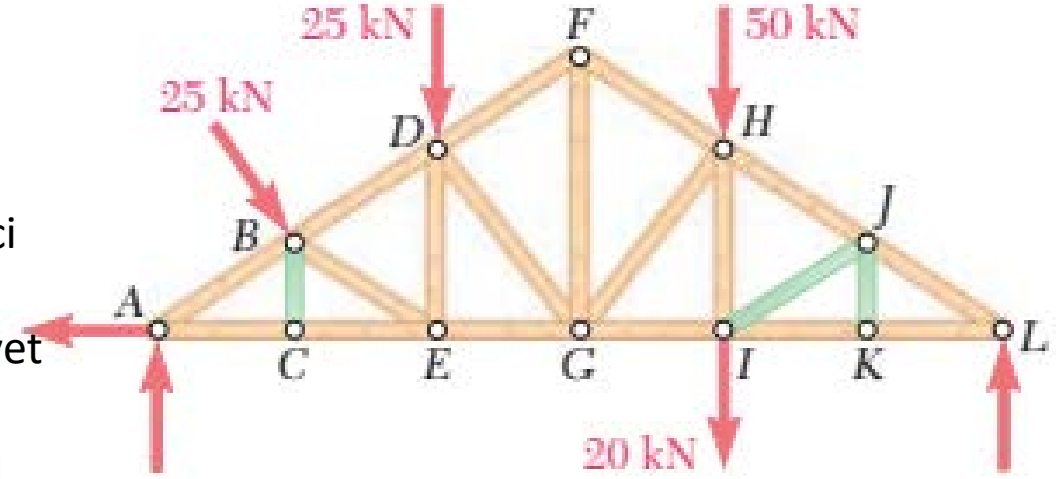
Örneğin şekilde gösterildiği gibi, yüklenmiş bir Howe kafesi düşünelim. Yeşil çizgiyle temsil edilen tüm üyeleri sıfır kuvvet üyesi olarak tanımlayabiliriz. C noktası, üç üyeyi birbirine bağlar; bunların ikisi aynı hat üzerindedir ve herhangi bir harici yüke maruz kalmaz; BC üyesi böylece **sıfır kuvvet üyesidir**.

Aynı mantığı K noktasına uygulayarak, JK üyesinin de sıfır kuvvet üyesi olduğunu buluruz.

Ancak J eklemini şimdi C ve K eklemleriyle aynı durumda, bu yüzden I üyesi de sıfır kuvvet üyesi olmalıdır.

C, J ve K eklemlerinin incelenmesi, AC ve CE üyelerindeki kuvvetlerin üyelerin HJ ve JL üyelerindeki kuvvetlere ve IK ve KL'deki üyelerdeki kuvvetlere eşit olduğunu gösterir.

Dikkatimizi, 20-kN'luk yük ve HI üyesinin aynı doğru üzerinde olduğu I noktasına çevirelim. HI üyesindeki kuvvetin 20 kN (gerilim) olduğunu ve GI ve IK üyelerindeki kuvvetlerin eşit olduğunu not ettik. Dolayısıyla, GI, IK ve KL üyelerindeki kuvvetler eşittir.



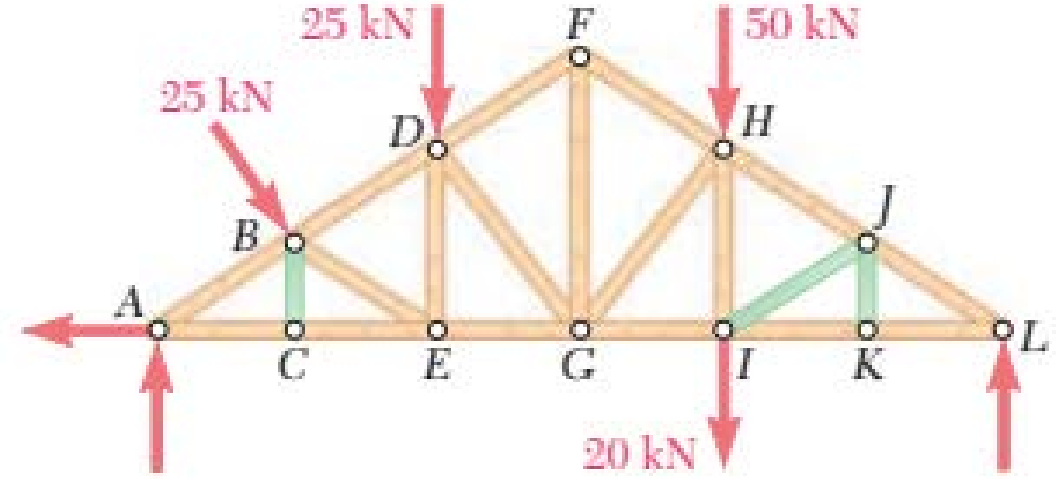
Özel yükleme koşulları altındaki düğüm noktaları

Burada açıklanan koşulların şekildeki B ve D eklemleri için geçerli olmadığını unutmayın.

Bu nedenle DE üyesindeki kuvvetin 25 kN olduğunu veya üyelerin AB ve BD'deki kuvvetlerinin eşit olduğunu varsaymanın yanlış olduğuna dikkat edin.

Bu üyelerdeki ve kalan tüm üyelerdeki kuvvetleri belirlemek için, A, B, D, E, F, G, H ve L eklemlerinin normal şekilde analizi gerçekleştirilmelidir.

Bu nedenle, bu bölümde açıklanan kuralları uygulayabilmeniz için, dikkate alınan eklemlerin özel yükleme koşullarından birinde olup olmadığını, koşullara iyice aşına olana kadar, tüm pimlerin serbest cisim diyagramlarını çizmeniz ve karşılık gelen denge denklemlerini yazmalısınız. (veya karşılık gelen kuvvet poligonlarını çizmelisiniz).

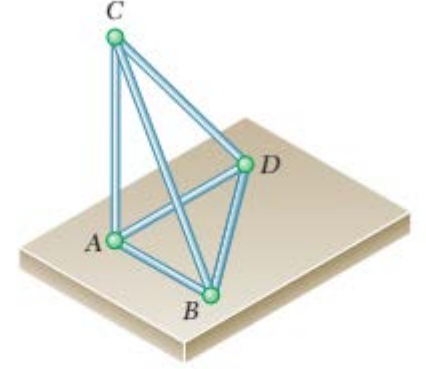


Uzay kafesler

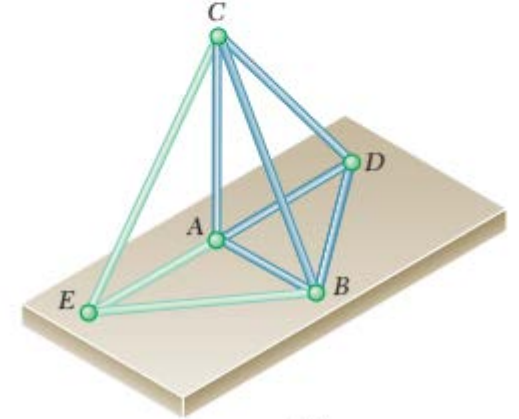
Üç boyutlu bir konfigürasyon oluşturmak için birkaç kafes kafes elemanı uçları birleştirildiğinde ortaya çıkan yapıya bir uzay kafes adı verilir. En temel iki boyutlu katı kafes, bir üçgenin kenarlarını oluşturmak üzere uçları birleştirilen üç üyeden oluşur.

Bu temel konfigürasyona birer birer iki üye ekleyerek ve onları yeni bir birleşim noktasına bağlayarak, basit bir kafes olarak tanımladığımız daha büyük bir rijit yapı elde ederiz. Benzer şekilde, en basit rijit uzay kafes, tetrahedron bir ABCD kenarlarını oluşturmak için uçlarına birleştirilen altı üyeden oluşur (Şekil a).

AE, BE ve CE (Şekil b) gibi bu temel konfigürasyona aynı anda üç üye ekleyerek onları var olan üç eklem üzerine ve onları yeni bir eklem üzerine bağlayarak, basit bir uzay kafes olarak tanımladığımız daha büyük bir rijit yapı elde edebiliriz.



(a)



(b)

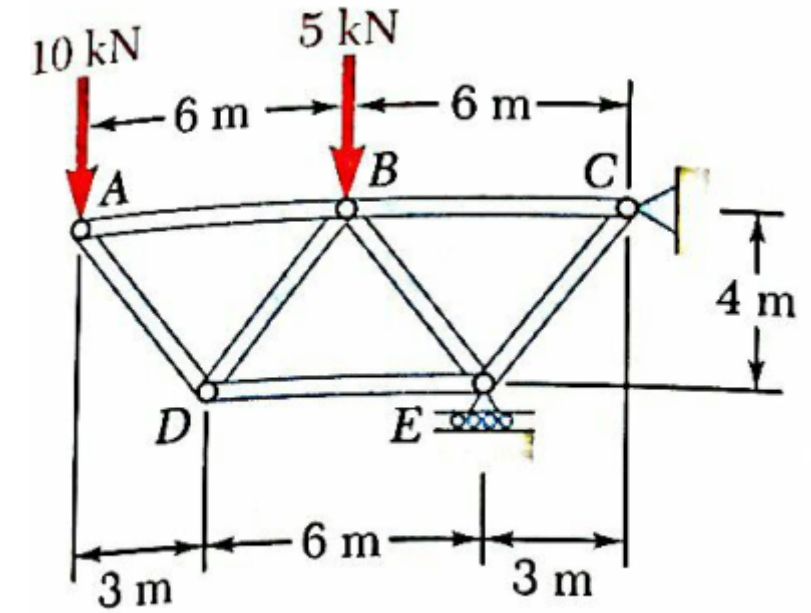
5.2 Örnek problem 6.1

Düğüm noktaları yöntemini kullanarak şekilde gösterilen kafesin tüm elemanlarındaki kuvvetleri bulunuz.

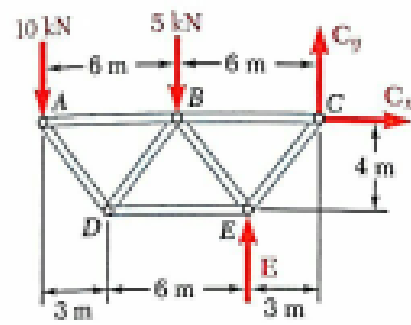
STRATEGY: To use the method of joints, you start with an analysis of the free-body diagram of the entire truss. Then look for a joint connecting only two members as a starting point for the calculations. In this example, we start at joint *A* and proceed through joints *D*, *B*, *E*, and *C*, but you could also start at joint *C* and proceed through joints *E*, *B*, *D*, and *A*.

MODELING and ANALYSIS: You can combine these steps for each joint of the truss in turn. Draw a free-body diagram; draw a force polygon or write the equilibrium equations; and solve for the unknown forces.

REFLECT and THINK: Using the computed values of F_{CD} and F_{CE} , you can determine the reactions C_x and C_y by considering the equilibrium of Joint *C* (Fig. 6). Since these reactions have already been determined from the equilibrium of the entire truss, this provides two checks of your computations. You can also simply use the computed values of all forces acting on the joint (forces in members and reactions) and check that the joint is in equilibrium:



5.2 Örnek çözüm



Serbest Cisim: Tüm Kafes. Kafesin bir bütün olarak serbest cisim diyagramı çizilir. Bu serbest cisme etkiyen dış kuvvetler, uygulanan kuvvetler ve C ile E'deki tepkilerden oluşur. Aşağıdaki denge denklemleri yazılabilir.

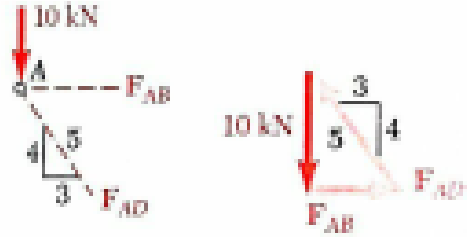
$$+\uparrow \Sigma M_C = 0: \quad (10 \text{ kN})(12 \text{ m}) + (5 \text{ kN})(6 \text{ m}) - E(3 \text{ m}) = 0$$

$$E = +50 \text{ kN} \quad E = 50 \text{ kN} \uparrow$$

$$\rightarrow \Sigma F_x = 0: \quad C_x = 0$$

$$+\uparrow \Sigma F_y = 0: \quad -10 \text{ kN} - 5 \text{ kN} + 50 \text{ kN} + C_y = 0$$

$$C_y = -35 \text{ kN} \quad C_y = 35 \text{ kN} \downarrow$$

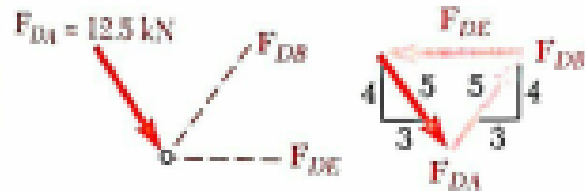


Serbest Cisim: Düğüm A. Bu düğümde yalnızca iki bilinmeyen kuvvet mevcuttur; bunlar da AB ve AD çubuklarının uyguladıkları kuvvettir. Bir kuvvet üçgeniyle F_{AB} ve F_{AD} bulunabilir. AB elemanı mafsahı dışa doğru çekerken ve böylece çeki etkisi altında kalırken, AD elemanı mafsahı iter ve böylece bası etkisi altında kalır. İki kuvvetin büyüklükleri,

$$\frac{10 \text{ kN}}{4} = \frac{F_{AB}}{3} = \frac{F_{AD}}{5}$$

$$F_{AB} = 7.5 \text{ kN } \checkmark$$

$$F_{AD} = 12.5 \text{ kN } \checkmark$$

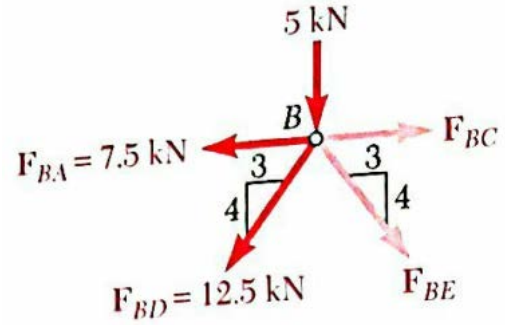


Serbest Cisim: Düğüm D. AD çubuğunun uyguladığı kuvvet bulunduğu için bu düğümde, yalnızca iki bilinmeyen kuvvet vardır. Tekrar bir kuvvet üçgeni oluşturulup DB ve DE elemanlarındaki bilinmeyen kuvvetler bulunabilir.

$$F_{DB} = F_{DA} \quad F_{DB} = 12.5 \text{ kN } \checkmark$$

$$F_{DE} = 2\left(\frac{3}{5}\right)F_{DA} \quad F_{DE} = 15 \text{ kN } \checkmark$$

5.2 Örnek çözüm

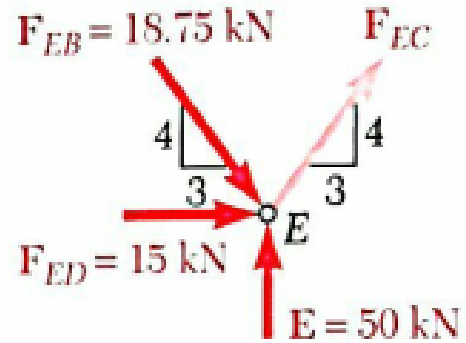


Serbest Cisim: Düğüm B. Bu düğümüne üçten fazla kuvvet etkidiğinden bilinmeyen F_{BC} ve F_{BE} kuvvetleri $\Sigma F_x = 0$ ve $\Sigma F_y = 0$ denge denklemleri çözülerek bulunacaktır. Her iki kuvvetin de düğümünden dışa doğru etkiğini, yani elemanların çeki etkisinde olduğunu şimdilik kabul edelim. F_{BC} için elde edilen pozitif değer, başlangıçtaki kabulün doğru olduğunu; yani BC'nin çeki etkisinde olduğunu gösterir. F_{BE} için elde edilen negatif değer, başlangıçtaki kabulün yanlış olduğunu; yani BE'nin bası etkisinde olduğunu gösterir.

$$+\uparrow \Sigma F_y = 0: \quad -5 \text{ kN} - \frac{4}{5}(12.5 \text{ kN}) - \frac{4}{5}F_{BE} = 0$$
$$F_{BE} = -18.75 \text{ kN} \quad F_{BE} = 18.75 \text{ kN B}$$

$$\pm \Sigma F_x = 0: \quad F_{BC} - 7.5 \text{ kN} - \frac{3}{5}(12.5 \text{ kN}) - \frac{3}{5}(18.75 \text{ kN}) = 0$$
$$F_{BC} = +26.25 \text{ kN} \quad F_{BC} = 26.25 \text{ kN Ç}$$

5.2 Örnek çözüm

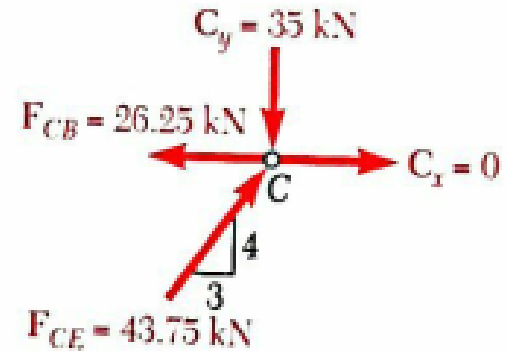


Serbest Cisim: Düğüm E. Bilinmeyen F_{EC} kuvvetinin dışa doğru etkidiğini kabul edelim. Kuvvetlerin x bileşenleri toplanarak

$$\begin{aligned} \rightarrow \Sigma F_x = 0: \quad \frac{3}{5}F_{EC} + 15 \text{ kN} + \frac{3}{5}(18.75 \text{ kN}) &= 0 \\ F_{EC} &= -43.75 \text{ kN} \quad F_{EC} = 43.75 \text{ kN } B \quad \blacktriangleleft \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} +\uparrow \Sigma F_y &= 50 \text{ kN} - \frac{4}{5}(18.75 \text{ kN}) - \frac{4}{5}(43.75 \text{ kN}) \\ &= 50 \text{ kN} - 15 \text{ kN} - 35 \text{ kN} = 0 \end{aligned}$$

5.2 Örnek çözüm



Serbest Cisim: Düğüm C. Hesaplanan F_{CB} ve F_{CE} değerlerini kullanıp bu düğümdeki dengeyi yazarak C_x ve C_y tepkileri bulunabilir. Bu tepkiler, kafesin tümünün dengesi düşünülerek elde edilen tepkiler olduğundan hesaplamalarımıza iki sağlama elde edeceğiz. Aynı zamanda mafsala etkiyen tüm kuvvetlerin (eleman kuvvetlerinin ve tepkilerin) değerini de kullanabilir ve mafsalsın dengede olup olmadığını kontrol edebiliriz.

$$\begin{aligned} \overset{+}{\rightarrow} \Sigma F_x &= -26.25 \text{ kN} + \frac{3}{5}(43.75 \text{ kN}) = -26.25 \text{ kN} + 26.25 \text{ kN} = 0 \\ \overset{+}{\uparrow} \Sigma F_y &= -35 \text{ kN} + \frac{4}{5}(43.75 \text{ kN}) = -35 \text{ kN} + 35 \text{ kN} = 0 \end{aligned}$$

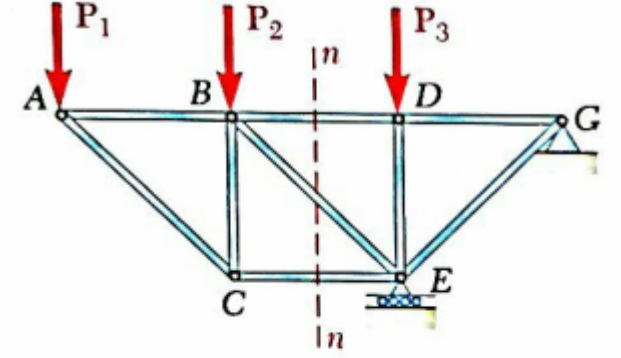
5.2 Diğer kafes Analizleri

Kesit yöntemi

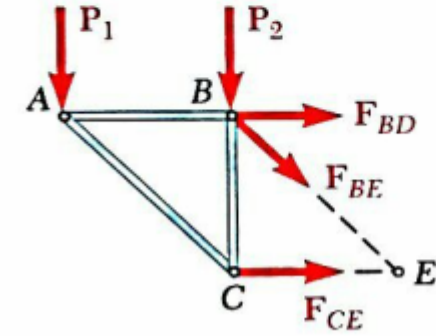
Bir kafesin tüm elemanlarındaki kuvvetler belirlenecekse, düğüm noktaları metodu en etkin yöntemdir. Bununla birlikte yalnızca bir elemandaki kuvvet veya çok az sayıdaki elemanın kuvveti isteniyorsa, diğer bir metot olan kesme metodu en uygun olanıdır.

Şek. 6.16'da gösterilen kafesin BD elemanındaki kuvveti belirlemek istediğimizi varsayalım. Bunu yapmak için, B mafsalına veya D mafsalına etkiyen BD elemanın kuvvetini belirlemeliyiz. Düğüm noktaları metodunu kullansaydık, B veya D düğümlerinden birini serbest cisim olarak seçerdik. Ancak kafesin birçok mafsal ve elemandan oluşan daha büyük bir kısmını, aranan çubuk kuvvetinin bu parçaya etkiyen bir dış kuvvet olması şartıyla, serbest cisim olarak seçebiliriz. Ek olarak kafesin bu kısmı, üzerine yalnızca toplam üç bilinmeyen kuvvet etkiyecek şekilde seçilirse, kafesin bu kısmı için denge denklemleri çözülerek istenen kuvvet bulunabilir. Pratikte kafesin kullanılacak bu kısmı, birisi istenen eleman olmak üzere kafesin üç elemanından geçen bir kesmeyle elde edilebilir; yani üçten fazla elemanı kesmeyen ve kafesi tamamen ayrı iki parçaya bölen bir çizgi çizilir. Sonra kesilen elemanların ayrılmasıyla elde edilen iki parçadan herhangi biri, serbest cisim olarak kullanılabilir.†

Şek. 6.16a'da nn kesmesi BD , BE ve CE elemanları üzerinden geçer ve kafesin ABC kısmı, serbest cisim olarak seçilir (Şek. 6.16b). Serbest cisim üzerine etkiyen kuvvetler, A ve B düğümlerindeki P_1 ve P_2 yükleriyle bilinmeyen F_{BD} , F_{BE} ve F_{CE} üç kuvvetidir. Kaldırılan elemanların çekide mi yoksa basıda mı olduğu bilinmediğinden bu kuvvetler, elemanlar sanki çekideymiş gibi serbest cisimden dışarıya doğru çizilmiştir.



(a)



(b)

5.2 Diğer kafes Analizleri

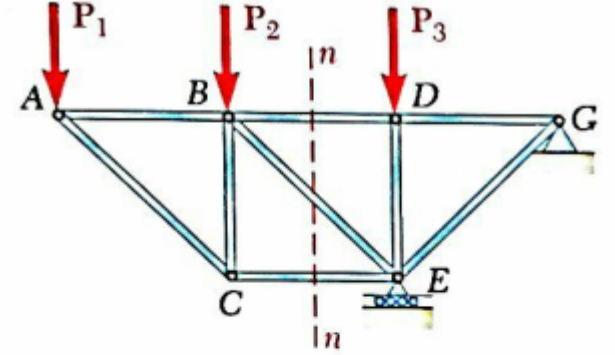
Kesit yöntemi

ABC rijit cismi dengede olduğundan, üç denge denklemi yazılabilir ve üç bilinmeyen kuvvet için çözülebilir. Yalnızca F_{BD} kuvveti isteniyorsa denklemin diğer bilinmeyenleri içermemesi şartıyla, yalnızca bir denklem yazmamız yeterlidir. Böylece $\Sigma M_E = 0$ denklemi F_{BD} kuvvetinin F_{BD} büyüklüğünü verir (Şek. 6.16b). Sonuçtaki pozitif işaret, başlangıçta F_{BD} 'nin yönüyle ilgili varsayımın doğru ve BD 'nin çeki etkisinde olduğunu gösterecek; negatif işaretse, başlangıçta F_{BD} 'nin yönüyle ilgili varsayımın yanlış ve BD 'nin bası etkisinde olduğunu gösterecektir.

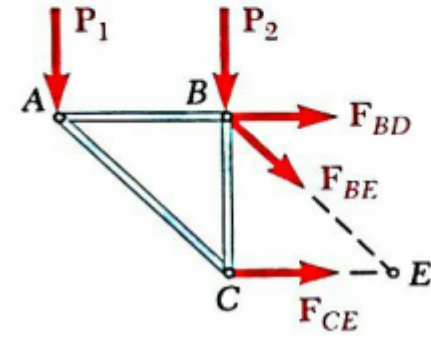
Diğer taraftan, yalnızca F_{CE} kuvveti isteniyorsa F_{BD} veya F_{BE} kuvvetlerini içermeyen bir denklemin yazılması gerekir. Uygun denklem $\Sigma M_B = 0$ 'dır. Yine istenen kuvvet F_{CE} 'nin büyüklüğündeki pozitif işaret, doğru bir varsayımı, yani çekiği; negatif işaret de yanlış bir varsayımı, yani basıyı gösterir.

Yalnızca F_{BE} kuvveti isteniyorsa, uygun denklem $\Sigma F_y = 0$ 'dır. Elemanın çekide veya basıda olması, yine sonucun işaretiyle belirlenir.

Yalnızca bir çubuktaki kuvvet bulunursa, hesabın bağımsız bir kontrolü mümkün değildir. Bununla birlikte, serbest cisim üzerine etkiyen tüm bilinmeyen kuvvetler bulunursa, hesaplar ilave bir denklem yazılarak kontrol edilebilir. Örneğin, F_{BD} , F_{BE} ve F_{CE} yukarıda belirtildiği gibi bulunursa hesapların doğruluğu, $\Sigma F_x = 0$ olduğu teyit edilerek kontrol edilebilir.



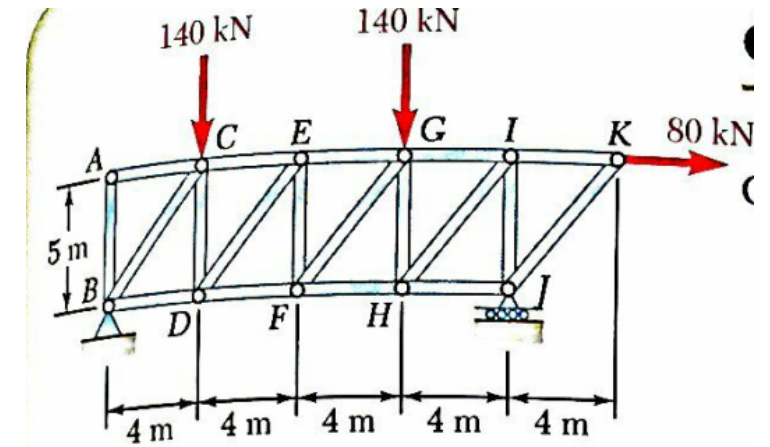
(a)



(b)

5.2 Örnek problem 6.2

Şekilde gösterilen kafesin EF ve GI çubuklarına etkiyen kuvvetleri bulunuz.



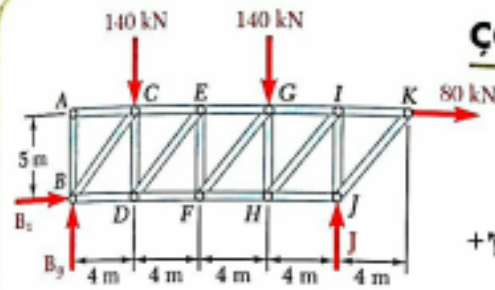
STRATEGY: You are asked to determine the forces in only two of the members in this truss, so the method of sections is more appropriate than the method of joints. You can use a free-body diagram of the entire truss to help determine the reactions, and then pass sections through the truss to isolate parts of it for calculating the desired forces.

MODELING and ANALYSIS: You can go through the steps that follow for the determination of the support reactions, and then for the analysis of portions of the truss.

Free-Body: Entire Truss. Draw a free-body diagram of the entire truss. External forces acting on this free body consist of the applied loads and the reactions at B and J (Fig. 1). Write and solve the following equilibrium equations.

Çözüm 6.2

Şekilde gösterilen kafesin EF ve GI çubuklarına etkiyen kuvvetleri bulunuz.



ÇÖZÜM

Serbest Cisim: Tüm Kafes. Tüm kafesin serbest cisim diyagramı çizilir. Bu serbest cisme etkiyen dış kuvvetler, uygulanan kuvvetlerle B ve J'deki tepkilerden ibarettir. Aşağıdaki denge denklemlerini yazalım.

$$+\uparrow \Sigma M_B = 0:$$

$$-(140 \text{ kN})(4 \text{ m}) - (140 \text{ kN})(12 \text{ m}) - (80 \text{ kN})(5 \text{ m}) + J(16 \text{ m}) = 0$$

$$J = +165 \text{ kN} \quad J = 165 \text{ kN} \uparrow$$

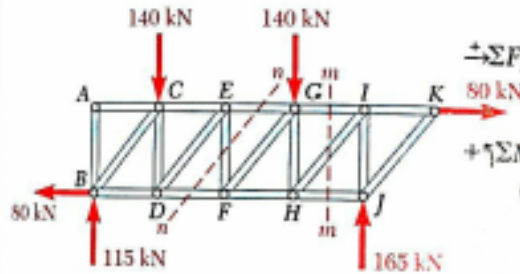
$$\rightarrow \Sigma F_x = 0: \quad B_x + 80 \text{ kN} = 0$$

$$B_x = -80 \text{ kN} \quad B_x = 80 \text{ kN} \leftarrow$$

$$+\uparrow \Sigma M_J = 0:$$

$$(140 \text{ kN})(12 \text{ m}) + (140 \text{ kN})(4 \text{ m}) - (80 \text{ kN})(5 \text{ m}) - B_y(16 \text{ m}) = 0$$

$$B_y = +115 \text{ kN} \quad B_y = 115 \text{ kN} \uparrow$$



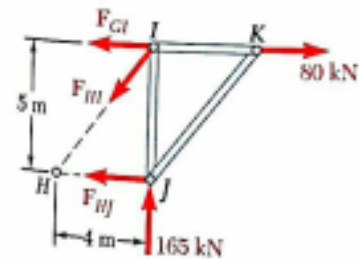
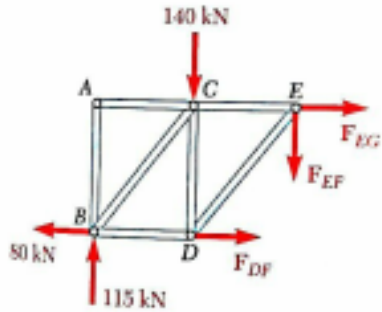
EF Elemanındaki Kuvvet. *nn* kesmesi, yalnızca EF çubuğunu ve diğer iki çubuğu daha kesecek şekilde kafes üzerinden geçirilir. Kesilen elemanlar ayrıldıktan sonra, kafesin sol parçası serbest cisim olarak seçilir. Üç bilinmeyen olduğundan, iki yatay bilinmeyeni yok etmek için

$$+\uparrow \Sigma F_y = 0: \quad +115 \text{ kN} - 140 \text{ kN} - F_{EF} = 0$$

$$F_{EF} = -25 \text{ kN}$$

yazarız. F_{EF} 'nin yönü EF çubuğunu çekide kabul edilerek seçilir. Elde edilen negatif işaret, elemanın basıda olduğunu gösterir.

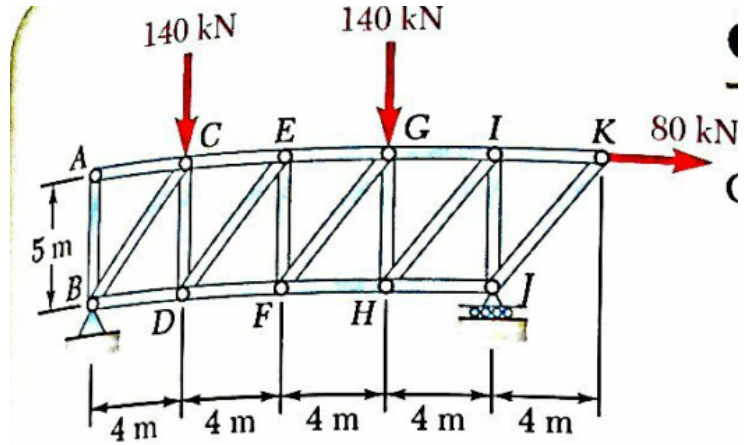
$$F_{EF} = 25 \text{ kN B} \quad \leftarrow$$



GI Elemanındaki Kuvvet. *mm* kesmesi, yalnızca GI çubuğunu ve diğer iki çubuğu daha kesecek şekilde kafes üzerinden geçirilir. Kesilen elemanlar ayrıldıktan sonra, kafesin sağ parçası serbest cisim olarak seçilir. Üç bilinmeyen olduğundan, H noktasından geçen iki kuvveti yok ederiz:

$$+\uparrow \Sigma M_H = 0: \quad (165 \text{ kN})(4 \text{ m}) - (80 \text{ kN})(5 \text{ m}) + F_{GI}(5 \text{ m}) = 0$$

$$F_{GI} = -52 \text{ kN} \quad F_{GI} = 52 \text{ kN B} \quad \leftarrow$$



5.2 Örnek problem 6.3

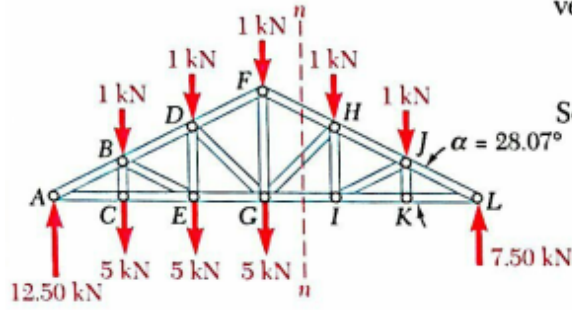
Şekilde gösterilen çatı kafesin FH, GH ve GI çubuklarına etkiyen kuvvetleri bulunuz.

Serbest Cisim: Tüm Kafes. Tüm kafesin serbest cisim diyagramından A ve L mesnetlerindeki tepkiler bulunur.

$$A = 12.50 \text{ kN} \uparrow \quad L = 7.50 \text{ kN} \uparrow$$

Sonra aşağıdaki bulunur.

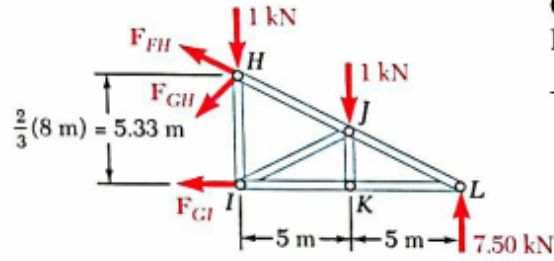
$$\tan \alpha = \frac{FG}{GL} = \frac{8 \text{ m}}{15 \text{ m}} = 0.5333 \quad \alpha = 28.07^\circ$$



GI Elemanındaki Kuvvet. nn kesmesi kafesten gösterildiği gibi geçirilir. Kafesin HLI parçasını kullanarak F_{GI} 'nin değeri elde edilebilir.

$$+\uparrow \sum M_H = 0: \quad (7.50 \text{ kN})(10 \text{ m}) - (1 \text{ kN})(5 \text{ m}) - F_{GI}(5.33 \text{ m}) = 0$$

$$F_{GI} = +13.13 \text{ kN} \quad F_{GI} = 13.13 \text{ kN} \text{ Ç} \blacktriangleleft$$

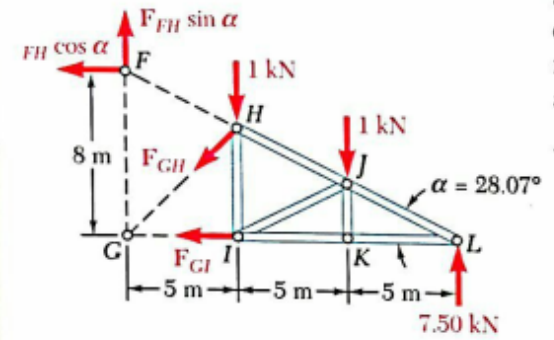


FH Elemanındaki Kuvvet. F_{FH} değeri, $\sum M_G = 0$ denkleminde elde edilebilir. F_{FH} 'i, F noktasında etkiyecek şekilde etki çizgisi üzerinde kaydırırız. Orada x ve y bileşenlerine ayrıştırırız. G noktasına göre F_{FH} 'in momenti, artık $(F_{FH} \cos \alpha)(8 \text{ m})$ 'ye eşittir.

$$+\uparrow \sum M_G = 0:$$

$$(7.50 \text{ kN})(15 \text{ m}) - (1 \text{ kN})(10 \text{ m}) - (1 \text{ kN})(5 \text{ m}) + (F_{FH} \cos \alpha)(8 \text{ m}) = 0$$

$$F_{FH} = -13.81 \text{ kN} \quad F_{FH} = 13.81 \text{ kN} \text{ B} \blacktriangleleft$$



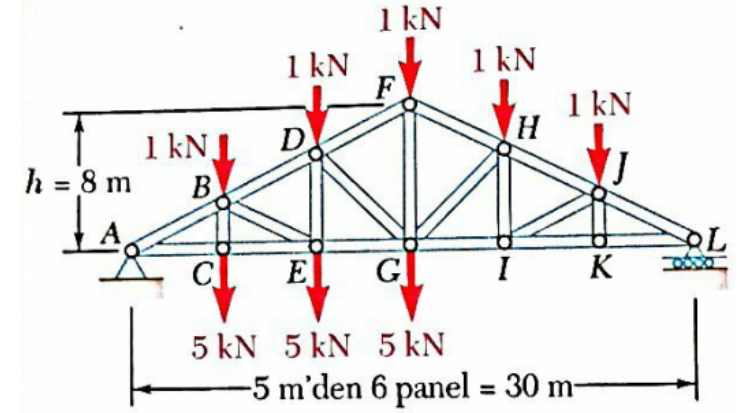
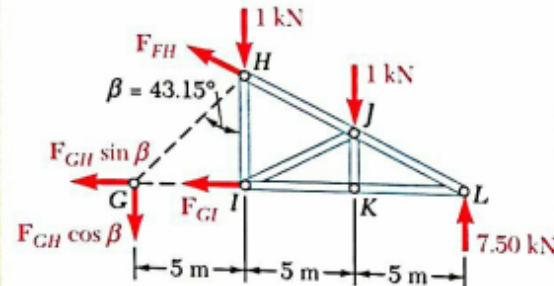
GH Elemanındaki Kuvvet. Öncelikle β bulunmalı:

$$\tan \beta = \frac{GI}{HI} = \frac{5 \text{ m}}{\frac{2}{3}(8 \text{ m})} = 0.9375 \quad \beta = 43.15^\circ$$

F_{GH} değeri, F_{GH} kuvvetinin, G noktasında x ve y bileşenlerine ayrıştırılması ve sonra $\sum M_L = 0$ denkleminin çözülmesinden elde edilebilir.

$$+\uparrow \sum M_L = 0: \quad (1 \text{ kN})(10 \text{ m}) + (1 \text{ kN})(5 \text{ m}) + (F_{GH} \cos \beta)(15 \text{ m}) = 0$$

$$F_{GH} = -1.371 \text{ kN} \quad F_{GH} = 1.371 \text{ kN} \text{ B} \blacktriangleleft$$



Çok kuvvet elemanı içeren yapılar

Kafesler konusunda, tamamen matsallardan ve iki kuvvet elemanlarından oluşmuş yapılar incelendi. İki kuvvet elemanlarına etkiyen kuvvetler, elemanların kendi eksenleri boyunca etkiyordu. Şimdiyse elemanlarından en az birinin *çok-kuvvet elemanı* olan, yani üzerine üç veya daha fazla kuvvetin etkiği bir elemanı olan yapıları inceleyeceğiz. Bu kuvvetler, genellikle etkidikleri eksen boyunca yönlendirilmez; yönleri bilinmez ve iki bilinmeyenli dik bileşenle gösterilirler.

Çerçeveler ve makineler, çok kuvvet elemanı içeren yapılardır. *Çerçeveler* yük taşımak için tasarlanır ve genellikle sabit ve tam bağlı yapılardır. *Makineler* kuvvet iletmek ve dönüştürmek için tasarlanır. Makineler sabit olabilir veya olmayabilir, her zaman hareketli parçalara sahiptir.

Bir çerçevenin analizi

Kıs. 6.1'de tanımlanan W yükünü taşıyan vinç (Şek. 6.20a) çerçevesinin analizinde örnek olarak ele alınabilir. Tüm çerçevenin serbest cisim diyagramı, Şek. 6.20b'de gösterilmiştir. Bu diyagram, çerçeveye etkiyen dış kuvvetleri bulmak için kullanılabilir. A'ya göre momentleri toplayarak önce kablounun uyguladığı T kuvvetini buluruz. Sonra x ve y bileşenlerini toplayarak, A mesnedindeki tepkinin A_x ve A_y bileşenlerini buluruz.

Çerçevenin farklı parçalarını bir arada tutan iç kuvvetleri bulmak için, çerçeve elemanlarını birbirinden ayırıp her bileşen parçanın serbest cisim diyagramını çizmeliyiz (Şek. 6.20c). İlk olarak iki kuvvet elemanları incelenmelidir. Bu çerçevedeki tek iki-kuvvet elemanı BE 'dir. Bu elemanın iki ucuna etkiyen kuvvetler, aynı büyüklüğe, aynı etki çizgisine ve zıt yöne sahip olmalıdır (Kıs. 4.6). Dolayısıyla bunlar BE doğrultusundadır ve F_{BE} ve $-F_{BE}$ ile gösterilir. Şek. 6.20c'de gösterildiği gibi, kuvvetlerin yönü başlangıçta rastgele seçilir. Daha sonra bu iki kuvvetin F_{BE} ortak büyüklüğü için elde edilen işaret, yapılan seçimi doğrulayacaktır veya reddedecektir.

