

TEMEL MEKANİK

12



Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ali Dayıođlu

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliđi Bölümü

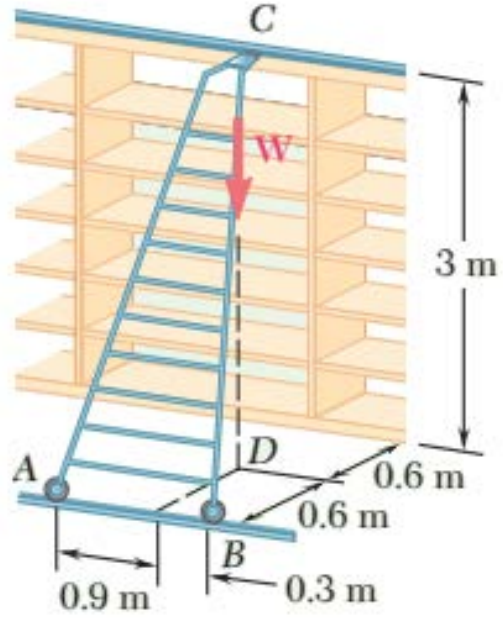
Ders Kitapları:

- 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:

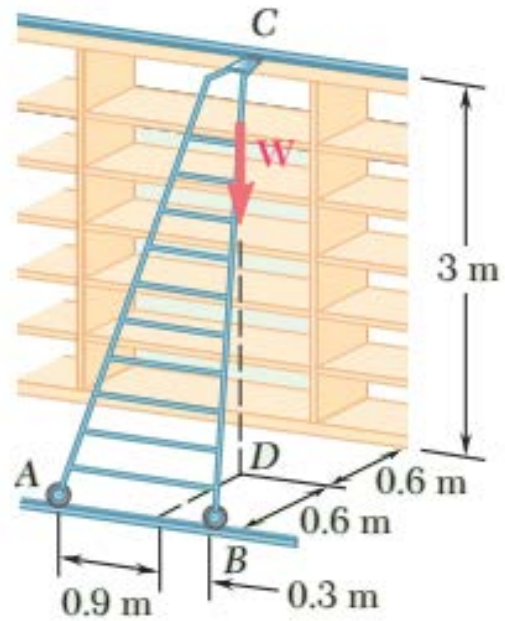
- Ferdinand Pierre Beer, E. Russel Johnston Jr, David F. Mazurek, 2015. Vector Mechanics for Engineers 11e : Statics : SI Units, McGraw Hill, USA.
- Russell C. Hibbeler, 2016. Engineering Mechanics: Statics in SI Units (14e), Pearson Higher Ed USA.

Örnek problem 4.7



Bir depodaki yüksek raflara ulaşmak için 20 kg'lık bir merdiven, A ve B flanşlı tekerlekleriyle kızağa monte edilmiş ve duvara sabitlenmiş kızaktaki C flanşsız tekeriyle mesnetlenmiştir. 80 kg lık bir adam merdivenin üzerinde durmakta ve sağa doğru eğilmektedir. Adamın ve merdivenin birleşik ağırlığı W 'nin etki çizgisi, zemini D noktasında kesmektedir. A, B ve C 'deki tepkileri bulunuz.

Örnek çözüm 4.7



Serbest Cisim Diyagramı. Merdivenin serbest cisim diyagramı çizilir. Sistemdeki kuvvetler şöyledir: Adamın merdivenin ağırlığı

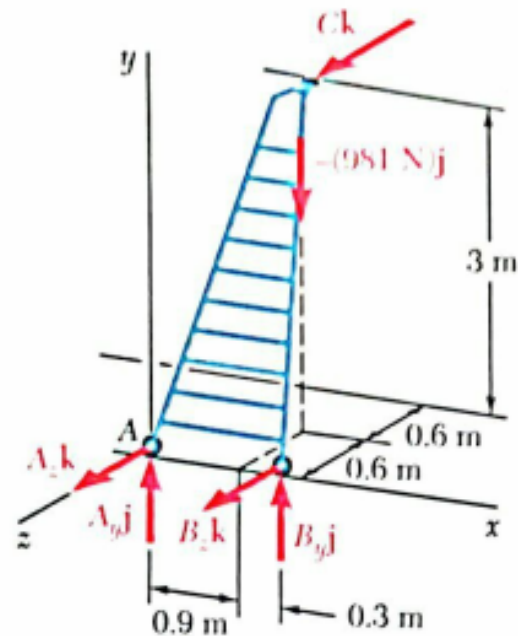
$$\mathbf{W} = -mg\mathbf{j} = -(80 \text{ kg} + 20 \text{ kg})(9.81 \text{ m/s}^2)\mathbf{j} = -(981 \text{ N})\mathbf{j}$$

ile flanşlı tekerlerde iki tane, flanşsız tekerde bir tane olmak üzere beş bilinmeyen tepki bileşenidir. Dolayısıyla merdiven kısmen kısıtlanmış tekerler kızaklar üzerinde serbestçe yuvarlanabilir. Ancak $\Sigma F_x = 0$ den sağlandığı için verilen yükleme altında dengededir.

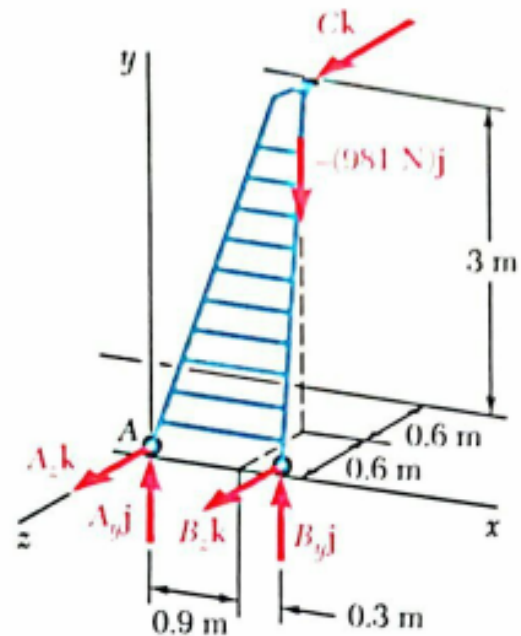
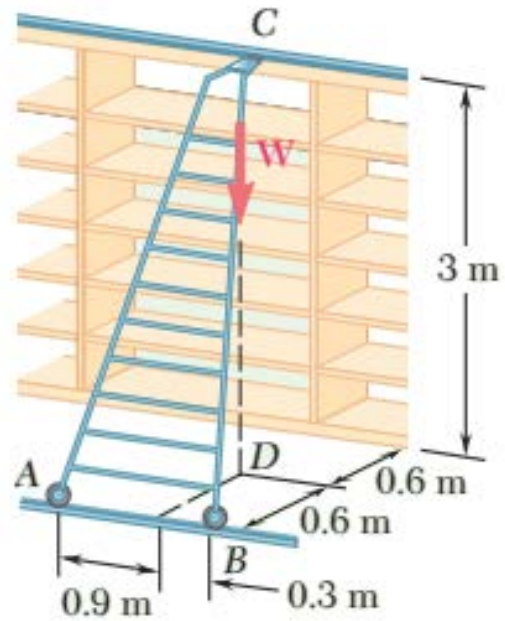
Denge Denklemleri. Merdivene etki eden kuvvetlerin sıfıra denk b tem oluşturduğunu ifade edelim.

$$\Sigma \mathbf{F} = 0: \quad A_y\mathbf{j} + A_z\mathbf{k} + B_y\mathbf{j} + B_z\mathbf{k} - (981 \text{ N})\mathbf{j} + C\mathbf{k} = 0$$
$$(A_y + B_y - 981 \text{ N})\mathbf{j} + (A_z + B_z + C)\mathbf{k} = 0$$

$$\Sigma \mathbf{M}_A = \Sigma(\mathbf{r} \times \mathbf{F}) = 0: \quad 1.2\mathbf{i} \times (B_y\mathbf{j} + B_z\mathbf{k}) + (0.9\mathbf{i} - 0.6\mathbf{k}) \times (-981\mathbf{j}) + (0.6\mathbf{i} + 3\mathbf{j} - 1.2\mathbf{k}) \times C\mathbf{k} = 0$$



Örnek çözüm 4.7



Vektör çarpımlarını yapalım†

$$1.2B_y \mathbf{k} - 1.2B_z \mathbf{j} - 882.9 \mathbf{k} - 588.6 \mathbf{i} - 0.6C \mathbf{j} + 3C \mathbf{i} = 0$$

$$(3C - 588.6) \mathbf{i} - (1.2B_z + 0.6C) \mathbf{j} + (1.2B_y - 882.9) \mathbf{k} = 0$$

Denk. (2)'deki \mathbf{i} , \mathbf{j} ve \mathbf{k} 'nin katsayılarını sıfıra eşitlersek, her bir dinat eksenine göre moment toplamının sıfır olması gerektiğini ifade aşağıdaki üç sayısal denkleme elde ederiz.

$$\begin{aligned} 3C - 588.6 &= 0 & C &= +196.2 \text{ N} \\ 1.2B_z + 0.6C &= 0 & B_z &= -98.1 \text{ N} \\ 1.2B_y - 882.9 &= 0 & B_y &= +736 \text{ N} \end{aligned}$$

Dolayısıyla B ile C 'deki tepkiler şöyledir:

$$\mathbf{B} = +(736 \text{ N}) \mathbf{j} - (98.1 \text{ N}) \mathbf{k} \quad \mathbf{C} = +(196.2 \text{ N}) \mathbf{i}$$

Denk. (1)'deki \mathbf{j} ile \mathbf{k} 'nin katsayılarını sıfıra eşitlersek, y ile z doğrultu bileşenlerin toplamının sıfır olduğunu ifade eden iki sayısal denkleme elde ederiz. Yukarıda elde edilen değerleri B_y , B_z , ve C 'nin yerine yazarsak

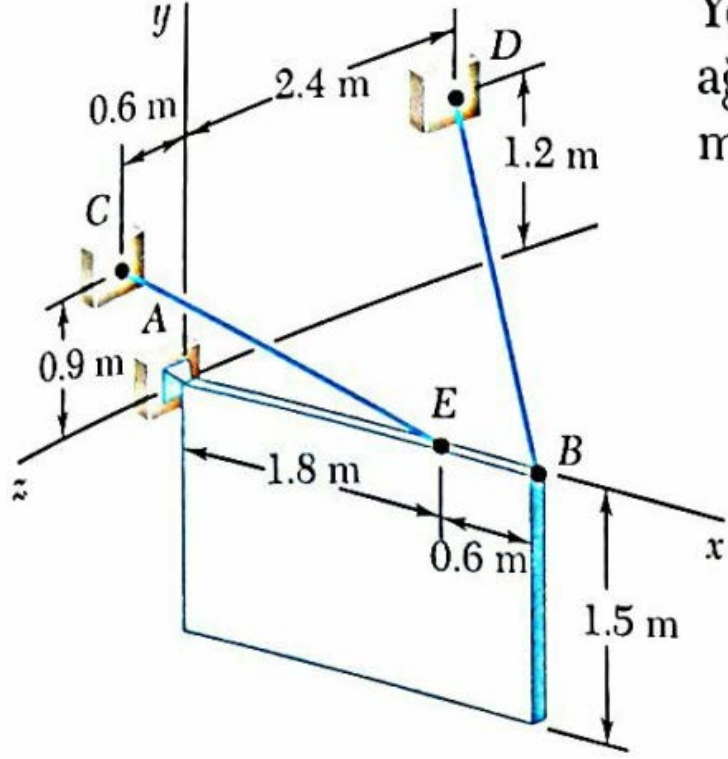
$$\begin{aligned} A_y + B_y - 981 &= 0 & A_y + 736 - 981 &= 0 & A_y &= +245 \\ A_z + B_z + C &= 0 & A_z - 98.1 + 196.2 &= 0 & A_z &= -98.1 \end{aligned}$$

elde ederiz. A 'daki tepkinin olduğu sonucuna varırız.

$$\mathbf{A} = +(245 \text{ N}) \mathbf{j} - (98.1 \text{ N}) \mathbf{k}$$

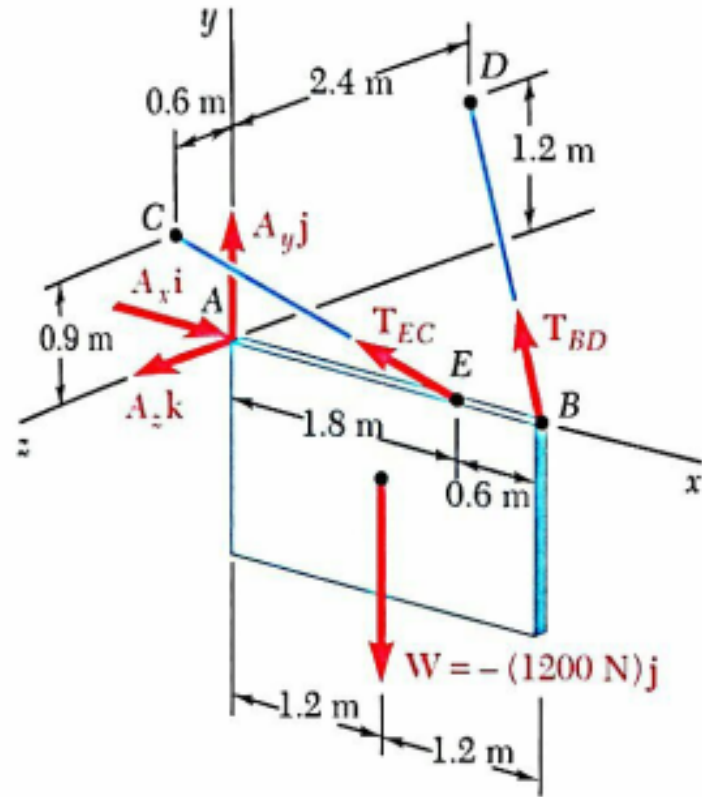
† Bu örnek problemdeki ve Örnek Prob. 4.8 ile 4.9'daki momentler determinantla gösterilebilir (Bkz. Örnek Prob. 3.10).

Örnek problem 4.8



Yoğunluğu düzgün dağılmış $1.5\text{ m} \times 2.4\text{ m}$ ölçüsündeki bir işaret levhasının ağırlığı 1200 N 'dur. Levha, A 'daki küresel mafsall ve iki kabloyla mesnetlenmiştir. Her bir kablodaki çekme kuvvetini ve A 'daki tepkiyi bulunuz.

Örnek çözüm 4.8



Serbest Cisim Diyagramı. Levhanın serbest cisim diyagramı çizilmiştir. Serbest cisme etki eden kuvvetler $\mathbf{W} = -(1200 \text{ N})\mathbf{j}$ ile A , B ve E 'deki tepkilerdir. A 'daki tepki, doğrultusu bilinmeyen bir kuvvettir ve üç tane bilinmeyen bileşenle temsil edilir. Kabloların uyguladığı kuvvetin doğrultusu bilinmektedir. Bu kuvvetlerin her birisinde sadece bir bilinmeyen vardır, bu bilinmeyenler T_{BD} ve T_{EC} büyüklükleridir. Sadece beş tane bilinmeyen olduğu için levha kısmen kısıtlanmıştır. x eksenine göre serbestçe dönebilir, ancak verilen yükleme altında dengededir, çünkü $\Sigma M_x = 0$ denklemi sağlanır.

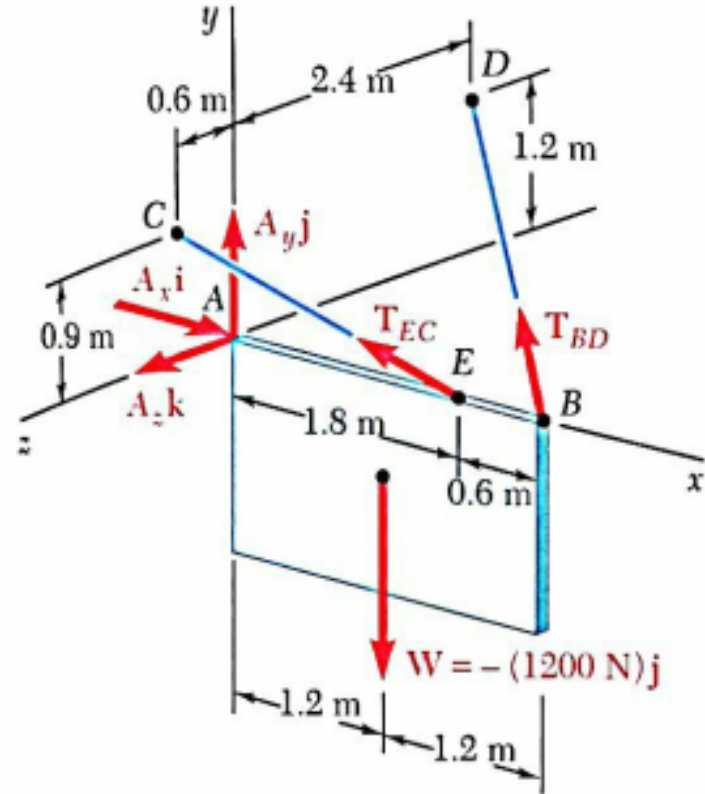
\mathbf{T}_{BD} ve \mathbf{T}_{EC} kuvvetlerinin bileşeni, bilinmeyen T_{BD} ve T_{EC} büyüklükleri cinsinden şöyle ifade edilebilir:

$$\begin{aligned}\overrightarrow{BD} &= -(2.4 \text{ m})\mathbf{i} + (1.2 \text{ m})\mathbf{j} - (2.4 \text{ m})\mathbf{k} & BD &= 3.6 \text{ m} \\ \overrightarrow{EC} &= -(1.8 \text{ m})\mathbf{i} + (0.9 \text{ m})\mathbf{j} + (0.6 \text{ m})\mathbf{k} & EC &= 2.1 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\mathbf{T}_{BD} = T_{BD} \left(\frac{\overrightarrow{BD}}{BD} \right) = T_{BD} \left(-\frac{2}{3}\mathbf{i} + \frac{1}{3}\mathbf{j} - \frac{2}{3}\mathbf{k} \right)$$

$$\mathbf{T}_{EC} = T_{EC} \left(\frac{\overrightarrow{EC}}{EC} \right) = T_{EC} \left(-\frac{6}{7}\mathbf{i} + \frac{3}{7}\mathbf{j} + \frac{2}{7}\mathbf{k} \right)$$

Örnek çözüm 4.8



Denge Denklemleri. Levhaya etki eden kuvvetlerin sıfıra denk bir sistem oluşturduğunu ifade edelim.

$$\Sigma \mathbf{F} = 0: \quad A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} + A_z \mathbf{k} + \mathbf{T}_{BD} + \mathbf{T}_{EC} - (1200 \text{ N})\mathbf{j} = 0$$

$$(A_x - \frac{2}{3}T_{BD} - \frac{6}{7}T_{EC})\mathbf{i} + (A_y + \frac{1}{3}T_{BD} + \frac{3}{7}T_{EC} - 1200 \text{ N})\mathbf{j} + (A_z - \frac{2}{3}T_{BD} + \frac{2}{7}T_{EC})\mathbf{k} = 0 \quad (1)$$

$$\Sigma \mathbf{M}_A = \Sigma(\mathbf{r} \times \mathbf{F}) = 0:$$

$$(2.4 \text{ m})\mathbf{i} \times T_{BD}(-\frac{2}{3}\mathbf{i} + \frac{1}{3}\mathbf{j} - \frac{2}{3}\mathbf{k}) + (1.8 \text{ m})\mathbf{i} \times T_{EC}(-\frac{6}{7}\mathbf{i} + \frac{3}{7}\mathbf{j} + \frac{2}{7}\mathbf{k}) + (1.2 \text{ m})\mathbf{i} \times (-1200 \text{ N})\mathbf{j} = 0$$

$$(0.8T_{BD} + 0.771T_{EC} - 1440 \text{ N})\mathbf{k} + (1.6T_{BD} - 0.514T_{EC})\mathbf{j} = 0 \quad (2)$$

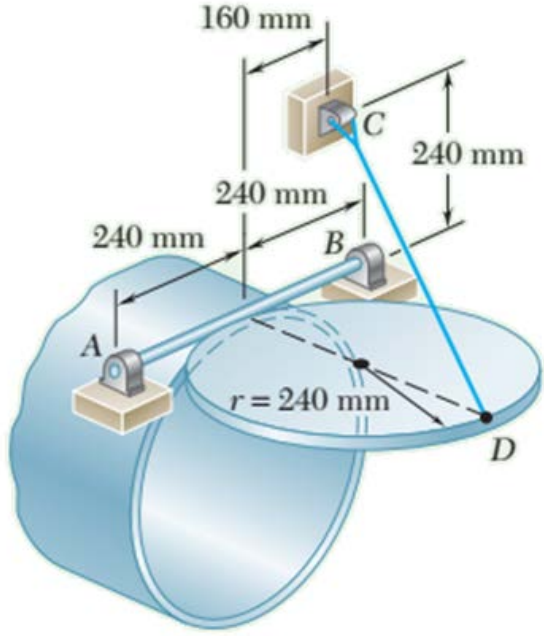
Denk. (2)'deki \mathbf{j} ve \mathbf{k} 'nin katsayılarını sıfıra eşitlersek, T_{BD} ile T_{EC} 'yi hesaplayabileceğimiz iki sayısal denklem elde ederiz.

$$T_{BD} = 450 \text{ N} \quad T_{EC} = 1400.8 \text{ N} \quad \blacktriangleleft$$

Denk. (1)'deki \mathbf{i} , \mathbf{j} , ve \mathbf{k} 'nin katsayılarını sıfıra eşitlersek, A'nın bileşenlerini verecek üç denklem daha elde ederiz.

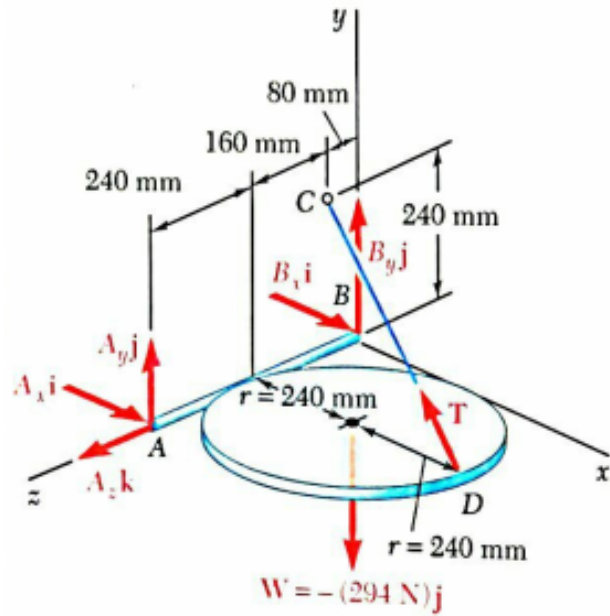
$$\mathbf{A} = +(1500.7 \text{ N})\mathbf{i} + (449.7 \text{ N})\mathbf{j} - (100.2 \text{ N})\mathbf{k} \quad \blacktriangleleft$$

Örnek problem 4.9



Yarıçapı $r = 240$ mm, kütlesi 30 kg olan düzgün bir boru, CD kablосуyla yatay konumda tutulmaktadır. B 'deki yatağın hiçbir aksenel itme uygulamadığını varsayarak kablodaki çekme kuvvetini ve A ile B 'deki tepkileri bulunuz.

Örnek çözüm 4.9



Serbest Cisim Diyagramı. Koordinat eksenlerinin gösterildiği bir serbest cisim diyagramı çizilmiştir. Serbest cisme etki eden kuvvetler; kapağın ağırlığı

$$\mathbf{W} = -mg\mathbf{j} = -(30 \text{ kg})(9.81 \text{ m/s}^2)\mathbf{j} = -(294 \text{ N})\mathbf{j}$$

ve altı bilinmeyenden oluşan tepkilerdir, bu tepkiler kablunun uyguladığı \mathbf{T} kuvvetinin büyüklüğü, A menteşesindeki üç kuvvet bileşeni ve B menteşesindeki iki kuvvet bileşenidir. \mathbf{T} 'nin bileşenleri, \overrightarrow{DC} vektörünün dik bileşenlerine ayrılmasıyla bilinmeyen büyüklük T cinsinden şöyle ifade edilebilir.

$$\overrightarrow{DC} = -(480 \text{ mm})\mathbf{i} + (240 \text{ mm})\mathbf{j} - (160 \text{ mm})\mathbf{k} \quad DC = 560 \text{ mm}$$

$$\mathbf{T} = T \frac{\overrightarrow{DC}}{DC} = -\frac{6}{7}T\mathbf{i} + \frac{3}{7}T\mathbf{j} - \frac{2}{7}T\mathbf{k}$$

Örnek çözüm 4.9

Denge Denklemleri. Borunun kapağına etki eden kuvvetlerin sıfıra denk bir sistem oluşturduğunu ifade edelim.

$$\Sigma \mathbf{F} = 0: \quad A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} + A_z \mathbf{k} + B_x \mathbf{i} + B_y \mathbf{j} + \mathbf{T} - (294 \text{ N})\mathbf{j} = 0$$

$$(A_x + B_x - \frac{6}{7}T)\mathbf{i} + (A_y + B_y + \frac{3}{7}T - 294 \text{ N})\mathbf{j} + (A_z - \frac{2}{7}T)\mathbf{k} = 0 \quad (1)$$

$$\Sigma \mathbf{M}_B = \Sigma(\mathbf{r} \times \mathbf{F}) = 0:$$

$$2r\mathbf{k} \times (A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} + A_z \mathbf{k}) + (2r\mathbf{i} + r\mathbf{k}) \times (-\frac{6}{7}T\mathbf{i} + \frac{3}{7}T\mathbf{j} - \frac{2}{7}T\mathbf{k}) + (r\mathbf{i} + r\mathbf{k}) \times (-294 \text{ N})\mathbf{j} = 0$$

$$(-2A_y - \frac{3}{7}T + 294 \text{ N})r\mathbf{i} + (2A_x - \frac{2}{7}T)r\mathbf{j} + (\frac{6}{7}T - 294 \text{ N})r\mathbf{k} = 0 \quad (2)$$

Denk. (2)'deki birim vektörlerin katsayısını sıfıra eşitlersek,

$$A_x = +49.0 \text{ N} \quad A_y = +73.5 \text{ N} \quad T = 343 \text{ N}$$

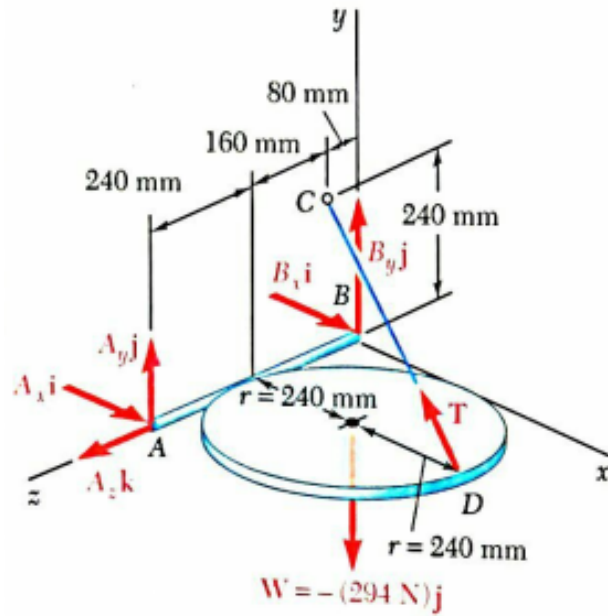
sonucunu veren üç sayısal denklem elde ederiz. Denk. (1)'deki birim vektörlerin katsayısını sıfıra eşitlersek üç sayısal denklem daha elde ederiz. Bu denklemlere T , A_x , ve A_y değerlerini yerleştirirsek

$$A_z = +98.0 \text{ N} \quad B_x = +245 \text{ N} \quad B_y = +73.5 \text{ N}$$

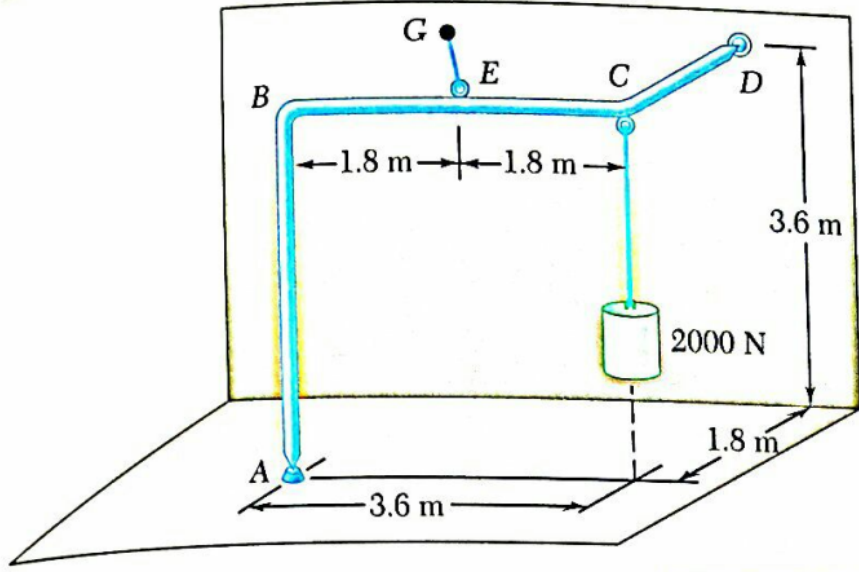
elde ederiz. Dolayısıyla A ile B'deki tepkiler şöyle olur.

$$\mathbf{A} = +(49.0 \text{ N})\mathbf{i} + (73.5 \text{ N})\mathbf{j} + (98.0 \text{ N})\mathbf{k}$$

$$\mathbf{B} = +(245 \text{ N})\mathbf{i} + (73.5 \text{ N})\mathbf{j}$$



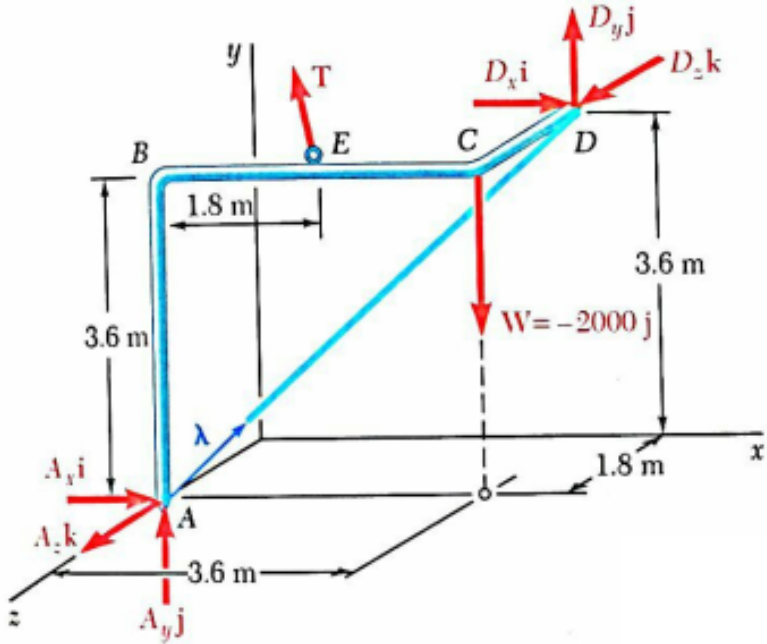
Örnek problem 4.10



2000 N'luk bir yük şekilde görüldüğü gibi eğilmiş $ABCD$ borusunun rijit parçasının C köşesinden asılmıştır. Boru, sırasıyla zemine ve düşey duvara sabitlenen A ve D 'deki mafsalla borunun BC kısmının orta noktası E 'ye ve duvardaki G noktasına tutturulan bir kabloyla mesnetlenmiştir. (a) Kablodaki çekme kuvvetinin minimum olması için G 'nin nerede olması gerektiğini, (b) bu duruma karşılık gelen çekme kuvvetinin minimum değerini bulunuz.

Örnek çözüm 4.10

Serbest Cisim Diyagramı. Borunun serbest cisim diyagramında yük $\mathbf{W} = (-2000 \text{ N})\mathbf{j}$, A ile D'deki tepkiler ve kablunun uyguladığı \mathbf{T} kuvveti yer alır. A ile D'deki tepkileri hesaplamalardan atmak için, kuvvetlerin AD'ye göre momentinin toplamının sıfır olduğunu gösteririz. AD boyunca yer alan birim vektörünü λ ile gösterirsek



$$\Sigma M_{AD} = 0: \quad \lambda \cdot (\overrightarrow{AE} \times \mathbf{T}) + \lambda \cdot (\overrightarrow{AC} \times \mathbf{W}) = 0 \quad (1)$$

Denk. (1)'deki ikinci terim şöyle hesaplanabilir:

$$\overrightarrow{AC} \times \mathbf{W} = (3.6\mathbf{i} + 3.6\mathbf{j}) \times (-2000\mathbf{j}) = -7200\mathbf{k}$$

$$\lambda = \frac{\overrightarrow{AD}}{AD} = \frac{3.6\mathbf{i} + 3.6\mathbf{j} - 1.8\mathbf{k}}{5.4} = \frac{2}{3}\mathbf{i} + \frac{2}{3}\mathbf{j} - \frac{1}{3}\mathbf{k}$$

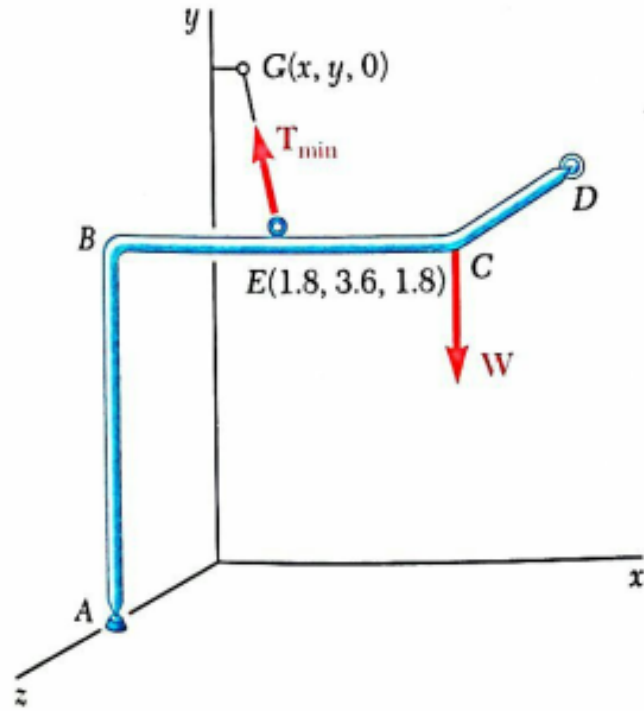
$$\lambda \cdot (\overrightarrow{AC} \times \mathbf{W}) = \left(\frac{2}{3}\mathbf{i} + \frac{2}{3}\mathbf{j} - \frac{1}{3}\mathbf{k}\right) \cdot (-7200\mathbf{k}) = +2400$$

Elde edilen değeri Denk. (1)'e yerleştirirsek

$$\lambda \cdot (\overrightarrow{AE} \times \mathbf{T}) = -2400 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (2)$$

olur.

Örnek çözüm 4.10



Gerilme Kuvvetinin Minimum Değeri. Karışık üçlü çarpımın değişme özelliğini hatırlarsak Denk. (2)'yi şu halde tekrar yazabiliriz.

$$\mathbf{T} \cdot (\boldsymbol{\lambda} \times \overrightarrow{AE}) = -2400 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (3)$$

Bu denklem \mathbf{T} 'nin $\boldsymbol{\lambda} \times \overrightarrow{AE}$ vektörü üzerindeki izdüşümünün sabit olduğunu gösterir. Buradan \mathbf{T} 'nin aşağıdaki vektöre paralel olduğunda minimum olduğu sonucu çıkar.

$$\boldsymbol{\lambda} \times \overrightarrow{AE} = \left(\frac{2}{3}\mathbf{i} + \frac{2}{3}\mathbf{j} - \frac{1}{3}\mathbf{k}\right) \times (1.8\mathbf{i} + 3.6\mathbf{j}) = 1.2\mathbf{i} - 0.6\mathbf{j} + 1.2\mathbf{k}$$

Buna karşılık gelen birim vektör $\frac{2}{3}\mathbf{i} - \frac{1}{3}\mathbf{j} + \frac{2}{3}\mathbf{k}$ olduğu için

$$\mathbf{T}_{\min} = T\left(\frac{2}{3}\mathbf{i} - \frac{1}{3}\mathbf{j} + \frac{2}{3}\mathbf{k}\right) \quad (4)$$

yazarız. Denk. (3)'e \mathbf{T} ile $\boldsymbol{\lambda} \times \overrightarrow{AE}$ 'yi yerleştirir ve nokta çarpımını yaparsak $6T = -2400$ elde ederiz. Dolayısıyla, $T = -1332$ olur. Bunu (4)'e yerleştirirsek

$$\mathbf{T}_{\min} = -888.9\mathbf{i} + 444.4\mathbf{j} - 888.9\mathbf{k} \quad T_{\min} = 1333.3 \text{ N} \quad \blacktriangleleft$$

G'nin Yeri. \overrightarrow{EG} vektörü ile \mathbf{T}_{\min} kuvvetinin doğrultuları aynı olduğu için bileşenleri orantılı olmalıdır. G 'nin koordinatlarını $x, y, 0$ ile gösterirsek

$$\frac{x - 1.8}{-888.9} = \frac{y - 3.6}{+444.4} = \frac{0 - 1.8}{-888.9} \quad x = 0 \quad y = 4.5 \text{ m} \quad \blacktriangleleft$$

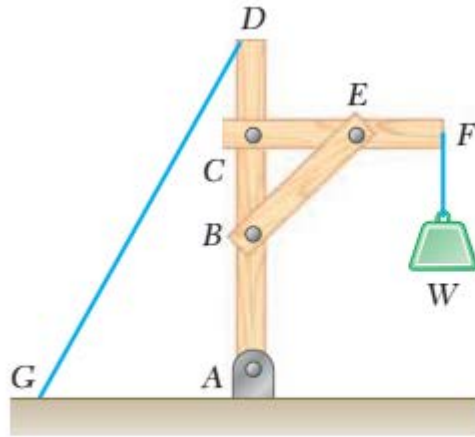
yazarız.

5- Yapıların Analizi

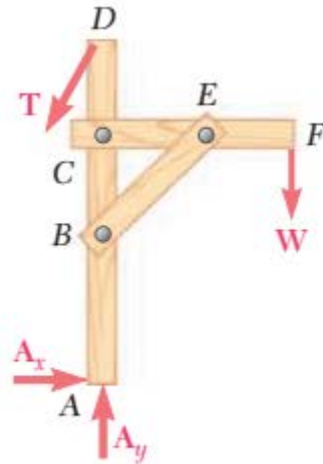
Kazanımlar

- İdeal bir kafesi tanımlamayı ve basit kafeslerin niteliklerini göz önünde bulundurmayı,
- Düzlem ve uzay kafeslerini mafsal yöntemi ile analizni.
- Özel yükleme ve geometri koşullarını tanıyarak belirli makas analizlerini basitleştirmeyi,
- Makasları bölüm yöntemiyle analizini.
- Bileşik kafeslerin özelliklerini göz önünde bulundurmayı,
- Çerçeveler ve makineler gibi çok yönlü kuvvet üyeleri içeren yapıları analizini öğreneceksiniz.

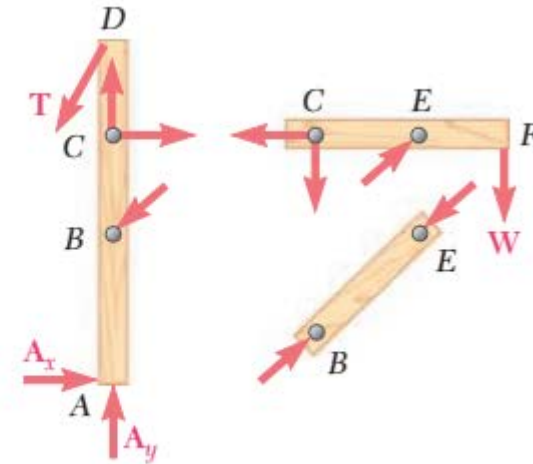
Örneğin Şekil a'da gösterilen W yükünü taşıyan vinci düşünelim. Vinç, sürtünmesiz pimler ile bağlanmış olan AD, CF ve BE üç çubuktan oluşturulmuştur. Vinç A noktasında bir pim ve DG halatı ile desteklenmektedir. Vincin serbest cisim diyagramı Şekil b'de çizilmiştir. Şemada gösterilen dış kuvvetler, W ağırlığı, A noktasında A_x ve A_y tepkileri ve kabloyla D noktasında halat tarafından verilen T kuvvetini içermektedir. Serbest cisim diyagramında vinçin çeşitli bölümlerini bir arada tutan iç kuvvetler görünmemektedir. Bununla birlikte, vinci parçalanması ve bileşen parçalarının her biri için serbest cisim diyagramı çizilmesi durumunda, bu kuvvetlerin her bir bileşen parçası açısından dış kuvvetler olduğu için üç çubuğu bir arada tutan kuvvetleri görebiliriz (Şekil c).



(a)



(b)



(c)

Giriş

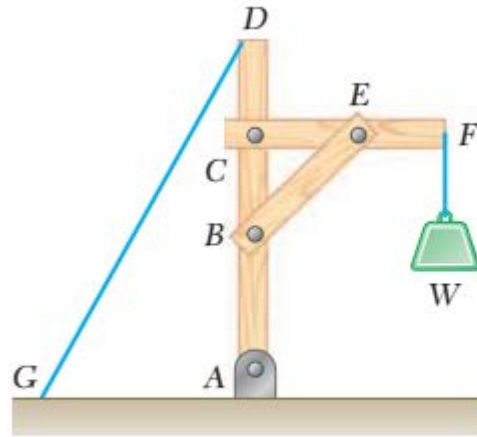
Örneğin Şekil a'da gösterilen W yükünü taşıyan vinci düşünelim. Vinç, sürtünmesiz pimler ile bağlanmış olan AD, CF ve BE üç çubuktan oluşturulmuştur.

Vinç A noktasında bir pim ve DG halatı ile desteklenmektedir.

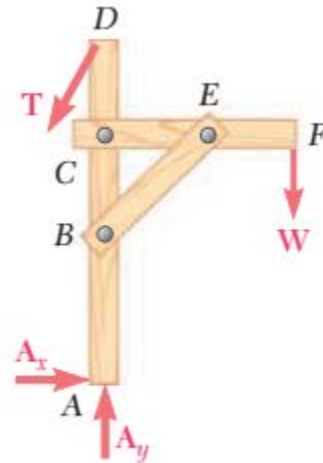
Vincin serbest cisim diyagramı Şekil b'de çizilmiştir.

Şemada gösterilen dış kuvvetler, W ağırlığı, A noktasında A_x ve A_y tepkileri ve kabloyla D noktasında halat tarafından verilen T kuvvetini içermektedir.

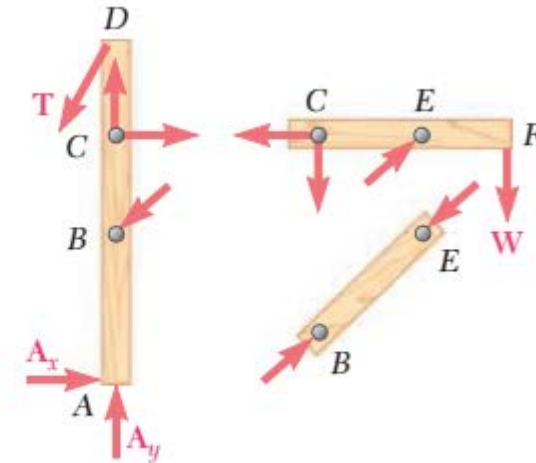
Serbest cisim diyagramında vinçin çeşitli bölümlerini bir arada tutan iç kuvvetler görünmemektedir. Bununla birlikte, vinci parçalanması ve bileşen parçalarının her biri için serbest cisim diyagramı çizilmesi durumunda, bu kuvvetlerin her bir bileşen parçası açısından dış kuvvetler olduğu için üç çubuğu bir arada tutan kuvvetleri görebiliriz (Şekil c).



(a)



(b)



(c)

Giriş

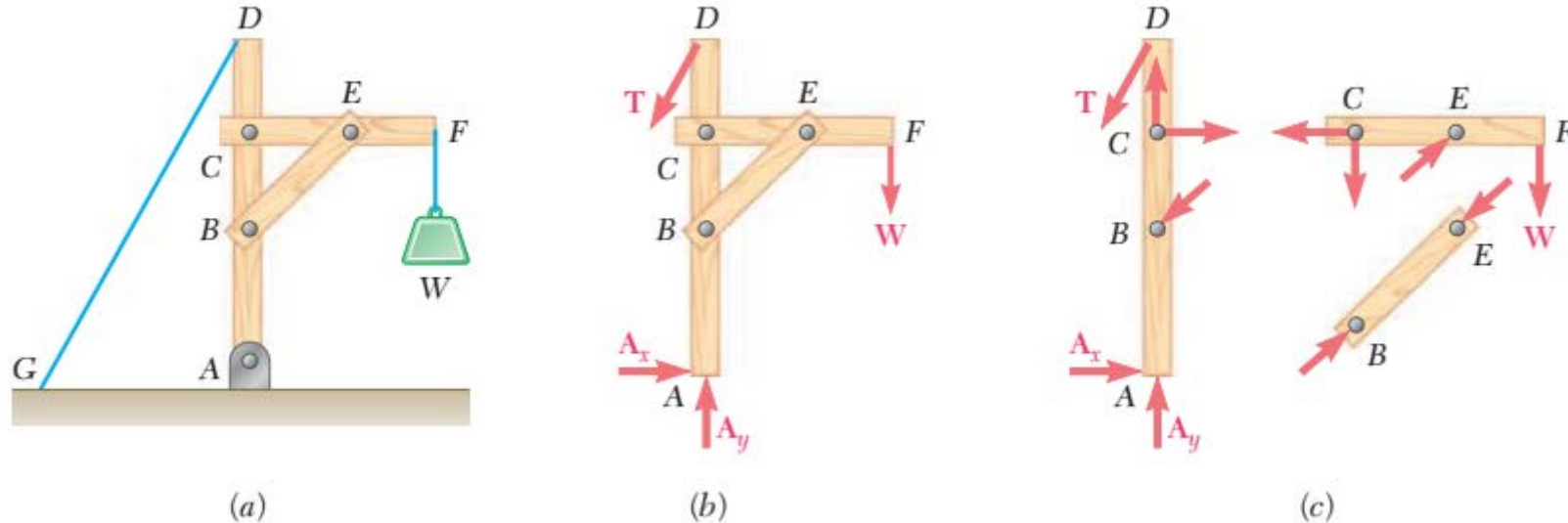
AD üyesi üzerindeki B noktasına BE üyesi tarafından uygulanan kuvvetin, BE üyesi üzerinde AD üyesi tarafından aynı noktaya uygulanan kuvvete eşit ve ters yönde olduğunu gösterebiliriz.

Benzer şekilde, CF üzerindeki E noktasına BE tarafından uygulanan kuvvet BE üzerinde CF tarafından uygulanan kuvvete eşit ve ters yönlü olduğu gösterilir.

AD üzerindeki C noktasına CF tarafından uygulanan kuvvetin bileşenleri CF üzerinde AD tarafından uygulanan kuvvetin bileşenlerine eşit ve ters yönlü olduğu gösterilir.

Bu gösterimler Newton'un 3. yasası ile uyumludur.

Temas halinde olan iki cisim arasındaki etki ve tepki kuvvetleri aynı büyüklükte, aynı eylem çizgisine ve ters yöne sahiptir.



Giriş

Bu bölümde mühendislik yapılarını üç geniş kategoride ele alacağız:

- 1. Kafesler:** Yükleri desteklemek üzere tasarlanmış olan ve durağan, hareketi tamamen sınırlanmış yapılardır. Kafesler, yalnızca her üyenin ucunda bulunan bağlantı noktalarında bulunan düz elemanlardan oluşur. Bir kafesin üyeleri, bu nedenle, iki kuvvetli elemanlardır; diğer bir deyişle, eleman boyunca yönlendirilen iki eşit ve ters kuvvetle etki eden elemanlardır.
- 2. Çerçeveler:** Yükleri desteklemek üzere tasarlanmış olan ve durağan, hareketi tamamen sınırlanmış yapılardır. Bununla birlikte, şekildeki gibi vinçteki çerçeveler her zaman en az bir adet çok kuvvetin uygulandığı eleman, yani genel olarak eleman boyunca yönlendirilmemiş olan üç veya daha fazla kuvvet tarafından etkilenen bir eleman içerir.
- 3. Makinalar:** Kuvvetleri iletmek ve değiştirmek için tasarlanan makineler hareketli parçaları olan yapılardır. Çerçeveler gibi makinalar daima en az bir çok sayıda kuvvetin etkideği eleman içerir.

İki kuvvet üyesi



Kafes köprü

Çoklu kuvvet üyesi



Bisiklet çerçevesi

Çoklu kuvvet üyesi



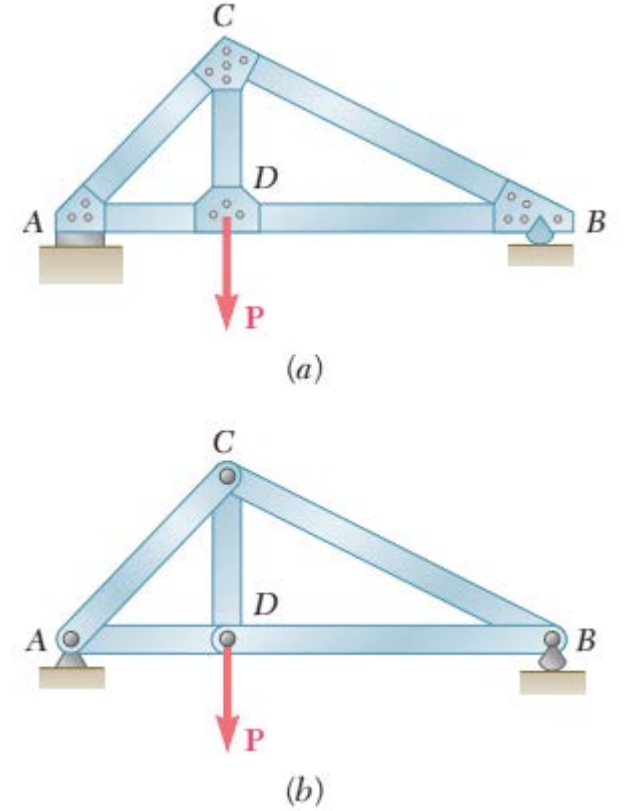
Hidrolik makine kolu

5.1 Kafeslerin Analizi

Makas mühendislik yapılarının başlıca tiplerinden biridir. Birçok mühendislik durumuna, özellikle köprülerin ve binaların tasarımında, pratik ve ekonomik bir çözüm sunar. Bu bölümde, bir makasın temel unsurlarını açıklıyor ve bir makasta etkiyen kuvvetleri analiz etmek için ortak bir yöntem inceliyoruz.

Basit kafesler

Bir kafes, şekilde gösterildiği gibi bağlantı noktalarına takılan düz çubuklardan oluşur. Çubuklar sadece uç noktalarından bağlanır; Hiçbir çubuk baştan sona bir bütün olarak uzanmaz. Şekilde örneğin AB çubuğu yoktur. Bunun yerine iki ayrı üye AD ve DB kullanırız. En gerçek yapılar, bir uzay çerçevesi oluşturmak üzere bir araya getirilen birkaç kafesten yapılmıştır. Her kafes, düzleminde hareket eden yükleri taşımak üzere tasarlanmıştır ve bu nedenle iki boyutlu bir yapı olarak ele alınabilir.



5.1 Makasların Analizi

Basit kafesler

Genel olarak, bir kafesin elemanları incedir ve çok az yatay yükü destekleyebilir; Bu nedenle, tüm yükler üyelerin kendisine değil, çeşitli eklemlere uygulanmalıdır. İki eklem arasında yoğunlaştırılmış bir yük uygulandığında veya bir köprü kafesinde olduğu gibi, kafes yayılı yükü desteklemelidir; sağlam bir taban sistemi oluşturulmalıdır. Taban yükleri çubuk ve kirişler üzerinden bağlantı noktalarına iletir.

