TEMEL MEKANİK
9

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ali Dayıoğlu
Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği 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,

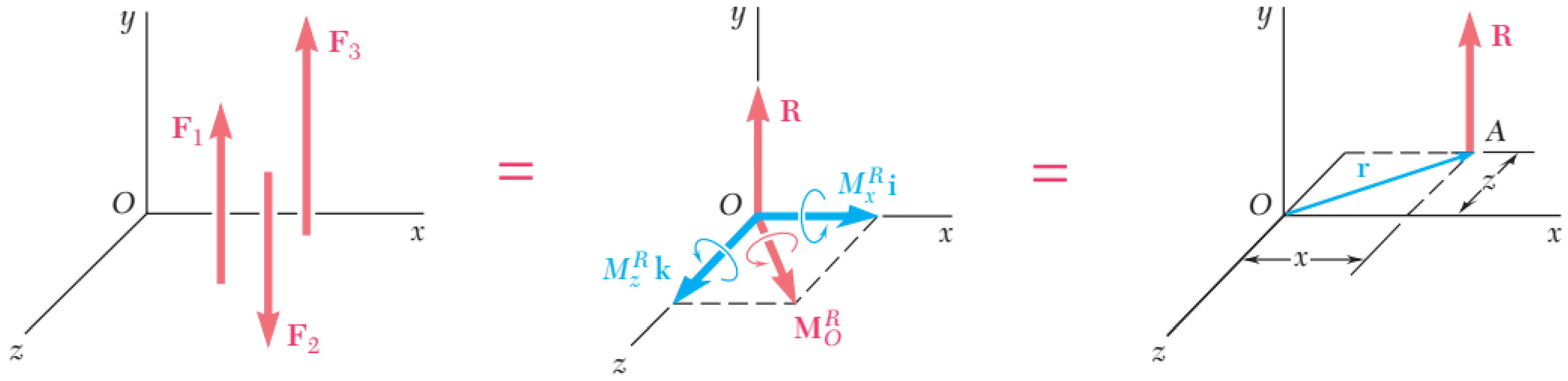
  Çevirenler: Ömer Gündoğdu, Osman Kopmaz.

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.

3.4 Kuvvetler sisteminin sadeleştirme

3. Paralel kuvvetler paralel etki çizgisine ve farklı işaretlere sahip olabilirler. Kuvvetler y eksenine paraleldir. (şekil a). **R** toplam vektörü y eksenine de paraleldir.
Diğer taraftan, belirli bir kuvvetin momenti bu kuvvete dik olması gerektiği için, sistemin her kuvvetinin O etrafındaki momenti ve böylece, zx düzleminde $\mathbf{M}_O^R$ bileşke vektörü bulunur. O'daki kuvvet çifti sistemi, bu nedenle, birbirine dik **R** kuvveti ve $\mathbf{M}_O^R$ bileşke vektöründen oluşur. (Şekil b). **R** = 0 ise, tek **R** bileşke kuvveti yada $\mathbf{M}_O^R$ bileşke vektörü indirgenebilir. (Şekil c).



(a) (b) (c)

O'daki kuvvet çifti sistemi aşağıdaki bileşenlerle karakterize edilebilir:

$$R_y = \Sigma F_y \qquad M_x^R = \Sigma M_x \qquad M_z^R = \Sigma M_z$$

3.4 Kuvvetler sisteminin sadeleştirme

Sistemin tek bir kuvvete indirgenmesi, O çevresindeki **R** momenti $\mathbf{M}_O^R$ bileşke vektörüne eşit olsun diye, **R**'nin A(x, 0, z) yeni bir noktaya taşınmasıyla sağlanabilir.

$$\mathbf{r} \times \mathbf{R} = \mathbf{M}_O^R$$

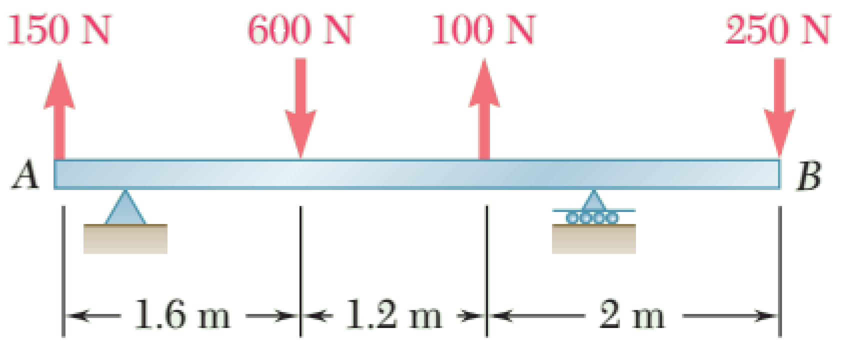
$$(x\mathbf{i} + z\mathbf{k}) \times R_y\mathbf{j} = M_x^R\mathbf{i} + M_z^R\mathbf{k}$$

A koordinatını tanımlayan iki skaler eşitlik elde ederiz:

$$-zR_y = M_x^R$$

$$xR_y = M_z^R$$

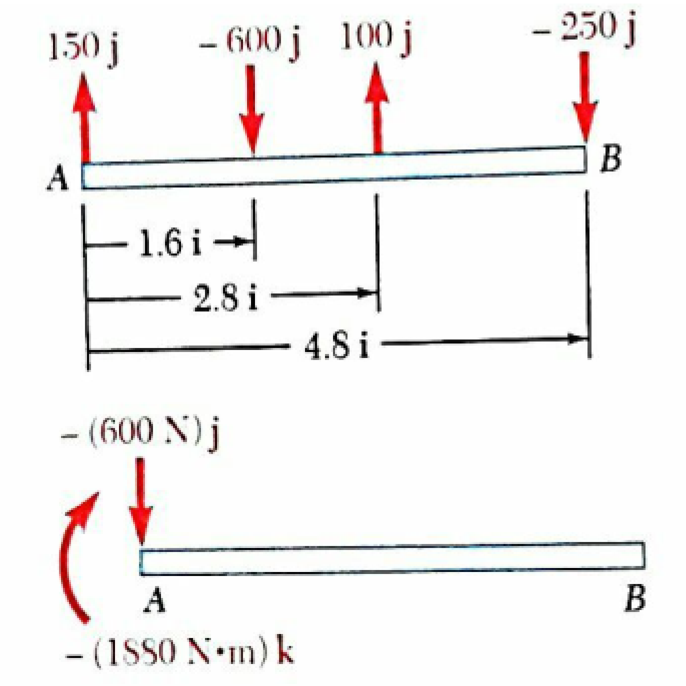
Örnek problem 3.8:



Uzunluğu 4.80 m olan bir kirişe, şekilde görülen kuvvetler uygulanmıştır. Verilen kuvvet sistemini (*a*) *A*'da denk kuvvet-kuvvet çifti sistemine, (*b*) *B*'de denk kuvvet-kuvvet çifti sistemine, (*c*) tek kuvvete veya bileşkeye indirgeyiniz.

Not. Mesnetlerdeki tepkiler verilen kuvvet sisteminde dahil edilmediği için verilen sistem kirişi dengede tutamaz.

Örnek problem 3.8:



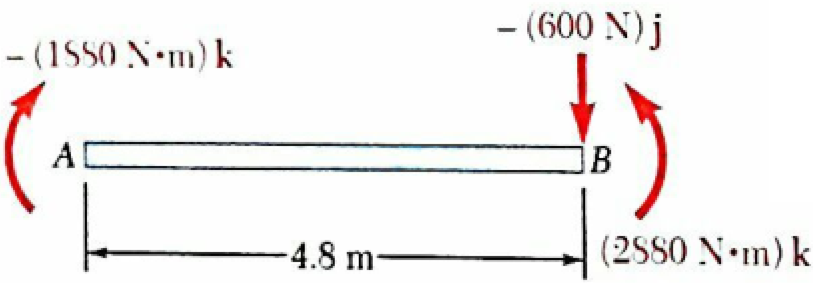
a. A'daki Kuvvet-Kuvvet Çifti Sistemi. Verilen kuvvet sistemine denk olan A'daki kuvvet-kuvvet çifti sistemi aşağıda tanımlanan $\mathbf{R}$ kuvveti ile $\mathbf{M}_A^R$ kuvvet çiftinden oluşur.

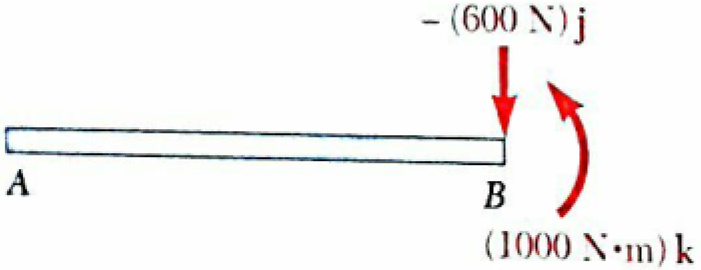
$$\mathbf{R} = \Sigma\mathbf{F}$$
$$= (150\ \text{N})\mathbf{j} - (600\ \text{N})\mathbf{j} + (100\ \text{N})\mathbf{j} - (250\ \text{N})\mathbf{j} = -(600\ \text{N})\mathbf{j}$$
$$\mathbf{M}_A^R = \Sigma(\mathbf{r} \times \mathbf{F})$$
$$= (1.6\mathbf{i}) \times (-600\mathbf{j}) + (2.8\mathbf{i}) \times (100\mathbf{j}) + (4.8\mathbf{i}) \times (-250\mathbf{j})$$
$$= -(1880\ \text{N}\cdot\text{m})\mathbf{k}$$

Dolayısıyla A'daki denk kuvvet-kuvvet çifti sistemi

$$\mathbf{R} = 600\ \text{N}\downarrow \qquad \mathbf{M}_A^R = 1880\ \text{N}\cdot\text{m} \circlearrowright$$

Örnek problem 3.8:





b. B'deki Kuvvet-Kuvvet Çifti Sistemi. *a* şıkkında bulunan *A*'daki kuvvet-kuvvet çifti sistemine denk *B*'deki kuvvet-kuvvet çifti sistemini bulmayı öneririz. **R** kuvveti değişmez fakat yeni kuvvet çifti $\mathbf{M}_B^R$ bulunmalıdır, bu moment *a* şıkkında bulunan kuvvet-kuvvet çifti sisteminin *B*'ye göre momentine eşittir. Dolayısıyla

$$\begin{aligned}
\mathbf{M}_B^R &= \mathbf{M}_A^R + \overrightarrow{BA} \times \mathbf{R} \\
&= -(1880\,\mathrm{N\cdot m})\mathbf{k} + (-4.8\,\mathrm{m})\mathbf{i} \times (-600\,\mathrm{N})\mathbf{j} \\
&= -(1880\,\mathrm{N\cdot m})\mathbf{k} + (2880\,\mathrm{N\cdot m})\mathbf{k} = +(1000\,\mathrm{N\cdot m})\mathbf{k}
\end{aligned}$$

elde ederiz. Buradan *B*'deki denk kuvvet-kuvvet çifti sistemi

$$\mathbf{R} = 600\ \mathrm{N}\downarrow \qquad \mathbf{M}_B^R = 1000\ \mathrm{N\cdot m}\ \circlearrowleft$$

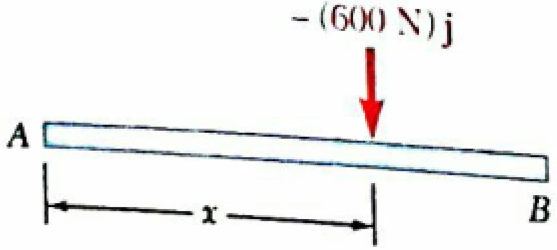
c. Tek Kuvvet veya Bileşke. Verilen kuvvet sisteminin bileşkesi **R**'ye eşittir ve uygulanma noktası **R**'nin *A*'ya göre momenti $\mathbf{M}_A^R$'ye eşit olacak şekilde olmalıdır.

$$\begin{aligned}
\mathbf{r} \times \mathbf{R} &= \mathbf{M}_A^R \\
x\mathbf{i} \times (-600\ \mathrm{N})\mathbf{j} &= -(1880\ \mathrm{N\cdot m})\mathbf{k} \\
-x(600\ \mathrm{N})\mathbf{k} &= -(1880\ \mathrm{N\cdot m})\mathbf{k}
\end{aligned}$$

yazar ve $x = 3.13$ m olduğu sonucuna varırız. Dolayısıyla verilen sisteme denk tek kuvvet sistemi

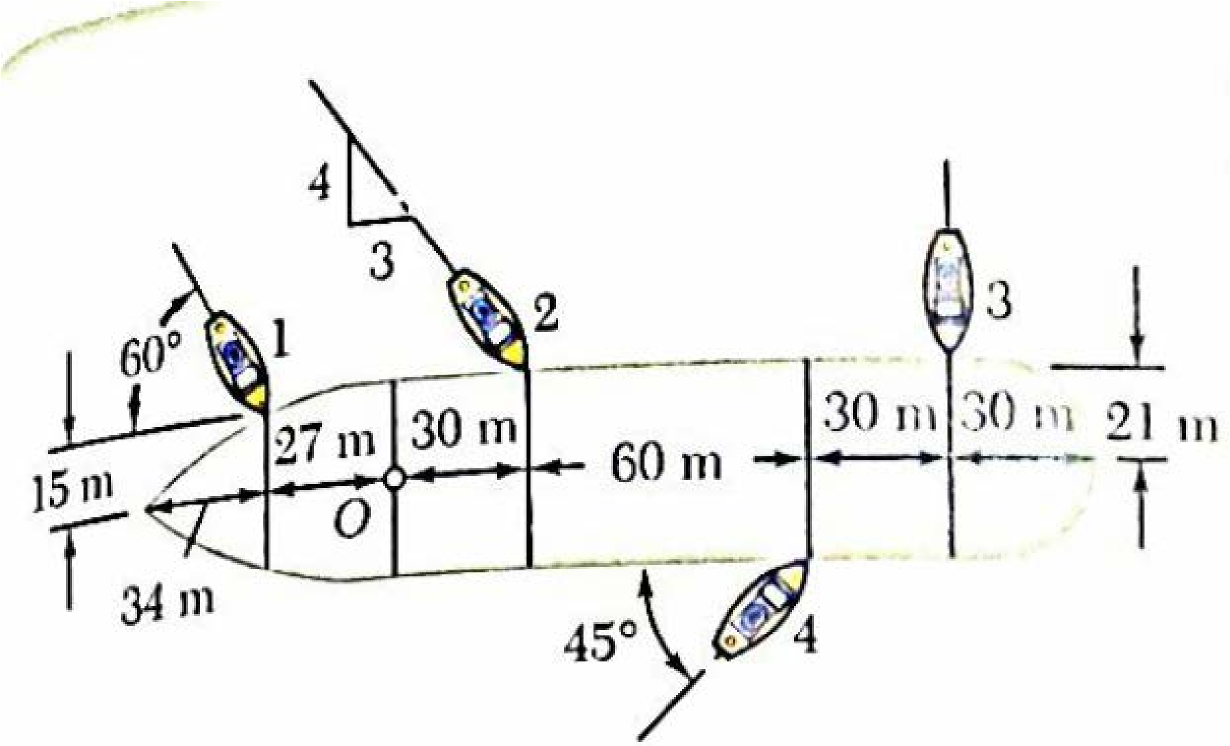
$$\mathbf{R} = 600\ \mathrm{N}\downarrow \qquad x = 3.13\ \mathrm{m}$$

olarak tanımlanır.

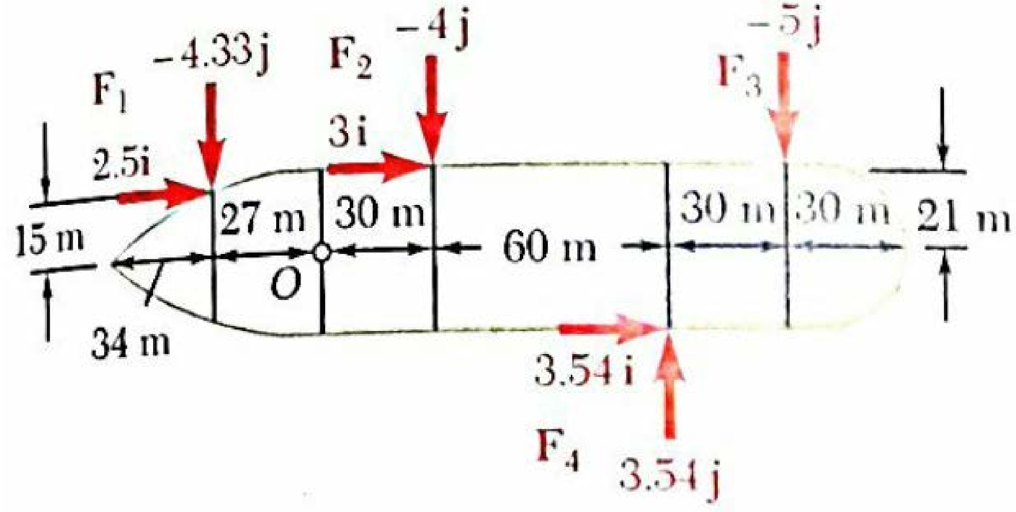


Örnek problem 3.9:

Büyük bir tankeri iskeleye yanaştırmak için dört römorkör kullanılmaktadır. Her biri, gösterilen yönde 5000 N'luk kuvvet uygular. (*a*) Baş direği *O*'da denk kuvvet-kuvvet çifti sistemini, (*b*) bu dört römorkörün oluşturduğu etkinin aynısını oluşturacak daha güçlü, tek bir römorkörün omurganın hangi noktasından itmesi gerektiğini bulunuz.



Örnek çözüm 3.9:

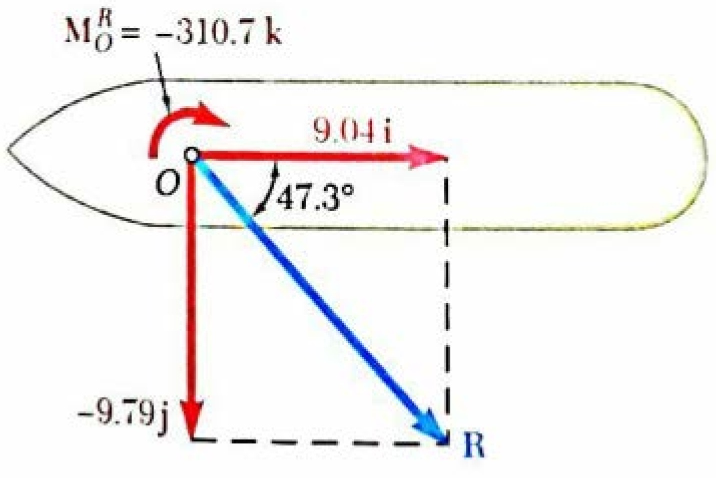


a. O'daki Kuvvet-Kuvvet Çifti Sistemi. Verilen kuvvetlerin her birisi gösterilen resimde bileşenlerine ayrılır (kN birimi kullanılmıştır). Verilen kuvvet sistemine denk *O*'daki kuvvet-kuvvet çifti sistemi aşağıda tanımlanan $\mathbf{R}$ kuvveti ile $\mathbf{M}_O^R$ kuvvet çiftinden oluşur.

$$\begin{aligned}
\mathbf{R} &= \Sigma\mathbf{F} \\
&= (2.50\mathbf{i} - 4.33\mathbf{j}) + (3.00\mathbf{i} - 4.00\mathbf{j}) + (-5.00\mathbf{j}) + (3.54\mathbf{i} + 3.54\mathbf{j}) \\
&= 9.04\mathbf{i} - 9.79\mathbf{j}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mathbf{M}_O^R &= \Sigma(\mathbf{r} \times \mathbf{F}) \\
&= (-27\mathbf{i} + 15\mathbf{j}) \times (2.50\mathbf{i} - 4.33\mathbf{j}) \\
&\quad + (30\mathbf{i} + 21\mathbf{j}) \times (3.00\mathbf{i} - 4.00\mathbf{j}) \\
&\quad + (120\mathbf{i} + 21\mathbf{j}) \times (-5.00\mathbf{j}) \\
&\quad + (90\mathbf{i} - 21\mathbf{j}) \times (3.54\mathbf{i} + 3.54\mathbf{j}) \\
&= (116.9 - 37.5 - 120 - 63 - 600 + 318.6 + 74.3)\mathbf{k} \\
&= -310.7\mathbf{k}
\end{aligned}$$

Örnek çözüm 3.9:



Dolayısıyla O'daki denk kuvvet-kuvvet çifti sistemi

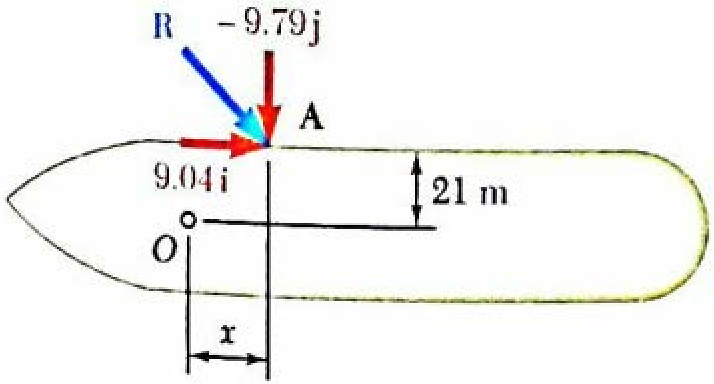
$$\mathbf{R} = (9.04\text{ kN})\mathbf{i} - (9.79\text{ kN})\mathbf{j} \qquad \mathbf{M}_O^R = -(310.7\text{ kN}\cdot\text{m})\mathbf{k}$$

veya

$$\mathbf{R} = 13.33\text{ kN} \measuredangle 47.3° \qquad \mathbf{M}_O^R = 310.7\text{ kN}\cdot\text{m} \circlearrowright$$

olur.

Açıklama. Bütün kuvvetler şekil düzleminde yer aldığı için momentlerinin toplamının aynı düzleme dik olacağını bekleyebiliriz. Her bir kuvvet bileşeninin momenti, öncelikle büyüklüğüyle O'ya dik uzaklığın çarpımını bularak ve daha sonra momentin yönüne bağlı olarak bu çarpıma pozitif veya negatif işaret vererek, şekilden doğrudan doğruya elde edilebilir.



b. Tek Römorkör. Tek römorkörün uygulayacağı kuvvet **R**'ye eşit olmalıdır ve uygulanma noktası A, **R**'nin O'ya göre momenti $\mathbf{M}_O^R$'ye eşit olacak şekilde olmalıdır. A'nın konum vektörünün

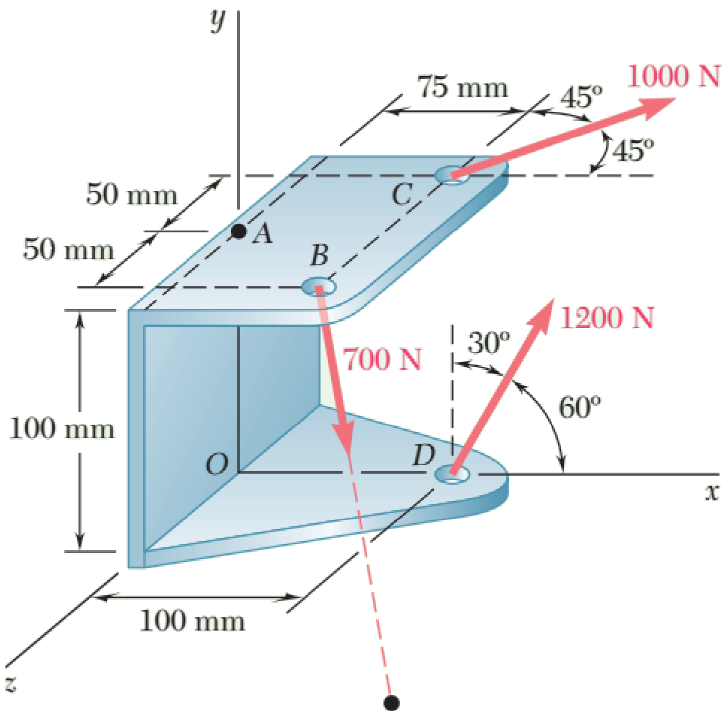
$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + 21\mathbf{j}$$

olduğunu görürsek

$$\mathbf{r} \times \mathbf{R} = \mathbf{M}_O^R$$
$$(x\mathbf{i} + 21\mathbf{j}) \times (9.04\mathbf{i} - 9.79\mathbf{j}) = -310.7\mathbf{k}$$
$$-x(9.79)\mathbf{k} - 189.8\mathbf{k} = -310.7\mathbf{k} \qquad x = 12.3\text{ m}$$

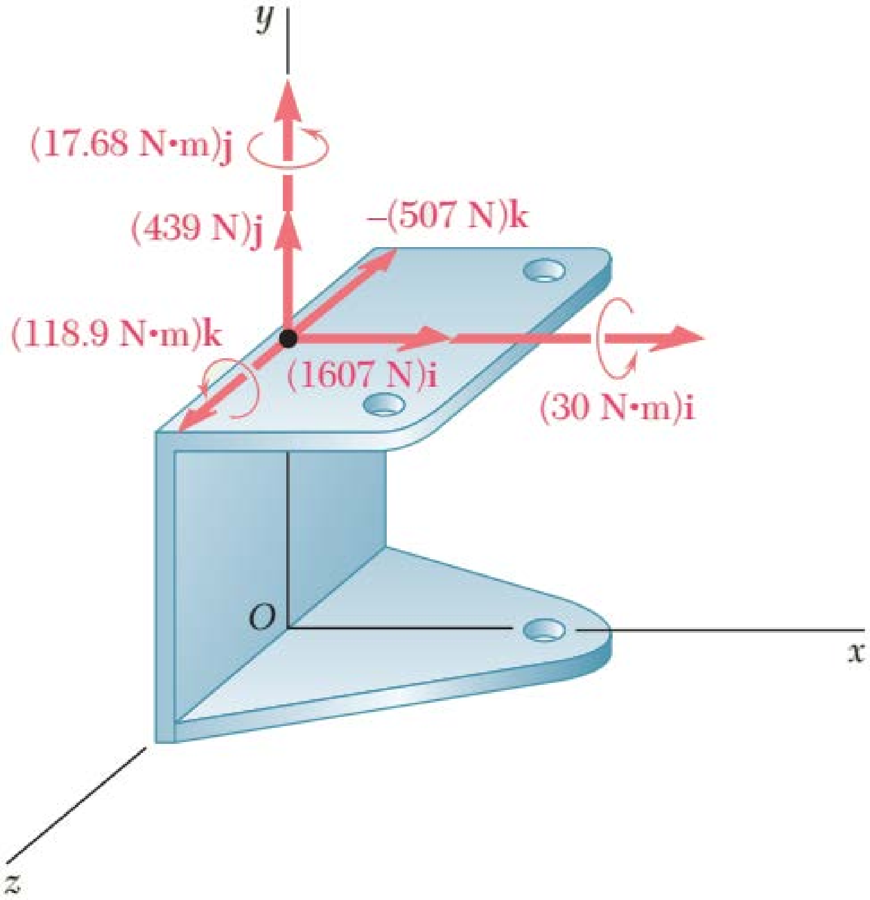
yazarız.

Örnek çözüm 3.10:



Şekildeki dirseğe üç kablo bağlanmıştır. Kabloların uyguladığı kuvvetleri A'da denk kuvvet-kuvvet çiftiyle değiştiriniz.

Örnek çözüm 3.10:



ÇÖZÜM

Öncelikle A noktasından çeşitli kuvvetlerin uygulanma noktalarına konum vektörlerini çizer ve kuvvetleri dik bileşenlerine ayırırız. $\mathbf{F}_B = (700\text{ N})\boldsymbol{\lambda}_{BE}$ olduğunu gözlemler ve

$$\boldsymbol{\lambda}_{BE} = \frac{\overrightarrow{BE}}{BE} = \frac{75\mathbf{i} - 150\mathbf{j} + 50\mathbf{k}}{175}$$

yazarsak, metre ve newton cinsinden

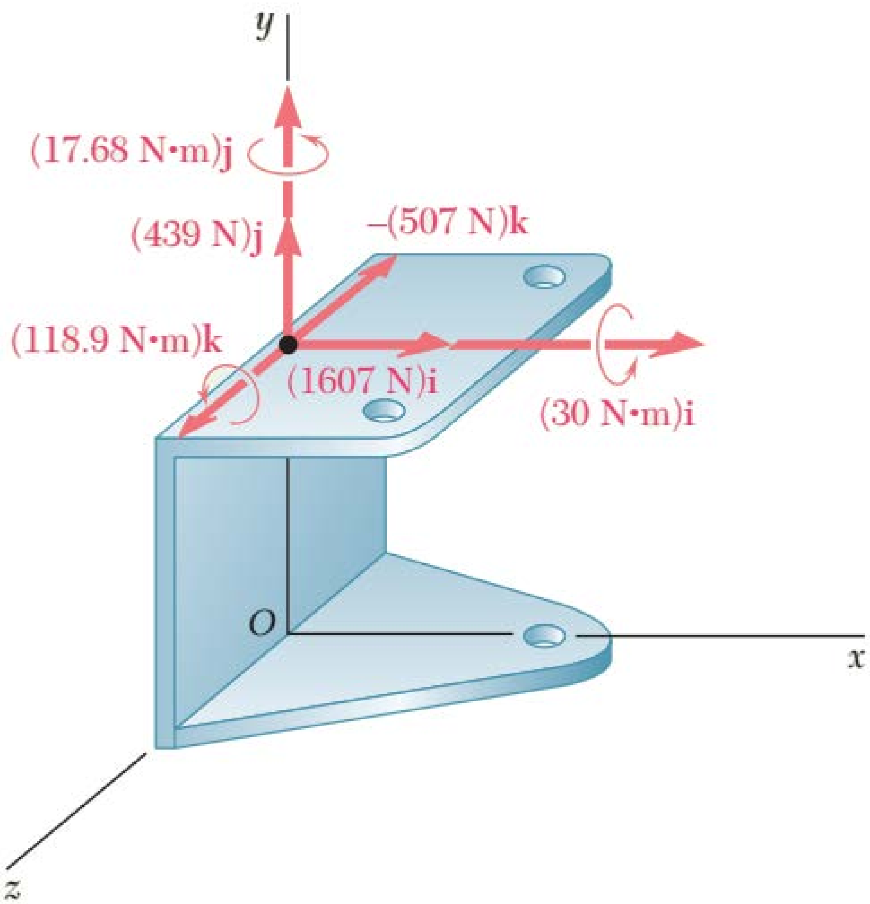
$$\begin{aligned}
\mathbf{r}_{B/A} &= \overrightarrow{AB} = 0.075\mathbf{i} + 0.050\mathbf{k} & \mathbf{F}_B &= 300\mathbf{i} - 600\mathbf{j} + 200\mathbf{k} \\
\mathbf{r}_{C/A} &= \overrightarrow{AC} = 0.075\mathbf{i} - 0.050\mathbf{k} & \mathbf{F}_C &= 707\mathbf{i} \qquad\qquad - 707\mathbf{k} \\
\mathbf{r}_{D/A} &= \overrightarrow{AD} = 0.100\mathbf{i} - 0.100\mathbf{j} & \mathbf{F}_D &= 600\mathbf{i} + 1039\mathbf{j}
\end{aligned}$$

elde ederiz.

Verilen kuvvetlere denk A'daki kuvvet-kuvvet çifti sistemi $\mathbf{R} = \Sigma\mathbf{F}$ ile $\mathbf{M}_A^R = \Sigma(\mathbf{r} \times \mathbf{F})$ kuvvet çiftinden oluşur. $\mathbf{R}$ kuvveti kuvvetlerin sırasıyla x, y ve z bileşenlerini toplayarak elde edilir:

$$\mathbf{R} = \Sigma\mathbf{F} = (1607\text{ N})\mathbf{i} + (439\text{ N})\mathbf{j} - (507\text{ N})\mathbf{k}$$

Örnek çözüm 3.10:



Kuvvetlerin momentini determinant haliyle gösterirsek $\mathbf{M}_A^R$'nin hesaplanması kolaylaşır (Kıs. 3.8):

$$\mathbf{r}_{B/A} \times \mathbf{F}_B = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ 0.075 & 0 & 0.050 \\ 300 & -600 & 200 \end{vmatrix} = 30\mathbf{i} \qquad -45\mathbf{k}$$

$$\mathbf{r}_{C/A} \times \mathbf{F}_C = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ 0.075 & 0 & -0.050 \\ 707 & 0 & -707 \end{vmatrix} = \qquad 17.68\mathbf{j}$$

$$\mathbf{r}_{D/A} \times \mathbf{F}_D = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ 0.100 & -0.100 & 0 \\ 600 & 1039 & 0 \end{vmatrix} = \qquad 163.9\mathbf{k}$$

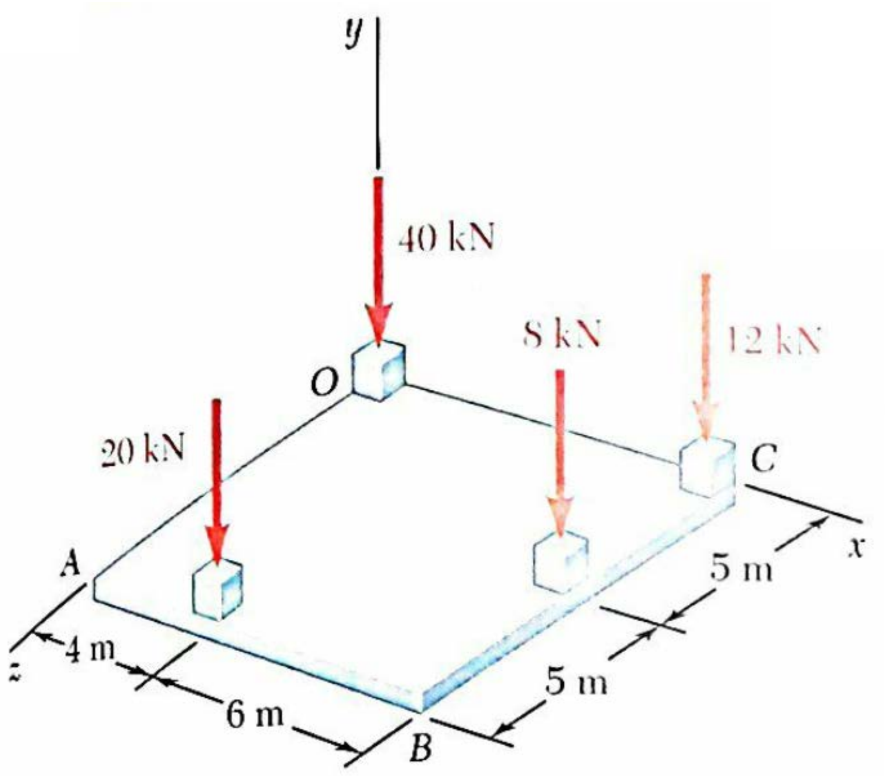
elde edilen ifadeleri toplarsak

$$\mathbf{M}_A^R = \Sigma(\mathbf{r} \times \mathbf{F}) = (30 \text{ N} \cdot \text{m})\mathbf{i} + (17.68 \text{ N} \cdot \text{m})\mathbf{j} + (118.9 \text{ N} \cdot \text{m})\mathbf{k}$$

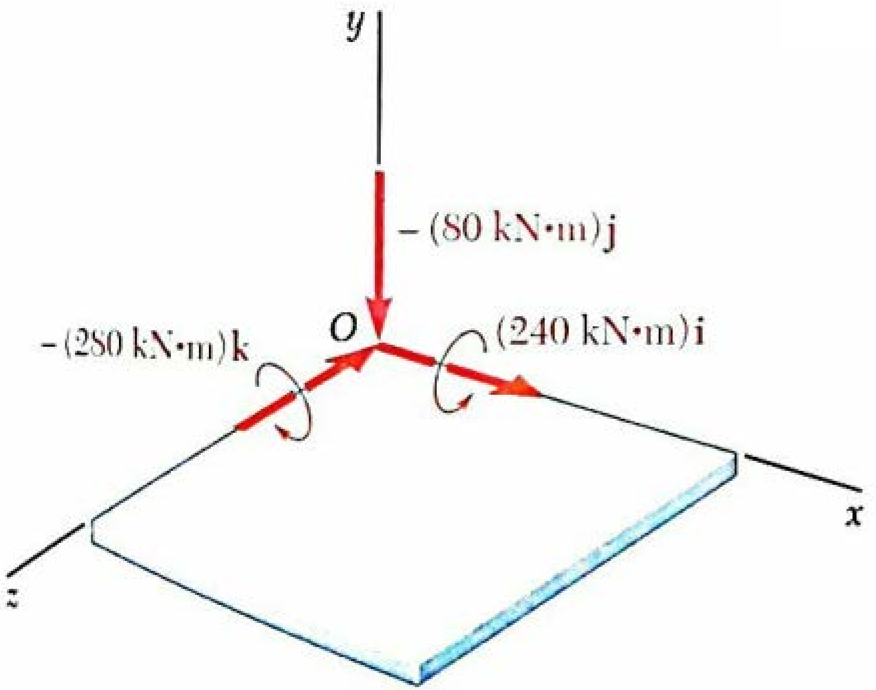
olur. $\mathbf{R}$ kuvvetinin ve $\mathbf{M}_A^R$ kuvvet çiftinin dik bileşenleri yandaki çizimde gösterilmiştir.

Örnek çözüm 3.11:

Şekildeki döşeme temel, dört kolonu desteklemektedir. Dört yükün bileşkesinin büyüklüğünü ve uygulanma noktasını bulunuz.



Örnek çözüm 3.11:



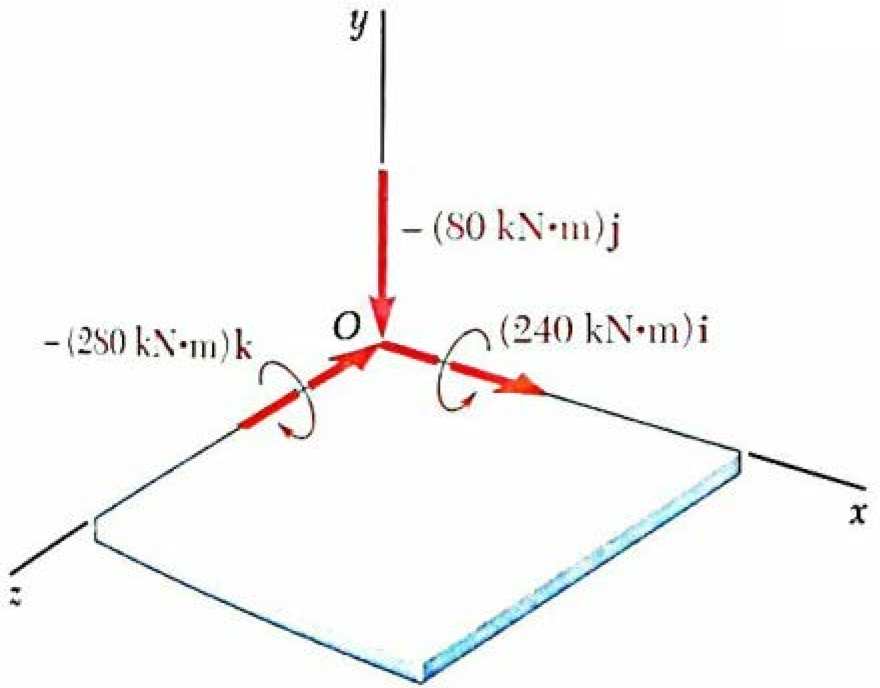
Öncelikle verilen kuvvet sistemini koordinat sisteminin orijini O'daki kuvvet-kuvvet çifti sistemine indirgeriz. Bu kuvvet-kuvvet çifti sistemi aşağıda tanımlanan $\mathbf{R}$ kuvveti ile $\mathbf{M}_O^R$ kuvvet çifti vektöründen oluşur.

$$\mathbf{R} = \Sigma \mathbf{F} \qquad \mathbf{M}_O^R = \Sigma(\mathbf{r} \times \mathbf{F})$$

Çeşitli kuvvetlerin uygulanma noktalarının konum vektörleri bulunur ve hesaplamalar tablo halinde düzenlenir.

r, m	F, kN	r × F, kN · m
0	$-40\mathbf{j}$	0
$10\mathbf{i}$	$-12\mathbf{j}$	$-120\mathbf{k}$
$10\mathbf{i} + 5\mathbf{k}$	$-8\mathbf{j}$	$40\mathbf{i} - 80\mathbf{k}$
$4\mathbf{i} + 10\mathbf{k}$	$-20\mathbf{j}$	$200\mathbf{i} - 80\mathbf{k}$
	$\mathbf{R} = -80\mathbf{j}$	$\mathbf{M}_O^R = 240\mathbf{i} - 280\mathbf{k}$

Örnek çözüm 3.11:

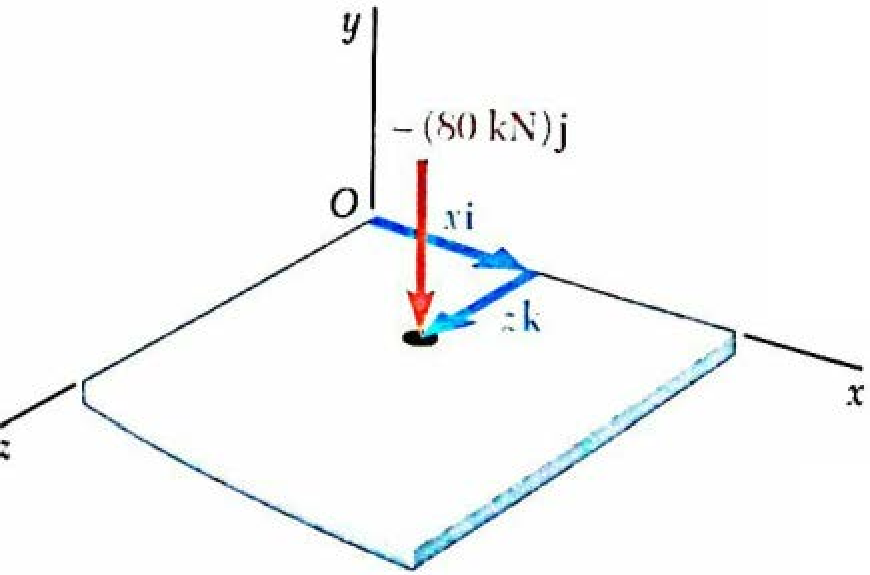


$\mathbf{R}$ kuvveti ile $\mathbf{M}_O^R$ kuvvet çifti vektörü birbirlerine dik olduğu için elde edilen kuvvet-kuvvet çifti sistemi tek kuvvet $\mathbf{R}$'ye daha da indirgenebilir. $\mathbf{R}$'nin yeni uygulanma noktası döşeme düzleminde seçilir ve bu seçim $\mathbf{R}$'nin O'ya göre momenti $\mathbf{M}_O^R$'ye eşit olacak şekilde yapılır. İstenen uygulanma noktasının yer vektörünü $\mathbf{r}$ ile koordinatlarını x ve z ile gösterirsek

$$\mathbf{r} \times \mathbf{R} = \mathbf{M}_O^R$$
$$(x\mathbf{i} + z\mathbf{k}) \times (-80\mathbf{j}) = 240\mathbf{i} - 280\mathbf{k}$$
$$-80x\mathbf{k} + 80z\mathbf{i} = 240\mathbf{i} - 280\mathbf{k}$$

yazar ve

$$-80x = -280 \qquad 80z = 240$$
$$x = 3.50 \text{ m} \qquad z = 3.00 \text{ m}$$

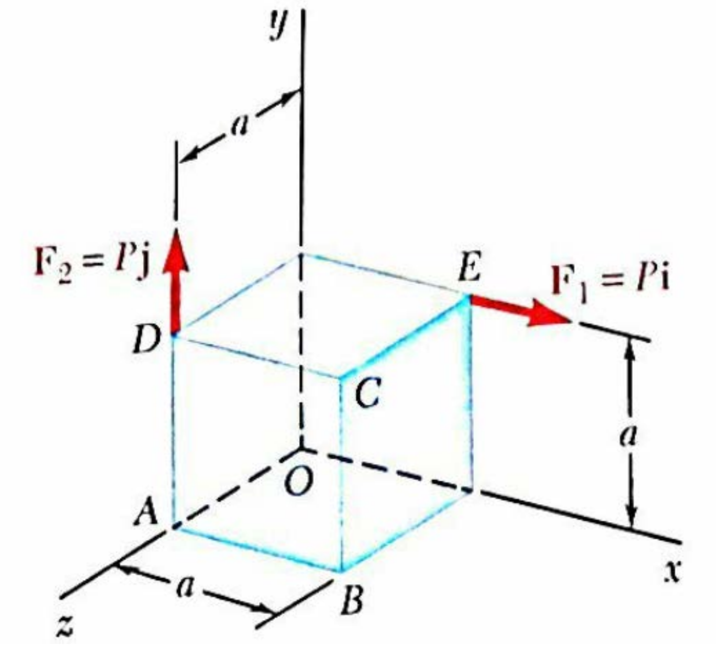


buluruz. Verilen kuvvet sisteminin bileşkesinin

$$x = 3.50 \text{ m}, \; z = 3.00 \text{ m'de} \qquad \mathbf{R} = 80 \text{ kN} \downarrow$$

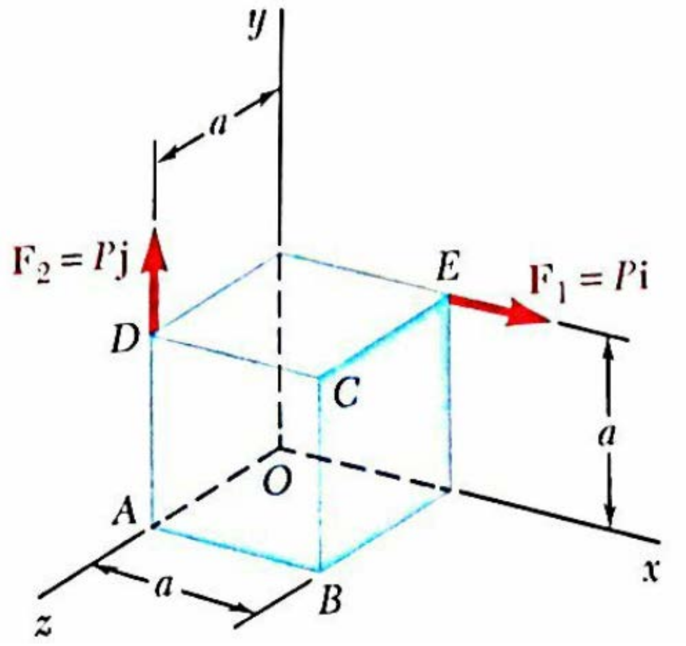
olduğu sonucuna varırız.

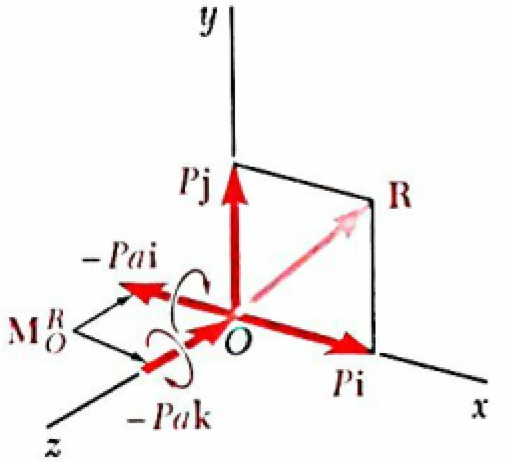
Örnek problem 3.12:



P ile gösterilen ve büyüklükleri aynı olan iki kuvvet, kenar uzunluğu *a* olan bir küpe etki etmektedir. Bu iki kuvveti denk bir kuvvet vidasıyla değiştiriniz ve (*a*) bileşke kuvvet **R**'nin büyüklüğünü ve doğrultusunu, (*b*) vida adımını, (*c*) vida ekseninin *yz* düzlemini kestiği noktayı bulunuz.

Örnek problem 3.12:





O'daki Denk Kuvvet-Kuvvet Çifti Sistemi. Öncelikle orijin O'daki denk kuvvet-kuvvet çifti sistemini buluruz. Verilen iki kuvvetin uygulanma noktaları E ve D'nin konum vektörlerinin $\mathbf{r}_E = a\mathbf{i} + a\mathbf{j}$ ve $\mathbf{r}_D = a\mathbf{j} + a\mathbf{k}$ olduğunu gözlemleriz. İki kuvvetin bileşkesi $\mathbf{R}$ ile O'ya göre bileşke moment $\mathbf{M}_O^R$

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 = P\mathbf{i} + P\mathbf{j} = P(\mathbf{i} + \mathbf{j}) \qquad (1)$$

$$\mathbf{M}_O^R = \mathbf{r}_E \times \mathbf{F}_1 + \mathbf{r}_D \times \mathbf{F}_2 = (a\mathbf{i} + a\mathbf{j}) \times P\mathbf{i} + (a\mathbf{j} + a\mathbf{k}) \times P\mathbf{j}$$

$$= -Pa\mathbf{k} - Pa\mathbf{i} = -Pa(\mathbf{i} + \mathbf{k}) \qquad (2)$$

olur.

a. Bileşke Kuvvet R. Denk. (1)'den ve yandaki şekilden bileşke kuvvet $\mathbf{R}$'nin büyüklüğünün $R = P\sqrt{2}$, olduğunu, xy düzleminde yer aldığını, x ve y eksenleriyle 45°'lik açı yaptığını görürüz. Dolayısıyla

$$R = P\sqrt{2} \qquad \theta_x = \theta_y = 45° \qquad \theta_z = 90°$$

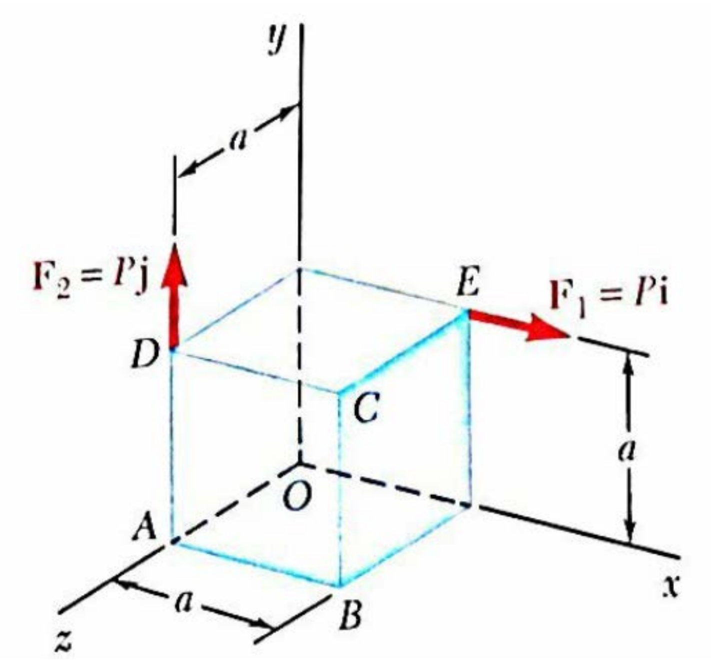
olur.

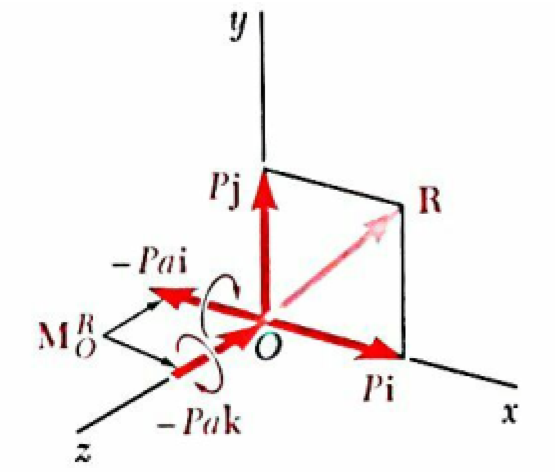
b. Vida Adımı. Kıs. 3.21'den (3.62) bağıntısını, yukarıdan Denk. (1) ve (2)'yi hatırlarsak

$$p = \frac{\mathbf{R}\cdot\mathbf{M}_O^R}{R^2} = \frac{P(\mathbf{i}+\mathbf{j})\cdot(-Pa)(\mathbf{i}+\mathbf{k})}{(P\sqrt{2})^2} = \frac{-P^2a(1+0+0)}{2P^2} \qquad p = -\frac{a}{2}$$

yazarız.

Örnek problem 3.12:





c. Vida Ekseni. Yukarıdan ve Denk. (3.61)'den, kuvvet vidasının (1)'de bulunan **R** kuvvetinden ve aşağıdaki kuvvet çifti vektöründen oluştuğu görülür.

$$\mathbf{M}_1 = p\mathbf{R} = -\frac{a}{2}P(\mathbf{i} + \mathbf{j}) = -\frac{Pa}{2}(\mathbf{i} + \mathbf{j}) \qquad (3)$$

Vida ekseninin *yz* düzlemini kestiği noktayı bulmak için, kuvvet vidasının *O*'ya göre momentinin asıl sistemin bileşke momenti $\mathbf{M}_O^R$'ye eşit olduğunu gösteririz:

$$\mathbf{M}_1 + \mathbf{r} \times \mathbf{R} = \mathbf{M}_O^R$$

veya $\mathbf{r} = y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$ olduğundan Denk. (1), (2) ve (3)'e **R**, $\mathbf{M}_O^R$, ve $\mathbf{M}_1$'i yerleştirirsek

$$-\frac{Pa}{2}(\mathbf{i} + \mathbf{j}) + (y\mathbf{j} + z\mathbf{k}) \times P(\mathbf{i} + \mathbf{j}) = -Pa(\mathbf{i} + \mathbf{k})$$

$$-\frac{Pa}{2}\mathbf{i} - \frac{Pa}{2}\mathbf{j} - Py\mathbf{k} + Pz\mathbf{j} - Pz\mathbf{i} = -Pa\mathbf{i} - Pa\mathbf{k}$$

elde ederiz. **k**'nın katsayılarını ve daha sonra da **j**'nin katsayılarını eşitlersek

$$y = a \qquad z = a/2$$

buluruz.

4- Rijit Cisimlerin Dengesi

Bu bölümde,

- İki ve üç boyutlu rijit cisimlerin statik dengesinin analizini,
- Rijit cisimlerin denge analizi için temel araç olarak, serbest cisim diyagramını çizmeyi,
- Statik olarak belirsiz tepkilerin ve kısmi zorlamaların olduğu yataklanmış rijit cisimleri sınamayı,
- İki kuvvetli ve üçlü kuvvetli cisimlerin dengesini çözmeyi

öğreneceksiniz.

4.1

Rijit cismin dengesi için **R** ve **M**$_O^R$ bileşke vektörlerini sıfıra eşit olarak tanımlayarak gerekli ve yeterli koşulları elde edebiliriz:

$$\Sigma \mathbf{F} = 0 \qquad \Sigma \mathbf{M}_O = \Sigma\,(\mathbf{r} \times \mathbf{F}) = 0$$

Dik bileşenler halinde her kuvveti ve her momenti çözümleyerek, altı skaler eşitlik yazabiliriz:

1. $\Sigma F_x = 0 \qquad \Sigma F_y = 0 \qquad \Sigma F_z = 0$
2. $\Sigma M_x = 0 \qquad \Sigma M_y = 0 \qquad \Sigma M_z = 0$

Bu eşitlikleri, rijit cisme uygulanan bilinmeyen kuvvetleri yada yatakların maruz kaldığı bilinmeyen reaksiyonları belirlemek için kullanabiliriz.

1. nolu eşitlik seti x-y-z yönlerindeki dış kuvvetlerin bileşenlerin dengesini tanımlar.
2. nolu eşitlik seti x-y-z eksenleri çevresinde oluşan dış kuvvetlerin momentinin dengesini tanımlar.

Bu nedenle, denge halindeki rijit cisim için, cisimde yer değiştirme ve dönme hareketi oluşmaz.

4.1

Serbest cisim diyagramı

Denge halindeki rijit cisimle ilgili bir problemin çözümünde, cisim üzerine etkiyen tüm kuvvetler dikkate alınır. Problemin çözümünde ilk aşama serbest cisim diyagramının çizilmesidir. Çözüm aşamaları aşağıda özetlenmiştir:

1) Analiz edilecek cismin doğru tanımlanması için, verilen soruyu dikkatli okuyarak başlayın. Bu cismi zeminden ve diğer cisimlerden ayrı olarak, problem verilerine göre, detaylandırmanız gerekir. Ardından, sınırlanan cismin dış hatlarını çizebilirsiniz.
2) Serbest cisim diyagramında tüm dış kuvvetleri belirtin. Bu kuvvetler, zemin ve cisimler tarafından serbest cisme uygulanan etkileri temsil eder. Diyagramda, zemin tarafından desteklenen yada diğer cisimlerin bağlı olduğu farklı noktalardaki bu kuvvetleri belirtin. Yerkürenin cismin parçacıkları üzerinde oluşturduğu çekim etkisini göstermek için, genel olarak, serbest cismin ağırlığını dış kuvvetler arasına dahil etmeniz gerekir. Cismin ağırlığını cismin ağırlık merkezine etkiyecek şekilde çizmelisiniz. Cisim bir kaç parçadan oluşuyorsa, iç ve dış kuvvetleri ayırın.
3) Serbest cisim diyagramında bilinen dış kuvvetlerin büyüklüklerini ve yönlerini işaretleyin. Hatırlayın ki, bu kuvvetlerin yönlerini belirtirken, serbest cisim üzerine etkiyen kuvvetleri belirtin. Genellikle, bilinen dış kuvvetler serbest cismin ağırlığını ve belirli bir amaç için uygulanan kuvvetleri içerir.
4) Bilinmeyen dış kuvvetler genellikle, zemin ve diğer cisimlerin, serbest cismin olası bir hareketine karşı tepkilerini içerir. Tepkiler, serbest cismi aynı konumda tutmaya zorlar; Bu nedenle bazen zorlayıcı kuvvetler denir. Reaksiyonlar, serbest diğer cisimlerle desteklendiği veya ona bağlı olduğu noktalarda uygulanır; Bu noktaları açıkça belirtmelisiniz.
5) Kuvvetlerin momentlerini hesaplamak için,serbest cisim diyagramı boyutları da içermelidir. Bununla birlikte, başka herhangi bir detay atlanmalıdır.