

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

جدول شناسنامه اثر	
کد آموزش	۳۱۳-۰۰۱-۰۰۱
عنوان اثر	آموزش استاتیک (Statics) - مقدمه‌ای بر استاتیک
تالیف	گروه مهندسی سیویل ژئوتک (civilgeotech)
گردآورنده	مهندس سید محمد صادق آل محمد
آدرس سایت	https://civilgeotech.ir/
ایمیل	info@civilgeotech.ir
نوع	فایل pdf
تعداد کل صفحات	۱۳ صفحه
فرهیخته گرامی:	
بازنشر این فایل باعث تضییع حقوق مادی و معنوی سایت سیویل ژئوتک خواهد شد و کپی بخش یا تمام این اثر شرعا و قانونا حرام و ممنوع است.	
لطفا فایل این آموزش را از سایت اصلی ما دریافت کنید.	

CIVILGEOTECH

فهرست مطالب

۲	مقدمه‌ای بر استاتیک
۲	۱- آنچه در این آموزش خواهیم خواند
۲	۲- کتاب‌های مرجع درس استاتیک
۲	۳- تعریف علم مکانیک، مفاهیم و اصول
۲	۳-۱- مکانیک چیست؟
۳	۳-۲- مفاهیم و اصول اساسی مکانیک
۴	۴- کمیت‌های برداری و اسکالر
۵	۴-۱- قراردادهای مرسوم
۵	۴-۲- آشنایی با بردارها
۷	۵- قوانین نیوتن
۸	۶- سیستم‌های آحاد
۸	۷- قانون گرانش
۹	۸- شیوه حل مسائل در استاتیک
۱۰	۹- نمونه مسائل
۱۰	۹-۱- مسئله اول
۱۲	۹-۲- مسئله دوم
۱۲	۱۰- مراجع

CIVILGEOTECH

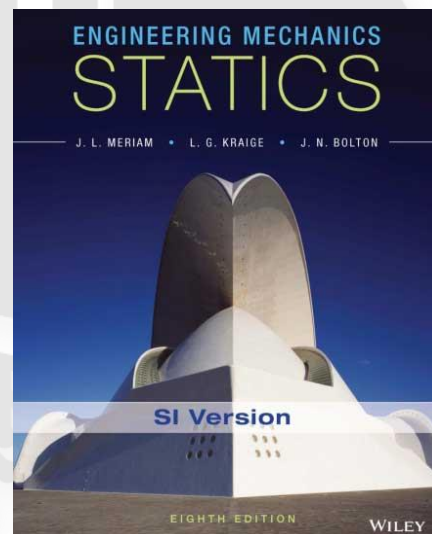
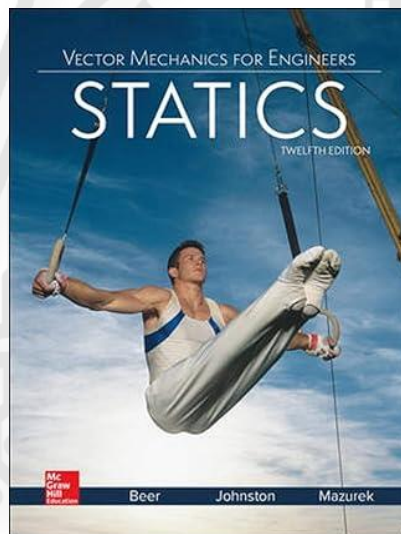
مقدمه‌ای بر استاتیک

۱- آنچه در این آموزش خواهیم خواند...

در این آموزش ابتدا به تعریف علم مکانیک، مفاهیم و اصول آن می‌پردازیم. پس از آن به بررسی کمیت‌های برداری و اسکالر پرداخته و در ادامه بحث قوانین نیوتن، واحدهای اندازه‌گیری و قانون گرانش را شرح خواهیم داد. در انتهای آموزش نیز شیوه حل مسائل مختلف در استاتیک را بیان خواهیم کرد.

۲- کتاب‌های مرجع درس استاتیک

در مبحث استاتیک دو مرجع اصلی وجود دارد. اولین کتاب در زمینه آموزش استاتیک کتاب استاتیک جیمز ال. مریام و ال گلن کریک است. دومین مرجعی که برای آموزش استاتیک می‌توان نام برد کتاب استاتیک فردیناند پی بیر، ای. راسل جانسون و دیوید اف مازوروک می‌باشد. هر دو کتاب برای آموزش استاتیک مناسب و مرسوم هستند و ترجمه‌های خوبی از هر دو به چاپ رسیده است. در مبحث آموزش استاتیک در سیویل ژئوتک مبنای کار ما کتاب مریام است و فایل کتاب زبان اصلی و پاسخ نامه آن را می‌توانید از بخش کتابخانه دانلود کنید.

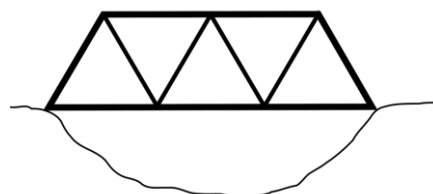


۳- تعریف علم مکانیک، مفاهیم و اصول

۳-۱- مکانیک چیست؟

مکانیک یکی از شاخه‌های علم فیزیک است که تأثیر نیروها بر اجسام را مورد بررسی قرار می‌دهد. در تحلیل‌های مهندسی، علم مکانیک نقش مهمی دارد. اگرچه اصول علم مکانیک کم تعداد هستند، اما کاربردهای بسیار زیادی در مهندسی دارند. اصول علم مکانیک جهت تحقیق در زمینه‌هایی مانند پایداری و مقاومت سازه‌ها، جریان سیال و ... نقش اساسی دارند. بنابراین درک اصول علم مکانیک به عنوان یک پیش نیاز ضروری برای شروع به کار در زمینه‌های مذکور محسوب می‌شود. علم مکانیک از دیدگاه مفهومی به دو بخش کلی تقسیم می‌شود:

۱- استاتیک که تعادل اجسام تحت اثر نیروها را مورد توجه قرار می‌دهد.



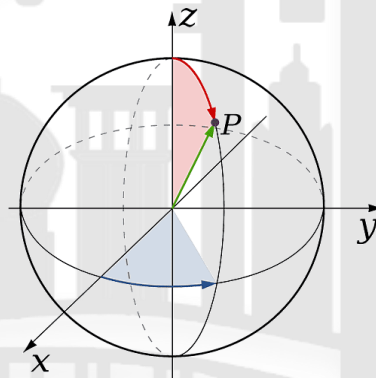
۲- دینامیک که به بررسی حرکت اجسام می پردازد.



۲-۳- مفاهیم و اصول اساسی مکانیک

مفاهیم و تعاریفی که در زیر بیان شده است، اساس مطالعه و آموختن علم مکانیک را تشکیل می دهند.

۱- فضا (Space): ناحیه هندسی که به وسیله اجسام اشغال شده است. هر نقطه از فضا با دستگاه مختصات دو بعدی یا سه بعدی مشخص می شود.



۲- زمان (Time): معیار سنجش توالی رویدادهاست. زمان به طور مستقیم در تحلیل مسائل استاتیک وارد نمی شود.



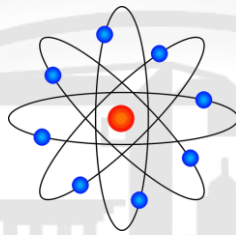
۳- جرم (Mass): مقدار ماده تشکیل دهنده جسم می باشد. جرم معیار سنجش اینرسی (اینرسی: مقاومت در برابر تغییر سرعت) می باشد و عامل ایجاد جاذبه گرانشی بین اجسام است.



۴- نیرو (Force): عمل یک جسم بر جسم دیگر است. نیرو تمایل دارد جسم را در راستای خط اثرش حرکت دهد. نیرو یک کمیت برداری است که دارای اندازه، راستا و نقطه اثر است.



۵- ذره (Particle): جسمی با ابعاد خیلی کوچک است. یا به بیان دیگر جرم متمرکز در یک نقطه است. در حالت ایده آل وقتی ابعاد جسم در بیان موقعیت و یا نیروهای وارد بر آن تاثیر نداشته باشد. از دیدگاه ریاضی ذره جسمی است که ابعاد آن بسیار نزدیک به صفر است.



۶- جسم صلب (Rigid Body): جسمی که تغییر شکل ندهد یا فاصله بین ذرات آن تغییر نکند جسم صلب می باشد. صلبیت نسبی است و زمانی که تغییر شکل بر محاسبات اثر نداشته باشد جسم صلب فرض می شود. دانش استاتیک اصولاً به محاسبه نیروهای خارجی وارد به اجسام صلب در حال تعادل می پردازد.



۴- کمیت های برداری و اسکالر

در علم مکانیک با دو نوع از کمیت ها سروکار داریم یکی کمیت اسکالر، و دیگری کمیت برداری است.

کمیت های اسکالر (Scalar Quantities): آن هایی هستند که تنها با یک مقدار مشخص می شوند. برای مثال: زمان، حجم، چگالی، انرژی و...

کمیت های برداری (Vector Quantities): علاوه بر اندازه دارای راستا نیز می باشند و از قانون جمع متوازی الاضلاع پیروی می کنند. برای مثال: سرعت، شتاب، نیرو، گشتاور و...

بردارهایی که نشانگر کمیت های فیزیکی هستند در سه گروه بردارهای آزاد، لغزان و ثابت طبقه بندی می شوند.

بردار آزاد (Free Vector): برداری است که منحصر به یک نقطه نیست. مانند جابجایی یک جسم صلب که دوران و چرخش ندارد.



بردار لغزان (Sliding Vector): برداری است که مقید به یک خط مشخص است. یعنی می‌تواند اثر خود جابجا شود. مانند بردار وارد بر یک جسم صلب.



بردار ثابت (Fixed Vector): برداری که منحصر به یک نقطه از فضا است. مانند نیروی وارد بر یک جسم غیر صلب.



۴-۱- قراردادهای مرسوم

به طور مثال برای کمیت برداری V به صورت زیر عمل می‌کنیم:

برای نشان دادن کمیت‌های برداری از علائم زیر استفاده می‌شود.

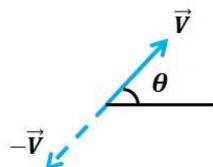
$$\vec{V} \text{ یا } \mathbf{V} \text{ یا } \underline{V}$$

و برای نشان دادن اندازه آن از علائم زیر استفاده می‌شود.

$$V \text{ یا } |V|$$

۴-۲- آشنایی با بردارها

همانطور که در شکل مشخص است، راستای بردار V با زاویه‌ای که نسبت به یک راستای مرجع اندازه‌گیری می‌شود، مشخص می‌گردد. منفی بردار V را با $-V$ نمایش می‌دهیم و دارای اندازه برابر، راستای یکسان اما جهت مخالف یکدیگر هستند.



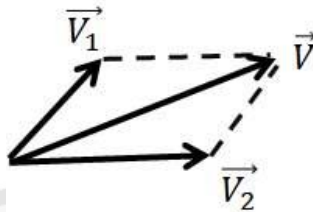
بردارها بایستی از قانون جمع متوازی الاضلاع پیروی کنند. این قانون بیانگر این است که دو بردار V_1 و V_2 که به عنوان بردارهای آزاد در نظر گرفته می‌شوند را می‌توان با بردار معادل V که بردار برآیند این دو بردار نامیده می‌شود جایگزین کرد. این شیوه ترکیب بردارها به جمع برداری موسوم است و با معادله زیر بیان می‌شود. همچنین ترتیب افزودن بردارها به یکدیگر تاثیری بر برآیند آن‌ها ندارد.

$$\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2 = \vec{V}_2 + \vec{V}_1$$

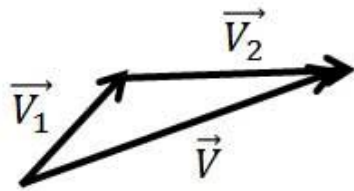
علامت جمع بین کمیت‌های برداری به معنی جمع برداری است و نه جمع اسکالر. در جمع اسکالر اندازه‌های دو بردار به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$V \neq V_1 + V_2$$

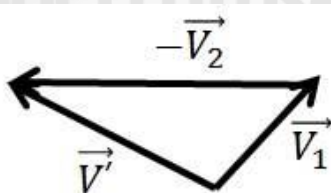
برای یافتن بردار برآیند دو بردار می‌توان از قاعده‌ی جمع متوازی الاضلاع و یا جمع مثلث استفاده نمود. در روش جمع متوازی الاضلاع در یک نقطه در دو بردار با حفظ طول و زاویه رسم شده و مانند شکل زیر عمل جمع انجام میشود که قطر متوازی الاضلاع حاصل مقدار جمع بردارها است.



در جمع مثلث ابتدا بردار اول با حفظ طول و زاویه آن رسم شده سپس بردار دوم از انتهای بردار اول رسم می‌گردد. مانند شکل زیر ضلع سوم مثلث مقدار حاصل جمع برداری است. راستای آن نیز از ابتدای بردار اول به سمت انتهای بردار دوم است.

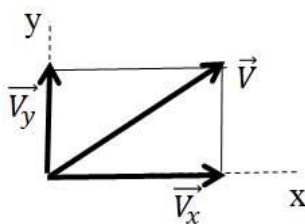


تفریق دو بردار نیز به صورت زیر نمایش داده می‌شود.



$$\vec{V}' = \vec{V}_1 - \vec{V}_2 = \vec{V}_1 + (-\vec{V}_2)$$

هر یک از دو یا چند برداری که مجموع آنها برابر بردار V باشد را مولفه‌های بردار V می‌نامیم. برای راحت‌تر بودن محاسبات معمولاً از مولفه‌های متعامد در راستای X و Y استفاده می‌شود.

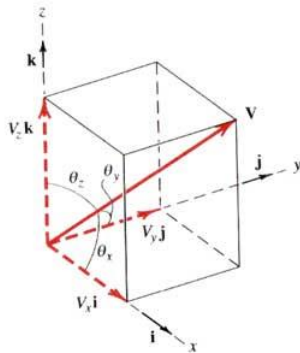


از دیدگاه ریاضی بردار V را می‌توان به صورت حاصل ضرب اندازه آن در بردار یکه (واحد) n که راستای آن مشابه بردار V است بیان نمود.

$$\vec{V} = V \times \vec{n}$$



در این روش اندازه و راستای بردار در یک عبارت ریاضی گنجانده می‌شود. در بسیاری از مسائل راحت تر است که مؤلفه‌های متعامد بردار را به صورت عبارت‌هایی بر حسب بردارهای واحد $\hat{i}$ ، $\hat{j}$ و $\hat{k}$ بیان کرد. این بردارها به ترتیب بردارهایی با طول واحد در راستای محورها x ، y و z هستند. بنابراین جمع برداری مؤلفه‌های بردار V را می‌توان به صورت زیر بیان کرد.



$$\vec{V} = V_x \vec{i} + V_y \vec{j} + V_z \vec{k}$$

با استفاده از کسینوس‌های هادی l ، m و n مربوط به بردار V که به شکل زیر تعریف می‌شوند، می‌توان اندازه مؤلفه‌های بردار V را نوشت.

$$l = \cos \theta_x \quad m = \cos \theta_y \quad n = \cos \theta_z$$

$$V_x = lV \quad V_y = mV \quad V_z = nV$$

که مطابق با قضیه فیثاغورث داریم:

$$V^2 = V_x^2 + V_y^2 + V_z^2$$

۵- قوانین نیوتن

قانون اول نیوتن: اگر به جسمی نیرو وارد نشود، اگر ساکن باشد، ساکن باقی می‌ماند و اگر متحرک باشد بدون تغییر سرعت به حرکت خود ادامه می‌دهد. قانون اول نیوتن بیانگر اصل تعادل نیروهاست که بحث درس استاتیک می‌باشد.

قانون دوم نیوتن: اگر به جسم نیرو وارد شود به آن شتابی می‌دهد که جهت آن هم جهت با برآیند نیروها و مقدار آن متناسب با برآیند نیروهاست. $(F=ma)$

قانون سوم نیوتن: هر عملی را عکس‌العملی است. مساوی با آن و در خلاف جهت. براساس این قانون نیروها همیشه به صورت زوج‌های با اندازه برابر و در جهت مخالف رخ می‌دهند.

به عنوان یک نکته هنگام تحلیل رفتار اجسام تحت اثر نیروها باید مشخص کنید که کدامیک از نیروهای عمل و عکس‌العمل مدنظر است. این کار با رسم دیاگرام آزاد جسم انجام می‌پذیرد.





۶- سیستم‌های آحاد

در مکانیک چهار کمیت طول، جرم، نیرو و زمان کمیت‌های اصلی هستند که به ابعاد اصلی موسومند. در جدول زیر مشخصات این کمیت‌ها در سیستم واحدهای بین‌المللی (SI) و واحدهای ایالات متحده (US) آمده است.

واحدهای US			واحدهای SI			نمای ابعادی	کمیت
نماد	واحد		نماد	واحد			
-	اسلاگ	واحدهای اصلی	kg	کیلوگرم	واحدهای اصلی	M	جرم
ft	فوت		m	متر		L	طول
sec	ثانیه		s	ثانیه		T	زمان
lb	پوند		N	نیوتن		F	نیرو

واحد نیوتن به عنوان واحد نیرو به کمک معادله زیر با استفاده از سه واحد قبل حاصل می‌شود.

$$N = \text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2$$

بنابراین ۱ نیوتن نیرویی است که اگر به جسمی با جرم ۱ کیلوگرم وارد شود شتابی برابر ۱ متر بر مجذور ثانیه به آن می‌دهد.

بنابراین نیروی گرانش در حالت سقوط آزاد برای جسم با وزن W به صورت زیر خواهد بود. (g شتاب گرانش برابر ۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه)

$$W(N) = m(\text{kg}) \times g(\text{m}/\text{s}^2)$$

شتاب گرانش جرم وزن

۷- قانون گرانش

قانون گرانش به صورت زیر بیان می‌شود:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

که در آن:

F: نیروی جاذبه متقابل بین دو جسم

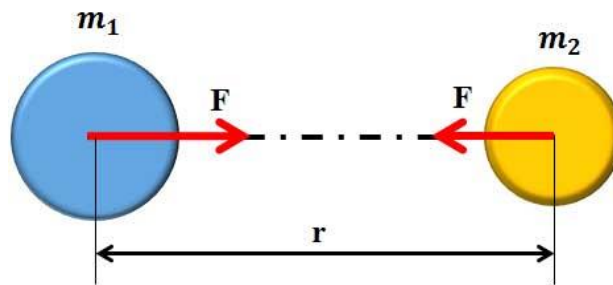
G: ثابت گرانش

$$G = 6.673 \times 10^{-11} \left(\text{m}^3 / \text{kg} \cdot \text{s}^2 \right)$$

m₁ و m₂: جرم دو جسم

r: فاصله بین مراکز دو جسم

نیروهای جاذبه متقابل F از قانون سوم نیوتن (عمل و عکس‌العمل) پیروی می‌کنند. مانند شکل زیر این دو نیرو در راستای خط واصل مراکز دو ذره و مخالف جهت یکدیگرند.



۸- شیوه حل مسائل در استاتیک

در حل مسائل استاتیک باید به سه بخش زیر توجه داشته باشیم:

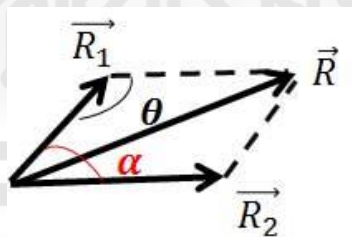
اول باید فرضیات مناسبی نسبت به نوع مسئله پیش رو اتخاذ کنیم. به طور مثال اگر ابعاد سطحی که نیروی به جسم اثر می‌کند در مقایسه با سایر ابعاد جسم کوچک باشد، می‌توانیم آن نیرو را به صورت متمرکز در نظر بگیریم.

دوم باید دیاگرام جسم آزاد جسم را رسم کنیم. ترسیم جسم مجزا شده از کل سیستم و رسم تمامی نیروهای وارد بر آن را نمودار جسم آزاد گوییم.

سوم باید روش مناسب برای حل مسئله را انتخاب کنیم. به‌طور مثال استفاده از روش‌های ریاضی یا ترسیمی و در برخی موارد حل به کمک کامپیوتر در زمانی که تعداد معادلات زیاد باشد.

به عنوان یادآوری خوب است که قانون سینوس‌ها و کسینوس‌ها را مرور کنیم.

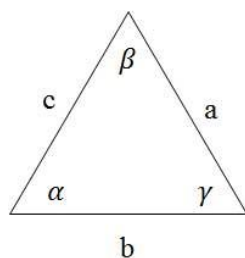
قانون کسینوس‌ها:



$$R = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2R_1R_2 \cos \theta}$$

$$R = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 + 2R_1R_2 \cos \alpha}$$

قانون سینوس‌ها:



$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$$

۹- نمونه مسائل

برای فهم بهتر مسائل می‌توانید به ویدیو این آموزش مراجعه کنید.

۹-۱- مسئله اول

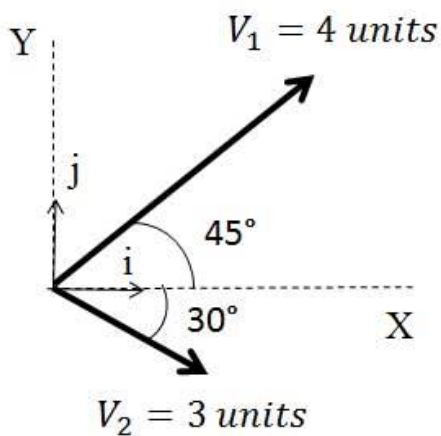
برای بردارهای V_1 و V_2 که در شکل نشان داده شده‌اند:

الف) اندازه بردار برآیند $S = V_1 + V_2$ را تعیین کنید.

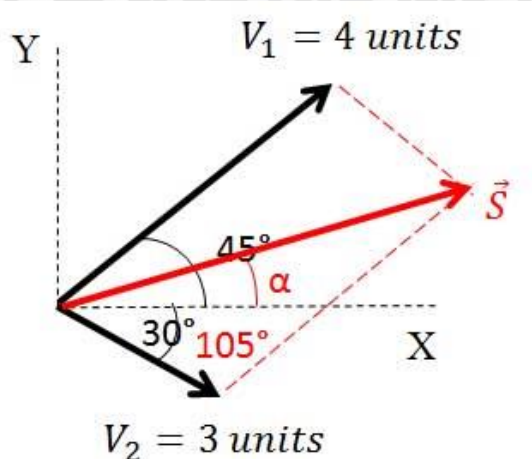
ب) زاویه α بین بردار برآیند S و جهت مثبت محور X را بدست آورید.

ج) بردار S را برحسب بردارهای واحد i و j بنویسید و سپس بردار واحد راستای S را بدست آورید.

د) بردار تفریق $D = V_1 - V_2$ را تعیین کنید.



الف) به کمک قانون کسینوس‌ها



$$S = \sqrt{3^2 + 4^2 - 2 \times 3 \times 4 \times \cos 105} = 5.59 \text{ units}$$

(ب) به کمک قانون سینوس ها مطابق شکل قبل داریم:

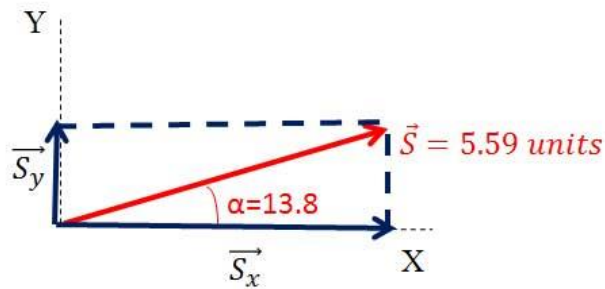
$$\frac{\sin 105}{5.59} = \frac{\sin(\alpha + 30)}{4}$$

$$\sin(\alpha + 30) = 0.692$$

$$\alpha + 30 = \sin^{-1} 0.692$$

$$\alpha = 43.8 - 30 = 13.8$$

(ج)



$$\vec{S} = S_x \vec{i} + S_y \vec{j}$$

$$\sin \alpha = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{وتر}} = \frac{S_y}{5.59} \rightarrow S_y = 5.59 \times \sin 13.8 = 1.33$$

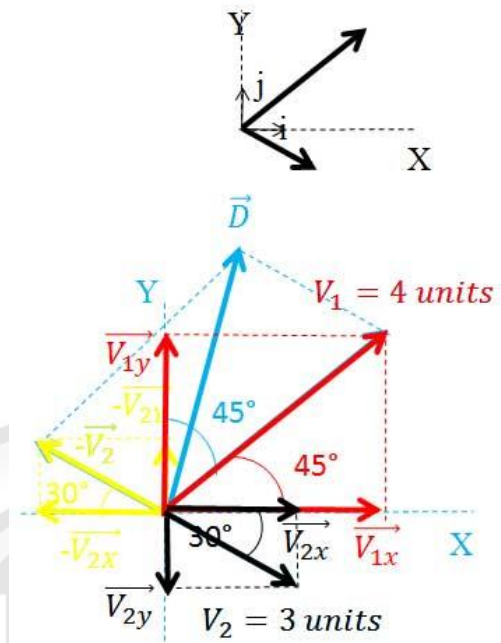
$$\cos \alpha = \frac{\text{ضلع مجاور}}{\text{وتر}} = \frac{S_x}{5.59} \rightarrow S_x = 5.59 \times \cos 13.8 = 5.43$$

$$\vec{S} = 5.43\vec{i} + 1.33\vec{j}$$

$$\vec{S} = S \times \vec{n} \rightarrow \vec{n} = \frac{\vec{S}}{S} = \frac{5.43\vec{i} + 1.33\vec{j}}{5.59} = 0.97\vec{i} + 0.24\vec{j}$$



(د)



$$\vec{V}_1 = V_{1x}\vec{i} + V_{1y}\vec{j}$$

$$\sin \alpha = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{وتر}} = \frac{V_{1y}}{4} \rightarrow V_{1y} = 4 \times \sin 45 = 2.83$$

$$\cos \alpha = \frac{\text{ضلع مجاور}}{\text{وتر}} = \frac{V_{1x}}{4} \rightarrow V_{1x} = 4 \times \cos 45 = 2.83$$

$$\vec{V}_1 = 2.83\vec{i} + 2.83\vec{j}$$

$$\vec{V}_2 = V_{2x}\vec{i} - V_{2y}\vec{j}$$

$$-\vec{V}_2 = -V_{2x}\vec{i} + V_{2y}\vec{j}$$

$$-\vec{V}_2 = -2.6\vec{i} + 1.5\vec{j}$$

$$\sin \alpha = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{وتر}} = \frac{V_{2y}}{3} \rightarrow V_{2y} = 3 \times \sin 30 = 1.5$$

$$\cos \alpha = \frac{\text{ضلع مجاور}}{\text{وتر}} = \frac{V_{2x}}{3} \rightarrow V_{2x} = 3 \times \cos 30 = 2.6$$

$$\vec{D} = \vec{V}_1 - \vec{V}_2 = \vec{V}_1 + (-\vec{V}_2) = (2.83\vec{i} + 2.83\vec{j}) + (-2.6\vec{i} + 1.5\vec{j}) = 0.23\vec{i} + 4.33\vec{j}$$

۹-۲- مسئله دوم

نیرویی با بردار $F=120i-160j+80k$ N بیان شده است. زاویه‌ای که بردار F با جهت مثبت محورهای x، y و z می‌سازد را تعیین کنید.

برای مشاهده حل این سوال به صفحه آموزش (حل تمرین استاتیک تمامی فصل‌ها) مراجعه کنید.

۱۰- مراجع

Meriam, J. L. and Kraige, L. G. (2011). Engineering Mechanics Volume 1: Statics. 7th Ed. John Wiley and Sons Inc.