

## آزمایش شماره ۵

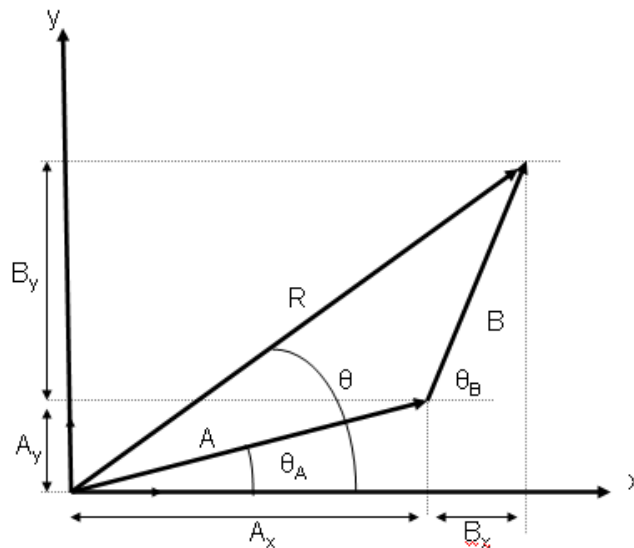
## تعادل اجسام

در فیزیک کمیت‌هایی وجود دارد که اندازه آنها به تنهایی اطلاعات کافی به ما نمی‌دهد. اما اگر چند مشخصه مهم دیگر در مورد آن کمیت معلوم شود، آن کمیت دارای اطلاعات کامل و کافی برای تحلیل مسأله مورد مطالعه خواهد بود. کمیت‌هایی وجود دارند که علاوه بر اندازه، جهت نیز از مشخصه‌های آنهاست. این کمیت‌ها برداری خوانده می‌شوند. بردار را به صورت یک پیکان نشان می‌دهند. طول پیکان متناسب با اندازه کمیت و جهت آن سوی عمل (اثر) کمیت برداری مورد نظر می‌باشد. جابجایی، سرعت، شتاب و نیرو کمیت‌های برداری هستند. در این آزمایش تأکید ما بر بردار نیرو و آشنایی با عملیات ریاضی و محاسباتی با آن (به عنوان نمونه‌ای از کمیت بردار) است.

**هدف آزمایش:** در این آزمایش قانون جمع بردارها و شرط تعادل اجسام مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

## نظریه

جمع بردارها، مجموع یا برآیند بردارها را به دو طریق ترسیمی و تحلیل می‌توان بدست آورد. برآیند دو یا چند بردار، برداری منفردی است که همان اثر مجموعه بردارهای قبلی را ایجاد می‌کند. به عنوان مثال، برآیند چند نیرو که به جسمی اعمال شده است همان اثری را بر مرکز جرم جسم (مجموعه‌ای از ذرات) دارد که ترکیب اثر تک نیروهای مجموعه اول داشت. همچنین برآیند گشتاور این نیروها حول یک محور دوران همان اثری را دارد که از ترکیب اثر گشتاور تک نیروها حاصل می‌شود. در شکل ۱ دو طریقه جمع بردارها نمایش داده شده است.



شکل ۱- دو طریقه جمع بردارها

در روش تر سیمی که خود به دو صورت متوازی الاضلاع و مثلثی می‌باشد، اندازه برآیند دو بردار که با هم زاویه  $\alpha$  می‌سازند، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$|\vec{R}| = \sqrt{|\vec{A}|^2 + |\vec{B}|^2 + 2|\vec{A}| \cdot |\vec{B}| \cos \alpha} \quad (1)$$

در روش تحلیلی دو بردار را در یک دستگاه مختصات دکارتی رسم می‌کنیم. اندازه بردار برآیند و زاویه آن با محور افقی  $OX$  از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$|\vec{R}| = \sqrt{(\sum R_x)^2 + (\sum R_y)^2}; \quad \theta = \text{Arctg} \left( \frac{\sum R_y}{\sum R_x} \right) \quad (2)$$

تبادل انتقالی و دورانی، اعمال نیرو بر یک جسم (یا مجموعه‌ای از ذرات) به دو طریق سبب تغییر حالت حرکتی آن می‌شود:

- ۱- طبق  $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ ، سبب تغییر حرکت انتقالی مرکز جرم می‌شود،
- ۲- طبق رابطه  $\sum \vec{\tau} = I\vec{\alpha}$ ، سبب تغییر حرکت دورانی حول مرکز جرم (یا هر محور دوران دیگر) می‌شود.

در رابطه دوم،  $\sum \vec{\tau}$  برآیند گشتاور نیروهای اعمال شده به جسم می‌باشد که به صورت  $\sum \vec{\tau} = \sum (\vec{r}_i \times \vec{F}_i)$  تعریف می‌شود و  $\vec{\alpha}$  بردار شتاب زاویه‌ای  $(\alpha = \frac{d^2\theta}{dt^2})$  و  $I$  لختی دورانی جسم حول محور دوران (معادل  $m$  که جرم و یا لختی انتقالی جسم است) می‌باشد. اما تحت شرایط خاصی جسم می‌تواند تعادل داشته باشد. به این معنا که جسم هیچ تمایلی برای تغییر حرکت انتقالی و یا دورانی نداشته باشد. این شرایط عبارتند از:

$$\begin{aligned} \sum \vec{F} &= \vec{0} \\ \sum \vec{\tau} &= \vec{0} \end{aligned} \quad (3)$$

در این حالت اگر جسم در ابتدا بدون حرکت باشد به همان حالت سکون باقی خواهد ماند.

## مراحل انجام آزمایش

ابزار مورد نیاز

- ۱- میزنیرو ۲- چهار قرقره ۳- خطکش یک متری چوبی ۴- نیروسنج ۵- دو پایه فلزی همراه گیره‌های آن ۶- چهار جاوزنه‌ای (کفه) ۷- وزنه‌های کوچک ۸- ترازو ۹- تراز.

**میز نیرو:** میز نیرو صفحه فلزی دایره‌ای شکل است که محیط آن مدرج شده است. این صفحه روی میله قائمی پیچ شده است. میله قائم، خود بر روی سه پایه سنگین فلزی پیچ شده است. سه پایه فلزی در هر پایه خود، دارای پیچی است که با پیچاندن آنها می‌توان صفحه را کاملاً افقی نگاه داشت. جسمی که تعادل آن مورد نظر است حلقه واقع در وسط میز است. نیروهای وارد بر حلقه، کشش‌های نخ‌هایی است که به این حلقه بسته

شده‌اند. چون اصطکاک قرقره‌ها ناچیز است نیروی کشش هر نخ برابر با وزن وزنه‌ای است که از نخ آویزان شده است.

**توجه:** برای کار با میز نیرو ابتدا با تنظیم پیچ‌های واقع در سه پایه و تراز، صفحه میز را افقی نمایید.

### ۱- جمع بردارها و تعادل انتقالی،

(۱-الف) **برآیند دو بردار:** سه قرقره را انتخاب کنید و آنها را  $A$ ،  $B$  و  $C$  بنامید. ابتدا قرقره‌های  $A$  و  $B$  را با زاویه  $90^\circ$  درجه نسبت به هم قرار دهید. از نخ  $A$  وزنه‌ای به جرم حدود  $100$  گرم و از نخ  $B$  وزنه‌ای به جرم حدود  $200$  گرم آویزان نمایید.

آنگاه وزنه آویخته شده از قرقره  $C$  و محل آن را چنان انتخاب کنید که حلقه وسط میز در حالت تعادل باشد. در این حالت زاویه میان راستای نخ  $A$  و نخ  $C$  (زاویه  $\theta$ ) و اندازه کشش نخ  $C$  را بر حسب گرم نیرو در جدول ۱ یادداشت نمایید.

**توجه:** در تمام مراحل آزمایش «وزنه آویخته از هر نخ»، مجموع جرم کفه و جرم وزنه‌ای است که روی آن قرار می‌گیرد. برای دقت بیشتر جرم مجموعه را بر حسب گرم (که برابر با کشش هر نخ بر حسب گرم نیرو است) هر بار با ترازو اندازه‌گیری کرده و با دقت  $5$  گرم در جدول ۱ ثبت کنید.

(۱-ب) **تعادلی انتقالی:** اکنون نخ  $A$  و  $B$  را با زاویه  $180^\circ$  درجه نسبت به هم قرار دهید. از نخ  $A$  و  $B$  به ترتیب وزنه‌ای به جرم حدود  $100$  گرم و  $200$  گرم را آویزان کنید. قرقره  $C$  و قرقره چهارم،  $D$  را در طرفین دو قرقره  $A$  و  $B$  قرار دهید. آنگاه از نخ  $C$  وزنه حدود  $100$  گرم و از نخ  $D$  کفه خالی به جرم حدود  $50$  گرمی را آویزان کنید. حال با سعی و خطا زاویه بین نخ  $A$  و  $C$  ( $\alpha$ ) و زاویه بین نخ  $B$  و  $D$  ( $\beta$ ) را چنان بدست آورید که حلقه وسط میز در حال تعادل کامل باشد. نتیجه را در جدول ۲ یادداشت نمایید. توجه کنید فقط یک حالت منحصر به فرد وجود ندارد.

### ۲- جمع بردارها و تعادل دورانی

در این مرحله از یک خط کش چوبی استفاده می‌شود. طول این خط کش یک متر است. در فاصله  $25$  سانتیمتری از یک سر آن، تکیه‌گاه فلزی قرار دارد که بر روی شیارهای فلزی قرار می‌گیرد و نیروهای وارد بر خط کش چنان انتخاب می‌شود که خط کش حول محور فرضی که از تکیه‌گاه می‌گذرد تعادل دورانی داشته باشد و در این حالت خط کش به صورت افقی خواهد بود.

**توجه:** همواره برای اطمینان از حالت تعادل خط کش و افقی بودن آن، از تراز استفاده کنید و با تغییر راستای نیرو سنج (در صورت امکان) و یا جابجا کردن آن روی پایه، سعی شود که حباب تراز وسط دو شاخص آن قرار بگیرد. برای این منظور تراز را روی خط کش قرار داده به طوری که مرکز جرم آن روی تکیه‌گاه قرار گیرد. به کمک تراز از افقی بودن خط کش اطمینان حاصل نمایید. در حالتی که خط کش افقی باشد حباب تراز در وسط دو شاخص آن قرار می‌گیرد.



(۲- الف) تعیین جرم خطکش یا چگالی طولی آن: خطکش را از تکیه‌گاه خود، روی شیار فلزی که بر روی پایه و در ارتفاع ثابتی از میز آزمایشگاه است، قرار دهید. سپس نیروسنجی را از نقطه‌ای به فاصله ۱ سانتیمتری از سر دیگر خطکش متصل کنید. سر دیگر نیروسنج را به پایه دیگر متصل کنید. با حرکت دادن پایه دوم و همچنین حرکت دادن انتهای نیروسنج که به پایه متصل است، در راستای قائم، سعی کنید نیروسنج به صورت قائم قرار گیرد و خطکش در حال افقی (با تراز به دقت تنظیم شود) تعادل داشته باشد. عددی را که نیروسنج نشان می‌دهد، مقدار  $F$  را خوانده جدول ۳ را کامل کنید.

(۲- ب) تعادل خطکش ۱: وزنه‌ای به جرم حدود ۵۵۰ گرم را به فاصله ۳۵ سانتیمتری سمت چپ تکیه‌گاه آویزان نمایید. سپس با حرکت دادن پایه دوم سعی کنید تعادل خطکش را در حالت افقی برقرار کنید. در این حالت  $F$ ، عددی را که نیروسنج نشان می‌دهد و  $\alpha$ ، زاویه‌ای که راستای نیروسنج با امتداد قائم می‌سازد، در جدول ۴ یادداشت نمایید. برای اندازه‌گیری زاویه دو ضلع مثلث قائم الزاویه را با متر به دقت اندازه گرفته و زاویه را حساب کنید.

(۲- ج) تعادل خطکش ۲: وزنه‌ای به جرم حدود ۶۵۰ گرم را در فاصله ۲۰ سانتیمتری سمت راست تکیه‌گاه خطکش و وزنه‌ای حدود ۵۰۰ گرم را به فاصله ۳۵ سانتیمتری سمت چپ تکیه‌گاه آویزان کنید. با حرکت پایه

دوم سعی کنید خط کش دوباره به حالت افقی درآید. در این حالت مقدار  $F$ ، عددی که نیروسنج نشان می‌دهد و  $\beta$ ، زاویه‌ای که راستای نیروسنج با امتداد قائم می‌سازد، در جدول ۵ یادداشت کنید.

### خواسته‌ها

برای رسم شکل‌ها از خط کش و ابزارهای ترسیمی مورد نیاز استفاده کنید.

۱- تحلیل داده‌های جدول ۱: نمودار آزاد سه بردار نیروی اعمال شده به حلقه را رسم کنید. با اعمال شرط تعادل، و با استفاده از مقادیر کشش نخ‌های  $A$  و  $B$ ، نیروی کشش  $TC$  و زاویه  $\theta$  را با استفاده از روش ترسیمی و تحلیلی به دست آورید و با نتایج آزمایش مقایسه کنید.

۲- تحلیل داده‌های جدول ۲: چهار نیروی اعمال شده بر حلقه را رسم کنید. با استفاده از مقادیر کشش نخ‌ها، زوایای  $\alpha, \beta$  را با استفاده از روش ترسیمی و تحلیلی به دست آورید و با نتایج آزمایش مقایسه کنید.

۳- تحلیل داده‌های جدول ۳: با اعمال شرط تعادل دورانی، جرم واحد طول خط کش را بدست آورید.

۴- تحلیل داده‌ها جدول ۴ و ۵: الف) نمودار آزاد نیروهای وارد بر خط کش را در مراحل (۲-ب) و (۲-ج) رسم کنید. شرط تعادل انتقالی و دورانی را (حول محوری مناسب) بنویسید. از این روابط با جایگزین کردن مقدار  $F$  از جدول در هر مرحله، زاویه را محاسبه کنید و با مقدار اندازه‌گیری شده مقایسه نمایید. ب) در مراحل (۲-ب) و (۲-ج) نیروی عمودی وارد بر خط کش در تکیه‌گاه را محاسبه کنید. حداقل ضریب اصطکاک ایستایی را در محل تکیه‌گاه برای برقراری این تعادل، با این فرض که اگر تکیه‌گاه یک سطح کوچک افقی و تخت می‌بود، بدست آورید.

### سوالات

- ۱) تفریق دو بردار  $\vec{A}$  و  $\vec{B}$  را چگونه تعریف می‌کنیم؟
- ۲) آیا در مرحله اول آزمایش تحقیق رابطه  $\sum \vec{\tau} = \vec{0}$  لزومی دارد؟ چرا؟
- ۳) چرا در تمام مراحل آزمایش (خصوصاً مرحله دوم، جمع بردارها و تعادل دورانی) خط کش را افقی قرار می‌دهید؟
- ۴) در مرحله اول آزمایش، آیا تحقیق رابطه  $\sum \vec{\tau} = \vec{0}$  فقط در مورد محور دوران  $O$  (تکیه‌گاه) باید صورت گیرد؟

## جدول‌های آزمایش شماره ۵ تبادل اجسام

جدول ۱- برآیند دو بردار (نیرو)

$T_A(gr)$	$T_B(gr)$	$T_C(gr)$	$\theta$

جدول ۲- تبادل انتقالی

$T_A(gr)$	$T_B(gr)$	$T_C(gr)$	$T_D(gr)$	$\alpha$	$\beta$

جدول ۳- تعیین جرم خطکش

$F(N)$	$OA(cm)$

جدول ۴- تبادل خطکش (۱)

$F(N)$	$\alpha$

جدول ۵- تبادل خطکش (۲)

$F(N)$	$\beta$