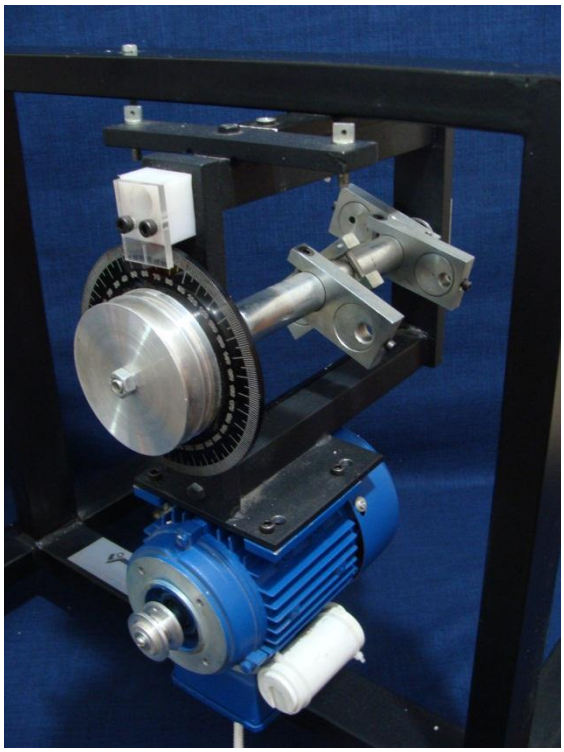
Shargh Azma

آزمایش شماره ۴

بالانس

استاتیکی و دینامیکی



شکل -۱

عنوان آزمایش :

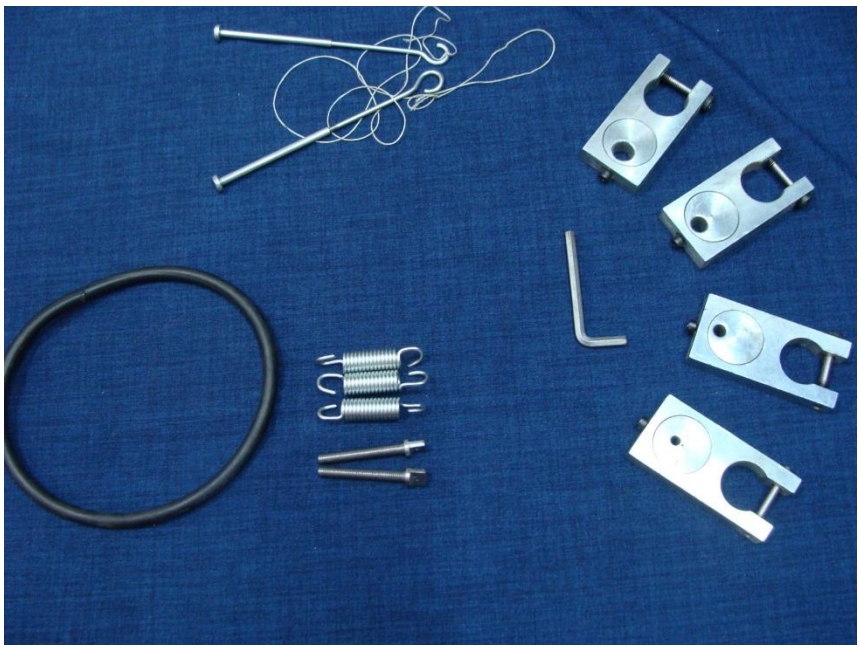
بالانس استاتیکی و دینامیکی

هدف آزمایش

- بالانس کردن یک سیستم متشکل از اجرام دوران کننده از لحاظ استاتیکی و دینامیکی
- به دست آوردن روابط مورد نیاز جهت بالانس کردن نیروها با توجه به شرایط لازم برای بالانس استاتیکی و دینامیکی
- مقایسه روش برداری و تحلیلی برای به دست آوردن موقعیت اجرام دوران کننده
- بررسی اثرات ناشی از نابالانسی

وسایل آزمایش

یک سیستم بالانسینگ شامل موتور ، محور فولادی ، پولی ، سه فنر و یک قاب که این قطعات روی آن سوارند ، ۴ عدد وزنه باجرم و مرکز جرم مختلف که با ۴ پیچ روی محور نصب می شوند ، تسمه که عامل انتقال حرکت دورانی از موتور به پولی و در نتیجه به محور است ، تعداد زیادی وزنه جهت اندازه گیری خروج از مرکز وزنه ها ، دو عدد کفه وزنه که با نخی به هم وصل بوده و وزنه ها روی آن قرار می گیرند، یک خط کش و نقاله و پرگار



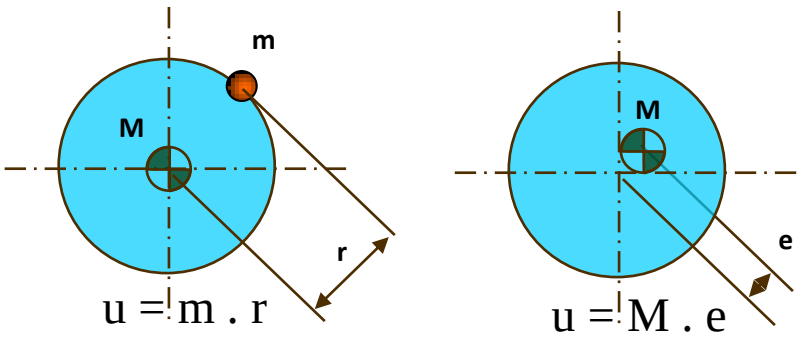
شکل -۲

مقدمه

با توجه به اینکه ماشینها و موتورها امروزه دارای سرعت دورانی بسیار زیادی بوده و روز به روز نیز سرعتشان افزایش می یابد، لازم است کلیه قسمتهایی که دارای حرکت دورانی هستند تا حد امکان ، کاملاً بالانس و متعادل شوند . عدم بالانس بودن اجزای دورانی در این ماشینها از یک طرف سبب افزایش نیروهای وارده بر تکیه گاه ها و و افزایش تنش در اجزاء ماشین می شوند و از طرف دیگر باعث به وجود آمدن ارتعاشات نامطلوب و خطرناک در ماشین می شوند.

نابالانسی عبارت است از توزیع غیر یکنواخت جرم حول محور تقارن روتور.
در استاندارد ISO نابالانسی بدین صورت تعریف شده است: وضعیتی در روتور که در اثر انتقال ارتعاشات حاصل از نیروهای گریز از مرکز به بیرینگها، ایجاد میشود. تصحیح این توزیع نابرابر جرم در روتور را بالانسینگ می گوییم. در حقیقت بالانسینگ خطاهای ناشی از ساخت معیوب را پوشش می دهد.

قطعات تولیدی دوار معمولاً بعد از تولید به علت تلرانسهای موجود در فرآیند تولید، دارای مقداری نابالانسی هستند. نابالانسی بر اساس تعریف عبارتست از حاصلضرب جرم در خارج از مرکزی:



شکل -۳

خارج از مرکزی هایی که هنگام تراشکاری ایجاد می گردد، لنگی هایی که هنگام عملیات ماشین کاری به وجود می آید، خلل و فرج های ایجاد شده در هنگام ریخته گری نصب های غیرمتقارن، سوراخ کاری های غیرمتقارن و ... همگی باعث ایجاد یکی از دو نوع نابالانسی نشان داده شده می باشد.
به طور کلی نابالانسی در هنگام ساخت موتور و همچنین بعد از گذشت مدت زمانی از کار کردن موتور به وجود می آید که دلایل آن به طور مختصر به صورت زیر است.

دلایل اصلی نابالانس شدن یک روتور در حین ساخت چهار مورد زیر می باشند:

- مواد جرم مخصوص یکسانی ندارند.
- سوراخها بدرستی به موازات مرکز تراشیده نشده اند.
- نقص هایی که در هنگام ماشینکاری دورانی یا متقارن بوجود می آید.
- خطاهای مونتاژ کردن.
- سایش های غیر یکنواخت
- جرم گیری های غیر یکنواخت

همچنین به دلایل زیر نابالانسی میتواند زمانی که ماشین بصورت عادی کار میکند نیز بوجود بیاید:

- انباشت و رسوب غیر منتظره مواد در پروانه پمپ یا فن
- آسیب دیدگی یا کنده شدن پره ها
- اغتشاش حرارتی روتور در اثر اختلاف دمای بوجود آمده در حین کار
- شوک های مکانیکی
- تغییر شکل ناشی از آزاد شدن تنش های درونی
- خزش

بطور کلی بالانسینگ به دو صورت کارگاهی (بر روی ماشین بالانس) و در محل (بر روی فونداسیون و بیرینگ اصلی و دور نامی ماشین) انجام میپذیرد. هریک از روشهای فوق دارای مزایا و معایب خاص خود میباشد.

بالانس در کارگاه :

ماشین بالانس یک وسیله برای بالانس روتورها قبل از نصب می باشد. آخرین مرحله فرآیند تولید یک روتور عملیات بالانس است که عموماً روی ماشین بالانس انجام می گیرد. علاوه بر این بعضی روتورها حتماً باید روی ماشین بالانس، بالانس شوند مانند روتور الکترو موتورها زیرا دسترسی به روتور هنگام نصب در ماشین وجود ندارد. در مواردی نیز نیاز به بالانس مودال روتور می باشد. از لحاظ عملکرد نیز ماشین های بالانس با هم متفاوتند. لذا ماشین های بالانس کارگاهی را میتوان به صورت زیر دسته بندی نمود.

ماشین های بالانس معمولی

- ماشین های با تکیه گاه روان

جهت بالانس روتورهای بزرگ و بالانس در سرعت های پایین استفاده می شود. در خطوط تولیدی روتورها نیز عموماً از این نوع ماشین استفاده می شود.

- ماشین های با تکیه گاه صلب

عموماً در تعمیرگاه ها و جهت بالانس روتورهای متنوع استفاده می شود. برای رسیدن به حساسیت های بالاتر لازم است سرعت دورانی را افزایش داد.

ماشین های بالانس ویژه

- ماشین های بالانس خط تولید

عموماً در خطوط تولیدی روتور استفاده می شود و معمولاً بصورت کاملاً اتوماتیک عملیات نصب روتور روی دستگاه، اندازه گیری و اصلاح و پیاده سازی از روی دستگاه را انجام می دهد.

- ماشین های بالانس دقت بالا

برای بالانس روتورهای پرسرعت بالای ۱۰۰۰۰rpm استفاده می شود (روتورهای کوچک کمپرسورها،

توربوشاژرها و ...)

ماشین های بالانس توربو ماشین ها (مودال)

روتور توربین ها عموماً بالای فرکانس طبیعی شافت کار می کنند. بنابراین لازم است این نوع روتورها را در سرعت های مودال و سرعت های کاری بالانس نمود. لذا نیاز به تجهیزات خاص اندازه گیری مودال و ایجاد شرایط دوران موتور در سرعت کاری یعنی استفاده از اطاق خلأ دارند.

منظور از بالانس استاتیکی این است که مرکز ثقل اجرام دوران کننده بر محور دوران منطبق باشد. بنابراین برای بالانس کردن می بایست اثرات ناشی از نیروهای وزن را خنثی کنیم .

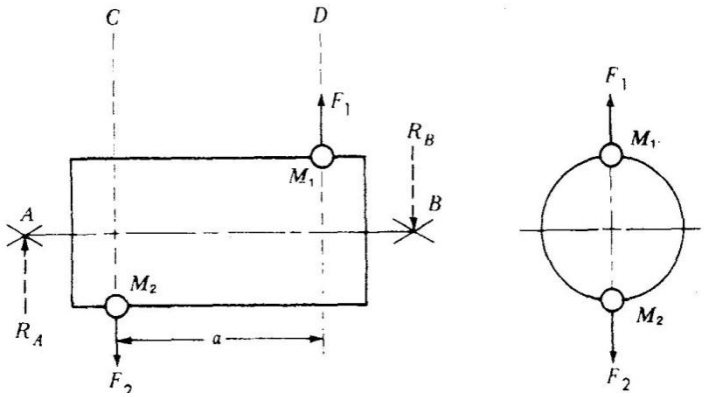
برای بالانس دینامیکی اثرات نیروهای گریز از مرکز یا اینرسی را بایستی حذف کنیم.

. برای این کار در ابتدا با آزمایش جرم اجرام دوران کننده را به دست می آوریم و از طریق روش برداری و تحلیلی موقعیت اجرام دوران کننده را تعیین می کنیم. بنابراین با مقایسه این دو روش خطای حاصل از روش برداری مشخص می گردد. سپس با بستن اجرام در محل موقعیت های تعیین شده بالانس استاتیکی و دینامیکی مجموعه اجرام را مورد بررسی قرار می دهیم . در این آزمایش با دقتی که به کار گرفته می شود سعی بر آن است که بتوان این شرایط را فراهم کرد و اجرام دورانی که در صفحات عرضی متفاوت و شعاع های دورانی مختلف قرار دارند را از لحاظ استاتیکی و دینامیکی بالانس نمود.

تئوری

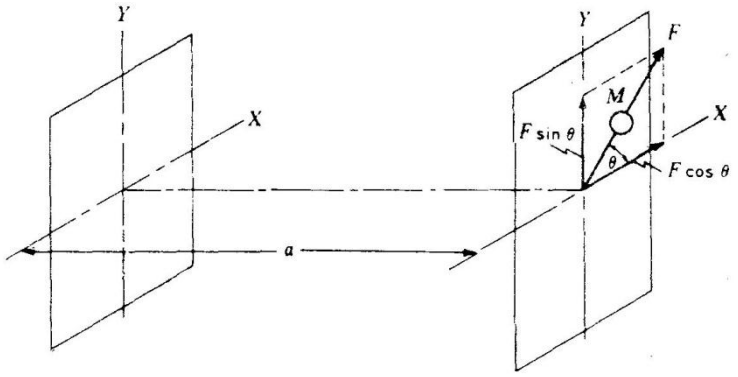
در شکل زیر یک روتور حاوی ۲ جرم متمرکز M_1 و M_2 واقع در دو صفحه ی عرضی مختلف نشان داده شده است.واضح است که نیروهای استاتیکی بالانس بوده و نیروهای دینامیکی F_1 و F_2 نیز با یکدیگر مساوی بوده و بنابر این بالانس می باشند.ولی F_1 و F_2 یک کوپل نابالانس $F_1 \cdot a$ را ایجاد کرده که موجب بروز عکس العملهای R_A و R_B در یاتاقانهای A و B می گردد .منظور از بالانس و یا توازن یک وسیله

ی گردان آن است که نیروهای موثّر در یاتاقانها را به طور کامل حذف کنیم و یا تا حد امکان کاهش دهیم .بنابر این ملاحظه میشود که نه تنها نیروها باید بالانس بوده ،بلکه گشتاورها نیز باید بالانس باشند.



شکل-۴

ابتدا در شکل زیر برای مشخص کردن گشتاور یک نیرو حول یک صفحه، دو صفحه ی موازی به فاصله ی a از یکدیگر را در نظر میگیریم. فرض میکنیم F نیرویی واقع در صفحه ی سمت راست بوده که نسبت به محور X زاویه θ می سازد. این نیرو میتواند یک نیروی اینرسی موثّر بر روی جرم گردان M باشد.گشتاور نیروی F نسبت به صفحه ی سمت چپ برابر است با مجموع گشتاور مولفه ی قائم F نسبت به محور X و گشتاور مولفه ی افقی F نسبت به محور Y .این دو گشتاور به ترتیب برابر $FaSin\theta$ و $FaCos\theta$ می باشند.



شکل-۵

برای نشان دادن روش بالانس،یک مجموعه جرم واقع در چند صفحه ی عرضی را در نظر میگیریم. مراحل کار بدین شرح است:

۱. دو صفحه عرضی A و B را به عنوان صفحات مرجع در نظر میگیرم.

۲. فرض می کنیم فاصله ی جرم های M_1 ،M_2 ، M_3 و غیره نسبت به صفحه A در امتداد محور به ترتیب برابر a_1 ، a_2 ،a_3 و غیره بوده باشد.فواصل سمت راست صفحه A مثبت منظور شده(+) و فواصل سمت چپ این صفحه منفی (-) منظور میگردد.

۳. چون نیروی اینرسی برابر $F = MR\omega^2$ می باشد، بنابراین نیروهای F متناسب با MRمی باشند.گشتاورهای نسبت به صفحه ی A را میتوان با اضافه کردن جرم M_B در صفحه B به گونه ای بالانس کرد،که مجموع گشتاورهای حول محور X و حول محور Yصفر باشند .این منظور به شرطی حاصل می گردد که :

$$\sum MraSin\theta + M_B r_B a_B Sin\theta_B = 0$$
$$\sum MraCos\theta + M_B r_B a_B Cos\theta_B = 0 \qquad (۱)$$

۴. سپس به منظور بالانس نمودن تمام نیروهای در امتداد محور X ، Y میتوان جرم M_Aرا در صفحه ی Aاضافه کرد که در این صورت:

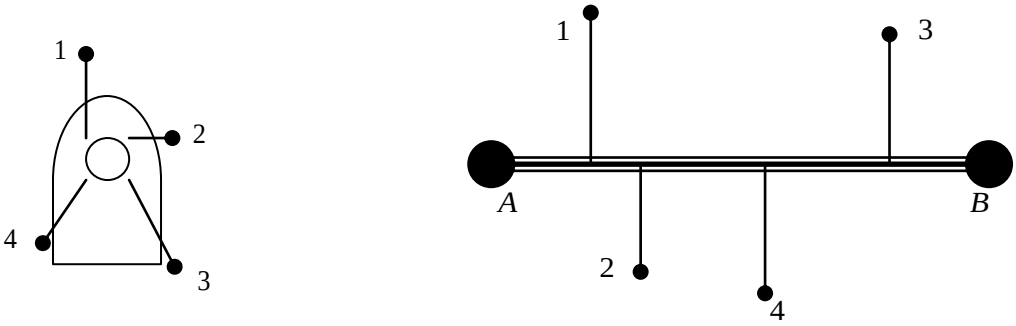
$$\sum MrCos\theta + M_A r_A Cos\theta_A = 0$$
$$\sum MrSin\theta + M_A r_A Sin\theta_A = 0 \qquad (۲)$$

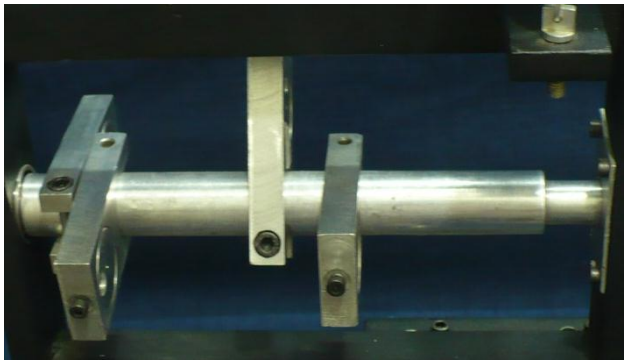
اگر روابط بالا برقرار باشند ،مجموعه در بالانس دینامیکی خواهد بود.با توجّه به روابط مشاهده میشود که اگر مجموعه در بالانس دینامیکی باشد در بالانس استاتیکی نیز خواهد بود.

توجّه میکنیم که در مرحله ی چهارم وقتی که جرم M_A جهت بالانس مجموعه به آن اضافه میگردد ،این جرم میبایست حتماً در صفحه ی A اضافه گردد ،چرا که در غیر این صورت توازن گشتاور ها نسبت به صفحه ی A که قبلاً تامین شده بود از بین میرود.

حال با توجه به توضیحاتی که در بالا جهت بالانس نمودن داده شد ، به بررسی سیستمی که در آزمایشگاه داریم ، می پردازیم .

در یک سیستم دورانی ، توزیع جرم ناپیوسته ای داریم . می خواهیم اثرات ناشی از وزن (بالانس استاتیکی) و نیروهای اینرسی (بالانس دینامیکی) را حذف کنیم.





شکل -۶ : نابالانسی های ۱ ، ۲ ، ۳ و ۴ در صفحات عرضی متفاوت و شعاع های دوران متفاوت قرار دارند.

برای بالانس استاتیکی ، بایستی گشتاور نیروهای وزن حول محور دوران صفر باشد ؛

$$\sum_{i=۱}^{۴} m_i \vec{r}_i = ۰ \qquad (۳)$$

در صورت تجزیه بردار r ، داریم :

$$\sum_{i=1}^{4} m_i r_i \cos\theta_i = 0 \qquad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{4} m_i r_i \sin\theta_i = 0 \qquad (5)$$

که در این روابط:

m: جزم مؤثر اجرام دوران کننده

r: فاصله مرکز ثقل اجرام دوران کننده از محور دوران

برای بالانس دینامیکی ، شرایط لازم و کافی عبارتند از:

الف : برآیند نیروهای گریز از مرکز صفر باشد ؛

$$\sum_{i=1}^{4} m_i r_i \omega^2 = 0 \quad \Rightarrow \quad \sum_{i=1}^{4} m_i r_i = 0 \qquad (6)$$

ب: برآیند گشتاورهای حاصل از نیروهای گریز از مرکز صفر باشد ؛

$$\sum_{i=1}^{4} m_i \vec{r}_i a_i \omega^2 = 0 \quad \Rightarrow \quad \sum_{i=1}^{4} m_i \vec{r}_i a_i = 0 \qquad (7)$$

با تجزیه بردار r داریم :

$$\sum_{i=1}^{4} m_i r_i a_i \cos\theta_i = 0 \qquad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{4} m_i r_i a_i \sin\theta_i = 0 \qquad (9)$$

که در این روابط ؛

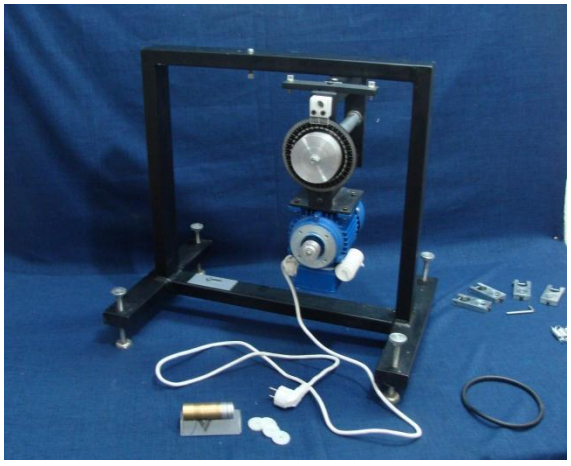
a: فاصله اجرام از یک صفحه مرجع عمود بر محور دوران می باشد.

وسایل مورد نیاز :

دستگاه بالانس ، وزنه و ۲ عدد کفه وزنه، ۴ عدد وزنه با خروج از مرکزی متفاوت، ۳ عدد فنر، پیچ و اتصالات

شرح دستگاه

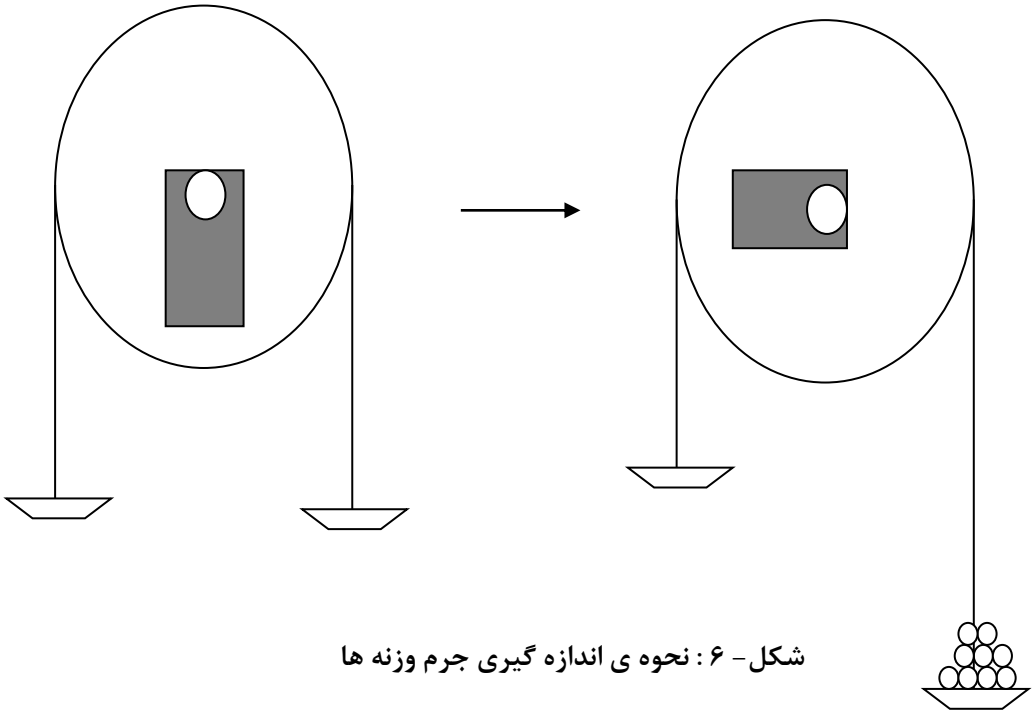
دستگاه آزمایش شامل یک سیستم بالانسینگ موتور، سه فنر و یک قاب که این قطعات روی آن سوارند. چهار عدد وزنه با مرکز جرم مختلف که با چهار پیچ بر روی محور نصب می شوند. تعدادی وزنه جهت اندازه گیری جرم وزنه های خروج از مرکزی. دو عدد کفه وزنه که با نخی به هم وصل بوده و وزنه ها روی آن قرار می گیرد برای تعیین جرم وزنه ها به کار می رود.



شکل -۵

روش انجام آزمایش

ابتدا جرم وزنه ها را اندازه گیری کنید بدین صورت که هر کدام از وزنه ها را جداگانه به محور می بندیم روی ۲ کفه وزنه که به نخ آویزان هستند آنقدر وزنه می گداریم تا اینکه وزنه از حالت قائم به حالت افقی درآید. با داشتن جرم مجموع وزنه ها جرم وزنه خروج از مرکزی هم بدست می آید زیرا گشتاور جرم ساچمه ها در داخل کفه حول مرکز برابر است باجرم وزنه درفاصله مرکز جرم تا محور.



شکل- ۶ : نحوه ی اندازه گیری جرم وزنه ها

به دلیل اینکه R (شعاع صفحه) در روابط حذف می گردد لزومی برای اندازه گیری آن وجود ندارد.

با محاسبه ی خروج از مرکز هر وزنه طبق روابط بیان شده در بخش تئوری ابتدا بالانس استاتیکی و سپس بالانس دینامیکی را بر روی سیستم اعمال کنید

بعد از اطمینان از صحت محاسبات با کمک مسول آزمایشگاه دستگاه را روشن کنید و وضعیت بالانس سیستم را بررسی کنید.

سوالات

۱) چرا باید نیروهای بالانس نشده در ماشین ها حذف شود؟
۲) چه روشهای دیگری برای بالانس کردن اجرام دوار میشناسید؟
۳) به نظر شما چه محدودیت هایی درمورد بالانس کردن اجرام دوار در آزمایش وجود داشت؟
۴) در روش آزمایش، خطاها و محدودیت ها و نتایج بحث کنید.