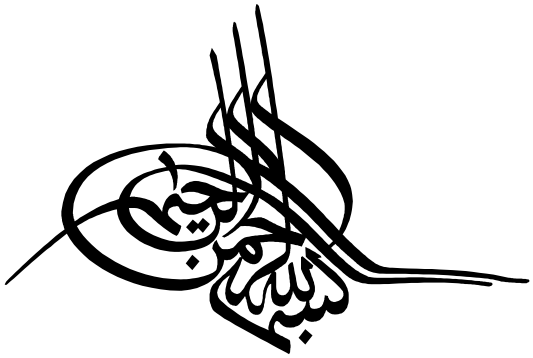


ایستایی و فن ساختمان

سری کتاب‌های کمک آموزشی کارشناسی ارشد

مجموعه معماری

مؤلف : فائزه یداللهی

سرشناسه :	یداللهی، فائزه
عنوان:	ایستایی و فن ساختمان
مشخصات نشر:	تهران، مشاوران صعود ماهان، ۱۴۰۱
مشخصات ظاهری:	۳۲۷ ص
فروست:	سری کتاب‌های کمک آموزشی کارشناسی ارشد
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۴۵۸-۸۳۲-۴
وضعیت فهرست نویسی:	فیپای مختصر
یادداشت:	این مدرک در آدرس http://opac.nlai.ir قابل دسترسی است.
شماره کتابشناسی ملی:	۳۸۸۵۰۳

کتاب:.....ایستایی و فن

ناشر:.....مشاوران صعود ماهان

مدیر مسئول:.....دکتر مجید سیاری

مولف:.....فائزه یداللهی

مسئول تولید: .....سمیه بیگی

نوبت و تاریخ چاپ: .....اول / ۱۴۰۱

شمارگان: .....۱۰۰۰ جلد

قیمت:..... .....۳/۵۹۰/۰۰۰ ریال

شابک:.....۹۷۸-۶۰۰-۴۵۸-۸۳۲-۴ :ISBN

انتشـــارات مشاوران صعود ماهان: خیابان ولیعصر، بالاتر از تقـاطع مطهری،

روبروی قنادی هتل بزرگ تهـــران، جنب بانک ملی، پلاک ۲۰۵۰

تلفن: ۴- ۸۸۱۰۰۱۱۳

سخن ناشر

«ن والقلم و ما یسطرون»

کلمه نزد خدا بود و خدا آن را با قلم بر ما نازل کرد.

به پاس تشکر از چنین موهبت الهی، موسسه ماهان درصدد برآمده است تا در راستای انتقال دانش و مفاهیم با کمک اساتید مجرب و مجموعه کتب آموزشی خود برای شما داوطلبان ادامه تحصیل در مقطع کارشناسی ارشد گام موثری بردارد.

امید است تلاش‌های خدمتگزاران شما در این موسسه پایه‌گذار گام‌های بلند فردای شما باشد.

مجموعه کتاب‌های کمک آموزشی ماهان به‌منظور استفاده داوطلبان کنکور کارشناسی ارشد سراسری و آزاد تالیف شده‌اند. در این کتاب‌ها سعی کرده‌ایم با بهره‌گیری از تجربه اساتید بزرگ و کتب معتبر داوطلبان را از مطالعه کتاب‌های متعدد در هر درس بی‌نیاز کنیم.

دیگر تالیفات ماهان برای سایر دانشجویان به‌صورت زیر می‌باشد:

- **مجموعه کتاب‌های ۸ آزمون:** شامل ۵ مرحله کنکور کارشناسی ارشد ۵ سال اخیر به همراه ۳ مرحله آزمون تالیفی ماهان همراه با پاسخ تشریحی می‌باشد که برای آشنایی با نمونه سوالات کنکور طراحی شده است. این مجموعه کتاب‌ها با توجه به تحلیل ۳ ساله اخیر کنکور و بودجه‌بندی مباحث در هر یک از دروس، اطلاعات مناسبی جهت برنامه‌ریزی درسی در اختیار دانشجو قرار می‌دهد.
- **مجموعه کتاب‌های کوچک:** شامل کلیه نکات کاربردی در گرایش‌های مختلف کنکور کارشناسی ارشد می‌باشد که برای دانشجویان جهت جمع‌بندی مباحث در ۲ ماهه آخر قبل از کنکور مفید می‌باشد.

بدین‌وسیله از مجموعه اساتید، مولفان و همکاران محترم خانواده بزرگ ماهان که در تولید و به روزآوری تالیفات ماهان نقش موثری داشته‌اند، صمیمانه تقدیر و تشکر می‌نماییم.

دانشجویان عزیز و اساتید محترم می‌توانند هرگونه انتقاد و پیشنهاد در خصوص تالیفات ماهان را از طریق سایت ماهان به آدرس mahan.ac.ir با ما در میان بگذارند.

موسسه آموزش عالی آزاد ماهان

سخن مؤلف

آشنایی با انواع سازه‌ها و درک چگونگی رفتار آنها در شرایط مختلف، از ملزومات دانسته‌های یک معمار در زمینه طراحی و اجرای معماری می‌باشد. در این زمینه مطالب گسترده‌ای وجود دارد که بازه وسیعی از محاسبات خشک سازه‌ای تا درک مفهومی سازه را در برمی‌گیرد. کتاب پیش‌رو تلاشی است برای جمع‌آوری کلیه مطالبی که یک معمار باید در طراحی اولیه خود در نظر بگیرد و با دانستن آن و اشراف کامل بر رفتار سازه‌ای که طراحی می‌کند، تغییرات آن را پیش‌بینی نماید. امید است بیان این مطالب به زبان معماری و به دور از محاسبات پیچیده، انگیزه‌ای برای توجه هر چه بیشتر معماران به بخش فنی ساختمان باشد.

فائزه یداللهی

فهرست

عنوان | صفحه

فصل اول: علم مکانیک ۱۱
بردارها ۱۲
مشخصه‌های بردار ۱۲
ویژگی‌های بردار ۱۲
بردارهای هم‌سنگ ۱۳
بردارهای هم‌ارز ۱۵
نیروها ۱۵
دسته‌بندی نیروها ۱۵
دسته‌بندی بارهای وارد بر ساختمان ۱۵
تغییرات دما ۱۹
بار ناشی از نشست ۱۹
منابع ساختمان ۲۱
گشتاور ۲۱
کوپل یا زوج نیرو ۲۲
تکیه‌گاه‌ها ۲۳
عکس‌العمل در تکیه‌گاه‌ها ۲۳
سازه‌های نامعین استاتیکی ۲۶
تعادل ۳۰
سوالات چهارگزینه‌ای تألیفی و پاسخنامه فصل اول ۳۶
سوالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل اول ۳۷
سوالات چهارگزینه‌ای آزاد و پاسخنامه فصل اول ۴۸
فصل دوم: مقاومت مصالح ۴۹
تنش ۵۰
کرنش ۵۱
ضریب پواسون مصالح ۵۱
اثر دوسوم ۵۳
مصالح ایزوتروپیک ۵۳
نمودار تنش – کرنش مصالح ۵۴
سوالات چهارگزینه‌ای تألیفی و پاسخنامه فصل دوم ۵۷
سوالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل دوم ۵۸

فصل سوم: سازه‌های کابلی ۵۹
کابل‌ها ۶۰
زنجیروواره‌ها ۶۲
مطالعات موردی ۶۴
سیستم‌های کششی ۶۸
سازه‌های با یک انحنا ۶۹
مطالعات موردی پل‌های معلق با یک انحنا ۷۰
مطالعات موردی سازه‌های معلق با کابل‌های مضاعف ۷۵
سازه‌های با انحنای دوگانه ۷۷
مطالعات موردی سازه‌های معلق با انحنای دوگانه ۷۷
سؤالات چهارگزینه‌ای تألیفی و پاسخنامه فصل سوم ۸۴
سؤالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل سوم ۸۵
فصل چهارم: خرپا ۹۵
انواع خرپا ۹۷
تعریف نیروهای داخلی ۹۹
نیروهای داخلی خرپا ۱۰۰
خرپای پایدار و معین از نظر داخلی و خارجی ۱۱۰
سؤالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل چهارم ۱۱۳
فصل پنجم: سازه‌های فضاکار ۱۱۹
تکیه‌گاه‌ها ۱۲۱
چرا سازه‌هایی با رفتار دو طرفه؟ ۱۲۲
سیستم نصب پانتادوم ۱۲۹
سازه‌کش بستی ۱۳۱
مطالعات موردی سازه‌های کش بستی ۱۳۲
گنبدهای ژئودزیک ۱۳۵
هندسه ۱۳۵
سؤالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل پنجم ۱۳۹
فصل ششم: ستون‌ها ۱۴۵
طول ستون ۱۴۶
کمانش ۱۴۷
تکیه‌گاه‌های انتهایی ۱۴۸
راهکارهای کاهش ضریب لاغری ۱۴۹
فرم ستون ۱۴۹
سؤالات چهارگزینه‌ای تألیفی و پاسخنامه فصل ششم ۱۵۰
سوالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل ششم ۱۵۱
فصل هفتم: تیرها ۱۵۳
تعریف تیر ۱۵۴

تیرهای معین و نامعین ۱۵۵
اقسام بارگذاری تیرها ۱۵۵
گشتاور مقاوم و نیروی برشی مقاوم ۱۵۶
تنش‌های درون تیر ۱۶۶
منحنی‌های تنش ۱۶۷
تقویت کشش ۱۶۹
تنش‌های برشی در یک تیر ۱۶۹
توزیع تنش برشی ۱۶۹
تیرهای طره‌ای ۱۷۰
طره‌ها در مقایسه با تیرهای یک طرف گیردار ۱۷۱
مطالعات موردی طره‌ها ۱۷۶
تیرچه‌ها ۱۷۸
دال‌ها ۱۸۰
سؤالات چهارگزینه‌ای تألیفی و پاسخنامه فصل هفتم ۱۸۵
سؤالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل هفتم ۱۸۶
سوالات چهارگزینه‌ای آزاد و پاسخنامه فصل هفتم ۲۰۰
فصل هشتم: قاب‌ها ۲۰۱
پایداری جانبی ۲۰۳
دهانه‌ها ۲۰۶
قاب‌های صلب ۲۰۶
قاب‌های صلب چندگانه ۲۰۷
سؤالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل هشتم ۲۰۹
فصل نهم: سازه‌های چادری ۲۱۱
طراحی سازه‌های چادری ۲۱۲
تکیه‌گاه‌ها ۲۱۳
مصالح ۲۱۴
لبه‌ها، مرزها ۲۱۵
مطالعات موردی چادرها ۲۱۵
سؤالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل نهم ۲۱۹
فصل دهم: سازه‌های هوای فشرده ۲۲۳
سازه‌های متکی بر هوا ۲۲۵
اشکال گوناگون ۲۲۵
شرایط بارگذاری ۲۲۶
بارهای مرده ۲۲۶
بارهای زنده ۲۲۷
بارهای ناشی از فشار هوا ۲۲۷
کنترل افت فشار ۲۲۸

مصالح ۲۲۹
مهارکردن (تکیه‌گاه) ۲۲۹
مطالعات موردی سازه‌های متکی بر هوا ۲۳۰
رفتار سازه‌ای ۲۳۲
سؤالات چهارگزینه‌ای تألیفی و پاسخنامه فصل دهم ۲۳۵
سؤالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل دهم ۲۳۶
فصل یازدهم: قوس‌ها و طاق‌ها ۲۳۹
طاق زدن ۲۴۰
قوس‌های مصالح بنایی ۲۴۱
رفتار سازه‌ای ۲۴۲
خط رانش ۲۴۳
پایداری ۲۴۴
پشت‌بند معلق ۲۴۵
قوس‌های غیربنایی ۲۴۷
طاق‌ها ۲۵۱
طاق‌های استوانه‌ای ۲۵۱
طاق‌های گنبدی ۲۵۴
مطالعات موردی طاق‌های گنبدی ۲۵۵
لچکی‌ها ۲۵۶
کشش شعاعی در گنبدهای رنسانس ۲۵۸
طاق‌های لاملا ۲۵۸
سؤالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل یازدهم ۲۶۱
فصل دوازدهم: پوسته‌ها ۲۶۵
انواع پوسته‌ها ۲۶۶
پوسته‌های گنبدی سین کلاسیک ۲۶۷
رفتار سازه‌ای ۲۶۷
مقاومت رانشی ۲۶۸
مطالعات موردی پوسته‌های گنبدی ۲۶۹
پوسته‌های قابل توسعه ۲۷۲
پوسته‌های زین‌اسبی ۲۷۶
سطوح پیچیده ۲۷۸
سؤالات چهارگزینه‌ای تألیفی و پاسخنامه فصل دوازدهم ۲۸۷
سؤالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل دوازدهم ۲۸۹
فصل سیزدهم: سازه‌های ورق تا شده ۲۹۱
ورق‌های تاشده ۲۹۲
رفتاره سازه‌ای ۲۹۲
ورق‌های تاشده کوتاه ۲۹۳

ورق‌های تاشده بلند ۲۹۳
فرم بهینه مقطع ۲۹۵
مصالح ۲۹۶
مطالعات موردی سازه‌های ورق تاشده ۲۹۶
سؤالات چهارگزینه‌ای تألیفی و پاسخنامه فصل سیزدهم ۳۰۱
سؤالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل سیزدهم ۳۰۳
فصل چهاردهم: طراحی سازه ساختمان‌های بلند ۳۰۵
بار وارده بر ساختمان‌های بلند ۳۰۶
سازه‌های متداول برای ساختمان‌های بلند ۳۰۷
سازه هسته برشی ۳۰۸
سیستم‌های قاب صلب ۳۰۹
سیستم معلق ۳۱۱
سازه دیاگرید ۳۱۲
قاب‌های فضایی عظیم ۳۱۴
سازه‌های پیش‌ساخته ۳۱۵
سازه‌های مدرن ۳۱۶
نماهای سازه‌ای ۳۱۷
طبقات نرم سازه‌ای ۳۱۸
مقایسه سیستم‌های سازه‌ای بلند ۳۱۸
سؤالات چهارگزینه‌ای تألیفی و پاسخنامه فصل چهاردهم ۳۲۱
سؤالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل چهاردهم ۳۲۴
منابع ۳۲۷

فصل اول

علم مکانیک

- بردارها
- ویژگی‌های بردار
- بردارهای هم‌ارز
- دسته‌بندی نیروها
- گشتاور
- تکیه‌گاه‌ها
- سازه‌های نامعین استاتیکی
- مشخصه‌های بردار
- بردارهای هم سنگ
- نیروها
- دسته‌بندی بارهای وارد بر ساختمان
- کوپل یا زوج نیرو
- عکس‌العمل در تکیه‌گاه‌ها
- تعادل
- نمایش برداری نیرو

علم مکانیک

بردارها

کمیت نرده‌ای (عددی/ اسکالر): کمیت‌هایی هستند که تنها با اندازه مشخص می‌شوند، مانند جرم، وزن، دما، ....

کمیت برداری: کمیت‌هایی که علاوه بر اندازه، جهت و راستا نیز در آنها اهمیت دارد. مانند نیرو که واحد اصلی آن در سیستم SI، نیوتن می‌باشد.

مشخصه‌های بردار

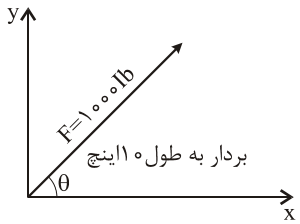
۱- بزرگی (مقدار): اندازه بردار که با یک عدد مشخص می‌شود، همان طول پیکان نیروست.

۲- جهت: بردار با یک پیکان (→) نمایش داده می‌شود که جهت آن، همان جهت نیروست.

۳- راستا: خطی نامحدود است که پیکان در امتداد آن قرار دارد.

۴- نقطه اثر: مکانی که بردار در آن وارد می‌شود.

نمایش برداری نیرو



lb : **پوند (معادل ۴/۴۴۸ نیوتن)**

ویژگی‌های بردار

۱ – جمع برداری

اندازه بردار برآیند، طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

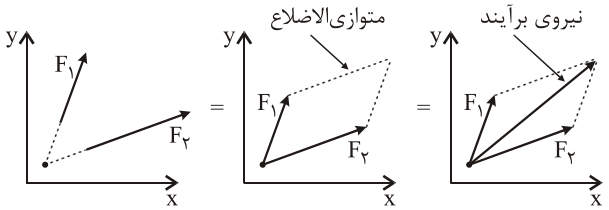
$$|R| = \sqrt{|\vec{A}|^2 + |\vec{B}|^2 + 2|\vec{A}|.|\vec{B}|.\cos\alpha}$$

راستای بردار برآیند، طبق دو روش قابل محاسبه است که در شکل زیر نمایش داده می‌شود:

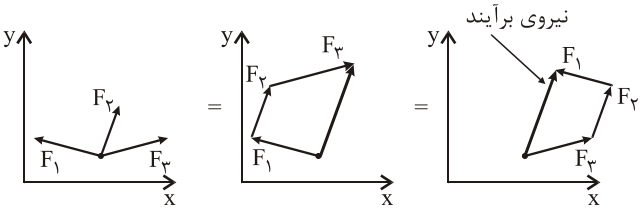
۱) روش متوازی‌الاضلاع

۲) روش مثلث

روش‌های تعیین برآیند نیروهای چندتایی



روش متوازی‌الاضلاع (برای دو نیرو)



روش ترسیمی (برای سه یا چند نیرو)

نکته: در جمع برداری، خاصیت جابجایی وجود دارد.

$$\begin{cases} A+B=C_1 \\ B+A=C_2 \end{cases} \Rightarrow C_1=C_2$$

۲- تفریق برداری

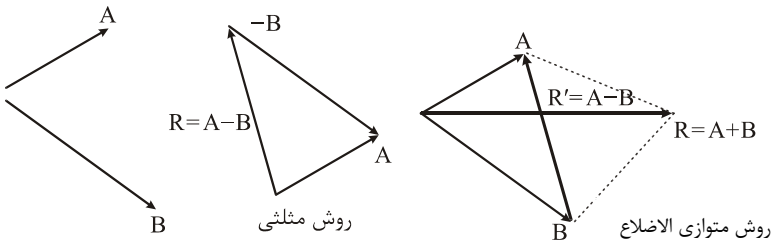
اندازه بردار تفاضل:

$$|\vec{R}|=\sqrt{|\vec{A}|^2+|\vec{B}|^2-2|\vec{A}|.|\vec{B}|.\cos\alpha}$$

راستای بردار تفاضل:

برای محاسبه راستای بردار تفاضل، کافی است بردار (A) را با $(-B)$ جمع کنید.

$$A-B=A+(-B)$$



۳- تجزیه بردار

در جهت عکس عمل جمع‌برداری، می‌توان یک بردار منفرد را به دو مولفه تقسیم کرد، به‌طوری‌که جمع برداری آن‌ها برابر همان نیروی اصلی باشد.

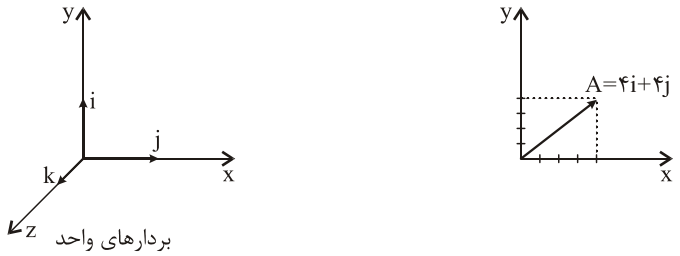
اضلاع مستطیل، نشان‌دهنده مولفه‌های نیرو و قطر آن نشان‌دهنده نیروی اصلی است.

تجزیه نیرو به مولفه‌های آن در جهت عمودی و افقی

۴- بردارهای یکه (واحد)

تجزیه بردار به مولفه‌های واحد آن بر روی دستگاه مختصات در راستای x، y، z را گویند که به ترتیب با i، j، k نشان داده می‌شود.

برای مثال:



اندازه بردار A برابر است با:

$$|\vec{A}|=\sqrt{۴^۲+۴^۲}=\sqrt{۳۲}$$

بردارها از طریق مولفه‌های واحدشان نیز جمع‌پذیرند:

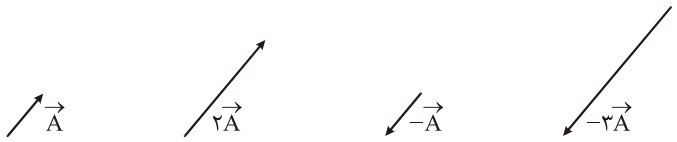
$$\begin{cases}A=۳i-۲j+k\\B=i+۴j-۲k\end{cases}\Rightarrow\begin{cases}A+B=۴i+۲j-k\\A-B=۲i-۶j+۳k\end{cases}$$

$$|A|=\sqrt{۹+۴+۱}=\sqrt{۱۵}$$
$$|B|=\sqrt{۱+۱۶+۴}=\sqrt{۲۱}\quad\Rightarrow\quad|A+B|=|A|+|B|$$
$$|A+B|=\sqrt{۱۶+۴+۱}=\sqrt{۲۱}$$

مشاهده کردید که مقدار $|A+B|$ از روی مولفه‌های بردار $A+B=۴i+۲j-k$ محاسبه شده و استثنائا با مقدار بردار B یکسان شد.

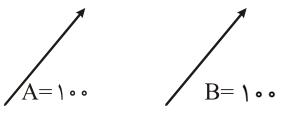
۵- ضرب اسکالر (عددی) بردار

به معنی ضرب یک عدد ثابت در یک بردار است.

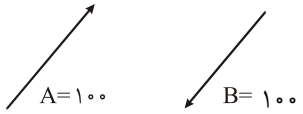


بردارهای هم‌سنگ

دو بردار برابر و هم‌سنگ، دو بردار با جهت، راستا و اندازه یکسان هستند و کاملا مشابه یکدیگرند. ملاک برابری، خود بردارها هستند.

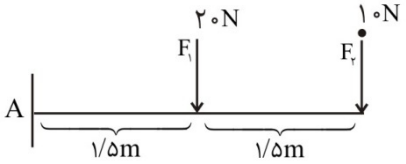


نکته: اگر دو بردار دارای مقدار عددی برابر و راستای یکسان یا موازی باشند، اما در جهت مخالف هم باشند، بردارهای قرینه نامیده می‌شوند.



بردارهای هم‌ارز

دو بردار هم ارز در یک حالت معین دارای آثار یکسانی هستند و ملاک مقایسه در اینجا، آثار بردارهاست.



$m_A \xrightarrow{\text{گشتاور حاصل از } F_1} ۲۰\times۱/۵=۳۰$

$m_A \xrightarrow{\text{گشتاور حاصل از } F_2} ۱۰\times۳=۳۰$

بنابراین F_1, F_2 هم ارز هستند، چون آثار یکسانی در نقطه A دارند.

نکته: دو بردار برابر، لزوما هم‌ارز نیستند.

نیروها

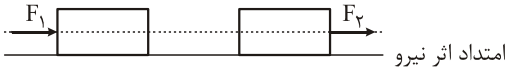
نیرو عاملی است که باعث ایجاد کشش، فشار، حرکت و تراکم در اجسام می‌شود.

نیروهای وارد بر سازه را « بار» می‌نامند.

نیروهای داخلی در یک جسم، تنش نامیده می‌شوند.

اصل انتقال نیرو در اجسام صلب

نیرو را می‌توان در هر نقطه‌ای از امتداد اثرش بر جسم صلب، موثر دانست، بدون اینکه اثر آن بر جسم صلب تغییر کند.



دسته‌بندی نیروها

۱) بار متمرکز (نقطه‌ای): بردارهایی که تا اینجا به آن اشاره شد، نمایانگر نیروهای متمرکز بودند که بر یک نقطه از جسم وارد می‌شوند.

۲) بار گسترده: نیروها می‌توانند به صورت گسترده در یک طول یا در یک سطح معین عمل کنند که به آنها نیروی گسترده گفته می‌شود. بر اساس اینکه نیروی مورد نظر در امتداد یک نوار باریک، یا بر روی سطح و یا بر روی یک حجم وارد شود، به ترتیب بار خطی، بار سطحی و بار حجمی نامیده می‌شود.

نیروهای گسترده، ممکن است به‌صورت یکنواخت و یا غیر یکنواخت باشند.

نکته: برای تعیین اثر نیروی گسترده بر یک جسم صلب، نیروی برآیند برابر با جمع بزرگی نیروها در مرکز ثقل جسم در نظر گرفته می‌شود.

نکته: نیروها علاوه بر تقسیم‌بندی از منظر حوزه تاثیر، از نظر نحوه تاثیر نیز به دو دسته خارجی و داخلی تقسیم می‌شوند.

دسته‌بندی بارهای وارد بر ساختمان

۱ – دسته‌بندی براساس منشا نیرو

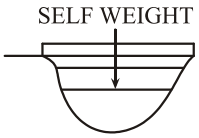
۱) بارهای طبیعی

۲) بارهای عملکردی

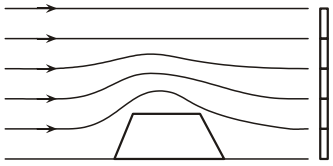
۳) بارهای تصادفی

نیروهای طبیعی

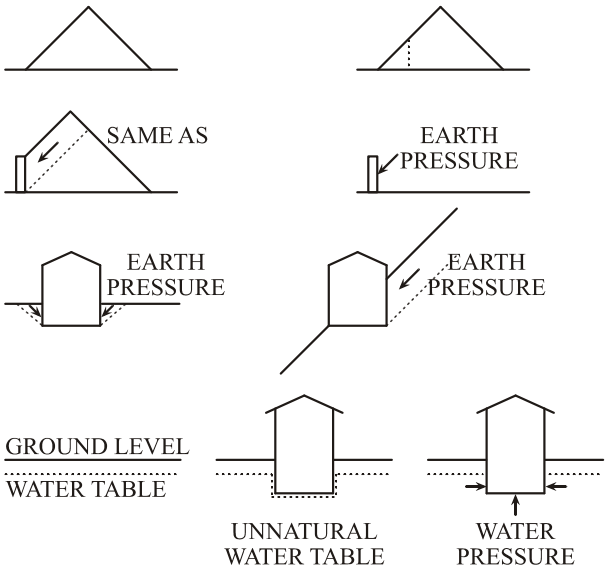
۱) وزن



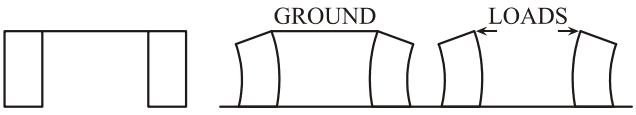
۲) باد



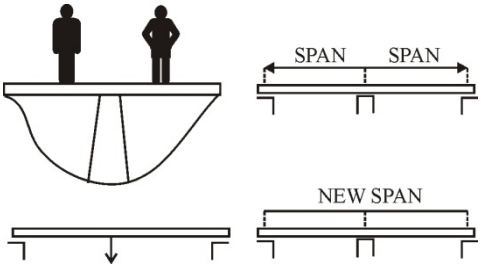
۳) فشار آب و خاک



۴) تغییرات دما



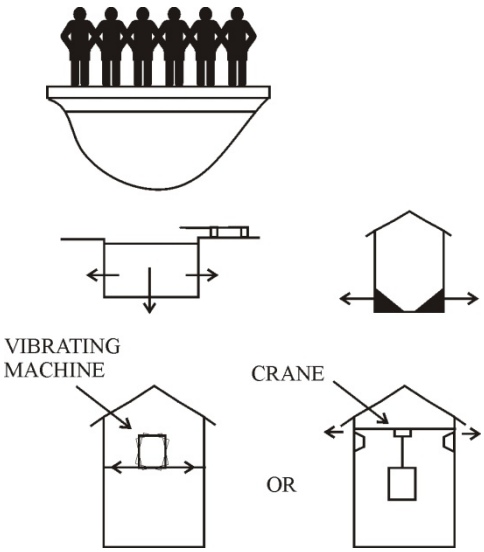
۵) حرکات زمین



۶) زلزله

نیروهای عملکردی

نیروهایی که در اثر بهره‌برداری و عملکرد ساختمان وارد می‌شود.



نیروهای تصادفی

نیروهایی هستند که ممکن است ایمنی ساختمان را به خطر اندازند. مانند آنچه در پارکینگ خودرو، موج‌شکن اسکله یا ایستگاه قطار رخ می‌دهد. انفجار کپسول گاز در آشپزخانه و بمب نیز از دیگر مثال‌ها هستند.

۲– دسته‌بندی براساس ماهیت بار

الف) بارهای استاتیکی

ب) بارهای دینامیکی

الف ـ بارهای استاتیکی

بارهایی که با گذشت زمان، تغییر نمی‌کنند و به طور آهسته و مداوم بر سازه اثر می‌کنند. درنتیجه سبب تغییر شکل تدریجی سازه می‌شوند.

ب ـ بارهای دینامیکی

بارهایی که به‌طور ناگهانی وارد می‌شوند. مقدار، جهت یا هر دو به‌طور سریع و ناگهانی تغییر می‌کند و دارای اثری به مراتب بیش از حالت استاتیکی خود هستند.

نکته: یک نیرو همواره و برای همه ساختمان‌ها استاتیکی یا دینامیکی نیست، بلکه به دوره تناوب آن بستگی دارد.

دوره تناوبی اساسی ساختمان

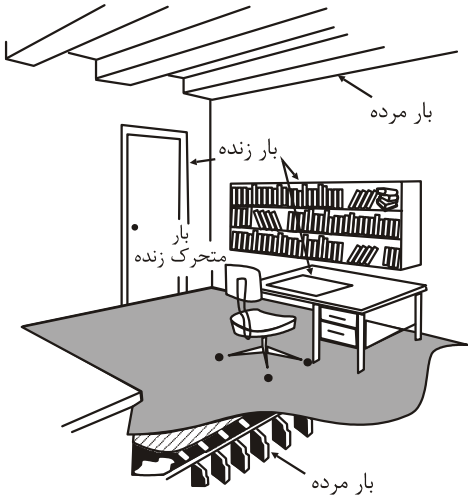
از آنجایی که کلیه سازه‌ها حالت ارتجاعی دارند، پس ساختمان، تمایل به نوسان دارد. مدت زمانی که طول می‌کشد تا ساختمان یک نوسان طی کند را دوره تناوب اساسی آن می‌نامند. دوره تناوب اساسی، به صلبیت و وزن سازه بستگی دارد. یک سازه سخت و صلب، کوتاه نوسان می‌کند. درصورتی‌که یک سازه نرم و انعطاف‌پذیر، آرام و طولانی نوسان می‌کند. معیار سنجش استاتیکی و دینامیکی بودن بار، دوره تناوب اساسی است.

انواع بارهای استاتیکی

الف) بارمرده: بارهای مرده به لحاظ اندازه و موقعیت، ثابتند. وزن مصالح و اجسام دائمی ساختمان و نیز وزن اجزای غیرمنقول ساختمان در دسته این بارها قرار می‌گیرند.

ب) بار زنده: بارهای زنده، بارهای غیردائمی در زمان استفاده و بهره‌برداری از بنا هستند که مقدار و راستای ثابتی ندارند. وزن عناصر غیرسازه‌ای، عوامل خارجی، اجسام و نیروهای گذرکننده و تمامی نیروهایی که منشأ متحرک دارند، اما به آهستگی اثر می‌کنند، در این دسته‌بندی قرار می گیرند.

۱- باد
۲- برف و یخ
۳- باران
۴- تغییر دما
۵- نشست
۶- بار ناشی از آب و خاک ایستا
۷- خزش



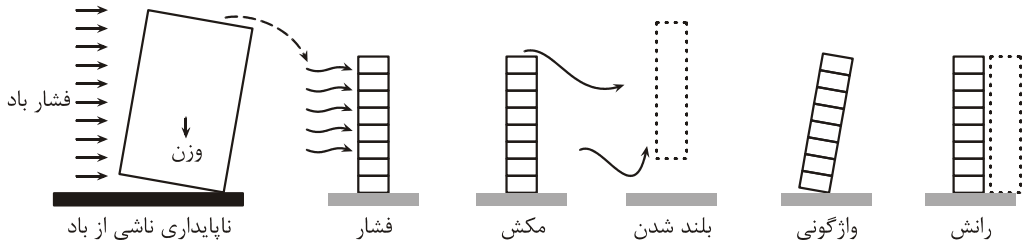
بارهای زنده و مرده

ج) بار باد

بار باد، در حقیقت دینامیکی است، اما آیین‌نامه آن را استاتیکی فرض می‌کند. نحوه تاثیر بار باد بر ساختمان به شکل بار گسترده پله‌ای است. نیروی باد معمولا به شکل عمود بر نمای ساختمان وارد می‌شود. وجود مانع بر سر راه وزش باد، الگوی حرکت آن را تغییر می دهد. بار باد بر روی نماها به صورت افقی و بر سقف ساختمان عمودی (شبیه بال هواپیما) اثر می‌کند.

بار باد به چگالی و سرعت هوا، ارتفاع و شکل هندسی سازه، سختی و زبری سازه و حفاظت مجاور سازه بستگی دارد.

آثار باد بر ساختمان به‌صورت فشار، مکش، بلندشدن، واژگونی و رانش می‌باشد:



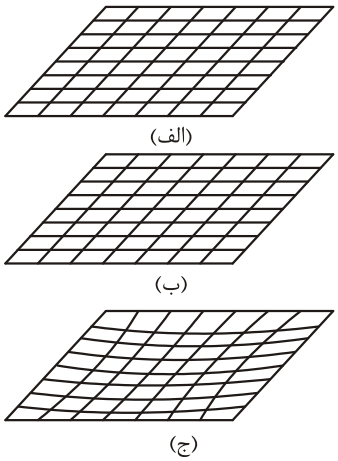
د) بار برف و یخ

بار برف و یخ به موقعیت جغرافیایی، شکل هندسی سازه و بادگیری سازه بستگی دارد.

یخ زدگی، علاوه‌بر وزن، بر سطح بادگیر و درنتیجه اثر باد می‌افزاید.

هـ) بار باران

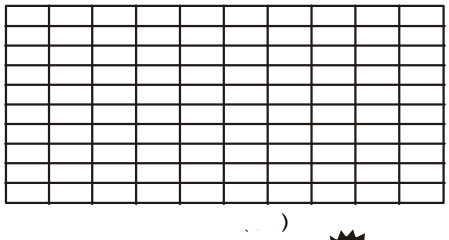
سقف‌های بزرگ مسطح که در معرض رگبار هستند، تحت اثر وزن باران خم شده و شکل مقعر پیدا می‌کنند و نمی‌گذارند آب به سطح لوله‌های آب باران برسد. در پس گرفتن آب‌رو، پدیده حوض شدن رخ می‌دهد و در نهایت باعث ریزش سقف می‌گردد.

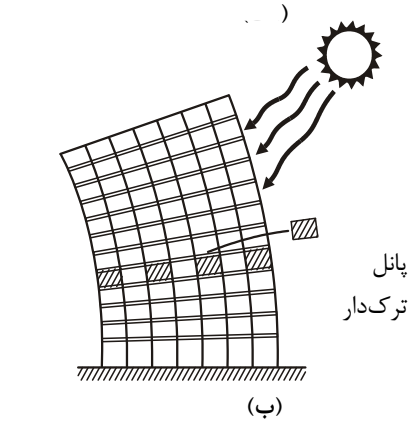


پدیده حوض شدن سقف مسطح

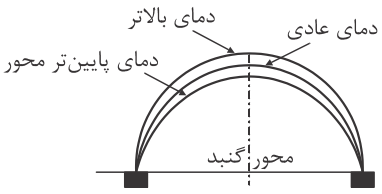
تغییرات دما

انبساط و انقباض ناشی از تهویه و تفاوت دما با خارج به‌دلیل نامرئی‌بودن بسیار خطرناک است.

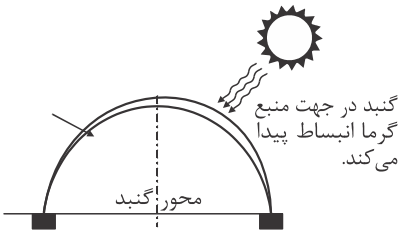




ترک‌های حرارتی در نمای ساختمان



حرکات حرارتی گنبد

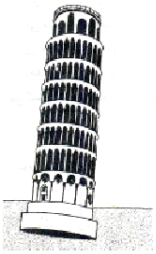


اعوجاج حرارتی غیرمتقارن گنبد

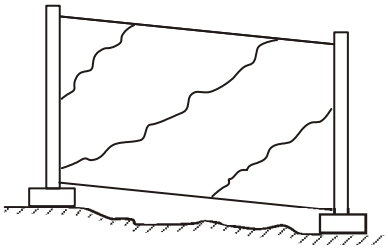
بار ناشی از نشست

نشست (نامتقارن)

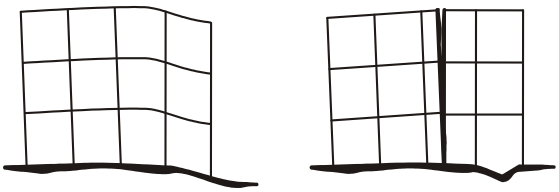
هنگامی‌که زمین دارای مقاومت یکنواخت نباشد. در برخی نقاط، نشست بیشتر خواهد بود.



ناپایداری ناشی از نشست نابرابر



ترک‌های ناشی از نشست در دیوارهای پرده‌ای با دیوارهای داخلی



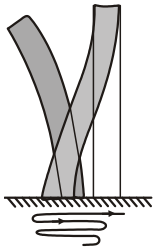
(ب) (الف)

نشست‌های ناهمگن پی

انواع بارهای دینامیکی

بار دینامیکی دو اثر بر ساختمان دارد:

۱- ضربه: نیروی زیادی که در مدت زمان کم وارد می شود. کوبیدن میخ یا چکش، نمونه ای از بار ضربه ای است.

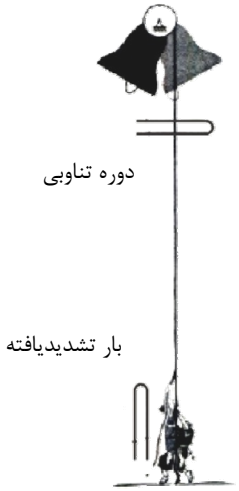


حرکات زلزله

اثر بارهای دینامیکی حداقل دو برابر بارهای استاتیکی می‌باشد.

۲- تشدید: شرایطی که دوره تناوب نیرو و دوره تناوب جسم برابر شود و همدیگر را تشدید کنند .

برای به صدا در آوردن زنگ کلیسا، باید برای مدتی جنبش و نوسان متوالی ایجاد کرد.



بار تشدید یافته

بارهای دینامیکی (متحرک) به شیوه‌های متفاوتی بر سازه اعمال می‌شوند. یک تندباد ناگهانی مشابه ضربه چکش عمل می‌کند. عبور یک گروه سرباز در حال رژه روی یک پل.

منابع ساختمان

الف- منابع داخل ساختمان

۱- آسانسور (ضربه)
۲- پله برقی (تشدید)
۳- اتومبیل (ضربه)
۴- تأسیسات نوسان‌کننده (تشدید)
۵- جرثقیل (ضربه)
۶- انفجار(ضربه)
۷- استخر و منبع مایعات(تشدید)

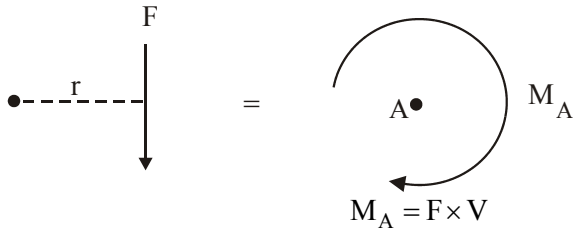
ب – منابع خارج ساختمان

۱- باد (خصوصا تغییر جهت باد) (تشدید)
۲- غرش صوتی (تشدید)
۳- ترافیک (مترو، قطار، اتوبان و ...)(تشدید)
۴- زلزله(ضربه-تشدید)

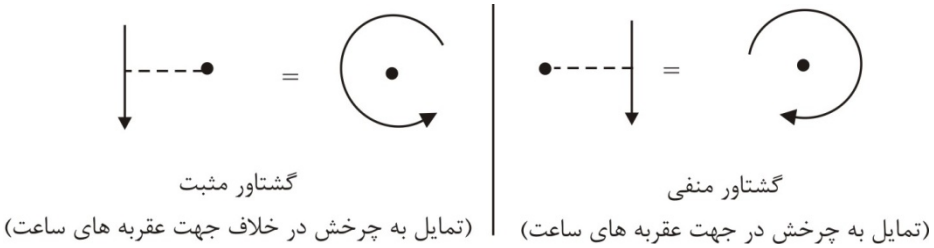
نکته: نحوه تاثیر بار زلزله بر ساختمان به شکل بار گسترده مثلثی است.

گشتاور

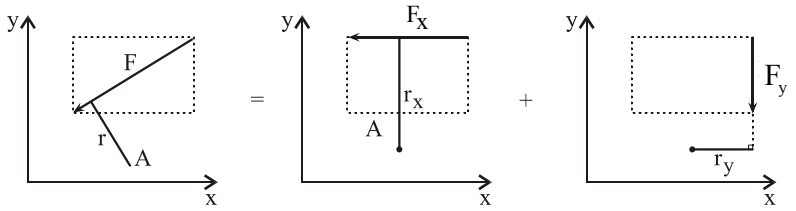
گشتاور، کمیتی است برداری که در دستگاه SI، با واحد نیوتن.متر سنجیده می‌شود. این واحد با N.m نمایش داده می‌شود.
گشتاور، نیروی تمایل برای ایجاد چرخش در جسم می‌باشد. گشتاور نیرو در یک نقطه معین در یک سازه برابر است با فاصله عمودی نقطه موردنظر تا راستای نیرو ضرب در بزرگی نیرو. بنابراین، اثر یک گشتاور به طور مداوم بدون در نظر گرفتن محل اعمال آن ثابت باقی می‌ماند.
اگر راستای نیرو از نقطه‌ای که گشتاور حول آن موردنظر است بگذرد، $d = 0$ است در نتیجه $M = 0$ خواهد بود.
گشتاور نیرو در خلاف جهت ساعت، مثبت و در جهت حرکت عقربه‌های ساعت، منفی در نظر گرفته می‌شود.



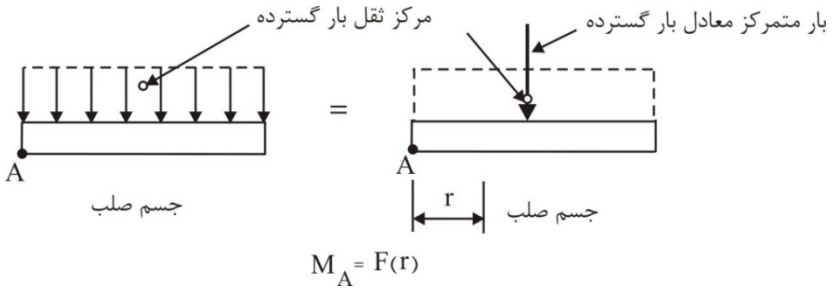
گشتاور یک نیرو حول یک نقطه برابر است با: فاصله عمودی نقطه موردنظر ضرب در بزرگی نیرو



علامت‌های قراردادی گشتاور



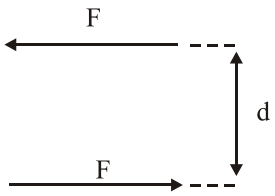
گشتاور نیرو حول یک نقطه برابر است با: مجموع گشتاورهای مولفه‌های نیرو حول همان نقطه



گشتاور یک بار گسترده

کوپل یا زوج نیرو

دو نیرو با مقادیر مساوی، راستاهای موازی و مختلف الجهت را یک زوج نیرو گویند.



زوج نیروی وارده بر جسم، همواره سبب ایجاد یک حالت دورانی می‌شود. در نتیجه زوج نیرو سبب ایجاد گشتاور می‌شود. گشتاور زوج نیرو حول هر محور دلخواه عمود بر صفحه نیروها همواره مقداری ثابت دارد و برابر است با: حاصل‌ضرب یکی از نیروها در فاصله بین آن دو نیرو.

$$M = F \times d$$

برای مثال: هنگام باز یا بسته کردن شیر آب با انگشتان دست، یک زوج نیرو به شیر آب وارد می‌شود که درنتیجه شیر آب حول محوری که از مرکز آن می‌گذرد، دوران کرده، باز یا بسته می‌شود.

تکیه‌گاه‌ها

تکیه‌گاه، اتصال بین یک عضو سازه‌ای و یک جسم صلب می‌باشد که تقویت‌کننده‌ای را برای سازه فراهم می‌سازد. (به عنوان مثال زمین)

انواع شرایط تکیه‌گاه‌ها

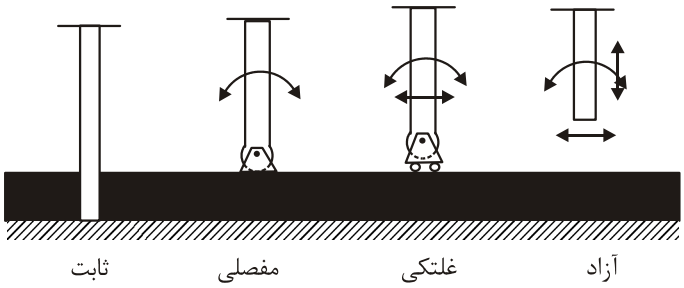
تکیه‌گاه‌ها و نیز اتصالات سازه‌ای در روش مهارکردن و یا امکان ایجاد حرکت چرخشی و یا انتقالی متفاوت می‌باشند.

اتصال ثابت: بسیار محدودکننده است، چرخش و انتقال هر دو مهار می‌شوند. پایه میله پرچم مثالی از تکیه‌گاه ثابت است.

اتصال مفصلی: چرخش را مهار نمی‌کند، اما انتقال در تمامی جهات کنترل می‌شود. لولا نمونه‌ای از تکیه‌گاه مفصلی است که چرخش حول یک محور در آن وجود دارد. اتصال در تریلر (بوشن یا توپی) مثالی از یک تکیه‌گاه مفصلی است که چرخش حول یک محور امکان‌پذیر است.

اتصال غلتکی: چرخش را مهار نمی‌کند، انتقال آزاد در یک جهت وجود دارد ولی در بقیه جهات مهار شده است. تک چرخ نمونه‌ای اتصال غلتکی است، چرخش آزاد در تمام جهات و انتقال فقط در جهت افقی وجود دارد ولی در دیگر جهات مهار شده است. مقاومت اصطکاکی آن‌که باعث لغزش در یک جهت می‌گردد باعث می‌شود که به عنوان اتصال مفصلی در آن جهت عمل کند. چرخ کوچک زیر پایه یک صندلی، یک اتصال غلتکی ضعیف‌تر می‌باشد.

اتصال آزاد: حرکت چرخشی آزاد در تمام جهات، حرکت انتقالی آزاد در دو جهت و حرکت مهار شده در جهت سوم. وضعیت یک تکیه‌گاه آزاد اصولاً به صورت یک اتصال واقعی نیست، انتهای عضو برای انتقال و چرخش در تمام جهات آزاد است. این تکیه‌گاه حداقل تعداد عوامل مهارکننده را در اتصالات نسبت به بقیه تکیه‌گاه‌ها دارد.

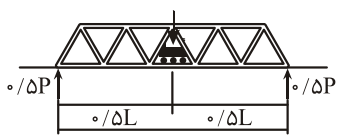


انواع شرایط تکیه‌گاهی

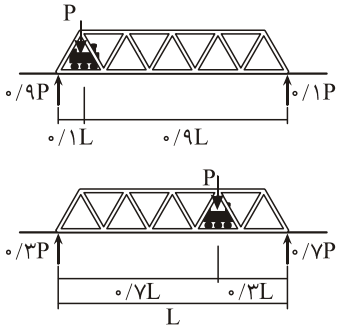
عکس‌العمل در تکیه‌گاه‌ها

یک نیرو ممکن است به‌وسیله دو یا چند نیروی عکس‌العمل موازی در حالت تعادل نگه داشته شود. وزن پل نیرویی در جهت پایین وارد می‌کند. هر تکیه‌گاه عکس‌العملی رو به بالا ایجاد می‌نماید و جمع جبری این عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی با وزن پل برابر است. به‌علت اینکه وزن پل در طول آن به طور یکنواخت توزیع می‌شود، نیروی معادل وزن پل در وسط دهانه عمل می‌کند و عکس‌العمل هر تکیه‌گاه برابر نصف وزن پل می‌باشد. (تصویر اول)

در هر حالت، جمع جبری عکس‌العمل تکیه‌گاه‌ها برابر جمع وزن پل و لوکوموتیو است و مقدار عکس‌العمل تکیه‌گاه‌ها بستگی به موقعیت لوکوموتیو در طول پل دارد. (تصاویر دوم و سوم)



نیروهای عکس‌العمل در پل



نیروهای عکس‌العمل در پل با تغییر محل لوکوموتیو تغییر می‌یابد.

تاثیر انواع تکیه‌گاه‌ها بر نیروی عکس‌العمل

عکس‌العمل‌ها براساس نوع تکیه‌گاه‌ها تغییر می‌کنند.

اتصال غلتکی می‌تواند نیروی عکس‌العمل را فقط در جهت عمود بر تکیه‌گاه داشته باشد.

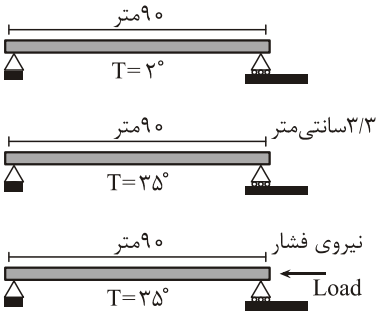
اتصال مفصلی می‌تواند نیروهای عکس‌العمل افقی و عمودی داشته باشد.

اگر هر دو تکیه‌گاه غلتکی باشند، در آن صورت هنگامی‌که نیروهای وارد بر سازه عمودی باشند به حال تعادل باقی می‌ماند، اما هر نیروی وارد بر سازه از دیگر جهات باعث حرکت آن می‌گردد. (زیرا تکیه‌گاه‌های غلتکی اجازه حرکت در تمام جهات را می‌دهند).

اگر هر دو تکیه‌گاه مفصلی باشند، سازه می‌تواند در برابر نیروهای جانبی مقاومت کند. این امر باعث ایجاد تنش‌های داخلی ناشی از انبساط حرارتی در ساختمان می‌گردد.

بنا به دلایل ذکر شده، تیرهای ساده معمولاً دارای اتصال مفصلی در یک انتها و اتصال غلتکی در انتهای دیگر می‌باشند، تا امکان تغییر شکل‌های جانبی برای انبساط حرارتی و انقباض به صورت آزاد فراهم گردد.

تکیه‌گاه‌های ثابت، حرکت انتقالی عمودی و افقی را مهار می‌کنند و مانع از حرکت چرخشی می‌شوند. به همین علت، تکیه‌گاه ثابت به صورت منفرد نیز استفاده می‌شود و برای تأمین تعادل به هیچ تکیه‌گاهی نیاز ندارد.



بار حرارتی

نیروهای عکس‌العمل عمودی

برای محاسبه عکس‌العمل تکیه‌گاه‌ها در هر سازه:

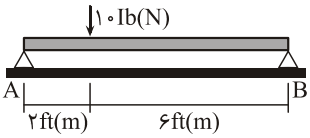
۱ـ شرایط مهار و کنترل هر تکیه‌گاه را تعیین نمایید. (یا حدس بزنید.)

۲ـ محل یکی از دو تکیه‌گاه را انتخاب کرده و معادله چرخشی را برای جمع گشتاورها در آن نقطه که برابر صفر است ($\sum M_A = ۰$) برای پیدا کردن نیروی عکس‌العملی در تکیه‌گاه دیگر بنویسید. ساده‌ترین روش، انتخاب یکی از تکیه‌گاه‌ها برای نوشتن معادله تعادل چرخشی است.

۳ـ در انتها، معادله تعادل انتقالی ($\sum F_y = ۰$) را برای تعیین عکس‌العمل تکیه‌گاه دیگر استفاده نمایید. عکس‌العمل تکیه‌گاه‌های پلی که در بالا توضیح داده شد را می‌توان برای موقعیت‌های مختلف لوکوموتیو در هر نقطه از پل با استفاده از معادلات تعادل تعیین نمود.

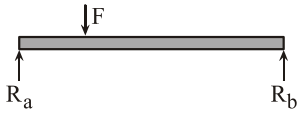
مجموع گشتاورها حول نقطه A:

$$\sum M_a = -(۱۰\times ۲)\times(۸\times R_b) = ۰$$
$$-(۱۰\times ۲)\times(۸\times R_b) = ۰$$
$$۸R_b - ۲۰/۲ = +۲/۵ lb(N)$$



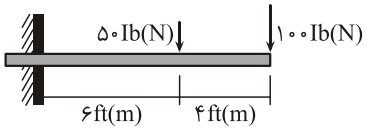
مجموع نیروها در جهت Y:

$$\sum F_a = +R_a - ۱۰ + ۲/۵ = ۰$$
$$R_a = ۶۰/۸ = +۷/۵ lb(N)$$

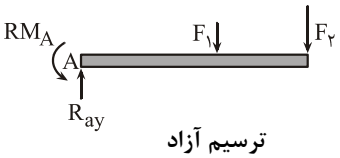


محاسبه عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی برای بارهای عمودی

به علت اینکه تکیه‌گاه‌های گیردار در برابر چرخش آزاد نیستند، تکیه‌گاه ثابت دیگری برای ایجاد تعادل در سازه لازم نیست. مانند یک تیر افقی یک سر ثابت با بار گسترده یکنواخت بر روی نیمه خارجی آن.



تیر طره‌ای



ترسیم آزاد

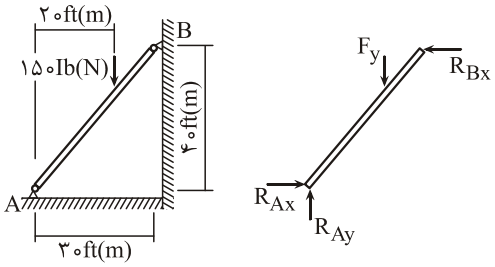
$$\sum F_y = R_{ay} - ۵۰ - ۱۰۰ = ۰$$
$$R_{ay} = +۱۵۰(N)$$
$$\sum M_A = +RM_A - (۵۰\times ۶) - (۱۰\times ۱۰۰) = ۰$$
$$RM_A = +۱۳۰۰ ft\,(Nm)$$

محاسبه عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی در یک تیر طره‌ای

نیروهای عکس‌العمل عمودی و افقی

مثال دیگری را در نظر بگیرید. مطابق تصویر زیر شخصی روی یک نردبان سبک که بر دیواری تکیه دارد، ایستاده است. زاویه نردبان تاثیری در محاسبات ندارد.

به دلیل اصطکاک کافی که در پایه نردبان وجود دارد می‌توان آن را یک اتصال مفصلی در نظر گرفت. یک اتصال غلتکی نیز در بالا فرض کنید. تا زمانی که از بالا بار عمودی وارد نمی‌شود، هیچ نیروی عکس‌العمل عمودی در این تکیه‌گاه وجود ندارد. گشتاورهای اطراف تکیه‌گاه را جمع جبری کرده و آن را برابر صفر قرار دهید. سپس جمع جبری نیروها در جهت x و y را مساوی صفر قرار دهید.



مجموع گشتاورها حول نقطه A: $\sum M_A = -۱۵۰(۲۰) + R_{Bx}(۴۰) = ۰ \Rightarrow \overleftarrow{R_{Bx}} = ۷۵\ Ib\ (N)$

مجموع نیروها در جهت y: $\sum F_y = -F_y + R_{Ay} = ۰ \Rightarrow R_{Ay} = ۱۵۰\ Ib(N)$

مجموع نیروها در جهت x: $\sum F_x = R_{AX} - R_{BX} = ۰ \Rightarrow \overrightarrow{R_{AX}} = ۷۵\ Ib(N)$

محاسبه عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی عمودی و افقی برای شخصی که روی نردبان ایستاده است.

عکس‌العمل در نیروهای قطری

هر نیروی مورب و قطری را به دو مولفه در جهت محورهای y,x تجزیه کرده و سپس طبق مثال قبل، مراحل زیر عمل نمایید.

۱- گشتاورهای اطراف تکیه‌گاه را جمع جبری کرده و آن را برابر صفر قرار دهید.

۲- جمع جبری نیروها را در جت x و y مساوی صفر قرار دهید.

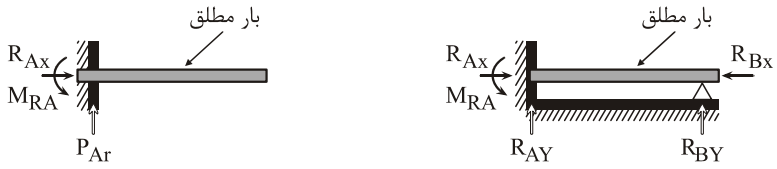
سازه‌های نامعین استاتیکی

عکس‌العمل تکیه‌گاه‌ها برای تمام سازه‌های دوبعدی بالا با سه معادله تعادل قابل محاسبه می‌باشد.

$$\sum F_x = ۰, \sum F_y = ۰, \sum F_z = ۰$$

در هر یک از مسائل بالا سه مجهول وجود دارد، اگر بیش از سه مجهول وجود داشته باشد دیگر نمی‌توان با معادلات، تعادل استاتیکی آنها را تعیین نمود.

برای مثال، اگر به سر آزاد یک تیر طره‌ای یک تکیه‌گاه غلتکی اضافه شود، برای تعیین اینکه چه مقدار از بار انتهایی به وسیله مقاومت گشتاور انتهای ثابت و چه مقدار به وسیله تکیه‌گاه غلتکی اضافه شده، تحمل گردیده، راه حل استاتیکی وجود ندارد. برای حل این مساله لازم است که تغییر شکل تیر تعیین گردد. چنین حالتی از نظر استاتیکی نامعین نامیده می‌شود و احتیاج به راه‌حل‌های پیچیده‌تری دارد.



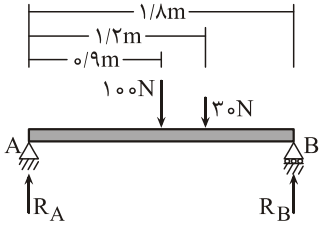
(الف) معین (۳مجهول) (ب) نامعین (۵ مجهول)

(الف) تیر طره‌ای که از نظر استاتیکی معین است، دارای سه مرحله تعادل و سه مجهول (ب) تیر طره‌ای که از نظر استاتیکی نامعین است، دارای سه معادله تعادل و پنج مجهول (از نظر استاتیکی دو درجه نامعین)

مکانیسم

بر عکس شرایط فوق، داشتن عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی کمتر (کمتر از سه نیروی تکیه‌گاهی) به این معنی است که سازه برای شخصی که روی نردبان ایستاده است، پایداری نداشته و تمایل به حرکت و تغییر شکل دارد. چنین سیستمی مکانیسم نامیده می‌شود و هیچ‌گونه مقاومت سازه‌ای ندارد.

مثال ۱: یک تیر افقی به‌طول ۱/۸m و به وزن ۱۰۰N مطابق شکل بر روی دو تکیه‌گاه ساده در نقاط A و B واقع شده است. در صورتی که نیروی عمودی ۳۰N بر این تیر اثر کند، مطلوب است تعیین نیروهای عکس‌العمل در نقاط A و B.



حل: راستای نیروهای عکس‌العمل در تکیه‌گاه‌های A و B (R_A و R_B) بر تیر عمود خواهد بود.

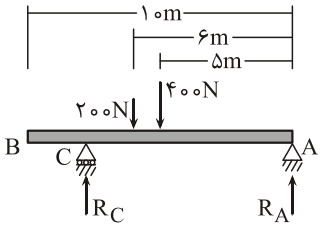
$$\sum F_H = 0$$
$$\sum F_v = R_A + R_B - 100 - 30 = 0$$
$$R_A + R_B = 130$$

$$\sum M_A = R_B \times 1/8 + 30 \times 1/2 + 100 \times 0/9 + R_A \times 0 = 0$$
$$\sum M_A = 1/8 R_B - 36 - 90 = 0$$
$$\Rightarrow R_B = \frac{126}{1/8} = 70N$$

حال به‌جای R_B مقدار به‌دست آمده را در رابطه (۱) قرار می‌دهیم، در نتیجه R_A به دست می‌آید:

$$R_A = 60N$$

مثال۲: با در نظر گرفتن جزئیات شکل زیر، مطلوب است تعیین نیروهای عکس‌العمل در نقاط A و C. وزن تیر AB برابر ۴۰۰ N است.

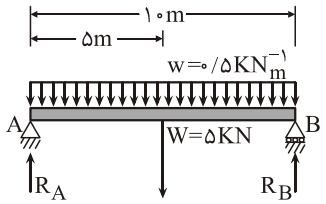


حل:

$$\sum F_H = 0$$
$$\sum F_v = R_A + R_C - 400 - 200 = 0$$
$$R_A + R_C = 600$$

$$M_A = 200 \times 6 + 400 \times 5 + R_C \times 8 = 0$$
$$200 \times 6 + 400 \times 5 - R_C \times 8 = 0$$
$$(1),(2) \quad \Rightarrow \quad R_A = 200N$$

مثال۳: تیر AB به طول ۱۰ متر و وزن واحد طول $W = 0/5 KNm^{-1}$، مطابق شکل به‌صورت افقی بر روی دو تکیه‌گاه در نقاط A و B واقع شده است. مطلوب است تعیین نیروهای عکس‌العمل در نقاط اتکا تیر.



حل: وزن تیر برابر است با:

$$۰/۵\times۱۰=W\Rightarrow W=۵kN$$

می‌توان فرض کرد W در مرکز ثقل تیر به‌طور عمودی اثر کند.

$$\sum F_v=R_A+R_B-۵=۰\Rightarrow R_A+R_B=۵kN \qquad (۱)$$

$$\sum F_H=۰$$

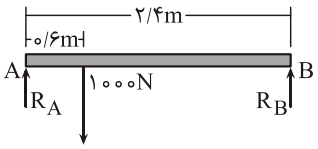
$$\sum M_A=R_B\times۱۰+W\times۵+R_A\times۰=۰\Rightarrow \sum M_A=۱۰R_B-۵W=۰$$

$$R_B=\frac{۵\times۵}{۱۰}=۲/۵kN \qquad (۲)$$

از روابط (۱) و (۲) نتیجه می‌گیریم:

$$R_A=۲/۵kN$$

مثال۴: دو کارگر، باری به وزن ۱۰۰۰N را بر روی چوبی حمل می‌کنند. اگر طول چوب ۲/۴m و بار در نقطه‌ای به فاصله ۰/۶m از فردی واقع شده باشد، مطلوب است تعیین نیرویی که هر یک از آن دو نفر تحمل می‌کنند.



حل:

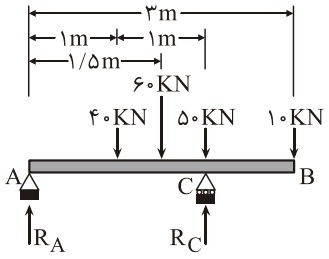
$$\sum F_H=۰$$

$$\sum F_v=R_A+R_B-۱۰۰۰=۰\Rightarrow R_A+R_B=۱۰۰۰N$$

$$\sum M_A=R_B\times۲/۴+۱۰۰۰\times۰/۶+R_A\times۰=۰\Rightarrow ۲/۴R_B-۱۰۰۰\times۰/۶=۰$$

$$\Rightarrow R_B=\frac{۱۰۰۰\times۰/۶}{۲/۴}=۲۵۰N\Rightarrow R_A=۷۵۰N$$

مثال ۵: تیر AB به طول ۳m و به وزن ۶۰N مطابق شکل در نقاط A و B بر روی دو تکیه‌گاه واقع شده است. یک نیروی ۱۰kN در نقطه B و نیروهای ۵۰kN و ۴۰kN نیز به ترتیب به فاصله‌های ۱m و ۲m از B بر تیر اثر می‌کند. اگر نیروی عکس‌العمل در نقطه A برابر ۴۰kN باشد، فاصله تکیه‌گاه C را از انتهای A به دست آورید.



حل:

$$\sum F_H=۰$$

$$\sum F_v=(R_A+R_C)-(۴۰+۶۰+۵۰+۱۰)=۰$$

$$\begin{cases} R_C + R_A = ۱۶۰ \\ R_A = ۴۰kN \end{cases}$$

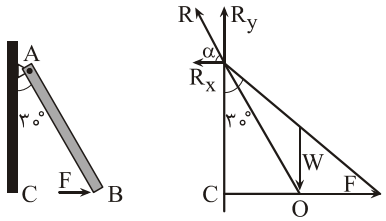
$$\sum M_A = ۱۰ \times AB + ۵۰ \times DA + ۶۰ \times GA + R_C \times CA + ۴۰ \times FA + R_A \times ۰ = ۰$$

$$\sum M_A = R_C \times \overline{CA} - ۱۰ \times \overline{BA} - ۵۰ \times \overline{DA} - ۶۰ \times \overline{GA} - ۴۰ \times \overline{FA} = ۰$$

$$R_C = ۱۲۰kN$$

$$\begin{cases} \overline{CA} = ? \\ \overline{BA} = ۳m \\ \overline{DA} = ۲m \\ \overline{GA} = ۱/۵m \\ \overline{FA} = ۱m \end{cases} \Rightarrow ۱۲۰ \times \overline{CA} = ۱۰ \times ۳ + ۵۰ \times ۲ + ۶۰ \times ۱/۵ + ۴۰ \times ۱ \Rightarrow \overline{CA} \simeq ۲/۱۶۷m$$

مثال ۶: تیر AB به وزن W در نقطه A مطابق شکل زیر، به‌صورت مفصلی متصل شده است و توسط نیروی افقی F که در نقطه B بر آن وارد می‌شود به‌صورت مایل قرار گرفته است. به‌نحوی که با خط قائم، زاویه ۳۰° تشکیل می‌دهد. مطلوب است تعیین نیروی F و نیز راستای نیروی عکس‌العمل R در نقطه A و مقدار عددی آن.



حل:

$$\sum F_H = F - R_x = ۰ \quad \Rightarrow \quad R_x = F \qquad (۱)$$

$$\sum F_v = R_y - W = ۰ \quad \Rightarrow \quad R_y = W \qquad (۲)$$

$$\sum M_A = W\sin ۳۰^\circ = \frac{\overline{AB}}{۲} + W\cos ۳۰^\circ \times ۰ + F.\overline{CA} + R \times ۰ = ۰$$

$$\sum M_A = W\sin ۳۰^\circ = \frac{AB}{۲} + F\overline{AB}.\cos ۳۰^\circ = ۰ \quad , \quad \overline{CA} = \overline{AB}\cos ۳۰^\circ$$

$$F\cos ۳۰^\circ = \frac{W}{۲}\sin ۳۰^\circ$$

$$F = \frac{\frac{W}{۴}}{\frac{\sqrt{۳}}{۲}} \Rightarrow F = \frac{W}{۲\sqrt{۳}} \qquad (۳)$$

$$R_x = \frac{W}{۲\sqrt{۳}} \quad , \quad R_y = W$$

از روابط (۱) و (۳) نتیجه می‌گیریم:

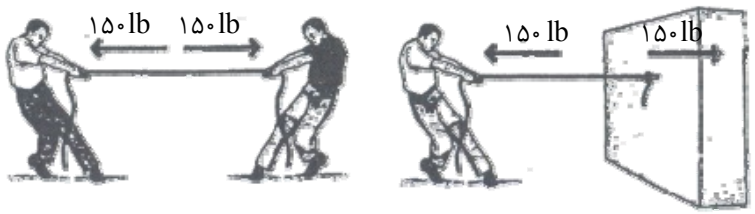
$$R = \sqrt{R_y^۲ + R_x^۲} = \sqrt{W^۲ + \frac{W^۲}{۴ \times ۳}} \Rightarrow R = W\frac{\sqrt{۱۳}}{\sqrt{۱۲}}$$

اگر α زاویه راستای R با خط افق باشد، خواهیم داشت:

$$\tan\alpha = \frac{R_y}{R_x} = \frac{W}{\frac{W}{۲\sqrt{۳}}} \Rightarrow \tan\alpha = ۲\sqrt{۳}$$

تعادل

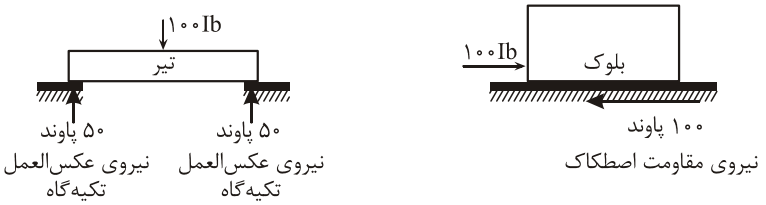
براساس قانون سوم نیوتن، برای هر عمل عکس‌العملی وجود دارد. بنابراین هنگامی که نیرو (یا برآیند چند نیرو) بر یک جسم اثر می‌کند، باید نیرویی برابر و در جهت عکس نیروی عمل کننده وجود داشته باشد تا جسم در حالت تعادل باقی بماند. در تصویر زیر، برابری نیروی عمل و عکس‌العمل نشان داده شده است.



نیروی اعمال‌شده توسط فرد سمت راست همان اثر نیروی عکس‌العمل را دارد.

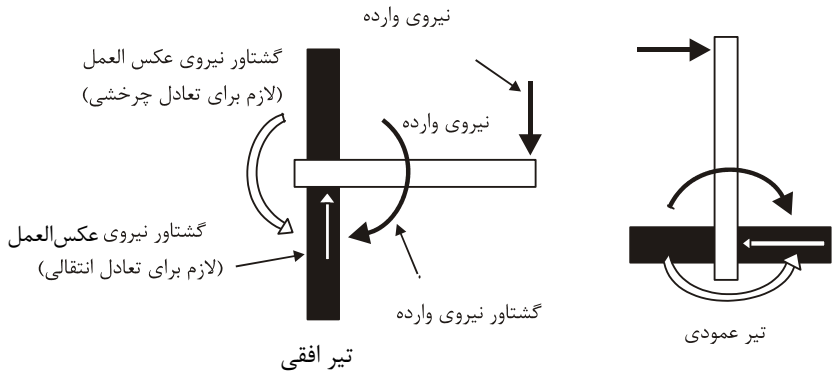
مفهوم قرارگیری اجسام در حالت تعادل در تحلیل سازه‌ها بسیار اساسی و مهم می‌باشد. به‌منظور قرار داشتن اجسام در حالت تعادل انتقالی، جمع جبری بردارهای نیرو و عکس‌العمل آن در هر سه بعد دستگاه مختصات باید برابر صفر باشد.

$$\Sigma F_x = ۰ \, , \Sigma F_y = ۰ \, , \Sigma F_z = ۰$$



در تعادل انتقالی، مجموع نیروها در هر بعد باید برابر صفر باشد.

برای ایجاد تعادل چرخشی در یک جسم، باید تمام نیروهای عمل و عکس‌العمل، متقاطع و متقارن باشند. (راستای آنها از یک نقطه عبور کند)



تعادل چرخشی: برای باقی ماندن جسم در حالت سکون، گشتاور عکس‌العمل مشابه و معادل گشتاور نیروی وارده مورد نیاز می‌باشد.