

استاتیک مهندسی

دکتر حمید رحمانی سامانی (عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد)

مهندس سیده عاطفه هاشمی

فهرست مطالب

۱. مقدمه‌ای بر استاتیک ۲

- ۱-۱. مفاهیم و اصول اساسی مکانیک ۲
- ۲-۱. قوانین حرکت نیوتن ۴
- ۳-۱. قانون جاذبه نیوتن ۶
- ۴-۱. سیستم واحدها ۷
- ۵-۱. تبدیل واحد از سیستمی به سیستم دیگر ۹
- ۶-۱. پیشوند واحدها ۱۰
- ۷-۱. انواع کمیت‌ها ۱۲
- ۸-۱. بردارها ۱۲

۲. سیستم نیروها ۱۶

- ۱-۲. نیرو چیست؟ ۱۶
- ۲-۲. انواع نیرو ۱۷
- ۳-۲. تجزیه نیرو ۱۸
- ۴-۲. برآیند نیرو ۳۰
- ۵-۲. گشتاور نیرو ۳۹
- ۶-۲. محاسبه گشتاور نیرو ۴۰
- ۷-۲. اصل انتقال نیرو در راستای خودش (اصل انتقال پذیری) ۵۶
- ۸-۲. زوج نیرو ۵۸
- ۹-۲. دستگاه نیرو ۶۵
- ۱۰-۲. انواع دستگاه نیرو ۶۶
- ۱۱-۲. برآیند دستگاه نیرو ۶۷
- ۱۲-۲. دستگاه نیروی سه‌بعدی ۷۷
- ۱۳-۲. گشتاور سه‌بعدی ۸۵
- ۱۴-۲. گشتاور نسبت به یک محور دلخواه ۸۹
- ۱۵-۲. کوپل‌ها در سه‌بعد ۹۶
- ۱۶-۲. برآیند دستگاه نیروی متقارب سه‌بعدی ۹۷
- ۱۷-۲. برآیند دستگاه نیروی عمومی سه‌بعدی ۹۹
- ۱۸-۲. تمارین ۱۰۰

۳. تعادل	۱۰۶
۱-۳. شرط تعادل جسم	۱۰۶
۲-۳. تعادل دو بعدی	۱۰۶
۳-۳. تعادل سه بعدی	۱۵۲
۴-۳. تمارین	۱۶۳
۴. تحلیل سازه‌ها	۱۶۸
۱-۴. سازه و انواع آن	۱۶۸
۲-۴. مفهوم تحلیل سازه‌ها	۱۷۰
۳-۴. خرپا چیست؟	۱۷۰
۴-۴. انواع خرپای دو بعدی	۱۷۲
۵-۴. فرضیات تحلیل خرپا	۱۷۹
۶-۴. دسته‌بندی خرپای مسطح	۱۸۱
۷-۴. تحلیل خرپای مسطح	۱۸۴
۸-۴. معینی و نامعینی خرپای مسطح	۲۱۳
۹-۴. خرپا در فضای سه بعدی	۲۱۹
۱۰-۴. تحلیل خرپای فضایی	۲۲۰
۱۱-۴. معینی و نامعینی خرپای سه بعدی	۲۲۲
۱۲-۴. قاب‌ها و ماشین‌ها	۲۲۳
۱۳-۴. انواع اتصال در قاب	۲۲۴
۱۴-۴. روند تحلیل قاب‌ها	۲۲۸
۱۵-۴. تمارین	۲۳۵
۵. نیروهای گسترده	۲۴۲
۱-۵. مقدمه	۲۴۲
۲-۵. مرکز ثقل، مرکز جرم و مرکز هندسی یک جسم	۲۴۲
۳-۵. تئوری پایپوس و گلدینوس	۲۶۴
۴-۵. نیروی گسترده	۲۷۰
۵-۵. تمارین	۲۷۸
۶. نیروهای داخلی	۲۸۲
۱-۶. نیروی داخلی چیست؟	۲۸۲

۲۸۳	۲-۶. جهت قراردادی نیروهای داخلی
۲۸۴	۳-۶. محاسبه نیروهای داخلی
۲۸۹	۴-۶. معادلات نیروهای داخلی
۳۰۴	۵-۶. رابطه بین بارگذاری، نیروی برشی و گشتاور خمشی
۳۱۰	۶-۶. روش ترسیم سریع دیاگرام نیروهای داخلی
۳۱۸	۷-۶. تمرین

۷. اصطکاک ۳۲۲

۳۲۲	۱-۷. مقدمه
۳۲۲	۲-۷. فرضیه اصطکاک خشک
۳۳۳	۳-۷. کاربرد اصطکاک در ماشین‌ها
۳۴۶	۴-۷. تمرین

۴. تحلیل سازه‌ها

۴-۱. سازه و انواع آن

به مجموعه‌ای از اعضای متصل به یکدیگر که وظیفه تحمل بار و انتقال ایمن آن به تکیه‌گاه‌ها را بر عهده داشته باشند، سازه گفته می‌شود. شکل ۴-۱، تصویر سازه‌ای را نشان می‌دهد که وظیفه تحمل بارهای وارد بر سقف از جمله بار برف را بر عهده دارد.

در یک تقسیم‌بندی کلی، انواع سازه عبارتند از:

۱. سازه خطی: این سازه‌ها متشکل از اعضای هستند که یک بعد آن‌ها در مقایسه با دو بعد دیگر، بسیار بزرگتر است، به گونه‌ای که می‌توان از دو بعد در مقایسه با آن صرف‌نظر کرده و آن را خطی در نظر گرفت. تیرها و ستون‌ها نمونه‌هایی از اعضای خطی هستند. سازه‌های خطی را می‌توان به دو دسته کلی خرپاها و قاب‌ها تقسیم کرد. در شکل‌های ۴-۱ و ۴-۲ این دو نوع سازه خطی نشان داده شده است.

۲. سازه سطحی: در این نوع سازه‌ها، یک بعد نسبت به دو بعد دیگر کوچک و قابل صرف‌نظر کردن است. در نتیجه سازه‌ای با دو بعد خواهیم داشت که به آن سازه سطحی گویند. شکل ۴-۳ نمونه‌ای از یک سازه سطحی را نشان می‌دهد.

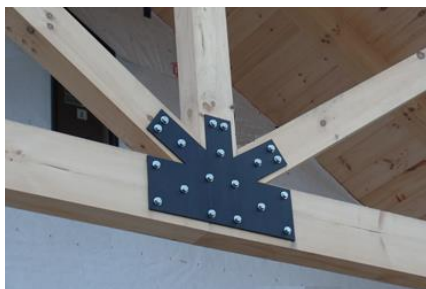
۳. سازه حجمی: سازه‌هایی مانند سازه نشان داده شده در شکل ۴-۴ که از هیچ یک از ابعاد آن در مقایسه با ابعاد دیگر نتوان صرف‌نظر کرد، سازه حجمی گویند.

۴. سازه ترکیبی: سازه‌ای که ترکیبی از دو یا هر سه نوع سازه بالا باشد را گویند.

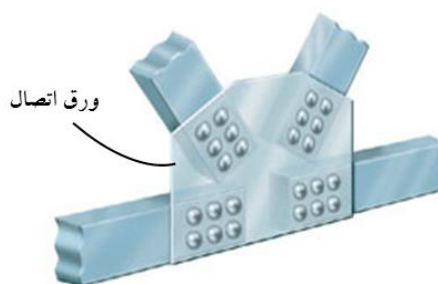
در استاتیک، تنها به بررسی و تحلیل سازه‌های خطی پرداخته می‌شود. همانطور که پیشتر نیز عنوان شد، سازه‌های خطی خود به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند.

۱. خرپا

۲. قاب و ماشین



ب



الف

شکل ۴-۶. ورق اتصال در یک خرپا (الف) نمای سه بعدی (ب) کاربرد در واقعیت

در حالت دیگر می‌توان اعضای خرپا را به هم پین کرد. خرپاهایی که همه اعضای آن در یک صفحه واقع شده باشند، خرپای دو بعدی^۱ نامیده می‌شود. این خرپاها که نمونه‌ای از آن در شکل ۴-۷ (الف) نشان داده شده است، عموماً برای ساخت پل‌ها و سقف‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در صورتی که اعضای خرپا در یک صفحه واقع نباشند، به خرپای حاصل، خرپای سه بعدی گفته می‌شود که در شکل ۴-۷ (ب) نشان داده شده است.



(ب)



(الف)

شکل ۴-۷. نمایشی از خرپا (الف) خرپای دو بعدی (ب) خرپای سه بعدی

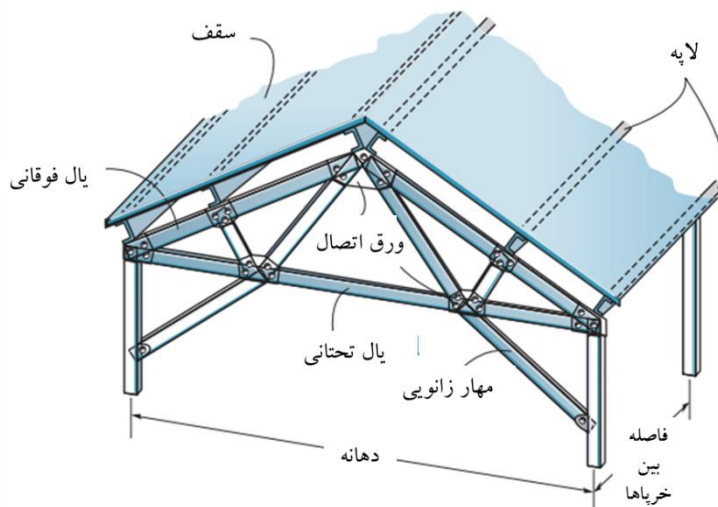
^۱ Planar Truss

۴-۴. انواع خرپای دو بعدی

همانطور که عنوان شد، خرپای دو بعدی در طراحی و ساخت سقف و پل مورد استفاده قرار می گیرد. در ادامه، انواع خرپاهای سقف و پل معرفی می شود.

۴-۴-۱. خرپای سقفی

این خرپا همانند آنچه در شکل ۴-۸ نشان داده شده است، اغلب به عنوان سقف سازه های صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد. نیروهای وارد بر سقف، به وسیله لایه ها^۱ به خرپاها منتقل می شود که این انتقال در محل اتصال اعضا به وقوع می پیوندد. خرپاهای سقفی، روی ستون های چوبی، فولادی یا بتنی سوار می شوند. گاهی به منظور افزایش سختی مجموعه خرپا و ستون های نگهدارنده آن در برابر نیروی باد، از مهار زانویی^۲ استفاده می شود. انتخاب خرپای مناسب برای سقف، بر مبنای عواملی چون کاربری سازه، دهانه مورد نیاز، شیب سقف و نوع مصالح مصرفی صورت می گیرد.



شکل ۴-۸. خرپای سقفی و اجزای سازنده آن

^۱ Purlins

^۲ Knee Brace

جدول ۴-۱ انواع خرپاها را به همراه نوع کاربرد و شکل آن‌ها نشان می‌دهد. خرپای قیچی^۱ که در شکل ۴-۹ نشان داده شده است، در سازه‌هایی که به ارتفاع مفید زیاد نیاز باشد، به کار می‌رود.



شکل ۴-۹. نمونه‌ای از یک خرپای قیچی در طراحی سقف

خرپای پرات^۲ و هاو^۳ (مطابق شکل ب و ج از جدول ۴-۱) برای دهانه‌های کوچک، بین ۱۵ تا ۳۰ متر مناسب هستند و در صورتی که نیاز به طراحی خرپا با دهانه بزرگتر باشد، می‌توان از خرپای فن^۴ یا فینک^۵ استفاده کرد. این خرپاها را می‌توان با پیش‌خیز مشابه آنچه در جدول ۴-۱ (و) نشان داده شده است نیز طراحی کرد.

اگر هدف طراحی سقف بدون شیب و یا با شیب کم باشد، استفاده از خرپای وارن^۶ مطلوب خواهد بود. استفاده از اعضای قائم در خرپای وارن انتخابی بوده و در صورت نیاز از آنها استفاده می‌شود. همچنین می‌توان برای سقف‌هایی که شیب‌دار نیستند، از شکل اصلاح شده خرپاهای هاو و پرات نیز استفاده کرد.

¹ Scissors Truss

² Pratt

³ Howe

⁴ Fan

⁵ Fink

⁶ Warren

جدول ۴-۱. انواع خرپاهای سقفی، کاربرد و شکل آن

ردیف	نوع خرپا	کاربرد	شکل
ز	وارن	طراحی سقف بدون شیب یا سقف با شیب کم	
ح	اره دندانه‌ای	لزوم تامین نور کافی و یکنواخت	
ط	بواسترینگ	مناسب طراحی تعمیرگاه‌ها و آشپانه هواپیما	
ی	خرپای کمان شکل	امکان تامین سازه‌های مرتفع با دهانه بزرگ - هزینه ساخت بالا	

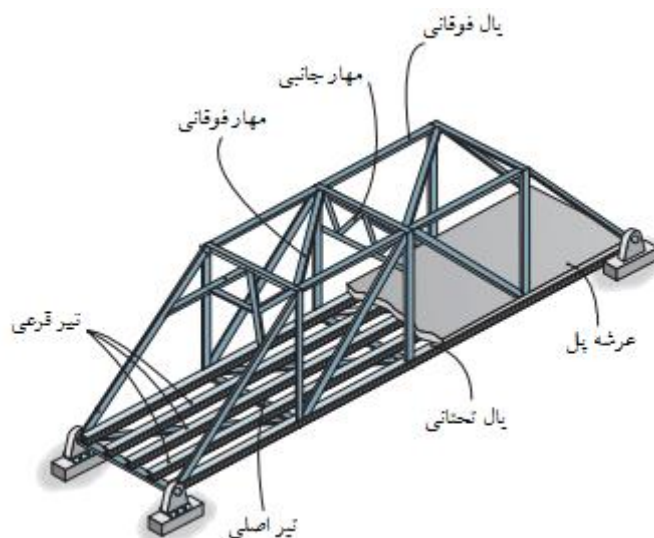
۴-۴-۲. خرپای پل

عناصر اصلی سازنده یک خرپای پل در شکل ۴-۱۱ نشان داده شده است. با بررسی نیروهای وارد بر این خرپا، می‌بینیم که نیروی وزن اجسام از عرشه پل^۱، ابتدا به تیرهای فرعی^۲ و سپس به تیرهای اصلی^۳ و نهایتاً از تیرهای اصلی به مفاصل خرپاهای موجود در دو سر پل منتقل می‌شود.

^۱ Deck

^۲ Stringer

^۳ Floor Beam



شکل ۴-۱۱. ساختمان یک خرپای متداول در سازه یک پل

یال‌های فوقانی و تحتانی به مهارهایی متصل هستند که منجر به افزایش سختی و تحمل سازه در برابر نیروی باد، نیروی ناشی از حرکت وسایل نقلیه روی عرشه پل و سایر نیروهای جانبی وارد بر آن می‌شود. برای جلوگیری از تغییر شکل اعضای خرپا بر اثر انبساط حرارتی در فصول مختلف سال نیز یک سمت پل به تکیه‌گاه غلتکی مجهز می‌شود.

تعدادی از خرپاهای مورد استفاده در سازه پل‌ها در ادامه نشان داده شده است. برای دهانه‌های کوچک تا طول ۶۰ متر، استفاده از خرپاهای پرات، هاو و وارن توصیه می‌شود اما برای دهانه‌های بزرگتر، از خرپای پارکر^۱ مشابه آنچه در جدول ۴-۲ نشان داده شده است استفاده می‌شود که یال فوقانی آن، یک چند ضلعی است. خرپای وارن با اعضای قائم را می‌توان برای دهانه‌های بیش از ۹۰ متر استفاده نمود.

^۱ Parker