Namatek
True Education

Static Structural Analysis

www.namatek.com

تحلیل استاتیکی چیست؟

فهرست مطالب

۱. تحلیل استاتیکی چیست؟
۲. انواع سازه ها و اعضای ساختاری
۳. مفاهیم و اصول بنیادی تحلیل استاتیکی
۴. روش تحلیل استاتیکی
۵. مثالی از کاربرد تحلیل استاتیکی در قوس‌ها
۶. نرم افزار تحلیل استاتیکی پلکسیس

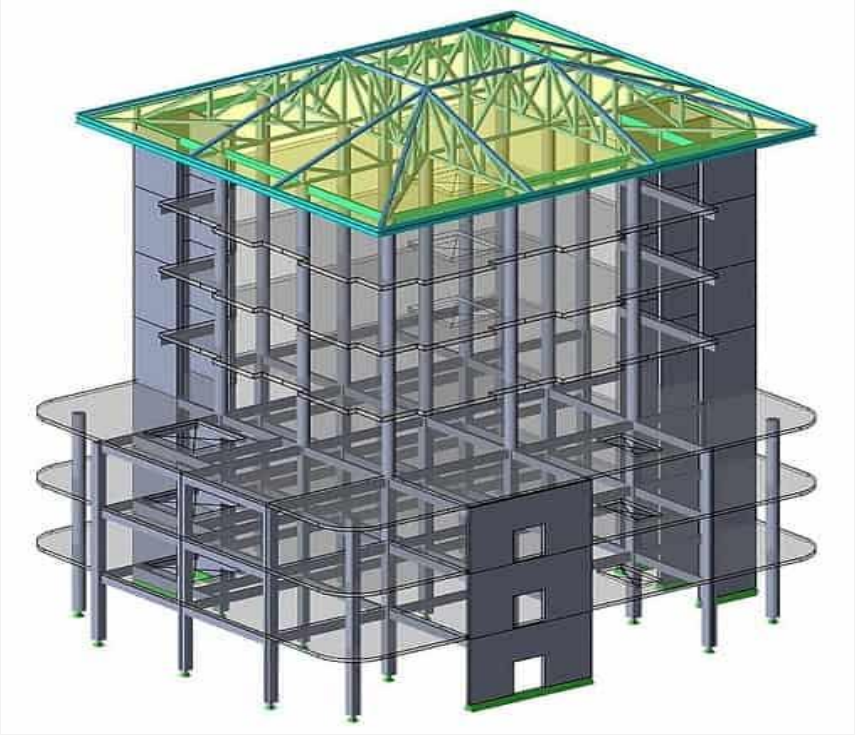
www.namatek.com

تجزیه و تحلیل سازه، رشته اساسی و جذاب در مهندسی است که با جزئیاتی مانند پایداری، ایمنی و کارایی سازه سروکار دارد. دانستن اینکه چگونه ساختمان‌ها و سازه‌ها می‌توانند نیروها را تحمل کنند یک وظیفه حیاتی است. این‌جاست که تحلیل استاتیکی مطرح می‌شود؛ اما تحلیل استاتیکی چیست؟

تجزیه و تحلیل استاتیک ابزار قدرتمندی است که به مهندسان و معماران بینش‌های پیش‌بینی کننده ارائه می‌دهد و پایداری سازه‌ها را تضمین می‌کند. این امر برای اطمینان از این‌که اعضای سازه‌ای از الزامات ایمنی و قابلیت سرویس مندرج در آیین‌نامه ساختمان محلی و مشخصات منطقه‌ای که سازه در آن قرار دارد را برآورده می‌کنند، ضروری است.

این مقاله مقدمه کوتاه تجزیه و تحلیل استاتیک بر انعطاف‌پذیری عناصر ساختاری ساده مانند تیرهای سقف یا پل‌ها تمرکز می‌کند و به سوالاتی هم‌چون تحلیل استاتیکی چیست، پاسخ می‌دهد. در ادامه با ما همراه باشید.

تحلیل استاتیکی چیست؟



سازه، به‌عنوان یک واژه پرکاربرد در مهندسی عمران، سیستمی از اعضای به‌هم پیوسته است که برای تحمل بارهای خارجی استفاده می‌شود و تحلیل سازه پیش‌بینی پاسخ سازه‌ها به بارهای خارجی دلخواه مشخص‌شده است.

در مرحله طراحی اولیه ساخت سازه، بار خارجی بالقوه سازه، توسط مهندسان برآورد می‌شود و اندازه اعضای به‌هم پیوسته سازه براساس بارهای برآوردشده تعیین می‌گردد. تحلیل سازه رابطه بین بار خارجی مورد انتظار یک عضو سازه و تنش‌ها و جابه‌جایی‌های داخلی توسعه‌یافته متناظر سازه را که در هنگام سرویس در داخل عضو رخ می‌دهد، ایجاد می‌کند.

در مهندسی سازه، ارزیابی رفتار سازه ها یک جنبه اساسی برای اطمینان از ایمنی، قابلیت اطمینان و عملکرد بهینه است.

دو روش برجسته مورد استفاده برای این منظور، تجزیه و تحلیل استاتیک و پویا مطرح است. به‌طور کلی، تحلیل سازه ایستا یا همان تحلیل

استاتیکی، اساسی‌ترین و رایج‌ترین نوع تحلیل است. معمولاً این‌کار در اولین مرحله و قبل از تحلیل‌های دینامیکی یا گذرا پیچیده‌تر انجام می‌شود و نتیجه تحلیل می‌تواند به این گونه مطرح شود که اگر یک قطعه یا مجموعه در شرایط استاتیک به اندازه کافی مستحکم عمل نکند، اغلب در شرایط بارگذاری دینامیکی مقاومت نخواهد کرد.

حال سوال این‌جاست اثرات عملکردی تحلیل استاتیکی چیست و شامل کدام موارد می‌شود. تحلیل‌های ساختاری استاتیک ممکن است شامل تحلیل‌های غیرخطی مانند تغییر وضعیت تماس، اثرات انحراف بزرگ/کرنش بزرگ و غیرخطی‌های مواد (یعنی پلاستیسیته و فوق الاستیسیته) باشد.

علاوه بر این تحلیل‌های استاتیکی ساختاری را می‌توان با سایر فیزیک‌ها نیز همراه کرد که در این صورت می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- برهم‌کنش حرارتی / ساختاری
- برهم‌کنش سیال - ساختار(FSI)
- الکترومغناطیسی / ساختاری
- آکوستیک / ساختاری
- ساختاری / اپتیکی
- پیزوالکتریک

یکی دیگر از مسائل مهم در انواع تحلیل‌ها بحث بهینه‌سازی است.

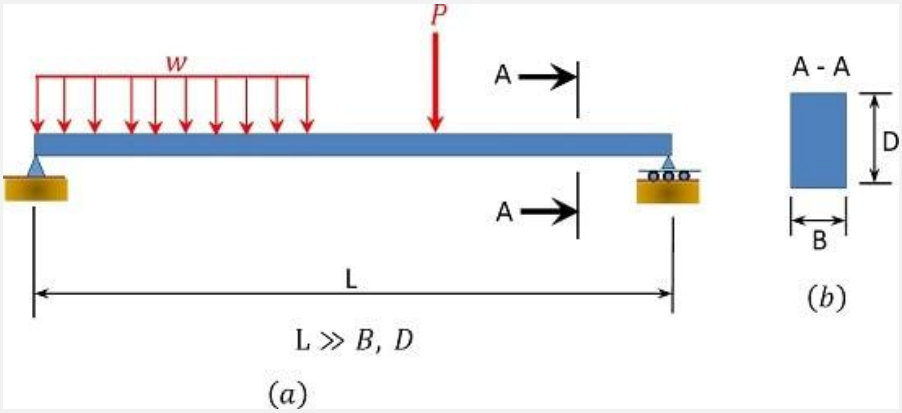
برای تحلیل استاتیک می‌توان از روش‌های بهینه‌سازی شامل پارامتریک، توپولوژی، شکل و توپوگرافی استفاده کرد.

انواع سازه ها و اعضای ساختاری

انواع مختلفی از سازه‌های مهندسی عمران از جمله ساختمان‌ها، پل‌ها، برج‌ها، طاق‌ها و کابل‌ها وجود دارد. اعضا یا اجزایی که یک سازه را تشکیل می‌دهند بسته به الزامات عملکردی می‌توانند اشکال مختلفی داشته باشند که برخی از آن‌ها در تحلیل استاتیکی نقش مهم‌تری دارند.

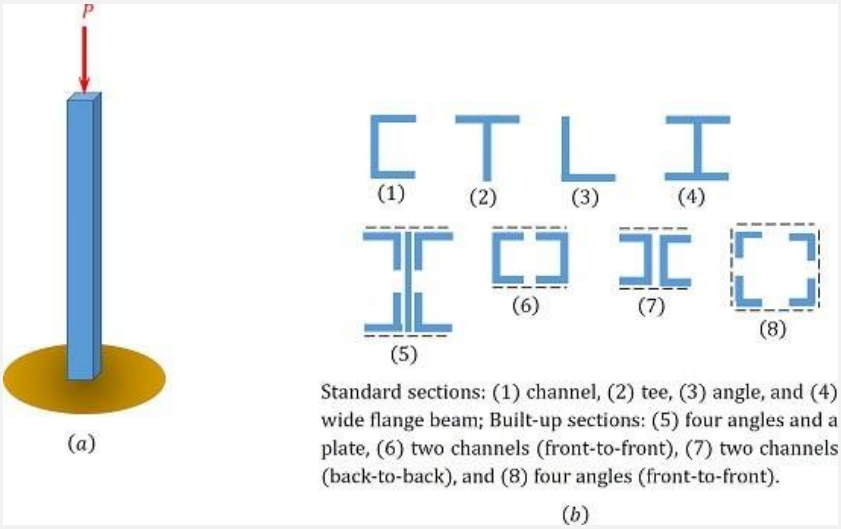
اگر برای شما هم مهم است بدانید که اصلی‌ترین اعضای سازه در تحلیل استاتیکی چیست باید گفت که اعضای اصلی سازه را می‌توان به انواع تیر، ستون و سازه کششی، قاب و خرپا طبقه‌بندی کرد. ویژگی‌های این فرم‌ها در این قسمت به اختصار مورد بحث قرار خواهد گرفت.

تیرها



تیرها اعضای سازه‌ای هستند که ابعاد طولی آن‌ها به‌طور محسوسی از ابعاد جانبی آن‌ها بیشتر است. مقطع تیر می‌تواند مستطیلی، دایره‌ای یا مثلثی باشد یا می‌تواند از مقاطع استاندارد مانند کانال‌ها، سه‌راهی‌ها و زاویه‌ها باشد. تیرها همیشه در جهت طولی بارگذاری می‌شوند.

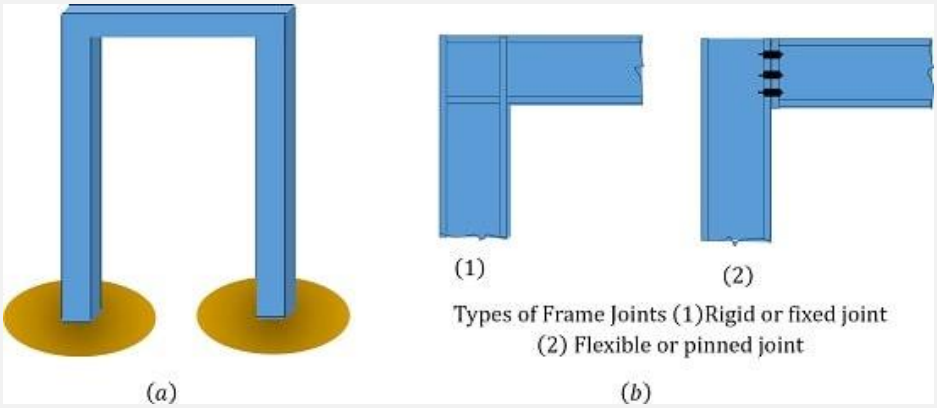
ستون‌ها و سازه‌های کششی



ستون‌ها اعضای ساختاری عمودی هستند که تحت فشار محوری قرار می‌گیرند، همان‌طور که در شکل بالا نشان داده شده است. آن‌ها هم‌چنین به‌عنوان پایه‌های یک سازه بزرگتر شناخته می‌شوند. ستون‌ها می‌توانند در مقطع خود دایره، مربع یا مستطیل باشند یا از مقاطع استاندارد استفاده کنند. در برخی از کاربردهای مهندسی، که در آن استحکام تک عضوی ممکن است برای تحمل بار معین کافی نباشد، از ستون‌های پیش‌ساخته، استفاده می‌شود. یک ستون پیش‌ساخته از دو یا چند بخش استاندارد تشکیل شده است، همان‌طور که در شکل پایین قسمت b نشان داده شده است. سازه‌های کششی شبیه به ستون‌ها هستند با این تفاوت که تحت کشش محوری قرار می‌گیرند.

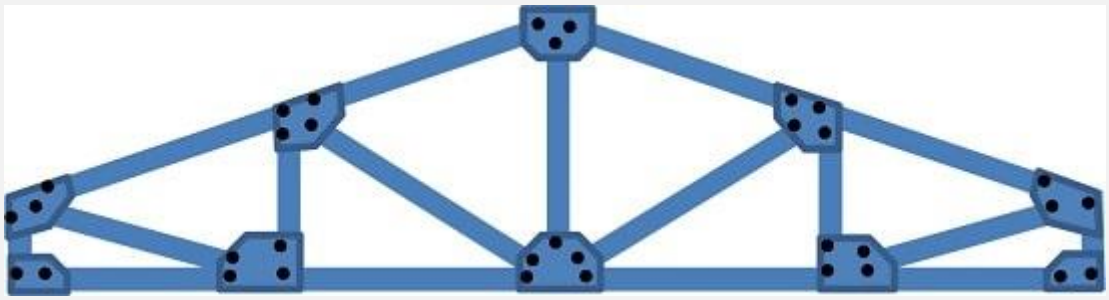
فریم‌ها

قاب‌ها سازه‌هایی هستند که از اعضای عمودی و افقی تشکیل شده‌اند، همان‌طور که در شکل پایین نشان داده شده است.



فریم‌ها به دو دسته نوسان یا بدون نوسان طبقه‌بندی می‌شوند. یک قاب نوسانی اجازه حرکت جانبی را می‌دهد، درحالی‌که یک قاب بدون نوسان اجازه حرکت در جهت افقی را نمی‌دهد. حرکت جانبی قاب‌های نوسانی در تحلیل آن‌ها لحاظ شده است. فریم‌ها را می‌توان به‌عنوان سفت یا انعطاف‌پذیر نیز طبقه‌بندی کرد. همان‌طور که در شکل قسمت b نشان داده شده است، اتصالات یک قاب سفت، ثابت هستند، درحالی‌که اتصالات یک قاب انعطاف‌پذیر قابل حرکت می‌باشند.

خرپاها



همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، خرپاها چارچوب‌های سازه‌ای هستند که از اعضای مستقیم متصل‌شده در اتصالات تشکیل شده‌اند و اما تحلیل این سازه در تحلیل استاتیکی چیست؟ در آنالیز خرپاها، بارهایی در اتصالات اعمال می‌شود و فرض می‌گردد که اعضا در اتصالات، با استفاده از پین‌های بدون اصطکاک متصل می‌شوند.

مفاهیم و اصول بنیادی تحلیل استاتیکی

برای انجام تحلیل بر روی سازه‌ها چند مفهوم کلی مطرح می‌باشد. در این قسمت به این سوال که مفاهیم پایه در تحلیل استاتیکی چیست پاسخ می‌دهیم.

شرایط تعادل

سازه‌های مهندسی عمران به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که در صورت برخورد نیروهای خارجی در حالت سکون باشند. یک سازه در حالت سکون باید شرایط تعادل را برآورده کند که این مستلزم آن است که نیروی حاصل بر روی یک سازه برابر با صفر باشد. تیری را تصور کنید که سقف را پشتیبانی می‌کند. مجموع تمام نیروهای عمودی باید صفر باشد که نشان می‌دهد نیروهای رو به بالا نیروهای رو به پایین را متعادل می‌کنند.

سازگاری جابه‌جایی

یکی دیگر از مفاهیم مهم در تحلیل استاتیک مفهوم سازگاری جابه‌جایی است ولی سازگاری جابه‌جایی در تحلیل استاتیکی چیست؟ وقتی یک سازه تغییر شکل می‌دهد، اعضای سازه که در یک نقطه به‌هم متصل شده‌اند،

بدون حفره یا سوراخ در آن نقطه متصل می‌مانند که به این اتفاق سازگاری جابه‌جایی می‌گویند. به‌عبارت دیگر، در صورت تغییر شکل سازه در اثر بار اعمالی، دو قسمت از سازه در جابه‌جایی‌ها سازگار هستند. سازگاری جابه‌جایی مفهوم قدرتمندی است که در تحلیل سازه‌های نامعین با نیروهای زائد ناشناخته بیش از سه معادله تعادل استفاده می‌شود.

چهار واکنش ناشناخته در تیر وجود دارد که عبارت اند از: ممان واکنشی، یک واکنش عمودی و افقی در انتهای ثابت و یک واکنش عمودی دیگر در پایه در نقطه.

اصل برهم نهی

اصل برهم نهی یکی دیگر از اصول بسیار مهم مورد استفاده در تحلیل سازه است. این اصل بیان می‌کند که اثرات بار ناشی از دو یا چند بار در یک سازه الاستیک خطی برابر است با مجموع اثرات بار ناشی از بارگذاری منفرد. براساس اصل برهم نهی، جابه‌جایی در انتهای آزاد تیر، مجموع جبری جابه‌جایی‌های ناشی از بارهای فردی است.

اصل کار-انرژی

اصل کار-انرژی ابزار بسیار قدرتمندی در تحلیل سازه است. کار به‌عنوان حاصل ضرب نیرو و مسافت طی‌شده توسط نیرو تعریف می‌شود، در حالی که انرژی به‌عنوان توانایی انجام کار تعریف می‌گردد. کار می‌تواند به انرژی‌های مختلفی ازجمله انرژی جنبشی، انرژی پتانسیل و انرژی کرنشی تبدیل شود.

در مورد یک سیستم استاتیکی، براساس قانون بقای انرژی، کار انجام شده در برابر با انرژی کرنش است که در هنگام تغییر شکل سیستم ذخیره می‌شود.

اصل کار مجازی

اصل کار مجازی یکی دیگر از ابزارهای تحلیلی قدرتمند و مفید در تحلیل سازه است. این اصل در سال ۱۷۱۷ توسط یوهان برنولی توسعه یافت.

کار مجازی به‌عنوان کار انجام‌شده توسط یک نیروی مجازی یا موهومی که بر روی یک جسم تغییرشکل‌پذیر در یک فاصله واقعی اعمال می‌شود، تعریف می‌گردد یا می‌توان گفت کار مجازی کار انجام شده توسط یک نیروی واقعی است که بر روی یک جسم سفت از طریق یک جابه‌جایی مجازی یا ساختگی اعمال می‌شود.

روش تحلیل استاتیکی

تحلیل سازه ایستا با نتایج عددی کمی و خروجی گرافیک کامپیوتری، رفتار یک سازه را در شرایط بارگذاری استاتیکی تعیین می‌کند. در این تحلیل مهندسان از مدل‌های ریاضی و ابزارهای محاسباتی و اخیراً پیش‌بینی‌های یادگیری ماشینی برای ساختارهای ثابت و صریح استفاده می‌کنند.

ماهیت تحلیل سازه ایستا در توانایی آن در پیش بینی پاسخ سازه نهفته است. با مطالعه توزیع تنش‌ها و کرنش‌ها، مهندسان می‌توانند مناطق ضعیف را قبل از شروع ساخت و ساز شناسایی کنند که آن‌ها را قادر می‌سازد تا تنظیمات لازم را برای افزایش استحکام و دوام سازه انجام دهند.

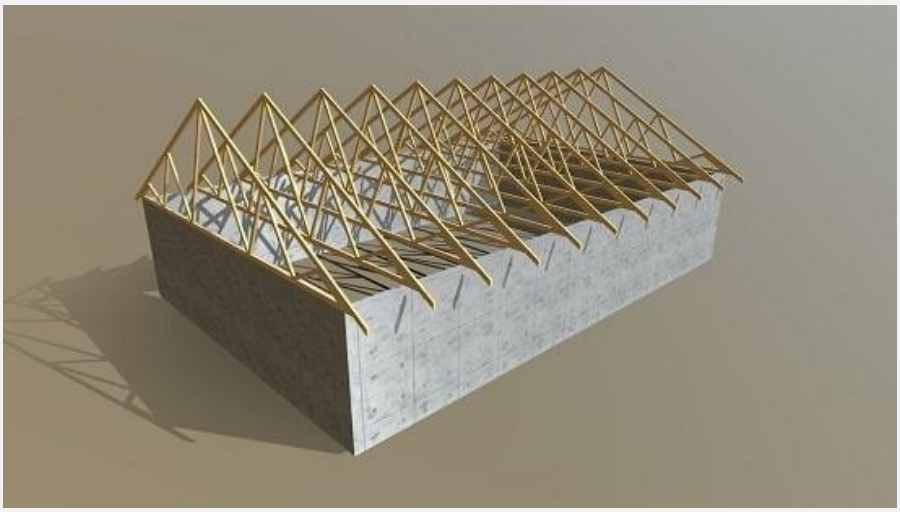
برای انجام تحلیل استاتیکی رفتار یک سازه را زمانی که تحت یک بار ثابت یا بدون تغییر قرار می‌گیرد، مورد ارزیابی قرار می‌دهند. ویژگی‌های اساسی تحلیل استاتیکی عبارت‌اند از:

۱. **بار ثابت:** در تحلیل استاتیکی، بارهای اعمال‌شده با گذشت زمان تغییر نمی‌کنند. این بارها می‌توانند شامل بارهای مرده (وزن خود سازه) و بارهای زنده (بارهای اضافی مانند بارهای سرنشینان، مبلمان یا بارهای محیطی) باشند.

۲. **تعادل:** تجزیه و تحلیل استاتیک بر اصل تعادل تکیه دارد. به این معنی که مجموع نیروها و گشتاورهای وارد بر یک سازه صفر است. در این روش فرض می‌شود که سازه در حالت تعادل ایستا قرار دارد.

۳. **رفتار خطی**: سازه‌هایی که از طریق روش‌های استاتیکی تحلیل می‌شوند، رفتار خطی دارند و خواص مواد در طول تحلیل ثابت می‌مانند.

تکنیک‌های پیشرفته تحلیل استاتیک



آنالیز غیرخطی یک تکنیک پیشرفته در تحلیل‌های سازه ایستا است که به مهندسان امکان می‌دهد غیرخطی بودن مواد، تغییرشکل‌های بزرگ و سایر عوامل را در نظر بگیرند. این تکنیک برای بارهای متناوب با زمان متغیر، برهم نهی، تجزیه و تحلیل پاسخ سیستم را با در نظر گرفتن جداگانه هر بار و جمع‌بندی آن‌ها امکان‌پذیر می‌کند و اما لزوم استفاده از این تکنیک‌ها در تحلیل استاتیکی چیست؟

هنگامی که بارهای متغیر با زمان، اثرات دینامیکی قابل توجهی دارند، ممکن است تکنیک‌های تحلیل دینامیکی پیشرفته‌تری مانند آنالیز مودال، تحلیل پاسخ فرکانسی یا تحلیل تاریخچه زمانی، لازم باشد.

برای نمایش ساده‌تر، بارهای متغیر با زمان را به بارهای استاتیکی معادل تبدیل کنید و امکان استفاده از روش‌های تحلیل استاتیک سنتی را فراهم کنید.

مثالی از کاربرد تحلیل استاتیکی در قوس‌ها

تا به حال به این فکر کرده اید که قوس ها چگونه بلند می‌شوند؟ در علم استاتیک، قوس‌ها عناصر سازه‌ای هستند که برای تحمل بارها و بازشوهای دهانه بر اصل تراکم تکیه دارند. قوس یک سازه منحنی است که معمولاً از سنگ، آجر یا مواد دیگر ساخته می‌شود و وزنی را که حمل می‌کند در امتداد منحنی خود به بیرون منتقل می‌کند و بار را دوباره در تکیه‌گاه‌هایش تقسیم می‌کند.

اگر برای شما هم سؤال شده است که در یک قوس مفهوم تحلیل استاتیکی چیست، باید بگوییم که هنگامی که باری به بالای یک قوس وارد می‌شود، قوس نیروی عمودی را به نیروهای افقی تبدیل می‌کند که به سمت

تکیه‌گاه‌ها هدایت می‌شوند. قوس‌ها در درجه اول تحت نیروهای فشاری کار می‌کنند. همان‌طور که بار روی قوس به سمت پایین فشار می‌آورد، سازه فشرده می‌شود. سنگ‌ها یا مصالح ساختمانی در قوس به‌گونه ای طراحی شده‌اند که در برابر این نیروی فشاری مقاومت کنند.

سنگ کلید، سنگ مرکزی و اغلب گوه‌ای شکل در بالای طاق است و نقش مهمی در حفظ ثبات قوس دارد. کیستون سنگ‌های دیگر را در جای خود قفل می‌کند و از فروریختن قوس جلوگیری می‌نماید. قوس زمانی به حالت تعادل ایستا می‌رسد که مجموع نیروهای عمودی و افقی وارد بر آن صفر شود. به عبارت دیگر، قوس متعادل است و هیچ نیروی خالصی که باعث حرکت یا تغییر شکل آن شود، وجود ندارد.

نرم افزار تحلیل استاتیکی پلکسیس

به‌طور گسترده چندین نرم افزار تحلیل سازه توسط مهندسان سازه مدرن استفاده می‌شوند. یک تحلیل مقایسه‌ای می‌تواند ویژگی‌ها، نقاط قوت و محدودیت‌های آن‌ها را روشن کند. در بین نرم‌افزارهای موجود، برخی از نام‌های شناخته‌شده مانند پلکسیس، انسیس و آباکوس وجود دارند که با ارزیابی این ابزارها، مهندسان می‌توانند براساس نیازهای پروژه خاص خود تصمیمات آگاهانه بگیرند. پلکسیس سه بعدی به‌عنوان یکی از این ابزارها، ویژگی‌های مدل‌سازی گسترده‌ای را برای مدل‌سازی سازه‌ها و تعامل بین سازه‌ها و خاک ارائه می‌دهد. با استفاده از این نرم‌افزار شما می‌توانید هر نوع پروژه‌ای را با موفقیت انجام دهید، مانند:

- حفاری‌ها
- هم‌پایه های کم‌عمق و عمیق

- خاکریزها
- تونل‌ها
- معادن
- لایروبی

هم‌چنین مسئله مهم در این نرم‌افزار، ارزیابی صحیح نیروهای سازه‌ای ایجاد شده در طول ساخت پروژه می‌باشد. در اینجا مروری بر عناصر سازه‌ای موجود و هم‌چنین تکنیک‌های مختلف برای تجسم نیروهای سازه‌ای در پلکسیس را آورده‌ایم.

عناصر ساختاری تحلیل سازه در پلکسیس

پلکسیس انتخاب زیادی از عناصر ساختاری را ارائه می‌دهد که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- لنگرها
- ستون‌ها و تیرهای تعبیه شده
- صفحه‌ها
- ژئوگریدها
- رابط ها

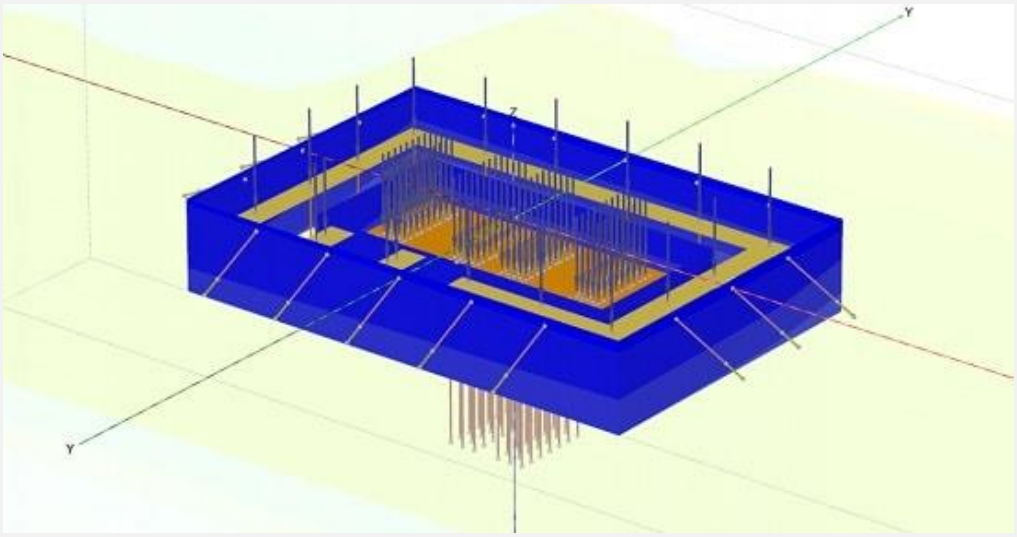
صفحات در پلکسیس

صفحات در PLAXIS نیز در محیط های مدل‌سازی دو بعدی و سه بعدی ارائه می‌شوند و براساس تئوری ماین‌دلین-ریسنر فرموله می‌شوند.

اما کاربرد این صفحات در تحلیل استاتیکی چیست؟ می‌توان این صفحات را برای انواع مختلفی از سازه‌ها استفاده کرد، از جمله:

- دیوارهای نگهدارنده
- پایه‌های قایق
- پوشش‌های تونل
- کف و دیوار ساختمان

از معادلات تعادل صفحه نیروهای عادی درون صفحه (۲ جزء)، ممان خمشی و پیچشی (به ترتیب ۲ + ۱ جزء) و نیروهای برشی عرضی (۲ جزء) می‌توان در این نرم افزار استفاده کرد. عکس زیر یک نمونه استفاده از عناصر سازه‌ای PLAXIS در گودال حفاری سه بعدی را نشان می‌دهد:



تجزیه و تحلیل استاتیکی برای ساخت و نگهداری سازه‌های شهری مانند ساختمان‌ها و پل‌ها بسیار حیاتی است؛ زیرا اطمینان از رعایت استانداردهای ایمنی و صحت ساختاری را فراهم می‌کنند. بنابراین تحقیقات در این زمینه، برای پیشرفت فرایندها و بهبود پایداری و ایمنی سازه‌ها امری مهم می‌باشد. یکی از روش‌های مهم برای بررسی رفتار سازه‌ها در مقابل بارهای اعمال‌شده تحلیل استاتیکی می‌باشد.

بررسی رفتار اجزای مختلف سازه با استفاده از اصول تعادل، برهم نهی و... مراحل این تحلیل را تشکیل می‌دهد.

این‌که مزیت تحلیل استاتیکی چیست می‌توان گفت که قبل از ساخت هر سازه‌ای، تمام جوانب تاثیرگذاری اثرات جانبی بر روی سازه را به‌صورت شماتیک بررسی می‌کنند تا در پیاده‌سازی کمترین میزان آسیب تحت فشار را داشته باشند.