

چه زمانی می توان از رفتار غیرخطی هندسی چشم پوشی کرد؟

محاسبات FEA خطی رایج ترین نوع تحلیل استاتیکی است که با المان های محدود انجام می شود. قبلاً توضیح داده شد که چه زمان می توان از رفتار غیرخطی مصالح چشم پوشی کرد. در این مقاله خواهیم گفت که چه زمانی می توانیم از رفتار غیرخطی هندسی چشم پوشی کنیم.

یک یادآوری کوتاه

چندین موضوع وجود دارد که باید آن ها را زمانی که می خواهید طراحی استاتیکی خطی انجام دهید، رعایت کنید. در اینجا ما طراحی دینامیکی را توضیح نخواهیم داد، اما «خطی بودن» به این معنی است که شما چند موضوع کلیدی را در آنالیز اجزای محدود (FEA) خطی حذف می کنید.

- **مصالح** - من فکر می کنم وقتی که از مهندسان پرسیده می شود رفتار غیرخطی چیست، به طور خودکار اکثر آن ها درباره ی رفتار غیرخطی مصالح فکر می کنند. این موضوع بسیار مهمی است چراکه مدل های بسیار مختلفی از مصالح وجود دارد و مسلماً تنظیمات زیادی برای آن ها مورد نیاز است. خوب است بدانید که چه زمانی می توانید این اثر را نادیده گرفته و به سادگی از مصالح خطی استفاده نمایید.
- **هندسه** - دومین جنبه ی آشکار است. رفتار غیرخطی هندسی می تواند از طریق طراحی کمانشی یا اثرات مرتبه ی دوم در تحلیل کمک کننده باشد. متأسفانه تعریف یک مورد در این حالت زمان زیادی می طلبد. همچنین محاسبه نیز بسیار طولانی تر است. این موضوعات باعث این سؤال شده است که آیا چشم پوشی از این اثر می تواند از نظر ایمنی مشکلاتی را به وجود آورد یا خیر.
- **تماس** - بسته به منبع، ممکن است در تعیین اینکه تماس همیشه غیرخطی بوده یا می تواند خطی نیز باشد، مشکلاتی داشته باشید. تماس می تواند غیرخطی باشد. لذا این موضوع زمانی که چشم پوشی از آن تأثیری ایجاد می کند، بررسی می شود.
- **نیروهای پیرو** - موضوع نسبتاً کم اهمیتی است. اگر کاملاً مشخص کنیم که رفتار از نوع غیرخطی هندسی است، مطمئن خواهیم بود که تغییر مکان ها در مدل کوچک هستند. در این شرایط واقعاً تفاوتی نمی کند که بارها از شکل هندسی پیروی می کنند یا خیر. این موضوع در تحلیل غیرخطی هندسی نقشی بازی خواهد کرد اما بحث امروز ما در محدوده ی خطی باقی خواهد ماند.

چه زمانی می توانید از رفتار غیرخطی هندسی صرف نظر کنید؟

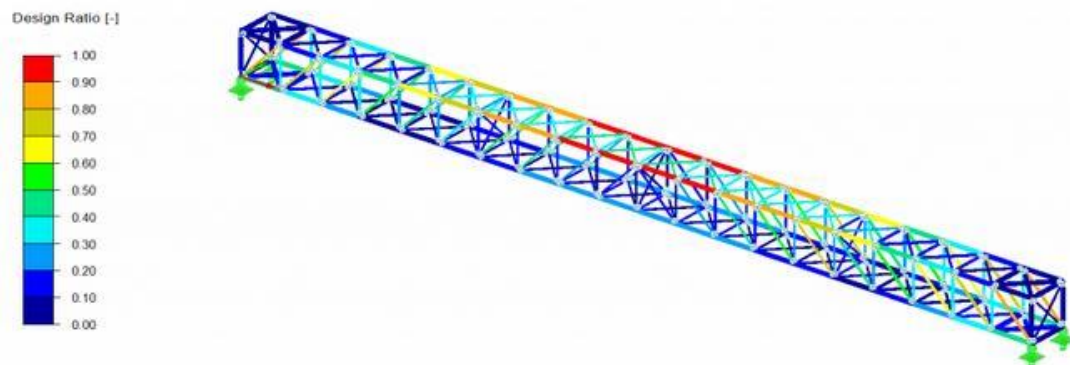
این سؤال پیچیده ای است. اگر بدانید که رفتار غیرخطی هندسی چگونه است، خواهید دانست که عملکرد آن نسبت به رفتار غیرخطی مصالح ظرافت بیشتری دارد. ساده ترین راه کنترل این است که یک تحلیل غیرخطی هندسی انجام شود و نتایج با یکدیگر مقایسه شوند. البته این روش، بی اثر خواهد بود. روش های ساده تری برای انجام این کار وجود دارد که ممکن است نیاز به تجربه ی خاصی داشته باشد. راحت ترین روش، انجام یک تحلیل کمانشی خطی می باشد.

معمولاً زمانی که چیزی مستعد رفتار غیرخطی هندسی (تغییر مکان‌های بزرگ) است، آن چیز دارای اتصالی با سختی خمشی اندک خواهد بود. این المان آنالیز شده نمی‌تواند بار را تحمل کند و در نتیجه دچار تغییر شکل می‌شود. این گونه اثرات باعث ایجاد مقدار ویژه کمی در تحلیل کمانشی خطی (LBA) خواهد شد. در صورتی که دارای تجربه باشید و بدانید که در جستجوی چه چیزی هستید، آنالیز نتایج LBA شروع خوبی خواهد بود.

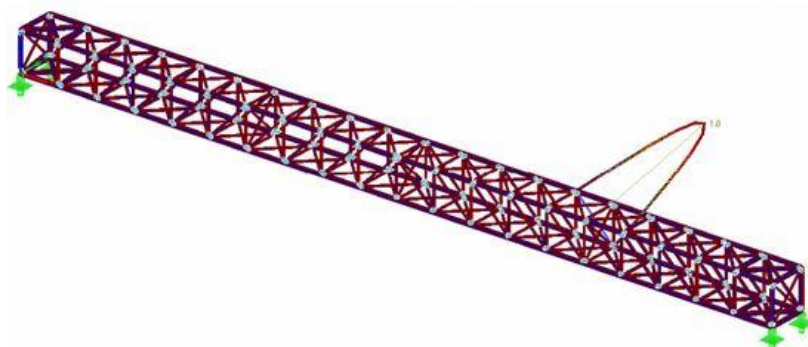
به طور ویژه‌تری در صورتی که مقدار ویژه‌ی مدل شما کمتر از ۱۰ باشد، باید محتاط باشید. حتی در Eurocode ۳ به عنوان یکی از کنترل‌ها برای سازه‌های فولادی در نظر گرفته شده است. آیین‌نامه‌ی مذکور همچنین می‌گوید در صورتی که از طراحی پلاستیک استفاده می‌کنید باید هدف تولید مقادیر ویژه‌ی بیشتر از ۱۵ باشد.

یک مثال LBA

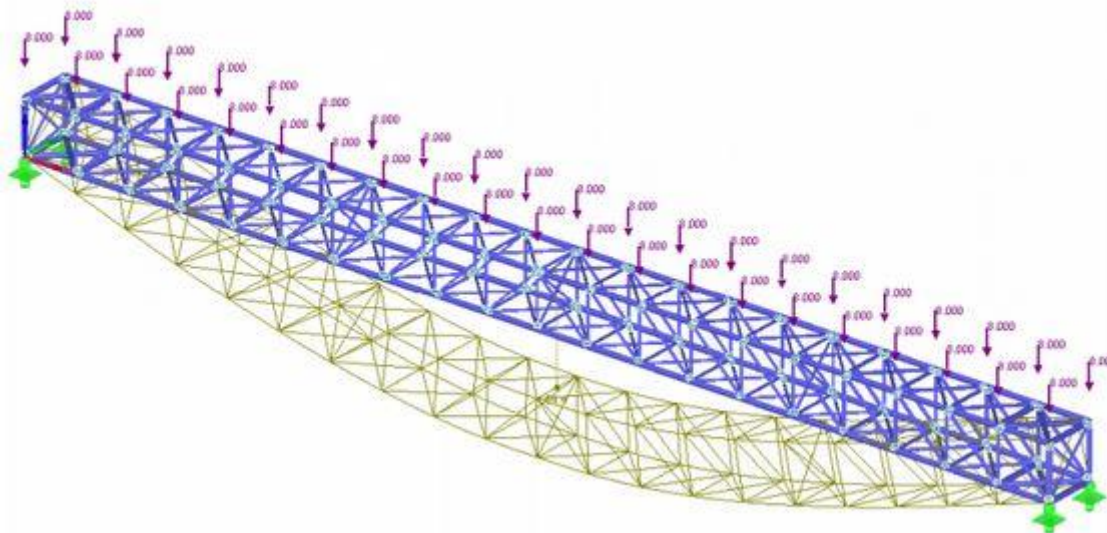
تصور کنید که یک خرپای فولادی را با تیرهایی مناسب طراحی می‌کنید. تمامی کنترل‌ها مطابق با EC (از جمله کمانش المان‌ها) صحیح هستند و حداکثر ظرفیت منطقی برابر با ۰,۹۶ می‌باشد:



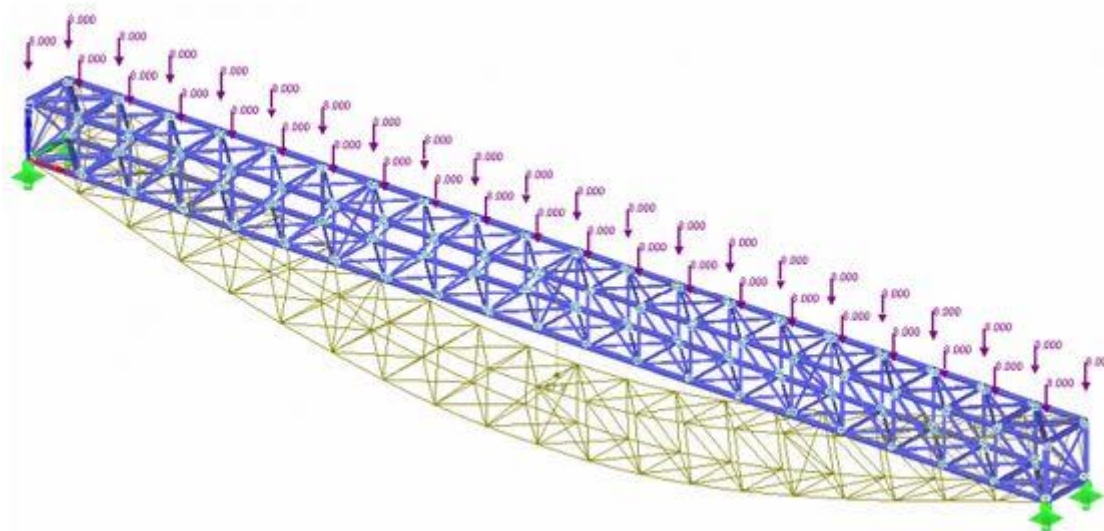
در مورد اعضای کوتاه تحت فشار، ظرفیت ۲ تا ۲,۵ برابر کمتر از نیروی اویلر (به علت نواقص و غیره) می‌باشد. این بدان معنی است که اگر شما یک خرپای ساده داشته باشید، مقادیر ویژه‌ی زیادی را در محدوده‌ی ۲ تا ۲,۵ به دست خواهید آورد.



با این حال این بدان معنی نیست که خرپای شما مستعد تغییر شکل‌های بزرگ است (که طبق معیاری که قبلاً شرح دادم موضوعی واضح به نظر می‌رسد). البته اثبات آن بسیار راحت است. تمام کاری که باید انجام دهید انجام یک محاسبات خطی است. توجه کنید که حداکثر تغییر شکل برابر با ۶۴,۴ میلی‌متر می‌باشد (حداکثر نسبت ظرفیت که در فوق گفته شد برابر با ۰,۹۶ می‌باشد):



سپس یک آنالیز غیرخطی هندسی انجام دهید. توجه کنید که حداکثر تغییر شکل برابر با ۶۷,۸ میلی‌متر می‌باشد.



حداکثر نسبت ظرفیت در این حالت برابر با ۱۰۰٪ می‌باشد.

به طور خلاصه، من تقریباً ۱۰۰ مقدار ویژه کمتر از ۵,۴ به دست آوردم که بسیار کمتر از مقدار پیشنهادی ۱۰ (کمترین آن ۵,۰۱ است) می‌باشد. این نشان می‌دهد که رفتار غیرخطی هندسی در مدل مهم است. با این حال این موضوع مدنظر نیست چراکه با وجود رفتار غیرخطی هندسی، تغییر شکل‌ها و تنش‌ها تا حدود ۵٪ افزایش یافتند. تغییر شگفت‌انگیزی نیست، درسته؟ این همان مشکل در خصوص رفتار غیرخطی هندسی است- چشم پوشی از آن نیاز به تجربه دارد. به همین علت است که من معمولاً در صورت نیاز از محاسبات غیرخطی هندسی در FEA استفاده می‌کنم.

من همچنان پس از ۱۰ سال تجربه در زمینه‌ی FEA شگفت زده می‌شوم! وقتی که از LBA برای تست استفاده می‌کنید همواره کنترل کنید که آیا FEA پیچ و تاب-پیچش را که به صورت متعارف «هفتمین درجه‌ی آزادی» نامیده می‌شود، در نظر می‌گیرد یا خیر. در غیر این صورت LBA شما نخواهد توانست کمانش پیچشی جانبی را در مدل‌های تیر لحاظ کند و تنها در مدل‌های صفحه‌ای/پوسته‌ای/توپر (صلب) کارکرد مناسبی خواهد داشت.

کنترل تغییر شکل‌ها!

یک ایده‌ی خوب دیگر ارضای معیار آیین نامه‌ای برای تغییر شکل‌های حداکثر می‌باشد. مطمئناً برای بسیاری از المان‌ها هیچ معیاری وجود ندارد. خوشبختانه شما می‌توانید شباهت‌هایی را از آنچه محاسبه می‌کنید به دیگر حالات تعریف شده پیدا کنید. از این طریق شما خواهید دانست که چه زمانی در محدوده‌ی تغییر شکل‌های «مجاز» برای سازه‌ی خود هستید و این بدان معنی است که از مشکلات تغییر شکل‌های بزرگ ایمن خواهید بود (مگر اینکه آیین نامه‌ای که در حال استفاده از آن هستید این تغییر شکل‌ها را به صورت متفاوتی تعریف کند).

معمولاً این معیارها تغییر شکل مجاز را در اختیار می‌گذارند. این مقدار معمولاً برابر است با طول المان تقسیم بر یک مقدار مشخص (مانند $L/250$). این روش در مهندسی عمران بسیار رایج است. طبق آیین نامه‌های Eurocode این کنترل‌ها SLS (حالت حدی خدمت پذیری) نامیده می‌شوند. وقتی که این کنترل‌ها را انجام می‌دهید تنها باید به خاطر داشته باشید که برای طره‌ها مقدار تغییر مکان مجاز بیش از دو برابر مقدار مذکور می‌باشد!

وقتی که مردد هستید از کدام حد استفاده کنید، دستورالعمل ساده‌ی زیر را دنبال کنید:

- در صورتی که المان «بی‌اهمیت» باشد، از تغییر شکل حداکثر $L/200$ استفاده کنید.
- برای المان‌هایی مثل پلیت‌های نازک، از تغییر شکل مجاز $L/150$ (گاهی اوقات $L/200$) استفاده کنید.
- برای المان‌های با اهمیت‌تر (که باید صلب باشند) از مقدار مجاز $L/350$ استفاده کنید.
- در صورتی که هیچ تغییر شکلی مجاز نباشد، از مقدار $L/500$ یا در حالات حدی از $L/1000$ استفاده کنید.

کرنش ۵٪

بر طبق این قانون، اگر در آنالیز خطی کرنش بیشتر از ۵٪ حاصل شود، باید آنالیز غیرخطی هندسی را انجام دهید.

خلاصه

برای کنترل اینکه آیا می‌توانید از رفتار غیرخطی هندسی چشم پوشی کنید یا خیر:

- آنالیز LBA را انجام دهید- اگر مقادیر ویژه‌ی بیشتر از ۱۰ (طراحی الاستیک) یا ۱۵ (طراحی پلاستیک) بودند به احتمال زیاد می‌توانید آن را در نظر نگیرید.
- اگر کمترین مقادیر ویژه کمتر از مقدار فوق بود، دقت کنید. این بدین معنی نیست که شما باید از رفتار غیرخطی هندسی استفاده کنید، اما ارزش امتحان آن را دارد.
- تغییر شکل‌های حاصل از تحلیل استاتیکی خطی را کنترل نمایید- این تغییر شکل‌ها باید مطابق با معیار مجاز باشند.

- اگر بتوانید از رفتار غیرخطی هندسی چشم پوشی کنید، از نیروهای پیرو نیز می‌توانید چشم پوشی کنید.
- اگر نسبت به استفاده از رفتار غیرخطی هندسی مطمئن نیستید- بهتر است که زمانتان را برای آن صرف کنید تا بعداً برای آن متأسف نباشید!

مترجم: علی برزگر

منبع:

<https://enterfea.com/ignore-geometric-nonlinearity/>