

## تحلیل کامپیوتری سازه‌ها - بخش اول

رامین فداییان، دکتری سازه

صرف در اختیار داشتن نرم‌افزار قدرتمند، توجیه‌کننده استفاده از آن نبوده بلکه این مغز متفکر مهندس محاسب است که می‌باید از این نرم‌افزارها، بجا و به‌موقع مانند یک ابزار بهره‌برداری نماید. هدف از این مقاله، آشناکردن دانشجویان و مهندسين گرامی با سرچشمه‌های خطا در تحلیل کامپیوتری سازه‌ها بوده و اینکه در چه مواردی نباید به نتایج خروجی برنامه‌های کامپیوتری اعتماد کرد.

### در چه مواردی می‌توان از کامپیوتر استفاده نمود:

- ۱- جاییکه برآورد مجهولات مستلزم محاسبات وقتگیر عددی است.
- ۲- جاییکه مجموعه‌ای از عملیات به دفعات و به تکرار انجام می‌شوند.
- ۳- جاییکه علیرغم تعداد کم تکرار در عملیات با پردازش داده‌های فراوانی سروکار داریم.

### در چه مواردی نباید از کامپیوتر استفاده نمود:

- ۱- هنگامی که فرضیات بکار گرفته شده در برنامه کامپیوتری با مسئله مورد نظر سازگاری ندارد.
- ۲- هنگامی که جوابهای وابسته به فرآیند کامپیوتری براساس اطلاعاتی هستند که صحت چندانی ندارند.
- ۳- هنگامی که هیچ شناختی نسبت به جوابهای خروجی مسئله نداریم.

به‌طور خلاصه:

باید نتایج خروجی کامپیوتر همواره بررسی و چک شوند. این یکی از وظایف کاربر است. باید معلومات کاربر کامپیوتر از مجموعه معلوماتی که تحت عنوان برنامه کامپیوتری مورد استفاده قرار می‌دهد، وسیع‌تر باشد. باید ذهن استفاده‌کننده همواره در تکاپو باشد و هر لحظه احتمال بروز خطا را بدهد. نباید هیچگاه اطمینان کامل به نتایج خروجی شود. صرف محاسبات کامپیوتری دلیلی بر دقت و کیفیت نیست. نباید به صرف در اختیار بودن وسیله روش تعریف شود. هر مسئله‌ای روشی دارد و برای حل آن هم راه‌حل بهینه‌ای وجود دارد. نباید هیچگاه تسلیم شرایط و محدودیت‌هایی شد که کامپیوتر بر کاربر تحمیل می‌کند. هنر یک مهندس محاسب آنست که با اتکا به دانش فنی خود و در اختیار گرفتن ابزار مناسب، مسائل مهندسی را در حیطه صلاحیت خویش حل و فصل نماید.

## سرچشمه‌های خطا در تحلیل کامپیوتری سازه‌ها

### ۱- مدل سازی مصالح:

مدل‌های ریاضی موجود برای مصالح مختلف ساختمانی، تنها یک تقریب ساده شده از رفتار واقعی مصالح می‌باشند. این مدل‌های ریاضی عموماً به طبیعت بارگذاری (استاتیکی، دینامیکی) شدت بارگذاری و جهت آن (مدل‌های خطی و غیرخطی) و شرایط تکیه‌گاهی نیز وابسته می‌باشند. در عین حال رفتار اختصاصی مصالح که ممکن است ناشی از رفتار غیرهمگن آن تحت مولفه‌های مختلف تنش باشد نیز در این میان موثر است. درحالت کلی می‌توان برای مدل‌های ریاضی موجود در برنامه‌های کامپیوتری، حوزه کاربردی را منظور داشت. بدین ترتیب که مثلاً تا هنگامی که تغییر شکل‌ها کوچک باشند و مصالح در تغییر شکل‌های کوچک وارد فاز رفتار خمیری نشود و همگن باشد، می‌توان از مدل ارتجاعی بهره گرفت. کنترل موجه و معتبر بودن فرضیات بکارگرفته شده در تحلیل کامپیوتری می‌باید پس از اخذ نتایج توسط مهندس محاسب انجام شود و در صورت مغایرت به اصلاح مدل اقدام گردد.

### ۲- مدل سازی هندسی سازه:

در مدل‌سازی هندسی سازه‌های متداول معمولاً تقریبهایی بکار گرفته می‌شوند که منجر به ساده‌تر شدن مسئله می‌گردند. به‌عنوان مثال در مدل‌سازی اعضای تیری یا ستونی، از ابعاد مقطع در برابر طول آن صرف‌نظر شده و المان به‌صورت خطی با بعد صفر منظور می‌گردد و محل این المان خطی نیز در مرکز ثقل المان انتخاب می‌گردد. این انتخاب هنگامی صحیح می‌باشد که بتوان توزیع تنش‌های موجود در مقطع المان را با یک تابع ریاضی مشخص تعریف نمود. معمول است که این توزیع به‌صورت خطی انتخاب می‌گردد و در برنامه‌های کامپیوتری فرض توزیع خطی تنش و کرنش معمولاً فرض متداولی می‌باشد. هرگاه به هر دلیلی (مانند تیرهای عمیق بتنی) این فرض اعتبار خود را از دست بدهد، استفاده از این نوع المانها منجر به بروز خطا در نتایج خروجی خواهد شد. با این وجود همواره در انتخاب مکان المانی خطی، هنگامی که المانهای با ابعاد مختلف با یکدیگر تقاطع می‌کنند، خطای Offset وجود دارد. به‌عنوان نمونه‌ای دیگر از خطاهای متداول می‌توان به محل برخورد تیرها و ستونها (گره) در سازه واقعی و اختلاف آن با سازه ریاضی ایده‌آل شده اشاره نمود.

### ۳- مدل سازی بارگذاری:

تقریب در شدت بارگذاری و جهت آن در انواع مختلف بارگذاری متفاوت است. مثلاً در تعیین بارهای مرده وارد بر ساختمان می‌توان شدت بار را با دقت مناسبی برآورد نمود، حال آنکه شدت بار زنده و چگونگی توزیع آن در اکثر سازه‌ها قابل پیش‌بینی نبوده و در یک چنین مواردی انتخاب حداکثر شدت ممکن بارگذاری و یک توزیع بحرانی از آن به عهده مهندس محاسب می‌باشد. موارد ذکر شده در بالا مربوط به بارهایی هستند که در مقدار آنها عدم قطعیت وجود ندارد. میزان تقریب در مورد بارهایی که شامل عدم قطعیت نیز می‌باشند (مانند بارگذاری زلزله و یا باد) به مراتب بیشتر است و شدت بارگذاری در یک چنین مواردی معمولاً از طریق برآوردهای آماری تعیین می‌شوند.

در این گونه موارد همواره باید توجه شود که عدم قطعیت‌های موجود در نتایج خروجی نیز منعکس شده و در حقیقت نتایج خروجی نیز برآوردی آماری از خروجی‌های محتمل می‌باشند.

### ۴- فرضیات استفاده شده در فرمول‌بندی المانی

در برنامه‌های کامپیوتری به روش اجزای محدود که کاربرد عمومی دارند (نظیر ANSYS)، نمونه‌های متعددی از المانهای ظاهراً مشابه معرفی شده‌اند. علیرغم ظاهر مشابه این المانها، معادلات رفتاری آنها که رابطه بین تغییر شکل‌ها و مقدار و توزیع تنش را در درون المان تعریف می‌کنند، با یکدیگر متفاوت بوده و بسته به نوع کاربرد می‌باید از آنها استفاده نمود. به‌عنوان مثال می‌توان به‌منظور کردن

تغییر شکل‌های برشی، محوری، خمشی و اثرات اندرکنشی آنها اشاره نمود. به‌عنوان مثال دیگر، بعضی از المانهای اجزاء محدود برای برآورد تغییر شکل‌های کوچک ساخته شده‌اند ولی المان‌هایی نیز وجود دارند که می‌توان از آنها در تحلیل تغییر شکل‌های بزرگ بهره جست.

سئوالی که پیش می‌آید آنست که آیا نمی‌توان از المان‌های کاملتر که مثلاً تغییر شکل‌های بزرگ را منظور می‌نمایند برای تحلیل تغییر شکل‌های کوچک نیز استفاده کرد؟ در این صورت فایده استفاده از المان‌های دیگر چیست؟

جواب آنست که با اینکه می‌دانیم اره و چاقو هر دو برای بریدن استفاده می‌شوند و اره قدرت بیشتری در بریدن قطعات سخت‌تر دارد، با اینحال هیچگاه برای پوست کندن سیب از اره استفاده نمی‌نماییم!

به‌عبارت دیگر هر کاری وسیله مناسب خودش را دارد و در واقع هنر مهندس محاسب در استفاده‌ی مناسب از ابزارهایی است که در اختیار وی می‌باشد.

در مورد تحلیل کامپیوتری سازه‌ها باید گفت که زمان محاسباتی لازم برای تحلیل در صورتی که از المانهای پیچیده استفاده شود به مراتب بیشتر از المان‌های ساده‌تر می‌باشد. به‌عنوان یک قانون کلی باید گفت که همواره ساده‌ترین راه، بهترین راه است (البته راهی که ما را به مقصود می‌رساند).

## ۵- فرضیات بکار گرفته شده در مدل‌سازی شرایط خروجی

در تحلیل کلاسیک سازه‌ها، تکیه گاه‌های سازه معمولاً به‌صورت یکی از حالات ایده‌آل ساده، گیردار و یا انعطاف‌پذیر مورد نظر قرار می‌گیرند. در برنامه‌های موجود تحلیل کامپیوتری سازه‌ها نیز این مسئله وجود دارد. باید توجه داشت که موارد بسیار محدودی وجود دارد که در آن موارد، تکیه گاه ایده‌آل می‌باشد. در اغلب حالات متداول، وضعیت تکیه گاهها کاملاً مشابه حالات ایده‌آل نیست. به‌عنوان مثال می‌توان به فرض گیرداری پای ستونهای ساختمان در وضعیت واقعی آن اشاره کرد. در اغلب ساختمانهای معمولی که در آنها از شالوده مستقر روی خاک استفاده شده است، شالوده تحت بارهای اعمال شده از طرف اسکلت‌سازه دچار تغییر شکل‌های متعددی از قبیل افت، چرخش و غیره می‌شود. مقدار این تغییر شکل‌ها به وضعیت سازه و بارگذاری، صلبیت شالوده و وضعیت خاک زیر پی بستگی مستقیم دارد. تغییر شکل‌های ایجاد شده در شالوده منجر به باز توزیع تنش‌های داخلی شده و ممکن در مواردی باعث ناپایداری سازه نیز گردد.

به‌عنوان مثال دیگر می‌توان به تکیه گاه‌های با اصطکاک خشک اشاره نمود (نظیر پدیده لغزش فونداسیون‌ها). در این گونه موارد مادامیکه نیروی رانشی از آستانه اصطکاک فراتر نرود، تکیه گاه را می‌توان به‌صورت گیردار محسوب نمود. هرگاه این نیرو فراتر رود، فونداسیون دچار رانش جانبی می‌شود که نیروی فعال موثر در این رانش برابر اختلاف بین نیروی رانشی و نیروی اصطکاک می‌باشد.

در موارد ذکر شده در بالا نمی‌توان تکیه گاه را به‌صورت کاملاً ایده‌آل منظور نمود.

## ۶- فرضیات بکارگیری شده در روش تحلیل

همانطور که می‌دانیم روشهای مختلف تحلیل سازه‌ها مبتنی بر یک‌سری فرضیات اولیه هستند. در این راه، این وظیفه خطیر مهندس محاسب است که با انتخاب روش مناسب تحلیل بتواند پاسخهای مورد نظر خود را دریافت نماید. توجه به این نکته ضروری است که خطای منعکس شده در نتایج خروجی (مانند تغییر شکل، نیروها، تنش‌ها، مودهای نوسانی و غیره) برای همگی یکسان نمی‌باشد و می‌باید دقت عملیات را برحسب نیاز نوع پاسخ مورد نظر انتخاب نمود. به‌عنوان مثال از تحلیل‌های مرتبه اول ارتجاعی نمی‌توان برای بررسی رفتار واقعی سازه و برآورد میزان خسارت احتمالی آن تحت زلزله‌های شدید استفاده نمود، یا نمی‌توان از تحلیل‌های استاتیکی مرتبه اول برای بررسی پایداری سازه استفاده کرد.

## ۷- خطاهای عددی

آخرین بخش از خطاهای موجود در نتایج خروجی، خطاهای عددی است که جزء لاینفک کلیه برنامه‌های کامپیوتری می‌باشد. البته باید اذعان داشت که برنامه‌های کامپیوتری امروزی برای به حداقل رساندن این خطاها در نتایج خروجی بهینه شده‌اند ولی با این حال این خطاها (مانند خطای گرد کردن و بریده شدن اعداد) ممکن است باعث واگرا شدن نتایج خروجی از مقادیر مورد انتظار گردیده به طوری که در بعضی موارد باعث ناپایداری عددی سازه گردد. به عنوان مثال می‌توان به اختلاف قابل ملاحظه بین سختی یکی از المانهای سازه‌ای با دیگر المان‌ها اشاره نمود.

با در نظر گرفتن خطاهای هفت گانه که در بالا ذکر گردید مشاهده می‌شود که در صورتی که کنترلی روی این موارد از طرف مهندس محاسب وجود نداشته باشد، ممکن است نتایج حاصل شده از تحلیل کاملاً بی‌ارزش و غیرقابل استفاده شوند. توجه داشته باشید که صرف در اختیار داشتن ابزار مناسب به منزله ارائه کار بی‌عیب و نقص و یا کار اشتباه نمی‌باشد، بلکه باید کاربر با در اختیار داشتن دانش خود، سرچشمه‌های خطا را شناسایی، کنترل و مهار نماید.