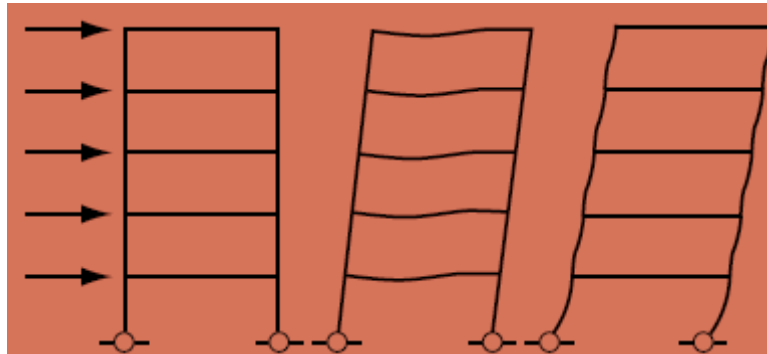


## آیا در بحث تحلیل سازه بیش از حد به کامپیوتر وابسته شده‌ایم؟ - پارت اول

پروفسور گراهام اچ پاول

بخش اول: بیان مشکل



با این موضوع که هنگام استفاده از کامپیوتر برای تحلیل سازه‌ها با مشکلاتی مواجه می‌شویم، موافقم. هر چند، مقصر خود کامپیوتر نیست. کامپیوتر چیزی بیشتر از یک ابزار نیست و مثل هر ابزار دیگری باید مشابه یک صنعتگر از آن استفاده کرد. به اعتقاد من، مشکل نه در کامپیوتر بلکه در نحوه استفاده از آن است. در این نوشته، به دلایل این موضوع خواهیم پرداخت و در ادامه یک راه حل ارائه خواهیم کرد.

در این نوشته، درباره دو نکته که در ادامه خواهد آمد بحث خواهیم کرد:

۱. اغلب مهندسان قدیمی شکایت می‌کنند که دانشجویان درکی از رفتار سازه‌ها ندارند. به‌عنوان نمونه، ممکن است یک مهندس جوان یک تحلیل کامپیوتری اشتباه را به‌عنوان خروجی گیرد و بدون آنکه متوجه ایراد آن شود فکر کند که حتی تا شش رقم معنی‌دار یا بیشتر دقیق است. یک دیدگاه این است که روش‌های محاسبات دستی، مثل پخش لنگر، می‌توانند به مهندس در درک بهتر از سازه کمک کنند و تحلیل کامپیوتری این توانایی را ندارد. من به برعکس آن اعتقاد دارم - تحلیل کامپیوتری درک سازه‌ای به‌مراتب بهتری نسبت به محاسبات دستی به یک مهندس جوان می‌دهد.

۲. در تحلیل سازه سه فاز کاری وجود دارد که با مدل‌سازی، اعمال ریاضی با اعداد و تفسیر نتایج مشخص می‌شوند. اعتقاد دارم مدل‌سازی و تفسیر نتایج بافاصله زیادی نسبت به فاز دوم، مهم‌تر بوده و بنابراین بیشترین توجه را می‌طلبد. تا آنجا که می‌دانم اکثر دوره‌های تحلیل سازه در دانشگاه‌های مختلف، تقریباً تمام توجه خود را به فاز دوم معطوف کرده‌اند و کمتر به مدل‌سازی و تفسیر توجه دارند. این روند، دانشجویان را از مهارت‌های موردنیازشان محروم می‌کند.

علاوه بر این به نکات ثانویه‌ای همچون (الف) نقش تحلیل سازه و (ب) تطبیق دادن دوره‌های تحلیل سازه با دوره‌های طراحی سازه‌ای، اشاره خواهیم کرد.

## بهبود درک رفتار سازه‌ها

زمانی تحلیل سازه‌ها به روش‌های دستی ضروری بود (من در سال ۱۹۵۸ فارغ‌التحصیل شدم و بنابراین در آن عصر آموزش دیده‌ام). تعدادی از روش‌های تحلیلی مفید و گه‌گاه جالب‌توجه توسعه یافته بود که در این میان روش پخش لنگر مهم‌ترین آن‌ها بود. اغلب استدلال می‌شود که مهندسی که از روش پخش لنگر استفاده می‌کند احساسی از رفتار سازه دارند که استفاده از کامپیوتر آن را از میان می‌برد. من قویاً با این استدلال مخالف هستم. سخت معتقدم اگر یک برنامه کامپیوتری را در اختیار دانشجو قرار دهید و اگر (اگری مهم که بعداً به آن می‌پردازم) به او استفاده مناسب از برنامه را بیاموزید در طی چند ترم آموزش، درک سازه‌ای بهتری نسبت به استفاده از روش پخش لنگر حاصل می‌شود.

آنچه در ادامه آمده است فهرستی از تمرینات تحلیل سازه است. اعتقاد دارم که بررسی و توضیح نتایج تمرین‌هایی از این دست، باعث می‌شود که دانشجو در مدتی کوتاه، به درک رفتار سازه برسد.

۱. یک سازه خرابی ساده را یک‌بار با فرض اتصالات مفصلی و یک‌بار دیگر به صورت یک قاب خمشی (با اعضای پیوسته و سختی تخمینی اتصالات) مدل کنید. این کار را برای اعضای لاغر و غیر لاغر انجام دهید. توضیح دهید که چه زمانی می‌توان از لنگرهای خمشی در طراحی صرف‌نظر کرد.

۲. برای یک دیوار برشی ساده طره‌ای، لنگرها، برش‌ها و تغییر شکل‌ها را هم با در نظر گرفتن تغییر شکل‌های برشی و هم بدون آن به دست آورید. نسبت ارتفاع به عرض دیوار را تغییر دهید. شکل تغییر فرم یافته را برای دیوار لاغر (عمدتاً تغییر فرم‌های خمشی) با دیوار چاق (عمدتاً تغییر فرم برشی) مقایسه کنید. این کار را برای یک دیوار برشی هم بند هم انجام دهید. طول دهانه تیر هم بند را تغییر دهید و تأثیر آن بر نتایج را ببینید. هم در مورد دیوار و هم تیر هم بند، هر دو حالت با تغییر شکل‌های برشی و بدون آن را بررسی کنید. هم برای دیوار طره‌ای و هم دیوار هم بند سختی دورانی فونداسیون را تخمین بزنید و ببینید سختی فونداسیون چه تأثیری بر رفتار آن‌ها دارد.

۳. نشست تکیه‌گاهی را به یک سازه معین و به صورت مشابه به یک سازه نامعین اعمال کنید. لنگرها، نیروی برشی، عکس‌العمل و تغییر فرم‌ها را بررسی کنید. پاسخ‌ها را توضیح دهید. کاری مشابه را با بارهای حرارتی افزایشی انجام دهید. از این مثال برای تشریح فواید و مضرات نامعینی در سازه‌ها به‌عنوان یک مفهوم فیزیکی و نه در قالب تعداد مجهولات روش نیرو، استفاده کنید.

۴. برای یک قاب خمشی بتنی، روش‌های مختلف تخمین سختی خمشی تیرها و ستون‌ها را در نظر بگیرید. ببینید چگونه تخمین‌های مختلف سختی بر لنگرها و تغییر فرم‌های محاسبه‌شده مؤثر هستند. از این مثال برای توضیح تأثیر ترک بر سختی استفاده کنید. تأکید کنید که میزان زیادی عدم اطمینان در مدل‌سازی برای تحلیل وجود دارد و نتایج تحلیل در بهترین حالت، تقریبی هستند.

۵. یک قاب چند دهانه و یک دیوار برشی را جداگانه برای بار جانبی تحلیل کنید. توجه کنید که شکل تغییر فرم یافته مختلفی دارند. سپس آن‌ها را به هم متصل کنید و توضیح دهید چه اتفاقی می‌افتد (یکی از روش‌های اتصال آن‌ها استفاده از میله‌هایی با سختی قابل توجه و نگاه کردن به نیروی داخلی میله‌ها است).

۶. یک قاب فولادی با اتصالات نیمه صلب را تحلیل کنید. سختی دورانی اتصالات را تغییر دهید و تأثیرات را ببینید. سختی یک اتصال پیچی واقعی را تخمین بزنید.

۷. یک قاب را با ناحیه سخت شده انتهایی (ناحیه صلب) در اتصالات آن تحلیل کنید. تأثیر آن بر تغییر شکل‌ها را بررسی کنید. لنگرهای خمشی و نیروی برشی در بر ستون (که برای طراحی تیر استفاده می‌شوند) و همان تلاش‌ها در خط مرکزی اتصال را مقایسه کنید.

۸. یک قاب فولادی را هم با در نظر گرفتن چشمه اتصال انعطاف‌پذیر و هم بدون آن تحلیل کنید. اینکه چه میزان از تغییر شکل قاب‌ها در چشمه اتصال سرچشمه می‌گیرد را محاسبه نمایید. چگونگی انتقال بارها در اتصال را توضیح دهید و چرایی اینکه تنش برشی در چشمه اتصال بیشتر از جان تیر و ستون‌های مجاور خود هست را شرح دهید.

تمام این تمرین‌ها به سهولت با یک کامپیوتر قابل انجام هستند ولی (بدون اشاره به سطح بالای مهارت در محاسبات دستی) نیازمند میزان غیرممکنی وقت برای حل دستی هستند. دانشجوی با استفاده از کامپیوتر، قادر است به سرعت، مدل را بسازد، آن را تحلیل کند، سازه را به صورت سه بعدی ببیند، ابعاد، بارها و سایر خواص سازه را تغییر دهد و نتایج را به صورت گرافیکی نمایش دهد. مهم‌تر از این‌ها، او می‌تواند روی مدل‌سازی و تفسیر متمرکز گردد، بدون آنکه درگیر عملیات ریاضی و محاسبات طولانی شود. بر این اعتقاد که یک دانشجوی با انجام دادن تمریناتی مشابه این‌ها، خیلی بیشتر از آموختن از تحلیل‌های دستی می‌آموزد و درعین حال بیشتر هم سرگرم می‌شود.

ضروری است یادآوری شود تنها انجام تحلیل در این دسته تمرینات به قدر کافی سودمند نیست - لازم است رفتار سازه فهمیده و توضیح داده شود. جزییات محاسبات تحلیل نسبتاً بی‌اهمیت است، چیزهای مهم، فرضیات و روش‌های مورد استفاده در برپا کردن مدل سازه‌ای و معنای نتایج تحلیلی، عملکرد و رفتار سازه‌ای خواهد بود.

### مدل‌سازی چیست؟

هرچند ممکن است واضح به نظر برسد ولی ارزشمند است که در خاطر داشته باشیم که ما مدلی از سازه را تحلیل می‌کنیم نه خود سازه را و اینکه ممکن است رفتار مدل به رفتار واقعی سازه نزدیک باشد یا نباشد. چالش اصلی، ایجاد مدلی است که دقت کافی برای مقاصد عملی داشته باشد.

یک مهندس باید برای ایجاد یک مدل معنی‌دار (۱) رفتار اجزایی که سازه را می‌سازند را درک کرده باشد، (۲) بداند چگونه جنبه‌های مهم این رفتار توسط مدل نشان داده می‌شود. این یک هدف ساده نیست. این مهم نیازمند فهم چیزهایی از قبیل نیروی‌های محوری و برشی، لنگرهای خمشی و پیچشی، رفتار تیرها و ستون‌ها، نحوه انتقال بار در اتصالات، تغییر فرم اتصالات، عملکرد ترکیبی، ترک‌خوردگی، تسلیم، چسبندگی، کمانش و جنبه‌های دیگری مثل تفاوت بین بارهای واقعی و طراحی است. بعد از این، با در نظر گرفتن توانایی روش‌های مختلف تحلیل (برنامه‌های کامپیوتری) تصمیم‌گیری در مورد چگونگی یا لزوم مدل‌سازی جنبه‌های مختلف رفتاری فرامی‌رسد. به خصوص مدل‌سازی برای تحلیل‌های غیرخطی، به دلیل گوناگونی انواع و عوامل بروز این رفتار؛ دشوار است. این موضوع در مورد بارهای دینامیکی نیز صادق است.

یک مهارت مهم برای یک تحلیل کننده، توانایی تهیه مدل های مفید از سازه های واقعی است (نه فقط مدل های دوبعدی ساده که دوره های تحلیل سازه معمولاً تدریس می شود). یک مدل مفید، رفتار سازه را با دقتی کافی برای اهداف طراحی، بیان می کند. علاوه بر این، باید جواب هایی در اختیار گذارد که از دقت کافی برای تصمیم گیری در طراحی برخوردار باشد و در نهایت نباید آن قدر بزرگ یا پیچیده باشد که تحلیل آن طولانی شود. یک مدل هرگز نمی تواند دقیق باشد.

### تفسیر چیست؟

دو قسمت نیاز به تفسیر دارد: (۱) بررسی نتایج تحلیل برای اطمینان یافتن از اینکه مقادیر قابل قبولی دارند و (۲) ساماندهی پاسخ ها به شکلی که تصمیمات طراحی را پشتیبانی کنند.

کنترل نتایج تحلیل مهارت های خاص خود را می طلبد. تعدادی ابزار مثل معادلات تعادل و دیاگرام های آزاد و روش هایی برای بررسی سازگاری جابجایی ها در دسترس هستند. درک رفتار سازه و داشتن احساسی در این مورد اجتناب ناپذیر است. تجربه همیشه با ارزش است.

ساماندهی نتایج نیاز به درک اینکه چطور نتایج طراحی برای ارزیابی کارایی و اخذ تصمیمات طراحی مورداستفاده قرار می گیرند، دارد. تقریباً همیشه، تصمیمات طراحی با استفاده از میزان تقاضای مقاومت و / یا تغییر فرم، ظرفیت مرتبط و البته نسبت تقاضا به ظرفیت گرفته می شود. در تحلیل سازه های قابی، دیاگرام های لنگر و شکل تغییر فرم یافته سازه برای بررسی نتایج تحلیل مفید هستند. البته این نتایج برای ارزیابی عملکرد و اخذ تصمیمات طراحی مناسب نیستند.

### محاسبات ریاضی چیست؟

هر چیزی که در مدل سازی و تفسیر لحاظ نشده باشد در این فاز قرار می گیرد. این فاز شامل محاسبات عددی و نظریه های مرتبط با آن است.

### آیا مشکلی وجود دارد؟

اعتقاد دارم مشکلی وجود دارد و این مشکل جدی است. برای یک مهندس که از تحلیل سازه استفاده می کند مهم ترین فاز مدل سازی و تفسیر است. این وظایف نیاز به مهارت ها و قضاوت های مهندسی دارند و با کامپیوتر قابل انجام نیستند (لااقل هنوز). مهندس باید درک پایه ای از تئوری (مثل روش سختی مستقیم) و روش های محاسباتی داشته باشد ولی برای اکثر قسمت ها تسلط بر جزئیات اهمیتی ندارد.

مشکل به نظر من در اینجا است که اعتقاد دارم مهندسان جوان با مهارت های مورد نیاز برای مدل سازی و تحلیل آموزش داده نمی شوند. در اکثر دوره های تحلیل سازه، تأکید منحصراً بر محاسبات ریاضی است تا حدی که روش پخش لنگر هم به او آموزش داده می شود (که من را وحشت زده می کند). در نتیجه این رویکرد، مهندسان جوان باید مهارت های واقعاً ضروری را حین کار کردن بیاموزند. حداقل این استفاده ناکامل از منابع است.

به عقیده من، ما زمان خیلی زیادی برای آموزش مهارت های غیر مهم (و تا حدودی غیر جذاب) و زمان خیلی کمی برای تدریس مهارت های لازم (و البته جذاب) صرف می کنیم. این مشکل اصلی است. اگرچه، مشکلات ثانویه ای هم وجود دارد.

## هدف از تحلیل سازه

در دوره‌های تحلیل سازه، دانشجویان به این باور می‌رسند که تحلیل به‌خودی‌خود هدف محسوب می‌شود. این عقیده، به‌ندرت درست است. پاسخ نهایی تحلیلی یک قاب ساختمانی، شکل تغییر فرم یافته آن یا دیاگرام لنگر خمشی نیست. معمولاً جواب موردنیاز، شامل میزان تقاضای تغییر شکل و مقاومت سازه و اجزای آن است که طراح بتواند عملکرد سازه را با محاسبه نسبت تقاضا به ظرفیت ارزیابی نماید.

دانشجویان باید بدانند چگونه نتایج تحلیل سازه را ارائه دهند که از تصمیمات طراحی پشتیبانی کند. این مهم به‌ندرت در دوره‌های تحلیل سازه انجام می‌شود.

## تطابق با دوره‌های طراحی

دوره‌های طراحی از روش‌های تحلیل استفاده می‌کنند ولی اغلب، این روش‌های تحلیل از آنچه در دوره‌های تحلیل تدریس می‌شود متفاوت هستند. دانشجویان گمان می‌کنند تحلیل و طراحی حوزه‌های جدا از یکدیگری هستند. مهم است که عناوین آموزشی دوره‌های تحلیل با آنچه در طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرد تطابق داشته باشد.

## دقت

ممکن است دانشجویان گمان کنند که نتایج تحلیل سازه تا حدودی دقیق هستند. این موضوع در ارتباط با گلابه رایجی است که از مهندسين کم‌تجربه می‌شود که آن‌ها نتایج تحلیل را با شش رقم اعشار یا بیشتر گزارش می‌کنند. بدتر از این، دانشجویان ممکن است به این سمت سوق داده شوند که تصور کنند تحلیل سازه قادر است رفتار سازه را دقیقه پیش‌بینی کند. حتی محققانی که قاعدتاً بیشتر آگاهی دارند اغلب پیشنهاد می‌کنند که تحلیل سازه با در نظر گرفتن جنبه‌های مختلف رفتار غیرخطی و بارهای وارد می‌تواند به‌صورت دقیقی رفتار سازه شبیه‌سازی و پیش‌بینی نمایند. حقیقت این است که تحلیل سازه تقریباً همواره، بسیار تقریبی است و برای سازه‌های واقعی، شبیه‌سازی دقیق غیرممکن است. حتی اگر این موضوع درست نباشد هم تکیه بیش‌ازحد بر تحلیل می‌تواند منجر به طراحی بر اساس تحلیل شود که بسیار ایده بدی است.

دانشجویان باید بیاموزند برای سازه‌های واقعی، میزان قابل توجهی عدم اطمینان در خواص مختلف اجزای سازه‌ای، وضعیت تکیه‌گاه‌ها، بارها و تأثیر اجزای غیر سازه‌ای وجود دارد. دانشجویان نباید در توهم اینکه نتایج تحلیل سازه دقیق هستند باقی بمانند.

## نتیجه‌گیری

شنیده‌ام که اغلب گفته می‌شود زمانی که مهندسين تحلیل سازه را با روش‌های دستی انجام می‌دادند، درک بهتری از رفتار سازه در قیاس با مهندسانی که از کامپیوتر استفاده می‌کنند داشتند. از دیدگاه من، این نادرست است. با آموزش مناسب، یک مهندس می‌تواند درک بهتری از رفتار سازه با انجام تحلیل‌های کامپیوتری و بررسی نتایج آن نسبت به زمانی که تحلیل‌های تکراری و ملال‌آور دستی انجام می‌شوند، به دست آورد. با استفاده از کامپیوتر، مهندس علاوه بر اینکه می‌تواند سازه‌های پیچیده سه‌بعدی را تحلیل کند، به‌سرعت تأثیر فرضیات مختلف مدل‌سازی و تأثیرات رفتار غیرخطی و بارهای دینامیکی را جستجو می‌نماید. هیچ‌کدام از این‌ها در محاسبات دستی امکان‌پذیر نیست.

نکته کلیدی این است که امروزه تحلیل سازه در بیشتر دانشگاه‌ها، به صورت نادرست با تأکید بر محاسبات عددی آموزش داده می‌شود و اهمیت مدل‌سازی و تفسیر نادیده گرفته می‌شود. مدل‌سازی و تفسیر، وظایف ساده‌ای نیستند. این دو حتی برای سازه‌هایی با بار استاتیکی و رفتار خطی می‌توانند پیچیده باشند و برای رفتار دینامیکی و غیرخطی کاملاً پیچیده هستند. مدل‌سازی و تفسیر از نقطه نظر دانشگاهی به منابع زیادی از جمله فهم رفتار سازه‌ها، آشنایی با قابلیت‌های مدل‌سازی سازه‌ها در نرم‌افزارها و نیازهای طراحان محتاج است. دوره‌های دانشگاهی تحلیلی سازه که امروزه مرسوم هستند آموزش بسیار مختصری در این موضوعات دارند. مشکل نه کامپیوترها که اساتید هستند.

در قسمت دوم این مقاله، یک راه‌حل ارائه خواهیم کرد.

گراهام پاول، پروفیسور بازنشسته در دانشگاه برکلی کالیفرنیا است. در مدت خدمت خود، نرم‌افزارهای مختلفی را که به صورت گسترده در تحقیقات و صنعت استفاده می‌شوند، توسعه داد یا بر تدوین آن نظارت کرد. او اکنون به‌عنوان مشاور شرکت CSI، توسعه‌دهنده و پشتیبان برنامه کامپیوتری CSI PERFORM مشغول به فعالیت است.

مترجم: عبدالمهدی عباسی