

تحلیل کامپیوتری سازه‌ها - بخش دوم (مدل سازی هندسی سازه‌ها)

رامین فداییان، دکتری سازه

کلیات- منظور از مدل سازی، شبیه‌سازی یک ساختار سازه‌ای به صورت یک مدل معادل ریاضی به گونه‌ای است که بتواند تخمین مناسبی از واکنش‌های مورد انتظار سازه‌ای را در حیطه بارگذاری و شرایط مرزی شبیه‌سازی شده ارائه نماید.

جمله فوق حاوی چندین نکته در خور توجه می‌باشد:

- ۱) مدل سازی تنها یک شبیه‌سازی یا بهتر بگوئیم تلاشی برای شبیه‌سازی سازه واقعی می‌باشد.
- ۲) فرآیند شبیه‌سازی بسته به نوع واکنش مورد نظر متفاوت بوده و می‌تواند بسیار متفاوت باشد.
- ۳) فرآیند شبیه‌سازی بستگی مستقیمی به نوع بارگذاری و شرایط مرزی سازه‌ی مورد نظر دارد.

سه مورد فوق به همراه تکنیک‌های مدل‌سازی ریاضی که جزو امکانات نرم‌افزار مورد استفاده هستند می‌بایست در فضای تقریب یا فضای دقت پیاده‌سازی شوند. باید توجه داشت که سازه واقعی دارای بینهایت درجه آزادی می‌باشد. به دلیل محدودیت‌های نرم‌افزاری، سخت‌افزاری و یا هزینه‌های اجرا (زمان و غیره) معمولاً ترجیح دارد که سازه با حداقل تعداد ممکن درجات آزادی بررسی شود. در این صورت خروجی نرم‌افزارهای تحلیل توأم با خطاهایی ناشی از این امر خواهد بود. در عین حال دقت مورد نیاز در مهندسی کاربردی با مهندسی پژوهشی متفاوت بوده و بسته به حساسیت واکنش‌های مورد نظر دقت تحلیل و در نتیجه درجات آزادی مورد نظر تعیین می‌شوند.

این که دقت یک تحلیل به خصوص سازه‌ای چقدر باید باشد، یک مطلب کاملاً تخصصی و دور از حوصله این نوشتار است. توصیه می‌شود کاربران محترم (خوانندگان محترم) در این رابطه از افراد با تجربه کمک بگیرند.

تکنیک‌های مدل‌سازی شامل روش‌های استاندارد و کمکی مدل‌سازی سازه‌ای در نرم‌افزارهای شاخصی نظیر STAAD.Pro، SAP2000 و ETABS می‌باشند. معمولاً افرادی که با نرم‌افزارهای ترسیم برداری نظیر اتوکد در فضای سه بعدی کار کرده‌اند، با این تکنیک‌ها آشنا هستند. محیط ارائه شده برای ترسیم هندسی سازه در نرم‌افزارهای STAAD.Pro، SAP2000 و ETABS مانند محیط اتوکد می‌باشد. این محیط در حقیقت یک فضای مجازی سه بعدی است که کاربر می‌تواند در این فضا با استفاده از سه عنصر اولیه نقطه، خط و صفحه، کالبدسازه‌ی مورد نظر خود را ترسیم نماید. علاوه بر ترسیم مستقیم این عناصر می‌توان با استفاده از دستورات کمکی نظیر Move، Replicate با جابجایی و کپی از عناصر اولیه به ترکیبات پیچیده‌تر نیز دست یافت.

امکانات ارائه شده در برنامه‌های ذکر شده نظیر برنامه اتوکد می‌باشد با این تفاوت که در برنامه اتوکد می‌توان دستورات ترسیم و غیره را از طریق نوار دستورات (Command Line) نیز وارد نمود و حال آنکه این برنامه‌ها تنها از طریق جعبه ابزار (Toolbar) های به‌خصوصی قابل دسترسی هستند. (به استثنای برنامه‌ی STAAD.Pro که به کمک برنامه‌ی از پیش تعیین شده‌ی STAAD Editor امکان وارد کردن مستقیم دستورات ترسیم، بارگذاری، تحلیل و پس پردازش سازه را به راحتی مهیا نموده است). استفاده از امکاناتی نظیر وارد کردن مستقیم دستورات از طریق صفحه کلید (Keyboard) می‌تواند سرعت و تسلط کاربر ماهر را چندین برابر کند. از این رو انتظار می‌رود این امکان در نسخه‌های آتی این نرم افزارها گنجانیده شود. استفاده مفید و موثر از دستورات کمکی یاد شده در فوق برای ترسیم هندسی سازه، مستلزم تمرین و مهارت کاربر در تجزیه سازه پیچیده به اجزاء ساده‌تر می‌باشد. در این راه کاربر می‌بایست تجزیه را به اندازه کافی انجام دهد تا در کمترین زمان ممکن به حجم کلی سازه دست یابد.

معمولاً در سازه‌های متداول نظیر ساختمان‌های مسکونی، برج‌ها، پل‌ها، تونل‌ها و یا حتی در سازه‌های پیچیده‌تر نظیر برج‌های خنک‌کن و سازه‌های صنعتی تشابه به برخی از اجزاء به صورت تشابه مستقیم و یا تشابه معکوس وجود دارد. به‌عنوان مثال در ساختمان‌های مسکونی معمولی، طبقات مختلف به لحاظ سازه‌ای و معماری ممکن است مشابه یکدیگر باشند. به‌عنوان مثالی دیگر می‌توان به سازه‌های قرینه‌ی محوری نظیر سیلوها، برج خنک‌کننده و غیره اشاره داشت. این گونه سازه‌ها با ترسیم اولیه مسیر هادی و سپس چرخاندن آن به حول محور دوران پدید می‌آیند.

کاربران حرفه‌ای نرم‌افزارهای تحلیل و طراحی اغلب تمایل دارند تا از امکانات وسیعی که در دیگر نرم‌افزارها ارائه شده است نیز بهره بگیرند. به‌عنوان مثال بعضی از کاربران تمایل دارند تا از نرم‌افزارهای محاسباتی نظیر MathCAD و یا از نرم‌افزارهای صفحه گسترده نظیر Excel برای تولید مختصات گره‌ها و یا توالی المانها استفاده نمایند. استفاده از امکانات محاسباتی اینگونه نرم‌افزارها می‌تواند کمک شایانی در تولید اطلاعات سازه‌های پارامتریک نماید. طراحان برنامه‌های STAAD.Pro، SAP2000 و ETABS با علم به این موضوع امکانی را در این برنامه‌ها پیش‌بینی کرده‌اند که بتوان اطلاعات کلی هندسه‌ی سازه نظیر گره‌ها و المانها را با کپی (Copy) و برچسب (Paste) ساده بین محیط این برنامه‌ها و محیط Excel رد و بدل نمود.

یکی دیگر از امکاناتی که در نسخه‌های اولیه این برنامه‌ها گنجانده شده است امکان وارد کردن فایل‌های با فرمت DXF است. فرمت DXF مخفف (Drawing Interchange Format) یا فرمت تبادل ترسیمات در سیستم اتوکد است. فایل‌های با این فرمت را می‌توان در دیگر برنامه‌ها نیز به کار گرفت و یا اینکه توسط دیگر برنامه‌های کمکی اتوکد تولید نمود. از آنجایی که این فایل‌ها با فرمت نوشتاری (ASCII (American Standard Code for Information Interchange) تولید می‌شوند، استفاده از آن بسیار ساده بوده و از این‌روست که برنامه‌های جانبی اتوکد و یا دیگر سیستم‌هایی که به نوعی تبادل اطلاعات می‌کنند، اغلب از این فرمت استفاده می‌نمایند. فایل‌های با این فرمت کلیه اطلاعات ترسیمات انجام شده در اتوکد را دارا می‌باشد و در حقیقت معادل مستقیم فایل‌های استاندارد اتوکد با فرمت DWG هستند.

توانایی ترسیمات سه بعدی در نرم افزار اتوکد بسیار وسیع و کامل است و می تواند در مدل سازی سازه های پیچیده بسیار موثر واقع گردد. از این رو قویاً توصیه می گردد تا با تمرین فراوان و کسب مهارت و تسلط بر روی این نرم افزار و نحوه ورود و خروج اطلاعات به برنامه های تحلیل سازه، توانایی مدل سازی خود را افزایش دهید.

از دیگر روش های تولید هندسی سازه، برنامه نویسی مستقیم می باشد. با این روش می توان فایل حاوی اطلاعات هندسی سازه های پارامتریک را به فرمت Excel یا DXF و یا هر فرمت مناسب دیگری تولید نمود. البته با وجود امکانات برنامه ریزی بسیار ساده ای که در نرم افزارهای محاسباتی و یا صفحه گسترده ارائه شده است، معمولاً کمتر پیش می آید که امروزه مهندسان تمایل به برنامه ریزی مستقیم از خود نشان دهند ولی با این وجود این روش کماکان در موارد خاص کارآیی خود را خواهد داشت. روش هایی که در بالا توضیح داده شدند، تنها روش های ترسیم هندسی معادل ریاضی یا شبیه سازی شده از سازه ی واقعی هستند.

گاهی اوقات در سازه ی حقیقی شرایطی وجود دارد که این معادل سازی را قدری دشوار می کند، به عنوان مثال می توان به موارد زیر اشاره داشت:

۱- تیرهای عمیق و یا عریض:

در این صورت علاوه بر اینکه فرض استفاده از المان خطی با بعد صفر تا حدودی زیر سؤال می رود، سؤالی که پیش می آید آن است که تراز مشترک تیرهای واقع در یک طبقه کجا باید انتخاب شود و اینکه اثر این خروج از محوریت چه مقدار است و در چه شرایطی قابل اغماض می باشد و در چه شرایطی و چگونه می توان آنرا برآورد نمود؟

۲- اثر گره ها:

فصل مشترک اتصال بین تیرها و ستون های متقاطع با یکدیگر را گره می نامیم. در اغلب برنامه های کامپیوتری که برای مدل سازی المان های نظیر تیرها و ستون ها، از المان های خطی استفاده می شود، گره به یک نقطه بدون بعد بدل می شود. اینکه اثرات تغییر شکل های داخلی گره و یا جاری شدگی ها و ترک خوردن ها تا چه حد باعث دور شدن گره از یک گره ایده آل (که فرض می شود هیچ تغییر شکل نسبی در آن اتفاق نمی افتد) می شود، بحث مهمی است که در حد حوصله این نوشتار نیست ولیکن باید به خاطر داشت که تحت شرایطی این فرض دیگر صحیح نبوده و ممکن است پاسخ ها را کم ارزش نماید.

۳- احجام توپر نظیر دال ها، فونداسیون ها و دیوارها:

در خصوص مدل سازی این قبیل اجزا سازه ای نکاتی چند را باید در نظر داشت:
 ۱-۳) معادله رفتاری مناسب برای این جزء چیست؟ همانطور که می دانیم این معادله رفتاری به سه صورت غشایی، خمشی و پوسته ای (حاصل جمع غشایی و خمشی) در این برنامه ها معرفی شده است. انتخاب صحیح معادله رفتاری بسیار مهم بوده و هرگاه این انتخاب به درستی صورت نگیرد منجر به بی اعتباری پاسخ های دریافت شده می گردد.

۳-۲) کفایت مش بندی - در مدل سازی به روش اجزاء محدود، روش تجزیه یک محیط پیوسته نامحدود با توزیع تنش و کرنش پیچیده و نامشخص به یک سری المان های محدود، به کمک توابع رفتاری مشخص و توزیع تنش و کرنش قابل پیش بینی در سطح المان انجام می گیرد. درست مانند آنکه بخواهیم یک منحنی پیچیده و نامعلوم را با سری خطوط راست تقریب بزنیم. در این صورت به لحاظ ریاضی می توان گفت که هر چقدر این تقسیم بندی بیشتر انجام شود، به جواب واقعی نزدیکتر می شویم. در عمل محدودیت های دیگری نیز وجود دارند که تعداد المان های سازه ای را محدود می کنند، از آن جمله می توان به افزایش خطای عددی و در بعضی اوقات ناپایداری عددی سازه و به زمان انجام تحلیل و محدودیت های نرم افزاری و سخت افزاری و مهمتر از همه به هزینه های تحلیل اشاره کرد. در عین حال همانطور که پیشتر در بحث فضای دقت گفته شد، دقت می بایست متناسب با نوع کاربرد تنظیم شود چه در غیر اینصورت منجر به تلف شدن سرمایه خواهد گردید. باید بخاطر داشت که تعداد بهینه المان ها آن حداقلی است که بتواند پاسخ های مورد نظر را در حوزه دقت مورد نیاز در زمان مناسب و متناسب با امکانات موجود فراهم نماید. انتخاب این تعداد از طرفی بستگی به نوع بارگذاری، شرایط تکیه گاهی و نوع تحلیل نیز داشته و دستورالعمل کلی برای آن وجود ندارد و می بایست به تجربه و از طریق آزمایش تعیین گردد.

در بخش های آینده مثال هایی از المان بندی و خطاهای ایجاد شده ارائه خواهد گردید.