

## انواع المان‌های غیرخطی در نرم‌افزارهای مختلف و تفاوت آن‌ها



شاید بسیاری از واژه‌هایی که در مورد تحلیل غیرخطی شنیده‌اید، برایتان ملموس نباشد. به‌طور مثال می‌توان به المان فریم با مقاطع فایبر، المان اجزای محدود غیرخطی، المان فریم با مفاصل پلاستیک متمرکز و ... اشاره کرد. ما در این مقاله قصد داریم اندکی دقیق‌تر به این روش‌ها بپردازیم و تفاوت آن‌ها را برای شما روشن کنیم.

به‌طور کلی مدل‌هایی که در نرم‌افزارهای مختلف برای انجام تحلیل غیرخطی می‌توان ساخت به‌صورت زیر قابل طبقه‌بندی هستند:

۱- مدل اجزای محدود سه‌بعدی برای تیرها و ستون‌ها به‌صورت المان‌های مکعبی در شرایطی که رفتار غیرخطی مصالح و هندسی در این مدل‌ها در نظر گرفته می‌شود. البته این مدل‌ها بسیار نیازمند دقت هستند و تخصص و مهارت بالایی می‌طلبند و معمولاً فقط به نمودار تنش کرنش مصالح در جهات مختلف، معیار شکست و میزان آسیب در سطوح مختلف کرنش نیاز دارند. اگر یک مدل به‌طور دقیق یک‌بار به‌عنوان مثال برای یک تیر ساخته شود می‌توان تحت بارگذاری‌های مختلف بدون تغییر پارامترها، رفتار عضو و آسیب را با دقت نسبتاً خوبی پیش‌بینی نمود. این مدل کمانش‌های موضعی اجزای مختلف تیر و کمانش کلی و گسیختگی‌های مختلف اعضا، لغزش آرماتور و ... را به‌خوبی می‌تواند برآورد کند. چنین تحلیلی معمولاً در نرم‌افزارهای میکرو مانند آباکوس با دقت و شرایط بهتری قابل انجام است. هرچند در نرم‌افزار اپنسیس هم المان‌های سه‌بعدی با معیار شکست قابل‌تعریف است اما در اپنسیس به علت حجم المان‌ها و پیچیدگی تعریف و کنترل مدل کمتر از این مدل‌ها استفاده می‌شود. البته مدل‌های اجزای محدودی سه‌بعدی برای یک تیر ساده هم به زمان زیادی برای تحلیل نیاز دارند، بنابراین ساخت سازه‌هایی با اعضای بیشتر، در آباکوس با کامپیوترهای فعلی تقریباً غیرممکن است.

۲- مدل ساده‌تر از مدل اول که برای المان‌های میله‌ای بسیار مناسب است، استفاده از مدل پلاستیسیته گسترده با مقاطع فایبر است. در این مدل از المان‌های سه‌بعدی استفاده نمی‌شود و عملاً المان تیر را یک‌بعدی می‌بیند اما در مقاطع مختلف با توجه به نیروهای داخلی تیر و نمودار تنش کرنش مصالح و فرض ساده کننده صفحه‌ای ماندن مقاطع عمود بر محور طولی و عملاً توزیع خطی کرنش‌ها در ارتفاع مقطع (البته مدل تیر تیموشنکو هم در نرم‌افزارها موجود است که می‌تواند توزیع کرنش در ارتفاع مقطعی از تیر غیرخطی را در نظر بگیرد) و با استفاده از اصول مقاومت مصالح کلاسیک و با یک آنالیز، کرنش رفتار تیر و تارهای غیرخطی شده مقطع را پیش‌بینی می‌کند. اگر تا قبل از گسیختگی کمانش موضعی در عضو محتمل نباشد صرفاً با دادن نمودار تنش کرنش مصالح و تبدیل غیرخطی هندسی، کمانش کل و گسیختگی به‌خوبی قابل پیش‌بینی و قابل‌مقایسه با مدل ۱ است، اما اگر عضو تیر اجزای ظریف فولادی و ... باشند و یا بحث لغزش آرماتور در بتن وجود داشته باشد، نتیجه این تحلیل با نتایج آزمایش انطباق نخواهد داشت. به همین دلیل در عمل نمودار تنش کرنش فولاد را برای پیش‌بینی صحیح رفتار کلی عضو نسبت به حالت واقعی تنش کرنش خود اصلاح می‌نمایند و مثلاً نقطه گسیختگی و افت ظرفیت با توجه به لاغری اجزای بال و جان مقطع در نظر گرفته می‌شود. این مدل نیز برای انواع بارگذاری‌ها قابل‌استفاده است.

۳- این مدل که ساده‌ترین مدل است، مدل مفاصل پلاستیک متمرکز نامیده می‌شود. در این مدل رفتار غیرخطی عضو فقط در نقاط ابتدا و انتهای عضو متمرکز می‌شود و فقط برای بارگذاری لرزه‌ای یا مشابه لرزه‌ای که توزیع لنگر در المان خطی است، کاربرد دارد. در این مدل کلیه آثار غیرخطی مصالح، کمانش موضعی و لغزش آرماتور در نمودار نیرو تغییر شکل مفصل‌ها متمرکز می‌شود و به همین دلیل برای یک مدل کالیبره شده در یک آزمایش اگر شرایط بارگذاری و تکیه‌گاهی تغییر کند، برآورد رفتار عضو به‌احتمال زیاد اشتباه خواهد بود.

در نرم‌افزارهای سپ فقط مدل ۲ و ۳ و در اپنسیس هر سه مورد قابل‌تعریف هستند اما مورد ۱ کمتر استفاده می‌شود.

نویسنده: محمد طالبی کلاله

منبع:

1- Deierlein G.G. Reinhorn A.M. and Willford M.R. (2010). "Nonlinear structural analysis for seismic design: A guide for practicing engineers," NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 4, produced by the NEHRP Consultants Joint Venture, a partnership of the Applied Technology Council and the Consortium of Universities for Research in Earthquake Engineering, for the National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, NIST GCR 10-917-5.