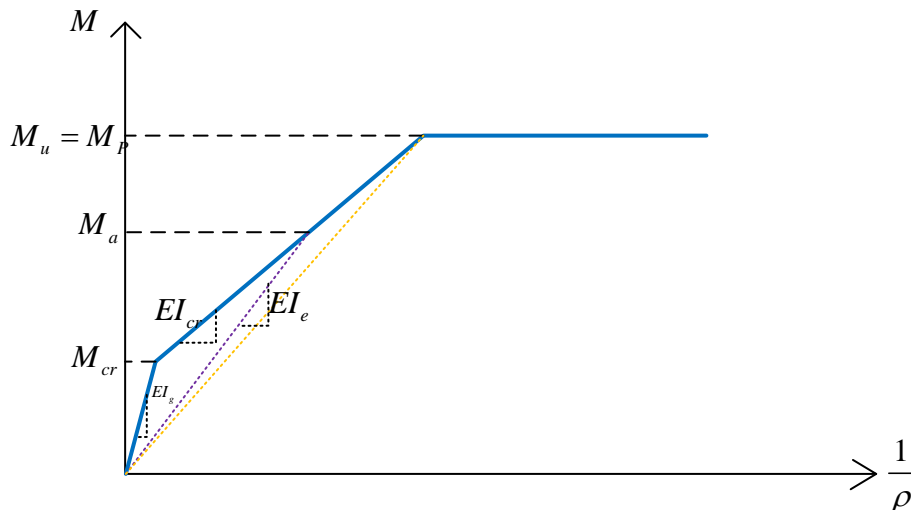


مفهوم سختی مؤثر و ضرایب ترک خوردگی در المان‌های بتن مسلح و جایگاه آن در تحلیل‌های خطی و غیرخطی

این مقاله تحلیلی را با چند سؤال آغاز می‌کنیم:

به نظر شما ضرایب ترک خوردگی در آیین‌نامه‌ها برای لحاظ و ساده‌سازی چه مسائلی ارائه شده‌اند؟ آیا در تحلیل‌های غیرخطی متعارف که در نشریه ۳۶۰ یا ASCE41 به آن‌ها اشاره شده، ضرایب ترک خوردگی بتن جایگاهی دارد؟ اگر جواب مثبت است، پس تحلیل غیرخطی چه مزیتی دارد؟ مگر در تحلیل‌های غیرخطی متعارف، رفتار بتن هنگام ترک خوردگی در لنگرهای کوچک‌تر از لنگر پلاستیک قابل بررسی نیست؟

در پاسخ باید گفت ضریب ترک خوردگی برای یک مقطع خاص، تحت یک ترکیب بار معین با در دست داشتن منحنی لنگر-انحنای مقطع (که با سادگی با استفاده از روش فایبر از نرم‌افزار سپ یا اپنسیس قابل تعیین است)، معمولاً به این صورت قابل تعریف است:



شکل ۱- نمودار لنگر-انحنای تیر بتن مسلح با میلگرد گذاری کمتر از مقدار میلگرد بالانس

نسبت سختی مؤثر (شیب خط واصل از نقطه لنگر صفر یا مبدأ نمودار لنگر-انحنا به نقطه نظیر لنگر موجود در مقطع تحت ترکیب بار معین در نمودار لنگر-انحنای مقطع) به سختی مقطع بتنی ترک نخورده (بدون لحاظ میلگردها)، ضریب ترک خوردگی مقطع تعریف می‌شود. البته این تعریف برای مقاطع تحت ترکیب بارهای غیر لرزه‌ای (به‌طور دقیق‌تر غیردائمی) که مقطع در مقابل آن‌ها طوری طراحی شده است تا تحت اثر آن ترکیب بارها از نقطه تسلیم مقطع جلوتر نرود، صادق است. آیین‌نامه‌ها رفتار غیرخطی بتن را در لنگرهای کوچک‌تر از لنگر پلاستیک مقطع که به علت گسیختگی کامل ناحیه کششی رخ می‌دهد، با سختی مؤثر به جای سختی ترک نخورده در تحلیل‌های خطی و غیرخطی متعارف آیین‌نامه‌ها تقریب می‌زنند. باید توجه داشت در آیین‌نامه‌های تحلیل غیرخطی رفتار دوخطی ناشی از ترک خوردگی بتن در تغییر شکل کمتر از تغییر شکل تسلیم مقطع به‌طور دقیق در نظر گرفته نمی‌شود و از یک سختی متوسط یا همان سختی مؤثر در تحلیل‌ها برای پیش‌بینی رفتار قبل از تسلیم استفاده می‌کند. با توجه به این موضوع تنها در صورتی می‌توان ضرایب ترک خوردگی را در نظر نگرفت که رفتار دوخطی و عملاً غیرخطی قبل از تسلیم مقطع در مدل‌سازی تیرها در نظر گرفته شده باشد.

با توجه به توضیحات بالا اگر بخواهیم تحت اثر هر لنگر ضریب ترک خوردگی را به دست آوریم باید در آن لنگر از روی نمودار لنگر انحنای شیب خط واصل از مبدأ را به دست آوریم یعنی سختی مؤثر در لنگرهای کوچکتر از لنگر پلاستیک مقطع، تابعی از مقدار لنگر موجود در آن است. با این فرض در لنگرهای قبل از لنگر ترک خوردگی، ضریب ترک خوردگی یک و در لنگرهای بین لنگر ترک خوردگی تا لنگر پلاستیک، ضریب ترک خوردگی کمتر از یک فرض می‌شود. آیین‌نامه برای سادگی برای کلیه ترکیبات بار تراز مقاومت نهایی با فرض اینکه مقاطع طوری طراحی شوند که به‌طور بهینه لنگر نهایی موجود در مقطع برابر با مقاومت نهایی (لنگر پلاستیک مقطع) بشود. با این فرض و با توجه به رابطه لنگر ترک خوردگی می‌توان ضریب ترک خوردگی را برای ترکیبات بار نهایی به‌صورت تئوریک زیر محاسبه نمود. بدیهی است که این محاسبات برای تیرها صادق است. برای ستون‌ها به علت حضور نیروی محوری، لنگر نظیر ترک خوردگی و لنگر پلاستیک تغییر می‌کنند و در نتیجه در ستون‌ها ضریب ترک خوردگی برای ترکیبات بار مقاومت نهایی مقدار ثابتی نبوده و تابعی از نیروی محوری مقطع خواهد بود. آیین‌نامه ACI318 ضریب ترک خوردگی را برای مقاطع با نیروی محوری کم (تیرها) عدد ۰,۳۵ و برای مقاطع با نیروی محوری قابل توجه (ستون‌ها) عدد ۰,۷ ارائه می‌کند.

جدول ۱ - مقادیر ترک خوردگی برای المان‌های مختلف بتن مسلح تحت ترکیبات بار ضریب دار (روش سنتی)

Member and condition		Moment of Inertia	Cross-sectional area
Columns		$0.70I_g$	$1.0A_g$
Walls	Uncracked	$0.70I_g$	
	Cracked	$0.35I_g$	
Beams		$0.35I_g$	
Flat plates and flat slabs		$0.25I_g$	

البته روشی جدید نیز در این آیین‌نامه ارائه شده است.

جدول ۲ - مقادیر ترک خوردگی برای المان‌های مختلف بتن مسلح تحت ترکیبات بار ضریب دار (روش جدید)

Member	Alternative value of I for elastic analysis		
	Minimum	I	Maximum
Columns and walls	$0.35I_g$	$\left(0.80 + 25 \frac{A_u}{A_g}\right) \left(1 - \frac{M_u}{P_u h} - 0.5 \frac{P_u}{P_o}\right) I_g$	$0.875I_g$
Beams, flat plates, and flat slabs	$0.25I_g$	$(0.10 + 25p) \left(1.2 - 0.2 \frac{b_c}{d}\right) I_g$	$0.5I_g$

Notes: For continuous flexural members, I shall be permitted to be taken as the average of values obtained for the critical positive and negative moment sections. P_u and M_u shall be calculated from the load combination under consideration, or the combination of P_u and M_u that produces the least value of I .

که با توجه به محدودیت‌های نرم‌افزارهای فعلی روش دوم در حال حاضر به‌سختی قابل استفاده است.

برای ترکیبات بار سرویس با فرض تنش مجاز $0.6f_c$ برای بتن و میلگردها می‌توان ظرفیت خمشی مجاز مقطع را تعیین نمود و به‌طور مشابه ضریب ترک‌خوردگی را برای ترکیبات بار سرویس محاسبه نمود. آیین‌نامه بتن آمریکا توصیه می‌کند برای ترکیبات بار حد سرویس می‌توان از ۱٫۴ برابر ضرایب ترک‌خوردگی مقاومت نهایی استفاده نمود.

نویسنده: محمد طالبی کلاله

منبع:

1. ACI (2014). Building code requirements for structural concrete (ACI 318-14) and Commentary on building code requirements for structural concrete (ACI 318R-14), American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
2. Moehle, J. P. (2014). Seismic design of reinforced concrete buildings, McGraw-Hill Education, New York, NY, pp. 760.