

به نام خدا



علیرضا فاروقی

کارشناسی ارشد مهندسی زلزله

مربی رسمی سازمان آموزش فنی و حرفه ای وزارت کار در آموزش ETABS
مدرس سازمان نظام مهندسی ساختمان در دوره نکات ویژه نرم افزارهای محاسباتی

عضو انجمن مهندسين عمران آمریکا ASCE

عضو انجمن مهندسان ایرانی محاسب ساختمان

عضو انجمن مهندسی زلزله ایران

تحلیل مرتبه دوم (P-Delta) و برنامه های سازه ای (بخش سوم)

تحلیل P-Delta و طراحی ستونهای فلزی (روش تنش مجاز)

چکیده

آنچنانکه می دانیم تحلیل‌های سازه ای متداول برای بررسی رفتار سازه ها و اشاره شده در آیین نامه های طراحی همگی خطی و اغلب از مرتبه اول هستند و برای اعمال اثرات مرتبه دوم بار می بایست ضرایب تشدید بر روی لنگرهای طراحی اعمال شود. این کار به تشدید لنگر معروف است و در اغلب آیین نامه های طراحی آمده است. در دو قسمت اول این مقاله به طور مفصل به بررسی تحلیل مرتبه دوم و نحوه اعمال آن برای طراحی سازه های بتنی در حالت حدی پرداخته شد و اکنون بحث طراحی سازه های فلزی و نحوه اعمال آن در طراحی است. در این مقاله سعی شده است تا با تشریح موضوع، به بیان نحوه برخورد با آن در نرم افزارهای موجود پرداخته شود.

کلمات کلیدی

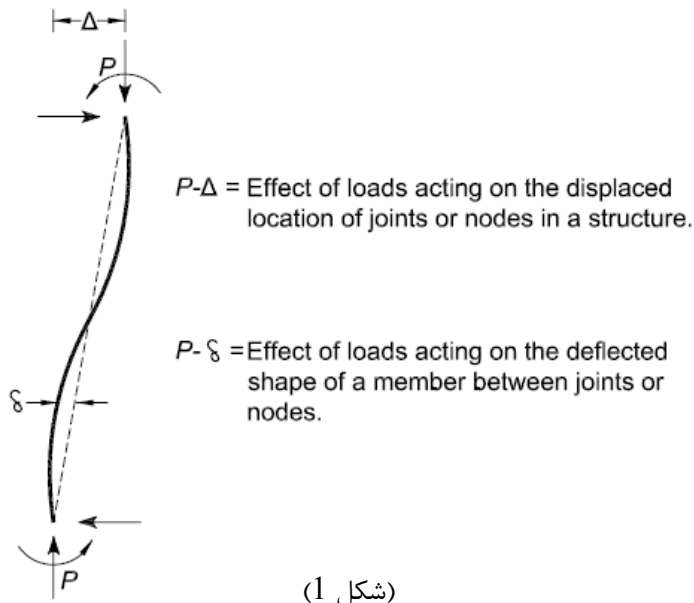
تحلیل مرتبه دوم، تشدید لنگر، خمش اولیه و ثانویه.

همانطور که در چکیده آمده است بحث تشدید لنگر در طراحی ستونهای فولادی نیز وجود دارد. طبق بند 10-1-6-1 مبحث دهم مقررات ملی ساختمان برای طراحی ستونهای فولادی در فشار و خمش چنانچه $\frac{f_a}{F'_e} > 0.1$ باشد داریم {3} :

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_m f_b}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_e}\right) F_b} \leq 1.0 \quad (1)$$

مطابق با مطالب ارائه شده قبلی که دانیم که اثرات مرتبه دوم بار عبارتند از :

اثر $P-\Delta$ جانبی و $P-\delta$ انحنا (شکل 1)



(شکل 1)

آیین نامه برای اعمال اثر انحنا که از سال 1961 وارد آیین نامه AISC شده است ، برای قابهای مهاربندی شده (که در آن اثرات $P-\Delta$ قابل نظر کردن است) ضریب بزرگنمایی C_m را در تنشهای خمشی وارد کرده است و چنانچه بار جانبی در طول ستون نداشته باشیم داریم:

$$C_m = 0.6 - 0.4(M_1/M_2) \geq 0.4 \quad (2)$$

که C_m عبارت است از ضریب هم مکانی لنگر حداکثر با لنگر $P-\delta$.

چنانچه در طول ستون بار محوری داشته باشیم رابطه زیر برقرار خواهد بود:

$$C_m = 1 + \psi \left(\frac{P}{P_e} \right) \quad P_e = \left(\frac{\pi^2 EI}{L^2} \right) \quad (3)$$

$$\psi = \frac{\pi^2 \delta_o EI}{M_o L^2} - 1 \quad (4)$$

که M_o ممان اولیه است . این ضریب می تواند از جدول زیر استخراج شود:

که می توان که مطابق نظر آیین نامه برای دو سر ساده 1 و برای دوسر گیردار 0.85 لحاظ کرد.

Case	ψ	C_m
	0	1.0
	-0.4	$1 - 0.4 \frac{P_u}{P_{e1}}$
	-0.4	$1 - 0.4 \frac{P_u}{P_{e1}}$
	-0.2	$1 - 0.2 \frac{P_u}{P_{e1}}$
	-0.3	$1 - 0.3 \frac{P_u}{P_{e1}}$
	-0.2	$1 - 0.2 \frac{P_u}{P_{e1}}$

(جدول 1)

ضریب $\frac{1}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_e}\right)}$ ، ضریب تشدید لنگر به علت وجود نیروی محوری روی انحنا یا تغییر شکل و ایجاد ممان

ثانویه می باشد {2}. این ضریب درحالتی که انحنا ساده (و نمودار خمش سینوسی) و ممان دو سر ستون برابر باشند (که نقاط حداکثر ممان اولیه و ثانویه- انحنا- در یک نقطه می باشد) محاسبه شده است. برای حالتی که ممانها برابر نبوده یا هم جهت باشند (انحنای مضاعف) به علت عدم هم مکانی نقاط حداکثر نمودارهای خمش اولیه و ثانویه ، ضریب C_m برای تعدیل یا کاهش اثر تشدید اعمال می شود :

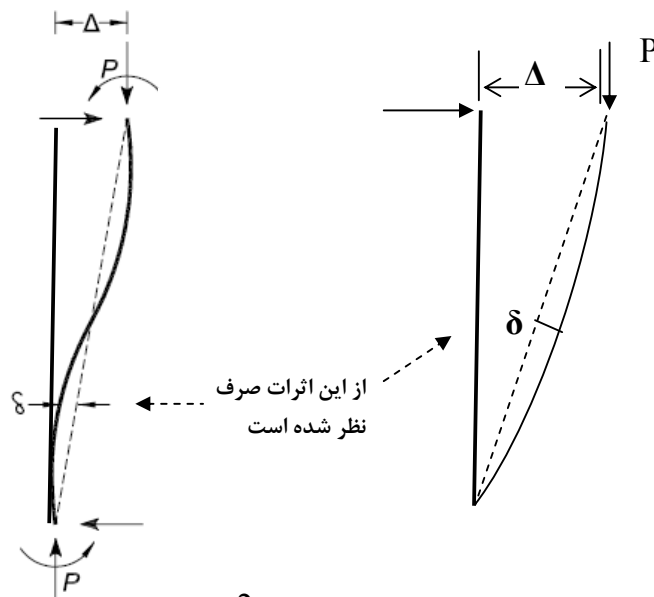
$$C_m = 0.6 - 0.4(M_1/M_2) \geq 0.4$$

اما پس از مدتی که اثرات $P-\Delta$ در سازه های مهار نشده آشکار شد این ضریب برای این سازه ها و برای در نظرگرفتن اثر $P-\Delta$ (و نه $P-\delta$) با استفاده از فرمول (3) و با طول موثری 2 برابر حالت خمش دو سر ساده و نیز تغییر مکان جانبی به جای انحنا به قرار زیر تغییر کرد:

$$C_m = 1 - 0.18 \left(\frac{f_a}{F'_e} \right) \quad (5)$$

که در مبحث دهم این مقدار (برای قابهای مهار نشده) 0.85 ارائه شده است. همچنین در انتها آمده است چنانچه تحلیل شامل اثرات $P-\Delta$ باشد می توان از ضریب بزرگنمایی $\frac{C_m}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_e}\right)}$ صرف نظر کرد.

در اینجا نیز ضریب C_m برای کاهش اثر تشدید به علت بررسی عدم هم مکانی نقاط حداکثر نمودارهای خمش اولیه و ثانویه $P-\Delta$ اعمال می گردد و به علت شکل روابط تحلیلی با رابطه قبل متفاوت بوده و بزرگتر است. (اثر تعدیل به علت بزرگتر بودن تغییر مکان (δ_0) و نیز طول موثر ستونها در قابهای مهار نشده و متعاقب آن نیروی محوری مجاز (F'_e) که هر دو در محاسبه C_m نقش دارند ، کوچکتر است)



(شکل 2)

همانطور که در شکل 2 مشاهده می شود انحنای نسبت به تغییر مکان جانبی کوچک و قابل صرف نظر کردن فرض شده است.

نکته قابل توجه رابطه ارائه شده توسط استاندارد 2800 در پیوست پنجم است که در آنجا دیده می شود چنانچه تحلیل $P-\Delta$ انجام گرفته است تنها اثر مخرج ضریب تشدید حذف شده و ضریب C_m باقی می ماند...! {4} همانطور که در بالا آمده است این ضریب برای تعدیل اثر عدم هم مکانی نقاط حداکثر نمودارهای ممانهای اولیه و ثانویه و برای حالتی است که انحنا ساده و نمودار خمشی، سینوسی محاسبه شود استفاده می شود در حالی که در نرم افزارهای رایج نمودارها دقیق و از روابط تحلیلی اجزاء محدود محاسبه شده و جمع دو نمودار به صورت واقعی و نه تقریبی انجام می گیرد ولذا احتیاج به تصحیح و تعدیل ندارد!

اما تحقیقات نمایانگر دو حقیقت زیر شد:

اولاً بزرگنمایی اثرات $P-\Delta$ جانبی به مجموع نیروها و ظرفیتهای فشاری یک طبقه وابسته است نه یک ستون به تنهایی و برای یک طبقه محاسبه می شود و نتیجتاً وجود ضریب C_m بی معنی بوده و دوم آنکه ضریب بزرگنمایی اثرات $P-\Delta$ مخصوصاً برای حالتی که ضریب بزرگنمایی اثرات $P-\delta$ بزرگتر از 1.05 است لازم نیست به طور توأم و همزمان به ممان بارهای ثقیلی هم ضرب شود بنابراین رابطه زیر در ویرایش سال 2005 آیین نامه AISC پیشنهاد شد {1}:

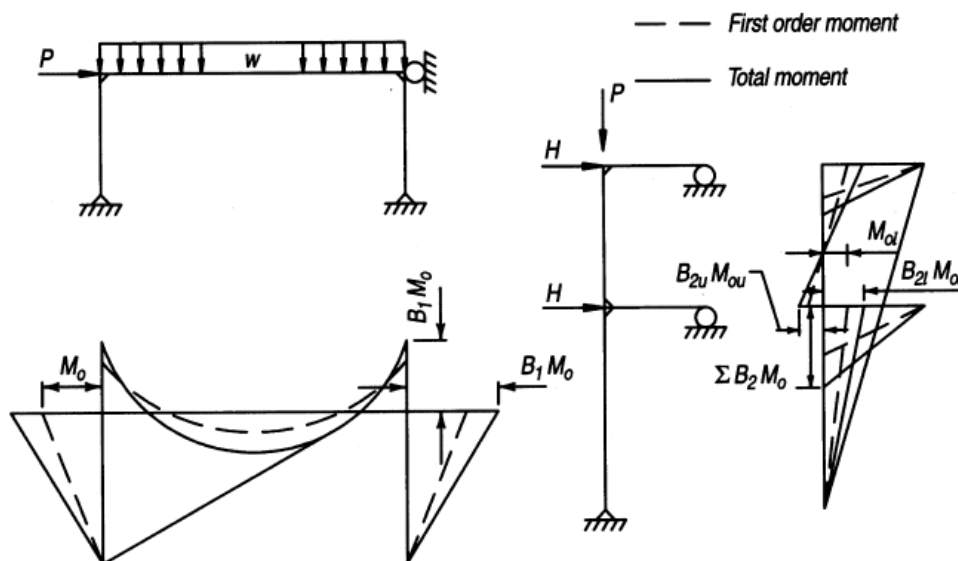
$$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} \quad \text{به ترتیب ممانهای جانبی و ثقیلی هستند.}$$

$$P_r = P_{nt} + B_2 P_{lt}$$

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \alpha P_r / P_{e1}} \geq 1 \quad \alpha = 1.60 \text{ (ASD)} \quad P_{e1} = \frac{\pi^2 EI}{(K_1 L)^2}$$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\alpha \sum P_{nt}}{\sum P_{e2}}} \geq 1 \quad \sum P_{e2} = \sum \frac{\pi^2 EI}{(K_2 L)^2}$$

$$K_2 = [1 + (1 - M_1/M_2)^4] \sqrt{1 + \frac{5 \sum P_r \text{ leaning columns}}{6 \sum P_r \text{ nonleaning columns}}}$$



(a) For $\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

(b) For $\frac{P_r}{P_c} < 0.2$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

$$P_c = P_n / \Omega, \quad \Omega = 1.67 \quad P_n = F_{cr} A_g$$

(a) When $\frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (or $F_e \geq 0.44F_y$)

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y$$

(b) When $\frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (or $F_e < 0.44F_y$)

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r} \right)^2} \quad F_{cr} = 0.877 F_e$$

جمع بندی و نحوه اعمال در نرم افزار :

نکته اول اینکه این روش فعالتهای در **SAP2000V11** موجود می باشد و دوم اینکه در صورت انجام تحلیل P- Δ امکان حذف ضریب $\frac{C_m}{\left(1 - \frac{f_a}{F_e'}\right)}$ در روشهای مبتنی بر آیین نامه های **UBC97-ASD , AISC-ASD89** وجود ندارد.

لذا در نرم افزار ETABS تنها با کنترل ضریب C_m که باید از **0.85** (طبق نظر آیین نامه) بزرگتر گردد برای طراحی سازه تحت آیین نامه های **UBC97-ASD , AISC-ASD89,01** ، نیازی به

انجام تحلیل $P-\Delta$ نمی باشد . ولی برای استخراج برخی نتایج مانند کنترل تغییر مکان برای قابهای مهارنشده و ... انجام تحلیل $P-\Delta$ لازم است.

منابع :

1- Specification for Steel Structural Buildings-ANSI/AISC 360- 05, March 2005

2- Commentary on Specification for Steel Structural Buildings -ANSI/AISC

360- 05, March 2005

3- مبحث دهم مقررات ملی ساختمان -1384

4- آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله - استاندارد 2800 ویرایش سوم -1384

5- طراحی سازه های فولادی - شاپور طاحونی