کنترل پایداری لرزه ای با استفاده از شاخص پایداری θ [1]

مجتبی اصغری سرخی

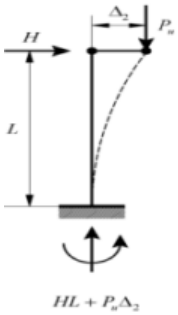
مرداد ۹۰

mojtaba808@yahoo.com

معیار کنترل محدودیت $P-\Delta$ در طرح لرزه ای استفاده از شاخص پایداری طبقات است و برای کنترل پایداری لرزه ای غیر الاستیک سازه میبایست مقدار شاخص پایداری طبقات را مورد بررسی قرار داد.

چنانچه سازه‌ای تحت بار جانبی باشد لنگر اولیه طبقه i ام، M_i بر اثر برش وارده بر طبقه و نیز لنگر ثانویه وارد بر طبقه، ΔM_i بر اثر پدیده $P-\Delta$ برابر است با:

$$M_i = V_i h_i \quad , \quad \Delta M_i = P_i \Delta_{wi}$$



نسبت ΔM_i ایجاد شده بر اثر $P-\Delta$ به لنگر اولیه بر اثر برش M_i، شاخص پایداری طبقه نامیده می‌شود:

$$\theta_i = \frac{\Delta M_i}{M_i} = (\frac{P\Delta_w}{VL})_i$$

در این حالت Δ_{wi} جابجایی اولیه طبقه i ام میباشد و برابر نسبت برش طبقه V به سختی جانبی طبقه K میباشد.در این حالت جابجایی نهایی طبقه برابر است با:

$$\Delta_i = \frac{\Delta_{wi}}{1-\theta}$$

وجه تشابه دو روش تشدید لنگر با روش عمومی تحلیل $P-\Delta$ در AISC-2005 ، استفاده از شاخص پایداری در رابطه تعیین تشدید نیروهای داخلی در هر کدام از دو روش میباشد:

- روش عمومی تحلیل $P-\Delta$:

$$AF = \frac{1}{\left(1-\frac{P_u \Delta_1}{HL}\right)} \rightarrow M_{ip\Delta} = M_i (1+\theta_i+\theta_i^2+\theta_i^3 ...) = M_i \left(\frac{1}{1-\theta_i}\right)$$

---

[1] - Stability Index

- روش تشدید لنگر با لحاظ اثر $P-\Delta$:

$$B_2=\frac{1}{\left[1-\frac{\alpha\sum P_{nt}}{\sum P_{e2}}\right]}=\frac{1}{\left[1-\frac{\alpha\sum P_{nt}\Delta H}{R_m\sum HL}\right]}=\frac{1}{1-\frac{\alpha}{R_m}\theta_i},M_r\approx B_2M_{lt}=M_{lt}\left(\frac{1}{1-\frac{\alpha}{R_m}\theta_i}\right)$$

روش سریع در تعیین شاخص پایداری طبقه عبارت است از:

$$\theta=\frac{P_u\Delta_{wi}}{V_{us}h_{story}}=\frac{P_u}{V_{us}}.\frac{\Delta_{wi}}{h_{story}}\xrightarrow[drift=\Delta_{wi}/h_{story}]{V_{us}=C.P_u}\theta=\frac{Drift_{wi}}{C}$$

C ضریب بار زلزله میباشد که در تحلیل استاتیکی معادل برابر است با: $C=V/W$ بنابراین با جایگذاری مجموع بار های ثقلی طبقه P_u و نیروی برش وارد به طبقه V_{us}، می توان از روی تعیین جابجایی نسبی طبقه iام مقدار شاخص پایداری طبقه را تعیین کرد $\theta_{wi}=\frac{Drift_{wi}}{C}$ بنابراین با دریافت Story Drift از خروجی Etabs و ضرب آن در ضریب زلزله Seismic coefficientمی توان با دقت نسبتا خوب و سریع میزان شاخص پایداری طبقه را حساب کنید . کاربرد این روش بخصوص در مواقعیست که میبایست ضریب B_2 را از روی شاخص پایداری طبقه تعیین کرد.

- **کنترل پایداری لرزه ای غیر الاستیک در آیین نامه ها مختلف**

در روش های کنونی آیین نامه ها برای افزایش نیروهای طرح لرزه ای اعضا از روش تشدید نیرو مبتنی بر شاخص پایداری استفاده می شود که مبتنی بر هر طبقه میباشد. در همه آیین نامه ها زمانی که شاخص پایداری از میزانی کمتر باشد استفاده از آثار $P-\Delta$ قابل صرفنظر کردن است و اگر شاخص پایداری از حدی بیشتر باشد طرح میبایست اصلاح شود (معمول ترین روش آن افزایش سختی جانبی سازه برای کاهش جابجایی طبقات است)، اگرچه در این موضوع تفاوت هایی میان انواع آیین نامه ها وجود دارد.

الف) **آیین نامه بارگذاری آمریکا ASCE 7-05**

در ASCE 7-05 شاخص پایداری از رابطه زیر تعیین می شود:

$$\theta_{ASCE}=\frac{P\left(C_d\Delta_{wi}\right)}{Vh_sC_d}$$

Δ_{wi} تغییرمکان الاستیک طبقه تحت بارهای لرزه ای و C_d ضریب تشدید برای لحاظ تغییرشکل های غیر الاستیک میباشد که مقدار آن بسته به انواع سیستم های مقاوم لرزه ای در سازه ها متفاوت و برابر $C_d = 0.7R$ میباشد. از آنجا که ضریب C_d هم در صورت کسر و هم در مخرج رابطه تعیین شاخص پایداری است در نهایت خنثی می شود و در نهایت θ بر اساس پاسخ الاستیک سازه تعیین می شود.

اگر برش پایه غیر الاستیک را از رابطه $V_y = C_d V$ بدست آوریم و در رابطه شاخص پایداری جاگذاری کنیم خواهیم داشت:

$$\theta_{ASCE} = \frac{P\left(C_d \Delta_{wi}\right)}{V_y h_s}$$

اما C_d تاثیر خود را در تعیین شاخص پایداری حداکثر می گذارد که برابر است با:

$$\theta_{\max} = \frac{0.5}{\beta C_d} \le 0.25$$

β نشان دهنده ضریب اضافه مقاومت در سازه است و معمولا کمتر از ۱ میباشد.

- طبق ASCE 7-05 در صورتی که شاخص پایداری از ۰.۱ کمتر باشد لحاظ اثرات $P-\Delta$ قابل صرفنظر کردن است چراکه سختی سازه خیلی زیاد است و نیازی به لحاظ اثرات تشدید کننده $P-\Delta$ نمی باشد.
- در حالت $\theta > 0.1$ نیروهای داخلی حاصل از آنالیز به اندازه $1/(1-\theta)$ تشدید می شوند
- و در صورتی که شاخص پایداری طبقه از $\theta_{\max} = 0.25$ بیشتر باشد، سازه در طبقه موردنظر ناپایدار محسوب شده و باید در طراحی آن تجدیدنظر کرد و برای کاهش آن میبایست سختی جانبی سازه را افزایش داد تا جابجایی اولیه طبقات کاهش یابد.

در AISC 360-05 از شاخص پایداری به منظور کنترل تشخیص طبقه مهار شده جانبی یا مهار نشده استفاده شده است چنانچه شاخص پایداری طبقه کوچکتر از ۰.۰۵ باشد طبقه مهارشده جانبی تلقی می شود.

ب) FEMA-350 (2000-a)

در Fema که استاندارد بهسازی و مقاوم سازی سازه های موجود به حساب می آید شاخص پایداری با پارامتر ψ نشان داده می شود که محدوده مقادیر مجاز آن بین ۰.۱ تا حداکر ۰.۳ معرفی شده است:

$$\psi_{Fema} = \frac{P\left(R\Delta\right)}{V_y h_s}$$

با مقایسه حداکثر شاخص پایداری در ASCE 7-05 و Fema-350 متوجه خواهیم شد که FEMA-350 با معرفی $\psi_{\max} = 0.3$ ضوابط محافظه کارانه تری برای محاسبه تشدید نیروها ناشی از $P-\Delta$ به کار می برد:

$$\psi_{\max} = \left[\frac{P\left(R\Delta\right)}{V_y h_s}\right]_{\max} = \frac{P\left(\frac{C_d}{0.7}\Delta\right)}{V_y h_s} = \frac{\theta_{\max}}{0.7} = \frac{0.25}{0.7} \approx 0.357$$

در تفسیر AISC 2005 استفاده از محدودیت Fema در تعیین شاخص پایداری حداکثر توصیه می شود.

ج) استاندارد اروپا EC8

ضوابط EC8 مشابه ASCE7 میباشد جز اینکه تعییرشکل های غیر الاستیک در فاکتور ضریب شکل پذیری q لحاظ می شود که مقدار آن بسته به انواع سیستم های مقاوم لرزه ای از ۲.۵ تا ٦.۵ میباشد.

$$\theta_{EC8} = \frac{P\left(q\Delta\right)}{Vh_s}$$

محدوده مقادیر مجاز شاخص پایداری در EC8 بین ۰.۱ تا حداکر ۰.۳ معرفی شده است.

د) آیین نامه ساختمان کانادا NRCC-2005

در استاندارد کانادا شاخص پایداری از رابطه زیر تعیین می شود:

$$\theta_{NRCC} = \frac{P\left(R_o R_d \Delta\right)}{R_o V h_s} = \frac{P\left(R_d \Delta\right)}{V h_s}$$

مقدار R_d از ۱ برای سیستم های ترد تا ۵ برای سیستم های شکل پذیر متفاوت است. R_o ضریب اضافه مقاومت است و با جاگذاری برش پایه غیر الاستیک $V_y = R_o V$ در رابطه شاخص پایداری خواهیم داشت:

$$\theta_{NRCC} = \frac{P\left(R_o R_d \Delta\right)}{V_y h_s}$$

محدوده مقادیر مجاز شاخص پایداری در NRCC-2005 بین ۰.۱ تا حداکر ۰.٤ معرفی شده است.

ه) **آیین نامه نیوزلند NZ1170**

در آیین نامهNZ1170 مقدار شاخص پایداری در تراز هر طبقه از رابطه زیر تعیین می شود:

$$\theta_{NZS} = \frac{P\left(\mu\Delta\right)}{V_y h_s}$$

در آیین نامه نیوزلند تغییرشکل های غیر الاستیک با لحاظ ضریب شکل پذیری μ لحاظ می شود که مقدار آن بسته به انواع سیستم های سازه ای از ۱ تا ٦ متغیر است. محدوده مقادیر مجاز شاخص پایداری در NZ1170 بین ۰.۱ تا حداکر ۰.۳ معرفی شده است.

آنچه که با مقایسه آیین نامه های مختلف می توان نتیجه گرفت این است که:

- تحت اثر $P-\Delta$ سختی سازه کاهش می یابد و نیروهای داخلی اعضا در ضریب $1/(1-\theta)$ تشدید می شود. تنها اثرات $P-\Delta$ در نیروهای اعضا در سیستم های مقاوم لرزه ای و تغییرشکل های جانبی تشدید می شود و نه در بار جانبی یا برش طبقات.
- در تمام آیین نامه ها برای کنترل پایداری لرزه ای غیر الاستیک محدودیتی در استفاده از حداکثر میزان شاخص پایداری طبقات که بین ۰.۲۵ تا ۰.٤ است معرفی شده است. که برای کاهش شاخص پایداری طبقه به حد مجاز، تنها راه بالابردن سختی جانبی قاب و طرح دوباره سازه است.

مراجع:

[1] American Institute of Steel Construction Inc., Steel Construction Manual, 13th ed. 2005, Second Printing.
[2] CEN , Eurocode 3: Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1-1,General Rules and Rules for Buildings, EN 1993-1-1, Comit´e Europ´een de Normalisation (CEN), European Committee for Standardization,Brussels, Belgium. 2005.
[3] CSA, Limit States Design of Steel Structures, CAN/CSA-S16-01, Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, Canada. 2001.
[4] NZS (2004), NZ 1170.5, Structural Design Actions, Part 5: Earthquake Actions—New Zealand, New Zealand Standards, Wellington, New Zealand. 2004.
[5] FEMA. (2000a), FEMA-350, Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings, SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.2000.
[6] Ziemian, R.D. (ed), Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures, 6th Ed.,John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ. 2010 .