



لنگی برش در قابهای محیطی چند سلولی و عوامل موثر در کاهش آن

سید روح ... موسوی، حسن حاجی کاظمی، مهدیه عربی

دانشجوی دکتری دانشگاه فردوسی مشهد

استاد دانشگاه فردوسی مشهد

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد

S_r_musavi@yahoo.com

hkazemi@um.ac.ir

arya.sazeh.c.s@Gmail.com

چکیده

مسأله لنگی برش بیشتر در مقاطع جدار نازک اتفاق می افتد. زیرا ضخامت کم جدار باعث افزایش تنشها و تغییرشکلهای برشی در مقطع می گردد. این پدیده برای ساختمانهای بلند با سیستم قاب محیطی و هسته دیوار، تیورقهای جعبه ای چندسلولی و تک سلولی، تیورقهای جعبه ای خمیده و ... اهمیت فراوان دارد و باید اثر آن در طراحی لحاظ گردد. لنگی برش باعث می شود که در نیروی محوری ستونهای گوشه ای و میانی تفاوت های قابل توجهی نسبت به مقادیر حاصل از تیوریه های کلاسیک خمش مشاهده گردد. تاکنون راهکارهای متفاوتی برای کاهش لنگی برش در قابهای محیطی یک یا چند سلولی پیشنهاد شده است. از آن جمله می توان به استفاده از کمر بند ها، مهارهای بازویی و تیرهای عمیق اشاره کرد. در این مقاله اثر هندسه پلان و سلولها در کاهش لنگی برش قابهای محیطی چند سلولی بررسی شده و گزینه های مناسب پیشنهاد می شوند.

کلمات کلیدی: سازه های بلند، قاب محیطی، لنگی برش.

۱- مقدمه

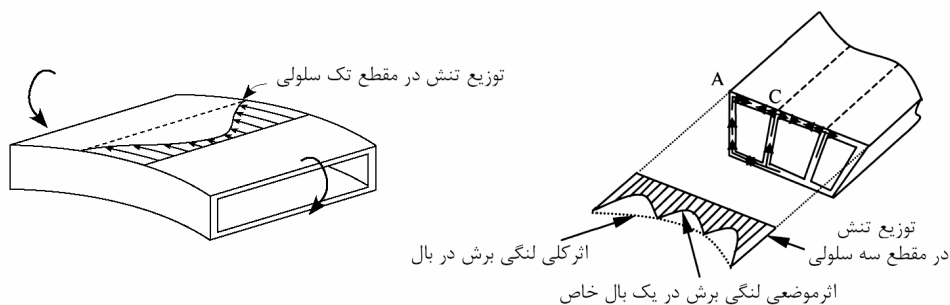
در تیوری کلاسیک خمش تیرها، فرض می گردد که صفحات قبل از خمش مقطع، پس از خمش نیز به صورت صفحه و عمود بر محور خنثی باقی بمانند. به سخن دیگر، از تغییرشکلهای برشی صرف نظر می گردد. در این تیوری، چون کرنشها نسبت به تار خنثی خطی تغییر می کنند، بالهای مقاطع جعبه ای دارای تنشهای یکنواخت خواهند بود. ولی هنگامی که برش در مقطع قابل ملاحظه باشد، نمی توان این تیوری را به کار برد. در این شرایط، تغییرشکلهای برشی وارد تحلیل می شوند و تغییراتی را در تنشهای قائم مقطع ایجاد می نمایند. بر این اساس، تنش قائم در محل اتصال بال به جان افزایش می یابد و در قسمتهای میانی بال، این تنش کاهش می یابد. رفتار سازه های بلند با سیستم قاب محیطی نیز مشابه مقاطع جعبه ای در تیرها است. بنابراین در این سازه ها پدیده لنگی برش اتفاق می افتد و نیروی محوری ستونهای روی بال قاب محیطی غیر یکنواخت می گردد.

پژوهشگران در گذشته و حال تحقیقات بسیاری را در مورد پدیده لنگی برش در قابهای محیطی، تیر ورقهای جعبه ای و مواد مرکب انجام داده اند. لائو و تانگ در سالهای ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ میلادی معادله دیفرانسیل حاکم بر تیر ورقهای جعبه ای تک سلولی بالدار را با در نظر گرفتن لنگی برش حل نمودند [1,2]. در این گونه مقاطع، لنگی برش نه تنها بر روی نیروهای طولی تأثیر گذار است، بلکه به همان اندازه بر نیروهای برشی و غشایی نیز مؤثر است.



۲- شاخص های لنکی برش

هنگامی که لنکی برش اتفاق می افتد، تنش از حالت یکنواخت خارج می شود و در قسمتی از مقطع افزایش تنش و در بخشی دیگر کاهش تنش روی می دهد. تغییرات زیاد تنش در مقطع مناسب نمی باشد. چگونگی تغییر تنشهای بال در اثر لنکی برش، در شکل (۱) نمایان است.

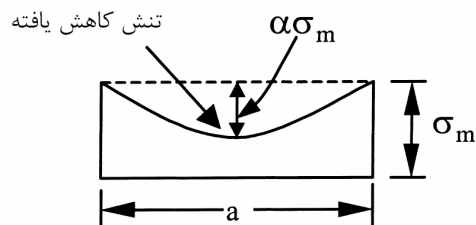


شکل ۱- تنشهای طولی بال در مقاطع جعبه‌ای

در شکل بالا، افزایش تنش بال در محل اتصال به جان نمایان است. این افزایش به دلیل انتقال جریان برش از جانها به لبه های بال می باشد [3]. با توجه به شکل (۱)، جریان برش جان میانی در نقطه C به دو بال مجاور منتقل می شود، در حالیکه جریان برش جان خارجی در نقطه A، فقط به بال مجاور آن منتقل می گردد. بنابراین، مقدار لنکی برش در محل جانهای میانی کمتر از لنکی برش در محل جانهای خارجی است. بر این اساس، تحلیل لنکی برش در مقاطع چند سلولی پیچیده تر از مقاطع تک سلولی است. شاخص لنکی برش مشخص کننده میزان تغییرات تنش در مقطع می باشد. در ادامه، شاخصهای گوناگونی که برای معرفی میزان لنکی برش استفاده شده اند، به اختصار معرفی می گردند.

۲-۱- شاخص (α)

این شاخص بیشترین کاهش تنش طولی را در مقایسه با حداکثر تنش به وجود آمده در محل تقاطع بال و جان نشان می دهد. بنابراین، هر چه این مقدار به سمت یک میل کند، لنکی برش بیشتر خواهد بود و در حالتی که $\alpha = 0$ باشد، لنکی برش اتفاق نمی افتد. شکل (۲)، ضریب α را مشخص می کند [3].



شکل ۲- توزیع تنش طولی بال و معرفی شاخص α



۲-۲- نسبت پهنای مؤثر به پهنای بال (ψ)

در تئوری مقدماتی تیرها، تنش قائم بال مقدار ثابت $\bar{\sigma}_x$ است. پهنای مؤثر بال مقداری است که به همراه حداکثر تنش در محل تقاطع بال و جان، نیروی محوری حاصل از تئوری عمومی تیرها را ایجاد نماید [4].

$$\sigma_x^{(\max)} \cdot t_f \cdot b_e = \bar{\sigma}_x \cdot t_f \cdot b \quad (1)$$

$$b_e = \psi \cdot b \quad (2)$$

$$\psi = \frac{\bar{\sigma}_x}{\sigma_x^{(\max)}} \quad (3)$$

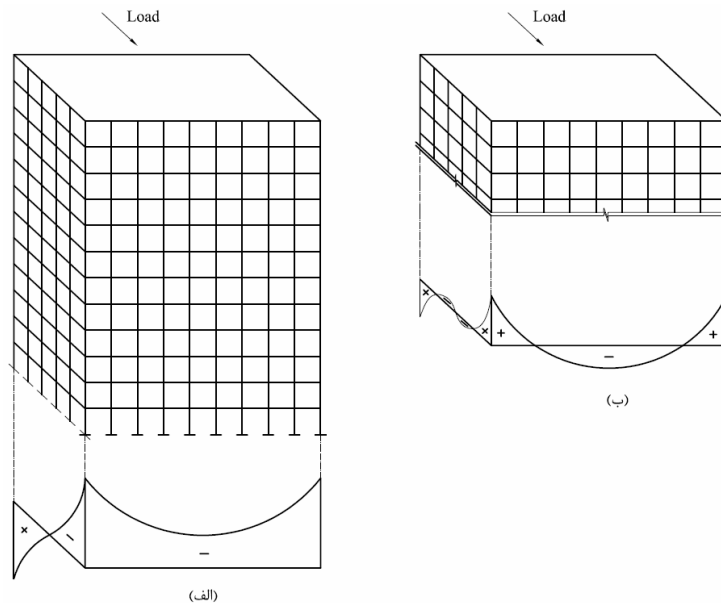
در روابط بالا، t_f ضخامت بال، b عرض بال، b_e پهنای مؤثر و ψ نسبت پهنای مؤثر می باشد. نسبت پهنای مؤثر بین صفر و یک تغییر می کند. هر چه این مقدار به صفر نزدیکتر باشد، لنگی برش در مقطع بیشتر است.

۲-۳- شاخص (λ)

از این شاخص در مرجع [1] بهره جویی شده است. مقدار این شاخص از تقسیم نیروهای غشائی به دست آمده با در نظر گرفتن اثر لنگی برش بر نیروهای غشائی تعیین شده از تئوری مقدماتی تیرها به دست می آید. این شاخص می تواند مقدارهای کوچکتر و بزرگتر از یک داشته باشد. هر چه این مقدار به سمت یک میل کند، لنگی برش کمتر خواهد شد.

۳- لنگی برش در قابهای محیطی

در قابهای محیطی، ستونها در پیرامون سازه واقع می شوند، رفتار این گونه قابها تقریباً مشابه تیورقهای جعبه ای است. بنابراین، توزیع نیروهای محوری ستونها مشابه توزیع تنش محوری در مقاطع جدار نازک بسته است. توزیع نیروی محوری در قابهای محیطی به دو صورت خواهد بود. به طور معمول، شکل رفتاری (الف) در طبقات پایین و میانی و شکل رفتاری (ب) در طبقات بالا رخ می دهد.



شکل ۳- انواع حالت های توزیع نیروی محوری در قابهای محیطی

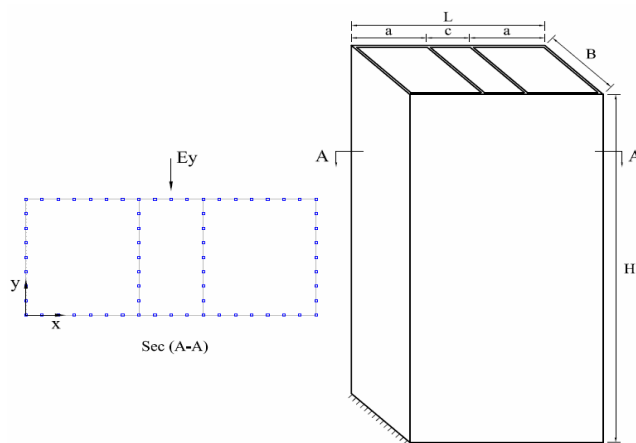


۴- عوامل موثر در لنگی برش قابهای چند سلولی

در این مقاله اثر ارتفاع سازه، نسبت ابعاد پلان و نسبت عرض سلولها در کاهش پدیده لنگی برش مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور ۱۸ سازه با مشخصات گوناگون تحلیل شده است تا تاثیر پارامترهای مذکور در لنگی برش مشخص گردند. نیمی از این سازه ها ۳۰ طبقه و بقیه ۶۰ طبقه انتخاب شده اند. در هر کدام از دسته های بالا، ۳ گزینه دارای عرض سلولهای مساوی و طول متغیر و سایر گزینه ها دارای عرض متفاوت سلولها می باشند. در این سازه ها، برای معرفی لنگی برش از شاخص α استفاده شده است.

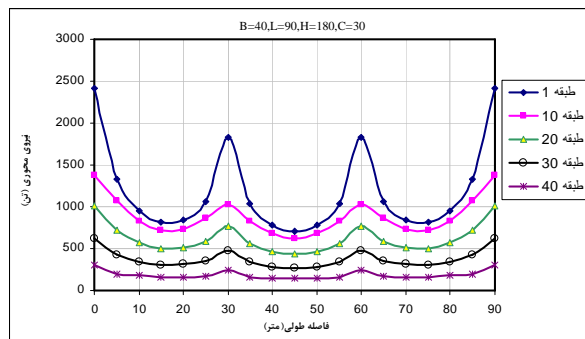
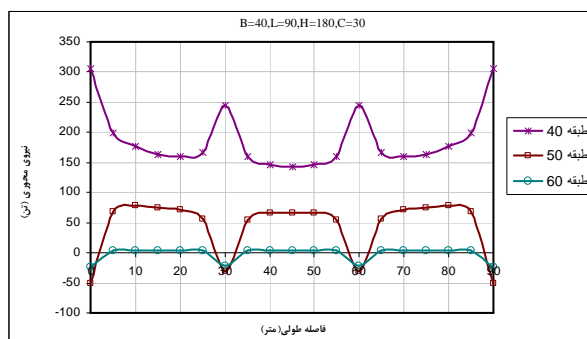
$$\alpha = \left(\frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_{\max}} \right) \quad (۴)$$

در رابطه کنونی، P_{\max} و P_{\min} ، به ترتیب، حداکثر و حداقل نیروی محوری ستونهای روی بال قاب در بارگذاری زلزله جهت y می باشند.

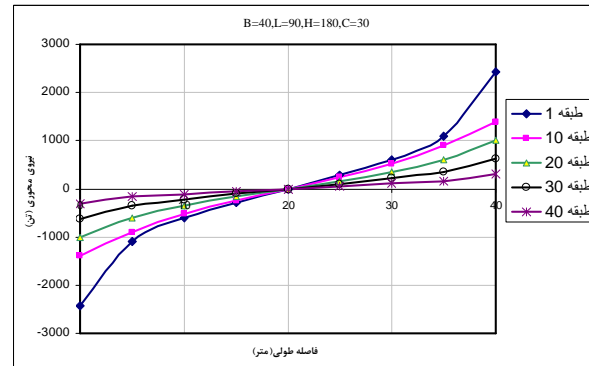
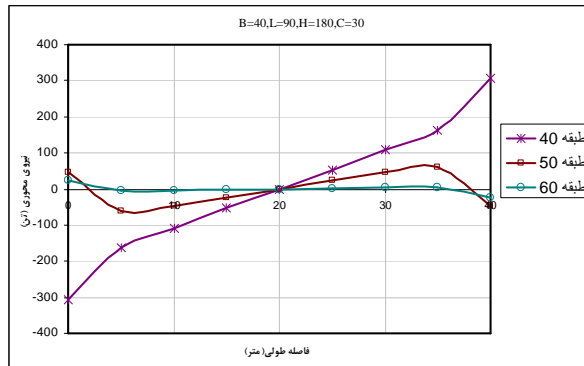


شکل ۴- معرفی پارامترهای ساختمان با سیستم قاب محیطی سه سلولی

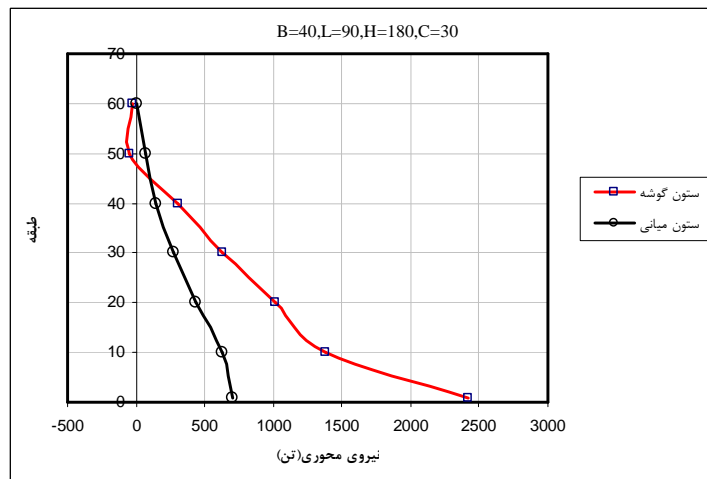
نیروی محوری ستونها پس از انجام تحلیل های ۱۸ سازه برداشت شده اند. برای نمونه نیروی محوری ستونهای ساختمان ۶۰ طبقه با عرض پلان ۴۰ متر و طول ۹۰ متر و عرض سلول های مساوی، در شکل های (۵) و (۶) نمایش داده شده اند. در شکل های (۵) و (۷)، نیروی محوری ستون گوشه در طبقه یکم به طور قابل ملاحظه ای بیشتر از نیروی محوری ستون میانی است. این اختلاف در طبقات بالاتر کاهش می یابد به گونه ای که در یک موقعیت خاص، نیروی محوری ستون گوشه ای و میانی مساوی خواهد شد. به این موقعیت که در شکل (۷) نمایان است، طبقه عطف گفته می شود. در طبقات بالاتر از طبقه عطف، جهت نیروی محوری در ستونهای محل اتصال بال و جان، وارونه می گردد که این موضوع باعث افزایش لنگی برش در این طبقات می گردد. وارونه شدن نیروی محوری ستون های مذکور در طبقان ۵۰ و ۶۰ شکل های (۵) و (۶) نشان داده شده است.



شکل ۵- نیروی محوری ستونهای روی بال قاب محیطی



شکل ۶- نیروی محوری ستونهای روی جان بیرونی قاب محیطی

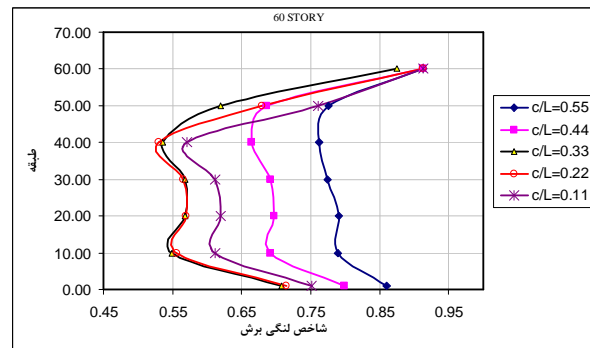
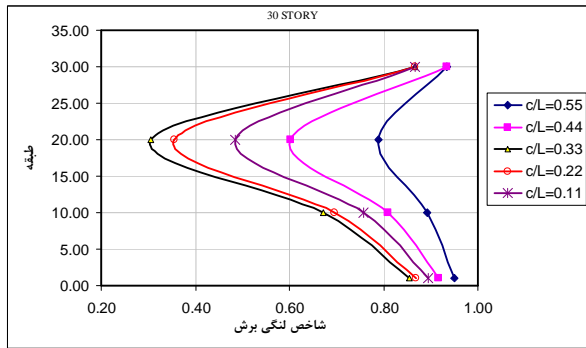


شکل ۷- موقعیت طبقه عطف

۴-۱- نسبت عرض سلولها (c/L)

در اینجا طول پلان (L)، مقداری ثابت نگه داشته می شود. نسبت عرضی سلولها با تغییر عرض سلول میانی از صفر تا L به دست می آید. در شکل (۴)، هنگامی که $c = 0$ است، پلان به صورت قاب دو سلولی در می آید و اگر $c = A$ باشد، آنگاه پلان یک قاب تک سلولی خواهد شد. برای $0 < c < A$ پلان یک قاب سه سلولی است. در بررسی های انجام شده در این بخش، نسبت L/B مقدار ثابت $9/4$ اختیار می گردد.

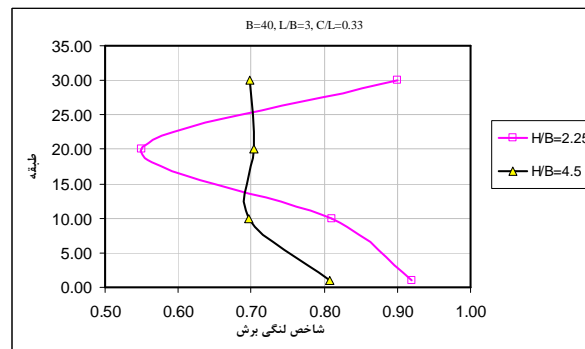
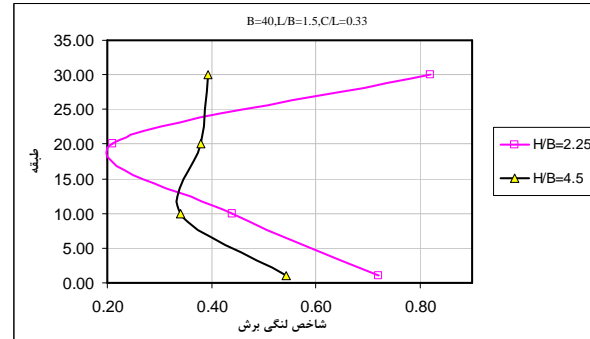
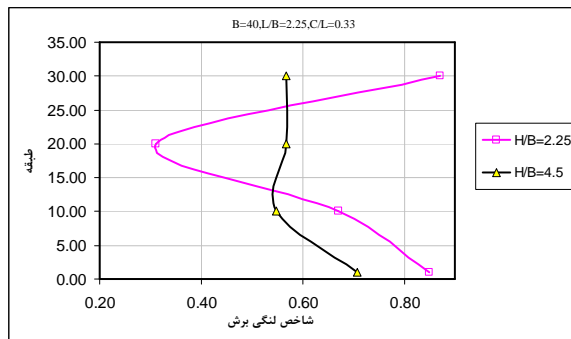
شکل (۸) تغییرات شاخص α را برای مقادیر متفاوت (c/L) در دو سازه با ارتفاع های ۹۰ و ۱۸۰ متر نشان می دهد. در این شکلها مشاهده می گردد که اختلاف عرض سلولها تأثیر نسبتاً زیادی بر روی نتایج لنگی برش می گذارد. این تأثیرات در طبقات میانی مشهودتر از طبقات بالا و پایین است. همچنین، مشاهده می گردد که اگر مقدار c بین $0.22L$ تا $0.33L$ باشد، آنگاه لنگی برش به مقدار قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. از سوی دیگر، مشاهده می گردد که مقدار لنگی برش در طبقات بالا و پایین بسیار بیشتر از طبقات میانی است. افزایش ناگهانی لنگی برش در طبقات بالا، به سبب تغییر جهت نیروی محوری ستون ها در طبقات بالاتر از طبقه عطف می باشد.



شکل ۸- تغییرات شاخص α بر حسب نسبت عرض سلولها

۴-۲- نسبت ارتفاع سازه به عرض پلان (H/B)

برای بررسی اثر این عامل روی لنگی برش، سازه هایی با عرض سلول های مساوی و مشخصات یکسان پلان و ارتفاع عای متفاوت ۹۰ و ۱۸۰ متر مورد مقایسه قرار گرفته اند. نتایج در شکل (۹) به نمایش در آمده اند. مشاهده می شود که به طور معمول، میزان لنگی برش در ساختمان کوتاه تر بیشتر است. در نمودارهای زیر، تغییر ناگهانی لنگی برش در ساختمان کوتاه تر، به خاطر وجود طبقه عطف در بین طبقات ۲۰ تا ۳۰ می باشد.



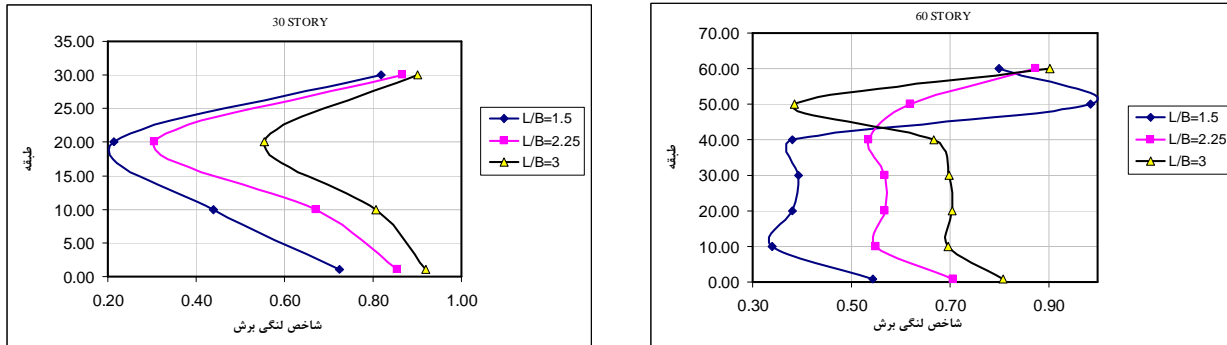
شکل ۹- تغییرات شاخص α بر حسب نسبت (H/B)

۴-۳- نسبت طول به عرض پلان (L/B)

برای یافتن تاثیر این عامل بر لنگی برش، قاب محیطی سه سلولی با عرض مساوی سلولها ($a = c = \frac{L}{3}$) و نسبت طول به عرض متفاوت پلان مورد مطالعه قرار می گیرد. نتایج سازه های تحلیل شده با عرض ۴۰ متر و طول های متفاوت ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ متر در شکل (۱۰) آمده است. نمودارهای زیر نشان می دهند



که با افزایش نسبت طول به عرض پلان، مقدار لنگی برش در طبقات پایین افزایش خواهد یافت. اما، برای طبقات بالاتر از طبقه عطف، قانون مشخصی نمی توان یافت.



شکل ۱۰- تغییرات شاخص α بر حسب نسبت (L/B)

۵- نتیجه گیری

از میان عامل های مورد بحث این مقاله، نسبت عرض سلولها تاثیرگذارتر از سایر عوامل است. نتایج نمودار (۸) نشان می دهد که اگر عرض سلول میانی بزرگتر از سلول های کناری باشد لنگی برش افزایش می یابد. همچنین، بهترین گزینه در ساختمان کوتاه، عرض مساوی سلول ها می باشد. بنابراین، توصیه می شود که همیشه عرض سلول میانی کوچکتر و یا مساوی سلول های کناری انتخاب گردد. عامل تاثیرگذار بعدی نسبت طول به عرض پلان می باشد. با افزایش این عامل، به خاطر تغییر شکل های برشی ایجاد شده در طول پلان، لنگی برش زیاد می شود. بنابراین، با کاهش این نسبت، می توان لنگی برش را کم کرد. نکته قابل توجه در تمام نمودارهای بالا، لنگی برش زیاد طبقات فوقانی سازه است. برای کاهش لنگی برش در این طبقات، می توان سخی تیرهای طبقات فوقانی را زیاد کرد.

۶- مراجع

1. Luo, Q. Z., Tang, J., Li, Q. S., Liu, G. D. and Wu, J.R., (2004), "Membrane Forces Acting on Thin-Walled Box Girders Considering Shear Lag Effect," *Thin-Walled Structures*, **42**, pp 741-757.
2. Luo, Q. Z., Tang, J. and Li, Q. S., (2003), "Shear Lag Analysis of Beam-Columns," *Engineering Structures*, **25**, pp 1131-1138.
3. Lee, C. K. and Wu, G. J., (2000), "Shear Lag Analysis by The Adaptive Finite Element Method- Analysis of Complex Plated Structures," *Thin-Walled Structures*, **38**, pp 311-336.
4. Alghamdi, S. A., (2000), "On Analysis of Shear Lag in Steel Box-Girders," Department of Civil Engineering, King Fahad University, Saudi Arabia.