

تحلیل و اجرای سقف مرکب فولادی یک طرفه

جواد فاخری

مربی پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۸/۶/۱، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۹/۳/۱۷، تاریخ تصویب ۸۹/۶/۳۰)

چکیده

در اجرای سقف بتنی، برای سهولت نصب قالب و سپس جدا نمودن آن، موضوع باقی گذاردن قسمتی از قالب در سقف به طور دائمی پیشنهاد می گردد. در تحقیق حاضر یک نوع سقف تیرچه-بلوک که دارای تیرچه فولادی می باشد، و بلوک آن سیمانی و عریض تر از بلوک های معمول و رایج سفالی و سیمانی است، در جهت برآوردن هدف فوق معرفی شده است. در سقف تیرچه-بلوک رایج، بار ثقلی توسط دال روی بلوک ها به تیرچه ها و از تیرچه ها به تیرهای اصلی، به صورت یک طرفه و در یک امتداد منتقل می گردد. با افزایش عرض بلوک ها با استفاده از دو بلوک مجاور هم، سقف سبک تر می گردد. جهت افزایش ظرفیت باربری، نیاز به افزایش ضخامت است که با قراردادن ورق های پلاستوفوم در ضخامت های لازم تامین می شود. بار هنگام بتن ریزی سقف توسط شمع های عمودی به زمین منتقل می شود و در هنگام بهره برداری توسط تیرچه های T شکل تحمل می شود. در مثال های واقعی از ساختمان یک طبقه با اسکلت فولادی تحت بارهای ثقلی و بار معادل استاتیکی زلزله، بادنه ها و ضخامت ها و آرایش های مختلف سقف، بررسی و محاسبه و جزئیات لازم ارائه شده است.

واژه های کلیدی: تیرچه بلوک، تیرچه فولادی، دال یک طرفه، بلوک سیمانی، بار ثقلی

مقدمه

می گردد. از مزیت های سقف مرکب یک طرفه فولادی بر تیرچه (بتنی)-بلوک رایج، تشکیل تیرچه آن، از ورق و برشگیر است که در کارگاه محل نصب تحت نظارت مجری ساخته می شود و اجرا و نصب آن، دارای اطمینان بیشتری است. به علاوه به واسطه استفاده از فولاد نرمه، برخلاف میلگردهای تیرچه، جوشکاری آن بدون نقص خواهد بود. همچنین نسبت به سقف تیرچه-بلوک (فقط پلاستوفومی) حفاظت بیشتری از اسکلت در مقابل آتش می کند. در عرض بیش از یک بلوک، ضخامت بلوک (پلاستوفومی) در مرحله اول باید جوابگوی خمش و برش باشد و نتیجتاً ضخامت زیادی خواهد داشت، در حالی که در بلوک سیمانی چنانچه نیاز به بیش از ۲۶ سانتی متر باشد می توان در بقیه ضخامت بیش از ۲۶ سانتی متر از پلاستوفوم استفاده کرد. جهت تامین فولاد لازم در ضخامت های مختلف لازم سقف، می توان ابعاد ورق را تغییر داد یا فولاد اضافی را با نصب میلگردهای اضافی تامین نمود.

مواد و روش ها

در اجرای سقف تیرچه-بلوک، تیرچه ها و بلوک های لازم از خارج کارگاه فراهم و در محل کار نصب می شود و سپس بتن ریزی می گردد. کارفرما اطمینان کامل نسبت

در بسیاری از ساختمان های مسکونی، اداری و پارکینگ ها برای پوشش از سقف بتنی استفاده می شود. در اجرای این سقف ها، سرعت و سهولت نصب و برچیدن قالب امری مهم است. لذا در عمل، قسمتی از قالب ها را در سقف، به طور دائمی باقی می گذارند. قالب های دائمی سخت مورد استفاده در این مقاله، ورق فولادی و بلوک های سیمانی می باشد. در این سقف تیرچه بلوکی ورق های فولادی با فاصله منظم (مرکز به مرکز حدود ۷۵ سانتی متر و ۱۵۰ سانتی متر) و دال نازک بتنی روی بلوک های سیمانی تشکیل تیرچه های T شکل داده و باعث انتقال بار مرده و زنده به تیرهای اصلی می شود. هنگام بتن ریزی سقف، بار مرده و زنده توسط شمع های عمودی به زمین یا طبقه زیرین منتقل می شود. در این سقف چون بار ثقلی، توسط دال نازک به تیرچه ها در یک امتداد منتقل می شود به سقف مرکب فولادی یک طرفه موسوم است. تنش های ماکزیمم فولاد و بتن در هنگام بهره برداری در مقطع T شکل، باید از تنش های مجاز فولاد و بتن کمتر و تغییر شکل آن از تغییر شکل مجاز کمتر باشد. جهت سبک تر نمودن سقف از مجاور قراردادن دو بلوک در کنار هم استفاده شده است. جهت تامین ضخامت های بیشتر سقف در دهانه های بلندتر نیاز به افزودن ورق پلاستوفوم به عنوان تامین کننده مازاد ضخامت بر ۲۶ سانتی متر می باشد که روی بلوک ها نصب

به میلگرد و بتن تیرچه ندارد. چون میلگرد در پاشنه بتنی مخفی می‌باشد. به این دلیل مشهود بودن اجزای تیرچه، یکی از علل توجه به سقف مرکب فولادی یک طرفه می‌شود. سقف مرکب تک بلوک یک طرفه متشکل از تیرچه‌های فولادی موازی هم و بلوک‌های سیمانی به طول ۶۸ سانتی‌متر و عرض ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر، دارای دال ۶ سانتی‌متری بتنی روی بلوک‌ها و تیرچه فولادی می‌باشد، حداقل ضخامت این دال یک‌طرفه چنانچه تکیه‌گاه‌ها، ساده باشد برابر $L/20$ می‌باشد تا نیاز به کنترل نباشد.

$$(1) \quad t = L/20$$

در صورتی که دال یک طرفه با تکیه‌گاه‌های پیوسته ازد و طرف باشد باید حداقل ضخامت $L/28$ رادار باشد. L فاصله محور به محور دو تکیه‌گاه یا دهانه آزاد دال به علاوه ارتفاع موثر مقطع، d ، هرکدام که کوچکتر است، می‌باشد. مقطع سقف باین نوع تیرچه بلوک در شکل (۵)، نشان داده شده است جهت اجرای این سقف، شمع‌های عمودی به فاصله ۱/۵ متری از یکدیگر قرار می‌گیرند. روی این شمع‌ها تیرهای قالب و سپس تیرچه‌های قالب نصب می‌شوند. تیرچه‌های فولادی روی تیرچه‌های قالب، با فاصله تقریبی حدود ۷۵ سانتی‌متر از یکدیگر قرار می‌گیرند. با نصب بلوک‌ها در ابتدا و انتهای تیرچه‌ها فاصله دقیق تیرچه‌های فولادی از یکدیگر مشخص می‌شود، و شمع‌های عمودی در جای دقیق خود محکم می‌شوند [۱] سپس تمام بلوک‌ها در سر جای خودشان قرار می‌گیرند. جهت ایجاد کلاف، جای خالی قرار داده می‌شود و قالب لازم نصب می‌شود. سپس ارتفاع شمع‌ها تنظیم و انتهای تیرچه‌ها به تیر اصلی جوش می‌شود. بعد آرماتورهای طولی لازم و آرماتورهای برشی (عرضی) تیرچه‌ها نصب، و آرماتورهای حرارتی و خمشی دال، روی بلوک‌ها قرار داده می‌شود. بار مرده و زنده هنگام بتن ریزی، به وسیله تیرچه فولادی به شمع‌های عمودی و سپس به زمین یا طبقه زیرین منتقل می‌شود. پس از حدود یک ماه شمع‌ها کاملاً برداشته شده و بار به وسیله تیرچه T شکل مرکب فولادی تحمل خواهد شد. در تیرچه مرکب فولادی، تنش ماکزیمم فولادی و بتنی باید از تنش‌های مجاز فولاد و بتن کمتر باشد [۶]. همچنین δ ، تغییر شکل ماکزیمم تیرچه‌های مرکب را باید تعیین نمود، که با روش تنش مجاز قابل تعیین است. تغییر شکل مجاز تیرچه مرکب فولادی از آیین نامه بتن مسلح تعیین می‌شود.

چنانچه ضخامت تیرچه مرکب دو انتها ساده، بیش از $L/20$ باشد نیازی به کنترل تغییر شکل نیست، لیکن جهت تایید و بررسی این نسبت، به خصوص در مورد سقف جفت بلوک یک طرفه، (شکل ۷)، که به دلیل سبک‌تر شدن سقف کاربرد دارد، ناگزیر از برآورد نسبت $L/240$ جهت خیز درازمدت ناشی از کلیه بارهای مرده و خیز ناشی از بارهای زنده در آیین نامه بتن ایران [۲] خواهد بود. با کنترل نسبت فوق در مورد تیرچه T مرکب فولادی به واسطه شباهت آن با تیرچه بتن مسلح T شکل برای تغییر شکل δ ، ناشی از بارهای بهره برداری مطابق روش تنش مجاز، نسبت

$$(2) \quad \delta_{\text{مجاز}} = L / 480$$

می‌باشد. چنانچه مقاومت برشی مقطع T شکل بتنی V_c ، از نیروی برشی نهایی، V_u کمتر باشد، نیاز به خاموت یا فولاد عرضی خواهد بود. فاصله خاموت‌ها از $d/2$ در جاهایی که مور دنیز است نباید تجاوز کند. تنش مجاز برای فولاد برابر $f_y/0.66$ و برای بتن [۳] برابر $f_c/0.45$ می‌باشد. تیرچه T شکل دارای عرض موثر b_e برابر کوچک‌ترین مقدار $L/4$ ، $t_s + 16 f$ و فاصله مرکز به مرکز تیرچه‌ها می‌باشد. جهت اتصال ورق فولادی تیرچه به بتن باید از برش‌گیر یا اتصال برشی استفاده کرد. برش‌گیر مورد استفاده، ناودانی ۶ یا ناودانی ۸ یا ناودانی ۱۰ است. تعداد برشگیرها از $q/V_h/2$ نتیجه می‌شود. V_h کوچک‌ترین دو مقدار $A_c/2$ و $A_s F_y/2$ می‌باشد [۴]، q نیروی برشی مقاوم مجاز یک برش‌گیر

$$(3) \quad q = 0.56W \text{ (ناودانی ۶)}, \quad q = 0.78W \text{ (ناودانی ۱۰)}$$

می‌باشد. ساختمان یک طبقه ای که در دو امتداد مهاربندی شده و با سقف مرکب فولادی یک طرفه تک بلوک و جفت بلوک پوشیده شده است، تحت بار ثقلی و بار معادل استاتیکی زلزله، تحلیل و طراحی و جزییات لازم ارائه شده است.

نتایج و بحث

محاسبات سقف یک طرفه تک بلوک بادنه ۴.۵ متر، جهت سقف ۱۸ متر * ۱۹.۹۲ متر ذیل که تحت بار ثقلی و بار معادل استاتیکی زلزله است (شکل ۱ تا ۶).

بار مرده: $596 = (کفسازی) 250 + 346$

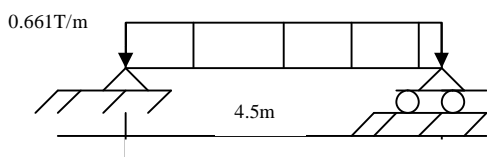
بار زنده: ۲۰۰

$$796 + 200 = 996 \text{ kg/m}^2$$

$$796 \cdot 83 = 661 \text{ kg/m}$$

$$F_y = 2400 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{معادل فولاد } b_e = 83/10 = 8.3 \text{ cm}$$



شکل ۴: بارگذاری.

$$\sigma_b = 1.67 \cdot 10^5 \cdot 19.21 / 2578 = 1244 < 1584$$

$$\sigma_f = 1.67 \cdot 10^5 \cdot 5.29 / (2578 \cdot 10) = 34.3 < 90$$

$$\delta = (5 \cdot 6.61 \cdot 450^4) / (384 \cdot 21 \cdot 10^3 \cdot 2578) = 0.650$$

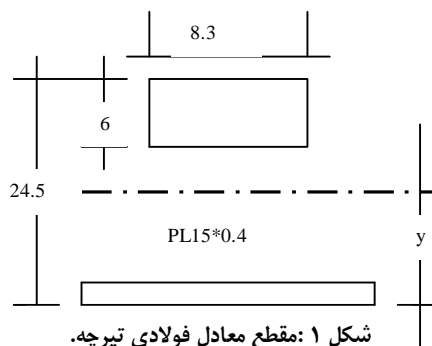
قابل قبول $1/692$ OK

کنترل برش با آیین نامه ایران [۲] صورت گرفته و در نتیجه هر تیرچه در ۸۰ سانتی متر ابتدا و انتهایش دارای، $\Phi 6/12$ و در بقیه $\Phi 6/20$ می باشد [۵]. محاسبه اتصالات برشی، به تعیین فاصله ۲۰ سانتی متری جهت ناودانی ۶ به طول ۴ سانتی متر منجر می شود. بعد جوش $D=0.4$ cm جهت C6/20.

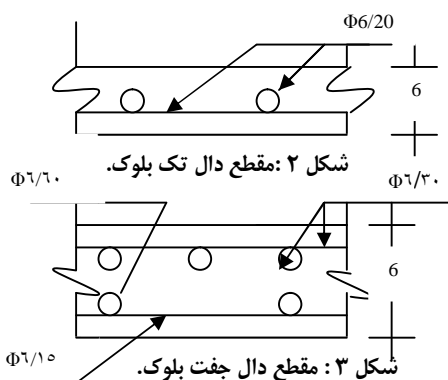
کنترل خیز و افتادگی درازمدت شبیه تیرچه بتن مسلح T شکل است (در حالت حدی تغییر شکل):
مقدار خیز بعد از افزودن اعضای غیر سازه ای و با توجه به خیز درازمدت برابر ۱.۷۷ سانتی متر است:

$$1.77 / 450 = 1/254 < 1/240$$

فولاد مصرفی (بالای فونداسیون) برابر ۳۷.۹ می باشد.

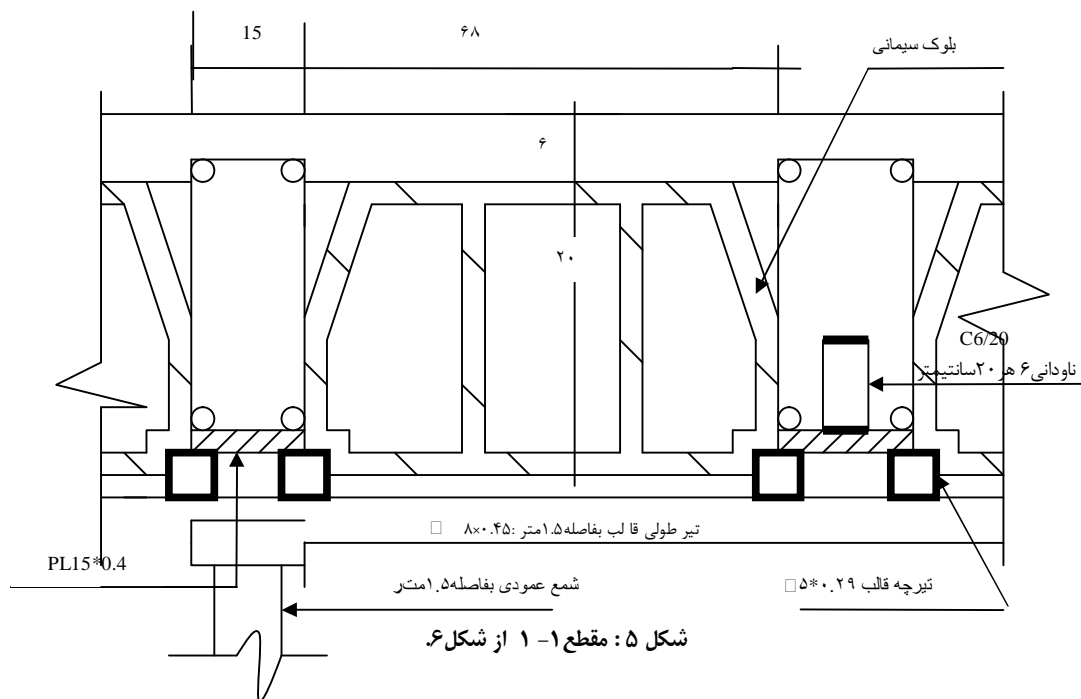


شکل ۱: مقطع معادل فولادی تیرچه.

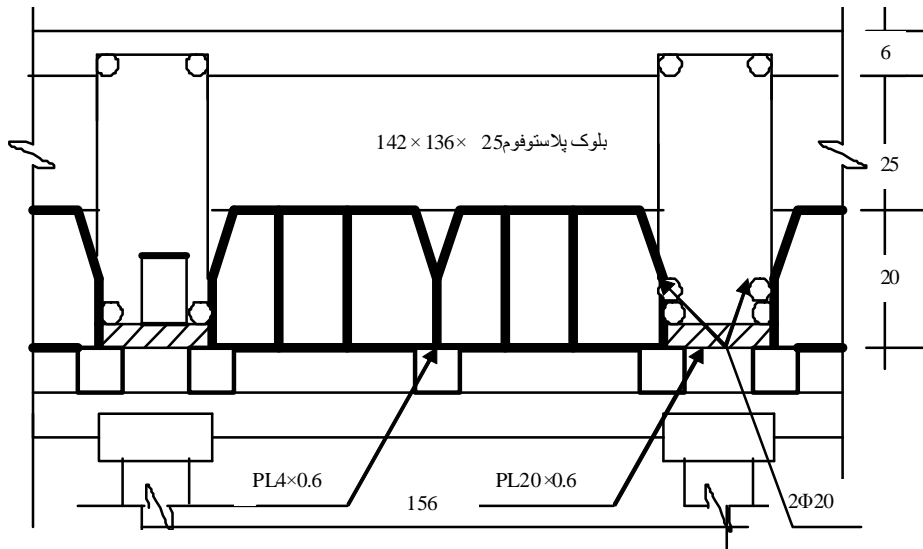
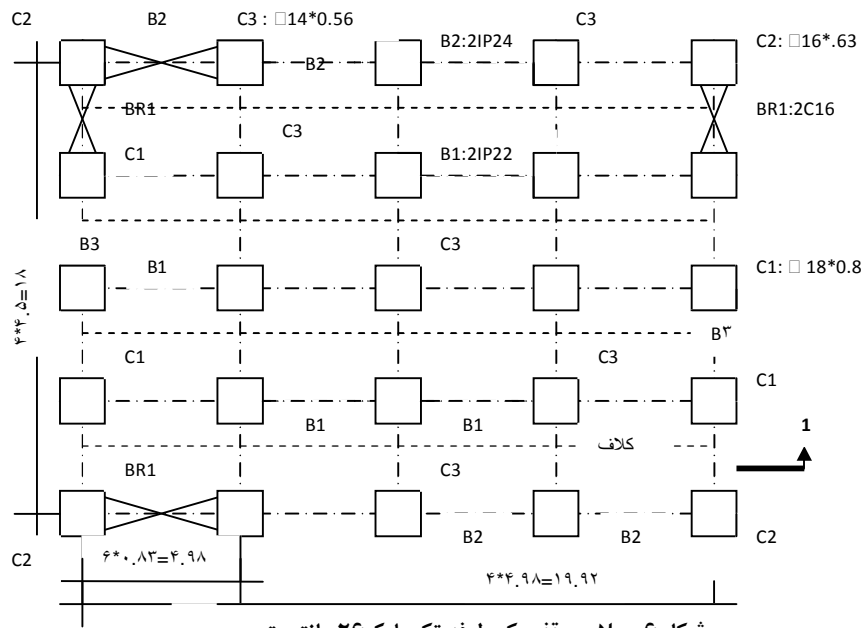


شکل ۲: مقطع دال تک بلوک.

شکل ۳: مقطع دال جفت بلوک.



شکل ۵: مقطع ۱-۱ از شکل ۶.



جدول ۱: وزن فولاد مصرفی و وزن مرده برحسب ضخامت و دهنه تیرچه های استفاده شده در سقف.

وزن فولاد مصرفی kg/m ²	وزن مرده سقف kg/m ²	ابعاد سقف m * m	دهنه m	نوع سقف
۳۷.۹	۵۹۶	19.92*18	4.5	سقف یک طرفه تک بلوک ۲۶ سانتی متری
۴۳.۲	۷۳۴	19.2*18.92	9.6	سقف یک طرفه تک بلوک ۵۰ سانتی متری
۳۱.۴	۵۴۱	18.5*18.12	3.7	" یک طرفه جفت بلوک ۲۶ سانتی متری
۴۴.۵	۶۵۰	18.72*16.8	8.4	یک طرفه جفت بلوک ۵۰ سانتی متری (ش ۷)

نتیجه گیری و پیشنهاد

سیستم تیرچه بلوک ارائه شده، جدید بوده و تا بحال در جایی دیده نشده است. تیرچه ها در کارگاه به سهولت قابل ساخت می باشد. به دلیل مشهود بودن اجزای آن و ساخت آن در کارگاه زیر نظر مجری، جلب اطمینان بیشتری نسبت به تیرچه های بتنی پیش ساخته در خارج کارگاه می کند. در مواردی که ضخامت بیشتری از سقف به واسطه طول زیادتر دهنه، نیاز باشد ضخامت مازاد بر ۲۶ سانتی متر، با ورق های پلاستوفوم تامین می شود. به واسطه ساخت ورق تیرچه از فولاد نرمه، قابل اتصال و جوشکاری به تیرهای فلزی بدون اشکال می باشد. تامین سطح مقطع بیشتر ورق در دهانه های بلندتر، با افزایش ابعاد ورق یا قراردادن میلگردهای اضافی روی ورق، میسر می شود. عرض ورق تیرچه، فاصله دو تیرچه قالب را مشخص می کند. جهت یکسان ماندن فاصله دو تیرچه قالب، فاصله نگهدار در هر ۱.۵ متر نصب می شود. استفاده از دو تیرچه قالب به جای یک تیرچه، موجب نیاز به ضخامت کمتری از ورق می شود. کاربرد جفت بلوک باعث کاهش تعداد تیرچه ها و افزایش سرعت قالب بندی و تغییر ناچیز در فولاد مصرفی در بالای فونداسیون می شود. نیاز به سقف کاذب با استفاده از بلوک سیمانی رفع می شود، مقاومت در مقابل آتش سوزی افزایش می یابد و کنترل ضخامت ورق

پلاستوفوم در مقابل تغییر شکل، در ضخامت های بیشتر از ۲۶ سانتی متر سقف نیاز نمی باشد.

وزن مرده سقف و وزن فولاد مصرفی (بالای فونداسیون) = (سطح زیربنا) / (کل فولاد مصرفی بدون فولاد فونداسیون)، برای چهار نوع سقف (جدول ۱) مقایسه شده است. افزایش ضخامت سقف موجب افزایش وزن مرده و وزن فولاد مصرفی می شود. مقدار فولاد مصرفی در تک بلوک و جفت بلوک ۵۰ سانتی متری حدود ۴۴ بوده لیکن افزایش ضخامت باعث صرفه جویی در تعداد تیرها و به خصوص ستون ها شده است. به طور مثال سقف یک طرفه تک بلوک ۲۶ سانتی متری دارای ۲۵ ستون و ۴۰ تیر و سقف یک طرفه تک بلوک ۵۰ سانتی متری دارای ۲۱ ستون و ۲۴ تیر می باشد. در اولی دهنه ۴/۵ متری و در دومی دهنه ۹/۶ متری می باشد. حالت دوم مناسب سالن اجتماعات بوده و موجب افزایش چندان در فولاد مصرفی نشده است. این سیستم قابلیت بهبود دهی بیشتر سقف را دارا می باشد که در مقاله بعدی به آن پرداخته خواهد شد.

تقدیر و تشکر

این مقاله از طرح پژوهشی "تحلیل و اجرای سقف مرکب فولادی" با شماره ۷۳۰۴۰۰۵/۱/۰۱ معاونت پژوهشی پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران استخراج شده است.

مراجع

- 1 - Plan and Budget Organization of Iran. (1992). Publication 82, *Guide to performance of joist-block floors*, PP. 181.
- 2 - Plan and Budget Organization of Iran (1995). Publication 120, Iran Concrete Regulation .
- 3 - National Building Regulations, (1993). "Tenth part guide." *The Ministry of Housing and Urban Development*.
- 4 - Salmon, G. and Johnson, J. (1994). *Steel structures design and behavior*. Translated by Irani, F, Ferdowsi University of Mashhad Publications, PP. 521.
- 5 - Tahooni, Sh. (1996). *Design of reinforced concrete structures*, University of Tehran Press, PP. 807.
- 6 - Jack C. Mc Cormac, (1992). *Structural steel design*, Harper Collins Publishers, PP. 726