

## تأثیر تیرهای عرضی در بهسازی تیرهای اصلی فولادی با روش تنظیم تنش‌ها

نوبخت بختیاری\*، مربی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مراغه، مراغه، ایران

\*nobakht.bakhtyari@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۹/۱۷ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۴/۱۱/۱۵

### چکیده:

برای کاهش خیز و تنظیم تنش‌ها در سیستم‌های پوششی بزرگ، از تیرهای عرضی عمود بر تیورورق‌ها یا تیرهای اصلی موجود، استفاده می‌شود. در مقاله حاضر اثر تیرهای عرضی که به منظور مقاوم‌سازی سیستم سقف و تنظیم تنش تیرهای اصلی موجود به سیستم سقف اضافه می‌شود مورد بررسی قرار گرفته و رابطه دیفرانسیل حاکم بر رفتار سازه جدید تعیین شده است. حل معادله دیفرانسیل با مشتقات جزئی درجه چهار بدست آمده به دلیل پیچیدگی، با تبدیلات ریاضی ساده شده و به معادلات دیفرانسیل معمولی تبدیل گردیده با روابط حاصل یک مسئله کاربردی حل شده است و جواب حاصل از حل مسئله با روش ارائه شده در این مقاله با نتایج مدل‌سازی شده در برنامه SAP2000 مقایسه شده است و تطبیق و سازگاری بسیار دقیقی نتیجه گردیده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که با تغییر اختیاری در سختی و فواصل تیرهای فرعی می‌توان مقادیر مختلف تنش‌ها، لنگرها و نیروهای تیر اصلی را تعدیل نموده و نسبت به مقاوم‌سازی سیستم موجود اقدام کرد.

کلید واژگان: تنظیم تنش - بهسازی - خرپا - تیر عرضی - سختی

## ۱- مقدمه

از سال ۱۹۶۰ میلادی تحقیقات وسیعی بر روی تیر ورق های لاغر در آمریکا و ژاپن شروع گردیده و در چندین دهه گذشته ادامه داشته است Cui و Hu به مقایسه روش تحلیلی ساده و فرمول های طراحی استحکام نهایی ورقهای تقویت شده و نشده پرداختند. Lee و Paik روشی برای رفتار پلاستیک ورق های تقویت شده و نشده تحت بارهای مختلف تا زمان رسیدن به حد نهایی استحکام نهایی ارایه کردند. Sadosky روشی را بر مبنای اصل پایداری انرژی جهت اندازه گیری درجه اعوجاج ها و تغییر شکل و تاثیرات عیوب اولیه را در این تحقیقات خویش مدنظر قرار داده است [۱،۲،۳،۴]. با این وجود برخی از جنبه های موضوع هم چنان حل نشده است.

تغییر رفتار یک سازه دوبعدی به یک سازه سه بعدی موجب می گردد که با افزایش سختی فضائی در کل مجموعه، خیز کل سازه، که از اهمیت فوق العاده ای در این نوع سازه ها برخوردار است کاهش یابد این موضوع یکی از نکات کلیدی در بررسی رفتار الاستیک خطی سازه به خصوص المان های فولادی در پروژه های مقاوم سازی سازه ها می باشد که در این مقاله با نگرش خاص بررسی شده است. اعضای لاغر خمشی با جان نازک، دارای رفتار خمشی متأثر از تعداد، سختی و محل تیرهای عرضی و یا مهارهای جانبی می باشند. در سازه های دوبعدی که به صورت تیر ورق ها یا خرپاهای فولادی برای پوشش سالن های صنعتی و یا سیستم های مورد استفاده در پروژه های هوا فضا بکار می روند می توان با اضافه کردن المان ها و قطعات باربر جدید به صورت عمود بر المان های سازه ای دو بعدی موجود، سختی کل سازه را

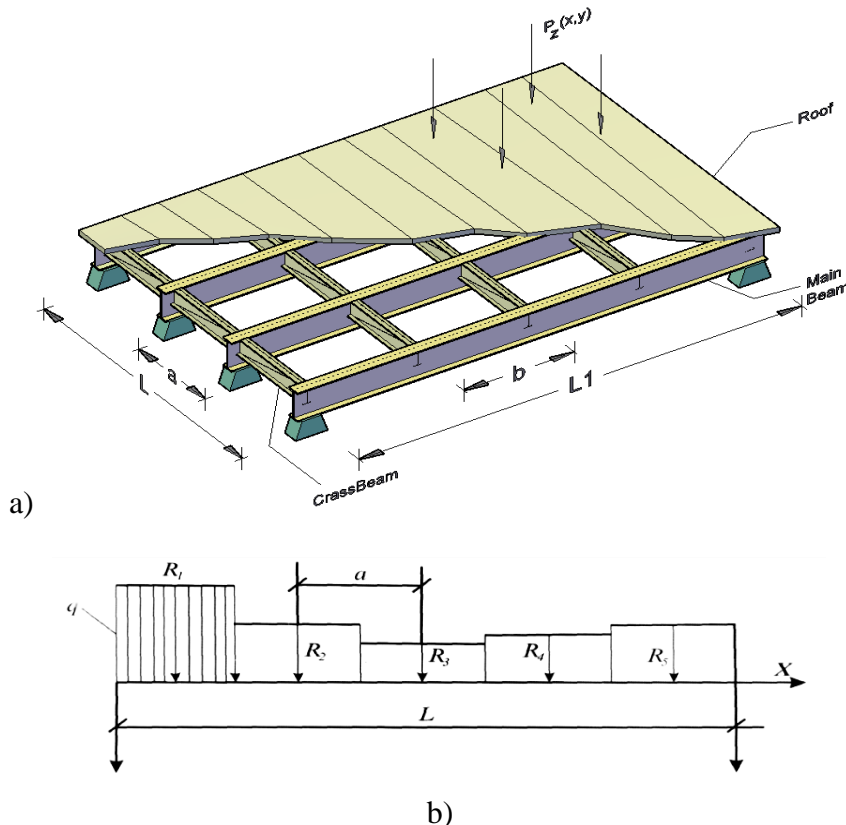
افزایش داد این اعضا می توانند به صورت افقی یا عمودی مابین سازه های موجود قرار گرفته و رفتار کل سازه را به یک رفتار سه بعدی یا رفتار فضائی تبدیل نمایند. با ایجاد این سیستم سه بعدی، اتصالات فوقانی سازه ها در دو جهت عمود بر هم در ارتباط بوده و به هم وصل می شوند.

## ۲- سیستم بررسی شده

تیر عرضی (مهار) را عمود بر شاه تیرهای اصلی که به فاصله برابر از همدیگر قرار گرفته اند را مطابق شکل (۱) در نظر می گیریم فرض می کنیم مشخصات شاه تیرهای اصلی، سختی و بارگذاری آنها با همدیگر برابر باشند نیروهای عکس العمل وارده از سوی تیرهای اصلی بر روی تیرهای عرضی را به صورت شکل (۱) نشان داده و برای تیر عرضی در نقطه تقاطع اختیاری، می توان معادله دیفرانسیل تغییر شکل را به صورت زیر نوشت. [۵]

$$Z_i = +\beta \frac{QL^3}{EI_i} - \alpha \frac{R_j L^3}{EI_j} \quad (1)$$

$Z_i$ : مقدار خیز خرپای اصلی  $Q$ : بار تیر اصلی  $R_j$ : عکس العمل تیر عرضی بر روی تیر اصلی  $E$ : مدول الاستیسیته مصالح  $I_i$  ممان اینرسی تیر اصلی،  $\alpha$  و  $\beta$  ضرایب مربوط به مشخصات بار می باشند. مقدار این ضرایب را می توان با توجه به نوع بارها و تکیه گاهها از قبل تعیین نمود.



شکل (۱): سیستم پوششی توسط تیر ورق a- تیر اصلی b- تیر فرعی

مطابق شکل (۲) برای هر گره موجود در تقاطع تیرها، مقدار بار به اندازه  $q.a.b$  خواهد بود. در حالت کلی  $q(x,y)$ ، بارگرهی وارده در تقاطع تیرها به دو قسمت تقسیم می‌شود. مقدار  $R$  برای تیرهای اصلی موازی محور  $x$  و  $\bar{R}$  برای تیرهای عرضی موازی محور  $y$  می‌باشد و خواهیم داشت:

$$R + \bar{R} = q(x,y)ab \quad (5)$$

$$R = aEI_x \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4}; \quad \bar{R} = bEI_y \frac{\partial^4 \omega}{\partial y^4} \quad (6)$$

با جایگذاری  $R$  و  $\bar{R}$  در رابطه (۵) خواهیم داشت.

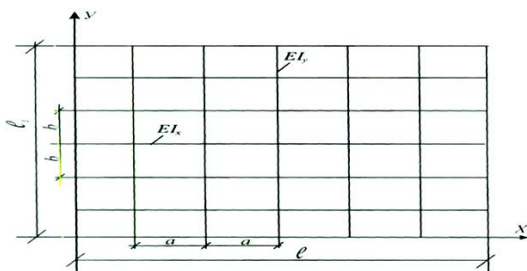
$$aEI_x \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4} + bEI_y \frac{\partial^4 \omega}{\partial y^4} = q(x,y)ab \quad (7)$$

با در نظر گرفتن ابعاد اعضای شبکه‌های ایجاد شده در دو جهت  $x$  و  $y$  و مشابه سازی یک سازه پیوسته، مطابق عملکرد فضائی و سه بعدی می‌توان خیز کل سیستم تقویت شده یک سقف را به عنوان مجموعه یکپارچه به صورت زیر نوشت [۷،۸]:

$$\omega = f \sin \frac{\pi x}{l} \cdot \sin \frac{\pi y}{l_1} \quad (8)$$

$\omega$ : خیز در هر نقطه از سقف  $f$ : خیز در وسط سقف  $l$  و  $l_1$ : طول تیرهای اصلی و عرضی با جایگذاری رابطه (۷) در رابطه (۸) می‌توان دو معادله دیفرانسیل معمولی بدست آورد که نتایج حل آن، معادل نتایج حل معادله دیفرانسیل (۴) خواهد بود. ولی قبل از ادامه حل، اعمال تبدیلات ریاضی به شرح زیر لازم است. برای حالت عمومی، معادله (۸) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\omega = \sum X_n(x) Y_n(y) \quad (9)$$



شکل ۲. شبکه تیرهای اصلی با تیرهای فرعی اضافه شده و مختصات گره‌ها

اگر تعداد تیرهای اصلی از ۵ عدد کم نباشد در آن حال می‌توان عکس‌العمل‌های منفرد را با بارهای گسترده تعویض نمود [6] یعنی  $q = R_j/a$  شدت بار گسترده معادل.

بنابراین جهت تیرهای موجود (تیرهای اصلی) را در راستای  $x$  فرض کرده و در تقاطع تیر اصلی  $i$  با تیر عرضی  $j$  و در گره اختیاری، می‌توان مقدار خیز را از رابطه (۲) بدست آورد.

$$Z_i = +\beta_i \frac{QL^3}{EI_i} - \frac{L^3}{EI_j} \sum_{j=1}^m \alpha_j \cdot R_j \quad (2)$$

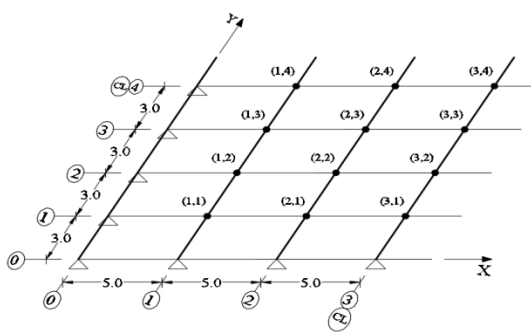
در رابطه فوق  $m$  تعداد تیرها یا خرپاهای عرضی اضافه شده به سیستم پوشش سقف می‌باشد. با جایگذاری و ساده سازی:

$$q = \frac{d^2 M}{dx^2} = EI_j \frac{d^4 z}{dx^4}, \quad R_j = aq = aEI_j \frac{d^4 z}{dx^4} \quad (3)$$

$$Z_i = +\beta_i \frac{QL^3}{EI_i} - \frac{aL^3}{EI_j} \sum_{j=1}^m \alpha_j EI_j \left( \frac{d^4 z}{dx^4} \right) \quad (4)$$

### ۳- تبدیلات ریاضی

حل معادله شماره (۴) نسبتاً مشکل و پیچیده است برای حل آن می‌توان از تبدیلات ریاضی استفاده کرد. اگر فرض شود که در هر دو جهت، تعداد تیرها (یا خرپاها) زیاد بوده و سختی آنها در هر دو جهت با هم برابر هستند. در اینصورت حل مساله ساده‌تر خواهد بود و حل معادله دیفرانسیل درجه ۴ به صورت زیر ادامه می‌یابد.



شکل ۲. شبکه تیرهای اصلی با تیرهای فرعی اضافه شده و مختصات گره‌ها

$$q(x,y)ab = b \sum P_n(y) X_n(x) \quad (11)$$

$P_n(y)$  تابع آرگومنت  $y$  می‌باشد. برای تعیین عبارت  $P_n(y)$  می‌توان در رابطه (۱۱)،  $X_n(x)$  را به طرفین ضرب کرده و بصورت زیر انتگرال گیری کرد.

$$\int_0^l q(x,y)ab X_n(x) dx = (12)$$

مشتقات تابع  $X_n(x)$  نسبت به هم با ضریب ثابت تغییر میکنند یعنی دارای خاصیت دوره‌ای و تکرارشونده می‌باشد بنابراین می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\frac{d^4 X_n(x)}{dx^4} = \eta_n^4 X_n(x) \quad (10)$$

با استفاده از خاصیت اورتوگونومی در روابط فوق این امکان حاصل می‌شود که سمت راست معادله (۵) را به فرم یک سری ریاضی مرتبط با تابع  $X_n(x)$  به شرح زیر نوشت:

برای حل معادله (۱۷) از توابع هیپر بولیک استفاده کرده و ثابت‌های اختیاری انتگرالگیری بعد از ساده سازی‌های لازم به شرح زیر خواهند بود:

$$\bar{A}_{0n} = -\frac{aq}{n\pi\beta_n^4 EI_y} \quad (۱۹)$$

$$\bar{B}_{0n} = -\frac{aq}{n\pi\beta_n^4 EI_y} \cdot \frac{\sin 2\beta_n l_1 - 2ch\beta_n l_1}{\cos 2\beta_n l_1 - ch2\beta_n l_1}$$

$$\bar{C}_{0n} = -\frac{aq}{n\pi\beta_n^4 EI_y} \cdot \frac{sh 2\beta_n l_1 - 2shc\beta_n l_1}{\cos 2\beta_n l_1 - ch2\beta_n l_1}$$

و در نهایت جواب عمومی معادله خیز به صورت زیر خواهد بود:

$$\omega = \sum_{n=1}^{\infty} \sin \frac{n\pi}{l} x \left( \frac{aq}{n\pi^4 \beta_n^4 EI_y} + \bar{A}_{0n} ch\beta_n y + \bar{B}_{0n} chs\beta_n y + \bar{C}_{0n} shc\beta_n y \right) \quad (۲۰)$$

در اینجا

$$chs\beta_n y = ch\beta_n y \cdot \cos\beta_n y ; chs\beta_n y = ch\beta_n y \cdot \sin\beta_n y$$

و

$$shs\beta_n y = sh\beta_n y \cdot \sin\beta_n y ; shc\beta_n y = sh\beta_n y \cdot \cos\beta_n y$$

باشند.

با استفاده از روابط

$$M_x = -EI_x \omega_x''', \quad Q_x = -EI_x \omega_x''''$$

$$M_y = -EI_y \omega_y'', \quad Q_y = -EI_y \omega_y'''$$

تعیین نمود همچنین مقادیر مربوط عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی محل تلاقی تیرهای اصلی و عرضی نیز قابل محاسبه هستند.

### ۵- حل مسئله

برای پلان و مقطع تیر ورق‌های با مقطع نشان داده شده در شکل ۱ جهت تنظیم تنش‌ها، تیرهایی به طول 30 m در جهت X تیرهای عرضی (تقویتی) به طول L=24 m در جهت y در نظر گرفته می‌شود فاصله تیرها موجود در جهت طولی 3 متر و در جهت عرضی 5 متر در نظر گرفته می‌شود سختی خمشی در دو جهت برابر فرض شده است بار وارده از پوشش سقف q=5 KN/m<sup>2</sup> می‌باشد. وضعیت کاهش خیز و لنگر سیستم پوشش سقف، را درحالت بدون تیرهای عرضی و با تیرهای عرضی بررسی و مقایسه می‌شود.

برای گره‌های مختلف با استفاده از برنامه Excel مقدار خیز طبق روابط ارائه شده در این مقاله محاسبه شده در جدول ۱ درج شده و همچنین مدل‌سازی مسئله با استفاده از برنامه کامپیوتری Sap2000 [9] صورت گرفته و نتایج حاصل از تحلیل خیز با دو روش جهت مقایسه آن‌ها در جدول ۲ درج شده است.

$$b \sum P_n(y) \int_0^l X_n(x) X_n(x) dx$$

در اینجا برای  $X_n(x)$  خاصیت اورتوگونالیته در نظر گرفته و می‌توان نوشت:

$$P_n(y) = a \frac{\int_0^l q(x,y) X_n(x) dx}{\int_0^l X_n^2(x) dx} \quad (۱۳)$$

با جایگذاری رابطه (۹) در رابطه (۷) و با در نظر گرفتن رابطه (۱۰) روابط زیر حاصل می‌شود:

$$\begin{aligned} \sum X_n(x) [bEI_y Y_n^{IV}(y) + \eta_n^4 aEI_x Y_n(y) - P_n(y)b] &= 0 \\ EI_y Y_n^{IV}(y) &= P_n(y) - k_n Y_n(y) \\ k_n &= EI_x \eta_n^4 \frac{a}{b} \end{aligned} \quad (۱۵)$$

رابطه (۱۴) همان رابطه تیر بر روی بستر الاستیک می‌باشد که در آن پارامتر  $Y_n$  را می‌توان از شرایط تکیه‌گاهی تعیین نمود. به این ترتیب به جای حالت پیچیده معادله (۴) می‌توان از دو معادله دیفرانسیل معمولی (۱۰) و (۱۴) استفاده کرده بعد از تعیین مقادیر  $X_n(x)$  و  $Y_n(y)$  با جایگذاری آنها در معادله (۹)، مقادیر  $\omega$  محاسبه خواهد شد. سپس مقادیر بدست آمده را نسبت به X و Y دو و سه بار مشتق گرفته و لنگر خمشی و نیروی برشی در هر دو جهت محاسبه می‌شود و مقدار کاهش تنش‌ها نسبت به حالت سقف دو بعدی بدست می‌آید و با انتخاب و اختیار فواصل و سختی تیرهای عرضی نوعی تنظیم تنش برای تیرهای اصلی موجود اعمال می‌شود.

### ۴- کاربرد روابط

رابطه کاراکتریک معادله (۱۰) عبارت خواهد بود:

$$\lambda^4 - \eta_n^4 = 0$$

ریشه‌های معادله و  $\lambda_1 = \eta_n ; \lambda_2 = -\eta_n ; \lambda_3 = i\eta_n ; \lambda_4 = -i\eta_n$  می‌باشند.

جوابهای خصوصی  $e^{\eta_n x} ; e^{-\eta_n x} ; e^{i\eta_n x} ; e^{-i\eta_n x}$  خواهند بود ترکیب جواب‌های خصوصی به عنوان جواب عمومی معادله به صورت زیر خواهد بود.

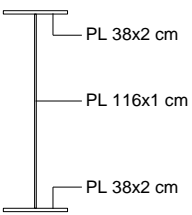
$$X_n(x) = A ch \eta_n x + B sh \eta_n x + C \cos \eta_n x + D \sin \eta_n x \quad (۱۶)$$

با انتگرال‌گیری از معادله (۱۴) و با اعمال شرایط مرزی، ضرایب معادله (۱۴) را تعیین و با اعمال تبدیلات ریاضی و انتگرالگیری و خلاصه نویسی‌های لازم خواهیم داشت:

$$\frac{d^4 Y_n(y)}{dy^4} + 4\beta_n^4 Y_n(y) = \frac{P_n(y)}{EI_y} \quad (۱۷)$$

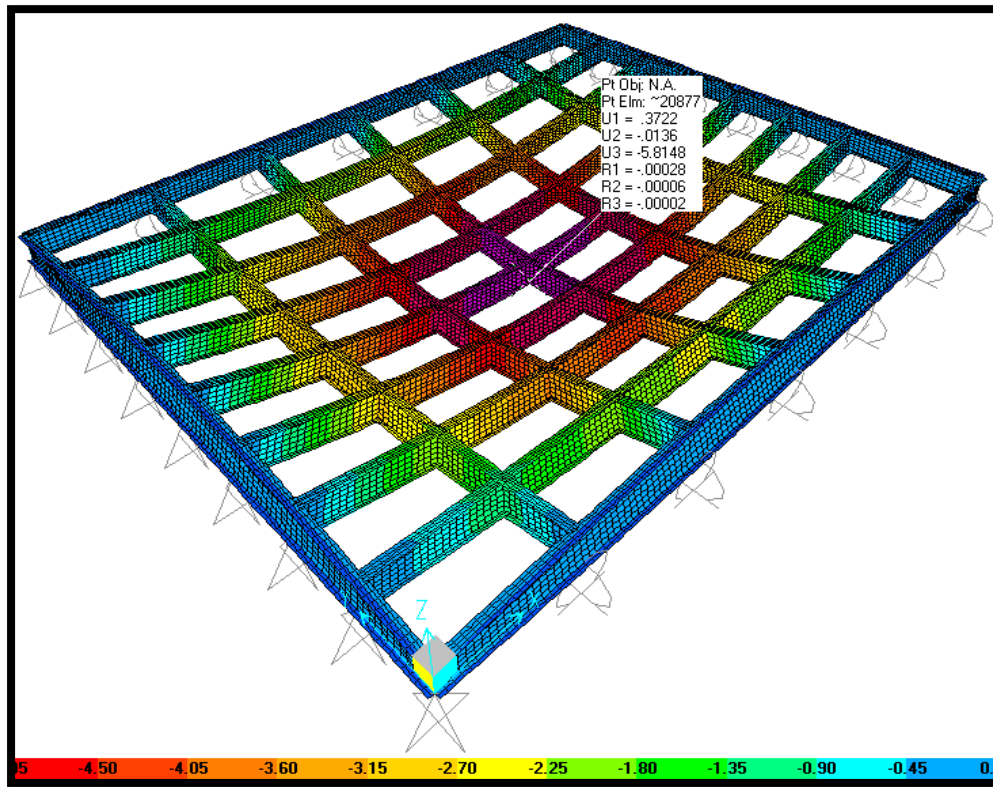
$$\beta_n^4 = \frac{k_n}{4EI_y} ; \beta_n = \sqrt[4]{\frac{a EI_x}{48 EI_y} \cdot \frac{n\pi}{l}} \quad (۱۸)$$

جدول ۱. محاسبه خیز در محل اتصال تیرهای اصلی و فرعی

| $\beta_n = \sqrt[4]{\frac{a EI_x}{48 EI_y}} \cdot \frac{n\pi}{l}$ <p>Equation(17)</p>   | $\beta_1 = 0,0842 \beta_3 = 0,2526 \beta_5 = 0,421 \beta_1^2 = 0,00709 \beta_3^2 = 0,0638 \beta_5^2 = 0,1772$ $\beta_1^4 = 5 \times 10^{-5} \beta_3^4 = 4,07 \times 10^{-3} \beta_5^4 = 3,1414 \times 10^{-2}$  |                                    |                                   |       |      |   |   |   |   |   |      |      |     |     |      |   |      |      |      |      |     |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |     |   |     |      |      |      |     |   |      |      |     |      |      |  |   |   |   |   |   |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |
|---|---|------------------------------------|-----------------------------------|-------|------|---|---|---|---|---|------|------|-----|-----|------|---|------|------|------|------|-----|---|------|------|------|------|------|---|------|------|------|------|------|---|------|------|------|------|-----|---|-----|------|------|------|-----|---|------|------|-----|------|------|--|---|---|---|---|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|-------|-----|-------|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|-------|-----|-------|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| <p>Equation(19)</p>   | $\bar{A}_{01} = -\frac{159155}{EI_y}$   | $\bar{A}_{03} = -\frac{652}{EI_y}$ | $\bar{A}_{05} = -\frac{51}{EI_y}$ |       |      |   |   |   |   |   |      |      |     |     |      |   |      |      |      |      |     |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |     |   |     |      |      |      |     |   |      |      |     |      |      |  |   |   |   |   |   |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |
|   | $\bar{B}_{01} = -\frac{42097}{EI_y}$  | $\bar{B}_{03} = -\frac{70}{EI_y}$  | $\bar{C}_{05} = \frac{51}{EI_y}$  |       |      |   |   |   |   |   |      |      |     |     |      |   |      |      |      |      |     |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |     |   |     |      |      |      |     |   |      |      |     |      |      |  |   |   |   |   |   |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |
|   | $\bar{C}_{01} = \frac{173298}{EI_y}$  | $\bar{C}_{03} = \frac{649}{EI_y}$  | $\bar{C}_{05} = \frac{51}{EI_y}$  |       |      |   |   |   |   |   |      |      |     |     |      |   |      |      |      |      |     |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |     |   |     |      |      |      |     |   |      |      |     |      |      |  |   |   |   |   |   |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |
| <p>Sections Properties:</p>  <p><math>I_x = 653100 \text{ cm}^4</math><br/> <math>E = 2,1 \times 10^4 \text{ KN/cm}^2</math></p> | <table border="1" data-bbox="478 1008 925 1299"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1.25</td> <td>2.10</td> <td>2.4</td> <td>2.1</td> <td>1.25</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2.20</td> <td>3.85</td> <td>4.41</td> <td>3.85</td> <td>2.2</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>2.94</td> <td>4.99</td> <td>5.11</td> <td>4.99</td> <td>2.96</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>3.13</td> <td>5.32</td> <td>5.85</td> <td>5.32</td> <td>3.13</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>2.94</td> <td>4.99</td> <td>5.11</td> <td>4.99</td> <td>2.2</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>2.2</td> <td>3.85</td> <td>4.41</td> <td>3.85</td> <td>2.2</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>1.25</td> <td>2.10</td> <td>2.4</td> <td>2.10</td> <td>1.25</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Equation(20)</p> <p style="text-align: center;"><math>M_{x(1,5)} = M_{x(1,5)} = 224 \text{ KN.m}</math></p> <table border="1" data-bbox="957 1041 1404 1332"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>224</td> <td>292</td> <td>314</td> <td>292</td> <td>224</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>391</td> <td>543</td> <td>282</td> <td>543</td> <td>391</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>489</td> <td>707.5</td> <td>766</td> <td>707.5</td> <td>482</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>579</td> <td>754</td> <td>824</td> <td>754</td> <td>579</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>486</td> <td>707.5</td> <td>766</td> <td>707.5</td> <td>482</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>391</td> <td>543</td> <td>585</td> <td>543</td> <td>391</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>224</td> <td>292</td> <td>314</td> <td>292</td> <td>284</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Equation(21)</p> |                                    |                                   |       | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 1.25 | 2.10 | 2.4 | 2.1 | 1.25 | 2 | 2.20 | 3.85 | 4.41 | 3.85 | 2.2 | 3 | 2.94 | 4.99 | 5.11 | 4.99 | 2.96 | 4 | 3.13 | 5.32 | 5.85 | 5.32 | 3.13 | 5 | 2.94 | 4.99 | 5.11 | 4.99 | 2.2 | 6 | 2.2 | 3.85 | 4.41 | 3.85 | 2.2 | 7 | 1.25 | 2.10 | 2.4 | 2.10 | 1.25 |  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 224 | 292 | 314 | 292 | 224 | 2 | 391 | 543 | 282 | 543 | 391 | 3 | 489 | 707.5 | 766 | 707.5 | 482 | 4 | 579 | 754 | 824 | 754 | 579 | 5 | 486 | 707.5 | 766 | 707.5 | 482 | 6 | 391 | 543 | 585 | 543 | 391 | 7 | 224 | 292 | 314 | 292 | 284 |
|   | 1   | 2                                  | 3                                 | 4     | 5    |   |   |   |   |   |      |      |     |     |      |   |      |      |      |      |     |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |     |   |     |      |      |      |     |   |      |      |     |      |      |  |   |   |   |   |   |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |
| 1   | 1.25  | 2.10                               | 2.4                               | 2.1   | 1.25 |   |   |   |   |   |      |      |     |     |      |   |      |      |      |      |     |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |     |   |     |      |      |      |     |   |      |      |     |      |      |  |   |   |   |   |   |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |
| 2   | 2.20  | 3.85                               | 4.41                              | 3.85  | 2.2  |   |   |   |   |   |      |      |     |     |      |   |      |      |      |      |     |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |     |   |     |      |      |      |     |   |      |      |     |      |      |  |   |   |   |   |   |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |
| 3   | 2.94  | 4.99                               | 5.11                              | 4.99  | 2.96 |   |   |   |   |   |      |      |     |     |      |   |      |      |      |      |     |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |     |   |     |      |      |      |     |   |      |      |     |      |      |  |   |   |   |   |   |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |
| 4   | 3.13  | 5.32                               | 5.85                              | 5.32  | 3.13 |   |   |   |   |   |      |      |     |     |      |   |      |      |      |      |     |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |     |   |     |      |      |      |     |   |      |      |     |      |      |  |   |   |   |   |   |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |
| 5   | 2.94  | 4.99                               | 5.11                              | 4.99  | 2.2  |   |   |   |   |   |      |      |     |     |      |   |      |      |      |      |     |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |     |   |     |      |      |      |     |   |      |      |     |      |      |  |   |   |   |   |   |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |
| 6   | 2.2   | 3.85                               | 4.41                              | 3.85  | 2.2  |   |   |   |   |   |      |      |     |     |      |   |      |      |      |      |     |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |     |   |     |      |      |      |     |   |      |      |     |      |      |  |   |   |   |   |   |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |
| 7   | 1.25  | 2.10                               | 2.4                               | 2.10  | 1.25 |   |   |   |   |   |      |      |     |     |      |   |      |      |      |      |     |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |     |   |     |      |      |      |     |   |      |      |     |      |      |  |   |   |   |   |   |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |
|   | 1   | 2                                  | 3                                 | 4     | 5    |   |   |   |   |   |      |      |     |     |      |   |      |      |      |      |     |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |     |   |     |      |      |      |     |   |      |      |     |      |      |  |   |   |   |   |   |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |
| 1   | 224   | 292                                | 314                               | 292   | 224  |   |   |   |   |   |      |      |     |     |      |   |      |      |      |      |     |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |     |   |     |      |      |      |     |   |      |      |     |      |      |  |   |   |   |   |   |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |
| 2   | 391   | 543                                | 282                               | 543   | 391  |   |   |   |   |   |      |      |     |     |      |   |      |      |      |      |     |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |     |   |     |      |      |      |     |   |      |      |     |      |      |  |   |   |   |   |   |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |
| 3   | 489   | 707.5                              | 766                               | 707.5 | 482  |   |   |   |   |   |      |      |     |     |      |   |      |      |      |      |     |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |     |   |     |      |      |      |     |   |      |      |     |      |      |  |   |   |   |   |   |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |
| 4   | 579   | 754                                | 824                               | 754   | 579  |   |   |   |   |   |      |      |     |     |      |   |      |      |      |      |     |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |     |   |     |      |      |      |     |   |      |      |     |      |      |  |   |   |   |   |   |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |
| 5   | 486   | 707.5                              | 766                               | 707.5 | 482  |   |   |   |   |   |      |      |     |     |      |   |      |      |      |      |     |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |     |   |     |      |      |      |     |   |      |      |     |      |      |  |   |   |   |   |   |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |
| 6   | 391   | 543                                | 585                               | 543   | 391  |   |   |   |   |   |      |      |     |     |      |   |      |      |      |      |     |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |     |   |     |      |      |      |     |   |      |      |     |      |      |  |   |   |   |   |   |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |
| 7   | 224   | 292                                | 314                               | 292   | 284  |   |   |   |   |   |      |      |     |     |      |   |      |      |      |      |     |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |     |   |     |      |      |      |     |   |      |      |     |      |      |  |   |   |   |   |   |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |       |     |       |     |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |

حاصل از روش ارائه شده در این مقاله ، مقایسه شده است. نتایج بدست آمده انطباق عالی با همدیگر را نشان می‌دهد.

از جدول (۱) حداکثر خیز  $w$  ( و حداکثر لنگر) در گره (۳،۴) یعنی در وسط سیستم پوشش سقف بدست می‌آید که ارقام مذکور در حالت تقویت شده نسبت به حالت تقویت نشده ۵۰٪ کاهش پیدا کرده است. در جدول (۲) نتایج آنالیز کامپیوتری توسط برنامه SAP2000 با نتایج



شکل ۳ نتایج تحلیل خیز برای شبکه تقویت شده (مقدار خیز در وسط  $U3 = 5.81$  cm)

#### ۶- نتیجه گیری

- می توان با تغییر پارامترهای مختلف موثر در روش ارائه شده مقدار تنش و لنگرهای کاهش یافته را محاسبه کرد و به تنظیم تنش دلخواه دست یافت. عوامل دیگری از آن جمله شرایط تکیه گاهی، نوع بارگذاری و محل اتصال تیرهای فرعی در عمق تیرهای اصلی در تنظیم شدت تنش ها موثر هستند. نتایج دیگری که میتوان به آنها اشاره کرد به شرح زیر می باشد:
- تاثیر تیرهای عرضی به عنوان مهارهای جانبی اضافه شده به سیستم باربر صفحه ای موجود بررسی گردید و دقت بسیار بالای روش ارائه شده در مسائل کاربردی نشان داده شد در خرپاها و تیر ورق ها موجود هر چه تعداد محل های مهاربندی شده و نیز سختی این مهارها بیشتر باشد بر مقدار ظرفیت خمشی تیرها و خرپاهای موجود افزوده می شود.
- با کاهش فاصله تیرهای عرضی درصد تاثیر آنها در کاهش خیز؛ کم می شود.
- با ثابت ماندن بار وارده و با تکنولوژی مناسب اجرا، می توان مقدار تلاش های وارده را کاهش داد.
- با تبدیل رفتار سازه از حالت دو بعدی به سه بعدی و با ثابت ماندن تلاش های موجود، می توان بار وارده به سقف سازه را افزایش داد.
- در پوشش سقف ها، مشخصات فیزیکی و هندسی تیرها و خرپاهای تقویتی فرعی، در تنظیم تنش ها تاثیر مستقیم دارند.
- با تعیین معادله دیفرانسیل حاکم بر رفتار تیرهای اصلی و تیرهای عرضی در محل تقاطع، اضافه به سیستم باربر سقف و تبدیل آن به دو معادله دیفرانسیل معمولی و ارائه راه حل تحلیلی، نتایج دقیقی از حل معادلات حاصل شد و این نتایج با تحلیل دقیق کامپیوتری مقایسه شد که نتایج حاصله، دقیقاً بر هم منطبق هستند.

## ۷- مراجع

- [1] Hu Y., Cui W.C.,(2003), A simplified analytical method to predict the ultimate strength of unstiffened plates under combined loading including edge shear, *Journal of Ship Mechanics*, 7:6,60-74
- [2] Paik J.K., Lee J.M., Lee D.H.,(2003), Ultimate strength of dented steel plates under axial compressive loads , *International Journal of Mechanical Sciences*, 45:3, 433-448
- [3]Sádovský Z., Teixeira A.P., Soares, C.G.,(2005), Degradation of the compressive strength of rectangular plates due to initial deflection, *Thin-Walled Structures*, 43:1,65-82
- [4] Bruneau, M. and Lee, K., Energy dissipation of compression members in concentrically-braced frames ,*Journal of engineering structures*, Vol. 113, (2005).
- [5] Chen W. F. Lui E.M; “ Structural Stability (Theory and Implementation)”, Elsevier Science, 1987
- [6]Агаев Н.Г.- Инженерные методы решения задач устойчивости тонкостенных конструкций(монография).М. Стройиздат, 1990, 192 с
- [7] Makowski, Z.S. “Analysis, design and construction of double layer grids,” *J. Applied Science*,(1981), pp.1-55.
- [8] Alinia M.M. and Kashizadeh S.(2006) , Effects of double layer space truss domes , *Journal of construction steel research* , 375-382
- [9] SAP2000 Nonlinear Version 10.0.1 , structural Analysis program , Berkeley (CA), Computers and Structures Inc.





# The Effect of Cross Beams in Retrofitting of the Roof System with Stress Regulation

NobaKht Bakhtyari\*

Islamic Azad University, Maragheh Branch, Maragheh, Iran

\*nobakht.bakhtyari@gmail.com

## Abstract:

Plate girders structure is a major industry which is mainly used in the systems covered by these beams. Reducing deflection and decreasing the maximum bending moment can be considered as a development in methodology. By the use of cross beams or braced beams, element perpendicular to the girders is provided. In this paper, the effect of stiffness and distance elements development are studied. Differential equation of degree four governing the behavior of the partial structures which is a quadratic relationship is determined by solving the following mathematical transformations, and the fundamental equations are derived. The resulting equations are solved by a practical problem and the answer to the problem. The modeling results are compared with the SAP2000 program. The findings show highly accurate implementation and compliance. It is also revealed that stiffness changing elements within the cross can include different amounts of stress, bending moment and improved cover system.

**Keywords:** Girders, Retrofitting, Cross Beam, Roof Stiffness, Strengthening