

## طراحی بهینه شکل و ابعاد هندسی عرشه فولادی در سقف مرکب بر اساس مطالعات عددی

فرهاد قلی پور<sup>۱\*</sup> و ناصر ظریف مقدم باصفت<sup>۲</sup>

اطلاعات مقاله	چکیده
<p><b>واژگان کلیدی:</b> بهینه سازی، عرشه فولادی، سقف مرکب.</p>	<p>درک مکانیزم، در افزایش عرض بارگیر تیرهای کامپوزیتی، معطوف به پارامترهای هندسی و فیزیکی ورق دوزنقه ای عرشه فولادی است. اساس این تئوری مطالعات عددی و آزمایشگاهی محققین کشورهای اروپائی و آمریکا در سال ۱۹۴۸ میلادی می باشد. در طرح های پوشانه فولادی صفحات کامپوزیتی، اصلاح پارامترهای متعددی مانند ارتفاع کنگره، زاویه خم، شرایط اصطکاکی سطح و غیره، که در این مقاله با مطالعات عددی مورد بررسی قرار گرفته است، دیده شده در مقاومت رفتاری پوشانه بسیار مهم هستند. نتایج این مطالعه نشان داده، عرشه فولادی مورد تحلیل عددی با توجه به زاویه خم و طول گام مشخص، برای بارگذاری ها و دهانه بارگیر مختلف نتایج مطلوبی را می دهد. از این رو مطالعه بر روی ورق فولادی با توجه به بهینه سازی عددی با نرم افزار MATLAB، باعث کاهش بار مرده سازه و افزایش عرض بارگیر تیر کامپوزیت به همراه کاهش ضخامت ورق دوزنقه ای منجر گردیده است.</p>

### ۱- مقدمه

کف های صفحه عرشه کامپوزیتی در حال کسب مقبولیت گسترده در بسیاری از کشورها هستند، چون ساخت آنها در ساختمان ها سریع تر است، سبک ترند و اقتصادی ترند. سقف فوق شامل یک دال بتنی، پروفیل فولادی و پوشش پروفیلی شکل گرفته سرد که به عنوان قالب پایدار در سقف ماندگار است، می باشد. در این مقاله قسمت پوشش پروفیلی شکل گرفته سقف که یک بخش جدا نشدنی از صفحه عرشه می باشد، با یک فرآیند محاسباتی به نام روش مطالعات عددی و (PSO) با نرم افزار MATLAB به بهینه سازی شکل و ضخامت آن برای تولید عرشه فولادی تدوین شده است.

در بیشتر موارد عملی، رفتار و قدرت یک صفحه کامپوزیتی توسط شکل عرشه در برابر برش و خمش در

سطح مشترک عرشه فولادی و بتن کنترل می شود. قدرت رفتاری عرشه به عوامل زیادی همچون شکل پروفیل عرشه فولادی، طول دهانه برش، ضخامت بتن، ضخامت ورق و نوع تکیه گاه بستگی دارد. با توجه به اینکه در سقف کامپوزیت، پروفیل دوزنقه ای عرشه فولادی قبل از بتن ریزی و بعد از بتن ریزی وظایف متفاوتی دارد و همچنین در مجموع، شکل و ضخامت آن، فواصل تیرهای فولادی را تغییر می دهد و در هزینه ها نیز تأثیرگذار است. در این مقاله همانطور که در بالا گفته شد دست به اصلاح شکل و ضخامت پروفیل دوزنقه ای عرشه فولادی زده ایم که به عنوان چارچوب قالب نگهدارنده بتن کاربرد دارد، به شرح ذیل پرداخته شده است [۱].

### ۲- تئوری تیرهای مرکب با عرشه های فولادی

یکی از روش های اجرای تیرهای مرکب استفاده از عرشه های فولادی است. عرشه های فولادی به صورت ورق های خم شده یا کنگره دار در تیرهای مرکب به کار

\* پست الکترونیک نویسنده مسئول: farhadcivil48@yahoo.com

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس

۲. استادیار دانشکده فنی و مهندسی شهید منتظری مشهد

مرحله دوم می‌توان بیان نمود که مجموعه ورق دوزنقه‌ای و بتن سخت شده عملکرد یک دال یک‌طرفه را بین دو پروفیل اصلی سقف ایفا می‌کند. در مرحله سوم گل میخ‌های موجود اتصال بین ورق فولادی و پروفیل عرضی را به صورت کامل انجام داده و تاب تحمل نیروی برشی حاصل از بارهای سازه‌ای را که بین بتن و صفحه دوزنقه‌ای ایجاد می‌شود را تحمل کند. مراحل شکست در یک سقف کامپوزیت را می‌توان به شکل زیر بیان نمود.

- خیز غیر مجاز بین دو پروفیل عرضی در ورق دوزنقه‌ای
- برش در محل اتصال ورق دوزنقه‌ای به پروفیل عرضی
- برش و جداسازی بتن از سطح ورق دوزنقه‌ای

این مقاله با مطالعه مرحله ساخت صفحه کامپوزیتی، به همراه بررسی رفتار ظرفیت بهره‌برداری از عرشه فولادی براساس بهینه‌سازی عددی و (PSO)، شکل و ضخامت ورق را با توجه به بارگذاری و نتایج تنش آئین‌نامه‌ای اصلاح نموده و مقطع مناسب را ارائه نموده است [۳].

### ۳- تحلیل نتایج حاصل از برنامه عددی

#### (MATLAB) و (PSO)

هدف این مطالعه رسیدن به شکل عرشه مناسب و ارزیابی وابستگی مکانیزم مقاومت عرشه به پارامترهای طراحی هندسی می‌باشد. این مدل‌های عددی با مدنظر قرار دادن تمام ضوابط آئین‌نامه‌ای شامل مشخصات ابعادی عرشه و تنش ورق مورد مطالعه قرار داده است. محدوده ابعادی در جدول شماره ۱ برحسب میلی‌متر مطابق شکل زیرجهت استفاده در نرم افزار فوق نوشته شده است [۴].

الگوریتم نموداری زیر روند رسیدن به شکل و ضخامت ورق مورد مطالعه ترسیم شده است.

جدول (۱): مشخصات ابعادی عرشه

ارتفاع کنگره	عرض ماهیچه	عرض مؤثر	طول گام	زاویه خم
$75 \leq H_r$	$\leq W$ 50	$\leq b_e$ 30	$\leq d \leq 320$ 180	$50 \leq \theta \leq 80$

می‌روند و می‌توانند جایگزین قالب‌بندی و شمع‌بندی برای اجرای دال بتنی شوند. استفاده از ورق‌های خم شده از نظر معماری مطلوب است و وزن مرده کمتری نسبت به اجرای تیر مرکب با روشی معمول حاصل می‌شود.

ورق‌های به کار رفته در عرشه فولادی به منظور افزایش سختی، خم می‌شوند تا قابلیت تحمل وزن بتن را داشته باشند و بعد از بتن‌ریزی همچنان در بتن باقی گذاشته می‌شوند. رایج‌ترین ورق‌ها، ورق‌های کنگره‌دار هستند. عمق ماهیچه را  $h_r$  و عرض آن را با  $w_r$  نمایش می‌دهند. ورق‌های خم شده را می‌توان به دو صورت عرشه فولادی بر محور تیر، و موازی محور تیر، اجرا نمود.

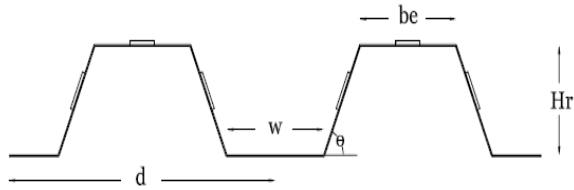
ورق‌های کنگره‌دار با روش اجرای تیر مرکب با عرشه فولادی عمود بر محور تیر عملکرد بهتری نسبت به اجرای عرشه فولادی موازی محور تیر از خود نشان می‌دهند. در حالت اجرای عرشه فولادی عمود بر محور تیر، ورق‌های فولادی در جهت عمود بر محور تیرمانند یک تیر سرتاسری رفتار می‌کنند. ورق‌های کنگره‌دار در اجرای تیر مرکب با عرشه فولادی موازی محور تیر ظرفیت باربری چندانی ندارد و ورق نقش قالب و پایه را بخوبی ایفا نمی‌کند. در این نحوه اجرا استفاده از پایه‌های موقت ضروری است [۲].

#### ۲-۱- مکانیزم تحمل بار کف‌های عرشه فولادی

در یک عرشه کف فولادی کامپوزیتی، صفحه بتنی سخت شده، به صورت مرکب با عرشه‌های فولادی پروفیل شده کار می‌کند و تیرها را پوشش داده و بارهای سازه‌ای را تحمل می‌کند. ساختار کامپوزیتی به انتقال نیروهای موجود بین صفحه بتنی و عرشه فولادی بستگی دارد به گونه‌ای که در برنامه عددی با توجه به بهینه‌سازی عددی نشان خواهیم داد که شکل حاصل از مطالعات جدید قادر به انتقال بار و رفتار کامپوزیتی مناسب‌تری می‌باشد، همچنین تحمل کشش عرشه نیز مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین ورق پروفیل شده باید طوری طراحی شود که، علاوه بر انتقال بارها، در برابر جداسازی هم مقاومت کند. مقاومت در برابر جداسازی با شکل مناسب در پروفیل دوزنقه‌ای، نقش به سزایی را در کنترل بارها و عملکرد سازه‌ای ایفا می‌کند.

#### ۲-۲- عملکرد سازه‌ای سقف عرشه فولادی را می‌توان در مراحل ذیل دسته‌بندی نمود:

در مرحله اول، یعنی در طول مرحله ساخت، پوشش فولادی قادر به تحمل بارهای حاصل از بتن‌ریزی باشد. در



شکل (۱): مشخصات ابعادی

طبق آئین‌نامه انتخاب طول مؤثر عرشه و ضخامت عرشه، با کنترل نسبت ابعادی آنها بر اساس فرمول ذیل انتخاب می‌شود.

$$\frac{2121}{fy^{0.5}} < \frac{be}{t} \quad (1)$$

در رابطه بالا  $be$ ، طول ماهیچه و  $t$ ، ضخامت ورق عرشه فولادی می‌باشد.

طبق آئین‌نامه AISC طول مؤثر ماهیچه عرشه بر اساس رابطه زیر بدست می‌آید [۵].

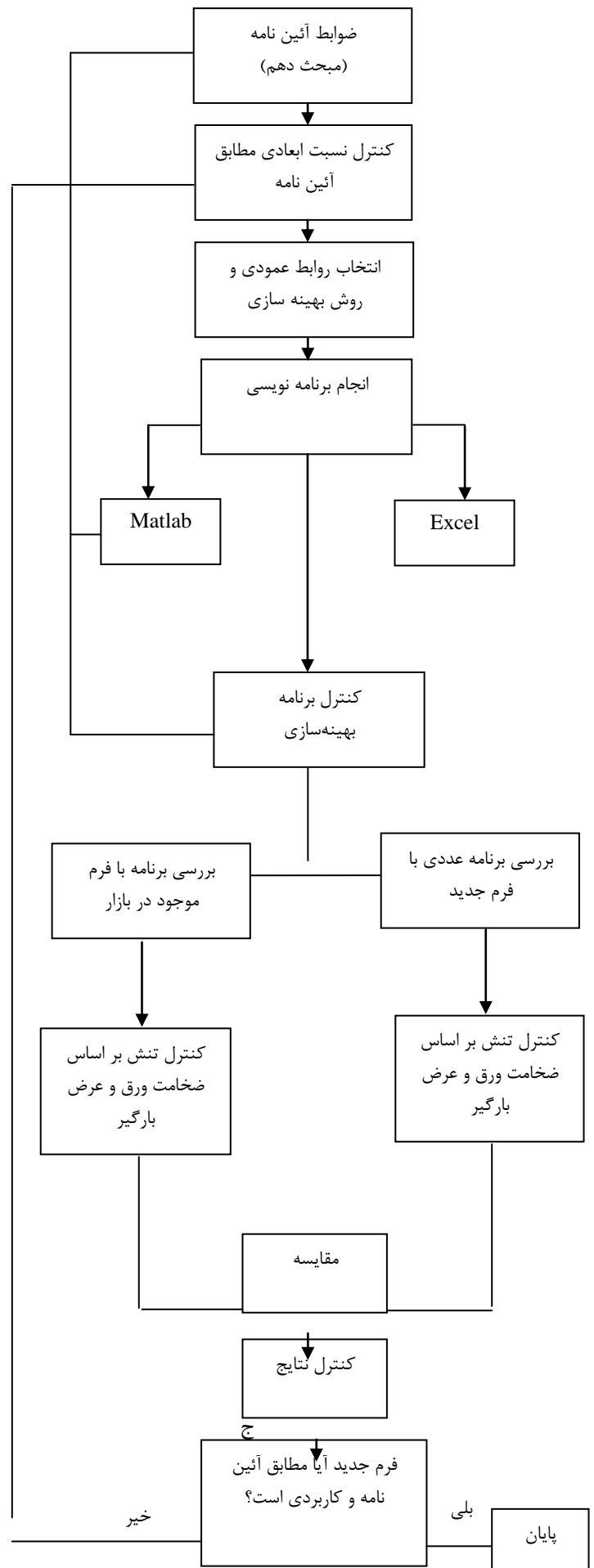
$$be^* = \left( \frac{2121 * t((1 - 530 * t))}{\frac{be}{t} * \sqrt{F}} \right) \frac{1}{\sqrt{F}} < be \quad (2)$$

$$f = \frac{y}{(be-y)F_{max}} \quad F_{max} = 0.6fy \quad (3)$$

$$F = \frac{M}{S} \quad (4)$$

مطابق توزیع تنش و بر اساس محاسبات تنش ورق دوزنقه، آئین‌نامه با در نظر گرفتن طول مؤثر و تار خنثی ورق، محاسبات تنش عرشه فولادی را مورد مطالعه و محاسبات عددی قرار می‌دهد، که این موضوع با محاسبات مجزای تنش ورق دوزنقه‌ای عرشه فولادی بر اساس مشخصات ابعادی جدول شماره (۳) و محاسبات تنش آئین‌نامه‌ای با توجه به فرمول‌های بالا (رابطه ۳ و ۴) و نسبت تنش ورق دوزنقه‌ای تحت بار به تنش آئین‌نامه، ضخامت ورق عرشه حاصل می‌گردد. جهت انتخاب ضخامت ورق عرشه، محاسبات لنگر برای تیرهای دو سر مفصل مدنظر قرار می‌دهیم. همچنین ممان اینرسی ورق بر اساس فرم جدید حاصل از خم، جهت بدست آوردن اساس مقطع ورق عرشه فولادی مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

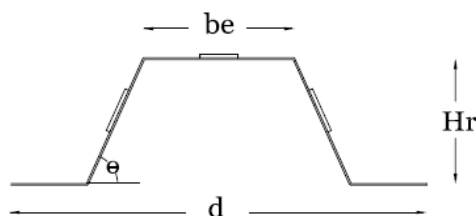
در روابط بالا،



مشخص شده است. دلیل اهمیت این پارامتر این است که ناحیه فوق محل اتصال عرشه توسط گل میخ به بتن می‌باشد، که این ناحیه مکانیزم رفتار برشی عرشه فولادی می‌باشد. ابعاد کف کنگره باید طوری باشد که امکان قرارگیری مناسب یک گل میخ به راحتی وجود داشته و همچنین اتصال آن با دستگاه جوش برقی stud welding را میسر کند.

#### ۴- ویژگی‌های هندسی پروفیل فولادی مطالعه شده

پروفیل مطالعه شده به خانواده پروفیل‌های دوزنقه‌ای تعلق دارد. به منظور ساده‌سازی در تحلیل عددی طول یک گام مد نظر بوده، مطابق شکل (۲) و ضخامت عرشه فولادی از ۰,۷ تا ۱,۲ میلی‌متر می‌باشد و تمام ضوابط مرتبط به مشخصات هندسی عرشه فولادی بر اساس آئین‌نامه در طول یک گام مورد تحلیل قرار گرفت.



شکل (۲): گام عرشه مورد مطالعه

تنش تسلیم عرشه فولادی ۳۰۰۰ کیلوگرم بر متر مربع در برنامه محاسباتی مدنظر گرفته شده و با توجه به مطالعات صورت گرفته، افزایش تعداد گام با کاهش ارتفاع کنگره جهت کم کردن بار مرده روی عرشه، رفتار استحکامی مناسبی در سازه و عرشه فولادی نشان می‌دهد. در جدول شماره ۲ و ۳ ابعاد حاصل از برنامه و عرشه فولادی موجود، بر حسب میلی‌متر دیده می‌شود [۶].

S: اساس مقطع عرشه فولادی

M: لنگر موجود در تیرهای دو سر مفصل

Fy: تنش تسلیم عرشه فولادی

Y: تار خنثی عرشه بر اساس عرض مؤثر محاسباتی در رابطه (۲)

F: تنش ورق دوزنقه‌ای تحت بار

پارامترهای مؤثر در پایداری سقف کمپوزیت شامل زاویه خم، طول گام، ارتفاع کنگره و عرض ماهیچه در فرم عرشه جدید تأثیرگذار می‌باشد در ادامه به بررسی و تحلیل آن می‌پردازیم [۵].

#### زاویه خم

یکی از مهم‌ترین پارامتری مکانیزم مقاومتی دال کمپوزیت زاویه خم ورق دوزنقه‌ای می‌باشد، و ممکن است کارآمدترین پارامتر مقاومت برش، کشش و خمش یک پروفیل دوزنقه‌ای معین باشد. وابستگی به زاویه به گونه‌ای است که زوایای مورد نظر با توجه به ارتفاع کنگره نقش خود را ایفا می‌کند، بهبود زاویه در مطالعات عددی بر اساس بهینه‌سازی به وضوح دیده می‌شود که زاویه بدست آمده، باعث افزایش استحکام رفتاری عرشه فولادی می‌شود که در مثال این مقاله دیده می‌شود.

#### ضخامت ورقه‌ی فولادی

قدرت لغزش تقریباً به مربع ضخامت ورقه‌ی فولادی بستگی دارد، که با خمش پلاستیکی یک پوسته متناظر است. تقریب‌زنی خطی رگرسیون دامنه امن را در استفاده ضخامت، از ۰,۷۵ تا ۱,۲۵، تعیین می‌کند.

#### طول گام و ارتفاع کنگره

به خاطر کم شدن فاصله گام ورق تعامل بین بتن و فولاد بهتر صورت گرفته و نیروهای تماسی زیادی تولید می‌شود. با کم شدن گام عرشه رفتار انتقالی بار بهبود بخشیده و باعث استحکام عرشه گردید است که این امر، باعث کاهش ضخامت ورق و بتن می‌شود که بار مرده سازه را کاهش داده است.

#### عرض ماهیچه (کف کنگره)

یکی دیگر از پارامترهای بسیار مهم که محل قرارگیری گل میخها می‌باشد عرض ماهیچه است، که در شکل (۱)

جدول (۲): مشخصات ابعاد حاصل از برنامه

ارتفاع کنگره	عرض ماهیچه	عرض مؤثر	طول گام	زاویه خم
70	۸۰	۷۰	۲۱۰	۷۶

جدول (۵): فواصل تیرهای فرعی باتوجه به عرشه موجود

ارتفاع کنگره	تعداد گام	عرض تیر فرعی	طول گام	ضخامت ورق
۷۵	۳	۲۸۵۰	۳۰۵	۰٫۸

جدول (۳): مشخصات ابعاد ورق موجود

ارتفاع کنگره	عرض ماهیچه	عرض مؤثر	طول گام	زاویه خم
75	۱۲۰	۱۲۰	۳۰۵	۶۸

**مثال ۲:**

چنانچه باتوجه به قرارگیری تیرهای کامپوزیتی فواصل آنها از هم ۳۰۰۰ میلی متر باشد، ضخامت ورق دوزنقه‌ای برای هرکدام از عرشه‌ها چند می‌توان لحاظ کرد؟

$$F_y: 3000 \text{ kg/m}^2 \quad L: 3 \text{ m} \quad W_L: 100 \text{ kg/m}^2$$

$$f_{70}: 1262 \text{ kg/cm}^2 \quad F_{70}: 1318.8 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{75}: 670 \text{ kg/cm}^2 \quad F_{75}: 671 \text{ kg/cm}^2$$

**مثال ۱:**

با توجه به ابعاد عرشه مورد تحلیل در جدول (۲) و عرشه موجود در جدول (۳)، چنانچه ضخامت ورق دوزنقه‌ای ۰٫۸ میلی متر برای هر دو نوع عرشه فولادی فرض شده باشد فواصل تیرهای فرعی در حالت بدون استفاده از شمع چند متر می‌تواند لحاظ گردد؟

ضخامت متوسط بتن روی عرشه مورد تحلیل با توجه به ارتفاع کنگره در جدول (۲)، ۹۰ میلی متر، بار حین اجرا ۱۰۰ کیلوگرم برای هر متر مربع و برای عرشه موجود با ارتفاع کنگره ۷۵، ضخامت متوسط بتن ۹۵ میلی متر مدنظر می‌باشد. با توجه به فرمول‌های شماره ۱ تا ۴، نتایج حاصل از محاسبات برنامه برای قرارگیری تیر فرعی در جدول ۴ و ۵ برای عرشه جدید و قدیم نوشته شده است.

جدول (۶): ضخامت محاسباتی عرشه مورد مطالعه

ارتفاع کنگره	ضخامت متوسط بتن	عرض تیر فرعی	طول گام	ضخامت ورق
70	90	3000	210	0.7

جدول (۷): ضخامت محاسباتی عرشه موجود

ارتفاع کنگره	ضخامت متوسط بتن	عرض تیر فرعی	طول گام	ضخامت ورق
75	95	3000	305	0.9

$$F_y: 3000 \text{ kg/m}^2 \quad T_a: 0.8 \text{ mm} \quad W_L: 100 \text{ kg/m}^2$$

$$Y_{70}: 33.94 \text{ mm} \quad Y_{75}: 37.15 \text{ mm}$$

$$S_{75}: 13940.7 \text{ mm}^3$$

$$S_{70}: 8093.9 \text{ mm}^3$$

جدول (۴): فواصل تیرهای فرعی باتوجه به عرشه مورد مطالعه

ارتفاع کنگره	تعداد گام	عرض تیر فرعی	طول گام	ضخامت ورق
70	۴	۳۱۵۰	۲۱۰	۰٫۸

در مثال‌های بالا اندیس‌های نوشته شده در تار خنثی، تنش آئین‌نامه و تنش ورق دوزنقه‌ای به معنای محاسبات آنها بر اساس ارتفاع کنگره ۷۵ و ۷۰ می‌باشد. با توجه به مثال‌های مذکور، نتایج حاصل از کیفیت محاسباتی عرشه مورد مطالعه در مقایسه با عرشه موجود به وضوح دیده می‌شود که در قسمت نتیجه‌گیری به تشریح آن پرداخته-ایم.

## ۵- تئوری نتایج حاصل از بهینه‌سازی

### شکل و ضخامت

مهمترین دلایل حاصل در نتایج بهینه‌سازی عرشه فولادی سقفهای کامپوزیت تابع شرایط ذیل می باشد.

- برگشت سرمایه در کوتاه‌ترین زمان

- کاهش هزینه ساخت

- کیفیت مناسب

- بهره‌بردای سریع

موراد ذکر شده، با توجه به عملکرد سازه‌ای (عمل) دیافراگم مطلوب، افزایش فرکانس و کاهش لرزش سقف، جلوگیری از کمانش جانبی تیرهای فولادی، نسبت سختی به وزن بالای عرشه فولادی، حمل و نقل اقتصادی، کاهش فولاد مصرفی در اثر افزایش فاصله بین تیرهای فرعی و چند موارد دیگر که نتیجه اثبات مسائل مطرح شده در بالا می‌باشد، که آئین‌نامه‌های هر کدام از موارد در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان در بخش تیرهای مرکب ذکر شده است. همچنین شرایط بهره‌برداری که در طرح و محاسبه مطرح می‌شود عبارت است از شرایطی که در آن سازه، باید بر اساس نقش اصلی خود مبنی بر حفظ ظاهر، عوامل سرویس و نگهداری، دوام و پایداری را تأمین کند. در بحث نتایج موارد حاصل از مقایسه عرشه‌ها به صورت کامل بیان شده است.

## ۶- نتیجه‌گیری‌ها

ارتفاع کنگره عرشه مورد بررسی بر اساس برنامه‌نویسی در مقایسه با عرشه موجود با ارتفاع کنگره ۷۵ میلی‌متر،

مطابق جدول (۳) باعث کاهش بار مرده به میزان ۲۰ کیلوگرم در هر متر مربع شده است. عرشه محاسباتی فوق باتوجه به عرض‌های بارگیر تیرهای کامپوزیتی در مقایسه به عرشه با ارتفاع کنگره ۷۵ میلی‌متر، به میزان حداقل ۳۰۰ میلی متر جهت قرارگیری تیرهای فرعی، بسته به نوع ضخامت ورق عرشه فولادی افزایش یافته است.

عرشه مورد مطالعه جدید، رفتار خمشی، کششی و برشی مناسبی، بر اساس کم شدن طول گام عرشه و افزایش تعداد گام‌ها نشان می‌دهد [۷].

مناسب‌ترین عرض ماهیچه بر اساس بارها و عرض‌های مختلف تیر فرعی جهت اتصال گرم گل میخ بین ۶ تا ۱۲ سانتی‌متر بوده، این موضوع با عرض ماهیچه بدست آمده در جدول (۲) بهترین ناحیه‌ی رفتاری را نشان می‌دهد [۸].

با مطالعات بهینه‌سازی شکل و ضخامت عرشه فولادی می‌بینیم زاوایای خم ورق فولادی برای دهانه‌های مختلف متفاوت می‌باشد، که با بررسی‌های مختلف و در نظر گرفتن فاصله‌های تیر کامپوزیت بهترین زاویا مابین ۶۵ تا ۷۶ درجه می‌باشد. این موضوع جهت زاویه خم مناسب به همراه برجستگی‌های روی عرشه مورد مطالعه قرار گرفت که شکل عرشه و زائده‌های روی عرشه در چسبندگی بسیار حائز اهمیت است [۹].

طول گام مورد مطالعه حاصل از برنامه‌ی عددی ۲۱۰ میلی‌متر بوده که در مقایسه با فرم قدیم با گام ۳۰۵ میلی‌متر باعث گردید، که افزایش تعداد گام‌های عرشه فوق رفتار استحکامی مناسب‌تری در مقابل پیچش و کمانش نشان دهد.

## ۷- منابع:

- [1] C.G.salmon, and J.E. Johnson, structures Desing and Behavior,3rd ed.,New York,1992.
- [2] Edder P .Essais pull-out inter- laboratories. Publication ICOM 464.Ecole polytechnique Federale d Lausanne.2003
- [3] Chen S.Load Carrying capacity Of composite Slaps With Various endConstraints.Journal Of Constructional Steel Research 2003;57:1267-87
- [4]Ferreer M , Marimon F,Roure F,Crisinel M.Optimised desing of a new Profiled steel shet for composite slabs using 3d non-linear finiteelement.In:Proceedings of the 4th European Eurosteel conference on steel and composite structure,Maastrich, 8-10 June 2005

- [5]Daniels BJ, Crisinel M. Composite slab behavior and strength analysis. Part II: Comparisons with test results and parametric analysis. *Journal of Structural Engineering, ASCE* 1993;119(1):36–49.
- [6]Tenhovuri AI Leskela MV. Longitudinal shear resistance of composite slab. *Journal of Constructional Steel Research* 1998;46(1-3):228.
- [7]Crisinel M Marimon F. A new simplified method for the design of composite slabs. *J Costruct steel Res* 2004;60:481-91

[۸] آئین نامه فولاد آمریکا، AISC، صص ۲۵۷ الی ۳۵۰، ۱۹۹۸.

[۹] آئین نامه فولاد ایران، مقررات ملی ساختمان مبحث دهم، صص ۹۲ الی ۱۹۵، ۱۳۸۷.