

## بررسی رفتار و طراحی بهینه سقف های مرکب عرشه فولادی

سید حسین حسینی لواسانی<sup>1</sup>، رضا حسن زاده<sup>2</sup>، رضا اسماعیل آبادی<sup>3</sup>

1- دکتری مهندسی عمران - سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، ایران

lavasani@modares.ac.ir

2- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، ایران

r\_hz5711@yahoo.com

3- دانشجوی دکتری مهندسی عمران - زلزله، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، ایران

esmaeilabadi@riau.ac.ir

### چکیده

سقف های مرکب عرشه فولادی سیستمی به روز و کارآمد سازه ای می باشند که تحولی در صنعت ساختمان ایجاد نموده اند. اما لازمه بهره گیری همه جانبه از این فناوری رویکرد حرفه ای در بخش طراحی، محاسبه، تولید و اجرای این سیستم مطابق با استانداردها و آیین نامه های معتبر می باشد. در این مقاله روش های تحلیل و طراحی این نوع از سقف ها، هندسه ی عرشه، ابعاد دال و آزمایش های کوچک مقیاس صورت گرفته روی این سقف ها بیان می شود. سپس مراحل طراحی و محاسبات بهینه سقف براساس روش نوین ارائه می شود. براساس روشهای بهینه یابی ابعاد و مقاطع این سقفها، توسط نرم افزار اجزاء محدود بهینه و جداولی پیشنهاد می شود.

واژه های کلیدی: سقف، مرکب، عرشه، فولادی، رفتار، طراحی

### 1. مقدمه

دال مرکب فولادی - بتنی نوعی دال مرکب می باشد که از یک عرشه ی فولادی موج دار سرد نورد شده و گالوانیزه به عنوان قالب ماندگار و یک دال بتنی روی آن تشکیل شده است. عرشه فولادی، گل میخ و دال مسلح روی عرشه، اجزای اصلی این سیستم را تشکیل می دهند. عرشه ها بر حسب مرکب و غیر مرکب بودنشان نقش قالب تنها و یا قالب آرماتور ممان مثبت (توأم) را ایفا می نمایند. همچنین گل میخ های فولادی عامل مرکب بودن تیرهای فولادی می باشند که توسط دستگاه جوش خودکار از روی عرشه به تیرها جوش می شوند. آرماتورهای دال بتنی عبارتند از: آرماتور حرارتی، آرماتور ممان مثبت (در صورت استفاده از عرشه غیر مرکب)، آرماتور لنگر منفی (در صورت نیاز) و آرماتور اضافی به منظور افزایش مقاومت دال در برابر آتش سوزی. محاسبات سقف نیز به دو بخش کلی فاز تیر غیر مرکب (بارگذاری عرشه به تنهایی در طول دوره ساخت) و فاز تیر مرکب (بارگذاری توأم عرشه و دال بتنی) تقسیم می شوند. در صورتی که عرشه فولادی به عنوان قالب

ماندگار بتن عمل کند و چسبندگی برشی کافی بین عرشه ی فولادی و بتن فراهم آید، مجموعه به صورت مرکب عمل خواهد کرد و عرشه ی فولادی نقش مسلح کننده بتن را نیز در خمش مثبت خواهد داشت. عرشه ی فولادی تمامی بارهای وارده را در حین اجرا و قبل از رسیدن بتن به مقاومت نهایی اش تحمل می کند.

## 2. انواع روش های تحلیل و طراحی

روابط مکانیزم مقاومت برشی بین عرشه فولادی و بتن پیچیده می باشد. از این رو، بدون استفاده از داده های آزمایش، ارائه ی یک روش تحلیلی مناسب که تمامی شرایط دال ها را پوشش دهد غیر ممکن است.

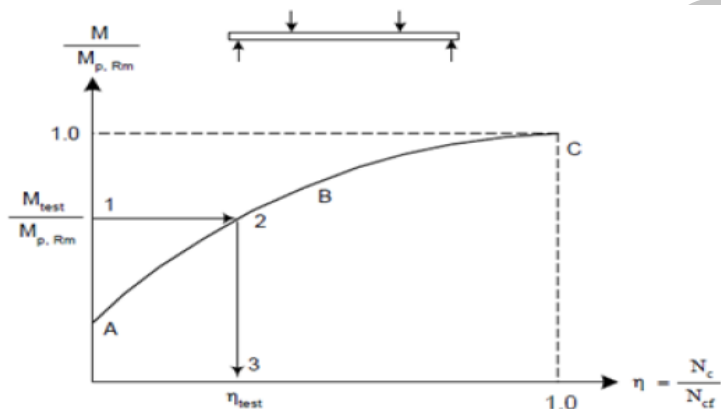
1- روش پیوستگی برشی (m-k): اولین روش استاندارد برای طراحی دال مرکب روش پیوستگی برشی یا m-k می باشد که در بیشتر آیین نامه های طراحی دنیا پذیرفته شده است. گسترش این روش از پژوهش شوستر (1970) شروع شد و بعد از آن پرتز و همکارانش (1976) و پرتز و اکبرک (1971، 1975 الف، 1975 ب) آن را بهبود دادند. این روش از داده های آزمایش های بزرگ مقیاس استفاده می کند و مقاومت برشی دال توسط یک معادله خطی به هندسه ی دال مرتبط شده است. این معادله خطی از ثابت های، m و k به عنوان شیب خط و عرض از مبدا آن استفاده می کند که اسم روش نیز گرفته شده از همین دو ثابت می باشد [1].

ضعف اصلی روش m-k نیمه تجربی بودن این روش است و همچنین مدل مکانیکی روشی در آن ارائه نمی شود که توانایی تفکیک فاکتورهای موثر در عملکرد دال مرکب را داشته باشد. این فاکتورها شامل مقاومت پیوستگی برشی، گیرداری انتهای دال، نیروهای اصطکاکی در تکیه گاهها و آرماتورهای تقویت اضافی می شود. روش m-k وابستگی بسیار زیادی به آزمایش های بزرگ مقیاس دارد به طوری که برای پروفیل ها ضخامت های جدید عرشه، انواع آج ها و گیرداری انتهای دال، دسته های مختلفی از آزمایش های بزرگ مقیاس لازم می باشند. این روش طراحی پرهزینه و زمان بر بوده و کمتر مورد قبول تولید کنندگان عرشه می باشد زیرا برای هر عرشه جدید این آزمایش می بایست انجام شود [2]. دیگر مشکلات مدل مکانیکی این روش توسط بده و سوربرن (1992) مورد بحث قرار گرفته است.

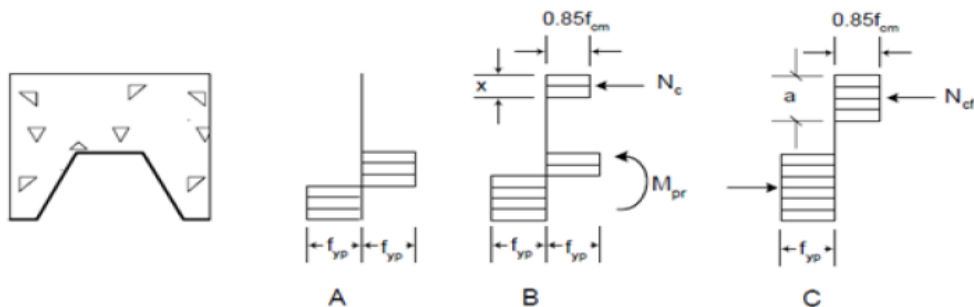
2- روش psc: برای غلبه بر کمبودهای روش m-k به خصوص، ضعف در ارائه ی مدل مکانیکی برای انعکاس اثر پارامترهای دال مرکب و کاهش وابستگی به آزمایش های بزرگ مقیاس، پژوهشگران اروپا روش psc را ارائه دادند. این روش اولین بار توسط استارک (1970) ارائه شد و پس از آن توسط استارک و برکلمنز (1990)، بده و سوربرن (1992)، بده و همکارانش (1996) و بده و داوول (1999) بهبود یافت. این روش در 1994 در پیوست آیین نامه ی اروپا، Eurocode 4 به عنوان بخشی از Eurocode 4 قرار گرفت [3].

در روش psc فرض شده است دال در برشی افقی دچار شکست شود و بتن به طور قابل ملاحظه ای نسبت به فولاد بلغزد بدون اینکه از ظرفیت باربری آن کاسته شود. به بیان دیگر، تنش برشی افقی در سطح لغزش ثابت باقی می ماند. این فرض نیازمند گسیختگی برشی انعطاف پذیر است. روش psc با تولید منحنی نظری اندرکنش

جزئی  $M_{p,Rm}$  در مقابل  $\eta$  آغاز می شود که در شکل 1 الف، نشان داده شده است. محاسبات برای بدست آوردن منحنی با استفاده از ابعاد اندازه گیری شده و مقاومت بتن و فولاد انجام می شود. محور  $X$  های منحنی اندرکنش جزئی،  $\eta$ ، درجه اندرکنش می باشد که مقدار آن بین 0 تا 1 می باشد. لنگر مقاوم دال مرکب تحت اندرکنش جزئی  $M$  می باشد، در حالی که  $M_{p,Rm}$  لنگر مقاوم دال مرکب تحت اندرکنش کامل است.



(الف)



(ب)

شکل (1): الف- منحنی نظری اندرکنش جزئی، ب- بلوک تنش نقاط A، B و C

نقاط A و C در منحنی شکل 1 ب، نقاط حدی می باشند که به حالت های بدون اندرکنش و اندرکنش کامل وابسته اند و در این نقاط به ترتیب  $M=0$  و  $M=M_{p,Rm}$  می باشد و بلوک های تنش وابسته به آنها در شکل نشان داده شده است. حالت اندرکنش جزئی در بین این دو نقطه می باشد، مانند نقطه B که  $M$  با توجه به بلوک تنش در شکل 1 ب، محاسبه می شود [3].

### 3. هندسه عرشه

هندسه ی عرشه ی فولادی و خصوصاً شکل برآمدگی ها و آج ها بیشترین اثر را بر روی مقاومت پیوستگی برشی دارد. عمق، طول، عرض، شیب و جهت برآمدگی ها و همچنین ضخامت عرشه، از جمله پارامترهای موثر هستند. میگوئل فرر و همکارانش (2006) با مدل سازی کردن لغزش طولی بین بتن و فولاد در آزمایش کششی، اثر پارامترهای مختلف هندسی به مقاومت پیوستگی برشی دال مرکب را بررسی کرده اند. بعضی از نتایج بدست آمده در اینجا بصورت خلاصه بیان می شوند:

1- شیب برآمدگی ها: بدون شک مهمترین پارامتر مربوط به مکانیزم مقاومت پیوستگی، شیب برآمدگی ها می باشد و ممکن است مهمترین پارامتر برای بهبود بخشیدن رفتار پروفیل عرشه باشد. وابستگی بار نهایی به شیب برآمدگی ها بسیار زیاد است. البته باید توجه داشت که رسیدن به شیب مورد نظر در برآمدگی ها هزینه های شکل پذیری زیادی به دنبال دارد و همچنین شیب های زیاد می تواند باعث بوجود آمدن ترک هایی در بتن شود [4].

2- عمق آج: یک وابستگی خطی بین عمق آج ها و مقاومت وجود دارد.

3- جهت آج ها: حرکت لغزشی بین بتن و عرشه ی فولادی نیروهایی ایجاد می کند که محل اثر این نیروها با توجه به جهت آج ها (به داخل یا خارج از بتن) در انتهای بالا یا پایین آج قرار می گیرد. با توجه به این موضوع بهتر است جهت آج ها متغیر باشد و از یک آج به آج دیگر عوض شود تا نیروی اندرکنش به وجود آمده توزیع شود [4].

4- طول آج ها: با توجه به قرار گرفتن نیروی ایجاد شده از لغزش طولی در انتهای آج ها، بهتر است انتهای آج ها و همچنین آج های نقطه ای در نزدیکی لبه ی پروفیل قرار گیرند، از این رو نیروهای خیلی بزرگتری برای خم کردن ورق مسطح بین لبه ها لازم هستند [4].

5- عرض آج ها: سختی خمشی موضعی ناحیه ی آج دار به طول، عرض و عمق آج بستگی دارد. بنابر این با افزایش هر کدام از آنها ممان اینرسی افزایش می یابد و در پی آن نیروهای اندرکنش ناشی از لغزش بتن و فولاد که با خمش ورق همراه هستند افزایش می یابند. عرض آج ها با توجه به مقاومت بتن محدود می شود. اگر آج هایی که از بتن خارج هستند، بیش از حد نازک باشند بتن برجسته به علت تنش برشی می تواند بریده شود. در مقابل اگر آج های داخل شونده به بتن بیش از حد عریض باشند، بتن برجسته ی لاغر بین آنها که همچنین به فاصله ی آج ها وابسته است، به همان دلیل شکسته خواهد شد [4].

6- زاویه ی محافظ: برهمکنش بین فولاد و بتن نیروهای تماسی در لبه های آج ها ایجاد می کند که موجب جداشدگی دو ماده از هم می شود. برای جلوگیری از این جداشدگی، برجستگی های روی دیواره ی عرشه می بایست حداقل زاویه ی محافظ را داشته باشند. این زاویه در مورد پروفیل های همگرا، خود شکل خم های طولی وجود زاویه محافظ را ضمانت می کند [4].

7- دیگر خصوصیات هندسه: جولی و زوبیر (1987) رفتار انواع مختلفی از آج ها و برجستگی ها را که عمدتاً به صورت دستی بر روی جان عرشه ایجاد شده بودند، به صورت تجربی مورد ارزیابی قرار دادند. از جمله

یافته های این آزمایش ها این بود که به نظر می رسد برجستگی های ناپیوسته، عرشه ی فولادی را قادر می سازند تا آسان تر بر روی بتن سر بخورد و منحرف شود. وجه هایی از برآمدگی ها که متعامد با جهت لغزش هستند نسبت به وجه های در جهت لغزش اثر بیشتری داشتند. مشاهده شد، دندانه های با تعداد زیاد و کوچک مزیتی ندارند. عرض کمینه، عمق و ارتفاع بیشینه آج نتایج بهتری می دهند. همچنین از نتایج برای پیش بینی ظرفیت باربری در روش های تئوری مربوط به دال های مرکب استفاده شد [5].

#### 4. ابعاد دال

دانلیز (1988) گزارش داده است که بر خلاف یافته های اکبرگ و پرتو هیچ تغییر قابل بیانی در تنش پیوستگی برشی با افزایش طول نمونه ها وجود ندارد. عبدالله (2004) در یک پژوهش سعی کرده است رابطه ای میان لاغری دال و پیوستگی برشی آن پیدا کند. همچنین وی سعی کرده است روش جزء محدودی برای مدل کردن دال های مرکب با هر گونه لاغری ارائه نماید. آن (1993) نسبت دهانه ی برش به عمق دال را مورد بررسی کرده است و کالیکستو (1998) نیز طول اثر دهانه ی برش را مورد مطالعه قرار داده است. ماریموتو و همکارانش (2007) با انجام آزمایش بر روی 18 نمونه در بزرگ مقیاس اثر دهانه ی برش را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که رفتار دال های مرکب بیشتر به دهانه ی برش وابسته است و برای دهانه های برش کوتاه تر مقاومت دال با شکست پیوستگی برشی کنترل می شود و اگر دهانه ی برش به اندازه ی کافی بزرگ باشد و از 1/25 متر بزرگتر نباشد رفتار دال تحت گسیختگی خمشی خواهد بود [3].

#### 5. آزمایش های کوچک مقیاس

هم اکنون دو روش طراحی دال های مرکب وجود دارند که بیشتر مورد استفاده طراحان قرار می گیرند. روش پیوستگی برشی  $m-k$  و روش  $psc$  که شرح داده شدند. روش  $m-k$  در ASCE (1992)، BS-5950 (1994)، Eurocode 4 (1994)، CSSBI (1996) و تعداد زیادی دیگر از آیین نامه های دنیا برای سال های زیادی مورد قبول بوده است. روش  $psc$  که روش جدیدتری است، در پیوست 4 Eurocode (1994) به عنوان جایگزینی برای روش  $m-k$  آورده شده است. Eurocode 4 در سال 2001 روش  $psc$  را روش اصلی برای طراحی معرفی کرده است. با این حال هر دو روش دارای مشکل عمده ای هستند که پارامترهای مورد نیاز در این روش ها از آزمایش های بزرگ مقیاس بدست می آیند که زمان بر و پرهزینه می باشند. این مشکل زمانی که پروفیل های زیادی از عرشه ی فولادی با ویژگی های متفاوت وجود دارند بیشتر نمایان می شود زیرا هر کدام از پروفیل ها جداگانه باید مورد آزمایش قرار گیرد تا پارامترهای طراحی هر کدام مشخص شوند. به این دلیل، محققان زیادی پیدا کردن آزمایشی کوچکتر، ساده تر و اقتصادی تر را موضوع اصلی تحقیقات خود قرار داده اند (پلوکساواسدی، 1977؛

پرتر و اکبرگ، 1978؛ استارک، 1978؛ دانیلز، 1988؛ زوبیر، 1989؛ پاتریک و پوه، 1990؛ آیرومیان و همکارانش، 1990؛ آن، 1993؛ ولژکوویچ، 1996؛ برنت، 1998؛ ترمیلی و همکارانش، 2002).

## 6. طراحی و محاسبه سقف عرشه فولادی

مراحل طراحی و محاسبه سقف عرشه فولادی به شرح ذیل می باشند:

1- انتخاب نوع عرشه فولادی: با توجه به توضیحات بخش های قبل، عرشه فولادی طبق مشخصات هندسی و مکانیکی ارائه شده از سوی تولید کننده از یک سو و اولویت های اقتصادی و فنی از جمله کاهش تعداد تیر های فولادی از سوی دیگر، انتخاب می گردد. البته لازم به ذکر است تجربه، تخصص و مهارت محاسب پروژه در انتخاب طرح بهینه دال عرشه بسیار حائز اهمیت می باشد. اغلب تولید کنندگان عرشه های فولادی با در دست داشتن مشخصات فنی عرشه های خود، اقدام به تهیه جداول کاربردی طرح و محاسبه دال عرشه می نمایند که به عنوان مرجع اولیه مورد استفاده محاسب سازه قرار می گیرد. به هر حال جداول مذکور بایستی بر مبنای روند محاسباتی مشخص مطابق آیین نامه و مدارک مستند تهیه گردد [6].

2- تعیین ضخامت دال بتنی روی عرشه فولادی: مقدار ضخامت دال معمولاً با توجه به عایق بندی و مقاومت سقف در برابر انتقال حرارت آتش سوزی از فضای زیر سقف به بالای آن تعیین می گردد، به همین منظور در مراجع SDI و BS5950 جداولی ارائه شده است که می توان ضخامت دال بتنی را از روی مدت زمان انتقال حرارت مربوطه انتخاب نمود. در زیر، این جداول نشان داده شده اند:

Rating Hours	Normal weight concrete cover (cm)	Suspended ceiling
1	9	No
1.5	10	No
2	11.5	No
3	13.5	No
1	6.5	Yes
2	6.5	Yes
3	9	Yes

ASTM E119

SDI

شکل (2): جدول ضخامت دال بتنی از روی مدت زمان انتقال حرارت مربوطه بر اساس SDI

Minimum thickness of concrete for a fire resistance period of:						
t	30 min	60 min	90 min	120 min	180 min	240 min
h	mm	mm	mm	mm	mm	mm
	60	70	80	95	115	130

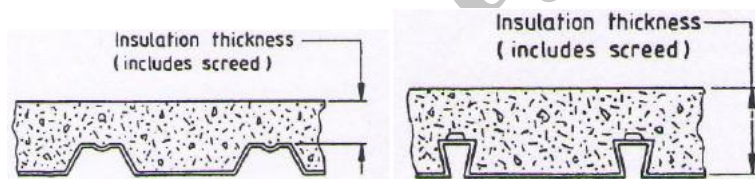
BS 5950-8

t: مدت زمان مقاومت در برابر آتش  
h: حداقل ضخامت بتن دال از بالای کنگره



شکل (3): جدول ضخامت دال بتنی از روی مدت زمان انتقال حرارت مربوطه بر اساس BS5950

نکته ای که بایستی مد نظر داشت این است که در این جداول مقدار ضخامت دال بتنی بسته به شکل هندسی متفاوت است که در شکل ذیل نشان داده شده است:



شکل (4): نحوه ی تعیین ضخامت دال بتنی با توجه به شکل هندسی عرشه ی فولادی

حداقل ضخامت دال بتنی (h) در آیین نامه فولاد ایران (مبحث دهم) 6 سانتیمتر قید شده است.

3- تعیین دهانه مجاز دال عرشه (فاصله بین تیرهای فرعی مرکب): دهانه مجاز دال عرشه حداقل مقدار

دهانه بدست آمده از حالات ذیل است:

الف- دهانه مجاز تحت بارگذاری عرشه در دوره ساخت و اجرا (فاز تیر غیر مرکب): این مرحله، از هنگام

نصب عرشه بر روی شبکه تیر ریزی شروع و مادامی که بتن تر پخش شده روی عرشه هنوز به مقاومت طراحی نرسیده است، ادامه می یابد (یعنی قبل از شروع رفتار مرکب تیرهای فولادی). در این مرحله دهانه مجاز عرشه فولادی، مطابق *standard for composite steel floor deck C1.0 – 2006* دهانه ای است که در آن عرشه فولادی به عنوان تنها عضو باربر و سازه ای سقف تحت بارهای ثقلی وارده در مدت ساخت شامل: وزن بتن تر، وزن تجهیزات نیروهای اجرایی، دارای تنشهای خمشی و تغییر مکان موجود مساوی با مقادیر مجاز باشد [7].

ب- حداکثر دهانه تحت بارگذاری دال عرشه تحت بارهای زنده و مرده طراحی (فاز تیر مرکب): دوره

زمانی این مرحله از گیرش و حصول مقاومت دال بتنی شروع (یعنی پس از شروع رفتار مرکب تیرهای فولادی) و

تا پایان دوره بهره برداری سقف ادامه می یابد. در این حالت بسته به عملکرد عرشه فولادی، دال بتنی بصورت توأم (عرشه مرکب) یا غیر مرکب با عرشه فولادی بصورت یک دال یکطرفه وظیفه انتقال بارهای ثقلی (مرده و زنده) را بر عهده دارد. با توجه به نقش متفاوت عرشه مرکب و عرشه غیر مرکب در محاسبات هر کدام بطور جداگانه بررسی می شود.

ج- حداکثر دهانه ناشی از تغییر مکان های قائم (خیز) دال عرشه تحت بارهای مرده و زنده.

4- مدل سازی و تحلیل و طراحی سقف در یک برنامه محاسباتی اجزاء محدود: پس از تعیین جزئیات مربوط به دال عرشه با در دست داشتن بار مرده دال عرشه و مشخصات عرشه مورد استفاده به کمک برنامه محاسباتی اجزاء محدود (مانند Abaqus) می توان سقف را تحلیل و طراحی نمود.

جدول (1): جدول پیشنهادی دهانه های مجاز دال مرکب عرشه فولادی بر حسب m

Fy = 3000 kg/cm <sup>2</sup>													ضخامت دال mm	نوع دهانه
ضخامت ورق فلزی (1,0 mm)				ضخامت ورق فلزی (0,9 mm)				ضخامت ورق فلزی (0,8 mm)						
بار اعمال شده (kg/m <sup>2</sup> )				بار اعمال شده (kg/m <sup>2</sup> )				بار اعمال شده (kg/m <sup>2</sup> )						
1000	700	550	450	1000	700	550	450	1000	700	550	450			
2.68 a	3.13 a	3.35 d	3.35 d	2.55 a	2.98 a	3.30 a	3.23 d	2.41 a	2.82 a	3.12 a	3.04 b	130	دهانه ساده	
2.75 a	3.22 a	3.29 d	3.29 d	2.62 a	3.07 a	3.17 d	3.17 d	2.48 a	2.90 a	2.98 b	2.98 b	135		
2.83 a	3.31 a	3.23 d	3.23 d	2.69 a	3.15 a	3.12 d	3.12 d	2.55 a	2.98 a	2.91 b	2.91 b	140		
2.98 a	3.13 d	3.13 d	3.13 d	2.84 a	3.01 b	3.01 b	3.01 b	2.68 a	2.8 b	2.80 b	2.80 b	150		
3.13 a	3.04 d	3.04 d	3.04 d	2.97 a	2.90 b	2.90 b	2.90 b	2.70 b	2.70 b	2.70 b	2.70 b	160		
2.96 d	2.96 d	2.96 d	2.96 d	2.80 b	2.80 b	2.80 b	2.80 b	2.60 b	2.60 b	2.60 b	2.60 b	170		
2.92 d	2.92 d	2.92 d	2.92 d	2.75 b	2.75 b	2.75 b	2.75 b	2.56 b	2.56 b	2.56 b	2.56 b	175		
2.76 b	2.76 b	2.76 b	2.76 b	2.59 b	2.59 b	2.59 b	2.59 b	2.40 b	2.40 b	2.40 b	2.40 b	195		
2.61 b	2.61 b	2.61 b	2.61 b	2.45 b	2.45 b	2.45 b	2.45 b	2.27 b	2.27 b	2.27 b	2.27 b	215		
2.48 b	2.48 b	2.48 b	2.48 b	2.33 b	2.33 b	2.33 b	2.33 b	2.16 b	2.16 b	2.16 b	2.16 b	235		
2.37 b	2.37 b	2.37 b	2.37 b	2.22 b	2.22 b	2.22 b	2.22 b	2.06 b	2.06 b	2.06 b	2.06 b	255		
2.27 b	2.27 b	2.27 b	2.27 b	2.13 b	2.13 b	2.13 b	2.13 b	1.97 b	1.97 b	1.97 b	1.97 b	275		
2.68 a	3.13 a	3.46 a	3.64 c	2.55 a	2.98 a	3.30 a	3.44 c	2.41 a	2.82 a	3.12 a	3.23 c	130	دهانه ممتد	
2.75 a	3.22 a	3.55 a	3.57 c	2.62 a	3.07 a	3.39 a	3.37 c	2.48 a	2.90 a	3.20 a	3.16 c	135		
2.83 a	3.31 a	3.50 c	3.50 c	2.69 a	3.15 a	3.30 c	3.30 c	2.55 a	2.98 a	3.10 c	3.10 c	140		
2.98 a	3.37 c	3.37 c	3.37 c	2.84 a	3.18 c	3.18 c	3.18 c	2.68 a	2.99 c	2.99 c	2.99 c	150		
3.13 a	3.26 c	3.26 c	3.26 c	2.97 a	3.07 c	3.07 c	3.07 c	2.81 a	2.88 c	2.88 c	2.88 c	160		
3.15 c	3.15 c	3.15 c	3.15 c	2.98 c	2.98 c	2.98 c	2.98 c	2.79 c	2.79 c	2.79 c	2.79 c	170		
3.10 c	3.10 c	3.10 c	3.10 c	2.92 c	2.92 c	2.92 c	2.92 c	2.74 c	2.74 c	2.74 c	2.74 c	175		
2.92 c	2.92 c	2.92 c	2.92 c	2.76 c	2.76 c	2.76 c	2.76 c	2.58 c	2.58 c	2.58 c	2.58 c	195		
2.77 c	2.77 c	2.77 c	2.77 c	2.61 c	2.61 c	2.61 c	2.61 c	2.45 c	2.45 c	2.45 c	2.45 c	215		
2.64 c	2.64 c	2.64 c	2.64 c	2.49 c	2.49 c	2.49 c	2.49 c	2.33 c	2.33 c	2.33 c	2.33 c	235		
2.52 c	2.52 c	2.52 c	2.52 c	2.38 c	2.38 c	2.38 c	2.38 c	2.22 c	2.22 c	2.22 c	2.22 c	255		
2.42 c	2.42 c	2.42 c	2.42 c	2.28 c	2.28 c	2.28 c	2.28 c	2.13 c	2.13 c	2.13 c	2.13 c	275		

a: (بر اساس SDI) دال مرکب - بررسی دال      c: لنگر منفی



جدول (2): جدول پیشنهادی بار مجاز دال براساس دهانه های مجاز دال مرکب عرشه فولادی

ضخامت ورق فلزی (1,0 mm)		ضخامت ورق فلزی (0,9 mm)		ضخامت ورق فلزی (0,8 mm)		ضخامت دال (mm)	نوع دهانه
حداکثر بار (kg/m <sup>2</sup> )	دهانه مجاز m	حداکثر بار (kg/m <sup>2</sup> )	دهانه مجاز m	حداکثر بار (kg/m <sup>2</sup> )	دهانه مجاز m		
452	3.94	460	3.74	467	3.53	130	دهانه ممتد
507	3.87	484	3.67	526	3.46	135	
567	3.8	510	3.6	586	3.4	140	
700	3.67	558	3.48	718	3.29	150	
844	3.56	606	3.37	872	3.18	160	
-	-	-	-	-	-	170	

5- محاسبات تکمیلی دال عرشه: در این مرحله آرما توره های تقویت دال عرشه در نواحی بازشوها و دیوارهای بتنی و آرما تور اضافی جهت افزایش مقاومت سقف در برابر آتش سوزی محاسبه می گردند.

## 7. خلاصه و نتیجه گیری

شناخت و آگاهی دقیق از فرآیند طراحی، محاسبه، تولید و اجرای سقف مرکب عرشه فولادی به تفکیک اجزای آن، علاوه بر زمینه سازی جهت بکارگیری و کنترل اصولی این فناوری، منجر به استاندارد سازی فرآیند ساخت و اجرای این سقف ها می گردد. در حال حاضر آنچه پیش از پیش اهمیت دارد، اطمینان از عملکرد عرشه ها به عنوان آرما تور کششی دال (عرشه مرکب) می باشد و این ویژگی به وسیله ایجاد برجستگی های (آج) مناسب بر روی عرشه محقق می گردد و بایستی با انجام آزمایش های استاندارد عملکرد برجستگی ها کنترل گردد. در صورتی که آج ها قادر به تحمل نیروی برشی عرشه و دال نباشند، عرشه بایستی فقط به عنوان قالب در محاسبات در نظر گرفته شود، (عرشه غیر مرکب) و از آرما تور تحتانی برای تحمل ممان مثبت درون کنگره های عرشه استفاده شود. نکته ای که حائز اهمیت است، وجود دو عضو دارای رفتار مرکب در سیستم سقف مرکب عرشه فولادی می باشد که یکی تیر مرکب و دیگری عرشه مرکب می باشند. همچنین مباحث دیگری در این سیستم مطرح می باشد که تاکنون کمتر به آنها توجه شده اند، همچون کنترل مقاومت دال عرشه در برابر آتش سوزی (ضرورت استفاده از آرما تور اضافی در صورت لزوم) و بررسی گلمیخ های فولادی از نقطه نظر کیفیت مواد، ساخت و تولید.

طراحی و محاسبه یک سازه فولادی دارای سقف عرشه مرکب فولادی در دو مرحله می باشد. بخش تخصصی شامل انتخاب عرشه مناسب و طراحی جزییات دال و عرشه و بخش دوم تحلیل و طراحی با هر برنامه ای که قادر به مدل کردن این نوع از سقف می باشد.

## 8. مراجع

- [1] ASCE. *Standard for the Sturctural Design of Composite Slabs*, American Society of Civil Engineers, New York, US, 1992.
- [2] Abdullah R. *Experimental evaluation and analytical modeling of shear bond in composite slabs*, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2004.
- [3] سید نژاد گل ختمی، م، بررسی رفتار دال های مرکب فولادی - بتنی، سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران، 1390.
- [4] Ferrer M, Marimon F, et al1. *Designing Cold-formed Steel Sheets for Composite Slabs: An Experimentally Validated FEM Approach to Slip Failure Mechanics*, Journal of Thin-Walled Structures, 4 (12), pp 1261-1271, 2006.
- [5] Zubair A.K.M. *Improvement of Shear-Bond in Composite Steel and Concrete Floor Slabs*, Phd Thesis, University of Southampton, 1989.
- [6] هانفی، م، معرفی اجزا و نحوه طراحی و محاسبه سیستم سقف مرکب عرشه فولادی، شرکت سان سازه، مشهد، ایران، 1390.
- [7] SDI. *C1.0-2006 Standard for Composite Steel Deck*, American National Standards Institute, US, 2006.

Archive of SID