



# معرفی و طراحی سقف عرشه فولادی



**برگزار کننده: کمیته آموزش نظام مهندسی ساختمان استان قم**

مدرس:

دکتر احسان دهقانی

عضو هیأت علمی گروه عمران

دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه قم

# سرفصل مطالب



- آشنایی با سیستم سازه‌ای سقف کامپوزیت
- معیارهای مقاومت و نحوه محاسبه و کنترل آنها
- معیارهای بهره‌برداری و نحوه محاسبه و کنترل آنها
- حل يك مثال در خلال طرح مطالب

# مزایای سقف عرشه فولادی



- افزایش سرعت در اجرا
- افزایش ایمنی در حین اجرای سقف
- کاهش وزن سازه
- کاهش هزینه‌های حمل و نقل مصالح
- پایداری سازه‌ای هم در بارهای ثقلی و هم در بارهای جانبی
- قابلیت بازیافت مصالح فولادی
- راحتی عبور و نصب تأسیسات

**MCRMA Technical Paper No. 13, SCI Publication P300, COMPOSITE SLABS AND BEAMS USING STEEL DECKING: BEST PRACTICE FOR DESIGN AND CONSTRUCTION.**

# سقف کامپوزیت

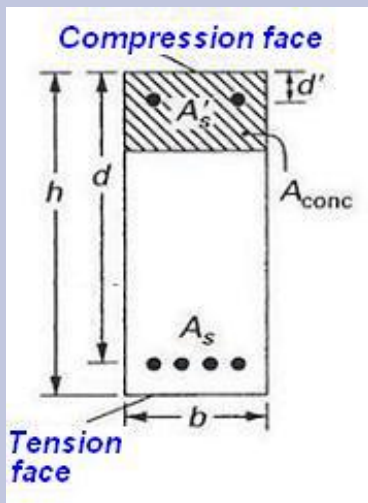
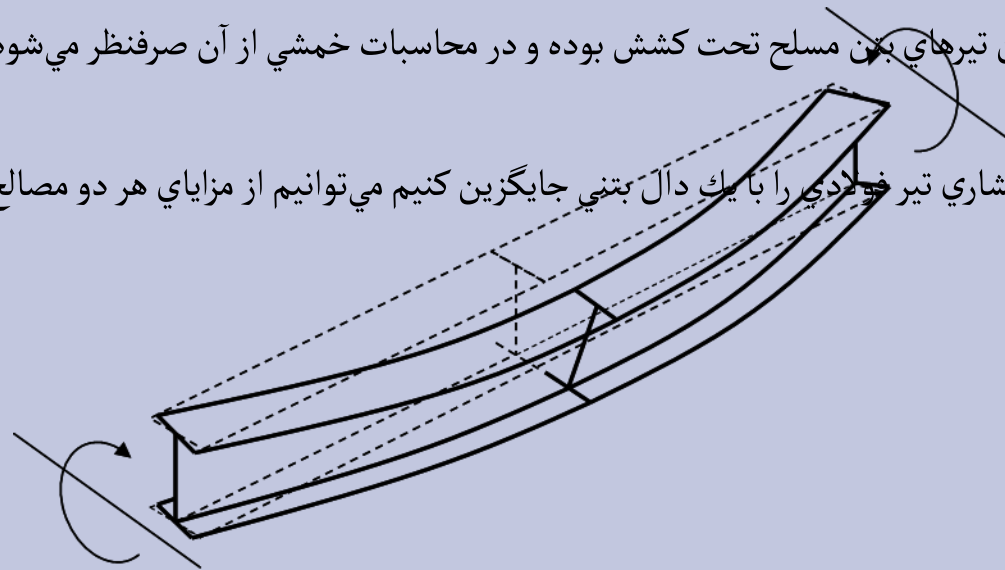


- بال فشاری تیرهای فولادی تحت خمش پتانسیل کمانش پیچشی جانبی را در تیر ایجاد می کند.

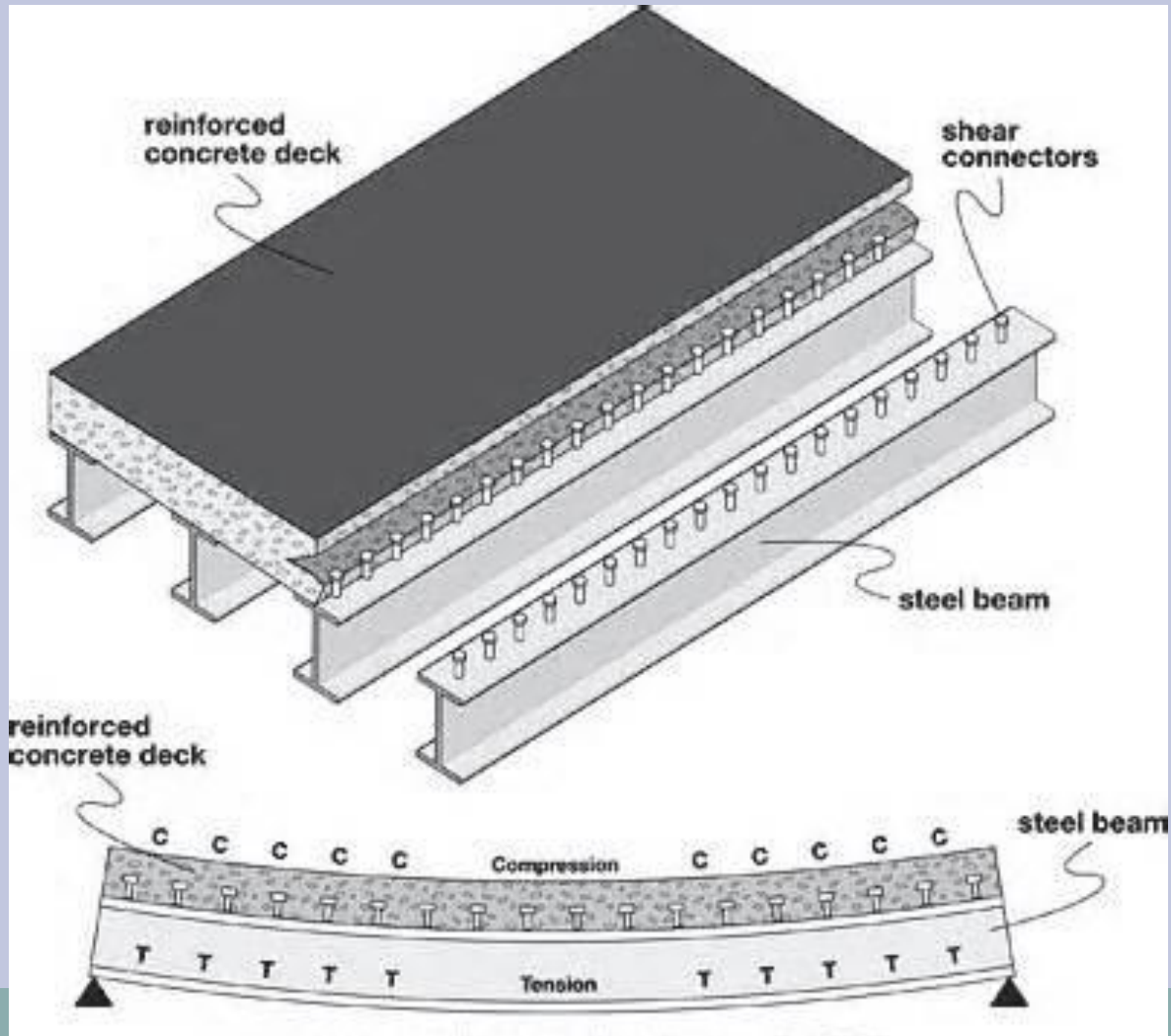
- تیرهای بتنی در کشش ضعیف هستند.

- بخش زیادی از بتن تیرهای بتن مسلح تحت کشش بوده و در محاسبات خمشی از آن صرف نظر می شود.

- در صورتیکه بال فشاری تیر فولادی را بایک دال بتنی جایگزین کنیم می توانیم از مزایای هر دو مصالح فولاد و بتن



# سقف کامپوزیت

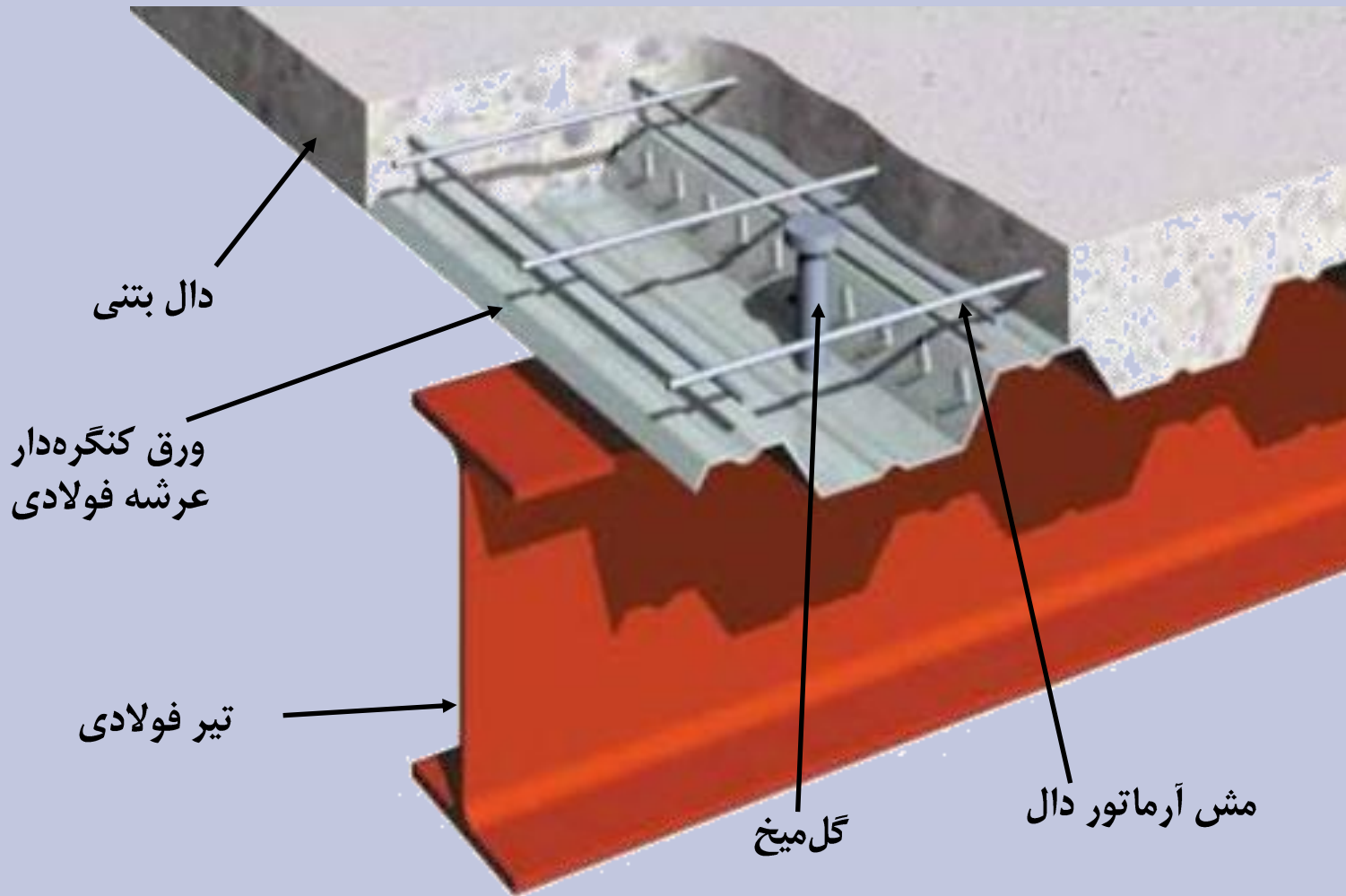


# سقف عرشه فولادی



- این سقف در واقع همان سقف کامپوزیت است که در آن از ورق کنگره‌دار فولادی بجای قالب موقت بتن استفاده شده است. این قالب بعنوان قالب مدفون در سقف باقی می‌ماند.

# اجزاء سقف عرشہ فولادی



# الزامات گلمیخ و اتصال ورق کنگره‌دار به تیر



- حداکثر قطر گل میخ‌ها در سیستم تیر و دال کامپوزیت ۲۰ میلیمتر می‌باشد.
- قطر معمول در بازار  $3/4$  اینچ یا ۱۹ میلیمتر است.
- حداقل طول گل میخ‌ها بعد از نصب ۴ برابر قطر آنها می‌باشد.
- حداکثر فواصل گل میخ‌ها ۸۰ سانتی‌متر است.
- ورق‌های کنگره‌دار بایستی در فواصل حداکثر ۴۵ سانتی‌متر به تیر فولادی اتصال یابند ، بوسیله گلمیخ ، جوش ، منگنه یا پیچ.



# ورق کنگره دار



# نقش ورق کنگره‌دار



- **در حین اجرا:** ورق کنگره‌دار نقش قالب را بازی می‌کند و وزن بتن خیس ، آرماتورها و عوامل اجرایی را تحمل می‌کند. در این حالت ورق فولادی بتن‌هایی بارهای وارده را تحمل می‌کند. کنگره‌دار شدن ورق و همچنین برآمدگی‌های روی ورق کمانش موضعی ورق در این حالت را کاهش می‌دهد.

- **در حالت بهره‌برداری:** ورق کنگره‌دار همراه با بتن بصورت کامپوزیت عمل می‌کند. نیروی برشی بین فولاد و بتن با چسبندگی ذاتی بتن به فولاد و همچنین برآمدگی‌ها و فرورفتگی‌های ورق منتقل می‌شود.

▶ با توجه به پیچیدگی محاسبات مربوط به مقاومت پس از کمانش و نیز چسبندگی بین فولاد و بتن ، مقاومت این ورقها بصورت تجربی آزمایش شده و توسط کارخانه سازنده بصورت جداولی اعلام می‌شود.

# مقطع ComFlor 60

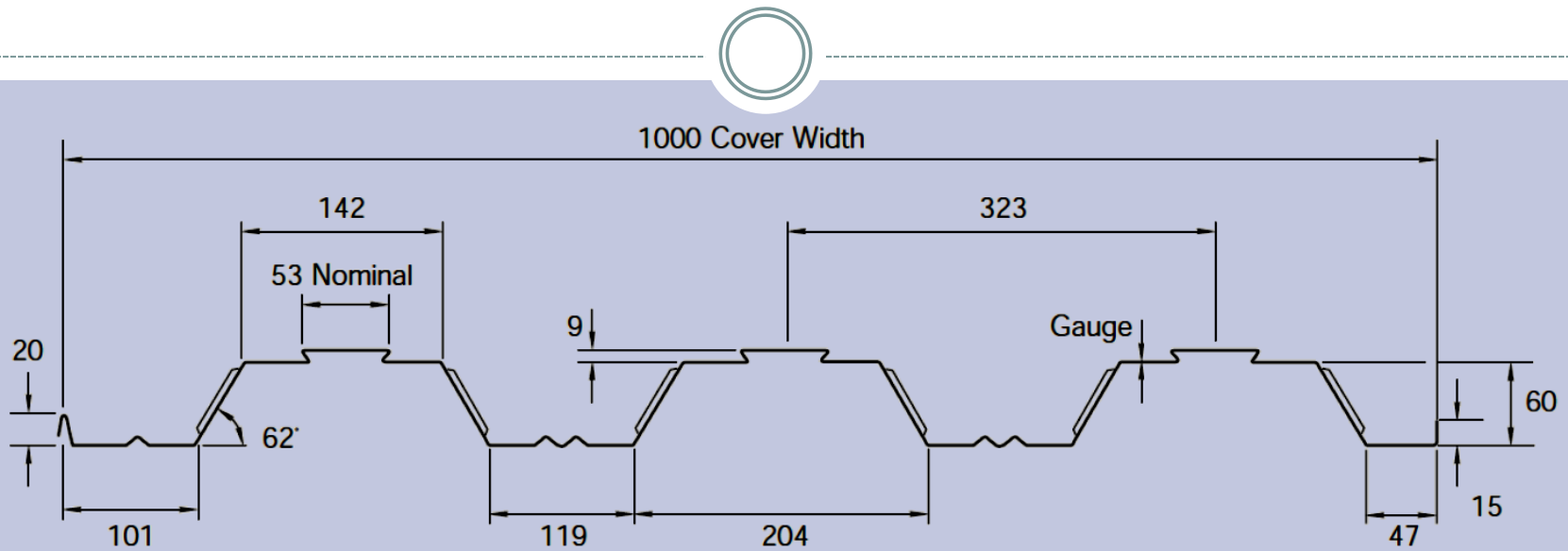


ComFlor® 60 Span table - normal weight concrete

Props	Span	Fire Rating	Slab Depth (mm)	Mesh	MAXIMUM SPAN (m)											
					Deck Thickness (mm)											
					0.9			1.0			1.1			1.2		
Total Applied Load (kN/m <sup>2</sup> )																
					3.5	5.0	10.0	3.5	5.0	10.0	3.5	5.0	10.0	3.5	5.0	10.0
No Temporary props	Single span slab & deck	1 hr	130	A142	3.5	3.2	2.3	3.6	3.3	2.3	3.7	3.4	2.4	3.9	3.4	2.5
			130	A252	3.5	3.5	2.6	3.6	3.6	2.7	3.7	3.7	2.7	3.9	3.9	2.8
		1.5 hr	160	A252	3.2	3.2	2.9	3.4	3.4	3.0	3.5	3.5	3.0	3.6	3.6	3.1
			140	A193	3.4	2.9	2.1	3.5	3.0	2.2	3.6	3.1	2.2	3.7	3.1	2.3
			170	A252	3.1	3.1	2.4	3.3	3.3	2.5	3.4	3.4	2.5	3.5	3.5	2.6
	2 hr	150	A193	2.9	2.5	1.9	3.0	2.5	1.9	3.0	2.5	1.9	3.0	2.6	1.9	
		180	A252	3.1	3.0	2.1	3.2	3.0	2.1	3.3	3.0	2.2	3.5	3.0	2.2	
	Double span slab & deck	1 hr	130	A142	3.6	3.6	2.7	3.9	3.8	2.8	4.2	3.9	2.9	4.5	3.9	2.9
			130	A252	3.6	3.6	3.2	3.9	3.9	3.2	4.2	4.2	3.3	4.5	4.5	3.3
			160	A252	3.3	3.3	3.3	3.7	3.7	3.7	4.0	4.0	3.8	4.2	4.2	3.8
1.5 hr		140	A193	3.5	3.5	2.6	3.8	3.6	2.6	4.1	3.6	2.7	4.1	3.6	2.7	
		170	A252	3.2	3.2	3.2	3.6	3.6	3.2	3.9	3.9	3.3	4.1	4.1	3.3	
2 hr		150	A193	3.4	3.0	2.3	3.5	3.1	2.3	3.5	3.1	2.4	3.5	3.1	2.4	
		180	A252	3.1	3.1	2.8	3.5	3.5	2.8	3.8	3.8	2.9	4.1	3.9	2.9	
1 Line of Temporary props	Double span slab	1 hr	130	A393	4.6	4.1	3.2	4.7	4.2	3.3	4.8	4.3	3.3	4.8	4.3	3.4
			160	2xA252	5.0	4.5	3.6	5.1	4.6	3.7	5.2	4.7	3.7	5.2	4.7	3.8
		1.5 hr	140	A393	4.1	3.7	2.9	4.1	3.7	2.9	4.2	3.8	2.9	4.2	3.8	3.0
			170	2xA252	4.3	3.9	3.1	4.4	4.0	3.2	4.5	4.1	3.2	4.5	4.1	3.3
		2 hr	150	A393	3.7	3.3	2.6	3.7	3.4	2.6	3.8	3.4	2.7	3.8	3.4	2.7
			180	2xA252	3.9	3.5	2.8	3.9	3.6	2.9	4.0	3.6	2.9	4.0	3.6	2.9

بطور کلی برای بارهای متعارف ساختمانی تا دهانه ۳ متر را براحتی جوابگوست.

# Multideck 60 مقطع



Gauge = 0.9, 1.0, 1.1 & 1.2mm

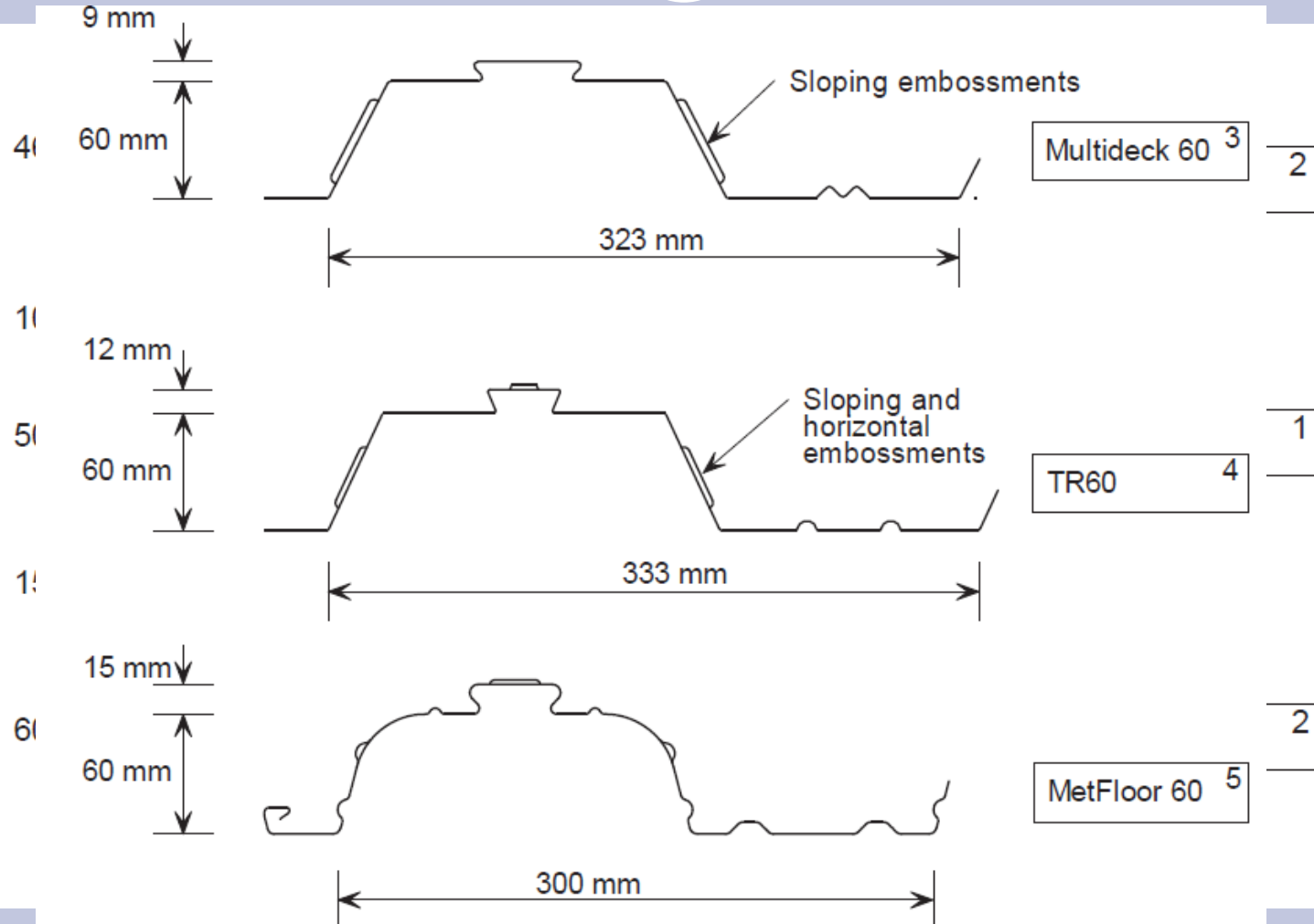
Maximum length: 12 metres

## Section Properties per Metre Width

Normal Thickness (mm)	Self Weight		Height to Neutral Axis	Second Moment of Area (cm <sup>4</sup> /m)	Steel Area (mm <sup>2</sup> /m)	Ultimate Moment Capacity (kNm/m)	
	(kg/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	Sagging			Sagging	Hogging
0.90	9.34	0.092	39.40 mm	81.00	1137.87	7.09	6.95
1.00	10.37	0.102	36.60 mm	91.83	1270.18	8.41	8.06
1.10	11.41	0.112	35.00 mm	102.70	1402.49	9.72	9.15
1.20	12.45	0.122	35.00 mm	112.30	1534.80	11.01	10.22



# دیگر مقاطع



# استفاده از نرم افزار طراحی ورق کنگره دار بجای جداول بار گذاری

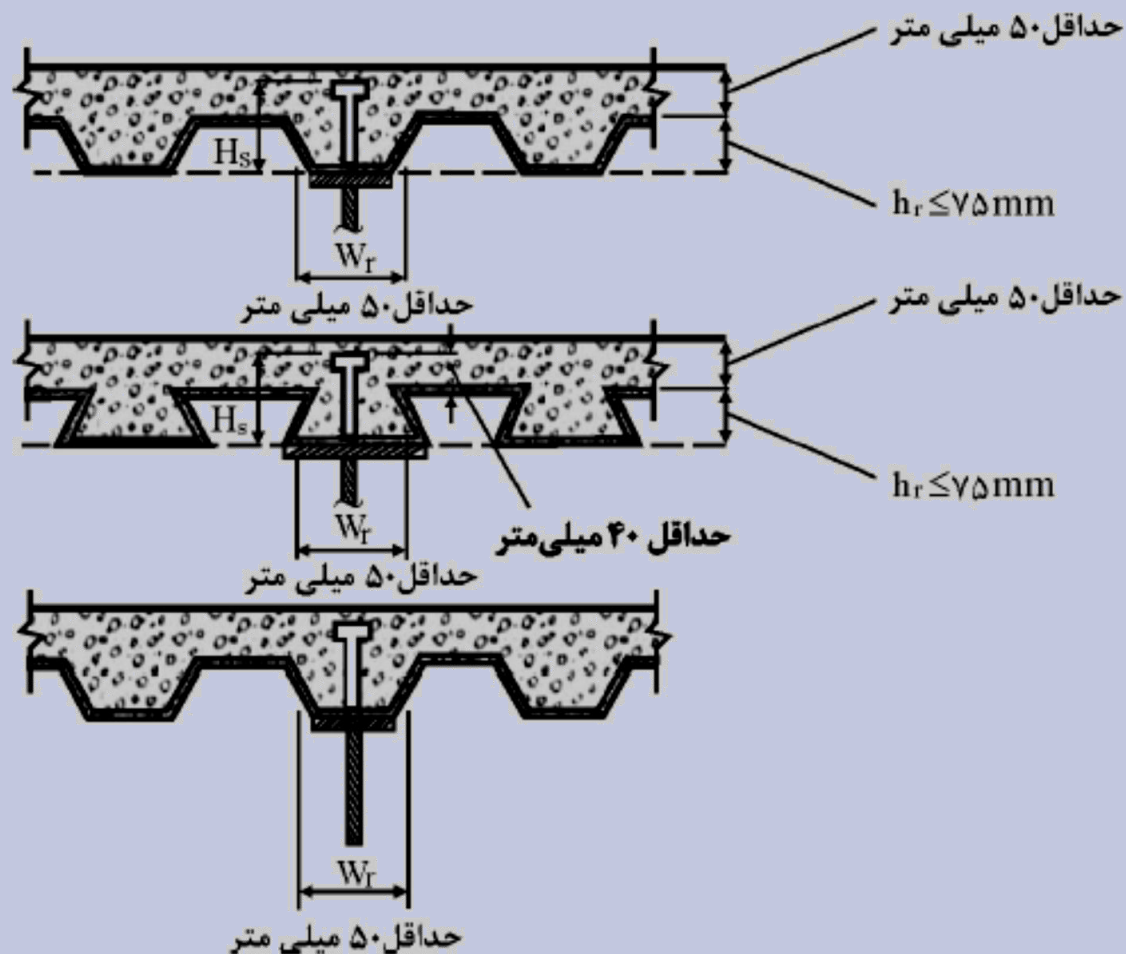
The screenshot displays the ComFlor 9.0.33.0 software interface. The main window features a central 3D model of a composite steel decking section with a concrete slab on top and steel beams below. The software is branded with 'st steel&tube STRONGER IN EVERYWAY' and 'ComFlor Composite Steel Decking Design Software'. The interface includes a menu bar (File, Options, Analysis, Help) and a toolbar with icons for file operations and printing. The 'Structure' tab is active, showing a 'Sheeting' section with the following parameters:

- Profile: ComFlor 80
- Span: Profile span type: Double, Deck propping: No Props
- Concrete: Grade: C25/30, Type: Normal Weight, Auto calculate modular ratio: (checkbox)
- Mesh: Mesh (dropdown)

On the right, the 'Cross Section' panel shows a 2D profile of the decking with a '65mesh' label and a dimension of '3.42 m'. At the bottom, a table displays design results for different stages:

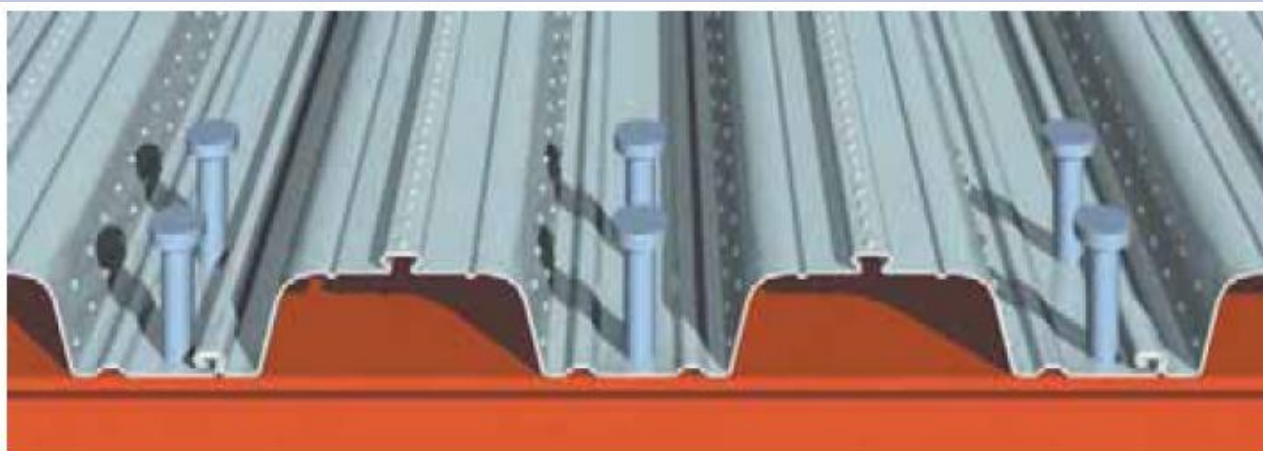
CONSTRUCTION STAGE	NORMAL STAGE	FIRE	SERVICEABILITY	MAX. UNITY FACTOR
0.92	0.41	0.83	0.48	0.92

# ملاحظات ورقهای فولادی کنگره‌دار



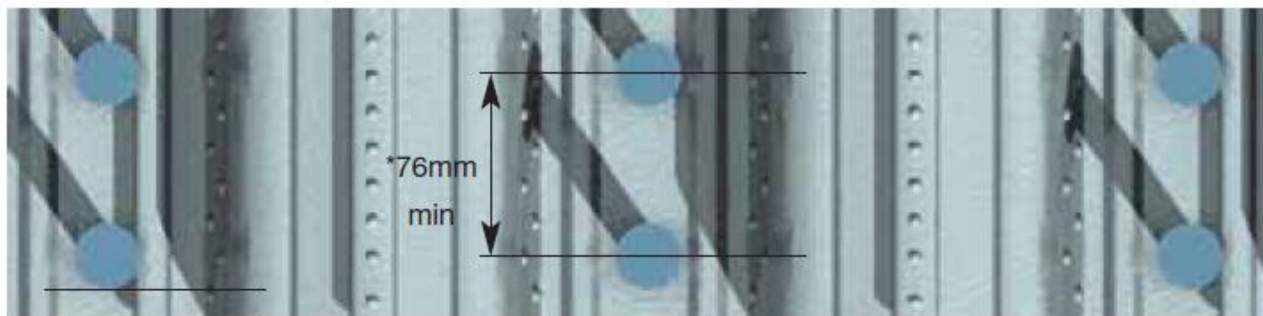


# ملاحظات ورقهای فولادی کنگره‌دار



Central studs

\*76mm = 4d for 19mm studs



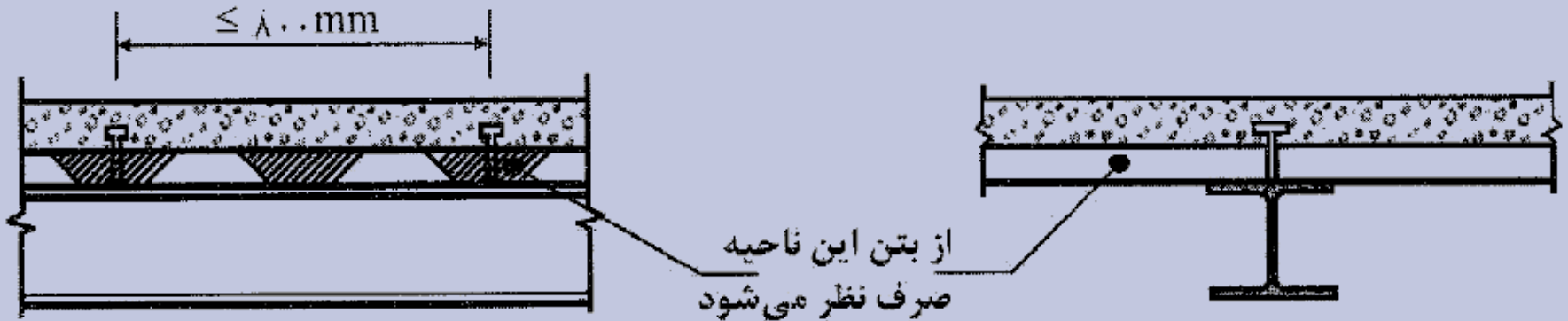
\*76mm  
min

↑ 25mm min, edge of stud to edge of beam

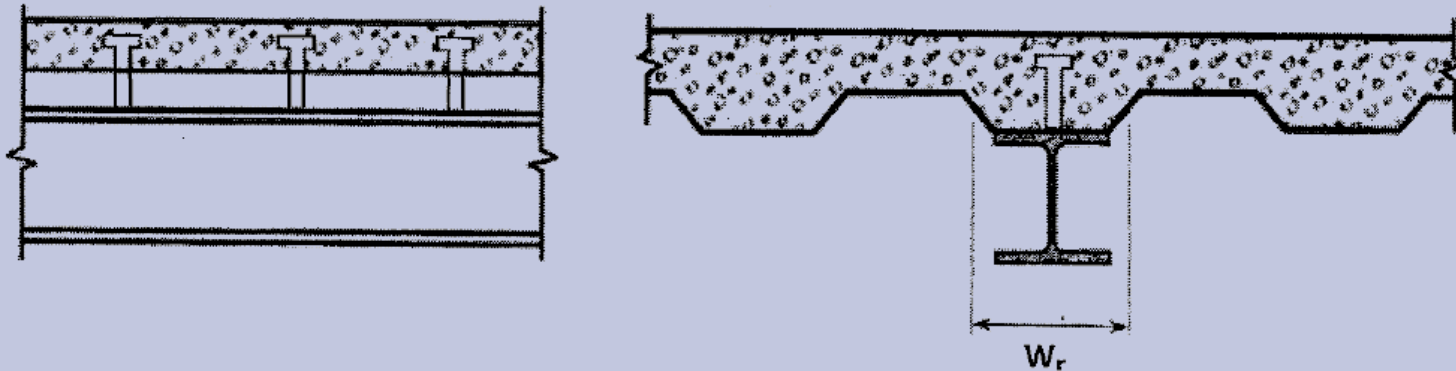
# جهت ورقهای کنگره‌دار



- اگر کنگره‌ها عمود بر جهت تیر باشند از بتن داخل کنگره‌ها در محاسبات صرف‌نظر می‌شود.



- اگر کنگره‌ها موازی جهت تیر باشند، می‌توان از بتن داخل کنگره‌ها نیز در محاسبات استفاده کرد.



# مزایای سقف کامپوزیت عرشه فولادی



- در سقفهای کامپوزیت بتن و فولاد بصورت ترکیبی با هم کار می کنند و این باعث می شود سختی سقف بالا رفته ، وزن و هزینه آن کاهش یابد.
- امکان پوشش دهانه های بلند با ضخامت کمتر سقف فراهم می شود.
- با توجه به عدم شمع بندی سقف در حین اجرا امکان اجرای چندین سقف بصوت همزمان وجود دارد.
- سرعت اجرای سازه بیش از سایر سیستمهای سقف می باشد.

# معایب سقف کامپوزیت عرشه فولادی



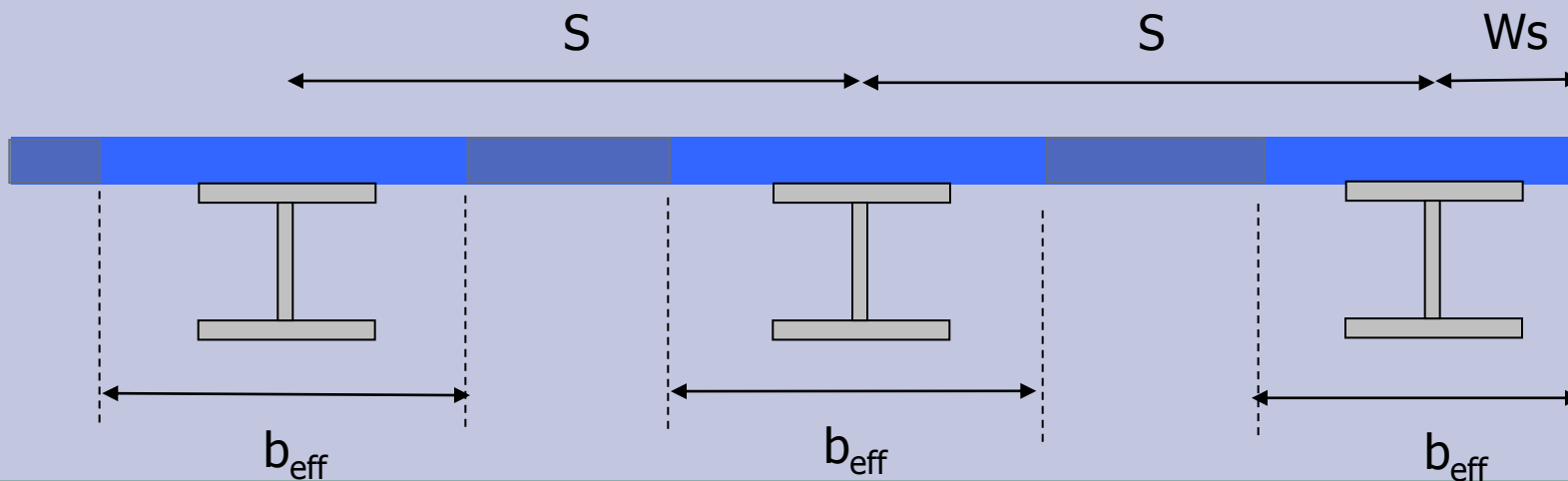
- سختی کمتر نسبت به سیستم دال بتنی
- آلودگی صوتی ورقهای کنگره‌دار در حین اجرا
- عدم مهار جانبی بال تحتانی تیرهای فولادی
- نیاز به سقف کاذب در سطح زیرین
- نیاز به تخصص اجرایی بیشتر نسبت به سیستم‌های سنتی اجرای سقف

# محاسبات خمشی سقف کامپوزیت



- در این بخش نحوه محاسبات تیرهای مختلط فولاد و بتن به روش LRFD مورد بحث قرار می‌گیرد.
- عرض مؤثر دال بتنی که در هر طرف تیر با آن بصورت مختلط عمل می‌نماید برابر است با:

$$b_{eff} = \min\left(\frac{L}{8}, \frac{S}{2}, W_s\right)$$



# مقاومت خمشی مقطع مختلط



- مقاومت خمشی تیر مختلط بر حسب لاغری جان در دو حالت مورد بررسی قرار می‌گیرد:

$$\frac{h}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 111 \quad \bullet \text{ جان فشرده}$$

در این حالت مقاومت خمشی بر اساس مقاومت پلاستیک مقطع محاسبه می‌شود.

$$\frac{h}{t_w} > 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 111 \quad \bullet \text{ جان غیرفشرده و لاغر}$$

در این حالت مقاومت خمشی مقطع بر اساس مقاومت حد تسلیم مقطع محاسبه می‌شود.

- کلیه پروفیل‌های نورد شده دارای جان فشرده می‌باشند و جزء دسته اول قرار می‌گیرند. در ادامه نحوه محاسبه مقاومت خمشی پلاستیک مقطع

کامپوزیت مورد بررسی قرار می‌گیرد.

# مقاومت در حین اجرا

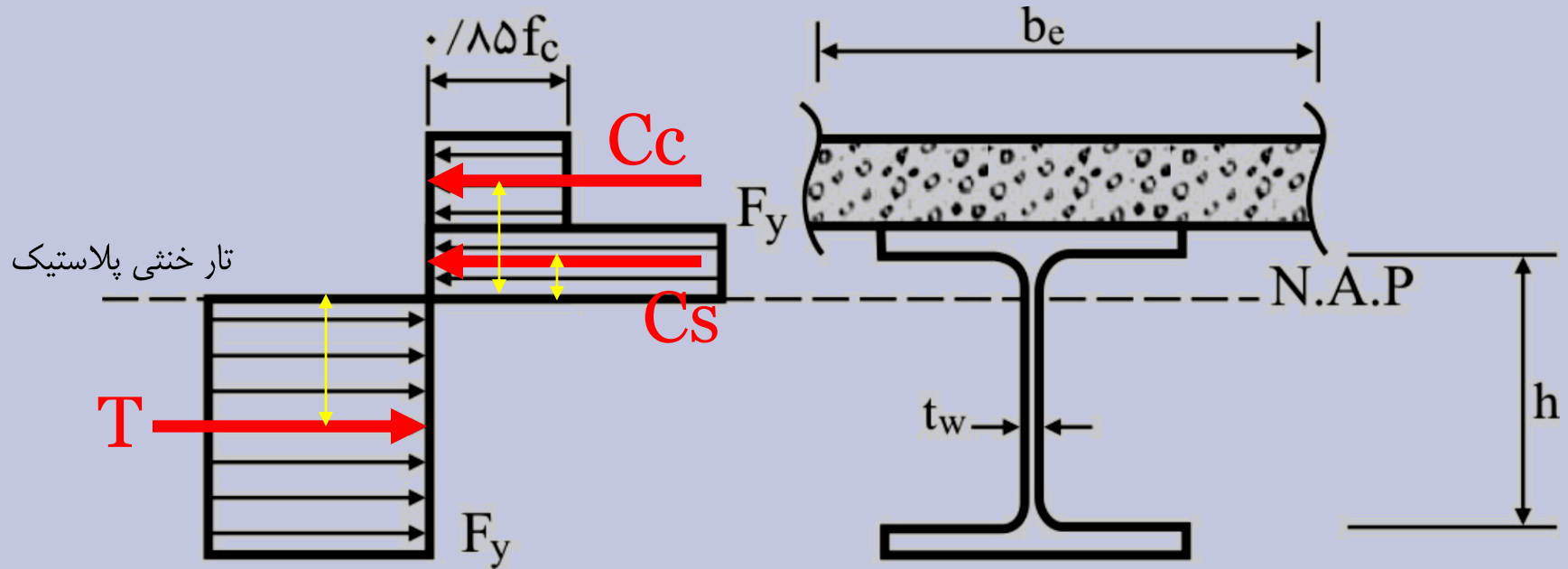


- قبل از گیرش بتن دال ، تیر فولادی به تنهایی بارهای وارده را تحمل می کند. در این حالت بایستی مقاومت خمشی تیر فولادی تنها در برابر وزن بار بتن خیس کنترل شود. نحوه کنترل تیر در این مرحله مشابه طرح خمشی تیرهای فولادی می باشد.

- با توجه به اتصال عرشه فولادی به بال فوقانی تیر معمولاً تیر فولادی دارای تکیه گاه جانبی می باشد. در این صورت:  
$$M_u \leq \phi M_n$$

$$\phi M_n = 0.9 \times Z \times F_y$$

# مقاومت خمشی پلاستیک مقطع کامپوزیت



$$T = C_s + C_c \Rightarrow N.A.P.$$

$$M_n = \sum F_i y_i$$

• تار خنثی پلاستیک از تعادل افقی مقطع بدست می آید:

• مقاومت خمشی اسمی از لنگرگیری حول تارخنثی پلاستیک بدست می آید:

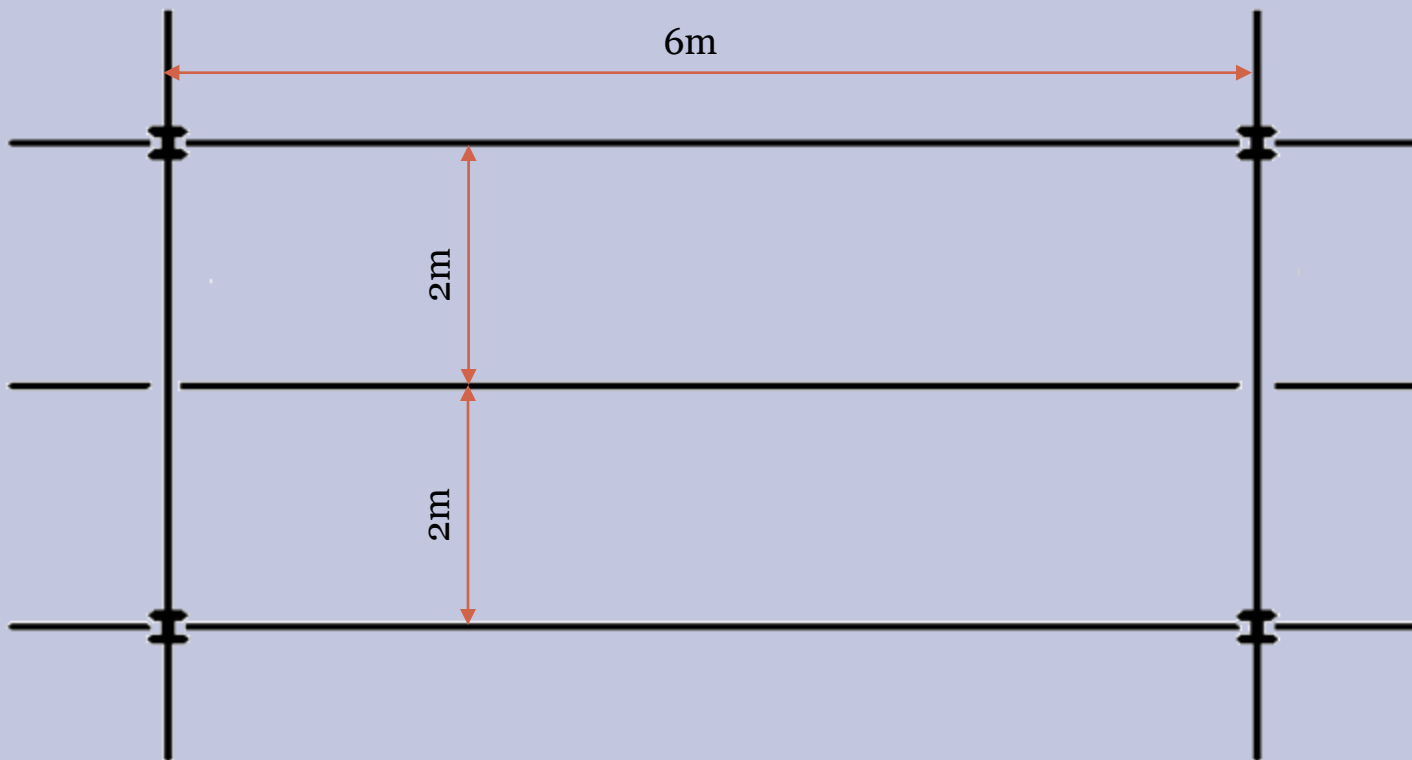


## مثال: تیر عرشه فولادی به دهانه ۶ متر



- يك تیر کامپوزیت به دهانه ۶ متر و فواصل تیرهای فرعی ۲ متر در نظر بگیرید.

- بار کف سازی ۳۰۰ کیلوگرم بر متر مربع و بار زنده ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مربع می باشد.



## مثال: تیر عرشه فولادی به دهانه ۶ متر



• بار نهایی در واحد طول تیر کامپوزیت برابر است با:

$$q_u = (1.2 \times (300 + 200) + 1.6 \times 200) \times 2m = 1840 \frac{kg}{m}$$

از وزن ورق کنگره‌دار و وزن تیر صرف‌نظر شده است.

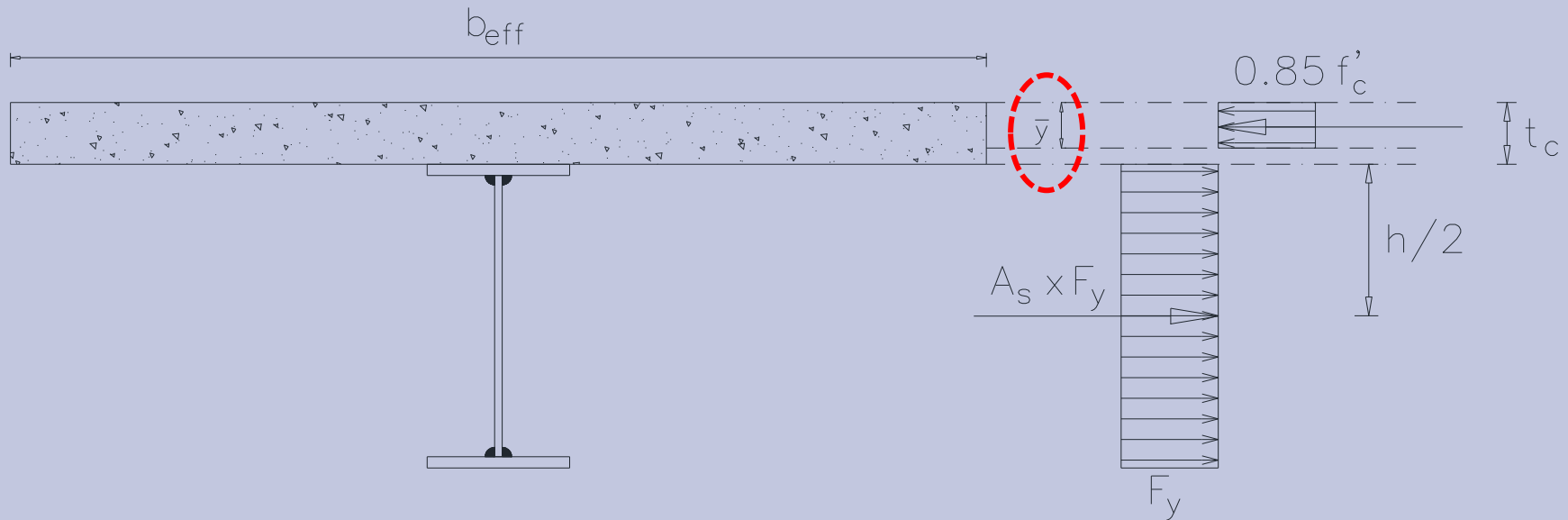
$$M_u = \frac{q_u l^2}{8} = \frac{1840 \times 6^2}{8} = 8280 \text{ kg.m}$$

• لنگر خمشی نهایی برابر است با:

$$b_{eff} = 2 \times \min\left(\frac{6}{8}, \frac{2}{2}\right) = 2 \times 0.75 = 1.5m$$

• عرض مؤثر دال برابر است با:

# مثال: تیر عرشه فولادی به دهانه ۶ متر



• عمق بتن تحت فشار برای ایجاد تعادل با نیروی کششی با فرض اینکه کل تیر در کشش است برابر است با:

$$y = \frac{A_s F_y}{0.85 f'_c b_{eff}}$$

## مثال: تیر عرشه فولادی به دهانه ۶ متر



- يك فرمول تقريبي براي حدس اوليه مقطع تير در سيستم عرشه فولادي:

$$h(cm) = 5.5\sqrt{M_u (t.m)} = 5.5\sqrt{8.28} = 15.8$$

- مقطع تير را در حدس اوليه IPE160 در نظر مي گيريم. بتن رده C25 مي باشد.

$$A_s = 20.1 \text{ cm}^2$$

$$y = \frac{20.1 \times 2400}{0.85 \times 250 \times 150} = 1.5 \text{ cm}$$

با توجه به اينکه عمق بدست آمده کوچکتر از ضخامت دال است بنابراین فرض اوليه (که کل تير در کشش است) صحيح مي باشد.

## مثال: تیر عرشه فولادی به دهانه ۶ متر



• مقاومت خمشی اسمی تیر برابر است با:

$$M_n = A_s F_y \times \left( \frac{h}{2} + t_c - \frac{\bar{y}}{2} \right)$$
$$= 20.1 \times 2400 \times \left( \frac{16}{2} + 12 - \frac{1.5}{2} \right) = 928620 \text{ kg.cm}$$

• کنترل مقاومت خمشی

$$\phi M_n = 0.9 \times 9286 = 8357 \text{ kg.m} > 8280 \text{ OK}$$

## مثال: تیر عرشه فولادی به دهانه ۶ متر



- کنترل مقاومت خمشی تیر فولادی تنها در حین اجرا:

$$M_n = ZF_y = 124 \times 2400 = 2976 \text{ kg.m}$$

- محاسبه لنگر خمشی نهایی در حین اجرا:

$$M_u = \frac{(200 \times 2 \times 1.4) \times 6^2}{8} = 2520 \text{ kg.m}$$

- کنترل مقاومت خمشی:

$$\phi M_n = 0.9 \times 2976 = 2678 \text{ kg.m} > 2520 \text{ OK}$$

# طرح برشی تیر کامپوزیت



• فرض می‌شود تیر فولادی تنها در برابر برش مقاومت می‌کند:

$$V_n = 0.6F_y A_w = 1440 \times 16 \times 0.5 = 12520 \text{ kg}$$

• محاسبه نیروی برشی نهایی:

$$V_u = \frac{1840 \times 6}{2} = 5520 \text{ kg}$$

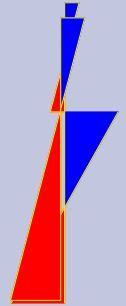
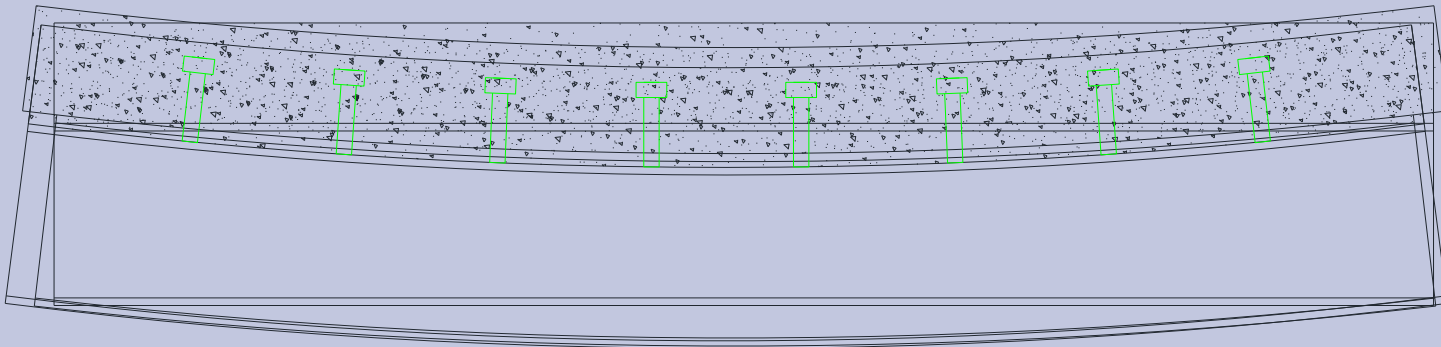
• کنترل مقاومت برشی:

$$\phi V_n = 0.9 \times 12520 = 11268 \text{ kg} > 5520 \text{ OK}$$

# طرح برشگیرها در تیر کامپوزیت



- يك تير فولادي با دال بتني فوقاني در نظر بگيريد.

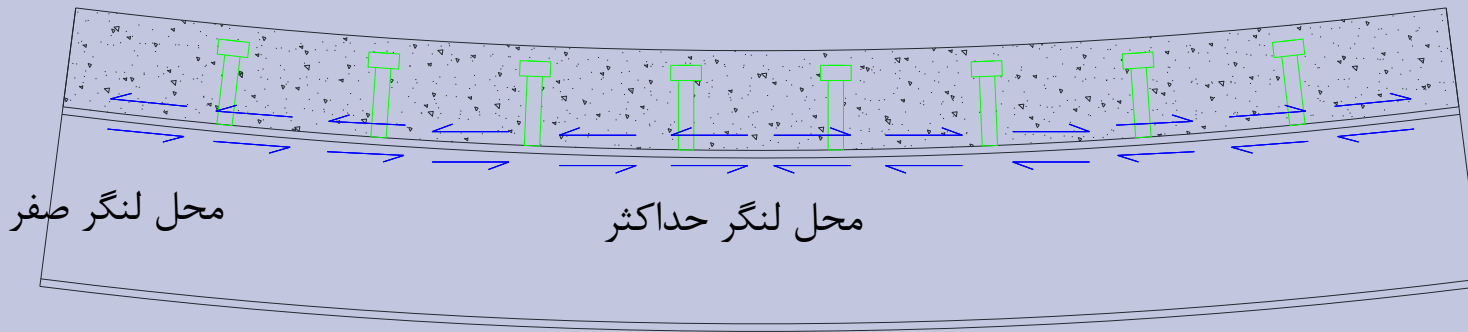


- در واقع برشگیرها عامل اصلي در ايجاد عملکرد مختلط بين فولاد و بتن هستند.

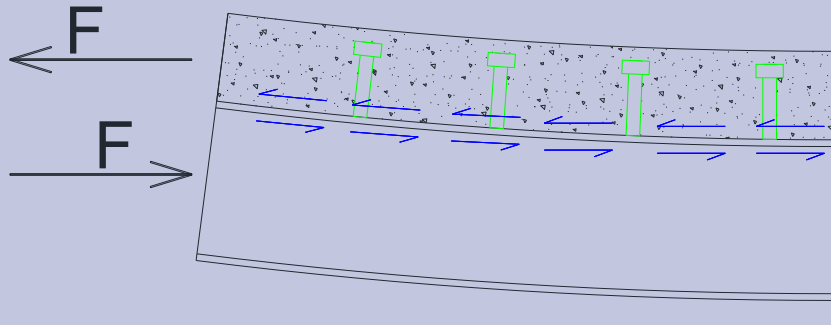


# طرح برشگیرها در تیر کامپوزیت

نیروی برشی بین سطح بتن و فولاد در محل لنگر حداکثر تغییر جهت می دهد.



بنابراین می توان نصف تیر را بصورت زیر تصور نمود:



حداکثر نیروی  $F$  به مقاومت حداکثر بتن

یا مقاومت حداکثر فولاد محدود می شود.

# مثال طرح برشگیرها در تیر کامپوزیت



- مقاومت يك برشگیر به قطر ۱۹ میلیمتر و طول ۱۰ سانتی متر طبق رابطه مبحث ۱۰ برابر است با:

$$Q_n = 0.5 A_{sa} \sqrt{f_c E_c} \leq R_g R_p A_{sa} F_u$$
$$= 1 \times 0.6 \times 2.83 \times 4500 = 7641 \text{ kg}$$

- حداکثر نیروی  $F$  یا نیروی برشی افقی برابر است با:

$$V_h = \min(0.85 f_c' b_{eff} t_c, A_s F_y)$$
$$= \min(0.85 \times 250 \times 150 \times 6, 23.9 \times 2400)$$
$$= \min(191250, 57360) = 57360 \text{ Kg}$$

- تعداد برشگیر لازم در طول نصف تیر برابر است با:

$$n = \frac{V_h}{Q_n} = \frac{57360}{7641} = 7.5$$

# کنترل‌های حالت حدی بهره‌برداری



در حالت حدی بهره‌برداری کنترل‌های زیر انجام می‌شود:

- کنترل خیز بار زنده
- کنترل ارتعاش
- محاسبه خیز منفی یا خیز بار مرده

# کنترل خیز بار زنده



برای کنترل خیز بار زنده ابتدا بایستی ممان اینرسی دوم مقطع کامپوزیت محاسبه شود. برای این کار از تئوری مقاطع دوجنسی استفاده می شود.

ضریب  $n$  به شکل زیر تعریف می شود:

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

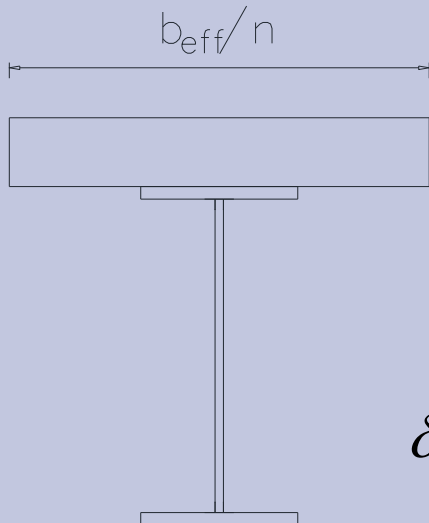
مقطع معادل از تقسیم عرض مؤثر دال بتنی به ضریب  $n$  بدست می آید:

حال بایستی ممان اینرسی دوم این مقطع را محاسبه کنیم و بر اساس آن

خیز ناشی از بار زنده را محاسبه کنیم.

فرمول خیز ناشی از بار گسترده روی تیر دوسر مفصل:

$$\delta_L = \frac{5q_L l^4}{384E_s I_{eq}}$$



## مثال کنترل خیز بار زنده



$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2.1 \times 10^6}{2.5 \times 10^5} = 8.4 \Rightarrow use \quad n = 8$$

برای مثال قبلی داریم:

تارخنی مقطع معادل را نسبت به تار تحتانی محاسبه می‌کنیم:

$$y = \frac{150/8 \times 6 \times 25 + 20.1 \times 8}{150/8 \times 6 + 20.1} = 22.4$$

دقت کنید از قسمت کنگره‌های دال بتنی بعلت پیوسته نبودن در طول تیر صرف‌نظر شده است.

$$I_{eq} = 869 + 20.1 \times (22.4 - 8)^2 + \frac{150/8 \times 6^3}{12} + 150/8 \times 6 \times (25 - 22.4)^2$$
$$= 6135 \text{ cm}^4$$

$$\delta_L = \frac{5q_L l^4}{384E_s I_{eq}} = \frac{5 \times 4 \times 600^4}{384 \times 2.1 \times 10^6 \times 6135} = 0.52 \text{ cm}$$

## مثال کنترل خیز بار زنده



مقدار خیز مجاز بار زنده نسبت به طول دهانه تیر تعریف می شود. این مقدار طبق ضوابط مبحث دهم برابر طول دهانه تقسیم بر ۳۶۰ می باشد:

$$\frac{L}{360} = \frac{600}{360} = 1.67 \text{ cm} > 0.52 \text{ cm} \quad OK$$

# کنترل خیز بار مرده



در تیرهای مختلط دو دسته بارهای مرده تعریف می‌شوند:

- بارهای مرده گروه اول شامل: وزن تیر ، ورقهای کنگره‌دار و وزن بتن خیس

- بارهای مرده گروه دوم شامل: وزن کف‌سازی و سقف کاذب

بارهای مرده گروه اول به تیر فولادی تنها وارد می‌شوند و خیز آنها نیز بر اساس مشخصات مقطع فولادی تنها محاسبه می‌گردد.

بارهای مرده گروه دوم به مقطع کامپوزیت وارد می‌شوند. در این حالت با توجه به وجود فشار دائمی داخل بتن دال ، پدیده خزش اتفاق افتاده و

خیز درازمدت ناشی از این بارها خواهیم داشت.

# نحوه محاسبه اثرات خزش



محاسبه دقیق اثرات خزش کار پیچیده است.

در روشهای تقریبی که مورد تأیید آیین نامه ها نیز می باشد بجای محاسبات دقیق ، برای در نظر گرفتن اثرات خزش از ضریب  $3n$  در محاسبات

ممان اینرسی دوم مقطع معادل بجای ضریب  $n$  استفاده می شود.

خیز بدست آمده از این روش مجموع خیز کوتاه مدت و بلندمدت ناشی از بارهای مرده گروه دوم می باشد



## مثال محاسبه خیز بار مرده



خیز بار مرده گروه اول برابر است با:

$$\delta_D = \frac{5q_D l^4}{384E_s I_s} = \frac{5 \times 4 \times 600^4}{384 \times 2.1 \times 10^6 \times 869} = 3.7 \text{ cm}$$

مشخصات مقطع معادل با 3n:

$$y = \frac{150/24 \times 6 \times 25 + 20.1 \times 8}{150/24 \times 6 + 20.1} = 19.07 \text{ cm}$$

$$I_{eq} = 869 + 20.1 \times (19.07 - 8)^2 + \frac{150/24 \times 6^3}{12} + 150/24 \times 6 \times (25 - 19.07)^2$$
$$= 4763 \text{ cm}^4$$

خیز ناشی از بارهای مرده گروه دوم برابر است با:

$$\delta_{SD} = \frac{5q_{SD} l^4}{384E_s I_{3n}} = \frac{5 \times 6 \times 600^4}{384 \times 2.1 \times 10^6 \times 4763} = 1.01 \text{ cm}$$

# کنترل خیز بار مرده



چنانچه خیز بار مرده قبل از اتصال اجزاء غیرسازه‌ای مثل (درب و پنجره و ...) اتفاق افتاده باشد، خیز بار مرده بجز ظاهر نامناسب تأثیر دیگری در عملکرد سازه ندارد.

بنابراین آیین‌نامه‌های مختلف زمانی کنترل خیز بار مرده را الزامی می‌کنند که اجزاء غیرسازه‌ای مستقیماً به سازه اتصال داشته باشند.

برای اینکه از ظاهر نامناسب خیز دوری کنیم می‌توانیم از پیش‌خیز یا خیز منفی استفاده کنیم.

در این حالت قبل از نصب تیر مقداری خیز رو به بالا در تیر ایجاد می‌کنیم تا پس از اعمال بارهای مرده خیز کلی صفر شود. مقدار خیز منفی را

برابر درصدی از مقدار خیز ناشی از بار مرده مرحله اول (۸۰٪) در نظر می‌گیریم.

# کنترل خیز بار مرده



بطور مثال برای مسأله‌ای که طرح کردیم. چنانچه قرار باشد زیر سقف عرشه فولادی از سقف کاذب استفاده شود و ظاهر خیز بار مرده مهم نباشد می‌توانیم از کنترل آن صرف‌نظر کنیم. به شرط اینکه بتوانیم اثرات آن را در نازک‌کاری اصلاح کنیم.

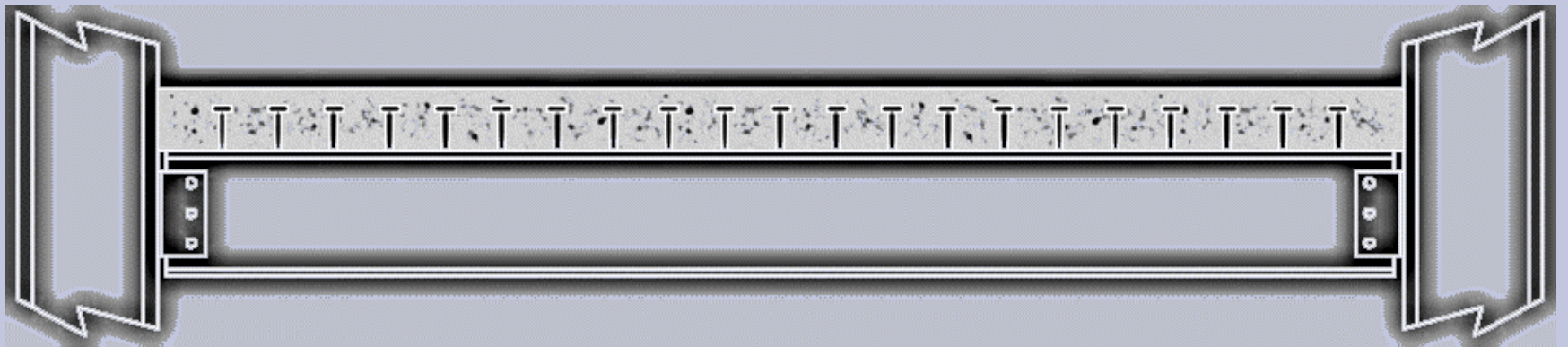
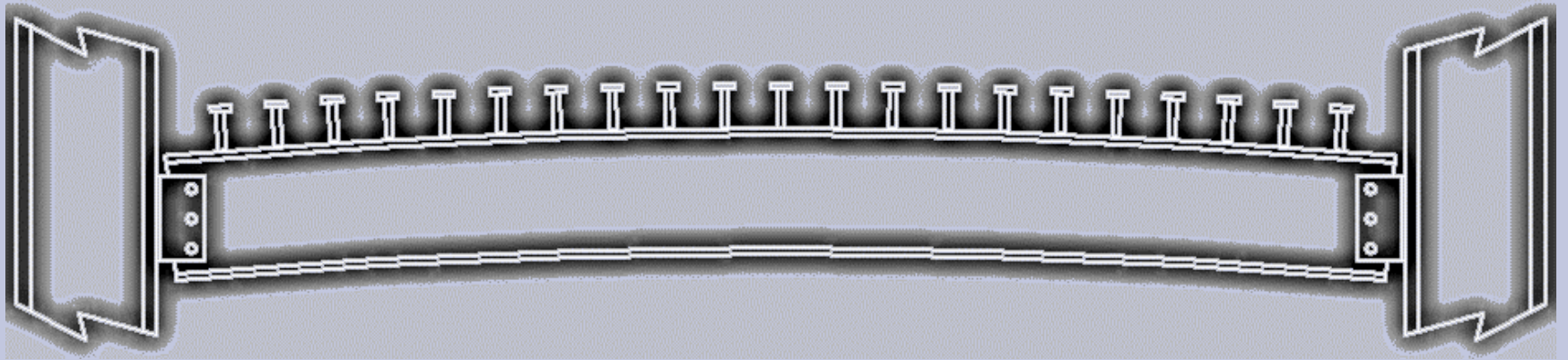
در غیر اینصورت آیین‌نامه مجموع خیز ناشی از بار مرده و زنده را به طول دهانه تقسیم بر ۲۴۰ محدود می‌نماید:

برای حل این مشکل می‌توان خیز منفی ۳ سانتیمتری را قبل از نصب در تیر ایجاد کنیم. در اینصورت:

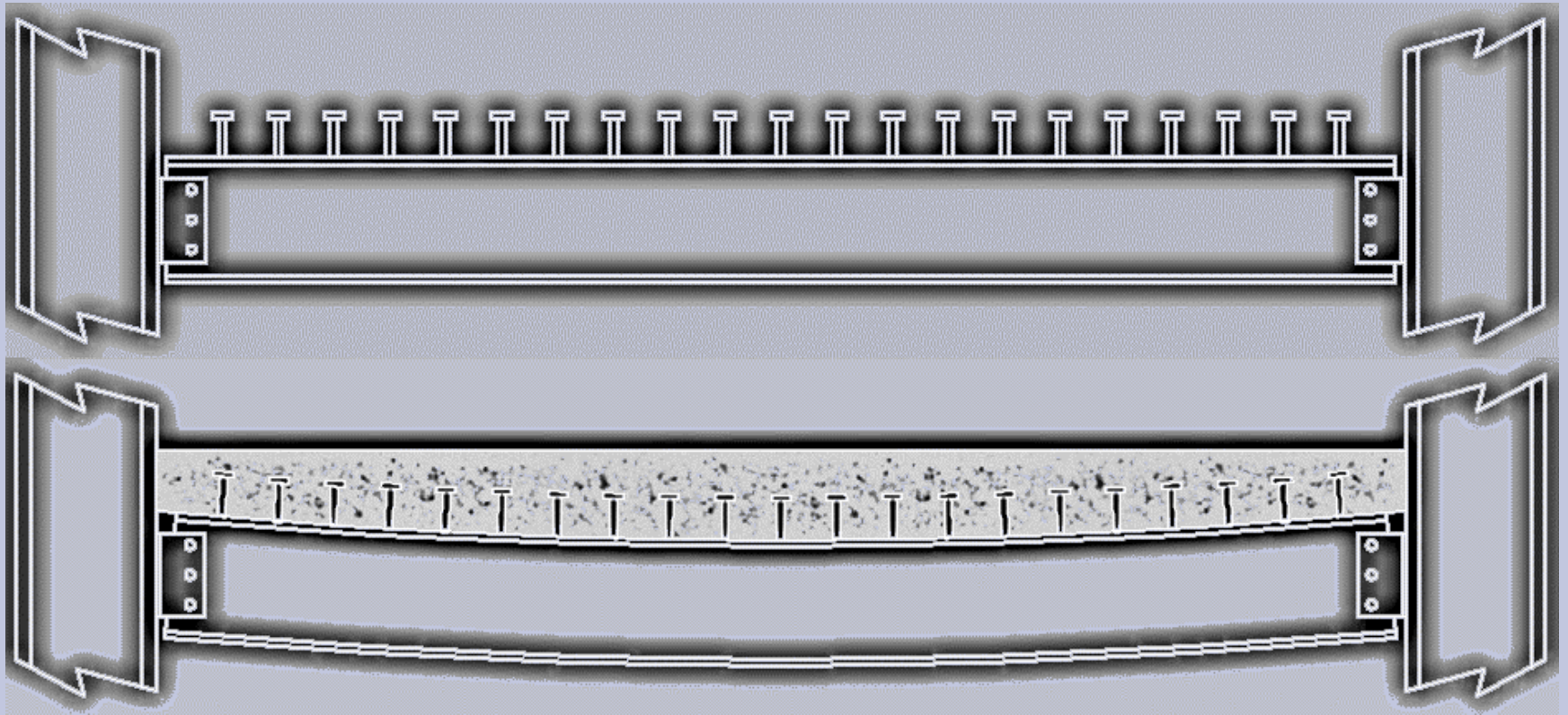
$$\delta = \delta_D + \delta_{SD} + \delta_L = 3.7 + 1.01 + 0.52 = 5.23 > \frac{600}{240} = 2.5 \text{ cm}$$

$$\delta = 5.23 - 3 = 2.23 < 2.5 \text{ cm OK}$$

# مزایای خیز منفی

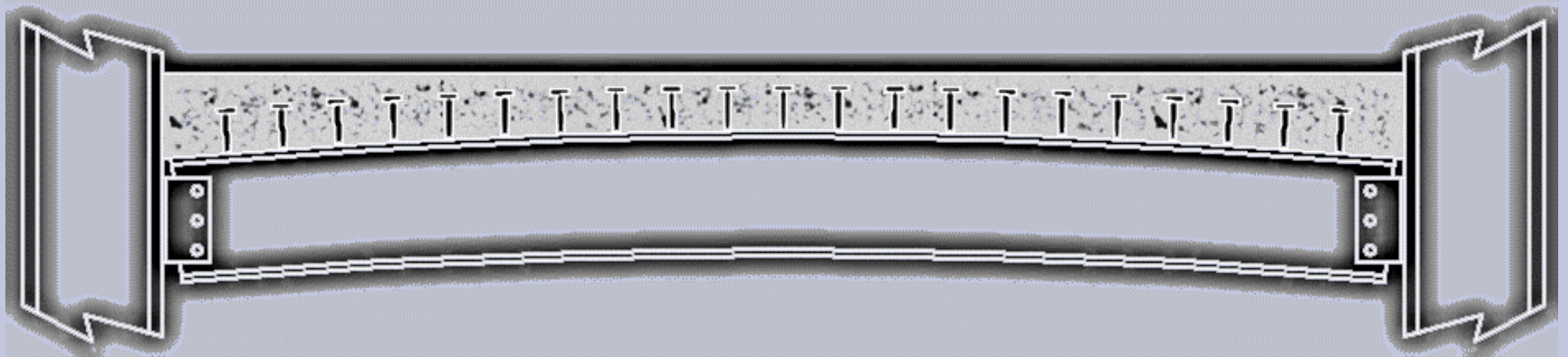
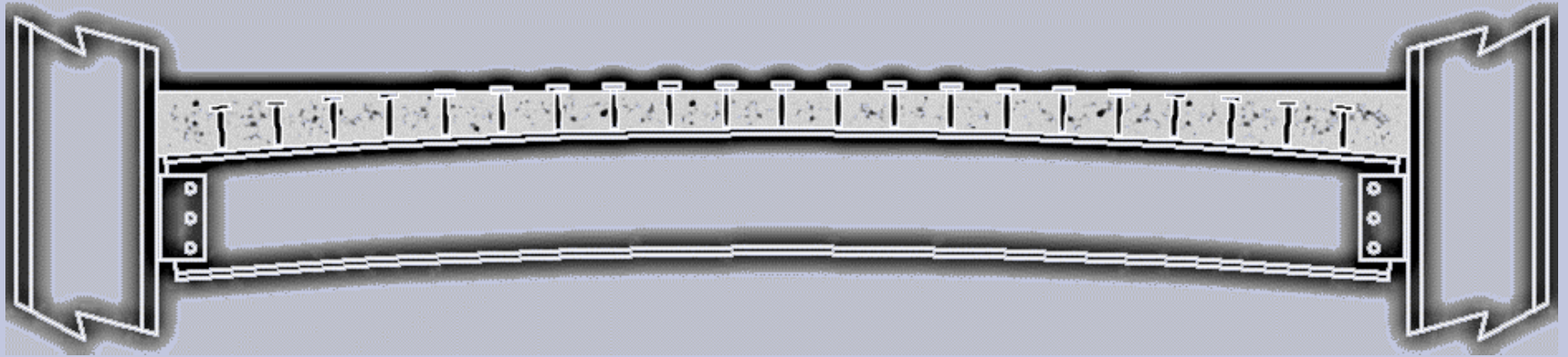


# مزایای خیز منفی



- برای در نظر گرفتن اضافه ضخامت بتن ناشی از خیز تیر، می‌توان ضخامت کلی دال بتنی را به میزان  $0.7\delta$  بیشتر در نظر گرفت.

# معایب خیز منفی اضافی



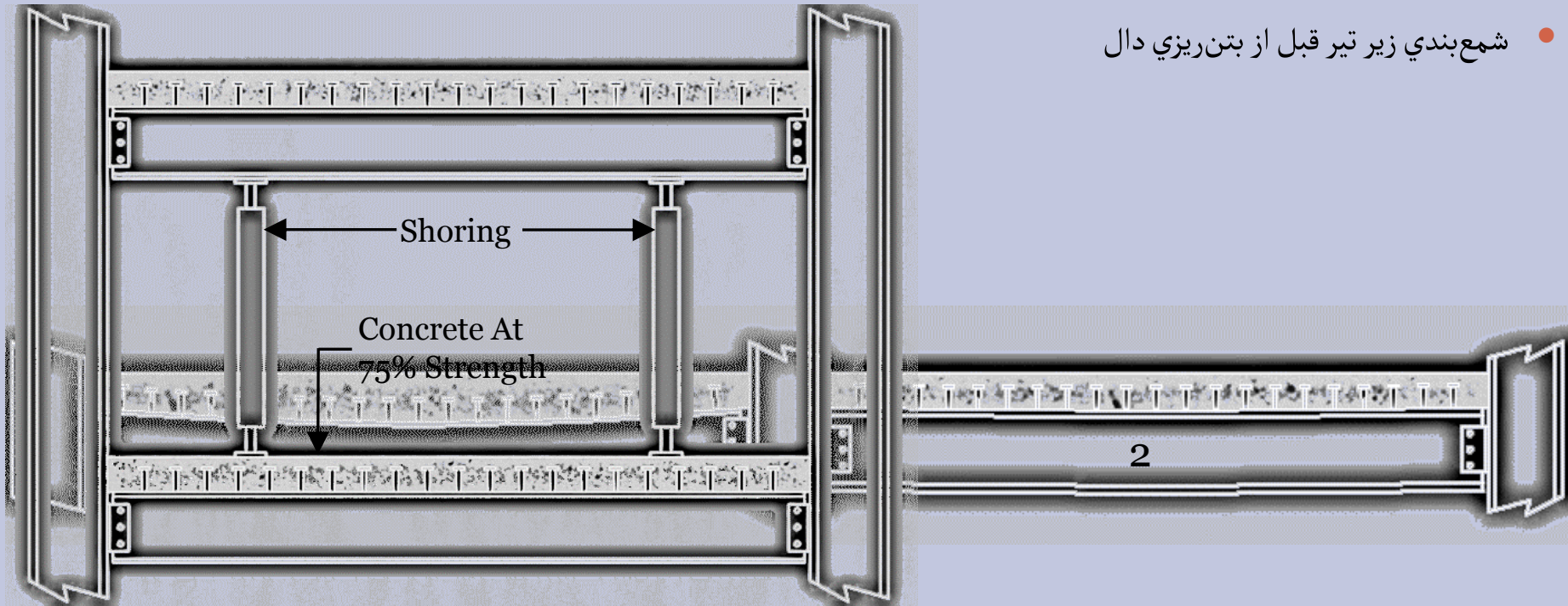
# روشهای جایگزین خیز منفی



- استفاده از دال با ضخامت متغیر روی تیر تغییرشکل یافته و محاسبه اثرات بار اضافی در طرح

- استفاده از تیرهایی با سایز بالاتر برای کنترل خیز اضافی

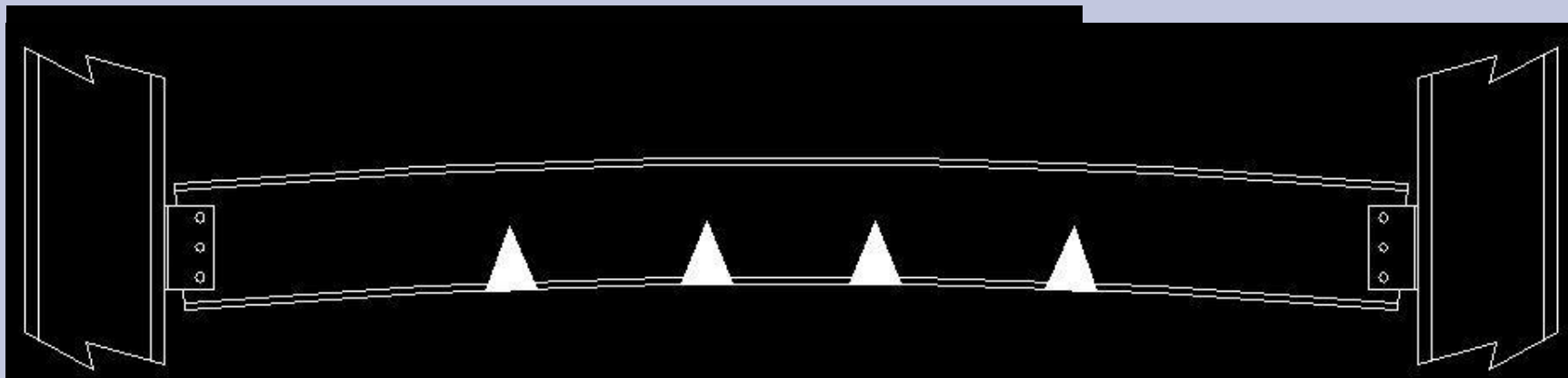
- شمع‌بندی زیر تیر قبل از بتن‌ریزی دال



# نحوه ایجاد خیز منفی



• خیز منفی با استفاده از حرارت دهی





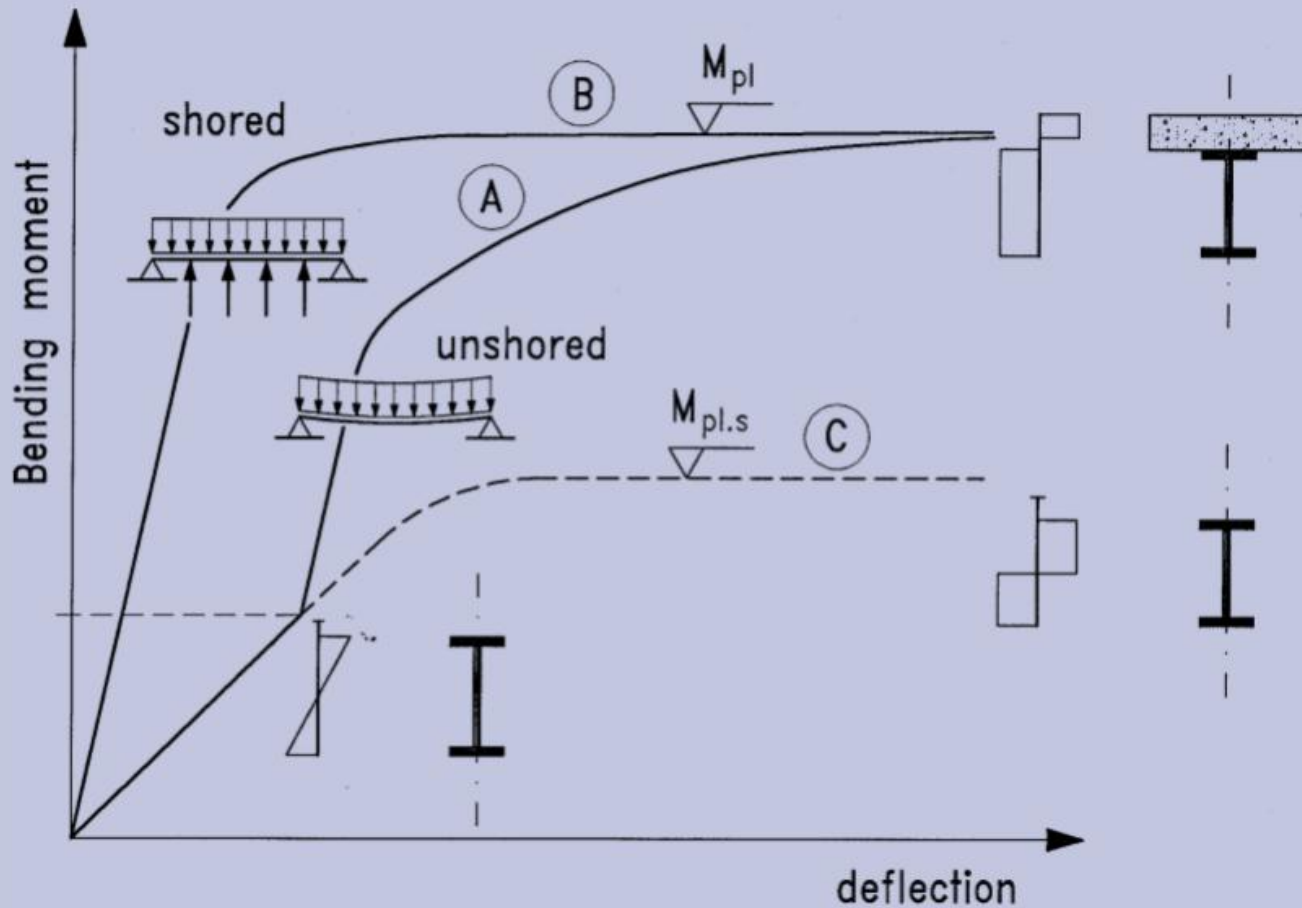
# نحوه ایجاد خیز منفی



• خیز منفي به روش سرد



# اجرای با شمع‌بندی و بدون شمع‌بندی



# عملکرد کامپوزیت ناقص



چنانچه تعداد برشگیرهای قرار گرفته روی تیر کمتر از حد تعیین شده باشد، رفتار تیر کامپوزیت چیزی بین رفتار تیر فولادی تنها و تیر کامپوزیت کامل می باشد. این حالت را عملکرد کامپوزیت ناقص می نامند. این حالت از نظر آیین نامه مورد تأیید می باشد، لیکن بایستی اصلاحاتی در روابط محاسبه مقاومت و خیز انجام داد.

$$I_{\text{eff}} = I_s + \sqrt{\frac{V'_h}{V_h}} (I_{\text{tr}} - I_s)$$

$I_s$  = ممان اینرسی تیر فولادی

$I_{\text{tr}}$  = ممان اینرسی تبدیل یافته مقطع مختلط

$V_h$  = مقاومت برشی افقی مورد نیاز

$V'h$  = مقاومت برشی افقی موجود

$$M_{n.\text{eff}} = M_{n.s} + \sqrt{\frac{V'_h}{V_h}} (M_{n.\text{comp}} - M_{n.s})$$

# کنترل ارتعاش سقف عرشه فولادی



بطور معمول پارامتری که برای کنترل ارتعاش بکار گرفته می‌شود فرکانس طبیعی است. در مبحث دهم مقررات ملی ایران مقدار فرکانس طبیعی حداقل تیر برای کنترل ارتعاش ۵ هرتز در نظر گرفته شده است.

فرکانس طبیعی تیر در مود اول ارتعاشی را می‌توان بطور تقریبی از رابطه زیر محاسبه نمود

$$f = 0.18 \sqrt{\frac{g}{\delta}} = \frac{18}{\sqrt{\delta}}$$

$\delta$  = تغییر مکان حداکثر تیر بر حسب میلیمتر در اثر بار وزن تیر و دال و کف‌سازی با در نظر گرفتن ممان اینرسی مقطع کامپوزیت

بر اساس توصیه SCI با توجه به اینکه تیغه‌ها سختی سازه و میرایی سازه را بالا می‌برند، در محاسبه فرکانس از بار و جرم آنها صرف‌نظر می‌نماییم. ←

# کنترل ارتعاش سقف عرشه فولادی



در مورد مثالی که بررسی شد مقدار تغییر مکان حداکثر تیر در اثر بار وزن مرده و کف سازی برابر است با:

$$\delta = \frac{5q_{D+SD}l^4}{384E_sI_{eq}} = \frac{5 \times 8 \times 600^4}{384 \times 2.1 \times 10^6 \times 6135} = 1.05 \text{ cm}$$

$$f = \frac{18}{\sqrt{\delta}} = \frac{18}{\sqrt{10.5}} = 5.55 > 5 \text{ Hz} \quad OK$$

با توجه به توصیه SCI بار تیغه‌ها (۱۰۰ کیلوگرم بر متر مربع) از بار کف سازی حذف شده و فرکانس ارتعاش تیر محاسبه شده است. ←

# روشهای جدیدتر کنترل ارتعاش



در آیین‌نامه‌های جدیدتر از جمله **SCI P354** و **AISC DG11** بجای کنترل فرکانس ارتعاشی، میزان شتاب حداکثر سازه در حالت ارتعاش کنترل می‌شود.

$$\frac{a_p}{g} = \frac{P_o e^{(-0.35 f_n)}}{\beta W}$$

(DG11 Eqn. 4.1)

Table 4.1  
Recommended Values of Parameters in  
Equation (4.1) and  $a_o / g$  Limits

	Constant Force $P_o$	Damping Ratio $\beta$	Acceleration Limit $a_o / g \times 100\%$
Offices, Residences, Churches	0.29 kN (65 lb)	0.02–0.05*	0.5%
Shopping Malls	0.29 kN (65 lb)	0.02	1.5%
Footbridges—Indoor	0.41 kN (92 lb)	0.01	1.5%
Footbridges—Outdoor	0.41 kN (92 lb)	0.01	5.0%

\* 0.02 for floors with few non-structural components (ceilings, ducts, partitions, etc.) as can occur in open work areas and churches,  
0.03 for floors with non-structural components and furnishings, but with only small demountable partitions, typical of many modular office areas,  
0.05 for full height partitions between floors.

# کنترل ارتعاش سقف عرشه فولادی



نرم افزار ETABS 2015 کنترل ارتعاش سقفهای عرشه فولادی را بر اساس این آیین نامه انجام می دهد.

در این راهنمای طراحی (DG11)، انواع حالات مهم برای ارتعاش سازه ها از جمله ارتعاش در اثر راه رفتن (نوع معمول ارتعاش در ساختمانهای

مسکونی، اداری و تجاری و پلهای عابر پیاده)، ارتعاش ریتمیک (مخصوص سالنهای ورزشی، تکایای مذهبی، سالن تئاتر و رقص و ...) و کنترل

ارتعاش برای سازه های حمال دستگانه های حساس بررسی شده است.

همچنین پارامتر میرایی سازه بین ۱% تا ۵% در این راهنما مد نظر قرار گرفته است.



از توجه شما متشکرم