معرفی و طراحی سقف عرشه فولادی

برگزار کننده: کمیته آموزش نظام مهندسی ساختمان استان قم

مدرس:

دکتر احسان دهقاني

عضو هيأت علمي گروه عمران

دانشكده فني و مهندسي دانشگاه قم

سرفصل مطالب

- آشنايي با سيستم سازه‌اي سقف كامپوزيت
- معيارهاي مقاومت و نحوه محاسبه و كنترل آنها
- معيارهاي بهره‌برداري و نحوه محاسبه و كنترل آنها
- حل يك مثال در خلال طرح مطالب

مزایای سقف عرشه فولادی

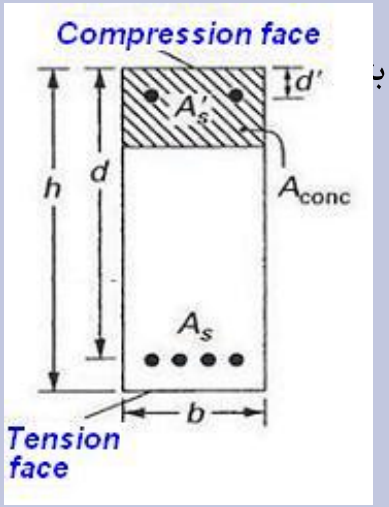


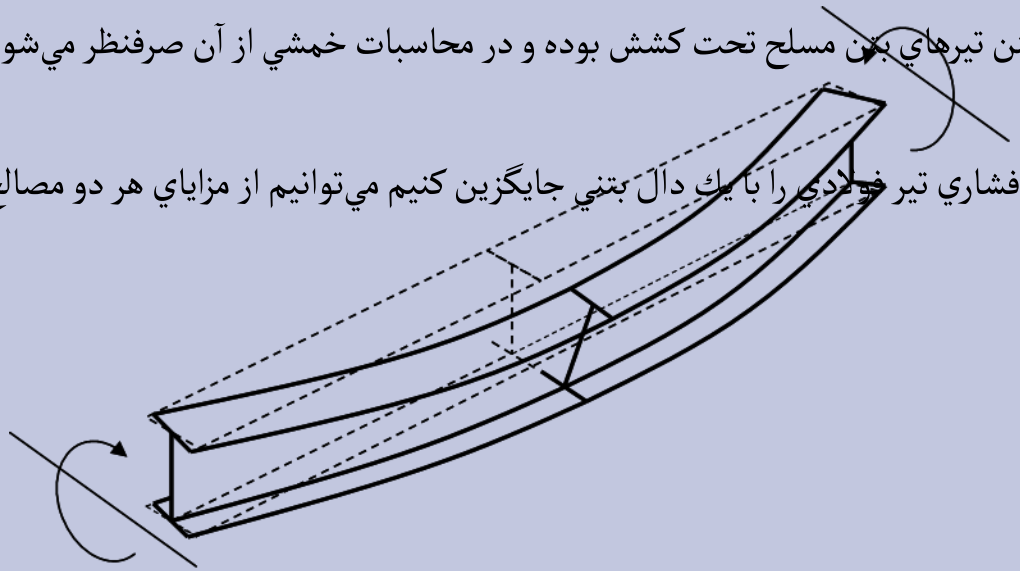
- افزايش سرعت در اجرا
- افزايش ايمني در حين اجراي سقف
- كاهش وزن سازه
- كاهش هزينه‌هاي حمل و نقل مصالح
- پايداري سازه‌اي هم در بارهاي ثقلي و هم در بارهاي جانبي
- قابليت بازيافت مصالح فولادي
- راحتي عبور و نصب تأسيسات

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

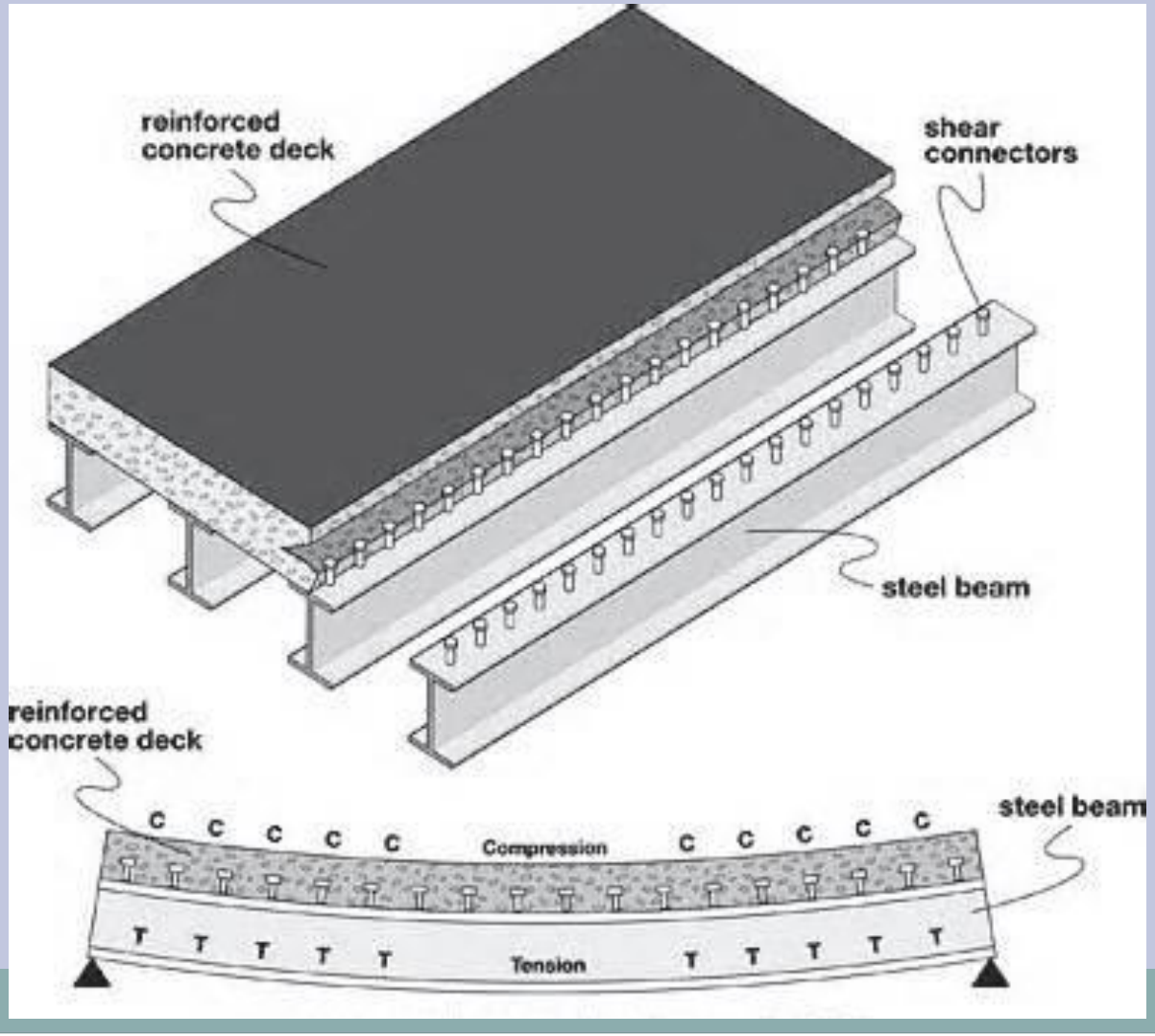
سقف کامپوزیت

- بال فشاري تيرهاي فولادي تحت خمش پتانسيل كمانش پيچشي جانبي را در تير ايجاد مي‌كند.
- تيرهاي بتني در كشش ضعيف هستند.
- بخش زيادي از بتن تيرهاي بتن مسلح تحت كشش بوده و در محاسبات خمشي از آن صرفنظر مي‌شود.
- در صورتيكه بال فشاري تير فولادي را با يك دال بتني جايگزين كنيم مي‌توانيم از مزاياي هر دو مصالح فولاد و ب





سقف کامپوزیت

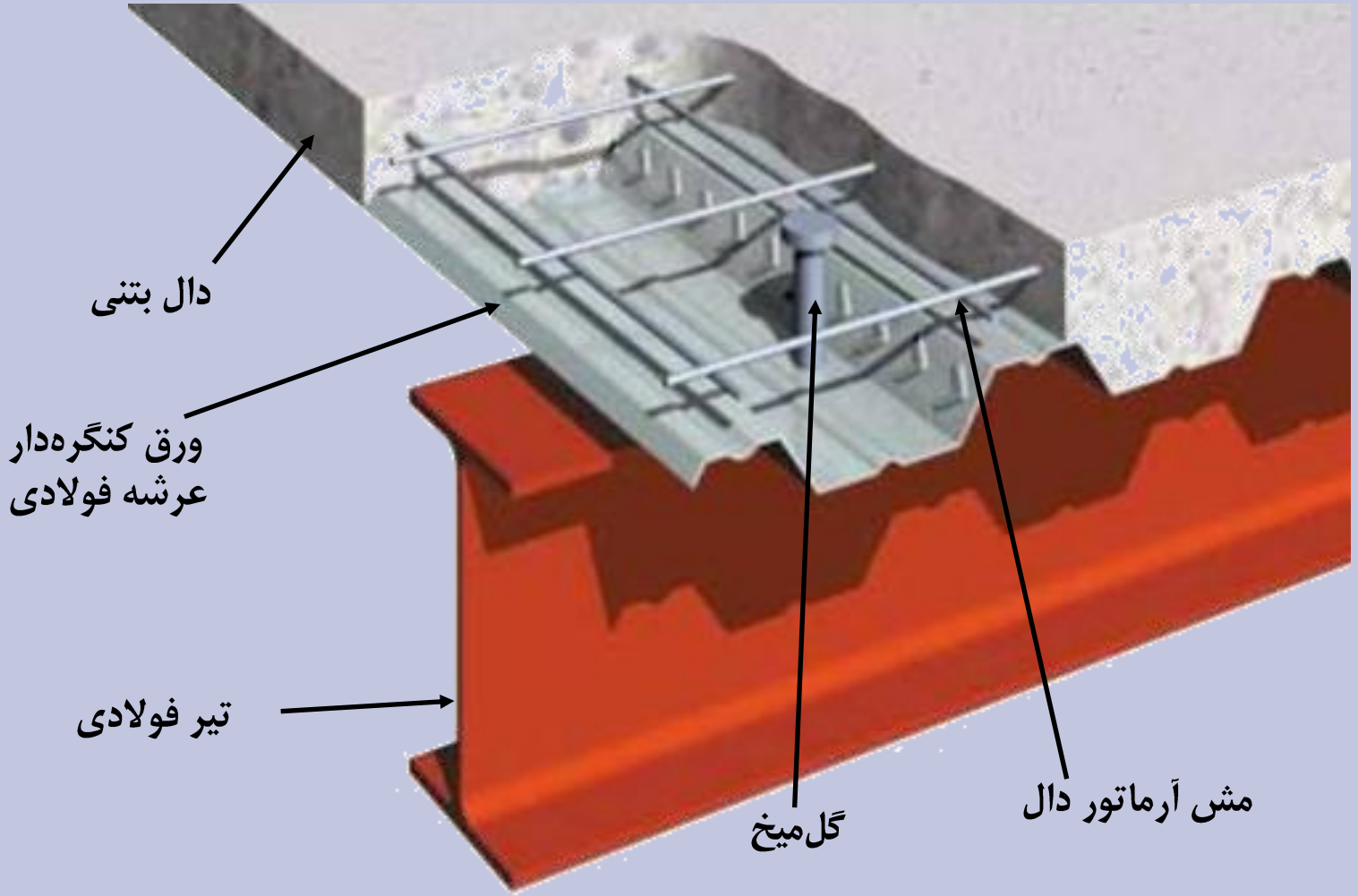


سقف عرشه فولادی



- این سقف در واقع همان سقف کامپوزیت است که در آن از ورق کنگره‌دار فولادي بجاي قالب موقت بتن استفاده شده است. این قالب بعنوان قالب مدفون در سقف باقي مي‌ماند.

اجزاء سقف عرشه فولادی



الزامات گلمیخ و اتصال ورق کنگره‌دار به تیر

- حداکثر قطر گل‌میخ‌ها در سیستم تیر و دال کامپوزیت ۲۰ میلیمتر مي‌باشد.
- قطر معمول در بازار $\frac{3}{4}$ اینچ یا ۱۹ میلیمتر است.
- حداقل طول گل‌میخها بعد از نصب ۴ برابر قطر آنها مي‌باشد.
- حداکثر فواصل گل‌میخ‌ها ۸۰ سانتي‌متر است.
- ورقهاي کنگره‌دار بایستي در فواصل حداکثر ۴۵ سانتي‌متر به تیر فولادي اتصال یابند ، بوسیله گلمیخ ، جوش ، منگنه یا پیچ.

ورق کنگره‌دار



نقش ورق کنگره‌دار

- **در حين اجرا:** ورق کنگره‌دار نقش قالب را بازي مي‌کند و وزن بتن خيس ، آرماتورها و عوامل اجرايي را تحمل مي‌کند. در اين حالت ورق فولادي بتنهايي بارهاي وارده را تحمل مي‌کند. کنگره‌دار شدن ورق و همچنين برآمدگي‌هاي روي ورق کمانش موضعي ورق در اين حالت را کاهش مي‌دهد.

- **در حالت بهره‌برداري:** ورق کنگره‌دار همراه با بتن بصورت کامپوزيت عمل مي‌کند. نيروي برشي بين فولاد و بتن با چسبندگي ذاتي بتن به فولاد و همچنين برآمدگي‌ها و فرورفتگي‌هاي ورق منتقل مي‌شود.

- با توجه به پيچيدگي محاسبات مربوط به مقاومت پس از کمانش و نيز چسبندگي بين فولاد و بتن ، مقاومت اين ورقها بصورت تجربي آزمايش شده و توسط کارخانه سازنده بصورت جداولي اعلام مي‌شود.

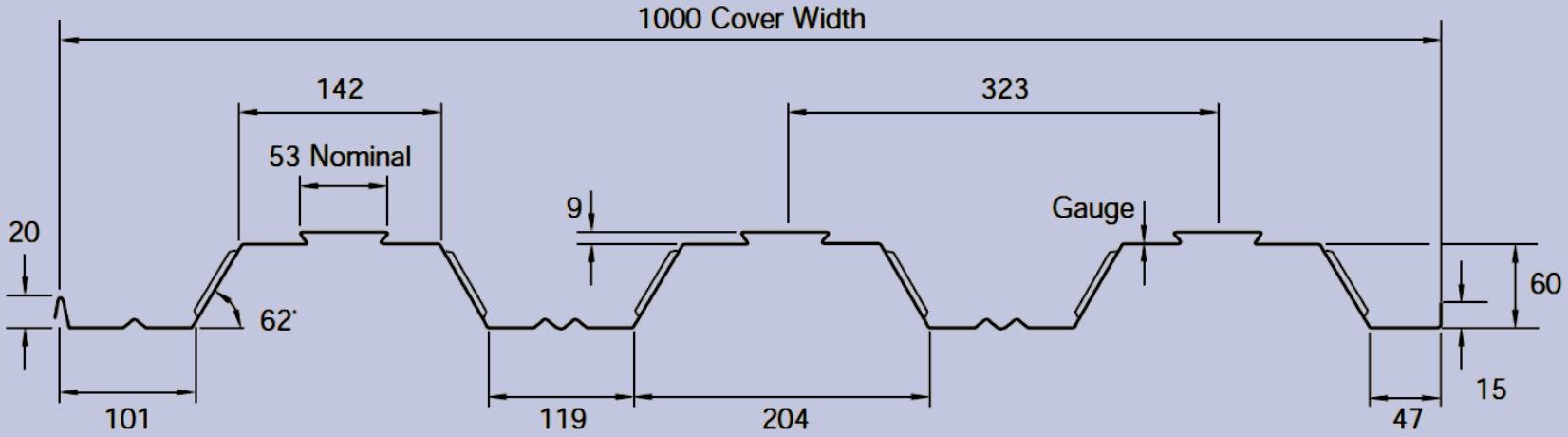
ComFlor 60 مقطع

ComFlor® 60 Span table - normal weight concrete

Props	Span	Fire Rating	Slab Depth (mm)	Mesh	MAXIMUM SPAN (m) Deck Thickness (mm) 0.9 Total Applied Load (kN/m²) 3.5	0.9 5.0	0.9 10.0	1.0 3.5	1.0 5.0	1.0 10.0	1.1 3.5	1.1 5.0	1.1 10.0	1.2 3.5	1.2 5.0	1.2 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
			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
		1.5 hr	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 كلي براي بارهاي متعارف ساختماني تا دهانه ۳ متر را براحتي 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^4/m)	Steel Area (mm^2/m)	Ultimate Moment Capacity (kNm/m)	
	(kg/m^2)	(kN/m^2)	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

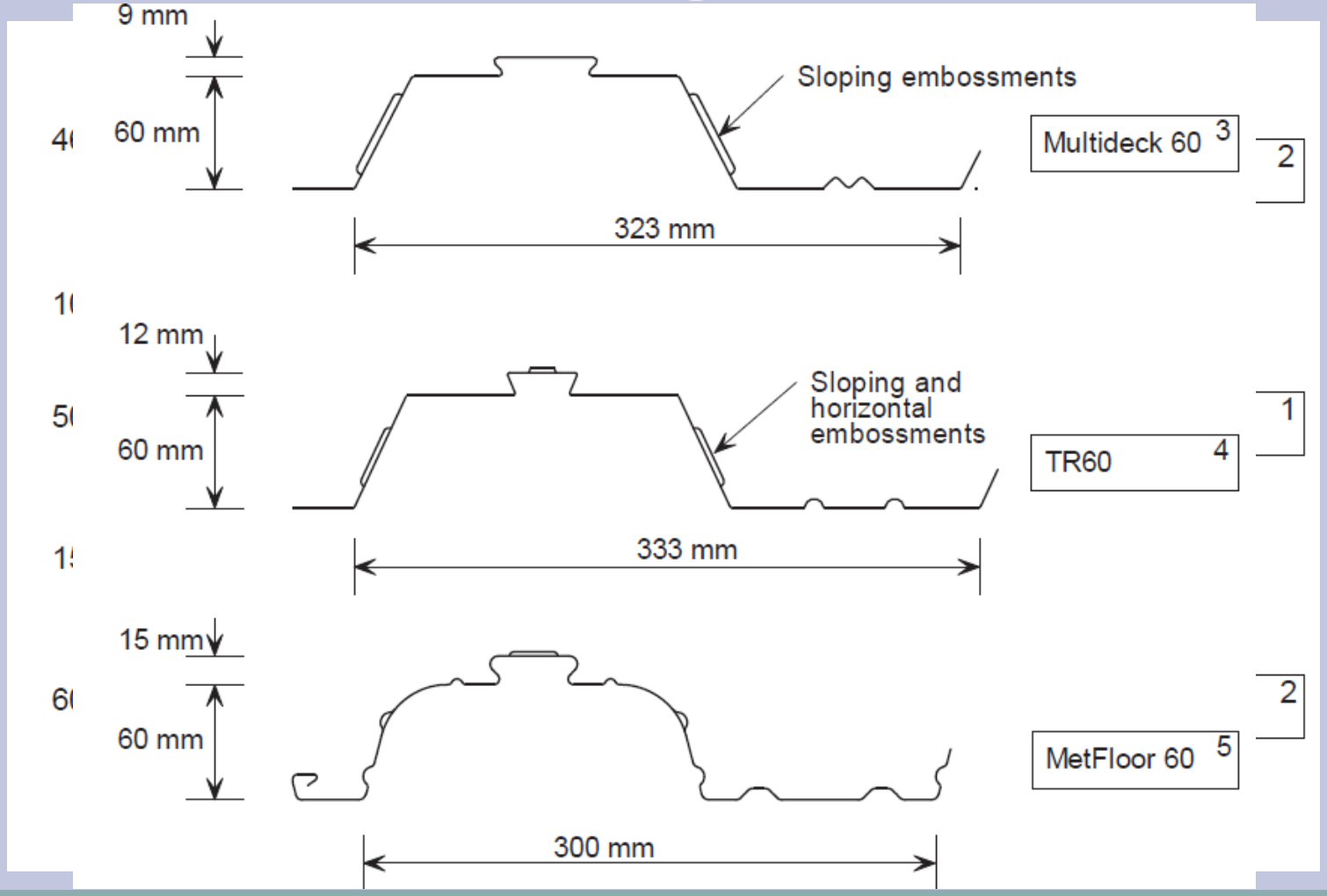
Multideck 60 مقطع

Unpropped - Load/Span Table (Steel - 350N/mm²)

Span (m) (see diagram page 9)

Span Type (Support Condition)	Slab Depth (mm)	Min Mesh Size	Gauge = 0.9mm						Gauge = 1.0mm					
			Total Applied Load (kN/m²) SLS						Total Applied Load (kN/m²) SLS					
			4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0
	120	A98	3.26	3.26	3.26	2.99 3.20	2.65 2.98	2.39 2.75	3.39	3.39	3.39	3.17 3.39	2.81 3.16	2.54 2.88
	130	A142	3.15	3.15	3.15	3.15	2.86 3.15	2.58 2.97	3.28	3.28	3.28	3.28	3.03 3.28	2.73 3.10
	140	A142	3.06	3.06	3.06	3.06	3.06	2.77 3.06	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18	2.92 3.18
	150	A142	2.97	2.97	2.97	2.97	2.97	2.95 2.97	3.09	3.09	3.09	3.09	3.09	3.09
	160	A142	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01
	175	A193	2.79	2.79	2.79	2.79	2.79	2.79	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91
	200	A193	2.63	2.63	2.63	2.63	2.63	2.63	2.76	2.76	2.76	2.76	2.76	2.76
	250	A252	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54

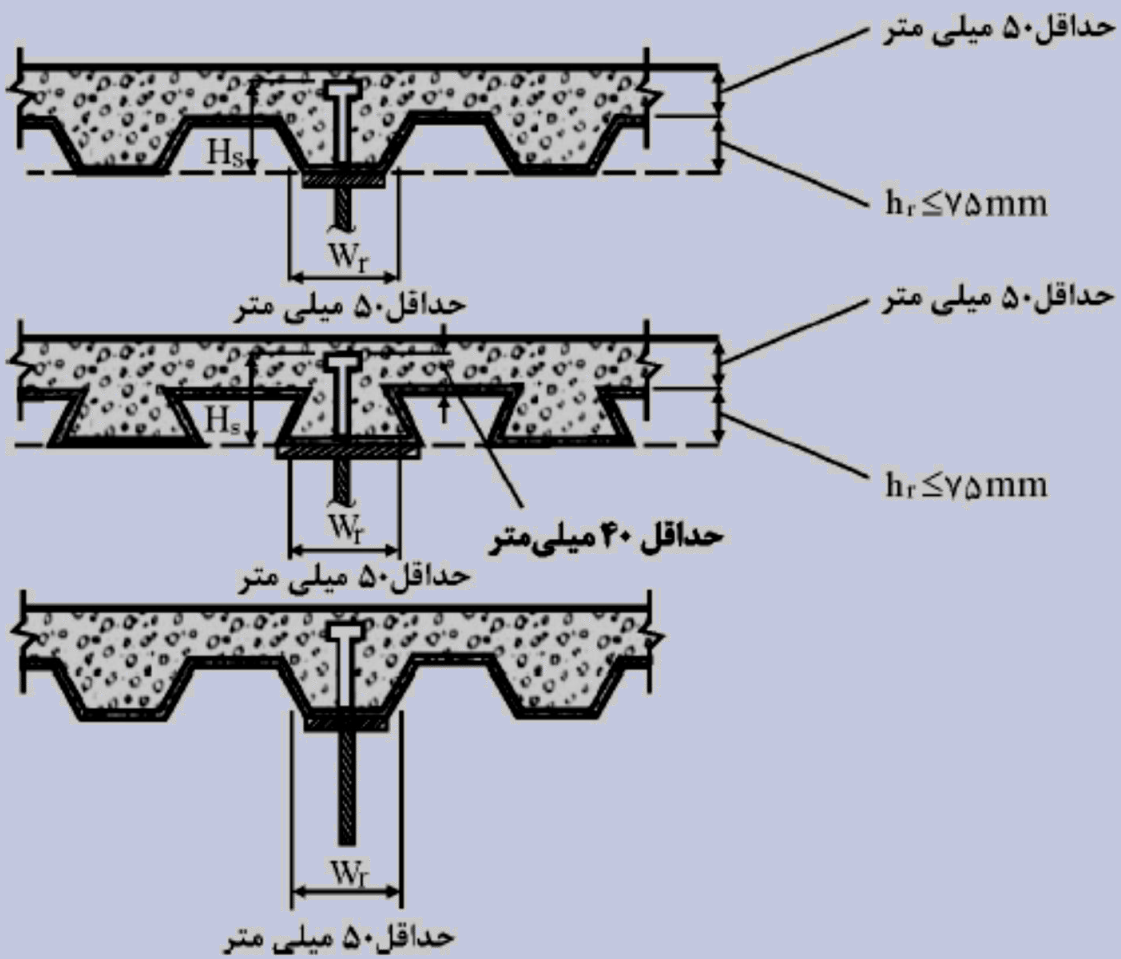
دیگر مقاطع


9 mm
60 mm
Sloping embossments
Multideck 60
3
2
323 mm
12 mm
60 mm
Sloping and horizontal embossments
TR60
4
1
333 mm
15 mm
60 mm
MetFloor 60
5
2
300 mm

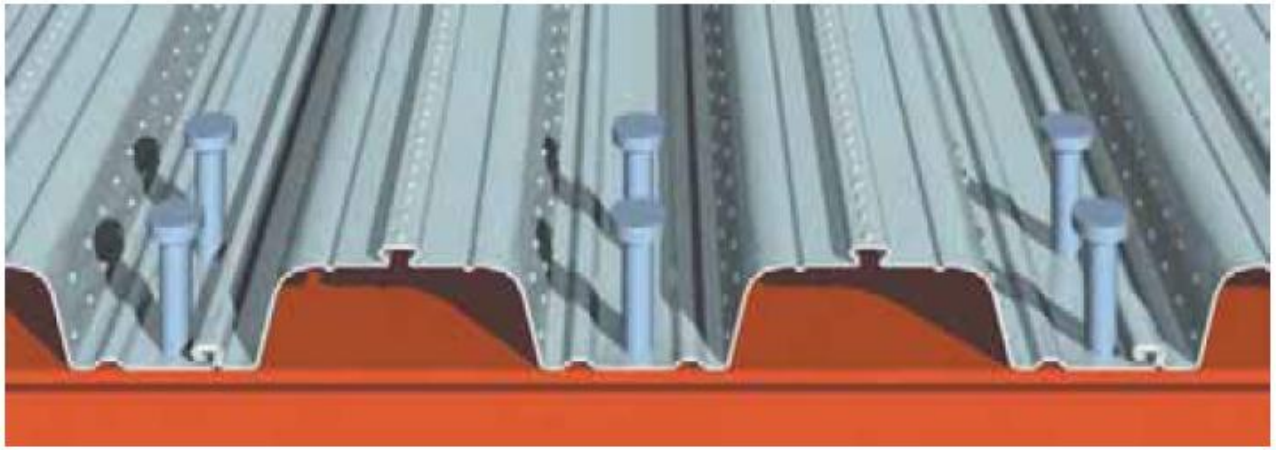
استفاده از نرم‌افزار طراحی ورق کنگره‌دار بجای جداول بارگذاری



ملاحظات ورقهای فولادی کنگره‌دار

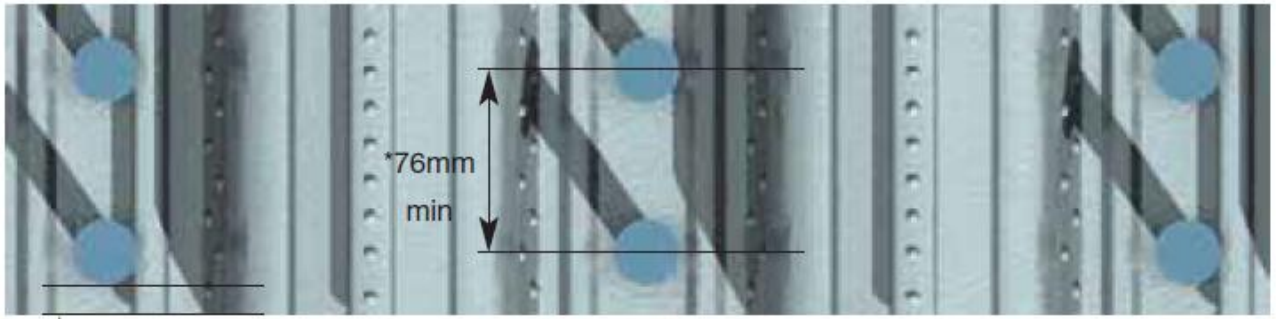


ملاحظات ورقهای فولادی کنگره‌دار



Central studs

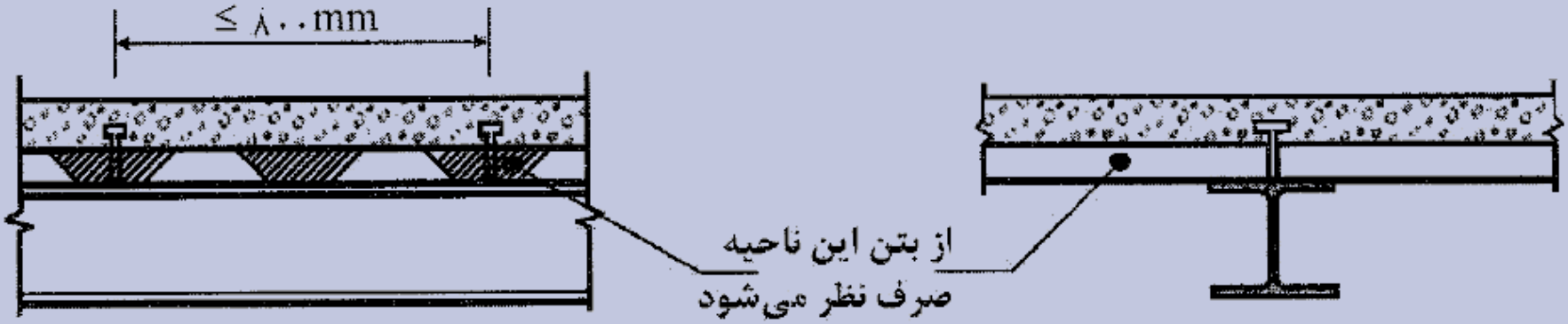
*76mm = 4d for 19mm studs



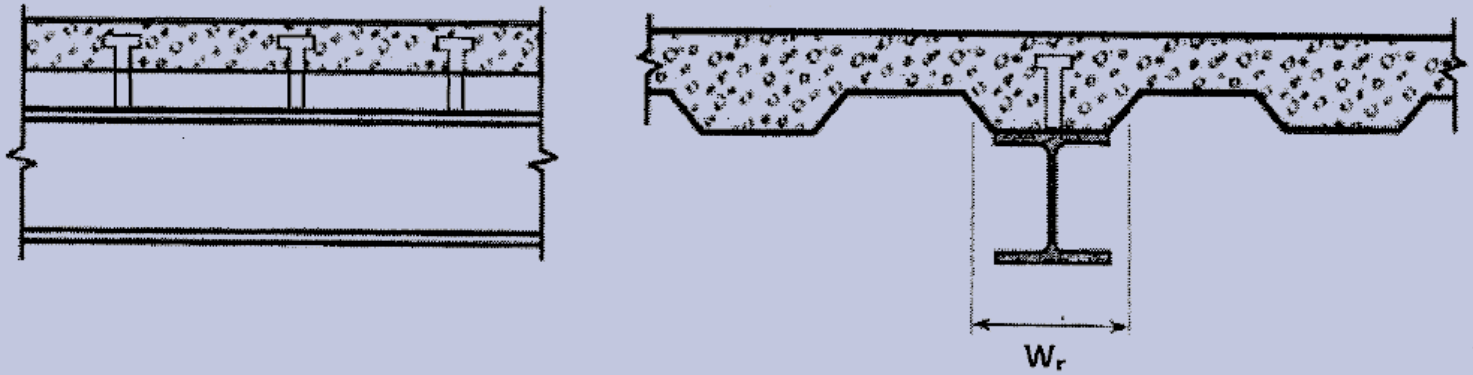
25mm min, edge of stud to edge of beam

جهت ورقهای کنگره‌دار

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



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



مزایای سقف کامپوزیت عرشه فولادی

- در سقفهاي كامپوزيت بتن و فولاد بصورت تركيبي با هم كار مي‌كنند و اين باعث مي‌شود سختي سقف بالا رفته ، وزن و هزينه آن كاهش يابد.
- امكان پوشش دهانه‌هاي بلند با ضخامت كمتر سقف فراهم مي‌شود.
- با توجه به عدم شمع‌بندي سقف در حين اجرا امكان اجراي چندين سقف بصوت همزمان وجود دارد.
- سرعت اجراي سازه بيش از ساير سيستمهاي سقف مي‌باشد.

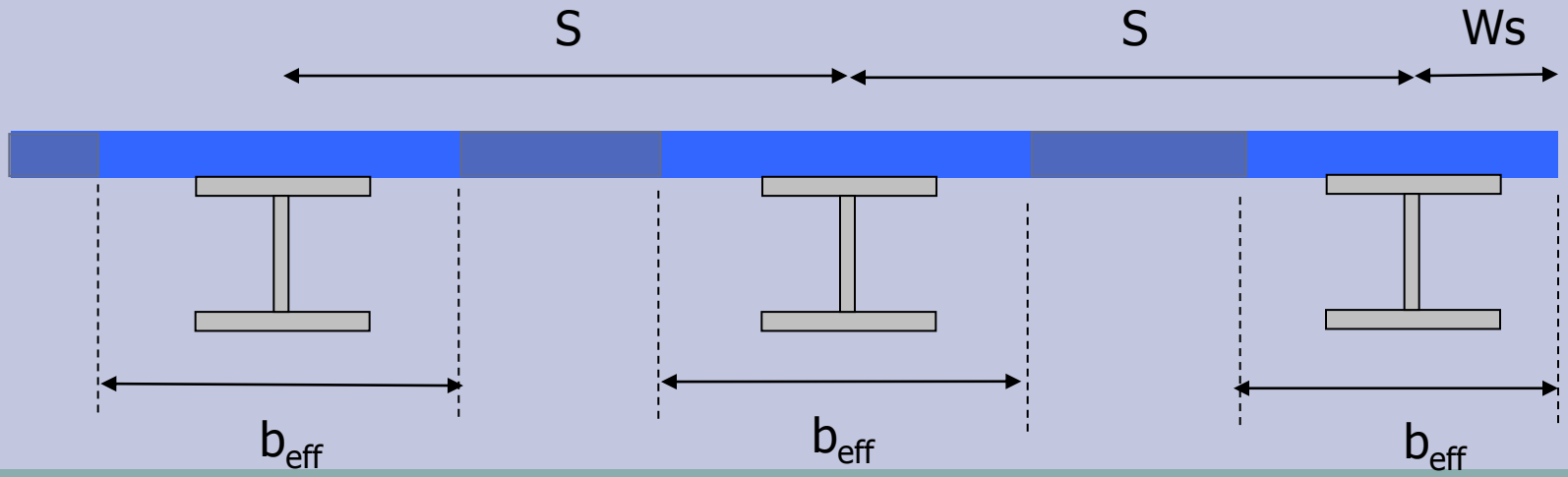
معايب سقف كامپوزيت عرشه فولادی

- سختي كمتر نسبت به سيستم دال بتني
- آلودگي صوتي ورقهاي كنگره‌دار در حين اجرا
- عدم مهار جانبي بال تحتاني تيرهاي فولادي
- نياز به سقف كاذب در سطح زيرين
- نياز به تخصص اجرايي بيشتر نسبت به سيستم‌هاي سنتي اجراي سقف

محاسبات خمشی سقف کامپوزیت

- در این بخش نحوه محاسبات تیرهاي مختلط فولاد و بتن به روش LRFD مورد بحث قرار مي‌گيرد.
- عرض مؤثر دال بتني كه در هر طرف تير با آن بصورت مختلط عمل مي‌نمايد برابر است با:

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



مقاومت خمشی مقطع مختلط

- مقاومت خمشي تير مختلط بر حسب لاغري جان در دو حالت مورد بررسي قرار مي‌گيرد:

- جان فشرده

$$\frac{h}{t_w} \le 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 111$$

در اين حالت مقاومت خمشي بر اساس مقاومت پلاستيك مقطع محاسبه مي‌شود.

- جان غيرفشرده و لاغر

$$\frac{h}{t_w} > 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 111$$

در اين حالت مقاومت خمشي مقطع بر اساس مقاومت حد تسليم مقطع محاسبه مي‌شود.

- كليه پروفيلهاي نورد شده داراي جان فشرده مي‌باشند و جزء دسته اول قرار مي‌گيرند. در ادامه نحوه محاسبه مقاومت خمشي پلاستيك مقطع كامپوزيت مورد بررسي قرار مي‌گيرد.

مقاومت در حين اجرا

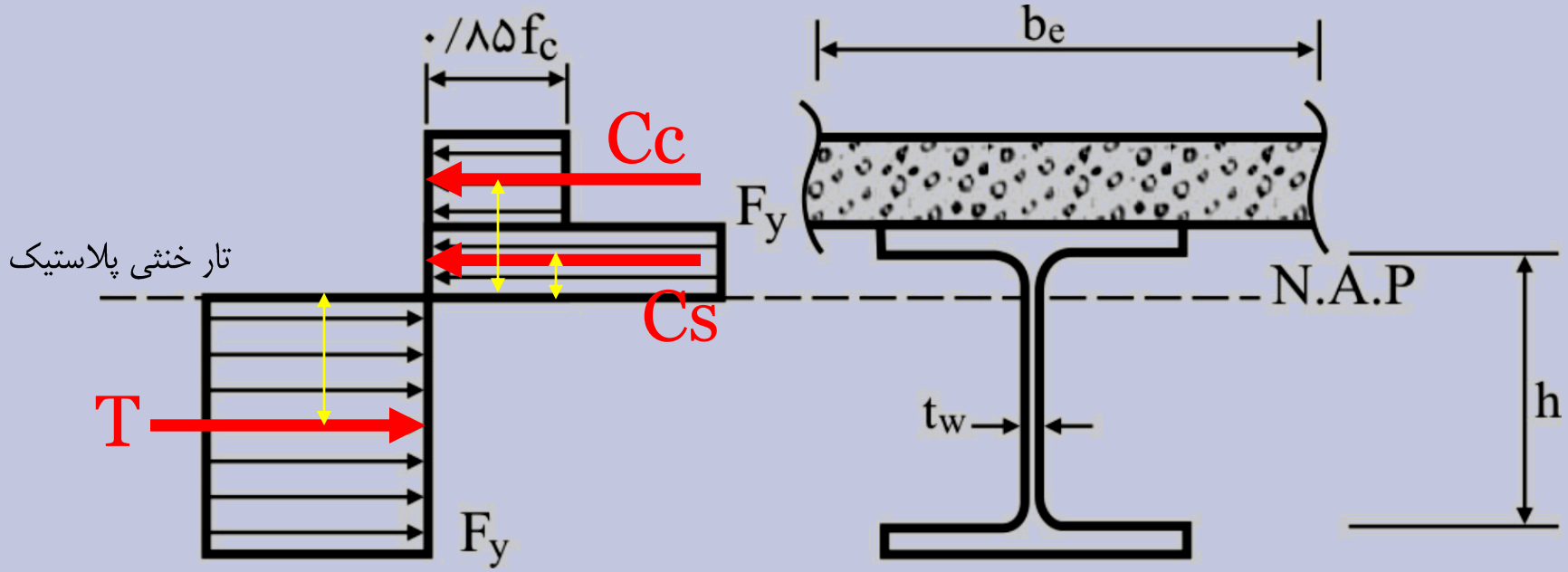
- قبل از گيرش بتن دال ، تير فولادي به تنهايي بارهاي وارده را تحمل مي‌كند. در اين حالت بايستي مقاومت خمشي تير فولادي تنها در برابر وزن بار بتن خيس كنترل شود. نحوه كنترل تير در اين مرحله مشابه طرح خمشي تيرهاي فولادي مي‌باشد.

- با توجه به اتصال عرشه فولادي به بال فوقاني تير معمولاً تير فولادي داراي تكيه‌گاه جانبي مي‌باشد. در اينصورت:

$$M_u \le \phi M_n$$

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

مقاومت خمشی پلاستیک مقطع کامپوزیت



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

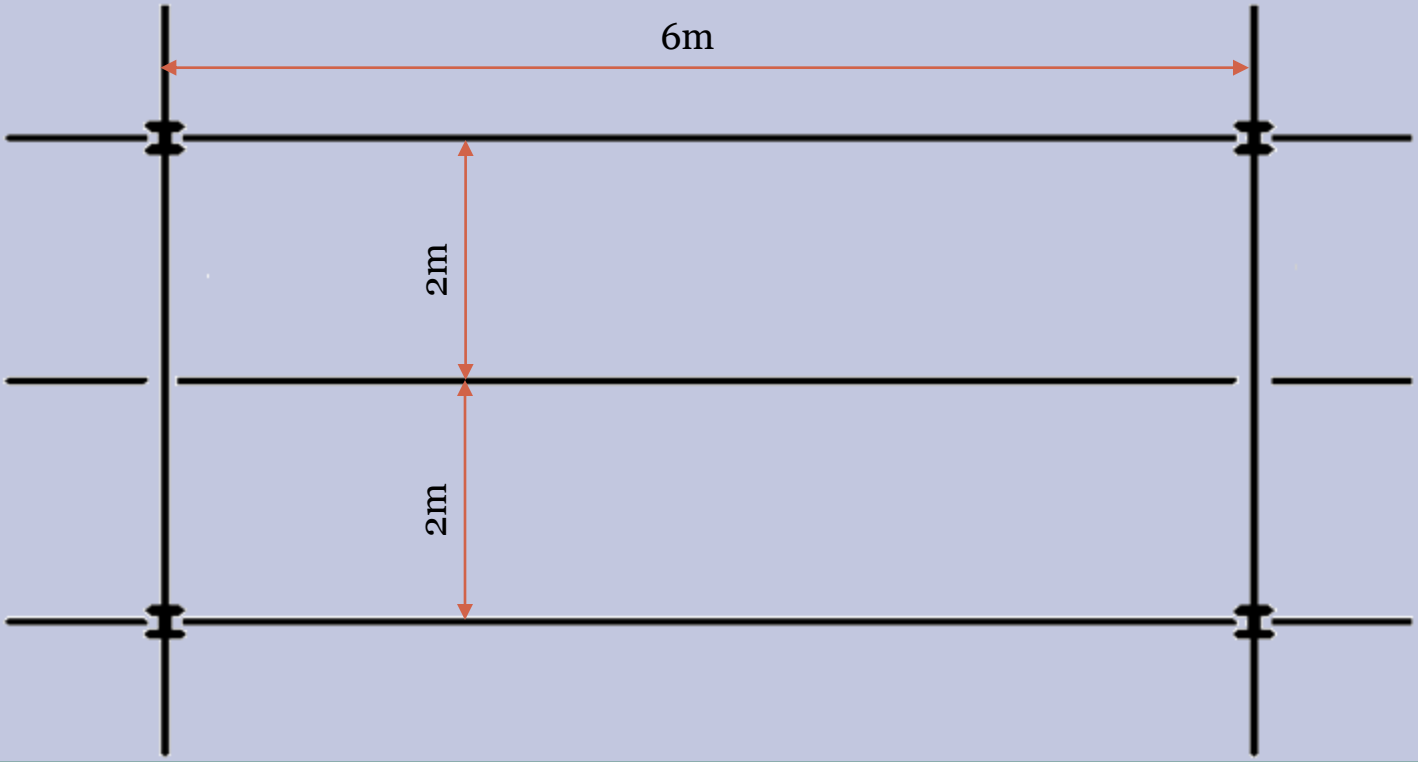
- تار خنثي پلاستيك از تعادل افقي مقطع بدست مي‌آيد:

$$M_n = \sum F_i y_i$$

- مقاومت خمشي اسمي از لنگرگيري حول تارخنثي پلاستيك بدست مي‌آيد:

مثال: تير عرشه فولادی به دهانه ۶ متر

- يك تير كامپوزيت به دهانه ۶ متر و فواصل تيرهاي فرعي ۲ متر در نظر بگيريد.
- بار كف‌سازي ۳۰۰ كيلوگرم بر متر مربع و بار زنده ۲۰۰ كيلوگرم بر متر مربع مي‌باشد.



مثال: تیر عرشه فولادی به دهانه ۶ متر

- بار نهايي در واحد طول تير كامپوزيت برابر است با:

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

از وزن ورق کنگره‌دار و وزن تیر صرفنظر شده است.

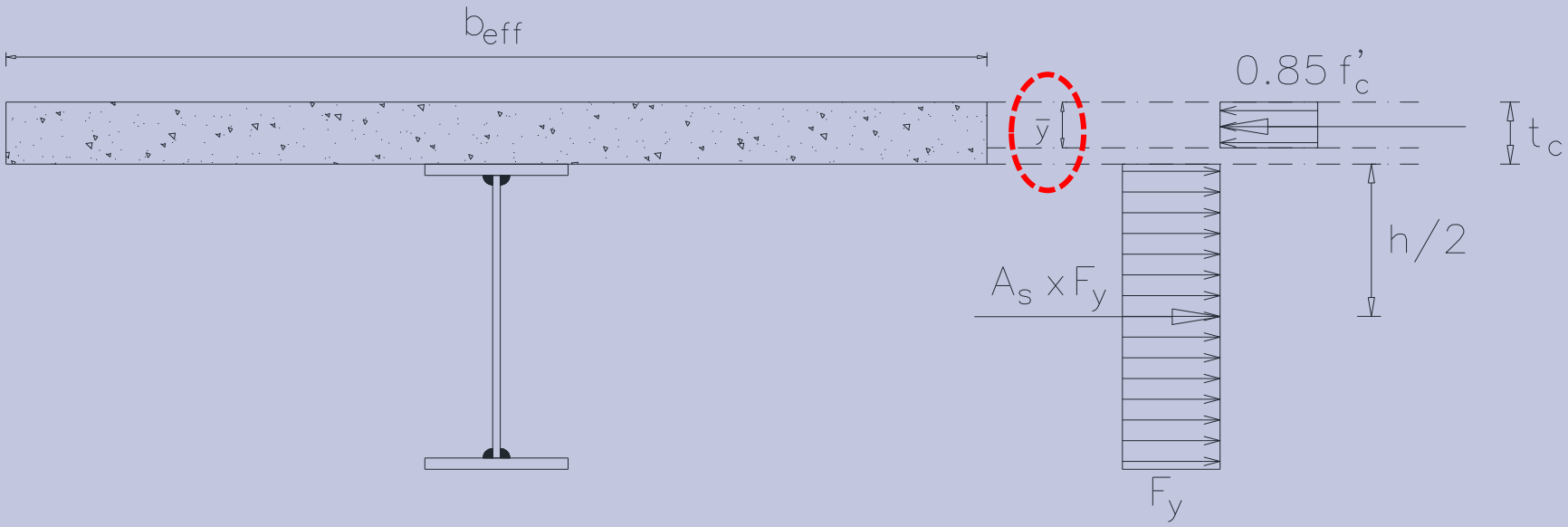
- لنگر خمشي نهايي برابر است با:

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

- عرض مؤثر دال برابر است با:

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

مثال: تیر عرشه فولادی به دهانه ۶ متر



- عمق بتن تحت فشار براي ايجاد تعادل با نيروي كششي با فرض اينكه كل تير در كشش است برابر است با:

$$\bar{y} = \frac{A_s F_y}{0.85\, f_c^{'} b_{eff}}$$

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 مي‌گيريم. بتن رده C25 مي‌باشد.

$$A_s = 20.1\ cm^2$$

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

با توجه به اينكه عمق بدست آمده كوچكتر از ضخامت دال است بنابراين فرض اوليه (كه كل تير در كشش است) صحيح مي‌باشد.

مثال: تیر عرشه فولادی به دهانه ۶ متر

- مقاومت خمشي اسمي تير برابر است با:

$$M_n = A_s F_y \times \left(\frac{h}{2} + t_c - \frac{\bar{y}}{2} \right)$$

$$= 20.1 \times 2400 \times \left(\frac{16}{2} + 12 - \frac{1.5}{2} \right) = 928620 \ kg.cm$$

- كنترل مقاومت خمشي

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

مثال: تیر عرشه فولادی به دهانه ۶ متر

- کنترل مقاومت خمشي تير فولادي تنها در حين اجرا:

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

- محاسبه لنگر خمشي نهايي در حين اجرا:

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

- کنترل مقاومت خمشي:

$$\phi M_n = 0.9 \times 2976 = 2678 \ \ kg.m > 2520 \quad OK$$

طرح برشی تیر کامپوزیت

- فرض مي‌شود تير فولادي تنها در برابر برش مقاومت مي‌كند:

$$V_n = 0.6F_yA_w = 1440 \times 16 \times 0.5 = 12520\ kg$$

- محاسبه نيروي برشي نهايي:

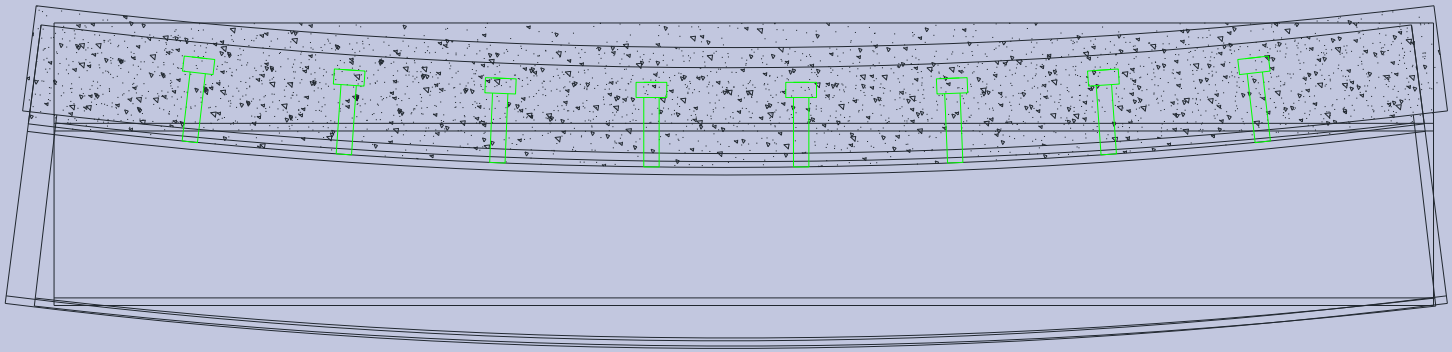
$$V_u = \frac{1840 \times 6}{2} = 5520\ kg$$

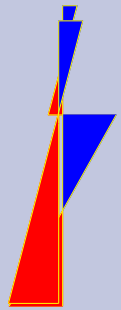
- كنترل مقاومت برشي:

$$\phi V_n = 0.9 \times 11520 = 10368\ \ kg > 5520 \quad OK$$

طرح برشگيرها در تير كامپوزيت

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

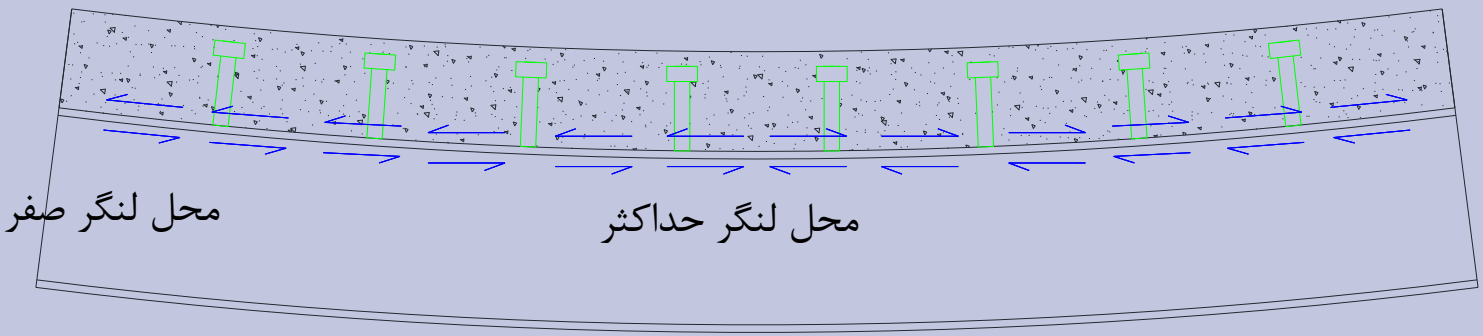




- در واقع برشگيرها عامل اصلي در ايجاد عملكرد مختلط بين فولاد و بتن هستند.

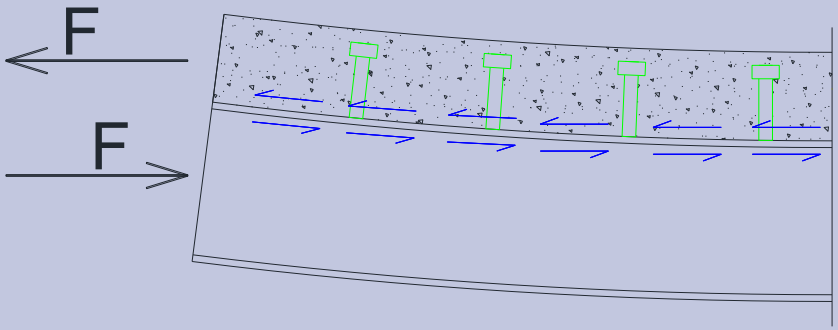
طرح برشگیرها در تیر کامپوزیت

- نيروي برشي بين سطح بتن و فولاد در محل لنگر حداكثر تغيير جهت مي‌دهد.





- بنابراين مي‌توان نصف تير را بصورت زير تصور نمود:



حداكثر نيروي F به مقاومت حداكثر بتن

يا مقاومت حداكثر فولاد محدود مي‌شود.

مثال طرح برشگیرها در تیر کامپوزیت

- مقاومت يك برشگير به قطر ۱۹ ميليمتر و طول ۱۰ سانتي‌متر طبق رابطه مبحث ۱۰ برابر است با:

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

- حداكثر نيروي F يا نيروي برشي افقي برابر است با:

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

- تعداد برشگير لازم در طول نصف تير برابر است با:

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

کنترلهای حالت حدی بهره‌برداری

در حالت حدي بهره‌برداري كنترلهاي زير انجام مي‌شود:

- كنترل خيز بار زنده
- كنترل ارتعاش
- محاسبه خيز منفي يا خيز بار مرده

کنترل خیز بار زنده

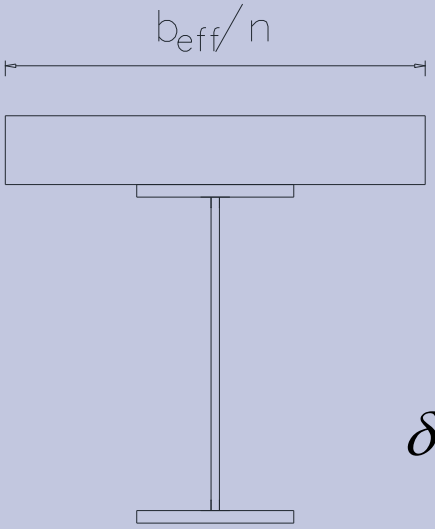
براي كنترل خيز بار زنده ابتدا بايستي ممان اينرسي دوم مقطع كامپوزيت محاسبه شود. براي اين كار از تئوري مقاطع دوجنسي استفاده مي‌شود.

ضريب n به شكل زير تعريف مي‌شود:

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

مقطع معادل از تقسيم عرض مؤثر دال بتني به ضريب n بدست مي‌آيد:

حال بايستي ممان اينرسي دوم اين مقطع را محاسبه كنيم و بر اساس آن



خيز ناشي از بار زنده را محاسبه كنيم.

فرمول خيز ناشي از بار گسترده روي تير دوسرمفصل:

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

مثال کنترل خیز بار زنده

براي مثال قبلي داريم:

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2.1\times10^6}{2.5\times10^5} = 8.4 \Rightarrow use \quad n = 8$$

تارخنثي مقطع معادل را نسبت به تار تحتاني محاسبه مي‌كنيم:

$$\bar{y} = \frac{150/8\times6\times25 + 20.1\times8}{150/8\times6 + 20.1} = 22.4$$

دقت كنيد از قسمت كنگره‌هاي دال بتني بعلت پيوسته نبودن در طول تير صرفنظر شده است.

$$I_{eq} = 869 + 20.1\times(22.4-8)^2 + \frac{150/8\times6^3}{12} + 150/8\times6\times(25-22.4)^2$$

$$= 6135 \ \ cm^4$$

$$\delta_L = \frac{5q_L l^4}{384E_s I_{eq}} = \frac{5\times4\times600^4}{384\times2.1\times10^6\times6135} = 0.52 \ cm$$

مثال کنترل خیز بار زنده

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

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

کنترل خیز بار مرده

در تيرهاي مختلط دو دسته بارهاي مرده تعريف مي‌شوند:

- بارهاي مرده گروه اول شامل: وزن تير ، ورقهاي کنگره‌دار و وزن بتن خيس
- بارهاي مرده گروه دوم شامل: وزن کف‌سازي و سقف کاذب

بارهاي مرده گروه اول به تير فولادي تنها وارد مي‌شوند و خيز آنها نيز بر اساس مشخصات مقطع فولادي تنها محاسبه مي‌گردد.

بارهاي مرده گروه دوم به مقطع کامپوزيت وارد مي‌شوند. در اين حالت با توجه به وجود فشار دائمي داخل بتن دال ، پديده خزش اتفاق افتاده و

خيز درازمدت ناشي از اين بارها خواهيم داشت.

نحوه محاسبه اثرات خزش

محاسبه دقيق اثرات خزش كار پيچيده است.

در روشهاي تقريبي كه مورد تأييدآيين‌نامه‌ها نيز مي‌باشد بجاي محاسبات دقيق ، براي در نظر گرفتن اثرات خزش از ضريب $3n$ در محاسبات ممان اينرسي دوم مقطع معادل بجاي ضريب n استفاده مي‌شود.

خيز بدست آمده از اين روش مجموع خيز كوتاه مدت و بلندمدت ناشي از بارهاي مرده گروه دوم مي‌باشد

مثال محاسبه خیز بار مرده

خیز بار مرده گروه اول برابر است با:

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

مشخصات مقطع معادل با 3n:

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

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

$$= 4763\ cm^4$$

خیز ناشي از بارهاي مرده گروه دوم برابر است با:

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

کنترل خیز بار مرده

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

بنابراین آیین‌نامه‌هاي مختلف زماني کنترل خیز بار مرده را الزامي مي‌کنند که اجزاء غیرسازه‌اي مستقیماً به سازه اتصال داشته باشند.

براي اینکه از ظاهر نامناسب خیز دوري کنیم مي‌توانیم از پیش‌خیز یا خیز منفي استفاده کنیم.

در این حالت قبل از نصب تیر مقداري خیز رو به بالا در تیر ایجاد مي‌کنیم تا پس از اعمال بارهاي مرده خیز کلي صفر شود. مقدار خیز منفي را برابر درصدي از مقدار خیز ناشي از بار مرده مرحله اول (۸۰%) در نظر مي‌گیریم.

کنترل خیز بار مرده

بطور مثال براي مسأله‌اي كه طرح كرديم. چنانچه قرار باشد زير سقف عرشه فولادي از سقف كاذب استفاده شود و ظاهر خيز بار مرده مهم نباشد

مي‌توانيم از كنترل آن صرفنظر كنيم. به شرط اينكه بتوانيم اثرات آن را در نازك‌كاري اصلاح كنيم.

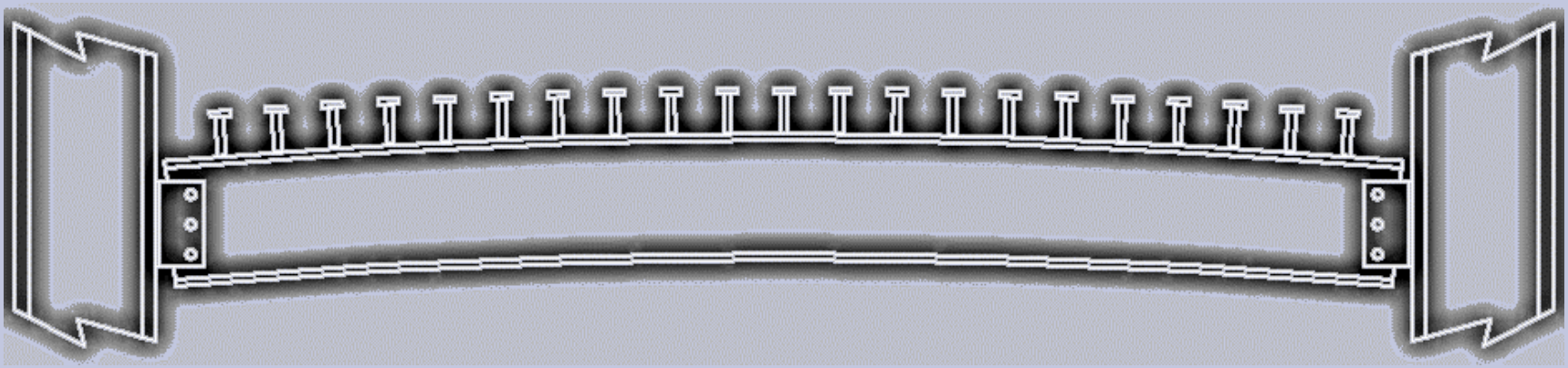
در غير اينصورت آيين‌نامه مجموع خيز ناشي از بار مرده و زنده را به طول دهانه تقسيم بر ۲۴۰ محدود مي‌نمايد:

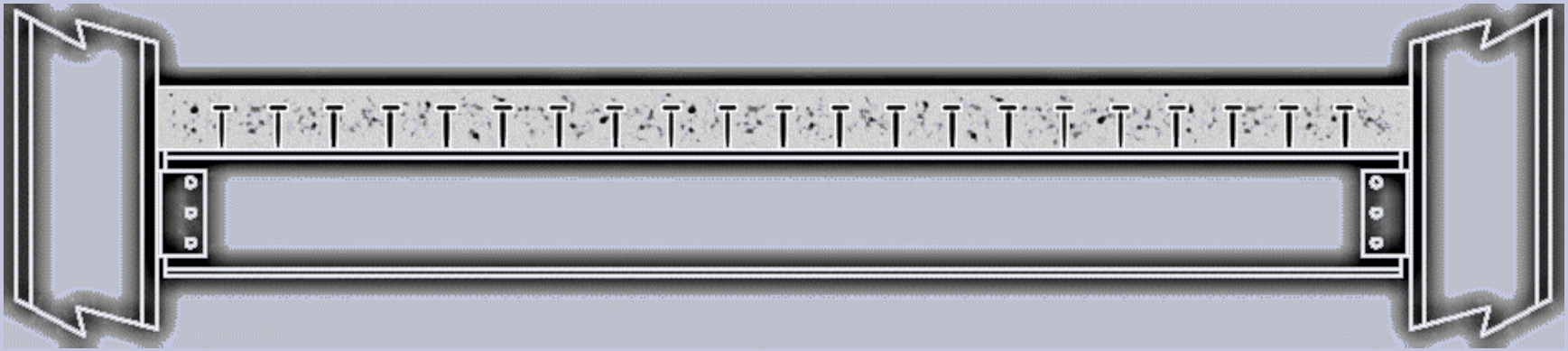
براي حل اين مشكل مي‌توان خيز منفي ۳ سانتيمتري را قبل از نصب در تير ايجاد كنيم. در اينصورت:

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

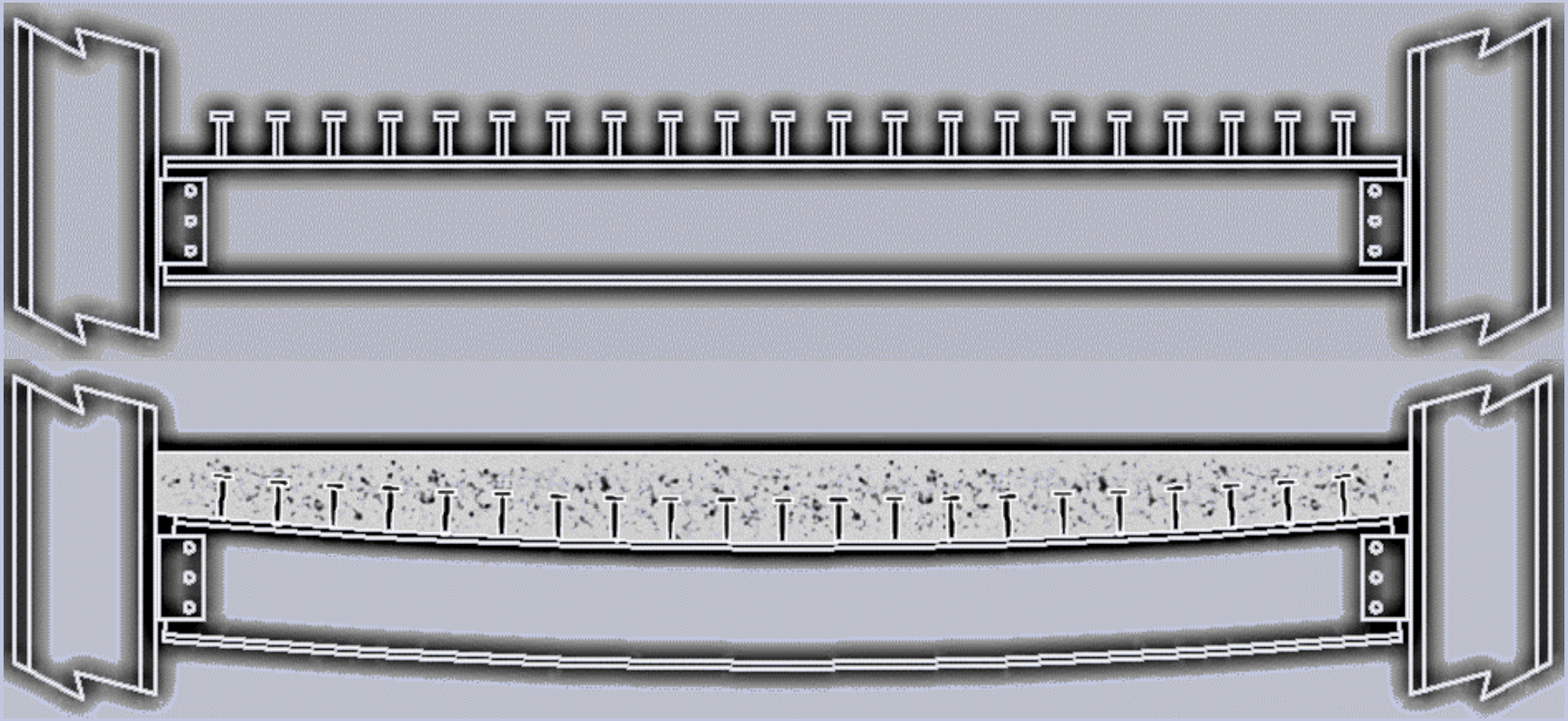
$$\delta = 5.23 - 3 = 2.23 < 2.5\ \ cm\ OK$$

مزایای خیز منفی



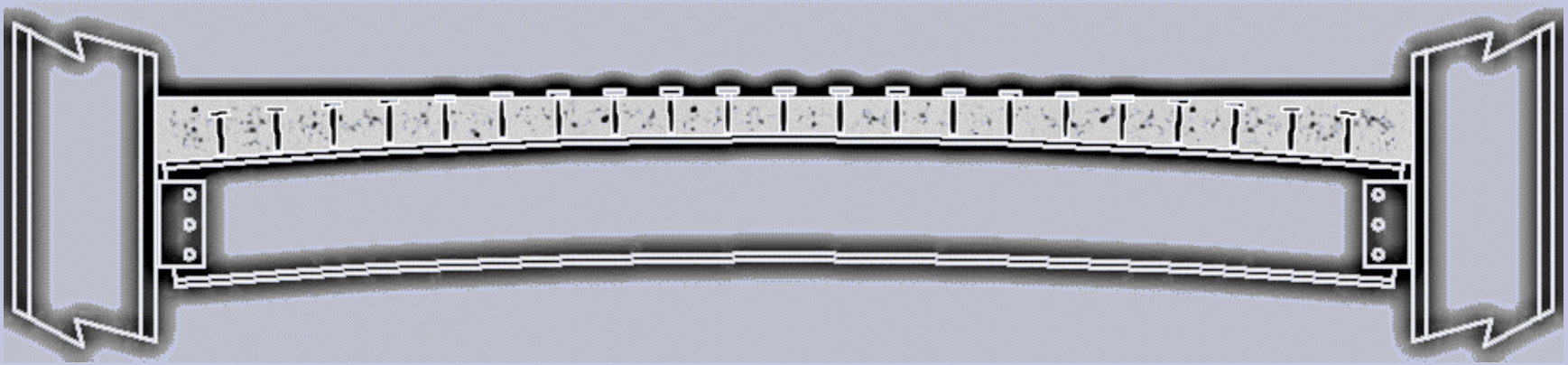


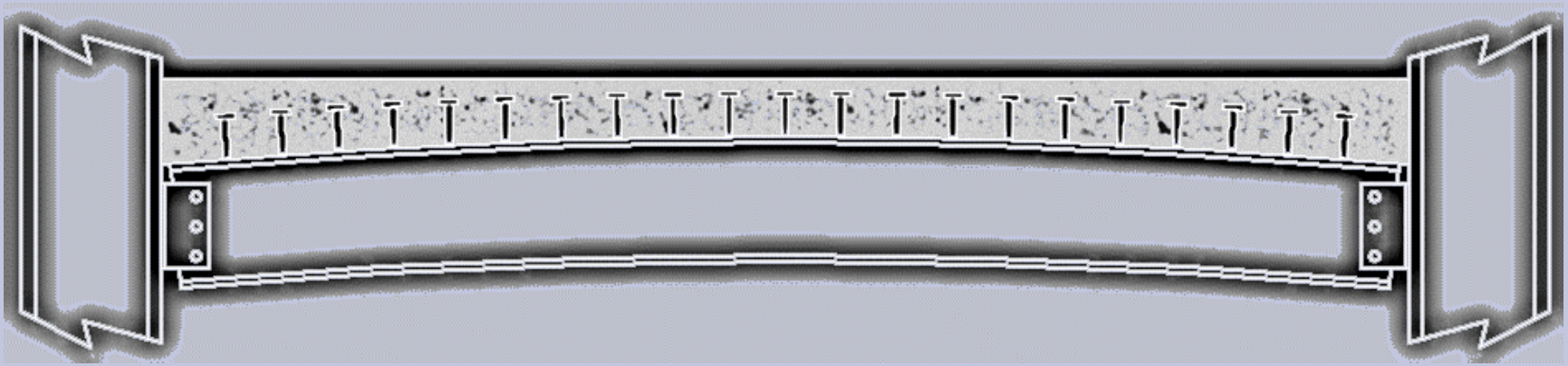
مزایای خیز منفی



- براي در نظر گرفتن اضافه ضخامت بتن ناشي از خيز تير ، مي‌توان ضخامت كلي دال بتني را به ميزان 0.7δ بيشتر در نظر گرفت.

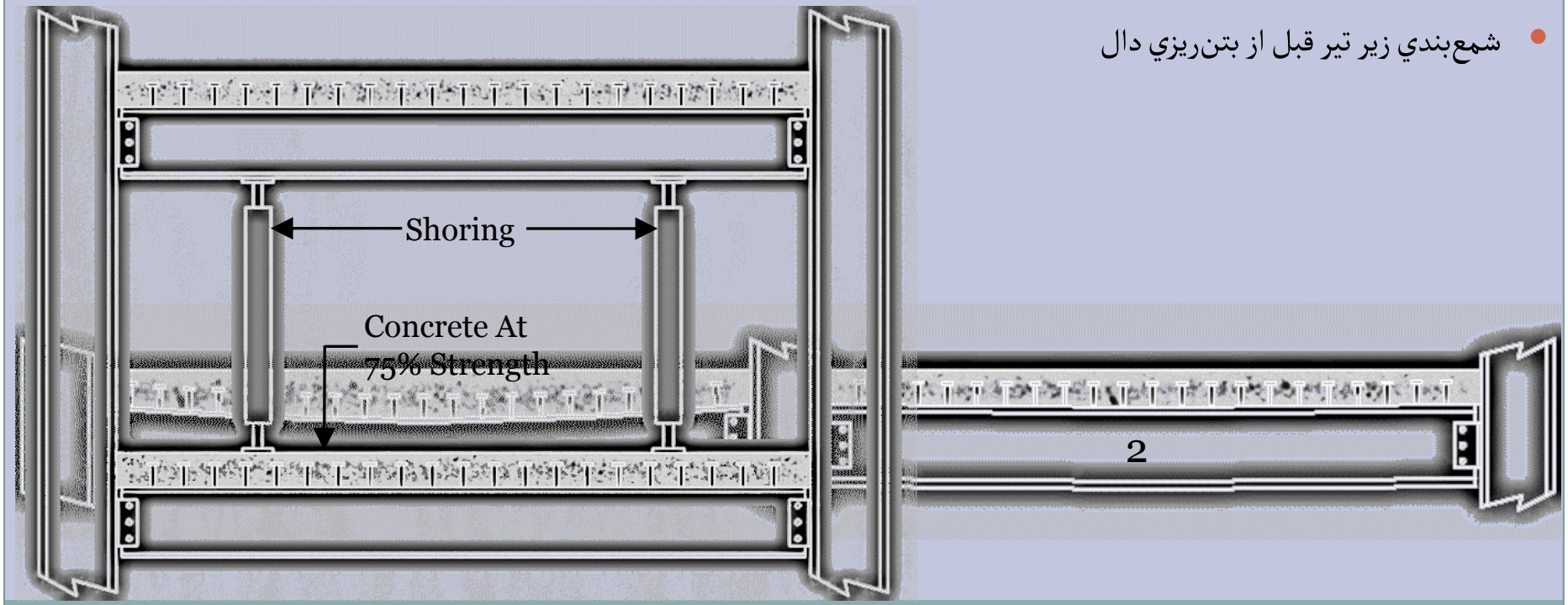
معایب خیز منفی اضافی





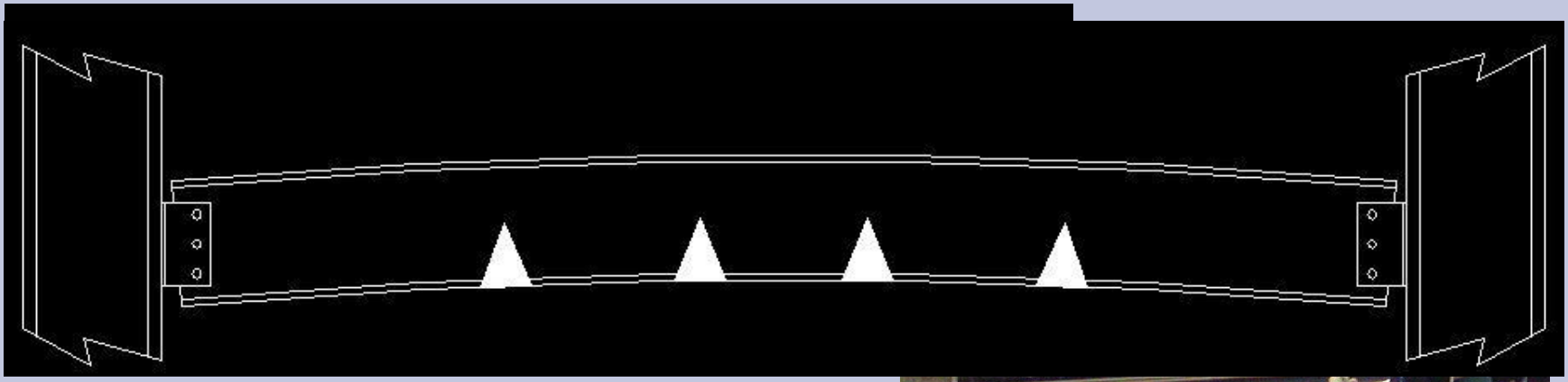
روشهای جایگزین خیز منفی

- استفاده از دال با ضخامت متغير روي تير تغييرشكل يافته و محاسبه اثرات بار اضافي در طرح
- استفاده از تيرهاي با سايز بالاتر براي كنترل خيز اضافي
- شمع‌بندي زير تير قبل از بتن‌ريزي دال



نحوه ایجاد خیز منفی

- خيز منفي با استفاده از حرارت‌دهي



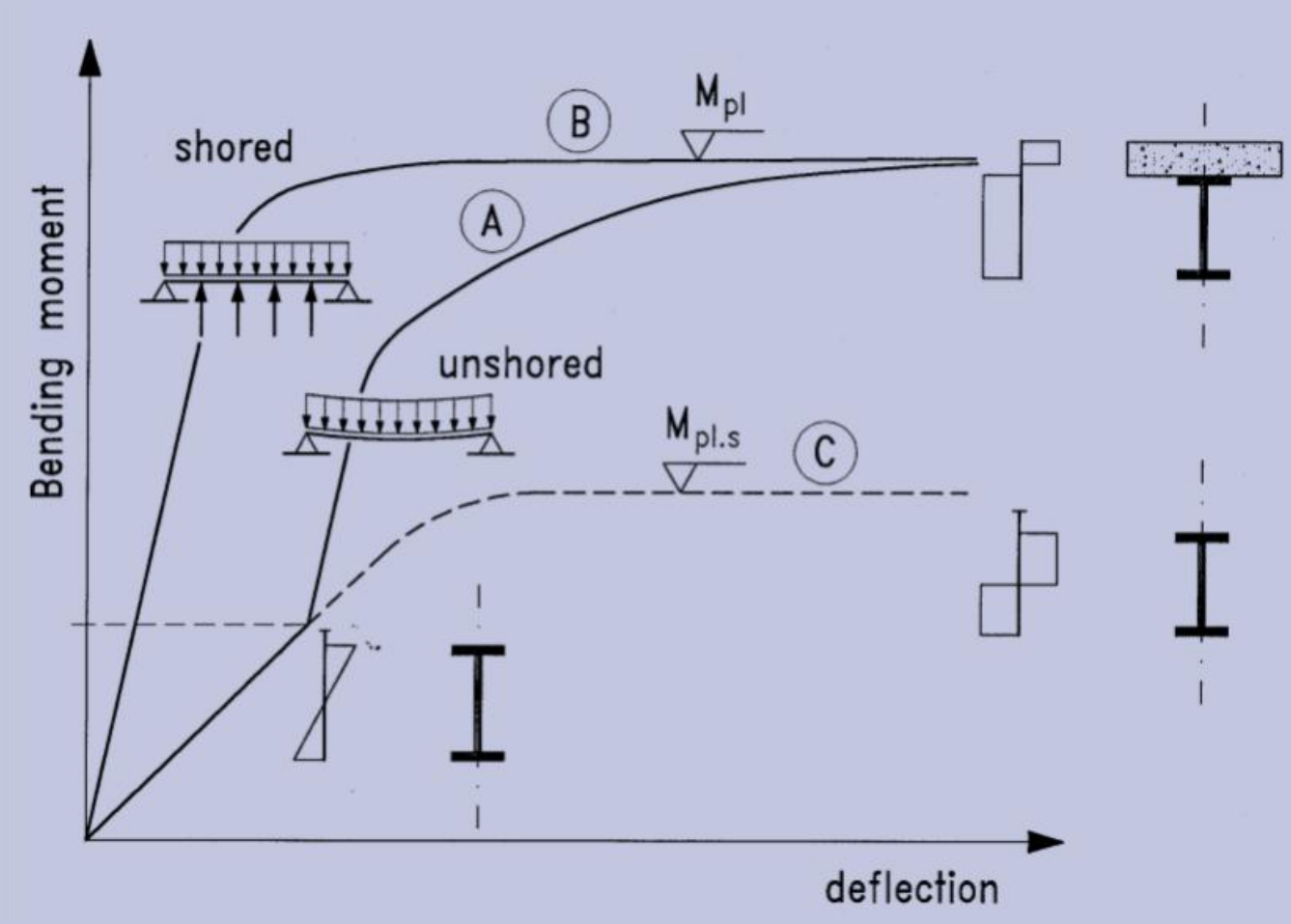


نحوه ایجاد خیز منفی

- خیز منفي به روش سرد



اجرای با شمع‌بندی و بدون شمع‌بندی



عملکرد کامپوزیت ناقص

چنانچه تعداد برشگیرهاي قرار گرفته روي تير كمتر از حد تعيين‌شده باشد ، رفتار تير كامپوزيت چيزي بين رفتار تير فولادي تنها و تير كامپوزيت كامل مي‌باشد. اين حالت را عملكرد كامپوزيت ناقص مي‌نامند. اين حالت از نظر آيين‌نامه مورد تأييد مي‌باشد ، ليكن بايستي اصلاحاتي در روابط محاسبه مقاومت و خيز انجام داد.

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

I_s = ممان اینرسی تیر فولادی

I_{tr} = ممان اینرسی تبدیل‌یافته مقطع مختلط

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

Vh = مقاومت برشی افقی مورد نیاز

V’h = مقاومت برشی افقی موجود

کنترل ارتعاش سقف عرشه فولادی

بطور معمول پارامتري كه براي كنترل ارتعاش بكار گرفته مي‌شود فركانس طبيعي است. در مبحث دهم مقررات ملي ايران مقدار فركانس طبيعي

حداقل تير براي كنترل ارتعاش ۵ هرتز در نظر گرفته شده است.

فركانس طبيعي تير در مود اول ارتعاشي را مي‌توان بطور تقريبي از رابطه زير محاسبه نمود

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

δ = تغییرمکان 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 سختي سازه و ميرايي سازه را بالا مي‌برند ، در محاسبه فركانس از بار و جرم آنها صرفنظر مي‌نماييم.

کنترل ارتعاش سقف عرشه فولادی

در مورد مثالي كه بررسي شد مقدار تغيير مكان حداكثر تير در اثر بار وزن مرده و كف‌سازي برابر است با:

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

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

- با توجه به توصيه SCI بار تيغه‌ها (۱۰۰ كيلوگرم بر متر مربع) از بار كف‌سازي حذف شده و فركانس ارتعاش تير محاسبه شده است.

روشهای جدیدتر کنترل ارتعاش

در آیین‌نامه‌هاي جديدتر ازجمله **SCI P354** و **AISC DG11** بجاي كنترل فركانس ارتعاشي، ميزان شتاب حداكثر سازه در حالت ارتعاش كنترل مي‌شود.

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

(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 β	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

نرم‌افزار ETABS 2015 کنترل ارتعاش سقفهاي عرشه فولادي را بر اساس اين آيين‌نامه انجام مي‌دهد.

در اين راهنماي طراحي (DG11)، انواع حالات مهم براي ارتعاش سازه‌ها از جمله ارتعاش در اثر راه رفتن (نوع معمول ارتعاش در ساختمانهاي مسكوني ، اداري و تجاري و پلهاي عابر پياده)، ارتعاش ريتميك (مخصوص سالنهاي ورزشي ، تكاياي مذهبي ، سالن تئاتر و رقص و ...) و كنترل ارتعاش براي سازه‌هاي حمال دستگاههاي حساس بررسي شده است.

همچنين پارامتر ميرايي سازه بين ۱% تا ۵% در اين راهنما مد نظر قرار گرفته است.

از توجه شما متشکرم