

سقف کامپوزیت

و الزامات اجرایی آن طبق مبحث دهم

در این مقاله قصد داریم شما را با یکی از انواع سقف هایی که بیشتر در سازه های فلزی اجرا می شود یعنی **سقف کامپوزیت یا مرکب** آشنا کنیم.

سقف کامپوزیت یا مرکب به سقفی اطلاق می شود که در اجرای آن از ترکیب فلز و بتن استفاده می شود و از همین جهت به آن کامپوزیت یا مرکب می گویند. معمولاً بتن در این نوع سقف نقش پوشش دارد.

این نوع سقف ها در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، در زیر عنوان **اعضای خمشی با مقطع مختلط**، آورده شده است.

۱۰-۲-۸-۳ اعضای خمشی با مقطع مختلط

اعضای خمشی با مقطع مختلط به سه گروه زیر طبقه بندی می شوند.

الف) اعضای خمشی با مقطع فولادی و دال بتنی متکی بر آن به همراه برشگیر

ب) اعضای خمشی با مقطع مختلط محاط در بتن

پ) اعضای خمشی با مقطع مختلط پر شده با بتن

بر اساس مصالح مصرفی در اجرا، مبحث دهم دو نوع از سقف های مرکب را نام برده است.

الف: سقف شامل تیرهای فرعی ، برش گیر از نوع ناودانی ، شبکه میلگردهای حرارتی و دال بتنی

ب: سقف شامل تیر های فرعی، ورق های فولادی شکل داده شده، برشگیر از نوع گل میخ ، شبکه میلگردهای حرارتی و دال بتنی



سقف کامپوزیت یا مرکب با پوشش دال بتنی



سقف مرکب با ورق های شکل دار شده و گلمیخ (عرشه فلزی)

البته سازندگان عمدتاً حالت اول را با نام **سقف مرکب** یا **کامپوزیت** و حالت دوم را با نام **سقف عرشه فلزی** یا **Metal Deck** می شناسند .

به طور کلی در سقف های کامپوزیت، از یونولیت خبری نیست. پس در مرحله نازک کاری، برای اینکه در زیر سقف سطح یکنواختی داشته باشید، باید کل مساحت زیر سقف را ببتس کاری یا سقف کاذب انجام دهید. (در زیر زمین ها لزومی به این کار نیست. و می توان به حالت اکسپوز باقی گذاشت)



دو نوع متداول اجرای سقف های کامپوزیت (مرکب)

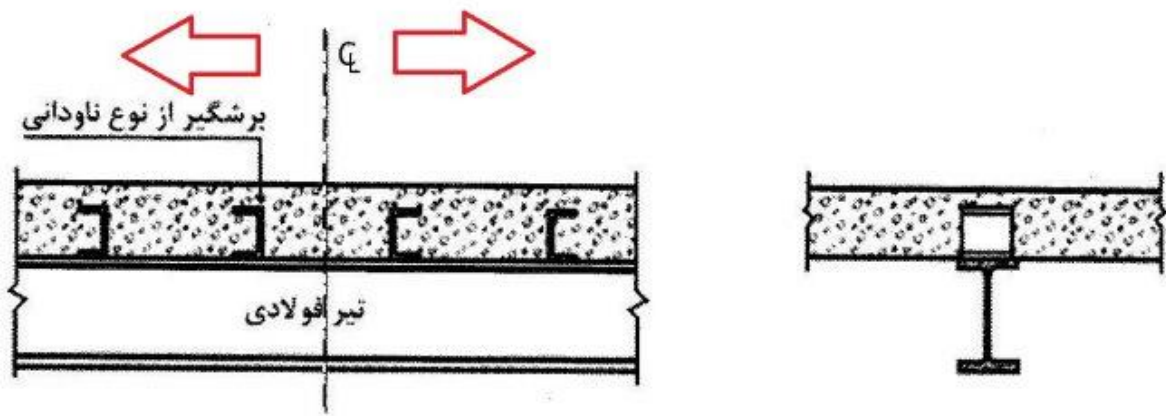
در این مقاله اختصاصا به فرآیند اجرایی حالت اول (سقف مرکب) می پردازیم. البته بعضی جاها مقایسه ای هم با سقف Metal deck انجام می دهیم.

برشگیرها در سقف کامپوزیت :

نقش برشگیرها در طول تیرهای فرعی، برای اتصال و یکپارچگی تیرها و دال بتنی استفاده می شود. برای سقف های عرشه فلزی، برش گیر از نوع گل میخ است و ورق های پوششی را به تیرهای فرعی متصل میکند.

برای سقف های مرکب، برش گیرها از نوع ناودانی است. البته بعضی موارد از قطعات نبشی هم به جای ناودانی استفاده میکنند که توصیه نمی شود.

در مبحث دهم ضوابط اجرایی برشگیرها و گل میخ ها، روی تیرهای فرعی آورده شده است. اگر تیر را از وسط به دو قسمت تقسیم کنیم، ناودانی ها باید طوری در روی تیر بنشینند که در هر طرف به سمت خارج تیر باشد. برخی مواقع از این بند غفلت می شود.



شکل ۱۰-۲-۸-۷ برشگیرهای از نوع ناودانی



ضوابط برشگیرهای ناودانی

۱۰-۲-۸-۷-۸ جزئیات بندی برشگیرها در اعضای با مقطع مختلط

در سقف مرکب

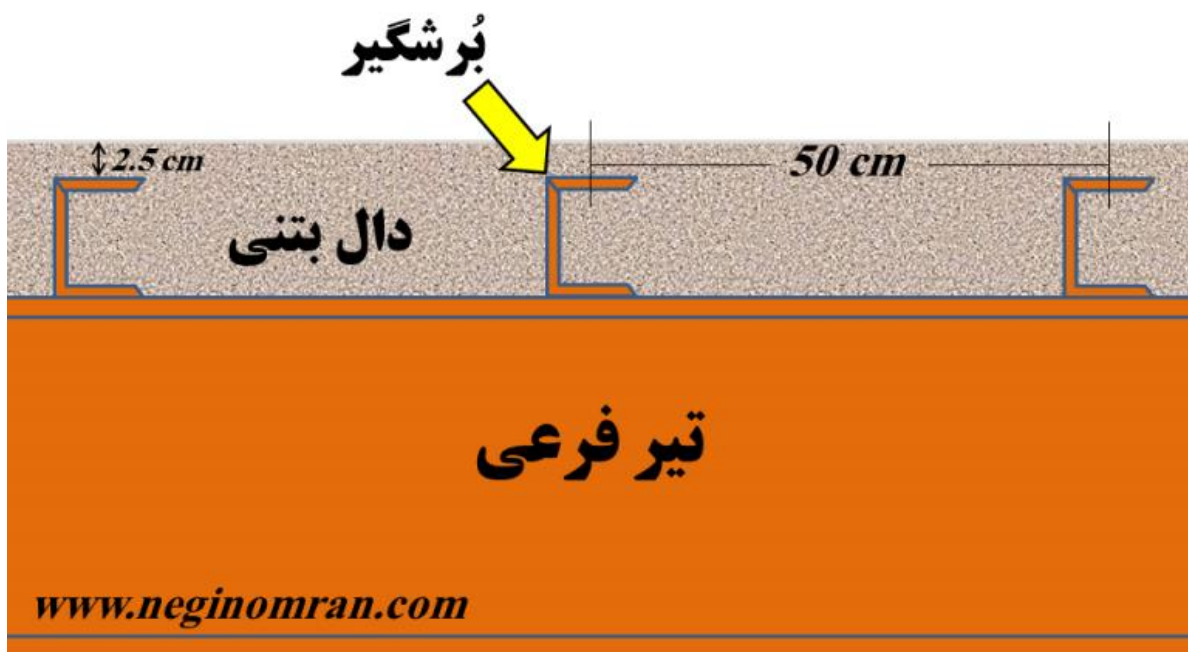
۱. برشگیرها باید حداقل ۲۵ میلی‌متر پوشش جانبی از بتن داشته باشند.

۲. حداقل فاصله مرکز تا مرکز گل‌میخ در هر امتداد ۴ برابر قطر گل‌میخ می‌باشد.

۳. حداکثر فاصله مرکز تا مرکز گل‌میخ‌ها ۳۰ برابر قطر گل‌میخ می‌باشد.

۴. حداکثر فاصله مرکز تا مرکز برشگیرهای از نوع ناودانی ۵۰۰ میلی‌متر می‌باشد.

۱۳۸



ضخامت دال بتنی روی سقف کامپوزیت :

طبق مبحث دهم صفحه ۱۲۲، حداقل ضخامت دال بتنی روی سقف کامپوزیت ۸ سانتی متر باید باشد.

معمولاً در سقف‌های کامپوزیت برش‌گیرها را از ناودانی نمره ۶ انتخاب می‌کنند. (ارتفاع ۶ سانتی متر) اگر از ناودانی نمره ۶ استفاده کنیم، با احتساب ۲۰۵ سانتی متر پوشش بتنی روی برشگیر، که در بند صفحه ۱۳۸ آمده، حداقل ضخامت دال بتنی، باید ۸۰۵ سانتی متر باشد. در سقف‌های پارکینگی توصیه می‌شود ضخامت دال بتنی در سقف کامپوزیت بیشتر در نظر گرفته شود. (۱۰ تا ۱۲ سانتی متر)

فاصله تیرهای فرعی در سقف کامپوزیت :

در این نوع سقف تیرهای فرعی در فواصل حداکثر ۱۱۰ سانتی متری از هم قرار میگیرند. به دلیل اینکه برای بتن ریزی باید زیر سقف قالب بندی شود. فاصله تیرهای فرعی را به عنوان تکیه گاه قالب ها نمی توان بیش از این در نظر گرفت.



فاصله کم تیرهای فرعی، یکی از نقاط ضعف این نوع سقف نیز محسوب می شود. اما در سقف های *Metal deck* یا *عرشه فولادی*، می توان فاصله تیرهای فرعی را تا $2/5$ متر افزایش داد. این موضوع باعث شده تمایل به اجرای سقف های *مَتال دِک (Metal Deck)* افزایش یابد. هزینه ای که بابت خرید ورق های شکل دار شده، در این نوع سقف انجام می شود، اولاً به دلیل حذف قالب بندی زیر سقف و ثانیاً افزایش فاصله تیرهای فرعی و به کار بردن تعداد کمتری تیرآهن، جبران می شود.



فاصله تیرهای فرعی، در سقف های با عرشه فلزی، می تواند حداکثر ۲/۵ متر باشد.

با توجه به تعداد زیاد تیرهای فرعی در سقف های کامپوزیت، هر چقدر از نمره کمتر تیر آهن استفاده شود، هزینه اجرا پایین تر می شود.

گفتیم که در سقف کامپوزیت، یونولیت به کار نمی رود، وجود یونولیت داخل سقف، لرزش سقف را کم میکند. به همین دلیل در سقف کامپوزیت لرزش سقف هنگام راه رفتن و بار گذاری روی آن بیشتر است. (به خصوص در دهانه های بزرگ و باز که تیغه بندی ندارد).

هر چقدر ارتفاع تیرهای فرعی (ممان اینرسی) کمتر باشد، این لرزش بیشتر می شود. به همین دلیل نمی توانیم از نمره های خیلی پایین برای تیرهای فرعی استفاده کنیم حتی اگر از نظر محاسباتی جواب دهد .

برای جلوگیری از لرزش و ارتعاش سقف ها، بندی در آیین نامه وجود دارد که لازم است تیرهای فرعی سقف مرکب، با آن کنترل شوند.

۱۰-۲-۱۰ ارتعاش (لرزش)

تیرها و شاه‌تیرهایی که سطوح بزرگ خالی از تیغه‌بندی (یا خالی از عناصر دیگری که خاصیت میراکنندگی ارتعاش را دارند) را تحمل می‌کنند، باید با توجهی خاص به لرزش و ارتعاش حاصل از بارهای جنبشی (نظیر بارهای ناشی از رفت و آمد افراد، حرکت و توقف آسانسورها، حرکت ماشین آلات و نظایر آنها) محاسبه شوند. در تیرهای مربوط به این کفها، فرکانس نوسانی تیر باید به اندازه‌ای باشد که از حد احساس بشری تجاوز ننماید. برای این منظور، لازم است فرکانس دوره‌ای (f) این تیرها بزرگتر یا مساوی ۵ هرتز باشد.*

* برای محاسبه فرکانس دوره‌ای (f) به مراجع راهنمای معتبر مراجعه شود. برای محاسبه فرکانس دوره‌ای (f) تیرهای دو سر ساده تحت بار مرده یکنواخت q_D می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود.

$$f = \frac{\pi}{2L^2} \sqrt{\frac{EIg}{q_D}}$$

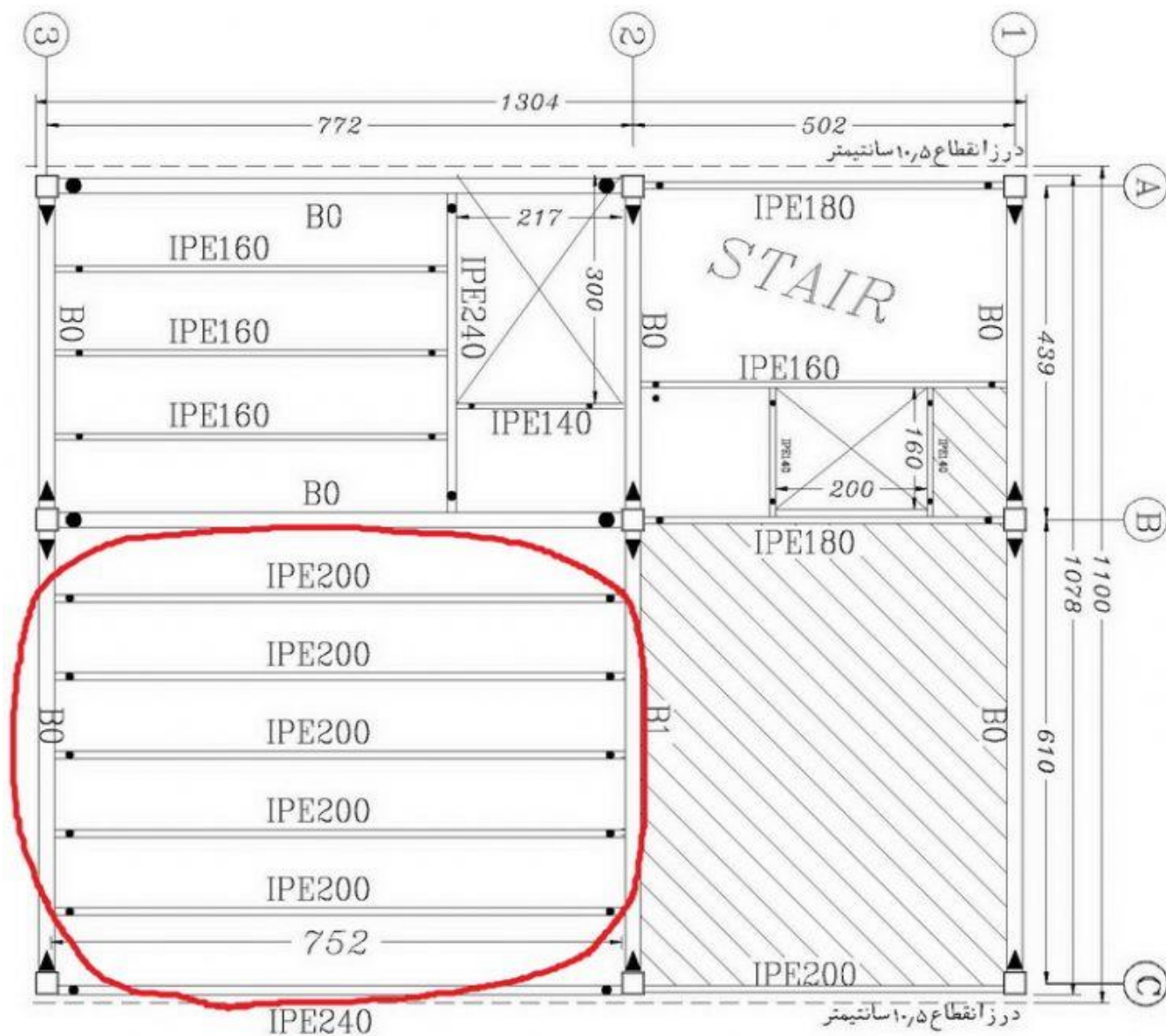
که در آن

- E = مدول الاستیسیته مصالح تیر بر حسب نیوتن بر متر مربع
- I = ممان اینرسی مقطع تیر بر حسب m^4
- g = شتاب ثقل بر حسب متر بر مجذور ثانیه ($g=9.81 \text{ m/s}^2$)
- q_D = بار مرده یکنواخت بر حسب نیوتن بر متر طول
- L = طول دهانه تیر دو سر ساده بر حسب متر
- f = فرکانس دوره‌ای تیر بر حسب هرتز

برای درک بهتر این ضابطه مثالی آورده ایم:

مثال:

در یک سازه با سقف مرکب، برای یک دهانه با طول ۷/۵ متر و سطح باز بدون تیغه بندی، برای تیرهای فرعی IPE ۲۰۰ در نظر گرفته شده است. کفایت IPE ۲۰۰ را از نظر ارتعاش و لرزش سقف کنترل کنید. بار مرده یکنواخت در طول هر تیر فرعی: ۲۵۰ کیلوگرم بر متر



حل:

$$\pi = 3.14$$

$$L = 7.5 \text{ m}$$

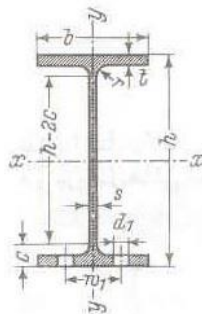
$$q_D = 250 \text{ Kg} \times 9.81 = 2450 \text{ N (نیوتون)}$$

$$E = 2 \times 10^5 \text{ MPa (مگاپاسکال)} = 2 \times 10^5 \times 10^6 \text{ Pa} = 20 \times 10^{10} \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right)$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

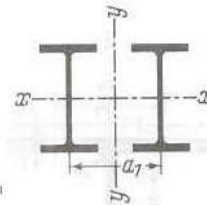
یادآوری: هر پاسکال معادل یک نیوتون بر متر مربع است.

تیر آهن نیم پهن I



ردیف I PE-

طول استاندارد
در پروفیل‌هایی به ارتفاع
کمتر از ۳۰۰ میلیمتر
از ۳۰۰ میلیمتر به بالا
۸ تا ۱۶ متر
۸ تا ۱۶ متر



s_1 = فاصله بین دو مرکز تیر آهن برای اینکه هر دو گشتاور
مانداصلی مساوی هم و معادل $2J_x$ شوند
 S_x S_x J_D CM را در صفحه ۳۱ ملاحظه کنید

شماره استاندارد	اندازه میلیمتر برای							F	G	ممان اینرسی حول محور اصلی							a_1	سورخ‌های لوله طبق دین ۹۹۷ انتشار اکتبر ۱۹۷۰	
	h	b	s	t	r	c	h-2c			J_x	W_x	i_x	J_y	W_y	i_y	d_1		w_1	
I PE	تیر آهن پهن یا کبه موازی ردیف IPE (گرم غلطک خورده) طبق دین ۱۰۲۵ برگ ۵ انتشار مارس ۱۹۶۵ ردیف IPE معادل نرم اروپایی ۷۵ - ۱۹ است																		
80	80	46	3,8	5,2	5	10,2	59	7,84	6,00	80,1	20,0	3,24	8,49	3,69	1,05	63	8,4	26	
100	100	55	4,1	5,7	7	12,7	74	10,3	8,10	171	34,2	4,07	15,9	5,79	1,24	79	8,4	30	
120	120	64	4,4	6,3	7	13,3	93	13,2	10,4	318	53,0	4,90	27,7	8,65	1,45	96	8,4	36	
140	140	73	4,7	6,9	7	13,9	112	16,4	12,9	541	77,3	5,74	44,9	12,3	1,65	112	11	40	
160	160	82	5,0	7,4	9	16,4	127	20,1	15,8	889	109	6,58	68,3	16,7	1,84	129	13**)	44	
180	180	91	5,3	8,0	9	17,0	146	23,9	18,8	1320	146	7,42	101	22,2	2,05	145	13	50	
200	200	100	5,6	8,5	12	20,5	159	28,5	22,4	1940	194	8,26	142	28,5	2,24	162	13	56	
220	220	110	5,9	9,2	12	21,2	177	33,4	26,2	2770	252	9,11	205	37,3	2,48	179	17	60	
240	240	120	6,2	9,8	15	24,8	190	39,1	30,7	3890	324	9,97	284	47,3	2,69	196	17	68	
270	270	135	6,6	10,2	15	25,2	219	45,9	36,1	5790	429	11,2	420	62,2	3,02	220	21 17	72	
300	300	150	7,1	10,7	15	25,7	248	53,8	42,2	8360	557	12,5	604	80,5	3,35	245	23	80	
330	330	160	7,5	11,5	18	29,5	271	62,6	49,1	11770	713	13,7	788	98,5	3,55	270	25 23	86	
360	360	170	8,0	12,7	18	30,7	298	72,7	57,1	16270	904	15,0	1040	123	3,79	294	25	90	
400	400	180	8,6	13,5	21	34,5	331	84,5	66,3	23130	1160	18,5	1320	146	3,95	326	28 25	96	
450	450	190	9,4	14,6	21	35,6	378	98,8	77,6	33740	1500	18,5	1680	176	4,12	365	28	106	
500	500	200	10,2	16,0	21	37,0	426	116	90,7	48200	1930	20,4	2140	214	4,31	404	28	110	
550	550	210	11,1	17,2	24	41,2	467	134	106	67120	2440	22,3	2670	254	4,45	442	28	120	
600	600	220	12,0	19,0	24	43,0	514	156	122	92080	3070	24,3	3390	308	4,66	481	28	120	

با توجه به جدول اشتال مُمان اینرسی مربوط به IPE ۲۰۰:

$$I_{IPE200} = 1940 \text{ cm}^4 = 1.940 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$\frac{\pi}{2L^2} \sqrt{\frac{EIg}{q_D}} = \frac{3.14}{2 \times 7.5^2} \times \sqrt{\frac{20 \times 10^{10} \times 1.940 \times 10^{-5} \times 9.81}{2450}}$$

$$= 3.48 \leq 5 \quad \times$$

IPE ۲۰۰ مورد قبول نیست.

حداقل مُمان اینرسی مورد نیاز با توجه به ارتعاش و لرزش تیر:

$$\frac{\pi}{2L^2} \sqrt{\frac{EIg}{q_D}} = \frac{3.14}{2 \times 7.5^2} \times \sqrt{\frac{I \times 1.940 \times 10^{-5} \times 9.81}{2450}}$$

$$809.386 \times \sqrt{I} \geq 5$$

$$\sqrt{I} \geq 0.0061775$$

$$I \geq 0.00003816 \text{ m}^4 \times 10^8 = 3816 \text{ cm}^4$$

تیر آهن نیم پهن I

ردیف I PE-

طول استاندارد

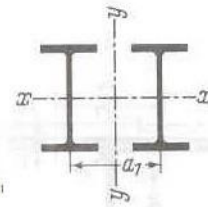
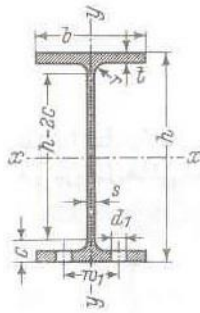
در پروفیل‌هایی به ارتفاع

کمتر از ۳۰۰ میلیمتر

از ۳۰۰ میلیمتر به بالا

۸ تا ۱۶ متر

۸ تا ۱۶ متر



e_1 = فاصله بین دو مرکز تیر آهن برای اینکه هر دو گشتاور

ماند اصلی مساوی هم و معادل $2J_x$ شوند

ردیف $S_x S_x J_D CM$ را در صفحه ۳۱ ملاحظه کنید

کلاس استاندارد	اندازه میلیمتر برای							F	G	برای محور خمش						a ₁	سوراخ‌های لبه	
	h	b	s	t	r	c	h-2c			x-x			y-y				d ₁	w ₁
										J _x	W _x	i _x	J _y	W _y	i _y			
I PE	ردیف IPE (گرم غلطک خورده) طبق دین ۱۰۲۵ برگ ۵ انتشار مارس ۱۹۶۵ ردیف IPE معادل نرم اروپایی ۷۵ - ۱۹ است																	
80	80	46	3,8	5,2	5	10,2	59	7,84	6,00	80,1	20,0	3,24	8,49	3,69	1,05	63	8,4	26
100	100	55	4,1	5,7	7	12,7	74	10,3	8,10	171	34,2	4,07	15,9	5,79	1,24	79	8,4	30
120	120	64	4,4	6,3	7	13,3	93	13,2	10,4	318	53,0	4,90	27,7	8,65	1,45	96	8,4	36
140	140	73	4,7	6,9	7	13,9	112	16,4	12,9	541	77,3	5,74	44,9	12,3	1,65	112	11	40
160	160	82	5,0	7,4	9	16,4	127	20,1	15,8	889	109	6,58	68,3	16,7	1,84	129	13**)	44
180	180	91	5,3	8,0	9	17,0	146	23,9	18,8	1320	146	7,42	101	22,2	2,05	145	13	50
200	200	100	5,6	8,5	12	20,5	159	28,5	22,4	1940	194	8,26	142	28,5	2,24	162	13	58
220	220	110	5,9	9,2	12	21,2	177	33,4	26,2	2770	252	9,11	205	37,3	2,48	179	17	60
240	240	120	6,2	9,8	15	24,9	190	39,1	30,7	3890	324	9,97	284	47,3	2,69	196	17	68
270	270	135	6,6	10,2	15	25,2	219	45,9	36,1	5790	429	11,2	420	62,2	3,02	220	21 17	72
300	300	150	7,1	10,7	15	25,7	248	53,8	42,2	8360	557	12,5	604	80,5	3,35	245	23	80
330	330	160	7,5	11,5	18	29,5	271	62,6	49,1	11770	713	13,7	788	98,5	3,55	270	25 23	86
360	360	170	8,0	12,7	18	30,7	298	72,7	57,1	16270	904	15,0	1040	123	3,79	294	25	90
400	400	180	8,6	13,5	21	34,5	331	84,5	66,3	23130	1160	16,5	1320	146	3,95	326	28 25	96
450	450	190	9,4	14,6	21	35,8	378	98,8	77,6	33740	1500	18,5	1680	176	4,12	365	28	106
500	500	200	10,2	16,0	21	37,0	426	116	90,7	48200	1930	20,4	2140	214	4,31	404	28	110
550	550	210	11,1	17,2	24	41,2	467	134	106	67120	2440	22,3	2670	254	4,45	442	28	120
600	600	220	12,0	19,0	24	43,0	514	156	122	92080	3070	24,3	3390	308	4,66	481	28	120

با توجه به جدول اِستال IPE ۲۴۰ برای این دهانه مناسب است .

با توجه به این مثال ، ممکن است یک نمره تیر آهن از لحاظ باربری و محاسباتی ، کفایت کند، اما از نظر لرزش و ارتعاش کفایت نکند و نیاز به نمره بالاتر تیر آهن داشته باشیم.

این مثالی از یک پروژه واقعی بود. این اشتباهی بود که از محاسب سازه سر زد. به اصرار خود سازنده برای یک سازه مسکونی با سقف کامپوزیت، برای تیرهای فرعی، تیر آهن IPE ۲۰۰ در نظر گرفتند.

پس از اجرای سه سقف همان سازنده از دست محاسب شاکی شد که سازه را ضعیف طراحی کرده و سقف هنگامی که روی آن راه می رویم، لرزش دارد. متأسفانه دهانه اصلی این سازه که ۷/۵ متر طول داشت، مربوط به فضای پذیرایی و خالی از تیغه بندی بود.

به همین خاطر مشمول بند صفحه ۱۹۲ آیین نامه می شد و مطابق همان مثالی که آوردیم باید تیر آهن IPE ۲۴۰ برای تیرهای فرعی در نظر گرفته می شد.

محاسبات مربوط به سقف کامپوزیت :

در نرم افزار **ETABS** آیتم مُجزایی برای مدل کردن و طراحی سقف کامپوزیت و تیرهای فرعی وجود دارد. در ورژن های جدید نرم افزار نیز تمامی کنترل های لازم برای کفایت تیرها از جمله لرزش و خیز تیر، انجام می شود و دیگر نیاز به انجام این محاسبات دستی مرتفع شده است.

به همین خاطر است که در نرم افزار، پس از اینکه آنالیز انجام می شود، بعضی از المان ها، با وجود داشتن ضریب **Ratio** پایین، همچنان به رنگ قرمز (ضعیف) هستند.

البته ناگفته نماند، به طور کلی لرزش سازه های فلزی، بخصوص قبل از انجام سفت کاری و تیغه بندی، امری طبیعی است.

بعداً با انجام مراحل کف سازی و اجرای تیغه بندی، تا حد زیادی از لرزش ها کاسته می شود. بند مورد اشاره آیین نامه هم برای این است که این لرزش در افراد حس ناامنی ایجاد ننماید.

استفاده از تیرهای لانه زنبوری در سقف کامپوزیت :

در سقف های کامپوزیت، می توان، برای اینکه با افزایش ارتفاع تیر، مقدار آهن مصرفی هم زیاد نشود، از تیرهای لانه زنبوری (شبکه) استفاده کنیم. البته در ابتدا و انتهای این تیرها، باید جان تیر با استفاده از ورق مضاعف تقویت گردد.

در تیرهای بلند، در وسط دهانه نیز باید جان تیر با ورق مضاعف تقویت گردد. در آن سازه هم که مثالش را آوردیم، تیرهای فرعی در آن سه طبقه تقویت شد و برای سقف های بعدی که هنوز اجرا نشده بود، تیرهای شبکه در نظر گرفته شد.



محدودیت استفاده از تیر لانه زنبوری (شبكة) در سازه ها :

مطابق مبحث دهم، استفاده از تیرهای لانه زنبوری در قاب هایی که نقش باربر جانبی را دارند، ممنوع است. (مثل قاب های خمشی یا دهانه های بادبندی شده). اما تیرهای فرعی و کِش ها (تیرهای مفصلی ساده) در دهانه های غیر بادبندی، صرفاً نقش باربری ثقیلی دارند و استفاده از تیرهای لانه زنبوری در آن ها بلا مانع است.





استفاده از تیر لانه زنبوری
در دهانه های بادبندی
ممنوع است.

در نگارش این مقاله زحمت زیادی کشیده شده است. خوشحال می شویم که ما را از نظراتتان بهره مند سازید
همچنین این مقاله را با دیگران به اشتراک بگذارید.
پیشنهاد میکنم این مقالات را نیز از دست ندهید:

• نکات اجرایی صفحه ستون یا بیس پلیت در سازه های فلزی

• بلوک های پلاستیکی غیر ماندگار در سقف

• آموزش طراحی دیوار حائل بتنی در زیر زمین

برای مشاهده مقالات و مطالب جدید به وبسایت نگین عمران به نشانی www.neginomran.com مراجعه نمایید.
همچنین برای دریافت جدیدترین مطالب، اخبار سایت و برخورداری از تخفیفات سایت می توانید در کانال تلگرامی ما
عضو شوید :



<https://telegram.me/neginomran>

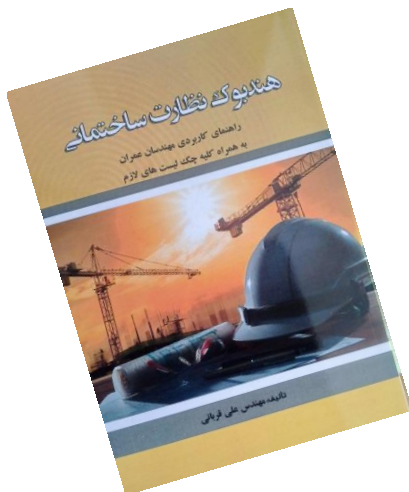
محصولات آموزشی نگین عمران



آموزش نقشه خوانی و نکات اجرایی سازه های بتنی



آموزش نقشه خوانی و نکات اجرایی سازه فلزی



کتاب هندبوک نظارت ساختمانی



آموزش جامع گودبرداری و اجرای سازه نگهداری

جهت تهیه محصولات آموزشی می توانید به وبسایت نگین عمران مراجعه نمایید. برای کسب اطلاعات بیشتر، راهنمایی و مشاوره جهت تهیه محصولات می توانید از روش های زیر با ما ارتباط بگیرید:

ایمیل : neginomran@gmail.com

شماره تماس : ۰۹۲۱-۲۳۶۹۴۳۶

شماره تماس :