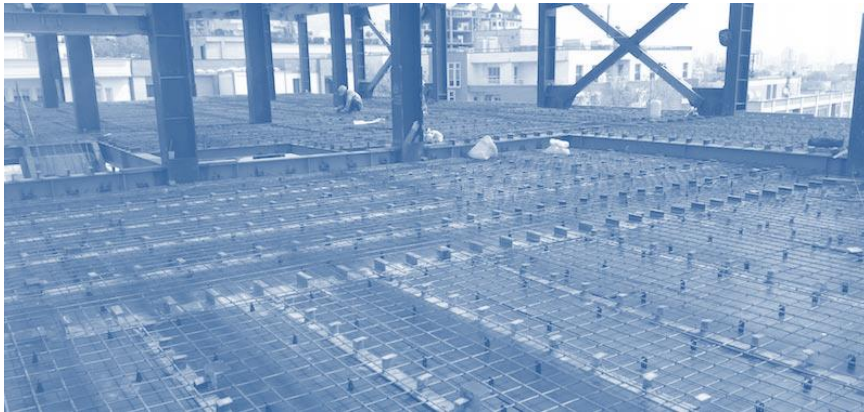


فصل نهم

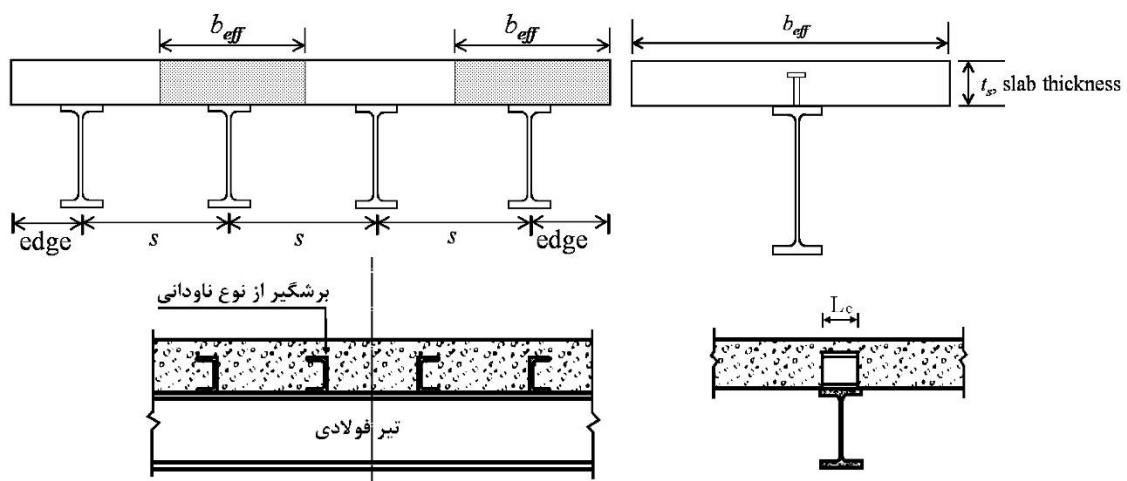
اعضای مختلط

ویرایش بهار ۱۳۹۸

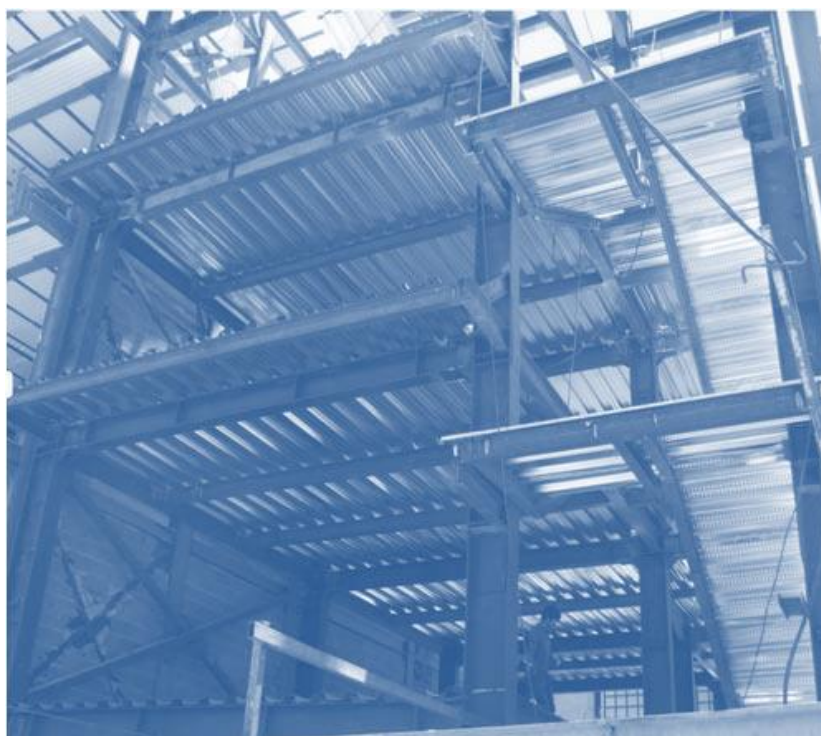
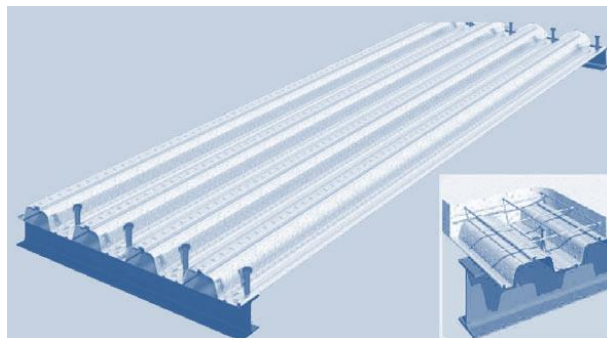
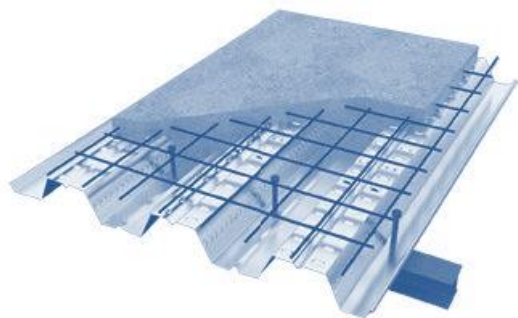
اعضای مختلط به اعضایی گفته می‌شود که در آن از فولاد و بتن برای تحمل بارها استفاده می‌شود. یعنی از ظرفیت فشاری بتن استفاده شده و از فولاد برای تحمل کشش استفاده می‌شود. به‌منظور عملکرد یکپارچه این اعضا لازم است تا بتن و فولاد توسط برشگیرها (نظیر نودانی، گلمیخ و ...) در فواصل مناسب به هم دوخته شوند. به شکل زیر توجه کنید. تیرچه‌های لانه زنبوری با فواصل حدود یک متر از هم قرار دارند و بر روی آن‌ها برشگیر از نوع نودانی متصل شده است. یک شبکه میلگرد متعامد نیز بر روی آن‌ها قرار گرفته است.



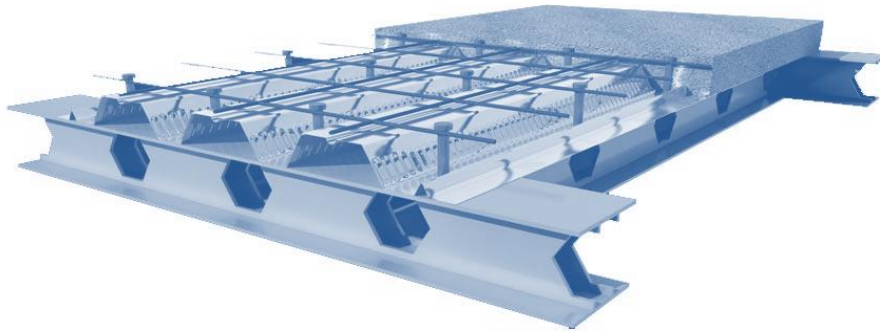
شکل زیر نیز نمای زیر سقف را پس از بتن ریزی نشان می‌دهد:



در سقف عرشه فولادی فاصله تیرچه‌ها حداکثر ۲/۵ الی ۳ متر منظور می‌شود. به تیرچه‌های قرار گرفته در زیر سقف توجه کنید:



شکل‌های زیر نحوه قرارگیری گلمیخ‌ها را نشان می‌دهد:

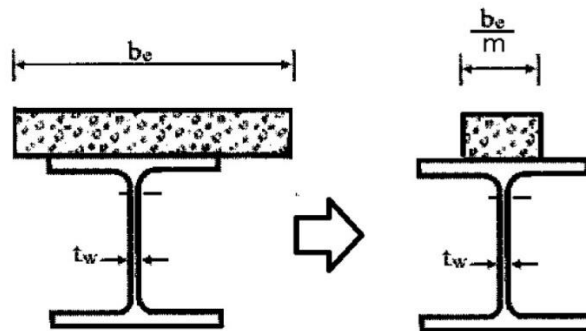


۹-۱ مقاومت خمشی مقاطع مختلط با برش‌گیر

تنها نکته‌ای که در طراحی خمشی این مواد باید منظور شود استفاده از مقطع تبدیل یافته است. بدین منظور ابتدا نسبت تبدیل بتن به فولاد را از رابطه زیر محاسبه می‌کنیم:

$$m = \frac{0.85 \cdot f_c}{f_y} = \frac{E_s}{E_c}$$

سپس تنها عرض بتن مقطع را بر عدد فوق تقسیم می‌کنیم. عدد به دست آمده عرض بتن معادل فولاد در مقطع تبدیل یافته است. نکته‌ای که باید به آن توجه شود، صرف‌نظر از بتن در قسمت ترک خورده است. همچنین بعد از تبدیل مقطع، حداکثر تنش بتن معادل در مقطع جدید برابر با f_y و نه $0.85f_c$ می‌باشد.



نگاه به آیین‌نامه

۱۰-۲-۸-۳ اعضای خمشی با مقطع مختلط

اعضای خمشی با مقطع مختلط به سه گروه زیر طبقه‌بندی می‌شوند.
 الف) اعضای خمشی با مقطع فولادی و دال متکی بر آن به همراه برشگیر
 ب) اعضای خمشی با مقطع مختلط محاط در بتن
 پ) اعضای خمشی با مقطع با مقطع مختلط پر شده با بتن

۱۰-۲-۸-۳-۱ عرض مشر و حداقل ضخامت دال بتنی

عرض مؤثر دال بتنی که در هر طرف تیر با آن به صورت مختلط عمل می‌نماید، نباید از کوچک‌ترین مقادیر زیر بزرگ‌تر در نظر گرفته شود.

۱. یک هشتم دهانه تیر (مرکز تا مرکز تکیه‌گاه‌های تیر)
۲. نصف فاصله محور تیر تا محور تیر مجاور
۳. فاصله محور تیر تا لبه دال

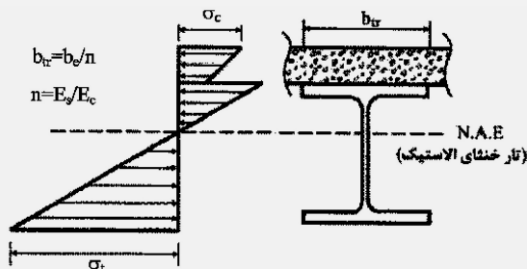
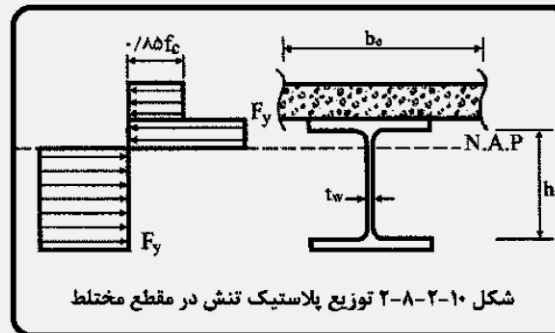
توضیح: حداقل ضخامت دال بتنی 80 میلی‌متر مقرر می‌گردد.

۱۰-۲-۸-۳-۳ مقاومت خمشی مقاطع مختلط دارای برشگیر

الف) مقاومت خمشی مثبت

مقاومت خمشی مثبت طراحی مساوی M_n می‌باشد که در آن ϕ_b ضریب کاهش مقاومت برابر 0.9 و M_n مقاومت خمشی مثبت اسمی می‌باشد که باید براساس حالت حدی تسلیم به شرح زیر تعیین شود.

۱. در صورتی که $\frac{h}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{E/F_y}$ باشد، M_n باید براساس توزیع پلاستیک تنش بر روی مقطع مختلط تعیین شود.



۲. در صورتی که $\frac{h}{t_w} > 3.76 \sqrt{E/F_y}$ باشد M_n باید براساس روی هم‌گذاری تنش‌های الاستیک با فرض مقطع تبدیل یافته و با در نظر گرفتن اثر پایه‌های موقت برای حالت حدی تسلیم در تارهای انتهایی مقطع مختلط تعیین گردد. به عبارت دیگر:

$$M_n = \min(M_{n1}, M_{n2}) \quad (10-2-8-3)$$

در روابط فوق:

$$M_{a1} = \text{لنگر خمشی نظیر تنش } F_y \text{ در دورترین تار فولادی مقطع تبدیل یافته}$$

$$M_{a2} = \text{لنگر خمشی نظیر تنش } 0.7f_c \text{ در دورترین تار دال بتنی در مقطع تبدیل یافته}$$

$$F_y = \text{تنش تسلیم فولاد}$$

$$f_c = \text{مقاومت فشاری مشخصه نمونه استوانه‌ای بتن}$$

$$t_w = \text{ضخامت جان تیر فولادی}$$

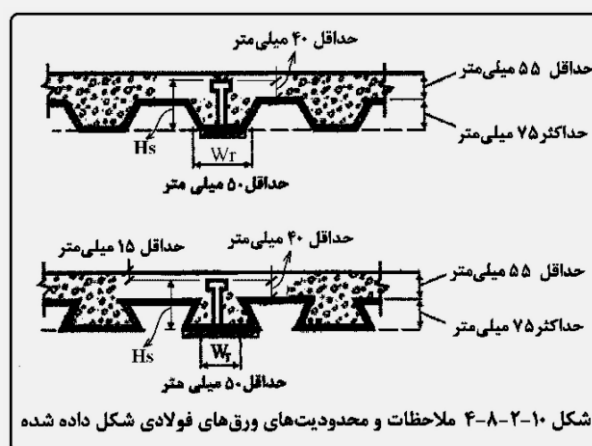
h = فاصله بین شروع گردی ریشه جان به بال برای نیم‌رخ‌های نورد شده و فاصله آزاد بین دو بال برای مقاطع فولادی ساخته شده از ورق

۱۰-۲-۳-۸-۳ مقاومت خمشی مقاطع مختلط دارای برشگیر

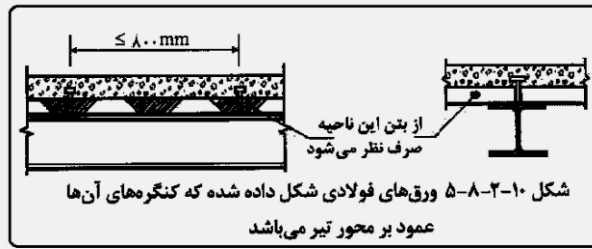
پ) مقاومت خمشی مقاطع مختلط به همراه ورق‌های فولادی شکل داده شده مقاومت خمشی طراحی مقاطع مختلط متشکل از دال بتنی بر روی ورق‌های فولادی شکل داده شده و متصل به مقطع فولادی مساوی M_n می‌باشد که در آن ضریب کاهش مقاومت برابر 0.9 و M_n مقاومت خمشی اسمی می‌باشد که باید براساس الزامات بند ۱۰-۲-۳-۸-۳ و با رعایت الزامات زیر تعیین گردد.

پ-۱) ملاحظات و محدودیت‌ها

- ارتفاع اسمی ورق‌های فولادی شکل داده شده (h_f) نباید از ۷۵ میلی‌متر بیش‌تر باشد. پهنای متوسط کنگره‌های پر شده با بتن نباید کم‌تر از 5° میلی‌متر باشد، لیکن در محاسبات نباید بزرگ‌تر از حداقل پهنای آزاد (خالص) در نزدیکی سطح فوقانی ورق فولادی شکل داده شده در نظر گرفته شود.
- دال بتنی به وسیله گل میخ‌های برشگیر با قطر حداکثر ۲۰ میلی‌متر به مقطع فولادی متصل شوند. گل میخ‌ها باید از طریق ورق فولادی شکل داده شده یا به طور مستقیم به مقطع فولادی جوش شوند. در هر حال گل میخ‌ها باید روی بال مقطع فولادی ذوب شوند. پس از نصب، ارتفاع گل میخ‌ها که از بالای ورق فولادی شکل داده شده اندازه‌گیری می‌شود، نباید از ۴۰ میلی‌متر کم‌تر باشد. پوشش بتن روی گل میخ‌ها نباید کم‌تر از ۱۵ میلی‌متر باشد.

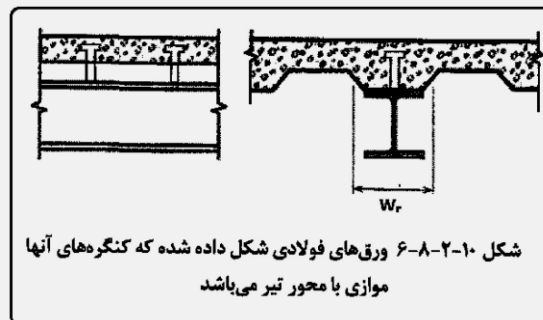


- ضخامت دال بتنی در قسمت فوقانی ورق فولادی شکل داده شده نباید کم‌تر از ۵۵ میلی‌متر باشد.
- ورق‌های فولادی شکل داده شده باید در فواصلی حداکثر ۴۵۰ میلی‌متر به مقطع فولادی و سایر اعضای تکیه‌گاهی مهار شوند. این مهارها می‌توانند گل میخ‌های برشگیر، ترکیبی از گل میخ‌ها و جوش‌های نقطه‌ای یا هر راهکار ارائه شده توسط مهندس طراح باشد.



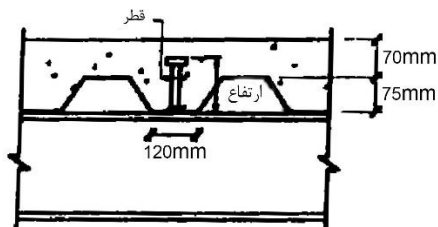
پ-۲) ورق‌های فولادی شکل داده شده که کنگره‌های آنها عمود بر محور تیر می‌باشد. در تعیین مشخصات هندسی مقطع مختلط و نیز در محاسبه A_c باید از بتن موجود در زیر سطح فوقانی ورق فولادی شکل داده شده صرف نظر شود (شکل ۵-۸-۱۰).

پ-۳) ورق‌های فولادی شکل داده شده که کنگره‌های آنها موازی با محور تیر می‌باشد. در تعیین مشخصات هندسی مقطع مختلط و نیز در محاسبه A_c می‌توان از بتن موجود در زیر سطح فوقانی ورق فولادی شکل داده شده استفاده نمود. همچنین، ورق‌های فولادی شکل داده شده را می‌توان در روی تیر فولادی تکیه‌گاهی از هم جدا کرد تا در روی بال مقطع فولادی یک ماهیچه بتنی تشکیل شود. چنانچه ارتفاع اسمی ورق‌های فولادی شکل داده شده (h_f) ۴۰ میلی‌متر یا بزرگ‌تر باشد، پهنای متوسط کنگره‌های پر شده با بتن در روی تیر تکیه‌گاهی نباید کم‌تر از ۵۰ میلی‌متر برای حالت یک گل‌میخ در پهنای باشد. این پهنای حداقل برای هر گل‌میخ اضافی، به اندازه ۴ برابر قطر گل‌میخ باید افزایش یابد.



مثال: محاسبات ۹۳

۴۱- در شکل زیر بخشی از یک سقف مرکب با ورق‌های فولادی شکل داده شده، نشان داده شده است. استفاده از کدام گل‌میخ در این سقف قابل قبول است؟



- ۱) قطر ۱۶mm و ارتفاع ۷۵mm
- ۲) قطر ۱۹mm و ارتفاع ۱۲۰mm
- ۳) قطر ۱۶mm و ارتفاع ۱۰۰mm
- ۴) قطر ۲۲mm و ارتفاع ۱۲۰mm

گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

ارتفاع گل‌میخ حداقل باید ۱۱۵mm باشد. قطر گل‌میخ حداکثر می‌تواند ۲۰mm باشد.

مثال: محاسبات ۹۴

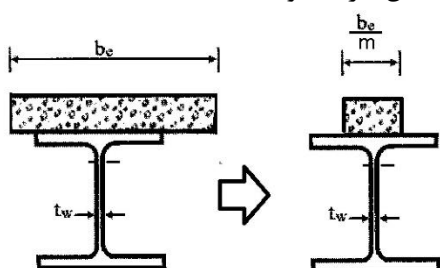
۱۴- در یک سقف مختلط با بتن از رده C۲۵ و تیر آهن‌های IPE۲۰۰ (با سطح مقطع ۲۸۵۰mm^2) از فولاد با تنش تسلیم ۲۴۰MPa ، ضخامت دال ۸۰mm و عرض مؤثر دال بتنی هر تیر یک متر می‌باشد. مقاومت خمشی اسمی (M_n) مثبت هر تیر مختلط حدوداً چند kN/m می‌باشد؟

- (۱) ۱۳۲ (۲) ۱۱۲ (۳) ۹۶ (۴) ۸۴

گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به این که IPE۲۰۰ یک مقطع فشرده می‌باشد، نسبت h/t آن پایین بوده و مقاومت خمشی پلاستیک مقطع منظور خواهد شد (حالت از آیین‌نامه که در زیر آمده است).

ابتدا باید محل تار خنثی پلاستیک به دست آید. برای این منظور باید بتن معادل سازی شود:



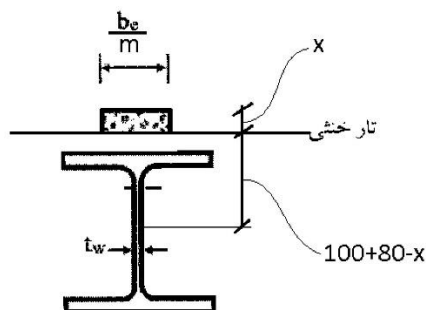
در شکل مقابل m نسبت تبدیل بتن به فولاد می‌باشد که برابر است با:

$$m = \frac{F_y}{\gamma_s f'_c} = \frac{۲۴۰}{۰٫۸۵ \times ۲۵} = ۱۱٫۲۹$$

بنابراین مساحت بتن معادل برابر است با:

$$\frac{۱۰۰۰}{۱۱٫۲۹} \times ۸۰ = ۷۰۸۵\text{mm}^2$$

که بیش‌تر از مساحت فولاد می‌باشد. بنابراین تار خنثی در داخل بتن قرار می‌گیرد (تار خنثی پلاستیک چنان خواهد بود که مساحت بالا و پایین تار خنثی برابر باشد):

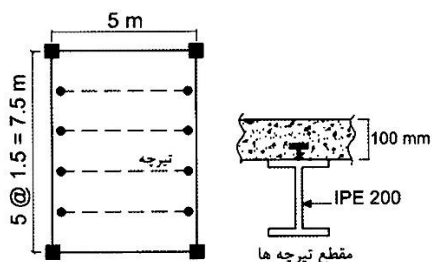


$$x \times \frac{۱۰۰۰}{۱۱٫۲۹} = ۲۸۵۰ \rightarrow x = ۳۲٫۱۷\text{mm}$$

$$M_n = A F_y \left(۱۰۰ + ۸۰ - \frac{x}{۲} \right) = ۱۱۲۱۱۷۸۶۰\text{N/mm} = ۱۱۲\text{kNm/m}$$

مثال: محاسبات ۹۷

۲۰- در شکل زیر پلان یک ساختمان فولادی با تیرچه‌های مختلط نشان داده شده است. اگر ضخامت دال بتنی تخت برابر ۱۰۰ میلی‌متر و مقطع تیرچه‌های مختلط از IPE۲۰۰ باشد و تیرچه‌های دارای عملکرد مختلط کامل باشند، آن‌گاه براساس روش توزیع پلاستیک تنش، مقاومت خمشی طراحی تیرچه‌های مختلط برحسب kN/m به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟



$$F_y = ۲۴۰\text{MPa}$$

$$f_c = ۲۵\text{MPa}$$

$$W_c = ۲۵۰ \cdot \text{kg/m}^3$$

(۱) ۴۸

(۲) ۹۶

(۳) ۱۱۵

(۴) ۱۲۸

گزینه ۳ صحیح می باشد.

محاسبه عرض مشتر بتن برای هر تیرچه:

$$b_e = 2 \times \text{Min} \left(\frac{5000}{8}, \frac{1500}{2} \right) = 1250 \text{ mm}$$

۱۰-۲-۸-۳-۱ عرض مؤثر و حداقل ضخامت دال بتنی

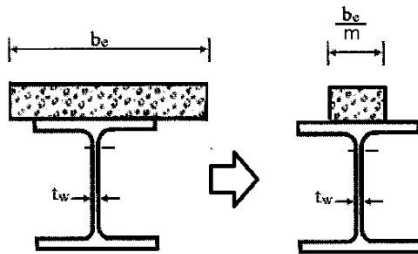
عرض مؤثر دال بتنی که در هر طرف تیر با آن به صورت مختلط عمل می نماید، نباید از کوچک ترین مقادیر زیر بزرگ تر در نظر گرفته شود.

۱. یک هشتم دهانه تیر (مرکز تا مرکز تکیه گاه های تیر)

۲. نصف فاصله محور تیر تا محور تیر مجاور

۳. فاصله محور تیر تا لبه دال

ابتدا باید محل تار خنثی پلاستیک به دست آید. برای این منظور باید بتن معادل سازی شود:



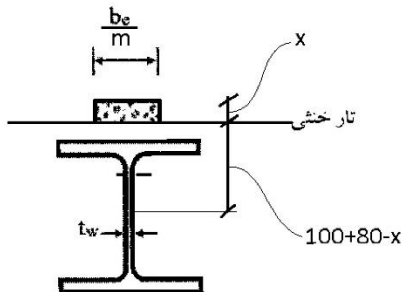
در شکل مقابل m نسبت تبدیل بتن به فولاد می باشد که برابر است با:

$$m = \frac{F_y}{\gamma_s f_c'} = \frac{240}{1.85 \times 25} = 11/29 \rightarrow \frac{b_e}{m} = \frac{1250}{11/29} = 11067 \text{ mm}$$

بنابراین مساحت بتن معادل برابر است با:

$$\frac{1250}{11/29} \times 100 = 11067 \text{ mm}^2$$

که بیش تر از مساحت $IPE200$ ($A_{IPE200} = 2850 \text{ mm}^2$) می باشد. بنابراین تار خنثی در داخل بتن قرار می گیرد (تار خنثی پلاستیک چنان خواهد بود که مساحت بالا و پایین تار خنثی برابر باشد):

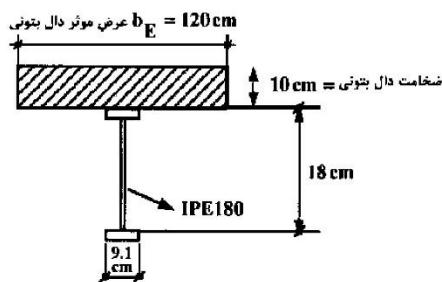


$$x \times 11067 = 2850 \rightarrow x = 25/75 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi A F_y \left(100 + 100 - \frac{x}{2} \right) = 0.9 \times 2850 \times 24 \left(100 + 100 - \frac{25/75}{2} \right) = 115 \text{ kN/m}$$

مثال: محاسبات ۹۱

۴۹- اساس مقطع تیر مختلط روبه رو (در محاسبات تنش) نسبت به تار پایینی مقطع بر حسب cm^3 کدام است؟



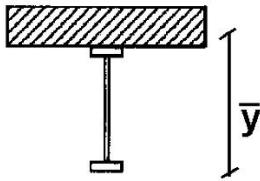
$$I_{xIPE180} = 132 \cdot \text{cm}^4, A_{IPE180} = 23/9 \text{ cm}^2, n = \frac{E_s}{E_c} = 8$$

(۱) ۳۱۳/۶

(۲) ۳۴۸/۱

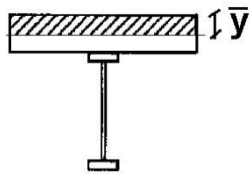
(۳) ۷۳۴/۹

(۴) ۹۵۵/۳



$$\bar{y} = \frac{\frac{120}{\lambda} \times 10 \times (18 + 5) + 23/9 \times 9}{\frac{120}{\lambda} \times 10 + 23/9} = 21/08$$

بنابراین تار خنثی در داخل بتن قرار می‌گیرد و قسمتی از بتن تحت کشش خواهد بود. بنابراین ارتفاع تار خنثی باید مجدداً با حذف بتن کششی محاسبه شود:



$$\frac{\frac{120}{\lambda} \times y^2}{2} = 23/9 \times (9 + 10 - \bar{y}) \rightarrow \bar{y} = 6/35 \text{ cm}$$

$$I = 1320 + 23/9 \times (9 + 10 - 6/35)^2 + \frac{\frac{120}{\lambda} \times 6/35^3}{3} = 6224$$

$$S = \frac{I}{(18 + 10 - y)} = \frac{6224}{21/65} = 296/7$$

پاسخ در گزینه‌ها نیست.

ظاهراً طراح از بتن کششی صرف‌نظر نکرده است. با فرض این‌که از بتن کششی صرف‌نظر نشود:

$$I = 1320 + 23/9 \times (21/08 - 9)^2 + \frac{\frac{120}{\lambda} \times 10^3}{8} \times 10 \times (23 - 21/08)^2 = 6610$$

$$S = \frac{I}{(18 + 10 - y)} = \frac{6610}{21/08} = 313/6$$

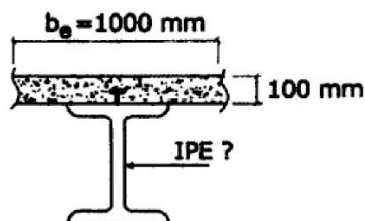
با فرض این‌که از بتن کشش صرف‌نظر نشود، گزینه ۱ صحیح است.

تمرین: در سؤال بالا مرکز پلاستیک مقطع را به دست آورید.

مثال: محاسبات بهمن ۹۷

چنان‌چه تیر مختلط نشان داده شده در شکل زیر دارای عملکرد مختلط کامل باشد، آن‌گاه حداقل شماره نیم‌رخ قابل قبول از نوع IPE برای آن‌که فاصله محور خنثی پلاستیک مقطع از بالای بتن بیش از نصف ضخامت دال بتن باشد،

به کدام یک از نیم‌رخ‌های زیر نزدیک‌تر است؟ $f_c = 25 \text{ MPa}$, $F_y = 240 \text{ MPa}$



(۱) IPE ۱۸۰

(۲) IPE ۲۲۰

(۳) IPE ۲۷۰

(۴) IPE ۳۳۰

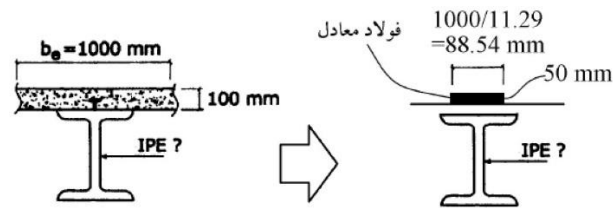
گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

ابتدا ضریب تبدیل بتن به فولاد را محاسبه می‌کنیم:

$$m = \frac{F_y}{\gamma_{s1} f'_c} = \frac{240}{1.15 \times 25} = 11/29$$

پس از معادل سازی بتن با فولاد معادل با آن (شکل زیر)، طبق گفته مسأله اگر تار خنثی پلاستیک در وسط قسمت بتنی باشد، داریم:

$$50 \times 88.54 = A_{IPE} \rightarrow A_{IPE} = 4427 \text{ mm}^2$$



۹-۱-۱- تعداد برشگیرها در تیرها

نگاه به آیین نامه

۱۰-۲-۸-۳ مقاومت مقاطع مختلط دارای برشگیر

(ت) انتقال بار بین تیر فولادی و دال بتنی

(ت-۱) نواحی لنگر خمشی مقبت

۱. مقاومت برش افقی مورد نیاز

برای عملکرد مختلط کامل، برش افقی مورد نیاز باید به شرح زیر برابر کوچک ترین مقدار محاسبه شده براساس حالت های حدی خردشدگی بتن و تسلیم کششی مقطع فولادی در نظر گرفته شود.

○ خردشدگی بتن

$$V_{hu} = 0.85 f_c A_c$$

(۱۹-۸-۲-۱۰)

○ تسلیم کششی مقطع فولادی

$$V_{hu} = F_y A_s$$

(۲۰-۸-۲-۱۰)

در روابط فوق:

f_c = مقاومت فشاری مشخصه نمونه استوانه ای بتن

A_c = سطح مقطع دال بتنی در محدوده عرض مؤثر

A_s = مساحت مقطع فولادی

F_y = تنش تسلیم فولاد مقطع فولادی

۲. مقاومت برش افقی اسمی

مقاومت برش افقی اسمی اعضای با مقطع مختلط متکی بر دال بتنی و دارای برشگیر باید مطابق رابطه زیر

براساس مقاومت برشی برشگیرها تعیین گردد.

$$V_{hn} = \sum Q_n$$

(۲۱-۸-۲-۱۰)

که در آن:

$\sum Q_n$ = مجموع مقاومت های برشی اسمی برشگیرها در حد فاصل نقاط لنگر خمشی مثبت حداکثر و لنگر صفر

مطابق مقررات بند ۱۰-۲-۸-۷.

۳. تعداد، فاصله و مشخصات برشگیرها بایستی از طریق برقراری رابطه زیر و بدون احتساب ضریب کاهش

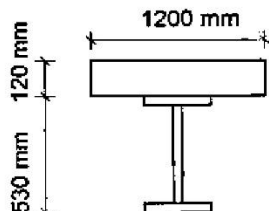
مقاومت تعیین گردد.

$$V_{hn} \geq V_{hn}$$

(۲۲-۸-۲-۱۰)

مثال: محاسبات خرداد ۹۳

۲۸- یک تیر دو سر ساده با مقطع مختلط خمشی، تشکیل شده است از یک تیر ورق I شکل با جان $PL50 \times 10 \text{ mm}$ و بال‌های $PL200 \times 15 \text{ mm}$ ، ضخامت 120 mm و عرض مؤثر آن در هر طرف تیر 600 mm است. میلگرد دال $S340$ ، رده بتن $C25$ و فولاد تیر ورق $ST37$ ($f_u = 370 \text{ MPa}$, $F_y = 240 \text{ MPa}$) فرض می‌شود. برای عملکرد مختلط کامل این تیر، مقاومت برشی افقی مورد نیاز به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟



۲۶۴۰ kN (۲)

۳۰۶۰ kN (۱)

۱۳۲۰ kN (۴)

۱۵۳۰ kN (۳)

گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$\left. \begin{aligned} V_{hu} &= 0,85 \times 25 \times 1200 \times 120 = 3060 \text{ kN} \\ V_{hu} &= 240 \times (500 \times 10 + 2 \times 200 \times 15) = 2640 \text{ kN} \end{aligned} \right\} V_{hu} = 2640 \text{ kN}$$

مثال: محاسبات آذر ۹۲

۴۹- یک تیر دو سر ساده با مقطع مختلط و با عملکرد مختلط کامل شامل دال بتنی به ضخامت 120 میلی‌متر و تیرهای فولادی $IPE220$ ($A = 33,4 \text{ cm}^2$) به فواصل $2,5$ متر و طول 6 متر مفروض است. در طراحی به روش تنش مجاز، برشگیرهای واقع در حد فاصل نقطه حداکثر لنگر خمشی و تکیه‌گاه باید حدوداً برای چه نیروی برشی افقی طراحی شوند؟ فرض کنید بتن از رده $C25$ و فولاد از نوع $St37$ است.

۴۰۰ kN (۴)

۸۰۰ kN (۳)

۱۹۱۵ kN (۲)

۳۲۰۰ kN (۱)

$$b_{\text{eff}} = \text{Min}\left(2 \times \frac{6000}{8}, 2 \times \frac{2500}{2}\right) = 1500 \text{ mm}$$

$$\left. \begin{aligned} V_h &= 0,85 \times 25 \times (1500 \times 120) = 3825 \text{ kN} \\ V_h &= 240 \times 3340 = 8016 \text{ kN} \end{aligned} \right\} V_h = 8016 \text{ kN}$$

۹-۲- ضوابط برشگیرها در تیرها

نگاه به آیین‌نامه

۱۰-۲-۸-۷-۲ برشگیرهای تیرهای با مقطع مختلط

برشگیرها باید یا از نوع گل‌میخ‌های کلاهک‌دار که طول آن‌ها بعد از نصب، حداقل ۴ برابر قطرشان است یا از نوع ناودانی‌های گرم نورد شده باشند، برشگیرها باید در دال‌هایی مدفون شوند که سنگ‌دانه‌های آن‌ها برای بتن معمولی منطبق بر الزامات مبحث نهم مقررات ملی ساختمان باشند. استفاده از سایر اجزای فولادی به عنوان برشگیر تنها در صورتی مجاز است که مقاومت برشی اسمی آن‌ها از طریق آزمایشگاه ذی‌صلاح تأیید شده باشد.

الف) مقاومت برشی اسمی برشگیرهای از نوع گل‌میخ

مقاومت برشی اسمی برشگیرهای از نوع گل‌میخ که بر بال فوقانی تیر فولادی متصل شده و در داخل بتنی قرار می‌گیرند، باید از رابطه زیر تعیین شود.

$$Q_n = 0.5 A_{sa} \sqrt{f_c E_c} \leq R_g R_p A_{sa} F_u \quad (33-8-2-10)$$

که در آن:

A_{sa} = سطح مقطع گل‌میخ

E_c = مدول الاستیسیته بتن

f_c = مقاومت فشاری مشخصه نمونه استوانه‌ای بتن

F_u = تنش کشش نهایی حداقل مصالح گل‌میخ

R_p و R_g = ضرایب اصلاحی طبق جدول ۱۰-۸-۲-۱۰

جدول ۱۰-۸-۲-۱۰ مقادیر R_p و R_g

R_p	R_g	حالت	
۰.۷۵	۱	۱. مقاطع مختلط بدون استفاده از ورق‌های فولادی شکل داده	
۰.۷۵	۱	$w_T/h_T < 1/5$	کنگره‌ها موازی با محور تیر فولادی
۰.۷۵	۰.۸۵	$w_T/h_T \geq 1/5$	
۰.۶	۱	تعداد گل‌میخ در یک کنگره در محل تقاطع با تیر مساوی ۱	۲. مقاطع مختلط با استفاده از ورق‌های فولادی شکل داده شده
۰.۶	۰.۸۵	تعداد گل‌میخ در یک کنگره در محل تقاطع با تیر مساوی ۲	
۰.۶	۰.۷	تعداد گل‌میخ در یک کنگره در محل تقاطع با تیر مساوی یا بزرگ‌تر از ۳	

پ) جزئیات بندی

به استثنای برشگیرهای نصب شده در داخل کنگره ورق‌های فولادی شکل داده شده، برشگیرها باید حداقل ۲۵ میلی‌متر پوشش جانبی از بتن داشته باشند. حداقل فاصله گل‌میخ تا لبه بتن در امتداد برش افقی برای بتن‌های با وزن مخصوص معمولی باید ۲۰ میلی‌متر و برای بتن‌های سبک ۲۵ میلی‌متر باشد.

حداقل فاصله مرکز تا مرکز بین برشگیرهای از نوع گل‌میخ مساوی ۶ برابر قطر آن‌ها در امتداد محور طولی تیر و ۴ برابر قطر آن‌ها در امتداد عمود بر محور طولی تیر با مقطع مختلط می‌باشد، مگر در داخل کنگره‌های ورق‌های فولادی شکل داده شده که حداقل فاصله مرکز تا مرکز در هر امتداد را می‌توان ۴ برابر قطر گل‌میخ انتخاب کرد. حداکثر فاصله تا مرکز بین برشگیرها نباید از ۸ برابر ضخامت گل‌دال بتنی یا ۸۰۰ میلی‌متر تجاوز نماید.

ب) مقاومت برشی اسمی برشگیرهای از نوع ناودانی

مقاومت برشی اسمی برشگیرهای از نوع ناودانی که بر بال فوقانی تیر فولادی متصل شده و در داخل دال بتنی قرار می‌گیرند، باید از رابطه زیر تعیین شود.

$$Q_n = 0.3(t_f + 0.5t_w)L_a \sqrt{f_c E_c} \quad (34-8-2-10)$$

که در آن:

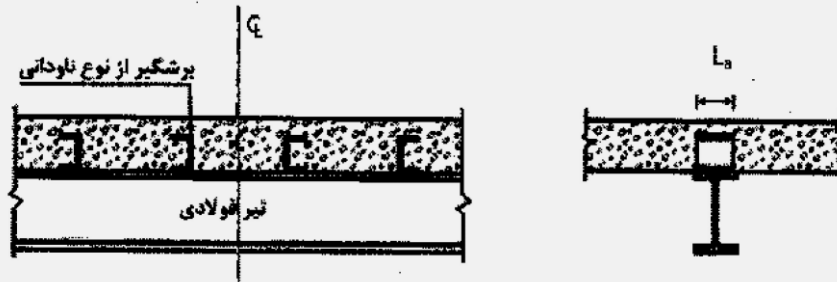
$$t_f = \text{ضخامت متوسط بال ناودانی}$$

$$t_w = \text{ضخامت جان ناودانی}$$

$$L_a = \text{طول ناودانی}$$

$$f_c = \text{مقاومت فشاری مشخصه نمونه استوانه‌ای بتن}$$

$$E_c = \text{مدول الاستیسیته بتن}$$



شکل ۱۰-۲-۸-۷ برشگیرهای از نوع ناودانی

مثال: محاسبات ۹۴

۱۵- یک تیر دو سر ساده با مقطع و عملکرد مختلط با دهانه ۶ متر موجود است. اگر ضخامت دال بتنی ۱۰۰ mm، تیرچه فولادی IPE۲۰۰ ($A = 2850 \text{ mm}^2$) به فاصله ۲ متر و عرض مؤثر دال بتنی هر تیرچه ۱/۵m باشد و در صورتی که از ناودانی UNP۶۰ به طول ۶۰ میلی متر با فواصل مساوی از یکدیگر به عنوان برش گیر استفاده شود، حداکثر فاصله ناودانی‌ها (بر حسب میلی متر) حدوداً چقدر است؟ (رده بتن C۳۰ با $E_c = 30000 \text{ MPa}$ ، فولاد با $F_y = 240 \text{ MPa}$ ، ضخامت جان ناودانی برابر $t_w = 6 \text{ mm}$ و ضخامت بال ناودانی برابر $t_f = 6 \text{ mm}$ بوده و تیر بار گسترده یکنواخت را تحمل می‌کند).

۶۰۰ (۴)

۴۰۰ (۳)

۸۰۰ (۲)

۲۰۰ (۱)

گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

نیروی وارد بر برشگیرها (در نصف طول تیر) برابر است با:

$$\text{Min}(0.75f_c A_c, F_y A_s) = \text{Min}(0.75 \times 30 \times 100 \times 1500, 240 \times 2850) = \text{Min}(312500, 684000) = 684 \text{ kN}$$

مقاومت طراحی هر برشگیر برابر است با:

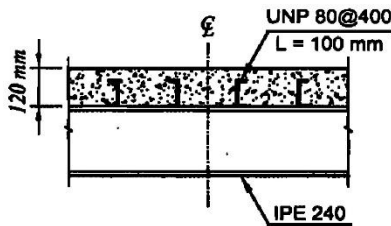
$$Q_n = 0.7(t_f + 0.5t_w)L_a \sqrt{f_c E_c} = 0.7(6 + 0.5 \times 6)6 \sqrt{30 \times 30000} = 153686.7 \text{ N} = 153.7 \text{ kN}$$

بنابراین تعداد برشگیرهای لازم در نیمه تیر برابر $\frac{684}{153.7} = 4.45$ می‌باشد و در کل تیر به اندازه ۱۰ برشگیر لازم خواهد

بود که با توجه به این که کل تیر ۶ متر می‌باشد، فواصل آن‌ها از هم برابر $\frac{6000 \text{ mm}}{10} = 600 \text{ mm}$ خواهد بود.

مثال: محاسبات ۹۴

۱۵- مقاومت برشی افقی اسمی (V_{hn}) تیر با مقطع مختلط نشان داده شده که متکی بر دال بتنی می باشد، برحسب کیلونیوتن به کدام مقدار زیر نزدیک تر است؟ تیر مختلط به صورت تیر دو سر ساده به طول ۶ متر بوده و تحت بار گسترده یکنواخت قرار دارد. همچنین تعداد کل ناودانی ها در طول تیر ۱۶ عدد می باشد. ناودانی ها دارای طول 100 mm ، ضخامت جان 6 mm و ضخامت بال 8 mm می باشد. بتن دال دارای $f_c = 25\text{ MPa}$ و $E_c = 25000\text{ MPa}$ است. فاصله ناودانی ها از یکدیگر 400 mm میلی متر است.



(۱) ۲۶۰۹

(۲) ۲۰۸۷

(۳) ۱۳۰۴

(۴) ۵۲۱

گزینه ۲ صحیح می باشد.

مقاومت هر ناودانی برابر است با:

$$Q_n = 0.3(t_f + 0.5t_w)L_n\sqrt{f_n E_n} = 0.3(8 + 0.5 \times 6) \times 100 \sqrt{25 \times 25000} = 260888\text{ N} = 261\text{ kN}$$

تعداد ناودانی ها در حد فاصل لنگر حداکثر (وسط تیر) تا لنگر صفر (ابتدای تیر) برابر ۸ عدد می باشد:

$$V_{hn} = 8 \times 261 = 2088\text{ kN}$$

مثال: محاسبات ۹۰

۱۹- در یک تیر مختلط دو سر ساده به طول ۴ متر و با بار گسترده یکنواخت، برش افقی کل که باید بین نقطه حداکثر لنگر خمشی و نقطه لنگر خمشی صفر حمل گردد، برابر 400 kN محاسبه شده است. در صورت استفاده از ناودانی نمره ۶۰ به طول ۵ سانتیمتر و با فواصل مساوی از یکدیگر به عنوان برشگیر، در طراحی به روش تنش مجاز فاصله ناودانی ها از یکدیگر چقدر باید باشد؟ رده بتن برابر $C20$ فرض شود.

(۱) ۲۰ سانتیمتر (۲) ۳۰ سانتیمتر (۳) ۱۵ سانتیمتر (۴) ۲۵ سانتیمتر

(ب) مقاومت برشی اسمی برشگیرهای از نوع ناودانی

مقاومت برشی اسمی برشگیرهای از نوع ناودانی که بر بال فوقانی تیر فولادی متصل شده و در داخل دال بتنی قرار می گیرند، باید از رابطه زیر تعیین شود.

$$Q_n = 0.3(t_f + 0.5t_w)L_n\sqrt{f_c E_c} \quad (34-8-2-10)$$

$$E_c = (3300\sqrt{f_c} + 6900) \left(\frac{24}{23}\right)^{1.5} = 23086\text{ MPa}$$

$$\rightarrow Q_n = 0.3(6 + 3)5\sqrt{20 \times 23086} = 91732\text{ N}$$

با فرض این که 400 kN بار نهایی ضریب دار باشد:

$$n = \frac{400000}{91732} = 4.36 \Rightarrow 5$$

$$n = \frac{2m}{5} = 40\text{ cm}$$

۹-۳- ضوابط برشگیرها در ستونها

نگاه به آیین‌نامه



۱۰-۲-۸-۷-۳ برشگیرها در ستونها و تیرستون‌های با مقطع مختلط مشخصات برشگیرها در ستونها با مقطع مختلط باید با رعایت محدودیت‌های ذکر شده در جدول ۱۰-۲-۸-۲ در نظر گرفته شود.

۱۰-۲-۸-۷-۴ مقاومت برشی طراحی گل‌میخ‌ها در مواردی که گسیختگی قالبی بتن در برش به‌عنوان یک حالت حدی محسوب نشود، مقاومت برشی طراحی گل‌میخ‌ها مساوی $\phi_v Q_{uv}$ می‌باشد که در آن ϕ_v ضریب کاهش مقاومت برشی گل‌میخ برابر ۰/۶۵ و Q_{nv} مقاومت برشی اسمی گل‌میخ می‌باشد که باید از رابطه زیر تعیین گردد.

$$Q_{nv} = F_u A_{sa} \quad (۱۰-۲-۸-۳۴)$$

که در آن:

$$F_u = \text{تنش کشش نهایی حداقل مصالح گل‌میخ}$$

$$A_{sa} = \text{سطح مقطع گل‌میخ}$$

جدول ۱۰-۲-۸-۲ حداقل نسبت ارتفاع گل‌میخ به قطر آن در ستونها و تیر ستونها

نوع بار وارد بر گل‌میخ	بتن با وزن مخصوص معمولی	بتن سبک
برش	$h/d \geq 5$	$h/d \geq 7$
کشش	$h/d \geq 8$	$h/d \geq 10$
برش و کشش به‌طور هم‌زمان	$h/d \geq 8$	کاربرد ندارد
$h =$ ارتفاع گل‌میخ		
$d =$ قطر گل‌میخ		

۱۰-۲-۸-۷-۵ مقاومت کششی طراحی گل‌میخ‌ها در مواردی که فاصله مرکز گل‌میخ تا لبه آزاد بتن در امتداد عمود بر ارتفاع گل‌میخ بزرگ‌تر از ۱/۵ برابر ارتفاع گل‌میخ و فاصله مرکز تا مرکز گل‌میخ‌ها بزرگ‌تر یا مساوی ۳ برابر ارتفاع گل‌میخ باشد، مقاومت کششی طراحی گل‌میخ‌ها مساوی $\phi_t Q_{nt}$ می‌باشد که در آن ϕ_t ضریب کاهش مقاومت کششی گل‌میخ برابر ۰/۷۵ و Q_{nt} مقاومت کششی اسمی گل‌میخ می‌باشد، که باید از رابطه زیر تعیین گردد.

$$Q_{nt} = F_u A_{sa} \quad (۱۰-۲-۸-۳۵)$$

که در آن، F_u و A_{sa} همان تعاریف به‌کار رفته در بند ۱۰-۲-۸-۷-۴ می‌باشند.

تبصره: در مواردی که فاصله مرکز گل‌میخ تا لبه آزاد بتن در امتداد عمود بر ارتفاع گل‌میخ کوچک‌تر از ۱/۵ برابر ارتفاع گل‌میخ با فاصله مرکز تا مرکز گل‌میخ‌ها کوچک‌تر از ۳ برابر ارتفاع گل‌میخ باشد، مقاومت کششی طراحی گل‌میخ‌ها باید براساس الزامات مبحث نهم مقررات ملی ساختمان تعیین گردد.

۱۰-۲-۸-۷-۶ اثر همزمان برش و کشش در گل‌میخ‌ها

در مواردی که گسیختگی قالبی بتن در برش به‌عنوان یک حالت حدی محسوب نشود و نیز فاصله مرکز گل‌میخ تا لبه آزاد بتن در امتداد عمود بر ارتفاع گل‌میخ بزرگ‌تر از ۱/۵ برابر ارتفاع گل‌میخ و فاصله مرکز تا مرکز گل‌میخ‌ها بزرگ‌تر یا مساوی ۳ برابر ارتفاع گل‌میخ باشد، اثر توأم برش و کشش در گل‌میخ باید به شرح زیر در نظر گرفته شود:

$$\left[\frac{Q_{ut}}{\phi_t Q_{nt}} \right]^{\frac{5}{3}} + \left[\frac{Q_{uv}}{\phi_v Q_{nv}} \right]^{\frac{5}{3}} \leq 1.0 \quad (10-2-8-35)$$

که در آن:

Q_{ut} = مقاومت کششی موردنیاز گل‌میخ

ϕ_t = ضریب کاهش مقاومت کششی گل‌میخ مساوی ۰/۷۵

Q_{nt} = مقاومت کششی اسمی گل‌میخ

Q_{uv} = مقاومت برشی موردنیاز گل‌میخ

ϕ_v = ضریب کاهش مقاومت برشی گل‌میخ مساوی ۰/۶۵

Q_{nv} = مقاومت برشی اسمی گل‌میخ

۱۰-۲-۸-۷-۷ مقاومت برشی طراحی برشگیرهای از نوع ناودانی

مقاومت برشی طراحی برشگیرهای از نوع ناودانی مساوی $\phi_v Q_n$ می‌باشد که در آن ϕ_v ضریب کاهش مقاومت برشی ناودانی برابر ۰/۷۵ و Q_n مقاومت برشی اسمی برشگیرهای از نوع ناودانی می‌باشد که باید براساس رابطه ۱۰-۲-۸-۳۴ تعیین گردد.

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

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.