

۱-۶- مقدمه

طراحی تیرهای مستطیلی ساخته شده از چوب‌های اره شده و تیرهای مستطیلی مستقیم یا کم انحنا از چسب الوارها در این فصل توضیح داده شده است. اعضاء چسب الواری کمی پیچیده تر از تیرهای ساخته شده از الوار اره شده می‌باشد. دستور العمل خاص طراحی که برای طراحی چسب الوارها به کار می‌رود ذکر شده است. در جایی که این دو مجزا شده اند، فرض بر این می‌باشد که اساساً دستور العمل مورد نظر هم برای چسب الوارها و هم الوارهای اره شده به کار می‌رود.

گاهی اوقات، تیرهای چسب الواری به دلایل معماری و یا به منظور بهبود زهکشی بام و یا برای کم کردن ارتفاع دیوار به شکل مخروطی و یا به صورت منحنی می‌باشند. طراحی این نوع اعضاء نیازمند تمهیدات بیشتری است که فراتر از اطلاعات ارائه شده در این کتاب است. برای تمهیدات بیشتر طراحی برای این موضوعات خاص، به TCM مراجعه نمایید. (مرجع ۵-۶)

طراحی تیرهای چوبی از همان روش کلی طراحی که در طراحی تیرهای ساخته شده از سایر مصالح سازه‌ای به کار می‌رود، تبعیت می‌کند. عواملی که باید در نظر گرفته شوند عبارتند از:

۱. خمش (به همراه پایداری جانبی)

۲. برش

۳. تغییر شکل

۴. لهیدگی

از سه جزء اول، می‌توان ابعاد اعضاء چوبی را به دست آورد. جزء چهارم باید در طراحی تکیه گاهها در نظر گرفته شود. در بسیاری از تیرها، تنش خمشی جزء تعیین کننده طراحی است. برای این منظور، غالباً از محاسبات تنش خمشی، ابعاد آزمایشی به دست می‌آید. سایر اجزاء بر اساس این ابعاد آزمایشی کنترل می‌شوند. چنانچه ابعاد آزمایشی در هر یک از کنترل‌ها نامناسب باشد، طراحی مجدداً انجام شود. در اینگونه مسائل، تحلیل‌های کامپیوتری می‌تواند سرعت پروسه طراحی را به شدت افزایش دهد و با استفاده از کامپیوتر، هر برنامه‌ای که به کار می‌رود، باید به اندازه کافی قابل استفاده باشد و به میزان کافی

خروجی در اختیار بگذاردا بتوانیم نتایج را به وسیله روش‌های دستی بررسی نماییم. تأکید این کتاب بر روی درک معیارهای طراحی است. نرم افزار حل معادلات و یا صفحه گسترده (Spreadsheet) پیشرفته می‌توانند ابزارهای مؤثری در طراحی باشند. به وسیله چنین برنامه‌های کاربردی، کاربر می‌تواند راه حل را دنبال کند و به نتایج بسیاری برسد. با یک آموزش مقدماتی کامپیوتری، طراحی می‌تواند برای حل یک مسأله ساده، یک الگوارانه نماید. یک الگوی ساده می‌تواند نقطه شروعی برای راه حل‌های پیشرفته تر در نظر گرفته شود.

۶-۲- خمش

در توضیح مقاومت تیرهای چوبی، بسیار مهم است که بدانیم تنش‌های خمشی موازی با طول عضو و در نتیجه موازی با الیاف چوب می‌باشند. این مسأله متداول در طراحی تیرها می‌باشد. (شکل ۶-۱a) و موضوع اصلی بحث این بخش است. به مثال ۶-۱ توجه نمایید.

در هر حال، گاهی اوقات تنش خمشی عمود بر الیاف بررسی می‌شود (شکل ۶-۱b) و طراح باید این موقعیت را در نظر داشته باشد. پیشتر توضیح داده شد که چوب در کشش عمود بر الیاف نسبتاً ضعیف می‌باشد. این مسأله برای حالتی که تنش کششی چه به وسیله نیروی کششی مستقیم عمود بر الیاف و چه به وسیله بارگذاری خمشی عمود بر الیاف به وجود آید، برقرار است. اساساً باید از کشش عمود بر الیاف جلوگیری نماییم.

مثال ۶-۱ خمش در اعضاء چوبی

تنش خمشی طولی - موازی با الیاف

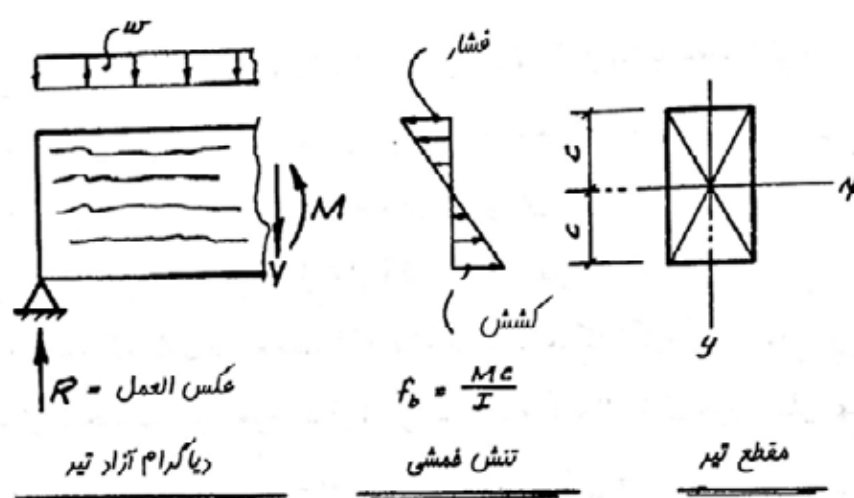
معمولاً تنش خمشی در تیر چوبی موازی با الیاف است. دیاگرام آزاد (FBD) در شکل ۶-۱a یک تیر معمول را نشان می‌دهد که در یک نقطه دلخواه بریده شده است. نیروهای داخلی M و V برای برقراری تعادل لازم می‌باشند. نمودار تنش خمشی نشان می‌دهد که تنش‌هایی که به وسیله لنگر ایجاد می‌شوند، تنش‌های طولی هستند و بنابراین موازی الیاف می‌باشند. خمش حول محور قوی یا محور x از عضو نشان داده شده است.

خمش عمود بر الیاف - غیر مجاز

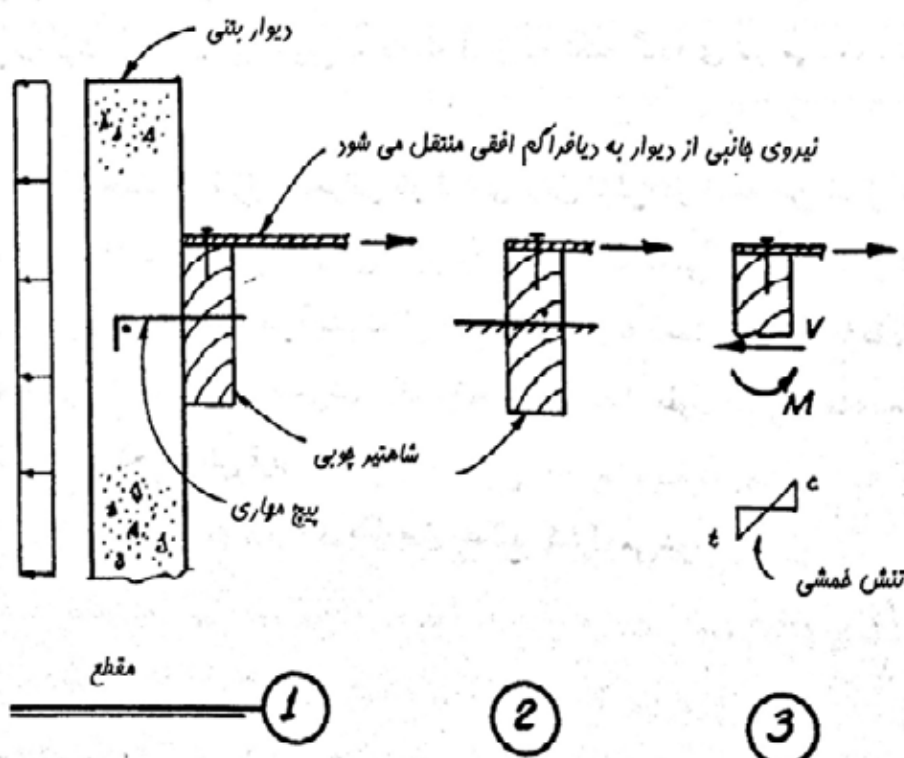
قسمت ۱ در نمودار ۶-۱b یک دیوار بتنی را نشان می‌دهد که به یک دیافراگم افقی چوب متصل شده است. نیروی افقی نشان داده شده بایستی به وسیله میل مهارها و میخ‌ها از دیوار به تکیه گاه چوبی منتقل شود.

قسمت ۲ نشان می‌دهد که تکیه گاه چوبی از میل مهارها تا تراز دیافراگم به صورت کنسولی پیش آمده است.

قسمت ۳ یک نمونه دیاگرام آزاد برای نشان دادن نیروهای داخلی در میل مهار و تنش‌های خمشی در تخته تکیه گاهی می‌باشد. تنش خمشی در تکیه گاه چوبی عمود بر الیاف است (بر خلاف خمش موازی با الیاف). چوب در خمش و کشش عمود بر الیاف بسیار ضعیف است. در اینجا این اتصال را معرفی کردیم تا مشکل خمش عمود بر الیاف را توضیح دهیم. تنش‌های خمشی فهرست شده برای طراحی چوب، فقط برای تنش خمشی طولی به کار می‌روند.



شکل ۶-۱۳ در مسائل متداول طراحی تیر خمش موازی با الیاف می‌باشد.



شکل ۶-۱۳b از خمش عمود بر الیاف در یک عضو چوبی باید جلوگیری شود.

به دلیل شکست برخی اتصالات تکیه گاهی از این نوع در آیین‌نامه، خمش عمود بر الیاف و کشش عمود بر الیاف برای میل مهارهای تحت بارهای زلزله مجاز نمی‌باشد. حتی در سایر شرایط بارگذاری، اساساً در طراحی‌ها بایستی از ایجاد تنش در چوب در خمش و کشش عمود بر الیاف جلوگیری شود. لازم به ذکر است که استفاده از تکیه گاه‌های چوبی در ساختمان‌های با دیوارهای بتنی یا بنایی هنوز هم یک اتصال متداول است. بنابراین، برای میل مهارها به تجهیزات اضافه نیاز داریم تا از ایجاد تنش عمود بر الیاف در تکیه گاه‌ها جلوگیری کنیم. در فصل ۱۵ میل مهارهای مربوط به این نوع اتصال یا جزئیات آورده شده‌اند.

لنگر طراحی در یک تیر چوبی با استفاده از تئوری ساده الاستیسته به دست می‌آید. در بیشتر مثال‌های این کتاب برای محاسبه برش و لنگر در تیر از طول دهانه اسمی استفاده می‌شود. این کار به منظور ساده کردن محاسبات طراحی انجام شده است. اگر چه در بعضی از مسائل، ممکن است به این نتیجه برسیم که تعریف تخصصی طول دهانه در بخش ۱-۲-۳ از NDS را در نظر بگیریم.

عملاً گفته می‌شود که طول دهانه معمولاً فاصله مرکز به مرکز تکیه گاه‌ها در نظر گرفته می‌شود. در عین حال، در بسیاری حالات طول موجود لهیدگی در تکیه گاه از طول مورد نیاز لهیدگی بیشتر است. بنابراین، NDS به طراح این اجازه را می‌دهد که دهانه را بر اساس فاصله آزاد بین دو تکیه گاه به همراه نصف طول مورد نیاز لهیدگی در هر انتهای تیر در نظر بگیرد. طول مورد نیاز لهیدگی، تابعی است از تنش فشاری عمود بر الیاف F_c . (بخش ۸-۶)

محل بحرانی برش در یک تیر چوبی به فاصله d از لبه تکیه گاه‌های تیر می‌باشد. (نمونه مشابه در طراحی بتن مسلح می‌باشد).

طول دهانه برای خمش و شرایط بحرانی بارگذاری برای برش در ادامه این فصل در شکل ۱۳-۶ آمده است. (بخش ۵-۶). بار دیگر یادآور می‌شویم برای محاسبات دستی، برش و لنگر در تیر، عمدتاً با استفاده از طول اسمی دهانه به دست می‌آیند. تلاش بیشتر به منظور به دست آوردن تعریف تخصصی تراز طول دهانه معمولاً برای حالتی استفاده می‌شود که عضو با استفاده از طول اسمی دهانه، مرکز به مرکز به نظر می‌رسد بیش از حد تحت تنش قرار دارد.

تنش خمشی با استفاده از رابطه آشنای مقاومت مصالح کنترل می‌شود.

$$f_b = \frac{MC}{I} = \frac{M}{S} \leq F'_b$$

که در آن:

f_b = تنش خمشی واقعی (محاسباتی)

$$M = \text{لنگر ایجاد شده در تیر}$$

$$C = \text{فاصله از محور خنثی تا تار انتهایی}$$

$$I = \text{ممان اینرسی سطح مقطع تیر حول محور خنثی}$$

$$\frac{I}{C} = S$$

$$S = \text{مدول خمشی مقطع مربوط به سطح مقطع تیر حول محور خنثی}$$

$$F'_b = \text{تنش مجاز خمشی}$$

بر اساس اصول طراحی تنش مجاز (ASD) این رابطه می‌گوید که تنش خمشی واقعی (محاسباتی) بایستی کمتر یا مساوی با تنش مجاز خمشی باشد. تنش مجاز با در نظر گرفتن تنش‌های فهرست شده به همراه ضرایب اصلاح ضروری که ممکن است برای عضو چوبی نیاز باشد به دست می‌آید. بیشتر تیرهای چوبی به طریق بهینه به کار می‌روند. به عبارت دیگر خمش حول محور قوی مقطع (محور X) اتفاق می‌افتد. از نظر مهندسی، به نظر می‌رسد این بهترین توصیف برای شرایط معمول بارگذاری می‌باشد.

اما، در صنعت چوب، معمولاً سایر اجزاء طراحی، متأثر از خمش حول محوری قوی مقطع می‌باشند برای الوارهای یکپارچه اره شده با مقطع مستطیلی، عبارت بارگذاری عرضی، خمش عرضی و بار وارده بر وجه باریک عضو، همگی به خمش حول محور X اشاره می‌کنند. برای چسب الوارها، معمولاً عبارت «بارگذاری عمود بر سطح عریض لایه‌ها» به کار می‌رود.

وقتی سازه‌های چوبی جنبه‌های مهندسی بیشتری پیدا می‌کنند، نیاز داریم که روش طراحی را به گونه‌ای تعمیم دهیم که بتوانیم شرایط متنوع تری را بررسی نماییم. به عنوان یک دیدگاه کلی در طراحی تیر، خمش می‌تواند هم حول محور X و هم حول محور Y سطح مقطع اتفاق بیفتد. به مثال ۲-۶ توجه کنید. برای الوار اره شده، خمش حول محور ضعیف (محور Y) تحت عنوان «بارگذاری از پهنا»، «خمش از پهنا» و «بارگذاری بر روی لبه عریض عضو» خوانده می‌شود.

در این کتاب، خمش حول محور قوی فرض می‌شود مگر آنکه خلاف آن ذکر شود. بنابراین علائم f_b و F'_b اشاره به خمش حول محور X دارد و بنابراین معرف مقادیر f_{bx} و F'_{bx} می‌باشد. در جایی که لازم باشد، برای روشن شدن مطلب از علائم کاملتر f_{bx} و F'_{bx} استفاده می‌کنیم. (یک استثناء برای قاعده کلی خمش حول محور قوی، دال‌ها هستند که به طور معمول تحت تنش حول محور Y قرار دارند).

مثال ۶-۲ محورهاى قوى و ضعيف خمشى

عمده تیرهای چوبی دارای مقطع مستطیلی هستند و به عنوان اعضاء خمشی بهینه به کار می‌روند. به شکل ۶-۲a نگاه کنید. فرض می‌شود این شرایط متداول است مگر آنکه خلاف آن ذکر شود.

تنش خمشی در تیر حول محور قوى (شکل ۶-۲a) برابر است با:

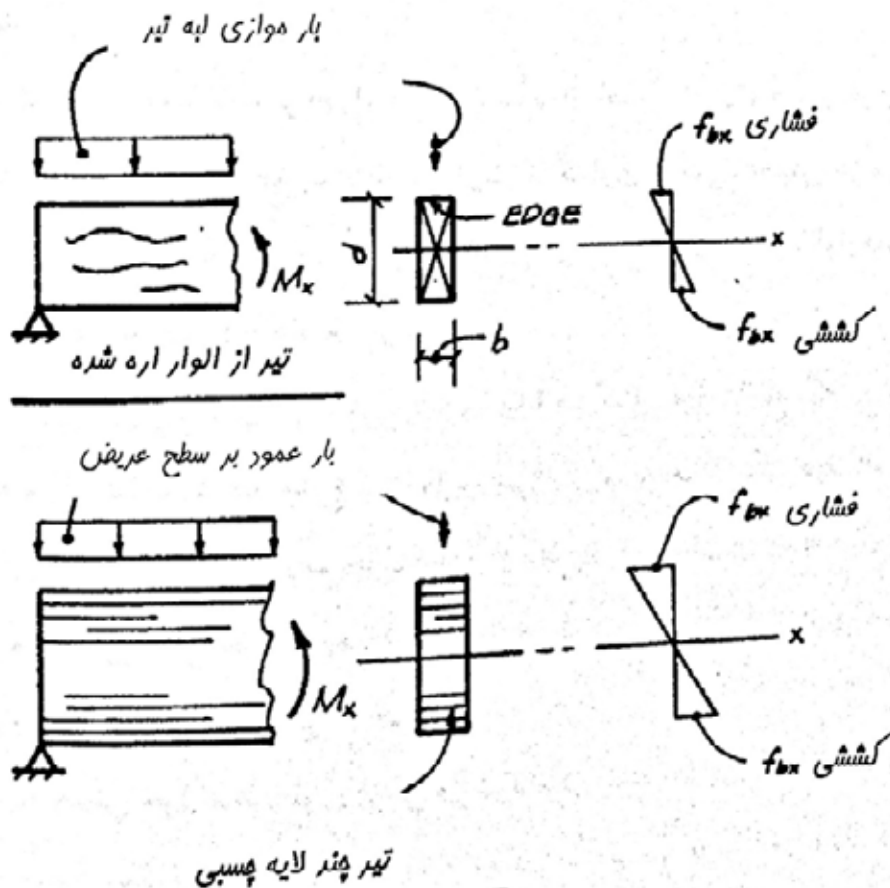
$$f_{bx} = \frac{M_x}{S_x} = \frac{M_x}{hd^2/6} \leq F'_{bx}$$

یک نوع بارگذاری که کارایی کمتر دارد (بنابراین کمتر متداول است)، آن است که عضو تحت تنش خمشی حول محور فرعی خود قرار گیرد. به شکل ۶-۲b توجه نمایید. اگرچه این کار متداول نیست، ولی ممکن است گاهی یک عضو سازه‌ای تحت این نوع بارگذاری قرار گیرد.

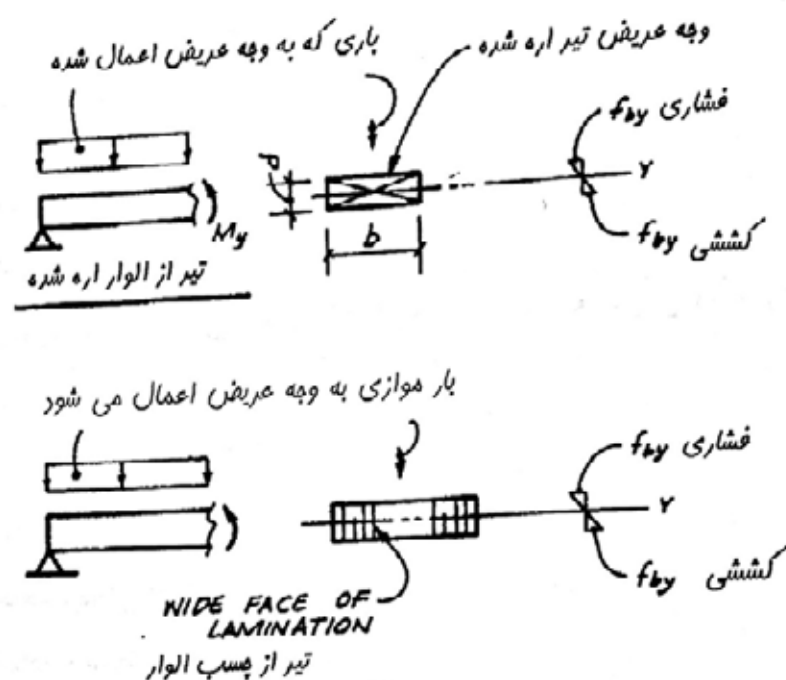
تنش خمشی در یک تیر که تحت خمش حول محور ضعیف قرار دارد (شکل ۶-۲b) برابر است با

$$f_{by} = \frac{M_y}{S_y} = \frac{M_y}{hd^2/6} \leq F'_{by}$$

طراح بایستی بتواند کاربرد این خمش‌ها را تشخیص دهد و به کار ببرد.



شکل ۶-۲a عمده تیرهای چوبی تحت خمش حول محور قوى قرار دارند. برای الوار اړه شده، بارگذاری بر روی لبه است. برای چسب الوارها بارگذاری عمود بر سطح عریض لایه‌ها می‌باشد.



شکل ۶-۲۵ گاهی تیرها تحت خمش حول محور ضعیف قرار می‌گیرند. برای الوارهای اره شده، بارگذاری از پهنا است. برای چسب الوارها، بارگذاری موازی سطح عریض لایه‌ها می‌باشد.

رابطه تنش خمشی f_b در مهندسی مکانیک برای مصالح ایده آل به دست آمده است. مصالحی که تحت نام مصالح «یکپارچه»، «همگن»، «همسان» (دارای خواص یکسان در تمام جهت‌ها باشند) خوانده می‌شوند. به علاوه، فرض می‌شود که در خمش صفحه مقطع صفحه باقی بماند و فرض می‌شود رابطه تنش - کرنش به صورت خطی باشد.

بر اساس آنچه در فصل ۴ در مورد برخی خواص چوب توضیح داده شد، بایستی مشخص شده باشد که چوب این فرضیات را به طور کامل ارضاء نمی‌کند. چوب از سلول‌های توخالی تشکیل شده که به موازات طول عضو پراکنده شده‌اند. به علاوه، خواص بسیاری در چوب وجود دارد که ناشی از رشد چوب و شرایط خدمت است که شامل حلقه‌های سالیانه، گره‌ها، شیب الیاف و مقدار رطوبت می‌باشد. بنابراین، طراحی مناسب تیر، با در نظر گرفتن روابط خمشی متداول و اصلاحات مربوط به تنش مجاز در شرایط خاص تیر چوبی به دست می‌آید.

نقطه شروع به دست آوردن تنش‌های خمشی فهرست شده صحیح بر اساس درجه عضو و نوع چوب می‌باشد. مقادیر F_b در جداول 5A تا 5E مکمل NDS برای الوارهای اره شده و در جداول 4A تا 4C مکمل NDS برای چسب الوارها آمده است. جدول ۱-۳-۲ NDS، کاربرد ضرایب اصلاح است، و رشته‌ای از ضرایب را ارائه می‌کند که بر اساس آنها تنش خمشی مجاز در صورتی که تنش فهرست شده معلوم باشد، به دست می‌آید. تنش مجاز خمشی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$F'_b = F_b (C_D) (C_M) (C_t) (C_L) (C_F) (C_V) (C_{fu}) (C_T) (C_C) (C_F) (C_i)$$

که در آن

$$F'_b = \text{تنش مجاز خمشی}$$

$$F_b = \text{تنش خمشی فهرست شده}$$

$$C_D = \text{ضریب تداوم بار (بخش ۴-۱۵)}$$

$$C_M = \text{ضریب رطوبت بهره برداری (بخش ۴-۱۴ توجه نمایید که اندیس M معرف رطوبت است)}$$

$$C_t = \text{ضریب دما (بخش ۴-۲۰)}$$

$$C_L = \text{ضریب پایداری تیر (بخش ۶-۳)}$$

$$C_F = \text{ضریب اندازه (بخش ۴-۱۶)}$$

$$C_V = \text{ضریب حجم (بخش ۵-۶)}$$

$$C_{Fu} = \text{ضریب استفاده مسطح (بخش ۴-۱۸)}$$

$$C_r = \text{ضریب اعضاء تکراری (بخش ۴-۱۷)}$$

$$C_e = \text{ضریب انحناء (فقط برای چسب الوارهای انحناء دار به کار می‌رود. } C_e=1 \text{ برای چسب}$$

الوارهای مستقیم یا کج (با انحنای کم). طراحی تیرهای انحناء دار از حوصله این کتاب خارج است.

$$C_f = \text{ضریب شکل (بخش ۴-۲۲)}$$

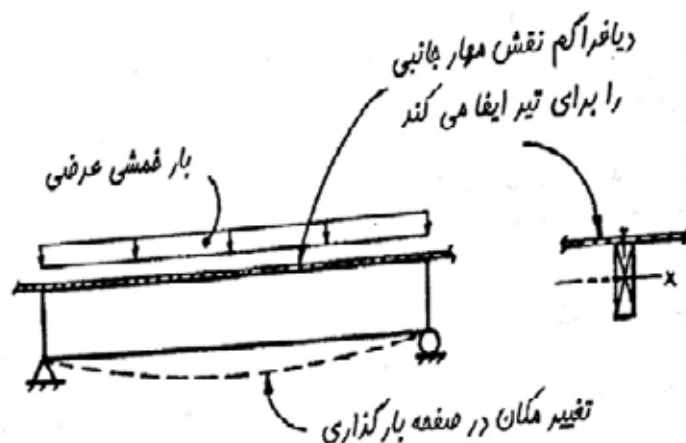
$$C_i = \text{ضریب سوراخ‌شدگی برای چسب الوارها (بخش ۴-۲۱)}$$

خوانندگان برای داشتن پیش زمینه‌ای از ضرایب اصلاح باید به بخش‌های مناسبی از فصول ۴ و ۵ که بیشتر توضیح داده شده است مراجعه نمایند. پایداری جانبی نکته مهمی در طراحی تیرها می‌باشد. ضریب پایداری تیر C_L ، ضریب اصلاح بسیار مهمی است که در صورتی که امکان کمانش پیچشی - جانبی باشد، در نظر گرفته می‌شود و باعث کاهش ظرفیت خمشی می‌شود. در ابتدا فرض می‌شود که از کمانش جلوگیری می‌شود و C_L برابر با واحد فرض می‌شود. به مثال ۶-۳ توجه نمایید.

بایستی در نظر داشته باشید که یک سری طولانی از ضرایب اصلاح برای تعیین F'_b ، اساساً به منظور آن است که به خاطر داشته باشیم شرایط خاص زیادی برای اصلاح تنش‌های فهرست شده مورد نیاز است. بنابراین در بسیاری از طراحی‌های عملی، بسیاری از ضرایب اصلاح دارای پیش فرض ۱.۰ می‌باشند. ضمناً، تمامی این اصلاحات، برای همه انواع چوب به کار نمی‌روند. بخش ۴-۶ نشان می‌دهد که چگونه رشت طولیل ضرایب اصلاح در یک طراحی عملی کاهش می‌یابد.

مثال ۶-۳ یک تیر با تکیه گاه جانبی سرتاسری

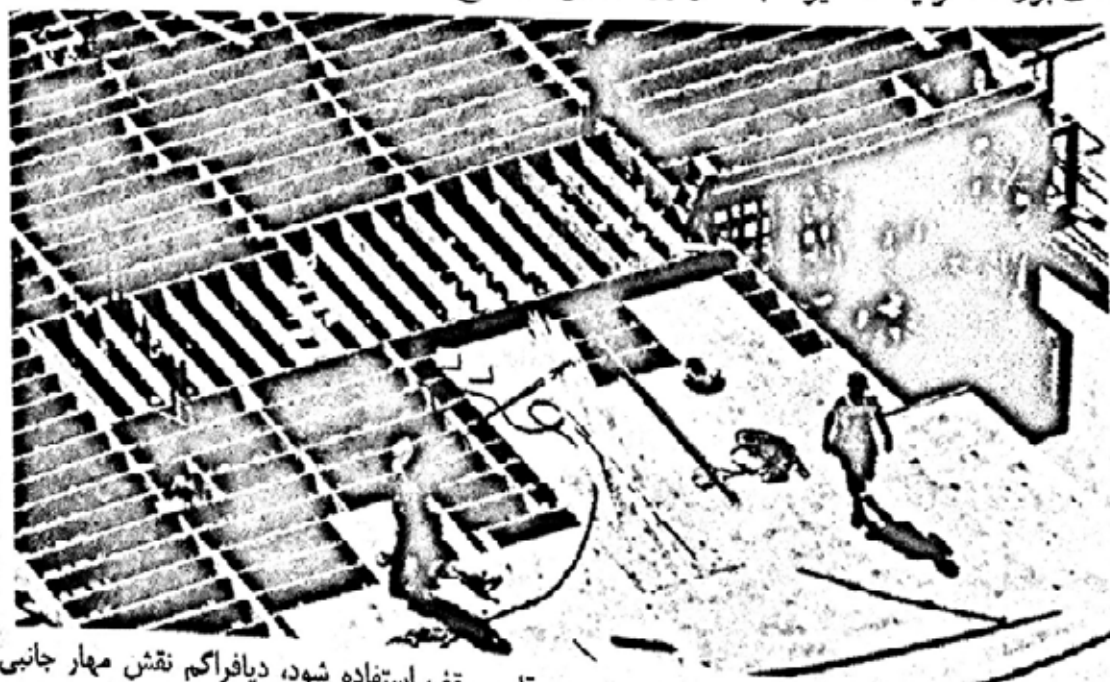
تحلیل تنش‌های خمشی عمدتاً بر اساس این فرض به دست می‌آیند که از کمانش پیچشی - جانبی تیر جلوگیری می‌شود. اساساً تکیه گاه‌های سرتاسری در قسمت فشاری تیر، از کمانش عضو جلوگیری می‌کند (شکل ۶-۳a)



شکل ۶-۳a اتصال مستقیم دیافراگم کف یا سقف، برای قسمت بالای تیر، تکیه گاه جانبی سرتاسری ایجاد می کند. وقتی که تیر در معرض بارهای عرضی قرار دارد، یک تیر با تکیه گاه جانبی سرتاسری پایدار است و تیر تنها در صفحه بارگذاری تغییر شکل خواهد داد.

یک تیر که همواره دارای لنگر مثبت است، در تمام طول عضو دارای تنش خمشی فشاری در قسمت بالای خود می باشد. یک اتصال مفید (میخ کوبی مناسب) از دیافراگم کف یا سقف (پوشش) به قسمت بالای تیر، طول مهار نشده را تا صفر کاهش می دهد ($L_u = 0$). به بیان تخصصی، طول مهار نشده فاصله بین میخ ها از پوشش به قسمت فشاری تیر می باشد. برای بسیاری از دیافراگم های اجرایی ساختمان و بسیاری از تیرها با اندازه های متداول، می توان طول مهار نشده را برابر با صفر در نظر بگیریم.

بسیاری از سازه های چوبی متعارف، که به صورت معمول ساخته می شوند دارای تکیه گاه جانبی کامل و سرتاسری می باشند. به شکل ۶-۳-b توجه کنید. تیرهایی با فواصل منظم در طرح یک سازه تکراری نشان داده شده است. بنابراین، یک دیافراگم سقف یا کف می تواند به عنوان یک تکیه گاه جانبی برای تیرهای بزرگ تر یا شاه تیرها به کار رود و این موضوع محدود به اعضاء با فواصل منظم نمی باشد.



شکل ۶-۳b هنگامی که از تخته های چند لایه برای پوشش قاب سقف استفاده شود، دیافراگم نقش مهار جانبی را برای سقف ایفا می کند

با طول مهار نشده صفر، کماتش جانبی حذف می‌شود و ضرایب پایداری تیر C_L دارای پیش فرضی برابر با واحد خواهد بود. برای سایر شرایط تکیه گاه‌های جانبی، C_L ممکن است کمتر از 1.0 باشد. پایداری جانبی تیرهای بدون مهار جانبی در بخش ۳-۶ با جزئیات ذکر شده است.

با توجه به اینکه تنش خمشی براساس انواع مختلف چوب فهرست شده است، چند نکته بایستی مورد توجه قرار گیرد. برخلاف چسب الوارها، در جداول الوارهای اره شده، مشخصات طراحی برای خمش حول محور X و Y به صورت جداگانه آورده نشده است. بنابراین، بسیار مهم است که بفهمیم کدام محور مربوط به مقادیر فهرست شده می‌باشد.

تنش‌های خمشی فهرست شده F_b برای «الوارهای اره شده که به صورت ظاهری درجه بندی شده» برای هر دو محور X و Y به کار می‌رود به استثناء «تیرها» و «تراوس‌ها» و «دال‌ها». از آنجا که دال‌ها بر این اساس که عضو به صورت عرضی بارگذاری می‌شود (یعنی محور ضعیف خمشی)، مقادیر فهرست شده در مکمل NDS، F_{by} می‌باشد. در حال حاضر، ضریب C_{fu} برای مقادیر فهرست شده لحاظ شده است و طراح نباید از ضریب C_{fu} برای دال‌ها استفاده نماید. استفاده از دال‌ها به صورت اجمالی توضیح داده شده است ولی موضوع اساسی بحث در این کتاب نمی‌باشد. برای اعضاء با دسته اندازه (B&S)، تنش‌های فهرست شده فقط برای محور X اعمال می‌شود. (یعنی $F_b = F_{bx}$). بنابراین، برای اعضاء با اندازه‌های الوار معیار و تیر و ستون‌ها، تنش‌های خمشی فهرست شده برای هر دو محور به کار می‌رود. برای به دست آوردن تنش خمشی مجاز حول محور Y ، بایستی F_b در ضریب استفاده پهنای (C_{fu}) مناسبی ضرب شود. در حالت استثنایی که یک عضو در دسته اندازه (B&S)، تحت بارگذاری خمشی حول محور ضعیف قرار دارد، زطراح بایستی با یک مؤسسه مناسب تدوین آیین‌نامه تماس بگیرد تا به وی در تعیین تنش خمشی فهرست شده حول محور Y کمک نمایند. برای تعیین F_{by} برای B & S، شخص می‌بایستی با قوانین درجه بندی نمونه‌های مورد بحث و نیز با ASTM D245 (مرجع ۷-۶) آشنا باشد. استفاده از F_{bx} ، F_{by} برای (B&S) در مثال ۱۷-۷ نشان داده شده است. (بخش ۱۷-۷). نشانی مؤسسات تدوین آیین‌نامه الوارها در مکمل NDS آمده است.

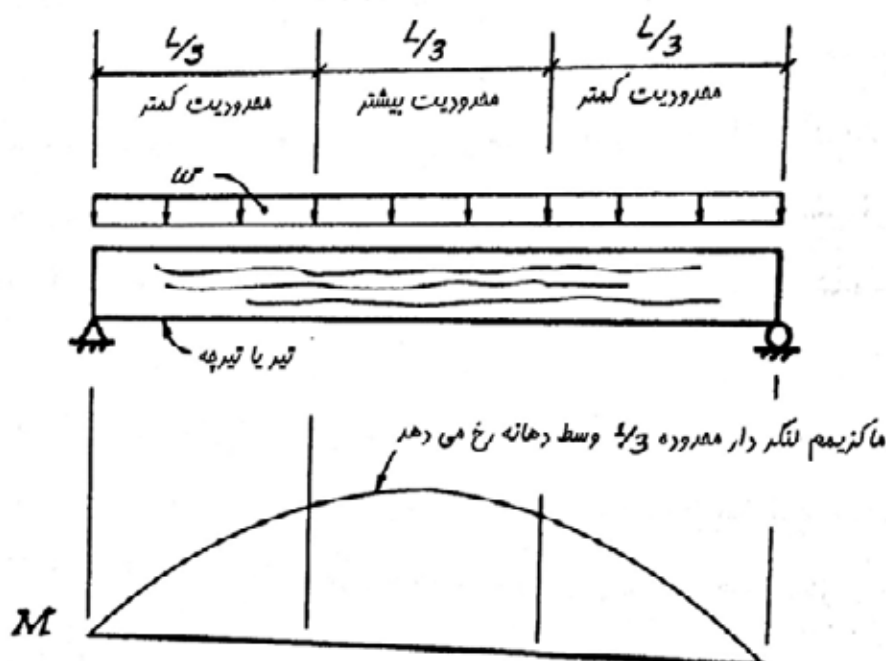
نکته دیگری که باید در مورد تنش‌های مجاز خمشی در دسته اندازه (B&S) در نظر گرفته شود ASTM D 245، برای معیار درجه بندی یک سوم بیرونی عضو، به کار بردن محدودیت‌های کمتری را مجاز می‌داند. در این عمل، انتظار داریم. تیر به عنوان یک «تیر ساده» به کار رود. ضمناً فرض می‌شود که طول عضو مثلاً با بریدن عضو و تبدیل آن به عضو کوچکتر کاهش پیدا نکند.

بنابراین، اگر یک عضو (B&S) برای منظوره‌های دیگری به کار رود که در آن تنش خمشی حداکثر در یک سوم میانی از طول واقعی عضو اتفاق نیفتد (یعنی یک تیر کنسول یا یک تیر سرتاسری)، طراح

بایستی در نظر داشته باشد که قوانین درجه بندی که برای یک سوم میانی طول به کار می‌رود، برای کل طول تیر اعمال شود. به مثال ۴-۶ نگاه کنید.

مثال ۴-۶ تنش مجاز خمشی برای تیرها و ستون‌ها

تنش‌های خمشی فهرست شده برای اندازه‌های (B&S) مربوط به خمش حول محور X از سطح مقطع می‌باشد. مؤسسات درجه بندی الوارها، ممکن است محدودیت‌های کمتری را برای درجه بندی یک سوم انتهایی طول اعضاء اعمال نمایند. در اینجا فرض می‌شود که لنگر حداکثر در یک سوم میانی طول عضو اتفاق می‌افتد. در این روش یک تیر معمولی با تکیه گاه‌های ساده و بارگذاری گسترده مورد نظر است.



شکل ۴-۶

چنانچه شرایط تکیه گاهی یا بارگذاری، نمودار لنگر خمشی بدهد که با توزیع مفروض مطابقت نکند، طراح بایستی در نظر بگیرد که قوانین درجه بندی که به طور طبیعی برای یک سوم میانی در نظر گرفته می‌شود، برای کل طول اعمال کند.

مسئله مشابه دیگر آن است که یک عضو (B&S) بلند، سفارش داده شده است و سپس به طول کوچکتری بریده می‌شود. (به بخش F-۱-۷ NDS توجه نمایید). در این حالت بایستی در نقشه‌ها بریدن تیر مشخص شده باشد و یا اینکه درجه بندی کل طول عضو در نظر گرفته شود.

تذکره: یک روش برای کاهش طول اعضاء (B&S) بدون اثر دادن درجه بندی تنش آن بریدن طول‌های مساوی از دو انتهای عضو می‌باشد.

در فصل ۵، تنش‌های خمشی فهرست شده برای چسب الوارها را به صورت اجمالی توضیح دادیم. به خاطر آورید که دو مقدار F_{bx} برای مجموعه‌های خمشی از چسب الوارهای ساخته شده از چوب نرم، در جدول 5A از مکمل NDS به همراه F_{by} آورده شده است. باید تاکنون دانسته باشیم که F_{by} برای حالت خمش حول محور ضعیف عضو می‌باشد، ولی دو مقدار برای F_{bx} نیازمند توضیحات بیشتری می‌باشد. اگرچه تنش خمشی محاسباتی حداکثر، در یک تیر مستطیلی، در تارهای انتهایی برابر است، آزمایشات نشان می‌دهد که لایه‌های کششی بحرانی تر هستند. بنابراین، در قسمت بیرونی از منطقه کششی، لایه‌های با درجه بالا قرار می‌دهند. قسمت فوقانی تیر چسب الواری در کارگاه لایه گذاری، علامت گذاری شده است و بنابراین عضو در محل اجراء، شناسایی شده و به درستی در سازه قرار می‌گیرد.

اگر سازه طوری بارگذاری شود که لایه‌های کششی تحت تنش کششی قرار گیرند، تنش خمشی مناسب « F_{bx} منطقه کششی تحت تنش کششی» خواهد بود. در این کتاب برای معرفی این مقدار از نماد F_{bx}/t می‌باشد. به عبارت دیگر، F_{bx} همان F_{bx}/t فرض می‌شود مگر آنکه خلاف آن مشخص می‌شود. از طرف دیگر، چنانچه عضو در شرایطی قرار گیرد که لایه‌های فشاری تحت تنش کششی قرار گیرند، مقدار فهرست شده « F_{bx} منطقه فشاری تحت تنش کششی» (F_{bx}/t)، تنش خمشی فهرست شده مورد نظر خواهد بود.

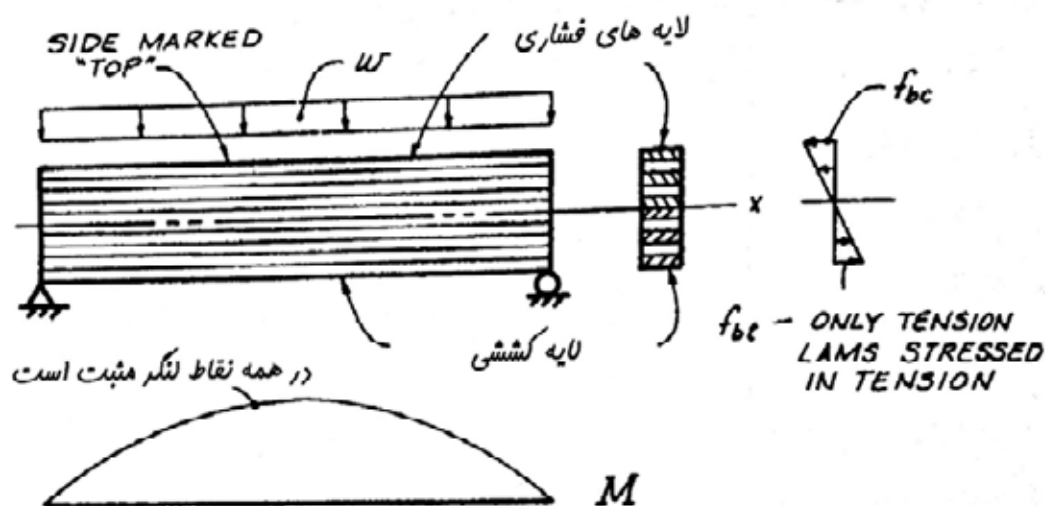
یک بررسی بر روی مکمل NDS مربوط به چسب الوارها نشان می‌دهد که دو مقدار تنش فهرست شده F_{bx} که توضیح دادیم، با ضریب ۲ تغییر می‌کند. بنابراین، در مجموعه، مقاومت خمشی محاسبه شده برای یک عضو در صورتی که تیر اشتباهاً سر و ته نصب شود، می‌توان ۵۰ درصد کمتر از حد انتظار باشد، بنابراین مهم است که یک عضو به درستی نصب شود.

تیرهای با تکیه گاه‌های ساده، تحت بارهای وزنی تماماً دارای لنگر مثبت هستند و تنش خمشی کششی همواره در قسمت پائین عضو اتفاق می‌افتد. در اینجا طراح فقط به « F_{bx} منطقه کششی تحت تنش کششی» توجه می‌نماید. به مثال ۵-۶ توجه کنید.

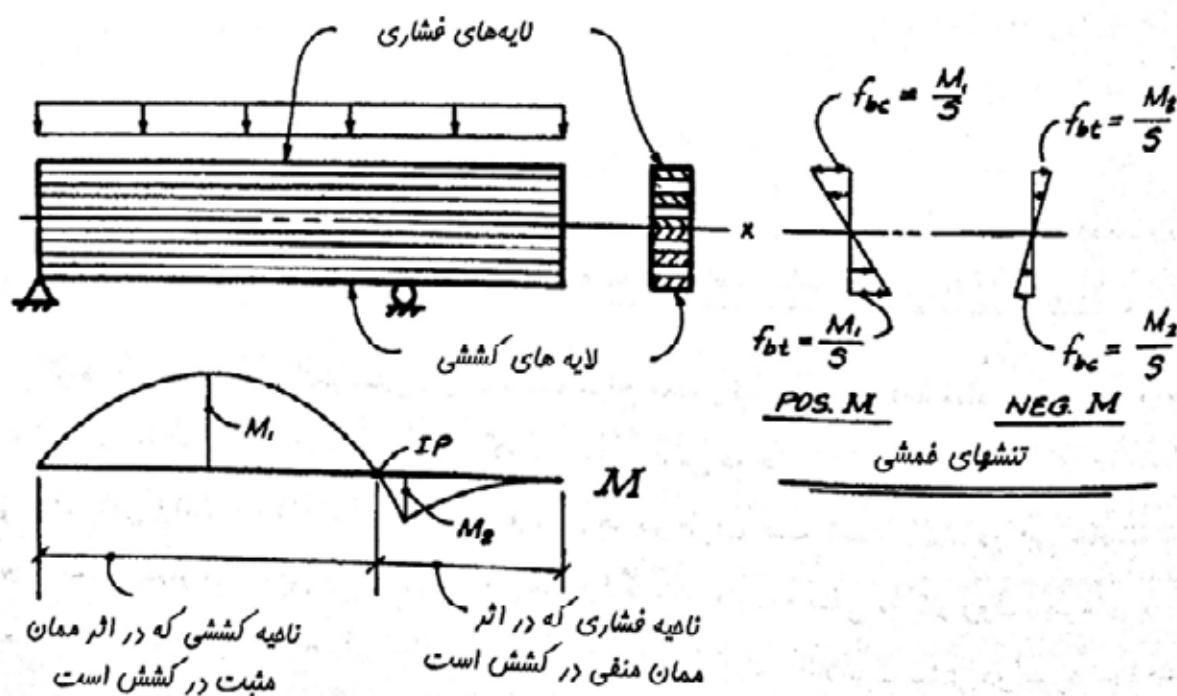
در طراحی تیرهایی که دارای لنگرهای مثبت و منفی هستند، هر دو مقدار F_{bx} بایستی در نظر گرفته شود در محدوده‌های با لنگر منفی (کشش در قسمت بالای تیر) مقدار « F_{bx} منطقه فشاری تحت تنش کششی» به کار می‌رود. در حالتی که لنگر منفی کوچک باشد، تنش مجاز خمشی کاهش یافته به دلیل فرار گیری منطقه فشاری تحت تنش کششی ممکن است قابل قبول باشد. لنگر خمشی منفی کوچک، به عنوان مثال ممکن است در تیرهای کنسولی با دهانه کوچک اتفاق بیفتد.

مثال ۵-۶ F_{bx} در مجموعه‌های خمشی از چسب الوارها

برخی از تیرهای چسب الواری به نوعی ساخته شده‌اند که تنش خمشی کششی در دو طرف عضو یکسان است. برخی دیگر به طریقی لایه پندی شده‌اند که تنش مجاز کششی در خمش برای دو طرف تیر یکسان نیست. هر دو تنش خمشی مجاز در جداول مربوط به چسب الوارها آورده شده است:



شکل ۵a-۶ چسب الوار با لنگر مثبت در هر نقطه



شکل ۵b-۶ چسب الوار با لنگرهای مثبت و منفی

F_{bx} منطقه کششی تحت تنش کششی $F_{bx t/t}$
 F_{bx} منطقه فشاری تحت تنش کششی $F_{bx c/t}$ (این مقدار هرگز از $F_{bx t/t}$ بیشتر نخواهد شد و ممکن

است بسیار کمتر باشد).

در شکل ۶-۵a طراحی بایستی صرفاً $F_{bx\ t}$ را لحاظ کند چرا که در همه جا، کشش در تار پائینی تیر قرار دارد. در هر حال، وقتی هر دو لنگر مثبت و منفی اتفاق می‌افتد (شکل ۶-۵b)، هر دو مقدار F_{bx} بایستی در نظر گرفته شود. در شکل ۶-۵b، $F_{bx\ t}$ برای M_1 ، $F_{bx\ c/t}$ برای M_2 به کار می‌رود. اگر M_1 و M_2 برابر باشند، می‌توانیم از یک مجموعه خمشی استفاده کنیم که دارای هر دو مقدار تنش F_{bx} مساوی باشد.



شکل ۶-۵c تیر چسب الواری بسیار بزرگی که در کارخانه در حال عملیات پرداخت نهایی می‌باشد، مهری در قسمت بالایی چسب الوار خورده است تا کارگران نصاب، عضو را به درستی به سمت بالا نصب نمایند (عکس از FPL)

از طرف دیگر، وقتی لنگر منفی بزرگ باشد، طراحی مجبور نیست خود را به مقادیر کوچک $F_{bx\ c/t}$ محدود کند. طراحی می‌تواند مشخص کند که تمهیدات خاص درجه بندی که در قسمت کششی به کار می‌رود، شامل end joint spacing می‌باشد و برای هر دو طرف عضو اعمال کند. در این حالت، تنش مجاز خمشی بیشتر $F_{bx\ t/t}$ می‌تواند برای طراحی هر دو لنگرهای مثبت و منفی به کار رود. لنگرهای بزرگ معمولاً در سیستم تیرهای کنسولی اتفاق می‌افتد (بخش ۱۶-۶). برای اطلاعات بیشتر در مورد F_{bx} منطقه فشاری تحت تنش کششی به مراجع ۴-۶، ۵-۶ رجوع کنید.

عمدتاً طراحی نهایی باید بر اساس مقاومت تیر چوبی انجام شود. سوراخ کردن اعضای سازه‌ای برای قرار دادن لوله یا سیستم‌های مکانیکی یک نگرانی قابل توجه در صنعت چوب می‌باشد. سوراخ کردن و بریدن اعضاء در ساختمان‌های مسکونی یک عمل بسیار متداول است. اگر چه این مسأله مهمی برای اعضاء در سیستم‌های تکراری و تحت بارهای سبک نمی‌باشد، ولی در سایر شرایط می‌تواند مشکلات جدی

ایجاد کند. بنابراین باید یک تذکر در نقشه‌های ساختمان بریدن یا سوراخ کردن هر عضو سازه‌ای را ممنوع نماید. مگر آنکه دقیقاً در نقشه‌های سازه‌ای جزئیات آنها مشخص شده باشد.

اثر سوراخ در محدوده تنش خمشی غالباً جدای از اثر سوراخ در محدوده «ظرفیت برشی» نشان داده می‌شود. مابقی بحث این بخش اساساً به بررسی اثر سوراخ در جایی که خمش وجود دارد مربوط است. برای ملاحظات برش به بخش ۵-۶ توجه نمایید.

اثر سوراخ بر روی مقاومت خمشی یک تیر، به درستی مشخص نیست و در حال حاضر روش مناسبی برای تحلیل تنش خمشی در اطراف سوراخ موجود نمی‌باشد. ولی، مشخص است که منطقه بحرانی سوراخ در محدوده کششی در یک تیر تحت خمش می‌باشد. در کنار کاهش عمق تیر برای مقاومت در برابر خمش، تمرکز تنش افزایش می‌یابد. تمرکز تنش خصوصاً برای سوراخ‌های مربعی شکل بسیار زیاد است. برای محدود کردن این اثرات، NDS، عمق حداکثر سوراخ‌ها را محدود به یک ششم عمق عضو می‌نماید و بیان می‌کند که سوراخ نباید در یک سوم میانی دهانه تیر قرار بگیرد. همچنین NDS سوراخ‌های انتهایی عضو را تحت لهیدگی بر روی تکیه گاه‌ها به حداکثر یک چهارم عمق محدود می‌کند. اگرچه توضیح داده نشده است، ولی واضح است که معیار اخیر برای تیر با تکیه گاه‌های ساده برقرار است چرا که در این محدوده تنش‌های خمشی بزرگ هستند. NDS سوراخ کردن در قسمت کششی تیر را وقتی که عرض اسمی عضو ۴ اینچ یا بیشتر باشد ممنوع می‌کند مگر برای سوراخ‌هایی که در انتهایی عضو قرار دارد.

سوراخ‌ها مخصوصاً در تارهای بیرونی چسب الوارهایی با کیفیت بالا بسیار بحرانی می‌باشند. مجدداً می‌گوییم که لایه‌های کششی بحرانی تر را در دو انتهای تیر تحت لهیدگی بر روی تکیه گاه‌های ممنوع می‌کند، ضمناً NDS سوراخ کردن وجه فشاری را در یک سوم وسط دهانه ممنوع می‌کند و عمق سوراخ را در وجه فشاری در دو انتهای تیر به دو پنجم عمق عضو محدود می‌کند. این ممانعت‌ها در استفاده از سوراخ‌ها در تیرهای چوبی بایستی به عنوان هشدار در برابر خطرات بالقوه‌ای که به دلیل تمرکز تنش در گوشه‌های مقعر به وجود می‌آید، تلقی شود. تیرهایی با سوراخ‌هایی که با فاصله از محل لنگر حداکثر قرار داشته اند، تحت باری کمتر از بار طراحی فرو ریخته اند.

بهترین راه حل مسأله، اجتناب از سوراخ کردن است. در حالتی که سوراخ وجود دارد، تقویت‌های عضو در محل سوراخ توصیه می‌شود.

۳-۶ پایداری جانبی

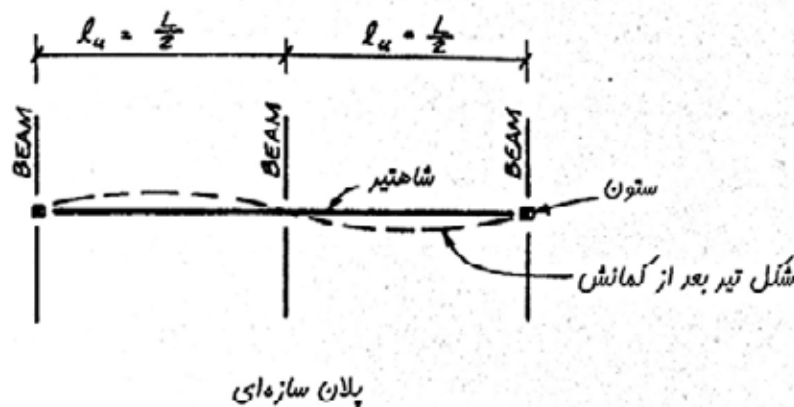
وقتی عضوی به عنوان تیر عمل می‌کند، یک قسمت از سطح مقطع تحت فشار و قسمت دیگر تحت کشش قرار می‌گیرد. چنانچه از منطقه فشاری تیر در برابر حرکت جانبی جلوگیری نشود، عضو ممکن

است تحت تنش خمشی کمتر از تنش مجاز که در بخش ۶-۲ معرفی کردیم، کمانش کند. برای تنش مجاز خمشی که در بخش ۶-۲ توضیح داده شده است، فرض شده است که به وسیله مهار بندهای کافی از کمانش پیچشی - جانبی جلوگیری شود.

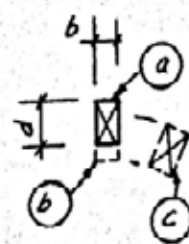
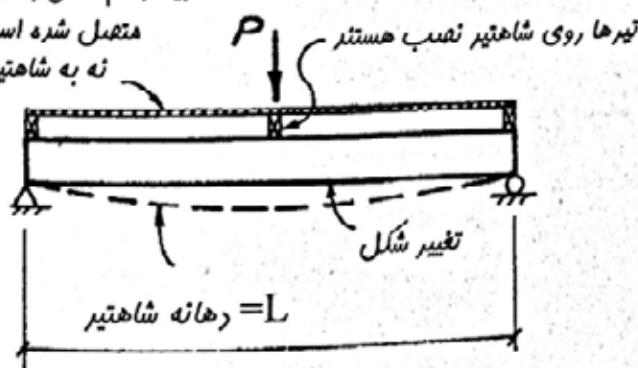
برای تنش خمشی فشاری می‌توان مسأله کمانش ستونی معادل را تحت فشار در نصف سطح مقطع در نظر گرفت. به دلیل وجود قسمت کششی پایدار، از کمانش در صفحه بارگذاری جلوگیری می‌شود. بنابراین اگر کمانش قسمت فشاری اتفاق بیفتد، جابجایی به صورت جانبی در حد فاصل محل تکیه گاه‌های جانبی، رخ خواهد داد. به مثال ۶-۶ توجه کنید.

مثال ۶-۶ کمانش جانبی عضو کششی

بر خلاف تیر مثال ۶-۳، شاه تیرها در شکل ۶-۶ دارای تکیه گاه‌های جانبی سرتاسری نمی‌باشند.



دیافراگم افقی به تیرها متصل شده است نه به شاه تیر



مقطع

نمای جلویی

شکل ۶-۶ عضو خمشی با طول دهانه L و طول مهار نشده l_u

- ۱- فاصله بین تکیه گاه‌های جانبی در قسمت فشاری از یک عضو خمشی تحت عنوان طول مهار نشده تیر l_u خوانده می‌شود. در شکل ۶-۶، تیرهایی که به شاه تیرها متصل شده است، در فاصله $l_u = L/2$ ایجاد تکیه گاه جانبی برای قسمت فشاری (بالای) شاه تیر می‌نمایند.

۲- بسیار مهم است که بدانیم دهانه تیر و طول مهار نشده تیر، دو جزء کاملاً متفاوت هستند. ممکن است با هم برابر باشند، و یا ممکن است کاملاً با یکدیگر متفاوت باشند. دهانه برای محاسبه تنش‌ها و تغییر شکل‌ها به کار می‌رود. طول مهار نشده به همراه ابعاد سطح مقطع، برای تحلیل پایداری عضو خمشی به کار می‌رود. به عبارت دیگر طول دهانه L تنش خمشی واقعی f_b را می‌دهد و طول مهار نشده ℓ_u ، معرف تنش مجاز F'_{bx} است.

۳- شکل مقطع در شکل ۶-۶ چندین حالت ممکن را نشان می‌دهد:

(a) حالت شاه تیر بارگذاری شده

(b) حالت تغییر شکل یافته شاه تیر ناپایدار تحت بار قائم

(c) حالت کمانش کرده. چنانچه طول مهار نشده زیاد باشد، ممکن است قسمت فشاری تیر مشابه یک ستون باریک به صورت جانبی کمانش کند. کمانش در حد فاصل نقاط با تکیه گاه جانبی اتفاق می‌افتد. این حالت کمانش در پلان نیز نشان داده شده است.

۴- وقتی قسمت فوقانی تیر همواره در فشار باشد (لنگر در همه جا مثبت باشد) و در صورتی که پوشش سقف یا کف مستقیماً و به طور مؤثر به تیر متصل شده باشد، طول مهار نشده، به صفر نزدیک می‌شود. گفته می‌شود این اعضاء دارای تکیه گاه جانبی سرتاسری هستند. وقتی از کمانش جانبی جلوگیری می‌شود، مقاومت تیر به مقاومت خمشی مصالح بستگی دارد و نه به پایداری آن.

در بسیاری از شرایط عملی، رابطه ناپایداری جانبی با قرار دادن تکیه گاه‌های جانبی در قسمت فشاری تیر در فواصل نزدیک به هم، به سادگی حذف می‌شود. لازم به ذکر است که اتصال مؤثر (میخ کوبی مناسب) دیافراگم کف و یا سقف (یا پوشش‌ها) به قسمت فشاری تیر، طول مهار نشده تیر را به صفر می‌رساند ($\ell_u = 0$) و به وسیله تکیه گاه‌های جانبی سرتاسری از ناپایداری جلوگیری می‌شود.

در مورد تیرهای فولادی بدون مهار بندی جانبی (شکل W) مسأله پایداری حساس تر است، چرا که ابعاد سطح مقطع به گونه‌ای است که اجزاء نسبتاً باریک تحت فشار قرار دارند. اجزاء باریک دارای نسبت عرض به ضخامت زیادی هستند و این اجزاء در معرض کمانش قرار دارند.

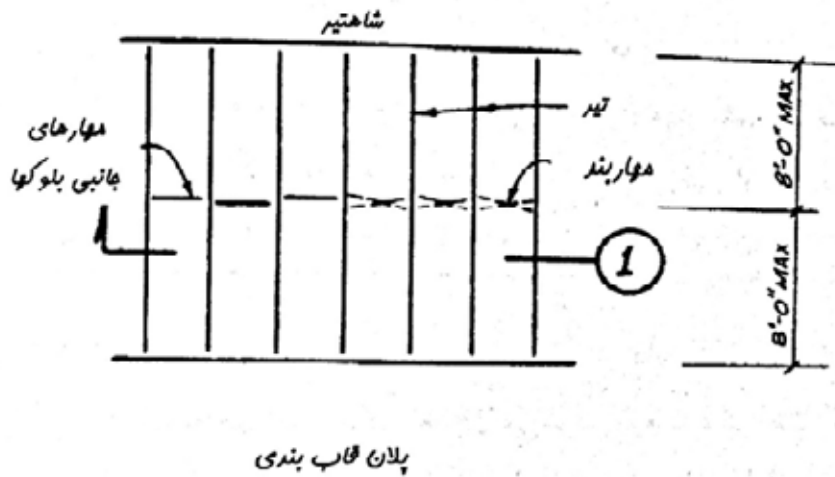
در مورد تیرهای چوبی مستطیلی، ابعاد مقطع به گونه‌ای است که نسبت عمق به ضخامت (d/b) تقریباً کوچک است. شرایط قاب بندی و ابعاد سطح مقطع متداول، موجب کاهش شدید در تنش‌های مجاز خمشی می‌شود تا از این قاعده مبری شود.

به هر حال، روش کار برای محاسبه پایداری جانبی مشخص است که در ادامه این بخش به طور اجمالی بیان می‌کنیم.

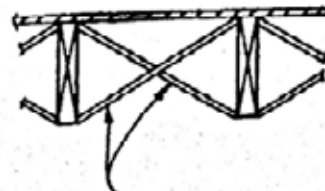
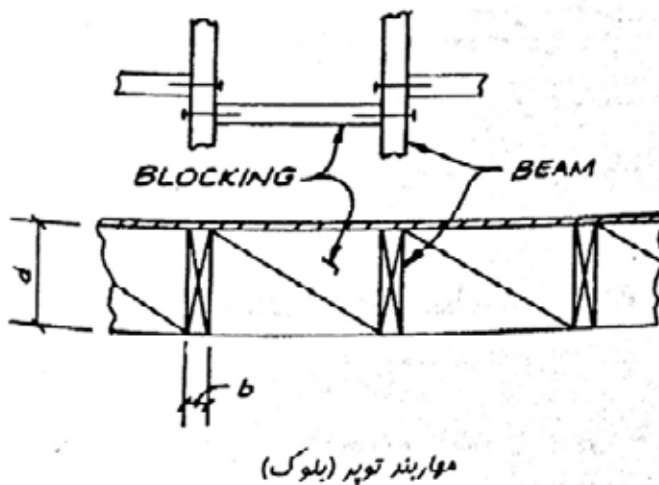
در حال حاضر دو روش برای بررسی پایداری جانبی به کار می‌رود. روش اول بر پایه «قوانین ضربه» استوار است که در طی زمان‌ها به دست آمده است. این قوانین برای طراحی تیرهای ساخته شده از

الوارهای اره شده به کار می‌رود. در این روش، نوع تکیه گاه جانبی مورد نیاز بر اساس نسبت عمق به ضخامت (d/b) عضو مشخص شده است. این قوانین در بخش ۴-۴-۱ NDS، پایداری اعضاء خمشی خلاصه شده است. به عنوان مثال، قوانین مشخص می‌کند که اگر $d/b = 6$ باشد، پل بندی، بستن یکپارچه تمام عمق، و یا مهاربندهای قطری افقی به فواصل حداکثر ۸ فوت مورد نیاز است، برای لبه فشاری، باید تکیه گاه جانبی سرتاسری در نظر گرفته شود و تیر باید در نقاط با لهدگی به گونه‌ای مهار شود که از پیچش جلوگیری نماید. در صورتی که هر دو لبه در طول یک خط نگهداری شده باشند، می‌توان پل بندی، بستن و مهار بندی افقی را حذف کرد. به مثال ۷-۶ توجه نمایید.

مثال ۷-۶ تکیه گاه جانبی تیرها- روش تقریبی



پلان قاب بندی



مقطع

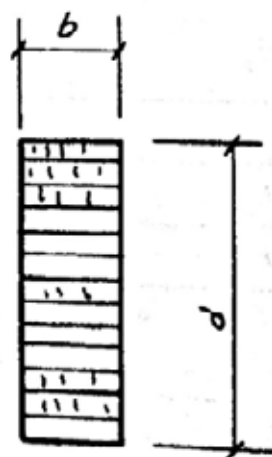
1

شکل ۷-۶ بستن یکپارچه (کل عمق) یا پل زدن برای پایداری جانبی بر اساس قوانین متداول بر اساس نسبت (d/b) تیر:

وقتی که $\frac{d}{b}=6$ باشد، تکیه گاه جانبی می تواند به وسیله بستن یکپارچه در تمام عمق، مهار بندی قطری افقی و یا به وسیله پل زدن به فاصله حداکثر ۸ فوت فراهم شود. بستن یکپارچه بایستی هم عمق با تیر باشد. برای راحتی در اجراء، یعنی میخ های انتهایی از تیرها ممکن است بست ها (نگهدارنده ها) نزدیک به هم یک در میان قرار گیرند. پل زدن یک مهار بندی افقی است که از چوب (معمولاً ۱×۳ یا ۱×۴) یا ورق های سبک فولادی (که توسط کارخانجات تولید ابزارهای تولید چوب، به صورت پیش ساخته موجود می باشد)، ساخته می شود.

این تمهیدات برای تکیه گاه های افقی تقریبی هستند، چرا که فقط مشخصات مقطع (یعنی نسبت d/b) در نظر گرفته شده است. ثانیاً، روش دقیق تر برای محاسبه پایداری جانبی، با استفاده از «نسبت لاغری» تیر R_B به دست می آید. به مثال ۶-۸ توجه کنید. نسبت لاغری بر اساس طول مهار نشده (فاصله بین نقاط با تکیه گاه جانبی در قسمت فشاری تیر) به همراه ابعاد سطح مقطع به دست می آید. این روش برای تیرهای چسب الواری بزرگ و با اهمیت به وجود آمده است، ولی به همین صورت برای تیرهای ساخته شده از الوارهای اره شده نیز به کار می رود.

مثال ۶-۸ نسبت لاغری برای اعضاء خمشی



شکل ۶-۸

«نسبت لاغری» برای یک تیر، معیار سنجش تمایل عضو به کمایش جانبی در حد فاصل نقاط با تکیه گاه های جانبی در منطقه فشاری تیر می باشد. ابعاد بر حسب اینچ به صورت زیر است:

$$R_B = \sqrt{\frac{\ell_e d}{b^2}}$$

که در آن:

 R_B = نسبت لاغری عضو خمشی b = عرض تیر d = عمق تیر ℓ_u = طول مهار نشده تیر (فاصله بین نقاط با تکیه گاه جانبی همانطور که در شکل ۶-۶ مشاهده می‌کنید) ℓ_e = طول مهار نشده مؤثر

طول مهار نشده تابع نوع دهانه، شرایط بارگذاری و نسبت $\frac{\ell_u}{d}$ عضو می‌باشد. برای تیر با آرایش متداول، چندین مقدار برای ℓ_u در اینجا آورده شده است. جدول ۳-۳-۳ از NDS «طول مؤثر ℓ_e برای اعضاء خمشی» اینها را به همراه تعداد زیادی شرایط بارگذاری دیگر که شامل بارهای متمرکز متعددی می‌باشد، به طور خلاصه بیان می‌نماید.

تیر کنسول (طره)		
نوع بارگذاری	وقتی $\frac{\ell_u}{d} < 7$	وقتی $\frac{\ell_u}{d} \geq 7$
بار گسترده یکنواخت	$\ell_e = 1.33 \ell_u$	$\ell_e = 0.9 \ell_u + 3d$
بار متمرکز در انتهای آزاد	$\ell_e = 1.87 \ell_u$	$\ell_e = 1.44 \ell_u + 3d$
تیر با دهانه ساده		
نوع بارگذاری	وقتی $\frac{\ell_u}{d} < 7$	وقتی $\frac{\ell_u}{d} \geq 7$
بار گسترده یکنواخت	$\ell_e = 2.06 \ell_u$	$\ell_e = 1.63 \ell_u + 3d$
بار متمرکز در وسط دهانه بدون تکیه گاه جانبی در مرکز	$\ell_e = 1.08 \ell_u$	$\ell_e = 1.37 \ell_u + 3d$
بار متمرکز در وسط با تکیه گاه جانبی در مرکز	$\ell_e = 1.11 \ell_u$	
دو بار متمرکز مساوی در نقطه یک سوم دهانه و تکیه گاه جانبی در محل یک سوم	$\ell_e = 1.68 \ell_u$	

توجه: برای تیر کنسول، یا با دهانه ساده و یا با چندین دهانه، با هر نوع بارگذاری، مقدار ℓ_u به صورت محافظه کارانه، از مقادیر زیر به دست می‌آید:

$$\ell_e = \begin{cases} 2.06 \ell_u & \text{وقتی } \frac{\ell_u}{d} < 7 \\ 1.63 \ell_u + 3d & \text{وقتی } 7 \leq \frac{\ell_u}{d} \leq 14.3 \\ 1.87 \ell_u & \text{وقتی } \frac{\ell_u}{d} > 14.3 \end{cases}$$

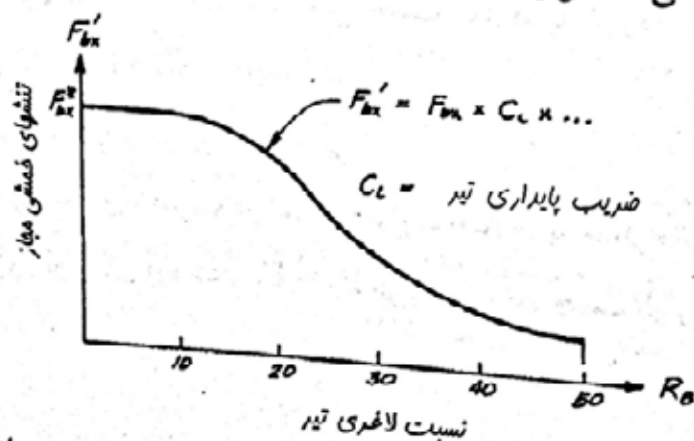
در محاسبه نسبت لاغری تیر R_B طول مهار نشده مؤثر همانند طول مؤثر ستون‌ها تعیین می‌شود (فصل ۷). برای یک تیر، طول مؤثر l_u ، به شرایط انتهایی (نوع دهانه) و نوع بارگذاری بستگی دارد. ضمناً، نسبت طول مهار نشده به عمق تیر l_u/d می‌تواند بر روی تعیین طول مؤثر اثر بگذارد.

وقتی که نسبت لاغری در یک تیر مشخص است، می‌توان اثر پایداری جانبی بر روی تنش خمشی مجاز را مشخص کرد. برای نسبت‌های لاغری بزرگ، تنش مجاز خمشی به شدت کاهش می‌یابد و برای نسبت‌های لاغری کوچک، پایداری جانبی اثر کمی دارد. در نسبت لاغری صفر، تیر می‌تواند با تکیه‌گاه جانبی سرتاسری فرض شود و همانگونه که در بخش ۲-۶ توضیح دادیم، تنش خمشی با $C_L = 1.0$ به دست می‌آید.

حداکثر لاغری تیر $0 \leq R_B \leq 50$ می‌باشد. تأثیر پایداری جانبی بر روی مقاومت خمشی تیر در نمودار تنش خمشی مجاز F'_{bx} بر حسب نسبت لاغری R_B رسم شده است. به مثال ۹-۶ توجه نمایید. روابط NDS برای تخمین اثر پایداری جانبی بر روی مقاومت تیر، یک منحنی پیوسته F'_{bx} را برای تمام مقادیر نسبت لاغری تیر ارائه می‌کند.

مثال ۹-۶ تنش مجاز خمشی با در نظر گرفتن پایداری جانبی

NDS به منظور نشان دادن اثر کمایش پیچشی - جانبی بر روی مقاومت خمشی تیرها، منحنی پیوسته‌ای را ارائه کرده است. به شکل ۹-۶a توجه نمایید وقتی که عضو تحت تنش خمشی حول محور X مقطع قرار می‌گیرد، کمایش پیچشی - جانبی می‌تواند در حد فاصل تکیه‌گاه‌های جانبی قسمت فشاری تیر رخ دهد. چنانچه لنگر حول محور ضعیف عضو اتفاق بیفتد، تمایل عضو به کمایش از بین خواهد رفت. بنابراین کاهش تنش مجاز که در منحنی ۹-۶a آمده است، به خمش حول محور X محدود می‌شود و بنابراین تنش خمشی با علامت F'_{bx} نشان داده شده است. اگرچه غالباً اندیس X را حذف می‌کنند، بایستی بدانیم که تنش مجاز خمشی کاهش یافته حول محور X می‌باشد (یعنی $F'_b = F'_{bx}$).



شکل ۹-۶a نمودار متداول تنش مجاز خمشی حول محور X F'_{bx} بر حسب نسبت لاغری تیر R_B

تنش مجاز خمشی در شکل ۹a-۶ با ضرب کردن تنش‌های خمشی فهرست شده در ضریب منحنی تنش مجاز خمشی در شکل ۹a-۶ با ضرب کردن تنش‌های خمشی فهرست شده در ضریب پایداری تیر C_L و سایر ضرایب اصلاح مناسب به دست آمده است.

$$F'_{bx} = F_{bx} (C_L) \times \dots$$

که در آن

$$F'_{bx} = \text{تنش مجاز خمشی حول محور } x$$

$$F_{bx} = \text{تنش خمشی فهرست شده حول محور } x$$

$$C_L = \text{ضریب پایداری تیر (که در زیر تعریف شده است)}$$

$$\dots * = \text{حاصلضرب سایر ضرایب اصلاح مناسب}$$

ضریب پایداری تیر C_L

$$C_L = \frac{1 + F_{bE} / F'_{bx}}{1.9} - \sqrt{\left(\frac{1 + F_{bE} / F'_{bx}}{1.9} \right)^2 - \frac{F_{bE} / F'_{bx}}{0.95}}$$

که در آن

$$F_{bE} = \text{تنش بحرانی کمانشی اولیه برای اعضاء تحت خمش} = \frac{K_{bE} E'_y}{R_B^2}$$

$$F'_{bx} = \text{تنش خمشی فهرست شده حول محور } x \text{ که در ضرایب اصلاح مشخص ضرب شده باشد.}$$

$$F_{Bx} * (C_L, C_v, C_{fu} \text{ به جز } C_L) = \text{حاصلضرب ضرایب اصلاح}$$

$$K_{bE} = 0.439 \text{ برای الوارهای ظاهری درجه بندی شده}$$

$$= 0.561 \text{ برای MEL}$$

$$= 0.610 \text{ برای محصولات با تغییرات کمتر مثل چسب الوارها یا الوارهای MSR. برای اطلاعات}$$

$$\text{بیشتر به ضمیمه‌های D و NDS F.2 مراجعه کنید.}$$

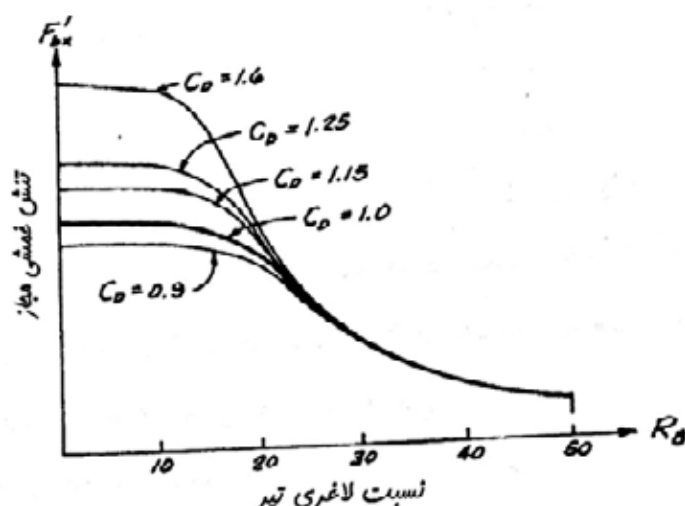
$$E'_y = \text{مدول الاستیسته مربوط به کمانش پیچشی جانبی}$$

$$= \text{مدول الاستیسته حول محور } y \text{ ضرب در تمامی ضرایب اصلاح. به خاطر داشته باشید که } C_D \text{ برای } E$$

$$\text{به کار نمی‌رود. برای الوارهای اره شده } E_y = E_x \text{ می‌باشد. برای چسب الوارها ممکن است } E_y \text{ و } E_x \text{ متفاوت باشند.}$$

$$E_y (C_M) (C_t) =$$

$$R_B = \text{نسبت لاغری عضو خمشی (مثال ۸-۶)}$$



شکل ۶-۹b اثر ضریب مدت بارگذاری بر روی F'_{bx} که تابع پایداری جانبی می باشد.

در کمانش پیچشی - جانبی، تنش خمشی حول محور X است. با این مود کمانشی، ناپایداری حول محور Y می باشد و از E_y برای تخمین F_{bE} استفاده می نماییم. ضریب تداوم بار C_D ، کاملاً بر روی تنش مجاز خمشی در یک تیر با تکیه گاه های جانبی اثر دارد. از طرف دیگر، C_D بر روی تنش مجاز خمشی وقتی ناپایداری حاکم باشد، تأثیری نخواهد داشت. تغییرات C_D از تأثیر کامل در نسبت لاغری صفر و C_D بدون اثر در لاغری ۵۰، به صورت خودبه خود در تعریف C_L در نظر گرفته شده است. این ارتباط در شکل ۶-۹b نشان داده شده است.

عبارت ضریب پایداری تیر C_L همانند ضریب پایداری ستون C_p می باشد. ضریب پایداری ستون ها در بخش ۴-۷ برای طراحی ستون ها توضیح داده شده است. هر دو این عبارات برای کاهش تنش مجاز بر اساس تمایل عضو به کمانش به کار می رود. برای یک تیر، C_L اثر کمانش پیچشی جانبی را بیان می کند و برای یک عضو تحت فشار محوری، C_p کمانش ستون را نشان می دهد. رابطه مربوط به تخمین C_p ، C_L در NDS سال ۱۹۹۱ (مرجع ۶-۱) آمده است و جایگزین روابط مربوط به کمانش تیر و ستون های بلند، متوسط و کوتاه که در ویرایش های قبلی NDS آمده بود، شده است. شکل کلی این عبارت حاصل مطالعات یلین^۱ بر روی ستون ها می باشد. این روابط به وسیله کارهای انجام شده توسط آزمایشگاه محصولات جنگلی (FPL) به عنوان رفتار مشترک ترکیب بارهای خمشی و محوری بر روی اعضاء چوبی به دست آمده است. ضریب پایداری تیر و ضریب پایداری ستون. منحنی پیوسته ای برای تنش های مجاز فراهم می کند.

هر دو عبارات C_P ، C_L استفاده از تنش کمانشی الاستیک تقسیم بر ضریب اطمینان (F.S.) را ممکن می‌سازند. تنش بحرانی کمانشی اوایلر اساس تنش کمانشی الاستیک است.

$$F_{\text{اوایلر}} = F_E = \frac{\pi^2 E}{(نسبت لاغری)^2 \times FS}$$

به خاطر داشته باشید که مقادیر مدول الاستیسته که در مکمل NDS آمده است، مقادیر میانگین هستند. در رابطه F_E ، ضریب اطمینان شامل ضرایب اصلاحی هستند که مقدار مدول الاستیسته متوسط به استثناء ۵ درصد را به مدول الاستیسته خمشی مطلق تبدیل می‌کند.

برای طراحی تیر، تنش کمانشی الاستیک به صورت زیر بیان می‌شود:

$$F_{bE} = \frac{K_{bE} E'_y}{R_B^2}$$

وقتی در این عبارت از مقدار $K_{bE} = 0.439$ استفاده می‌شود، تنش مجاز خمشی F'_{bx} برای الوارهای اره شده به صورت ظاهری درجه بندی شده دارای ضریب اطمینان 1.66 می‌باشد. الوارهای اره شده به صورت ظاهری درجه بندی شده، معمولاً نسبت به سایر محصولات چوبی که به عنوان تیر به کار می‌روند (یعنی برای MEL، الوار MSR، چسب الوارها) تنوع بیشتری دارد. برای مصالح با تنوع کمتر در صورتی که در MEL ها، $K_{bE} = 0.561$ و برای الوار MSR و چسب الوار $K_{bE} = 0.610$ برای محاسبه F_{bE} به کار رود، ضرایب اطمینان برابر 1.66 در نظر گرفته می‌شود. به عنوان مثال، استفاده از $K_{bE} = 0.439$ برای چسب الوارها و الوار MSR، با ضریب اطمینان 1.66، کمتر از 0.01 درصد یا پائین تر از مقادیر استثناء را به دست خواهد داد. (به ضمیمه‌های D، E از NDS توجه نمایید).

در تحلیل پیچش جانبی تیرها، تنش خمشی حول محور x اهمیت دارد. در حالیکه ناپایداری این نوع کمانش حول محور y می‌باشد (به نمای مقطع در شکل ۶-۶ توجه نمایید)، و برای محاسبه F_E از E_y استفاده می‌شود. برای چسب الوارها، مقادیر E_x و E_y ممکن است برابر نباشد و طراح بایستی برای تخمین تنش کمانشی اوایلری تیر، از E_y در جداول چسب الوارها، استفاده نماید.

برای ضریب پایداری تیر و ستون، مقدار کمانش الاستیک F_E به مقاومت مصالح تقسیم شده است تا نسبتی به دست آید که به کرات در رابطه مربوط به C_P و C_L آمده است. مقدار مقاومت مصالح برای مصالح تیر با نماد F_b^* نشان داده شده است. در این کتاب گاهی اندیس x به این نماد اضافه می‌شود. این به خاطر می‌آورد که F_b^* تنش خمشی فهرست شده حول محور x است. F_{bx} ضرب در ضرایب اصلاح مربوطه می‌باشد. بار دیگر می‌گوییم که نسبت F_{bE}/F_b^* به کرات در رابطه پلینن دیده می‌شود.

از مقاومت مصالح می‌دانیم که رابطه اولر تنش کماتشی بحرانی را در اعضا باریک و بلند، ارائه می‌نماید. تأثیر ضرایب پایداری تیر و ستون (C_p, C_L) معرفی منحنی تنش مجاز است که برای نسبت لاغری‌های بزرگ به سمت منحنی اولر همگرا می‌شود.

در این فصل چندین مثال عددی آمده است که کاربرد C_L را برای تیرهای بدون مهاربندی جانبی نشان می‌دهد. بخش ۴-۶ اصلاحات مربوط به تنش مجاز خمشی را برای انواع مسائل تیرها به اجمال توضیح می‌دهد.

۴-۶ مروری بر تنش مجاز خمشی

فهرستی که از ضرایب اصلاح در بخش ۲-۶ برای مشخص کردن F'_b ارائه شده، خلاصه است و شامل همه ضرایبی که برای تمامی تیرها به کار می‌رود، نمی‌باشد. هدف این بخش مشخص کردن ضرایب اصلاح مورد نیاز برای کارهای خاص می‌باشد. به علاوه، بسیاری از ضرایب اصلاح که غالباً برابر واحد هستند ذکر شده اند.

در مرور این خاصیت، خاصیت ذاتی تکرار مصالح آورده شده است. در هر حال، هدف اصلی ساده سازی فهرست طولانی ضرایب اصلاح و به دست آوردن چکیده ضرایب مربوط به یک نوع تیر بخصوص می‌باشد، هدف داشتن طرحی کلی از معیار طراحی است بدون آنکه مسأله بسیار پیچیده به نظر برسد. دانستن آنکه کدام یک از ضرایب اصلاح برابر واحد تعریف می‌شوند، برای مسائل طراحی که بارها و بارها با آن روبرو می‌شویم، کمک بسیار مناسبی در این مرحله خواهد بود.

تنش مجاز خمشی برای الوارهای اره شده، در مثال ۱۰-۶ آمده است. مثال مورد نظر، مربوط به الوارهای اره شده به صورت ظاهری طبقه بندی شده است و تنش خمشی برای تمامی دسته‌های اندازه‌ای به جز دال‌ها به کار می‌رود. در قوانین درجه بندی دال‌ها، فرض می‌شود که بارگذاری حول محور ضعیف می‌باشد و بنابراین مقادیر چاپ شده F_{by} می‌باشد. در حال حاضر برای مقادیر F_b فهرست شده مربوط به دال، از ضریب استفاده از پهنای C_{fu} استفاده می‌شود.

مثال ۱۰-۶ تنش مجاز خمشی - برای الوار اره شده به صورت ظاهری درجه بندی شده
در این مثال تنش مجاز خمشی تیرها از الوارهای اره شده با مقطع مستطیلی، بررسی می‌شود. در ابتدا حالت خمش حول محور قوی توضیح داده شده است. (به شکل ۱۰-۸ توجه نمایید). ضرایب اصلاح مناسب آورده شده است، و به منظور یادآوری هر یک از این ضرایب، توضیح مختصری آورده شده است. مقادیری که عموماً فرض می‌شوند، آورده شده است. (یعنی شرایط خدمت خشک و دمای معمولی که در بیشتر سازه‌ها حاکم است).



شکل ۶-۱۰a تیر از الوار اړه شده تحت لنگر حول محور قوی

تنش مجاز خمشی حول محور قوی

$$F'_{bx} = F_{bx} (C_D) (C_M) (C_t) (C_L) (C_F) (C_r) (C_i)$$

که در آن

$$F'_{bx} = \text{تنش مجاز خمشی حول محور } x$$

$$F_b = F_{bx} = \text{تنش خمشی فهرست شده. به یاد داشته باشید که برای الوار اړه شده، مقادیر تنش‌های خمشی}$$

فهرست شده، برای محور \$x\$ به کار می‌رود (به جز دال‌ها). مقادیر در جداول 4A، 4B، 4C مکمل

NDS برای الوارهای معیار و در جدول 4D برای تیرها آورده شده است.

$$C_D = \text{ضریب تداوم بار (بخش ۴-۱۵)}$$

$$C_M = \text{ضریب رطوبت بهره برداری (بخش ۴-۱۴)}$$

$$= 1.0 \text{ برای } MC \leq 19\% \text{ (همانند بیشتر سازه‌های مسقف)}$$

$$C_t = \text{ضریب دما (بخش ۴-۲۰)}$$

$$= 1.0 \text{ برای شرایط دمای معمولی}$$

$$C_L = \text{ضریب پایداری تیر}$$

$$= 1.0 \text{ برای تیر با تکیه گاه جانبی سرتاسری در قسمت فشاری برای سایر شرایط، } C_L \text{ با توجه به بخش}$$

$$۳-۶ \text{ محاسبه می‌شود.}$$

$$C_F = \text{ضریب اندازه (بخش ۴-۱۶). مقادیر از بخش ضرایب اصلاح مکمل NDS در جداول 4A و 4B}$$

برای الوارهای معیار و جدول 4D برای تیرها به دست آورید.

$$C_r = \text{ضریب اعضاء تکراری (بخش ۴-۱۷)}$$

$$= 1.15 \text{ برای کاربری‌های الوار معیار که مطابق با تعریف اعضاء تکراری می‌باشد.}$$

$$= 1.0 \text{ برای سایر شرایط}$$

$$C_i = \text{ضریب سوراخ شدگی (بخش ۴-۲۱)}$$

$$= 0.85 \text{ برای الوار سوراخ شده}$$

$$= 1.0 \text{ برای الوار سوراخ نشده (چه عضو عمل آورده شده باشد و چه نباشد).}$$

اگرچه خمش حول محور قوی، عملکرد خمشی متداول است، طراح بایستی بتواند مسائل بارگذاری حول محور ضعیف را نیز بررسی نماید. به شکل ۶-۱۰b توجه نمایید.



شکل ۶-۱۰b تیر از الوار بریده تحت خمش حول محور ضعیف

تنش مجاز خمشی برای محور ضعیف

$$F'_{by} = F_{by} (C_D) (C_M) (C_t) (C_F) (C_{Fu}) (C_i)$$

که در آن

$$F'_{by} = \text{تنش مجاز خمشی حول محور } y$$

$F_b = F_{by}$ = تنش خمش فهرست شده. به یاد داشته باشید که مقادیر تنش خمش فهرست شده حول محور y برای الوار اهر شده با تمامی اندازه‌ها به کار می‌رود مگر برای تیرها و تراوس‌ها. مقادیر F_b در مکمل NDS جداول 4A، 4B و 4C برای الوارهای معیار و در جدول 4D برای تیرها آورده شده است. برای F_{by} در اندازه (B&S)، بایستی با مؤسسه‌های تدوین آیین‌نامه‌ای تماس گرفته شود.

$$C_D = \text{ضریب تداوم بار (بخش ۴-۱۵)}$$

$$C_M = \text{ضریب رطوبت بهره برداری (بخش ۴-۱۴)}$$

$$= 1.0 \text{ برای } MC \leq 19\% \text{ (همانند بیشتر سازه‌های مسقف)}$$

$$C_t = \text{ضریب دما (بخش ۴-۲۰)}$$

$$C_F = \text{ضریب اندازه بخش (۴-۱۶)}. \text{ مقادیر را از بخش ضرایب اصلاح مکمل NDS، جداول 4A، 4B برای الوارهای معیار و جدول 4D برای تیرها به دست آورید.}$$

$$C_{Fu} = \text{ضریب استفاده از پهنا (بخش ۴-۱۸)}. \text{ مقادیر را از بخش ضرایب اصلاح مکمل NDS، جداول 4A، 4B و 4C برای الوارهای معیار به دست آورید. برای به دست آوردن } C_{Fu} \text{ برای اندازه‌های B \& S با مؤسسه‌های معتبر تدوین آیین‌نامه‌های الوارها تماس بگیرید.}$$

$$C_i = \text{ضریب سوراخ شدگی (بخش ۴-۲۱)}$$

$$= 0.85 \text{ برای الوارهای سوراخ شده}$$

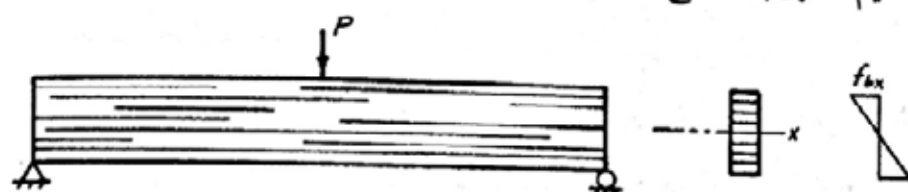
$$= 1.0 \text{ برای الوارهای سوراخ نشده (چه الوارها عمل آوری شده باشند و چه نباشد).}$$

خلاصه‌ای از ضرایب اصلاح مناسب برای تیرهای چسب الواری در مثال ۱۱-۶ آمده است. توجه داشته باشید که ضریب اندازه C_F که برای تیرهای ساخته شده از الوار اهر شده به کار می‌رود، با ضریب حجم C_v در چسب الوارها جایگزین شده است. در هر صورت، در چسب الوارها، ضریب حجم C_v ، یک

ضریب تنش خمشی برای اصلاح مقاومت در قسمت کششی تیر می‌باشد. بنابراین همزمان با ضریب پایداری تیر C_L ، که اصلاح مربوط به مقاومت خمشی در قسمت فشاری تیر است، به کار برده نمی‌شود.

مثال ۱۱-۶ تنش مجاز خمشی - برای چسب الوار

تنش مجاز خمشی برای تیرهای مستقیم یا با انحناء کم از چسب الوارها، با مقطع مستطیلی در این مثال مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ابتدا حالت متداول خمشی حول محور قوی با لایه کششی تحت تنش کششی توضیح داده می‌شود. به شکل ۱۱۸-۶ توجه نمایید. سپس این حالت مجدداً مطرح می‌شود تا حالتی را که لایه‌های فشاری تحت تنش کششی قرار می‌گیرند را نیز توضیح دهیم. همانند آنچه در مورد مثال الوار اِره شده داشتیم، ضرایب اصلاح مورد نظر، به همراه یک خلاصه کوتاه آورده شده اند:



شکل ۱۱۸-۶ چسب الوار تحت خمش حول محور قوی

تنش خمشی مجاز حول محور قوی

یک تیر از مجموعه خمشی چسب الوارها، به طور معمولی تحت تنش حول محور X قرار دارد. حالت معمول آن است که لایه‌های کششی تحت تنش کششی قرار داشته باشند. علامت F_{bx} به طور معمول اشاره به این حالت بارگذاری می‌باشد. تنش مجاز خمشی، حداقل دو مقدار زیر در نظر گرفته می‌شود.

$$F'_{bx} = F'_{bx \ t/t} = F_{bx \ t/t} (C_D) (C_M) (C_t) (C_L)$$

و

$$F'_{bx} = F'_{bx \ t/t} = F_{bx \ t/t} (C_D) (C_M) (C_t) (C_v)$$

که در آن

$F'_{bx \ t/t} = F'_{bx}$ = تنش مجاز خمشی حول محور X با لایه‌های کششی با کیفیت بالا تحت تنش کششی
 $F_{bx \ t/t} = F_{bx}$ = تنش خمشی فهرست شده حول محور X با لایه‌های کششی تحت تنش کششی. مقادیر

مربوط در مکمل NDS در جدول 5A برای چسب الوارهای از چوب نرم آمده است.

C_D = ضریب تداوم بار (بخش ۴-۱۵)

C_M = ضریب رطوبت بهره برداری (بخش ۴-۱۴)

$1.0 =$ برای درصد $MC < 16$ (همانند اکثر سازه‌های مسقف)

C_t = ضریب دما (بخش ۴-۲۰)

$1.0 =$ برای شرایط دمای معمولی

= 1.0 برای تیر با تکیه گاه جانبی سرتاسری در قسمت فشاری. برای سایر شرایط تکیه گاه جانبی، با توجه به بخش ۳-۶ تخمین زده می شود.

C_L = ضریب پایداری تیر

C_V = ضریب حجم (بخش ۵-۶)

گاهی اوقات، تیرهای چسب الواری، تحت بارگذاری خمشی حول محور X به گونه ای قرار می گیرند که لایه های فشاری تحت تنش کششی قرار می گیرند. کاربرد متداول برای این حالت، یک تیر با قسمت کنسول نسبتاً کوتاه می باشد (شکل ۵b-۶). تنش مجاز خمشی حداقل دو مقدار زیر در نظر گرفته می شود:

$$F'_{bx\ c/t} = F'_{bx\ c/t} (C_D) (C_M) (C_t) (C_L)$$

و

$$F'_{bx\ c/t} = F'_{bx\ c/t} (C_D) (C_M) (C_t) (C_V)$$

که در آن

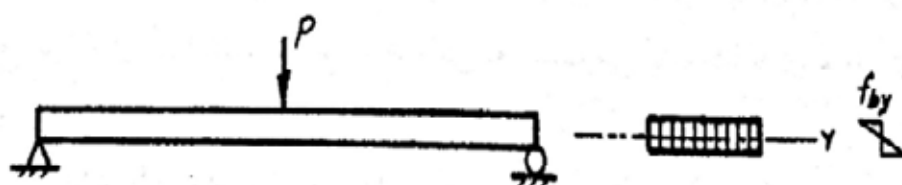
$F'_{bx\ c/t}$ = تنش مجاز خمشی حول محور X با لایه های فشاری تحت تنش کششی

$F_{bx\ c/t}$ = تنش خمشی فهرست شده حول محور X در منطقه فشاری تحت تنش کششی. مقادیر در

مکمل NDS جدول 5A برای چسب الوارهای از چوب نرم آورده شده است.

سایر اجزا همانطور که در بالا تعریف شده است می باشد.

اگرچه عملکرد متداول یک مجموعه خمشی، بارگذاری حول محور X می باشد، ولی گاهی ممکن است طراح نیازمند آن باشد که مسائل خمشی حول محور ضعیف را بررسی نماید. به شکل ۱۱b-۶ توجه نماید.



شکل ۱۱b-۶ تیر چسب الواری تحت خمش حول محور ضعیف

تنش مجاز خمشی حول محور ضعیف

$$F'_{by} = F_{by} (C_D) (C_M) (C_t) (C_{fu})$$

که در آن

F'_{by} = تنش مجاز خمشی حول محور Y

F_{by} = تنش خمشی فهرست شده حول محور Y . مقادیر در جدول 5A مکمل NDS برای چسب الوارها

از چوب نرم آورده شده است.

C_D = ضریب تداوم بار (بخش ۴-۱۵)

C_M = ضریب رطوبت بهره برداری (بخش ۴-۱۴)
 $= 1.0$ برای $MC < 16\%$ (همانند اکثر سازه‌های مسقف)

C_t = ضریب دما (بخش ۴-۲۰)

$= 1.0$ برای دمای معمولی

C_{fu} = ضریب استفاده پهنا (بخش ۴-۱۸). مقادیر مربوط را از بخش ضرایب اصلاح مکمل NDS، جدول 5A برای چسب الوارهای از چوب نرم به دست آورید. ممکن است ضریب استفاده پهنا به طور محافظه کارانه برابر با 1.0 در نظر گرفته شود.

مثال ۶-۱۱ برای اکثر چسب الوارهای معمولی که از مجموعه‌های خمشی ساخته شده از چوب نرم می‌باشد، برقرار است. یک سازه چسب الواری که از مجموعه‌های محوری می‌باشد، دارای توزیع لایه‌ها که برای مجموعه‌های خمشی به کار می‌رود نمی‌باشد. بنابراین فقط یک مقدار F_{bx} برای مجموعه‌های محوری چسب الوارها فهرست شده است و نیاز به جدا کردن F_{bx}/t و $F_{bx}/c/t$ نمی‌باشد. سایر تمهیدات مربوط به تنش مجاز خمشی برای مجموعه‌های محوری مشابه آن چیزی است که در مثال ۶-۱۱ بیان کردیم. ضرایب اصلاح و مقادیر فهرست شده مجموعه‌های محوری از چسب الوارهای ساخته شده از چوب نرم، در جدول 5B مکمل NDS آمده است. مقادیر طراحی مربوط به مجموعه‌های چسب الواری از چوب سخت در جدول 5C مکمل NDS آمده است.

طراح نبایستی با این توضیح کامل از تنش مجاز خمشی، دچار سردرگمی شود. بیشتر کاربردهای از چسب الوارها یا الوارهای اره شده، عبارت است از خمش حول محور قوی و اکثر چسب الوارها در قسمت کششی تحت تنش کششی می‌باشند. به منظور تکمیل این مبحث و برای آنکه در صورت لزوم به عنوان یک مرجع بتوانیم از آن استفاده کنیم، به سادگی به دست می‌آید، مثال‌های متعددی در قسمت‌های بعدی این فصل، برآورد کردن تنش مجاز خمشی را برای هر دو الوارهای اره شده و چسب الوارها که به صورت ظاهری طبقه بندی شده اند، نشان می‌دهد.

۵-۶ برش

تنش برشی در تیر، غالباً منسوب به تنش افقی می‌باشد. از مقاومت مصالح می‌توانید به خاطر آورید که تنش برشی در هر نقطه از سطح مقطع تیر می‌تواند، با استفاده از رابطه زیر محاسبه شود:

$$f_v = \frac{VQ}{Ib}$$

ضمناً به خاطر داشته باشید که تنش افقی و قائم در هر نقطه از سطح مقطع با یکدیگر برابر هستند. مقاومت برشی چوب به موازات الیاف بسیار کمتر از مقاومت برشی چوب عمود بر الیاف می‌باشد و در

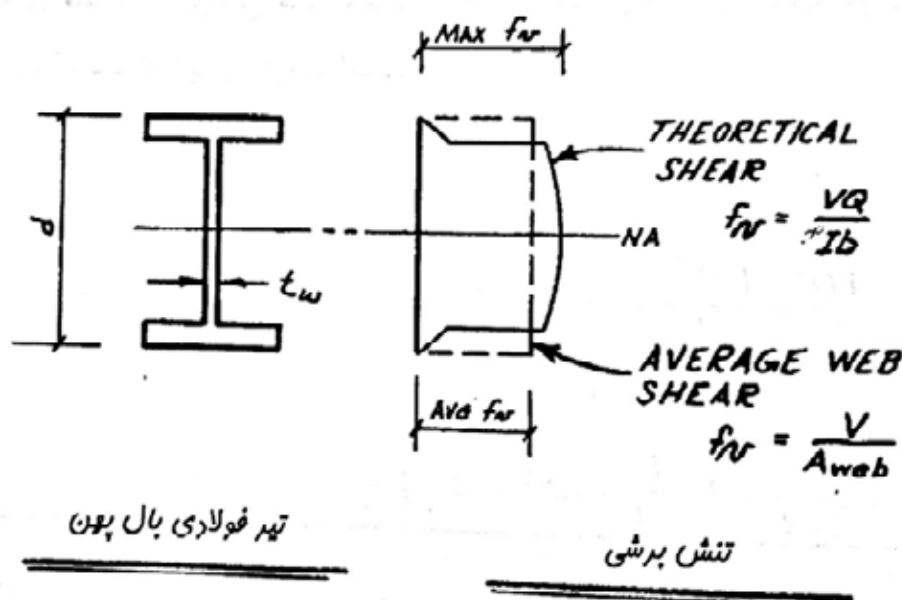
یک تیر چوبی، الیاف موازی با محور طولی می‌باشند. بنابراین در یک تیر متداول افقی، برش افقی بحرانی می‌باشد.

مقایسه توزیع تنش برشی که از رابطه VQ/Ib برای یک تیر معمولی فولادی و تیر معمولی چوبی به دست می‌آید، می‌تواند بسیار مفید باشد. به مثال ۶-۱۲ توجه نمایید. از نظر تئوری، این رابطه برای محاسبه تنش برشی در هر دو نوع المان‌ها به کار می‌رود. در هر حال در کارهای طراحی، تنش برشی در یک تیر آهن بال پهن فولادی با محاسبه تنش اسمی (متوسط جان) تخمین زده می‌شود.

تنش برشی متوسط برای تیرهای چوبی مستطیلی به کار نمی‌رود. برش حداکثر در یک تیر مستطیلی، ۱/۵ برابر تنش متوسط برشی می‌باشد. این اختلاف بسیار مهم است و نمی‌توان از آن صرف‌نظر کرد.

مثال ۶-۱۲ توزیع تنش برشی افقی

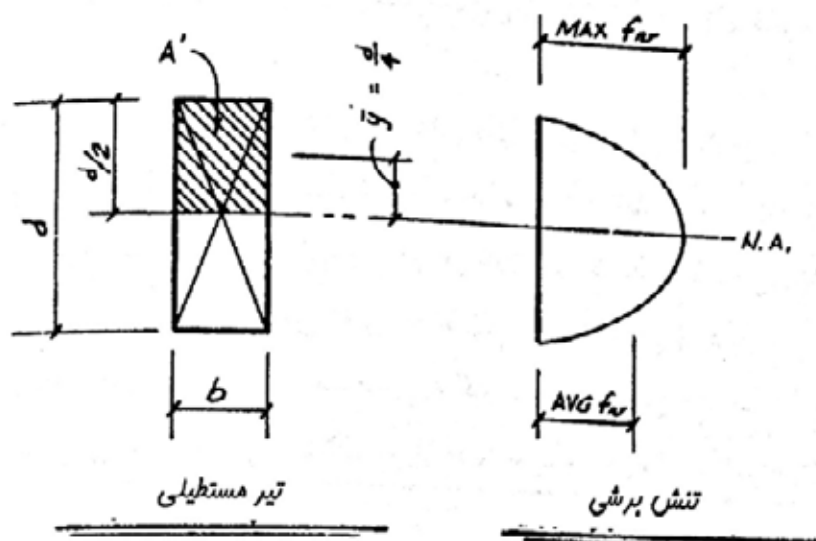
تیر فولادی



شکل ۶-۱۲ا تنش برشی تئوری و متوسط تنش در جان تیر فولادی

برای یک پروفیل بال پهن فولادی، کنترل اسمی تنش از تقسیم کل برش بر مساحت جان مقطع انجام می‌شود:

$$Avg: f_v = \frac{V}{A_{web}} = \frac{V}{dt_w} \approx max. f_v$$



شکل ۶-۱۲b توزیع تنش برشی در یک تیر چوبی معمولی (با مقطع مستطیلی)

برای تیرهای مستطیلی، بایستی ماکزیمم برش «افقی» تئوری در نظر گرفته شود. رابطه زیر نشان می‌دهد که برش ماکزیمم $1/5$ برابر متوسط است:

$$Avg : f_v = \frac{V}{A}$$

$$Max.f_v = \frac{VQ}{Ib} = \frac{VA' \bar{y}}{Ib} = \frac{V \left(\frac{bd}{2} \right) \left(\frac{d}{4} \right)}{\left(\frac{bd^3}{12} \right) \times b}$$

$$= \frac{3V}{2bd} = 1.5 \frac{V}{A} = 1.5 (avg.f_v)$$

در مثال ۶-۱۲، یک رابطه متعارف برای تنش برشی افقی در تیر با مقطع مستطیلی ارائه شده است. برای سایر مقطع، توزیع تنش برشی متفاوت خواهد بود و استفاده از رابطه تنش برشی و یا سایر کنترل‌های مربوطه، بر اساس نوع عضو مورد نظر ضروری خواهد بود. کنترل برش برای تیر چوبی مستطیلی عبارت است از

$$f_v = \frac{1/5V}{A} \leq F'_v$$

که در آن

f_v = تنش برشی واقعی (محاسباتی) در تیر.

V = حداکثر برش طراحی در تیر

A = مساحت سطح مقطع تیر

F'_v = تنش مجاز برشی

$$F_v (C_D) (C_M) (C_t) (C_H) =$$

F_v = تنش برشی فهرست شده

عواملی که برای محاسبه تنش مجاز برشی به کار می‌رود در فصل ۴ توضیح داده شد. ضرایب اصلاح و مقادیر متداول مربوط به شرایطی که مرتباً با آن سر و کار داریم عبارتند از:

$$C_D = \text{ضریب تداوم بار (بخش ۱۵-۴)}$$

$$C_M = \text{ضریب رطوبت بهره برداری}$$

$1.0 =$ برای شرایط خدمت خشک که در بیشتر سازه‌های مسقف برقرار است. شرایط خدمت خشک به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$MC \leq 19 \% \text{ برای الوارهای اره شده}$$

$$MC < 16 \% \text{ برای چسب الوارها}$$

$$C_t = \text{ضریب دما (بخش ۲۰-۴)}$$

$$1.0 = \text{برای شرایط دمای معمولی}$$

$$C_H = \text{ضریب تنش برشی (بخش ۱۹-۴)}$$

$$1.0 = \text{به صورت محافظه کارانه برای الوارهای اره شده}$$

$$1.0 = \text{همواره برای چسب الوارها}$$

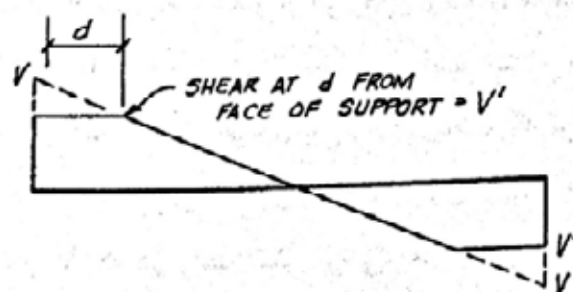
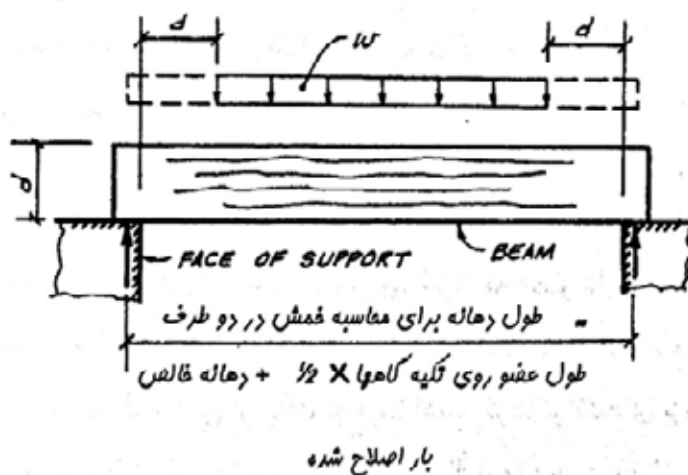
وجود گره‌ها، درزها و شکاف‌ها در اعضاء چوبی، ظرفیت برش افقی را کاهش می‌دهد. در مقادیر تنش برشی فهرست شده برای الوارهای اره شده فرض می‌شود که عضو دارای ترک‌های بزرگ می‌باشد و مقادیر F_v چاپ شده، محافظه کارانه می‌باشد. این مسأله را می‌توان با مقایسه مقادیر F_v در جداول NDS برای الوارهای اره شده و چسب الوارهای از یک نوع مشاهده کرد. ترک‌های بزرگ که در الوارهای اره شده ممکن می‌باشند، در محصولات کارخانه‌ای مانند چسب الوارها وجود ندارند.

وقتی طول ترک یا شکاف در انتهای یک عضو از الوارهای اره شده معلوم باشد و به نظر می‌رسد که اضافه نمی‌شود، مقادیر C_H بیشتر از ۱.۰ را می‌توان از بخش ضرایب اصلاح مکمل NDS جداول 4A، 4B، 4C و 4D به دست آورد. از آنجا که از جدول می‌توان دریافت که ترک‌های کمتری در چسب الوارها ایجاد خواهد شد، پیش فرض C_H برای تیرهای چسب الواری برابر واحد خواهد بود. در تیرهایی که در برش بحرانی نیستند، مقدار V که در رابطه تنش برشی آمده است، غالباً حداکثر برش در نمودار برش در نظر گرفته می‌شود. اما، NDS اجازه می‌دهد که برش حداکثر طراحی در محاسبات مربوط به تنش، کاهش پیدا کند. برای آنکه این کاهش در نظر گرفته شود، بایستی بار در یک وجه تیر وارد شود و تکیه گاه‌ها در وجه دیگر تیر باشند (بالا و پایین). این نوع بارگذاری در تیرها متداول است. به عنوان مثال برای حالتی که بارها از وجه پایین تر آویزان شده باشند، این کاهش در نظر گرفته نمی‌شود. کاهش برش، با صرف نظر کردن از تمامی بارها (هم گسترده و هم متمرکز) در فاصله d (برابر عمق تیر) از لبه تکیه گاه تیر صورت می‌گیرد. به مثال ۱۳-۶ توجه نمایید. در صورتی که یک بار متمرکز متحرک داشته باشیم، کاهش

برش با قرار دادن بار متحرک در فاصله d از تکیه گاه (به جای قرار دادن به طور مستقیم بر روی تکیه گاه) به دست می‌آید. کاهش تنش برشی محاسباتی، می‌تواند برای تیرهای از هر دو نوع «چسب الوارها» و «الوارهای اره شده» به کار رود.

مثال ۱۳-۶ کاهش بار برای محاسبات تنش افقی

۱. حداکثر برش در طراحی می‌تواند با حذف بارها در فاصله d (عمق تیر) از وجه تکیه گاه، کاهش یابد. این روش برای بارهای متمرکز نیز همانند بارهای گسترده، اعمال می‌شود.
۲. بارهای اصلاح شده فقط برای محاسبات «تنش برش افقی» در تیرهای چوبی (از الوارهای اره شده یا چسب الوارها) می‌باشد. برای سایر معیارهای طراحی از کل بارهای طراحی استفاده می‌شود.
۳. مفهوم حذف بارها در فاصله d از تکیه گاه بر اساس این فرض است که بارها به یک سمت تیر (معمولاً بالا) وارد می‌شود و عضو به وسیله تکیه گاه در طرف دیگر (معمولاً پایین) نگهداری شده است. در این روش، بارهای حذف شده، به وسیله فشار قطری به تکیه گاه منتقل می‌شود. مشابه این اصلاح برای برش در طراحی سازه‌های بتن مسلح به کار می‌رود.



شکل ۱۳-۶ کاهش مجاز برای برش در محاسبه f_v

به منظور اطلاع، طول دهانه برای خمش در بخش ۲-۶ تعریف شده و در شکل ۱۳-۶ نشان داده شده است. طول دهانه بر اساس دهانه آزاد به علاوه نصف طول تکیه گاه مورد نیاز در هر دو انتهای تیر در نظر

گرفته می‌شود. اگرچه این تعریف مجاز می‌باشد، در عمل متداول تر است (و محافظه کارانه تر) که از فاصله مرکز به مرکز تکیه گاه‌ها استفاده می‌نمایند. دهانه خمشی، معمولاً طول مورد استفاده برای رسم نمودارهای خمشی و برشی می‌باشد.

هنگامی که جزئیات شرایط تکیه گاهی تیر، کاملاً مشخص باشد، طراح می‌تواند تنش برشی را در فاصله d از وجه تکیه گاه محاسبه نماید. ولی در بسیاری از مثال‌های این کتاب، جزئیات تکیه گاهی کاملاً مشخص نمی‌باشد. در نتیجه، اگر از کاهش برش در یک مثال استفاده شده باشد، بارها در فاصله d از نقطه تکیه گاهی در «دهانه خمش» حذف شده است. طراح بایستی تشخیص دهد که نقطه مینا، به طور اختصاصی لبه تکیه گاه است و ممکن است کاهش بیشتری در برش محاسبه شده داشته باشیم.

در صورتی که تنش برش واقعی بدون اصلاح محاسبه می‌شود، محافظه کارانه تر آن است که این اصلاح را در نظر بگیریم. در محاسبات مرسوم است که از علامتی استفاده می‌نمایند که معرف آن است که برش کاهش یافته مطابق مثال ۱۳-۶ به کار رفته است. در اینجا V معرف برشی است که اصلاح نشده است و V' به کار رفته در این کتاب معرف برش کاهش یافته است. همانند f_v که تنش برشی محاسبه شده با استفاده از V می‌باشد، f'_v نیز تنش برشی بر اساس V' می‌باشد.

$$f'_v = \frac{1.5V'}{A} \leq F'_v$$

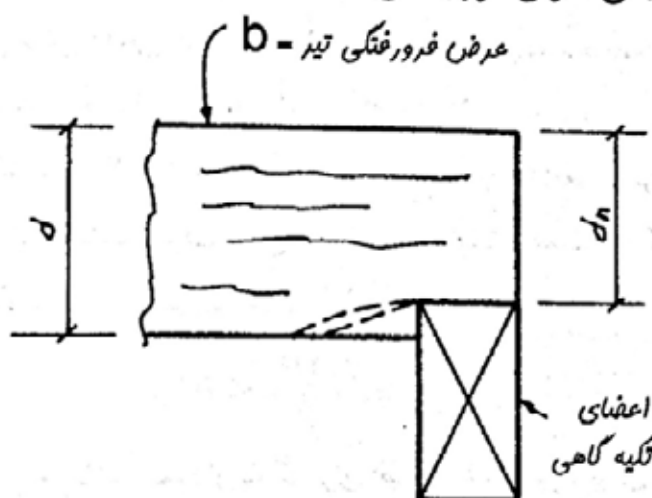
سایر عوامل مطابق قبل می‌باشد. نمودار بارگذاری اصلاح شده صرفاً برای محاسبات تنش برشی افقی به کار می‌رود. عکس العمل‌ها و لنگرها بر اساس کل بارهای طراحی انجام می‌شود.

اساس روش کار (Basic procedure) برای کنترل تنش برشی در تیر در بالا توضیح داده شده است و این روش برای طراحی اغلب تیرهای چوبی به کار می‌رود. NDS، روش‌های دیگری برای تنش برشی ارائه کرده است که از حوصله این کتاب خارج است. این روش‌ها می‌تواند برای اصلاح تیرهای ساخته شده از الوارهای اره شده که بر اساس روش‌های اولیه به نظر می‌رسد تحت تنش بیش از حد قرار گرفته اند به کار رود. این روش در بخش‌های ۲-۳-۴ و ۲-۴-۴ و ضمیمه E از NDS توضیح داده شده است.

بیشتر توضیح دادیم که غالباً تنش خمشی ابعاد تیر را تعیین می‌نماید، اما عامل دومی، همانند برش می‌تواند ابعاد را در شرایط بارگذاری کنترل نماید. در طراحی بسیار مناسب است که طراح بتواند انواع تیرهایی را که در آن برش بحرانی می‌باشد، تشخیص دهد. به عنوان یک راهنمایی کلی، برش در دهانه‌های نسبتاً کوتاه و با بارگذاری سنگین بحرانی می‌باشد. با کمی تجربه، طراح با یک بررسی می‌تواند تیری را که احتمالاً معرف «تیر کوتاه با بارگذاری سنگین» است را تشخیص دهد. در چنین شرایطی، طراحی با به دست آوردن یک تیر آزمایشی که رابطه برش افقی را ارضاء می‌کند شروع می‌شود. سایر عوامل، مانند خمش و تغییر شکل در مرحله بعد کنترل می‌شوند.

چنانچه تیری در یک انتهای آزاد، فرورفتگی داشته باشد، بایستی برش در محل فرورفتگی کنترل شود. برای این منظور، رابطه تئوری تنش برش افقی بر اساس عمق واقعی d_n به جای عمق کامل تیر به کار می‌رود. به مثال ۶-۱۴ نگاه کنید. برای فرورفتگی مربع شکل در طرف کششی، تنش‌های محاسباتی بایستی با استفاده از ضریب تمرکز تنش که بر اساس نسبت عمق کامل تیر به عمق خالص در محل فرورفتگی به دست می‌آید، افزایش یابد. فرورفتگی (شکاف) با شکل‌های دیگری که تمایل به آزاد کردن تنش‌های متمرکز شده دارند، ضریب تمرکز تنش کمتری دارند. فرورفتگی تیر در محدوده‌ای که تحت تنش کششی خمشی می‌باشد به هیچ عنوان توصیه نمی‌شود. (برای توضیحات بیشتر به بخش ۶-۲ نگاه کنید).

مثال ۶-۱۴ در تیرهای دارای فرورفتگی



شکل ۶-۱۴a فرورفتگی در تکیه گاه انتهایی

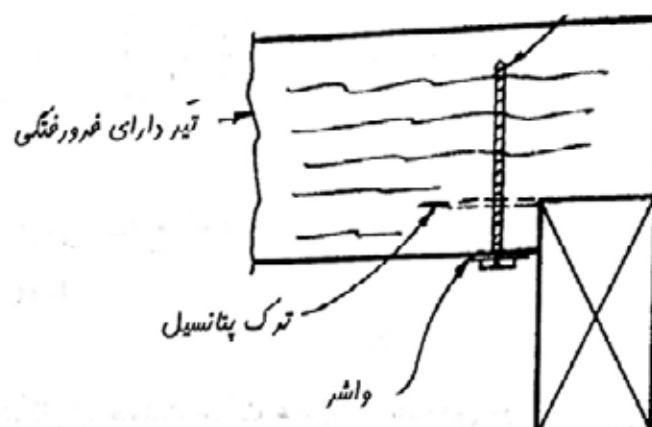
برای فرورفتگی‌های مربعی در انتهای تیر و در قسمت کششی، تنش به وسیله ضریب تمرکز تنش

$\left(\frac{d}{d_n}\right)$ افزایش می‌یابد:

$$f_v = \frac{1.5V}{bd_n} \left(\frac{d}{d_n}\right) \leq F'_v$$

فرورفتگی در طرف کششی تیر، ایجاد کشش عمود بر الیاف می‌نماید. این با برش افقی متقابلاً اثر کرده و تمایل به جدایی در محل فرورفتگی ایجاد می‌کند. به منظور رهایی از تمرکز تنش، از فرورفتگی‌های باریک شوند، استفاده می‌کنند (خط چین در شکل ۶-۱۴a).

برای جلوگیری از جدایی، می‌توان از آرماتورگذاری مکانیکی همانند پیچ‌های نوک تیز خودرو در شکل ۶-۱۴b استفاده کرد.



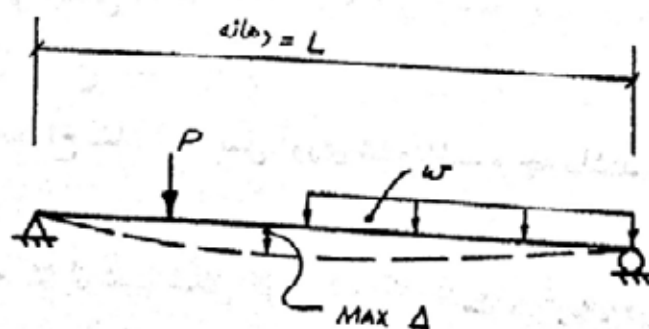
شکل ۱۴b-۶ آرماتور گذاری مکانیکی در انتهای فرورفته

فرورفتگی در قسمت فشاری تیر کمتر از فرورفتگی در قسمت کششی بحرانی می باشد. بخش ۴-۴-۵ NDS ۳، روش را برای تحلیل اثر کاهش تمرکز تنش در قسمت فشاری فرورفتگی ها ارائه کرده است. مقررات دیگر مربوط به برش افقی در اتصالات پیچ شده در تیرها در بخش ۱۷-۱۳ آمده است.

۶-۶ تغییر شکل:

محدودیت تغییر شکل تیرهای چوبی که در آیین نامه ضروری می باشد و سایر محدودیت تغییر شکل که توسط AITC ارائه شده است در بخش ۷-۲ توضیح داده شده است. تغییر شکل واقعی یک تیر مورد آزمایش، با دانستن طول دهانه، شرایط تکیه گاهی و بارهای وارده محاسبه می شود. تغییر شکل ها می تواند از یک تحلیل تغییر شکل متعارف و از روابط مربوط به تیرهای استاندارد به دست آید و یا با استفاده از تحلیل کامپیوتری محاسبه شود. تغییر شکل های واقعی (محاسبه شده) بایستی کمتر یا مساوی با تغییر شکل های مجاز که در فصل ۲ ارائه شده است، باشد. به مثال ۱۵-۶ توجه کنید.

مثال ۱۵-۶ معیار تغییر شکل تیر و خم



شکل ۱۵a-۶ شکل تغییر یافته تیر

تغییر شکل واقعی
تغییر شکل حداکثر تابعی از بارگذاری، نوع دهانه، ممان اینرسی و مدول الاستیسته می‌باشد.

$$\Delta_{\max} = f\left(\frac{P, w, L}{I, E'}\right)$$

که در آن

$E' =$ مدول الاستیسته مجاز (یعنی اصلاح شده)

$$E (C_M) (C_t) (C_i) =$$

سایر اجزا در تحلیل تغییر شکل تیر همانند حالت عادی تعریف می‌شوند.

ضرایب اصلاح مربوط به تخمین مدول الاستیسته مجاز (اصلاح شده) در فصل ۴ توضیح داده شده‌اند.
ضرایب و مقادیر متداول برای شرایطی که به کرات با آنها مواجه می‌شویم عبارتند از:

$E =$ مدول الاستیسته فهرست شده

$E_x =$ برای حالت متداول خمشی حول محور قوی

$C_M =$ ضریب رطوبت بهره برداری (بخش ۴-۱۴)

$= 1.0$ برای شرایط خدمت خشک که در بیشتر سازه‌های مسقف حاکم است. شرایط خدمت خشک

به صورت زیر تعریف می‌شود.

$MC \leq 19\%$ برای الوارهای اره شده

$MC < 16\%$ برای چسب الوارها

$C_t =$ ضریب دما

$= 1.0$ برای شرایط دمای معمولی

$C_T =$ ضریب سختی کمانشی

$= 1.0$ برای محاسبات تغییر شکل تیر. (تذکر: ضریب سختی کمانشی غیر از واحد برای E مربوط به

محاسبه پایداری ستون‌ها در کاربردی‌های خاص مربوط به خرپاهای از چوب سبک به کار می‌رود).

$C_i =$ ضریب سوراخ شدگی (بخش ۴-۲۱)

$= 0.95$ برای الوارهای سوراخ شده

$= 1.0$ برای الوارهای سوراخ نشده (چه عمل آوری شده باشند و چه نباشند).

تغییر شکل‌ها اغلب فقط برای بار زنده Δ_L و یا تحت کل بار Δ_{TL} (مرده به علاوه زنده) کنترل می‌شوند. به خاطر داشته باشید که کنترل تغییر شکل کل بار، ممکن است بار زنده در ضریب K (جدول E-۱۶ UBC، مرجع ۹-۱۰) ضرب شود. برای اطلاعات بیشتر به بخش ۷-۲ توجه نمایید.

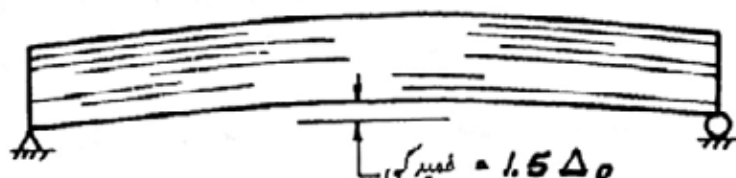
$$\Delta_L \text{ مجاز } \leq \Delta_L \text{ حداکثر}$$

$$\Delta_L \text{ مجاز } \leq \Delta_{TL} \text{ حداکثر}$$

چنانچه این معیارها، ارضاء نشوند، با استفاده از ممان اینرسی و بر اساس تغییر شکل مجاز، اندازه‌های جدیدی برای تیر انتخاب می‌شود.

خم

خم انحنای اولیه‌ای است که در خلاف جهت تغییر شکل‌های ناشی از بارهای ثقلی به عضو اعمال می‌شود.



شکل ۱۵b-۶ خم متداول که بر روی چسب الوارها اعمال می‌شود، $1/5$ برابر تغییر شکل بار مرده است.

خاصیت مصالح که برای تخمین تغییر شکل تیر به کار می‌رود، مدول الاستیسته اصلاح شده (E') می‌باشد. NDS آن را تحت عنوان مدول الاستیسته مجاز می‌خواند. مدول الاستیسته، ضرایب اصلاحی نسبتاً کمی دارد. این ضرایب اصلاح در بسیاری از کاربردهای متداول در تیرها، برابر با واحد در نظر گرفته می‌شوند. توجه داشته باشید که ضریب تداوم بار C_D ، برای مدول الاستیسته به کار نمی‌رود (بخش ۴-۱۵). به خاطر داشته باشید که مدول الاستیسته فهرست شده، یک مقدار میانگین است. عملاً در طراحی بسیار متداول است که تغییر شکل‌ها را با استفاده از مقدار E میانگین تعیین نمایند. ولی در برخی حالات خاص، ممکن است یک مشخصه بحرانی باشد و ضمیمه F در NDS می‌تواند برای تبدیل میانگین E به درصد کمتری از مدول الاستیسته تبدیل شود.

بر اساس نیازهای خاص، مقدار مدول الاستیسته میانگین می‌تواند به مقداری که بیشتر از ۸۴ درصد یا ۹۵ درصد مقادیر مستقل است تبدیل شود. این مقادیر با نماد $E_{0.05}$ ، $E_{0.16}$ که به ترتیب تحت عنوان مقادیر استثناء ۵ درصد و ۱۶ درصد می‌باشند، نشان داده شده‌اند. برای اطلاعات بیشتر به ضمیمه F از NDS توجه کنید.

در طراحی تیرهای چسب الواری و خرپاهای چوبی، متداول است تا مقدار دقیق خم مشخص شود تا عضو بر آن اساس ساخته شود. خم عبارت است از انحنای اولیه یا تغییر شکل ذخیره شده که در هنگام ساخت عضو اعمال می‌شود. در طراحی چسب الوارها، خم متداول Δ_D $1/5$ است. این مقدار خم، تحت

بارگذاری بلند مدت به همراه خزش، تراز تقریباً افقی برای عضو به وجود می‌آورد. ممکن است برای بهبود نما و یا برای به دست آوردن شیب مناسب سقف برای جلوگیری از گود شدن، خم بیشتری مورد نیاز باشد. برای اطلاعات بیشتر در مورد تغییر شکل، به فصل ۲ توجه نمایید.

یکی از سه معیار طراحی که در بخش قبل توضیح داده شد (خمش، برش و تغییر شکل)، ابعاد مورد نیاز تیر چوبی را معین می‌کند. به علاوه، این نتایج می‌بایستی بر اساس تکیه گاه‌های جانبی که برای جلوگیری از ناپایداری جانبی در نظر گرفته شده اند، به دست آید. در صورت لزوم، تحلیل تنش خمشی، مفصلاً شرح داده می‌شود تا مسأله پایداری جانبی در نظر گرفته شود. با کمی تمرین طراح قادر خواهد بود با یک بررسی اجمالی بگوید که کدام معیار بحرانی تر خواهد بود. مراحل محاسباتی که برای طراحی تیرها به کار می‌رود، در بالا توضیح داده شده است. در اینجا به طور خلاصه آن را تکرار می‌کنیم.

در بسیاری از تیرها، تنش خمشی جزء بحرانی طراحی می‌باشد. بنابراین، ابعاد آزمایشی غالباً با استفاده از رابطه تنش خمشی به دست می‌آید:

$$S = \frac{M}{F'_b} \text{ مورد نیاز}$$

عضو آزمایشی طوری انتخاب می‌شود که مدول مقطع پرداخت شده، S آن بیشتر از مقدار مورد نیاز باشد. از آنجا که مقدار ضریب اندازه C_F و یا ضریب حجم C_V تا هنگامی که ابعاد تیر انتخاب نشده، معلوم نمی‌باشد، بهتر است پس از آنکه مشخص شد، تنش واقعی را با تنش مجاز خمشی کنترل نماییم:

$$f_b = \frac{M}{S} \leq F'_b$$

پس از آنکه ابعاد آزمایشی مشخص شد، بایستی سایر عوامل (برش و تغییر شکل) کنترل شود. برای یک تیر مستطیلی، برش به وسیله رابطه زیر کنترل می‌شود:

$$f_v = \frac{1.5V}{A} \leq F'_v$$

در این محاسبه، می‌توان برش کاهش یافته V' را جایگزین V کرده و به جای f'_b محاسبه می‌شود. چنانچه این کنترل ارضاء نشود، ابعاد تیر آزمایشی اصلاح می‌شود تا مساحت مناسب A که بر اساس آن برش مناسب باشد به دست آید.

تغییر شکل بر اساس محاسبه تغییر شکل با استفاده از معان اینرسی مربوط به تیر آزمایشی کنترل می‌شود. سپس تغییر شکل واقعی با تغییر شکل مجاز مقایسه می‌شود:

$$\Delta \leq \Delta_{\text{مجاز}}$$

چنانچه این کنترل ارضاء نشود، ابعاد تیر آزمایشی اصلاح می شود تا معان اینرسی کافی I که بر اساس آن معیار تغییر شکل ارضاء می شود، به دست آید.

ممکن است ابعاد آزمایشی عضو در شروع با استفاده از چیز دیگری غیر از تنش خمشی به دست آید. به عنوان مثال برای یک تیر کوتاه با بارگذاری سنگین، منطقی است که ابعاد آزمایشی با استفاده از محاسبه برش به دست آید:

$$A = \frac{1.5V}{F_v} \text{ مورد نیاز}$$

عضو آزمایشی بایستی سطح A ای بیشتر از سطح مورد نیاز فراهم نماید. چنانچه خواص سازه ای چوب با خواص مصالح دیگر مقایسه شود، ملاحظه می شود که مدول الاستیسته چوب نسبتاً کم است. به این دلیل، در اعضاء با دهانه بلند، تغییر شکل می تواند معیار طراحی باشد.

بدیهی است، در صورتی که این حالت معلوم شود و یا چنانچه محدودیت های بیشتری در معیار تغییر شکل به کار می رود، ابعاد عضو آزمایشی بایستی بر اساس ارضاء محدودیت تغییر شکل به دست آید. آنگاه معیارهای دیگر طراحی شامل خمش و برش می تواند کنترل شود.

با افزایش عمق، مشخصات مقطع شامل مدول مقطع و ممان اینرسی به شدت تغییر می کند. در نتیجه، تیرهای با مقطع باریک و عمیق، مؤثرتر می باشند.

جدای از سایر معیارها، اقتصادی ترین تیر به ازای درجه خاصی از الوار، آن است که تمامی معیارهای تغییر شکل و تنش را با استفاده از حداقل سطح مقطع، ارضاء نماید. الوارهای اره شده، براساس Board foot خریداری می شوند. (یک Board foot حجم چوب بر اساس ابعاد اسمی آن است که برابر با یک قطعه ۱۲×۱ چوبی به طول ۱ فوت است). واضح است که تعداد Board foot برای یک عضو مشخص مستقیماً با مساحت سطح مقطع عضو متناسب است.

در کنار سطح مقطع حداقل، عوامل بسیاری در انتخاب نهایی ابعاد عضو مؤثر می باشند. اولاً: ملاحظات مفصلی لازم است تا اندازه یک عضو که با خواص سازه ای منطبق بوده و با سایر اعضاء و اتصالات آنها متناسب باشد، انتخاب گردد. ثانیاً، ممکن است اندازه عضو مطابق اندازه اعضایی که در جاهای دیگر سازه به کار می رود، باشد. از نقطه نظر جزئیات سازه ای، ممکن است این کار متعارف باشد و در عین حال می تواند سفارش مصالح و نصب آنها را آسان تر نماید. ثالثاً: بایستی موجود بودن الوارها با اندازه ها و درجه های مورد نظر را نیز در نظر گرفت. دیگر آنکه ضرایب صرفاً بایستی با دانستن یک عملکرد خاص، در نظر گرفته شود و روش کلی در این کتاب انتخاب تیر با حداقل سطح مقطع است.

خلاصه طراحی که در بالا ارائه شد، کلیات روشی است که در حل دستی به کار می رود. راه حل های کامپیوتری می تواند برای خود کار کردن طراحی به کار رود. به طور کلی، طراحی های کامپیوتری

مستقیم تر هستند. چرا که مشخصات مورد نیاز مقطع برای خمش، برش و تغییر شکل (یعنی I , A , S) به صورت مستقیم و با زحمت کمتر و به روش سعی و خطا محاسبه می‌شود. ولی حتی با حل‌های کامپیوتری، طراحی چوب غالباً چندین مرحله تکراری برای رسیدن به طرح نهایی می‌باشد.

به طراح چوب غالباً چندین مرحله تکراری برای محاسبات مربوط به طراحی تیر، از کامپیوتر در به کار بردن نرم افزارهای ساده حل معادله و یا Spread sheet استفاده نماید. چنانچه از یک برنامه کامپیوتری آماده استفاده می‌شود، طراح بایستی اطمینان داشته باشد که خروجی‌ها و اطلاعات کافی وجود دارد تا بتوان نتایج را به صورت دستی بررسی کرد.

۸-۶ تنش لهدگی

تنش لهدگی عمود بر الیاف چوب، در تکیه گاه‌های تیر و یا وقتی سایر اعضا به تیر متصل می‌شوند، به وجود می‌آید. به مثال ۱۶-۶ نگاه کنید. تنش لهدگی واقعی، از تقسیم بار یا عکس‌العمل بر سطح تماس بین اعضا و یا بین اعضا و ورق‌های اتصال خمشی محاسبه می‌شود. تنش واقعی بایستی کمتر از تنش مجاز لهدگی باشد:

$$f_{c\perp} = \frac{P}{A} \leq F'_{c\perp}$$

تنش فشاری مجاز عمود بر الیاف از ضرب مقادیر فهرست شده در یک دسته ضرایب اصلاح به دست می‌آید:

$$F'_{c\perp} = F_{c\perp} (C_M) (C_D) (C_b)$$

که در آن

$F'_{c\perp}$ = تنش مجاز فشاری (لهدگی) عمود بر الیاف

$F_{c\perp}$ = تنش فهرست شده فشاری (لهدگی) عمود بر الیاف

C_M = ضریب رطوبت بهره برداری (بخش ۱۴-۴)

1.0 = برای شرایط خدمت خشک، که در بیشتر سازه‌های مسقف حاکم است. شرایط خدمت

خشک به صورت زیر تعریف می‌شود:

$MC \leq 19\%$ برای الوارهای اره شده

$MC < 16\%$ برای چسب الوارها

C_1 = ضریب دما (بخش ۲۰-۴)

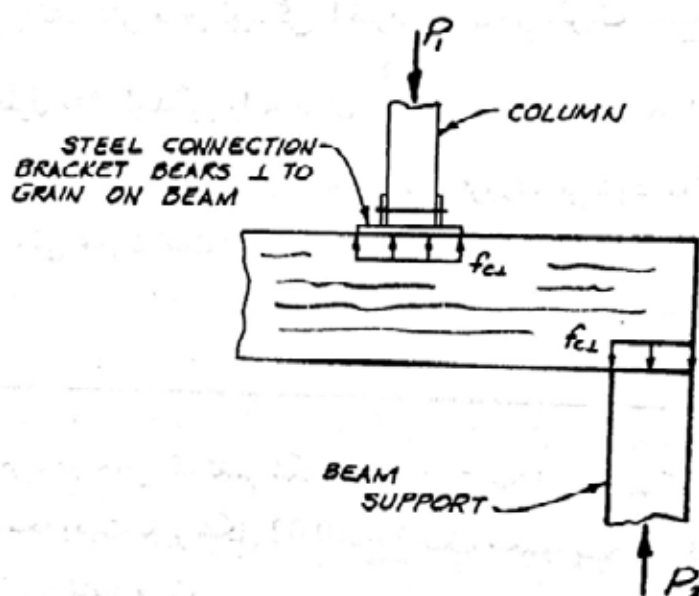
1.0 = برای شرایط دمای معمولی

C_b = ضریب سطح لهدگی (به صورت زیر تعریف می‌شود):

= 1.0 به صورت محافظه کارانه در همه حالات برای سازه قابل قبول است مشخص می کند.
در حال حاضر، مقادیر منتشر شده لهیدگی عمود بر الیاف $F_{C\perp}$ مقادیر میانگین است که بر اساس محدودیت تغییر شکل 0.04 اینچ در حالتی که آزمایش مطابق با ASTM D 143 می باشد. (مرجع ۶-۶) می باشد. این محدودیت به منظور تأمین کردن خدمت مناسب در ساختمان های معمولی با اسکلت چوبی می باشد.

یکی از ضرایب اصلاحی که در طراحی چوب به کرات استفاده می شود، ضریب تداوم بار C_D می باشد (بخش ۴-۱۵) و لازم به ذکر است که C_D برای مقادیر طراحی مربوط به فشار عمود بر الیاف به کار نمی رود. به علاوه، مقادیر فهرست شده $F_{C\perp}$ معمولاً برای چسب الوارها کمتر از الوارهای اره شده به همان محدودیت تغییر شکل می باشند. (برای توضیح بیشتر در مورد این تفاوت ها به مرجع ۶-۵ توجه نمایید).

مثال ۶-۱۶ لهیدگی عمود بر الیاف



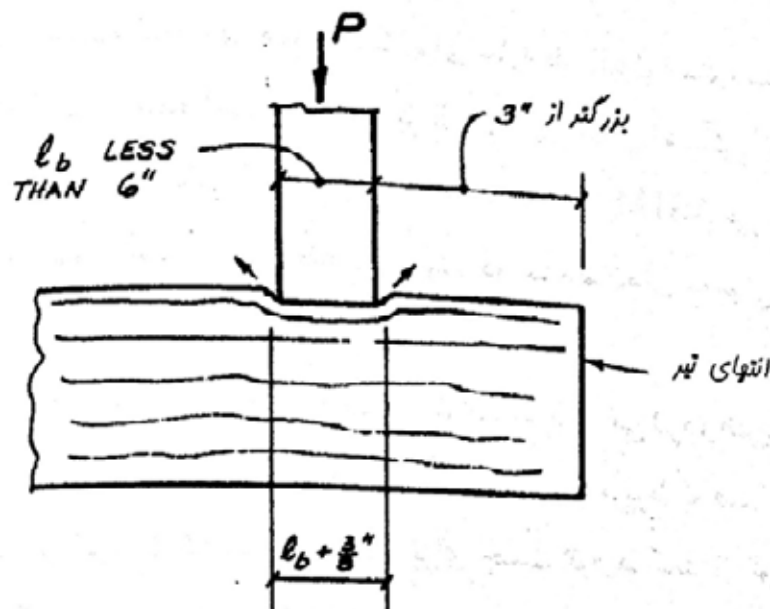
شکل ۶-۱۶a فشار عمود بر الیاف

محاسبات تنش لهیدگی:

$$f_{C\perp} = \frac{P}{A} \leq F'_{C\perp}$$

که در آن

- $f_{C\perp}$ = تنش واقعی (محاسباتی) لهیدگی عمود بر الیاف
- P = بار یا عکس العمل وارده (نیروهای P_1 یا P_2 در شکل ۶-۱۶-a)
- A = سطح تماس
- $F'_{C\perp}$ = تنش مجاز لهیدگی عمود بر الیاف



شکل ۱۶b-۶ شرایط لازم برای استفاده از C_b بزرگتر از 1.0

اصلاحات بر اساس طول لهدگی

وقتی طول لهدگی l_b (شکل ۱۶b-۶) کمتر از ۶ اینچ باشد، و وقتی فاصله از انتهای تیر تا سطح تماس بیشتر از ۳ اینچ باشد، تنش مجاز لهدگی با ضرب شدن در ضریب سطح لهدگی C_b افزایش پیدا می‌کند. اساساً، C_b ، طول مؤثر لهدگی را به میزان $\frac{3}{8}$ اینچ افزایش می‌دهد. این برای محاسبه لایه‌های اضافی چوب که در برابر بارهای وارده پس از آنکه تیر کمی فرو رفته می‌شود، به کار می‌رود. ضریب سطح لهدگی عبارت است از:

$$C_b = \frac{l_b + 0.375}{l_b}$$

در کارهای طراحی، در جایی که تغییر شکل ممکن است بحرانی باشد، کاهش مقدار $F_{C\perp}$ می‌تواند مناسب باشد. وقتی که محدودیت تغییر شکل 0.02 اینچ (نصف محدودیت مربوط به مقادیر فهرست شده) مورد نظر است، رابطه زیر پیشنهاد می‌شود.

$$F_{C\perp 0.02} = 0.73 F_{C\perp}$$

که در آن

$F_{C\perp 0.02}$ = مقدار تنش فشاری کاهش یافته عمود بر الیاف برای محدودیت تغییر شکل 0.02 اینچ
 $F_{C\perp}$ = تنش فشاری فهرست شده عمود بر الیاف (محدودیت تغییر شکل 0.04 اینچ).

سایر ضرایب اصلاحی که بیشتر برای $F_{C\perp}$ توضیح دادیم، برای $F_{C\perp 0.02}$ نیز به کار می‌رود. تنش لهدگی که تا اینجا توضیح دادیم، عمود بر الیاف بوده است. نوع دومی از تنش لهدگی تحت عنوان تنش لهدگی موازی با الیاف نامیده می‌شود. این نوع برای لهدگی که در انتهای عضو ایجاد می‌شود به کار می‌رود و این ناپستی با تنش فشار موازی الیاف که با فاصله از انتها به وجود می‌آید، اشتباهه شود.

در تنش لهیدگی موازی با الیاف فرض می‌شود که عضو به اندازه کافی مهار شده است و کماتش اتفاق نمی‌افتد. تنش لهیدگی واقعی موازی با الیاف نبایستی از تنش مجاز بیشتر شود.

$$f_g = \frac{P}{A} \leq F'_g$$

که در آن

f_g = تنش لهیدگی واقعی (محاسباتی) موازی با الیاف در انتهای عضو

P = بار موازی با الیاف در انتهای عضو چوبی

F'_g = تنش مجاز فشاری (لهیدگی) موازی با الیاف در انتهای عضو چوبی

$$F_g (C_D) (C_t) =$$

F_g = تنش‌های فشاری (لهیدگی) فهرست شده موازی با الیاف در انتهای عضو چوبی (جدول 2A

در NDS)

C_D = ضریب تداوم بار (بخش ۱۵-۴)

C_t = ضریب دما (بخش ۲۰-۴)

$= 1.0$ برای شرایط دمای معمولی

مقادیر فهرست شده F_g برای یک نوع گروه مشخص ثابت است و مستقل از درجه تنش است. توجه نمایید که F_g فقط تابع دو ضریب اصلاح است و در رابطه F'_g به C_M نیازی نیست، چرا که جدول 2A شرایط خدمت مرطوب را مستقیماً در نظر گرفته است.

لهیدگی موازی با الیاف برای دو عضو چوبی در انتها به انتها همانند تنش لهیدگی یک انتها بر روی سطح دیگر به کار می‌رود. فرض می‌شود که انتهای عضو دقیقاً مربعی بریده شده باشد. وقتی f_g از 0.75 F'_g بیشتر شود، لهیدگی بایستی بر روی صفحه‌ای فلزی یا دیگر سطوح صلب مناسب برای لهیدگی وارد شود. وقتی لهیدگی انتها به انتهای دو عضو چوبی مورد نیاز باشد، جسم صلب وارده بایستی حداقل فلز 20-gage بوده و به اندازه‌ای باشد که بتواند بین دو انتهای مجاور هم قرار گیرد.

مقایسه بین تنش‌های لهیدگی فهرست شده موازی با الیاف F_g و عمود بر الیاف $F_{\perp g}$ نشان می‌دهد که این مقادیر اساساً متفاوت هستند. برای آنکه این مقایسه را انجام دهید، به جداول 2A و 4A تا 4E مکمل NDS مراجعه نمایید. همچنین با توجه به جهت الیاف، امکان دارد تنش لهیدگی در عضو چوبی با زاویه‌ای غیر از ۰ یا ۹۰ درجه اتفاق بیفتد. در این حالت، تنش لهیدگی مجاز، طبق رابطه هینکسون^۱ در جایی بین F'_g و $F_{\perp g}$ تعریف می‌شود. به مثال ۱۷-۶ توجه نمایید.

مثال ۶-۱۷ لهیدگی با زاویه نسبت به الیاف
لهیدگی با زاویه‌ای بین ۰ تا ۹۰ درجه با الیاف (شکل ۶-۱۷)

$$f_{\theta} = \frac{P}{A} \leq F'_{\theta}$$

که در آن

f_{θ} = تنش لهیدگی واقع با زاویه θ نسبت به الیاف

P = بار یا عکس العمل وارده

A = سطح تماس

F'_{θ} = تنش مجاز لهیدگی با زاویه θ نسبت به الیاف

رابطه هینکینسون

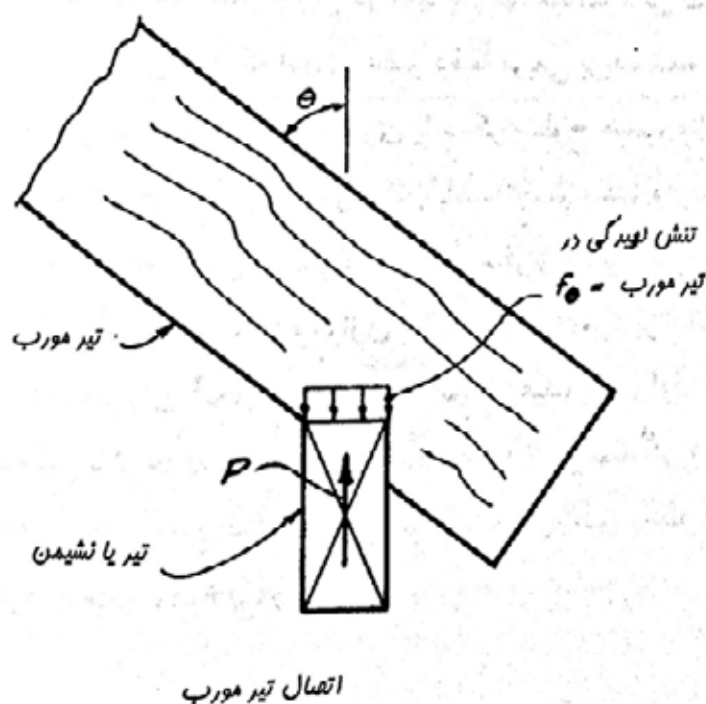
تنش مجاز با زاویه θ نسبت به الیاف با استفاده از رابطه هینکینسون به دست می‌آید:

$$F'_{\theta} = \frac{F'_g F'_{C\perp}}{F'_g \sin^2 \theta + F'_{C\perp} \cos^2 \theta}$$

که در آن

F'_g = تنش مجاز لهیدگی موازی با الیاف

$F'_{C\perp}$ = تنش مجاز لهیدگی عمود بر الیاف



شکل ۶-۱۷ تنش لهیدگی در دو عضو چوبی. لهیدگی در تیر مورب با زاویه θ نسبت به الیاف می‌باشد. لهیدگی در تکیه گاه تیر یا در نشیمن عمود بر الیاف است.

شاید بهتر باشد این رابطه به صورت ریاضی حل شود، ولیکن راه حل هندسی که در ضمیمه J از NDS تحت عنوان «حل رابطه هینکسون» می‌تواند در درک اثر زاویه بار نسبت به الیاف، مفید باشد.

تذکره: اتصال شکل ۱۷-۶ به منظور نشان دادن لهیدگی تحت زاویه \square ارائه شده است. در شرایط نشان داده شده، تنش‌های لهیدگی ممکن است در تکیه گاه تیر بیشتر تابع فشار عمود بر الیاف f_{\perp} باشند تا f_{\parallel} در تیر مورب.

چنانچه f_{\perp} در تیر زیاد باشد، برای کاهش لهیدگی بین تیر مورب و تیر می‌توان از ورق لهیدگی استفاده کرد. با استفاده از ورق لهیدگی، تنش لهیدگی در تیر مورب نخواهد یافت.

همانگونه که در مثال ۱۷-۶ نشان داده شد، ضرایب اصلاح تنش برای F_g و F_{\perp} به طور مستقل و پیش از آنکه F'_{\parallel} از رابطه هینکسون محاسبه شود، اعمال می‌گردد.

۹-۶- مسئله طراحی: تیر اره شده

در حال حاضر مثال‌های بسیاری برای نشان دادن روش‌های طراحی تیر آورده شده است. انواع تیرها از الوارهای اره شده، و چسب الوارها، با تکیه گاه‌های متفاوت و نوع بارگذاری متفاوتی بررسی شده اند.

برای سادگی، در این مثال و مثال‌های بعدی، طول دهانه خمشی و برشی، به یک طول در نظر گرفته شده است. ولی طراح می‌تواند لنگر طراحی را بر اساس دهانه آزاد به علاوه نصف طول مورد نیاز لهیدگی از هر انتها (بخش ۲-۶) و طراحی برشی را به فاصله d از تکیه گاه (بخش ۵-۶) در نظر بگیرد. در نظر گرفتن طول متفاوت برای دهانه، در مثال ۱۳-۶ (بخش ۵-۶) برای تکیه گاه‌های ساده توضیح داده شده است.

در مثال ۱۸-۶، یک تیر معمولی از الوار اره شده برای یک سقف که در اصل افقی می‌باشد، طراحی شده است. شیب حداقلی برای جلوگیری از چاله شدن در نظر گرفته شده است. از محاسبات تنش خمشی، ابعاد اولیه‌ای برای طراحی بهتر به دست آمده است. برای تیر از الوار اره شده ظاهری درجه بندی شده تحت خمش حول محور قوی، دسته ضرایب اصلاح به هفت عدد کاهش می‌یابد (به مثال ۱۰-۶ در بخش ۴-۶ توجه نمایید).

تیر این مسئله در شرایط خدمت خشک و دمای معمولی مورد استفاده قرار می‌گیرد و در نتیجه C_M و C_t هر دو برابر واحد هستند. به علاوه پوشش سقف، برای قسمت فشاری تیر تکیه گاه جانبی سرتاسری ایجاد می‌نماید. در نتیجه به دلیل پایداری جانبی، کاهش ظرفیت خمشی نداریم و C_L برابر واحد است. از آنجا که تیر در خدمت، از قرار گرفتن در معرض رطوبت محافظت شده است، برای عمل آوری تحت فشار، سوراخ نشده است. پس C_i نیز دارای پیش فرض واحد است. بنابراین، تعداد ضرایب اصلاح اولیه برای تنش خمشی مجاز در مسائل معمول، به سه عدد کاهش می‌یابد. تنش مجاز خمشی تحت تأثیر ضربه

مدت بارگذاری C_D ، ضریب اندازه برای الوارهای معیار C_F و ضریب اعضاء تکراری C_T می‌باشد. پس از انتخاب ابعاد آزمایشی، برش و تغییر شکل کنترل می‌شوند. تنش برشی بحرانی نمی‌باشد، اما دومین کنترل تغییر شکل بیان می‌کند که تغییر شکل تحت بارهای $(D+L_r)$ کمی بیشتر از تغییر شکل مجاز پیشنهاد شده است. تصمیم اینکه آیا می‌توان این تغییر شکل را قبول کرد یا خیر به قضاوت بستگی دارد. در این حالت، تصمیم گرفته شد که تغییر شکل را قبول کرده و ابعاد آزمایشی برای طراحی نهایی نگه داشته شده است.

مثال ۱۸-۶ طراحی تیر آره شده

تیر سقف در مثال ۱۸-۶ را برای بارهای داده شده طراحی نمایید. فاصله مرکز به مرکز تیرها ۱۶ اینچ (۱/۳۳ فوت) است و سقف دارای شیب کافی برای جلوگیری از فرورفتگی می‌باشد. سقف از پانل‌های گچی است. پوشش چند لایه سقف از کمانش جانبی جلوگیری می‌کند. مصالح از نوع شماره ۱ Douglas Fir-Larch (DF-L) می‌باشد.

$D = 14 \text{ psf}$ ، $L_r = 20 \text{ psf}$ درصد $MC \leq 19$ و شرایط دمای معمولی حاکم است. تنش‌های فهرست شده و مشخصات مقطع بایستی از مکمل NDS گرفته شود.

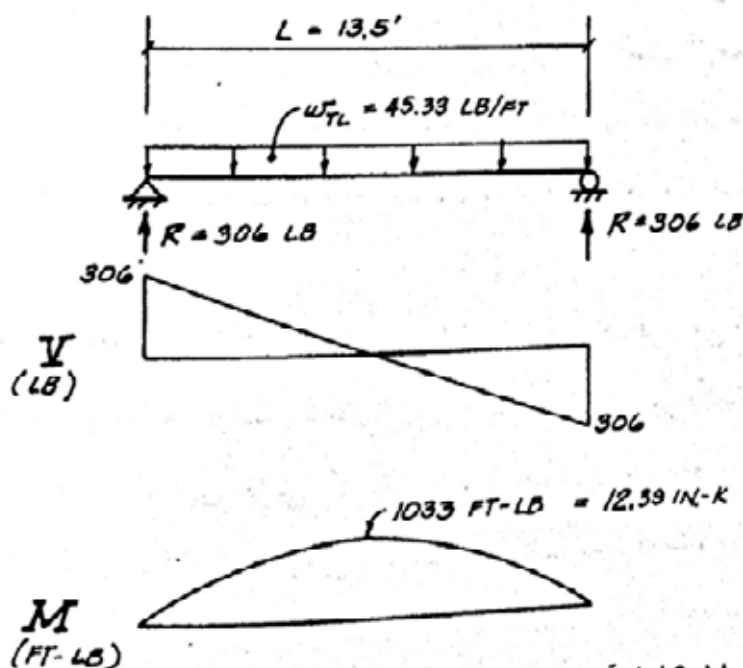
بارها

بارهای یکنواخت از ضرب بارهای طراحی در عرض بارگیری به دست می‌آید.

$$w_D = 14 \text{ psf} \times 1.33 \text{ ft} = 18.67 \text{ lb/ft}$$

$$w_L = 20 \times 1.33 = 26.67 \text{ lb/ft}$$

$$w_{TL} \text{ کل بار} = 45.33 \text{ lb/ft}$$



شکل ۱۸-۶ ابعاد آزمایشی بر اساس محاسبات خمشی ۲×۶ است (اندازه الوار معیار)

ترکیبات بارگذاری مورد نیاز عبارتند از D تنها با $C_D = 0.9$ و $(D + L_T)$ با $C_D = 1.25$. با مقایسه بارها و ضریب مدت بارگذاری (مثال ۴-۱۰ در بخش ۴-۱۵)، مشخص می‌شود که ترکیب بار بحرانی $D + L_T$ است (یعنی بار کل حاکم است). یک ابعاد آزمایشی بر اساس خمش به دست آورید و سایر معیارها را کنترل نمایید.

خمش

طول دهانه و بار برای تیر نسبتاً کم است. فرض می‌شود که ابعاد مورد نیاز تیر در محدوده ابعاد الوار معیار می‌باشد. تنش‌های فهرست شده در جدول 4A از مکمل NDS به دست می‌آید. تیر برای ۱۵ درصد در تنش برای اعضاء تکراری مناسب است. در ابتدا یک ضریب اندازه $C_F = 1.2$ فرض می‌شود و ضریب اندازه واقعی پس از آنکه تیر آزمایشی تأیید شد، به دست می‌آید. C_L ، C_t ، C_M و C_i برابر ۱.۰ هستند.

$$\begin{aligned} F'_b &= F_b = F_{bx} (C_D)(C_M)(C_t)(C_L)(C_F)(C_r)(C_i) \\ &= 1000 (1.25)(1.0)(1.0)(1.0)(1.2)(1.15)(1.0) \\ &= 1725 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$S = \frac{M}{F'_b} = \frac{12390}{1725} = 7.18 \text{ in}^3$$

با مروری بر روی ابعاد موجود در جدول 1B مکمل NDS، ابعاد تیر آزمایشی به دست می‌آید. هدف اصلی، انتخاب یک عضو با حداقل سطح است که مدول مقطعی بیشتر از آنچه مورد نیاز است، مهیا کند. ولی، واقعیت‌های خاصی را نیز بایستی در نظر گرفت. به عنوان مثال، یک ورق به ضخامت اسمی ۱ اینچ، نمی‌تواند برای این نوع کاربری‌های تیر به کار رود.

$$S = 7.56 \text{ in}^3 > 7.18 \quad \text{امتحان } 2 \times 6$$

ابعاد آزمایشی 2×6 با استفاده از C_F فرض شده به دست آمد. حال می‌توان ضریب اندازه را از جدول 4A مکمل NDS، بخش ضرایب اصلاح بررسی کرد:

$$C_F = 1.3 > 1.2$$

در این مرحله، نشان داده شده است که عضو برای تنش‌های خمشی کفایت می‌کند. اما، غالباً متداول است که به اختصار تنش واقعی را با تنش مجاز مقایسه می‌کنند.

$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{12390}{7.56} = 1640 \text{ psi}$$

$$\begin{aligned} F'_b &= F_b (C_D)(C_M)(C_t)(C_L)(C_F)(C_r)(C_i) \\ &= 1000(1.25)(1.0)(1.0)(1.0)(1.3)(1.15)(1.0) \\ &= 1870 \text{ psi} > 1640 \end{aligned}$$

OK خمش ∴

تغیر می‌توان با $C_F = 1.4$ ، یک تیر 2×5 را کنترل کرد، ولی مدول مقطع کاهش یافته، باعث می‌شود f_b از F'_b بیشتر شود. در عین حال، 2×5 ها ممکن است به صورت حاضر در دسترس نباشند.

برش از آنجا که به نظر می‌رسد تنش برشی برای این تیر نسبتاً بحرانی نمی‌باشد، برش حداکثر از نمودار برش بدون اصلاح به کار می‌رود. C_M ، C_t و C_H همگی برابر 1.0 هستند.

$$f_v = \frac{1.5V}{A} = \frac{1.5(306)}{8.25} = 55.6 \text{ psi}$$

$$\begin{aligned} F'_v &= F_v (C_D)(C_M)(C_t)(C_H) \\ &= 95(1.25)(1.0)(1.0)(1.0) \\ &= 119 \text{ psi} > 55.6 \end{aligned}$$

OK برش ∴

تغییر شکل

آیین‌نامه، معیار تغییر شکل تیرهای سقف را که سقف‌های گچی را تحمل می‌نمایند، مشخص نکرده است. در زیر، محاسبات مربوط به معیار تغییر شکل پیشنهاد شده از مرجع ۵-۶ برای تیرهای سقف در ساختمان‌های تجاری، به کار رفته است (به شکل ۸-۲ در بخش ۷-۲ توجه نمایید).

به خاطر داشته باشید که مدول الاستیسته برای اعضاء چوبی تحت تأثیر اصلاح مدت زمان نمی‌باشد و ضریب سختی کمانش C_T برای محاسبات تغییر شکل به کار نمی‌رود. ضرایب اصلاح برای E در این مسأله دارای پیش فرض واحد هستند.

$$\begin{aligned} E' &= E (C_M)(C_t)(C_i) \\ &= 1,700,000 (1.0)(1.0)(1.0) = 1,700,000 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\Delta_L = \frac{5w_L L^4}{384 E'I} = \frac{5 (26.7)(13.5)^4 (1728 \text{ in}^3/\text{ft}^3)}{384 (1,700,000)(20.8)} = 0.56 \text{ in}$$

$$\Delta_L \text{ مجاز} = \frac{L}{240} = \frac{13.5 \times 12}{240} = 0.67 \text{ in} > 0.56$$

تغییر شکل تحت بار کل می‌تواند از همان رابطه تغییر شکل تیر محاسبه شود و یا از رابطه زیر دست آید:

$$\Delta_n = \Delta_L \left(\frac{w_n}{w_L} \right) = 0.56 \left(\frac{45.3}{26.7} \right) = 0.95 \text{ in}$$

$$\Delta \text{ مجاز} = \frac{L}{180} = \frac{13.5 \times 12}{180} = 0.90 \text{ in} < 0.95$$

در دومین کنترل تغییر شکل، تغییر شکل واقعی کمی بیشتر از مقدار مجاز است. تصمیم اینکه تیر آزمایشی را قبول و یا رد کنیم، به قضاوت بستگی دارد.

۱. محاسبات تغییر شکل برای این تیر صرفاً برای راهنمایی ارائه شده است و برای این ساختمان، الزام آیین‌نامه‌ای ندارد.

۲. بایستی اثرات زیان آور احتمالی این تغییر شکل در برابر مسائل اقتصادی استفاده از یک بزرگتر در ساختمان بررسی شود.

پس از بررسی مسائل مهم در این ساختمان خاص، فرض می‌کنیم که تصمیم گرفته شده است تا ابعاد آزمایشی مورد قبول قرار گیرد.

$$\text{از } 6 \times 2 \text{ شماره ۱ DFL} \\ \text{با } MC \leq 19\% \text{ استفاده نمایند.}$$

لهیدگی

تخمین تنش‌های لهیدگی نیازمند اطلاعات مربوط به تکیه‌گاه‌ها می‌باشد. بدون این چنین اطلاعاتی، به سادگی می‌توان طول حداقل لهیدگی را به دست آورد. به خاطر داشته باشید که C_D برای $F_{C\perp}$ به کار نمی‌رود.

$$F'_{C\perp} = F_{C\perp} (C_M) (C_t) (C_b) = 625(1.0)(1.0)(1.0) = 625 \text{ psi}$$

$$A = \frac{R}{F'_{C\perp}} = \frac{306}{625} = 0.49 \text{ in}^2$$

$$\ell_b = \frac{A}{b} = \frac{0.49}{1.5} = 0.33 \text{ in}$$

در عمل تمامی شرایط تکیه گاهی، طول لهیدگی بیشتر از مقدار حداقل را فراهم می‌نمایند.

۱۰-۶- مسأله طراحی: تیر سخت اره شده

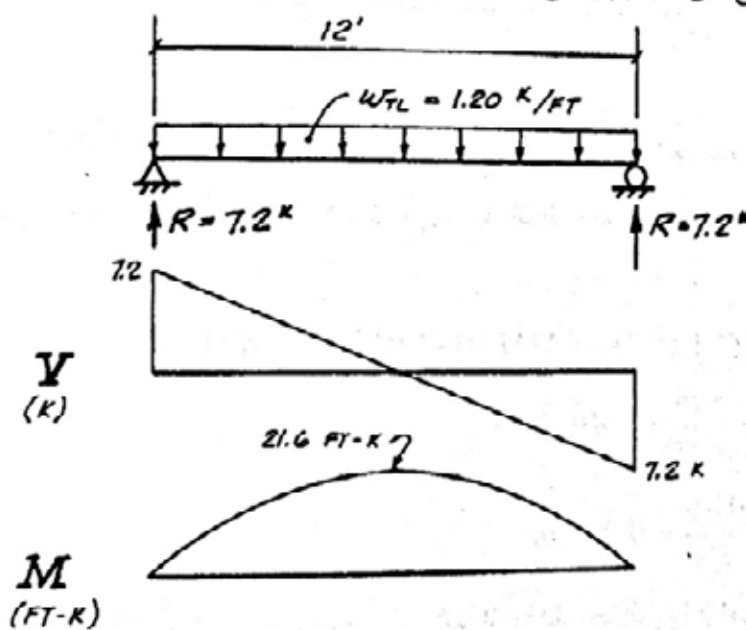
در این مثال، یک تیر سخت اره شده با دهانه نسبتاً کوتاه تحلیل شده است. مشخصات مقطع برای الوارهای پرداخت شده (S4S) کمتر از مقادیر مربوط به الوارهای سخت اره شده است، و استفاده از مشخصات مقطع (S4S) برای این مسأله، محافظه کارانه خواهد بود. ولی در این مثال مشخصات مقطع بزرگتر که با استفاده از ابعاد الوارهای سخت اره شده به دست آمده است، به کار رفته است. از آنجا که بار (و ابعاد تیر مربوطه) در مقایسه با طول دهانه نسبتاً بزرگ هستند، احتمال دارد که برش جزء بحرانی در طراحی می‌باشد. به این دلیل، ابتدا ظرفیت برشی کنترل شده است. در این مسأله، ضرایب

اصلاح اساسی برش با صرفنظر کردن از تمامی بارها در فاصله d از تکیه گاه به کار رفته است. به مثال ۶-۱۹ توجه نمایید.

بار دیگر اهمیت درک دسته‌های اندازه برای الوارهای اره شده اهمیت پیدا کرده است. عضو مربوط به این مسأله، در اندازه «تیر و ستون» است و مقادیر طراحی فهرست شده از جدول 4D مکمل NDS گرفته شده است.

مثال ۶-۱۹ تیر اره شده زیر

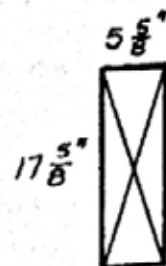
مشخص کنید که آیا تیر اره شده زیر در شکل ۶-۱۹-a برای نگهداری بارهای داده شده مناسب است؟ عضو از انواع سازه‌ای DF-L می‌باشد. بار ترکیبی از $(D + L)$. از کمانش جانبی جلوگیری شده است. تیر در شرایط خدمت خشک ($MC \leq 19\%$) و در دمای معمولی، مورد استفاده قرار می‌گیرد. تیر سوراخ نشده است. تنش‌های مجاز بایستی از مکمل NDS به دست آید.



شکل ۶-۱۹a تیر کف با تکیه گاه‌های ساده

مشخصات مقطع

ابعاد اعضاء سخت اره شده تقریباً $\frac{1}{8}$ اینچ بیشتر از اندازه استاندارد پرداخت شده می‌باشد.



شکل ۶-۱۹b یک عضو 6×18 سخت اره شده. برای یک عضو در دسته اندازه «تیر و ستون»، بعد کوچکتر مقطع (یعنی ضخامت) ۵ اینچ یا بیشتر است و عرض بیشتر از ۲ اینچ از ضخامت بزرگتر می‌باشد.

$$A = bd = \left(5\frac{5}{8}\right)\left(17\frac{5}{8}\right) = 99.14 \text{ in}^2$$

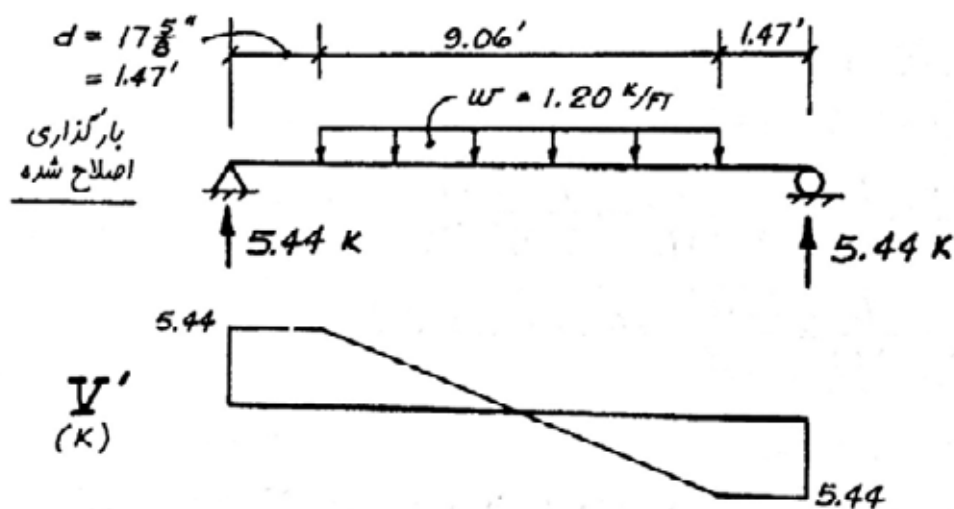
$$S = \frac{bd^2}{6} = \frac{\left(5\frac{5}{8}\right)\left(17\frac{5}{8}\right)^2}{6} = 291.2 \text{ in}^3$$

$$I = \frac{bd^3}{12} = \frac{\left(5\frac{5}{8}\right)\left(17\frac{5}{8}\right)^3}{12} = 2566 \text{ in}^4$$

برش

با برش اصلاح شده شروع می کنیم (نمودار بارگذاری اصلاح شده فقط برای محاسبات برش به کار

می رود).



شکل ۱۹۰-۶ برش اصلاح شده V' که برای محاسبه برش کاهش یافته f_v به کار می رود.

$$f_v' = \frac{1.5V'}{A} = \frac{1.5(5440)}{99.14} = 82.3 \text{ psi}$$

$$\begin{aligned} F_v' &= F_v(C_D)(C_M)(C_t)(C_H) \\ &= 85(1.0)(1.0)(1.0)(1.0) \\ &= 85 \text{ psi} > 82.3 \text{ OK} \end{aligned}$$

$$M = 21.6 \times 12 = 259 \text{ in-k}$$

$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{259,000}{291.2} = 890 \text{ psi}$$

خمش

ضریب اندازه برای یک عضو آهسته در دسته اندازه «تیر و ستون» با استفاده از رابطه زیر به دست

می آید:

$$C_F = \left(\frac{12}{d}\right)^{\frac{1}{9}} = \left(\frac{12}{17.625}\right)^{\frac{1}{9}} = 0.958$$

ضریب تداوم بار برای ترکیب (D + L) برابر 1.0 است. تمامی ضرایب اصلاح برای تنش مجاز

خمش برابر واحد هستند به جز C_F .

$$\begin{aligned} F'_b &= F_b (C_D)(C_M)(C_t)(C_L)(C_F)(C_r)(C_i) \\ &= 1,600 (1.0)(1.0)(1.0)(1.0)(0.958)(1.0)(1.0) \\ &= 1,535 \text{ psi} > 890 \text{ OK} \end{aligned}$$

تغییر شکل

از آنجا که درصد D و L داده نشده است، فقط تغییر شکل ناشی از کل بار محاسبه می‌شود.

$$\begin{aligned} E' &= E (C_M)(C_t)(C_i) \\ &= 1,600,000 (1.0)(1.0)(1.0) = 1,600,000 \text{ psi} \\ \Delta_{TL} &= \frac{5 w_{TL} L^4}{384 E'I} = \frac{5 (1200) (12)^4 (12 \text{ in/ft})^3}{384 (1,600,000) (2,566)} = 0.14 \text{ in} \\ \Delta_{TL} \text{ مجاز} &= \frac{L}{240} = \frac{12 (12)}{240} = 0.60 > 0.14 \text{ OK} \end{aligned}$$

لهیدگی

$$\begin{aligned} F'_{CL} &= F_{CL} (C_M)(C_t)(C_b) = 625 (1.0)(1.0)(1.0) = 625 \text{ psi} \\ A_b \text{ مورد نیاز} &= \frac{R}{F'_{CL}} = \frac{7,200}{625} = 11.52 \text{ in}^2 \\ \ell_b \text{ مورد نیاز} &= \frac{A}{b} = \frac{11.52}{5.625} = 2.05 \text{ in} \text{ حداقل} \end{aligned}$$

تیر ۱۸ × ۶ سخت اره شده
از نوع سازه‌ای DF-L مورد تأیید است

تذکره: برای این تیر یک نوع با درجه تنش کمتر نیز می‌تواند به کار رود.

به نظر می‌رسد که خمش و تغییر شکل بحرانی نمی‌باشند. در واقع درجه بندی تنش برای این تیر می‌تواند از نوع سازه‌ای شماره ۱ کمتر باشد و باز هم ابعاد داده شده قابل قبول باشد. علت آن است که تنش مجاز برشی برای تمامی درجه‌های تنش در دسته اندازه «تیر و ستون» یکسان است. نوعی از شماره ۱ DF-L با درجه کمتر، دارای تنش مجاز خمش است که بیشتر از مقدار واقعی می‌باشد:

$$\begin{aligned} F'_b &= F_b \times C_F \times \dots \\ &= 1350 \times 0.985 \\ &= 1295 \text{ psi} \\ f_b &= 890 < 1295 \end{aligned}$$

کنترل تغییر شکل بدون تغییر باقی می ماند، چرا که مدول الاستیسته برای اعضاء سازه ای شماره ۱ یکسان است. با انتخاب درجه تنش کمتر، یک تیر اقتصادی تر به دست خواهد آمد.

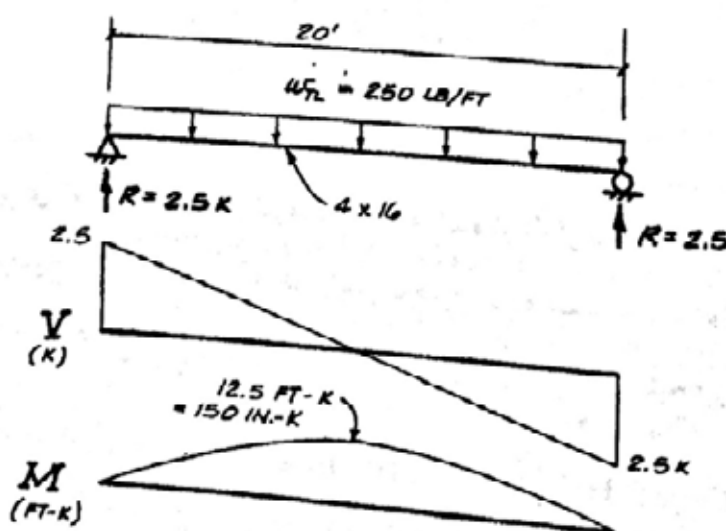
با مقایسه تنش های مجاز که برای شماره ۱ DF-L در دسته اندازه «تیر و ستون» (B & S) در بالا نشان داده شده است با آنچه در مورد شماره ۱ DF-L در دسته اندازه «الوار معیار» در مثال ۶-۱۸ آمده است، اهمیت درک دسته های اندازه برای الوارهای اره شده به وضوح دیده می شود. برای یک درجه مشخص، تنش مجاز به دسته اندازه بستگی دارد.

۶-۱۱ مسأله طراحی: تیر اره شده

دو مثال قبل، تیرهای در دسته اندازه «الوار معیار» و «تیر و ستون» را بیان کرده است. مثال ۶-۲۰ به منظور تمرین بیشتر در تعیین تنش های مجاز آورده شده است. مجدداً عضو الوار معیار است، اما ضریب مدت زمان، ضریب رطوبت بهره برداری و ضریب اندازه با آنچه در مسائل پیش بود، متفاوت می باشد. ضریب رطوبت بهره برداری و ضریب اندازه از بخش ضرایب اصلاح در مکمل NDS به دست می آید.

مثال ۶-۲۰ تحلیل تیر اره شده

مشخص کنید آیا تیر ۴×۱۶ ارائه شده در شکل ۶-۲۰ برای بار مرده 70 lb/ft و بار برف 180 lb/ft مناسب است؟ الوار دارای درجه تنش شماره ۱ و بهتر است و نوع گروه Hem-Fir است. عضو سوراخ نشده است. مهاربندی کافی در اختیار است، به طوری که از نظر پایداری جانبی، نگرانی وجود ندارد.



شکل ۶-۲۰ یک تیر ۴×۱۶ در دسته اندازه الوار معیار است.

این تیر در یک کارخانه به کار می‌رود که در آن EMC از ۱۹ درصد بیشتر خواهد شد، ولی دما در محدوده معمولی است. تیرها ۴ فوت می‌باشد. حداقل شیب سقف برای زهکشی در نظر گرفته شده است تا نگران فرورفتگی نباشیم. به طور قراردادی محدودیت‌های تغییر شکل مجاز در طراحی برای بار برف $\frac{L}{360}$ و برای کل بار $\frac{L}{240}$ است. تنش‌های مجاز و مشخصات مقطع بایستی مطابق با NDS باشد.

خمش

مشخصات مقطع برای یک 4×16 در جدول 4B مکمل NDS آورده شده است.

$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{150,000}{135.7} = 1105 \text{ psi}$$

ضریب تداوم بار $C_D = 1.15$ برای ترکیب بار $(D + S)$ می‌باشد. فاصله تیرها شامل افزایش تنش برای اعضاء تکراری نمی‌شود و $C_F = 1.0$ می‌باشد. گفته شده است که پایداری جانبی مورد نگرانی نبوده و $C_L = 1.0$ است. برای یک 4×16 ، ضریب اندازه از جدول 4A خوانده می‌شود:

$$C_F = 1.0$$

همچنین در جدول 4A، ضریب رطوبت بهره برداری برای خمش به صورت زیر ارائه شده است:

$$C_M = 0.85$$

استثناء وقتی $F_b (C_F) \leq 1,150 \text{ psi}$ و $C_M = 1.0$ می‌باشد.

در مورد 4×16 شماره ۱ و بهتر از Hem-Fir:

$$F_b (C_F) = 1,100 (1.0) < 1,150$$

$$C_M = 1.0 \text{ پس}$$

ضرایب مربوطه برای تعیین F'_b برای تیرهای ساخته شده از الوار اره شده، از مثال ۱۰-۶ بخش ۴-۶ به دست می‌آید. در توضیح تنش خمشی که در پایین توضیح داده شده است، اغلب ضرایب دارای پیش فرض واحد هستند. اما، برای طراح بسیار مهم است که مراحل رسیدن به این نتیجه را دنبال نماید.

$$F'_b = F_b (C_D) (C_M) (C_t) (C_L) (C_F) (C_r) (C_i)$$

$$= 1,100 (1.15) (1.0) (1.0) (1.0) (1.0) (1.0) (1.0)$$

$$= 1,265 \text{ psi} > 1,105$$

برش

$$f_v = \frac{1.5 V}{A} = \frac{1.5 (2500)}{53.375} = 70.3 \text{ psi}$$

$$\begin{aligned} F'_v &= F_v (C_D) (C_M) (C_t) (C_H) \\ &= 75 (1.15) (0.97) (1.0) (1.0) \\ &= 83.7 \text{ psi} > 70.3 \text{ psi}^* \end{aligned}$$

اگر f_v از F'_v بیشتر شود، برش طراحی بایستی بر اساس بخش ۵-۶ کاهش پیدا کند.

تغییر شکل

$$\begin{aligned} E' &= E (C_M) (C_t) (C_i) \\ &= 1,500,000 (0.9) (1.0) (1.0) \\ &= 1,350,000 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_s &= \frac{5 w L^4}{384 E'I} \\ &= \frac{5 (180) (20)^4 (1728)}{384 (1,350,000) (1034)} = 0.46 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\Delta_s \text{ مجاز} = \frac{L}{360} = \frac{20 \times 12}{360} = 0.67 > 0.46$$

با استفاده از تناسب

$$\Delta_n = \left(\frac{250}{180} \right) 0.46 = 0.64 \text{ in}$$

$$\Delta_n \text{ مجاز} = \frac{L}{240} = \frac{20 \times 12}{240} = 1.00 > 0.64$$

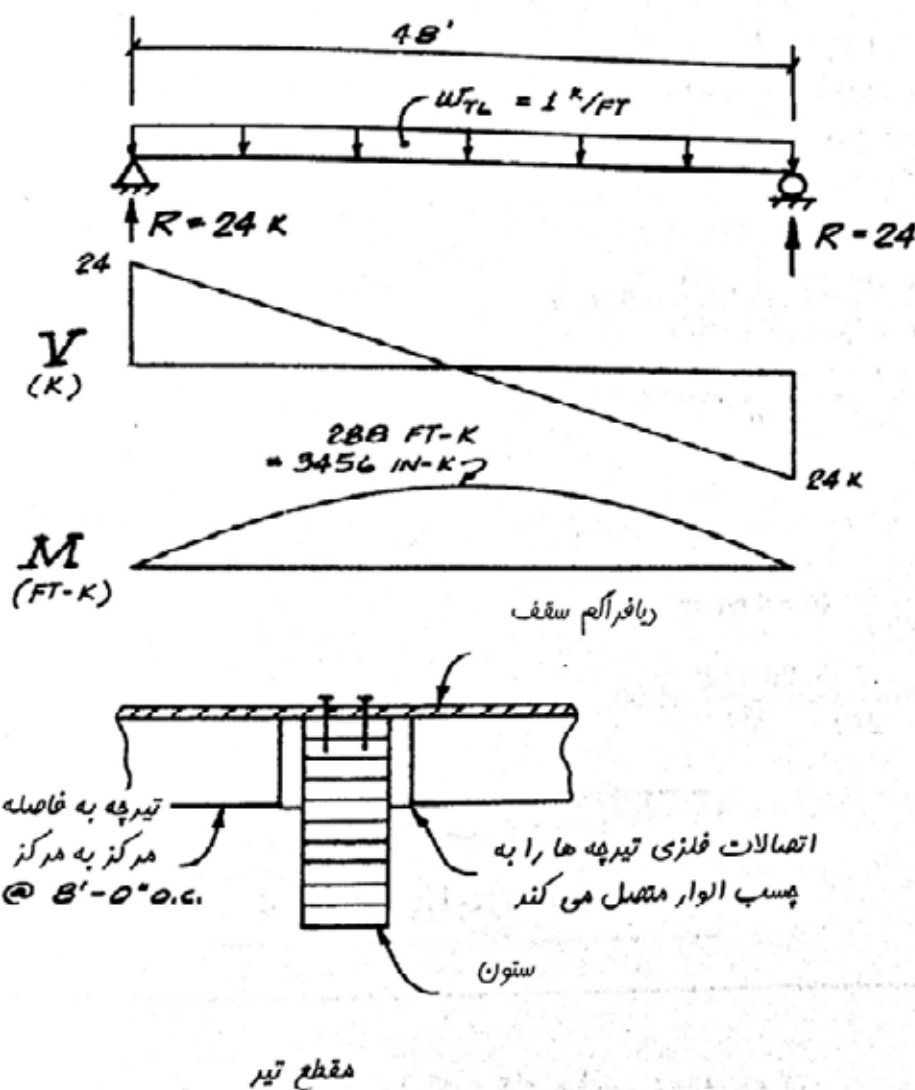
تیر ۱۶ × ۴ شماره ۱ و بهتر
نوع Hem-Fir مورد تأیید است.

۱۲-۶ مسأله طراحی: تیر چسب الواری با تکیه گاه جانبی سرتاسری
مثال‌های مربوط به بخش‌های ۱۲-۶، ۱۳-۶ و ۱۴-۶ تماماً مربوط به همان تیرهای چسب الواری
هستند، ولی شرایط تکیه گاهی جانبی برای تیر در هر مسأله داده شده است. اولین مثال مربوط به طراحی
تیر با تکیه گاه جانبی سرتاسری در قسمت فشاری عضو می‌باشد و به بیان ساده، نگران پایداری جانبی
نمی‌باشیم. به مثال ۲۱-۶ توجه نمایید.

مثال ۶-۲۱ تیرهای چسب الواری - تکیه گاه جانبی سرتاسری

اندازه یک تیر چسب الواری مسقف با دهانه ساده از جنس 24 F - V4 DF را مشخص نمایید. فرض می‌شود شرایط خدمت خشک و دمای معمولی برقرار است. $D = 200 \text{ lb/ft}$ و $S = 800 \text{ lb/ft}$ از محدودیت‌های تغییر شکل پیشنهادی AITC برای تیرهای مسقف در یک ساختمان متعارف بدون سقف گچی، استفاده نمایید. (به شکل ۲-۸ در بخش ۲-۷ توجه نمایید). با یک بررسی، ترکیب بار بحرانی عبارت است از:

$$D + S = 200 + 800 = 1000 \text{ lb/ft}$$



شکل ۶-۲۱ تیر چسب الواری با دهانه ۴۸ فوت و تکیه گاه جانبی سرتاسری در قسمت فشاری عضو که به وسیله دیافراگم مسقف ایجاد می‌شود.

بسیاری از ضرایب اصلاح برای تعیین تنش مجاز می‌تواند مستقیماً بر اساس صورت مسأله به دست آورد. به عنوان مثال، ضریب تداوم بار برای ترکیب بار $(D + S)$ برابر $C_D = 1.15$ است. به علاوه،

ضریب رطوبت بهره برداری برابر چسب الوارها با $MC < 16\%$ $C_M = 1.0$ است و ضریب دما برای عضوی که در دمای معمولی به کار می‌رود، $C_t = 1.0$ است.

خمش

یک تیر چسب الواری تحت بارگذاری طوری قرار می‌گیرد که لایه‌های کششی تحت کشش قرار گیرند و مقادیر F_{bx}/t به کار می‌رود. با مروری بر تیر چسب الواری مثال ۱۱-۶ در بخش ۴-۶ نشان می‌دهد که دو تعریف برای تنش مجاز خمشی وجود دارد. یکی اثر پایداری جانبی را با اندازه‌گیری ضریب پایداری C_L در نظر می‌گیرد دیگری اثر عرض، عمق و طول را با اندازه‌گیری ضریب حجم C_v نشان می‌دهد.

$$F'_{bx} = F_{bx} (C_D) (C_M) (C_t) (C_L) \quad \text{پایداری جانبی:}$$

$$F'_{bx} = F_{bx} (C_D) (C_M) (C_t) (C_v) \quad \text{اثر حجم:}$$

طرح مقطع تیر نشان می‌دهد که قسمت فشاری تیر (لنگر مثبت قسمت بالایی را به فشار می‌اندازد) به وسیله اتصال به دیافراگم سقف در برابر حرکت جانبی محدود شده است. طول مهارتی صفر است و نسبت لاغری صفر است. بنابراین از کماتش جانبی جلوگیری می‌شود و ضریب پایداری تیر $C_L = 1.0$ است. در این حالت، تنها تنش مجازی که از ضریب حجم به دست می‌آید، در نظر گرفته می‌شود.

پیش از آنکه ضریب حجم را تخمین بزنیم، بایستی ابعاد تیر آزمایشی مشخص شود. این نیازمند آن است که یک مقدار برای C_v فرض شود که بعداً مورد تأیید قرار گیرد. فرض کنید $C_v = 0.82$ باشد. تنش‌های فهرست شده از جدول 5A مکمل NDS به دست می‌آید.

$$\begin{aligned} F'_{bx} &= F_{bx} (C_D) (C_M) (C_t) (C_v) \\ &= 2,400 (1.15) (1.0) (1.0) (0.82) \\ &= 2263 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$S = \frac{M}{F'_b} = \frac{3,456,000}{2,263} = 1527 \text{ in}^3$$

اکثراً در طراحی تیرها، هدف انتخاب عضوی با حداقل سطح مقطع است که مدول مقطعی بیشتر از آنچه مورد نیاز است را تأمین کند. این کار را می‌توان با استفاده از ستون S_x مربوط به نمونه‌های غربی چسب الوارها در جدول 1C از مکمل NDS انجام داد.

$$\left(\text{بیست و پنج لایه } 1\frac{1}{2} \text{ اینچی} \right) \times 37\frac{1}{2} \times \frac{3}{4} \text{ فرض}$$

$$A = 253.1 \text{ in}^2$$

$$S = 1582 \text{ in}^3 > 1527$$

$$I = 29660 \text{ in}^4$$

اندازه آزمایشی بر اساس یک فرض برای ضریب حجم به دست آمده است. C_V واقعی را تعیین کرده (برای یادآوری C_V به بخش ۵-۶ مراجعه نمایید) و در صورت لزوم، ابعاد آزمایشی را مجدداً طراحی می‌کنیم:

$$C_V = K_L \left(\frac{2l}{L} \right)^{\frac{1}{10}} \left(\frac{12}{d} \right)^{\frac{1}{10}} \left(\frac{5.125}{b} \right)^{\frac{1}{10}}$$

$$= 1.0 \left(\frac{21}{48} \right)^{0.1} \left(\frac{12}{37.5} \right)^{0.1} \left(\frac{5.125}{6.75} \right)^{0.1}$$

$$= 0.799 < 0.82$$

از آنجا که مقدار فرضی C_V محافظه کارانه نبوده است، در صورتی که ابعاد آزمایشی کافی باشد، تنش‌های واقعی و مجاز را با هم مقایسه می‌نماییم.

$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{3,456,000}{1582} = 2185 \text{ psi}$$

$$F'_b = F_b (C_D)(C_M)(C_t)(C_V)$$

$$= 2,400(1.15)(1.0)(1.0)(0.799)$$

$$= 2,205 \text{ psi} > 2,185$$

برش

از کاهش برش که با نماد V' نشان داده می‌شود، صرف‌نظر کنید (محافظه کارانه). ضریب C_H فقط برای الوارهای اره شده به کار می‌رود و برای چسب الوارها دارای پیش فرض 1.0 است.

$$f_v = \frac{1.5 V}{A} = \frac{1.5 (24,000)}{253.1} = 142 \text{ psi}$$

$$F'_v = F_v (C_D)(C_M)(C_t)(C_H) = 165 (1.15)(1.0)(1.0)(1.0)$$

$$= 190 > 142 \text{ OK}$$

تغییر شکل:

$$E'_x = E_x (C_M)(C_t)$$

$$= 1,800,000 (1.0)(1.0)$$

$$= 1,800,000 \text{ psi}$$

$$\Delta_n = \frac{5 w_n L^4}{384 E'I} = \frac{5 (1,000)(48)^4 (12 \text{ in/ft})^3}{384 (1,800,000)(29,660)} = 2.24 \text{ in}$$

$$\frac{\Delta_n}{L} = \frac{2.24}{48 \times 12} = \frac{1}{257} < \frac{1}{180} \text{ OK}$$

با استفاده از تناسب

$$\Delta_s = \left(\frac{800}{1,000} \right) \Delta_{TL} = 0.8 (2.24) = 1.79 \text{ in}$$

$$\frac{\Delta_s}{L} = \frac{1.79}{48 \times 12} = \frac{1}{321} < \frac{1}{240} \quad OK$$

$$\Delta_{\text{خم}} = 1.5 \Delta_D = 1.5 \left(\frac{200}{1,000} \right) (2.24) = 0.67 \text{ in}$$

لهیدگی

شرایط تکیه گاهی نامشخص است، و بنابراین طول مورد نیاز لهیدگی به سادگی مشخص می شود. از F'_{CL} برای لهیدگی در قسمت کششی چسب الوار که تحت خمش حول محور x است استفاده نمایید. به خاطر داشته باشید C_D برای F_{CL} اعمال نمی شود.

$$F'_{CL} = F_{CL} (C_M)(C_t)(C_b) \\ = 650 (1.0) (1.0) (1.0) = 650 \text{ psi}$$

$$A = \frac{R}{F'_{CL}} = \frac{24,000}{650} = 36.9 \text{ in}^2$$

$$\ell_b = \frac{36.9}{6.75} = 5.47$$

$$\ell_b = 5 \frac{1}{2} \text{ in} \text{ حداقل می گوئیم}$$

از چسب الوار $6 \frac{3}{4} \times 37 \frac{1}{2}$ (بیست و پنج لایه $1 \frac{1}{2}$ اینچی) با خم 0.67 in استفاده نمایید.

در بخش ۱۳-۶ این مثال مجدداً با تکیه گاه جانبی به فاصله مرکز به مرکز ۸ فوت به کار رفته است. این فاصله تکیه گاهی به وسیله تیرچه هایی که روی چسب الوارها قرار می گیرند به دست می آید. بدین ترتیب، پوشش از تیر جدا می شود و فاصله بین نقاط تکیه گاهی برابر فاصله بین تیرچه ها می شود. در بخش ۱۴-۶، تیر برای طول مهار نشده ۴۸ فوت تحلیل شده است. به عبارت دیگر، فقط انتهای تیر در برابر جابجایی و دوران نگهداری شده است. این شرایط در صورتی که پوشش ایجاد دیافراگم نکند (یعنی به دلایلی پوشش عملکرد دیافراگم نداشته باشد)، و یا در طول تیر، پوشش و یا مهار بند مؤثری در اختیار نباشد، وجود خواهد داشت. خوشبختانه، در طراحی ساختمان های معمولی این حالت متداول نیست.

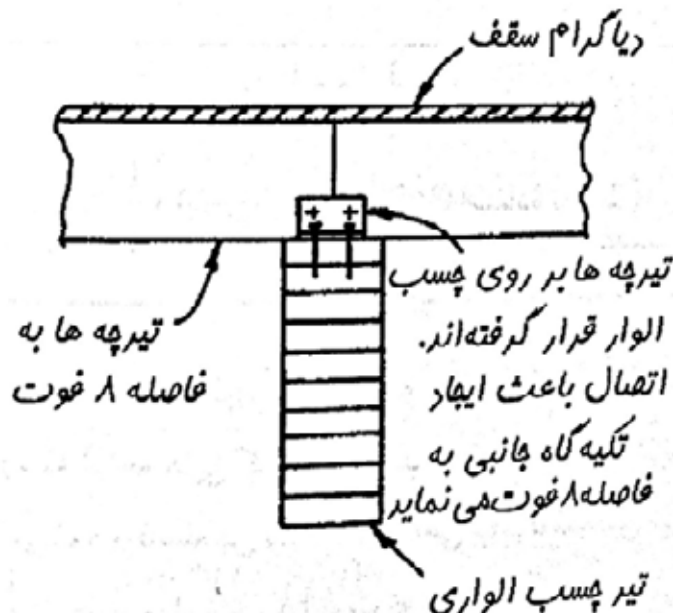
۱۳-۶ مسئله طراحی: تیر چسب الواری با تکیه‌گاه جانبی به فاصله ۸ فوت

برای طراحی یک تیر با منطقه فشاری که مهار بندی نشده است، لازم است که هر دو مورد «پایداری جانبی» و «اثر حجم» کنترل شود. برای کنترل پایداری جانبی، به یک اندازه آزمایشی برای تیر نیاز داریم تا بر اساس آن نسبت لاغری R_B محاسبه شود. این مشابه طراحی ستون است که در آن، پیش از آنکه نسبت لاغری و مقاومت ستون محاسبه شود، یک اندازه آزمایشی مورد نیاز است.

تمام معیارهای این مسئله و مسئله قبل به جز طول مهار نشده مشابه به هم هستند. بنابراین، ابعاد اولیه آزمایشی تیر را از مثال ۲۱-۶ می‌گیریم. بر اساس معیار اثر حجم، حداقل ابعاد تیر آزمایشی $37 \frac{1}{2} \times 6 \frac{3}{4}$ به دست آمده است. از آنجا که سایر ضرایب یکی هستند، در این مثال فقط معیار پایداری جانبی در نظر گرفته می‌شود. به مثال ۲۲-۶ توجه نمایید. محاسبات مربوط به C_L نشان می‌دهد که در این مسئله، پایداری جانبی اهمیت کمتری نسبت به اثر حجم دارد. بنابراین، ابعاد آزمایشی و کافی می‌باشد.

مثال ۲۲-۶ تیر چسب الوار - تکیه‌گاه جانبی به فاصله ۸/۰ فوت

مثال ۲۱-۶ را با استفاده از شرایط تکیه‌گاه جانبی که در مقطع تیر در شکل ۲۲-۶ نشان داده شده است تکرار کنید. تمامی معیارها همانند قبل می‌باشد. برای نمودارهای بارگذاری، برش و لنگر به شکل ۲۱-۶ توجه نمایید.



مقطع تیر

شکل ۲۲-۶ تیر مثال ۲۱-۶ با شرایط تکیه‌گاهی اصلاح شده

تنش‌های مجاز خمشی حول محور x برای یک تیر چسب الواری در مثال ۱۱-۶ توضیح داده شده است. تنش‌های مجاز جداگانه‌ای برای اثرات پایداری جانبی و اثر حجم آورده شده است:

$$F'_{bx} = F_{bx} (C_D) (C_M) (C_t) (C_L) \quad \text{پایداری جانبی}$$

$$F'_{bx} = F_{bx} (C_D) (C_M) (C_t) (C_V) \quad \text{اثر حجم}$$

برای تکمیل مبحث به دست آوردن اندازه آزمایشی بر اساس اثر حجم به مثال ۲۱-۶ توجه نمایید. این اندازه آزمایشی بر اساس تأثیر اثر پایداری جانبی با استفاده از طول مهار نشده $8/0$ فوت، تحلیل می‌شود:

فرض چسب الوار

$$6 \frac{3}{4} \times 37 \frac{1}{2} 24 F - V 4 DF$$

نسبت لاغری برای عضو خمشی R_B

۹۶ اینچ = ۸ فوت = طول مهار نشده l_u

طول مهار نشده مؤثر در مثال ۸-۶ و در جدول 3-3-3 از NDS برای یک تیر با دهانه ساده و بار

گسترده آورده شده است، تعریف l_e به نسبت $\frac{l_u}{d}$ بستگی دارد.

$$\frac{l_u}{d} = \frac{96}{37.5} = 2.56 < 7$$

$$l_e = 2.06 l_u = 2.06(96) = 198 \text{ in}$$

$$R_B = \sqrt{\frac{l_e d}{b^2}} = \sqrt{\frac{198(37.5)}{(6.75)^2}} = 12.76$$

ضرایب لازم برای محاسبه ضریب پایداری تیر (C_L)

موضوع کمانش پیچشی جانبی یک تیر بر اساس پایداری حول محور y ، و مدول الاستیسته مربوط به

پایداری تیر $E'y$ بررسی می‌شود.

در تنش بحرانی کمانشی اویلر برای تیر چسب الواری از ضریب $K_{Be} = 0.610$ استفاده می‌شود.

$$E'_y = E_y (C_M)(C_t) = 1,600,000 (1.0)(1.0) \\ = 1,600,000 \text{ psi}$$

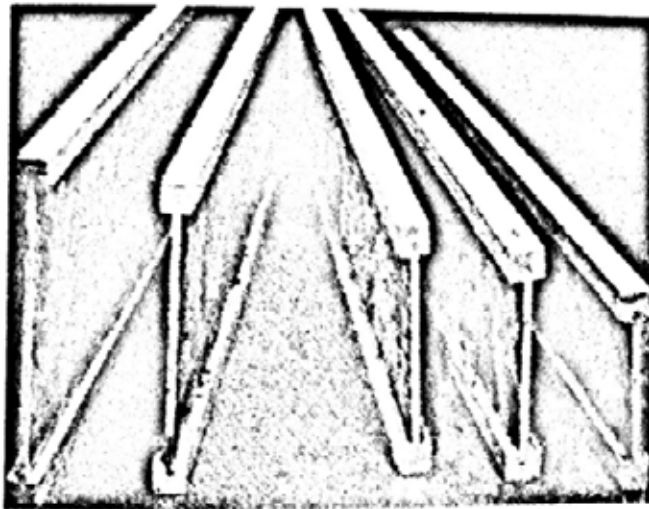
$$F_{bE} = \frac{K_{bE} E'_y}{R_b^2} = \frac{0.610 (1,600,000)}{12.76^2} = 5,994 \text{ psi}$$

تنش خمشی فهرست شده حول محور x که با تمامی ضرایب غیر از C_v و C_L اصلاح می‌شود، با نماد F_b^* نشان داده شده است.

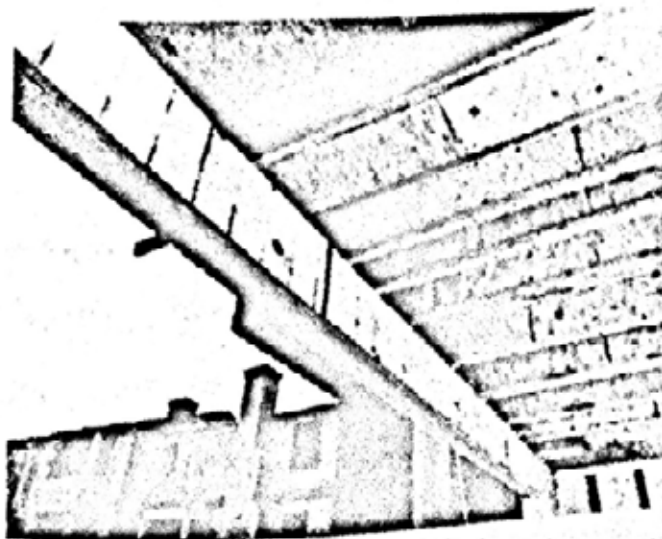
$$F_b^* = F_{bE} (C_D)(C_M)(C_t) \\ = 2,400 (1.15)(1.0)(1.0) = 2,760 \text{ psi}$$

$$\frac{F_{bE}}{F_b^*} = \frac{5994}{2700} = 2.172$$

$$1 + \frac{F_{bE}}{F_b^*} = \frac{1 + 2.172}{1.9} = 1.669$$



شکل a ۶-۲۲



شکل b ۶-۲۲

$$C_L = \frac{1 + \frac{F_{bx}}{F_{bx}^*}}{1.9} - \sqrt{\left(\frac{1 + \frac{F_{bx}}{F_{bx}^*}}{1.9} \right)^2 - \frac{\frac{F_{bx}}{F_{bx}^*}}{0.95}}$$

$$= 1.669 - \sqrt{1.669^2 - \frac{2.172}{0.95}}$$

$$= 0.962$$

از مثال ۶-۲۱، ضریب حجم برای این تیر برابر است با

$$C_V = 0.799 < C_L$$

بنابراین، ضریب اثر حجم بر پایداری جانبی حاکم است.

تنش مجاز خمشی برای تیر با تکیه گاه جانبی در قسمت فشاری به فاصله ۸/۰ فوت همانند مثال ۶-۲۱

می باشد.

$$F'_b = 2,205 \text{ psi} > 2,185 \text{ OK}$$

$$6 \frac{3}{4} \times 37 \frac{1}{2} \text{ از چسب الوار}$$

نوع ۲۴F-V4 DF استفاده نمایند.

در تیر مثال ۶-۲۲ به نظر می رسد طول مهار نشده ۸ فوت بی تأثیر است. نسبت لاغری R_B اساس اندازه گیری پایداری جانبی می باشد و R_B تابعی است از طول مهار نشده، عمق تیر و عرض تیر. نسبت لاغری شدیداً نسبت به عرض تیر حساس است، چرا که با توان دوم در مخرج کسر وارد می شود.

در مثال ۶-۲۳ با افزایش طول مهار نشده از ۸ فوت به ۴۸ فوت، نسبت لاغری بسیار بزرگی به دست می آید.

۶-۱۴ مسأله طراحی: چسب الوار با تکیه گاه جانبی به فاصله ۴۸/۰ فوت

هدف از این مثال اجمالی آن است که ارتباط طول مهار نشده بسیار بلند را با نسبت لاغری بزرگ تیر نشان دهیم. به مثال ۶-۲۳ توجه کنید. همانطور که در مثال‌های قبل داشتیم، ابعاد اولیه آزمایشی از مثال ۶-۲۱ به دست می‌آید، چرا که یک ابعاد آزمایشی برای محاسبه نسبت لاغری تیر لازم است.

این مثال نشان می‌دهد که چرا داشتن لااقل چند مهار بند جانبی بسیار مناسب خواهد بود. طول مهار نشده بسیار بلند باعث می‌شود که ابعاد آزمایشی به طور قابل توجهی بیش از حد تحت تنش قرار گیرد و به ابعاد آزمایشی جدیدی نیاز داشته باشیم.

این مسأله از حد کنترل ابعاد آزمایشی اولیه فراتر نمی‌رود، چرا که هدف این مسأله صرفاً نشان دادن اثر کماتش جانبی می‌باشد. در روش‌های مشابه، یک ابعاد آزمایشی بزرگتر بایستی در نظر گرفته شود.

مثال ۶-۲۳ چسب الوار - با تکیه گاه جانبی به فاصله ۴۸/۰ فوت

بار دیگر از مسأله طراحی تیر مربوط به مثال ۶-۲۱ با تکیه گاه جانبی فقط در دو انتهای مربوط استفاده کنید. برای نمودارهای بارگذاری، برش و لنگر به شکل ۶-۲۱ توجه کنید.

خمش

تنش مجاز خمشی برای تیر چسب الواری برابر است با:

$$F'_{bx} = F_{bx} (C_D) (C_M) (C_t) (C_L) \quad \text{پایداری جانبی}$$

$$F'_{bx} = F_{bx} (C_D) (C_M) (C_t) (C_v) \quad \text{اثر حجم}$$

ابعاد مثال ۶-۲۱ بر اساس حجم C_v بوده است. حال این عضو بر اساس اثر پایداری جانبی با طول مهار نشده ۴۸/۰ فوت کنترل می‌شود.

$$\text{فرض } DF - V4 = 24F - \frac{1}{2} \times 37 \times \frac{3}{4} \times 6$$

نسبت لاغری برای عضو خمشی RB

$$l_u = 48 \text{ ft} = 576 \text{ in} \quad \text{طول مهار نشده}$$

طول مهار نشده مؤثر برای یک تیر با دهانه ساده و تحت بار گسترده یکنواخت در مثال ۶-۸ و ۶-۹

جدول ۳-۳-۳ از NDS آمده است. مشخص شدن l_e به نسبت $\frac{l_u}{d}$ بستگی دارد.

$$\frac{\ell_u}{d} = \frac{576}{37.5} = 15.36 > 7$$

$$\ell_e = 1.63 \ell_u + 3d = 1.63 (576) + 3 (37.5) = 1,051 \text{ in}$$

$$R_B = \sqrt{\frac{\ell_e d}{b^2}} = \sqrt{\frac{1,051 (37.5)}{(6.75)^2}} = 29.42$$

ضرایب لازم برای محاسبه ضریب پایداری تیر CL

$$F_{bE} = \frac{K_{bE} E'_y}{R_B^2} = \frac{0.610 (1,600,000)}{(29.42)^2} = 1,127 \text{ psi}$$

$$\begin{aligned} F_{bx}^* &= F_{bx} (C_D) (C_M) (C_t) \\ &= 2,400 (1.15) (1.0) (1.0) = 2,760 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\frac{F_{bE}}{F_{bx}^*} = \frac{1,127}{2,760} = 0.408$$

$$\frac{1 + \frac{F_{bE}}{F_{bx}^*}}{1.9} = \frac{1 + 0.408}{1.9} = 0.741$$

ضریب پایداری تیر

$$\begin{aligned} C_L &= \frac{1 + \frac{F_{bE}}{F_{bx}^*}}{1.9} - \sqrt{\left(\frac{1 + \frac{F_{bE}}{F_{bx}^*}}{1.9} \right)^2 - \frac{\frac{F_{bE}}{F_{bx}^*}}{0.95}} \\ &= 0.741 - \sqrt{0.741^2 - \frac{0.408}{0.95}} \\ &= 0.395 \end{aligned}$$

از مثال ۲۱-۶، ضریب حجم برای این تیر برابر است با:
 $C_v = 0.799 > C_L$

بنابراین پایداری جانبی بر ضریب حجم حاکم است.
 تنش مجاز خمشی برای تیر با تکیه گاه جانبی به فاصله ۴۸/۰ فوت در قسمت فشاری برابر است با:

$$\begin{aligned}
 F'_b &= F_b (C_D) (C_M) (C_t) (C_L) \\
 &= 2400 (1.15) (1.0) (1.0) (0.395) \\
 &= 1090 \text{ psi} \\
 f_b &= 2185 \text{ psi} > 1090 \text{ NG}
 \end{aligned}$$

ابعاد آزمایشی $6 \frac{3}{4} \times 37 \frac{1}{2}$ تحت خمش به طور قابل ملاحظه‌ای تحت تنش بیش از حد قرار گرفته است و مناسب نیست. بنابراین ابعاد آزمایشی بایستی اصلاح شود و این به عنوان تمرین به خواننده واگذار می‌شود.

۱۵-۶- مسأله طراحی: چسب الوار با قسمت فشاری تحت تنش کششی

برخی چسب الوارها، مجموعه‌ای از لایه‌های یکسان هستند. اینها، دارای تنش مجاز خمشی یکسان در سطوح بالا و پایین عضو می‌باشند. سایر مجموعه‌ها، دارای تمهیدات لازم کششی در یک طرف تیر هستند. در حالت دوم، تنش‌های مجاز خمشی دارای دو مقدار متفاوت هستند:

۱. $F_{bx \ t/t}$ قسمت کششی تحت تنش کششی

۲. $F_{bx \ c/t}$ قسمت فشاری تحت تنش کششی

عضو مربوط به این مثال شامل مجموعه یکسان است. به مثال ۶-۲۴ نگاه کنید.

تیر مربوط به این مسأله دارای لنگر مثبت بزرگ و لنگر منفی کوچک است. در ابتدا، تیر برای لنگر مثبت بزرگ بر اساس $F_{bx \ t/t}$ طراحی می‌شود، سپس تنش خمشی که بر اساس لنگر منفی به دست می‌آید با توجه به تنش مجاز خمشی کوچکتر کنترل می‌شود. در سیستم تیر کنسولی تیر در مثال ۶-۲۸ از یک مجموعه خمشی یکسان استفاده شده است.

مثال ۶-۲۴ منطقه فشاری تحت تنش کششی

تیر سقف در شکل ۶-۲۳ یک چسب الوار 24F-V4 DF است. بار طراحی شامل یک بار متمرکز و یک بار گسترده یکنواخت است. بارها ترکیبی از $(D + L)$ می‌باشند. تکیه گاه جانبی به وسیله پوش سقف در سطح فوقانی تیر فراهم شده است. ولی، سطح تحتانی، به جز تکیه گاه، در سایر نقاط با لنگر منفی فاقد تکیه گاه جانبی است. تیر در شرایط خدمت، خشک و در دمای معمولی است. سقف دارای شیب حداقل لازم است به طوری که نگرانی برای فرورفتگی سقف وجود ندارد برای این مسأله، صرفاً تنش خمشی را در نظر بگیرید.

لنگر مثبت (منطقه کششی تحت تنش کششی)

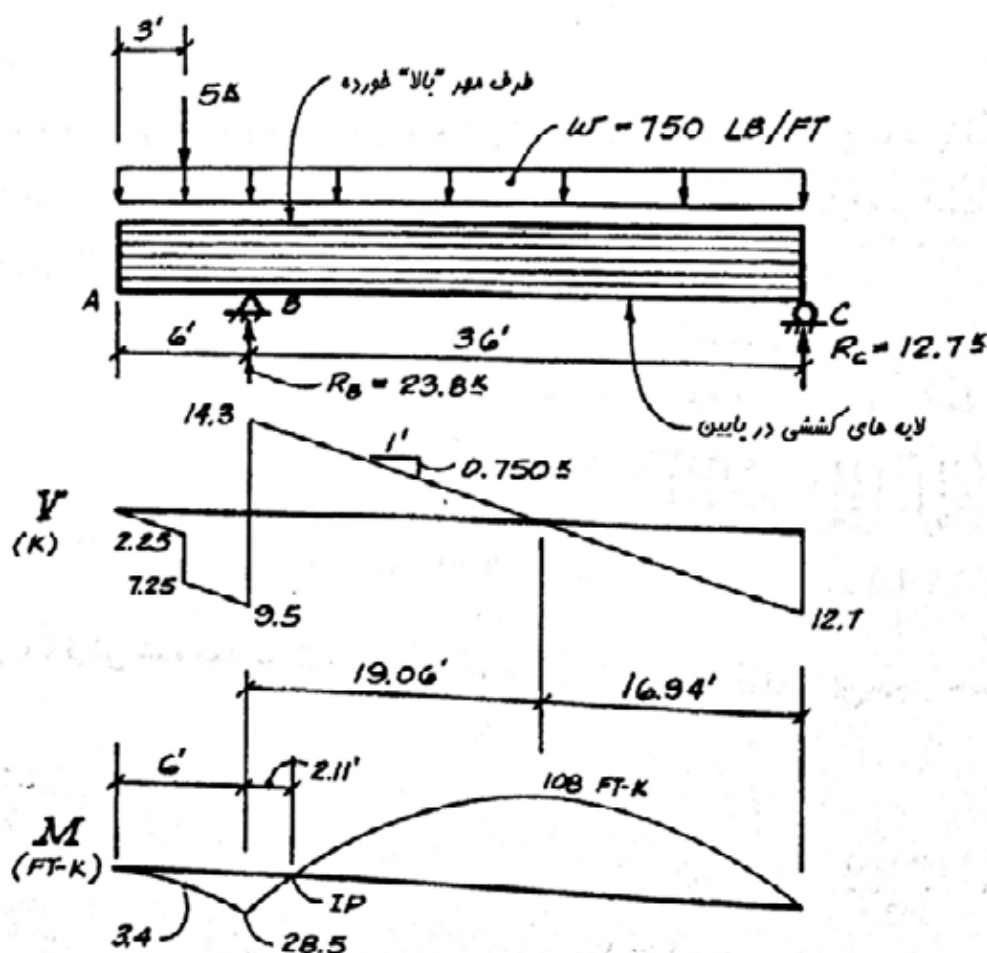
در منطقه‌ای که لنگر خمشی مثبت است، تنش خمشی مجاز $F_{bx} \text{ v/t}$ است. تنش‌های مجاز برای یک تیر چسب الواری عبارت است از

$$F'_b = F'_{bx \text{ v/t}} = F_{bx \text{ v/t}} (C_D) (C_M) (C_t) (C_L) \quad \text{پایداری جانبی}$$

$$F'_b = F'_{bx \text{ v/t}} = F_{bx \text{ v/t}} (C_D) (C_M) (C_t) (C_V) \quad \text{اثر حجم}$$

در عین حال، در منطقه با لنگر خمشی مثبت، طول مهار نشده $\ell_u = 0$ می‌باشد، چرا که به وسیله پوشش سقف، تکیه گاه جانبی سرتاسری در قسمت بالای تیر به وجود آمده است. بنابراین C_L دارای پیش فرض واحد بوده و پایداری جانبی حاکم بر طراحی نمی‌باشد (DNG).

با فرض یک مقدار برای ضریب حجم، یک اندازه امتحانی برای تیر به دست می‌آوریم و سپس C_V واقعی را کنترل می‌نماییم. برای ترکیب بار $(D + L_r)$ ضریب تداوم بار برابر $C_D = 1.25$ می‌باشد. هر دو مقدار C_t و C_M دارای پیش فرض واحد هستند. تنش‌های فهرست شده در جدول 5-A مکمل NDS آمده است.



شکل ۶-۲۳ تیر چسب الواری با قسمت طره کوتاه

فرض کنید $C_v = 0.90$

$$F'_b = F_{bx \text{ /t}} = F_{bx \text{ /t}} (C_D)(C_M)(C_t)(C_v) \\ = 2400 (1.25)(1.0)(1.0)(0.90) = 2700 \text{ psi}$$

$$Max \ M = 108 \text{ ft-k} = 1295 \text{ in-k} \quad (\text{از شکل 23-6})$$

$$S = \frac{M}{F'_b} = \frac{1,295,000}{2700} = 480 \text{ in}^3$$

از جدول 1C مکمل NDS، کوچکترین اندازه از انواع چسب الوارهای Western که مدول مقطع بیشتر از مقدار مورد نیاز را تأمین کند، انتخاب می‌کنیم.

فرض:

$$S = \frac{1}{8} \times 24 \times 24 \times DF = 24F - V4$$

$$S = 492 \text{ in}^3 > 480 \quad \text{OK}$$

بررسی C_v :

ضریب حجم تابعی است از طول، عمق و عرض تیر. طول بر اساس فاصله بین نقاط با لنگر صفر در شکل ۲۳-۶ می‌باشد ($L = 36 - 2.11 = 33.89 \text{ ft}$). ولی، ساده تر و محافظه کارانه تر است که از طول کامل دهانه یعنی 36 ft استفاده نماییم.

$$C_v = K_L \left(\frac{21}{L} \right)^{\frac{1}{10}} \left(\frac{12}{d} \right)^{\frac{1}{10}} \left(\frac{5.125}{b} \right)^{\frac{1}{10}} \leq 1.0 \\ = 1.0 \left(\frac{21}{36} \right)^{0.1} \left(\frac{12}{24} \right)^{0.1} \left(\frac{5.125}{5.125} \right)^{0.1} \\ = 0.884 < 1.0$$

مقدار C_v فرض شده محافظه کارانه نبوده است. بنابراین تنش واقعی را با تنش مجاز خمشی مقایسه می‌کنیم.

$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{1,295,000}{492} = 2630 \text{ psi}$$

$$F'_b = F_{bx \text{ /t}} = F_{bx \text{ /t}} (C_D)(C_M)(C_t)(C_v) \\ = 2400 (1.25)(1.0)(1.0)(0.884) \\ = 2650 \text{ psi} > 2630$$

بنابراین در لنگر مثبت مورد قبول است.

لنگر منفی (منطقه فشاری تحت تنش کششی)

ابعاد آزمایشی اولیه تغییر نکرده و تنش خمشی محاسبه شده برابر است با

$$Neg. M = 28.5 \text{ ft-k} = 342 \text{ in-k}$$

$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{342,000}{492} = 695 \text{ psi}$$

در محدوده لنگر منفی، تنش خمشی فهرست شده برابر است با $F_{bx \text{ c/t}} = 1,200 \text{ psi}$. تنش مجاز برابر کوچکترین مقدار از دو معیار زیر است:

$$F'_b = F'_{bx \text{ c/t}} = F_{bx \text{ c/t}} (C_D) (C_M) (C_t) (C_L) \quad \text{پایداری جانبی}$$

$$F'_b = F'_{bx \text{ c/t}} = F_{bx \text{ c/t}} (C_D) (C_M) (C_t) (C_V) \quad \text{اثر حجم}$$

بایستی امکان کماتش جانبی بررسی شود چرا که طرف پائین تیر دارای تکیه گاه جانبی سرتاسری نمی باشد.

نسبت لاغری برای تیر R_b :

برای سمت چپ تکیه گاه:

$$\ell_u = 6 \text{ ft} = 72 \text{ in}$$

برای سمت راست تکیه گاه تا نقطه عطف منحنی (IP):

$$\ell_u = 2.11 \text{ ft} = 25.3 \text{ in} \quad (\text{غیر بحرانی})$$

طول مهار نشده مؤثر در مثال ۸-۶ (بخش ۳-۶) و در جدول ۳-۳-۳ از NDS آمده است. برای تیرهای کنسول با هر نوع بارگذاری، تعیین ℓ_e به نسبت $\frac{\ell_u}{d}$ بستگی دارد.

$$\frac{\ell_u}{d} = \frac{72}{24} = 3.0 < 7$$

$$\therefore \ell_e = 2.06 \ell_u = 2.06 (72) = 148 \text{ in}$$

$$R_B = \sqrt{\frac{\ell_e d}{b^2}} = \sqrt{\frac{148 (24)}{(5.125)^2}} = 11.64$$

ضرایب لازم برای محاسبه ضریب پایداری تیر C_L :

$$E'_y = E_y (C_M)(C_t) = 1,600,000 (1.0) (1.0)$$

$$= 1,600,000 \text{ psi}$$

$$F_{bE} = \frac{K_{bE} E'_y}{R_B^2} = \frac{0.610 (1,600,000)}{11.64^2} = 7204 \text{ psi}$$

$$F_{bx}^* = F_{bx} (C_D)(C_M)(C_t)$$

$$= 1,200 (1.25) (1.0) (1.0) = 1500 \text{ psi}$$

$$\frac{F_{bE}}{F_{bx}^*} = \frac{7204}{1500} = 4.802$$

$$1 + \frac{F_{bE}}{F_{bx}^*} = \frac{1 + 4.802}{1.9} = 3.054$$

ضریب پایداری تیر

$$C_L = \frac{1 + \frac{F_{bE}}{F_{bx}^*}}{1.9} - \sqrt{\left(\frac{1 + \frac{F_{bE}}{F_{bx}^*}}{1.9} \right)^2 - \frac{\frac{F_{bE}}{F_{bx}^*}}{0.95}}$$

$$= 3.054 - \sqrt{3.054^2 - \frac{4.802}{0.95}}$$

$$= 0.987$$

اثر حجم

طول مورد نظر برای محاسبه ضریب حجم، فاصله بین نقاط با لنگر صفر تعریف می‌شود.
($L = 6 + 2.11 = 8.11 \text{ ft}$)

$$C_v = K_L \left(\frac{2l}{L} \right)^{\frac{1}{10}} \left(\frac{12}{d} \right)^{\frac{1}{10}} \left(\frac{5.125}{b} \right)^{\frac{1}{10}} \leq 1.0$$

$$= 1.0 \left(\frac{21}{8.11} \right)^{0.1} \left(\frac{12}{24} \right)^{0.1} \left(\frac{5.125}{5.125} \right)^{0.1}$$

$$= 1.026 > 1.0$$

$$\therefore C_v = 1.0$$

ضریب پایداری جانبی بر ضریب حجم حاکم است:

$$\begin{aligned} F'_b &= F'_{bx\ c/l} = F_{bx\ c/l} (C_D)(C_M)(C_t)(C_L) \\ &= 1200 (1.25) (1.0) (1.0) (0.987) \\ &= 1480 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$f_b = 695 \text{ psi} < 1480 \text{ OK}$$

چسب الوار (24F-V4 DF) $5 \frac{1}{8} \times 24$ برای خمش مناسب است.

۶-۱۶ سیستم‌های تیر طره‌ای (کنسولی)

غالباً در سازه‌های چسب الواری، سیستم‌های تیر طره‌ای با یک اتصال مفصلی داخلی به کار می‌رود. علت این کار آن است که عموماً در یک سیستم طره‌ای می‌توان از تیر با ابعاد کوچکتر به جای چندین تیر با دهانه ساده استفاده کرد. طول طره، L_C در سیستم طره‌ای، پارامتر بسیار مهمی است. به مثال ۶-۲۵ توجه نمایید. طول طره می‌تواند به طریقی در نظر گرفته شود تا ابعاد تیر، بهینه گردد.

مثال ۶-۲۵ سیستم‌های تیر طره‌ای

مقاومت خمشی یک سیستم تیر طره را می‌توان با انتخاب طول طره L_C بهینه کرد، به طوری که لنگرهای حداکثر M_1 ، M_2 و M_3 همگی با هم برابر باشند. برای سیستم طره‌ای با دو دهانه مساوی با بار گسترده یکنواخت بر روی هر دو دهانه که در شکل ۶-۲۴ نشان داده شده است، طول طره

$$L_C = 0.172 L$$

لنگرهای حداکثر برابر خواهد داد

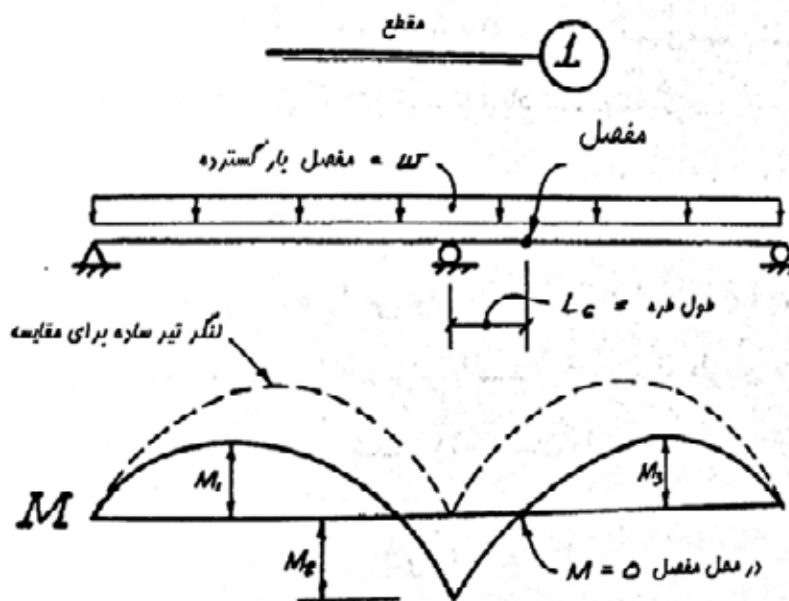
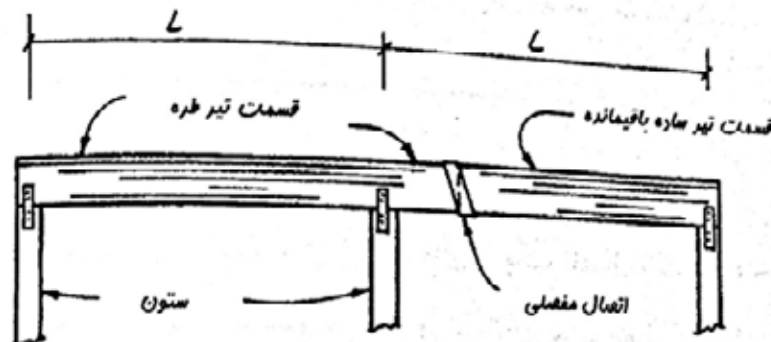
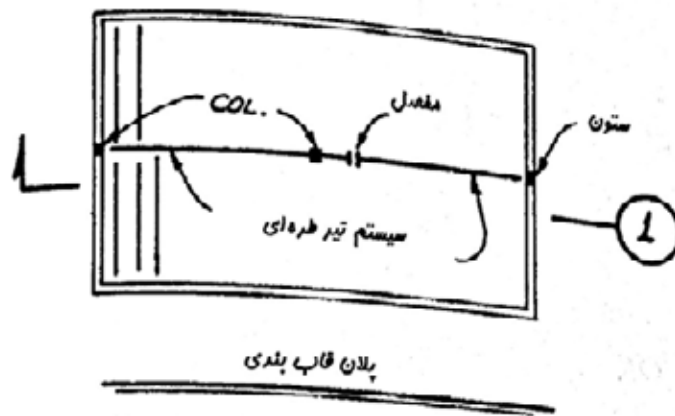
$$M_1 = M_2 = M_3 = 0.086 wL^2$$

این لنگر حداکثر به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از لنگر حداکثر برای یک تیر ساده با بار یکنواخت

است:

$$M = \frac{wL^2}{8} = 0.125 wL^2$$

طول‌های طره پیشنهادی برای تعدادی از سیستم‌های تیر طره‌ای در TCM آمده است (مرجع ۵-۶).



شکل ۲۴-۶ سیستم تیر طره با دو دهانه

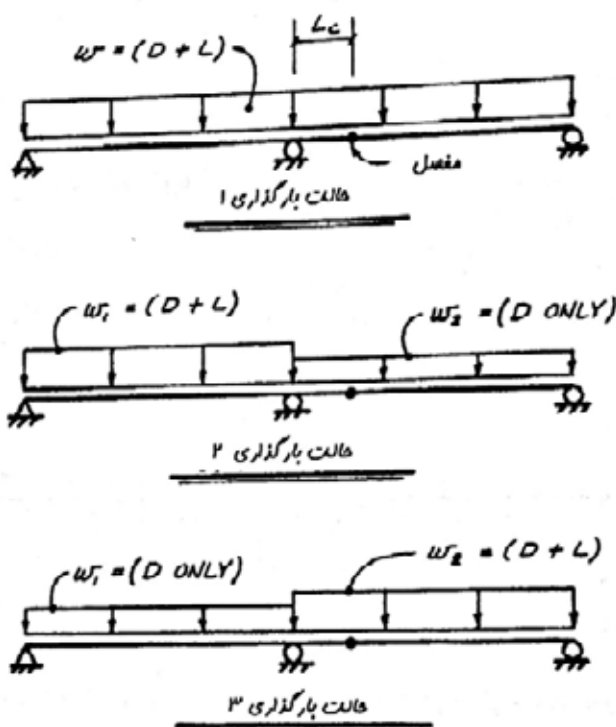
استفاده از سیستم‌های تیر طره‌ای برای کف‌ها پیشنهاد نمی‌شود. ایجاد خم مناسب بسیار مشکل است و سیستم تیر طره‌ای در کف ممکن است لرزش را از یک دهانه به دهانه دیگر منتقل کند AITC استفاده از تیرهای با دهانه ساده را برای کف پیشنهاد می‌کند.

برای طراحی سقف‌ها، VBC (مرجع ۱۰-۶) در فصل ۱۶ لازم می‌داند چنانچه به صورت یک در میان (L غیر متعادل) در نظر گرفته شود. برای تیرهای کف بایستی هم (کل D+L) و هم (L غیر متعادل D+L) صرف‌نظر از بزرگی بار زنده کف، در نظر گرفته شود. به مثال ۲۶-۶ توجه نمایید.

مثال ۶-۲۶ بارگذاری برای سیستم تیر طره با دو دهانه

حالت بارگذاری ۱: (بر روی تمام دهانه‌ها $D + L$)

این بارگذاری به عنوان حداکثر بار می‌باشد و می‌تواند لنگر، برش و تغییر شکل بحرانی را برای طراحی به دست آورد. به شکل ۶-۲۵ توجه نمایید.



شکل ۶-۲۵ وقتی $L_r < 20 \text{ psf}$ تحلیل بار زنده کل و بار زنده غیر متعادل لازم است.

حالت بارگذاری ۲: (L غیر متعادل روی دهانه چپ + D)

وقتی نیاز به بار زنده غیر متعادل است، این بارگذاری لنگر مثبت بحرانی را در دهانه چپ به وجود می‌آورد.

حالت بارگذاری ۳: (L غیر متعادل روی دهانه راست + D)

این حالت بارگذاری همان لنگر منفی حداکثر را که در حالت ۱ داشتیم ایجاد خواهد کرد. در عین حال، این بارگذاری طول حداکثر را از تکیه گاه داخلی تا نقطه عطف بر روی منحنی لنگر در دهانه چپ ایجاد خواهد کرد. با توجه به شرایط مهاربندی، این طول می‌تواند از نظر پایداری جانبی بحرانی باشد. ضمناً، این حالت بارگذاری موجب حداقل عکس العمل بر روی تکیه گاه چپ می‌شود. از طرفی نیز بارهای زنده بزرگ و طول طره بلند، ممکن است نیروهای بلند کننده بر روی این تکیه گاه ایجاد کند.

حالت بارگذاری نامتعادل برای بار زنده می‌تواند طراحی سیستم‌های تیر طره‌ای را پیچیده کند. این مسأله بالاخص وقتی تغییر شکل مورد نظر باشد صادق است. وقتی نیاز به بار زنده نامتعادل داریم، طول بهینه دهانه طره LC با آنچه برای بار یکنواخت بر روی تمام دهانه‌ها توضیح دادیم، متفاوت خواهد بود. در یک سیستم طره‌ای، قسمت فشاری عضو همواره در قسمت بالای تیر نخواهد بود. در این حالت تحلیل پایداری جانبی برای لنگر خمشی لازم است حتی اگر بالای تیر به دیافراگم افقی متصل شده باشد. به مثال ۶-۲۷ توجه نمایید.

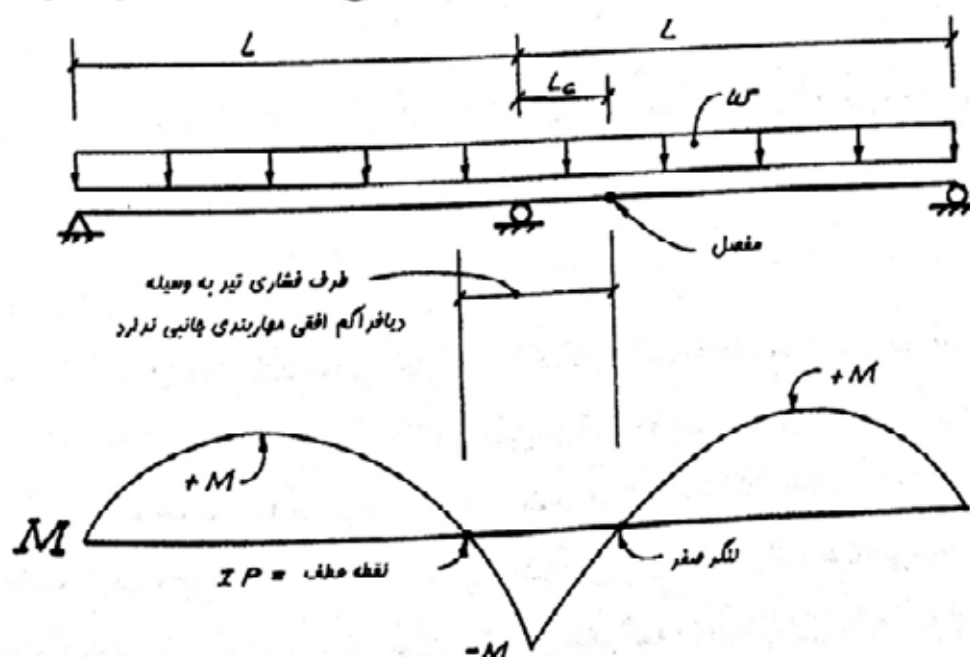
مثال ۶-۲۷ پایداری جانبی سیستم طره‌ای

قرارداد علامت لنگر خمشی

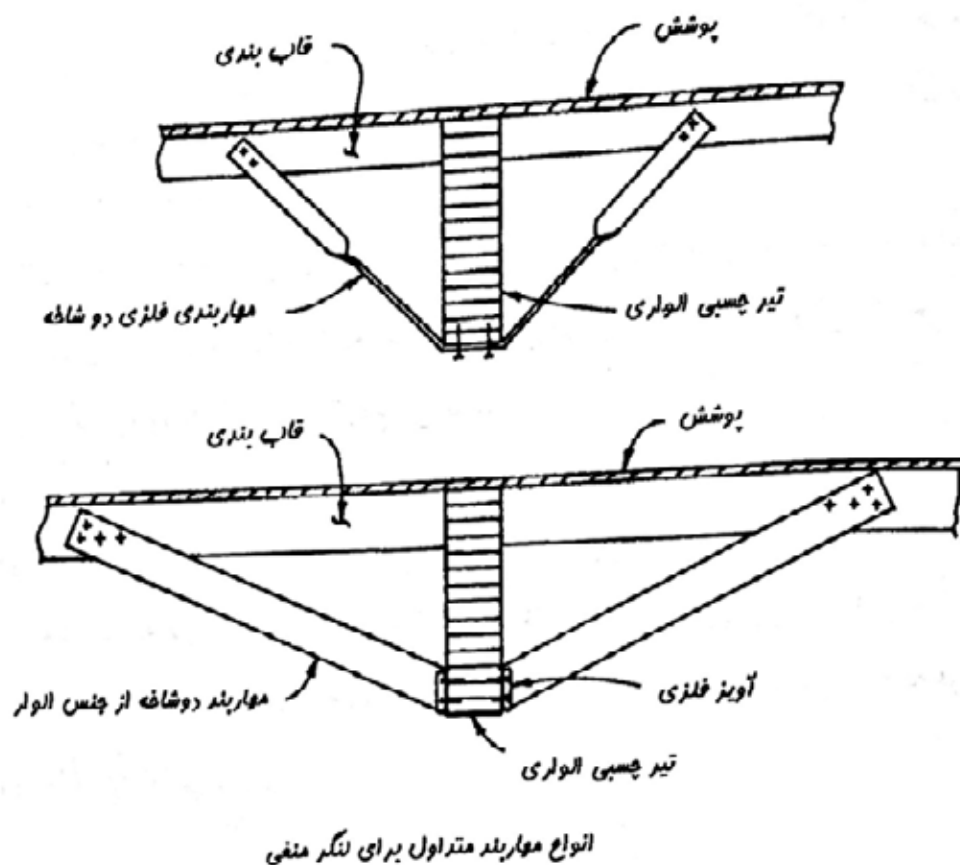
لنگر مثبت = فشار در بالای تیر

لنگر منفی = فشار در پایین تیر

در محدوده‌های با لنگر منفی (شکل ۶-۲۶a)، دیافراگم افقی به قسمت کششی تیر متصل است و بنابراین تکیه گاه جانبی برای قسمت فشاری تیر تأمین نمی‌شود. اگر وجه پایینی تیر به جان ستون بسته شده باشد، (شکل ۶-۲۶b)، طول مهار نشده l_u برای محاسبات پایداری جانبی برابر طول طره LC است و یا فاصله بین ستون تا نقطه عطف است. برای تیر داده شده، طول‌های مهار نشده تحت بارگذاری غیر متعادل با هم برابر هستند (شکل ۶-۲۶a). چنانچه در نظر گرفتن پایداری جانبی باعث کاهش بسیار زیاد در تنش خمشی شود، ممکن است مهار بندهای قطری از دیافراگم به سطح پایین تیر به کار برده شود.



شکل ۶-۲۶a در نظر گرفتن طول مهار نشده برای لنگر منفی



انواع مهار بند متداول برای لنگر منفی

شکل ۶-۲۶b روش های مهار بندی طرف پایین تیر

انواع مهار بند های دو شاخه می تواند برای مهار بندی قسمت پایین تیر به کار رود. یک مهار بند دو شاخه فلزی از پیش ساخته شده و یک مهار بند دو شاخه از الوار در شکل ۶-۲۶b نشان داده شده است. فاصله میان مهار بند های دو شاخه، یا فاصله بین مهار بند و نقطه ای با لنگر صفر، طول مهار نشده می باشد. برای اطلاعات بیشتر در مورد طول مهار نشده به مرجع ۵-۶ توجه نمایید.

برای آنکه به دلایل معماری از مهار بند های استفاده نمی شود، برخی طراحان از یک اتصال دیگر تیر به ستون که به منظور ایجاد تکیه گاه جانبی در قسمت پایین تیر طراحی شده است، استفاده می نمایند. بایستی تمهیدات لازم و قضاوت مهندسی در طراحی این نوع اتصالات در نظر گرفته شود تا از مؤثر بودن پایداری جانبی مطمئن شویم.

۱۷-۶- مسأله طراحی: سیستم تیر طره ای

در این مثال، یک سیستم تیر طره با دو دهانه مساوی ۵۰ فوتی طراحی شده است. به مثال ۶-۲۸ توجه کنید. اولین قدم تعیین طول طره L_c است.

تیر برای بار زنده کاهش یافته سقف طراحی شده است و برای این لازم است بار گذاری کل بار و بار زنده نامتعادل در نظر گرفته شود. برای این بار گذاری، L_c برابر $0.2 L$ در نظر گرفته شده است. دو اندازه متفاوت برای تیر به دست آمده است، چرا که سه مقدار لنگر های موضعی برای حالات مختلف بار گذاری

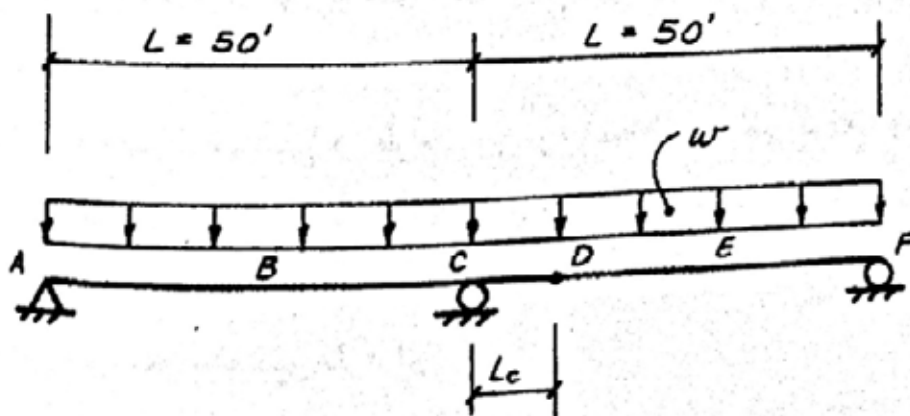
برابر نیستند. تیر بزرگتر برای قسمت تیر طره عضو AD لازم است و اندازه کوچکتر مربوط به تیر عضو DF می‌باشد. برای عضو طره AD، کنترل پایداری جانبی برای قسمتی از عضو که در آن لنگر منفی اتفاق می‌افتد ضروری است (فشار در پایین تیر باشد).

قسمت آخر مثال، به پیش بینی خم برای تیر مربوط می‌شود. درستی محاسبات مربوط به تحلیل تغییر شکل تحت بارهای مرده نشان داده شده است. اما این برای نشان دادن روش طراحی است و عموماً محاسبات تغییر شکل به وسیله کامپیوتر انجام می‌شود.

در خم دادن به اعضاء، اغلب کارخانجات چسب الوار می‌توانند قلاب هایی به فاصله ۴ فوت تعبیه کنند. ولی در اکثر حالات، طراح نبایستی خم را محدود به این فواصل نزدیک کند. به طور معمول، خم مورد نیاز در وسط دهانه در مفاصل داخلی و یا در نقاط عطف قرار می‌گیرد. در این حالت، تولید کننده می‌تواند با استفاده از انحناء دایره‌ای یا سهمی شکل، خم را در نقاط مختلف طول دهانه قرار دهد. خم در حدود $\pm \frac{1}{4}$ in می‌باشد.

مثال ۶-۲۸ سیستم تیر طره ای

با استفاده از بارهای طراحی سقف در UBC، یک سیستم تیر طره در سقف را طراحی نمایید. بهترین نقطه مفصل را مشخص نمایید. از چسب الوار 22F-V8 Douglas Fir استفاده کنید. عرض بارگیری تیر ۲۰ فوت است. بار مرده سقف 14 psf است که شامل وزن تقریبی 2 psf (40 lb/ft) برای تیر نیز می‌باشد. بار برف وجود ندارد و تیر، سقف گچی را تحمل نمی‌کند. عضو در شرایط خدمت خشک می‌باشد ($C_M = 1.0$) و در دمای معمولی قرار دارد. ($C_t = 1.0$). تنش مجاز و مشخصات مقطع از مکمل NDS به دست می‌آید.



شکل ۶-۲۸a

بارها

همانطور که در بخش ۱۶-۶ ذکر کردیم، UBC لازم می‌داند که بار زنده نامتعادل سقف در نظر گرفته شود مگر آنکه بار زنده 20 psf یا بیشتر باشد. بنابراین، تنها یک طراحی ممکن داریم و آن اعمال بار زنده 20 psf بر روی تمام دهانه‌ها می‌باشد.

$$w_D = 14 \times 20 = 280 \text{ lb/ft}$$

$$w_L = 20 \times 20 = 400 \text{ lb/ft}$$

$$w_{TL} = 680 \text{ lb/ft}$$

با استفاده از بار زنده کاهش یافته سقف، طراحی را می‌توان به صورت دیگری با در نظر گرفتن بار $(D + L_r)$ بر روی تمام دهانه‌ها یا $(L$ غیر متعادل $+ D)$ هر کدام که بحرانی تر است انجام داد.

$$600 \text{ ft}^2 > \text{سطح بارگیری}$$

$$L_r = 12 \text{ psf}$$

$$w_D = 14 \times 20 = 280 \text{ lb/ft}$$

$$w_L = 12 \times 20 = 240 \text{ lb/ft}$$

$$w_{TL} = 520 \text{ lb/ft}$$

به وسیله بار زنده کاهش یافته، سطح مقطع کوچکتر به دست خواهد آمد. در مثال ۲۵-۶ طول طره

$$L_C = 0.172 L$$

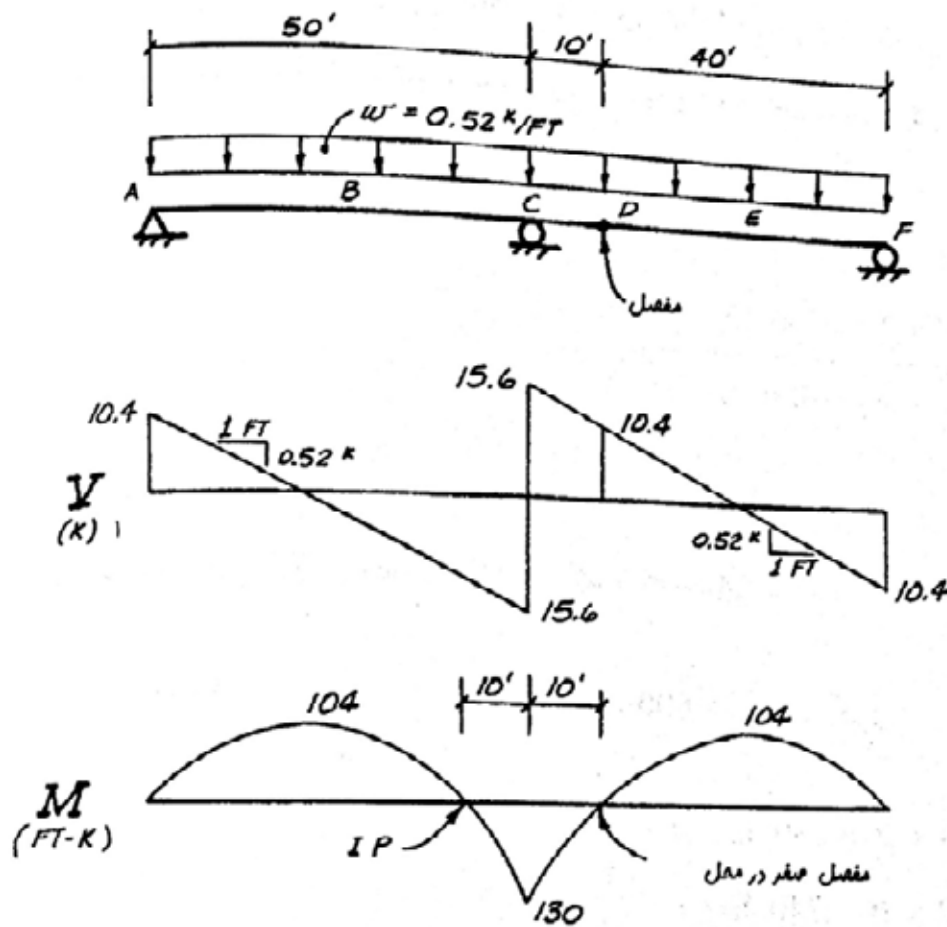
سیستم طره‌ای با دو دهانه تحت بار گسترده یکنواخت بر روی هر دو دهانه ارائه شده است. وقتی که بار زنده غیر متعادل مد نظر باشد، طول طره متفاوت خواهد بود و به ازای این طول متفاوت، تقریباً لنگر مثبت و منفی برای قسمت طره برابر خواهد بود. این طول برابر است با:

$$L_C = 0.2 L = 0.2 (50) = 10 \text{ ft}$$

با این طول طره مشخص می‌توان نمودارهای برش و خمش را برای سه حالت بارگذاری رسم کرد.

(به شکل d و c، ۲۷b-۶ توجه نمایید).

حالت ۱ بارگذاری (Lr) بر روی تمام دهاندها + (D)



شکل ۶-۲۷b نمودارهای بارگذاری، برش و خمش برای حالت ۱ بارگذاری

عضو AD

خمشی:

مجموعه چسب الواری DF 22-V8 دارای ظرفیت خمشی مثبت و منفی برابر می‌باشد. به عبارت دیگر در این مجموعه F_{bx} منطقه کششی تحت تنش کششی و F_{bx} منطقه فشاری تحت تنش کششی با یکدیگر برابر هستند. (عضو دارای لایه‌های یکسان است).

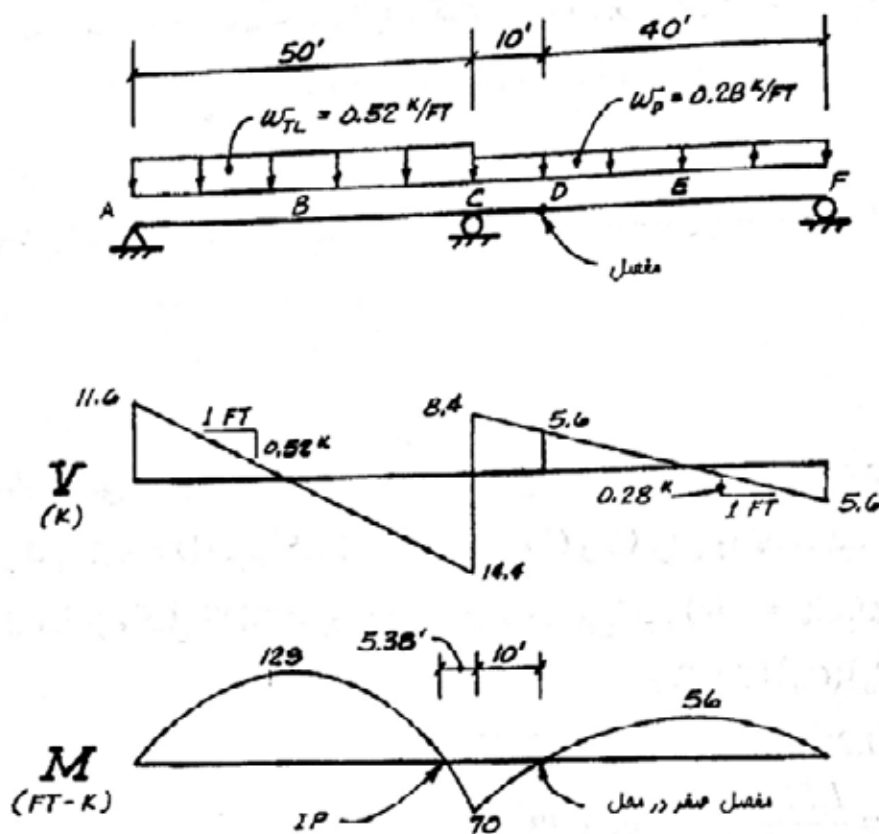
لنگر حداکثر از حالات ۱، ۲ و ۳ بارگذاری برابر است با:

$$\text{Max} + M \approx \text{Max} - M = 130 \text{ ft} - k = 1,560 \text{ in} - k$$

تذکر: به منظور مقایسه، لنگر در یک تیر ساده برابر است با:

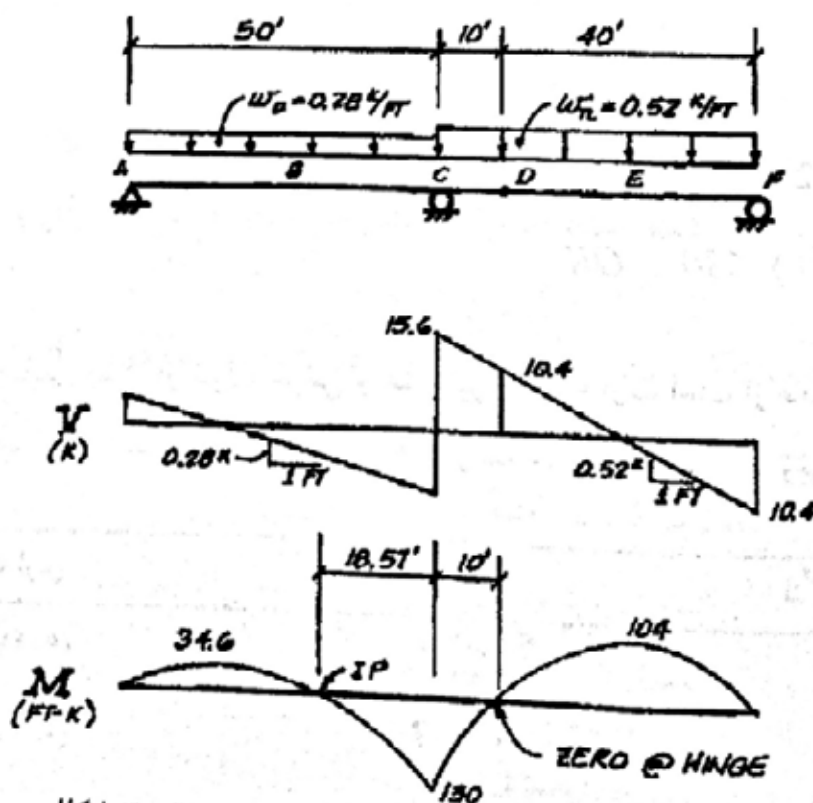
$$M = \frac{wL^2}{8} = \frac{0.52 (50)^2}{8} = 162 \text{ ft} - k > 130$$

حالت ۲ بارگذاری: (Lr غیر متعادل بر روی دهانه چپ + D)



شکل ۶-۲۷c نمودارهای بارگذاری، برش و لنگر برای حالت ۲ بارگذاری

حالت ۳ بارگذاری: (Lr نامتعادل بر روی دهانه چپ + D)



شکل ۶-۲۷d نمودارهای بارگذاری، برش و لنگر برای حالت ۳ بارگذاری

مشاهده می‌شود که لنگر حداکثر مثبت و منفی در عضو AD با یکدیگر برابر هستند. یادآوری می‌شود که تنش مجاز خمشی در یک چسب الوار، کمترین مقدار بر اساس معیارهای زیر است:

$$F'_b = F_{bx} (C_D) (C_M) (C_t) (C_V)$$

اثر حجم

$$F'_b = F_{bx} (C_D) (C_M) (C_t) (C_L)$$

پایداری جانبی

اندازه آزمایشی تیر با استفاده از ضریب حجم به دست می‌آید. سپس با توجه به پایداری جانبی کنترل می‌شود.

اثر حجم

با یک مقدار فرضی برای C_V محاسبات را شروع می‌کنیم و سپس آن را کنترل می‌کنیم. ضریب تداوم بار برای ترکیب $(D + L_r)$ برابر $C_D = 1.25$ است. C_M و C_t برای واحد هستند. تنش‌های فهرست شده نیز در جدول 5A از مکمل NDS آورده شده است. فرض می‌کنیم $C_V = 0.90$ باشد:

$$F'_b = F_{bx} (C_D) (C_M) (C_t) (C_V)$$

$$= 2200 (1.25) (1.0) (1.0) (0.90) = 2475 \text{ psi}$$

$$S = \frac{M}{F'_b} = \frac{1,560,000}{2475} = 630 \text{ in}^3$$

به جدول 1C از مکمل NDS مراجعه کرده و یک چسب الوار را انتخاب می‌نماییم (انواع غربی) که با حداقل سطح مقطع، مدول مقطعی بیشتر از آنچه مورد نیاز است را تأمین کند.

فرض:

$$5 \frac{1}{8} \times 28 \frac{1}{2} \text{ (چسب الوار (22F-V8 DF))}$$

$$S = 693.8 \text{ in}^3 > 630 \text{ OK}$$

بررسی CV

ضریب حجم تابعی است از طول، عرض و عمق تیر. طول عبارت است از فاصله بین نقاط با لنگر صفر. فاصله بین نقاط با لنگر صفر برای عضو AD برای هر سه حالت بارگذاری در زیر آمده است:

لنگر منفی	لنگر مثبت	حالت بارگذاری
$L = 10 + 10$ $= 20 \text{ ft}$	$L = 50 - 10$ $= 40 \text{ ft}$	۱ (شکل ۲۷b-۶)
$L = 5.38 + 10$ $= 15.38 \text{ ft}$	$L = 50 - 5.38$ $= 44.62 \text{ ft}$	۲ (شکل ۲۷c-۶)
$L = 18.57 + 10$ $= 28.57 \text{ ft}$	$L = 50 - 18.57$ $= 31.43 \text{ ft}$	۳ (شکل ۲۷d-۶)

فاصله حداکثر بین نقاط با لنگر صفر برابر 44.62 ft است. (توجه کنید که انتخاب طول $L = 50$ ft محافظه کارانه است).

$$C_v = K_L \left(\frac{21}{L} \right)^{\frac{1}{10}} \left(\frac{12}{d} \right)^{\frac{1}{10}} \left(\frac{5.125}{b} \right)^{\frac{1}{10}} \leq 1.0$$

$$= 1.0 \left(\frac{21}{44.62} \right)^{0.1} \left(\frac{12}{28.5} \right)^{0.1} \left(\frac{5.125}{5.125} \right)^{0.1}$$

$$= 0.851 < 1.0$$

فرض کردن $C_v = 0.9$ محافظه کارانه نبوده است. بنابراین، ابعاد آزمایشی را با مقایسه کردن مقدار تنش واقعی با تنش مجاز خمشی بررسی می‌نماییم:

$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{1,560,000}{693.8} = 2250 \text{ psi}$$

$$F'_b = F_{bx} (C_D) (C_M) (C_t) (C_v)$$

$$= 2200 (1.25) (1.0) (1.0) (0.851)$$

$$= 2340 \text{ psi} > 2250$$

پس با استفاده از ضریب حجم در تیر آزمایشی تنش خمشی مورد تأیید است.

پایداری جانبی

در منطقه لنگر خمشی مثبت، دیافراگم سقف به صورت پیوسته به قسمت بالای تیر متصل شده است. بنابراین، در جایی که لنگر مثبت است، تکیه گاه جانبی سرتاسری داریم و مشکل پایداری جانبی وجود ندارد.

بنابراین در منطقه با لنگر خمشی منفی، قسمت فشاری (پایین) عضو، در حد فاصل بین مفصل و ستون و در حد فاصل بین ستون و نقطه عطف فاقد تکیه گاه جانبی است. فاصله بین نقاط تکیه گاه جانبی برای عضو AD در حالات مختلف بارگذاری آمده است.

لنگر منفی	حالت بارگذاری
$\ell_{u \max} = 10 \text{ ft}$	۱ (شکل ۶-۲۷b)
$\ell_{u \max} = 10 \text{ ft}$	۲ (شکل ۶-۲۷c)
$\ell_{u \max} = 18.57 \text{ ft}$	۳ (شکل ۶-۲۷d)

حداکثر طول مهار نشده 18.57 ft می‌باشد. محاسبه ضرایب پایداری جانبی C_L برای طول مهار نشده 18.57 ft به صورت جداگانه انجام شده و نشان داده نشده است. ضریب پایداری جانبی برای $\ell_u = 18.57$ ft موجب کاهش تنش مجاز خمشی (شکل ۶-۲۷b) در بین ستون و نقطه عطف به کار خواهد رفت. این مهار بند میانی به گونه‌ای قرار خواهد گرفت که ℓ_u در سمت چپ ستون 10 ft یا کمتر باشد. بنابراین، حداکثر طول مهار نشده در سمت چپ و راست ستون 10 ft است. محاسبات مربوط به مشخص کردن اثر طول مهار نشده 10 ft بر روی تنش مجاز خمشی را نشان دهید.

$$\ell_u = 10 \text{ ft} = 120 \text{ in}$$

نسبت لاغری برای تیر R_B :

طول مهار نشده مؤثر در مثال ۸-۶ (بخش ۳-۶) و جدول 3-3-3 مکمل NDS آمده است. برای قسمت طره یک تیر ساده با هر نوع بارگذاری، تعیین ℓ_e به نسبت $\frac{\ell_u}{d}$ بستگی دارد.

$$\frac{\ell_u}{d} = \frac{120}{28.5} = 4.21 < 7$$

$$\ell_e = 2.06 \ell_u = 2.06 (120) = 247 \text{ in}$$

$$R_B = \sqrt{\frac{\ell_e d}{b^2}} = \sqrt{\frac{247 (28.5)}{(5.125)^2}} = 16.38$$

ضرایب لازم برای محاسبه ضریب پایداری تیر C_L :

$$E'_y = E_y (C_M) (C_t) = 1,600,000 (1.0) (1.0) = 1,600,000 \text{ psi}$$

$$F_{bE} = \frac{K_{bE} E'_y}{R_B^2} = \frac{0.61 (1,600,000)}{(16.38)^2} = 3638 \text{ psi}$$

$$F_b^* = F_{bx} (C_D) (C_M) (C_t) = 2200 (1.25) (1.0) (1.0) = 2750 \text{ psi}$$

$$\frac{F_{bE}}{F_b^*} = \frac{3638}{2750} = 1.323$$

$$\frac{1 + \frac{F_{bE}}{F_b^*}}{1.9} = \frac{1 + 1.323}{1.9} = 1.223$$

$$C_L = \frac{1 + \frac{F_{bE}}{F_b^*}}{1.9} - \sqrt{\left(\frac{1 + \frac{F_{bE}}{F_b^*}}{1.9} \right)^2 - \frac{\frac{F_{bE}}{F_b^*}}{0.95}}$$

$$= 1.223 - \sqrt{1.223^2 - \frac{1.323}{0.95}}$$

$$= 0.903$$

تنش مجاز خمشی

$$F'_b = F_{bx} (C_D) (C_M) (C_t) (C_L)$$

$$= 2200 (1.25) (1.0) (1.0) (0.903)$$

$$= 2480 \text{ psi} > f_b = 2250 \text{ OK}$$

پس تنش مجاز خمشی که بر اساس ضریب حجم و ضریب پایداری جانبی به دست می‌آید، هر دو جواب می‌دهند.

برش:

(به صورت محافظه کارانه از برش کاهش یافته V' صرف نظر شده است) $V = 15.6$ حداکثر

$$f_v = \frac{1.5 V}{A} = \frac{1.5 (15,600)}{146.1} = 160 \text{ psi}$$

$$F'_v = F_v (C_D) (C_M) (C_t) (C_H)$$

$$= 165 (1.25) (1.0) (1.0) (1.0)$$

$$= 206 \text{ psi} > 160 \text{ OK}$$

ابعاد آزمایشی $5\frac{1}{8} \times 28\frac{1}{2}$ برای خمش و برش عضو AD مناسب می‌باشد.

عضو DF

خمش:

عضو DF در تمام نقاط دارای لنگر مثبت می‌باشد و قسمت فشاری عضو دارای تکیه گاه سرتاسری می‌باشد. بنابراین $e_u = 0$ می‌باشد و مشکلی از نظر پایداری جانبی وجود ندارد. با استفاده از ضریب حجم ابعاد آزمایشی را تعیین می‌کنیم.

$$M = 104 \text{ ft} - k = 1248 \text{ in} - k$$

فرض می‌کنیم $C_v = 0.87$ باشد:

$$F'_b = F_{bx} (C_D) (C_M) (C_t) (C_v) \\ = 2200 (1.25) (1.0) (1.0) (0.87) = 2390 \text{ psi}$$

$$S = \frac{M}{F'_b} = \frac{1,248,000}{2,390} = 522 \text{ in}^3$$

مورد نیاز

از یک چسب الوار با عرض $5\frac{1}{8} \text{ in}$ در جدول 1C از مکمل NDS استفاده می‌نماییم.

فرض:

$$5\frac{1}{8} \times 25\frac{1}{2} \text{ (22F-V8 DF) چسب الوار}$$

$$S = 555.4 \text{ in}^3 > 522 \text{ OK}$$

بررسی C_v :

$$C_v = K_L \left(\frac{21}{L} \right)^{\frac{1}{10}} \left(\frac{12}{d} \right)^{\frac{1}{10}} \left(\frac{5.125}{b} \right)^{\frac{1}{10}} \leq 1.0 \\ = 1.0 \left(\frac{21}{40} \right)^{0.1} \left(\frac{12}{25.5} \right)^{0.1} \left(\frac{5.125}{5.125} \right)^{0.1} \\ = 0.870 < 1.0$$

مقدار واقعی و فرضی C_v با یکدیگر برابر هستند و ابعاد آزمایشی برای خمش جوابگو می‌باشد. به هر حال مقایسه بین تنش مجاز خمشی و تنش خمشی واقعی در زیر نشان داده شده است.

$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{1,248,000}{555.4} = 2,245 \text{ psi}$$

$$F'_b = F_b (C_D) (C_M) (C_t) (C_v) \\ = 2200 (1.25) (1.0) (1.0) (0.87) \\ = 2390 \text{ psi} > 2245 \text{ OK}$$

برش:

با صرف‌نظر از کاهش $V = 10.4 \text{ K}$ حداکثر

$$f_v = \frac{1.5 V}{A} = \frac{1.5 (10,400)}{130.7} = 119 \text{ psi}$$

$$\begin{aligned} F'_v &= F_v (C_D) (C_M) (C_t) (C_H) \\ &= 165 (1.25) (1.0) (1.0) (1.0) \\ &= 206 \text{ psi} > 119 \text{ OK} \end{aligned}$$

عضو DF با ابعاد آزمایشی $5\frac{1}{8} \times 25\frac{1}{2}$ برای خمش و برش مناسب می باشد.

تغییر شکل و خم

ابعاد آزمایشی اعضاء AD و DF با توجه به تنش های خمشی و برشی تعیین شده است. حال به بررسی تغییر شکل می رسیم.

چنانچه محاسبات به صورت دستی باشد، تحلیل تغییر شکل برای یک سیستم تیر طره ای بسیار سخت خواهد بود. این مسأله خصوصاً در حالتی که بارگذاری غیر متعادل مدنظر باشد صادق است. برخی طراحان، به دنبال تحلیل کامل تغییر شکل ها هستند و برخی دیگر نه. اساساً این به احتیاط طراح بستگی دارد، چرا که آیین نامه معیار تغییر شکلی برای سقف ها (به جز آنها که سقف گچی را تحمل می نمایند) در نظر نگرفته است. روش های کامپیوتری می تواند باعث سهولت در تحلیل تغییر شکل ها شود.

برای ساده شدن این مثال، تنها محاسبات تغییر شکل ناشی از بار مرده نشان داده شده است. این محاسبات برای تعیین خم تیر ($\Delta_0 = 1.5$ خم) لازم است.

می توان از روش های مختلفی برای محاسبه تغییر شکل استفاده کرد. در اینجا تغییر شکل بار مرده با استفاده از روابط مربوط به تغییر شکل در کتاب راهنما (مرجع ۵-۶ و ۳-۶) محاسبه شده است. تغییر شکل در سه نقطه محاسبه شده است:

در وسط دهانه AC (نقطه B)

در مفصل (نقطه D)

در وسط دهانه DF (نقطه E)

خم حول محور x است و مدول الاستیسته مربوط به محاسبات تغییر شکل برابر است با:

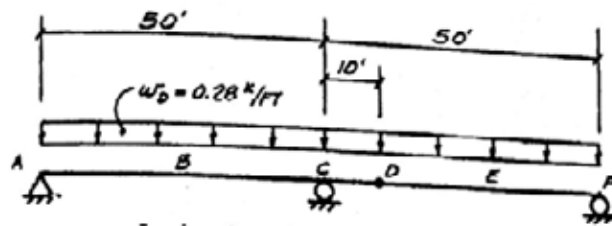
$$\begin{aligned} E'_x &= E_x (C_M) (C_t) \\ &= 1,700,000 (1.0) (1.0) = 1,700,000 \text{ psi} \end{aligned}$$

مشخصات مقطع

عضو AD $I_x = 9,887 \text{ in}^4$

عضو DF $I_x = 7,082 \text{ in}^4$

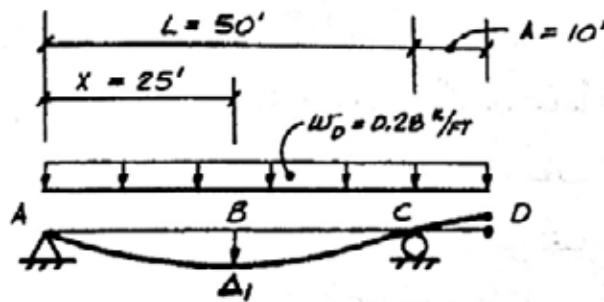
تذکره: برآورد که در این مثال نیز آمده است مربوط به تغییر شکل طولانی مدت است. حداقل شیب سقف $\frac{1}{4} \text{ in/ft}$ (علاوه بر در نظر گرفتن تغییر شکل طولانی مدت ناشی از بار مرده) برای زهکشی و جلوگیری از گود شدن لازم است.



شکل ۶-۲۷e بارگذاری برای خم

خم در B:

تغییر شکل در B بر اساس بار یکنواخت بر روی عضو AD:



شکل ۶-۲۷f

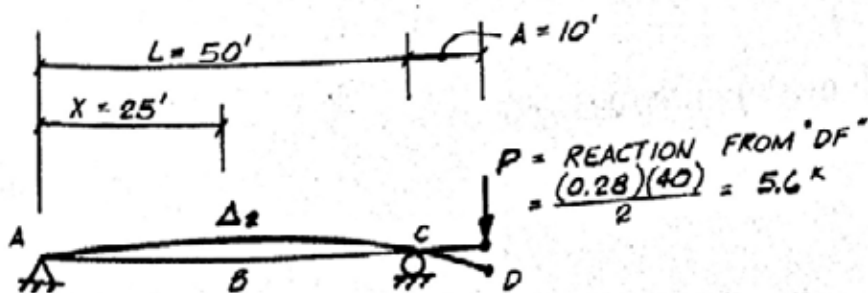
$$\Delta_1 = \frac{wx}{24 E'IL} (L^4 - 2L^2x^2 + Lx^3 - 2A^2L^2 + 2A^2x^2)$$

$$= \frac{(0.28)(25)(12 \text{ in/ft})^3}{24 (1,700) (9,887) (50)} [(50)^4 - 2(50)^2(25)^2$$

$$+ 50(25)^3 - 2(10)^2(50)^2 + 2(10)^2(25)^2]$$

$$= 2.12 \text{ in (پایین)}$$

تغییر شکل در B در اثر بارگذاری عضو DF:



شکل ۶-۲۷g

$$\Delta_2 = \frac{PA_x}{6 E'IL} (L^2 - x^2)$$

$$= \frac{(5.6)(10)(25)(12)^3}{6(1700)(9887)(50)} [(50)^2 - (25)^2]$$

$$= 0.90 \text{ in بالا}$$

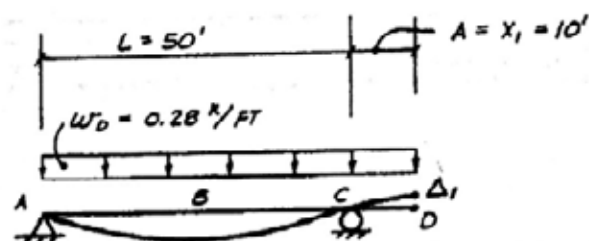
$$\Delta_D = \Delta_1 + \Delta_2 = 2.12 - 0.90$$

$$= 1.22 \text{ in (پایین)}$$

$$= 1.5 \Delta_D = 1.5(1.22) \quad \text{خم در نقطه B}$$

$$= 1.83 \approx 1\frac{7}{8} \text{ in (بالا)}$$

خم در مفصل D:



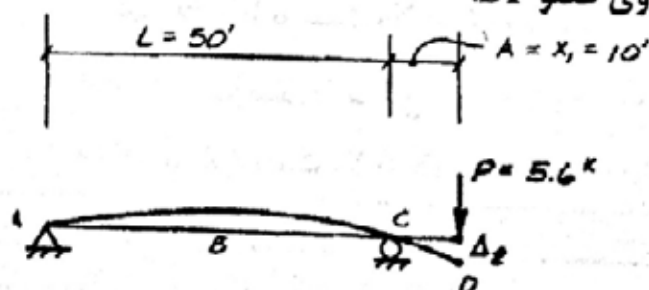
شکل ۶-۲۷h

$$\Delta_1 = \frac{w_{x1}}{24E'I} (4A^2I - L^3 + 6A^2x_1 - 4Ax_1^2 + x_1^3)$$

$$= \frac{(0.28)(10)(12 \text{ in/ft})^3}{24(1700)(9887)} [(4)(10)^2(50) - (50)^3 + 6(10)^2(10) - 4(10)^2 + (10)^3]$$

$$= 1.22 \text{ in (بالا)}$$

تغییر شکل D در اثر بار روی عضو DF:



شکل ۶-۲۷i

$$\Delta_2 = \frac{Px_1}{6E'I} (2AL + 3Ax_1 - x_1^2)$$

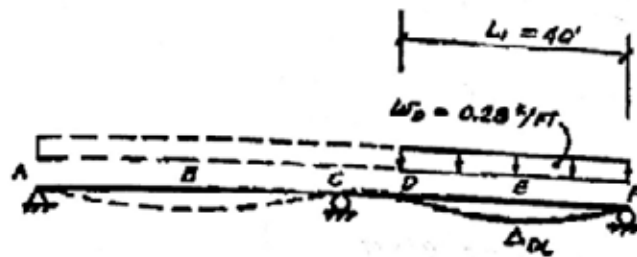
$$= \frac{(5.6)(10)(12)^3}{6(1700)(9887)} [(2)(10)(50)] + 3(10)(10) - (10)^2]$$

$$= 1.15 \text{ in (پایین)}$$

$$\Delta_D = \Delta_1 + \Delta_2 = -1.22 + 1.15 = -0.07 \text{ in (خیلی کوچک است)}$$

برای مفصل D خم در نظر نمی‌گیریم.

خم در نقطه E: در یافته ایم که تکیه گاه چپ عضو DF (یعنی مفصل) تغییر شکل بسیار کمی دارد. محاسبه تغییر شکل نقطه E محاسبه تغییر شکل یک تیر ساده است.



شکل ۶-۲۷

$$\Delta_D = \frac{5 w L_1^4}{384 E I} = \frac{5 (0.28) (40)^4 (12)^3}{384 (1,700) (7,082)} = 2.34 \text{ in (پایین)}$$

$$\text{خم در نقطه E (بالا)} = 1.5 \Delta_D = 1.5 \times 1.34 \approx 2 \text{ in}$$

$$5 \frac{1}{8} \times 28 \frac{1}{2} \quad \text{برای عضو AD}$$

$$5 \frac{1}{8} \times 25 \frac{1}{2} \quad \text{برای عضو DF}$$

از چسب الوار DF - V8 - 22F

$$\text{خم: } 1 \frac{7}{8} \text{ in به سمت بالا در نقطه B}$$

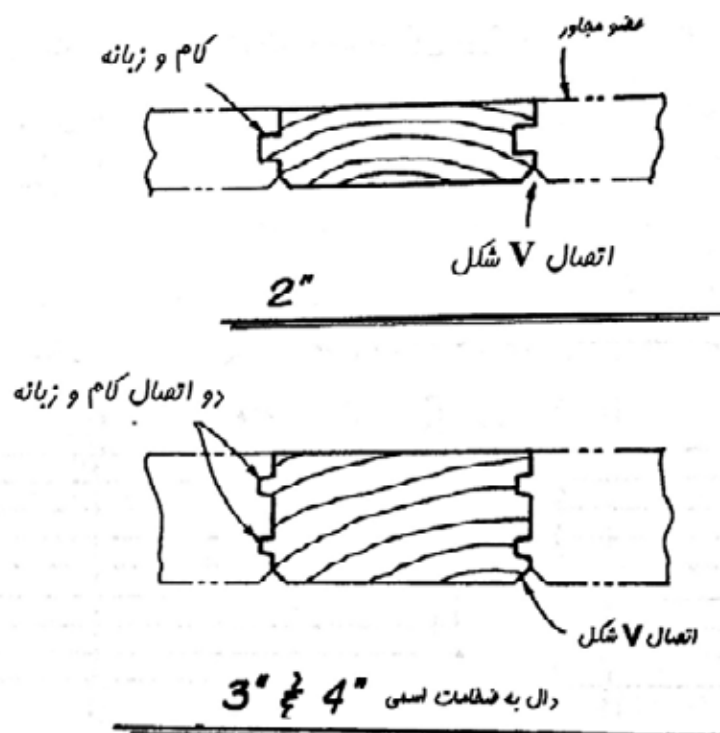
خم صفر در مفصل D

$$2 \text{ in به سمت بالا در نقطه E}$$

۱۸-۶ الوارهای سقف و دال کف

الوارهای پوششی (به ضخامت اسمی lin) می‌تواند برای دهانه بین تیرهای سقف با فاصله کم از یکدیگر به کار رود و غالباً تخته‌های چند لایه و سایر پانل‌های چوبی ساختمانی برای این منظور به کار می‌روند. تخته‌های چند لایه و سایر محصولات پانلی، در فصل ۸ توضیح داده شده است.

برای دهانه‌های بلند از الوارهای کف استفاده می‌شود و به آن «دال یکپارچه» یا «دال لایه ای» می‌گویند. دال یکپارچه از الوارهای خشک ساخته می‌شوند و در درجه‌های مختلف برای بسیاری از انواع چوب‌های تجاری موجود می‌باشد. اندازه‌های متعادل عبارتند از 2×3 و 3×6 و 4×6 (اندازه‌های اسمی). لایه‌ها دارای انواع متنوعی هستند ولی لایه‌های کام و زیانه تقریباً متداول‌ترین آنها هستند. به شکل ۶-۲۸ توجه نمایید. یک کام و زیانه ساده برای دال به ضخامت اسمی ۲ in به کار رفته و برای ضخامت‌های بیشتر از یک جفت کام و زیانه استفاده شده است.

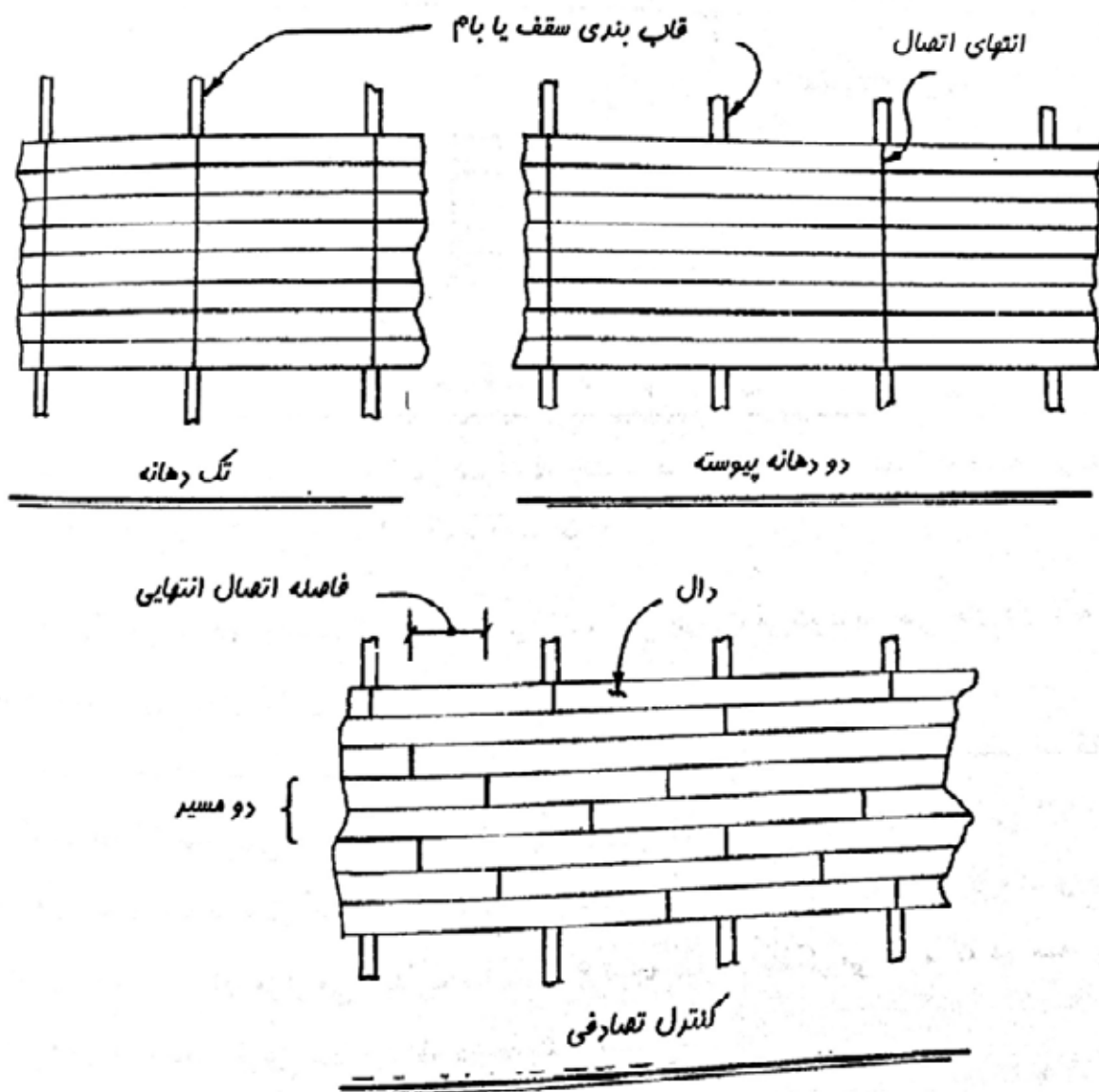


شکل ۶-۲۸ دال یکپارچه کف. چنانچه بالای کف آشکار باشد و جنبه معماری داشته باشد، انواع متنوعی پوشش کف می‌تواند به کار رود. این طرح‌ها انواع درز V شکل را نشان می‌دهد.

دال لایه لایه به هم چسبیده از سه لایه یا بیشتر، مستقل درست می‌شود. در عین حال دال لایه لایه به هم چسبیده دارای الگوی کام و زیانه در لایه‌های خود می‌باشد. دال‌ها اساساً همانند یک سری تیر موازی می‌باشند که در حد فاصل تیرچه‌های سقف یا کف قرار می‌گیرند. معمولاً تنش خمشی یا تغییر شکل، بر بار مجاز کف حاکم است. دهانه‌ها بین ۳ تا ۲۰ فوت متغیر می‌باشند و عمدتاً به بارگذاری، نوع دهانه، درجه و ضخامت دال بستگی دارند. لایه بندی دال‌ها بر روی ظرفیت باربری آنها مؤثر می‌باشد. به مثال ۶-۲۹ توجه نمایید. متذکر می‌شویم که در همه جا دال‌ها برای خمش حول محور فرعی سطح مقطع درجه بندی شده اند.

مثال ۲۹-۶ لایه بندی دال ها

لایه بندی به ترتیب اتصالات (درزهای) انتهای دال بر می گردد. در مرجع ۵-۶، پنج نوع متعارف لایه بندی آورده شده است که سه مورد از آن در شکل ۲۹-۶ نشان داده شده است. لایه بندی کنترل شده در هم اقتصادی است و نیازمند آن است که اتصالات انتهایی در نزدیکی یکدیگر دندانه دندانه شده باشند. حداقل فاصله بین اتصالات انتهایی برای دال به ضخامت اسمی ۲ اینچ، ۲ فوت می باشد و برای ضخامت های اسمی ۳ و ۴ اینچ، ۴ فوت است. ضمناً، اتصالات انتهایی که در یک خط انتقال قرار دارند، بایستی به وسیله حداقل دو رشته از یکدیگر جدا شوند. اتصالات انتهایی می تواند به وسیله اتصال مکانیکی کام و زبانه یا به وسیله تسمه های چوبی یا فلزی به منظور کمک به انتقال بار به یکدیگر قفل شوند. برای سایر موارد به مرجع ۵-۶ توجه نمایید.



شکل ۲۹-۶ سه نوع لایه بندی دال

TCM ضرایب مربوط به خمش و تغییر شکل را برای انواع لایه بندی ارائه می کند که این می تواند به منظور محاسبه ضخامت مورد نیاز دال به کار رود. ولی، طراحان غالباً به جداول مربوط به طول دهانه و بارگذاری مجاز دال ها مراجعه نمایند. جدول IV-23 از UBC، دهانه مجاز برای دال کام و زبانه ای به ضخامت ۲ اینچ را ارائه کرده است. مرجع ۵-۶ جداول بارگذاری مجاز را برای دهانه ساده و با لایه بندی درهم برای انواع مختلف ضخامت ها ارائه کرده است.

۱۹-۶- محصولات ساخته شده چوبی

انواع محصولات چوبی مرکب در این کتاب با جزئیات آمده است. این محصولات شامل چسب الوارها (فصل ۵) و تخته های چند لایه و سایر محصولات پانلی سازه ای چوبی (فصل ۸) می باشد. علاوه بر اینها، بسیاری از اعضاء دیگر چوبی می تواند به عنوان تیر در سیستم های سقف یا کف به کار رود. بسیاری از این محصولات به عنوان محصولات اختصاصی هستند و بنابراین معیارهای طراحی و مشخصات مصالح ممکن است از تولید کننده ای به تولید کننده دیگر متفاوت باشد.

هدف این بخش توضیح برخی از این محصولات چوبی است که می تواند در سازه های متداول با اسکلت چوبی به کار رود. ممکن است طراحی برخی از این محصولات به وسیله تولید کننده انجام شود. به عنوان مثال، ممکن است مهندس طراح برای یک ساختمان سیستم مشخصی را برای سقف ارائه کند. پس از آنکه فاصله بین اعضاء مشخص شده است و بارگذاری معین شده است، گروه مهندسی می تواند محصولی را طراحی کند که در این مورد بخصوص به کار رود.

برای سایر محصولات، مهندس پروژه می تواند از اطلاعات مشخصی که به وسیله تولید کننده ارائه می شود استفاده کند تا ابعاد عضو مورد نظر را به دست آورد. اطلاعاتی که به وسیله تولید کننده ارائه می شود، می تواند به صورت جداول بار - دهانه و یا تنش های مجاز و مشخصات مقطع باشد. در مراحل اول طراحی، همکاری بین طراح و تولید کننده بسیار مهم است. در عین حال طراح بایستی مشخصات محصول و معیارهای طراحی مربوطه آن را بر اساس آیین نامه محلی بررسی نماید.

محصولات چوبی که در این کتاب آمده است عبارتند از:

۱. الوارهای مرکب ساختمانی (SCL)
- الف) الوارهای ساخته شده روکش دار از لایه های چوبی (LVL)
- ب) الوارهای با الیاف موازی (PSL)
۲. تیرهای چوبی I شکل از پیش ساخته شده
۳. خرپاهای سبک چوبی

«الوارهای مرکب ساختمانی» (SCL) به الوارهای مهندسی گفته می‌شود که در کارخانه ساخته شده اند. اگر چه چسب الوار در فصل ۵ به عنوان یک مصالح مرکب توضیح داده شد، عبارت «الوارهای مرکب ساختمانی» به محصولات چوبی گفته می‌شود که از قطعات کوچکتر چوب تولید شده اند. این محصولات از چسباندن قطعات نازک چوب که خشک شده یا رطوبت آنها کم شده، گفته می‌شود. چسب، یک ماده ضد آب است. با توجه به پروسه‌های تولید، SCLها از نظر ابعاد ثابت هستند و تغییرات کمتری در ابعاد نسبت به الوارهای اره شده دارند.

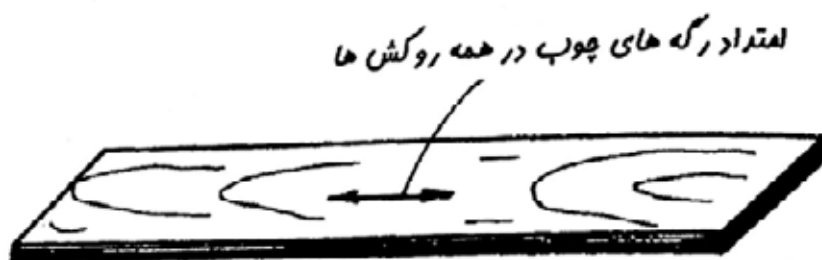
تنش‌های مجاز برای چسب الوارها معمولاً بیشتر از الوارهای یکپارچه اره شده می‌باشد و تنش‌های الوارهای مرکب ساختمانی از چسب الوارها نیز بیشتر می‌باشد. تنش‌های خمشی فهرست شده F_b برای SCL از 2300 تا 3200 psi تغییر می‌کند و تنش برشی فهرست شده از 150 تا 290 psi متغیر است. مثال بعد، شامل دو محصول متداول SCLها که تحت عنوان «روکش الواری چند لایه» (LVL) و «الوارها با الیاف موازی» خوانده می‌شوند می‌باشد.

«روکش الواری چند لایه» (LVL) از نظر روش مشابه چسب الوار و تخته‌های چند لایه می‌باشد. آن را همانگونه که در تخته‌های چند لایه به کار می‌رود، از روکش‌ها می‌سازند. ضخامت روکش عمدتاً بین $\frac{1}{10}$ تا $\frac{1}{6}$ اینچ تغییر می‌کند و از روش برش گرد همانطور که در شکل ۳-۸ آمده است ساخته می‌شود. الوارها از لایه‌های روکش معمولاً از همان نوع چوب‌هایی که در ساخت تخته‌های چند لایه به کار می‌رود ساخته می‌شوند. (یعنی Southern Pine, Douglas Fir-Larch).

بر خلاف تخته‌های چند لایه که دارای لایه‌های متقاطع می‌باشد، روکش‌های LVL در جهت الیاف چوب که تماماً در یک جهت هستند، لایه لایه شده است (یعنی موازی با طول عضو). قرار گرفتن موازی الیاف چوب علت اصلی تنش مجاز بالای SCL می‌باشد. انتخاب درجه روکش و توزیع عیوب در حین عملیات تولید (شبیه به توزیع عیوب در چسب الوارها، به شکل ۳-۵ توجه کنید). عوامل دیگر در بالا بودن مقادیر تنش موثر می‌باشد. لایه بندی روکش در LVL می‌تواند از الگویی مشابه چسب الوارها باشد تا مقاومت لازم را فراهم کند.

در عین حال LVL در یک پروسه تولید یکپارچه در کارخانه و یا در طول‌های مشخص ساخته می‌شود. طول‌های مشخص تابع اندازه پرس در کارخانه می‌باشد. ولی با اتصال انتهایی اعضا می‌توان هر طول دیگری را به دست آورد. از لایه‌های روکش در ورقه‌ها یا نوارهایی که از $\frac{3}{4}$ تا $3\frac{1}{2}$ اینچ ضخامت تغییر می‌کند ساخته می‌شوند و می‌تواند دارای ۴ فوت عرض و ۸۰ فوت طول باشد. سپس نوار به اندازه‌های مورد نیاز برای کار خاص بریده می‌شود. به مثال ۳۰-۶ توجه نمایید.

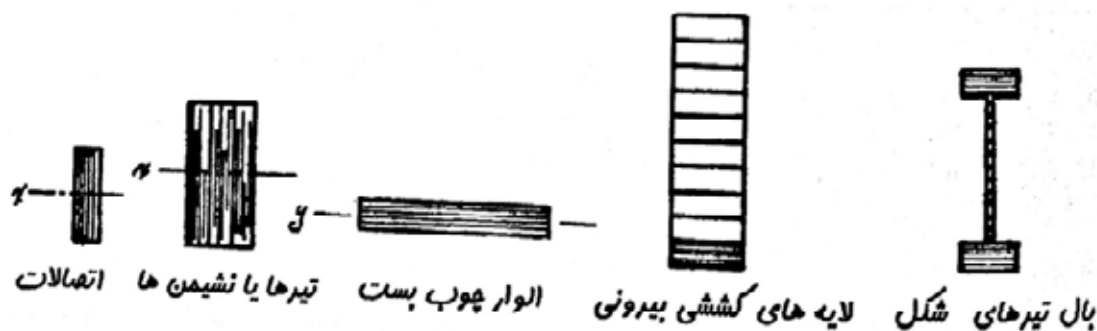
مثال ۶-۳۰. روکش از الوار چند لایه



لوارى از روکش الوارى متداول

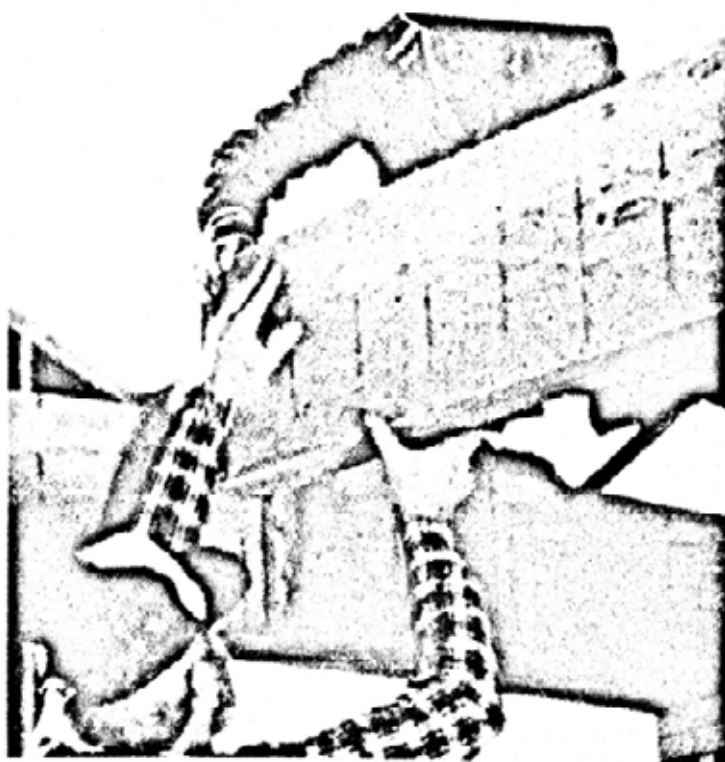
شکل ۶-۳۰a لوارى از روکش الوارى چند لایه

روکش الوارى چند لایه، از چسباندن ورقه‌های روکش به یکدیگر و تشکیل پانل‌هایی که نوار نامیده می‌شود، ساخته می‌شود. بر خلاف لایه‌های متقاطع روکش‌ها در تخته‌های چند لایه (بخش ۸-۳)، LVL دارای روکش‌هایی با الیاف موازی با طول نوار می‌باشد. قطعات LVL بریده نوارهایی است که برای کارهای دیگر بریده شده است. به شکل ۶-۳۰b توجه نمایید.



شکل ۶-۳۰b کاربردهای متداول LVLها

از الوار با لایه‌های روکش در تیرها، تیرچه‌ها، شاه تیرها و تخته‌های چوب بست استفاده می‌شود. در تیرها و شاه تیرها ممکن است به چند لایه از LVL نیاز داشته باشیم تا به عرض لازم عضو برسیم. در عین حال LVL می‌تواند برای لایه‌های کششی با کیفیت بالا در چسب الوارها به کار رود. کاربری‌های دیگری در ساخت بال تیرچه‌های I شکل چوبی پیش ساخته و اعضاء خرپاها دارد. دو تیر LVL در شکل ۶-۳۰-۵ نشان داده شده است.



شکل ۳۰۰-۶ تیر از الوار با لایه‌های روکش (عکس از شرکت تیرچه و خریای McMillan)

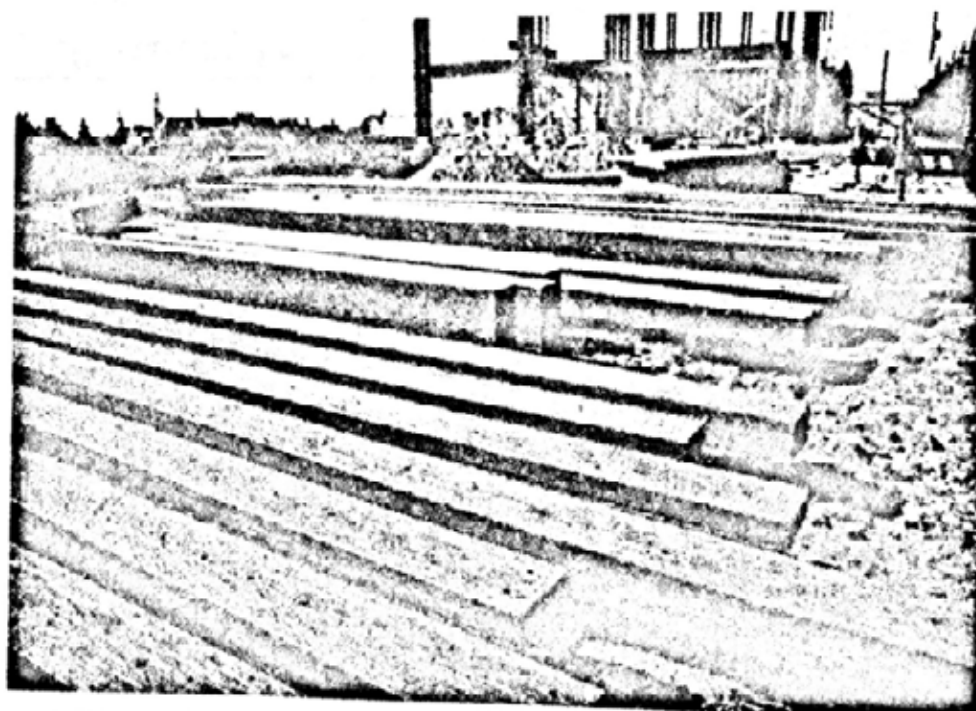
استفاده از LVL در جایی که هزینه اضافی مصالح با توجه به افزایش مقاومت آن و اطمینان بیشتر آن مورد نظر است، اقتصادی خواهد بود.

در حال حاضر دو نوع «الوار با الیاف موازی» (PSL) تولید می‌شود. یک نوع از همان انواع چوبی که تخته چند لایه از آن ساخته می‌شود تولید می‌گردد. (یعنی Douglas Fir-Larch و Southern Pine). با یک ورقه روکش که از الیاف باریک به عرض تقریبی $\frac{1}{2}$ اینچی و به طول بیش از ۸ فوت بریده شده است شروع می‌شود. الیاف خشک، دارای یک پوشش از چسب ضد آب هستند و با یکدیگر تحت فشار و گرما متصل شده‌اند.

جهت الیاف به گونه‌ای است که الیاف موازی با طول عضو باشد (علت اسم گذاری همین است). نوع دوم PSL ها از درخت‌های با قطر کم Aspen ساخته شده است که به دلیل اندازه، قبلاً در کارهای ساختمانی به کار نمی‌رفته است. دستگاه‌های تخته بر برای درختان کم قطر به کار می‌رود (به جای ابزاری که روکش را به صورت پوست می‌کند) تا تخته‌هایی به عرض تقریبی $\frac{1}{2}$ اینچ و ضخامت 0.03 اینچ و به طول ۱ فوت تولید نمایند. در عین حال تخته‌ها چسبانده شده‌اند و تحت فشار و حرارت به هم دست شده‌اند.

هر دو نوع «الوار با الیاف موازی» (یعنی نوعی که از الیاف یا تخته ساخته می‌شوند) در نهایت به محصولی که نوار نامیده می‌شود تبدیل می‌شود. نوارهای PSL شبیه به LVL است (شکل ۶-۳۰a) اما اندازه آنها متفاوت است. نوارهای PSL می‌تواند به بزرگی ۱۲ اینچ عرض، ۱۷ اینچ عمق و ۶۰ فوت طول باشد. بار دیگر می‌گوییم که ابعاد نهایی برای کارهای اجرایی با بریدن نوارها به دست می‌آید. الوارها با الیاف موازی می‌تواند به تنهایی به عنوان یک الوار سازه‌ای با درجه بالا برای تیرها یا ستون‌ها به کار رود. به مثال ۶-۳۱ توجه نمایید. ممکن است برای استفاده در تولید دیگر محصولات ساختمانی مشابه کاربرد LVL در مثال ۶-۳۰ به کار رود.

مثال ۶-۳۱ الوار با الیاف موازی



شکل ۶-۳۱a الوار با الیاف موازی (عکس از شرکت تی‌رچه و خرپای MacMillan)

الوار با الیاف موازی، از الیاف یا تخته‌های چوبی که الیاف آنها موازی با طول عضو است ساخته می‌شود. با این نوع از SCLها اعضاء با کیفیت بالای چوب در ابعاد بزرگ امکان‌پذیر می‌شود. به شکل ۶-۳۱a توجه نمایید. در زیر به کار بردن تیرها و ستون‌هایی که از نظر معماری آشکار هستند نشان داده شده است. به شکل ۶-۳۱b توجه نمایید.



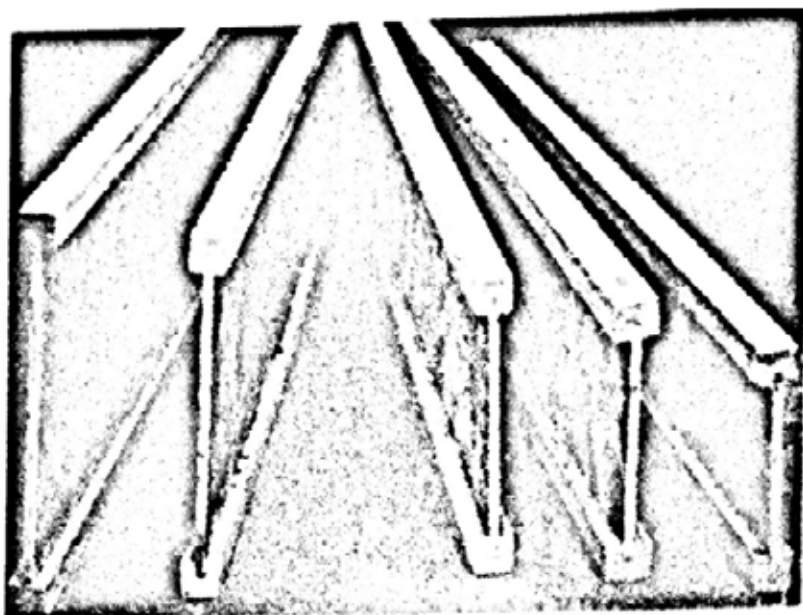
شکل b-۳۱-۶ تیرها و ستون‌های PSL (عکس از شرکت تیرچه و خرپای MacMillan)

استفاده از محصولات چوبی پیش ساخته، در سال‌های اخیر شدیداً افزایش یافته است. بیشترین مورد استفاده این اعضا مرکب، تیرچه‌های I شکل چوبی است. به مثال ۶-۳۲ توجه نمایید. تیرچه‌های I شکل چوبی به دو دلیل، اعضا خمشی بهینه‌ای هستند. اول آنکه، شکل سطح مقطع آنها بهینه است. تیرهای فولادی پر طرفدار (بال پهن و S شکل) شکلی شبیه به این مقطع دارند. بال‌های بزرگ دور از تار خشی مقطع قرار دارند، بنابراین ممان اینرسی و مدول مقطع را افزایش می‌دهند. به عبارت دیگر، شکل مقطع بهینه است زیرا بال‌ها در جایی از سطح مقطع قرار گرفته‌اند که بهترین کاربری را دارند: در نقطه‌ای با حداکثر تنش. جان نسبتاً باریک به طولی است که مقاومت برشی کافی را تحمل نماید.

ثانیاً، تیرچه‌های I شکل چوبی از نقطه نظر مصرف مصالح نیز بهینه است. بال‌ها تحت تنش کششی و فشاری هستند که حاصل انحناء در عضو می‌باشد. مصالحی که در بال تیرچه‌های I شکل چوبی به کار می‌رود دارای مقاومت فشاری و کششی بالا می‌باشد. برخی کارخانجات از بال‌های ساخته شده از الواراره شده استفاده می‌کنند، ولی استفاده از الوار با لایه‌های روکش در بال‌ها متداول‌تر است.

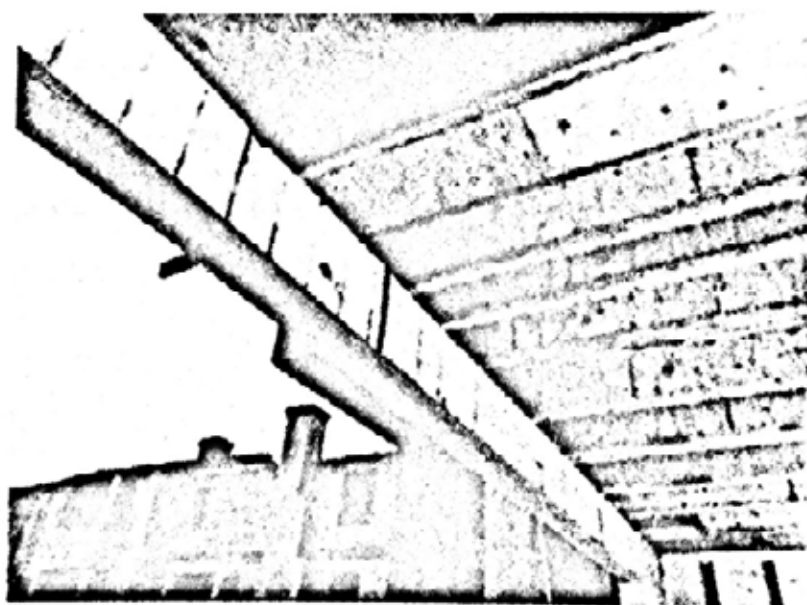
اگر چه اصولاً لنگر خمشی به وسیله بال‌ها تحمل می‌شود، لازم به یادآوری است که اصولاً برش به وسیله جان تیرچه I شکل تحمل می‌شود. تیرچه‌های I شکل چوبی با استفاده از مصالحی که در برش قوی هستند، بهینه می‌شود. تخته‌های چند لایه و پانل‌های با الیاف هم جهت علاوه بر کاربرد به عنوان مصالح جان، در تیرهای ساخته شده از چوب با برش بالا به کار می‌روند مانند دیافراگم‌های افقی (فصل ۹) و دیوارهای برشی (فصل ۱۰).

مثال ۶-۳۲ تیرچه‌های I شکل چوبی پیش ساخته



شکل ۶-۳۲a تیرچه‌های I شکل چوبی پیش ساخته (عکس از شرکت Louisiana - Pacific)

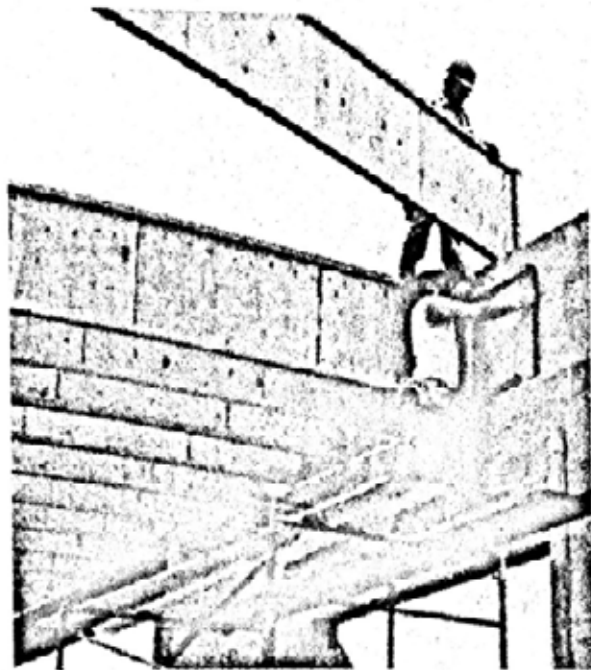
در گذشته، تیرچه‌های I شکل چوبی پیش ساخته، با بالهایی از الوار اره شده، و جانی از تخته‌های چند لایه ساخته می‌شده است. اما، تیرچه‌های I شکل اخیر، از محصولات چوبی جدیدتر ساخته می‌شود. به عنوان مثال، الوار با لایه‌های روکش (LVL) برای بال‌ها به کار می‌رود و تخته‌های با الیاف هم جهت (OSB) برای مصالح جان (شکل ۶-۳۲a)



شکل ۶-۳۲b تیرچه‌های I شکل چوبی که بر روی شاه تیرهای LVL نشسته اند (عکس از شرکت تیرچه و خرپای MacMillan)

تیرچه‌های I شکل چوبی پیش ساخته در مواردی، خصوصاً به عنوان اعضاء تکراری، استفاده وسیعی پیدا کرده است. (شکل c، ۶-۳۲b). ممکن است برای انتقال بار تکیه گاهی در لهیدگی و یا برای انتقال بار

متمرکز از بال به جان، به سخت کننده‌های جان نیاز باشد. برای انواع اتصالات، محصولات پیش ساخته فلزی وجود دارد. (به دلیل آنکه سطح مقطع تیرچه I شکل است، بایستی توجهات خاصی برای پایداری عضو در برابر دوران و جابجایی در نظر گرفته شود. به منظور تأمین پایداری این اعضا، توصیه‌های تولید کنندگان برای مهار بندی و بستن این اعضا بایستی ذکر شود).



شکل ۶-۳۲c تیرچه‌های I شکل چوبی به عنوان یکی از اجزاء سیستم سقف در ساختمان‌های با دیوار باربر (عکس از شرکت تیرچه و خرپای McMillan)

تیرچه‌های I شکل مصرف مصالح را بهینه می‌نمایند. به همین دلیل آنها نسبتاً سبک وزن هستند و جابجا کردن آنها در محیط کارگاه به وسیله کارگران بسیار ساده است، علاوه بر مقاومت، عمق مقطع آنها موجب می‌شود نسبت به مصالح مصرف شده اعضا، نسبتاً سخت باشند. تیرچه‌های I شکل چوبی می‌توانند برای دهانه‌های تا ۴۰ یا ۵۰ فوت به کار برده شوند، ولی معمولاً برای دهانه‌های کوتاه‌تر به کار می‌روند. تیرچه‌های I شکل چوبی می‌توانند عمیق و باریک باشند و بنابراین در نصب این اعضا بایستی مراقبت کافی در نظر گرفته شود تا از پایداری مناسب آنها اطمینان حاصل نماییم. اطلاعات مربوط به طراحی تیرهای الواری یا چند لایه در مراجع ۸-۶، ۹-۶ موجود می‌باشد. اطلاعات بیشتر مربوط به طراحی و نصب تیرچه‌های I شکل چوبی مستقلاً توسط تولید کنندگان ارائه می‌شود.

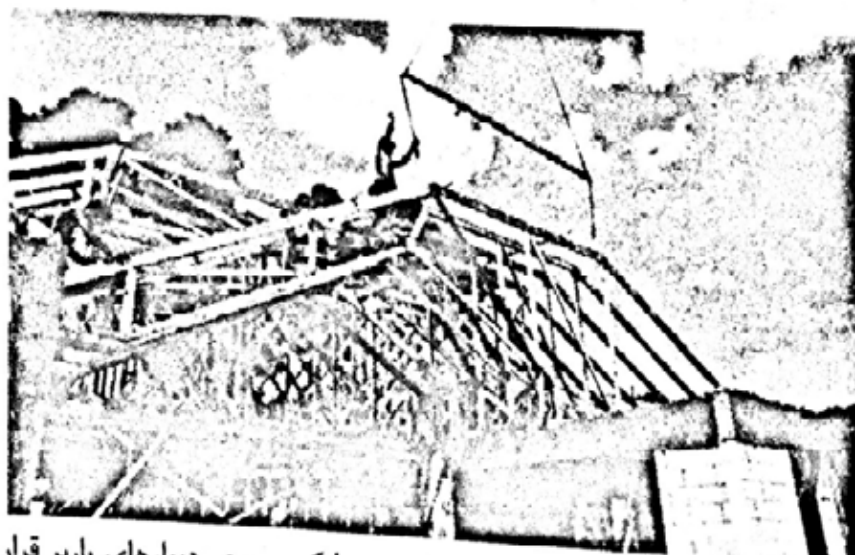
«خرپاهای چوبی» از دیگر محصولات چوبی پیش ساخته می‌باشند. کاربرد خرپاهای چوبی سنگین دارای تاربخچه طولانی است، ولی در حال حاضر خرپاهای سبک چوبی طرفدار بیشتری دارد. عمده سازه‌های مسکونی چوبی و بسیاری از ساختمان‌های صنعتی و تجاری از خرپاهای سبک چوبی با فاصله کم در سیستم‌های سقف و یا کف استفاده می‌نمایند. دهانه متداول این خرپاها تا ۷۵ فوت تغییر می‌کند، اما دهانه‌های بزرگ‌تر نیز امکان پذیر می‌باشد فاصله مرکز به مرکز خرپاها برای سیستم کف، بین ۱۶ تا ۲۴ فوت

و برای سقف‌ها تا ۸ فوت می‌باشد. برخی کارخانجات، خرپاهایی می‌سازند که دارای بال‌های بالا و پایین چوبی و جان فولادی می‌باشند. ولی عمده تولید کنندگان خرپا، از ورقه‌های فلزی دنداندار ارزان قیمت برای اتصال بال‌های چوبی به جان چوبی اعضاء استفاده می‌نمایند. به مثال ۶-۳۳ توجه نمایید. صفحات فلزی دارای دندان‌هایی هستند که به وسیله پرس صفحات فلزی تولید می‌شود. صفحات فلزی در روی اعضاء قرار گرفته اند تا آنها را به یکدیگر متصل نمایند و دندان‌ها در داخل چوب فرو می‌روند.

مثال ۶-۳۳ خرپاهای سبک وزن چوبی



شکل ۶-۳۳a خرپاهای چوبی با لوله‌های فولادی در جان. خرپاها در شکل بر روی یک عضو چوبی که به یک تیر بال پهن فولادی متصل شده، نشسته اند. در شکل پشت، خرپاها بر روی چسب الوار قرار گرفته اند (عکس از شرکت تیرچه و خریای McMillan)



شکل ۶-۳۳b صفحات فلزی، خرپاهای قرار گرفته در سیستم سقف را که بر روی دیوارهای باربر قرار گرفته اند به یکدیگر متصل کرده است. (عکس از شرکت محصولات مهندسی Alpine)

خرپاها می‌توانند با بال‌هایی از الوار اره شده یا LVL و با جانی از اعضاء فولادی ساخته شوند. (شکل ۳۳۸-۶). خرپاها می‌توانند به طرق مختلف نگهداری شوند. بال‌های بالا و پایین خرپا می‌تواند بر روی دیوارها یا تیرهای چوبی و یا تیرهای فلزی و یا حتی بر روی دیوارهای بتنی یا آجری قرار گیرد. روش دیگر آویزان کردن خرپا از یک لبه اتصال به دیوارهای بتنی یا آجری است.

خرپاهایی با اتصالات فلزی (شکل ۳۳۹-۶) برای اتصال اعضاء خرپا به یکدیگر از صفحات دندانه دار یا خاردار استفاده می‌نمایند. به عکس مربوط به ورق اتصال فلزی در شکل ۳-۱۱ در بخش ۲-۱۱ توجه نمایند. معمولاً صفحات فلزی برای ظرفیت بار واحد (بر حسب $1b/in^2$ به ازای سطح تماس) طراحی می‌شوند. بنابراین اندازه صفحه مورد نیاز از تقسیم بار منتقل شونده از طریق اتصال بر ظرفیت بار واحد برای ورق اتصال به دست می‌آید.

خرپاهای سبک وزن اعضایی هستند که عمود بر صفحه بارگذاری خود ضعیف تر می‌باشند. به دلیل شکل پذیری، بایستی تمهیدات مناسبی برای جابجایی آنها در کارگاه در نظر گرفته شود تا از آسیب دیدن خرپاها حین اجرا جلوگیری شود. استفاده از Strong back با تعداد نقاط کافی برای بلند کردن خرپاها برای جلوگیری از کماتش خرپاها حول محور ضعیف در زمان نصب بسیار مناسب می‌باشد. وقتی خرپاها به درستی قرار گرفت، بایستی به صورت ضربدری مهار بندی شود تا پوشش سقف و مهار بندهای ثابت اجرا شود. (مرجع ۱۱-۶). خرپاهایی که به میزان کافی مهار بندی نشده اند ممکن است به راحتی کماتش کنند و یا بچرخند. اما، وقتی مهار بندها نصب شوند، خرپاها یک سیستم اسکلت چوبی، سخت و مقرون به صرفه خواهند بود.

مؤسسه صفحات خرپا (TPI)، یک سازمان تجاری تخصصی در صنعت صفحات فلزی خرپاها می‌باشند. TPI نشریه «جزئیات طراحی ملی برای خرپاهای چوبی با اتصالات فلزی» را منتشر می‌کند (مرجع ۱۲-۶) که جزئیات طراحی لازم برای این خرپاها را ارائه می‌کند. در بین سایر تمهیدات، این نشریه لازم می‌داند که پیوستگی بال‌ها، در تیرچه‌های خرپا محاسبه شود. TPI علاوه بر جزئیات طراحی، نشریات مربوطه دیگری را نیز منتشر می‌کند از جمله «گزارشات و پیشنهادات مربوط به جابجایی، نصب و مهار بندی خرپاهای چوبی با اتصالات فلزی» (مرجع ۱۱-۶). اطلاعات بیشتر در مورد سازه‌های چوبی و مهار بندی آنها را می‌توان از کارخانجات تولید خرپا به دست آورد.