

31

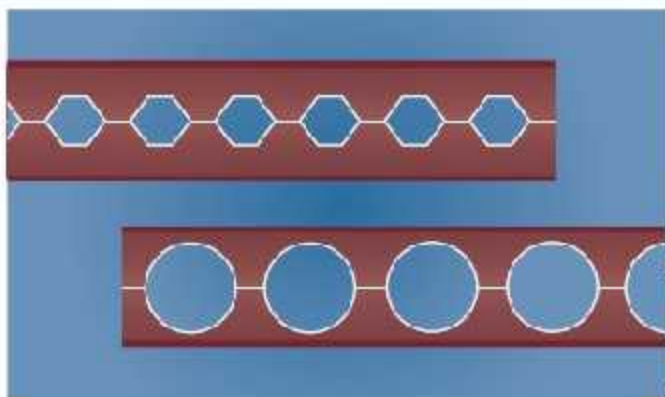
Steel Design Guide



Castellated and Cellular Beam Design

تیرهای لانه زنبوری و سلولی

بخش ۱



مترجم: مهندس محمد جعفر کرمی

عضو انجمن AISC

سرشناسه	: فارس، سامر س.
عنوان و نام پدیدآور	: تیرهای لانه زنبوری و سطولی: جان کولسون / [سامر، جان کولسون، دیوید دلیو دینهارت]; مترجم محمدجعفر کرمی.
مشخصات نشر	: تهران : شرکت کرمیت پارس، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	: ۷۵ص: مصور (بخشی رنگی)، نمودار.
شابک	: ۴۰۰۰۰ ریال : 9789648239263
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: عنوان اصلی: Castellated and Cellular beams Design.
یادداشت	: کتاب حاضر تحت عنوان «راهنمای طراحی تیرهای مجوف و لانه زنبوری» با ترجمه مهدی پروینی، زهرا رضاندوست توسط انتشارات پردیس علم در سال ۱۳۹۶ منتشر شده است.
موضوع	: تیرهای لانه زنبوری
موضوع	: Castellated beams
موضوع	: تیرهای لانه زنبوری -- طرح و ساختمان
موضوع	: Castellated beams -- Design and construction
موضوع	: سقف‌های بتنی
موضوع	: Roofing, Concrete
موضوع	: سقف‌های بتنی -- طرح و ساختمان
موضوع	: Roofing, Concrete -- Design and construction
شناسه افزوده	: کولسون، جان
شناسه افزوده	: Coulson, John
شناسه افزوده	: دینهارت، دیوید دلیو.
شناسه افزوده	: Dinehart, David W.
شناسه افزوده	: کرمی، محمدجعفر، ۱۳۲۹ - ، مترجم
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۷ ف۲۸۷/ت/ TA۶۶۰
رده بندی دیویی	: ۶۲۴/۱۷۷۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۴۶۸۸۸۴

www.KormitPars.com

تاریخ درخواست : ۱۳۹۷/۰۹/۱۰

تاریخ پاسخگویی :

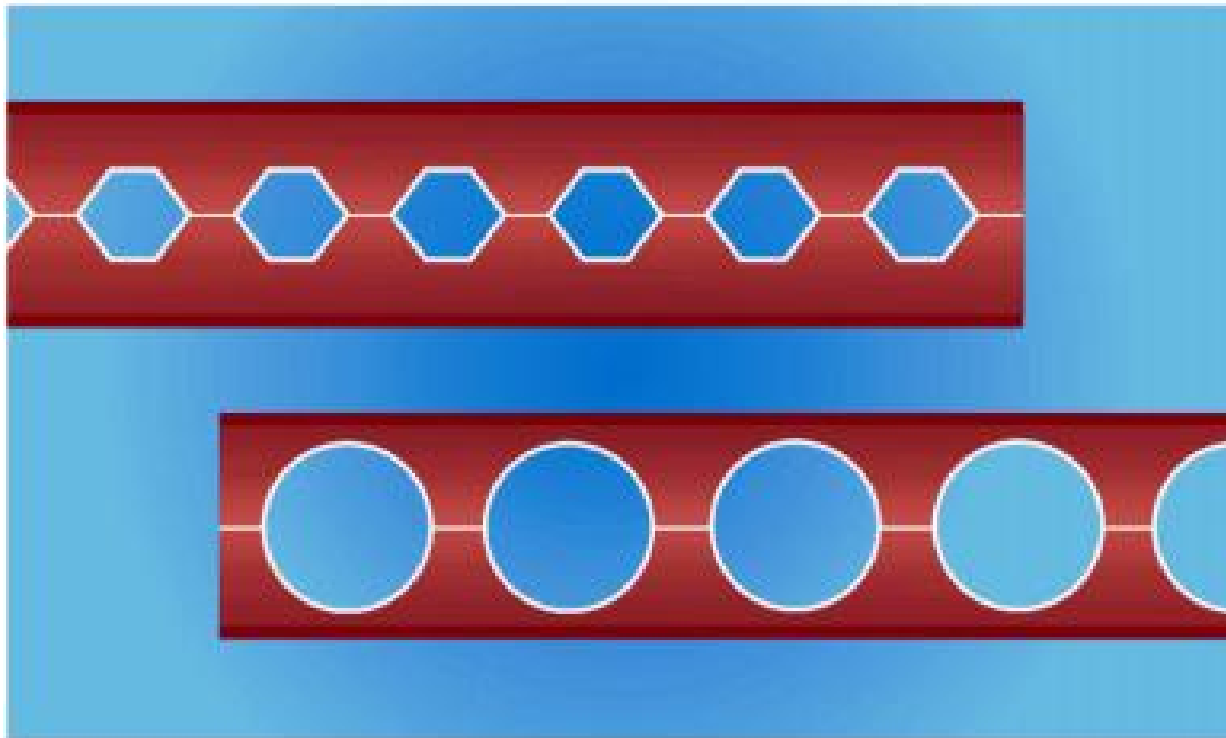
۵۴۶۸۸۸۴



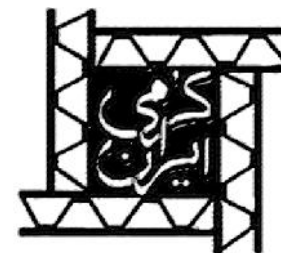
Steel Design Guide

Castellated and Cellular Beam Design

تیرهای لانه زنبوری و سلولی
مبانی طراحی



مترجم: مهندس محمد جعفر گرمی



تیرها لانه زنبوری و سلولی

مبانی طراحی

مترجم:

مهندس محمد جعفر کرمی

Mohammad.j. Kormi

برگردانی از کتاب :

Castellated and Cellular

Beam Design

By:

***AMERICAN INSTITUTE OF
STEEL CONSTRUCTION***

Steel Design Guide Series

American Institute of Steel Construction

تیرهای لانه زنبوری و سلولی [سامر.اس فارس.جان کولستون. دیوید. ینهارت]

مترجم محمد جعفر کرمی

تهران : گرمیت پارس ، ج: مصور(بخشی رنگی).جدول.نمودار

عنوان اصلی : Castellated and Cellular Beam Design

- فهرست نویسی بر اساس فیپا -
- گرمی ، محمد جعفر،

شابک: ۹۷۸۹۶۴۸۲۳۹۲۶۳
ASBN:9789648239263

اسم کتاب: تیرهای لانه زنبوری و سلولی

مترجم: محمد جعفر کرمی

چاپ اول: زمستان ۱۳۹۷

تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۴۰۰۰۰ ریال

ویراستار: دفتر تحقیق و توسعه شرکت گرمیت پارس

حروف چینی و صفحه آرایی: انتشارات گرمیت پارس

انتشارت: گرمیت پارس

چاپ و صحافی: دیبا رنگ

مرکز پخش: تهران، خیابان ملاصدرا، خیابان شیراز جنوبی، خیابان سامان، شماره ۵۹

صندوق پستی: ۱۴۵۱-۱۴۱۵۵ تلفن: ۴-۸۸۰۵۷۵۲۲

Email: kormitpars@gmail.com Web: WWW.kormitpars.ir

کلیه حقوق برای ناشر محفوظ می باشد.

بنام خدا

بعد از حدود پنجاه سال کار مهندسی لازم دیدم آرزوی خود را برای آنانی که در این راه هستند و یا می آیند بگویم ، شاید برآورده شود.

آرزو دارم که جامعه گلگون ما ،مخصوصا جامعه علمی ایران، از جهل، ترس، حرص و بخل نجات یابد.

آرزو دارم جهل ما را از شناخت دور نسازد. آرزو دارم ترس ما را وادار به دروغ گوئی و پنهان کاری نکند. آرزو دارم حرص پابه دامنه خواسته های به اندازه ما نگذارد و آرزو دارم بخل پایش از حسادت های کوچک وسازنده فراتر نرود و راه را بر تکامل و پیشرفت جامعه نبندد.

بیائید برای یگدیگر آرزوی پیشرفت و موفقیت داشته باشیم و زیر پای پیشرفت هم را با کج خلقی ها و بد گوئی خالی نکنیم.بیائید موفقیت دیگران را موفقیت خود بدانیم و حداقل در خوشحالی به دست آوردن آن شریک شویم.

شاگرد و دانشجوی عزیز: دانش و مراجع خود را پنهان مکن و با دیگران به اشتراک بگذار.

معلم و استاد عزیز : نام و آثار دیگران را از شاگردو دانشجوی خود ،برای آنکه آثار خود را جلوه گر سازی و یا برای آموزش آن انتظار داشته باشی ، پنهان مکن.

من ترجمه این کتاب را به توانسان آزاد و آزاده تقدیم می کنم.

فصل 1

مقدمه

1.1 تاریخچه

ایده تولید باز شو در جان یک تک تیربال پهن فولادی به سالهای اولیه استفاده از مقاطع فولادی جهت عبور خطوط تاسیساتی از میان تیرها برمی گردد. روش طراحی تیرها با باز شو در جان در راهنمای شماره 2 آئین نامه AISC آمده است.

AISC Design Guide 2, Design of Steel and Composite Beams with Web Openings

در راهنمای یاد شده صراحتاً گفته شده که این راهنما در مورد تیرهای لانه زنبوری (Castellated Beams)، تیرهایی با جان باز شده (Expanded Web Sections) بوسیله سوراخ های تکرار شونده، نباید به کار رود. (Darwin, 1990).

در این مجموعه، تیرهای لانه زنبوری (Castellated Beams) به عنوان یک تیر فولادی با جان باز شده شامل سوراخ های شش گوش و تیرهای سلولی (Cellular Beams) به عنوان تیر فولادی با جان باز شده شامل سوراخ های دایره تعریف شده است.

تیرهای با جان باز شده با باز شو های تکراری برای اولین بار در سال 1910 بوسیله:

Chicago Bridge and Iron Works (Das and Srimani, 1984)

استفاده شد. این ایده همچنین مستقلاً توسط G.M. Boyd در آرژانتین در سال 1935 توسعه می یافت و در 1935 در انگلستان ثبت اختراع شد. (Knowles, 1991). در سالهای دهه 1940 استفاده از تیرهای لانه زنبوری و سلولی به صورت قابل ملاحظه ای

افزایش یافت. بخشی به دلیل تنوع محدود مقاطع فولادی که کارخانجات نورد تولید در اروپا می توانستند تولید کنند. کارخانه های فولاد می توانستند به صورت اقتصادی بسیاری از مقاطع بزرگتر را (با استفاده از مقاطع نورد شده کوچکتر.م) ، به علت کم بودن نسبت هزینه های کارگری به مواد، بوسائل دستی بسازند. اگرچه، کارخانه های فولاد در ایالات متحده محدودیت های بخش مشابه و هزینه های کم کار در اروپا را نداشتند.

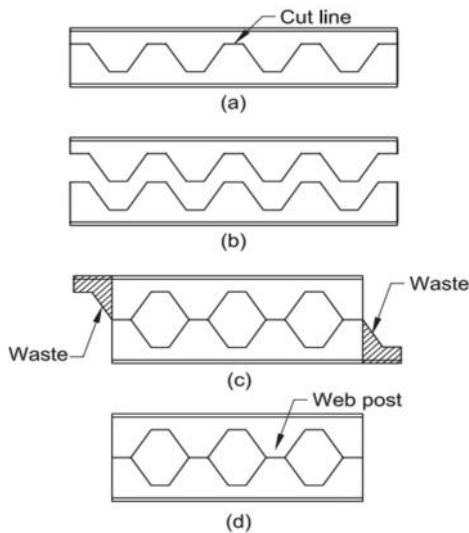
در نتیجه، ساخت چنین تیرهایی از لحاظ اقتصادی مناسب نبود. بنابراین ، استفاده از تیرهای لانه زنبوری و سلولی تا زمانیکه تکنیک های تولید اتوماتیک قابل در دسترس نگرفت، کاهش یافت. اتوماسیون پیشرفته در ساخت، همراه با نیاز معماران و مهندسان سازه برای جستجوی راه های کارآمدتر و ارزان تر برای طراحی سازه های فولادی، منجر به استفاده از تیرهای لانه زنبوری و سلولی در ایالات متحده شده و افزایش استفاده از مقاطع توسعه یافته در سراسر جهان رخ داد که منجر به ایجاد موسسه بین المللی تولید کنندگان تیرهای سلولی (International Institute of Cellular Beam Manufacturers) در سال 1994 به منظور توسعه، ایجاد و حفظ استانداردهای طراحی و تولید تیرهای لانه زنبوری و سلولی در سراسر جهان شد.

1.2 ساخت

تیرهای لانه زنبوری و سلولی به صورت سفارشی برای یک مکان خاص در یک پروژه خاص طراحی می گردد. فرآیندی که تیرهای لانه زنبوری و سلولی را تولید می کند مشابه است، اما یکسان نیست. تیرهای لانه زنبوری با استفاده از یک مشعل برش (گاز و هوا و یا مشعل پلاسما. در ایران با دستگاه مکانیکی نیز انجام می شود.م) کامپیوتری برای برش الگوی زیگزاگ در طول جان از یک تیر بال پهن ساخته شده است. فرآیند گام به گام ساخت تیرهای لانه زنبوری در شکل 1-1 ارائه شده است. بعد از آن که مقطع با الگوی مناسب برش

داده شده (a)، دو نیمه به صورت (b) جفت می شوند. زباله های اضافی در دو انتهای تیر برداشته می شوند (c)، و دو بخش به هم به صورت جوش متصل می شوند تا شکل تیر لانه زنبوری (d) را تشکیل دهند. سپس، یک جوش نیم نفوذی و یا کاملاً نفوذی به طور معمول از یک طرف جان انجام می شود و اگر ضخامت جان نسبتاً کوچک باشد، لبه های مورد جوشکاری شیبدار (Beveling) سنگ زده نمی شود. یک تصویر از فرآیند تولید یک لانه زنبوری در شکل 1-2 نشان داده شده است.

تیرهای سلولی با روش مشابه با استفاده از یک الگوی برش نیمه گرد ساخته می شوند. به منظور دستیابی به الگوی دایمی تکرارشکل دایره، دو عبور مشعل برش مورد نیاز است، همانطور که در شکل 1-3 نشان داده شده است. دو عبور برش باعث افزایش کارروی فولاد در طی فرآیند تولید می شود. در نتیجه، زمان تولید یک تیر سلولی کمی بیشتر از یک تیر لانه زنبوری است. دو نیمه در یک الگوی دایره ای به جای الگوی زیگزاگ جایگزین در تیرهای لانه زنبوری می شود. برش دایره ای باعث اتلاف مواد بیشتر در مقایسه با تیرهای لانه زنبوری می شود، همانطور که در شکل 1-3(b) نشان داده شده است. پس از آنکه دو برش ساخته شد، دو نیمه که ایجاد شده اند، بعد از جابجائی مناسب به هم متصل شده تا تیر سلولی را تشکیل دهند. یک عکس از پروسه تولید یک تیر سلولی در شکل 1-4 ارائه شده است



شکل 1-1 ساخت تیر لانه زنبوری

3.1 نمایه ها (NOMENCLATURE)

طبقه بندی استاندارد نمایه برای یک مقطع فولادی نشان دهنده نوع ، تیپ مقطع، عمق تقریبی و وزن تقریبی مقطع براساس پوند بر هر فوت طول مقطع می باشد. به عنوان مثال، یک

W8 × 10 نشان دهنده یک مقطع بال پهن با عمق

حدود 8 اینچ و وزن اسمی 10 پوند بر فوت است.

یک نمایه مشابه برای تیرهای لانه زنبوری و سلولی

استفاده می شود. تیرهای لانه زنبوری توسط CB

نشان داده شده، در حالی که تیرهای سلولی به

عنوان LB نشان داده می شود. تعدادی از نمایه ها

همانند بخش های استاندارد فولادی هستند. به

عنوان مثال یک تیر لانه زنبوری و سلولی که از

یک تیر W8 × 10 ساخته شده است به عنوان

CB12 × 10 و LB12 × 10 نامیده می شود، که



شکل 2-1 برش لانه زنبوری

عمق تیر اخیر تقریباً یک و نیم برابر عمق تیر اصلی است و وزن آن همانند وزن تیر اصلی

است. در شرایط خاص، تولید یک مقطع نامتقارن مقرون به صرفه است (مثل تیرهای

کامپوزیت.م). در این مورد، برای مثال نمایه برای این مقاطع بر اساس دو تیر مختلف اصلی

است که برای ساختن مقطع لانه زنبوری یا سلولی استفاده می شود. به عنوان مثال اگر تیر

اصلی برای بال بالای تیر لانه زنبوری یا سلولی از مقطع W21 × 44 بکار رفته باشد و تیر

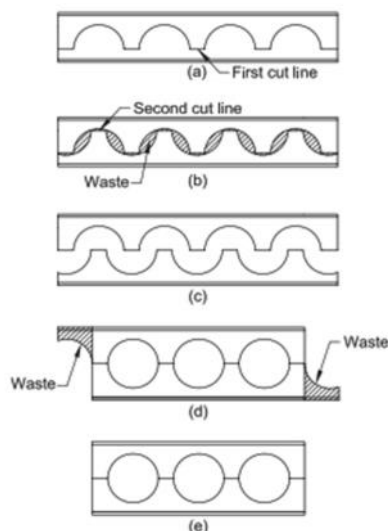
اصلی برای بال پایین از یک مقطع W21 × 57، نمایه های تیر لانه زنبوری و سلولی

CB30 × 44 / 57 و LB30 × 44/57 به ترتیب خواهد بود. شماره اول عمق تقریبی تیر

ساخته شده و زوج اعداد دوم اعداد نشان دهنده وزن اسمی تیر اصلی که برای بال بالای و به

دنبال یک اسلش در جلو و وزن اسمی تیر اصلی که برای ساختن بال پائین مورد استفاده قرار

گرفته می آید. وزن هر فوت از تیر نامتقارن حاصل میانگین دو عدد است. استفاده از بخش های نامتقارن در جزئیات بیشتر در بخش 2.2.6 بحث شده است.



شکل 1-3 ساخت تیر سلولی



شکل 1-4 برش دوم تیر سلولی

1.4 مقدمه راهنمای طراحی

با وجودی که استفاده از تیرهای لانه زنبوری و سلولی در سرتاسر جهان رو به توسعه به نظر می رسد و ادبیات در حال گسترش در این زمینه است، انتشارات بسیار کمی وجود دارد که دارای توصیه های جامع طراحی شده باشد. این راهنمای طراحی ارائه دهنده ترتیبات عملی برای طراحی تیرهای لانه زنبوری و سلولی در ایالات متحده است. این راهنما رویکرد یکنواختی را برای طراحی تیرهای کامپوزیت و غیر کامپوزیت لانه زنبوری و سلولی فراهم می کند.

در فصل 2 اطلاعات مربوط به برنامه های کاربردی مناسب برای تیرهای لانه زنبوری و سلولی از جمله مزایا، کارایی و محدودیت استفاده را ارائه می دهد.

تفاوت بین طراحی تیرهای سنتی با آنهایی که دارای بازشو در جان تیر هستند، در فصل 3 مشخص شده است، همراه با روش های دقیق برای طراحی تیرهای لانه زنبوری و سلولی مطابق با آئین نامه 2016 آمریکا *AISC Specification for Structural Steel Buildings* که منبهد مشخصات (AISC, 2016) خوانده می شود.

روش های ارائه شده شامل طراحی غیر کامپوزیتی و کامپوزیتی برای هر دو تیر های لانه زنبوری و سلولی خواهد بود. فصل 4 نمونه های طراحی دقیق مثال ها مطابق با روش های ارائه شده در فصل 3 خواهد بود. فهرست دقیق نمادهای مورد استفاده در طی این راهنمای طراحی در انتهای این کتاب ارائه شده است، همانطور که لیست کامل مراجع ذکر شده در راهنمای طراحی و کتاب شناسی نشریات برای خواندن بیشتر آمده است.

فصل 2

استفاده از تیر لانه زنبوری و سلولی

2.1 عمومی

در مقایسه با تیر پایه خود، تیر لانه زنبوری و سلولی، مزایای طراحی و ساخت بسیاری دارند. به عنوان یک نتیجه از بلند کردن جان و ارائه بازشو در آن، در این اعضای نسبت عمق به وزن افزایش یافته است، افزایش مدول مقطع، S_x ، و افزایش ممان اینرسی در جهت قوی مقطع، I_x . این افزایش ها نه تنها استفاده از طول دهانه بیشتری را ممکن می سازد، بلکه با افزایش بهره وری آنها باعث کاهش قابل توجه هزینه در استفاده در دهانه های بلند می شود. این مزایا با یک تجزیه و تحلیل پیچیده تر در هزینه منعکس می شود. این فصل برنامه های کاربردی ایده آل برای استفاده از تیرهای لانه زنبوری و سلولی را ارائه می دهد، برخی از مزایا و محدودیت های استفاده از آن ها را مورد بحث قرار می دهد و برخی از ملاحظات ویژه طراحان را برجسته می کند.

2.2 کاربرد و مزایا

ایده اولیه برای استفاده از تیرهای لانه زنبوری و سلولی باربری در دهانه های بلند با استفاده از مقطع با وزن سبک تر است. به طور کلی، آن ها برای طول دهانه بیش از 30 فوت مناسب هستند و ثابت می کنند که یک جایگزین بسیار مقرون به صرفه برای دهانه بیش از 40 فوت است (Estrada و همکاران، 2006). با استفاده از قابلیت تیرهای لانه زنبوری و سلولی در دهانه های بلند میتوان کف های بدون ستون بزرگتری را ارائه داد. این قابلیت اجازه می دهد تا کاربر نهایی ساختمان با انعطاف پذیری بیشتری در برنامه ریزی فضا سازی داشته باشد که در صورت تغییر مستاجران آینده نیز می تواند مزیت مالک سازنده باشد. مزایای تیرهای لانه زنبوری و سلولی شامل استفاده از ستون ها و پی های کمتری برای نگهداری از پوشش با دهانه های بلند می باشد، در نتیجه ایجاد فضای اضافی بدون ستون و انعطاف پذیری فضای استفاده است.

توانایی استفاده از دهانه های طولانی تر و سبکتر، اعضای کمتری را برای یک سیستم ارائه شده لازم میسازد و هزینه های نصب را می کاهش دهد. تیرهای لانه زنبوری و سلولی ایده آل برای ساختمان های با نیاز فضایی وسیع باز (بدون ستون م) مانند پارکینگ، امکانات صنعتی و انباری، ساختمان های اداری، مدارس و بیمارستان ها هستند.

2.2.1 سازه پارکینگ

استفاده از تیرهای لانه زنبوری و سلولی در سازه های پارکینگ در 15 سال گذشته به طور چشمگیری افزایش یافته است. سازه های پارکینگ دارای دهانه هایی هستند که به طور معمول در محدوده 60 فوت هستند و ملزومات سرویس دهی (Serviceability) (افتادگی ولرز م) اغلب طراحی را (بجای طراحی مقاومتی) کنترل می کند. برای الزامات

بارگذاری معمولی گاراژ، یک تیر با عمق 30 اینچ لانه زنبوری و یا سلولی که وزن آن تقریباً 60 پوند بر فوت است و به صورت کامپوزیت خواهد شد برای شرایط مقاومتی و سرویس دهی کفایت و احتمالاً تجاوز می کند (24/L م). در مقایسه با یک $W30 \times 90$ ، که سبک ترین تیربال پهن در دسترس با 30 اینچ عمق است، استفاده از یک تیر لانه زنبوری و یا سلولی باعث صرفه جویی خالص در وزن حدود 33 می شود. که تاثیر مستقیم در کاهش قیمت مواد و همچنین باعث کاهش کل جرم سازه که منجر به کاهش نیروی جانبی و کاهش بارهای وارده به فونداسیون می شود. جان باز تیر همچنین



شکل 1-2 نمای خارجی پارکینگ با استفاده از تیر سلولی

اجازه می دهد که نور را از مقاطع با جان باز از طریق باز شو های جان عبور کرده و داخل ساختمان را روشن کنند. برای پارکینگ هایی با ارتفاع کم، روشنی داخلی ظاهر بزرگتری از سازه های مشابه با جان پر را نشان می دهد. (Churches et al., 2004).

شکل 1-2 و 2-2 نمونه هایی از سازه های پارکینگ با استفاده از تیر های سلولی را نشان می دهد.

لازم به ذکر است که هنگام استفاده از مقاطع فولادی برای سازه پارکینگ، انتخاب سیستم پوشش سطوح سازه باید با دقت در نظر گرفته شود. توصیه می شود که یک پوشش رنگ گالوانیزه گرم یا یک سیستم رنگ اپوکسی با عملکرد بالا به سطوح فولاد اعمال شود. برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد این موضوع، به بخش AISC 2.4.5 راهنمای طراحی زیر مراجعه کنید.

(AISC Design Guide 18, *Steel-Framed Open-Deck Parking Structures* (Churches et al., 2004).

2.2.2 امکانات صنعتی

تاسیسات صنعتی اغلب از نیم طبقات برای تهیه فضاهای اضافی برای امکاناتی برای جاسازی وسائلی مانند نوار نقاله ها، تجهیزات هواسازی، تجهیزات فرایند تولید و حتی فضای اداری استفاده می کنند. توانایی ایجاد دهانه بلندبا استفاده از تیرهای لانه زنبوری و سلولی برای این برنامه بسیار خوب عمل می کند. آن ها به کم کردن تعداد ستون هایی که نیم طبقه را نگهداری می کنند کمک می کند و دارای ویژگی های ارتعاشی عالی هستند، که در بخش 2.2.5 مورد توجه قرار می گیرند. تاسیسات صنعتی در شکل 2-3 نشان داده شده است.

3.2.2 ادغام خدمات / HVAC (م. Heating , ventilation, and air conditioning)

یکی از بزرگترین مزایای تیرهای لانه زنبوری و سلولی، توانایی عبور مستقیم لوله های آب و برق از طریق بازشوهای جان است. شکل 2-4 نشان می دهد که چندین اینچ ارتفاع در هر طبقه از سازه می تواند با استفاده عبور لوله ها و کانال ها از بخش های باز جان تیر ذخیره شود. بازشوها در تیرها ممکن است برای نصب لوله های لوله کشی، سیستم های تهویه مطبوع و آب آشامیدنی و آتش نشانی و یا هر سیستم ابزار دیگر استفاده شود، همانطور که در شکل 2-5 نشان داده شده است. استفاده از تیرهای لانه زنبوری و سلولی در ساختمان های اداری به صاحب و استفاده کننده آینده انعطاف پذیری برای نصب سیم کشی های اضافی برای تلفن، کامپیوتر و یا سایر تجهیزات اداری فراهم می کند.

ادغام لوله ها در عمق تیر در ساختمان های پزشکی نیز مفید است که خطوط گاز، خطوط کامپیوتری و سایر خدمات اغلب پس از تکمیل ساخت و ساز ساختمان نصب و یا تغییر مکان داده می شوند. علاوه بر این، هنگامی که تمام امکانات در داخل عمق جا سازی شد،

سقف کاذب را می توان به طور مستقیم به سازه متصل نمود ، همانطور که در شکل 2-6 نشان داده شده است. سیستم های تولید برق و سازه های دیگر که دارای تعداد زیادی لوله کشی هستند نیز می تواند با استفاده از تیرهای لانه زنبوری و سلولی برای ادغام خدمات بهره مند شوند.



شکل 2-2 سازه پارکینگ در طول روز

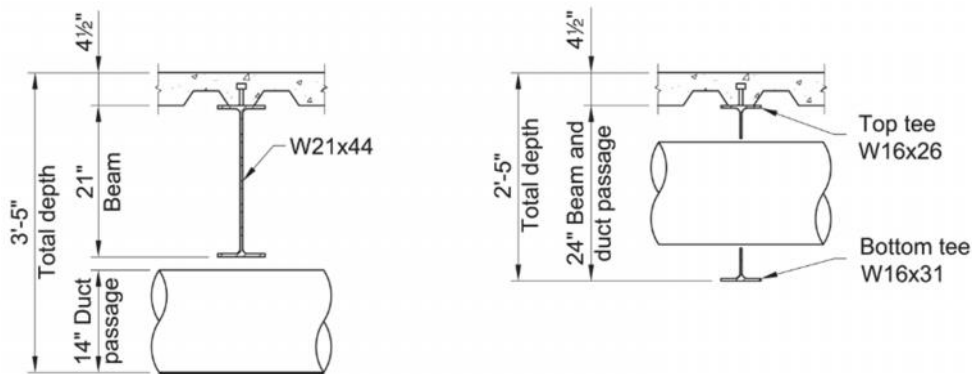


شکل 2-3 تسهیلات صنعتی و نیم طبقه

2.2.4 کار آبی ساختمانی

کار آبی بالقوه زیادی در ساختمان وجود دارد که می تواند به طور مستقیم و غیر مستقیم با استفاده از تیرهای لانه زنبوری و سلولی به دست آید. استفاده از دهانه های بلند تعداد ستون های مورد نیاز را کاهش می دهد و موجب کاهش تعداد پی ها می شود که صرفه جویی در هزینه های مستقیم است. علاوه بر این، تعداد قطعه هایی که باید نصب شوند، می تواند به میزان قابل توجهی کاهش یابد، در نتیجه صرفه جویی در ساخت و هزینه های نصب حاصل می شود. صرفه جویی در هزینه های غیر مستقیم در شرایط عمومی و تامین مالی ناشی از برنامه کوتاه تر ساخت و ساز نیز می تواند واقعی باشد. در نهایت، و شاید مهمتر از همه، اگر نصب و راه اندازی سازه فولادی در مسیر بحرانی برنامه ساخت و ساز قرار دارد یک برنامه

کوتاه تر ساخت و ساز می تواند برای صاحبکار یک درآمد شناخته شده از قبل باشد.



شکل 2-4 عبور لوله تاسیسات 14 اینچی از میان تیر

2.2.5 مقاومت لرزشی

تیرهای لانه زنبوری و سلولی تقریباً 1.5 برابر عمیق تر از تیرهای بال پهن هم وزن است. در نتیجه، تیرهای لانه زنبوری و سلولی دارای مقاومت لرزه ای عالی نسبت به تیرهای پایه ای خود دارند. افزایش سختی باعث کاهش اثرات ارتعاش در یک سیستم کف و سقف می شود. *Vibrations of Steel-Framed Structural Systems Due to Human Activity* راهنمای طراحی شماره 11 آئین نامه AISC ارتعاشات کف ها ساختمانی را با توجه به فعالیت های انسانی، ادبیات ارتعاشات سیستم های را پوشش می دهد (موری و همکاران، 2016). آزمایش کامل در مورد تیرهای کامپوزیتی لانه زنبوری انجام شده است و تایید شده است که این راهنما را می توان برای این کف ها بکاربرد. منطقی است که نتیجه گیری شود که برای تیر های کامپوزیتی و غیر کامپوزیتی سلولی نیز می تواند این راهنما بکار می رود.

2.2.6 مقاطع نا متقارن

همانطور که در بخش 1.2 توضیح داده شده است، فرایند تولید مورد استفاده برای ساخت تیرهای لانه زنبوری و سلولی شامل برش تیر پایه به دو بخش است. با توجه به اینکه دهانه باز

شو یکسان است، نیمه دو تیر پایه مختلف می تواند با هم جوش شود تا شکل نامتقارن ایجاد کند. این به خصوص امتیازی برای تیرهای کامپوزیتی است که در آن بال بالا به همراه دال بتونی کار می کند. برای ارزان سازی در طراحی تیر کامپوزیت، معمولا از یک مقطع نامتقارن با استفاده از یک تیر اصلی کوچکتر برای بال بالا و یک تیر اصلی بزرگتر برای بال پایین استفاده می شود. مثال های 4.3 و 4.4 از مقاطع نامتقارن برای طراحی یک تیر کامپوزیت لانه زنبوری و کامپوزیت سلولی، به ترتیب استفاده می کند.



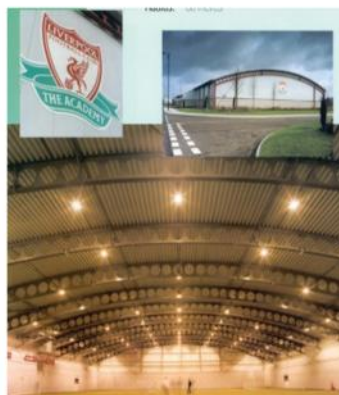
شکل 2-5 بازشو برای عبور تاسیسات



شکل 2-7 انحنا در تیر سلولی



شکل 2-6 تاسیسات جا سازی شده در سقف



شکل 2-8 سقف با تیر سلولی منحنی

2.2.7 زیبایی شناسی

فرآیند ساخت یک تیر لانه زنبوری یا سلولی، انعطاف پذیری طراح سازه را در پدید آوردن عناصر سازه ای با تفاهم با المان های معماری بوجود می آورد. تیرها را می توان به راحتی

خیز دار ساخت. بر خلاف تیرهای سنتی نوردشده که از طریق روش های مکانیکی یا با استفاده از گرما خم شده اند در تیرهای لانه زنبوری و سلولی در طول فرآیند ساخت و کار در حفره های شش گوش و دایره های ساخته می شود. این فرآیند همچنین می تواند با استفاده از انحنا ی نیمه های بریده شده قبل از جوشکاری نیمه بالا و پایین تیر شکل منحنی را ساخت و سپس جوشکاری کرد، همانطور که در شکل 7-2 و شکل 8-2 نشان داده شده است. علاوه بر این، المان ی شیدار(ماهیچه دار) را نیز می توان مورد استفاده قرار داد، همانگونه که در شکل 9-2 مشخص شده است. با شیب الگوی برش در طول جان و چرخاندن 180 درجه ای یک نیمه از دو قطعه برش شده قبل از تکمیل جوش های جان و سپس جوشکاری دو قطعه این قطعه شیدار بدست می آید. تیرچه های لانه زنبوری و سلولی به طور کلی عناصر سازه ای زیبایی را می سازند که مزیت معماری را در سازه ای که در آن تیرها در منظر قرار می گیرند، ارائه می دهند.(توجه باید داشت که در انحنا در محل اتصال جان تغییر مکان های به وجود می آید که باید پیش بینی لازم صورت گیرد.م).

2.3 اندازه و محل باز شدن جان و اتصالات تیپ

محدودیت هندسی برای اندازه و فاصله باز کردن جان در بخش 3.3 شرح داده شده است. این محدودیت ها را می توان برای انتخاب اولیه اندازه بازشو و فاصله ها استفاده کرد. اندازه بازشو و فاصله، باز تعریف کننده هندسه قسمت باقیمانده جان که باید به هم جوش شوند(Web Post)، فاصله باقیمانده بین دوبازشوی متوالی (شکل 12-2 را ببینید.م) و عمق تیر می باشد. هر اندازه بازشو و یا فاصله های باقیمانده که مطابق با این خطوط راهنما و محدودیت ها باشد، برای استفاده از محاسبات مقاومتی در فصل 3 قابل قبول است. با توجه به روند ساخت و تناوب بازشوها و هماهنگ کردن قطعاتی که باید به هم جوش شوند، اندازه بازشوها و فاصله انتخاب شده باید در طول تیر باید ثابت باشد.



شکل 9-2 تیرهای ماهیچه دار

2.3.1 اتصال تکیه گاهی

انواع اتصالات تکیه گاهی مورد استفاده برای تیرهای لانه زنبوری و سلولی، از آنچه که برای تیرهای بال پهن استفاده می شود متفاوت نیست. اتصالات معمولی عبارتند از ورق، نبشی های تکی و زوج. استاندارد برای تنظیم الگوی باز شو زمانی است که اجازه

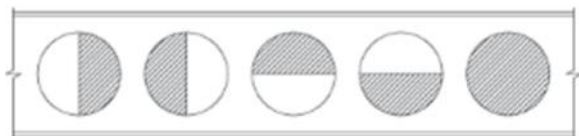
دهید قطعه خارج از بازشو، در محل تکیه گاه قرار گیرد (جان پر باشد.م). در مواردی که این کار را نمی توان انجام داد، پر کردن بخشی و یا کل بازشو توسط تولید کننده تیر لانه زنبوری الزامی است تا اجازه اتصال به تکیه گاه امکان پذیر گردد.

2.3.2 نصب بازشوها

بهترین طرح اقتصادی و مقرون به صرفه شکل برش آن است که یک عرض کامل اتصال جان (Web Post) در هر انتهای تیر بدون نیاز به پر کردن بازشو باشد. در غیر این صورت یک ورق، که جزئی یا تمام سوراخ را پر می کند مورد استفاده قرار می گیرد که قطعه ای از ورق است که همان مشخصات تیر و هم ضخامت باجان به عنوان ورق پرکننده است که به شکل بازشو بریده و به داخل آن جوش می شود تا اجازه اتصال به تکیه گاه را بدهد. انواع مختلفی از ورق های پرکننده در شکل 10-2 نشان داده شده است. در مواردی که تیرهای دیگر را به جان تیر سلولی یا لانه زنبوری متصل می شود، نوع اتصال ترجیحی یک ورق برشی است. اگر محل اتصال (با تیر دیگر.م) در یک اتصال جان قرار نگیرد، باید یک ورق، که جزئی یا تمام سوراخ را پر می کند مورد استفاده قرار گرفته که باید توسط تولید کننده تیر نصب شود تا اتصال تکیه گاه امکان پذیر گردد. یک عکس از این جزئیات در شکل

11-2 نشان داده شده است. در طول فرایند طراحی، باز کردن فاصله باید بهینه سازی شود تا از استفاده از پرکننده ها، برای به حداقل رساندن هزینه های مواد و کارگری، جلوگیری شود،

2.3.3 برش بال بزرگ (Cope)



شکل 10-2 تیپ پرکننده برای تیر سلولی و لانه زنبوری



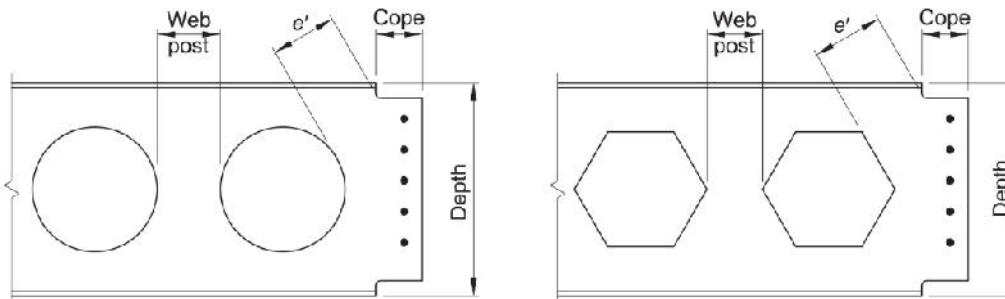
شکل 2-11 پر کردن باز شو تیر سلولی برای نصب تیر فرعی

به محل نزدیک ترین بازشوبه اتصال تکیه گاهی، باید توجه ویژه ای در این تیرها داشت. حداقل فاصله مورب از قسمت انتهای برش بال تیر به باز شو اول

به عنوان e تعیین شده است. این بعد در شکل 2-12 نشان داده شده است. در نمونه های غیر معمول وقتی که برش بزرگ (Cope) در تیر مورد نیاز است، این بعد می تواند بسیار کوچک گردد. تست تجربی و مدل سازی تحلیلی نشان داده اند که کاهش بزرگی در ابعاد e باعث کاهش در

مقاومت تیر می گردد. در مقایسه با حالت بدون بدون برش بال، کاهش فاصله e به 50 برای تیرهای غیر کامپوزیت موجب حداکثر قدرت 7 برای تیرهای لانه زنبوری و 3 برای تیرهای سلولی می شود (Hoffman et al. 2005). برای تیرهای با مقادیر e که از 40 یا کمتر از فاصله مورب از گوشه ای از تیر در یک تیر غیر برش خورده تا

سمت اولین بازشو، توصیه می شود از پرکننده های جزئی استفاده شود. از آنجا که فاصله بازشوها و شرایط تکیه گاهی را می توان در طراحی کنترل کرد، این توجه به e به طور معمول طراحی را کنترل نمی کند.



شکل 2-12 حداقل فاصله بین انتهای برش و اولین بازشو

2.4 ملاحظات خاص

2.4.1 بارهای متمرکز

همان طوریکه تیرهای لانه زنبوری و سلولی معمولاً برای کاربردهای بارگذاری یکنواخت استفاده می شود، ممکن است برای بردن بارهای متمرکز و یا در مورد ترکیب با بارهای یکنواخت و متمرکز نیز استفاده شود. دستورالعمل برای این شرایط بارگذاری در بخش 3.8 ارائه شده است.

2.4.2 پروژه های حساس به عمق تیر

عمق کلی تیر لانه زنبوری و یا سلولی به عمق تیر پایه، قطر بازشو و فاصله باز شو بستگی دارد. در استفاده از تیر لانه زنبوری و یا سلولی طراح با انعطاف پذیری برای اندازه گیری بازشو و فاصله برای رسیدن به یک تیر تقریباً با هر عمق تا حد اکثر 66 اینچ دسترسی دارد. به عنوان مثال، اگر مهندس طراح در وضعیت خاصی نیاز به یک تیر لانه زنبوری (برای درک کامل

مطلب فقط بخوانید تیر.م) دقیقا با 36 اینچ ارتفاع است، می توانند این عمق را در اسناد طراحی مشخص کند. در مقابل، برای اندازه هایی که معمولا برای تیرهای (نورد شده.م) استفاده می شود، عمق واقعی تیر نورد W36 بین 35.5 تا 37.5 اینچ است ، و اندازه دقیقا 36 اینچ بدست نمی آید از اینرو اگر ممکن نیست بتوانیم با شکل های نورد شده دقیقا همان عمق مورد نظر را که به طور معمول برای تیرها استفاده می شود انتخاب کنیم، فرایند بازسازی جان اجازه می دهد تا سازنده برای ایجاد یک تیر به عمق غیر استاندارد مانند 34 اینچ، و یا هر عمق دیگر برای برنامه های سفارشی مشتری داشته باشد.

2.4.3 پایداری نصب

در طی حمل و نقل، بلند کردن و بارگیری، تیرهای لانه زنبوری و سلولی که از طرف جانبی نگهداری نشده اند ممکن است با ناپایداری روبرو شوند احتیاط باید در طول فرایند نصب انجام شود. به این ترتیب، توصیه می شود که از نگهدارنده های جانبی برای نصب تیرهای لانه زنبوری و سلولی استفاده شود. الزامات نگهدارنده ها به دهانه و عمق بستگی دارد و

معمولا توسط تولیدکننده تیر تعیین می شود. شکل شماره 2-13 نشان داده شده است.



شکل 2-13 تیپ نصب نگهدارنده تیرهای سلولی و لانه زنبوری

شکست یک تیر لانه زنبوری، بوسیله کمانش جانبی پیچشی، مشابه با تیرهای

نورد شده است چراکه بازشوها ی جان اثر کمی در این پدیده دارند (برادلی، 2003).

ملاحظات برای تعیین کمانش جانبی پیچشی برای تیرهای با جان پر می تواند برای تیرهای لانه زنبوری و سلولی استفاده کرد بشرط آنکه مشخصات مقطع بر اساس مقطع ناخالص تیر محاسبه شود. تجزیه و تحلیل تیرهای عمیق لانه زنبوری در مقابل پدیده کمانش جانبی پیچشی، بر اساس مشخصات ناخالص مقطع زمانیکه برای بارهای که در هنگام نصب وارد می شود صورت گیرد. (برادلی، 2003). روش کلاسیک حل کمانش جانبی پیچشی در (AISC Specification (AISC, 2016)) به اضافه ضریب طول موثر برای استفاده و اطمینان از طراحی اقتصادی این کمانش آمده است. کنترل کمانش جانبی پیچشی در بخش 2.2.3 ارائه شده است.

2.4.4 مقاوم سازی در حریق

شرایط استفاده از تیرهای لانه زنبوری و سلولی، در سه مجموعه

UL(Underwriters Laboratories) وجود دارد. UL N784 UL N831 شرایط حفاظتی در مقابل آتش سوزی برای یک دال بر سیستم عرشه با استفاده از تیرهای سلولی یا لانه زنبوری کامپوزیت هستند. این مجموعه ها فقط برای تیرها و مقاومت چهار ساعته در مقابل آتش است که با استفاده از مواد پاششی صورت می گیرد.

طبق دستورالعمل طراحی AISC 19،

Design Guide 19, *Fire Resistance of Structural Steel Framing*,
Section VII.11,

با توجه به این واقعیت که این مجموعه ها فقط برای تیرها هستند، اجازه جایگزینی آن ها با قوانین معادل ویا بهتر را می دهد. (Ruddy et al., 2003). مجموعه سوم، UL P225، برای

استفاده در مونتاژ سقف است. کلید محاسبه مقاومت فولاد در مقابل حریق، شناخت نسبت وزن به پارامتر حرارتی است که معمولاً به عنوان نسبت W / D عنوان می شود. در حال حاضر توصیه نمی شود که ضریب W / D برای کاهش ضخامت پاشش برای تیرهای سلولی و لانه زنبوری استفاده شود. نسبت W / D برای مقاطع فولادی با تقسیم وزن بر واحد طول، W ، بر سطح روبرو با حریق، D ، تشخیص داده می شود. هرچه این نسبت بزرگتر باشد، مقاومت در مقابل آتش بیشتر است، بنابراین نیاز به حفاظت کمتر در هنگام محاسبه برای انواع مختلفی از محافظ ها می باشد.

تست اضافی برای تعیین نسبت W / D در حال انجام است، اینکه آیا همانطور که به تیرهای بال پهن اعمال می شود، می تواند به تیرهای لانه زنبوری و سلولی نیز اعمال گردد.

رنگ Intumescent (رنگ تک جزئی، و غیر دوقلو، منبسط شونده پایه رزینی محلول در آب که جهت محافظت سازه ها در برابر حریق های هیدروکربنی بکار می رود. م) یکی دیگر از گزینه هایی است که برای تیرهای لانه زنبوری و سلولی بکار می رود. ضخامت پوشش مورد نیاز این رنگ در مورد هر تولید کننده و درجه مقاومت متفاوت است و باید مورد به مورد محاسبه گردد.

2.4.5 سیستم های پوشش

سیستم های پوششی مورد استفاده برای حفاظت تیرهای سلولی و لانه زنبوری هیچ تفاوتی با آنچه که برای محافظت از فولاد معمولی سازه ای استفاده می شود، ندارد. سیستم مورد استفاده

باید بر اساس نوع قرار گرفتن فولاد در معرض شرائطی که روبروست و برنامه نگهداری مناسب تعیین شود. با این حال، در مورد سازه های پارکینگ یا هر سازه دیگری که در معرض هوا قرار دارد، توصیه می شود که سیستم رنگ اپوکسی را اعمال کند یا فولاد باید گالوانیزه گرم شود. برای سازه های گالوانیزه گرم شده، گوشه های تیز در اطراف بازشو تیرهای لانه زنبوری قرار دارد می تواند باعث شکاف و شروع خرابی شود. بنابراین، گوشه های پروفیل سلولی با انتقال سطح ملایم آن، در گالوانیزه گرم بهتر عمل می کنند. استفاده از پوشش های با پایه الکایدی برای سازه های روبرو با هوا توصیه نمی شود.

فصل 3

روش های طراحی

3.1 مقدمه

با توجه به تعداد قابل توجهی بازشو در جان، تیرهای لانه زنبوری و سلولی نمی توانند به عنوان اعضای با جان پر و یا جان به همراه تعداد بازشوی محدود، در نظر گرفته شوند. این اعضای سازه ای، عناصر با درجه نامعین زیادی هستند که نمی توان به روش ساده ای تجزیه و تحلیل شوند. وجود جان باز بسیاری از حالت های خرابی اضافی را که در اعضای جان پر وجود ندارد (Kerdal and Nethercot، 1984) را نشان می دهد. کنترل طراحی اتصال جان و بخش های T بالا و پائین بازشو مورد نیاز است. علاوه بر این، تغییر شکل های برشی بخش های T بالا و پائین بازشو در تیرها می تواند قابل توجه باشد. در نتیجه، افزایش دشواری در تجزیه و تحلیل افت تیر را باعث می شود. گوشه های تیز در بازشو های تیرهای لانه زنبوری، مکان

هایی از تمرکز تنش را فراهم می کنند که می توانند استفاده از آن تیرها درجائیکه تاثیر دینامیکی شدید وجود دارد را محدود سازد (Dougherty, 1993).

نیروهای متمرکز در تیرهای با بازشو در جان هم در اطراف بازشو و اتصال جان توسعه می یابد؛ در نتیجه، حالت های اضافی خرابی باید برای مواردی که برای اعضای خمشی جان پر معمولی هستند، مورد بررسی قرار گیرد. تحقیقات نشان داده است که تیرهای لانه زنبوری و سلولی رفتاری مشابه خریای Vierendeel دارند. تئوری طراحی برای تیر لانه زنبوری به طور عمده بر اساس طراحی سازه های جوشی (Blodgett, 1966) (*Design of Welded Structures*)، و تحقیقات بیشتری بر روی کمانش اتصالات جان :

(Aglan and Redwood, 1974؛ Redwood and Shrivastava, 1980) متمرکز شدند. تئوری طراحی تیرهای سلولی توسط موسسه ساخت فولاد بریتانیا (Ward, 1990) توسعه یافته است. رویه های طراحی دارای شباهت زیادی هستند، اما به این دلیل آنکه بوسیله گروه های مختلفی ایجاد شده اند، نکاتی وجود دارند که روش ها در آن ها کمی اختلاف دارد، از قبیل بررسی برش افقی و عمودی .

در هنگام طراحی تیرهای لانه زنبوری یا سلولی، حالت های حدی زیر باید مورد بررسی قرار گیرد:

1- فشردگی (Compactness) و کمانش موضعی (local buckling)

2- استحکام خمشی کلی تیر (Overall beam flexural strength)

3- خمش (Vierendeel) در T بالا و پائین

4- کمانش اتصال جان (Web post buckling)

5- تنش محوری کششی / فشاری (Axial tension/compression)

6- برش افقی (Horizontal shear)

7- برش قائم (Vertical shear)

8- کمانش جانبی-پیچشی (Lateral-torsional buckling)

اولین گام در طراحی تیرهای لانه زنبوری و سلولی، محاسبه ممان خمشی کلی و نیروی برشی در هر بازشو و اتصال جان ناشی از بارهای خارجی است .

این نیروها به عنوان نیروهای کلی خواهند بود. نیروی کلی برای محاسبه نیروهای موضعی در Tهای بالا و پایین، اتصال جان و مقطع ناخالص استفاده خواهند شد. سپس قطعات (Tهای بالا و پایین، اتصال های جان) تیرها برای خرابی تحت نیروهای موضعی مورد بررسی قرار می گیرند.

3.2 خمش ورندهیل در تیرهای غیر کامپوزیت

خمش Vierendeel بوسیله انتقال نیروی برشی درون بازشوها به منظور هماهنگی با نرخ تغییر خمش در امتداد تیر ایجاد می شود. خرابی Vierendeel بوسیله تشکیل مفصل های پلاستیکی در چهار محل (گوشه م) در اطراف باز کردن در ناحیه برش بالا رخ می دهد.

نیروی برشی کلی که از باز شوی جان عبور می کند، تولید ممان خمشی موضعی در Tبالا و پایین کرده که بنام خمش ورندهیل خوانده می شود. خمش و برش کلی در طول تیر تغییر می کند. در نتیجه لازم است که تداخل ممان و برش کلی در هریک از بازشوها در تمامی طول معین شود. تداخل ممان و برش کلی ایجاد یک تنش کلی می کند؛ بنابراین، کارآمدترین استفاده از تیر در وضعیتی است که برش و ممان حداکثر دور از یکدیگر ایجاد شوند. همان

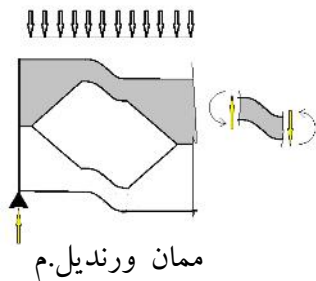
طوری‌که در یک تیر دو سر مفصل با بار یکنواخت رخ می‌دهد.

در بررسی خمش Vierendeel سه مرحله وجود دارد:

1. محاسبه نیروهای محوری حاصل ممان کلی و ممان ورن‌دیل ناشی از برش کلی در T فوقانی و تحتانی ایجاد شده در هر باز شو، ناشی از بار خارجی.

2. محاسبه مقاومت محوری و خمشی T های بالا و پایین با استفاده از فصل های E، D و F مشخصات AISC برای ساختمان های فولادی (AISC، 2016).

3. تداخل نیروی محوری و ممان ورن‌دیل با استفاده از معادلات در فصل H مشخصات AISC.



3.2.1 محاسبه نیروی محوری و ممان ورن‌دیل در

هر باز شو

3.2.1.1 محاسبه نیروهای محوری در تیر

نیروی محوری (کششی / فشاری) یک تابع از ممان خمشی

کلی در تیر است. این شبیه یک نیروی محوری در یال خرپا است. نیروی محوری با تقسیم ممان کلی در تیر تقسیم بر فاصله مرکز ثقل دو T بالا و پائین، d_{effec} ، محاسبه می‌شود

فرض بر این است که نیروی محوری بر روی مقطع یکنواخت عمل می‌کند.

برای اصطلاحات و متغیرهای مورد استفاده برای محاسبه نیروهای محوری شکل 1-3 را ببینید

مقاومت فشاری محوری مورد نیاز P_r :

$$P_r = \frac{M_r}{d_{effec}} \quad (3-1)$$

M_r = مقاومت خمشی مورد نیاز، (kip-in.) یا (N-mm)

d_{eff} = فاصله بین مرکز ثقل T بالا و پایین، (in.) (میلی متر)

3.2.1.2 محاسبه ممان ویرندل در تیر

ممان ویرندل با تقسیم نیروی برشی کلی در تیر بین T بالا و پایین و ضرب کردن نیروی برشی در بازوی ممان محاسبه می شود. اگر T بالا و پایین یکسان باشند، برش را می توان به طور مساوی بین آن ها تقسیم کرد. اگر T بالا و پایین یکسان نباشند (همانطور که در بخش های نامتقارن مورد استفاده قرار می گیرند)، نیروی برشی باید بین T بالا و پایین براساس مساحت دو T نسبت به یکدیگر تقسیم شود. برای بخش های لانه زنبوری شده، بازوی ممان ویرندل یک دوم عرض بالای بازو ($e / 2$) است. برای تیرهای سلولی، بازوی ممان باید به مقدار $D_o / 4$ گرفته شود (Bjorhovde، 2000).

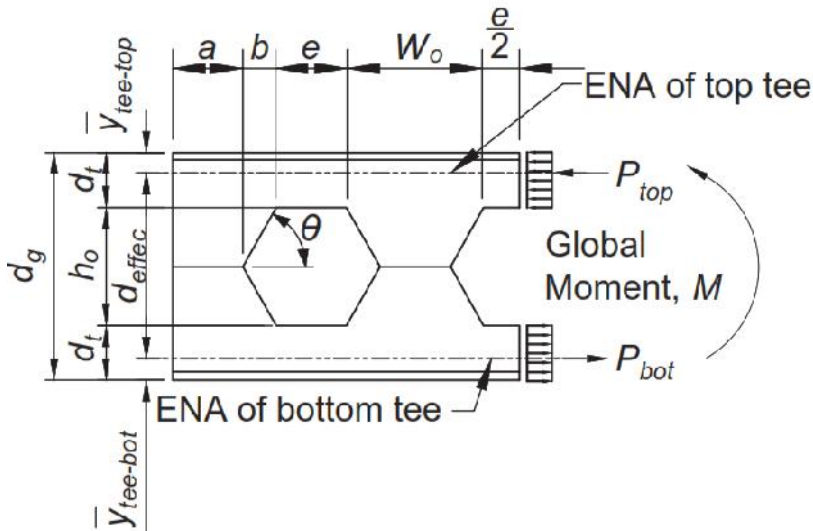
مقاومت خمشی لازم، M_{vr} :

$$\text{Castellated Beams: } M_{vr} = V_r \left(\frac{A_{tee}}{A_{net}} \right) \left(\frac{e}{2} \right) \quad (3-2)$$

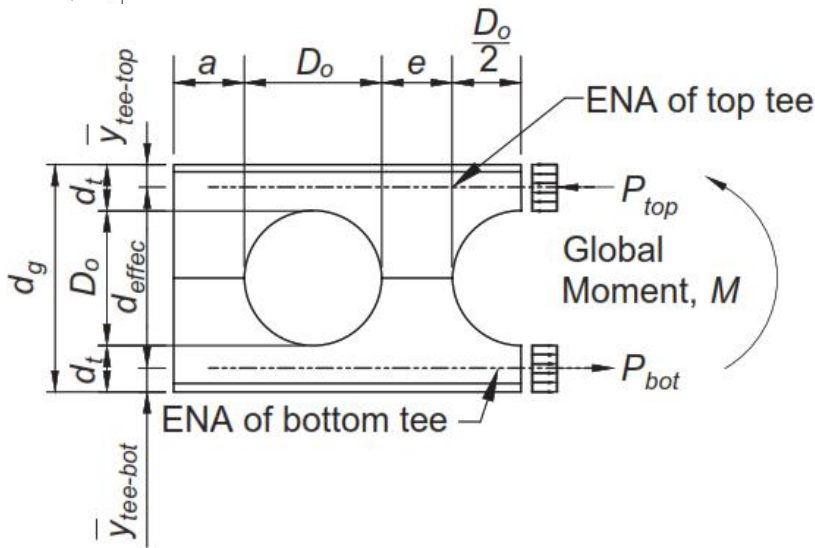
$$\text{Cellular Beams: } M_{vr} = V_r \left(\frac{A_{tee}}{A_{net}} \right) \left(\frac{D_o}{4} \right) \quad (3-3)$$

در دوشکل زیر (شکل های 1-3) نمایه های بکار رفته برای محاسبه نیروی محوری در تیر غیر کامپوزیت آمده است.

در تیر لانه زنبوری:



در تیر سلولی:



در جایکه:

$$A_{net} = \text{جمع مساحت T فوقانی و تحتانی} \text{ (mm}^2\text{) , in.}^2$$

$$A_{te} = \text{مساحت مقطع } T \text{ (mm}^2\text{) } \times \text{in.}^2$$

$$D_o = \text{قطر بازشو, (mm) } \times \text{in.}$$

$$V_r = \text{مقاومت برشی لازم, (N) } \times \text{kips.}$$

$$e = \text{طول قسمت پر جان (اتصال جان.م) در محور مرکز, (mm) } \times \text{in.}$$

نیروهای محوری (فشاری یا کششی) و نیروهای خمشی به طور همزمان روی T بالا و پایین عمل می کنند. در مورد ممان مثبت کلی، T بالا در فشار و T پایین در کشش قرار دارد. هر دو T تحت تاثیر خمش ناشی از نیروهای برشی کلی تیر قرار می گیرند.

3.2.2 محاسبه (کشش / فشار) محوری و مقاومت خمشی T بالا و پایین

مقاومت محوری موجود از T بالا و پایین می توان با استفاده مشخصات AISC فصل D و E محاسبه کرد، و مقاومت خمشی موجود را می توان با استفاده از AISC مشخصات فصل F (AISC، 2016) محاسبه نمود. سپس فصل H می تواند مورد استفاده جهت بررسی تداخل دو نیروی وارده همزمان قرار گیرد. برای سادگی، قابل قبول است (و کمی محافظه کارانه) که نیروی کششی در T پایین به عنوان نیروی فشاری تلقی گردد، به این ترتیب تعداد محاسبات را کاهش می یابد.

1.2.2.3 محاسبه مقاومت اسمی محوری T بالا و پائین

مقاومت اسمی محوری فشاری، P_n ، عبارتست از پائین ترین مقدار بدست آمده بر اساس حالت های حدی کمانش خمشی و کمانش خمشی - پیچشی .

فرضیات محاسبه:

$$K_x = 0.65 \quad -1$$

(فرض کنید چرخش و تغییر مکان در دو انتهای مقطع نگهداری شده است.)

$$K_y = 1.0 \quad -2$$

$$E = 29,000 \text{ ksi (200 000 MPa)} \quad -3$$

$$L = \quad \text{in. (mm)} \quad \text{طول جانبی نگهداری نشده عضو} \quad -4$$

برای تیر لانه زنبوری برابر با e و برای تیر سلولی برابر با $Do/2$ گرفته شود.

$$L_c = K L = \text{effective length,} \quad \text{in. (mm)} \quad \text{طول موثر} \quad -5$$

$$L_c = K_x L \quad -6 \quad (\text{ادامه بند پنج است. م.})$$

$$= K_y L$$

$$G = 11,200 \text{ ksi (77 200 MPa)} \quad -7$$

مقاومت فشاری برای کماتش خمشی- بخش E3 مشخصات AISC

برای المان های بدون اعضاء لاغر (slender elements) مقاومت اسمی فشاری برای کماتش خمشی با استفاده از بخش E3 مشخصات AISC محاسبه خواهد شد.

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (\text{Spec. Eq. E3-1})$$

$$\phi_c = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_c = 1.67 \text{ (ASD)}$$

$$A_g = A_{tee}$$

در جاییکه:

تنش بحرانی F_{cr} ، به شرح زیر است:

$$(a) \text{ When } \frac{L_c}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left(\text{or } \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25 \right)$$

$$F_{cr} = \left(0.658 \frac{F_y}{F_e} \right) F_y \quad (\text{Spec. Eq. E3-2})$$

$$(b) \text{ When } \frac{L_c}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left(\text{or } \frac{F_y}{F_e} > 2.25 \right)$$

$$F_{cr} = 0.877 F_e \quad (\text{Spec. Eq. E3-3})$$

در جاییکه:

$r =$ حداقل r_x از مقطع T (mm) in.

تنش کمانش الاستیک، F_e ، به شرح زیر است:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{r}\right)^2} \quad (\text{Spec. Eq. E3-4})$$

اگر T شامل عناصر لاغر فشاری باشد، از بخش E7 AISC Specification برای محاسبه F_{cr} استفاده می شود.

مقاومت فشاری برای کمانش خمشی-پیچشی. مشخصات AISC بخش E4

مقاومت فشاری اسمی براساس حالت حدی از کمانش خمشی-پیچشی به صورت زیر تعیین می شود:

تنش بحرانی F_c بر اساس رابطه E3-2 یا E3-3 با استفاده از تنش کمانش الاستیک پیچشی یا پیچشی - خمشی، F_e ، از رابطه زیر بدست می آید.

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (\text{Spec. Eq. E4-1})$$

$$\phi_c = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_c = 1.67 \text{ (ASD)}$$

که در آن:

$$C_w = \text{ثابت تابیدگی (Warping): } \text{in.}^6 \text{ (mm}^6\text{)}$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{cy}}{r_y}\right)^2} \quad (\text{Spec. Eq. E4-6})$$

$$F_{ez} = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(L_{cz})^2} + GJ \right] \frac{1}{A_g \bar{r}_o^2} \quad (\text{Spec. Eq. E4-7})$$

G = مدول الاستیته برشی فولاد = 11200 ksi (77200MPa)

$$H = 1 - \frac{x_o^2 + y_o^2}{\bar{r}_o^2} \quad (\text{Spec. Eq. E4-8})$$

I_x و I_y = ممان اینرسی حول محورهای اصلی in.^4 (mm^4)

J = ثابت پیچشی in.^4 (mm^4)

K_x = ضریب طول موثر برای کمانش خمشی حول محور X

K_y = ضریب طول موثر برای کمانش خمشی حول محور Y

K_z = ضریب طول موثر برای کمانش خمشی حول محور طولی

$L_x = L_{cx}$ طول موثر عضو برای کمانش حول محور X in. (mm)

$L_y = L_{cy}$ طول موثر عضو برای کمانش حول محور Y in. (mm)

$L_z = L_{cz}$ طول موثر عضو برای کمانش حول محور طولی in. (mm)

\bar{r}_o = شعاع ژیراسیون قطبی حول مرکز برش in. (mm)

$$\bar{r}_o^2 = x_o^2 + y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g} \quad (\text{Spec. Eq. E4-9}) \quad = \bar{r}_o^2$$

r_x = شعاع ژیراسیون حول محور x (mm) in.

r_y = شعاع ژیراسیون حول محور y (mm) in.

x_o ، y_o مختصات مرکز برش نسبت به مرکز (mm) in.

مقاومت کششی - AISC مشخصات بخش D2

مقاومت کششی اسمی بر اساس مقدار حد جاری شدن کششی روی مقطع ناخالص تعیین می

شود:

$$P_n = F_y A_g \quad (\text{Spec. Eq. D2-1})$$

$$\phi_c = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_c = 1.67 \text{ (ASD)}$$

2-2-2-3 محاسبه نیروی مقاومت کششی اسمی ، M_n

مقاومت خمشی قسمت های مقاطع T بالا و پایین باید مشخص و با مقاومت خمشی مورد نیاز برای مقابله با ممان طراحی ویرندیل ، برای طولی بدون نگهداری جانبی معادل با طول بخش T (به شکل 2-3 مراجعه شود) ، مقایسه شود.

مفروضات طراحی:

1- $E=29,000 \text{ ksi} (200\ 000 \text{ MPa})$

2- $L_b = e$ برای تیر لانه زنبوری

برای تیر سلولی $D_o / 2$

3- $G=$ مدول الاستیسیته برشی فولاد $= 11200 \text{ ksi} (77200 \text{ MPa})$

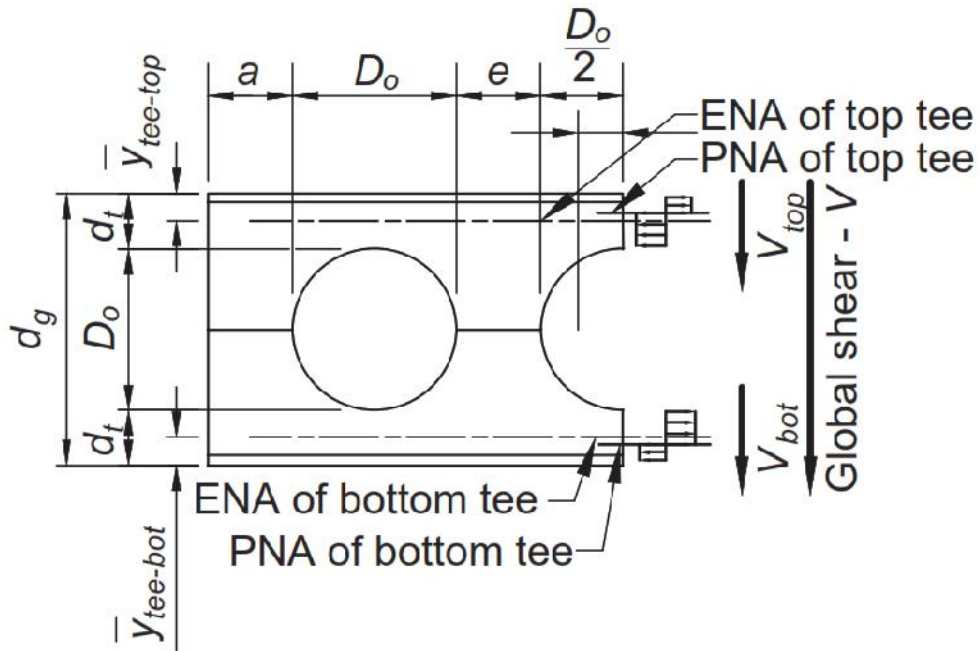
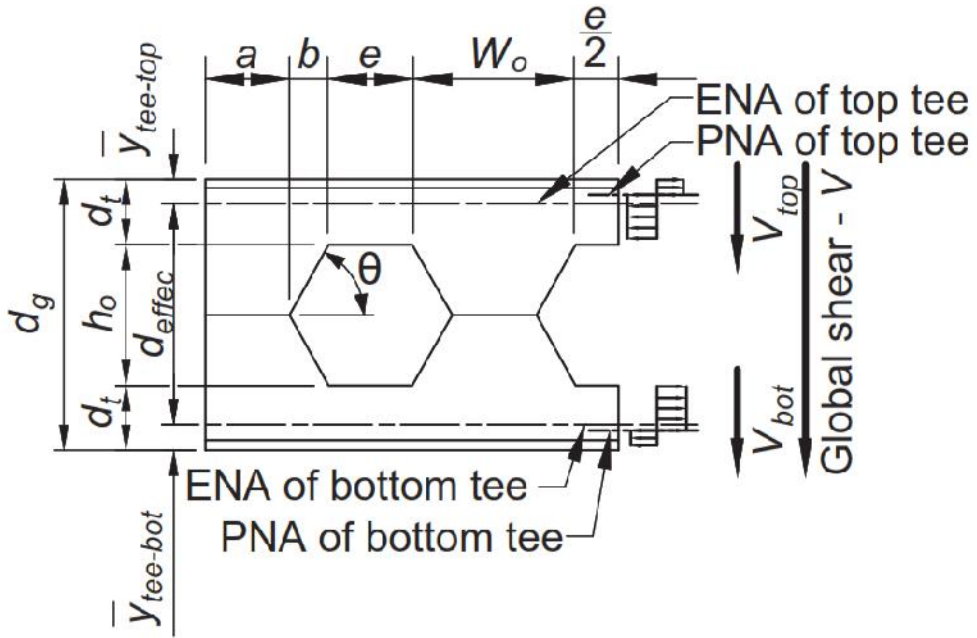
مقاومت خمشی اسمی، پایین ترین مقدار بدست آمده بر توجه به شرایط حدی جاری شدن (ممان پلاستیک)، کمانش جانبی - پیچشی، کمانش موضعی بال و کمانش موضعی دو T می باشد.

مقاومت اسمی خمشی برای جاری شدن - مشخصات AISC بخش F9.1

مقاومت اسمی خمشی برای جاری شدن، M_n به شرح زیر تعیین می شود:

$$M_n = M_p \quad (\text{Spec. Eq. F9-1})$$

در دو شکل صفحه بعد (شکل های 2-3) نمایه های بکار رفته برای محاسبه ممان ویرندیل در تیر غیر کامپوزیت لانه زنبوری و سلولی آمده است.



$$M_p = M_y \quad (\text{Spec. Eq. F9-4})$$

$$M_y = F_y S_{X-T} \quad \text{درجائیکه:}$$

$$M_y = \text{ممان جاری شدن حول محور خمشی (N-mm) . kip-in}$$

$$S_{X-T} = \text{مدول الاستیک T حول محور } x-x, \text{ in}^3, \text{ mm}^3$$

توجه: از آنجا که ساقه T در فشار قرار دارد، M_p محدود به حداقل مدول مقطع T ، S_{X-T} ضربدر مقاومت جاری شدن فولاد می شود.

کمانش پیچشی-جانبی - مشخصات AISC بخش F9.2

هنگامی که $L_b \leq L_p$ ، حالت حدی کمانش جانبی-پیچشی اعمال نمی شود.

هنگامی که $L_p < L_b \leq L_r$ ،

$$M_n = M_p - (M_p - M_y) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \quad (\text{Spec. Eq. F9-6})$$

when $L_b > L_r$

$$M_n = M_c \quad (\text{Spec. Eq. 9-7})$$

در جاییکه:

$$L_p = 1.76r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (\text{Spec. Eq. F9-8})$$

$$L_r = 1.95 \left(\frac{E}{F_y} \right) \frac{\sqrt{I_y J}}{S_x} \sqrt{2.36 \left(\frac{F_y}{E} \right) \frac{d S_x}{J} + 1} \quad (\text{Spec. Eq. F9-9})$$

$$M_{cr} = \frac{1.95E}{L_b} \sqrt{I_y J} \left(B + \sqrt{1 + B^2} \right) \quad (\text{Spec. Eq. F9-10})$$

$$B = 2.3 \left(\frac{d}{L_b} \right) \sqrt{\frac{I_y}{J}} \quad (\text{Spec. Eq. F9-11})$$

d = عمق T در کشش (mm)in.

برای ساقه T در فشار در هر نقطه ای در طول نگهداری نشده M_c بوسیله رابطه

F9-10 با استفاده از مقدار زیر بدست می آید:

$$B = -2.3 \left(\frac{d}{L_b} \right) \sqrt{\frac{I_y}{J}} \quad (\text{Spec. Eq. F9-12})$$

در جاییکه:

d = عمق T در فشار (mm) in.

برای ساقه T:

$$M_n = M_{cr} \leq M_y \quad (\text{Spec. Eq. F9-13})$$

کمانش موضعی T- مشخصات AISC بخش F9.3

(a) برای مقطع با بال فشرده در فشار خمشی ، حالت حدی کمانش موضعی بال

منظور نمی گردد.

(b) برای مقاطع دارای بال غیر فشرده در فشار خمشی :

$$M_n = \left[M_p - (M_p - 0.7F_y S_{xc}) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \leq 1.6M_y$$

(Spec. Eq. F9-14)

(c) برای مقاطع دارای بال لاغر در فشار خمشی :

$$M_n = \frac{0.7ES_{xc}}{\left(\frac{b_f}{2t_f} \right)^2} \quad (\text{Spec. Eq. F9-15})$$

در جایکه :

S_{xc} ممان الاستیک مقطع نسب به بال فشاری in^3 ، mm^3

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f}$$

$\lambda_{pf} = \lambda_p$ B4.1b محدودیت لاغری برای بال فشرده، مشخصات AISC جدول

$\lambda_{rf} = \lambda_r$ B4.1b محدودیت لاغری برای بال غیرفشرده، مشخصات AISC جدول

کمانش موضعی ساقه T در فشار خمشی - مشخصات AISC بخش F9.4

مقاومت اسمی خمشی برای کمانش موضعی در فشار خمشی، M_n ، به شرح زیر بدست می

آید: $M_n = F_{cr} S_x$ (Spec. Eq. F9-16)

که در آن:

$S_x =$ مدول مقطع الاستیک حول محور X . in^3 (m^3)

تنش بحرانی، F_c ، به شرح زیر بدست می آید:

(a) When $\frac{d}{t_w} \leq 0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$F_{cr} = F_y$ (Spec. Eq. F9-17)

(b) When $0.84\sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{d}{t_w} \leq 1.52\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$$F_{cr} = \left(1.43 - 0.515 \frac{d}{t_w} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \right) F_y$$

(Spec. Eq. F9-18)

(c) When $\frac{d}{t_w} > 1.52\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$$F_{cr} = \frac{1.52E}{\left(\frac{d}{t_w} \right)^2}$$

(Spec. Eq. F9-19)

جائیکه : $d = d_t$

3.2.3 کنترل T بالا و پائین مواجه با ترکیب خمش و نیروی محوری.

تداخل خمش و نیروی محوری در T بالا و پائین مقید به خم شدن حول محور هندسی (X) و یا (y) بوسیله مشخصات AISC به روابط H1-1a و H1-1b محدود شده است.

برای ترکیب خمش و فشار:

(a) For $\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

(Spec. Eq. H1-1a)

(b) For $\frac{P_r}{P_c} < 0.2$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

(Spec. Eq. H1-1b)

در جاییکه:

P_c = مقاومت محوری موجود، (N) kips

P_r = مقاومت محوری مورد نیاز، (N) kips

M_c = مقاومت خمشی موجود، (N-mm) kip-in.

M_r = مقاومت خمشی مورد نیاز، (N-mm) kip-in.

X = اندیس مربوط به به خم شدن در جهت محور اصلی

γ = اندیس مربوط به خم شدن در جهت محور کوچکتر

یک چک برای ترکیب خمش و کشش می تواند با استفاده از معادلات مشابه انجام شود؛ با این حال، مقاومت فشاری موجود همیشه کمتر از مقاومت کششی موجود است و از این رو مقاومت فشاری موجود برای ساده سازی محاسبات ممکن است بکار رود. این امر ممکن است در مقاطع نامتقارن درست نباشد، در این صورت ممکن است نیاز به بررسی مقاومت کششی موجود نیز باشد.

3.3 خمش ویرندیل در تیرهای کامپوزیت

خمش ویرندیل در تیرهای کامپوزیت شبیه آن در تیرهای غیر کامپوزیت است. نیروی برشی مقاومت شده بوسیله دال بتنی ابتدا از نیروی برشی اعمال شده کسر می شود. برش خالص بین دو T تقسیم می شود. نمی توان فرض کرد که بالاترین نیروهای داخلی در وسط تیر رخ می دهند؛ هر بازشو در تمامی طول تیر باید برای ترکیب برش و خمش بررسی شود.

نتیجه عمل کامپوزیت ایجاد نیروهای کوچکتر در دو T می باشد و منجر به طراحی مناسب تر می شود. با این حال، در بازشوهای جان در نزدیکی انتهای تیرها، عمل کامپوزیت به دلیل تعداد محدودی از اتصالات برشی ها بین انتهای تیر و باز شو باید مورد بررسی قرار گیرد.

به عنوان نتیجه، نیروی کمتری توسط بتن گرفته می شود و نیروی بیشتری توسط دو T برده می شود. مشارکت (در بردن برش.م) در مقطع کامپوزیت باید در تعداد واقعی برشگیرها موجود در انتهای تیر و بازشو در نظر گرفته شود. یکی دیگر از مزایای تیر کامپوزیت کمک بتن در مقابله با نیروی برشی کلی و در نتیجه کاهش ممان ویرندیل در دو T می باشد.

پنج مرحله برای کنترل خمش ویرندیل در تیرهای کامپوزیت می باشد:

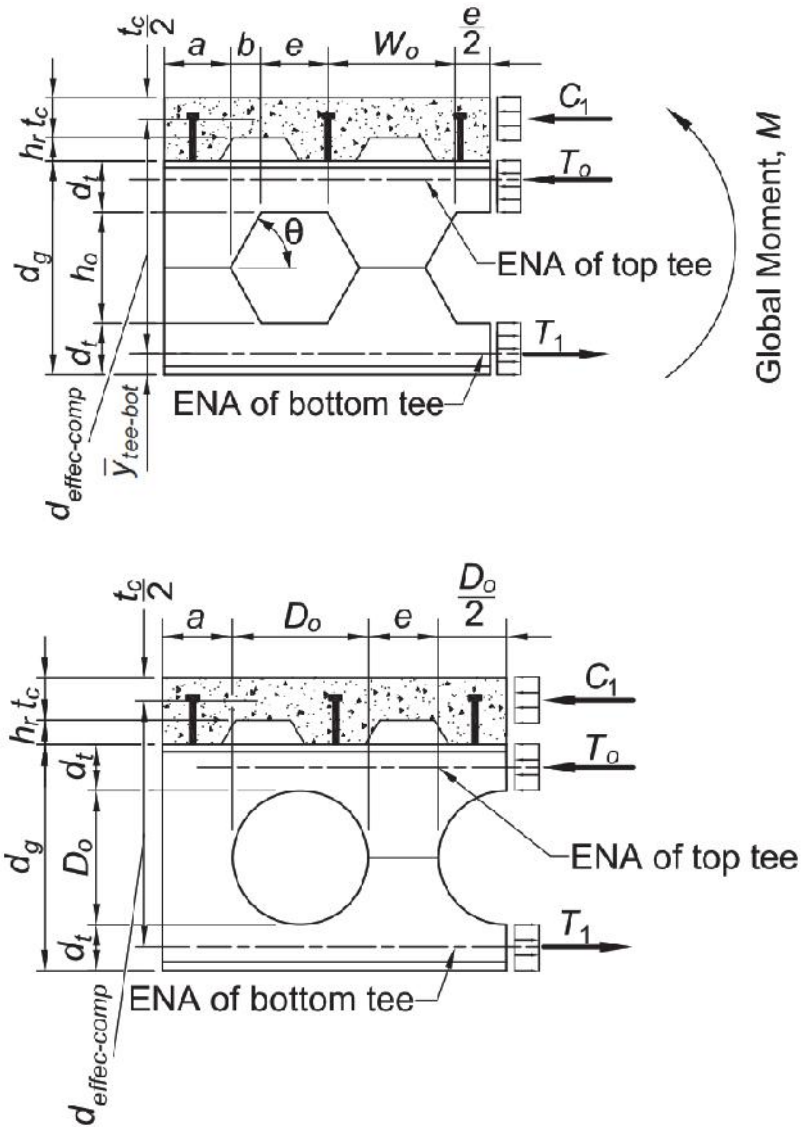
1. محاسبه مقاومت برشی در دال بتن که باعث کاستن از برش کلی برای محاسبه برش خالص که برای محاسبه ممان ویرندیل در T های بالا و پایین بکار می رود .
2. محاسبه برش خالص و ممان را در هر کدام.
3. محاسبات نیروهای محوری و ممان ویرندیل در T های بالا و پایین.
4. محاسبه مقاومت فشاری و خمشی محوری در T های بالا و پایین با استفاده از فصل E و F مشخصات AISC.
5. بررسی اثر تداخل مقاومت موجود فشاری محوری و خمشی با استفاده از معادلات فصل H مشخصات AISC.

1.3.3 محاسبه نیروی محوری و ممان ویرندیل در هر باز شو

1.1.3.3 محاسبه نیروهای محوری در تیر

فرض بر این است که تعداد قابل توجهی از برشگیرهای فولادی برای اتصال بتن وجود دارد به طوری که تمام نیروی فشاری توسط بخش بتن مقابله می شود و T پایین مقاومت در برابر تمام نیروهای کششی را ایجاد می کند. بنابراین، هنگامی که تیر در این بخش به طور کامل کامپوزیت است، آنطور که در شکل 3-3 نشان داده شده است، T_0 برابر صفر (نیروی در T فوقانی.م) و $T_1=C_1$ است. کوپل نیروی فشاری / کشش بواسطه ممان کلی تولید می شود.

شکل 3-3 - در دو شکل زیر (شکل های 3-3) نمایه های بکار رفته برای محاسبه نیروی محوری در تیر کامپوزیت لانه زنبوری و سلولی آمده است.



پس از این فرض اولیه لازم است Y_c را دوباره محاسبه کنیم که ضخامت بتنی است که برای مقاومت در برابر ممان کلی استفاده می شود (ضخامت موثر بتن.م). با روش آزمون و خطا، نمایه Y_c در معادلات بالا با t_c جایگزین می شود. شکل 3-3 ابعاد و نیروهای مورد استفاده برای محاسبه نیروی محوری در تیر کامپوزیت را نشان می دهد.

2.1.3.3 عرض موثر

عرض موثر b_{effec} دال بتنی نباید از مقادیر زیر تجاوز نماید:

1- برای تیرهای میانی:

$$b_{effec} \leq \frac{\text{beam span}}{4} \quad (3-4a)$$

$$b_{effec} \leq \text{beam spacing} \quad (\text{for equal beam spacing}) \quad (3-4b)$$

2- برای تیرهای لبه ای:

$$b_{effec} \leq \frac{\text{beam span}}{8} + \text{distance from beam center to edge of slab} \quad (3-5)$$

$$b_{effec} \leq \frac{\text{beam spacing}}{2} + \text{distance from beam center to edge of slab} \quad (3-6)$$

مساحت خالص، A_{net} ، عبارتست از:

$$A_{net} = A_{tee-top} + A_{tee-bot} \quad (3-7)$$

عمق موثر مقطع کامپوزیت عبارتست از:

$$d_{effec-comp} = d_g - \bar{y}_{tee-bot} + h_r + 0.5t_c$$

جائیکه:

d_g عمق تیر باز شده: in, (mm)

h_r ارتفاع ریب عرشه: in, (mm)

t_c ضخامت بتن بالای ریب: in, (mm)

$\bar{y}_{tee-bot}$ فاصله زیرین ترین نقطه بال تحتانی تا مرکز ثقل بال تحتانی

محاسبه نیروی محوری در T تحتانی، T_1 و نیروی محوری در بتن، C_1 ، با فرض عمل کامل

کامپوزیت:

$$T_1 = C_1 = \frac{M_r}{d_{effec-comp}} \quad (3-9)$$

محاسبه عمقی از بتن و Y_c ، که برای مقابله با ممان کلی لازم است:

$$Y_c = \frac{T_1}{0.85 f'_c b_{effec}} \quad (3-10)$$

درجائیکه:

$$f'_c = \text{مقاومت فشاری بتن (ksi MPa)}$$

نمایه γ_c شبیه a است که معرف عمق بلوک فشاری در طراحی را نشان می دهد. که منبع در محاسبه d_e بجای t_c خواهد آمد. این روش ممکن است چندین بار آزمون و خطا را برای کسب نتیجه نیازمند باشد. توجه داشته باشید که این روند در هر باز شو خواهد بود. (d_e عبارتست از فاصله مرکز ثقل بال تحتانی تا میانه حجم منشور فشاری بتن.م)

با استفاده از بخش 1.2d.1 مشخصات AISC، نیروی برشی افقی، V' را بین نقطه حداکثر ممان مثبت و نقطه ممان صفر محاسبه می شود. V' ، با توجه به شرایط حدی از خرابی در بتن و یا جاری شدن کششی در مقطع فولاد، از کمترین مقدار بین آندوبه دست می آید.

$$V' = 0.85 f'_c A_c \quad (\text{Spec. Eq. I3-1a})$$

$$V' = F_y A_s \quad (\text{Spec. Eq. I3-1b})$$

که در آن:

$$A_c = \text{مساحت عرض موثر دال بتونی، } (mm^2), i^2$$

$$A_s = \text{مساحت مقطع فولادی، } (mm^2), i^2 \text{ Anet} =$$

فاصله از انتهای تیر تا مرکز (هر) باز شو مورد بررسی به عنوان X_i تعریف شده و تعداد کل برشگیر ها در طول تیر به عنوان N_s تعریف می شود.

دانشیته نیروی برشی برشگیرها، q ، به صورت زیر تعریف می شود:

$$q = \left(\frac{N_s Q_n}{Span} \right) \quad (3-11) \quad \text{در جائیکه:}$$

$Q_n =$ مقاومت برشی اسمی یک برشگیر، (N) kips

تعداد کل برشگیرها بین انتهای تیر و باز شو مورد نظر با N_1 تعریف می شود و نیروی کل برشگیرها بین انتهای تیر و باز شو مورد نظر، با ضرب چگالی دانشیته برشگیر، q ، در X_i تعیین می شود.

اگر T_1 در باز شو مورد نظر بیش از مقاومت کل برشگیر تا آن باز شو باشد عمل نیمه کامپوزیت برقرار است.؛ اگر نه، مقطع دارای عمل کامپوزیت کامل است و فرض آنکه بتن می تواند تمام نیروی فشاری را ببرد، معتبر است. به عبارت دیگر، اگر برشگیرهای کافی برای مقابله با نیروی T_1 وجود نداشته باشند، باید مقطع باید به صورت نیمه کامپوزیت طراحی شود. اگر مقطع نیمه کامپوزیت باشد، نیرو T_0 که بر روی T بالا و پایین وارد می شود را باید محاسبه کرد. T_0 نشان دهنده نیروی محوری اضافی است که، در نبود عمل کامپوزیت کامل، باید به وسیله T های تیر فولادی مقابله شود.

اگر مقطع تیر کامپوزیت در محل باز شو جان دارای عمل نیمه کامپوزیت باشد، T_0 ، T_{1-new} و C_{1-new} را باید محاسبه کرد. همانطور که در شکل 3-4 نشان داده شده اگر باز شو نیمه کامپوزیت است، T_0 را محاسبه و جایگزین T_1 گردد. مقدار نیروی محوری در T فوقانی، T_0 ، به شرح زیر محاسبه می شود:

$$T_o = M_r \left[\frac{1 - \frac{(q)(X_i)}{T_1}}{d_{effec}} \right] \quad (3-12)$$

مقدار نیروی محوری در T تحتانی ، T_{1-new} سپس به شرح زیر محاسبه می شود:

$$\begin{aligned} T_{1-new} &= qX_i + T_o \\ &= C_{1-new} + T_o \end{aligned} \quad (3-13)$$

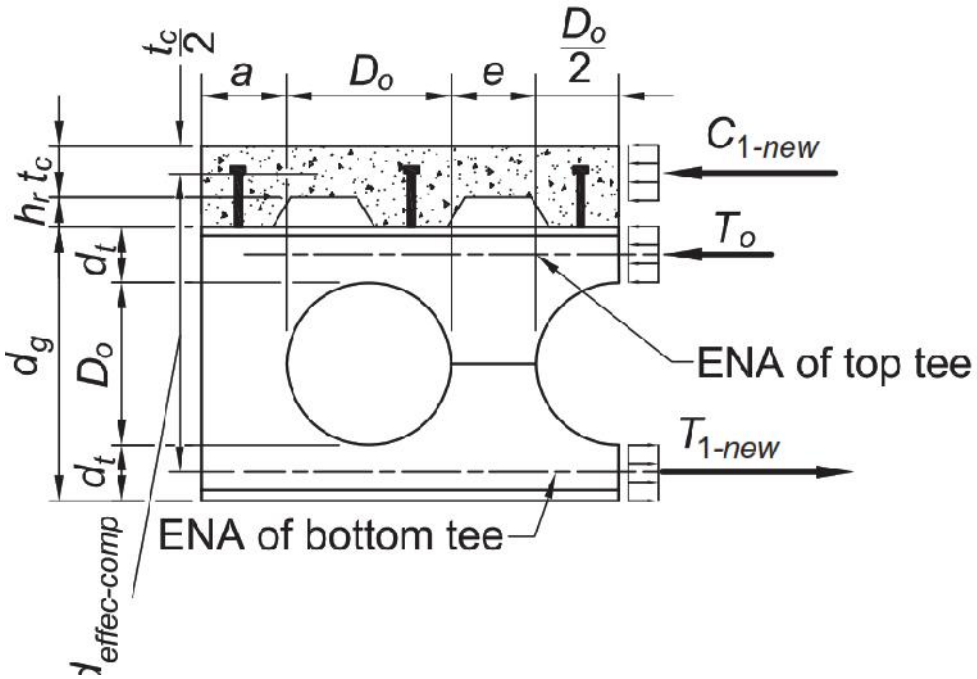
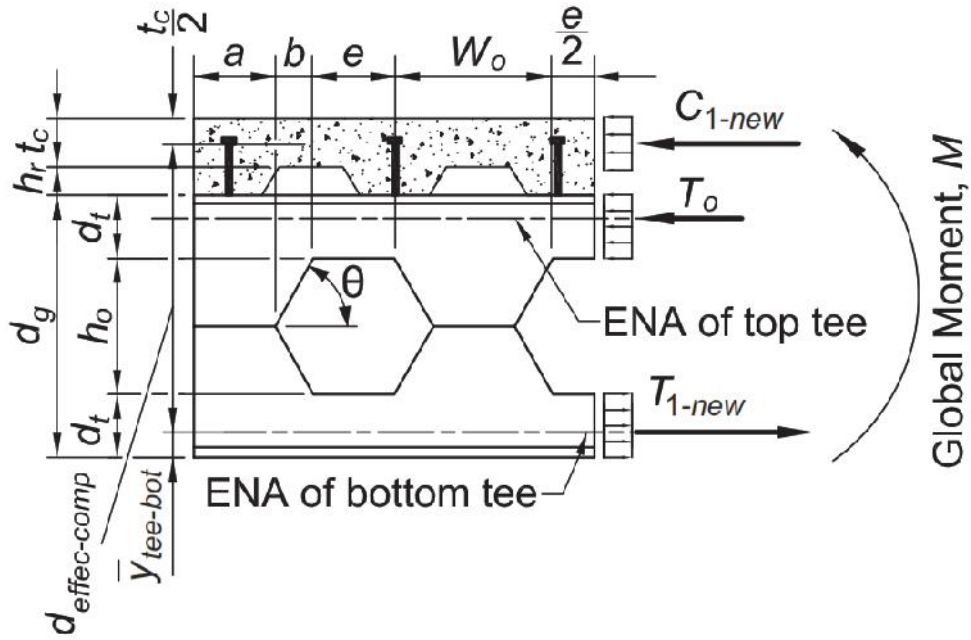
2.3.3 محاسبه ممان خمشی ویرندل در T بالا و پایین

ممان ورنندیل در T بالا و پایین در تیرهای کامپوزیت به همان شیوه تیرهای غیر کامپوزیت محاسبه می شوند. بسیاری از اوقات در تیرهای کامپوزیت، استفاده از مقاطع نامتقارن (بال بزرگتر در پائین) منطقی است، چراکه بال بالامعمولا نیروهای کششی قابل توجهی را تحمل نمی کند(شاید نیروی فشاری.م). اگر از مقاطع نامتقارن استفاده می شود، نیروی برشی کلی باید بین T های بالا و پایین بر اساس مساحت آن ها نسبت به یکدیگر تقسیم شود. همچنین برای مقاطع کامپوزیت به دال بتن اجازه داد بخشی از نیروهای برشی کلی برای کاهش ممان خمشی ورنندیل را ببرد. مقاومت اسمی دال بتنی با V_c نشان داده شده. شکل 3-5 ابعاد و نیروهای مورد استفاده برای محاسبه ممان ورنندیل را در تیر نشان می دهد.

محاسبه مقاومت برشی پانچ ، V_{nc} ،

$$V_{nc} = 3(h_r + t_c)(t_c) \left(4\sqrt{f'_c} \right) \quad (3-14)$$

شکل 3-4 در دو شکل زیر (شکل های 3-4) نمایه های بکار رفته برای محاسبه نیروی محوری در تیر نیمه کامپوزیت لانه زنبوری و سلولی آمده است.



مقاومت برشی در دسترس ، V_c ، به صورت زیر تعیین می شود:

$$V_c = \phi_{cv} V_{nc} \text{ (LRFD)} \quad (3-15a)$$

$$V_c = V_{nc} / \Omega_{cv} \text{ (ASD)} \quad (3-15b)$$

$$\phi_{cv} = 0.75 \quad \Omega_{cv} = 2.00$$

تعیین نیروی برشی خالص از رابطه زیر:

$$V_{r-net} = V_r - V_c \text{ (3-16)}$$

مقاومت خمشی لازم ویراندیل:

برای تیرهای لانه زنبوری، مقاومت خمشی لازم ورنندیل از رابطه زیر بدست می آید:

$$M_{vr} = V_{r-net} \left(\frac{A_{tee}}{A_n} \right) \left(\frac{e}{2} \right) \quad (3-17)$$

و برای تیرهای سلولی:

$$M_{vr} = V_{r-net} \left(\frac{A_{tee-crit}}{A_{crit}} \right) \left(\frac{D_o}{4} \right) \quad (3-18)$$

در جاییکه:

A_{crit} عبارتست از مجموعه مساحت بالا و پائین مقطع بحرانی، (mm^2) $in.^2$

A_{tee} عبارتست از مساحت مقطع T ، (mm^2) $in.^2$

$A_{tee-crit}$ عبارتست از مساحت مقطع بحرانی که در فاصله $0.225D_o$ از مرکز باز شو

قرار گرفته، (mm^2) $in.^2$

3.3.3 محاسبه مقاومت در دسترس محوری و خمشی T بالا و پائین

مقاومت اسمی T های بالا و پائین باید به عنوان مقطع غیر کامپوزیت محاسبه شود. تنها تفاوت این است که T پائین باید به عنوان یک عضو تحت کشش واقعی (تنش محوری) و ممان ورندهیل (تنش خمشی) مورد بررسی قرار گیرد و نه به عنوان نیروی محوری فشاری فرض شود. همانطور که در مقطع غیر کامپوزیتی برای سادگی صورت می گیرد. اگر نیرویی T_o وجود داشته باشد، T بالا باید به عنوان یک عضو فشاری مورد بررسی قرار گیرد. همچنین، همانطور که در مقاطع غیر کامپوزیت دیده شد، نیروهای ترکیبی باید مطابق با مشخصات AISC بخش H کنترل شود.

4.3 کمانش اتصال جان WEB POST

کمانش اتصال جان توسط نیروی برشی افقی که از اتصال جان عبور می کند، ایجاد می شود. مقاومت نهائی این اتصال جان توسط یکی از دو حالت پوشش می شود:

1. خرابی خمشی ناشی از ایجاد مفصل پلاستیک در اتصال جان.

2. خرابی ناشی از کمناش در اتصال جان.

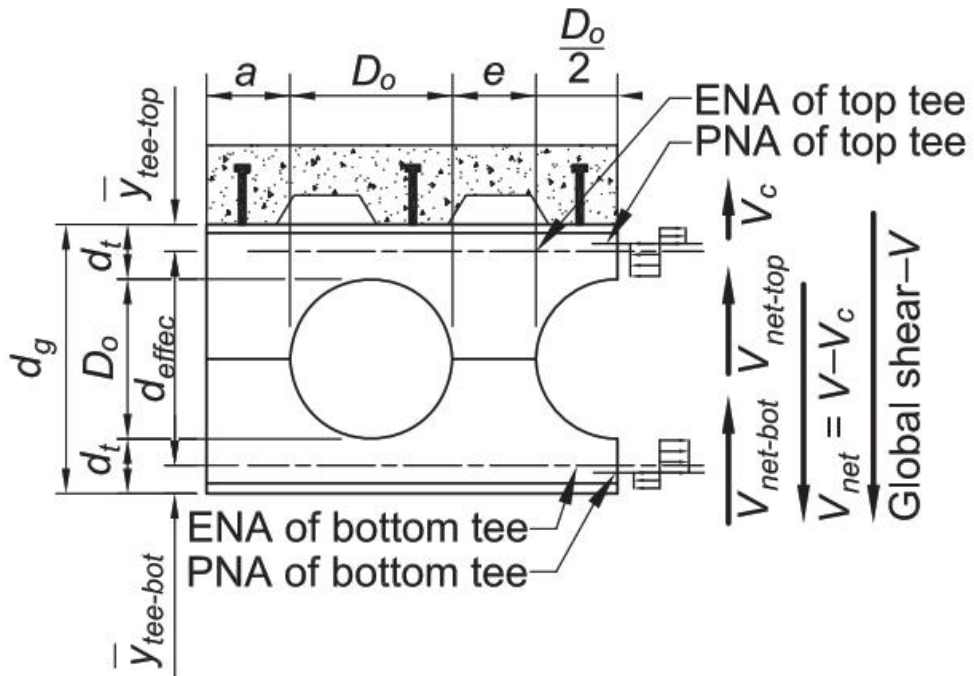
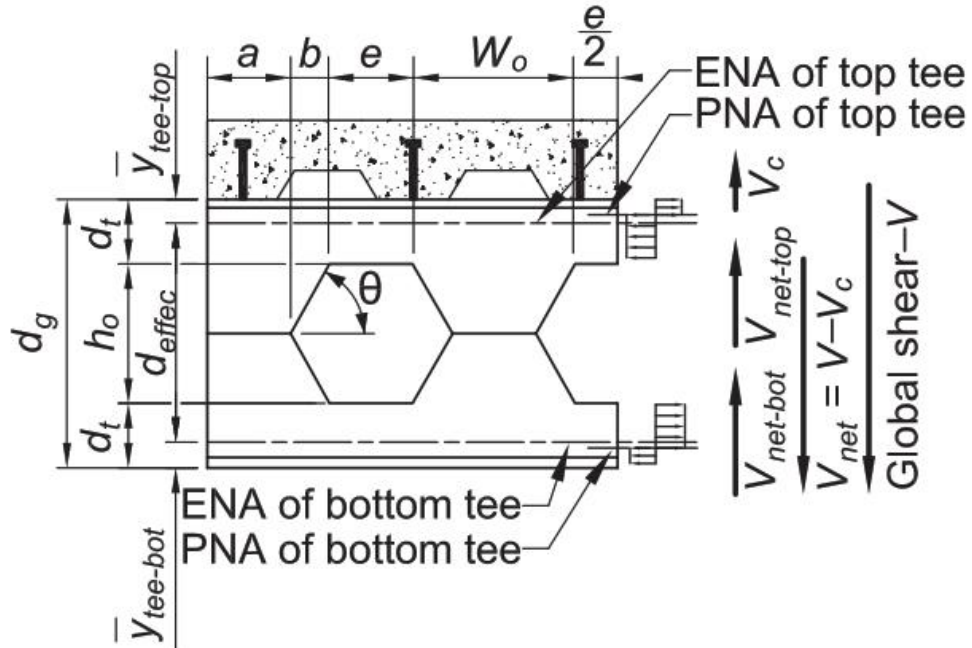
حالت خرابی بسته به هندسه و ضخامت اتصال جان می باشد. کنترل های جداگانه برای T های بالا و پایین، که ممکن است دارای ضخامت های مختلف و مقاومت های مختلف باشند، انجام می شود.

برای تیرهای لانه زنبوری، ظرفیت کمناش اتصال جان با استفاده از معادلاتی که از طریق آزمایش های خرابی به دست آمده است (Aglan and Redwood 1974) عمل می گردد. این مجموعه معادلات، ظرفیت کمناشی اتصال جان را به عنوان درصدی از ممان خمشی پلاستیکی آن، M_p ، که تابعی از e ، b ، tw و F_y است، تعریف می کند. ظرفیت کمناشی، به عنوان یک درصد از M_p ، تابعی از $2h/e$ است. مقدار $2h/e$ نیازی نیست که بیش از 2 گرفته شود. تست های مخرب که ؛ به عنوان مثال، برای تیرهای شش ضلعی با زاویه بین 60 و $\theta = 45$ درجه انجام شد یک مجموعه معادلات برای $\theta = 45$ درجه (± 2 درجه) و مجموعه دیگری برای $\theta = 60$ درجه (± 2 درجه) بدست آمد. استفاده از این معادلات برای $43 < \theta < 62^\circ$ یا برای $\theta > 62^\circ$ مجاز نیست. با این وجود، طراحی تیرها با اتصال جان دارای زاویه، θ ، بین 45 و 60 درجه با درون گردی (interpolating) بین دو مجموعه معادلات، و استفاده از یک ضریب اطمینان بزرگتر برای ممان خمشی مجاز اتصال جان، قابل قبول است. همچنین، معادلات فقط برای $10 \leq e/tw \leq 30$ و $2h/e \leq 8$ استفاده می شود. به طور معمول حفظ زاویه θ بین 58 تا 62 بیشترین کارآیی دارد.

برای تیرهای سلولی، مجموعه معادلات مشابهی از طریق آزمایشات مخرب توسط موسسه ساخت فولاد بریتانیا (Ward، 1990) تدوین شده است. سه مقدار (C1، C2 و C3) وجود دارد که توابع مقادیر اتصال جان هستند و برای محاسبه ظرفیت کمانش اتصال جان به عنوان تابعی از ظرفیت الاستیک اتصال جان در مقطع بحرانی $0.9 R$ استفاده می شوند. این معادلات نتیجه تحقیقات روی رفتار غیر خطی اعضاء به روش اجزاء محدود (nonlinear finite element) بدست آمده است و فقط برای $1.08 \leq S / Do \leq 1.50$ و $1.25 \leq dg / Do \leq 1.75$ قابل اجرا است.

با وجودی که روش های محاسبه مقاومت کمانش اتصال جان تیرهای لانه زنبوری و سلولی متفاوت است، نتایج به طور کلی قابل مقایسه می باشد. شکل 3-6 نمایه هایی (terminology) را که برای محاسبه کمانش اتصال جان برای تیرهای لانه زنبوری و سلولی استفاده می شود، ارائه می دهد.

شکل 3-5 در صفحه بعد نمایه های بکار رفته برای محاسبه ممان در تیر کامپوزیت لانه زنبوری و سلولی آمده است.

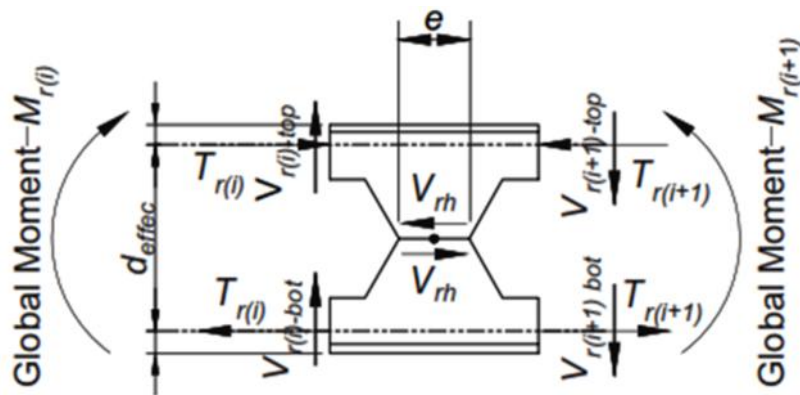


1.4.3 کمانش اتصال جان در تیرهای لانه زنبوری.

1.1.4.3 محاسبه برش افقی و تاثیر ممان در اتصال جان

برش افقی، V_{rh} - در تیرهای غیر کامپوزیت

رفتاریک بخش از تیر را به عنوان یک بدنه آزاد (free body) تحت نیروی ممان خمشی کلی عمل می کند، در نظر بگیرید. تفاوت نیروی محوری از یک انتهای بدنه به طرف دیگر به عنوان برش افقی در امتداد اتصال جان منتقل می شود. شکل زیر را ببینید.



محاسبه برش افقی: V_{rh}

$$V_{rh} = \left| \frac{M_{r(i+1)} - M_{r(i)}}{d_{effec}} \right| = |T_{r(i)} - T_{r(i+1)}| \quad (3-19)$$

برش افقی، V_{rh} - در تیرهای کامپوزیت

یک قطعه از تیر کامپوزیت که در شکل (c) 3-6 نشان داده شده است را ببینید.

برش افقی مقطع کامپوزیت، V_{rh} ، از معادله 3-19 محاسبه می شود:

$$V_{rh} = |T_{r(i)} - T_{r(i+1)}|$$

مقاومت مورد نیاز خمشی در اتصال جان:

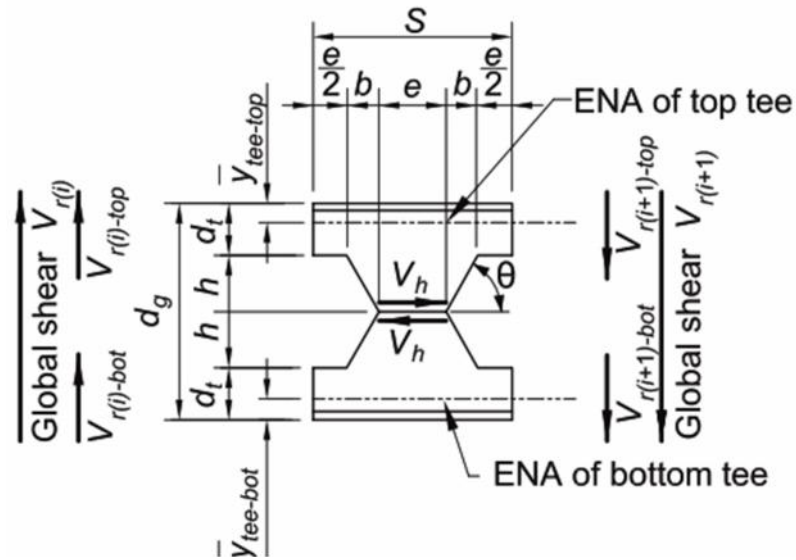
T فوقانی:

$$M_{rh} = V_{rh}h_{top} \quad (3-20)$$

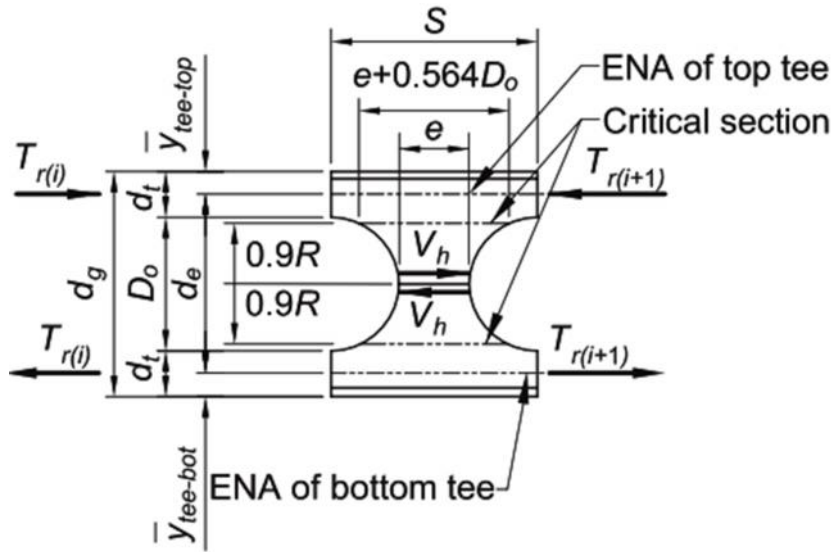
T تحتانی:

$$M_{rh} = V_{rh}h_{bot} \quad (3-21)$$

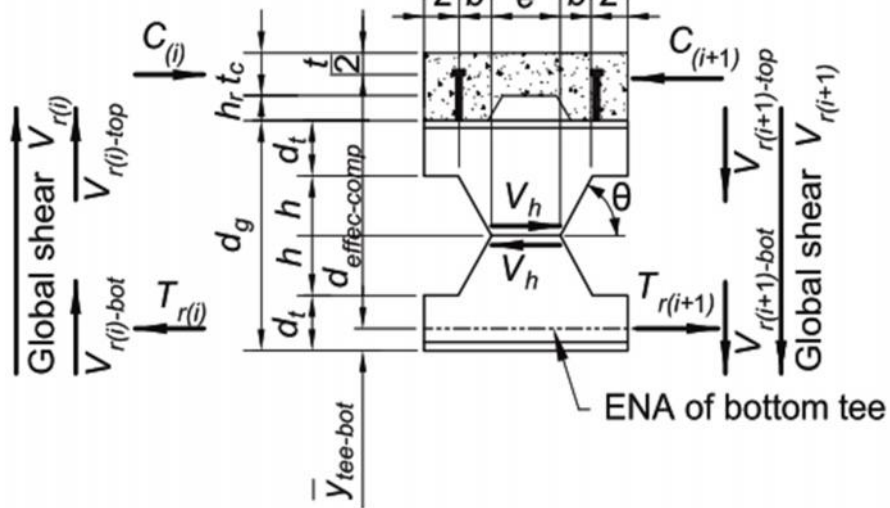
برای مقاطع متقارن (بیشتر مقاطع غیر کامپوزیت)، طراحی ممان در T بالا و پائین اتصال جان یکسان خواهد بود.



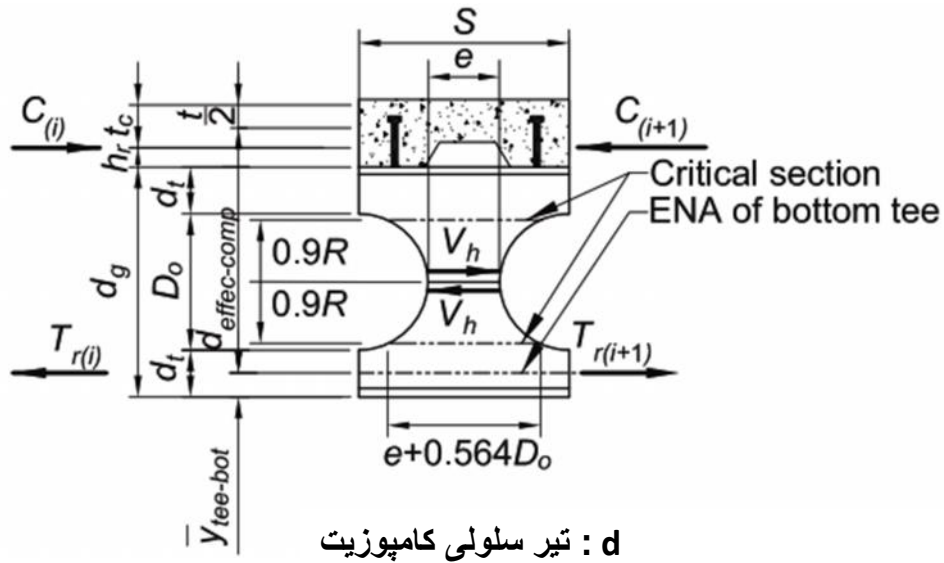
a : تیر لانه زنبوری غیر کامپوزیت



b : تیر سلولی غیر کامپوزیت



c : تیر لانه زنبوری کامپوزیت



d : تیر سلولی کامپوزیت

شکل 3-6 نمایه های مورد استفاده برای محاسبه کماتش اتصال جان

2.1.4.3 محاسبه مقاومت خمشی موجود در اتصال جان.

محاسبه ممان پلاستیک خمشی، M_p

$$M_p = 0.25t_w (e + 2b)^2 F_y \quad (3-22)$$

بامحاسبه M_{ocr}/M_p که در آن M_{ocr} عبارتست از ممان بحرانی کمانش جانبی در اتصال جان:

برای $45^\circ =$ ، در جائیکه زاویه برش شش گوش لانه زنبوری است

$$e/t_w = 10$$

$$\frac{M_{ocr}}{M_p} = 0.351 - 0.051\left(\frac{2h}{e}\right) + 0.0026\left(\frac{2h}{e}\right)^2 \leq 0.26 \quad (3-23)$$

$$e/t_w = 20$$

$$\frac{M_{ocr}}{M_p} = 3.276 - 1.208\left(\frac{2h}{e}\right) + 0.154\left(\frac{2h}{e}\right)^2 - 0.0067\left(\frac{2h}{e}\right)^3 \quad (3-24)$$

$$e/t_w = 30$$

$$\frac{M_{ocr}}{M_p} = 0.952 - 0.30\left(\frac{2h}{e}\right) + 0.0319\left(\frac{2h}{e}\right)^2 - 0.0011\left(\frac{2h}{e}\right)^3$$

توجه: مقدار M_{ocr}/M_p محدود به 0.26، عبارتست از مقدار M_{ocr}/M_p در $e/t_w=10$ با $2h/e=2$. درون یابی (Interpolation) بین معادلات 1 تا 3 بر اساس مقدار واقعی e/t_w

برای M_{ocr}/M_p در 45° است.

محاسبه M_{ocr}/M_p

برای 60° :

$$e/t_w = 10$$

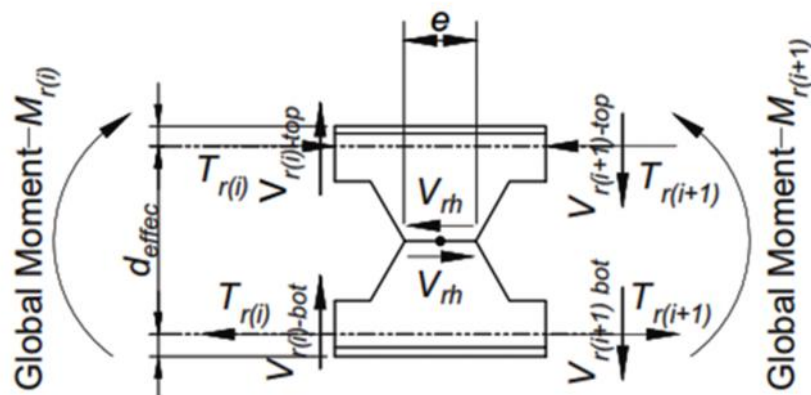
$$\frac{M_{ocr}}{M_p} = 0.587(0.917)^{\frac{2h}{e}} \leq 0.493 \quad (3-26)$$

$$e/t_w = 20$$

$$\frac{M_{ocr}}{M_p} = 1.96(0.699)^{\frac{2h}{e}} \quad (3-27)$$

$$e/t_w = 30$$

$$\frac{M_{ocr}}{M_p} = 2.55(0.574)^{\frac{2h}{e}} \quad (3-28)$$



شکل 3-7 نمایه بکار رفته برای محاسبه برش افقی اتصال جان در تیر لانه زنبوری غیر کامپوزیت

توجه: مقدار M_{ocr}/M_p محدود به 0.493، که عبارتست از مقدار M_{ocr}/M_p در $e/t_w = 10$ با $2h/e = 2$. درون یابی (Interpolation) بین معادلات 1 تا 3 بر اساس مقدار واقعی e/t_w برای M_{ocr}/M_p در $60^\circ =$ است.

ضریب مقاومت (Resistance factor) () در LFRD

$$= 43^\circ \text{ to } 47^\circ \quad b = 0.90$$

$$= 52.5^\circ \quad b = 0.60$$

$$= 58^\circ \text{ to } 62^\circ \quad b = 0.90$$

توجه: مقدار b از 0.90 در $(58^\circ \text{ to } 62^\circ)$ تا 0.60 در $(52.5^\circ =)$ به صورت خطی کاهش خواهد یافت. درون یابی (interpolation) خطی باید بر اساس زاویه واقعی برش شش گوش () بعمل آید. شکل 3-8 را ببینید.

ضریب اطمینان (Factor of safety) () در ASD

$$= 43^\circ \text{ to } 47^\circ \quad b = 1.67$$

$$= 52.5^\circ \quad b = 2.50$$

$$= 58^\circ \text{ to } 62^\circ \quad b = 1.67$$

توجه: مقدار b به صورت خطی از 1.67 در $(58^\circ \text{ to } 62^\circ)$ تا 2.50 در $(=)$ افزایش خواهد یافت. درون یابی (interpolation) خطی باید بر اساس زاویه واقعی برش شش گوش () بعمل آید.

مقاومت خمشی موجود اتصال جان از رابطه 3-29a و 3-29b بدست می آید.

$$\phi M_n = \phi_b \left(\frac{M_{ocr}}{M_p} \right) M_p \quad (\text{LFRD}) \quad (3-29a)$$

$$\frac{M_n}{\Omega_b} = \left(\frac{M_{ocr}}{M_p} \right) \left(\frac{M_p}{\Omega_b} \right) \quad (\text{ASD}) \quad (3-29b)$$

2.4.3 کمانش اتصال جان در تیر سلولی:

محاسبه برش افقی، V_{rh}

$$V_{rh} = |T_{r(i)} - T_{r(i+1)}| \quad (3-30)$$

مقاومت خمشی لازم در اتصال جان می تواند به شرح زیر تعیین گردد:

$$M_{rh} = 0.90 \frac{D_o}{2} V_{rh} \quad (3-31)$$

بنا بر این ممان خمشی الاستیک، M_e ، در $0.9R$:

$$M_e = \frac{t_w (S - D_o + 0.564 D_o)^2}{6} F_y \quad (3-32)$$

محاسبه $C1$ ، $C2$ و $C3$:

$$M_e = \frac{t_w (S - D_o + 0.564 D_o)^2}{6} F_y \quad (3-32)$$

$$C2 = 1.441 + 0.0625 \left(\frac{D_o}{t_w} \right) - 0.000683 \left(\frac{D_o}{t_w} \right)^2 \quad (3-34)$$

$$C3 = 3.645 + 0.0853 \left(\frac{D_o}{t_w} \right) - 0.00108 \left(\frac{D_o}{t_w} \right)^2 \quad (3-35)$$

محاسبه M_{allow}/M_e :

$$\frac{M_{allow}}{M_e} = C1\left(\frac{S}{D_o}\right) - C2\left(\frac{S}{D_o}\right)^2 - C3 \quad (3-36)$$

مقاومت موجود خمشی در اتصال جان:

$$\phi M_n = \phi_b \left(\frac{M_{allow}}{M_e} \right) M_e \quad (\text{LRFD}) \quad (3-37a)$$

$$\frac{M_n}{\Omega_b} = \left(\frac{M_{allow}}{M_e} \right) \left(\frac{M_e}{\Omega_b} \right) \quad (\text{ASD}) \quad (3-37b)$$

$$\phi_b = 0.90 \quad (\text{LRFD}) \quad \Omega_b = 1.67 \quad (\text{ASD})$$

5.3 برش قائم و افقی :

همانطور که در همه اعضای خمشی، نیروهای برشی افقی و عمودی توسط جان مقاومت می شود، در تیرهای لانه زنبوری و سلولی چنین است. در تیرهای با بازشو در جان برش به دو دلیل بسیار مهمتر می شود. اول، برش عمودی باید توسط مقطع خالص عضو برده شود. دوم، برش افقی که از خط میانی جان تیر عبور می کند، در هر اتصال جان، به علت باز شدگی های مجاور، تشدید می شود. برش عمودی باید با استفاده از نیروی برشی کلی در هر بازشو کنترل شود و امکان مقابله آن با مقاومت مقطع خالص یا بازشو یا مقطع ناخالص در اتصال جان بررسی گردد. نیروی برشی افقی، V_{rh} از محاسبه کمانش اتصال جان می تواند برای کنترل برش افقی استفاده شود.

1.5.3 محاسبه مقاومت برش افقی موجود

مقاومت برشی افقی موجود در اتصال جان براساس بخش مشخصات AISC J4.2 محاسبه می شود. برای تیرهای لانه زنبوری و سلولی، یک حد عملی مناسب بدست آمده، قبل از آنکه آئینامه به محاسبات لازم در این مورد دست یابد.

محاسبه مقاومت برشی اسمی، V_n

$$V_n = 0.6F_y A_w \quad (\text{AISC مشخصات J4-3})$$

جایی که:

$$A_w = e t_w, \text{ in.}^2 \quad (\text{mm}^2)$$

بنا براین مقاومت برش افقی در دسترس:

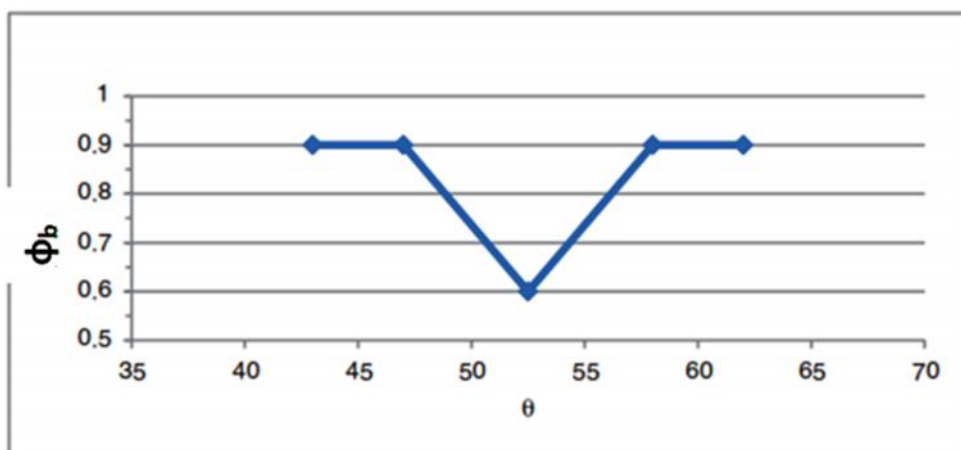
$$V_c = \phi_v V_n \quad (\text{LRFD})$$

$$V_c = \frac{V_n}{\Omega_v} \quad (\text{ASD})$$

$$\phi_v = 1.00 \quad \Omega_v = 1.50$$

2.5.3 محاسبه مقاومت برشی موجود عمودی

مقاومت برشی عمودی موجود باید در مقطع خالص و همچنین مقطع ناخالص محاسبه شود. در هر دو مورد، باید مشخصات بخش AISC G2 مورد استفاده قرار گیرد. در مقطع خالص، نیروی برشی باید بین T های بالا و پایین براساس نسبت مساحت آن ها به یکدیگر تقسیم شود. برای مقطع ناخالص، h / t_w باید با استفاده از فاصله خالص بال ها با کم کردن ماهیچه اتصال بال و جان محاسبه شود و d_f برای مساحت خالص بکار رود. نمایه k_v معادل 5.34 برای بخش ناخالص و معادل 1.2 برای ساقه T شکل در بخش خالص گرفته شده است.



شکل 8.3 ضریب مقاومت با زاویه برش جان

در مقطع ناخالص:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{d_g - k_{top} - k_{bot}}{t_w}$$

: محاسبه C_{v1}

$$\text{When } \frac{h}{t_w} \leq 1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$$

$$C_{v1} = 1.0 \quad (\text{Spec. Eq. G2-3})$$

$$\text{When } \frac{h}{t_w} > 1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$$

$$C_{v1} = \frac{1.10 \sqrt{k_v E / F_y}}{h/t_w} \quad (\text{Spec. Eq. G2-4})$$

At the net section:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{d_t}{t_w}$$

: محاسبه C_{v2}

$$\text{When } \frac{h}{t_w} \leq 1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$$

$$C_{v2} = 1.0 \quad (\text{Spec. Eq. G2-9})$$

$$\text{When } 1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} < \frac{h}{t_w} \leq 1.37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$$

$$C_{v2} = \frac{1.10 \sqrt{k_v E / F_y}}{h/t_w} \quad (\text{Spec. Eq. G2-10})$$

$$\text{When } \frac{h}{t_w} > 1.37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$$

$$C_{v2} = \frac{1.51 k_v E}{(h/t_w)^2 F_y} \quad (\text{Spec. Eq. G2-11})$$

برای مقطع ناخالص و خالص مقدار v از رابطه زیر بدست می آید:

$$\text{For } \frac{h}{t_w} \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \phi_v = 1.00 \text{ and } \Omega_v = 1.50$$

$$\text{For } \frac{h}{t_w} > 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \phi_v = 0.90 \text{ and } \Omega_v = 1.67$$

برای تیر لانه زنبوری مقاومت اسمی برشی V_n ، عبارت است از:

برای T بالا:

$$V_n = 0.6F_y(d_{t-top} + d_{t-bot})t_w C_{v2}$$

(from Spec. Eq. G3-1)

مقطع ناخالص:

$$V_n = 0.6F_y d_g t_w C_{v1}$$

(from Spec. Eq. G2-1)

مقاومت برشی قائم موجود:

$$V_c = \phi_v V_n \quad (\text{LRFD})$$

$$V_c = \frac{V_n}{\Omega_v} \quad (\text{ASD})$$

6.3 کماتش جانبی - پیچشی

کمانش جانبی - پیچشی، کماتش موضعی بال و جاری شدن کششی بال باید در تیرهای لانه زنبوری و سلولی مطابق با مشخصات AISC فصل F، بخش های F2 تا F5، مشابه تیرهای بال پهن معمولی، بررسی شود. مشخصات مقطع ناخالص را می توان در هنگام چک کردن کماتش جانبی - پیچشی بکار برد. برای مقاطع کامپوزیت، ممکن است فرض شود که دال بتنی

بال بالا را نگهداری می کند.

7.3 افت. DEFLECTION.

تیرهای لانه زنبوری و سلولی معمولاً نسبت طول به عمق (عمق به طول.م) بیشتری نسبت به مقاطع بال پهن های معمول دارند؛ در نتیجه، افتادگی معمولاً طراحی را کنترل نمی کند. در اغلب موارد، تیرهای لانه زنبوری و سلولی مانند اعضا منشوری در رابطه با افتادگی رفتار می کنند. با این حال، افتادگی اضافی به علت تغییر شکل برشی در اطراف بازشوها رخ می دهد. مقدار این انحراف معمولاً در دهانه های بسیار کوتاه یا زمانی که بارهای متمرکز سنگین وجود دارد قابل توجه است. برای اکثر موارد کاربردی، لازم نیست که محاسبات سختی را فراتر از آنچه که معمولاً برای مقاطع منشوری انجام می شود انجام دهید. افتادگی برای هر دو تیر کامپوزیتی و غیر کامپوزیتی و لانه زنبوری و سلولی می تواند با استفاده از 90 درصد ممان اینرسی در مقطع خالص و حل آن به عنوان یک مقطع منشوری باشد. مشخصات تبدیل شده (Transformed) مقطع در یک مقطع عبور داده از درون بازشو می تواند برای محاسبات افتادگی در تیر کامپوزیت استفاده شود. روش های پیچیده تر محاسبه افتادگی نیز ارائه دارد شده (1957 همکاران و Hosain، 1974؛ Altfillisch)

8.3 بارمتمرکز

تیرهای لانه زنبوری و سلولی با بارهای متمرکز که عمود بر یک بال وارد می شود، نیاز به بال و جان (اضافی.م) برای جلوگیری از خمش موضعی بال، جاری شدن موضعی جان، له شدگی موضعی جان و کمانش جانبی جان بر اساس مشخصات AISC J10 دارد. هنگامی که مقاومت لازم بیش از مقاومت موجود، همان طوریکه درحالت های حدی در آن بخش آمده، سخت کننده و یا عناصر دیگر تقویتی باید به کار برده شود.

A	$(\text{mm}^2) \text{ in.}^2$
A_c	$(\text{mm}^2) \text{ in.}^2$
A_{net}	$(\text{mm}^2) \text{ in.}^2$ T فوقانی و تحتانی
A_{te}	$(\text{mm}^2) \text{ in.}^2$ T
B	ضریب برای کماتش جانبی پیچشی در T
C_v	ضریب برشی درجان
C_1	نیروی محوری در بتن در مقطع کامپوزیت (N) kips
D_o	$(\text{mm}) \text{ in.}$
E	مدول الاستیک فولاد 29,000ksi (200,000 MPa)
EN	تار خنثی الاستیک
G	مدول برشی الاستیک فولاد = 11,200ksi (77,200MPa)
F_{cr}	تنش بحرانی (MPa) ksi
F_{cr}	تنش بحرانی حول محورضعیف (MPa) ksi
F_{cr}	تنش بحرانی کماتش پیچشی (MPa) ksi
F_e	تنش بحرانی کماتش الاستیک (MPa) ksi
H	ثابت خمشی
I_x	ممان اینرسی حول محور X-X $(\text{mm}^4) \text{ in.}^4$
I_y	ممان اینرسی حول محور Y-Y $(\text{mm}^4) \text{ in.}^4$
J	ثابت پیچشی $(\text{mm}^4) \text{ in.}^4$

K_x	ضریب طول موثرنسبت به محور X
K_y	ضریب طول موثرنسبت Y
L	طول عضو فشاری (mm) in
L_b	فاصله بین نگهدارنده های جانبی (mm) in
M_c	مقاومت مجاز خمشی (ASD) (N-mm) kips-in.
M_c	مقاومت خمشی طراحی (LRFD) (N-mm) kips-in.
M_{cr}	مقاومت خمشی اسمی بر اساس حد نهانی کمانش جانبی - پیچشی (N-mm) kips-in.
M_e	ممان خمشی الاستیک اتصال جان (N-mm) kips-in.
M_m	مقاومت خمشی اسمی بر اساس حد نهانی کمانش جانبی - پیچشی (N-mm) kips-in.
M_n	مقاومت خمشی (N-mm) kips-in.
M_{ocr}	ممان بحرانی برای کمانش جانبی (N-mm) kips-in.
M_p	ممان خمشی پلاستیک (N-mm) kips-in.
M_r	مقاومت خمشی لازم با استفاده از ترکیب بار (N-mm) kips-in.
M_{vr}	مقاومت خمشی لازم در T (N-mm) kips-in.
N	تعداد برشگیر ها بین نقطه حداکثر ممان و انتهای تیر
N_s	کل تعداد برشگیر در عرض تیر
P_c	مقاومت فشاری محوری مجاز (ASD) (N) kips

PNA	خنثی پلاستیک
P_r	T در استفاده از ترکیب بار (N) kips
Q_n	مقاومت اسمی یک پرشگیر (N) kips
R	شعاع یک بازشو سلولی (mm) in.
S	فاصله بین بازشوها (mm) in.
S_x	مدول مقطع الاستیک حول محور X $(mm^3) in.^3$
S_{x-tee}	مدول مقطع الاستیک T $(mm^3) in.^3$ X
T_i	نیروی محوری در خط مرکزی بازشو i (N) kips
T_{i+1}	نیروی محوری در خط مرکزی بازشو (i+1) (N) kips
$T_{r(i)}$	نیروی محوری T i (N) kips
$T_{r(i+1)}$	نیروی محوری T (i+1) (N) kips
T_o	نیروی محوری در T فوقانی (N) kips
T_1	نیروی محوری در T تحتانی (N) kips
T_{1-new}	نیروی محوری در T تحتانی برای عمل نیمه کامپوزیت (N) kips
$T_{u(i)}$	نیروی محوری در T (N) kips (LRFD) i
$T_{u(i+1)}$	نیروی محوری در T (N) kips (LRFD) (i+1)
V	برش کلی (N) kips
V'	نیروی برش افقی کلی بین نقطه حداکثر ممان مثبت و نقطه ممان (N) kips

V_{allow}	(N) kips (ASD)	مقاومت برشی افقی مجاز
$V_{a-global}$	(N) kips (ASD)	نیروی برشی سرویس
$V_{a-global}$	(N) kips (ASD)	مقاومت برشی کلی مورد نیاز
V_{a-net}	(N) kips (ASD)	نیروی برشی سرویس خالص با تیر
V_c	(N) kips	مقاومت برشی عرشه بتنی
V_h	(N) kips	نیروی برش افقی در محور خنثی
V_{ha}	(N) kips (ASD)	نیروی افقی برشی لازم در محور خنثی
V_{hu}	(N) kips (LRFD)	نیروی افقی برشی لازم در محور خنثی
V_i	(N) kips	نیروی برش کلی در بازشو i
V_{i+1}	(N) kips	نیروی برش کلی در بازشو $(i + 1)$
V_n	(N) kips	مقاومت اسمی برش
V_{net}	(N) kips	نیروی مقاومت برشی خالص تیر
$V_{u-global}$	(N) kips (LRFD)	نیروی نهائی برشی (LRFD)
$V_{u-global}$	(N) kips (LRFD)	مقاومت برشی کلی لازم (LRFD)
V_{u-net}	(N) kips (LRFD)	نیروی برشی نهائی خالص (LRFD)
$V_{u(i)}$	(N) kips	i ی لازم
$V_{u(i+1)}$	(N) kips	$(i + 1)$ ی لازم
X_i		فاصله از انتهای تیر به مرکز بازشو در دست بررسی (in. nm)
Y_c		عمق بتن مقابله کننده با ممان کلی (mm) in.

Z_x	مدول مقطع پلاستیک حول محور X $(mm^3) \text{ in.}^3$
a	طول اتصال جان انتهائی (mm) in.
b	طول افقی = $0.5h_o/\tan \theta$ (mm) in.
b_{effec}	عرض موثر بتن عرشه (mm) in.
b_f	(mm) in.
d	عمق کامل اسمی T (mm) in.
d_{effec}	فاصله بین مرکز دو T بالا و پائین (mm) in.
$d_{effect-comp}$	عمق موثر مقطع کامپوزیت (mm) in.
d_g	عمق تیر باز شده (mm) in.
d_t	(mm) in. T
e	T همچنین طول قسمت پر جان در طول خط مرکزی (mm) in.
e'	حداقل اصله مورب از گوشه برش انتهای تیر تا اولین بازشو (mm) in.
f'_c	مقاومت فشاری بتن (MPa) ksi
h	شو لانه زنبوری (mm) in.
h_o	شو لانه زنبوری (mm) in.
h_r	عمق چاله ورق عرشه (mm) in.
i	شماره بازشوی مرجع در تیر لانه زنبوری و سلولی
k_v	ضریب کمانش ورق جان
q	تراکم برشی برشگیر , (N/mm) kips/ft

r_{min}	حداقل شعاع ژیراسیون T (mm) in.
r_o	شعاع ژیراسیون قطبی حول مرکز برش (mm) in.
r_x	شعاع ژیراسیون حول محور X (mm) in.
r_y	شعاع ژیراسیون حول محور Y (mm) in.
t_c	ضخامت بتن بالای چاله عرشه (mm) in.
t_f	(mm) in.
y_c	فاصله از بالای بتن تا مرکز بلوک فشاری (mm) in.
$\bar{y}_{tee-bot}$	فاصله از درونی T تا مرکز ثقل آن (mm) in.
$\bar{y}_{tee-top}$	فاصله از بیرونی T تا مرکز ثقل آن (mm) in.
w_o	(mm) In. $e + 2b$
Δ_{DL}	افت ناشی از بار مرده (mm) In.
Δ_{LL}	افت ناشی از بار زنده (mm) In.
Δ_{PDL}	(mm) In.
Δ_{TL}	افت کلی (mm) In.
ϕ_b	ضریب مقاومت خمشی
ϕ_c	ضریب مقاومت فشاری
ϕ_t	ضریب مقاومت کششی
ϕ_v	ضریب مقاومت برشی
Ω_b	ضریب اطمینان خمشی

Ω_v

ضریب اطمینان برشی

θ

زاویه برش مورب ، درجه