



۲

راهنمای جامع طراحی ساختمان

طراحی تیرهای لانه زنبوری
و سلولی به روش LRFD و ASD

(سیستم S.I)



تألیف و ترجمه:

دکتر بهمن سبحانی

(دکتری عمران - سازه)

مهندس عفت اسماعیل زاده شهری

(کارشناس ارشد سازه)



سرشناسه:
عنوان و نام پدیدآور:
مشخصات نشر:
مشخصات ظاهری:
فروست:
شابک:
وضعیت فهرست نویسی:
یادداشت:
یادداشت:
موضوع:
موضوع:
شناسه افزوده:
شناسه افزوده:
شناسه افزوده:
شناسه افزوده:
رده بندی کنگره:
رده بندی دیویی:
شماره کتابشناسی ملی:
اطلاعات رکورد کتابشناسی:

سبحانی، بهمن، ۱۳۶۰ - گردآورنده، مترجم
طراحی تیرهای لانه زنبوری و سلولی به روش LRFD و ASD/تألیف و ترجمه بهمن سبحانی، عفت اسماعیل زاده شهری.
تهران: نوآور، ۱۴۰۰.
۱۵۶ص.
راهنمای جامع طراحی ساختمان؛ ۲.
978-600-168-595-8
فیبا
بخش عمده کتاب حاضر ترجمه از «Castellated and Cellular Beam Design» اثر سامر س. فارس، جان کولسون،
و دیوید دبلیو دینهارت است.
کتابنامه: ص. ۱۵۶.
تیرهای لانه زنبوری -- طرح و ساختمان -- Castellated beams -- Design and construction
سازه های فولادی -- طراحی و ساخت -- Steel structures -- Design and construction
اسماعیل زاده شهری، عفت، ۱۳۵۸ - گردآورنده، مترجم
فارس، سامر س.
کولسون، جان - Coulson, John
دینهارت، دیوید دبلیو. - Dinehart, David W
۶۶۰ TA
۱۷۷۲/۶۳۴
۸۵۱۴۷۰۹
فیبا

راهنمای جامع طراحی ساختمان (۲)
طراحی تیرهای لانه زنبوری و سلولی
به روش LRFD و ASD



نشر نوآور

تألیف و ترجمه: دکتر بهمن سبحانی،
مهندس عفت اسماعیل زاده شهری
ناشر: نوآور
مدیر فنی: محمدرضا نصیرنیا
شمارگان: ۵۰۰ نسخه
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۵۹۵-۸

مرکز بخش:

نوآور، تهران، خیابان انقلاب، خیابان فخررازی، خیابان شهدای
ژاندارمری نرسیده به خیابان دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸
طبقه اول، واحد ۳ تلفن: ۹۲-۶۶۴۸۴۱۹۱, www.noavarpub.com

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و
مصنفان مصوب سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق
به نشر نوآور می باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این
کتاب (از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس برداری، نشر
الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی دی،
دی وی دی، فیلم فایل صوتی یا تصویری و غیره) بدون اجازه کتبی
از نشر نوآور ممنوع بوده و شرعاً حرام است و متخلفین تحت
پیگرد قانونی قرار می گیرند.

لطفاً جهت دریافت الحاقات و اصلاحات احتمالی این کتاب به سایت انتشارات نوآور مراجعه فرمایید.
www.noavarpub.com telegram.me/noavarpub https://www.instagram.com/noavarpub/

فهرست مطالب

۷	مقدمه.....
۹	فصل اول / مقدمه‌ای بر تیرهای لانه زنبوری.....
۹	۱-۱. تاریخچه تیرهای لانه زنبوری.....
۱۰	۲-۱. ساخت و تولید تیرهای لانه زنبوری.....
۱۲	۳-۱. نامگذاری تیرهای لانه زنبوری و سلولی.....
۱۲	۴-۱. مقدمه‌ای بر راهنمای طراحی ارائه شده در این کتاب.....
۱۴	فصل دوم / کاربردهای تیرهای لانه زنبوری و تیرهای سلولی (با سوراخ‌های دایره‌ای).....
۱۴	۱-۲. کلیات.....
۱۴	۲-۲. کاربردها و مزایای تیرهای لانه زنبوری و سلولی.....
۱۵	۱-۲-۲. سازه‌های مربوط به پارکینگ‌ها.....
۱۶	۲-۲-۲. تاسیسات صنعتی.....
۱۷	۳-۲-۲. عبور و تجمع تاسیسات تهویه مطبوع و سایر تاسیسات بهره‌برداری از داخل جان تیر.....
۱۸	۴-۲-۲. کارایی در مدیریت ساخت.....
۱۸	۵-۲-۲. مقاوم در برابر ارتعاش (لرزش).....
۱۹	۶-۲-۲. مقاطع غیر متقارن.....
۱۹	۷-۲-۲. زیبایی‌شناسی از منظر معماری در استفاده از تیرهای لانه زنبوری و سلولی.....
۲۱	۳-۲. اندازه و فاصله بازشو در جان و نوع اتصالات.....
۲۱	۱-۳-۲. اتصالات انتهایی در تیرهای لانه زنبوری و سلولی.....
۲۱	۲-۳-۲. پر کردن بازشوی جان تیر.....
۲۲	۳-۳-۲. بال‌های بریده شده با بُعد زیاد.....
۲۳	۴-۲. ملاحظات ویژه در تیرهای لانه زنبوری و سلولی.....
۲۳	۱-۴-۲. بارهای متمرکز.....
۲۳	۲-۴-۲. پروژه‌های حساس به عمق دقیق در تیر.....
۲۳	۳-۴-۲. پایداری یا ثبات در نصب.....
۲۴	۴-۴-۲. ضد حریق کردن تیرها.....

۲۶	فصل سوم / فرآیند طراحی تیرهای لانه زنبوری و سلولی
۲۶	۱-۳ مقدمه
۲۷	۲-۳ خمش ویراندیل در تیرهای غیر کامپوزیت (غیر مرکب)
۲۷	۱-۲-۳ محاسبه نیروهای محوری و لنگر خمشی ویراندیل برای هر بازشو
۲۷	۱-۱-۲-۳ محاسبه نیروی محوری در تیر
۲۸	۲-۱-۲-۳ محاسبه لنگر خمشی ویراندیل در تیر
۲۹	۲-۲-۳ محاسبه مقاومت محوری (فشاری یا کششی) و مقاومت خمشی در سپری‌های بالا و پائین تیر
۲۹	۱-۲-۲-۳ محاسبه مقاومت محوری اسمی در سپری‌های بالا و پائین
۳۱	۲-۲-۲-۳ محاسبه مقاومت خمشی اسمی M_n
۳۵	۳-۲-۳ کنترل سپری‌های بالا و پائین تیر برای ترکیب لنگر خمشی و نیروهای محوری
۳۵	۳-۳ خمش ویراندیل در تیرهای کامپوزیت (مرکب)
۳۶	۱-۳-۳ محاسبه نیروهای محوری و لنگر خمشی ویراندیل برای هر بازشو
۳۶	۱-۱-۳-۳ محاسبه نیروی محوری در تیر
۳۷	۲-۱-۳-۳ عرض موثر
۳۹	۲-۳-۳ محاسبه لنگر خمشی ویراندیل در سپری‌های بالا و پائین تیر
۴۱	۳-۳-۳ محاسبه مقاومت محوری و مقاومت خمشی طراحی در سپری‌های بالا و پائین تیر
۴۱	۴-۳ کمانش ستون جان (قسمت بدون بازشو در جان)
۴۲	۱-۴-۳ کمانش ستون جان در تیرهای لانه زنبوری
۴۲	۱-۱-۴-۳ محاسبه نیروی برشی افقی و در نتیجه‌ی آن محاسبه لنگر ستون جان
۴۳	۲-۱-۴-۳ محاسبه مقاومت لنگر طراحی ستون جان
۴۵	۲-۴-۳ کمانش ستون جان در تیرهای سلولی (با سوراخ دایره‌ای)
۴۶	۵-۳ برش افقی و عمودی در تیرهای لانه زنبوری و سلولی
۴۶	۱-۵-۳ محاسبه مقاومت برشی افقی طراحی
۴۷	۲-۵-۳ محاسبه مقاومت برشی عمودی طراحی
۴۸	۶-۳ کمانش پیچشی-جانبی
۴۸	۷-۳ تغییر شکل
۴۹	۸-۳ بارهای متمرکز
۵۰	فصل چهارم / مثال‌های طراحی مربوط به تیرهای لانه زنبوری و سلولی

۵۰	.....	۱-۴. مثال شماره (۱): طراحی تیر لانه زنبوری غیر مرکب (غیر کامپوزیت)
۷۱	.....	۲-۴. مثال شماره (۲): طراحی تیر سلولی غیر مرکب (غیر کامپوزیت)
۹۳	.....	۳-۴. مثال شماره (۳): طراحی تیر لانه زنبوری مرکب (کامپوزیت)
۱۲۶	.....	۴-۴. مثال شماره (۴): طراحی تیر سلولی مرکب (کامپوزیت)
۱۵۶	.....	منابع و مآخذ

نشر نوآور ضمن ارج نهادن و قدردانی از اعتماد شما به کتاب‌های این انتشارات، به استحضارتان می‌رساند که همکاران این انتشارات، اعم از مؤلفان و مترجمان و کارگروه‌های مختلف آماده‌سازی و نشر کتاب، تمامی سعی و همت خود را برای ارائه کتابی درخور و شایسته شما فرهیخته گرامی به‌کار بسته‌اند و تلاش کرده‌اند که اثری را ارائه نمایند که از حداقل‌های استاندارد یک کتاب خوب، هم از نظر محتوایی و غنای علمی و فرهنگی و هم از نظر کیفیت شکلی و ساختاری آن، برخوردار باشد.

با این وجود، علی‌رغم تمامی تلاش‌های این انتشارات برای ارائه اثری با کمترین اشکال، باز هم احتمال بروز ایراد و اشکال در کار وجود دارد و هیچ اثری را نمی‌توان الزاماً مبرا از نقص و اشکال دانست. از سوی دیگر، این انتشارات بنا به تعهدات حرفه‌ای و اخلاقی خود و نیز بنا به اعتقاد راسخ به حقوق مسلم خوانندگان گرامی، سعی دارد از هر طریق ممکن، به‌ویژه از طریق فراخوان به خوانندگان گرامی، از هرگونه اشکال احتمالی کتاب‌های منتشره خود آگاه شده و آن‌ها را در چاپ‌ها و ویرایش‌های بعدی رفع نماید.

لذا در این راستا، از شما فرهیخته گرامی تقاضا داریم در صورتی که حین مطالعه کتاب با اشکالات، نواقص و یا ایرادهای شکلی یا محتوایی در آن برخورد نمودید، اگر اصلاحات را بر روی خود کتاب انجام داده‌اید پس از اتمام مطالعه، کتاب ویرایش شده خود را با هزینه انتشارات نوآور، پس از هماهنگی با انتشارات، ارسال نمایید. و نیز چنانچه اصلاحات خود را بر روی برگه جداگانه‌ای یادداشت نموده‌اید، لطف کرده عکس یا اسکن برگه مزبور را با ذکر نام و شماره تلفن تماس خود به ایمیل انتشارات نوآور ارسال نمایید، تا این موارد بررسی شده و در چاپ‌ها و ویرایش‌های بعدی کتاب اعمال و اصلاح گردد و باعث هرچه پربارتر شدن محتوای کتاب و ارتقاء سطح کیفی، شکلی و ساختاری آن گردد.

نشر نوآور، ضمن ابراز امتنان از این عمل متعهدانه و مسئولانه شما خواننده فرهیخته و گرانقدر، به‌منظور تقدیر و تشکر از این همدلی و همکاری علمی و فرهنگی، در صورتی که اصلاحات درست و بجا باشند، متناسب با میزان اصلاحات، به رسم ادب و قدرشناسی، نسخه دیگری از همان کتاب و یا چاپ اصلاح شده آن و نیز از سایر کتب منتشره خود را به‌عنوان هدیه، به انتخاب خودتان، برایتان ارسال می‌نماید، و در صورتی که اصلاحات تأثیرگذار باشند در مقدمه چاپ بعدی کتاب نیز از زحمات شما تقدیر می‌شود.

همچنین نشر نوآور و پدیدآورندگان کتاب، از هرگونه پیشنهادها، نظرات، انتقادات و راه‌کارهای شما عزیزان در راستای بهبود کتاب، و هرچه بهتر شدن سطح کیفی و علمی آن صمیمانه و مشتاقانه استقبال می‌نمایند.



تلفن: ۰۲۱-۶۶۴۸۴۱۹۱

www.noavarpub.com

info@noavarpub.com

کتاب حاضر ترجمه‌ای است (با تغییرات عمده) از کُتب راهنمای طراحی شماره ۳۱ منتشر شده توسط AISC و ضوابط و الزامات طراحی سازه‌های فولادی AISC360-16. از نظر تاریخی AISC در سال ۱۹۸۹ اولین آئین نامه طراحی به روش حالت حدی (LRFD) را منتشر کرده است. با این نگاه و در آخرین ویرایش AISC360-16 و پیش نویس آن نیز (AISC360-22) در کنار روش طراحی مذکور، روش طراحی تنش مجاز (ASD) نیز ارائه گردیده است. رویکرد مبحث ۱۰ ویرایش جدید (پیش نویس ارائه شده توسط مقررات ملی در زمستان ۱۳۹۹) بر اساس همین رویکرد آئین نامه AISC می‌باشد. در مبحث ۱۰ ویرایش ۱۳۸۷ دو روش طراحی به صورت فصول مجزا و در دو قسمت بیان شده بود. در ویرایش سال ۱۳۹۲ روش تنش مجاز (ASD) از آئین نامه مذکور حذف گردید و فقط به ارائه ضوابط بر اساس روش طراحی (LRFD) پرداخته شد. اما در پیش نویس مبحث ۱۰ این موضوع همانند آئین نامه AISC360-22 در کنار هم و به دور از تفکیک کردن فصول برای دو روش طراحی در نظر گرفته شده است. در این کتاب سعی شده است مطالب با فهم ساده‌تر و سهل تری برای خواننده ارائه شود. همچنین ترجمه و تالیف صورت گرفته بر اساس سیستم واحد S.I که منطبق بر مبحث ۱۰ مقررات ملی و سایر کتب فنی منتشر شده در ایران است، برگردانده شده است تا استفاده همزمان از این کتاب با کتب دیگر فراهم گردد. کتاب حاضر بر مبنای راهنمای طراحی شماره ۳۱ و پیوست شماره ۵ پیش نویس مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۳۹۹ نگاشته شده است.

این کتاب مشتمل بر ۴ فصل است:

در فصل اول کتاب مزایای تیرهای لانه زنبوری و سلولی (با سوراخ‌های دایره‌ای) و نحوه برش و مونتاژ آنها بیان شده است.

فصل دوم به ارائه کاربردهای تیرهای لانه زنبوری و سلولی در کاربری‌های مختلف از جمله: ورزشگاه، سایبان، ساختمان مسکونی، کارخانه‌های صنعتی و... می‌پردازد.

در فصل سوم به مبانی تئوریک و محاسبات تیرهای سلولی (با سوراخ‌های دایره‌ای) و لانه زنبوری پرداخته شده است.

در نهایت در فصل چهارم مثال‌های طراحی مربوط به تیرهای لانه زنبوری و سلولی (کامپوزیت و غیر کامپوزیت) به صورت مرحله‌ای پرداخته شده است.

هرچند طی بازبینی و بازخوانی متعدد سعی شده تا کتاب حاضر از حداقل اشتباهات برخوردار باشد، لیکن باور داریم که هیچ اثری که زاییده فکر انسان است، خالی از اشتباه نیست. لذا از اساتید فن، مهندسين و دانشجویان گرامی تقاضا داریم در صورت برخورد با هرگونه اشتباه، موارد را از طریق انتشارات به نویسندگان منتقل، تا در چاپ‌های بعدی اصلاح گردد.

نویسندگان در پایان بر خود لازم می‌دانند از زحمات مدیریت محترم انتشارات و همکاران محترمشان نهایت سپاسگزاری را داشته باشد.

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب سال ۱۳۴۸ و آیین‌نامه اجرایی آن مصوب ۱۳۵۰، برای ناشر محفوظ و منحصرأ متعلق به نشر نوآور است. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از مطالب، اشکال، نمودارها، جداول، تصاویر این کتاب در دیگر کتب، مجلات، نشریات، سایت‌ها و موارد دیگر، و نیز هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از کتاب به هر شکل از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، تایپ از کتاب، تهیه پی‌دی‌اف از کتاب، عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی‌دی، دی‌وی‌دی، فیلم، فایل صوتی یا تصویری و غیره بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع و غیرقانونی بوده و شرعاً نیز حرام است، و متخلفین تحت پیگرد قانونی و قضایی قرار می‌گیرند.

با توجه به اینکه هیچ کتابی از کتب نشر نوآور به صورت فایل ورد یا پی‌دی‌اف و موارد این چنین، توسط این انتشارات در هیچ سایت اینترنتی ارائه نشده است، لذا در صورتی که هر سایتی اقدام به تایپ، اسکن و یا موارد مشابه نماید و کل یا قسمتی از متن کتب نشر نوآور را در سایت خود قرار داده و یا اقدام به فروش آن نماید، توسط کارشناسان امور اینترنتی این انتشارات، که مسئولیت اداره سایت را به عهده دارند و به طور روزانه به بررسی محتوای سایت‌ها می‌پردازند، بررسی و در صورت مشخص شدن هر گونه تخلف، ضمن اینکه این کار از نظر قانونی غیرمجاز و از نظر شرعی نیز حرام می‌باشد، وکیل قانونی انتشارات از طریق وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، پلیس فتا (پلیس رسیدگی به جرایم رایانه‌ای و اینترنتی) و نیز سایر مراجع قانونی، اقدام به مسدود نمودن سایت متخلف کرده و طی انجام مراحل قانونی و اقدامات قضایی، خاطیان را مورد پیگرد قانونی و قضایی قرار داده و کلیه خسارات وارده به این انتشارات از متخلف اخذ می‌گردد.

همچنین در صورتی که هر کتابفروشی، اقدام به تهیه کپی، جزوه، چاپ دیجیتال، چاپ ریسو، آفست از کتب انتشارات نوآور نموده و اقدام به فروش آن نماید، ضمن اطلاع‌رسانی تخلفات کتابفروشی مزبور به سایر همکاران و مؤزّعین محترم، از طریق وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، اتحادیه ناشران، و انجمن ناشران دانشگاهی و نیز مراجع قانونی و قضایی اقدام به استیفای حقوق خود از کتابفروشی متخلف می‌نماید.

خرید، فروش، تهیه، استفاده و مطالعه از روی نسخه غیراصل کتاب،

از نظر قانونی غیرمجاز و شرعاً نیز حرام است.

انتشارات نوآور از خوانندگان گرامی خود درخواست دارد که در صورت مشاهده هر گونه تخلف از قبیل موارد فوق، مراتب را یا از طریق تلفن‌های انتشارات نوآور به شماره‌های ۰۲۱-۶۶۴۸۴۱۹۱ و ۰۹۱۹۲۹۹۱۰۸۹ (تلگرام انتشارات) و یا از طریق ایمیل انتشارات به آدرس info@noavarpub.com و یا از طریق منوی تماس با ما در سایت www.noavarpub.com به این انتشارات ابلاغ نمایند، تا از تضييع حقوق ناشر، پدیدآورنده و نیز خود خوانندگان محترم جلوگیری به عمل آید، و نیز به‌عنوان تشکر و قدردانی، از کتب انتشارات نوآور نیز هدیه دریافت نمایند.

۱-۱. تاریخچه تیرهای لانه زنبوری

ایده اصلی ایجاد سوراخ‌های تکی در تیرهای فولادی بال پهن به منظور عبور لوله‌ها و تاسیسات از طریق جان تیر، به استفاده اولیه از مقاطع فولادی بر می‌گردد. طراحی تیرهای با جان باز در راهنمای طراحی شماره ۲ توسط AISC^۱ ارائه گردیده است. همچنین در راهنمای طراحی تیرهای فولادی و کامپوزیت با جان باز به صراحت خاطر نشان می‌کند که مقررات طراحی در مورد تیرهای لانه زنبوری و تیرهای دارای مقطع گسترش یافته شامل بازشوهای مکرر (متوالی) را شامل نمی‌شود (داروین، ۱۹۹۰)^۲. در این کتاب، تیرهای لانه زنبوری به عنوان تیرهای فولادی با مقاطع گسترش یافته حاوی دهانه‌های شش ضلعی تعریف شده‌اند و تیرهای سلولی (با سوراخ‌های دایره‌ای شکل) به عنوان مقاطع فولادی گسترش یافته با بازشوهای مدور (دایره‌ای) تعریف می‌شوند.

تیرهای با مقاطع جان گسترش یافته (ارتفاع جان افزایش یافته) و بازشوهای مکرر و متوالی، برای اولین بار در سال ۱۹۱۰ در پل شیکاگو و کارهای فولادی توسط داس و اسریمانی^۳ استفاده شد. این ایده نیز به طور مجزا توسط جی.ام. بوید^۴ در آرژانتین در سال ۱۹۳۵ و بعداً در انگلستان توسط نولز^۵ ثبت اختراع شد. استفاده از تیرهای لانه زنبوری و سلولی (با سوراخ‌های دایره‌ای) در دهه ۱۹۴۰ تا حدودی به دلیل محدودیت تولید تعداد مقاطع سازه‌ای توسط کارخانه‌های تولید فولاد در اروپا، بسیار افزایش یافت. کارخانه‌های تولید فولاد با گسترش و افزایش ارتفاع مقاطع تیرها به دلیل نسبت پایین هزینه کار به مصالح مصرفی فولاد، توانستند تعدادی از مقاطع بزرگتر را تولید کنند. با این حال، کارخانه‌های تولید فولاد در ایالات متحده همان محدودیت‌های مربوط به هزینه نیروی کار پایین را با کارخانه‌های تولید در اروپا تجربه نکردند. در نتیجه، ساخت چنین تیرهایی از نظر اقتصادی برای آنها به صرفه نبود. بنابراین، با توجه به این که تکنیک‌ها و وسایل ساخت اتوماتیک (خودکار) در دسترس آنها نبود استفاده از تیرهای لانه زنبوری سلولی (با سوراخ‌های دایره‌ای) کاهش پیدا می‌کرد. توسعه تجهیزات اتوماتیک در ساخت مقاطع به همراه نیاز معماران و مهندسان سازه برای جستجوی روشهای

1. American. Institute Of Steel Construction

2. Darwin, 1990

3. Das and Srimani, 1984

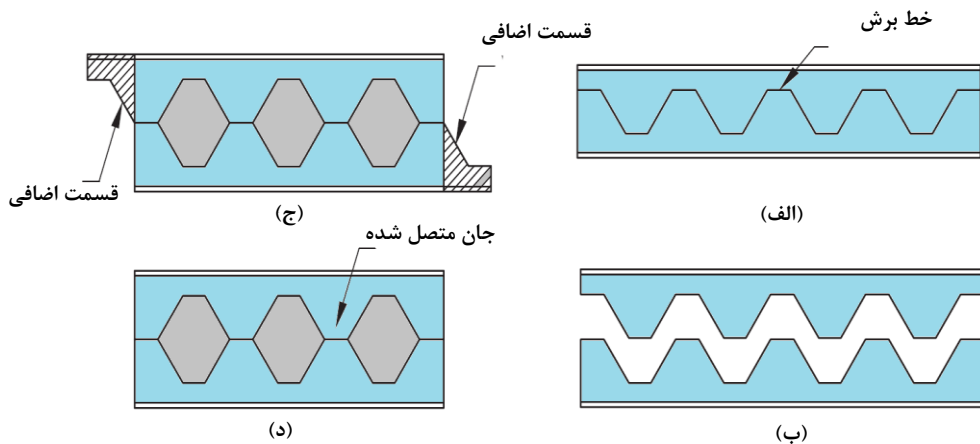
4. G.M. Boyd

5. Knowles, 1991

کارآمدتر و کم هزینه تر برای طراحی سازه‌های فلزی، منجر به استفاده از تیرهای لانه زنبوری و سلولی (با سوراخ‌های دایره‌ای در جان) در ایالات متحده شده است. افزایش استفاده از مقاطع با ارتفاع افزایش یافته (گسترش یافته) در سرتاسر جهان اتفاق افتاد و به تشکیل موسسه بین‌المللی تولیدکنندگان تیرهای سلولی^۱ در سال ۱۹۹۴ منجر شد که این موضوع به ایجاد و حفظ استانداردهای طراحی و ساخت تیرهای لانه زنبوری و سلولی (با سوراخ‌های دایره‌ای) در سراسر جهان کمک کرده است.

۲-۱. ساخت و تولید تیرهای لانه زنبوری

تیرهای لانه زنبوری و سلولی بصورت سفارشی برای یک محل خاص و در یک پروژه خاص طراحی می‌شوند. فرایند ساخت تیرهای لانه زنبوری و سلولی مشابه هم هستند، اما یکسان نیست. تیرهای لانه زنبوری با استفاده از مشعل برش و با استفاده از کامپیوتر (رایانه) و با یک الگوی زیگزاگ در امتداد جان در مقاطع بال پهن (IPB) یا مقاطع نیم پهن (IPE) برش داده شده و ساخته می‌شوند. فرآیند گام به گام ساخت یک تیر لانه زنبوری در شکل ۱-۱ ارائه شده است. پس از برش مطابق الگو (شکل-الف)، دو نیمه برش خورده جدا می‌شوند (شکل-ب)، سپس قسمت‌های اضافی انتهای تیر برش داده می‌شوند (شکل-ج)، و دو نیمه قبلی جدا شده مجدداً به هم جوش می‌دهند تا تیر لانه زنبوری (شکل-د) ایجاد گردد. اگر ضخامت جان نسبتاً کم باشد، بدون سنگ زنی لبه‌های قبلی برش خورده جوش لب به لب نفوذی کامل یا ناقص از یک سمت جان جهت ساخت نهایی تیر انجام می‌شود.



شکل ۱-۱: نحوه ساخت تیر لانه زنبوری: الف) برش بر اساس الگو، ب) جدا کردن الگوی برش خورده، ج) قرینه کردن برش‌ها و حذف برش قسمت‌های اضافی و د) جوش برش‌های افقی دو لبه.

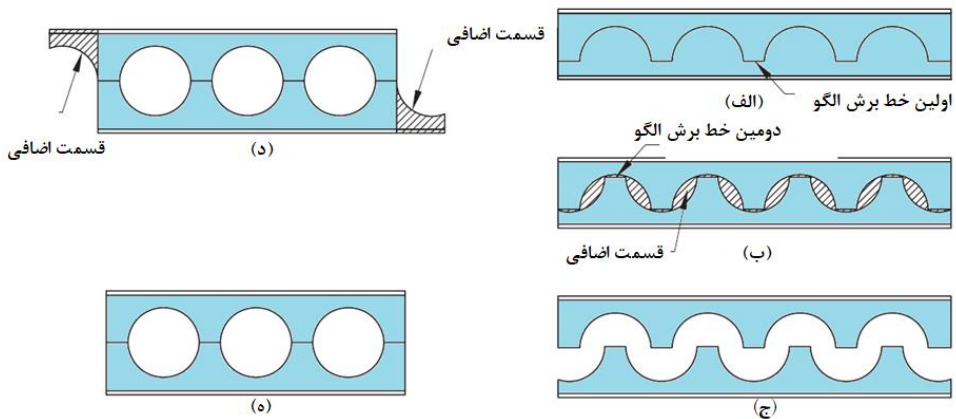
تصویری از فرآیند تولید یک تیر لانه زنبوری در شکل ۲-۱ نشان داده شده است. تیرهای سلولی با روشی مشابه و با استفاده از الگوی برش نیم دایره‌ای به شکل تو در تو ساخته می‌شوند. برای ایجاد الگوی تکراری دایره‌ای، همانطور که در شکل ۳-۱ نشان داده شده است، دو بار عبور برای برش

لازم است. دو عبور برش باعث افزایش کار در طی فرآیند تولید می‌شود. در نتیجه، زمان تولید یک تیر سلولی (با سوراخ دایره‌ای) کمی بیشتر از تیر لانه زنبوری است. در این گونه تیرها به جای برش‌های زیگزاگی استفاده شده در تیرهای لانه زنبوری از برش به صورت دایره‌ای استفاده می‌گردد. همانطور که در شکل ۳-۱ (ب) نشان داده شده است، در برش مدور ضایعات اضافی در مقایسه با تیرهای لانه زنبوری بیشتر تولید می‌شود. هنگامی که دو برش ایجاد شد، دو نیمه ایجاد شده دوباره به هم جوش داده می‌شوند تا یک تیر سلولی را تشکیل دهند. تصویری از فرآیند تولید یک پرتو سلولی در شکل ۴-۱ ارائه شده است.



شکل ۳-۱: نحوه برش الگوی لانه زنبوری با دستگاه

هوا برش اتوماتیک.



شکل ۴-۱: نحوه دومین خط برش در الگو جهت ساخت تیر سلولی (تیر با سوراخ دایره‌ای).

۳-۱. نامگذاری تیرهای لانه زنبوری و سلولی

به طور معمول نامگذاری برای یک مقطع فولادی از یک نوع شکل در آئین نامه‌ها و مستندات فنی کشور آمریکا بر اساس عمق تقریبی بر حسب اینچ و وزن تقریبی آن بر حسب پوند بر واحد طول فوت می‌باشد. به عنوان مثال پروفیل $W8 \times 10$ نمایانگر یک مقطع بال پهن با عمق تقریبی ۸ اینچ و وزن اسمی ۱۰ پوند / فوت است. مشابه این حالت برای تیرهای لانه زنبوری و سلولی نیز استفاده می‌شود. تیرهای لانه زنبوری با علامت CB نشان داده می‌شوند در حالی که تیرهای سلولی را با علامت LB نمایش می‌دهند. نحوه نمایش این تیرها با نمایش مقاطع فولادی استاندارد یکسان است. به عنوان مثال یک تیر لانه زنبوری و سلولی ساخته شده از یک مقطع اصلی $W8 \times 10$ به ترتیب با عناوین $LB12 \times 10$ و $CB12 \times 10$ فراخوانی می‌شوند، چرا که عمق آنها تقریباً یک و نیم برابر تیر اصلی است ولی وزن آنها یکسان است. در شرایط خاص، ساخت مقطع نامتقارن می‌تواند مفید واقع شود. در این حالت، نامگذاری این مقاطع بر اساس دو تیر متفاوت با مقطع اصلی است که برای ساخت مقطع لانه زنبوری یا سلولی از آن استفاده شده است. به عنوان مثال، اگر مقطع تیر اصلی برای بالاترین سطح تیر لانه زنبوری یا سلولی از پروفیل $W21 \times 44$ و برای قسمت پائین آن از مقطع با پروفیل اصلی $W21 \times 57$ استفاده شود، در این صورت تیرهای لانه زنبوری یا سلولی شده به ترتیب به صورت $LB30 \times 44 / 57$ و $CB30 \times 44 / 57$ نمایش داده می‌شوند. عدد اول عمق تقریبی و عدد دومی وزن اسمی مقطع اصلی تیر استفاده شده برای مقطع بالایی تیر لانه زنبوری یا سلولی و عدد سوم بعد از خط کج (اسلش) بیانگر وزن اسمی مقطع اصلی برای قسمت پایین می‌باشد. وزن در واحد فوت برای هر تیر نامتقارن لانه زنبوری یا سلولی شده برابر با حاصل میانگین دو وزن ارائه شده در قسمت بالا و پائین مقطع است. استفاده از مقاطع نامتقارن با جزئیات بیشتر در بخش ۲-۲-۶ بحث شده است.

البته در ایران نمایش پروفیل‌ها بر حسب نوع پروفیل اصلی انجام می‌گیرد. به عنوان مثال پروفیل IPE200 نمایانگر این است که نوع پروفیل از IPE نیم پهن و ارتفاع کلی مقطع آن برابر 200mm می‌باشد. در صورت لانه زنبوری یا سولار بودن آنها می‌توان از نامگذاری CIPE200 و LIPE200 به ترتیب برای تیرهای مذکور استفاده نمود.

۴-۱. مقدمه‌ای بر راهنمای طراحی ارائه شده در این کتاب

اگرچه استفاده از تیرهای لانه زنبوری و سلولی در سرتاسر جهان به امری عادی تبدیل شده است و مقالات ارائه شده در این زمینه در حال گسترش است، ولی تعداد اندکی از این مقالات نیز، فقط شامل توصیه‌های جامع طراحی هستند. این راهنمای طراحی وضعیت اجرایی و محاسباتی برای طراحی تیرهای سلولز و سلول و نیز رویکرد واحدی را برای طراحی تیرهای لانه زنبوری و سلولی (تیر با سوراخ دایره‌ای) برای کاربردهای غیر کامپوزیت (غیر مرکب) و کامپوزیت (مرکب) ارائه می‌دهد. در فصل ۲ اطلاعات مربوط به کاربردهای مناسب تیرهای لانه زنبوری و سلولی، از جمله مزایا، کارایی و محدودیت‌های استفاده از آن، ارائه می‌شود. تفاوت بین طراحی قدیمی تیرهای لانه زنبوری در مقایسه با تیرهایی که

فصل دوم

کاربردهای تیرهای لانه زنبوری و تیرهای سلولی (با سوراخ‌های دایره‌ای)

۱-۲. کلیات

تیرهای لانه زنبوری و سلولی (با سوراخ دایره‌ای در جان) در مقایسه با تیرهای با مقطع اصلی شان دارای مزایای زیادی در طراحی و ساخت هستند. در نتیجه‌ی افزایش ارتفاع جان و ایجاد بازشوها در جان تیر، این اعضا نسبت ارتفاع کلی به وزن آنها افزایش یافته و باعث افزایش مدول مقطع S_x و ممان دوم سطح (گشتاور اینرسی) حول محور قوی I_x می‌شود. این افزایش نه تنها استفاده از آنها را در دهانه‌های بزرگتر ممکن می‌سازد، بلکه باعث افزایش کارایی و نیز امکان صرفه جویی در هزینه‌های قابل توجهی را فراهم می‌سازد. این مزایا در کنار آنالیز پیچیده‌تر آنها انجام می‌گیرد. در این فصل کاربردهای ایده آل برای استفاده از تیرهای لانه زنبوری و سلولی ارائه شده است که برخی از مزایا و محدودیت‌های استفاده شده مورد بحث قرار گرفته و برخی از ملاحظات خاص را نیز برای طراحان بیشتر نمایان می‌سازد.

۲-۲. کاربردها و مزایای تیرهای لانه زنبوری و سلولی

کاربرد اصلی تیرهای لانه زنبوری و سلولی شده استفاده از آنها در دهانه‌های بزرگ با مقطع سبک‌تر است. به طور کلی، این تیرها برای دهانه‌های بیشتر از ۹ متر کاربرد دارند و اثبات شده که برای دهانه‌های بیشتر از ۱۲ متر یک گزینه بسیار مقرون به صرفه و اقتصادی هستند (استرادا و همکاران، سال ۲۰۰۶).^۱ استفاده از قابلیت تیرهای لانه زنبوری و سلولی در دهانه‌های بزرگ می‌تواند برای پلان و چیدمان طرح معماری انعطاف پذیری بهتر و بیشتری داشته باشد. این موضوع به استفاده کننده از ساختمان امکان انعطاف پذیری بیشتری را در برنامه ریزی مربوط به تقسیم بندی فضاها می‌دهد و می‌تواند در صورت تغییر مالک و فروش آن در آینده مزیتی برای مالک جدید ساختمان جهت انجام تغییرات معماری مورد نظر خود باشد. از مزایای دیگر تیرهای لانه زنبوری و سلولی می‌توان به توانایی استفاده‌ی کمتر از ستون‌ها و فونداسیون با توجه به تحمل باربری آنها در دهانه‌های طویل اشاره کرد و