



اجرای ساختمان های فولادی

ویژه مهندسان عمران و معماری
(اجرا و نظارت)



مولفان:

دکتر موسی محمودی صاحبی

عضو هیات علمی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

مهندس مهدی زارع

کارشناس ارشد سازه



سرشناسه:	مجموعه‌های فولادی: ویژه مهندسان عمران و معماری (اجرا و نظارت))
عنوان و نام پدیدآور:	مجموعه‌های فولادی، موسی، ۱۳۴۲ -
مشخصات نشر:	مجموعه‌های فولادی: ویژه مهندسان عمران و معماری (اجرا و نظارت))
مشخصات ظاهری:	مؤلف موسی محمودی صاحبی، مهدی زارع.
شابک:	تهران: نوآور، ۱۳۹۷.
وضعیت فهرست نویسی:	۱۶۰ص.
موضوع:	۷-۴۱۹-۱۶۸-۶۰۰-۹۷۸-۶۰۰
موضوع:	فیبا
موضوع:	سازه‌های فولادی
موضوع:	Steel structures
موضوع:	ساختمان‌های فلزی
موضوع:	Building, Iron and steel
موضوع:	فولاد ساختمانی
موضوع:	Steel, Structural
شناسه افزوده:	زارع، مهدی، ۱۳۶۰-
رده بندی کنگره:	۱۳۹۷۳ الف ۳ م ۶۸۴۲۸
رده بندی دیویی:	۶۲۴/۸۲۱
شماره کتابشناسی ملی:	۵۴۴۲۱۸۷

اجرای ساختمان‌های فولادی ویژه مهندسان عمران و معماری

مؤلفان: دکتر موسی محمودی صاحبی - مهندس مهدی زارع
 ناشر: نوآور
 شمارگان: ۵۰۰ نسخه
 نوبت چاپ:
 شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۴۱۹-۷
 قیمت:



نشر نوآور

مرکز بخش:

نوآور، تهران، خیابان انقلاب، خیابان فخرزاری، خیابان شهدای
 ژاندارمری نرسیده به خیابان دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸
 طبقه دوم، واحد ۶ تلفن: ۹۲-۶۶۴۸۴۱۹۱ www.noavapub.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 قابل 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.

فهرست مطالب

پیشگفتار.....	۷
فصل اول / کلیات	۹
۱-۱- مقدمه	۹
۲-۱- اهداف کتاب	۹
۳-۱- محتوای کتاب	۹
فصل دوم / آزمایش مصالح	۱۱
۱-۲- مقدمه	۱۱
۲-۲- آزمایش مقاومت کششی با اندازه‌گیری تغییرشکل نسبی	۱۲
۳-۲- آزمایش ضربه شاریبی روی نمونه زخم‌دار	۱۵
۴-۲- آزمایش خمش	۱۷
۵-۲- آزمایش متالوگرافی	۱۷
فصل سوم / ساخت قطعات فولادی	۱۹
۱-۳- مقدمه	۱۹
۲-۳- آماده‌سازی قطعات فولادی	۱۹
۱-۲-۳- بریدن قطعات فولادی	۲۰
۱-۲-۳- بریدن قطعات فولادی به وسیله اره	۲۰
۲-۱-۲-۳- بریدن قطعات فولادی به وسیله شعله	۲۱
۳-۱-۲-۳- بریدن قطعات فولادی به وسیله گیوتین	۲۲
۴-۱-۲-۳- بریدن قطعات فولادی به وسیله واترجت	۲۳
۵-۱-۲-۳- بریدن قطعات فولادی به وسیله لیزر	۲۴
۲-۲-۳- پخ‌زدن قطعات فولادی قبل مونتاژ	۲۵
۳-۳- مونتاژ قطعات فولادی	۲۷
۱-۳-۳- انواع اتصالات جوشی	۲۷
۲-۳-۳- انواع جوش	۲۷
۳-۳-۳- حالت‌های مختلف جوشکاری	۲۸
۴-۳-۳- مراحل مختلف مونتاژ قطعات فولادی	۲۹
۱-۴-۳-۳- مونتاژ اولیه قطعات فولادی	۲۹
۲-۴-۳-۳- مونتاژ ثانویه قطعات فولادی	۳۴
۴-۳-۳- انواع روش‌های جوشکاری و تست آنها	۳۵
۱-۴-۳-۳- انواع روش‌های جوشکاری	۳۵
۲-۴-۳-۳- انواع روش‌های تست جوش	۳۹
۱-۲-۴-۳- آزمایش چشمی	۴۰

۴۱	۳-۴-۲- آزمايش ابعادی
۴۲	۳-۴-۳- آزمايش نفوذ
۴۴	۳-۴-۴- آزمايش ذرات مغناطیسی
۴۵	۳-۴-۵- آزمايش فراصوت
۴۷	۳-۴-۶- آزمايش پرتونگاری
۴۸	۳-۵-۱- سوراخ کاری قطعات فولادی
۴۸	۳-۵-۱- انواع سوراخ‌ها در اتصال‌های پیچی
۴۹	۳-۵-۲- روش‌های سوراخ‌کاری قطعات فولادی
۵۰	۳-۶-۱- رنگ‌آمیزی قطعات فولادی
۵۱	۳-۶-۱- آماده‌سازی سطوح فولادی
۵۱	۳-۶-۱- روش‌های آماده‌سازی سطوح فولادی
۵۴	۳-۶-۱-۲- درجه‌های آماده‌سازی سطوح فولادی
۵۶	۳-۶-۳- تعیین درجه‌های آماده‌سازی سطوح فولادی
۵۶	۳-۶-۳- رنگ‌آمیزی سطوح فولادی
۵۶	۳-۶-۳- روش‌های رنگ‌آمیزی
۵۷	۳-۶-۲- محدودیت‌های رنگ‌آمیزی
۵۸	۳-۶-۳- تعیین نوع و ضخامت رنگ
۵۹	۳-۶-۴- کنترل رنگ‌آمیزی
۶۰	۳-۷-۱- رواداری ساخت
۶۱	۳-۷-۱- رواداری‌های جوش
۶۲	۳-۷-۲- رواداری‌های ابعادی
۶۳	۳-۷-۳- رواداری‌های سوراخ پیچ‌ها

۶۴	فصل چهارم / حمل و جابه‌جایی قطعات فولادی
۶۴	۴-۱- مقدمه
۶۵	۴-۲- جابه‌جایی قطعات در کارخانه
۶۶	۴-۳- حمل قطعات از کارخانه تا کارگاه
۶۷	۴-۴- جابه‌جایی قطعات در کارگاه

۷۲	فصل پنجم / نصب قطعات فولادی
۷۲	۵-۱- مقدمه
۷۳	۵-۲- اتصالات پای ستون
۷۳	۵-۲-۱- اجزای اتصالات پای ستون
۷۴	۵-۲-۲- رفتار اتصال پای ستون
۷۴	۵-۲-۱- اتصال ستون به کف ستون
۷۵	۵-۲-۲- اتصال کف ستون به شالوده



۷۷	۳-۲-۲-۵- رفتار کلی اتصال پای ستون.....
۷۸	۳-۵- انواع اتصالات تیر- ستون.....
۷۸	۱-۳-۵- اتصالات مفصلی تیر- ستون.....
۸۳	۲-۳-۵- اتصالات گیردار تیر- ستون.....
۹۸	۴-۵- اتصالات مهاربندها.....
۹۸	۱-۴-۵- اتصال میانی در مهاربندهای کششی.....
۹۹	۲-۴-۵- اتصال میانی مهاربندهای فشاری.....
۱۰۱	۳-۴-۵- اتصال کناری در مهاربندهای کششی.....
۱۰۲	۴-۴-۵- اتصال کناری در مهاربندهای فشاری.....
۱۰۳	۵-۵- وصله‌ها.....
۱۰۴	۱-۵-۵- وصله تیرها.....
۱۰۶	۲-۵-۵- وصله ستون‌ها.....
۱۰۸	۳-۵-۵- وصله مهاربندها.....
۱۱۰	۶-۵- اجرای اتصالات پای ستون.....
۱۱۴	۷-۵- اجرای اتصالات و وصله‌ها.....
۱۱۵	۱-۷-۵- اتصالات و وصله‌های جوشی.....
۱۱۵	۲-۷-۵- اتصالات و وصله‌های پیچی.....
۱۱۵	۱-۲-۷-۵- مشخصات پیچ در اتصالات پیچی.....
۱۱۷	۲-۲-۷-۵- انواع پیچ در اتصالات پیچی.....
۱۱۸	۳-۲-۷-۵- رفتار پیچ در اتصالات پیچی.....
۱۲۶	۲-۷-۵- ورق‌های پرکننده.....
۱۲۷	۸-۵- رواداری‌های نصب.....

فصل ششم / ضوابط لرزه‌ای ساخت و نصب سازه‌های فولادی..... ۱۲۹

۱۲۹	۱-۶- مقدمه.....
۱۳۰	۲-۶- ضوابط عمومی لرزه‌ای ساخت و نصب.....
۱۳۰	۱-۲-۶- الزامات لرزه‌ای مشخصات مصالح.....
۱۳۱	۲-۲-۶- ناحیه حفاظت شده اعضا و الزامات آن.....
۱۳۱	۱-۲-۲-۶- ناحیه حفاظت شده در قاب‌های خمشی.....
۱۳۶	۲-۲-۲-۶- ناحیه حفاظت شده در قاب‌های مهاربندی.....
۱۳۸	۳-۲-۲-۶- الزامات ناحیه حفاظت شده.....
۱۳۹	۳-۲-۶- الزامات عمومی لرزه‌ای وصله‌ها و اتصالات.....
۱۴۱	۳-۶- ضوابط لرزه‌ای ساخت و نصب قاب‌های خمشی.....
۱۵۴	۴-۶- ضوابط لرزه‌ای ساخت و نصب قاب‌های مهاربندی.....
۱۵۸	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 به کار 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.

باین‌وجود، 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 بنابه تعهدات حرفه‌ای و اخلاقی خود و نیز بنابه 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 یا ایرادهای شکلی یا محتوایی در آن برخورد نمودید، اگر اصلاحات را بر روی خود کتاب انجام داده‌اید پس از اتمام مطالعه، کتاب ویرایش‌شده 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 پربرتر 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، به‌رسم ادب و قدرشناسی، نسخه دیگری از همان کتاب و یا چاپ اصلاح‌شده 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: ۰۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

www.noavarpub.com

info@noavarpub.com

مرحله اجرا مهم‌ترین قسمت پروژه‌های سازه‌ای می‌باشد. امروزه با افزایش ساخت و ساز و مرتفع شدن سازه‌ها، نیاز به اجرای صحیح و اصولی آن‌ها بیش‌تر شده است. اجرا فرآیندی است که از شروع تحویل فولاد تا پایان نصب و برپایی سازه را در بر می‌گیرد. این فرآیند نیازمند به برنامه‌ریزی دقیق برای ساخت قطعات فولادی در کارخانه از نیمرخ‌ها و ورق‌ها و اتصال و نصب آن‌ها در کارگاه است. اجرای سازه‌ها باید توسط مجریان صاحب صلاحیت انجام گیرد. شناخت نکات فنی و اجرایی، روش‌های ساخت قطعات سازه فولادی و نحوه نصب و آزمایش آن‌ها از اهمیت بالایی برای مهندسین مجری برخوردار است. با این حال اطلاع از این موارد برای مهندسین طراح و ناظر نیز ضروری می‌باشد.

هدف از نگارش این کتاب ارائه روش‌های اجرای سازه‌های فولادی است. بدین منظور نحوه آزمایش مصالح فولادی، ساخت قطعات در کارخانه، حمل و جابه‌جایی قطعات، روش‌های نصب و ضوابط و مقررات آیین‌نامه‌ای برای اجرای سازه‌های فولادی بیان شده است. کتاب موجود با استفاده از تجربیات مولفین تهیه شده و در آن از مراجع و آیین‌نامه‌های داخلی و خارجی استفاده شده است. این کتاب مشتمل بر شش فصل است که توضیحات مربوط به اجرای سازه‌های فولادی در آن گنجانده شده است.

این کتاب به عنوان راهنمایی برای اجرای سازه‌های فولادی است و با توجه با امکان تغییر در مقررات و ضوابط آیین‌نامه‌ای، مسئولیت استفاده از مقررات موجود بر عهده استفاده کننده آن می‌باشد.

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 منحصراً 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 پی دی اف از کتاب، عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به‌صورت اینترنتی، سی دی، دی وی دی، 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 به‌صورت فایل ورد یا پی دی اف و موارد این‌چنین، توسط این انتشارات در هیچ سایت اینترنتی ارائه نشده است، لذا در صورتی که هر ساینی 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 هرگونه 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، افست از کتب انتشارات نوآور نموده و اقدام به فروش آن نماید، ضمن اطلاع‌رسانی تخلفات کتابفروشی مزبور به سایر همکاران و مؤذنین 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 ۰۲۱-۹۱۲۳۰۶۷۴۸، 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 تضمین 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- مقدمه

فولاد ترکیبی قوی از آهن و فولاد است و ویژگی اصلی آن مقاومت و شکل‌پذیری بالاست. همین موضوع سبب می‌شود تا از آن در ساخت اعضای ساختمان‌های فولادی، خرپاهای، پل‌ها و قاب‌های فضایی استفاده شود. تعداد زیادی از ساختمان‌های موجود در کشور از نوع ساختمان‌های فولادی است، هر چند ممکن است به دلایل اقتصادی و شرایط محیطی، درصد آن در مناطق مختلف کشور متفاوت باشد. از مزایای ساختمان‌های فولادی می‌توان به سرعت بالای اجرا، وزن کم، افزایش فضای معماری و قابلیت پیش‌ساختگی اشاره کرد. اجرای ساختمان‌های فولادی نیاز به دانش و مهارت خاص دارد. مراحل اصلی اجرای ساختمان‌های فولادی شامل ساخت و نصب می‌باشد که ساخت در کارخانه انجام می‌شود و نصب در کارگاه یا محل اجرای ساختمان اجرا می‌گردد. ساخت قطعات فولادی شامل، آماده‌سازی قطعات، مونتاژ قطعات، جوشکاری و تست آن‌ها، سوراخ‌کاری قطعات و رنگ‌آمیزی آن‌ها می‌گردد. نصب قطعات شامل شناسایی اتصالات و وصله‌ها و همچنین اجرای آن‌ها است.

۲-۱- اهداف کتاب

هدف از تهیه این کتاب، ارائه روش‌های اجرای سازه‌های فولادی است. برای این منظور ضوابط آیین‌نامه‌ای و فرآیندهای مختلف برای اجرای سازه‌های فولادی بیان شده است. این فرآیند شامل آزمایش مصالح فولادی، روش‌های ساخت در کارخانه، نصب قطعات سازه در کارگاه و نحوه حمل و جابه‌جایی قطعات می‌گردد. بررسی ضوابط لرزه‌ای در هنگام ساخت و نصب، از اهداف دیگر این کتاب است. مطالعه این کتاب به مهندسين کمک می‌کند تا با فرآیند اجرای سازه‌های فولادی آشنا گردند. همچنین مطالعه این کتاب، توانایی تفسیر و کنترل نقشه‌ها را در مهندسين مجری افزایش خواهد داد.

۳-۱- محتوای کتاب

کتاب حاضر شامل شش فصل است که مراحل ساخت، حمل و نصب اعضای سازه‌های فولادی را تشریح می‌کند. فصل اول، کلیات مطالب کتاب را در بر دارد. در این فصل، مقدمه‌ای از فرآیند اجرای سازه‌های فولادی بیان شده است. سپس هدف از تهیه و نگارش کتاب و محتوای آن ارائه گردیده است. فصل دوم مربوط به آزمایش مصالح فولادی است. در این فصل انواع آزمایش‌های مصالح فولادی و الزامات و ضوابط آیین‌نامه‌ای بیان گردیده است.

فصل سوم مربوط به روش‌های ساخت قطعات فولادی است. در این فصل نحوه آماده‌سازی قطعات (شامل بریدن و یخ‌زدن)، رونتاز اولیه و ثانویه قطعات فولادی، انواع روش‌های جوشکاری، آزمایش‌های جوش، روش‌های سوراخ‌کاری قطعات، رواداری‌های مجاز ساخت و رنگ‌آمیزی سطوح فولادی ارائه شده است.

حمل و جابه‌جایی قطعات فولادی در فصل چهارم ارائه شده است. در این فصل روش‌های جابه‌جایی قطعات در کارخانه، حمل از کارخانه به کارگاه و جابه‌جایی قطعات در کارگاه بیان گردیده است.

نصب سازه‌های فولادی در فصل پنجم بررسی شده است. به دلیل اهمیت اتصالات در سازه‌های فولادی، عملکرد انواع اتصال، شامل اتصالات پای ستون، اتصالات تیر به ستون، اتصالات مهاربندی، وصله‌ها، و وسایل اتصال و رواداری مجاز نصب در این فصل تشریح گردید.

در فصل ششم ضوابط لرزه‌ای در اجرای سازه‌های فولادی ارائه شده است. نظر به این‌که ساختمان‌هایی که در مناطق لرزه‌خیز اجرا می‌شوند نیاز به ضوابط خاص در اجرا دارند، ضوابط مربوطه در این فصل تشریح می‌گردد.

مصالح سازه‌ای از جمله فولاد، بتن، مصالح بنایی، چوب، پلاستیک، شیشه و ... در شرایط خاص، خصوصیات ویژه‌ای را دارا هستند. استفاده از امکانات و خصوصیات مختلف این مصالح باید توسط طراحان و سازندگان سازه مورد بررسی قرار گیرد و مصالح مناسب با مشخصات پروژه مورد نظر انتخاب شود. فولاد سازه‌ای، از ترکیبات خاص آهن و کربن ساخته می‌شود و در فرم‌های استاندارد و مقاطع عرضی صنعتی شکل داده می‌شود. طبقه‌بندی فولاد بر اساس فرآیند ساخت، ترکیبات شیمیایی، خصوصیات مکانیکی و کاربرد آن می‌باشد. قبل از استفاده از فولاد، خصوصیات از جمله دانسیته، مدول الاستیسیته، ضریب پواسون، مقاومت کششی، مقاومت تسلیم، نقطه ذوب، ظرفیت حرارتی و سختی باید مورد بررسی قرار گیرد. این خصوصیات برای تعیین کیفیت فولاد سودمند است. موفقیت در اجرای سازه‌ها به بهبود عملکرد، کیفیت و تجهیزات آزمایشی وابسته است. وسایل آزمایشگاهی برای کنترل کیفیت و افزایش شناخت مصالح و یا توسعه مصالح جدید به کار می‌روند. آیین‌نامه‌ها و استانداردهای مختلف، مقررات ویژه‌ای را برای روش‌های انجام آزمایش مختلف فولاد سازه‌ای ارائه می‌دهند. فولاد مورد استفاده در نیمرخ‌ها، ورق‌ها، تسمه‌ها، میلگردها، پیچ‌ها، واشرها، مهره‌ها، میل‌مهارها، الکترودها و ... باید مطابق با استانداردهای ملی ایران باشد. در صورتی که برای بعضی از مصالح، استاندارد ایران تهیه نشده باشد، باید یکی از استانداردهای معتبر بین‌المللی مانند استاندارد ISO مورد استفاده قرار گیرد [۱]. مشخصات فولاد و سایر فلزات و آلیاژهای مصرفی باید با آنچه در نقشه‌ها، دستور کارها یا مشخصات فنی خصوصی و دیگر مدارک پیمان ذکر شده است، منطبق باشد [۲].

در این فصل به مشخصات مصالح فولاد سازه‌ای که اهمیت بالایی در اجرای ساختمان‌های فولادی دارد پرداخته می‌شود. همچنین انواع آزمایش‌های مصالح فولادی و الزامات و ضوابط آیین‌نامه‌ای در این رابطه بیان می‌گردد.

قطعات فولادی باید از معایبی که به مقاومت و یا شکل ظاهری آن‌ها لطمه می‌زند عاری باشند. انواع فولاد و دیگر فلزات باید براساس استاندارد مشخص، تولید گردند و دارای برگ شناسایی کارخانه سازنده باشند. کارخانه سازنده باید با عرضه شماره و عنوان مصالح، مشخصات فنی مربوطه طبق مدارک رسمی و همچنین گزارش آزمایش‌های مصالح، ثابت کند که مصالح مورد استفاده مطابق با مشخصات فنی ارائه شده در نقشه‌های محاسباتی است [۱].

به کار بردن فولاد مصرف شده باید با اجازه ناظر و بعد از انجام آزمایش‌های لازم باشد. هرگاه ناظر از مشخصات فولادهای وارد شده به کارخانه اطمینان نداشته باشد می‌تواند از هر ۱۰ تن نیرمخ فولادی

مشابه، به تعداد ۳ نمونه اتفاقی انتخاب و انجام آزمایش‌های زیر را مطابق استانداردها (استاندارد ملی یا ISO) تقاضا نماید [۱].

- ۱- آزمایش مقاومت کششی با اندازه‌گیری تغییرشکل نسبی
- ۲- آزمایش شاری روی نمونه زخم‌دار
- ۳- آزمایش خمش سرد
- ۴- آزمایش متالوگرافی

دستگاه نظارت مخیر است نتایج آزمایش‌های انجام شده در کارخانه تولید کننده فولاد را بپذیرد و سپس تقاضای بازدید محصولات، قبل از ارسال آن‌ها از کارخانه را بنماید و یا درخواست انجام آزمایش‌های مورد نظر در حضور نماینده خود در کارخانه را ارائه دهد. بازدید از فولاد ساختمانی قبل از حمل به کارگاه از وظایف و اختیارات دستگاه نظارت می‌باشد [۲]. پیمانکار موظف است که تسهیلات لازم را جهت بازدید دستگاه نظارت در کلیه اوقات از کارگاه، انبارها و محل کار فراهم نماید. اگر مصالح فولادی حمل شده به کارگاه نامرغوب‌تر از نمونه‌های مورد تصویب باشد و یا بر طبق مشخصات نباشد، مردود شناخته می‌شود و باید از محوطه کارگاه خارج گردد.

۲-۲- آزمایش مقاومت کششی با اندازه‌گیری تغییرشکل نسبی

مقاومت کششی نهایی^۱ یا مقاومت کششی یا کشش نهایی عبارت است از بیش‌ترین تنش که مصالح در هنگام کشیده شدن از طرفین، تا قبل از گسیختگی مقطع، می‌تواند تحمل کند. مقاومت کششی یک از پارامترهای مهم در تعیین قابلیت به‌کارگیری مصالح و مشخصات مکانیکی فلزات می‌باشد. آزمایش کشش محوری به عنوان آزمایشی جامع و کلی، پارامترهای مختلف از خصوصیات مصالح مانند مقاومت، شکل‌پذیری، سختی، مدول الاستیسیته و سخت‌شوندگی کرنش را تعیین می‌کند. تعیین مقاومت کششی فولاد به وسیله آزمایش مقاومت کششی انجام می‌شود. شکل ۱-۲ دستگاه آزمایش کشش استاندارد را نشان می‌دهد. مشخصات، الزامات و روش کالیبره کردن دستگاه کشش باید منطبق با ضوابط ارائه شده در آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مربوطه باشد [۴].



شکل ۱-۲: دستگاه آزمایش کشش استاندارد

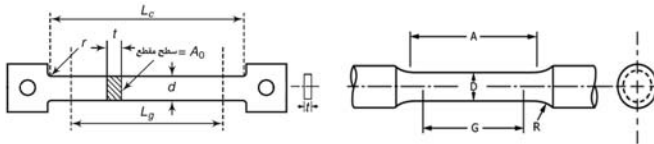
1- Ultimate Tensile Strength

اولین گام برای انجام این آزمایش آماده‌سازی نمونه مصالح می‌باشد. با این‌که اکثر آزمایش‌های کشش بر روی نمونه با مقطع مدور^۱ انجام می‌گیرد ولی می‌توان از قطعه با مقطع مستطیلی^۲ نیز استفاده نمود. شرایط آماده‌سازی نمونه باید مطابق با آیین‌نامه‌های مربوطه باشد. نمونه‌های قطعه آزمایش کشش در شکل ۲-۲ نمایش داده شده است. در این نمونه‌ها طول مورد مطالعه قطعه و طرح مقطع آن از اهمیت بالایی برخوردار است.



شکل ۲-۲: نمونه‌های استاندارد آزمایش کشش فولاد

ابعاد نمونه‌های آزمایش کشش به گونه‌ای انتخاب می‌شود تا گسیختگی در طول مورد نظر رخ دهد. به همین منظور طول نمونه‌ها در این حالت بر اساس نسبتی از سطح مقطع آن‌ها در نظر گرفته می‌شود (شکل ۲-۳). آیین‌نامه‌های مختلف نسبت طول به سطح مقطع متفاوتی را برای نمونه‌ها در نظر می‌گیرند. برخی از این آیین‌نامه‌ها مانند ASTM [۳ و ۴] مشخصات نمونه‌های استاندارد آزمایش کشش با ابعاد مختلف را برای مقاطع متفاوت به صورت جدولی ارائه داده است.



(ب) نمونه با مقطع مستطیلی

(الف) نمونه با مقطع مدور

شکل ۲-۳: مشخصات نمونه‌های استاندارد آزمایش کشش فولاد [۳ و ۴]

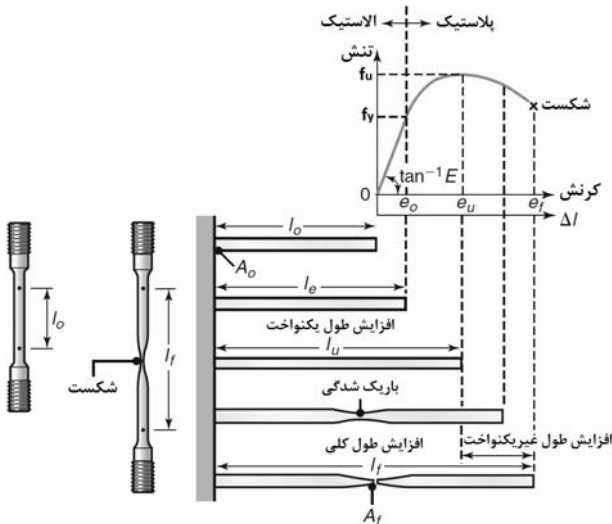
نمونه استاندارد فولادی در بین دو فک دستگاه آزمایش کشش قرار داده می‌شود. دستگاه، تنش کششی محوری را با تغییر فاصله تدریجی فک‌ها به قطعه وارد می‌کند تا جایی که منجر به گسیختگی قطعه آزمایش شود. مقدار کششی وارده و تغییر طول در زمان آزمایش ضبط می‌شود تا مقادیر تنش و

1- Round Tension Test Specimen

2- Rectangular Tension Test Specimen

کرنش در هر لحظه محاسبه گردد. توجه به این نکته ضروری است که شرایط آزمایش نظیر سرعت آزمایش و حرارت محیط نیز باید مطابق با استانداردهای آیین‌نامه‌ای باشد. افزایش حرارت در زمان آزمایش موجب افزایش شکل‌پذیری و چقرمگی و طاقت مصالح می‌شود ولی سبب کاهش مقاومت تسلیم و مدول الاستیسیته مصالح می‌گردد. از طرفی افزایش سرعت آزمایش، مقاومت تسلیم بالاتری را برای مصالح منظور می‌کند [۵].

نمودار تنش-کرنش نمونه فولاد که از آزمایش مقاومت کششی بدست می‌آید در شکل ۲-۴ نشان داده شده است. فرم و اندازه نمودار به نوع فولاد مورد آزمایش بستگی دارد. در این نمودار مقاومت تسلیم f_y ، مقاومت نهایی f_u ، محدوده رفتار الاستیک و پلاستیک مصالح، باریک‌شدگی و افزایش طول نمونه‌ای از مصالح فولادی مشخص می‌گردد. همان‌طور که دیده می‌شود با وارد شدن نیروی اولیه، نمونه‌ای آزمایش، تغییر شکل‌های الاستیک (ارتجاعی) خواهد داشت به طوری که اگر نیرو حذف شود قطعه به شکل و طول اولیه برخواهد گشت. با افزایش بار، مصالح وارد تغییر شکل‌های پلاستیک (غیرارتجاعی) می‌شود. افزایش طول قطعه فولادی در این حالت باعث کاهش سطح مقطع آن می‌شود. برای نیروی کششی بیش‌تر از مقاومت نهایی کششی مصالح، باریک‌شدگی در سطح مقطع نمونه رخ می‌دهد و ظرفیت تحمل تنش کاهش می‌یابد. سطح مقطع قطعه، دیگر در حالت یکنواخت اولیه نبوده و نمونه در محدوده باریک‌شدگی مقطع می‌شکند.



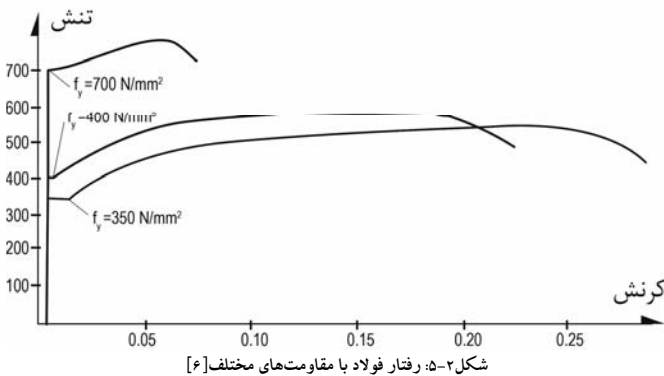
شکل ۲-۴: نمودار تنش-کرنش نمونه‌ی استاندارد فولادی تحت آزمایش کشش [۵]

خروجی‌های آزمایش کشش که از نمودار تنش-کرنش قابل برداشت است شامل موارد

زیر می‌باشد:

- ۱- مقاومت تسلیم^۱ مصالح
- ۲- مقاومت نهایی^۲ مصالح
- ۳- کرنش گسیختگی^۳ مصالح
- ۴- شکل پذیری^۴ مصالح

شکل پذیری یکی از خصوصیات رفتاری مهم مصالح است که ناشی از گسترش تغییر شکل‌های غیر ارتجاعی مصالح قبل از شکست می‌باشد. شکل ۲-۵ نمودار رفتاری تنش-کرنش سه نمونه مصالح فولادی را نمایش می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، فولاد مصرفی با تنش تسلیم کم‌تر، کرنش بالاتری را دارا می‌باشد و با بیش‌تر شدن تنش تسلیم، کرنش نهایی کاهش می‌یابد. بنابراین افزایش مقاومت فولاد باعث کاهش شکل پذیری آن می‌شود. توجه به این نکته ضروری است که استفاده از فولاد با شکل پذیری پایین، عملکرد ضعیف را برای سازه در مناطق لرزه خیز به همراه دارد. به همین دلیل آیین‌نامه‌های لرزه‌ای استفاده از فولاد با مقاومت بالا را برای سازه‌های شکل‌پذیر محدود کرده‌اند [۶].



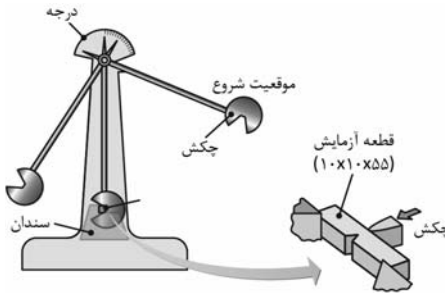
۲-۳- آزمایش ضربه شاریبی روی نمونه زخم‌دار

آزمون ضربه شاریبی^۵ یکی از روش‌های استاندارد برای تعیین انرژی شکست و طاقت مصالح فولادی در اثر ضربه است. انرژی جذب شده در این حالت، چقرمگی مصالح را اندازه‌گیری نموده و به عنوان ابزاری برای تعیین قابلیت انعطاف‌پذیری یا شکنندگی به کار می‌رود. در این آزمایش، نمونه استاندارد

1- Yield Strength
 2- Ultimate Strength
 3- Rupture
 4- Ductility
 5- Charpy V-notch test

زخم‌دار فولادی به وسیله چکشی (آونگ) نوسانی شکسته می‌شود. آزمایش ضربه شاریبی نسبتاً ساده است و آماده‌سازی نمونه و انجام آن اقتصادی می‌باشد. همچنین نتایج آزمایش نیز به سرعت قابل برداشت است. از این رو این آزمایش به طور گسترده در صنعت استفاده می‌شود.

نمونه آزمایش ضربه، قطعه‌ای فولادی با طول ۵۵ میلی‌متر و سطح مقطع مربعی ۱۰×۱۰ میلی‌متری است که یک شیار ۷ شکل با زاویه ۴۵ درجه، عمق ۲ میلی‌متر و شعاع ریشه $۰/۲۵$ میلی‌متر دارد [۷]. دستگاه آزمایش ضربه شاریبی از یک چکشی (آونگ) مدرج تشکیل شده است که از ارتفاع مشخص رها می‌شود و در هنگام حرکت با نمونه برخورد می‌کند (شکل ۲-۶).



شکل ۲-۶: آزمایش شاریبی [۵]

نمونه آزمایش بر روی دو تکیه‌گاه دستگاه قرار داده می‌شود به طوری که شکاف آن پشت به محل ضربه باشد. انرژی منتقل شده به نمونه مصالح را می‌توان از اختلاف ارتفاع رها شدن چکش با ارتفاع آن بعد از برخورد با قطعه، تعیین نمود. این انرژی را همچنین می‌توان از اختلاف زاویه اولیه و نهایی چکش محاسبه کرد. در واقع انرژی جذب شده توسط قطعه در هنگام گسیختگی، معادل کاهش انرژی پتانسیل چکش می‌باشد [۸]. مهم‌ترین فاکتورهای تاثیرگذار بر طاقت مصالح در آزمایش ضربه شاریبی شامل حرارت محیط، سرعت بالای کرنش و تمرکز تنش مانند وجود ترک و خلل و فرج در شکاف است.

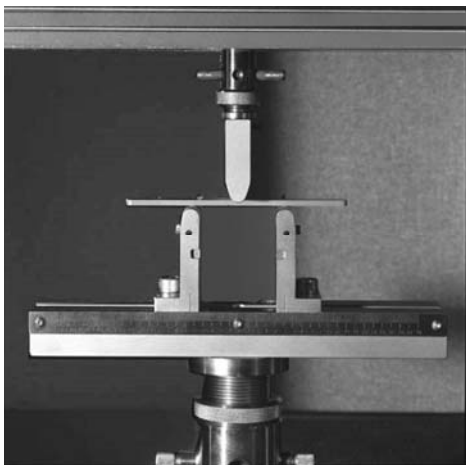
نتایج کیفی آزمایش ضربه شاریبی می‌تواند برای تعیین شکل‌پذیری مصالح استفاده شود. انرژی جذب شده در هنگام شکست منطبق با مساحت زیر منحنی تنش - کرنش مصالح (چقرمگی مصالح) است. مصالح شکننده دارای مساحت کم در زیر منحنی تنش - کرنش هستند و به همین دلیل انرژی کمی را در هنگام گسیختگی جذب می‌کنند. با افزایش ظرفیت تحمل تغییر شکل (شکل‌پذیری) مصالح، مساحت زیر نمودار بزرگ‌تر می‌شود. این نتایج را می‌توان در سطح گسیختگی نمونه شکسته شده مشاهده کرد. اگر نمونه مصالح در صفحه مسطح شکسته شود، شکست از نوع ترد است و اگر نمونه با لبه دندان‌دار و نا مسطح بشکند، شکست مصالح از نوع انعطاف‌پذیر خواهد بود. ولی دندان‌دار و یا صاف بودن شکست قطعه تنها درصدی از تخمین شکنندگی و یا انعطاف‌پذیری آن را نشان می‌دهد.

۲-۴- آزمایش خمش

فولادهای ساختمان باید تحت آزمون خمش قرار گیرند و حداکثر تحمل بار آن‌ها تعیین شود تا هنگام بارگذاری دچار مشکل خمیدگی نگردند. در آزمایش خمش، نمونه مورد نظر بر روی دو تکیه‌گاه با فاصله مشخص قرار می‌گیرد و نیروی به وجود آورنده خمش در وسط آن اثر می‌کند. فاصله تکیه‌گاه‌ها، سرعت بارگذاری و مقدار حداکثر خم‌شدگی و ضخامت نمونه از موارد تاثیرگذار بر این آزمایش هستند. این پارامترها بر اساس ضخامت نمونه مطابق با آیین‌نامه مورد استفاده تعیین می‌شوند.

زمان آزمایش در آیین‌نامه‌ها متفاوت است. در آیین‌نامه ASTM [۹] آزمایش زمانی پایان می‌یابد که نمونه به کرنش ماکزیمم ۵ درصد برسد و یا قبل از آن گسیخته شود. آیین‌نامه ISO [۱۰] زمان پایان آزمایش را در هنگام گسیختگی نمونه در نظر می‌گیرد.

برای این آزمایش می‌توان از نمونه‌هایی به ابعاد متفاوت استفاده نمود ولی رایج‌ترین نمونه طبق ASTM [۹] ابعاد $125 \times 12.7 \times 3.2$ میلی‌متر و طبق ISO [۱۰] ابعاد $80 \times 10 \times 4$ میلی‌متر می‌باشد.



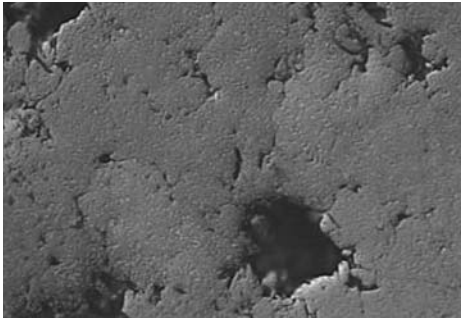
شکل ۲-۷: آزمایش خمش

۲-۵- آزمایش متالوگرافی

متالوگرافی^۱ به علم و هنر مطالعه ساختار داخلی فلزات و بررسی ریزساختار میکروسکوپی آن‌ها گفته می‌شود. تجزیه و تحلیل ریزساختار مصالح، به اطمینان از کیفیت آن‌ها و تعیین صحت فرآیند تولید و دلایل خرابی مصالح، کمک می‌کند [۱۰]. تنها با استفاده از روش متالوگرافی است که

1- Metallography

تکنسین‌های ماهر قادر به شناخت آلیاژها و برآورد خصوصیات فلزات هستند. به منظور تحلیل و بررسی دقیق ریزساختارها، نیاز به آماده‌سازی مناسب نمونه می‌باشد. برای آماده‌سازی صحیح نمونه نیز نیاز به دانستن خصوصیات فیزیکی مصالح مانند سخت‌شوندگی، دمای تبلور مجدد، چقرمگی شکست می‌باشد. سطح نمونه آزمایش متالوگرافی با روش‌های مختلف آماده می‌شود. مراحل اساسی آماده‌سازی نمونه شامل برش عرضی، نصب و استقرار، سنگ‌زنی سطح، پرداخت سخت، پرداخت نهایی سطح و قلم‌زنی است. بعد از آماده‌سازی، نمونه به وسیله میکروسکوپ‌های الکترونیکی مخصوص تجزیه و تحلیل می‌گردد. با آزمایش متالوگرافی مسائلی شامل اندازه دانه‌ها، پردازش ریزساختار دانه‌ها، فاز ریزساختار بین فلزی، تفکیک میکروشیمیایی، تخلخل و اجزاء مصالح مشخص می‌شود. شکل ۲-۸ تصویر فاز مس و آهن در فلز سرد فشرده شده است که از آزمایش متالوگرافی به دست آمده است.



شکل ۲-۸: فاز مس و آهن در فلز سرد فشرده