بسم الله الرحمن الرحیم

طراحی سازه‌های فولادی
به روش حالات حدی
LRFD

نشرنوآور
تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

مؤلف:
مهندس ایده نمازی

نشرنوآور

سرشناسه	: نمازی، ایده، ۱۳۵۸-
عنوان و نام پدیدآور	: طراحی سازه‌های فولادی به روش حالات حدی LRFD
مشخصات نشر	: تهران : نوآور، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	: ۱۸۶ص.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۲۱۶-۲
وضعیت فهرست نویسی	: فیپای مختصر
یادداشت	: این مدرک در آدرس http://opac.nlai.ir قابل دسترسی است.
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۶۷۷۷۶۸

طراحی سازه‌های فولادی به روش حالات حدی LRFD

مؤلف: مهندس ایده نمازی

ناشر: نوآور

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

مدیر تولید: محمدرضا نصیرنیا

نوبت چاپ:

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۲۱۶-۲

مرکز پخش:

نوآور: تهران ـ خ انقلاب، خ فخررازی، خ شهدای ژاندارمری نرسیده به خ دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸، طبقه دوم، واحد ۶

تلفن: ۹۲ ـ 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 می‌باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس‌برداری، 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 می‌گیرند.

فهرست مطالب

مقدمه

فصل اول / روشهای طراحی و ترکیبات بارگذاری
روش‌های طراحی و ترکیبات بارگذاری در سازه‌های فولادی
روش تنش مجاز و مقاومت مجاز
روش مقاومت نهایی
روش حالات حدی

فصل دوم / اعضای کششی
طراحی اعضای کششی خالص
مفاهیم پایه‌ای در طراحی اعضای کششی
معرفی اعضای مرکب
معرفی اعضای انعطاف‌پذیر
طراحی و تحلیل اعضای کششی بر مبنای آیین‌نامه فولاد به روش LRFD
مفهوم برش قالبی و بررسی گسیختگی برشی قالبی (Block Shear)
نمودار طراحی اعضای کششی

فصل سوم / اعضای فشاری خالص
طراحی اعضای فشاری خالص (ستون)
ضوابط طراحی در اعضای فشاری خالص (ستون‌ها)
ضریب طول موثر برای چند ستون خاص
اجزای تقویت شده و تقویت نشده در اعضای سازه‌های فولادی
ستون بلند ـ کوتاه و متوسط
طراحی اعضای فشاری مطابق با AISC
طراحی اعضای فشاری مطابق با مبحث ۱۰ مقررات ملی
نحوه محاسبه ضریب طول مؤثر ستون برای اعضای ستونی خاص
نحوه محاسبه ضریب طول مؤثر ستون برای اعضای ستونی در قاب‌های ساختمانی
طراحی ستون‌ها به روش LRFD
ستون‌ها با مقاطع مرکب (مقاطع ساخته شده)
نکات خاص در بکارگیری ستون‌های مرکب
نمودارهای طراحی

فصل چهارم / اعضای خمشی خالص
طراحی اعضای خمشی خالص (تیرها)
مفصل پلاستیک و شکل‌گیری آن
محدوده شکل‌گیری مفصل پلاستیک در آزمایشگاه
نحوه تعیین مدول پلاستیک یک مقطع
تئوری آنالیز پلاستیک در سازه‌ها
مکانیزم شکست Collapse Mechanism
روش کار مجازی در بررسی فرآیند مکانیزم شکست
مبانی طراحی تیرها به روش LRFD
رفتار پلاستیک
رفتار کمانش غیرخطی
رفتار کمانش خطی
فرمول‌بندی روابط طراحی برای تیرها با وضعیت رفتاری منطقه (۱)
فرمول‌بندی روابط طراحی برای تیرها با وضعیت رفتاری منطقه (۲)
فرمول‌بندی روابط طراحی برای تیرها با وضعیت رفتاری منطقه (۳)
برش در اعضای خمشی
ضوابط کنترل خیز (تغییر مکان) در تیرها
ضوابط کنترل ارتعاش در تیرها
الزامات مربوط به جان و بال تیرها تحت اثر بار متمرکز
سوراخ‌کاری در تیرها
نمودارهای طراحی

فصل پنجم / اعضای تحت اثر توام نیروی محوری و لنگر خمشی
طراحی اعضای فولادی تحت اثر همزمان نیروی محوری و لنگر خمشی
اعضای تحت اثر همزمان نیروی محوری کششی و لنگر خمشی
اعضای تحت اثر همزمان نیروی محوری فشاری و لنگر خمشی
معرفی ضرایب تشدیدکننده لنگر B_1 و B_2
طراحی اعضای تیر ستونی
نمودارهای طراحی‌ها
جدول مشخصات پروفیلهای HEA
جدول مشخصات پروفیلهای HEB
جدول مشخصات پروفیلهای IPE
جدول ضرایب رابطه اندرکنش در روش امین منصور
منابع و مراجع

مقدمه

بیش از یک قرن است که از تهیه فولاد ساختمانی گذشته است و مهندسین شاهد پیشرفتهای چشمگیری در این خصوص بوده‌اند. همچنین شاهکارهای زیادی را می‌توان در میان سازه‌های فولادی نام برد که همگی مرهون تلاش و کار مطالعاتی گسترده‌ای که در زمینه آکادمیک و صنعتی در سراسر جهان صورت پذیرفته است، می‌باشد.

مصالح فولادی یکی از جمله مواد مهندسی هستند که علم مهندسی سازه، طرح و محاسبه را به مرحله تکامل امروزی رسانیده چرا که با دارا بودن خواص نسبتاً همگن و یکنواخت در جمع جهات و نیز دارا بودن خواص الاستوپلاستیک ایده‌آل، رفتار درستی از تنشها و تغییر شکل‌ها را در سازه به تصویر می‌کشد و این امکان را موجود می‌آورد که به عنوان ابزار مناسبی برای محاسبه و طراحی و اجرا در اختیار مهندسین لقب گیرد.

در گذر زمان مجموعه‌های متفاوتی به منظور تسهیل و کانالیزه نمودن روند طراحی سازه‌ها با روشهای متفاوت پدید آمده که نمایان‌کننده ابهامات موجود باشد و این مجموعه نیز در راستای این هدف و با این نیت تنظیم گردیده تا در رفع استنباط‌های متفاوت و ایجاد یک رویه واحد در اجرای مفاد متنوع طراحی سازه‌های فولادی مفید و موثر واقع شود.

با بهره‌گیری از روند ارائه مطالب توسط نمودارها و فلوچارت‌هایی که توسط اینجانب صورت گرفته و انحصارا مختص این مجموعه بوده و در سایر منابع و مواخذ دیگر نمونه آن قابل مشاهده نیست، سعی شده تا کلیه موارد لازم در خصوص طراحی اعضای سازه‌های فولادی به صورت یک قالب مجزا و طبقه‌بندی شده و بر اساس آخرین تغییرات ارائه شده توسط آیین‌نامه‌های روز دنیا، معرفی گردد؛ امید است این مجموعه برای استفاده دانشجویان و مهندسین محاسب پرفایده و ثمربخش باشد.

ایده نمازی
Info@noavarpub.com

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

فصل اول
روشهای طراحی و ترکیبات بارگذاری

روش‌های طراحی و ترکیبات بارگذاری در سازه‌های فولادی:

برای تأمین ایمنی کافی در سازه باید شرایط بارگذاری را تا حدودی دست بالا و شرایط مقاومتی اجزا را تا حدودی دست پایین در نظر گرفت تا حاشیه اطمینان کافی در مقابل شرایط عملی فراهم گردد. نحوه تعیین ضرایب اطمینان و تدوین روش مناسب برای تعیین سایز اجزا و مشخصات سازه در روش‌های طراحی گنجانده می‌شود.

مقادیر ضرایب اطمینان و یا ضرایب افزایش بار یا کاهش مقاومت براساس تئوری احتمالات و به منظور لحاظ عوامل مختلفی از جمله عدم قطعیت در مورد بارهای پیش‌بینی شده، خطا در روش‌های تحلیل و طراحی سازه‌ها و عدم شناخت دقیق از رفتار واقعی مصالح، عدم قطعیت در میزان مقاومت برآورد شده برای مصالح، خطاهای ناشی از نیروهای انسانی و نیز بروز نقص ناشی از روش‌های اجرایی سازه‌ها و... بکار برده می‌شوند.

روش‌های طراحی مختلفی که امروزه برای طراحی سازه‌های فولادی ارائه می‌شود در چهار دسته زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

الف) روش تنش مجاز
ب) روش مقاومت مجاز
ج) روش مقاومت نهایی
د) روش حالات حدی.

در ادامه به بیان مختصری در خصوص هر یک از روش‌ها پرداخته می‌شود:

الف و ب) روش تنش مجاز و مقاومت مجاز:

روش تنش مجاز یا روش ASD از قدیمی‌ترین روش‌های طراحی محسوب می‌شود. در این روش بارها به صورت سرویس (بارهای بدون ضریب) در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که بارهای ثقلی (قائم) با بارهای جانبی زلزله یا باد با هم بر سازه اثر کنند، ضریب همزمانی ۰/۷۵

به بارها اثر داده می‌شود (گاهی اوقات به جای اعمال این ضریب توصیه می‌شود که تنش‌های مجاز در این حالت ۱/۳۳۳ برابر شوند.)

تحلیل سازه در این روش براساس مفاهیم تحلیل الاستیک خطی صورت می‌پذیرد و سپس با به دست آوردن مقادیر نیروها، تنش در اعضا با همان تعاریف کلاسیک مقاومت مصالح محاسبه شده و با تنش‌های مجاز کنترل می‌گردد. به منظور دستیابی به تنش‌های مجاز کافی است تنش تسلیم فولاد بر عدد ضریب اطمینان که در محدود ۱/۶۷ تا ۲/۰ در نظر گرفته می‌شود، تقسیم شود.

طراحی اعضا در این روش بر این فرض استوار است که مقدار تنش‌های موجود ایجاد شده در هر عضو از تنش‌های مجاز کمتر یا مساوی باشد. در این روش به تنش‌های مجاز تنش حد سرویس نیز لقب می‌دهند.

روش مقاومت مجاز که به روش WSD نیز معروف است، همان روش تنش مجاز است که سیمای آن اندکی تغییر کرده است. تمامی مفاهیم طراحی در روش مقاومت مجاز دقیقاً بر روش تنش‌های مجاز یا همان ASD منطبق است.

تفاوت این دو روش در بکارگیری مفاهیم است؛ به این معنا که در روش تنش مجاز با مفاهیم تنش سروکار داریم، در حالی که در روش مقاومت مجاز با مفاهیم نیرو ارتباط مستقیم خواهیم داشت. از آنجایی که مفاهیم نیرو و تنش مفاهیم مستقلی به شمار نمی‌آیند و به کمک پارامتر سطح مقطع به هم مرتبط هستند لذا این دو روش اغلب به عنوان یک روش واحد در نظر گرفته می‌شوند. به عبارت دیگر، طراحی اعضا به روش مقاومت مجاز بر این فرض متکی است که مقدار نیروهای موجود در هر عضو باید از نیروی مجاز (مقاومت مجاز) کمتر یا مساوی باشد تا طرح به عنوان یک طرح ایمن معرفی گردد.

گذشت زمان و پیشرفت مفاهیم مهندسی اثبات نمود که این روش طراحی بهینه‌ای را فراهم نمی‌آورد و از ظرفیت مصالح آنطور که باید و شاید استفاده نمی‌گردد.

ج) روش مقاومت نهایی:

این روش که به روش SD یا روش طرح مقاومتی یا روش USD (طراحی مقاومت نهایی) مشهور است، روشی دیگر برای طراحی به شمار می‌رود که از طریق انجمن فولاد آمریکا یا همان AISC به عنوان مفهوم پایه‌ای و زیربنای روابط استخراج شده آن لحاظ گردیده شده است. اساس این روش و این نوع طراحی بر دو مفهوم اصلی مقاومت مورد نیاز و مقاومت طراحی استوار است.

مقاومت طراحی از حاصلضرب یک ضریب کاهنده (کوچکتر از یک) که به ϕ معروف است، در مقاومت اسمی محاسبه می‌شود.

مقاومت مورد نیاز یک مقطع یا یک عضو را با پارامتر U نمایش داده و به منظور برآورد مقدار مقاومت مورد نیاز یک مقطع یا یک عضو (تنش موجود در مقطع عضو) از بارهای با ضریب (ضریبدار) که غالباً توسط آیین‌نامه‌ها معرفی می‌گردد، استفاده می‌شود. به منظور در نظر گرفتن ضرایب بار، آیین‌نامه‌ها ضرایب بارگذاری را به صورت ترکیبات بارگذاری یا همان Load Combinations معرفی می‌کنند. که البته در ویرایش‌های مختلف آیین‌نامه‌ها تفاوت‌هایی در مقادیر این ضرایب به چشم می‌خورد.

در این روش از طراحی قرارداد شده است که پارامترهایی که دارای اندیس n هستند به عنوان مقاومت اسمی یا nominal strength شناخته شوند و پارامترهایی که دارای اندیس U باشند به عنوان مقاومت نهایی یا مقاومت مورد نیاز یا Ultimate Strength معرفی می‌شوند.

به منظور تحلیل و آنالیز یک سازه در این روش طراحی و به منظور محاسبه مقادیر نیروهای هر عضو و در نتیجه مقادیر تنش در آن، از همان روش تحلیل خطی یا الاستیک (که به تحلیل مرتبه اول نیز معروف است) استفاده می‌شود.

مقادیر ضرایب کاهنده مقاومتی یا ϕ توسط آیین‌نامه‌ها معرفی می‌شود که بستگی زیادی به وضعیت مورد نظر در طراحی قطعه یا عضو دارد.

به بیان ساده‌تر در روش طراحی مقاومتی همواره سعی می‌شود که تنش‌های موجود و ایجاد شده در مقطع عضو که تحت اثر بارهای ضریب‌دار بدست می‌آید، از تنش‌های نهایی ماده که از ضرب یک عامل کاهنده ϕ در مقاومت اسمی ماده صورت می‌پذیرد، کمتر باشد.

$$R_u \le \phi R_n$$

د) روش حالات حدی:

دسته دیگری از روش‌های طراحی که مورد قبول کشورهایی همچون کانادا، آمریکا و اتحادیه اروپا می‌باشد، به روش طراحی حالات حدی یا LSD یا روش LRFD که همان طراحی بر مبنای ضرایب بار و مقاومت است، معروف است. ایران نیز در بکارگیری مفاهیم طراحی سازه‌های فولادی خود از روش پذیرفته شده مذکور، استفاده جسته است. در نگاه اول، ضوابطی که این روش طراحی معرفی می‌کند بسیار شبیه به روش مقاومت نهایی می‌باشد، چرا که در این روش نیز هدف این است که اثرات بارهای ضریب‌دار از مقدار مقاومتی آن‌ها کمتر باشد. لیکن در نحوه بررسی و محاسبه این دو روش تفاوت‌هایی به چشم می‌خورد که از جمله آن می‌توان به مورد زیر اشاره نمود:

در روش حالات حدی ضریب افزاینده γ را به دلیل لحاظ نمودن عواقب انهدام یک عضو یا یک سازه در وضعیت بارهای ضریب‌دار خود اعمال می‌نماید که برای سازه‌هایی که تخریب یا انهدام آنها عواقب جدی را ایجاد می‌نماید، نباید کوچکتر از واحد در نظر گرفته شود. در

روش حالات حدی ضریبی به نام ضریب همزمانی بارها یا Ψ معرفی می‌شود که برحسب دخالت تعداد بارها در یک وضعیت از طراحی می‌تواند مقادیر متفاوتی را بپذیرد. این مقادیر در جدول مربوطه درج شده است.

در صورتی که بخواهیم فلسفه طراحی به روش حالات حدی را در یک جمله خلاصه نماییم، خواهیم داشت:

اثرات بار مرده در ضریب بار مرده + اثرات سایر بارها در ضرایب انهدام و همزمانی $\geq$ مقدار مقاومت عضو با بکارگیری ضرایب ϕ

از آنجایی که وضعیت بارهای مرده در سازه‌ها با توجه به مصالح مصرفی در آنها تا حد بسیار زیادی قابل پیش‌بینی است؛ در روش طراحی حالات حدی آیین‌نامه پیشنهاد می‌کند ضرایب انهدام (γ) و ضریب همزمانی بارها (یعنی Ψ) برای بار مرده لحاظ نگردد و تنها در بارهای زنده، بارهای جانبی (زلزله و باد) و سایر عوامل تأثیرگذار در طراحی همچون درجه حرارت، خزش، افت فشار سیال یا فشار خاک و آب زیرزمینی (به ترتیب T و F و H) در نظر گرفته شده و اعمال گردد. به بیان ریاضی یعنی:

نشر نوآور
تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱