



آموزش براساس پروژه

طراحی سازه‌های فولادی به روش LRFD در ETABS2015

بررسی ۱۶ پروژه طرح لرزه‌ای



مؤلف: مهندس مهدی ترابی

تلفن: ۲-۶۶۲۸۲۱۹۱

سرشناسه: ترابی، مهدی، ۱۳۵۳-
 عنوان و نام پدیدآورنده: طراحی سازه‌های فولادی به روش LRFD در ETABS 2015
 /... مؤلفه مهدی ترابی
 مشخصات نشر: تهران: نوآور.
 مشخصات ظاهری: ۴۰۰ ص: صورت
 شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۲۶۸-۱
 وضعیت فهرست‌نویسی: فیبا
 یادداشت: بالای عنوان: آموزش بر اساس پروژه.
 موضوع: ایتبز (برنامه کامپیوتر)
 موضوع: سازه‌های فولادی - طرح و ساختمان - نرم‌افزار
 موضوع: مهندسی سازه - برنامه‌های کامپیوتری
 رده‌بندی کنگره: TA ۶۴۷-۴۳ ط ۴ ۱۳۹۵
 رده‌بندی دیویی: ۱۷۰۲۸۵/۶۲۴
 شماره کتابشناسی ملی: ۴۲۰۷۵۰۷

آموزش براساس پروژه

طراحی سازه‌های فولادی به روش LRFD در ETABS 2015

بررسی ۱۶ پروژه طرح لرزه‌ای

مؤلف: مهندس مهدی ترابی

ناشر: نوآور

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

مدیر فنی: محمدرضا نصیرنیا

نوبت چاپ:

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۲۶۸-۱

قیمت:

مرکز پخش:

نوآور، تهران، خیابان انقلاب، خیابان فخر رازی، خیابان شهدای
 ژاندارمری نرسیده به خیابان دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸،
 طبقه دوم، واحد ۶ 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 می‌باشد.
 لذا هرگونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی،
 اسکن، 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 بوده و شرعاً حرام است و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.



نشر نوآور

۹	فصل اول: پیکربندی سازه‌های فولاد
۲۳	فصل دوم: ترکیبات بارگذاری و طبقه‌بندی مقاطع از نظر کمانش موضعی براساس AISC
۳۹	فصل سوم: الزامات و روش‌های طراحی سازه‌های فلزی به روش LRFD
۶۳	• پروژه ۱: تعیین تسلیم و گسیختگی کششی در اعضا و مقایسه آن با خروجی نرم افزار
۶۸	• پروژه ۲: تعیین مقاومت فشاری اعضای فشاری در سازه‌های با مهاربند OCBF
۷۶	• پروژه ۳: تعیین ظرفیت اعضای خمشی فشرده و غیر فشرده
۸۰	• پروژه ۴: تعیین ظرفیت برشی اعضای برشی فشرده و غیر فشرده
۸۴	• پروژه ۵: بررسی رفتار مهاربندهای EBF
۹۸	• پروژه ۶: طراحی ورق‌های پیوستگی و مضاعف به صورت دستی و نرم افزار در قاب‌های IMF و SMF
۱۰۴	• پروژه ۷: بررسی رفتار مهاربندهای واگرای ویژه با لینک قائم برشی
۱۱۳	فصل چهارم: پروژه‌های کاربردی
۱۱۴	• پروژه ۸: مدل‌سازی و طراحی اتصالات سازه ۵ سقف با قاب خمشی فولادی متوسط
۱۹۸	• پروژه ۹: مدل‌سازی و طراحی اتصالات در مهاربندهای OCBF
۲۱۳	• پروژه ۱۰: مدل‌سازی و طراحی سقف‌های مرکب با عرشه فولادی
۲۳۲	• پروژه ۱۱: مدل‌سازی و طراحی ستون‌های مرکب محاط در بتن
۲۵۰	• پروژه ۱۲: مدل‌سازی و طراحی ستون‌های مرکب پر شده با بتن
۲۷۳	فصل پنجم: تحلیل طیفی سازه‌ها فولادی
۲۷۷	• پروژه ۱۳: تحلیل طیفی یک سازه با سه درجه آزادی به روش حل دستی
۲۸۵	• پروژه ۱۴: بررسی انواع روش‌های اعمال حالات بارگذاری طیفی در نرم افزار
۳۴۴	فصل ششم: استفاده از توابع OAPI در برنامه‌نویسی لرزه‌ای
۳۵۸	• پروژه ۱۵: برنامه‌نویسی به روش OAPI برای تحلیل چشمه اتصال در قاب‌های خمشی فولادی
۳۷۱	• پروژه ۱۶: برنامه‌نویسی به روش OAPI با استفاده از کلیدهای فرمان
۳۷۷	پیوست‌ها

فراخوان مساعدت فرهنگی و علمی

■ خواننده فرهیخته و بزرگوار

نشر نوآور ضمن قدردانی و ارج نهادن به 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.

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 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 آن‌ها رفع نماید.

لذا در این راستا، از شما فرهیخته گرامی تقاضا داریم در صورتی که حین مطالعه کتاب با اشکالات، نواقص و 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 ارتقا و هرچه پربارتر شدن محتوایی 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 بیجا باشند، متناسب با میزان اصلاحات، به‌رسم ادب و تشکر 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 پیشنهادها، نظرات، انتقادات و راهکارهای شما عزیزان در راستای هرگونه بهبود کتاب، و هرچه بهتر شدن سطح کیفی و علمی آن صمیمانه و مشتاقانه استقبال می‌نمایند.

نشر نوآور

تلفن: ۰۲۱-۶۶۴۸۴۱۹۱

www.noavarpub.com

info@noavarpub.com

..... 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 و تصاویر این کتاب، در دیگر کتب، مجلات، نشریات، سایت‌ها و موارد دیگر، و نیز هر گونه بهره‌برداری از مطالب این کتاب تحت هر عنوانی از قبیل چاپ، فتوکپی، اسکن، تایپ از آن، تهیه فایل پی‌دی‌اف و عکس‌برداری از کتاب، و همچنین هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، الکترونیکی، 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 غیر مجاز 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 مقتضی به عمل آورده، و طی انجام مراحل قانونی و اقدامات قضایی، خاطیان را مورد پیگرد قانونی و قضایی قرار داده و کلیه خسارات وارده به این انتشارات و مؤلف از متخلفان اخذ خواهد شد.

همچنین در صورتی که هر یک از کتابفروشی‌ها، اقدام به تهیه کپی، جزوه، چاپ دیجیتال، چاپ ریسو، افست از کتب انتشارات نوآور نموده و اقدام به فروش آن نمایند، ضمن اطلاع‌رسانی تخلفات کتابفروشی مزبور به سایر همکاران و مؤرّعین 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 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 ۲-۰۲۱ ۶۶۴۸۴۱۹۱ و ۰۹۱۲۳۰۷۶۶۷۴۸ و یا از طریق ایمیل انتشارات به آدرس info@noavarpub.com و یا از طریق منوی تماس یا 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 در راستای انجام این امر مهم، به عنوان تشکر و قدردانی، از کتب انتشارات نوآور نیز هدیه دریافت نمایند.

در راستای تألیف کتاب مدل سازی لرزه‌ای و تحلیل عددی در ETABS با محوریت آموزش مبانی بنیادی در استفاده از تحلیل رایانه‌ای و تطابق آن با تحلیل‌های حل دستی که با استقبال علاقه‌مندان از این مجموعه صورت گرفت، نیاز تألیف مجموعه جدید در قالب طراحی سازه‌های فولادی بر اساس تغییرات جدید آیین‌نامه و با همان شیوه استفاده از تکنیک‌های تحلیل عددی احساس شد. هر چند در کتاب اول از نرم افزار ETABS نسخه‌های ۹،۷،۴ و نسخه ۲۰۱۳ استفاده شده بود اما در کتاب حاضر تمامی مباحث با نسخه ۲۰۱۵ تهیه شده است. ذکر این نکته لازم است که با اتکا به استفاده از تحلیل‌های دستی و تکنیک‌های حل عددی می‌توان با سایر نسخه‌های بالاتر نیز اطمینان از صحت نتایج را مطمئن گردید. لذا استفاده از نسخه‌های پایین و یا بالاتر نقشی در قضاوت مهندسی نخواهد داشت.

مجموعه حاضر در ۶ فصل به همراه ۱۶ پروژه تهیه شده است، که عبارتند از:

فصل اول:

در این فصل خوانندگان محترم با اصطلاحات فنی و همچنین تعریف جامعی از انواع پیکربندی و سیستم‌های بار بر جانی در سازه‌های فلزی آشنا می‌شوند. بررسی رفتار چرخه‌ای هر کدام از سیستم‌های باربر جانبی و همچنین نکات اساس در طراحی این گونه از سازه‌ها بر مبنای آیین‌نامه AISC و مبحث دهم مقررات پرداخته شده است، این فصل می‌تواند برای خوانندگانی که نیاز به آشنایی با کلیات سیستم‌های بار بر جانبی را دارند مفید باشد.

فصل دوم:

در فصل دوم آشنایی با روش‌های حد نهایی LRFD و تنش مجاز ASD صورت گرفته و نتایج آنالیز و طراحی بین این دو روش مقایسه شده است. ایجاد ترکیبات بارگذاری در روش حد نهایی، تنش مجاز، ترکیبات قائم زلزله، ضرایب زلزله افقی مطابق مبحث ۶ مقررات ملی دسته بندی شده اند. محدودیت‌های مربوط به کمانش‌های موضعی در اعضای فشاری و خمشی، الزامات لرزه‌ای کمانش موضعی، طبقه بندی مقاطع مختلط پر شده با بتن از نظر کمانش موضعی به همراه جداول ارائه شده در آیین‌نامه و نرم افزار ETABS از قسمت‌های بعدی این فصل می‌باشد. مطالعه این فصل به خوانندگان کمک می‌کند که قبل از شروع مدل سازی به مبانی بارگذاری‌های ثقلی و جانبی توجه نمایند، همچنین با جداولی که در تهیه الگوریتم نرم‌افزار ETABS تهیه شده آشنا می‌شوند.

فصل سوم:

در این فصل الزامات تئوری و روش‌های مدل سازی لرزه‌ای سازه‌های فلزی به روش LRFD، انواع روش‌های تحلیل، تنظیم پارامترهای لرزه‌ای و تنظیم پارامترهای مرتبط با تحلیل مرتبه دوم مد نظر قرار گرفته، همچنین برای فهم بهتر فراگیران به مبانی طراحی و مدل سازی اعضای کششی، فشاری، خمشی و برشی، ۷ پروژه کاربردی ارائه شده است و ضوابط آیین‌نامه و نکات مدل سازی در آنها نشان داده شده است.

پروژه شماره ۱: بررسی نتایج خروجی در مدل سازی اعضای کششی و تفاوت‌های اصلی بین نرم افزار و تحلیل‌های دستی مطابق آیین‌نامه اشاره شده است.

پروژه شماره ۲: بررسی نتایج خروجی در مدل سازی اعضای فشاری، ویژه قاب‌های مهاربندی شده همچنین کنترل مقاومت‌های فشاری اسمی، ترکیبات تشدید یافته و پارامترهای طرح لرزه‌ای در اینگونه اعضا را شامل می‌شود.

پروژه شماره ۳: بررسی نتایج مدل سازی اعضای خمشی در مقاطع فشرده، غیر فشرده و مقاطع ساخته شده در SD به همراه نکات نرم افزاری و تحلیل‌های دستی را در بر می‌گیرد.

پروژه شماره ۴: بررسی نتایج مدل سازی اعضای برشی در مقاطع فشرده، غیرفشرده و مقاطع ساخته شده در

SD به همراه تحلیل‌های دستی را شامل می‌شود.

پروژه شماره ۵: بررسی تمام نتایج مدل‌سازی تیر پیوند در مهاربندهای واگرا به همراه تحلیل‌های دستی این گونه از سیستم‌های بار برجانبی انجام شده است.

پروژه شماره ۶: بررسی نتایج مدل‌سازی قاب‌های خمشی ویژه و متوسط، نحوه محاسبه ورق‌های پیوستگی و ورق‌های مضاعف و تعیین نسبت‌های ظرفیت در این گونه از قاب‌ها را نشان می‌دهد.

پروژه شماره ۷: بررسی نتایج مدل‌سازی در مهاربندهای واگرای ویژه با لینک قائم برشی به طراحی ورق اتصال و کنترل‌های آیین‌نامه صورت گرفته است.

فصل چهارم:

فصل چهارم شامل ۵ پروژه متنوع که در بیشتر پروژه‌های سطح کشور اجرا می‌شود، تهیه شده است.

پروژه شماره ۸: در این پروژه نحوه مدل‌سازی کامل یک سازه ۵ سازه قاب خمشی متوسط به همراه موارد اشاره شده در زیر، را خواهید آموخت.

(۱) مدل‌سازی کامل در ETABS

(۲) محاسبه مقاومت فشاری اسمی مقاطع قوطی بر اساس AISC و مقایسه آن با مبحث ۱۰

(۳) محاسبه مقاومت خمشی اسمی مقاطع قوطی بر اساس AISC و مقایسه آن با مبحث ۱۰

(۴) محاسبه مقاومت برشی اسمی مقاطع قوطی بر اساس AISC و مقایسه آن با مبحث ۱۰

(۵) محاسبه مقاومت پیچشی اسمی مقاطع قوطی بر اساس AISC و مقایسه آن با مبحث ۱۰

(۶) طراحی اتصال ممان‌گیر تیر به ستون با شکل‌پذیری متوسط (WFP)

(۷) طراحی اتصال ممان‌گیر تیر به ستون با مقطع کاهش یافته (RBS)

(۸) طراحی اتصال ممان‌گیر تیر به ستون فلنجی چهار پیچ بدون ورق لچکی (BUEEP)

(۹) طراحی لرزه‌ای کف ستون‌ها (با سه روش)

(۱۰) طراحی لرزه‌ای وصله ستون‌های قوطی شکل

(۱۱) طراحی لرزه‌ای وصله تیرها

پروژه شماره ۹: در این پروژه از سیستم باربر جانبی OCBF استفاده شده است، فراگیران می‌توانند موارد اشاره شده در زیر را در این پروژه دنبال نمایند.

(۱) تعیین ظرفیت کششی و فشاری مهاربندهای ضربدری

(۲) طراحی اتصال مهار بند در اتصال به پای ستون، اتصال میانی و اتصال گوشه به همراه تمامی کنترل‌های مربوط به صفحات اتصال

(۳) طراحی اتصال ساده ی‌نخسته تیر به ستون با ورق تقویت شده مثلثی به روش پلاستیک

پروژه شماره ۱۰: در این پروژه به نحوه مدل‌سازی و نکات ویژه در سقف‌های مرکب پرداخته می‌شود. که شامل:

(۱) تعیین ظرفیت خمشی نهایی سقف‌های مرکب با ورق‌های شکل داده شده با نرم افزار و مقایسه آن با تحلیل دستی

(۲) تعیین تعداد گل‌میخ‌ها در سقف‌های مرکب با ورق‌های شکل داده شده توسط نرم افزار و مقایسه آن با تحلیل دستی

(۳) طراحی اتصال مفصلی تیر به تیر با کمک نبشی جان در سقف‌های مرکب

پروژه شماره ۱۱: در این پروژه نحوه مدل‌سازی ستون‌های مرکب محاط در بتن به همراه تحلیل‌های دستی ارائه شده است که شامل موارد زیر می‌باشد.

(۱) مدل‌سازی کامل در ETABS

(۲) تعریف ضوابط آیین‌نامه در طراحی ستوهای مرکب محاط در بتن

۳) تعیین نسبت تنش در ستون‌های مرکب محاط در بتن

۴) تعیین تعداد گل میخ در ارتفاع ستون‌های مرکب محاط در بتن

پروژه شماره ۱۲: در این پروژه نحوه مدل‌سازی ستون‌های مرکب پر شده با بتن به همراه تحلیل‌های دستی ارائه شده است که شامل موارد زیر می‌باشد.

۱) مدل‌سازی کامل در ETABS

۲) تعریف ضوابط آیین‌نامه در طراحی ستوهای مرکب پر شده در بتن

۳) تعیین ظرفیت خمشی اسمی در مقاطع فشرده، غیر فشرده و لاغر

۴) تعیین نسبت تنش در ستون پر شده با بتن

فصل پنجم:

این فصل نحوه تحلیل طیفی سازه‌ها بررسی و مدل‌سازی می‌شود. دو پروژه در این فصل انجام شده است، که شامل:

پروژه شماره ۲: تحلیل طیفی یک سازه با سه درجه آزادی به روش حل دستی

پروژه شماره ۱۴: مدل‌سازی یک سازه ۵ سقف و اعمال روش‌های مختلف بارطیفی از جمله: اعمال بار بر اساس

راستاهای U1 و U2؛ اعمال بار طیفی به روش ABS؛ اعمال بار طیفی به روش SRSS؛ اعمال بار طیفی به صورت زاویه‌ای، صورت گرفته است.

فصل ششم:

این فصل شامل آموزش برنامه‌نویسی کاربردی برای ETABS با استفاده از توابع OAPI می‌باشد، در این فصل نحوه ارتباط نرم افزار ETABS نسخه های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵ با نرم افزار EXCEL نشان داده می‌شود. همچنین چگونگی استفاده از سابروتین‌های تهیه شده از قبل که توسط شرکت CSI در اختیار کاربران قرار داده شده است، آموزش داده خواهد شد. را آموزش می‌دهد، این توابع در محیط‌های برنامه‌نویسی شی گرا از جمله VBA، C++، C# و F# قابل استفاده خواهد بود. در این فصل پروژه‌های زیر تعریف می‌گردد.

پروژه شماره ۱۵: در این پروژه چگونگی استفاده از توابع OAPI و انتقال آن به محیط VBA برای محاسبه دوران

چشمه اتصال یک قاب خمشی ویژه و نمایش آن در محیط EXCEL نشان داده شده است.

پروژه شماره ۱۶: در این پروژه نحوه استفاده از کلیدهای فرمان در آنالیزهای غیرخطی به منظور سرعت بیشتر

در ارائه نتایج تحلیل با استفاده از توابع OAPI در محیط EXCEL نشان داده شده است.

به هر حال تدوین مباحث این مجموعه عاری از اشکال نیست، لطفا در صورت مشاهده هر گونه اشکال در مجموعه

گردآوری شده، آن را اطلاع داده تا در چاپ‌های آینده اصلاح شود. از جناب آقای دکتر علیرضا زارعی و آقای

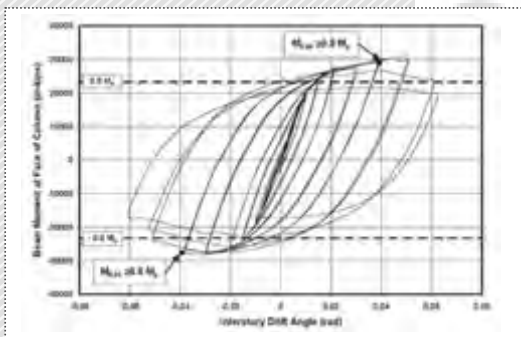
مهندس سید علی طباطبائی‌ان که بازخوانی این مجموعه را بر عهده گرفتند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

دریافت نظرات و پیشنهادات جامعه مهندسی عمران کشور موجب قدردانی و سپاسگزاری است.

مهدی ترابی

فصل اول

پیکربندی سازه‌های فولادی



شامل: ◀ تعاریف فنی

◀ انواع پیکربندی در سازه‌های فولادی مطابق AISC و مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان

تعاریف فنی

- سیستم باربر جانبی:** مجموعه‌ای از اعضای سازه، که در مقابل نیروی جانبی ناشی از زلزله مقاومت می‌کنند.
- مقاومت تنظیم شده در مهاربند:** مقاومت یک مهاربند در قاب مهاربندی شده مقید در برابر کمانش در تغییر شکل متناظر با ۲ برابر جابه‌جایی نسبی در طبقه
- مقاومت مجاز:** مقاومت اسمی تقسیم بر ضریب ایمنی
- بارهای لرزه‌ای بزرگ:** شامل بارهای لرزه‌ای شدید یافته می‌باشند.
- ضریب اضافه مقاومت:** ضریبی است برای تعیین بار لرزه‌ای شدید یافته که با Ω نشان داده می‌شود.
- آیین‌نامه کاربردی ساختمان:** آیین‌نامه ساختمانی که سازه بر اساس آن طراحی می‌شود.
- طراحی به روش حد نهایی LRFD:** طراحی سازه به نحوی که مقاومت طراحی از نیروهای تحت اثر ترکیبات بارگذاری LRFD کمتر نشود.
- طراحی به روش تنش مجاز ASD:** طراحی سازه به نحوی که تنش‌های وارده در اثر ترکیبات بارگذاری مربوطه در هیچ قسمت از سازه از تنش مجاز فراتر نرود.
- مقاومت اسمی:** مقاومت یک سازه بدون اعمال ضریب کاهش مقاومت یا ضریب ایمنی برای تحمل اثرهای بار که مطابق آیین‌نامه تعیین می‌شود.
- مقاومت موجود:** مقاومت‌های طراحی یا مقاومت‌های مجاز
- مقاومت مورد نیاز:** نیروها، تنش‌ها و تغییر شکل‌هایی که در یک عضو سازه‌ای با استفاده از یک روش تحلیل سازه‌ای تحت ترکیب‌های بارگذاری LRFD یا ASD تعیین می‌شود.
- صفحه زیر ستون:** مجموعه‌ای از صفحه فلزی، اتصال و پیچ در پای ستون برای انتقال نیروها از سازه اصلی به فونداسیون
- زمین لرزه طرح:** زمین لرزه‌ای که توسط طیف پاسخ آیین‌نامه‌های زلزله ارائه می‌شود.
- تغییر مکان نسبی طبقه:** تغییر مکان جانبی یک کف نسبت به کف پایین تحت زلزله طرح
- مقاومت طراحی:** ضریب کاهش مقاومت ضرب در مقاومت اسمی R_n
- مهاربندهای قطری:** المان‌های سازه‌ای مورب که تحت اثر بار محوری بوده و با عملکرد محوری در برابر نیروهای جانبی مقاومت می‌کنند.
- مهاربندهای کمانش تاب BRBF:** سیستمی متشکل از قیدهایی که کمانش هسته مرکزی فولادی را در المان مهاربند محدود می‌سازد. این سیستم شامل پوشش بر روی هسته فولادی و المان‌های سازه‌ای با اتصال به آنها است. سیستم مقیدکننده کمانش امکان جابه‌جایی عرضی و تغییر طول هسته مرکزی را برای تغییر شکل‌های متناظر با ۲ برابر جابه‌جایی نسبی طبقه را در طراحی، فراهم می‌سازد.
- قاب‌های خمشی:** قاب‌هایی هستند برای تحمل تغییر شکل‌های غیرالاستیک تحت اعمال بارهای زلزله طرح که شامل؛ ویژه SMF متوسط IMF و معمولی OMF می‌باشند.
- قاب‌های مهاربندی شده:** قاب‌هایی هستند که حرکت جانبی قاب با تکیه کردن بر مهاربندی‌های مورب شامل؛ EBF، SCBF، OCBF و یا دیوار برشی مقید می‌شود.
- سیستم دو گانه:** مقاومت در برابر بارهای جانبی توسط قاب‌های خمشی که توانایی تحمل حداقل ۲۵ درصد برش پایه را داشته باشند و دیوارهای برشی یا قاب‌های مهاربندی شده باید مستقلاً قادر به تحمل حداقل ۵۰ درصد نیروی جانبی در تراز پایه باشند.

شکل‌پذیری: خصوصیتی از سازه است که در آن اعضا در تمام یا قسمتی از طول خود، بدون تغییر قابل ملاحظه‌ای در مقاومت، قادر به قبول تغییر شکل‌های عمدتاً پلاستیک می‌باشند.

تیر رابط: در سیستم EBF قطه‌ای از تیر است که ما بین دو انتهای دو مهاربند قطری و ستون قرار دارد.

تیر پیوند قائم برشی: در سیستم EBF قطعه‌ای است به صورت قائم بین گره دو مهاربند شورون و بال پایینی تیر طبقه قرار دارد.

تنش تسلیم مورد انتظار: تنش تسلیم در مصالح، که برابر است با تنش تسلیم حداقل مشخصه F_y ضرب در R_y

مقاومت تسلیم مورد انتظار: مقاومت تسلیم در کشش یک عضو، برابر است با تنش تسلیم مورد انتظار، ضرب در A_g

اثر $P-\Delta$: اثرات ثانویه بارهای قائم بر روی تلاشها و تغییر مکان‌های قاب ساختمانی که به علت تغییر شکل‌های ایجاد شده در سازه به وجود می‌آید.

سختی طبقه: برابر مجموع سختی جانبی اعضای برابر جانبی آن طبقه است.

مرکز سختی: نقطه‌ای است که چنانچه برآیند نیروهای برشی طبقه در آن نقطه وارد شود، طبقه تنها تغییر شکل جانبی انتقالی داشته و هیچ‌گونه پیچشی در آن مشاهده نمی‌شود.

ضریب رفتار R : ضریبی که اثرهای بار لرزه‌ای را تا سطح مقاومت که توسط آیین‌نامه‌ها مشخص شده است کاهش می‌دهد.

ضریب اهمیت: به ضریبی اطلاق می‌شود که برای در نظر گرفتن گروه خطرپذیری ساختمان استفاده می‌گردد.

گروه خطرپذیری: یک گروه‌بندی برای میزان خطرپذیری ساختمانها و سایر سازه‌ها جهت محاسبه بار سیل، باد، برف، یخ و زلزله می‌باشد.

مقطع کاهش یافته تیر RBS: کاهش در سطح مقطع تیر در یک طول محدود که زمینه تشکیل عملکرد غیرالاستیک در عضو را فراهم می‌سازد.

منطقه محافظت شده: ناحیه‌ای در یک طول محدود که در آن محدودیت‌هایی برای ساخت یا اتصال در نظر گرفته شده است.

چشمه اتصال: ناحیه‌ای از جان یا جان‌های ستون است که بین امتداد بال‌های بالایی و پایینی تیرهای دو وجه ستون و بال‌های ستون محصور می‌باشد.

ورق پیوستگی: سخت‌کننده‌های ستون در بالا و پایین چشمه اتصال که به سخت‌کننده‌های عرضی نیز شناخته می‌شوند.

ورق مضاعف: ورقه‌ای که برای تقویت جان ستون به موازات آن در چشمه اتصال به کار می‌رود.

عضو با مهار جانبی: عضوی است که برای جلوگیری از کمانش جانبی - پیچشی طراحی می‌شود.

مدل‌سازی: مدل ریاضی که برای تحلیل سازه در نظر گرفته می‌شود، در این مدل باید تا حد امکان نمایانگر وضعیت سازه به لحاظ توزیع جرم و سختی باشد.

۱-۱ کلیات

تجربه حاصل از زلزله‌های ۱۹۹۴ نورتریج و ۱۹۹۵ کوبه، دانش فنی مربوط به رفتار سازه‌های فولادی مخصوصاً قاب‌های خمشی را گسترش داد. پس از گذشت مدت زمان اندکی از زلزله نورتریج کار گروه SAC مطالعات جامعی بر رفتار لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی آغاز نمود. این کار گروه با حمایت موسسه فدرال مدیریت بحران (FEMA)، توصیه‌هایی برای مهندسان سازه، شرکت‌های پیمانکاری و بخش‌هایی که حوضه فعالیت تعمیر، اصلاح و طراحی سازه‌های فولادی را داشتند مخصوصاً در مناطق لرزه‌ای تهیه نمود. AISC نیز به طور جدی در فعالیتهای SAC مشارکت کرد.

دستورالعمل‌های لرزه‌ای AISC برای ساختمانهای با سازه فولادی که به ANSI/AISC 341 نامیده شد استفاده از توصیه‌های FEMA 350 و سایر تحقیق‌ها را ادامه داد. در طول تحقیقات کمیته مربوطه نسخه ملاحظات ویژه را با استفاده از بهترین اطلاعات موجود تهیه نمود. دستورالعمل ملاحظات ویژه طراحی لرزه‌ای سازه‌های فولادی در چهارچوب برنامه زمانبندی با بازنویسی اساسی SEI/ASCEV تهیه شده است و به عنوان نسخه ۰۵-۳۶۰-ANSI/AISC منتشر شده است.

۲-۱ قاب‌های خمشی ویژه SMF

مطابق ضوابط AISC و همچنین مبحث دهم مقررات ملی سیستم بار بر جانبی سازه‌های فولادی به عناوین زیر دسته بندی می‌شوند.

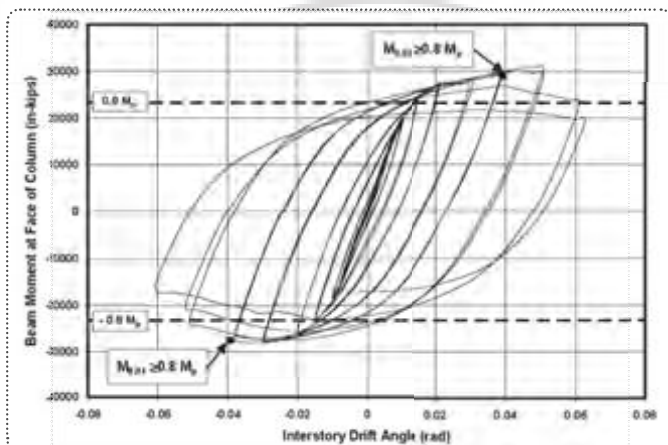
الف) قاب‌های خمشی در چهار گروه تقسیم می‌شوند که شامل:

- قاب خمشی ویژه (SMF)
- قاب خمشی متوسط (IMF)
- قاب خمشی معمولی (OMF)
- قاب‌های خمشی خرابی ویژه (STMF)
- ب) قاب‌های ساختمانی ساده توام با مهاربندی همگرا در دو گروه طبقه‌بندی شده‌اند که شامل:
 - مهاربند همگرای ویژه (SCBF)
 - مهاربند همگرای معمولی (OCBF)
- پ) قاب‌های ساختمانی ساده توام با مهاربندی واگرا در دو گروه طبقه‌بندی شده‌اند که شامل:
 - مهاربند واگر (EBF)
 - مهاربند واگرای مقید شده در برابر کمانش (BRBF)
- ت) سیستم‌های با دیوار برشی فولادی ویژه (SPSW)

۳-۱ قاب‌های خمشی ویژه SMF

در قاب‌های خمشی ویژه SMF عموماً انتظار می‌رود که تغییر شکل الاستیک قابل ملاحظه در طی زمین لرزه‌های بزرگ ایجاد شود. همچنین در این گونه قاب‌ها انتظار می‌رود که بیشتر تغییر شکل‌های غیرالاستیک به عنوان دوران در تیر به همراه تغییر شکل غیرالاستیک در چشمه اتصال ستون رخ دهد. اتصالات این قاب‌ها بر اساس آزمایش‌های انجام شده می‌توانند یک دوران نظیر تغییر مکان نسبی طبقه حداقل برابر ۰٫۰۴ رادیان داشته باشد. از این مقدار حدود ۰٫۰۳ رادیان آن فرا ارتجاعی می‌باشد. در اتصال تیر به ستون در قاب‌های فولادی ویژه دو ضابطه برای زاویه ارزیابی جابجایی نسبی آرایه می‌شود. زاویه جابجایی نسبی یا کاهش مقاومت که به معنای کم‌ترین زاویه‌ای است که شکست اتصال اتفاق افتاده یا مقاومت اتصال به کم‌تر از ظرفیت پلاستیک اسمی کاهش می‌یابد و ظرفیت نهایی زاویه نسبی طبقه به عنوان زاویه‌ای است که در آن خسارات اتصال به اندازه‌ای شدید است که قابلیت پایدار ماندن تحت بارگذاری ثقلی با عدم اطمینان مواجه شود.

ارزیابی اتصالات بر سطح دوران پلاستیک و کاهش مقاومت با افزایش تغییر شکل توجه دارد، کاهش مقاومت می‌تواند نیازهای دورانی ناشی از اثرات $P-\Delta$ و احتمال ناپایداری قاب را افزایش دهد. همچنین این کاهش مقاومت نباید مقاومت خمشی در زاویه جابه‌جایی 0.4% رادیان را به مقادیر کم‌تر از مقاومت خمشی اسمی کاهش دهد. در شکل ۱-۱ این رفتار قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۱-۱ کاهش مقاومت قابل قبول در اتصال تیر به ستون (SMF) [۳]

۴-۱ قاب‌های خمشی متوسط IMF

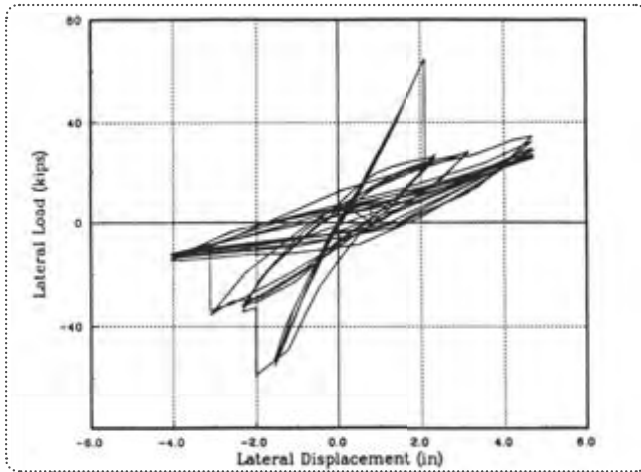
قاب‌های خمشی متوسط به قابی اطلاق می‌شود که در برابر نیروی جانبی زلزله بتواند تغییر شکل‌های فرا ارتجاعی محدودی را تحمل کند. در طراحی اعضا و اتصالات این نوع قاب‌ها باید سعی شود که در نزدیکی دو انتهای تیر مفصل‌های پلاستیک تشکیل شوند و ظرفیت دورانی آنها به حدی باشد که دوران نظیر تغییر مکان جانبی نسبی طبقه حداقل به 0.2% رادیان برسد که حدود 0.1% رادیان آن در ناحیه فرا ارتجاعی باشد.

۵-۱ قاب‌های خمشی معمولی OMF

به منظور دستیابی به سطح محدود شده از ظرفیت دورانی غیرالاستیک که کم‌تر از مقدار مورد نیاز برای IMF است در نظر گرفته می‌شود. به این علت ضوابط خاص طراحی برای زلزله در این سازه‌ها محدود است.

۶-۱ قاب‌های خمشی خرابی‌ویژه STMF

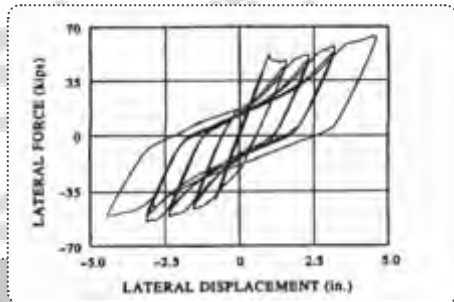
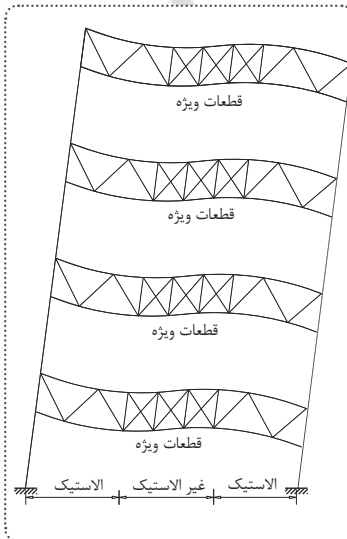
تحقیقات AISC نشان داده که قاب‌های خمشی خرابی‌ویژه دارای رفتار هیستریزس ضعیف با کاهش شدید ناگهانی در مقاومت و سختی در طی کمانش و شکست جان تیر قبل از جذب انرژی در تغییر شکل‌های غیرالاستیک را دارند. (Itani, Goel, ۱۹۹۴a - Itani, Goel, ۱۹۹۱). شکل ۱-۲ کاهش مقاومت در تیر اصلی خرابی‌ویژه که در تغییر مکان نسبی قابل ملاحظه تحت حرکت زمین لرزه با شتاب حداکثر $0.4g$ تا $0.5g$ بدست آمده است را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲ کاهش مقاومت در قاب خمشی خرابایی

[۳]

تحقیق‌ها به این منجر شده که شاه تیرهای خرابایی ویژه‌ای تهیه شود که تغییر شکل‌های غیرالاستیک را به یک قطعه مخصوص از خرپا محدود کند. قطعات ویژه با چیدمان X شکل برای تغییر شکل‌های غیرالاستیک بزرگ مناسب می‌باشد. در شکل ۱-۳ نمونه‌ای از خرپا با قطعات ویژه و نمونه‌ای از رفتار هیستریزس نشان داده شده است.



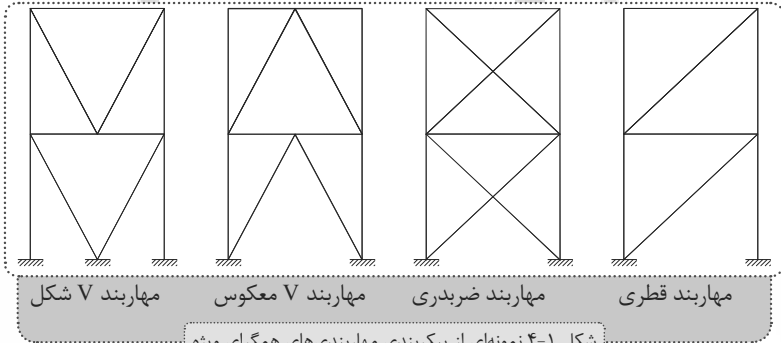
شکل ۱-۳ رفتار مناسب قطعات ویژه در قاب‌های خرابایی

[۳]

معمولا قطعات ویژه (Special Segment) در مجاورت وسط دهانه تیر اصلی قرار می‌گیرد. در این قسمت به دلیل اینکه تشکیل مکانیزم تسلیم در کل قطعه ویژه اتفاق می‌افتد، لذا بارهای سازه‌ای بزرگ نباید در طول قطعه ویژه اعمال گردد. مقاومت مورد نیاز اتصال داخلی اعضای قطری X شکل باید برای کمانش در یک دوم طول کلی محاسبه شوند.

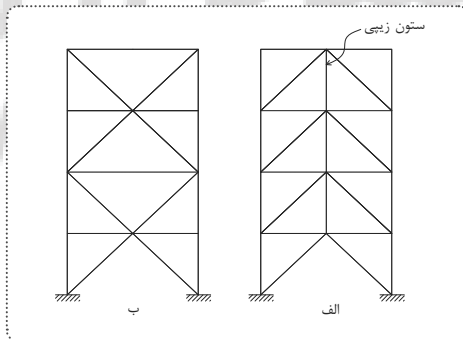
۷-۱ قاب‌های مهاربندی شده هم‌محور ویژه SCBF

قاب‌های مهاربندی شده هم‌گرای هم‌محور ویژه به قاب‌هایی گفته می‌شوند که در آنها از مهاربندی‌ها انتظار می‌رود تحت اثر بار جانبی زلزله طرح، تغییر شکل‌های فرا ارتجاعی قابل ملاحظه‌ای تحمل کنند و در آنها کاهش مقاومت چندانی رخ ندهد. رفتار فرا ارتجاعی مورد نظر ممکن است به مرحله بعد از کم‌انداختن مهاربند توسعه یابد. از اینرو، پیکربندی و طراحی مهاربندی‌ها و اتصالات آن باید چنان باشد که از عهده این تغییر شکل‌ها برآیند و رفتار تیر و ستون‌ها در قاب عملاً در مرحله ارتجاعی باقی بماند. پیکربندی مهاربندی‌های مجاز مطابق شکل ۴-۱ شامل مهاربندی قطری، ضربدری، ۷ و ۸ می‌باشند، استفاده از مهاربندی‌های K شکل در این قاب‌ها مجاز نیست. در مهاربندی‌های قطری و ضربدری محور طولی مهاربندها از محل تقاطع محوره‌های طولی تیر و ستون می‌گذرد و نوع ۷ و ۸ محور طولی آنها با محور طولی تیر متقارب می‌باشند.



شکل ۴-۱ نمونه‌ای از پیکربندی مهاربندی‌های هم‌گرای ویژه

نمونه دیگر از قاب‌های مهاربندی شده هم‌گرای ویژه می‌توان به ستون زیبایی و دو طبقه X مطابق شکل ۵-۱ اشاره نمود. در این سیستم با رفتار پس الاستیکی سازگار با رفتار مورد انتظار سیستم، در حالت V شکل طراحی می‌شوند. این پیکربندی می‌تواند از افزایش در بارهای محوری پس الاستیک در تیرها جلوگیری کند.



شکل ۵-۱؛ الف) ستون زیبایی؛ ب) دو طبقه X