

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

مقایسه تراز ایمنی اعضای فولادی طراحی شده با آئین نامه جدید فولاد ایران (۱۳۹۲ ه ش) و

آمریکا (۲۰۱۰) براساس روش LRFD

دانشجو: محدثه لعل نوقاب

استاد راهنما: دکتر وحیدرضا کلات جاری

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

تیر ماه ۱۳۹۳

تقدیم بابوسہ بردستان پدرم:

بہ او کہ نمی دانم از بزرگی اش بگویم یا مردانگی، سخاوت، سکوت، مهربانی و...

پدرم راه تمام زندگیست.

تقدیم بابوسہ بردستان مادرم:

دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر...

تقدیم بہ ہمسرم:

اسطوره زندگیم، پناہ خستگیم و امید بودنم...

مشکرو قدردانی

پاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزارش کردن نتوانند.

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او، با زبان قاصرو دست ناتوان، چیزی بنگارم. اما از آنجایی که تجلیل از معلم، پاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تائین می کند و سلامت امانت بایی را که به دستش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب "من لم یسکر المنعم من المخلوقین لم یسکر الله عزوجل": از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر وحید رضا کلات جاری که در کمال سع صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کجی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛ کمال مشکرو قدردانی را دارم.

تعهد نامه

اینجانب محدثه لعل نوقاب دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته سازه دانشکده عمران و معماری دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مقایسه تراز ایمنی اعضای فولادی طراحی شده با آئین نامه جدید فولاد ایران (۱۳۹۲ ه ش) و آمریکا (۲۰۱۰) براساس روش LRFD

تحت راهنمایی دکتر وحیدرضا کلات جاری به عنوان استاد راهنما متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ:

امضای دانشجو:

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده:

در آئین‌نامه‌های مبتنی به نظریه قابلیت اعتماد، سعی می‌شود قالب آئین‌نامه به نحوی تنظیم شود تا با توجه به خصوصیات آماری بارها و مقاومت اجزاء، سازه‌ای ایمن و اقتصادی طراحی شود. یکی از عوامل مؤثر در کالیبراسیون آئین‌نامه‌های طراحی هر کشور، شناسایی جامع و کامل عوامل احتمالاتی حاکم می‌باشد. این در حالی است که متأسفانه در کشور ایران راجع به متغیرهای بار و مقاومت مطالعات جامعی صورت نگرفته است، لذا گاه‌گاه ضرایب افزایش بار و مقاومت آئین‌نامه‌های طراحی ایران خیلی مبتنی بر واقعیت نیستند و در اکثر طراحی‌هایی که صورت می‌گیرد سعی می‌گردد با اعمال شرایط سنگین‌تر از آنچه که در هر منطقه وجود دارد و بدون توجه به اثراتی که بر روی هزینه‌ها خواهد داشت طراحی با ایمنی بالا انجام می‌شود.

توسط برخی از محققین مطالعات آماری راجع به پارامترهای احتمالاتی بار و مقاومت صورت پذیرفته است و در این تحقیق بررسی‌هایی در زمینه متغیر تصادفی بار زلزله انجام شده است و مؤلفه‌های آماری مناسب برای آن منظور شده است. در ادامه تراز ایمنی اعضای فولادی طراحی شده براساس آئین‌نامه جدید ایران (نسخه ۱۳۹۲)، که طبق اطلاعات آماری در دسترس کشورمان بدست آمده است با اعضای فولادی طراحی شده توسط آئین‌نامه فولاد آمریکا مقایسه شده است. با توجه به نتایج حاصل ملاحظه می‌شود در برخی از موارد تراز ایمنی مطلوب حاصل نمی‌گردد و بایستی کالیبراسیون آئین‌نامه فولاد ایران با دقت بیشتری صورت پذیرد.

کلمات کلیدی: نظریه قابلیت اعتماد، کالیبراسیون، متغیر تصادفی بار زلزله، تراز ایمنی، آئین‌نامه فولاد ایران (نسخه ۱۳۹۲)، آئین‌نامه فولاد آمریکا

فصل اول: مقدمه	۱
۱-۱) مقدمه	۲
۲-۱) فرآیند انجام تحقیق	۳
فصل دوم: مروری بر تئوری قابلیت اعتماد و روشهای طراحی	۵
۱-۲) مقدمه	۶
۲-۲) تحلیل احتمالاتی سازه ها	۶
۳-۲) تئوری قابلیت اعتماد	۶
۴-۲) عدم قطعیت در تحلیل و طراحی ساختمانها	۸
۵-۲) روشهای طراحی	۹
۱-۵-۲) طبقه بندی نخست	۹
۱-۱-۵-۲) روش تنش مجاز	۹
۲-۱-۵-۲) روش طراحی براساس مقاومت نهایی (طراحی پلاستیک)	۱۰
۳-۱-۵-۲) روش حالات حدی	۱۰
۲-۵-۲) طبقه بندی دوم (براساس شرایط ایمنی)	۱۱
۱-۲-۵-۲) روش طراحی یقین اندیشانه	۱۱
۲-۲-۵-۲) روش طراحی احتمال اندیشانه	۱۱
فصل سوم: روشهای تعیین شاخص قابلیت اعتماد	۱۳
۱-۳) مقدمه	۱۴
۲-۳) شاخص قابلیت اعتماد	۱۴
۳-۳) روش مقدار میانگین	۱۶

۱۶.....	۳-۳-۱) توابع حالت حدی خطی
۱۶.....	۳-۳-۲) توابع حالت حدی غیر خطی
۱۷.....	۳-۴) روشهای تعیین شاخص قابلیت اعتماد یا احتمال خرابی اعضا
۱۷.....	۳-۴-۱) مقدمه
۱۸.....	۳-۴-۲) آنالیز مونت کارلو
۱۹.....	۳-۴-۳) روش راکویتز- فیسler
۲۱.....	۳-۴-۳-۱) متغیرهای تصادفی وابسته
۲۳.....	فصل چهارم: مشخصات آماری متغیرهای بار و مقاومت
۲۴.....	۴-۱) مقدمه
۲۴.....	۴-۲) مدل‌های بار
۲۵.....	۴-۳) انواع بارها
۲۵.....	۴-۴) بار مرده
۲۵.....	۴-۵) بار زنده در ساختمانها
۲۶.....	۴-۵-۱) بار زنده طراحی (اسمی)
۲۶.....	۴-۵-۱-۱) بار زنده پایدار (ثابت)
۲۷.....	۴-۵-۱-۲) بار زنده ناپایدار (گذرا)
۲۷.....	۴-۵-۲) بار زنده ماکزیمم
۲۸.....	۴-۶) بارهای محیطی
۲۸.....	۴-۶-۱) بار باد
۲۹.....	۴-۶-۲) بار برف
۳۰.....	۴-۶-۳) بار زلزله
۳۲.....	۴-۷) پارامترهای احتمالاتی متغیرهای بار

۳۳	 ترکیبات بار (۸-۴)
۳۳	 تغییرات زمانی (۱-۸-۴)
۳۳	 قانون ترک استرا. (۲-۸-۴)
۳۴	 پارامترهای مقاومت عناصر سازه‌ای (۹-۴)
۳۵	 مدلسازی احتمالاتی تیرهای فولادی نورد شده (۱۰-۴)
۳۷	 مدلسازی احتمالاتی ستونهای فولادی (۱۱-۴)
۴۱	 فصل پنجم: آیین نامه‌های طراحی و بررسی حالات حدی آیین نامه ایران و آمریکا
۴۲	 (۱-۵) بررسی ساختار و حالات حدی آیین نامه فولاد ایران و آمریکا
۴۳	 (۲-۵) مقایسه ترکیبات بارگذاری در آیین نامه‌های جدید فولاد ایران (۱۳۹۲) و آمریکا
۴۳	 (۳-۵) حالات حدی برای اعضای تحت لنگر خمشی و نیروی برشی (تیرها)
۵۲	 (۴-۵) حالات حدی برای اعضای فشاری (ستونها)
۵۹	 (۵-۵) حالات حدی برای اعضای کششی
۶۴	 (۶-۵) نقش یک آیین نامه در فرآیند ساخت
۶۵	 (۷-۵) سطوح آیین نامه
۶۶	 (۸-۵) روش توسعه آیین نامه
۶۷	 (۱-۸-۵) هدف آیین نامه
۶۷	 (۲-۸-۵) موضوع آیین نامه
۶۸	 (۳-۸-۵) تابع تقاضا و فرکانس تقاضا
۶۸	 (۴-۸-۵) نزدیکی به هدف
۶۹	 (۵-۸-۵) شکل آیین نامه
	 فصل ششم: تعیین شاخص قابلیت اعتماد اعضای طراحی شده براساس آیین نامه جدید فولاد (نسخه
۷۱	 ۱۳۹۲ ه ش) ایران و آمریکا (نسخه ۲۰۱۰ م)

۷۲	 (۱-۶) مقدمه
۷۲	 (۲-۶) پارامترهای احتمالاتی بار و مقاومت
۷۴	 (۳-۶) تعیین شاخص ایمنی β در خمش برای اعضای طراحی شده براساس آیین نامه فولاد ایران ..
۸۱	 (۴-۶) تعیین شاخص ایمنی β در برش برای اعضای طراحی شده براساس آیین نامه فولاد ایران
۸۳	 (۵-۶) تعیین شاخص ایمنی β در فشار برای اعضای طراحی شده براساس آیین نامه فولاد ایران
۸۶	 (۶-۶) تعیین شاخص ایمنی β در کشش برای اعضای طراحی شده براساس آیین نامه فولاد ایران ...
۸۸	 (۷-۶) تعیین شاخص ایمنی β در خمش برای اعضای طراحی شده براساس آیین نامه فولاد آمریکا.
۹۰	 (۸-۶) تعیین شاخص β در برش برای اعضای طراحی شده براساس آیین نامه فولاد آمریکا.....
۹۲	 (۹-۶) تعیین شاخص ایمنی β در فشار برای اعضای طراحی شده براساس آیین نامه فولاد آمریکا...
۹۳	 (۱۰-۶) تعیین شاخص ایمنی β در کشش برای اعضای طراحی شده براساس آیین نامه فولاد آمریکا
۹۷	 فصل هفتم: مقایسه شاخص قابلیت اعتماد آیین نامه فولاد ایران و آمریکا
۹۸	 (۱-۷)مقدمه
۹۸	 (۲-۷)مقایسه شاخص قابلیت اعتماد اعضای تحت خمش در آیین نامه‌های فولاد ایران و آمریکا
۱۰۲	 (۳-۷)مقایسه شاخص قابلیت اعتماد اعضای تحت برش در آیین نامه‌های فولاد ایران و آمریکا
۱۰۵	 (۴-۷)مقایسه شاخص قابلیت اعتماد اعضای فشاری طراحی شده براساس آیین نامه فولاد ایران و آمریکا.....
۱۰۸	 (۵-۷)مقایسه شاخص قابلیت اعتماد آیین نامه فولاد ایران و آمریکا در کشش
۱۱۴	 (۶-۷) تعیین شاخص قابلیت اعتماد چند عضو فولادی مختلف طراحی شده براساس آیین‌نامه جدید فولاد ایران (۱۳۹۲ ه ش) و آمریکا(۲۰۱۰ م).....
۱۲۹	 فصل هشتم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۳۰	 (۱-۸) مقدمه
۱۳۰	 (۲-۸) نتایج

۱۳۴ پیشنهادات (۳-۸)

۱۳۵ منابع

جدول (۱-۴): پارامترهای آماری بار مرده.....	۲۵
جدول (۲-۴): داده‌های آماری برای بار زنده پایدار به عنوان تابعی از سطح تأثیر.....	۲۷
جدول (۳-۴): ضرایب تغییرات حداکثر بار زنده ۵۰ ساله.....	۲۹
جدول (۴-۴): مقادیر پارامترهای توزیع.....	۳۲
جدول (۵-۴): پارامترهای احتمالاتی متغیرهای تصادفی بار.....	۳۲
جدول (۶-۴): پارامترهای آماری المان‌های فولادی نورد شده توسط الینگوود و همکارانش.....	۳۵
جدول (۷-۴): پارامترهای آماری پیشنهاد شده برای مدل‌سازی مقاومت براساس مطالعات بارتلت و همکارانش.....	۳۶
جدول (۸-۴): پارامترهای آماری پیشنهاد شده برای مدل‌سازی مقاومت در آیین نامه فولاد ایران براساس مطالعات آقای شایانفر و همکارانش.....	۳۷
جدول (۹-۴): پارامترهای آماری مربوط به F_{CR}	۳۹
جدول (۱-۶): مشخصات احتمالاتی متغیرهای تصادفی مقاومت اعضای سازه‌ای ایران.....	۷۳
جدول (۲-۶): پارامترهای آماری مقاومت المان‌های فولادی نورد شده توسط الینگوود و همکارانش.....	۷۴
جدول (۳-۶): گروه‌بندی اعضای خمشی ساختمان‌ها براساس ترکیب بارهای مختلف.....	۷۴
جدول (۴-۶): تکرارهای مربوط به مثال.....	۷۷
جدول (۵-۶): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای خمشی (تیرورق-تکیه‌گاه ساده) طرح شده براساس آئین نامه فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی ۰/۵).....	۷۸
جدول (۶-۶): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای خمشی (تیرورق-تکیه‌گاه صلب) طرح شده براساس آئین نامه فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی ۰/۵).....	۷۸
جدول (۷-۶): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای خمشی (تیر نورد شده-تکیه‌گاه ساده) طرح شده	

براساس آئین نامه فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی ۰/۵).....۷۹

جدول (۶-۸): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای خمشی (تیر نورد شده- تکیه گاه صلب) طرح شده

براساس آئین نامه فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی ۰/۵).....۷۹

جدول (۶-۹): تعاریف اندیس‌ها و مقادیر مرتبط.....۸۰

جدول (۶-۱۰): حالت‌های بحرانی و مقادیر شاخص قابلیت اعتماد بحرانی مربوط به هر گروه از اعضای خمشی طرح شده براساس آئین‌نامه فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مختلف ۰/۵، ۱، ۱/۵).....۸۱

جدول (۶-۱۱): گروه‌بندی اعضای برشی ساختمان‌ها براساس ترکیب بارهای مختلف.....۸۱

جدول (۶-۱۲): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای برشی (تیرورق- نیروی برشی) طرح شده براساس آئین نامه فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی ۰/۵).....۸۲

جدول (۶-۱۳): حالت‌های بحرانی و مقدار شاخص قابلیت اعتماد بحرانی مربوط به هر گروه از اعضای برشی طرح شده براساس آئین‌نامه فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مختلف ۰/۵، ۱، ۱/۵).....۸۳

جدول (۶-۱۴): گروه‌بندی اعضای فشاری ساختمان‌ها براساس ترکیب بارهای مختلف.....۸۳

جدول (۶-۱۵): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای فشاری (کمانش ستون با عامل لاغری ۰.۵) طرح شده براساس آئین نامه فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی با ۰/۵).....۸۴

جدول (۶-۱۶): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای فشاری (کمانش ستون با عامل لاغری ۰.۹) طرح شده براساس آئین نامه فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی با ۰/۵).....۸۴

جدول (۶-۱۷): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای فشاری (کمانش ستون با عامل لاغری ۱.۳) طرح شده براساس آئین نامه فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی با ۰/۵).....۸۴

جدول (۶-۱۸): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای فشاری (کمانش ستون با عامل لاغری ۱.۷) طرح شده براساس آئین‌نامه فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی با ۰/۵).....۸۵

جدول (۶-۱۹): حالت‌های بحرانی و مقدار شاخص قابلیت اعتماد بحرانی مربوط به هر گروه از اعضای فشاری طرح شده براساس آئین‌نامه فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مختلف ۰/۵، ۱، ۱/۵)..... ۸۵

جدول (۶-۲۰): گروه‌بندی اعضای کششی حالت تسلیم ساختمان‌ها براساس ترکیب بارهای مختلف..... ۸۶

جدول (۶-۲۱): گروه‌بندی اعضای کششی حالت گسیختگی ساختمان‌ها براساس ترکیب بارهای مختلف..... ۸۶

جدول (۶-۲۲): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای کششی حالت تسلیم، طرح شده براساس آیین‌نامه فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی با ۰/۵)..... ۸۷

جدول (۶-۲۳): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای کششی حالت گسیختگی، طرح شده براساس آیین‌نامه فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی با ۰/۵)..... ۸۷

جدول (۶-۲۴): حالت‌های بحرانی و مقدار شاخص قابلیت اعتماد بحرانی مربوط به هر گروه از اعضای کششی طرح شده براساس آئین‌نامه فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مختلف ۰/۵، ۱ و ۱/۵)..... ۸۸

جدول (۶-۲۵): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای خمشی (تیرورق) طرح شده براساس آیین‌نامه فولاد آمریکا (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی با ۰/۵)..... ۸۹

جدول (۶-۲۶): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای خمشی (تیر فشرده- لنگر یکنواخت) طرح شده براساس آیین‌نامه فولاد آمریکا (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی با ۰/۵)..... ۸۹

جدول (۶-۲۷): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای خمشی (تیر فشرده- لنگر سرتاسری) طرح شده براساس آیین‌نامه فولاد آمریکا (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی با ۰/۵)..... ۹۰

جدول (۶-۲۸): حالت‌های بحرانی و مقدار شاخص قابلیت اعتماد بحرانی مربوط به هر گروه از اعضای خمشی طرح شده براساس آیین‌نامه فولاد آمریکا (برای نسبت پارامترهای اسمی مختلف ۰/۵، ۱ و ۱/۵)..... ۹۰

۹۰.....(۱/۵)

جدول(۶-۲۹): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای برشی (تیرورق- نیروی برشی) طرح شده براساس

آیین نامه فولاد آمریکا (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی با ۰/۵).....۹۱

جدول(۶-۳۰): حالت‌های بحرانی و مقدار شاخص قابلیت اعتماد بحرانی مربوط به هر گروه از اعضای

برشی طرح شده براساس آیین نامه فولاد آمریکا (برای نسبت پارامترهای اسمی مختلف ۰/۵، ۱ و

۹۲.....(۱/۵)

جدول(۶-۳۱): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای فشاری (ستون با بار محوری) طرح شده براساس

آیین نامه فولاد آمریکا (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی با ۰/۵).....۹۳

جدول(۶-۳۲): حالت‌های بحرانی و مقدار شاخص قابلیت اعتماد بحرانی مربوط به هر گروه از اعضای

فشاری طرح شده براساس آیین نامه فولاد آمریکا (برای نسبت پارامترهای اسمی مختلف ۰/۵، ۱ و

۹۳.....(۱/۵)

جدول(۶-۳۳): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای کششی (حالت حدی تسلیم) طرح شده براساس آیین

نامه فولاد آمریکا (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی با ۰/۵).....۹۴

جدول(۶-۳۴): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای کششی(حالت حدی گسیختگی) طرح شده براساس

آیین نامه فولاد آمریکا (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی با ۰/۵).....۹۵

جدول(۶-۳۵): حالت‌های بحرانی و مقدار شاخص قابلیت اعتماد بحرانی مربوط به هر گروه از اعضای

کششی طرح شده براساس آیین نامه فولاد آمریکا (برای نسبت پارامترهای اسمی مختلف ۰/۵، ۱ و

۹۵.....(۱/۵)

جدول(۷-۱): مقایسه β کنترل کننده اعضای خمشی طراحی شده براساس آیین نامه فولاد ایران و

آمریکا (براساس نسبت‌های $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}$ ، $\frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}$ ، $\frac{V_{En}}{V_{Dn}}$ ، $\frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}$ ، $\frac{M_{En}}{M_{Dn}}$ ، $\frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}$ ، $\frac{S_n}{D_n}$ ، $\frac{I_n}{D_n}$ مساوی با

۹۹.....(۰/۵)

جدول (۷-۲): مقایسه درصد اختلاف β از β_T اعضای خمشی طراحی شده براساس آیین نامه فولاد ایران

و آمریکا (براساس نسبت‌های $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$ مساوی با

۰/۵).....۹۹

جدول (۷-۳): ترکیبات بارگذاری بحرانی برای هر گروه از اعضای خمشی طراحی شده براساس آیین‌نامه

جدید ایران (۱۳۹۲ ه ش) و آمریکا (۲۰۱۰ م).....۱۰۱

جدول (۷-۴): مقادیر β کنترل کننده اعضای برشی (تیرورق‌ها) طراحی شده براساس آیین نامه‌های

فولاد ایران و آمریکا (براساس نسبت‌های $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$ مساوی

با ۰/۵).....۱۰۳

جدول (۷-۵): مقایسه درصد اختلاف β از β_T اعضای برشی طراحی شده براساس آیین نامه‌های فولاد

ایران و آمریکا (براساس نسبت‌های $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$ مساوی با

۰/۵).....۱۰۳

جدول (۷-۷): ترکیب بارگذاری بحرانی برای هر گروه از اعضای برشی طراحی شده براساس آیین‌نامه

ایران و آمریکا.....۱۰۴

جدول (۷-۸): مقایسه β کنترل کننده اعضای فشاری طراحی شده براساس آیین نامه فولاد ایران و

آمریکا (براساس نسبت‌های $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$ مساوی با

۰/۵).....۱۰۶

جدول (۷-۹): مقایسه درصد اختلاف β از β_T اعضای برشی طراحی شده براساس آیین نامه فولاد ایران

و آمریکا (براساس نسبت‌های $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$ مساوی با

۰/۵).....۱۰۶

جدول (۷-۱۰): ترکیبات بارگذاری بحرانی برای هر گروه از اعضای فشاری طراحی شده براساس آیین‌نامه

جدید ایران و آمریکا.....۱۰۷

جدول (۷-۱۱): مقایسه β کنترل کننده اعضای کششی حالت تسلیم طراحی شده براساس آیین نامه

فولاد ایران و آمریکا (براساس نسبت‌های $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$ مساوی

با ۵/۰).....۱۰۹

جدول (۷-۱۲): مقایسه درصد اختلاف β از β_T اعضای کششی حالت تسلیم طراحی شده براساس آیین

نامه فولاد ایران و آمریکا (براساس نسبت‌های $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$

مساوی با ۵/۰).....۱۰۹

جدول (۷-۱۳): ترکیب بارگذاری بحرانی برای هر گروه از اعضای کششی حالت تسلیم طراحی شده

براساس آئین‌نامه ایران و آمریکا.....۱۱۰

جدول (۷-۱۴): مقایسه β کنترل کننده اعضای کششی حالت گسیختگی طراحی شده براساس آیین

نامه فولاد ایران و آمریکا (برای نسبت‌های $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$

مساوی با ۵/۰).....۱۱۱

جدول (۷-۱۵): مقایسه درصد اختلاف β از β_T اعضای کششی حالت گسیختگی طراحی شده براساس

آیین نامه فولاد ایران و آمریکا (برای نسبت‌های $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$

مساوی با ۵/۰).....۱۱۲

جدول (۷-۱۶): ترکیبات بارگذاری بحرانی برای هر گروه از اعضای کششی حالت گسیختگی طراحی شده

براساس آئین‌نامه جدید ایران (۱۳۹۲) و آمریکا (۲۰۱۰).....۱۱۲

شکل (۳-۱): تعریف شاخص ایمنی..... ۱۵

شکل (۷-۱): مقایسه شاخص قابلیت اعتماد بحرانی برای هر گروه از اعضای خمشی طراحی شده

براساس آئین‌نامه‌های فولاد ایران و آمریکا (برای نسبت‌های متفاوت $\frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$)

..... $(\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}})$ ۱۰۲

شکل (۷-۲): مقایسه شاخص قابلیت اعتماد بحرانی برای هر گروه اعضای برشی طراحی شده براساس

آئین‌نامه فولاد ایران و آمریکا (برای نسبت‌های متفاوت $\frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$)

..... $(\frac{P_{En}}{P_{Dn}})$ ۱۰۵

شکل (۷-۳): مقایسه شاخص قابلیت اعتماد بحرانی برای هر گروه از اعضای فشاری طراحی شده براساس

آئین‌نامه‌های فولاد ایران و آمریکا (براساس نسبت‌های متفاوت $\frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$)

..... $(\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}})$ ۱۰۸

شکل (۷-۴): مقایسه شاخص قابلیت اعتماد بحرانی برای هر گروه اعضای کششی (حالت تسلیم) طراحی

شده براساس آئین‌نامه فولاد ایران و آمریکا (برای نسبت‌های $\frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$)

..... با مقادیر مختلف $(\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}})$ ۱۱۱

شکل (۷-۵): مقایسه شاخص قابلیت اعتماد بحرانی برای هر گروه اعضای کششی (حالت تسلیم) طراحی

شده براساس آئین‌نامه‌های فولاد ایران و آمریکا (برای نسبت‌های متفاوت $\frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$)

..... $(\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}})$ ۱۱۳

- شکل (۷-۷): مربوط به مثال ۱..... ۱۱۴
- شکل (۸-۷): مربوط به مثال ۲..... ۱۱۷
- شکل (۹-۷): مربوط به مثال ۳..... ۱۱۹
- شکل (۱۰-۷): مربوط به مثال ۴..... ۱۲۲

فصل اول: مقدمه

منابع زیادی از عدم قطعیت به صورت ذاتی در طراحی سازه‌ها وجود دارد. برخلاف آنچه ما اغلب فکر می‌کنیم، پارامترهایی همچون بارهای وارده و ظرفیت‌های انتقال بار اعضای سازه‌ای مقادیر قطعی نیستند (کمیت‌هایی کاملاً شناخته شده نیستند) و بعنوان متغیرهای تصادفی نامیده می‌شوند. بنابراین سازه‌ها نمی‌توانند ایمنی مطلق (احتمال خرابی صفر) داشته باشند. لذا سازه‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که عملکرد آنها همراه با یک احتمال معینی از خرابی باشد [۲،۲۲].

اولین فرمول بندی ریاضی مسأله سلامت سازه‌ها را می‌توان به مایر^۱ در سال ۱۹۲۶، استرلتزکی^۲ در سال ۱۹۴۷ و وایرزبیک^۳ در سال ۱۹۳۶ نسبت داد. آنها تصدیق کردند که پارامترهای بار و مقاومت متغیرهای تصادفی هستند و بنابراین برای هر سازه یک احتمال معین خرابی وجود دارد. ایده‌های آنها بعداً توسط فردنتال^۴ در سال‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۵۶ میلادی توسعه داده شد [۲۸،۲۷،۲۱،۱۷].

گروه تحقیقاتی کرنل^۵ در سال ۱۹۶۹ میلادی یک شاخص قابلیت اعتماد لنگر دوم را پیشنهاد دادند. در سال ۱۹۷۴، هاسوفر و لیند^۶ یک تعریف مستقل از فرم تابع خرابی برای شاخص ایمنی ارائه نمودند. در سال ۱۹۷۸ نیز توسط راکویتز و فیسلر^۷ یک روش عددی کارآمد برای محاسبه شاخص ایمنی ارائه گردید [۲۳،۲۰،۱۴].

در سال‌های اخیر در زمینه قابلیت اعتماد در کشورمان مطالعات زیادی انجام شده از جمله: مطالعاتی که محسنعلی شایانفر، محمدعلی برخوردار و محمد رحمانیان در زمینه مدل‌سازی احتمالاتی فولاد مصرفی در ایران برای استفاده در آنالیز قابلیت اعتماد آیین نامه فولاد ایران و ارزیابی قابلیت اعتماد اعضای طراحی شده براساس آیین نامه فولاد ایران، در سال ۱۳۸۸ انجام دادند. همچنین مطالعاتی توسط محسن کردلو و محمدرضا معرف زاده در زمینه کالیبراسیون ضرایب بار و مقاومت آئین‌نامه

¹ Mayer

² Streletzki

³ Wierzbicki

⁴ Freudenthal

⁵ Cornell

⁶ Hasofer and Lind

⁷ Ruckwitz and Fissler

فولاد ایران براساس تئوری قابلیت اعتماد سازه‌ها در سال ۱۳۹۰ صورت پذیرفت. احمد میرشریفی در زمینه تحلیل و طراحی دکل‌های انتقال نیرو با استفاده از نظریه قابلیت اعتماد سازه‌ها مطالعاتی انجام داده است. همچنین محسن هراتی در زمینه ارزیابی ایمنی تیرهای بتن مسلح طراحی شده براساس آئین‌نامه بتن ایران و آمریکا تحقیقاتی انجام داده است [۹،۸،۴،۳].

۱-۲) فرآیند انجام تحقیق

در این پایان‌نامه سعی شده است با کمک تحقیقات قبلی انجام شده و با مطالعاتی که از منابع مختلف صورت پذیرفت، شاخص قابلیت اعتماد اعضای فولادی طراحی شده براساس آئین‌نامه جدید فولاد ایران (نسخه ۱۳۹۲ ه ش) و آئین‌نامه آمریکا (نسخه ۲۰۱۰ م) برای ترکیب بارهای مختلف و حالت‌های حدی مختلف خمش، برش، فشار و کشش تعیین و با یکدیگر مقایسه شود. این پایان‌نامه در هشت فصل به شرح ذیل تدوین شده است:

فصل دوم، در این فصل مروری بر تئوری قابلیت اعتماد و عدم قطعیت در تحلیل و طراحی ساختمان‌ها و روش‌های طراحی مختلف اشاره شده است.

فصل سوم، در این فصل به توابع حالت حدی خطی و غیر خطی و روش‌های تعیین شاخص قابلیت اعتماد اعضاء پرداخته شده است.

فصل چهارم، در این فصل مدل‌های بار و مقاومت و همچنین انواع بارها (بار مرده، زنده، باد، برف، زلزله) را شرح می‌دهد و پارامترهای احتمالاتی متغیرهای بار ارائه می‌شود. در خصوص پارامترهای احتمالاتی بار زلزله برای کشور ایران در این پایان‌نامه برای اولین بار اطلاعات آماری زلزله با توجه به شرایط اقلیمی مختلف برای ۶ شهر منتخب ایران با زلزله خیزی متفاوت، مورد بررسی قرار گرفته و پارامترهای متغیر تصادفی بار زلزله کشور ایران بدست آمده است. همچنین مدلسازی احتمالاتی تیرهای فولادی و مدلسازی احتمالاتی ستون‌های فولادی را مورد بررسی قرار می‌دهد و پارامترهای احتمالاتی مقاومت تیر و ستون‌های فولادی ارائه می‌شود.

فصل پنجم، در این فصل ساختار و ترکیبات بارگذاری آئین‌نامه فولاد ایران و آمریکا مورد بررسی قرار می‌گیرد و حالات حدی مختلف برای اعضای تحت لنگر خمش و نیروی برشی (تیرها) و اعضای تحت نیروی فشاری (ستون‌ها) و اعضای کششی (تیرها) ارائه می‌شود و در انتها به روش تدوین آئین‌نامه‌های طراحی اشاره می‌شود.

فصل ششم، در این فصل شاخص قابلیت اعتماد اعضای طراحی شده براساس آئین‌نامه جدید فولاد ایران (۱۳۹۲ ه. ش) و آمریکا (۲۰۱۰ م) برای حالات حدی مختلف خمش، برش، فشار و کشش با توجه به توابع حالت حدی و ترکیب بارهای مشخص بدست آمده است و از بین شاخص‌های قابلیت اعتماد هر عضو، شاخص قابلیت اعتماد بزرگتر که شاخص قابلیت اعتماد بحرانی عضو براساس ترکیب بار مورد نظر می‌باشد، مشخص می‌شود.

فصل هفتم، در این فصل شاخص‌های قابلیت اعتماد اعضای طراحی شده براساس آئین‌نامه جدید فولاد ایران و آمریکا با هم مقایسه و شاخص‌های قابلیت اعتماد بحرانی برای اعضای مختلف نیز با هم مقایسه می‌شوند.

فصل هشتم، در این فصل نتیجه گیری بدست آمده از مقایسه شاخص‌های قابلیت اعتماد اعضای طراحی شده براساس آئین‌نامه جدید فولاد ایران و آمریکا و همچنین پیشنهاداتی برای ادامه تحقیقات بیان شده است.

فصل دوم: مروری بر تئوری قابلیت اعتماد و روش‌های طراحی

۲-۱) مقدمه

مفهوم ایمنی یک داستان معتبر تاریخی را به دنبال دارد. در رم باستان، طراح هر پل پس از پایان مرحله ساخت پل می‌بایست در حالیکه یک دسته ازابه از روی پل می‌گذشتند در زیر پل بایستد. این روشی قابل قبول برای آزمایش کردن پل محسوب می‌شد. این ایده، سبب می‌شد که طراح در محاسبه واجرا ضریب اطمینانی در نظر بگیرد تا آن پل، ایمن و قابل اعتماد باشد [۲۴].

در این فصل ابتدا مروری بر تئوری قابلیت اعتماد و تحلیل احتمالاتی سازه‌ها انجام شده است و در ادامه به عدم قطعیت موجود در تحلیل و طراحی ساختمان‌ها و روش‌های مختلف طراحی براساس دو طبقه بندی انجام شده اشاره می‌شود.

۲-۲) تحلیل احتمالاتی سازه‌ها

تحلیل احتمالاتی بسط تحلیل یقین اندیشانه است، زیرا مقادیر یقین اندیشانه می‌توانند به عنوان متغیرهای تصادفی با ویژگی خاص معرفی شوند.

از یک سازه انتظار می‌رود که در طول عمر مورد نظرش، کارکرد رضایت بخشی داشته باشد. به عنوان نمونه، فرو نریزد یا نامطمئن نشود و نیازمندیهای عملکردی معین را برآورده سازد. به طور کلی در سیستمهای سازه ای احتمال بسیار کمی وجود دارد که این سیستمها مطابق انتظار ما عمل نکنند.

۲-۳) تئوری قابلیت اعتماد

در کارمهندسی علیرغم استفاده فراوان از مدل‌های ساده شده و مفاهیم تقریبی تمایل زیادی است که نتایج به دست آمده به عنوان دستاوردهای قطعی ودقیق علمی مطرح شوند. همین تمایل تاریخی به قطعی انگاشتن نتیجه گیری‌ها واز طرف دیگر نگرانی از تقریب‌ها و عدم قطعیت‌هایی که مهندس عیناً

با آن سروکار دارد و نمی‌تواند آنها را نادیده بگیرد موجب به کارگیری مفهوم ضرایب اطمینان شده است.

نسبت مقدار ظرفیت (C) به مقدار نیروی وارده (D) را ضریب اطمینان می‌نامند که هر چه این ضریب بزرگتر باشد با آسایش خاطر بیشتری می‌توان قضاوت کرد که مقدار کمیت مورد نظر از حد تعیین شده برای آن تجاوز نخواهد کرد.

$$SF = \frac{C}{D} \quad (1-2)$$

با تحلیل احتمال خرابی و امکان قبول خطرهای حساب شده در برخی از کارهای مهندسی خصوصاً آنها که جنبه موقت دارند، یک بررسی اقتصادی ممکن است استفاده از ضرایب اطمینان کوچکتر از واحد را توصیه کند.

شاخه ای از تئوری احتمالات به نام تئوری قابلیت اعتماد چارچوبی منطقی برای به حساب آوردن موارد عدم قطعیت در ظرفیت و نیاز در اختیار می‌گذارد. به تعبیری دیگر قابلیت اعتماد، مقیاسی است که با آن می‌توان توانائی هر قسمت و یا کل یک وسیله یا سیستم را برای کار کردن بدون از کار افتادن تحت شرایطی که برای آن در نظر گرفته شده است با آن سنجید.

یکی از بهترین تعریف‌هایی که برای قابلیت اعتماد ارائه شده است چنین است:

قابلیت اعتماد یک سازه عبارت است از توانایی سازه برای انجام اهداف طراحی خود در دوره عمر مشخص سازه. اغلب ایمنی یک سازه معادل با احتمالی که یک سازه گسیخته نخواهد شد تا هدف از ساخت خود را تامین نماید در نظر گرفته می‌شود. منظور از کلمه گسیختگی ضرورتاً گسیختگی فاجعه بار نخواهد بود و می‌تواند بیانگر حالتی باشد که سازه عملکرد مطلوب را انجام نمی‌دهد [۲۲، ۲].

برای بدست آوردن قابلیت اعتماد لازم است مراحل زیر طی شود:

(۱) مرز بندی روشن برای عملکرد مطلوب سازه و تعریف دقیق از خرابی.

(۲) انتخاب یک مدل قطعی که متغیرهای اصلی را به ضابطه خرابی یا سلامت مربوط سازد.

(۳) تشخیص عدم قطعیت‌ها در متغیرهای اصلی.

۴) بدست آوردن توابع توزیع احتمال و گشتاورهای آماری متغیرهای اصلی.

۲-۴) عدم قطعیت در تحلیل و طراحی ساختمان‌ها

فرآیند تحلیل و طراحی ساختمان‌ها شامل تهیه نقشه‌ها، طراحی، اجراء، بهره‌برداری/استفاده و تخریب می‌باشد. هر یک از اجزای این فرآیند دارای چندین عدم قطعیت می‌باشند. می‌توان این عدم قطعیت‌ها را با توجه به علت ایجاد به دو دسته اصلی تقسیم بندی کرد: طبیعی و انسانی. علل طبیعی بدلیل ابهام در مورد برآورد بارها از قبیل باد، زلزله، برف، یخ، فشار آب یا بار زنده می‌باشد. منبع دیگر ایجاد عدم قطعیت ناشی از رفتار مکانیکی مواد و مصالح استفاده شده در ساخت سازه‌ها می‌باشد.

علل انسانی ایجاد عدم قطعیت ناشی از انحرافات خواسته یا ناخواسته از یک طرح دقیق و مناسب ناشی می‌شوند. مثالهایی از این عدم قطعیت‌ها در اثنای فاز طراحی سازه شامل تقریبات، خطاهای محاسباتی، مشکلات ارتباطی، سهل انگاریها، نقصان علمی و طمع می‌باشد. به دلیل وجود این عدم قطعیت‌ها بارها و مقاومت‌ها متغیرهای تصادفی هستند.

عدم قطعیت‌های مدل شده به وسیله متغیرهای تصادفی را می‌توان به دسته‌های زیر تقسیم کرد [۲۲، ۱۹]:

۱) عدم قطعیت فیزیکی یا عدم قطعیت ذاتی: مربوط به طبیعت تصادفی کمیت‌ها می‌باشد، مثالی در این زمینه عدم قطعیت در تنش تسلیم، ناشی از تغییرپذیری در ساخت فولاد است.

۲) عدم قطعیت اندازه‌گیری: این عدم قطعیت از اندازه‌گیری‌های ناصحیح، به طور نمونه مقدار هندسی ناشی می‌شود.

۳) عدم قطعیت آماری: ناشی از تعداد محدود نمونه‌های آماری است.

۴) عدم قطعیت مدل: عدم قطعیت مربوط به کمبود اطلاعات و دانش ما یا ایده‌آل سازی در تعریف مدل‌های ریاضی و یا انتخاب نوع توزیع‌های احتمال برای متغیرهای تصادفی است.

نوع دیگری از عدم قطعیت‌ها که در این دسته بندی‌ها لحاظ نشده، خطای انسانی است. با وجود عدم قطعیت‌ها، یافتن ایمنی مطلق برای یک ساختمان به دلایل زیر غیر ممکن است:

- عدم پیش‌بینی دقیق موارد زیر:

(۱) بارهای وارد بر ساختمان در طول عمر آن

(۲) مقاومت‌های مواد در حین اجراء

(۳) خطاهای انسانی

- مدل‌های ایده‌آل ریاضی برای ساختمان به منظور پیش‌بینی پاسخ یا رفتار آن

- محدودیت‌ها در روش‌های عددی

۲-۵) روشهای طراحی

اصول کلی کنترل ایمنی، روشی را برای محاسبه رفتار و مقاومت سازه‌ها ارائه می‌دهد.

روش‌های طراحی به صورت زیر دسته بندی میشوند [۹، ۲۴]:

۲-۵-۱) طبقه بندی نخست

۲-۵-۱-۱) روش تنش مجاز

در این روش تنش‌های ایجاد شده تحت بارهای ماکزیمم با مقاومت کاهش یافته مقایسه می‌شوند که این مقاومت کاهش یافته، تنش مجاز نامیده میشود.

در یک سازه اگر تنش‌های ایجاد شده در هر نقطه از ساختمان بزرگتر از تنش‌های مجاز باشد آن نقطه خراب شده فرض می‌شود و ضریب اطمینان برابر با نسبت تنش خرابی به تنش مجاز می‌باشد.

برای مواد شکل پذیر مانند فولاد، تنش تسلیم و برای مواد شکننده مانند بتن، تنش نهایی به عنوان تنش خرابی در نظر گرفته می‌شود. در این روش رفتار ارتجاعی مواد در نظر گرفته می‌شود و منحنی تغییر شکل-بار خطی است.

این روش محاسن و معایب خود را دارد، از محاسن آن می‌توان سادگی کار و از معایب آن ارائه ندادن یک سطح ایمنی ثابت در سازه‌ها برای یک مجموعه از تنش‌های مجاز می‌باشد.

۲-۵-۱-۲) روش طراحی براساس مقاومت نهایی (طراحی پلاستیک)

در این روش ایمنی با افزایش بارهای مؤثر و کنترل سازه تحت بار افزایش یافته (بار گسیختگی) تضمین شده است و در اینجا ایمنی به ظرفیت سازه بستگی دارد و رفتار غیر الاستیک مواد در نظر گرفته می‌شود.

در این روش، ضرایب بار مجزا برای بارهای مختلف منظور می‌شود، ضرایب بزرگتر برای بار زنده یا بار باد نسبت به بار مرده بیانگر آن است که تغییرات در بار زنده یا باد از بار مرده بزرگتر است. اما کوچکی یا بزرگی ضرایب فقط از روی قضاوت موضوعی و بدون هیچ مبنای واقعی انتخاب می‌شود و بار اعمال شده یک بار مجازی است.

سازه طراحی شده با این روش در مقابل گسیختگی ایمن می‌باشد و انتظار می‌رود که این سازه تحت بارهای وارد بنحو مطلوبی رفتار نماید.

۲-۵-۱-۳) روش حالات حدی

حالت حدی، سطحی است که خارج از آن یک سازه یا قسمتی از آن گسیخته شده یا بازده مطلوب خود را ندارد.

حالات حدی در دو مقوله جای می‌گیرند:

۱) حالات حدی نهایی: که مربوط به ظرفیت تحمل بار ماکزیمم می‌باشند.

۲) حالات حدی بهره‌برداری: که مربوط به معیار دوام تحت شرایط سرویس (خدمت) می‌باشند. ضرایب ایمنی بستگی به ماهیت تصادفی عوامل مؤثر در ساختمان دارند. با افزایش منطقی بارها و تقلیل ظرفیت اعضاء، از سطح ایمنی مطلوب برخوردار خواهیم شد. خدمت‌پذیری ساختمان نیز بازای بارهای بدون ضریب یا خدمت کنترل می‌شوند.

۲-۵-۲) طبقه بندی دوم (براساس شرایط ایمنی)

۲-۵-۲-۱) روش طراحی یقین اندیشانه

در این روش فرض شده که هیچکدام از پارامترها تحت تغییرات احتمالاتی نیستند و اثرات آنها بصورت غیر تصادفی منظور می‌شود.

۲-۵-۲-۲) روش طراحی احتمال اندیشانه

در روش طراحی یقین اندیشانه فرض می‌شود که هیچ یک از پارامترها تحت تغییرات احتمالاتی نیستند ولی کاملاً مشخص است که بارهای وارد بر سازه و همچنین مقاومت اعضاء باید به عنوان متغیرهای تصادفی در نظر گرفته شوند چون بار و مقاومت، هر دو متغیرهای تصادفی هستند و ایمنی ساختمان نیز یک متغیر تصادفی می‌باشد.

برای محاسبه ایمنی ساختمان، یک روش احتمالاتی با در نظر گرفتن این متغیرهای تصادفی لازم است. ایمنی یا قابلیت اعتماد عبارتست از احتمال بقای یک سازه تحت شرایط محیطی داده شده بنحوی که در انجام وظایف تعیین شده بنحو مطلوب و برای زمان تعیین شده عمل نماید.

فصل سوم: روش‌های تعیین شاخص قابلیت اعتماد

۳-۱) مقدمه

در مسائل مهندسی عمدتاً یک سری عدم اطمینان‌هایی وجود دارد که با توجه به ماهیت مساله و نوع تحلیل آن متفاوت است، از جمله انواع عدم اطمینان‌ها می‌توان به عدم اطمینان فیزیکی، عدم اطمینان در مدل و عدم اطمینان آماری اشاره کرد که در فازهای طراحی و اجرای سازه، یک مهندس با آن‌ها روبرو است. این عدم قطعیت‌ها در سازه‌های فلزی مانند پل‌ها، برج‌ها، مخازن و سازه‌های فضاکار و ... بسیار حائز اهمیت است به طوری که نوع ساختگاه و همچنین ماهیت بارهای وارده به یک سازه و عمر مصالح ممکن است منتج به خرابی و فروپاشی این سازه‌ها و یا عدم کارایی مناسب می‌شود. یک سازه با انواع عدم قطعیت‌ها از جمله بارهای وارده، مقاومت و همچنین خصوصیات هندسی روبرو است، بر این اساس، با یک مسئله آماری با عدم قطعیت‌های مختلف روبرو هستیم که تحلیل آن بر مبنای تئوری احتمالات و قابلیت اعتماد امکان‌پذیر می‌باشد. براساس تحلیل قابلیت اعتماد، هر عضو سازه‌ای در سطح بهره‌برداری خود مقداری مجاز احتمال خرابی دارد که با ارزیابی آن می‌توان کارایی یا عدم کارایی عضو سازه‌ای را بررسی و یا نسبت به تعمیر یا تعویض آن تصمیم‌گیری نماییم [۲۵].

در فصل پیش مبنای تئوریک قابلیت اعتماد سازه‌ها شرح داده شد. در این فصل، روش‌های عملی تحلیل قابلیت اعتماد سازه‌ها مطرح شده است. از این روش‌ها می‌توان به منظور ارزیابی قابلیت اعتماد سازه‌های موجود استفاده کرد.

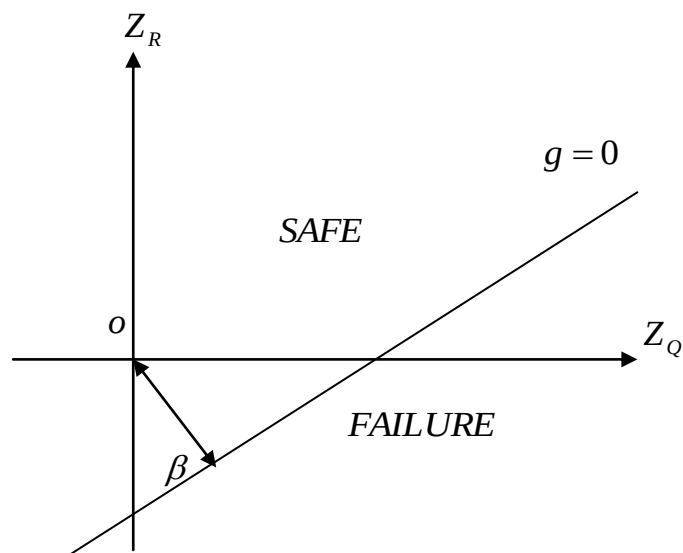
۳-۲) شاخص قابلیت اعتماد

در روش‌های تقریبی مرتبه اول لنگردوم، متغیرهای تصادفی تنها به وسیله دو ممان ابتدایی آنها یعنی میانگین و واریانس توصیف می‌شوند و تابع حالت حدی برای محاسبه شاخص قابلیت اعتماد، خطی سازی می‌شود. در ارزیابی لنگرهای اول و دوم تابع خرابی (میانگین و واریانس) تقریب مرتبه اول به کار می‌رود. در حالتی که تابع خرابی غیر خطی باشد، از بسط سری تیلور برای خطی کردن آن استفاده می‌شود [۲۴].

کرنل در سال ۱۹۶۹، با فرض تابع چگالی احتمال^۱ نرمال برای تابع حالت حدی، شاخص قابلیت اعتماد یا شاخص ایمنی را به صورت زیر تعریف کرد:

$$\beta = \frac{\mu_M}{\sigma_M} \quad (۱-۳)$$

که در آن μ_M و σ_M به ترتیب، میانگین و انحراف معیار تابع حاشیه ایمنی M می باشد. β ، معکوس ضریب پراکندگی M است. تعریف دیگری از شاخص قابلیت اعتماد اینکه کوتاهترین فاصله از مبدأ تا خط $g=0$ در مختصات Z_Q ، Z_R شاخص قابلیت اعتماد نامیده می شود. این تعریف که توسط هاسوفر و لیند^۲ در سال ۱۹۷۴ ارائه شد در شکل زیر نشان داده شده است



شکل (۱-۳): تعریف شاخص ایمنی

بنابراین شاخص قابلیت اعتماد (کوتاهترین فاصله) از رابطه زیر بدست می آید:

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_Q}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_Q^2}} \quad (۲-۳)$$

در صورتی که متغیرهای تصادفی ظرفیت R و تقاضای Q ، توزیع نرمال داشته باشند شاخص قابلیت

اعتماد و احتمال خرابی با رابطه زیر به یکدیگر وابسته هستند:

$$\beta = -\Phi^{-1}(P_f) \dots or \dots P_f = \Phi(-\beta) \quad (۳-۳)$$

^۱ PDF

^۲ Hasofer & Lind

۳-۳) روش مقدار میانگین

۳-۳-۱) توابع حالت حدی خطی

یک تابع خطی برای سطح خرابی به شکل زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$g(x_1, x_2, \dots, x_n) = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i \quad (3-4)$$

در فرمول فوق ترم‌های a_i ثابت و متغیرهای تصادفی X_i غیر همبسته می‌باشد. مقدار β برای معادله

$$\beta = \frac{a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \mu_{xi}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i \sigma_{xi})^2}} \quad (3-5)$$

بدست آمده از این رابطه وابسته به میانگین و انحراف معیار متغیرهای تصادفی است. از این رو این

β شاخص قابلیت اعتماد لنگر دوم نامیده می‌شود. این فرمول وقتی دقیق است که متغیرهای تصادفی

همگی دارای توزیع نرمال و غیر وابسته باشند. در غیر این صورت این معادله تنها یک مقدار حدودی

برای β می‌دهد [۲۲].

۳-۳-۲) توابع حالت حدی غیر خطی

در این قسمت یک روش تقریبی برآورد یک تابع کلی بررسی می‌شود. فرض می‌شود تابع عملکرد Y

یک تابع غیر خطی کلی از متغیر تصادفی $x_i, i=1, 2, \dots, n$ باشد. می‌توان برای محاسبه میانگین و

واریانس Y از بسط سری تیلور Y استفاده نمود تا تابع عملکرد را خطی نمود و آنگاه می‌توان میانگین

و واریانس قسمت خطی شده تابع را تخمین زد.

بسط سری تیلور به صورت زیر می‌باشد:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) = f(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) + \sum (X_i - x_i^*) \frac{\partial f}{\partial X_i} \quad (3-6)$$

در فرمول فوق مقادیر x_i^* (مقادیر معین) مقادیر نقطه طراحی (ارزیابی در نقطه میانگین) متغیر

تصادفی X_i هستند، با استفاده از این مقادیر تابع Y خطی می‌شود [۲۲].

۳-۴) روش‌های تعیین شاخص قابلیت اعتماد یا احتمال خرابی اعضا

۳-۴-۱) مقدمه

پس از آنکه پارامترهای آماری مورد نیاز برای تک تک متغیرهای تصادفی که بطور مستقیم و غیر مستقیم در توابع حالت حدی حضور دارند مشخص گردید، می توان توسط روشهای مختلفی احتمال خرابی یا شاخص قابلیت اعتماد متناظر با آنرا برای عضو مورد نظر و با توجه به نوع تابع حالت حدی تعریف شده (خطی یا غیرخطی بودن آن)، تعیین نمود.

روشهای رایج به دو صورت می باشند [۸]:

۱) روشهای تحلیلی:

در این روشها معمولاً "احتمال خرابی یا شاخص قابلیت اعتماد مربوط به یک تابع حالت حدی با استفاده از یکسری روابط تحلیلی یا روندهای تکراری و یا انتگرالگیری عددی محاسبه می گردد. از جمله این روشها می توان به روش شاخص قابلیت اعتماد مرتبه اول لنگر دوم مقدار میانگین، روشهای انتگرال گیری عددی و روش هاسوفر لیند یا راکویتز- فیسلر اشاره کرد.

در تحقیق پیش رو با استفاده از روش راکویتز فیسلر به تعیین شاخص قابلیت اعتماد اعضای فولادی (در حالات حدی خمش، برش، کشش و فشار) پرداخته می شود.

۲) روشهای عددی:

در روشهای عددی که همگی اقتباس شده از روش مونت کارلو می باشند، ابتدا از روی یکسری اعداد تصادفی مقادیری برای تک تک متغیرهای تصادفی (با توجه به تابع توزیعشان) تولید می گردد، سپس هر بار مقادیر تولید شده در تابع حالت حدی جاگذاری می شوند و در نهایت تعداد دفعاتی که تابع حالت حدی از صفر کوچکتر شده باشد (اثرات بارهای وارده از مقاومت عضو بیشتر گردد) شمرده می -

شوند و بر تعداد کل دفعات آزمایش تقسیم گردیده و به این ترتیب مقدار احتمال خرابی عضو بدست می آید.

۳-۴-۲) آنالیز مونت کارلو

یکی از روشهای قدرتمند و در عین حال ساده عددی در تعیین احتمال خرابی اعضا، روش مونت کارلو می باشد. اساس آنالیز مونت کارلو در تولید مجموعه‌ای از اعداد تصادفی است. اعداد تصادفی تولید شده یکنواخت دارای این خاصیت هستند که برای فاصله‌ای انتخابی (برای مثال از ۰ تا ۱) احتمال وقوعشان در هر جای این فاصله یکسان است، لذا این اعداد تصادفی دارای تابع چگالی احتمال یکنواخت می‌باشند. از معایب این روش حجم عملیات عددی زیاد و وقت گیر بودن آن است. چراکه به عنوان مثال اگر میزان خرابی یک عضو سازه‌ای را با استفاده از روش‌های تحلیلی برای تابع حالت حدی مشخصی در حدود ۰.۰۱ تخمین بزنیم، طبق رابطه (۳-۷) برای رسیدن به چنین احتمالی خرابی‌ای، باید در حدود ۹۹۰۰ مقدار تصادفی مورد ارزیابی قرار گیرند.

$$N = \frac{1 - P_{true}}{V_{\bar{P}}^2(P_{true})} = \frac{1 - 10^{-2}}{(0.1)^2(10^{-2})} = 9900 \quad (۳-۷)$$

که در آن N ، تعداد نمونه‌های مورد نیاز برای رسیدن به احتمال خرابی P_{true} و P_{tru} ، احتمال خرابی مورد نظر و $V_{\bar{P}}$ ، ضریب تغییرات مربوط به تخمین احتمال خرابی است.

آنالیز مونت کارلو ابزاری است که ما را به تحلیل آماری عدم قطعیت‌های موجود در مسائل مهندسی قادر می‌سازد. این روش بخصوص در مسائل پیچیده که متغیرهای تصادفی زیادی توسط معادلات غیر خطی به یکدیگر مرتبط شده‌اند، بسیار مفید می‌باشد.

توضیح مفصل‌تر این آنالیز خارج از موضوع این تحقیق می باشد، لذا جهت مطالعه بیشتر در این زمینه خواندن مراجع [۱۹]، و [۲۴] و [۲۲]. به خواننده پیشنهاد می گردد.

۳-۴-۳) روش راکویتز- فیسلر^۱

در روش راکویتز- فیسلر مراحل زیر جهت تعیین کوتاهترین فاصله مرز خرابی تا مبدا متغیرهای کاهش یافته (که همان شاخص قابلیت اعتماد سازه است) انجام می گیرد.

(۱) تابع حالت حدی را تشکیل داده و سپس توزیعات احتمال و پارامترهای مناسب برای هر متغیر تصادفی را مشخص می نمائیم.

(۲) نقطه طراحی اولیه، $\{X_i^*\}$ را با فرض مقادیری برای $(n-1)$ متغیر، در نظر می گیریم. (معمولاً انتخاب میانگین ها برای شروع محاسبات مناسب می باشد). با جایگذاری مقادیر در معادله $g=0$ (که همان مرز خرابی است) و حل آن، مقدار تنها متغیر تصادفی باقی مانده را بدست می آوریم. این عمل در حقیقت تضمین کننده آن است که نقاط طراحی بر روی مرز خرابی قرار گیرند.

(۳) برای هریک از مؤلفه های نقطه طراحی، X_i^* ، که توزیع غیر نرمال داشته باشند، پارامترهای معادل نرمال، یعنی μ_X^e و σ_X^e را تعیین می نماییم، برای این منظور می توان از معادلات زیر استفاده نمود. توجه داشته باشید، که اگر یک X_i^* ، یا چند تا از آنها دارای توزیع نرمال باشند، دیگر نیازی به محاسبه میانگین و انحراف معیار معادل نرمال، برای آنها نمی باشد، چراکه میانگین و انحراف معیار معادل اینگونه متغیرها با مقدار اولیه شان برابر می باشد.

$$\mu_X^e = X^* - \sigma_X^e [\Phi^{-1}(F_X(X^*))] \quad (۸-۳)$$

$$\sigma_X^e = \frac{1}{f_X(X^*)} \phi\left(\frac{X^* - \mu_X^e}{\sigma_X^e}\right) = \frac{1}{f_X(X^*)} \phi[(\Phi^{-1}(F_X(X^*)))] \quad (۹-۳)$$

که در آن Φ تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد (CDF) و ϕ تابع چگالی احتمال (PDF) مربوط به توزیع نرمال و $f_X(X)$ و $F_X(X)$ به ترتیب تابع چگالی احتمال و تابع توزیع تجمعی متغیر تصادفی با توزیع غیر نرمال باشد.

¹ Rackwitz-Fiessler 1978

(۴) مقدار متغیرهای کاهش یافته $\{Z_i^*\}$ ، را برای $\{X_i^*\}$ هایی که در مرحله (۲) برای نقطه

طراحی بدست آمد، با استفاده از معادله زیر تعیین می‌نماییم.

$$Z_i^* = \frac{X_i^* - \mu_{X_i}^e}{\sigma_{X_i}^e} \quad (۱۰-۳)$$

(۵) مشتقات جزئی تابع حالت حدی (g) را نسبت به متغیرهای کاهش یافته تعیین می‌نماییم.

برای سهولت کار می‌توان بردار ستونی $\{G\}$ را بنحوی تعریف نمود که مولفه‌های آن مشتقات g نسبت

به متغیرهای کاهش یافته باشند، که البته در (۱-۱) ضرب شده‌اند.

$$\{G\} = \begin{Bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ \vdots \\ G_n \end{Bmatrix} \longrightarrow G_i = - \left. \frac{\partial g}{\partial Z_i} \right|_{\text{در نقطه طراحی}} \quad (۱۱-۳)$$

$$\frac{\partial g}{\partial Z_i} = \frac{\partial g}{\partial X_i} \cdot \frac{\partial X_i}{\partial Z_i} = \frac{\partial g}{\partial X_i} \sigma_{X_i}^e \quad (۱۲-۳)$$

(۶) یک مقدار تقریبی برای β با استفاده از فرمول زیر بدست می‌آوریم.

$$\beta = \frac{\{G\}^T \{Z^*\}}{\sqrt{\{G\}^T \{G\}}} \longrightarrow \{Z^*\} = \begin{Bmatrix} Z_1^* \\ Z_2^* \\ \vdots \\ Z_n^* \end{Bmatrix} \quad (۱۳-۳)$$

بالا نویس T در رابطه (۱۳-۳) نشان دهنده ترانپوز می‌باشد.

برای توابعی که بصورت خطی باشند، معادله (۱۳-۳) بشکل ساده زیر در می‌آید.

$$\beta = \frac{a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \mu_{X_i}^e}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i \sigma_{X_i}^e)^2}} \quad (۱۴-۳)$$

(۷) بردار ستونی $\{\alpha\}$ را که شامل ضرایب حساسیت می‌شود، با استفاده از معادله زیر بدست می

آوریم:

$$\{\alpha\} = \frac{\{G\}}{\sqrt{\{G\}^T \{G\}}} \quad (۱۵-۳)$$

(۸) یک نقطه طراحی جدید برای $(n-1)$ عدد از متغیرهای کاهش یافته و با استفاده از معادله زیر تعیین می نماییم. توجه کنید که مقدار β در این مرحله باید برابر مقدار جدید آن که در مرحله (۶) بدست آمد در نظر گرفته شود.

$$Z_i^* = \alpha_i \beta \quad (۱۶-۳)$$

(۹) برای این $(n-1)$ مؤلفه از نقطه طراحی در دستگاه متغیرهای کاهش یافته، $(n-1)$ مؤلفه متناظر با آن (X_i^* ها) را در دستگاه اصلی بدست می آوریم.

$$X_i^* = \mu_{X_i} + Z_i^* \sigma_{X_i} \quad (۱۷-۳)$$

(۱۰) در این مرحله می توان با داشتن مقادیر X_i^* برای $(n-1)$ متغیر و جایگذاری این مقادیر در تابع حالت حدی و برابر صفر قرار دادن آن، مقدار متغیر باقی مانده را بدست آوردیم.

(۱۱) مراحل (۳) تا (۱۰) را آنقدر تکرار می کنیم، تا مقادیر β و $\{X_i^*\}$ همگرا شوند [۲۲].

۳-۴-۱) متغیرهای تصادفی وابسته

چنانچه متغیرهای تصادفی که در یک تابع حالت حدی وجود دارند، نسبت به هم همبسته باشند (مثلاً "بین تنش فشاری یک عضو با تنش کمانشی قابل تحمل آن عضو همبستگی وجود داشته باشد) روابط (۳-۱۳) و (۳-۱۵) بصورت زیر تبدیل خواهند شد، که در آنها ماتریس $[\rho]$ نشان دهنده ضرایب همبستگی بین متغیرهای تصادفی می باشد [۲۲].

$$\beta = \frac{\{G\}^T \{Z^*\}}{\sqrt{\{G\}^T \{G\}}} \longrightarrow \beta = \frac{\{G\}^T \{Z^*\}}{\sqrt{\{G\}^T [\rho] \{G\}}} \quad (۱۸-۳)$$

$$(\alpha) = \frac{\{G\}}{\sqrt{\{G\}^T \{G\}}} \longrightarrow (\alpha) = \frac{[\rho] \{G\}^T}{\sqrt{\{G\}^T [\rho] \{G\}}} \quad (۱۹-۳)$$

فصل چهارم: مشخصات آماری متغیرهای بار و مقاومت

۴-۱) مقدمه

بنا به دلایل مختلف از قبیل عدم قطعیت و پراکندگی هر کدام از متغیرها و همچنین عدم قطعیت‌های موجود در معادلات طراحی، مقاومت یک عضو فولادی ممکن است عملاً با مقدار محاسبه شده یا مقدار اسمی آن متفاوت باشد. همچنین عدم قطعیت‌های موجود در بارهای وارده، عملاً مقدار واقعی بار را با مقدار اسمی آن متفاوت می‌کند که در نتایج طراحی بسیار مؤثر است. بعضی از عدم قطعیت‌ها اهمیت بسیاری در فرآیند تعیین شاخص قابلیت اعتماد دارند و برخی دیگر اثر آنها به گونه‌ای کم است که می‌توان از آنها چشم‌پوشی کرد. عدم قطعیت‌ها بسته به نوع کنترل کیفیت و شرایط آب و هوایی و اقلیمی، اثرات متفاوتی بر قابلیت اعتماد می‌گذارند. متغیرهای آماری موجود در اعضای فولادی را می‌توان به دو دسته کلی متغیرهای بار و متغیرهای مقاومت تقسیم نمود.

۴-۲) مدل‌های بار

یک بار کلی Q_i که برای انجام تحلیل ایمنی باید مدل شود، توسط رابطه زیر بیان می‌شود:

$$Q_i = A_i \cdot B_i \cdot C_i \quad (۴-۱)$$

در این رابطه A_i بیانگر خود بار، B_i بیانگر تغییر ناشی از مدی که فرض شده بار به آن صورت عمل می‌کند و C_i هم بیانگر تغییر ناشی از روش‌های تحلیل می‌باشد. برای انجام تحلیل ایمنی یک تیر، دانستن حداقل مقادیر میانگین و واریانس Q_i احتیاج می‌باشد. میانگین، ضریب انحراف و ضریب تغییرات Q_i به صورت زیر می‌باشد [۲۲]:

$$\mu_Q \approx \mu_A \cdot \mu_B \cdot \mu_C \quad (۴-۲)$$

$$\lambda_Q \approx \lambda_A \cdot \lambda_B \cdot \lambda_C \quad (۴-۳)$$

$$V_Q \approx \sqrt{V_A^2 + V_B^2 + V_C^2} \quad (۴-۴)$$

۴-۳) انواع بارها

بارها به صورت‌های متفاوتی به سازه وارد می‌شوند. این بارها برحسب نوع اطلاعات آماری موجود و مشخصات پدیده بار، می‌توانند به سه دسته تقسیم شوند.

گروه ۱: در این گروه، شدت بارها در طول زمان ثابت است و مقدار آن بستگی به زمان ندارد، بار مرده و بار زنده دایمی مثالهایی از این دسته‌اند.

گروه ۲: در این گروه، شدت بار در یک بازه زمانی تعریف می‌شود در نتیجه این بارها به زمان بستگی دارند، بارهای باد، برف و بار زنده گذرا مثالهایی از این نوع هستند.

گروه ۳: اطلاعات مربوط به این نوع بارها از اندازه گیری‌های کمیابی به دست می‌آیند چون این بارها در دوره زمانی معینی بوقوع نمی‌پیوندند. این بارها در مدت زمان کوتاهی اثر می‌کنند مانند زلزله] [۲۲،۲.

۴-۴) بار مرده

بار مرده در طراحی عموماً "بصورت ثقلی به سازه وارد می‌شود که شامل وزن اجزاء سازه و وزن قسمت‌های غیر سازه‌ای که بطور دائم به سازه متصل هستند می‌باشد. بار مرده از توزیع احتمالی نرمال پیروی می‌کند و فرض می‌شود شدت آن در طول عمر سازه مقداری ثابت است.

جدول (۴-۱) برخی پارامترهای احتمالی را نشان می‌دهد [۲۲،۲].

جدول (۴-۱): پارامترهای آماری بار مرده

نوع سازه	ضریب انحراف بار مرده	انحراف معیار بار مرده	ضریب تغییرات بار مرده
ساختمان‌ها	۱.۰۰	۰.۰۹-۰.۰۶	۰.۱۰-۰.۰۸
پل‌ها	۱.۰۵-۱.۰۳	۰.۰۸-۰.۰۴	۰.۱۰-۰.۰۸

۴-۵) بار زنده در ساختمان‌ها

۴-۵-۱) بار زنده طراحی (اسمی)

بار زنده نشان دهنده وزن افراد، مبلمان، پارتیشن‌های متحرک، اسباب و اثاث و... می‌باشد که معمولاً به صورت بار گسترده یکنواخت فرض می‌شود. بزرگی بار زنده بستگی به کاربرد فضای اشغال شده دارد. برای مثال شدت بار زنده طبق *ASCE / ANSI Standard 7.95* از 10 psf (0.48 kn/m^2) برای اتاق‌های مسکونی تا 250 psf (11.97 kn/m^2) برای انبارهای روی سقف می‌باشد.

ASCE 7.95 ضریب تقلیل شدت بار زنده را تابعی از سطح تأثیر معرفی می‌کند. سطح تأثیر و سطح بارگیر باهم متفاوتند، سطح بارگیر برای محاسبه بار زنده تیرها و ستون‌ها بکار می‌رود و سطح تأثیر برای مشخص نمودن ضریب کاهش شدت بار زنده به کار می‌رود.

وقتی سطح تأثیر (A_I) بزرگتر از 400 ft^2 (37.16 m^2) باشد مقدار بار زنده طراحی (اسمی) L_n از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$L_n = L_0 \cdot \left(0.25 + \frac{4.75}{\sqrt{A_I}}\right) \rightarrow \frac{kN}{m^2} \quad (۴-۵)$$

که L_0 بار زنده طراحی گرفته شده از آیین نامه می‌باشد.

برای استفاده از معادله بالا چند شرط وجود دارد که جزئیات آن در *ASCE* آمده است.

از نظر آماری بهتر است که بار زنده را به دو دسته بار زنده پایدار (ثابت) و بار زنده ناپایدار (گذرا) تجزیه کنیم [۲،۲۴،۲۲].

۴-۵-۱-۱) بار زنده پایدار (ثابت)

بار زنده پایدار شامل اسباب و اثاث منزل، پارتیشن و نظایر آنها که برای مدت طولانی شدت آن ثابت می‌ماند. بار زنده پایدار همچنین به عنوان یک بار زنده (L_{apt}) شناخته می‌شود که عبارت است از باری که عمدتاً به صورت تیپ در یک دفتر، آپارتمان، مدرسه، هتل و جاهای مشابه آنها وجود دارد.

تحقیقات انجام شده توسط کرنل ۱۹۸۰، گالامبس^۱ ۱۹۷۷، الینگوود^۲ ۱۹۷۷ و اورتیس و دوشی^۳ ۱۹۷۷ نشان داده است که می‌توان بار زنده پایدار را به عنوان یک متغیر تصادفی با توزیع گاما مدل کرد. جدول (۲-۴) بعضی مقادیر نمونه از ضریب انحراف و ضریب تغییرات بار زنده پایدار را به عنوان تابعی از سطح تأثیر ارائه می‌نماید [۲،۲۲].

جدول (۲-۴): داده‌های آماری برای بار زنده پایدار به عنوان تابعی از سطح تأثیر

ضریب تغییرات	ضریب انحراف	سطح تأثیر (ft^2)
۰.۵۹-۰.۸۹	۰.۲۴	۲۰۰
۰.۲۶-۰.۵۵	۰.۳۳	۱۰۰۰
۰.۲۰-۰.۴۶	۰.۵۲	۵۰۰۰
۰.۱۸-۰.۴۵	۰.۶۰	۱۰۰۰۰

۴-۵-۱-۲) بار زنده ناپایدار (گذرا)

بار زنده گذرا یا ناپایدار شامل وزن افرادی که ممکن است در یک مدت کوتاه در محلی جمع شوند و یا وزن وسایلی که برای مدت کوتاهی در یک اتاق انبار شوند. تعریف فوق با این فرض است که تمام افراد در یک اتاق جمع باشند یا اینکه تمام مبلمان در یک اتاق انبار شده باشند. از آنجایی که بار کمیاب است و پیش‌بینی وقوع آن مشکل می‌باشد لذا این بار به عنوان یک بار ناپایدار شناخته می‌شود. همانند بار زنده پایدار، بار زنده ناپایدار هم تابعی از سطح تأثیر می‌باشد [۲،۲۲].

۴-۵-۲) بار زنده ماکزیمم

برای انجام طراحی لازم است که نحوه ترکیب بارهای زنده پایدار و ناپایدار در طول مدت عمر سازه (۵۰-۱۰۰ سال) مورد ملاحظه قرار گیرد.

خصوصیات احتمالی بار زنده ماکزیمم به متغیرهای بار زنده ناپایدار، مدت اثر بار زنده دایمی (پایدار)، طول عمر سازه و احتمالات مربوط به متغیرهای تصادفی وابسته است.

¹ Galambos

² Ellingwood

³ Orotis & Doshi

بار زنده ماکزیمم را می‌توان توسط توزیع حدی نوع I برای محدوده مقادیر احتمالی که معمولاً مطالعات ایمنی مورد ملاحظه قرار می‌گیرند مدل نمود. ضرایب تغییرات بار زنده حداکثر در جدول (۳-۴) نشان داده شده است [۱۵].

جدول (۳-۴): ضرایب تغییرات حداکثر بار زنده ۵۰ ساله

ضریب تغییرات	سطح تأثیر (ft^2)
۰.۱۴-۰.۲۳	۲۰۰
۰.۱۳-۰.۱۸	۱۰۰۰
۰.۱۰-۰.۱۶	۵۰۰۰
۰.۰۹-۰.۱۶	۱۰۰۰۰

۴-۶ بارهای محیطی

۴-۶-۱ بار باد

اثر باد روی سازه تابعی است از پارامترهایی نظیر سرعت باد، جهت وزش باد، هندسه سازه، ارتفاع سازه و غیره. برای طراحی ابتدا می‌بایست فشار باد را روی سطح سازه محاسبه کرده و سپس این فشار را به بار تبدیل نماییم.

نیروی باد وارد بر سازه‌ها طبق آئین‌نامه بارگذاری ایران (نسخه ۱۳۸۰) از روابط زیر بدست می‌آید:

$$F = P.A \quad (۴-۵)$$

$$P = C_e.C_q.q \quad (۴-۶)$$

$$q = 0.005.V^2 \quad (۴-۷)$$

در فرمول‌های فوق V سرعت مبنای باد بر حسب کیلو متر بر ساعت، q : فشار مبنای باد بر حسب دکانیوتن بر متر مربع، C_e : ضریب اثر تغییر سرعت، C_q : ضریب شکل، P : فشار یا مکش ناشی از باد، A : مساحت سطحی از ساختمان که فشار یا مکش P به آن وارد می‌شود و F نیروی ناشی از باد است [۲۴].

فرمول‌های مورد استفاده برای تعیین فشار باد مؤثر بر سازه‌ها در ایالات متحده به صورت زیر است:

$$P_z = q_z \cdot G \cdot C \quad (۸-۴)$$

$$q_z = 0.00256 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot V^2 \rightarrow Pa \quad (۹-۴)$$

در فرمول‌های فوق p_z فشار طراحی، q_z سرعت فشار، k_z یک ضریب نمایش از سرعت فشار، k_{zt} یک ضریب مکان نگاری است، V سرعت پایه باد، I ضریب اهمیت، G ضریب تندباد و C هم یک ضریب فشار است [۱۰].

انجام تحلیل‌ها بر داده‌های سرعت باد پیشنهاد می‌کند که بزرگترین سرعت باد سالیانه در یک منطقه خاص تمایل به تبعیت از توزیع مقدار حدی نوع I دارد [۲۶].

از آنجایی که فشار باد براساس آیین نامه ایران و آمریکا به جای تناسب با V با مربع V متناسب است لذا توزیع بار باد ضرورتاً از توزیع مقدار حدی نوع I تبعیت نمی‌نماید. تحقیقات انجام شده توسط الینگوود و همکارانش نشان می‌دهند که بار باد حداکثر از توزیع گامبل پیروی می‌کند.

۴-۶-۲ بار برف

وزن برف روی پشت بام‌ها می‌تواند یک بار مهم باشد که برای سازه‌های واقع در مناطق کوهستانی و مناطق برفی باید مورد توجه و بررسی قرار گیرد. برای اهداف طراحی، بار برف روی یک پشت بام، اغلب براساس اطلاعات موجود درباره پوشش برف زمین محاسبه می‌شود. بار برف پشت بام برای پشت بام-های صاف (حداکثر شیب پنج درصد است) را می‌توان با استفاده از فرمول زیر محاسبه نمود:

$$P_f = 0.7 \cdot C_e \cdot C_t \cdot I \cdot P_g \quad (۱۰-۴)$$

در فرمول بالا C_e بیانگر ضریب نمایانی، C_t بیانگر ضریب حرارتی، I ضریب اهمیت، P_g بیانگر بار برف زمین (بر حسب کیلو نیوتون بر متر مربع) می‌باشد.

برای پشت بام‌های شیبدار بار برف با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$P_s = C_s \cdot P_f \quad (۱۱-۴)$$

در فرمول فوق C_S بیانگر ضریب شیب پشت بام و Pf بیانگر بار برف مربوط به پشت بام بدون شیب می‌باشد.

مطالعات آماری الینگوود^۱ پیشنهاد می‌نمایند که برای مقادیر تابع توزیع تجمعی بالاتر از مقدار ۰.۹، تابع توزیع حدی نوع II تناسب دارد. اگر همه متغیرهای تصادفی موجود در معادلات (۴-۱۰) و (۴-۱۱) فرض شود دارای توزیع لگ-نرمال غیر وابسته باشند، آنگاه بار برف دارای توزیع لگ-نرمال می‌باشد [۱۶].

۴-۶-۳) بار زلزله

طراحی در برابر زلزله، براساس یک فلسفه طراحی است که با دیگر بارهای طراحی متفاوت است. برای بارهایی از قبیل باد و برف، واقعه طراحی براساس یک فاصله بازگشت میانگین ۵۰ ساله تعریف می‌شود و این موضوع مورد انتظار است که در دوره بازگشت سازه خراب نمی‌شود و تحت حالات بار بحرانی فقط مقدار کمی آسیب می‌بیند.

پارامتر مورد استفاده برای به کمیت درآوردن شدت حرکت زمین عبارت است از شتاب مؤثر حداکثر زمین (PGA). در مطالعات ایمنی، شتاب زمین (A) عموماً به عنوان یک متغیر تصادفی مدل می‌شود و برای بررسی آن طبق پیشنهاد کرنل^۲ در سال ۱۹۶۸ تابع توزیع احتمال مقدار حدی نوع II معرفی شده است. در ادبیات لرزه‌ای تحلیل ریسک، اغلب به جای تابع توزیع فوق، از تابع توزیع تجمعی مکمل نوع II (CDF) استفاده می‌شود. فرم ریاضی تابع مکمل $G_A(a)$ توسط رابطه زیر بیان می‌شود:

$$G_A(a) = 1 - F_A(a) = 1 - e^{-(u/a)^K} \quad (۴-۱۲)$$

تابع چگالی احتمال متغیر تصادفی شتاب حداکثر A به صورت زیر می‌باشد:

$$g_A(a) = \frac{K}{a} \cdot \left(\frac{u}{a}\right)^{K-1} \cdot e^{-(u/a)^K} \quad (۴-۱۳)$$

^۱ Ellingwood

^۲ Cornell

در رابطه (۴-۱۳)، A متغیر تصادفی بیانگر شتاب زمین و u و k هم پارامترهای توزیع می‌باشند. در ایالات متحده، مطالعات نشان داده‌اند که پارامتر k به منطقه وابسته است و مقدارش از ۲/۳ در شرقی‌ترین قسمت ایالات متحده تا ۳/۳ در غربی‌ترین قسمت ایالات متحده تغییرات دارد [۱۵، ۱۸]. در این پایان‌نامه برای بررسی بار زلزله کشور ایران، پس از تهیه اطلاعات شتاب‌نگاشت مربوط به شتاب زلزله از سازمان مربوطه در استان تهران، این اطلاعات برای شهرهای انتخابی از مناطق مختلف کشور مورد ارزیابی قرار گرفتند. اطلاعات فوق برای یک دوره تقریباً ۵۰ ساله هستند.

بعد از طی مرحله فوق داده‌های مربوط برای هر شهر بطور جداگانه در فایل‌هایی تحت عنوان شهر مربوطه ذخیره کردیم و مقادیر ضریب تغییرات و میانگین شتاب نگاشت بیشینه هر شهر تعیین شد و با توجه به این مقادیر، مقدار ضریب انحراف با استفاده از رابطه زیر برای هر شهر بدست آمد:

$$\lambda = \frac{\mu_X}{A'} \quad (۴-۱۴)$$

در رابطه بالا μ_X مقدار میانگین بیشینه شتاب‌ها در هر شهر و A' مقدار اسمی بیشینه شتاب است که از آیین نامه زلزله بدست می‌آید. سپس با استفاده از رابطه‌های زیر، k و u برای هر شهر بدست آید:

$$\mu_X = u \cdot \Gamma(1 - \frac{1}{K}) \quad (۴-۱۵)$$

$$V_X^2 = \frac{\Gamma(1 - \frac{2}{K})}{\Gamma^2(1 - \frac{1}{K})} - 1 \quad (۴-۱۶)$$

در رابطه (۴-۱۶)، V_X ضریب تغییرات بیشینه شتاب‌ها می‌باشد. نتایج در جدول (۴-۴) نشان داده شده است.

$$\mu_X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (۴-۱۷)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2}{n} - \mu_X^2 \quad (۴-۱۸)$$

$$V_X = \frac{\sigma_X}{\mu_X} \quad (۴-۱۹)$$

حال چنانچه ضریب تغییرات بیشینه شتاب‌ها و میانگین شتاب‌نگاشت‌های شش شهر با زلزله خیزی متفاوت را بدست آوریم، از رابطه‌های (۴-۱۵) و (۴-۱۶) می‌توان پارامترهای k و u را برای کشور ایران بدست آورد. بعد با استفاده از روابط (۴-۱۲) و (۴-۱۳) تابع توزیع تجمعی و تابع چگالی احتمال متغیر تصادفی A حاصل می‌شود.

جدول (۴-۴): مقادیر پارامترهای توزیع

پارامتر توزیع	تهران	اصفهان	سیستان	بیرجند	ایلام	ارومیه	کشور ایران
V_X	۱.۳۲۸۲	۱.۳۱۴۳	۰.۹۶۷۷	۱.۶۱۶۰۶۴	۱.۵۴۲۷	۰.۹۶۰۸۵	۱.۳۰۶۵۶۸
λ_X	۰.۷۱۶۱۱۲	۱.۴۵۲۸	۰.۹۵۰۱۷	۱.۴۰۱۷	۱.۵۷۹۲	۰.۹۰۶	۰.۶۹۴۷۴۴
K	۲.۳۲۲۵	۲.۳۲۸۵	۲.۵۶۲	۲.۲۲۴۹	۲.۲۴۵	۲.۵۷۵	۲.۳۳۱۷
U	۰.۴۵۹۲۹	۰.۹۳۰۷	۰.۶۴۷۵۵	۰.۸۶۸۱۷	۰.۲۴۶۳	۰.۸۹۴۷	۰.۴۴۵۵

۴-۷) پارامترهای احتمالاتی متغیرهای بار

آقای الینگوود و همکارانش در سال ۱۹۸۰ میلادی پارامترهای احتمالاتی متغیرهای بار را به شرح جدول (۴-۵) ارائه نموده‌اند. همچنین با فرض انطباق ترکیب بارها بر مدل ارائه شده توسط ترک استرا در سال ۱۹۷۰ میلادی، احتمال وقوع همزمان بارهای بحرانی طی طول عمر سازه ناچیز در نظر گرفته شده است [۱۵].

جدول (۴-۵): پارامترهای احتمالاتی متغیرهای تصادفی بار

متغیر تصادفی	توزیع احتمالات	ضریب تغییرات	ضریب انحراف
بار مرده (D)	نرمال	۰/۱۰	۱/۰۵
بار زنده حداکثر طول عمر (L_{Max})	حدی نوع I	۰/۲۵	۱/۰
بار زنده لحظه‌ای (L_{apt})	گاما	۰/۸	۰/۲۴
بار برف حداکثر طول عمر (S_{Max})	حدی نوع II	۰/۲۶	۰/۸۲
بار برف سالیانه (S_{ann})	لگ نرمال	۰/۷۳	۰/۲۰
بار باد حداکثر طول عمر (W_{Max})	حدی نوع I	۰/۳۷	۰/۷۸
بار زلزله حداکثر طول عمر (E_{Max})	حدی نوع II	۱/۳۸	۰/۷۵

۴-۸) ترکیبات بار

۴-۸-۱) تغییرات زمانی

تغییر زمانی بارها و امکان رخداد همزمان بارها به شدت در تحلیل ایمنی سازه‌ها مهم می‌باشد. به طور کلی هر یک از مؤلفه‌های بار تابعی از زمان است و با زمان تغییر می‌کند و بنابراین محاسبه تابع توزیع تجمعی برای کل بار خیلی مشکل است. همانطور که قبلاً گفته شد راحت‌تر هستیم تا کل بار Q را به عنوان مجموعه‌ای از مؤلفه‌های بار مجزای Q_i از قبیل بار مرده، بار زنده، بار باد، بار برف و بار زلزله مدل کنیم [۲،۲۲].

۴-۸-۲) قانون ترک استرا^۱

قانون ترک استرا یک روش عملی برای مدل کردن ترکیبات بار می‌باشد، روش براساس این مشاهده بنا نهاده شده است که وقتی یک مؤلفه بار به یک مقدار اکسترمم می‌رسد، دیگر مؤلفه‌های بار اغلب در مقادیر متوسطشان اثر می‌نمایند، به عبارت دیگر امکان اینکه دو یا بیش از دو تا از مؤلفه‌های بار به طور همزمان در مقادیر اکسترمم خود اثر نمایند بعید است به گونه‌ای که از آن صرف‌نظر شده است [۲،۲۲].

$$Q_{Max} = D_{Max} + \text{Max} \begin{cases} L_{Max} + S_{ann} \\ L_{apt} + S_{Max} \\ L_{apt} + S_{ann} + W_{Max} \\ L_{apt} + S_{ann} + E_{Max} \end{cases} \quad (۴-۲۰)$$

^۱ Turkstra

۴-۹) پارامترهای مقاومت عناصر سازه‌ای

ظرفیت باربری یک سازه بستگی کامل به مقاومت اعضا و اتصالات آن دارد. مقاومت یک عضو معمولاً با R که تابعی از جنس و هندسه مقطع و اندازه آن می‌باشد نشان داده می‌شود. اگرچه در طراحی، این مقادیر ثابت در نظر گرفته می‌شوند ولی در حقیقت پارامترهای تصادفی می‌باشند. بنابراین مقاومت R نیز یک متغیر تصادفی است.

منابع ممکن ایجاد عدم قطعیت در مقاومت را می‌توان به سه گروه زیر تقسیم نمود:

- مشخصات مکانیکی مواد: عدم قطعیت موجود در مقاومت مواد، مدول الاستیسیته، تنش‌های ترک خوردگی و ترکیبات شیمیایی.

- ساخت: عدم قطعیت در اندازه عضو که می‌تواند روی مرکز سطح، ممان اینرسی و مدول مقطع اثر بگذارد.

- تحلیل: عدم قطعیت منتهی از تقریب روش‌ها در محاسبات و فرض برای مدل توزیع تنش- کرنش که هر کدام را می‌بایست مورد بررسی قرار داد.

کمیت مربوط به عدم قطعیت مقاومت اعضا به یکی از روش‌های آزمایش یا مشاهدات بدست آمده از سازه‌های موجود و یا با قضاوت مهندسی تعیین می‌گردد. در آنالیز قابلیت اعتماد غالباً متغیر تصادفی مقاومت به صورت حاصلضرب مقاومت اسمی (R_n) که توسط طراحان مورد استفاده قرار می‌گیرد و سه پارامتر عدم قطعیت فوق‌الذکر مدل می‌شود.

$$R = R_n \cdot M \cdot F \cdot P \quad (۴-۲۱)$$

در رابطه بالا M ، F و P پارامترهایی هستند که به ترتیب بیانگر عدم قطعیت مربوط به مواد، ساخت و آنالیز (ضریب حرفه‌ای) می‌باشند. ضریب مواد به صورت نسبت مقاومت واقعی به مقاومت اسمی تعریف می‌شود. ضریب ساخت به صورت نسبت خواص هندسی (ابعاد، مدول مقطع پلاستیک یا الاستیک، ممان اینرسی) مقطع واقعی به اسمی تعریف می‌شود و نهایتاً ضریب حرفه‌ای به صورت ظرفیت مقطع تست شده به ظرفیت پیش‌بینی شده توسط روابط تعریف می‌شود. مقاومت اسمی یا

طراحی، مقاومتی است که توسط آیین نامه ارائه می‌شود. برای مدل مقاومتی که در معادله بالا ارائه شد مقادیر میانگین، ضریب انحراف و ضریب تغییرات با استفاده از تقریب درجه یک به صورت زیر بیان می‌شود [۲،۲۲].

$$\mu_R = R_n \cdot \mu_M \cdot \mu_F \cdot \mu_P \quad (22-4)$$

$$\lambda_R = \lambda_M \cdot \lambda_F \cdot \lambda_P \quad (23-4)$$

$$V_R = \sqrt{V_M^2 + V_F^2 + V_P^2} \quad (24-4)$$

۴-۱۰) مدلسازی احتمالاتی تیرهای فولادی نورد شده

رفتار تیرهای فولادی غیر کامپوزیت وابسته به تنش جاری شدن فولاد و فشردگی مقطع دارد. پارامترهای آماری متغیرهای تصادفی M ، F و P (ضریب انحراف و ضریب تغییرات) برای اعضای ساختمان‌های فولادی در بررسی‌هایی که در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ میلادی در آمریکا صورت پذیرفت به صورت خلاصه در جدول (۴-۶) آورده شده است [۱۸،۱۵،۲۲].

جدول (۴-۶): پارامترهای آماری المان‌های فولادی نورد شده توسط الینگوود و همکارانش

P		F		M		نوع بارگذاری
ضریب تغییرات	ضریب انحراف	ضریب تغییرات	ضریب انحراف	ضریب تغییرات	ضریب انحراف	
۰	۱/۰۰	۰/۰۵	۱/۰۰	۰/۱۰	۱/۰۵	کشش
۰/۰۶	۱/۰۲	۰/۰۵	۱/۰۰	۰/۱۰	۱/۰۵	خمشی یکنواخت
۰/۰۷	۱/۰۶	۰/۰۵	۱/۰۰	۰/۱۰	۱/۰۵	گرادیان خمشی
۰/۱۰	۱/۰۲	۰/۰۵	۱/۰۰	۰/۱۰	۱/۰۵	تیر ستون

در سال‌های اخیر با توجه به اینکه فرآیند تهیه نیمرخ‌های فولادی تغییر کرده و به تبع آن آیین نامه *ASTM* نیز روش‌های تست خود را تغییر داده است، در فرآیند بروز کردن اطلاعات آماری مربوط به خواص مواد، آزمایش‌هایی جدید با هدف به کار بردن نتایج در آنالیز قابلیت اعتماد و روابط طراحی

آئین‌نامه فولاد آمریکا و کانادا و سایر کشورها انجام داده است. جدول (۷-۴) برخی نتایج به روز شده براساس تحقیقات آقای بارتلت^۱ و همکارانش ارائه شده است [۱۲، ۱۳].

جدول (۷-۴): پارامترهای آماری پیشنهاد شده برای مدل‌سازی مقاومت براساس مطالعات بارتلت و همکارانش

حالت حدی	نوع بارگذاری	تعداد نمونه	نحوه ساخت	M		F		P	
				ضریب انحراف	ضریب تغییرات	ضریب انحراف	ضریب تغییرات	ضریب انحراف	ضریب تغییرات
خمش	خمش یکنواخت	۱۱۷	تیر ورق	۱/۰۶	۰/۰۶	۱/۰۰	۰/۰۵	۱/۰۰	۰/۰۸
خمش	خمش یکنواخت	۱۱۲	نوردشده	۱/۰۶	۰/۰۶	۱/۰۰	۰/۰۵	۰/۹۹	۰/۰۶
خمش	گرادیان خمشی	۲۸	تیر ورق	۱/۰۶	۰/۰۶	۱/۰۰	۰/۰۵	۱/۱۳	۰/۱۱
خمش	گرادیان خمشی	۲۷	نوردشده	۱/۰۶	۰/۰۶	۱/۰۰	۰/۰۵	۱/۱۶	۰/۱۲
برش	نیروی برشی	۱۲۲	تیر ورق	۱/۱۰	۰/۱۱	۱/۱۰۵	۰/۰۱۳	۱/۰۵۱	۰/۱۲۲

متأسفانه اطلاعات آماری جامعی راجع به خواص مواد و مصالح ساختمانی کشور ایران موجود نمی‌باشد و نمی‌توان به صورت دقیق پارامترهای آماری مدنظر برای فولاد تولید داخل را استخراج کرد. فولاد ساختمانی که در ایران تولید و استفاده می‌شود براساس تکنولوژی قدیمی نورد بوده و عموماً از نوع ST37 می‌باشد. طبق بررسی‌هایی که آقای شایانفر و همکارانش در این زمینه انجام داده‌اند، به عنوان یک پیشنهاد از اطلاعات آماری قدیمی سایر کشورها و نتایج آزمایشاتی که به صورت روزانه در کارخانه‌های فولاد کشور صورت پذیرفته برای تخمین اولیه پارامترهای آماری استفاده کردند.

آقای شایانفر و همکارانش برای مطالعه پارامترهای آماری مدل‌سازی مقاومت فولاد مصرفی برای کشور ایران، نتایج روزانه کارخانه‌های نورد فولاد طی دو سال را جمع‌آوری کردند و با توجه به محدودیت‌های موجود برای دسترسی به نتایج آزمایشات، صرفاً نتایج تست جاری شدن ۲۷۹ نمونه به صورت رندم از بین هزاران نتیجه موجود را استخراج کردند. ابعاد نمونه‌ها، سرعت بارگذاری و نحوه انجام

¹ Bartlett

آزمایشات براساس استاندارد ISO 6892، نمونه‌ها از بین مقاطع IPE 120 تا IPE 270 و محل گرفتن نمونه از بال مقاطع انتخاب شده است. براساس این مطالعات دو توزیع نرمال و لگ نرمال برای بدست آوردن توزیع آماری تنش تسلیم فولاد حاصل شده که هر دو تطابق مطلوبی داشته‌اند لیکن توزیع لگ نرمال اندکی مناسب‌تر بوده است [۳].

جدول (۴-۸) پارامترهای آماری پیشنهاد شده برای مدل‌سازی مقاومت در آیین نامه فولاد ایران براساس مطالعات آقای شایانفر و همکارانش

حالت حدی	نوع بارگذاری	نحوه ساخت	M		F		P	
			ضریب انحراف	ضریب تغییرات	ضریب انحراف	ضریب تغییرات	ضریب انحراف	ضریب تغییرات
خمش	خمش یکنواخت	تیر ورق	۱/۱۰	۰/۱۰	۱/۰۰	۰/۰۵	۱/۰۰	۰/۰۸
خمش	خمش یکنواخت	نورد شده	۱/۱۰	۰/۱۰	۱/۰۰	۰/۰۵	۰/۹۹	۰/۰۶
خمش	گرادیان خمشی	تیر ورق	۱/۱۰	۰/۱۰	۱/۰۰	۰/۰۵	۱/۱۳	۰/۱۱
خمش	گرادیان خمشی	نورد شده	۱/۱۰	۰/۱۰	۱/۰۰	۰/۰۵	۱/۱۶	۰/۱۲
برش	نیروی برشی	تیر ورق	۱/۱۰	۰/۱۰	۱/۱۰۵	۰/۰۱۳	۱/۰۵۱	۰/۱۲۲

۴-۱۱) مدل‌سازی احتمالاتی ستون‌های فولادی

اطلاعات آماری برای انجام آنالیز قابلیت اعتماد ستون‌ها به وسیله مطالعات پایه‌ای که Bjorhovde بر روی ستون‌ها انجام داد، فراهم گردیده است. وی نشان داد که استقامت ستون‌های فولادی علاوه بر طول مؤثر، خصوصیات سطح مقطع و خصوصیات مکانیکی فولاد نظیر تنش تسلیم و مدول الاستیسیته، به سه پارامتر ۱) مقدار تنش باقی مانده و توزیع آن، ۲) شکل و مقدار خمیدگی اولیه و ۳) مقاومت نهایی نیز وابسته می‌باشد. نهایتاً پس از بررسی‌های گوناگون سه منحنی برای استقامت ستون‌ها استخراج گردید که به منحنی‌های مقاومت ستون‌ها ۱، ۲ و ۳ SSRC معروف می‌باشند [۳].

منحنی ۲ برای بیشتر مقاطع ستون‌ها به کار برده می‌شود. منحنی ۱ برای ستون‌های قویتر و منحنی ۳ برای ستون‌های سبک‌تر کاربرد دارد. به صورت ایده‌آل باید هر سه دسته منحنی‌ها را برای آنالیز به کار برد لیکن در آیین‌نامه فولاد آمریکا صرفاً یک دسته از منحنی‌ها برای مدل‌سازی در طراحی به

روش ضرایب بار و تقلیل مقاومت از اولین ویرایش آیین‌نامه در سال ۱۹۸۶ میلادی تا آخرین ویرایش استفاده شده است.

با توجه به اینکه صرفاً یک نوع منحنی از ستون‌ها برای مدل‌سازی تمامی ستون‌ها در آیین‌نامه به کار برده شده پراکندگی در مقدار مقاومت بالاست و از این رو ضریب تقلیل مقاومت ۰/۸۵ در ویرایش‌های قبلی AISC برای ستون‌ها استفاده شده است. در ویرایش‌های جدید AISC ضریب تقلیل مقاومت به ۰/۹ به دلایل (۱) تغییر نحوه تولید فولاد (۲) نحوه ساخت ستون‌های ساخته شده از ورق تغییر کرده است. در واقع با توجه به این مسائل ستون‌های پیرو منحنی سوم دیگر ساخته نمی‌شود. بنابراین می‌توان گفت تمامی ستون‌ها را در حال حاضر می‌توان در جهت اطمینان با منحنی گروه ۲ طراحی کرد. روابط احتمالاتی مقاومت ستون براساس آیین‌نامه AISC به شرح ذیل است:

$$\mu_R = A \cdot \mu_{Fcr} \cdot \mu_M \cdot \mu_F \cdot \mu_P \quad (۲۵-۴)$$

$$V_R = \sqrt{V_{Fcr}^2 + V_M^2 + V_F^2 + V_P^2} \quad (۲۶-۴)$$

آقای شایانفر و همکارانش روی پارامترهای مقاومت ستون نیز بررسی‌هایی انجام داده‌اند. طبق بررسی‌های آنها، شرایطی که در حال حاضر برای مقاومت ستون در آمریکا وجود دارد، در مورد سازه‌های فولادی داخل کشور فراهم نیست و پراکندگی در میزان مقاومت بالاست. آنها ضرایب مواد و ساخت را مطابق با جدول (۴-۸) ارایه نموده‌اند. همچنین مقدار ضریب انحراف و ضریب تغییرات پارامتر حرفه‌ای را مطابق با پیشنهادات Bjorhovde به ترتیب برابر با ۱/۰۳ و ۰/۰۵ در نظر می‌گیرند. پارامترهای آماری F_{Cr} نیز با توجه به χ متغیر بوده است [۳].

$$\chi = \frac{KL}{r} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (۲۷-۴)$$

جدول (۹-۴): پارامترهای آماری مربوط به F_{Cr}

χ	$\frac{F_{Cr}}{F_Y}$	C	V_{Fcr}
۰/۵	۰/۹	۱/۰۸	۰/۰۴
۰/۹	۰/۷۲	۱/۰۷	۰/۰۸
۱/۳	۰/۴۶	۱/۱۱	۰/۰۷
۱/۷	۰/۳	۱/۱۳	۰/۰۶

فصل پنجم: آیین نامه‌های طراحی و بررسی حالات حدی آیین نامه ایران و آمریکا

۵-۱) بررسی ساختار و حالات حدی آیین نامه فولاد ایران و آمریکا

ساختار آیین نامه فولاد ایران و آمریکا جهت طراحی اعضا به روش حدی در حالت کلی به صورت زیر می باشد [۷،۱۱]:

$$\phi R_n \geq \sum_{i=1}^m \gamma_i Q_{ni} \quad (۱-۵)$$

ϕ : ضریب کاهش مقاومت اسمی است که با توجه به نوع نیروهای داخلی در هر دو آیین نامه ایران و آمریکا که مشابه هم میباشند، به صورت زیر در نظر گرفته می شود:

۱) در مقطع تحت تاثیر فشار محوری (ϕ_c) برابر ۰.۹

۲) در مقطع تحت تاثیر لنگر خمشی (ϕ_b) برابر ۰.۹

۳) در مقطع تحت تاثیر نیروی برشی (ϕ_v) بجز حالتی که نیروی برشی در جان مقاطع I شکل نورد

شده با نسبت ارتفاع به ضخامت جان $\frac{h}{t_w} \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ بررسی می شود و این ضریب برابر واحد

فرض شده است برابر ۰.۹

۴) در بررسی تسلیم عضو کششی (ϕ_t) برابر ۰.۹

۵) در بررسی گسیختگی عضو کششی (ϕ_u) برابر ۰.۷۵

R_n : مقاومت اسمی عضو تحت اثر بارهای اسمی Q_{ni} می باشد

γ_i : ضریب افزایش بار اسمی Q_{ni} است که مقادیر آن در ترکیب بارهای مختلف متفاوت می باشد.

[۷،۱۱].

بنابر آنچه گفته شد در طراحی یک عضو حداقل مقاومت قابل قبول از دیدگاه آیین نامه ای می تواند از

رابطه زیر حاصل شود که با توجه به مفهوم حالات حدی و لزوم کنترل آنها در بحرانی ترین حالت،

مبنای برآورد ضابطه حالات حدی نیز همین رابطه خواهد بود.

$$R_n \geq \frac{\sum_{i=1}^m \gamma_i Q_{ni}}{\phi} \quad (۲-۵)$$

۵-۲) مقایسه ترکیبات بارگذاری در آیین نامه‌های جدید فولاد ایران (۱۳۹۲) و آمریکا

ترکیبات بارگذاری در آیین نامه جدید فولاد ایران (۱۳۹۲ ه ش) به صورت زیر می‌باشد [۶]:

$$1.4 D$$

$$1.2 D + 1.6 L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$$

$$1.2 D + 1.6 (L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (L \text{ or } 0.5(1.4 W))$$

$$1.2 D + 1(1.4 W) + L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$$

$$1.2 D + 1 E + L + 0.2 S$$

$$0.9 D + 1(1.4 W)$$

$$0.9 D + 1 E$$

ترکیبات بارگذاری در آیین نامه فولاد آمریکا (۲۰۱۰ م) به صورت زیر می‌باشد [۱۰]:

$$1.4D$$

$$1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$$

$$1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (L \text{ or } 0.5W)$$

$$1.2D + 1.0W + L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$$

$$1.2D + 1.0E + L + 0.2S$$

$$0.9D + 1.0W$$

$$0.9D + 1.0E$$

که در آن‌ها D بار مرده اسمی، L بار زنده اسمی، L_r بار زنده اسمی بام، S بار برف، W بار باد، E بار زلزله می‌باشد. ضریب جزئی ایمنی مربوط به بار زلزله در آیین‌نامه فولاد آمریکا با فرض بارگذاری مطابق آیین نامه ASCE برابر ۱ و در صورت استفاده از آیین‌نامه UBC 91 برابر ۱.۵ است.

۵-۳) حالات حدی برای اعضای تحت لنگر خمشی و نیروی برشی (تیرها)

مهمترین نیرویی که در طراحی یک تیر به عنوان عامل خرابی در نظر گرفته می‌شود (در صورت جلوگیری از کمانش تیر با استفاده از تکیه‌گاه‌های جانبی) لنگر خمشی حداکثر ناشی از بارهای وارد

به تیر است این موضوع ممکن است. در تیرهایی با نسبت ارتفاع به ضخامت جان قابل توجه و طول کوتاه تیرورق‌های عمیق صادق نباشد و خرابی در آنها بر اثر نیروی حداکثر برشی ناشی از بارهای وارد به تیر رخ دهد، بنابراین تیرها باید کلیه حالات حدی مربوط به خمش و برش کنترل گردد. برای نوشتن حالات حدی مربوط به تیرها ابتدا باید بارهای بحرانی وارد بر آنها را در نظر بگیریم.

(۱) شرایطی که تنها اثر بار مرده بر تیر در نظر گرفته می‌شود: این شرایط در زمانی در نظر گرفته می‌شود که بهره‌برداری از ساختمان آغاز نشده باشد و یا بارهای بهره‌برداری اثرات بار مرده را خنثی نماید در این حالت رابطه بحرانی طراحی برای تیرها به صورت زیر خواهد بود:

$$R_{Mn} = \frac{\gamma_D}{\phi_b} M_{Dn} \quad (۳-۵)$$

که در آن M_{Dn} لنگر خمشی حداکثر حاصل از بار مرده وارد بر تیر و R_{Mn} حداقل مقاومت خمشی قابل قبول برای تیر می‌باشد. با تقسیم طرفین رابطه بر M_{Dn} خواهیم داشت:

$$\frac{R_{Mn}}{M_{Dn}} = \frac{\gamma_D}{\phi_b} \quad (۴-۵)$$

حالت حدی برای چنین شرایطی را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت:

$$R_M - M_D = 0 \quad (۵-۵)$$

با تقسیم طرفین بر M_{Dn} خواهیم داشت:

$$\frac{R_M}{M_{Dn}} - \frac{M_D}{M_{Dn}} = 0 \rightarrow \frac{R_M}{R_{Mn}} \cdot \frac{R_{Mn}}{M_{Dn}} - \frac{M_D}{M_{Dn}} = 0 \quad (۶-۵)$$

بنابراین:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_b}\right) \cdot \frac{R_M}{R_{Mn}} - \left(\frac{D}{D_n}\right) = 0 \quad (۷-۵)$$

فرض می‌نماییم:

$$X_{RM} \equiv \frac{R_M}{R_{Mn}} \quad X_D \equiv \left(\frac{D}{D_n}\right) \quad (۸-۵)$$

در نتیجه حالت حدی برای این تیرها به عنوان « حالت حدی شماره ۱ » به صورت زیر خواهد بود و می‌توان دید که به متغیرهای تصادفی و ضرایب جزئی ایمنی وابسته است:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_b}\right) \cdot X_{RM} - X_D = 0 \quad (۹-۵)$$

همچنین در صورتی که به علت قابل توجه بودن نسبت ارتفاع به ضخامت جان تیر، اثر نیروی حداکثر برشی ناشی از بار مرده وارد بر تیر نیز در طراحی آن اهمیت داشته باشد علاوه بر رابطه قبل رابطه زیر نیز باید کنترل گردد:

$$R_{Vn} = \frac{\gamma_D}{\phi_v} V_{Dn} \quad (۱۰-۵)$$

که در آن V_{Dn} نیروی برشی حداکثر حاصل از بار مرده وارد بر تیر و R_{Vn} حداقل مقاومت برشی قابل قبول برای مقطع تیر می باشد. با تقسیم طرفین رابطه بر V_{Dn} خواهیم داشت:

$$\frac{R_{Vn}}{V_{Dn}} = \frac{\gamma_D}{\phi_v} \quad (۱۱-۵)$$

برای بیان حالت حدی چنین شرایطی می توان نوشت:

$$R_V - V_D = 0 \quad (۱۲-۵)$$

با تقسیم طرفین بر V_{Dn} خواهیم داشت:

$$\frac{R_V}{V_{Dn}} - \frac{V_D}{V_{Dn}} = 0 \rightarrow \frac{R_V}{R_{Vn}} \cdot \frac{R_{Vn}}{V_{Dn}} - \frac{V_D}{V_{Dn}} = 0 \quad (۱۵-۵)$$

بنابراین:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_v}\right) \cdot \left(\frac{R_V}{R_{Vn}}\right) - \left(\frac{D}{D_n}\right) = 0 \quad (۱۶-۵)$$

فرض می نماییم:

$$X_{RV} \equiv \frac{R_V}{R_{Vn}} \quad (۱۷-۵)$$

در نتیجه حالت حدی برای این تیرها به عنوان «حالت حدی شماره ۲» به صورت زیر خواهد بود و می توان دید که به متغیرهای تصادفی و ضرایب جزئی ایمنی وابسته است [۴]:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_v}\right) \cdot X_{RV} - X_D = 0 \quad (۱۸-۵)$$

۲) شرایطی که تنها اثر بار مرده و بار زنده بر تیر در نظر گرفته می شود: در خصوص تیرهای سقف طبقات و تیر بام ساختمانهایی که در مناطق با برف سنگین و فوق سنگین واقع نیستند چنین شرایطی در نظر گرفته می شود. در این صورت رابطه بحرانی طراحی برای این تیرها عبارت است از:

$$R_{Mn} = \frac{\gamma_D}{\phi_b} M_{Dn} + \frac{\gamma_L}{\phi_b} M_{Ln} \quad (۱۹-۵)$$

که در آن M_{Ln} لنگر خمشی حداکثر حاصل از بار زنده وارد بر تیر می‌باشد.

از آنجا که لنگر خمشی حداکثر حاصل از بار مرده و زنده ضربی از بار گسترده یکنواخت مرده و زنده وارد بر تیر (L_n, D_n) می‌باشند و این ضریب برای لنگر ناشی از بار مرده و زنده یکسان است (مثلا در

مورد یک تیر ساده این ضریب $\frac{L^2}{8}$ است) می‌توان نوشت:

$$\frac{M_{Ln}}{M_{Dn}} = \frac{L_n}{D_n} \rightarrow \frac{R_{Mn}}{M_{Dn}} = \frac{\gamma_D}{\phi_b} + \frac{\gamma_L}{\phi_b} \frac{L_n}{D_n} \quad (20-5)$$

حالت حدی برای خمش حاصل از ترکیب بارهای زنده و مرده وارد بر این تیرها را می‌توان به صورت

زیر در نظر گرفت:

$$R_M - M_D - M_L = 0 \quad (21-5)$$

با تقسیم طرفین بر M_{Dn} خواهیم داشت:

$$\frac{R_M}{M_{Dn}} - \frac{M_D}{M_{Dn}} - \frac{M_L}{M_{Dn}} = 0 \rightarrow \frac{R_M}{R_{Mn}} \cdot \frac{R_{Mn}}{M_{Dn}} - \frac{M_D}{M_{Dn}} - \frac{M_L}{M_{Ln}} \cdot \frac{M_{Ln}}{M_{Dn}} = 0 \quad (22-5)$$

بنابراین:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_b} + \frac{\gamma_L}{\phi_b} \frac{L_n}{D_n} \right) \cdot \left(\frac{R_M}{R_{Mn}} \right) - \frac{D}{D_n} - \frac{L_n}{D_n} \cdot \left(\frac{L}{L_n} \right) = 0 \quad (23-5)$$

فرض می‌نماییم:

$$X_L \equiv \left(\frac{L}{L_n} \right) \quad (24-5)$$

در نتیجه حالت حدی برای این تیرها به عنوان «حالت حدی شماره ۳» به صورت زیر خواهد بود و

می‌توان دید که علاوه بر متغیرهای تصادفی و ضرایب جزئی ایمنی به نسبت بار اسمی زنده به بار

اسمی مرده نیز وابسته است:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_b} + \frac{\gamma_L}{\phi_b} \frac{L_n}{D_n} \right) \cdot X_{RM} - X_D - \frac{L_n}{D_n} \cdot X_L = 0 \quad (25-5)$$

همچنین در صورتی که به علت قابل توجه بودن نسبت ارتفاع به ضخامت جان تیر اثر نیروی حداکثر

برشی ناشی از بارهای وارد بر تیر نیز در طراحی آن اهمیت داشته باشد علاوه بر رابطه قبل رابطه زیر

نیز باید کنترل گردد:

$$R_{Vn} = \frac{\gamma_D}{\phi_v} V_{Dn} + \frac{\gamma_L}{\phi_v} V_{Ln} \quad (27-5)$$

برای بیان حالت حدی چنین شرایطی می توان نوشت:

$$R_V - V_D - V_L = 0 \quad (28-5)$$

مانند مراحل که در بالا انجام شد برای این حالت نیز صورت می گیرد در نتیجه حالت حدی برای این

تیرها به عنوان «حالت حدی شماره ۴» به صورت زیر خواهد بود [۴]:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_v} + \frac{\gamma_L}{\phi_v} \frac{L_n}{D_n} \right) \cdot X_{RV} - X_D - \frac{L_n}{D_n} \cdot X_L = 0 \quad (29-5)$$

۳) شرایطی که تنها اثر بار مرده و بار برف بر تیر در نظر گرفته می شود: در خصوص تیرهای بام

ساختمانهایی که در مناطق با برف سنگین و فوق سنگین واقع هستند علاوه بر اثر بار زنده باید اثر بار

برف را نیز در نظر گرفت. در این صورت رابطه بحرانی طراحی برای این تیرها عبارت است از:

$$R_{Mn} = \frac{\gamma_D}{\phi_b} M_{Dn} + \frac{\gamma_S}{\phi_b} M_{Sn} \quad (30-5)$$

که در آن M_{Sn} لنگر خمشی حداکثر حاصل از بار برف وارد بر تیر می باشد.

از آنجا که لنگر خمشی حداکثر حاصل از بار مرده و برف ضریبی از بار گسترده یکنواخت مرده و برف

وارد بر تیر (S_n, D_n) می باشند و این ضریب برای لنگر ناشی از بار مرده و برف یکسان است (مثلا در

مورد یک تیر ساده این ضریب $\frac{L^2}{8}$ است) می توان نوشت:

$$\frac{M_{Sn}}{M_{Dn}} = \frac{S_n}{D_n} \rightarrow \frac{R_{Mn}}{M_{Dn}} = \frac{\gamma_D}{\phi_b} + \frac{\gamma_S}{\phi_b} \frac{S_n}{D_n} \quad (31-5)$$

حالت حدی برای خمش حاصل از ترکیب بارهای زنده و برف وارد بر این تیرها را می توان به صورت

زیر در نظر گرفت:

$$R_M - M_D - M_S = 0 \quad (32-5)$$

فرض می نماییم:

$$X_S \equiv \left(\frac{S}{S_n} \right) \quad (33-5)$$

طرفین رابطه بر M_{Dn} تقسیم می‌شود، در نتیجه حالت حدی برای این تیرها به عنوان «حالت حدی شماره ۵» به صورت زیر خواهد بود و می‌توان دید که علاوه بر متغیرهای تصادفی و ضرایب جزئی ایمنی به نسبت بار اسمی برف به بار اسمی مرده نیز وابسته است:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_b} + \frac{\gamma_S}{\phi_b} \frac{S_n}{D_n}\right) \cdot X_{RM} - X_D - \frac{S_n}{D_n} \cdot X_S = 0 \quad (34-5)$$

همچنین در صورتی که به علت قابل توجه بودن نسبت ارتفاع به ضخامت جان تیر اثر نیروی حداکثر برشی ناشی از بارهای وارد بر تیر نیز در طراحی آن اهمیت داشته باشد علاوه بر رابطه قبل رابطه زیر نیز باید کنترل گردد:

$$R_{Vn} = \frac{\gamma_D}{\phi_v} V_{Dn} + \frac{\gamma_S}{\phi_v} V_{Sn} \quad (35-5)$$

از آنجا که نیروی برشی حداکثر حاصل از بار مرده و برف ضریبی از بار گسترده یکنواخت مرده و برف وارد بر تیر (S_n, D_n) می‌باشند می‌توان نوشت:

$$\frac{V_{Sn}}{V_{Dn}} = \frac{S_n}{D_n} \rightarrow \frac{R_{Vn}}{V_{Dn}} = \frac{\gamma_D}{\phi_v} + \frac{\gamma_S}{\phi_v} \frac{S_n}{D_n} \quad (36-5)$$

برای بیان حالت حدی چنین شرایطی می‌توان نوشت:

$$R_v - V_D - V_S = 0 \quad (37-5)$$

طرفین رابطه بر V_{Dn} تقسیم می‌شود، در نتیجه حالت حدی برای این تیرها به عنوان «حالت حدی شماره ۶» به صورت زیر خواهد بود [۴]:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_v} + \frac{\gamma_S}{\phi_v} \frac{S_n}{D_n}\right) \cdot X_{RV} - X_D - \frac{S_n}{D_n} \cdot X_S = 0 \quad (38-5)$$

(۴) شرایطی که اثر بارهای جانبی نیز در نظر گرفته می‌شود:

در زمانی که تیر جزئی از یک قاب خمشی باشد نیروهای جانبی مانند نیروهای ناشی از باد و زلزله بر

لنگر خمشی حداکثر و نیروی برشی حداکثر وارد بر تیر تأثیر می‌گذارد و در اکثر موارد شرایط

بحرانی‌تری را نسبت به اثر ترکیب بارهای ثقلی بوجود می‌آورد، لذا لازم است حالات حدی مربوط به

ترکیب بارهای جانبی و ثقلی علاوه بر حالات حدی مربوط به ترکیبات بارهای ثقلی نیز کنترل گردد.

- در صورتی که در مقطع بحرانی تیر، لنگرهای خمشی ناشی از بارهای ثقیلی و بار باد هم علامت باشند و یکدیگر را خنثی نمایند رابطه طراحی خمشی برای ترکیبات شامل بار باد را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$R_{Mn} = \frac{\gamma_D}{\phi_b} M_{Dn} + \frac{\gamma_L}{\phi_b} M_{Ln} + \frac{\gamma_W}{\phi_b} M_{Wn} \quad (39-5)$$

که در آن M_{Wn} لنگر خمشی حداکثر ناشی از بار باد است.

حالت حدی مربوط به لنگر خمشی حاصل از ترکیبات شامل بار باد برای تیرها را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت:

$$R_M - M_D - M_{Lapt} - M_W = 0 \quad (40-5)$$

با تقسیم طرفین بر M_{Dn} خواهیم داشت:

$$\frac{R_M}{R_{Mn}} \cdot \frac{R_{Mn}}{M_{Dn}} - \frac{M_D}{M_{Dn}} - \frac{M_{Lapt}}{M_{Ln}} \cdot \frac{M_{Ln}}{M_{Dn}} - \frac{M_W}{M_{Wn}} \cdot \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}} = 0 \quad (41-5)$$

فرض می‌کنیم:

$$X_{Lapt} \equiv \left(\frac{L_{apt}}{L_n} \right) \quad X_W \equiv \left(\frac{W}{W_n} \right) \quad (42-5)$$

در نتیجه حالت حدی برای این تیرها به عنوان «حالت حدی شماره ۷» به صورت زیر خواهد بود و می‌توان دید که علاوه بر متغیرهای تصادفی و ضرایب جزئی ایمنی به نسبت بار اسمی زنده به بار اسمی مرده و نسبت لنگر حداکثر اسمی ناشی از باد به لنگر حداکثر اسمی ناشی از بار مرده نیز وابسته است:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_b} + \frac{\gamma_L}{\phi_b} \frac{L_n}{D_n} + \frac{\gamma_W}{\phi_b} \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}} \right) \cdot X_{RM} - X_D - \frac{L_n}{D_n} \cdot X_{Lapt} - \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}} \cdot X_W = 0 \quad (43-5)$$

همچنین در صورتی که به علت قابل توجه بودن نسبت ارتفاع به ضخامت جان تیر اثر نیروی حداکثر برشی ناشی از بارهای وارد بر تیر نیز در طراحی آن اهمیت داشته باشد علاوه بر رابطه قبل رابطه زیر نیز باید کنترل گردد:

$$R_{Vn} = \frac{\gamma_D}{\phi_v} V_{Dn} + \frac{\gamma_L}{\phi_v} V_{Ln} + \frac{\gamma_W}{\phi_v} V_{Wn} \quad (44-5)$$

که در آن V_{Wn} نیروی برشی حداکثر اسمی حاصل از بار باد است.

حالت حدی برای نیروی برشی حاصل از ترکیب بارهای زنده و مرده و باد وارد بر تیر را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت:

$$R_V - V_D - V_{Lapt} - V_W = 0 \quad (45-5)$$

طرفین رابطه بر V_{Dn} تقسیم می‌شود، در نتیجه حالت حدی برای این تیرها به عنوان «حالت حدی شماره ۸» به صورت زیر خواهد بود:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_v} + \frac{\gamma_L}{\phi_v} \frac{L_n}{D_n} + \frac{\gamma_{WE}}{\phi_v} \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}} \right) \cdot X_{RV} - X_D - \frac{L_n}{D_n} \cdot X_{Lapt} - \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}} \cdot X_W = 0 \quad (46-5)$$

- در صورتی که در مقطع بحرانی تیر لنگرهای خمشی ناشی از بارهای ثقیلی و بار باد یکدیگر را خنثی نمایند بایستی در جهت ایمنی شرایطی که در آن بار زنده بر عضو اعمال نمی‌گردد در نظر گرفته شود و رابطه طراحی خمشی در مقابل ترکیبات شامل بار باد به شکل:

$$R_{Mn} = \frac{\gamma_D}{\phi_b} M_{Dn} + \frac{\gamma_W}{\phi_b} M_{Wn} \quad (47-5)$$

حالت حدی مربوط به لنگر خمشی حاصل از ترکیبات بار باد را برای این تیرها می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت:

$$R_M - M_D - M_W = 0 \quad (48-5)$$

طرفین رابطه بر M_{Dn} تقسیم می‌شود، در نتیجه حالت حدی برای این تیرها به عنوان «حالت حدی شماره ۹» به صورت زیر خواهد بود و می‌توان دید که علاوه بر متغیرهای تصادفی و ضرایب جزئی ایمنی به نسبت لنگر حداکثر اسمی ناشی از باد به لنگر حداکثر اسمی ناشی از بار مرده نیز وابسته است:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_b} + \frac{\gamma_W}{\phi_b} \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}} \right) \cdot X_{RM} - X_D - \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}} \cdot X_W = 0 \quad (49-5)$$

همچنین در این حالت در صورتی که به علت قابل توجه بودن نسبت ارتفاع به ضخامت جان تیر اثر نیروی حداکثر برشی ناشی از بارهای وارد بر تیر نیز در طراحی آن اهمیت داشته باشد علاوه بر رابطه قبل رابطه زیر نیز باید کنترل گردد:

$$R_{Vn} = \frac{\gamma_D}{\phi_v} V_{Dn} + \frac{\gamma_W}{\phi_v} V_{Wn} \quad (50-5)$$

طرفین رابطه بر V_{Dn} تقسیم می‌شود، برای بیان حالت حدی چنین شرایطی می‌توان نوشت:

$$R_V - V_D - V_W = 0 \quad (51-5)$$

در نتیجه حالت حدی برای نیروی برشی در این تیرها به عنوان «حالت حدی شماره ۱۰» به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_v} + \frac{\gamma_W}{\phi_v} \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}\right) \cdot X_{RV} - X_D - \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}} \cdot X_W = 0 \quad (52-5)$$

- در صورتیکه تیرهای مورد مطالعه در بام ساختمان‌های واقع در مناطق با برف سنگین و فوق سنگین قرار داشته باشند، خواهیم داشت:

$$R_{Mn} = \frac{\gamma_D}{\phi_b} M_{Dn} + \frac{\gamma_S}{\phi_b} M_{Sn} + \frac{\gamma_W}{\phi_b} M_{Wn} \quad (53-5)$$

طرفین رابطه بر M_{Dn} تقسیم می‌شود، حالت حدی مربوط به لنگر خمشی حاصل از ترکیبات شامل بار باد برای این تیرها را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت:

$$R_M - M_D - M_{Sann} - M_W = 0 \quad (54-5)$$

با تقسیم طرفین بر M_{Dn} خواهیم داشت:

$$\frac{R_M}{R_{Mn}} \cdot \frac{R_{Mn}}{M_{Dn}} - \frac{M_D}{M_{Dn}} - \frac{M_{Sann}}{M_{Sn}} \cdot \frac{M_{Sn}}{M_{Dn}} - \frac{M_W}{M_{Wn}} \cdot \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}} = 0 \quad (55-5)$$

$$X_{Sann} \equiv \left(\frac{S_{ann}}{S_n}\right) \quad (56-5)$$

در نتیجه حالت حدی برای این تیرها به عنوان «حالت حدی شماره ۱۱» به صورت زیر خواهد بود و

می‌توان دید که علاوه بر متغیرهای تصادفی و ضرایب جزئی ایمنی به نسبت بار اسمی برف به بار

اسمی مرده و نسبت لنگر حداکثر اسمی ناشی از باد به لنگر حداکثر اسمی ناشی از بار مرده نیز

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_b} + \frac{\gamma_L}{\phi_b} \frac{S_n}{D_n} + \frac{\gamma_W}{\phi_b} \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}\right) \cdot X_{RM} - X_D - \frac{S_n}{D_n} \cdot X_{Sann} - \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}} \cdot X_W = 0 \quad \text{وابسته است:} \quad (57-5)$$

همچنین در صورتی که به علت قابل توجه بودن نسبت ارتفاع به ضخامت جان تیر اثر نیروی حداکثر

برشی ناشی از بارهای وارد بر تیر نیز در طراحی آن اهمیت داشته باشد علاوه بر رابطه قبل رابطه زیر

نیز باید کنترل گردد:

$$R_{Vn} = \frac{\gamma_D}{\phi_v} V_{Dn} + \frac{\gamma_S}{\phi_v} V_{Sn} + \frac{\gamma_W}{\phi_v} V_{Wn} \quad (58-5)$$

طرفین رابطه بر V_{Dn} تقسیم می‌شود، حالت حدی برای نیروی برشی حاصل از ترکیب بارهای برف و مرده و باد وارد بر تیر را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت:

$$R_V - V_D - V_{Sann} - V_W = 0 \quad (59-5)$$

طرفین رابطه بر V_{Dn} تقسیم می‌شود، در نتیجه حالت حدی برای این تیرها به عنوان «حالت حدی شماره ۱۲» به صورت زیر خواهد بود:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_v} + \frac{\gamma_L}{\phi_v} \frac{S_n}{D_n} + \frac{\gamma_W}{\phi_v} \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}} \right) \cdot X_{RV} - X_D - \frac{S_n}{D_n} \cdot X_{Sann} - \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}} \cdot X_W = 0 \quad (60-5)$$

به همین ترتیب برای لنگر خمشی ناشی از زلزله با مقدار اسمی M_{En} و نیروی برشی ناشی از زلزله با مقدار اسمی V_{En} نیز روابطی مشابه قبل بدست می‌آید و ۶ حالات حدی بعنوان «حالت حدی شماره ۱۳»، «حالت حدی شماره ۱۴»، «حالت حدی شماره ۱۵»، «حالت حدی شماره ۱۶»، «حالت

حدی شماره ۱۷» و «حالت حدی شماره ۱۸» حاصل می‌شود. با فرض $X_E \equiv \left(\frac{E}{E_n} \right)$ داریم [۴]:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_v} + \frac{\gamma_L}{\phi_v} \frac{L_n}{D_n} + \frac{\gamma_E}{\phi_v} \frac{V_{En}}{V_{Dn}} \right) \cdot X_{RV} - X_D - \frac{L_n}{D_n} \cdot X_{Lapt} - \frac{V_{En}}{V_{Dn}} \cdot X_E = 0 \quad (61-5)$$

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_b} + \frac{\gamma_L}{\phi_b} \frac{L_n}{D_n} + \frac{\gamma_E}{\phi_b} \frac{M_{En}}{M_{Dn}} \right) \cdot X_{RM} - X_D - \frac{L_n}{D_n} \cdot X_{Lapt} - \frac{M_{En}}{M_{Dn}} \cdot X_E = 0 \quad (62-5)$$

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_b} + \frac{\gamma_E}{\phi_b} \frac{M_{En}}{M_{Dn}} \right) \cdot X_{RM} - X_D - \frac{M_{En}}{M_{Dn}} \cdot X_E = 0 \quad (63-5)$$

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_v} + \frac{\gamma_E}{\phi_v} \frac{V_{En}}{V_{Dn}} \right) \cdot X_{RV} - X_D - \frac{V_{En}}{V_{Dn}} \cdot X_E = 0 \quad (64-5)$$

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_b} + \frac{\gamma_S}{\phi_b} \frac{S_n}{D_n} + \frac{\gamma_E}{\phi_b} \frac{M_{En}}{M_{Dn}} \right) \cdot X_{RM} - X_D - \frac{S_n}{D_n} \cdot X_{Sann} - \frac{M_{En}}{M_{Dn}} \cdot X_E = 0 \quad (65-5)$$

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_v} + \frac{\gamma_L}{\phi_v} \frac{S_n}{D_n} + \frac{\gamma_E}{\phi_v} \frac{V_{En}}{V_{Dn}} \right) \cdot X_{RV} - X_D - \frac{S_n}{D_n} \cdot X_{Sann} - \frac{V_{En}}{V_{Dn}} \cdot X_E = 0 \quad (66-5)$$

۵-۴) حالات حدی برای اعضای فشاری (ستون‌ها)

ستون‌ها می‌بایست بار تیرهای متکی به خود را حمل و به ستون‌های طبقات پایین‌تر و نهایتاً به

فونداسیون منتقل نمایند، همچنین در صورتی که ستون جزئی از سیستم باربر جانبی باشد قسمت

اعظم نیروهای ناشی از بارهای جانبی نیز توسط آنها حمل خواهد شد. مهمترین نیرویی که در طراحی یک ستون به عنوان عامل خرابی در نظر گرفته می‌شود نیروی محوری حداکثر ناشی از بارهای وارد بر ستون است. این نیرو در صورت فشاری بودن اغلب به علت لاغری اعضاء در ستون‌های فولادی موجب کمانش ستون و ناپایداری آن قبل از رسیدن مصالح مقطع به حد تسلیم می‌گردد. بنابراین لازم است کلیه حالات حدی مربوط به کمانش و جاری شدن را در ستون‌ها کنترل نماییم.

(۱) شرایطی که تنها اثر بار مرده بر ستون در نظر گرفته می‌شود: این شرایط در زمانی در نظر گرفته می‌شود که بهره‌برداری از ساختمان آغاز نشده باشد و یا بارهای بهره‌برداری اثرات بار مرده را خنثی نماید. در این حالت رابطه بحرانی طراحی برای ستون‌ها به صورت زیر خواهد بود:

$$R_{Pnc} = \frac{\gamma_D}{\phi_C} P_{Dn} \quad (۶۷-۵)$$

که در آن P_{Dn} بار محوری حداکثر حاصل از بار مرده و R_{Pnc} حداقل مقاومت فشاری یا کمانشی ستون می‌باشد. با تقسیم طرفین رابطه بر P_{Dn} خواهیم داشت:

$$\frac{R_{Pnc}}{P_{Dn}} = \frac{\gamma_D}{\phi_C} \quad (۶۸-۵)$$

حالت حدی برای چنین شرایطی را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت:

$$R_{Pc} - P_D = 0 \quad (۶۹-۵)$$

$$\frac{R_{Pc}}{R_{Pnc}} \cdot \frac{R_{Pnc}}{P_{Dn}} - \frac{P_D}{P_{Dn}} = 0 \quad (۷۰-۵)$$

بنابراین:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_C}\right) \cdot \left(\frac{R_{Pc}}{R_{Pnc}}\right) - \left(\frac{P_D}{P_{Dn}}\right) = 0 \quad (۷۱-۵)$$

فرض می‌نماییم:

$$X_{RPC} \equiv \frac{R_{Pc}}{R_{Pnc}} \quad (۷۲-۵)$$

در نتیجه حالت حدی برای تسلیم یا کمانش ستون‌ها تحت تأثیر بار محوری حاصل از بار مرده به عنوان «حالت حدی شماره ۱۹» به صورت زیر خواهد بود:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_C}\right) \cdot X_{RPC} - X_D = 0 \quad (۷۳-۵)$$

۲) شرایطی که اثر بار مرده و بار زنده بر ستون در نظر گرفته می‌شود: در خصوص ستون‌هایی که بار طبقات و بام ساختمان‌هایی در مناطقی به غیر از مناطق با برف سنگین و فوق سنگین را حمل می‌نمایند. چنین شرایطی در نظر گرفته می‌شود. در این صورت رابطه بحرانی طراحی برای این ستون‌ها عبارت است از:

$$R_{Pnc} = \frac{\gamma_D}{\phi_C} P_{Dn} + \frac{\gamma_L}{\phi_C} P_{Ln} \quad (۷۴-۵)$$

که در آن P_{Ln} بار محوری حداکثر حاصل از بار زنده طبقات و بام می‌باشد.

$$\frac{R_{Pnc}}{P_{Dn}} = \frac{\gamma_D}{\phi_C} + \frac{\gamma_L}{\phi_C} \frac{L_n}{D_n} \quad (۷۵-۵)$$

حالت حدی برای یک عضو فشاری تحت تأثیر ترکیب بارهای زنده و مرده را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت:

$$R_{Pc} - P_D - P_L = 0 \quad (۷۶-۵)$$

با تقسیم طرفین بر P_{Dn} خواهیم داشت:

$$\frac{R_{Pc}}{P_{Pnc}} \cdot \frac{R_{Pnc}}{P_{Dn}} - \frac{P_D}{P_{Dn}} - \frac{P_L}{P_{Ln}} \cdot \frac{P_{Ln}}{P_{Dn}} = 0 \quad (۷۷-۵)$$

بنابراین:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_C} + \frac{\gamma_L}{\phi_C} \frac{L_n}{D_n} \right) \cdot \left(\frac{R_{Pc}}{R_{Pnc}} - \frac{D}{D_n} - \frac{L_n}{D_n} \cdot \left(\frac{L}{L_n} \right) \right) = 0 \quad (۷۸-۵)$$

در نتیجه حالت حدی برای تسلیم یا کمزش ستون‌ها تحت تأثیر بار محوری حاصل از بارهای مرده و

زنده به عنوان «حالت حدی شماره ۲۰» به صورت زیر خواهد بود و می‌توان دید که علاوه بر

متغیرهای تصادفی و ضرایب جزئی ایمنی به نسبت بار اسمی زنده به بار اسمی مرده نیز وابسته است:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_C} + \frac{\gamma_L}{\phi_C} \frac{L_n}{D_n} \right) \cdot X_{RPc} - X_D - \frac{L_n}{D_n} \cdot X_L = 0 \quad (۷۹-۵)$$

۳) شرایطی که اثر بار برف نیز بر ستون در نظر گرفته می‌شود: در خصوص ستون‌هایی که بار بام

ساختمان‌هایی واقع در مناطق با برف سنگین و فوق سنگین را حمل می‌نمایند علاوه بر اثر بار زنده

باید اثر بار برف را نیز در نظر گرفت در چنین شرایطی رابطه بحرانی طراحی به صورت زیر خواهد بود:

$$R_{Pnc} = \frac{\gamma_D}{\phi_C} P_{Dn} + \frac{\gamma_L}{\phi_C} P_{Ln} + \frac{\gamma_S}{\phi_C} P_{Sn} \quad (۸۰-۵)$$

که در آن P_{Ln} و P_{Sn} به ترتیب بار محوری حداکثر حاصل از بار زنده طبقات و بار برف بام می‌باشد.

$$\frac{R_{Pnc}}{P_{Dn}} = \frac{\gamma_D}{\phi_C} + \frac{\gamma_L}{\phi_C} \frac{P_{Ln}}{P_{Dn}} + \frac{\gamma_S}{\phi_C} \frac{P_{Sn}}{P_{Dn}} \quad (۸۱-۵)$$

در صورتی که ستونی بار N سقف از یک ساختمان را تحمل کند و میانگین بار زنده گسترده اسمی

وارد بر هر یک از طبقات L_n ، میانگین بار مرده گسترده اسمی وارد بر هر یک از طبقات و بام D_n و

بار برف گسترده اسمی وارد بر طبقه بام S_n باشد می‌توان نسبت‌های $\frac{P_{Ln}}{P_{Dn}}$ ، $\frac{P_{Sn}}{P_{Dn}}$ را به شرح زیر به

تعداد طبقات (N) و نسبت‌های $\frac{L_n}{D_n}$ و $\frac{S_n}{D_n}$ وابسته کرد:

$$\frac{P_{Ln}}{P_{Dn}} = \frac{N-1}{N} \cdot \frac{L_n}{D_n} \quad \frac{P_{Sn}}{P_{Dn}} = \frac{1}{N} \cdot \frac{S_n}{D_n} \quad (۸۲-۵)$$

حالت حدی برای یک عضو فشاری تحت تأثیر ترکیب بارهای زنده، برف و مرده را می‌توان به صورت

زیر در نظر گرفت:

$$R_{Pc} - P_D - P_{Lapt} - P_S = 0 \quad (۸۳-۵)$$

$$R_{Pc} - P_D - P_L - P_{Sann} = 0 \quad (۸۴-۵)$$

با تقسیم طرفین بر P_{Dn} خواهیم داشت:

$$\frac{R_{Pc}}{R_{Pnc}} \cdot \frac{R_{Pnc}}{P_{Dn}} - \frac{P_D}{P_{Dn}} - \frac{P_{Lapt}}{P_{Ln}} \cdot \frac{P_{Ln}}{P_{Dn}} - \frac{P_S}{P_{Sn}} \cdot \frac{P_{Sn}}{P_{Dn}} = 0 \quad (۸۵-۵)$$

$$\frac{R_{Pc}}{R_{Pnc}} \cdot \frac{R_{Pnc}}{P_{Dn}} - \frac{P_D}{P_{Dn}} - \frac{P_L}{P_{Ln}} \cdot \frac{P_{Ln}}{P_{Dn}} - \frac{P_{Sann}}{P_{Sn}} \cdot \frac{P_{Sn}}{P_{Dn}} = 0 \quad (۸۶-۵)$$

بنابراین:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_C} + \frac{\gamma_L}{\phi_C} \left(\frac{N-1}{N} \right) \cdot \frac{L_n}{D_n} + \frac{\gamma_S}{\phi_C} \left(\frac{1}{N} \right) \cdot \frac{S_n}{D_n} \right) \cdot \left(\frac{R_{Pc}}{R_{Pnc}} \right) - \frac{D}{D_n} - \frac{N-1}{N} \cdot \frac{L_n}{D_n} \cdot \left(\frac{L_{apt}}{L_n} \right) - \frac{1}{N} \cdot \frac{S_n}{D_n} \cdot \left(\frac{S}{S_n} \right) = 0 \quad (۸۷-۵)$$

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_C} + \frac{\gamma_L}{\phi_C} \left(\frac{N-1}{N} \right) \cdot \frac{L_n}{D_n} + \frac{\gamma_S}{\phi_C} \left(\frac{1}{N} \right) \cdot \frac{S_n}{D_n} \right) \cdot \left(\frac{R_{Pc}}{R_{Pnc}} \right) - \frac{D}{D_n} - \frac{N-1}{N} \cdot \frac{L_n}{D_n} \cdot \left(\frac{L}{L_n} \right) - \frac{1}{N} \cdot \frac{S_n}{D_n} \cdot \left(\frac{S_{ann}}{S_n} \right) = 0 \quad (۸۸-۵)$$

در نتیجه حالت حدی برای تسلیم یا کمانش ستون‌ها تحت تأثیر بار محوری حاصل از بارهای مرده و زنده و برف به صورت زیر خواهد بود و می‌توان دید که علاوه بر متغیرهای تصادفی و ضرایب جزئی

$$\begin{aligned} & \text{ایمنی به تعداد طبقات و نسبت‌های } \frac{S_n}{D_n} \text{ و } \frac{L_n}{D_n} \text{ نیز وابسته است [۴] ::} \\ & \left(\frac{\gamma_D}{\phi_C} + \frac{\gamma_L}{\phi_C} \left(\frac{N-1}{N} \right) \cdot \frac{L_n}{D_n} + \frac{\gamma_S}{\phi_C} \left(\frac{1}{N} \right) \cdot \frac{S_n}{D_n} \right) \cdot X_{RPC} - X_D - \frac{N-1}{N} \cdot \frac{L_n}{D_n} \cdot X_{Lapt} - \\ & \frac{1}{N} \cdot \frac{S_n}{D_n} \cdot X_S = 0 \end{aligned} \quad (۸۹-۵)$$

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\gamma_D}{\phi_C} + \frac{\gamma_L}{\phi_C} \left(\frac{N-1}{N} \right) \cdot \frac{L_n}{D_n} + \frac{\gamma_S}{\phi_C} \left(\frac{1}{N} \right) \cdot \frac{S_n}{D_n} \right) \cdot X_{RPC} - X_D - \frac{N-1}{N} \cdot \frac{L_n}{D_n} \cdot X_L - \\ & \frac{1}{N} \cdot \frac{S_n}{D_n} \cdot X_{Sann} = 0 \end{aligned} \quad (۹۰-۵)$$

با دقت در روابط می‌توان اینگونه استنباط کرد که با افزایش تعداد طبقات و در پی آن افزایش نسبی بار محوری ستون (حالتی که انتظار افزایش احتمال وقوع کمانش را برای ستونی با طول و مقطع ثابت داریم)، سهم اثرگذاری بار برف در حالات حدی کمانش ستون کاهش و سهم اثرگذاری بار زنده در حالات حدی مذکور افزایش می‌یابد بطوریکه با اندکی تقریب می‌توان «حالت حدی شماره ۲۰» را جایگزین دو حالت حدی قبلی نمود. برای ستون‌هایی که فقط بار بام ساختمان‌های واقع در مناطق با برف سنگین و فوق سنگین را حمل می‌نمایند حالت حدی دیگری به عنوان «حالت حدی شماره ۲۱» بدست خواهد آمد که علاوه بر متغیرهای تصادفی و ضرایب جزئی ایمنی به نسبت بار اسمی برف به بار اسمی مرده بستگی دارد:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_C} + \frac{\gamma_L}{\phi_C} \frac{S_n}{D_n} \right) \cdot X_{RPC} - X_D - \frac{S_n}{D_n} \cdot X_S = 0 \quad (۹۱-۵)$$

برای اجتناب از وابستگی روابط به تعداد طبقات حالات حدی شماره ۲۰ و ۲۱ را ملاک قرار می‌دهیم و از حالات حدی وابسته به تعداد طبقات صرف‌نظر می‌نماییم.

۴) شرایطی که اثر بارهای جانبی نیز بر ستون در نظر گرفته می‌شود: در ستون‌هایی که جزئی از سیستم باربر جانبی ساختمان هستند بارهای جانبی (باد و زلزله) نیروهایی به صورت محوری و خمشی در آنها ایجاد می‌نماید. در قاب‌های ساده مهاربندی شده با وجود مقادیر گیرداری نسبی در

اتصالات نیروی خمشی حاصله نسبت به نیروی محوری ستون ناچیز و نیروی محوری که می‌تواند فشاری یا کششی باشد جهت طراحی اینگونه ستونها تعیین کننده است. لذا لازم است حالات حدی مربوط به ترکیب بارهای جانبی و ثقلی نیز علاوه بر حالات حدی مربوط به ترکیبات بارهای ثقلی در خصوص این گونه ستونها کنترل گردد. در ادامه ابتدا حالات حدی مربوط به ترکیبات شامل بار باد و سپس حالات حدی مربوط به ترکیبات شامل بار زلزله بررسی می‌شوند.

در صورتی که در مقطع بحرانی ستون نیروهای محوری ناشی از بارهای ثقلی و بار باد در یک جهت باشند و یکدیگر را خنثی ننمایند انتظار داریم نیروی محوری ستون فشاری و رابطه طراحی در مقابل ترکیبات شامل بار باد به صورت زیر باشد [۴]:

$$R_{pnc} = \frac{\gamma_D}{\phi_C} P_{Dn} + \frac{\gamma_L}{\phi_C} P_{Ln} + \frac{\gamma_S}{\phi_C} P_{Sn} + \frac{\gamma_W}{\phi_C} P_{Wn} \quad (92-5)$$

طرفین رابطه بر P_{Dn} تقسیم خواهد شد، حالت حدی مربوط به کماتش برای ترکیبات شامل بار باد را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$R_{Pc} - P_D - P_{Lapt} - P_{Sann} - P_W = 0 \quad (93-5)$$

با تقسیم طرفین بر P_{Dn} خواهیم داشت:

$$\frac{R_{Pc}}{R_{pnc}} \cdot \frac{R_{pnc}}{P_{Dn}} - \frac{P_D}{P_{Dn}} - \frac{P_{Lapt}}{P_{Ln}} \cdot \frac{P_{Ln}}{P_{Dn}} - \frac{P_{Sann}}{P_{Sn}} \cdot \frac{P_{Sn}}{P_{Dn}} - \frac{P_W}{P_{Wn}} \cdot \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}} = 0 \quad (94-5)$$

بنابراین با فرض N به عنوان تعداد طبقات متکی بر ستون، L_n به عنوان میانگین بار زنده گسترده اسمی وارد بر هر یک از طبقات، S_n به عنوان بار برف گسترده اسمی بام و D_n به عنوان میانگین بار

مرده گسترده اسمی وارد بر هر یک از طبقات و بام خواهیم داشت:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_C} + \frac{\gamma_L}{\phi_C} \left(\frac{N-1}{N} \right) \cdot \frac{L_n}{D_n} + \frac{\gamma_S}{\phi_C} \left(\frac{1}{N} \right) \cdot \frac{S_n}{D_n} + \frac{\gamma_W}{\phi_C} \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}} \right) \cdot \left(\frac{R_{Pc}}{R_{pnc}} \right) - \frac{D}{D_n} - \frac{N-1}{N} \cdot \frac{L_n}{D_n} \cdot \left(\frac{L_{apt}}{L_n} \right) - \frac{1}{N} \cdot \frac{S_n}{D_n} \cdot \left(\frac{S_{ann}}{S_n} \right) - \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}} \cdot \left(\frac{W}{W_n} \right) = 0 \quad (95-5)$$

در نتیجه حالت حدی برای این ستون‌ها به صورت زیر خواهد بود و می‌توان دید که علاوه بر

متغیرهای تصادفی و ضرایب جزئی ایمنی به تعداد طبقات متکی به ستون، و نسبت‌های $\frac{S_n}{D_n}$ و $\frac{L_n}{D_n}$

و نسبت نیروی محوری اسمی ناشی از باد به نیروی محوری اسمی ناشی از بار مرده نیز وابسته است:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_C} + \frac{\gamma_L}{\phi_C} \left(\frac{N-1}{N} \right) \cdot \frac{L_n}{D_n} + \frac{\gamma_S}{\phi_C} \left(\frac{1}{N} \right) \cdot \frac{S_n}{D_n} + \frac{\gamma_W}{\phi_C} \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}} \right) \cdot X_{RPc} - X_D - \frac{N-1}{N} \cdot \frac{L_n}{D_n} \cdot X_{Lapt} - \frac{1}{N} \cdot \frac{S_n}{D_n} \cdot X_{Sann} - \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}} \cdot X_W = 0 \quad (96-5)$$

در صورتیکه ساختمان در منطقه‌ای به غیر از مناطق با برف سنگین و فوق سنگین واقع شده باشد بار

باد نیز در نظر گرفته می‌شود، بدین ترتیب با فرض L_n به صورت میانگین بار زنده گسترده اسمی وارد

بر هر یک از طبقات و بام، بجای حالات حدی بالا یک حالت حدی به شکل زیر وجود خواهد داشت

که به عنوان «حالت حدی شماره ۲۲» علاوه بر متغیرهای تصادفی و ضرایب جزئی ایمنی به نسبت-

های $\frac{L_n}{D_n}$ و $\frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}$ نیز وابسته است:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_C} + \frac{\gamma_L}{\phi_C} \cdot \frac{L_n}{D_n} + \frac{\gamma_W}{\phi_C} \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}} \right) \cdot X_{RPc} - X_D - \frac{L_n}{D_n} \cdot X_{Lapt} - \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}} \cdot X_W = 0 \quad (97-5)$$

همچنین با دقت در دو رابطه قبل می‌توان اینگونه استنباط کرد که با افزایش تعداد طبقات و در پی

آن افزایش نسبی بار محوری ستون، سهم اثرگذاری بار برف در حالات حدی کمانش ستون کاهش و

سهم اثرگذاری بار زنده در حالات حدی مذکور افزایش می‌یابد بطوریکه با اندکی تقریب می‌توان

«حالت حدی شماره ۲۲» را جایگزین حالت حدی قبلی نمود. برای ستون‌هایی که فقط بار بام

ساختمان‌های واقع در مناطق با برف سنگین و فوق سنگین را حمل می‌نمایند حالت حدی دیگری به

عنوان «حالت حدی شماره ۲۳» به دست خواهد آمد که علاوه بر متغیرهای تصادفی و ضرایب جزئی

ایمنی به نسبت‌های $\frac{S_n}{D_n}$ و $\frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}$ نیز وابسته است:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_C} + \frac{\gamma_L}{\phi_C} \cdot \frac{S_n}{D_n} + \frac{\gamma_W}{\phi_C} \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}} \right) \cdot X_{RPc} - X_D - \frac{S_n}{D_n} \cdot X_{Sann} - \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}} \cdot X_W = 0 \quad (98-5)$$

با توجه به شباهت‌های موجود در توزیع احتمال بار برف و بار زنده جهت اجتناب از وابستگی روابط به تعداد طبقات حالات حدی شماره ۲۲ و ۲۳ را ملاک قرار می‌دهیم و از حالات حدی وابسته به تعداد طبقات صرف نظر می‌نماییم.

با توجه به شباهت ترکیبات بارگذاری شامل بار باد با ترکیبات بارگذاری شامل بار زلزله جهت ستون-هایی که تحت نیروهای محوری ناشی از زلزله در حالتیکه فقط نیروی محوری تعیین کننده است قرار گیرند، شرایطی مشابه بار باد مطابق آنچه گفته شد پدید می‌آید. بنابراین دو حالت حدی به عنوان «حالت حدی شماره ۲۴» و «حالت حدی شماره ۲۵» به شرح زیر برای این ستون‌ها مد نظر قرار می-گیرد [۴]:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_C} + \frac{\gamma_L}{\phi_C} \cdot \frac{L_n}{D_n} + \frac{\gamma_E}{\phi_C} \frac{P_{En}}{P_{Dn}}\right) \cdot X_{RPC} - X_D - \frac{L_n}{D_n} \cdot X_{Lapt} - \frac{P_{En}}{P_{Dn}} \cdot X_E = 0 \quad (۹۹-۵)$$

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_C} + \frac{\gamma_L}{\phi_C} \cdot \frac{L_n}{D_n} + \frac{\gamma_E}{\phi_C} \frac{P_{En}}{P_{Dn}}\right) \cdot X_{RPC} - X_D - \frac{L_n}{D_n} \cdot X_{Sann} - \frac{P_{En}}{P_{Dn}} \cdot X_E = 0 \quad (۱۰۰-۵)$$

۵-۵) حالات حدی برای اعضای کششی

در خصوص بسیاری از اعضای بار محوری مانند مهاربندها، اعضای تشکیل دهنده خرپای سقف، میل مهارها و ... می‌بایستی عملکرد کششی آنها بررسی گردد. همچنین در صورتی که در مقطع بحرانی ستون نیروهای محوری ناشی از بارهای ثقلی و بارهای جانبی یکدیگر را خنثی نمایند باید شرایط بدون تأثیر بارهای زنده (و بار برف) را نیز مد نظر قرار دهیم، در این حالت اغلب نیروی محوری بحرانی ستون، کششی خواهد بود. بدین ترتیب لازم است کلیه حالات حدی را در اعضای کششی تحت ترکیبات مختلف بار، جهت کنترل جاری شدن آنها بررسی نماییم؛ همچنین در خصوص اعضای که جهت تحمل کشش طراحی می‌گردند بایستی حالات حدی مربوط به گسیختگی نیز بررسی گردد.

(۱) شرایطی که تنها اثر بار مرده در نظر گرفته می‌شود: این شرایط زمانی در نظر گرفته می‌شود که بهره‌برداری از ساختمان آغاز نشده باشد و یا بارهای بهره‌برداری اثرات بار مرده را خنثی نماید در این

حالت رابطه بحرانی طراحی به صورت زیر خواهد بود [۴]:

$$R_{Pnt} = \frac{\gamma_D}{\phi_t} P_{Dn} \quad (۱۰۱-۵)$$

که در آن R_{Pnt} حداقل مقاومت کششی عضو می‌باشند. با تقسیم طرفین رابطه بر P_{Dn} خواهیم داشت:

$$\frac{R_{Pnt}}{P_{Dn}} = \frac{\gamma_D}{\phi_t} \quad (۱۰۲-۵)$$

حالت حدی برای چنین شرایطی را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت:

$$R_{Pt} - P_D = 0 \quad (۱۰۳-۵)$$

$$\frac{R_{Pt}}{R_{Pnt}} \cdot \frac{R_{Pnt}}{P_{Dn}} - \frac{P_D}{P_{Dn}} = 0 \quad (۱۰۴-۵)$$

بنابراین:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_t}\right) \cdot \left(\frac{R_{Pt}}{R_{Pnt}}\right) - \left(\frac{D}{D_n}\right) = 0 \quad (۱۰۵-۵)$$

فرض می‌نماییم:

$$X_{RPt} \equiv \frac{R_{Pt}}{R_{Pnt}} \quad (۱۰۶-۵)$$

در نتیجه حالت حدی برای تسلیم عضو کششی تحت تأثیر بار محوری حاصل از بار مرده به عنوان «حالت حدی شماره ۲۶» به صورت زیر خواهد بود:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_t}\right) \cdot X_{RPt} - X_D = 0 \quad (۱۰۷-۵)$$

همچنین به روش مشابه، حالت حدی برای گسیختگی عضو کششی تحت تأثیر بار محوری حاصل از بار مرده به عنوان «حالت حدی شماره ۲۷» به صورت زیر خواهد بود:

$$X_{RPu} \equiv \frac{R_{Pu}}{R_{Pnu}} \quad (۱۰۸-۵)$$

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_u}\right) \cdot X_{RPu} - X_D = 0 \quad (۱۰۹-۵)$$

۲) شرایطی که اثر بار مرده و بار زنده بر عضو کششی در نظر گرفته می‌شود: رابطه بحرانی طراحی برای این ستون‌ها عبارت است از:

$$R_{Pnt} = \frac{\gamma_D}{\phi_t} P_{Dn} + \frac{\gamma_L}{\phi_t} P_{Ln} \quad (۱۱۰-۵)$$

$$\frac{R_{Pnt}}{P_{Dn}} = \frac{\gamma_D}{\phi_t} + \frac{\gamma_L}{\phi_t} \frac{L_n}{D_n} \quad (۱۱۱-۵)$$

حالت حدی برای یک عضو کششی تحت تأثیر ترکیب بارهای زنده و مرده را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت:

$$R_{Pt} - P_D - P_L = 0 \quad (۱۱۲-۵)$$

با تقسیم طرفین بر P_{Dn} خواهیم داشت:

$$\frac{R_{Pt}}{R_{Pnt}} \cdot \frac{R_{Pnt}}{P_{Dn}} - \frac{P_D}{P_{Dn}} - \frac{P_L}{P_{Ln}} \cdot \frac{P_{Ln}}{P_{Dn}} = 0 \quad (۱۱۳-۵)$$

بنابراین:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_t} + \frac{\gamma_L}{\phi_t} \frac{L_n}{D_n} \right) \cdot \left(\frac{R_{Pt}}{R_{Pnt}} \right) - \frac{D}{D_n} - \frac{L_n}{D_n} \cdot \left(\frac{L}{L_n} \right) = 0 \quad (۱۱۴-۵)$$

در نتیجه حالت حدی برای تسلیم و گسیختگی عضو کششی تحت تأثیر بار محوری حاصل از بارهای مرده و زنده به عنوان «حالت حدی شماره ۲۸» و «حالت حدی شماره ۲۹» به صورت زیر خواهد بود و می‌توان دید که علاوه بر متغیرهای تصادفی و ضرایب جزئی ایمنی به نسبت بار اسمی زنده به بار اسمی مرده نیز وابسته است:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_t} + \frac{\gamma_L}{\phi_t} \frac{L_n}{D_n} \right) \cdot X_{RPt} - X_D - \frac{L_n}{D_n} \cdot X_L = 0 \quad (۱۱۵-۵)$$

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_u} + \frac{\gamma_L}{\phi_u} \frac{L_n}{D_n} \right) \cdot X_{RPu} - X_D - \frac{L_n}{D_n} \cdot X_L = 0 \quad (۱۱۶-۵)$$

۳) شرایطی که اثر بار برف نیز بر عضو کششی در نظر گرفته می‌شود: در خصوص اعضای کششی که بار بام ساختمان‌های واقع در مناطق با برف سنگین و فوق سنگین را حمل می‌نمایند، علاوه بر اثر بار مرده باید اثر بار برف را نیز در نظر گرفت. در چنین شرایطی رابطه بحرانی طراحی به صورت زیر خواهد بود:

$$R_{Pnt} = \frac{\gamma_D}{\phi_t} P_{Dn} + \frac{\gamma_S}{\phi_t} P_{sn} \quad (۱۱۷-۵)$$

$$\frac{R_{Pnt}}{P_{Dn}} = \frac{\gamma_D}{\phi_t} + \frac{\gamma_S}{\phi_t} \frac{S_n}{D_n} \quad (۱۱۸-۵)$$

حالت حدی برای یک عضو کششی تحت تأثیر ترکیب بارهای برف و مرده را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت:

$$R_{Pt} - P_D - P_S = 0 \quad (۱۱۹-۵)$$

با تقسیم طرفین بر P_{Dn} خواهیم داشت:

$$\frac{R_{Pt}}{R_{Pnt}} \cdot \frac{R_{Pnt}}{P_{Dn}} - \frac{P_D}{P_{Dn}} - \frac{P_S}{P_{Sn}} \cdot \frac{P_{Sn}}{P_{Dn}} = 0 \quad (120-5)$$

بنابراین:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_t} + \frac{\gamma_S}{\phi_t} \frac{S_n}{D_n} \right) \cdot \left(\frac{R_{Pt}}{R_{Pnt}} - \frac{D}{D_n} - \frac{S_n}{D_n} \cdot \left(\frac{S}{S_n} \right) \right) = 0 \quad (121-5)$$

در نتیجه حالت حدی برای تسلیم و گسیختگی عضو کششی تحت تأثیر بار محوری حاصل از بارهای مرده و برف به عنوان «حالت حدی شماره ۳۰» و «حالت حدی شماره ۳۱» به صورت زیر خواهد بود. ملاحظه می‌شود که روابط علاوه بر متغیرهای تصادفی و ضرایب جزئی ایمنی به نسبت بار اسمی برف به بار اسمی مرده نیز وابسته است:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_t} + \frac{\gamma_S}{\phi_t} \frac{S_n}{D_n} \right) \cdot X_{Rpt} - X_D - \frac{S_n}{D_n} \cdot X_S = 0 \quad (122-5)$$

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_u} + \frac{\gamma_S}{\phi_u} \frac{S_n}{D_n} \right) \cdot X_{Rpu} - X_D - \frac{S_n}{D_n} \cdot X_S = 0 \quad (123-5)$$

۴) شرایطی که اثر بارهای جانبی نیز بر عضو کششی در نظر گرفته می‌شود: رابطه کلی طراحی اعضای کششی و مهاربندها که می‌توانند متعلق به سیستم باربر جانبی ساختمان‌ها نیز باشند در مقابل ترکیبات شامل بار باد به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$R_{Pnt} = \frac{\gamma_D}{\phi_t} P_{Dn} + \frac{\gamma_L}{\phi_t} P_{Ln} + \frac{\gamma_W}{\phi_t} P_{Wn} \quad (124-5)$$

$$\frac{R_{Pnt}}{P_{Dn}} = \frac{\gamma_D}{\phi_t} + \frac{\gamma_L}{\phi_t} \frac{L_n}{D_n} + \frac{\gamma_W}{\phi_t} \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}} \quad (125-5)$$

حالت حدی مربوط به کشش برای ترکیبات شامل بار باد را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت:

$$R_{Pt} - P_D - P_{Lapt} - P_W = 0 \quad (126-5)$$

$$\frac{R_{Pt}}{R_{Pnt}} \cdot \frac{R_{Pnt}}{P_{Dn}} - \frac{P_D}{P_{Dn}} - \frac{P_{Lapt}}{P_{Ln}} \cdot \frac{P_{Ln}}{P_{Dn}} - \frac{P_W}{P_{Wn}} \cdot \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}} = 0 \quad (127-5)$$

بنابراین:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_t} + \frac{\gamma_L}{\phi_t} \cdot \frac{L_n}{D_n} + \frac{\gamma_W}{\phi_t} \cdot \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}} \right) \cdot \left(\frac{R_{Pt}}{R_{Pnt}} - \frac{D}{D_n} - \frac{L_n}{D_n} \cdot \left(\frac{L_{apt}}{L_n} \right) - \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}} \cdot \left(\frac{W}{W_n} \right) \right) = 0 \quad (128-5)$$

در نتیجه حالات حدی تسلیم و گسیختگی برای این اعضاء به عنوان «حالت حدی شماره ۳۲» و «حالت حدی شماره ۳۳» به صورت زیر خواهد بود و می‌توان دید که علاوه بر متغیرهای تصادفی و

ضرایب جزئی ایمنی به نسبت بار اسمی زنده به بار اسمی مرده و نسبت نیروی محوری اسمی ناشی از

باد به نیروی محوری اسمی ناشی از بار مرده وابسته است:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_t} + \frac{\gamma_L}{\phi_t} \cdot \frac{L_n}{D_n} + \frac{\gamma_W}{\phi_t} \cdot \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}\right) \cdot X_{RPt} - X_D - \frac{L_n}{D_n} \cdot X_{Lapt} - \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}} \cdot X_W = 0 \quad (129-5)$$

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_u} + \frac{\gamma_L}{\phi_u} \cdot \frac{L_n}{D_n} + \frac{\gamma_W}{\phi_u} \cdot \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}\right) \cdot X_{RPu} - X_D - \frac{L_n}{D_n} \cdot X_{Lapt} - \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}} \cdot X_W = 0 \quad (130-5)$$

در خصوص اعضای کششی که بار بام ساختمان‌هایی واقع در مناطق با برف سنگین و فوق سنگین را

تحمل می‌نمایند، علاوه بر حالت حدی قبل باید اثر بار برف را نیز در نظر گرفت. در چنین شرایطی با

روشی مشابه آنچه گفته شد حالات حدی جدیدی به عنوان «حالت حدی شماره ۳۴» و «حالت حدی

شماره ۳۵» حاصل خواهد شد و می‌توان دید که علاوه بر متغیرهای تصادفی و ضرایب جزئی ایمنی به

نسبت بار اسمی برف به بار اسمی مرده و نسبت نیروی محوری اسمی ناشی از باد به نیروی محوری

اسمی ناشی از بار مرده وابسته است:

$$\frac{R_{Pc}}{R_{Pnc}} \cdot \frac{R_{Pnc}}{P_{Dn}} - \frac{P_D}{P_{Dn}} - \frac{P_{Lapt}}{P_{Dn}} \cdot \frac{P_{Ln}}{P_{Dn}} - \frac{P_S}{P_{Sn}} \cdot \frac{P_{Sn}}{P_{Dn}} = 0 \quad (131-5)$$

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_t} + \frac{\gamma_S}{\phi_t} \cdot \frac{S_n}{D_n} + \frac{\gamma_W}{\phi_t} \cdot \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}\right) \cdot X_{RPt} - X_D - \frac{S_n}{D_n} \cdot X_{Sann} - \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}} \cdot X_W = 0 \quad (132-5)$$

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_u} + \frac{\gamma_S}{\phi_u} \cdot \frac{S_n}{D_n} + \frac{\gamma_W}{\phi_u} \cdot \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}\right) \cdot X_{RPu} - X_D - \frac{S_n}{D_n} \cdot X_{Sann} - \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}} \cdot X_W = 0 \quad (133-5)$$

در صورتیکه در عضو کششی نیروهای ناشی از بارهای ثقلی و جانبی یکدیگر را خنثی نمایند باید

شرایط بدون حضور بار زنده در خصوص این اعضاء بررسی شود. رابطه طراحی در مقابل ترکیبات

شامل بار باد و بار مرده به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$R_{Pnt} = \frac{\gamma_D}{\phi_t} P_{Dn} + \frac{\gamma_W}{\phi_t} P_{Wn} \quad (134-5)$$

$$\frac{R_{Pnt}}{P_{Dn}} = \frac{\gamma_D}{\phi_t} + \frac{\gamma_W}{\phi_t} \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}} \quad (135-5)$$

حالت حدی مربوط به کماتش برای ترکیبات شامل بار مرده و بار باد را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$R_{Pt} - P_D - P_W = 0 \quad (136-5)$$

$$\frac{R_{Pt}}{R_{Pnt}} \cdot \frac{R_{Pnt}}{P_{Dn}} - \frac{P_D}{P_{Dn}} - \frac{P_W}{P_{Wn}} \cdot \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}} = 0 \quad (137-5)$$

بنابراین:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_t} + \frac{\gamma_W}{\phi_t} \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}\right) \cdot \left(\frac{R_{Pt}}{R_{Pnt}}\right) - \frac{D}{D_n} - \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}} \cdot \left(\frac{W}{W_n}\right) = 0 \quad (138-5)$$

$$X_{RPt} \equiv \frac{R_{Pt}}{R_{Pnt}} \quad \left(\frac{\gamma_D}{\phi_u} + \frac{\gamma_W}{\phi_u} \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}\right) \cdot X_{RPu} - X_D - \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}} \cdot X_W = 0 \quad (139-5)$$

در نتیجه حالات حدی تسلیم و گسیختگی برای این اعضاء به عنوان «حالت حدی شماره ۳۶» و «حالت حدی شماره ۳۷» به صورت زیر خواهد بود و می‌توان دید که علاوه بر متغیرهای تصادفی و ضرایب جزئی ایمنی به نسبت نیروی محوری اسمی ناشی از باد به نیروی اسمی ناشی از بار مرده وابسته است:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_t} + \frac{\gamma_W}{\phi_t} \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}\right) \cdot X_{RPt} - X_D - \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}} \cdot X_W = 0 \quad (140-5)$$

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_u} + \frac{\gamma_W}{\phi_u} \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}\right) \cdot X_{RPu} - X_D - \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}} \cdot X_W = 0 \quad (141-5)$$

با توجه به شباهت ترکیبات بارگذاری شامل بار باد با ترکیبات بارگذاری شامل بار زلزله جهت اعضای به تحت نیروهای ناشی از زلزله که در آنها نیروی محوری کششی تعیین کننده است، شش حالت حدی دیگر به شرح زیر به عنوان «حالت حدی شماره ۳۸»، «حالت حدی شماره ۳۹»، «حالت حدی شماره ۴۰»، «حالت حدی شماره ۴۱»، «حالت حدی شماره ۴۲»، «حالت حدی شماره ۴۳»، برای این اعضاء مد نظر قرار می‌گیرد [۴]:

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_t} + \frac{\gamma_L}{\phi_t} \cdot \frac{L_n}{D_n} + \frac{\gamma_E}{\phi_t} \cdot \frac{P_{En}}{P_{Dn}}\right) \cdot X_{RPt} - X_D - \frac{L_n}{D_n} \cdot X_{Lapt} - \frac{P_{En}}{P_{Dn}} \cdot X_E = 0 \quad (142-5)$$

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_t} + \frac{\gamma_S}{\phi_t} \cdot \frac{S_n}{D_n} + \frac{\gamma_E}{\phi_t} \cdot \frac{P_{En}}{P_{Dn}}\right) \cdot X_{RPt} - X_D - \frac{S_n}{D_n} \cdot X_{Sann} - \frac{P_{En}}{P_{Dn}} \cdot X_E = 0 \quad (143-5)$$

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_u} + \frac{\gamma_S}{\phi_u} \cdot \frac{S_n}{D_n} + \frac{\gamma_E}{\phi_u} \cdot \frac{P_{En}}{P_{Dn}}\right) \cdot X_{RPu} - X_D - \frac{S_n}{D_n} \cdot X_{Sann} - \frac{P_{En}}{P_{Dn}} \cdot X_E = 0 \quad (144-5)$$

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_t} + \frac{\gamma_E}{\phi_t} \frac{P_{En}}{P_{Dn}}\right) \cdot X_{RPt} - X_D - \frac{P_{En}}{P_{Dn}} \cdot X_E = 0 \quad (145-5)$$

$$\left(\frac{\gamma_D}{\phi_u} + \frac{\gamma_E}{\phi_u} \frac{P_{En}}{P_{Dn}}\right) \cdot X_{RPu} - X_D - \frac{P_{En}}{P_{Dn}} \cdot X_E = 0 \quad (146-5)$$

۵-۶) نقش یک آیین نامه در فرآیند ساخت

فرآیند ساخت شامل تهیه نقشه‌ها، طراحی سازه‌ای، تهیه و تولید مصالح، حمل و نقل مصالح، اجراء، کاربرد، بهره‌برداری و نهایتاً تخریب سازه می‌باشد. این فرآیند دربردارنده حرفه‌ها و مشاغل مختلفی

می‌باشد. گروه‌های اصلی دخیل در این فرآیند را می‌توان به چهار دسته اصلی طبقه‌بندی نمود: مالک/سرمایه‌گذار، طراح، پیمانکار و استفاده کننده. گروه‌های مذکور اغلب برخوردهای مفید و سودمندی در عمل و اجراء با هم دارند. در حالت خاص مالک معمولاً تمایل به دریافت حداکثر منافع دارد و این موضوع به معنی تقلیل هزینه‌هاست. بهره‌بردار نیز دوست دارد که یک سازه راحت و مطمئن داشته باشد که این امر به معنی افزایش هزینه‌هاست. طراح، اسناد و مدارک شامل نقشه‌ها و محاسبات را ارائه می‌نماید و از پیمانکار نیز انتظار می‌رود که سازه را به صورت فیزیکی براساس اسناد و مدارک ارائه شده بسازد. هم طراح و هم پیمانکار هر دو از طرف مالک تحت فشار هستند که هزینه‌ها را در حداقل نگه دارند. نقش آیین نامه در فرآیند ساخت و ساز این است که ملزومات لازم برای تامین یک سطح حداقل از ایمنی و در عین حال یک طرح اقتصادی را فراهم نماید [۲۲].

۵-۷) سطوح آیین نامه

هدف یک آیین نامه طراحی، تأمین یک حداقل برای سطح اطمینان می‌باشد. آیین نامه‌های متداول فرمول‌های معین و قطعی را مورد استفاده قرار می‌دهند. به هر حال طراحی بهینه به ملاحظه و بررسی ایمنی سازه‌ای به عنوان یک معیار پذیرش نیاز دارد. برای کسب ایمنی لازم، چهار سطح از آیین نامه‌های طراحی تدوین شده است:

سطح یک آیین نامه‌ها: در این سطح از فرمول‌های طراحی معین و قطعی استفاده می‌شود. حاشیه ایمنی بصورت ضرایب اطمینان اصلی (نسبت مقاومت طراحی به بار طراحی) یا ضرایب اطمینان جزئی (ضرایب بار و مقاومت) معرفی می‌شود.

سطح دو آیین نامه‌ها: این سطح از آیین نامه‌ها معیار پذیرش طراحی را بر حسب نزدیکی ترم‌های شاخص ایمنی سازه با شاخص ایمنی هدف یا دیگر پارامترهای وابسته به سلامت سازه تعریف می‌نمایند.

سطح سه آیین نامه‌ها: این سطح از آیین نامه‌ها یک تحلیل کامل از ایمنی را لازم می‌دارند تا تحت اثر بارگذاری‌های مختلف، احتمال گسیختگی سازه را به کمیت درآورند. معیار پذیرش بر حسب ترم‌های شاخص ایمنی حقیقی به سطح ایمنی بهینه (یا احتمال گسیختگی) تعریف می‌شود.

سطح چهار آیین نامه‌ها: این سطح از آیین نامه‌ها، کل هزینه مورد انتظار طراحی را به عنوان معیار بهینه سازی مورد استفاده قرار می‌دهند. تابع بهره‌برداری طراحی قابل قبول را، حداکثر می‌نماید. تابع بهره‌برداری اختلاف بین منافع و هزینه‌های وابسته به یک طرح خاص را توصیف می‌نماید.

در عمل، آیین نامه‌های طراحی رایج، براساس فلسفه سطح یک آیین نامه‌ها بنا نهاده شده‌اند. به هر جهت در سطح یک آیین نامه‌های توسعه داده شده، پارامترهای طراحی (ضرایب بار و مقاومت) با استفاده از روش‌های موجود در آیین نامه سطح دو اثبات می‌شوند. هم‌اکنون روش‌های سطح سه و چهار به طور وسیعی در پژوهش‌های پیشرفته یا در طراحی سازه‌های بحرانی مورد استفاده واقع می‌شوند [۲۲].

۵-۸) روش توسعه آیین نامه

یک آیین نامه طراحی سازه‌ای اصولاً یک مجموعه از دستورات و الزامات است که توسط گروه خاصی از سازه‌ها بایستی تامین شود. مراحل اصلی در توسعه یک آیین نامه طراحی که توسط لیند و داونپورت^۱ در سال ۱۹۷۲ ارائه شدند به صورت زیر می‌باشد [۲۲]:

(۱) تعریف هدف آیین نامه

(۲) تعریف موضوع آیین نامه

(۳) تعیین و تصویب تقاضا و فراوانی وقوع پیشامدها

(۴) انتخاب فضای اندازه‌گیری آیین نامه

(۵) انتخاب شکل آیین نامه

¹ Lind & Davenport

۵-۸-۱) هدف آیین نامه

یک آیین نامه معمولاً برای یک دسته یا رده مشخصی از سازه‌ها توسعه داده می‌شود. این نکته مهم است که رده سازه با شرح عوامل دربرگیرنده یا عدم آن توسط آیین نامه مشخص شود. این عوامل می‌توانند مشتمل بر نوع مواد و مصالح، نوع کارکرد، نوع طول دهانه، نوع سازه و نوع اتصال باشند. برای اجتناب از سوء استفاده غیر عمدی از آیین نامه‌های قدیمی، کمیته‌های تدوین کننده آیین نامه باید به طور صریح و روشن هدف آیین نامه را مشخص نمایند. هدف عبارت است از یک مجموعه از سازه‌ها که توسط مجموعه‌ای از پارامترها که به نام فضای داده‌ها شناخته می‌شوند مورد طراحی یا ساخت قرار می‌گیرند. هدف می‌تواند محدود باشد (مثل میل مهارهای استفاده شده در یک دیوار بتنی از یک نیروگاه هسته‌ای) یا اینکه بسیار وسیع باشد (مثل انواع پل‌ها) [۲۲].

۵-۸-۲) موضوع آیین نامه

هدف کلی آیین نامه‌های طراحی این است که مطمئن شویم سازه‌های مورد طراحی مطابق با شرایط آیین نامه از یک حداقل سطح ایمنی برخوردار خواهند بود. ممکن است برای برخی از رده‌های سازه‌ای موضوعات خاص‌تری اختصاص داده شود. سازمان‌های تدوین کننده آیین نامه باید برای سازه‌های تحت پوشش آیین نامه، معیارهای قابل قبولی را تعریف نمایند. موضوعات آیین نامه بسته به معیار مقایسه و مقدار اطمینان هدف، ممکن است تغییر نمایند. چند نمونه از موضوعات آیین نامه در زیر ارائه شده است:

- یک سازه نزدیک به مقدار مشخص شده شاخص ایمنی هدف طراحی شود.
- یک سازه به گونه‌ای طراحی شود که دارای احتمال گسیختگی کمتر از مقدار قابل قبول از پیش تعیین شده در یک پرپود زمانی از قبل انتخاب شده باشد.

- اختلاف بین منافع و هزینه‌ها حداکثر شود. هزینه‌ها معمولاً شامل هزینه‌های اولیه، هزینه نگهداری و هزینه مورد انتظار از گسیختگی است. منافع ممکن است شامل عایدی خالص و راحتی بهره‌بردار باشد [۲۲].

۵-۸-۳) تابع تقاضا و فرکانس تقاضا

مرحله سوم جهت توسعه یک آیین نامه، تعیین فراوانی وقوع پیشامدهای مورد توجه است. در حالت کلی این امر برای یک آیین نامه طراحی مشکل است که در عین اینکه کاملاً ساده باشد بتواند تمام حالات و شرایط محتمل را به طور کامل ارضاء نماید. بنابراین ضرورت دارد مهمترین و شایعترین داده‌های سازه‌ای مورد توجه قرار گیرد. برای مثال اگر نسبت بار مرده به زنده به طور عادی در محدوده ۰.۵ تا ۲ باشد آنگاه ممکن است به سادگی آیین‌نامه را روی این محدوده توسعه داد، اما ممکن است توسعه روشی که موضوع را روی تمام نسبت‌های ممکن در محدوده صفر تا بی‌نهایت ارضاء نماید مشکل باشد. در مجموع می‌توان گفت که نسبت‌های بین ۰.۵ تا ۲ دارای یک فراوانی رخداد بالاتری نسبت به دیگر مقادیر هستند و آنگاه می‌توان با استفاده از این اطلاعات آیین‌نامه را توسعه داد [۲۲].

۵-۸-۴) نزدیکی به هدف

مرحله چهارم در توسعه آیین‌نامه‌های طراحی عبارت است از اینکه معیاری انتخاب شود تا بتوان تصمیم گرفت چقدر آیین‌نامه می‌تواند بطور کمی موضوعات مورد توجه را لحاظ نماید. برای مثال در یک کنترل اطمینان خاص فرض شود β_T بیانگر مقدار شاخص ایمنی هدف مطلوب از شاخص ایمنی باشد و همینطور فرض شود که β هم مقدار واقعی ایجاد شده توسط روش آیین نامه باشد. اختلاف $\beta_T - \beta$ بر روی مجموعه عمومی داده‌ها تغییر می‌نماید. این اختلاف برای برخی حالات ممکن است مثبت باشد و برای حالات دیگر ممکن است منفی باشد.

از آنجائیکه طراحی دست پایین خطرناک‌تر از طراحی دست بالا است، لذا یک تابع انحراف که جریمه بیشتری را بر طراحی دست پائین بر جای می‌گذارد ممکن است ترجیح داده شود. در کل طراحی بهینه متناسب است با مقدار β ای که هزینه کل را حداقل نماید [۲۲].

۵-۸-۵) شکل آیین‌نامه

مرحله پنجم در توسعه یک آیین‌نامه طراحی انتخاب یک سری از اشکال آیین‌نامه‌ای آزمایشی است که به ترتیب افزایش پیچیدگی مرتب شده‌اند. عموماً هر شکل آیین‌نامه حاوی یک راه‌حل بهینه است که دارای نزدیک‌ترین شیوه به موضوع مورد نظر می‌باشد. در ارتباط با معیار نزدیکی، بهترین راه‌حل ساده‌ترین راه‌حل است که معیار را نیز برآورده می‌نماید. معمولاً بهتر است از یک شکل آیین‌نامه متحد و جامع استفاده شود. جدا از ثوابت ریاضی یا فیزیکی خوب تعریف شده، ثوابت عددی موجود در یک آیین‌نامه را ممکن است متغیر در نظر گرفت. همین‌طور که این متغیرها مقادیر مختلف به خود می‌گیرند یک مجموعه از آیین‌نامه‌های مختلف ایجاد می‌شوند که این مجموعه به نام شکل‌های آیین‌نامه‌ای شناخته می‌شوند.

نهایتاً آیین‌نامه واقعی اختصاص یافته برای استفاده، یکی از این اشکال متعدد آیین‌نامه‌ای است [۲۲].

فصل ششم: تعیین شاخص قابلیت اعتماد اعضای طراحی شده براساس آیین نامه جدید
فولاد (نسخه ۱۳۹۲ ه ش) ایران و آمریکا (نسخه ۲۰۱۰ م)

۶-۱) مقدمه

در روش های رایج آیین نامه ای، ضابطه اساسی طراحی با اعمال ضرایب جزئی بار و مقاومت اعمال می-شود. به عبارت دیگر برای رسیدن به ایمنی لازم در مقاومتها ضرایب کوچکتر از واحد و به بارهای مؤثر ضرایب بزرگتر از واحد اعمال می شود.

در روش های دیگر طراحی که به نام روش مستقیم شناخته می شود با اعمال ضرایب β به جای اعمال ضرایب جزئی بار و مقاومت، پراکندگی هر یک از پارامترهای تعیین کننده بار و مقاومت مورد توجه قرار می گیرد. ضابطه عمومی طراحی به صورت زیر بیان می شود:

$$R \geq S \quad (۶-۱)$$

تفاوت این روش با روش آیین نامه ای آن است که R , S مقدار قطعی نداشته و بعلمت ماهیت تصادفی پارامترهای تشکیل دهنده، مقدار آنها ممکن است تغییر کند. در این فصل با استفاده از اطلاعات آماری پارامترهای بار و مقاومت و با استفاده از روش های تعیین شاخص قابلیت اعتماد، ضریب β برای اعضای فولادی تحت حالت های خمش، برش، فشار و کشش و ترکیب بارهای مختلف بدست آمده است.

اعضای فولادی مختلف به گروه بندی هایی براساس ترکیب بارهای مختلف تقسیم شده و پس از اینکه شاخص قابلیت اعتماد اعضای فولادی مختلف محاسبه شد بیشترین مقدار شاخص قابلیت اعتماد هر گروه، شاخص قابلیت اعتماد بحرانی شناخته می شود. شاخص ایمنی بحرانی نشان می دهد که آئین-نامه برای طراحی براساس عضو و ترکیب بار مشخص شده به این مقدار شاخص قابلیت اعتماد نیاز دارد.

۶-۲) پارامترهای احتمالاتی بار و مقاومت

پارامترهای احتمالاتی متغیرهای بار کشور ایران مطابق با جدول (۴-۵) از فرضیات آقای الینگوود و همکارانش در سال ۱۹۸۰ میلادی استنباط شده و در این تحقیق در خصوص پارامترهای احتمالاتی

بار زلزله کشور ایران با توجه به شرایط اقلیمی مختلف (۶ شهر منتخب) بررسی‌هایی انجام شده است که برای بار زلزله کشور ایران این پارامترها به کار گرفته می‌شود. برای پارامترهای احتمالاتی مقاومت کشور ایران نیز مطابق جدول (۶-۱) از نتایج تحقیقات آقای شایانفر و همکارانش پیرامون مشخصات احتمالاتی مقاومت فولاد تولیدی در کشور ایران که در سال ۱۳۸۸ ارائه گردیده است استفاده شده است [۳].

جدول (۶-۱): مشخصات احتمالاتی متغیرهای تصادفی مقاومت اعضای سازه‌ای ایران

متغیر تصادفی	توزیع احتمالاتی	ضریب انحراف	ضریب تغییرات
تسلیم یا گسیختگی عضو کششی	لگ نرمال	۱/۱۰	۰/۱۱۱۸
اعضای فشاری با عامل لاغری ۰/۵	لگ نرمال	۱/۱۳	۰/۱۳
اعضای فشاری با عامل لاغری ۰/۹	لگ نرمال	۱/۱۴	۰/۱۵
اعضای فشاری با عامل لاغری ۱/۳	لگ نرمال	۱/۰۶۰	۰/۱۴
اعضای فشاری با عامل لاغری ۱/۷	لگ نرمال	۱/۱۲۰	۰/۱۴
تسلیم خمشی تیورورق-تکیه گاه ساده	لگ نرمال	۱/۱۰۰	۰/۱۳۷۵
تسلیم خمشی تیر نورد شده-تکیه گاه ساده	لگ نرمال	۱/۰۸۹	۰/۱۲۶۹
تسلیم خمشی تیورورق-تکیه گاه صلب	لگ نرمال	۱/۲۴۳	۰/۱۵۶۸
تسلیم خمشی تیر نورد شده-تکیه گاه صلب	لگ نرمال	۱/۲۷۶	۰/۱۶۴۰
تسلیم تیورورق در برش	لگ نرمال	۱/۲۷۷	۰/۱۵۸۳

پارامترهای احتمالاتی متغیرهای بار کشور آمریکا مطابق با جدول (۴-۵) از فرضیات آقای الینگوود و همکارانش در سال ۱۹۸۰ میلادی استفاده شده است و پارامترهای احتمالاتی مقاومت کشور آمریکا مطابق با جدول (۶-۲) از تحقیقات آقای الینگوود و همکارانش در سال ۱۹۸۰ میلادی استفاده شده است [۱۵].

جدول (۲-۶): پارامترهای آماری مقاومت المان‌های فولادی نورد شده توسط الینگوود و همکارانش

نوع عضو	توزیع احتمالاتی	ضریب انحراف	ضریب تغییرات
عضو کششی، تسلیم	لگ نرمال	۱/۰۵	۰/۱۱
عضو کششی، گسیختگی	لگ نرمال	۱/۱۰	۰/۱۱
تیر فشرده، لنگر یکنواخت	لگ نرمال	۱/۰۷	۰/۱۳
تیر فشرده، لنگر سرتاسری	لگ نرمال	۱/۱۱	۰/۱۳
تیرورق در خمش	لگ نرمال	۱/۰۸	۰/۱۲
ستون با بار محوری	لگ نرمال	۱/۰۸	۰/۱۴
تیرورق در برش	لگ نرمال	۱/۱۴	۰/۱۶

۳-۶) تعیین شاخص ایمنی β در خمش برای اعضای طراحی شده براساس آیین نامه فولاد

ایران

جهت تعیین شاخص قابلیت اعتماد لازم است اعضای ساختمانی و حالات حدی مربوط به آنها در دسته‌بندی‌های مستقل مورد بررسی قرار گیرد بطوریکه برای هر دسته یک شاخص قابلیت اعتماد تعیین شود و مجموعه این دسته‌ها قلمرو اهداف آیین نامه را پوشش دهد.

جدول (۳-۶): گروه‌بندی اعضای خمشی ساختمان‌ها براساس ترکیب بارهای مختلف

گروه	ترکیب بارهای موثر	موقعیت	عضو
گروه ۱	مرده و برف	تیرهای موجود در بام قاب مهاربند شده ساده	اعضای خمشی
گروه ۲	مرده و زنده	تیرهای موجود در طبقات قاب مهاربند شده ساده	
گروه ۳	مرده، برف و باد	تیرهای موجود در قاب خمشی	
گروه ۴	مرده، زنده و باد		
گروه ۵	مرده و باد		
گروه ۶	مرده و زلزله		
گروه ۷	مرده، برف و زلزله		
گروه ۸	مرده، زنده و زلزله		

هر یک از این دسته‌ها، یک مسئله قابلیت اعتماد شناخته می‌شود. در این بخش با توجه به اهداف و قلمرو آیین نامه و با توجه به ترکیبات بارگذاری ارائه شده در بخش (۵-۲) در مجموع ۳۲ مسئله قابلیت اعتماد برای اعضای خمشی بررسی گردیده است.

با استفاده از پارامترهای احتمالاتی بار و مقاومت اعضای خمشی ساختمان‌های فولادی طبق آنچه گفته شد، برای تعیین شاخص قابلیت اعتماد با استفاده از روش راکویتز-فیسler برای هر مسئله قابلیت اعتماد تحت هر یک از هفت ترکیب بار گذاری مبحث دهم و براساس برنامه نوشته شده به زبان ویژوال بیسیک، شاخص‌های قابلیت اعتماد بدست آمده برای هر گروه بازای ترکیبات بارگذاری متفاوت با یکدیگر مقایسه و بزرگترین شاخص حاصل، بعنوان شاخص قابلیت اعتماد بحرانی آن معرفی می‌شود و مشخص می‌کند چه میزان ایمنی مورد نیاز است.

برای شرح چگونگی بدست آوردن شاخص قابلیت اعتماد اعضای فولادی با گروه‌ها و ترکیبات بارگذاری مختلف، روند تعیین اولین مقدار شاخص قابلیت اعتماد مربوط به جدول (۶-۵) که شاخص قابلیت اعتماد گروه ۱ (بار مرده و برف) تحت اولین ترکیب بارگذاری (1.4D) آئین‌نامه فولاد ایران است، توضیح داده شده است:

تابع حالت حدی برای این حالت همانطور که در فصل چهار به طور مفصل توضیح داده شد، به صورت زیر می‌باشد:

$$g(X_{RM}, X_D) = \left(\frac{\gamma_D}{\phi_b}\right) \cdot X_{RM} - X_D = 1.55555X_{RM} - X_D$$

در رابطه بالا X_{RM} بیانگر مقاومت و X_D بیانگر اثر بار می‌باشد. متغیر X_{RM} با توزیع لگاریتمی نرمال دارای مقدار میانگین $\mu_{X_{RM}} = 1.1$ و انحراف معیار $\sigma_{X_{RM}} = 0.151$ می‌باشد. متغیر X_D با توزیع نرمال دارای مقدار میانگین $\mu_{X_D} = 1.05$ و انحراف معیار $\sigma_{X_D} = 0.105$ می‌باشد. محاسبه شاخص ایمنی برای دور اول محاسبات تکرار به صورت زیر می‌باشد.

(۱) تابع حالت حدی و توزیع‌های احتمال را فرموله می‌کنیم که این کار قبلاً انجام شده است.

(۲) یک نقطه طراحی اولیه را حدس می‌زنیم. مقدار میانگین $X_{RM}^* = 1.1$ به عنوان حدس اولیه در نظر می‌گیریم. آنگاه با استفاده از معادله حالت حدی $g = 0$ مقدار $X_D^* = 1.71$ بدست می‌آید.

(۳) پارامترهای معادل نرمال را تعیین می‌کنیم. برای X_{RM} که لگاریتمی نرمال است می‌دانیم که:

$$\begin{aligned}\sigma_{LnX_{RM}} &= \sqrt{Ln(1 + \frac{\sigma_{X_{RM}}^2}{\mu_{X_{RM}}^2})} = 0.13663 \\ \mu_{LnX_{RM}} &= Ln(\mu_{X_{RM}}) - 0.5\sigma_{LnX_{RM}}^2 = 0.08597 \\ \sigma_{X_{RM}}^e &= X_{RM}^* \sigma_{LnX_{RM}} = 0.15029 \\ \mu_{X_{RM}}^e &= X_{RM}^* (1 - Ln(X_{RM}^*)) + \mu_{LnX_{RM}} = 1.08973\end{aligned}$$

(۴) مقادیر متغیرهای اصلاح شده را تعیین می‌نماییم. فرض شود Z_1^* و Z_2^* به ترتیب بیانگر متغیرهای اصلاح شده برای X_{RM}^* و X_D^* باشند، آنگاه داریم:

$$\begin{aligned}Z_1^* &= \frac{X_{RM}^* - \mu_{X_{RM}}^e}{\sigma_{X_{RM}}^e} = 0.068316 \\ Z_2^* &= \frac{X_D^* - \mu_{X_D}}{\sigma_{X_D}} = 6.2962\end{aligned}$$

(۵) بردار ستونی $\{G\}$ را تعیین می‌کنیم:

$$\begin{aligned}G_1 &= \frac{-\partial g}{\partial Z_1} \Big|_{\{Z_i^*\}} = -1.55555\sigma_{X_{RM}}^e = -0.23379 \\ G_2 &= \frac{-\partial g}{\partial Z_2} \Big|_{\{Z_i^*\}} = \sigma_{X_D} = 0.105\end{aligned}$$

(۶) یک مقدار برای β تخمین می‌زنیم:

$$\beta = \frac{\{G\}^T \{Z^*\}}{\sqrt{\{G\}^T \{G\}}} = 2.5172$$

(۷) بردار $\{\alpha\}$ را محاسبه می‌کنیم:

$$\{\alpha\} = \frac{\{G\}}{\sqrt{\{G\}^T \{G\}}} = \begin{Bmatrix} -0.9122 \\ 0.40969 \end{Bmatrix}$$

(۸) مقادیر جدید Z_i^* را برای $n-1$ تا از متغیرها تعیین می‌کنیم. مقدار X_{RM}^* با استفاده از

رابطه زیر بدست می‌آید:

$$X_{RM}^* = \mu_{X_{RM}}^e + Z_1^* \sigma_{X_{RM}}^e = \mu_{X_{RM}}^e + \alpha_1 \beta \sigma_{X_{RM}}^e = 0.80889$$

۹) با استفاده از معادله حالت حدی $g = 0$ مقدار X_D^* را تعیین می‌کنیم. برای این حالت داریم

$$X_D^* = 1.55555 X_{RM}^* = 1.25827$$

۱۰) عملیات آنقدر تکرار می‌شوند تا مقادیر β و نقطه طراحی همگرا شوند. نتایج تکرارهای بعدی

در جدول (۴-۶) آورده شده است.

جدول (۴-۶): تکرارهای مربوط به مثال

	شماره تکرار				
	۱	۲	۳	۴	۵
X_{RM}^*	۱/۱	۰/۸۰۸۸۹	۰/۷۹۰۵۲	۰/۷۹۱۸۱۹	۰/۷۹۱۷
X_D^*	۱/۷۱۱۱	۱/۲۵۸۲۷	۱/۲۲۹۷	۱/۲۳۱۷	۱/۲۳۱۵
β	۲/۵۱۷۲	۲/۸۹۵۶	۲/۸۹۹۵	۲/۸۹۹۳	۲/۸۹۹۳
X_{RM}^*	۰/۸۰۸۸۹	۰/۷۹۰۵۲	۰/۷۹۱۸۱۹	۰/۷۹۱۷	۰/۷۹۱۷
X_D^*	۱/۲۵۸۲۷	۱/۲۲۹۷	۱/۲۳۱۷	۱/۲۳۱۵	۱/۲۳۱۵

نهایتاً با همین روال نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای خمشی ساختمان‌های فولادی مبتنی بر آئین-

نامه فولاد ایران در چهار جدول (۴-۵)، (۴-۶)، (۴-۷) و (۴-۸) خلاصه می‌شود. این نتایج با توجه به

توابع حالت حدی هر کدام از اعضاء و ترکیب بارگذاری مرتبط، برای نسبت‌های $\frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}$ ، $\frac{S_n}{D_n}$ ، $\frac{L_n}{D_n}$

مساوی با ۰/۵ تعیین شده است. $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}$ ، $\frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}$ ، $\frac{V_{En}}{V_{Dn}}$ ، $\frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}$ ، $\frac{M_{En}}{M_{Dn}}$

جدول (۵-۶): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای خمشی (تیرورق-تکیه گاه ساده) طرح شده براساس آئین نامه فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی ۰/۵)

گروه	β ترکیب ۱	β ترکیب ۲	β ترکیب ۳	β ترکیب ۴	β ترکیب ۵	β ترکیب ۶	β ترکیب ۷	β کنترل کننده
گروه ۱	۲/۸۹۹۳	۱/۲۳۰۳	۲/۹۶۵۹	۱/۲۳۰۳	۰/۵۷۰۰۷	۰/۲۱۷۳۵	۰/۲۱۷۳۵	۲/۹۶۵۹
گروه ۲	۲/۸۹۹۳	۲/۰۵۲۹	۱/۷۲۸۹	۱/۷۲۸۹	۱/۷۲۸۹	۰/۲۱۷۳۵	۰/۲۱۷۳۵	۲/۸۹۹۳
گروه ۳	۰	۰	۳/۳۷۸۴	۲/۹۴۴۷۸	۰	۱/۷۰۱۸	۰	۳/۳۷۸۴
گروه ۴	۰	۰	۱/۷۲۸۹۲	۲/۹۹۴۸	۰	۱/۷۰۱۸	۰	۲/۹۹۴۸
گروه ۵	۰	۰	۱/۵۳۴۰۲	۲/۵۸۱۶۸	۰	۱/۷۰۱۸	۰	۲/۵۸۱۶۸
گروه ۶	۰	۰	۰	۰	۱/۷۹۸۹۸	۰	۱/۲۲۱۴۷	۱/۷۹۸۹۸
گروه ۷	۰	۰	۰	۰	۱/۷۲۸۷۶	۰	۱/۲۲۱۴۷	۱/۷۲۸۷۶
گروه ۸	۰	۰	۰	۰	۲/۲۵۹۱۲	۰	۱/۲۲۱۴۷	۲/۲۵۹۱۲

جدول (۶-۶): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای خمشی (تیرورق-تکیه گاه صلب) طرح شده براساس آئین نامه فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی ۰/۵)

گروه	β ترکیب ۱	β ترکیب ۲	β ترکیب ۳	β ترکیب ۴	β ترکیب ۵	β ترکیب ۶	β ترکیب ۷	β کنترل کننده
گروه ۱	۳/۳۲۰۲۳	۱/۷۷۳۳	۳/۲۸۷۶	۱/۷۷۳۳	۱/۱۷۷۵۴	۰/۸۲۱۱۷	۰/۸۲۱۱۷	۳/۳۲۰۲۳
گروه ۲	۳۰۳۲۰۲۳	۲/۵۲۶	۲/۲۲۹۴۵	۲/۲۲۹۴۵	۲/۲۲۹۴۵	۰/۸۲۱۱۷	۰/۸۲۱۱۷	۳/۳۲۰۲۳
گروه ۳	۰	۰	۳/۷۱۷۸۵	۳/۳۱۴۰۱	۰	۲/۱۷۱۷۸	۰	۳/۷۱۷۸۵
گروه ۴	۰	۰	۲/۲۲۹۴۵	۳/۳۱۷۵	۰	۰/۸۲۱۱۷	۰	۳/۳۱۷۵
گروه ۵	۰	۰	۲/۰۱۷۹	۲/۹۸۱۹۶	۰	۲/۱۷۱۷۸	۰	۲/۹۸۱۹۶
گروه ۶	۰	۰	۰	۰	۲/۰۲۹۷۴	۰	۱/۵۷۶۷۵	۲/۰۲۹۷۴
گروه ۷	۰	۰	۰	۰	۱/۸۹۷۹۱	۰	۱/۵۷۶۷۵	۱/۸۹۷۹۱
گروه ۸	۰	۰	۰	۰	۲/۴۲۲۷۴	۰	۱/۵۷۶۷۵	۲/۴۲۲۷۴

جدول (۶-۷): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای خمشی (تیر نورد شده-تکیه‌گاه ساده) طرح شده براساس آئین نامه

فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی ۰/۵)

گروه	β ترکیب ۱	β ترکیب ۲	β ترکیب ۳	β ترکیب ۴	β ترکیب ۵	β ترکیب ۶	β ترکیب ۷	β کنترل کننده
گروه ۱	۳/۰۰۷	۱/۲۳۹۷	۲/۹۹۴۶	۱/۲۳۹۷	۰/۵۴۵۰	۰/۱۷۵۳۳	۰/۱۷۵۳۳	۳/۰۰۷
گروه ۲	۳/۰۰۷	۲/۰۹۵۷	۱/۷۵۸۵۵	۱/۷۵۸۵۵	۱/۷۵۸۵۵	۱/۱۷۵۳۳	۰/۱۷۵۳۳	۳/۰۰۷
گروه ۳	۰	۰	۳/۴۴۴۴	۳/۰۰۱۴	۰	۱/۷۲۱۸۶	۰	۳/۴۴۴۴
گروه ۴	۰	۰	۱/۷۵۸۵۵	۳/۰۳۲۸۹	۰	۱/۷۲۱۸۶	۰	۳/۰۳۲۸۹
گروه ۵	۰	۰	۱/۵۴۸۱۱	۲/۶۲۷۲۹	۰	۱/۷۲۱۸۶	۰	۲/۶۲۷۲۹
گروه ۶	۰	۰	۰	۰	۱/۷۹۱۹۹	۰	۱/۲۱۲۲۶	۱/۷۹۱۹۹
گروه ۷	۰	۰	۰	۰	۱/۷۲۰۶۰	۰	۱.۲۱۲۲۶	۱/۷۲۰۶۰
گروه ۸	۰	۰	۰	۰	۲/۲۵۳۱۹	۰	۱.۲۱۲۲۶	۲/۲۵۳۱۹

جدول (۶-۸): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای خمشی (تیر نورد شده- تکیه گاه صلب) طرح شده براساس آئین نامه

فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی ۰/۵)

گروه	β ترکیب ۱	β ترکیب ۲	β ترکیب ۳	β ترکیب ۴	β ترکیب ۵	β ترکیب ۶	β ترکیب ۷	β کنترل کننده
گروه ۱	۳/۳۲۲۸	۱/۸۴۹۴	۳/۳۳۰۱۶	۱/۸۴۹۴	۱/۲۷۳۰۶	۰/۹۱۳۳۷	۰/۹۱۳۳۷	۳/۳۳۰۱۶
گروه ۲	۳/۳۲۲۸	۲/۵۶۵۳	۲/۲۷۸۴۱	۲/۲۷۸۴۱	۲/۲۷۸۴۱	۰/۹۱۳۳۷	۰/۹۱۳۳۷	۳/۳۲۲۸
گروه ۳	۰	۰	۳/۷۴۶۳	۳/۳۵۰۵۰	۰	۲/۲۳۰۰۷	۰	۳/۷۴۶۳
گروه ۴	۰	۰	۲/۲۷۸۴۱	۳/۳۵۵۳	۰	۲/۲۳۰۰۷	۰	۳/۳۵۵۳
گروه ۵	۰	۰	۲/۰۸۰۴۲	۳/۰۲۰۱۴	۰	۲/۲۳۰۰۷	۰	۳/۰۲۰۱۴
گروه ۶	۰	۰	۰	۰	۲/۰۶۷۰۳	۰	۱.۶۲۹۹۲	۲/۰۶۷۰۳
گروه ۷	۰	۰	۰	۰	۱/۹۲۵۷۳	۰	۱.۶۲۹۹۲	۱/۹۲۵۷۳
گروه ۸	۰	۰	۰	۰	۲/۴۵۴۲۱	۰	۱.۶۲۹۹۲	۲/۴۵۴۲۱

مقادیر شاخص‌های قابلیت اعتمادی که در جداول (۶-۵)، (۶-۶)، (۶-۷) و (۶-۸) ذکر شد، فقط

مربوط به نسبت‌های $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}$ ، $\frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}$ ، $\frac{V_{En}}{V_{Dn}}$ ، $\frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}$ ، $\frac{M_{En}}{M_{Dn}}$ ، $\frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}$ ، $\frac{S_n}{D_n}$ ، $\frac{L_n}{D_n}$ می‌باشد

که دید کلی به ما نمی‌دهد و بهتر است شاخص‌های قابلیت اعتماد مربوطه را برای نسبت‌های دیگر

هم بدست آوریم.

این نسبت‌ها بیشتر، در محدوده ۰/۵ تا ۱/۵ تغییر می‌کند [۱۵]. که سه مقدار ۰/۵، ۱ و ۱/۵ را برای این نسبت‌ها در نظر گرفته می‌شود و شاخص‌های قابلیت اعتماد مربوط به گروه‌ها و ترکیب بارهای مختلف برای نسبت‌های ۱ و ۱/۵ نیز بدست می‌آید و با مقایسه تأثیری که این نسبت‌ها بر روی شاخص قابلیت اعتماد مربوطه می‌گذارد، شاخص قابلیت اعتماد بزرگتر برای هر گروه تحت نسبت‌های مختلف $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$ به عنوان حالت بحرانی برای آن گروه در نظر گرفته می‌شود. این مقادیر در جدول (۶-۱۰) درج شده است.

در جدول (۶-۱۰)، اندیس i مربوط به نسبت $\frac{L_n}{D_n}$ ، اندیس j مربوط به نسبت $\frac{S_n}{D_n}$ ، اندیس k مربوط به نسبت $\frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}$ ، اندیس t مربوط به نسبت $\frac{M_{En}}{M_{Dn}}$ ، اندیس m مربوط به نسبت $\frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}$ ، اندیس n مربوط به نسبت $\frac{V_{En}}{V_{Dn}}$ ، اندیس p مربوط به نسبت $\frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}$ و اندیس r مربوط به نسبت $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}$ می‌باشد بنحویکه طبق جدول (۶-۹)، هر شماره‌ی اندیس، مقدار نسبت مربوط به همان اندیس را مشخص می‌کند.

جدول (۶-۹): تعاریف اندیس‌ها و مقادیر مرتبط

i, j, k, t, m, n, p, r	۱	۲	۳
$\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$	۰/۵	۱	۱/۵

به عنوان مثال، وقتی $\beta_{i,K} = \beta_{3,1}$ یعنی $\frac{L_n}{D_n}$ برابر با ۱/۵ و $\frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}$ برابر با ۰/۵ می‌باشد. حالت بدون اندیس β یعنی تابع حالت حدی مورد نظر فاقد نسبت پارامترهای اسمی می‌باشد.

جدول (۶-۱۰): حالت‌های بحرانی و مقادیر شاخص قابلیت اعتماد بحرانی مربوط به هر گروه از اعضای خمشی طرح شده براساس آئین‌نامه فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مختلف ۰/۵، ۱، ۱/۵)

گروه	حالت بحرانی تیورق-خمش یکنواخت	حالت بحرانی تیورق- گرادیان خمشی	حالت بحرانی تیر نورد شده-خمش یکنواخت	حالت بحرانی تیر نورد شده-گرادیان خمشی
گروه ۱	$\beta_j = \beta_1 = 2/9659$	$\beta = 3/32023$	$\beta = 3/007$	$\beta_j = \beta_1 = 3/33016$
گروه ۲	$\beta = 2/8993$	$\beta = 3/32023$	$\beta = 3/007$	$\beta = 3/3228$
گروه ۳	$\beta_{j,K} = \beta_{3,1} = 3/8302$	$\beta_{j,K} = \beta_{3,1} = 4/0411$	$\beta_{j,K} = \beta_{3,1} = 3/8373$	$\beta_{j,K} = \beta_{3,1} = 4/07399$
گروه ۴	$\beta_{i,K} = \beta_{3,1} = 3/8804$	$\beta_{i,K} = \beta_{3,1} = 4/0512$	$\beta_{i,K} = \beta_{3,1} = 3/8726$	$\beta_{i,K} = \beta_{3,1} = 4/08541$
گروه ۵	$\beta_k = \beta_2 = 2/8888$	$\beta_k = \beta_2 = 2/98196$	$\beta_k = \beta_2 = 2/62729$	$\beta_k = \beta_2 = 3/02014$
گروه ۶	$\beta_t = \beta_1 = 1/79898$	$\beta_t = \beta_1 = 2/02974$	$\beta_t = \beta_1 = 1/79199$	$\beta_t = \beta_1 = 2/06703$
گروه ۷	$\beta_{i,K} = \beta_{3,1} = 1/7684$	$\beta_{i,K} = \beta_{3,1} = 1/9412$	$\beta_{i,K} = \beta_{3,1} = 1/7604$	$\beta_{i,K} = \beta_{3,1} = 1/9688$
گروه ۸	$\beta_{i,t} = \beta_{3,2} = 2/3229$	$\beta_{i,t} = \beta_{3,2} = 2/4536$	$\beta_{i,t} = \beta_{3,2} = 2/3171$	$\beta_{i,t} = \beta_{3,2} = 2/48004$

۶-۴) تعیین شاخص ایمنی β در برش برای اعضای طراحی شده براساس آیین نامه فولاد

ایران

اعضای برشی فولادی طبق حالات حدی مختلف به گروه‌بندی‌های زیر تقسیم می‌شود:

جدول (۶-۱۱): گروه‌بندی اعضای برشی ساختمان‌ها براساس ترکیب بارهای مختلف

گروه	ترکیب بارهای موثر	موقعیت	عضو
گروه ۹	مرده و برف	تیرهای موجود در بام قاب مهاربند شده ساده	اعضای برشی
گروه ۱۰	مرده و زنده	تیرهای موجود در طبقات قاب مهاربند شده ساده	
گروه ۱۱	مرده، برف و باد	تیرهای موجود در قاب خمشی	
گروه ۱۲	مرده، زنده و باد		
گروه ۱۳	مرده و باد		
گروه ۱۴	مرده و زلزله		
گروه ۱۵	مرده، برف و زلزله		
گروه ۱۶	مرده، زنده و زلزله		

با استفاده از پارامترهای احتمالاتی بار و مقاومت اعضای برشی ساختمان‌های فولادی طبق آنچه گفته

شد، برای تعیین شاخص قابلیت اعتماد با استفاده از روش راکویتز-فیسler برای هر مسئله قابلیت

اعتماد تحت هر یک از هفت ترکیب بار گذاری مبحث دهم و براساس برنامه نوشته شده به زبان ویژال بیسیک شاخص‌های قابلیت اعتماد بدست آمده برای هر گروه بازای ترکیبات بارگذاری متفاوت با یکدیگر مقایسه و بزرگترین شاخص حاصل، بعنوان شاخص قابلیت اعتماد بحرانی آن گروه معرفی می‌شود و مشخص می‌کند چه میزان ایمنی مورد نیاز است. در مجموع ۸ مسئله قابلیت اعتماد برای اعضای خمشی بررسی گردیده است.

نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای برشی ساختمان‌های فولادی مبتنی بر آئین‌نامه فولاد ایران در جدول (۶-۱۲) خلاصه می‌شود. این نتایج با توجه به توابع حالت حدی هر کدام از اعضاء و ترکیب

بارگذاری مرتبط، برای نسبت‌های $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$ مساوی با ۰/۵ تعیین شده است.

جدول (۶-۱۲): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای برشی (تیرورق- نیروی برشی) طرح شده براساس آئین نامه فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی ۰/۵)

تیرورق- نیروی برشی	β ترکیب ۱	β ترکیب ۲	β ترکیب ۳	β ترکیب ۴	β ترکیب ۵	β ترکیب ۶	β ترکیب ۷	β کنترل کننده
گروه ۹	۳/۴۱۷۰۸	۱/۹۰۵۲	۳/۳۶۷۹۵	۱/۹۰۵۲	۱/۳۱۵۵	۰/۹۴۲۶۵۸	۰/۹۴۲۶۵۸	۳/۴۱۷۰۸
گروه ۱۰	۳/۴۱۷۰۸	۲/۶۳۱۷	۲/۳۳۹۵	۲/۳۳۹۵	۲/۳۳۹۵	۰/۹۴۲۶۵۸	۰/۹۴۲۶۵۸	۳/۴۱۷۰۸
گروه ۱۱	۰	۰	۳/۸۲۰۱۴	۳/۴۲۰۱۲	۰	۲/۲۸۲۴	۰	۳/۸۲۰۱۴
گروه ۱۲	۰	۰	۲/۳۳۹۵	۳/۴۱۳۵	۰	۲/۲۸۲۴	۰	۳/۴۱۳۵
گروه ۱۳	۰	۰	۲/۱۳۰۴۷	۳/۰۸۲۴۸۸	۰	۲/۲۸۲۴	۰	۳/۰۸۲۴۸۸
گروه ۱۴	۰	۰	۰	۰	۲/۰۷۶۲۰	۰	۱/۶۴۴۹۷	۲/۰۷۶۲۰
گروه ۱۵	۰	۰	۰	۰	۱/۹۳۰۱۷	۰	۱/۶۴۴۹۷	۱/۹۳۰۱۷
گروه ۱۶	۰	۰	۰	۰	۲/۴۵۸۵۲	۰	۱/۶۴۴۹۷	۲/۴۵۸۵۲

شاخص‌های قابلیت اعتماد مربوط به گروه‌ها و ترکیب بارهای مختلف برای نسبت‌های ۱ و ۱/۵ نیز بدست می‌آید. شاخص ایمنی بحرانی مربوط به هر گروه از اعضای برشی طرح شده براساس آئین‌نامه فولاد ایران در جدول (۶-۱۳) خلاصه شده است.

جدول (۶-۱۳): حالت‌های بحرانی و مقدار شاخص قابلیت اعتماد بحرانی مربوط به هر گروه از اعضای برشی طرح شده براساس آئین‌نامه فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مختلف ۰/۵، ۱، ۱/۵)

گروه	تیرورق- نیروی برشی
گروه ۹	$\beta = 3/4170.8$
گروه ۱۰	$\beta = 3/4170.8$
گروه ۱۱	$\beta_{j,m} = \beta_{3,1} = 4/0945$
گروه ۱۲	$\beta_{i,m} = \beta_{3,1} = 4/1023$
گروه ۱۳	$\beta_m = \beta_1 = 3/082488$
گروه ۱۴	$\beta_n = \beta_1 = 2/07620$
گروه ۱۵	$\beta_{i,m} = \beta_{3,1} = 1/9732$
گروه ۱۶	$\beta_{i,n} = \beta_{3,2} = 2/48259$

۶-۵) تعیین شاخص ایمنی β در فشار برای اعضای طراحی شده براساس آیین نامه فولاد

ایران

اعضای فشاری فولادی را طبق حالات حدی مختلف به گروه‌بندی‌های زیر تقسیم می‌کنیم:

جدول (۶-۱۴): گروه‌بندی اعضای فشاری ساختمان‌ها براساس ترکیب بارهای مختلف

گروه	ترکیب بارهای موثر	موقعیت	عضو
گروه ۱۷	مرده و برف	ستون‌ها در آخرین طبقه قاب مهاربند شده ساده	اعضای فشاری
گروه ۱۸	مرده و زنده	ستون‌ها در طبقات دیگر قاب مهاربند شده ساده	
گروه ۱۹	مرده، زنده و باد		
گروه ۲۰	مرده، زنده و زلزله		

برای ستون‌های فولادی پارامترهای آماری به عامل لاغری بستگی دارند. با استفاده از پارامترهای احتمالاتی بار و مقاومت ستون‌های فولادی طبق آنچه گفته شد، برای اعضای فشاری نیز برای تعیین شاخص قابلیت اعتماد با استفاده از روش راکویتز-فیسلر برای هر مسئله قابلیت اعتماد تحت هر یک از هفت ترکیب بار گذاری مبحث دهم و براساس برنامه نوشته شده به زبان ویژوال بیسیک، شاخص‌های قابلیت اعتماد بدست آمده برای هر گروه بازای ترکیبات بارگذاری متفاوت با یکدیگر مقایسه و بزرگترین شاخص حاصل، بعنوان شاخص قابلیت اعتماد بحرانی آن گروه معرفی می‌شود و مشخص

می‌کند چه میزان ایمنی مورد نیاز است. در مجموع ۲۰ مسئله قابلیت اعتماد برای اعضای خمشی بررسی گردیده است. نتایج تحلیل قابلیت اعتماد برای اعضای فشاری در جدول‌های (۶-۱۵)، (۶-۱۶)، (۶-۱۷) و (۶-۱۸) خلاصه می‌شود. این نتایج با توجه به توابع حالت حدی هر کدام از اعضا و ترکیب بارگذاری مرتبط، برای نسبت‌های $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$ مساوی با ۰/۵ تعیین شده است.

جدول (۶-۱۵): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای فشاری (کمانش ستون با عامل لاغری ۰.۵) طرح شده براساس آئین نامه فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی با ۰/۵)

گروه	β ترکیب ۱	β ترکیب ۲	β ترکیب ۳	β ترکیب ۴	β ترکیب ۵	β ترکیب ۶	β ترکیب ۷	β کنترل کننده
گروه ۱۷	۳/۱۸۹۵	۱/۴۴۷۲	۳/۱۱۴۸	۱/۴۴۷۲	۰/۷۶۶۶۳	۰/۳۹۰۰۵۴	۰/۳۹۰۰۵۴	۳/۱۸۹۵
گروه ۱۸	۳/۱۸۹۵	۲/۲۷۷۷	۱/۹۴۷۷۹	۱/۹۴۷۷۹	۱/۹۴۷۷۹	۰/۳۹۰۰۵۴	۰/۳۹۰۰۵۴	۳/۱۸۹۵
گروه ۱۹	۰	۰	۱/۹۴۷۷۹	۳/۱۶۳۳	۰	۱/۸۹۷۵۸	۰	۳/۱۶۳۳
گروه ۲۰	۰	۰	۰	۰	۲/۳۰۸۱۱	۰	۱/۳۳۸۴۲	۲/۳۰۸۱۱

جدول (۶-۱۶): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای فشاری (کمانش ستون با عامل لاغری ۰.۹) طرح شده براساس آئین نامه فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی با ۰/۵)

گروه	β ترکیب ۱	β ترکیب ۲	β ترکیب ۳	β ترکیب ۴	β ترکیب ۵	β ترکیب ۶	β ترکیب ۷	β کنترل کننده
گروه ۱۷	۲/۹۱۶۲	۱/۳۴۹۵	۳/۰۱۵۶	۱/۳۴۹۵	۰/۷۲۹۴۳	۰/۳۸۸۹۸	۰/۳۸۸۹۸	۳/۰۱۵۶
گروه ۱۸	۲/۹۱۶۲	۲/۱۲۶۴	۱/۸۱۹۳۴	۱/۸۱۹۳۴	۱/۸۱۹۳۴	۰/۳۸۸۹۸	۰/۳۸۸۹۸	۲/۹۱۶۲
گروه ۱۹	۰	۰	۱/۸۱۹۳۴	۲/۰۱۸۰۸	۰	۱/۷۹۳۵	۰	۲/۰۱۸۰۸
گروه ۲۰	۰	۰	۰	۰	۲/۳۰۲۵۱	۰	۱/۳۱۵۰۱۹	۲/۳۰۲۵۱

جدول (۶-۱۷): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای فشاری (کمانش ستون با عامل لاغری ۱.۳) طرح شده براساس آئین نامه فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی با ۰/۵)

گروه	β ترکیب ۱	β ترکیب ۲	β ترکیب ۳	β ترکیب ۴	β ترکیب ۵	β ترکیب ۶	β ترکیب ۷	β کنترل کننده
گروه ۱۷	۲/۶۲۲۲	۰/۹۹۱۷۶	۲/۷۸۵۴	۰/۹۹۱۷۶	۰/۳۳۷۸	۰	۰	۲/۷۸۵۴
گروه ۱۸	۲/۶۲۲۲	۱/۸۱۹۶	۱/۴۹۶۵۶	۱/۴۹۶۵۶	۱/۴۹۶۵۶	۰	۰	۲/۶۲۲۲
گروه ۱۹	۰	۰	۱/۴۹۶۵۶	۱/۷۰۸۰	۰	۱/۴۸۸۳۹	۰	۱/۷۰۸۰
گروه ۲۰	۰	۰	۰	۰	۲/۱۹۵۷۳	۰	۱/۰۶۶۸۲۳	۲/۱۹۵۷۳

جدول (۶-۱۸): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای فشاری (کمانش ستون با عامل لاغری ۱.۷) طرح شده براساس آئین-
 نامه فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی با ۰/۵)

گروه	β ترکیب ۱	β ترکیب ۲	β ترکیب ۳	β ترکیب ۴	β ترکیب ۵	β ترکیب ۶	β ترکیب ۷	β کنترل کننده
گروه ۱۷	۲/۹۶۷۳	۱/۳۱۸۷۵	۳/۰۱۸۶۷	۱/۳۱۸۷۵	۰/۶۶۸۱۸	۰/۳۱۴۹۹	۰/۳۱۴۹۹	۳/۰۱۸۶۷
گروه ۱۸	۲/۹۶۷۳	۲/۱۲۷۳۵	۱/۸۰۷۸	۱/۸۰۷۸	۱/۸۰۷۸	۰/۳۱۴۹۹	۰/۳۱۴۹۹	۲/۹۶۷۳
گروه ۱۹	۰	۰	۱/۸۰۷۸	۲/۰۱۳۲۴	۰	۱/۷۷۶۴۵	۰	۲/۰۱۳۲۴
گروه ۲۰	۰	۰	۰	۰	۲/۲۸۵۰۹	۰	۱/۲۸۰۳۷	۲/۲۸۵۰۹

شاخص‌های قابلیت اعتماد مربوط به گروه‌ها و ترکیب بارهای مختلف برای نسبت‌های ۱ و ۱/۵ نیز بدست می‌آید و شاخص ایمنی بحرانی مربوط به هر گروه از اعضای فشاری طرح شده براساس آئین-

نامه فولاد ایران در جدول (۶-۱۹) خلاصه می‌شود.

جدول (۶-۱۹): حالت‌های بحرانی و مقدار شاخص قابلیت اعتماد بحرانی مربوط به هر گروه از اعضای فشاری طرح شده
 براساس آئین‌نامه فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مختلف ۰/۵، ۱، ۱/۵)

گروه	کمانش ستون با عامل لاغری ۰.۵	کمانش ستون با عامل لاغری ۰.۹	کمانش ستون با عامل لاغری ۱.۳	کمانش ستون با عامل لاغری ۱.۷
گروه ۱۷	$\beta = ۳/۱۸۹۵$	$\beta_j = \beta_1 = ۳/۰۱۵۶$	$\beta_j = \beta_1 = ۲/۷۸۵۴$	$\beta_j = \beta_1 = ۳/۰۱۸۶۷$
گروه ۱۸	$\beta = ۳/۱۸۹۵$	$\beta = ۲/۹۱۶۲$	$\beta = ۲/۶۲۲۲$	$\beta = ۲/۹۶۷۳$
گروه ۱۹	$\beta_{i,p} = \beta_{3,1} = ۳/۸۴۲۱$	$\beta_{i,p} = \beta_{3,1} = ۲/۷۱۲۳$	$\beta_{i,p} = \beta_{3,1} = ۲/۳۵۱۴$	$\beta_{i,p} = \beta_{3,1} = ۲/۶۳۱۵$
گروه ۲۰	$\beta_{i,r} = \beta_{3,2} = ۲/۳۶۰۰$	$\beta_{i,r} = \beta_{3,2} = ۲/۳۵۸۰$	$\beta_{i,r} = \beta_{3,2} = ۲/۲۷۵۱$	$\beta_{i,r} = \beta_{3,2} = ۲/۳۴۳۲۸$

۶-۶) تعیین شاخص ایمنی β در کشش برای اعضای طراحی شده براساس آیین نامه فولاد

ایران

اعضای کششی فولادی تحت ترکیب بارهای مختلف، به دو جدول با گروه‌بندی‌های زیر تقسیم می‌شود:

شود:

جدول (۶-۲۰): گروه‌بندی اعضای کششی حالت تسلیم ساختمان‌ها براساس ترکیب بارهای مختلف

گروه	ترکیب بارهای موثر	موقعیت	عضو
گروه ۲۱	مرده و برف	حد تسلیم	اعضای کششی
گروه ۲۲	مرده و زنده		
گروه ۲۳	مرده، برف و باد		
گروه ۲۴	مرده، زنده و باد		
گروه ۲۵	مرده و باد		
گروه ۲۶	مرده، برف و زلزله		
گروه ۲۷	مرده، زنده و زلزله		

جدول (۶-۲۱): گروه‌بندی اعضای کششی حالت گسیختگی ساختمان‌ها براساس ترکیب بارهای مختلف

گروه	ترکیب بارهای موثر	موقعیت	عضو
گروه ۲۸	مرده و برف	حد گسیختگی	اعضای کششی
گروه ۲۹	مرده و زنده		
گروه ۳۰	مرده، برف و باد		
گروه ۳۱	مرده، زنده و باد		
گروه ۳۲	مرده و باد		
گروه ۳۳	مرده، برف و زلزله		
گروه ۳۴	مرده، زنده و زلزله		

با استفاده از پارامترهای احتمالاتی بار و مقاومت اعضای کششی ساختمان‌های فولادی طبق آنچه گفته شد، برای اعضای کششی نیز به منظور تعیین شاخص قابلیت اعتماد با استفاده از روش راکویتز-فیسلر برای هر مسئله قابلیت اعتماد تحت هر یک از هفت ترکیب بار گذاری مبحث دهم و براساس برنامه نوشته شده به زبان ویژوال بیسیک، شاخص‌های قابلیت اعتماد بدست آمده برای هر گروه بازای ترکیبات بارگذاری متفاوت با یکدیگر مقایسه و بزرگترین شاخص حاصل شاخص قابلیت اعتماد

بحرانی آن گروه معرفی می‌شود و مشخص می‌کند چه میزان ایمنی مورد نیاز است. در مجموع ۱۴

مسئله قابلیت اعتماد برای اعضای کششی بررسی گردیده است. نتایج تحلیل قابلیت اعتماد برای

اعضای کششی ساختمان‌ها در دو جدول (۶-۲۲) و (۶-۲۳) خلاصه می‌شود. این نتایج با توجه به

توابع حالت حدی هر کدام از اعضاء و ترکیب بارگذاری مرتبط، برای نسبت‌های $\frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$

$$\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}$$

مساوی با ۰/۵ تعیین شده است.

جدول (۶-۲۲): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای کششی حالت تسلیم، طرح شده براساس آیین نامه فولاد ایران (برای

نسبت پارامترهای اسمی مساوی با ۰/۵)

گروه	β ترکیب ۱	β ترکیب ۲	β ترکیب ۳	β ترکیب ۴	β ترکیب ۵	β ترکیب ۶	β ترکیب ۷	β کنترل کننده
گروه ۲۱	۳/۳۴۳۴	۱/۴۱۶۳	۳/۱۱۲۵۳	۱/۴۱۶۳	۰/۶۷۱۳۵۲	۰/۲۶۵۵	۰/۲۶۵۵	۳/۳۴۳۴
گروه ۲۲	۳/۳۴۳۴	۲/۳۰۴۹	۱/۹۵۲۲۸	۱/۹۵۲۲۸	۱/۹۵۲۲۸	۰/۲۶۵۵	۰/۲۶۵۵	۳/۳۴۳۴
گروه ۲۳	۰	۰	۳/۶۵۷۶	۳/۲۰۵۹۷۳	۰	۱/۸۸۵۱	۰	۳/۶۵۷۶
گروه ۲۴	۰	۰	۱/۹۵۲۲۸	۳/۱۸۶۳۵	۰	۱/۸۸۵۱	۰	۳/۱۸۶۳۵
گروه ۲۵	۰	۰	۱/۷۰۴۸۳۹	۲/۸۱۴۷۴	۰	۱/۸۸۵۱	۰	۲/۸۱۴۷۴
گروه ۲۶	۰	۰	۰	۰	۱/۷۵۰۴۸۴	۰	۱/۲۸۶۵۲	۱/۷۵۰۴۸۴
گروه ۲۷	۰	۰	۰	۰	۲/۲۸۱۸۲۳	۰	۱/۲۸۶۵۲	۲/۲۸۱۸۲۳

جدول (۶-۲۳): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای کششی حالت گسیختگی، طرح شده براساس آیین نامه فولاد ایران

(برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی با ۰/۵)

گروه	β ترکیب ۱	β ترکیب ۲	β ترکیب ۳	β ترکیب ۴	β ترکیب ۵	β ترکیب ۶	β ترکیب ۷	β کنترل کننده
گروه ۲۸	۴/۶۵۱۱	۲/۵۲۵۳	۳/۶۵۴۶۶	۲/۵۲۵۳	۱/۸۹۴۶۲	۱/۵۱۳۵۵	۱/۵۱۳۵۵	۴/۶۵۱۱
گروه ۲۹	۴/۶۵۱۱	۳/۹۴۱۱۷	۳/۰۴۴۴	۳/۰۴۴۴	۳/۰۴۴۴	۱/۵۱۳۵۵	۱/۵۱۳۵۵	۴/۶۵۱۱
گروه ۳۰	۰	۰	۴/۵۴۷۶۶	۴/۱۱۸۲	۰	۲/۸۶۸۹	۰	۴/۵۴۷۶۶
گروه ۳۱	۰	۰	۳/۰۴۴۴	۳/۶۱۶۸۲	۰	۲/۸۶۸۹	۰	۳/۶۱۶۸۲
گروه ۳۲	۰	۰	۲/۷۰۳۸۶	۳/۷۲۵۳	۰	۲/۸۶۸۹	۰	۳/۷۲۵۳
گروه ۳۳	۰	۰	۰	۰	۱/۹۸۷۱۵	۰	۱/۸۰۹۰۳۴	۱/۹۸۷۱۵
گروه ۳۴	۰	۰	۰	۰	۲/۵۳۶۲۹	۰	۱/۸۰۹۰۳۴	۲/۵۳۶۲۹

شاخص‌های قابلیت اعتماد مربوط به گروه‌ها و ترکیب بارهای مختلف را برای نسبت‌های ۱ و ۱/۵ نیز بدست می‌آوریم و حالت بحرانی مربوط به هر گروه از اعضای کششی طرح شده براساس آیین‌نامه فولاد ایران را در جدول (۶-۲۴) خلاصه می‌کنیم.

جدول (۶-۲۴): حالت‌های بحرانی و مقدار شاخص قابلیت اعتماد بحرانی مربوط به هر گروه از اعضای کششی طرح شده براساس آیین‌نامه فولاد ایران (برای نسبت پارامترهای اسمی مختلف ۰/۵، ۱ و ۱/۵)

گروه	حالت تسلیم	حالت گسیختگی
گروه ۲۸	$\beta = 3/3434$	$\beta = 4/6511$
گروه ۲۹	$\beta = 3/3434$	$\beta = 4/6511$
گروه ۳۰	$\beta_{j,p} = \beta_{3,1} = 3/8992$	$\beta_{j,p} = \beta_{3,1} = 4/54766$
گروه ۳۱	$\beta_{i,p} = \beta_{3,1} = 3/9012$	$\beta_{i,p} = \beta_{3,1} = 3/61682$
گروه ۳۲	$\beta_p = \beta_1 = 2/81474$	$\beta_p = \beta_1 = 3/7253$
گروه ۳۳	$\beta_{i,p} = \beta_{3,1} = 1/7924$	$\beta_{i,p} = \beta_{3,1} = 2/02868$
گروه ۳۴	$\beta_{i,r} = \beta_{3,2} = 2/3376$	$\beta_{i,r} = \beta_{3,2} = 2/5428$

۶-۷) تعیین شاخص ایمنی β در خمش برای اعضای طراحی شده براساس آیین نامه فولاد آمریکا

برای تعیین شاخص قابلیت اعتماد اعضای خمشی طراحی شده براساس آیین نامه آمریکا، گروه‌بندی اعضاء مانند آنچه برای کشور ایران گفته شد، می‌باشد.

با استفاده از پارامترهای احتمالاتی بار و مقاومت اعضای خمشی ساختمان‌های فولادی آمریکا طبق آنچه گفته شد، برای تعیین شاخص قابلیت اعتماد با استفاده از روش راکویتز-فیسler برای هر مسئله قابلیت اعتماد تحت هر یک از هفت ترکیب بار گذاری آیین نامه فولاد آمریکا و براساس برنامه نوشته شده به زبان ویژوال بیسیک، شاخص‌های قابلیت اعتماد بدست آمده برای هر گروه بازای ترکیبات بارگذاری متفاوت با یکدیگر مقایسه و بزرگترین شاخص حاصل، بعنوان شاخص قابلیت اعتماد بحرانی آن گروه معرفی می‌شود و مشخص می‌کندچه میزان ایمنی مورد نیاز است.

در مجموع ۲۴ مسئله قابلیت اعتماد برای اعضای خمشی (آمریکا) بررسی گردیده است. نتایج تحلیل قابلیت اعتماد برای اعضای خمشی ساختمان‌های فولادی آمریکا در جداول (۶-۲۵)، (۶-۲۶) و (۶-۲۷) خلاصه می‌شود. این نتایج با توجه به توابع حالت حدی هر کدام از اعضا و ترکیب بارگذاری

مرتبط، برای نسبت‌های $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$ مساوی با ۰/۵ تعیین

شده است.

جدول (۶-۲۵): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای خمشی (تیرورق) طرح شده براساس آیین نامه فولاد آمریکا (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی با ۰/۵)

گروه	β ترکیب ۱	β ترکیب ۲	β ترکیب ۳	β ترکیب ۴	β ترکیب ۵	β ترکیب ۶	β ترکیب ۷	β کنترل کننده
گروه ۱	۳/۰۶۹۳۶	۱/۲۳۴۵	۳/۰۰۳۲۲	۱/۲۳۴۵	۰/۵۱۵۲۶۵	۰/۱۳۳۹۵	۰/۱۳۳۹۵	۳/۰۶۹۳۶
گروه ۲	۳/۰۶۹۳۶	۲/۱۱۲۶	۱/۷۶۶۵۵	۱/۷۶۶۵۵	۱/۷۶۶۵۵	۰/۱۳۳۹۵	۰/۱۳۳۹۵	۳/۰۶۹۳۶
گروه ۳	۰	۰	۳/۲۶۰۵۹	۲/۵۱۷۷۲	۰	۰/۹۶۳۸۲۵	۰	۳/۲۶۰۵۹
گروه ۴	۰	۰	۱/۷۶۶۵۵	۳/۰۴۱۴۷	۰	۰/۹۶۳۸۲۵	۰	۳/۰۴۱۴۷
گروه ۵	۰	۰	۱/۱۶۶۵۶۹	۲/۰۵۷۲۸	۰	۰/۹۶۳۸۲۸	۰	۲/۰۵۷۲۸
گروه ۶	۰	۰	۰	۰	۱/۶۹۶۲	۰	۱/۱۰۷۶۸	۱/۶۹۶۲
گروه ۷	۰	۰	۰	۰	۱/۶۴۲۸۵	۰	۱/۱۰۷۶۸	۱/۶۴۲۸۵
گروه ۸	۰	۰	۰	۰	۲/۱۶۵۷۴۱	۰	۱/۱۰۷۶۸	۲/۱۶۵۷۴۱

جدول (۶-۲۶): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای خمشی (تیر فشرده- لنگر یکنواخت) طرح شده براساس آیین نامه فولاد آمریکا (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی با ۰/۵)

گروه	β ترکیب ۱	β ترکیب ۲	β ترکیب ۳	β ترکیب ۴	β ترکیب ۵	β ترکیب ۶	β ترکیب ۷	β کنترل کننده
گروه ۱	۲/۸۳۸۷۷	۱/۱۰۸۸	۲/۹۰۳۶۱	۱/۱۰۸۸	۰/۴۲۲۹۲	۰/۰۶۳۹۲۱	۰/۰۶۳۹۲۱	۲/۹۰۳۶۱
گروه ۲	۲/۸۳۸۷۷	۱/۹۶۲۹	۱/۶۲۸	۱/۶۲۸	۱/۶۲۸	۰/۰۶۳۹۲۱	۰/۰۶۳۹۲۱	۲/۸۳۸۷۷
گروه ۳	۰	۰	۳/۱۰۹۲۰۶	۲/۳۷۷۴۷	۰	۰/۸۶۷۱۳	۰	۳/۱۰۹۲۰۶
گروه ۴	۰	۰	۱/۶۲۸	۲/۹۱۸۳۵	۰	۰/۸۶۷۱۳	۰	۲/۹۱۸۳۵
گروه ۵	۰	۰	۱/۰۶۳۰	۱/۹۲۹۸۶	۰	۰/۸۶۷۱۳	۰	۱/۹۲۹۸۶
گروه ۶	۰	۰	۰	۰	۱/۶۵۸۴۸	۰	۱/۰۴۶۰۱	۱/۶۵۸۴۸
گروه ۷	۰	۰	۰	۰	۱/۶۱۴۳	۰	۱/۰۴۶۰۱	۱/۶۱۴۳
گروه ۸	۰	۰	۰	۰	۲/۱۴۱۲۹	۰	۱/۰۴۶۰۱	۲/۱۴۱۲۹

جدول (۶-۲۷): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای خمشی (تیر فشرده- لنگر سرتاسری) طرح شده براساس آیین نامه فولاد آمریکا (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی با ۰/۵)

گروه	β ترکیب ۱	β ترکیب ۲	β ترکیب ۳	β ترکیب ۴	β ترکیب ۵	β ترکیب ۶	β ترکیب ۷	β کنترل کننده
گروه ۱	۳/۰۷۶۵۷	۱/۳۳۶۹	۳/۰۴۸۸۸	۱/۳۳۶۹	۰/۶۵۴۳۱	۰/۲۸۴۴۷	۰/۲۸۴۴۷	۳/۰۷۶۵۷
گروه ۲	۳/۰۷۶۵۷	۲/۱۷۵۳	۱/۸۴۳۶	۱/۸۴۳۶	۱/۸۴۳۶	۰/۲۸۴۴۷	۰/۲۸۴۴۷	۳/۰۷۶۵۷
گروه ۳	.	.	۳/۲۹۰۹	۲/۵۶۸۷	.	۱/۰۷۲۰۴	.	۳/۲۹۰۹
گروه ۴	.	.	۱/۸۴۳۶	۳/۰۷۹۴۳	.	۱/۰۷۲۰۴	.	۳/۰۷۹۴۳
گروه ۵	.	.	۱/۲۶۶۴۵	۲/۱۲۳۶۶	.	۱/۰۷۲۰۴	.	۲/۱۲۳۶۶
گروه ۶	.	.	.	.	۱/۷۴۵۸	.	۱/۱۸۵۸۶	۱/۷۴۵۸
گروه ۷	.	.	.	.	۱/۶۸۴۴	.	۱/۱۸۵۸۶	۱/۶۸۴۴
گروه ۸	.	.	.	.	۲/۲۰۰۷۴	.	۱/۱۸۵۸۶	۲/۲۰۰۷۴

شاخص‌های قابلیت اعتماد مربوط به گروه‌ها و ترکیب بارهای مختلف برای نسبت‌های ۱ و ۱/۵ بدست می‌آید و حالت بحرانی مربوط به هر گروه از اعضای خمشی طرح شده براساس آئین‌نامه فولاد آمریکا در جدول (۶-۲۸) خلاصه می‌شود.

جدول (۶-۲۸): حالت‌های بحرانی و مقدار شاخص قابلیت اعتماد بحرانی مربوط به هر گروه از اعضای خمشی طرح شده براساس آیین نامه فولاد آمریکا (برای نسبت پارامترهای اسمی مختلف ۰/۵، ۱ و ۱/۵)

گروه	تیروورق	تیر فشرده-لنگر یکنواخت	تیر فشرده-لنگر سرتاسری
گروه ۱	$\beta = ۳/۰۶۹۳۶$	$\beta_j = \beta_1 = ۲/۹۰۳۶۱$	$\beta = ۳/۰۷۶۵۷$
گروه ۲	$\beta = ۳/۰۶۹۳۶$	$\beta = ۲/۸۳۸۷۷$	$\beta = ۳/۰۷۶۵۷$
گروه ۳	$\beta_{j,K} = \beta_{3,1} = ۳/۷۷۸۳$	$\beta_{j,K} = \beta_{3,1} = ۳/۷۲۹۰۱$	$\beta_{j,K} = \beta_{3,1} = ۳/۸۱۳۷۶$
گروه ۴	$\beta_{i,K} = \beta_{3,1} = ۳/۶۴۴۵$	$\beta_{i,K} = \beta_{3,1} = ۳/۵۱۶۴$	$\beta_{i,K} = \beta_{3,1} = ۳/۶۱۰۲$
گروه ۵	$\beta_k = \beta_1 = ۲/۰۵۷۲۸$	$\beta_k = \beta_1 = ۱/۹۲۹۸۶$	$\beta_k = \beta_1 = ۲/۱۲۳۶۶$
گروه ۶	$\beta_t = \beta_1 = ۱/۶۹۶۲$	$\beta_t = \beta_1 = ۱/۶۵۸۴۸$	$\beta_t = \beta_1 = ۱/۷۴۵۸$
گروه ۷	$\beta_{i,K} = \beta_{3,1} = ۱/۶۸۴۳۲۴$	$\beta_{i,K} = \beta_{3,1} = ۱/۶۵۳۰۳$	$\beta_{i,K} = \beta_{3,1} = ۱/۷۲۷۵۲۹$
گروه ۸	$\beta_{i,t} = \beta_{3,2} = ۲/۲۳۱۲$	$\beta_{i,t} = \beta_{3,2} = ۲/۲۱۳۶۸$	$\beta_{i,t} = \beta_{3,2} = ۲/۲۵۹۲$

۶-۸) تعیین شاخص β در برش برای اعضای طراحی شده براساس آیین نامه فولاد آمریکا

برای تعیین شاخص قابلیت اعتماد اعضای برشی طراحی شده براساس آیین نامه آمریکا، گروه‌بندی اعضاء مانند آنچه برای کشور ایران گفته شد، می‌باشد.

با استفاده از پارامترهای احتمالاتی بار و مقاومت اعضای برشی ساختمان‌های فولادی آمریکا طبق آنچه گفته شد، برای تعیین شاخص قابلیت اعتماد با استفاده از روش راکویتز-فیسler برای هر مسئله قابلیت اعتماد تحت هر یک از هفت ترکیب بار گذاری آیین نامه فولاد آمریکا و براساس برنامه نوشته شده به زبان ویژوال بیسیک، شاخص‌های قابلیت اعتماد بدست آمده برای هر گروه بازای ترکیبات بارگذاری متفاوت با یکدیگر مقایسه و بزرگترین شاخص حاصل، بعنوان شاخص قابلیت اعتماد بحرانی آن گروه معرفی می‌شود.

در مجموع ۸ مسئله قابلیت اعتماد برای اعضای برشی (آمریکا) بررسی گردیده است. نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای برشی طرح شده براساس آیین‌نامه فولاد آمریکا در جدول (۶-۲۹) خلاصه می‌شود. این نتایج با توجه به توابع حالت حدی هر کدام از اعضاء و ترکیب بارگذاری مرتبط، برای نسبت-

$$\text{های } \frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n} \text{ مساوی با } ۰/۵ \text{ تعیین شده است.}$$

جدول (۶-۲۹): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای برشی (تیرورق- نیروی برشی) طرح شده براساس آیین نامه فولاد آمریکا (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی با ۰/۵)

گروه	β ترکیب ۱	β ترکیب ۲	β ترکیب ۳	β ترکیب ۴	β ترکیب ۵	β ترکیب ۶	β ترکیب ۷	β کنترل کننده
گروه ۹	۲/۷۶۷۴	۱/۲۸۰۵	۲/۹۳۰۱۵	۱/۲۸۰۵	۰/۶۸۷۷	۰/۳۶۴۶۶	۰/۳۶۴۶۶	۲/۹۳۰۱۵
گروه ۱۰	۲/۷۶۷۴	۲/۰۳۱۷۷	۱/۷۳۵۸۶۸	۱/۷۳۵۸۶۸	۱/۷۳۵۸۶۸	۰/۳۶۴۶۶	۰/۳۶۴۶۶	۲/۷۶۷۴
گروه ۱۱	۰	۰	۳/۰۸۹۳۴	۲/۴۱۷۷۱۲	۰	۱/۰۶۴۳۲	۰	۳/۰۸۹۳۴
گروه ۱۲	۰	۰	۱/۷۳۵۸۶۸	۲/۹۴۳۰	۰	۱/۰۶۴۳۲	۰	۲/۹۴۳۰
گروه ۱۳	۰	۰	۱/۲۳۸۲۱	۲/۰۱۴۲۰۹	۰	۱/۰۶۴۳۲	۰	۲/۰۱۴۲۰۹
گروه ۱۴	۰	۰	۰	۰	۱/۷۵۷۹۹	۰	۱/۲۰۰۶۷	۱/۷۵۷۹۹
گروه ۱۵	۰	۰	۰	۰	۱/۷۰۱۴۸۴	۰	۱/۲۰۰۶۷	۱/۷۰۱۴۸۴
گروه ۱۶	۰	۰	۰	۰	۲/۲۱۲۷	۰	۱/۲۰۰۶۷	۲/۲۱۲۷

شاخص‌های قابلیت اعتماد مربوط به گروه‌ها و ترکیب بارهای مختلف برای نسبت‌های ۱ و ۱/۵ نیز بدست می‌آید و حالت بحرانی مربوط به هر گروه از اعضای برشی طرح شده براساس آیین‌نامه فولاد آمریکا در جدول (۶-۳۰) خلاصه شده است.

جدول (۶-۳۰): حالت‌های بحرانی و مقدار شاخص قابلیت اعتماد بحرانی مربوط به هر گروه از اعضای برشی طرح شده براساس آیین نامه فولاد آمریکا (برای نسبت پارامترهای اسمی مختلف ۰/۵، ۱ و ۱/۵)

گروه	تیرورق-نیروی برشی
گروه ۹	$\beta_j = \beta_1 = 2/93015$
گروه ۱۰	$\beta = 2/7674$
گروه ۱۱	$\beta_{j,m} = \beta_{3,1} = 3/78013$
گروه ۱۲	$\beta_{i,m} = \beta_{3,1} = 3/5216$
گروه ۱۳	$\beta_m = \beta_1 = 2/014209$
گروه ۱۴	$\beta_n = \beta_1 = 1/75799$
گروه ۱۵	$\beta_{i,m} = \beta_{3,1} = 1/74363$
گروه ۱۶	$\beta_{i,n} = \beta_{3,2} = 2/27225$

۶-۹) تعیین شاخص ایمنی β در فشار برای اعضای طراحی شده براساس آیین نامه فولاد آمریکا

برای تعیین شاخص قابلیت اعتماد اعضای فشاری طراحی شده براساس آیین‌نامه فولاد آمریکا گروه-بندی اعضاء مانند آنچه برای کشور ایران گفته شد، می‌باشد.

با استفاده از پارامترهای احتمالاتی بار و مقاومت اعضای فشاری ساختمان‌های فولادی آمریکا طبق آنچه گفته شد، برای تعیین شاخص قابلیت اعتماد با استفاده از روش راکویتز-فیسler برای هر مسئله قابلیت اعتماد تحت هر یک از هفت ترکیب بار گذاری آیین نامه فولاد آمریکا و براساس برنامه نوشته شده به زبان ویژوال بیسیک، شاخص‌های قابلیت اعتماد بدست آمده برای هر گروه بازای ترکیبات بار متفاوت با یکدیگر مقایسه می‌شوند و بزرگترین شاخص حاصل، بعنوان شاخص قابلیت اعتماد بحرانی آن گروه معرفی می‌شود. در مجموع ۵ مسئله قابلیت اعتماد برای اعضای فشاری (آمریکا) بررسی گردیده است. نتایج تحلیل قابلیت اعتماد برای اعضای برشی طرح شده براساس آیین‌نامه فولاد آمریکا در جدول (۶-۳۱)، خلاصه می‌شود. این نتایج با توجه به توابع حالت حدی هر کدام از اعضاء و ترکیب

بارگذاری مرتبط، برای نسبت‌های $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$ مساوی با ۰/۵ تعیین شده است.

جدول (۳۱-۶): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای فشاری (ستون با بار محوری) طرح شده براساس آیین نامه فولاد

آمریکا (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی با ۰/۵)

گروه	β ترکیب ۱	β ترکیب ۲	β ترکیب ۳	β ترکیب ۴	β ترکیب ۵	β ترکیب ۶	β ترکیب ۷	β کنترل کننده
گروه ۱۷	۲/۷۴۱۱۵۲	۱/۱۰۳۰۵۴	۲/۸۶۸۵۷	۱/۱۰۳۰۵۴	۰/۴۵۰۰۹۷	۰/۱۰۷۱۳	۰/۱۰۷۱۳	۲/۸۶۸۵۷
گروه ۱۸	۲/۷۴۱۱۵۲	۱/۹۲۴۵۲	۱/۶۰۲۵۸	۱/۶۰۲۵۸	۱/۶۰۲۵۸	۰/۱۰۷۱۳	۰/۱۰۷۱۳	۲/۷۴۱۱۵۲
گروه ۱۹	۰	۰	۱/۶۰۲۵۸	۲/۸۷۹۲	۰	۰/۸۷۶۰۷	۰	۲/۸۷۹۲
گروه ۲۰	۰	۰	۰	۰	۲/۱۴۶۶۹	۰	۱/۰۵۵۷۵	۲/۱۴۶۶۹

شاخص‌های قابلیت اعتماد مربوط به گروه‌ها و ترکیب بارهای مختلف برای نسبت‌های ۱ و ۱/۵ نیز بدست می‌آید و حالت بحرانی مربوط به هر گروه از اعضای فشاری طرح شده براساس آیین‌نامه فولاد آمریکا در جدول (۳۲-۶) خلاصه می‌شود.

جدول (۳۲-۶): حالت‌های بحرانی و مقدار شاخص قابلیت اعتماد بحرانی مربوط به هر گروه از اعضای فشاری طرح شده

براساس آیین نامه فولاد آمریکا (برای نسبت پارامترهای اسمی مختلف ۰/۵، ۱ و ۱/۵)

گروه	ستون با بار محوری
گروه ۱۷	$\beta_j = \beta_1 = ۲/۸۶۸۵۷$
گروه ۱۸	$\beta = ۲/۷۴۱۱۵۲$
گروه ۱۹	$\beta_{i,p} = \beta_{3,1} = ۳/۴۸۲۳$
گروه ۲۰	$\beta_{i,r} = \beta_{3,2} = ۲/۲۱۹۰۷$

۱۰-۶) تعیین شاخص ایمنی β در کشش برای اعضای طراحی شده براساس آیین نامه فولاد

آمریکا

برای تعیین شاخص قابلیت اعتماد اعضای کششی طراحی شده براساس آیین نامه آمریکا گروه‌بندی

اعضاء مانند آنچه برای ایران گفته شد، می‌باشد.

با استفاده از پارامترهای احتمالاتی بار و مقاومت اعضای کششی ساختمان‌های فولادی آمریکا طبق آنچه گفته شد، برای تعیین شاخص قابلیت اعتماد با استفاده از روش راکویتز-فیسler برای هر مسئله قابلیت اعتماد تحت هر یک از هفت ترکیب بار گذاری آیین نامه فولاد آمریکا و براساس برنامه نوشته شده به زبان ویژوال بیسیک، شاخص‌های قابلیت اعتماد بدست آمده برای هر گروه بازای ترکیبات بارگذاری متفاوت با یکدیگر مقایسه و بزرگترین شاخص حاصل، بعنوان شاخص قابلیت اعتماد بحرانی آن گروه معرفی می‌شود. در مجموع ۱۴ مسئله قابلیت اعتماد برای اعضای کششی فولادی آمریکا بررسی گردیده است. نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای کششی طرح شده براساس آیین‌نامه فولاد آمریکا در دو جدول (۳۳-۶) و (۳۴-۶)، خلاصه می‌شود. این نتایج با توجه به توابع حالت حدی هر

$$\text{کدام از اعضاء و ترکیب بارگذاری مرتبط، برای نسبت‌های } \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$$

$$\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}} \text{ مساوی با } 0/5 \text{ تعیین شده است.}$$

جدول (۳۳-۶): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای کششی (حالت حدی تسلیم) طرح شده براساس آیین نامه فولاد آمریکا (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی با ۰/۵)

گروه	β ترکیب ۱	β ترکیب ۲	β ترکیب ۳	β ترکیب ۴	β ترکیب ۵	β ترکیب ۶	β ترکیب ۷	β کنترل کننده
گروه ۲۱	۳/۰۵۰۸۷	۱/۱۱۳۳	۲/۹۴۹۱۹	۱/۱۱۳۳	۰/۳۵۳۸	۰	۰	۳/۰۵۰۸۷
گروه ۲۲	۳/۰۵۰۸۷	۲/۰۳۵۳۳	۱/۶۷۳۸۵	۱/۶۷۳۸۵	۱/۶۷۳۸۵	۰	۰	۳/۰۵۰۸۷
گروه ۲۳	۰	۰	۳/۲۱۸۴	۲/۴۵۴۱	۰	۰/۸۳۹۴	۰	۳/۲۱۸۴
گروه ۲۴	۰	۰	۱/۶۷۳۸۵	۲/۶۰۶۱۶۸	۰	۰/۸۳۹۴	۰	۲/۶۰۶۱۶۸
گروه ۲۵	۰	۰	۱/۰۵۱۱۹	۱/۹۷۷۸	۰	۰/۸۳۹۴	۰	۱/۹۷۷۸
گروه ۲۶	۰	۰	۰	۰	۱/۵۹۶۴	۰	۱/۰۱۹۲۳	۱/۵۹۶۴
گروه ۲۷	۰	۰	۰	۰	۲/۱۲۷۸	۰	۱/۰۱۹۲۳	۲/۱۲۷۸

جدول (۶-۳۴): نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای کششی (حالت حدی گسیختگی) طرح شده براساس آیین نامه فولاد آمریکا (برای نسبت پارامترهای اسمی مساوی با ۰/۵)

گروه	β ترکیب ۱	β ترکیب ۲	β ترکیب ۳	β ترکیب ۴	β ترکیب ۵	β ترکیب ۶	β ترکیب ۷	β کنترل کننده
گروه ۲۹	۴/۶۹۸۵	۲/۵۳۹	۳/۶۵۹۸	۲/۵۳۹	۱/۹۱۰۹۷	۱/۵۲۹۰۲	۱/۵۲۹۰۲	۴/۶۹۸۵
گروه ۳۰	۴/۶۹۸۵	۳/۹۶۴۴	۳/۰۶۵۳۶	۳/۰۶۵۳۶	۳/۰۶۵۳۶	۱/۵۲۹۰۲	۱/۵۲۹۰۲	۴/۶۹۸۵
گروه ۳۱	۰	۰	۴/۳۵۹۶	۳/۶۵۵۳۲۵	۰	۲/۱۷۱۲۴	۰	۴/۳۵۹۶
گروه ۳۲	۰	۰	۳/۰۶۵۳۶	۳/۶۱۸۰	۰	۲/۱۷۱۲۴	۰	۳/۶۱۸۰
گروه ۳۳	۰	۰	۲/۳۶۳۵	۳/۱۹۴۴۵	۰	۲/۱۷۱۲۴	۰	۳/۱۹۴۴۵
گروه ۳۴	۰	۰	۰	۰	۱/۹۳۶۱۱	۰	۱/۷۲۴۹۶	۱/۹۳۶۱۱
گروه ۳۵	۰	۰	۰	۰	۲/۴۶۰۰۴۱	۰	۱/۷۲۴۹۶	۲/۴۶۰۰۴۱

شاخص‌های قابلیت اعتماد مربوط به گروه‌ها و ترکیب بارهای مختلف را برای نسبت‌های ۱ و ۱.۵ نیز بدست می‌آوریم و حالت بحرانی مربوط به هر گروه از اعضای کششی طرح شده براساس آئین‌نامه فولاد آمریکا را در جدول (۶-۳۵) خلاصه می‌کنیم.

جدول (۶-۳۵): حالت‌های بحرانی و مقدار شاخص قابلیت اعتماد بحرانی مربوط به هر گروه از اعضای کششی طرح شده براساس آیین نامه فولاد آمریکا (برای نسبت پارامترهای اسمی مختلف ۰/۵، ۱/۵)

گروه	حالت تسلیم	حالت گسیختگی
گروه ۲۹	$\beta = ۳/۰۵۰۸۷$	$\beta = ۴/۶۹۸۵$
گروه ۳۰	$\beta = ۳/۰۵۰۸۷$	$\beta = ۴/۶۹۸۵$
گروه ۳۱	$\beta_{j,p} = \beta_{3,1} = ۳/۷۳۸۵$	$\beta_{j,p} = \beta_{3,1} = ۴/۳۵۹۶$
گروه ۳۲	$\beta_{i,p} = \beta_{3,1} = ۳/۲۰۱۳$	$\beta_{i,p} = \beta_{3,1} = ۳/۶۱۸۰$
گروه ۳۳	$\beta_p = \beta_1 = ۱/۹۷۷۸$	$\beta_p = \beta_1 = ۳/۱۹۴۴۵$
گروه ۳۴	$\beta_{i,p} = \beta_{3,1} = ۱/۶۳۵۴$	$\beta_{i,p} = \beta_{3,1} = ۱/۹۸۰۳۸$
گروه ۳۵	$\beta_{i,r} = \beta_{3,2} = ۲/۲۰۱۱۵۵$	$\beta_{i,r} = \beta_{3,2} = ۲/۴۶۶۱۶$

فصل هفتم: مقایسه شاخص قابلیت اعتماد آیین نامه فولاد ایران و آمریکا

۷-۱) مقدمه

در فصل قبل شاخص قابلیت اعتماد برای اعضای مختلف طراحی شده براساس آیین نامه فولاد ایران و آمریکا بدست آمد و شاخص قابلیت اعتماد بحرانی برای هر گروه از اعضای خمشی، برشی، فشاری و کششی تعیین شد. حال در این فصل شاخص قابلیت اعتماد کنترل کننده هر ترکیب بار از اعضای طراحی شده براساس آیین نامه فولاد ایران با شاخص قابلیت اعتماد کنترل کننده همان ترکیب بار از اعضای طراحی شده براساس آیین نامه فولاد آمریکا مقایسه می‌شود. همچنین ترکیب بارگذاری

بحرانی و شاخص قابلیت اعتماد بحرانی تحت نسبت‌های متفاوت $\frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$

برای اعضای مختلف سازه‌ای طراحی شده با آیین‌نامه ایران و آمریکا با هم مقایسه

می‌شوند.

۷-۲) مقایسه شاخص قابلیت اعتماد اعضای تحت خمشی در آیین نامه‌های فولاد ایران و

آمریکا

در جدول (۷-۱) شاخص‌های قابلیت اعتماد کنترل کننده برای هر گروه از اعضای خمشی براساس آیین نامه فولاد جدید ایران (نسخه ۱۳۹۲) و آیین‌نامه فولاد آمریکا (نسخه ۲۰۱۰) برای نسبت‌های

$\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$ مساوی با ۰/۵ ارایه شده است. همچنین

شاخص قابلیت اعتماد هدف برای هر گروه متناظر با ترکیبات بارگذاری متفاوت براساس مرجع [۱] نشان داده شده است.

در جدول (۷-۲)، درصد اختلاف β از β_T برای اعضای خمشی طراحی شده براساس آیین‌نامه‌های فولاد ایران و آمریکا تحت نسبت‌های اسمی مساوی با ۰/۵ و برای گروه‌های مختلف، نمایش داده شده است.

جدول (۷-۱): مقایسه β کنترل کننده اعضای خمشی طراحی شده براساس آیین نامه فولاد ایران و آمریکا (براساس

$$\text{نسبت‌های } \frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n} \text{ مساوی با } ۰/۵$$

گروه	β هدف	طراحی براساس آیین نامه فولاد ایران						طراحی براساس آیین نامه فولاد آمریکا	
		β کنترل کننده- تیورق	β کنترل کننده- تیر	β کنترل کننده- تیورق	β کنترل کننده- تیر	β کنترل کننده- تیورق	β کنترل کننده- تیر	β کنترل کننده- تیورق	β کنترل کننده- تیر
		تکیه گاه ساده	تکیه گاه ساده	تکیه گاه ساده	تکیه گاه ساده	تکیه گاه ساده	تکیه گاه ساده	تکیه گاه ساده	تکیه گاه ساده
گروه ۱	۳	۲/۹۶۵۹	۳/۳۲۰۲۳	۳/۰۰۷	۳/۳۳۰۱۶	۳/۰۶۹۳۶	۲/۹۰۳۶۱	۳/۰۷۶۵۷	۳/۰۷۶۵۷
گروه ۲	۳	۲/۸۹۹۳	۳/۳۲۰۲۳	۳/۰۰۷	۳/۳۲۲۸	۳/۰۶۹۳۶	۲/۸۳۸۷۷	۳/۰۷۶۵۷	۳/۰۷۶۵۷
گروه ۳	۲/۵	۳/۳۷۸۴	۳/۷۱۷۸۵	۳/۴۴۴۴	۳/۷۴۶۳	۳/۲۶۰۵۹	۳/۱۰۹۲۰۶	۳/۲۹۰۹	۳/۲۹۰۹
گروه ۴	۲/۵	۲/۹۹۴۸	۳/۳۱۷۵	۳/۰۳۲۸۹	۳/۳۵۵۳	۳/۰۴۱۴۷	۲/۹۱۸۳۵	۳/۰۷۹۴۳	۳/۰۷۹۴۳
گروه ۵	۲/۵	۲/۵۸۱۶۸	۲/۹۸۱۹۶	۲/۶۲۷۲۹	۳/۰۲۰۱۴	۲/۰۵۷۲۸	۱/۹۲۹۸۶	۲/۱۲۳۶۶	۲/۱۲۳۶۶
گروه ۶	۱/۷۵	۱/۷۹۸۹۸	۲/۰۲۹۷۴	۱/۷۹۱۹۹	۲/۰۶۷۰۳	۱/۶۹۶۲	۱/۶۵۸۴۸	۱/۷۴۵۸	۱/۷۴۵۸
گروه ۷	۱/۷۵	۱/۷۲۸۷۶	۱/۸۹۷۹۱	۱/۷۲۰۶۰	۱/۹۲۵۷۳	۱/۶۴۲۸۵	۱/۶۱۴۳	۱/۶۸۴۴	۱/۶۸۴۴
گروه ۸	۱/۷۵	۲/۲۵۹۱۲	۲/۴۲۲۷۴	۲/۲۵۳۱۹	۲/۴۵۴۲۱	۲/۱۶۵۷۴۱	۲/۱۴۱۲۹	۲/۲۰۰۷۴	۲/۲۰۰۷۴

جدول (۷-۲): مقایسه درصد اختلاف β از β_T اعضای خمشی طراحی شده براساس آیین نامه فولاد ایران و آمریکا

$$\text{(براساس نسبت‌های } \frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n} \text{ مساوی با } ۰/۵)$$

گروه	$\frac{\beta - \beta_T}{\beta_T}$ (درصد اختلاف β از β_T)					
	تیورق- ساده (ایران)	تیورق- تکیه گاه (ایران)	تیر نورد- ساده (ایران)	تیر نورد- تکیه گاه (ایران)	تیورق- خمشی (آمریکا)	تیر فشرده- لنگر یکنواخت (آمریکا)
گروه ۱	-۰/۰۱۱۳	۰/۱۰۶۷	۰/۰۰۲۳	۰/۱۱	۰/۰۲۳۱۲	-۰/۰۳۲۱۳
گروه ۲	-۰/۰۳۲۱	۰/۱۰۶۷۴	۰/۰۰۲۳	۰/۱۰۷۶	۰/۰۲۳۱۲	-۰/۰۵۳۷
گروه ۳	۰/۳۵۱۳۶	۰/۴۸۷۱	۰/۳۷۷۷	۰/۴۹۸۵	۰/۳۰۴۲	۰/۲۴۳۶۸
گروه ۴	۰/۱۹۷۹	۰/۳۲۷	۰/۲۱۳۱۵	۰/۳۴۲۱۲	۰/۲۱۶۵۸	۰/۱۶۷۳۴
گروه ۵	۰/۰۳۲۶۷۲	۰/۱۹۲۷۸	۰/۰۵۰۹۱	۰/۲۰۸۰۵	-۰/۱۷۷۰۸	-۰/۲۲۸۰
گروه ۶	۰/۰۲۷۹۸	۰/۱۵۹۸	۰/۰۲۳۹۹	۰/۱۸۱۱۶	-۰/۰۳۰۷	-۰/۰۵۲۲
گروه ۷	-۰/۰۱۲۱۳	۰/۰۸۴۵۲	-۰/۰۱۶۷	۰/۱۰۰۴۱	-۰/۰۶۱۲۲	-۰/۰۷۷۵۴
گروه ۸	۰/۲۹۰۹۲	۰/۳۸۴۴	۰/۲۸۷۵	۰/۴۰۲۴	۰/۲۳۷۵	۰/۲۲۳۵۹

مقادیر منفی جدول (۲-۷) اشاره به این موضوع دارند که برای طراحی عضو خمشی مورد نظر براساس ترکیب بار مشخص شده برای آن، طبق طراحی که آئین‌نامه انجام می‌دهد به شاخص قابلیت اعتماد کمتر از شاخص ایمنی هدف نیاز داریم. مقادیر مثبت جدول (۲-۷) نشان می‌دهند که برای طراحی عضو خمشی مورد نظر براساس ترکیب بار مشخص شده برای آن به شاخص ایمنی بیشتر از شاخص هدف نیاز داریم. از بین مقادیر منفی جدول فوق درصد اختلاف β از β_T در تیر فشرده-لنگر یکنواخت (آمریکا) با مقدار -0.2280 و ترکیب بارگذاری $1.2D+1.4W$ ، از بقیه اعضاء و ترکیبات بارگذاری بیشتر می‌باشد. از بین مقادیر مثبت جدول فوق درصد اختلاف β از β_T در تیر نورد شده با تکیه گاه صلب (ایران) با مقدار 0.4985 تحت بارگذاری $1.2D+1.6S+0.7W$ ، از بقیه اعضاء و ترکیبات بارگذاری بیشتر می‌باشد.

جدول (۳-۷) ترکیبات بارگذاری بحرانی هر گروه از اعضای خمشی مختلف طراحی شده براساس آئین‌نامه‌های فولاد ایران (نسخه ۱۳۹۲ ه ش) و آمریکا (نسخه ۲۰۱۰ م) را نشان می‌دهد. برای اعضای خمشی گروه ۱ تیروورق‌ها با تکیه‌گاه صلب (ایران)، تیر نورد شده-تکیه گاه ساده (ایران)، تیروورق (آمریکا) و تیر فشرده با لنگر سراسری (آمریکا)، ترکیب بارگذاری $1.4D$ بحرانی می‌باشد و برای دیگر اعضای خمشی این گروه ترکیب بارگذاری $1.2D+1.6S$ بحرانی می‌باشد. برای دیگر گروه‌های اعضای خمشی نیز ترکیب بارگذاری بحرانی مشخص شده است.

جدول (۷-۳): ترکیبات بارگذاری بحرانی برای هر گروه از اعضای خمشی طراحی شده براساس آئین‌نامه جدید ایران (۱۳۹۲ ه ش) و آمریکا (۲۰۱۰ م)

گروه‌بندی اعضای خمشی طراحی شده براساس آئین‌نامه- های فولاد ایران و آمریکا	ترکیبات بارگذاری کنترل کننده (بحرانی)
گروه ۱	$1.4D$ یا $1.2D+1.6S$
گروه ۲	$1.4D$
گروه ۳	$1.2D+1.6S+0.7W$
گروه ۴	$1.2D+1.4W+L$
گروه ۵	$1.2D+1.4W$
گروه ۶	$1.2D+E$
گروه ۷	$1.2D+E+0.2S$
گروه ۸	$1.2D+E+L$

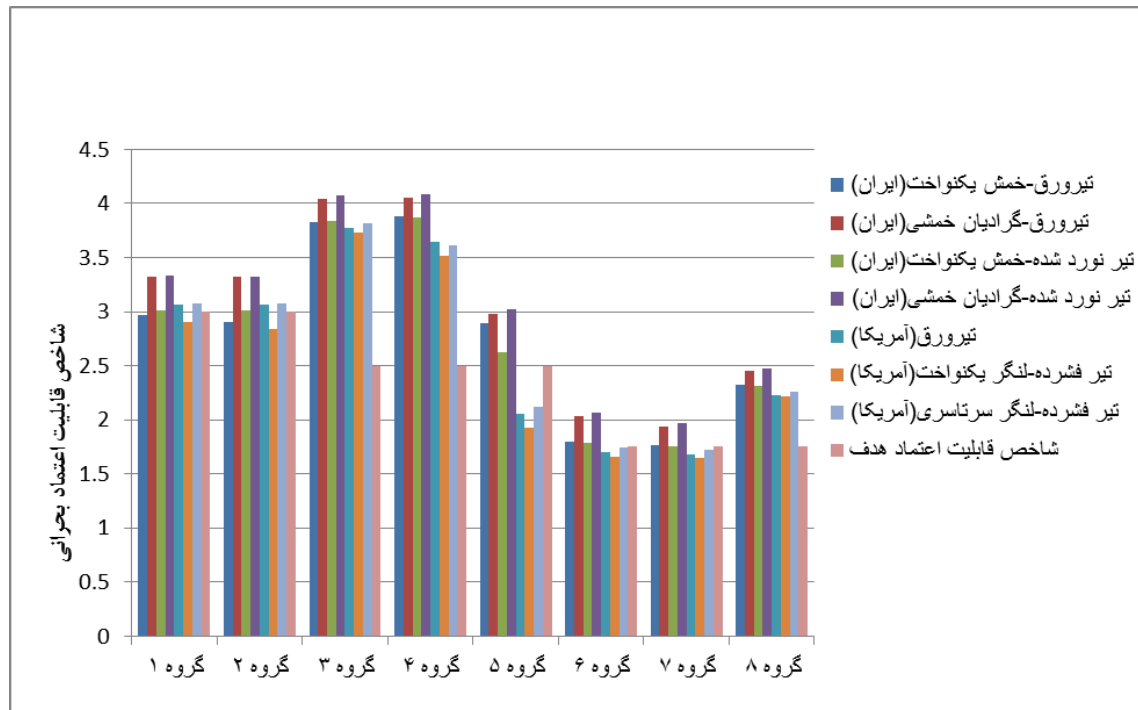
شکل (۷-۱) شاخص ایمنی بحرانی گروه‌های اعضای خمشی، طراحی شده براساس دو آئین‌نامه فولاد

ایران و آمریکا را تحت نسبت‌های متفاوت $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$

نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود شاخص ایمنی بحرانی اعضای خمشی طراحی شده براساس آئین‌نامه ایران و آمریکا طبق ترکیب‌های بار $1.2D+1.6S+0.7W$ و $1.2D+1.4W+L$ از بقیه حالات ترکیبات بارگذاری بیشتر می‌باشد و مقدار شاخص ایمنی لازم در این دو حالت از شاخص ایمنی هدف مشخص شده برای این دو حالت بیشتر می‌باشد؛ یعنی طبق طراحی که آئین‌نامه ایران و آمریکا انجام می‌دهد به شاخص ایمنی بیشتر از شاخص ایمنی هدف برای طراحی اعضای مورد نظر تحت ترکیب بار مشخص شده در این حالات نیاز داریم.

در کلیه‌ی گروه‌های مشخص شده برای اعضای خمشی، مشاهده می‌شود دو عضو خمشی تیرورق با تکیه‌گاه صلب (ایران) و تیر نورد شده با تکیه‌گاه صلب (ایران) مقدار شاخص ایمنی بحرانی بیشتری نسبت به سایر اعضا دارند و در همه‌ی حالات ترکیب بارگذاری بحرانی، از شاخص ایمنی هدف نیز بیشتر می‌باشند. شاخص قابلیت اعتماد بحرانی اعضای خمشی طراحی شده براساس آئین‌نامه آمریکا در ترکیب بار بحرانی $1.2D+1.4W$ از شاخص ایمنی هدف تعیین شده برای این ترکیب بار خیلی

کمتر می‌باشد که نشان می‌دهد برای طراحی اعضای خمشی براساس آئین‌نامه آمریکا به شاخص ایمنی کمتر از شاخص ایمنی هدف نیاز داریم.



شکل (۷-۱): مقایسه شاخص قابلیت اعتماد بحرانی برای هر گروه از اعضای خمشی طراحی شده براساس آئین‌نامه‌های

فولاد ایران و آمریکا (برای نسبت‌های متفاوت $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$)

۷-۳) مقایسه شاخص قابلیت اعتماد اعضای تحت برش در آیین‌نامه‌های فولاد ایران و

آمریکا

در این بخش ابتدا شاخص‌های قابلیت اعتماد کنترل‌کننده برای ۸ گروه اعضای تحت برش تحت

ترکیبات متفاوت بارگذاری براساس آیین‌نامه‌های فولاد ایران و آمریکا و برای نسبت‌های $\frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$

مساوی با ۰/۵ بدست آمده است. شاخص قابلیت اعتماد $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}$

هدف براساس مرجع [۱] برای هر گروه در جدول (۷-۴) نشان داده شده است تا شاخص‌های قابلیت

اعتماد کنترل‌کننده اعضای برشی با شاخص‌های قابلیت اعتماد هدف مقایسه شود.

درصد اختلاف β از β_T برای اعضای برشی طراحی شده براساس آیین نامه‌های فولاد ایران و آمریکا در

گروه‌های مختلف با ترکیبات بارگذاری متفاوت در جدول (۷-۵) ملاحظه می‌شود.

جدول (۷-۴): مقادیر β کنترل کننده اعضای برشی (تیرورق‌ها) طراحی شده براساس آیین نامه‌های فولاد ایران و

آمریکا (براساس نسبت‌های $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$ مساوی با ۰/۵)

گروه	β هدف	β کنترل کننده - تیرورق - ایران	β کنترل کننده - تیرورق - آمریکا
گروه ۹	۳	۳/۴۱۷۰۸	۲/۹۳۰۱۵
گروه ۱۰	۳	۳/۴۱۷۰۸	۲/۷۶۷۴
گروه ۱۱	۲/۵	۳/۸۲۰۱۴	۳/۰۸۹۳۴
گروه ۱۲	۲/۵	۳/۴۱۳۵	۲/۹۴۳۰
گروه ۱۳	۲/۵	۳/۰۸۲۴۸۸	۲/۰۱۴۲۰۹
گروه ۱۴	۱/۷۵	۲/۰۷۶۲۰	۱/۷۵۷۹۹
گروه ۱۵	۱/۷۵	۱/۹۳۰۱۷	۱/۷۰۱۴۸۴
گروه ۱۶	۱/۷۵	۲/۴۵۸۵۲	۲/۲۱۲۷

جدول (۷-۵): مقایسه درصد اختلاف β از β_T اعضای برشی طراحی شده براساس آیین نامه‌های فولاد ایران و آمریکا

(براساس نسبت‌های $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$ مساوی با ۰/۵)

گروه	$\frac{\beta - \beta_T}{\beta_T}$ (درصد اختلاف β از β_T)	
	تیرورق - ایران	تیرورق - آمریکا
گروه ۹	۰/۱۳۹۰	-۰/۰۲۳۲۸
گروه ۱۰	۰/۱۳۹۰۲	-۰/۰۷۷۵۳
گروه ۱۱	۰/۵۲۸۰۵۶	۰/۲۳۵۷۳۶
گروه ۱۲	۰/۳۷۷۴	۰/۱۷۷۲
گروه ۱۳	۰/۲۳۲۹۹	-۰/۱۹۴۳
گروه ۱۴	۰/۱۸۶۴	۰/۰۰۴۵۶
گروه ۱۵	۰/۱۰۲۹۵	-۰/۰۲۷۷
گروه ۱۶	۰/۴۰۴۸۶	۰/۲۶۴۴

از بین مقادیر جدول فوق که درصد اختلاف β از β_T را در اعضای برشی نشان می‌دهد، درصد اختلاف در تیروورق طراحی شده با آئین‌نامه ایران با مقدار 0.528056 تحت ترکیب بار $1.2D+1.6S+0.7W$ از بقیه گروه‌ها و اعضاء بیشتر می‌باشد.

جدول (۷-۷) ترکیبات بارهای بحرانی برای هر گروه از اعضای برشی طراحی شده براساس آئین‌نامه-های فولاد ایران و آمریکا را نشان می‌دهد. ترکیب بار بحرانی گروه ۹ (ترکیب بار مرده و برف) برای اعضای برشی تیروورق طراحی شده با آئین‌نامه ایران $1.4D$ می‌باشد و ترکیب بار بحرانی همین گروه برای اعضای برشی تیروورق طراحی شده با آئین‌نامه آمریکا $1.2D+1.6S$ می‌باشد.

جدول (۷-۷): ترکیب بارگذاری بحرانی برای هر گروه از اعضای برشی طراحی شده براساس آئین‌نامه ایران و آمریکا

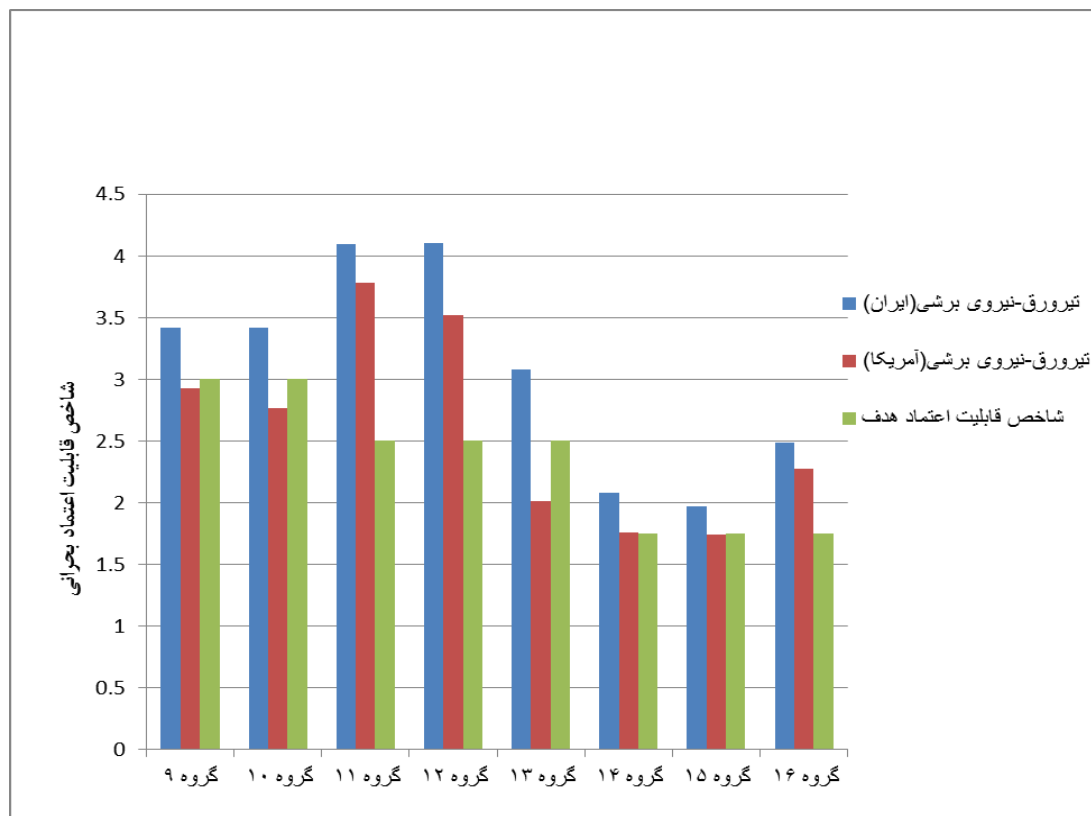
اعضای برشی طراحی شده براساس آئین‌نامه فولاد ایران و آمریکا	ترکیب بارگذاری کنترل کننده (بحرانی)
گروه ۹	$1.2D+1.6S$ یا $1.4D$
گروه ۱۰	$1.4D$
گروه ۱۱	$1.2D+1.6S+0.7W$
گروه ۱۲	$1.2D+1.4W+L$
گروه ۱۳	$1.2D+1.4W$
گروه ۱۴	$1.2D+E$
گروه ۱۵	$1.2D+E+0.2S$
گروه ۱۶	$1.2D+E+L$

در شکل (۷-۲)، شاخص ایمنی بحرانی هر گروه از اعضای برشی طراحی شده براساس دو آئین‌نامه

فولاد ایران و آمریکا تحت نسبت‌های متفاوت $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$

نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود شاخص ایمنی بحرانی اعضای برشی طراحی شده براساس آئین‌نامه ایران و آمریکا طبق ترکیب بار $1.2D+1.6S+0.7W$ و $1.2D+1.4W+L$ از بقیه حالات ترکیب بارگذاری بیشتر می‌باشد و مقدار شاخص ایمنی بحرانی در این دو حالت از شاخص ایمنی هدف مشخص شده برای این دو حالت نیز بیشتر می‌باشد. شاخص ایمنی بحرانی تیروورق

(ایران) در همه‌ی گروه‌ها از شاخص ایمنی بحرانی تیرورق (آمریکا) بیشتر می‌باشد. شاخص ایمنی بحرانی تیرورق (آمریکا) تحت بارگذاری $1.2D + 1.6S$ ، $1.4D$ و $1.2D + 1.4W$ ، از شاخص ایمنی هدف تعیین شده برای هر ترکیب بار کمتر می‌باشد و در همه سایر ترکیبات بارگذاری، شاخص ایمنی بحرانی از شاخص ایمنی هدف بیشتر می‌باشد.



شکل (۷-۲): مقایسه شاخص قابلیت اعتماد بحرانی برای هر گروه اعضای برشی طراحی شده براساس آئین‌نامه فولاد

ایران و آمریکا (برای نسبت‌های متفاوت $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$)

۷-۴) مقایسه شاخص قابلیت اعتماد اعضای فشاری طراحی شده براساس آیین نامه فولاد

ایران و آمریکا

جدول (۷-۸) مفقادی شاخص‌های قابلیت اعتماد کنترل کننده اعضای فشاری برای ۴ گروه بازی نسبت‌های لاغری ۰/۵، ۰/۹، ۱/۳، ۱/۷، طراحی شده براساس آیین نامه‌های ایران و آمریکا نسبت‌های

مساوی با ۰/۵ درج شده است. $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$

در جدول (۷-۹) نیز درصد اختلاف β با β_T برای اعضای فشاری مذکور ارائه شده است.

جدول (۷-۸): مقایسه β کنترل کننده اعضای فشاری طراحی شده براساس آیین نامه فولاد ایران و آمریکا (براساس

$$\text{نسبت‌های } \frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n} \text{ مساوی با } ۰/۵)$$

β کنترل کننده-ستون با بار محوری - آمریکا	طراحی براساس آیین نامه ایران				β هدف	گروه
	β کنترل کننده-عامل لاغری ۱/۷	β کنترل کننده-عامل لاغری ۱/۳	β کنترل کننده-عامل لاغری ۰/۹	β کنترل کننده-عامل لاغری ۰/۵		
۲/۸۶۸۵۷	۳/۰۱۸۶۷	۲/۷۸۵۴	۳/۰۱۵۶	۳/۱۸۹۵	۳	گروه ۱۷
۲.۷۴۱۱۵۲	۲/۹۶۷۳	۲/۶۲۲۲	۲/۹۱۶۲	۳/۱۸۹۵	۳	گروه ۱۸
۲/۸۷۹۲	۲/۰۱۳۲۴	۱/۷۰۸۰	۲/۰۱۸۰۸	۳/۱۶۳۳	۲/۵	گروه ۱۹
۲/۱۴۶۶۹	۲/۲۸۵۰۹	۲/۱۹۵۷۳	۲/۳۰۲۵۱	۲/۳۰۸۱۱	۱/۷۵	گروه ۲۰

جدول (۷-۹): مقایسه درصد اختلاف β از β_T اعضای برشی طراحی شده براساس آیین نامه فولاد ایران و آمریکا

$$\text{(براساس نسبت‌های } \frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n} \text{ مساوی با } ۰/۵)$$

$\frac{\beta - \beta_T}{\beta_T}$ (درصد اختلاف β از β_T)					گروه
کمانش ستون با بار محوری (آمریکا)	کمانش ستون - لاغری ۱/۷ (ایران)	کمانش ستون-لاغری ۱/۳ (ایران)	کمانش ستون-لاغری ۰/۹ (ایران)	کمانش ستون - لاغری ۰/۵ (ایران)	
-۰/۰۴۳۸	۰/۰۰۶۲۲	-۰/۰۷۱۵	۰/۰۰۵۲	۰/۰۶۳۱۶	گروه ۱۷
-۰/۰۸۶۲۸۲	-۰/۰۱۰۹	-۰/۱۲۵۹۳	-۰/۰۲۷۹۳	۰/۰۶۳۱۶	گروه ۱۸
۰/۱۵۱۶۸	-۰/۱۹۴۷۰	-۰/۳۱۶۸	-۰/۱۹۲۷	۰/۲۶۵۳۲	گروه ۱۹
۰/۲۲۶۶۸	۰/۳۰۵۷۶	۰.۲۵۴۷	۰/۳۱۵۷۲	۰/۳۱۸۹۲	گروه ۲۰

از بین مقادیر جدول فوق که درصد اختلاف β از β_T را در اعضای فشاری نشان می‌دهد، درصد

اختلاف در کمانش ستون با عامل لاغری ۰/۵ طراحی شده با آیین‌نامه ایران با مقدار ۰/۳۱۸۹۲ تحت

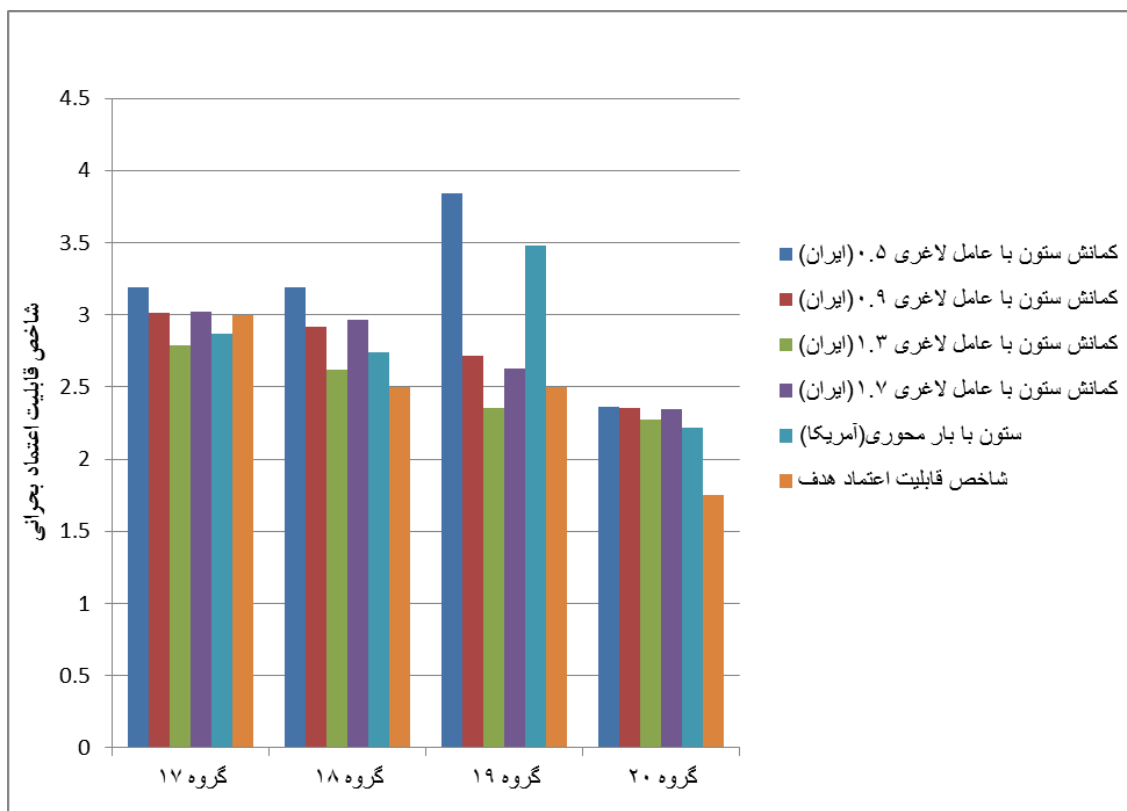
ترکیب بار $1.2D + E + L$ از بقیه گروه‌ها و اعضاء بیشتر می‌باشد.

جدول (۷-۱۰) ترکیبات بارهای بحرانی برای هر گروه از اعضای فشاری طراحی شده براساس آئین-نامه‌های فولاد ایران و آمریکا را نشان می‌دهد. ترکیب بار بحرانی گروه ۱۷ (ترکیب بار مرده و برف) برای اعضای فشاری کمانش ستون با عامل لاغری ۰/۵، ۱/۳ و ۱/۷ طراحی شده با آئین‌نامه ایران، 1.4D می‌باشد و ترکیب بار بحرانی همین گروه برای اعضای فشاری کمانش ستون با عامل لاغری ۰/۹ طراحی شده با آئین‌نامه ایران و ستون با بار محوری طراحی شده با آئین‌نامه آمریکا $1.2D + 1.6S$ می‌باشد.

جدول (۷-۱۰): ترکیبات بارگذاری بحرانی برای هر گروه از اعضای فشاری طراحی شده براساس آئین‌نامه جدید ایران و آمریکا

گروه‌بندی اعضای فشاری طراحی شده براساس آئین‌نامه- های فولاد ایران و آمریکا	ترکیبات بارگذاری کنترل کننده (بحرانی)
گروه ۱۷	$1.2D + 1.6S$ یا $1.4D$
گروه ۱۸	$1.4D$
گروه ۱۹	$1.2D + 1.4W + L$
گروه ۲۰	$1.2D + E + L$

در شکل (۷-۳) شاخص ایمنی بحرانی گروه‌های اعضای برشی، طراحی شده براساس دو آئین‌نامه فولاد ایران و آمریکا را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود شاخص ایمنی بحرانی کمانش ستون با عامل لاغری ۰/۵ ایران و ستون با بار محوری آمریکا تحت ترکیب‌های بار $1.2D + 1.4W + L$ از بقیه حالات ترکیب بارگذاری بیشتر می‌باشد و مقدار شاخص ایمنی لازم در این دو حالت از شاخص ایمنی هدف مشخص شده برای این دو حالت بیشتر می‌باشد؛ شاخص ایمنی بحرانی برای اعضای فشاری مشخص شده در شکل زیر ترکیب‌های بارگذاری $1.4D$ و $1.2D + E + L$ از شاخص ایمنی هدف مشخص شده برای این دو ترکیب بار بیشتر می‌باشند. شاخص ایمنی بحرانی کمانش ستون با عامل لاغری ۱/۳ (ایران) تحت ترکیب‌های بار $1.4D$ و $1.2D + 1.4W + L$ و شاخص ایمنی بحرانی ستون با بار محوری (آمریکا) تحت ترکیب بار $1.2D + 1.6S$ از شاخص ایمنی هدف مشخص شده برای هر ترکیب بار کمتر می‌باشد.



شکل (۷-۳): مقایسه شاخص قابلیت اعتماد بحرانی برای هر گروه از اعضای فشاری طراحی شده براساس آئین‌نامه‌های

فولاد ایران و آمریکا (براساس نسبت‌های متفاوت $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$)

۷-۵) مقایسه شاخص قابلیت اعتماد آیین نامه فولاد ایران و آمریکا در کشش

در جدول (۷-۱۱) و (۷-۱۴) شاخص‌های قابلیت اعتماد کنترل کننده برای ۱۴ گروه از اعضای

کششی حالت حدی تسلیم و حالت حدی گسیختگی براساس آیین نامه‌های جدید ایران (نسخه

۱۳۹۲) و آمریکا (نسخه ۲۰۱۰) برای نسبت‌های $\frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$

$\frac{P_{En}}{P_{Dn}}$ مساوی با ۰/۵ ارایه شده است. همچنین شاخص قابلیت اعتماد هدف برای هر گروه متناظر با

ترکیبات بارگذاری متفاوت براساس مرجع [۱] نشان داده شده است.

در جدول (۷-۱۲) و (۷-۱۵)، درصد اختلاف β از β_T برای اعضای کششی حالت حدی تسلیم و حالت حدی گسیختگی طراحی شده براساس آیین‌نامه‌های فولاد ایران و آمریکا تحت نسبت‌های مقادیر اسمی ۰.۵ و برای گروه‌های مختلف نمایش داده شده است.

جدول (۷-۱۱): مقایسه β کنترل‌کننده اعضای کششی حالت تسلیم طراحی شده براساس آیین‌نامه فولاد ایران و

آمریکا (براساس نسبت‌های $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$ مساوی با ۰/۵)

گروه	β هدف	β کنترل‌کننده - اعضای کششی -ایران	β کنترل‌کننده - اعضای کششی -آمریکا
گروه ۲۱	۳	۳/۳۴۳۴	۳/۰۵۰۸۷
گروه ۲۲	۳	۳/۳۴۳۴	۳/۰۵۰۸۷
گروه ۲۳	۲/۵	۳/۶۵۷۶	۳/۲۱۸۴
گروه ۲۴	۲/۵	۳/۱۸۶۳۵	۲/۶۰۶۱۶۸
گروه ۲۵	۲/۵	۲/۸۱۴۷۴	۱/۹۷۷۸
گروه ۲۶	۱/۷۵	۱/۷۵۰۴۸۴	۱/۵۹۶۴
گروه ۲۷	۱/۷۵	۲/۲۸۱۸۲۳	۲/۱۲۷۸

جدول (۷-۱۲): مقایسه درصد اختلاف β از β_T اعضای کششی حالت تسلیم طراحی شده براساس آیین‌نامه فولاد

ایران و آمریکا (براساس نسبت‌های $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$ مساوی با ۰/۵)

گروه	$\frac{\beta - \beta_T}{\beta_T}$ (درصد اختلاف β از β_T)	
	اعضای کششی -ایران	اعضای کششی -آمریکا
گروه ۲۱	۰/۱۱۴۴۶۶	۰/۰۱۶۹۵
گروه ۲۲	۰/۱۱۴۴۶۶	۰/۰۱۶۹۵
گروه ۲۳	۰/۴۶۳۰۴	۰/۲۸۷۳۶
گروه ۲۴	۰/۲۷۴۵۴	۰/۰۴۲۴۶۷۲
گروه ۲۵	۰/۱۲۵۸۹۶	-۰/۲۰۸۸۸
گروه ۲۶	۰/۰۰۰۲۷	-۰/۰۸۷۷۷
گروه ۲۷	۰/۳۰۳۸۹	۰/۲۱۵۸۸

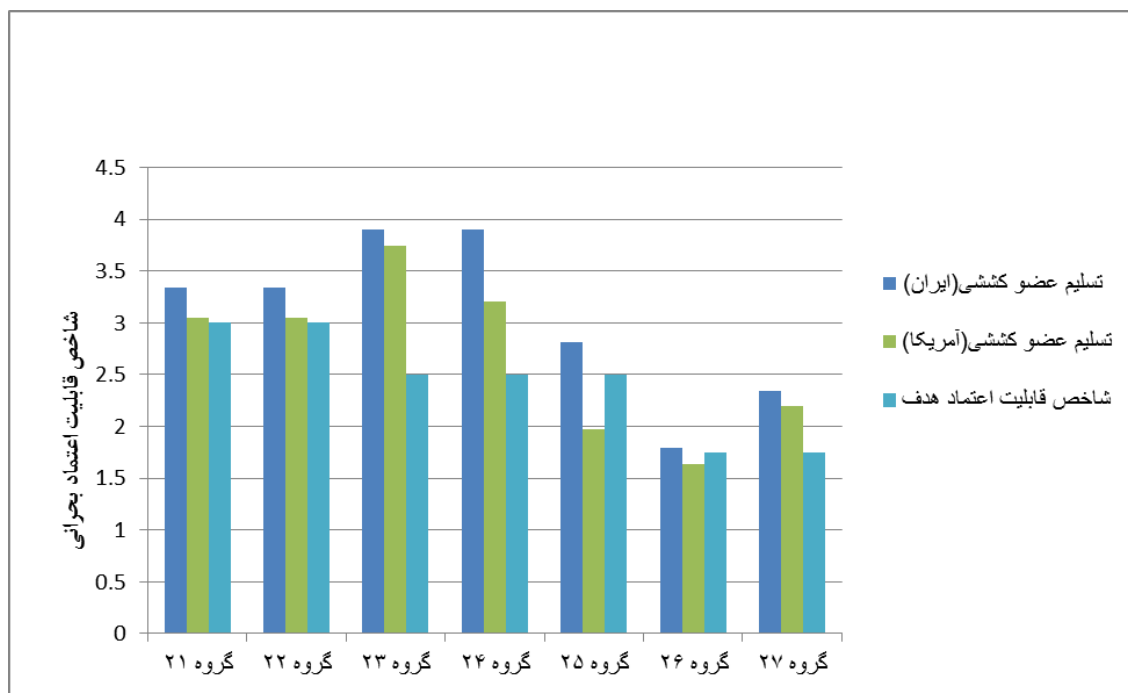
از بین مقادیر جدول فوق که درصد اختلاف β از β_T را در اعضای کششی حالت تسلیم نشان می‌دهد، درصد اختلاف در اعضای کششی حالت حدی تسلیم طراحی شده با آئین‌نامه ایران با مقدار $0/46304$ تحت ترکیب بار $1.2D + 1.6S + 0.7W$ از بقیه اعضا و ترکیبات بارگذاری بیشتر می‌باشد.

جدول (۷-۱۳) ترکیبات بارهای بحرانی برای هر گروه از اعضای کششی حالت تسلیم طراحی شده براساس آئین‌نامه‌های فولاد ایران و آمریکا را نشان می‌دهد.

جدول (۷-۱۳): ترکیب بارگذاری بحرانی برای هر گروه از اعضای کششی حالت تسلیم طراحی شده براساس آئین‌نامه ایران و آمریکا

اعضای کششی طراحی شده براساس آئین‌نامه فولاد ایران و آمریکا	ترکیب بارگذاری کنترل کننده (بحرانی)
گروه ۲۱	$1.4D$
گروه ۲۲	$1.4D$
گروه ۲۳	$1.2D + 1.6S + 0.7W$
گروه ۲۴	$1.2D + 1.4W + L$
گروه ۲۵	$1.2D + 1.4W$
گروه ۲۶	$1.2D + E + 0.2S$
گروه ۲۷	$1.2D + E + L$

در شکل (۷-۴)، شاخص ایمنی بحرانی هر گروه از اعضای کششی حالت تسلیم طراحی شده براساس آئین‌نامه‌های فولاد ایران و آمریکا نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود شاخص ایمنی بحرانی تحت دو ترکیب بار $1.2D + 1.6S + 0.7W$ و $1.2D + 1.4W + L$ از ترکیب بارهای دیگر بیشتر می‌باشد. مقدار شاخص ایمنی بحرانی عضو کششی حالت تسلیم ایران در همه‌ی ترکیبات بارگذاری از شاخص ایمنی بحرانی عضو کششی حالت تسلیم آمریکا بیشتر می‌باشد. شاخص ایمنی بحرانی تسلیم آمریکا در دو ترکیب بار $1.2D + 1.4W$ و $1.2D + E + 0.2S$ از شاخص ایمنی هدف تعیین شده برای آن کمتر می‌باشد ولی در سایر ترکیبات بارگذاری، شاخص ایمنی بحرانی از شاخص ایمنی هدف بیشتر می‌باشد.



شکل (۷-۴): مقایسه شاخص قابلیت اعتماد بحرانی برای هر گروه اعضای کششی (حالت تسلیم) طراحی شده براساس آئین نامه فولاد ایران و آمریکا (برای نسبت های $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$ با مقادیر مختلف)

جدول (۷-۱۴): مقایسه β کنترل کننده اعضای کششی حالت گسیختگی طراحی شده براساس آیین نامه فولاد ایران و

آمریکا (برای نسبت های $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$ مساوی ۰/۵)

گروه	β هدف	β کنترل کننده اعضای کششی-ایران	β کنترل کننده اعضای کششی-آمریکا
گروه ۲۸	۴	۴/۶۵۱۱	۴/۶۹۸۵
گروه ۲۹	۴	۴/۶۵۱۱	۴/۶۹۸۵
گروه ۳۰	۳/۲	۴.۵۴۷۶۶	۴/۳۵۹۶
گروه ۳۱	۳/۲	۳.۶۱۶۸۲	۳/۶۱۸۰
گروه ۳۲	۳/۲	۳.۷۲۵۳	۳/۱۹۴۴۵
گروه ۳۳	۲	۱/۹۸۷۱۵	۱/۹۳۶۱۱
گروه ۳۴	۲	۲/۵۳۶۲۹	۲/۴۶۰۰۴۱

جدول (۷-۱۵): مقایسه درصد اختلاف β از β_T اعضای کششی حالت گسیختگی طراحی شده براساس آیین نامه فولاد ایران و آمریکا (برای نسبت‌های $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$ مساوی با ۰/۵)

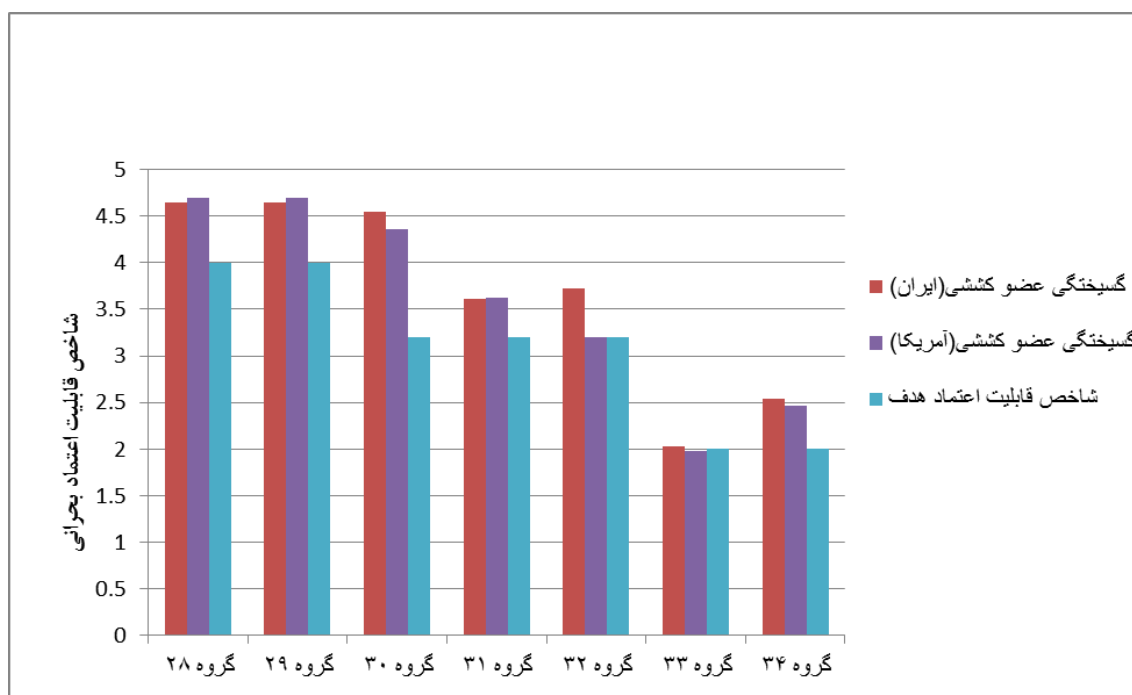
$\frac{\beta - \beta_T}{\beta_T}$ (درصد اختلاف β از β_T)		گروه
اعضای کششی-ایران	اعضای کششی-آمریکا	
۰/۱۶۲۷۷۵	۰/۱۷۴۶۲۵	گروه ۲۸
۰/۱۶۲۷۷۵	۰/۱۷۴۶۲۵	گروه ۲۹
۰/۴۲۱۱۴	۰/۳۶۲۳۷۵	گروه ۳۰
۰/۱۳۰۲۵۶	۰/۱۳۰۶۲۵	گروه ۳۱
۰/۱۶۴۱۵۶	-۰/۰۰۱۷۳	گروه ۳۲
-۰/۰۰۶۴۲۵	-۰/۰۳۱۹۴۵	گروه ۳۳
۰/۲۶۸۱۴۵	۰/۲۳۰۰۲۰۵	گروه ۳۴

از بین مقادیر جدول فوق که درصد اختلاف β از β_T را در اعضای کششی حالت گسیختگی نشان می‌دهد، درصد اختلاف در اعضای کششی حالت گسیختگی طراحی شده با آیین‌نامه ایران با مقدار ۰/۴۲۱۱۴ تحت ترکیب بار $1.2D + 1.6S + 0.7W$ از بقیه اعضا و ترکیبات بارگذاری بیشتر می‌باشد. جدول (۷-۱۶) ترکیبات بارگذاری بحرانی برای هر گروه از اعضای کششی حالت گسیختگی طراحی شده با آیین‌نامه‌های فولاد ایران (نسخه ۱۳۹۲ ه ش) و آمریکا (نسخه ۲۰۱۰ م) را نشان می‌دهد.

جدول (۷-۱۶): ترکیبات بارگذاری بحرانی برای هر گروه از اعضای کششی حالت گسیختگی طراحی شده براساس آیین-نامه جدید ایران (۱۳۹۲) و آمریکا (۲۰۱۰)

اعضای کششی حالت گسیختگی طراحی شده براساس آیین‌نامه فولاد ایران و آمریکا	ترکیب بارگذاری کنترل کننده (بحرانی)
گروه ۲۸	1.4D
گروه ۲۹	1.4D
گروه ۳۰	1.2D + 1.6S + 0.7W
گروه ۳۱	1.2D + 1.4W + L
گروه ۳۲	1.2D + 1.4W
گروه ۳۳	1.2D + E + 0.2S
گروه ۳۴	1.2D + E + L

شکل (۶-۷) شاخص ایمنی بحرانی گروه‌های اعضای کششی حالت حدی گسیختگی، طراحی شده براساس دو آئین‌نامه فولاد ایران و آمریکا را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود شاخص ایمنی بحرانی تحت دو ترکیب‌های بار $1.2D + 1.6S + 0.7W$ و $1.4D$ از ترکیب بارهای دیگر بیشتر می‌باشد و از شاخص ایمنی هدف مربوط به هر کدام از ترکیب بارها نیز بیشتر می‌باشد. مقدار شاخص ایمنی بحرانی برای همه‌ی اعضای کششی حالت گسیختگی (ایران و آمریکا) از شاخص ایمنی هدف مربوط به ترکیب بار مشخص شده برای آن بیشتر یا مساوی می‌باشند.



شکل (۵-۷): مقایسه شاخص قابلیت اعتماد بحرانی برای هر گروه اعضای کششی (حالت گسیختگی) طراحی شده

براساس آئین‌نامه‌های فولاد ایران و آمریکا (برای نسبت‌های متفاوت $\frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$)

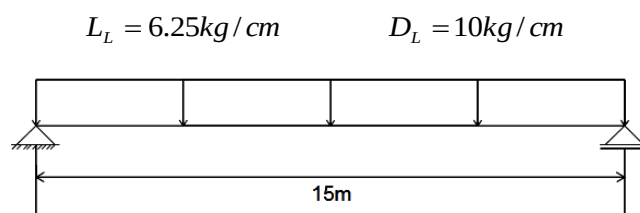
$$\left(\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}} \right)$$

۶-۷) تعیین شاخص قابلیت اعتماد چند عضو فولادی مختلف طراحی شده براساس آئین-

نامه جدید فولاد ایران (۱۳۹۲ ه ش) و آمریکا (۲۰۱۰ م)

جهت تعیین شاخص قابلیت اعتماد اعضاء با نیروهای داخلی و الگوهای بار مختلف، چندین حالت خاص بررسی و پس از طراحی به روش *LRFD* توسط آئین نامه جدید فولاد ایران (نسخه ۱۳۹۲) و آئین نامه فولاد آمریکا (نسخه ۲۰۱۰)، مقادیر شاخص ایمنی آنها مقایسه شده اند.

مثال ۱) در این مثال یک تیر ساده با بار مرده 10 kg/cm ، بار زنده $6/25 \text{ kg/cm}$ ، طول دهانه تیر 15 m و مهارهای جانبی در دو انتها و وسط دهانه در نظر گرفته می شود. برای بدست آوردن شاخص قابلیت اعتماد این تیر ابتدا باید آن را طراحی کنیم. طراحی این تیر به صورت سعی و خطا به شرح ذیل می باشد.



شکل (۷-۷): مربوط به مثال ۱

به عنوان سعی اول داریم:

$$M_u = \frac{W_u L^2}{8} = \frac{(1.2 D_L + 1.6 L_L) L^2}{8} = 6188000$$

$$Z = \frac{M_u}{\phi F_y} = \frac{6188000}{0.9 * 2400} = 2865 \text{ cm}^3$$

انتخاب اول *IPE600* با $Z_x = 3512 \text{ cm}^3$ می باشد [۱۱، ۵، ۷]:

$$I_x = 92080 \text{ cm}^4, b_f = 22, t_f = 1.9, t_w = 1.2 \text{ cm}, r_y = 4.60, I_y = 3390 \text{ cm}^4$$

$$S_x = 3070 \text{ cm}^3, h_0 = 57.8 \text{ cm}, J = 166 \text{ cm}^4, C_w = 2846000 \text{ cm}^6$$

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 * 4.6 \sqrt{\frac{2.1 * 10^6}{2400}} = 240 \text{ cm}$$

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{Jc}{S_x h_0}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E} * \frac{S_x h_0}{Jc} \right)^2}}$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} = \frac{\sqrt{3390 * 2846000}}{3070} = 31.99 \Rightarrow r_{ts} = 5.66$$

$$L_r = 1.95 * 5.66 \frac{2.1 * 10^6}{0.7 * 2400} \sqrt{\frac{166 * 1}{3070 * 57.8}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6.76 \left(\frac{0.7 * 2400}{2.1 * 10^6} * \frac{3070 * 57.8}{166 * 1} \right)^2}}$$

$$= 13796 * 0.0306 * \sqrt{1 + 2.44} = 782 \text{ cm}$$

$$L_p < L_b = 7.5 \text{ m} \leq L_r$$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_n - 0.7 F_y S_x) \right] \left[\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right] \leq M_p$$

$$C_b = 1.3$$

$$M_p = 2400 * 3512 * 10^{-5} = 84.3 \text{ ton.m}$$

$$0.7 F_y S_x = 0.7 * 2400 * 3070 * 10^{-5} = 51.58 \text{ ton}$$

$$M_n = 1.3 \left[84.3 - (84.3 - 51.58) \right] \left[\frac{750 - 240}{782 - 240} \right]$$

$$M_n = 1.3 (84.3 - 32.72 * 0.94) = 1.3 (53.54) = 69.60 \text{ ton.m}$$

$$M_u = 0.9 * 69.60 = 62.65 \text{ ton.m} > 61.88$$

پس شرایط اتکای جانبی برقرار می باشد. کنترل شرایط فشرده گی:

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{22}{2 * 1.9} = 5.79 < 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11.24$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{60}{1.2} = 50 < 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 111$$

در نتیجه مقطع IPE600 رضایت بخش می باشد.

تابع حالت حدی تسلیم برای این تیر که طراحی آن براساس آئین نامه های ایران و آمریکا به صورت

یکسان صورت می پذیرد؛ به شرح ذیل است:

$$R_M - M_D - M_L = 0$$

$$R - \frac{1500^2}{8} D - \frac{1500^2}{8} L = 0$$

$$R - 281250 D - 281250 L = 0$$

مقادیر میانگین و انحراف معیار بار مرده و بار زنده برای کشور ایران و آمریکا که یکسان می باشد طبق رابطه های زیر تعیین می شود:

$$\mu_D = D_n \cdot \lambda_D = 10 * 1.05 = 10.5 \frac{kg}{cm}$$

$$\sigma_D = V_D \cdot \mu_D = 10.5 * 0.1 = 1.05 \frac{kg}{cm}$$

$$\mu_L = L_n \cdot \lambda_L = 6.25 * 1 = 6.25 \frac{kg}{cm}$$

$$\sigma_L = V_L \cdot \mu_L = 6.25 * 0.25 = 1.5625 \frac{kg}{cm}$$

در رابطه های بالا D_n و L_n مقادیر اسمی بار مرده و زنده می باشند.

مقادیر میانگین و انحراف معیار مقاومت تسلیم خمشی تیر نورد شده با تکیه گاه ساده بازای فولاد مصرفی کشور ایران (طبق جدول (۶-۱)) عبارتست از:

$$\mu_R = R_n \cdot \lambda_R = F_y Z \cdot \lambda_R = 2400 * 3512 * 1.089 = 9178963.2 kg.cm$$

$$\sigma_R = V_R \cdot \mu_R = 0.1269 * 9178963.2 = 1164810.43 kg.cm$$

در رابطه بالا R_n مقدار اسمی مقاومت فولاد مصرفی برای تسلیم خمشی تیر مورد نظر می باشد.

مقادیر میانگین و انحراف معیار مقاومت تسلیم خمشی تیر فشرده با تکیه گاه ساده برای فولاد مصرفی کشور آمریکا (طبق جدول (۶-۲)) عبارتست از:

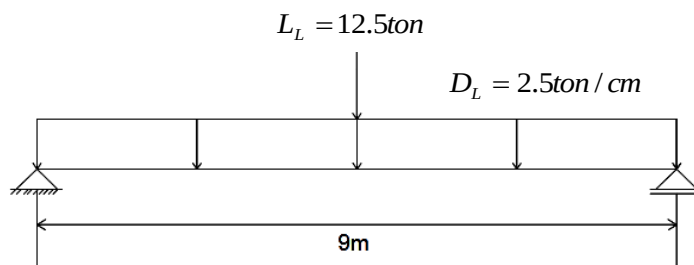
$$\mu_R = R_n \cdot \lambda_R = F_y Z \cdot \lambda_R = 2400 * 3512 * 1.07 = 9018816 kg.cm$$

$$\sigma_R = V_R \cdot \mu_R = 0.13 * 9018816 = 1172446.08 kg.cm$$

حال با استفاده از برنامه راکویتز فیسلر که در محیط ویزوال بیسیک کدنویسی شده است، مقدار شاخص قابلیت اعتماد برای هر دو کشور ایران و آمریکا بدست می آید. شاخص قابلیت اعتماد تیر مورد نظر براساس طراحی با آئین نامه فولاد ایران ۳/۷۲۰۴۶ و براساس طراحی با آئین نامه فولاد آمریکا ۳/۵۹۹۶ بدست می آید. با توجه به اینکه شاخص قابلیت اعتماد هدف برای طراحی اعضای خمشی با ترکیب بار مرده و زنده ۳ پیشنهاد شده است، مقادیر شاخص قابلیت اعتماد بدست آمده برای این تیر

براساس روابط طراحی هر دو کشور ایران و آمریکا از شاخص ایمنی هدف بیشتر بدست آمده و می-توانست براساس نظریه قابلیت اعتماد، طراحی اقتصادی تر انجام داد.

مثال ۲) در این مثال یک تیر ساده تحت بار مرده گسترده به شدت $2/5 \text{ ton/m}$ و بار زنده متمرکز به مقدار $12/5 \text{ ton}$ در وسط تیر بررسی می شود. بال فشاری این تیر در دو انتها و در فواصل $2/25$ متری دارای اتکای جانبی است. برای بدست آوردن شاخص ایمنی این تیر ابتدا تیر مورد نظر را طراحی می کنیم:



شکل (۷-۸): مربوط به مثال ۲

$$M_u = \frac{W_D L^2}{8} + \frac{P_L L}{4} = \frac{1.2 * 2.5 * 9^2}{8} + \frac{1.6 * 12.5 * 9}{4} = 75.38 \text{ ton.m}$$

$$Z = \frac{M_u}{\phi F_y} = \frac{75.38 * 10^5}{0.9 * 2400} = 3490 \text{ cm}^3$$

انتخاب اول IPE600 با $Z_x = 3512 \text{ cm}^3$ می باشد [۷، ۵، ۱۱]:

$$I_x = 92080 \text{ cm}^4, b_f = 22 \text{ cm}, t_f = 1.9 \text{ cm}, t_w = 1.2 \text{ cm}, r_y = 4.66 \text{ cm}$$

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 * 4.66 \sqrt{\frac{2.1 * 10^6}{2400}} = 243 \text{ cm}$$

$$L_b = 225 \text{ cm} < 243 \text{ cm}$$

پس شرایط اتکای جانبی برقرار است. کنترل شرایط فشردگی:

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{22}{2 * 1.9} = 5.79 < 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11.24$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{60}{1.2} = 50 < 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 111$$

پس شرایط مقطع فشرده برقرار بوده و طرح نهایی IPE600 می‌باشد.

تابع حالت حدی تسلیم برای این تیر که طراحی آن براساس آئین‌نامه‌های ایران و آمریکا به صورت یکسان صورت می‌پذیرد؛ به شرح ذیل است:

$$R_M - M_D - M_L = 0$$

$$R - \frac{900^2}{8} D - \frac{900}{4} L = 0$$

$$R - 101250D - 225L = 0$$

مقادیر میانگین و انحراف معیار بار مرده و بار زنده برای کشور ایران و آمریکا که برای هر دو یکسان می‌باشد طبق رابطه‌های زیر بدست می‌آید:

$$\mu_D = D_n \cdot \lambda_D = 25 * 1.05 = 26.25 \frac{kg}{cm}$$

$$\sigma_D = V_D \cdot \mu_D = 26.25 * 0.1 = 2.625 \frac{kg}{cm}$$

$$\mu_L = L_n \cdot \lambda_L = 12500 * 1 = 12500 kg$$

$$\sigma_L = V_L \cdot \mu_L = 12500 * 0.25 = 3125 kg$$

مقادیر میانگین و انحراف معیار مقاومت تسلیم خمشی تیر مورد شده با تکیه‌گاه ساده براساس اطلاعات آماری فولاد مصرفی کشور ایران عبارتست از:

$$\mu_R = R_n \cdot \lambda_R = F_y Z \cdot \lambda_R = 2400 * 3512 * 1.089 = 9178963.2 kg.cm$$

$$\sigma_R = V_R \cdot \mu_R = 0.1269 * 9178963.2 = 1164810.43 kg.cm$$

مقادیر میانگین و انحراف معیار مقاومت تسلیم خمشی تیر فشرده با تکیه‌گاه ساده براساس اطلاعات آماری فولاد مصرفی کشور آمریکا عبارتست از:

$$\mu_R = R_n \cdot \lambda_R = F_y Z \cdot \lambda_R = 2400 * 3512 * 1.07 = 9018816 kg.cm$$

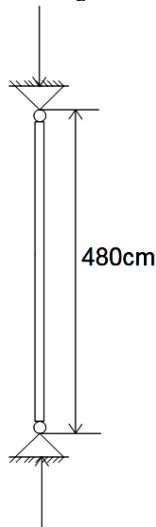
$$\sigma_R = V_R \cdot \mu_R = 0.13 * 9018816 = 1172446.08 kg.cm$$

حال با استفاده از روش راکویتز-فیسler که برنامه آن در محیط ویژوال بیسیک نوشته شده است، مقدار شاخص قابلیت اعتماد برای شرایط احتمالاتی هر دو کشور ایران و آمریکا بدست می‌آید. شاخص

قابلیت اعتمادتیر مورد نظر برای طراحی براساس آئین نامه فولاد ایران ۲/۶۵۳۲ و برای طراحی براساس آئین نامه فولاد آمریکا ۲/۵۵۳۵ بدست می آید. با توجه به اینکه شاخص قابلیت اعتماد هدف برای طراحی اعضای خمشی با ترکیب بار مرده و زنده ۳ پیشنهاد شده است، مقادیر شاخص قابلیت اعتماد بدست آمده برای این تیر برای هر دو کشور ایران و آمریکا از شاخص ایمنی هدف کمتر می باشد که در این حالت آئین نامه با توجه به اینکه بار زنده را به صورت متمرکز در نظر گرفته ایم، شاخص قابلیت اعتماد مناسب برای طراحی این تیر بدست نمی دهد.

مثال ۳) در این مثال ستون دو سر مفصلی با بار مرده ۸۰ ton، بار زنده ۲۲/۵ ton از انتقال جانبی دو انتهای آن جلوگیری شده است. برای بدست آوردن شاخص قابلیت اعتماد برای این ستون ابتدا باید مقطع ستون را طراحی کنیم:

$$L_L = 22.5 \text{ ton}, D_L = 80 \text{ ton}$$



شکل (۷-۹): مربوط به مثال ۳

طرح اولیه:

$$K = 1 \Rightarrow KL = 1 * 480 \text{ cm}$$

$$A = \frac{P_u}{\phi_c F_{cr}} = \frac{(1.2 D_L + 1.6 L_L)}{\phi_c F_{cr}} = \frac{132000}{0.9 * 1680} = 87.5 \text{ cm}^2$$

$$F_{cr} = 0.7 F_y = 0.7 * 2400 = 1680 \text{ kg/cm}^2$$

انتخاب اول:

IPB220

$$A = 91 \text{ cm}^2, r_x = 9.43 \text{ cm}, r_y = 5.59 \text{ cm}$$

$$\lambda = KL / r = 480 / 5.59 = 86 < 4.71 \sqrt{\frac{2.1 \cdot 10^6}{2400}} = 139$$

$$A = \frac{P_u}{\phi_c F_{cr}} = \frac{132000}{0.9 \cdot 1677} = 87.46 \text{ cm}^2$$

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{22}{2 \cdot 1.6} = 6.875 < 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11.24$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{22}{0.95} = 23.157 < 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 111$$

پس IPB220 به عنوان طرح نهایی انتخاب می شود [۷، ۵، ۱۱].

تابع حالت حدی تسلیم برای این ستون که طراحی آن براساس آئین نامه های ایران و آمریکا به صورت

یکسان صورت می پذیرد؛ به شرح ذیل است:

$$R_{pc} - P_D - P_L = 0$$

مقادیر میانگین و انحراف معیار بار مرده و بار زنده برای کشور ایران و آمریکا طبق رابطه های زیر

تعیین می شود:

$$\mu_D = D_n \cdot \lambda_D = 80000 \cdot 1.05 = 84000 \text{ kg}$$

$$\sigma_D = V_D \cdot \mu_D = 84000 \cdot 0.1 = 8400 \text{ kg}$$

$$\mu_L = L_n \cdot \lambda_L = 22500 \cdot 1 = 22500 \text{ kg}$$

$$\sigma_L = V_L \cdot \mu_L = 22500 \cdot 0.25 = 5625 \text{ kg}$$

برای بدست آوردن مقادیر ضریب انحراف و ضریب تغییرات مربوط به ستون مورد نظر ابتدا باید عامل

لاگری ستون از طریق فرمول زیر بدست آید:

$$\chi = \frac{KL}{r} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} = 86 \cdot \frac{1}{3.14} \sqrt{\frac{2400}{2.1 \cdot 10^6}} = 0.92$$

کمانش ستون با عامل لاغری ۰/۹ می باشد که مقادیر ضریب انحراف و ضریب تغییرات ستون مورد نظر در جدول (۶-۱) ذکر شده است.

مقادیر میانگین و انحراف معیار مقاومت ستون با عامل لاغری ۰/۹ برای فولاد مصرفی کشور ایران عبارتست از:

$$\mu_R = R_{np} \cdot \lambda_R = F_{Cr} A_g \cdot \lambda_R = 1677 * 91 * 1.13 = 172445.91 kg$$

$$\sigma_R = V_R \cdot \mu_R = 0.15 * 172445.91 = 25866.8865 kg$$

مقادیر میانگین و انحراف معیار مقاومت ستون با بار محوری برای فولاد مصرفی کشور آمریکا عبارتست از:

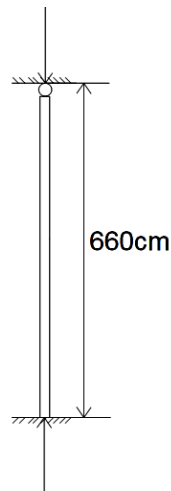
$$\mu_R = R_n \cdot \lambda_R = F_{Cr} A_g \cdot \lambda_R = 1677 * 91 * 1.08 = 164815.56 kg$$

$$\sigma_R = V_R \cdot \mu_R = 0.14 * 164815.56 = 23074.1784 kg$$

حال با استفاده از برنامه راکویتز فیسler که در محیط ویزوال بیسیک کدنویسی شده است، مقدار شاخص قابلیت اعتماد برای هر دو کشور ایران و آمریکا بدست می آید. شاخص قابلیت اعتماد ستون مورد نظر برای طراحی براساس آئین نامه فولاد ایران ۲/۷۴۲۲ و برای طراحی براساس آئین نامه فولاد آمریکا ۲/۶۱۵۹۸۶ بدست می آید. با توجه به اینکه شاخص قابلیت اعتماد هدف برای طراحی اعضای فشاری با ترکیب بار مرده و زنده ۳ پیشنهاد شده است، مقادیر شاخص قابلیت اعتماد بدست آمده برای این ستون براساس روابط طراحی کشور ایران و آمریکا از شاخص ایمنی هدف کمتر بدست آمده است که در این حالت آئین نامه شاخص قابلیت اعتماد مناسب برای طراحی این ستون بدست نمی دهد.

مثال (۴) در این مثال ستون با بار مرده ۱۰۰ ton، بار زنده ۵۰ ton برای کمانش حول هر دو محور، ستون در بالا مفصلی و در پایین گیردار می باشد و از انتقال جانبی دو انتهای آن جلوگیری شده است. برای بدست آوردن شاخص قابلیت اعتماد برای این ستون ابتدا باید مقطع ستون را طراحی کنیم:

$$L_L = 50\text{ton}, D_L = 100\text{ton}$$



شکل (۷-۱۰): مربوط به مثال ۴

$$K = 0.8 \Rightarrow KL = 0.8 * 660\text{cm}$$

$$A = \frac{P_u}{\phi_c F_{cr}} = \frac{(1.2D_L + 1.6L_L)}{\phi_c F_{cr}} = \frac{200000}{0.9 * 1680} = 132\text{cm}^2$$

$$F_{cr} = 0.7F_y = 0.7 * 2400 = 1680\text{kg/cm}^2$$

انتخاب اول:

IPB300

$$A = 149\text{cm}^2, r_x = 13\text{cm}, r_y = 7.58\text{cm}$$

$$\lambda_x = KL / r_x = 0.8 * 660 / 13 = 41$$

$$\lambda_y = KL / r_y = 0.8 * 660 / 7.58 = 70 \Rightarrow F_{cr} = 1893\text{kg/cm}^2$$

$$A = \frac{P_u}{\phi_c F_{cr}} = \frac{200000}{0.9 * 1893} = 117\text{cm}^2$$

انتخاب بعدی:

IPB280

$$A = 131\text{cm}^2, r_x = 12.1\text{cm}, r_y = 7.09\text{cm}$$

$$\lambda_x = KL / r_x = 0.8 * 660 / 12.1 = 44$$

$$\lambda_y = KL / r_y = 0.8 * 660 / 7.09 = 75 \Rightarrow F_{cr} = 1827\text{kg/cm}^2$$

$$A = \frac{P_u}{\phi_c F_{cr}} = \frac{200000}{0.9 * 1827} = 121.6\text{cm}^2 < 131 \rightarrow ok$$

پس $IPB280$ به عنوان طرح نهایی انتخاب می‌شود [۱۱، ۵، ۷].

تابع حالت حدی تسلیم برای این ستون که طراحی آن براساس آئین‌نامه‌های ایران و آمریکا به صورت یکسان صورت می‌پذیرد؛ به شرح ذیل است:

$$R_{pc} - P_D - P_L = 0$$

مقادیر میانگین و انحراف معیار بار مرده و بار زنده برای کشور ایران و آمریکا طبق رابطه‌های زیر تعیین می‌شود:

$$\mu_D = D_n \cdot \lambda_D = 100000 \cdot 1.05 = 105000 \text{ kg}$$

$$\sigma_D = V_D \cdot \mu_D = 105000 \cdot 0.1 = 10500 \text{ kg}$$

$$\mu_L = L_n \cdot \lambda_L = 50000 \cdot 1 = 50000 \text{ kg}$$

$$\sigma_L = V_L \cdot \mu_L = 50000 \cdot 0.25 = 12500 \text{ kg}$$

برای بدست آوردن مقادیر ضریب انحراف و ضریب تغییرات مربوط به ستون مورد نظر برای کشور ایران ابتدا باید عامل لاغری ستون از طریق فرمول زیر بدست آید:

$$\chi = \frac{KL}{r} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} = 75 \cdot \frac{1}{3.14} \sqrt{\frac{2400}{2.1 \cdot 10^6}} = 0.8074$$

از مقادیر کمانش ستون با عامل لاغری ۰/۹ استفاده می‌شود که مقادیر ضریب انحراف و ضریب تغییرات ستون مورد نظر در جدول (۶-۱) ذکر شده است.

مقادیر میانگین و انحراف معیار مقاومت ستون با عامل لاغری ۰/۹ برای فولاد مصرفی کشور ایران عبارتست از:

$$\mu_R = R_{npc} \cdot \lambda_R = F_{Cr} A_g \cdot \lambda_R = 1827 \cdot 131 \cdot 1.13 = 270450.81 \text{ kg}$$

$$\sigma_R = V_R \cdot \mu_R = 0.15 \cdot 270450.81 = 40567.6215 \text{ kg}$$

مقادیر میانگین و انحراف معیار مقاومت ستون با بار محوری برای فولاد مصرفی کشور آمریکا عبارتست از:

$$\mu_R = R_n \cdot \lambda_R = F_{Cr} A_g \cdot \lambda_R = 1827 \cdot 131 \cdot 1.08 = 258483.96 \text{ kg}$$

$$\sigma_R = V_R \cdot \mu_R = 0.14 \cdot 258483.96 = 36187.7544 \text{ kg}$$

حال با استفاده از برنامه راکویتز فیسler که در محیط ویرژوال بیسیک کدنویسی شده است، مقدار شاخص قابلیت اعتماد برای هر دو کشور ایران و آمریکا بدست می‌آید. شاخص قابلیت اعتماد ستون مورد نظر برای طراحی براساس آئین‌نامه فولاد ایران ۳/۰۲۱۱۱ و برای طراحی براساس آئین‌نامه فولاد آمریکا ۲/۹۰۶۹۸ بدست می‌آید. با توجه به اینکه شاخص قابلیت اعتماد هدف برای طراحی اعضای فشاری با ترکیب بار مرده و زنده ۳ پیشنهاد شده است، مقادیر شاخص قابلیت اعتماد بدست آمده برای این ستون براساس روابط طراحی کشور ایران و آمریکا نزدیک به شاخص ایمنی هدف بدست آمده است.

مثال ۵) در این مثال یک عضو کششی به طول ۹ متر تحت بار نیروی محوری کششی مرده ۶۳ ton و بار زنده ۳۶/۵ ton قرار دارد. هر کدام از بال‌های این عضو توسط دو خط پیچ به صفحه اتصال متصل شده و در هر خط پیچ لاقل سه پیچ وجود دارد. (قطر هر سوراخ ۲/۲cm می‌باشد)
برای بدست آوردن شاخص ایمنی عضو کششی مورد نظر ابتدا باید عضو کششی را طراحی کنیم:
ترکیب بارگذاری برای هر دو آئین‌نامه ایران و آمریکا:

$$P_u = (1.2D_L + 1.6L_L) = 1.2 * 63 + 1.6 * 36.5 = 134 \text{ ton}$$

برای محاسبه سطح مقطع کل لازم:

برای تسلیم مقطع کل می‌توان نوشت:

$$\phi_t = 0.9$$

$$A_g = \frac{P_u}{\phi_t F_y} = \frac{134 * 10^3}{0.9 * 2400} = 62.04 \text{ cm}^2$$

برای گسیختگی مقطع خالص می‌توان نوشت:

$$\phi_t = 0.75$$

$$A_e = \frac{P_u}{\phi_t F_u} = \frac{134 * 10^3}{0.75 * 3700} = 48.29 \text{ cm}^2$$

$$A_g = A_n + \text{سطح مقطع سوراخ‌ها} = \frac{A_e}{U} + \text{سطح مقطع سوراخ‌ها}$$

ضریب کاهش برابر است با:

$$U = 1 - \bar{X} / L = 1 - 0 / L = 1$$

اگر فرض کنیم ضخامت بال 1 cm باشد پس سطح مقطع سوراخ‌ها:

$$\text{سطح مقطع سوراخ‌ها} = 4 * 2.2 * 1 = 8.8\text{ cm}^2$$

$$A_g = \frac{48.29}{1} + 8.8 = 57.1\text{ cm}^2$$

از نیمرخ $IPE360$ با مشخصات زیر استفاده می‌شود $[11, 5, 7]$:

$$d = 36\text{ cm}, b_f = 17\text{ cm}, t_f = 1.27\text{ cm}, A = 72.7\text{ cm}^2, r_y = 3.79\text{ cm}$$

$$b_f < \frac{2}{3}d$$

$$A_n = 72.7 - 4 * 1.27 * 2.2 = 61.52\text{ cm}^2$$

$$A_e = 1 * 61.52 = 61.52\text{ cm}^2 > 48.29 \rightarrow ok$$

$$A_g = 72.7\text{ cm}^2 > 62.04 \rightarrow ok$$

$$L / r = 900 / 3.79 = 237 < 300 \rightarrow ok$$

پس نیمرخ $IPE360$ مناسب می‌باشد.

تابع حالت حدی تسلیم برای این عضو کششی که طراحی آن براساس آئین‌نامه‌های ایران و آمریکا به صورت یکسان صورت می‌پذیرد؛ به شرح ذیل است:

$$R_{pt} - P_D - P_L = 0$$

مقادیر میانگین و انحراف معیار بار مرده و بار زنده برای کشور ایران و آمریکا که یکسان می‌باشد طبق رابطه‌های زیر تعیین می‌شود:

$$\mu_D = D_n \cdot \lambda_D = 63000 * 1.05 = 66150\text{ kg}$$

$$\sigma_D = V_D \cdot \mu_D = 0.1 * 66150 = 6615\text{ kg}$$

$$\mu_L = L_n \cdot \lambda_L = 36500 * 1 = 36500\text{ kg}$$

$$\sigma_L = V_L \cdot \mu_L = 36500 * 0.25 = 9125\text{ kg}$$

مقادیر میانگین و انحراف معیار مقاومت عضو کششی حالت حدی تسلیم بازای فولاد مصرفی کشور ایران عبارتست از:

$$\mu_{Rpt} = R_{ptn} \cdot \lambda_{Rpt} = F_y A_g \cdot \lambda_{Rpt} = 2400 * 72.7 * 1.1 = 191928 kg$$

$$\sigma_{Rpt} = V_{Rpt} \cdot \mu_{Rpt} = 0.1118 * 191928 = 21457.5504 kg$$

مقادیر میانگین و انحراف معیار مقاومت عضو کششی حالت حدی گسیختگی بازای فولاد مصرفی کشور ایران عبارتست از:

$$\mu_{Rpu} = R_{pun} \cdot \lambda_{Rpu} = F_u A_e \cdot \lambda_{Rpu} = 3700 * 61.52 * 1.1 = 250386.4 kg$$

$$\sigma_{Rpt} = V_{Rpt} \cdot \mu_{Rpt} = 0.1118 * 250386.4 = 27993.19952 kg$$

مقادیر میانگین و انحراف معیار مقاومت عضو کششی حالت حدی تسلیم بازای فولاد مصرفی کشور آمریکا عبارتست از:

$$\mu_{Rpt} = R_{ptn} \cdot \lambda_{Rpt} = F_y A_g \cdot \lambda_{Rpt} = 2400 * 72.7 * 1.05 = 183204 kg$$

$$\sigma_{Rpt} = V_{Rpt} \cdot \mu_{Rpt} = 0.11 * 183204 = 20152.44 kg$$

مقادیر میانگین و انحراف معیار مقاومت عضو کششی حالت حدی گسیختگی بازای فولاد مصرفی کشور آمریکا عبارتست از:

$$\mu_{Rpu} = R_{pun} \cdot \lambda_{Rpu} = F_u A_e \cdot \lambda_{Rpu} = 3700 * 61.52 * 1.1 = 250386.4 kg$$

$$\sigma_{Rpt} = V_{Rpt} \cdot \mu_{Rpt} = 0.11 * 250386.4 = 27542.504 kg$$

حال با استفاده از برنامه راکویتز فیسلر که در محیط ویزوال بیسیک کدنویسی شده است، مقدار شاخص قابلیت اعتماد برای هر دو کشور ایران و آمریکا بدست می‌آید. شاخص قابلیت اعتماد عضو کششی مورد نظر برای طراحی براساس آئین‌نامه فولاد ایران در حالت تسلیم کششی ۳/۷۵۰۴ و برای حالت گسیختگی کششی ۵/۰۶۷۴ بدست آمده است و شاخص قابلیت اعتماد عضو کششی مورد نظر برای طراحی براساس آئین‌نامه فولاد آمریکا در حالت تسلیم کششی ۳/۵۲۹۸ و برای حالت گسیختگی کششی ۵/۰۹۱۹۰۶ بدست آمده است.

با توجه به اینکه شاخص قابلیت اعتماد هدف برای طراحی اعضای کششی در حالت تسلیم با ترکیب بار مرده و زنده ۳ پیشنهاد شده است، مقادیر شاخص قابلیت اعتماد بدست آمده برای این عضو کششی حالت حدی تسلیم براساس روابط طراحی کشور ایران و آمریکا از شاخص هدف بیشتر بدست آمده است و می‌توانست براساس نظریه قابلیت اعتماد، طراحی اقتصادی‌تر انجام داد.

همچنین شاخص قابلیت اعتماد هدف برای طراحی اعضای کششی در حالت گسیختگی با ترکیب بار مرده و زنده ۴/۵ پیشنهاد شده است، مقادیر شاخص قابلیت اعتماد بدست آمده برای این عضو کششی در حالت حدی گسیختگی براساس روابط طراحی کشور ایران و آمریکا از شاخص هدف بیشتر بدست آمده است و می‌توانست براساس نظریه قابلیت اعتماد، طراحی اقتصادی‌تر انجام داد.

فصل هشتم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۸-۱) مقدمه

در این فصل نتایج مقایسه شاخص‌های قابلیت اعتماد اعضای فولادی مختلف طراحی شده با آئین‌نامه فولاد ایران و آمریکا مطرح می‌شود و پیشنهادات مورد نظر برای آن ارائه می‌شود.

۸-۲) نتایج

۱) پارامترهای آماری مربوط به بار هر کشور از جمله بار زلزله مخصوص به خصوصیات اقلیمی همان کشور بوده و استفاده کردن از پارامترهای آماری مربوط به کشورهای دیگر که منطبق بر شرایط اقلیمی کشورمان نمی‌باشند، نتایج گمراه کننده و در برخی موارد غیر اقتصادی به همراه خواهد داشت.

۲) مصالح مصرفی و کیفیت آنها نیز می‌توانند به نوبه خود نقش مهمی در نتایج طراحی داشته باشند. لذا باید توجه داشت که خصوصیات فیزیکی و مکانیکی فولاد مصرفی، منطبق بر استانداردها باشد و در صورتیکه اطلاعات جامعی از رفتار مقاومتی مصالح در دسترس نباشد باید از فولاد مصرفی به تعداد کافی نمونه گیری کرده و نمونه‌ها را مورد آزمایش قرار داد.

۳) براساس تئوری قابلیت اعتماد سازه‌ها، شاخص قابلیت اعتماد مورد نیاز برای طراحی هر کدام از اعضای فولادی در حالات حدی مختلف خمش، برش، فشار و کشش، تحت ترکیبات بارگذاری مشخص براساس آئین‌نامه فولاد ایران و آمریکا به عواملی از قبیل تابع حالت حدی،

$$\frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$$

پارامترهای تصادفی بار و مقاومت و نسبت‌های مختلف

$$\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}$$

بستگی دارد.

۴) از بین شاخص‌های قابلیت اعتماد بدست آمده برای هر گروه از اعضای فولادی براساس ترکیب بارهای مشخص، شاخص قابلیت اعتماد بزرگتر به عنوان شاخص قابلیت اعتماد بحرانی

شناخته می‌شود و ترکیب بار مربوط به شاخص قابلیت اعتماد بحرانی که براساس نسبت‌های

متفاوت $\frac{P_{En}}{P_{Dn}}, \frac{P_{Wn}}{P_{Dn}}, \frac{V_{En}}{V_{Dn}}, \frac{V_{Wn}}{V_{Dn}}, \frac{M_{En}}{M_{Dn}}, \frac{M_{Wn}}{M_{Dn}}, \frac{S_n}{D_n}, \frac{L_n}{D_n}$ بدست می‌آید، ترکیب بار

بحرانی آن گروه شناخته می‌شود.

(۵) طبق مطالعات انجام شده برای تعیین پارامترهای تصادفی بار زلزله کشورمان، پس از بررسی

اطلاعات آماری بار زلزله براساس ۶ شهر منتخب با شرایط زلزله خیزی متفاوت ایران ملاحظه

می‌شود که مقادیر ضریب انحراف و ضریب تغییرات بار زلزله براساس این بررسی‌ها برای

کشور ایران به ترتیب ۰/۶۹۴۷ و ۱/۳۰۶۵ بدست آمده است. در صورتی که مقادیر ضریب

انحراف و ضریب تغییرات بار زلزله برای کشور آمریکا به ترتیب ۰/۷۵ و ۱/۳۸ می‌باشد که با

هم اختلاف دارند. پس از بدست آوردن شاخص قابلیت اعتماد اعضای فولادی مختلف تحت

ترکیب بارهایی که شامل بار زلزله می‌باشند، ملاحظه می‌شود که شاخص قابلیت اعتماد

بحرانی اعضای فولادی طراحی شده براساس آئین‌نامه جدید فولاد ایران (۱۳۹۲ ه ش) با

اختلاف کمی، از شاخص قابلیت اعتماد بحرانی اعضای فولادی طراحی شده با آئین‌نامه فولاد

آمریکا (۲۰۱۰ م) بیشتر می‌باشد.

(۶) طبق بررسی‌های انجام شده در بیشتر موارد ترکیب بار باد با بارهای ثقلی بیش از هر ترکیب

دیگر بارگذاری در نتایج طراحی اثرگذار می‌باشد اما این موضوع نمی‌تواند باعث نادیده گرفتن

اثر ترکیب بارهای دیگر شود.

(۷) مقادیر شاخص ایمنی برای مقاطع نورد شده با تکیه گاه صلب بیشتر از مقاطع نورد شده با

تکیه گاه ساده و تیرورق‌ها با تکیه گاه صلب و ساده می‌باشد.

(۸) با توجه به مقایسه شاخص ایمنی بحرانی اعضای مختلف فولادی طراحی شده با آئین‌نامه

فولاد ایران و آمریکا مشاهده می‌شود به جز در چند مورد اعضای فشاری که شامل: کمانش

ستون با عامل لاغری ۱/۳ تحت ترکیب بار $1.4D$ و $1.2D+1.4W+L$ ، کمانش ستون با

عامل لاغری ۰/۹ تحت ترکیب بار $1.2D+1.4W+L$ و کمانش ستون با عامل لاغری ۱/۷ تحت ترکیب بار $1.2D+1.4W+L$ می‌باشند، در سایر اعضای فولادی طراحی شده براساس آئین‌نامه‌های فولاد ایران و آمریکا در حالات حدی خمش، برش، فشار و کشش، شاخص ایمنی بحرانی اعضای فولادی طراحی شده با آئین‌نامه فولاد ایران از شاخص ایمنی بحرانی اعضای فولادی طراحی شده با آئین‌نامه فولاد آمریکا بیشتر می‌باشد.

۹) طبق بررسی انجام شده ملاحظه می‌شود که شاخص قابلیت اعتماد بحرانی اعضای خمشی تیورورق با تکیه گاه ساده طراحی شده با آئین‌نامه فولاد ایران و تیر فشرده با تکیه‌گاه ساده طراحی شده با آئین‌نامه فولاد آمریکا تحت ترکیب بار $1.2D+1.6S$ و $1.4D$ و شاخص قابلیت اعتماد بحرانی اعضای برشی تیورورق طراحی شده با آئین‌نامه فولاد آمریکا تحت ترکیب بار $1.2D+1.6S$ ، $1.4D$ و $1.2D+1.4W$ و شاخص قابلیت اعتماد بحرانی اعضای فشاری کمانش ستون با عامل لاغری ۱/۳ طراحی شده با آئین‌نامه فولاد ایران تحت ترکیب بار $1.4D$ و $1.2D+1.4W+L$ و کمانش ستون با عامل لاغری ۰/۹ و ۱/۷ طراحی شده با آئین‌نامه فولاد ایران تحت ترکیب بار $1.4D$ و ستون با بار محوری طراحی شده با آئین‌نامه فولاد آمریکا تحت ترکیب بار $1.4D$ و شاخص قابلیت اعتماد بحرانی اعضای کششی حالت حدی تسلیم طراحی شده با آئین‌نامه فولاد آمریکا تحت ترکیب بار $1.2D+1.4W$ و $1.2D+E+0.2S$ ، از شاخص قابلیت اعتماد هدف مربوطه کمتر می‌باشد که نشان می‌دهد طراحی عضو فولادی مورد نظر غیر اقتصادی ولی کاملاً ایمن می‌باشد. شاخص قابلیت اعتماد عضو خمشی تیر فشرده با لنگر سرتاسری طراحی شده با آئین‌نامه فولاد آمریکا تحت ترکیب بار $1.2D+E$ و شاخص ایمنی عضو برشی تیورورق طراحی شده با آئین‌نامه فولاد آمریکا تحت ترکیب بار $1.2D+E$ و $1.2D+E+0.2S$ و شاخص ایمنی عضو کششی حالت حدی تسلیم طراحی شده با آئین‌نامه فولاد آمریکا تحت ترکیب بار $1.4D$ و شاخص ایمنی اعضای کششی حالت حدی گسیختگی طراحی شده با آئین‌نامه فولاد ایران

و آمریکا تحت ترکیب بار $1.2D + E + 0.2S$ و عضو کششی حالت حدی گسیختگی طراحی شده با آئین‌نامه فولاد آمریکا تحت ترکیب بار $1.2D + 1.4W$ ، برابر با شاخص قابلیت اعتماد هدف مربوطه می‌باشد و در سایر اعضای فولادی بررسی شده در این پایان‌نامه، شاخص قابلیت اعتماد بحرانی بزرگتر از شاخص ایمنی هدف مربوطه می‌باشد که نشان می‌دهد طراحی عضو فولادی مورد نظر اقتصادی ولی با حاشیه ایمنی کمتر می‌باشد.

۱۰) مقادیر شاخص ایمنی برای اعضای خمشی مورد شده با تکیه گاه صلب (ایران) و اعضای برشی تیوروق (ایران) و اعضای کششی حالت حدی تسلیم (ایران) بیشتر از شاخص ایمنی سایر اعضای خمشی، برشی (آمریکا) و کششی حالت حدی تسلیم (آمریکا) می‌باشد که نشان می‌دهد طراحی آئین نامه برای این حالت ها نسبت به آئین نامه آمریکا اقتصادی تر و با حاشیه ایمنی کمتر می‌باشد.

۱۱) همچنین نتایج این مقایسه تقریباً بیانگر بالاتر بودن سطح ایمنی آئین‌نامه فولاد ایران نسبت به آئین‌نامه فولاد آمریکا می‌باشد که اقتصادی نیست و این امر با توجه به شرایط ساخت و ساز در کشورمان لزوم تجدید نظر در ضرایب جزئی ایمنی آئین‌نامه مورد نظر می‌باشد.

۱۲) در برخی از موارد شاخص ایمنی لازم از شاخص هدف بیشتر است که نیازمند توجه بیشتر می‌باشد زیرا در این موارد حاشیه‌های ایمنی امنیت کاهش یافته و ما به ازای آن طرح‌های اقتصادی‌تر و کوچکتر حاصل می‌شود و در برخی موارد نیز شاخص ایمنی لازم از شاخص ایمنی هدف کمتر است که در این موارد حاشیه‌های ایمنی افزایش یافته و ما به ازای آن طرح‌های غیر اقتصادی‌تر حاصل می‌شود.

۱۳) در انتهای فصل هفتم جهت تعیین شاخص قابلیت اعتماد اعضاء با نیروهای داخلی و الگوهای بار مختلف، چندین حالت خاص بررسی و پس از طراحی به روش $LRFD$ توسط آئین‌نامه جدید فولاد ایران (نسخه ۱۳۹۲) و آئین‌نامه فولاد آمریکا (نسخه ۲۰۱۰)، مقادیر شاخص ایمنی آنها مقایسه شده‌اند که به جز در دو مورد عضو خمشی تیر دو سر مفصل تحت بار

گسترده مرده و بار متمرکز زنده، و عضو فشاری ستون دو سر مفصل با بار فشاری مرده و زنده که طراحی آئین نامه مناسب نمی باشد، نتایج خوبی مشاهده می شود و شاخص ایمنی آنها نزدیک به شاخص ایمنی هدف و یا بالاتر بوده است و همچنین در این مثال ها شاخص ایمنی بدست آمده براساس طراحی آئین نامه ایران از آمریکا بیشتر می باشد.

۸-۳) پیشنهادات

- ۱- انجام مطالعات آماری کامل و جامع در خصوص تعیین نسبت نیروها و لنگر ناشی از بارهای ثقلی به اثرات بار مرده و نیز نسبت نیروها و لنگر ناشی از بارهای جانبی به اثرات بار مرده و تعیین احتمال وقوع هر نسبت با توجه به شرایط حاکم بر ساخت و ساز در کشور و انواع سیستم های سازه ای موجود در تدوین یک آئین نامه بومی و کارآمد بسیار مهم می باشد.
- ۲- متأسفانه در مورد تعیین پارامترهای آماری بار باد و برف در کشور تاکنون هیچ مطالعه و کار جدی انجام نپذیرفته است. با توجه به اهمیت این پارامترها در تحلیل قابلیت اعتماد، تدوین پایان نامه های مختلف و مطالعات جدی در این زمینه پیشنهاد می شود.
- ۳- در مورد پارامترهای آماری مقاومت نیز تنها برای چند حالت محدود مطالعاتی توسط شایانفر و همکارانش انجام شده است. با توجه به اهمیت بالای این پارامترها در تحلیل قابلیت اعتماد و کالیبراسیون آئین نامه های طراحی، مطالعات بیشتر و طرح پایان نامه های مناسب در این زمینه پیشنهاد می شود.
- ۴- مطالعه و طرح پایان نامه های مناسب در زمینه تعیین شاخص قابلیت اعتماد هدف متناسب با شرایط فرهنگی، اقتصادی، جغرافیایی و سیاسی کشور برای اعضا و سیستم های سازه ای متداول بسیار مهم می باشد.

منابع

[۱] ایرانی ف، "طراحی سازه‌های فولادی به روش ضریب بار و ضریب مقاومت LRFD"، چاپ

دوم، انتشارات دانشگاه امام رضا، ص ۵۰

[۲] ساجدی س ف، (۱۳۸۲)، "ایمنی سازه‌ها"، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز

[۳] شایانفر م، برخورداری م ع و رحمانیان م، (۱۳۹۰)، "ارزیابی قابلیت اعتماد اعضای طراحی

شده براساس آئین‌نامه فولاد ایران"، انجمن سازه‌های فولادی ایران، تهران

[۴] کردلو م و معرف زاده م ر، (۱۳۹۰)، "کالیبراسیون ضرایب بار و مقاومت آئین‌نامه فولاد

ایران براساس تئوری قابلیت اعتماد سازه‌ها"، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، سمنان

[۵] عباسی م.ر. (۱۳۸۴) "جداول پروفیل‌های اشتال"، تهران

[۶] مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران، (۱۳۹۲)، "بارهای وارد بر ساختمان"، وزارت راه و

شهرداری.

[۷] مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران، (۱۳۹۲)، "طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی"،

دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، نشر توسعه ایران

[۸] میر شریفی س.ا، (۱۳۸۲)، رساله کارشناسی ارشد، "تحلیل و طراحی دکل‌های انتقال نیرو با

استفاده از نظریه قابلیت اعتماد سازه‌ها" دانشکده عمران و معماری، دانشگاه صنعتی شاهرود،

[۹] هراتی م، (۱۳۸۳)، رساله کارشناسی ارشد، "ارزیابی ایمنی تیرهای بتن مسلح طراحی شده

براساس آئین‌نامه بتن ایران و آمریکا" دانشکده عمران و معماری، دانشگاه صنعتی شاهرود،

[۱۰] ASCE (2010), "**Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures**",
ASCE/SEI 7-10, American Society of Civil Engineers, Reston, VA.

[۱۱] AISC 2010, "**Specification For Structural Steel Buildings**", ANSI /AISC 360-10,
An American National Standard

[۱۲] Bartlett, R.M., Dexter, R.J., Graeser, M.D., Jelinek, J.J., Schmidt, B.J., and
Galambos, T.V. (2003), "**Updating Standard Shape Material Properties Database
for Design and Reliability**", Engineering Journal

[۱۳] Bartlett R.M., Dexter R.J., Graeser M.D., Jelinek J.J., Schmidt B.J., and Galambos
T.V (2003), "**Updating Standard Shape Material Properties Database for Design
and Reliability**", Engineering Journal, AISC, Vol. 40, No. 1, pp. 2–14.

[١٤] Cornell, C. A. 1969. **"A Probabilistic-Based Structural Code."** ACI Journal. Pp. 974-985.

[١٥] Ellingwood, B, Galambos, T.V, MacGregor, J.G, and Cornell, C.A. (1980), **"Development of a probability based load criterion for American National Standard A58"**, Washington, D.C: U.S. Dept. of Commerce, National Bureau of Standards

[١٦] Ellingwood B, Rosowsky D.(1996), **" Combining Snow And Earthquake Loads For Limit States Design "** Members ASCE, Journal Of Structural Engineering

[١٧] Freudenthal, A. M. 1956. **"Safety and the Probability of Structural Failure."** ASCE Transactions 121, pp. 1337-1397.

[١٨] Galambos T.V. F. ASCE and Mayasandra K. Ravindra, M ASCE (1978) **"Property of Steel for Use in LRFD"** J. Struct.Div., ASCE, 1459–1468

[١٩] Hart, G.C. ,(1982), **"Uncertainty Analysis ; Load , and Safety in Structural Engineering"**, Prentice- Hall, Inc, Englewood Cliffs, NY.

[٢٠] Hasofer, A. M. and N.Lind. 1974. **"An Exact and Invariant First-Order Reliability Format."** Journal of Engineering Mechanics 100, no. EM1, pp. 111-121.

[٢١] Mayer, M. 1926. **Die Sicherheit der Bauwerke und ihre Berechnung nach Grenzkraften statt nach zulässigen Spannungen.** Berlin: Springer-verlag.

[२२] Nowak, A. S. & Collins, K. C. (2000), "**Reliability Of Structures**", University Of Michigan, McGraw-Hill International Edition.

[२३] Rackwitz, R. and B. fiessler. 1978. "**Structural Reliability under Combined Random Load Sequences.**" Computers and Structures 9, pp. 489-494.

[२४] Ranganathan, R. (1990) , "**Reliability Analysis and Design of Structures**", Tata Mc Graw-Hill Co. Civil Engineering Dept, I.I.T. Bombay.

[२५] Santosh T. V, Saraf. R K, Ghosh A K, Kushwaha H S, (2006) "**Optimum step length selection rule in modified HL-RF method for structural reliability**", Int J Pressure Vessels Piping, Vol. 83, pp. 742–748

[२६] Simiu E.1979. "**Extreme Wind Speeds at 129 Stations in the Contiguous United States**", Building Scince, NBS Special Publication no 118, National Bureau of Standards, Washington, DC.

[२७] Streletskii, N.S. 1947. **Statistical Basis for Evaluation of the Structural Safety Factor.** Stroizdat, Moscow: State Publishing House for Buildings. (in Russian)

[२८] Wierzbicki, W. 1936. **Safety of Structures as a probabilistic problem.** (Technical Review) Przegląd Techniczny (in polish), Warsa, Poland.