ارزیابی قابلیت اعتماد اعضای طراحی شده بر اساس آیین‌نامه فولاد ایران

محسنعلی شایانفر[1]، محمدعلی برخورداری[2]، محمد رحمانیان[3]

(دریافت ۸۸/۲/۲۲، پذیرش ۹۰/۶/۲۲)

چکیده

علیرغم آنچه اغلب تصور می‌شود، پارامترهای مربوط به بار و مقاومت در طراحی اعضای سازه‌ای کمیت‌های قطعی نیستند و متغیرهای تصادفی هستند، بنابراین طراحی سازه‌ای کاملاً ایمن غیر ممکن است و استفاده از رویکرد احتمالاتی برای محاسبه قابلیت اعتماد اعضای سازه‌ای در طراحی امری اجتناب ناپذیر است. با توجه به ارائه روش بار و مقاومت در ویرایش جدید آیین‌نامه فولاد ایران و همچنین با توجه به عدم وجود تحقیقات گسترده و جامع در ارتباط با پارامترهای آماری مربوط به آیین‌نامه فولاد ایران در این مقاله سعی گردیده با جمع آوری اطلاعات موجود در آزمایشگاههای کارخانه‌های فولاد کشور و نتایج بدست آمده از سایر کشورها مدلی آماری برای مقاومت فولاد مصرفی در ایران ارائه گردد. سپس آنالیز قابلیت اعتماد برای اعضای طراحی شده به روش LRFD بر مبنای آیین‌نامه فولاد ایران برای حالت‌های حدی خمش، برش و فشار محوری انجام شده و شاخص قابلیت اعتماد برای تمامی نسبت‌های بار مرده به زنده، محاسبه گردیده است.

واژه‌های کلیدی

قابلیت اعتماد، سازه‌های فولادی، بار، مقاومت

Reliability of the member stability criteria in the 2008 Iranian Specification For Structural Steel

Abstract:

This paper provides an overview of reliability of the member stability criteria in the 2008 Iranian Structural Steel Specification. Steel building structures in the Iran have been designed from many years ago, but this is the first time that the LRFD methods have been developed and presented in this code. Development of LRFD design methodology involves consideration of safety factors to account uncertainty in loading, geometrical properties, modeling, analysis, material characteristics, etc. Management and control of risk due to uncertainties through proper design is a major engineering goal. The design codes and standards address uncertainties through safety factors that may be defined either implicitly such as those used for the allowable strength design (ASD) format or explicitly such as those used for the Load and Resistance Factor Design (LRFD) format. The purpose of this paper is to review the national reliability indices of the Iranian specification, using new information about material properties, and new evaluation of the relevant experiments. The paper will examine the reliability of beam, girders and column in some different load combination.

Keywords

Structural reliability, Structural steel, Safety

۱ عضو هیئت علمی دانشگاه علم وصنعت ایران، Shayanfar@iust.ac.ir

۲ عضو هیئت علمی دانشگاه علم وصنعت ایران، barkhordar@iust.ac.ir

۳ دانشجو کارشناسی ارشد دانشگاه علم وصنعت ایران، mohammad_rah@yahoo.com (نویسنده مسئول)

۱- مقدمه

در روش‌های تحلیل و طراحی معین مرسوم قدیمی فرض می‌شد که همه پارامترها، کمیت‌هایی غیر تصادفی هستند و دارای مقادیر ثابت و مشخصی می‌باشند. ضرایب ایمنی بدست آمده در کدها و استانداردهای اولیه در ابتدا بر اساس تمرین، قضاوت و آزمایش بدست آمده‌اند که مناسب و اقتصادی نیستند. این روشها عموما بر پایه تنش مجاز مصالح قرار دارند. در این روشها همانگونه که در معادله زیر مشخص است، مقدار تنش مجاز، F_{all}، باید ازمقدار تنش وارد بر اعضا، f_{cal}، کمتر گردد.

$$F_{all} \geq f_{cal} \qquad (۱)$$

پیاده سازی تئوری قابلیت اعتماد در کدهای طراحی را می‌توان با انتشار اولین نسخه از آیین‌نامه طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت فولاد آمریکا در سال ۱۹۸٦ آغاز کرد. نوآوری مهمی که در این ویرایش روی داد، در نظر گرفتن مدل احتمالاتی برای بار و مقاومت می‌باشد که مطالعات عمده آن عموما در دهه ۱۹۷۰ انجام گرفته بود. فرمت کلی طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت مشابه زیر می‌باشد.

$$\phi R = \sum_{n} \gamma_i Q_i \qquad (۲)$$

که در آن R برابر با مقاومت پلاستیک اعضا، ϕ برابر با ضریب کاهش مقاومت مطابق با عدم قطعیتهای موجود در مقاومت، γ_i برابر با ضریب افزایشی برای اثر بار Q_i، در ترکیبات بار می‌باشد.

خوشبختانه در ویرایش جدید آیین‌نامه فولاد ایران (۱۳۸۷) نیز طراحی به روش بار و مقاومت اضافه گردیده و مهندسان می‌توانند به دلخواه یکی از دو روش ASD یا LRFD را جهت طراحی انتخاب نمایند. حالت‌های حدی در نظر گرفته شده نیز مشابه تمامی کدهای طراحی به روش LRFD شامل دو حالت حدی نهایی و حالت حدی بهره برداری می‌باشد. متاسفانه به نظر نمی‌رسد ضرایب مقاومت به کار رفته با توجه به فولاد مصرفی داخل کشور کالیبره شده باشند.

در این مقاله ابتدا سعی گردیده با نتایج حاصله از تست کشش فولاد در کارخانه‌های تولید فولاد داخل کشور و همپنین سایر تحقیقات خارجی مرتبط با فولادهای مشابه فولاد مصرفی داخل، مدلی احتمالاتی برای فولاد مصرفی در داخل ارائه گردد. بدیهی است استفاده از این نتایج نمی‌تواند منجر به تولید مدلی دقیق گردد لیکن در فقدان نتایج حاصل از برنامه‌های تحقیقاتی جامع می‌توان به تخمین اولیه‌ای دست پیدا کرد. در ادامه با انجام آنالیز قابلیت اعتماد برای رفتارهای خمشی، برشی و فشار محوری، شاخص قابلیت اعتماد در آیین‌نامه فولاد ایران برای تمامی نسبت‌های بار مرده به زنده، محاسبه گردیده است.

۲- مدل سازی بار

مقادیر اسمی بارهای به کار گرفته شده در آیین‌نامه فولاد ایران به مفاد آخرین ویرایش مبحث ششم از مجموعه مقررات ملی ارجاع داده می‌شود. لیکن ترکیبات بارگذاری به کار رفته در آیین نامه ذکر گردیده است. متاسفانه مطالعات جامعی بر روی عدم قطعیتهای بارگذاری برای ایران وجود ندارد لذا در این مقاله پارامترهای مورد نیاز از مطالعات انجام شده در سایر کشورها استفاده گردیده است. بار مرده‌ای که برای طراحی در نظر گرفته می‌شود عموما شامل نیروی ثقلی ناشی از وزن خود سازه و اجزای غیر سازه‌ای که به صورت دائمی به سازه متصل می‌شوند می‌باشد. مقادیر آماری مورد نیاز برای بار مرده، که در آنالیزهای قابلیت اعتماد به کار گرفته می‌شود، عموما در کشورهای مختلف ثابت می‌باشد که در آن فاکتور بایاس (نسبت میانگین به مقدار اسمی بار) برابر با $\lambda = 1.05$ و مقدار ضریب تغییرات را برابر با $V = 0.10$ در نظر می‌گیرند.

بار زنده بیانگر وزن افراد، مبلمان، پارتیشن‌های قابل حرکت و سایر تجهیزات متحرک می‌باشد. پارامترهای آماری بار زنده وابسته به سطح موثر (سطحی که برای اعمال ضریب کاهش استفاده می‌شود و معمولا برای تیرها

۲ برابر و برای ستونها ٤ برابر سطح بارگیر است) می‌باشد [۶]. از دیدگاه بررسی قابلیت اطمینان سازه، بار زنده از ترکیب دو نوع بار متعارف (در هر نقطه زمانی دلخواه) و بار زنده گذرا (غیرمتعارف)حاصل می‌شود. در طراحی به منظور در نظر گرفتن اثر هر دو نوع بار زنده از ماکزیمم بار زنده استفاده می‌کنند.

مقادیر اسمی بار زنده به کار رفته و همچنین دسته بندیهای مربوط به هر کاربری در آیین‌نامه‌های بارگذاری ایران و آمریکا تقریبا مشابه می‌باشد از این رو با توجه به عدم وجود مطالعات آماری برای ایران پارامترهای مورد نیاز برای آنالیز قابلیت اعتماد مشابه کد آمریکا فرض می‌گردد. برای ماکزیمم مقدار بار زنده در ۵۰ سال بر اساس پیشنهاد Ellingwood و همکارانش [۷]، مقدار فاکتور بایاس برابر $\lambda = 1.0$ و ضریب تغییرات برابر $V = 0.25$ در نظر گرفته می‌شود.

۳- مدل سازی مقاومت

ظرفیت باربری سازه وابسته به مقاومت اعضا و اتصالات می‌باشد. مقاومت اعضا که عموما با R نمایش داده می‌شود بطور عمده وابسته به مقاومت مواد، شکل هندسی و ابعاد اعضا می‌باشد. در طراحی این مشخصات به صورتی قطعی در نظر گرفته می‌شود در صورتی که در واقعیت عدم قطعیتهایی در اندازه گیری اعضا وجود دارد. بنابراین مقاومت (R) یک متغییر تصادفی با عدم قطعیتهای وابسته به آن می‌باشد. ظرفیت سازه‌ای برای تیرها را می‌توان به صورت تابعی از سه پارامتر M، F و P مشابه زیر مدل سازی کرد

$$R = R_n \times M \times F \times P \qquad (۳)$$

در رابطه بالا M، F و P پارامترهایی هستند که به ترتیب بیانگر عدم قطعیت مربوط به مواد، ساخت و آنالیز می‌باشند. ضریب مواد به صورت نسبت مقاومت واقعی به مقاومت اسمی تعریف می‌شود. ضریب ساخت به صورت نسبت خواص (ابعاد، مدول مقطع پلاستیک یا الاستیک، ممان اینرسی) مقطع واقعی به اسمی تعریف می‌شود و نهایتا ضریب آنالیز (این پارامتر ضریب حرفه‌ای نیز نامیده می‌شود) به صورت ظرفیت مقطع تست شده به ظرفیت پیش بینی شده برای مقطع تعریف می‌شود.

مقاومت اسمی یا طراحی، R_n، مقاومتی است که توسط آیین‌نامه ارائه می‌شود به عنوان مثال برای یک تیر فشرده، مقاومت اسمی در خمش برای طراحی پلاستیک برابر است با

$$R_n = ZF_y \qquad (۴)$$

که F_y تنش جاری شدن و Z اساس مقطع پلاستیک می‌باشد. برای مدل مقاومتی که در معادله بالا ارائه شد مقادیر میانگین و ضریب تغییرات با استفاده از تقریب درجه یک به صورت زیر می‌باشد

$$\mu_R = R_n \mu_M \mu_F \mu_P$$
$$V_R = \sqrt{(V_M)^2 + (V_F)^2 + (V_P)^2} \qquad (۵)$$

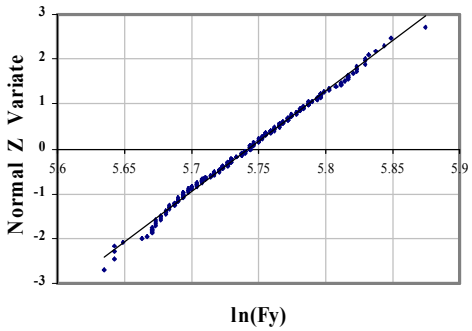
که در آن μ مقدار میانگین مقاومت و V ضریب تغییرات می‌باشد.

پارامترهای آماری M، F و P (میانگین و ضریب تغییرات) برای ساختمانهای فولادی در بررسی‌هایی که در دهه ۱۹٦۰ و ۱۹۷۰ انجام شده، موجود می‌باشد که به صورت خلاصه برای ساختمان‌های فولادی در آمریکا در مقالات متعددی می‌توان پیدا کرد [۷]، [۹]، [۱۱]. در سال‌های اخیر با توجه به اینکه فرایند تهیه نیمرخهای فولادی تغییر کرده و به تبع آن آیین‌نامه ASTM نیز روش‌های تست خود را تغییر داده است، در فرایند بروز کردن اطلاعات آماری مربوط به خواص مواد، آزمایش‌های جدیدی با هدف به کار بردن در آنالیز قابلیت اعتماد و طراحی در آمریکا و کانادا و سایر کشورها انجام شده که می‌توان از نتایج آنها نیز استفاده کرد[۴].

متاسفانه اطلاعات آماری جامعی مربوط به خواص مواد و مصالح ساختمانی که در ایران به کار می‌رود موجود نمی‌باشد و نمی توان به صورت دقیق پارامترهای آماری مدنظر را استخراج کرد. فولاد ساختمانی که در ایران تولید و استفاده می‌شود بر اساس تکنولوژی قدیمی نورد بوده و

عموما از نوع ST37 می‌باشد. بنابراین به عنوان یک پیشنهاد نزدیک می‌توان از اطلاعات آماری گذشته سایر کشورها و نتایج آزمایشاتی که به صورت روزانه در کارخانه‌های فولاد کشور صورت می‌پذیرد به عنوان یک تخمین اولیه در محاسبه ضریب مواد استفاده کرد. با پیگیریهای به عمل آمده خوشبختانه نگارنده توانسته به نتایج روزانه کارخانه‌های نورد فولاد به صورت غیر رسمی در طی دو سال گذشته دسترسی پیدا کند. ابعاد نمونه ها، سرعت بارگذاری و به طور کلی نحوه انجام آزمایش براساس استاندارد ISO 6892 می‌باشد همچنین نمونه‌ها از بین مقاطع IPE 120 تا IPE270 بوده و محل گرفتن نمونه از بال مقطع می‌باشد.

دو توزیع نرمال و لگ نرمال برای بدست آوردن توزیع آماری تنش تسلیم فولاد تست گردیده که هر دو تطابق مطلوبی دارند لیکن توزیع لگ نرمال اندکی مناسب‌تر است. در شکل (۱) تطابق توزیع لگ نرمال نشان داده شده است. مقدار میانگین و ضریب تغییرات با استفاده از توزیع لگ نرمال به ترتیب برابر با ۳۱۱/۸۷ و ۰/۰٤٦ می‌باشد لیکن مقدار تنش تسلیم بدست آمده از آزمایش تنش دینامیکی بوده و باید آن را به مقدار استاتیکی آن تبدیل نمود. بر طبق قواعد موجود، فرض می‌شود که تنش تسلیم استاتیکی ۲۸ مگاپاسکال کمتر از تنش بدست آمده در سرعت بارگذاری معمول دستورالعملها می‌باشد [۱۱] از این رو مقدار میانگین برابر با ۲۸۳/۸۷ مگاپاسکال بدست می‌آید.



شکل(۱) : CDF توزیع لگ نرمال برای تنش تسلیم داده‌ها.

با توجه به نتایج آنالیزهایی که در بالا آمده مقدار ضریب مواد برابر با ۱/۱۸۳ می‌باشد که نسب به مقادیر مشابه در کارهای سایر کشورها مقدار بسیار بالایی است از سویی دیگر نمونه‌هایی که آزمایش شده در برگیرنده تمام تولیدات فولاد کشور (گذشته از بخشی که واردات فولاد تامین می‌کند) نمی‌باشد بنابراین بهتر است با در نظر گرفتن سایر مطالعات انجام شده در کشورهای دیگر مقدار مناسبی اتخاذ گردد.

پارامترهای ضریب ساخت بدست آمده در سایر کشورها، در اکثر موارد برابر با $\lambda_F = 1.0$ و $V_F = 0.05$ می‌باشد از این رو برای ایران نیز همین مقادیر را در نظر می‌گیریم. ضریب حرفه‌ای یا آنالیز را برابر با تحقیقات جدید انجام شده توسط Bartlett و همکارانش اتخاذ می‌کنیم چرا که به طور تقریبی می‌توان خطای آنالیز را در دو کشور یکسان فرض کرد. پارامترهای ضریب مواد در اکثر موارد برای تولید فولاد مشابه ایران برابر است با $\lambda_M = 1.05$ و $V_M = 0.10$ لیکن با توجه به نتایج بدست آمده از آنالیز آزمایشات برابر با $\lambda_M = 1.183$ و $V_M = 0.05$ می‌باشد به صورت تقریبی مقادیر $\lambda_M = 1.10$ و $V_M = 0.10$ را برای فولاد مصرفی کل کشور در نظر می‌گیریم. خلاصه پارامترهای بدست آمده برای فولاد ایران در جدول (۱) آورده شده است.

٤-۱- مدل سازی ستونها

اطلاعات آماری برای انجام آنالیز قابلیت اعتماد ستونها به وسیله مطالعات پایه‌ای که توسط Bjorhovde [۵] بر روی ستونها انجام داد، فراهم گردیده است. وی نشان داد که استقامت ستونهای فولادی علاوه بر طول موثر، خصوصیات سطح مقطع و خصوصیات فولاد نظیر F_y و E، به سه پارامتر (۱)مقدار تنش باقی مانده و توزیع آن، (۲)شکل و مقدار خمیدگی اولیه و (۳) مقاومت انتهایی نیز وابسته می‌باشد. نهایتا پس از بررسیهای گوناگون سه منحنی برای استقامت ستونها استخراج گردید که به منحنی‌های مقاومت ستونها ۱، ۲ و ۳ SSRC -10 معروف می‌باشند.

منحنی ۲ برای بیشتر مقاطع ستونها به کار برده می‌شود.

جدول (۱). پارامترهای به کار رفته برای مدلسازی مقاومت در آیین‌نامه فولاد ایران

حالت حدی	نوع بارگذاری	نحوه ساخت	M		F		P	
			میانگین	COV	میانگین	COV	میانگین	COV
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

سبکتر کاربرد دارد. به صورت ایده‌ال بایـد هـر سـه دسـته منحنی‌ها را برای آنالیز به کار برد. لیکن در آیین‌نامه فـولاد آمریکا نیز صرفا یک دسته از منحنی‌ها بـرای مدلسـازی در طراحی به روش بار و مقاومت از اولین ویرایش آیـین‌نامـه در سال ۱۹۸٦ تا ویرایش آخر (۲۰۰۵) استفاده شده است. در این مقاله نیز صرفا از منحنی۲ برای آنالیز قابلیت اعتماد استفاده می‌شود.

با توجه به اینکه صرفا یک منحنـی از سـتونها بـرای مـدل سازی تمامی سـتونها (در واقـع بـه عنـوان جـایگزین سـه منحنی) در آیین‌نامه به کار برده شـده پراکنـدگی در مقـدار مقاومت بالاست و از این رو ضریب مقاومـت $\phi=0.85$ در ویراشهای قبلی AISC برای ستونها استفاده گردیـد. در ویرایش جدید AISC ضریب مقاومت $\phi=0.9$ به دلایـل (۱) نحوه تولید فولاد تغییر پیـدا کـرده و در حـال حاضـر بیشتر مقاطع فولادی مطابق با گرید A992 تولید می‌گردند (۲) نحوه ساخت ستونهای ساخته شده از ورق تغییر کـرده است. در واقع با توجه به این مسائل ستونهای پیرو منحنـی سوم دیگر ساخته نمی‌شود (که در جـدول واقـع در شـکل ۳-۲۷ کتاب SSRC قابل استدلال است). بنابراین می‌تـوان گفت تمامی ستونها را در حال حاضر مـی‌شـود در جهـت اطمینان با منحنـی گـروه ۲ طراحـی کـرد. کـه فرمولهـای طراحی واقع در آیین‌نامه AISC نیز اینچنـین اسـت. لـیکن نیست و همچنان پراکندگی در مقدار مقاومـت بالاسـت از اینرو استفاده از ضریب ۰/۸۵ برای ایران توصیه می‌گردد.

مقـدار میـانگین و ضـریب تغییـرات مقاومـت سـتونها را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\mu_R = A\times\mu_{F_{Cr}}\times\mu_M\times\mu_F\times\mu_P \quad (۶)$$

$$V_R=\sqrt{V_{F_{Cr}}{}^2+V_M^2+V_F^2+V_P^2} \quad (۷)$$

سطح مقطع مورد نیاز A، مساحتی است کـه بـا توجـه بـه ضوابط مندرج در آیین‌نامه AISC محاسبه می‌گردد. ضریب مواد M و ضریب ساخت نیز مطابق با جدول (۱) محاسـبه می‌گردد. مقدار میانگین و ضریب تغییرات ضریب حرفه‌ای نیـز مطـابق بـا کـار Bjorhovde برابـر $P=1.03$ و $V_p=0.05$ در نظر گرفته مـی‌شـود. پارامترهـای آمـاری مربوط به F_{Cr} نیز با توجه به

$$\chi=\frac{KL}{r}\frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (۸)$$

متغییر بوده و مقـدار میـانگین آن عبـارت اسـت از؛ تـنش بحرانی بر اساس کار Bjorhovde برای منحنی‌هـای گـروه 2P با تغییر شکل اولیه برابر با "۱٤۷۰/طول المان"، ضـرب در ضریب C که بر اساس کار Galambos و همکاران [۸] تعیین می‌گردد. در جدول (۲) مقادیر آماری مورد نیاز برای محاسبه مقدار میانگین تـنش بحرانـی و همچنـین ضـریب تغییرات آن آورده شده است.

جدول (۲). پارامترهای آماری مربوط به F_{Cr}

χ	$\frac{F_{Cr}}{F_Y}$	C	$V_{F_{Cr}}$
۰/۵	۰/۹	۱/۰۸	۰/۰٤
۰/۹	۰/۷۲	۱/۰۷	۰/۰۸
۱/۳	۰/٤٦	۱/۱۱	۰/۰۷
۱/۷	۰/۳	۱/۱۳	۰/۰٦

۴- روابط طراحی

ترکیب بار مبنا که در طراحی به روش LRFD آیین‌نامه فولاد ایران برای حالت حدی مقاومت نهایی، مشخص شده عبارت است از

$$\begin{aligned} &1.\ 1.4D \le \phi R \\ &2.\ 1.25D + 1.5L \le \phi R \end{aligned} \qquad (۹)$$

که در آن D برابر بار مرده، L بار بهره برداری شامل بار زنده طبقات و سربار حاکم بر بام و ϕ ضریب کاهش مقاومت می‌باشد. ضریب مقاومت بر حسب نوع المان، مصالح و حالت حدی که بررسی می‌گردد، تعیین می‌شود. برای حالت حدی نهایی در فشار محوری برابر ۰/۹، در خمش برابر ۰/۹ و در برش از ۰/۱ تا ۰/۹ متغیر می‌باشد.

۵- ارزیابی قابلیت اعتماد

برای حالت حدی نهایی نظریه‌ای قدیمی از محددوه ایمن وجود دارد؛ چنانچه R بیانگر مقاومت و Q بیانگر اثر بار (تمام باری که بر عضو اثر می‌کند) باشد، تابع عملکرد یا تابع حالت حدی به صورت زیر قابل تعریف می‌باشد:

$$g(R,Q) = R - Q \qquad (۱۰)$$

مرز بین عملکرد مورد انتظار و عملکرد غیر قابل قبول (حالت حدی)، هنگامی است که $g(R,Q) = 0$ باشد در واقع چنانچه $g(R,Q) \ge 0$ باشد سازه در محدوده امن (عملکرد مورد انتظار) واقع است و بر عکس. احتمال خرابی، P_f، برابر با احتمال این است که $g(R,Q) \ge 0$ باشد و نمایش ریاضی آن به صورت زیر است:

$$P_f = P(R - Q < 0) = P(g < 0) \qquad (۱۱)$$

محاسبه P_f به این صورت اگر غیر ممکن نباشد، بسیار مشکل است از اینرو به منظور محاسبه قابلیت اعتماد سازه بهتر است از شاخص اعتماد استفاده شود. بنا به تعریفی که توسط Hasofer و Lind ارائه گردید [۱۲]، شاخص اعتماد به صورت کوتاهترین فاصله از مبدا مختصات محورهای متغییرهای استاندارد تا سطح خرابی معادل معادله $g(Z_R, Z_Q) = 0$ می‌باشد. بنا بر این تعریف چنانچه فرض شود که مقاومت (R) و اثر بار (Q) دارای توزیع لگ نرمال می‌باشند، شاخص قابلیت اعتماد عبارت است از

$$\beta = \frac{\ln\left(\mu_R / \mu_Q\right)}{\sqrt{V_R^2 + V_Q^2}} \qquad (۱۲)$$

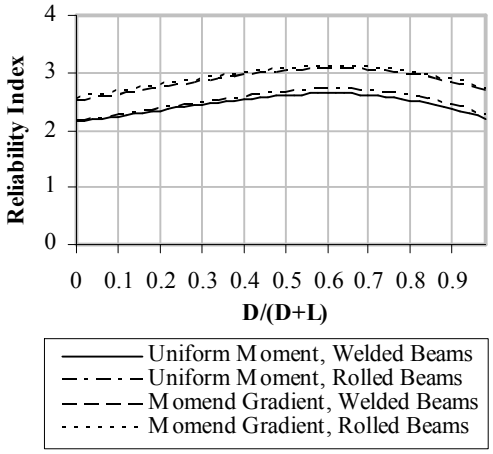
۵-۱- آنالیز قابلیت اعتماد تیرها

آنالیز قابلیت اعتماد برای تیر در حالت حدی خمش برای ترکیب بار $1.25D+1.5L$ انجام شده و شاخص قابلیت اعتماد در شکل(۲) آورده شده است. در نمودارهای بدست آمده نسبت بار مرده به بار زنده متغییر بوده و آنالیز قابلیت اعتماد برای تمام نسبتهای بار که به صورت D/(D+L) بیان شده، انجام گرفته است لیکن محدوده کاربردی نسبت D/(D+L) برای تیرها بین ۰/۳ و ۰/۷ می‌باشد.

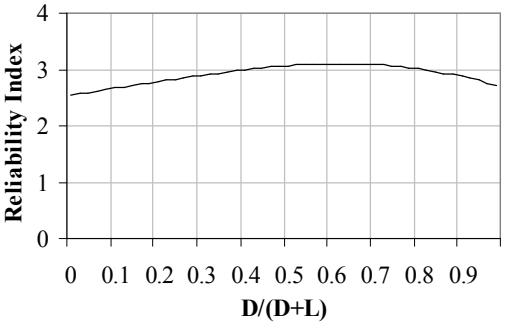
در محدوده کاربردی مقدار β برای تمامی موردها تقریبا ثابت می‌باشد. شاخص قابلیت اعتماد، β، برای مقاطع نورد شده اندکی بسشتر از تیر ورق‌ها بوده و همچنین مقدار آن برای گرادیان خمشی بیشتر از خمش یکنواخت می‌باشد که این امر با توجه به تاثیر قابل توجه سخت شدگی کرنشی در مواردی که تیر تحت بار متمرکز در مرکز قرار میگیرد، قابل استدلال است. شاخص قابلیت اعتماد، β، بدست آمده برای حالت حدی خمش در ترکیب بار اصلی مرده و زنده روش LRFD آیین‌نامه فولاد ایران در محدوده کاربردی نسبتهای بار، نزدیک به مقدار ۲/۵ می‌باشد که حداقل مقدار متداول برای این حالت است.

آنالیز قابلیت اعتماد در حالت حدی برش برای ترکیب بار $1.25D+1.5L$ انجام شده و شاخص قابلیت اعتماد در شکل(۳) آورده شده است. مقدار شاخص قابلیت اعتماد

آیین‌نامه ایران در حالت حدی برش بیشتر از مقدار متداول ۲/۵ برای تیرها می‌باشد.



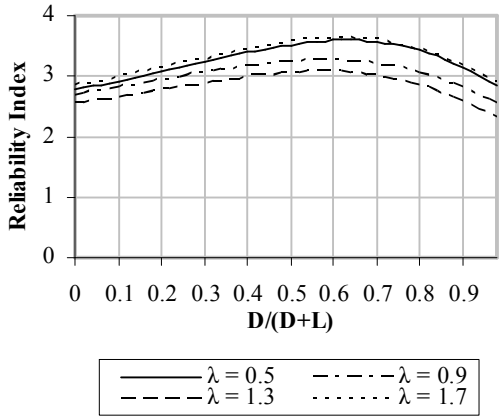
شکل(۲) : شاخص قابلیت اعتماد آیین‌نامه فولاد ایران در طراحی به روش LRFD در حالت حدی خمش



شکل(۳) : شاخص قابلیت اعتماد آیین‌نامه فولاد ایران در طراحی به روش LRFD برای حالت حدی برش

۵-۲- آنالیز قابلیت اعتماد ستون‌ها تحت فشار محوری

آنالیز قابلیت اعتماد برای ستونها در حالت حدی فشار محوری انجام شده و منحنی شاخص قابلیت اعتماد در شکل(٤) آورده شده است. آنالیز برای تمام نسبتهای بار مرده و زنده که به صورت D/(D+L) بیان شده، و برای چهار مقدار متفاوت χ (برای مشاهده تعریف مقدار χ به معادله (۸) مراجعه شود) انجام گرفته است. محدوده کاربردی نسبت D/(D+L) برای ستونها بین ۰/٤ و ۰/۹ می‌باشد. شاخص قابلیت اعتماد آیین‌نامه ایران در LRFD مابین ۲/۵-۳/۵ می‌باشد.



شکل(۴) : شاخص قابلیت اعتماد آیین‌نامه فولاد ایران در طراحی به روش LRFD در حالت حدی فشار محوری

نتیجه‌گیری

با استفاده از نتایج آزمایشاتی که به صورت روزانه در کارخانه‌های فولاد کشور صورت می‌پذیرد تخمین اولیه‌ای در محاسبه ضریب مواد انجام گرفته است. با استفاده از این اطلاعات توزیع لگ نرمال برای بدست آوردن توزیع آماری تنش تسلیم فولاد تست گردیده که تطابق مناسبی دارد. مقدار میانگین و ضریب تغییرات با استفاده از توزیع لگ نرمال به ترتیب برابر با ۲۸۳/۸۷ و ۰/۰۵ می‌باشد که مقدار بالایی است. لیکن با توجه به اینکه نمونه‌هایی که آزمایش شده در برگیرنده تمام تولیدات فولاد کشور (گذشته از بخشی که واردات فولاد تامین می‌کند) نمی‌باشد، بهتر است با در نظر گرفتن سایر مطالعات انجام شده در کشورهای دیگر مقدار بایاس فاکتور λ=1.10 و ضریب تغییرات V=0.10 را به صورت تقریبی برای فولاد مصرفی کل کشور پیشنهاد می‌گردد. همچنین با در نظر گرفتن کارهای انجام شده در سایر کشورها، پارامترهای آماری لازم برای انجام آنالیز قابلیت اعتماد آیین‌نامه ایران در قالب جدولی پیشنهاد گردیده است.

شاخص قابلیت اعتماد، β، بدست آمده برای حالت حدی خمش در ترکیب بار اصلی مرده و زنده روش LRFD آیین‌نامه فولاد ایران در محدوده کاربردی نسبتهای بار، نزدیک به مقدار ۲/۵ می‌باشد که حداقل مقدار متداول برای این حالت است. با توجه به اهمیت این موضوع پیشنهاد

می‌شود با جمع آوری اطلاعات دقیق در مورد مدل‌سازی بار و مقاومت مقدار دقیق شاخص مشخص شود و در حال حاضر از ضریب تقلیل مقاومت ۰/۸۵ استفاده گردد.

با توجه به اینکه آیین‌نامه ایران هر سه دسته ستونهای SSRC را شامل می‌شود استفاده از ضریب مقاومت ۰/۹ برای ستونها به نظر مناسب نمی‌آیید و پیشنهاد می‌گردد مشابه با ویرایشهای پیشین AISC، از ضریب ۰/۸۵ استفاده شود.

مراجع

۱- مبحث دهم مقررات ملی ساختمان "طرح و اجرای ساختمانهای فولادی"، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، نشر توسعه ایران، ۱۳۸۷

2- AISC (1986), Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, IL.

3- AISC (2005), Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges and commentary, American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, IL.

4- 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.

5- Bjorhovde, R. (1972), "Deterministic and Probabilistic Approaches to the Strength of Steel Columns," Ph.D. Dissertation, Lehigh University, Bethlehem, PA, May.

6- Chalk, P.L., and Corotis, R.B. (1980). "Probability models for design live loads." J. Struct D.iv. (ASCE), 106(10), 2017-2033.

7- Ellingwood, B., Galambos, T.V., MacGregor, J.G., and Cornell, C.A. "Development of a probability based load criterion for American National Standard A58." Washington, D.C.: U.S. Dept. of Commerce, National Bureau of Standards, NBS SP 577 1980

8- Galambos, T.V. (1983),"Reliability of Axially Loaded Columns," Engineering Structures, Vol. 5, No. 1, pp. 73–78.

9- Galambos, T.V., Ellingwood, B., MacGregor, J.G., and Cornell, C.A. (1982), "Probability-Based Load Criteria: Assessment of Current Design Practice," Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 108, No. ST5, May, pp. 959–977.

10- Galambos, T.V. (ed.) (1998), Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures, Structural Stability Research Council, 5th edition, John Wiley and Sons, New York, NY.

11- Galambos, T.V. F. ASCE and Mayasandra K. Ravindra, M ASCE "Property of Steel for Use in LRFD" J. Struct.Div., ASCE, 1459–1468, 1978

12- Hasofer, A.M. & N.C. Lind: An Exact and Invariant First Order Reliability Format. ASCE, Journ. Eng. Mech. Div, 1974, pp. 111-121.

13- Nowak A.S. and Collins K.R. (2000) "Reliability of Structures" McGraw- Hill

14- White, D.W. (2004), "Unified Flexural Resistance Equations for Stability Design of Steel I-Section Members Overview," Structural Engineering, Mechanics and Materials Report No. 24a, School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA.