



مقایسه‌ی اقتصادی و بررسی شکل‌پذیری اعضای ساخته‌شده از فولاد با مقاومت بالا و فولاد معمولی

پوهنیار شکیب الله مشفق

دیپارتمنت سیول، پوهنځی انجنیرۍ، پوهنتون بدخشان

Shekibullah.moushfiq@gmail.com

<http://orcid.org/0009-00076566-5440>

نویسنده^۱

نشانی برقی

نشانی ارکاید

پوهنیار شمس الله انوری

دیپارتمنت سیول، پوهنځی انجنیرۍ، پوهنتون بدخشان

anwary.shams@gmail.com

<http://orcid.org/0009-0006-1977-3515>

نویسنده

نشانی برقی

نشانی ارکاید

چکیده

استفاده از فولاد با مقاومت بالا در ساختمان‌های فولادی به دلیل خواص مبنایکی مطلوب و کاهش وزن ساختمان، به‌طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. در این مطالعه، مقایسه‌ای جامع بین اعضای ساخته‌شده از فولاد معمولی و فولاد با مقاومت بالا از لحاظ اقتصادی و شکل‌پذیری انجام شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از فولاد با مقاومت بالا می‌تواند منجر به کاهش وزن و ابعاد مقاطع شده و در نتیجه هزینه‌های مواد و ترانسپورت را کاهش دهد. با این حال، شکل‌پذیری و رفتار دینامیکی اعضا با استفاده از فولاد با مقاومت بالا نسبت به فولاد معمولی محدودتر است، که ممکن است تأثیری مستقیم بر عمل کرد ایمنی اعضا در برابر بارهای دینامیکی داشته باشد. نتایج تحلیل اقتصادی و بررسی رفتار شکل‌پذیری اعضای ساخته‌شده از این دو نوع فولاد با استفاده از روش تحلیل محتوا، تحقیق و ارائه شده و تأثیر انتخاب نوع فولاد بر طراحی و تحمل نهایی عضو مورد بحث قرار گرفته است. یافته‌ها نشان می‌دهد که انتخاب فولاد مناسب باید با توجه به نیازهای عملی، شرایط دینامیکی و ملاحظات اقتصادی انجام شود.

کلیدواژه‌ها: اقتصادی، شکل‌پذیری، فولاد با مقاومت بالا، فولاد معمولی

Economic Comparison and Ductility Assessment of Members Made from High-Strength Steel and Conventional Steel

Shekibullah Moushfiq

Author Civil Engineering Department, Engineering Faculty, Badakhshan

Email University

Orcid Shekibullah.moushfiq@gmail.com

<http://orcid.org/0009-00076566-5440>

Shamsullah Anwari

Author Civil Engineering Department, Engineering Faculty, Badakhshan

Email University

Orcid anwary.shams@gmail.com

<http://orcid.org/0009-0006-1977-3515>

Abstract

The use of high-strength steel in steel structures has increasingly attracted attention due to its desirable mechanical properties and the reduction in structural weight. This study provides a comprehensive comparison between structural members made of conventional steel and high-strength steel from an economic and ductility perspective. The findings indicate that utilizing high-strength steel can lead to a reduction in weight and cross-sectional dimensions, thereby decreasing material and transportation costs. However, the ductility and seismic behavior of members constructed with high-strength steel are more limited compared to conventional steel, which may directly affect the safety performance of structures under seismic loads. In this research, the results of an economic analysis and the evaluation of ductility behavior of structural members made of these two types of steel, based on library research methods, are presented. The impact of steel type selection on structural design and final performance is discussed. The findings demonstrate that choosing the appropriate steel type must consider functional requirements, seismic conditions, and economic considerations.

Keywords: Economic Analysis, Ductility, High-Strength Steel, Conventional Steel

مقدمه

بیش از یک قرن است که فولاد به عنوان مصالح ساختمانی تثبیت شده است و واژه فولاد ساختمانی عموماً به فولادهای کاربن - منگنیز اطلاق می‌گردد. پیشرفت تکنالوژی ویلدنگ کاری و تسهیل در عملیات ویلدینگ به عنوان یکی از تکتیک‌های اتصال قطعات فولادی باعث پیشرفت سریع ساختمان‌های فولادی گردیده است بنابراین استفاده از فولادهای با مقاومت بالا باعث صرفه‌جویی اقتصادی، مقاوم سازی و استحکامیت ساختمانی می‌گردد.

طی سالیان اخیر با پیشرفت تکنالوژی نیاز صنایع به محصولات با کیفیت بالا باعث افزایش تقاضا برای تولید فولادهای با مقاومت بالا و شکل پذیری بیشتر گردیده است و هدف این بوده است که بتوانند مقدار فولاد مصرفی را با بلندبردن مقاومت و شکل‌پذیری آن کاهش دهند و همچنان سبک‌سازی ساختمان و جذابیت آن نیز در نظر گرفته شود.

ازینکه کشور عزیز ما در فقر اقتصادی به سر می‌برد و همه‌ساله سرمایه زیاد وطن در ساختن ساختمان‌ها به مصرف می‌رسد و تفکیک مواد ساختمانی اقتصادی و مستحکم در نزد انجیران ساختمان در ابهام باقی مانده است ازین‌رو در این مقاله مقایسه می‌گردد که شکل‌پذیری اعضای ساخته شده از فولاد با مقاومت بالا در برابر فولاد معمولی در کدام حد است و همچنان از نگاه صرفه‌جویی چگونه مقایسه می‌گردد و چه زمانی می‌توان از کدام نوع آن مطابق نوع ساختمان استفاده کرد، تا باشد خدمت ناچیزی در بخش اکادمیک شده و دین علمی خویش را ادا کرده باشم.

تبیین مسأله

امروزه شک و تردیدهای زیادی در بین جامعه انجیران در مورد ساختمان‌سازی از فولاد عادی و یا با مقاومت بالا وجود دارد و این امر مورد ابهام قرار گرفته است که آیا در ساختمان‌سازی از کدام نوع فولاد استفاده کنیم که هم موجب اقتصادی‌شدن و هم سبب استحکامیت بیشتر آن گردد. در طی سالیان اخیر استفاده از فولادها به قوس صعودی خویش رسیده است و مقایسه اقتصادی و شکل‌پذیری اعضای ساخته‌شده از فولاد با مقاومت بالا با فولاد عادی یک امر ضروری پنداشته می‌شود که انجیران ساختمان در زمان طرح ساختمان‌ها باید بطور درست بدانند که با استفاده از کدام نوع فولاد هم سبب صرفه‌جویی در مصرف و هم استحکامیت بیشتر در ساختمان می‌گردد. تا بتوانیم حد اقل با کاهش مصرف در ساختمان‌سازی سبب رشد اقتصاد کشور خویش گردیم.

پرسش‌های تحقیق

پرسش اصلی: کدام نوع فولاد (فولاد عادی یا فولاد با مقاومت بالا) در ساختمان‌سازی باعث صرفه‌جویی بیشتر در هزینه‌ها می‌شود؟

پرسش های فرعی

۱. استفاده از فولادهای با مقاومت بالا در مقایسه با فولادهای معمولی چه تاثیری در رشد اقتصادی کشور دارد؟
۲. استفاده از فولاد با مقاومت بالا نسبت به فولاد عادی از نظر شکل پذیری و عملکرد چگونه بررسی می گردد؟
۳. کدام یکی از این دو نوع فولاد (عادی یا با مقاومت بالا) در شرایط خاص اقلیمی بهتر عمل می کند؟

اهمیت تحقیق

در ساختمان سازی یکی از ملزومات، صرفه جویی اقتصادی آن است و با مقایسه دو نوع فولاد در ساختمان های فولادی می توان بر کاهش هزینه در ساختمان سازی کمک کرد.

اهداف تحقیق

هدف اصلی: بررسی و مقایسه اقتصادی اعضای ساختمانی ساخته شده از فولاد با مقاومت بالا و فولاد معمولی از نظر: شکل پذیری (Ductility)، هزینه ساخت، رفتار تحت بارگذاری به منظور انتخاب مصالح مناسب برای طراحی ساختمان های اقتصادی و مقاوم در برابر زلزله.

اهداف فرعی تحقیق:

۱. ارزیابی رفتار شکل پذیری اعضای فولادی در برابر بارگذاری های استاتیکی و دینامیکی.
۲. مقایسه هزینه های ساخت و اجرای اعضای فولادی با مقاومت بالا و فولاد معمولی.
۳. تحلیل تأثیر نوع فولاد بر عملکرد لرزه ای ساختمان ها و مقاومت آن ها در برابر زمین لرزه.
۴. ارائه پیشنهاداتی برای انتخاب بهینه نوع فولاد در ساختمان های مختلف بر اساس شرایط اقتصادی و عملکرد سازه ای.

پیشینه ی تحقیق

۱. تحقیقات در مورد فولاد با مقاومت بالا و فولاد عادی: بسیاری از دانشمندان و مهندسان ساختمان، به بررسی خواص میخانیکی و شکل پذیری فولاد با مقاومت بالا در مقایسه با فولاد عادی پرداخته اند. این تحقیقات شامل آزمایش های کششی، خمشی و فشاری روی نمونه های ساخته شده از فولاد است. مطالعات نشان داده اند که فولاد با مقاومت بالا، وزن سازه ها را کاهش می دهد و در عین حال استحکام بیشتری ارائه می دهد، اما ممکن است شکل پذیری کمتری داشته باشد (محمد جعفر کرمی، : ۵۵-۵۸) پژوهش هایی که در رابطه به مقایسه اقتصادی بین این دو نوع فولاد انجام داده شده است به این نتیجه رسیده اند که استفاده از فولاد با مقاومت بالا می تواند به کاهش مواد

مصرفی و در نتیجه کاهش هزینه‌ها کمک کند، اما هزینه اولیه آن ممکن است بیشتر باشد. این مطالعات معمولاً با درنظر گرفتن عواملی مانند هزینه مواد اولیه، حمل‌ونقل و فرآیند ساخت انجام شده‌اند. (محمد کاظم تدین، ۱۳۸۴: ۱۲-۱۷)

۲. مقایسه شکل‌پذیری و رفتار سازه‌ای: مقالات متعددی در نشریات علمی معتبر منتشر شده‌اند که به مقایسه شکل‌پذیری و رفتار سازه‌ای فولاد عادی و فولاد با مقاومت بالا پرداخته‌اند. این مقالات غالباً به نتایج تجربی از آزمایش‌های بارگذاری و تحلیل‌های عددی استناد می‌کنند و نشان می‌دهند که فولاد با مقاومت بالا ممکن است در برخی موارد کمتر شکل‌پذیر باشد، اما استحکام بیشتری به سازه می‌بخشد. (رحیمی نیا، ۵-۱۲)

۳. تحقیقات انفرادی و مقایسات محدود: برخی محققان به صورت انفرادی روی جنبه‌های خاصی از رفتار این دو نوع فولاد مطالعه کرده‌اند. این مطالعات معمولاً به بررسی یک عامل خاص مانند مقاومت در برابر خستگی یا خزش در طول زمان می‌پردازند.

روش تحقیق

روش تحقیق این مقاله به صورت تحلیلی - توصیفی طراحی شده است. ابزار اصلی جمع‌آوری اطلاعات شامل مطالعه کتابخانه‌ای و مرور ادبیات گذشته آن می‌باشد که در آن مقالات علمی، کتب و تجارب عملی مدنظر گرفته شده است. این مطالعه به شناسایی و بررسی و همچنین به مطالعات پیشین پرداخته و با مقایسه این دو نوع فولاد مزایا و معایب آن‌را نظر به شاخص‌های اقتصادی و شکل‌پذیری مورد تحلیل و تجزیه قرار داده است.

نتایج و یافته‌ها

۱. مقایسه اقتصادی استفاده از فولادهای با مقاومت بالا و فولاد معمولی: در چند دهه اخیر استفاده از مصالح سبک‌مقاوم و با صرفه از لحاظ اقتصادی در جهان مورد مطالعه محققین و پژوهشگران زیادی قرار گرفته که از این میان فولاد به عنوان یکی از اصلی‌ترین و پر کاربردترین مصالح در صنعت ساختمان‌سازی مورد توجه ویژه می‌باشد. در این مقاله توجه‌پذیری استفاده از فولادهای با مقاومت بالای کم‌الیاژ از دیدگاه‌های مهندسی و اقتصادی مورد بحث قرار گرفته است. از دیدگاه مهندسی، استحکام بالای این گونه فولادها سبب کاهش قابل توجه وزن فولادهای نرمه معمولی خواهد شد. با تامین احتیاجات صنعت با میزان فولاد کمتر و ارزش افزود بالاتر اقتصاد ملی قوت گرفته و علاوه بر افزایش تولید و رشد اقتصادی در جهات توسعه چشم‌گیر صنعت فولاد را به همراه خواهد داشت. میزان مصرف سالیانه فولادهای میکروالیاژ در حدود ۱۵ درصد کل فولاد تولید شده در سطح جهان می‌باشد (شمس الدین میردامادی، ۱۳۸۴: ۴۹) از این‌رو فضای بسیار مناسب جهت رشد و توسعه فولادهای با مقاومت بالا در جهان وجود دارد. هدف اصلی از تهیه این مقاله بررسی

مزیت های استفاده از فولادهای با مقاومت بالای کم الیاژ در ساخت و سازه های ساختمان در سطح کشور و ارایه راه کارهای مناسب جهت ترویج، تولید، توزیع و استفاده از فولادهای با مقاومت بالا در صنعت ساختمان می باشد.

۲. لزوم استفاده از فولادهای با مقاومت بالا: مزیت های استفاده از فولادهای با مقاومت بالا نسبت به فولادهای معمول در صنعت ساختمان می تواند از دو دیدگاه متفاوت که به یکدیگر بصورت حلقه مرتب هستند مورد بررسی قرار گیرد. نخستین و مهمترین دیدگاه که تقریباً در ذهن هر مهندس طراح تداعی می گردد کاهش وزن فولادهای مصرفی به دلیل افزایش مقاومت آن و ظریف تر شدن ابعاد مقاطع ساختمان و بالاخره کاهش قیمت تمام شد ساختمان می باشد. دیدگاه دوم که بصورت زنجیره وار با دیدگاه نخست وابسته است بهبود دینامیکی رفتار ساختمان در برابر بارهای دینامیکی مانند زلزله و دیگر بارهای ارتعاشی به دلیل کاهش کثافت و ظریف تر شدن ابعاد اجزای باربر می باشد. استفاده از مصالح سبک به جای مصالح سنگین یکی از مهمترین مباحث روز در سطح کشور است. مصالح سنگین بخش عمده از تلفات را در هنگام زلزله به بار میاورد روشن است که هر قدر کثافت ساختمان کاهش یابد نیروی که به ساختمان وارد می گردد کاهش یافته و استفاده از اجزای ساختمانی ظریف تر برای تحمل نیروهای ناشی از زلزله به خوبی کفایت خواهد کرد. (بهرام زارعی، ۱۳۸۹: ۸۸)

۳. تاثیر نوع اعضا و سیستم انتقال بار در انتخاب فولاد با مقاومت بالا: اعضای کششی در ساختمان های متعددی مانند ساختمان های چند طبقه پل های معلق و کابلی ایستا، خرپاها و منابع هوایی به عنوان اعضای اصلی تحمل کننده بار و اعضای فرعی مهارکننده جانبی به کار می روند تا با مقید کردن درجات آزادی پایداری ساختمان را تامین کنند. انتقال قوه در یک ساختمان فولادی به صورت کششی بهترین نوع انتقال قوه است این مزیت در طراحی و ساخت وسازها سبب استفاده از فولادهای پر استحکام در تمام نقاط جهان شده است. در اعضای کششی که بر اساس لاغری حد اکثر مجاز اعضای کششی طراحی نشده اند انتخاب فولاد پر استحکام بسیار مقرون به صرفه است. در اعضای باریک و لاغر که تحت تاثیر نیروی محوری فشاری هستند ممکن است انهدام در ساختمان قبل از آنکه تشنج ها در مقطع به حد تشنج تسلیم برسند اتفاق بیفتد در این حال گفته می شود که عضو تحت فشار ناپایدار شده یا کمانش کرده است ناپایداری یا کمانش در عضو تحت فشار به صورت کلی و موضعی با ترکیبی از هر دو ممکن است به وجود آید امکان ناپایداری عضو فشاری اضافه بر شرایط تکیه گاهی و طول عضو به همان مقطع و مدول الاستیسیته فولاد نیز بستگی دارد و تنش مجاز برابر با درصدی از تنش حد تسلیم است که عضو فشاری قبل از رسیدن به حالت ناپایداری توانایی رسیدن به آنرا داشته باشد و در طراحی اعضای فشاری انتخاب فولاد پر استحکام

منجر به کاهش شعاع ژیراسون مقطع انتخابی شده و تنش مجاز نیز کاهش میابد. اضافه بر این در بعضی حالات با افزایش استحکام فولاد و همچنین ظرفیت‌تر شدن مقاطع امکان ایجاد ناپایداری موضعی بیشتر می شود. (بهرام زارعی، ۱۳۸۹: ۶۷)

۴. بررسی میزان کاهش فولاد مصرفی و اقتصادی‌تر شدن ساختمان با استفاده از فولاد با مقاومت بالا: در مبحث قبل از دیدگاه نظری به این نتیجه رسیدیم که استفاده از مقاطع فولادی با مقاومت بالا به جای مقاطع فولادی معمولی در اغلب مواقع منجر به طراحی اعضای فولادی با سطح مقطع کمتر و ظرافت بیشتر خواهد شد که قادر به تحمل میزان بار مساوی با مقاطع فولادی ساخته شده از فولاد معمولی با سطح مقطع و ابعاد بزرگتر می‌باشند. به عبارت دیگر به ازای بارهای وارده به ساختمان استفاده از مقاطع ظرفیت‌تر ساخته شده از فولادهای با مقاومت بالا سبب کاهش وزن کل فولاد مصرفی که قسمتی از وزن مرده را تشکیل می‌دهد می‌گردد. با کاهش وزن اسکلت ساختمان نیروهای ناشی از وزن مرده و زلزله (که بصورت درصدی از کل وزن ساختمان در نظر گرفته می‌شوند) کاهش می‌یابند که کاهش نیروهای وارده بر ساختمان به صورت زنجیر وار مجدداً سبب کاهش بیشتر سطح مقطع مورد نیاز و ظرفیت‌تر شدن اعضای باربر خواهد شد. با توجه به تفاوت قیمت فولادهای معمولی و فولادهای پر استحکام و این مطلب که هزینه کل ساخت ساختمان علاوه بر وزن فولاد مصرفی تابع قیمت واحد وزن فولاد نیز می‌باشد. (رحیمی نیا، ۱۳۸۹، ۱۲)

۵. مقایسه شکل‌پذیری اعضای ساخته شده از فولاد با مقاومت بالا و فولاد معمولی: استفاده از فولادهای با مقاومت بالا مانند هر مصالح دیگری معایب و مزایایی به همراه دارد از جمله مزایای آن‌ها می‌توان به کاهش وزن ساختمان، صرفه‌جویی در تولید، سهولت نصب و انتقال به محل اجرای ساختمان و تهداب کوچکتر اشاره کرد. همچنین عناصر سبک و نازک برای ویژگی‌های معماری ساختمان، طراحی زیبای اعضا و ساختمان‌ها بسیار مطلوب می‌باشند. کاهش مقاطع اعضا منجر به صرفه‌جویی در استفاده از فولاد در ساختمان شده و در نتیجه می‌تواند مزایای زیست محیطی را به همراه داشته باشد. از نقطه نظر ساختمانی، فولادهای پر مقاومت، مقاومت خطی بزرگتری دارند. اما افزایش تشنج تسلیم باعث افزایش مدول یانگ نمی‌شود، و این عامل ممکن است مشکلاتی در خدمت‌پذیری ساختمان به وجود آورد. در حال حاضر طراحی ساختمان‌های فولادی بر اساس سختی و در قالب محدودیت‌های تغییرشکل و Drift کنترل می‌شود تا محدودیت‌های شکل‌پذیری و سرویس‌دهی ساختمان را تامین کند. در این مورد به نظر نمی‌آید که استفاده از فولادهای با مقاومت بالا چندان مفید باشد. به علاوه هر چقدر مقاومت فولاد بیشتر شود، ویژگی‌های کم‌انرژی فولاد بیشتر حکم‌فرما می‌شوند و در نتیجه مشکلات شکل-پذیری فولاد افزایش می‌یابد. همچنین محدودیت در لاغری اعضا که توسط تشنج تسلیم بالا و

نسبت تشنج تسلیم، به ساختمان تحمیل می شود، ممکن است که باعث طراحی غیراقتصادی و عدم حصول مقاطع فشرده موثر شود. کارایی فولادهای با مقاومت بالا هنگامی بیشتر است که به آن اجازه تسلیم کامل داده شود؛ برای مثال هنگامی که اتصالات و اعضای ساخته شده از این فولاد به گونه ای طراحی شوند که تنها در اثر عامل مقاومتی گسیخته شوند، طراحی به گونه ای مناسبی انجام شده است. در این حالت باید پدیده های کماتشی کلی و موضعی در طراحی ساختمان حذف شود. همچنین نسبت تشنج تسلیم بالای فولاد با مقاومت بالا موجب کاهش پایداری غیرخطی مقاطع و ظرفیت دوران اعضا و اتصالات می شود و این پایداری به شدت به خصوصیات سخت شدگی کرنشی مصالح مربوط است. (بهرام زارعی، ۱۳۸۹: ۱۲۰)

بر اساس تحقیقات صورت گرفته، معیارهای فشردگی مقاطع فولاد با مقاومت بالا باعث می شوند که ظرفیت شکل پذیری خمشی بیش اندازه تخمین زده شود. برعلاوه نسبت مقاومت نهائی به مقاومت تسلیم مصالح اثر قابل ملاحظه ای بر شکل پذیری و ظرفیت جذب انرژی تحت بارگذاری چرخه ای دارد، که باعث می شود به منظور اطمینان از رفتار قابل قبول دینامیکی، مقادیر محدود کننده ای برای این پارامتر انتخاب شود. بنابراین رفتار ساختمان های که توسط این فولادها ساخته می شوند، احتیاج به بررسی بیشتری دارد تا طراحی آنها با اطمینان بیشتری صورت بگیرد. مقاومت و سختی در اعضای ساخته شده از فولاد با مقاومت بالا به راحتی بدست می آید ولی از طرف دیگر ارزیابی شکل پذیری آنها چندان آسان نیست. شکل پذیری اعضا و اتصالات براساس مقدار تغییر شکل پلاستیکی تعریف می شود که می تواند توسط درصدی از مقاومت نهایی عضو بدست آید. (James M.N., Webster P.J 2006, 16-20)

مزیت های استفاده از فولاد با مقاومت بالای میکروآلیاژی: خواص میخانیکی خوب و نسبت مقاومت تسلیم به مقاومت نهایی کششی بالا، یکی از ویژگی های مهم فولادهای کم آلیاژ با مقاومت بالا (HSLA) است. اگر نسبت مقاومت تسلیم به مقاومت نهایی کششی بالاتر باشد، سختی افزایش می یابد و ازدیاد طول یکنواخت کاهش پیدا می کند. به همین دلیل استاندارد اروپا مقرر می دارد که نسبت مذکور کمتر از ۹۱٪ باشد $(F_y / F_u < 0.91)$ ، تا انجام طراحی پلاستیکی (Plastic) میسر گردد. برای مثال در مورد ساختمان های مقاوم به زلزله تعیین نسبت مقاومت تسلیم به مقاومت نهایی می تواند مفید باشد.

همان طوری که مشخص است ملاک اولیه محاسبات و طراحی، مشخصه آن می باشد. بنابراین چه در ساختمان های کانکریتی و چه در ساختمان های فولادی، اعلاء بودن فولاد مورد توجه قرار گرفته است. کارایی این استفاده در کشش، بیشتر از فشار می باشد. حال چه کشش، به صورت مستقیم

و یا ناشی از خمش باشد. طبیعی است که قطعات طراحی شده با فولاد اعلاء ظریف‌تر هستند. در فشار مسائل کمانش کلی یا موضعی مطرح می‌باشد و بنابراین ممکن است به علت کمانش، نتوان از تمام ظرفیت باربری قطعه (به علت لاغری) استفاده کرد. در حالی که در کشش چنین نیست و از تمام ظرفیت قطعه می‌توان استفاده نمود. بنابراین استفاده از فولاد اعلاء، در فشار وقتی مناسب

است که $KL/r < C_c$ باشد که در اینجا C_c کمانش ارتجاعی است و در بالاتر از این حد عملاً نوع فولاد تأثیری در افزایش مقاومت فشاری نخواهد داشت؛ چرا که کشش مجاز فشاری تابع (F_y)

نبوده و فقط تابع (E) است، که برای انواع فولادها، یکسان می‌باشد.

برای جلوگیری از پیچش، می‌توان با کاهش طول عضو فشاری (L) ، لاغری را کاهش داده و در قوه‌های فشاری نیز از فولاد اعلاء استفاده کرد. در کشش نیز چون مسائل کمانشی یا buckling مطرح نمی‌باشد، از تمامی ظرفیت فولاد اعلاء استفاده می‌گردد. محاسبات نشان می‌دهد که با استفاده از این نوع فولادها، قیمت فولاد مصرفی برای یک گادر (با دهانه زیاد) حدود ۲۵٪ و برای پایه‌ها حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد کاهش خواهد داشت. نکته بسیار مهم در طراحی فولادهای اعلاء آن است که فولاد دارای نرمی متعادل برای جذب انرژی باشد. فولادهایی که با زیاد کردن کاربن و یا مگنیزیم سخت می‌شوند، خاصیت شکل پذیری خود را از دست داده و به نوع شکننده (brittle) تبدیل می‌شوند. مشکل این گونه مصالح آن است که خاصیت جذب انرژی خود را از دست داده و بعضاً نمی‌توانند با تغییر شکل زیاد، ساکنین را از خرابی خود مطلع کنند و در مقابل ضربه نیز حساس می‌باشند. انواع حاضر فولاد اعلاء تولید کارخانجات داخلی از Elongation بالا برخوردار بوده و حدود آن از استاندارد های جهانی (حدود ۲۰٪) بیشتر می‌باشد. ویلدینگ پذیری این فولاد کم آلیاژ، نیز تأمین گشته است.

به طور کلی دلایل استفاده از فولاد با مقاومت بالای میکرو آلیاژی به صورت زیر خلاصه می‌شوند:

۱. نسبت مقاومت به وزن و نسبت مقاومت به قیمت تمام شده زیاد فولادهای میکرو آلیاژی در مقایسه با فولادهای ساده کاربنی ساختمانی انگیزه بسیار مناسبی برای جایگزینی این فولادها به جای فولادهای ساده کاربنی است

۲. ویژگی ممتاز فولادهای میکرو آلیاژی مقاومت بالا همراه با سختی خوب آنها می‌باشد؛

۳. شکل پذیری قطعات ساخته شده از این نوع فولادها بهبود زیادی یافته است؛

۴. قابلیت ویلدینگ‌کاری در این فولادها بیشتر شده است؛

۵. کاهش هزینه‌های تولید؛

۶. کاهش وزن.

آنالیز کیمیایی فولاد ST52-3 و ST37-2 بر اساس استاندارد DIN 17100 در جداول ۴-۱ و ۴-۲ نشان داده شده است. آنالیز مزبور در تولید فولاد میکروآلیاژی با درجه فوق و برای ضخامت $7-16\text{ mm}$ به منظور ساخت سوله یا «ساختمان فلزی با سقف شیب دار» استفاده شده است.

جدول ۱: مقایسه تحلیل کیمیای فولادهای ST 37.2 و ST 52.3

نوع فولاد	%C	%Mn	%Si	%P Max	%Smax	%A Max	%Nb	NPP M	Ce (کربن معادل)
St37.2	0.012-0.017	0.4-0.9	0.3	0.025	0.023	0.08	---	120	0.187-0.32
St52.3	0.13-0.17	0.75-1.05	0.15-0.35	0.025	0.011	0.035	0.015-0.05	70	0.255-0.345

جدول ۲: مقایسه خواص میخانیکی فولادهای ST37.2 و فولاد با مقاومت بالا ST 52.3

نوع فولاد	Yield Point (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation %
St37.2	240-380	350-470	27-40
St52.3	364-480	490-590	21-41

نتیجه گیری

گسترش استفاده از فولادهای با مقاومت بالا با کارایی بیشتر، وزن و قیمت تمام شد کمتر و به طور معمول اجرای سریعتر، به سهولت خواهد توانست تحولی در صنعت ساختمان در کشور ایجاد نموده و حتی نتایج آن در کشورهای در حال توسعه ای دیگر که شرایط فرهنگی، اقلیمی و فنی مشابه با افغانستان دارند نیز به کار گرفته شود. استحکام بالای فولاد های ذکر شده در این مقاله در مقایسه با فولادهای معمولی گرم نوردیده سبب کاهش قابل توجه وزن فولاد مصرفی شده و اگرچه قیمت واحد تما شده فولادهای با مقاومت بالا کمی بیشتر از فولاد های معمول است، لیکن از نظر اقتصادی دارای مزیت های قابل قبولی می باشد.

با انجام این تحقیق هویدا گردید که با استفاده از فولاد با مقاومت بالا می توان به صرفه جویی در تولید، سهولت نصب و انتقال به محل اجرای ساختمان، طراحی ظریف اعضا و زیبایی در مسائل معماری و کاهش آلودگی های زیست محیطی رسید و همچنان استفاده از فولادهای با مقاومت بالای میکروآلیاژی موجب کاهش حجم فلز ویلدینگ، زمان و هزینه های ساخت و ساز می شود. و به طور کلی در اعضایی که روابط لاغری و تغییر مکان کنترل کننده نمی باشد، استفاده از فولاد با مقاومت بالا باعث کاهش هزینه خواهد شد.

مطالعات انجام شده بر روی اتصالات با صفحه انتهایی و اتصالات RBS ساخته شده از فولاد با مقاومت بالا در این تحقیق نشان می‌دهد که این نوع فولادها رفتار قابل قبول دینامیکی را از خود نشان می‌دهند و می‌توانند Demand ناشی از نیروهای زلزله را تامین کنند.

در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از فولادهای با مقاومت بالا الزاماً در همه‌جا موجب صرفه‌جویی اقتصادی نشده و نوع ساختمان، معیارهای حاکم بر آن، نسبت قیمت فولاد با مقاومت بالا به فولاد معمولی و امکان تهیه آن در مدت زمان اجرای پروژه از عوامل موثر در تصمیم‌گیری و انتخاب نوع فولاد مصرفی می‌باشد.

پیشنهادهای

۱. وزارت خانه‌ها و نهادهای مرتبط با بازسازی، به‌ویژه وزارت شهرسازی و مسکن باید دستورالعمل‌ها و مقررات تخریبی لازم برای استفاده از فولادهای با مقاومت بالا را تهیه و تصویب نمایند.
۲. سرمایه‌گذاری در تولید داخلی فولادهای میکروآلیاژی با مقاومت بالا باید تشویق شود و در صورت نیاز، واردات آن با معافیت‌های گمرکی و سهولت‌های قانونی حمایت گردد.
۳. برای هر پروژه ساختمانی، بررسی اقتصادی مستقل در مورد استفاده از فولاد معمولی در برابر فولاد با مقاومت بالا انجام شود تا تصمیم بهینه اتخاذ گردد.
۴. از آنجایی که استفاده از فولادهای با مقاومت بالا در تمام پروژه‌ها صرفه‌جویی اقتصادی ایجاد نمی‌کند، باید تنها در پروژه‌هایی که روابط لاغری و جابجایی کنترل‌کننده نمی‌باشند، از آن استفاده گردد.
۵. در مناطق با خطر بلند زلزله، به‌کارگیری این نوع فولادها به دلیل رفتار دینامیکی مناسب در برابر قوه‌های زلزله توصیه می‌گردد.

منابع

- تدین، کاظم ۱۳۸۴، مشهد (۱۲-۱۷)، ارزیابی فولادهای با مقاومت بالا در صنعت ساختمانهای فولادی، اولین همایش کاربرد فولادهای با مقاومت بالا در صنعت ساختمان
- رحیمی نیا، اسلامی، رضا، ۱۳۸۴، تهران. (۵-۱۲)، ارزیابی فولادهای با مقاومت بالا در صنعت ساختمانهای فولادی، اولین همایش کاربرد فولادهای با مقاومت بالا در صنعت ساختمان - تهران
- زارعی، بهرام نصرالله بنی مصطفی عرب، ۱۳۸۹، (۸۸-۸۹)، بررسی انتخاب فرآیند جهت ویلدينگکاری فولادهای با مقاومت بالا، اولین همایش کاربرد فولادهای با مقاومت بالا در صنعت ساختمان - اصفهان
- کرمی، جعفر، ۱۳۹۰، تهران. (۵۵-۵۸)، تاثیر استفاده از فولادهای با مقاومت بالا در طراحی ساختمانهای فولادی، اولین همایش کاربرد فولادهای با مقاومت بالا در صنعت ساختمان
- میردامادی، شمس الدین، ۱۳۸۴، (۸۹-۹۸)، معرفی و جایگاه فولادهای میکروالیازی با مقاومت بالا در صنایع فولاد، اولین همایش کاربرد فولادهای با مقاومت بالا در صنعت ساختمان
- AISC (2002), Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, AISC, Chicago, IL, May 21.
- Earls C.J. (1999) "On the inelastic failure of high strength steel I-shaped beams" Journal of Constructional Steel Research 49 1-24.
- Hancock G.J. and Rogers C.A. "Design of Cold-Formed Steel Structures of High Strength Steel" J. Construct. Steel Res. Vol. 46, Nos. 1-3, pp. 167-168.
- James M.N., Webster P.J., Hughes D.J., Chenb Z., Ratel N., Ting S.P., Bruno G., Steuwer A. (2006) "mechanical properties for high strength steel" Materials Science and Engineering A 427 (۱۶-۲۶).
- Ricles J.M., Sause R. and Green P.S (1998) "High-strength steel: implications of material and geometric characteristics on inelastic flexural behavior" Engineering Structures, Vol. 20, (۳۲۳-۳۳۵)