http://journalisss.ir

معرفی سیستم قاب سبک فولادی با استفاده از پروفیل‌های قوطی شکل کم ضخامت

حجت معمارباشی[۱]، مصطفی قانعی[۲]، سید مرتضی کاظمی[۳*]، محسن جهان آراء[٤]

۱- مدیر عامل شرکت توانگران راه افق، مهندسی عمران، کاشمر

۲- مدیر عامل شرکت مهندسی راه و ساختمان پارسیان سازه ترشیز، مهندسی مهندسی عمران، کاشمر

۳- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد کاشمر، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشمر

٤- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد کاشمر، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشمر

* کاشمر، صندوق پستی ۹٦۷۱٦۹۷۷۱۸، kazemi@iaukashmar.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰٦/۰۳)

چکیده

امروزه با پیشرفت صنعت ساختمان، سیستم‌های سازه‌ای جدیدی توسط محققان معرفی شده است. سیستم‌های نوین سازه‌ای علیرغم مزایای فراوانی که هر کدام دارا می‌باشند، معمولاً تماماً دارای یک عیب مشترک بوده و آن عدم آگاهی کافی طراح و مجری در نحوه‌ی طراحی و محاسبه‌ی آن و نیاز به مصالح جدید و نیروی کار ماهر می‌باشد. در تحقیق حاضر یک فرم سازه‌ای توسط محققین پیشنهاد شده است که هم دارای مزایای سیستم‌های نوین سازه‌ای بوده و هم نیازمند دانش فنی زیاد و جدیدی نمی‌باشد. سیستم قاب سبک فولادی با استفاده از پروفیل‌های قوطی شکل (Light box steel frames) که به اختصار LBF نامیده می‌شود از ستون‌هایی قوطی شکل نورد شده که با فواصل کمی از یکدیگر قرار گرفته و تیرهای با مقطع قوطی که به آن‌ها متصل می‌شوند، تشکیل شده است. تمامی مقاطع استفاده شده به صورت نورد گرم بوده و اتصالات به صورت جوش اجرا می‌شود لذا مشکلات اجرایی بسیار کم شده و نیاز به نیروی کار ماهر نمی‌باشد. در این تحقیق ابتدا به معرفی اجزا این فرم سازه‌ای به صورت کامل پرداخته شده و سپس رفتار یک نمونه اتصال تیر به ستون در مقیاس واقعی تحت بارگذاری یکنواخت به صورت آزمایشگاهی و با استفاده از نرم افزار ABAQUS مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که چنانچه تحقیقات کامل‌تر و جامع‌تری بر روی این سیستم صورت پذیرد می‌توان از این سیستم در مناطقی که خطر زلزله بسیار زیاد نبوده و تعداد طبقات محدود است، استفاده نمود.

واژگان کلیدی

سیستم‌های سازه‌ای، سیستم سازه‌ای LBF، فناوری‌های نوین صنعت ساختمان

Introduced light steel structural system with thin box sections

H. Memarbashi, M. Ghanei, S.M. Kazemi, M. Jahan Ara

Abstract

Nowadays, with the advancement of the building industry, new structural systems are introduced by researchers. Despite the fact that modern systems have many advantages, they suffer from a common problem that is the lack of sufficient knowledge and experience for designers and executors in how to design and implement them as well as the need for new materials and skilled labors. In the present study, a new structural form was proposed that has both the benefits of modern systems and does not require much new technical knowledge. The system (LBF) consists of hot-rolled box section columns that are arranged at short distances from each other to which square beams are connected. All sections are hot rolled and joints are made by welding so that the implementation problems are rare and the need for skilled labors is obviated. In this paper, had been introduced the components of this construction form. Then, behavior of this connection evaluated with using the Abaqus software and experimental under monotonic loads. The obtained results indicate that this construction form has the potential to be used in regions with low hazard of earthquakes and with low-rise buildings.

Keywords

Structural systems, LBF structure system, New architectural technologies

۱- مقدمه

به دلیل پیشرفت چشم‌گیر علم بشر در دهه‌های اخیر، مصالح و قطعات سازه‌ای و غیر سازه‌ای و حتی سیستم‌های سازه‌ای جدیدی به عرصه صنعت ساختمان وارد شده‌اند [۱]. در این میان فرم‌های سازه‌ای متفاوتی جهت طراحی سازه‌ها موجود می‌باشد که از مهم‌ترین عوامل در انتخاب آن‌ها جهت طراحی یک سازه می توان به پلان داخلی، روش اجرا، نوع مواد، معماری و شکل خارجی ساختمان، نوع و مقدار بارهای خارجی و ارتفاع ساختمان اشاره نمود [۲]. علی‌رغم تلاش‌های فراوان صورت گرفته در حوزه‌ی فناوری‌های نوین صنعت ساختمان مشاهده می‌شود مشکلاتی از قبیل الزام دانش و نظارت خاص و دقیق در سازه‌های نوین نسبت به سازه‌های رایج و قدیمی، دسترسی محدود به مصالح مورد نیاز در محل، مراکز محدود تولید مصالح، تخصصی بودن اجرا و نبود نیروهای ماهر و بومی آشنا به اصول اجرای این سازه‌ها باعث کاهش تمایل ناظرین و کارفرمایان به استفاده از این گونه سیستم‌ها شده است. یکی از این فرم‌ها سازه‌های سبک موسوم به LSF (Light Gauge Steel Frames) عمدتاً با مقاطع Z شکل، U شکل و C شکل نورد سرد ساخته می‌شود که در کنار مزایای بسیار زیادی که دارند، دارای معایبی نیز می‌باشند. ازجمله معایب این سیستم را می توان جدید بودن و عدم وجود شناخت کافی از آن، استفاده از مقاطع نورد سرد که ممکن است دسترسی به آن‌ها در همه جا امکان پذیر نباشد و نیاز به نیروی ماهر برای اجرا آن سیستم، دانست.

در این پژوهش یک سیستم توسط محققین پیشنهاد شده که علی‌رغم دارای بودن مزایای سیستم‌های نوین، معایب ذکر شده را به کمترین میزان ممکن رسانده است. شکل اجرای این سیستم بصورتی‌که ریشه‌های انتظار درون فنداسیون با رینگ پایین قاب فلزی (لاوک تحتانی) که از جنس ناودانی فلزی بوده درگیرشده و سپس ستون‌های سازه به فواصل حداکثر ۷۰ سانتی متری داخل ناودانی نصب می‌شود و بعد از آن درون بتن قرار می‌گیرد. قسمت بالای این ستون‌ها نیز با لاوک فوقانی به هم متصل می‌شوند. عایق داخل دیوارها پشم سنگ ضخامت ۵ سانتی‌متری با دانسیته ۷۰ می‌باشد که در فواصل بین ستون‌ها جایگذاری شده و سپس نماهای بیرون به صورت خشک کار می‌شود. نماهای داخل هم به صورت گچکاری و هم بصورت خشک انجام می‌گردد. در صورت استفاده از ملات و سنگ برای نمای خارجی و یا گچ‌کاری برای نمای داخل، این کار از طریق نصب میلگرد و رابیتس بر روی ستون‌های موجود انجام می‌شود.

در واقع قوطی‌های نگهدارنده عایق‌ها به عنوان ستون‌های اصلی و عضو باربر سازه تعریف می‌شود. جهت مقابله با نیروهای جانبی از بادبندهای قوطی شکل فلزی، مشابه قاب‌های مفصلی مهاربندی شده استفاده می‌گردد. این سیستم که شامل قاب سبک فولادی با استفاده از پروفیل‌های قوطی شکل است به اختصار LBF نامیده می‌شود. همانطور که مشاهده می‌شود این سیستم مشابه سیستم LSF بوده با این تفاوت که مقاطع مورد استفاده تماما نورد گرم و اتصالات جوشی می باشد و معایب مربوط به سیستم LSF را تا حد زیادی از بین می‌برد.

در ادامه مروری بر پیشینه‌ی سیستم‌های نوین صنعت ساختمان صورت می‌پذیرد.

مبتکر سیستم سازه‌ای با اجزا سرد نورد شده هوارد فیشر می‌باشد که در سال ۱۹۳۳ در نمایشگاه بین المللی عصر پیشرفت در شیکاگو طرحی با نام خانه‌ای برای آینده معرفی نمود که تمام اجزا سازه‌ای آن از فولاد نورد سرد بود. او این نوع جدید خانه را در پی تحقیقاتی که بر روی اتومبیل‌ها و واگن‌های راه آهن انجام داده بود، ابداع نمود [۳].

اجرای سازه بتنی به روش قالب‌های پیوسته و یا قالب تونلی از حدود ۴۰ سال پیش در جهان متداول گردیده است. نام قالب تونلی به دلیل نحوه‌ی اجرای این سیستم و شکل قالب‌های فلزی آن و اجرای همزمان دیوارها و سقف‌ها به آن اطلاق می‌شود [۳].

استفاده از ترکیب بتن مسلح به عنوان جزء باربر و پانل‌های پلی استایرن به عنوان قالب بتن و عایق حرارتی که با نام سیستم قالب‌های عایق ماندگار (ICF) شناخته می‌شود مربوط به دهه‌ی ۱۹۶۰-۱۹۵۰ می‌باشد. این سیستم ابتدا در اروپا ابداع شد و به دلیل مزایای فراوان در سرتاسر جهان گسترش پیدا نمود [۳].

سیستم پیش ساخته‌ی بتنی در سال ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰ در اروپا به صورت گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفت. در این سیستم قطعات بتنی بر اساس نقشه‌ها و مشخصات مورد نظر به صورت پیش‌ساخته از کارخانه‌ی سازنده به محل کارگاه حمل می‌شوند و سپس در محل پروژه مونتاژ می‌شوند [۳].

طرح اصلی سیستم ترونکو برگرفته از همان ساختمان‌های چوبی سنتی و متداول است. در این روش سنتی، ساختمان‌ها با استفاده از الوارهای چوبی با مقطع دایره ساخته می‌شود. سیستم ترونکو با الهام از این روش ولی با مصالح و فناوری جدید، روش نوینی برای تولید ساختمان ابداع نموده است. در این سیستم عنصر اصلی را قطعات لوله از جنس فولاد گالوانیزه با قطر حدود ۲۰ سانتی‌متر تشکیل می‌دهد [۳].

سیستم پانل‌های ساندویچی پیش‌ساخته‌ی بتنی اولین بار در

یادداشت فنی

سال ۱۹۶۷ توسط شخصی به نام ویکتور وایزمن در ایالت کالیفرنیای آمریکا ابداع شد و در دهه‌ی ۸۰ میلادی با عنوان پانل‌های ساندویچی با روش پاشیدن بتن در محل به طور گسترده در صنعت ساختمان مورد استفاده قرار گرفت. تولید سازه‌های پانل سه بعدی در ایران به صورت عملی و در مقیاس وسیع از حدود سال ۱۳۷۰ آغاز شد [۳].

پژوهش‌های زیادی بر روی سیستم‌های نوین سازه‌ای و سیستم‌های پیش‌ساخته صورت گرفته است که در ادامه به بررسی برخی از آن‌ها پرداخته می‌شود.

Liu و همکارانش یک سیستم مدولار پیش ساخته را معرفی نمودند که در این سیستم سازه‌ای تمام عملیات ساخت و تولید مربوط به تیرها، ستون‌ها، بادبندها، سقف‌ها، درها و پنجره‌ها در کارخانه صورت گرفته و سپس تمامی اجزا به محل حمل شده و توسط پیچ به یکدیگر متصل می‌گردند. تمامی لوازم هر طبقه از قبیل ستون‌ها، دیوارها، درها و پنجره‌ها بر روی صفحه‌ی سقف پیش‌ساخته طبقه زیرین قرار گرفته و توسط تریلر از محل کارخانه به محل پروژه حمل می‌گردد [۴-۶]. پس از ارائه این سیستم کاظمی و همکاران جهت سهولت اجرا استفاده از یک زائده هرمی شکل بر روی ورق انتهایی ستون طبقات را پیشنهاد نموده و به بررسی اثر آن بر روی رفتار اتصال و سیستم سازه‌ای پرداختند. آن‌ها همچنین اثر ابعاد این زائده هرمی و سایر اجزا اتصال را بر روی رفتار اتصال مورد مطالعه قرار دادند [۷-۹].

همچنین Kazemi و همکارانش در تحقیقی دیگر اثر نوع و شکل‌پذیری مقطع تیر بر رفتار اتصال مدولار پیش ساخته فولادی را مورد بررسی قرار دادند [۱۰].

Loss و همکارانش [۱۱] به مطالعه آزمایشگاهی اتصالات سازه‌های پیش‌ساخته مرکب از فولاد و چوب پرداخته‌اند. این فرم دارای قاب‌های فولادی، دیوارها و سقف‌هایی چوبی می‌باشد. آن‌ها در این پژوهش تعدادی از راه‌حل‌های مهندسی جهت اتصال ورق‌های چوبی به قاب‌های فولادی را به‌طوری‌که بتوان هر دو عضو به صورت پیش‌ساخته در کارخانه ساخته شده و به آسانی به محل پروژه حمل شوند را ارائه نموده‌اند.

Monaco [۱۲] پیش‌بینی رفتار برشی تیرهای خرپایی نیمه پیش‌ساخته بتنی و فولادی را به صورت عددی مورد مطالعه قرار داد. در این مطالعه رفتار کلی تیر با استفاده از شبیه سازی عددی و نرم‌افزار ABAQUS صورت گرفته است. دقت پیش‌بینی عددی بر اساس نتایج آزمایشگاهی مربوط به تست خمشی سه نقطه‌ای با در نظر گرفتن شکست برشی که قبلاً توسط نویسنده انجام شده است، صورت پذیرفته است.

Shim و همکارانش [۱۳] یک ستون مرکب پیش‌ساخته برای مناطق لرزه‌خیز پیشنهاد نموده‌اند. این ستون کامپوزیت بتنی دارای هسته‌ای فولادی می‌باشد که می‌تواند برای یک روش ساخت سریع با استفاده از اتصالات فولادی مورد استفاده قرار گیرد. در این مطالعه شش نمونه ستون بتنی مرکب با فولاد کم مقاومت به صورت پیش‌ساخته تحت بارگذاری شبه استاتیکی به منظور بررسی پاسخ تناوبی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد، رفتار تناوبی و رفتار پس از ترک ستون‌های کامپوزیتی که دارای اتصالات پیچ و مهره می‌باشند، به‌طور چشم‌گیری بهبود یافته است.

Loss و Davison [۱۴] یک سقف جدید مرکب از فولاد و چوب که دارای اعضای مدولار می‌باشد برای ساختمان‌های چند طبقه مسکونی ابداع نموده‌اند. سقف‌ها شامل اعضای مدولار پیش‌ساخته بسیار سبک و دال‌های چوبی می‌باشد که با استفاده از پیچ و مهره تنها به سیستم اصلی سازه متصل می‌شود. جهت مطالعه بهتر و دقیق‌تر از یک روش اجزا محدود در این مطالعه استفاده شده است.

طهمورثی رفتار اتصالات سیستم LSF و عرب‌زاده رفتار این اتصالات را تحت بارگذاری انفجار مورد مطالعه قرار دادند [۱۵ و ۱۶].

۲- مزایای سیستم LBF

الف) سبک بودن

در این سیستم با توجه به این‌که از مصالحی مانند فایبرسمنت و نمای خشک به جای نماهای سنگ با ملات ماسه سیمان و از گچ برگ‌های کناف به جای مصالح خاک گچ و گچ در نماهای داخل استفاده شده است، سبب سبک شدن سازه و در نتیجه کاهش نیروی زلزله شده است. جدول (۱) وزن دیوارهای این سیستم را با سایر سیستم‌ها مقایسه می‌نماید. همان‌طور که مشاهده می‌شود استفاده از این سیستم نسبت به سیستم‌های سنتی سبب کاهش تا ۸۵ درصد در وزن دیوارها می‌شود.

ب) توزیع ستون‌ها در سطح کل دیوارها و جدا کننده‌ها

توزیع ستون‌ها با مقاطعی کوچک در سرتاسر دیوارها و با فاصله‌ی کم (حدود ۶۰ cm) باعث تأمین سطح مقطع لازم جهت تحمل نیروهای وارده می‌گردد. هم‌چنین این کار سبب می‌شود که در صورت خرابی در یک اتصال و یا یک تیر، باز توزیع نیرو صورت گرفته و سایر مقاطع نیروی وارد شده به عضوی که دچار خرابی شده است را تحمل نمایند.

یادداشت فنی

جدول ۱- وزن یک متر مربع دیوارهای داخلی با مصالح مختلف و مقایسه با دیوار سازه LBF

نوع دیوار	آجر فشاری [۳]	آجر سوراخدار [۳]	سفال [۳]	بلوک هبلکس [۳]	بلوک سیبورکس [۳]	بلوک پرلیت [۳]	بلوک لیکا [۳]	پانل گچی [۳]	دیوار سازهLBF
ضخامت نهایی دیوار (cm)	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۱	۷/۱
وزن نهایی دیوار (kg/m^2)	۳۰۰	۲۱۲	۱۹۳	۱۸۳	۱۸۷	۱۹۵	۱۹۸	۱۱۹	٤۹/٥
درصد کاهش	۸۳/٥	۷٦/۷	۷٤/۳	۷۳	۷۳/٥	۷٤/٦	۷٥	٥۸/٤	–

ج) حذف آوار و یکپارچه نمودن دیوارها

در بسیاری از مواقع علت تلفات و خسارات، تخریب اعضای سازه‌ای نبوده بلکه عضوی غیر سازه‌ای مانند دیواری که اتصالات مناسبی با سازه ندارد آوار گشته و سبب تلفات جانی می‌شود. در این سیستم با توجه به ایجاد قاب‌های فولادی برای دیوارها و اتصال دقیق و کامل آن‌ها به کف‌ها و سقف‌ها خطر آوار شدن دیوار از بین می‌رود.

د) انتخاب اعضا و مقاطع مناسب جهت اجرا

همان‌طور که بیان شد یکی از معایب سیستم‌های نوین ساختمانی دسترسی محدود به مصالح و مقاطع آن‌ها می‌باشد. در این سیستم با توجه به این‌که تمامی مقاطع استفاده شده از مقاطع نورد شده موجود در بازار می‌باشد این مشکل برطرف شده است.

ه) اجرای آسان و قابل درک برای نیروها و عوامل اجرایی بومی

معمولاً اجرای سازه‌های نوین ساختمانی با استفاده از نیروهای بومی منطقه امکان‌پذیر نبوده و نیازمند نیروهای ورزیده و ماهر می‌باشد ولی در سیستم پیشنهادی این مشکل کاملاً برطرف شده و ایجاد اتصالات گرم (جوشی) امکان استفاده از نیروهای نیمه ماهر بومی هر منطقه را مقدور می‌سازد.

۳- نحوه ی اجرای

در این قسمت مراحل اجرای سازه LBF به همراه یک نمونه پروژه‌ی اجرا شده در شهرستان کاشمر توضیح داده می‌شود.

فنداسیون این سازه مشابه سازه‌های دیگر اجرا می‌شود فقط با این تفاوت که اولا با توجه به بارهای وارده ابعاد فنداسیون کوچک‌تر بوده و ثانیا از یک لاوک تحتانی که معمولا دارای مقطع ناودانی شکل و یا ورق است بر روی فنداسیون جهت اتصال ستون‌ها به فنداسیون استفاده می‌شود شکل (۱). پس از اجرای فنداسیون نوبت به اجرای قاب‌های فولادی است. تمامی جوشکاری مربوط به قاب‌های فولادی و اتصال مهاربندها و تیرهای اصلی به آن‌ها بر روی زمین انجام شده و پس از تکمیل، فرم در محل خود قرار گرفته و به فنداسیون با استفاده از لاوک تحتانی جاگذاری شده متصل می‌شود که این خود از دیگر مزایای این سیستم می‌باشد. شکل (۲).

شکل ۱- نحوه‌ی اجرای فنداسیون و لاوک تحتانی بر روی آن

یادداشت فنی

شکل ۲- جوشکاری ستون‌ها و تیرهای رابط بین آن‌ها در محل و اجرای قاب ساخته شده بر روی فنداسیون

پس از آن که تمامی قاب‌ها در محل خود نصب شدند نوبت به اجرا و نصب تیرهای اصلی می‌باشد. در این سازه تیرها مشابه سازه‌های گرم نورد شده به صورت مفصلی و با استفاده از نبشی نشیمن ساده به ستون‌ها متصل می‌شوند (شکل (۳)).

در مرحله‌ی بعد نوبت به اجرای دیوارها می‌باشد که دیوارها با توجه به شکل (٤) اجرا می شود. سایر موارد اجرا مشابه سازه‌های معمولی می‌باشد. شکل (٥) نمای تمام شده‌ی این سازه را نشان می‌دهد.

شکل ۳- اجرای تیرهای اصلی پس از نصب قاب‌های ساختمانی

یادداشت فنی

شکل ٤- اجرای دیوارهای خارجی

شکل ٥- اجرای دیوارهای خارجی و نمای تمام شده ساختمان

با توجه به این‌که وزن این فرم سازه‌ای بسیار کم بوده و امکان اجرای سقف به صورت شیروانی نیز وجود دارد، می‌توان از این سازه برای اضافه نمودن یک طبقه به ساختمان‌های ساخته شده نیز استفاده نمود. این کار نیز در یک پروژه نمونه بعد از محاسبات انجام شده صورت پذیرفت که در شکل (٦) قابل مشاهده می‌باشد.

شکل ٦- اضافه نمودن طبقات بیشتر به ساختمان ساخته شده

٤- نکات طراحی

الف) کنترل کمانش موضعی در مقاطع فولادی

- مقاطع تحت فشار

بر اساس آیین‌نامه مبحث دهم ساختمانی [۱۷] استفاده از مقاطع لاغر به عنوان عضو فشاری مورد قبول نمی‌باشد. در این قسمت به بررسی لاغری مجاز ستون‌های قوطی شکل که می‌توان از آن‌ها به عنوان عضو فشاری استفاده نمود پرداخته می‌شود.

چنانچه نسبت پهنا به ضخامت یک عضو فشاری قوطی شکل از عبارت (E/F_y)۰/۵ ١/٤ بیشتر باشد، عضو مورد نظر لاغر بوده و امکان استفاده از آن به عنوان یک عضو فشاری امکان پذیر نمی‌باشد. جدول (۲) لاغری برخی مقاطع قوطی شکل استفاده شده در این سیستم را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن تنش تسلیم ۲٤۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و مدول الاستیسیته‌ی ۲/۱e٦ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، لاغری مرزی برابر با ٤۱/٤۱ می‌باشد.

- مقاطع تحت خمش

با توجه به الزامات آیین‌نامه مبحث دهم ساختمانی مقاطع قوطی جز مقاطع تقویت شده محسوب شده و فشرده، غیرفشرده و لاغر بودن آنها بر اساس روابط زیر تعیین می‌شود.

الف) اگر نسبت پهنا به ضخامت (b/t) کوچک‌تر از λ_p باشد مقطع فشرده است.

ب) اگر نسبت پهنا به ضخامت (b/t) بزرگ‌تر از λ_p و کوچک‌تر از λ_r باشد، مقطع غیرفشرده است.

ج) اگر نسبت پهنا به ضخامت (b/t) بزرگ‌تر از λ_r باشد مقطع لاغر است.

مقدار $\lambda_p = ۱/۱۲(E/F_y)$۰/۵ و $\lambda_r = ۱/٤(E/F_y)$۰/۵ می‌باشد.

برای بال‌های مقاطع توخالی مستطیلی شکل (HSS)، پهنای b عبارت است از فاصله آزاد بین جان‌ها منهای شعاع گوشه داخلی در هر طرف. برای جان‌های مقاطع توخالی مستطیل شکل (HSS)، h عبارت است از فاصله آزاد بین بال‌ها منهای شعاع گوشه داخلی در هر طرف. چنانچه شعاع گوشه‌ها معلوم نباشد، مقادیر b و h را می‌توان معادل بعد متناظر خارجی منهای سه برابر ضخامت در نظر گرفت [۱۷].

در ادامه به بررسی مقاطع قوطی شکل استفاده شده در این سیستم پرداخته می‌شود.

جدول ۲- بررسی لاغری مقاطع تحت فشار و فشرده بودن مقاطع تحت خمش

ردیف	ابعاد مقطع (mm)	نسبت b/t مقطع	λ_p	λ_r	نوع مقطع (تحت فشار)	نوع مقطع (تحت خمشی)
۱	٤۰×۲۰×۲	۱۷	۳۳/۱۳	٤۱/٤۱	غیرلاغر	فشرده
۲	٤۰×٤۰×۲	۱۷	۳۳/۱۳	٤۱/٤۱	غیرلاغر	فشرده
۳	۸۰×٤۰×۲	۳۷	۳۳/۱۳	٤۱/٤۱	غیرلاغر	غیرفشرده
٤	۱۰۰×٤۰×۲	٤۷	۳۳/۱۳	٤۱/٤۱	لاغر	لاغر
٥	۷۰×۷۰×۲	۳۲	۳۳/۱۳	٤۱/٤۱	غیرلاغر	غیرفشرده
٦	۹۰×۹۰×۲/۲	۳۷/۹	۳۳/۱۳	٤۱/٤۱	غیرلاغر	غیرفشرده
۷	۱۰۰×۱۰۰×۳/۲	۲۸/۲٥	۳۳/۱۳	٤۱/٤۱	غیرلاغر	فشرده
۸	۱٤۰×۱٤۰×۳/٥	۳۷	۳۳/۱۳	٤۱/٤۱	غیرلاغر	غیرفشرده

همان‌طور که مشاهده می شود تمامی مقاطع به جز مقطع ۲×٤۰×۱۰۰ شرایط غیر لاغری تحت فشار را دارا می باشند و همچنین تمامی مقاطع به جز ۲×٤۰×۱۰۰ تحت خمش فشرده و یا غیر فشرده می‌باشند.

طراحی مربوط به ستون‌ها و تیرها بر اساس روابط ارائه شده در مبحث دهم ساختمانی و مشابه سازه‌های معمولی انجام می‌شود.

ب) جوشکاری

جوش‌هایی که ورق‌های نازک را متصل می‌کند به ندرت تمایل به ترک از خود نشان می‌دهند. حرارت انتقال داده شده در هنگام جوشکاری و جرم کم ورق، سرعت سرد شدن را کاهش می‌دهد. به علاوه تنش‌های داخلی کاهش یافته ناشی از نسبت مناسب بعد گلو به ضخامت ورق و انعطاف پذیری خوب ورق نازک در مقابل انقباض، از شدت تاثیر عوامل ترک دهنده

یادداشت فنی

می‌کاهد. در جوش کاری ورق‌های نازک ترک خوردگی تقریباً هیچ وقت مشکل مهمی نمی‌باشد مگر این که میزان کربن و آلیاژ فولاد به طور غیر معمولی زیاد باشد [۱۸].

همان‌طور که بیان شد ضخامت مقاطع استفاده شده در این سیستم کم می‌باشد لذا از دیگر محاسن آن می‌توان به عدم ترک در جوشکاری‌های انجام شده اشاره نمود. اما در جوشکاری ورق‌های نازک بایستی نکاتی رعایت گردد که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

الف) فلز جوش (الکترود مصرفی) بایستی با فلز پایه سازگار باشد.

ب) با توجه به آن که در برخی موارد نیاز به جوشکاری در وضعیت افقی و سربالا می‌باشد بایستی الکترودی انتخاب شود که مجاز به جوشکاری در این وضعیت‌ها باشد.

ج) قطر الکترود بر اساس ضخامت ورق‌های جوشکاری شده تعیین می‌گردد.

با توجه به نکات گفته شده در بالا بهترین الکترود جهت جوشکاری اجزا این فرم سازه‌ای الکترود E6013 با قطر ۲ میلی‌متر می‌باشد. شدت جریان مورد نیاز بر اساس الکترود E6013 و قطر الکترود ۲ میلی‌متر بین ۲۵ تا ۶۰ آمپر است که با این الکترود باید طول قوسی (فاصله سیم جوش تا قطعه کار) حدود ۱/۶ میلی‌متر را ایجاد نمود و ولتاژ بوجود آمده ۱۰ ولت خواهد بود.

طراحی جوش و اتصالات بر اساس مبحث دهم ساختمانی و مشابه سایر سازه‌ها صورت می‌پذیرد.

۵- مدل سازی

اتصالات استفاده شده در این سیستم به صورت اتصال مفصلی با نبشی نشیمن ساده با مقطع تیر و ستون قوطی شکل می‌باشد. در این قسمت ابتدا یک نمونه در مقیاس واقعی ساخته شده و تحت بارگذاری یکنواخت قرار می‌گیرد و سپس همان مدل در نرم افزار ABAQUS مدل سازی و نتایج مربوطه با یکدیگر مقایسه می‌شود. شکل (۷) اتصال ساخته شده قبل و پس از اعمال بارگذاری یکنواخت را نشان می‌دهد، همانطور که مشاهده می‌شود در این حالت گسیختگی از محل جوش نبشی فوقانی به ستون اتفاق می‌افتد.

شکل‌های (۸) و (۹) به ترتیب کانتور تنش فن میسز و نمودار بار تغییر مکان برای این نمونه را نشان می‌دهد.

(الف)

(ب)

شکست جوش در محل اتصال نبشی بالا به ستون تحت بارگذاری

(ج)

شکل ۷- اتصال با نبشی نشیمن ساده الف) قبل از بارگذاری، ب) بعد از بارگذاری، ج)محل شکست جوش

اتصالات مختلف بر اساس میزان سختی و براساس روابط زیر طبقه بندی می‌شود.

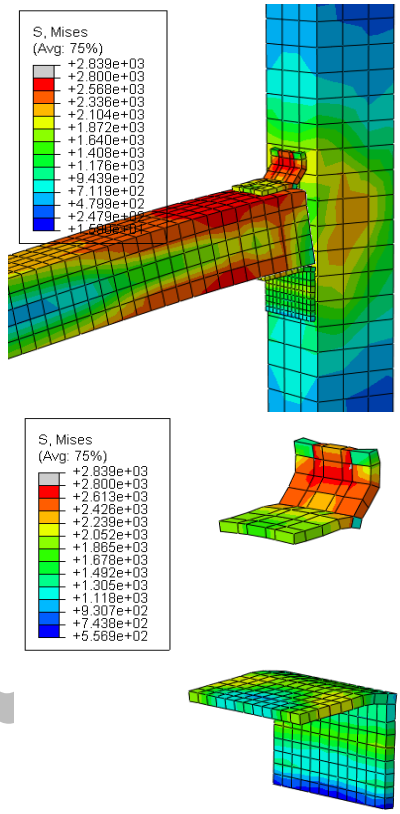
$$\begin{cases} \dfrac{K_s L}{EI} < 2 & ; \quad \text{مفصلی} \\ 2 < \dfrac{K_s L}{EI} \le 20 & ; \quad \text{نیمه صلب} \\ \dfrac{K_s L}{EI} \ge 20 & ; \quad \text{صلب} \end{cases}$$

$$K_s = \frac{M_s}{\theta_s}$$

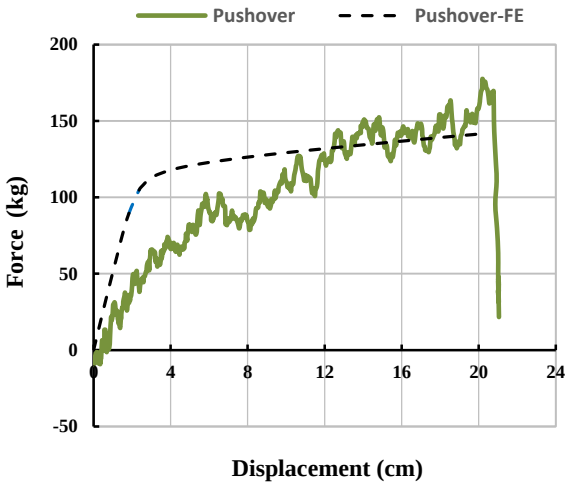
در این روابط M_s، θ_s و K_s به ترتیب ممان تحت بارهای

یادداشت

سرویس، دوران تحت بارهای سرویس و سختی، L طول تیر و EI سختی خمشی تیر می باشد. برای اتصال فوق حاصل عبارت برابر با ۰/٤٤ می‌باشد که نشان دهنده مفصلی بودن این اتصال است.



شکل ۸– کانتور تنش فن میسز اتصال با نبشی نشیمن ساده بعد از بارگذاری یکنواخت



شکل ۹– منحنی بار تغییر مکان مدل آزمایشگاهی و عددی تحت بارگذاری یکنواخت

٦- نتیجه گیری

فناوری‌های نوین ساختمان علیرغم تمامی مزایای موجود، اکثراً دارای یک عیب مشترک می‌باشند و آن نیاز به مصالح جدید و نیروی کار ماهر می‌باشد در نتیجه اجرای آن‌ها، بخصوص در شهرهای کوچک‌تر با مشکل مواجه می‌گردد. در این پژوهش یک سیستم سازه‌ای جدید که علاوه بر اینکه دارای مزایای سیستم‌های نوین سازه‌ای می‌باشد و نیازمند مصالح جدید و نیروی کار ماهر نبوده معرفی گردید. این سیستم مشابه سیستم LSF بوده با این تفاوت که کلیه‌ی مقاطع استفاده شده به صورت نورد گرم بوده و اتصالات به صورت جوشی می‌باشد. این سیستم دارای مزایایی از جمله کاهش وزن ساختمان، توزیع ستون‌ها در سطح کل دیوارها و جدا کننده‌ها، حذف آوار و یکپارچه نمودن دیوارها و اجرای آسان و قابل درک برای نیروها و عوامل اجرایی بومی می‌باشد. همچنین در این پژوهش یک نمونه سازه واقعی ساخته و مراحل آن به صورت کامل توضیح داده شد و نیز یک نمونه اتصال آن در مقیاس واقعی ساخته و در آزمایشگاه تحت بارگذاری یکنواخت قرار گرفت که نتایج نشان می دهد که رفتار این اتصال مناسب و از اتصال از نوع مفصلی می‌باشد. با توجه به جدید بودن این سیستم نیاز به تحقیقات بیشتر بر روی آن الزامی می‌باشد.

۷- تقدیر و تشکر

در پایان از شرکت ساختمانی توانگران راه افق تشکر نموده که کلیه‌ی هزینه‌های مربوط به ساخت پروژه‌ی نمونه را متقبل شدند و همچنین از آزمایشگاه سازه‌های فولادی سنگین دانشگاه فردوسی مشهد که تست بارگذاری در آنجا صورت پذیرفت.

۸- مراجع

[۱] راهنمای نظارت واجرای فناوری‌های نوین صنعت ساختمان، محسن گرامی، انتشارات فردوسی مشهد، چاپ اول، ۱۳۹٦.

[۲] آنالیز وطراحی سازه‌های بلند، برایان استفورد اسمیت و الکس کول، ترجمه حسن حاجی کاظمی، انتشارات دانشگاه فردوسی، چاپ دوم، ۱۳۷۹.

[۳] فناوری های نوین صنعت ساختمان، محمود گلابچی و حامد مظاهریان، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ هفتم، ۱۳۹٤.

[4] Liu, X., Xu, A.X., Zhang, A.L., Ni, Z. and Wang, H.X. (2015), "Static and seismic experiment for welded joints in modularized prefabricated steel structure", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 112, pp. 183–195.

[5] Liu, X., Pu, S.H., Zhang, A.L., Xu, A.X., Ni, Z. and Sun, Y. (2015), "Static and seismic experiment for bolted-welded joint in modularized prefabricated steel structure", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 115, pp. 417–433.

[6] Liu, X., Pu, S.H., Zhang, A.L. and Zhang, X.X. (2017), "Performance analysis and design of bolted connections

پیش نویس

in modularized prefabricated steel structures", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 133, pp. 360-373, 2017.

[۷] کاظمی تربقان، م.، سهرابی، م.ر. و حاجی کاظمی، ح. (۱۳۹۵)، "بررسی رفتار اتصالات BSB تحت اثر بارهای تناوبی"، نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد، سال سیزدهم، شماره‌ی بیستم، ص. ۴۳-۳۱.

[۸] کاظمی تربقان، م.، سهرابی، م.ر. و حاجی کاظمی، ح. (۱۳۹۶)، "اندر کنش هرم راس ستون و اتصال ویژه پیش ساخته فولادی در بارگذاری متناوب"، نشریه مهندسی عمران فردوسی، سال سی ام، شماره یکم.

[9] Kazemi, S.M., Sohrabi, M.R. and Haji Kazemi, H. (2018), "Evaluation the behavior of pre-fabricated moment connection with a new geometry of pyramidal end block under monotonic and cyclic loadings", Steel and Composite Structures, Vol. 29, pp. 391–404.

[10] Kazemi, S.M., Sohrabi, M.R. and Haji Kazemi, H. (2019), "The effect of beam section property on the behavior of modular prefabricated steel moment connection", Steel and Composite Structures, Vol. 32, pp. 769–778.

[11] Loss, C., Piazza, M. and Zandonini, R. (2016), "Connections for steel–timber hybrid prefabricated buildings. Part I: Experimental tests", Construction and Building Materials, Vol. 122, pp. 781–795.

[12] Monaco, A. (2016), "Numerical prediction of the shear response of semi-prefabricated steel-concrete trussed beams", Construction and Building Materials, Vol. 124, pp. 462–474.

[13] Shim, C.S., Chung, Y.S. and Yoon, J.Y. (2011), "Cyclic behavior of prefabricated circular composite columns with low steel ratio", Engineering Structures, Vol. 33, pp. 2525–2534.

[14] Loss, C. and Davison, B. (2017), "Innovative composite steel-timber floors with prefabricated modular components", Engineering Structures, Vol. 132, pp. 695–713.

[۱۵] طهمورثی، ح. (۱۳۹۲)، بررسی رفتار اتصالات در سازه LSF با سیستم مهاربندی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی توشیروانی بابل.

[۱۶] عرب زاده، ب. (۱۳۹۳)، بررسی رفتار اتصالات قاب سبک فولادی در اثر انفجار، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خلیج فارس بوشهر.

[۱۷] مقررات ملی ساختمان، طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی، ۱۳۹۲.

[۱۸] طاحونی، ش.، راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی.

یادداشت فنی