بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده فنی و مهندسی

گروه عمران

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی عمران گرایش سازه

بررسی رفتار لرزه‌ای قاب‌های فولادی سبک بادبندی شده با اعضای فولادی سرد ساخت

استاد راهنما:

دکتر شهاب الدین حاتمی

دکتر عبدالرضا زارع

استاد مشاور:

دکتر حمید رضا رونق

پژوهشگر:

محمد جواد کاظمی

مهرماه ۱۳۹۰

University of Yasouj

Faculty of Engineering

Department of Civil Engineering

M.Sc. Thesis

Seismic behavior of light steel frames braced by cold-formed steel member

Supervisor:
Dr.Shahabedin Hatami
Dr. Abdol Reza Zare

Advisor:
Dr. Hamid Reza ronagh

By:
Mohammad Javad Kazemi

October 2011

بررسی رفتار لرزه‌ای قاب‌های فولادی سبک بادبندی شده با اعضای فولادی سرد ساخت

به وسیله‌ی:

محمد جواد کاظمی

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:

عمران گرایش سازه

در تاریخ ۱۳۹۰/۰۷/۱۳ توسط هیات داوران زیر بررسی و با درجه ..... به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنما: دکتر شهاب الدین حاتمی با مرتبه ی علمی استادیار	امضا
۲- استاد راهنما: دکتر عبدالرضا زارع با مرتبه ی علمی استادیار	امضا
۳- استاد مشاور: دکتر حمید رضا رونق با مرتبه ی علمی دانشیار	امضا
۴- استاد داور داخل گروه: دکتر حمید رحمانی با مرتبه ی علمی استادیار	امضا
۵- استاد داور خارج از گروه: دکتر محمد علی هادیان فرد با مرتبه ی علمی استادیار	امضا
۶- مدیر گروه: دکتر حسین منتصری با مرتبه ی علمی استادیار	امضا

مهرماه ۱۳۹۰

Seismic Behavior of Light Steel Frames Braced by Cold-Formed Steel Member

By:

Mohammad Javad Kazemi

A thesis submitted to office of the Post-Graduate, in partial fulfillment of requirement for the degree of M.Sc.

IN:
Civil engineering-structuring

Approved by:	Full Name	signature
1- Supervisor:	Dr. Shahabeddin Hatami	
2- Supervisor:	Dr. Abdol reza Zare	
3- Advisor:	Dr. Hmid reza Ronagh	
4- Internal Examiner:	Dr. Hamid Rahmani	
5- External Examiner:	Dr. Mohammad Ali Hadianfard	
6- Head of Department:	Dr. Hosein Montaseri	

October 2011

تقدیم به:

دانشمندِ علّامه استاد علی اصغر سیفی که خوبی‌هایش را پاسخ نداده‌ام جز با بدی، که زمین را از آسمان نثار است و آسمان را از زمین غبار.

مردی از تبار مردان خدا از این دنیای فانی کوچ نمود و به دیار باقی شتافت که همهٔ عمر پر برکتش را وقف فرهنگ این مرز و بوم نمود. جوانمردی که هرگاه کنار او می‌نشستی، پدری مهربان و معلّمی دلسوز را در کنار خویش حس می‌نمودی که تجربیات سال‌های زندگیش را در اختیار فرزندانش می‌گذارد. کتابخانهٔ وی محل رفت و آمد و گفت و گوی حِکمی و علمی بزرگانی از سراسر ایران و دانشمندان خارج از کشور بود. ساعت‌ها وقت خویش را صرف جستجوی مطلبی علمی در کتابخانه‌اش برای باز کردن گره تحقیق استادی و یا پیدا کردن کتابی برای دانشجویی و طلبه‌ای و یا یافتن تک کتاب داستانی برای کودک خردسالی می‌نمود.

استاد، در همایش‌ها و کنگره‌های فلسفه و حکمت با مقالاتی بدیع، همگان را تحت تأثیر قرار می‌داد. بارها ریاست انجمن حکمت و فلسفهٔ ایران از ایشان به عنوان شخصیتی کم نظیر در فرهنگ ایران یاد نمود.

هیچگاه بی‌وضو نبود. ارادت خاصی به مولا امیرالمؤمنین (علیه السلام) و حضرت زهرا (علیهاالسلام) داشت. در مشکلات نیز ذکر یاعلی و یازهرا بر لبانش زمزمه می‌شد. در پشت عظمت نگاهش درخششی بود که امید را به دل‌ها باز می‌گرداند. همه را به نماز شب و ذکر خداوند و صبر در برابر مشکلات ترغیب می‌نمود و خود صبورانه زندگی می‌کرد.

او رفت و یاد او و آموزه‌هایش در ذهن و یاد ما باقی خواهد ماند.

رساله‌ی حاضر، حاصل پژوهش‌های نگارنده در دوره‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی عمران گرایش است که در مهرماه سال ۱۳۹۰ در دانشکده‌ی فنی و مهندسی دانشگاه یاسوج به راهنمایی جناب آقای دکتر شهاب الدین حاتمی و دکتر عبدالرضا زارع و مشاوره‌ی جناب آقای دکتر حمید رضا رونق از آن دفاع شده است و کلیه‌ی حقوق مادی و معنوی آن متعلق به دانشگاه یاسوج است.

سپاسگزاری

سپاس خداوندی را که مجالی بخشید تا در سایه لطف و عنایتش بتوانم قدمی هر چند کوچک و ناچیز به عنوان زکات آنچه در این سال‌ها از محضر اساتید عالیقدر و عزیز آموخته‌ام، بردارم و سپاسگزاری از عالمانی که عامل تحصیل علم بودند را وظیفه ما قرار داد. از استاد ارجمند و عزیزم جناب آقای دکتر حاتمی که مسئولیت راهنمایی من را بر عهده داشته و برادرانه‌وار به انجام رسانیدند، تشکر می‌کنم همچنین از اساتید ارجمند آقایان دکتر زارع و دکتر رونق که مسئولیت راهنمایی و مشاوره اینجانب را بر عهده داشتند، کمال تشکر را دارم.

از خانواده عزیزم، بخصوص پدر مهربان و بزرگوارم که در انجام این کار بزرگترین مشوق و پشتیبان من بوده‌اند، خاضعانه سپاسگزاری می‌نمایم. تشکر ویژه خود را نثار برادر بزرگوارم محمد حسین نموده که بیش از یکسال رایانه خود را سخاوتمندانه در اختیارم قرار دادند.

در انتها از خانواده همسرم و بخصوص همسر ارجمندم که در مراحل دشوار این تحقیق با صبر و تحمل، مشوق و یاری رسانم بودند، تشکر می‌کنم.

نام : محمد جواد **نام خانوادگی: کاظمی**
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته وگرایش: مهندسی عمران - سازه**
استادراهنما: شهاب الدین حاتمی - عبدالرضا زارع **تاریخ دفاع: ۱۳۹۰/۰۷/۱۳**
استاد مشاور: حمید رضا رونق

بررسی رفتار لرزه‌ای قاب‌های فولادی سبک بادبندی شده با اعضای فولادی سرد ساخت

چکیده

نیاز کشور از نظر کمی و کیفی در بخش ساختمان، باعث شده تا با استفاده از فناوری‌های نوین ساخت و ساز از جمله سیستم‌های ساختمانی با پتانسیل تولید صنعتی و پیش ساختگی، این نیازها را برآورده کنند. یکی از این سیستم‌ها، سیستم قاب سبک فلزی می‌باشد که علاوه بر قابلیت تولید صنعتی و پیش ساختگی، به علت سبک بودن در صورت طراحی و اجرای صحیح جزئیات، در هنگام زلزله آسیب‌پذیری ساختمان‌ها را به حداقل می‌رساند.

سیستم LSF در ابتدا جایگزین چوب در خانه‌های چوبی شد بنابراین روش‌های سنتی مهاربندی در ساختمان‌های چوبی، در ساختمان‌های LSF نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد که از آن جمله می‌توان به بادبندهای K شکل اشاره کرد. از طرفی عمده کارهای تحقیقاتی که تاکنون بر رفتار جانبی سازه‌های فولادی سبک صورت پذیرفته، بر روی رفتار تسمه‌های بادبندی و دیوارهای برشی چوبی یا فولادی متمرکز شده است. لیکن یکی از روش‌های مرسوم مهاربندی جانبی، استفاده از مقاطعی از جنس اعضای اصلی قاب به صورت بادبندهای K شکل می‌باشد. تاکنون تحقیق آزمایشگاهی یا عددی بر روی این نوع سیستم باربر جانبی در منابع در دسترس، مشاهده نشده است. در این پروژه رفتار جانبی تعدادی قاب مهاربندی شده با بادبندهای K شکل با چیدمان مختلف ستونک‌ها و اعضای قطری مورد بررسی قرار می‌گیرد. البته پروژه‌ای آزمایشگاهی در دانشگاه کوئینزلند استرالیا توسط حمید رضا رونق(استاد مشاور پایان نامه) و مهران زینلیان در حال انجام است که مدل‌های عددی پایان نامه حاضر با استفاده از مشخصات قاب‌های مورد بررسی در این پروژه انتخاب گردیده است و نتایج عددی تحقیق حاضر نیز با نتایج آزمایشگاهی پروژه مذکور مقایسه شده است.

در تحلیل عددی با استفاده از نرم افزار المان محدود ANSYS قاب‌های LSF مدل شده و حتی الامکان سعی شده تا مدل نرم افزاری با واقعیت و شرایط آزمایشگاه مطابقت داشته باشد. در این پایان‌نامه تعدادی قاب با اتصالات مفصلی و تعدادی با اتصالات صلب مدل شده و مورد تحلیل قرار گرفته است. آنچه از بررسی هر دو گروه از قاب‌ها مشاهده گردید، نشان دهنده آن است که روش‌های سنتی در مهاربندی قاب‌های فولادی سبک با بادبندهای K شکل به دلیل خرابی در اتصالات که از نوع خرابی ترد است، فاقد کارآیی لازم در عمل می‌باشد. لذا پس از بررسی‌ها و مطالعات دقیق به روش اجزاء محدود، با دقت رفتار اجزای تک تک قاب‌ها بررسی شده و نقاط ضعف تمامی اجزاء مشخص گردید و روشی کارآمد و قابل اجرا پیشنهاد گردید که عملکرد قاب‌ها را به صورت قابل توجه بهبود می‌بخشد.

با توجه به اینکه بررسی تمامی پارامترهای مؤثر بر رفتار قاب‌ها در آزمایشگاه نیاز به صرف وقت و هزینه زیاد می‌باشد، بررسی پارامتریک را به روش المان محدود و بر قاب‌های صلب اعمال می‌گردد. بدین منظور تأثیر تغییر ضخامت اجزاء قاب، تغییر عرض و ارتفاع قاب و دیگر پارامترهای تأثیرگذار بر رفتار جانبی قاب صلب مورد بررسی قرار می‌گیرد.

از دیگر پارامترهای مهم در ارزیابی رفتار قاب‌ها، ضریب رفتار می‌باشد. در تعیین ضریب کاهش مقاومت بر اثر شکل‌پذیری از روش نیومارک و هال و روش میراندا استفاده می‌شود و ضریب مقاومت افزون از آیین‌نامه NEHRP استخراج می‌گردد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- تعریف مسئله و بیان پرسش‌های اصلی پژوهش ۲

۱-۳- اهداف تحقیق ۲

۱-۴- خلاصه فصول ۳

فصل دوم: تاریخچه و معرفی سازه‌های فولادی سبک

۲-۱- مقدمه ۵

۲-۲- تاریخچه و دلایل بکارگیری سیستم ساختمانی LSF ۵

۲-۳- سابقه‌ی انجام پژوهش ۹

فصل سوم: معرفی سازه‌های فولادی سبک و سیستم‌های باربر جانبی

۳-۱- مقدمه ۱۷

۳-۲- کاربردهای کنونی مقاطع سردساخت ۱۸

۳-۳- روش‌های شکل دادن ۲۱

۳-۴- ملاحظات عمومی طراحی اعضای فولادی سردساخت ۲۴

۳-۴-۱- کمانش موضعی و مقاومت پس از کمانش اجزای نازک فشاری ۲۴

۳-۴-۲- سختی پیچشی کوچک ۲۵

۳-۴-۳- سخت‌کننده‌ها در اجزای فشاری ۲۵

۳-۴-۴- اتصالات ۲۶

۳-۴-۵- مقاومت لهیدگی جان ۲۷

۳-۴-۶- محدودیت‌های ضخامتی ۲۷

۳-۵- تأثیر کار سرد بر خواص مکانیکی فولاد ۲۸

۳-۶- ویژگی‌های مناسب مقاطع سردساخت ۲۹

۳-۷- محدودیت‌ها و معایب مقاطع سردساخت ۳۰

۳-۸- مزایای استفاده از سازه‌های فولادی سبک ۳۱

۳-۸-۱- ویژگی‌های معماری ۳۴

۳-۸-۲- کاربری‌های ساختمان‌های احداث شده با استفاده از سیستم ساختمان LSF ۳۵

۳-۸-۳- سهولت تغییرات و نصب تأسیسات ۳۵

۳-۸-۴- ویژگی‌های فناوری ۳۶

۳-۸-۵- سهولت در نصب و انتقال قطعات LSF ۳۶
۳-۸-۶- سرعت بالا در ساخت و ساز ۳۷
۳-۸-۷- مقاومت مناسب سیستم در برابر زلزله ۳۷
۳-۹- معرفی اجزای سیستم ساختمانی LSF ۳۷
۳-۱۰- اعضای سازه‌هایLSF ۴۲
۳-۱۰-۱- شالوده برای نصب سیستم ساختمانی LSF ۴۳
۳-۱۰-۲- دیوارهای باربر و غیرباربر ۴۴
۳-۱۱- شیوه اجرای سقف‌ها و بام در سیستم ساختمانی ۴۵
۳-۱۲- شیوه اجرای نماسازی خارجی ۴۶
۳-۱۳- شیوه‌های برپا کردن سیستم ساختمانی LSF ۴۷
۳-۱۴- ضوابط و الزامات ارائه شده توسط مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ۴۷
۳-۱۴-۱- الزامات سیستم ساختمانی قاب‌های سرد نورد شده به شیوه اجرای طبقه ۴۷
۳-۱۴-۲- الزامات سیستم ساختمانی LSF به شیوه اجرای دیوارهای یکپارچه ۵۰
۳-۱۴-۳- الزامات سیستم قاب خمشی یک طبقه با مقاطع سبک فولادی سرد نورد شده ۵۲
۳-۱۵- سیستم‌های باربر جانبی سازه‌ها ۵۳
۳-۱۵-۱- تسمه‌های بادبندی ۵۴
۳-۱۵-۲- پانل‌های گچی ۵۴
۳-۱۵-۳- سیستم ترکیبی از دو حالت قبل ۵۵
۳-۱۵-۴- استفاده از بادبندهای K شکل ۵۵
۳-۱۵-۵- پانل‌های چوبی ۵۶
۳-۱۵-۶- استفاده از صفحات فولادی پیوسته ۵۶
۳-۱۵-۷- دیوار برشی بتنی ۵۷
فصل چهارم: مدل‌سازی عناصر محدود ستونک‌ها
۴-۱- مقدمه ۵۸
۴-۲- مدل‌سازی هندسی سازه در ANSYS ۵۹
۴-۲-۱- المان پوسته ۶۰
۴-۲-۲- المان کوپلینگ ۶۰
۴-۳- روش انتخابی برای تحلیل ۶۲
۴-۳-۱- روش تحلیل غیرخطی کمانش ۶۲
۴-۳-۲- تحلیل کمانش با استفاده از مقادیر ویژه ۶۳
۴-۴- ظرفیت باربری ستونک ۶۳
۴-۴-۱- مشخصات هندسی و مصالح ۶۴
۴-۴-۲- مدل المان محدود ۶۵
۴-۵- بررسی تأثیر اندازه المان‌ها ۶۵
۴-۶- آنالیز کمانش خطی ۶۷
۴-۷- آنالیز کمانش غیر خطی ۷۰

۴-۷-۱- تأثیر سوراخ بر ظرفیت باربری ستونک‌ها ۷۲
۴-۸- ظرفیت باربری ستونک به روش مقاومت مستقیم ۷۲
۴- ۹- نتیجه ۷۶
فصل پنجم: مدل‌سازی عناصر محدود قاب‌های دارای بادبند K شکل و تطبیق آن با نتایج آزمایشگاهی
۵-۱- مقدمه ۷۷
۵-۲- مدل‌سازی هندسی سازه در ANSYS ۷۸
۵-۳- تعیین نوع المان ۷۸
۵-۴- روش انتخابی برای تحلیل ۷۸
۵-۵- نمونه‌های آزمایش ۷۹
۵-۶- قاب‌های سری اول ۸۱
۵-۶-۱- قاب شماره ۱ ۸۵
۵-۶-۲- قاب شماره ۲ ۸۷
۵-۶-۳- قاب شماره ۳ ۸۸
۵-۶-۴- قاب شماره ۴ ۸۸
۵-۶-۵- قاب شماره ۵ ۸۹
۵-۶-۶- قاب شماره ۶ ۸۹
۵-۷- قاب‌های سری دوم ۹۰
۵-۷-۱- قاب شماره ۷ ۹۰
۵-۷-۲- قاب شماره ۸ ۹۱
۵-۷-۳- قاب شماره ۹ ۹۲
۵-۸- ارائه روش‌هایی جهت بهبود عملکرد قاب‌ها ۹۴
۵-۸-۱- بهبود عملکرد قاب با اتصالات مفصلی ۹۴
۵-۸-۲- بهبود عملکرد قاب با اتصالات صلب ۹۹
فصل ششم: مطالعات پارامتریک و لرزه‌ای سازه‌های سردساخت
۶-۱- مقدمه ۱۰۲
۶-۲- تأثیر حد تنش تسلیم اعضای قاب ۱۰۳
۶-۳- تأثیر ضخامت اعضای قاب ۱۰۷
۶-۴- تأثیر تعداد پیچ های اتصالی بادبند به قاب ۱۰۹
۶-۵- تأثیر عرض دهانه قاب بر مقاومت جانبی قاب ۱۱۰
۶-۶- تأثیر ارتفاع قاب بر مقاومت جانبی قاب ۱۱۰
۶-۷- تأثیر وجود کمربند میانی بر مقاومت جانبی قاب ۱۱۱
۶-۸- مقاومت جانبی قاب فاقد بادبند با اتصالات صلب ۱۱۱
۶-۹- ضریب رفتار ۱۱۲
۶-۹-۱- اهمیت برآورد درست ضریب رفتار ۱۱۲
۶-۹-۲- تعیین عوامل موثر در ضریب رفتار ۱۱۳

۶-۹-۳- ضریب کاهش نیرو در اثر شکل‌پذیری ۱۱۴
۶-۹-۴- ضریب مقاومت افزون ۱۱۶
۶-۹-۴-۱- مقاومت افزون طراحی (Ω_D) ۱۱۷
۶-۹-۴-۲- مقاومت افزون ماده (Ω_M) ۱۱۸
۶-۹-۴-۳- مقاومت افزون سامانه (Ω_S) ۱۱۸
۶-۹-۵- تغییر مکان تسلیم و تغییر مکان ماکزیمم ۱۱۹
۶-۹-۶- نتیجه ۱۲۱
فصل هفتم: نتیجه گیری
۷-۱- مقدمه ۱۲۹
۷-۲- نتیجه‌گیری ۱۳۰
۷-۳- ارائه پیشنهادات و توصیه‌ها برای مطالعات آتی ۱۳۰
منابع ۱۳۱

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱- ابعاد ستونک C شکل ۶۴
جدول ۴-۲- تأثیر اندازه مش بندی با تقسیمات متغیر در مقطع و تعداد تقسیمات ثابت ۱۵۰ عدد در طول ۶۷
جدول ۴-۳- تأثیر اندازه مش بندی با تقسیمات متغیر در طول و تعداد تقسیمات ثابت ۸۰ در مقطع.. ۶۷
جدول ۴-۴- نتایج آنالیز ستونک ۷۶
جدول ۵-۱- سری اول از نمونه‌های آزمایش ۸۰
جدول ۵-۲- سری دوم از نمونه‌های آزمایش ۸۱
جدول ۵-۳- مقاومت جانبی قاب‌ها ۱۰۱
جدول ۶-۱- تأثیر تغییرات تنش تسلیم بر مقاومت جانبی قاب ۱۰۷
جدول ۶-۲- تأثیر تغییرات ضخامت اعضاء بر مقاومت جانبی قاب ۱۰۹
جدول ۶-۳- تأثیر تعداد پیچ های اتصالی بادبند به قاب بر مقاومت جانبی قاب ۱۰۹
جدول ۶-۴- تأثیر عرض دهانه قاب بر مقاومت جانبی قاب ۱۱۰
جدول ۶-۵- تأثیر ارتفاع قاب بر مقاومت جانبی قاب ۱۱۱
جدول ۶-۶- تأثیر وجود کمربند میانی بر مقاومت جانبی قاب ۱۱۱
جدول ۶-۷- مقاومت جانبی قاب فاقد بادبند با اتصالات صلب ۱۱۲
جدول ۶-۸- مقادیر پیشنهادی آیین‌نامه NEHRP برای ضریب مقاومت افزون ۱۱۹
جدول ۶-۹- ضریب رفتار قاب‌های سری اول بر حسب رابطه نیومارک و هال ۱۲۳
جدول ۶-۱۰- ضریب رفتار قاب‌های سری دوم بر حسب رابطه نیومارک و هال ۱۲۳
جدول ۶-۱۱- ضریب رفتار قاب‌های سری اول تقویت شده بر حسب رابطه نیومارک و هال ۱۲۳
جدول ۶-۱۲- ضریب رفتار قاب‌های سری دوم تقویت شده بر حسب رابطه نیومارک و هال ۱۲۴
جدول ۶-۱۳- ضریب رفتار قاب‌های سری اول بر حسب رابطه میراندا و برترو برای قاب یک طبقه..... ۱۲۴
جدول ۶-۱۴- ضریب رفتار قاب‌های سری اول بر حسب رابطه میراندا و برترو برای قاب دو طبقه..... ۱۲۴
جدول ۶-۱۵- ضریب رفتار قاب‌های سری اول بر حسب رابطه میراندا و برترو برای قاب سه طبقه..... ۱۲۵
جدول ۶-۱۶- ضریب رفتار قاب‌های سری دوم بر حسب رابطه میراندا و برترو برای قاب یک طبقه ۱۲۵
جدول ۶-۱۷- ضریب رفتار قاب‌های سری دوم بر حسب رابطه میراندا و برترو برای قاب دو طبقه..... ۱۲۵
جدول ۶-۱۸- ضریب رفتار قاب‌های سری دوم بر حسب رابطه میراندا و برترو برای قاب سه طبقه..... ۱۲۶
جدول ۶-۱۹- ضریب رفتار قاب‌های سری اول تقویت شده بر حسب رابطه میراندا و برترو برای قاب یک طبقه ۱۲۶
جدول ۶-۲۰- ضریب رفتار قاب‌های سری اول تقویت شده بر حسب رابطه میراندا و برترو برای قاب دو طبقه ۱۲۶

جدول ۶-۲۱- ضریب رفتار قاب‌های سری اول تقویت شده بر حسب رابطه میراندا و برترو برای قاب سه طبقه..... ۱۲۷
جدول ۶-۲۲- ضریب رفتار قاب‌های سری دوم تقویت شده بر حسب رابطه میراندا و برترو برای قاب یک طبقه..... ۱۲۷
جدول ۶-۲۳- ضریب رفتار قاب‌های سری دوم تقویت شده بر حسب رابطه میراندا و برترو برای قاب دو طبقه..... ۱۲۷
جدول ۶-۲۴- ضریب رفتار قاب‌های سری دوم تقویت شده بر حسب رابطه میراندا و برترو برای قاب سه طبقه..... ۱۲۸

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱- نمونه‌ای از سیستم LSF در حال ساخت ۷
شکل ۲-۲- نمونه‌ای از سیستم LSF بعد از تکمیل ۷
شکل ۳-۱- مقاطع مختلف اعضای سردساخت ۱۸
شکل ۳-۲- مقاطع مورد استفاده در عرشه و سقف ۱۹
شکل ۳-۳- تعبیه سخت‌کننده در جان مقاطع ۱۹
شکل ۳-۴- پانل‌های کف و محل عبور لوله‌های تأسیسات ۲۰
شکل ۳-۵- عملیات شکل دادن بوسیله غلتک ۲۱
شکل ۳-۶- پروسه شکل دادن بوسیله غلتک ۲۲
شکل ۳-۷- عملیات شکل دادن با دستگاه خم ۲۲
شکل ۳-۸- عملیات شکل دادن با دستگاه پرس خمشی ۲۳
شکل ۳-۹- ساخت مقاطع در محل کارگاه ۲۳
شکل ۳-۱۰- کمانش طولی و عرضی صفحه فولادی ۲۴
شکل ۳-۱۱- تبدیل مقاطع ساده به مقاطع پیچیده با اضافه شدن سخت‌کننده ۲۵
شکل ۳-۱۲- نمونه‌ای از پیچ‌های خودکار و نحوه کاربرد آن ۲۶
شکل ۳-۱۳- افزایش نقطه جاری شدن و کاهش شکل‌پذیری ناشی از کار سرد ۲۸
شکل ۳-۱۴- مقایسه درصد فولاد مصرفی در سیستم‌های مختلف ۳۲
شکل ۳-۱۵- مقایسه درصد بتن مصرفی در سیستم‌های مختلف ۳۳
شکل ۳-۱۶- برش پایه ساختمان در زلزله (ton) ۳۳
شکل ۳-۱۷- بیشترین تغییر مکان مرکز جرم پشت بام (mm) ۳۴
شکل ۳-۱۸- تیرک دیوار ۳۸
شکل ۳-۱۹- ستونک با مقطع C شکل ۳۹
شکل ۳-۲۰- ستونک فوقانی سردر ۳۹
شکل ۳-۲۱- تیرچه شیب‌دار ۴۰
شکل ۳-۲۲- طریقه اتصال ستونک‌ها به وسیله کمربند میانی ۴۱
شکل ۳-۲۳- تیرک سردر ۴۱
شکل ۳-۲۴- ستونک اصلی و ستونک کمکی بازشو ۴۲
شکل ۳-۲۵- آرماتوربندی شالوده نواری ۴۳
شکل ۳-۲۶- قالب‌بندی ۴۳

شکل ۳-۲۷- نصب پیچ‌های عصایی به فاصله ۶۰ سانتیمتری در شالوده ۴۴
شکل ۳-۲۸- اجرای سقف شیروانی ۴۵
شکل ۳-۲۹- اجرای سقف مسطح ۴۶
شکل ۳-۳۰- بادبندهای ضربدری ساخته شده از تسمه‌های فولادی ۵۴
شکل ۳-۳۱- استفاده از پانل‌های چوبی به عنوان سیستم باربر جانبی ۵۵
شکل ۳-۳۲- قاب دارای بادبند K شکل ۵۶
شکل ۳-۳۳- قاب دارای صفحه فولادی ۵۷
شکل ۴-۱- المان shell 181 ۶۰
شکل ۴-۲- مقطع C شکل ستونک ۶۴
شکل ۴-۳- نمودار تنش - کرنش فولاد G550 ۶۵
شکل ۴-۴- نمونه‌ای از مش‌بندی ستونک ۶۶
شکل ۴-۵- جابجایی ستونک در مد اول ۶۸
شکل ۴-۶- جابجایی ستونک در مد دوم ۶۸
شکل ۴-۷- جابجایی ستونک در مد سوم ۶۹
شکل ۴-۸- جابجایی ستونک در مد چهارم ۶۹
شکل ۴-۹- جابجایی ستونک در مد پنجم ۷۰
شکل ۴-۱۰- تغییر شکل ستونک ۷۱
شکل ۴-۱۱- تغییرات تنش در طول ستونک ۷۱
شکل ۴-۱۲- تغییر شکل ستونک با وجود حفره ۷۲
شکل ۴-۱۳- مقطع ستونک در نرم افزار CUFSM ۷۳
شکل ۴-۱۴- نمودار ضریب بار - نیم موج(mm) ۷۳
شکل ۴-۱۵- کمانش موضعی مقطع ۷۴
شکل ۴-۱۶- کمانش اعوجاجی مقطع ۷۴
شکل ۴-۱۷- کمانش کلی مقطع ۷۴
شکل ۵-۱- اتصال بادبند به تیرک و ستونک ۷۹
شکل ۵-۲- نحوه اتصال قاب به تیر بارگذاری ۷۹
شکل ۵-۳- نحوه اعمال بار بر قاب در آزمایشگاه ۸۲
شکل ۵-۴- مدل عناصر محدود تیرک پایین و شرایط مرزی آن ۸۲
شکل ۵-۵- مدل عناصر محدود تیرک فوقانی و شرایط مرزی آن ۸۳
شکل ۵-۶- مدل عناصر محدود تیرک فوقانی و نحوه کوپل کردن نقاط به یک گوشه در جهت X ۸۴
شکل ۵-۷- قاب‌های با اتصالات مفصلی و در ابعاد ۲/۴ × ۲/۴ متر ۸۴
شکل ۵-۸- نمودار بار - تغییر مکان قاب شماره ۱ در آزمایشگاه و نرم افزار ۸۵
شکل ۵-۹- خروج پیچ‌ها در محل اتصال بادبند به تیرک ۸۶
شکل ۵-۱۰- کمانش در اتصال ستونک به Noggin ۸۶
شکل ۵-۱۱- کمانش در بادبند تحت اثر نیروی فشاری ۸۷
شکل ۵-۱۲- نمودار تنش قاب شماره ۲ ۸۸

شکل ۵-۱۳- قاب شماره ۷ ..... ۹۰
شکل ۵-۱۴- نمودار بار- تغییر مکان قاب شماره ۷ و قاب شماره ۷ بدون بادبند ۹۰
شکل ۵-۱۵- اتصال در ستونک میانی مدل ۷ ..... ۹۱
شکل ۵-۱۶- قاب شماره ۸ ..... ۹۲
شکل ۵-۱۷- کمانش کلی ستونک ۹۲
شکل ۵-۱۸- قاب شماره ۹ ..... ۹۲
شکل ۵-۱۹- نمودار بار - تغییر مکان قاب‌های سری اول و سری دوم ۹۳
شکل ۵-۲۰- استفاده از بست در اتصالات ۹۴
شکل ۵-۲۱- مقطع جدید با سخت کننده اضافه شده در بال ۹۴
شکل ۵-۲۲- تقویت انتهای بادبند و ستونک ۹۵
شکل ۵-۲۳-الف- اتصال بادبند به تیرک قبل از تقویت ۹۶
شکل ۵-۲۳-ب- اتصال بادبند به تیرک بعد از تقویت ۹۶
شکل ۵-۲۴- حالت ستونک در نیروی جانبی ۳۷۳۰ نیوتنی ۹۶
شکل ۵-۲۵- حالت ستونک در نیروی جانبی ۳۳۵۱ نیوتنی ۹۶
شکل ۵-۲۶-الف- اتصال Noggin به ستونک قبل از تقویت ۹۷
شکل ۵-۲۶-ب- اتصال Noggin به ستونک بعد از تقویت ۹۷
شکل ۵-۲۷- نمودار بار - تغییر مکان قاب شماره ۱ و حالت تقویت شده آن ۹۷
شکل ۵-۲۸- حالت بادبند در مقاومت جانبی ۵۵۶۵ نیوتنی ۹۸
شکل ۵-۲۹- حالت بادبند در مقاومت جانبی ۵۰۴۳ نیوتنی ۹۸
شکل ۵-۳۰- اتصال در ستونک وسط قبل و بعد از تقویت ۹۹
شکل ۵-۳۱- نمودار بار - تغییر مکان قاب‌های سری اول و سری دوم و حالت تقویت شده ۱۰۰
شکل ۶-۱- قاب‌های صلب مورد نظر در تحلیل پارامتریک ۱۰۳
شکل ۶-۲- نمودار ضریب بار - نیم موج (mm) ۱۰۴
شکل ۶-۳- نمودار ضریب بار - نیم موج (mm) ۱۰۵
شکل ۶-۴- نمودار ضریب بار - نیم موج (mm) ۱۰۷
شکل ۶-۵- پاسخ ارتجاعی و غیر ارتجاعی سازه‌ها ۱۱۴
شکل ۶-۶- مؤلفه‌های ضریب مقاومت افزون ۱۱۷
شکل ۶-۷- روش تعیین تغییر مکان تسلیم به روش پارک ۱۲۰
شکل ۶-۸- روش تعیین تغییر مکان نهایی به روش پارک ۱۲۰
شکل ۶-۹- منحنی ساده شده نیرو- تغییر مکان به روش نشریه ۳۶۰ ..... ۱۲۱
شکل ۶-۱۰- منحنی ساده شده نیرو- تغییر مکان به روش نشریه ۳۶۰ برای قاب شماره ۳ ..... ۱۲۲

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

افزایش سریع جمعیت باعث کاهش شدید منابع طبیعی، مسکن و فضاهای لازم جهت ایجاد آن شده است. از این رو نیاز به ورود فناوری‌های جدید در صنعت ساختمان بیش از پیش احساس می‌شود. ساخت سازه‌های هوشمند، ساخت سازه‌ها بوسیله اعضای پیش ساخته بتنی، استفاده از مواد مصنوعی در سازه‌های بتنی و ساخت سازهای فولادی سبک، همگی در همین راستا می‌باشد.

در این بین ساخت سازه‌های فولادی سبک به علت سرعت بالای ساخت قطعات، سرعت بالا در اجرا، وزن اسکلت بسیار کمتر نسبت به سازه‌های مشابه فلزی و بتنی، افزایش فضای داخلی و مقاومت بالا در مقابل حوادث طبیعی مانند آتش سوزی و زلزله با استقبال گسترده‌تر مصرف کنندگان و تولید کنندگان مواجه شده است. در ابتدا این سیستم در سال ۱۹۶۴ وارد صنعت ساختمان شد، اما به دلیل اقتصادی نبودن مورد استقبال قرار نگرفت. از سال ۱۹۹۰ به دلایل زیاد از جمله افزایش قیمت چوب و محدود بودن منابع تهیه آن، مشکلات زیست محیطی، نیاز به تولید سریع و انبوه مسکن و ضرورت استفاده از پیش ساخته سازی، سیستم LSF[1] کاربرد وسیعی یافت به طوری که این سیستم به طور وسیع در امریکا، کانادا، ژاپن، استرالیا و بسیاری دیگر از کشورهای جهان در احداث مراکز تجاری و خانه‌های با ارتفاع کوتاه و متوسط مورد استفاده قرار می‌گیرد.

استفاده از روش‌ها و فناوری‌های نوین ساخت و ساز به خصوص در بخش مسکن در کشورمان ایران نیز چندی است که به صورت جدی مورد توجه مسئولین و دست اندرکاران بخش ساختمان قرار گرفته است. با توجه به کمبود جدی مسکن در کشور و اینکه هرم جمعیت در کشور بر گروه سنی ۱۵ تا ۳۰ سال که (جمعیت در شرف ازدواج بوده و ۳۵ درصد جمعیت کشور را تشکیل می‌دهد) متمرکز است، دولت مطابق با بند ۳۱ قانون اساسی موظف است اقدامات لازم جهت تأمین مسکن مورد نیاز را انجام دهد. نگاهی به وضعیت صنعت ساختمان در کشور و نیازهای فعلی در بخش مسکن که بر اساس

[1] *Light Weight Steel Frame*

برآوردها و محاسبات انجام شده توسط سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران ضرورت تولید سالانه ۱/۵ میلیون واحد مسکونی در سال را تبیین می‌نماید، نشان دهنده لزوم بهره‌گیری از روش‌ها و فناوری‌های نوین به جای روش‌های سنتی ساخت ساختمان در کشور می‌باشد.

۱-۲- تعریف مسئله و بیان پرسش‌های اصلی پژوهش

سیستم LSF در ابتدا جایگزین چوب در خانه‌های چوبی شد بنابراین روش‌های سنتی مهاربندی در ساختمان‌های چوبی، در ساختمان‌های LSF نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد که از آن جمله می‌توان به بادبندهای K شکل اشاره کرد. از طرفی عمده کارهای تحقیقاتی که تاکنون بر رفتار جانبی سازه‌های فولادی سبک صورت پذیرفته، بر روی رفتار تسمه‌های بادبندی و دیوارهای برشی چوبی یا فولادی متمرکز شده است. لیکن یکی از روش‌های مرسوم مهاربندی جانبی، استفاده از مقاطعی از جنس اعضای اصلی قاب به صورت بادبندهای K شکل می‌باشد. تاکنون تحقیق آزمایشگاهی یا عددی بر روی این نوع سیستم باربر جانبی در منابع در دسترس، مشاهده نشده است. دراین پروژه رفتار جانبی تعدادی قاب مهاربندی شده با بادبندهای K شکل با چیدمان مختلف ستونک‌ها و اعضای قطری مورد بررسی قرار می‌گیرد. البته پروژه‌ای آزمایشگاهی در دانشگاه کوئینزلند استرالیا توسط حمید رضا رونق(استاد مشاور پایان نامه) و مهران زینلیان در حال انجام است که مدل‌های عددی پایان نامه حاضر با استفاده از مشخصات قاب‌های مورد بررسی در این پروژه انتخاب گردیده است و نتایج عددی تحقیق حاضر نیز با نتایج آزمایشگاهی پروژه مذکور مقایسه شده است.

۱-۳- اهداف تحقیق

امروزه با افزایش سریع جمعیت و کاهش منابع طبیعی، ساختمان سازی به شدت به سمت صنعتی سازی پیش می‌رود. به گونه‌ای که هدف از آن یافتن سیستم‌های جدید سازه‌ای در جهت کاهش هزینه و افزایش سرعت و بهره‌وری می‌باشد. به همین منظور نیاز به آزمایشات زیادی برای بررسی رفتار سیستم پیشنهادی تحت شرایط مختلف است. با این حال بررسی کلیه پارامترهای سازه‌ای در آزمایشگاه منوط به صرف وقت و هزینه گزاف است. از طرف دیگر با پیشرفت علم روش‌های نوین برای تحلیل و بررسی سیستم‌ها بوجود آمده است که با استفاده از آنها می‌توان سیستم مورد نظر را مدل‌سازی نمود. سپس می‌توان با تطیق نتایج مدل موجود با نتایج نمونه‌های عملی و تأیید مدل نرم افزاری، با بسط دادن نمونه‌ها به بررسی و تحقیقات بیشتر پرداخت. البته با این روش‌ها پاسخ قطعی مسئله فیزیکی را نمی‌توان به طور کامل پیش بینی کرد، زیرا حتی در تحلیل دقیق مدل عددی بسیار ساده شده، در نظر گرفتن تمامی اطلاعات موجود در طبیعت مسئله فیزیکی امکان‌پذیر نیست. ولی