

# نشریه علمی مهندسی عمران و فناوری های نوین

سال اول، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲: صص ۲۰-۱

علمی

## بررسی عملکرد سازه های سبک فولادی (LSF) در مناطق لرزه خیز (مطالعه موردی شهر اهر)

نعمت حسینی<sup>۱\*</sup>، علی طاهری<sup>۲</sup>، محمد مهدی کرمانی نژاد<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۱۵

### چکیده

صنعتی سازی ساختمان به عنوان بخش مهمی از تحول حوزه ساخت و ساز همواره مطرح بوده و امروزه نیز با افزایش روز افزون جمعیت و نیاز به تامین مسکن با هزینه معقول و کیفیت مطلوب اهمیت به صنعتی سازی ساختمان مسکن را بیش از پیش آشکار می گرداند یکی از سیستم های ساختمانی که در سالیان اخیر توسعه قابل توجهی در سطح جهانی داشته است، سیستم ساختمانی فولادی سبک سرد نورد شده (LSF) می باشد. سیستم ساختمانی فولادی سبک سرد نورد شده از جمله سیستم هایی است که گرچه پیدایش آن ریشه در دغدغه های زیست-محیطی و به تبع آن تعریف گزینه جایگزین برای ساختمان های چوبی داشته است، اما به تدریج جایگاه ویژه ای در میان سیستم های ساخت ساختمان یافته است. در کشور مانیز که با توجه به ظرفیت بالای تولید فولاد و مزیت هایی همچون انعطاف بالا، وزن کم سازه و متعلقات و روش تولید سریع، باعث شده است که ساختمان های فولادی سبک سرد نورد شده (LSF) گزینه ای قابل اعتنا در صنعت ساختمان سازی کشور باشد. به خصوص این امر در مناطق لرزه خیز می تواند به عنوان جایگزینی برای روش های ساخت سنتی باشد تا ضمن مقاوم سازی ساختمان ها از تلفات احتمالی زلزله در این مناطق کاسته شود. بدین منظور این پژوهش به بررسی عملکرد و رفتار سازه LSF در مقایسه با سازه های بتنی و فولادی معمول با توجه به ویژگی های لرزه ای شهر اهر از طریق مدل سازی سازه و بررسی رفتار سازه با لحاظ نمودن شرایط لرزه ای شهر اهر، مقایسه بهتری در خصوص رفتار این سازه نسبت به سازه های معمول در شهر لرزه خیزی همچون اهر داشته باشد.

**کلید واژه ها :** زلزله، اهر، سیستم قاب فولادی سبک (LSF)، مدل سازی SAP2000، تحلیل استاتیکی خطی و غیرخطی، عملکرد لرزه ای، جذب انرژی.

۱- دانشیار، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران (نویسنده مسئول) n\_hassani@sbu.ac.ir

۲- کارشناسی ارشد، سازه، دانشکده عمران، آب و انرژی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، ایران ali98.taheri@gmail.com

۳- کارشناسی ارشد، زلزله، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید عباسپور، ایران mmkermaninejad@gmail.com

## ۱- مقدمه

های جدید در ساخت و احداث سازه‌ها، خانه‌های مسکونی و زیرساخت‌های آن ضرورتی اجتناب ناپذیر می‌باشد . یکی از روشهای نوین احداث ساختمان با قابلیت تاب‌آوری در برابر زلزله استفاده از سازه‌های سبک فولادی یا به اختصار LSF میباشد.

سیستم قاب سبک فولادی (Lightweight Steel Framing) یا LSF از مقاطع سرد نورد شده فولادی ساخته می‌شود این محصول از سال ۱۹۴۶ وارد صنعت ساختمان شد و به شکل گسترده‌ای در تولید صنعتی انواع ساختمان های اداری تجاری و مسکونی به کار میرود و به عنوان جایگزینی مناسب برای روش های سنتی ساخت مطرح می باشد . از سال ۱۹۹۰ به دلایل زیادی از جمله افزایش قیمت چوب و محدود بودن منابع تهیه آن مشکلات زیست محیطی، افزایش جمعیت و به تبع آن نیاز به تولید سریع و انبوه مسکن موجب شد استفاده از سازه‌های پیش ساخته و جمله LSF کاربرد وسیعی پیدا کند به طوری که امروزه این سیستم در کشورهای توسعه یافته های همچون آمریکا، کانادا استرالیا ژاپن و بسیاری از کشورهای دیگر در احداث ساختمان های تجاری و مسکونی و حتی درمانی کاربرد فراوانی یافته است [۳].

سیستم قاب سبک فولادی در کشور ما نیز از حدود سال وارد حوزه ساخت و ساز گردید این سیستم در ایران برای اجرای ساختمانهای عمدتاً کوتاه مرتبه و میان مرتبه تا پنج طبقه مورد استفاده قرار می‌گیرد برابر ضوابط آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله ایران ( آیین نامه ۲۸۰۰ ایران) به کارگیری این سیستم در مناطق لرزه‌خیز با خطر نسبی بسیار زیاد مجاز نمی‌باشد به علاوه در مناطق با خطر نسبی کم ، متوسط و زیاد، همچون شهر اهر مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ ایران مجاز دانسته شده. به علاوه استفاده از این سیستم ساده‌ای سازه‌ای به عنوان قاب ساختمانی ساده به همراه دیوار برشی بتن مسلح حداکثر در پنج طبقه یا ارتفاع ۱۸ متر از تراز پایه مجاز می‌باشد همچنین استفاده از این سیستم در مناطق با خطر نسبی کم متوسط و زیاد برابر آیین نامه ۲۸۰۰ ایران تا حداکثر دو طبقه یا ارتفاع ۷٫۲ متر از تراز پایه با اجرای مهاربندی قطری بلامانع می‌باشد. [۴] با توجه به فرارگیری شهر اهر در منطقه‌ای با لرزه‌خیزی زیاد مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ و ایران استفاده از این سیستم سازه ای مجاز دانسته شده است و با توجه به نوع عملکرد این سازه در برابر بارهای جانبی همچون زلزله می‌تواند عملکرد مناسبی در اسکان پس از زلزله و همچنین احداث سازه‌های ارزان قیمت با مقاومت مناسب در برابر زلزله مورد استفاده قرار گیرد. هدف این

کشور ما ایران به واسطه موقعیت جغرافیایی، شرایط اقلیمی و وضعیت زمین شناختی از جمله کشورهای در معرض بحران‌های طبیعی در جهان محسوب می‌شود و با توجه به اینکه ایران بر روی کمربند زلزله‌خیز آلپ-همالیا قرار گرفته، سابقه‌ای تاریخی در وقوع زلزله‌های شدید را دارا می‌باشد. بر اساس آمارهای منتشر شده ایران به لحاظ حوادث غیر مترقبه جزو ۱۰ کشور بلاخیز جهان است که از ۴۰ درصد حوادث طبیعی غیر مترقبه بیش از ۳۰ مورد آن در ایران رخ می‌دهد و این در حالی است که ایران تنها یک درصد از جمعیت جهان را دارا می‌باشد و با این وجود ۶ درصد تلفات حوادث جهان متعلق به کشور ما است. [۱]

با توجه به ماهیت مخاطرات طبیعی و آثار طولانی مدت آن‌ها بر جوامع و همچنین هزینه های مالی، اجتماعی و روانی که در اثر این مخاطرات می‌دهد اتخاذ راهکار های پیشگیرانه در این حوزه و کاهش صدمات در صورت بروز این حوادث از اولویت‌های اساسی هر کشور می‌باشد؛ همچنین با توجه به ماهیت غیر مترقبه بودن این حوادث لزوم اتخاذ تصمیم‌های صحیح و پیشگیرانه و اجرای عملیات متناسب با آن مهمترین استراتژی مواجهه با بلایای طبیعی محسوب می‌گردد. از میان انواع مخاطرات طبیعی، زلزله یکی از پرهزینه ترین و پرتلفات‌ترین این حوادث محسوب می‌گردد و با توجه به موقعیت جغرافیایی کشور ما، نقاط زیادی از پهنه ایران مستعد بروز این بحران طبیعی می‌باشد. یکی از این نقاط که محور اصلی این پژوهش می‌باشد.

شهرستان اهر واقع در استان آذربایجان شرقی می باشد. شهرستان اهر از نظر زمین شناسی در زون ساختاری البرز-آذربایجان قرار دارد؛ بررسی لرزه‌خیزی گسترده حدود ۱ درجه در ۱درجه کانون زمین‌لرزه سال ۱۳۹۱ نشان می‌دهد که حدود ۳۸۰ رویداد لرزه‌ای در سده گذشته در این منطقه به وقوع پیوسته که ۱۹ مورد آن دارای بزرگای ۵ و بیش از ۵ ریشتر بوده است. که این آمار بیانگر لرزه‌خیزی بالای منطقه اهر و مناطق پیرامونی آن می‌باشد. مهم ترین رویداد اخیر لرزه منطقه مربوط به سال مربوط ۲۱ مرداد سال ۱۳۹۱ می باشد که به بیش از ۴۸۲۶ پس لرزه داشته [۲] و بر اساس ارزیابی صورت گرفته توسط ستاد مدیریت بحران استان آذربایجان شرقی میزان خسارت وارده این زمین لرزه بیش از ۱۰ هزار میلیارد ریال بوده است که بیشترین ثبت خسارات مربوط به شهرستان اهر با سطح ۳ هزار و ۱۶۹ میلیارد ریال می باشد [۱] بدیهی است که با توجه به لرزه خیزی بالای منطقه و امکان تکرار مجدد چنین زمین لرزه هایی در آینده، اتخاذ برنامه‌های ساختاری و به کارگیری روش

پژوهش بررسی امکان سنجی استفاده از این سازه‌ها در مناطق لرزه خیزی همچون شهر اهر می‌باشد.

## ۲- طبقه بندی انواع سکونتگاه ها پس از بحران

آنچه که در جریان هر بحران و مخاطره ای اعم از طبیعی و غیر-طبیعی پس از حفظ و نجات جان افراد دارای اهمیت می‌باشد سازماندهی و اسکان افراد حادثه دیده می‌باشد. بدین منظور و بر اساس لحاظ نمودن نوع مخاطره و شدت آن و نیز زمان و ویژگی های منطقه حادثه دیده نوع اسکان می‌تواند دارای تفاوت‌ها و انواعی باشد که بدین منظور طبقه‌بندی‌های متعددی از شرایط سکونتگاهی پس از وقوع حادثه ارائه گردیده که در ادامه به دو نوع از طبقه بندی ها اشاره خواهد گردید.

بر اساس طبقه بندی انجمن زلزله شناسی مرکزی آمریکا اسکان پس از حادثه به چهار نوع تفکیک گردیده:

۱- **سرپناه فوری:** این نوع از اسکان به ۷۲ ساعت اول پس از حادثه مربوط است و عبارت است از تأمین یک پناهگاه موقت و امن تا زمان تثبیت شرایط و به طور عمده شامل ۷۲ ساعت اول پس از وقوع سانحه می‌باشد.

۲- **سرپناه اضطراری:** عبارت است از سرپناه و سکونتگاهی که برای افراد سانحه‌دیده در ۲ ماه اول سانحه تهیه و دارای امکانات اولیه‌ای و برای اسکان کوتاه مدت و اضطراری می‌باشد.

۳- **اسکان موقت:** مدت استفاده از آن به طور معمول حدوداً یک سال و گاهی بیشتر است که در آن در نظر گرفتن تمهیداتی جهت تأمین امنیت، آب، انرژی، تأمین سرمایش و گرمایش برای افراد سانحه زده تا زمان بازسازی و ساخت مجدد خانه‌ها در نظر گرفته می‌شود.

۴- **اسکان دائم:** که شامل تأمین راه حل های طولانی مدت و دائمی برای سکونت بازماندگان اعم از بازسازی یا ساخت مجدد واحد های ساختمانی می‌باشد. [۵-۶]

همچنین در طبقه بندی دیگر کوارنتلی چهار نوع اسکان پس از سانحه را بدین صورت معرفی می‌کند:

۱- **سرپناه اضطراری:** شامل شرایطی است که بازماندگان سانحه به دنبال محلی خارج از خانه‌ی دائمی خود هستند تا برای مدت کوتاه در آن اقامت کنند؛ که در بیشتر این موارد چندین ساعت یا نهایتاً یک شب و تا زمان تثبیت نسبی شرایط می‌باشد.

۲- **سرپناه موقت:** این سرپناه به شرایطی بر می‌گردد که فراتر از تأمین یک سرپناه صرفاً در شرایط اضطرار است و شامل جابه‌جایی مردم به محل اقامت جدید می‌شود. در حالی که انتظار می‌رود مدت اقامت بازماندگان در محل جدید کوتاه باشد. مسلماً سرپناه موقت و اضطراری با هم همپوشانی دارند، اما تفاوت‌هایی از جهت رفتاری با هم دارند که آنها را از هم متمایز می‌کند؛ برای مثال در سرپناه اضطراری معمولاً مسئله‌ی تغذیه‌ی بازماندگان مطرح نیست اما در سرپناه موقت این موضوع در نظر گرفته می‌شود.

۳- **مسکن موقت:** این مسکن ها شامل سکونتگاه‌هایی هستند که در آن خانواده ها و افراد سانحه دیده بتوانند به تدریج در آن به شرایط قبل بازگشته و همچنین زندگی روزمره ها به تدریج حالت طبیعی خود را بازیابد و خارج شوند. شکل این اسکان می‌تواند به صورت واحدهای متحرک، واحدهای پیش‌ساخته، مسکن اجاره‌ای، چادر و یا حالت‌های دیگر باشد.

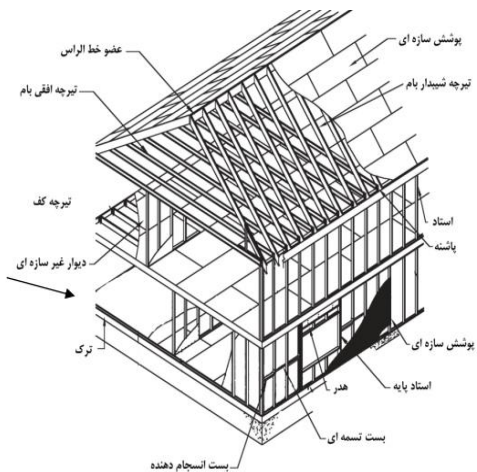
۴- **مسکن دائم:** مهم ترین تفاوت میان مسکن دائم و موقت آن است که در مسکن دائم، بازماندگان سانحه به خانه‌های دائمی خود که بازسازی و تعمیر شده و یا خانه‌های جدید خود در جامعه بر می‌گردند و نسبت به حالات قبلی زندگی طبیعی خود را باز می‌یابند. [۶-۷]

هدف از این پژوهش بررسی استفاده از سازه‌های سبک فولادی LSF در جایگزینی روش‌های متداول برای اسکان موقت و حتی دائمی آسیب‌دیدگان در مدیریت بحران و به منظور ساماندهی مطلوب‌تر آنان می‌باشد.

## ۳- معرفی سیستم قاب های سبک فولادی سرد

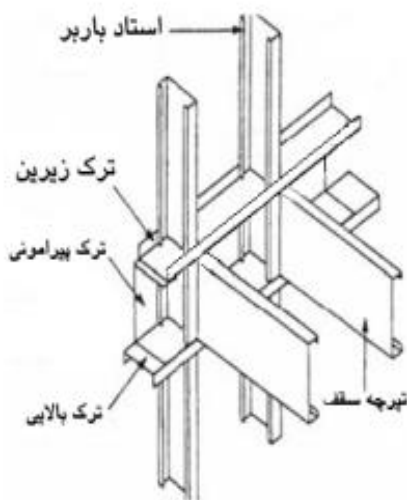
### نورد شده LSF

ساختمان‌های پیش ساخته فولادی سبک (Light Weight Steel Frame) موسوم به LSF به صورت اجرای خشک و عمدتاً با استفاده از اتصالات پیچی و به روش تولید صنعتی بکار گرفته می‌شوند. این ساختمان‌ها از سه جزء اصلی شامل ورق‌های فولادی سرد نورد شده جهت تأمین سازه، صفحات تخته گچی بعنوان پوشش رویه درونی و لایه عایق حرارتی و صوتی، تشکیل می‌شوند. این سیستم سازه ای توانائی ترکیب شدن با سیستم‌های سازه‌ای دیگر، همانند دیوارهای بتن آرمه سازه‌ای را نیز دارا می‌باشد و می‌تواند در ساخت ساختمان‌های کوتاه مرتبه به صورت سیستم



شکل ۱: اعضای سیستم قاب‌های سبک فولادی [۱۰]

ساختمان‌های فولادی سبک سرد نورد شده به دو روش کلی قاب‌بندی طبقه‌ای و قاب‌بندی دیواری ممتد اجرا می‌شوند. در روش اجرای طبقه‌ای ابتدا دیوار طبقه و سپس سقف و پس از تکمیل قاب‌بندی دیوار و سقف، دیوار طبقه فوقانی اجرا می‌شود در حالی که در روش اجرای دیواری، دیوارها در چند طبقه ساخته و نصب می‌شوند و سپس سقف طبقات اجرا می‌شود [۱۰].



شکل ۲- سیستم قاب‌بندی طبقه‌ای (Platform Framing)

سازه‌های مختلط بکار گرفته شود. [۸] جهت ساخت مقاطع سرد نورد شده مطابق آیین‌نامه‌های مربوط به این سازه‌ها استفاده از اشکال مختلف مجاز می‌باشد. این مقاطع معمولاً دارای ابعاد متنوع و محدوده تغییرات ضخامتی بین ۰/۶ الی ۲/۵ میلی‌متر می‌باشند. به طور کلی سازه‌های LSF به صورت خشک و با اتصالات پیچی اجرا و نصب می‌گردند. این سازه‌ها خود از سه قسمت تشکیل می‌شوند: ۱- مقاطع و پروفیل‌های متشکل از ورق‌های فولادی سرد نورد شده برای سازه (اسکلت کلی سازه) ۲- صفحات تخته گچی یا سیمان الیافی به عنوان پوشش رویه درونی ۳- لایه عایق حرارتی و صوتی. [۹]

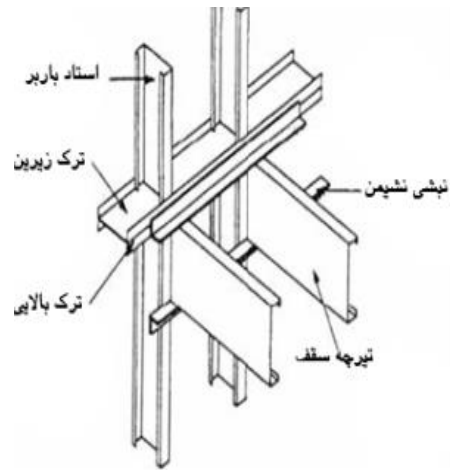
اتصال سازه LSF به شالوده به واسطه یک کلاف افقی با مقطع C شکل صورت می‌گیرد. اجزاء قائم این سیستم به عنوان عضو باربر ستونی در بارهای ثقلی عمل می‌نمایند، برخی از این اعضا که در دهانه مهاربندی جانبی سازه قرار می‌گیرند علاوه بر بار ثقلی، متحمل نیروهای ناشی از بارهای جانبی نیز می‌شوند، این اعضا تحت نام وادار (Stud) در این سیستم معرفی می‌شوند. سقف سازه این ساختمان‌ها متشکل از تیرچه‌های فلزی سرد نورد شده بوده که فواصل تیرچه‌ها با توجه به میزان ظرفیت باربری عضو و ابعاد قطعات پوشش سقف که می‌تواند تخته‌های چوبی، سیمانی و یا دال بتن آرمه باشد تعیین می‌شود.

تیرها و تیرچه‌ها در این سازه عمدتاً دارای مقاطع با اشکال C یا Z می‌باشند، پوشش سقف با دال بتن آرمه، در صورت تامین یکپارچگی لازم بین بتن و پروفیل فولادی تیرچه، می‌تواند بعنوان یک سقف مرکب بتنی فلزی طراحی شود. در ساختمان‌های LSF به منظور باربری جانبی سازه در دو امتداد اصلی متعامد، از دهانه‌های باربر جانبی استفاده می‌شود که تحت عنوان (Load Bearing Wall) نامیده می‌گردد. [۸] در دیوارها معمولاً از مقطع C شکل به عنوان استاد (Stud) و از مقطع U شکل به عنوان ترک استفاده می‌شود. به علاوه، وجه‌باز مقطع C شکل استاده‌ها در هر دیوار در یک سمت قرار می‌گیرد. در محل‌های گوشه و تقاطع دیوارهای باربر به منظور اتصال پوشش‌ها لازم است استادهایی پیش‌بینی نمود که این استاده‌ها ممکن است بیش از نیاز باربری باشد. بر این اساس در گوشه‌ها و تقاطع دیوارها مقاطع مرکب از چندین استاد استفاده می‌گردد. استادهای مرکبی که در تماس با یکدیگر قرار می‌گیرند میبایستی حداقل با پیچ‌های نمره ۸ در فواصل حداکثر ۵۰۰ میلی‌متر به یکدیگر متصل گردند. [۱۰]

علی‌رغم معرفی LSF محدود شده بود. به تدریج و از سال ۱۹۹۰ به دلایل زیادی 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 سازه‌های پیش‌ساخته سیستم LSF کاربرد وسیع‌تری یافت به طوری که امروزه این سیستم در بسیاری از کشورها از جمله: آمریکا، کانادا، استرالیا ژاپن و بسیاری از کشورهای دیگر در احداث ساختمان‌های مسکونی تجاری کوتاه مرتبه و میان مرتبه مورد استفاده قرار گرفته است. [۱۳] در ایران نیز استفاده از این سیستم سازه‌ای برابر ضوابط آیین نامه ۲۸۰۰ در مناطق با خطر نسبی کم، متوسط و زیاد، استفاده از این سیستم سازه‌به‌عنوان قاب ساختمانی ساده به همراه دیوار برشی بتن مسلح حداکثر در ۵ طبقه یا ارتفاع ۱۸ متر از تراز پایه بلامانع است.

به طور کلی سیستم دهانه‌های باربر به چهار روش ایجاد می‌شوند که عبارتند از: سیستم دهانه‌های مهاربندی شده با اعضای قطری، سیستم دیوار برشی با ورق فولادی نازک، سیستم دیوار باربر با پوشش‌های OSB، سیستم دیوار برشی بتن‌آرمه. در حال حاضر در کشور ایران استفاده از سیستم دهانه‌های مهاربندی شده با اعضای قطری برای ساختمان‌های تا دو طبقه مسکونی و سیستم باربر جانبی دیوار برشی بتن‌آرمه برای ساختمان‌های تا پنج طبقه مجاز می‌باشد؛ سیستم LSF به همراه مهاربند قطری حداکثر تا سه طبقه یا ارتفاع ۱۰ متر از تراز پایه در مناطق لرزه‌خیز کشور مجاز بوده و طرح لرزه‌های و سازه‌های آن باید به ترتیب براساس استاندارد ASCE7-05 و آیین نامه AISI صورت گیرد. به طور کلی به منظور تامین باربری جانبی در سیستم سازه‌های LSF از دهانه‌های دارای مهاربند، در دو امتداد عمود بر هم استفاده می‌شود. سیستم‌های مقاوم در برابر نیروهای جانبی در قاب‌های سبک فولادی (LSF) که عبارتند از: [۱۴-۸]

- سیستم دهانه‌های مهاربندی شده با اعضای قطری (دیوار-های فولادی سرد نورد شده به همراه مهاربندهای تسمه‌ای)
  - سیستم دیوار برشی با صفحات فولادی یا سازه‌های چوبی،
  - سیستم دیوار برشی با صفحات تخته گچی یا سیمان الیافی
  - سیستم قاب خمشی پیچی (Special bolted moment frame)
  - سیستم Podium-type structures
  - سیستم‌های ترکیبی یا Mixed (hybrid) systems [۱۴]
- که در ادامه به برخی از مطالعات صورت گرفته در خصوص نحوه عملکرد هریک از این سیستم‌ها در برابر بارهای لرزه‌ای اشاره خواهد گردید:



شکل ۳- سیستم قاب‌بندی دیواری ممتد (Balloon Framing)

#### ۴- پیشینه و مطالعات قاب‌های سبک فولادی سرد نورد شده LSF

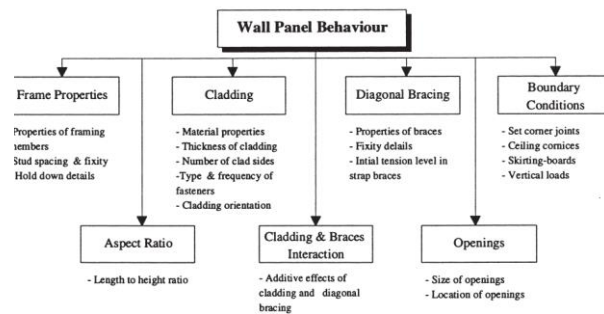
سازه‌های فولادی سرد نورد شده از سال ۱۸۸۶ در انگلستان رواج یافت مقاطع مختلفی که اکثراً عملکرد غیر سازه‌ای و یا در ترکیب با مصالح سازه به کار می‌رفتند مانند استفاده گسترده از مقاطع و ورق‌های سرد نورد شده در کاربردهای صنعتی، پوشش‌های بام، دیوارها و نماها، سقف‌ها از موارد استفاده این قطعات در صنعت ساخت و ساز بودند به تدریج و در سال ۱۹۱۴ در انگلستان برای نخستین بار مقطع C شکل سرد نورد شده که در صنعت LSF به استاد شناخته می‌شود را وارد صنعت ساختمان‌های قاب فولادی سبک نمود [۱۱]، همچنین در انگلستان از ۱۹۳۰ به بعد به کارگیری فولاد در صنعت ساختمان سازی رونق گرفت و تدریجاً از دهه ۱۹۴۰ برای تامین قطعات فولادی مورد نیاز برای صنعت ساخت و ساز اقدام به استفاده از قطعات فولادی سرد نورد شده به منظور جایگزینی با قطعات فولادی گرم نورد در صنعت ساختمان نمود. [۱۲] همچنین همزمان با آغاز مطالعات در این حوزه تحقیقات از سال ۱۹۴۶ در آمریکا این سیستم سازه‌ای معرفی گردید و نخستین مجموعه از استانداردهای طراحی پیرامون سازه‌های سبک فولادی سرد نورد ارائه گردید. [۱۱] ولی استفاده از این سیستم سازه‌ای به دلیل آنکه برای قرن‌ها استفاده از چوب به دلیل فراوانی در کشورهای آمریکایی و اروپایی و همچنین به دلیل سهولت در دسترسی و ارزان بودن آن نسبت به سایر مصالح ساختمانی به عنوان اصلی‌ترین و مهم‌ترین مصالح مورد استفاده در ساختمان

روش، برای مدل سازی با استفاده از تکنیک اجزا محدود، رفتار غیر خطی پانل های دیوار برشی شبیه سازی شده است در حالی که از تعداد المان های کمتری برای مدل سازی سازه استفاده شده است. [۱۶-۱۷] در مطالعه ای دیگر، Roger و Shamin یک روش چندفازی برای طراحی لرزه ای سیستم های LSF دارای سیستم مهار جانبی دیوار برشی و روکش های استیل ارائه دادند. فاز اول شامل مدل های غیر خطی بود که با استفاده از داده های آزمایش دیوار برشی تحت بارگذاری چرخه ای معکوس انجام شدند. فاز دوم شامل مدل های پیشرفته تری بود که با استفاده از داده های آزمایش های دینامیکی دیوارهای برشی تک طبقه و دو طبقه و آزمایش اجزای غیرسازه ای انجام پذیرفت. آن ها نشان دادند در صورت در نظر گرفتن اثرات پانل های گچی دیواری به عنوان اعضای غیرسازه ای در افزایش دقت پاسخ های لرزه ای پیش بینی شده تاثیرگذار می باشد. [۱۸]

در مطالعه انجام شده توسط Dubina، بر روی عملکرد لرزه ای سازه های LSF، پانل های برشی در مقیاس واقعی صورت پذیرفت، اتصالات موجود در، سیستم سازه LSF؛ در یک سازه تحت بارگذاری های یکنواخت و چرخه ای (سیکلی) مورد بررسی قرار گرفت. او در نتیجه این مطالعه نتیجه گرفت از نظر سطوح عملکردی براساس Eurocode ۸-۱ برای سطح عملکردی خدمت رسانی بی وقفه (Operational) و سطح عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه (Immediate Occupancy) در سازه های LSF مقدار ضریب رفتار R متناظر ۱/۵ تا ۲ و برای سطوح عملکردی ایمنی جانی (Life Safety) و سطح عملکرد آستانه فرو ریزش (Collapse Prevention) مقدار ضریب رفتار متناظر میبایستی در محدوده بین ۲ تا ۳ قرار گیرد. [۱۹]

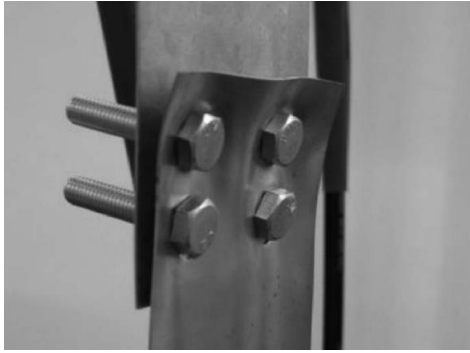
Uang و همکاران، تعداد ۹ اتصال تیر به ستون را تحت بارگذاری های سیکلی (چرخه ای) قرار دادند این تحقیقات که به منظور گسترش و تکمیل سیستم معرفی شده در آئین نامه AISI بوده است صورت پذیرفت. تیرهای مورد استفاده در این مطالعه از نوع مقاطع ناودانی پشت به پشت و ستون ها به صورت HSS بوده که با استفاده از پیچ های پرمقاومت به هم متصل شده اند ضخامت مقاطع استفاده شده در این تست ها ۲/۷ و ۳/۴ میلی متر بوده است. نتایج آزمایش نشان داد که در نمونه های مذکور ظرفیت تغییر شکل نسبی بین طبقات بزرگتر از ۰,۰۴ رادیان بوده است به علاوه مطرح نمودند که فلسفه طراحی ستون قوی-تیر ضعیف معمولی برای این سیستم مناسب نیست و تیرها و ستون ها باید در محدوده تغییر شکل های ارتجاعی طراحی گردند. [۲۰]

گد (Gad) و همکاران، طی پژوهشی در خصوص عملکرد جانبی قاب فولادی سرد نورد شده عوامل موثر بر پاسخ های لرزه ای سیستم های LSF را به ۶ دسته تقسیم نمودند بر اساس مطالعه آن ها، مشخصات قاب، روکش (Cladding)، بادبندها، اندرکنش بین بادبندها (مهارها) و روکش ها (Cladding)، اندازه و مکان بازشدگی ها و شرایط مرزی عوامل موثر بر پاسخ لرزه ای سیستم های LSF می باشند. به علاوه گد و همکاران به ارزیابی عملکرد لرزه ای سازه های LSF به منظور تعیین مولفه های تاثیرگذار بر عملکرد این سیستم سازه ای پرداخته و همچنین اثرات اجزای غیر سازه ای بر پاسخ سیستم LSF را نیز تعیین نمودند، بر این اساس عملکرد لرزه ای سیستم LSF در بارگذاری لرزه ای در این مطالعه بسیار مناسب ارزیابی و مولفه های غیر سازه ای این سیستم همانند تخته های از جنس پلاستیک، اثرگذاری قابل ملاحظه ای بر عملکرد مهاربندهای این سیستم را نشان داد. [۱۵] به علاوه آن ها نشان دادند مکانیزم گسیختگی این سازه ها بر اساس عملکرد مهاربند جانبی تسمه یا قطری کنترل می شود و بر اساس آنالیزها مشخص گردید که ایجاد کشش اولیه در مهاربندهای تسمه ای موجب افزایش سختی قاب ها و در نهایت بهبود خصوصیات دینامیکی سیستم می شود.



شکل ۴- عوامل موثر بر رفتار پانل دیوار با بارگذاری جانبی [۱۵]

لی خو (Xu) و مارتینز (Martinez)، یک روش تحلیلی برای تعیین مقاومت جانبی نهایی در سیستم های LSF دارای پانل های دیوار برشی و محاسبه جابه جایی های متناظر ارائه نمودند که در این روش پیشنهادی خصوصیات مصالح، مشخصات هندسی و جزئیات ساخت مورد توجه قرار گرفته که نتایج نشان می دهد روش پیشنهادی ارائه شده برای دیوارهای برشی با روکش های مختلف و ضخامت استاندارد و اتصالات فولادی و همچنین اندازه، فاصله پوشش دارای انطباق مناسبی با نتایج آزمون های صورت گرفته دارد. همچنین یک روش ساده شده برای آنالیز و تحلیل سیستم ها LSF با استفاده از روش اجزا محدود ارائه دادند. در این



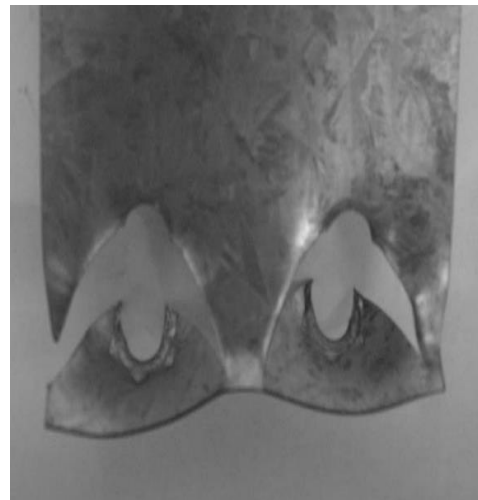
شکل ۶- ایجاد کج‌شدگی و لهیدگی در نمونه‌ها [۲۲]

Tremblay و همکاران، در مطالعه آزمایشگاهی به بررسی عملکرد لرزه‌ای سیستم مهاربند جانبی ضربدری و مهاربند مورب تک در سازه‌های LSF پرداختند. بر اساس نتایج، در سیستم مهاربند ضربدری، از طول موثر مهاربند برای تعیین مقاومت فشاری و توصیف پاسخ هیستریک با در نظر گرفتن ظرفیت اتلاف انرژی استفاده کرد. [۲۲]. Zeynalian و Ronagh، در مطالعات خود بررسی عددی عملکرد لرزه‌ای دیوارهای فولادی سرد نورد شده با مهاربند تسمه پرداختند آن‌ها تحلیل‌های غیرخطی المان محدودی را به جهت بهبود پارامترهای لرزه‌ای دیوارهای فولادی سرد نورد شده همراه با مهاربند و براکت‌هایی در چهارگوشه دیوار انجام داده و در نهایت به این نتیجه رسیدند که طول بهینه براکت‌های ۴۵ درجه مصرفی در مهاربندهای ضربدری در برابر است با  $180\sqrt{2}mm$  [۲۳]. همچنین Zeynalian و Ronagh، در مطالعه‌ای دیگر مشخصات لرزه‌ای سیستم‌های LSF دارای بادبند زانویی را مورد بررسی قرار دادند و پیشنهاد نمودند استفاده از سیستم‌های مهاربند جانبی از نوع بادبند زانویی در نواحی با لرزه خیز، کم و محدود شود؛ چراکه این سیستم مهاربندی اگر چه دارای دررفت حداکثر بالایی می‌باشد ولی در مقایسه با سیستم مهاربند جانبی تسمه‌ای قطری دارای مقاومت نهایی کمتری می‌باشد. به علاوه پیشنهاد نمودند به منظور افزایش مقاومت برشی و شکل پذیری بیشتر از چهار براکت در چهار گوشه داخلی بادبندهای زانویی در دیواره‌های پانل‌ها استفاده گردد همچنین مشخص شد دیوارهای با المان‌های زانویی کوتاه‌تر مقاومت برشی بیشتری داشته ولی شکل پذیری آن‌ها کمتر می‌باشد. [۲۴، ۲۵]

احسان‌پور، بهفرنیا، در پژوهشی به بررسی رفتار جانبی سیستم قاب فولادی سبک LSF را مورد بررسی قرار دادند به این منظور تعدادی پانل‌های ساخته شده از مقاطع سرد نورد شده توسط برنامه SAP2000 مدل‌سازی شده نمودارهای پوش آور آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و ضریب شکل پذیری و ضریب مقاومت

Casafont و همکاران، طی تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که اتصالات تسمه‌ها در قاب‌های با مهاربند ضربدری نقش حیاتی در عملکرد لرزه‌ای سازه‌های سبک ایفا می‌کنند. این اتصالات باید به اندازه کافی قوی باشند تا اجازه اتلاف انرژی از طریق جاری شدن تسمه‌های فلزی مورب را بدهند. آن‌ها یک تحقیق تجربی گسترده در مورد اتصالات پیچی کششی بین تسمه‌ها انجام دادند؛ دو حالت شکست غالب شناسایی و مورد بررسی قرار گرفت:

۱- اتصالاتی که که حالت شکست آن‌ها به طور اساسی ترکیبی از کج شدن و شکست بخش خالص اتصال است (T+NSF)، ۲ اتصالاتی وجود دارند که زوال و شکست آن‌ها در ترکیب با کج شدن و لهیدگی و بیرون زدگی همراه است (T+B+PO)؛ تجزیه و تحلیل آنان از نظر مقاومت و شکل پذیری نشان می‌دهد که اتصالات نوع اول (T+NSF) برای طراحی لرزه‌ای مناسب هستند، زیرا تسمه‌ها قبل از شکست اتصالات تسلیم می‌شوند؛ برعکس، اتصالات نوع دوم (T+B+PO) مناسب نیستند زیرا قبل از اینکه تسمه‌ها تسلیم شوند، اتصال از کار می‌افتد و عملاً قابلیت باربری خود را از دست می‌دهد. همچنین آنان به تأثیر پارامترهای مختلف طراحی (ضخامت تسمه، تعداد و قطر پیچ‌ها، نوع فولاد) در نوع و فرآیند شکست را نیز به همراه ارائه معیارهای طراحی برای اتصالات T + NSF مورد بررسی قرار دادند. [۲۱]



شکل ۵- ایجاد لهیدگی در نمونه‌ها [۲۲]

سایر قابها بیشتر بود و این حاکی از عملکرد بهتر قاب‌های دیوار برشی بوده که در زلزله طرح تغییر شکل کمتری را از خود با نشان می دهند. کاهش مقدار دررفت غیر خطی در قاب دیواربرشی فولادی نیز گویای جذب انرژی بالا در این مدل قاب می باشد. همچنین دیوار برشی فولادی در میان قاب‌های سبک فولادی سبک تر بوده و سطح عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه را در شرایط لرزه‌خیزی بسیار زیاد با کمترین درصد دررفت تامین می‌نماید [۲۹]

## ۶- مزایا و محدودیت‌های سازه‌های قاب‌سبک فولادی (LSF)

### ۶-۱- مزایا (LSF)

از عمده مزایای ساختمان‌های سبک فولادی LSF، می‌توان به مواردی همچون، کاهش جرم ساختمان در این روش که تاثیر فراوانی در جهت کاهش هزینه‌های ناشی از مصالح، نیروی انسانی و نیز زمان احداث پروژه‌ها خواهد داشت اشاره نمود و به ویژه آنکه کاهش جرم ساختمان در این روش به طور خاص در مناطق لرزه خیز می‌تواند دارای مزیت مضاعف بوده و موجب کاهش خسارات انسانی و مالی ناشی از زلزله در این مناطق من جمله شهر اهر باشد.

ادامه به موارد دیگری از مزیت‌های این سیستم سازه‌ای اشاره خواهد گردید:

- افزایش ۹ الی ۱۲ درصدی فضای مفید در سازه‌ها
- سبکی سازه و در نتیجه کاهش نیروی زلزله وارد بر اجزای سازه
- کیفیت بالا در اجرای اتصالات به دلیل پیش ساخته بودن و همچنین قابلیت بازیافت آن‌ها
- سهولت اجرای تاسیسات برقی و مکانیکی
- افزایش بهره‌وری ساخت به سبب کاهش مصالح ساختمانی مصرفی
- کاهش خطرات هنگام ساخت به دلیل پیش ساخته بودن قطعات و مونتاژ در محل
- دوام بالا، امکان خوردگی، پیچش و کج‌شدگی در این دسته از قاب‌ها به دلیل شکل قوطی و غیراورگانیک بودنشان به حداقل میزان ممکن رسیده است که موجب افزایش دوام در این سازه‌می‌گردد [۳۰-۳۱-۳۲]

### ۶-۲- محدودیت‌های استفاده از سازه‌های (LSF)

- نیاز به نیروی کار ماهر جهت مونتاژ قطعات سازه

افزون در آنها مقایسه شده است نتایج ارائه شده در این بررسی نشان می‌دهد که سیستم LSF تحت بارهای جانبی دارای رفتاری مطلوب و شکل‌پذیر می‌باشد. همچنین آن‌ها دریافته‌اند افزایش ضخامت استاد به طور کلی سختی و مقاومت پانل را افزایش خواهد داد در حالیکه افزایش استاد شکل‌پذیری را کاهش خواهد داد به علاوه افزایش و کاهش‌های استاد‌های داخلی پانل تاثیری بر سختی و مقاومت شکل‌پذیری پانل ندارد. [۲۶]

نیاری و همکاران، به بررسی و مطالعه رفتار لرزه‌ای دیواربرشی فولادی با پوشش فولادی پرداختند. بدین منظور ۳ نمونه پانل دیواربرشی به ابعاد  $1/25 \times 1/25$  متر و با ضخامت‌های مختلف از پوشش که در یک یا دو طرف دیوار نصب شده بود را مورد آزمایش قرار دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که نمونه‌های دیواربرشی با پوشش‌های نصب شده در دو طرف دیوار مقاومت نهایی و جذب انرژی بیشتری را در مقایسه با پوشش‌های نصب شده در یک طرف دیوار دارد. همچنین مطابق بررسی صورت گرفته با افزایش ضخامت پوشش به طور کلی سختی و مقاومت برشی دیوار نیز افزایش می‌یابد. [۲۷] Tavares و همکاران، در پژوهشی به مقایسه روش ساخت سازه‌های پیش ساخته نسبت به سایر روش‌های ساخت پرداختند. بدین منظور چهار روش ساخت از جمله قاب‌های سبک فولادی (LSF)، اسکلت چوبی، بتن مسلح و استفاده از بلوک و آجر را را انظر اثرات زیست محیطی، ضایعات، زمان ساخت و هزینه احداث مورد بررسی قرار دادند. در نتیجه این پژوهش مشخص گردید با توجه به اینکه هزینه‌های احداث هر سازه به شدت محلی بوده و تحت تاثیر نیروی کار و مصالح هر منطقه می‌باشد به نظر می‌رسد استفاده از سازه‌های پیش ساخته و انتقال قطعات اصلی سازه که از قبل تولید شده اند به محل احداث و صرفاً مونتاژ در محل پروژه می‌تواند نسبت به سایر روش‌های احداث سازه اقتصادی‌تر بوده و هزینه‌های کمتری را به همراه داشته باشد. (هرچند هزینه‌های مربوط به حمل در این سازه‌ها می‌بایستی مورد توجه قرار گیرد) به علاوه سازه‌های پیش ساخته می‌تواند موجب کاهش اثرات زیست محیطی احداث سازه‌ها، استفاده از متریکال کمتر، ضایعات کمتر و کاهش زمان ساخت نسبت به سایر روش‌های ساخت گردد. [۲۸]

آجرلو و حسنی نیز در پژوهشی به ارزیابی سطوح عملکرد لرزه‌ای سه قاب متشکل از مقاطع سرد نورد با سیستم لرزه‌ای متفاوت در دو حوزه زلزله‌های نزدیک و دور با تاثیر مولفه قائم در نرم افزار SAP ۲۰۰۰ پرداختند. آنها سه سیستم باربر جانبی دیوار برشی فولادی سیستم مهاربندی و دیواربرشی بتنی را مورد بررسی قرار داده، و مشاهده نمودند تغییر مکان نسبی و دررفت در قاب مهاربندی از



شکل ۷- نقشه گسل‌های مهم منطقه اهر [۳۶]

شاخص‌ترین فعالیت لرزه‌ای این منطقه مربوط به دو زمین لرزه با بزرگای ۶ و ۶/۲ ریشتر در ۲۱ مرداد ۱۳۹۱ می‌باشد که در حدود ۱۷ کیلومتری غرب اهر و در مختصات جغرافیایی ۳۸/۴۹۵ عرض- شمالی و ۴۶/۸۶۵ درجه طول شرقی و با حداکثر شتاب ثبت شده حدود ۴۲۸ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه در ایستگاه ورزقان رخ داد. دومین زمین لرزه با فاصله حدود ۱۰ کیلومتر و با بزرگای ۶ ریشتر در ۲۸ کیلومتری غرب اهر و ۱۰ کیلومتری ورزقان در مختصات ۳۸/۴۴۹ درجه عرض شمالی و ۴۶/۷۳۱ طول شرقی با شتاب ۵۳۴ سانتی‌متر مربع بر مجذور ثانیه در ایستگاه ورزقان به ثبت رسید. کانون هر دو زمین‌لرزه در عمق حدود ۱۰ کیلومتری زمین می‌باشد مطابق آمار رسمی در این زمین لرزه ۳۰۶ نفر کشته و بیش از ۲۵۰۰ نفر بر اثر این پدیده مجروح شدند. [۳۷]

## ۸- امکان سنجی نرم افزاری SAP2000

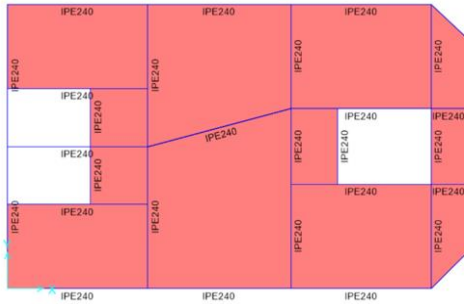
در این بخش به منظور مقایسه سیستم سازه فولادی سبک LSF با سایر سازه‌های متداول از جمله سازه فولادی و بتنی به بررسی و ارائه مدل‌سازی و مقایسه سه سازه بتنی، فولادی و LSF در شهر اهر پرداخته می‌شود بدین منظور از نرم‌افزار SAP2000 برای سازه‌های LSF، فلزی و بتنی جهت آنالیز استاتیکی خطی و غیرخطی استفاده می‌گردد.

این پژوهش به بررسی عملکرد سیستم‌های سازه‌های معمول شهری و در نظر گرفتن شرایط لرزه‌ای معمول و مندرج در آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم برای شهر اهر می‌پردازد.

- برای دستیابی به حداقل قابل قبول آکوستیک در شرایط خاصی نیاز است که از دو لایه تخته گچی استفاده شود که موضوع از نظر اقتصادی به صرفه نیست.
- محدودیت در ابعاد دهانه‌ها در این سیستم سازه‌ای (بکارگیری حداکثر دهانه ۵ متر و حداکثر ارتفاع ناخالص ، با احتساب ضخامت سقف، ۳/۶۰ متر برای هر طبقه در این سیستم مجاز می‌باشد)
- محدودیت در تعداد طبقات در این سیستم ساخت ممنوعیت ارتفاعی آیین نامه ۲۸۰۰ برای این سازه‌ها (حداکثر دو طبقه یا ارتفاع ۷/۲۰ متر از تراز پایه، با اجرای مهار بندی قطری بلامانع است)
- بکارگیری این سیستم در مناطق لرزه خیز با خطر نسبی بسیار زیاد مطابق آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران مجاز نمی‌باشد. [۳۰-۳۳]

## ۷- معرفی و ویژگی‌های زمین‌شناختی و لرزه‌ای شهر اهر

شهر اهر یکی از شهرستان‌های استان آذربایجان شرقی است که در شمال غرب ایران قرار گرفته و مرکز شهرستان اهر می‌باشد این شهرستان به عنوان مرکز منطقه ارسباران (قره داغ) با دو ۲۴۰۴ کیلومتر مربع مساحت و تعداد ۲۴۲ روستا یکی از نقاط کلیدی و مهم منطقه آذربایجان می‌باشد. این شهر در ۹۵ کیلومتری شمال- شرقی شهر تبریز قرار گرفته و دارای جمعیت ۹۲۷۸۲ نفر (مطابق سرشماری سال ۱۳۹۰) می‌باشد. همچنین به عنوان پنجمین شهر پرجمعیت استان آذربایجان شرقی محسوب می‌گردد. از نظر زمین‌شناختی شهرستان اهر در زون ساختاری البرز- آذربایجان قرار دارد. شدت و تنوع فعالیت‌های تکتونیکی و زمین‌ساختاری در منطقه اهر باعث جابجایی در بخش‌های مختلف سنگ‌های رسوبی و آذرین این منطقه و در نتیجه آن گسله‌هایی را در این منطقه به وجود آورده است. گسله‌های اصلی که سبب پیدایش پدیده‌های ژئومورفولوژیکی منطقه اهر شده گسله شمال قوشداغ می‌باشد [۳۴]. به علاوه در شهرستان اهر گسل‌ها و شکستگی‌های زیادی در امتداد شمال غربی- جنوب شرقی قرار دارد که می‌توان به گسل- های مزرعه، شمال اهر، خمیده ، نه‌آباد و گسل کجان اشاره کرد [۳۵]. همچنین گسل جنوب اهر عنوان بزرگترین گسل منطقه اهر در راستای تقریبی شرقی- غربی و با عرض تقریبی ۲۰۰ متر و طول نزدیک به ۶۰ کیلومتر می‌باشد. بر اساس نقشه طبقه بندی لرزه‌ای آیین نامه زلزله ایران (آیین نامه ۲۸۰۰) شهر اهر در منطقه با خطر نسبی زیاد قرار گرفته است.



شکل ۹- وضعیت تیر طبقات

## ۸-۲- بارگذاری

مرحله اول محاسبات ساختمان‌ها ، بارگذاری نامیده می‌شود که در واقع شناخت و ارزیابی انواع بارهای وارد بر ساختمان و تعیین کمیت‌های عددی برای بارهاست. بارگذاری به عنوان نخستین مرحله از محاسبات ساختمان‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و اگر این مرحله به صورت واقع بینانه و به دور از اشتباه صورت نگیرد، محاسبات سایر مراحل نیز به جواب‌های قابل قبول نخواهد رسید.

در مباحث بارگذاری، بارها به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند :

۱- بار قائم (ثقلی)

۲- بار جانبی

بارهای قائم به صورت مشخص در راستای ثقل زمین عمل کرده و شامل بارهای مرده و زنده وارد بر کف‌ها و بار دیوارها می‌باشند. مقدار بارهای مرده بر اساس جزئیات اجرایی سقف و دیوارها و مقدار بارهای زنده بر اساس نوع کاربری بخش‌های مختلف ساختمان از مبحث ششم مقررات ملی ساختمان تعیین می‌گردند.

اما بارهای جانبی به صورت افقی بر ساختمان اعمال می‌شوند. از بارزترین بارهای جانبی ، بار باد و زلزله را می‌توان نام برد.

### ۸-۲-۱- بارهای مرده

بارهای مرده عبارتند از وزن اجزای دائمی ساختمان‌ها مانند: تیر و ستون‌ها، دیوارها، کف‌ها، بام، راه پله، نازک کاری، و دیگر بخش‌های سهیم در اجزا سازه‌ای و معماری. [۳۸]

### ۸-۲-۲- بارهای زنده

بارهای غیر دائمی است که در حین استفاده و یا بهره‌برداری از ساختمان و یا سایر سازه‌ها به آنها وارد شود و شامل بارهای حین ساخت و یا بارهای محیطی مانند بار باد، بار برف، بار باران، بار زلزله، بار سیل، و یا بارهای مرده نمی‌شود.

## ۸-۱- مشخصات کلی طراحی سازه

۱. ساختمان در شهر اهر و در منطقه‌ای پهنه با خطر نسبی زیاد قرار دارد ( $A=0.3$ )
۲. ساختمان مزبور دارای کاربری مسکونی و بر حسب اهمیت در گروه ساختمان‌های با اهمیت متوسط قرار دارد و لذا ضریب اهمیت آن یک ( $I=1$ ) می‌باشد به علاوه خاک ساختمان سازه از نوع III می‌باشد.
۳. اتصال پای‌ستون‌ها به فونداسیون این به صورت گیردار می‌باشد.

۴. سازه به صورت سه طبقه اجرا می‌گردد .

۵. در طراحی سازه‌ی بتنی از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، سازه فولادی مبحث ۱۰ مقررات ملی و در در طراحی سازه سبک فولادی LSF از نشریه ۶۱۲ و AISI و برای تحلیل غیرخطی و پوش‌آور از نشریه ۳۶۰ سازمان برنامه و بودجه استفاده شده است.

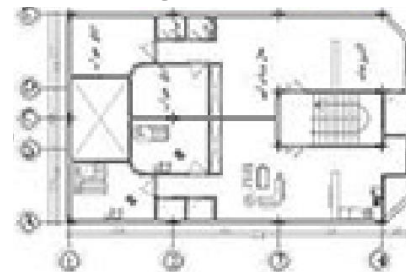
۶. سیستم مهاربندی برای سازه بتنی قاب خمشی متوسط، برای سازه فولادی مهاربند ضربدری و برای سازه

۷. سبک فولادی با توجه به مرور مطالب فوق مهاربند تسمه‌ای X شکل در نظر گرفته شده است.

۸. بارگذاری بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و صورت پذیرفته است.

۹. ارتفاع طبقات ۳/۲۰ متر می‌باشد زیربنای ساختمان ۱۶۲ متر مربع است.

۱۰. بتن مصرفی سازه بتنی C25 با وزن مخصوص ۲۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و مقاومت فشاری ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و ضریب پواسون ۰/۱۵ در نظر گرفته می‌شود به علاوه جرم واحد حجم سازه فولادی LSF و ۸۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب فرض میگردد و تنش تسلیم سازه فولادی ۲۴۰ و سازه LSF، ۳۴۰ مگاپاسکال در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۸- پلان طبقات

### ۳-۲-۸- باربرف

بار برف، وزن لایه برفی است که بر اساس آمار موجود در منطقه احتمال تجاوز از آن در سال کمتر از ۲ درصد (دوره بازگشت ۵۰ ساله) باشد. طبق بند ۶-۷-۱ مبحث ششم بار برف مبنای  $P_S$  را باید با توجه به تقسیم بندی مناطق از نظر میزان برف آن تعیین کرد، ولی مقدار آن در هر حالت نباید کمتر از ۸۰٪ مقادیر زیر در نظر گرفته شود.

مناطق با برف نادر	۲۵ دکانیوتن بر متر مربع
مناطق با برف کم	۵۰ دکانیوتن بر متر مربع
مناطق با برف متوسط	۱۰۰ دکانیوتن بر متر مربع
مناطق با برف زیاد	۱۵۰ دکانیوتن بر متر مربع
مناطق با برف سنگین	۲۰۰ دکانیوتن بر متر مربع
مناطق با برف فوق سنگین	۳۰۰ دکانیوتن بر متر مربع

جدول ۱- تقسیم بندی مناطق بر اساس مقدار بار برف

با توجه به اینکه بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان شهر در منطقه ۴ (برف زیاد) قرارداد لذا مقدار برف مبنای  $P_S$  در آن برابر ۱/۵ کیلو نیوتن بر متر مربع می‌باشد.

$$P_S = 150 \text{ Kg/m}^2$$

طبق بند ۶-۷-۲ مبحث ششم بار برف بر روی بام ها  $P_T$  را باید با توجه به زاویه شیب بام، برای هر متر مربع تصویر افقی سطح آن از رابطه زیر تعیین نمود:

$$P_T = I \times cn \times ch \times cs \times ps$$

رابطه (۱)

$$Cn=1$$

$$Ch=1$$

$$I=1$$

$C_S$  ضریب اثر شیب می باشد که طبق بند ۶-۷-۴ مبحث ششم برای بام های مسطح و شیب دار با زاویه شیب کمتر از ۱۵ درجه برابر یک می باشد.

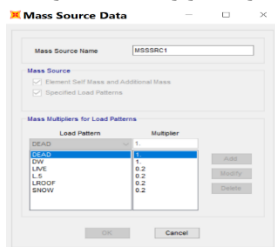
$$C_S = 1$$

$$P_T = 1 \times 150 = 150 \text{ Kg/m}^2 \geq 150 \text{ Kg/m}^2$$

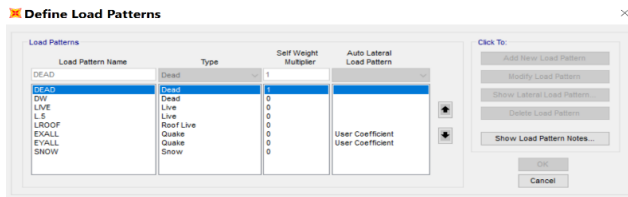
### ۳-۲-۸- ساخت مدل در نرم افزار SAP2000

اولین مرحله در ایجاد هندسه مدل، ایجاد خطوط شبکه و معرفی تعداد طبقات و تراز آن می باشد. بدین منظور ابتدا هندسه مدل اعم از دیوار، سقف ها، استاداها، بادبند و.. متناسب با شرایط پروژه ایجاد و سپس مصالح هر سازه به همراه آیین نامه های مد نظر در نرم افزار تعریف و بر اساس مبحث ششم مقررات ملی بارگذاری سازه بر اساس ترکیبات بار و ضرایب مربوطه تعریف می گردد. [۳۹]

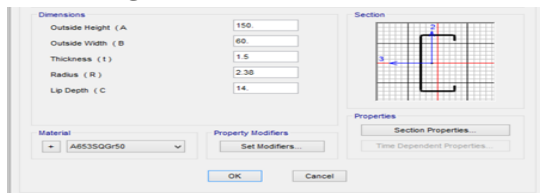
مرحله بعدی معرفی نام بارهای استاتیکی موجود در ساختمان اعم از بار مرده، زنده و زلزله به نرم افزار است؛ و پس از تعیین و معرفی ضریب زلزله بر اساس شرایط پروژه (اعم از کاربری، نوع خاک و..)- و ضوابط آیین نامه ۲۸۰۰ مقدار ضریب زلزله در نرم افزار وارد میگردد. سپس وزن موثر ساختمان با توجه به ضوابط مبحث ششم تعریف میگردد. سپس سازه بارگذاری گردیده و نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی خطی مطابق با جدول ۳ صورت میپذیرد و مقادیر برش پایه و تغییر مکان هر یک از راستا های سازه محاسبه می گردد.



شکل ۱۰- پنجره محاسبه وزن موثر ساختمان



شکل ۱۱- پنجره تعریف حالات بار استاتیکی زلزله



شکل ۱۱- پنجره مشخصات مقطع C برای سازه LSF

نوع سازه	بار مرده $kg/m^2$			بار زنده $kg/m^2$			بار برف $kg/m^2$
	سقف طبقه	راه پله	دیوار جانبی	سقف طبقه	راه پله	دیوار جانبی	
بتنی و فولادی	۶۳۰	۷۰۰	۲۸۰	۲۰۰	۳۵۰	-	۱۵۰
LSF	۳۰۰	۷۰۰	۱۲۰	۲۰۰	۳۵۰	-	۱۵۰

جدول ۲: جدول خلاصه بارهای ثقلی

نوع سازه	T	TS	N	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub> × N	I	A	Ru	C
بتنی	۰/۳۸۲۸	۰/۷	۱	۲/۷۵	۲/۷۵	۱	۰/۳	۵	۰/۱۶۵
فولادی	۰/۲۷۲۶	۰/۷	۱	۲/۷۵	۲/۷۵	۱	۰/۳	۵/۵	۰/۱۵
LSF	۰/۲۷۲۶	۰/۷	۱	۲/۷۵	۲/۷۵	۱	۰/۳	۴	۰/۲۰۶۲

جدول ۳: محاسبه ضریب زلزله هر یک از سازه ها

سازه	وزن کل سازه (ton)	برش پایه (ton)	تغییر مکان بار EX (m)	تغییر مکان بار Ey (m)	تغییر مکان مجاز
بتنی	۹۹۸/۲۶	۱۶۴/۷۱	۰/۰۰۰۵۶	۰/۰۰۰۴۹	۰/۰۰۵۵۵
فولادی	۵۶۲/۶	۸۴/۳۹	۰/۰۰۱۹۴	۰/۰۰۱۸۹	۰/۰۰۵
LSF	۱۹۲/۲۳	۳۹/۵	۰/۰۰۰۳۶	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۷۱۴

جدول ۴: نتایج تحلیل استاتیکی خطی

دلیل اینکه در این روش مبنای تغییر مکان فرض شده این است که با وارد شدن به ناحیه غیرخطی این تغییر شکل‌ها هستند که تعیین کننده رفتار سازه می‌باشند، زیرا با ورود به ناحیه غیرخطی یعنی پس از تسلیم عضو، با افزایش نیروهای کوچک تغییر شکل‌های بزرگ داریم. [۴۱]

از روش تحلیل استاتیکی غیرخطی در سازه‌هایی می‌توان استفاده نمود که در آنها اثر مودهای بالا عمده نباشد. بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰، برای تعیین این موضوع ضروری است سازه ساختمان دو بار با استفاده از روش تحلیل دینامیکی طیفی تحلیل شود. در بار اول با استفاده از روش تحلیل دینامیکی طیفی تحلیل شود. در بار اول تنها مود اول سازه در نظر گرفته شده و در بار دوم تمام مودهای نوسانی که مجموع جرم مؤثر آنها حداقل ۹۰٪ جرم کل سازه است باید در نظر گرفته شود. در صورتیکه نتایج تحلیل دوم نشان دهد نیروی برشی در طبقه‌های بیش از ۳۰٪ از نیروی برشی حاصل از تحلیل اول بزرگتر است، این امر به معنی عمده بودن اثر مودهای بالای سازه است. [۴]

در این پژوهش به منظور بررسی احداث سازه LSF و عملکرد این سازه در مقایسه با سازه‌های فولادی و بتنی متداول در شهر اهر از بین روش‌های تحلیل غیرخطی، از روش تحلیل استاتیکی غیرخطی pushover به دلیل قابلیت هدفگذاری بر تغییر مکان مناسب منطقه لرزه‌خیزی چون شهر اهر، سرعت بالا این روش و رواج فراوان آن از این روش استفاده گردیده و ضمن بررسی تحلیل غیرخطی هر یک از سازه‌ها فولادی، بتنی و LSF، تغییر مکان هر یک از سازه‌ها و نیرو و متناظر با تغییر مکان هدف بررسی و همچنین تشکیل مفصل پلاستیک در یک از سازه‌ها و وضعیت عملکردی سازه پس از آن و جذب انرژی لرزه‌ای هر یک از سازه‌ها نیز ارائه گردیده است.

#### ۸-۶ تغییر مکان هدف

همان طور که بیشتر نیز اشاره گردید روش استاتیکی غیر خطی (پوش‌ور) مبتنی بر وارد نمودن رکورد های شتاب زلزله واقعی یا طیف‌های طرح ساخته شده، برای هر سازه جابه‌جایی مشخصی محاسبه شده و سازه تا رسیدن به آن جابه‌جایی پوش داده می‌شود.

تفاوت عمده این روش تحلیل با سایر روش‌ها در این است که در روش‌های دیگر نیروی ثابتی تحت عنوان برش پایه به سازه اعمال می‌گردد و پس از توزیع این نیرو در تراز هر طبقه، خروجی‌هایی از قبیل ممان‌ها، برش‌ها، تغییر شکل سازه و... حاصل می‌گردد. اما در

#### ۸-۴ رفتار غیرخطی در سازه‌ها

تحت اثر بارگذاری زلزله ماکزیمم ماکزیموم رفتار اغلب سازه‌ها به استثنای سازه‌های خاص که برای رفتار الاستیک (خطی) طراحی می‌شوند به صورت غیرخطی می‌باشد؛ بدین معنی که در بسیاری از اعضای سازه مفصل پلاستیک تشکیل خواهد شد. به عبارت بهتر در مقاطعی از اعضا تنش‌ها و کرنش‌ها از حدود الاستیک مصالح تشکیل دهنده فراتر رفته و رفتار عضو در آن مقطع به صورت غیرالاستیک خواهد بود. رفتار منحنی نیرو-تغییر مکان و تنش-کرنش مصالح قبل از رسیدن به حد تسلیم به صورت الاستیک و پس از آن به صورت غیر الاستیک خواهد بود. در ناحیه الاستیک ارتباط میان تنش و کرنش به صورت خطی می‌باشد یعنی رابطه بین تنش و کرنش با عدد ثابتی به نام مدول الاستیسیته تعیین می‌گردد ولی در ناحیه غیرالاستیک منحنی تنش و کرنش به صورت خطی نیست و در حقیقت مدول الاستیسیته در این حالت متغیر است [۴۰]

تحلیل غیرخطی سازه‌ها در برابر زلزله به دور روش تحلیل استاتیکی غیرخطی و تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی قابل انجام می‌باشند. روش‌های تحلیل غیرخطی برای تخمین سازه و کارها (مکانیزم‌های) خمیری مورد انتظار، توزیع آسیب‌های وارده و ارزیابی عملکرد سازه قابل استفاده می‌باشند. [۴]

#### ۸-۵ تحلیل استاتیکی غیرخطی

در روش‌های تحلیل خطی نیروی وارد بر سازه شناسایی می‌شود تا جابجایی‌های سازه و نیروهای وارد بر اعضا را به دست آورده شود؛ و از این طریق سازه را طراحی گردد؛ اما در روش تحلیل استاتیکی غیرخطی این قضیه برعکس است به این معنا که سازه برای یک تغییر مکان هدف طراحی می‌گردد.

تحلیل استاتیکی غیرخطی یک سازه با اعمال بارهای ثقلی ثابت و بارهای جانبی رانشی انجام می‌شود. اثر  $P - \Delta$  نیز در انجام این تحلیل باید در نظر گرفته شود. از این روش می‌توان برای ارزیابی عملکرد سازه در تغییر مکان هدف و نیز محاسبه مقدار ضریب اضافه مقاومت سازه استفاده کرد.

در این روش با اعمال یک نیروی مشخص در مرکز جرم بام، ساختمان را به تدریج جابه‌جا می‌کنیم تا به اندازه تغییر مکان معینی (تغییر مکان هدف) جابه‌جا شود، حال نیروهای ایجاد شده در اعضا را محاسبه می‌گردد. اسم این روش، Pushover می‌باشد. بنابراین در این روش تغییر مکان هدف را داشته و نیرو را بدست می‌آوریم.

## ۷-۸ ایجاد مفصل پلاستیک در تحلیل استاتیکی غیر

### خطی

با افزایش مقدار لنگر خمشی وارده، شیب نمودار لنگر- انحناء افزایش یافته و این موضوع نشان دهنده آن است که سرعت تغییر انحناء نسبت به لنگر خمشی وارده و کاهش سختی مقطع بیشتری باشد. زمانی که مقطعی از عضو تحت چنین شرایطی قرار گیرد و تمامی تارهای مقطع، وارد ناحیه رفتاری پلاستیک شوند (دچار تسلیم شوند) ، چنین مقطعی از یک عضو تحت خمش، دیگر قادر به تحمل ممان باشد های بیشتر نمی باشد. و بدین ترتیب ممکن است در نقاطی از سازه و به طور خاص در محاطات سازه مفصل پلاستیک تشکیل گردد. در این بخش ضمن معرفی سطوح عملکردی به وضعیت عملکردی هر یک از سازه‌ها پس از اعمال نیرو اشاره می‌گردد. [۴۲]

مطابق استاندارد ۳۶۰ سازمان برنامه و استاندارد ارزیابی و بهسازی لرزه‌ای سازه‌های موجود آمریکا (ASCE41) سطوح عملکرد لرزه ای سازه عبارت است از: [۴۳-۴۴]

- **خدمت رسانی بی وقفه (Operational performance)**

در حالت عملکردی خدمت رسانی بی وقفه (Operational) که بالاترین سطح عملکردی یک سازه است، تغییر شکل‌ها در محدوده الاستیک بوده و پس از پایان زلزله اجزا به حالت قبلی خود بر می‌گردند. سختی و مقاومت اعضای سازه‌ای اساساً تغییری نمی‌کند. ترک‌های بسیار جزئی در اعضای سازه‌ای، نما، تیغه‌ها و سقف‌ها ایجاد می‌شود. تمام سیستم‌های لازم برای عملکرد ساختمان فعال باقی می‌مانند. خرابی‌های ناچیز ایجاد شده و سیستم تاسیسات و برق رسانی فعال باقی می‌مانند. [۴۳]

- **استفاده بی وقفه Immediate Occupancy performance**

در حالت قابلیت استفاده بی‌وقفه (IO) ، اعضا سازه‌ای عملکردی همچون سطح عملکرد قابلیت خدمت رسانی بی‌وقفه دارند و تغییر شکل‌های نسبی ماندگار وجود ندارد اما در مورد اجزای غیرسازه‌ای، تاسیسات ساختمان دچار خرابی های ناچیز مکانیکی می‌شوند و ممکن است اختلال ایجاد گردد به گونه‌ای که نیاز به تعمیر جزئی خواهند داشت. [۴۴]

روش پوش‌اور با دادن مقدار مشخصی جابه‌جایی به نام تغییر مکان هدف، سازه تحت نیروهای متفاوتی که از این جابه جایی حاصل می‌گردد، آنالیز و تحلیل می‌شود و علاوه بر سه خروجی بالا ظرفیت کل سازه را تحت منحنی ظرفیت سازه و نیرو تغییر شکل نیز حاصل می‌گردد، که از این منحنی می‌توان اطلاعات مفیدی در مورد مقاومت، شکل پذیری و سختی سازه به دست آورد. تعیین مقدار تغییر مکانی که انتظار می‌رود تحت زلزله مورد نظر به سازه‌های با رفتار غیرخطی اعمال شود تغییر مکان هدف، گفته می‌شود. در این پژوهش براساس آیین نامه ۲۸۰۰ از فرمول ذیل جهت محاسبه تغییر مکان استفاده شده است.

$$\delta_t = C_0 C_1 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g$$

رابطه (۲)

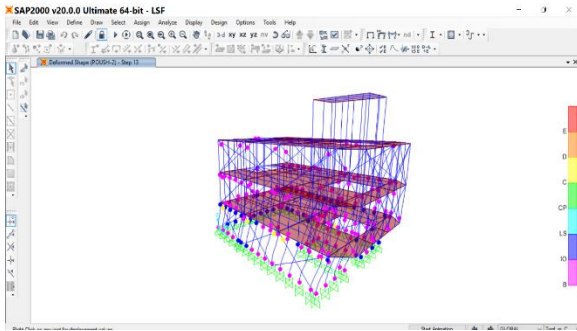
که در آن  $T_e$  زمان تناوب اصلی مؤثر ساختمان برای امتداد مورد نظر،  $g$  شتاب ثقل و  $S_a$  شتاب طیفی در زمان تناوب اصلی مؤثر است.

بر همین اساس و پس از مدل سازی براساس مطالب فوق و آیین نامه ۲۸۰۰ مقدار تغییر مکان هدف و نیرو متناظر برای هر یک از سازه‌ها به شرح جدول ۵ بدست آمده است.

نوع سازه	تغیر مکان هدف (سانتی متر)	نیرو و متناظر با تغییر مکان هدف (تن)
بتنی	۱۲/۳	۳۸۳/۶۹
فولادی	۱۲/۶	۳۱۳/۸۸
LSF	۲/۲	۱۴/۵

جدول ۵: تغییر مکان هدف و نیروی متناظر با آن برای هر یک از سازه‌ها

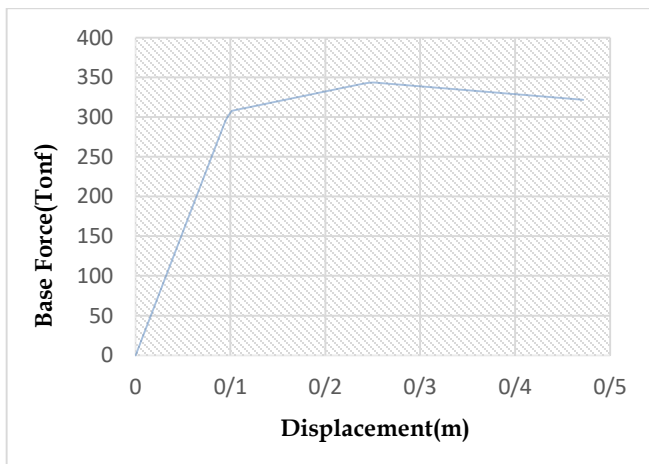
مفاصل B-IO وجود دارد در این مفاصل نشاندهنده قابلیت استفاده بی وقفه از ساختمان می‌باشد.



شکل ۱۴- وضعیت مفصل پلاستیک در سازه LSF

### ۸-۸ بررسی جذب انرژی سازه ها توسط مساحت زیر منحنی پوش آور

انرژی جذب شده توسط سازه ه عبارت است از مساحت زیر نمودار پوش اور سازه که بدین منظور پس از مدل شدن و تحلیل غیرخطی هریک از سازه‌ها در نرم افزار SAP2000 و رسم نمودار پوش اور هریک از سازه‌ها اعداد نمودار را خروجی عددی نمودار را گرفته و در نرم افزار اکسل پیاده و با رسم منحنی و تقسیم سطح زیر منحنی به سطوح کوچکتر و قابل اندازه‌گیری، به عنوان مثال لوزی‌های کوچک (روش لوزی) و جمع مساحت آنها مساحت زیر نمودار نیرو تغییر مکان را که برابر بیانگر مقدار انرژی جذب شده توسط سازه می‌باشد حاصل می‌گردد. در ادامه نمودار نیرو تغییر مکان هر یک از سازه ها به همراه جدول مقدار انرژی جذب شده توسط سازه ها ارائه می‌گردد.



شکل ۱۴- نمودار نیرو-تغییر مکان سازه فولادی

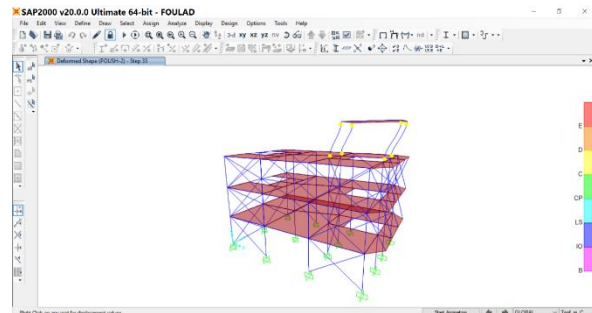
### • ایمنی جانی (Life Safety Performance)

سطح عملکرد ایمنی جانی به سطح عملکردی اطلاق می‌شود که پیش بینی می‌شود در اثر وقوع زلزله محتمل، در سازه خرابی ایجاد شود اما میزان خرابی ها به اندازه‌ای نباشد که منجر به خسارت جانی شود. [۴۳-۴۴]

### • آستانه فروریزش (Collapse Prevention Performance)

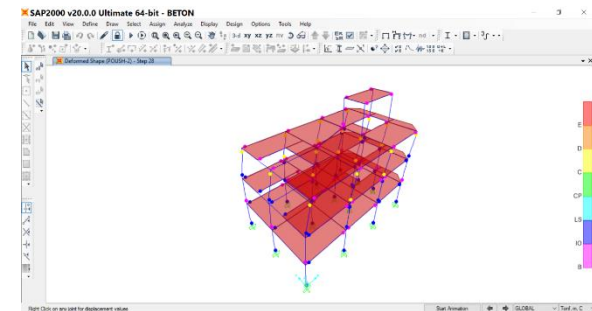
سطح عملکرد آستانه فرو ریزش به سطح عملکردی اطلاق می‌شود که پیش‌بینی شود در اثر وقوع زلزله محتمل، خرابی گسترده ای در سازه ایجاد شود. در این حالت تمام اعضای اصلی زیر بارهای قائم، باید بارهای وارد به خود را تحمل کنند و تنها خطر قابل ملاحظه، آسیب های ناشی از سقوط آوار است. با وجود این انتظار می‌رود که ساختمان فرو نریزد و تلفات جانی به حداقل برسد. [۴۳]

در سازه فولادی مطابق شکل در تنها در استپ آخر ستون‌های خرپشته مفصل پلاستیک تشکیل شده است که این مفصل نشان دهنده عبور از سطح عملکردی آستانه فروریزش می‌باشد.



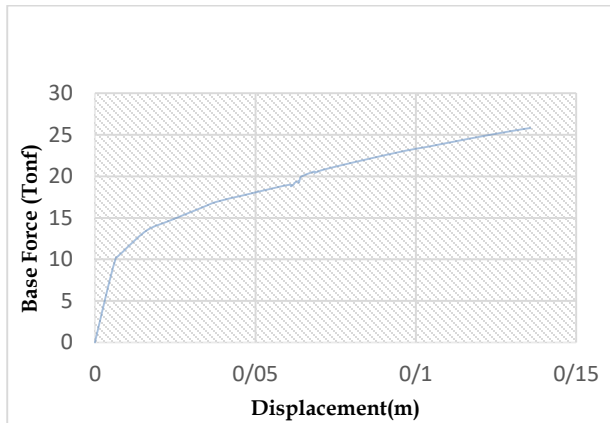
شکل ۱۲- وضعیت مفصل پلاستیک در سازه فولادی

در سازه بتنی مطابق شکل، همانگونه که مشاهده می‌شود مفاصل B-IO وجود دارد. این مفاصل نشاندهنده قابلیت استفاده بی وقفه از ساختمان می‌باشد.

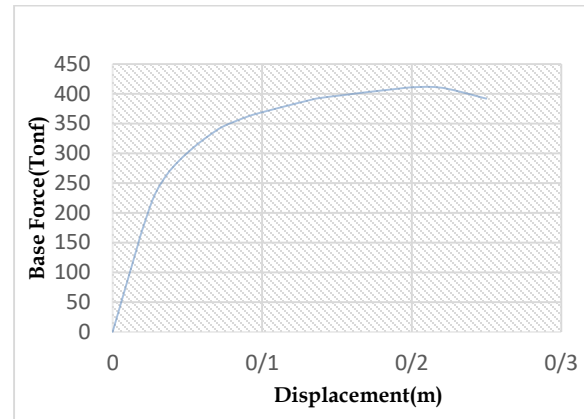


شکل ۱۳- وضعیت مفصل پلاستیک در سازه بتنی

در سازه LSF مطابق شکل، همانگونه که مشاهده می‌شود



شکل ۱۶- نمودار نیرو-تغییر مکان سازه LSF



شکل ۱۵- نمودار نیرو-تغییر مکان سازه بتنی

انرژی جذب شده (ژول بر متر)	مساحت تقریبی زیر نمودار	نوع سازه
۸۴۰۱۳۵/۸۸	۸۵/۶۷۶	بتنی
۱۳۵۰۱۷۹/۵	۱۳۷/۶۸۶۰	فولادی
۷۳۰۸/۸۹	۰/۷۴۵	LSF

جدول ۵- انرژی جذب شده توسط هریک از سازه‌ها

## ۹- نتیجه گیری

این پژوهش به بررسی مطالعات صورت گرفته در خصوص رفتار لرزه‌ای سازه‌های LSF و همچنین مدلسازی و مقایسه عملکرد لرزه‌ای سازه LSF با سایر سازه‌های معمول فولادی و بتنی در شهر اهر نموده بر این اساس نتایج ذیل حاصل گردید: به طور کلی و بر اساس مطالعات مورد بررسی سازه‌های سبک فولادی LSF کمتر از نصف وزن ساختمان‌های فولادی معمول و کمتر از ۴۰٪ ساختمان‌های بتنی وزن دارند. در این پژوهش نیز به دلیل ابعاد پلان مورد بررسی و نوع سقف (دال) برای هر دو سازه فولادی و بتنی وزن ساختمان سبک فولادی، کمتر از ۲۰ درصد وزن ساختمان بتنی و

با توجه به موقعیت لرزه‌ای ایران سازه‌های پیش‌ساخته از جمله سازه‌های LSF با توجه به ویژگی‌هایی نظیر وزن سبک، سرعت اجرا، پایداری و مقاومت در برابر زلزله و حریق، می‌تواند به عنوان گزینه مناسب برای ساخت سازه‌های مسکونی و حتی درمانی در مناطق لرزه‌خیزی همچون اهر باشد به علاوه این سازه‌ها به دلیل ماهیت پیش‌ساخته بودن و سریع‌الحدائی آنها قابلیت استفاده در اسکان‌های اضطراری و موقت پس از وقوع زلزله را نیز به نحو مناسبی فراهم می‌آورند.

زلزله. آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، ۲۸۰۰ ایران، ویرایش ۴. ش. ض-۱۳۹۴، ۲۵۳.

[5] Corsellis, T.; Vitale, A. (2005). "Transitional Settlement, Displaced Populations". University of Cambridge, shelter project, Shelter Center, Oxfam, 11 - 17.

[۶] بمانیان، م، بختیار یان، ن، ۱۳۹۲، «مقایسه‌ی ظرفیت های نظام ساختمانی LSF با ICF برای ایجاد اسکان موقت در شرایط بحران پس از زلزله»، نشریه مدیریت بحران، شماره چهار، ص ۴۳-۵۰.

[۷] Quarantelli, E. (1995) "Pattern of shelter & housing in US disaster" Disaster Prevention Manag : 3-4.

[۸] دستورالعمل الزامات سیستم ساختمانی قاب های سرد نورد شده (LSF) به شیوه اجرای طبقه ای، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.

[۹] عامری، ب، میرزایی فرد، ح، شاپوری، م، و افصحی، آ و علیجانی، ۱۳۹۹، «بررسی موردی فنی و اقتصادی انواع سقف های اینتل دک، پیش تنیده، ساخته شده با قاب های فولادی سرد نورد شده، مرکب فولاد و بتن سبک، قالب تونلی، سیستم قالب عایق ماندگار، فضایی و چوبی رایج در سازه های ساختمانی (بخش سوم)»، دومین کنفرانس ملی نوآوری در مهندسی معماری و شهرسازی، تهران، ایران.

[۱۰] نشریه ۶۱۲ سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۹۱، «آیین نامه طراحی و اجرای سازه های فولادی سرد نورد - LSF (بخش سازه)»، نظام فنی اجرایی سازمان برنامه و بودجه، تهران، ایران.

[۱۱] قویدل شرکانلو، ح. ۱۳۹۹. «بررسی وجه اقتصادی و مقاومت لرزه ای سازه های سبک فولادی (LSF)، در مقایسه با ساختمان های معمول». کارشناسی ارشد، دانشگاه موسسه آموزش عالی اترک، قوچان، ایران.

[۱۲] طهمورثی، ح، ۱۳۹۲، بررسی رفتار لرزه‌ای سازه‌های فولادی سبک LSF و مقایسه آن با ساختمان های بتنی و فولادی متداول، کارشناسی ارشد دانشگاه اوشیرانی بابل، ایران.

[13] H.-W. Tian, Y.-Q. Li, C. Yu, (2015) Testing of steel sheathed cold-formed steel trussed shear walls, Thin-Walled Struct. 94 280-292.

[14] Seismic Loads: Guide to the Seismic Load Provisions of ASCE 7-05, 2010.

[15] Gad, E. F., Duffield, C. F., Hutchinson, G. L., Mansell, D. S., & Stark, G. (1999). "Lateral performance of cold-formed steel-framed domestic structures". Engineering Structures, 21(1), 83-95.

کمتر از ۳۰ درصد سازه فولادی وزن دارد. بر اساس تحلیل استاتیکی خطی مقدار برش پایه وارد بر سازه LSF نسبت به دو سازه فولادی و بتنی کمتر می باشد.

به علاوه ضریب زلزله در سازه LSF بیشتر سازه فولادی و سازه بتنی می باشد. تغییر مکان نسبی ساختمان LSF در تحلیل پوش اور نسبت به ساختمان های بتنی و فولادی کمتر می باشد و به همین دلیل مقدار انرژی جذب شده آن از سازه های بتنی و فولادی کمتر می باشد. مقدار جابجایی نسبی در ساختمان فولادی سبک همانند ساختمان های فولادی معمولاً با افزایش تعداد طبقات افزایش می یابد اما در ساختمان بتنی معمولاً جابجایی نسبی در طبقات فوقانی کاهش می یابد.

در مجموع باتوجه به داده ها و نتایج تحلیل غیرخطی مشاهده گردید که سازه LSF با وزن کمتر، جذب انرژی کمتر و تغییر مکان کمتری نسبت به سازه بتنی و فولادی دارد اما سازه فولادی جابه جایی تقریباً برابری با سازه بتنی دارد ولی میزان برش و وزن آن کمتر از سازه بتنی می باشد اما در چند نقطه عملکرد مطلوبی نداشت و در سطح استانه فروریزش بود اما در سازه LSF تمام مفاصل در حالت عملکرد استفاده بی وقفه بود.

وزن ساختمان های LSF یک ششم ساختمان های بتنی و یک پنجم تا یک چهارم ساختمان های فلزی است. و از آنجایی که یک ساختمان هر چه قدر سبکتر باشد نیروی کمتری را نیز جذب می کند بنابراین در زمان وقوع زلزله کمترین آسیب را می بیند به علاوه مزیت هایی همچون. حداقل پرت مصالح به کار گرفته شده در حین ساخت به دلیل طراحی بهینه صنعتی صرفه اقتصادی مقاومت بالا در برابر زلزله به لحاظ شکل پذیری خوب، سرعت احداث بالا در کنار استحکام بالا این سیستم سازه های را تبدیل به مناسب جهت استفاده در منطق لرزه خیزی چون شهر اهر مینماید.

## ۱۰- مراجع

[۱] سرور، ه. و کاشانی اصل، ا. ۱۳۹۵، «ارزیابی آسیب پذیری کالبدی شهر اهر در برابر بحران زلزله»، نشریه آمایش محیط، دوره ۹، ش (۳۴).

[۲] زهرانی، م. ۱۳۸۶، «پذیری لرزه ای ساختمان. ارزیابی کیفی آسیب پذیری لرزه ای ساختمان های شهر بندرعباس»، دومین همایش مقابله با سوانح طبیعی، تهران، ایران.

[۳] پسند، ف. ۱۳۹۶. «عناصر پیش ساخته و قطعات مدولار»، نشر سیمای دانش، تهران، ایران.

[۴] کمیته دائمی بازنگری آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر

experimental investigation and numerical modeling. *Thin-Walled Structures*, 96, 337-347.

[28] Tavares, V., Soares, N., Raposo, N., Marques, P., & Freire, F. (2021). Prefabricated versus conventional construction: Comparing life-cycle impacts of alternative structural materials. *Journal of Building Engineering*, 41, ۱۰۲۷۰۵.

[۲۹] آجرلو، م. حسنی، ن. ۱۳۹۳ «ارزیابی عملکرد لرزه ای ساختمانهای با قاب فولادی سبک سرد نورد با روش تحلیل دینامیکی» کارشناسی ارشد، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران.

[۳۰] اردستانی، م. ۱۴۰۰، «مقایسه فنی سازه های LSF با سایر ساختمانهای موجود جهت کاهش خسارت ناشی از زلزله در ایران»، ششمین همایش بین المللی عمران، معماری و شهر سبز پایدار، همدان.

[۳۱] عامری، ب، میرزایی فرد، ح، و شاپوری، م و افضحی، آ و علیجانی، ا. ۱۳۹۹، «بررسی موردی فنی و اقتصادی انواع سقف های اینتل دک، پیش تنیده، ساخته شده با قاب های فولادی سرد نورد شده، مرکب فولاد و بتن سبک، قالب تونلی، سیستم قالب عایق ماندگار، فضایی و چوبی رایج در سازه های ساختمانی (بخش سوم)»، دومین کنفرانس ملی نوآوری در مهندسی معماری و شهرسازی، تهران،

[۳۲] وثوقی فر، ح. ۱۳۹۱، «بررسی کاربرد سیستم LSF در سبک سازی موثر سازه و مقایسه با سیستم های رایج در کشور»، کنفرانس ملی قاب های فولادی سبک.

[۳۳] اربابیان، ه. و دیگران، ۱۳۹۰، «مطالعه و بررسی سیستم ساختمانی سبک فولادی»، مرکز تحقیقات راه و مسکن، تهران.

[۳۴] دلال اوغلی، ع. ۱۳۷۱، «ژئومورفولوژی چاله اهر»، پایان نامه درجه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ایران.

[۳۵] رنجبر، م. رشیدزاده، م. ۱۳۹۰، «محدودیت های شهرستان اهر و تاثیر آن در پراکنش آبادی ها»، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال ۴ شماره ۱۴، ۲۷-۴۲.

[۳۶] فخرایی، ز. پورکرمانی، م. موید، م. ۱۳۸۸، «زمین شناسی ساختمانی، زلزله خیزی و لرزه زمین ساخت سد خاکی ورزقان میانه». فصلنامه علمی پژوهشی زمین و منابع واحد لاهیجان، ۱، ۵۷-۶۴.

[۳۷] سرور، ه. و کاشانی اصل، ا. ۱۳۹۵. «ارزیابی آسیب پذیری کالبدی شهر اهر در برابر بحران زلزله». آمایش محیط، ۹(۳۴)، ۸۷-۱۰۸.

[۳۸] مبحث ششم مقررات ملی ساختمان. (۱۳۹۸). تهران. [۳۹] برقانی، م. و خورشود، ح و خالقی، جلال، ۱۳۹۳، «مدلسازی، بارگذاری و طراحی سیستم ساختمانی قاب سبک فولادی (LSF) توسط نرم افزار SAP2000، همایش ملی مهندسی عمران، شهرسازی و توسعه پایدار، تهران.

[16] Xu, L., & Martinez, J. (2006). Strength and stiffness determination of shear wall panels in cold-formed steel framing. *Thin-Walled Structures*, 44(10), 1084-1095.

[17] P. Sharafi, et al., (2017) Automated spatial design of multi-story modular buildings using a unified matrix method, *Autom. Constr.* 82 31-42.

[18] Shamim, I., & Rogers, C. A. (2013). "Steel sheathed/CFS framed shear walls under dynamic loading": numerical modelling and calibration. *Thin-Walled Structures*, 71, 57-71

[19] Dubina, D. (2008). Behavior and performance of cold-formed steel-framed houses under seismic action. *Journal of Constructional Steel Research*, 64(7-8), ۸۹۶-۹۱۳.

[20] Uang, C. M., Sato, A., Hong, J. K., & Wood, K. (2010). Cyclic testing and modeling of cold-formed steel special bolted moment frame connections. *Journal of Structural Engineering*, 136(8), 953-960.

[21] Casafont, M., Arnedo, A., Roure, F., & Rodríguez-Ferran, A. (2006). Experimental testing of joints for seismic design of lightweight structures. Part 1. Screwed joints in straps. *Thin-Walled Structures*, 44(2), 197-210.

[22] Casafont, M., Arnedo, A., Roure, F., & Rodríguez-Ferran, A. (2006). Experimental testing of joints for seismic design of lightweight structures. Part 2: Bolted joints in straps. *Thin-walled structures*, 44(6), 677-691.

[23] Zeynalian, M., & Ronagh, H. R. (2012). A numerical study on seismic performance of strap-braced cold-formed steel shear walls. *Thin-walled structures*, 60, 229-238.

[24] Zeynalian, M., & Ronagh, H. R. (2015). Seismic performance of cold formed steel walls sheathed by fibre-cement board panels. *Journal of Constructional Steel Research*, 107, 1-11.

[۲۵] سلجوقی، ز. آقاچان زاده، م. و مشایخی، م. ۱۴۰۱، «بررسی سیستم های مقاوم جانبی در سازه های LSF»، دومین کنفرانس بین المللی پژوهش ها و دستاوردهای نو در علوم، مهندسی و فناوری های نوین.

[۲۶] احسان پور، ح. بهرنیا، ک. ۱۳۹۰، «بررسی لرزه ای قابهای سبک فولادی LSF مهاربندی شده»، اولین کنفرانس بین المللی ساخت سازه شهری در مجاورت گسل های فعال، تبریز.

[27] Niari, S. E., Rafezy, B., & Abedi, K. (2015). Seismic behavior of steel sheathed cold-formed steel shear wall:

[۴۰] هاشمی، ج، باجی، ح، (۱۳۸۳)؛ «تکنیک‌های مدلسازی، تحلیل و طراحی کامپیوتری سازه‌ها در قالب پروژه‌های کاربردی با استفاده از برنامه‌های SAP2000-ETABS» انتشارات متفکران، تهران.

[۴۱] زاهدی، م، ازنیر، س، کرمی، نوش‌آفرین؛ (۱۴۰۰)، «تحلیل خطی و غیر خطی سازه» گروه صنعتی سبزسازه، تهران.

[۴۲] مجاهدی، سعید و رحامی، ح و شهواری، عاطفه، ۱۳۹۹، بررسی رفتار لرزه ای سیستم سازه‌ای LSF در مقایسه با سیستم معمولی سازه ای، ششمین کنفرانس بین المللی عمران، معماری و شهرسازی، تهران.

[۴۳] دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه ۳۶۰)

، سازمان برنامه و بودجه، تهران.

[44] (ASCE41), 2017: Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings.

# Evaluation of the use of light steel structures (LSF) in earthquake-prone region (case study of Ahar city)

Nemat hassani\*, Ali Taheri, Mohammad Mahdi Kermani Nejad

\*Associate Professor, Shahid beheshti University, Tehran, Iran

## Abstract

The industrialization of the building has always been mentioned as an important part of the development of the construction field, and today, with the increasing population and the need to provide housing with a reasonable cost and good quality, the importance of the industrialization of the housing construction has already been raised. It is obvious that one of the construction systems that has developed significantly in recent years at the global level is the cold-rolled light steel construction system (LSF). Cold-rolled steel building system is one of the systems that, although its origin was rooted in environmental concerns and, accordingly, it was defined as an alternative option for wooden buildings, but gradually it has a special place among the system. Building construction has been found. In the country of Maniz, due to the high capacity of steel production and advantages such as high flexibility, low weight of the structure and accessories, and the fast production method, it has made cold-rolled light steel buildings a reliable option in the construction industry. become a country Especially in seismic areas, this can be used as an alternative to traditional construction methods in order to reduce possible earthquake losses in these areas while strengthening buildings. For this purpose, this research investigates the performance and behavior of LSF structures in comparison With conventional concrete and steel structures, taking into account the seismic characteristics of Ahar city, by modeling the structure and examining the behavior of the structure, taking into account the seismic conditions of Ahar city, a better comparison is made regarding the behavior of this structure compared to conventional structures. There should be an earthquake in the city.

**Keywords:** Earthquake, AHAR, light steel frame system (LSF), SAP2000 modeling, linear and non-linear static analysis, seismic performance, energy absorption