

بررسی روش‌های مقاوم‌سازی با کاربرد هوش مصنوعی

جلال اصغری^۱، پرهام معمارزاده^۲

- ۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران، jalal.asghari@iau.ac.ir
۲- دانشیار، گروه مهندسی عمران، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران، parham.memarzadeh@iau.ac.ir

چکیده

در دنیای امروز تشخیص عیوب ساختمانی در دراز مدت و برطرف کردن این عیوب امری ضروری است. اما برای رسیدن به این دانش ابتدا باید با مفاهیم مهم اشناییت پیدا کرد و مزایا و معایب مرتبط با هر یک از روش‌ها را بررسی و سپس به کار گرفت. با توجه به اینکه بیشتر کشورها در خطر زلزله و آسیب سازه‌ای قرار دارند بنابراین فراگیری این دانش و به کارگیری آن هر روز بیشتر از دیروز احساس خواهد شد. نکته‌ای که باید به آن توجه شود این است که دنیا به دنبال نوآوری و روش‌های نوین است. روش‌هایی که در کوتاه‌ترین زمان و با کمترین هزینه بیشترین بازه را از خود نشان دهد. هوش مصنوعی و ابزارهایی که در اختیار ما قرار داده است، توانسته که دروازه‌ای جدید به سوی جهانی نو برای بشریت باز کند و محققین با کنجکاوی در این راه قدم گذاشته‌اند. جهان امروز به دنبال مصالح هوشمند، روش‌های کم هزینه و کارآمد است. در این مقاله سعی بر این شده است که به تعاریف پایه پرداخته شود و پس از آن اشاره‌ای کوتاه به کاربرد هوش مصنوعی در مقاوم‌سازی شود چراکه ذهنیتی برای عناوین جدید پژوهشی و پایان‌نامه‌ها در آینده شود.

واژه‌های کلیدی: مقاوم‌سازی، سازه‌ی بتنی و فولادی، هوش مصنوعی

۱- مقدمه

امروزه ساختمان‌هایی که ساخته می‌شود متشکل از اسکلت بتنی و فولادی است. در صنعت ساختمان سازی انتخاب نوع سازه از سوی کارفرمایان همیشه یکی از دغدغه‌های مهم بوده و بررسی مزایا و معایب سازه‌های فولادی و بتنی و داشتن اطلاعات کامل در مورد آن‌ها در جهت ارائه‌ی طراحی دقیق گامی مهم به شمار می‌آید. علاوه بر این اشنایی با سازه‌های فولادی و بتنی این امکان را فراهم می‌سازد که در صورت نیاز به مقاوم‌سازی در آینده، با دیدی وسیع اقدام به مقاوم‌سازی صورت گیرد. از آنجایی که ایران کشوری زلزله‌خیز است و بر روی کمرنده‌های مختلفی واقع شده است بنابراین در گذر زمان عضوهای سازه‌ای دچار آسیب‌هایی خواهند شد و مصالح‌های به کاررفته در سازه‌ها خاصیت خود را از دست خواهند داد و انجاست که دانش مقاوم‌سازی و پیدا کردن آسیب‌های سازه‌ای اهمیت فراوانی پیدا می‌کند. در این مقاله سعی بر این شده است که با مفاهیم پرکاربرد و مهم اشناییت پیدا کرده و ذهنیتی جهت انجام پژوهش‌های مهم در آینده ایجاد شود.

۲- پیشینه پژوهش

کارکن و محمدی در سال (۱۳۹۹)، پژوهشی در زمینه‌ی بهسازی و مقاوم‌سازی لرزه‌ای سازه‌های بتنی سبک با بکارگیری مصالح نوین انجام دادند. مرمت یا مقاوم‌سازی ساختمان‌های بتنی در جهت تحمیل بارهای مضاعف صورت گرفته و در جهت افزایش شکل‌پذیری ساختمان به کمک مصالح با کیفیت و اجرای دقیق و صحیح صورت می‌گیرد. آن‌ها به معرفی کامپوزیت‌های FRP پرداخته و عامل اصلی و استفاده کم در مهندسی عمران را هزینه‌ی بالای آن دانسته‌اند [۱]. Formisano و همکاران در سال (۲۰۱۹)، پژوهشی در زمینه‌ی مقاوم‌سازی سازه‌های فولادی صنعتی که در طی رخداد زلزله‌های املیا آسیب دیده بودند، انجام

دادند. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها بیانگر این بود که مهاربند به کار برده شده تحت شرایط مختلف این قابلیت را دارا می‌باشند که سرویس‌دهی را بهبود ببخشند [۲]. کوزه‌گر و سرمستی در سال (۱۳۹۷)، پژوهشی در زمینه‌ی مقاوم‌سازی سازه‌های بنایی و کاربرد قاب مرکب انجام دادند. آن‌ها از یک سازه‌ی بنایی که حدود ۴۰ درصد در زلزله آسیب دیده است با در نظر گرفتن اقتصادی بودن و به کمک ETABS در جهت ایجاد روشی برای مقاوم‌سازی استفاده کردند [۳]. باقری و خادمی در سال (۱۳۹۴)، پژوهشی در زمینه‌ی سازه‌های فولادی و بتنی و مقایسه‌ی بین این دو انجام دادند. در این پژوهش به رفتار سازه‌ها در هنگام زلزله و همچنین پارامترهای نظیر زمان، هزینه و کیفیت را مد قرار گرفت [۴]. Simoncelli و همکاران در سال (۲۰۲۰)، پژوهشی در ارتباط با توسعه‌ی دستگاه‌های لرزه‌ای انجام دادند. در این پژوهش نقدی بر سیستم‌های جداسازی پایه برای انواع قفسه‌های ذخیره‌سازی فولادی صورت گرفته و چهار کاربرد مختلف سیستم‌های قبلی با سیستم‌های پیشنهادی مقایسه می‌شود [۵]. حیدری‌پور و ازلی‌فر در سال (۱۳۹۷)، پژوهشی در زمینه‌ی ارزیابی رفتار غیرخطی ستون‌های بتنی تقویت شده با frp و به کمک روش اجزای محدود انجام دادند. در این پژوهش از frp جهت بررسی شکل‌پذیری و مقاومت ستون‌های بتن‌ارمه و همچنین از تحلیل المان محدود و روابط مشخصه بتن در جهت بررسی رفتار سازه کمک گرفته شد. نتایج این پژوهش بیانگر این بود که frp در تقویت و افزایش مقاومت و اتلاف انرژی می‌تواند موثر و کارآمد باشد. [۶]. Camacho و همکارانش در سال (۲۰۱۸)، پژوهشی در زمینه‌ی طراحی لرزه‌ای سازه‌های فولادی به کمک اتصالات صلب انجام دادند. در این پژوهش یک روش طراحی PBSD به صورت خاص برای سازه‌های فولادی پیشنهاد می‌شود [۷].

Fang و همکاران در سال (۲۰۲۲)، مروری بر روی سازه‌های فولادی ارتجاعی انجام دادند و رویکردی مبتنی بر عملکرد و طراحی سازه‌های فولادی مورد بررسی قرار گرفت. به جای ارائه‌ی جمع‌بندی جامع از مطالعات صورت گرفته، بر مسائل فعلی و نیازهای آینده مرتبط با ساختمان‌های فولادی که از جانب نویسندگان ارائه شده تاکید دارد [۸]. میقاتی در سال (۱۳۹۹)، پژوهشی در زمینه‌ی دیواربرشی فولادی انجام داده و نتایج کار آن بیانگر این بود که به دلیل گستردگی در اتصالات و مصالح، تنش‌ها نسبت به دیگر سیستم‌ها از مقاومت بالایی در برابر بارهای جانبی برخوردار بوده و مخصوصاً در محیط پلاستیک عملکرد بهتری را شاهد خواهیم بود [۹]. Farra و Doebling و دیگر همکاران در سال‌های (۱۳۹۶-۱۳۹۸)، در زمینه‌ی روش‌های عیب‌یابی مبتنی بر ویژگی مودال پژوهش‌هایی انجام دادند [۱۰، ۱۱]. مهدی‌زاده و سیفی در سال (۱۳۹۷)، پژوهشی در زمینه‌ی مقاوم‌سازی قاب خمشی فولادی و تاثیر میراگرها انجام دادند. نتایج نشان‌دهنده‌ی این بود که میراگرها می‌توانند جاذب انرژی خوبی بوده و باعث بهبود رفتار اعضای اصلی ساختمان‌ها شده و سختی را نیز افزایش دهد [۱۲]. Landolfo و همکاران در سال (۲۰۱۸)، پژوهشی در زمینه‌ی سازه‌های فولادی سبک وزن و ارزیابی عملکرد لرزه‌ای آن‌ها در پروژه‌ی ایسا انجام دادند. کارپژوهشی آن‌ها با همکاری بین‌المللی بین دانشگاه‌ها و شرکت‌ها در جهت پاسخ‌گویی به سوالات مطرح شده بود [۱۳]. Chen و همکاران در سال (۲۰۱۴)، پژوهشی در زمینه‌ی آنالیز دینامیک تیر طره انجام دادند. در این پژوهش سیگنال‌های شتاب را در ۱۰ نقطه اندازه‌گیری کردند. در نهایت اقدامات اماری به کمک مودشکل‌های بدست آمده صورت گرفت و چنجه و مکان خرابی تعیین شد [۱۴]. طراحی در سال (۱۳۸۹)، پژوهشی در زمینه‌ی مقاوم‌سازی سازه‌ها و استفاده از بلوک‌های ایرکریست جهت سبک‌سازی انجام داد. در این پژوهش به معرفی کامل بلوک‌ها و مزیت و معایب آن‌ها پرداخته شد و مقایسه‌ای با مصالح سنتی صورت گرفت [۱۵]. Hu و همکارانش در سال (۲۰۲۰)، پژوهشی در زمینه‌ی ارزیابی قاب‌های فولادی لرزه‌ای کم مرتبه تشکیل شده از هسته‌های جاذب انرژی انجام دادند. نتایج کار آن‌ها نشان‌دهنده این بود که سیستم‌های scenario توانایی این را دارد که پاسخ لرزه‌ای رضایت بخشی به هنگام اصلاح پاسخ نشان دهد [۱۶]. باقری و صابری در سال (۱۳۹۴)، پژوهشی در زمینه‌ی تاثیر زاویه‌ی ورودی زلزله بر سازه‌های فولادی و بتنی انجام دادند. نتایج پژوهش آن‌ها بیانگر این بود که در هنگام رخداد یک زلزله‌ی ثابت، زاویه‌ی تاثیر زلزله باعث تغییر در عکس‌العمل ساز نیز می‌شود [۱۷]. Salawu و همکاران در سال (۱۹۹۷)، پژوهشی در زمینه‌ی عیب‌یابی مبتنی بر تغییرات فرکانس انجام دادند. یکی از مزیت‌های به کارگیری فرکانس‌ها، سادگی و هزینه‌ی کم آن‌ها می‌باشد [۱۸].

۳- انتخاب سازه

اصولا سازه‌ها به دونوع فولادی و بتنی تقسیم‌بندی می‌شوند. که انتخاب کدام یک از ساختمان‌ها به شرایط مختلفی بستگی دارد. این شرایط شامل: شرایط آب و هوایی، جنس خاک، اقتصادی بودن پروژه، سیستم سازه‌ای، خوردگی، اجرا و... بستگی دارد.

• سازه‌ی فولادی:

سازه‌های فولادی به دلیل اجرای سریع و بعضا تهیه و سفارش بعضی مقاطع توسط کارخانه‌ی سازنده و حمل آن به محل پروژه مورد استقبال خیلی از سازندگان، امروزه قرار گرفته است. اتصالاتی که در این نوع سازه مورد استفاده قرار می‌گیرد از نوع جوش یا پیچ می‌باشد که اجرای هریک از این دو نیازمند تجربه‌ی بالا می‌باشد. از مزایای این نوع سازه‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- سرعت اجرای کار
- وزن کمتر
- فضاگیری کمتر مقاطع و آزادی عمل مهندسین معمار
- انعطاف‌پذیری بالا نسبت به بتن
- امکان احداث بناهای پیش‌ساخته و آماده
- تخریب آسان و همچنین اضافه کردن راحت بخش‌های جدید پس از ساخت و نیازمند ترمیم
- کاهش هدر رفت مصالح
- عدم نیاز به آزمایشگاه جهت تست بتن
- عملکرد بیشتر در شرایط جوی متفاوت
- و...

و از معایب سازه‌های فولادی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- مقاومت کم فولاد در برابر آتش
- نیازمند نیروی با تجربه جهت جوشکاری یا کار با پیچ‌ها
- نیازمند آزمایش‌های لازم جهت کنترل جوش‌ها
- هزینه‌ی اولیه بالا
- کاهش عملکرد در مناطق مرطوب
- و...

• سازه‌ی بتنی:

سازه‌های بتنی امروزه محبوبیت خاصی پیدا کرده و دارای مزایای متعددی در ساختمان‌سازی می‌باشد و همین امر باعث شده است که مورد توجه سازندگان قرار بگیرد. نکته‌ای که باید به آن اشاره نمود نوع اتصالات در این سازه برخلاف سازه‌ی فولادی می‌باشد که از پیچ و مهره یا جوشکاری استفاده نمی‌شود. از اهمیت بتن تا به امروز مقالات و کتب متعددی توسط محققین به چاپ رسیده است که کاملاً نقاط قوت و ضعف بتن را مورد بررسی قرار داده‌اند. پارامترهای اصلی سازه‌های بتنی را می‌توان میلگرد و بتن دانست که ابتدا میلگردهای بافته می‌شود و سپس بتن ریخته می‌شود. از مزایای سازه‌های بتنی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- در برابر آتش مقاومت بالایی دارد
- اجرای مقاطع مختلف بدون محدودیت
- یکپارچه‌گی مصالح و پایداری بیشتر
- دسترسی آسان به مصالح
- طراحی آسان‌تر نسبت به سازه‌های فولادی و طراحی اتصالات سازه‌های فولادی
- مقاومت در برابر رطوبت و عدم نیاز به جوشکار
- ...

از معایب سازه‌های بتنی هم می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- نیازمند زمان طولانی جهت اتمام کار
- نیازمند ارماتوربند
- سنگین‌تر بودن سازه نسبت به سازه‌ی فولادی
- شرایط جوی مناسب جهت گیرش بتن
- ...

اگر به طور دقیق نگاهی به چرخه‌ی اقتصادی سازه‌های بتنی و فولادی شود. صرف نظر از مزایا و معایب هر یک از سازه‌ها، مشاهده می‌شود که سازه‌های فولادی به دلیل اجرای سریع، اقتصادی‌تر می‌باشند اما نکته‌ای که باید به آن توجه شود سرمایه‌ی اولیه نسبتاً زیاد آن می‌باشد در صورتی که در سازه‌های بتنی سرمایه‌ی مربوطه به صورت خرد خرد به پروژه تزریق خواهد شد. نکته‌ای که باید در ارتباط با سازه‌های بتنی توجه شود مدت اتمام پروژه می‌باشد که دارای هزینه‌ی نسبتاً بالا می‌باشد.

۴- کیفیت در ساخت و ساز سازه‌ها

درواقع کنترل‌های لازم در ساختمان‌سازی از پیچیدگی‌هایی برخوردار است که نمی‌توان به واسطه‌ی آزمایش‌هایی که در کوتاه مدت صورت می‌گیرد دوام و پایداری آن را در شرایط واقعی سنجید و همین امر باعث شده است که مصالح به کارگیری در سازه برای دریافت استانداردهای مربوطه با دشواری زیادی روبرو شوند. همانگونه که در قسمت قبلی توضیح داده شد در اینجا نیز عوامل مختلفی بر کیفیت ساخت تاثیرگذار است که شامل: جنس خاک و ساختگاه، اجرا، کیفیت مصالح و نحوه‌ی نگه داری و تعمیر سازه و... بستگی دارد. جدایی از این مطالب باید به این موضوع اشاره نمود که قوانین و مقررات در صورتی حافظ سلامتی و جان و آرامش خواهند بود که بستری مناسب جهت فرهنگ‌سازی ایجاد شود.

۵- اهداف و دلایل و انواع روش‌های مقاوم‌سازی

در مهندسی عمران، مقاوم‌سازی در جهت بالا بردن مقاومت سازه در برابر نیروهای وارد بر سازه، مخصوصاً زلزله صورت می‌گیرد. در اصلاح بهسازی لرزه‌ای نیز به کار برده می‌شود. اهدافی که دنبال می‌شود به صورت زیر است:

- جلوگیری از تخریب سازه‌های آسیب دیده در برابر زلزله‌های به وقوع پیوسته
- افزایش مقاومت سازه‌ای در جهت کاهش آسیب در برابر زلزله‌های آتی
- افزایش مقاومت سازه‌ها در جهت تغییر کاربری سازه و تغییرات اعمال شده در بارهای وارده به سازه
- تعویض یا ترمیم یا تقویت اعضای سازه‌ای دچار آسیب شده
- افزایش مقاومت سازه‌هایی که در مراحل طراحی اولیه به درستی تمام موارد لحاظ نشده
- ...

ساختمان‌هایی که نیازمند مقاوم‌سازی هستند را می‌توان به سه دسته تقسیم نمود:

- ساختمان‌هایی که بدون هیچگونه وقفه‌ای بتوانند به مردم خدمات‌رسانی کنند. مانند: بیمارستان‌ها، آتش‌نشانی و...
 - ساختمان‌هایی که در دل آن‌ها جمعیت زیادی قرار دارد همانند مراکز اداری و تجاری و...
 - ساختمان‌هایی که از اهمیت پایینی برخوردار هستند و هزینه‌ی مقاوم‌سازی آن‌ها از ساخت مجدد آن‌ها بیشتر خواهد شد. همانند ساختمان‌های مسکونی کم جمعیت
- از دلایل مقاوم‌سازی می‌توان به موارد مختلفی اشاره نمود:
- خطاهای طراحی: یکی از خطاهای رایجی که در هنگام رخداد زلزله با آن مواجه خواهیم شد، اشتباهات طراحی و اجرایی سازه‌ای می‌باشد که باعث ایجاد صدمات جدی به سازه شده و در مواقعی نیز باعث تخریب خواهد شد.
 - کیفیت پایین مصالح به کاربرده شده: کیفیت مصالح در تهیه و تولید یا نحوه‌ی به کارگیری درست آن در سازه یکی دیگر از دلایل مقاوم‌سازی می‌باشد.
 - خرابی‌هایی که در گذر زمان ایجاد شده: صرف نظر از نحوه‌ی طراحی و اجرای درست مصالح، در گذر زمان طی رخداد زلزله‌های مختلف این امکان وجود دارد که تأثیرگذاری و مقاومت اعضای سازه‌ای و مصالح تشکیل دهنده به مرور کاهش یابد و نیازمند تغییر آن‌ها یا ترمیم آن‌ها باشد.
 - تغییر کاربری یا به روز شدن این‌نامه‌های طراحی: گاهی به مراتب دیده شده است که یک سازه تغییر کاربری داده شده و در پی تغییر کاربری بارهایی که در طراحی اولیه برای آن در نظر گرفته شده پاسخگو نبوده و باید تغییراتی در آن‌ها لحاظ شود و سازه‌ی جدید آماده‌ی خدمات‌رسانی در کاربری جدید باشد و یا به روز شدن این‌نامه‌های طراحی باعث ممنوعیت یا محدودیت یا شرایط اجرای متفاوت خواهد شد.
- انواع روش‌های مقاوم‌سازی به صورت مختصر و کوتاه به شرح زیر می‌باشد:
- دیواربرشی بتنی و فولادی: یکی از مهمترین وظایف دیوار برشی بتنی و فولادی می‌توان به مستهلک کردن نیروی وارد بر سازه از طریق زلزله اشاره کرد.
 - جداگرها و میراگرها: از این نوع سیستم‌ها هم درجهت مستهلک کردن انرژی ورودی توسط زلزله به سازه استفاده می‌شود.
 - ژاکت بتنی و فولادی: از ژاکت‌های بتنی و فولادی در جهت افزایش مقاومت عضوهای آسیب دیده سازه‌ای در جهت تقویت موضعی خمش و برش همچون ستون و دیوار و تیر استفاده می‌شود.
 - مهاربندها: مهاربندها در سازه‌های فولادی یک نوع سیستم درجهت مستهلک کردن انرژی ورودی توسط زلزله به سازه استفاده می‌شود.
 - پس کشیدگی و پیش‌تنیدگی: پیش‌تنیدگی به معنای وارد شدن تنش‌ها به عضوهای باربر سازه‌ای قبل از اعمال بارهایی که قرار است در مدت طول عمر خود تجربه نمایند. به کمک کابل‌های مخصوص، شرایطی ایجاد می‌کنند که عضو مورد نظر پیش‌تنیده شدن را تجربه نماید.
 - استفاده از FRP: فیبرهای پلیمری هستند که امروزه در صنعت ساختمان از آن‌ها استفاده‌های فراوانی در جهت مقاوم‌سازی می‌شود.
- و...

۶- کاربرد هوش مصنوعی در مقاوم‌سازی

- امروزه با پیشرفتهایی که در حوزه‌ی هوش مصنوعی صورت گرفته و همچنین استقبال و سادگی و دقت کارها باعث استقبال بیشتر محققین شده و از جمله کارایی هوش مصنوعی در مقاوم‌سازی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:
- پیش‌بینی نقاط ضعف سازه‌ها: به کمک الگوریتم‌های یادگیری ماشین و براساس دیتاهایی که به عنوان ورودی به آن داده می‌شود می‌تواند نقاط ضعف سازه را تشخیص دهد. می‌توان برای جمع‌آوری دیتاها از حسگرها استفاده نمود.
 - الگوریتم‌های درخت تصمیم، شبکه‌های عصبی ANN و یادگیری ماشین
 - تشخیص ترک و آسیب‌های سازه‌ای: به کمک یادگیری عمیق می‌توان تصاویر دریافتی را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد.
 - مدل‌های یادگیری عمیق یا شبکه‌های عصبی CNN
 - پیش‌بینی رفتار سازه در هنگام وقوع زلزله: به کمک داده‌های وسیع و جمع‌آوری شده می‌توان شبکه‌های عصبی را آموزش داد.
 - استفاده از مدل مبتنی بر یادگیری تقویتی
 - ارزیابی سازه بعد از رخ داد زلزله: کمک به مدیریت بحران و تشخیص در اولیت‌بندی تعمیر و مقاوم‌سازی
 - و...

۷- نتیجه‌گیری

در کشوری که زلزله‌خیز است فراگیری دانش مقاوم‌سازی و یا بهسازی لرزه‌ای گامی اساسی و مهم به شمار خواهد آمد. اما قبل از انجام هر اقدامی لازم است تا با مفاهیم مهم و پرکاربرد آشنایی پیدا کرده و روش‌های مختلف مقاوم‌سازی را شناسایی و مزایا و معایب هر یک را متناسب با سازه‌ای که در پیش‌رو دارید سنجیده شود و سپس روش مربوطه به کار گرفته شود. اینکه سازه‌ی فولادی بهتر است یا بتنی دغدغه‌ی فکری خیلی از سازنده‌ها، مهندسین و یا حتی افرادی که در صنعت ساخت و ساز نیستند را تشکیل داده است. برای پاسخ به این سوال باید ابتدا پارامترهای مهم و تاثیرگذار را مورد بررسی قرار داد. هر یک از این سازه‌ها کارایی مختص به خود را دارا می‌باشند و متناسب با شرایط موجود می‌تواند از دیگری پیشی بگیرند. جدایی از شناخت این مفاهیم و پارامترهای تاثیرگذار نباید از کاربرد هوش مصنوعی که امروزه تمام حوزه‌های علمی را در حال فتح است قافل شد. چراکه کاربرد هوش مصنوعی و ابزارهایی که در اختیار ما قرار داده انقدر متنوع و وسیع خواهد بود که با قدم گذاشتن در این راه تازه متوجه این خواهید شد که راهی که در پیش دارید راهی هموار است. در انتها باید ذکر نمایم که با تعریف مفاهیم و اشاره‌ای کوتاه به کاربرد هوش مصنوعی، سعی شد انگیزه‌ای در جهت پیشبرد ایده‌های تحقیقاتی در آینده و عنوانی در جهت پایان نامه‌ها ایجاد شود.

مراجع

- [۱] کارکن، م. محمدی. ش. بهسازی و مقاوم‌سازی لرزه‌ای سازه‌های بتنی سبک با بکارگیری مصالح نوین، کنفرانس ملی عمران، معماری و فناوری اطلاعات در زندگی شهری، ۱۳۹۹.
- [۲] Formisano, Antonio, Gianmaria Di Lorenzo, and Raffaele Landolfo. "Seismic retrofitting of industrial steel buildings hit by the ۲۰۱۲ Emilia-Romagna earthquake: a case study." AIP Conference Proceedings. Vol. ۲۱۱۶. No. ۱. AIP Publishing LLC, ۲۰۱۹.
- [۳] کوزه‌گر، ک.، سرمستی، م.، کاربرد قاب مرکب در مقاوم‌سازی ساختمان‌های بنایی، کنفرانس عمران، معماری و شهرسازی کشور کشورهای جهان اسلام، تبریز، دانشگاه تبریز- دانشگاه شهید مدنی اذربایجان ۱۳۹۷.
- [۴] باقری، س.، خادمی، ا.، بررسی مقایسه رفتار سازه‌های فولادی و بتنی در برابر زلزله، اولین کنفرانس پیشرفته‌های نوین در حوزه‌ی انرژی، ساوه، ۱۳۹۴.

- [۵] Simoncelli, Marco, Bonaventura Tagliaferro, and Rosario Montuori. "Recent development on the seismic devices for steel storage structures." *Thin-Walled Structures* ۱۵۵ (۲۰۲۰): ۱۰۶۸۲۷.
- [۶] حیدرپور. ن.، ازلی. م.، ح.، ارزیابی رفتار خطی ستون‌های بتنی تقویت شده با الیاف frp با استفاده از روش اجزای محدود، کنفرانس عمران، معماری، شهرسازی کشورهای جهان اسلام، تبریز، دانشگاه تبریز- دانشگاه شهید مدنی اذربایجان، ۱۳۹۷.
- [۷] Gaxiola-Camacho, J. Ramon, et al. "Performance-based seismic design of steel buildings using rigidities of connections." *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering* ۴, ۱ (۲۰۱۸): ۰۴۰۱۷۰۳۶.
- [۸] Fang, Cheng, et al. "Seismic resilient steel structures: A review of research, practice, challenges and opportunities." *Journal of Constructional Steel Research* ۱۹۱ (۲۰۲۲): ۱۰۷۱۷۲.
- [۹] میقاتی، ن. مقاوم‌سازی دیوار برشی فولادی، پژوهش‌های نوین علوم مهندسی، شماره ۳۱، ۴۷-۵۶، ۱۳۹۹.
- [۱۰] Doebling SW, Farrar CR, Prime MB, Shevitz DW. Damage identification and health monitoring of structural and mechanical systems from changes in their vibration characteristics: a literature review. Los Alamos National Lab., NM (United States); ۱۹۹۶.
- [۱۱] Doebling SW, Farrar CR, Prime MB. A summary review of vibration-based damage identification methods. *Shock and vibration digest*. ۱۹۹۸;۳۰(۲):۹۱-۱۰۵.
- [۱۲] مهدی‌زاده، م. ب.، سیفی. ا.، تاثیر میراگرهای ADAS, TADAS در مقاوم‌سازی قاب خمشی فولادی، کنفرانس عمران، معماری و شهرسازی کشور جهان اسلام، تبریز، دانشگاه تبریز- دانشگاه شهید مدنی اذربایجان، ۱۳۹۷.
- [۱۳] Landolfo, Raffaele, Ornella Iuorio, and Luigi Fiorino. "Experimental seismic performance evaluation of modular lightweight steel buildings within the ELISSA project." *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* ۴۷, ۱۵ (۲۰۱۸): ۲۹۲۱-۲۹۴۳.
- [۱۴] Chen H, Kurt M, Lee YS, McFarland DM, Bergman LA, Vakakis AF. Experimental system identification of the dynamics of a vibro-impact beam with a view towards structural health monitoring and damage detection. *Mechanical Systems and Signal Processing*. ۲۰۱۴;۴۶(۱):۹۱-۱۱۳.
- [۱۵] طراحی. م. ر.، مقاوم‌سازی و سبک‌سازی بوسیله‌ی بلوکهای ایرکریت، کنفرانس بین‌المللی سبک‌سازی و زلزله، کرمان، جهاد دانشگاهی استان تهران، ۱۳۸۹.
- [۱۶] Hu, Shuling, Wei Wang, and Bing Qu. "Seismic evaluation of low-rise steel building frames with self-centering energy-absorbing rigid cores designed using a force-based approach." *Engineering Structures* ۲۰۴ (۲۰۲۰): ۱۱۰۰۳۸
- [۱۷] باقری. ف.، صابری. م.، تاثیر زاویه ورودی زلزله بر پاسخ سازه‌های بتنی و فولادی، دومین کنفرانس لرزه‌شناسی و مهندسی زلزله، کرج، ۱۳۹۴.
- [۱۸] Salawu OS. Detection of structural damage through changes in frequency: a review. *Engineering structures*. ۱۹۹۷;۱۹(۹):۷۱۸-۲۳.