

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

در سال‌های گذشته میان‌قاب‌های ساندویچ پانل تبدیل به یکی از متداول‌ترین میان‌قاب‌ها در سیستم قاب‌های ساختمانی شده‌اند. چگونگی رفتار این پانل‌ها همواره مورد توجه محققین و پژوهشگران بوده است. از طرفی مدل‌سازی و تحلیل این سیستم‌ها در نرم‌افزارهای شبیه‌ساز عددی بسیار وقت‌گیر است. از این‌رو نیاز به وجود رابطه‌ای برای محاسبه ضریب رفتار بدون نیاز به تحلیل‌های پیچیده در نرم‌افزار احساس می‌شود. در پژوهش حاضر به بررسی ضریب رفتار قاب‌های خمشی بتن مسلح دارای میانقاب ساندویچ پانل و همچنین به ایجاد رابطه‌ای برای محاسبه ضریب رفتار، بر اساس پارامترهای مختلف تأثیرگذار، پرداخته شده است و با استفاده از روش بیان ژن نسبت به برآورد ضریب رفتار قاب‌های خمشی بتن مسلح دارای میانقاب ساندویچ پانل اقدام شده است. رابطه‌ی ایجاد شده در پژوهش در برآورد ضریب رفتار مدل‌ها، دارای دقت ۹۳ درصد است. همچنین پارامتر تعداد طبقات و نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه، به‌عنوان حساس‌ترین متغیر در این نوع سیستم‌ها شناسایی شده‌اند و سایر پارامترها تأثیر چشمگیری بر مقدار ضریب رفتار نداشته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش تعداد طبقات در سیستم، ضریب رفتار نیز افزایش یافته و با افزایش نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقات، ضریب رفتار کاهش یافته است.

واژگان کلیدی: ساندویچ پانل، ضریب رفتار، بیان ژن، میانقاب، تحلیل غیرخطی.

برآورد ضریب رفتار لرزه‌ای قاب خمشی بتن مسلح دارای میانقاب ساندویچ پانل با استفاده از بیان ژن

صابر عزی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه خلیج فارس بوشهر، بوشهر، ایران

سید شاکر هاشمی (نویسنده مسئول)

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه خلیج فارس بوشهر، بوشهر، ایران، sh.hashemi@pgu.ac.ir

عبدالرضا فاضلی

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه خلیج فارس بوشهر، بوشهر، ایران

۱- مقدمه

برای محاسبه ضریب رفتار بر اساس مشخصات طراحی سازه، بدون انجام تحلیل غیرخطی در نرم‌افزارهای شبیه‌ساز، احساس می‌شود. در سال‌های اخیر استفاده از توصیف ژن و شبکه عصبی مصنوعی، برای ایجاد روابط ریاضی مورد توجه قرار گرفته است. شبکه عصبی مصنوعی نوعی مدل آماری است که بر اساس کارکرد مغز انسان طراحی شده است. این نوع مدل با توانایی که در اختیار دارد می‌تواند ورودی‌های معینی را دریافت کند و طی یک سری پردازش‌های موجود در مدل، نتیجه مطلوب را ارائه دهد. تحقیقات اولیه در زمینه عملکرد پانل‌های ساندویچی به مطالعات اینیا [۱] بازمی‌گردد. تا پیش از آن، این نوع پانل‌ها بیشتر از نظر معماری و فیزیکی مورد توجه محققین قرار گرفته بودند [۲]. در پروژه آزمایش پانل در شانگهای چین (۱۹۹۷) که از پروژه‌های مهم انجام شده در شانگهای می‌باشد، پانل‌های ساندویچی توسط ویکسینگ

سیستم‌های قاب خمشی دارای میانقاب در دهه‌های اخیر توجه زیادی را به خود اختصاص داده‌اند. این سیستم سازه‌ای که در بعضی موارد از آن به‌عنوان قاب مرکب نیز یاد می‌شود، از قاب بتنی یا فولادی همراه با دیوارهای پُرکننده تشکیل شده‌اند. یکی از متداول‌ترین میان‌قاب‌های مورد استفاده، میانقاب ساندویچ پانل می‌باشد. رفتار این میان‌قاب‌ها در ترکیب با قاب خمشی همواره مورد توجه محققین بوده است. یکی از روش‌های درک رفتار ساندویچ پانل‌ها، استفاده از تحلیل غیرخطی استاتیکی بارافزون (پوش اور) می‌باشد. با استفاده از این تحلیل، مقدار ضریب رفتار میانقاب ساندویچ پانل محاسبه می‌شود. تحلیل غیرخطی استاتیکی در سیستم قاب‌های خمشی دارای میانقاب ساندویچ پانل، با وجود استفاده از نرم‌افزارهای عمرانی، نیاز به دقت و زمان قابل توجهی دارد. برای صرفه‌جویی در زمان و راحتی محقق، نیاز به رابطه‌ای

قاب خمشی با ستون‌های CFT انجام دادند و نتایج حاصله نشان داده است که وابستگی زیادی بین مقدار ضریب رفتار و پارامترهای کلیدی سیستم‌های قابی شکل از جمله تعداد طبقات و نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقات وجود دارد.

در مهندسی عمران استفاده از روش‌های مبتنی بر شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک به‌طور وسیع و در حوزه‌های مختلف مورد توجه قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، عفتی و همکاران [۱۲] عملکرد مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، نروفازی تطبیقی و رگرسیون چندمتغیره با هدف سنجش مقاومت فشاری بتن با روش بار نقطه‌ای مورد مطالعه قرار دادند. همچنین رابطه‌ای محاسباتی بر اساس روش رگرسیون چندمتغیره برای پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن با روش بار نقطه‌ای ارائه نمودند. بی‌باک و همکاران [۱۳] داده‌های آزمایش به‌دست‌آمده از آزمایش تک‌محوری روی نمونه‌های خاک تثبیت شده توسط آهک، پسماند و سیلیکات سدیم با شبکه عصبی و برنامه‌ریزی بیان ژن مورد بررسی قرار دادند. سپس با توسعه شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک برای حالت‌ها و درصد‌های مختلف اختلاط در بهسازی خاک، درصد اختلاط بهینه‌ای تعیین کردند. هاشمی و همکاران [۱۴] با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی به پیش‌بینی وزن قاب‌های خمشی فولادی پرداختند. بر اساس مطالعه پارامتری انجام شده، چندین مجموعه از ورودی‌های مورد نیاز نظیر پارامترهای ارتفاع طبقات، طول دهانه، تعداد طبقات، شدت لرزه‌خیزی ساختگاه، شکل‌پذیری، نوع خاک ساختگاه و نوع مقطع در برآورد وزن دخالت داده شده است. به دلیل گسترده‌ی متنوع علم مهندسی عمران، بهره‌گیری از الگوریتم‌های شبکه عصبی و بیان ژن نیز متنوع بوده است. این بهره‌گیری‌ها شامل تحقیقات در زمینه ارزیابی پتانسیل خرابی سازه‌ها، عملکرد لرزه‌ای، تخمین ظرفیت و مقاومت اجزای سازه و بسیاری زمینه‌های دیگر بوده است [۱۵-۱۸]. تنوع روش‌های ذکر شده نشان می‌دهد که روش شبکه عصبی به کمک تکنیک‌های این روش می‌تواند در حوزه‌های مختلف مهندسی عمران مورد استفاده قرار گیرد و محدود به زمینه خاصی نیست.

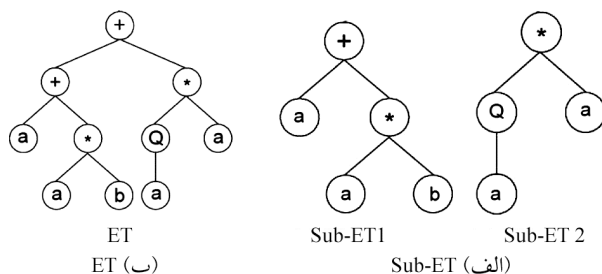
و لیکسین [۳] مورد بررسی قرار گرفت. کبیر و هاشمی‌نسب [۴] رفتار خمشی و برشی پانل‌های دیواری را به‌وسیله یک سری آزمایش به همراه مدل‌سازی عددی بررسی کردند. رضایی‌فر و همکاران [۵] با آزمایش یک ساختمان یک طبقه با سیستم دیوارهای باربر پانل ساندویچی در مقیاس کامل بر روی میز لرزان، رفتار دینامیکی این سیستم سازه‌ای را مطالعه کردند. در این پژوهش یک مدل اجزا محدود که قابلیت شبیه‌سازی عملکرد این سیستم را برای تحلیل عددی داشته باشد، در نرم‌افزار ایجاد شد. المان پوسته‌ای لایه‌ای غیرخطی برای شبیه‌سازی پانل‌ها انتخاب و با نتایج آزمایشگاهی صحت‌سنجی شد.

هاشمی و همکاران [۶] رفتار درون‌صفحه میان‌قاب‌های ساندویچ‌پانل بتنی را به‌صورت آزمایشگاهی و عددی بررسی نمودند. در این تحقیق چهار قاب فولادی یک طبقه با یک دهانه در مقیاس واقعی تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار گرفت. یک قاب بدون میانقاب به‌عنوان مدل مبنا جهت مقایسه و سه قاب دیگر با نسبت ابعادی متفاوت در نظر گرفته شد. نتایج پژوهش نشان داد اضافه شدن دیوار ساندویچ‌پانل به قاب، مقاومت، سختی جانبی و ظرفیت شکل‌پذیری در سیستم را افزایش می‌دهد.

یکی از روش‌های درک بهتر رفتار یک سازه در مهندسی عمران، استفاده از پارامتر ضریب رفتار می‌باشد. تحقیقات در این حوزه بسیار متنوع و گوناگون بوده است. هووانگ و جاو [۷] یک ارزیابی آماری در زمینه ضریب رفتار در سازه‌های بتن مسلح ارائه دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که ضرایب رفتار معرفی شده در آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای NEHRP [۸]، بسیار بزرگ و غیر محافظه‌کارانه می‌باشد. صالحی و همکاران [۹] به تأثیر میانقاب مصالح بنایی در رفتار قاب‌های بتنی به دو روش سه‌دستکی و تک‌دستک قطری پرداختند. نتایج نشان داد میزان افزایش سختی و کاهش جابه‌جایی در اثر حضور میان‌قاب‌ها با افزایش ارتفاع قاب‌ها کمتر می‌شود [۹]. شوشتری و غزنوی [۱۰] به بررسی و مقایسه روش‌های استخراج ضریب رفتار ساختمان‌های بتن مسلح پرداختند. هاشمی و همکاران [۱۱] مطالعاتی بر روی دو پارامتر لرزه‌ای مهم شکل‌پذیری و ضریب رفتار سیستم‌های

جواب بهینه تکرار می‌شود. بنا بر توضیحات، در برنامه‌نویسی بیان ژن (GEP) یک کروموزوم می‌تواند تحت تأثیر چند عملگر اصلاح شود و یا بدون تغییر باقی بماند [۱۹].

در الگوریتم‌های بیان ژن ابتدا به‌طور تصادفی چندین جواب برای مسئله تولید می‌شود. این مجموعه جواب جمعیت اولیه و هر جواب یک کروموزوم نامیده می‌شود. سپس با استفاده از عملگرهای الگوریتم بیان ژن پس از انتخاب کروموزوم‌های بهتر، کروموزوم‌ها با هم ترکیب و جهشی در آنها ایجاد می‌شود. در نهایت نیز جمعیت فعلی با جمعیت جدیدی که از ترکیب و جهش در کروموزوم‌ها حاصل می‌شود، ترکیب می‌شوند. اصلاح و تغییر در یک ژنوم، توسط عملگرهای مختلف به‌طور تصادفی بر آنها اعمال می‌شود. در برنامه‌نویسی بیان ژن سعی می‌شود که با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک، به‌جای اینکه کد برنامه لازم نوشته شود، به کامپیوتر این امکان داده شود که تنها با دانستن مفهوم کلی از کار، برنامه مورد نظر را فراهم کند. در برنامه‌نویسی توصیف ژن، کروموزوم‌ها با استفاده از نمودار درختی (ET) بیان می‌شود که مجموعه‌ای از Sub-ETها است. به بیان دیگر، Sub-ETها با استفاده از عملگرهای ریاضی با یکدیگر ترکیب شده و ET را تشکیل می‌دهند. نمایش کروموزوم‌ها با استفاده از نمودار درختی و Sub-ETهای مربوط به آن در شکل (۱) نشان داده شده است [۱۹]. در نمودار درختی نشان داده شده، عملگر پیوند دهنده بین Sub-ETها، «+» می‌باشد.



شکل (۱) نمودار درختی کروموزوم‌ها [۱۹].

در پژوهش حاضر با توجه به اقتضای بهینگی مدل و بر اساس گام‌های برنامه‌نویسی ژن، از مجموعه توابع $\{+, -, \times, \div, \text{Max}, \text{Min}\}$ استفاده شده است. همچنین ۸۰ درصد داده‌ها جهت ارزیابی و

با جستجو در متون آیین‌نامه‌ای می‌توان دریافت که اثری از یک روش مدون و نسبتاً فرموله شده با استفاده از جزئیات دقیق تری از سیستم سازه‌ها برای تعیین ضریب رفتار (R) یافت نمی‌شود و مقادیر ضریب رفتار پیشنهادی در آیین‌نامه‌های مختلف به صورت کلی و بدون دخالت دادن پارامترهای اساسی سیستم، از جمله تعداد طبقات و طول دهانه و سایر مشخصات کلیدی ارائه شده است. از طرف دیگر با وجود تحقیقاتی که بر روی میانقاب‌های ساندویچ پانل انجام شده است، همواره رفتار این نوع سازه در سیستم قاب خمشی بتن مسلح مورد بحث بوده است. به دلیل تأثیر میانقاب بر عملکرد سازه و از طرفی زمان‌بر بودن تحلیل و طراحی این نوع سازه‌ها در نرم‌افزارهای شبیه‌ساز عددی، نیاز به یک رابطه ساده برای محاسبه ضریب رفتار قاب‌های خمشی بتن مسلح دارای میانقاب ساندویچ پانل، با استفاده از مشخصات هندسی سازه، احساس می‌شود. لذا در پژوهش حاضر برای ایجاد چنین رابطه‌ای تلاش شده است. لذا باید در ابتدا یک بانک اطلاعاتی، حاصل از طراحی مدل‌های دارای متغیرهای سازه‌ای مختلف، ایجاد نمود و در ادامه با استفاده از بیان ژن رابطه مورد نیاز استخراج شود.

۲- تئوری تحقیق

۲-۱- بیان ژن

برنامه‌نویسی بیان ژن از جدیدترین الگوریتم‌های فراکاوشی است که به دلیل سهولت کاربرد و دقت بالا در تقریب معادلات غیرخطی و پیچیده ریاضی، مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. برنامه‌نویسی بیان ژن از کروموزوم‌های خطی شخصیت تشکیل شده از ژن‌هایی که به صورت ساختاری در یک سر و دم تشکیل شده‌اند، استفاده می‌کند. کروموزوم‌ها به‌عنوان ژنوم عمل می‌کنند و با استفاده از جهش، جابه‌جایی، جابه‌جایی ریشه، جابه‌جایی ژن، ترکیب مجدد ژن و ترکیب مجدد یک و دو نقطه تحت اصلاح قرار می‌گیرند. اصلاح و تغییر در یک ژنوم، توسط عملگرهای مختلف به‌طور تصادفی بر آنها اعمال می‌شود. روند انتخاب و اصلاح برای تعداد معینی از نسل‌ها و تا رسیدن به

شکل پذیری وابسته به پیروید و Y ضریب تنش مجاز می باشد. بنا بر گزارش ATC-34 [۲۱] جهت یافتن مقاومت یک سازه با قاب سازه‌ای از تحلیل استاتیکی غیر خطی استفاده می شود. این روش برای به دست آوردن مقاومت یک سازه درست است، ولی تحلیلگر نیاز به انتخاب یک حالت حدی پاسخ دارد. مراحل این روش به ترتیب زیر هستند:

۱. با استفاده از تحلیل‌های استاتیکی غیر خطی، رابطه برش پایه - تغییر مکان بام برای قاب به دست می آید.
۲. در سازه تغییر مکان بام مطابق با حالت حدی پاسخ، محاسبه می شود. مقاومت ذخیره شده سازه برابر با اختلاف بین برش پایه طراحی (V_d) و نیروی برش پایه (V_y) است.
۳. ضریب مقاومت با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می شود:

$$R_s = \frac{V_y}{V_d} \quad (2)$$

ضریب شکل پذیری R_μ : شکل پذیری با توجه به توانایی یک قاب سازه‌ای در محدوده بعد از حد کشسان برای نیروی قابل توجه مقاوم و جذب انرژی توسط رفتار غیر کشسان، تشکیل می شود. ضریب شکل پذیری به صورت رابطه (۳) بیان می شود:

$$R_\mu = \frac{V_e}{V_y} \quad (3)$$

که در آن (V_y) نیروی برش پایه الاستیک منحنی دو خطی و (V_e) نیروی برش پایه در هنگامی که سازه فقط رفتار الاستیک دارد، می باشد. در این روش که توسط یانگ بیان شد یک مقدار برای مقاومت تسلیم سازه (V_y) طوری فرض شده که سختی الاستیک منحنی دو خطی، منحنی ظرفیت سازه را در $0.6 V_y$ قطع کند و همچنین سطح زیر منحنی دو خطی و منحنی ظرفیت با هم برابر باشند.

مقدار ضریب تنش مجاز (Y) برای طراحی به روش مقاومت نهایی برابر با یک و برای طراحی به روش تنش مجاز معمولاً در حدود $1/4$ است. در این مقاله $Y = 1$ فرض شده است.

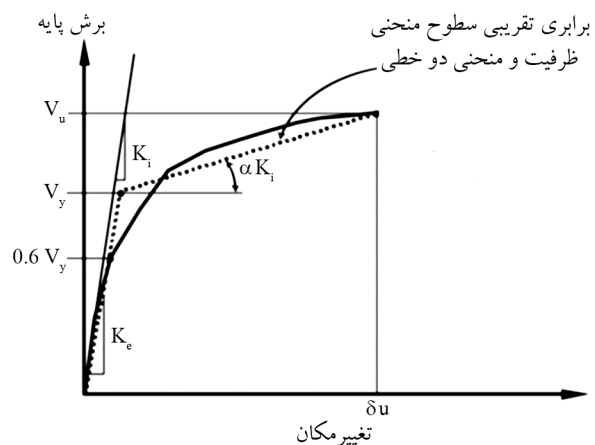
۳- مبانی حل غیر خطی

یکی از راه‌های مدل‌سازی رفتار غیر خطی اعضا، اختصاص

۲۰ درصد داده‌ها جهت آزمایش در نظر گرفته شده است. برای مشاهده جزئیات بیشتر تئوری تحقیق بیان ژن و روش‌های تکرار به پژوهش فریرا [۱۹] مراجعه شود.

۲-۲- محاسبه ضریب رفتار

یکی از روش‌های به دست آوردن ضریب رفتار، استفاده از تحلیل غیر خطی استاتیکی بار افزون می باشد. در این روش پس از استخراج نمودار برش پایه - تغییر مکان، برای ساده‌تر کردن تحلیل، از دو خطی کردن نمودار استفاده می شود. یکی از این روش‌های معرفی شده، جهت تعیین ضریب رفتار (R)، روش یانگ [۲۰] است که در این پژوهش نیز برای استخراج ضریب رفتار از روش یانگ استفاده شده است. در شکل (۲) نمودار برش پایه - تغییر مکان و دو خطی به روش یانگ نشان داده شده است.



شکل (۲): دو خطی سازی نمودار برش پایه تغییر مکان به روش یانگ.

در شکل (۲) منحنی بار افزون استخراج و به اندازه‌ای پیش رفته تا به نقطه حداکثر ظرفیت (حد نهایی) که در شکل با δ_u نشان داده شده است، برسد. این نقطه بیشترین بار وارد به سازه را نشان داده و بعد از آن عملاً شاهد زوال در منحنی بار افزون خواهیم بود.

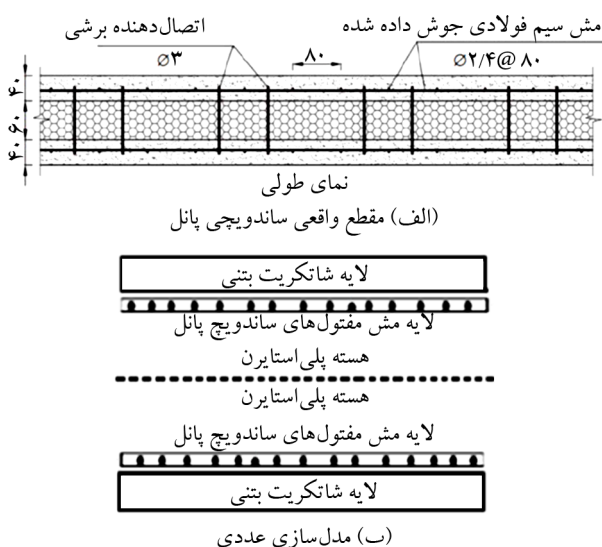
در راهنمای ATC-34 [۲۱] یک فرمول جدید برای محاسبه ضرایب اصلاح پاسخ یانگ ارائه شده که در آن R به عنوان مقداری حاصل از سه ضریب به صورت رابطه (۱) بیان شده است.

$$R = R_s R_\mu Y \quad (1)$$

که در آن R_s ضریب مقاومت وابسته به پیروید، R_μ ضریب

آن روی عضو بتنی وجود دارد، نتیجه آزمایش‌ها برای اندازه طول مفصل پلاستیک دارای پراکندگی زیادی می‌باشد. در این پژوهش طول مفصل پلاستیک برابر با ارتفاع مقطع تیر یا ستون در نظر گرفته شده است.

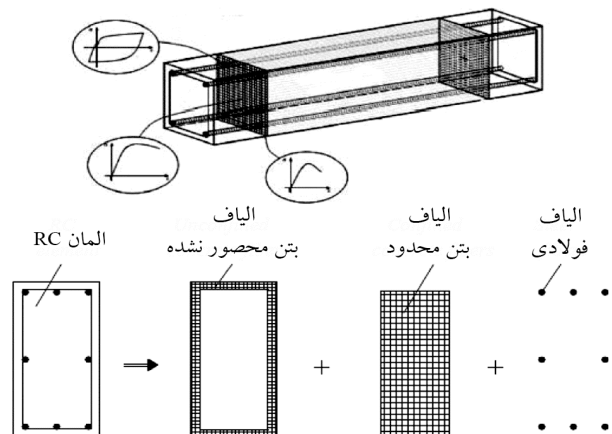
المانی که برای مدل سازی میانقاب استفاده شده است، المان پوسته‌ای لایه‌ای غیرخطی است. این المان یکی از انواع المان‌های سطحی است که توانایی شبیه سازی کامل رفتار پوسته‌ای را دارد؛ یعنی دو رفتار غشایی و خمشی را هم‌زمان شبیه سازی می‌کند. در این المان امکان تعریف هر تعداد لایه با ضخامت و مصالح متفاوت وجود دارد که رفتار مصالح می‌تواند خطی یا غیرخطی باشد. المان پوسته لایه‌ای از آنجا که توانایی شبیه سازی رفتار درون صفحه را دارد، برای شبیه سازی رفتار تنش مسطح دو بعدی مناسب است. در این پژوهش، المان میانقاب ساندویچ پانل مورد بررسی، دارای ضخامت کل ۱۴۰ میلی متر دارای متصل کننده‌های برشی به فاصله ۵۰۰ میلی متر است. مقطع المان پوسته لایه‌ای و میانقاب در شکل (۴) نشان داده شده است. همچنین برای شبیه سازی نحوه‌ی اندرکنش میانقاب و اعضای قاب نیز از نوعی المان فنر معادل استفاده شده است. در این المان اتصالی که به منظور شبیه سازی اندرکنش و جداسازی بین میانقاب و اعضای قاب تعریف شده است، سه درجه آزادی U_1 و U_2 و U_3 در نظر گرفته شده است.



شکل (۴): مقطع میانقاب ساندویچ پانل استفاده شده در پژوهش [۲۳].

مفاصل دارای رفتار غیرخطی با طول معین در نقاط مستعد رفتار غیرخطی می‌باشد. مفاصل از نظر مدل سازی مقطع به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند که یکی از این نوع مفاصل، مفصل فایبر است. این نوع مفصل سطح مقطع عضو را به اجزای کوچک تر تقسیم کرده که هر قسمت دارای طولی برابر با طول مفصل و رفتار غیرخطی محوری جداگانه می‌باشد. در این تحقیق مفاصل پلاستیک معرفی شده به المان‌های سازه‌ای از این نوع مفصل هستند [۲۲]. در روش مفصل فایبر با مشخص کردن طول ناحیه خمیری در عضو، مقطع در این طول به رشته‌های کوچک تری تقسیم می‌شود. رفتار کلی عضو از مجموع رفتار تک تک رشته‌ها محاسبه می‌شود. با این نوع مدل سازی، هر یک از رشته‌ها می‌تواند تحت تنش‌های طولی قرار گیرد که این موضوع امکان بررسی رفتار غیرخطی مقاطع را تحت خمش و بار محوری فراهم می‌کند. این نوع مفاصل نسبت به دیگر مفاصل واقع گرایانه تر هستند زیرا این مفاصل برای اندرکنش، از تغییر در منحنی لنگر دوران و کرنش محوری پلاستیک استفاده می‌کنند و تغییرات در مقاومت و کاهش آن در مفاصل بر اساس تغییرات در منحنی تنش-کرنش هر رشته به دست می‌آید. علاوه بر این با تقسیم بندی مقطع به رشته‌های کوچک تر و تحلیل هر بخش به صورت جداگانه این مفاصل عملکرد بهتری خواهند داشت. شکل (۳) یک نمونه از مقاطع که مفصل رشته‌ای به آن اختصاص داده شده را نشان می‌دهد.

از آنجا که در تعریف حالت حد نهایی تفاوت‌هایی مثل ابعاد نمونه و صفحه بارگذاری، روش‌های مختلف آزمایش و روش کاربرد



شکل (۳): مدل فایبر یک مقطع تیر- ستون بتن آرمه [۲۰].

قرار گرفته و منحنى بار- جابه‌جايى استخراج شده است. در اين مقاله مطابق با نشریه ۳۶۰، اثر $P-\Delta$ لحاظ شده و توزيع بار جانبى وارد شده به سازه، متناسب با شکل مود اول ارتعاش مى‌باشد که سازه تا ۱۵۰ درصد جابه‌جايى هدف مورد تحليل قرار گرفته و تحليل تا زمانى که منحنى بار- جابه‌جايى دچار زوال شود. نقطه دارى بيشترين ظرفيت به‌عنوان حد نهايى در نظر گرفته شده است. توزيع بار جانبى در مدل‌سازى بايد تا حد امکان شبیه به آنچه هنگام زلزله رخ خواهد داد، باشد و حالت‌هاى بحرانى تغيير شکل و نيروهاى داخلى را در اعضا ايجاد نمايد. در اين پژوهش در تحليل استاتيکى غير خطى از توزيع بار جانبى بنا بر توزيع متناسب با شکل مود ارتعاش در جهت مورد نظر استفاده شده است.

در اين پژوهش قاب خمشى بتن مسلح که به‌وسيله ميان‌قاب‌هاى ساندويچ پانل پر شده است مورد ارزيابى قرار گرفته است. از اين رو مصالح اصلى که نياز به تعريف مدل رفتارى دارند، فولاد، شبکه ميلگردهاى ميانقاب و بتن پاششى رويه آن هستند. با توجه به مدل‌هاى رفتارى مصالح موجود در نرم‌افزار براى مصالح فولادى از مدل الاستو- پلاستیک با سخت‌شوندگى کرنشى استفاده شد. از آنجا که هسته ميانى پانل‌هاى ساندويچى يعنى لايه پلى‌استايرن موجود بين دو لايه بتن پاششى در رفتار درون‌صفحه قاب‌هاى ميان پر نقشى ايفا نمى‌کند، اين لايه مدل‌سازى نشد و تنها لايه بتن پاششى و شبکه ميلگردهاى موجود، مد نظر قرار گرفته است. بر اين اساس مدل رفتارى بتن پاشيده ميانقاب، بر مبنای مدل رفتارى مندر و با فرض بتن محصور نشده بتن موجود در نرم‌افزار در نظر گرفته شد.

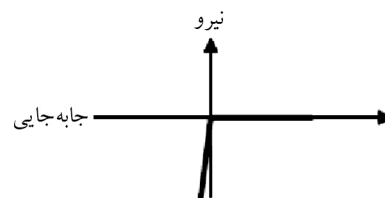
۳-۱- مدل‌سازى عددى غيرخطى و اعتبارسنجى روش

عددى

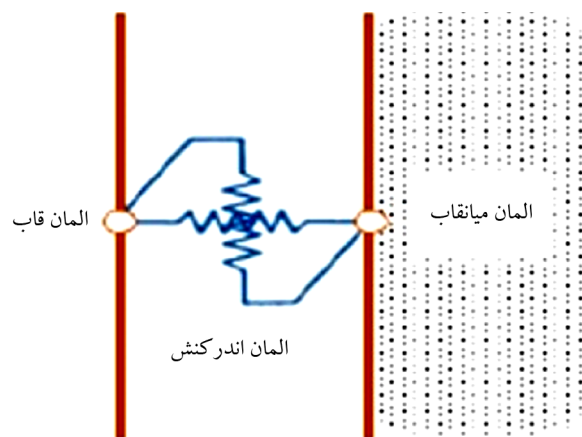
در روند تحليل و طراحى سازه‌هاى مورد تحقيق از مباحث ششم و نهم مقررات ملى ساختمان و استاندارد ۲۸۰۰ در طراحى و انتخاب نحوه بارگذارى ویژه سازه‌ها در محيط نرم‌افزارى و تعيين معيار پذيرش، از استاندارد رايج ACI 318-14 استفاده شده است. براى بررسى و صحت‌سنجى تحليل‌هاى صورت

درجه آزادى UI در راستای محور طولی المان است و دو درجه آزادى ديگر عمود بر محور طولی هستند. اين المان به گونه‌اى در نظر گرفته شده است که در درجه آزادى UI فقط دارى رفتار فشارى از نوع تماس سخت باشد و براى شبیه‌سازى جداشدگى ميانقاب از اعضاى قاب، مقاومت کششى در اين درجه آزادى در نظر گرفته نمى‌شود. براى ارائه اين رفتار که نوعى تماس سخت است، سختى درجه آزادى UI که مؤلفه نرمال است بر اساس سختى يکى از المان‌هاى تماس در نظر گرفته شده است. براى دو درجه آزادى ديگر نيز مؤلفه‌هاى مماسى را در نظر مى‌گيرند. در شکل (۵) نمودار نيرو- تغيير مکان المان‌هاى فنرى در نظر گرفته شده، نشان داده شده است. شيب ناحيه فشارى که برابر با سختى المان اتصالى در نظر گرفته شده است، ۲۰۰ برابر سختى الاستيک المان ميانقاب متصل به المان فنر اتصالى مى‌باشد. همچنين درزى بين قاب و ميانقاب در نظر گرفته نشده است. شکل (۶) درجات آزادى اين المان را نشان مى‌دهد.

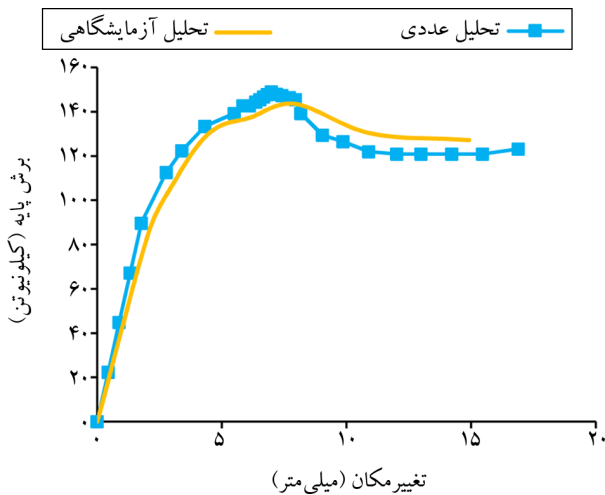
طول مفصل فايبر برابر با ارتفاع مقطع در نظر گرفته شده که در ابتدا و انتهای مقطع لحاظ شده است. قاب‌هاى طراحى شده با فرض جابه‌جايى-کنترل، تحت تحليل استاتيکى غيرخطى در نرم‌افزار ETABS



شکل (۵): مدل رفتارى المان اتصالى.

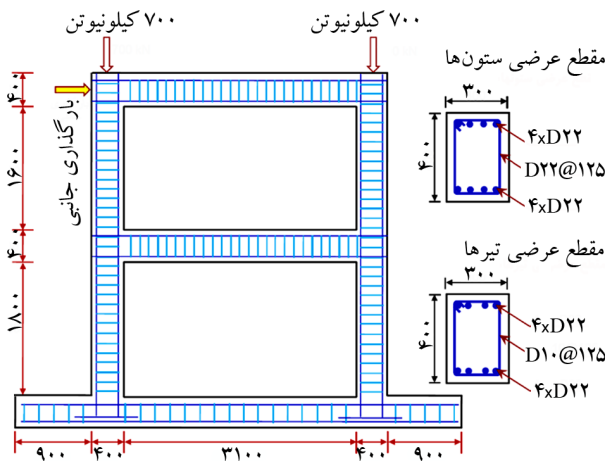


شکل (۶): درجات آزادى در نظر گرفته شده در المان اتصالى.



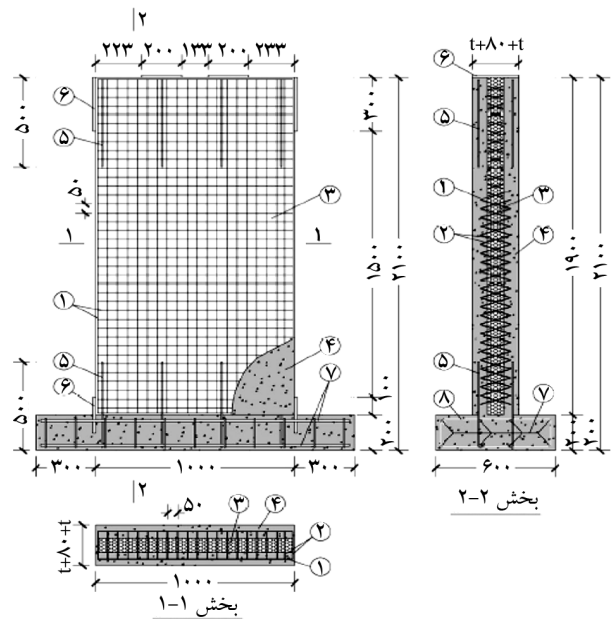
شکل (۸): مقایسه نمودار برش پایه- تغییر مکان مدل عددی و آزمایشگاهی ساندویچ پانل.

با توجه به شکل (۸) مشاهده می‌شود که نرم‌افزار با دقت بسیار خوبی در شبیه‌سازی رفتار ساندویچ پانل موفق بوده و اختلاف ظرفیت نهایی تحلیل عددی و تحلیل آزمایشگاهی حدود ۳/۸ درصد است. برای صحت‌سنجی مبانی تحلیل عددی غیرخطی قاب خمشی بتن مسلح از پژوهش و کیو و امارا استفاده شده است [۲۵]. رفتار یک قاب دو طبقه یک دهانه که تحت بار جانبی آزمایش شده است و مشخصات اجرایی و بارگذاری این قاب در شکل (۹) آورده شده است. در جدول (۲) مشخصات مصالح مصرفی در قاب خمشی نشان داده شده است. پس از مدل‌سازی قاب دو طبقه یاد شده در نرم‌افزار، نتایج مقایسه نمودار برش پایه-تغییر مکان در شکل (۱۰) آورده شده است.



شکل (۹): مقطع قاب دو طبقه و روش بارگذاری [۲۵].

گرفته و قابلیت نرم‌افزار ETABS در انجام تحلیل غیرخطی سیستم قاب خمشی بتنی دارای میانقاب ساندویچ پانل با استفاده از مدل‌سازی یک المان پوسته لایه‌ای غیرخطی در نرم‌افزار، رفتار غیر خطی ساندویچ پانل لحاظ می‌گردد. به جهت اعتبارسنجی میانقاب ساندویچ پانل از نتایج آزمایشگاهی مدل کیانو و همکاران [۲۴] استفاده شده است. ابعاد مدل مورد مطالعه ساندویچ پانل‌ها را نشان می‌دهد. همچنین در جدول (۱) مشخصات این ساندویچ پانل نشان داده شده است. نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی و تحقیق انجام شده، به صورت مقایسه نمودار برش پایه- تغییر مکان بررسی شده است. این مقایسه در شکل (۸) نشان داده شده است.



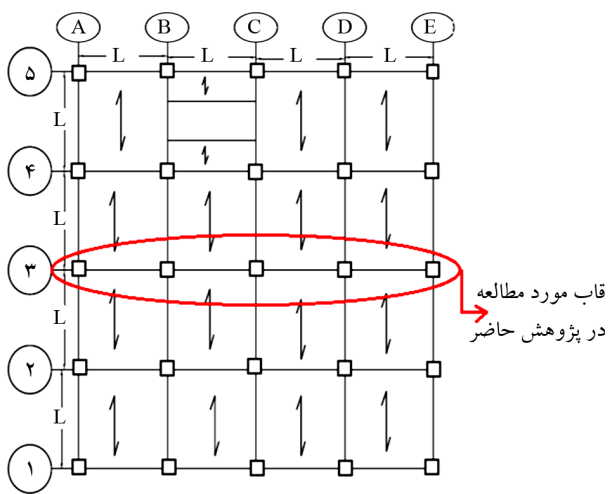
شکل (۷): مقطع ساندویچ پانل [۲۴].

جدول (۱): مشخصات مصالح ساندویچ پانل [۲۴].

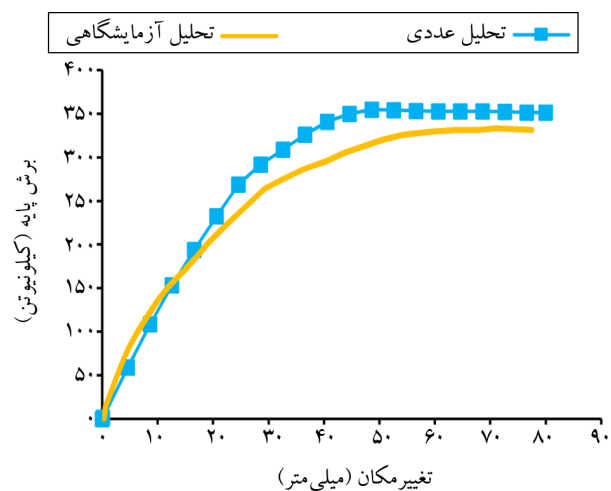
| ابعاد دیوار | |
|---|------|
| ضخامت کل دیوار (میلی‌متر) | ۲۳۰ |
| ارتفاع کل دیوار (میلی‌متر) | ۱۹۰۰ |
| ارتفاع قسمت مورد ارزیابی (میلی‌متر) | ۱۵۰۰ |
| ضخامت بتن (میلی‌متر) | ۷۵ |
| فاصله شبکه میلگرد (میلی‌متر) | ۵۰ |
| تنش تسلیم میلگردهای طولی و برشگیر (مگاپاسکال) | ۳۱۵ |
| تنش تسلیم شبکه میلگرد مصرفی (مگاپاسکال) | ۴۳۵ |
| مقاومت بتن مصرفی (مگاپاسکال) | ۳۰ |

جدول (۲): مشخصات مصالح قاب [۲۵].

| شکل مقطع | |
|-------------------------|-------------------------|
| | |
| ۸×۲۲ mm Bars | ۸×۲۲ mm Bars |
| ۱۰ mm Bars @ ۱۲۵ mm c/c | ۱۰ mm Bars @ ۱۲۵ mm c/c |
| ۳۰۰×۴۰۰ میلی متر مربع | ۳۰۰×۴۰۰ میلی متر مربع |
| ۲۰ | ۳۰ |
| ۳۰ | ۳۰ |
| ۴۱۸ | ۴۱۸ |
| ۴۵۴ | ۴۵۴ |



شکل (۱۱) پلان قاب بررسی شده در پژوهش.



شکل (۱۰): مقایسه نتیجه تجربی مدل و نتیجه تحلیل عددی قاب دو طبقه.

مسکونی در نظر گرفته شده و مقادیری معمول از بارهای مرده و زنده در مدل‌سازی‌ها برای قاب لحاظ شده است. به این ترتیب که بار مرده و زنده طبقات به ترتیب ۶۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع و بار مرده و زنده بام به ترتیب ۵۵۰ و ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمربع، در نظر گرفته شده است. بارگذاری مدل‌ها بر اساس آیین‌نامه لرزه‌ای ایران انجام شده است. از آنجا که تعداد پارامترهای مؤثر بر رفتار قاب متنوع هستند، در تحقیق حاضر روی مهم‌ترین آنها تمرکز کرده و تعداد محدودی از تأثیرگذارترین آنها در رفتار سازه، مورد بررسی قرار می‌گیرند. این پارامترها عبارتند از: تعداد طبقات (S)، نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه (L/H)، شتاب لرزه‌خیزی ساختگاه (A)، نسبت مقاومت فشاری بتن به تنش تسلیم میلگرد مصرفی (F). مدل‌ها بر اساس تعداد طبقات به هفت گروه ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۵ طبقه دسته‌بندی شده‌اند که ارتفاع هر طبقه

با توجه به شکل (۱۰) و اختلاف ۶ درصدی ظرفیت نهایی تحلیل عددی و آزمایشگاهی، می‌توان صحت مبانی مورد استفاده در تحلیل و نرم‌افزار مورد استفاده را تأیید کرد؛ بنابراین تئوری و مفروضات انتخابی در مبانی حل غیر خطی و مدل‌سازی بانک اولیه می‌تواند تا حد بسیار خوبی رفتار قاب خمشی دارای میانقاب ساندویچ پانل را شبیه‌سازی کند و ضریب رفتارهای استخراج شده با دقت خوبی به واقعیت نزدیک می‌باشند.

۴- مدل‌سازی سازه‌ها و تهیه داده‌های بانک اولیه

در پژوهش حاضر سیستم قاب دو بعدی خمشی با پلان منظم و متقارن در نظر گرفته شده است. قاب‌های در نظر گرفته شده یکی از قاب‌های دو بعدی در پلان ارائه شده در شکل (۱۱) می‌باشد. در این مدل‌سازی، بارگذاری ساختمان بر اساس کاربری

شده است. در روند طراحی و تهیه بانک اولیه مدل‌ها، شکل پذیری قاب‌های خمشی بتن مسلح متوسط در نظر گرفته شده است و هیچ‌گونه درزی بین قاب و میانقاب لحاظ نشده است. با توجه به دسته‌بندی‌های صورت گرفته، ۸۴ مدل طراحی و تحلیل استاتیکی غیرخطی روی این مدل‌ها اعمال شده و ضریب رفتار هر مدل استخراج شده است. داده‌های بانک تهیه شده در جدول (۳) آورده شده است.

۳/۳ متر می‌باشد. نسبت طول دهانه با ارتفاع طبقات در این پژوهش ۱، ۱/۵ و ۲ است. میزان شدت لرزه خیزی ساختگاه دارای تنوع ۰/۳۵ و ۰/۳ و خاک ساختگاه از نوع ۲ در نظر گرفته شده است. در این پژوهش از بتن با مقاومت فشاری ۳۰ مگاپاسکال و میلگرد با تنوع تنش تسلیم‌های ۳۴۰ مگاپاسکال و ۴۰۰ مگاپاسکال استفاده شده است؛ بنابراین متغیر مصالح بر اساس نسبت مقاومت فشاری بتن به تنش تسلیم میلگرد به دو نسبت ۰/۰۸ و ۰/۰۷۵ دسته‌بندی

جدول (۳): داده‌های مورد استفاده در بانک اطلاعات.

| تعداد طبقات (S) | شتاب لرزه خیزی (A) | نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه (L/H) | نسبت فشاری بتن به تنش تسلیم میلگرد (F) | ضریب رفتار (R) | تعداد طبقات (S) | شتاب لرزه خیزی (A) | نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه (L/H) | نسبت فشاری بتن به تنش تسلیم میلگرد (F) | ضریب رفتار (R) |
|-----------------|--------------------|-------------------------------------|--|----------------|-----------------|--------------------|-------------------------------------|--|----------------|
| ۲ | ۰/۳۵ | ۱ | ۰/۰۸ | ۵/۷۷ | ۲ | ۰/۳۵ | ۱ | ۰/۰۷۵ | ۵/۶۳ |
| ۲ | ۰/۳ | ۱ | ۰/۰۸ | ۵/۵۲ | ۲ | ۰/۳ | ۱ | ۰/۰۷۵ | ۵/۶۲ |
| ۲ | ۰/۳۵ | ۱/۵ | ۰/۰۸ | ۵/۱۰ | ۲ | ۰/۳۵ | ۱/۵ | ۰/۰۷۵ | ۵/۳۶ |
| ۲ | ۰/۳ | ۱/۵ | ۰/۰۸ | ۵/۱۱ | ۲ | ۰/۳ | ۱/۵ | ۰/۰۷۵ | ۵/۱۶ |
| ۲ | ۰/۳۵ | ۲ | ۰/۰۸ | ۵/۳۲ | ۲ | ۰/۳۵ | ۲ | ۰/۰۷۵ | ۴/۷۹ |
| ۲ | ۰/۳ | ۲ | ۰/۰۸ | ۵/۴۰ | ۲ | ۰/۳ | ۲ | ۰/۰۷۵ | ۴/۷۲ |
| ۴ | ۰/۳۵ | ۱ | ۰/۰۸ | ۶/۶۲ | ۴ | ۰/۳۵ | ۱ | ۰/۰۷۵ | ۶/۶۶ |
| ۴ | ۰/۳ | ۱ | ۰/۰۸ | ۶/۸۰ | ۴ | ۰/۳ | ۱ | ۰/۰۷۵ | ۶/۵۲ |
| ۴ | ۰/۳۵ | ۱/۵ | ۰/۰۸ | ۶/۶۷ | ۴ | ۰/۳۵ | ۱/۵ | ۰/۰۷۵ | ۶/۶۷ |
| ۴ | ۰/۳ | ۱/۵ | ۰/۰۸ | ۶/۳۲ | ۴ | ۰/۳ | ۱/۵ | ۰/۰۷۵ | ۶/۸۱ |
| ۴ | ۰/۳۵ | ۲ | ۰/۰۸ | ۶/۶۴ | ۴ | ۰/۳۵ | ۲ | ۰/۰۷۵ | ۵/۳۵ |
| ۴ | ۰/۳ | ۲ | ۰/۰۸ | ۶/۱۸ | ۴ | ۰/۳ | ۲ | ۰/۰۷۵ | ۵/۳۰ |
| ۶ | ۰/۳۵ | ۱ | ۰/۰۸ | ۷/۱۹ | ۶ | ۰/۳۵ | ۱ | ۰/۰۷۵ | ۷/۲۸ |
| ۶ | ۰/۳ | ۱ | ۰/۰۸ | ۷/۰۴ | ۶ | ۰/۳ | ۱ | ۰/۰۷۵ | ۶/۸۵ |
| ۶ | ۰/۳۵ | ۱/۵ | ۰/۰۸ | ۶/۳۰ | ۶ | ۰/۳۵ | ۱/۵ | ۰/۰۷۵ | ۶/۳۸ |
| ۶ | ۰/۳ | ۱/۵ | ۰/۰۸ | ۶/۴۱ | ۶ | ۰/۳ | ۱/۵ | ۰/۰۷۵ | ۷/۶۸ |
| ۶ | ۰/۳۵ | ۲ | ۰/۰۸ | ۶/۷۴ | ۶ | ۰/۳۵ | ۲ | ۰/۰۷۵ | ۵/۹۲ |
| ۶ | ۰/۳ | ۲ | ۰/۰۸ | ۶/۲۶ | ۶ | ۰/۳ | ۲ | ۰/۰۷۵ | ۶/۴۱ |
| ۸ | ۰/۳۵ | ۱ | ۰/۰۸ | ۷/۸۴ | ۸ | ۰/۳۵ | ۱ | ۰/۰۷۵ | ۷/۶۳ |
| ۸ | ۰/۳ | ۱ | ۰/۰۸ | ۸/۰۴ | ۸ | ۰/۳ | ۱ | ۰/۰۷۵ | ۸/۴۸ |
| ۸ | ۰/۳۵ | ۱/۵ | ۰/۰۸ | ۸/۱۱ | ۸ | ۰/۳۵ | ۱/۵ | ۰/۰۷۵ | ۸/۳۴ |
| ۸ | ۰/۳ | ۱/۵ | ۰/۰۸ | ۷/۹۲ | ۸ | ۰/۳ | ۱/۵ | ۰/۰۷۵ | ۸/۰۲ |
| ۸ | ۰/۳۵ | ۲ | ۰/۰۸ | ۸/۲۲ | ۸ | ۰/۳۵ | ۲ | ۰/۰۷۵ | ۷/۶۳ |
| ۸ | ۰/۳ | ۲ | ۰/۰۸ | ۸/۰۱ | ۸ | ۰/۳ | ۲ | ۰/۰۷۵ | ۷/۸۲ |
| ۱۰ | ۰/۳۵ | ۱ | ۰/۰۸ | ۸/۸۳ | ۱۰ | ۰/۳۵ | ۱ | ۰/۰۷۵ | ۹/۳۴ |
| ۱۰ | ۰/۳ | ۱ | ۰/۰۸ | ۸/۷۷ | ۱۰ | ۰/۳ | ۱ | ۰/۰۷۵ | ۸/۹۰ |

ادامه جدول (۳).

| تعداد طبقات (S) | شتاب لرزه خیزی (A) | نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه (L/H) | نسبت مقاومت فشاری بتن به تنش تسلیم میلگرد (F) | ضریب رفتار (R) | تعداد طبقات (S) | شتاب لرزه خیزی (A) | نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه (L/H) | نسبت مقاومت فشاری بتن به تنش تسلیم میلگرد (F) | ضریب رفتار (R) |
|-----------------|--------------------|-------------------------------------|---|----------------|-----------------|--------------------|-------------------------------------|---|----------------|
| ۱۰ | ۰/۳۵ | ۱/۵ | ۰/۰۸ | ۸/۸۰ | ۱۰ | ۰/۳۵ | ۱/۵ | ۰/۰۸ | ۹/۶۷ |
| ۱۰ | ۰/۳ | ۱/۵ | ۰/۰۸ | ۷/۴۷ | ۱۰ | ۰/۳ | ۱/۵ | ۰/۰۸ | ۸/۰۹ |
| ۱۰ | ۰/۳۵ | ۲ | ۰/۰۸ | ۷/۷۴ | ۱۰ | ۰/۳۵ | ۲ | ۰/۰۸ | ۸/۷۴ |
| ۱۰ | ۰/۳ | ۲ | ۰/۰۸ | ۸/۰۱ | ۱۰ | ۰/۳ | ۲ | ۰/۰۸ | ۸/۵۸ |
| ۱۲ | ۰/۳۵ | ۱ | ۰/۰۸ | ۹/۱۵ | ۱۲ | ۰/۳۵ | ۱ | ۰/۰۸ | ۹/۷۴ |
| ۱۲ | ۰/۳ | ۱ | ۰/۰۸ | ۹/۳۳ | ۱۲ | ۰/۳ | ۱ | ۰/۰۸ | ۸/۷۷ |
| ۱۲ | ۰/۳۵ | ۱/۵ | ۰/۰۸ | ۹/۹۰ | ۱۲ | ۰/۳۵ | ۱/۵ | ۰/۰۸ | ۹/۴۹ |
| ۱۲ | ۰/۳ | ۱/۵ | ۰/۰۸ | ۹/۸۵ | ۱۲ | ۰/۳ | ۱/۵ | ۰/۰۸ | ۹/۲۹ |
| ۱۲ | ۰/۳۵ | ۲ | ۰/۰۸ | ۸/۶۴ | ۱۲ | ۰/۳۵ | ۲ | ۰/۰۸ | ۹/۴۷ |
| ۱۲ | ۰/۳ | ۲ | ۰/۰۸ | ۹/۷۶ | ۱۲ | ۰/۳ | ۲ | ۰/۰۸ | ۹/۴۹ |
| ۱۵ | ۰/۳۵ | ۱ | ۰/۰۸ | ۹/۶۸ | ۱۵ | ۰/۳۵ | ۱ | ۰/۰۸ | ۱۰/۶۶ |
| ۱۵ | ۰/۳ | ۱ | ۰/۰۸ | ۱۰/۳۷ | ۱۵ | ۰/۳ | ۱ | ۰/۰۸ | ۱۰/۷۱ |
| ۱۵ | ۰/۳۵ | ۱/۵ | ۰/۰۸ | ۹/۹۰ | ۱۵ | ۰/۳۵ | ۱/۵ | ۰/۰۸ | ۱۰/۰۱ |
| ۱۵ | ۰/۳ | ۱/۵ | ۰/۰۸ | ۱۰/۸۰ | ۱۵ | ۰/۳ | ۱/۵ | ۰/۰۸ | ۱۰/۳۰ |
| ۱۵ | ۰/۳۵ | ۲ | ۰/۰۸ | ۹/۲۳ | ۱۵ | ۰/۳۵ | ۲ | ۰/۰۸ | ۹/۹۹ |
| ۱۵ | ۰/۳ | ۲ | ۰/۰۸ | ۸/۷۱ | ۱۵ | ۰/۳ | ۲ | ۰/۰۸ | ۱۰/۰۴ |

۵- رابطه سازی بر اساس بیان ژن

بانک داده‌ها، با درصد ارزیابی ۸۰ و درصد آزمایش ۲۰، در نرم افزار وارد شده و رابطه سازی صورت گرفته است. با استفاده از بانک به دست آمده از تحلیل های عددی غیرخطی مدل های متنوع و پس از انتقال داده های ورودی به نرم افزار GeneXproTools به منظور رابطه سازی برای ضریب رفتار، ابتدا مقادیر محاسباتی از روابط (۴) تا (۱۲) محاسبه شده و نهایتاً بر اساس رابطه ساده شده (۱۳) مقدار ضریب رفتار محاسبه می شود.

$$M_2 = \max \left\{ \frac{1}{4} \left[\left(\frac{L}{H_1} + S_1 \right) \right] + M_1 - 4.16 + F_1 \right\} \quad (۶)$$

$$M_3 = \max \left\{ \frac{1}{2} \left(\left(\frac{L}{H_1} + 2 A_1 \right) - 2.29 \right) \right. \\ \left. \frac{1}{2} \left(-0.31 + \frac{L}{H_1} \right) \right\} \quad (۷)$$

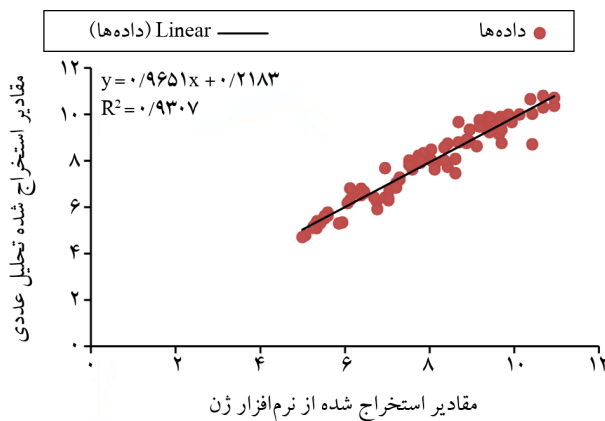
$$Y_2 = Y_1 + M_2 + M_3 + \left(\frac{-11.78 - \frac{L}{H_1}}{1.7} \right) \quad (۸)$$

که در این روابط، مقادیر ورودی باید پس از به هنجار شدن در رابطه وارد شوند. برای به هنجار شدن مقادیر ورودی از روابط (۹) تا (۱۲) استفاده می شود.

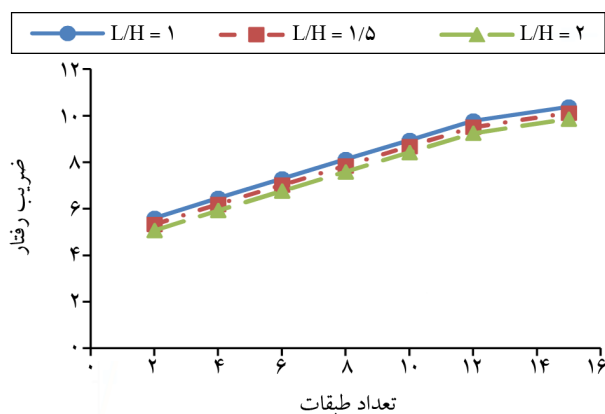
$$S_1 = \frac{S-2}{13} \quad (۹)$$

$$Y_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} -0.0058 \\ \frac{3 S_1 + F_1}{4} \times (A_1 - 1.29 F_1) \times A_1 S_1^3 \\ -\frac{S_1}{8.81} \end{array} \right\} \quad (۴)$$

$$M_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.14 \\ S_1 \\ A_1 \end{array} \right\} \quad (۵)$$



شکل (۱۲): مقایسه داده‌های حاصل از رابطه و مقادیر متناظر از تحلیل غیرخطی استاتیکی.



شکل (۱۳): حساسیت سنجی ضریب رفتار محاسبه شده از رابطه، نسبت به تعداد طبقات و نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه.

با توجه به شکل (۱۳) می‌توان دریافت که رابطه بین افزایش طبقات و ضریب رفتار، مستقیم می‌باشد. همچنین با افزایش نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه، ضریب رفتار به مقدار کمی کاهش می‌یابد. به‌طور کلی با توجه به شکل (۱۳) تغییرات ضریب رفتار در ارتفاع تقریباً یکنواخت بوده و تنها در مدل ۱۵ طبقه شدت افزایش ضریب رفتار، کم شده است؛ بنابراین بیشترین ضریب رفتار متعلق به مدل ۱۵ طبقه و دارای نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه ۱ می‌باشد؛ و کمترین ضریب رفتار متعلق به مدل ۲ طبقه دارای نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه ۲ می‌باشد.

۵-۲- حساسیت سنجی رابطه نسبت به شتاب لرزه‌خیزی ساختگاه

شتاب لرزه‌خیزی ساختگاه با تأثیر بر روی بارگذاری لرزه‌ای و

$$\frac{L}{H_1} = \frac{L}{H} - 1 \quad (10)$$

$$A_1 = \frac{A - 0.3}{0.05} \quad (11)$$

$$F_1 = \frac{F - 0.075}{0.005} \quad (12)$$

که در این روابط، S: تعداد طبقات، A: شتاب لرزه‌خیزی، $\frac{L}{H}$: نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقات و F: نسبت مقاومت فشاری بتن به تنش تسلیم میلگرد.

در نهایت جواب نهایی پس از محاسبه از حالت به‌هم‌نجار خارج می‌شود. برای خارج شدن از حالت به‌هم‌نجار از رابطه (۱۳) استفاده می‌شود.

$$R = (Y_2 \times 6.08) + 4.71 \quad (13)$$

از رابطه (۱۳) می‌توان برای محاسبه ضریب رفتار مدل‌های دارای تنوع طبقات ۲ تا ۱۵، با نسبت دهانه به ارتفاع طبقات ۱ تا ۲، با شتاب لرزه‌ای ۰/۳ یا ۰/۳۵ و همچنین نسبت مقاومت فشاری بتن به تنش تسلیم میلگرد ۰/۰۸ و ۰/۰۷۵ استفاده کرد. مقادیر حاصل از رابطه‌های ساخته شده با مقدار حاصل از تحلیل غیرخطی استاتیکی مقایسه شده و در شکل (۱۲) نتیجه مقایسه نشان داده شده است. در شکل (۱۲) هر داده دارای یک طول و عرض می‌باشد که طول مقادیر حاصل از نرم‌افزار GeneXproTools و عرض مقادیر استخراج شده حاصل از تحلیل عددی می‌باشد. داده‌ها و خط برازش رگرسیون در نمودار مشخص است و با توجه به مقدار رگرسیون خطی حاصل از این نمودار، رابطه حاصل از GeneXproTools دقت خوبی را نتیجه داده است.

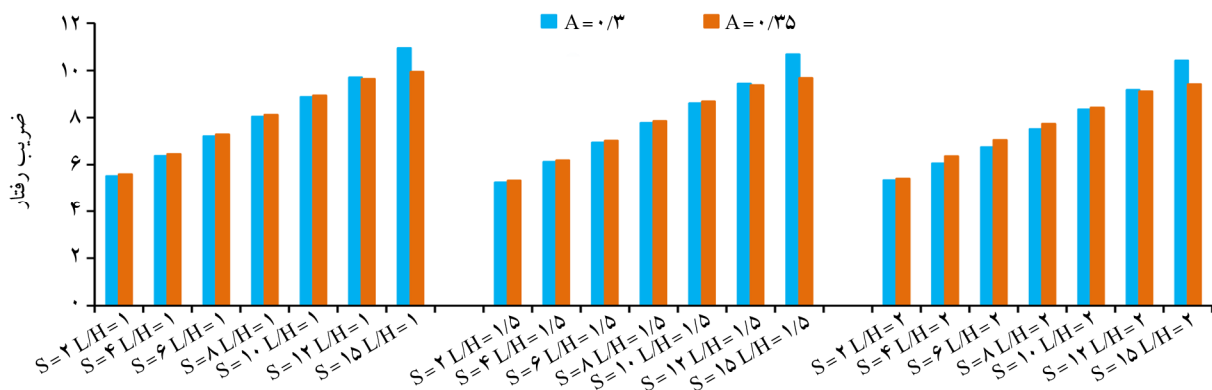
۵-۱- حساسیت سنجی رابطه نسبت به تعداد طبقات و نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه

به‌طور کلی با افزایش تعداد طبقات و نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقات ابعاد تیر و ستون‌ها در قاب خمشی دچار تغییر می‌شود و در نتیجه تغییر این پارامترها می‌تواند بر مقدار ضریب رفتار تأثیر گذار باشد. با استفاده از رابطه (۱۳) مقادیر ضریب رفتار برای تمام مدل‌ها محاسبه و در شکل (۱۳) حساسیت نسبت به تعداد طبقات، به ترتیب برای نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه ۱، ۱/۵ و ۲ نشان داده شده است.

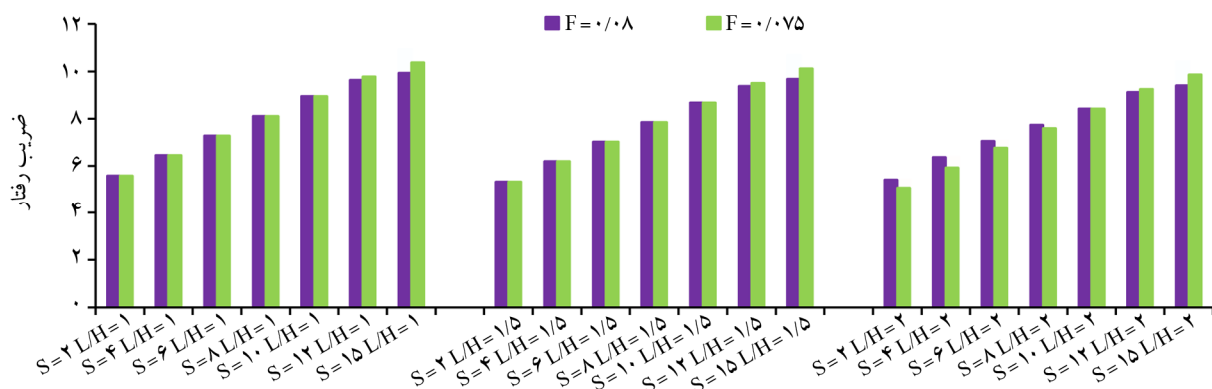
۳-۵- حساسیت سنجی نسبت به مقاومت مصالح مصرفی

یکی از پارامترهای مؤثر در طراحی قاب خمشی، نوع و ظرفیت مقاومتی مصالح مصرفی می‌باشد. این پارامتر با تأثیر در مقاومت و ابعاد تیر و ستون‌ها و نهایتاً تغییر در عملکرد غیرخطی سازه، می‌تواند بر مقدار ضریب رفتار تأثیرگذار باشد. با استفاده از رابطه (۱۳) مقادیر ضریب رفتار برای تمام مدل‌ها محاسبه و در شکل (۱۵) حساسیت نسبت به نوع مصالح مصرفی و نسبت مقاومت فشاری بتن به تنش تسلیم میلگرد، برای نسبت‌های طول دهانه به ارتفاع طبقه ۱، $1/5$ و 2 و شتاب لرزه‌خیزی ساختمانگاه $0/35$ نشان داده شده است.

با توجه به شکل (۱۵) مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد طبقات، ضریب رفتار افزایش می‌یابد. در مدل‌های با نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه ۱ و $1/5$ حساسیت قابل توجهی نسبت به پارامتر نسبت مقاومت فشاری بتن به تنش تسلیم میلگرد (F) در نتیجه آن تأثیر بر مقاطع تیر و ستون‌ها، می‌تواند به صورت غیرمستقیم بر عملکرد غیرخطی سیستم قابی مؤثر بوده و نهایتاً بر ضریب رفتار قاب تأثیرگذار باشد. از این‌رو با استفاده از رابطه (۱۳) مقادیر ضریب رفتار برای تمام مدل‌ها محاسبه و در شکل (۱۴) حساسیت نسبت به شتاب لرزه‌خیزی، برای نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه ۱، $1/5$ و 2 و نسبت مقاومت فشاری بتن به تنش تسلیم میلگرد $0/08$ آورده شده است. با توجه به شکل (۱۴) در مدل‌های با طبقات ۲ تا ۱۰، با افزایش شدت لرزه‌خیزی، ضریب رفتار اندکی افزایش می‌یابد و در مدل‌های ۱۲ و ۱۵ طبقه این نسبت، کاهش و اندک می‌باشد. در نتیجه می‌توان گفت که شتاب لرزه‌خیزی ساختمانگاه نمی‌تواند از پارامترهای کلیدی و تأثیرگذار در ضریب رفتار باشد و میزان حساسیت پاسخ نسبت به این پارامتر به اندازه تأثیرپذیری از تعداد طبقات و نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه نیست.



شکل (۱۴): حساسیت ضریب رفتار نسبت به شتاب لرزه‌خیزی برای مدل‌هایی با نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه متفاوت و نسبت مقاومت فشاری بتن به تنش تسلیم میلگرد $0/08$.



شکل (۱۵): حساسیت نسبت به مصالح مصرفی برای نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه ۱ و شدت لرزه‌خیزی $0/35$.

قاب‌ها، با توجه به تغییرات نه‌چندان قابل توجه مقدار ضریب رفتار ناشی از تغییرات نسبت مقاومتی بتن و میلگرد، می‌توان تأثیر ناشی از این مؤلفه بر ضریب رفتار را اندک عنوان نمود.

با توجه به دقت ۹۳ درصدی رابطه ارائه شده در مقاله بر اساس الگوریتم بیان ژن، روش ارائه شده جهت برآورد ضریب رفتار بر اساس پارامترهای یاد شده، به‌عنوان یک روش پیشنهادی برای محاسبه ضریب رفتار قاب خمشی بتن مسلح دارای اثرات اندرکنشی میانقاب ساندویچ پانل، پیشنهاد می‌شود. لذا پیشنهاد می‌شود از روابط ایجاد شده در این پژوهش در جهت توسعه و تکمیل جداول پیشنهادی ضریب رفتار در خصوص بارگذاری لرزه‌ای قاب‌های خمشی بتن مسلح با اعمال اثر میان‌قابی، استفاده شود.

در طبقات ۲ تا ۱۰ وجود ندارد و در مدل‌های ۱۲ و ۱۵ طبقه با افزایش نسبت مقاومت فشاری بتن به تنش تسلیم میلگرد از ۰/۰۷۵ به ۰/۰۸، مقدار ضریب رفتار کاهش یافته است. البته این میزان کاهش نیز خیلی زیاد نیست. به‌طور کلی با افزایش نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه ضریب رفتار کاهش می‌یابد به‌طوری‌که کمترین ضریب رفتار متعلق به مدل ۲ طبقه با نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه ۲ و نسبت مقاومت فشاری بتن به تنش تسلیم میلگرد ۰/۰۷۵ بوده و بیشترین ضریب رفتار متعلق به مدل ۱۵ طبقه با نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه ۱ و نسبت مقاومت فشاری بتن به تنش تسلیم میلگرد ۰/۰۷۵ می‌باشد. در نتیجه می‌توان گفت که تغییر نسبت مقاومت فشاری بتن به تنش تسلیم میلگرد نمی‌تواند تأثیرگذاری قابل توجه در مقدار ضریب رفتار داشته باشد.

مراجع

1. Einea, A. (1992) *Structural and Thermal Efficiency of Precast Concrete Sandwich Panel Systems*. Doctoral Dissertation, The University of Nebraska-Lincoln.
2. Olin, J., Ratvio, J., and Jokela, J. (1984) *Development of Heat Economy and Construction of Facade Elements*. VTT Technical Research Centre of Finland.
3. Weixing, S. and Lixin, Z. (1997) *Report of Earthquake Resistant Test of the Model of EVG-3D Project*, State Laboratory for Disaster Reduction in Civil Engineering. Shaking Table Testing Division of Tongji University.
4. Kabir, M.Z. and Hasheminasab, M. (2002) Mechanical properties of 3D wall panels under shear and flexural loading. *In CSCE Conference*, 5-8.
5. Rezaifar, O., Kabir, M.Z., Taribakhsh, M., and Tehranian, A. (2008) Dynamic behaviour of 3D-panel single-storey system using shaking table testing. *Engineering Structures*, **30**(2), 318-337.
6. Hashemi, S.J., Razzaghi, J., Moghadam, A.S., and Lourenço, P.B. (2018) Cyclic testing of steel frames infilled with concrete sandwich panels. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, **18**, 557-572.

۶- نتیجه‌گیری

- به‌طور کلی با افزایش ارتفاع ساختمان، مقدار ضریب رفتار افزایش می‌یابد و در چنین شرایطی رفتار غالب در فضای اندرکنشی قاب و میانقاب، رفتار میانقاب می‌باشد (با افزایش ارتفاع سازه، تغییر مکان هدف در نمودار نیرو - تغییر مکان مدل‌های دارای ساندویچ پانل افزایش یافته و در نتیجه مقدار ضریب رفتار نیز افزایش می‌یابد).
- با افزایش نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه، ضریب رفتار کاهش می‌یابد. هرچند با توجه به تمایل پیدا کردن رفتار کلی سیستم به رفتار میانقاب ساندویچ پانل، تغییرات بر اساس این پارامتر کوچک می‌باشد.
- علیرغم اینکه تغییرات شتاب لرزه‌خیزی با تأثیر بر روی بارگذاری لرزه‌ای به‌طور غیر مستقیم باعث تغییر در هندسه و رفتار غیرخطی قاب می‌شود، بررسی‌های صورت گرفته نشان داده است که تغییرات ضریب رفتار ناشی از این پارامتر قابل توجه نیست.
- با وجود تأثیرگذاری ظرفیت و مقاومت مصالح مصرفی بر سختی و عملکرد غیرخطی تیرها و ستون‌های قاب خمشی به دلیل دخالت مستقیم در روند طراحی و تعیین ابعاد مقاطع

- networks. *Measurement*, **76**, 45-61.
16. Arslan, M.H. (2010) An evaluation of effective design parameters on earthquake performance of RC buildings using neural networks. *Engineering Structures*, **32**(7), 1888-1898.
 17. Jørgensen, C., Grastveit, R., Garzón-Roca, J., Payá-Zaforteza, I., and Adam, J.M. (2013) Bearing capacity of steel-caged RC columns under combined bending and axial loads: Estimation based on artificial neural networks. *Engineering Structures*, **56**, 1262-1270.
 18. Lee, S. and Lee, C. (2014) Prediction of shear strength of FRP-reinforced concrete flexural members without stirrups using artificial neural networks. *Engineering Structures*, **61**, 99-112.
 19. Ferreira, C. (2001) Gene expression programming: a new adaptive algorithm for solving problems. *Complex Systems*, **13**(2), 87-129.
 20. Uang, C.M. (1991) Establishing R (or R_w) and Cd factors for building seismic provisions. *Journal of Structural Engineering*, **117**(1), 19-28.
 21. ATC (1995) *A Critical Review of Current Approaches to Earthquake-Resistant Design*. ATC-34 Report, Applied Technology Council, Redwood City, California.
 22. Hashemi, S.Sh., Sadeghi, K., Vaghefi, M., and Siadat, S.A. (2018) Evaluation of ductility of RC structures constructed with bubble deck system. *International Journal of Civil Engineering*, **16**(5), 513-526.
 23. Hashemi, S.J., Razzaghi, J., and Moghadam, A.S. (2018) Behaviour of sandwich panel infilled steel frames with different interface conditions. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings*, **171**(2), 166-177.
 24. Qiao, W., Yin, X., Zhao, S., and Wang, D. (2019) Cyclic loading test study on a new cast-in-situ insulated sandwich concrete wall. *PloS One*, **14**(11), e0225055.
 25. Vecchio, F.J. and Emar, M.B. (1992) Shear deformations in reinforced concrete frames. *ACI Structural Journal*, **89**(1), 46-56.
 7. Hwang, H.H. and Jaw, J.W. (1989) *Statistical Evaluation of Response Modification Factors for Reinforced Concrete Structures*. Buffalo, New York: National Center for Earthquake Engineering Research.
 8. Federal Emergency Management Agency (2003) *NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and other Structures*. FEMA.
 9. Salehi, Y.M., Moradmand, H., and Moghadam, A.S. (2010) The effect of modeling methods of masonry infill on seismic performance of RC moment resisting frames. *Journal of Modeling in Engineering*, **8**(20), 27-37.
 10. Shooshtari, A. and Ghaznavi, H. (2008) Investigation of behavior coefficient of reinforced concrete buildings in seismic analysis. *The 4th National Conference on new Finding in Civil Engineering*, Tehran University (in Persian).
 11. Hashemi, S.Sh., Sadeghi, K., Vaghefi, M., and Shayan, K. (2017) Evaluation of ductility and response modification factor in moment-resisting steel frames with CFT columns. *Earthquakes and Structures*, **12**(6), 643-652.
 12. Effati, M., Madandoust, R., and Fallah Zarjoo Bazkhiyaei, Z. (2020) Evaluation of artificial neural network, neuro-fuzzy and multivariate regression modelling for prediction of concrete compressive strength via point load test. *Journal of Modeling in Engineering*, **18**(62), 99-113.
 13. Bibak, H., Khazaie, J., and Moayedi, H. (2019) Prediction of optimal mixing design for stabilized soft clay soil using Artificial Neural Networks. *Journal of Modeling in Engineering*, **17**(57), 147-158.
 14. Hashemi, S.Sh., Sadeghi, K., Fazeli, A., and Zarei, M. (2019) Predicting the weight of the steel moment-resisting frame structures using artificial neural networks. *International Journal of Steel Structures*, **19**(1), 168-180.
 15. Hakim, S.J.S., Razak, H.A., and Ravanfar, S.A. (2015) Fault diagnosis on beam-like structures from modal parameters using artificial neural

Estimating the Seismic Behavior Factor of Moment Resisting RC Frames with Infill 3D Panels Using Gene Expression

Saber Ezzi¹, Seyed Shaker Hashemi^{2*} and Abdolreza Fazeli³

1. M.Sc. Student, Civil Engineering Department, Persian Gulf University, Bushehr, Iran
2. Assistant Professor, Civil Engineering Department, Persian Gulf University, Bushehr, Iran,
*Corresponding Author, email: sh.hashemi@pgu.ac.ir
3. Assistant Professor, Civil Engineering Department, Persian Gulf University, Bushehr, Iran

In recent years, sandwich panels have become one of the common infill panels in the moment resisting frame systems. The behavior of these infill panels has always been discussed by researchers. Based on seismic design, for prevention of structures collapse during the severe earthquake, the absorption of energy by plastic deformation is necessary. In fact, the seismic applied load to structures is greater than applied force to it during design. This reduction of design applied loads is by the behavior factor. Behavior coefficient depends on parameters such as ductility coefficient, structural damping coefficient, soil characteristics, earthquake characteristics, over strength coefficient and design reliability coefficient. Therefore, estimating the behavior of structures is always of particular importance in order to understand their response to earthquakes. In the present study, the behavior factor of moment resisting frames with the sandwich infill panel has been investigated. Also, an equation has been established to calculate the behavior factor, based on various effective parameters. In this regard modeling and nonlinear analysis of moment resisting frames models with the sandwich panels were performed in ETABS 2017. Nonlinear analysis is necessary for determining the effect of earthquake force during design and nonlinear dynamics analysis is time consuming so usually designers use the nonlinear static analysis. Nonlinear static analysis is one of the nonlinear analysis methods that the lateral load represents the earthquake load and is applied statically and increasingly to the structure. Estimating behavior factor prior to the starting of the design process is an important help to designers. For the process of analysis and design of the researched structures, the national building regulations and also ACI 318-14 have been used in loading, analyzing and designing process.

In this paper, we have examined behavior factor of the reinforced concrete (RC) frame with sandwich infill panels using gene expression programming. Gene expression programming is very successful in this case. The success of an issue depends largely on how well it works. Gene expression programming is a genetic algorithm that uses the population of individuals and selects them according to fit and introduces genetic changes using one or more genetic operators. In this modeling, some effective parameters in the performance of moment resisting frames with the sandwich infill panels have been considered in various and variable ways. These parameters include: the number of stories (2, 4, 6, 8, 10, 12 and 15), the ratio of span length to story height (1, 1.5 and 2), the design base acceleration (0.35 and 0.3), ratio of concrete compressive strength to the longitudinal reinforcements yield stress (0.08 and 0.075). After calculating the behavior factor using valid methods, a database was created by using the behavior factors obtained from the models. A mathematical equation was conducted by GeneXproTools software to obtain the behavior factor. The main purpose of this research is to establish an equation to obtain the behavior factor of the moment resisting frames system with the sandwich infill panel based on effective parameters. The obtained equation has resulted in a regression coefficient of 93%. After extracting the relevant functional equations, the sensitivity and parametric study of the behavior factor concerning the parameters of the mentioned variable have been studied. The result shows that the parameters of the number of stories and the ratio of span length to story height are the most influential on the behavior factor.

In this regard, with increasing the number of stories, the coefficient of behavior increases, and with increasing the ratio of span length to story height, the value of behavior factor decreases.

Keywords: Sandwich Panel; Behavior Factor; Infill Panel; Gene Expression; Nonlinear Analysis.