

## خسارات لرزه‌ای ناشی از نادیده گرفتن راه‌پله در طراحی و اجرای ساختمان‌ها

آزاده نوری‌فرد (نویسنده مسئول)، دانشجوی دکتری معماری دانشگاه علم و صنعت ایران، [anoorifard@iust.ac.ir](mailto:anoorifard@iust.ac.ir)

محمدرضا تابش‌پور، استادیار دانشگاه صنعتی شریف

فاطمه مهدی‌زاده سراج، دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه علم و صنعت ایران

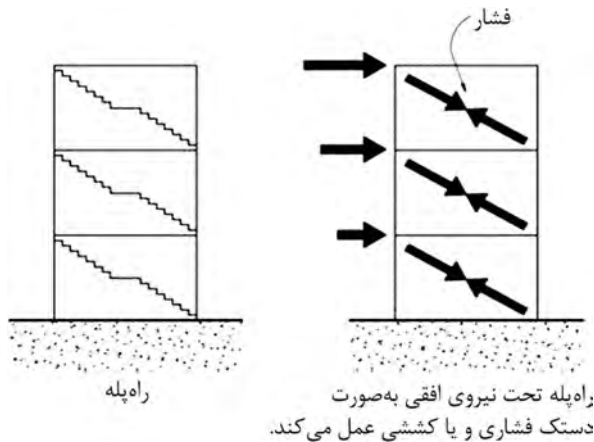
**چکیده:** در حال حاضر عمده توجه مهندسان به راه‌پله در طراحی معماری از لحاظ فرم، ابعاد، تأمین دسترسی و سازمان‌دهی فضایی بوده و در طراحی سازه اغلب راه‌پله از مدل حذف و تأثیر آن بر سازه بررسی نمی‌شود. در اجرای ساختمان نیز به دلیل فقدان نقشه‌های اجرایی راه‌پله، کیفیت ساخت به مهارت و تجربه نیروی کار وابسته است که اغلب فاصله‌ی قابل توجهی با استانداردها دارد. مجموعه‌ی این عوامل موجب گردیده این عنصر ساختمانی در برابر زلزله بسیار آسیب‌پذیر باشد، درحالی‌که در شرایط بحران می‌بایست به‌عنوان راه فرار و مسیر امداد و نجات عمل کند. مطالعه‌ی رفتار سازه‌ها در دو حالت با و بدون راه‌پله نشان می‌دهد، وجود راه‌پله به دلیل عملکرد مهربانگونه‌ی آن بر سختی سازه، پیروید ارتعاشی، تغییر مکان جانبی، مرکز سختی، پتانسیل پیچش، تمرکز نیروهای برشی و ممان خمشی در ستون‌های پاگرد تأثیر قابل توجهی دارد. تجارب زلزله‌های گذشته نشان می‌دهد موده‌های شکست راه‌پله بسیار متنوع است. در این مقاله ۱۱ مود شکست راه‌پله در ساختمان‌های فلزی، بتنی و پیش‌ساخته در مورد بررسی قرار گرفته است. رویکرد جداسازی پله از سازه‌ی اصلی با روش‌های مختلف به‌عنوان یک راهکار اصلی از آثار نامطلوب پله بر سازه جلوگیری کرده و مانع از بخش عمده‌ای از موده‌های شکست راه‌پله در زلزله می‌گردد.

**کلمات کلیدی:** راه‌پله، سختی، پیچش، تمرکز برش، موده‌های شکست در زلزله

### ۱- مقدمه

بارهای مرده و زنده راه‌پله در مدل سازه اقدام می‌کنند [۱]- [۳]، به‌بیان دیگر در روش‌های طراحی مرسوم سازه از راه‌پله صرف‌نظر می‌شود [۴]. در اجرای ساختمان نیز به دلیل فقدان نقشه‌های اجرایی راه‌پله، کیفیت ساخت اغلب به مهارت و تجربه‌ی نیروی کار وابسته است که اغلب فاصله‌ی قابل توجهی با استانداردها دارد. فرهنگ مهندسی حاکم بر اجرای ساختمان‌ها و نادیده گرفتن راه‌پله در طراحی سازه و اجرا، این عنصر ساختمانی را در برابر زلزله بسیار آسیب‌پذیر می‌کند؛ درحالی‌که راه‌پله در شرایط بحران به‌عنوان راه فرار و مسیر امداد و نجات از اهمیت بالایی برخوردار است [۱، ۴] و

جهت تأمین دسترسی به طبقات، طراحی راه‌پله اجتناب‌ناپذیر است. در حال حاضر عمده توجه به عملکرد و ساختار راه‌پله توسط مهندسان معمار و در طراحی نقشه‌های معماری صورت می‌گیرد. از دیدگاه معماری مسائلی همچون تأمین دسترسی به طبقات، سازمان‌دهی فضایی پلان، فرم و ابعاد راه‌پله بر اساس کاربری ساختمان، نفرات مستقر در هر طبقه و تعداد طبقات ساختمان، تعداد و فاصله‌ی بین راه‌پله‌ها بر اساس فرم و ابعاد پلان مورد توجه قرار می‌گیرد. لکن مهندسان سازه تنها تیر و ستون‌های اطراف باکس پله را به‌صورت یک وید خالی طراحی کرده و نسبت به اعمال



شکل (۱): عملکرد مهاربندگونه‌ی راه پله متصل به سازه / ۶.

## ۲-۱- افزایش سختی

یکی از مهم‌ترین آثار راه‌پله‌ها بر سازه‌ی ساختمان، افزایش سختی سازه است [۲، ۳، ۴، ۷، ۹، ۱۱، ۱۴]. افزایش سختی خود موجب کاهش پریود سازه و افزایش نیروهای زلزله می‌گردد. همچنین افزایش سختی به معنی کاهش تغییر مکان‌های سازه نیز می‌باشد. در تحقیقات قبلی، گروهی به کاهش پریود و تغییر مکان نسبی سازه در هر دو جهت واقع در امتداد راه‌پله و عمود بر آن اشاره کرده‌اند [۳، ۷]، لکن عده‌ای دیگر، بیان کرده‌اند که وجود پله موجب کاهش پریود و تغییر مکان نسبی طبقه در امتداد طولی راه‌پله گردیده لکن اثر آن در جهت عرضی راه‌پله قابل چشم‌پوشی است [۴، ۱۴].

به‌منظور بررسی میزان تأثیر راه‌پله بر کاهش پریود سازه، ساختمان شکل (۲) در سه حالت قاب خالی، قاب با دال پله و قاب با شمشیری پله تحلیل شده است. نتیجه‌ی محاسبه‌ی پریود سه مود نخست سازه در جدول (۱) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد در نمونه با دال پله، پریود در جهت X ۱۶ درصد و در جهت ۲۰ درصد کاهش دارد، لکن در نمونه با تیر شمشیری، تغییر پریود در جهت X قابل چشم‌پوشی و در جهت Y ۱۶ درصد کاهش دارد. در واقع دال بتن مسلح در امتداد طولی راه‌پله به‌صورت مهاربند K و در امتداد عرضی آن به‌صورت دیوار برشی شیب‌دار عمل کرده و لذا در هر دو امتداد موجب تغییرات اساسی در سختی، پریود و تغییر مکان سازه

[۵-۱۱]. به‌بیان دیگر پله در ساختمان از نظر سازه‌ای نقش دوم را دارد درحالی‌که هنگام خدمت‌رسانی، در نقش اول ظاهر می‌شود، با توجه به اینکه پله در زمان وقوع زلزله در خط اول اعضای مقاوم قرار می‌گیرد، لذا همان ابتدا تسلیم شده و دچار شکست می‌شود [۱۲]. با حذف پله، سازه ناپایدار و تخریب نمی‌شود لیکن خدمت‌رسانی سازه مختل می‌شود [۱۳]، لذا راه‌پله‌ها باید در برابر زلزله‌های شدید نیز همچنان عملکرد ایمن خود را حفظ کنند [۱۲].

بخشی از خسارات وارد بر راه‌پله در زلزله‌های گذشته ناشی از نادیده گرفتن آن در طراحی سازه و بخش دیگر ناشی از ضعف اجرا می‌باشد. بر این اساس در این مقاله سعی شده با یک رویکرد کل‌نگر، همه‌ی عوامل مؤثر بر عملکرد لرزه‌ای راه‌پله و تأثیر آن بر عملکرد سازه که اغلب به‌دلیل نادیده گرفتن آن در مدل‌سازی سازه‌ها مغفول باقی می‌ماند، مورد بررسی قرار گیرد.

## ۲-۲- آثار راه‌پله بر رفتار لرزه‌ای ساختمان

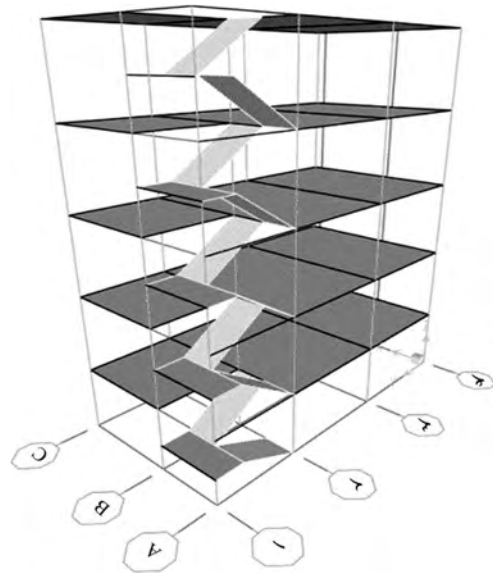
چنانچه راه‌پله به سازه متصل باشد، تا حدودی به‌صورت اعضای سازه‌ای عمل می‌کند. شیب‌دار بودن آن باعث می‌شود که به‌صورت مهاربند K شکل عمل کنند (شکل ۱). با توجه به سختی بالای این عنصر در مقابل نیروهای افقی، در مقایسه با قاب خمشی می‌تواند نیروهای بزرگی را جذب کرده [۳، ۴، ۶، ۱۰] و موجب تمرکز سختی مضاعفی در یک بخش سازه شود. با توجه به اینکه به‌صورت معمول راه‌پله در مدل‌سازی سازه‌ها وارد نمی‌شود آثار آن در طراحی سازه بررسی نمی‌شود. بر این اساس سه اثر اصلی ناشی از راه‌پله و یک اثر ناشی از خرپشته بر رفتار لرزه‌ای سازه قابل بررسی می‌باشد که در ادامه به بررسی هر یک پرداخته می‌شود. جهت بررسی کمی موضوع در این بخش یک ساختمان بتن مسلح که سیستم سازه‌ای آن در هر دو جهت، قاب خمشی بتن مسلح متوسط می‌باشد و بر اساس مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان و ویرایش ۳ استاندارد ۲۸۰۰ بارگذاری و طراحی شده است، در دو حالت با و بدون دال پله تحلیل گردیده است.

جدول (۱): پیروید سازه در سه حالت قاب خالی، قاب با دال پله و قاب با شمشیری پله

مود ۳				مود ۲				مود ۱			
UY	UX	Dir	T	UY	UX	Dir	T	UY	UX	Dir	T
۱/۰۴	۱/۱۵	T	۰/۷۰	۶۸/۸۲	۰/۰۳	Y	۰/۷۴	۰/۰۰	۶۹/۴۵	X	۰/۹۰
۲۴/۰۵	۱۲/۲۶	T	۰/۵۲	۴۷/۴۷	۱۴/۳۷	Y	۰/۵۹	۱/۷۳	۴۶/۳۳	X	۰/۷۵
۵۸/۸۷	۰/۰۰	Y	۰/۶۲	۱۴/۱۲	۰/۲۹	T	۰/۷۲	۰/۰۵	۷۱/۵۸	X	۰/۹۳

جهت کنترل حرکت پیچشی سازه در برابر نیروهای جانبی، بررسی شکل مودی، فاصله بین مرکز جرم و سختی و نسبت حداکثر تغییر مکان نسبی به متوسط تغییر مکان نسبی دو انتهای ساختمان مؤثر می‌باشد. بر اساس استانداردهای لرزه‌ای چنانچه در هر طبقه حداکثر تغییر مکان نسبی در انتهای ساختمان، با احتساب پیچش تصادفی بیشتر از ۲۰ درصد با متوسط تغییر مکان نسبی دو انتهای ساختمان در آن طبقه اختلاف داشته باشد، ساختمان دارای بی‌نظمی پیچشی است [۱۵-۱۸].

نتایج تحلیل نمونه‌ی مورد مطالعه (شکل ۳) در دو حالت با و بدون دال پله جهت مطالعه‌ی آثار پیچشی در جدول‌های (۲) و (۳) ارائه شده است. بر این اساس فاصله‌ی مرکز جرم و سختی، در نمونه‌ای که دال پله در مدل وجود دارد بیش از ۱۰ درصد بوده

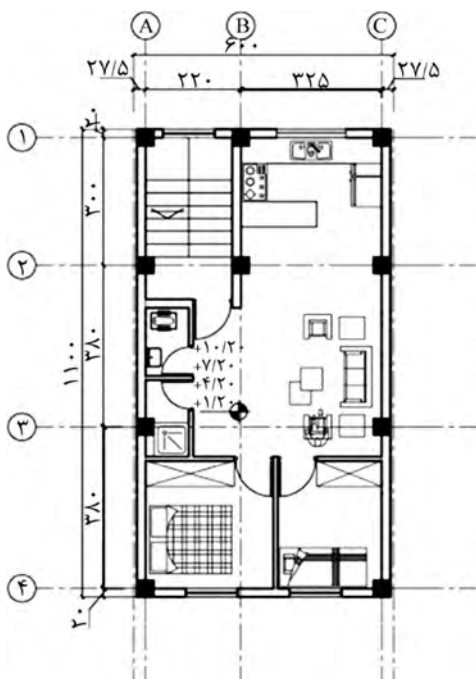


شکل (۲): مدل دال پله در یک ساختمان.

می‌گردد، لکن شمشیری تنها در جهت طولی راه‌پله به‌صورت مهاربند عمل کرده و آثار آن در جهت عرضی قابل چشم‌پوشی است.

## ۲-۲- وقوع پیچش

چنانچه پله با استفاده از تیر شمشیری اجرا شود، سختی پله به‌صورت مهاربند در امتداد طول آن مؤثر خواهد بود، در شرایطی که پله با استفاده از دال بتنی اجرا شود علاوه بر سختی در امتداد طولی پله، سختی در امتداد عرضی ناشی از عملکرد دیوار برشی شیب‌دار راه‌پله نیز بر سازه تأثیر خواهد داشت. مهم‌ترین تأثیر راه‌پله بر رفتار لرزه‌ای سازه، تأثیر روی مرکز سختی و افزایش پتانسیل پیچش در ساختمان می‌باشد. این امر به‌ویژه در شرایطی که راه‌پله به‌صورت نامتقارن در پلان قرار دارد، اهمیتی دو چندان دارد [۴، ۶، ۱۰، ۱۱، ۱۴].



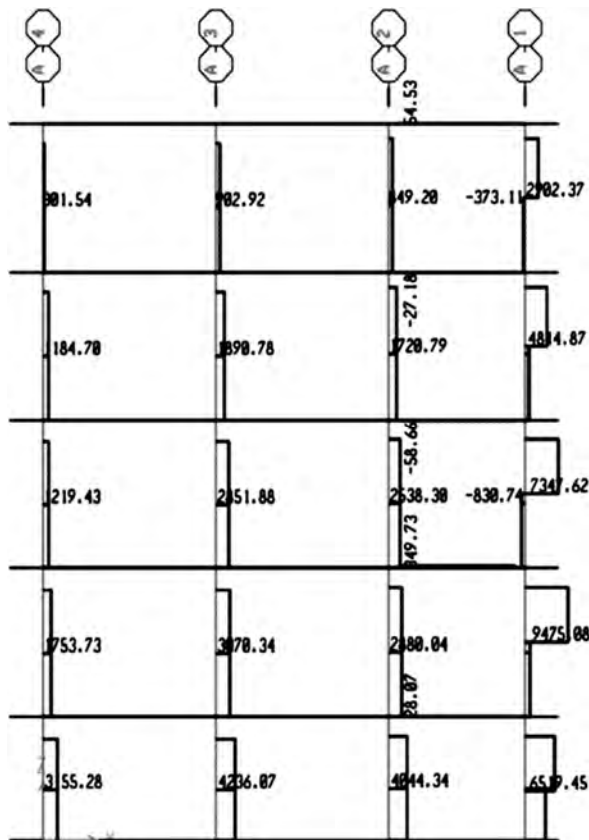
شکل (۳): پلان معماری ساختمان مورد مطالعه.

جدول (۲): فاصله‌ی مرکز جرم و سختی نمونه‌ی مورد مطالعه در دو حالت با و بدون دال پله.

طبقه ۵		طبقه ۴		طبقه ۳		طبقه ۲		طبقه ۱		قاب بدون دال پله
%ey	%ex	%ey	%ex	%ey	%ex	%ey	%ex	%ey	%ex	
-۲/۵۶	۰/۶۸	۰/۶۹	-۰/۳۳	۲/۶۵	-۰/۱۵	۳/۴۲	-۰/۴۸	۴/۱۱	-۰/۳۳	قاب بدون دال پله
۱۸/۷۰	-۱۴/۰۹	۱۹/۹۴	-۱۳/۹۸	۱۹/۸۹	-۱۳/۰۳	۱۸/۵۱	-۱۲/۱۷	۱۳/۹۶	-۷/۰۵	قاب با دال پله

جدول (۳): تغییر مکان نسبی به متوسط تغییر مکان نسبی نمونه‌ی مورد مطالعه در دو حالت با و بدون دال پله.

EQYN	EQYP	EQY	EQXN	EQXP	EQX	قاب بدون دال پله	طبقه ۱
$D_{max}/D_{ave}$	$D_{max}/D_{ave}$	$D_{max}/D_{ave}$	$D_{max}/D_{ave}$	$D_{max}/D_{ave}$	$D_{max}/D_{ave}$		
۱/۰۵	۱/۰۳	۱/۰۳	۱/۰۹	۱/۰۹	۱/۰۲	قاب بدون دال پله	طبقه ۱
۱/۰۴	۱/۱۳	۱/۰۸	۱/۴۹	۱/۳۱	۱/۳۸	قاب با دال پله	
۱/۰۵	۱/۰۲	۱/۰۱	۱/۰۸	۱/۱۰	۱/۰۰	قاب بدون دال پله	طبقه ۲
۱/۰۶	۱/۱۶	۱/۱۲	۱/۵۱	۱/۳۲	۱/۴۲	قاب با دال پله	
۱/۰۴	۱/۰۲	۱/۰۱	۱/۰۵	۱/۱۲	۱/۰۳	قاب بدون دال پله	طبقه ۳
۱/۱۰	۱/۲۰	۱/۱۲	۱/۵۲	۱/۳۳	۱/۴۳	قاب با دال پله	
۱/۰۳	۱/۰۳	۰/۹۹	۰/۹۵	۱/۲۱	۱/۱۴	قاب بدون دال پله	طبقه ۴
۱/۱۱	۱/۲۱	۱/۱۸	۱/۵۲	۱/۳۱	۱/۴۱	قاب با دال پله	
۱/۰۴	۱/۰۳	۱/۰۰	۰/۹۴	۱/۲۴	۱/۱۴	قاب بدون دال پله	طبقه ۵
۱/۱۵	۱/۲۰	۱/۱۷	۱/۴۷	۱/۲۸	۱/۴۰	قاب با دال پله	



شکل (۴): تمرکز ممان خمشی و نیروی برشی در امتداد طولی ستون‌های پاگرد در مدل با دال پله.

و افزایش قابل توجهی نسبت به نمونه‌ی فاقد دال پله نشان می‌دهد، همچنین نسبت حداکثر تغییر مکان نسبی به متوسط تغییر مکان نسبی دو انتهای ساختمان نیز بیش از ۱/۲ می‌باشد.

### ۳-۲- تمرکز نیرو در اعضای سازه

سختی ناشی از راه‌پله موجب تغییر نیروهای داخلی اعضای سازه از جمله نیروهای برشی و ممان‌های خمشی می‌شود. در ستون‌های متصل به پاگرد پله و همچنین تیر پاگرد، نیروهای برشی و ممان خمشی وارده به شدت افزایش یافته [۱، ۲، ۳، ۷، ۹، ۱۲، ۱۴]، در عوض نیروهای سایر اعضا کاهش می‌یابد [۱، ۲، ۷]. در شکل (۴)، افزایش نیروهای برشی در امتداد طولی ستون‌های پاگرد ساختمان مورد مطالعه که در آن دال پله مدل گردیده، مشاهده می‌شود. از آنجاکه اغلب شمشیری و دال پله در مدل‌سازی سازه وارد نمی‌شود، لذا ستون‌های پاگرد در امتداد طولی برای نیروی افزایش یافته در اثر راه‌پله طرح نشده و از ظرفیت کافی برخوردار نمی‌باشند؛ لذا در عمل در زمان وقوع

قرار گرفتن آن در یک سمت ساختمان در شکل (۵) قابل ملاحظه است، در این ساختمان، سازه سایر بخش‌ها سالم باقی مانده است.



شکل (۵): نمونه‌ای از خرابی سازه در محل پله در زلزله‌ی ۲۰۰۸ ونچوان چین [۱۹].

### ۳-۲- شکست شمشیری و دال شیب‌دار راه‌پله

یکی از ضعف‌های اساسی در اجرای راه‌پله‌ها به دلیل نقص در جزئیات نقشه‌های اجرایی، ضعف اتصال تیر شمشیری به تیر اصلی یا تیر پاگرد می‌باشد. در سازه‌های فولادی اغلب کیفیت جوشکاری و طول ناکافی جوش در محل پاگرد موجب شکست تیر شمشیری می‌شود (شکل ۶) [۵]. شکل (۷) نشان می‌دهد که در سازه‌های بتنی مهار ناکافی تیرچه‌های شمشیری در تیر پاگرد عامل اصلی شکست می‌باشد، ضمن اینکه با توجه به عدم طراحی راه‌پله در برابر نیروهای زلزله امکان شکست دال در برابر نیروهای جانبی نیز وجود دارد (شکل ۸).

زلزله دچار شکست می‌شوند، وقوع این شکست علاوه بر از بین بردن راه فرار و مسیر امداد و نجات در زلزله باعث افزایش نیرو در سایر اعضای سازه گردیده و احتمال شکست در سایر اعضا را افزایش می‌دهد. بر این اساس کاهش نیروی سایر اعضای سازه در اثر سختی جانبی راه‌پله، در عمل مزیتی در ظرفیت باربری جانبی به همراه نخواهد داشت. تأثیر راه‌پله در امتداد عرضی تا حدودی متفاوت است، در این امتداد وجود تیر پاگرد موجب کاهش ارتفاع ستون‌ها گردیده و موجب شکل‌گیری ستون کوتاه می‌شود که اثری به مراتب خفیف‌تر از امتداد طولی دارد، با توجه به اینکه این تیر به صورت معمول در مدل‌سازی سازه وجود دارد، لذا مقاطع و جزئیات اعضاء بر اساس این هندسه طرح می‌شود. در این امتداد چنانچه ساختار پله از دال بتنی باشد، در زلزله عملکردی مشابه یک دیوار برشی شیب‌دار داشته و موجب کاهش نیروهای اعضای اصلی سازه می‌گردد و چنانچه ساختار پله تیر شمشیری باشد، تأثیر چندانی در امتداد عرضی بر پاسخ لرزه‌ای سازه نخواهد داشت.

### ۳- مودهای شکست راه‌پله در زلزله‌های گذشته

به دلیل بی‌توجهی مهندسان در طراحی و اجرای راه‌پله، خسارت‌های متعددی در زلزله‌های گذشته به این عنصر ساختمانی وارد گردیده است که در ادامه موارد اصلی مورد بررسی قرار می‌گیرد:

#### ۳-۱- شکست سازه در محل پله

مطابق با موارد بررسی شده در بخش قبل، پله موجب افزایش سختی و تمرکز نیرو در اعضای سازه به‌ویژه ستون‌های اطراف پله می‌گردد. همچنین زمانی که موقعیت آن در کنج یا یک سمت سازه قرار داشته باشد موجب وقوع پیچش در زمان زلزله خواهد شد. همه‌ی این عوامل موجب می‌شود در صورت وقوع زلزله، سازه در محل پله دچار آسیب‌های جدی گردد. نمونه‌ای از آسیب وارد بر سازه در محل راه‌پله به دلیل

### ۳-۳- شکست پای پله در محل دال پاگرد

مشاهده‌ی خسارت زلزله‌های گذشته و نتایج تحلیل‌های المان محدود نشان می‌دهد در بخشی از تیر پله که مابین دال شیب‌دار به سمت بالا و پایین قرار دارد، تنش‌های پیچیده‌ای تحت نیروهای جانبی ایجاد می‌شود که ترکیبی از خمش و کشش بوده و محلی برای بروز شکست می‌باشد (شکل‌های ۹ و ۱۰) [۴].



شکل (۶): نمونه‌ای از خرابی شمشیری فلزی پله در محل اتصال به پاگرد در زلزله ۱۳۸۲ بم [۵].



شکل (۹): نمونه‌ای از شکست تیر پای پله [۴].



شکل (۷): نمونه‌ای از خرابی تیر شمشیری بتنی پله در محل اتصال به پاگرد علی‌رغم سالم ماندن سایر بخش‌های سازه، در زلزله ۱۳۸۲ بم [۲۰].



شکل (۱۰): نمونه‌ای از شکست پای پله در محل دال پاگرد [۱۲].

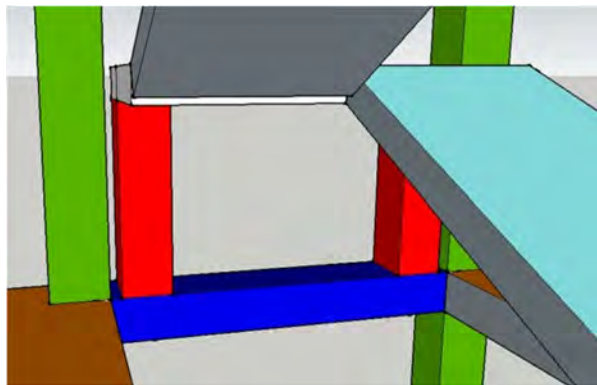
### ۳-۴- شکست ستون کوتاه در محل پاگرد

همان‌طور که در بخش‌های قبل اشاره شد، تمرکز نیروهای برشی در محل ستون‌های پاگرد به دلیل عملکرد مهاربند گونه دال پله رخ می‌دهد، بخشی از خسارات وارد بر



شکل (۸): نمونه‌ای از شکست دال پله در زلزله ۲۰۰۸ ونچوان چین [۲۱].

شکست این ستون‌های فرعی نیز محتمل می‌باشد، نمونه‌ای از این شکست در زلزله‌های گذشته مشاهده گردیده است، شکل (۱۴).



شکل (۱۳): استفاده از ستون‌های فرعی در محل پاگرد راه‌پله.

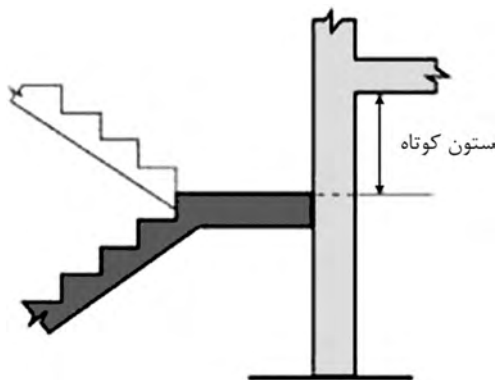


شکل (۱۴): نمونه‌ای از شکست در محل ستون‌های فرعی پاگرد در سازه‌ی بتنی در زلزله‌ی ۲۰۰۸ ونچوآن [۴].

### ۳-۶- شکست پله در اثر شکست سازه کنسولی پاگرد

برخی موارد، جهت جلوگیری از ایجاد نامنظمی در هندسه‌ی سازه و یا اضافه شدن راه‌پله فرار پس از اتمام طراحی و یا حتی اجرای سازه، از سازه‌های کنسولی برای پله استفاده می‌شود. با توجه به آسیب‌پذیری ذاتی سازه‌های کنسولی در برابر نیروهای زلزله، عدم طراحی دقیق این نوع سازه راه‌پله و ضعف اجرا، به شدت راه‌پله را در برابر نیروهای جانبی آسیب‌پذیر می‌کند. نمونه‌ای از این نوع شکست در زلزله‌های گذشته در شکل (۱۵) نشان داده شده است.

راه‌پله در زلزله‌های گذشته به‌ویژه در مورد سازه‌های بتنی که از ظرفیت برشی کمتری در مقایسه با سازه‌های فولادی برخوردارند و به این دلیل در زلزله دچار شکست ترد می‌شوند، به این علت رخ داده است (شکل‌های ۱۱ و ۱۲). در برخی موارد استفاده از خاموت ویژه در تمام ارتفاع ستون‌های پاگرد راهگشا خواهد بود [۵، ۱۱].



شکل (۱۱): کاهش ارتفاع ستون و پتانسیل شکست ستون کوتاه در محل پاگرد.



شکل (۱۲): نمونه‌ای از شکست ستون کوتاه در پاگردهای راه‌پله سازه بتنی [۱۲].

### ۳-۵- شکست ستون‌های فرعی پاگرد پله

در بسیاری از طرح‌ها، مهندسان برای جلوگیری از تمرکز نیروی وارد بر ستون‌ها در محل پاگرد، از ستون‌های کوتاه مستقلی که بار پاگرد را به تیرهای طبقه‌ی قبلی خود وارد می‌کند استفاده می‌کنند (شکل ۱۳). در صورت عدم مدل‌سازی و طرح صحیح این ستون‌ها و مشکلات اجرایی،

در خصوص پله‌های پیش‌ساخته نیز در زلزله‌های گذشته مشاهده شده است. در شکل‌های (۱۶) و (۱۷) دو نمونه پله‌ی پیش‌ساخته مشاهده می‌شود که با استفاده از دو نوع سیستم اتصال اجرا شده‌اند و در زلزله دچار شکست گردیده‌اند.

### ۳-۸- شکست کف پله

علاوه بر شکست‌هایی که در زلزله‌های گذشته به سازه‌ی پله و قاب پیرامون آن وارد گردیده است، شکست در بخش‌های غیر باربر مانند کف پله‌ها نیز مشاهده گردیده است. نمونه‌ی ارائه‌شده در شکل (۱۸)، مربوط به ساختمان هلال احمر بم می‌باشد [۲۴] که دقیقاً پس از وقوع زلزله می‌بایست به‌عنوان پایگاه بحران و امداد در حال ارائه خدمات باشد، ولی در اثر شکست کف پله‌ها، در عمل امکان بهره‌برداری از ساختمان وجود ندارد.

### ۳-۹- شکست دیوارهای اطراف پله

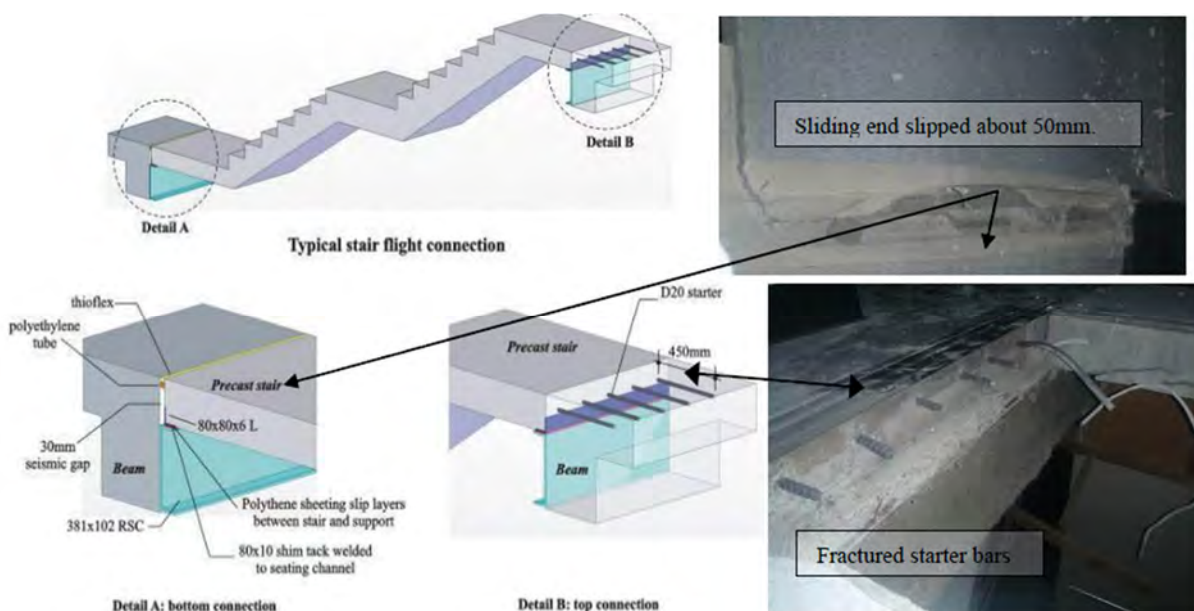
شکست دیوارها چه به‌صورت درون صفحه‌ای و چه به‌صورت برون صفحه‌ای در زلزله‌های گذشته بسیار رخ داده است.



شکل (۱۵): شکست پله در اثر شکست سازه کنسولی پاگرد در زلزله ۲۰۰۱ گجرات هند [۲۲].

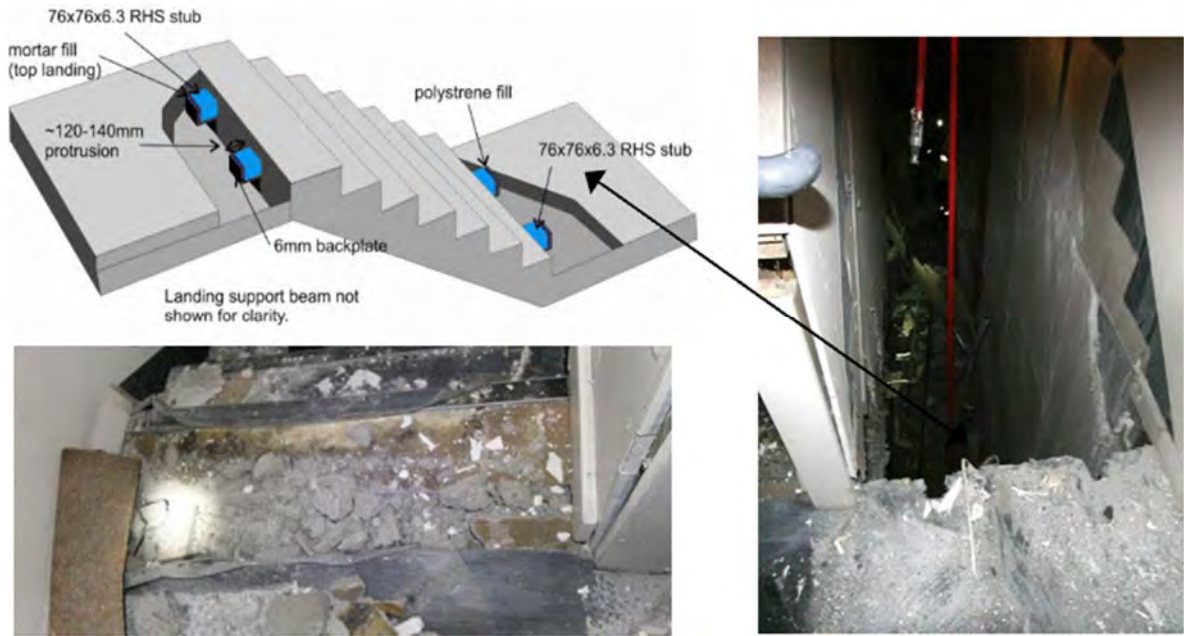
### ۳-۷- شکست پله‌های پیش‌ساخته از ناحیه اتصال

ضعف اصلی سازه‌های پیش‌ساخته‌ی بتنی در زلزله، شکست سازه در نواحی اتصالات می‌باشد. این شکست



شکل (۱۶): شکست پله‌ی پیش‌ساخته‌ی بتنی از ناحیه‌ی اتصال در زلزله‌ی ۲۰۱۱ کرایست چرچ، نیوزلند [۲۳].





شکل (۱۷): شکست پله پیش‌ساخته بتنی از ناحیه اتصال در زلزله‌ی ۲۰۱۱ کرایست‌چرچ، نیوزلند [۲۳].



شکل (۱۹): خسارت وارده به دیوار اطراف راه‌پله در زلزله ۲۰۱۱ وان ترکیه [۲۵].

بررسی این امر در طرح و تأمین مقاومت درون صفحه‌ای و برون صفحه‌ای دیوارهای اطراف راه‌پله جهت حفظ عملکرد آن پس از زلزله از اهمیت بالایی برخوردار است.



شکل (۱۸): شکست ساختار کف پله در ساختمان هلال احمر در زلزله‌ی ۱۳۸۲ بم [۲۴].

دیوارهای اطراف راه‌پله نیز از این امر مستثنا نبوده‌اند (شکل‌های ۱۹ و ۲۰). دیوارهای اطراف راه‌پله از جمله نقاطی است که می‌بایست هم در طراحی و هم در اجرای آن دقت مضاعفی صورت گیرد. همان‌طور که پیش از این نیز اشاره شد، با توجه به وجود قاب سازه در اطراف پله، دیوارهای پیرامون آن که به‌عنوان دوربند حریق اجرا می‌شوند، در عمل به‌صورت میانقاب عمل کرده و بسته به موقعیت راه‌پله در پلان می‌توانند پتانسیل پیچش در سازه را افزایش دهند. لذا



شکل (۲۲): شکست نازک کاری و عناصر غیر سازه‌ای در راه پله در زلزله‌ی ۱۹۷۲ ماناگوا، نیکاراگوئه [۷].



شکل (۲۰): خسارت وارده به دیوار اطراف راه پله در زلزله‌ی ۲۰۰۸ ونچوان چین [۲۶].

### ۳-۱۱- شکست خرپشته

علاوه بر شکست‌های بررسی شده که اغلب مربوط به سازه و ساختار اصلی راه پله می‌باشد، تخریب خرپشته نیز به‌وفور در زلزله‌های گذشته مشاهده گردیده است (شکل ۲۳). علت برخی از شکست‌ها وقوع پدیده رزونانس یا هم‌نوایی فرکانس خرپشته با سازه‌ی اصلی است که به‌دلیل عدم مدل‌سازی خرپشته در مراحل طراحی سازه رخ می‌دهد و علت وقوع برخی دیگر، ضعف اجرا و عدم کفایت مقاطع و اغلب اتصالات به کار رفته در تیر و ستون‌های خرپشته می‌باشد.

### ۳-۱۰- شکست نازک کاری دیوارهای راه پله

وقوع هرگونه شکست در عناصر غیر سازه‌ای به کار رفته در راه پله عملکرد آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد (شکل‌های ۲۱ و ۲۲)، از مهم‌ترین عناصر غیر سازه‌ای راه پله‌ها پس از کف پله، نازک کاری دیوارهای اطراف راه پله می‌باشد، به‌ویژه در شرایطی که دیوارها با سنگ پلاک پوشش داده می‌شود، دقت در حداکثر ابعاد سنگ‌ها، اجرای اسکوپ و پیچ و رول پلاک در پوشش دیوارها از اهمیت بالایی برخوردار است [۲۴].



شکل (۲۳): نمونه‌ای از خرابی خرپشته در زلزله ۱۳۸۲ بم [۵].



شکل (۲۱): شکست نازک کاری دیوارهای اطراف راه پله علاوه بر شکست دال پله در زلزله‌ی ۲۰۰۸ ونچوان چین [۱۹].

#### ۴- جمع‌بندی و ارائه‌ی راهکارهای مهندسی

در حال حاضر با توجه به اینکه پله در مدل‌سازی سازه‌ها در نظر گرفته می‌شود، هیچ‌یک از آثار فوق در رفتار سازه لحاظ نمی‌گردد. به این منظور دو رویکرد اصلی قابل ارائه می‌باشد که رویکرد نخست تنها در خصوص سازه‌های فولادی و رویکرد دوم برای سازه‌های فولادی و بتنی راهگشا خواهد بود.

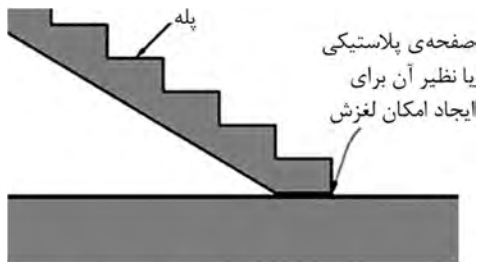
##### ۴-۱- رویکرد اول

با توجه به اینکه تمرکز نیروهای برشی در سازه‌های فولادی خطرناک نمی‌باشد، لذا از سختی تیر شمشیری پله‌ها می‌توان بهره سازه‌ای گرفت. بر این اساس با مدل‌سازی تیر شمشیری در مدل اصلی سازه ضمن بررسی آثار پله بر نحوه توزیع سختی در پلان جهت جلوگیری از آثار پیچشی، با توجه به عملکرد مهاربندگونه پله از آن به‌عنوان بخشی از سیستم مهاربندی جانبی استفاده خواهد شد. با این رویکرد، تغییر قابل‌توجهی در جزئیات اجرایی ایجاد نشده، تنها لازم است دقت و نظارت کافی بر اجرای راه‌پله همانند سایر عناصر سازه‌ای اعمال گردد.

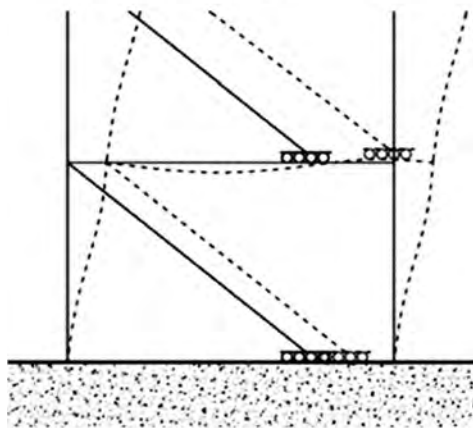
##### ۴-۲- رویکرد دوم

با توجه به اینکه تمرکز نیروی برشی در سازه‌های بتنی بسیار خطرناک بوده و مهندسان می‌بایست از ایجاد آن در سازه‌ها جلوگیری نمایند، لذا رویکرد دوم تنها رویکرد مهندسی قابل قبول برای سازه‌های بتنی می‌باشد. در این رویکرد بر خلاف رویکرد نخست، تغییری در روش‌های مرسوم طراحی سازه ایجاد نشده لکن لازم است با اجرای جزئیات اجرایی ویژه‌ای از آثار نامطلوب راه‌پله بر سازه اصلی جلوگیری شود. به این منظور یک راه‌حل مناسب، جدا کردن پله‌ها با ایجاد درز لغزشی در هر طبقه است (شکل ۲۴). هنگامی که جابه‌جایی‌های نسبی رخ می‌دهد، پله‌ها روی طبقات زیرین لغزیده و در نتیجه هیچ بار جانبی را جذب نمی‌کنند. درزهای لغزشی که پله‌ها را از سازه‌ی اصلی جدا می‌کنند، به راحتی تشکیل می‌شوند تنها لازم است هر اتصال احتمالی بین پله و تکیه‌گاه پایه از بین برود [۶، ۸، ۱۰].

استفاده از بالشتک لغزشی زیر صفحه شیب‌دار پله و روی پاگرد یکی از روش‌های جداسازی است [۴]. برخی پله‌ها، با مصالح پیچیده‌تری نظیر نوارهای تفلون جدا می‌شوند که بر روی صفحات فولادی ضدزنگ نشسته‌اند. این ترکیب دارای اصطکاک بسیار کمی است. جداسازی پله به صورت غلطک در پای پله نیز قابل استفاده می‌باشد (شکل ۲۵). همچنین

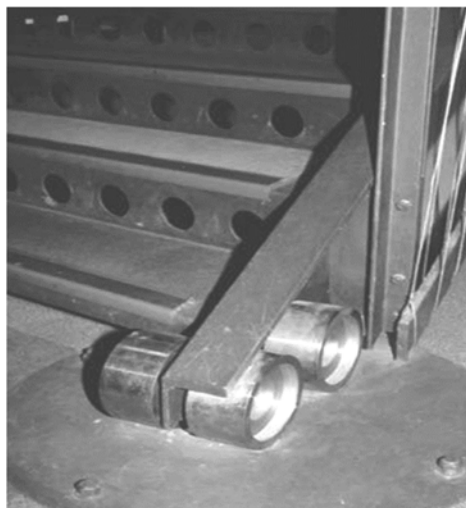


جزئیات اتصال لغزشی در پای راه‌پله

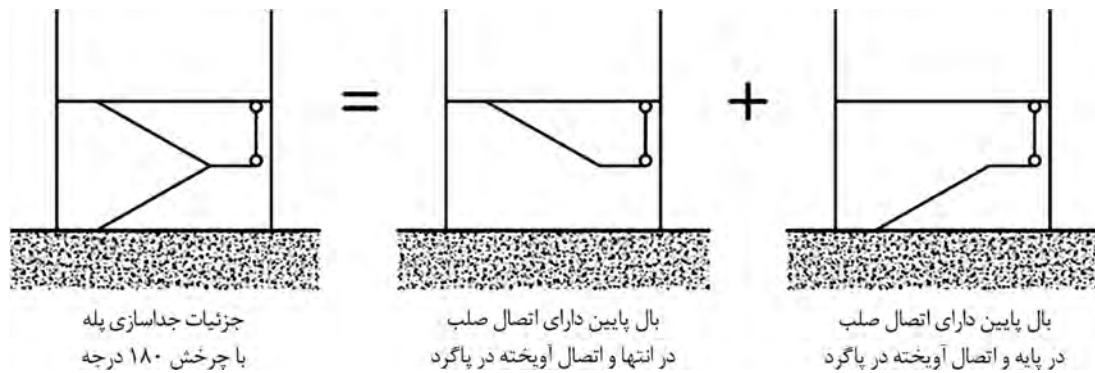


مدل سازه‌ای راه‌پله دارای اتصال لغزشی

شکل (۲۴): راه‌پله اتصالات لغزشی [۶].



شکل (۲۵): جداسازی راه‌پله از سازه با استفاده از غلطک در پایه [۶].



شکل (۲۶): جداسازی راه پله از سازه با چرخش ۱۸۰ درجه [۶].

۵. باخمن، هوگو (۱۳۸۹) طرح لرزه‌ای مفهومی ساختمان‌ها: قواعد اساسی برای مهندسان، معماران و مالکان؛ دستنامه ۱۲/۱ مهندسی زلزله. ترجمه تابش پور، محمدرضا، تهران، نشر فدک ایساتیس.

۶. چارلسون، اندرو (۱۳۹۰) طراحی لرزه‌ای برای معماران، مقابله‌ای هوشمندانه با زلزله. ترجمه گلابچی، محمود؛ سروش نیا، احسان، چاپ دوم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

۷. بسطامی، مرتضی؛ تاجمیر ریاحی، حسین؛ پورعابدین، علی (۱۳۹۰ الف) اثر مدل‌سازی دستگاه پله‌های دو طرفه در سازه‌های بتن‌آرمه. ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان.

۸. دستورالعمل مقاوم‌سازی اجزای غیر سازه‌ای ساختمان‌ها (۱۳۹۱). مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

۹. حسینی، میرحمید و جعفرنژاد قمی، هادی (۱۳۹۴) بررسی عملکرد المان‌های پله در سازه بتنی در زمان زلزله. دومین کنفرانس ملی زلزله، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین.

۱۰. تابش پور، محمدرضا (۱۳۹۴) زلزله برای معماران؛ دستنامه ۱۱ مهندسی زلزله. تهران، نشر فدک ایساتیس.

11. Cao, Z.W., Bian, C., and Xu, C.Y. (2014)

اجرای جزئیات جداسازی راه پله با چرخش ۱۸۰ درجه که اندکی پیچیده‌تر است نیز راه‌حلی برای جداسازی پله از سازه به‌شمار می‌رود (شکل ۲۶) [۶، ۱۰]. در پله‌های سبک، اتصالاتی با سوراخ‌های لوبیایی برای جداسازی پله از کف‌های متصل مفید می‌باشد [۸].

## مراجع

۱. بسطامی، مرتضی، طلایی‌طبا، سید بهزاد، صلاحی، سید سجاد (۱۳۹۰ ب) اثر مدل‌سازی دستگاه پله در سازه‌های متعارف فولادی در زمان زلزله، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان.
۲. علیرضایی، مهدی، امید، حسین، فلاحی، سعید، و دهقانی، میلاد (۱۳۹۳) بررسی و مقایسه تحلیل خطی و غیرخطی مدل‌سازی راه پله در ساختمان‌های بتنی. پنجمین کنفرانس ملی زلزله و سازه، جهاد دانشگاهی استان کرمان، کرمان.

3. Singh, N.S. and Choudhury, S. (2012) Effects of staircase on the seismic performance of RCC frame building. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 4(4).
4. Feng, Y., Wu, X., Xiong, Y., Li, C., and Yang, W. (2013) Seismic performance analysis and design suggestion for frame buildings with cast-in-place staircases. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 12(2), 209-219.

۲۰. واثقی، اکبر، جبارزاده، محمدجواد و شریف، وحید (۱۳۸۲) گزارش تصویری از بهم.
21. Min, L. and Xiaojun, L. (2012) Analysis of some building damage phenomena in the Wenchuan earthquake. *Earthquake Research in China*, **26**(2), 243-251.
22. URL1:[http://ceenve3.civeng.calpoly.edu/goel/indian\\_eqk/index.htm](http://ceenve3.civeng.calpoly.edu/goel/indian_eqk/index.htm), (visited: 4/12/2016).
23. Kam, W.Y., Pampanin, S., and Elwood, K. (2011) Seismic performance of reinforced concrete buildings in the 22 February Christchurch (Lyttelton) earthquake. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, **44**(4), 239-278.
۲۴. عشقی، ساسان، زارع، مهدی، ناصراسدی، کیارش، سیدرزاقی، مهران، نورعلی آهاری، مسعود و معتمدی، مهرتاش (۱۳۸۲) گزارش مقدماتی شناسایی زلزله ۵ دی ماه ۱۳۸۲. پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
25. Alaluf, R., Hernandez, R., Dönmez, C., and İrfanoğlu, A. (2012) *Learning from Earthquakes The Mw 7.1 Erciş-Van, Turkey Earthquake of October 23, 2011*. EERI Special Earthquake Report.
26. Lieping, Y., Xinzhen, L., Zhe, Q., and Peng, F. (2008) Analysis on building seismic damage in the Wenchuan earthquake. *14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China.
- Analysis of the interaction between stair and frame under horizontal earthquake action based on ETABS. *International Conference on Mechanics and Civil Engineering (ICMCE-14)*, Atlantis Press.
12. Jiang, H., Gao, H., and Wang, B. (2012) Seismic damage analyses of staircase in RC frame structures. *Advanced Materials Research*, **446-449**, 2323-2330.
۱۳. فرشچی، حمیدرضا (۱۳۹۳) یادداشت تحقیقاتی: کاربرد اتصال برشی - اصطکاکی در اتصال مفصلی تیر میان طبقه راه‌پله بتنی به ستون. مجله عمران مدرس، دوره چهاردهم، شماره چهار.
14. Tegos, I.A., Panoskaltis, V.P., and Tegou, S.D. (2013) Analysis and design of staircases against seismic loadings. *4<sup>th</sup> ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*, Kos Island, Greece.
۱۵. استاندارد ۲۸۰۰ (۱۳۹۳) آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله. ویرایش ۴، تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
16. ASCE 7-02 (2003) *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. 2<sup>nd</sup> Edition, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, United States
17. IS 1893 (Indian Standard) (2002) *Criteria for Earthquake Resistant Design of Structures, Part 1: General Provisions and Buildings*. Fifth Revision, Bureau of Indian Standard, New Delhi.
18. *Specification for Structures to be Built in Earthquake Areas* (2007) Ministry of Public Works and Settlement, Government of the Republic of Turkey.
19. Yayong, W. (2008) Study on building damages in the 512 Wenchuan earthquake in correspondence with the provisions of the seismic design code GB50011 of China. *14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China.