

راه پله، مساله‌ای ساده ولی پیچیده

چکیده

در حال حاضر عمده توجه مهندسان به راه پله در طراحی معماری از لحاظ فرم، ابعاد، تامین دسترسی و سازماندهی فضایی بوده و در مدلسازی و طراحی سازه اغلب راه پله از مدل حذف و آثار آن بر سازه بررسی نمی‌شود. در اجرای ساختمان نیز به دلیل فقدان نقشه‌های اجرایی راه پله، کیفیت ساخت اغلب به مهارت و تجربه نیروی کار وابسته است که اغلب فاصله قابل توجهی با استانداردها دارد. فرهنگ مهندسی حاکم بر اجرای ساختمان‌ها و نادیده گرفتن راه پله در طراحی سازه و اجرا، این عنصر ساختمانی را در برابر زلزله بسیار آسیب پذیر می‌کند. در حالی که راه پله در شرایط بحران می‌بایست به عنوان راه فرار و مسیر امداد و نجات عمل کند. مطالعه رفتار سازه‌ها در دو حالت با و بدون راه پله نشان می‌دهد، وجود راه پله به دلیل عملکرد مهاربند گونه آن بر سختی سازه، پربود ارتعاشی، تغییر مکان جانبی، مرکز سختی، پتانسیل پیچش، تمرکز نیروهای برشی و ممان خمشی در ستون‌های پاگرد تاثیر قابل توجهی دارد. همچنین مرور تجارب زلزله‌های گذشته نشان می‌دهد مودهای شکست راه پله بسیار متنوع می‌باشد؛ شکست شمشیری و دال شیبدار پله، شکست پای پله در محل دال پاگرد، شکست ستون کوتاه در محل پاگرد، شکست کف پله، شکست دیوارهای اطراف پله، شکست نازک کاری دیوارهای راه پله و شکست خرپشته از جمله موارد مشاهده شده در زلزله‌های گذشته بوده است. رویکرد جداسازی پله از سازه اصلی با روش‌های مختلف به عنوان یک راهکار اصلی از آثار نامطلوب پله بر سازه جلوگیری کرده و به دلیل جلوگیری از وارد شدن نیروهای جانبی وارد بر سازه از بخش عمده‌ای از مودهای شکست راه پله در زلزله جلوگیری می‌کند.

کلمات کلیدی: راه پله، سختی، پیچش، تمرکز برش، مودهای شکست در زلزله

مقدمه

جهت تامین دسترسی به طبقات، طراحی راه پله اجتناب ناپذیر است. در حال حاضر عمده توجه به عملکرد و ساختار راه پله توسط مهندسان معمار و در طراحی نقشه‌های معماری صورت می‌گیرد. از دیدگاه معماری مسائلی همچون تامین دسترسی به طبقات، سازماندهی فضایی پلان، فرم و ابعاد راه پله بر اساس کاربری ساختمان، نفرات مستقر در هر طبقه و تعداد طبقات ساختمان، تعداد و فاصله بین راه پله بر اساس فرم و ابعاد پلان مورد توجه قرار می‌گیرد. لکن مهندسان سازه تنها تیر و ستون‌های اطراف باکس پله را به صورت یک وید خالی طراحی کرده و نسبت به اعمال بارهای مرده و زنده راه پله در مدل سازه اقدام می‌کنند (بسطامی و همکاران، ۱۳۹۰؛ علیرضایی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Singh, Choudhury, ۲۰۱۲: ۱۳۴۰)، به بیان دیگر در روش‌های طراحی مرسوم سازه از راه پله صرف نظر می‌شود (Feng, et al, ۲۰۱۳: ۲۱۰). در اجرای ساختمان نیز به دلیل فقدان نقشه‌های اجرایی راه پله، کیفیت ساخت اغلب به مهارت و تجربه نیروی کار وابسته است که اغلب فاصله قابل توجهی با استانداردها دارد. فرهنگ مهندسی حاکم بر اجرای ساختمان

۱. محمدرضا تابش پور

۲. آزاده نوری فرد

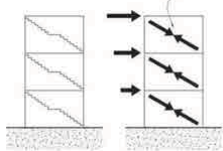
۱. عضو هیات علمی، دانشگاه صنعتی شریف

۲. دانشجوی دکتری معماری دانشگاه علم و صنعت ایران

ها و نادیده گرفتن راه پله در طراحی سازه و اجرا، این عنصر ساختمانی را در برابر زلزله بسیار آسیب پذیر می‌کند. در حالی که راه پله در شرایط بحران به عنوان راه فرار و مسیر امداد و نجات از اهمیت بالایی برخوردار است (باخمن، ۱۳۸۹: ۴۵؛ چارلسون، ۱۳۹۰: ۲۰۲؛ بسطامی و همکاران، ۱۳۹۰؛ الف؛ بسطامی و همکاران، ۱۳۹۰؛ دستورالعمل مقاوم سازی اجزای غیرسازه‌ای ساختمان‌ها، ۱۳۹۱: ۱۴۵؛ حسینی و جعفرنژاد قمی، ۱۳۹۴: ۱۳۹۴؛ تابش پور، ۱۳۹۴: ۳۴۴؛ Feng, et al, ۲۰۱۳: ۲۰۹؛ Cao, et al, ۲۰۱۴: ۴۸۲). به بیان دیگر پله در ساختمان از نظر سازه‌ای نقش دوم را دارد در حالی که هنگام خدمت رسانی، در نقش اول ظاهر می‌شود، به این معنی که با حذف پله، سازه ناپایدار و تخریب نمی‌شود لیکن خدمت رسانی سازه مختل می‌شود (فرشچی، ۱۳۹۳) بخشی از خسارات وارد بر راه پله 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 کل نگر، کلیه عوامل موثر بر عملکرد لرزه‌ای راه پله و تاثیر آن بر عملکرد سازه که اغلب به دلیل نادیده گرفتن آن در مدلسازی سازه‌ها مغفول باقی می‌ماند مورد بررسی قرار گیرد.

آثار راه پله بر رفتار لرزه‌ای ساختمان

چنانچه راه پله به سازه متصل باشد، تا حدودی به صورت اعضای سازه‌ای عمل می‌کند. شیبدار بودن آن باعث می‌شود که به صورت مهاربند 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 (چارلسون، ۱۳۹۰: ۲۰۲؛ تابش پور، ۱۳۹۴: ۳۴۴-۳۴۳؛ Singh, Choudhury, ۲۰۱۲: ۱۳۳۶؛ Feng, et al, ۲۰۱۳: ۲۰۹) و موجب تمرکز سختی مضاعفی در یک بخش سازه شود، با توجه به این که به صورت معمول راه پله در مدلسازی سازه‌ها وارد نمی‌شوند آثار آن در طراحی سازه بررسی نمی‌شود. بر این اساس سه اثر اصلی ناشی از راه پله 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.



راه پله تحت نیروی افقی به صورت دستگ فشاری و یا کششی عمل می‌کند.

شکل ۱: عملکرد مهاربند گونه راه پله متصل به سازه (چارلسون، ۱۳۹۰)

۱-۱- افزایش سختی

با توجه به موارد فوق، بسته به جزییات اجرایی پله با استفاده از تیر شمشیری و یا دال بتنی، پله موجب افزایش سختی سازه در یک یا دو امتداد می گردد، افزایش سختی خود موجب کاهش پریود سازه و افزایش نیروهای زلزله می گردد. همچنین افزایش سختی به معنی کاهش تغییر مکان های سازه نیز می باشد. در جدول ۱ پریود یک سازه بتنی در دو حالت با و بدون دال پله مقایسه گردیده و کاهش پریود طبیعی در مدل دارای دال پله به خوبی مشهود است.

جدول ۱: پریود نمونه مورد مطالعه در دو حالت با و بدون دال پله

1 Mode				
UY	UX	Dir	T	
0.00	69.45	X	0.90	قاب بدون دال پله
1.73	46.33	X	0.75	قاب با دال پله

2 Mode				
UY	UX	Dir	T	
68.82	0.03	Y	0.74	قاب بدون دال پله
47.47	14.37	Y	0.59	قاب با دال پله

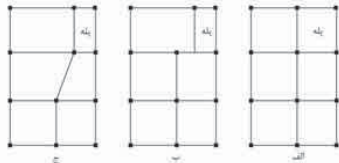
2 Mode				
UY	UX	Dir	T	
1.04	1.15	T	0.70	قاب بدون دال پله
24.05	12.26	T	0.52	قاب با دال پله

۲-۱- وقوع پیچش

چنانچه پله با استفاده از تیر شمشیری اجرا شود، سختی پله به صورت مهاربند در امتداد طول آن موثر 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 راه پله نیز بر سازه تاثیر خواهد داشت. بسته به هندسه طرح معماری و سازه ساختمان، ممکن است ستونگذاری سازه در اطراف مجموعه پله و آسانسور منظور گردد و یا تنها راه پله را در بر گیرد، در حالت دوم با توجه به ابعاد کوچکتر راه پله در مقایسه با سایر دهانه ها، اغلب یک سختی ناشی از طول کوتاه تر تیرها در سازه ایجاد می شود (شکل ۲). با توجه به ضوابط استانداردها، اطراف راه پله ها می بایست دوربند حریق اجرا شود که معمولاً با استفاده از دیوارهای ۲۰ سانتیمتری توپر انجام می شود. با توجه به وجود قاب سازه ای در اطراف راه پله ها، این دیوارها در برابر نیروهای جانبی به صورت میانقاب عمل کرده و عاملی جهت تمرکز سختی در قسمت هایی از ساختمان می گردند. بر این اساس وجود راه پله از طریق سه عامل ذیل موجب افزایش سختی سازه و تغییر در توزیع سختی و ایجاد پتانسیل پیچش در سازه می گردد. در واقع مهمترین تاثیر راه پله بر رفتار لرزه ای سازه، تاثیر روی مرکز سختی و افزایش پتانسیل پیچش در ساختمان می باشد. این امر به ویژه در شرایطی که راه پله به صورت نامتقارن در

پلان قرار دارد، اهمیتی دو چندان دارد (چارلسون، ۱۳۹۰: ۲۰۳-۲۰۲؛ تایش پور، ۱۳۹۴: ۳۴۴؛ Cao, et al, ۲۰۱۴: ۴۷۸; Feng, et al, ۲۰۱۳: ۲۱۱; Tegos, et al; ۲۰۱۳).

۱. شمشیری و دال های شیبدار پله
۲. نحوه ستونگذاری
۳. میانقاب های اطراف راه پله



شکل ۲: انواع حالات ستونگذاری راه پله الف: تجمع سازه پله و آسانسور و استفاده از قاب همسان در کل سازه، ب: قاب با ابعاد کوچکتر در پاگرد پله، ج: قاب با ابعاد کوچکتر در هر دو ضلع قاب پله

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 موثر می باشد. بر اساس استانداردهای لرزه ای چنانچه در هر طبقه حداکثر تغییر مکان نسبی در انتهای ساختمان، با احتساب پیچش تصادفی بیشتر از ۲۰٪ با متوسط تغییر مکان نسبی دو انتهای ساختمان در آن طبقه اختلاف داشته باشد، ساختمان دارای بی نظمی پیچشی است (استاندارد ۲۸۰۰، ۱۳۹۳: ۷-۶؛ ASCE 7-10, ۲۰۰۳: ۱۳۷؛ IS 1893, ۲۰۰۲: ۱۸؛ Specification for Structures to be Built in Earthquake Areas, ۲۰۰۷: ۷).

نتایج تحلیل نمونه مورد مطالعه در دو حالت با و بدون دال پله جهت مطالعه آثار پیچشی در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است. بر این اساس فاصله مرکز جرم و سختی، در نمونه ای که دال پله در مدل وجود دارد بیش از ۱۰٪ بوده و افزایش قابل توجهی نسبت به نمونه فاقد دال پله نشان می دهد، همچنین نسبت حداکثر تغییر مکان نسبی به متوسط تغییر مکان نسبی دو انتهای ساختمان نیز بیش از ۱/۲ می باشد.



شکل ۳: پلان معماری ساختمان مورد مطالعه

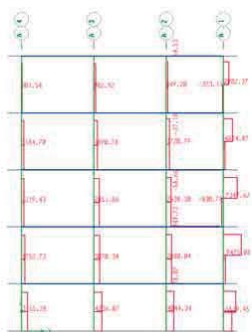
جدول ۲: فاصله مرکز جرم و سختی نمونه مورد مطالعه در دو حالت با و بدون دال پله

طبقه ۵		طبقه ۴		طبقه ۳		طبقه ۲		طبقه ۱		
%ey	%ex	%ey	%ex	%ey	%ex	%ey	%ex	%ey	%ex	
-2.56	0.68	0.69	-0.33	2.65	-0.15	3.42	-0.48	4.11	-0.33	قاب بدون دال پله
18.70	-14.09	19.94	-13.98	19.89	-13.03	18.51	-12.17	13.96	-7.05	قاب با دال پله

جدول ۳: تغییر مکان نسبی به متوسط تغییر مکان نسبی نمونه مورد مطالعه در دو حالت با و بدون دال پله

EQYN	EQYP	EQY	EQXN	EQXP	EQX	
D_{max}/D_{ave}	D_{max}/D_{ave}	D_{max}/D_{ave}	D_{max}/D_{ave}	D_{max}/D_{ave}	D_{max}/D_{ave}	
طبقه ۱						
1.05	1.03	1.03	1.09	1.09	1.02	قاب بدون دال پله
1.04	1.13	1.08	1.49	1.31	1.38	قاب با دال پله
طبقه ۲						
1.05	1.02	1.01	1.08	1.10	1.00	قاب بدون دال پله
1.06	1.16	1.12	1.51	1.32	1.42	قاب با دال پله
طبقه ۳						
1.04	1.02	1.01	1.05	1.12	1.03	قاب بدون دال پله
1.10	1.20	1.12	1.52	1.33	1.43	قاب با دال پله
طبقه ۴						
1.03	1.03	0.99	0.95	1.21	1.14	قاب بدون دال پله
1.11	1.21	1.18	1.52	1.31	1.41	قاب با دال پله
طبقه ۵						
1.04	1.03	1.00	0.94	1.24	1.14	قاب بدون دال پله
1.15	1.20	1.17	1.47	1.28	1.40	قاب با دال پله

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، تاثیر چندانی در امتداد عرضی بر پاسخ لرزه‌ای سازه نخواهد داشت.



شکل ۴: تمرکز نیروی برشی در امتداد طولی ستون‌های پاگرد در مدل با دال پله

۴-۱- رزونانس خرپشته

علاوه بر آثاری که ساختار اصلی راه پله بر رفتار سازه دارد، لازم است رفتار لرزه‌ای اتاقت فوقانی راه پله یا خرپشته که به صورت معمول در مدلسازی سازه‌ها وارد نمی‌شود نیز مورد بررسی قرار گیرد. سازه بدون خرپشته را می‌توان به صورت سازه یک درجه آزادی و سازه دارای خرپشته را به صورت سازه دو درجه آزادی فرض نمود (شکل ۵) (تابش پور و قهاری، ۱۳۸۸: ۱۶۲-۱۶۱). بر این اساس پیروید اصلی سازه یک درجه آزادی به صورت ذیل می‌باشد که K و m به ترتیب سختی و جرم سازه هستند:

۳-۱- تمرکز نیرو در اعضای سازه

سختی ناشی از راه پله 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 (بسطامی و همکاران، ۱۳۹۰؛ الف؛ بسطامی و همکاران، ۱۳۹۰؛ ب؛ علیرضایی و همکاران، ۱۳۹۳؛ حسینی و جعفرنژاد قمی، ۱۳۹۴؛ Singh, Choudhury; ۲۰۱۲: ۱۳۴۶؛ Tegos, et al; ۲۰۱۳)، در عوض نیروهای سایر اعضا کاهش می‌یابد (بسطامی و همکاران، ۱۳۹۰؛ الف؛ بسطامی و همکاران، ۱۳۹۰؛ ب؛ علیرضایی و همکاران، ۱۳۹۳). در شکل ۴، افزایش نیروهای برشی در امتداد طولی ستون‌های پاگرد ساختمان مورد مطالعه که در آن دال پله مدل گردیده، مشاهده می‌شود. از آنجا که اغلب شمشیری و دال پله در مدلسازی سازه وارد نمی‌شود، لذا ستون‌های پاگرد در امتداد طولی برای نیروی افزایش یافته در اثر راه پله طرح نشده و از ظرفیت کافی برخوردار نمی‌باشند لذا در عمل در زمان وقوع 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 راه پله، در عمل مزیتی در ظرفیت باربری جانبی به همراه نخواهد داشت. تاثیر راه پله در امتداد عرضی تا حدودی متفاوت است، در این امتداد وجود تیر پاگرد موجب کاهش ارتفاع ستون‌ها گردیده و موجب شکل گیری ستون کوتاه می‌شود که اثری به مراتب خفیف تر از امتداد طولی دارد، با توجه به این که این تیر به صورت معمول در مدلسازی سازه وجود دارد، لذا مقاطع و جزییات اعضا بر اساس این هندسه طرح

متعددی در زلزله‌های گذشته به این عنصر ساختمانی وارد گردیده است که در ادامه موارد اصلی مورد بررسی قرار می‌گیرد:

۱-۲- شکست شمشیری و دال شیبدار راه پله

یکی از ضعف‌های اساسی در اجرای راه پله‌ها 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) (باخمن، ۱۳۸۹) در سازه‌های بتنی مهار ناکافی تیرچه‌های شمشیری در تیر پاگرد عامل اصلی شکست می‌باشد (شکل ۷)، ضمن این که با توجه به عدم طراحی راه پله در برابر نیروهای زلزله امکان شکست دال در برابر نیروهای جانبی نیز وجود دارد (شکل ۸).



شکل ۶: نمونه‌ای از خرابی شمشیری فلزی پله در محل اتصال به پاگرد در زلزله ۱۳۸۲ بم (باخمن، ۱۳۸۹)



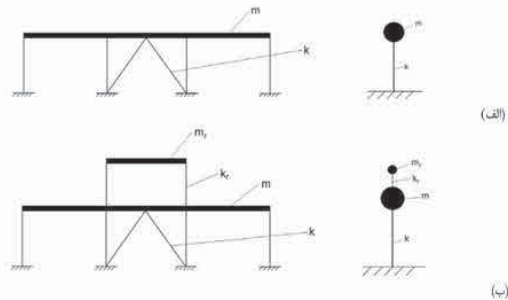
شکل ۷: نمونه‌ای از خرابی تیر شمشیری بتنی پله در محل اتصال به پاگرد علی‌رغم سالم ماندن سایر بخش‌های سازه، در زلزله ۱۳۸۲ بم (وانقی و همکاران، ۱۳۸۲)



شکل ۸: نمونه‌ای از شکست دال بتنی پله (Feng, et al, ۲۰۱۳)

۲-۲- شکست پای پله در محل دال پاگرد

مشاهده 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



شکل ۵: الف) سازه بدون خریشته معادل سازه یک درجه آزادی، ب) سازه با خریشته معادل سازه دو درجه آزادی

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

چنانچه جرم خریشته m_{20} و سختی آن K_{20} باشد، ماتریس جرم و سختی به صورت زیر خواهد بود:

$$M = \begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & m/20 \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} 21k/20 & -k/20 \\ -k/20 & k/20 \end{bmatrix}$$

با حل مسأله ی مقدار ویژه ی این سازه، مقدار پریودهای سازه دو درجه آزادی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$T_1 = \frac{2\pi}{0.894}\sqrt{\frac{m}{k}} \quad T_2 = \frac{2\pi}{1.120}\sqrt{\frac{m}{k}}$$

بسیاری از خسارات ایجاد شده در زلزله‌های گذشته مربوط به خرابی خریشته بوده است. از لحاظ دینامیکی، علت این امر خواص ارتعاشی مربوط به تقابل بین ارتعاش خریشته با ارتعاش سازه در کنار محتوای فرکانسی حرکت زمین می‌باشد. در این شرایط پریود خریشته با پریود کل سازه برابر بوده و بخش عمده‌ای از ارتعاشات ورودی به سازه را خریشته جذب کرده و تخریب می‌شود (باخمن، ۱۳۸۹: ۴). با توجه به این که اغلب در طراحی ساختمان‌های معمول، خریشته در مدلسازی وارد نمی‌شود لذا کنترلی از لحاظ سازه‌ای صورت نمی‌گیرد. جهت جلوگیری از وقوع این پدیده لازم است پریود سازه در هر دو امتداد با پریود خریشته مقایسه شده و طراحی به نحوی صورت گیرد تا این دو فاصله قابل قبولی از هم داشته باشند. چنانچه پریود خریشته به پریود سازه در بازه ۰/۷۵ تا ۱/۲۵ قرار گیرد، خریشته شدیداً تحریک خواهد شد. در این موارد از طریق تنظیم جرم و سختی سازه خریشته می‌توان از وقوع پدیده تشدید جلوگیری نمود.

مودهای شکست راه پله در زلزله‌های گذشته

به دلیل بی توجهی مهندسان در طراحی و اجرای راه پله، خسارت



شکل ۱۳: نمونه ای از شکست ستون کوتاه در پاگرد راه پله سازه بتنی در زلزله ۲۰۰۸ ونچوان (Feng, et al, ۲۰۱۳)

۲-۴- شکست کف پله

علاوه بر شکست‌هایی که در زلزله‌های گذشته به سازه پله و قاب پیرامون آن وارد گردیده است، شکست در بخش‌های غیر باربر مانند کف پله‌ها نیز مشاهده گردیده است. نمونه ارائه شده در شکل ۱۴، مربوط به ساختمان هلال احمر بم می‌باشد (عشقی و همکاران، ۱۳۸۲) که دقیقاً پس از وقوع زلزله بم بایست به عنوان پایگاه بحران و امداد در سرویس باشد، لکن در اثر شکست کف پله‌ها، عملاً امکان بهره برداری از ساختمان وجود ندارد.



شکل ۱۴: شکست ساختار کف پله در ساختمان هلال احمر در زلزله ۱۳۸۲ بم (عشقی و همکاران، ۱۳۸۲)

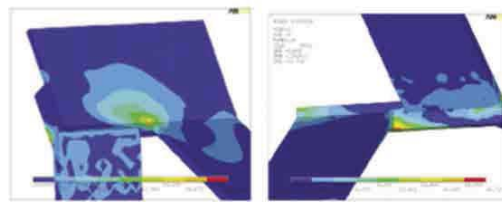
۲-۵- شکست دیوارهای اطراف پله

شکست دیوارها چه به صورت درون صفحه‌ای و چه به صورت برون صفحه‌ای در زلزله‌های گذشته بسیار رخ داده است. دیوارهای اطراف راه پله نیز از این امر مستثنی نبوده‌اند (شکل ۱۵). دیوارهای اطراف راه پله 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 به عنوان دوربند حریق اجرا می‌شوند، در عمل به صورت میانقاب عمل کرده و بسته به موقعیت راه پله در پلان می‌توانند پتانسیل پیچش در سازه را افزایش دهند. لذا بررسی این امر در طرح و تامین مقاومت درون صفحه‌ای و برون صفحه‌ای دیوارهای اطراف راه پله جهت حفظ عملکرد آن پس از زلزله از اهمیت بالایی برخوردار است.



شکل ۱۵: خسارت وارده به دیوار اطراف راه پله در زلزله ۲۰۱۱ وان ترکیه (Alaluf, et al, ۲۰۱۲)

می‌باشد (Feng, et al, ۲۰۱۳) (شکل ۹ الی ۱۱).



شکل ۹: نتایج تحلیل المان محدود نشان دهنده تمرکز تنش در محل برخورد باروهای پله به تیر پای پله (Feng, et al, ۲۰۱۳)



شکل ۱۰: نمونه‌ای از شکست تیر پای پله (Feng, et al, ۲۰۱۳)



شکل ۱۱: نمونه ای از شکست پای پله در محل دال پاگرد در زلزله ۱۹۸۵ مکزیکوسیتی (تابش پور، ۱۳۹۴)

۲-۳- 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 راه پله در زلزله‌های گذشته به ویژه 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 داده‌است (شکال ۱۲ و ۱۳). در برخی موارد استفاده از خاموت ویژه در تمام ارتفاع ستون‌های پاگرد راهگشا خواهد بود (باخمن، ۱۳۸۹؛ Cao, et al, ۲۰۱۴: ۴۷۸).

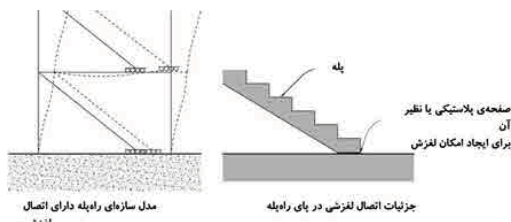


شکل ۱۲: نمونه ای از شکست ستون کوتاه در پاگرد راه پله سازه بتنی ساختمان کلینیک پزشکی در زلزله ۱۹۸۰ الاصلام (باخمن، ۱۳۸۹)

کافی بر اجرای راه پله همانند سایر عناصر سازه‌ای اعمال گردد.

۳-۲- رویکرد دوم

با توجه به این که 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 روش های مرسوم طراحی سازه ایجاد نشده لکن لازم است با اجرای جزئیات اجرایی ویژه ای از آثار نامطلوب راه پله بر سازه اصلی جلوگیری شود. به این منظور یک راه حل مناسب، جدا کردن پله ها با ایجاد درز لغزشی در هر طبقه است (شکل ۱۸). هنگامی که جابه‌جایی های نسبی رخ می دهد، پله ها روی طبقات زیرین لغزیده و در نتیجه هیچ بار جانبی را جذب نمی کنند. درزهای لغزشی که پله ها را از سازه اصلی جدا می کنند، به راحتی تشکیل می شوند تنها لازم است هر اتصال احتمالی بین پله و تکیه گاه پایه از بین برود (چارلسون، ۱۳۹۰: ۲۰۴-۲۰۳؛ دستورالعمل مقاوم سازی اجزای غیرسازه ای ساختمان ها، ۱۳۹۱: ۱۴۵؛ تابش پور، ۱۳۹۴: ۳۴۶-۳۴۴). استفاده از بالشتک لغزشی زیر صفحه شیبدار پله و روی پاگرد یکی از روش های جداسازی است (Feng et al, ۲۰۱۳: ۲۱۷). برخی پله ها، با مصالح پیچیده تری نظیر نوارهای تفلون جدا می شوند که بر روی صفحات فولادی ضدزنگ نشسته اند. این ترکیب دارای اصطکاک بسیار کمی است. جداسازی پله به صورت غلطک در پای پله نیز قابل استفاده می باشد (شکل ۱۹). همچنین اجرای جزئیات جداسازی راه‌پله با چرخش ۱۸۰ درجه که اندکی پیچیده تر است نیز راه حلی برای جداسازی پله از سازه به شمار می رود (شکل ۲۰) (چارلسون، ۱۳۹۰: ۲۰۴-۲۰۳؛ تابش پور، ۱۳۹۴: ۳۴۶-۳۴۴). در پله های سبک، اتصالاتی با سوراخ های لوبیایی برای جداسازی پله از کف های متصل مفید می باشد (دستورالعمل مقاوم سازی اجزای غیرسازه ای ساختمان ها، ۱۳۹۱: ۱۴۵).



شکل ۱۸: راه پله با اتصالات لغزشی (چارلسون، ۱۳۹۰)



شکل ۱۹: جداسازی راه پله از سازه با استفاده از غلطک در پایه (چارلسون، ۱۳۹۰)

۲-۶- شکست نازک کاری دیوارهای راه پله

وقوع هرگونه شکست در عناصر غیرسازه‌ای به کار رفته در راه پله عملکرد آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد (شکل ۱۶). از مهمترین عناصر غیرسازه‌ای راه پله‌ها پس از کف پله، نازک کاری دیوارهای اطراف راه پله می‌باشد، به ویژه 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 (عشقی و همکاران، ۱۳۸۲).



شکل ۱۶: شکست نازک کاری و عناصر غیرسازه‌ای در راه پله در زلزله ۱۹۷۲ ماناگوا، نیکاراگوئه (بسطامی و همکاران، ۱۳۹۰)

۲-۷- شکست خرپشته

علاوه بر شکست‌های بررسی شده که اغلب مربوط سازه و ساختار اصلی راه پله می‌باشد، تخریب خرپشته نیز به وفور در زلزله‌های گذشته مشاهده گردیده است (شکل ۱۷). علت برخی از شکست‌ها وقوع پدیده رزونانس یا هم‌نوایی فرکانس خرپشته با سازه اصلی است که به دلیل 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.



شکل ۱۷: نمونه ای از خرابی خرپشته در زلزله ۱۳۸۲ بم (باخمن، ۱۳۸۹)

جمع بندی و ارائه راهکارهای مهندسی

در حال حاضر با توجه به اینکه پله در مدلسازی سازه‌ها در نظر گرفته می‌شود، هیچ یک 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 هم برای سازه‌های فولادی و هم برای سازه‌های بتنی راهگشا خواهد بود.

۳-۱- رویکرد اول

با توجه به این که تمرکز نیروهای برشی در سازه‌های فولادی خطرناک نمی‌باشد، لذا از سختی تیر شمشیری پله‌ها می‌توان بهره‌سازای 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 مهاربند گونه پله از آن به عنوان بخشی از سیستم مهاری جانبی استفاده خواهد شد. با این رویکرد، تغییر قابل توجهی در جزئیات اجرایی ایجاد نشده، تنها لازم است دقت و نظارت



EERI Special Earthquake Report

- ASCE 7-02, (2003), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, 2nd Edition, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, United States

- Cao, Z. W., Bian, C., & Xu, C. Y., (2014), "Analysis of the Interaction between Stair and Frame under Horizontal Earthquake Action Based on ETABS", In 2014 International Conference on Mechanics and Civil Engineering (icmce-14), Atlantis Press.

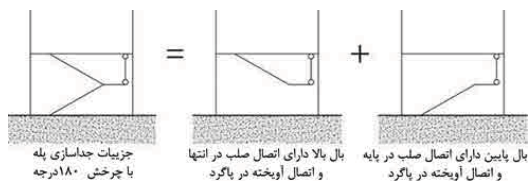
- Feng, Y., Wu, X., Xiong, Y., Li, C., & Yang, W., (2013), "Seismic performance analysis and design suggestion for frame buildings with cast-in-place staircases", Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 12(2), 209-219.

- 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

- Singh, N. S., & Choudhury, S., (2012), "Effects of staircase on the seismic performance of RCC frame building", International Journal of Engineering Science and Technology, 4(4).

- Specification for Structures to be Built in Earthquake Areas, (2007), Ministry of Public Works and Settlement, Government of the Republic of Turkey.

- Tegos, I. A., Panoskaltis, V. P., & Tegou, S. D., (2013), "Analysis and design of staircases against seismic loadings", 4th ECCOMAS thematic conference on computational methods in structural dynamics and earthquake engineering, Kos Island, Greece.



شکل ۲۰: جداسازی راه پله از سازه با چرخش ۱۸۰ درجه (چارلسون، ۱۳۹۰)

منبع

- استاندارد ۲۸۰۰، (۱۳۹۳)، آیین نامه طراحی ساختمان هادر برابر زلزله، ویرایش ۴، تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

- باخمن، هوگو، (۱۳۸۹)، طرح لرزه ای مفهومی ساختمان ها: قواعد اساسی برای مهندسان، معماران و مالکان؛ دستنامه ۱۲/۱ مهندسی زلزله، ترجمه تابش پور، محمدرضا، تهران، نشر فدک ایساتیس

- بسطامی، مرتضی؛ تاجمیر ریاحی، حسین؛ پورعابدین، علی، (۱۳۹۰ الف)، «اثر مدلسازی دستگاه پله های دو طرفه در سازه های بتن آرمه»، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان.

- بسطامی، مرتضی؛ طلایی طبا، سید بهزاد؛ صلاحی، سید سجاد (۱۳۹۰ ب)، «اثر مدلسازی دستگاه پله در سازه های متعارف فولادی در زمان زلزله»، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان.

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

- تابش پور، محمدرضا؛ قهاری، سید فرید، (۱۳۸۸)، مسائل مهندسی زلزله کاربردی؛ دستنامه ۷ مهندسی زلزله، تهران، نشر فدک ایساتیس

- چارلسون، اندرو، (۱۳۹۰)، طراحی لرزه ای برای معماران، مقابله ای هوشمندانه با زلزله، ترجمه گلابچی، محمود؛ سروش نیا، احسان، چاپ دوم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران

- حسینی، میرحمید؛ جعفر نژاد قمی، هادی، (۱۳۹۴)، «بررسی عملکرد المان های پله در سازه بتنی در زمان زلزله»، دومین کنفرانس ملی زلزله، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین.

- دستورالعمل مقاوم سازی اجزای غیرسازه ای ساختمان ها، (۱۳۹۱)، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

- عشقی، ساسان؛ زارع، مهدی؛ ناصر اسدی، کیارش؛ سید رزاقی، مهران؛ نورعلی آهاری، مسعود؛ معتمدی، مهرداد، (۱۳۸۲)، گزارش مقدماتی شناسایی زلزله ۵ دیماه ۱۳۸۲، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

- علیرضایی، مهدی؛ امیدی، حسین؛ فلاحی، سعید؛ دهقانی، میلاد، (۱۳۹۳)، «بررسی و مقایسه تحلیل خطی و غیرخطی مدل سازی راه پله در ساختمان های بتنی»، پنجمین کنفرانس ملی زلزله و سازه، جهاد دانشگاهی استان کرمان، کرمان.

- فرشچی، حمیدرضا، (۱۳۹۳)، «یادداشت تحقیقاتی: کاربرد اتصال برشی - اصطکاکی در اتصال مفصلی تیر میان طبقه راه پله بتنی به ستون»، مجله عمران مدرس، دوره چهاردهم، شماره چهار.

- واتقی، اکبر؛ جبار زاده، محمد جواد؛ شریف، وحید، (۱۳۸۲)، گزارش تصویری از بم - Alaluf, R; Hernandez, R; Dönmez, C; rfanolu, A, (2012), Learning from Earthquakes The Mw 7.1 Erci - Van, Turkey Earthquake of October 23, 2011,