

استفاده از قاب‌های نیمه خورجینی و خورجینی معکوس در تقویت عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های موجود

محمد فروغی، عضو هیأت علمی دانشگاه یزد

تلفن: ۰۳۵۱-۸۲۱۲۲۳۱، نامبر: ۰۳۵۱-۸۲۱۲۲۳۰، پست الکترونیکی: foroughi_mohammad@yahoo.com

چکیده:

با توجه به اینکه بسیاری از ساختمان‌های موجود در کشور از حداقل ایمنی در مقابل زلزله بی‌بهره هستند، لزوم مقاوم‌سازی آن‌ها، از ضروریات بدیهی است. روش‌های مقاوم‌سازی بطور کلی با روش‌های عادی ساخت و ساز تفاوت داشته، از ویژگی‌های خاصی برخوردارند، بگونه‌ای که برای هر ساختمان مورد نظر، با توجه به شرایط موجود، بایستی تصمیمی خاص گرفت. در این میان بنظر نگارنده استفاده صحیح از سیستم‌های خورجینی، نیمه خورجینی و خورجینی معکوس در خیلی از موارد، می‌تواند راهگشا باشد. این مقاله در نظر دارد به معرفی سیستم‌های نیمه خورجینی و خورجینی معکوس پرداخته، نمونه‌هایی از کاربرد این سیستم‌ها در استحکام‌بخشی بناهای موجود را مورد مرور قرار دهد.

واژه‌های کلیدی: خورجینی، نیمه خورجینی، شبه خورجینی، خورجینی معکوس

۱- مقدمه

قاب‌های خورجینی که در آن‌ها تیرهای سرتاسری از طرفین ستون یکسره عبور می‌نمایند، به عنوان سیستم رایج در ساخت و ساز کشور، برای عموم دست‌اندرکاران ساخت و ساز، لااقل از نظر شکل ظاهری، سیستمی شناخته شده هستند، و در طول دو دهه اخیر بر روی عملکرد این سیستم کارهای زیادی صورت پذیرفته، تا آنجا که اخیراً پیش‌نویس ضوابط طرح و اجرای ساختمان‌های با اتصال خورجینی [۱] انتشار یافته تا زمینه‌ساز پایه‌گذاری مرجعی رسمی برای طراحی و اجرای این سیستم باشد. اما اصطلاحات شبه خورجینی، نیمه خورجینی و خورجینی معکوس، واژه‌های شناخته شده‌ای نیستند. واقعیت اینست که این اصطلاحات را نگارنده برای قاب‌هایی با ویژگی‌هایی شبیه قاب‌های خورجینی که در این مقاله به شرح آن‌ها می‌پردازیم، برگزیده است. این سیستم‌ها، در ساخت و ساز کشور، به ندرت، مورد استفاده قرار گرفته‌اند، اما به نظر نگارنده، شناخت آن‌ها مفید است و می‌توانند در مقاوم‌سازی سازه‌ها، کاربرد داشته باشند.

۲- معرفی

سیستم‌های شبه خورجینی به دو گونه زیر تقسیم می‌شوند.

۲-۱- سیستم نیمه خورجینی

در معدودی از ساختمان‌ها، بجای عبور دو تیر سرتاسری از طرفین ستون یکسره، یکی از تیرها را بطور سرتاسری از بر ستون عبور داده و دیگری را بصورت منقطع با اتصالات مفصلی به کار می‌گیرند. هرگاه بال‌های فوقانی و تحتانی این دو مقطع را در فواصلی از طول به یکدیگر جوش دهند، مقطع تقریباً واحدی را ایجاد می‌نماید. به نظر می‌رسد کسانی که این سیستم را به کار می‌برند، خواسته‌اند بطور نسبی از مزایای اتصال خورجینی یعنی سهولت اجرائی و پایین آمدن شماره نیمرخ بهره برده، از معایب آن، حتی‌الامکان پرهیز نمایند. خصوصاً با پیوستن تیر سرتاسری به تیر منقطع که محور آن منطبق بر محور قاب است، از برون محوری مجموعه بکاهند و وضعیت اتصال نسبت به اتصال خورجینی مرسوم بهبود یابد. اینکه چنین تفکری تا چه میزان منطقی و کارآمد است، نیاز به بررسی‌های علمی جامع دارد.

به دلیل اینکه اجرای این نوع اتصال نسبت به اتصالات خورجینی به نحو قابل ملاحظه‌ای سخت‌تر است و از پشتوانه علمی حداقلی نیز برخوردار نیست، عملاً مورد استقبال قرار نگرفته و کاربرد آن بسیار نادر است. در هر صورت نگارنده در این مقاله قصد ورود به این مطلب را ندارد و فقط کاربرد این سیستم را در موارد خاصی، در عملیات مقاوم‌سازی، مورد توجه و کاربرد قرار داده است. بدیهی است در صورتیکه این راه کار مورد توجه دست‌اندرکاران تقویت بناهای موجود قرار گیرد، لزوم تحقیقات علمی گسترده برای شناخت رفتار، چگونگی مدل‌سازی در تحلیل سازه و روند علمی طراحی این سیستم، ضروری خواهد بود.

۲-۲- سیستم خورجینی معکوس

بسیار نادر است ساختمان‌هایی که دارای قاب‌هایی از این گونه باشند. برعکس قاب‌های خورجینی که در آن‌ها جفت تیر سرتاسری از طرفین ستون عبور می‌نمایند، در این قاب‌ها، جفت مقطع تشکیل‌دهنده ستون، در طرفین تیر سرتاسری عبور می‌کند. به عبارت دیگر مقطع تک یا دابل تیر بصورت یکسره از میان ستون (معمولاً 2IPE)، عبور می‌نماید و بر روی نشیمن مشابه اتصالات مفصلی می‌نشیند.

در این سیستم یکسره بودن تیر، مزایای اتصال خورجینی را برای سازه به ارمغان می‌آورد، و این در حالی است که مروری کلی بر روی اتصال ما را به این نتیجه می‌رساند که ظاهراً از معایب عمده اتصال خورجینی مرسوم، به دور است. خصوصاً برون محوری تیر نسبت به ستون منتفی است و اتصال در معرض پیچش قرار نمی‌گیرد و در نتیجه با اتصالاتی ساده‌تر با رفتاری شناخته شده‌تر و مطلوب‌تر مواجه می‌باشیم. بررسی‌های اولیه نگارنده، تصور رفتار قیچی‌سان برای این اتصال را مقبول می‌نماید و در نتیجه مدل‌سازی اتصال در تحلیل کامپیوتری سازه با استفاده از هر یک از ۵ مدل عمومی فروغی [۲] امکان‌پذیر خواهد بود. در طراحی نیز به نظر می‌رسد، استفاده از روند طراحی اتصالات ساده استاندارد نبشی نشیمن و یا نشیمن سخت شده، با ملحوظ کردن وضعیت خاص اتصال که عموماً طول بیشتری را برای نبشی‌های نشیمن و فوقانی، خصوصاً نشیمن طلب می‌کند، قابل قبول می‌نماید.

همچنین بنظر می‌رسد در صورتیکه قصد بر استفاده از اتصال صلب در این سیستم باشد، پیروی از روند اتصال صلب غیر مستقیم استاندارد، با اعمال ملاحظات خاص، کاربردی است. علیرغم این محاسن، اولاً اجرای این اتصال مشکلات خاص خویش را دارد و به نظر نگارنده، برای بیش از دو طبقه دشوار و غیر عملی خواهد

بود. دلیل این امر اینست که لزوماً بایستی تیر یکسره را از بالا در شکاف ستون قرار داد و سپس قیود (تسمه‌های اتصال) را برای اتصال دو مقطع ستون به یکدیگر، نصب نمود. بدیهی است هر دو این اعمال سخت است و با بالا رفتن تعداد طبقات سخت‌تر خواهد شد. با این همه برای یک طبقه مشکلی ندارد. ثانیاً، بدلیل نیاز به فضای کافی برای عبور تیر سرتاسری از میان ستون، بعد ستون در این جهت افزایش می‌یابد که خود در معماری بنا تأثیرگذار است. بنظر می‌رسد این مشکلات دلیل عمده عدم رواج این اتصال در ایران شده باشد.

در هر صورت در این مقاله قصد پرداختن به این سیستم و عملکرد آن نیز نداریم، و فقط می‌خواهیم به موارد خاصی از کاربرد این گزینه در مقاوم‌سازی ساختمان‌های موجود بپردازیم. بدیهی است در صورت ایجاد مقبولیت، انجام تحقیقات علمی برای درک رفتار سیستم و روند علمی طراحی آن لازم خواهد بود.

۳- نمونه‌هایی از عملیات مقاوم‌سازی با استفاده از سیستم قاب‌های شبه خورجینی

۳-۱- ساختمان نمونه شماره ۱: مقاوم‌سازی با استفاده از سیستم نیمه خورجینی

۳-۱-۱- گزارش وضع موجود

این ساختمان مسکونی نیم‌ساز که حدود ۱۴ سال پیش در شهر یزد مورد بررسی برای مقاوم‌سازی قرار گرفت [۳]، از نوع مصالح بنائی با یک قاب میانی بود که فقط در حد سقف زیرزمین و پارکینگ انجام و قسمتی از دیوارهای همکف نیز بنا شده بود. همچنین یک ردیف ستون فلزی که در درون دیوار زیرزمین جای گرفته بودند، بدون وجود هیچگونه تیری در تراز سقف، از درون سقف تیرچه بلوک عبور داده شده و در طبقه فوقانی امتداد یافته بودند. تصویر (۱) گوشه‌های از وضعیت موجود را نشان می‌دهد.



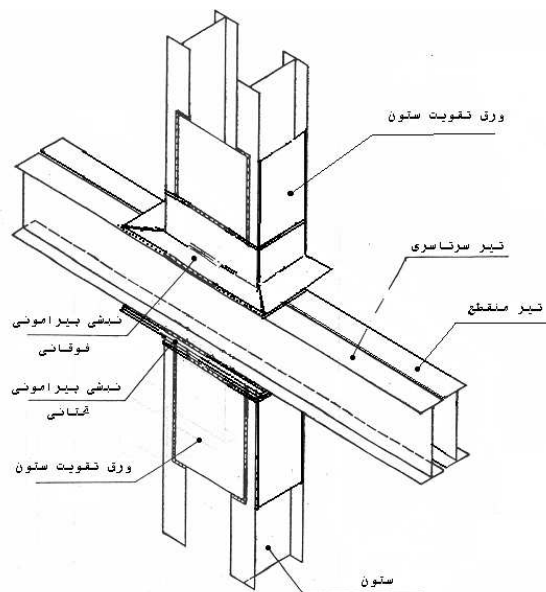
تصویر ۱: تصویری از وضع موجود. عبور ستون از سقف بدون وجود پل باربر. در زیرزمین ستون از داخل بلوک بین دو تیرچه متوالی گذشته و در تراز بعدی تیرچه سقف پارکینگ مستقیماً به ستون تماس یافته است.

جالب توجه این که یکی از این ستون‌ها نیز نسبت به ردیف ستون‌ها حدود ۰/۵ متر خارج از محور قرار داشت (تصویر ۱). علیرغم وجود شناژ تحتانی در زیر دیوارها و بین فونداسیون‌ها، کیفیت کار بطور کلی نامطلوب بود و مشکلات عدیده‌ای وجود داشت که از حوصله این مقاله خارج است. کیفیت دیوار بین زیرزمین و پارکینگ بسیار نامطلوب بود، بگونه‌ای که بعد از شمع‌بندی زیر سقف‌ها و برداشتن یک رج از دیوار، فقط با فشار اندک پا، تکه‌های بزرگ دیوار فرو می‌ریخت و آجرها از ملات جدا می‌شدند ولی کیفیت کلی سقف تیرچه بلوک قابل قبول بود. در نتیجه حاصل بررسی‌ها، به لزوم و مؤثر بودن مقاوم‌سازی ختم گردید. عملیات گسترده‌ای

برای مقاوم‌سازی این بنا صورت پذیرفت، از جمله اینکه با نگهداری سقف، پس از نصب پل‌های فلزی بین ستون‌ها، دیوار میانی (بین زیرزمین و پارکینگ) نیز، تخریب و بازسازی شد.

۳-۱-۲- روند اجرای عملیات

یکی از مسائل قابل توجه و غافل‌گیرکننده در این ساختمان این بود که در زمان شروع عملیات مقاوم‌سازی، با رؤیت ترک‌های موئی در بتن پاشنه تیرچه‌های سقف زیرزمین در جنب دیوار میانی، و پیگیری مطلب، بطور غیرمنتظره‌ای متوجه این مطلب شدیم که متأسفانه در این موضع، میلگردهای پائینی بعضی از تیرچه‌ها، قبل از تکیه‌گاه قطع شده و فقط بتن پاشنه فاقد میلگرد بر روی دیوار نشسته است. بنابراین لزوم نصب یک تیر بصورت خارج از مرکز نسبت به محور ستون، در مجاورت دیوار برای ایجاد یک نشیمن سرتاسری مناسب در زیر سقف، در این محدوده الزامی می‌نمود. لذا طراحی را مقداری تغییر داده از سیستم نیمه خورجینی در این مورد استفاده نمودیم (شکل ۱).



شکل ۱: شکل شماتیک یک اتصال نیمه خورجینی با نشیمن پیرامونی

در این سیستم، یک مقطع تیر، دقیقاً در محور میانی دیوار، درست در راستای ستون‌ها و بدون خروج از مرکزیت و با استفاده از اتصالات استاندارد نشیمن نشیمن به ستون‌ها متصل می‌گردید، و تیر دیگر، بصورت سرتاسری از بغل با اتصال خورجینی. سپس این دو تیر به هم اتصال می‌یافتند. برای کنترل خروج از مرکزیت این تیر سرتاسری نسبت به ستون و مشکلات حاصله، نشیمن‌های نشیمن این تیرها با تیرهای اول که فاقد خروج از مرکزیت بودند، به یکدیگر متصل و اتصالی پیرامونی را تشکیل می‌دادند که مجموعاً توانائی تحمل پیشش حاصل از خروج از مرکزیت تیر دوم را داشت. در زیر به اختصار، فقط به کار انجام شده در این رابطه می‌پردازیم.

۳-۱-۲-۱- ابتدا زیر سقف طرفین را شمع‌زنی کرده، دیوار میانی را از زیر بار سقف آزاد نموده، آن را تخریب کردیم. آنگاه اقدام به نصب تیر سرتاسری موردنظر، به زیر سقف در جنب دیوار نمودیم و با شمع‌زنی در زیر آن (جک تیرچه بلوک)، تیر را با فشار در زیر سقف استقرار دادیم. سپس اقدام به نصب نشیمن‌های طرفین در زیر آن و جوشکاری بین تیر و نشیمن و ستون نمودیم (تصویر ۲).

۳-۱-۲-۲- در این مرحله تیر آهن‌های مقطع را به اندازه‌های لازم بریده، با فشار در محل خویش نصب کرده، و عملیات جوشکاری را تکمیل نمودیم.

۳-۱-۲-۳- با نصب تسمه‌های رابط، دو تیر مذکور در ردیف‌های ۳-۱-۲-۱ و ۳-۱-۲-۱-۱ را به یکدیگر اتصال دادیم که همچون مقطع واحدی عمل نموده، خروج از مرکزیت بار بر روی اتصال و ستون کاهش یابد. عملکرد مطلوب اتصالاتی از این گونه، توسط نگارنده بر روی اتصالات مشابه تحت عنوان نشیمن پیرامونی مورد تحقیق قرار گرفته است [۴ و ۵].

۳-۱-۲- در بسیاری از موارد مشابه که سازه دارای قاب فولادی است و نیاز به تقویت دارد، استفاده از سیستم خورجینی و نیمه خورجینی، قابل توصیه تلقی می‌گردد.



تصویر ۲: تیر سرتاسری بر روی نشیمن نصب شده است.

۳-۲- نمونه شماره ۲: مقاوم‌سازی با استفاده از سیستم خورجینی معکوس

نگارنده در موارد متعددی در ساختمان‌های بنائی موجود، با این وضعیت مشکل‌زا برخورد نموده که دیواری باربر بر روی یک پل فلزی با دهانه نسبتاً قابل توجه قرار گرفته است که هرگاه احتمالاً از نظر ثقلی بتواند جوابگو باشد، مشخصاً عملکرد لرزه‌ای کاملاً نامطلوبی خواهد داشت. در این گونه موارد می‌توان روند محاسبات را به گونه‌ای پیش برد که با افزودن ستون و یا ستون‌های میانی به قاب، مقطع تیر فولادی پاسخگو باشد. در اینصورت استفاده از سیستم خورجینی معکوس، راه حل مناسبی برای حل مشکل خواهد بود. بدین ترتیب که پس از شمع‌بندی و اقدامات اولیه، ستون را بصورت مقطع دوبرل با فاصله در نظر می‌گیریم، به گونه‌ای که با تمهیداتی، هر یک از قطعات ستون را جداگانه از یک طرف پل موجود نصب می‌کنیم، به گونه‌ای که مماس بر لبه بال‌های آن قرار گیرند. سپس اقدام به نصب نشیمن و قیدهای ستون نموده، آن را تکمیل می‌نمائیم.

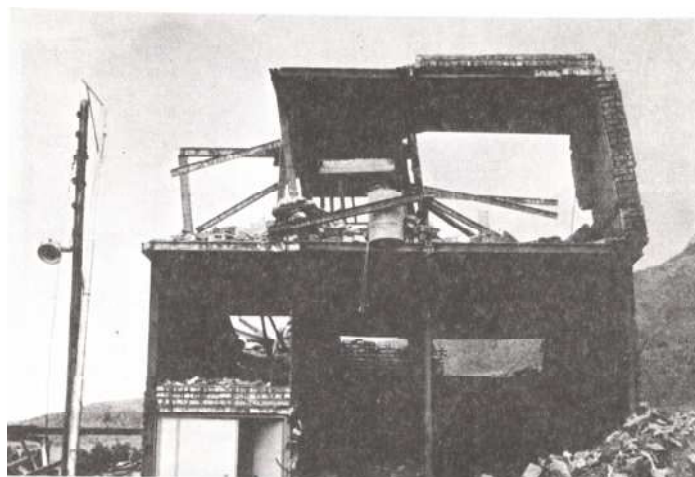
۳-۲-۱- گزارش وضع موجود

همچنانکه تصویر (۳) نشان می‌دهد، در این بنا، دیوار آجری بر روی پل فولادی با دهانه حدود ۶ متر، واقع در تراز سقف زیرزمین، استقرار داشته و بار سقف فوقانی خویش را تحمل می‌نموده است [۳ و ۶]. ساده‌ترین راه حل برای رفع مشکل، احداث دیواری با مصالح بنائی در زیر این پل و گازکوب کردن رج آخر دیوار در زیر سقف است. اما این گزینه فضای زیرزمین را به طور نامطلوبی تحت تأثیر قرار می‌دهد. راه حلی که معمولاً در این شرایط انتخاب می‌گردد، اضافه کردن ستون و یا ستون‌های میانی، به مجموعه سازه می‌باشد. در عموم موارد، این ستون‌ها را فقط در طبقه زیرین به کار گرفته، در زیر پل موجود استقرار می‌دهند. پر واضح است که چنین سیستمی با قاب فولادی در طبقه تحتانی و دیوار باربر در طبقه فوقانی، در زمان وقوع زلزله عملکرد ناهمگون و نامطلوبی از خود بروز خواهد داد و تخریب بنا در این روند کاملاً مورد انتظار است (تصویر ۴) [۷].

راه حل معقول تری که به ندرت برگزیده می شود، استقرار ستون یا ستون های میانی ممتد در طبقات است. در اجرا برای عملی شدن این گزینه، لازم است پس از شمع بندی مطلوب طبقات برای انتقال بار سقف ها به زمین و آزادسازی دیوار و پل های باربر موجود، با تخریب موضعی دیوار، کندن سقف در محدوده های مورد نظر برای عبور ستون یا ستون های جدید و بریدن پل های فولادی در این مواضع، ستون های مورد نظر را در محل خویش استقرار داده، با نصب نشیمن های مناسب در زیر آنها (تحت فشار)، مسیر بار به این ستون ها هدایت می گردد و سپس شمع ها را برمی دارند.



تصویر ۳: تصویری از نمای ساختمان پس از نصب ستون با سیستم خورجینی معکوس. همچنانکه در تصویر معلوم است دیوار باربر آجری بر روی سقف تیرچه بلوک با دهانه زیاد قرار داشته است.



تصویر ۴: تصویری از خرابی یک ساختمان با سازه ناهماهنگ در جریان زلزله خرداد ۱۳۶۹ منطقه گیلان و زنجان [۷].

۳-۲-۲- انجام عملیات با استفاده از قاب خورجینی معکوس

در این روش که نگارنده در مقاوم سازی این بنا و بناهای مشابه بکار بسته است، پس از احداث مجموعه شناژ و فونداسیون های مورد نیاز و اتصال آنها به مجموعه پی و شناژ موجود بنا و ساخت دو تکه دیوار ۳۵ سانتی آجری با ملات ماسه سیمان از طرفین در زیر زمین و گازکوب کردن رج آخر آنها، با نصب شمع ها برای تحمل بار سقف ها و آزادسازی پل ها و دیوار از زیر بار، اقدام به تراشیدن دیوار در مواضع مورد نظر برای عبور

قطعات ستون از طرفین پل و سوراخ کردن سقف در این مواضع نموده، سپس قطعات ستون را، تک تک در طرفین پل، از سوراخ‌های سقف عبور داده، در محل خویش مستقر نموده، بر روی کف ستون مربوطه نصب می‌نمائیم (تصویر ۵).



تصویر ۵: نصب موقت ستون‌های قاب خورجینی معکوس



تصویر ۶: نصب موقت ستون‌های قاب خورجینی معکوس و نصب نشیمن‌های تیر و جند قید میانی ستون و شمع برداری
آنگاه ورق اتصال در محل نشیمن را به ستون نصب و نشیمن‌های طراحی شده را با فشار در زیر پل‌ها جا داده، به پل و ستون جوش می‌دهیم، و مراحل ساخت ستون را با نصب قیود (معمولاً افقی) بین دو مقطع تکمیل می‌نمائیم. آنگاه با برداشتن شمع‌ها، کل بار سقف طبقات به قاب فولادی جدید انتقال یافته، در مقابل زلزله نیز این قاب فولادی جایگزین سیستم معلول قبلی می‌گردد که رفتار لرزه‌ای مقبولی را خواهد داشت (تصویر ۶).
در این مرحله برای کاهش بار، در صورت ضخیم بودن دیوار باربر موجود، ترجیحاً آن را تخریب و مجدداً با مصالح سبک بنا می‌نمائیم. از این به بعد ادامه عملیات به صورت عادی انجام خواهد شد (تصویر ۳).

در مراحل بعدی ستون و پل ها و به عبارتی دیگر مقاطع فولادی را در پوشش بتن قرار می دهیم تا ضمن محافظت آن ها در مقابل آتش سوزی و خوردگی رفتار هماهنگ تری با مجموعه سازه داشته و مجموعه سازه رفتار مطلوب تری در مقابل زلزله ، از خود بروز دهد .

لازم بذکر است که در بعضی موارد، دیوار باربر مورد بحث بر روی تیرچه سقف زیرین استقرار دارد و از پل فولادی نیز خبری نیست .

در این صورت، پس از استقرار قطعات ستون یک طرف، اقدام به نصب پل موردنیاز به روش هایی مشابه آنچه قبلاً در این مقاله آمد و تحت فشار در زیر سقف نموده، سپس قطعات ستونی طرف دیگر را با روش گفته شده در فوق نصب می کنیم. بقیه مراحل آن گونه است که قبلاً آمد.

۴- نتیجه گیری و جمع بندی و ارائه پیشنهاد

۴-۱- علیرغم اینکه سیستم های شبه خورجینی خصوصاً سیستم خورجینی معکوس، با توجه به مشکلات اجرایی، برای احداث بناهای جدید، قابل توصیه نمی باشند، در موارد خاصی از مقاوم سازی بناهای موجود، گزینه ای مطلوب بنظر می رسند.

۴-۲- با توجه به اینکه این سیستم ها، در ردیف سیستم های استاندارد بین المللی قرار ندارند، پیشنهاد می گردد که طی پژوهش هایی آزمایشگاهی و تئوری بر روی عملکرد، مدل سازی و پایه گذاری روابط طراحی برای آن ها، کارهایی عملی صورت پذیرد.

۴-۳- پیشنهاد می گردد که هر یک از این اتصالات، بطور جداگانه با عملکردهای مفصلی، نیمه صلب و صلب مورد مطالعه قرار گیرند.

۵- مراجع :

۱- مقدم- حسن و آقا کوچک- علی اکبر و مزروعی- علی و میرقادی- رسول ، پیش نویس ضوابط طراحی و اجرای ساختمان های با اتصال خورجینی ، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ، اسفند ۱۳۸۲ .

۲- فروغی- محمد ، بررسی اتصالات خورجینی و مدل کردن کامپیوتری آن ها برای نرم افزارهای تحلیل سازه ها (سمینار کارشناسی ارشد سازه) ، دانشگاه علم و صنعت ایران ، تهران ، آذرماه ۱۳۷۱ .

۳- فروغی- محمد ، گزارشی از ترمیم سه ساختمان مسکونی ، اولین کنفرانس ایمن سازی و بهسازی سازه ها ، دانشگاه امیرکبیر ، تهران ، ۱۸-۱۶ اردیبهشت ۱۳۸۱ .

۴- فروغی- محمد و زاهدی- مرتضی و برخورداری- محمدعلی ، بررسی اتصالات خورجینی گیردار و فرمول بندی های حاکم بر آن ها ، چهارمین کنفرانس بین المللی عمران ، دانشگاه صنعتی شریف ، تهران ، ۱۶-۱۴ اردیبهشت ۱۳۷۶ .

۵- فروغی- محمد ، بررسی اتصالات خورجینی در قاب ها با استفاده از تحلیل غیر خطی (پایان نامه دکترا سازه- در دست انجام) ، دانشگاه علم و صنعت ایران ، تهران .

۶- فروغی- محمد ، بررسی سازه ای ساختمان های با مصالح بتائی غیر مسلح و نقش این امر در توسعه استان ، همایش تحول در توسعه استان یزد ، یزد ، اردیبهشت ۱۳۸۳ .

۷- معین فر- علی اکبر و نادرزاده- احمد ، گزارش فنی مقدماتی و فوری زلزله ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ منجیل (منطقه گیلان و زنجان) ، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ، شماره ۱۱۹ ، تیرماه ۱۳۶۹ .