

• جزئیات اتصالات

• سیستم‌های قاب‌بندی سازه‌ای

• تحلیل نمونه‌های اجرایی

طراحی ساختمانهای بتونی پیش ساخته پیش تنیده در مناطق زلزله خیز

نشریه شماره ۱۴، پاییز ۱۳۷۲



پیشگفتار

راجع به زمین لرزه و خطرات آن تاکنون مکرراً صحبت شده و معلوم گردیده که فعلاً هیچ راه علمی مطمئنی برای از قبل آگاه شدن از وقوع زلزله وجود ندارد (لااقل به گونه ای که بقدری زمان در اختیار انسان بگذارد که خود را به محل امنی برساند).

درحالی که عده ای مشغول تحقیق برای ابداع و اختراع وسیله ای مطمئن برای هشدار دادن از وقوع زمین لرزه هستند، عده دیگری مشغول انجام مطالعات و آزمایشاتی برای تخفیف اثرات مخرب زلزله هستند.

مطلب پیوست که از نشریه PCI JOURNAL (ژورنال انجمن بتون پیش ساخته/پیش تنیده) مورخ ماههای مه/ژوئن ۱۹۹۱ میلادی استخراج و ترجمه شده است، نتایج کار، تحقیق و بررسی فردی است که نزدیک به ۴۰ سال در زمینه طراحی بناهای بتونی تجربه داشته و بیشتر ساختمانهایی که طراحی نموده است در حوزه اقیانوس آرام که یکی از زلزله خیزترین نقاط جهان است واقع شده اند.

البته طراحی سازه ای بیشتر ساختمانها برطبق آئین نامه های ساختمانی انجام می گیرد. این آئین نامه ها حداقل های مورد درخواست را مشخص می نمایند ولی جهت حصول نتیجه بهنیه از طراحی، تجربه و داوری مهندسی، نقش عمده ای را ایفا می کند و این داوری باید نتیجه همکاری و همفکری مهندس پروژه، کارفرما، مشاور و آرشیکتک پروژه باشد.

معیارهای رایج در کشورهای مختلف، مقادیر متفاوتی را برای بار زنده ارائه می‌دهند که معمولاً بزرگتر از بار واقعی هستند. و این عامل تعیین کننده‌ای در ایستائی ساختمان می‌باشد و از آنجا که خطر زلزله در مناطق مختلف، بستگی به عوامل گوناگون داشته و هیچ فرمول قطعی برای مقابله با تخریب ساختمانها در مقابل زلزله وجود ندارد، ولی می‌توان با توجه به نوع کاربری ساختمان و اهمیت آن در حفظ جان استفاده کنندگان آن، نسبت به استفاده از آئین‌نامه‌ها و روشهای مناسب محاسبه اقدام نمود.

سعید شهیدی

مدیر بخش تحقیقات و مطالعات

آقای ALFRED A. YEE که یکی از اعضای حرفه ای و قدیمی (انجمن بتون پیش ساخته) است، از سال ۱۹۵۳ تا کنون در حرفه مهندسی بوده و متخصص طراحی سازه های بتونی پیش ساخته و پیش تنیده است. اکثر این سازه ها در حوزه اقیانوس آرام یعنی یکی از فعالترین مناطق از نظر زمین لرزه واقع شده اند. در بزرگداشت ابداعات وی در پیشبرد تکنولوژی بتون، در سال ۱۹۶۷ موفق به کسب درجه دکترا در افتخاری مهندسی از انستیتوی تکنولوژی ROSE - HULMAN گردید. در همان سال، دکتر YEE بعنوان عضو آکادمی ملی مهندسی انتخاب شد. او درجه لیسانس خود را در رشته مهندسی سیویل از انستیتوی تکنولوژی ROSE - HULMAN و فوق لیسانس را از دانشگاه YALE دریافت نمود. دکتر YEE سخنرانی هائی در سراسر جهان ایراد نموده و مؤلف مقالات متعددی است که بعضی از آنها در ژورنال انجمن بتون پیش ساخته (PCI) چاپ رسیده اند.

در طراحی سازه های بتونی پیش ساخته پیش تنیده در مناطق زلزله خیز، نیاز به اصول استوار، توجه به جزئیات و قضاوت صحیح می باشد. وجود این عوامل، البته برای طراحی هر نوع سازه ای، چه بتونی، چه فولادی و چه مرکب، ضروری است. بهر صورت، در طراحی سازه های بتونی پیش ساخته پیش تنیده، باید توجه خاصی به مقاومت، استحکام، و خصوصاً جزئیات اتصالات مبذول گردد. عمل آنها تنها محدود به انتقال بارها نمی شود بلکه باید تداوم و رفتار یکپارچه در کل سازه نیز ایجاد نمایند.

استقامت و استحکام، اثرات ناشی از جابجائی، خمش و پیچش را به حداقل می رسانند. محدود کردن حرکت و پیچش در هنگام زلزله، اهمیت بسیار دارد چرا که می توانند موجب خسارات سازه ای و غیرسازه ای و در حالات شدید، موجب ویرانی سازه گردند. ارتباط دیوارهای برشی با یکدیگر از طریق تیرهای ضخیم و یا خرپاها برای تشکیل يك قاب گشتاوری بزرگ، روش خوبی برای افزایش استحکام کلی يك سازه است.

قسمتهای (طبقات) غیر صلب، استفاده از اتصالات زلزله ای و غیرمتقارن بودن قاب ساختمان، حتی در صورت موجه بوده آنها از نقطه نظر محاسبات ریاضی، باید مورد اجتناب قرار گیرند. اگر بعلاوه ابعاد استثنائی سازه، وجود اتصالات زلزله ای، ضروری شناخته شود، پیشنهاد می گردد که با استفاده از سیستمی متشکل از عناصر کششی و قرار دادن مصالح نرم در بین اجزاء ساختمان، اثرات ضربه (کوبش)، کاهش داده شوند.

هدف این مقاله، آشنائی با نکاتی است که در احداث ساختمانهای بتونی پیش ساخته پیش تنیده در مناطق زلزله خیز، باید در نظر گرفته شوند. هدف دیگر این مقاله، ارائه نمونه های زنده و عینی سازه های است که در مقابل زلزله پایداری کرده اند و همچنین بعضی نکات طراحی و اقداماتی است که در مناطق زلزله خیز باید رعایت شوند و یا رعایت نشوند.

این مقاله، چکیده ۴۰ سال تجربه نویسنده در طراحی سازه های پیش ساخته پیش تنیده است که اغلب آنها در حوزه اقیانوس آرام که یکی از فعالترین مناطق جهان از نظر زمین شناسی است، واقع شده اند.

جزئیات اتصالات

مهمترین عنصر طراحی سازه های بتونی پیش ساخته، طراحی جزئیات آنها است. اتصالات بین اعضاء پیش ساخته ساختمان از قبیل ستونها، تیرها، دالها، دیوارهای برشی، باید اجزاء جداگانه ساختمان را بطور موثری به یکدیگر متصل نمایند تا بدین ترتیب، کل سازه ساختمان دارای يك رفتار هماهنگ گردد. در اینصورت، تحلیل و رفتار قاب این نوع ساختمانها، کاملاً مشابه با يك سازه بتونی درجاریز خواهد بود به استثناء اینکه در این حالت، سیستم قاب بندی، از اجزاء بتونی پیش ساخته که بصورتی به یکدیگر متصل شده اند که رفتار همگونی داشته باشند، استفاده نموده است.

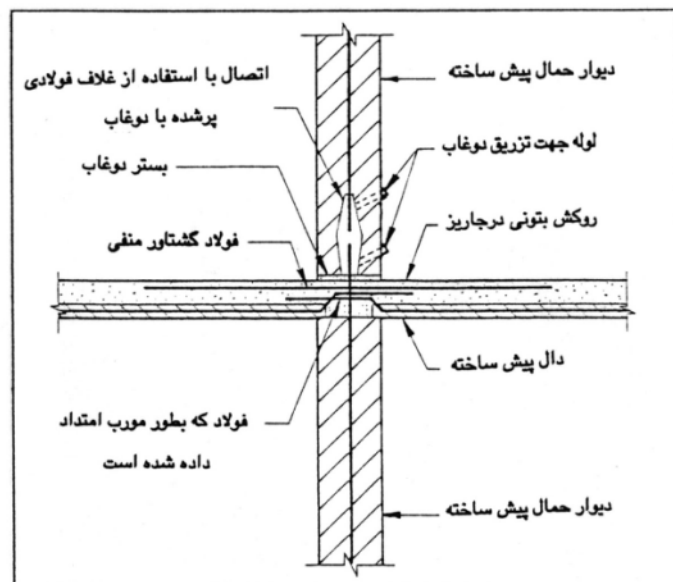
بعنوان مثال، حالتی را در نظر بگیرید که دیوارهای حمال پیش ساخته ساده، بار دالهای بتونی پیش ساخته را تحمل می کنند. موثرترین سیستمی که ابداع شده است، از اتصالات مرکب درجاریز استفاده می کند تا بین دهانه دالهای مجاور و همچنین دیوارهای بتونی پیش ساخته، ایجاد یکپارچگی کامل بکند. شکل ۱ (الف)، يك دیوار حمال پیش ساخته را که دالهای پیش ساخته کف و یا سقف را حمایت میکند، نشان می دهد. جزئیات اتصال به نحوی است که خطاهای اندازه ای در ساخت، اثرناچیزی بریکپارچگی سازه و کارائی سیستم مرکب داشته باشند.

دالهای پیش ساخته، با يك روکش بتونی مختلط درجاریز پوشیده شده اند تا هم يك سطح تراز حاصل گردد و هم يك دیافراگم (صفحه) افقی سازه ای که بتواند نیروهای زلزله را تحمل کند. تاسیساتی از قبیل برق، تلفن و تلویزیون نیز میتوانند از بین کانالهایی که در میان این روکش قرار داده می شوند، عبور کنند. جزئیات دالهای بتونی پیش ساخته بنحوی است که آرماتورهای بصورت مورب در محل هایی که از روی دیوارهای حمال پیش ساخته عبور میکنند، در آنها تعبیه شده است. در جهت مقابله با گشتاورهای منفی نیز، در میان روکش مرکبی که بکار رفته، آرماتورگذاری شده است تا یکپارچگی بین دالهای مجاور هم، تأمین گردد. دیوارهای پیش ساخته حمال طبقات بالائی نیز با استفاده از يك حفره فولادی که با دوغاب پر می شود، بطور کامل به دیوارهای حمال طبقات پائینی مرتبط شده اند.

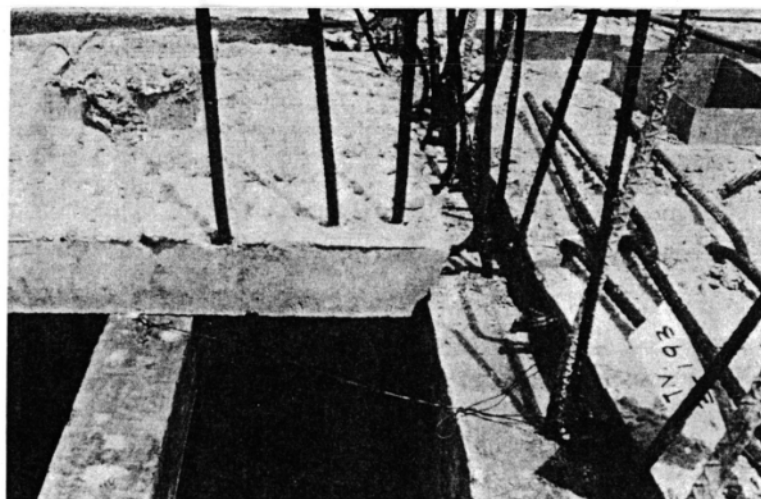
این نوع اتصال خاص، برای داشتن مقاومت قائم کافی، نیاز به مشخص نمودن حداقل میزان سطح تماس بین دیوار پیش ساخته و دال پیش ساخته ندارد. هدف از تعبیه آرماتورهایی که بطور مورب از کناره دالهای کف بیرون می زنند، تأمین مقاومت کامل برشی برای مقابله با بارهای قائم زنده و مرده ای است که بر روی دهانه دالها وارد خواهند آمد. بنابراین، پس از انجام چنین اتصالی، نیازی به اعتماد کردن به سطح تماس فشاری بین دال بتونی و قسمت فوقانی دیوار حمال، نیست و برای تحمل دال بتونی پیش ساخته، نیازی به وسیعتر کردن سطح فوقانی دیوار، نخواهد بود. وجود آرماتورهای منفی (گشتاور منفی) در روکش، نه تنها در دهانه دالها ایجاد یکپارچگی می کند، بلکه بعنوان يك مهار در مقابل کشش افقی بین دالها نیز عمل می کند. در واقع، آرماتور

مانع جدا شدن دالها از تکیه گاهشان بر روی دیوار می شود که این اتفاق معمولاً هنگامی رخ می دهد که بتون دچار تغییرات حجمی می گردد و یا اینکه زمین لرزه اتفاق می افتد.

در صورتیکه این نوع اتصال بخصوص، در اثر زمین لرزه دچار آسیب شدید شده و طوری صدمه ببیند که بتون قسمت فوقانی دیوار و یا قسمت تحتانی دالها جدا شود، دالها در معرض هیچگونه خطر سقوط نخواهند بود. آن به این علت است که آرماتورهای همپوشی موربِ اضلاع (وجه های) باربر دالها، طوری طراحی شده اند که در مقابل بارهای قائم زنده و مرده پیش بینی شده، مقاومت کنند. هیچگونه تکیه ای بر خاصیت باربری و یا مقاومت برشی بتون نمی شود، بنابراین، جزئیات عملاً شکست ناپذیر (FAIL - SAFE) است.

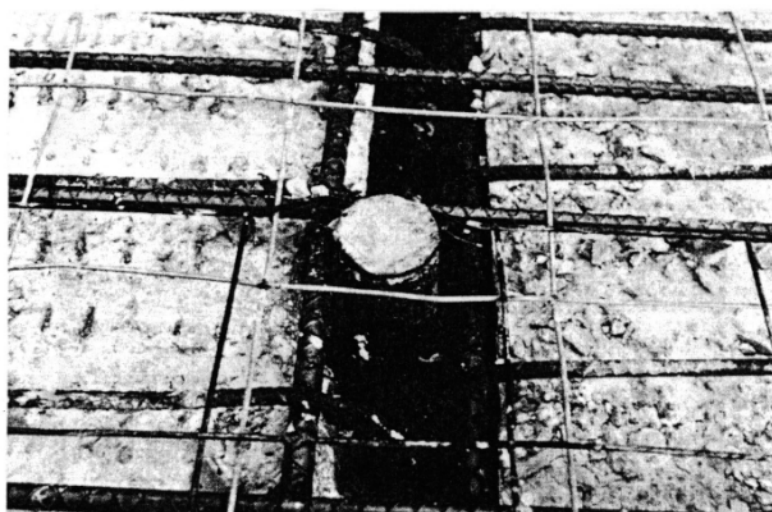


شکل ۱ (الف) دیوارهای پیش ساخته حمل که بار دالهای بتونی پیش ساخته و روکش سازه ای در جاریز را تحمل می کنند.



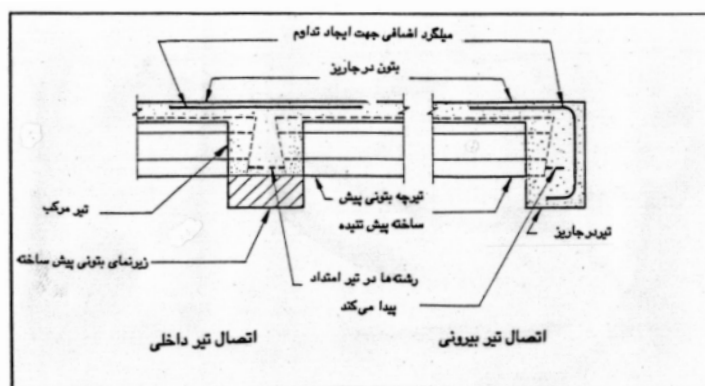
شکل ۱ (ب). دالهای پیش ساخته که اشتباهاً کوتاه ساخته شده اند.

شکل ۱ (ب)، يك پروژه واقعی را نشان می دهد که دالهای کف، اشتباهاً بطوری کوتاه ساخته شدند که بصورت کامل بر روی تکیه گاه خود که دیوار حامل است قرار نمی گرفتند. علیرغم اینکه اشتباه مهمی صورت گرفته است، ولی وجود آرماتورهای بیرون آمده از دالها، در هنگام وقوع زلزله، از ویرانی (خرابی) شدید جلوگیری می کند.



شکل ۱ (پ). میلگردهای بیرون آمده از دالها، بطور مورب از روی دیوارها می گذرند تا در دالها مقاومت برشی ایجاد کنند. فولاد منفی در روکش نیز باعث پیوستگی بین دالهای مجاور می گردد.

شکل ۱ (پ) نشان می دهد که میلگردهای بیرون آمده دالها، چگونه بطور مورب خم شده و از روی دیوارهای حامل عبور می کنند. در این شکل، آرماتورهای منفی که یکپارچگی روکش را تأمین می کنند نیز نشان داده شده اند. پس از اینکه بتون روکش ریخته شد و سفت گردید، در تکیه گاه برشی دال مقاومت کافی بوجود می آید، علیرغم اینکه دال بتونی پیش ساخته، ابتداً مستقیماً بر روی دیوار حامل قرار نداشت.



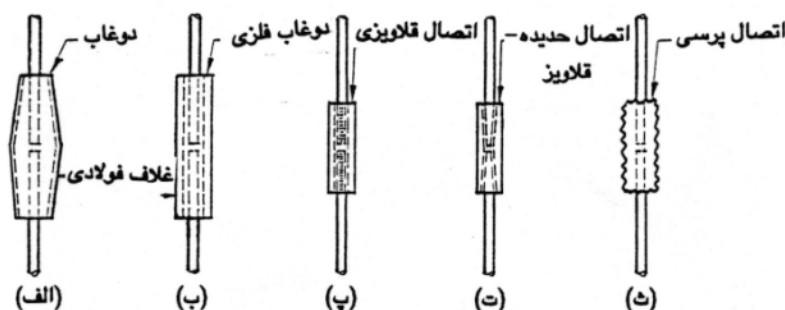
شکلهای ۲ (الف) و ۲ (ب). جزئیات اتصالات تیرهای داخلی و خارجی

شکلهای ۲ (الف) و ۲ (ب)، جزئیات اتصال بین تیرها و تیرچه های بتونی پیش ساخته را که یکپارچگی آنها را تأمین می کند، نشان میدهند.

در شکل ۲ (الف) از يك زیرنمای (SOFFIT) بتونی پیش ساخته برای تیر درجاریزی که تیرچه های بتونی پیش ساخته را تحمل می کند، استفاده شده است. از میلگردهای اضافی که برای تأمین یکپارچگی بیشتر در روکش درجاریز کار گذاشته شده اند نیز برای ایجاد گشتاور منفی در تیرچه هایی که بر روی تیرها قرار می گیرند، استفاده گردیده است.

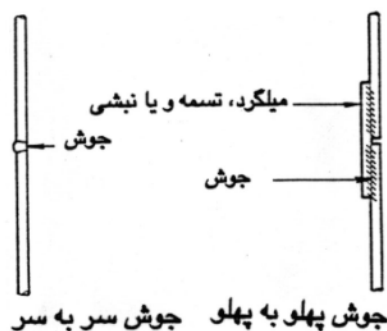
در شکل ۲ (ب) از يك تیر درجاریز برای تحمل بار تیرچه های بتونی پیش ساخته استفاده بعمل آمده است. در همه حالات، میلگرد و یا کابل فولادی درون تیرچه های بتونی پیش ساخته، به داخل تیرهای درجاریز ادامه پیدا می کند تا اصطكاك برشی و باربری (تکیه گاهی)

بیشتر، برای مواردی که تیرچه های پیش ساخته اشتباهاً کمی کوتاهتر ساخته شده اند، تأمین گردد. از این نوع اتصال، در هزاران سازه استفاده شده است، بدون اینکه حتی يك مورد ریزش بتون، ترك خوردگی و یا هر گونه علائم خرابی، مشاهده شده باشد.



شکلهای ۳ (الف) تا ۳ (ث). انواع مختلف اتصالات مکانیکی

برای وصله کردن میلگردهای فولادی، اتصالات مکانیکی طراحی و ابداع شده و مورد آزمایش قرار گرفته اند که به مراتب قابل اطمینان تر از روش همپوشی است که بطور معمول در بتون های درجاریز بکار می روند. شکل های ۳ (الف) تا ۳ (ث)، چند نوع از انواع رایج اتصالات مکانیکی را نشان می دهند.



شکل ۳ (ج). دو نوع اتصال جوشی

شکل ۳ (الف) اتصال بتوسط يك پوشش فولادی را نشان می دهد که با استفاده از يك دوغاب سیمانی غیر منقبض شونده قوی، میلگردها را به پوشش بیرونی می چسباند. از این نوع اتصال مکانیکی، در سراسر جهان، هم برای تحمل فشار و هم برای تحمل کشش استفاده می شود.

شکل ۳ (ب) اتصال بتوسط يك قالب فلزی را نشان می دهد که از طریق چسبیدن ناهمواریهای روی میلگرد به دندانهای داخلی قالب عمل می کند.

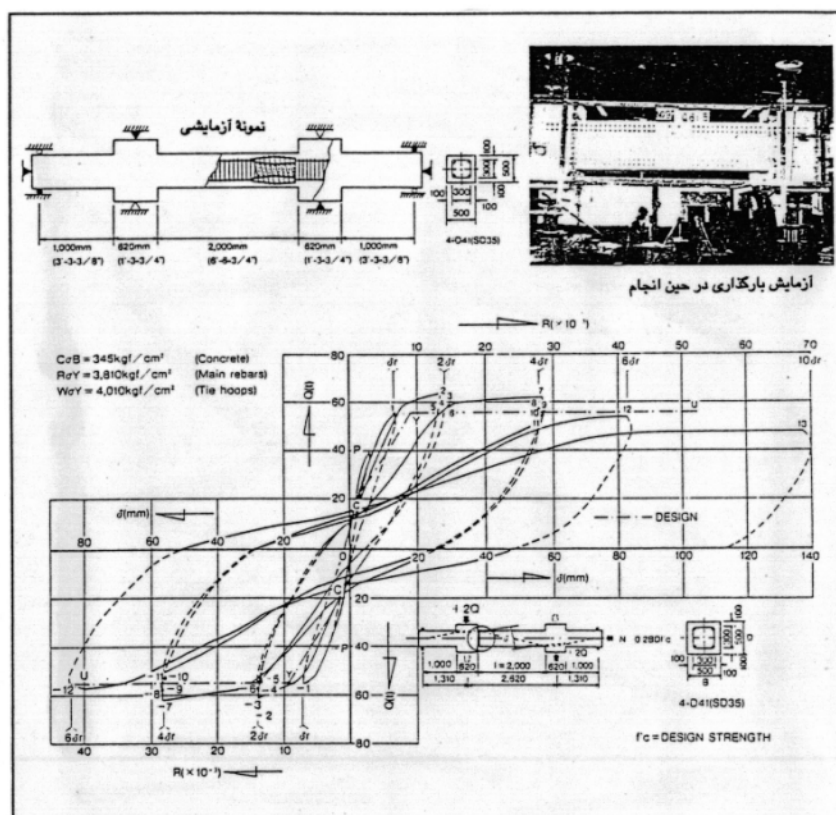
شکل ۳ (پ) يك غلاف فولادی دنداندار را نشان می دهد که به دندانهای هائی که در انتهای میلگردها ایجاد شده می چسبد. در بعضی انواع غلافها، از ناهمواریهای روی میلگردها بعنوان دندان استفاده می گردد.

در شکل ۳ (ت)، داخل غلاف دارای دندانهای بوده و انتهای میلگردها نیز دنداندار می گردند.

در شکل ۳ (ث)، يك غلاف دندانه دار نشان داده شده است که دوسر میلگردها در آن قرار داده شده و سپس این غلاف با استفاده از فشار هیدرولیکی پرس شده و به برآمدگیهای (آج - ناهمواریهای میلگردها می چسبند.

نمونه اتصال جوشی سربه سر و پهلوی به پهلوی نیز در شکل ۳ (ج) نشان داده شده اند.

شکل ۳ (چ)، از آزمایش باربرروی ستونهایی که اتصال میلگردهای آنها با استفاده از اتصال نوع ۳ (ب) و دوغاب مخصوص انجام گرفته، برداشته شده است. در این آزمایشات، غلاف در محلی از ستون قرار داده شده که همتراز سطح کفی است که به آن متصل شده است. این قطعه، سپس با استفاده از يك سیستم جکی، تحت تاثیر نیروهای مختلف قرار می گیرد تا در واقع نیروهای زلزله ای وارد بر قاب "تیر به ستون" مشابه سازی شود. نتایج این آزمایشات نشان می دهند که اتصالات مکانیکی مورد استفاده، موجب شده اند که بتون پیش ساخته هم از نظر مقاومت و هم از نظر ضربه پذیری، درست مشابه حالتی عمل کند که ستون بطور یکپارچه ریخته شده و میلگردهای کار گذاشته شده در آن، کاملاً یکپارچه و بدون درز هستند.



شکل ۳ (ج). نتایج آزمایش بر روی یک ستون واقعی با اتصال مکانیکی دارای غلاف.

در شکل ۴، جزئیات اتصال قطعات مختلف ستون به یکدیگر و همچنین اتصال ستون به تیر، نشان داده شده اند. در این طرح، استفاده از اتصال مکانیکی که می تواند تداوم کاملی بین میلگردها ایجاد کند، تا حد زیادی باعث انعطاف پذیری بین اتصالات قسمتهای مختلف یک ستون به یکدیگر می شود. وقتی استفاده از این نوع اتصالات با استفاده از دوغاب تلفیق شود، ستون بتونی پیش ساخته را از هر نقطه مورد نظری می توان به کف اتصال داد و یکپارچگی کاملی نیز حاصل نمود.

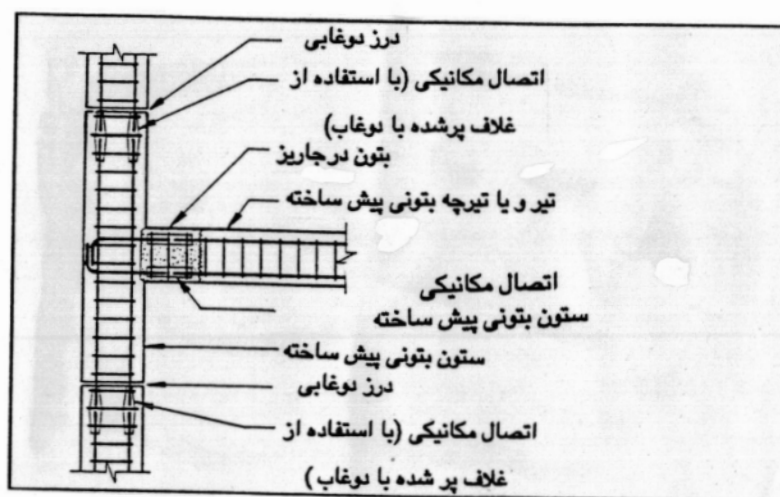
باید توجه داشت که اتصال مکانیکی بین قطعات مختلف يك ستون را بصورت بدون حفره نیز می توان اجزاء نمود، بدین معنی که محلی برای دسترسی لازم نبوده و بنابراین نیاز به دوغاب ریزی پس از برقراری اتصال نیز مرتفع می شود. غلاف فولادی پر شده با ملات که در شکل ۴ نشان داده شده است، بعنوان يك "اتصال کور" (بدون حفره) که تداوم کامل در میلگرد ایجاد می کند شناخته می شود. لایه نازکی از دوغاب که بین قطعات مختلف يك ستون ریخته می شود، همراه با یکپارچگی ایجاد شده در میلگردها با استفاده از این نوع اتصالات، باعث ارتباط (اتصال - چسبیدن) بین قطعات مختلف يك ستون و رفتار آن بصورت يك عنصر یکپارچه هماهنگ، می گردد.

همانطور که در شکل ۳ الف نشان داده شده، در يك اتصال کور (بدون حفره)، اتصال مکانیکی در واقع يك غلاف فولادی است که انتهای میلگردهائی را که باید به یکدیگر متصل شوند، در بر می گیرد. این غلاف به اندازه ای بزرگ در نظر گرفته شده است که جای بازی کافی برای اجراء داشته باشد که با پر کردن با استفاده از يك دوغاب مخصوص، چسبندگی لازم به میلگردها پیدا کرده و بدین ترتیب، کار کامل می گردد.

اتصالات مکانیکی دندانه دار و یا غلافهائی که با يك ماده فلزی پرمی شوند نیز می توانند مورد استفاده قرار گیرند ولی نیاز به حفره دسترسی برای اجرای اتصال دارند و بنابراین نمی توان آنها را "اتصال کور" نامید. این اتصالات مکانیکی دندانه دار و یا غلافهائی که با ماده فلزی پر می شوند، بیشتر در ساختمانهای بتونی درجاریز مورد استفاده قرار می گیرند زیرا در اینگونه موارد، به توالرانس نزدیکی نیاز

بوده و حفره دسترسی به غلاف را باید قبل از آغاز بتون ریزی، پیش‌بینی و تعبیه نمود.

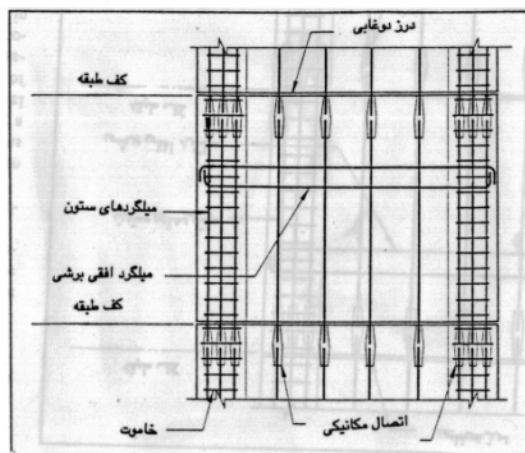
موقعیت قرارگیری اتصال بین تیر بتونی پیش ساخته و ستون، می‌تواند نزدیکترین محل به ستون که دارای بزرگترین میزان گشتاور است و یا در فاصله‌ای دور از مناسبترین محل برای پیش ساختگی و یا احداث (برپائی) باشد.



شکل ۴ - نمونه‌ای از یک قاب بتونی پیش ساخته.

در حالتی که اینگونه اتصالات بصورت افقی قرار می‌گیرند، محوطه اطراف این اتصالات بطریقه درجاریز اجراء می‌گردد تا ایجاد یکپارچگی شود. اتصال مکانیکی تا قبل از ریختن بتون بر روی آن، کاملاً آشکار باقی مانده و میلگردها باروش استفاده از غلاف، جوشکاری و یا روش دیگر، به یکدیگر متصل می‌شوند.

جوشکاری نیاز به کارگر و وقت زیاد دارد و حرارت تولید شده می تواند به اتصال میلگردها صدمه زده و در بتون پیش ساخته اطراف محل جوشکاری نیز، ایجاد ترك خوردگی نماید. علاوه بر این، جوشکاری با کیفیت خوب، نیاز به نظارت و بازرسی دارد، در صورتیکه اتصال مکانیکی با استفاده از غلاف و ملات مخصوص، می تواند با سرعت و با اطمینان انجام شده و نیازی به تخصص ویژه و یا نظارت وجود ندارد. در غلافهایی که با ملات پر می شوند، تولرانس کافی پیش بینی گردیده و درجه حرارت معمولی، می توانند به سهولت مورد استفاده قرار گیرند و بنابراین از وارد آمدن آسیب به میلگردها و بتون قسمتهای مجاور، اجتناب می گردد. در حالتی که از میلگردهای پوشیده شده با اپوکسی استفاده می شود، غلافهایی که با ملات پر می شوند، خصوصاً مناسب هستند زیرا هیچگونه حرارت و یا صدمه ای به پوشش اپوکسی وارد نخواهد آمد. در کارهای بتونی درجاریز، استفاده از غلافهایی که با ماده فلزی پر می شوند و همچنین اتصالات دندانه دار، مشکل است چون نیاز به دقت بسیار زیاد در جاگذاری میلگردها و در يك راستا قرار دادن آنها دارد.



شکل ۵ - دیوار برشی بتونی پیش ساخته همراه با ستونهای انتهایی.

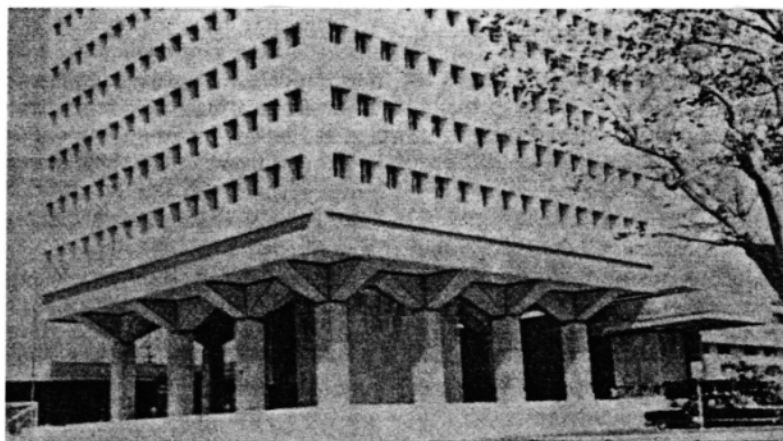
جهت ایجاد تداوم بین تیروستون، میلگردهای افقی داخل تیر، باید گیرش کافی در ستون داشته باشند. نکته دیگری که به همین اندازه حائز اهمیت است، اینکه خاموت ها باید هم میلگردهای عمودی ستون و هم میلگردهای افقی تیر و یا تیر اصلی را در نزدیکترین نقطه به ستون که دارای گشتاور زیادی است، در بگیرند. استفاده از بتون مقاومی که به میزان کافی هم خاصیت پلاستیکی داشته باشد، برای پر کردن فضاهای بین میلگردها و سطح نمایان قسمتهای بتونی پیش ساخته، موجب بوجود آمدن چسبندگی کامل بین تیر و ستون و رفتار قابی همگون خواهد گردید.

شکل ۵، اتصال بین پانل های مختلف يك دیوار برشی بتونی پیش ساخته را همراه با میلگردهای ستونهای واقع در طرفین آن، نشان می دهد. درز دوغاب ریزی شده بین قطعات پیش ساخته این دیوار در ترکیب با فاصله مناسب بین اتصالات مکانیکی جهت وصله کردن میلگردها، می تواند يك دیوار برشی ایجاد کند که در تمام ارتفاع خود، بصورت یکپارچه رفتار نماید.

جزئیات میلگرد گذاری دیوار برشی بتونی پیش ساخته، دقیقاً مشابه يك دیوار درجاریز است. وجود میلگردهای عمودی با فاصله های مرتب در تمام عرض دیوار، يك ضرورت است تا بدینوسیله اصطكاك برشی لازم بین تمام سطوح تماس قطعات پیش ساخته، ایجاد گردد. جزئیات ستونهای طرفین دیوار برشی نیز به نحوی طراحی شده است که مقاومت کششی و فشاری که در تحلیل سازه های درجاریز یکپارچه مشاهده می شود، در اینجا نیز حاصل گردد.



شکل ۶ (الف). نمای کلی ساختمان RAMON MAGSAYSAY در مانیل فیلیپین



شکل ۶ (ب). قسمت تحتانی ساختمان RAMON MAGSAYSAY در مانیل فیلیپین

سیستمهای قاب بندی سازه ای



شکل ۷- هتل LIWAYWAY در مانیل فیلیپین. ستونهای عریض و تیرهای پیرامونی مرتفع، این سازه را قادر می سازد که حتی با وجود ترك خوردگی، استحکام خود را حفظ کند. این عکس پس از زلزله ۷ ریشتری آگوست سال ۱۹۶۸ برداشته شده است.

در کارآئی کلی يك اسکلت بتونی سازه ای، نباید بیشترین توجه را نسبت به استحکام و مقاومت مبذول نمود. در گذشته بعضی از مهندسين طراح اعتقاد داشتند که برای ساختمانهای بلند مرتبه در مناطق زلزله خیز، سیستمهای قابی که صرفاً از نوع لنگرگیر بودند، مناسبتر از سیستمهای دیوار برشی هستند. توجیه این طرز تفکر این است که اسکلت های لنگرگیر، انعطاف پذیر بوده و بدین ترتیب می توانند

حرکت کرده، خم شده و انرژی بیشتری را جذب کنند و بنابراین در محاسبه مقدار مقاومت در مقابل نیروهای برشی، میزان کمتری را باید برای آنها در نظر گرفت. ضمناً این اعتقاد را نیز داشتند که در سازه‌های دارای دیوارهای برشی، بعلت انعطاف ناپذیری اسکلت، نیروهای برشی مضاعف شده و بدین جهت برای مناطق زلزله خیز، مناسب نمی‌باشند.

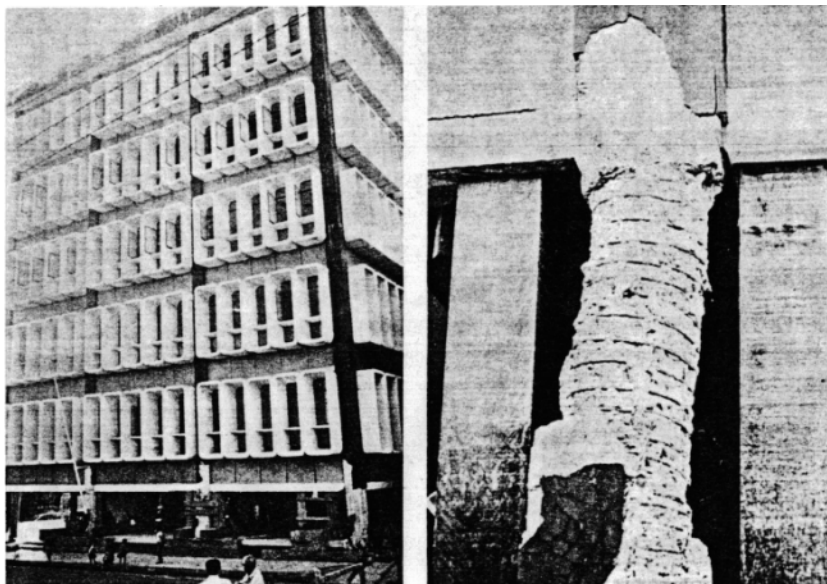
بهر صورت، تجربیات ما در طی ۲۰ سال گذشته نشان داده اند که سازه‌هایی که خمش و پیچش زیادی از خود نشان می‌دهند، در مقابل زلزله آسیب قابل توجهی می‌بینند. این آسیب می‌تواند ناشی از تنش‌های مکرر در درز (اتصال) بین اعضاء اسکلت باشد که موجب تقلیل صلبیت می‌گردد که این نیز خود باعث افزایش بیشتر خمش و پیچش و در نتیجه، وارد آمدن آسیب بیشتر به قسمتهای غیر سازه‌ای از قبیل تیغه‌ها، نمای ساختمان، کانالهای عبور تأسیسات، محتویات ساختمان و همچنین صدمه به خود اسکلت سازه‌ای خواهد گردید. در اثر تداوم خرابی درزها، چنین سازه‌هایی از نظر ایستائی بی ثبات شده و کاملاً ویران می‌شوند. افزایش سختی (استحکام) جانبی يك سازه، موجب کاهش تاثیرات زیان ثانویه (P - DELTA) و بنا براین افزایش ظرفیت تحمل بار (نیرو) و ایستائی کلی ساختمان می‌گردد.

در مورد دیوارهای برشی اینکه علیرغم ایجاد سختی و اینکه در اثر نیروهای مکرر، ترک برمی‌دارند، ولی قادر هستند که میزان زیادی از سختی خود را حفظ کنند البته بدون خرابی مهمی که سازه‌های دارای قاب لنگرگیر، از خود نشان می‌دهند. زمین لرزه‌های فیلیپین، شیلی، مکزیک و نقاط دیگر، محاسن دیوارهای برشی صلب را به دفعات نشان داده اند.

شکل های ۶ (الف) و ۶ (ب)، يك ساختمان بلند مرتبه اداری در مانیل را نشان می دهند که در آن از تیرچه های بتونی پیش ساخته پیش تنیده و روکش سازه ای درجاریز استفاده شده است. اتصال تیرچه ها، کاملاً مشابه شکل ۲ (ب) است. عنصر (عضو) اصلی تأمین کننده سختی (استحکام) در برابر نیروهای جانبی، يك دیوار برشی مرکزی است که از بتون درجاریز ساخته شده است. میلگردهای اصلی قائم این دیوار مرکزی (CORE)، با استفاده از اتصالات مکانیکی و ماده فلزی به یکدیگر متصل شده بودند.

در ماه آگوست سال ۱۹۶۸، این ساختمان تحت تاثیر زلزله ای به قدرت ۷ ریشتر که مرکز آن در فاصله بسیار نزدیکی در شرق مانیل قرار داشت، واقع گردید. تنها خسارت وارده، ترك خوردگی تیغه های غیرحمال دستشویی ها و کاج پله ها بود که با بلوکهای توخالی ساخته شده بودند. البته تعدادی از پیچ هائی که پارتیشن های فلزی دستشویی ها را به یکدیگر متصل کرده بودند نیز کمی شل شدند.

سطح خارجی نمای ساختمان از پلاکهای سنگ مرمر که در پانل های پیش ساخته که خودشان با استفاده از میلگرد به اسکلت ساختمان متصل بودند، کار گذاشته شده بودند و علیرغم گزارش نگهبانان شبانه مبنی بر اینکه ساختمان دچار تکان ها و حرکات شدیدی در طی زمین لرزه شد، هیچگونه ترك خوردگی و یا خساراتی را متحمل نگشت.

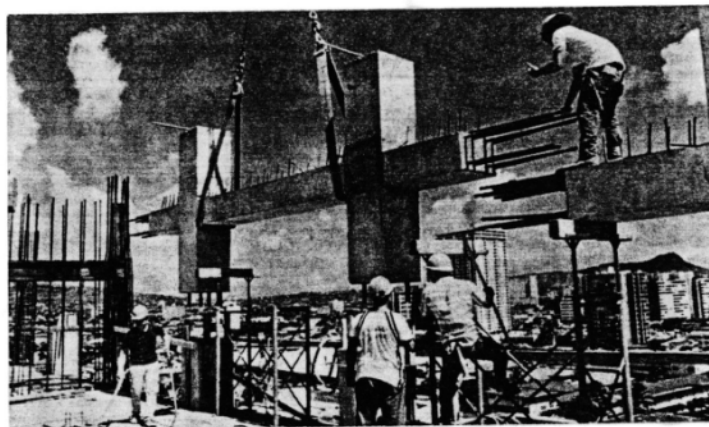


شکل ۸ - ساختمان بتونی مسلح درجاریزی با طبقات بالائی صلب و طبقه همکف غیر صلب که قسمتی از ستونهای آن در طبقه همکف آسیب دیدند. تصویر سمت چپ، نمای کلی ساختمان و تصویر سمت راست صدمه وارد بر يك ستون را نشان می دهد.

دیگر ساختمانهای مجاور، متحمل خسارات فراوانی از نوع سازه ای و غیر سازه ای شدند. در بعضی موارد، ویرانی کلی و یا جزئی بوقوع پیوست که منجر به از دست رفتن جان ۳۰۰ نفر گردید. عملاً کلیه ساختمانهای اسکلت فلزی و یا بتونی مسلح که دارای قابهای لنگرگیر بودند، در طی این زمین لرزه دچار خسارات سازه ای و غیر سازه ای قابل توجهی شدند. اعضاء غیر سازه ای از قبیل روکارهای مرمری یا سنگی، تیغه ها، سقفها و کانالهای عبور تأسیسات، به سختی آسیب دیده یا ویران شدند و احتیاج به تعمیرات اساسی پیدا کردند.

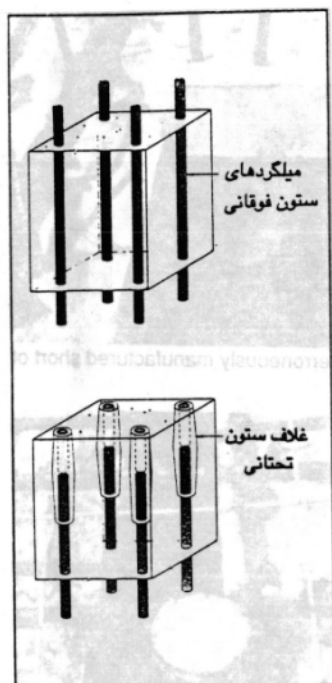


ل ۹ (الف). هتل ALA MOANA • این بنای ۳۸ طبقه که دارای ۱۲۶۰ اتاق است، دارای دیوارهای برشی درجاریز، قاب لنگرگیر پیش ساخته و دالهای بتونی پیش ساخته است. این ساختمان در سال ۱۹۷۰ ساخته شده و پس از گذشت بیش از ۲۰ سال، در وضعیت خوبی بوده و احتیاج به مرمت کمی داشته است.



شکل ۹ (ب). هتل ALA MOANA در هاوانی - قطعات قاب لنگرگیر پیش ساخته را در حال

نصب نشان می دهد.



شکل ۹ (پ). جزئیات اتصال میلگردها در ستون. هتل ALA MOANA در هاوانی

در طی این زمین لرزه در مانیل، ساختمان يك هتل (شکل ۷) که دارای ستونهای عریض و پوترهای بیرونی (پیرامونی) ضخیم (مرتفع) بود، قابلیت حفظ سختی خود حتی پس از ترك خوردگی در تحت تاثیر نیروهای مکرر را نشان داد. صلبیت (انعطاف ناپذیری) طبیعی سیستم قاب بندی، مانع ویرانی ساختمان گردید.

در يك مورد دیگر، يك ساختمان بتونی مسلح با طبقات فوقانی صلب (انعطاف ناپذیر) و يك قاب لنگرگیر در طبقه همکف (شکل ۸)، بعلت انعطاف پذیری سیستم قاب تیر به ستون در طبقه پائین، دچار ویرانی جزئی شد.

زمین لرزه دیگری با همین شدت، مجدداً در سال ۱۹۷۲ در مانیل اتفاق افتاد و ساختمان اداری نشان داده شده در شکل ۶، این مرتبه نیز تنها متحمل خسارات غیر سازه ای جزئی در تیغه هائی که با بلوکهای بتونی ساخته شده بودند گردید.

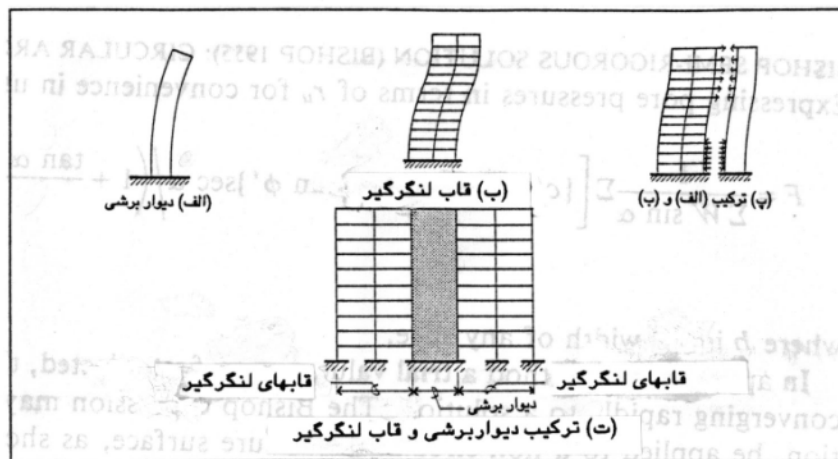
در زمین لرزه ویران کننده ۱۶ ژوئیه ۱۹۹۰ که قدرت آن ۷/۷ ریشتر و مرکز آن در شمال مانیل بود، حداقل ۲۵ ساختمان بزرگ در مانیل، خسارات کلی دیدند و ۲۴ نفر جان خود را از دست دادند. این مرتبه نیز این ساختمان اداری تنها متحمل خسارات غیر سازه ای جزئی در دیوارهای دستشویی ها و کاج پله ها که با بلوکهای بتونی ساخته شده بودند شد و هیچگونه خسارات سازه ای مشاهده نگردید.



شکل ۹ (ت). هتل ALA MOANA در هاوایی. در هر ۴ طرف ساختمان از قطعات بتونی پیش ساخته بعنوان دیوار استفاده گردید که رانش بین طبقات به حداقل برسد.

در سال ۱۹۷۰، يك ساختمان ۲۸ طبقه که در آن از دالهای بتونی پیش ساخته پیش تنیده و قاب ستون بتونی پیش ساخته استفاده شده بود، در هاوانی ساخته شد [شکل های ۹ (الف) تا ۹ (ت)]. سیستم مقاومت در برابر نیروهای جانبی، از يك هسته (CORE) برشی در جاریز و قابهای ستونی بتونی پیش ساخته، تشکیل شده بود. قابهای ستونی، علاوه بر تحمل بارهای (نیروهای) قائم، نقش عنصر اصلی تحمل کننده نیروهای جانبی در جهت طولی ساختمان را نیز بعهده داشتند، در حالیکه هسته (CORE) برشی، عمدتاً وظیفه تحمل نیروهای جانبی در جهت عکس آنرا بعهده داشت. این سازه که برای منطقه زلزله خیز نوع II طراحی شده بود، در ماه آوریل سال ۱۹۷۳ تحت تأثیر زمین لرزه ای بقدرت ۶ ریشتر قرار گرفت، بدون اینکه هیچگونه خسارتی مشاهده گردد.

قاب های ستونی بتونی پیش ساخته، در نیمه قسمت ارتفاعی خود، با استفاده از غلاف های فولادی و دوجاب به یکدیگر متصل شدند (شکل های ۹ (ب) و ۹ (پ)). برای به حداقل رسانیدن رانش و گسیختگی در جهت طولی و عرضی، پانل های بتونی پیش ساخته ای در دیوارهای جانبی و همچنین در دو انتهای دیواره نمای طولی ساختمان قرار داده شدند [شکل ۹ (ت)].

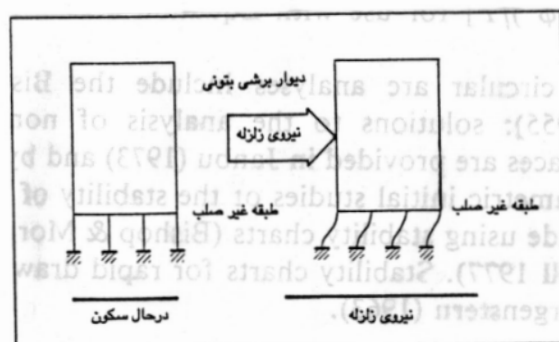


شکل ۱۰ - دیاگرام شماتیک ترکیب دیوار برشی و قاب لنگرگیر.

در اکثر ساختمانهای بلند مرتبه، ترکیبی از دیوارهای برشی و قاب لنگرگیر برای مقابله با نیروهای جانبی مورد استفاده قرار می گیرد. همانطور که در شکل ۱۰ نشان داده شده، یک دیوار برشی تنها، در قسمتهای پائینی خود، انعطاف ناپذیرتر است در حالیکه یک قاب مقاوم در برابر گشتاور، در قسمتهای فوقانی خود انعطاف ناپذیرتر است و ترکیبی از این دو عنصر، می تواند به کاهش خمش، هم در طبقات بالائی و هم در طبقات پائینی منجر شود.

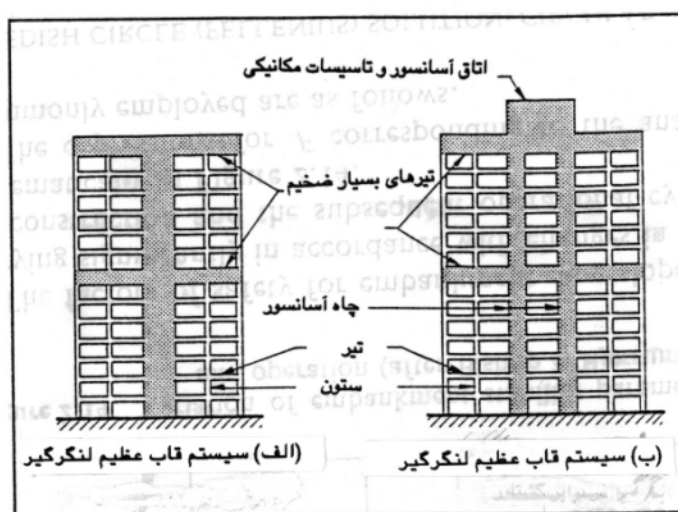
شکل ۱۱ نشان می دهد که چگونه يك قسمت غير صلب واقع در پائين ترين طبقات يك ساختمان، يعنى محلى كه بيشتريين نيروهاى جانبى در يك زمين لرزه به آنجا وارد مى شوند، مى تواند خطر ساز باشد. شكل ۸، يك نمونه واقعى اين نوع شكست را نشان مى دهد. بهر حال تجربيات نشان داده است كه قسمتهاى غير صلب، در مقابل زلزله پايدارى نمى كنند، حتى اگر در طبقات بالائى ساختمان قرار داشته باشند.

اگر تنها طبقات پائين تر ساختمان با استفاده از ديوار برشى، بصورت صلب درآمده ولى در طبقات بالاتر، ادامه نيابد، اين تغييرات ناگهانى صلبيت، باعث عدم پايدارى آن طبقات خواهد گرديد. بنابراين، هر كجا كه امكان پذير باشد، بايد ديوار برشى و قاب لنگرگير را در تمام ارتفاع ساختمان، بدون اجازه دادن به وجود قسمتهاى غير صلب، ادامه داد.

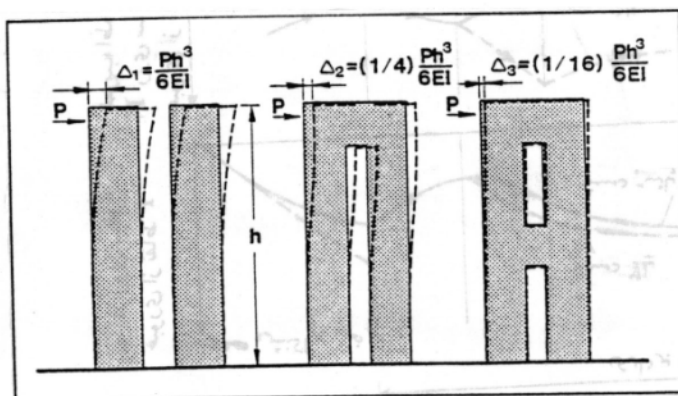


شکل ۱۱ - دیاگرام شماتیک عملکرد طبقات غیر صلب

يك آرایش سازه ای با استفاده از دیوارهای برشی که بوسیله پوت‌های ضخیم و ستون به یکدیگر مرتبط شده اند (در جاهائی که از نظر معماری، امکان پذیر باشد)، می تواند موجب افزایش صلبیت در اسکلت ساختمان گردد.



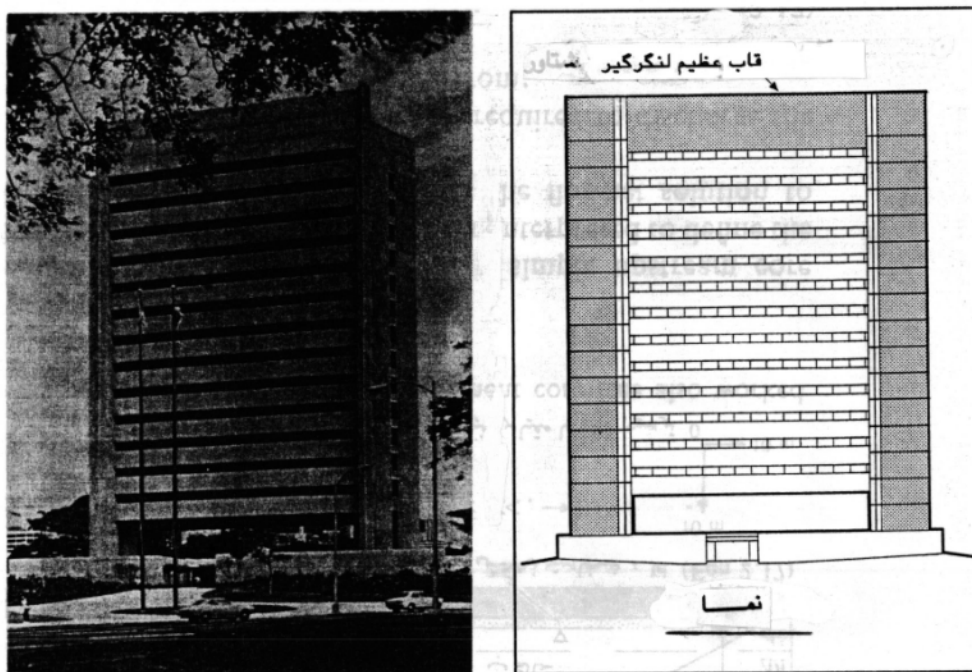
شکل ۱۲ - نمای شماتیک سیستم قاب لنگرگیر.



شکل ۱۳ - صلبیت نسبی دیوارهای برشی که با استفاده از تیرهای اصلی به یکدیگر متصل شده اند.

در شکل های ۱۲ (الف) و ۱۲ (ب)، با استفاده از دیوارهای برشی و تیرهای دیواری که ضخامت هر يك از آنها به اندازه از كف يك طبقه تا كف طبقه دیگر است، يك قاب عظیم لنگرگیر، ایجاد شده است. از این پوتراهای دیواری می توان در جاهای ممکن از قبیل طبقات اتاق تأسیسات و یا اتاق آسانسور استفاده نمود. همانطوریکه در شکل ۱۳ نشان داده شده است، هر گاه دیوارهای برشی و پوتراهای ضخیم دیواری با یکدیگر تلفیق شوند، خمش ایجاد شده در ساختمان، به مقدار قابل توجهی کاهش پیدا می کند.

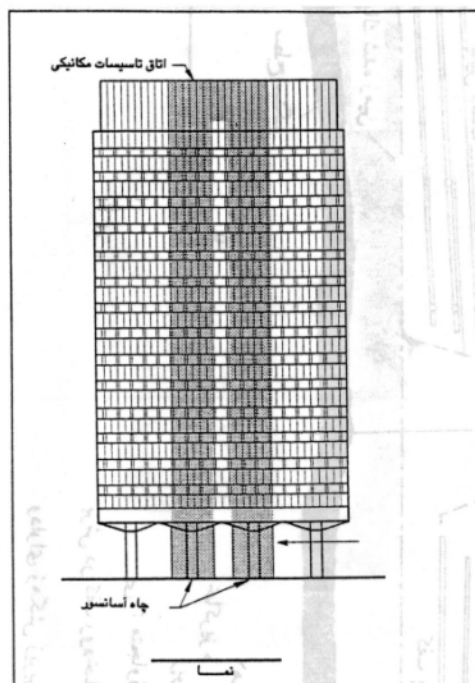
شکل ۱۴ يك سیستم دیوارهای برشی متصل (مرتبط) را که در ساختمان شکل ۶ مورد استفاده قرار گرفته است، نشان می دهد. دیوارهای برشی عمودی کاج (CORE) آسانسور، که در دیوارهای جانبی واقع شده اند، در طبقه آخر (بام) بتوسط پوتراهای ضخیم دیواری به یکدیگر متصل شده و يك قاب عظیم لنگرگیر را تشکیل داده اند. از پوتراهای ضخیم دیواری، همچنین برای تحمل وزن اتاق تأسیسات استفاده شده است.



شکل ۱۴ - قاب عظیم لنگرگیر که در هتل RAMON MAGSAYSAY فیلیپین بکار گرفته شده است. این بنا با در نظر گرفتن زیر زمین، دارای ۱۸ طبقه است.

يك سیستم موثر و اقتصادی قاب بندی برشی مقاوم در برابر نیروهای جانبی را، می توان همانطور که در شکل ۱۶ نشان داده شده است، از اعضاء (عناصر) مورّب، ایجاد نمود. این عناصر (اعضاء) مورّب، دیوارهای برشی داخل را به ستونهای خارجی متصل کرده و حداکثر صلبیت و مقاومت در مقابل نیروهای جانبی و واژگون کننده را تأمین می کنند.

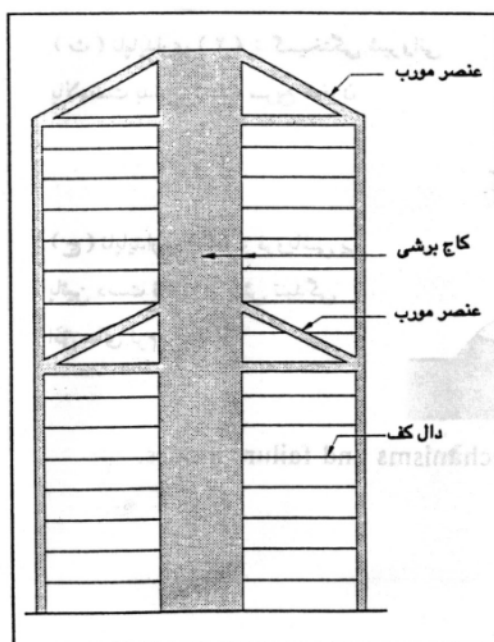
این عناصر (اعضاء) می توانند به اندازه چندین طبقه ارتفاع داشته باشند تا موثرترین نسبت ارتفاع به دهانه را کسب کنند. از این عناصر (اعضاء) مورب می توان در هنگامی استفاده نمود که استفاده از پوترهای ضخیم دیواری به جهت مشکلاتی که از نظر دسترسی (عبور و مرور) برای استفاده کنندگان از ساختمان ایجاد می کنند، نامناسب تشخیص داده شود.



شکل ۱۵ - قاب عظیم لنگرگیر که در ساختمان اداری شهرداری در هونولولو (هاوایی) بکار گرفته شده است.

عوامل معماری و کاربردی ساختمان، بهترین موقعیت محل قرارگیری این عناصر مورب را تعیین می کنند. بام ساختمانها، معمولاً

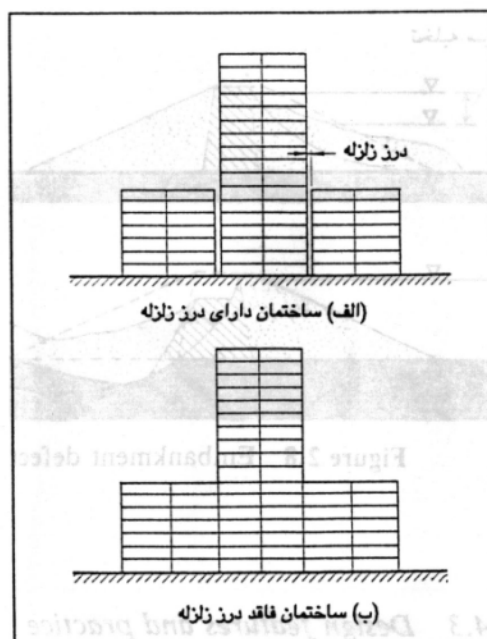
عاری از محدودیتهای کاربردی است و این قابهای مورب را می توان به سهولت در این قسمت جای داد تا صلبیت ساختمان در برابر نیروهای جانبی را افزایش دهند.



شکل ۱۶ - سیستم قاب مورب لنگرگیر

در صورت امکان باید از عدم تقارن در اسکلت ساختمان اجتناب ورزید حتی اگر محاسبات سازه ای و جزئیات ساختمان، آنرا موجه جلوه دهند. عدم تقارن، معمولاً موجب افزایش حرکت (تکان) ساختمان می گردد که می تواند صدماتی را بدنبال داشته باشد. تعداد زیادی ساختمان که دارای تنها مقدار کمی عدم تقارن بوده اند، در اثر زمین لرزه کاملاً ویران شده اند. باید خمش، رانش و پیچش ساختمان را در کلیه موارد به حداقل رسانید زیرا آنها عوامل اصلی شکست اسکلت ساختمان و عناصر

غیرسازه‌ای آن هستند. علاوه بر این، یک ساختمان متقارن را می‌توان با استفاده از بتون پیش ساخته بعلت مشابه بودن مراحل تولید و نصب، به نحو اقتصادی تری بنا نمود.

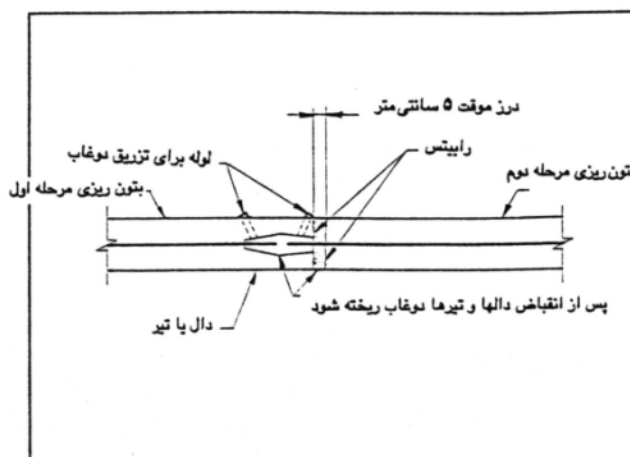


شکل ۱۷ - ساختمانی با درز زلزله (بالا) و ساختمانی بدون درز زلزله (پائین)

باید در هر کجای ممکن، از درزهای زلزله [شکل ۱۷ (الف)] اجتناب نمود زیرا هر واحد ساختمانی، دوره (مدت) لرزش خاص خود را دارد و در هنگام بروز زمین لرزه، در محل درز به یکدیگر کوبیده خواهند شد (ضربه خواهند زد). در زمین لرزه سال ۱۹۸۵ در مکزیک، خسارات قابل توجهی که ناشی از ضربه زدن ساختمانها به یکدیگر در محل درز زلزله بود، مشاهده گردید (شکل ۱۸). در بسیاری از موارد، ویرانی کامل ساختمان، مستقیماً از همین ضربه زدن ناشی شد.



شکل ۱۸ - خسارت و تخریب ساختمانها در اثر کوبش درزهای زلزله در زمین لرزه سپتامبر سال ۱۹۸۵ در مکزیکوسیتی.

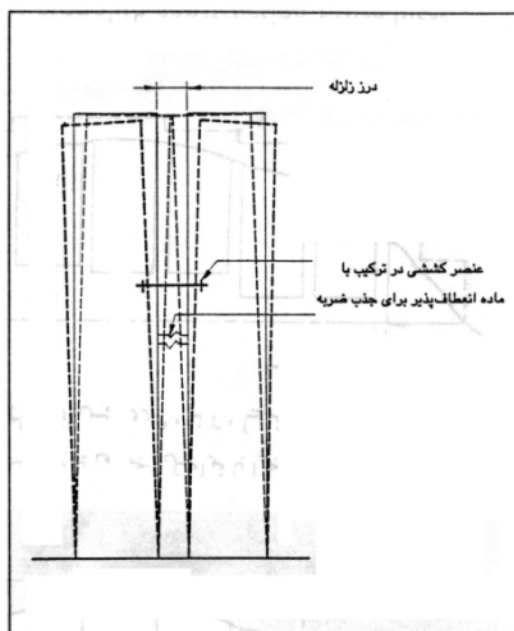


شکل ۱۹ - جزئیات يك اتصال درجاریز برای کنترل انقباض

با حذف درز زلزله و تامین یکپارچگی کامل بین اسکلت های جداگانه ساختمانها، این کوبش (ضربه زدن) از بین خواهد رفت. در هر صورت، با حذف درزهای زلزله، سطوح کف نسبتاً بزرگتر می شوند و اکنون مسئله انقباض و ترك خوردن دال ها و دیوارها، موضوع مهمی را بوجود می آورند. در بیشتر موارد، با تعبیه میلگرد در هر دو جهت برای مقابله با تأثیرات انقباض، مشکل حل می گردد.

برای تقلیل تنش ناشی از انقباض، می توان سطوح بزرگ کف را بصورت قطعات کوچکتر ساخت تا درزهای موقتی برای کنترل انقباض بوجود آمده و پس از مدتی که بتون خشك شد و مقاومت خود را بدست آورد، این درزها بطور سازه ای به یکدیگر مرتبط و متصل شوند. یکی از روشهای اتصال دادن قطعات کوچکتر در محل درزهای کنترل انقباض، در شکل ۱۹ نشان داده شده است.

البته در بعضی موارد، ممکن است سطح کف به اندازه ای بزرگ باشد که پیش بینی درز زلزله (انبساط)، اجتناب ناپذیر گردد. در چنین حالتی پهنای این درز باید به اندازه ای باشد که از تماس بین قابهای جداگانه، جلوگیری بعمل آورد. در هر حال، در صورت بروز زمین لرزه های متوالی در طی يك دوره زمانی، ارتعاش موجب بوجود آمدن حرکاتی در ساختمان می شود که خارج از حد تحمل درز جدا کننده است و می تواند منجر به وارد آمدن خسارات قابل توجهی گردد. تعبیه سیستم عناصر کششی و استفاده از مواد و مصالح ضربه گیر در بین واحدهای ساختمانی، می تواند بعنوان بخشی از راه حل مقابله با خسارات احتمالی ناشی از کوبش، تلقی شود (شکل ۲۰).



شکل ۲۰ - جزئیات پیشنهادی برای تقلیل میزان خسارت کوبش در درزهای زلزله

در این ارتباط، مجدداً لازم به تاکید است که صلبیت سازه ای در قابهای جداگانه، باید تأمین گردد زیرا هر چه ضریب صلبیت بیشتر باشد، مقدار حرکات جانبی کاهش پیدا کرده و در نتیجه، مشکل تعبیه درز زلزله موثر، به حداقل می رسد. استفاده از دیوارهای برشی، قابهای عظیم لنگرگیر و همچنین سیستمهای عناصر مورّب، میتوانند صلبیت را به میزان قابل توجهی افزایش دهند.

نتیجه گیری:

در ساختمانهای بتونی پیش ساخته در مناطق زلزله خیز، کلیه درزهای بین قطعات بتونی پیش ساخته، باید یکپارچگی و مقاومت لازم را تأمین نمایند. دالهای کف و ستونهای دارای روکش بتونی درجاریز و اتصال مناسب، می تواند تأثیر دیافراگمی افقی و اتصال قابل اطمینان جهت مقابله با نیروهای زلزله، ایجاد کند.

با در دسترس بودن اتصالات مکانیکی مطمئن، می توان دیوارهای برشی، دالها، ستونها، تیرچه ها و پوتراهای بتونی پیش ساخته را در هر محل مناسبی در سازه نصب کرده و یکپارچگی و رفتار قابی همگون را تأمین نمود. تحلیل سازه ای ساختمانهای بتونی پیش ساخته، کاملاً مشابه تحلیل ساختمانهای بتونی درجاریز است.

ایجاد صلبیت در کل سیستم اسکلت (قاب)، ضروری است تا بدین وسیله با به حداقل رسانیدن رانش، خمش و پیچش، با خسارات سازه ای و غیر سازه ای ساختمان، مقابله شود. برای ایجاد صلبیت قابی، استفاده از دیوار برشی حائز اهمیت زیادی است. وقتی این دیوارهای برشی با استفاده از تیرهای ضخیم دیواری به یکدیگر متصل شده و یک قاب لنگرگیر تشکیل دهند، صلبیت ساختمان به مقدار زیادی افزایش پیدا می کند. استفاده از عناصر مورب نیز می تواند روش موثری برای ایجاد صلبیت در اسکلت ساختمان باشد. از این قابها می توان در مواقعی که از نظر دسترسی و یا کاربردی نیاز به فضای باز بیشتری در سطح کف می باشد، استفاده نمود.

در مناطق زلزله خیز، وجود قسمتهای (طبقات) غیر صلب در سیستم اسکلت، می تواند به خسارات شدید و یا ویرانی منجر شود. از عدم تقارن در سیستم اسکلت نیز صرف نظر از توجیه ریاضی و یا جزئیاتی، باید اجتناب نمود.

از درزهای زلزله در بین واحدهای ساختمانی هم در صورت امکان باید اجتناب شود تا از این طریق از خسارات ناشی از کوبش، جلوگیری شود. اگر بعلت اندازه کلی سازه، اینگونه درزها ضرورت پیدا کنند، می توان از عناصر کششی در تلفیق با مواد و مصالح ضربه گیر در طراحی این درزها، خسارات احتمالی ناشی از عمل کوبش را تقلیل داد.

گروه بین‌المللی ره‌شهر تا کنون ۱۴ نشریه با عناوین زیر منتشر کرده است:

- ۱- کاربرد جدید شیشه در نمای ساختمان (تابستان ۱۳۷۱)
- ۲- پارکینگ مراکز تجاری (پائیز ۱۳۷۱)
- ۳- محافظت در مقابل زلزله (زمستان ۱۳۷۱)
- ۴- جمع‌آوری و دفع زباله و مسائل ناشی از آن (زمستان ۱۳۷۱)
- ۵- طرح اسکان و سریع (زمستان ۱۳۷۱)
- ۶- مجموعه مقالات راجع به ژئوسنتز (بهار ۱۳۷۲)
- ۷- مهار آب با آب (بهار ۱۳۷۲)
- ۸- تحول سبز در معماری (بهار ۱۳۷۲)
- ۹- روندیابی و مدیریت سیلاب (بهار ۱۳۷۲)
- ۱۰- مطالعات اقتصادی جهت احداث مراکز خرید (تابستان ۱۳۷۹)
- ۱۱- نگاهی کوتاه بر طراحی فضای سبز - "تجربیات کشورهای مختلف" (تابستان ۱۳۷۲)
- ۱۲- بازیافت آب در صنایع شن و ماسه‌شوئی (پائیز ۱۳۷۲)
- ۱۳- بناهای چوبی (کنده‌ای) در ایران و تجربیات کشورهای دیگر (پائیز ۱۳۷۲)
- ۱۴- نکاتی در مورد طراحی ساختمان‌های بتنی پیش‌ساخته پیش‌تنیده در مناطق زلزله‌خیز (پائیز ۱۳۷۲)