

آنالیز سازه‌ای زلزله ۲۰۱۶ تایوان، دلایل احتمالی شکست و فروریزش سازه‌ای

زلزله‌ای با بزرگی ۶٫۴ ریشتر در تاریخ ۶ فوریه ۲۰۱۶ رخ داد. این زلزله منجر به فروریزش ساختمان ۱۷ طبقه Weiguan Golden Dragon شد. نکته قابل توجه این است که این ساختمان تنها ساختمان بلند مرتبه‌ای بود که به صورت کامل فروریخت و منجر به مرگ ۵۹ تن شد، اما چرا؟



این ساختمان در سال ۱۹۸۹ بر اساس آیین‌نامه قدیمی ساخته شد و هرگز بر اساس آیین‌نامه جدید به روز رسانی نشد. پس از زلزله ۹۲۱ (زلزله‌ای که با بزرگی ۷٫۶ ریشتر در سال ۱۹۹۹ رخ داد و منجر به مرگ ۲۳۰۰ نفر شد) آیین‌نامه ساختمانی تایوان به روز رسانی شد. از آنجایی که این ساختمان ۱۷ طبقه بر اساس آیین‌نامه قدیمی ساخته شده بود، فروریزش این ساختمان نشان می‌دهد که ساختمان‌های اطراف به دلیل مطابقت با آیین‌نامه جدید (در ساخت و بازسازی) هم چنان پابرجا هستند؛ بنابراین، ناسازگاری با آیین‌نامه جدید سبب حساس‌تر شدن این ساختمان ۱۷ طبقه در برابر نیروهای لرزه‌ای شده بود.

یکی دیگر از علل احتمالی این فروریزش این است که ساختمان برای مقاومت در برابر نیروی لرزه‌ای طراحی نشده بود. از این رو می‌توان دلیل را ضعف مهندسی بدانیم. این زلزله با بزرگی ۶٫۴ ریشتر در عمق تقریباً ۲۳ کیلومتری و حداکثر شدت در مقیاس مرکالی رخ داد.

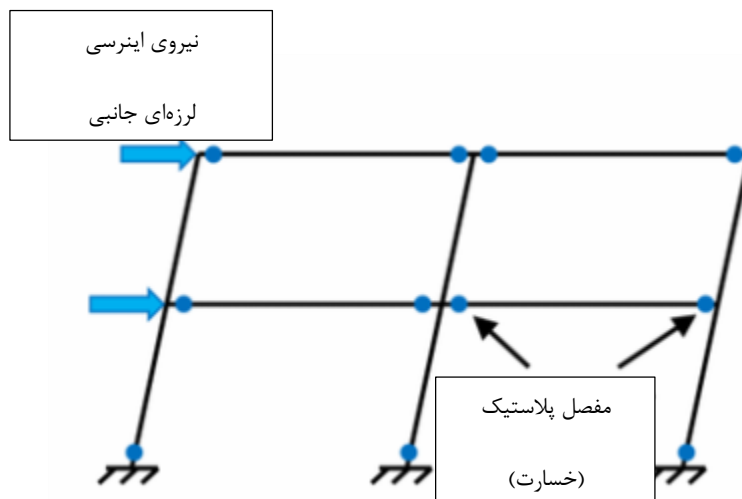
تایوان در منطقه فعال لرزه‌ای که با نام حلقه آتش اقیانوس آرام شناخته می‌شود، قرار دارد. این ساختمان حتی پس از زلزله ۹۲۱ که بزرگی آن ۷٫۶ ریشتر بود، پا بر جا باقی ماند. با این حال میزان خسارت ناشی از زلزله در سازه به عوامل متعددی بستگی دارد. این عوامل شامل حرکات زمین، بزرگی نیروهای لرزه‌ای، شرایط خاک زیر سازه، سختی سازه، موقعیت کانون زلزله و غیره می‌باشند. احتمالاً در طول زلزله ۲۰۱۶ همه این عوامل با هم ترکیب شده‌اند و روی ساختمان سبب اثر موضعی شده‌اند. تنها به دلیل اینکه ساختمان در مقابل زلزله‌ای با بزرگی ۷٫۶ ریشتر مقاومت کرده است، نمی‌توان این طور برداشت کرد که ضعف مهندسی در این حادثه نقشی نداشته است. نیروهای زلزله دینامیکی هستند و اغلب نمی‌توان آن‌ها را به طور دقیق پیش بینی کرد. ممکن است فقط از روی شانس این ساختمان در برابر زلزله ۷٫۶ ریشتری مقاومت کرده باشد، اما نمی‌توانیم بر اساس شانس به طراحی‌ها اطمینان کنیم.



همان‌طور که در عکس می‌بینید ساختمان به صورت جانبی فرو ریخته است (به پهلوی خوابیده است). سازه به دلیل واژگونی دچار شکست شد. این امر ناشی از طراحی ضعیف فونداسیون می‌باشد. با توجه به شرایط خاک نرم در محدوده تاینان، احتمال اینکه فونداسیون طراحی شده در برابر فشارهای جانبی ناشی از نیروهای لرزه‌ای به اندازه کافی مقاوم یا عمیق (برای قرارگرفتن در سنگ بستر) نبوده، وجود دارد. با توجه به این که خاک این منطقه نرم است، حرکات زمین در طول زلزله شدت می‌یابند و به دنبال آن روانگرایی در خاک اتفاق می‌افتد. نیروهای لرزه‌ای شدید باعث افزایش فشار آب در خاک اشباع شده با چگالی کم

می‌شود که خود نیز منجر به جابه‌جا شدن ذرات خاک می‌شود. در نتیجه حرکت خاک، مقاومت و سختی آن کاهش می‌یابد. به دنبال این قضیه مقاومت خاک برای پشتیبانی از فونداسیون ساختمان کاهش می‌یابد.

مسئله دیگر در طراحی مهندسی مربوط به سازه فوقانی بود. این ساختمان از دیگر ساختمان‌های اطراف بلندتر بود. هنگامی که نیروهای اینرسی لرزه‌ای به سطوح بالاتر از ساختمان وارد می‌شود، هرچه ساختمان بلندتر باشد، میزان لنگر نیز بیشتر خواهد بود. اتصال میلگردهای انتظار ستون‌های بتن مسلح و دیوارهای برشی به فونداسیون باید برای مقابله با تنش‌های اضافی طراحی شوند. هم‌چنین ساختمان U شکل بوده و فاقد دیوار برشی چهارم برای نگه داشتن انتهای U است. طراحی غیرمقارن دیوارهای برشی ممکن است منجر به اثرات پیچشی در کل سازه شود. همان‌طور که در عکس دیده می‌شود، گسیختگی پیچشی دلیل اصلی فروریزش نمی‌باشد. کل ساختمان واژگون شد و فرو ریخت، در حالی که هیچ اثر پیچشی وجود نداشته است. با این حال نمی‌توان گفت که عدم وجود دیوار برشی از نظر سازه‌ای قابل قبول است. در تصاویر می‌توان دید که در دیوارها ترک‌های افقی وجود دارند. این موضوع بر اثر تنش‌های جانبی نیروهای لرزه‌ای در دیوارها اتفاق افتاده بود. اگر این دیوار در ساختمان وجود داشت، توزیع تنش‌ها به صورت مساوی رخ می‌داد.



اتصالات بین تیرها و المان‌های عمودی هم مسئله قابل توجه دیگر بود. تصاویر نشان می‌دهند که میلگردهای فولادی از بتن خارج شده‌اند که این موضوع بیانگر کمبود جزئیات در خصوص تغییر شکل آرماتورهای تقویتی هنگام طراحی است. طبق شواهد این گونه به نظر می‌رسد که خاموت‌ها خم ۱۳۵ درجه نداشتند. زاویه مذکور ۹۰ درجه بود. تیرها در مناطق لرزه‌ای باید به گونه‌ای طراحی شوند که در دو انتها دارای خاموت‌هایی عمودی با حداقل خم ۱۳۵ درجه باشند تا خاموت‌ها هنگام وقوع زمین‌لرزه باز نشوند.

خاموت‌های مناسب در تیرها می‌توانند:

۱. در برابر گسیختگی ترد در مواجهه با نیروهای برشی عمودی خاص و ترک‌های برشی مورب مقاومت کنند.
۲. از جدا شدگی سنگ‌دانه‌های بتن تیر در اثر خمش جلوگیری کنند.
۳. از کمانش خمشی میلگردهای طولی اصلی جلوگیری کنند.



اگرچه تایوان بعد از زلزله ۹۲۱ مقررات دقیق بیشتری را برای ساختمان‌ها در نظر گرفت، ولی برای قانون‌مند کردن آن کافی نیست. مسئولین مربوطه این کشور باید اجرای این قوانین را برای هر ساختمان مشکوک اجباری کنند. نظارت سازه‌ای باید به صورت مستمر انجام شود. آگاهی در خصوص ایمنی باید افزایش یابد تا خسارت سازه به حداقل برسد. سازه‌ها باید برای مطابقت با آیین‌نامه جدید بهسازی شوند. بهسازی لرزه‌ای می‌تواند شامل پس کشیدگی کابل پیش تنیده فولادی و یا نصب میراگرها باشد. این اقدامات پر هزینه هستند اما ایمنی همیشه در اولویت اول قرار دارد.

مترجم: سارا محمدپور

منبع:

<http://www.sturdystructural.com/blog/structural-analysis-on-the-2016-taiwanese-earthquake-possible-causes-of-structural-failure-and-the-main-culprits-of-structural-collapse>