



تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمانهای بتنی در زلزله ۱۳۸۲ بم قسمت اول: مطالعات میدانی

نقدعلی حسین‌زاده استادیار پژوهشکده سازه پژوهشگاه / محسن قمی فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، دانشکده تحصیلات تکمیلی، واحد جنوب تهران

۱- چکیده

هدف اصلی این تحقیق ارائه یک روش تحلیل سریع و ساده برای ارزیابی ایمنی لرزه‌ای ساختمانهای بتنی کوتاه و کم ارتفاع خسارت دیده در زلزله بم می‌باشد. در این روش، ارزیابی بر اساس مشخصه نیرو-جابجایی طبقه اول یا ضعیفترین طبقه انجام می‌گیرد. معیار ارزیابی ایمنی سازه بر اساس دو پارامتر مقاومت و شکل‌پذیری در حالت زلزله قوی و زلزله شدید استوار است. مکانیزم شکست سازه به صورت خمشی، برشی و برشی-خمشی طبقه‌بندی می‌شود.

در این مقاله، ابتدا مبانی روش ارزیابی سریع معرفی و سپس، مشخصات دو ساختمان آسیب دیده در زلزله بم از قبیل سیستم‌های باربر قائم و لرزه بر جانی، بارگذاری و... بر اساس بازدیدهای محلی به منظور مطالعات آسیب‌پذیری لرزه‌ای ارائه شده است. جزئیات خسارات مشاهده شده در این ساختمانها همراه با تصاویر آن مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعات تحلیلی شامل مدلسازی دینامیکی غیرخطی و ارزیابی ایمنی لرزه‌ای ساختمانهای مورد نظر در مقاله آتی ارائه خواهد شد.

کلید واژه‌ها: آسیب‌پذیری لرزه‌ای، ساختمانهای بتنی کوتاه، مقاومت، شکل‌پذیری

۲- مقدمه

تعداد بیشماری از ساختمانهای بتنی مسلح موجود ساخته شده در دهه‌های گذشته، بر اساس ویرایشهای قدیمی آیین‌نامه‌های زلزله طراحی و اجرا شده‌اند که عموماً شرایط ضوابط آیین‌نامه‌های امروزی را تأمین نمی‌کنند. بعلاوه به علت ضعف فناوری ساخت و مشکلات اجرایی، کفایت عملکرد ساختمانهای موجود به عنوان یک سؤال اساسی مطرح است؛ بنابراین ارائه یک روش منطقی و معقول برای ارزیابی لرزه‌ای مجموعه بزرگی از ساختمانهای موجود در مقابل خطر زلزله‌های قوی و مخرب، هم برای صاحبان و ساکنان ساختمانها و هم برای مسئولین مملکتی بویژه به لحاظ مدیریت بحران امری مهم و اجتناب‌ناپذیر است.

با توجه به اهمیت موضوع، روشهای مختلفی توسط پژوهشگران ارائه شده است. این روشها، عموماً از دو دیدگاه کیفی و کمی موضوع را مورد بررسی قرار می‌دهند. روشهای کیفی از سرعت زیاد، ولی دقت کم و روشهای کمی بالعکس از سرعت کم، هزینه زیاد و دقت خوبی برخوردارند. در این مقاله، از یک روش ارزیابی سریع برای مطالعه آسیب‌پذیری دو ساختمان بتنی مسلح آسیب‌دیده در زلزله بم استفاده شده است [۱، ۲ و ۳].

۳-۲- معیار ارزیابی ایمنی

بر اساس مراجع موجود، معیار پذیرش (ماتریس معیار) برای زلزله قوی ($PGA=0.3g$) و زلزله شدید ($PGA=0.45g$) در محدوده خسارت تعمیرپذیر و خسارت بدون فروریزش متناسب با شکل پذیری سازه در نظر گرفته می شود. این ماتریس بر اساس مکانیزم شکست خمشی، برشی و خمشی - برشی تعریف شده است. در حالت شکست خمشی، مکانیزم شکست ساختمان بر اثر شکست خمشی اعضا تشکیل شده و ساختمان نسبتاً شکل پذیر است. در حالت شکست برشی، مکانیزم شکست بر اثر شکست برشی اعضا تشکیل و ساختمان ترد و بدون شکل پذیری است. در حالت شکست برشی - خمشی، ترکهای برشی در اعضا به وجود می آید؛ اما مکانیزم شکست از نوع خمشی است [۳].

۳-۲-۱- مرحله اول: مدلسازی سازه ای

ارزیابی با این مرحله شروع می شود که بیانگر سیستم های انتقال بار ثقلی و جانبی است.

۳-۲-۲- مرحله دوم: مدلسازی تحلیلی

در این مرحله، مشخصات بار - تغییر شکل سیستم سازه ای تحت اثر نیروی جانبی در محدوده خطی و غیرخطی تعیین می شود. منحنی بار - تغییر شکل، بر اساس مقاومت ترک خوردگی برشی، مقاومت نهایی برشی و مقاومت جاری شدن خمشی بر حسب ضریب برش پایه تعیین می شود. برای محاسبه مقاومت خمشی طبقات از برنامه IDARC استفاده شده است [۴]. در این نرم افزار تحلیل سازه های بتنی مسلح در مراحل زیر انجام می گیرد:

۱- تعیین مشخصات مقاومت و تغییر شکل تمام اجزاء؛

۲- تعیین مد شکست تحت بارگذاری استاتیکی افزایشی با استفاده از اطلاعات بند ۱؛

۳- تحلیل دینامیکی لحظه به لحظه سازه؛

این روش، ضمن استفاده بهینه از هر دو دیدگاه کیفی و کمی، از سرعت مناسب و دقت قابل توجهی برای ارزیابی سازه های بتنی معمولی برخوردار است. در این روش، با استفاده از یک روند مرحله بندی شده شبیه غربال کردن مبتنی بر ارزیابی کیفی و کمی به صورت همزمان، مجموعه وسیعی از ساختمانها قابل بررسی بوده و در وقت و هزینه محاسبات صرفه جویی قابل ملاحظه ای می شود. در این مقاله، ابتدا مبانی روش ارزیابی سریع و سپس، ارزیابی آسیبهای وارد به دو ساختمان نمونه که خساراتی را بر اثر زلزله بم متحمل شده اند ارائه گردیده است. مطالعات تحلیلی غیرخطی و مقایسه نتایج آن با روش ارزیابی سریع در قسمت دوم مقاله ارائه خواهد شد. این مطالعات، می تواند برای کالیبره کردن روش مورد نظر حائز اهمیت باشد.

۳- روش ارزیابی ایمنی لرزه ای

ارزیابی ایمنی ساختمانهای بتنی مسلح در پنج مرحله مدلسازی سازه ای، مدلسازی تحلیلی، ارزیابی مقاومت ایمنی، ارزیابی شکل پذیری ایمنی و ترکیب ارزیابی ایمنی انجام می گیرد که به خلاصه ای از آنها در ادامه اشاره شده است.

۳-۱- اصول ارزیابی ایمنی

ارزیابی سازه ای بیان شده در این مقاله، از یک مجموعه مراحل متوالی تشکیل شده است. در اولین مرحله، مشخصه بار - جابه جایی طبقه اول یا ضعیفترین طبقه به صورت تقریبی تعیین می شود. با استفاده از این مشخصه، پاسخ لرزه ای سازه به کمک طیف پاسخ خطی برای ارزیابی مقاومت ایمنی و طیف پاسخ غیرخطی برای ارزیابی شکل پذیری ایمنی به دست می آید. سپس با در نظر گرفتن این دو مؤلفه، ترکیب ارزیابی برای مشخص کردن حاشیه ایمنی سازه به دست می آید. مراحل انجام ارزیابی در پنج مرحله قابل محاسبه است [۱ و ۲ و ۳].

۴- تحلیل نهایی خسارت در اجزای طبقات وکل سازه.

لنگر ترک خوردگی (M_c)، لنگر حد تسلیم (M_y) و لنگر

نهایی (M_u) از روابط تجربی (۱ تا ۵) به دست می آیند:

$$M_c = 11Z_e \sqrt{f'_c + Nd/6} \quad (۱)$$

$$M_y = 0.5f'_c b d^2 [(1 + \beta_c - \eta)n_o + (2 - \eta)P_t + (\eta - 2\beta_c)\alpha P'_t] \quad (۲)$$

$$M_u = (1.24 - 0.15P_t - 0.5\eta_o) M_y \quad (۳)$$

$$P_t = (A_t f_y) / (f'_c b d), P'_t = (A'_t f_y) / (b d f'_c), n_o = N / (b d f'_c), \quad (۴)$$

$$\alpha_y = \varepsilon_y / \varepsilon_o$$

$$\beta_c = d_c / d, \alpha_c = (1 - \beta_c) \varepsilon_c / \varepsilon_y - \beta_c \leq 1, \quad (۵)$$

$$\eta = 0.75 / (1 - \alpha_y) [\varepsilon_c / \varepsilon_o]^{0.7}$$

در روابط مذکور، Z_e مدول مقطع در حد ارتجاعی، f'_c مقاومت

مشخصه بتن بر حسب ksi ، N بار محوری ستون، b پهنای

مقطع، d عمق محاسباتی مقطع، d_c ضخامت پوشش بتن

برای میلگردهای فشاری، A_t مساحت میلگردهای کششی،

f_y مقاومت حد تسلیم فولاد (بر حسب ksi)، A_c مساحت

میلگردهای فشاری، ε_y کرنش حد تسلیم فولاد، ε_o کرنش

بتن در حد مقاومت مشخصه و ε_c کرنش دورترین تار فشاری

بتن است. در محاسبه لنگر تسلیم فولادها و انحناهای مربوط به

آن، فرض می شود بتن فشاری در حد ارتجاعی باقی مانده و فولاد

کششی جاری می شود. علاوه بر آن، توزیع کرنش در مقطع خطی

فرض شده است.

برای محاسبه ضریب برش پایه در یک سیستم قاب خمشی،

فرض می شود که مفاصل خمیری در انتهای اعضا تشکیل شود.

با انتخاب توزیع نیروی جانبی به صورت یکنواخت یا مثلثی در

ارتفاع طبقات، ضریب برش پایه در حالات مختلف مفصلهای

خمیری با استفاده از معادلات تعادل به دست می آید. کمترین

مقدار به عنوان ضریب برش پایه انتخاب و مقاومت ترک خوردگی

برشی نیز با استفاده از روابط (۶، ۷ و ۸) محاسبه می شود:

مقاومت برشی متوسط:

$$\tau_{av} = \sqrt{f'_c} + Nd/6 \quad (۶)$$

نیروی برشی طبقه i ام:

$$Q_{sci} = \tau_{av} \sum A_j \quad (۷)$$

ضریب برش طبقه i ام:

$$Q_{sci} = Q_{sci} / \sum W_j \quad (۸)$$

در رابطه (۶)، f'_c بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و در روابط

(۷ و ۸)، $\sum A_j$ مجموع مساحت سطح مقطع اعضای لرزه بر

طبقه i ام و $\sum W_j$ مجموع وزن طبقه i ام و طبقات بالاتر است.

الف - اصلاح ضریب برش پایه: مقاومت جانبی بر حسب

ضریب برش پایه با فرض کنترل شکست در طبقه اول ساختمان،

معیار اصلی ایمنی در مرحله اول محسوب می شود؛ بنابراین

اگر شکست در طبقه دیگری غیر از طبقه اول شروع شود، ارزیابی

نیاز به اصلاح دارد. چنانچه طبقه ای مانند i قبل از طبقه اول به

حد بحرانی برسد ضریب برش پایه به صورت زیر اصلاح می شود:

$$C_i = Q_i / \sum W \quad (۹)$$

$$C_i = C_i / C_1 \quad (۱۰)$$

$$C_{Yi} = C_{Yi} C_{Yi} (n+1) / (n+i) \quad (۱۱)$$

در روابط مذکور، C_i نرمال شده C_i ، C_{Yi} مقاومت جاری شدن

طبقه اول و n تعداد کل طبقات می باشند.

ب - پیروود طبیعی: پیروود طبیعی ساختمان به طور تقریبی

معادل $n(0.06 \sim 0.1)$ انتخاب می شود که در آن n تعداد طبقات

ساختمان است.

۳-۲-۳ - مرحله سوم: ارزیابی مقاومت ایمنی

به منظور ارزیابی ایمنی به روش سریع، ضریب برش پایه

مقاوم با ضریب برش پایه حاصل از پاسخ غیرخطی مقایسه

می شود. برای انجام این کار ابتدا، باید طیف پاسخ غیرخطی

و سیستم تک جرمی معادل محاسبه شوند. سپس ضریب

۳- حلقه هیستریزیس سه خطی کاهنده اصلاح شده برای شکست نوع برشی - خمشی.

دو فرض اصلی برای تعیین یک سیستم تک جرمی معادل عبارتند از:

- فقط مد اول ارتعاش در پاسخ سازه حاکم است؛

- یا همه طبقات به طور همزمان به مرحله بحرانی می‌رسند، یا ابتدا طبقه اول؛ بنابراین:

$$K_c = C_{scl} \left[\sum W_i / (\sum \beta_{ui}) W_i \right] \quad (12)$$

$$K_y = C_{byl} \left[\sum W_i / (\sum \beta_{ui}) W_i \right] \quad (13)$$

در روابط مذکور، K_c و K_y به ترتیب مقاومت برش پایه سیستم تک جرمی معادل در حالت ترک خوردگی برشی یا جاری شدن خمشی و β_{ui} ضریب مشارکت مدی طبقه i ام ناشی از مد اول سازه است. پاسخ جابه‌جایی سیستم تک جرمی معادل حاصل از طیف پاسخ غیرخطی به کمک روابط (۱۴، ۱۵ و ۱۶) به پاسخ جابه‌جایی طبقه اول ساختمان تبدیل می‌شود:

$$B\delta_C = (\beta_u)_1 \delta_C \quad (14)$$

$$B\delta_{max} = (m.f)(\beta_u)_1 \delta_{max} \quad (15)$$

$$B\mu_1 = (m.f)\mu_0 \quad (16)$$

در این روابط، $B\delta_C$ جابه‌جایی طبقه اول در مرحله ترک خوردگی برشی، δ_C جابه‌جایی سیستم تک جرمی معادل در مرحله ترک خوردگی، $B\delta_{max}$ حداکثر جابه‌جایی طبقه اول، δ_{max} حداکثر جابه‌جایی سیستم تک جرمی معادل، $B\mu_1$ ضریب شکل‌پذیری طبقه اول، $m.f$ ضریب اصلاح شکل مد در محدوده غیرخطی و μ_0 ضریب شکل‌پذیری سیستم تک جرمی معادل می‌باشد. اگر تمام طبقات همزمان به مرحله ترک خوردگی برسند می‌توان $m.f$ را برابر ۱ در نظر گرفت؛ ولی اگر طبقه اول زودتر به مرحله ترک خوردگی برسد، $m.f > 1$ خواهد بود.

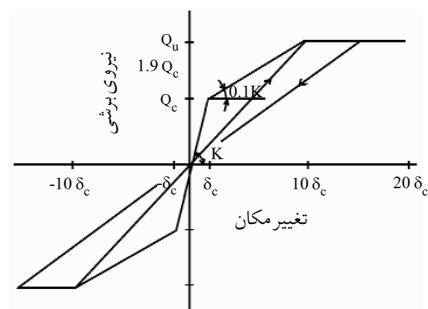
شکل‌پذیری طبقه اول ساختمان با اعمال ضرایب شرکت مدی، به دست آمده و با ضابطه تعیین شده برای شکل‌پذیری ایمن، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. اگر نتیجه به دست آمده نامعین باشد، ارزیابی دقیقتر در مراحل بعدی ضروری خواهد بود.

۳-۲-۴- مرحله چهارم: ارزیابی شکل‌پذیری ایمنی

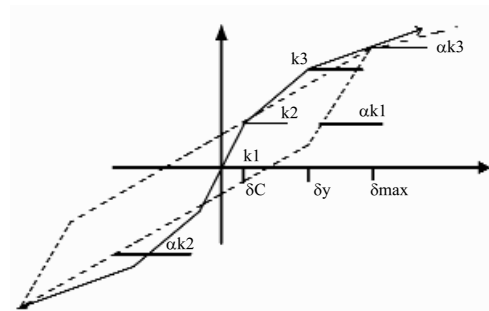
در این مرحله جابه‌جایی طبقه اول با استفاده از طیف پاسخ غیرخطی و ضرایب مشارکت مدی اصلاح شده (برای در نظر گرفتن رفتار غیرخطی ساختمان) به دست می‌آید. طیف پاسخ غیرخطی بر اساس نوع مدل هیستریزیس تهیه می‌شود که خود بستگی به نوع شکست دارد. با توجه به نتایج تجربی سه نوع مدل هیستریزیس، پیشنهاد شده که از یک منحنی پوش سه خطی پیروی کنند. این مدل‌ها عبارتند از [۱، ۲ و ۳]:

۱- حلقه هیستریزیس مبدأ گذر برای شکست نوع برشی مطابق شکل (۱، الف)؛

۲- حلقه هیستریزیس سه خطی کاهنده برای شکست نوع خمشی مطابق شکل (۱، ب)؛



الف: مبدأ گذر



ب: سه خطی کاهنده
شکل (۱): حلقه‌های هیستریزیس

با انجام این مرحله برای ارزیابی ایمنی می توان به جمع بندی

نهایی دست یافت:

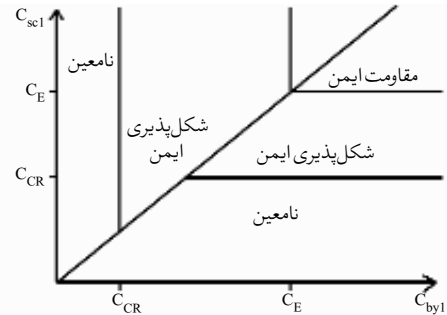
- طبقه بندی نوع شکست؛

- پهنه بندی با ارزیابی مقاومت ایمن؛

- پهنه بندی با ارزیابی شکل پذیری ایمن.

با رسم نتایج در نمودار شکل (۲) می توان به ارزیابی

آسیب پذیری سازه تحت زلزله های قوی و شدید اقدام نمود.



شکل (۲): ارزیابی مقاومت و شکل پذیری ایمن

$$\mu_o = \delta_{max} / \delta_y \quad (17)$$

حداقل مقاومت جاری شدن طبقه اول:

$$C_{cr} = \left[\frac{\sum (\beta_{ui})_i W_i}{\sum W_i} \right] (\alpha_o K g) \quad (18)$$

ضریب برش پایه:

$$C_E = \left[\frac{\sum (\beta_{ui})_i W_i}{\sum W_i} \right] (S_{arg}) \quad (19)$$

در روابط (۱۷)، (۱۸) و (۱۹)، δ_{max} حداکثر جابه جایی

سیستم تک جرمی معادل، δ_y جابه جایی جاری شدن، α_o

ضریب عددی حاصل از طیف غیرخطی، S_a شتاب طیف

پاسخ خطی (طیف آیین نامه ۲۸۰۰) و β_{ui} ضریب مشارکت

مدی است که برای ساختمانهای سه و چهار طبقه برابر است با:

برای ساختمان سه طبقه:

$$\beta_{u1} = 0.538, \beta_{u2} = 0.98, \beta_{u3} = 1.2$$

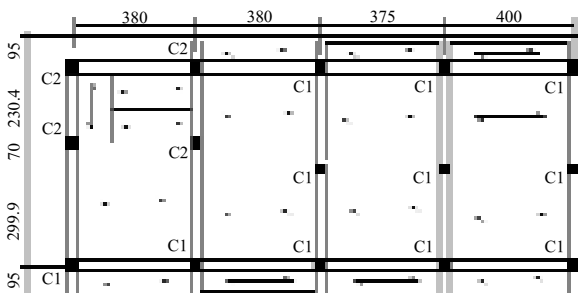
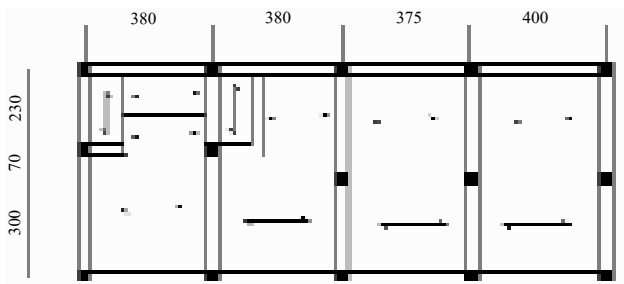
برای ساختمان چهار طبقه:

$$\beta_{u1} = 0.431, \beta_{u2} = 0.809, \beta_{u3} = 1.091, \beta_{u4} = 1.214$$

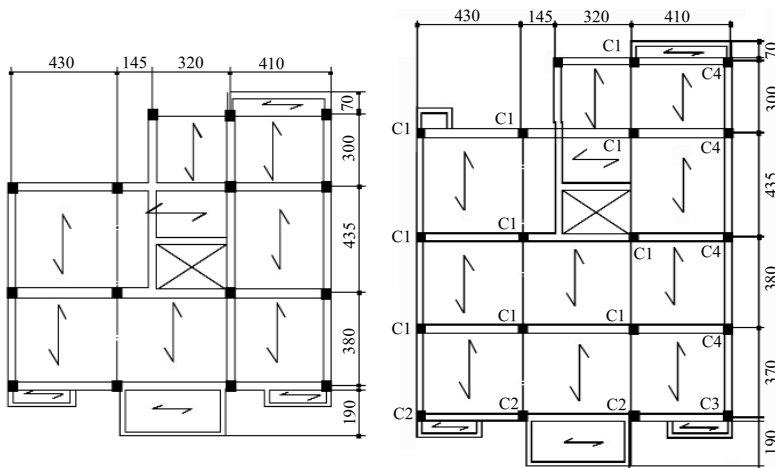
۴- مشخصات ساختمانهای مورد مطالعه و

کنترل های آیین نامه ای

دو ساختمان در حال احداث که مراحل نهایی ساخت را می گذرانند برای پژوهش انتخاب گردیدند. نمای کلی و پلان اندازه گذاری این ساختمانها در تصویرهای (۱) و (۲) نشان داده شده است. سیستم سازه ای هر دو ساختمان از نوع قاب خمشی بوده و سقف آنها از نوع تیرچه بتنی با بلوکهای سفالی ساخته شده است. در طبقه همکف هر دو ساختمان دیوار اجرا شده بود؛ ولی در بقیه طبقات دیوارهای خارجی و تیغه ها اجرا نشده بودند. همچنین، کف سازی ساختمانها هنوز اجرا نشده بود. پی ها نیز به صورت منفرد می باشند.



تصویر (۱): ساختمان شماره ۱ بعد از زلزله بم و پلان آن



تصویر (۲): ساختمان شماره ۲ بعد از زلزله بم و پلان آن

مطالعه در جدول (۲) خلاصه شده است. ارزیابی اولیه طرح، مبین قابل قبول بودن ستونهای طبقه اول این دو ساختمان می باشد.

۵- خسارات ساختمانی مورد مطالعه در هنگام زلزله

هر دو ساختمان مورد مطالعه خسارات مشابهی را در هنگام زلزله متحمل شده بودند که در این قسمت تشریح شده است. کمبود جزئیات مناسب از نظر میلگرد گذاری و کیفیت نامطلوب اجرایی به عنوان عوامل اصلی خسارت در ساختمانی مورد مطالعه محسوب می شوند. با وجود این، ساختمانی

مهمترین مشخصات هندسی، مکانیکی و دینامیکی ساختمانی مورد نظر بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ و آیین نامه بارگذاری ایران در جدول (۱) خلاصه شده است [۵ و ۶]. در این جدول، A ضریب شتاب زلزله ساختگاه، I ضریب اهمیت ساختمان، R ضریب رفتار ساختمان، T_0 پریود خاک ساختگاه، V پریود اصلی سازه، $B=2.5(T_0/T)^{2/3}$ ضریب بازتاب زلزله، $C=ABI/R$ ضریب زلزله، $T_1=1.25T$ ضریب افزایش پریود تجربی برای تخمین پریود تحلیلی) و H ارتفاع ساختمان می باشد. ابعاد هندسی مقاطع تیرها و ستونهای ساختمانی مورد

جدول (۱): مشخصات ساختمانی مورد مطالعه (بر حسب کیلوگرم - متر)

شماره ساختمان	A	I	R	T	T	T ₁	H	B	C	بار مرده طبقات و بام	بار زنده طبقات	بار زنده بام	F	f'c	جابه جایی جانبی مجاز
۱	۰/۳	۱	۵	۰/۵	۰/۴۸	۰/۶	۱۳	۲/۲۱	۰/۱۳	۵۲۰	۲۰۰	۱۵۰	۱۹۵۵	۳E۷	۰/۰۸۷
۲	۰/۳	۱	۵	۰/۵	۰/۴۱	۰/۵۲	۱۰/۴	۲/۴۳	۰/۱۷	۵۲۰	۲۰۰	۱۵۰	۲۱۵۵	۳E۹۷	۰/۰۶۴

جدول (۲): مشخصات تیرها و ستونها (بر حسب سانتیمتر)

شماره ساختمان	ستونهای طبقه اول و دوم			ستونهای طبقه سوم و چهارم			تیرها	
	ابعاد	میلگرد طولی	میلگرد عرضی	ابعاد	میلگرد طولی	میلگرد عرضی	میلگرد طولی	میلگرد عرضی
۱	۳۸×۳۸	۸Φ۱۸	Φ۶@۳۰	۳۵×۳۵	۸Φ۱۸	Φ۶@۳۰	۶Φ۱۸	۳۰×۳۰
۲	۳۷×۳۵	۸Φ۱۸	Φ۶@۳۰	۳۷×۳۵	۶Φ۱۸	Φ۶@۳۰	۶Φ۱۸	۳۵×۳۵

به صورت خرد شدگی بتن پوشش میلگرد تیرها ظاهر شده بود. نمونه‌ای از این گونه خسارات در تصویر (۴) ملاحظه می‌شود. علت این گونه خسارات، استفاده از خاموت‌های با قطر کم (۶ میلیمتر) در فواصل زیاد (۳۰ سانتیمتر) بوده است که مقررات آیین‌نامه‌ای را تأمین نمی‌کنند [۷].



تصویر (۴): ترک‌های برشی یا خرد شدگی بتن پوشش تیرها در محل اتصال به ستونها

۵-۳ - استفاده از تیرچه به جای تیر در قابهای خمشی

در قابهای داخلی هر دو ساختمان مورد مطالعه از تیرچه‌ها، به جای تیر اصلی لرزه بر استفاده شده است. نمونه‌ای از این اجرای نادرست در تصویر (۵) نشان داده شده است. در این گونه موارد، فقط قابهای کناری که تیر مستقل دارند، می‌توانند نیروی جانبی زلزله را تحمل کنند.

مورد نظر دچار شکست کلی و فروریزش کامل نشده‌اند؛ بنابراین، در مقایسه با ساختمانهای فلزی مشابه در محل، تلفات جانی کمتری را سبب می‌شوند. لازم به ذکر است که بخش عمده بارگذاری شامل وزن طبقات، وزن اسکلت و دیوار چینی زیرزمین و طبقه اول در این ساختمانهای در حال ساخت اعمال شده بود و تنها بارهای تیغه‌بندی و پوشش عایق بام باقی مانده بود. به مهمترین خسارات این ساختمانها در قسمتهای بعد اشاره شده است.

۵-۱ - فروریختن دال‌های راه پله در ساختمان ۱

دال‌های راه پله از سه عدد تیرچه تشکیل شده بودند. به دلیل مهار نشدن میلگرد تیرچه‌ها در داخل تیرها و ستونها (طول مهاري کم)، این دال‌ها مطابق تصویر (۳) دچار شکست شده‌اند. اگرچه به نظر می‌رسد با رعایت طول مهاري می‌توان از شکست به وجود آمده جلوگیری نمود، ولی استفاده از تیرچه به جای تیر شمشیری و دال بتنی در راه پله‌های مذکور گزینه مناسبی نیست.



تصویر (۳): فروریختن دال‌های راه پله در ساختمان ۱

۵-۲ - ترکهای برشی تیرها در محل اتصالات تیر-ستون

ترکهای برشی ۴۵ درجه در تیرهای دو طرف اتصال تیر-ستون یکی از خسارات معمول می‌باشد که در هر دو ساختمان مشاهده شده است. در بعضی از موارد، خسارت

۵-۵- ضعف مهار و پیوستگی میلگردها

مهار و پیوستگی میلگردها در داخل بتن یکی از موارد مهم و اساسی در ساختمانهای بتنی مسلح محسوب می‌شود. در بسیاری از موارد، حداقل پوشش بتن روی میلگردها طبق ضوابط آبا تأمین نشده است [۷]. علاوه بر آن، میلگردهای اصلی تیرها فاقد قلاب انتهایی در محل اتصال به ستون و گره می‌باشند. نمونه‌ای از ضعف مهار و پیوستگی میلگردها در (تصویر ۷) نشان داده شده است.



تصویر (۷): کمبود پوشش بتنی و فقدان خم انتهایی در میلگردهای اصلی تیر که بیرون از محل اتصال به ستون قرار دارند.

۵-۶- ترک‌های برشی در ستونهای گوشه

عدم رعایت خاموت‌گذاری ویژه در ناحیه بحرانی تیرها و ستونها (ناحیه مفصلهای پلاستیک) علاوه بر عدم تأمین مقاومت برشی و شکل‌پذیری لازم در مقابل زلزله، محصورشدگی کافی را نیز تأمین نکرده است. نمونه‌ای از آثار این کمبود به صورت ترک‌خوردگی و شکست در بتن پوشش میلگردها مطابق تصویر (۸) در ستونهای گوشه ملاحظه می‌شود. این ستونها در



تصویر (۵): استفاده از تیرچه به جای تیر در قابهای خمشی

۵-۴- کیفیت نامطلوب بتن و بتن‌ریزی غلط

ویژه نکردن بتن مخصوصاً در محل اتصال تیر به ستون از اشکالات اجرایی مهمی است که در هر دو ساختمان قابل مشاهده بود. نمونه‌ای از این اشکالات در تصویر (۶) نشان داده شده است. این گونه اشکالات بیانگر عدم نظارت کافی و مؤثر در امر ساخت و ساز می‌باشد. مشابه این گونه اشکالات در سراسر کشور وجود دارد.



تصویر (۶): کیفیت نامطلوب بتن و بتن‌ریزی غلط

مقایسه با دیگر ستونهای داخلی و کناری اغلب رفتار نامساعدی داشته اند که عموماً از تأثیر نیروهای زلزله در جهات متعامد و اثرهای پیچش ساختمان ناشی می شود.



تصویر (۸): ترکهای برشی در ستونهای گوشه ناشی از پیچش و مؤلفه های متعامد زلزله

ساختمانهای بتنی مورد مطالعه، در زلزله بم انسجام و یکپارچگی نسبی داشته، دچار انهدام و فروریزش کلی نشده اند. تجربیات زلزله های گذشته نشان می دهد که وجود حداقل چهار میلگرد یکسره در تیرها می تواند از فروریختن سقفها و در نتیجه از تلفات جانی جلوگیری کند.

۷- مراجع

1. Umemura, et. al. (1973). Earthquake resistant design of reinforced concrete buildings accounting for the dynamic effects of earthquakes [Technical Report]. Giho-do, Tokyo,
2. Aoyama, H. et. al. (1973). A study on the earthquake resistant design of reinforced concrete school buildings. *Proc. of U.S.-Japan Seminar on earthquake engineering*. Berkeley, California.
۳. ناطقی الهی، فریرز؛ حسین زاده، نقدعلی. (زمستان ۱۳۸۰). ارزیابی مقاومت و شکل پذیری ساختمانهای بتنی مسلح کوتاه، استقلال، سال ۲۰، شماره ۲، ۷۵ تا ۵۵.
۴. ناطقی الهی، فریرز؛ حسین زاده، نقدعلی. (۱۳۷۸). روشی برای ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای ساختمانهای بتن مسلح دارای دیوار برشی [گزارش]. کمیته فرعی - تخصصی مقابله با خطرات ناشی از زمین لرزه و لغزش لایه های زمین. تهران: مرکز پژوهش و مطالعات سوانح طبیعی.
۵. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. (۱۳۷۸). آیین نامه طرح ساختمانها در برابر زلزله - استاندارد ۲۸۰۰ زلزله ایران. تهران: مؤلف.
۶. دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی. (۱۳۷۹). آیین نامه حداقل بار وارد بر ساختمانها و ابنیه فنی (تجدید نظر در استاندارد ۵۱۹). تهران: مؤلف.
۷. سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. (۱۳۸۲). آیین نامه بتن ایران، نشریه شماره ۱۲۰، چاپ چهارم. تهران: مؤلف. ▶

۶- نتیجه گیری

با عنایت به خسارات مشاهده شده در ساختمانهای بتنی مورد مطالعه می توان گفت که در مجموع خسارات این گونه ساختمانها هم به ضعف جزئیات طراحی و هم به اشکالات متعدد اجرایی مربوط می شود. به علت عدم نظارت و کنترل کافی و مؤثر و همچنین در دسترس نبودن مدارک طراحی نقشه های اجرایی (چون ساخت) نمی توان اشکالات طراحی و اجرایی را از هم جدا کرد. به هر صورت، وضعیت موجود نشان می دهد که اساساً توجه جدی به ضوابط طرح لرزه ای این گونه ساختمانها و جزئیات لازم برای تأمین شکل پذیری نظیر خاموت گذاری ویژه در تیرها و ستونهای قابهای خمشی به عمل نمی آید. این گونه اشکالات همراه با بتن ریزی غلط (بدون ویرنه) با کیفیت نامطلوب و خلل و فرج زیاد و عدم تأمین پوشش بتنی لازم برای میلگردهای اصلی تیرها و ستونها، ضعفهای اصلی محسوب می شوند. با وجود همه این اشکالات،