ارزیابی علل شکست ساختمان‌های بتن آرمه روستای اردکول منطقه زلزله زده قائنات

حمزه شکیب
استادیار

حسین بیات
کارشناسی ارشد

دانشکده مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس
مرکز مطالعات مقابله با سوانح طبیعی ایران

چکیده

در این مطالعه رفتار ساختمان‌های بتن آرمه منطقه زلزله زده قائنات مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای رسیدن به این هدف، پس از بازدید از واحدهای آسیب دیده و برداشت‌های میدانی لازم، ساختمان‌های بتن آرمه روستای اردکول با استفاده از نرم‌افزارهای SAP90 و SAPCON تحلیل و طراحی شده است. سپس مقادیر تنش‌ها و ظرفیت مقاطع ساختمان‌های بتن آرمه مورد ارزیابی قرار گرفته و علت شکست این واحدها از نظر کمّی و کیفی بررسی شده است.

Evaluation of the Collapse Causes of Reinforced Concrete Buildings at Ardekool of Ghaenat Earthquake Stricken Area

Hamzeh Shakib
Assistant Professor

Hossein Bayat
Graduate Student

Tarbiat Modarres University and Natural Disaster s
Prevention Center Of Iran

Abstract

In this study, the behaviour of reinforced concrete buildings at Ghaenat earthquake stricken area is evaluated. In order to acheive this aim, after visiting the damaged units, the reinforced concrete buildings of Ardekool are redesigned by using SAP90 and SAPCON software. Then the stresses are compared with allowable stresses of system elements and finally the causes of collapses of this type of buildings are presented.

۱ ـ مقدمه

در ۲۰ اردیبهشت ۱۳۷۶ برابر با ۱۰ می ۱۹۹۷ زلزله‌ای با بزرگی ۷/۱ ریشتر و با بیشینه شدت ۹ تا ۱۰ مرکالی رخ داد. این زلزله با دارابودن عمق کانونی ۱۸ کیلومتر از نوع زلزله های کم ژرفا محسوب می شود. بر اثر زلزله نزدیک به ۱۵۰ روستا از توابع شهرهای بیرجند و قائن در استان خراسان بین ۳۰ تا ۱۰۰ درصد تخریب شدند. براثر این زمین لرزه ۱۹۰۰۰ واحد مسکونی دچار آسیب شدند که از بین آنها ۱۲۰۰۰ واحد مسکونی به میزان ۱۰۰ درصد تخریب گردید.

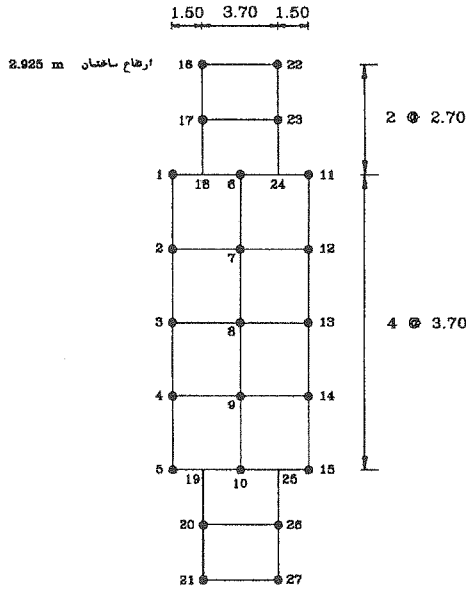
رویداد زلزله در ایران یک امر اتفاقی نیست و وقوع زمین لرزه و به تبع آن تبدیل شدن شهر یا روستاها به تلی از خاک، از چند صد سال پیش از طرف جهانگردان ثبت و گزارش شده است. موارد اخیر آن نیز ویرانه های حاصل از زلزله های اخیر بجنورد، اردبیل و بیرجند است که در مدت زمان کمتر از ۶ ماه به وقوع پیوسته اند. بی شک استان خراسان و به ویژه منطقه قائنات آن، جزو لرزه خیزترین مناطق ایران محسوب می شود، چرا که در کمتر از ۳۰ سال ۴ زلزله با بزرگیهای ۷/۴، ۶/۴، ۷/۳ و ۷/۱ در مقیاس ریشتر به ترتیب در سال های ۱۳۴۷، ۱۳۵۵، ۱۳۵۸ و ۱۳۷۶ در آن رخ داده است. به همین سبب سبک ساخت و ساز در این مناطق، با سبک ساخت و ساز دیگر مناطق روستایی ایران چهره کاملاً متفاوتی دارد. در روستاهای منطقه قائنات به دلیل تجربه های تلخ مردم از زلزله های پیشین، سعی بر آن بوده که واحدهای ساختمانی مقاوم در برابر زلزله ساخته شود. به این خاطر در این مناطق ساختمان های مسلح فلزی و بتن آرمه به وفور یافت می شود. برای مثال اغلب ساختمان های بخش زیرکوه از نوع بتن آرمه است که سقف آنها را دال بتنی دوطرفه تشکیل می دهد. اخیراً نیز به تبعیت از ضوابط فصل سوم آیین نامه ۲۸۰۰ ایران، ساخت انواع واحدهای بنایی غیرمسلح در روستاهای این نواحی رواج پیدا کرده است.

وقوع زلزله ۱۳۶۹ گیلان ـ زنجان که منجر به تخریب چندین شهر و تعداد زیادی روستا و از دست رفتن جان بیش از ۴۰ هزار تن از انسان ها گردید که به منزله زنگ خطری برای مسئولین، پژوهشگران و مردم کشور بود و توجه آنها را به پدیده زمین لرزه جلب کرد. در این راستا از طرف مراکز تحقیقاتی و دانشگاه ها مطالعات گسترده ای آغاز شده و گزارش های متعددی در زمینه ضد لرزه ای کردن ساختمان ها ارائه گردید. در بسیاری از مناطق کشور سعی شد که ساخت و ساز، مطابق با اصول و ضوابط فنی و مهندسی ساخته شود اما این که «این تلاش ها تا چه میزان مؤثر بوده و یا تا چه حدی نتایج پژوهش ها در مرحله اجرا عملی شده است؟» سؤالی است که درست ترین پاسخ به آن را رفتار لرزه ای ساختمان های احداث شده بعد از زلزله گیلان ـ زنجان جواب می دهد.

در منطقه زلزله قائنات انواع مختلفی ازساختمان های مسلح و بنایی غیرمسلح از طرف مراکز دولتی یا مردم ساخته شده و یا در ساخت آن این مراکز اعمال نظارت کرده اند. به دلایلی چون وجود گونه های متنوع از انواع سیستم های سازه ای، وقوع زلزله ای با شدت بالا و نوساز بودن واحدهای ساختمانی منطقه زلزله زده، علاوه بر فراهم کردن امکان ارزیابی رفتار این نوع سازه ها و تشریح علل آسیب پذیری آنها، گویای وضعیت ساخت و ساز و اجرا در کشور نیز می باشد. به امید آن که با پی بردن به نقاط ضعف موجود در صنعت ساختمان سازی کشور و برطرف کردن آنها با تلاش مسئولین، پژوهشگران و دست اندرکاران ساخت و ساز و آگاهی های عمومی مردم، به وضعیتی دست یابیم که وقوع زلزله به منزله وقوع یک فاجعه نباشد.

۲ ـ خصوصیات واحدهای بتن آرمه روستای اردکول

تعداد قابل توجهی واحدهای مسکونی بتن آرمه در روستاهایی در منطقه قائنات، از جمله روستای اردکول، از طرف سازمان های دولتی ساخته شده و تحویل مردم داده شده اند. این واحدها عموماً یک طبقه با زیربنای ۱۴۰ مترمربع و دارای نقشه تیپ و ستونهایی به ابعاد ۳۰ × ۳۰ سانتی متر و تیرهایی به ابعاد ۴۵×۳۰ سانتی متر هستند. برای مسلح کردن ستون ها از ۶ عدد آرماتور ساده $\phi 14$ یا $\phi 16$ استفاده شده است. برای تیرها آرماتورگذاری به صورت متغیر صورت گرفته است. سقف این واحدها از دال بتنی به ضخامت ۱۵cm تشکیل شده است. به علت آنکه سقف از نوع دال دو طرفه است، تیر فرعی وجود ندارد و همه تیرها، از نوع اصلی هستند که پلان مربوط به آن در شکل (۱) نشان داده شده است.

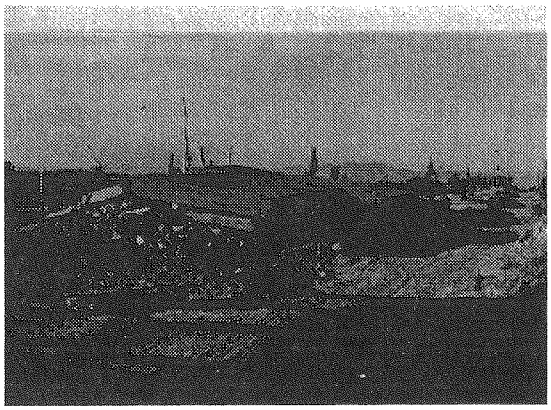


شکل (۱) پلان تیرها و محل ستون ها در واحدهای بتن آرمه اردکول

دیوارهای ۲۰cm که با آجر فشاری و ملات ماسه سیمان یا گل چیده شده اند، به عنوان دیوارهای پرکننده دهانه قاب های پیرامونی استفاده شده است. برای مهار این دیوارها به قاب، هیچ تمهیدی درنظر گرفته نشده است. با آن که از زمان ساخت این واحدها بیش از ۱۵ سال می گذرد، ولی اکثر آنها نیمه کاره بوده و فاقد نازک کاری و یا آسفالت و گاهی حتی بدون در و پنجره هستند. برای ایجاد جانپناه، ارتفاع تیرهای پیرامونی بتنی را از ۴۵cm به بیش از ۶۰cm افزایش داده اند. برای ایزوله کردن سقف در بعضی از ساختمان ها هیچ تمهید خاصی به کار نرفته و تنها در تعداد اندکی، آسفالت به کار رفته است. در اکثر واحدهای مسکونی بتن آرمه اردکول برای ایزوله کردن سقف بر روی دال بتنی از ملات گل استفاده شده است که گاهی ارتفاع این پوشش به ۴۵cm می رسد. همانطور که در محاسبات کمّی بند (۵) نشان داده شده، این پوشش گلی، بار زلزله وارد بر واحد مسکونی را تا ۲ برابر افزایش داده است.

۳ - بررسی کیفی رفتار واحدهای مسکونی بتن آرمه اردکول

روستای اردکول در کنار خط گسل و حدود ۵۰۰متر نسبت به گسیختگی های زمین فاصله دارد که بر اثر زلزله ۷/۱ ریشتر ۱۳۷۶ قائنات ۱۰۰٪ تخریب شده است. تعداد قابل توجهی از واحدهای این روستا از نوع واحدهای مورد اشاره در بند ۲ می باشد که همه آنها به کلی تخریب شده اند (شکل ۲). ویژگی کمّی رفتار [۱] این واحدها تحت زلزله مورد بحث به قرار زیر است:



شکل (۲) نمایی از روستای ۱۰۰ درصد تخریب شده اردکول

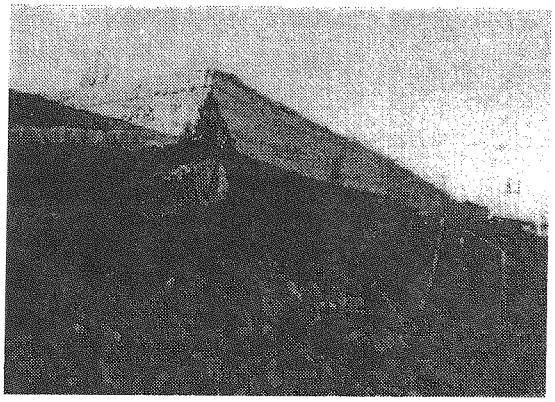
الف) تیرهای هیچ یک از واحدها بر اثر زلزله دچار آسیب نشده است. ترک ها با شکستگی های قابل مشاهده در تیر بعضی واحدها به دلیل فروافتادن بوده است و در واقع عامل شکست تیرها، بار زلزله نیست.

ب) تمامی اتصالات ستون ها به تیرها دچار شکست جدی شده است و پارامترهای اساسی در شکست و یا آسیب اتصالات، در رفتگی آرماتور از بتن، پریدگی بتن پوشش آرماتور و یا خرد شدن بتن بوده است.

پ) سقف همه واحدها به صورت کاملاً یکپارچه و صلب عمل کرده و بر اثر زلزله وارد شده هیچگونه آسیبی ندیده است.

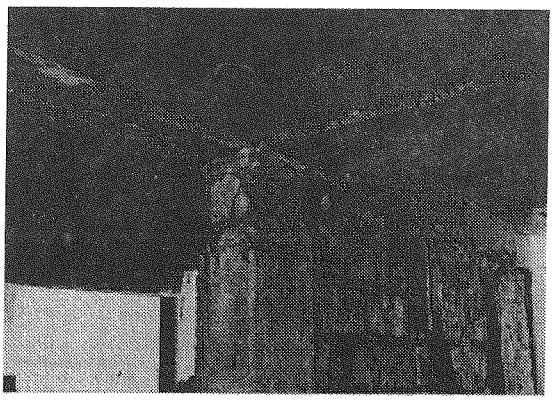
ت) ستون ها تحت بار زلزله دچار آسیب چندانی نشده اند و به نظر می رسد که شکسته شدن آنها به علت جابجایی قابل توجه سقف و افزایش تنشهای حاصل از اثر تغییر شکل های بزرگ بوده است. به عبارتی دیگر چنانچه قاب به صورت خمشی رفتار می کرد، ستون ها تحت بار زلزله دچار آسیبی نمی شدند.

ث) در اغلب واحدها، قاب های خمشی به سبب نقص اتصالات به صورت قاب ساده عمل کرده و به علت نبود مهار جانبی، سقف سنگین تغییر مکان قابل ملاحظه ای داشته است که این امر باعث بالا رفتن تنش ها در ستون ها شده و لذا با شکست ستون، سقف فروافتاده و سازه به صورت کامل تخریب شده است (شکل ۳).



شکل (۳) به سبب عدم عملکرد خمشی اتصال، سقف جابجایی قابل ملاحظه ای انجام داده و سبب شکست ستون ها شده است.

ج) اتصال های میانی به علت محصور شدن با تیرهای طرفین، برخلاف اتصال های پیرامونی، عملکرد مناسبی داشته و کاملاً خمشی رفتار کرده اند. به علت عدم عملکرد خمشی اتصال های کناری، در اتصال های میانی به میزان قابل ملاحظه ای خمش ایجاد شده است که این امر باعث بالا رفتن تنش از حد مجاز در این نقاط شده است. پدید آمدن تنش زیاد، تشکیل مفصل پلاستیک را درپی داشته است که چون سیستم قاب به جای ستون قوی ـ تیر ضعیف، از نوع ستون ضعیف ـ تیر قوی بوده، بنابراین مفصل های پلاستیک در ستون ها تشکیل شده است. با عدم عملکرد خمشی اتصال های کناری و تشکیل مفصل پلاستیک در ستون های مجاور اتصال های میانی، سازه پایداری استاتیکی خود را از دست داده و بنابراین فرو افتاده است (شکل ۴).



شکل (۴) به کارگیری سیستم ستون ضعیف ـ تیر قوی سبب تشکیل مفصل پلاستیک در ستون به جای تیر شده است.

چ) اتصال های مربوط به اتصال ستون به محل پی، به دلیل محصور شدن ستون در کف از چهار طرف، مشابه اتصال های میانی رفتار کرده اند. در این نوع اتصالات نیز به دلیل جابجایی زیاد سقف و مشابه موارد پیشین تنش ها به شدت افزایش یافته و با خرد شدن بتن در این محل ها، مفصل های پلاستیک تشکیل شده و سقف فرو افتاده است. مهمترین ضعف این نوع اتصالات زیاد بودن فاصله خاموت ها در انتهای ستون از حد مجاز است.

٤ ـ بررسی کمی نیروها و تنش های به وجود آمده در مقاطع بحرانی

برای بررسی کمی رفتار واحدهای ساختمانی مورد بحث از نرم افزارهای تحلیل و طراحی SAP 90 و SAPCON استفاده شده است. ترکیب بارگذاری پنج حالت را شامل می شود که حاصل بار ثقلی مرده و زنده و نیز بار زلزله در راستای طولی و عرضی به صورت رفت و برگشت است. بارگذاری ثقلی و بار زلزله یک بار در حالت نبود پوشش گلی در سقف و یک بار نیز در حالت وجود آن در نظر گرفته شده است.

الف) بارگذاری

دال بتنی $۰/۱۵ \times ۲۴۰ = ۳۶۰ Kg/m^2$

نازک کاری $۰/۰۳ \times ۱۶۰۰ = ۴۸ Kg/m^2$

شیب بندی $۰/۱ \times ۱۳۰۰ = ۱۳۰ Kg/m^2$

آسفالت $۰/۰۴ \times ۲۲۰۰ = ۸۸ Kg/m^2$

قیر و گونی $۱۵ Kg/m^2$

پوشش گلی $۰/۴۵ \times ۱۸۰۰ = ۸۱۰ Kg/m^2$

ـ مجموع بار مرده در حالت نبود پوشش گلی:

$DL = ۶۴۰ Kg/m^2$

ـ مجموع بار مرده در حالت وجود پوشش گلی:

$DL = ۱۲۲۰ Kg/m^2$

ـ بار زنده سقف: $LL = ۱۵۰ Kg/m^2$

ـ محاسبه وزن ساختمان

۳۲۴۷ = وزن مؤثر بار زنده

۳۷۵۹۸ Kg =وزن تیرها

۷۲۶۶Kg= نصف وزن ستون ها

نصف وزن ستون ها = ۷۲۶۶ Kg

وزن دال = ۳۸۹۶۶Kg

وزن پوشش گلی =۸۷۶۷۴Kg

وزن کل در حالت نبود پوشش گلی $W = ۸۷۰۷۷Kg$

وزن کل در حالت وجود پوشش گلی

$W = ۱۷۴۷۵۰kg$

- بار زلزله وارد بر ساختمان (براساس آیین نامه ۲۸۰۰ ایران)

$V = CW$

$C = \frac{ABI}{R} = 0/14$

$A = ۰/۳۵$ شتاب مبنای طرح

$B = ۲ \ (\frac{T_0}{T}) \ > ۲ \Rightarrow B = ۲$ ضریب بازتاب طرح

$I = ۱/۰$ ضریب اهمیت

$R = ۵$ ضریب رفتار

بار زلزله در حالت نبود پوشش گلی:

$V = CW = ۱۲۱۹۰Kg$

بار زلزله در حالت وجود پوشش گلی:

$V = CW = ۲۴۴۶۵ KG$

لازم به ذکر است که به دلیل عدم مهار دیوارها به قاب، در مقدار بار زلزله وارد بر سازه وزن دیوارهای طبقه زیرین بی تأثیر بوده و بنابراین اثر آنها اعمال نشده است.

ب) مقدار نیروها و نسبت تنش های بحرانی

با اعمال ۵ حالت بارگذاری و بررسی نیروهای پدید آمده در اعضا معلوم شد که بحرانی ترین عضوها، ستون های گوشه واقع در محل گره های 1, 5, 11 و 15 نشان داده شده در شکل (۱) هستند که با وارد شدن زلزله در راستای عرضی ساختمان، تنش حداکثر در آنها پدید می آید (براساس بازدید انجام شده ستون های گوشه از قسمت اتصال به کلی تخریب شده اند) و تخریب این واحدها بیشتر در راستای عرضی صورت گرفته است که با نتایج حاصل از تحلیل همخوانی دارد. نتایج حاصل از تحلیل در جدول ۱ خلاصه شده است.

بیشینه برش پدید آمده در ستون ها برابر $V_{max}=۱۹۵۹kg$ می باشد که در ستون های گوشه واقع بر گره های 16 , 21, 22 و 27 (شکل ۱) پدید آمده است. مقدار برش مجاز ستون ها به مراتب بیشتر از این مقدار است و بنابراین شکست آنها بر اثر برش نیست.

$V_{max}\ 1959\ kg < V_{all} = 0/85\ (0/53\sqrt{210} \times 35 \times 35 = 7997kg$

پ) ارزیابی مقاومت لرزه ای سازه

به علت زیاد بودن ابعاد مقطع نسبت به بار وارد شده بر سازه، همان طور که در جدول (۱) مشاهده می شود نسبت تنش ها بسیار پایین است. به عبارتی دیگر، مقدار تنش های پدید آمده حتی در بحرانی ترین مقاطع کمتر از تنش مجاز آن مقطع است. که بیانگر این واقعیت است که اعضای به کار رفته برای سازه به طور کلی قوی و دست بالاست. لازم به ذکر است که نسبت تنش در تیرها و اغلب ستونها به مراتب پایین است. در واقع محاسبات نشان می دهد تحت بار زلزله اعمالی، مقاطع عمومی ستون ها و نیز تمامی تیرها در حد ارتجاعی باقی می مانند و حتی در اغلب اعضا، بتن مقطع ترک برنمی دارد. زیرا:

$\sigma_T = \frac{M_{max}}{S} = 22.5\ kg/cm^2$

$f_t = 2\sqrt{f_c} = 26.5\ kg/cm^2$

به هر حال با وجود آنکه نسبت تنش های پدید آمده در حد خیلی پایینی قرار دارد، این واحدها به کلی دچار تخریب شده اند. روشن است که در این واحدها اعضای اصلی مثل ستونها، تیرها، پی و دال به صورت تکی، همه اعضای قوی بوده و برای بارهای وارد شده دست بالا اختیار شده اند. ولی بعضی از عوامل که در بند ۶ به آنها اشاره خواهد شد، باعث تخریب این واحدها شده است.

۵ - اشکالات و علل تخریب واحدهای ساختمانی بتن آرمه اردکول

واحدهای ساختمانی مورد بحث دارای اشکالات اساسی می باشند. اما به علت بالا بودن مقاطع، همه این پارامترها تعیین کننده نیستند. به عنوان مثال دست بالا گرفتن ابعاد مقاطع و استفاده از پوشش گلی سنگین

جدول (۱) نیروها و نسبت تنش‌های به وجود آماده در اعضای بحرانی

حالت بارگذاری	ترکیب بحرانی	بار محوری (kg)	ممان قوی (kg - m)	ممان ضعیف (kg - m)	نسبت تنش به ظرفیت
بدون وجود پوشش گلی	۱/۰۵DL + ۱/۲۷۵LL±۱/۴Ey	۴۶۱۹	۱۵۰۹	۳۹۱	۰/۳۴
وجود پوشش گلی	۱/۰۵DL + ۱/۲۷۵LL±۱/۴y	۶۹۸۰	۲۷۷۲	۵۹۲	۰/۶۷

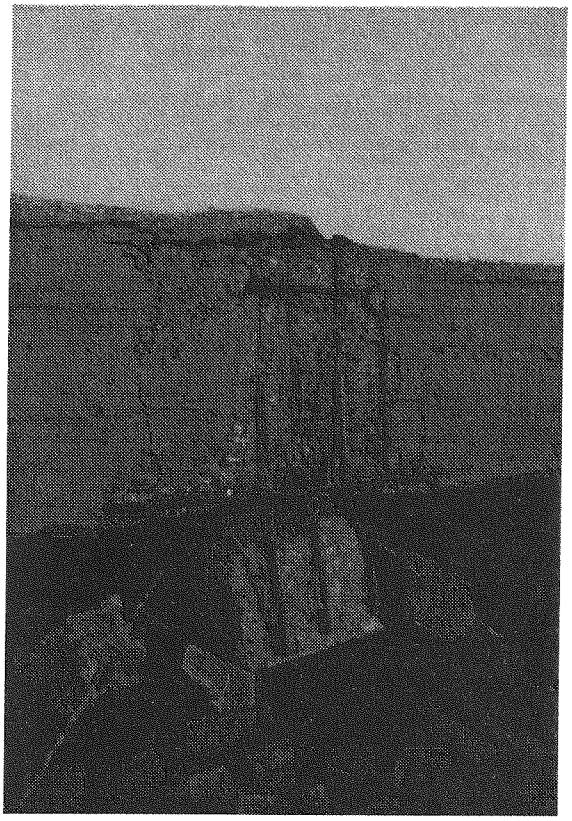
باعث افزایش بار ثقلی و بار زلزله شده است. ولی با این وجود نسبت تنش حداکثر از ۰/۳۴ به ۰/۶۴ افزایش یافته است. بنابراین اضافه بار حاصل از بالا بودن ابعاد مقاطع و استفاده از پوشش گلی سنگین عامل تخریب نیست. تخریب واحدهای فاقد پوشش گلی دلیلی بر این ادعا است. آنچه مسلم است عمده ضعف این واحدها در محل اتصال ستون‌ها به تیرها و رعایت نکردن اصول مربوط به آرماتورگذاری بوده است و به علت محصور نبودن ستون‌های کناری و گوشه از تمامی وجوه، این قسمت‌ها بیشترین سهم را در آسیب پذیری این واحدها سبب داشته‌اند. به طور کلی مهمترین عوامل مؤثر در آسیب پذیری این واحدها به قرار زیر است:

الف) برخوردار نبودن آرماتورها از طول مهاری لازم و نبود طول مهاری کافی برای آرماتورها در محل اتصال (شکل ۵):

آرماتور مورد کاربرد از نوع $\phi 16$ ساده است. طول مهاری لازم برای این سایز آرماتور براساس ضوابط ACI حداقل طول مهاری لازم برابر ۳۰cm است. طول مهاری برای آرماتور نوع آجدار است. چنانچه ضریب ۱/۵ برای طول به دست آمده اعمال شود حداقل طول مهاری لازم ۴۵cm خواهد بود. در واحدهای ساختمانی مورد بحث طول مهاری در بعضی موارد یا وجود ندارد و یا طول آن حتی از ۲۰cm تجاوز نمی‌کند.

ب) استفاده از خم ۹۰ درجه و ۱۸۰ درجه غیر استاندارد در محل اتصال

خم‌های به کار رفته به صورت کاملاً غیر استاندارد هستند. شعاع انحناء و طول آزاد، آنها بسیار ناچیز است. در بسیاری از واحدها نیز میلگردهای طولی ستون به صورت مستقیم بدون آنکه داخل تیر خم شوند در محل اتصال قطع شده‌اند (شکل ۵).



شکل (۵) برخوردار نبودن آرماتورها از طول مهاری لازم، پوشش بتنی کم، استفاده نکردن از خاموت در محل اتصالات، اساسی‌ترین عیوب واحدهای بتن آرمه اردکول به شمار می‌آیند.

پ) امتداد نیافتن خاموت های تیر در داخل اتصال؛

به هنگام وارد آمدن بار زلزله، تنش در محل اتصال افزایش یافته و با خرد شدن بتن و نبود خاموت در محل اتصال، تیر و ستون کاملاً از هم جدا شده‌اند.

ت) استفاده از آرماتور ساده و نبود چسبندگی لازم بین آرماتور بتن در محل اتصال؛

امروزه اغلب آیین نامه های طراحی استفاده از آرماتور ساده را برای مسلح کردن اعضای بتنی رد می کنند [۲]. در این واحد استفاده از آرماتور ساده و نبود پوشش بتنی لازم، سبب دررفتگی آرماتورها شده است (شکل ۵).

ث) وجود پوشش ناچیز بتن برای آرماتورهای طولی، به ویژه در محل اتصال؛

به علت پوشش کم بتن برای آرماتورها، در اثر کمترین فشار بتن روی آرماتور پریده و این امر به دررفتگی آرماتور ساده کمک کرده است.

ج) نبود پیوستگی لازم بین بتن ستون و تیر در محل اتصال به علت اجرای غیر اصولی

با وجود این که آرماتورها از طول مهاری برخوردار هستند، ولی این عامل چندان تعیین کننده نیست. اما چنانچه آرماتور طول مهاری کافی نداشته باشد، با آزاد شدن آرماتور طولی و نبود اتصال بین بتن تیر و ستون، اتصال خمشی به یک اتصال غلتکی تبدیل خواهد شد.

چ) استفاده از سیستم سازه ای تیر قوی و ستون ضعیف

این عامل باعث تشکیل شدن مفصل های پلاستیک در ستون به جای تیر شده است (شکل ۴). در واقع اتصال های کناری بدون ان که به حد پلاستیک برسند، تخریب شده اند و اتصال های میانی نیز با وجود عملکرد مطلوب به دلیل ضعف ستون نسبت به تیر باعث پدید آمدن مفصل پلاستیک در ستون شده و در عمل قاب فضایی را از حالت خمشی به حالت ساده تبدیل کرده اند.

ح) انتخاب مقاطع با ابعاد بزرگ و پوشش سقف سنگین

همان طور که در بند ۷ اشاره شده است، برای این واحدها ستون و تیر به ترتیب با ابعاد ۲۵×۲۵ و ۳۰×۲۵ سانتیمتر جوابگوست و لذا استفاده از مقاطع ۳۵×۳۵ و ۴۵×۳۵ بسیار دست بالاست. از سوی دیگر به جای پوشش سقف ۴۵cm گلی، آسفالت به ضخامت کمتر از ۱۰cm قابل جایگزینی است. این عوامل باعث افزایش بار ثقلی و بار زلزله شده است.

خ) نزدیک بودن واحدهای مسکونی به خط گسل

روستای اردکول در فاصله کمتر از ۵۰۰ متری نسبت به خط گسیختگی زمین واقع شده است. این عامل یکی از پارامترهای تعیین کننده در تخریب شدید واحدهای ساختمانی معیوب این روستاها بوده است.

د) زیاد بودن فاصله بین خاموت ها به خصوص در دو انتهای اعضا

برای بالا بردن شکل پذیری قاب بتنی در دو انتهای ستون ها و به ویژه در محل اتصالات باید خاموت هایی با فواصل کمتر قرار داده شوند که در واحدهای بتن آرمه اردکول به این مورد توجهی نشده است.

۶ـ ابعاد و مقاطع مورد نیاز برای واحدهای ساختمانی اردکول

باتوجه به پلان واحدهای ساختمانی و مدل کردن و سپس بارگذاری آنها برای بارهای مرده، زنده و زلزله معلوم شد که با انتخاب ابعاد ستون ها برابر با ۲۵ × ۲۵ سانتیمتر و ابعاد تیرها برابر ۳۰ × ۲۵ سانتیمتر و استفاده از ۴ آرماتور $\phi 12$ در چهار گوشه ستون، ماکزیمم نسبت تنش به وجود آمده به ۰/۹۸ می رسد. بنابراین ستون های ۳۵×۳۵ و تیرهای ۴۵×۳۵ به ترتیب با ستون های ۲۵×۲۵ و ۳۰× ۲۵ قابل جایگزینی هستند.

۷ـ نتیجه گیری

الف) با آن که روستای اردکول در مجاورت خط گسل بوده و شدت زلزله در این قسمت بالا بوده است، اما تخریب واحدهای بتن مسلح این روستا به سبب شدت بالای زلزله نبوده است. عامل اصلی به سبب طراحی و اجرای غلط این واحدها بوده است. رعایت نکردن اصول و ضوابط مربوط به آرماتورگذاری و عدم به کارگیری خاموت در محل اتصالات و در انتهای ستون ها، آسیب پذیری واحدها را به شدت افزایش داده است.

ب) عملکرد اعضای اصلی هر چند قوی، مثل ستون، تیر، پی وسقف در گرو عملکرد قسمت های فرعی مثل اتصالات و یا دیوارها می باشد.

پ) با توجه به مطالب اشاره شده، با صرفه جویی در مقدار بتن مصرفی و آرماتور طولی و به جای آن استفاده از آرماتورهای آجدار و خاموت به فواصل کم و رعایت ضوابط اصولی مربوط به آرماتورگذاری و خم کردن آنها، واحدهای ساختمانی بتن ارمه اردکول می توانستند امروز پابرجا باشند.

تقدیر و سپاسگزاری

این تحقیق از حمایت کمیته ملی کاهش اثرات بلایای طبیعی وزارت کشور و همکاری بنیاد مسکن انقلاب اسلامی شهرستان قائن برخوردار بوده که بدین وسیله قدردانی و سپاسگزاری می شود.

مراجع

[۱] شکیب، حمزه، و بیات، حسین؛ «ارزیابی رفتار سازه های منطقه زلزله زده قائنات»؛ چ ۱، تهران: مرکز مطالعات مقابله با سوانح طبیعی ایران، تابستان ۱۳۷۶.

[۲] طاحونی، شاپورگ؛ «طراحی سازه های بتن مسلح» ج ۱، چ ۷، تهران: انتشارات دهخدا، زمستان ۱۳۷۴.

[۳] «آیین نامه طرح ساختمان ها در برابر زلزله (۲۸۰۰)»، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، بهمن ۱۳۶۶

[4] Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-83).