تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۹

DOI: 10.48303/bese.2024.2016044.1144

نوع مقاله: یادداشت فنی

بررسی ساختمان‌های تخریب شده و آسیب‌دیده زلزله زنده‌جان؛ مطالعه موردی: روستاهای زلزله‌زده ولسوالی زنده‌جان ولایت هرات- پاییز ۱۴۰۲

نظام‌الدین تیموری (نویسنده مسئول)
رئیس دانشکده مهندسی دانشگاه جامی، هرات، افغانستان،
n.timory@jami.edu.af

الف شاه احسان
مدیر گروه بخش عمران دانشکده مهندسی دانشگاه جامی، هرات، افغانستان

چکیده

بروز زلزله‌های اخیر ولسوالی زنده‌جان ولایت هرات در پاییز ۱۴۰۲ باعث تلفات بیش از ۲۰۰۰ نفر انجامید و بیشتر خانه‌ها و ساختمان‌ها در روستاهای فوق تخریب و ویران شدند. آنچه در این فاجعه از دید فنی قابل توجه است ساخت‌وساز به شیوه سنتی و نامناسب، شکل‌گیری ساختمان‌هایی با اسکلت فلزی، بتنی و دیوار باربر بدون طراحی در مقابل نیروی زلزله است. در مناطق فوق، ساختمان‌ها به چهار دسته تقسیم‌بندی می‌شود. خانه‌های با ساخت و سازه سنتی (گلی)، ساختمان‌های بنایی، ساختمان‌های بتنی و سازه‌های فلزی. خانه‌های گلی به خاطر عدم استحکام در مقابل نیروی زلزله بیشتر از ۹۵ درصد تخریب گردیده که بیشترین تلفات را از خود به‌جای گذاشته‌اند. ساختمان‌های بنایی در رده دوم قرار گرفته که بیشترین آسیب را بعد از خانه‌های گلی از خود به‌جا گذاشته‌اند ولی سقف‌های کمتری بر سر ساکنان فرود آمده است. در روستاهای فوق نیز ساختمان‌های بتنی و سازه‌های فلزی به چشم می‌خورد که بعضی از این سازه‌ها آسیب جدی دیده و تعدادی بدون آسیب پایداری‌شان را حفظ نموده‌اند. اینکه در این زلزله کمتر ساختمانی بدون آسیب باقی مانده است، بدون تردید نقص در برنامه‌ریزی، طراحی، محاسبات اجرا و نظارت هر یک به‌نوبه خود می‌توانند در این حادثه بزرگ نقش داشته باشند.

واژگان کلیدی: تخریب، آسیب‌دیده، زلزله، زنده‌جان، سازه.

۱- مقدمه

در میان سوانح طبیعی گوناگونی که در سطح کره خاکی ما روی می‌دهد، بدون تردید حرکت‌های ناشی از زلزله بیشترین تأثیر تخریبی بر مناطق را از خود برجای می‌گذارد. آیا زمین‌لرزه را می‌توان پیش‌بینی کرد؟ به نظر می‌رسد که از نتایج کم‌وبیش تجربی ناشی از مشاهدات گوناگون در زمینه‌های مختلف تنها به پاسخ‌های مقطعی و غیر مقطعی دست یافته‌ایم. تنها مسئله قطعی آن است که متأسفانه زلزله به غافلگیر کردن انسان ادامه خواهد داد. آنچه با قطعیت کامل می‌توان پیش‌بینی کرد آن است که هرقدر از زمان آخرین زمین‌لرزه دور می‌شویم به زمین‌لرزه بعدی نزدیک‌تر هستیم. در مقابل این خطر و عدم امکان پیش‌بینی آن، تنها پیشگیری قابل قبول احداث ساختمان مقاوم در برابر زلزله است.

پدیده‌های زلزله هنوز به‌طور کامل شناخته شده نیستند و زمین‌لرزه‌های بزرگ اتفاق افتاده در یک منطقه نیز قدیمی‌تر از آن هستند که حافظه جمعی شهری به یاد بیاورد. به همین دلیل نیز جوامع مورد تهدید- به‌ویژه کشورهای در حال توسعه و توسعه نیافته - در برابر این خطر اجتماعی و اقتصادی بزرگ پناهی نیافته‌اند. اغلب ساکنین مناطق دارای خطر تنها با شنیده‌ها و نه با تجربه شخصی و مستقیم در جریان وقوع آخرین زلزله قرار دارند؛ و حتی اگر چنین نیز باشد و زنگ خطر شنیده شده باشد به نظر می‌رسد که برای واداشتن به واکنش لازم انگیزه‌ای کافی نیست.

در روند شکل‌گیری ساختمان‌های ساخته شده و در حال ساخت آسیب‌شناسی به‌نوبه خود از اهمیت بسزایی برخوردار است. با توجه به اهمیت ویژه مرحله اجرا و آسیب‌های بسیاری که بر اثر اشتباه‌ها و بی‌توجهی‌ها و... بر ساختمان وارد می‌شود،

در این بررسی با مورد توجه قرار دادن عناصر سازه‌ای ساختمان از جمله دیوارها، سقف‌ها و اسکلت ساختمان، به بخشی از این صورت از آسیب‌شناسی ساختمان می‌پردازیم.

بخش‌هایی که در این تحقیق مورد بررسی و آسیب‌شناسی قرار گرفته‌اند عبارتند از سقف‌های خانه‌های گلی، خانه‌های با طاق ضربی، ساختمان‌های بتنی و فلزی و همچنین دیوارها که هرکدام به‌صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته و دلایل آسیب و عدم آسیب بیان گردیده است.

۲- بررسی سقف‌های

سقف یکی از اصلی‌ترین بخش‌های هر ساختمان است که اجرای صحیح آن مطابق با نقشه‌های اجرایی ساختمان؛ نه‌تنها تضمین کننده استحکام سازه است بلکه می‌تواند آسایش ساکنین را نیز به همراه داشته باشد.

سقف‌ها می‌تواند نقش مهمی در جلوگیری از خسارت‌های ناشی از زمین‌لرزه داشته باشند. در زلزله‌های اخیر ولسوالی زنده‌جان ولایت هرات فروریختن سقف‌ها به خاطر عدم طراحی در مقابله زلزله بسیار بالا بود که تلفات جانی و خسارات مالی زیادی را به‌جا گذشته است.

۲-۱- سقف‌های گلی

در بررسی آسیب‌های وارده ناشی از عملکرد سقف بر ساختمان‌های خسارت‌دیده از زلزله زنده‌جان ولایت هرات، ساختمان‌های سنتی ساخته شده از خشت و گل «با پلان مربع» و یا نیم‌استوانه «با پلان مستطیل» بدون هرگونه عنصر متصل کششی یا مهاری روی دیوار قرار گرفته بودند (شکل‌های ۱ و ۲). عدم انسجام و یکپارچگی سقف، عدم وجود تکیه‌گاه‌هایی مطمئن برای سقف، مصالح سنگین با مقاومت نسبی بسیار کم «عدم مقاومت در کشش اعمال شده» موجب شده‌اند که با توجه به بزرگی زیاد زلزله، این‌گونه خانه‌ها با تعداد بسیار زیاد تخریب گسترده و فراگیر داشته باشد که متأسفانه ۹۵ درصد تلفات از فرو ریختن سقف خانه‌های گلی ثبت گردیده است (Gernot, 2001).

شکل (۱): تخریب خانه گلی در روستای سربلند ولسوالی زنده‌جان.

شکل (۲): تخریب خانه گلی در روستای کجکال ولسوالی زنده‌جان.

۲-۲- سقف‌های طاق ضربی

آسیب‌های ناشی از تنش‌های اعمال شده در زلزله در این سقف‌ها از بروز چند ترک تا فروریختن کامل آن متغیر و متفاوت است. در ناهنجاری‌های به وجود آمده و خسارت‌هایی وارد شده نقش اجرا نامناسب و عدم توجه به آیین‌نامه‌ها و اصول اولیه ساخت این‌گونه سقف‌ها بسیار چشمگیر است.

خانه‌های موجود با سقف طاق ضربی ساخته شده است که به

هیچ‌یک از توصیه‌های آیین‌نامه‌ها مربوط به زلزله کوچک‌ترین توجهی نشده است. ساختمان‌هایی که نه دارای مهاربندی‌های ضربدری در سطح سقف، نه دارای تکیه‌گاه‌های مناسب برای تیرها در دهانه آخر و نه دارای کلاف‌بندی افقی در زیر سقف هستند. بدین‌ترتیب است که در تمام مناطق زلزله‌زده مواجه شدن با هرگونه ناهنجاری و آسیب در این سقف‌ها دور از انتظار نبود. عدم استفاده از پاطاق و یا پاطاق ضعیف و عدم مهاربندی در دهانه آخر طاق‌های ضربی موجب اعمال رانش سقف در این دهانه‌ها و فروریختن آن شده است (شکل‌های ۳ و ۴).

شکل (۳): تخریب خانه با پوشش طاق ضربی در روستای وردک‌ها ولسوالی زنده‌جان.

شکل (۴): تخریب خانه با پوشش طاق ضربی در روستای وردک‌ها ولسوالی زنده‌جان.

عدم وجود کلاف افقی به‌عنوان تکیه‌گاه تیرهای طاق ضربی، عدم مهار تیر در تکیه‌گاه و تمرکز تنش در محل استقرار روی دیوار در برخی نقاط موجب حرکت نسبی اجزای سقف نسبت به یکدیگر و در نتیجه باعث آسیب یا تخریب کامل آن شده است. در خانه‌های با طاق ضربی خسارت نظر به سقف‌های گلی بسیار کم بوده و فقط به تعداد بسیار کمی فروریخته است که تلفات ناشی از سقف‌های طاق ضربی بسیار اندک بوده است (Rashidi & Mehrabadi, 2007).

۳- اسکلت ساختمان

۳-۱- سازه‌های فلزی

در روستاهای مورد مطالعه به‌علاوه خانه‌های قدیمی (کاه‌گلی)، خانه‌های با طاق ضربی و دیوارهای باربر و نیز سازه‌های اسکلت فلزی (ذخایر هوایی آب) و بتنی به چشم می‌خورد. آنچه در اینجا قابل توجه است مقاومت بهتر سازه‌های فلزی (ذخایر آب) نسبت به ساختمان‌های بتنی، خانه‌های گلی و خانه‌های طاق ضربی است. گرچه سازه‌های اسکلت فلزی بسیار اندک و فقط در هر روستا یکی بنا شده است ولی این تعداد کم پایداری خوبی از خود نشان داده‌اند. بعد از سازه‌های فلزی ساختمان‌های بتنی مقاومت نسبتاً بیشتری از خود نشان داده و با وجود آسیب‌های وارده بر ساختمان، سقف بر سر ساکنان فرود نیامده و باعث حفظ جان انسان‌ها شده است.

۳-۱-۱- دلایل پایداری سازه‌های فلزی (ذخایر هوایی آب)

شکل‌های (۵) و (۶) دو سازه فلزی ذخایر هوایی آب در دو روستای زنده جان را نشان می دهد. دلایل پایداری سازه های فلزی (ذخایر هوایی آب در ذیل آمده است.

- عملکرد خوب بادبندهای ضربدری داخل قاب و عدم رها شدن ورق اتصال بادبند از محل جوش (شکل‌های ۷ و ۸). بادبندها در سازه‌های فلزی در مقابل نیروی افقی یا جانبی مانند زلزله عمل می‌کنندکه در اینجا تأثیر بادبندها در مقابل نیروی زلزله به خوبی مشاهده می‌شود که باعث پایداری سازه شده است (Buckle, 2000)؛

شکل (۵): سازه فلزی در روستای نایب رفیع ولسوالی زنده‌جان.

شکل (۷): سازه فلزی در روستای وردک‌ها ولسوالی زنده‌جان.

شکل (۶): سازه فلزی در روستای وردک‌ها ولسوالی زنده‌جان.

شکل (۸): موجودیت بادبندهای ضربدری در سازه فلزی.

- اتصال ستون به فونداسیون و عدم جدا شدن از فونداسیون در حین نیروی لرزه‌ای (شکل‌های ۹ و ۱۰)؛
- مقاومت ستون فلزی در برابر نیروی برشی اعمال شده؛
- مقاومت کافی اتصال تیر به ستون و رها نشدن از محل جوش؛
- طراحی فونداسیون در مقابل نیروهای عمودی و افقی؛
- داشتن آب در داخل مخزن و عملکرد آب برخلاف نیروی جانبی که باعث خنثی کردن نیروی زلزله شده است (ASCE/SEI 7-16).

۳-۲- سازه‌های بتنی

علاوه بر سازه‌های فلزی تعداد اندکی ساختمان‌های بتنی نیز به چشم می‌خورد که بعضی از مساجد و درمانگاه‌ها را شامل می‌شد. ساختمان‌های بتنی به‌صورت جدی آسیب‌دیده ولی با وجود آسیب‌های بسیار جدی بازهم پایداری خود را حفظ نموده و سقف بر روی ساکنان فرو نیامده است. در اینجا علت آسیب‌های وارده بر ساختمان‌های بتنی را مورد بررسی قرار می‌دهیم (شکل‌های ۱۱ و ۱۲).

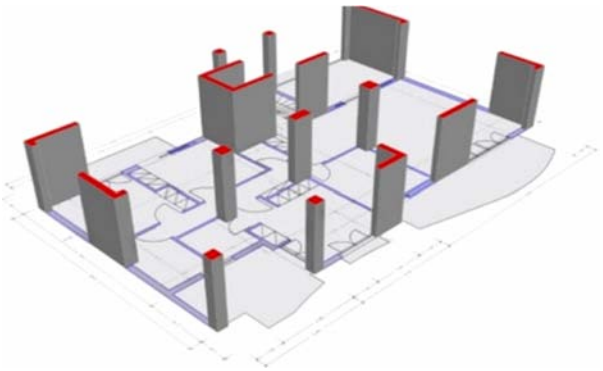
شکل (۹): اتصال ستون به فونداسیون در سازه فلزی.

شکل (۱۲): آسیب شدید ستون ساختمان بتنی در روستای وردک‌ها.

شکل (۱۰): اتصال ستون به فونداسیون در سازه فلزی.

- **عدم طراحی سازه‌های مذکور در برابر نیروهای افقی مانند زلزله برخلاف سازه‌های فلزی:** هیچ‌کدام از سازه‌های فوق در مقابل نیروی‌های افقی طراحی نشده بودند. معمولاً در سازه‌های بتنی در مقابل بارهای جانبی از دیوار برشی استفاده می‌شود (شکل ۱۳) که همه سازه‌های بتنی فوق بدون دیوار برشی طراحی شده بودند. از سوی دیگر ستون‌ها نیز دارای ابعاد مناسب جهت برداشت نیروی افقی طراحی نشده بودند و مقاومتی کافی از خود در برابر زلزله نشان نداده‌اند (Foroughi, 2017).

شکل (۱۱): آسیب شدید ساختمان بتنی در روستای کشکگ.



شکل (۱۳): نمونه از دیوارهای برشی در ساختمان بتنی.

- **کیفیت بتن:** موارد متعدد تخریب و ناهنجاری‌ها در نقاط مختلف کلاف نشان‌گر کیفیت نامطلوب بتن است. مصالح نامرغوب، دانه‌بندی نامناسب، مقدار کم سیمان، میزان

زیاد آب و ویبره نشدن و در نتیجه تخلخل و پوکی بتن، از جمله عوامل مؤثر در ایجاد این ناهنجاری‌ها هستند (ACI CODE-318-19, 2022) (شکل‌های ۱۴ و ۱۵).

- **آرماتوربندی:** علاوه بر نوع آرماتور باید به چگونگی اجرا و میزان آرماتورها در داخل سازه بتنی اشاره کرد. در بسیاری از موارد عدم دقت در اجرا و صرفه‌جویی در مصرف میلگردها، موجب بروز ناهنجاری‌های بسیاری شده‌اند که به برخی از این عوامل به شرح زیر می‌توان اشاره کرد.

شکل (۱۴): نمونه از کیفیت بتن یک مدرسه در روستای سیا آب.

شکل (۱۵): نمونه از کیفیت بتن یک مدرسه در روستای سیا آب.

- **فاصله بیش از اندازه مجاز میان خاموت‌ها:** خاموت‌ها وظیفه افزایش استحکام میلگردها را دارند. در ستون‌ها با استفاده از خاموت مقاومت ستون افزایش پیدا می‌کند. از دیگر کاربردهای خاموت می‌توان به جلوگیری از خم شدن میلگرد در برابر نیروهای برشی اشاره کرد؛ خاموت با طول میلگردهای اصلی باعث افزایش مقاومت آنها می‌شود. در طراحی ستون‌ها فاصله خاموت‌ها نباید بیش از اندازه باشد که در ساختمان‌های بتنی مناطق مورد مطالعه فاصله میان خاموت‌ها بیش از اندازه بوده که باعث تخریب ستون شده است (Shahmohammadi, 2004) (شکل‌های ۱۶ تا ۱۸).

شکل (۱۶): خاموت عرضی.

شکل (۱۷): عدم رعایت فاصله خاموت‌های ستون در ساحه زلزله‌زده.

شکل (۱۸): عدم رعایت فاصله خاموت‌های در ستون در ساحه مورد مطالعه.

- **عدم تناسب بین قطر آرماتورها و قطر خاموت‌ها در بعضی ستون‌ها و تیرها:** نظر به آیین‌نامه هرقدر که قطر میلگرد در داخل ستون و تیر افزایش پیدا کند باید قطر خاموت‌ها هم افزایش پیدا کند. این تناسب بین قطر خاموت‌ها و میلگردها موجود نبوده است.
- **نداشتن قلاب ۹۰ درجه میلگردهای سراسری تیر داخل ستون‌های انتهایی (شکل‌های ۱۹ و ۲۰):** در خصوص چشمه اتصال در ستون‌های پیرامونی ساختمان‌های بتنی مسئله نداشتن قلاب ۹۰ درجه میلگردهای سراسری تیر داخل ستون‌های انتهایی مشاهده می‌شود. عدم تأمین خم انتهایی لازم برای میلگردهای طولی تیرها باعث کاهش مقاومت خمشی در بر تکیه‌گاه‌ها می‌شود. همان‌طور که میدانیم بیشترین تلاش‌ها (لنگر خمشی و نیروی برشی) در بر تکیه‌گاه‌ها اتفاق افتاده و عدم تأمین طول مهاری با خم انتهایی، باعث عدم عملکرد مناسب میلگردهای طولی خمشی در تحمل لنگرهای وارده می‌شود. در نتیجه امکان خرابی در این ناحیه قبل از رسیدن به حداکثر مقاومت خمشی تیر وجود دارد. در خصوص این موضوع اشکالات اجرای زیادی به چشم می‌خورد (ACI CODE-318-19, 2022).

شکل (۱۹): نداشتن قلاب ۹۰ درجه.

شکل (۲۰): نداشتن قلاب ۹۰ درجه میلگردهای تیر داخل ستون.

- **رد کردن بعضی میلگردهای سراسری تیر خارج از میلگردهای ستون (شکل‌های ۲۱ و ۲۲):** رد کردن میلگردهای سراسری تیرها خارج از میلگردهای ستون‌ها اشکال اجرایی متداولی است که در ساختمان‌های بتنی مشاهده شده است. در این حالت، این میلگردهای طولی که در خارج از هسته ستون بوده و تنها توسط بتن پوششی که هیچ‌گونه عملکرد سازه‌ای ندارد، مهار می‌شود. در صورت ریختن بتن پوششی حین وقوع زلزله، این میلگردها هیچ‌گونه عملکرد سازه‌ای نخواهند داشت و علاوه بر رفتار نامناسب تیر، نیروهای وارد بر تیر به‌خوبی

به ستون منتقل نخواهد شد که چنین اشکال اجرایی در سازه‌های بتنی به چشم می‌خورد (Iglesias, 1986).

- **شکست اتصال تیر- ستون در سازه بتنی به خاطر نبود خاموت (شکل‌های ۲۳ و ۲۴):** در بررسی‌های صورت گرفته مشاهده می‌شود که به علت کمبود خاموت‌ها عرضی در چشمه اتصال شاهد شکست برشی و بیرون زدن قلاب انتهایی میلگردهای تیر هستیم.

شکل (۲۱): رد کردن میلگردهای سراسری تیر از میلگردهای ستون.

شکل (۲۲): رد کردن میلگردهای سراسری تیر از میلگردهای ستون.

شکل (۲۳): شکست اتصال تیر- ستون به خاطر نبود خاموت‌ها در قسمت چشمه اتصال.

شکل (۲۴): نمونه از شکست فوق در ساختمان بتنی روستای کشکک.

۴- دیوارها

در تحقیق انجام شده از روستاهای آسیب‌دیده ولسوالی زنده‌جان ولایت هرات تمام دیوارهای گلی و پخته و دلایل تخریب و آسیب آنها مورد ارزیابی قرار گرفت. دیوارهای موجود به دیوارهای محوطه، دیوارهای درون‌قابی و دیوارهای

باربر تقسیم گردیده که هر یک به‌نوبهٔ خود، به دلیل مشکلات ناشی از اجرای نامناسب و مقابله با نیروهای وارده ناشی از زلزله، متحمل خسارت‌های شدیدی شده‌اند که برخی از موارد قابل ترمیم ولی بیشتر آنها نیاز به تخریب داشتند.

دیوارها را می‌توان به سه دسته تقسیم‌بندی نمود:

- **دیوارهای محوطه:** اغلب دیوارهای محوطه با ارتفاع‌های کم، متوسط و یا زیاد بدون توجه به آیین‌نامه‌ها و بدون هیچ‌گونه تمهید ویژه‌ای جهت انتقال نیروهای جانبی (مانند پشت‌بندها) نسبت مناسب ضخامت به ارتفاع و یا هرگونه کلاف‌بندی ساخته شده‌اند. فروریختن دیوارها از پایه آن که ناشی از ریشه‌دار نبودن دیوار در زمین است و یا واژگونی دیوار از روی سنگ ازاره ناشی از عدم وجود هرگونه اتصال میان دو قسمت بالایی و پایین دیوار است که از شایع‌ترین اشکال آسیب‌های وارده بر این‌گونه دیوارها است (Code No, 2800).
- **دیوارهای درون‌قابی:** در این‌گونه از دیوارهای درون‌قاب‌ها - قاب فلزی یا بتنی- که دیوارهای غیر باربر پرکننده یا جداکننده هستند به موارد متعددی از آسیب می‌توان اشاره کرد که در مجموع ناشی از عدم هماهنگی میان واکنش دیوار و قاب در برابر کنش‌های ناشی از زلزله است. عدم اتصال و مهار مناسب دیوار به ستون - و بادبند - موجب استقلال دیوار از سایر عناصر ساختمان شده است و با توجه به چگونگی حرکت مجموعه ساختمان آسیب‌های وارده از بروز ترک‌های قطری در دیوار تا تخریب و واژگونی کامل آن متفاوت است (Code No, 2800).
- **دیوارهای باربر:** در این دیوارها عدم توجه به توصیه‌های آیین‌نامه در مورد قرار گرفتن درزهای قائم آجرها در امتداد یکدیگر، داشتن قفل بست -هشت‌گیر- و پر شدن درزهای قایم ملات موجب شده است که دیوارها در همین امتداد و محل دچار آسیب شوند.

از دلایل تخریب و آسیب دیوارها می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

الف) فقدان کلاف قائم در دیوارهای طویل (شکل‌های ۲۵ و ۲۶) .

ب) عدم کلاف افقی دیوار با شناژ افقی (شکل‌های ۲۷ و ۲۸).

شکل (۲۵): کلاف قایم در دیوارهای محوطه.

شکل (۲۶): تخریب دیوار محوطه به خاطر عدم کلاف‌بندی درست در امتداد دیوار.

شکل (۲۷): عدم کلاف‌بندی دیوار با شناژ افقی.

شکل (۲۹): تخریب دیوار از قسمت بازشو.

شکل (۲۸): عدم کلاف‌بندی دیوار با شناژ افقی.

شکل (۳۰): آسیب دیوار از قسمت بازشو.

پ) ایجاد بازشوهای با ابعاد متفاوت در دیوارها (شکل‌های ۲۹ و ۳۰). به‌منظور مقاوم‌سازی دیوارهای دارای بازشو نخست باید به آیین‌نامه‌های طراحی بازشوها و مقاوم‌سازی فضای اطراف آنها مراجعه کرد. در دیوارهای بررسی شده متأسفانه عدم توجه به آیین‌نامه‌های طراحی، باعث شده است که بیشتر دیوارها از قسمت بازشوها آسیب ببینند.

ت) فاصله ناکافی بین بازشوی در و پنجره (شکل‌های ۳۱ و ۳۲).

ث) زیاد بودن عرض پنجره نسبت به ارتفاع (شکل‌های ۳۳ و ۳۴). علت دیگر آسیب در دیوارها زیاد بودن عرض پنجره‌ها نسبت به طول آنهاست. در شهر هرات نیز بیشتر دیوارها به خاطر عدم طراحی بازشوها آسیب‌دیده‌اند.

شکل (۳۱): فاصله ناکافی بین بازشو در و پنجره.

شکل (۳۳): شکست از قسمت بازشو.

شکل (۳۲): عدم رعایت فاصله بازشو در و پنجره.

شکل (۳۴): شکست از قسمت بازشو.

عدم اتصال و مهار مناسب دیوار به ستون و بادبند موجب استقلال دیوار از سایر عناصر ساختمان شده و با توجه به چگونگی حرکت مجموعه ساختمان، آسیب‌های وارده از بروز ترک‌های قطری در دیوارهای درون‌قابی تا تخریب و واژگونی کامل آن متفاوت است (شکل‌های ۳۵ و ۳۶).

ج) کیفیت بسیار پایین ملات وکافی نبودن ملات به داخل درزهای دیوار

چ) وجود سقف بسیار سنگین بروی دیوار

ح) عدم اتصال مناسب دیوارها به یکدیگر

خ) جدا شدن آجر از ملات، بدون آنکه اثری از ملات بروی

آن باقی بماند که نشان از ضعف ملات و زنجابی نشدن آجرها در زمان اجرا دارد.

د) تناسب نداشتن سطح بازشوها نسبت به کل سطح دیوار (Iranian code of practice for seismic resistant design of building. Standard no 2800)

شکل (۳۵): آسیب‌های وارده بر دیوارهای درون‌قابی ساحه زلزله‌زده.

شکل (۳۶): آسیب‌های وارده بر دیوارهای درون قابی ساحه زلزله‌زده.

۵- نتیجه‌گیری

در بررسی‌های صورت گرفته از تحقیق فوق نتایج زیر به دست آمده است:

- در مناطق مورد مطالعه، تمام سازه‌ها (که به چهار دسته خانه‌های گلی، طاق ضربی، سازه‌های بتنی و فلزی تقسیم شده‌اند) به‌جز سازه‌های فلزی تمام سازه‌های دیگر یا تخریب شده‌اند یا شدیداً آسیب دیده‌اند.
- بالای ۹۷ درصد از تلفات زلزله اخیر در روستاهای ولسوالی زنده‌جان بر اثر فروریختن سقف خانه‌های گلی ثبت شده است.
- به‌جز سازه‌های فلزی تمام سازه‌های دیگر در برابر نیروی افقی طراحی نگردیده است و عدم طراحی در مقابل بارهای جانبی طبق آیین‌نامه‌های مهندسی باعث تخریب و یا آسیب ساختمان‌ها شده است.
- عدم نظارت و ارزیابی بر طبق آیین‌نامه‌های مهندسی باعث شده است که از مواد بی‌کیفیت در قسمت ساخت و سازه ساختمان‌های آسیب‌دیده استفاده شود.
- عدم وجود نیروی انسانی کارآمد در قسمت ساخت سازه ساختمان‌ها.
- اهمیت و نقش کلاف‌بندی در پایداری سیستم‌های مقاوم در برابر زلزله به‌ویژه در ساختمان‌های بنایی و غیرمسلح، قابل انکار نیست. در ساختمان‌های مورد مطالعه توجه بسیار کمی به کلاف‌بندی به‌خصوص به ساختمان‌های طاق ضربی و گلی صورت گرفته بود و همین مورد باعث شده بود به زلزله اول تمام خانه‌های گلی سقفشان فرو ریزد.
- دیوارهای باربر کمی همراه با کلاف‌بندی اجرا شده‌اند. به همین دلیل، با توجه به فراوانی ساختمان‌های ساخته شده با دیوار باربر، متأسفانه آسیب‌های گسترده و شدیدی به این سازه‌ها وارد شده است. از دلایل اصلی این آسیب‌ها می‌توان به عدم رعایت آیین‌نامه‌های طراحی ساختمان در برابر زلزله اشاره کرد.
- بر اثر حرکت‌های جانبی ناشی از زلزله، دیوارها که بدون هیچ‌گونه تمهید ویژه‌ای از نظر کلاف‌بندی ساخته شده‌اند

به‌راحتی جابه‌جا شده و فروریخته‌اند.

نتایج نشان می‌دهد که با وجود چهار زلزله قدرتمند با بزرگی بیش از ۶/۲ ریشتر، ساختمان‌های بنایی، بتنی و فلزی در مقایسه با خانه‌های گلی کمتر فرو ریخته‌اند و پایداری خود را حفظ کرده‌اند که این امر نقش مهمی در نجات جان انسان‌ها داشته است. بر اساس آمار به‌دست‌آمده، اگر به جای خانه‌های گلی، خانه‌هایی با مصالح پخته و حداقل دارای طاق ضربی و دیوار باربر ساخته می‌شد، احتمال کاهش تلفات تا ۹۵ درصد وجود داشت.

۶- پیشنهادها

- نظر به شرایط موجود در کشور و با وجود تداوم ساخت سازه‌های سنتی لازم هست که در کوتاه‌ترین زمان جهت این‌گونه ساختمان‌ها ضوابط و آیین‌نامه‌های تدوین و به شکل مؤثر لازم الاجر گردد.
- وقوع زلزله‌های مخرب ایجاب می‌کند که مسئله مصون‌سازی جامعه از هر لحاظ در مقابل آثار زلزله به‌طور جدی در دستور کار قرار گیرد و به‌ویژه استانداردهای ساختمان‌سازی مقاوم در برابر زلزله به‌طور جدی رعایت گردیده و اجرا شود.
- بعد از طراحی ساختمان‌ها در مقابل زلزله باید تدابیری برای اجرای نقشه به‌صورت صحیح مد نظر قرار داده شود. تعدادی از ساختمان‌هایی که در مقابل زلزله به‌طور نسبی طراحی شده بود ولی متأسفانه در ساحه مطابق با نقشه اجرا نشده بود.
- نظارت و ارزیابی پروژه‌های عمرانی باید به‌صورت جدی از طرف ادارات مرتبط مورد توجه قرار گیرد. نظارت ناکافی در بعضی موارد باعث بروز خیلی از مشکلات شده است.

مراجع References

American Concrete Institute. (2022). *ACI Code-318-19: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (Reapproved 2022).*

American Society of Civil Engineers. (2016). *ASCE/SEI 7-16: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.*

Buckle, I.G. (2000). Passive control of structures for seismic loads. *Twelfth World Conference on Earthquake Engineering*, Paper No. 2825.

Foroughi, M. (2017). Strengthening of existing adobe buildings or renovation of such buildings. *National Conference on Strengthening of Yazd University* (In Persian).

Gernot, M. (2001). *Construction Manual for Earthquake-Resistant Houses Built of Earth.* Kassel University.

Iglesias, J. (1986). Repairing and strengthening of reinforced concrete buildings damaged in the 1985 Mexico City earthquake. In *The Mexico Earthquake-1985: Factors Involved and Lessons Learned* (Proceedings of the International Conference, Mexico City, Mexico).

Shahmohammadi, P. (2004). Seismic strengthening of adobe buildings against earthquakes. *The First National Conference on the Strengthening of Unreinforced Masonry Buildings and Historical Structures*, Shiraz, Shiraz Municipality (In Persian).

Permanent Committee for Revisiting the Iranian Code of Practice for Seismic Resistance. (2022). *Iranian Code of Practice for Seismic-Resistant Design of Buildings (Standard No. 2800).*

Rashidi, M.H., & Mehrabadi, A.A. (2007). Methods of strengthening and improving brick and masonry structures against earthquakes. *Journal of Civil Engineering of Islamic Azad University* (In Persian).

A Study on Destroyed and Damaged Buildings in Zindajan Earthquakes; Case Study: Earthquake Affected Villages of Zindajan District, Herat Province-Fall 1402

Nazammadin Timory[1*] and Alif Shah Ehsan[2]

1. Dean of Engineering Faculty, Jami University, Herat, Afghanistan,
*Corresponding Author, email: n.timory@jami.edu.af
2. Head of Civil Engineering Faculty, Jami University, Herat, Afghanistan

The recent earthquakes in Herat city in the Zindajan district, occurred between October 7 and 15, with a series of tremors reaching a magnitude of 6.3. The hypocenter of these earthquakes was located in the Zindajan district of western Afghanistan, resulting in widespread destruction. These earthquakes and their aftershocks have left thousands of already-vulnerable populations living in underserved (white areas) in urgent need of humanitarian and health assistance. To date, nearly 43,400 people across this district have been directly affected, with almost 23% being children under the age of five. Significant damage has been reported in the area, with casualties including at least 2000 deaths and more than 2,500 injuries. As of October 19, aftershocks continue to occur, leaving communities in a state of fear and unease. Furthermore, over 3,330 homes have been completely destroyed, and extensive damage to infrastructure, including the water supply network, has been reported. This has forced many people to live in tents, open areas, and other temporary shelters. According to seismologists, the epicenters of these earthquakes were situated between the Siakhubulak Fault in the north and the Herat Fault in the south. According to satellite data from Sentinel-1A, an area measuring 30 km by 15 km, extending east to west around the location of these earthquakes, experienced uplift. Meanwhile, the satellite detected subsidence in a small area to the east of the uplifted zone. The seismologists added that the ground deformation was diffuse and inferred that the earthquakes were associated with a blind thrust fault. The fault responsible for the disaster is likely a structure located between the Herat and Siakhubulak faults. From a technical perspective, what is significant in the impacted area is the construction of buildings with steel and concrete structures, as well as houses made of earth and unreinforced materials that lack design considerations to withstand the forces of an earthquake. According to survey data from the affected villages in the Zindajan district, the buildings can be categorized into four types: steel structures, concrete structures, unreinforced structures, and houses built of earth. In this research, over 95 percent of houses built of earth were destroyed due to their insufficient strength to withstand seismic loads, resulting in the highest number of casualties. Unreinforced structures were identified as the second most vulnerable causing significant damage; however, fortunately, fewer roofs collapsed onto residents, thereby saving lives. The studied areas also included concrete and steel structures, some of which sustained serious damage, while a few managed to maintain their stability. This research examined the pathology of buildings and houses, as well as the causes of the damages. The findings from this study are presented below. The lack of proper monitoring and evaluation of constructed structures and buildings, particularly those lacking design and proper connections, has resulted in significant damage. A major issue in this disaster was not only the construction of earth-based structures but also other buildings that were not designed to withstand lateral and seismic loads. This deficiency led to the destruction and damage of most buildings during the first earthquake. The results show that despite experiencing four powerful earthquakes measuring above 6.2 on the Richter scale, steel structures, concrete structures, and even unreinforced structures collapsed far less frequently than earth-built houses. These more resilient structures maintained their stability and helped save human lives, according to the statistics. It has been said that if houses were built from earth instead of other materials, approximately 95 percent of causalities could be reduced.

Keywords: Destroyed and Damaged Buildings, Earthquake and Structures, Zindajan Earthquakes