



بررسی علل خرابی دیوارهای محوطه در زلزله سی سخت

یاسر محمدی^۱*

چکیده

در سال‌های اخیر، با پیشرفت‌های قابل توجه در نرم‌افزارهای طراحی سازه و افزایش دانش طراحان، وقوع خرابی‌های سازه‌ای در ساختمان‌ها به‌طور چشمگیری کاهش یافته است. با این حال، هنوز هم چالش خرابی دیوارهای محوطه به‌ویژه پس از زلزله‌ها به‌صورت گسترده‌ای مشاهده می‌شود. زلزله‌های بم در سال ۱۳۸۲، سرپل ذهاب در سال ۱۳۹۶ و زلزله سال ۱۳۹۹ شهر سی سخت نمونه‌های بارزی از خرابی‌های گسترده دیوارهای محوطه هستند که نشان‌دهنده ضعف‌های موجود در طراحی و اجرای این عناصر سازه‌ای است. این خرابی‌ها عمدتاً ناشی از عوامل مختلفی همچون طراحی نامناسب، عدم رعایت استانداردهای ساخت و ساز، استفاده از مصالح نامرغوب و همچنین عدم توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه می‌باشند. در این مقاله، به بررسی علل اصلی خرابی دیوارهای محوطه پرداخته خواهد شد و بندهای مربوط به این موضوع در دستورالعمل‌های موجود تحلیل خواهد شد. بندهای مربوط به دیوارهای محوطه در مقررات ملی ساختمان و استانداردهای طراحی، به‌ویژه در زمینه مقاومت در برابر زلزله، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. این بندها به طراحان کمک می‌کند تا با رعایت اصول مهندسی، از بروز خرابی‌ها جلوگیری کنند. همچنین در این مقاله، به بررسی روش‌های بهبود و تقویت دیوارهای محوطه و تأثیر آنها بر کاهش آسیب‌پذیری سازه‌ها در برابر زلزله پرداخته خواهد شد. در نهایت، این تحقیق می‌تواند به عنوان راهنما برای مهندسان و طراحان در راستای بهبود کیفیت ساخت و ساز و کاهش خطرات ناشی از زلزله در دیوارهای محوطه مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: خرابی دیوارهای محوطه، زلزله، طراحی سازه، استانداردهای ساخت و ساز، مصالح ساختمانی.

^۱ هیئت مدیر، مهندسی عمران دانشگاه ملی مهارت استان کهگیلویه و بویراحمد، یاسوج، ایران

مقدمه

در سال‌های اخیر، با پیشرفت تکنولوژی و نرم‌افزارهای طراحی سازه، استانداردهای ساخت و ساز به‌طور قابل توجهی بهبود یافته است. این پیشرفت‌ها باعث شده‌اند که خرابی‌های سازه‌ای در بسیاری از ساختمان‌ها کاهش یابد. با این حال، هنوز هم چالش‌های جدی در طراحی و اجرای دیوارهای محوطه وجود دارد که بعد از زلزله‌ها به‌ویژه در مناطق زلزله‌خیز به‌وضوح نمایان می‌شود. زلزله‌های بم در سال ۱۳۸۲، سرپل ذهاب در سال ۱۳۹۶ و زلزله سال ۱۳۹۹ در شهر سی سخت نمونه‌هایی از این چالش‌ها هستند که خرابی‌های گسترده‌ای در دیوارهای محوطه به‌وجود آوردند. دیوارهای محوطه، به عنوان عناصر باربر در سازه‌ها، تحت تأثیر نیروهای زلزله قرار دارند و باید به‌طور دقیق طراحی و اجرا شوند. نیروی زلزله وارد بر دیوارها می‌تواند با استفاده از فرمول‌های مشخصی محاسبه شود. این نیروها به‌طور متفاوت در قسمت‌های مختلف دیوار توزیع می‌شوند و در نتیجه، نیاز به توجه ویژه به طراحی و تأمین مقاومت در برابر این نیروها وجود دارد. عدم رعایت اصول و استانداردهای موجود در طراحی دیوارهای محوطه، نظیر ابعاد مناسب فونداسیون، عمق دفن، و استفاده از میلگردهای کافی، می‌تواند منجر به شکست‌های سازه‌ای و ترک‌های جدی در دیوارها شود. به‌علاوه، عواملی مانند عدم وجود درز انبساط در طول‌های بزرگ، عدم اجرای کلاف‌های قائم و افقی، و عدم رعایت نسبت‌های اختلاط بتن می‌تواند به آسیب‌های بیشتر منجر شود. بر اساس مبحث ششم و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان و همچنین استاندارد ۲۸۰۰، الزامات و دستورالعمل‌های مشخصی برای طراحی و اجرای دیوارهای محوطه وجود دارد که باید به‌طور دقیق رعایت شوند. این مقاله به بررسی علل خرابی دیوارهای محوطه در زلزله سی سخت پرداخته و اهمیت رعایت این الزامات را در کاهش آسیب‌پذیری سازه‌ها تحلیل می‌کند. در این راستا، به ارائه راهکارهایی برای بهبود طراحی و اجرای دیوارهای محوطه نیز پرداخته خواهد شد.

دیوارها

نیروی زلزله وارد بر دیوارها از فرمول شماره ۱ محاسبه می‌گردد.

$$V = \frac{ABI}{R} * W \quad ۱$$

با توجه به زمان تناوب دیوار ضریب بازتاب برای دیوار $B=2.75$ است. همچنین ضریب رفتار دیوار دارای کلاف ۳ می‌باشد.

نمونه ای از فروریزش کلی دیوار ناشی از نیروی زلزله در زیر آورده است.



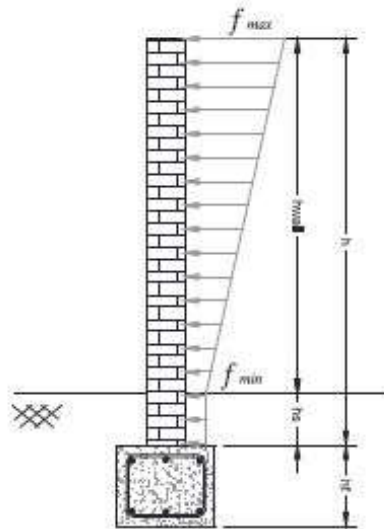
توزیع نیروی زلزله در دیوار به گونه ای انجام می گیرد که قسمتی از دیوار که زیر سطح زمین می باشد از رابطه ۱ و بخشی که بالای زمین قرار می گیرد از رابطه ۲ محاسبه می گردد.

(۱)

$$f_{min} = \frac{AI}{R} * W$$

(۲)

$$f_{max} = \frac{2V - f_{min}(h + h_s)}{(h - h_s)}$$



شکل ۱: توزیع نیروی زلزله در یک دیوار دارای کلاف

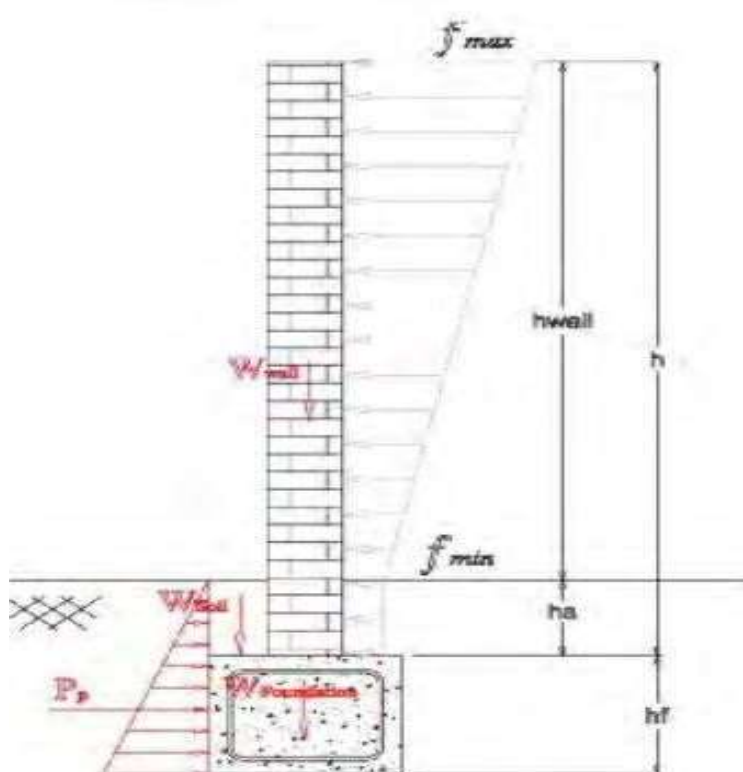
محاسبه بار باد

مطابق مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان سازه باید علاوه بر مقاومت در مقابل بار زلزله تحمل بار باد را نیز داشته باشند از اینرو پروسه محاسبات دیوارهای محوطه به گونه ای تنظیم گردیده است که مبنای محاسبات بار جانبی حاصل از زلزله در نظر گرفته شده است و حداکثر سرعت بادی که دیوار میتواند مقابل آن پایداریش را حفظ نماید محاسبه گردیده است.

با توجه به محاسبات انجام شده کوچکترین ابعاد فونداسیون برای حالات مختلف 40×40 سانتیمتر بدست آمده که تراز 40 سانتیمتر زیر زمین اجرا میگردد در این حالات حداکثر لنگری که موجب گسیختگی خاک تحت بار جانبی میگردد برابر 1134 Kg.m میگردد با فرض $C=0$ و 350 بنابراین سرعت بادی که توانایی اعمال این لنگر را به سیستم داشته باشد معادل 127 Km/h است در نتیجه در مناطق با سرعت باد بیش از 17 و خارج از شهر و در محیطهای باز نمیتوان از پی روی پی با مشخصات بالا استفاده نمود و کافی است در این مناطق عمق پی کنی 10 سانتیمتر افزایش یابد.

سرعت باد در یاسوج مشخصا در مبحث ششم نیامده است اما با توجه به سرعت باد در شهرهای نزدیک مانند یزد (110 km/h)، شیراز (90 km/h) و... ابعاد شناژ و عمق پی مدفون در زمین کافی می باشد.

یکی از مهمترین کنترل هایی که باید در طراحی دیوار انجام گیرد کنترل دیوار در برابر واژگونی است. که نیروهای مقاوم و محرک در آن در شکل دو آورده شده است.

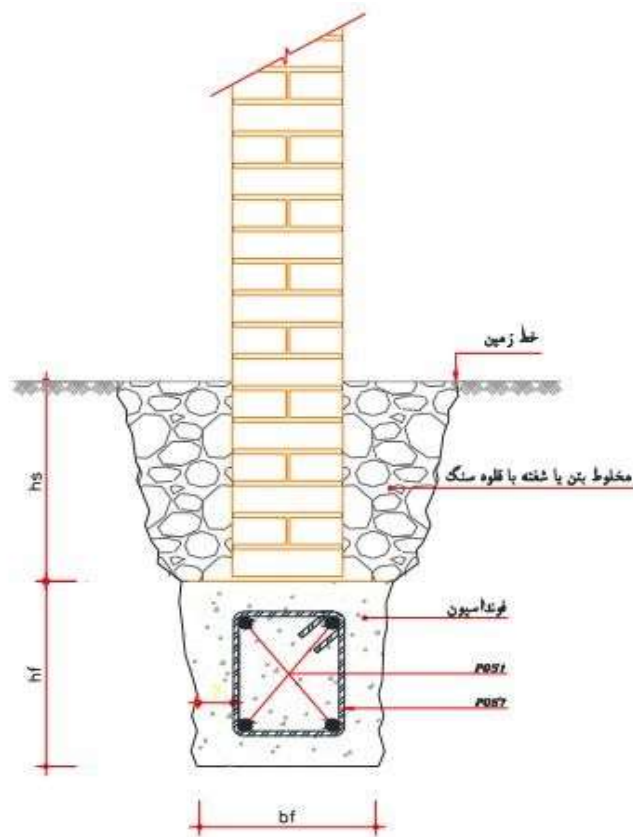


$$M_o = f_{\min} \cdot h \left(\frac{h}{2} + h_f \right) + (f_{\max} - f_{\min}) \frac{(h - h_s)}{2} \times \left[\frac{2}{3} (h - h_s) + h_s + h_f \right]$$

$$M_r = (W_{\text{wall}} + W_{\text{Foundation}} + W_{\text{soil}}) \frac{B_f}{2} + P_p \frac{(h_f + h_s)}{3}$$

$$S.F_s = \frac{M_r}{M_o} \geq 1.5$$

طراحی دیوار با کلاف دقیقاً شبیه به یک تیر طره می باشد با این فرض که هر کلاف از هر طرف نصف با وارده به خود (زلزله و باد) را باید تحمل کند.



نمایی از نحوه اجرایی دیوار محوطه

در جداول زیر ابعاد فنداسیون، عمق دفن شوندگی دیوار، تعداد و اندازه میلگرد شناژ قائم و.... با توجه به خطرپذیری زیاد استان کهگیلویه و بویراحمد در زلزله با توجه به ارتفاع دیوار آورده شده است.

A	تایپ دیوار	ارتفاع دیوار	ابعاد فونداسیون	عمق دفن شدگی	میلگرد شناژ قائم	کلاف فولادی
0.3	سیمان لیسسه ای 3D Panel+	2.6	40 × 40	50	4φ14	IPE 16
0.3	آجر نمای ۳ سانتی 3D Panel+	2.6	40 × 50	50	4φ16	IPE 16
0.3	بلوک ۱۵+ سیمان لیسسه ای	2.6	40 × 40	40	4φ14	IPE 14
0.3	بلوک ۱۵+ آجر نمای ۳ سانتی	2.6	40 × 40	50	4φ14	IPE 16
0.3	آجر فشاری ۲۲+ سیمان لیسسه ای	2.6	40 × 50	60	4φ18	IPE 18
0.3	آجر فشاری ۲۲+ آجر نمای ۳ سانتی	2.6	40 × 60	60	6φ16	IPE 20
0.3	آجر سوراخدار ۲۲+ بدون نما	2.6	40 × 50	60	4φ16	IPE 18

ابعاد فنداسیون، عمق دفن شوندگی دیوار، تعداد و اندازه میلگرد شناژ قائم برای دیوار با ارتفاع ۲,۶ متر

A	تیب دیوار	ارتفاع دیوار	ابعاد فونداسیون	عمق دفن شدگی	میلگرد شناژ قائم	کلاف فولادی
0.3	سیمان لیسه ای 3D Panel+	2.3	40 × 40	40	4φ14	IPE 14
0.3	آجر نمای ۳ سائتی 3D Panel+	2.3	40 × 40	50	4φ14	IPE 16
0.3	بلوک ۱۵+ سیمان لیسه ای	2.3	40 × 40	40	4φ14	IPE 14
0.3	بلوک ۱۵+ آجر نمای ۳ سائتی	2.3	40 × 40	40	4φ14	IPE 14
0.3	آجر فشاری ۲۲+ سیمان لیسه ای	2.3	40 × 50	50	4φ16	IPE 16
0.3	آجر فشاری ۲۲+ آجر نمای ۳ سائتی	2.3	40 × 50	60	4φ18	IPE 18
0.3	آجر سوراخدار ۲۲+ بدون نما	2.3	40 × 40	50	4φ14	IPE 16

ابعاد فنداسیون، عمق دفن شوندگی دیوار، تعداد و اندازه میلگرد شناژ قائم برای دیوار با ارتفاع ۲,۳ متر

A	تیب دیوار	ارتفاع دیوار	ابعاد فونداسیون	عمق دفن شدگی	میلگرد شناژ قائم	کلاف فولادی
0.3	سیمان لیسه ای 3D Panel+	2	40 × 40	40	4φ14	IPE 14
0.3	آجر نمای ۳ سائتی 3D Panel+	2	40 × 40	40	4φ14	IPE 14
0.3	بلوک ۱۵+ سیمان لیسه ای	2	40 × 40	40	4φ14	IPE 14
0.3	بلوک ۱۵+ آجر نمای ۳ سائتی	2	40 × 40	40	4φ14	IPE 14
0.3	آجر فشاری ۲۲+ سیمان لیسه ای	2	40 × 40	50	4φ14	IPE 16
0.3	آجر فشاری ۲۲+ آجر نمای ۳ سائتی	2	40 × 50	50	4φ16	IPE 16
0.3	آجر سوراخدار ۲۲+ بدون نما	2	40 × 40	40	4φ14	IPE 14

ابعاد فنداسیون، عمق دفن شوندگی دیوار، تعداد و اندازه میلگرد شناژ قائم برای دیوار با ارتفاع ۲ متر در شکل... نمونه ای از شکست خمشی دیوار ناشی از اجرای دیوار بدون کلاف آورده شده است. عدم تحمل پشت بند بلوکی در خمش ناشی از نیروی زلزله بخوبی مشخص است. اجرای دیوار بدون کلاف سبب عدم وجود شکل پذیری و مقاومت لازم در دیوار برای مقابله با زلزله می شود.



شکست خمشی دیوار محوطه در زلزله سی سخت

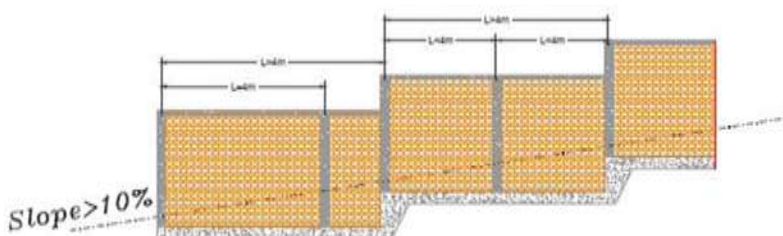
چند نکته:

۱. ابعاد پی کنی فونداسیون باید ۵ تا ۱۰ سانتی متر از شتار افقی بزرگتر باشد و نباید برای اجرای آن قالب بندی شود.
۲. بتن بکار رفته در کلاف دیوار محوطه باید حداقل عیار ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب باشد.
۳. حداکثر شیب مجاز برای پی کنی می تواند ۱۰ درصد باشد چنانچه شیب زمین از این عدد بیشتر شد پی باید پله ای اجرا گردد. نحوه اجرای پی در زمین شیب دار به صورت زیر می باشد.
۴. در صورتی طول دیوار از ۱۶ متر بیشتر باشد باید درز انبساط برای دیوار در نظر گرفته شود. درز انبساط نباید در کنج ها اجرا گردد همچنین فاصله درزها از کنج نباید کمتر از ۸ متر باشد.
۵. در شکل زیر نمونه ای از تخریب کلی سازه در زلزله سی سخت برای دیواری که درز انبساط در طول بیشتر از ۱۶ متر رعایت نشده نشان داده شده است.

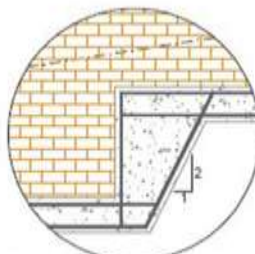


عدم رعایت طول درز انبساط در دیوار با طول بیشتر از ۱۶ متر

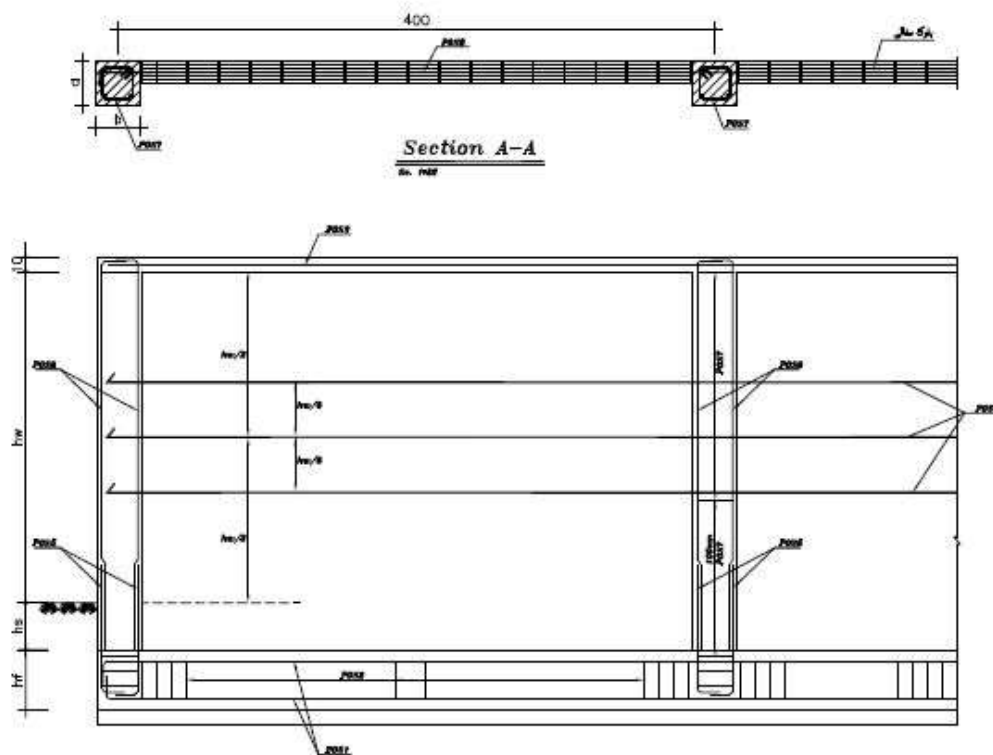
۶. حداکثر فاصله کلاف های (مرکز تا مرکز) شناژ قائم برای دیوار محوطه ۴ متر می باشد.
۷. حداقل عیار لازم برای اجرای کلاف دیوار مجوطه ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب می باشد.
۸. در ارتفاع دیوار لازم است سه میلگرد افقی به صورت سراسری کلاف های قائم را بهم متصل کند. یک میلگرد حداقل نمره ۱۰ در وسط دیوار و دو میلگرد دیگر (حداقل ۱۰) به فاصله یک ششم ارتفاع دیوار در بالا و پایین میلگرد میانی کار شود. همانند شکل



شکل ۱۴: نمایی از نحوه اجرای پی در زمینهای شیبدار با شیب بیش از ۱۰٪



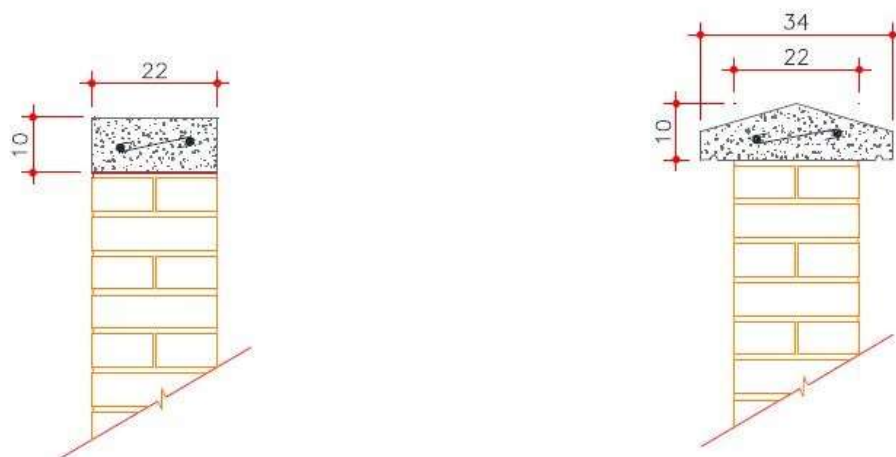
شکل ۱۵: نمایی از نحوه آرماتوربندی در فولداسیون پندای



نحوه اجرای کلاف قائم و میلگرد گذاری افقی دیوار

جهت حفظ عدم یکپارچگی دیوارها در کتج ها سه آرماتور میانی به هیچ عنوان نباید قطع گردد و باید همانند شکل زیر کار شود.

برای انسجام بیشتر دیوار محوطه باید بالای کلاف های قائم با کلافی افقی به ارتفاع حداقل ۱۰ تا ۱۵ سانتی متر همانند شکل زیر به یکدیگر متصل شود.



نحوه احرای کلاف افقی بر روی دیوار (سمت راست آبچکان، سمت چپ معمولی)

نکته مهم اینکه نباید هیچ گاه دیوار محوطه را به سازه اصلی چسپانند. بلکه باید با ساختمان دارای درز انقطاع باشد. نمونه ای از سرنوشت دو دیوار همسایه که یکی به علت عدم رعایت ضوابط فنی تخریب و دیگری دیواری که طبق اصول مهندسی ساخته و سرپا مانده است در زیر آمده است.



مقایسه حالت دو دیوار بعد از زلزله سی سخت

منابع

- (۱) استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سال ۱۳۹۳، آئین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، ویرایش چهارم، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران
- (۲) دستورالعمل طرح و اجرای دیوار محوطه، ۱۳۹۱، سازمان توسعه و تجهیز مدارس، تهران، ایران
- (۳) پیوست ششم استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم ۱۳۹۳، طراحی لرزه ای و اجرای عناصر غیرسازه ای، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران
- (۴) مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ۱۳۹۸، بارهای وارد بر ساختمان، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران
- (۵) مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ۱۳۹۸، طرح و اجرای ساختمان های بتن ارمه، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران
- (۶) مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی. (۱۳۹۳). آئین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، ویرایش چهارم. تهران: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.
- (۷) سازمان توسعه و تجهیز مدارس. (۱۳۹۱). دستورالعمل طرح و اجرای دیوار محوطه. تهران: سازمان توسعه و تجهیز مدارس.
- (۸) مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی. (۱۳۹۳). پیوست ششم استاندارد ۲۸۰۰: طراحی لرزه ای و اجرای عناصر غیرسازه ای. تهران: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.
- (۹) مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی. (۱۳۹۸). مبحث ششم مقررات ملی ساختمان: بارهای وارد بر ساختمان. تهران: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.
- (۱۰) مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی. (۱۳۹۸). مبحث نهم مقررات ملی ساختمان: طرح و اجرای ساختمان های بتن آرمه. تهران: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.
- (۱۱) یوسفی، م. (۱۳۹۸). تحلیل رفتار لرزه ای سازه های بنایی. مجله مهندسی عمران.
- (۱۲) رضایی، س. (۱۳۹۷). بررسی اثرات زلزله بر دیوارهای محوطه. نشریه علمی پژوهشی سازه و زلزله.
- (۱۳) حسینی، م. (۱۳۹۹). مدیریت خطر زلزله در طراحی سازه ها. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- (۱۴) سلیمی، ر. (۱۴۰۰). استانداردهای طراحی دیوارهای محوطه. مجله مهندسی ساخت و ساز.
- (۱۵) اکبری، ف. (۱۴۰۱). شبیه سازی و تحلیل رفتار دیوارهای محوطه در برابر بارهای زلزله. کنفرانس ملی مهندسی زلزله.
- 16) FEMA. (2000). Earthquake Damage Evaluation Data for Buildings. Federal Emergency Management Agency.
- 17) McCormick, D. (2004). Structural Analysis. Pearson Prentice Hall.

- 18) NEHRP. (2015). Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures. National Institute of Standards and Technology.
- 19) Allen, E., & Iano, J. (2016). Fundamentals of Building Construction: Materials and Methods. Wiley.
- 20) Ching, F. D. K. (2014). Building Construction Illustrated. Wiley.
- 21) Drysdale, R. G. (2011). The Design of Building Structures. Wiley.
- 22) Pankow, K. (2017). Building Codes Illustrated: A Guide to Understanding the 2015 International Building Code. Wiley.
- 23) Schneider, J. (2015). Structural Systems: A Primer. Routledge.
- 24) Thomas, H. (2018). Building Structures: The Complete Guide. Routledge.
- 25) NIST. (2018). Guidelines for the Design of Buildings to Resist Earthquakes. National Institute of Standards and Technology.

Investigation of the Causes of Enclosure Wall Failure in the Si Sakht Earthquake

Yaser Mohammadi *

Abstract

In recent years, with significant advances in structural design software and increased knowledge of designers, the occurrence of structural failures in buildings has decreased significantly. However, the challenge of enclosure wall failure, especially after earthquakes, is still widely observed. The Bam earthquakes in 2003, Sarpol Zahab in 2017, and the Si Sakht earthquake in 2019 are clear examples of widespread enclosure wall failures, which indicate weaknesses in the design and implementation of these structural elements. These failures are mainly caused by various factors such as inappropriate design, failure to comply with construction standards, use of substandard materials, and lack of attention to the geological characteristics of the region. In this article, the main causes of enclosure wall failure will be examined and the relevant clauses in the existing guidelines will be analyzed. The clauses related to enclosure walls in the national building codes and design standards are of particular importance, especially in the field of earthquake resistance. These clauses help designers to prevent failures by observing engineering principles. Also, this article will examine the methods of improving and strengthening enclosure walls and their effect on reducing the vulnerability of structures to earthquakes. Finally, this research can be used as a guide for engineers and designers to improve the quality of construction and reduce the risks of earthquakes in enclosure walls.

Keywords: Enclosure wall failure, earthquake, structural design, construction standards, building materials.