رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886 ، دوره چهارم، شماره ۴، ۱۳۹۹، صفحه: ۴۴-۶۲

بررسی سیستم ساختمان‌های بنایی و روشهای رفع ضعف لرزه‌ای

محمد حبیب الهی *

*دانشجوی دکتری مهندسی عمران-سازه، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران (Mo.habibolahi@gmail.com).

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۸/۱۲، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۱۲/۰۱)

چکیده

عملکرد لرزه‌ای در طراحی ساختمان‌های واقع در مناطق لرزه‌خیز موضوعی با اهمیت می‌باشد. یکی از پارامترهای مهم در طراحی سازه ها، شکل پذیری (Ductility) می‌باشد؛ شکل پذیری نقش یک فیوز را در سازه ایفا می‌کند. شکل پذیری عضو باعث می‌شود که هنگام زلزله مقداری اتلاف نیروی زلزله ایجاد شود و همچنین کاهش آسیب برای یک عضو مقاوم (مثل دیوارها) که انتظار میرود در سازه بتواند ایستایی خود را در هر حالی حفظ نماید. وجود یک عضو شکل‌پذیر در سازه باعث می‌شود تا ساکنین ساختمان فرصت خروج از ساختمان را در هنگام زلزله داشته باشند که این همان انتظار لرزه‌ایست که از سازه می رود یعنی سازه بدون هشدار عمل نکند و یک مرتبه فروریزش (Collapse) نکند. در ساختمانهای بنایی شکل پذیری بوسیله شنارژها و در اتصال سقف به شنارژهای افقی و قائم تامین میگردد لیکن اهمیت این اعضا را در ساختمانهای بنایی نشان میدهد. در ساختمان‌های بنایی پارامتر مقاومت بخصوص مقاومت برشی بسیار با اهمیت می‌باشد. در این تحقیق برای شناخت هرچه بیشتر مهندسین، به ارائه ضعف‌های لرزه ای ساختمان‌های بنایی در هنگام زلزله و روش‌های رفع آن در هنگام طراحی و اجرا (قبل از اینکه سازه خسارت ببیند و باعث خسارت‌های جانی شود و نیاز به بهسازی پیدا کند) و نیز تقویت سازه آسیب دیده پس از زلزله پرداخته شده است.

کلمات کلیدی

بهبود لرزه‌ای، عملکرد لرزه ای، شکل‌پذیری، مقاوم سازی لرزه ای.

رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886 ، دوره چهارم، شماره ۴، ۱۳۹۹، صفحه: ۴۴-۶۲

Investigation of Masonry Building Systems and Seismic Weakness Improvement Methods

Mohammad Habibolahi [*]

[*] *Ph.D. Candidate of Structural Engineering, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*

(Mo.habibolahi@gmail.com)

(Date of received: 02/11/2020, Date of accepted: 19/02/2021)

ABSTRACT

Seismic performance is an important issue in the design of buildings located in seismic areas. One of the most important parameters in the design of structures is ductility (ductility; ductility plays the role of a fuse in the structure. Damage to a strong member (such as walls) that is expected to be able to maintain its stability in the structure in any case. The presence of a malleable member in the structure gives the occupants of the building the opportunity to leave the building during an earthquake. This is the same seismic expectation that comes from the structure, meaning that the structure does not act without warning and does not collapse once. In masonry buildings, the parameter of strength, especially shear strength, is very important. In this study, in order to know more engineers, to present the seismic weaknesses of masonry buildings during earthquakes and methods Fixing it during design and execution (before the structure is damaged and causes casualties and needs to be repaired) and also The wit of the damaged structure is addressed after the earthquake.

Keywords:

Seismic improvement, Seismic performance, Ductility, Seismic retrofitting,

۱- مقدمه

حدود ۷۸ درصد کشور ایران را مناطق لرزه‌خیز با خطر متوسط به بالا تشکیل داده است. تعداد ۱۲۰ گسل خطرناک در ایران وجود دارد. طبق سرشماری سال ۹۵ مرکز آمار ایران، جمعیت روستانشین به شهرنشین ۳۴ درصد می‌باشد. این درصد بالا، توجه بالای مسئولین عرصه عمران و آبادانی و مهندسین عزیز را در طراحی و اجرای ساختمانهای بنایی می‌طلبد. در مناطق لرزه‌خیز متوسط به بالا شکل پذیری یکی از پارامترهای بسیار با اهمیت در سازه ها می باشد و از دیرباز مورد توجه محققین و پژوهشگران بوده است. در بررسی رفتار یک سازه، شکل پذیری به اندازه ای قابل اهمیت است که می‌توان گفت تحلیل سازه بدون کنترل معیار شکل پذیری امری خطا محسوب می‌شود. در دو دهه اخیر بسیاری از پایان نامه‌ها پیرامون این موضوع بحث داشته و تا کنون ادامه دارد. در یک ساختمان مقاوم در زلزله انتظار می‌رود که ساختمان در برابر زلزله در برابر مقدار مشخصی نیرو، مقاومت کرده و بتواند مقدار تغییر مکان تعیین شده‌ای را بدهد. متأسفانه با توجه به توان مالی ضعیف در برخی روستاها و عدم کنترل کیفیت مصالح و بعضا نظارت‌های ضعیف در ساختمان‌های بنایی، باعث شده ساختمان دچار خرابی‌های شدیدی درهنگام زلزله شده و تلفات جانی زیادی به بار آورد که این اهمیت بیشتر مسئولین و مهندسین عزیز را می طلبد و ارائه راهکارها جهت رفع نقاط ضعف در طراحی و اجرا. انواع سازه بنایی شامل: ساختمان بنایی مسلح، ساختمان بنایی محصور شده با کلاف و ساختمان بنایی غیر مسلح می باشند.

۲- انواع عملکرد ساختمان های بنایی در زلزله

عدم شکل‌پذیری در ساختمان‌های بنایی غیرمسلح سبب می شود که روند تخریب و یا ایجاد ترک‌ها در این ساختمان‌ها تدریجی نباشد. ساختمان‌های بنایی تا حد معینی می توانند نیروهای زلزله را تحمل کنند و در این حد تنها ترک های جزئی در آن‌ها ایجاد می‌شود ولی با افزایش نیرو بطور ناگهانی دچار فروریختگی جزئی یا کلی می شوند. از دلایل عملکرد ضعیف ساختمان های بنایی در برابر نیروهای زلزله می توان به ترد بودن مصالح و وزن زیاد که سبب جذب انرژی بیشتر در هنگام وقوع زلزله و سختی زیاد اشاره کرد. هنگامی که ساختمان در معرض زمین لرزه قرار می گیرد نیروهای اینرسی متناسب با وزن ساختمان بر آن وارد می شود این نیروها براساس حرکات رفت و برگشتی زلزله و مؤلفه‌های آن هر لحظه تغییر کرده و ارتعاشات پیچیده ای را سبب می شوند. این ارتعاشات به نحوه اتصال دیوارها به یکدیگر و مهار آن‌ها در سقف و کف بستگی زیادی دارد وقتی دیوارها اتصال مناسبی با یکدیگر نداشته باشند ارتعاش آنها یکنواخت نبوده و هر کدام دچار خمش خارج از صفحه شده و ترکهایی در گوشه های دیوار یا نزدیک انتهای دیوار ایجاد می شود. زیرا دیوارها مقاومت کششی لازم برای مقابله با نیروهای ایجاد شده از زلزله را ندارند. هنگامی که در ساختمانهای بنایی مسلح دیوارها به وسیله کلافهای قائم به یکدیگر و بوسیله کلافهای افقی بصورت مناسب در کف و سقف مهار می شوند، ارتعاش کل دیوارها با یکدیگر به صورت همزمان صورت می گیرد و خمش خارج از صفحه که در دیوارها ایجاد می شود کمتر اهمیت دارد و دیوارها بر مقاومت ساختمان در برابر نیروهای زلزله می افزایند. در این ساختمان ها چون دیوار از چهار طرف به تکیه گاه های صلب متصل است رفتار بسیار مناسبی از خود نشان می‌دهد.

۳- محدودیت های ساخت و ساز

سازه بنایی مقاومت فشاری بالایی در برابر بارهای عمودی دارند اما مقاومت کششی پایینی (در برابر تا شدن و کشش) دارند مگر اینکه مسلح شوند. مقاومت کششی دیوارهای بنایی را می‌توان با ضخیم کردن دیوار یا با ساختن جرزهای بنایی (ستون‌های عمودی یا تیر تقویتی) در فواصل دیوار افزایش داد. هر کجا عملی باشد می‌توان تقویت فولادی نظیر کلاف‌های قائم اضافه کرد. فاکتورهای اصلی تاثیرگذار در مقاومت ساختمانهای بنایی عبارتند از:

۱- کیفیت مصالح و اجرا

۲- شکل و سیستم سازه

۳- دیوارهای ساختمان

۴- سیستم سقف

۵- انسجام اجزاء ساختمان

۶- اجزای غیرسازه ای

۷- سیستم کلاف

۸- خاک محل

مزایای ساختمانهای بناییرا می توان بدین صورت اشاره نمود که استفاده از مصالحی از قبیل آجر و سنگ می‌تواند ذخیره گرمایی ساختمان را افزایش دهد. بنایی محصولی غیرقابل اشتعال است و می‌تواند در برابر آتش از ساختمان محافظت کند. دیوارهای بنایی در برابر اشیاء پرتاب شده نظیر آوار در اثر گردباد و طوفان مقاوم‌تر هستند. همچنین، معایب ساختمانهای بنایی را می توان بدین صورت اشاره نمود که شامل شرایط بد آب و هوایی، تحت شرایط خاص، می‌تواند باعث زوال سازه بنایی در اثر نیروهای ناشی از انبساط و انقباض مربوط به چرخه یخزدن و آب‌شدن شود. سازه بنایی به سنگینی گرایش دارد و باید بر روی یک شالوده مقاوم مانند بتن مسلح ساخته شود تا از نشست و ترک‌خوردگی جلوگیری شود. به غیر از بتن، ساخت و ساز بنایی امکان اجرای کاملاً صنعتی و ماشینی ندارد و به نیروی کار ماهر بیشتر نیاز دارد. همچنین عوامل ضعف ساختمان های بنایی را می توان بصورت ذیل بیان کرد:

رعایت نکردن نکات فنی و آیین نامه‌ای

تغییر یا کاهش قابلیت‌های فیزیکی و مکانیکی مصالح

ایجاد تغییرات در مواردی مثل کاربری ساختمان، تعداد طبقات، اندازه بازشوها، ایجاد بازشوی جدید

خرد شدن بلوک یونولیتی

استفاده از یونولیت خرد شده و نفوذ بتن

نگهداری نامناسب میلگردها در کارگاه

جاگیری نامناسب قالب یونولیتی در بین تیرچه‌ها

نداشتن شناژ افقی در پی – عدم اتصال کلاف افقی به شناژ قائم

عدم اتصال کلاف افقی به -نبود کلاف قائم در گوشه ها-نبود جان پناه در پشت بام-فاصله زیاد کلاف افقی با پی

متصل نکردن کلاف افقی به طور کامل – اتصال نامناسب بین کلاف افقی و قائم –بالا بودن پی از تراز عمق یخبندان – استفاده از دانه بندی نامناسب تیر-اجر به جای شناژ قائم

امتداد نیافتن کلاف قائم تا پی- قالب بندی نامناسب کلاف قائم

متصل نبودن کلاف قائم به کلاف سقف – اجرا نکردن شناژ قائم در طول دیوار

استفاده از ملات به جای بتن در شناژ

اجرا نکردن شناژ قائم- ترک دیوار

وجود بازشوهای بزرگ در دیوارها

اتصال نامناسب دال پله با ستون

عیار کم سیمان در ملات بین سنگ های پی باعث جدا شدن دانه بندی و ریختن آن شده است.

استفاده از آجر نخاله دربتن دال سقف

وجود نخاله و مصالح غیر مجاز در بتن شناژ

اتصال نامناسب تیر به ستون

اتصال نامناسب تیر به ستون و دانه بندی نامناسب بتن و وجود ترک در شناژ قائم

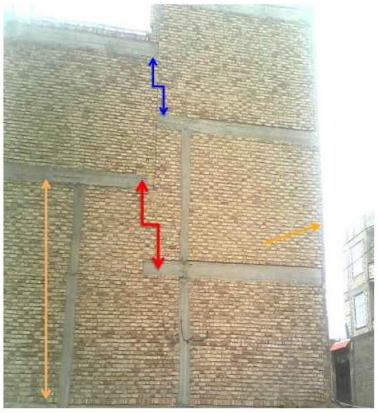
بیرون زدن میلگرد های پوتر از شناژ- کم بودن کاور روی میلگرد

سازه بنایی از اجزای سست تشکیل شده است و نسبت به ارتعاش، در مقایسه با مصالح دیگر مانند بتن مسلح، پلاستیک‌ها، چوب، یا فلزات تحمل کمتری دارند.

اتصال نامناسب بین کلاف افقی و قائم

اجرا نکردن کلاف قائم تا تراز بام ساختمان

عدم رعایت حداکثر ارتفاع مجاز ساختمان



شکل ۱: عدم امتداد کلاف قائم تا بام و عدم اتصال کلاف قائم به کلاف افقی.

همچنین، عواملی همچون ضعف در سیستم کلاف‌های بتنی شامل ضعف در مصالح، میلگردها و آرایش نامناسب کلاف‌ها می‌باشد. نسبتهای اختلاط نامناسب، عدم ویبراسیون هنگام بتن‌ریزی و عمل آوردن ناقص. عدم همپوشانی کافی بین میلگردهای طولی یا قاب‌ها در اتصالات، درگیر نبودن میلگردها در پی‌ها، کافی نبودن تعداد و فواصل کلاف، ابعاد و میلگردگذاری کلاف‌ها. عبور لوله، دودکش و تأسیسات از مقطع کلاف باعث از بین رفتن پیوستگی سیستم یا انفصال در کلاف در ضعف سازه های بنایی موثر است. اگرچه پایین بودن کیفیت و مقاومت مصالح بنای ساختمان مانند آجر و بلوک سیمانی، یکی از دلایل آسیب‌پذیری ساختمان‌های بنایی است. استفاده از ملات‌های نامناسب مانند ملات گل و یا رعایت نکردن نسبت مناسب ماسه و سیمان که موجب پایین آمدن مقاومت کششی دیوارهای ساخته شده با این مصالح می شود از عوامل دیگر نامناسب بودن کیفیت مصالح بنایی است. در مورد اجرا

نیز مواردی چون عدم هم‌پوشانی کافی بین واحدهای بنایی و قرارگرفتن درزهای عمودی در امتداد یکدیگر و یا درزهای افقی با ضخامت زیاد و درزهای قائمی که از ملات پر نمی‌شوند، باعث کاهش شدید مقاومت خارج از صفحه و کاهش ظرفیت برشی درون صفحه دیوار می شود. زنجاب نکردن آجر قبل از استفاده در دیوار باعث جذب آب از ملات و کاهش مقاومت و چسبندگی آنها می شود و استفاده از روش هشتگیر در اتصال دیوارها، باعث اتصال نامناسب دیوارها و کاهش مقاومت خارج از صفحه دیوار می گردد.

۴- شکل و سیستم سازه‌ای

از اشکالات عمده در سیستم سازه ای به موارد زیر می توان اشاره کرد:

۴-۱- کافی نبودن مسیر بار

نیروهای زلزله از طریق دیافراگم های افقی سقف به دیوارهای برشی منتقل و نهایتاً به پی و زمین منتقل می شوند سیستم مقاوم باربر جانبی باید مسیری مستقیم میان دیافراگم ها، دیوارهای برشی و پی تشکیل دهد، هر نوع اتصال و یا وجود بازشوها و یا حذف یک جزء از این سیستم می تواند کار این سیستم را مختل کند.

۴-۲- کافی نبودن مقاومت برشی ساختمان

در صورتی که مقاومت دیوارهای برشی در امتداد نیروهای زلزله کم و یا تراکم آن ها نسبت به سطح ساختمان بدلیل وجود بازشوهای بزرگ در دیوار کم باشد مقاومت برشی ساختمان در برابر نیروی زمین لرزه کافی نخواهد بود.

۴-۳- توزیع نامتقارن دیوارها در پلان

این مورد سبب ایجاد پیچش در ساختمان شده و پیچش در نواحی بحرانی تنش در دیوارها را افزایش می دهد. استفاده از دیوارهای باربر در یک جهت از فرم های نامناسب سازه می باشد که در این صورت دیوارهای جهت دیگر که نمی تواند مقاومت قابل قبولی در مقابل نیروهای زلزله داشته باشند و در نتیجه دچار گسیختگی برشی و دچار خمش خارج از صفحه می شوند و ساختمان فرو می ریزد.

۴-۴- توزیع نامناسب سختی در ارتفاع

تغییرات سختی در اثر نامنظمی در طبقات مختلف شامل طبقه ضعیف، طبقه نرم، نامنظمی هندسی قائم طبقات، نامنظمی در وزن می باشد. این دیوار موجب جذب نیروهای زیاد در دیوارهای ترازی که دچار تغییرات ناگهانی شده است می شود.

۴-۵- اثر ساختمان نهای مجاور

ساختمان هایی که در کنار یکدیگر هستند ولی درز انقطاع مناسب ندارند به دلیل هم فازنبودن ارتعاشات در حین زمین لرزه ممکن است به یکدیگر ضربه بزنند .مخصوصاً در ساختمان های مجاور هم که سقف طبقاتشان در یک تراز باقی نیست ممکن است در اثر ضربه حین زلزله متحمل خسارات بسیار بیشتری شوند. در ساختمان‌هایی که دارای اشکال هندسی نامتقارن در پلان هستند می توان با ایجاد درز انقطاع مناسب از ایجاد تغییر شکلهای نامنظم و تمرکز تنش در نقاط بحرانی جلوگیری کرد.

۴-۶- دیوارهای ساختمان

از دلایل تخریب ساختمان های بنایی آسیب پذیر بودن دیوارها است. زیاد بودن ارتفاع و مهار نبودن خارج از صفحه و طول مهارشده زیاد دیوار و وجود بازشوهای بزرگ در دیوار و یا نزدیکی بازشو به انتهای دیوار و قرار گرفتن مستقیم تیرهای باربر سقف بر روی دیوار از علل آسیب پذیری دیوارهای ساختمان های بنایی است.

۴-۷- سیستم سقف

استفاده از مصالح سنگین و کاهگل و آسفالت کردن های مکرر سقف ها باعث سنگین شدن سقف ها می شود که نه تنها باعث افزایش نیروهای جانبی ساختمان می شود بلکه ارتعاش قائم سقف ها را نیز موجب می شود. وجود سقف های انعطاف پذیر باعث ایجاد ترک های قائم در اتصال دیوار یا در دیوارهای متقاطع می شود. بایستی حتی المقدور از سقفهای صلب با کلافهای خارجی استفاده شود. از معایب دیگر سقف ها می توان عدم رعایت طول تکیه گاهی مناسب برای تیرهای سقف سوی دیوار های باربر و وجود بازشو های بزرگ در سقف و زیاد بودن ابعاد دال سقف که باعث انعطاف پذیری و کاهش عملکرد دیافراگمی سقف ها خواهند شد را نام برد.

۴-۸- انسجام اجزاء ساختمان

از بیشترین مواردی که در اکثر زلزله های گذشته در ساختمان های بنایی تخریب شده دیده شده است عدم انسجام اجزاء مختلف ساختمان بوده است. ضعف در اتصال دیوارهای متقاطع و بین دیوارهای باربر با سقف و تیغ هها و دیوارها غیرساز های با سقف از مواردی است که انسجام ساختمان را تهدید می کند .استفاده از روش هشتگیر در اتصال دیوارها و یا نزدیکی بازشو به انتهای دیوار و یا عدم استفاده از مهارمناسب در اتصال سقف و دیوارها باعث ضعف در اتصال اجزاء ساختمان می شود.

۴-۹- اجزاء غیر سازه ای

ضعف در تیغه ها و دودکش و جان پناه و نمای ساختمان و تأسیسات مکانیکی در بسیاری از زلزله ها باعث تلفات جانی و مالی شده است وجود نداشتن مهار جانبی مناسب در جان پناه و دودکش ها و اتصال ضعیف قطعات نمای ساختمان با دیوارهای سازه ای و وزن زیاد و ضخامت کم تیغه ها از جمله معایب عمده این اجزاء است.

۴-۱۰- سیستم کلاف

نبود یا ضعف در سیستم کلاف ساختمان از عوامل مهم در تخریب ساختمان های بنایی است. از عمده ضعف های سیستم کلاف بندی ساختمان محل قرارگیری و پخش نامناسب کلافها در پلان، ضعف مصالح و ضعف میلگردها می باشد. نسبت های اختلاط نامناسب و عمل آوردن ناقص بتن و استفاده از نخاله های ساختمانی در بتن کلافها، عدم طول مهاری کافی میلگردها و همپوشانی نامناسب آنها با یکدیگر و بسیاری از موارد دیگر که در بخش اجزای ساختمانی مصالح بنایی ذکر شد، از اشکالات سیستم کلاف ساختمان است که وجود این موارد باعث ناپایداری و فروریختن کلی ساختمان در بسیاری از زمین لرزه ها خواهد شد.

۴-۱۱- خاک محل

گاهی نامناسب بودن خاک و گسیختگی زمین از عوامل تخریب ساختمان های بنایی است. روانگرایی که می تواند موجب نشست پی ها و کج شدن ساختمان و در نهایت فروریختن آن شود و لغزش زمین های شیب دار که می تواند باعث نشست ناهمگون یا حرکت پی ها شود از نمونه هایی که در زلزله های گذشته بیشتر دیده شده است.

۵- انواع مدهای شکست در دیوارهای مصالح بنایی

دیوارهای باربر در ساختمان های مصالح بنایی نقش انتقال نیروهای قائم یا ثقلی را بر عهده دارند ولی در صورت ایجاد نیروهای جانبی ناشی از زلزله همین دیوارها به کمک سقفهای صلب و کلاف ها باید این نیروها را در جهت افقی تحمل کنند. یعنی دیوارها باید قادر باشند تا خمش و برش اضافی ناشی از ارتعاش افقی ساختمان را تحمل کند. اگر سقفهای صلب به صورت نامناسب در دیوارها مهار شده باشد؛ عامل اصلی انتقال نیروی ناشی از زلزله از پی ها به ساختمان، همین دیوارهای باربر می باشند و چون سقفها بر دیوارها تکیه دارند با تخریب دیوارها احتمال فروریختن کل ساختمان وجود دارد. در نتیجه اهمیت دیوارهای باربر بیش از پیش نمایان می شود. در اثر مؤلفه های نیروی زلزله و با توجه به نحوه و جهت اعمال بار دو نوع نیرو بر دیوارهای باربر اعمال می شود:

بارهای صفحه ای: بارهایی که در راستای سطح دیوار اعمال می شوند.

بارهای بر صفحه ای: بارهایی که عمود بر صفحه دیوار به آن اعمال می شوند

دیوارهایی که بدون مهار جانبی هستند چنانچه تحت تأثیر نیروهای عمود بر صفحه خود قرار بگیرند (دیوارهای عرضی) مقاومت چندانی از خود نشان نمی دهند. در این دیوارها مقاومت جانبی دیوار به وزن و مقاومت کششی ملات بستگی دارد. در صورت مسلح شدن قائم دیوار در صورت ایجاد ترک افقی در تراز پی همچنان مقاومت خواهند کرد. در صورتی که دیوارهای عرضی در طرفین خود به وسیله دیواری متعامد مهار شوند در مورد این دیوارها که عمود بر جهت زمین لرزه هستند گسیختگی به صورت شکست خمشی خارج از صفحه صورت می گیرد و رفتار خمشی آنها مانند دال تخت دو طرفه (اگر فاصله دیوارهای متعامد با این دیوارها کم باشد) و مانند دال یکطرفه (چنانچه فاصله دیوارهای عمودی طرفین زیاد باشد) عمل می کنند. دیوار های عرضی تحت تأثیر نیرو های اینرسی ناشی از وزن خود هستند. در صورت اعمال نیروها به صورت صفحه ای و در امداد طول، به دلیل اینرسی زیاد دیوار در جهت نیرو، مقاومت جانبی قابل توجهی از خود نشان می دهد. در اینصورت گسیختگی دیوارهای برشی غیرمسلح به مشخصات هندسی دیوار (نسبت ارتفاع به طول) و مشخصات مصالح بستگی دارد. در این دیوارها که تمام بارجانبی زلزله را تحمل می کند تسلیح و تقویت آنها اهمیت زیادی دارد و دو نوع حالت شکست محتمل است. شکست خمشی یا شکست برشی. در دیوار باریک بیشتر حالت شکست خمشی غالب است. یک ویژگی مشترک دیوار های آجری غیرمسلح این است که تحت شتاب دیواری که نسبت بعدی (ارتفاع به طول) کوچکی دارد بقدر کافی پهن بوده و امکان شکست خمشی در آن کم است. به عکس پی در هنگام وارد آمدن نیروی زلزله به صورت لحظه ای مادام که به حد آستانه نرسیده است آثار تخریب چندانی در آنها ظاهر نمیشود اما به محض عبور از حد آستانه دیوار تحت این نیروهای جانبی متناوباً برروی پاشنه و پنجه تلو می خورد. در اثر این نیروی رفت و برگشتی، دیوار تا چندین سانتیمتر از پی جدا و مجدداً با یک ضربه محکم به پی، در جهت دیگر حرکت می کند. این ضربات باعث خرد شدن

پنجه و پاشنه دیوار می شود و از عرض مؤثر پایه می کاهد و دیوار ضعیف می شود. در نتیجه این حرکت دیوار نیروهای افقی بزرگی ایجاد می شود که ممکن است سبب گسیختگی برشی شود. بنابراین در نتیجه شکست خمشی دیوار، شکست برشی به صورت ایجاد ترکهای مورب در دیوار بوجود می آید و به دلیل عوض شدن جهت نیروی زلزله، به صورت ضربدری و دو طرفه در دیوار ظاهر می شود. در دیوارهای مصالح بنایی با کاهش نسبت ارتفاع به طول احتمال وقوع شکست برشی بیشتر می شود.

۵-۱- مدلسازی مکانیکی سازه های بنایی

از دیدگاه مدل‌سازی مصالح بنایی، به لحاظ خواص مکانیکی مفرط، مصالح خاصی است با یک فاصله بسیار زیاد بین مقاومت در فشار و مقاومت در کشش)، به طوری‌که بارهای اعمال شده آن‌طور که در اجسام الاستیک توزیع می‌شود، نیست؛ اما تمایل دارند که در امتداد خطوط دارای سختی زیاد توزیع شود.

جدول ۱: نواقص مربوط به مصالح ساختمانهای بنایی و راهکارهای پیشنهادی جهت رفع نقص[۱].

عنوان نقص	دلیل وجود نقص	راهکار پیشنهادی بهسازی
کیفیت نامطلوب واحدهای بنایی	واحدهای بنایی سالم نبوده و دارای شکستگی یا ترک خوردگی هستند.	واحدهای فرسوده و یا شکسته با واحدهای بنایی جدید جایگزین شود.
نداشتن شرایط حداقل کیفیت ملات	مقاومت برشی ملات دیوار باربر بر اساس بند (۱-۶-۱) راهنما و بند (۷-۶-۱-۲) دستورالعمل کم‌تر از ۲ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است.	می‌توان ملات فرسوده را با ملات با کیفیت مناسب جایگزین نمود. دقت شود که ملات مورد استفاده با مصالح بنایی سازگار باشد. نحوه‌ی انجام این کار به این ترتیب است که ابتدا ملات‌های فرسوده و سست در رج آجرچینی با ابزار فلزی تا رسیدن به ملات با مقاومت مناسب برداشته می‌شوند. در این عمل باید دقت شود تا به لبه‌ی آجرها آسیبی وارد نشود. سپس محل رجها با برس، هوا یا بخار آب پاک شده و با ملات جدید پر می‌شود. این ملات باید کمی سفت و نیم که از هیدراتاسیون اولیه‌ی ملات گذشت، باید آب کافی به آن پاشید تا عمل هیدراتاسیون کامل شود. ملات باید در چند مرحله و هر بار در لایه‌ای به ضخامت حداکثر ۱۰ میلی‌متر در عمق رجها جای گیرد تا رجها پر شوند. در نهایت ملات باید بند کشی شود تا سطح صافی بدست آید.

جدول ۲: نواقص مربوط به سیستم سازه ای ساختمانهای بنایی و راهکارهای پیشنهادی جهت رفع نقص[۱].

کافی نبودن مقاومت برشی ساختمان	مجموع سطح مقطع دیوارها در هر طبقه و در هر یک از امتدادهای طولی و عرضی ساختمان از ۷۵ درصد مقادیر مندرج در جدول شماره‌ی ۶ استاندارد ۲۸۰۰ ایران کمتر است.[۲]	می‌توان با اضافه کردن دیوارهای برشی جدید و یا تقویت دیوارهای باربر موجود مقاومت برشی ساختمان را بالا برد. دیوارهای جدید و دیوارهای تقویت شده باید یک سیستم کامل، متعادل و مقاوم در برابر بار جانبی را برای ساختمان تشکیل دهند. به ویژه باید از اتصال مناسب بین دیوارهای جدید و دیافراگم موجود اطمینان حاصل شود. این اتصالات باید مقاومت کافی برای تحمل بارهای جانبی را داشته باشد.
	مجموع سطح مقطع دیوارها در هر طبقه و در هر یک از امتدادهای طولی و عرضی ساختمان از مقدار A_i رابطه‌ی (۷-۴) دستورالعمل کمتر است.[۲]	
	تنش برشی دورترین دیوار از مرکز سختی طبقه با احتساب پیچش، بیش‌تر از V_e (رابطه ۷-۵ دستورالعمل) است.	

رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886 ، دوره چهارم، شماره ۴، ۱۳۹۹، صفحه: ۴۴-۶۲

جدول ۳: نواقص مربوط به دیوار باربر ساختمان بنایی و راهکارهای پیشنهادی جهت رفع نقص[۱].

تام نقص	دلیل وجود نقص	راهکار پیشنهادی بهسازی
اجرای نامناسب واحدهای بنایی دیوارهای باربر	دیوارهایی که با آجر یا بلوک سیمانی ساخته شده‌اند، طوری چیده شده‌اند که همپوشانی قائم مناسبی بین واحدهای بنایی برقرار نبوده یا درزهای قائم روی هم قرار می‌گیرند.	دیوار برداشته شود و یا دیوار جدیدی جایگزین شود یا مقاومت جانبی آن دیوار در مقاومت کلی ساختمان منظور نشود.
	سطحی از مقطع دیوار که شامل واحدهای بنایی متصل‌کننده‌ی رج داخلی و خارجی دیوار می باشد کمتر از ۱۰ درصد کل سطح مقطع دیوار است و یا فاصله‌ی این واحدها از ۶۰ سانتی‌متر بیش‌تر است.	
	عرض ترک‌های مورب احتمالی ناشی از نشست ناهمگون دیوار، بیش از ۳ میلی‌متر است.	
	دیوار دارای شکم‌دادگی یا کج‌شدگی است.	
اجرای نامناسب درزهای قائم بین واحدهای بنایی	درزهای قائم بین واحدهای بنایی کاملا با ملات پر نشده است.	درزها با ابزار فلزی کاملا خالی شده و سپس با ملات جدید پر شوند. در صورت عدم استفاده از این روش، باید مقاومت برشی درون صفحه و مقاومت خمشی خارج از صفحه‌ی دیوار نصف مقادیر محاسبه شده برای دیوار کامل منظور شود.
نایابداری و نبود مقاومت خارج از صفحه دیوار	نسبت ارتفاع به ضخامت h/t دیوار از ۰/۱ تجاوز می‌کند.	می‌توان با افزایش ضخامت دیوار و یا با استفاده از یک سیستم پشتبند دیوار را بهسازی نمود. دیوارهایی که ضخامت آن‌ها افزایش می‌یابد باید در تمامی ارتفاع دیوار، اتصال داخلی کاملی داشته باشد. برای مهار دیوارها با سیستم پشتبند می‌توان از اعضای قائمی که به کف و سقف متصل می‌شوند استفاده نمود. این اعضا باید برای نیروی خارج از صفحه‌ی دیوار طراحی گردند و فاصله‌ی افقی این اعضا نباید از نصف ارتفاع و یا ۱۸۰ سانتی‌متر تجاوز کند. هم‌چنین حداکثر تغییرمکان این اعضا نباید از یک‌دهم ضخامت دیوار تجاوز کند.
	تنش خمشی ایجاد شده ناشی از لنگر خمشی خارج از صفحه‌ی دیوار که تحت اثر نیروی عمود بر دیوار طبق رابطه‌ی (۷-۶) دستورالعمل به‌دست می آید، بیش از مقاومت کششی دیوار بر اساس تبصره‌ی ۱ بند (۷-۸) استاندارد ۲۸۰۰ است. طبق بند مذکور می‌توان مقاومت کششی مجاز ملات را حداکثر تا ۱۵ درصد مقاومت فشاری آن‌ها منظور در استاندارد شماره ۵۱۹ ایران منظور نمود.	
ارتفاع زیاد دیوار	ارتفاع آزاد دیوار مصالح بنایی از ۴ متر بیش‌تر است.	ارتفاع آزاد دیوار را می‌توان با تعبیه‌ی کلاف افقی در آن کاهش داد. این کلاف باید برای نیروی خارج از صفحه‌ی دیوار طراحی گردیده و فاصله‌ی قائم آن با کلاف‌های افقی بالا و یا پایین از ۴ متر تجاوز ننماید. این کلاف باید به نحو مناسبی به کلاف‌های قائم متصل گردیده و حداکثر تغییرمکان از یک‌دهم ضخامت دیوار تجاوز نکند.
طول زیاد دیوار	طول آزاد دیوار مصالح بنایی از ۵ متر بیش‌تر است.	از تعبیه‌ی پشتبند یا کلاف قائم می‌توان برای کاهش طول آزاد استفاده کرد. کلاف قائم باید برای نیروی خارج از صفحه دیوار طراحی گردیده و به نحو مناسبی به کلاف‌های افقی کف و سقف متصل شود.

جدول ۴: نواقص مربوط به سیستم کلاف ساختمان بنایی و راهکارهای پیشنهادی جهت رفع نقص[۱].

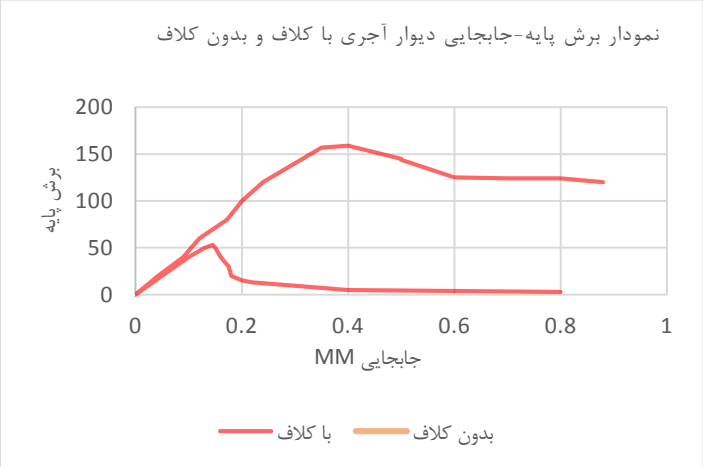
تام نقص	دلیل وجود نقص	راهکار پیشنهادی بهسازی
نبود کلاف افقی بی	در تراز پی از کلاف افقی استفاده نشده است و خود پی نیز به واسطه‌ی نایپوستگی، قابلیت ایفای نقش کلاف افقی را ندارد.	سیستم کلاف‌بندی پی مطابق بند (۳-۹) استاندارد ۲۸۰۰ اصلاح شود.
کیفیت نامناسب مصالح کلاف بتنی	در بررسی‌های عینی کلاف تخلخل یا نواقص دیگر در بتن مشاهده شده است.	با استفاده از روش‌های رایج تقویت مصالح بتنی یا متصل کردن مقاطع مناسب فولادی کلاف بتنی تقویت شود.
	مقاومت فشاری بتن کمتر از ۱۵۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع است.	
وضعیت نامناسب اتصالات اجزای کلاف	میلگردهای کلاف بتنی در اتصالات همپوشانی لازم را ندارند.	اتصالات با استفاده از مقاطع مناسب وصله‌های فولادی و به طول کافی تقویت شود.
	اتصالات کلاف‌های فولادی مناسب نیست.	
وجود انفصال در کلاف	کلاف افقی یا قائم در هر تراز از ساختمان به واسطه‌ی وجود بازشو یا نیم طبقه ادامه نیافته و به کلاف قائم یا افقی مجاور متصل نشده است.	گسست منفصل با افزودن کلاف‌های افقی و قائم مناسب به شبکه‌ی کلاف متصل شود.
	قطر انفصال ایجاد شده در اثر عبور لوله‌ی آب، فاضلاب یا دودکش در کلاف افقی یا قائم بیش از یک هشتم عرض کلاف است.	می‌توان در محل انفصال با نصب ورق‌های فولادی با طول، عرض و ضخامت مناسب در دو طرف کلاف بتنی، نقص را برطرف نمود.
ضعف اتصال دیوار و کلاف	بین دیوار و کلاف اتصال مناسبی وجود ندارد.	با استفاده از بست‌های مهاری مناسب که در فواصل حداکثر ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر قرار می‌گیرند، می‌توان اتصال را تقویت کرد.

جدول ۵: نواقص مربوط به اتصالات اعضاء ساختمان بنایی و راهکارهای پیشنهادی جهت رفع نقص[۱].

تام نقص	دلیل وجود نقص	راهکار پیشنهادی بهسازی
اتصال نامناسب دیوارهای متقاطع	واحدهای بنایی در دیوارهای باربر متقاطع در یک تراز چیده نشده و در یک سطح بالا آورده نشده‌اند.	از کلاف قائم مطابق ضوابط بند ۳-۹ استاندارد ۲۸۰۰ ایران در محل تقاطع دو دیوار استفاده شود. در این صورت کلاف قائم باید به کلافهای افقی پی و طبقه به نحو مناسبی متصل شود. در صورت عدم استفاده از کلاف قائم می‌توان اتصال را با استفاده از میلگردهای گوشه و یا چفت و بستهای مناسب دیگر که در فواصل حداکثر برابر ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر قرار می‌گیرد، تقویت نمود.
	ضوابط بند (۳-۱۰-۳) استاندارد ۲۸۰۰ ایران اجرا نشده یا در اجرای دیوارهای متقاطع از کلافهای بتنی، فلزی و چوبی گوشه استفاده نشده است.	
ضعف اتصال بین دیوارهای باربر و دال	دیوارهای باربر مصالح بنایی در تراز طبقات مطابق بند (۳-۱۱-۳) استاندارد ۲۸۰۰ به دال متصل نشده‌اند.	می‌توان با افزودن اتصالات فلزی بین دیوار و دال، ضمن تقویت اتصال، ظرفیت انتقال نیروی برشی از دال به دیوار را افزایش داد. بدین منظور می‌توان از میل‌مهار و یا گل‌میخ استفاده نمود. مقاومت مجاز کششی و برشی میل‌مهار و گل‌میخ را می‌توان براساس مقادیر مندرج در جدول(۷-۱) دستورالعمل و یا انجام آزمایش کشش و پیچش میل‌مهار تعیین نمود. در صورت انجام آزمایش، مقاومت مجاز میل‌مهار ۴۰ درصد میانگین مقاومت نهایی میل‌مهارهای آزمایش شده است. حداکثر فاصله‌ی بین گل‌میخ‌های این اتصالات ۱۰۰ سانتی‌متر است. همچنین لازم است حداقل یک مهار در فاصله‌ی ۵۰ سانتی‌متری گوشه‌ها تعبیه شود.
	انصال دیوار و دال نمی‌تواند نیروی عمود بر صفحه‌ی دیوار را که از رابطه‌ی ۷-۶ دستورالعمل محاسبه می‌شود تحمل نماید.	
ضعف اتصال تیغه و دیوار باربر	دیوار و تیغه‌ی متکی به طور همزمان یا به‌صورت لایز یا به‌صورت هشتگیر چیده نشده و ضوابط مندرج در بند (۳-۷-۵) استاندارد ۲۸۰۰ نیز رعایت نشده است.	با استفاده از مقاطع فلزی مانند نبشی یا چفت و بستهای فلزی دیگر، دو طرف دیوار یا تیغه را در فواصلی حداکثر برابر یک متر به دیوارهای اصلی و دال متصل نمود.

جدول ۶: مقایسه اقتصادی هزینه ساخت ۳ نوع اسکلت ساختمان[۲].

	ساختمان بتنی	ساختمان بنایی کلاف‌دار	ساختمان فولادی
پی	۳۷	۹	۳۳
اسکلت	۹۱	۴۹	۱۰۳
سفت‌کاری	۲۸	۳۵	۲۸
مجموع	**۱۵۶**	**۹۳**	**۱۶۴**



شکل ۲: مقایسه نمودار پوش آور دیوار آجری با کلاف و بدون کلاف [۲].

۶- راهکارهای کلی جهت بهبود لرزه ای ساختمان های بنایی

۶-۱- سبک سازی سقف ها

با توجه به قانون دوم نیوتن مقدار نیروی وارده به ساختمان رابطه مستقیم با جرم دارد. سقف‌ها در عین اینکه می بایست تحمل انتقال بارهای ثقلی را داشته باشند باید بتوانند استهلاک نیروی زلزله را با شکل پذیری مناسبی که از خود هنگام زلزله نشان می‌دهند داشته باشند؛ که در اینصورت به هدف اصلی در طراحی رسیده ایم. در سقف‌های تیرچه استفاده از فوم پلی استایرن با درنظر گرفتن تمهیدات مقاومت در برابر آتش‌سوزی پیشنهاد می‌شود. برای سقف‌های بام از پوکه ها صنعتی جهت هرچه سبک بودن سقف استفاده گردد.

۶-۲- رعایت ضوابط آئین نامه ای

افزایش انسجام سقف [۳]. نسبت طول دهانه به عرض سقف کوچکتر از ۳ باشد. افزایش طول تکیه گاهی تیرها با استفاده از کلاف و اتصال به بالای دیوار. همچنین، جهت یکپارچه عمل کردن و تغییر شکلهای مناسب سازه در هنگام زلزله میبایست عملکرد مشترک سازه معیار طراحی قرار گیرد. دیوارهای سازه ای باید در هردو جهت پلان بطور یکنواخت پراکنده باشد. تعداد و ابعاد بر اساس طراحی لرزه ای [۴]. کف‌ها به صورت یک دیافراگم صلب عمل کند. کف‌ها باید توسط کش‌های فولادی به دیوار سازه‌ای جهت مهار کردن دیوارها در مقابل ارتعاشات خارج از صفحه متصل گردد. شالوده باید قادر به انتقال بار به خاک باشد و اتصال مناسب کلاف‌های قائم با فنداسیون تأمین گردد. فاصله آرماتورها درمحل های بحرانی، طول خم، شعاع خم و زاویه خم با توجه به آیین نامه و نوع شکل پذیری مطابق با آیین نامه و منظمی پلان در جهات X و Y رعایت فاصله خاموت ها در نواحی مختلف کلافها مطابق ضوابط مبحث هشتم مقررات ملی ساختمان. رعایت ضوابط مربوط به بازشوها در مبحث هشتم از قبیل حداکثر سطح بازشوها، حداقل سطح دیوارها، فاصله بازشوها از یکدیگر و از نبش دیوار. استفاده از نبشی‌کشی در دیوارهای نمای ساختمان‌ها و پیرامون پنجره ها با اتصال مناسب. با افزایش مساحت بازشو علاوه بر کاهش مقاومت دیوار، شکل‌پذیری آن‌هم کاهش می‌یابد. به طورکلی مدت عمل آوری بتن به نوع و شرایط محیطی بستگی دارد که در ساختمانهای بنایی می بایست حداقل مدت ۷ روز رعایت گردد. نوع عمل آوری و مراقبت مطابق با ضوابط آیین نامه ای. دوغاب ملات روانی در دیوارهای آجرفشاری با ملات ماسه سیمان و بعضا دیوارهای با بلوک سیمانی و ملات ماسه سیمان استفاده کرد. می‌توان ارتفاع دیوار به ۲ یا ۳ قسمت افقی تقسیم کرد و از دوغاب جهت پخش در سرتاسر دیوار استفاده نمود.

۶-۳- طراحی و اجرای دقیق جزئیات اجرایی تیرها و سقف و نیز اتصال به کلاف ها

در سقف های تیرچه تراشیدن به طول ۱۵ سانتیمتر نقاط ابتدایی و انتهایی دوسر تیرچه‌ها، تا با قالب‌بندی قسمت تراشیده شده در قسمت زیر سقف، با بتن شناژ دیوار درگیر شود. رعایت جهت قرارگیری تیرچه‌ها و نیز ضوابط آیین نامه‌ای تیرهای عرضی (Tie Beam) استفاده از جفت زیگزاک در دهانه‌های ۶ متر به بالا، جهت تقویت برشی تیرچه ها. برای صرفه اقتصادی میتوان در نقاط ابتدایی و انتهایی به طولی که بیشترین نیروی برشی وجود دارد (از بر تکیه گاه فقط از جفت زیگزاگ در تیرچه‌ها استفاده کرد). در سقف های طاق ضربی، تراز بودن تیرآهن‌ها و استفاده از میلگردهای ضربدری با اتصال مناسب به بالا فوقانی تیرها. توجه اینکه میلگردهای ضربدری جهت ایجاد یکپارچگی در دوجهت می‌باشد و می بایست به نحو مناسب و مقاوم به بال فوقانی تیرآهن‌ها متصل شود. اجرای بتن به ضخامت ۵ تا ۷ سانتیمتر روی سقف باعث افزایش یکپارچگی می‌شود. به نظر می‌رسد اجرای میلگرد روی بال فوقانی عمود بر جهت قرارگیری تیرها باعث یکپارچگی بیشتر سقف گردد.

۶-۴- طراحی و اجرای دقیق جزئیات اجرایی تیرها و سقف و نیز اتصال به کلاف ها

خاموت‌ها بتن را محصور می‌کنند، در نتیجه باعث ازدیاد مقاومت و شکل پذیری و بهبود عملکرد لرزه ای سازه می شود. نکته قابل توجه اینکه خاموت‌ها جهت محصورکنندگی نبایستی دارای زاویه خم ۹۰ درجه باشند، چون در اینصورت هیچگونه محصورکنندگی و نهایتا شکل پذیری عضو از خود نشان نخواهد داد. آرماتورهای طولی کلاف قائم در قسمت بام با خم ۹۰ درجه به روی سقف برگشت داده و خم شوند تا جلوگیری شود از احتمال ساخت طبقه مازاد بر تعداد طبقات طراحی شده. قلاب خاموت‌ها به صورت مارپیچ قرار گیرند تا جلوگیری شود از یک راستا قرار گرفتن قلابها و بوجود آمدن ضعف برشی. اجرای کلاف‌ها در پلان متقارن باشد. هیچ یک از ابعاد کلاف از ۲۰ سانتیمتر کمتر نباشد.[۴]. رعایت کاور بتن مطابق با نقشه‌های محاسباتی. راهکارهای رفع ضعف کلاف ها می تواند شامل استفاده از میلگردهای FRP کاشته شده در سطح و دورپیچ ها با FRP منجر به افزایش برش پایه و جابجایی، شکل پذیری، جابجایی و ظرفیت جذب انرژی کلاف‌های قائم می شود[۵]. بتن با طرح اختلاط و میزان اسلامپ مناسب. مهار کلاف و میلگردهای تقویتی CFRP در داخل فنداسیون، تا به اندازه ای مشخص رفتار کلاف‌ها را از نظر مقاومت و شکل پذیری بهبود بخشیده و بیشتر از این مقدار تأثیری در رفتار کلاف‌ها ندارد[۵]. نحوه قرارگیری خاموت‌ها باید به شکلی باشد که عمود بر عرض ترک پیش بینی شده در مقطع مورد نظر باشد. مقدار کاور بتن، بخصوص کاور تحتانی کلاف مطابق طراحی اجرا گردد. به طور کلی جهت رسیدن به شکل پذیری مناسب، لازم است از تمام حالات شکست ترد اجتناب شود. شناخت ترک‌های محتمل در هنگام زلزله در دیوارها می‌تواند عاملی باشد در جلوگیری از ناپایداری دیوارها؛ که با روشهای مختلف آجرچینی که در جهت عمود بر ترک‌ها می‌بایست اجرا گردد می‌توان به جلوگیری از وقوع ترک اقدام نمود. استفاده از میلگردهای افقی یا همان کمرکش با استفاده حداکثری از ملات جهت غوطه‌ور شدن، جهت عملکرد هرچه بهتر تقویت کلاف‌های افقی و عمودی. اتصال مناسب میلگردهای افقی با قائم (قرار گرفتن در آکس دیوار و غوطه ور نمودن در بتن). کاهش ارتفاع آزاد دیوار. استفاده از شاتکریت تأثیر مثبتی بر روی رفتار دیوارهای بازشودار دارد. در مناطق با لرزه‌خیزی خیلی زیاد استفاده از شبکه میلگرد و بتن شاتکریت جهت افزایش مقاومت برشی.

اتصال عمودی و افقی شبکه روی میلگرد به دیوار و شبکه‌های داخلی دیوار:

باعث افزایش یکپارچگی دیوار و مقاومت برشی:

برای تأمین نیاز مقاومت برشی ساختمان‌های بنایی غیرمسلح در هر جهت، از مفهوم حداقل دیوار نسبی سازه‌ای استفاده شده است.[۲] جهت دیوارهای حیاط پشت بند هر ۵ متر لزوما اجرا گردد و نیز اتصال مناسب در گوشه‌های دیوار در هنگام دیوارچینی صورت گیرد. از کاربرد دیوارهای بنایی با نسبت $H/L > 1$ اجتناب شود.[۲] رعایت ضخامت ملات‌های افقی مطابق با آیین نامه و هرزه ملات‌ها (ملات‌های قائم) استفاده از میلگردهای آجدار استاندارد با کنترل مشخصات ارائه دهنده کارخانه سازنده و نتایج آزمایشات بدست آمده. کنترل حداکثر نسبت لاغری در دیوارها. چنانچه یکی از ابعاد پلان نسبت به بعد دیگر ساختمان از ۳ بیشتر باشد و یا اختلاف ارتفاع و یا پیش آمدگی از حدمجاز بیشتر باشد می‌بایست درز انقطاع به حداقل عرض ۰,۰۰۰۵ ارتفاع آن طبقه از روی تراز پایه درنظر گرفته شود.

۶-۵- مقاوم سازی لرزه ای دیوارها با استفاده از نوارهای فلزی پیش تنیده

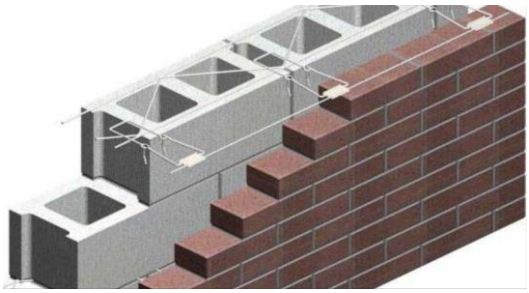
میزان کارایی این روش باعث بهبود پارامترهایی نظیر شکل پذیری، مقاومت برشی، سختی و میزان جذب انرژی ستون ها می شود.[۶]. شکل پذیری در ساختمان های جدیدالاحداث به علت عدم رعایت ضوابط شکل پذیری دچار مشکلات می باشد، به همین دلیل می بایست کلیه ضوابط مبحث هشتم مقررات ملی ساختمان با دقت و حساسیت در محل های اتصال طراحی و اجرا گردد. استفاده از صفحات FRP برای ساختمان های احداث شده دارای ضعف در اتصالات، باعث افزایش شکل پذیری می‌گردد. همچنین

نتایج تحقیقات نشان داده که در اتصالات افزایش نسبت آرماتور طولی کلاف زیرسقف، باعث رفتار غیرشکل پذیر می‌گردد. در هر حالی اجرای ضوابط مقررات ملی ساختمان در قسمت‌های اتصالات دارای اهمیت می‌باشد که بایستی دقیقا اجرا گردد.[۵] استفاده از میل مهار و گل میخ در اتصالات جهت افزایش مقاومت. [۵]. چنانچه رسیدن به شکل پذیری و یا مقاومت در هر روشی میسر نبود از مهاربندهای تسمه ای FRP استفاده می شود.

۷- نمونه ای از بهبود لرزه ای انواع ساختمان های بنایی

۷-۱- ساختمان های آجری

استفاده ار آجر با کیفیت، استفاده از ملات قوی، منظمی در پلان در جهت های عمودی، تامین مقاومت بخصوص مقاومت برشی دیوارهای باربر، کمبود المانهای عمودی محدودکننده، عدم استفاده از کنسول و بالکن نامناسب.



شکل ۲: نحوه صحیح اجرای دیوار بلوک سیمانی با نمای دیوار آجر بیرونی.

۷-۲- ساختمان های سنگی

مهمترین عامل در خرابی دیوارهای سنگی، لغزش سنگ‌ها به هنگام زلزله بر روی یکدیگر میباشد که می بایست هنگام آجرچینی سنگهای ریزتر بین سنگهای درشت تر قرار گیرد و فضای بین آن‌ها پر شود.

۷-۳- ساختمان های خشتی و گلی

در زلزله های اتفاق افتاده نشان داده که دارای آسیب پذیری بسیار بالا و تلفات جانی بسیار بوجود آورده است. راهکارهای رفع ضعف ساختمانهای خشتی و گلی عبارتند از اصلاح مقاومت دیوار بنایی، تأمین جزئیات لرزه ای برای ایجاد مسیر پیوسته انتقال بار. ایجاد پوشش دیوار مسلح بر روی دو سمت دیوار جهت افزایش مقاومت.

۸- روش های تعمیر سازه های بنایی پس از زلزله

۸-۱- تعمیر سطوح

تعمیر سطوح از روش های متداول مقاوم سازی می باشد. تکنیک‌های متفاوتی برای تعمیر سطوح وجود دارد که مهم‌ترین آنها ملات با تور سیمی و بتن پاشی است. این روش ها به طور طبیعی با پوشش خارجی سطوح بر روی ظاهر معماری و تاریخی بنا تاثیر گذار بوده و از جمله نقاط ضعف این نوع مقاوم سازی می باشد.

۸-۲- ملات با تور سیمی

ملات با تور سیمی شامل چندین لایه از شبکه میلگرد با قطر کم و با چشمه های بسیار ریز است که در شکل زیر نمایش داده شده است. ملات سیمان با مقاومت بالا با ضخامتی در حدود ۱۰ الی ۵۵ میلی متر بر روی مش مذکور ریخته می شود.

۸-۳- بتن پاشی

یکی دیگر از روش های موجود برای مقاوم سازی ساختمان های بنایی غیرمسلح پوشش دادن دیوار و یا پایه ها با شاتکریت می باشد. روش کار بدین صورت است که پوشش بتن بر روی شبکه آرماتورهای موجود پاشیده می شود. در این روش اگر طراحی به درستی صورت پذیرد، فولادهای استفاده شده برای مسلح سازی ظرفیت بالایی از جذب انرژی را به ساختمان های بنایی غیرمسلح اضافه می نمایند. باید توجه نمود که حداقل آرماتورهای شبکه همان میزان آرماتور افت وحرارت جهت کنترل ترک باشد. برای این که دیوار و بتن پاشیده شده مانند یک جسم مرکب عمل کنند باید اتصالات برشی میان آن دو تعبیه شود .برای پر نمودن سوراخ هایی که برای ثابت نگه داشتن اتصالات برشی به کار می روند نیز می توان از اپوکسی و یا گروت سیمانی استفاده نمود. ضخامت پوشش بتن پاشیده نیز با توجه به میزان لرزه خیزی منطقه متفاوت است که حداقل ۶۰ میلی متر می باشد. جهت ایجاد چسبندگی لازم میان آجر و پوشش شاتکریت باید ابتدا آجر را به حالت اشباع در آورد تا آب موجود در شاتکریت را جذب نکرده و سبب ایجاد ترک در بتن پاشیده شده نشود و سپس لایه ای مانند اپوکسی را برروی آجر پاشیده و بعد از آن بتن پاشیده شده را بر روی اپوکسی شوت نماییم. اگر بتن پاشی به طریقه بالا صورت پذیرد می توان مقدار بار نهایی ساختمان های بنایی غیر مسلح را افزایش دهد.[۶]

در این روش، شبکه میلگردهای افقی و قائم به دیوار نصب شده و لایه هایی از بتن به روی شبکه میلگردها پاشیده می شود. این روش شامل مراحل ذیل می باشد:

الف- تعبیه شبکه میله گردهای افقی و قائم و اتصال آن بوسیله آرماتورهای دوخت به دیوارموجود،ب- عملیات پاشیدن بتن به ضخامت معین به سطح شبکه آرماتور(شاتکریت)، ج-اتصال شبکه آرماتوربه فونداسیون

۸-۴- روش اصلاح نقاط ترک خورده

این روش به منظور ایجاد عملکردی یکنواخت و یکپارچه در دیوار بنایی استفاده می شود. مراحل اجرای آن به صورت خلاصه به شرح زیر است: الف) مقاوم سازی سازه بنایی با استفاده از دوخت قطعات بنایی در محل ترک با استفاده از میله فولادیب) مقاوم سازی سازه بنایی با استفاده از دوخت قطعات بنایی در محل ترک با استفاده از شبکه فولادی (مش فولادی) افزودن دیوارهای داخلی یا پشت بند جهت بهبود عملکرد لرزه ای ساختمان بنایی. این روش یک روش مقاوم سازی ارزان برای سازه های بنایی محسوب می شود .این روش با مصالح مرسوم و ارزان قابل اجرا است. برای اجرای این روش نیروی متخصص لازم نیست و حتی معمارهای محلی در روستاها نیز قادر به اجرای آن هستند.

۸-۵- پر کردن بازشو ها

یک روش ساده برای مقاوم سازی در صفحه یک دیوار برشی پر کردن بخش و یا تمام پنجره ها یا درهای غیر ضروری میباشد. این عمل از تمرکز تنش که در گوشه های باز شوها تولید می شود و سبب ایجاد ترک است جلوگیری می نماید و همچنین باعث افزایش سختی جانبی دیوار می شود. نکته مهم در پر کردن بازشوها این است که قسمت های پر شده با قسمت های موجود به شکل در هم تنیده اجرا شود و یا نوعی از اتصالات برشی بین آن دو تعبیه شود. این عمل باعث ایجاد عملکرد واحد دیوارهای موجود با بازشوهای پرشده می گردد.

۸-۶- بزرگ کردن بازشوها

بطور متناوب بزرگ کردن بازشوها به وسیله حذف کردن بخشی از مصالح بنایی نیز یکی از راه حل های پیشنهادی می باشد. در این روش چون شکست برشی دیوار باعث آسیب بیشتر خواهد شد، در بعضی حالات با افزایش نسبت ارتفاع به طول دیوار میتوان شکست برشی را تبدیل به شکست خمشی نمود. این تکنیک برای افزایش نسبت طول به عرض پایه ها به کار برده می شود و باعث می شود تا رفتار آن از حالت برشی به حالت خمشی تبدیل شود. این عمل شکل گسیختگی را از حالت شکننده به شکل پذیر تغییر می دهد.

۸-۷- افزایش بارهای قائم

افزودن بارهای قائم به ساختمانهای بنایی غیرمسلح معمولا عملکرد دیوار را تحت بارهای داخل و خارج از صفحه بهبود می بخشد. بارهای قائم در کنار هم نگه داشتن ماتریس بنایی کمک میکند و همچنین بعد از وقوع ترک سبب تولید نیروهای اصطکاکی بیشتری می شود. در این روش، مقاوم سازی میتواند به سادگی و با افزودن وزن سازه انجام شود و یا با اجرای میله و یا کابلهای پس تنیده تنش قائم بر روی اجزا دیوار اعمال کرد. البته این روش باید به دقت انجام گیرد زیرا به مانند نیروهای قائم تنشها روی ساختمان های بنایی غیرمسلح افزایش می یابد و می تواند به گسیختگی شکننده ناشی از خرد شدگی منجر شود. همچنین طراح باید افت کشش ناشی از خزش و انقباض مصالح بنایی را در محاسبات وارد نماید.

۸-۸- تقویت اتصالات دیوار دیافراگم

یک مشکل عمده در رابطه با ساختمانهای بنایی غیرمسلح ناکافی بودن و یا کاهش یافتن پیوستگی میان دیوار و دیافراگم است. این ارتباط از آنجا که سبب مهار بندی دیوار می شود و در مورد دیافراگم های صلب دیوارهای موازی را مجبور می نماید تا با یکدیگر عمل کنند، معیار مهمی در رفتار کلی ساختمان می باشد.

۸-۹- تعبیه شبکه میله گردها و اتصال آن به دیوار موجود

کلیه اندودهای دیوار آجری (پلاستر گچ و گچ خاک) با هر ضخامتی که دارند برداشته شوند. در حین انجام این کار باید توجه شود که به سطح دیوار آجری آسیبی نرسد، همچنین بعد از برداشتن پلاسترها باید سطح دیوار با برس فلزی تمیز شود. سوراخ هایی به فاصله افقی ۲۵ سانتی متر و عمودی ۵۰ سانتی متر از هم به عمق ۲۰ سانتی متر روی دیوار آجری به منظور قرار دادن آرماتور های دوخت ایجاد شود. آرماتورهای برشگیر (دوخت)، با طول حداقل ۳۰ سانتی متر که قسمت انتهایی آنها به صورت قلاب ۱۸۰ درجه با طول خم ۴سانتی متر می باشد، در سوراخ ها قرار داده می شوند و در نهایت سوراخها با چسب اپوکسی پر شده تا آرماتورها

در جای خود محکم شوند (انجام این مرحله با روش خاص شرکت مجری تخصصی کاشت بلامانع است. در مرحله بعد باید شبکه هایی از آرماتورهای افقی و قائم روی سطح دیوار قرار داده شوند. به همین منظور آرماتورهای ϕ۶ با فواصل افقی و عمودی ۶ سانتی متر روی دیوار قرار داده شده و برای اینکه آرماتورها در روی دیوار آجری محکم شوند تا در هنگام بتن پاشی از آن جدا نگردند، لازم است در محل تقاطع با آرماتورهای برشگیر با مفتول به آنها وصل شوند. در این مرحله باید عملیات شاتکریت، تا جایی که شبکه های آرماتور درون بتن مدفون گردند، انجام شود. به همین منظور باید ضخامت بتن پاشیده شده بر سطح دیوار حداقل ۸ سانتیمتر باشد. مقاومت بتن شاتکریت حدود ۱۰۰ کیلو گرم بر سانتی متر مربع می باشد. پاشش شاتکریت به دیوار به دو صورت پاشش » تر «و « خشک « قابل انجام است. در روش پاشش تر بتن تازه با هوای فشرده مخلوط شده و با پمپ به دیوار بنایی پاشیده می شود. در روش پاشش خشک بتن خشک با هوا مخلوط شده و پس از هدایت به محل، با آب پرفشار نیز مخلوط و سپس به دیوار پاشیده می شود. در روش پاشش خشک، فشار هوا در پمپ برای طول لوله ۳۰ متر باید حداقل ۰,۳ مگا پاسکال باشد و برای طولهای بیشتر به ازای هر ۰۵ متر،۰,۰۳۳ مگا پاسکال به فشار اضافه می شود .همچنین فشار آبی که در روش خشک به مخلوط تزریق می شود حداقل ۰,۱ مگا پاسکال بیشتر از فشار هوای مخلوط است.

۸-۱۰- تزریق اپوکسی و گروت

برای اجرای این روش بایستی تجهیزات تزریق رزین خریداری شود؛ ولی این روش میزان مصرف رزین را به سبب اینکه تنها نیاز به پر کردن ترک ها وجود دارد، بهینه می کند. برای اجرای این روش نیز حداقل یک نیروی متخصص لازم است. از جمله راههای متداول مقاوم سازی بوده که در این روش برای برگرداندن مقاومت ساختمان های بنایی غیر مسلح، ترکها و حفره های توخالی که به علت تخریب شیمیایی و فیزیکی سطح یا فعالیتهای مکانیکی به وجود آمده است توسط گروت یا اپوکسی پر می شود. برتری این روش نسبت به روش تعمیر سطوح عدم تخریب سطح و به تبع آن حفظ زیبایی معماری و بافت تاریخی ساختمان های بنایی غیر مسلح است. موفقیت این روش به تکنیک تزریق و یکسان بودن مقاومت، مدول الاستیسیته و مشخصات حرارتی گروت با مصالح بنایی موجود بستگی دارد. برای ترکهای کوچکتر از ۵ میلیمتر از رزین اپوکسی و برای ترکهای بزرگتر و حفره ها میتوان از گروت های ۸ میلیمتر پیشنهاد شده که از گروت سیمانی همراه با ماسه استفاده نمود. برای سوراخهای بزرگتر از ۸ میلی متر پیشنهاد شده که از گروت سیمانی که دارای سیمان پرتلند تیپ ۳ همراه با مواد منبسط کننده و نسبت آب به سیمان ۷۵ استفاده شود.

۸-۱۱- دوخت فونداسیون

برای مقاوم سازی کامل ساختمان باید مقاوم سازی فونداسیون آن نیز در صورت نیاز به نحو مطلوبی انجام گردد تا بتواند نیروهای ناشی از زلزله را به خاک منتقل نماید. در صورت عدم مقاومت کافی فونداسیون تحت لنگرهای خمشی و نیروهای برشی وارده از طرف سازه دچار گسیختگی می گردد .همچنین در صورت عدم کفایت سطح تماس فونداسیون با خاک زیر آن احتمال تسلیم شدن خاک و در نتیجه ایجاد نشست ماندگار خاک زیر پی افزایش می یابد. برای تقویت فونداسیون موجود می توان شبکه هایی از آرماتور در اطرف پی موجود در نواحی ضعیف قرار داد و بتن ریزی نمود. اتصال فونداسیون الحاقی به فونداسیون جدید توسط آرماتورهای دوخت صورت می گیرد. از آن جاییکه مصالح لازم برای اجرای این روش به آسانی پیدا می شود و اجرای آن نیز بسیار راحت است، هزینه این روش بسیار پایین است. برای اجرای این روش نیروی متخصص لازم نیست و حتی معمارهای محلی در روستاها نیز قادر به اجرای آن هستند و این مسائل این روش را به عنوان روشی آسان برای مقاوم سازی دیوارهای بنایی ترک خورده مبدل کرده است.

۸-۱۲- استفاده از روش مقاوم سازی با مصالح FRP

سابقه استفاده از مصالح در صنعت ساختمان کشور ایران به حدود یک دهه می رسد؛ اما امروزه استفاده از کامپوزیت‌های با زمینه پلیمری در بهسازی سازه‌ها از رشد قابل توجهی برخوردار بوده است که دلیل اصلی آن نیاز به افزایش عمر بهره برداری و ارتقای اساسی زیرساخت ها در تمامی نقاط دنیا می باشد.[۷]

۱- آماده سازی سازه مقاوم سازی: قبل از هرگونه اقدام به تقویت با ورقه های FRP بایستی در صورت نیاز بتن تخریب شده را جدا کرده و در صورت رسیدن به آرماتور خورد شده اقدامات مربوط به ترمیم و یا تعویض آن ها را صورت دهیم.

۲- به کار بردن آستری یا پرایمر FRP : برای افزایش چسبندگی و جلوگیری از جدایش ورقه FRP از لایه چسب یا رزین اپوکسی بین بتن و ورقه، با غلتک یک لایه اپوکسی FRP با لزجت کم به طور موضعی روی سطح مورد نظر به عنوان پرایمر می مالند.

۳- بتونه کردن سطح مقاوم سازی: یک لایه چسب FRP با ویسکوزیته بالا برای پرکردن خلل و فرج و فرورفتگیها در محلهای مورد نیاز به کار برده می شود .چسبندگی مناسب الیاف یا لمینت FRP با اجرای مستقیم مصالح ترمیم بر روی لایه زیرین که به درستی آماده شده است حاصل می شود.

۴- بریدن شیت بر روی یک سطح تمیز و آماده که عاری از هر گونه آلودگی، چسب و ناصافی است ورقه FRP مطابق مشخصات و جزئیات ارائه شده بریده می شود.

۵- اشباع کردن الیاف FRP : در پروژه های بزرگ مقاوم سازی ورقه ها با دستگاه های گرداننده خاص در کارخانه اشباع می شوند و لایه اپوکسی یا ماتریس رزین به آن اضافه می شود و فقط کافی است در محل مورد نظر چسبانده شود ولی در کارهای کوچکتر در محل کارگاه رزین FRP روی سطح موردنظر مالیده شده سپس ورقه FRPخشک و بدون چسب بر روی سطح چسبانده می شود.

۶- نظارت بر کنترل کیفیFRP : در زمان عمل آوری ۲ تا ۶ ساعت بسته به شرایط حاکم، سطح مقاوم سازی شده با FRP چک و کنترل می شوند تا هیچ گونه حباب هوا بین لایه FRP و بتن حبس نشده باشد و خم‌شدگی یا بیرون زدگی وجود نداشته باشد.

۷- اطمینان از کیفیت اجرای مقاوم سازی با FRP: گزارش های کنترل کیفیت تهیه شده و به خوبی نگهداری می شوند تا اطمینان از اجرای موفقیت آمیز ترمیم، تقویت و تعمیر با FRP حاصل شود.

۸- لایه رویه FRP : پس از عمل آوری و نظارت بر کیفیت اجرای مقاوم سازی، ورقه های FRP به منظور حفاظت، نگهداری و حفظ زیبایی و معماری با یک لایه بتن رویین یا ماده ای دیگر پوشانده می شوند.

۹- جمع بندی و نتیجه گیری

درک تئوری برای افزایش شکل پذیری در اعضای سازه ای و رعایت اصول طراحی واجرا بر اساس آیین نامه برای داشتن یک رفتار شکل پذیر و ایمن و نیز شناخت مصالح مناسب برای بهبود رفتار سازه بخصوص شکل پذیری، می تواند یک سیر مناسبی در رفتار و عملکرد لرزه‌ای هر چه بهتر سازه محسوب شود. چنانچه در سازه اصول مهندسی رعایت گردد سازه می‌تواند یک سازه مقاوم، با ارضا نمودن عملکرد لرزه ای و کاهش خسارات مالی باشد. بعضی از مصالح دارای بهای بالایی هستند هرچند شکل پذیری خوبی دارند که فقط جهت بهسازی توجیه اقتصادی دارند ولی در سازه های جدیدالاحداث حتی المقدور نبایستی به دلیل عدم صرفه اقتصادی از آنها استفاده کرد. در سازه های جدیدالاحداث بایستی طراحی توجیه اقتصادی نیز داشته باشد که این امر محقق نمی‌شود جز با طراحی اصولی و صحیح مطابق با مقررات ملی ساختمان و اجرای دقیق کلیه جزییات مقررات ملی ساختمان در سازه در زمان

اجرای ساختمان . به نظر می‌رسد بررسی ترک‌های مختلف بعد از زلزله در ساختمان های بنایی با معیار افزایش شکل پذیری و مقاومت میتواند موضوعی باشد که در تحقیقات علمی در آینده مورد توجه قرار بگیرد.

۱۰- مراجع

[1]-Application Guide Seismic Improvement Instructions for Existing Buildings Building Buildings, Journal 3-363
[2]-Safizadeh, B., Maleki, A., 1396, **Evaluation of the performance of walls with unreinforced building materials under lateral loading**, Twelfth Symposium on Science and Technology Advances Fourth Commission: Sustainable Land, New Findings in Civil Engineering and the environment.
[3]-Building 2800 Standard, 2013, Earthquake Design of Buildings, Office of National Building Regulations.
[4]-Article 8 of the National Building Regulations, 1392, design and implementation of masonry buildings, Office of National Building Regulations.
[5]-Mostofinejad, D., Talaei Taba, B., 2004, **Increasing the ductility of reinforced concrete joints using FRP sheets**, First National Congress of Civil Engineering, Tehran, Sharif University.
[6]-Ebrahimi, R. Abedi, K. Afshin, H. Shiri, B, 2016, **Seismic reinforcement of reinforced concrete columns using prestressed metal strips**, 8th Annual National Iranian Concrete Conference.
[7]-Code.376, 2013, Instructions for Seismic Improvement of Unarmed Building Buildings.