مقایسه دیوار آجری کلافدار مطابق استاندارد ۲۸۰۰ با میانقاب

مجید محمدی قاضی محله، استادیار پژوهشکده مهندسی سازه پژوهشگاه
معصومه حسن زاده، کارشناس پژوهشکده مهندسی سازه پژوهشگاه

۱- چکیده

یکی از مهمترین روشهای پیشنهادی استاندارد ۲۸۰۰ برای مقاوم‌سازی ساختمانهای آجری، لزوم ارزیابی یا تقویت آنها بر اساس یک سطح عملکرد خاص و برای نیروی برشی مشخص است. وجود کلاف در دور دیوار این گونه ساختمانها ممکن است این فرض را مطرح سازد که، می‌توان آنها را میانقاب فرض و برای ارزیابی از فرمول‌های میانقاب استفاده نمود. در تحقیق حاضر صحت این فرض مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا، چندین دیوار کلاف‌بندی شده، با مشخصات قاب و میانقاب متنوع، اما مطابق با آیین‌نامه ۲۸۰۰، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در هر حالت نیروهای وارد از میانقاب به کلافها محاسبه و ظرفیت برشی و خمشی آنها مقایسه گردیده است. نتایج نشان داد که دیوار کلاف‌بندی شده را نمی‌توان میانقاب فرض نمود و برای محاسبه مقاومت این دیوارها باید از فرمول‌های دیگری استفاده کرد که در این تحقیق ذکر شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: *استاندارد ۲۸۰۰، زلزله، میانقاب، مصالح بنایی، دیوار کلافدار*

۲- مقدمه

کشور ایران یکی از لرزه‌خیزترین مناطق جهان است. بر اساس آمارهای موجود، درصد زیادی از ساختمانهای مناطق شهری و روستایی کشور را ساختمانهای مصالح بنایی تشکیل می‌دهند و تخریب گسترده این نوع ساختمانها در زلزله‌های گذشته دلیلی بر آسیب‌پذیر بودن آنها در زلزله‌های با شدت متوسط و زیاد است. فراوانی و آسیب‌پذیری زیاد ساختمانهای آجری موجود در کشور، بر لزوم بررسی رفتار لرزه‌ای این ساختمانها بیش از پیش تأکید می‌نماید. در این تحقیق، دیوارهای آجری مندرج در فصل ۳ استاندارد ۲۸۰۰ [۱] مورد بررسی قرار گرفته است.

در فصل سوم آیین‌نامه طرح ساختمانها در برابر زلزله ایران، استاندارد۲۸۰۰ [۱]، اغلب پیشنهادهای ارائه شده برای یک ساختمان آجری کیفی است و روشی برای محاسبه مقاومت جانبی آنها ارائه نشده است. این امر باعث شده که در برخی از طرحهای اجرایی به منظور تأمین حداقل دیوار نسبی در استاندارد ۲۸۰۰، دیوارهایی که انسجام خوبی با کلاف دارند تخریب و به جای آنها دیوارهای با ضخامت بیشتر اجرا شود. بدیهی است این کار، هدف اصلی کلافها را که یکپارچه‌سازی ساختمان است دچار مشکل می‌نماید؛ به گونه‌ای که حتی در برخی موارد باعث سست‌تر شدن ساختمان نیز می‌گردد.

یکی از مهمترین مسائلی که در زمینه مقاوم‌سازی ساختمانهای آجری مطابق استاندارد ۲۸۰۰، مطرح می‌گردد، ارزیابی یا تقویت آنها بر اساس یک سطح عملکرد خاص و برای نیروی برشی مشخص است. در ابتدا ممکن است چنین به نظر رسد که با توجه به وجود کلاف در پیرامون این دیوارها می‌توان آنها را میانقاب فرض و مقاومت آنها را با استفاده از فرمول‌های ارائه شده برای میانقاب محاسبه نمود که در این صورت ساختمانهای آجری را می‌توان به صورت کمّی و برای سطوح عملکرد طراحی کرد؛ بنابراین مطلبی که در این تحقیق به آن اشاره شده، صحت فرض میانقاب بودن دیوارهای کلافدار است. برای این منظور، چندین دیوار کلاف‌بندی شده، با مشخصات متنوع قاب و میانقاب و مطابق با استاندارد ۲۸۰۰، فرض و مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در این راستا، نیروهای وارد از دیوار به کلاف که با فرض رفتار میانقابی دیوارها به دست می‌آیند، محاسبه و با ظرفیت برشی و خمشی کلافها مقایسه گردیده است.

۳- بررسی صحت فرض میانقاب بودن دیوارهای مصالح بنایی کلاف‌بندی شده

ساختمانهای آجری شهری که با ملات سیمان مناسب‌تری چیده می‌شوند نسبت به ساختمانهای مشابه روستایی، مقاومت بیشتری دارند و ممکن است در برابر زلزله‌های با بزرگای ۶ تا ۶/۵ نیز پایدار بماند؛ اما به طور کلی اغلب ساختمانهای آجری غیرمسلح، تحمل زلزله‌های با بزرگای ۷ یا بیشتر را ندارند و بر اثر زلزله فرو می‌ریزند [۲].

در بررسی بسیاری از ساختمانهای مصالح بنایی که در معرض زمین‌لرزه قرار گرفته‌اند، مشخص شده که همواره خسارات مشابهی در آنها تکرار شده است. از آسیب‌پذیرترین قسمتهای این ساختمانها، دیوارها و کلاف‌بندی دور آنهاست.

در فصل سوم آخرین نسخه استاندارد ۲۸۰۰، ضوابط مربوط به ساختمانهای مصالح بنایی غیرمسلح به تفصیل آمده است. این استاندارد به عنوان یکی از اصول کلی، اجرای کلاف‌بندی افقی در ترازهای زیر دیوار، زیر سقف و کلاف‌بندی قائم، را در کلیه ساختمانها الزامی می‌داند. در ادامه، ضوابط این استاندارد در مورد کلاف‌بندی به طور خلاصه ذکر شده است.

ابعاد کلاف افقی در تراز زیر سقف باید هم‌عرض دیوار باشد و در هر حال نباید از ۲۰ سانتیمتر کمتر انتخاب شود. در مورد کلاف قائم نیز عرض کلاف نباید از ۲۰ سانتیمتر کمتر در نظر گرفته شود. حداقل قطر میلگردهای طولی در کلافهای افقی و قائم ۱۰ میلیمتر برای میلگرد آجدار و ۱۲ میلیمتر برای میلگرد ساده در نظر گرفته شده است. حداقل قطر میلگردهای برشی (خاموت) در کلافهای قائم و افقی به ۶ میلیمتر محدود می‌شود. این خاموتها در کلاف قائم در فواصل ۲۰ سانتیمتری و در کلاف افقی حداکثر در فواصل ۲۵ سانتیمتری و یا ارتفاع کلاف هر کدام کمتر باشد، در نظر گرفته می‌شود.

در آیین‌نامه موقت حفاظت ساختمانها در برابر زلزله [۳] نیز اجرای کلاف افقی در زیر کلیه دیوارها و زیر سقف توصیه شده است؛ ولی به لزوم وجود کلافهای قائم اشاره نشده و تنها توصیه گردیده که در گوشه‌های ساختمان و در محل تقاطع دو دیوار میله‌های قائم فولادی کار گذاشته شود که دو کلاف بتن مسلح بالا و پایین دیوار را به یکدیگر متصل سازد. در این آیین‌نامه به منظور تأمین مقاومت کافی دیوار در جهت عرضی تأکید شده که کلیه دیوارهای با مصالح بنایی که بین دو ستون قرار می‌گیرند باید توسط میلگردهای افقی و قائم به قطر ۱۲ میلیمتر و به فاصله حداقل هر یک متر به تیر و ستون متصل شوند.

در مورد ساختمانهای مصالح بنایی بویژه در بعضی طرحهای مقاوم‌سازی این سؤال مطرح می‌شود که آیا دیوارهای کلاف‌بندی شده را می‌توان به عنوان میانقاب در نظر گرفت؟ در واقع آیا کلافهای اطراف دیوار با مصالح بنایی برای تحمل نیروی اعمال شده از طرف دیوار کفایت لازم را دارند یا خیر؟ در صورت صحت این فرض می‌توان مقاومت جانبی یک ساختمان آجری دارای کلاف را با استفاده از فرمول‌های موجود برای برآورد مقاومت قاب میانپر، به صورت عددی محاسبه و ساختمانهای آجری را برای سطوح عملکرد مختلف طراحی نمود.

بر اساس ضوابط *FEMA 273* [۴] و *FEMA 306* [۵]، برای اینکه بتوان دیواری را میانقاب فرض نمود، اعضای قاب محصورکننده آن باید مقاومت لازم برای تحمل بار ناشی از عملکرد میانقابی دیوار را داشته باشد. در این مقاله بر اساس روابط موجود در این آیین‌نامه‌ها، برای کلیه حالات مورد نظر، نیروی وارد از دیوار به کلاف دور آن محاسبه شده است. این نیروها در مدلسازی به صورت مؤلفه‌های قائم و افقی در نقاط مشخصی که در آیین‌نامه ذکر شده، به اعضای قاب محصور کننده (کلاف قائم و افقی) اعمال می‌شود. با مقایسه نتایج به دست آمده از تحلیل و مقایسه آن با مقاومت برشی و خمشی کلافهای افقی و قائم می‌توان صحت فرض میانقاب بودن دیوارهای توصیه شده استاندارد ۲۸۰۰ را بررسی کرد.

در استاندارد *FEMA* [۴، ۵ و ۶] ، برای برآورد مقاومت نهایی، عرض معادل و سختی میانقاب رابطه مینستون توصیه شده است (رابطه ۱):

$$F_{uh} = a \times t_{inf} \times f_{me} \times \cos\theta \qquad (۱)$$

در این رابطه، F_{uh} مقاومت نهایی میانقاب بر حسب نیوتن (مؤلفه افقی مقاومت عضو قطری معادل) و a مقدار عرض بادبند فشاری معادل میانقاب *(m)*، t_{inf} ضخامت دیوار *(m)*، f_{me} مقاومت فشاری مصالح دیوار (Pa) و θ زاویه قطر

دیوار با افق (درجه) است:

$$a = ۰/۱۷۵ \times (\lambda_۱ \times h_{col})^{-۰/۴} \times r_{inf} \quad (۲)$$

که در آن :

$$\lambda_۱ = \left[\frac{E_{me} \times t_{inf} \times Sin(۲\theta)}{۴E_{fe} \times I_{col} \times h_{inf}}\right]^{\frac{۱}{۴}} \quad (۳)$$

در روابط مذکور، h_{col} ارتفاع ستون تا مرکز تیر (m)، r_{inf} طول قطری پانل (m)، E_{me} مدول یانگ مصالح دیوار (Pa)، E_{fe} مدول یانگ مصالح قاب (Pa)، I_{col} گشتاور لختی ستون $(m^۴)$ و h_{inf} ارتفاع پانل (m) است.

FEMA پیشنهاد می‌کند برای ملحوظ نمودن اثر دیوار در قاب میانپر، به جای دیوار، از عضو معادل فشاری هم ضخامت با آن و با عرض a استفاده شود. بدیهی است که مؤلفه قائم ناشی از عملکرد میانقابی دیوار که به تیرها یا کلافهای افقی وارد می‌شود از رابطه (۴) به دست می‌آید:

$$F_u = a \times t_{inf} \times f_{me} \times \sin\theta \quad (۴)$$

بر اساس ضوابط آیین‌نامه *FEMA* [۴، ۵ و۶]، که در آیین‌نامه بهسازی ایران [۷] نیز به آن اشاره شده، برای فرض یک دیوار محصور به عنوان میانقاب، مقاومتهای خمشی و برشی مورد انتظار ستونهای مجاور یک میانقاب باید حداقل برابر بزرگترین نیروهای حاصل از دو حالت زیر باشد:

الف) اعمال مؤلفه افقی نیروی مورد انتظار دستک معادل میانقاب در فاصله L_{ceff} از بالا یا پایین میانقاب (رابطه ۵):

$$L_{ceff} = \frac{a}{Cos\,\theta_c} \quad (۵)$$

در این رابطه، a عرض مقطع عضو قطری معادل میانقاب است که از رابطه (۲) به دست می‌آید. θ_c نیز از رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

$$Tan\theta_c = \frac{h_{inf} - \frac{a}{Cos\theta_c}}{l_{inf}} \quad (۶)$$

ب) نیروی برشی حاصل از ایجاد مقاومت خمشی مورد انتظار ستون در بالا و پایین آن با طول کوتاه شده‌ای برابر ارتفاع ستون منهای L_{ceff}.

برای تیرهای مجاور تیغه میانقاب، مقاومت خمشی و برشی لازم باید حداقل برابر بزرگترین نیروهای حاصل از دو حالت زیر باشد:

الف) مؤلفه قائم عضو معادل میانقاب در فاصله L_{beff} از طرفین میانقاب (رابطه ۷):

$$L_{beff} = \frac{a}{Cos\,\theta_b} \quad (۷)$$

در این رابطه، a عرض مقطع عضو قطری معادل میانقاب است و θ_b از رابطه (۸) محاسبه می‌شود:

$$Tan\,\theta_b = \frac{h_{inf}}{L_{inf} - \frac{a}{sin\,\theta_b}} \quad (۸)$$

ب) نیروی برشی حاصل از ایجاد مقاومت خمشی تیر در دو انتهای تیر، با طول کوتاه شده‌ای برابر با طول خالص منهای L_{beff}.

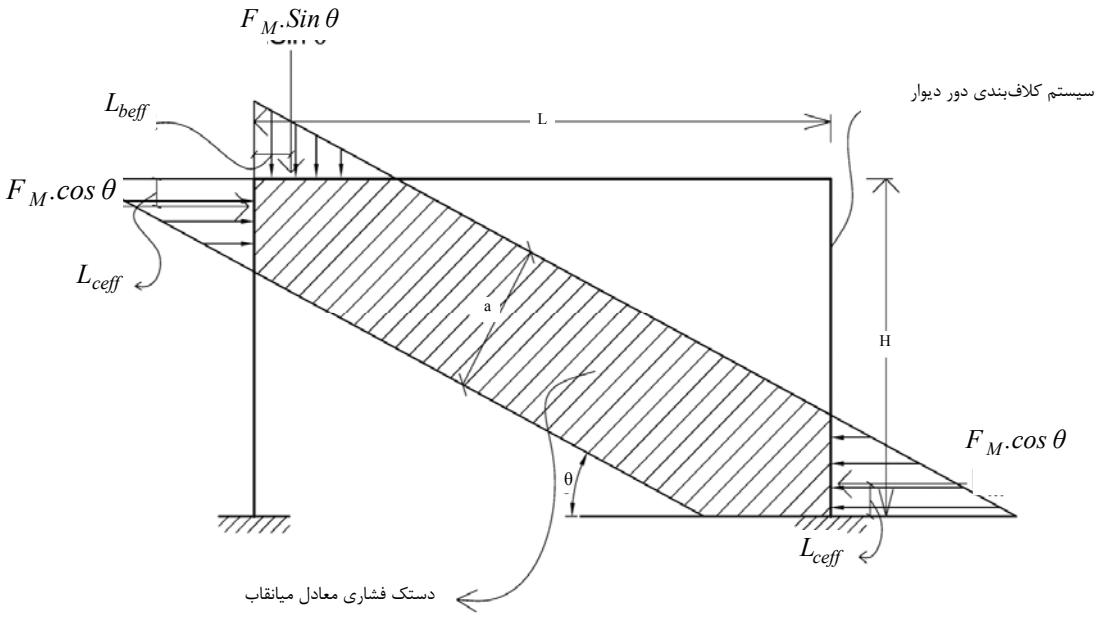
برای بررسی صحت فرض میانقاب بودن دیوارهای مندرج در فصل سوم استاندارد ۲۸۰۰، مشخصات دیوار و کلافها، بر اساس جدول (۱) فرض شده که در آن منظور از عرض کلاف، بعد آن در جهت ضخامت دیوار است. لازم به ذکر است که در این تحقیق، بررسی لازم برای دو دیوار به ضخامتهای متداول ۲۲ و ۳۵ سانتیمتر انجام شده است.

مقاومت و عرض معادل هرکدام از دیوارهای مفروض، با فرض میانقاب بودن آنها، از رابطه مینستون به دست آمد. هر کدام از حالات مورد بررسی که مشخصات آنها در ستونهای اول و دوم جدول (۲) آمده است، به صورت یک قاب یک دهانه، مدل و در آن، ابعاد دیوار و مقاومتهای مصالح قاب مدّ نظر قرار گرفت. با اعمال مؤلفه‌های ناشی از رابطه مینستون (روابط ۱ و ۴، مؤلفه افقی و قائم) در فواصل L_{ceff} از بالا و پایین ستون و L_{beff} از طرفین تیر به صورت کامل در نرم‌افزار *SAP* ۲۰۰۰، مدلسازی و تحلیل شد که یک نمونه آن در شکل (۱) نشان داده شده است (رابطه ۹):

$$F_M = a \times t_{inf} \times f_{inf} \quad (۹)$$

جدول(۱): مشخصات نمونه‌های مورد بررسی

مقاومت مصالح دیوار $Kg/cm^۲\ (f'_m)$	مقاومت‌مصالح کلاف $Kg/cm^۲\ (f'_c)$	ابعاد دیوار کلاف بندی شده طول × ارتفاع (متر)	ابعاد مقطع مستطیلی کلاف قائم عرض × طول (سانتیمتر)	ابعاد مقطع مستطیلی کلاف افقی عرض × طول (سانتیمتر)
بین ۳۰ تا ۷۰	بین ۵۰ تا ۲۰۰	۳×۳ ، ۳×۴ ، ۳×۵ ۴×۳ ، ۴×۴ ، ۴×۵	۲۰×۲۰ ۲۰×۳۵	۲۰×۲۰ ۲۰×۳۵



شکل (۱): میانقاب مدل شده به صورت دستک معادل فشاری

پس از تحلیل‌های لازم، نتایج جدول (۲) در مورد ظرفیتهای برشی و خمشی ستونهای اطراف دیوار به دست می‌آید. البته لازم به ذکر است که در این جدول منظور از ستون و تیر به ترتیب کلافهای قائم و افقی و منظور از بحرانی‌ترین و بهترین حالات، حالتهایی است که به ترتیب بیشترین و کمترین مقاومت برای کلاف مورد نیاز است. لازم به ذکر است که بیشترین مقاومت مورد نیاز برای کلاف، زمانی لازم است که مصالح دیوار بیشترین و مصالح قاب (اعضای کلاف) کمترین مقاومت را داشته باشند. برعکس، کمترین مقاومت کلاف در نمونه دارای مصالح دیوار با کمترین و مصالح قاب دارای بیشترین مقاومت لازم می‌شود.

هرکدام از دیوارهای به ضخامت ۲۲ و ۳۵ سانتیمتری، با توجه به مقاومت مصالح بکار رفته در قاب و میانقاب، در جدول (۲) به بهترین حالت و بحرانی‌ترین حالت دسته‌بندی شده‌اند. ستون دوم که ارتفاع دیوار را نشان می‌دهد برای حالت متعارف ۳ متر و برای حالت حداکثر مجاز ۴ متر انتخاب شده است. ستون بعدی، طول دیوار است که ۳ یا ۵ متر انتخاب شده است (طول ۵ متر فاصله حداکثر بین کلافهای قائم بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ است). f'_c مقاومت فشاری مشخصه مصالح قاب $(Kg:cm^2)$ و f'_m مقاومت فشاری مصالح دیوار $(Kg:cm^2)$ است. ابعاد کلاف قائم نیز بر اساس ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ در نظر گرفته شده و در ستون ششم آمده است. در این ستون منظور از طول و عرض، به ترتیب ابعاد مقطع کلاف در راستای موازی و متعامد با دیوار است. مقدار F_{uh} با فرض میانقاب بودن دیوار در ستون هفتم و در دو ستون بعدی مقادیر مورد نیاز خمش و برش در کلافهای قائم با فرض کنش میانقابی دیوار که از تحلیل به دست آمده، آورده شده است. ظرفیت برشی کلاف قائم نیز با توجه به مشخصات مفروض برای هر حالت با استفاده از رابطه (۱۰) محاسبه و در ستون آخر درج شده است [۸]:

$$V = V_S + V_C$$

$$= \frac{A_V \times F_y \times d}{S} + ۰/۵۳ \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \qquad (۱۰)$$

در این رابطه، V_S نیروی برشی تأمین شده توسط میلگردهای برشی (kg)، V_C نیروی برشی تأمین شده توسط بتن (kg)، A_V سطح مقطع میلگردهای برشی در فاصله S (cm^2)، d ارتفاع مؤثر مقطع (cm) و b عرض مقطع (cm) است.

جدول (۲): مقاومت برشی و خمشی لازم و موجود برای اعضای کلاف

حالتهای مورد بررسی	مشخصات قاب و میانقاب					مشخصات محاسبه شده			
	$H(m)$	$L(m)$	f'_c $Kg:cm^2$	f'_m $Kg:cm^2$	ابعاد کلاف قائم عرض×طول (سانتیمتر)	مقاومت نهایی با استفاده از مدل مینستون (kg)	ظرفیت خمشی مورد نیاز مقطع ستون $(kg\text{-}m)$	ظرفیت برشی مورد نیاز مقطع ستون با فرض میانقاب بودن دیوار (kg)	ظرفیت برشی موجود (kg)
بحرانی‌ترین حالات $(t=۲۲cm)$	۳	۵	۵۰	۷۰	۲۰×۲۰	۵۹۵۰۹/۴۴	۱/۴۹۴۲۴	۳۱۱۴۲/۳۵	۵۰۹۶/۵
	۴	۵	۵۰	۷۰	۲۰×۲۰	۵۴۰۴۳/۱	۵/۵۸۱۹۵	۲۷۴۶۵/۸	۵۰۹۶/۵
	۳	۳	۵۰	۷۰	۲۰×۲۰	۳۵۲۶۱/۵۵	۱/۲۸۶۱۳	۱۷۸۷۱	۵۰۹۶/۵
	۴	۳	۵۰	۷۰	۲۰×۲۰	۳۲۴۷۸/۲۵	۳۳۶۷۲/۵	۱۶۹۸۳/۷	۵۰۹۶/۵
بهترین حالات $(t=۲۲cm)$	۳	۵	۲۰۰	۳۰	۲۰×۲۰	۲۹۷۵۱/۵۶	۹/۲۴۲۲۱	۱۵۷۰۳/۸	۶۳۲۲
	۴	۵	۲۰۰	۳۰	۲۰×۲۰	۲۷۰۱۸/۷	۵/۲۸۸۶۶	۱۳۶۹۱/۸	۶۳۲۲
	۳	۳	۲۰۰	۳۰	۲۰×۲۰	۱۷۶۲۸/۹	۵/۱۴۰۴۰	۸۹۵۳/۶	۶۳۲۲
	۴	۳	۲۰۰	۳۰	۲۰×۲۰	۱۶۲۳۷/۴	۹/۱۶۵۶۰	۸۵۲۲	۶۳۲۲
بحرانی‌ترین حالات $(t=۳۵cm)$	۳	۵	۵۰	۷۰	۲۰×۲۰	۹۰۳۷۸/۸۳	۳/۷۵۴۱۴	۴۷۲۶۴/۱	۵۰۹۶/۵
	۴	۵	۵۰	۷۰	۲۰×۲۰	۸۲۰۷۷/۰۵	۱/۹۳۹۷۱	۴۳۹۷۷/۹	۵۰۹۶/۵
	۳	۳	۵۰	۷۰	۲۰×۲۰	۵۳۵۵۲/۸	۱/۴۳۶۶۴	۲۷۱۷۵/۲	۵۰۹۶/۵
	۴	۳	۵۰	۷۰	۲۰×۲۰	۴۹۳۲۵	۳/۳۳۷۴۰	۲۵۷۱۱/۱	۵۰۹۶/۵
	۳	۵	۵۰	۷۰	۳۵×۲۰	۹۵۵۸۰/۸	۱/۸۳۱۵۱	۵۰۴۳۳/۵	۹۷۵۷/۸
	۴	۵	۵۰	۷۰	۳۵×۲۰	۸۶۸۰۱/۱۶	۱/۹۸۰۳۲	۴۲۶۶۵/۲	۹۷۵۷/۸
	۳	۳	۵۰	۷۰	۳۵×۲۰	۵۶۶۳۵/۱۴	۳/۴۶۱۱۳	۲۸۶۲۷/۴	۹۷۵۷/۸
	۴	۳	۵۰	۷۰	۳۵×۲۰	۵۲۱۶۴/۷۷	۶/۵۴۷۶۵	۲۶۸۷۲/۶	۹۷۵۷/۸
بهترین حالات $(t=۳۵cm)$	۳	۵	۲۰۰	۳۰	۲۰×۲۰	۴۵۱۸۴/۶۲	۲/۳۷۰۱۷	۲۳۷۳۴/۷	۶۳۲۲
	۴	۵	۲۰۰	۳۰	۲۰×۲۰	۴۱۰۳۴/۱۷	۸/۴۴۰۲۳	۲۰۷۸۱	۶۳۲۲
	۳	۳	۲۰۰	۳۰	۲۰×۲۰	۲۶۷۷۳/۵۶	۲۱۴۵۰	۱۳۵۸۱/۹	۶۳۲۲
	۴	۳	۲۰۰	۳۰	۲۰×۲۰	۲۴۶۶۰/۲	۳/۲۵۲۹۵	۱۲۹۲۳/۲	۶۳۲۲
	۳	۵	۲۰۰	۳۰	۳۵×۲۰	۴۷۷۸۵/۵	۳۸۸۷۸	۲۳۹۴۹/۶	۱۲۱۰۴/۴
	۴	۵	۲۰۰	۳۰	۳۵×۲۰	۴۳۳۹۵/۹	۴۸۲۷۰/۲	۲۲۰۵۴/۵	۱۲۱۰۴/۴
	۳	۳	۲۰۰	۳۰	۳۵×۲۰	۲۸۳۱۴/۵۷	۲۲۶۳۹/۱	۱۴۳۶۳/۹	۱۲۱۰۴/۴
	۴	۳	۲۰۰	۳۰	۳۵×۲۰	۲۶۰۷۹/۶	۲۶۶۵۲/۶	۱۳۶۶۴/۴	۱۲۱۰۴/۴

با مقایسه بین ظرفیت برشی مورد نیاز برای مقطع کلاف قائم در حالات مختلف و ظرفیت برشی موجود مشخص است که در تمامی حالات، ظرفیت برشی موجود کمتر از مقاومت برشی مورد نیاز مقطع با فرض میانقاب بودن دیوار است که این تفاوت مقادیر حتی تا حدود ۹/۵ برابر نیز می‌رسد (جدول ۲). با توجه به نتایج به دست

آمده، دیوارهای دارای کلاف افقی و قائم با مشخصات توصیه شده در استاندارد۲۸۰۰ را نمی‌توان میانقاب فرض نمود. در صورتی که شرایط مذکور برای فرض میانقاب بودن دیوار محقق نگردد، مقاومت برشی آن مانند دیوارهای معمولی و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

در دیوارهای مصالح بنایی غیرمسلح مقاومت نهایی، متناظر با شکست برشی دیوار است که بر اساس *FEMA356* [۶]، برابر با کمترین مقدار به‌دست آمده از رابطه‌های (۱۱) و (۱۲) است:

$$Q_{CE} = v_{me} \times A_n \qquad (11)$$

$$Q_{CE} = ۰/۹ \times \alpha \times P_{CE} \times \left(\frac{L}{h_{eff}} \right) \qquad (12)$$

در روابط مذکور، v_{me} مقاومت برشی بین ملات و آجر $(Kg:cm^2)$، A_n مساحت یک لایه افقی ملات (cm^2)، α ضریبی که برای دیواره‌های یک طرف گیردار و طرف دیگر آزاد برابر ۰/۵ و برای جرزهای دو سر گیردار برابر ۱ فرض می‌شود، P_{CE} نیروی فشاری اعمال شده به دیوار (kg) است که با رابطه‌های (۱۳ و ۱۴) به دست می‌آید، L طول دیوار (cm) و h_{eff} ارتفاع مؤثر نیروهای جانبی (cm) است:

$$Q_G = ۱/۱\left(Q_D + Q_L + Q_S\right) \qquad (13)$$

$$Q_G = ۰/۹ Q_D \qquad (14)$$

در رابطه‌های (۱۳) و (۱۴)، Q_D بار مرده وارد به دیوار (kg)، Q_L حداکثر ۲۵٪ بار زنده اعمال شده به دیوار (kg)، Q_S اگر مقدار بار برف بیشتر از $۱۵۰ Kg:cm^2$ باشد، برابر ۲۰٪ آن و در غیر این صورت، برابر صفر فرض می‌گردد. در رابطه (۱۰)، مقاومت برشی v_{me} مورد انتظار مصالح بنایی $(Kg:cm^2)$ با استفاده از آزمایش برشی در صفحه مصالح به دست می‌آید. در نتیجه برای به‌دست آوردن v_{me} می‌توان از رابطه (۱۵) استفاده کرد:

$$v_{me} = \frac{۰/۷۵\left(۰/۷۵ \quad v_{te} + \frac{P_{CE}}{A_n}\right)}{۱/۵} \qquad (15)$$

در رابطه (۱۵)، P_{CE} نیروی فشاری اعمال شده به دیوار (kg)، A_n مساحت یک لایه ملات (cm^2)، v_{te} میانگین مقاومت برشی بندهای افقی و v_{to} $(Kg:cm^2)$ با انجام آزمایش مقاومت بندهای افقی ملات طبق رابطه (۱۶) محاسبه می‌شود:

$$v_{to} = \frac{V_{test}}{A_b} - P_{D+L} \qquad (16)$$

در این رابطه، V_{test} بار آزمایش در اولین تغییر مکان واحد مصالح بنایی (kg)، A_b مجموع سطوح لایه ملات در بالا و پایین واحد مورد آزمایش (cm^2) و P_{D+L} تنش ناشی از بارهای ثقلی در ناحیه مورد آزمایش بر حسب $Kg:cm^2$ است.

می‌توان چنین فرض نمود که v_{to} مقدار چسبندگی لایه ملات و آجر می‌باشد که بر اساس آزمایشهای انجام شده در مرجع [۹] در زمینه اندازه‌گیری ضریب چسبندگی (c) که معادل v_{to} است با توجه به مصالح مورد استفاده در ساخت دیوار از این مرجع قابل استناد است. بر این اساس، در بهترین حالت که ملات کیفیت مناسب و مقاومت فشاری قابل توجهی داشته باشد، ضریب چسبندگی برابر با ۲/۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در نظر گرفته می‌شود.

برای یک ساختمان یک طبقه با دهانه‌های ۵ متری (طول دیوار ۵ متر و سطح بارگیر آن ۲۵ مترمربع) مقدار Q_D، Q_L و Q_S برابر مقادیر زیر به‌دست می‌آیند:

$$Q_D = ۶۵۰ \times ۲۵ = ۱۶۲۵۰ Kg$$

$$Q_L = ۲۰٪ \times ۲۰۰ \times ۲۵ = ۱۰۰۰ Kg$$

$$Q_S = ۰$$

با این فرضیات، مقدار Q_G بر اساس روابط (۱۲) و (۱۳) برابر مقادیر زیر محاسبه می‌شوند:

$$Q_G = ۱/۱(۱۶۲۵۰ + ۱۰۰۰) = ۱۸۹۷۵ Kg$$

$$Q_G = ۰/۹ \times ۱۶۲۵۰ = ۱۴۶۲۵ Kg$$

در نتیجه، مقدار حد بالا و پایین P_{CE} به ترتیب برابر ۱۸۹۷۵ و ۱۴۶۲۵ کیلوگرم و مقدار مقاومت برشی مورد انتظار مصالح بنایی با توجه به حد بالای به دست آمده، با رابطه (۱۷) محاسبه می‌شود:

$$v_{me} = \frac{۰/۷۵\left(۰/۷۵ \times ۲/۵ + \frac{۱۸۹۷۵}{۵۰۰ \times ۲۲}\right)}{۱/۵} = ۱/۸ \quad \frac{kg}{cm^2} \qquad (17)$$

مقاومت ترک‌خوردگی (مقاومت نهایی) دیوار آجری بر اساس رابطه (۱۰) برابر است با:

$$Q = ۱/۸ \times ۵۰۰ \times ۲۲ = ۱۹۸۰۰ Kg$$

همچنین مقاومت نهایی که بر اساس رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود با فرض $P_{CE} = ۱۸۹۷۵$، برابر است با:

$$Q_{CE} = ۰/۹ \times ۰/۵ \times ۱۸۹۷۵ \times (\frac{۵۰۰}{۳۰۰}) = ۱۴۲۳۱/۲۵ Kg$$

مقایسه این عدد با مقاومت نهایی به دست آمده با فرض کنش میانقابی دیوارها (جدول ۲)، مبیّن آن است که مقاومت دیوار آجری با بهترین کیفیت به مراتب کمتر از مقاومت میانقاب آجری حتی با کیفیت بسیار پایین‌تر است.

با توجه به موارد مذکور مشاهده گردید که دیوارهای مندرج در فصل ۳ استاندارد ۲۸۰۰ را نمی‌توان میانقاب فرض نمود. بررسیهای دیگر انجام شده در این تحقیق نشان می‌دهد که کلاف مورد نیاز برای صحت فرض میانقاب بودن دیوارها، ابعاد غیر متعارفی دارند؛ به گونه‌ای که در مورد دیوار ۳۵ سانتیمتری با طول ۵ متر و ارتفاع ۴ متر با طول و عرض۶۰ و ۴۵ سانتیمتر و مقاومت فشاری مصالح برابر ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع خواهد شد و طبیعی است که این مشخصات را می‌توان به عنوان ستون و نه کلاف مورد استفاده قرار داد.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق کفایت کلافهای پیشنهاد شده در فصل ۳ استاندارد ۲۸۰۰ برای عملکرد میانقابی دیوارهای ساختمانهای آجری مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور نمونه‌های متنوعی با طول، ارتفاع، ضخامت، مقاومت مصالح دیوار و مقاومت مصالح کلاف متفاوت در نظر گرفته شد و بر اساس ضوابط *FEMA* نیروهای وارد از طرف دیوار به کلاف اعمال گردید. پس از انجام تحلیل لازم و محاسبه تلاشهای ایجاد شده در کلافها مشخص گردید که این تلاشها بیشتر از ظرفیت کلافها هستند؛ بنابراین بروز رفتار میانقابی دیوارها میسر نیست و دیوارهای مصالح بنایی کلاف‌بندی شده با مشخصات مندرج در فصل ۳ استاندارد ۲۸۰۰ را نمی‌توان میانقاب فرض نمود. به عبارت دیگر، برای محاسبه مقاومت دیوار نمی‌توان از فرض کنش میانقابی آن استفاده نمود؛ بلکه باید از فرمول‌های دیگری استفاده کرد. بر اساس *FEMA* محاسبه مقاومت دیوار کلافدار باید با استفاده از فرمول‌های مربوط به دیوارهای آجری انجام گیرد که در این تحقیق ذکر گردید. در این صورت، مقاومت به دست آمده به مراتب کوچکتر از مقاومت حاصل از فرمول‌های مربوط به میانقاب می‌شود.

۵- مراجع

۱. کمیته دائمی بازنگری آیین‌نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله. (۱۳۸۴). *آیین‌نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش ۳* [نشریه ض-۲۵۳].تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

۲. مقدم، حسن. (۱۳۷۳)، *طرح لرزه‌ای ساختمانهای آجری*. تهران: مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف.

۳. سازمان برنامه، دفتر فنی. (مرداد ۱۳۴۳). *طرح پیشنهادی مربوط به آیین‌نامه موقت حفاظت از ساختمانها در برابر زلزله* [نشریه شماره ۱۲]. تهران: مؤلف.

4. Federal Emergency Management Agency. (1996). *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. FEMA-273. Washington D.C.: Applied Technology Council (ATC).

5. The Applied Technology Council (ATC-43 Project). (1998). *Evaluation of earthquake damaged concert and masonry wall buildings* [BASIC Procedures Manual]. FEMA 306. Washington,D.C.: Federal Emergency Management Agency.

6. American Society of Civil Engineers (ASCE). (November 2000). *PRESTANDARD and commentary for the seismic rehabilition of buildings*. FEMA 356. Washington,D.C.: Federal Emergency Management Agency.

۷. *پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله*. (۱۳۸۵). *دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود* [نشریه شماره۳۶۰]. تهران: معاونت امور فنی، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.

8. American concrete institute, committee 318. (2005). *Building code requirements for structural concrete*. ACI 318-05 and Commentary ACI 318 R–05. USA: ACI.

۹. تسنیمی، عباسعلی. (۱۳۸۳). *رفتار دیوارهای مندرج در استاندارد ۲۸۰۰ ایران* [نشریه شماره گ-۴۰۴]. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.