

نشریه علمی مهندسی عمران و فناوری های نوین

سال اول، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲: صص ۳۱-۴۲

علمی

تحلیل و بررسی علل تخریب سازه ها در زلزله بم و کرمانشاه و سی سخت و تطابق آنها با آئین نامه ها

فریدون خسروی^۱، امیررضا اسماعیل زاده^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۸

چکیده

بارهای جانبی و تحریک زمین ناشی از زلزله که عامل ایجاد معادله حرکت در سازه ها می باشند شامل پارامترهای شتاب، سرعت و جابجایی می باشد که عوامل محیط اطراف سازه شامل خاک، زمین و همچنین جداسازها در زیر فونداسیون و میراگرها در سازه نقش مؤثر در استهلاک انرژی و کاهش نیرو در سازه دارد. لکن از طرف دیگر استفاده از روش طراحی و اجرای صحیح نیز نقش مؤثرتری در پایداری سازه دارد. در بازدید و بررسی های انجام شده از سازه های تخریب شده در زلزله بم و کرمانشاه و سی سخت به دست بندی علل تخریب پرداخته شده است تحلیل اولیه نشان می دهد. کلیه عوامل اعم از کارفرما، مشاورین، پیمانکارها و پشتیبانی (شامل اداری و مالی و تدارکات) نقش مهمی در احداث و پایداری سازه ها دارند لکن در این مقاله به یکی از مهم ترین علل تخریب سازه ها در اثر بار لرزه ای که در رابطه با عدم اجرای دقیق مسائل فنی که مؤثرترین عامل تخریب سازه ها در زلزله می باشد پرداخته شده است. در دو منطقه زلزله زده بم و کرمانشاه و جمع آوری اطلاعات از زلزله سی سخت (در سال ۱۳۹۹) و همچنین توجه به استانداردها، از ده ها مورد به شش موردی که در تخریب سازه ها بسیار مؤثر بوده اند پرداخته شده است که شامل سقف طاق ضربی - کمانش موضعی - اتصالات مهاربند همگرا - لهیدگی تیر در مقابل نیروی متمرکز فشاری - استفاده از طبقه انعطاف پذیر - ضابطه ستون قوی تیر ضعیف می باشد ضمناً در تحقیقات حاضر برای یافتن علل آسیب پذیری سازه با آئین نامه های معتبر کنترل شده است.

کلیدواژه ها: زلزله بم و کرمانشاه، نکات فنی و اجرایی زلزله، خرابی ها در زلزله، نکات آئین نامه ای، تخریب سازه ها

^۱ دانشیار، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران - نویسنده مسئول (FerydoonKhosravi@yahoo.com)

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

۱- مقدمه

ناظر متخصص و متعهد- پیمانکار توانمند - دسترسی به امکانات و ابزار و ماشین آلات و مصالح مناسب. در یک کار تحقیقاتی (حقیقت و قربانی ۱۳۹۸). سهم کارفرما درتأخیر پروژه ۲۹/۳٪ سهم پیمانکار ۲۴/۷۸٪ سهم عوامل خارجی در بروز تاخیرات ۲۳/۷۸٪ و سهم مشاور ۲۲/۱۵٪ می باشد.

۲-۳- رعایت آئین نامه ها

لازم است در ساخت و ساز به آیین نامه های ساختمانی، استانداردها ساختمان سازی، مشخصات فنی ضمیمه پیمان ها و نشریات ارشادی و آموزشی و مقررات ملی ساختمان، الزامی بودن و سازگار بودن سازه با شرایط کشوری از حیث نیروی انسانی ماهر، کیفیت و کمیت مصالح ساختمانی، توان اقتصادی و شرایط اقلیمی و محیطی توجه شود.

۳- تحلیل المان های تخریب شده

با توجه به مشاهده و تحلیل اولیه و مدل سازی سازه ها با نرم افزارهای عمرانی به منظور مقایسه و درک صحیح از علل تخریب المان سازه ها و تطابق با بندهای مباحث مقررات ملی ساختمان و آئین نامه ۲۸۰۰ برای تعدادی از سازه های تخریب شده در زلزله بم و کرمانشاه صورت گرفت، به تعدادی از موارد فنی که به وفور در مناطق زلزله زده تخریب شده و هریک به تنهایی می تواند عامل تخریب صددرصدی در سازه باشد پرداخته شده است:

۳-۱- کماتش موضعی

بر اساس بند ۱۰-۲-۲-۲-۱۰ در مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان طبقه بندی مقاطع فولاد از منظر کماتش موضعی برای فشار محوری، مقاطع فولادی به دو گروه زیر طبقه بندی می شوند [۱].

- مقاطع با اجزای غیر لاغر
- مقاطع با اجزای لاغر

مقاطع با اجزای غیر لاغر به مقاطعی گفته می شوند که در آن ها نسبت پهنا به ضخامت اجزای فشاری تشکیل دهنده مقطع عضو از h مشخص شده [در جداول ۱۰-۲-۲-۱۰ و ۲-۲-۲-۱۰ مقررات ملی] تجاوز ننماید. چنانچه نسبت پهنا به ضخامت هر یک از اجزای فشاری تشکیل دهنده مقطع عضو از h مشخص شده در جداول [۱۰-۲-۲-۱۰ و ۱۰-۲-۲-۱۰ مقررات ملی] تجاوز نماید، در این صورت مقطع با اجزای لاغر محسوب می گردد [۱].

تبصره: مطابق مقررات ملی ساختمان، این مبحث استفاده از مقاطع فولادی با اجزای لاغر در اعضایی که تحت اثر فشار محوری قرار دارند، مجاز نیست [۱].

قبل از وقوع زلزله بوئین زهرا (در سال ۱۳۴۱) اغلب ساختمان ها به سبک سنتی و بدون داشتن آیین نامه های معتبر ساخته می شد. «آیین نامه ی موقت حفاظت ساختمان ها در برابر زلزله» و «آیین نامه ی ایمنی ساختمان ها در برابر زلزله» منتشر گردید. لکن با وقوع زلزله بم که عمق کانون زلزله کمتر از ۲۰ کیلومتر از سطح زمین روی داد و در مدت حدود ۱۳ ثانیه به طول انجامید. دریافت شد که باوجود آیین نامه های خوب در گذشته، هنوز دچار ضعف های شدید در اجرای ابنیه می باشیم. در این زلزله ۲۰ هزار واحد مسکونی شهر بم را بیش از ۸۰ درصد تخریب و به سایر بناها نیز آسیب های فراوانی وارد ساخت. در روستاهای مجاور نیز ۱۸ هزار واحد مسکونی (در ۲۵۰ روستا) خسارات کلی و جزئی دیدند. متأسفانه براه وقوع این زمین لرزه حدود ۳۰ هزار نفر کشته و ۲۰ هزار نفر زخمی شدند. نوع مصالح بکار رفته در ساخت و سازهای شهر بم و قدمت تاریخی این شهر نیز حائز اهمیت است. زمین لرزه شدید دیگری در کرمانشاه طبق گزارش مرکز لرزه نگاری کشور، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران رخ داد. این زمین لرزه دارای ۳ پیش لرزه با بزرگی بین ۴/۵-۱/۹ بوده. کانون این زمین لرزه در ۱۰ کیلومتری گسل جبهه کوهستان زاگرس قرار دارد. مطابق با نقشه تهیه شده، کانون زمین لرزه (در مورخ ۲۱ آبان ماه ۱۳۹۶) با بزرگی گشتاوری ۷/۳ در جنوب از گله در شمال شرق قصر شیرین به فاصله ۳۳ کیلومتری و شمال غرب سرپل ذهاب به فاصله ۳۷ کیلومتر واقع است. با توجه به تحقیقات و حضور در منطقه به نکات تحقیقاتی صنعت ساختمان در رابطه با علل تخریب ساختمان ها در اثر زلزله با توجه به مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان و آئین نامه ۲۸۰۰ مطابقت و ارائه می شود.

۲- عوامل مؤثر در تخریب سازه ها

۲-۱- بزرگی و شدت زلزله

آمار و ارقام رکوردهای زلزله در ایران از سال ۱۳۵۰ نشان دهنده رابطه مستقیم شدت زلزله با تخریب ساختمان ها در آن منطقه است که خود گویای عدم اجرا و کیفیت مصالح مناسب در ساخت می باشد.

۲-۲- کلیه عناصر دست اندر کار

ساخت هر سازه ای مستلزم هماهنگی و همکاری سیاست گذاران - پیگیری فنی و مالی و نظارتی بر پروژه از طرف کارفرما - وجود منابع مالی مستمر بر اساس قرارداد - دسترسی به نیروهای متخصص و متعهد فنی و مدیریتی در تمام رده ها از کارگر فنی آموزش دیده تا مدیرعامل - مشاور متخصص و متعهد -



شکل (۱): کمانش در بادبند

بال ها و جان اعمال می‌شود. در نتیجه برای نسبت پهنا یا ارتفاع به ضخامت اجزا در اعضای تحت فشار، یا فشار و خمش رعایت اعداد کوچک‌تری مقرر می‌گردد؛ که بانام مقطع فشرده لرزه‌ای معرفی می‌شود [۱].

در ضوابط فنی و طراحی آمده است: طبق بند ۱۰-۳-۴ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان الزامات لرزه‌ای کمانش موضعی، در سازه‌های با شکل‌پذیری زیاد و متوسط که از آنها انتظار تحمل تغییر شکل‌های فرا ارتجاعی انتظار می‌رود، برای مقاطع اعضا ضوابط سخت‌گیرانه‌تری در رابطه با کمانش موضعی



شکل (۲): کمانش در ستون

پیشنهادهای اجرایی: به‌جای استفاده از یک پروفیل با مقطع I در ستون‌ها از دو پروفیل معادل بافاصله حداقل ۱۰ سانتی‌متر از یکدیگر با تسمه‌ها یا ورق اتصال تقویت به‌منظور افزایش اینرسی قرار گرفته شوند. ضمناً محل اتصال بادبند با ستون نباید از قسمت میانی ستون جوش داده شود که طبق آیین‌نامه استفاده از مهاربند مشابه شکل k ممنوع است.

مقطع فشرده لرزه‌ای همان تعریف مقطع فشرده بخش قبل را دارد، با این تفاوت که در آن نسبت پهنا یا ارتفاع به ضخامت اجزای مقطع برای سازه‌های با شکل‌پذیری زیاد و متوسط به اعدادی که در جدول (۱) عنوان شده، محدود می‌گردد. کاربرد مقاطع فشرده در سازه‌های با شکل‌پذیری‌های مختلف در بخش‌های مربوطه آورده شده است [۱].

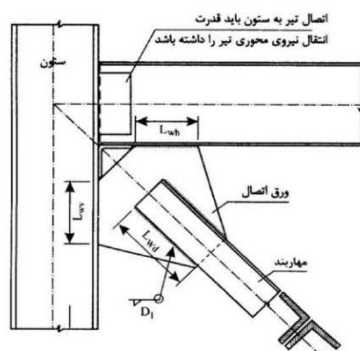


شکل (۳): کمانش در ستون و در بادبند در زلزله بم و کرمانشاه



شکل (۴): کمانش و پیچش در تیر پیچش در ستون

هندسی مهاربند از محل برخورد محورهای هندسی تیر و ستون عبور نماید و زاویه اعضای قطری با افق در حدود ۴۵ درجه باشد. در عمل ورق اتصال را با شکل‌ها و برش‌های مختلفی به کار می‌برند که شکل (۷) یک نمونه از آن‌ها را نشان می‌دهد. هندسه ورق اتصال طوری باید باشد. که طول جوش‌های محاسبات تأمین شود [۴]



شکل (۵): نمونه ای از اتصال مناسب و نامناسب گاست

۲-۳- اتصال مهاربند همگرا

اعضای قطری معمولاً از نیمرخ نبشی و یا ناودانی به صورت تک و یا زوج انتخاب می‌گردند. هنگام استفاده از نیمرخ‌های زوج به منظور کاهش طول‌های افقی و قائم جوش ورق به تیر و ستون می‌توان این جوش را دوطرفه انجام داد. برای جلوگیری از ایجاد لنگرهای ثانویه در اتصال حتی‌الامکان باید سعی نمود تا محور



۳-۲-۱- طرح اتصال عضو قطری مهاربندی

که شامل طراحی و کنترل موارد زیر است:

۱- کنترل ورق اتصال. ۲- اتصال عضو قطری مهاربند به ورق اتصال. ۳- اتصال ورق اتصال به تیر و ستون. ۴- اتصال تیر به ستون. در زیر به توضیحات آن می‌پردازیم [۴]:

۳-۲-۲- کنترل ورق اتصال

ورق اتصال باید جوابگوی ۴ کنترل تنش زیر باشد [۴]:

کنترل تنش کششی در عرض مؤثر ویتمور $f_a = (w) \frac{P}{wt} < F_a$

$$1- \text{کمانش ورق اتصال در فشار } f = \frac{P}{wt} \leq 0.6F_y$$

تنش فشاری در عرض مؤثر ویتمور

$f_a =$ نیروی محوری فشاری مهاربند $= p$ عرض مؤثر ویتمور $= t$ ضخامت ورق اتصال $= F_a$ تنش فشاری مجاز با لاغری $\frac{KL}{r}$ طول آزاد ورق اتصال $= K$ ضریب طول مؤثر مساوی $\frac{1}{2}$ شعاع ژیراسیون ورقی به عرض واحد مساوی $\frac{1}{3t}$.

۲- برش قالبی در کشش

مساوی ۲۵ به دست می آید.

کنترل تنش ترکیبی در هر مقطع دلخواه از ورق اتصال که در

$$\frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{f_b}{0.6F_y} + \frac{f_v}{0.6F_y} \leq 1 \quad \text{آن:}$$

f_a = تنش محوری در مقطع مورد مطالعه

f_b = تنش خمشی در مقطع مورد مطالعه

f_v = تنش برشی در مقطع مورد مطالعه

A_v = سطح مقطع خالص در برش

F_v = تنش برشی مجاز (مساوی $0.3F_u$)

A_t = سطح مقطع خالص کششی

F_t = تنش کششی مجاز (مساوی $0.5F_u$)





T = نیروی کششی مهاربند

کنترل کمانش لبه آزاد ورق اتصال

E = ضریب الاستیسته فولاد F_y = تنش تسلیم فولاد

نسبت فوق برای فولاد نرمه با $F_y = 240 \text{ N/mm}^2$

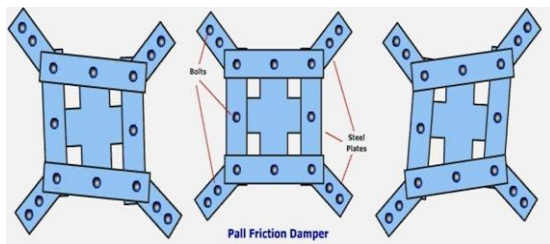
جدول (۱): محدودیت نسبت پهنا به ضخامت در اجزای فشاری اعضای با شکل پذیری متوسط و زیاد [۱]

مثال های نمونه	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت	نسبت پهنا به ضخامت	شرح اجزا	اجزای با یک لبه متکی
	λ_{md} و λ_{nd} اعضای با شکل پذیری زیاد و متوسط	b/t	بال های مقاطع I شکل نورد شده و ساخته شده از ورق، ناودانی ها، سپری ها، ساق نبشی های تک و نبشی های دوبل بافاصله و ساق برجسته نبشی های دوبل به هم چسبیده	
	حالت زیاد $0.3 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ حالت متوسط $0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$			
	در حالت زیاد $0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	b/t	بال های مقاطع شمع های H شکل	
	حالت زیاد $0.3 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ حالت متوسط $0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	b/t	تیغه (جان) مقاطع سپری	



شکل (۷): اتصال نامناسب تیر به ستون

شکل (۶): اتصال نامناسب گاست پلیت مهاربند.



شکل (۸): نحوه عملکرد میراگر اصطکاکی پال تحت بار لرزه‌ای

که شامل یک سری صفحات اصطکاکی فولادی است که به وسیله پیچ‌های با مقاومت فولادی بالا به یکدیگر متصل شده و تحت اثر نیروی لغزش شروع به لغزش می‌کند پاسخ لرزه‌ای سازه به وسیله مقدار انرژی وارده و مستهلک شده تعیین می‌شود؛ بنابراین پاسخ لرزه‌ای بهینه عبارت است از کمترین فاصله بین انرژی ورودی و انرژی مستهلک شده به همین دلیل سعی در استهلاک هرچه بیشتر انرژی می‌شود.

از طرفی استهلاک انرژی در میرابند متناسب با بار لغزش است و طی هر چرخه لغزش اتفاق می‌افتد. برای بار لغزش‌های بسیار زیاد، استهلاک انرژی ناشی از اصطکاک صفر خواهد بود، زیرا عملاً لغزشی اتفاق نمی‌افتد. اگر بار لغزش بسیار کم باشد نیز استهلاک انرژی به وسیله اصطکاک ناچیز خواهد بود. بین این دو حد، حد واسطی وجود دارد که استهلاک انرژی در آن اتفاق می‌افتد. این مقدار حد واسط، تحت عنوان بار لغزش بهینه تعریف می‌شود.

قطری		$f = \cos \theta$	$\theta = 37^\circ$ $f = 0.799$ $\beta = 0.22$
شورن (هشتی)		$f = 1.0$	$f = 1.0$ $\beta = -0.5$
مفصل بند پائین		$f = \frac{\sin \theta_2}{\cos (\theta_1 + \theta_2)}$	$\theta_1 = 21.9^\circ, \theta_2 = 42.7^\circ$ $f = 2.662$ $\beta = 0.244$
مفصل بند بالا		$f = \frac{\sin \theta_2}{\cos (\theta_1 + \theta_2)} + \sin \theta_1$	$\theta_1 = 21.9^\circ, \theta_2 = 42.7^\circ$ $f = 2.191$ $\beta = -0.59$
مفصل بند معکوس		$f = \frac{\sin \theta_2}{\cos (\theta_1 + \theta_2)} - \cos \theta_2$	$\theta_1 = 20^\circ, \theta_2 = 49^\circ, \alpha = -17^\circ$ $f = 2.021$ $\beta = 0.218$
جک قطبی		$f = \frac{\cos \psi}{\tan \theta_3}$	$\theta_3 = 9^\circ, \psi = 70^\circ$ $f = 2.159$ $\beta = 0.223$

شکل (۹): مقایسه با میراگر ویسکوز

۳-۲-۳- اتصال عضو قطری مهاربند به ورق اتصال

عضو قطری مهاربند که تحت نیروی محوری قرار دارد. با وسایل اتصال کافی (پیچ یا جوش) به ورق اتصال، متصل گردد. مقاومت مجاز اتصال، کمترین مقدار از مقادیر زیر است [۴].

مقاومت کششی عضو مهاربند (مساوی $A0.6F_y$ که A سطح مقطع عضو و F_y تنش تسلیم فولاد می باشد).

حداکثر نیرویی که از سیستم بر مهاربند اعمال می‌شود.

۳-۲-۴- اتصال ورق اتصال به تیر و ستون

روش‌های مختلفی جهت کنترل اتصال ورق مهاربندی به تیر و ستون ارائه شده و از گذشته مورد استفاده بوده‌اند که تعدادی از آن‌ها بر اساس اصول کلاسیک تحلیل سازه و برخی بر اساس نتایج مدل‌سازی‌های عددی و مطالعات آزمایشگاهی ارائه شده‌اند. در این قسمت تعدادی از این روش‌ها به شرح زیر معرفی می‌شوند [۴]:

۱- روش تجزیه نیروها

این روش جز روش‌های قدیمی بوده و در دهه‌های گذشته مورد استفاده بوده است. در این روش نیروی مهاربندی به دو مؤلفه متقاطع یا موازی مطابق شکل تجزیه می‌شود. روش تجزیه به دو مؤلفه متعامد بسیار متداول است [۴].

۲- روش آستانه (تشبیه به خرپا)

این روش توسط آستانه اصل در سال ۱۹۸۹ ارائه شده است. در این روش با تشبیه ورق اتصال به خرپا، نیروی عضو قطری مهاربندی به دو مؤلفه وارد بر مرکز وجوه متصل به تیر و ستون تجزیه و محاسبه می‌گردد [۴].

۳- مجموعه روش‌های تورنتون

در این روش‌ها بر اساس فرضیات مختلف، نمودار آزاد نیروهای وارد بر ورق مهاربندی تعیین شده و ورق اتصال برای این نیروها کنترل و طراحی می‌شود. (مانند روش نیروی یکنواخت) [۴]

۳-۳- میراگر اصطکاکی پال و پیشینه عملکرد آن

از تمامی روش‌های میرایی برای دفع انرژی جنبشی از سازه (در حین ارتعاش لرزه‌ای) مهم‌ترین نوع میراگرها در سازه‌ها، نوع ترمز اصطکاکی است. اصولاً از این مفهوم برای ترمز و کنترل حرکت تجهیزات، اتومبیل‌ها، قطارها، هواپیماها و غیره به دلیل مؤثر بودن، قابل اعتماد و اقتصادی، مستهلک کننده نیروی ارتعاشی و انرژی جنبشی است استفاده می‌کنند. جزئیات یکی از میراگرهای پال در شکل (۸) نشان داده شده است:

^۱ در طرح لرزه‌ای و در حالت شکل پذیری زیاد $F_{ye} = 1.15F_y$ جایگزین F_y می‌شود.

در صورتی که $l_b/d > 0.2$ باشد:

$$R_n = 0.40t_w^2 \left[1 + \left(\frac{4l_b}{d} - 0.2 \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_y w t_f}{t_w}}$$

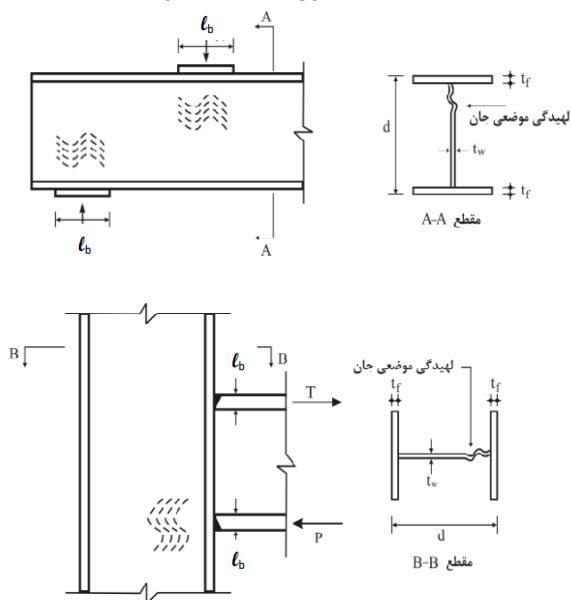
$d =$ ارتفاع کلی مقطع $t_w =$ ضخامت جان

$t_f =$ ضخامت بال تحت بار

$l_b =$ طول اتکایی بار متمرکز (برای عکس العمل‌های تکیه‌گاهی مقدار l_b نباید کمتر از k در نظر گرفته شود)

$F_{yw} =$ تنش تسلیم فولاد جان تیر

$E =$ مدول الاستیسیته فولاد



شکل (۱۱): لهدگی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری

تبصره: در صورتیکه مقاومت موردنیاز از مقاومت طراحی بیشتر باشد، تعبیه یک جفت سخت‌کننده دارای مقاومتی برابر با اختلاف مقاومت موردنیاز و مقاومت طراحی در محل بارهای متمرکز ضروری است [۱].

۳-۵- طبقه و یا نیم طبقه نرم

۳-۵-۱- استفاده از طبقه انعطاف پذیر

بر اساس ایده‌های دهه ۱۹۳۰ اگر سختی جانبی ستون‌های طبقه اول خیلی کمتر از طبقات فوقانی ساختمان در نظر گرفته شود، قسمت عمده حرکات جانبی سازه در اثر زلزله در طبقه انعطاف پذیر صورت گرفته و طبقات فوقانی به صورت یک جسم صلب روی این طبقه تغییر مکان می‌دهند. بر اساس این مفهوم ستون‌های طبقه اول جاری شده و انتقال نیروهای برشی به سازه

مقایسه میراگر اصطکاکی با میراگر ویسکوز در طبقات سازه: میراگرهای ویسکوز از محدود سیستم‌هایی می‌باشد که نوع چیدمان بر روی آن تأثیرگذار است. این نوع میراگر دارای اتصالات پیچیده بوده که از چیدمان هشتی شکل و یا قطری استفاده می‌شود. علاوه بر این دو نوع چیدمان، امروزه روش‌های نوین دیگری نیز برای چینی به کار می‌رود. شکل (۱۳) نشان داده شده است. در این جدول پارامتر f نیروی مقاوم جانبی است که فرمول محاسبه آن نیز برای هر نوع چینی نشان داده شده است. پارامتر β نیز میزان میرایی را نشان می‌دهد.

۳-۴- لهدگی، جان تیر در مقابل نیروی متمرکز فشاری

الزامات این بند برای نیروی فشاری متمرکز تکی و مؤلفه فشاری زوج نیروی متمرکز کاربرد دارد (شکل (۱۰)) [۱].



شکل (۱۰): لهدگی جان تیر

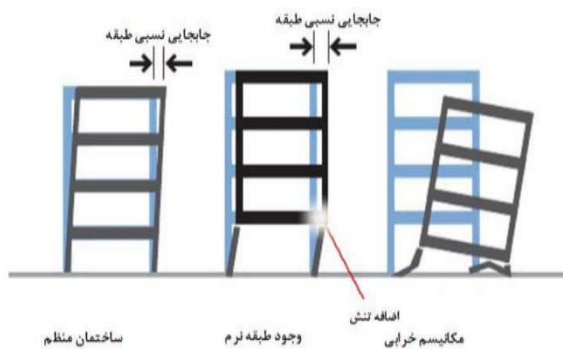
مقاومت طراحی لهدگی جان تیر در مقابل نیروی متمرکز فشاری مساوی ϕn است که در آن ϕ ضریب کاهش مقاومت مساوی 0.75 و R_n مقاومت اسمی است که بر اساس حالت حدی لهدگی موضعی جان به شرح زیر تعیین می‌شود [۱]. در حالتی که بار متمرکز، در فاصله‌ای مساوی یا بزرگ‌تر از $d/2$ از انتهای عضو وارد می‌شود [۱]:

$$R_n = 0.80t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{l_b}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_y w t_f}{t_w}}$$

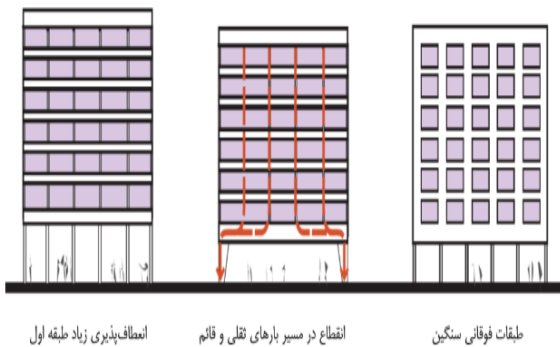
در حالتی که بار متمرکز، در فاصله‌ای کوچک‌تر از $d/2$ از انتهای عضو وارد می‌شود:

- در صورتی که $l_b/d \leq 0.2$ باشد:

$$R_n = 0.40t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{l_b}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_y w t_f}{t_w}}$$

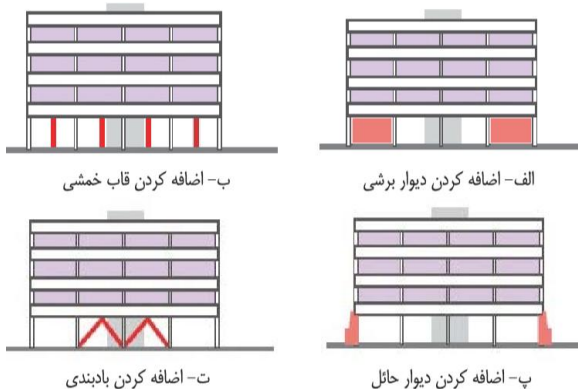


شکل (۱۳): طبقه نرم [۵]



شکل (۱۴): علت خرابی طبقه نرم [۵]

۷- دیوار برشی ۸- قاب خمشی ۹- دیوار حائل ۱۰- بادبندی و باید میراگرهای اصطکاکی در طبقات ۱۱- میراگر جداساز ۱۲- وجود یک نیم طبقه در بالای فونداسیون و زیر اولین طبقه سازه



شکل (۱۵): روش های مقاوم سازی [۵]



شکل (۱۶): نمونه از طبق نرم در زلزله کرمانشاه

فوقانی محدود می شود. اجرای طبقه اول به عنوان طبقه نرم (بدون در نظر گرفتن دستورالعمل آئین نامه ها) و یا انتقال بار مستقیم زلزله از فونداسیون (بدون جداساز و میراگر و یا بدون اجرای نیم طبقه ایمنی) به سازه، پاسخ سازه در مقابل شتاب زلزله بسیار تأثیرگذار و مخرب است (زیرا مود اول بیشترین جابجایی را دارد) لذا یکی از بهترین حالات، استفاده از جداسازها بین فونداسیون و خاک و یا سازه بوده و همزمان اجرای نیم طبقه و یا طبقه کوتاه ایمنی در سازه بعد از اجرای فونداسیون و در صورت امکان همزمان اجرای میراگر اصطکاکی (نه میراگر ویسکوز) در طبقات است. در صورتی که مود اول در اولین طبقه باشد. در این سازه ها طبقه اول دارای بیشترین جابجایی نسبی و در طبقات بالا میزان جابه جایی نسبی کاهش می یابد.

۳-۵-۲- از بین رفتن یک طبقه (طبقه نرم)

طبقه ای که درصد سختی جانبی آن کمتر از ۷۰ درصد سختی جانبی طبقه روی خود و یا کمتر از ۸۰ درصد سختی سه طبقه روی خود باشد چنین طبقه ای اصطلاحاً طبقه نرم نامیده می شود. مشخصه های اصلی طبقه نرم ناپیوستگی در استحکام یا سختی است که در اتصالات ایجاد می شود این ناپیوستگی بدین سبب ایجاد می شود که هر چه طبقه نرم ساختمان استحکام کمتر و با انعطاف پذیری بیشتری داشته باشد. تغییر شکل های بیشتری در آن ها ایجاد می شود که هنوز به خود به تمرکز نیروها در اتصالات می انجامد [۵].



شکل (۱۲): نمونه از طبق نرم در زلزله کرمانشاه

۳-۵-۳- علت خرابی طبقه نرم:

۱- ارتفاع زیاد همکف مانند طبقات تجاری ۲- عدم اجرای بادبندها در طبقه همکف به دلیل تأمین فضای بیشتر برای پارکینگ ۳- وجود دیوارهای مقاوم در طبقات بالاتر ۴- عدم وجود دیوار در اطراف طبقه همکف ۵- انعطاف پذیری زیاد طبقه اول ۶- عدم وجود موارد ذیل:

۳-۶- ضابطه ستون قوی تیر ضعیف

در صورتی که ستون زودتر از تیر خراب شود. مقدار خرابی در یک طبقه متمرکز شده و احتمال تشکیل طبقه نرم نیز وجود دارد. در این صورت سازه توانایی تحمل تغییر شکل‌های بزرگ را ندارد؛ اما در صورتی که ستون قوی و تیر ضعیف باشد. مقدار خرابی در کل طبقات پخش می‌گردد؛ که این امر باعث بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها شده و سازه توانایی تحمل تغییر شکل‌های جانبی بیشتری را خواهد داشت. لازم به توضیح است که تیر ضعیف و ستون قوی در هر طبقه‌ای از سازه می‌تواند وجود داشته باشد [۱].



شکل (۱۷): عدم رعایت ستون قوی و تیر ضعیف در زلزله کرمانشاه

در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان در مورد ساختمان‌های فولادی به این صورت آمده است؛ که نسبت لنگر خمشی ستون به لنگر خمشی تیر نباید از ۱ بیشتر شود؛ و این ضابط برای ساختمان‌های بتنی ۱/۳ است [۱] لذا طراحان باید برای کنترل ستون قوی تیر ضعیف، ضوابط را کنترل نمایند.

۳-۶-۱- بند ۱۰-۳-۹-۲ دهم مقررات ملی ساختمان

نسبت لنگر خمشی ستون به لنگر خمشی تیر

در کلیه گره‌های اتصالات خمشی تیر به ستون باید به‌طور مجزا در امتداد هریک از محورهای اصلی مقطع ستون رابطه زیر برآورده گردد [۱].

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} > 1/0$$

که در آن:

$$\sum M_{pb} = \text{مجموع لنگرهای خمشی ستون‌های بالا و پایین}$$

گره اتصال در امتداد موردنظر مطابق با رابطه زیر:

$$\sum M_{pb} = \sum Z_c (F_{yc} - P_{uc}/A_g)$$

$$\sum M_{pb} = \text{مجموع تصاویر لنگرهای خمشی تیرها در گره}$$

اتصال نسبت به راستای موردنظر. این لنگرهای خمشی باید با در نظر گرفتن تعادل استاتیکی بارهای ثقلی ضریب داری که با

نیروی زلزله ترکیب می‌شوند و اثرات لرزه‌ای ناشی از لنگر خمشی

$$M_{ppr} = C_{ppr} R_{yb} M_{pb}$$

نسبت به محور ستون تعیین شوند

در روابط فوق:

$$Z_c = \text{اساس مقطع پلاستیک ستون}$$

$$= F_y$$

تنش تسلیم فولاد ستون

$$P_{uc} = \text{مقاومت فشاری موردنیاز ستون حاصل از ترکیبات بار}$$

زلزله تشدید یافته

$$M_{pb} = \text{لنگر خمشی پلاستیک تیر در محل تشکیل مفصل}$$

پلاستیک

$$R_{yb} = \text{نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم}$$

تعیین شده مصالح تیر مطابق مقادیر آیین‌نامه

$$C_{ppr} = \text{ضریبی است که دربرگیرنده آثار عواملی از قبیل}$$

سخت‌شدگی، قیدهای موضعی و ملحقات موجود در اتصال تیر به

ستون است [۱].



شکل (۱۸): عدم رعایت ضوابط و مقررات در مورد ستون‌های بتنی و فلزی



شکل (۱۹): فاصله زیاد قیدها جوابگو نبودن مقطع در برابر بار

وارد در زلزله بم

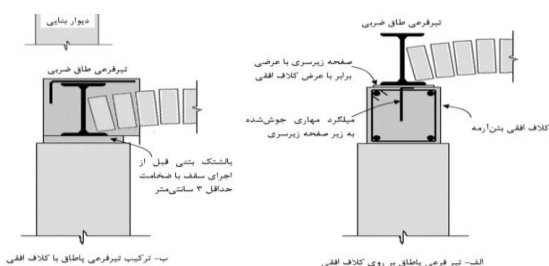
لازم است انتهای تیرآهن‌های سقف توسط تیرآهن‌های دیگری که درامتداد عمود بر تیرهای سقف هستند، به یکدیگر متصل شوند.

تیرآهن‌های سقف به گونه مناسبی به کلاف افقی متصل شوند.

تیرآهن انتهایی سقف باید در چشمه‌های یک متری، حداقل به صورت یک چشمه در میان، با تسمه یا میلگرد به شکل ضربدری به تیرآهن کناری خود مهار شود.

تکیه‌گاه مناسبی برای پا طاق آخرین دهانه طاق ضربی تعبیه گردد. این تکیه‌گاه می‌تواند با قرار دادن یک نیمرخ فولادی و اتصال آن با کلاف زیر خود یا با جاسازی در کلاف بتنی تأمین شود چنانچه این تکیه‌گاه فولادی باشد باید با میلگردها یا تسمه‌های کاملاً کشیده و مستقیم در دوانتهای تیر و همچنین در فواصل کمتر از دو متر به آخرین تیرآهن سقف متصل گردد.

حداقل سطح مقطع میلگرد یا تسمه که برای مهاربندی ضربدری تیرآهن‌های سقف یا استوار کردن آخرین دهانه به کار می‌رود، میلگرد با قطر ۱۴ میلی‌متر یا تسمه معادل آن استفاده می‌شود.



شکل (۲۲): نمونه‌های اتصال تیرآهن سقف طاق ضربی به کلاف افقی بتن‌آرمه [۱۰]

۳-۱-۳- بند ۷-۷-۴-۱ سقف طاق ضربی آیین‌نامه ۲۸۰۰: تیرآهن‌ها باید به وسیله میلگرد و یا تسمه فولادی (در بالا یا پایین) به صورت ضربدری به یکدیگر بسته شوند، به طوری که اولاً طول مستطیل ضربدری شده بیش از ۱/۵ برابر عرض آن نباشد، ثانیاً مساحت تحت پوشش هر ضربدری از ۲۵ مترمربع تجاوز نکند (شکل ۳). اگر تکیه‌گاه مناسبی برای پا طاق آخرین دهانه طاق ضربی تعبیه شود. این تکیه‌گاه می‌تواند با قرار دادن یک پروفیل فولادی و اتصال آن با کلاف زیر خود و یا با جاسازی در کلاف بتنی تأمین شود. چنانچه این تکیه‌گاه فولادی باشد باید با میلگردها و یا تسمه‌های کاملاً کشیده و مستقیم در دو انتهای تیر و همچنین در فواصل کمتر از ۲ متر به آخرین تیرآهن سقف متصل گردد. [۱۰].

پیشنهادهای اجرایی، مواردی که باید رعایت شود:



شکل (۲۰): کیفیت نامطلوب بتن، فاصله زیاد خاموت‌ها

۳-۷- سقف طاق ضربی

ارزیابی سازه تخریب‌شده:

همان‌گونه که در شکل سازه تخریب‌شده در زلزله بم مشاهده می‌شود. به دلایل زیر اتصالات سقف با دیوارها عملکرد صحیح نداشته است:

فاصله بیش از حد ستون‌ها.

مقاومت ضعیف مصالح موجود در سقف

عدم استفاده از میلگرد جهت یکپارچه‌سازی

عدم اتصال لازم سقف و دیوار باربر.

نداشتن قوس مناسب در اجرای سقف.



شکل (۲۱): نمونه‌ای از خرابی سقف طاق ضربی در زلزله بم

ضوابط فنی و اجرایی در رابطه با سقف طاق ضربی

جهت ساختمان با مصالح بنایی، مبحث هشتم مقررات ملی ساختمان شامل موارد زیر می‌شود [۳].

فاصله بین تیرآهن‌های سقف از یک متر بیشتر نشود.

تیرآهن‌های سقف باید در فواصل حداکثر ۲ متر توسط تیرآهن‌های عرضی حداکثر یک شماره کمتر از تیرآهن اصلی که در جان تیرآهن‌های سقف قرار می‌گیرند، به یکدیگر متصل گردند

- ۸- مدل سازی سازه اولیه (بر اساس مشخصات موجود بتن و...) در حالت تخریب نشده
- ۹- بارگذاری حالت عادی همراه با نیروی زلزله و بادبر روی مدل سازه اولیه
- ۱۰- اعمال بار لرزه‌ای مطابق با زلزله اتفاق افتاده و تغییر در مشخصات مصالح در مدل سازه تا مرحله تخریب سازه
- ۱۱- تحلیل مقایسه‌ای از نظر بارگذاری، طراحی، مشخصات بتن و فولاد و خاک و کیفیت اجرا
- ۱۲- جمع‌بندی و ارائه علل تخریب سازه

نیاز به ناظر فنی مقیم در منطقه است

برای اجرای سقف لازم است از کارگر و بنای ماهر و باتجربه و آموزش‌دیده استفاده شود.

استفاده از مصالح (بلوک و آجر) با مقاومت مناسب و ملات چسبیده مناسب ضروری است. (همان‌گونه که در شکل (۱ و ۲) مشاهده می‌شود کلاً تمام قطعات آجر از هم جدا شده‌اند)

عدم استفاده از طول مناسب (حداقل ۲۰ سانتی‌متر) برای قرار گرفتن تیرهای فرعی بر روی دیوارها برای زیر سری با توجه به فناوری‌های ارزان قیمت و مناسب برای اجرای سقف‌های جدید، پیشنهاد می‌شود از اجرای سقف طاق ضربی خودداری شود. و در صورت نیاز حداکثر سعی شود از طاق‌های قوسی با دهانه‌های ۳/۵ متر و کمتر استفاده شود [۳].

۴- زلزله سی سخت

زلزله سی سخت که در سال ۱۳۹۹ در سی سخت، کهگیلویه و بویراحمد اتفاق افتاد به علت ساختمان‌های سنتی و قدیمی است نیز مورد بررسی قرار گرفت که متأسفانه مشکلاتی مشابه مطالب فوق داشت.



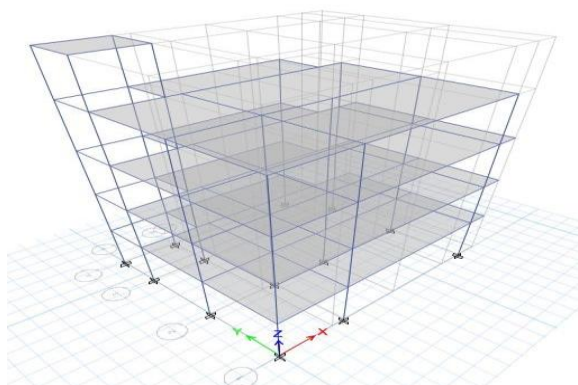
شکل (۲۳): سازه مورد بررسی با الگوریتم کنترل سازه در زلزله کرمانشاه

به‌طور مثال در سازه مورد بررسی زیر در زلزله کرمانشاه یکی از مشکلات به وجود آمده، فاصله‌داری بیش از حد مجاز خاموت‌ها بوده که در اجرا ۱۷ سانتی‌متر اجرا شده در صورتی که طبق تحلیل انجام شده بایستی ۱۲ سانتی‌متر می‌بود. [۸].

۵- الگوریتم روش محاسبه معکوس برای سازه‌های تخریب‌شده:

به‌منظور تعیین مشخصات و عواملی که در تخریب سازه مؤثر بوده است. می‌توان از الگوریتم زیر استفاده کرد [۸].

- ۱- بازدید از محل
- ۲- عکس‌برداری، اندازه‌گیری کلیه ابعاد سازه در محل سازه تخریب‌شده
- ۳- ترسیم وضعیت موجود (معماری-سازه) تخریب‌شده
- ۴- ترسیم سازه اولیه (معماری-سازه)
- ۵- نمونه‌برداری خاک، بتن و آرماتور و ارسال به آزمایشگاه
- ۶- تعیین مشخصات بتن-فولاد-خاک
- ۷- تعیین مقاومت مجاز خاک از طریق صحرایی-تجربی (و در صورت امکان از طریق آزمایشگاهی)



شکل (۲۴): تحلیل ساختمان مورد بررسی در نرم‌افزار etabs در زلزله کرمانشاه. مطابق با الگوریتم فوق

and construction of steel buildings Development. Tehran.

- [2] National building regulations, (2013). *Design and construction of reinforced concrete buildings.* Tehran.
- [3] National building regulations, (2013). *Design and construction of buildings with Traditional building materials.* Tehran
- [4] National building regulations of the Ministry of Roads and Urban, (2011). *Welding guide in steel buildings.* Tehran.
- [5] Publication No. 524, (2013). *Guide to methods of seismic improvement of existing buildings and executive details of building.* Tehran.
- [6] KHosravi, F. (2003). *Image and shape of reports from the Bam earthquake region.*
- [7] KHosravi, F. (2003). *Image reports from the visit of Kermanshah earthquake region.*
- [8] KHosravi, F. esmaeilzadeh, A. (2021). *Comparison of damages of Bam, Kermanshah and Sisakht earthquakes.* Tehran: sokhanvaran,
- [9] KHosravi, F. Sharifi, S. Soorani, S.R. (2018). *Soil Improvement Common Methods, Publisher.* Tehran. Imam Hosain University,
- [10] The Research Center Housing and Urban Development, (2014). *Standard design of buildings against earthquake 2800 standard.* Tehran: Publishing The Research Center Housing and Urban Development.

۶- نتیجه گیری:

در این کار تحقیقاتی که بر روی دو زلزله شدید و مخرب بم (در سال ۱۳۸۲) و کرمانشاه (در سال ۱۳۹۶) صورت گرفته است مشخص می‌گردد که بعد از ۱۴ سال که از زلزله بم می‌گذرد و به فاجعه بزرگ‌تری به نام زلزله کرمانشاه می‌رسیم و بعد از آن تخریب ساختمان‌ها در زلزله سی سخت در سال ۱۳۹۹ را مشاهده می‌کنیم، دریافته می‌شود هنوز در رعایت آئین‌نامه‌های ساختمانی و زلزله دقت و توجه متعهدانه و تخصصی صورت نمی‌گیرد؛ و مشکلات گذشته را در تکنیک‌های جدید ساختمان‌سازی تکرار می‌شود.

در این مقاله با توجه به آئین‌نامه‌ها از میان ده‌ها مورد به بررسی شش مورد خرابی که بااهمیت‌تر و بیشتر در سازه‌ها با آن برخورد می‌شود، با تطابق با آئین‌نامه‌های ایران، پرداخته شده است که شامل سقف طاق ضربی-کمانش موضعی - اتصالات مهاربند همگرا- لهیدگی تیر در مقابل نیروی متمرکز فشاری- استفاده از طبقه انعطاف‌پذیر- ضابطه ستون قوی تیر ضعیف می‌باشد و با توجه به آئین‌نامه مقرارت ملی و استاندارد زلزله ۲۸۰۰ سعی شده تا حدودی راهنمایی‌های ارائه شود. استفاده از الگوریتم ارائه شده در این مقاله به اشکالات طرح و یا کیفیت اجرا و مصالح و علل تخریب سازه بعد از زلزله می‌توان دست‌یافت.

۷- مراجع

- [1] National building regulations, (2013). *Design*

Analysis of causes of technical vulnerability of structures destroyed in Bam and Kermanshah earthquakes and comparison with experimental samples and regulations

Fereydoon Khosravi*, Amir Reza Esmaeilzadeh

*Imam Hossein, University FereydoonKhosravi@yahoo.com

Abstract

Seismic waves caused by earthquakes, which cause the equation of motion in structures, include acceleration, speed and displacement parameters, and the factors of the environment around the structure, including soil, ground, as well as separators under the foundation and dampers in the structure, play an effective role in depreciation. It has energy and force reduction in the structure. However, on the other hand, using the correct design and implementation method also has a more effective role in the stability of the structure. In the visits and studies of the structures destroyed in the Bam and Kermanshah earthquakes, we have categorized the causes of the destruction, which are mainly due to inaccuracies in performing of duties of employer, consultants, contractors and support (including administrative and financial and logistics), However, in this article we will deal with one of the most important issues related to technical points that are the most effective factor in the destruction of structures in an earthquake.

Therefore, with the direct presence and visit of both earthquake areas of Bam and Kermanshah, as well as paying attention to the standards and six cases that have been more effective in the destruction of structures, including "multiple arch roof - Local buckling- Convergent brace connection – Beam cripple under concentrated pressure load - Use of flexible floor - Strong column, weak beam. Also in this research for accuracy and causes of structural vulnerability has been restricted with valid regulations

Keywords:Bam and Kermanshah Earthquake, Earthquake Technical and Executive Tips, Earthquake Damage, Regulatory Tips, Destruction of