

بهسازی لرزه‌ای مدرسه فولادی ۳ طبقه براساس ضوابط دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای

امیر کیانی^۱، بهارک علی‌نژاد^۲، جلال فلاح اصغری^۳، معصومه پرهیزکار^۴

۱- فارغ‌التحصیل مهندسی عمران- مهندسی زلزله دانشگاه تبریز

۲- دانشجوی مقطع کارشناسی عمران دانشگاه تبریز

۳- فارغ‌التحصیل مهندسی عمران- مهندسی زلزله دانشگاه تبریز

۴- دانشجوی مقطع کارشناسی عمران دانشگاه تبریز

amirkianii@yahoo.com
baharsp_a@yahoo.com

خلاصه

با توجه به اینکه ایران یکی از کشورهای لرزه‌خیز جهان است بهسازی ساختمان‌های موجود در آن اهمیت بسزایی دارد. از این لحاظ بهسازی ساختمان مدرسه سه طبقه فولادی واقع در شهر یاسوج بررسی شده است. در گزارش حاضر سه گزینه پیشنهادی برای بهسازی، براساس دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای بررسی گردیده و در نهایت با در نظر گرفتن عواملی نظیر هزینه فعالیت‌ها، سهولت اجرا، زمان لازم برای اجرا و توانایی‌ها و مهارت‌های محلی برترین گزینه به عنوان گزینه‌ی اجرایی برگزیده شده است.

کلمات کلیدی: طراحی براساس عملکرد، دستورالعمل بهسازی لرزه ای، سازه‌های الحاقی فلزی، سیستم مهاربندی هم محور

۱. مشخصات عمومی و فنی ساختمان

ساختمان دبیرستان شهید رجایی، ساختمانی سه طبقه با اسکلت فولادی و سقف تیرچه بلوک است. که در شهر یاسوج واقع شده است. این ساختمان دارای ارتفاع کلی در حدود ۱۰ متر می‌باشد. ساختمان مدرسه حاضر مطابق دسته‌بندی استاندارد ۲۸۰۰ ایران، در پلان منظم و در ارتفاع نیز منظم ارزیابی شده است. سیستم باربر ثقیلی این ساختمان قاب مهاربندی فولادی با اتصالات ساده و خورجینی و سیستم باربر جانبی به نظر قاب مهاربندی شده می‌باشد. شتاب مبنای طرح با توجه به محل ساختمان 0.3g در نظر گرفته شده است و بر روی خاک نوع II واقع شده است. سیستم باربر ثقیلی ساختمان شامل تیرهایی با اتصالات خورجینی در جهت طولی ساختمان و اتصالات ساده در جهت عرضی آن می‌باشد که هیچگونه عدم پیوستگی در مسیر انتقال بارهای ثقیلی مشاهده نشده است. سقف نیز به صورت تیرچه بلوک است. سیستم فونداسیون ساختمان نیز شامل فونداسیون نواری می‌باشد. ساختمان مذکور باید هدف بهسازی ویژه را تامین کند. ولی با توجه به هزینه بر بودن طرح و درخواست کارفرما، هدف بهسازی ایمنی جانی مورد بررسی قرار می‌گیرد. لذا می‌بایست این ساختمان بر اساس این هدف، ایمنی جانی ساکنین را تحت زلزله سطح خطر ۱ (زلزله طرح) تامین نماید.

۲. آسیب‌پذیری ساختمان و ارائه و معرفی گزینه‌های بهسازی

آسیب‌پذیری ساختمان را می‌توان به دو نوع کلی و موضعی تقسیم‌بندی نمود. ساختمان دارای آسیب‌پذیری کلی از نظر وجود سیستم مقاوم جانبی با کفایت، قلمداد گردیده و بهسازی کلی را از این نظر طلب می‌کند. همچنین ساختمان دارای آسیب‌پذیری موضعی در برخی از اعضا برای تحمل بارهای

^۱ کارشناس ارشد مهندسی عمران- زلزله

^۲ مهندس محاسب

^۳ کارشناس ارشد مهندسی عمران- زلزله

^۴ مهندس محاسب

ثقلی می باشد. از این رو ارائه طرح های بهسازی برای ایجاد سیستم مقاوم جانبی که دارای کفایت لازم برای تحمل بارهای ناشی از زلزله باشد، تمهیدات مقتضی اندیشیده می گردد.

چندین طرح برای بهسازی این ساختمان مد نظر می باشد که از بین آن ها ۳ طرح زیر پیشنهاد گردیده:

۱- اجرای مهاربند در هر دو جهت ساختمان

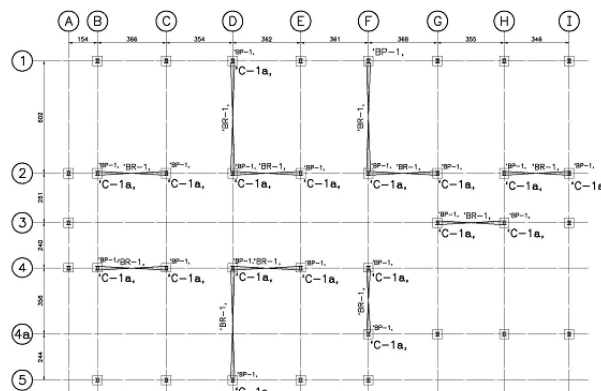
۲- ایجاد دیوارهای شاتکریت بتنی در ساختمان بعنوان سیستم باربر جانبی.

۳- ساخت سازه های دارای سیستم مقاوم جانبی در خارج ساختمان و اتصال آن به سازه اصلی.

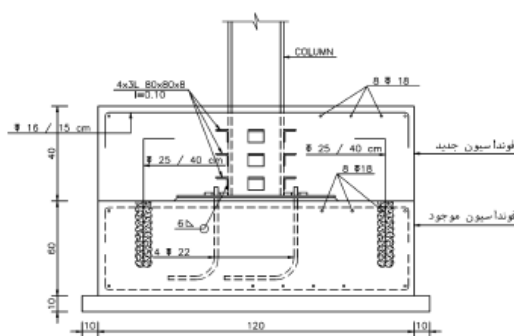
۳. مدل سازی و معرفی تقاضای لرزه ای گزینه های پیشنهادی

برای مدل سازی تیرهای با اتصال خورجینی، گره هایی به فواصل کمی از طرفین ستون ها در نظر گرفته شده و تیرها از این نقاط عبور کرده اند. جهت شبیه سازی رفتار تیر با اتصال خورجینی، گره های فوق با گره ستون های مجاور خود در تراز طبقه توسط المان equal متصل شده اند. در این المان، می توان سختی پیچشی اتصال خورجینی را لحاظ نمود. لیکن در این سازه با توجه به کوچک بودن نبشی پایین و عدم وجود نبشی فوقانی، سختی پیچشی برای اتصالات خورجینی در نظر گرفته نشده است.

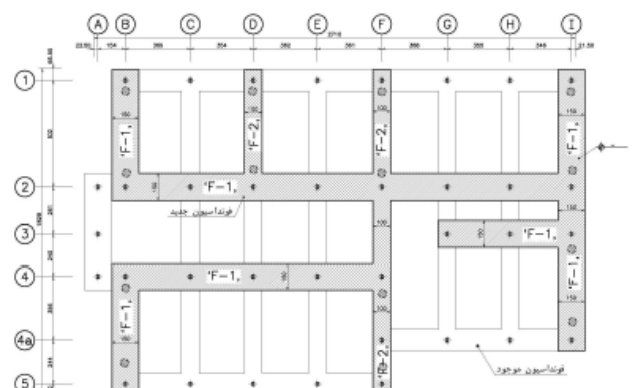
گزینه اول بهسازی شامل اضافه کردن مهاربندی فلزی در هر دو راستای ساختمان، به عنوان سیستم مقاوم جانبی می باشد. با توجه به استفاده از مهاربندی در هر دو جهت ساختمان، تقویت فونداسیون ها الزامی به نظر می رسد. لذا بدین منظور در زیر دهانه های مهاربندی با توجه به نیروهای ایجاد شده در آن ها، فونداسیون ها تا تراز کف موجود اضافه می شوند. همچنین تحت اثر زلزله در پای ستون ها، نیروهای برکش (Uplift) ایجاد می شود که به نظر می رسد با توجه به مقادیر این نیروها، وزن فونداسیون ها برای مقاومت در برابر بلندشدگی کافی نبوده و از این رو نیاز به احداث شمع وجود دارد. بر اساس نتایج تحلیل های انجام گرفته، تعداد ۱۴ شمع با طول ۵ متر و قطر ۱ متر به عنوان طرح بهینه و مناسب جهت کنترل نیروهای برکش (Uplift) در نظر گرفته شد.



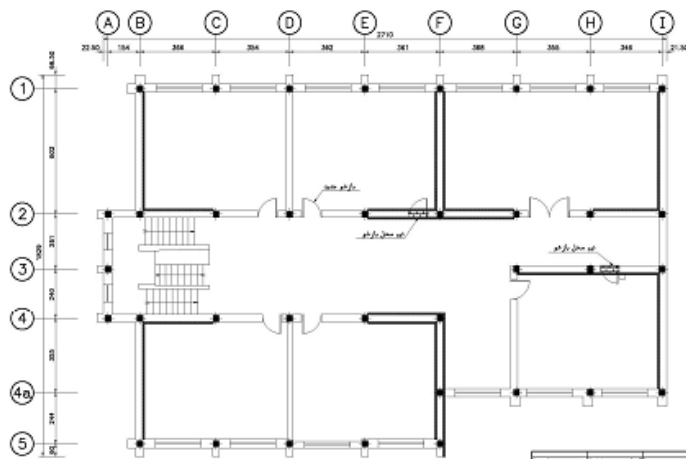
شکل ۱- نحوه توزیع مهاربندها در پلان ساختمان



شکل ۲- پلان فونداسیون موجود و اضافه شده و موقعیت شمع های مورد نظر

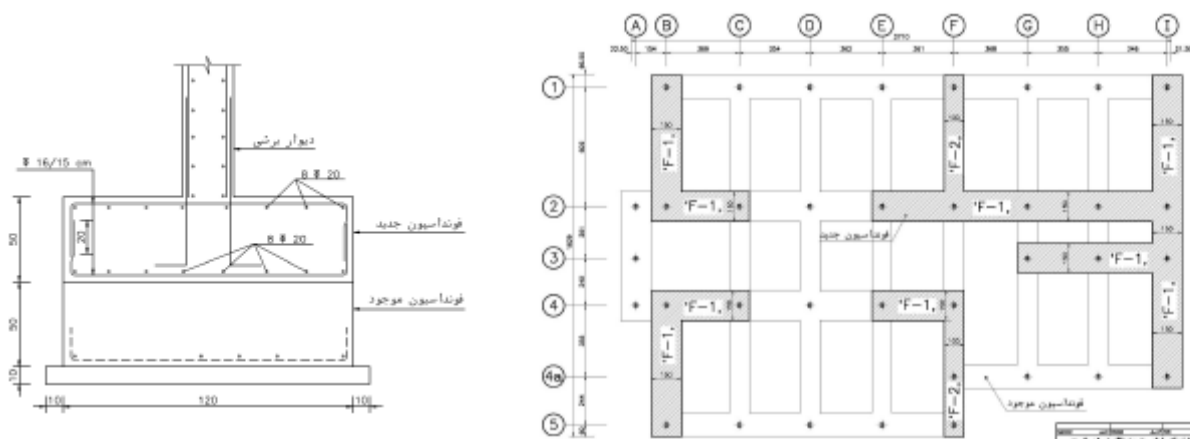


گزینه بهسازی دوم شامل ایجاد دیوارهای برشی در ساختمان بعنوان سیستم باربر جانبی می باشد. با توجه به مبانی موجود در مراجع مطالعاتی مربوط از جمله دستورالعمل های FEMA 356 به منظور ایجاد دیوار برشی می توان از شاکریت کردن دیوارهای میانقاب با رعایت ضوابط و جزئیات ذکر شده در این مراجع استفاده نمود. با توجه به اینکه تیرهای خورجینی در داخل دیوارهای شاکریت شده قرار می گیرند لذا آسیب پذیر بودن اتصالات تیرهای خورجینی با این عمل مرتفع می شود. و نیازی به بهسازی اتصالات این تیرها وجود نخواهد داشت.



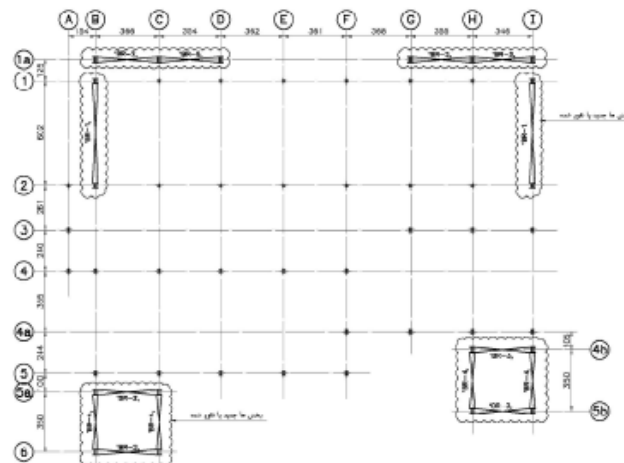
شکل ۳- نحوه توزیع دیوارها در پلان ساختمان

فونداسیون جدید بر روی فونداسیون موجود و حداثصل بین آنها اجرا می گردد. جهت ایجاد پیوستگی در عملکرد فونداسیون های موجود و اضافه شده، آرماتورهای ریشه در فونداسیون موجود تعبیه و بطور مناسب در فونداسیون های جدید مهار می شود



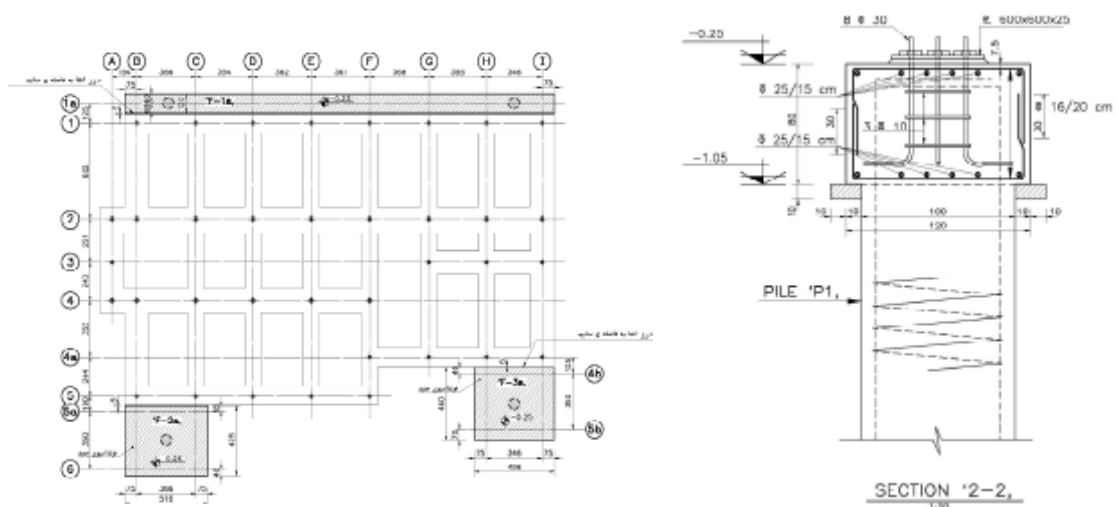
شکل ۴- پلان فونداسیون موجود، اضافه شده و جزئیات آن

گزینه سوم بهسازی شامل اضافه کردن سازه هایی در بر خارجی ساختمان، به عنوان سیستم مقاوم جانبی می باشد. این سازه ها با سختی زیاد، عمده بارهای جانبی ناشی از زلزله را تحمل کرده و سیستم موجود سازه صرفاً برای تحمل بارهای ثقلی مدنظر قرار می گیرند. از نکات مهم در این گزینه اتصال مناسب این سازه ها با سازه اصلی است تا ظرفیت کامل آنها برای تحمل بارهای جانبی وارده به سازه استفاده گردد. لازم به ذکر است در این گزینه کمترین عملیات اجرایی در داخل ساختمان صورت می پذیرد. لیکن اگر ساختمان دارای آسیب پذیری های موضعی باشد، می بایست این نواقص به صورت موضعی مورد بهسازی قرار گیرند.



شکل ۵- موقعیت سازه های مقاوم خارجی در پلان ساختمان

ایجاد سازه های مقاوم الحاقی در خارج ساختمان با ایجاد فونداسیون های جدید برای این سازه ها همراه است. این فونداسیون ها به فونداسیون موجود ساختمان متصل نمی شود و با تعبیه درز انقطاع بین فونداسیون قدیم، جدید این فونداسیون ها از هم جدا می شود و مقاومت فشاری نسبتاً بالا توانایی باربری لازم ناشی از بارهای وارده از طرف ستون هایی که در قاب های مهاربندی شده قرار دارند، را دارا می باشند. همچنین تحت اثر زلزله در پای این ستون های الحاقی، نیروهای برگشت (Uplift) ایجاد می شود که به نظر می رسد با توجه به مقادیر این نیروها، وزن فونداسیون ها برای مقاومت در برابر بلندشدگی کافی نبوده و از این رو نیاز به احداث شمع وجود دارد. بر اساس نتایج تحلیل های انجام گرفته، تعداد ۴ شمع با طول ۵ متر و قطر ۱ متر به عنوان طرح بهینه و مناسب جهت کنترل نیروهای برگشت (Uplift) در نظر گرفته شد. همچنین جهت ایجاد پیوستگی در عملکرد فونداسیون های موجود و اضافه شده، آرماتورهای ریشه در فونداسیون موجود ایجاد و بطور مناسب در فونداسیون های جدید مهار می گردد.



شکل ۶- پلان فونداسیون موجود، اضافه شده، موقعیت شمع های مورد نظر و جزئیات شمع های اضافه شده

۴. بارگذاری ثقلی

با توجه به وزن جزئیات ساختمان، وزن موثر شامل بار مرده و وزن تاسیسات ثابت به اضافه ۴۰٪ بار زنده به تفکیک گزینه های پیشنهادی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- وزن موثر ساختمان

گزینه	Weight (ton)
گزینه ۱	1019.10
گزینه ۲	1594.00
گزینه ۳	1591.48

۵. بارگذاری زلزله

ارزیابی فنی گزینه‌های ارائه شده برای بهسازی لرزه‌ای ساختمان مدرسه حاضر بر اساس ضوابط دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای صورت می‌گیرد. از این رو در ابتدا این ارزیابی‌ها در قالب تحلیل استاتیکی خطی انجام می‌شود. در روش تحلیل استاتیکی خطی طبق بند ۳-۱-۲ دستورالعمل بهسازی، برش پایه ساختمان در زلزله خطر مورد نظر با استفاده از رابطه ذیل محاسبه می‌شود:

$$V = C_1.C_2.C_3.C_m.S_a.W$$

توزیع نیروی جانبی در ارتفاع ساختمان با توجه به نیروی برشی پایه، ارتفاع و وزن طبقات براساس رابطه زیر محاسبه و در جدول ۲ ارائه شده است.

$$F_i = \frac{W_i h_i^k}{\sum_{j=1}^n W_j h_j^k} V$$

جدول ۲- مقادیر برش پایه و توزیع نیروی زلزله در ارتفاع

گزینه ۳		گزینه ۲		گزینه ۱		طبقه
F _i (ton)	ارتفاع	F _i (ton)	ارتفاع	F _i (ton)	ارتفاع	
662.27	10.02	477.65	10.02	366.94	10.02	طبقه ۱
622.47	6.74	454.25	6.74	379.70	6.74	طبقه ۲
307.89	3.37	233.00	3.37	190.32	3.37	طبقه ۳
1342		1165		937.54		مجموع (برش پایه)

میزان اثر $P - \Delta$ و اهمیت آن براساس مقدار پارامتر شاخص پایداری θ_i تعیین می‌شود. در صورتی که مقدار شاخص پایداری طبقه کمتر از ده درصد باشد، اثر لنگر ثانویه وارد به طبقه بر اثر پدیده $P - \Delta$ ناچیز بوده و قابل صرف نظر کردن است. لیکن اگر این مقدار بیشتر از ده درصد شود، این اثر می‌بایست در محاسبات منظور گردد.

$$\theta_i = \frac{P_i \delta_i}{V_i h_i}$$

طبق تعریف، شاخص پایداری θ_i مطابق رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

جدول ۳- تعیین شاخص پایداری θ در جهت X

گزینه ۳			گزینه ۲			گزینه ۱			طبقه
θ_i		ارتفاع	θ_i		ارتفاع	θ_i		ارتفاع	
y	x		y	x		y	x		
0.0038	0.0039	310	0.0009	0.0019	310	0.0013	0.0044	310	
0.0049	0.0048	310	0.0010	0.0021	310	0.0022	0.0055	310	طبقه ۲
0.0042	0.0044	370	0.0008	0.0014	370	0.0022	0.0038	370	طبقه ۳

اجزای افقی و یا همان دیافراگم ها که شامل سقف ها و کف ها می باشند، منتقل کننده نیروهای جانبی به اجزای باربر جانبی هستند. سقف این ساختمان تیرچه بلوک بوده و صلبیت سقف در این مورد باید بصورت کمی و با توجه به نوع سیستم باربر جانبی موجود کنترل گردند. ارزیابی و کنترل صلبیت دیافراگم ها براساس ضوابط دستورالعمل بهسازی لرزه ای، بر کفایت مناسب دیافراگم موجود بوده و نتایج آن در ادامه ارائه می گردد

$$\frac{\Delta_{diaph}}{\Delta_{story}} < 0.5$$

برای صلب بودن یک دیافراگم باید رابطه زیر برقرار باشد:

مطابق رابطه (۳-۱۲) دستورالعمل بهسازی لرزه ای، نیروی جانبی حداکثر به دیافراگم سقف طبقه دوم وارد می شود

جدول ۴- تعیین شاخص پایداری θ در جهت X

گزینه ۱			گزینه ۲			گزینه ۳		
$\frac{\Delta_{diaph}}{\Delta_{story}}$	Δ_{story}	Δ_{diaph}	$\frac{\Delta_{diaph}}{\Delta_{story}}$	Δ_{story}	Δ_{diaph}	$\frac{\Delta_{diaph}}{\Delta_{story}}$	Δ_{story}	Δ_{diaph}
0.1055	2.09	0.05	0.0737	0.16	0.46	0.685	3.84	0.17

همانطور که مشاهده شد برای بحرانی ترین وضعیت موجود در ساختمان نسبت مذکور برای کنترل میزان صلبیت دیافراگم از ۵۰ درصد کمتر می باشد

۶. ترکیب بارگذاری ثقلی و جانبی

ترکیب بارهای مورد استفاده در تعیین نسبت نیرو به ظرفیت اعضا و نیز کنترل معیارهای پذیرش در تحلیل استاتیکی خطی به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$Comb1: 1.1(D + L)$$

$$Comb2: 0.9.D$$

$$Comb3: 1.1(D + L) + E$$

محدوده کاربرد روش تحلیل استاتیکی خطی در بند (۲-۳-۱) دستورالعمل، آورده شده است. در صورت برقراری تمامی ۷ شرط بند مذکور تحلیل استاتیکی خطی کافی بوده و سازه بر اساس نتایج آن قابل ارزیابی خواهد بود. هر سه گزینه پیشنهادی طبق تحلیل های صورت گرفته این شرایط را ارضاء می کند. در این گزارش برای نمونه گزینه سوم به ترتیب زیر بررسی می شود.

۱- زمان تناوب اصلی ساختمان کوچک تر از $3.5T_g$ می باشد. همچنین تعداد طبقات سازه کمتر از ۲۰ طبقه می باشد.

$$\begin{cases} T_s = 0.5 \text{ Sec} \\ T_x = T_y = 0.282 \text{ Sec} \end{cases} \Rightarrow 0.282 < 3.5 \times 0.5 = 1.75 \quad \text{ok}$$

۲- تغییر ابعاد پلان در طبقات متوالی ساختمان به استثنای خرپشته، کمتر از ۴۰ درصد می باشد.

۳- سازه دارای سیستم باربر جانبی متعامد است.

۴- حداکثر تغییر مکان جانبی نسبی در هر طبقه و در هر راستا کمتر از ۱/۵ برابر تغییر مکان نسبی متوسط آن طبقه در همان راستا باشد.

۵- تغییر مکان متوسط جانبی در هر طبقه، به استثنای خرپشته، کمتر از ۵۰٪ با طبقه ی بالا یا پایین آن اختلاف نداشته باشد.

۶- اگر مقادیر DCR بحرانی در تمامی اعضای باربر جانبی کوچک تر از ۲ باشد، کنترل دیگری لازم نبوده و نتایج تحلیل استاتیکی خطی سازه معتبر است. در غیر اینصورت باید شرط ۷ نیز کنترل گردد.

با توجه به اینکه مقادیر DCR بحرانی در تعدادی از اعضای اصلی باربر جانبی بیشتر از ۲ می باشد لذا باید شرط ۷ نیز کنترل شود.

۷- طبق بند ۷ دستورالعمل هر سه شرط زیر کنترل می گردد:

الف- انقطاع در سیستم باربر جانبی در صفحه خود و یا در خارج از صفحه، وجود ندارد.

ب- ساختمان دارای طبقه ضعیف نبوده، متوسط DCR برشی هر طبقه بیش از ۲۵ درصد با متوسط همین نسبت در یک طبقه بالاتر یا پائین تر

اختلاف ندارد. متوسط DCR برشی طبقه با استفاده از میانگین گیری وزنی مطابق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\overline{DCR} = \frac{\sum_{i=1}^n DCR_i V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}$$

با توجه به محاسبات انجام گرفته، مشخص گردید که $\overline{DCR}$ طبقات مختلف سازه، در جهت طولی به ترتیب از پائین به بالا با مقادیر ۳/۹۶، ۴/۴،

۳/۳، می باشد. چنانچه مشاهده می شود، $\overline{DCR}$ بار طبقه ی میانی (۳/۹۶) شرط مجاز دستورالعمل را ارضا می نماید.

ج- ساختمان دارای نامنظمی شدید در مقاومت پیچشی نبوده. یعنی بزرگ ترین DCR در اعضای یک سمت مرکز سختی طبقه نسبت به همین

مقدار در سمت دیگر از ۱/۵ برابر بیشتر نمی باشد. با توجه به DCR مربوط به اعضای مهاربندی سازه در هر طبقه از ساختمان و در دو جهت مرکز سختی به صورت زیر می باشد.

جدول ۵- مقایسه ی DCR در دو سمت مرکز سختی برای بادبندهای جهت X, Y

	y			x		
	y_1	y_2	مقایسه	x_1	x_2	مقایسه
DCR-ST1	5.06	6.18	$6.18 < 1.5 \times 5.06$	3.92	4.33	$4.33 < 1.5 \times 3.92$
DCR-ST2	5.16	4.30	$5.16 < 1.5 \times 4.3$	5.10	3.92	$5.1 < 1.5 \times 3.92$
DCR-ST3	5.24	6.29	$6.29 < 1.5 \times 5.24$	2.55	2.92	$2.92 < 1.5 \times 2.55$

بررسی نتایج تحلیل نشان داد که شرط فوق برقرار می باشد. با توجه به موارد فوق تحلیل استاتیکی خطی برای این سازه معتبر و کافی بوده و بر اساس

معیارهای پذیرش می توان به ارزیابی سازه پرداخت.

۷. ارزیابی اقتصادی و تعیین مدت زمان طرح

در فرایند بهسازی لرزه ای ساختمان ها، یکی از پارامترهای موثر در انتخاب گزینه بهسازی، توجه اقتصادی آن گزینه می باشد علاوه بر مسایل فنی و

اقتصادی، مدت زمان انجام یک طرح بهسازی نیز می تواند از جمله عوامل موثر در انتخاب آن به عنوان راهکار برتر پیشنهادی توسط یک کارفرما باشد

جدول ۶- مقایسه‌ی هزینه بهسازی برای سه گزینه ارائه شده

گزینه ۳	گزینه ۲	گزینه ۱	
751125077	771301615	1045677304	هزینه بهسازی بدون ضریب
1773102282	1564199675	2290284258	هزینه نهایی (ریال)
4~5	4	4~5	مدت زمان طرح (ماه)

۸. جمع‌بندی، مقایسه و نتیجه‌گیری

برای انتخاب گزینه برتر بهسازی باید به موارد زیر توجه نمود:

۱. هزینه اجرای طرح
با توجه به جدول گزینه دوم بهسازی، ایجاد دیوارهای شاتکریت شده در دو جهت ساختمان بیشتری هزینه و گزینه سوم بهسازی، ایجاد سازه‌های الحاقی و خارج ساختمان کمترین هزینه را دربر خواهد داشت.
 ۲. زمان لازم برای اجرای طرح
گزینه سوم بهسازی ارائه شده از نظر حجم تخریب از دیگر گزینه‌ها کمتر می‌باشد لذا گزینه‌ی سازه‌های الحاقی زمان کمتری را برای اجرا نیاز دارد.
 ۳. امکان‌سنجی روش‌های اجرا و میزان صعوبت فعالیت‌ها
در گزینه سوم با توجه به انجام عملیات اجرایی در تعداد محدودی از دهانه‌ها، می‌توان این گزینه را بر سایر گزینه‌ها ارجح دانست.
 ۴. احتمال برخورد به فعالیت‌های پیش‌بینی نشده
بخاطر تمرکز فعالیت‌های صورت گرفته در خارج ساختمان برای گزینه سوم احتمال برخورد با فعالیت‌های پیش‌بینی نشده و آسیب به تاسیسات و لوله‌های موجود کمتر است.
- با توجه به موارد مذکور و بررسی‌های صورت گرفته ، پیشنهاد این گزارش برای بهسازی لرزه‌ای این ساختمان، گزینه دوم می‌باشد.

۹. مراجع

1. ATC 40 ,1996, Seismic evaluation and retrofit of steel buildings, ATC 40, Redwood City, CA.
2. Farzad Naeim, Ph.D., S.E, 1999, Earthquake Engineering Handbook, Chapter 5, Performance Based Seismic Engineering .
3. FEMA 356, 2002, Prestandard and Commentary for the seismic rehabilitation of buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.
۴. دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود-خرداد ۱۳۸۱-دفتر امور فنی و تدوین معیارها/سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور/پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله .
۵. تفسیر دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود-خرداد ۱۳۸۱-دفتر امور فنی و تدوین معیارها/سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور/پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله .
۶. آئین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، استاندارد ۸۴-۲۸۰۰، ویرایش سوم.
۷. آئین نامه حداقل بارهای وارد بر ساختمان ها وابسته فنی.
۸. مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (طرح و اجرای ساختمان‌های فلزی)
۹. آئین نامه بتن ایران (آبا)