

تاریخ: 1405/02/28

شماره: 184491/70

پیوست: 3



معاونت فنی و عمرانی

بسم الله الرحمن الرحيم

معاونین محترم شهردار تهران

مشاوران محترم شهردار تهران

شهرداران محترم مناطق 22 گانه شهرداری تهران

مدیران عامل محترم سازمانها و شرکت های تابعه شهرداری تهران

مدیران کل محترم ستادی

رئیس محترم سازمان بازرسی

موضوع: ابلاغیه شوراي فني "راهنمای مطالعات باز طراحی و تعمیر ساختمان های آسیب دیده در زلزله"

با سلام و احترام؛

به استناد مصوبه شماره 160/2482/20025 مورخ 1397/07/12 شوراي اسلامي شهر تهران و مصوبه شوراي فني شهرداری تهران، بدینوسیله "راهنمای مطالعات باز طراحی و تعمیر ساختمان های آسیب دیده در زلزله" ابلاغي سازمان برنامه و بودجه کشور به شماره 66359 مورخ 1405/02/21 در چارچوب نظام فني و اجرائي شهرداری تهران به کلیه واحدهای شهرداری تهران ابلاغ مي گردد.

بدیهي است رعایت مفاد این ابلاغیه بر عهده ي بالاترین مقام واحد مربوطه بوده و مرجع رسیدگی، تفسیر، داوري و اظهار نظر در خصوص اجرائي مفاد این ابلاغیه که در کلیه واحدهای شهرداری تهران مورد استفاده قرار مي گیرد، شوراي فني شهرداری تهران مي باشد.

عباس شعبانی

معاون فنی و عمرانی

رونوشت: جناب آقای اللهوردیزاده، دبیر شوراي فني شهرداری تهران، جهت اطلاع؛

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه کشور

راهنمای مطالعات بازطراحی و تعمیر ساختمان‌های آسیب‌دیده در زلزله

ضابطه شماره ۹۱۲

آخرین ویرایش: ۱۴۰۴-۱۲-۰۲



پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی

و مهندسی زلزله

iiees.ac.ir



جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه کشور

معاونت فنی، زیربنایی و تولیدی

امور نظام فنی و اجرایی

Nezamfanni.ir

شماره :	۱۴۰۵/۶۶۳۵۹
تاریخ :	۱۴۰۵/۰۲/۲۱
بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	

به استناد ماده (۳۴) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور و تبصره ذیل بند (۳-۱) ماده (۴) «سند نظام فنی‌اجرایی یکپارچه کشور»، موضوع تصویب‌نامه شماره ۴۰۵۴۴/ت/۶۳۷۱۹ هـ مورخ ۱۴۰۴/۰۳/۰۶ هیئت وزیران؛ ضابطه پیوست با مشخصات زیر ابلاغ و در «سامانه نظام فنی‌اجرایی کشور» به نشانی Nezamfanni.ir منتشر می‌شود:

عنوان:	راهنمای مطالعات بازطراحی و تعمیر ساختمان‌های آسیب‌دیده در زلزله
شماره ضابطه:	۹۱۲
نوع ابلاغ:	راهنما
حوزه شمول:	همه قراردادهای جدیدی که از تاریخ اجرای این بخشنامه، از محل وجوه عمومی و یا به صورت مشارکت عمومی-خصوصی منعقد می‌شوند.
تاریخ اجرا:	۱۴۰۵/۰۷/۰۱
متولی تهیه، اخذ بازخورد و اصلاح:	پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله
مرجع اعلام اصلاحات:	امور نظام فنی‌اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور

مفاد این بخشنامه، برای قراردادهایی که قبل از تاریخ اجرای آن منعقد شده‌اند، در صورت توافق طرفین قرارداد، قابل استفاده است.

سیدحمید پورمحمدی

رونوشت :

معاونت حقوقی ریاست جمهوری - سامانه ملی قوانین و مقررات جمهوری اسلامی ایران
 امور حقوقی قوانین و مقررات
 مرکز روابط عمومی، امور بین‌الملل و مدیریت دانش
 دبیرخانه مرکزی سازمان

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی و اجرایی معاونت فنی، زیربنایی و تولیدی سازمان برنامه و بودجه کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این ضابطه کرده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام و اشکالات موضوعی نیست. از این رو از شما خوانندگان گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

۱ - شماره‌ی بند و صفحه‌ی موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۲ - ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.

۳ - در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.

۴ - نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.

کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه:

- تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی شاه - سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی و اجرایی

Email: nezamfanni@chmail.ir

nezamfanni.ir

بسمه تعالی

پیشگفتار

تجربه زلزله‌های رخ داده در محدوده‌های شهری و روستایی و بررسی آمار مربوط نشان دهنده آمار قابل توجه آسیب در ساختمان‌ها می‌باشد. زلزله سال ۱۳۹۶ ازگله-کرمانشاه به عنوان یک نمونه از رویدادهای لرزه‌ای شدید در مجاورت محدوده شهری با توجه به آمار بالای آسیب‌های وارده به ساختمان‌ها با گونه‌های مختلف باعث شد تا موضوع تعمیر ساختمان‌های آسیب‌دیده از اهمیت زیادی برخوردار شود. بنابر آمارهای رسمی اعلام شده در آذر سال ۱۳۹۸، در طی این زلزله شمار قابل توجهی از ساختمان‌های آسیب‌دیده در فرایند تعمیر (و نه تخریب و بازسازی) قرار گرفته‌اند. با توجه به نبود دانش فنی و تجربه مدون در این حوزه در کشور با وجود انباشت تجربیات تعمیر و بازسازی‌های محدود در زلزله‌های گذشته همچون؛ بم (۱۳۸۲)، سیلاخور (۱۳۸۵) و ورزقان (۱۳۹۱) فعالیت‌های انجام شده در این بخش بدون مبانی مشترک و به صورت موردی بر اساس بررسی‌های تخصصی در هر مورد بوده است.

پس از زلزله‌ی سال ۱۳۹۶ ازگله-کرمانشاه امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور با توجه به گستردگی و تعدد ساختمان‌های آسیب‌دیده با نیاز به مطالعات لازم برای بازطراحی و تعمیر در نخستین گام و در همکاری با پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله اقدام به تدوین دستورالعملی برای ارزیابی سریع ساختمان‌ها پس از زلزله نمود که در قالب نشریه شماره ۸۲۳ در سال ۱۳۹۹ منتشر شد.

در مرحله بعدی با توجه به شناخت فرایند اقدامات صورت گرفته در عملیات تعمیر و بازسازی پس از زلزله و اهمیت موضوع از بعد فنی، ایمنی و اقتصادی، امور نظام فنی‌و‌اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور با توجه به فقدان سندی معتبر در کشور به منظور تبیین راهکار انجام مطالعات در این زمینه، تهیه این نشریه تحت عنوان "راهنمای مطالعات بازطراحی و تعمیر ساختمان‌های آسیب‌دیده در زلزله" را در قالب همکاری با پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله در دستور کار قرار داد، که پس از بررسی براساس نظام فنی‌و‌اجرایی یکپارچه، موضوع ماده ۳۴ قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور، ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی مصوب هیات محترم وزیران تصویب و ابلاغ گردید.

این راهنما در همکاری با پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله به شکل حاضر آماده شده است و بر اساس دانش بین‌المللی و ملی و تجربیات کسب شده در این زمینه، به تبیین هدف و مسیر مطالعات لازم، ارائه ضوابط بازطراحی و تعمیر ساختمان‌های فولادی، بتن‌آرمه و مصالح بنایی آسیب‌دیده در زلزله، در پنج فصل زیر می‌پردازد. در فصل اول، به موضوعات اصلی، تبیین هدف پروژه و مسیر مطالعات لازم برای تدوین دستورالعمل پرداخته شده است. فصل دوم شامل ضوابط بازطراحی و تعمیر ساختمان‌های فولادی آسیب‌دیده در زلزله می‌باشد. در فصل سوم از

راهنمای حاضر ضوابط بازطراحی و تعمیر ساختمان‌های بتن‌آرمه آسیب‌دیده در زلزله معرفی شده است و در فصل چهارم ضوابط بازطراحی ساختمان‌های مصالح بنایی ارائه شده است. در پایان نیز نکات تکمیلی این راهنما در قالب شش پیوست ارائه شده است.

اگرچه در تدوین متن این راهنما بررسی و مطالعات قابل توجهی انجام شده اما با توجه به ماهیت موضوع، فقدان مطالعات ملی و بین‌المللی کافی در این زمینه و محدودیت تجربیات و مستندات کافی در مطالعات بازطراحی و تعمیر ساختمان‌های آسیب‌دیده در زلزله‌های کشور در کنار چالش‌های متعدد ناشی از شرایط اجرای ساختمان‌های موجود متن حاضر نیازمند بررسی و اصلاح دوره‌ای باشد. امید است با بررسی کارشناسانه و ارائه پیشنهادهای سازنده، این امور را در ارتقای کیفی این نشریه همراهی فرمایید.

علیرغم تلاش، دقت و وقت زیادی که برای تهیه این مجموعه صرف گردید، این مجموعه مصون از وجود اشکال و ابهام در مطالب آن نیست. لذا در راستای تکمیل و پربار شدن این نشریه از کاربران محترم درخواست می‌شود موارد اصلاحی را به امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور ارسال کنند. کارشناسان سازمان پیشنهادهای دریافت شده را بررسی کرده و در صورت نیاز به اصلاح در متن نشریه، با همفکری نمایندگان جامعه فنی کشور و کارشناسان مجرب این حوزه، نسبت به تهیه متن اصلاحی، اقدام و از طریق پایگاه اطلاع رسانی نظام فنی و اجرایی کشور به آدرس Nezamfanni.ir برای بهره‌برداری عموم، اعلام خواهند کرد. به همین منظور و برای تسهیل در پیدا کردن آخرین ضوابط ابلاغی معتبر، در بالای صفحات، تاریخ تدوین مطالب آن صفحه درج شده است که در صورت هرگونه تغییر در مطالب هر یک از صفحات، تاریخ آن نیز اصلاح خواهد شد. از اینرو همواره مطالب صفحات دارای تاریخ جدیدتر معتبر خواهد بود.

حمید امانی همدانی

معاون فنی، زیربنایی و تولیدی

بهار ۱۴۰۵

تهیه و کنترل «راهنمای مطالعات بازطراحی و تعمیر ساختمان‌های آسیب دیده در زلزله»

[ضابطه شماره ۹۱۲]

اعضای گروه تهیه‌کننده:

امید بهار	پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله	دکترای مهندسی عمران
بهرخ حسینی هاشمی	پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله	دکترای مهندسی عمران
عبدالرضا سرو قد مقدم	پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله	دکترای مهندسی عمران
حمیدرضا فرشچی	پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله	کارشناس ارشد مهندسی عمران
افشین کلانتری (مجری پروژه)	پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله	دکترای مهندسی عمران
امیرحسین لوک‌زاده	پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله	کارشناس ارشد مهندسی عمران
مجید محمدی	پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله	دکترای مهندسی عمران

اعضای گروه نظارت:

فرهاد بهنام‌فر	دانشگاه صنعتی اصفهان	دکترای مهندسی عمران
محمود حسینی	پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله	دکترای مهندسی عمران
مجید حمیدی راد		کارشناس ارشد مهندسی عمران
محمد خان‌محمدی	دانشگاه تهران	دکترای مهندسی عمران
مصطفی زین‌الدینی	دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی	دکترای مهندسی عمران

اعضای گروه هدایت و راهبری (سازمان برنامه و بودجه کشور):

علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی‌و اجرایی
فرزاد پارسا	معاون امور نظام فنی‌و اجرایی
محمد کارگر شورکی	کارشناس امور نظام فنی‌و اجرایی

فهرست مطالب

فصل ۱ کلیات	۱
۱-۱- مقدمه	۳
۲-۱- هدف	۳
۳-۱- گستره	۳
۴-۱- مسئولیتها و مبانی حقوقی	۵
۵-۱- اصول کلی این راهنما	۶
۶-۱- رویکرد کلی تعمیر	۶
۷-۱- ساختار اجرایی فرایند تعمیر	۶
۸-۱- ارزیابی اولیه (شرایط فنی، اقتصادی و کاربری-مدیریتی مبنی بر بازرسی اولیه)	۹
۱-۸-۱- شرایط فنی	۹
۲-۸-۱- توجیه اقتصادی	۱۰
۳-۸-۱- توجیه کاربری-مدیریتی	۱۰
۹-۱- نکات مشترک در مدل سازی	۱۰
۱-۹-۱- درزهای انقطاع	۱۰
۲-۹-۱- راه پله	۱۱
۳-۹-۱- خرپشته	۱۱
۱۰-۱- آسیب های اجزای غیرسازهای	۱۱
۱-۱۰-۱- آسیب های موضعی	۱۲
۲-۱۰-۱- آسیب های شدید (ناپایداری اجزا)	۱۲
۱۱-۱- ایمن سازی موقت ساختمان	۱۲
۱۲-۱- آسیب های ژئوتکنیکی	۱۳
۱۳-۱- عملیات بازدید کارشناسی	۱۴
۱-۱۳-۱- اهداف بازرسی	۱۴
۲-۱۳-۱- ایمنی عملیات	۱۵
فصل ۲ ساختمان های فولادی	۱۷
۱-۲- مقدمه	۱۹
۲-۲- مراحل مطالعات بازطراحی و تعمیر ساختمان های فولادی آسیب دیده در زلزله	۱۹
۱-۲-۲- ایمن سازی موقت ساختمان	۱۹

۲۰	۲-۲-۲- مستندات قابلیت تعمیر ساختمان.....
۲۰	۳-۲-۲- گام‌های فرایند ارزیابی و تعمیر.....
۲۲	۳-۲- بازرسی تکمیلی.....
۲۲	۲-۳-۱- بررسی اطلاعات موجود ساختمان.....
۲۳	۲-۳-۲- برداشت و آزمایش مقاومت مصالح.....
۲۴	۲-۳-۳- تحلیل مقدماتی.....
۲۴	۲-۳-۴- تعیین نقاط بازدید.....
۲۵	۲-۳-۴-۱- قاب فولادی خمشی.....
۲۸	۲-۳-۴-۲- قاب فولادی دارای مهاربندی.....
۲۹	۲-۳-۵- تعیین مودهای آسیب.....
۲۹	۲-۳-۵-۱- قاب فولادی خمشی.....
۳۳	۲-۳-۵-۲- قاب فولادی دارای مهاربند همگرا.....
۳۸	۲-۳-۵-۳- قاب فولادی دارای مهاربند واگرا.....
۳۹	۲-۳-۵-۴- سامانه‌ی باربر ثقلی.....
۴۰	۲-۳-۶- مستندسازی.....
۴۱	۲-۴- اثرات پی.....
۴۲	۲-۵- دیافراگم.....
۴۲	۲-۶- بازطراحی و ارزیابی.....
۴۳	۲-۷- روش‌های تعمیر و تقویت.....
۴۴	۲-۷-۱- راهبردهای تعمیر.....
۴۴	۲-۷-۲- روش تعمیر مبتنی بر نتایج معیار پذیرش.....
۴۵	۲-۷-۳- تعمیر موضعی.....
۵۷	۲-۷-۴- تعمیر کلی.....
۵۸	۲-۷-۴-۱- افزودن اعضای جدید.....
۶۰	۲-۷-۴-۲- ارتقاء اعضای سازه‌ای موجود.....
۶۳	۲-۷-۴-۳- کاهش تقاضای لرزه‌ای.....
۶۴	۲-۷-۵- تعمیر ساختمان آسیب‌دیده در زلزله به روش ساده.....
۶۴	۲-۷-۵-۱- شرایط استفاده از روش تعمیر ساده.....
۶۵	۲-۷-۵-۲- ضوابط روش تعمیر ساده.....
۶۷	فصل ۳ ساختمان‌های بتنی.....

۶۹	۱-۳- مقدمه
۶۹	۲-۳- روش مطالعات بازطراحی و تعمیر ساختمان‌های بتنی آسیب‌دیده در زلزله
۶۹	۱-۲-۳- ایمن‌سازی موقت ساختمان
۷۰	۲-۲-۳- مستندات قابلیت تعمیر ساختمان
۷۰	۳-۲-۳- گام‌های فرایند ارزیابی و تعمیر
۷۲	۳-۳- بازرسی تکمیلی
۷۲	۱-۳-۳- بررسی اطلاعات موجود ساختمان
۷۳	۲-۳-۳- برداشت و آزمایش مقاومت مصالح
۷۵	۱-۲-۳-۳- راهنمای آزمایش و بازدید
۸۱	۳-۳-۳- شرایط سازه پیش از زلزله
۸۳	۴-۳-۳- تحلیل مقدماتی
۸۳	۵-۳-۳- مستندسازی
۸۴	۶-۳-۳- تعیین نقاط بازدید
۸۷	۱-۷-۳-۳- قاب‌های بتنی خمشی
۸۷	۲-۷-۳-۳- ساختمان دارای دیوار برشی
۸۸	۸-۳-۳- سطح آسیب وارده به اعضای بتنی
۹۵	۴-۳- اثرات پی
۹۵	۵-۳- دیافراگم
۹۶	۶-۳- بازطراحی و ارزیابی
۹۷	۷-۳- روش‌های تعمیر و تقویت
۹۸	۱-۷-۳- راهبردهای تعمیر
۹۹	۲-۷-۳- روش تعمیر مبتنی بر نتایج معیار پذیرش
۹۹	۳-۷-۳- روشهای تعمیر موضعی
۱۰۹	۴-۷-۳- تعمیر کلی
۱۱۰	۱-۴-۷-۳- افزودن اعضای جدید
۱۱۰	۲-۴-۷-۳- ارتقاء اعضای سازه‌ای موجود
۱۱۱	۳-۴-۷-۳- کاهش تقاضای لرزهای
۱۱۲	۵-۷-۳- تعمیر ساختمان آسیب‌دیده در زلزله به روش ساده
۱۱۳	۱-۵-۷-۳- شرایط استفاده از روش تعمیر ساده
۱۱۳	۲-۵-۷-۳- ضوابط روش تعمیر ساده

فصل ۴ ساختمان‌های بنایی.....	۱۱۵
۴-۱- مقدمه.....	۱۱۷
۴-۲- جمع‌آوری اطلاعات و تهیه نقشه‌های اولیه آسیب.....	۱۱۷
۴-۲-۱- دسته‌بندی آسیب‌های وارده و تعیین سطح آسیب وارده.....	۱۱۷
۴-۳- ارزیابی کلی اولیه.....	۱۲۱
۴-۳-۱- ارزیابی کلی شرایط فنی.....	۱۲۱
۴-۳-۲- تصمیم‌گیری اولیه.....	۱۲۱
۴-۴- ایمن‌سازی اولیه.....	۱۲۲
۴-۵- انتخاب روش تعمیر ساختمان بنایی آسیب‌دیده.....	۱۲۲
۴-۵-۱- شرایط کاربرد روش تعمیر ساده یا تفصیلی.....	۱۲۲
۴-۵-۲- روش تعمیر ساده.....	۱۲۳
۴-۵-۲-۱- پلان ساختمان.....	۱۲۴
۴-۵-۲-۲- پیش‌آمدگی (طره).....	۱۲۴
۴-۵-۲-۳- اختلاف تراز.....	۱۲۴
۴-۵-۲-۴- شالوده.....	۱۲۴
۴-۵-۲-۵- وضعیت بازشوها (درب- پنجره- گنجه).....	۱۲۴
۴-۵-۲-۶- دیوارهای سازه‌ای.....	۱۲۵
۴-۵-۲-۷- وضعیت کلافبندی.....	۱۲۹
۴-۵-۲-۸- سقف.....	۱۳۰
۴-۵-۳- روش تعمیر تفصیلی.....	۱۳۰
۴-۵-۳-۱- بازرسی تکمیلی.....	۱۳۰
۴-۵-۳-۲- تعمیر بر اساس روش‌های تفصیلی مندرج در نشریه ۳۶۰.....	۱۳۰
۴-۶- تحلیل اقتصادی.....	۱۳۱
فصل ۵ پیوست‌ها.....	۱۳۳
پیوست ۱: تجهیزات و ایمنی بازرسان.....	۱۳۵
پ-۱-۱- تجهیزات لازم.....	۱۳۵
پ-۱-۲- ضوابط ایمنی.....	۱۳۵
پ-۱-۲-۱- خلاصه‌ی نکات ایمنی برای یادآوری.....	۱۳۷
پ-۱-۳- نحوه شناسایی و برخورد با مواد خطرآفرین.....	۱۳۷

پ-۱-۳-۱ مواد خطرآفرین	۱۳۷
پ-۱-۳-۲ تشخیص مواد خطرآفرین	۱۳۸
پ-۱-۳-۳ اعلام هشدار	۱۳۹
پیوست ۲: رویکرد پیشنهادی برای تعیین ساختمان‌های تخریبی (کاربردی برای ساختمان‌های فولادی و بتنی).....	۱۴۰
پ-۲-۱- تهیه کارنامه‌ی ساختمان	۱۴۱
پ-۲-۲- تعیین عملکرد نسبی ساختمان	۱۴۴
پ-۲-۳- تعیین کیفیت طراحی و اجرای ساختمان	۱۴۵
پ-۲-۴- کمینه نمره‌ی مجاز برای تعمیر ساختمان مورد بررسی	۱۴۷
پیوست ۳: تعاریف عمومی	۱۴۸
پ-۱-۳-۱- انتخاب هدف تعمیر	۱۴۸
پ-۱-۳-۱-۱- تعمیر مبنا	۱۵۰
پ-۱-۳-۲- تعمیر مطلوب	۱۵۰
پ-۱-۳-۳- تعمیر ویژه	۱۵۰
پ-۱-۳-۴- تعمیر محدود	۱۵۰
پ-۱-۳-۵- تعمیر موضعی	۱۵۰
پ-۲-۳-۲- تحلیل خطر	۱۵۱
پ-۱-۲-۳- طیف طرح شتاب	۱۵۱
پ-۱-۲-۳-۱- فرآیند استفاده از شکل طیف ثابت	۱۵۱
پ-۱-۲-۳-۲- فرآیند استفاده از شکل طیف حاصل از تحلیل ویژه‌ی ساختگاه خطر زلزله	۱۵۴
پ-۲-۲-۳- انتخاب شتابنگاشت سازگار با خطر زلزله	۱۵۵
پ-۲-۳-۳- تحلیل خطر احتمالاتی	۱۵۵
پ-۳-۳-۳- معیارهای پذیرش	۱۵۷
پ-۱-۳-۳-۱- سطوح عملکرد اجزای سازه‌ای	۱۵۷
پ-۱-۳-۳-۱-۱- سطح عملکرد ۱- قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه	۱۵۷
پ-۱-۳-۳-۲- سطح عملکرد ۲- خرابی محدود	۱۵۷
پ-۱-۳-۳-۳- سطح عملکرد ۳- ایمنی جانی	۱۵۸
پ-۱-۳-۳-۴- سطح عملکرد ۴- ایمنی جانی محدود	۱۵۸
پ-۱-۳-۳-۵- سطح عملکرد ۵- آستانه فروریزش	۱۵۸
پ-۱-۳-۳-۶- سطح عملکرد ۶- منظور نشده	۱۵۸
پ-۲-۴-۳- سطح عملکرد اجزای غیرسازه‌ای	۱۵۸

- پ-۳-۴-۲-۱- سطح عملکرد **A**- خدمت‌رسانی بی‌وقفه ۱۵۸
- پ-۳-۴-۲-۲- سطح عملکرد **B**- قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه ۱۵۹
- پ-۳-۴-۲-۳- سطح عملکرد **C**- ایمنی جانی ۱۵۹
- پ-۳-۴-۲-۴- سطح عملکرد **D**- ایمنی جانی محدود ۱۵۹
- پ-۳-۴-۲-۵- سطح عملکرد **E**- منظور نشده ۱۵۹
- پ-۳-۴-۳- سطح عملکرد کل ساختمان ۱۵۹
- پ-۳-۴-۳-۱- سطح عملکرد خدمت‌رسانی بی‌وقفه **(A-1)(OP)** ۱۵۹
- پ-۳-۴-۳-۲- سطح عملکرد قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه **(B-1)(IO)** ۱۵۹
- پ-۳-۴-۳-۳- سطح عملکرد ایمنی جانی **(C-3)(LS)** ۱۶۰
- پ-۳-۴-۳-۴- سطح عملکرد آستانه‌ی فروریزش **(E-5)(CP)** ۱۶۰
- پیوست ۴: صحت‌سنجی ۱۶۱
- پ-۴-۱- صحت‌سنجی ۱۶۱
- پیوست ۵: اتصال صلب ۱۶۴
- پ-۵-۱- جزئیات و محدودیت‌ها ۱۶۴
- پیوست ۶: سایر راهکارهای تعمیر ۱۶۵

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۲): نمونه‌ای از آسیب‌های ایجاد شده در اتصالات سامانه‌ی باربر قاب خمشی در یک ساختمان فولادی..... ۲۶
- شکل (۲-۲): جزئیات بازدید اولیه از اتصال آسیب‌دیده..... ۲۶
- شکل (۳-۲): جزئیات بازدید تفصیلی از اتصال آسیب‌دیده..... ۲۶
- شکل (۴-۲): موقعیت سایر اتصالاتی که باید مورد بررسی قرار گیرند (حداکثر دو نوع آسیب در اتصال مشاهده شده است)..... ۲۸
- شکل (۵-۲): موقعیت سایر اتصالاتی که باید مورد بررسی قرار گیرند (بیش از دو نوع آسیب در اتصال مشاهده شده است)..... ۲۸
- شکل (۶-۲): جزئیات بازدید اولیه از اتصال قاب مهاربندی..... ۲۹
- شکل (۷-۲): دسته‌بندی آسیب در جوش‌های اتصال ورق‌های روسری و زیرسری..... ۳۰
- شکل (۸-۲): دسته‌بندی آسیب انواع ورق‌های به کار رفته در اتصال با ورق‌های روسری و زیرسری..... ۳۰
- شکل (۹-۲): دسته‌بندی آسیب در نواحی بحرانی اعضای متصل شونده تیر به ستون در اتصال تیر به ستون با ورق‌های روسری و زیرسری..... ۳۰
- شکل (۱۰-۲): دسته‌بندی آسیب در چشمه‌ی اتصال، ورق پیوستگی یا ورق دابل در اتصال تیر به ستون با ورق‌های روسری و زیرسری..... ۳۱
- شکل (۱۱-۲): دسته‌بندی آسیب در جوش‌های به کار رفته در اتصالات خمشی با پیچ و جوش..... ۳۱
- شکل (۱۲-۲): دسته‌بندی آسیب در ستون، در محل اتصال خمشی تیر به ستون با پیچ و جوش..... ۳۲
- شکل (۱۳-۲): دسته‌بندی آسیب چشمه‌ی اتصال، در محل اتصال خمشی تیر به ستون با پیچ و جوش..... ۳۲
- شکل (۱۴-۲): دسته‌بندی آسیب در ورق‌های برش گیر به کار رفته در محل اتصال خمشی تیر به ستون با پیچ و جوش..... ۳۳
- شکل (۱۵-۲): دسته‌بندی آسیب در تیر اتصال، در محل اتصال خمشی تیر به ستون با پیچ و جوش..... ۳۳
- شکل (۱۶-۲-الف): دسته‌بندی آسیب جوش‌ها در محل اتصال مهاربند همگرا..... ۳۴
- شکل (۱۷-۲-الف): دسته‌بندی آسیب در ورق‌های اتصال در محل اتصال مهاربند همگرا به قاب..... ۳۵
- شکل (۱۷-۲-ب): دسته‌بندی آسیب در ورق‌های اتصال مهاربند در قاب‌های فولادی دارای مهاربند همگرا..... ۳۵
- شکل (۱۸-۲-الف): دسته‌بندی آسیب در مهاربندها در قاب دارای مهاربند همگرا..... ۳۶
- شکل (۱۹-۲-الف): دسته‌بندی آسیب در تیر و ستون در محل اتصال مهاربند همگرا به قاب..... ۳۷
- شکل (۲۰-۲): دسته‌بندی آسیب جوش در قاب مهاربندی واگرا..... ۳۸
- شکل (۲۱-۲): دسته‌بندی آسیب در تیر و مهاربند قاب‌های فولادی دارای مهاربندی واگرا..... ۳۸
- شکل (۲۲-۲): دسته‌بندی آسیب در ورق‌های اتصال مهاربند در قاب‌های فولادی دارای مهاربند واگرا..... ۳۹

- شکل (۲-۲۳): دسته‌بندی آسیب در اتصال صفحه کف ستون به پی ۳۹
- شکل (۲-۲۴): دسته‌بندی آسیب در ستون، ورق‌ها و کف ستون ۴۰
- شکل (۲-۲۵): نمونه‌ای از فرم ثبت آسیب‌های اعضا ۴۱
- شکل (۲-۲۶): نمایی از نقاط حذف شده‌ی تیر برای دسترسی و تعمیر ستون ۴۵
- شکل (۲-۲۷): اصلاح نقص جوش موجود با روش جایگزینی ۵۱
- شکل (۲-۲۸): اصلاح نقص جوش موجود با روش جایگزینی ۵۱
- شکل (۲-۲۹): جایگزینی جوش شکسته شده ۵۲
- شکل (۲-۳۰): تعمیر موضعی پارگی جان ستون ۵۲
- شکل (۲-۳۱): تعمیر موضعی قلوه‌کن شدن بال ستون ۵۳
- شکل (۲-۳۲): تعمیر ورق چشمه اتصال یا جان ستون (راست)، تعمیر فلز پایه آسیب‌دیده با جوش (چپ) ۵۳
- شکل (۲-۳۳): تعمیر کمانش جان یا بریده شدن ستون ۵۴
- شکل (۲-۳۴): اضافه کردن سخت‌کننده در تیری که بال آن دچار کمانش شده ۵۴
- شکل (۲-۳۵): تعویض بال تیر و اضافه کردن سخت‌کننده ۵۵
- شکل (۲-۳۶): اضافه کردن ورق به بال تیر آسیب‌دیده ۵۵
- شکل (۲-۳۷): تعمیر قلوه‌کن شدن جان ستون ۵۶
- شکل (۲-۳۸): اضافه کردن سخت‌کننده در جان تیر ۵۶
- شکل (۲-۳۹): تعویض جان و اضافه کردن سخت‌کننده ۵۷
- شکل (۲-۴۰): نمونه‌ای از جزئیات تقویت تیر با افزودن ورق پوششی در بال زیرین ۶۱
- شکل (۲-۴۱): نمایی از جزئیات چند نمونه تقویت ستون ۶۱
- شکل (۲-۴۲): نمایی کلی از جزئیات چند نمونه تقویت مهاربند با افزودن مقطع فولادی جدید ۶۲
- شکل (۳-۱): نمونه‌ای از فرم ثبت آسیب‌های اعضا ۸۵
- شکل (۳-۲): نمایی از سطح آسیب ۱ الی ۳، بر اساس منحنی رفتاری اعضا ۸۸
- شکل (۳-۳): دسته‌بندی سطح آسیب در ستون‌های بتنی تحت رفتار غالب خمشی ۸۹
- شکل (۳-۴): دسته‌بندی سطح آسیب در ستون‌های بتنی تحت رفتار غالب برشی ۹۰

- شکل (۵-۳): دسته‌بندی سطح آسیب در ستون‌های بتنی تحت رفتار غالب فشار محوری..... ۹۰
- شکل (۶-۳): دسته‌بندی سطح آسیب در تیرهای بتنی تحت رفتار غالب خمشی..... ۹۱
- شکل (۷-۳): دسته‌بندی سطح آسیب در تیرهای بتنی تحت رفتار غالب برشی..... ۹۱
- شکل (۸-۳): دسته‌بندی سطح آسیب در دیوارهای برشی تحت رفتار غالب خمشی..... ۹۲
- شکل (۹-۳): دسته‌بندی سطح آسیب در دیوارهای برشی تحت رفتار غالب برشی..... ۹۲
- شکل (۱۰-۳): دسته‌بندی سطح آسیب در دیوارهای برشی تحت رفتار غالب خمش / کشش مورب..... ۹۳
- شکل (۱۱-۳): دسته‌بندی سطح آسیب در تیرهای همبند تحت رفتار غالب برشی..... ۹۳
- شکل (۱۲-۳): دسته‌بندی سطح آسیب در تیرهای همبند تحت رفتار غالب کشش مورب..... ۹۴
- شکل (۱۳-۳): سطح آسیب ۱، ستون در رفتار غالب برشی..... ۹۴
- شکل (۱۴-۳): سطح آسیب ۳، ستون در رفتار غالب برشی..... ۹۴
- شکل (۱۵-۳): سطح آسیب ۳، دیوار برشی در رفتار غالب خمش / کشش مورب..... ۹۵
- شکل (۱۶-۳): سطح آسیب ۳، دیوار برشی در رفتار غالب برش..... ۹۵
- شکل (۱۷-۳): نمودار رفتاری عضو قبل از آسیب و بعد از تعمیر..... ۱۰۰
- شکل (۱۸-۳): جزئیات روش تعمیر موضعی شماره ۱..... ۱۰۳
- شکل (۱۹-۳): جزئیات روش تعمیر موضعی شماره ۲..... ۱۰۴
- شکل (۲۰-۳): جزئیات روش تعمیر موضعی شماره ۳..... ۱۰۵
- شکل (۲۱-۳): جزئیات روش تعمیر موضعی شماره ۴..... ۱۰۶
- شکل (۲۲-۳): جزئیات روش تعمیر موضعی شماره ۵..... ۱۰۷
- شکل (۲۳-۳): جزئیات روش تعمیر موضعی شماره ۶..... ۱۰۸
- شکل (۲۴-۳): جزئیات روش تعمیر موضعی شماره ۷..... ۱۰۸
- شکل (۱-۴): متداول‌ترین محل ترک‌ها در دیوار بنایی..... ۱۱۹
- شکل (۲-۴): خط کش مدرج شفاف برای تعیین عرض ترک..... ۱۲۰
- شکل (۳-۴): مراحل تعمیر دیوارهای سازه‌ای ترک‌خورده به روش تزریق تحت فشار..... ۱۲۶
- شکل (۴-۴): مراحل تعمیر دیوارهای ترک‌خورده به روش ثقلی..... ۱۲۷

- شکل (۴-۵): طرح تقویت دیوار ترک خورده با تزریق ثقلی و نصب نوارهای موضعی شبکه‌ی فولادی عمود بر ترک ۱۲۸
- شکل (پ-۳-۱): طیف طرح شتاب افقی ۱۵۴
- شکل (پ-۴-۱): دو ساز و کار جانبی غیر الاستیک متفاوت ۱۶۱
- شکل (پ-۴-۲): رابطه‌ی بین مقاومت طراحی و مقاومت مورد انتظار ۱۶۲
- شکل (پ-۴-۳): منحنی رفتار اعضا با شکل‌پذیری‌های متفاوت ۱۶۲
- شکل (پ-۵-۱): جزئیات اتصال صلب ۱۶۴
- شکل (پ-۶-۱): نحوه در نظر گرفتن مفاصل ۱۶۵
- شکل (پ-۶-۲): نمونه‌ای از اعضای مورب بکار رفته در ساختمان تعمیر شده ۱۶۵

فهرست روند نماها

- روند نمای ۱-۱: رویکرد کلی مطالعات بازطراحی و تعمیر/تخریب ساختمان‌های آسیب‌دیده در زلزله..... ۸
- روند نمای ۱-۲: رویکرد کلی بازطراحی و تعمیر/تخریب ساختمان‌های فولادی آسیب‌دیده در زلزله..... ۲۱
- روند نمای ۱-۳: رویکرد کلی بازطراحی و تعمیر/تخریب ساختمان‌های بتنی آسیب‌دیده در زلزله..... ۷۱
- روند نمای ۱-۴: مراحل بررسی و تعمیر/تخریب ساختمان‌های مصالح بنایی آسیب‌دیده در زلزله..... ۱۱۸

فهرست جدول‌ها

جدول (۱-۱): بیشینه تغییر شکل ماندگار برای انواع سامانه‌های باربر جانبی.....	۵
جدول (۱-۲): کمینه تعداد اتصالاتی که باید مورد بررسی قرار گیرد.....	۲۷
جدول (۲-۲): روش‌های تعمیر اتصال خمشی با ورق روسری و زیرسری.....	۴۶
جدول (۳-۲): روش‌های تعمیر اتصال خمشی با پیچ و جوش.....	۴۷
جدول (۴-۲): روش‌های تعمیر در قاب مهاربندی.....	۴۸
جدول (۵-۲): روش‌های تعمیر در قاب مهاربندی (واگرا).....	۵۰
جدول (۶-۲): روش‌های تعمیر در سامانه‌ی باربر ثقلی.....	۵۰
جدول (۷-۲): نقایص سازه‌ای و روش‌های پیشنهادی کلی تعمیر ساختمان آسیب‌دیده در زلزله.....	۵۸
جدول (۸-۲): ضرایب کاهشی دیوارهای برشی بر اساس سطح آسیب.....	۶۵
جدول (۱-۳): خلاصه روش‌های بازرسی و آزمایش در ساختمان‌های بتنی آسیب‌دیده در زلزله.....	۷۴
جدول (۲-۳): شواهد آسیب در ساختمان‌های بتنی.....	۸۵
شکل (۳-۳): دسته‌بندی سطح آسیب در ستون‌های بتنی تحت رفتار غالب خمشی.....	۸۹
جدول (۴-۳): ضرایب کاهشی بر اساس نوع تعمیر و سطح آسیب.....	۱۰۱
جدول (۵-۳): مصالح پیشنهادی برای تزریق در ترک اعضای بتنی.....	۱۰۲
جدول (۶-۳): نقایص سازه‌ای و روش‌های پیشنهادی کلی تعمیر ساختمان آسیب‌دیده در زلزله.....	۱۰۹
جدول (۱-۴): دسته‌بندی آسیب‌ها.....	۱۱۹
جدول (۲-۴): تصمیم‌گیری اولیه‌ی پیشنهادی برای ساختمان‌های بنایی (کلاف‌دار و بدون کلاف).....	۱۲۲
جدول (پ-۱-۱): تجهیزات پیشنهادی مورد نیاز بازرسان.....	۱۳۵
جدول (پ-۲-۱): گروه‌بندی ساختمان‌ها.....	۱۴۰
جدول (پ-۲-۲): کارنامه ساختمان آسیب‌دیده.....	۱۴۲
جدول (پ-۲-۳): معیارهای پیشنهادی برای حدود جابجایی نسبی طبقه برای سطح ایمنی جانی و سطح آستانه‌ی فروریزش برای ساختمان‌های با مصالح مختلف و سامانه‌ی باربر جانبی متفاوت.....	۱۴۳
جدول (پ-۲-۴): تعیین کیفیت طراحی و ساخت ساختمان.....	۱۴۶
جدول (پ-۲-۵): برآورد سطوح کیفیت طراحی و ساخت ساختمان.....	۱۴۷
جدول (پ-۲-۶): بیشینه مقدار مجاز «نمره‌ی ساختمان» برای تعمیر ساختمان مورد بررسی، ساختمانهای گروه ۳ و گروه ۴.....	۱۴۷
جدول (پ-۳-۱): اهداف پیشنهادی برای تعمیر ساختمان‌های دولتی و عمومی.....	۱۴۹
جدول (پ-۳-۲): مقادیر F_a برحسب نوع خاک و مقدار S_s	۱۵۲
جدول (پ-۳-۳): مقادیر F_a برحسب نوع خاک و مقدار SS	۱۵۳
جدول (پ-۳-۴): سطوح عملکرد ساختمان.....	۱۶۰

فصل ۱

کلیات

۱-۱- مقدمه

این راهنما، برای ارزیابی وضعیت و ارائه‌ی روش‌های تعمیر مناسب برای ساختمان‌های آسیب‌دیده در اثر زلزله تدوین شده است. برای تدوین این راهنما از تجربیات موجود در کشور در زمینه‌ی بازرسی و تعمیر ساختمان‌های آسیب‌دیده در زلزله، ارزیابی و بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، مطالعات موردی و نمونه‌ای و در نهایت مجموعه‌ای از مراجع معتبر ملی و بین‌المللی استفاده شده است. مهم‌ترین مراجع داخلی و بین‌المللی مورد ارجاع در این راهنما در انتهای این سند آورده شده است. در این فصل، در ابتدا به کلیات و ملاحظات عمومی لازم برای فرایند بازطراحی و تعمیر ساختمان‌های آسیب‌دیده در زلزله اشاره شده و در ادامه، به اهداف، گستره، چارچوب اصلی و موضوعات مشترک میان فصل‌های اصلی پرداخته شده است. در فصل‌های بعدی (دوم، سوم و چهارم) ضوابط بازطراحی و تعمیر ساختمان‌ها، به تفکیک نوع ساختمان به ترتیب شامل؛ ساختمان‌های فولادی، ساختمان‌های بتنی و ساختمان‌های مصالح بنایی آورده شده است.

۱-۲- هدف

این راهنما به منظور ارائه‌ی روش ارزیابی منسجم برای ساختمان‌های آسیب‌دیده در زلزله و در صورت لزوم بازطراحی و ارائه‌ی طرح تعمیر مناسب برای آن‌ها بر اساس اهداف تعمیر انتخابی توسط مهندس طراح تدوین شده است. هدف این راهنما ارائه‌ی الگو و معیارهای عملی برای ارزیابی آسیب وارده از زلزله به ساختمان‌های فولادی، بتنی و مصالح بنایی است. روش‌های ارائه شده در این راهنما تلاش دارد اثرات آسیب‌های مشاهده شده ناشی از زلزله را در کاهش عملکرد ساختمان مشخص نماید. این اطلاعات می‌تواند برای تعیین روش تعمیر مناسب، اطلاعات مربوط به بیمه، یا اهداف و برنامه‌ریزی‌های دیگر مورد استفاده قرار گیرد. از این‌رو، فرآیند تعمیر با انتخاب اهداف مناسب طرح آغاز و از طریق بازرسی، وضعیت و میزان آسیب دیدگی ساختمان تعیین می‌شود و با انجام تحلیل‌های محاسباتی لازم ادامه می‌یابد. در نهایت با اتخاذ روش‌های تعمیر متناسب با اهداف تعمیر، مندرج در این فصل، پایان می‌یابد.

استفاده از این راهنما، برای مهندسان باتجربه در زمینه‌ی طراحی سازه‌ها در مناطق لرزه‌خیز در نظر گرفته شده است. همچنین اطلاعات موجود در این راهنما می‌تواند برای مالکان ساختمان و تنظیم‌کنندگان بیمه‌ی ساختمان نیز مفید باشد؛ اما این کاربران باید برای تفسیر یا کاربرد خاص راهنما حتماً با یک مهندس واجد شرایط مشورت نمایند. میزان تحصیلات، تجربه و تخصص مورد نیاز برای مهندس واجد شرایط توسط نهاد مسئول عملیات بازطراحی و تعمیر، تعیین می‌شود؛ اما به هر حال مهندس طراح باید دارای حداقل مدرک کارشناسی ارشد مهندسی سازه یا زلزله، با سابقه کافی و مورد تأیید مرجع ذیصلاح مرتبط باشد.

۱-۳- گستره

محدوده‌ی کاربرد این راهنما، به ساختمان‌های فولادی و بتنی با ارتفاع بیشینه‌ای در حدود ۲۰ متر تا ۶ طبقه و ساختمان‌های مصالح بنایی با ارتفاع بیشینه‌ای در حدود ۱۰ متر تا ۳ طبقه محدود می‌شود. برای

ساختمان‌های بلندتر از این ارتفاع، مطالعات ویژه الزامی خواهد بود. با این حال، برای این موارد هم ضوابط مندرج در این راهنما به‌عنوان معیارهای کمینه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

روش‌های ارزیابی آسیب در این راهنما متکی بر ارزیابی‌های فنی است. با این حال، استفاده از آن‌ها نیاز به ملاحظات سیاست‌گذاری جامع‌تر اجتماعی، سیاسی و در مواردی قانونی دارد. روش‌های ارزیابی آسیب یا روش‌های تعمیر ساختمان آسیب‌دیده لزوماً محدود به موارد بیان شده در این راهنما نمی‌شود. از این‌رو، کاربران باید این الگوها را به‌عنوان کمینه فعالیت لازم در زمینه‌ی بازطراحی و تعمیر ساختمان‌های آسیب‌دیده در زلزله در نظر بگیرند.

ضوابط و روش‌های ارائه شده برای تحلیل، بازطراحی و تعمیر ساختمان در این دستورالعمل برای حالتی است که بیشینه تغییر شکل ماندگار کمتر از مقدار ارائه شده در جدول ۱-۱ باشد. در صورتی که بیشینه تغییر شکل ماندگار بیشتر از مقادیر مندرج در جدول ۱-۱ باشد، اعمال ضوابط این دستورالعمل هدف تعمیر ذکر شده در فصل اول را تأمین نخواهد کرد، از این‌رو پیشنهاد می‌شود ساختمان تخریب شود.

در صورتی که مقدار تغییر شکل ماندگار کمتر از مقادیر درج شده در جدول ۱-۱ باشد، لازم است تغییرشکل‌های ماندگار هر طبقه از ساختمان با روشی اصولی و رعایت کامل نکات فنی و ایمنی به وضعیت پیش از زلزله بازگردانده شود. در این شرایط لازم است آسیب‌های احتمالی ایجاد شده در اعضا پس از عملیات بازگردانی ساختمان به وضعیت قبل، مورد بررسی قرار گرفته و در فرآیند ارزیابی و بازطراحی مطابق این دستورالعمل در نظر گرفته شود. لازم به ذکر است، عملیات بازگردانی سازه باید با ملاحظات کامل ایمنی در کارگاه به نحوی انجام پذیرد که ضمن حفظ ایمنی افراد در هنگام انجام مراحل بازرسی و انجام عملیات تعمیر، از پیشرفت و گسترش آسیب در ساختمان ممانعت به عمل آید. بدیهی است برای بازطراحی و تعمیر ساختمان، عملیات بازرسی و تهیه اطلاعات فنی باید پس از انجام مرحله‌ی عملیات بازگردانی و ایمن‌سازی موقت ساختمان به شرح گفته شده در هر فصل صورت پذیرد.

جدول (۱-۱): پیشنهاد تغییر شکل ماندگار برای انواع سامانه‌های باربر جانبی

سامانه‌ی باربر جانبی	Δ_{CP}
قاب خمشی بتنی	4%
قاب خمشی فولادی	5%
قاب فولادی مهاربندی همگرا	2%
قاب فولادی مهاربندی واگرا	2%
دیوارهای بتنی	2%
دیوار پرکننده با مصالح بنایی غیر مسلح	0.6%
دیوارهای بنایی غیر مسلح	1%
دیوار بنایی مسلح	1.5%
منظور از جابجایی ماندگار، پیشنهاد جابجایی نسبی ماندگار محاسبه شده برای یک طبقه، در یک راستای ساختمان است. برآورد این معیار، باید برای بحرانی‌ترین مقدار محاسبه شده از میان برآوردهای تمامی طبقات در هر دو راستا انجام پذیرد.	

این راهنما به اقدامات اضطراری لازم برای محافظت از ساختمان در مقابل پس‌لرزه‌ها، بارهای ثقیلی یا اثرات ثانویه‌ی ناشی از آسیب‌ها نمی‌پردازد. با این حال در این خصوص توصیه‌هایی در بند (۱-۱)، «ایمن‌سازی موقت ساختمان» برای اثرات بارهای ثقیلی ارائه شده است.

چارچوب بازطراحی و تعمیر ساختمان‌های آسیب‌دیده در این راهنما برای هر نوع از ساختمان‌های مشمول، در قالب مراحل زیر ارائه شده است:

الف) بررسی و مستندسازی آسیب‌های ناشی از زلزله،

تعیین رده‌بندی آسیب برای اجزای ساختمان با توجه به نحوه‌ی رفتار سازه‌ای و شدت آسیب وارده،

پ) ارزیابی اثرات ناشی از آسیب بر عملکرد ساختمان در مقابل پس‌لرزه‌ها و رویدادهای محتمل لرزه‌ای در آینده،

انجام اقدامات ضروری برای بازگردانی ساختمان به شرایط و سطح عملکرد مورد نظر.

۱-۴- مسئولیت‌ها و مبانی حقوقی

در این راهنما، چارچوب مفهومی گسترده‌ای برای مهندس طراح اختصاص یافته تا وی ارزیابی خود را از سازه‌ی آسیب دیده به انجام رساند. مهندس طراح باید علاوه بر انجام مطالعات و دستیابی به اطلاعات مربوط به ایمنی ساختمان، موارد فنی و همچنین هزینه‌های تعمیر یا مقاوم‌سازی سازه تا سطح معینی از مقاومت لرزه‌ای را محاسبه و به کارفرما و مجری منتقل نماید.

کلیه مفاد این راهنما صرفاً به عنوان حداقل ضوابط الزامی برای بازرسی، بازطراحی و تعمیر ساختمان‌های آسیب‌دیده در زلزله، در نظر گرفته می‌شود. با این حال، ذکر این موارد، از مسئولیت مهندس طراح و مجموعه‌ی مسئول مطالعات نمی‌کاهد و لازم است مهندس طراح در زمان انجام مطالعات با بررسی دقیق و مناسب مبانی و شرایط ساختمان در هر پروژه‌ی مستقل،

نسبت به اتخاذ تصمیم‌های صحیح و ارزیابی پیامدهای آن، با در نظر گرفتن موارد ایمنی، عملکردهای لرزه‌ای و سازه‌ای موردنظر خود و کارفرما را تأمین و از آن اطمینان حاصل نماید.

۱-۵- اصول کلی این راهنما

در روش ارزیابی ارائه شده در این راهنما، نحوه‌ی تأثیر یک زلزله‌ی مخرب بر یک ساختمان از طریق بازرسی چشمی به همراه آزمایش‌های لازم، در کنار استفاده از دانش تحلیل سازه‌ای و دانش اجرای ساختمان، مورد بررسی قرار می‌گیرد. با تعیین اینکه آسیب‌های وارده چگونه خصوصیات سازه‌ای را تغییر داده، امکان تشخیص تعمیر و بهبود تصمیم‌گیری اقدامات لازم برای عملکرد ساختمان به یکی از روش‌های پیشنهاد شده در فصل‌های مربوط دیده شده است، به‌طوری که در صورت اجرایی نمودن آن، ساختمان آسیب‌دیده به شرایطی باز می‌گردد که عملکرد آن در برابر زلزله‌ی محتمل آتی، به‌طور اصولی معادل اهداف انتخابی برای تعمیر ساختمان مورد نظر باشد.

۱-۶- رویکرد کلی تعمیر

در این بخش به مبانی کلی بازطراحی و تعمیر در هر سه نوع سازه‌ی فولادی، بتنی و مصالح بنایی پرداخته می‌شود. تجربیات زلزله‌های گذشته حاکی از عدم انطباق وضع موجود سازه با نقشه‌های طراحی در اغلب ساختمان‌ها می‌باشد. انحراف از نقشه‌های طراحی در بیشتر موارد باعث افزایش بی‌نظمی در سازه یا ناکارآمدی سامانه‌ی باربر جانبی ساختمان شده است. موارد زیر به‌عنوان یک راهبرد عمومی پیشنهاد می‌شود که برحسب مورد می‌تواند در یک ساختمان آسیب‌دیده در زلزله منظور شود:

(الف) اصلاح موضعی اعضا یا اجزای سازه‌ای که دارای عملکرد نامناسب در زلزله باشد،

(ب) حذف یا کاهش بی‌نظمی در ساختمان،

(پ) تأمین سختی جانبی لازم برای کل سازه،

(ت) تأمین مقاومت لازم برای کل سازه و اجزای سازه‌ای،

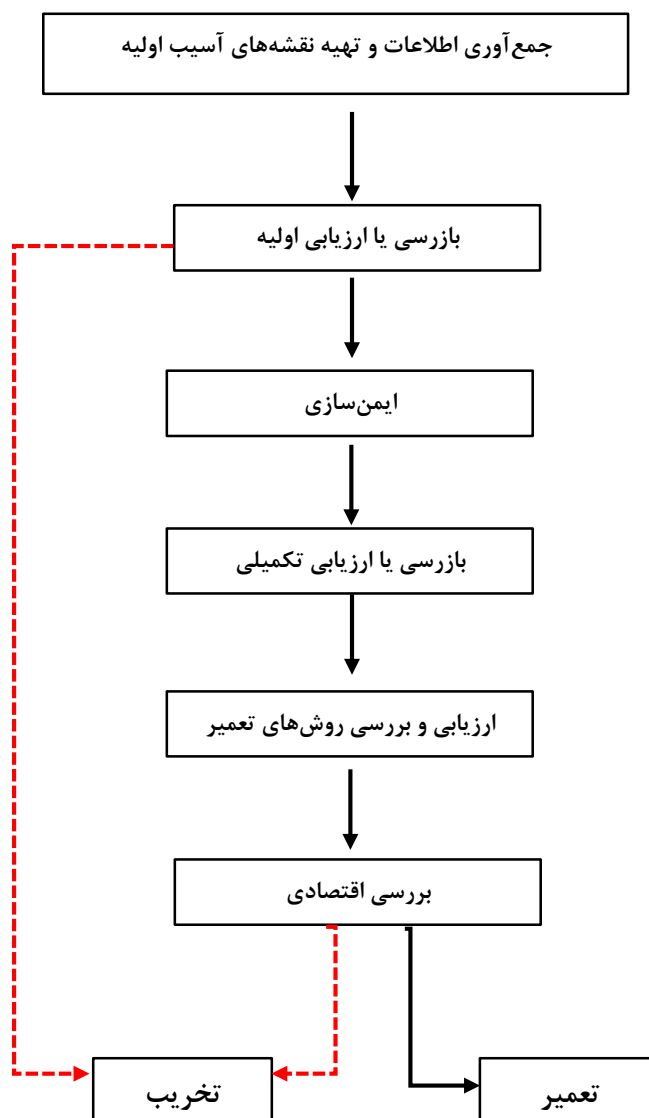
(ث) کاهش جرم ساختمان (در صورت نیاز و امکان)،

(ج) کاهش سطح کاربری مورد انتظار از ساختمان (در صورت امکان).

۱-۷- ساختار اجرایی فرایند تعمیر

در این راهنما، دو رویکرد کلی برای تعمیر ساختمان‌های آسیب‌دیده در زلزله، ارائه شده است. ساختمان‌های فولادی و بتنی که در فصل‌های ۲ و ۳ به آن‌ها پرداخته شده، دارای یک رویکرد مشابه است؛ اما برای ساختمان‌های مصالح بنایی که در فصل ۴ به آن‌ها پرداخته شده، رویکردی متفاوت منظور شده است. رویکرد کلی مطالعات بازطراحی و تعمیر ساختمان‌های آسیب‌دیده در زلزله در روند نمای ۱-۱ نمایش داده شده است.

روال ارزیابی ساختمان‌های فولادی و بتنی که در پیوست دوم این راهنما ارائه شده است، توصیه می‌شود که با تهیه کارنامه‌ی ساختمان آغاز شود. اگرچه استفاده از نتایج این کارنامه در این ویرایش از راهنما اجباری نمی‌باشد، اما استفاده از نتایج این کارنامه می‌تواند در ویرایش بعدی این راهنما، معیاری برای مشخص نمودن تعمیر یا تخریبی بودن ساختمان باشد. در کارنامه‌ی ساختمان با بررسی وضعیت ساختمان از دیدگاه کیفی و کمی، معیاری از حجم آسیب‌های وارده تعیین می‌شود. در تنظیم کارنامه‌ی ساختمان چهار پارامتر اصلی نقش دارد که شامل موارد زیر است؛ (۱) جابجایی ماندگار، (۲) میزان آسیب وارده به اجزای غیرسازه‌ای، (۳) میزان آسیب وارده به اجزای سامانه باربر جانبی و (۴) میزان آسیب وارده به اجزای سامانه باربر ثقیل. در ادامه، عملکرد لرزه‌ای و کیفیت طراحی و اجرای ساختمان مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج این ارزیابی باید توسط مهندس طراح وزن‌دهی و ارزش‌گذاری شود. این وزن‌دهی می‌تواند در پروژه‌های مختلف نسبت‌های متفاوتی اختیار نماید. بر این اساس در هر پروژه این پارامترها بر اساس نظر مهندس طراح و تأیید کارفرما نهایی می‌شود. در پیوست دوم نمونه‌ای از شاخص‌های پیشنهادی برای هر یک از پارامترها ارائه شده است.



روند نمای ۱-۱: رویکرد کلی مطالعات بازطراحی و تعمیر یا تخریب ساختمان‌های آسیب‌دیده در زلزله

فعالیت ارزیابی، با جمع‌آوری اطلاعات از مشخصات مصالح و موارد لازم برای اصلاح یا ایجاد تغییر در مدل تحلیلی، مدل عددی مناسبی از ساختمان تعمیر شده، تهیه می‌شود. ارزیابی‌های تحلیلی روش‌های مختلف تعمیر و تقویت اعضا، بر اساس اجرایی بودن طرح پیشنهادی و معیارهای اقتصادی، مبنایی برای انتخاب روش تعمیر ساختمان مورد بررسی خواهد بود. روال ارزیابی ساختمان‌های مصالح بنایی، با جمع‌آوری اطلاعات و تعیین آسیب‌های سازه‌ای آغاز می‌شود. در ادامه، شدت آسیب، کیفیت طراحی و اجرا ساختمان تعیین می‌شود. در نهایت، بر اساس این موارد درباره‌ی تخریبی بودن یا تعمیری بودن ساختمان مصالح بنایی تصمیم‌گیری می‌شود. در صورت انتخاب گزینه‌ی تعمیر، روش مطالعه برحسب شاخص‌های معرفی شده در فصل ۴ به‌صورت روش سریع (مبتنی بر ضوابط استاندارد ۲۸۰۰) یا روش کمی (مبتنی بر روش‌های عملکردی مندرج در نشریات مرتبط) قرار می‌گیرد.

۱-۸- ارزیابی اولیه (شرایط فنی، اقتصادی و کاربری-مدیریتی مبنی بر بازرسی اولیه)

در اولین مرحله از ارزیابی اولیه، لازم است بر اساس اطلاعات موجود، مطالعه لازم برای حصول توجیه کافی برای ادامه‌ی مطالعات تعمیر ساختمان صورت پذیرد. این مطالعات تحت عنوان ارزیابی اولیه‌ی شرایط فنی، اقتصادی و کاربری-مدیریتی در این راهنما درج شده است. مطالعات ارزیابی اولیه تلاش دارد تا برای ساختمان‌هایی که شواهد کافی برای تخریب و نوسازی آن‌ها وجود دارد، مطالعات زمان‌بر و پرهزینه انجام نپذیرد.

در انتخاب گزینه مناسب از بین دو گزینه «تعمیر» یا «تخریب و نوسازی» شاخص‌های مورد نظر باید به‌طور هم‌زمان در قالب سه عامل زیر مورد توجه قرار گیرد:

۱. شرایط فنی،

۲. شرایط اقتصادی،

۳. شرایط کاربری-مدیریتی

لازم است در فرایند تصمیم‌گیری برای انجام مطالعات بازطراحی و تعمیر، هر یک از این سه عامل توسط مهندس طراح مورد مطالعه و تحلیل قرار گرفته و بر اساس شاخص‌های مؤثر از جمله موارد مندرج در بندهای (۱-۸-۱) الی (۳-۸-۱) نسبت به ارائه نتایج تحلیلی به کارفرما و اتخاذ تصمیم نهایی اقدام شود.

۱-۸-۱- شرایط فنی

شرایط فنی پروژه بر اساس مطالعات لازم مندرج در این راهنما برای ساختمان مورد نظر تعیین می‌شود بر اساس این مطالعات اقدامات لازم برای تعمیر و حجم عملیات اجرایی مورد نیاز برای حصول اهداف عملکردی موردنظر از ساختمان تحت زلزله‌های مبنای ارزیابی برآورد خواهد شد.

از این‌رو، مهندس طراح و تیم بازرسی در این بخش از فعالیت‌ها با جمع‌آوری و تحلیل اطلاعات به دست آمده، شرایط فنی لازم برای انجام عملیات تعمیر ساختمان آسیب‌دیده را ارائه می‌نماید. برای این منظور مهندس طراح بر اساس مشخصات فنی پروژه از شاخص‌هایی مانند موارد زیر استفاده می‌کند:

تغییر شکل‌های پسماند، به کمک شاخص‌هایی مانند؛ درصد دیوارهای ترک‌خورده در هر راستا،

تغییر شکل‌های بیشینه‌ی برآورد شده بر اساس میزان آسیب در اجزای سازه‌ای و غیر سازه‌ای،

شدت آسیب در اعضای قائم و باربر جانبی،

شرایط نسبی عملکرد ساختمان در زلزله، در مقایسه با ساختمان‌های مشابه اطراف خود،

ارزیابی کیفیت مصالح، نحوه‌ی طراحی و اجرای ساختمان بر اساس دانش و قضاوت مهندسی،

روش‌های تعمیر قابل استفاده در ساختمان مذکور و در دسترس بودن فناوری لازم به این منظور،

قابلیت اطمینان روش‌های بازطراحی و تعمیر مورد نظر مهندس طراح بر اساس شدت آسیب‌های مشاهده شده.

۱-۸-۲- توجیه اقتصادی

مهندس طراح موظف است بر اساس شرایط موجود ساختمان و برآوردهای اولیه از حجم آسیب و خسارت‌های وارده و روش‌های تعمیر متناسب پیشنهادی (که از گزارش مطالعات فنی پروژه‌ی مورد نظر حاصل شده است) نسبت به برآوردهای اولیه‌ی هزینه‌های عملیات تعمیر ساختمان اقدام نموده و نتایج تحلیل‌های اولیه‌ی اقتصادی حالت‌های مختلف پیشنهادی را به‌عنوان «توجیه اقتصادی» پروژه در اختیار کارفرما قرار دهد.

در روند انجام مطالعات اقتصادی، باید از شاخص‌هایی برای در نظر گرفتن اثرات مستقیم و غیرمستقیم اقتصادی تعمیر سازه در بخش‌های سازه‌ای، غیر سازه‌ای و پیامدهای زیست‌محیطی در هر روش تعمیر، استفاده نمود. معیارهای کمی این شاخص‌ها از مراجعی مانند؛ فهرست‌های بهای پایه‌ی انجام عملیات ساختمانی سازمان برنامه و بودجه قابل برداشت است. همچنین گزارش FEMA P-58 به‌عنوان یک مرجع مناسب برای انتخاب شاخص‌ها پیشنهاد می‌شود. برای مثال، در ارزیابی‌های اقتصادی، برآورد در ست میزان آسیب‌های وارده به اجزای غیر سازه‌ای، به‌عنوان بخش تأثیرگذار در هزینه‌های تعمیر و به‌سازی، باید مورد توجه ویژه‌ی مهندس طراح قرار گیرد. موقعیت، شرایط جغرافیایی و محیطی ساختمان، کیفیت مصالح، اجرا و سطوح عملکردی مورد انتظار در برآوردهای اقتصادی از اهمیت بالایی برخوردار است.

معیارهای موردنظر برای این شاخص‌ها به‌عنوان حدود پذیرش انجام عملیات تخریب بر اساس شرایط زمانی، مکانی و مقتضیات پروژه قابل تعیین است. در هر حال، مهندس طراح موظف است تا قبل از ارائه توجیه اقتصادی از انجام عملیات تخریب خودداری نماید.

۱-۸-۳- توجیه کاربری-مدیریتی

مهندس طراح در تهیه گزارش توجیه کاربری-مدیریتی، عوامل مختلف مؤثر بر کاربری و اهمیت خدمت‌رسانی ساختمان مانند؛ نقش تاریخی به‌عنوان آثار تاریخی و میراث فرهنگی، جایگاه سیاسی، اجتماعی و فرهنگی، ویژگی‌ها و اهمیت عملکردی ساختمان و اثرات تخریب احتمالی یا وارد آوردن آسیب احتمالی به محیط‌زیست (مانند جمع‌آوری و انهدام یا به کارگیری مجدد نخاله‌های ساختمانی) را در نظر بگیرد.

۱-۹- نکات مشترک در مدل‌سازی

در این بند به ملاحظات و فرضیات مدل‌سازی ساختمان در فرایند بازطراحی که به‌طور متعارف در هر سه نوع سازه‌ی فولادی، بتنی و مصالح بنایی به‌صورت مشترک وجود دارد، پرداخته می‌شود.

۱-۹-۱- درزهای انقطاع

در ساختمان‌هایی که طبق آخرین ویرایش استاندارد ۲۸۰۰، شرایط حداقل بُعد درز انقطاع در آن‌ها رعایت نشده باشد، لازم است برای تأمین شرایط ایمنی جانی با انجام تحلیلی که بتواند جابجایی و اثر ناشی از برخورد دو ساختمان را در نظر گیرد، نشان داده شود که حداقل یکی از موارد زیر صادق است:

الف) در صورت هم‌تراز بودن دیافراگم‌های ساختمان مورد بررسی با ساختمان مجاور، ساختمان مورد بررسی قادر به انتقال نیروهای ناشی از برخورد می‌باشد.

ب) در صورت برخورد ساختمان مورد بررسی با ساختمان مجاور، حتی پس از فروریزش اعضایی که ممکن است در اثر برخورد دچار آسیب شدید شود (حذف این اعضا در مدل تحلیلی)، ساختمان مورد بررسی همچنان قادر به تحمل بارهای ثقلی و جانبی می‌باشد.

موارد استثنا: برای سطح عملکرد ایمنی جانی یا پایین‌تر برای اعضای سازه‌ای، در صورتی که تراز دیافراگم‌های ساختمان مورد بررسی با ساختمان مجاور یکی باشد و همچنین تفاوت ارتفاع دو ساختمان کمتر از ۵۰٪ ارتفاع ساختمان کوتاه‌تر باشد، نیازی به رعایت ضوابط حداقل بُعد درز انقطاع نمی‌باشد.

۱-۹-۲- راه‌پله

طراح با توجه به نحوه‌ی اتصال راه‌پله به سازه اصلی باید یکی از دو رویکرد (الف) یا (ب) را اختیار نماید:

الف) چنانچه راه‌پله به اعضای سازه‌ای یا دیافراگم‌های ساختمان متصل باشد به گونه‌ای که در هنگام زلزله به‌عنوان بخشی از سامانه‌ی باربر جانبی، رفتار سازه را تحت تأثیر قرار دهد، باید در مدل تحلیلی در نظر گرفته شود. در این صورت، باید رفتار اعضای آن مطابق سایر اعضای ساختمان در فصل مربوطه در نظر گرفته شود.

ب) چنانچه راه‌پله به اعضای سازه‌ای یا دیافراگم‌های ساختمان متصل نباشد می‌توان در مدل تحلیلی سازه از اعضای راه‌پله صرف‌نظر کرد. در این صورت، اعضای راه‌پله فقط باید نیروهای وارده به خود را انتقال دهد.

۱-۹-۳- خرپشته

در صورتی که وزن خرپشته از ۲۵ درصد وزن بام بیشتر باشد، باید در بررسی آسیب‌ها و ارائه‌ی روش تعمیر ساختمان به‌عنوان یک طبقه کامل در نظر گرفته شود. در غیر این صورت، خرپشته به‌عنوان یک جزء غیر سازه‌ای در نظر گرفته شده و بررسی آسیب در آن با هدف تعمیر اعضای غیر سازه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این حالت، در هنگام بازرسی باید احتمال بروز آسیب‌های ثانویه در سازه‌ی اصلی ناشی از آسیب‌های خرپشته مورد توجه قرار گرفته و تمهیدات لازم برای ممانعت از آن منظور شود.

در هر حال بررسی وضعیت آسیب وارده به دیوارهای میانقاب بخشی از تأسیسات مهم در ساختمان‌ها مانند؛ اتاق آسانسور، اتاق تأسیسات مکانیکی و برقی، پمپ‌ها یا سایر موارد، با هدف ایمن‌سازی موقت و دائمی دیوارهای آن ضروری است.

۱-۱۰- آسیب‌های اجزای غیر سازه‌ای

مهندس طراح باید اثر آسیب بر اجزای غیر سازه‌ای را در مرحله‌ی تدوین گزارش توجیهی و سپس در تحلیل‌ها و ارائه طرح‌های تعمیر مورد توجه قرار دهد. برآورد خسارت مالی ناشی از این بخش از آسیب‌ها در ساختمان در تحلیل‌های

اقتصادی تأثیر زیادی داشته و باید به‌عنوان بخش اصلی در برآوردهای توجیه اقتصادی مورد بررسی قرار گیرد. همچنین این بخش از آسیب‌ها باید در بررسی ایمنی موقت ساختمان مورد توجه مهندس طراح و گروه بازرسی باشد. آسیب به اجزای غیرسازه‌ای با توجه به شدت و گستردگی به دو بخش (۱) آسیب‌های موضعی و (۲) آسیب‌های شدید تفکیک می‌شود که در ادامه برای هر کدام توضیحات مختصری ارائه شده است.

۱-۱۰-۱- آسیب‌های موضعی

آسیب‌هایی همچون ترک‌های موضعی یا کلی در اجزای غیرسازه‌ای، یا در اتصال آن‌ها به اجزای سازه‌ای، ایجاد تغییر شکل یا هرگونه جابجایی که باعث ناپایداری کلی عضو و سایر اعضای متکی به آن نشود را در بر می‌گیرد. برای تعمیر یا تخریب این دسته از آسیب‌های غیرسازه‌ای با این شدت آسیب، الزام فنی وجود ندارد. می‌توان براساس بند (۱-۱۱) همین فصل درباره‌ی آن‌ها تصمیم‌گیری نمود. در صورت اتخاذ تصمیم، مبنی بر تعمیر یا نوسازی اجزای آسیب‌دیده، لازم است از روش و مصالح استاندارد در این خصوص استفاده شود.

۱-۱۰-۲- آسیب‌های شدید (ناپایداری اجزا)

هرگونه آسیبی که به ناپایداری اجزای غیرسازه‌ای منتهی شود و ایمنی بهره‌برداری در آن محدوده را به مخاطره اندازد، به‌عنوان آسیب شدید اجزای غیرسازه‌ای تلقی می‌شود. در این موارد، الزام اکید فنی برای نوسازی عضو یا پایدارسازی آن وجود دارد.

توضیح: در صورت نیاز به تخریب و نوسازی اجزاء و اتصالات غیرسازه‌ای یا پایدارسازی آن‌ها، لازم است ضوابط فصل چهارم استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم)، مراعات شود.

۱-۱۱-۱- ایمن‌سازی موقت ساختمان

لازم است کلیه عوامل اجرایی به‌خصوص تیم بازرسان مرتبط با این راهنما، کلیه موارد بیان شده در مورد تجهیزات و ایمنی بازرسان در بند ۱-۷-۴ مندرج در راهنمای ارزیابی ایمنی ساختمان‌ها پس از زلزله (نشریه ۸۳۲) و کلیه ضوابط و مقررات بند (۱-۱۳)، «عملیات بازدید کارشناسی»، در راهنمای حاضر را در بازدیدها و عملیات اجرایی رعایت نمایند. اگرچه در هنگام انجام فرآیند تعمیر، به دلیل کاهش احتمالی ظرفیت سامانه‌ی باربر قائم و جانبی ناشی از آسیب‌های لرزه‌ای، آسیب‌های ناشی از عملیات سونداژ یا دیگر نمونه‌برداری‌ها و بارگذاری‌های مرتبط، گروه بازرسی همواره باید احتمال فروریزش ساختمان یا بخشی از آن را در پس‌لرزه‌های احتمالی یا در یک رویداد لرزه‌ای مستقل در نظر گیرد. بر این اساس، در مراحل بازدید و برداشت‌های اولیه، رعایت ضوابط ایمنی مندرج در بند (۱-۱۳-۲) «ایمنی عملیات» ضروری خواهد بود. در صورت نیاز به عملیات اجرایی همچون؛ سونداژ، آزمایش‌های مصالح و اجرای تعمیرات، لازم است تمهیدات ویژه‌ای برای پایدارسازی بخش‌های مختلف ساختمان به‌ویژه در محدوده‌ی انجام این عملیات منظور شود. برای این منظور مراحل زیر پیشنهاد می‌شود:

- پایداری کلی سازه با اجرای متناسب داربست، شمع و سازه‌های نگهبان تأمین شود. استفاده از شمع‌های فلزی تنظیم شونده با ارتفاع حدود ۳ متر می‌تواند در این بخش مفید باشد.
- بخش‌های سست اجزای غیرسازه‌ای آسیب‌دیده، بدون اعمال بار اضافی بر روی دیگر بخش‌های سازه، تخریب و جمع‌آوری شود.
- برای اعضای آسیب‌دیده‌ی سازه‌ای، برحسب اهمیت باربری و تغییرشکل‌های ماندگار در آن‌ها، با افزودن سازه‌های نگهبان یا شمع، تکیه‌گاه‌هایی تعبیه شود.
- برای انجام سونداژ یا آزمایش‌های مخرب مصالح بر روی اعضای سازه‌ای، باید تلاش شود کمترین بارگذاری دینامیکی به عضو وارد شود. همچنین بعد از برداشت صورت گرفته، باید بخش آسیب‌دیده به سرعت ترمیم شود. در صورتی که عضو آسیب‌دیده نیاز به نوسازی یا طرح تقویت کلی داشته باشد، می‌توان تا تهیه طرح نهایی از ترمیم بخش برداشت شده صرف‌نظر نمود، به شرطی که با نصب تجهیزات دارای ظرفیت باربری به صورت موازی با عضو آسیب‌دیده، مسیر بار جایگزین ایجاد شود. در نصب اجزای جدید تأمین مسیر بار جانبی ضروری است.
- مراحل تعمیر ساختمان آسیب‌دیده باید به ترتیب اهمیت بر روی سامانه‌ی باربر ثقلی، سامانه‌ی باربر جانبی و دیگر اعضا صورت پذیرد. لازم است عملیات اجرای تعمیر از پایین به بالای ساختمان انجام شود.
- افزایش هر نوع بارگذاری بر سازه در حین انجام عملیات تعمیر اکیداً ممنوع است. از این رو تا تثبیت سامانه‌ی باربر ثقلی و سامانه باربر جانبی ساختمان باید از انبار نمودن هر مصالح و ضایعاتی در طبقات ساختمان پرهیز شود.
- در صورت نیاز به سبک‌سازی ساختمان یا تخریب اجزای غیرسازه‌ای آسیب‌دیده، مسیر انتقال ضایعات به طبقات پایین به گونه‌ای انتخاب شود که بدون اعمال ضربه و بارگذاری اضافی همراه باشد.
- از استقرار یا تجمع همه‌ی عوامل اجرایی در یک طبقه پرهیز شود. لازم است مدیریت پروژه‌ی تعمیر به نحوی باشد که نیروی انسانی فعال در ساختمان به تدریج و متناسب با میزان پیشرفت عملیات اجرایی افزایش یابد.

۱-۱۲- آسیب‌های ژئوتکنیکی

آسیب‌های ژئوتکنیکی و بروز ضعف در رفتار خاک بستر و محدوده‌ی ساختمان تحت بارهای لرزه‌ای یکی از موارد مهمی است که می‌تواند ایمنی کلی ساختمان را در هنگام وقوع زلزله و حتی پس از آن تحت تأثیر قرار دهد. از این رو، لازم است مهندس طراح و گروه بازرسی توجه ویژه‌ای به ارزیابی‌های مرتبط با مخاطرات ژئوتکنیکی و تأثیر آن بر ایمنی و پایداری ساختمان مورد بررسی داشته باشند. این آسیب‌ها ممکن است به صورت جابجایی، نشست مشهود، ایجاد شکاف یا علائمی از حرکت شیب‌ها در زمین مجاور ساختمان بروز نماید. از این رو، در صورت وجود گزارش‌هایی در مستندات ساختمان مورد

بررسی و مشاهده‌ی هرگونه آثار قابل ثبت که بیانگر یکی از آسیب‌های ژئوتکنیکی در بستر ساختمان یا زمین‌های محدوده‌ی محل ساختمان باشد، این نکات باید از طریق بازدیدهای محلی توسط کارشناسان متخصص در زمینه‌ی ژئوتکنیک مورد ارزیابی دقیق قرار گیرد.

از آنجا که روش‌های بهسازی ژئوتکنیکی بستر در بسیاری از موارد پرهزینه و زمان‌بر است، لازم است برآوردهایی در خصوص تکمیل مطالعات الزامی اولیه در خصوص بهسازی ژئوتکنیکی انجام پذیرد و این موارد مستقیماً در ارزیابی‌های اقتصادی و دیگر توجیهات فنی برای مطالعات تعمیر ساختمان منظور شود. در برخی موارد این ارزیابی‌های ژئوتکنیکی، حتی پیش از انجام ارزیابی‌های مطالعات تعمیر ساختمان، می‌تواند عاملی برای عدم توجیه فنی و اقتصادی گزینه‌ی تعمیر ساختمان باشد.

۱-۱۳- عملیات بازدید کارشناسی

لازم است مطالعات بازطراحی و تعمیر ساختمان آسیب‌دیده و همچنین عملیات بازدید از ساختمان توسط افراد متخصص و دارای صلاحیت لازم در این موارد صورت پذیرد. بر این مبنا پیش از آغاز مطالعات، حداقل مشخصات لازم باید توسط مرجع ذیصلاح مرتبط تعیین شود.

۱-۱۳-۱- اهداف بازرسی

پیش از آغاز عملیات بازرسی ساختمان، لازم است برنامه‌ی بازدید شامل موارد زیر: اهداف، ابزار و فرم‌ها، برنامه‌ی زمانی بازدید، اطلاعات اصلی مورد نظر از انجام این عملیات، برای گروه بازدیدکننده مشخص باشد. مهندس طراح باید با توجه به مطالعه‌ی مورد نظر با هدف مؤثر بودن نتایج عملیات بازدید، این عملیات را مدیریت نموده و در تنظیم این برنامه با گروه بازدیدکننده، همکاری نماید. مهم‌ترین اهداف بازرسی سازه شامل موارد زیر است. جزئیات انجام عملیات لازم برای نیل به این اهداف برای هر گروه ساختمان در فصول مربوطه ارائه شده است.

- ترسیم پلان معماری و مشخص نمودن جانمایی اعضای سازه‌ای (ستون، دیوار برشی و تیر) با اهدافی مانند؛ تشخیص شرایط منظمی یا نامنظمی ساختمان،
- بررسی و اندازه‌گیری ابعاد مقاطع و تأیید همانندی نقشه‌ها و مدارک در دسترس از سازه، با سازه‌ی موجود از نظر مشخصات و ابعاد،
- شناخت وضعیت کلی آسیب‌های ساختمان (پیچش، طبقه نرم و ...)،
- شناسایی موقعیت آسیب‌های سازه‌ای،
- شناخت دقیق‌تر از شدت آسیب وارده به اعضا سازه‌ای و برآورد شدت آسیب در هر عضو مانند؛ عرض ترک، یا شدت و گسترش خردشدگی بتن، کماتش یا تسلیم‌شدگی یا گسیختگی فولاد، برآورد کلی از میزان جابجایی پسماند احتمالی در اعضا و در کل سازه، بررسی وضعیت مصالح، نحوه‌ی ساخت و اجرای سازه.

۱-۱۳-۲- ایمنی عملیات

ایمنی گروه بازرسی باید در اولویت عملیات قرار گیرد. به این منظور لازم است به نکات زیر توجه شود:

- اطلاعات کافی و آموزش لازم در زمینه‌ی حفظ ایمنی در زمان بازدید از ساختمان‌های آسیب‌دیده در اختیار افراد گروه قرار گرفته باشد،
- لباس و تجهیزات ایمنی مانند کفش و کلاه ایمنی در زمان بازرسی مورد استفاده قرار گیرد،
- پیش از آغاز عملیات به نظرات و گزارش‌های احتمالی گروه‌های بازدیدکننده‌ی قبلی (در صورت وجود) در باره‌ی وضعیت سازه توجه شود،
- پیش از آغاز هر گونه عملیات، از پایداری سازه اطمینان حاصل شود و در صورت لزوم مهاربندی کافی برای حفظ پایداری سازه به‌ویژه در زمان وقوع پس‌لرزه‌های احتمالی مطابق بند ۱-۱۱ این راهنما مورد نظر قرار گیرد.

فصل ۲

ساختمان‌های فولادی

۲-۱- مقدمه

در این فصل از راهنما، ضوابط لازم برای بازرسی، بازطراحی و تعمیر سازه‌ای ساختمان‌های فولادی آسیب‌دیده در زلزله، ارائه شده است. مراحل انجام مطالعات، شامل سه بخش اصلی زیر است:

(۱) بازرسی، جمع‌آوری اطلاعات و مستندسازی،

(۲) روش‌ها و معیارهای ارزیابی،

(۳) روش‌های تعمیر و جزئیات اجرایی مربوط به آن‌ها

معیارهای پذیرش اعضا و روش‌های ارزیابی تعمیر ساختمان‌های فولادی آسیب‌دیده در زلزله، با استفاده از ضوابط دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه شماره ۳۶۰) انجام می‌شود. روش‌های ارزیابی آسیب در این راهنما تمرکز بر بُعد فنی موضوع دارد؛ با این حال، استفاده از آن‌ها نیاز به ملاحظات سیاست‌گذاری، از جمله انتخاب اهداف عملکردی به‌عنوان الگوهایی برای تعیین عملکرد لرزه‌ای ساختمان فولادی دارد. به‌منظور تعمیر اعضای آسیب‌دیده فولادی نیز، جزئیاتی در این فصل ارائه شده است.

۲-۲- مراحل مطالعات بازطراحی و تعمیر ساختمان‌های فولادی آسیب‌دیده در زلزله

در هنگام ارزیابی ساختمان‌های فولادی آسیب‌دیده در زلزله که قابلیت تعمیر دارند، لازم است دو مرحله‌ی اولیه: (۱) ایمن سازی موقت ساختمان و (۲) مستندات قابلیت تعمیر ساختمان برای دستیابی به سطح عملکرد لرزه‌ای مورد نظر، مورد توجه قرار گیرد.

۲-۲-۱- ایمن‌سازی موقت ساختمان

تأمین پایداری اولیه‌ی ساختمان آسیب‌دیده در زلزله در مقابل بارهای موجود و پس‌لرزه‌های احتمالی و حتی در مقابل یک رویداد لرزه‌ای مستقل، بسیار حیاتی است. در هنگام ارزیابی‌های اولیه برای تهیه‌ی کارنامه‌ی ساختمان، هنگام حضور کارشناسان درون ساختمان یا محوطه‌ی اطراف آن، نباید هیچ خطری ناشی از فروریزش یا تخریب بخش‌های مختلف ساختمان، اعم از قسمت‌های سازه‌ای یا غیرسازه‌ای آن که می‌تواند تهدیدی جدی برای سلامت بازرسان باشد، وجود داشته باشد. از این‌رو، لازم است بر اساس مندرجات فصل کلیات بند (۱-۱۱) «ایمن‌سازی موقت ساختمان» و پیوست ۱ «تجهیزات و ایمنی بازرسان» عمل شود.

در صورتی که در ادامه‌ی فرایند ارزیابی، ساختمان مورد بررسی قابل تعمیر تشخیص داده شد، مهندس طراح، بر اساس نظر و ارزیابی بازرسان، مدارک و مستندات ساختمان و کارنامه‌ی ساختمان درباره‌ی موارد تکمیلی و ضرورت انجام تعمیرات اضطراری برای ایمن‌سازی موقت ساختمان تا پیش از تعمیر، تصمیم‌گیری می‌نماید. در صورتی که تشخیص مهندس طراح بر انجام ایمن‌سازی موقت ساختمان باشد، لازم است دلایل این تصمیم‌گیری، همراه با محاسبات طراحی و روش‌های اجرایی پیشنهادی برای اجرای کامل این فعالیت و پیامدهای ناشی از عدم اجرای آن را به کارفرما ارائه نماید.

۲-۲-۲- مستندات قابلیت تعمیر ساختمان

انجام عملیات تعمیر در ساختمان‌های فولادی آسیب‌دیده از زلزله در صورتی انجام می‌گیرد که مهندس طراح بر اساس ضوابط بند ۸-۱ و پیوست ۲، موارد مستدل و توجیه کافی برای تعمیری بودن ساختمان ارائه نماید. این موارد باید از طرف کارفرما مورد تأیید قرار گیرد.

۲-۲-۳- گام‌های فرایند ارزیابی و تعمیر

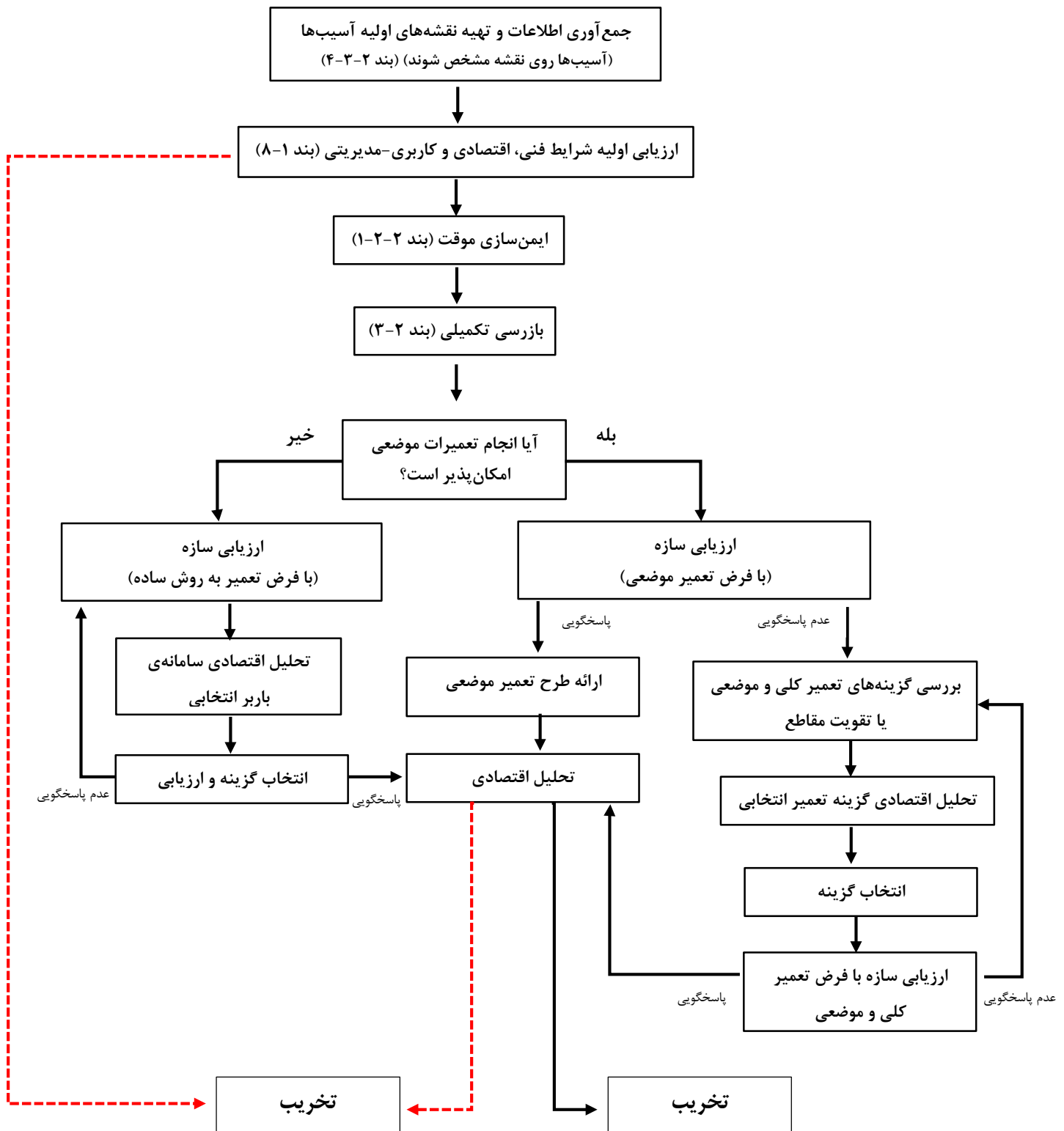
در این راهنما هدف تعمیر، شامل؛ سطوح خطر مبنای ارزیابی لرزه‌ای و سطوح عملکرد متناظر با آن، متنا سب با هدف بهسازی لرزه‌ای برای سازه‌ی مذکور در نشریه ۳۶۰، در نظر گرفته می‌شود.

در گام اول مطالعات با استفاده از جمع‌آوری اطلاعات و... مطابق رویکرد پیشنهادی در پیوست ۲، کارنامه‌ی ساختمان (در این ویرایش استفاده از کارنامه برای تصمیم‌گیری در تعمیری یا تخریبی بودن ساختمان الزامی نیست و توصیه می‌شود برای تهیه‌ی پایگاه اطلاعات ساختمان‌ها و استفاده در ویرایش‌های بعدی این راهنما تهیه شود) تهیه می‌شود. در صورتی که پس از ارزیابی‌های جامع اولیه، مبتنی بر مسائل فنی، اقتصادی و ارزش‌های اجتماعی (بند ۸-۱)، ساختمان مورد بررسی، تعمیری تشخیص داده شد، مطالعات تعمیر وارد گام دوم خواهد شد.

در گام دوم مطالعات تعمیر، لازم است ارزیابی از رفتار سامانه‌ی باربر قائم و جانبی ساختمان برای لزوم تکمیل فرآیند ایمن‌سازی موقت ساختمان انجام پذیرد و اقدامات ایمن‌سازی موقت بر این مبنا پیش از انجام بازرسی تکمیلی ساختمان بر روی ساختمان آسیب‌دیده پیاده شود.

پس از انجام ایمن‌سازی موقت انجام بازرسی تکمیلی سازه صورت می‌گیرد برای این منظور، نیاز به جمع‌آوری اطلاعات و مستندات ساختمان، انجام آزمایش‌های لازم برای تعیین خصوصیات مصالح و استفاده از الگوهای نشریه‌ی ۳۶۰ است. در صورتی که ارزیابی‌های رفتار غیرخطی مدل تحلیلی سازه، معیارهای پذیرش تبیین شده در نشریه ۳۶۰ را نداشته باشد، باید بر اساس ضوابط ارائه شده در بند (۲-۷)، اعضای سازه‌ی ساختمان تقویت شود و یا گزینه‌های تعمیر کلی منظور شود. لازم است این فرآیند پس از انجام تقویت‌های موضعی یا ارتقاء ظرفیت سازه‌ی باربر قائم یا سازه‌ی باربر جانبی، یا هر دوی آن‌ها مجدداً مورد ارزیابی قرار گیرد و تا رسیدن به معیارهای پذیرش نشریه ۳۶۰ این چرخه ادامه یابد.

پس از تکمیل مرحله‌ی پیشین، طرح تعمیر قابل اجرا برای روند یا روندهای تعمیر پذیرفته شده، به همراه تحلیل‌های اقتصادی هر کدام تهیه و ارائه می‌شود. در مرحله‌ی پایانی، می‌توان نگاهی کلی به فرآیند طی شده و برآوردهای نهایی فعالیت‌های ارزیابی و طرح تعمیر ارائه شده داشت. در این مرحله، کارفرمای طرح، باز هم می‌تواند در مورد اجرایی کردن طرح تعمیر یا تخریب نمودن ساختمان و جایگزینی آن با ساختمانی نو ساز تصمیم‌گیری نماید. مراحل این فعالیت در روند نمای ۱-۲ ارائه شده است.



روند نمای ۱-۲: رویکرد کلی بازطراحی و تعمیر یا تخریب ساختمان‌های فولادی آسیب‌دیده در زلزله

۲-۳- بازرسی تکمیلی

جمع‌آوری اطلاعات سازه‌ی در دست مطالعه، به‌منظور شناخت وضع موجود، تصمیم‌گیری در خصوص گزینه‌های تعمیر و ارزیابی مدل سازه بعد از اعمال روش‌های تعمیر پیشنهادی در مدل تحلیلی ساختمان است. در این قسمت، روش انجام فرآیند بازرسی، ارزیابی و مستندسازی آسیب‌های ناشی از زلزله در ساختمان‌های فولادی آسیب‌دیده از زلزله، بیان شده است. این بازرسی با اهداف ذیل انجام می‌پذیرد:

- صحت‌سنجی خصوصیات فیزیکی جامع ساختمان، از جمله هندسه و جرم آن،
- شناسایی اجزای سازه‌ای و عناصر سامانه‌ی مقاوم در برابر نیروی‌های جانبی،
- تعیین خصوصیات سازه‌ای اجزاء با جزئیات کافی، باهدف انجام تحلیل‌های سازه‌ای،
- مشاهده و ثبت آسیب‌های وارده به اجزای سازه‌ای.
- در حد امکان، تشخیص و تفکیک آسیب‌های ناشی از زلزله و آسیب‌هایی که ممکن است قبل از رویداد زلزله نیز وجود داشته‌اند.

این فرآیند شامل؛ جمع‌آوری و مرور اطلاعات موجود و قابل دسترسی است که موارد زیر را شامل می‌شود: جمع‌آوری و مرور اطلاعات، مدارک و مستندات موجود مربوط به خصوصیات کلی هندسی، شرایط و وضعیت سازه‌ی ساختمان قبل و بلافاصله پس از وقوع زلزله، مشاهدات و بازرسی‌های میدانی سازه و محیط پیرامون آن، انجام آزمایش‌های اولیه به‌منظور برآورد مشخصات فنی مصالح ساختمان.

۲-۳-۱- بررسی اطلاعات موجود ساختمان

فرآیند جمع‌آوری داده‌ها با کسب مستنداتی که شرایط ساختمان مورد بررسی را توصیف می‌کند، آغاز می‌شود. مرور نقشه‌های ساختمانی کارمیدانی را ساده کرده و منجر به درک کامل‌تری از ساختمان می‌شود. نقشه‌های سازه و معماری حاصل از طراحی و نقشه‌های چون ساخت نقش محوری در ارزیابی مؤثر و کارآمد آسیب‌ها دارد. در صورت امکان، علاوه بر نقشه‌های فوق‌الذکر، جمع‌آوری مستندات زیر نیز مفید است:

- دفترچه محاسبات سازه‌ای،
- گزارش‌های لرزه‌خیزی و ژئوتکنیکی محل ساختمان،
- مشخصات ساخت شامل کیفیت مصالح و نحوه‌ی اجرای ساختمان،
- نقشه‌های اجرایی پیمانکاران و دیگر سوابق اجرایی ساختمان،
- گزارش پی ساختمان،
- گزارش مطالعات ارزیابی پیشین ساختمان.

بررسی اطلاعات موجود ساختمان، اهداف مختلفی را دنبال می‌کند. این اطلاعات پیش از بررسی‌های میدانی، شناسایی تحلیلی اجزاء سازه‌ای را تسهیل می‌کند. مهندس طراح و گروه بازرسی باید پیش از برنامه‌ریزی و اجرای عملیات بازرسی و

بررسی‌های میدانی، به کمک اطلاعات موجود، شناسایی تحلیلی اجزاء سازه‌ای را در حد امکان انجام داده و مسیرهای انتقال بارهای ثقلی و جانبی را در ساختمان تعیین نمایند. در برنامه‌ی بازرسی‌ها گروه بازرسی باید نسبت به صحت نتایج این بررسی و تطبیق شرایط اجزای موجود در مسیر بار و حالت‌های آسیب مشاهده شده با برآوردهای حاصل از تحلیل اطلاعات اولیه‌ی موجود تحقیق نماید. شناسایی نهایی اجزاء برای یک ساختمان آسیب‌دیده در زلزله، باید به کمک ترکیبی از تحلیل‌های نظری و مشاهده‌ی آسیب‌ها صورت پذیرد.

۲-۳-۲- برداشت و آزمایش مقاومت مصالح

ضوابط آزمایش‌های لازم برای شناسایی مشخصات مصالح بر اساس نشریه‌ی ۳۶۰ تعیین می‌شود. برای تعیین مشخصات مکانیکی مصالح اعضا و اتصالات فولادی موجود، لازم است تنش تسلیم مصالح مبنا و اجزای اتصال تعیین شود. در صورتی که انجام آزمایش برای یافتن این کمیت‌ها ضروری باشد، می‌توان اطلاعات مفید دیگری نظیر مقاومت نهایی و تغییر شکل نسبی نهایی مصالح را از روی منحنی‌های تنش-کرنش مصالح به‌دست آورد.

گستره‌ی آزمایش‌های لازم از یک سو به میزان در دسترس بودن اطلاعات اولیه‌ی ساختمان و اطلاعات حین ساخت آن و از سوی دیگر به امکان دسترسی به اجزای مختلف ساختمان و شرایط مصالح بستگی دارد. مشخصات مصالح باید با نمونه برداری از مصالح و انجام آزمایش تعیین شود. نمونه‌برداری باید از محل‌هایی که میزان تنش کم باشد، انجام گیرد. در آزمایش اتصالات پیچی یا پرچی، به هنگام برداشتن پیچ یا پرچ، باید پیچ‌های مناسب جایگزین شود. نمونه‌برداری از یک اتصال جوشی باید با مرمت آن اتصال همراه باشد. اگر فولاد مبنا، فولاد نرمه باشد، در این حالت ابعاد و طول جوش در محل هر نمونه‌ی اتصال نمایان شده، اندازه‌گیری و با آزمایش‌های غیرمخرب، کیفیت جوش مشخص شود. اگر فولاد به کار رفته متفاوت با رده فولاد نرمه باشد، در این حالت مقاومت جوش با نمونه‌گیری از محل اتصال و انجام آزمایش مخرب علاوه بر موارد ذکر شده‌ی فوق، تعیین شود. در مورد اتصالات پیچی یا پرچی، در محل هر اتصال نمایان، علاوه بر تعیین تعداد، ابعاد و آرایش مربوطه، یک نمونه از هر نوع اتصال باز شده و مشخصات مکانیکی مصالح با آزمایش تعیین شود. تعیین کربن معادل مصالح مبنا و اجزای اتصال و یا بررسی قابلیت جوش‌پذیری مصالح مبنا و اجزای اتصال به تشخیص طراح ممکن است با انجام آزمایش ضرورت یابد.

حداقل تعداد آزمایش‌های لازم برای تعیین مقاومت تسلیم و مقاومت کششی مصالح فولادی در یک برنامه جمع‌آوری اطلاعات باید بر اساس ضوابط زیر باشد:

- در صورت موجود بودن مدارک فنی معتبر حاوی گزارش آزمایش مصالح، نقشه‌های اجرایی و یا رویت مشخصات ثبت شده، نیاز به انجام آزمایش نمی‌باشد و می‌توان از مقادیر مقاومت ذکر شده در مدارک به‌طور مستقیم به‌عنوان مشخصات کرانه پایین مصالح استفاده نمود.
- در صورت موجود نبودن مدارک فنی معتبر، وجود نقص اطلاعات و یا استفاده از فولاد با رده متفاوت از فولاد نرمه در نقشه‌های اجرایی، ابتدا با روش غیرمخرب و با استفاده از دستگاه سختی‌سنج، یکنواختی

مصالح از نظر فولاد مصرفی تعیین می‌شود. در صورتی که پراکندگی نتایج بیانگر یکسان بودن رده‌ی فولاد برای تمام اعضا باشد، در این حالت یک نمونه از عضوی که کمترین بار را تحمل می‌کند، گرفته می‌شود. در صورتی که پراکندگی نتایج بیانگر استفاده از فولاد با رده‌های متفاوت باشد، باید حداقل یک آزمایش در هر رده‌ی فولاد از اعضای که کمترین بار را تحمل می‌کند، انجام شود.

مشخصات مورد انتظار مصالح فولاد برابر با مشخصات نزدیک‌ترین رده‌ی فولاد که مقاومتی کمتر از مقادیر به دست آمده از آزمایش را دارد، می‌باشد. در صورتی که مشخصات کرانه پایین مصالح فولادی لازم باشد می‌توان مقادیر مورد انتظار را در ضریب ۰/۹ ضرب نمود.

۲-۳-۳- تحلیل مقدماتی

تحلیل مقدماتی به‌عنوان یک روش برای شناسایی اولیه‌ی موقعیت‌های با احتمال آسیب لرزه‌ای در سازه‌ی ساختمان، پیشنهاد می‌شود. در ابتدای فرآیند ارزیابی، مهندس طراح با پیش‌بینی رفتار غیر ارتجاعی حاکم بر هر عضو در سامانه‌ی باربر جانبی می‌تواند نقاط مستعد آسیب در اجزای اصلی را با یکی از دو تحلیل بار افزون یا تاریخچه زمانی شناسایی کند. این تحلیل در صورتی قابل استناد می‌باشد که نتایج حاصل با آسیب‌های مشهود ساختمان مطابقت قابل قبولی داشته باشد. سختی نسبی، مقاومت (خمشی، برشی، محوری) و شکل‌پذیری هر یک از اجزاء (با فرض بدون احتساب آسیب) در مدل سازی فوق بر اساس مشخصات غیر ارتجاعی معرفی شده در نشریه ۳۶۰ تعیین می‌شود. در تحلیل مقدماتی باید شرایط ساختمان پیش از زلزله همچون وجود آسیب احتمالی، ناکافی بودن کیفیت اجرای اعضای سیستم بار جانبی و... را نیز مدنظر قرار داد. انتظار می‌رود مدل معرف سامانه‌ی باربر جانبی، در صورت اعمال جابجایی جانبی، تحت الگوی فزاینده‌ی بار جانبی، نحوه‌ی عملکرد سامانه و نقاط محتمل برای تجربه‌ی آسیب در شرایط حدی را نشان دهد.

در صورتی که با نصب یک دستگاه شتاب‌نگاشت در محل یا نزدیکی ساختمان مورد بررسی، اطلاعات تاریخچه‌ی شتاب وارده به ساختمان موجود باشد می‌توان از تحلیل دینامیکی غیرخطی برای شناسایی اعضای مستعد آسیب استفاده نمود.

۲-۳-۴- تعیین نقاط بازدید

بازدید و شناسایی نقاط آسیب‌دیده‌ی یک ساختمان فولادی آسیب‌دیده در زلزله بر اساس ضوابط این بخش انجام می‌شود. لازم است پیش از انجام بازدید میدانی، برنامه‌ریزی بازدیدها و انتخاب نقاط بازدید با اتکا به اطلاعات موجود، مشاهدات اولیه‌ی صورت گرفته (در ارزیابی سریع)، تحلیل مقدماتی و تجربه‌ی مهندس طراح یا گروه بازرسان انجام پذیرد. این بازرسی‌ها باید به قضاوت و تشخیص نوع سامانه‌ی باربر جانبی، نقش عملکردی هر یک از اعضا در این سامانه کمک نموده و باعث شناسایی مسیر انتقال بار لرزه‌ای تا شالوده شود. در ادامه، راهکارهایی برای شناسایی اعضای آسیب‌دیده، برای دو نوع سامانه ی باربر جانبی ارائه شده است.

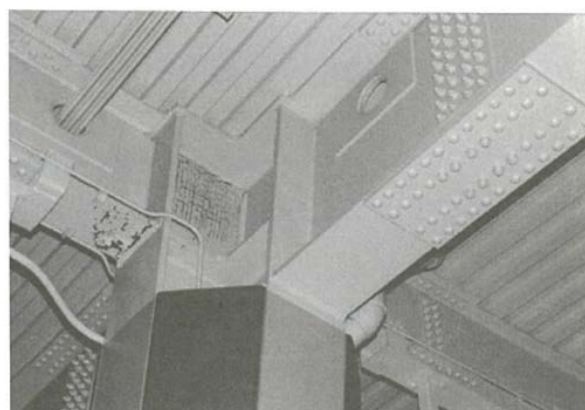
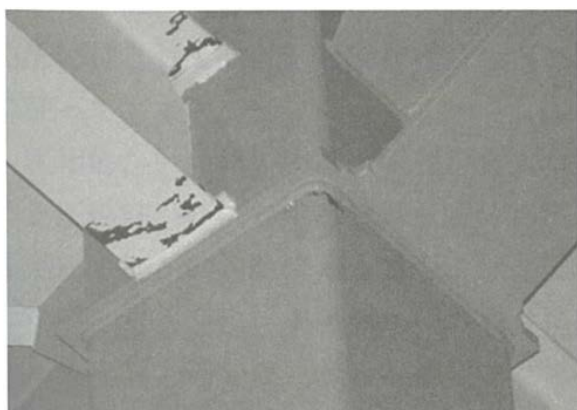
۲-۳-۴-۱- قاب فولادی خمشی

مشاهده‌ی آسیب‌های وارده به ساختمان‌های فولادی در زلزله نشان می‌دهد، نقاط آسیب‌دیده در سازه لزوماً با الگوها و نتایج حاصل از تحلیل‌های عددی و محاسباتی اولیه مطابقت ندارد. از این‌رو، برای اطمینان یافتن از شناسایی هر چه کامل‌تر نقاط آسیب‌دیده در ساختمان، لازم است تعدادی از اتصالات در یک سازه فولادی با سامانه‌ی باربر جانبی قاب خمشی مورد ارزیابی دقیق‌تر قرار گیرد تا از کفایت مشاهدات و بازرسی در حد امکان، اطمینان حاصل شود. بر این اساس، لازم است الگویی برای نحوه‌ی انتخاب اتصالات برای بازرسی تدوین شود. فرآیند انتخاب اتصالات برای ارزیابی دقیق‌تر جزئیات، بر اساس دو شاخص زیر صورت می‌پذیرد؛

الف) بر اساس نوع سامانه‌ی باربر ساختمان و تجربه یا قضاوت مهندسی بازرسان ارزیابی، باید اتصالاتی که انتظار می‌رود بیشترین تقاضا به آن‌ها وارد شده باشد، تعیین شود.

ب) انتظار می‌رود در حوالی اتصالات سازه‌ی آسیب‌دیده، تمرکز آسیب در اعضای غیر سازه‌ای نیز مشاهده شود. لذا مشاهده‌ی آسیب در اجزای غیر سازه‌ای در نواحی شناسایی شده در بند (الف) می‌تواند نشانه‌ی مضاعفی برای انتخاب اتصال باشد.

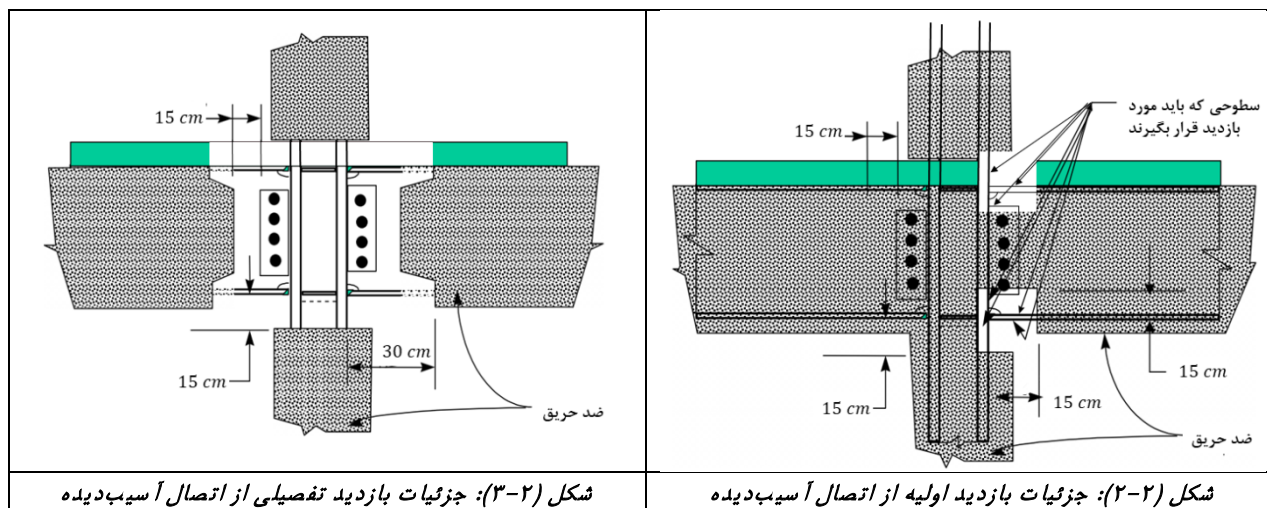
توصیه می‌شود، بازرسان در بازدید اولیه، به‌عنوان یک آسیب پرتکرار در زلزله‌های گذشته، بال پایین و بالای تیرهای متصل یا ورق اتصال بال (البته به مورد) در یک اتصال خمشی را با دقت ارزیابی نمایند. در این ناحیه، به‌طور معمول قبل از بروز هرگونه آسیب جدی، ریختن رنگ یا تغییر شکل‌هایی در بال تیر یا آسیب‌هایی در ورق‌های پایین و بالا اتصال ایجاد می‌شود که توجه به آن بسیار ضروری است (شکل ۲-۱).





شکل (۱-۲): نمونه‌ای از آسیب‌های ایجاد شده در اتصالات سامانه‌ی باربر قاب خمشی در یک ساختمان فولادی

به‌طور معمول، حذف نازک‌کاری‌ها و انجام سونداژها در تعیین اعضاء آسیب‌دیده اغلب با هزینه زیاد همراه است. برای کاهش هزینه‌ها می‌توان سونداژ را در دو مرحله‌ی سطحی (برداشت مختصر نازک‌کاری)، شکل (۲-۲) و مرحله‌ی عمیق (برداشت کلی نازک‌کاری و مصالح اطراف اتصال به‌منظور مشاهده‌ی کامل اتصال)، شکل (۳-۲)، انجام داد. در صورتی که در مرحله سونداژ سطحی (شکل ۲-۲) آسیب در این نواحی دیده نشد لازم نیست سونداژ عمیق همانند شکل (۳-۲) برای بازدید تفصیلی صورت پذیرد.



شکل (۳-۲): جزئیات بازدید تفصیلی از اتصال آسیب‌دیده

شکل (۲-۲): جزئیات بازدید اولیه از اتصال آسیب‌دیده

کمینه تعداد اتصالات لازم برای ارزیابی، در بازدید اتصالات یک سازه‌ی فولادی با سامانه‌ی باربر جانبی قاب خمشی، در جدول ۱-۲، پیشنهاد شده است. طبق مقادیر این جدول، بر اساس تعداد کل هر گروه از اتصالات، تعداد مشخصی اتصال باید مورد بررسی قرار گیرد که توجه به نکات زیر ضروری است:

۱. در هر گروه از اتصالات، اندازه‌ی تیرها و ادوات اتصال مشابه هم است.
۲. در هر طبقه‌ی ساختمان، در هر راستا، باید کمینه یک گروه اتصال در نظر گرفته شود.

۳. در ساختمان‌هایی که دچار پیچش شده است، در هر طبقه و در هر راستا، باید کمینه ۴ گروه اتصال در نظر گرفته شود.

۴. در گروه‌هایی که تعداد اتصالات در آن‌ها بیشتر از ۱۰۰ است، در صورتی که پس از بررسی ۱۸ اتصال (در موقعیت‌هایی که از قبل، بحرانی تشخیص داده شده است)، آسیبی در آن‌ها مشاهده نشد، نیازی به بررسی بیشتر نیست.

لازم به ذکر است، اعداد پیشنهادی در جدول ۱-۲، کمینه مقادیر پیشنهادی است، از این‌رو، بر اساس نظر مهندس طراح یا گروه بازرسان، اتصالات بیشتری می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد.

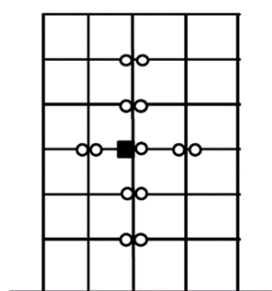
در صورتی که به هر دلیلی امکان سونداز اتصالی که بر اساس نظر طراح یا گروه بازرسان دچار آسیب شده است، وجود نداشته باشد، باید توسط جزییات اجرایی تأیید شده‌ای آن اتصال صلب شود و در نهایت رفتار اتصال صلب شده در مدل‌سازی در نظر گرفته شود. در پیوست پنجم یکی از راهکار ایجاد صلبیت در اتصال ارائه شده است.

جدول (۱-۲): کمینه تعداد اتصالاتی که باید مورد بررسی قرار گیرد

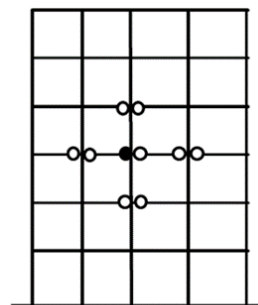
تعداد اتصالات هر گروه	تعداد اتصالاتی که باید مورد بررسی قرار گیرد
۶	۳
۱۰	۴
۱۵	۵
۲۰	۶
۳۰	۸
۴۰	۱۰
۵۰	۱۲
۷۵	۱۶
۱۰۰	۲۰

در صورتی که در یکی از اتصالات مورد بررسی، حداکثر دو آسیب از پیش تعیین شده بر اساس بند ۲-۳-۵ مشاهده شود، باید مطابق شکل (۲-۴)، سایر اتصالاتی که به نحوی با آن اتصال در ارتباط است را نیز مورد بررسی قرار داد.

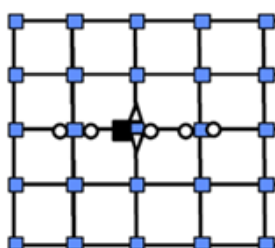
در صورتی که در یکی از اتصالات مورد بررسی، بیش از دو نوع آسیب از پیش تعیین شده بر اساس بند ۲-۳-۵ مشاهده شود، در این حالت مطابق شکل (۲-۵)، اتصالات بیشتری که به نحوی با آن اتصال در ارتباط است را نیز مورد بررسی قرار داد.



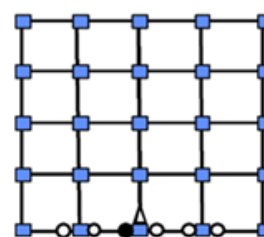
نمای قاب



نمای قاب



نمای پلان



نمای پلان

■ اتصال آسیب دیده
○ اتصال مجاور که باید مورد بازرسی قرار بگیرد.
△ اتصال عرضی که باید مورد بازرسی قرار بگیرد.

● اتصال آسیب دیده
○ اتصال مجاور که باید مورد بازرسی قرار بگیرد.
△ اتصال عرضی که باید مورد بازرسی قرار بگیرد.

شکل (۲-۵): موقعیت سایر اتصالاتی که باید مورد بررسی قرار گیرند (بیش از دو نوع آسیب در اتصال مشاهده شده است)

شکل (۲-۴): موقعیت سایر اتصالاتی که باید مورد بررسی قرار گیرند (حداکثر دو نوع آسیب در اتصال مشاهده شده است).

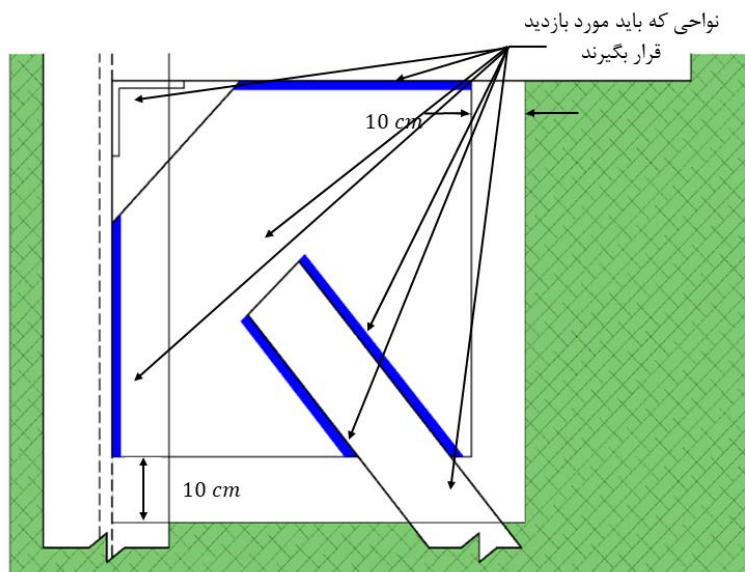
۲-۳-۴-۲- قاب فولادی دارای مهاربندی

نقاط آسیب‌پذیر در یک قاب فولادی دارای مهاربند که باید در هنگام بازرسی مورد توجه ویژه‌ی گروه بازرسان قرار گیرد، در سه دسته‌ی کلی جای می‌گیرد:

۱. خود مهاربندها که مستعد آسیب‌هایی به شکل گسیختگی، جاری شدن یا کمانش است.
۲. اتصال مهاربند به اعضای سازه‌ای که مستعد آسیب‌هایی به شکل گسیختگی، شکست جوش، لهیدگی و یا ترکیبی است.
۳. ملحقات سامانه‌ی مهاربند، مانند تیرهای پیوند که مستعد آسیب‌هایی به شکل گسیختگی، جاری شدن، شکست جوش، پیچش و لهیدگی و یا ترکیبی است.

با توجه به هزینه‌ی بالای تخریب دیوار و اندودکاری، به‌منظور بازرسی مهاربندها، سعی می‌شود از تمرکز آسیب‌های موجود در نازک‌کاری به‌عنوان نقاط پیشنهادی برای سونداژ استفاده شود. در صورت وجود ترک در نازک‌کاری کنج اتصال تیر به ستون در محل مهاربندی لازم است نقاط محدود و مشخص شده در شکل (۲-۶) از سامانه‌ی مهاربندی، مورد بررسی قرار گیرد. در صورت وجود ترک در نازک‌کاری نزدیک به تیر پیوند لازم است تا کل محدوده تیر پیوند با دقت مورد بررسی قرار

بگیرد. همچنین در ادامه پس از سونداژ هرگونه آسیبی در این ناحیه مشاهده شود باید کل دهانه‌ی مهاربندی با دقت مورد بررسی قرار گیرد. کلیه مهاربندهایی که در دیوارها یا میانقاب‌ها مدفون است در صورت مشاهده‌ی ترک در راستای مهاربند در دیوار، باید مورد بررسی قرار گیرد. در صورت وجود تمرکز آسیب در اجزای غیر سازه‌ای یک طبقه از ساختمان در حین بررسی مسیر بار، لازم است کلیه مهاربندها در آن طبقه مورد بررسی قرار گیرد. در صورت مشاهده‌ی پیچش در ساختمان، بررسی کلیه‌ی مهاربندهایی که جابجایی بیشتری را تجربه کرده است، ضروری است.



شکل (۲-۶): جزئیات بازدید اولیه از اتصال قاب مهاربندی

۲-۳-۵- تعیین مودهای آسیب

انواع آسیب‌های محتمل در اتصالات و اعضای ساختمان‌های فولادی با سه نوع سامانه‌ی باربر جانبی؛ (۱) قاب فولادی خمشی، (۲) قاب فولادی دارای مهاربند همگرا و (۳) قاب فولادی دارای مهاربند واگرا در ادامه تشریح شده است.

۲-۳-۵-۱- قاب فولادی خمشی

دو نوع اتصال خمشی با بیشترین فراوانی کاربرد در ساخت و سازه‌های کشور شامل؛ الف) اتصال همراه با ورق روسری و زیرسری جوشکاری شده و ب) اتصال مستقیم با پیچ و جوش می‌باشد. در این بند به نوع مودهای آسیب این دو نوع اتصال پرداخته شده است.

الف) اتصال خمشی همراه با ورق روسری و زیرسری جوشکاری شده. دسته‌بندی آسیب در این اتصال تیر به ستون بر اساس آسیب در جوش‌های اتصال ورق‌های روسری و زیرسری در شکل (۲-۷)، آسیب در ورق‌های اتصال روسری و زیرسری و دیگر ورق‌های تقویتی در شکل (۲-۸)، آسیب در اعضای متصل شونده تیر و ستون در شکل (۲-۹) و آسیب در چشمه اتصال، ورق پیوستگی یا ورق دابل در شکل (۲-۱۰) آمده است.

شرح	نوع
آسیب در جوش ورق روسری به ستون	W1
آسیب در جوش ورق روسری به بال تیر	W2
آسیب در جوش ورق تقویتی به ستون	W3
آسیب در جوش ورق زیرسری به بال تیر	W4
آسیب در جوش ورق سخت‌کننده	W5
آسیب در جوش ورق زیرسری به ستون	W6
آسیب در جوش ورق برش گیر جان به ستون	W7
آسیب در جوش ورق برش گیر جان به تیر	W8
آسیب در جوش ورق‌های دابل	W9
آسیب در جوش ورق‌های پیوستگی	W10

شکل (۷-۲): دسته‌بندی آسیب در جوش‌های اتصال ورق‌های روسری و زیرسری

شرح	نوع
تغییر شکل ورق روسری	P1
اعوجاج ورق تقویتی ستون	P2
پارگی (گسیختگی) ورق زیرسری	P3
پارگی (گسیختگی) ورق سخت‌کننده	P4
اعوجاج ورق سخت‌کننده	P5
تغییر شکل ۱ یا گسیختگی ورق برش گیر جان	P6

^۱ بدین مفهوم است که آثار تسلیم و تغییر شکل فولاد به صورت ریختگی رنگ سطحی نمایان شده باشد.

شکل (۸-۲): دسته‌بندی آسیب انواع ورق‌های به کار رفته در اتصال با ورق‌های روسری و زیرسری

شرح	نوع
تغییر شکل مقطع ستون	C1
کمانش موضعی - شکست بال ستون	C2
آسیب اتصال در محل وصله‌ی ستون به ستون	C3
تغییر شکل بال تیر	B1
کمانش موضعی - پارگی (گسیختگی) بال تیر	B2
پارگی (گسیختگی) - کمانش موضعی جان	B3
کمانش پیچشی - جانبی تیر	B4

شکل (۹-۲): دسته‌بندی آسیب در نواحی بحرانی اعضای متصل شونده تیر به ستون در اتصال تیر به ستون با ورق‌های روسری و

زیرسری

شرح	نوع
پارگی (گسیختگی)، کمناش یا تغییر شکل ورق پیوستگی	Pa1
تغییر شکل (اعوجاج) در چشمه اتصال	Pa2
پارگی (گسیختگی) جزئی عمیق در ورق دابل	Pa3
پارگی (گسیختگی) جزئی عمیق در جان	Pa4
پارگی (گسیختگی) کامل در جان یا ورق دابل	Pa5
کمناش جان ستون	Pa6
پارگی (گسیختگی) ستون	Pa7
اعوجاج بال ستون	Pa8

شکل (۲-۱۰): دسته‌بندی آسیب در چشمه‌ی اتصال، ورق پیوستگی یا ورق دابل در اتصال تیر به ستون با ورق‌های روسری و زیرسری

ب) **اتصال خمشی مستقیم با پیچ و جوش.** دسته‌بندی آسیب در جوش‌های به کار رفته در اتصال خمشی با پیچ و جوش در شکل (۲-۱۱)، آسیب محتمل در ستون در شکل (۲-۱۲)، آسیب در چشمه اتصال با ورق پیوستگی یا ورق دابل در شکل (۲-۱۳)، آسیب در ورق‌های برش گیر در شکل (۲-۱۴) و آسیب در تیر اتصال در شکل (۲-۱۵) آمده است.

شرح	نوع
نقص در جوش موجود	W1
پارگی (گسیختگی) در جوش موجود	W2
قلوه کن شدن ستون	W3
قلوه کن شدن تیر	W4

شکل (۲-۱۱): دسته‌بندی آسیب در جوش‌های به کار رفته در اتصالات خمشی با پیچ و جوش

شرح	نوع
پارگی (گسیختگی) سطحی کوچک در بال ستون در محل جوش اتصال	C1
قلوه کن شدن بال ستون در محل جوش اتصال	C2
پارگی (گسیختگی) بال ستون در ناحیه خارج از ناحیه جوشکاری اتصال	C3
پارگی (گسیختگی) در منطقه جوشکاری تحت تأثیر گرما در محل جوش اتصال	C4
پارگی (گسیختگی) بال ستون در محل جوش اتصال	C5
کمانش بال ستون	C6
آسیب اتصال در محل وصله‌ی ستون به ستون	C7

شکل (۲-۱۲): دسته‌بندی آسیب در ستون، در محل اتصال خمشی تیر به ستون با پیچ و جوش

شرح	نوع
پارگی (گسیختگی)، کمانش یا تغییر شکل ورق پیوستگی	Pa1
پارگی (گسیختگی) در جوش‌های ورق پیوستگی	Pa2
تسلیم یا تغییر شکل در چشمه اتصال	Pa3
پارگی (گسیختگی) جوش‌های صفحه دابل	Pa4
پارگی (گسیختگی) جزئی عمیق در ورق دابل	Pa5
پارگی (گسیختگی) جزئی عمیق در جان	Pa6
پارگی کامل در جان یا ورق دابل	Pa7
کمانش جان	Pa8
پارگی (گسیختگی) ستون	Pa9

شکل (۲-۱۳): دسته‌بندی آسیب چشمه‌ی اتصال، در محل اتصال خمشی تیر به ستون با پیچ و جوش

شرح	نوع
پارگی (گسیختگی) جزئی در جوش اتصال به ستون	S1
پارگی (گسیختگی) جوش تکمیلی	S2
پارگی (گسیختگی) یا اعوجاج شدید در نواحی اطراف پیچ‌ها	S3
تغییر شکل یا اعوجاج ورق برش گیر	S4
شل شدن، لهیدگی یا از بین رفتن تمام یا بخشی از پیچ	S5
پارگی (گسیختگی) در جوش اتصال به ستون	S6

شکل (۱۴-۲): دسته‌بندی آسیب در ورق‌های برش گیر به کار رفته در محل اتصال خمشی تیر به ستون با پیچ و جوش

شرح	نوع
کمانش موضعی بال تیر	B1
تغییر شکل در بال تیر	B2
پارگی (گسیختگی) بال تیر	B3
تغییر شکل یا کمانش موضعی جان	B4
پارگی (گسیختگی) در جان تیر	B5
کمانش پیچشی-جانبی تیر	B6
	B7

شکل (۱۵-۲): دسته‌بندی آسیب در تیر اتصال، در محل اتصال خمشی تیر به ستون با پیچ و جوش

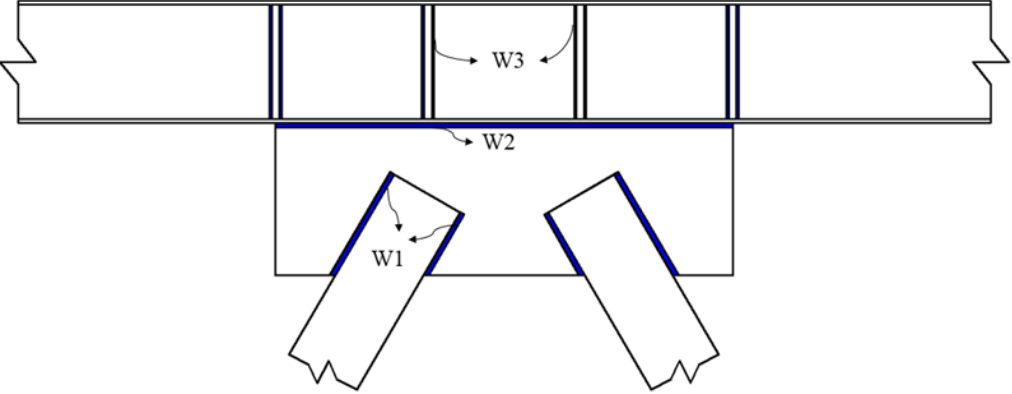
۲-۵-۳-۲- قاب فولادی دارای مهاربند همگرا

در این بخش به انواع آسیب‌های متداول در قاب‌های مهاربندی همگرا که از سامانه‌های باربرجانبی بسیار پرکاربرد در ایران است اشاره می‌شود. در شکل‌های (۱۶-۲) الف و ب آسیب‌های محتمل در جوش‌های محل اتصال مهاربند نشان داده شده است. دسته‌بندی آسیب‌های محتمل در ورق‌های اتصال مهاربند به تیر و ستون در شکل (۱۷-۲) الف و ب تیر در شکل

(۱۷-۲) ب آمده است. در شکل‌های (۱۸-۲) الف و ب دسته‌بندی‌های آسیب‌های محتمل در مهاربند آورده شده است و در شکل‌های (۱۹-۲) الف و ب آسیب‌های دیگر در اعضای تیر/ ستون در محل اتصال مهاربند دسته‌بندی شده است.

شرح	نوع
پارگی (گسیختگی) در جوش مربوط به اتصال گاست پلیت به تیر یا ناقص بودن آن	W1
پارگی (گسیختگی) در جوش مربوط به اتصال گاست پلیت به ستون یا ناقص بودن آن	W2
پارگی (گسیختگی) در جوش مربوط به اتصال گاست پلیت به مهاربند	W3

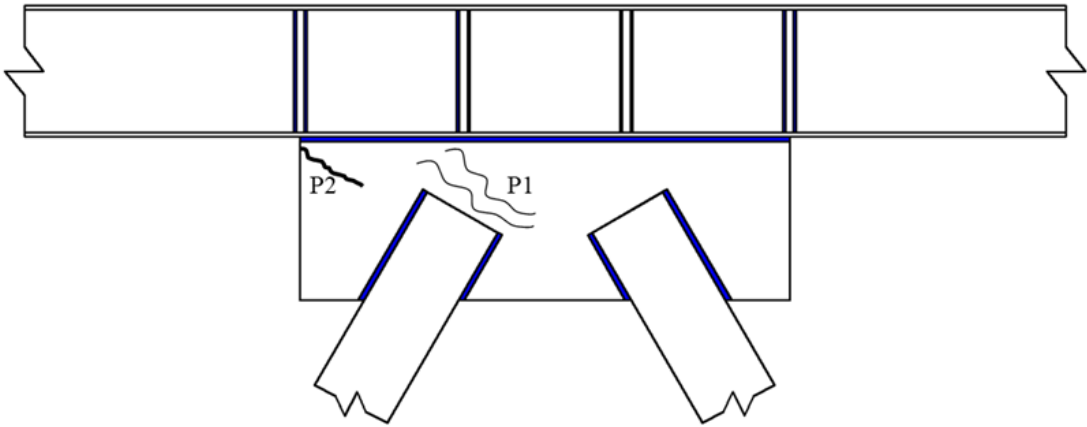
شکل (۲-۱۶-الف): دسته‌بندی آسیب جوش‌ها در محل اتصال مهاربند همگرا

	
W1	پارگی (گسیختگی) در جوش مربوط به اتصال گاست پلیت به مهاربند یا ناقص بودن آن
W2	پارگی (گسیختگی) در جوش مربوط به اتصال گاست پلیت به تیر یا ناقص بودن آن
W3	پارگی (گسیختگی) در جوش مربوط به سخت‌کننده‌ها در تیر یا ناقص بودن آن

شکل (۲-۱۶-ب): دسته‌بندی آسیب در جوش قاب‌های فولادی دارای مهاربند همگرا

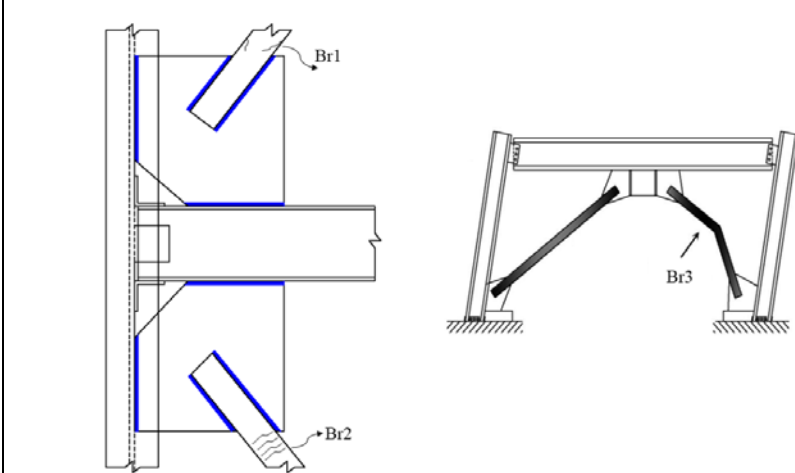
شرح	نوع
پارگی (گسیختگی) در گاست پلیت	P1
کمانش جزئی - تغییر شکل گاست پلیت	P2

شکل (۲-۱۷-الف): دسته‌بندی آسیب در ورق‌های اتصال در محل اتصال مهاربند همگرا به قاب

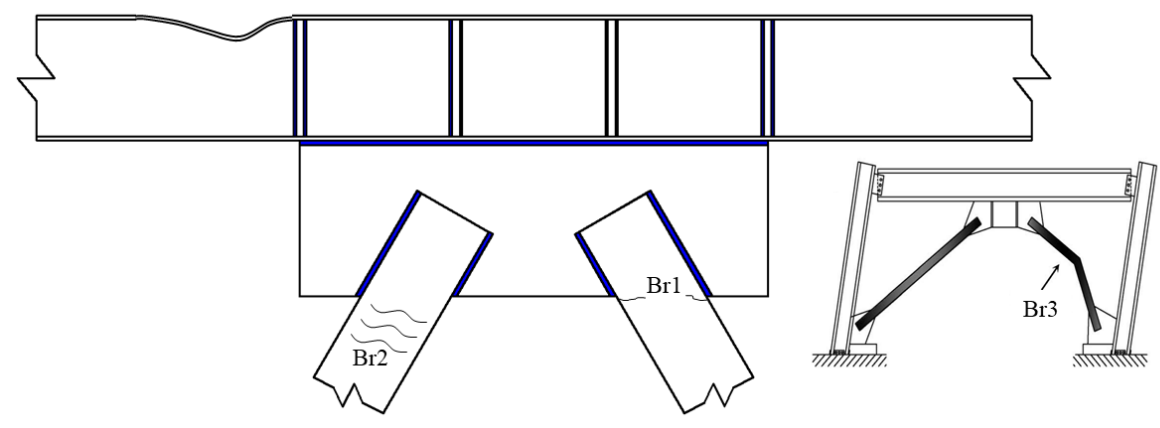
	
P1	کمانش جزئی یا تغییر شکل گاست پلیت
P2	پارگی (گسیختگی) - تغییر شکل در گاست پلیت

شکل (۲-۱۷-ب): دسته‌بندی آسیب در ورق‌های اتصال مهاربند در قاب‌های فولادی دارای مهاربند همگرا

شرح	نوع
پارگی (گسیختگی) جزئی مهاربند	Br1
تغییر شکل یا کمایش جزئی مهاربند	Br2
کمایش کلی مهاربند (درون صفحه- برون صفحه)	Br3

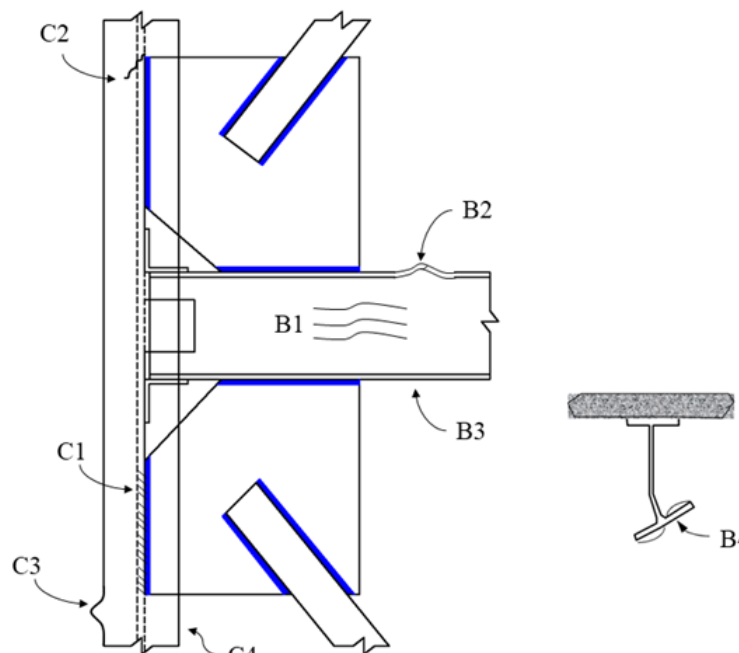


شکل (۲-۱۸-الف): دسته‌بندی آسیب در مهاربندها در قاب دارای مهاربند همگرا

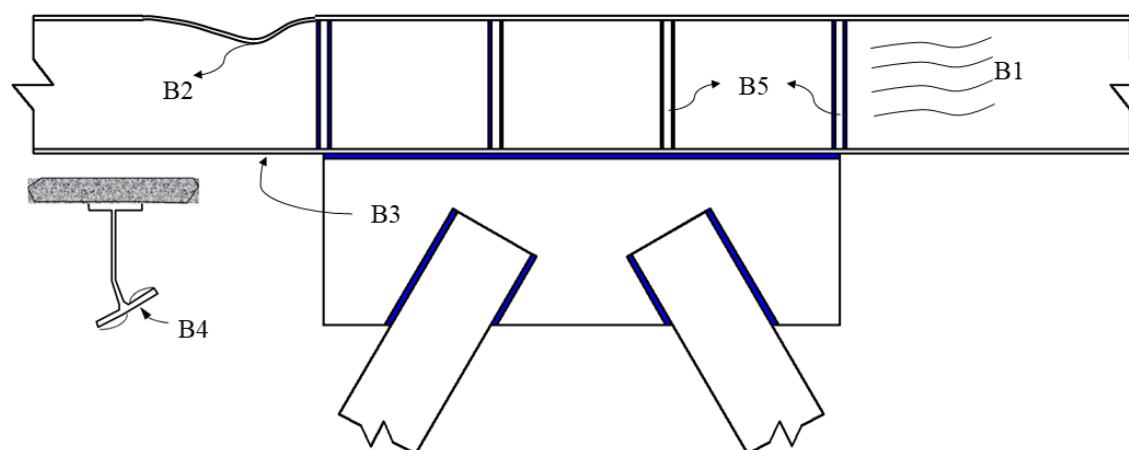
	
پارگی (گسیختگی) جزئی مهاربند	Br1
تغییر شکل یا کمایش جزئی مهاربند	Br2
کمایش کلی مهاربند (درون صفحه- برون صفحه)	Br3

شکل (۲-۱۸-ب): دسته‌بندی آسیب در مهاربندها در قاب‌های فولادی دارای مهاربند همگرا

شرح	نوع
قلوه کن شدن جان ستون	C1
پارگی (گسیختگی) - تغییر شکل جزئی جان ستون	C2
کمانش موضعی-پارگی (گسیختگی) مقطع ستون	C3
تغییر شکل مقطع ستون	C4
کمانش - تغییر شکل جان تیر	B1
کمانش موضعی- پارگی (گسیختگی) بال تیر	B2
تغییر شکل بال تیر	B3
کمانش پیچشی- جانبی تیر	B4



شکل (۲-۱۹-الف): دسته‌بندی آسیب در تیر و ستون در محل اتصال مهاربند همگرا به قاب

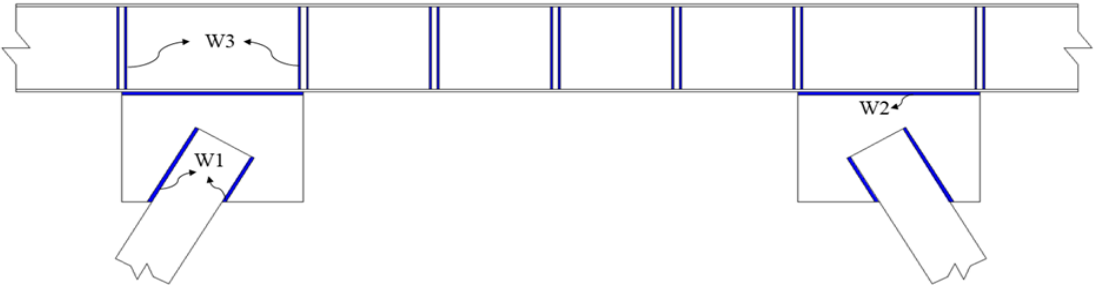


تغییر شکل یا کمانش جان تیر	B1
کمانش موضعی- پارگی (گسیختگی) بال تیر	B2
تغییر شکل بال تیر	B3
کمانش پیچشی- جانبی تیر	B4
هر نوع نقص یا آسیب (گسیختگی-تغییر شکل) در ورق سخت‌کننده‌های تیر	B5

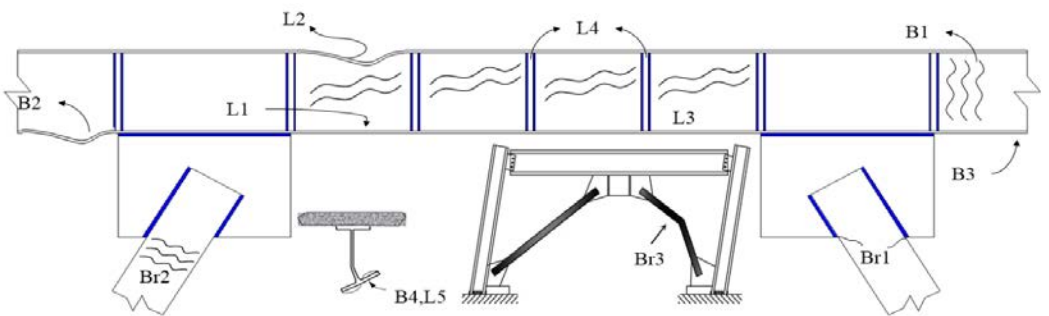
شکل (۲-۱۹-ب): دسته‌بندی آسیب در تیر قاب‌های فولادی دارای مهاربند همگرا

۲-۳-۵-۳- قاب فولادی دارای مهاربند واگرا

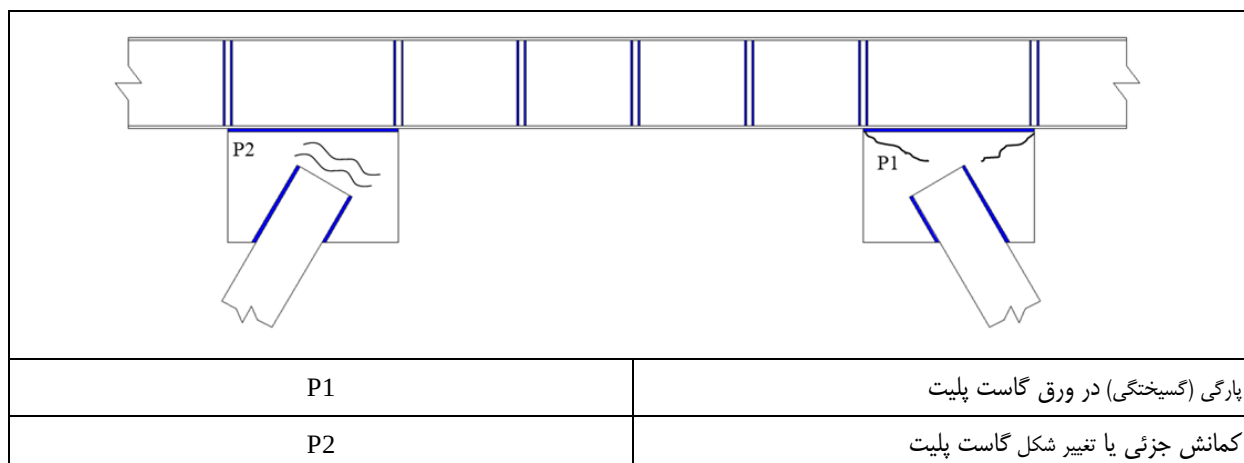
در این بخش به انواع آسیب‌های متداول در قاب‌های مهاربندی واگرا که از سامانه‌های باربر جانبی بسیار پرکاربرد در ایران است اشاره می‌شود (شکل‌های ۲-۲۰، ۲-۲۱ و ۲-۲۲).

	
W1	پارگی (گسیختگی) در جوش مربوط به اتصال گاست پلیت به مهاربند یا ناقص بودن آن
W2	پارگی (گسیختگی) در جوش مربوط به اتصال گاست پلیت به تیر یا ناقص بودن آن
W3	پارگی (گسیختگی) در جوش مربوط به سخت‌کننده‌ها در تیر یا ناقص بودن آن

شکل (۲-۲۰): دسته‌بندی آسیب جوش در قاب مهاربندی واگرا

	
Br1	پارگی (گسیختگی) جزئی مهاربند
Br2	تغییر شکل یا کمانش جزئی مهاربند
Br3	کمانش کلی مهاربند (درون صفحه - برون صفحه)
B1	تغییر شکل - کمانش جان تیر خارج از پیوند
B2	کمانش موضعی - پارگی (گسیختگی) بال تیر خارج از پیوند
B3	تغییر شکل بال تیر خارج از پیوند
B4	کمانش پیچشی - جانبی تیر خارج از پیوند
L1	تغییر شکل بال تیر پیوند
L2	کمانش موضعی - پارگی (گسیختگی) بال تیر پیوند
L3	تغییر شکل - کمانش موضعی جان تیر پیوند
L4	هر نوع نقص یا آسیب (گسیختگی-تغییر شکل) در ورق سخت‌کننده‌های تیر پیوند
L5	کمانش پیچشی - جانبی تیر پیوند

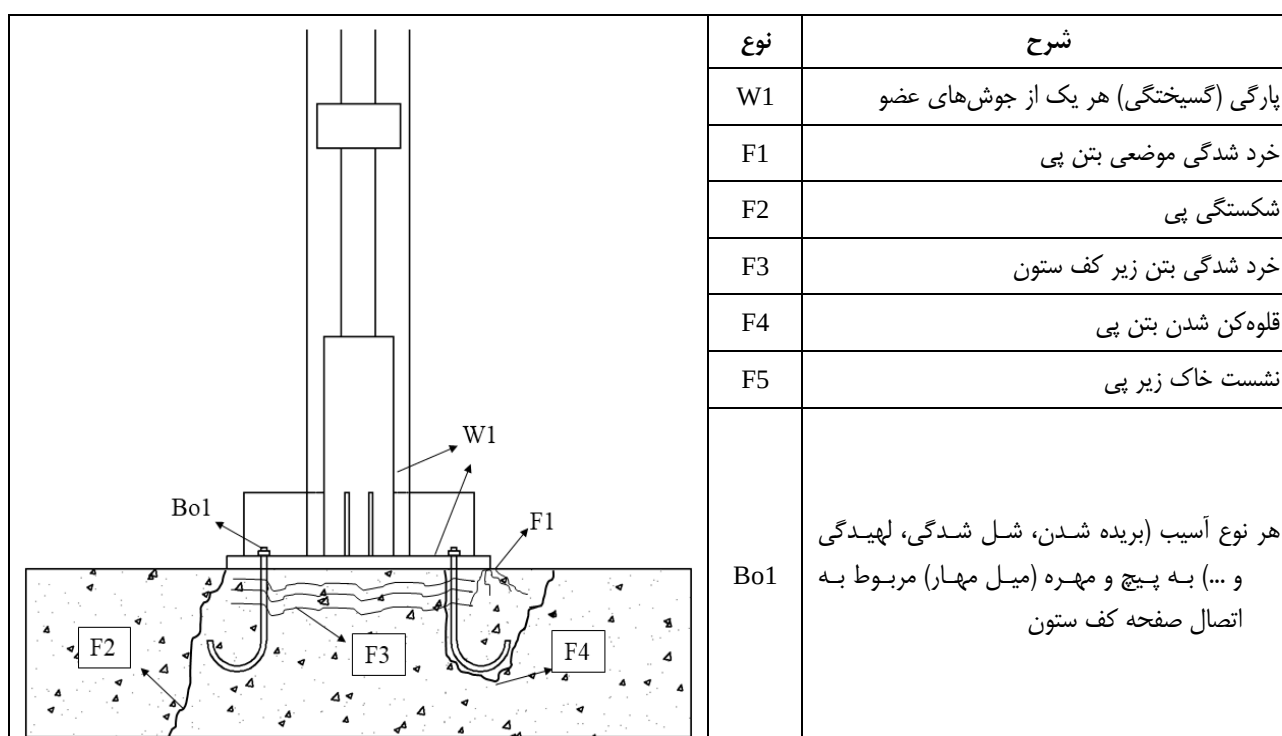
شکل (۲-۲۱): دسته‌بندی آسیب در تیر و مهاربند قاب‌های فولادی دارای مهاربندی واگرا



شکل (۲۲-۲): دسته‌بندی آسیب در ورق‌های اتصال مهاربند در قاب‌های فولادی دارای مهاربند واگرا

۲-۳-۵-۴- سامانه‌ی باربر ثقلی

سامانه‌ی باربر ثقلی شامل؛ تیرها، ستون‌ها و اتصالات است که بسته به نوع سامانه باربرجانبی ممکن است علاوه بر بار ثقلی وظیفه انتقال بار جانبی را نیز داشته باشند. در قسمت‌های پیشین، انواع حالت‌های آسیب در تیرها، ستون‌ها و اتصالات در محدوده‌ی چشمه‌ی اتصال در قاب‌های با سامانه‌ی باربر جانبی قاب خمشی و قاب دارای مهاربندی ارائه شد. در این قسمت، حالت‌های آسیب پر تکرار در محدوده‌ی صفحه‌ی ستون (اتصال ستون با پی) معرفی می‌شود. در شکل (۲۳-۲) دسته‌بندی آسیب‌های محتمل در اتصال صفحه کف ستون به پی ارائه شده است و در شکل (۲۴-۲) آسیب‌های محتمل در پای ستون، ورق اتصال و کف ستون دسته‌بندی شده است.



شکل (۲۳-۲): دسته‌بندی آسیب در اتصال صفحه کف ستون به پی

شرح	نوع
نقص یا پارگی (گسیختگی) هر یک از جوش‌های عضو	W1
تسلیم یا تغییر شکل ورق کف ستون	Bp1
پارگی (گسیختگی) موضعی ورق اتصال کف ستون به ستون	P1
کمانش موضعی - پارگی (گسیختگی) بال ستون	C1
تغییر شکل بال ستون	C2
کمانش یا تغییر شکل جان ستون	C3

شکل (۲-۲۴): دسته‌بندی آسیب در ستون، ورق‌ها و کف ستون

۲-۳-۶- مستندسازی

نتایج ارزیابی‌های گروه بازرسان باید به‌طور کامل و بدون ابهام مستندسازی شود. دست‌نوشته‌ها و ترسیم‌های دستی باید موقعیت قرارگیری اعضا و اجزای آسیب‌دیده‌ی سازه‌ی ساختمان را به‌درستی نشان دهد. در صورت انجام آزمایش، باید موقعیت نمونه‌برداری‌ها، تاریخ و نتایج آزمایش‌ها مشخص باشد. موقعیت ارتفاعی اعضا و اجزای با شرایط نامطلوب نیز باید در محل مناسب درج شود. نتایج آزمایش‌ها باید مطابق با توصیه‌های این راهنما دسته‌بندی شود. تصویر آسیب‌های ساختمان باید بر اساس موقعیت نام‌گذاری، دسته‌بندی و در مجموع تمامی مشاهدات چشمی ثبت شود. نتایج بررسی‌ها باید به‌گونه‌ای سازمان‌دهی شود که بر اجزای سازه‌ای و مودهای رفتاری تمرکز داشته باشد. این سازمان‌دهی، کار تکمیل فرم‌های ثبت آسیب اعضا را که در شکل (۲-۲۵) نشان داده شده، تسهیل می‌کند.

ثبت آسیب‌های وارده به عضو		
شناسه عضو:	نوع عضو:	موقعیت:
طرح و توصیف انواع آسیب‌ها و شدت آن (در صورت لزوم داده‌های تکمیلی را ضمیمه کنید):		
خلاصه نتایج آزمایش (ضمیمه جزئیات):		
ساختمان:	بازرس:	تاریخ بازرسی:

شکل (۲-۲۵): نمونه‌ای از فرم ثبت آسیب‌های اعضا

۲-۴- اثرات پی

انعطاف‌پذیری و تغییر شکل پی در پاسخ لرزه‌ای بسیاری از ساختمان‌های فولادی تأثیرگذار است. در برخی موارد، اثرات پی منتج به کاهش تقاضای نیرو در اعضای اصلی مقاوم در برابر نیروی جانبی، مانند؛ مهاربند یا دیوار برشی می‌شود؛ اما در عین حال انعطاف‌پذیری چرخشی پایه‌ی قاب‌های مهاربندی اغلب منجر به جابجایی‌های جانبی بزرگ‌تر در کل سازه می‌شود. جابجایی‌های نسبی بزرگ‌تر می‌تواند منجر به آسیب‌دیدگی تیرها، ستون‌ها یا دال‌ها شود. شواهدی از این نوع آسیب‌ها ناشی از زلزله‌های گذشته وجود دارد.

نشریات FEMA 273/274 و ATC-40 حاوی توصیه‌هایی در این خصوص برای مدل‌سازی اعضا و اجزای پی، مشابه سایر اجزای سازه‌ای هستند.

انواع حالت‌های آسیب قابل مشاهده در شالوده در اثر زلزله مواردی نظیر؛ خردشدگی بتن، ترک، نشست موضعی و قلوه کن شدن بتن پی است. برای تعمیر موضعی هر یک از حالت‌های آسیب بیان شده، طراح باید اطمینان حاصل نماید که روش تعمیر، توانایی بازگرداندن ظرفیت پی به وضعیت قبل از آسیب را دارد. در برخی موارد بر اساس محاسبات و مدل‌سازی‌های انجام شده، پی موجود ظرفیت کافی برای انتقال نیروهای وارده را ندارد که در این حالت، لازم است ظرفیت پی نسبت به قبل افزایش یابد. برای این منظور می‌توان با استفاده از یک یا ترکیبی از روش‌های به‌سازی خاک همچون؛ به‌سازی شالوده

(پی سطحی) یا بهسازی شمع (پی عمیق) ظرفیت لازم برای انتقال نیروهای وارده به شالوده را تأمین نمود. توصیفی از روش های متعارف برای هریک از موارد بالا در نشریه ۳۶۰ ذکر شده است.

۲-۵- دیافراگم

در بازرسی، بازطراحی و تعمیر دیافراگم‌ها شرایط اتصال ستون به دال و همچنین اتصال دیوار به دال باید با دقت کافی مورد بازرسی قرار گیرد. در صورتی که در محل این اتصالات یا به دلیل کافی نبودن اعضای جمع‌کننده نیروهای وارده، آسیبی در دیافراگم مشاهده شود، لازم است بر اساس شناسایی و تشخیص عامل ایجاد کننده آسیب، روش مناسبی برای تعمیر به کار گرفته شود. در هر حال مهندس طراح باید به روش مناسب از مقاومت و انسجام کافی دیافراگم‌ها اطمینان حاصل نماید.

۲-۶- بازطراحی و ارزیابی

کلیه مراحل مربوط به بازطراحی و ارزیابی ساختمان‌های فولادی آسیب‌دیده در زلزله که بر اساس روش‌های ارائه شده در این راهنما قابل تعمیر تشخیص داده شود، باید بر اساس ضوابط این قسمت انجام شود. در ادامه مهم‌ترین موضوعات در این خصوص ارائه شده است:

(الف) مرجع بازطراحی: مدل سازی باید به گونه‌ای باشد که بتواند رفتار غیر ارتجاعی اعضا را به درستی مدل نماید. به این منظور رعایت ضوابط مرتبط در نشریه شماره ۳۶۰ برای مدل‌سازی رفتار غیر ارتجاعی اعضای فولادی ضروری است.

(ب) مرجع ارزیابی: در ارزیابی رفتار عمومی ساختمان و کنترل معیارهای پذیرش در هر یک از اعضا، در هر یک از اهداف تعمیر ارائه شده در فصل کلیات، ضوابط فصل ارزیابی ساختمان‌های فولادی در نشریه شماره ۳۶۰، با منظور نمودن ضرایب کاهنده ارائه شده در این راهنما مدنظر قرار گیرد.

(پ) تخصیص ضرایب کاهنده برای عضو تعمیری: تعمیرات موضعی که بر روی اعضای آسیب‌دیده انجام می‌شود در بسیاری از موارد نمی‌تواند عضو را به وضعیت قبل از آسیب خود برگرداند. برای این منظور در این راهنما برای مدل کردن رفتار اعضای نیرو کنترل و اعضای تغییر شکل کنترل، ضرایب اصلاحی و کاهنده پیشنهاد شده است. مقادیر ضرایب اصلاحی کاهنده بر اساس مدل‌های تحلیلی پیشین و آزمایش‌هایی که بر روی نمونه‌های محدود انجام پذیرفته است، به صورت زیر پیشنهاد می‌شود:

۱. مقاومت کلیه اعضای نیرو کنترلی که دچار آسیب شده و لازم است تا به صورت موضعی تعمیر شود، باید تقلیل داده شود. به همین منظور، مقاومت این اعضا باید در ضریب کاهنده $0/9$ ضرب شود.
۲. اعضای تغییر شکل کنترلی که دچار آسیب شده و لازم است تا به صورت موضعی تعمیر شود، نیازی به اعمال ضریب کاهشی برای مقاومت یا شکل‌پذیری آنها نیست؛ اما باید پارامترهای مربوط به معیارهای پذیرش آنها در ضریب کاهنده $0/9$ ضرب شود.

به غیر از مواردی که در بالا اشاره شد، بقیه‌ی ضوابط و موارد لازم برای مدل‌سازی به‌گونه‌ای که بتواند رفتار غیر ارتجاعی اعضا را به درستی منظور نماید، بر اساس ضوابط و پارامترهای ارائه شده در مدل‌سازی به روش غیرخطی دستورالعمل به‌سازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه ۳۶۰)، مدنظر قرار می‌گیرد. بر این اساس مدل غیرخطی، سازه‌ی تعمیر شده باید مبتنی بر مشخصات اعضا در نشریه ۳۶۰ سازمان برنامه و بودجه و فرضیات بیان شده، ساخته شود و برای ارزیابی معیارهای پذیرش مورد استفاده قرار گیرد. در مدل‌سازی اتصال آسیب‌دیده که امکان جایگزینی یا تعمیر آن وجود ندارد لازم است از ظرفیت باقیمانده آن برای اطمینان صرف‌نظر شود. برای نمونه، مدل‌سازی یک اتصال خمشی آسیب‌دیده می‌تواند در نرم افزار به‌صورت یک اتصال مفصلی در نظر گرفته شود.

ت) تخصیص ضرایب کاهنده برای اعضای بدون آسیب: مقاومت کلیه‌ی اعضای نیرو کنترل‌ی که دچار آسیب نشده اند نیز باید تقلیل داده شود. به همین منظور، مقاومت این اعضا باید در ضریب کاهنده $0/9$ ضرب شود. برای اعضای تغییر شکل کنترل‌ی که دچار آسیب نشده‌اند نیازی به اعمال ضریب کاهنده برای مقاومت یا شکل‌پذیری آنها نیست؛ اما باید پارامترهای مربوط به معیارهای پذیرش اعضای تغییر شکل کنترل در ضریب کاهنده $0/9$ ضرب شود.

ث) در صورت فقدان معیار پذیرش برای عضو تعمیری: در صورت عدم دستیابی به معیارهای پذیرش مورد نظر در ارزیابی مدل تحلیلی سازه‌ی تعمیر شده، به‌جای تعمیر موضعی عضو آسیب‌دیده، از تقویت، جایگزینی یا راهبردهای دیگر استفاده شود. در این خصوص روش‌هایی برای تعمیر در بند (۲-۷) پیشنهاد شده است.

ج) ضوابط پذیرش اعضای نیرو کنترل تعمیری: در کلیه تحلیل‌های انجام گرفته بر اساس ضوابط این دستورالعمل اعضای نیرو کنترل که دچار آسیب شده است با فرض منظور کردن ضرایب کاهشی برای مقاومت آنها (بدون ضریب کاهش سختی) باید بتوانند تلاش‌های وارد شده بر خود را با فرض عدم لحاظ کردن ضرایب کاهشی در رفتار اعضای تغییر شکل کنترل نیز تحمل کنند.

۲-۷- روش‌های تعمیر و تقویت

روش‌های تعمیر و تقویت اعضا و اجزای ساختمان‌های فولادی آسیب‌دیده در زلزله در این فصل شامل موارد زیر می‌باشد؛

الف) تعمیر و تقویت موضعی اعضا: تعمیر به معنای بازگرداندن عضو به شرایط پیش از آسیب و تقویت به معنای تأمین ظرفیتی بیش از ظرفیت اولیه‌ی عضو است که این اصلاحات مطابق با موارد بیان شده در بند ۲-۷-۲ و ۳-۷-۲ مدنظر است.

ب) تقویت کلی سامانه‌ی باربر جانبی: در این روش، مهندس طراح علاوه بر استفاده از مورد (الف)، ظرفیت باربری جانبی سازه را از طریق افزودن اعضای باربر جانبی، مانند اعضای قابی (تیر یا ستون)، دیوار برشی، مهاربند یا وسایل کنترل لرزه‌ای، مطابق با موارد بیان شده در بند ۲-۷-۴ افزایش می‌دهد.

پ) ایجاد یک سامانه‌ی باربر جانبی جدید: در این روش، مهندس طراح بدون مداخله در سامانه‌ی آسیب‌دیده‌ی موجود، برای ساختمان مورد بررسی یک سامانه‌ی جدید باربر جانبی برای تحمل بارهای جانبی طراحی می‌نماید.

۲-۷-۱- راهبردهای تعمیر

در بازطراحی و تعمیر لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی آسیب‌دیده از زلزله، به‌رغم تمرکز این بخش بر روش‌های اجرایی تعمیر و تقویت اعضای سازه‌ای، راهبردهای بهسازی مطابق با نشریه ۳۶۰ سازمان برنامه و بودجه، همچون سبک‌سازی، تغییر کاربری و امثال این‌ها نیز قابل پیاده‌سازی است. راهبردهای کلی تعمیر سازه را می‌توان در کاربرد تک یا تلفیقی چهار شاخص زیر معرفی نمود:

(الف) مقاومت کلی. مقاومت کلی یک ساختمان، بیشینه ظرفیت آشکار و ذخیره‌ی حاصل از کلیه‌ی اعضا و اتصالات آن ساختمان است. این مقدار، مشخص‌کننده‌ی حد نهایی مجموع نیروهای جانبی است که آن ساختمان می‌تواند تحمل نماید. اگرچه در مواردی، ظرفیت شکل‌پذیری ساختمان می‌تواند تا اندازه‌ای ضعف مقاومت کلی ساختمان را پوشش دهد، اما ناکافی بودن مقاومت کلی ساختمان، عامل اصلی آسیب‌های جدی سازه‌ای و غیرسازه‌ای وارد به آن است

(ب) سختی کلی. سختی کلی یک ساختمان، برابر با ظرفیت آن در برابر تغییر شکل جانبی است. این تغییر شکل به‌خصوص در جابجایی نسبی طبقات، ایجاد آسیب در اجزای غیرسازه‌ای و بعضاً ضربه زدن به ساختمان مجاور اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند. ناکافی بودن سختی کلی ساختمان می‌تواند سبب وارد آمدن آسیب‌های جدی به سازه‌ی ساختمان، به‌خصوص به اتصالات، فروریزش اجزای غیرسازه‌ای، مانند؛ تیغه‌ها و پوشش آن‌ها، تشدید اثرات جابجایی ثانویه و ایجاد ضربه‌های ناشی از برخورد احتمالی دو ساختمان مجاور شود. اقدامات معمول در زمینه‌ی تأمین سختی کلی ساختمان، شامل؛ بهسازی قاب‌های موجود یا ایجاد اجزای قائم باربر جانبی است.

(پ) شکل‌پذیری کلی. شکل‌پذیری کلی یک ساختمان، توان تحمل تغییرشکل‌های بزرگ و ظرفیت جذب انرژی ورودی، بدون فروپاشی اجزای سازه‌ای ساختمان است. در واقع، با افزایش شکل‌پذیری می‌توان فروپاشی اجزای ساختمان را به تأخیر انداخت. تأمین شکل‌پذیری برای یک ساختمان، یکی از پارامترهای مهم در پاسخ‌گویی به معیارهای پذیرش نشریه ۳۶۰ است، به‌گونه‌ای که با جابجایی بام ساختمان به اندازه‌ی تغییر مکان هدف، معیارهای پذیرش برای اعضا کنترل شود. اقدامات معمول برای افزایش شکل‌پذیری شامل؛ تقویت اتصالات، تعبیه‌ی اعضای با ظرفیت تغییرشکلی بالا یا استفاده از سامانه‌های کنترلی برای جذب انرژی ورودی به ساختمان است.

(ت) پیکربندی. پیکربندی یک ساختمان، به چگونگی ارتباط میان اعضا و نحوه‌ی انتقال مناسب و سریع بارهای وارده تا شالوده‌ی ساختمان اشاره دارد. ارتباط بسیاری از آسیب‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای در ساختمان‌ها، به دلیل رعایت نکردن معیارهای ساده و منطقی برای ایجاد یک پیکربندی مناسب است. پیکربندی مناسب، با پرهیز از پیچیدگی سازه‌ای، مسیرهای مستقیمی برای انتقال نیروها از طبقات به پی ایجاد نموده و از عوامل مهم توزیع یکنواخت بارهای ثقلی و جانبی است. در واقع، رویدادهایی چون عدم پیوستگی در مسیر انتقال بار، وجود طبقه‌ی نرم، ایجاد پیچش در ساختمان و مواردی مانند این‌ها نشانگر پیکربندی نامناسب ساختمان است. اقدامات معمول برای اصلاح پیکربندی ساختمان شامل؛ کوتاه نمودن مسیرهای انتقال بار، یا افزودن اعضای جدید برای منظم نمودن توزیع قاب‌های سازه‌ای است.

۲-۷-۲- روش تعمیر مبتنی بر نتایج معیار پذیرش

معیار پذیرش یک ساختمان فولادی آسیب‌دیده در زلزله، بر اساس نتایج حاصل از بازطراحی و ارزیابی بند (۲-۶) در قالب یکی از سه گزینه‌ی زیر قابل بررسی است:

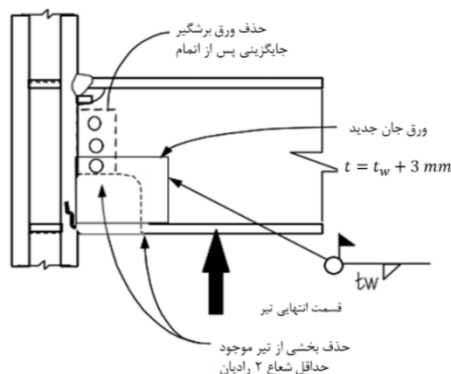
الف) تأمین معیارهای پذیرش در ساختمان فولادی: در صورتی که با رفع آسیب و بازگرداندن شرایط اعضا به وضعیت پیش از رویداد زلزله (با منظور نمودن ضرایب کاهنده)، معیارهای پذیرش موضوع پیوست ۳ این راهنما تأمین شود. انجام تعمیر موضعی اعضای آسیب‌دیده در سازه به تنهایی کفایت لازم را دارد. روش‌های تعمیر، برای انواع سطوح آسیب در اعضای یک ساختمان فولادی، در قالب تعمیر موضعی عضو آسیب‌دیده، در بند ۲-۷-۳ برای ساختمان‌های فولادی ارائه شده است.

ب) عدم تأمین معیارهای پذیرش در ساختمان فولادی: در صورتی که با رفع آسیب و بازگرداندن شرایط اعضا به وضعیت پیش از رویداد زلزله (با منظور نمودن ضرایب کاهنده)، معیارهای پذیرش موضوع پیوست ۳ این راهنما تأمین نشود، در این صورت لازم است انجام مطالعات بهسازی لرزه‌ای با هدف تعمیر اعضای آسیب‌دیده و ارتقاء هم‌زمان عملکرد اعضا و سازه‌ی موردنظر انجام پذیرد. چنانچه ساختمان بر اساس تحلیل‌ها و معیارهای مورد نظر این راهنما، دارای ضعف از نظر سختی، مقاومت و شکل‌پذیری باشد، باید بر اساس روش‌های ارائه شده در بخش تعمیر کلی، موضوع بند ۲-۷-۴ برای ساختمان‌های فولادی تعمیر و بازطراحی شود.

پ) عدم احراز معیارهای پذیرش در ساختمان فولادی: در صورتی که انجام تعمیرات موضعی نقاط آسیب‌دیده یا برداشت اطلاعات دقیق این نقاط امکان‌پذیر نباشد، لازم است مهندس طراح اقدامات لازم برای تعمیر ساده‌ی ساختمان آسیب‌دیده را بر اساس بند ۲-۷-۵ برای ساختمان‌های فولادی انجام دهد. در این صورت با ایجاد یک سامانه‌ی باربر جانبی جدید، ساختمان تعمیر خواهد شد و نیازی به تعمیر موضعی اعضای آسیب‌دیده‌ی سامانه‌ی باربر پیشین وجود ندارد.

۲-۷-۳- تعمیر موضعی

روش‌های تعمیر موضعی برای مودهای آسیب که در بند (۲-۳-۵) معرفی شده است، در جدول‌های (۲-۲ تا ۲-۶) پیشنهاد می‌شود. در برخی موارد ممکن است برای ایجاد دسترسی به محدوده‌ی آسیب و تعمیر آن، بخشی از یک عضو مطابق شکل (۲-۲۶) حذف شود.



شکل (۲-۲۶): نمایی از نقاط حذف شده‌ی تیر برای دسترسی و تعمیر ستون

جدول (۲-۲): روش‌های تعمیر اتصال خمشی با ورق روسری و زیرسری

نوع آسیب	شماره شکل آسیب	شرح تعمیر	جزئیات تعمیر
W1	۷-۲	حذف جوش ناقص یا جوش شکسته شده و جایگزینی آن با جوش جدید	شکل ۲-۲۷ شکل ۲-۲۸ شکل ۲-۲۹ تبصره ۱
W2			
W3			
W4			
W5			
W6			
W7			
W8			
W9			
W10			
P1	۸-۲	تعویض ورق	تبصره ۲
P2			
P3			
P4			
P5			
P6			
C1	۹-۲	حذف قسمت آسیب‌دیده و جایگزینی آن با ورق	شکل ۲-۳۱
C2			
C3			
B1	۹-۲	اضافه کردن سخت‌کننده و تعویض بال	شکل ۲-۳۴ شکل ۲-۳۵ شکل ۲-۳۶
B2			
B3	۹-۲	اضافه کردن سخت‌کننده تعویض جان و اضافه کردن سخت‌کننده	شکل ۲-۳۸ شکل ۲-۳۹
B4	۹-۲	تعویض عضو	تبصره ۳
Pa1	۱۰-۲	حذف و جایگزینی ورق‌های اتصال	تبصره ۲
Pa2	۱۰-۲	حذف و جایگزینی جان تغییر شکل یافته	شکل ۲-۳۳
Pa3	۱۰-۲	حذف فلز پایه در ناحیه آسیب‌دیده و جایگزینی با جوش	شکل ۲-۳۲
Pa4			
Pa5			
Pa6	۱۰-۲	حذف قسمت آسیب‌دیده و جایگزینی آن با ورق	شکل ۲-۳۳
Pa7			
Pa8			

جدول (۳-۲): روش‌های تعمیر/اتصال خم‌شی با پیچ و جوش

نوع آسیب	شماره شکل آسیب	شرح تعمیر	جزئیات تعمیر
W1	۱۱-۲	حذف جوش ناقص و جایگزینی آن با جوش جدید	شکل ۲-۲۷ شکل ۲-۲۸
W2	۱۱-۲	حذف جوش شکسته و جایگزینی با جوش جدید	شکل ۲-۲۹
W3			
W4			
C1	۱۲-۲	تخلیه فلز پایه و جایگزینی آن با جوش	شکل ۲-۳۰
C2	۱۲-۲	حذف قسمت آسیب‌دیده و جایگزینی آن با ورق	شکل ۲-۳۱
C3	۱۲-۲	تخلیه فلز پایه و جایگزینی آن با جوش	شکل ۲-۳۰
C4	۱۲-۲	تخلیه فلز پایه و جایگزینی آن با جوش	شکل ۲-۳۰
C5	۱۲-۲	حذف قسمت آسیب‌دیده و جایگزینی آن با ورق	شکل ۲-۳۱
C6	۱۲-۲		شکل ۲-۳۳
C7	۱۲-۲	تخلیه فلز پایه و جایگزینی آن با جوش	شکل ۲-۳۰
Pa1	۱۳-۲	حذف و جایگزینی ورق آسیب‌دیده	تبصره ۲
Pa2	۱۳-۲	حذف جوش ناقص و جایگزینی آن با جوش جدید	شکل ۲-۲۸ شکل ۲-۲۹
Pa3	۱۳-۲	حذف جان و جایگزینی	شکل ۲-۳۳
Pa4	۱۳-۲	حذف جوش ناقص و جایگزینی آن با جوش جدید	شکل ۲-۲۸ شکل ۲-۲۹
Pa5	۱۳-۲	حذف فلز پایه در ناحیه آسیب‌دیده و جایگزینی با جوش	شکل ۲-۳۲
Pa6			
Pa7			
Pa8	۱۳-۲	حذف قسمت آسیب‌دیده و جایگزینی آن با ورق	شکل ۲-۳۳
Pa9			
S1	۱۴-۲	حذف جوش ناقص یا جوش شکسته شده و جایگزینی آن با جوش جدید	شکل ۲-۲۷ شکل ۲-۲۸ شکل ۲-۲۹ تبصره ۱
S2			
S3	۱۴-۲	تعویض ورق برش گیر	تبصره ۲
S4			
S5	۱۴-۲	جایگزینی پیچ	-
S6	۱۴-۲	حذف جوش ناقص یا جوش شکسته شده و جایگزینی آن با جوش جدید	شکل ۲-۲۷ شکل ۲-۲۸ شکل ۲-۲۹ تبصره ۱
B1	۱۵-۲	اضافه کردن سخت‌کننده	شکل ۲-۳۴
B2	۱۵-۲	تعویض بال و اضافه کردن سخت‌کننده	شکل ۲-۳۵ شکل ۲-۳۶
B3			
B4			
B5	۱۵-۲	اضافه کردن سخت‌کننده یا تعویض جان	شکل ۲-۳۸ شکل ۲-۳۹
B6			
B7	۱۵-۲	حذف و جایگزینی کل یا بخشی از تیر	تبصره ۳

جدول (۲-۴): روش‌های تعمیر در قاب مهاربندی

نوع آسیب	شماره شکل آسیب	شرح تعمیر	جزئیات تعمیر
W1	۱۶-۲-الف ۱۶-۲-ب	حذف جوش ناقص و جایگزینی آن با جوش جدید	شکل ۲-۲۷
W2			شکل ۲-۲۸
W3			تبصره ۱
P1	۱۶-۲-الف ۱۶-۲-ب ۱۷-۲-الف ۱۷-۲-ب	حذف و جایگزینی گاست پلیت	تبصره ۲
P2			
Br1	۱۸-۲-الف	حذف و جایگزینی مهاربند	تبصره ۵
Br2			
Br3			
C1	۱۹-۲-الف	تعویض و تقویت جان	شکل ۲-۳۷
C2			تبصره ۴
C3	۱۹-۲-الف	حذف قسمت آسیب‌دیده و جایگزینی آن با ورق	شکل ۲-۳۱
C4			شکل ۲-۳۳
B1	۱۹-۲-الف	اضافه کردن سخت‌کننده یا تعویض جان	تبصره ۶ شکل ۲-۳۸ شکل ۲-۳۹
B2	۱۹-۲-الف	تعویض بال و اضافه کردن سخت‌کننده	شکل ۲-۳۴
B3			شکل ۲-۳۵ شکل ۲-۳۶
B4	۱۹-۲-الف	حذف و جایگزینی کل یا بخشی از تیر	تبصره ۳
B1	۱۹-۲-ب	حذف و جایگزینی تیر	تبصره ۷
B2			
B3			
B4			
B5			

تبصره ۱: چنانچه در بخشی از هر یک از خطوط جوش موجود، نقص یا آسیبی وجود داشته باشد، باید آن بخش از خط جوش به همراه مقداری از فلز پایه حذف و لبه سازی مجدد شود. لبه‌زنی معمولاً به کمک روش‌های استاندارد نظیر؛ سنگ زنی، ماشین‌کاری یا با استفاده از هوا برش (پلاسما) انجام می‌گیرد. پس از لبه‌سازی مطابق کلیه ضوابط مربوطه می‌باید آن ناحیه با جوشکاری مناسب پُر شود. بعد جوش جدید ایجاد شده در اتصال، باید بر اساس آخرین ویرایش مبحث دهم مقررات ملی مشخص شود.

تبصره ۲: در صورتی که نیاز به تعویض ورق‌های آسیب‌دیده در اتصال باشد باید با روش‌های استاندارد نظیر؛ سنگ‌زنی، ماشین‌کاری یا با استفاده از هوا برش (پلاسما) ورق‌های آسیب‌دیده حذف شده، ابعاد ورق و جوش‌های مربوط به آن بر اساس آخرین ویرایش مبحث دهم مقررات ملی تعیین و جایگزین شود.

تبصره ۳: در حالتی که تیر دچار کمانش پیچشی-جانبی شده باشد، باید بخش آسیب‌دیده‌ی تیر یا کل طول تیر جایگزین شود. در صورتی که ابعاد تیر بر اساس مدل‌سازی‌ها و روابط موجود در ضوابط فنی مبنای مطالعه، به‌درستی انتخاب شده باشد، نیازی به تعویض کل آن نبوده و می‌توان با تعویض بخش آسیب‌دیده‌ی آن، تیر را تعمیر (جایگزین) کرد. در صورت حذف کل یا بخشی از تیر آسیب‌دیده، باید تمام تمهیدات لازم اندیشیده شود تا بار انتقالی به تیر از طریق ایمن به اعضای دیگر سازه منتقل شود.

تبصره ۴: در گام اول باید کلیه‌ی نازک‌کاری‌ها و مصالح اطراف محل آسیب حذف شود. سپس جان ستون با استفاده از روش‌های استاندارد نظیر؛ سنگ‌زنی، ماشین‌کاری یا با استفاده از هوا برش (پلاσμα) بریده شود. میزان بریدگی جان ستون باید به ابعادی باشد که تمام نواحی تغییر شکل یافته را پوشش دهد. سپس ورق به ضخامت حداقل $1/5$ برابر ضخامت جان با اتصال پوششی لب به لب در ناحیه‌ی بریده شده اضافه شود. دور تا دور این ورق باید به‌صورت کامل و در صورت دسترسی در دو طرف جوش شود. سپس با حداقل دو سخت‌کننده، این ورق به بال ستون متصل شود.

تبصره ۵: اتصال مهاربند به ورق اتصال باید با روش‌های استاندارد نظیر؛ سنگ‌زنی، ماشین‌کاری یا با استفاده از هوا برش (پلاσμα) انجام شود. بر اساس مدل‌سازی‌ها و آیین‌نامه‌های موجود، ابعاد مهاربند جدید تعیین و سپس نصب شود. نکته‌ی مهم در حذف و نصب دوباره‌ی مهاربند مربوط به توالی انجام این امر در ساختمانی است که تعدادی از مهاربندهای آن دچار آسیب شده است. از این‌رو، باید این توالی به‌گونه‌ای انتخاب شود تا باعث ایجاد پیچش یا طبقه‌ی نرم یا حذف کلیه اعضای باربر جانبی در یک راستا در ساختمان نشود. همچنین لازم است برای جلوگیری از آسیب در پس‌لرزه‌های احتمالی، این عملیات با توالی مناسب و در فاصله‌ی زمانی کوتاه انجام پذیرد.

تبصره ۶: به علت وجود ورق‌های اتصال در انتهای مهاربند متصل به تیر، ممکن است در جان تیر آسیب‌هایی همچون؛ پارگی (گسیختگی) یا کمانش موضعی مشاهده شود. راهکار ارائه شده برای تعمیر این نوع آسیب، به سطح آسیب وارده بستگی دارد. اگر در جان تیر تنها پارگی (گسیختگی) بدون کمانش موضعی مشاهده شود، تنها کافی است سه عدد سخت‌کننده در ابتدا، وسط و انتهای ناحیه‌ی آسیب‌دیده قرار داده شده و به جان و بال تیر جوش شود. طول این سخت‌کننده‌ها برابر ارتفاع جان بوده و ضخامتی به‌اندازه‌ی ۲ برابر ضخامت جان دارد (شکل ۲-۳۸). چنانچه در جان تیر، آسیب وارده باعث ایجاد کمانش‌های موضعی شده باشد، باید ابتدا قسمت آسیب‌دیده جدا شود و ورقی به ابعاد آن ناحیه و ضخامت $1/5$ برابر جان در آن جایگزین شود. همچنین لازم است سه عدد سخت‌کننده همانند؛ روش قبل (پارگی) در جان تیر اضافه شود (شکل ۲-۳۹).

تبصره ۷: قبل از هر اقدامی در راستای حذف و جایگزینی تیر باید از نحوه‌ی تیر ریزی سقف در محدوده‌ی تیر اطلاعات لازم کسب شود و این اطمینان حاصل شود که تیر مورد بحث در انتقال بارهای ثقلی مشارکتی نداشته باشد. در غیر این صورت، قبل از حذف تیر باید از سازه‌های موقتی برای انتقال بار ثقلی وارده بر تیر استفاده شود. کلیه‌ی مراحل مربوط به حذف تیر باید بر اساس روش‌های استاندارد نظیر؛ سنگ‌زنی، ماشین‌کاری یا با استفاده از هوا برش (پلاσμα) انجام پذیرد. زمان در انجام این عملیات بسیار مهم است. لازم است قبل از انجام هرگونه عملیات حذف تیر کلیه‌ی مراحل مربوط به تهیه

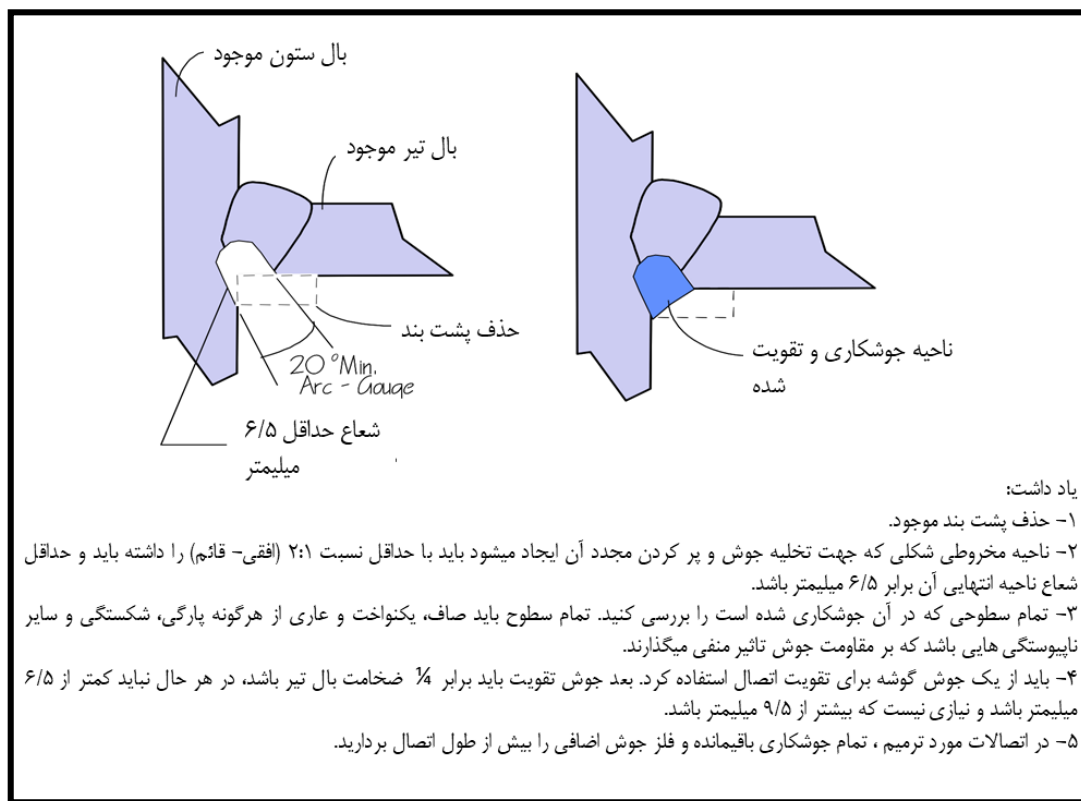
ی تیر و ایجاد سازه‌های موقت جایگزین برای حمل بار ثقلی انجام شده با شد تا به سرعت، عملیات تعویض انجام شود. در صورت لزوم، تعویض چندین تیر در یک سازه باید به گونه‌ای باشد که در صورت وقوع پس‌لرزه، ساختمان دچار ناپایداری، پیچش یا آسیب مضاعف نشود. ابعاد تیر جدید باید بر اساس مدل‌سازی و آخرین ویرایش ضوابط مبنای طراحی انتخاب شود.

جدول (۲-۵): روش‌های تعمیر در قاب مهاربندی (واگرا)

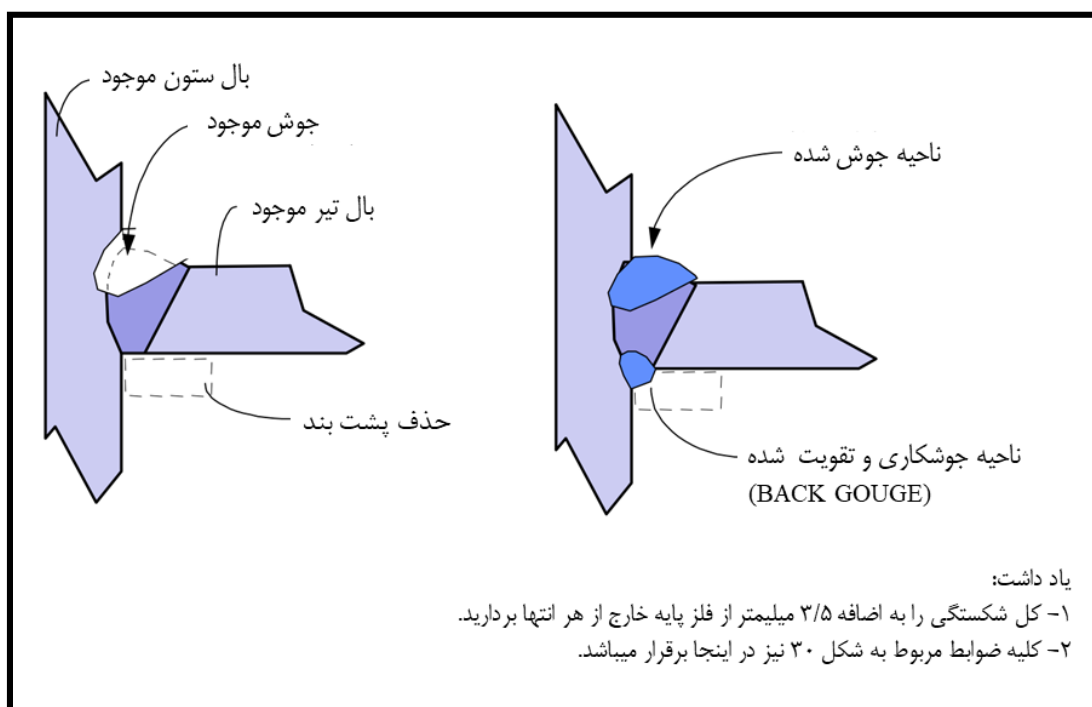
نوع آسیب	شماره شکل آسیب	شرح تعمیر	جزئیات تعمیر
W1	۲۰-۲	حذف جوش ناقص و جایگزینی آن با جوش جدید	شکل ۲-۲۸
W2			شکل ۲-۲۹
W3			تبصره ۱
Br1	۲۲-۲	حذف و جایگزینی مهاربند	تبصره ۵
Br2			
Br3			
B1	۲۱-۲	اضافه کردن سخت‌کننده یا تعویض جان	تبصره ۶ شکل ۲-۳۸ شکل ۲-۳۹
B2	۲۱-۲	تعویض بال و اضافه کردن سخت‌کننده	شکل ۲-۳۴ شکل ۲-۳۵ شکل ۲-۳۶
B3			
B4	۲۱-۲	حذف و جایگزینی کل یا بخشی از تیر	تبصره ۳
L1	۲۱-۲	حذف و جایگزینی تیر	تبصره ۷
L2			
L3			
L4			
L5			
P1	۲۲-۲	حذف و جایگزینی گاست پلیت	تبصره ۲
P2			

جدول (۲-۶): روش‌های تعمیر در سامانه‌ی باربر ثقلی

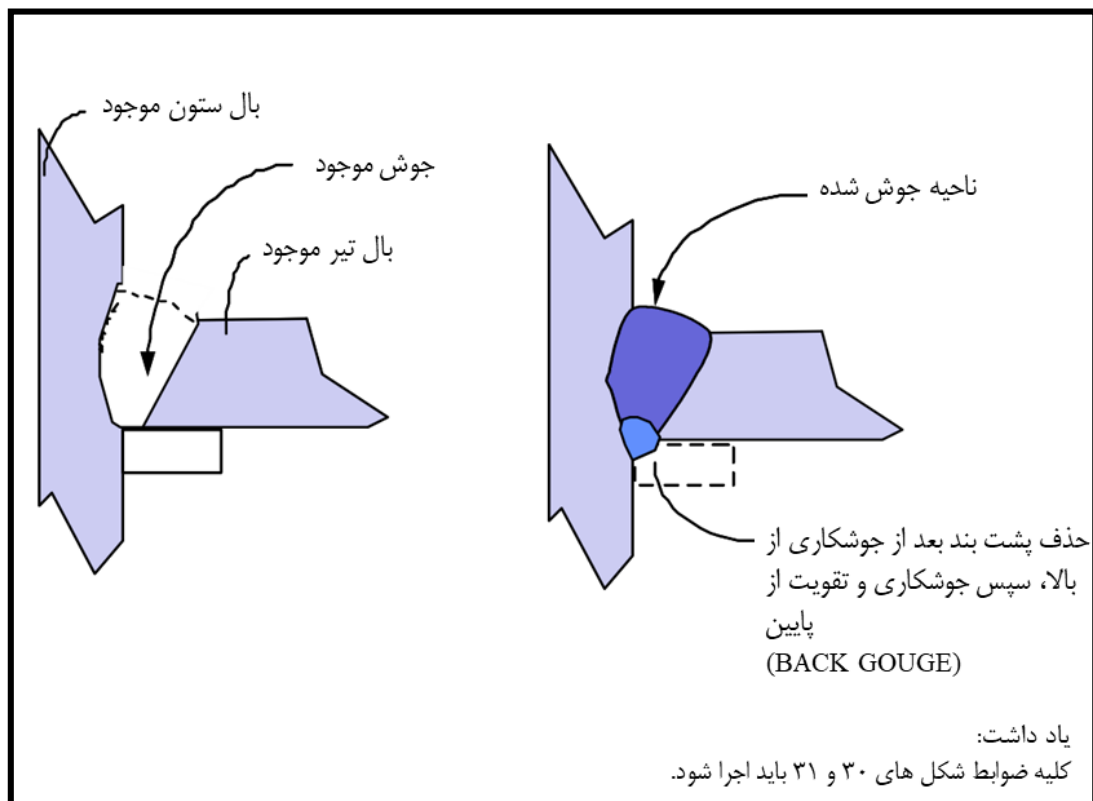
نوع آسیب	شماره شکل آسیب	شرح تعمیر	جزئیات تعمیر
W1	۲۳-۲ ۲۴-۲	حذف جوش ناقص و جایگزینی آن با جوش جدید	شکل ۲-۲۷ شکل ۲-۲۸ تبصره ۱
F1	۲۳-۲	حذف ناحیه آسیب‌دیده و جایگزینی	-
F2			
F3	۲۳-۲	افزایش سطح کف ستون	-
F4	۲۳-۲	تزریق بتن - سوراخ‌کاری - کاشت آرماتور	-
F5	۲۳-۲	افزایش ابعاد پی	-
Bo1	۲۳-۲	کاشت میله مهار	-
Bp1	۲۴-۲	اضافه کردن سخت‌کننده	-
P1	۲۴-۲	حذف و جایگزینی	تبصره ۲
C1	۲۴-۲	حذف قسمت آسیب‌دیده و جایگزینی آن با ورق	شکل ۲-۳۱
C2			شکل ۲-۳۳
C3			



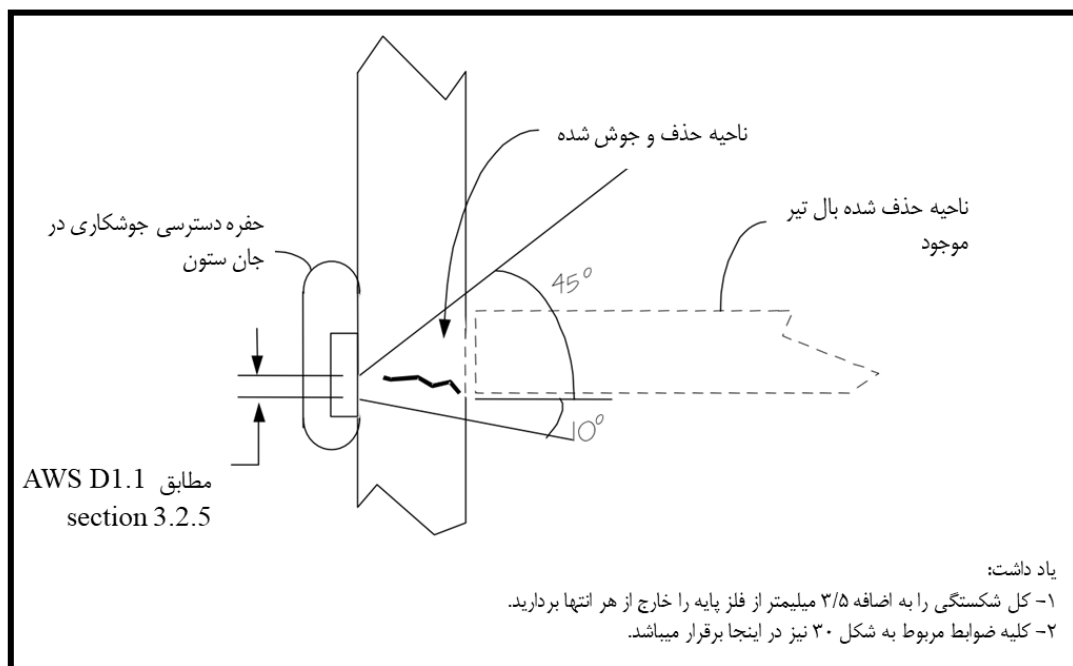
شکل (۲-۲۷): اصلاح نقص جوش موجود با روش جایگزینی



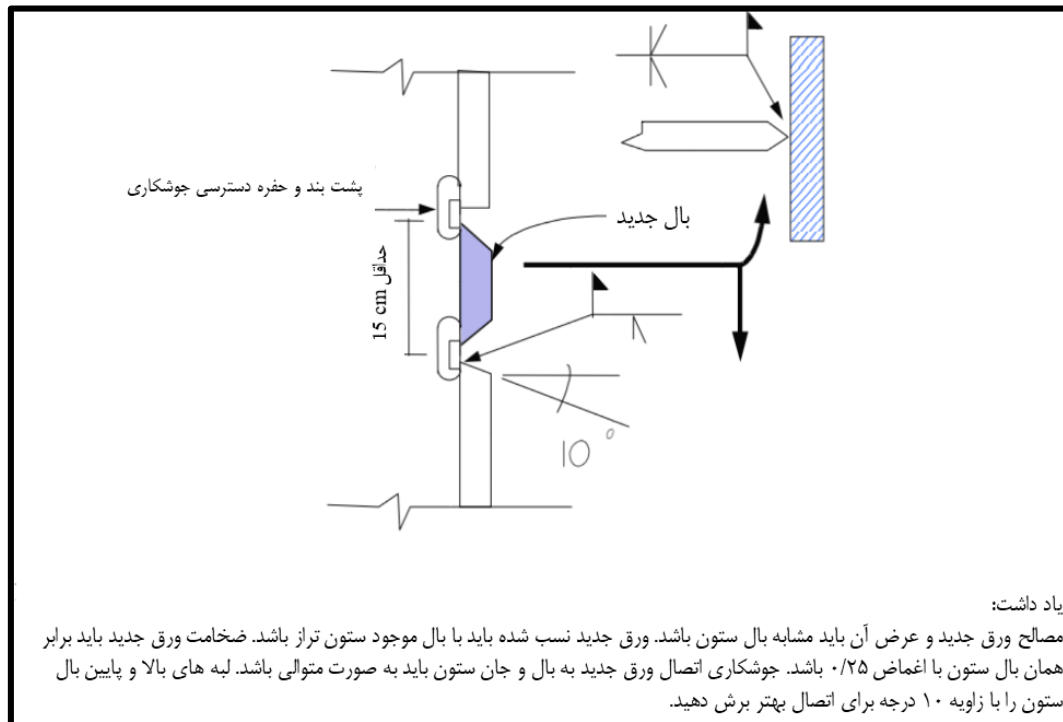
شکل (۲-۲۸): اصلاح نقص جوش موجود با روش جایگزینی



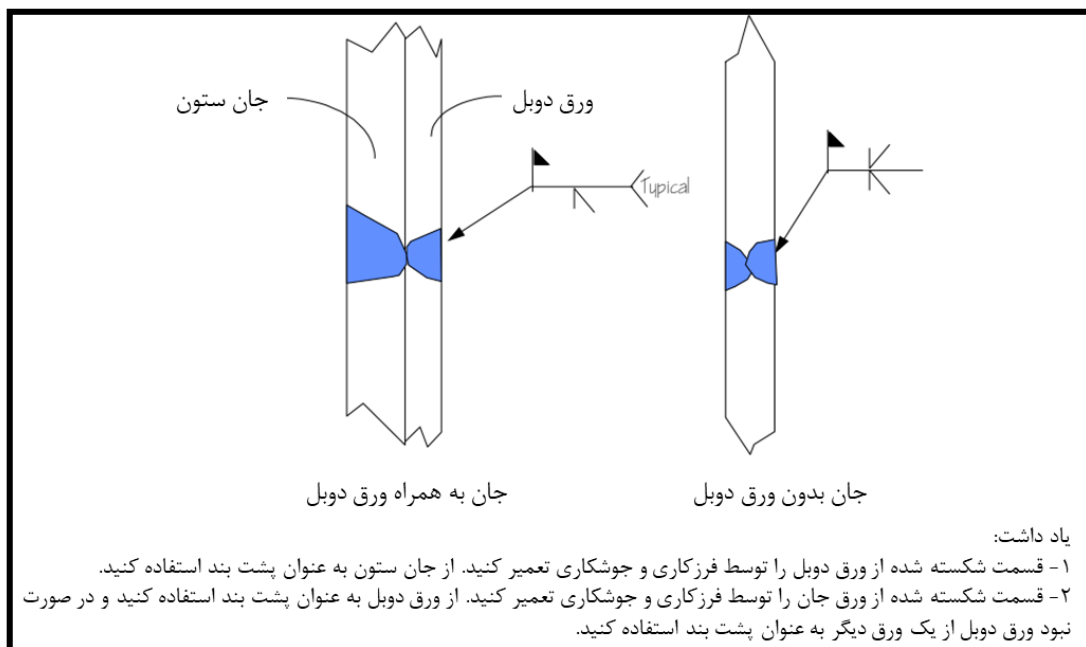
شکل (۲-۲۹): جایگزینی جوش شکسته شده



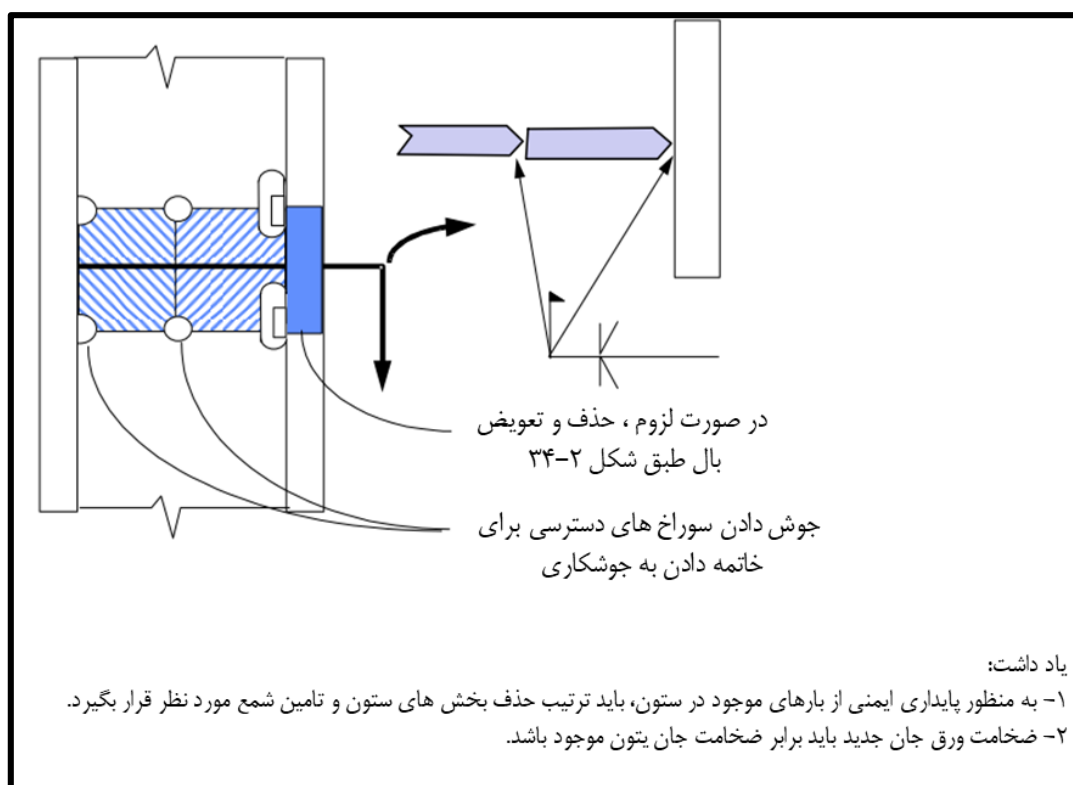
شکل (۲-۳۰): تعمیر موضعی پارگی جان ستون



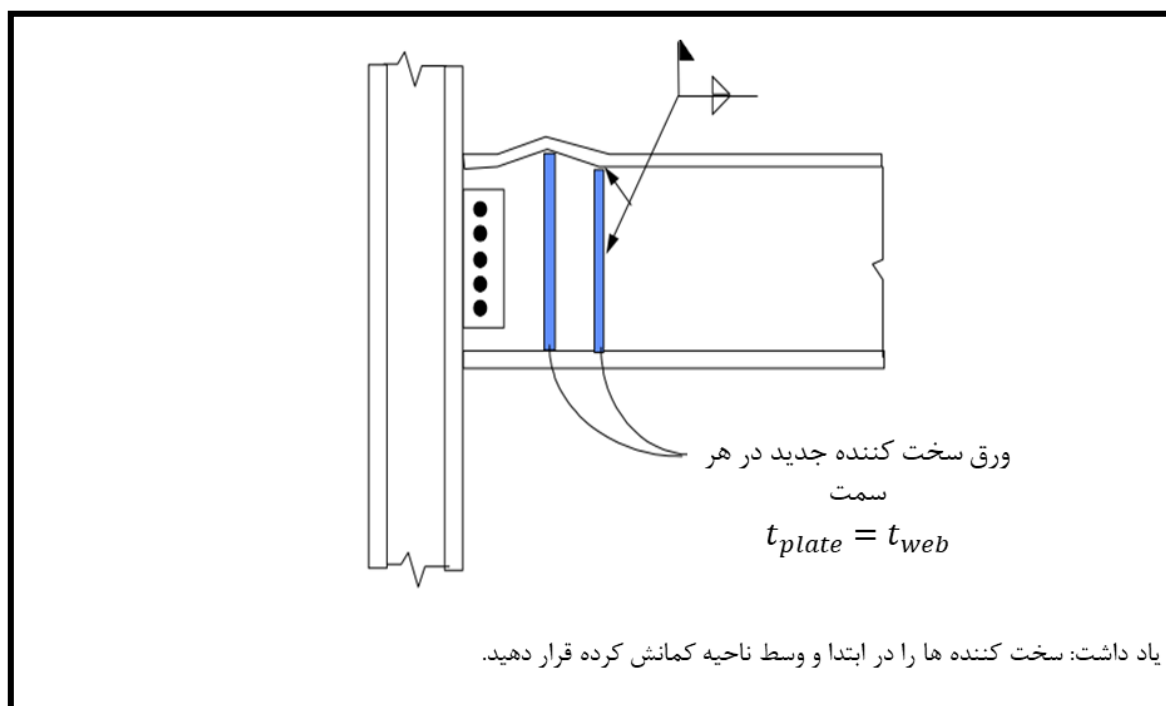
شکل (۲-۳۱): تعمیر موضعی قلوه کن شدن بال ستون



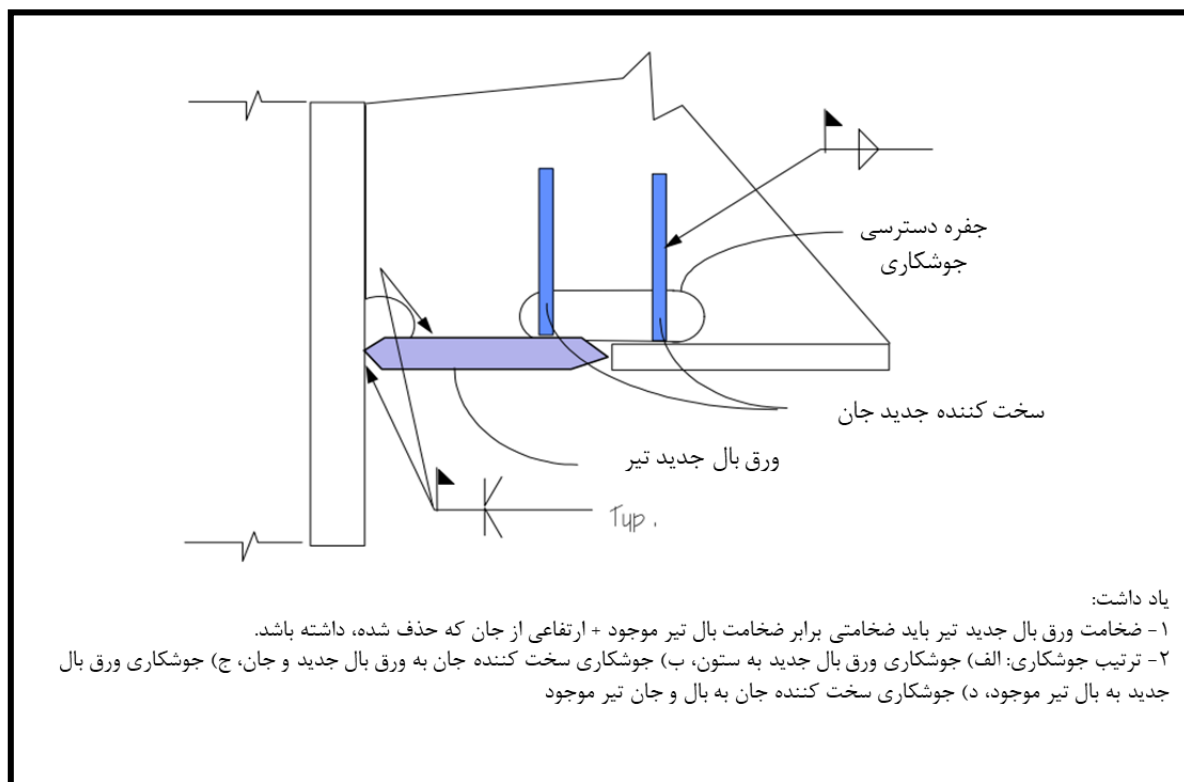
شکل (۲-۳۲): تعمیر ورق چشمه اتصال یا جان ستون (راست)، تعمیر فلز پایه آسیب دیده با جوش (چپ)



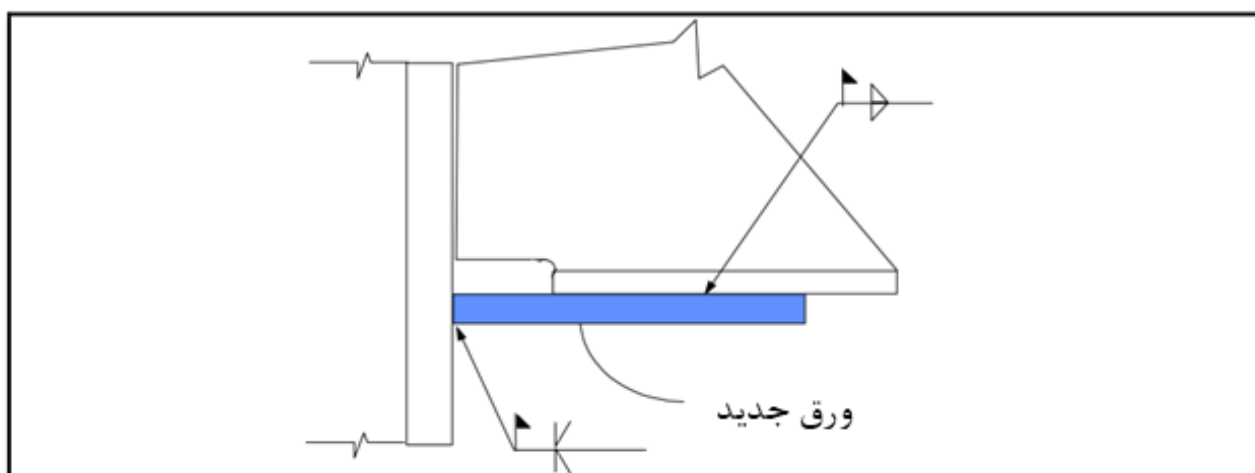
شکل (۳۳-۲): تعمیر کمانش جان یا بریده شدن ستون



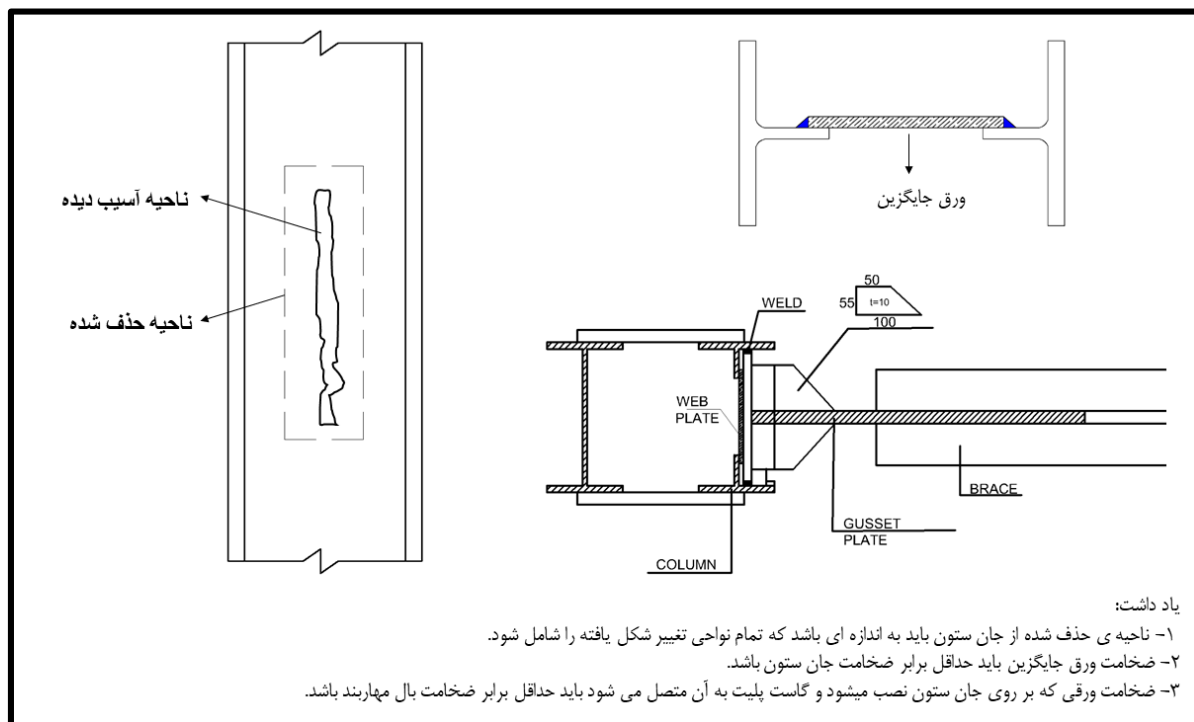
شکل (۳۴-۲): اضافه کردن سخت کننده در تیری که بال آن دچار کمانش شده



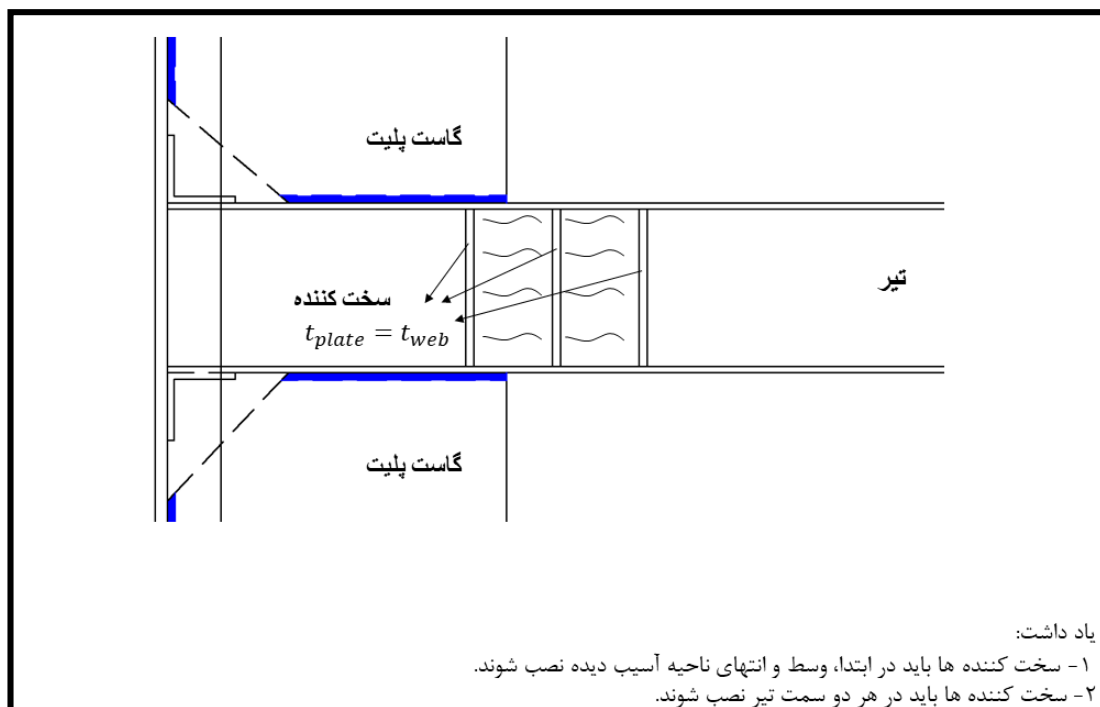
شکل (۲-۳۵): تعویض بال تیر و اضافه کردن سخت کننده



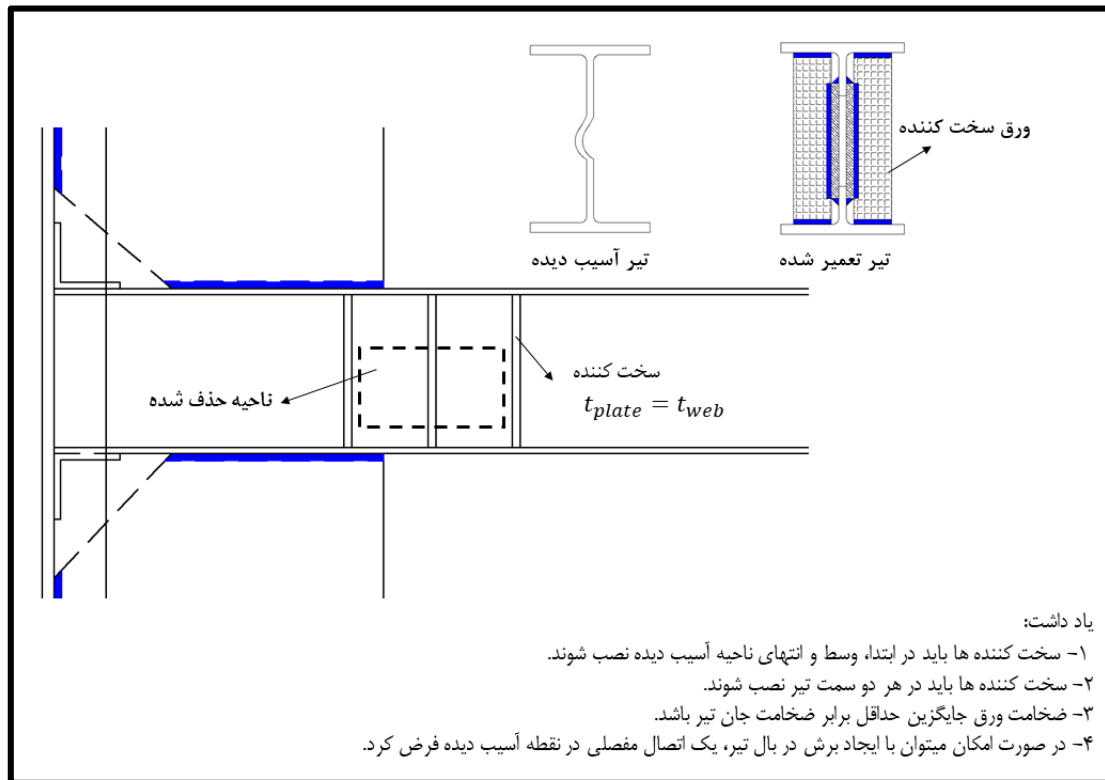
شکل (۲-۳۶): اضافه کردن ورق به بال تیر آسیب دیده



شکل (۳۷-۲): تعمیر قله‌کن شدن جان ستون



شکل (۳۸-۲): اضافه کردن سخت کننده در جان تیر



شکل (۲-۳۹): تعویض جان و اضافه کردن سخت کننده

۲-۷-۴- تعمیر کلی

در صورتی که برای بازگرداندن وضعیت سازه به ظرفیت پیش از آسیب خود از روش‌های تعمیر موضعی ارائه شده در بند ۲-۳ استفاده شود، اما سازه باز هم نتواند معیارهای پذیرش و اهداف مورد نظر را تأمین نماید، لازم است برای ارتقاء ظرفیت و عملکرد ساختمان از روش‌های کلی تعمیر به‌صورت موردی یا تلفیقی استفاده شود. برای این منظور، با توجه به نقایص سازه می‌توان از روش‌های تعمیر کلی معرفی شده در جدول ۲-۷ استفاده نمود. در ادامه تمام زیر بندهای این جدول تشریح شده است.

جدول (۷-۲): نقایص سازه‌ای و روش‌های پیشنهادی کلی تعمیر ساختمان آسیب‌دیده در زلزله

روش تعمیر کلی				نقایص	
سایر گزینه‌ها	کاهش تقاضا	ارتقاء اعضای موجود	افزودن اعضای جدید	نشانه‌ها	راهبردهای ۴ گانه (بند ۲-۷-۱)
کاهش تعداد طبقات تغییر کاربری	جداسازی لرزه ای تعبیه میراگر	تیرها، ستون‌ها اتصالات، مهاربندها دیوارهای برشی	قاب خمشی، قاب مهاربندی دیوار برشی بتنی، دیوار برشی فولادی، دیوار مصالح بنایی مهاربندهای BRB	عدم کفایت مقاومت قاب	مقاومت
تغییر کاربری	تعبیه میراگر	تیرها، ستون‌ها اتصالات، مهاربندها دیوارهای برشی	قاب خمشی، قاب مهاربندی دیوار برشی بتنی، دیوار برشی فولادی دیوار مصالح بنایی مهاربندهای BRB	تغییر مکان نسبی زیاد	سختی
تغییر کاربری حذف اتصال میانقاب‌ها	جداسازی لرزه ای	تیرها ستون‌ها اتصالات	قاب خمشی	ترد بودن رفتار کلی سازه	شکل‌پذیری
حذف اتصال میانقاب‌ها	-	تیرها، ستون‌ها اتصالات، مهاربندها دیوارهای برشی	قاب خمشی، قاب مهاربندی دیوار برشی بتنی، دیوار برشی فولادی دیوار مصالح بنایی مهاربندهای BRB	طبقه نرم	بیکربندی
حذف فرورفتگی و پیش‌آمدگی در پلان	-	ارتقاء جزئیات	قاب خمشی، قاب مهاربندی دیوار برشی بتنی، دیوار برشی فولادی دیوار مصالح بنایی مهاربندهای BRB	فرورفتگی و پیش‌آمدگی در پلان	
حذف اتصال میانقاب‌ها حذف دیوار برشی حذف مهاربند	-	تیرها، ستون‌ها اتصالات، مهاربندها دیوارهای برشی	قاب خمشی، قاب مهاربندی دیوار برشی بتنی، دیوار برشی فولادی دیوار مصالح بنایی مهاربندهای BRB	پیچش	

۲-۷-۴-۱- افزودن اعضای جدید

افزودن اعضای جدید به سامانه‌ی باربر جانبی به‌عنوان یکی از روش‌های تقویت سازه‌ی آسیب‌دیده می‌باشد. این روش باعث افزایش سختی و افزایش مقاومت و در مواردی می‌تواند تأمین‌کننده شکل‌پذیری مناسب سازه باشد. مهندس طراح باید آگاهانه از این شیوه برای دستیابی به هدف مورد نظر در ارتقاء عملکرد سازه‌ی ساختمان مورد بررسی، استفاده نماید. مهم‌ترین روش‌های کاربردی در این حوزه عبارتند از:

الف) افزودن سامانه‌ی قاب خمشی. تبدیل قاب‌هایی که صرفاً برای انتقال بارهای ثقلی طراحی شده است، با رعایت جزئیات مورد نظر در این راهنما و ضوابط نشریه ۳۶۰ سازمان برنامه و بودجه، به قاب‌های خمشی (مشارکت هم‌زمان در بار ثقلی و جانبی) به‌عنوان روشی برای افزایش ظرفیت سختی یا مقاومت عمومی سازه، توصیه می‌شود. در برخی موارد که اعضای تشکیل‌دهنده‌ی این قاب‌ها ظرفیت انتقال نیروهای ایجاد شده در یک قاب خمشی را داشته باشد، می‌توان با ایجاد تغییر در جزئیات اتصالات، این قاب‌ها را به قاب‌های خمشی تبدیل نموده و از ظرفیت آن‌ها استفاده کرد. چنانچه اتصالات و اعضای

قاب‌های ساده، امکان تبدیل شدن به قاب خمشی را نداشته باشد، باید بر اساس ضوابط این راهنما و مفاد نشریه ۳۶۰ سازمان برنامه و بودجه، ظرفیت آن‌ها ارتقاء داده شود. جزئیات اتصالات جدید، به کار رفته در این نوع قاب‌ها باید به گونه‌ای باشد که ظرفیت انتقال تلاش‌های خمشی و برشی انتقال یافته از تیر به ستون را بر اساس ضوابط این راهنما و نشریه ۳۶۰ سازمان برنامه و بودجه داشته باشد.

ب) افزودن سامانه‌ی مهاربندی. برای ساختمان‌هایی که ظرفیت کافی برای تحمل نیروهای جانبی ندارد یا دارای تغییر مکان‌های نسبی زیادی است می‌توان برای ارتقاء ظرفیت یا توان عملکردی آن‌ها از سامانه‌ی مهاربندی استفاده نمود. با استفاده از این روش، وزن سازه دچار افزایش قابل توجهی نمی‌شود. از این سامانه‌ی مهاربندی در طرح تعمیر ساختمان‌ها به‌طور عمده برای محدود کردن تغییر مکان‌ها در محدوده‌ی قابل‌پذیرش برای اعضا استفاده می‌شود.

افزودن قاب‌های مهاربندی به یک ساختمان، سبب افزایش شدید سختی آن می‌شود. از این‌رو، ساختمان تعمیر شده باید برای نیروهای جانبی و لنگرهای واژگونی بزرگ‌تری ارزیابی شود. در این حالت، رفتار کلی ساختمان، متأثر از رفتار قاب مهاربندی جدیدی خواهد بود که به تازگی به ساختمان اضافه شده است. داشتن درک درست از رفتار کلی ساختمان و اطلاعات مربوط به رفتار و ظرفیت مصالح موجود و مصالح جدید ساختمان الزامی است. همچنین باید از عملکرد توانمند مناسب میان اعضای جدید و اعضای موجود اطمینان حاصل نمود. برای نمونه، در صورت افزودن اعضای جدید به یک قاب خمشی، باید اثرات ناشی از اضافه نیروی محوری ایجاد شده در ستون‌های مجاور اعضای جدید، مورد توجه قرار گیرد. در صورت لزوم، باید آن ستون‌ها را بر اساس آخرین ویرایش آیین‌نامه‌های موجود تقویت نمود.

موقعیت قرارگیری مهاربندهای جدید در ساختمان، یکی دیگر از مواردی است که در تعبیه یک قاب مهاربندی در ساختمان آسیب‌دیده باید مورد توجه قرار گیرد. ملاحظات معماری و خاص سازه‌ای لازم است در جانمایی مهاربندها مدنظر قرار گیرد. به‌منظور کسب اطلاعات بیشتر از نحوه طراحی و جزئیات اجرایی، به بند ۷-۴-۱ نشریه ۷۴۱ سازمان برنامه و بودجه مراجعه شود.

پ) افزودن دیوار برشی بتنی. در یک نگاه کلی، استفاده از دیوار برشی در یک ساختمان موجب افزایش قابل‌توجه مقاومت و سختی آن سازه می‌شود. در صورت افزودن دیوار برشی به قاب‌های خمشی یا مهاربندی موجود در یک ساختمان آسیب‌دیده، باید از داشتن ظرفیت‌های لازم برای تحمل و انتقال نیروهای به وجود آمده در تیرها و ستون‌های قاب ساختمان، اطمینان حاصل نمود. در صورتی که نیاز به سختی جانبی بسیار بالایی باشد، می‌توان از این دیوارها به‌عنوان جایگزینی برای سامانه‌ی مهاربندی استفاده نمود. کلیه ضوابط مربوط به طراحی این نوع دیوارها باید بر اساس آخرین ویرایش آیین‌نامه‌های موجود باشد.

مهم‌ترین عامل در طرح جزئیات اجرای یک دیوار برشی در ساختمان فولادی، اتصال قسمت فوقانی دیوار جدید به زیر دیافراگم موجود در بالای آن است. درز اجرایی باید کاملاً بسته شده و اتصال بدون هیچ‌گونه شکاف یا درز باشد تا انتقال نیروهای برشی از دیافراگم بالایی به دیوار جدید زیرین، تسهیل شده و امکان لغزش در اتصال به حداقل برسد. به‌منظور کسب اطلاعات بیشتر از نحوه طراحی و جزئیات اجرایی، به بند ۷-۴-۲ نشریه ۷۴۱ سازمان برنامه و بودجه مراجعه شود.

ت) افزودن دیوار برشی فولادی. دیوارهای برشی فولادی نیز مانند دیوارهای برشی بتنی، مقاومت و سختی قابل‌توجهی برای سازه تأمین می‌کند. در مقایسه با دیوارهای برشی بتنی، دیوارهای برشی ورق فولادی، سبک‌تر است و جرم لرزه‌ای کمتری به سازه تحمیل می‌کند، فضای کمتری اشغال می‌نماید و ممکن است در مجموع اقتصادی‌تر نیز باشد؛ اما اجرای این دیوارها نیاز به تخصص اجرایی بالاتری نسبت به دیوار برشی بتنی دارد. کلیه‌ی ضوابط مربوط به طراحی این نوع دیوارهای برشی باید بر اساس آخرین ویرایش آیین‌نامه‌های موجود باشد.

ث) افزودن دیوار مصالح بنایی. دیوارهای مصالح بنایی به دو دسته‌ی سازه‌ای و غیرسازه‌ای تقسیم می‌شود. دیوارهای مصالح بنایی سازه‌ای که به‌عنوان یک گزینه‌ی تعمیر محدود (زیرا به‌طور عمده در سازه‌های کوتاه مرتبه پاسخگو است) مد نظر این راهنما است، دارای سختی بسیار زیادی بوده و توانایی باربری ثقیلی و جانبی را در راستای صفحه‌ی خود و در راستای عمود بر آن دارد. این دیوارها از واحدهای مصالح بنایی، شامل؛ آجر یا بلوک سیمانی توپر همراه با ملات ماسه سیمان تشکیل می‌شود.

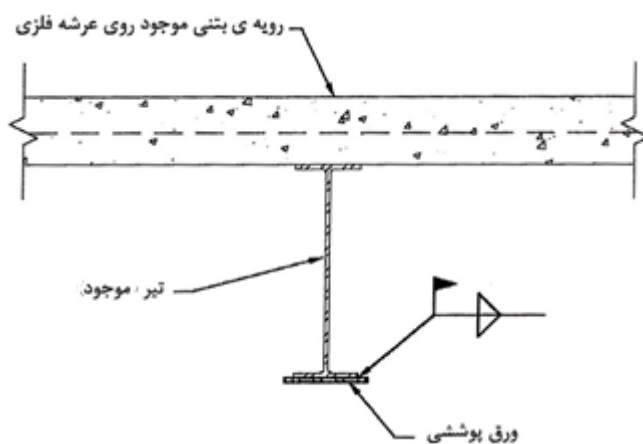
نوع دیگری از دیوارهای مصالح بنایی سازه‌ای که دارای عملکرد بهتری است، دیوارهای مصالح بنایی مسلح است که در بسیاری از کشورهای لرزه‌خیز جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. مسلح شدن دیوار بنایی، ظرفیت و کارایی آن را بالا برده و مانع ترک خوردن زود هنگام و فروریزش سریع واحدهای مصالح بنایی می‌شود. یکی از روش‌های متداول برای تسلیح دیوار بنایی در ایران، استفاده از یک یا دو لایه شبکه‌ی میلگرد محصور شده توسط بتن یا ملات پر مقاومت بر سطح دیوار است. به علت هزینه‌ی اجرایی کم و قابل دسترس بودن مصالح این نوع دیوارها، ممکن است در بسیاری از نقاط شهری یا روستایی بر اساس نظر مهندس طراح، این نوع دیوارهای سازه‌ای مصالح بنایی نسبت به سایر روش‌های پیشنهادی این بخش، مورد استفاده‌ی بیشتری داشته باشد. روابط مربوط به تعیین پارامترهای ظرفیت این نوع دیوارها باید بر اساس آخرین ویرایش آیین‌نامه‌های موجود باشد.

۲-۷-۴-۲- ارتقاء اعضای سازه‌ای موجود

زمانی که بر اساس اهداف عملکردی انتخاب شده برای ساختمان، انتظار می‌رود که سازه سطح بالاتری از ظرفیت را دارا باشد، تعمیر کلی ساختمان را می‌توان با ارتقاء اعضای سازه‌ای موجود انجام داد. برای این منظور، روش‌های پیشنهادی زیر قابل کاربرد خواهد بود:

الف) تقویت تیرها. تیرها اعضای کلیدی قاب‌های ساختمانی است که عمل جمع‌آوری بارهای ثقیلی طبقات و انتقال آن‌ها به ستون‌ها را بر عهده دارد. در قاب‌های خمشی، تیرها به‌عنوان عضوی از سامانه‌ی باربر جانبی نیز وارد عمل می‌شود که در این اعضا تلاشی از جنس خمش به وجود می‌آید. برای تقویت این اعضا روش‌های مختلفی وجود دارد. یکی از متداول‌ترین راهکارهای تقویت این اعضا اضافه کردن ورق‌های پوششی است. هرچند در عموم موارد به علت وجود دال سقف تنها یکی از بال‌های این عضو (بال زیرین) در دسترس قرار دارد و می‌توان آن را تقویت کرد. از این‌رو، مهندس طراح باید در کنار تأمین

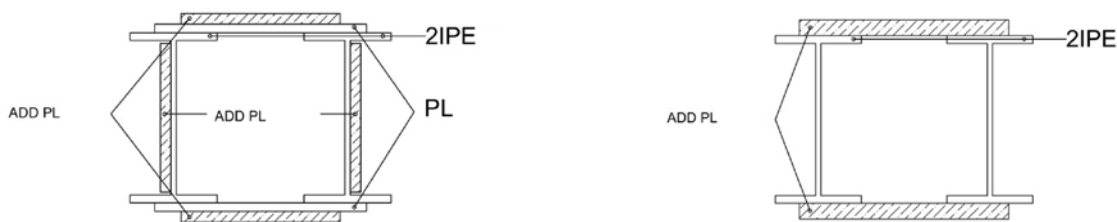
ظرفیت‌های لازم برای تیرها به محدودیت‌های طرح نیز دقت کافی مبذول دارد (برای تقویت تیرها بهتر است با زدن جک بار ثقیلی از روی تیر برداشته شود). در شکل ۲-۴۰ نمایی از جزئیات تقویت تیر نشان داده شده است.



شکل (۲-۴۰): نمونه‌ای از جزئیات تقویت تیر با افزودن ورق پوششی در بال زیرین

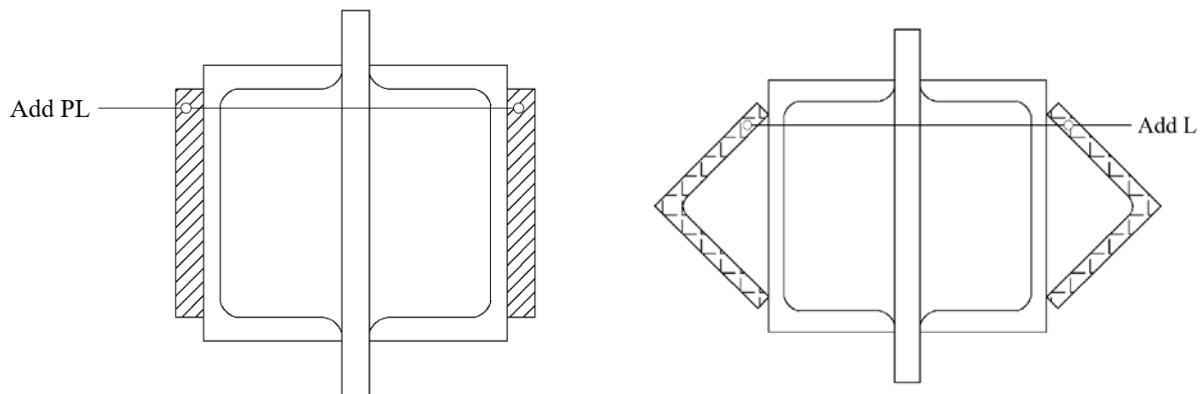
ب) تقویت ستون‌ها. ستون‌ها، اعضای اصلی قاب‌های ساختمانی برای تحمل و انتقال بارهای ثقیلی و جانبی است. یکی از پارامترهای تأثیرگذار در رفتار یک ستون، میزان لاغری آن است. از آنجا که ظرفیت باربری یک ستون با در نظر گرفتن اثر متقابل نیروی محوری و لنگر خمشی تعیین می‌شود، کاهش میزان لاغری آن، یکی از راهکارهای مؤثر افزایش ظرفیت ستون‌ها است. این کار می‌تواند با افزایش شعاع ژیراسیون مقطع ستون یا کاهش طول آزاد آن انجام پذیرد. برای این منظور می‌توان با اضافه کردن ورق‌های پوششی یا پروفیل‌های ساختمانی به ستون مورد نظر، آن را به مقاطع بسته تبدیل نمود. این راهکار علاوه بر کاهش لاغری ستون، می‌تواند ظرفیت محوری و خمشی آن را نیز افزایش دهد.

یکی از نکاتی که در اجرای طرح تقویت ستون‌ها باید مورد توجه قرار گیرد، نحوه‌ی اتصال عضو تقویت شده به چشمه‌ی اتصال و پای ستون است، به گونه‌ای که ستون یکپارچه‌ی جدید بتواند کل بار وارده را تحمل نماید. در واقع، باید توجه داشت که در ابتدا باید بار موجود بر روی ستون برداشته شده و پس از انجام تقویت لازم، مجدداً عضو جدید در زیر بار قرار گیرد. اتصال‌های بالا و پایین ستون باید به گونه‌ای اجرا شود که تمام اعضای ستون تقویت شده، به‌طور کامل به یکدیگر متصل شده و مشابه یک عضو یکپارچه رفتار کند. در شکل (۲-۴۱) نمایی از چند نمونه تقویت ستون نشان داده است.



شکل (۲-۴۱): نمایی از جزئیات چند نمونه تقویت ستون

پ) تقویت مهاربندها در قاب‌های مهاربندی همگرا. در قاب‌های مهاربندی همگرا، مهاربندهای مورب، اعضای اصلی سامانه‌ی باربر جانبی ساختمان برای تحمل نیروهای لرزه‌ای هستند. طراحی این اعضا بر اساس نیروی محوری با تأمین سطح مقطع لازم و مهار یا کاهش لاغری عضو صورت می‌پذیرد. از این‌رو، برای تقویت این اعضا می‌توان با افزایش شعاع ژیراسیون مقطع یا کوتاه نمودن طول آزاد آن اقدام نمود. از آنجا که این اعضا می‌تواند به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که هم در کشش و هم در فشار کار کند، می‌توان با افزایش سطح مقطع عضو یا ایجاد یک مقطع بسته، ظرفیت باربری این اعضا را به‌ویژه در فشار افزایش داد. از جمله راهکارهای تقویت مهاربندها، اضافه کردن ورق‌های پوشش یا یک مقطع فولادی دیگر در کنار مقطع قدیمی در سامانه‌ی مهاربندی است.



شکل (۲-۴۲): نمایش کلی از جزئیات چند نمونه تقویت مهاربند با افزودن مقطع فولادی جدید

ت) تقویت دیوارهای برشی بتنی. دیوارهای برشی از دیگر اعضای اصلی در تحمل و انتقال نیروهای جانبی زلزله در سامانه‌ی باربر جانبی یک ساختمان به شمار می‌رود. در برخی موارد، به دلیل آسیب‌دیدگی دیوارها یا نیاز به افزایش ظرفیت باربری جانبی یک قاب ساختمانی، لازم است این اعضا تقویت شود. تقویت دیوارهای برشی بتنی می‌تواند توسط ژاکت فولادی، ژاکت بتنی یا ورقه‌های پلیمری از الیاف شیشه یا کربن صورت گیرد.

در هنگام تقویت دیوار برشی بتنی، مهندس طراح باید به هر دو فاز طراحی و اجرای طرح تقویت توجه داشته باشد. در فاز طراحی، مهندس طراح باید از رفتار توأمان و یکپارچه‌ی بخش موجود و جدید دیوار برشی بتنی در تحمل و انتقال بارهای قائم و جانبی اطمینان حاصل نماید. در فاز اجرایی نیز باید تمهیداتی اندیشید که بارهای موجود به‌درستی به دیوار یکپارچه‌ی جدید منتقل شود. در استفاده از هر یک از روش‌های تقویت، باید بر اساس آخرین ویرایش آیین‌نامه‌های موجود طراحی اقدام نمود.

۲-۷-۴-۳- کاهش تقاضای لرزه‌ای

یکی دیگر از روش‌های تعمیر ساختمان‌های آسیب‌دیده، کاهش تقاضای لرزه‌ای ساختمان است. این راهکار به سه صورت زیر قابل اجرا است. در هنگام استفاده از مبانی راهکارهای دوم و سوم این بخش، مهندس طراح باید با تسلط کامل بر مبانی طراحی هر قسمت و اطمینان از جزئیات طراحی و آگاهی از پیامدهای هر انتخاب، برای استفاده از مسیر طراحی سامانه‌های کنترلی اقدام نماید.

الف) کاهش انتظارات لرزه‌ای. یکی از راهکارهای تعمیر سازه‌ی آسیب‌دیده از زلزله، کاهش انتظارات لرزه‌ای است. در این روش مبانی طراحی تغییری نمی‌کند، بلکه سطح انتظارات استفاده از ساختمان کاهش داده می‌شود. این راهکار زمانی مورد توجه قرار می‌گیرد که ساختمان مورد بررسی دارای حداقل یکی از شرایط زیر باشد:

۱. ساختمان موقتی باشد،
۲. ساختمان از ضریب اهمیت پایینی برخوردار باشد،
۳. ساختمان دارای طراحی یا اجرای بسیار ضعیفی باشد که حتی بازگرداندن آن به شرایط پیشین، نیاز به صرف هزینه‌ی بالای اقتصادی داشته باشد.

با دیدگاه کاهش انتظارات لرزه‌ای، می‌توان سطح خطر لرزه‌ای یا سطح عملکرد لرزه‌ای مورد انتظار از ساختمان مورد بررسی را کاهش داد و به این ترتیب هزینه‌های اجرای تعمیر ساختمان نیز تا اندازه‌ی زیادی کاهش می‌یابد. در مجموع پیشنهاد مهندس طراح در خصوص راهکارهای ذیل باید از طرف کارفرما مورد بررسی و موافقت قرار گیرد. به‌طور مثال برای تغییر کاربری ساختمان می‌توان یک مدرسه را به انبار تبدیل کرد.

ب) استفاده از سامانه‌ی جداسازی لرزه‌ای. در این روش از ایده‌ی کاهش انرژی ورودی به ساختمان برای کاهش تقاضای لرزه‌ای سازه‌ی ساختمان استفاده می‌شود. بدین صورت که با تعبیه‌ی سازوکارهای جداسازی لرزه‌ای در تراز پایه‌ی یک ساختمان، می‌توان باعث کاهش انرژی ورودی لرزه‌ای و به تبع آن کاهش تقاضای لرزه‌ای سازه‌ی ساختمان شد. این راهکار، مانند بسیاری از راهکارهای متعارف، برای تمامی ساختمان‌ها و در تمامی موقعیت‌های ژئوتکنیکی منجر به کارایی مناسب نمی‌شود. استفاده از این راهکار، محدودیت‌ها و تعاریفی دارد که یکی از مهم‌ترین آن‌ها، داشتن اطمینان از عملکرد یکپارچه‌ی سازه در بالای سطح جداسازی است. در صورتی که ساختمان مورد بررسی، قدیمی یا از دیدگاه سختی سازه‌ای ضعیف باشد، تأمین رفتار نزدیک به صلب طبقات در ارتفاع ساختمان، می‌تواند معضلی به‌مراتب دشوارتر از تعمیر ساختمان مورد بررسی باشد. از این‌رو، مهندس طراح باید با تسلط بر مبانی کلی و اشراف کامل به جزئیات طراحی و اجرای سامانه‌ی جداسازی لرزه‌ای، اقدام به استفاده از این راهکار نماید.

در هنگام به‌کارگیری جداسازهای لرزه‌ای به‌منظور بهسازی و تقویت ساختمان آسیب‌دیده باید به محدودیت‌های معماری توجه نمود. جداسازهای لرزه‌ای انواع مختلفی دارد که بسته به مشخصات سازه، هدف از به‌کارگیری جداسازها و همچنین در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی طرح، می‌توان طرح مناسبی از ترکیب آن‌ها را به کار برد. این طراحی باید بر اساس آخرین ویرایش آیین‌نامه‌های موجود از جمله رعایت ضوابط نشریات ۳۶۰ و ۵۲۳ انجام پذیرد.

ج) استفاده از میراگرها. این روش تلاش دارد با تعبیه‌ی ادواتی در ساختمان، انرژی ورودی به طبقات را مستهلک نموده و تقاضای لرزه‌ای در اعضای اصلی را کاهش دهد. برای اینکه میراگرهای نصب شده در ساختمان بتواند انرژی جذب کند، سامانه‌ی سازه‌ای که این میراگرها بر روی آن نصب شده است، باید رفتار الاستیک خطی داشته باشد. از این‌رو، مهندس طراح باید با تسلط به مبانی کلی و اشراف کامل به جزئیات طراحی و اجرای میراگرها، اقدام به استفاده از این راهکار نماید.

میراگرها نیز مانند جداسازهای لرزه‌ای انواع مختلفی دارد که بسته به مشخصات سازه، هدف از به کارگیری جداسازها و همچنین در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی طرح، می‌توان ترکیب مناسبی از آن‌ها ارائه نمود. طراحی این سامانه باید بر اساس آخرین ویرایش آیین نامه‌های موجود انجام پذیرد.

۲-۷-۵- تعمیر ساختمان آسیب‌دیده در زلزله به روش ساده

در این روش از سامانه‌ی باربر جانبی موجود در سازه به دلیل وجود آسیب‌های مشهود و احتمالی چشم‌پوشی می‌شود. از این‌رو، برای تأمین سامانه‌ی باربر جانبی جدید با رعایت حاشیه‌ی اطمینان مناسب از سامانه‌های دیوار برشی یا مهاربندی استفاده می‌شود. در این حالت، سامانه‌های باربر جانبی جدید (دیوار یا مهاربند) به همراه اعضای مرزی برای انتقال کل بارهای جانبی تا شالوده، طرح و اجرا می‌شود.

در استفاده از این روش تعمیر باید مهندس طراح به نکات بسیاری توجه داشته باشد که در ادامه به تعدادی از این موارد اشاره شده است: جانمایی دیوارهای برشی یا قاب مهاربندی در ساختمان آسیب‌دیده، حل مشکلات برخورد با معماری ساختمان، حل مسئله شالوده‌ی دیوارها و مهاربندها که قرار است کل نیروی زلزله را به زمین منتقل کند، یکپارچه سازی سامانه جدید و اتصال آن با سازه‌ی موجود، موضوع انتقال برش ایجاد شده در طبقات به سامانه‌ی باربر جانبی جدید و مواردی از این قبیل.

روش ساده با رعایت شرایط مندرج در بند ۲-۷-۵-۱ و با رعایت ضوابط بند ۲-۷-۵-۲ در ساختمان‌های فولادی قابل استفاده است.

۲-۷-۵-۱- شرایط استفاده از روش تعمیر ساده

در صورت احراز شرایط زیر می‌توان از روش ساده برای تعمیر ساختمان‌های فولادی استفاده نمود:

۱. در صورتی که برای پیاده‌سازی روش‌های تعمیر موضعی ارائه شده در بخش ۲-۷-۳، شرایط اجرایی وجود نداشته باشد یا از نظر اقتصادی توجیه نداشته باشد.
۲. در صورتی که شدت آسیب‌های ایجاد شده در سازه به گونه‌ای باشد که بر اساس نظر مهندس طراح، ظرفیت باربری جانبی سازه‌ی آسیب‌دیده قابل صرف نظر کردن باشد.

۲-۷-۵-۲- ضوابط روش تعمیر ساده

در صورت لزوم به استفاده از روش تعمیر ساده لازم است در هنگام طرح و اجرای طرح تعمیر ساختمان مورد بررسی، ملاحظات زیر منظور شود:

۱. سازه‌ی آسیب‌دیده در این روش باید ظرفیت کافی برای تحمل بارهای ثقلی را داشته باشد یا تقویت شود،
۲. از دیوارهای برشی یا مهاربند به منظور تحمل و انتقال بارهای جانبی استفاده می‌شود،
۳. دیوار برشی یا مهاربند باید برای کل نیروی جانبی و ۳۰ درصد از بار ثقلی طراحی شود،
۴. از آنجا که در این روش تمامی بارهای جانبی توسط دیوارهای برشی یا قاب‌های مهاربندی جدید تحمل می‌شود و نیرویی به سازه‌ی آسیب‌دیده منتقل نمی‌شود، نیازی به انجام تعمیرات سازه‌ای برای اعضای سازه‌ای آسیب‌دیده نیست.
۵. در مدل‌سازی به روش ساده، کلیه اتصالات تیر به ستون سازه‌ی آسیب‌دیده باید به صورت مفصلی مدل شود،
۶. جانمایی دیوارهای برشی یا قاب‌های مهاربندی در روش تعمیر ساده‌ی سازه‌ی آسیب‌دیده باید حداقل در هر دو راستای سازه و در هر راستا حداقل در دو دهانه تعبیه شود،
۷. لازم است برای جمع‌آوری و انتقال بارهای جانبی در تراز سقف‌ها، جمع‌کننده‌ها (کلکتورها) طراحی شود،
۸. در صورت وجود آسیب در مهاربندها یا دیوار برشی (آسیب سطح ۳)، این عضو باید با عضو جدید جایگزین شود. در این صورت این تغییرات باید با دقت کافی در مدل سازه‌ی تعمیرشده منظور شود. در صورتی که حذف دیوار برشی ممکن نباشد، باید بر اساس سطح آسیب ایجاد شده، مشخصات سختی، مقاومت و شکل‌پذیری دیوار بر اساس جدول ۲-۸ تقلیل یافته و در مدل‌سازی منظور شود. پارامترهای ارائه شده در جدول ۲-۸ و نحوه تشخیص سطوح آسیب اعضای بتنی در فصل سوم بیان شده است.

جدول (۲-۸): ضرایب کاهش دیوارهای برشی بر اساس سطح آسیب

عضو	نوع عملکرد	سطح آسیب	λ_K	λ_Q	λ_D	λ_L
دیوار برشی	خمش	I	0.6	1	1	1
		II	0.4	0.6	0.7	0.7
		III	-	-	-	-
	برش	I	0.6	1	1	1
		II	0.2	0.3	0.7	0.7
		III	-	-	-	-
	خمش/کشش مورب	I	0.5	0.8	0.9	0.9
		II	0.2	0.3	0.7	0.7
		III	-	-	-	-

فصل ۳

ساختمان‌های بتنی

۳-۱- مقدمه

در این فصل از راهنما، ضوابط لازم برای بازرسی، بازطراحی و تعمیر سازه‌ای ساختمان‌های بتنی آسیب‌دیده در زلزله، ارائه شده است. مراحل انجام مطالعات، شامل سه بخش اصلی زیر است:

(۱) بازرسی، جمع‌آوری اطلاعات و مستندسازی،

(۲) روش‌ها و معیارهای ارزیابی،

(۳) روش‌های تعمیر و جزئیات اجرایی مربوط به آن‌ها.

معیارهای پذیرش اعضا و روش‌های ارزیابی تعمیر ساختمان‌های بتنی آسیب‌دیده در زلزله، مطابق با ضوابط دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه شماره ۳۶۰) انجام می‌شود. روش‌های ارزیابی آسیب در این راهنما تمرکز بر بُعد فنی موضوع دارد؛ با این حال، استفاده از آن‌ها نیاز به ملاحظات سیاست‌گذاری، از جمله انتخاب اهداف عملکردی به‌عنوان الگوهایی برای تعیین عملکرد لرزه‌ای ساختمان بتنی دارد. به‌منظور تعمیر اعضا آسیب‌دیده بتنی نیز، جزئیاتی در این فصل ارائه شده است.

۳-۲- روش مطالعات بازطراحی و تعمیر ساختمان‌های بتنی آسیب‌دیده در زلزله

از آنجا که در این فصل از راهنما، تعمیر ساختمان‌های آسیب‌دیده بتنی در زلزله مورد نظر است، در معرفی روش‌های تعمیر اعضا تنها به نحوه‌ی بازگردانی ظرفیت از دست رفته‌ی مقاطع و همچنین تقویت آن‌ها برای افزایش ظرفیت نسبت به شرایط پیش از زلزله پرداخته شده است.

در هنگام ارزیابی ساختمان‌های بتنی آسیب‌دیده در زلزله که قابلیت تعمیر را دارند، لازم است دو مرحله‌ی کلی، شامل: (۱) ایمن‌سازی موقت ساختمان و (۲) مستندات قابلیت تعمیر ساختمان برای دستیابی به سطح عملکرد لرزه‌ای مورد نظر، مد نظر قرار گیرد.

۳-۲-۱- ایمن‌سازی موقت ساختمان

تأمین پایداری اولیه‌ی ساختمان آسیب‌دیده در زلزله در مقابل بارهای موجود و پس‌لرزه‌های احتمالی و حتی در مقابل یک رویداد لرزه‌ای مستقل، بسیار حیاتی است. در هنگام ارزیابی‌های اولیه برای تهیه‌ی کارنامه‌ی ساختمان، هنگام حضور کارشناسان درون ساختمان یا محوطه‌ی اطراف آن، نباید هیچ خطری ناشی از فروریزش یا تخریب بخش‌های مختلف ساختمان، اعم از قسمت‌های سازه‌ای یا غیرسازه‌ای آن که می‌تواند تهدیدی جدی برای سلامت بازرسان باشد، وجود داشته باشد. از این رو، لازم است بر اساس مندرجات فصل کلیات بند (۱-۱۱) «ایمن‌سازی موقت ساختمان» و پیوست ۱ «تجهیزات و ایمنی بازرسان» عمل شود.

در صورتی که در ادامه‌ی فرایند ارزیابی، ساختمان مورد بررسی قابل تعمیر تشخیص داده شد، مهندس طراح، بر اساس نظر و ارزیابی بازرسان، مدارک و مستندات ساختمان و کارنامه‌ی ساختمان درباره‌ی موارد تکمیلی و ضرورت انجام تعمیرات

اضطراری برای ایمن‌سازی موقت ساختمان تا پیش از تعمیر، تصمیم‌گیری می‌نماید. در صورتی که تشخیص مهندس طراح بر انجام ایمن‌سازی موقت ساختمان باشد، لازم است دلایل این تصمیم‌گیری، همراه با محاسبات طراحی و روش‌های اجرایی پیشنهادی برای اجرای کامل این فعالیت و پیامدهای ناشی از عدم اجرای آن را به کارفرما ارائه نماید.

۳-۲-۲- مستندات قابلیت تعمیر ساختمان

انجام عملیات تعمیر در ساختمان‌های بتنی آسیب‌دیده از زلزله در صورتی انجام می‌گیرد که مهندس طراح بر اساس ضوابط بند ۸-۱ و پیوست ۲، موارد مستدل و توجیه کافی برای تعمیری بودن ساختمان ارائه نماید. این موارد باید از طرف کارفرما مورد تأیید قرار گیرد.

۳-۲-۳- گام‌های فرایند ارزیابی و تعمیر

در این راهنما هدف تعمیر، شامل؛ سطوح خطر مبنای ارزیابی لرزه‌ای و سطوح عملکرد متناظر با آن، متنا سب با هدف بهسازی لرزه‌ای برای سازه‌ی مذکور در نشریه ۳۶۰، در نظر گرفته می‌شود.

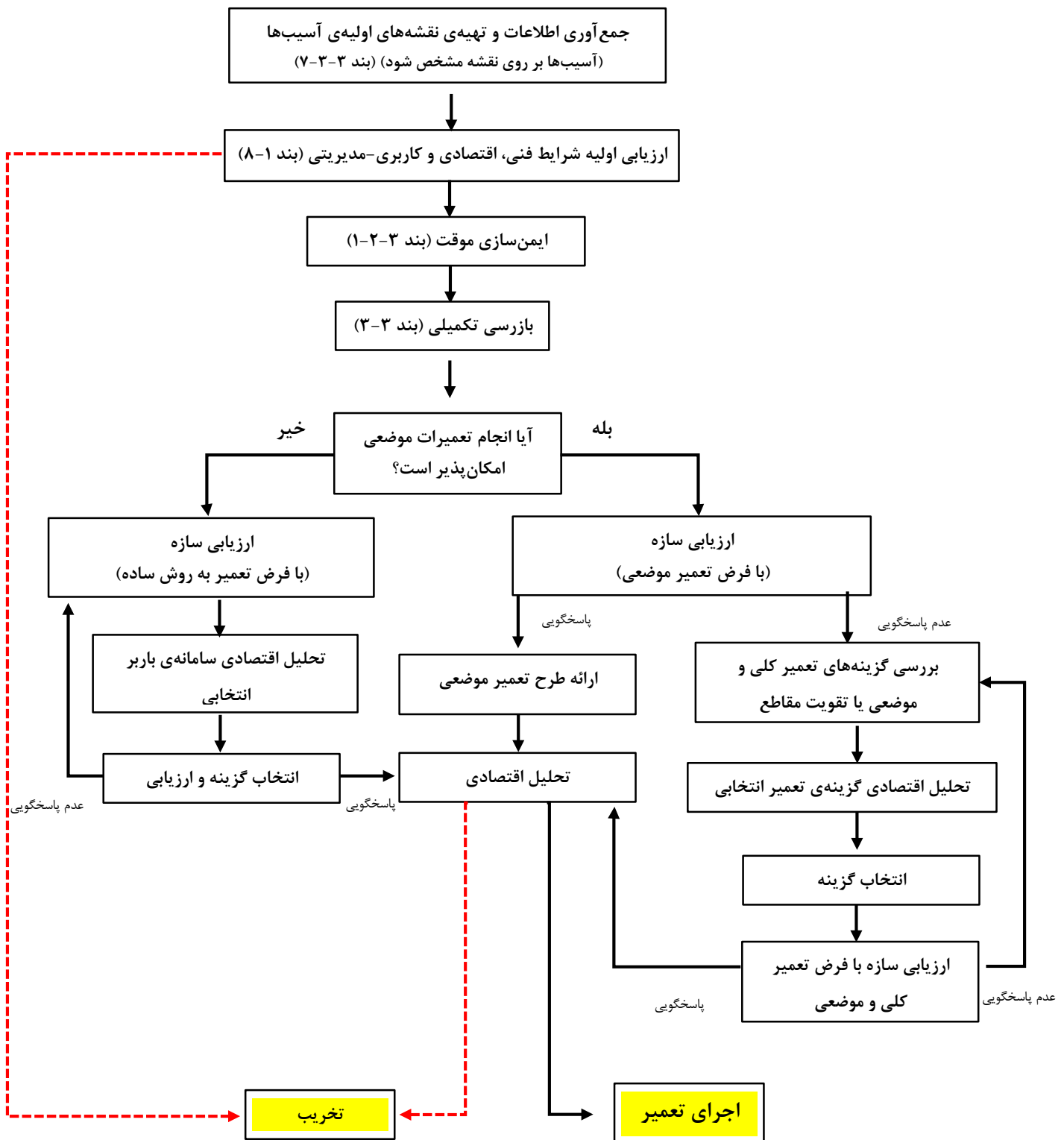
در گام اول مطالعات با استفاده از جمع‌آوری اطلاعات و... مطابق رویکرد پیشنهادی در پیوست ۲، کارنامه‌ی ساختمان (در این ویرایش استفاده از کارنامه برای تصمیم‌گیری در تعمیری یا تخریبی بودن ساختمان نمی‌باشد و تنها برای تهیه‌ی پایگاه اطلاعات ساختمان‌ها کاربرد دارد) تهیه می‌شود. در صورتی که پس از ارزیابی‌های جامع اولیه، مبتنی بر مسائل فنی، اقتصادی و ارزش‌های اجتماعی (بند ۸-۱)، ساختمان مورد برر سی، تعمیری تشخیص داده شد، مطالعات تعمیر وارد گام دوم خواهد شد.

در گام دوم مطالعات تعمیر، لازم است ارزیابی از رفتار سامانه‌ی باربر قائم و جانبی ساختمان برای لزوم تکمیل فرایند ایمن‌سازی موقت ساختمان انجام پذیرد و اقدامات ایمن‌سازی موقت بر این مبنا پیش از انجام بازرسی تکمیلی ساختمان بر روی ساختمان آسیب‌دیده پیاده شود.

پس از انجام این سازی موقت انجام بازرسی تکمیلی سازه صورت می‌گیرد برای این منظور، نیاز به جمع‌آوری اطلاعات و مستندات ساختمان، انجام آزمایش‌های لازم برای تعیین خصوصیات مصالح و استفاده از الگوهای نشریه‌ی ۳۶۰ است. در صورتی که ارزیابی‌های رفتار غیرخطی مدل تحلیلی سازه، معیارهای پذیرش تبیین شده در نشریه ۳۶۰ را نداشته باشد، باید بر اساس ضوابط ارائه شده در بند (۷-۳)، اعضای سازه‌ی ساختمان تقویت شود و یا گزینه‌های تعمیر کلی منظور شود. لازم است این فرایند پس از انجام تقویت‌های موضعی یا ارتقاء ظرفیت سازه‌ی باربر قائم یا سازه‌ی باربر جانبی، یا هر دوی آن‌ها مجدداً مورد ارزیابی قرار گیرد و تا رسیدن به معیارهای پذیرش نشریه ۳۶۰ این چرخه ادامه یابد.

پس از تکمیل مرحله‌ی پیشین، طرح تعمیر قابل اجرا برای روند یا روندهای تعمیر پذیرفته شده، به همراه تحلیل‌های اقتصادی هر کدام تهیه و ارائه می‌شود. در مرحله‌ی پایانی، می‌توان نگاهی کلی به فرایند طی شده و برآوردهای نهایی فعالیت‌های ارزیابی و طرح تعمیر ارائه شده داشت. در این مرحله، کارفرمای طرح، باز هم می‌تواند در مورد اجرایی کردن طرح تعمیر

یا تخریب نمودن ساختمان و جایگزینی آن با ساختمانی نو ساز تصمیم‌گیری نماید. مراحل این فعالیت در روند نمای ۱-۳ ارائه شده است.



روند نمای ۱-۳: رویکرد کلی بازطراحی و تعمیر یا تخریب ساختمان‌های بتنی آسیب‌دیده در زلزله

۳-۳- بازرسی تکمیلی

جمع‌آوری اطلاعات سازه‌ی در دست مطالعه، به‌منظور شناخت وضع موجود، تصمیم‌گیری در خصوص گزینه‌های تعمیر و ارزیابی مدل سازه بعد از اعمال روش‌های تعمیر پیشنهادی در مدل تحلیلی ساختمان است. در این قسمت، روش انجام فرآیند بازرسی، ارزیابی و مستندسازی آسیب‌های ناشی از زلزله در ساختمان‌های بتنی آسیب‌دیده از زلزله، بیان شده است. این بازرسی با اهداف ذیل انجام می‌پذیرد:

- صحت‌سنجی خصوصیات فیزیکی جامع ساختمان، از جمله هندسه و جرم آن،
- شناسایی اجزای سازه‌ای و عناصر سامانه‌ی مقاوم در برابر نیروی‌های جانبی،
- تعیین خصوصیات سازه‌ای اجزاء با جزئیات کافی، باهدف انجام تحلیل‌های سازه‌ای،
- مشاهده و ثبت آسیب‌های وارده به اجزای سازه‌ای.
- در حد امکان، تشخیص و تفکیک آسیب‌های ناشی از زلزله و آسیب‌هایی که ممکن است قبل از رویداد زلزله نیز وجود داشته‌اند.

این فرآیند شامل؛ جمع‌آوری و مرور اطلاعات موجود و قابل دسترسی است که موارد زیر را شامل می‌شود: جمع‌آوری و مرور اطلاعات، مدارک و مستندات موجود مربوط به خصوصیات کلی هندسی، شرایط و وضعیت سازه‌ی ساختمان قبل و بلافاصله پس از وقوع زلزله، مشاهدات و بازرسی‌های میدانی سازه و محیط پیرامون آن، انجام آزمایش‌های اولیه به‌منظور برآورد مشخصات فنی مصالح ساختمان.

۳-۳-۱- بررسی اطلاعات موجود ساختمان

فرآیند جمع‌آوری داده‌ها با کسب مستنداتی که شرایط ساختمان مورد بررسی را توصیف می‌کند، آغاز می‌شود. مرور نقشه‌های ساختمانی کارمیدانی را ساده کرده و منجر به درک کامل‌تری از ساختمان می‌شود. نقشه‌های سازه و معماری حاصل از طراحی و نقشه‌های چون ساخت نقش محوری در ارزیابی مؤثر و کارآمد آسیب‌ها دارد. در صورت امکان، علاوه بر نقشه‌های فوق‌الذکر، جمع‌آوری مستندات زیر نیز مفید است:

- دفترچه محاسبات سازه‌ای،
- گزارش‌های لرزه‌خیزی و ژئوتکنیکی محل ساختمان،
- مشخصات ساخت شامل کیفیت مصالح و نحوه‌ی اجرای ساختمان،
- نقشه‌های اجرایی پیمانکاران و دیگر سوابق اجرایی ساختمان،
- گزارش پی ساختمان،
- گزارش مطالعات ارزیابی پیشین ساختمان.

بررسی اطلاعات موجود ساختمان، اهداف مختلفی را دنبال می‌کند. این اطلاعات پیش از بررسی‌های میدانی، شناسایی تحلیلی اجزاء سازه‌ای را تسهیل می‌کند. مهندس طراح و گروه بازرسی باید پیش از برنامه‌ریزی و اجرای عملیات بازرسی و بررسی‌های میدانی، به کمک اطلاعات موجود، شناسایی تحلیلی اجزاء سازه‌ای را در حد امکان انجام داده و مسیرهای انتقال بارهای ثقلی و جانبی را در ساختمان تعیین نمایند. در برنامه‌ی بازرسی‌ها گروه بازرسی باید نسبت به صحت نتایج این بررسی و تطبیق شرایط اجزای موجود در مسیر بار و حالت‌های آسیب مشاهده شده با برآوردهای حاصل از تحلیل اطلاعات اولیه‌ی موجود تحقیق نماید. شناسایی نهایی اجزاء برای یک ساختمان آسیب‌دیده در زلزله، باید به کمک ترکیبی از تحلیل‌های نظری و مشاهده‌ی آسیب‌ها صورت پذیرد.

۳-۳-۲- برداشت و آزمایش مقاومت مصالح

ضوابط آزمایش‌های لازم برای شناسایی مشخصات مصالح بر اساس نشریه‌ی ۳۶۰ تعیین می‌شود. روش‌های بازرسی و آزمایش ساختمان‌های بتنی برای تعیین آسیب‌های لرزه‌ای به دو دسته‌ی کلی؛ غیرمخرب (Nondestructive) و مخرب (Intrusive) تقسیم می‌شود. روش‌های غیرمخرب، بی‌نیاز از شکافتن موضع یا برداشت پوشش بتنی مقاطع یا وارد آوردن هر نوع آسیب به اعضا، تلاش دارد تا موارد لازم را شناسایی کند؛ اما در برخی موارد، ممکن است لازم باشد برای انجام مراحل آزمایش، نازک‌کاری‌ها برداشته شود. در مقابل، روش‌های مخرب با نمونه‌برداری همراه است، شامل؛ برداشتن یا شکافتن بخش‌هایی از اعضا یا به‌منظور دسترسی به قسمت‌هایی از آن برای انجام آزمایش یا بازرسی است. در جدول (۳-۱) خلاصه‌ای از انواع بازرسی‌ها و آزمایش‌هایی که در ساختمان‌های بتنی اعمال می‌شود، ارائه شده است و در بخش ۳-۳-۲-۱ توضیحات تفصیلی در مورد هر یک از آزمایش‌ها ارائه شده است. در ادامه به عوامل مختلفی که بر روی دامن‌دهی کلی آزمایش‌ها و بازرسی‌ها شامل؛ نوع و تعداد آن‌ها تأثیر می‌گذارد، اشاره شده است:

(الف) کامل بودن مستندات موجود: اگر اسناد دقیق و کاملی از شرایط سازه‌ای در دسترس باشد، امکان کاهش آزمایش‌ها طبق نشریه ۳۶۰ وجود دارد.

(ب) ماهیت و گستردگی آسیب: آسیب فراگیر یا پراکنده، نیاز به بررسی‌های دقیق‌تری دارد. ساختمان‌هایی که پیش از زلزله آسیب‌دیده است، ممکن است نیاز به توجه بیشتری برای تشخیص تفاوت میان آسیب‌های قبل و بعد از زلزله داشته باشد.

(پ) کیفیت ساخت: اگر شرایط میدانی ساختمان اجرا شده، با مستندات ساخت متفاوت باشد، بررسی‌های بیشتری لازم است. اگر کیفیت مصالحی که در محل اجرا شده، در نقاط مختلف سازه یکسان نباشد، انجام آزمایش‌های بیشتر بر روی اجزای مختلف مطابق نشریه ۳۶۰ الزامی خواهد بود.

(ت) ارتباط میان اطلاعات تحلیلی و مشاهدات میدانی: اگر محاسبات برای شناسایی اجزاء بحرانی و آسیب‌های مورد انتظار، نتایجی ارائه دهد که با آسیب‌های واقعی تأیید شده باشد، آنگاه آزمایش و بازرسی‌های کمتری مورد نیاز است.

ث) میزان دسترسی به محدوده‌های بحرانی سازه برای ارزیابی‌های چشمی: در بسیاری موارد دسترسی برای بازدید چشمی از محدوده‌های بحرانی در مسیر بار در سازه فراهم نیست. در این شرایط لازم است با استفاده از روش‌های مناسب غیرمخرب یا مخرب این نقیصه پوشش داده شود.

جدول (۳-۱): خلاصه روش‌های بازرسی و آزمایش در ساختمان‌های بتنی آسیب‌دیده در زلزله

نوع آزمایش	مشخصات آزمایش	مصلح			ساختار یا مشخصات مصلح
		بنایی غیرمصلح	بنایی مصلح	بتن مصلح	
بررسی چشمی	NDE 1	✓	✓	✓	موقعیت و اندازه ترک
بررسی چشمی	NDE 1	✓	✓	✓	موقعیت و
صدا	NDE 2	✓	✓	✓	اندازه‌ی لایه لایه شدگی
پژواک ضربه	NDE 6	✓	✓	✓	محل ترک‌های داخلی یا
تحلیل طیفی امواج سطحی	NDE 7			✓	لایه لایه شدگی
حذف انتخابی	IT 1	✓	✓	✓	
بررسی چشمی	NDE 1		✓	✓	شکست یا کماتش آرماتور
حذف انتخابی	IT 1		✓	✓	
پتروگرافی	IT 2	✓	✓	✓	سن نسبی ترک‌ها
چکش اشمیت	NDE 3	✓	✓	✓	مقاومت فشاری نسبی
نمونه‌برداری و آزمایش مصلح	IT 3	✓	✓	✓	مقاومت فشاری
ردیاب میلگرد	NDE 4		✓	✓	
راديوگرافی	NDE 8		✓	✓	موقعیت و
رادار نفوذی	NDE 9		✓	✓	اندازه‌ی آرماتور
حذف انتخابی	IT 1		✓	✓	
استخراج و آزمایش مصلح	IT 3		✓	✓	مقاومت آرماتور
بررسی چشمی	NDE 1	✓	✓	✓	
پژواک ضربه	NDE 6	✓	✓	✓	ضخامت دیوار
حذف انتخابی	IT 1	✓	✓	✓	
صدا	NDE 2		✓	✓	
ضربه اکو	NDE 6		✓	✓	
تحلیل طیفی امواج سطحی	NDE 7		✓	✓	وجود ملات در واحد بنایی
حذف انتخابی	IT 1		✓	✓	
استخراج و آزمایش مصلح	IT 3		✓	✓	مقاومت مصلح بنایی
آزمایش درجا	IT 4, IT 5	✓			
پتروگرافی	IT 2	✓	✓		خصوصیات ملات
آزمایش درجا	IT 4, IT 5	✓	✓		

به‌طور کلی، دامنه‌ی ارزیابی‌ها برای ساختمان‌های مختلف می‌تواند به طرز قابل توجهی متفاوت باشد. یک برنامه‌ی مناسب برای ارزیابی باید با روندهای به نسبت ساده و ارزان آغاز شود. هدف باید بازرسی چشمی تمام اعضا و اجزای سامانه‌ی مقاوم در برابر بار ثقلی و جانبی باشد. در بعضی موارد، ممکن است نازک‌کاری‌ها مانع بررسی اعضا و اجزای خاصی باشد. اگر تحلیل مقدماتی نشان دهد که احتمال بروز آسیب در نواحی پنهان وجود دارد، نازک‌کاری‌ها باید برای بازرسی مکان‌های

بحرانی برداشته شود. با ادامه‌ی ارزیابی، در صورت لزوم می‌توان دامنهی فعالیت را براساس نتایج بازرسی‌های چشمی و مقایسه با پیش‌بینی‌های تحلیلی رفتار گسترش داد.

تعداد آزمایش‌های لازم برای تعیین خصوصیات مصالح باید به گونه‌ای باشد که براساس سطح عملکرد انتخاب شده، مقدار ضریب آگاهی مطابق با دستورالعمل ارزیابی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، نشریه ۳۶۰، برابر ۱ در نظر گرفته شود. حداقل مقاومت بتن باید مطابق با ضوابط بتن سازه‌ای آبا (نشریه ۱۲۰) باشد. در صورتی که مقاومت فشاری بتن موجود کمتر از مقاومت حداقل یاد شده باشد، باید ساختمان آسیب‌دیده براساس بند ۳-۷-۵ تعمیر شود. مقاومت مشخصه و کران پایین بتن باید براساس نشریه ۳۶۰ تعیین شود. در هنگام انجام فرآیند نمونه‌گیری از اعضای آسیب‌دیده‌ی ساختمان لازم است دقت شود تا اثرات آسیب در نمونه وجود نداشته باشد.

۳-۳-۲-۱- راهنمای آزمایش و بازدید

در این بخش تمام آزمایش‌های ارائه شده در جدول ۳-۱ به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است.

۱. آزمون بازرسی بصری (NDE1).

بازرسی چشمی مفیدترین آزمون موجود در ارزیابی آسیب‌های وارده از زلزله به دیوارهای بتنی و بنایی است. به‌طور کلی، آسیب‌های وارده در اثر زلزله در سطح دیوارهای بتنی و بنایی در معرض دید قرار دارد. انواع قابل مشاهده‌ی آسیب‌ها شامل ترک خوردگی، خرد یا پوسته شدگی، جابجایی جانبی دائمی و کمانش یا شکست آرماتور می‌باشد. در بازرسی چشمی همچنین می‌توان تخمینی از جابجایی ایجاد شده در طبقات ساختمان نیز به دست آورد.

بازرسی چشمی همیشه باید به همراه سایر روش‌های آزمایش مورد استفاده قرار گیرد. یافته‌های حاصل از بازرسی‌های چشمی می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای تعیین محل‌های لازم برای انجام آزمایش‌های بیشتر مورد استفاده قرار گیرد. لازم است آسیب‌های مشاهده شده به شیوه‌ی طراحی دستی بر روی کاغذ ثبت شود. به این ترتیب، می‌توان برای تشخیص رفتار دیوار در هنگام زلزله از تفسیر الگوهای آسیب نیز بهره برد.

محدودیت‌ها: عرض ترک می‌تواند به‌طور قابل توجهی در امتداد گستردگی طول خود تغییر نماید. هر دو وسیله‌ی اندازه‌گیری توسط کارت پلاستیکی و عدسی‌های ذره‌بینی می‌تواند تخمینی منطقی از عرض ترک ارائه نماید. وسایل اندازه‌گیری با ذره‌بین در هنگام اندازه‌گیری عرض ترک‌های کوچک (کوچک‌تر از ۰,۰۲۵ سانتی‌متر) دقیق‌تر است. کارت‌های پلاستیکی در شرایط سایه‌روشن می‌تواند عرض ترک را بیش از اندازه‌ی واقعی برآورد کند. جدا از وسیله‌ی ارزیابی، عرض ترک فقط در موقعیت‌های خاص اندازه‌گیری می‌شود تا مبنایی برای تعیین آستانه‌ی تعمیر باشد. اندازه‌گیری‌ها در درجه‌ی اول باید برای مقایسه‌ی سطح آسیب در دیوارهای مختلف انجام شود. وقتی عرض ترک ایجاد شده به حدود ۰,۱۵ سانتی‌متر برسد، نیازی به وسایل مقیاسی نیست. برای ترک‌های عریض‌تر، یک متر نواری دقت کافی برای اندازه‌گیری دارد.

به‌طور کلی، مشاهده‌ی چشمی دیوارهای بتنی و بنایی می‌تواند بیشتر آسیب‌های وارده به این اجزاء، ناشی از زلزله را شناسایی کند. در بعضی موارد، وجود نازک‌کاری روی دیوارها می‌تواند از تشخیص درست آسیب جلوگیری کند. نازک‌کاری‌های شکننده مانند گچ (plaster) می‌تواند آسیبی را نشان دهد که لزوماً در لایه‌ی زیرین وجود ندارد. نازک‌کاری‌های انعطاف‌پذیر نیز مانند دیوارهای پرکننده‌ی غیرسازه‌ای می‌تواند آسیب‌های جزئی را پنهان کند.

۲. آزمون صدا (NDE2)

می‌توان برای شناسایی فضاهای توخالی یا پوسته‌شدگی در دیوارهای بتنی، از ضربه زدن به دیوار با یک جسم سخت مانند چکش و گوش‌دادن ارتعاش ساطع شده از آن اقدام نمود. صدای تولید شده در یک دیوار یک دست با صدای دیواری که حفره یا پوسته‌شدگی نزدیک به سطح دارد، متفاوت است. در دیوارهای بنایی حاوی بلوک‌های بتنی، می‌توان از تولید صدا برای اطمینان از پر بودن هسته‌های بلوک از دوغاب، استفاده نمود.

محدودیت‌ها: خصوصیات دیوار می‌تواند بر صحت آزمون صدا تأثیر بگذارد. هندسه و ضخامت دیوار نیز بر روی نتایج این آزمون تأثیرگذار است. بهترین حالت برای استفاده از آزمون صدا، در حالت دیوار با ضخامت یکنواخت و دور ماندن از محیط پیرامونی دیوار است.

علاوه بر این، صحت اطلاعات آزمون صدا با استفاده از چکش به مهارت مهندس یا تکنسین انجام‌دهنده‌ی آزمون و میزان عمق آسیب درون ضخامت دیوار بستگی دارد. به‌طور معمول، پوسته‌شدگی تا عمق پوشش آرماتورهای مسلح‌کننده (به‌طور معمول حدود ۲٫۵ تا ۵ سانتی‌متر) قابل تشخیص است. تشخیص خردشدگی یا پوسته‌شدگی‌های عمیق‌تر نیاز به استفاده از سایر روش‌های آزمون غیرمخرب دارد. در عین حال که آزمون صدا نمی‌تواند عمق خردشدگی یا پوسته‌شدگی را تعیین کند. ضربه زدن بر روی نواحی سست مصالح می‌تواند باعث جدا شدن و افتادن قطعه‌هایی از دیوار شود. از انجام آزمون صدا برای ارتفاع بالاتر از ارتفاع قد خود، خودداری شود. برای رسیدن به ارتفاعات بالاتر دیوار باید از نردبان، داربست یا ابزارهای دیگر بالا بر استفاده نمود.

۳. آزمون چکش‌اشمیت (NDE3)

آزمون چکش‌اشمیت، روشی برای تشخیص درجای مقاومت فشاری بتن است. در این آزمون، یک ضربه‌ی مشخص چکش به سطح بتن وارد می‌شود. مقدار نیروی برگشت چکش اندازه‌گیری شده و در مقایسه با داده‌های شرکت سازنده، تخمینی از مقاومت بتن به دست می‌آید. از این روش برای ارزیابی مقاومت مصالح بنایی نیز می‌توان استفاده نمود.

محدودیت‌ها: آزمون چکش‌اشمیت مقدار دقیق مقاومت فشاری بتن را نمی‌دهد، بلکه برآوردی از مقاومت به دست می‌دهد که می‌تواند برای مقایسه مورد استفاده قرار گیرد. این دستگاه نیاز به کالیبره‌شدن پیوسته دارد. اگرچه برای برآورد مقاومت بتن می‌توان از نمودارهای ارائه شده توسط تولیدکنندگان دستگاه استفاده نمود، اما در صورت انجام نمونه‌گیری در

همان موقعیت‌هایی که آزمون چکش اشمیت انجام شده، تخمین بهتری از مقادیر واقعی برآورد شده با دستگاه به دست می‌آید.

نتایج آزمون چکش اشمیت به کیفیت بتن موجود در چند سانتیمتر بیرونی دیوار بسیار حساس است. به‌جای استفاده از سطوح نهایی دارای نازک کاری، نتایج قابل تکرار بیشتری را می‌توان از سطوح دیوار بدون نازک کاری به دست آورد. ضربه ناشی از چکش اشمیت می‌تواند گودی ناچیزی در سطح دیوار ایجاد کند. از این‌رو، بیش از یک قرائت در یک موقعیت انجام نشود. رطوبت و میزان زبری سطح دیوار نیز می‌تواند بر مقدار قرائت شده‌ی دستگاه تأثیر بگذارد. هنگام استفاده از آزمون چکش اشمیت بر روی دیوارهای بنایی، چکش را باید در مرکز واحد دیوار بنایی قرار داد. مقادیر حاصل از این آزمون بر روی دیوارهای بنایی، میزان مقاومت واحد مصالح بنایی و ملات را نشان می‌دهد. در صورتی که دیوار مصالح بنایی، چینه‌ی چند ردیفه داشته باشد، این روش فقط در ارزیابی استحکام لایه‌ی بیرونی دیوار مفید است.

۴. آزمون ردیاب میلگرد (NDE4)

پوشش سنج (Covermeter) یک عبارت کلی برای ردیابی میلگرد در یک دیوار بتنی یا بنایی مسلح است که از آن برای تعیین موقعیت و اندازه‌ی میلگردهای مسلح کننده استفاده می‌شود. اصل پایه در بیشتر ردیاب‌های میلگرد، اندرکنش میان میلگرد مسلح کننده و یک میدان مغناطیسی با فرکانس پایین است. در صورت استفاده‌ی صحیح، بسیاری از انواع ردیاب‌های میلگرد می‌تواند میزان پوشش بتن و اندازه‌ی میلگرد را نیز تشخیص دهد. در صورت موجود بودن نقشه‌های ساختمان، از ردیاب میلگرد می‌توان برای تأیید اجرای صحیح دیوار استفاده نمود و در صورت عدم وجود اطلاعات قبلی در مورد ساخت، می‌توان از آن برای تهیه‌ی اطلاعات مدل چون ساخت سازه بهره برد.

محدودیت‌ها: اگر عمق میلگرد بیش از حد زیاد باشد یا تجمع زیادی از آرماتورها مانند محل وصله‌ها یا در مرزها وجود داشته باشد، تفسیر قرائت انجام شده می‌تواند دشوار باشد. دقت این کار، بسته به دستگاه‌ها و تولیدکنندگان متفاوت خواهد بود. به جز در مرزهای دیوار، فاصله میلگردها به‌طور معمول آن قدر زیاد هست که میلگردهای مجاور تأثیر نامطلوبی بر قرائت انجام شده نداشته باشد. سایر فلزات مدفون مانند مجراها یا لوله‌های فلزی، تشخیص داده می‌شود و می‌تواند باعث قرائت‌های نادرست شود.

برای دیوارهای دارای دو لایه آرماتورهای بتنی، از آشکارساز میلگرد فقط می‌توان برای تشخیص میلگردهای نزدیک به سطحی از دیوار که کاوشگر بر روی آن قرار می‌گیرد، استفاده نمود. برای تشخیص میلگردهای دو لایه‌ی موجود در یک دیوار، باید از دستگاه بر روی هر دو سطح دیوار استفاده نمود. هنگامی که دو لایه میلگرد وجود دارد، لایه‌ی دوم برای یک میلگرد با اندازه و عمق مشخص، با تولید سیگنالی قوی‌تر از زمانی که فقط یک لایه میلگرد وجود دارد، می‌تواند بر مقدار قرائت تأثیر بگذارد.

برخی از ردیاب‌های میلگرد در حین استفاده، نیاز به کالیبره شدن مجدد در فواصل منظم دارد؛ بنابراین، کاربر باید به‌طور مرتب قرائت‌ها را بررسی کند تا مطمئن شود بازخوانی قرائت‌ها هنوز قابل تکرار است. تکنیک فاصله‌گذاری برای تعیین اندازه و عمق میلگرد فقط در محدوده‌ی قطر ۱ یا ۲ میلگرد صحیح است. هنگام اندازه‌گیری عمق پوشش، بسیاری از دستگاه‌ها به واقع فاصله تا مرکز فولاد مسلح‌کننده را اندازه‌گیری می‌کند. منابع شرکت سازنده باید بررسی شود تا معنی عمق قرائت مشخص گردد.

۵. آزمون پالس مافوق صوت (NDE5)

در روش سرعت پالس مافوق صوت، مدت زمان گذر یک پالس مافوق صوت از ضخامت دیوار اندازه‌گیری می‌شود. سرعتی که پالس از درون دیوار گذر می‌کند تحت تأثیر کیفیت مصالح، از جمله وجود ترک خوردگی یا آسیب دیدگی است. با مقایسه ی زمان نسبی گذر از بخش‌های مختلف با ضخامت مشخص، می‌توان از سرعت پالس مافوق صوت برای ارزیابی مقاومت نسبی بتن یا مصالح بنایی، در عین حال نشان دادن وجود ترک یا لایه‌شدگی استفاده کرد. محدودیت‌ها: اندازه‌گیری سرعت پالس نیاز به دسترسی به دو طرف دیوار دارد. سطوح دیوار باید به نسبت صاف باشد. لازم است نواحی زیر صاف شود تا اتصال آکوستیک بهبود یابد. برای پر کردن فضای خالی بین مبدل و سطح دیوار باید از ژل تسهیل انتقال موج استفاده نمود. اگر فضای خالی بین مبدل و سطح دیوار وجود داشته باشد، زمان گذر پالس افزایش می‌یابد و باعث قرائت نادرست می‌شود. از آنجا که پالس‌های مافوق صوت در فولاد با سرعتی به مراتب بیشتر از بتن گذر می‌کند، میلگردهای مدفون هم‌راستا با مسیر گذر پالس، می‌تواند روی نتایج تأثیر منفی داشته باشد. میلگردهای با قطر بیش از ۱ سانتی‌متر نتایج را به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار خواهد داد. میزان رطوبت بتن نیز تأثیر جزئی (تا حدود ۲ درصد) بر سرعت پالس دارد. اندازه‌گیری سرعت پالس می‌تواند وجود فضاهای خالی یا ناپیوستگی‌ها را در دیوار تشخیص دهد؛ اما این اندازه‌گیری‌ها نمی‌تواند عمق حفره‌ها را تعیین کند.

۶. آزمون پژواک ضربه (NDE6)

پژواک ضربه، روشی برای تشخیص ناپیوستگی‌های درون ضخامت دیوار بتنی یا بنایی است. به سطح مصالح، ضربه‌ای توسط یک چکش کوچک وارد می‌شود که یک پالس انرژی درون مصالح ایجاد می‌کند. پالس انرژی از طریق سرعت موج ناپیوستگی‌های درون مصالح، منعکس می‌شود. ناپیوستگی‌ها می‌تواند ترک، سطح دیگر مواد، سطوح جانبی دیوار، لایه‌شدگی یا حفره‌های خالی درون دیوار باشد. یک مبدل بر روی همان سطحی که بر آن ضربه وارد شده، بازتاب پالس انرژی را ثبت می‌کند. نتایج برداشت شده را می‌توان تفسیر نمود تا ضخامت مصالح و ابعاد و موقعیت‌های ناپیوستگی درون دیوار، مانند حفره‌ها، ترک‌ها و لایه‌شدگی‌ها تشخیص داده شود.

محدودیت‌ها: انجام صحیح آزمون پژواک ضربه به‌طور معمول تا حد زیادی به مهارت مهندس یا تکنسین و درک او از روش آزمون و تفسیر نتایج بستگی دارد. در هنگام استفاده از روش پژواک ضربه، احتمال تفسیر اشتباه نتایج در افراد آموزش ندیده یا دارای آموزش ناکافی بسیار بالا است. محدودیت‌های فیزیکی و صحت آزمون پژواک ضربه تا حدی توسط ابعاد چکش، نوع، حساسیت و فرکانس طبیعی مبدل، یک‌دست بودن بتن و توانایی تحلیل مناسب داده‌ها برای تبدیل آن به اطلاعات قابل استفاده، بستگی دارد.

۷. آزمون تحلیل طیفی امواج سطحی (NDE7)

آزمون تحلیل طیفی امواج سطحی، روشی برای اندازه‌گیری انتشار امواج سطحی در طیف وسیعی از طول موج‌ها است. سرعت انتشار با استفاده از شتاب‌سنج‌ها و یک تحلیل‌گر تبدیل سریع فوریه اندازه‌گیری می‌شود. نتایج را می‌توان برای تشخیص ضخامت مصالح و ابعاد و محل ناپیوستگی‌های درون دیوار، مانند حفره‌ها، ترک‌های بزرگ و لایه‌شدگی‌ها تفسیر نمود.

محدودیت‌ها: پردازش سیگنال برداشت شده و تفسیر نتایج باید از دقت بالایی برخوردار باشد. این فرآیند، به‌طور عمده برای روسازی راه‌ها، دال‌ها و سایر سطوح افقی مورد استفاده قرار گرفته است؛ اما استفاده‌ی گسترده‌ای از این روش بر روی دیوارها ثبت نشده است.

۸. آزمون رادیوگرافی (NDE8)

از آزمون رادیوگرافی می‌توان برای تعیین موقعیت میلگردهای بتنی درون یک دیوار بتنی یا بنایی استفاده نمود. این فرآیند شامل انتقال اشعه ایکس درون بتن است. یک فیلم رادیوگرافی در طرف مقابل منبع اشعه ایکس، شدت خروجی اشعه ایکس از دیوار را ثبت می‌کند. فیلم پردازش شده، تصویری از موقعیت میلگردها و سایر ناپیوستگی‌ها ارائه می‌دهد. محدودیت‌ها: از آنجا که رادیوگرافی شامل انتشار اشعه است، به غیر از پرسنلی که آزمون‌ها را انجام می‌دهند، محیط اطراف محل آزمون باید تخلیه شود. محدوده‌ی منطقه‌ی تخلیه، به نوع ایزوتوپ رادیواکتیو مورد استفاده و ضخامت دیوار بستگی دارد. دیوارهای ضخیم‌تر به زمان بیشتری برای در معرض تابش بودن نیاز دارد و بنابراین انتشار بیشتری صورت می‌گیرد. زمان، هزینه و تدارکات تخلیه‌ی محیط باید در هنگام برنامه‌ریزی آزمون‌ها در نظر گرفته شود.

۹. آزمون رادار نفوذی (NDE9)

رادار نفوذی، امواج الکترومغناطیسی را منتقل می‌کند که توسط یک آنتن دریافت می‌شود. انتشار امواج درون مصالح تحت تأثیر ثابت دی‌الکتریک و رسانایی مصالح است. تفسیر سیگنال دریافت شده می‌تواند برای کشف ناپیوستگی‌ها و تغییر خصوصیات مصالح مورد استفاده قرار گیرد. از داده‌های تفسیر شده می‌توان برای تشخیص موقعیت میلگردها، ترک‌ها، حفره‌ها یا سایر موارد ناپیوستگی در مصالح استفاده نمود.

محدودیت‌ها: اگرچه واحدهای رادار نفوذی به صورت تجاری در دسترس هست، اما تعداد بسیار کمی از آن برای کاربرد در سازه‌های بتنی و بنایی استفاده دارد. رادار نفوذی در ابتدا برای تشخیص شرایط زیر سطحی دال‌هایی که بی‌واسطه بر روی خاک قرار گرفته، استفاده شده است. برخی کارها نیز برای ستون‌های بتنی و ساختمان‌های بنایی غیر مسلح انجام شده است. اگرچه رادار نفوذی برای تعیین فاصله و عمق میلگردها مفید است، اما تعیین اندازه‌ی میلگردها امکان‌پذیر نیست. تشخیص موقعیت و عمق قرارگیری میلگردهایی که با فاصله‌ی نزدیک چیده شده است، می‌تواند دشوار باشد. نزدیک هم چیده شدن میلگردها، تشخیص ویژگی‌های بتن در زیر لایه‌ی میلگردها را دشوار می‌کند. اجسام بزرگ فلزی مدفون مانند اعضای بتنی جاسازی شده، به دلیل پراکنده نمودن پالس‌های الکترومغناطیسی به وضوح قابل شناسایی نیست.

۱۰. آزمون حذف انتخابی (IT1)

هنگامی که اطلاعات مربوط به ساخت قسمت‌هایی از بتن یا مصالح بنایی را نمی‌توان با استفاده از روش‌های غیرمخرب به دست آورد، گاهی لازم است برای مشاهده‌ی مستقیم میلگردها یا قسمت‌های داخلی بتن یا مصالح بنایی، بخش‌هایی انتخابی از دیوار برداشته شود. تنها زمانی که مشاهده‌ی چشمی سطح دیوار، نشانی از آسیب احتمالی پنهان، مانند کماتش میلگرد داشته باشد، یا در صورتی که ارزیابی ساختار خود دیوار ضروری باشد، شکافتن دیوار پیشنهاد می‌شود.

محدودیت‌ها: اگر یافته‌های حاصل از شکافتن دیوار با آنچه انتظار می‌رفت تفاوت اساسی داشته باشد، مهندس باید قبل از شروع به کار تمام اطلاعات موجود را مجدداً مرور نماید. استفاده از نمونه‌های انتخابی اغلب به همراه روش‌های آزمون غیرمخرب انجام می‌شود. برای نمونه، بدون شکافتن سطح دیوار می‌توان از یک ردیاب میلگرد برای تعیین موقعیت میلگردهای مسلح‌کننده استفاده نمود. موقعیت‌های انتخاب شده‌ی پیشین برای تعیین اندازه‌ی میلگرد یا عمق پوشش آن را بعداً می‌توان به عنوان محل شکافتن دیوار مورد استفاده قرار داد. سپس از این داده‌ها برای کالیبره کردن ردیاب میلگرد نیز استفاده می‌شود.

اطلاعات به دست آمده از مشاهده فقط برای موقعیت‌های مورد بررسی کاربرد دارد. ساخت و سازه‌های حتی با ظاهر و شرایط مشابه می‌تواند خصوصیات متفاوتی داشته باشد. میزان تنوع به عوامل مختلفی بستگی دارد، از جمله دوران ساخت، مقدار بارهای ثقلی و جانبی روی دیوار و تغییرات طبیعی در کیفیت ساخت. موقعیت‌های شکافتن دیوار باید با دقت انتخاب شود تا محدوده‌های متعارف و نامتعارف را در بر گیرد تا مهندس اطمینان داشته باشد که داده‌های جمع‌آوری شده نمایانگر بیشتر دیوارهای ساختمان است.

برعکس تصور، انجام آزمون‌های شکافتن دیوار از تمامی دیوارهای یک ساختمان، به ندرت مقرون به صرفه یا ضروری است. شکافتن دیوار ممکن است به میلگردهای تقویت یا سایر اعضای سازه‌ای پنهان آسیب رساند. ایجاد شکاف‌های بزرگ می‌تواند باعث ضعیف شدن دیوار شود.

۱۱. آزمون پتروگرافی (IT2)

آزمون پتروگرافی یک ارزیابی در مقیاس میکروسکوپی از بتن یا مصالح بنایی است. نمونه‌ای از مواد برداشته شده و به آزمایشگاه ارسال می‌شود تا با استفاده از یک میکروسکوپ پرفدردت مورد مطالعه قرار گیرد. از معاینه‌ی پتروگرافی برای تعیین علت ترک‌خوردگی و شناخت طرح تقریبی مخلوط بتن یا ملات نیز می‌توان استفاده کرد.

محدودیت‌ها: اگرچه تحلیل پتروگرافی می‌تواند اطلاعات قابل‌توجهی در مورد ترکیب مصالح و علت آسیب ارائه دهد، اما نتایج آن متقن و مستدل نیست. در این روش، تعیین علت و سن دقیق ترک‌ها قابل تشخیص نیست. وقوع ترک می‌تواند دلایل متنوعی داشته باشد. دیوارهایی که با نازک‌کاری محافظت شده، در معرض تخریب سطحی متعارف نیست تا امکان مقایسه ترک‌های سطحی برای ارزیابی سن نسبی آن‌ها فراهم باشد.

۱۲. آزمون استخراج و آزمایش مصالح (IT3)

آزمایش مصالح مستلزم خارج ساختن نمونه‌ای از مصالح است که می‌تواند از میلگرد، بتن یا مصالح بنایی باشد. سپس نمونه‌های برداشته شده برای تعیین مقاومت کششی فولاد یا مقاومت فشاری بتن یا مصالح بنایی مورد آزمایش قرار می‌گیرد. محدودیت‌ها: نمونه‌برداری به دیوار آسیب می‌رساند و ممکن است نیاز به تعمیرات در آن مناطق وجود داشته باشد؛ بنابراین، نمونه‌ها باید از نواحی با تقاضای پایین برداشته شود. مقادیر به دست آمده از آزمایش‌های هسته‌ی بتن نباید دقیقاً برابر با مقادیر مقاومت طراحی پیش‌بینی شده باشد. مقادیر آزمون هسته می‌تواند دارای یک مقدار متوسط ۸۵ درصد مقاومت مشخص شده باشد. اگر نتایج، حاکی از تنوع زیاد در مقادیر باشد، باید نمونه‌های اضافی گرفته و آزمایش شود تا ضریب تغییر کاهش یابد. با این حال، لازم است هزینه‌ی آزمایش‌های اضافه‌تر نیز در کنار مزیت افزایش دقت نتایج در نظر گرفته شود.

۳-۳-۳- شرایط سازه پیش از زلزله

تفسیر یافته‌های ناشی از مشاهدات آسیب باید توسط کارشناس دارای تجربه و صلاحیت لازم انجام پذیرد. هنگام ارزیابی آسیب‌های یک ساختمان بتنی، باید تمامی عوامل احتمالی ایجاد آسیب، مانند؛ زلزله‌ی مخرب یا آنچه که قبل از رویداد زلزله‌ی فعلی رخ داده است، مورد بررسی قرار گیرد. از آنجا که ارزیابی ساختمان‌های آسیب‌دیده در زلزله به‌طور معمول طی چند هفته یا چند ماه پس از وقوع رویداد زلزله انجام می‌شود، لازم است به آسیب‌های جدید ناشی از رویداد جدید لرزه‌ای پرداخته شود. به‌طور معمول ترک‌خوردگی و جداسازی پوشش بتن ناشی از زلزله، آسیب جدید محسوب می‌شود. از طرفی ترک‌های مربوط به عواملی همچون جمع‌شدگی بتن در حین فرایند هیدراتاسیون یا زلزله‌های پیشین، نشست، بارگذاری حین بهره‌برداری و خوردگی، آسیب‌های قدیمی محسوب می‌شود. رهنمودهای کلی برای ارزیابی سن نسبی ترک‌ها بر اساس مشاهدات چشمی در ادامه تشریح شده است.

الف) ترک‌های جدید. این ترک‌ها به‌طور معمول دارای مشخصات زیر هستند:

— پوسته‌ها دارای لبه‌های ظریف و سست است.

- بتن به رنگ روشن است و درون ترک تمیز است.
- لبه‌های قسمت خردشده، تیز و فرسایش نیافته است.
- شواهد کربناسیون یا سایر فرایندهای شیمیایی محتمل در محل ترک وجود ندارد.

(ب) ترک‌های قدیمی. این ترک‌ها به‌طور معمول دارای مشخصات زیر هستند:

- وجود رنگ یا دوده یا گرد و خاک قدیمی درون ترک مشهود است.
- تراوش لکه‌های آب، علائم خوردگی یا سایر موارد از درون ترک مشهود است.
- وصله‌ها و تعمیرات قبلی در محل ترک مشهود است.
- گرد شدگی و فرسایش در لبه‌های ترک رخ داده است.
- نشانه‌های کربناسیون و تغییر رنگ بتن در عمق ترک مشهود است.

ارزیابی تأثیرات آسیب نیاز به درک رفتار سازه‌ای ساختمان بتنی در هنگام زلزله دارد. مهندس طراح باید برآورد مشاهدات را با توجه به رفتار کلی ساختمان و نتایج محاسبات تحلیلی در نظر بگیرد. رفتار ساختمان باید با آسیب‌های مشاهده شده مرتبط باشد. اگر آسیب‌های مشاهده شده منطبق با رفتار کلی لرزه‌ای سازه نباشد، ممکن است ترک ناشی از رویدادی غیر از زلزله باشد.

شناسایی عوامل آسیب غیر لرزه‌ای. عوامل متعددی مانند؛ خوردگی فولاد، خرابی بتن در اثر ضعف در سنگدانه‌ها یا کربناسیون و سایر موارد در کنار افزایش میزان تقاضای باربری در اعضا در زمان زلزله نسبت به ظرفیت آن‌ها، می‌تواند باعث بروز آسیب در سازه‌های بتنی شود. از آنجا که شناخت علت وقوع آسیب، به‌طور مستقیم در انتخاب رویکرد مناسب برای تعمیر ساختمان تأثیرگذار است، لازم است گروه بازرسان در مورد عوامل ایجاد آسیب در بتن و به‌طور کلی اعضا و اجزاء ساختمان بتنی مورد بررسی، اطلاعات کافی داشته باشند؛ زیرا اولین مرحله در مطالعات سازه‌ی آسیب‌دیده در زلزله، شناسایی عوامل ایجاد آسیب در سازه است. این بخش مبتنی بر اقدامات زیر صورت می‌پذیرد:

- مرور مدارک در دسترس طراحی و اجرا،
- مرور اطلاعات در دسترس آزمایشگاهی،
- مرور مدارک و مستندات مربوط به عملیات تعمیر یا بهسازی قبلی،
- ارزیابی وضعیت خوردگی آرماتورها در اعضای بتنی،
- ارزیابی مدارک دوره‌ی بهره‌برداری و نگهداری ساختمان،
- بازدید چشمی سازه،
- مطالعات آزمایشگاهی مربوط به ارزیابی مقاطع به روش‌های غیرمخرب و مخرب (نمونه‌برداری)،

- ارزیابی نتایج آزمایشگاهی از تحلیل‌های پتروگرافی و شیمیایی نمونه‌های بتن‌آرمه.

در این راهنما، آسیب در اعضای بتنی در دو بخش؛ (۱) آسیب‌های ناشی از بارگذاری بیش از توان ظرفیتی اعضا و (۲) سایر موارد، تقسیم شده است. پس از ارزیابی شرایط سازه، لازم است سازوکار ایجاد آسیب که عامل بروز نقص در عضو شده، تعیین شود. در یک ساختمان بتنی، نقص‌ها و آسیب‌های بسیاری را می‌توان شناسایی نمود که بیش از یک دلیل یا یک سازوکار برای ایجاد آن وجود دارد. از این‌رو، پیش از انتخاب روش تعمیر، ضروری است مهندس طراح با درک اصولی و مستدل، دلایل ایجاد آسیب در اعضا را شناسایی نموده و ارائه نماید. تنها پس از تکمیل این ارزیابی می‌توان در باره‌ی روش تعمیر مناسب، طرح اجرایی آن، مصالح مورد نیاز برای تعمیر، نقشه‌ها و مشخصات فنی مورد نیاز برای آن، تصمیم‌گیری و اقدام نمود.

۳-۳-۴- تحلیل مقدماتی

تحلیل مقدماتی به‌عنوان یک روش برای شناسایی اولیه‌ی موقعیت‌های با احتمال آسیب لرزه‌ای در سازه‌ی ساختمان، پیشنهاد می‌شود. در ابتدای فرآیند ارزیابی، مهندس طراح با پیش‌بینی رفتار غیر ارتجاعی حاکم بر هر عضو در سامانه‌ی باربر جانبی می‌تواند نقاط مستعد آسیب در اجزای اصلی را با یکی از دو تحلیل بار افزون یا تاریخچه زمانی شناسایی کند. این تحلیل در صورتی قابل استناد می‌باشد که نتایج حاصل با آسیب‌های مشهود ساختمان مطابقت قابل قبولی داشته باشد. سختی نسبی، مقاومت (خمشی، برشی، محوری) و شکل‌پذیری هر یک از اجزاء (با فرض بدون احتساب آسیب) در مدل‌سازی فوق بر اساس مشخصات غیر ارتجاعی معرفی شده در نشریه ۳۶۰ تعیین می‌شود. در تحلیل مقدماتی باید شرایط ساختمان پیش از زلزله همچون وجود آسیب احتمالی، ناکافی بودن کیفیت اجرای اعضای سیستم بار جانبی و... را نیز مدنظر قرار داد. انتظار می‌رود مدل معرف سامانه‌ی باربر جانبی، در صورت اعمال جابجایی جانبی، تحت الگوی فزاینده‌ی بار جانبی، نحوه‌ی عملکرد سامانه و نقاط محتمل برای تجربه‌ی آسیب در شرایط حدی را نشان دهد.

در صورتی که با نصب یک دستگاه شتاب‌نگاشت در محل یا نزدیکی ساختمان مورد بررسی، اطلاعات تاریخچه‌ی شتاب وارده به ساختمان موجود باشد می‌توان از تحلیل دینامیکی غیرخطی برای شناسایی اعضای مستعد آسیب استفاده نمود.

۳-۳-۵- مستندسازی

در نتایج ارزیابی‌های گروه بازرسان باید به‌طور کامل و بدون ابهام مستندسازی شود. دست‌نوشته‌ها و ترسیم‌های دستی باید موقعیت قرارگیری اعضا و اجزای آسیب‌دیده‌ی سازه‌ی ساختمان را به‌درستی نشان دهد. در صورت انجام آزمایش، باید موقعیت نمونه‌برداری‌ها، تاریخ و نتایج انجام آزمایش‌ها مشخص باشد. موقعیت ارتفاعی اعضا و اجزای با شرایط نامطلوب نیز باید در محل مناسب درج شود. نتایج آزمایش‌ها باید مطابق با توصیه‌های این راهنما دسته‌بندی شود. تصویر آسیب‌های ساختمان باید بر اساس موقعیت نام‌گذاری، دسته‌بندی و در مجموع تمامی مشاهدات چشمی ثبت شود. نتایج بررسی‌ها باید

به گونه‌ای سازمان‌دهی شود که بر اجزای سازه‌ای و مودهای رفتاری تمرکز داشته باشد. این سازمان‌دهی، کار تکمیل فرم‌های ثبت آسیب اعضا را که در شکل (۳-۱) نشان داده شده، تسهیل می‌کند.

۳-۳-۶- تعیین نقاط بازدید

کمینه نقاط لازم برای بازرسی، شامل؛ نقاط دارای آسیب مشهود و نقاطی که بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده یا تحلیل مقدماتی ساختمان، در مسیر انتقال بارهای لرزه‌ای قرار داشته و انتظار مشاهده‌ی آسیب در آن‌ها وجود دارد. لازم است مهندس طراح و گروه بازرسی پس از بررسی اطلاعات جمع‌آوری شده، نتایج تحلیل مقدماتی (در صورت وجود که باید در آن آسیب‌های احتمالی قبل از رویداد نیز لحاظ شده باشد) و قضاوت مهندسی، اقدام به انتخاب نقاط بازدید در ساختمان‌ها نمایند. در ادامه نکات و پیشنهادهای کاربردی برای بازرسی یک ساختمان بتنی ارائه شده است:

الف) شناسایی سامانه‌ی سازه‌ای ساختمان؛ پیش از انجام مطالعات ارزیابی و طرح تعمیر، لازم است در مرحله‌ی بازرسی، پیکربندی سامانه‌ی سازه‌ای ساختمان مورد بررسی شناسایی شود. پیکربندی سامانه‌ی سازه‌ای ساختمان‌های بتن مسلح درجا یا پیش‌ساخته بر اساس نحوه‌ی انتقال بار جانبی، به‌طور معمول یکی از انواع رایج زیر است. معرفی این سامانه‌ها و جزئیات بیشتر خصوصیات آن‌ها در فصل ۵ نشریه ۸۳۲، ارائه شده است:

۱. دیوارهای باربر بتن مسلح (ثقلی یا لرزه‌ای)،

۲. قاب خمشی،

۳. قاب دوگانه یا ترکیبی،

به‌طور کلی ساختمان‌های بتن مسلح پیش‌ساخته نیز مانند ساختمان‌های بتن درجا بازرسی و ارزیابی می‌شود. علاوه بر این، بازرسی دقیق اتصالات اعضای پیش‌ساخته در زمان بازدید اهمیت زیادی دارد.

ثبت آسیب‌های وارده به عضو		
شناسه عضو:	نوع عضو:	موقعیت:
طرح و توصیف انواع آسیب‌ها و شدت آن (در صورت لزوم داده‌های تکمیلی را ضمیمه کنید):		
خلاصه نتایج آزمایش (ضمیمه جزئیات):		
ساختمان:	بازرس:	تاریخ بازرسی:

شکل (۳-۱): نمونه‌ای از فرم ثبت آسیب‌های اعضا

ب) شناسایی و دسته‌بندی آسیب‌های لرزه‌ای در ساختمان‌های بتنی؛ آسیب‌های لرزه‌ای در ساختمان‌های بتنی مطابق جدول (۳-۲) در دو رده؛ (۱) آسیب کلی و (۲) آسیب‌های موضعی، دسته‌بندی می‌شود. آسیب کلی در ساختمان‌های بتنی، به‌صورت تغییر شکل‌های ماندگار در کل ساختمان یا در یک طبقه قابل مشاهده و ثبت است. شواهد مربوط به آسیب‌های موضعی به‌صورت ترک‌های باریک و مویی تا ترک‌های عریض، شکست و قلوه‌کن شدن بتن در مقطع، کمانش آرماتور و فروریزش پوسته‌ی بتنی گزارش می‌شود.

جدول (۳-۲): شواهد آسیب در ساختمان‌های بتنی

رده	نوع آسیب
آسیب کلی	مشاهده‌ی تغییر شکل‌های ماندگار در کل یا در یک طبقه از ساختمان. پیچش ساختمان، نشست ناهمگون، روانگرایی و ... مشاهده‌ی آسیب‌های مشهود در اعضای سازه‌ای.
آسیب‌های موضعی	مشاهده‌ی ترک‌های مویی و باریک تا ترک‌های عریض. مشاهده‌ی شکست، قلوه‌کن شدن و فروریزش بتن پوسته.

به منظور اتخاذ تصمیم‌های بعدی، لازم است دسته‌بندی از شدت آسیب‌های وارده به ساختمان، ارائه شده در جدول (۳-۲)، انجام پذیرد. از این‌رو، آسیب‌های وارده باید اندازه‌گیری، ارزیابی و ثبت شود. تعیین سطوح آسیب در اعضای آسیب‌دیده ی بتنی بر اساس عرض ترک یا وضعیت آسیب مشاهده شده در بند (۳-۳-۸) ارائه شده است.

(پ) موقعیت‌های مستعد آسیب؛ موقعیت‌های محتمل وقوع آسیب در ساختمان‌های بتنی در فصل ۳ و ۵، نشریه ۸۳۲، راهنمای ارزیابی سریع ساختمان‌ها معرفی شده است. این موقعیت‌ها اغلب به شرح زیر است:

- محل اتصال تیر به ستون،
- اعضای تیر و ستون در ناحیه بحرانی نزدیک به اتصال،
- اتصال دیوارهای برشی با کف طبقات یا شالوده‌ها،
- ستون‌ها در طبقات پایین، به خصوص پایین‌ترین طبقه،
- دیوارهای برشی،

(ت) تفسیر آسیب ناشی از زلزله؛ تفسیر آسیب‌های ناشی از زلزله در ساختمان‌های آسیب‌دیده بر اساس پاسخ سه بعدی ساختمان، می‌تواند بسیار پیچیده باشد. برای تفسیر شواهد ثبت شده پیرو شناسایی علت ایجاد آسیب لرزه‌ای، ملاحظات زیر ضروری است:

- پیچش کلی ساختمان می‌تواند بر توزیع آسیب در اعضای قائم تأثیرگذار باشد. مقدار پاسخ پیچشی واقعی ممکن است با برآوردهایی (پیچش واقعی به علاوه ی پیچش تصادفی) که به‌طور متعارف در طراحی استفاده می‌شود، متفاوت باشد. برای تفسیر رفتار پیچشی، تفسیر دقیق توزیع آسیب متناسب با توزیع جرم و سختی طبقات ساختمان الزامی است.
- آسیب وارده به اعضای مستقل می‌تواند به دلیل عملکرد در یک راستا یا دو راستای متعامد باشد. برای نمونه، در یک عضو دیوار برشی به شکل متقاطع؛ $U, H, F, \perp$ که در راستای متعامد با نیرو، در یک یا دو انتهای خود، بازوهای برگشتی دارد، آسیب‌های وارده به بازوهای برگشتی در یک راستا می‌تواند ناشی از اثرات نیروهای هر دو راستا باشد. از این‌رو، تفسیر آسیب باید با دقت انجام شود.

- دیوارهای برشی تحت تأثیر نیروهای درون صفحه‌ای و خارج از صفحه‌ای ناشی از زلزله قرار می‌گیرد. ترک‌خوردگی یا دیگر آسیب‌های ناشی از نیروهای خارج از صفحه می‌تواند به اشتباه به‌عنوان اثر درون صفحه‌ای تفسیر شود. اگر ترک‌ها فقط در یک طرف صفحه‌ی دیوار مشهود باشد، می‌تواند ناشی از نیروهای خارج از صفحه باشد.

توصیه می‌شود موارد عنوان شده در بندهای ۳-۷-۱ و ۳-۷-۲ در انتخاب نقاط دارای اولویت برای بازرسی ساختمان های بتنی با سامانه‌های باربر جانبی متفاوت، مورد توجه قرار گیرد:

۳-۳-۷-۱- قاب‌های بتنی خمشی

در قاب‌های خمشی بتنی، اتصالات از نقاط بسیار آسیب‌پذیر محسوب می‌شود. استفاده از مدل‌های تحلیلی، اتصالات و اعضای تحت تقاضای احتمالی بیشتر را مشخص می‌کند. مهم‌ترین نشانگرهای بازدید از نقاط را می‌توان به صورت زیر عنوان نمود:

- اعضا در محل‌هایی که نازک‌کاری روی اعضا و اتصالات دچار ترک یا ریزش شده باشد، مورد بررسی قرار گیرد.
- لازم است ستون‌ها و اتصالات مربوط به طبقه‌ای که آسیب‌ها در آن متمرکز است، به عبارتی یک طبقه نرم، بیشتر از سایر طبقات ساختمان مورد بررسی قرار گیرد.
- در ساختمان‌هایی که در آن‌ها آسیب ناشی از وقوع مود پیچشی مشاهده می‌شود، باید اعضای را مورد بازرسی قرار داد که بیشترین جابجایی ساختمان را تحمل نموده است. به‌طور معمول، در این شرایط ستون‌های گوشه بیشترین جابجایی نسبی را در طبقه تجربه می‌کند.
- به علت آن که تغییر شکل‌ها و جابجایی‌های سازه در ساختمان‌های بتنی با سامانه‌ی باربر جانبی قاب خمشی، بیشتر از ساختمان با سامانه‌ی باربر جانبی دیوار برشی است، باید به دیوارها، میانقاب‌ها و اعضای که می‌تواند در مسیر جابجایی ستون‌ها قرار گیرد، توجه بیشتری مبذول داشت. وجود آسیب در این اجزاء نشانه‌های مناسبی برای تشخیص اعضای باربر لرزه‌ای است.
- همواره باید به ستون‌های قرار گرفته در کنار بازشوها توجه نمود و وقوع پدیده‌ی ستون کوتاه در آن‌ها را مورد بررسی قرار داد.

۳-۳-۷-۲- ساختمان دارای دیوار برشی

در ساختمان‌های بتنی دارای دیوار برشی، وظیفه‌ی انتقال بخش عمده‌ی نیروی وارد شده از زلزله به ساختمان بر عهده‌ی دیوارهای برشی است. از این‌رو باید با تمرکز بیشتری این دیوارها را مورد بررسی قرار داد. لازم است نقاط زیر نیز مورد بازرسی دقیق قرار گیرد:

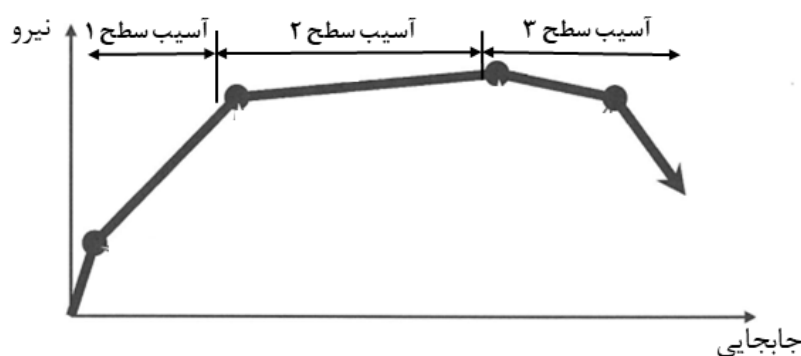
- کل مسیر انتقال بار از بالاترین طبقه تا شالوده مورد بررسی قرار گیرد. در مرحله‌ی بازدید چشمی، نیازی به برداشت نازک‌کاری‌های روی دیوار نیست، اما اگر دیوار غیرسازه‌ای یا تجهیزاتی که برای تزئین بر روی دیوار اجرا شده است دچار ترک خوردگی شده باشد، باید به‌عنوان اقدام ثانویه، این عوامل برداشته شده و بتن اصلی دیوار برشی در آن ناحیه بازدید شود.
- اتصال دیوار برشی به ستون‌های کناری متصل به آن (اعضای مرزی) و اتصال دیوار برشی به دیافراگم سقف مورد بازرسی قرار گیرد.

۳-۳-۸- سطح آسیب وارده به اعضای بتنی

کیفیت و کمیت مصالح به کار رفته در ساخت بتن، شرایط اجرا و شرایط محیطی باعث حساسیت بالای محصول نهایی (بتن مسلح) نسبت به عوامل داخلی و محیطی می‌شود. به دلیل وجود این عوامل، حتی پیش از زلزله نیز احتمال وقوع ترک و آسیب در اعضای ساختمان‌های بتنی وجود دارد (بند ۳-۳-۴). از این‌رو، در هنگام مشاهده‌ی این موارد در زمان بازرسی پس از زلزله، لازم است گروه بازرسی با توجه به شرایط بیان شده و قضاوت مهندسی خود نسبت به تشخیص عوامل ایجاد کننده‌ی آسیب در اعضا اقدام نموده و با آگاهی کامل از میزان و نحوه‌ی تأثیرگذاری بارهای لرزه‌ای در ایجاد آسیب‌های مشاهده شده، دلایل خود را در فرم‌ها و گزارش‌های مربوط ثبت نمایند.

اعضای سامانه‌های باربر جانبی بر اساس جریان بار لرزه‌ای منتقل شده به آن‌ها و مقدار تقاضا - ظرفیت خود پاسخ می‌دهد. در صورتی که میزان تقاضا از ظرفیت عضو فراتر رود، شاهد بروز آسیب در آن عضو خواهیم بود. نوع آسیب وارده نیز متناظر با نوع تلاشی است که عامل به وجود آمدن آن آسیب است. این تلاش‌ها شامل مواردی مانند نیروی محوری، ممان خمشی یا پیچشی، نیروی برشی یا ترکیبی از این موارد می‌شود. موقعیت آسیب بسته به نوع سامانه‌ی باربر ثقلی و جانبی ممکن است در محل ستون‌ها، تیرها، اتصالات، تیرهای همبند، دیوارهای برشی، محل اتصال دیافراگم‌ها و سقف‌ها به دیوارهای برشی یا در شالوده‌ها متمرکز باشد.

نوع آسیب وارد به اعضای یک ساختمان بتنی، به رفتار غالب عضو در مقابل ترکیب نیروهای اعمال شده به آن بستگی دارد. بر این اساس، می‌توان با توجه به منحنی نیرو-جابجایی اعضا، سطح آسیب عضو را تعیین نمود. در این راهنما، به‌طور کلی، آسیب اعضا به ۳ سطح کلی تقسیم شده است. رفتار نیرو-جابجایی عضو بر اساس سطح آسیب ۱ الی ۳، به صورت الگویی در شکل (۳-۲) ارائه شده است. در ادامه توصیف سطوح آسیب ارائه شده است:



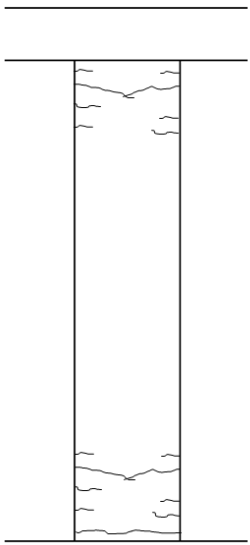
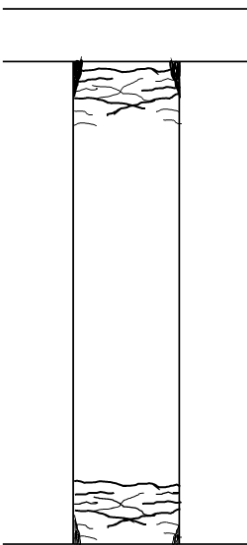
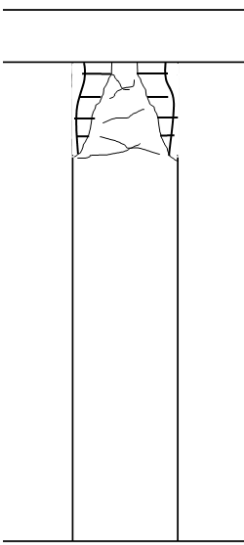
شکل (۳-۲): نمایشی از سطوح آسیب ۱ الی ۳، بر اساس منحنی رفتاری اعضا

الف) سطح آسیب ۱: در این سطح از آسیب انتظار می‌رود آسیب‌های وارده به اعضا بسیار خفیف و ناچیز باشد. به این ترتیب، حتی رفتار اعضای آسیب‌دیده نیز در محدوده‌ی رفتار ارتجاعی است. در این سطح از آسیب، انتظار می‌رود تنها ترک‌هایی با عرض کمتر از ۲ میلی‌متر بر روی پوسته‌ی بتنی عضو تشکیل شود. اعضای که آسیب آن‌ها در این سطح باشد، به‌طور معمول بعد از تعمیر تنها دچار کاهش سختی می‌شود.

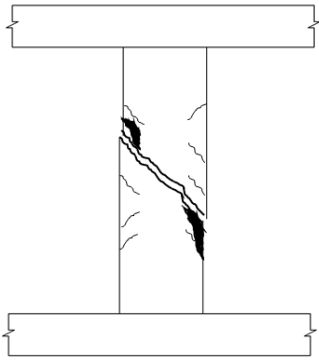
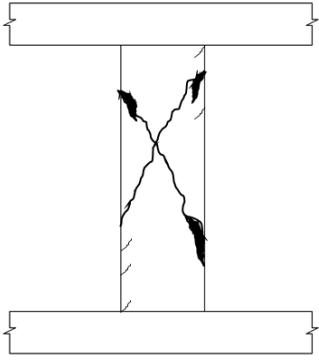
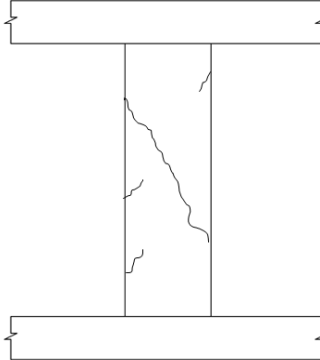
ب) سطح آسیب ۲: در این سطح از آسیب انتظار می‌رود عضو به مقدار ناچیز وارد محدوده‌ی رفتار غیر ارتجاعی شده باشد اما دچار افت مقاومت نشود. در این سطح آسیب انتظار می‌شاهدگی ترک‌هایی با عرض بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر بر روی سطح عضو را داریم؛ اما میلگردهای طولی و عرضی عضو دچار آسیب نشده و هسته‌ی بتنی آن کاملاً سالم است. توجه شود که عمق ترک مشاهده شده به میزانی است که هیچ‌گونه آسیبی در هسته‌ی بتنی عضو ایجاد نشده و رفتار غیر ارتجاعی عضو تنها به دلیل جاری شدن محدود میلگردهای طولی موجود در مقطع است. در این سطح آسیب نمی‌توان از روش‌های تعمیر موضعی برای تعمیر عضو استفاده نمود و عضو تعمیر شده به سختی و مقاومت و شکل‌پذیری اولیه نخواهد رسید.

پ) سطح آسیب ۳: در این سطح از آسیب انتظار می‌رود میلگردهای طولی و عرضی عضو بتنی جاری شده یا دچار کمانش شده و هم‌چنین خرد شدگی هسته‌ی بتنی اتفاق افتاده باشد. در این سطح، تعمیرهای موضعی کارایی ندارد و باید کل عضو یا بخش آسیب‌دیده‌ی آن به نحو مناسبی بازسازی یا جایگزین شود.

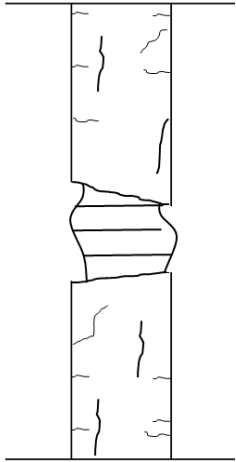
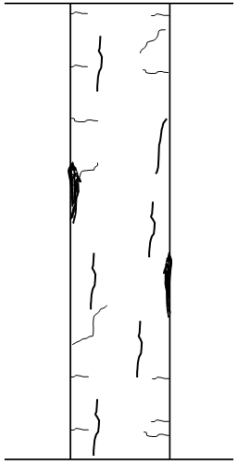
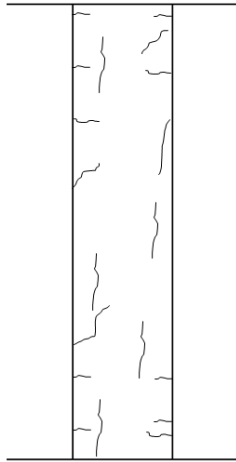
نحوه‌ی شناسایی و تعیین سطح آسیب‌های قابل مشاهده در هر یک از اعضای یک ساختمان بتنی آسیب‌دیده در زلزله بر اساس شواهد، به‌صورت الگویی در شکل‌های (۳-۳) الی (۳-۱۲) ارائه شده است. در توضیحات هر شکل، آسیب‌های مورد انتظار در آن سطح ذکر شده است. وجود دست کم یک مورد از این مصادیق برای احراز سطح آسیب کفایت می‌کند.

سطح آسیب ۱	سطح آسیب ۲	سطح آسیب ۳
		
۱- ترک‌های مویی در طول عضو با چشم غیر مسلح قابل مشاهده است. ۲- بیشینه عرض ترک افقی در ناحیه بحرانی ستون، حدود ۲ میلی‌متر است. ۳- پوسته‌ی بتنی عضو سالم است. ۴- میلگردهای طولی و عرضی قابل مشاهده نیست.	۱- محدودیتی در عرض ترک وجود ندارد. ۲- ممکن است پوسته‌ی بتنی فرو ریخته باشد. ۳- میلگردهای طولی و عرضی بدون آسیب است. ۴- هسته بتنی عضو بدون خردشدگی است.	۱- هسته بتنی خرد شده است. ۲- کمانش یا تغییر شکل میلگردهای طولی و عرضی قابل مشاهده است.

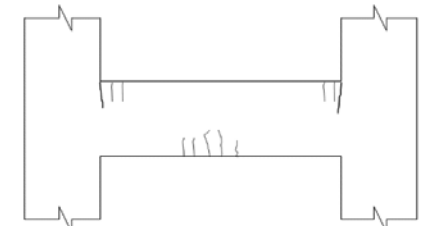
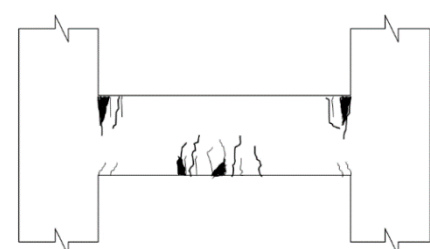
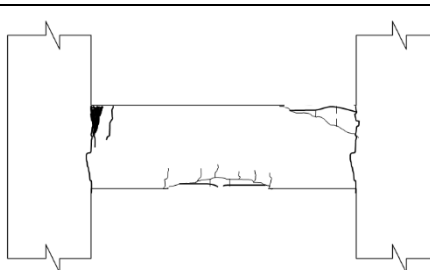
شکل (۳-۳): دسته‌بندی سطح آسیب در ستون‌های بتنی تحت رفتار غالب خمشی

سطح آسیب ۳	سطح آسیب ۲	سطح آسیب ۱
		
۱- هسته بتنی خرد شده است. ۲- کماتش یا تغییر شکل میلگردهای طولی و عرضی مقطع رخ داده است.	۱- عرض ترک‌های برشی پیوسته بیش از ۳ و کمتر از ۹ میلی‌متر است. ۲- میلگردهای طولی و عرضی بدون تغییر شکل است. ۳- هسته بتنی عضو بدون خردشدگی است.	۱- بیشینه عرض ترک موضعی قابل مشاهده در حدود ۶ میلی‌متر است. ۲- بیشینه عرض ترک برشی پیوسته در حدود ۳ میلی‌متر است. ۳- میلگردهای طولی و عرضی بدون تغییر شکل است.

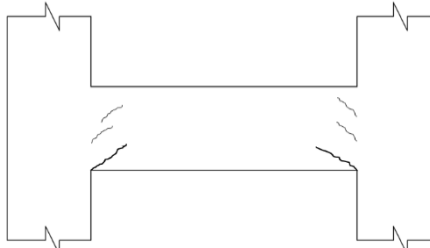
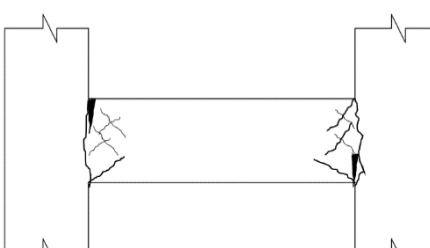
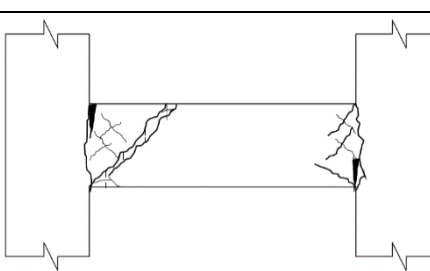
شکل (۳-۴): دسته‌بندی سطح آسیب در ستون‌های بتنی تحت رفتار غالب برشی

سطح آسیب ۳	سطح آسیب ۲	سطح آسیب ۱
		
۱- هسته بتنی خرد شده است. ۲- کماتش یا تغییر شکل میلگردهای طولی و عرضی مقطع رخ داده است.	۱- ممکن است بخش عمده‌ای از پوسته بتنی دچار فروریزش شده باشد. ۲- محدودیتی در عرض ترک وجود ندارد. ۳- میلگردهای طولی و عرضی بدون تغییر شکل است. ۴- هسته بتنی عضو بدون خردشدگی است.	۱- وجود ترک‌های مویی در طول عضو با چشم غیرمسلح قابل مشاهده است. ۲- بیشینه عرض ترک در حدود ۲ میلی‌متر است. ۳- پوسته بتنی سالم است. ۴- میلگردهای عضو قابل مشاهده نیست.

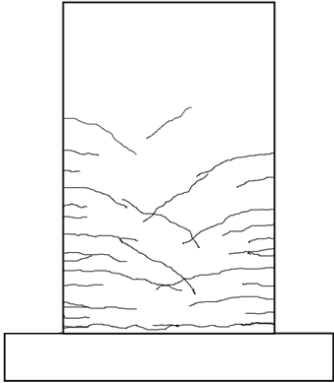
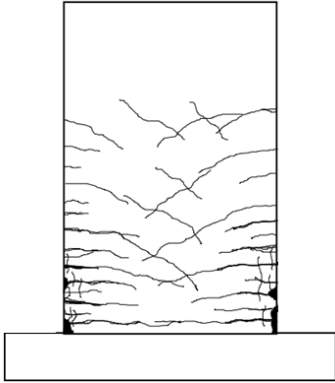
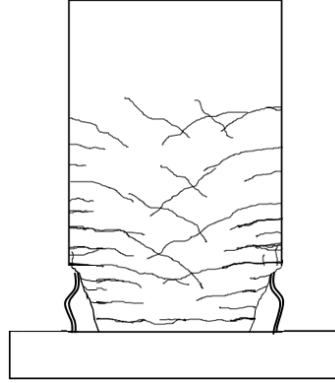
شکل (۳-۵): دسته‌بندی سطح آسیب در ستون‌های بتنی تحت رفتار غالب فشار محوری

سطح آسیب ۱		۱- وجود ترک‌های مویی در طول عضو با چشم غیرمسلح قابل مشاهده است. ۲- بیشینه عرض ترک قائم در ناحیه بیشینه ممان (مجاور اتصال تیر به ستون برای ممان منفی-وسط دهانه برای ممان مثبت) در حدود ۲ میلی‌متر است. ۳- پوسته‌ی بتنی عضو سالم است. ۴- میلگردهای عضو قابل مشاهده نیست.
سطح آسیب ۲		۱- ممکن است بخش عمده‌ای از پوسته‌ی بتنی عضو فرو ریخته باشد. ۲- محدودیتی برای عرض ترک وجود ندارد. ۳- میلگردهای طولی و عرضی بدون تغییر شکل است. ۴- هسته بتنی عضو بدون خردشدگی است.
سطح آسیب ۳		۱- هسته بتنی خرد شده است. ۲- کمانش یا تغییر شکل میلگردهای طولی و عرضی مقطع رخ داده است.

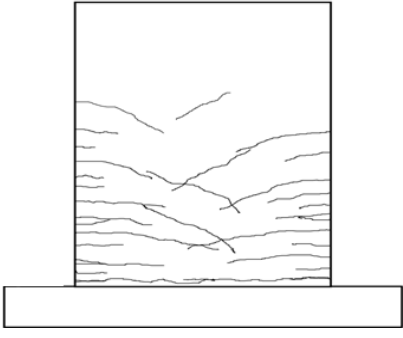
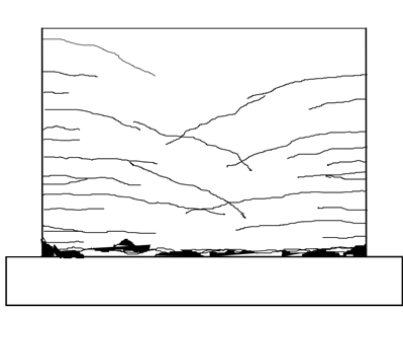
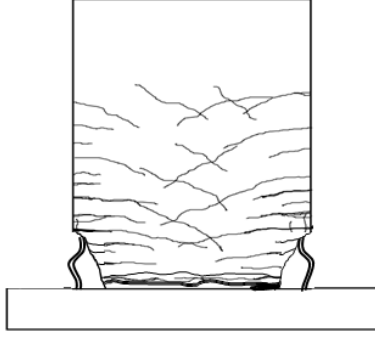
شکل (۶-۳): دسته‌بندی سطح آسیب در تیرهای بتنی تحت رفتار غالب خمشی

سطح آسیب ۱		۱- عرض هیچ کدام از ترک‌های موضعی بیش از ۶ میلی‌متر نیست. ۲- بیشینه عرض ترک برشی پیوسته به ۳ میلی‌متر محدود می‌شود. ۳- ترک‌خوردگی قائم نیز در کل مقطع تیر وجود ندارد.
سطح آسیب ۲		۱- عرض هیچ ترکی (موضعی یا پیوسته) نباید بیش از ۹ میلی‌متر باشد. ۲- یک ترک عمودی خمشی در کل مقطع توسعه یافته است. ۳- میلگردهای طولی و عرضی بدون تغییر شکل است. ۴- هسته بتنی عضو بدون خردشدگی است.
سطح آسیب ۳		۱- عرض ترک بیش از ۹ میلی‌متر باشد. ۲- چنانچه هر یک از دو شرط زیر در یک مقطع هم‌زمان مشاهده شود، سطح آسیب ۳، برای عضو منظور می‌شود: -خردشدگی هسته بتنی رخ می‌دهد. -کمانش یا تغییر شکل میلگردهای طولی و عرضی مقطع رخ می‌دهد.

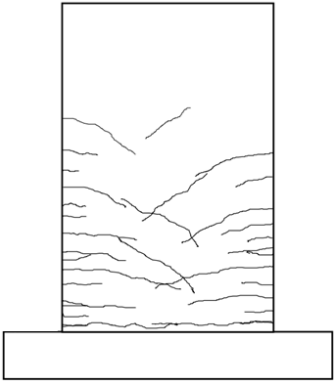
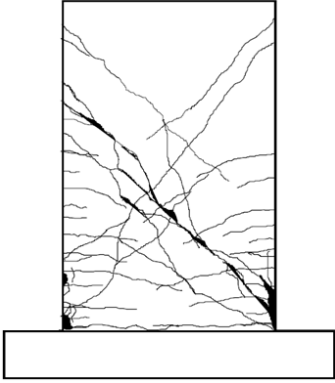
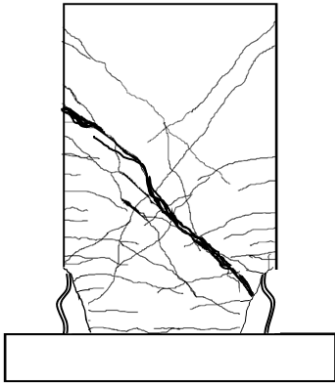
شکل (۷-۳): دسته‌بندی سطح آسیب در تیرهای بتنی تحت رفتار غالب برشی

سطح آسیب ۱	سطح آسیب ۲	سطح آسیب ۳
		
۱- عرض هیچ‌کدام از ترک‌های موضعی بیش از ۶ میلی‌متر نباشد. ۲- بیشینه عرض ترک برشی پیوسته به ۳ میلی‌متر محدود می‌شود. ۳- ترک‌خوردگی قائم نیز در کل مقطع وجود ندارد.	۱- عمده ترک‌ها و خردشدگی بتن در گوشه‌ها و پایین دیوار است. ۲- ممکن است بخش عمده‌ای از پوشش بتنی عضو دچار فروریزش شده باشد. ۳- محدودیتی در عرض ترک وجود ندارد. ۴- میلگردهای طولی و عرضی بدون تغییر شکل است. ۵- هسته بتنی عضو بدون خردشدگی است.	۱- خردشدگی هسته بتنی رخ می‌دهد. ۲- کماتش یا تغییر شکل میلگردهای طولی و عرضی مقطع رخ می‌دهد.

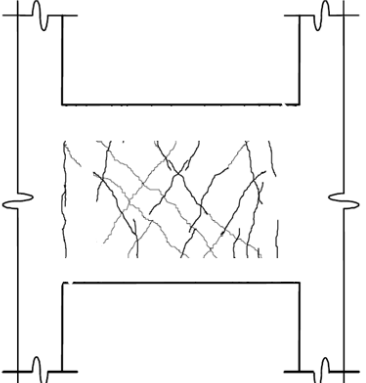
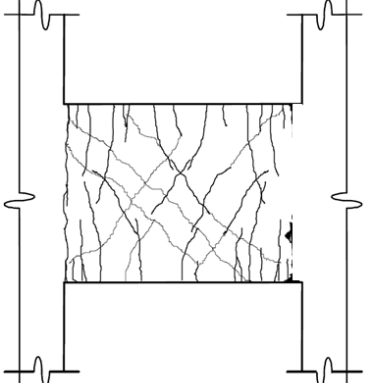
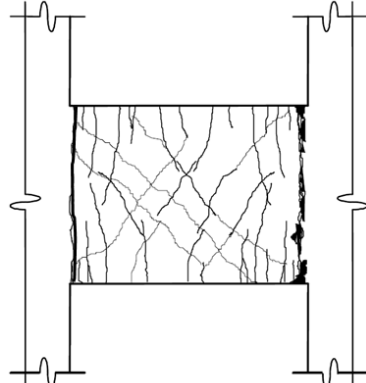
شکل (۳-۸): دسته‌بندی سطح آسیب در دیوارهای برشی تحت رفتار غالب خمشی

سطح آسیب ۱	سطح آسیب ۲	سطح آسیب ۳
		
۱- عرض هیچ‌کدام از ترک‌های موضعی بیش از ۶ میلی‌متر نباشد. ۲- بیشینه عرض ترک برشی پیوسته به ۳ میلی‌متر محدود می‌شود. ۳- ترک‌خوردگی قائم نیز در کل مقطع وجود ندارد.	۱- آسیب عمده توسط یک ترک بزرگ افقی ایجاد شده است. ۲- محدودیتی در عرض ترک وجود ندارد. ۳- ممکن است بخش عمده‌ای از پوشش بتنی عضو دچار فروریزش شده باشد. ۴- میلگردهای طولی و عرضی بدون تغییر شکل است. ۴- هسته بتنی عضو بدون خردشدگی است.	۱- خردشدگی هسته بتنی رخ می‌دهد. ۲- کماتش یا تغییر شکل میلگردهای طولی و عرضی مقطع رخ می‌دهد.

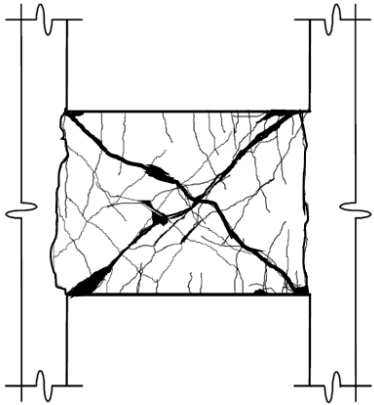
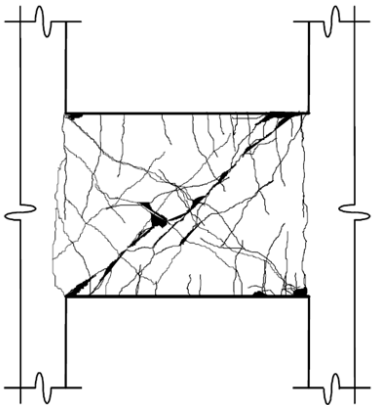
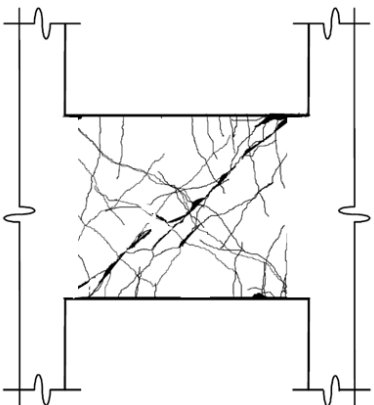
شکل (۳-۹): دسته‌بندی سطح آسیب در دیوارهای برشی تحت رفتار غالب برشی

سطح آسیب ۱	سطح آسیب ۲	سطح آسیب ۳
		
۱- عرض ترک برشی (مورب) نباید بیش از ۳ میلی‌متر باشد. ۲- عرض ترک خمشی (قائم) نباید بیش از ۶ میلی‌متر باشد.	۱- آسیب عمده توسط یک ترک بزرگ مورب و خرد شدن بتن در پایین و گوشه‌ها ایجاد شده است. ۲- ترک‌های برشی بیش از ۳ میلی‌متر ولی کمتر از ۹ میلی‌متر است. ۳- میلگردهای طولی و عرضی بدون تغییر شکل است. ۴- هسته بتنی عضو بدون خردشدگی است.	۱- خردشدگی هسته بتنی رخ می‌دهد. ۲- کماتش یا تغییر شکل میلگردهای طولی و عرضی مقطع رخ می‌دهد.

شکل (۳-۱۰): دسته‌بندی سطح آسیب در دیوارهای برشی تحت رفتار غالب خمش/کشش مورب

سطح آسیب ۱	سطح آسیب ۲	سطح آسیب ۳
		
۱- عرض هیچ‌کدام از ترک‌های موضعی بیش از ۶ میلی‌متر نیست. ۲- بیشینه عرض ترک برشی پیوسته به ۳ میلی‌متر محدود می‌شود. ۳- ترک‌خوردگی قائم نیز وجود ندارد.	۱- عرض ترک کمتر از ۹ میلی‌متر است. ۲- یک ترک قائم خمشی در کل مقطع توسعه یافته است. ۳- میلگردهای طولی و عرضی بدون تغییر شکل است. ۴- هسته بتنی عضو بدون خردشدگی است.	۱- عرض ترک بیش از ۹ میلی‌متر است. ۲- چنانچه هر یک از دو شرط زیر هم‌زمان در یک مقطع مشاهده شود، سطح آسیب ۳، برای عضو منظور می‌شود: - خردشدگی هسته بتنی رخ می‌دهد. - کماتش یا تغییر شکل میلگردهای طولی و عرضی مقطع رخ می‌دهد.

شکل (۳-۱۱): دسته‌بندی سطح آسیب در تیرهای همبند تحت رفتار غالب برشی

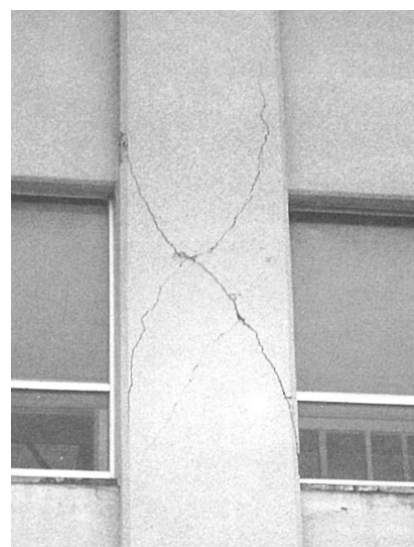
سطح آسیب ۳	سطح آسیب ۲	سطح آسیب ۱
		
۱- عرض ترک بیش از ۹ میلی‌متر است. ۲- چنانچه هر یک از دو شرط زیر در یک مقطع مشاهده شود، سطح آسیب ۳، برای عضو در نظر گرفته می‌شود: - خردشدگی هسته بتنی رخ می‌دهد. - کماتش یا تغییر شکل میلگردهای طولی و عرضی مقطع رخ می‌دهد.	۱- عرض ترک برشی بیش از ۳ میلی‌متر ولی کمتر از ۹ میلی‌متر است. ۲- عرض زیاد ترک خوردگی در یک یا چند موقعیت متمرکز شده است.	۱- عرض ترک برشی (مورب) نباید بیش از ۳ میلی‌متر باشد. ۲- عرض ترک خمشی (قائم) نباید بیش از ۶ میلی‌متر باشد.

شکل (۱۳-۳): دسته‌بندی سطح آسیب در تیرهای همبند تحت رفتار غالب کشش مورب

در ادامه تصاویری از سطح آسیب‌های ۱ و ۲ و ۳ که در زلزله‌های گذشته به وقوع پیوسته در شکل‌های (۳-۱۳) الی (۳-۱۶) ارائه می‌شود؛



شکل (۳-۱۴): سطح آسیب ۳، ستون در رفتار غالب برشی



شکل (۳-۱۳): سطح آسیب ۱، ستون در رفتار غالب برشی



شکل (۳-۱۶): سطح آسیب ۳، دیوار برشی در رفتار غالب برش

شکل (۳-۱۵): سطح آسیب ۳، دیوار برشی در رفتار غالب خمش/کشش مورب

۳-۴- اثرات پی

انعطاف‌پذیری و تغییر شکل پی در پاسخ لرزه‌ای بسیاری از ساختمان‌های بتنی تأثیرگذار است. در برخی موارد، اثرات پی منتج به کاهش تقاضای نیرو در اعضای اصلی مقاوم در برابر نیروی جانبی می‌شود؛ اما در عین حال انعطاف‌پذیری چرخشی پایه‌ی قاب‌های دارای دیوار برشی اغلب منجر به جابجایی‌های جانبی بزرگ‌تر در کل سازه می‌شود. جابجایی‌های نسبی بزرگ تر می‌تواند منجر به آسیب‌دیدگی تیرها، ستون‌ها یا دال‌ها شود. شواهدی از این نوع آسیب‌ها ناشی از زلزله‌های گذشته وجود دارد.

نشریات FEMA 273/274 و ATC-40 حاوی توصیه‌هایی در این خصوص برای مدل‌سازی اعضا و اجزای پی، مشابه سایر اجزای سازه‌ای است.

انواع حالت‌های آسیب قابل مشاهده در شالوده در اثر زلزله مواردی نظیر؛ خردشدگی بتن، ترک، نشست موضعی و قلوه کن شدن بتن پی است. برای تعمیر موضعی هر یک از حالت‌های آسیب بیان شده، طراح باید اطمینان حاصل نماید که روش تعمیر، توانایی بازگرداندن ظرفیت پی به وضعیت قبل از آسیب را دارد. در برخی موارد بر اساس محاسبات و مدل‌سازی‌های انجام شده، پی موجود ظرفیت کافی برای انتقال نیروهای وارده را ندارد که در این حالت، لازم است ظرفیت پی نسبت به قبل افزایش یابد. برای این منظور می‌توان با استفاده از یک یا ترکیبی از روش‌های به‌سازی خاک همچون؛ به‌سازی شالوده (پی سطحی) یا به‌سازی شمع (پی عمیق) ظرفیت لازم برای انتقال نیروهای وارده به شالوده را تأمین نمود. توصیفی از روش‌های متعارف برای هریک از موارد بالا در نشریه ۳۶۰ ذکر شده است.

۳-۵- دیافراگم

در بازرسی، بازطراحی و تعمیر دیافراگم‌ها شرایط اتصال ستون به دال و همچنین اتصال دیوار به دال باید با دقت کافی مورد بازرسی قرار گیرد. در صورتی که در محل این اتصالات یا به دلیل کافی نبودن اعضای جمع‌کننده نیروهای وارده،

آسیبی در دیافراگم مشاهده شود، لازم است بر اساس شناسایی و تشخیص عامل ایجاد کننده‌ی آسیب، روش مناسبی برای تعمیر به کار گرفته شود. در هر حال مهندس طراح باید به روش مناسب از مقاومت و انسجام کافی دیافراگم‌ها اطمینان حاصل نماید.

۳-۶- بازطراحی و ارزیابی

کلیه مراحل مربوط به بازطراحی و ارزیابی ساختمان‌های بتنی آسیب‌دیده در زلزله که بر اساس روش‌های ارائه شده در این راهنما قابل تعمیر تشخیص داده شود، باید بر اساس ضوابط این قسمت انجام شود. در ادامه مهم‌ترین موضوعات در این خصوص ارائه شده است:

الف) مرجع بازطراحی: مدل سازی باید به گونه‌ای باشد که بتواند رفتار غیر ارتجاعی اعضا را به درستی مدل نماید. به این منظور رعایت ضوابط مرتبط در نشریه شماره ۳۶۰ برای مدل‌سازی رفتار غیر ارتجاعی با در نظر گرفتن ضرایب کاهنده اعضای بتن‌آرمه ضروری است.

ب) مرجع ارزیابی: در ارزیابی رفتار عمومی ساختمان و کنترل معیارهای پذیرش در هر یک از اعضا، در هر یک از اهداف تعمیر ارائه شده در فصل کلیات، ضوابط فصل ارزیابی ساختمان‌های بتنی در نشریه شماره ۳۶۰، با منظور نمودن ضرایب کاهنده ارائه شده در این راهنما مدنظر قرار گیرد.

پ) تخصیص ضرایب کاهنده برای عضو تعمیری: تعمیرات موضعی که بر روی اعضای آسیب‌دیده انجام می‌شود در بسیاری از موارد نمی‌تواند عضو را به وضعیت قبل از آسیب خود برگرداند. به همین دلیل در جدول (۳-۴) بند ۳-۷-۳ این راهنما، ضرایبی برای کاهش سختی، مقاومت و شکل‌پذیری بر مبنای سطح آسیب عضو، روش تعمیر و عملکرد مورد انتظار از عضو ارائه شده است. چنانچه اطلاعات مورد نیاز برای ضرایب کاهش عضو تعمیر شده در جدول (۳-۴) بند ۳-۷-۳ وجود نداشته باشد، لازم است به یکی از دو طریق زیر عمل شود:

- مشخصات رفتاری عضو تعمیر شده بر اساس مطالعات آزمایشگاهی تعیین شود.
- عضو آسیب‌دیده به‌طور کامل حذف و جایگزین شود. در این حالت نیاز به در نظر گرفتن ضرایب کاهشی نیست.

ت) تخصیص ضرایب کاهنده برای اعضای بدون آسیب: مقاومت کلیه‌ی اعضای نیرو کنترل‌ی که دچار آسیب نشده‌اند نیز باید تقلیل داده شود. به همین منظور، مقاومت این اعضا باید در ضریب کاهنده ۰/۹ ضرب شود. برای اعضای تغییر شکل کنترل‌ی که دچار آسیب نشده‌اند نیازی به اعمال ضریب کاهنده برای مقاومت یا شکل‌پذیری آن‌ها نیست؛ اما باید پارامترهای مربوط به معیارهای پذیرش اعضای تغییر شکل کنترل در ضریب کاهنده ۰/۹ ضرب شود.

ث) در صورت فقدان معیار پذیرش برای عضو تعمیری: در صورت عدم دستیابی به معیارهای پذیرش مورد نظر در ارزیابی مدل تحلیلی سازه‌ی تعمیر شده، به جای تعمیر موضعی عضو آسیب‌دیده، از تقویت، جایگزینی یا راهبردهای دیگر استفاده شود. در این خصوص روش‌هایی برای تعمیر در بند (۳-۷) پیشنهاد شده است.

(ج) ضوابط پذیرش اعضای نیرو کنترل تعمیری: در کلیه تحلیل‌های انجام گرفته بر اساس ضوابط این دستورالعمل اعضای نیرو کنترل که دچار آسیب شده است با فرض منظور کردن ضرایب کاهش برای مقاومت آن‌ها (بدون ضریب کاهش سختی) باید بتوانند تلاش‌های وارد شده بر خود را با فرض عدم لحاظ کردن ضرایب کاهش در رفتار اعضای تغییر شکل کنترل نیز تحمل کنند.

(چ) بازطراحی و ارزیابی اتصالات تعمیری: در این راهنما صحبتی از آسیب در اتصالات و ضرایب کاهش اتصالات تعمیر شده به میان نیامده است. در بازطراحی و تعمیر اتصالات آسیب‌دیده توجه به موارد زیر ضروری است:

- عملکرد اتصال آسیب‌دیده از نظر انتقال خمش، برش و ... تشخیص داده شود.
- به ظرفیت و نحوه انتقال تلاش‌ها در درجه‌ی آزادی آسیب‌دیده‌ی اتصال توجه شود.
- به ظرفیت محوری و نحوه انتقال نیروهای ستون فرادست اتصال توجه شود.

در بازطراحی و تعمیر یک اتصال آسیب‌دیده، سه راهکار زیر پیشنهاد می‌شود:

راهکار اول: بر اساس مدل‌های آزمایشگاهی یا ضوابط ارائه شده در نشریات معتبر از روش تعمیر و نحوه‌ی عملکرد اتصال بعد از تعمیر اطمینان حاصل شود.

راهکار دوم: ظرفیت عملکرد موردنظر در اتصال آسیب‌دیده (به‌عنوان مثال خمش) از مدل حذف شود و مدل جدید سازه تحلیل و ارزیابی شود. در نهایت، با فرض عدم وارد آمدن آسیب به اتصال سایر اعضا، وضعیت توزیع جدید تلاش‌ها در سازه مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد.

راهکار سوم: اتصال آسیب‌دیده با استفاده از روش تعمیر سطح آسیب ۳، جایگزین شود.

۷-۳- روش‌های تعمیر و تقویت

روش‌های تعمیر و تقویت اعضا و اجزای ساختمان‌های بتنی آسیب‌دیده در زلزله در این فصل شامل موارد زیر می‌باشد؛

الف) تعمیر و تقویت موضعی اعضا: در این روش مطابق بندهای ۲-۷-۳ و ۳-۷-۳ اعضای آسیب‌دیده به صورت موضعی تعمیر (بازگردانی به شرایط پیش از آسیب) یا تقویت (تأمین ظرفیتی بیش از ظرفیت اولیه‌ی عضو) می‌شود.

ب) تقویت کلی سامانه‌ی باربر جانبی: در این روش مطابق بند ۳-۷-۴ طراح علاوه بر استفاده از روش (الف)، اعضای سامانه‌ی باربر جانبی ساختمان را افزایش می‌دهد. این اعضا می‌تواند اعضای قابی (تیر یا ستون)، دیوار برشی، مهاربند یا وسایل کنترل لرزه‌ای باشد.

پ) افزودن سامانه‌ی باربر جانبی جدید: در این روش مطابق بند ۳-۷-۵ طراح از ظرفیت سامانه‌ی باربر جانبی موجود صرف‌نظر نموده و برای ساختمان مورد بررسی، یک سامانه‌ی باربر جانبی جدید طراحی می‌نماید.

۳-۷-۱- راهبردهای تعمیر

در بازطراحی و تعمیر لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی آسیب‌دیده از زلزله، به‌رغم تمرکز این بخش بر روش‌های اجرایی تعمیر و تقویت اعضای سازه‌ای، راهبردهای به‌سازی مطابق با نشریه ۳۶۰ سازمان برنامه و بودجه، همچون سبک‌سازی، تغییر کاربری و امثال این‌ها نیز قابل پیاده‌سازی است. راهبردهای کلی تعمیر سازه را می‌توان در کاربرد تک یا تلفیقی چهار شاخص زیر معرفی نمود:

(الف) مقاومت کلی. مقاومت کلی یک ساختمان، بیشینه ظرفیت آشکار و ذخیره‌ی حاصل از کلیه‌ی اعضا و اتصالات آن ساختمان است. این مقدار، مشخص‌کننده‌ی حد نهایی مجموع نیروهای جانبی است که آن ساختمان می‌تواند تحمل نماید. اگرچه در مواردی، ظرفیت شکل‌پذیری ساختمان می‌تواند تا اندازه‌ای ضعف مقاومت کلی ساختمان را پوشش دهد، اما ناکافی بودن مقاومت کلی ساختمان، عامل اصلی آسیب‌های جدی سازه‌ای و غیرسازه‌ای وارد به آن است

(ب) سختی کلی. سختی کلی یک ساختمان، برابر با ظرفیت آن در برابر تغییر شکل جانبی است. این تغییر شکل به‌خصوص در جابجایی نسبی طبقات، ایجاد آسیب در اجزای غیرسازه‌ای و بعضاً ضربه زدن به و ساختمان مجاور اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند. ناکافی بودن سختی کلی ساختمان می‌تواند سبب وارد آمدن آسیب‌های جدی به سازه‌ی ساختمان، به‌خصوص به اتصالات، فروریزش اجزای غیرسازه‌ای، مانند؛ تیغه‌ها و پوشش آن‌ها، تشدید اثرات جابجایی ثانویه و ایجاد ضربه‌های ناشی از برخورد احتمالی دو ساختمان مجاور شود. اقدامات معمول در زمینه‌ی تأمین سختی کلی ساختمان، شامل؛ بهسازی قاب‌های موجود یا ایجاد اجزای قائم باربر جانبی است.

(پ) شکل‌پذیری کلی. شکل‌پذیری کلی یک ساختمان، توان تحمل تغییر شکل‌های بزرگ و ظرفیت جذب انرژی ورودی، بدون فروپاشی اجزای سازه‌ای ساختمان است. در واقع، با افزایش شکل‌پذیری می‌توان فروپاشی اجزای ساختمان را به تأخیر انداخت. تأمین شکل‌پذیری برای یک ساختمان، یکی از پارامترهای مهم در پاسخ‌گویی به معیارهای پذیرش نشریه ۱۳۶۰ است، به‌گونه‌ای که با جابجایی بام ساختمان به اندازه‌ی تغییر مکان هدف، معیارهای پذیرش برای اعضا کنترل شود. اقدامات معمول برای افزایش شکل‌پذیری شامل؛ تقویت اتصالات، تعبیه‌ی اعضای با ظرفیت تغییر شکلی بالا یا استفاده از سامانه‌های کنترلی برای جذب انرژی ورودی به ساختمان است.

(ت) پیکربندی. پیکربندی یک ساختمان، به چگونگی ارتباط میان اعضا و نحوه‌ی انتقال مناسب و سریع بارهای وارده تا شالوده‌ی ساختمان اشاره دارد. ارتباط بسیاری از آسیب‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای در ساختمان‌ها، به دلیل رعایت نکردن معیارهای ساده و منطقی برای ایجاد یک پیکربندی مناسب است. پیکربندی مناسب، با پرهیز از پیچیدگی سازه‌ای، مسیرهای مستقیمی برای انتقال نیروها از طبقات به پی ایجاد نموده و از عوامل مهم توزیع یکنواخت بارهای ثقیل و جانبی است. در واقع، رویدادهایی چون عدم پیوستگی در مسیر انتقال بار، وجود طبقه‌ی نرم، ایجاد پیچش در ساختمان و مواردی مانند این‌ها نشانگر پیکربندی نامناسب ساختمان است. اقدامات معمول برای اصلاح پیکربندی ساختمان شامل؛ کوتاه نمودن مسیرهای انتقال بار، یا افزودن اعضای جدید برای منظم نمودن توزیع قاب‌های سازه‌ای است.

۳-۷-۲- روش تعمیر مبتنی بر نتایج معیار پذیرش

معیار پذیرش یک ساختمان بتنی آسیب‌دیده در زلزله، بر اساس نتایج حاصل از بازطراحی و ارزیابی بند (۳-۶) در قالب یکی از سه گزینه‌ی زیر قابل بررسی است:

الف) تأمین معیارهای پذیرش در ساختمان بتنی: در صورتی که با رفع آسیب و بازگرداندن شرایط اعضا به وضعیت پیش از رویداد زلزله (با منظور نمودن ضرایب کاهنده)، معیارهای پذیرش موضوع پیوست ۳ این راهنما تأمین شود. انجام تعمیر موضعی اعضای آسیب‌دیده در سازه به تنهایی کفایت لازم را دارد. روش‌های تعمیر، برای انواع سطوح آسیب در اعضای یک ساختمان بتنی، در قالب تعمیر موضعی عضو آسیب‌دیده، در بند ۳-۷-۳ برای ساختمان‌های بتنی ارائه شده است.

ب) عدم تأمین معیارهای پذیرش در ساختمان بتنی: در صورتی که با رفع آسیب و بازگرداندن شرایط اعضا به وضعیت پیش از رویداد زلزله (با منظور نمودن ضرایب کاهنده)، معیارهای پذیرش موضوع پیوست ۳ این راهنما تأمین نشود، در این صورت لازم است انجام مطالعات به‌سازی لرزه‌ای با هدف تعمیر اعضای آسیب‌دیده و ارتقاء هم‌زمان عملکرد اعضا و سازه‌ی موردنظر انجام پذیرد. چنانچه ساختمان بر اساس تحلیل‌ها و معیارهای مورد نظر این راهنما، دارای ضعف از نظر سختی، مقاومت و شکل‌پذیری باشد، باید بر اساس روش‌های ارائه شده در بخش تعمیر کلی، موضوع بند ۳-۷-۴ برای ساختمان‌های بتنی تعمیر و بازطراحی شود.

پ) عدم احراز معیارهای پذیرش در ساختمان بتنی: در صورتی که انجام تعمیرات موضعی نقاط آسیب‌دیده یا برداشت اطلاعات دقیق این نقاط امکان‌پذیر نباشد، لازم است مهندس طراح اقدامات لازم برای تعمیر ساده‌ی ساختمان آسیب‌دیده را بر اساس بند ۳-۷-۵ برای ساختمان‌های بتنی انجام دهد. در این صورت با ایجاد یک سامانه‌ی باربر جانبی جدید، ساختمان تعمیر خواهد شد و نیازی به تعمیر موضعی اعضای آسیب‌دیده‌ی سامانه‌ی باربر پیشین وجود ندارد.

۳-۷-۳- روش‌های تعمیر موضعی

در این بخش روش‌های تعمیر موضعی برای انواع حالت‌های آسیب ارائه شده است. چنانچه به‌طور کلی بر اساس مدل‌سازی انجام شده ساختمان مورد بررسی پاسخگوی معیارهای پذیرش نباشد، می‌بایست روش‌های تعمیر کلی سازه، ارائه شده در بند ۳-۷-۴، مورد توجه قرار گیرد.

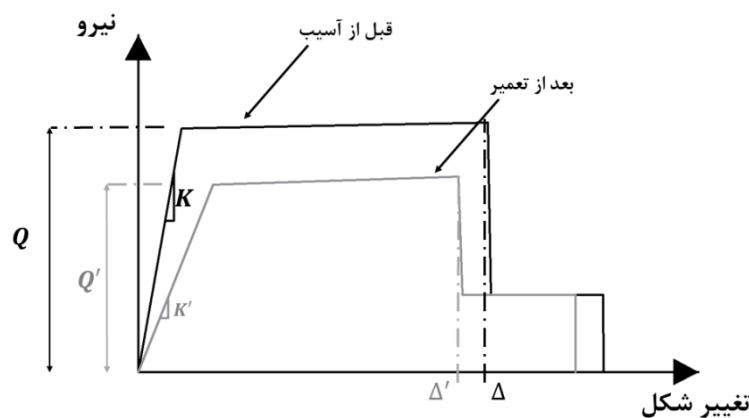
تمام اعضای که آسیب آن‌ها بر اساس بند (۳-۳-۸) در یکی از سطوح آسیب ۱، ۲ یا ۳، دسته‌بندی شده است، در صورت وجود ضرورت برای استفاده از روش تعمیر موضعی، می‌بایست بر اساس ضوابط این قسمت از راهنما تعمیر شود. روش‌های تعمیر موضعی باعث می‌شود تا رفتار عضو به مقدار قابل‌توجهی به وضعیت قبل از آسیب بازگردد. با این حال مشخصات عضو مورد نظر هرگز مانند قبل از آسیب نخواهد بود. به همین منظور، در این دستورالعمل، ضریب‌هایی اصلاحی برای تصحیح مشخصه‌های رفتاری عضو تعمیر شده، معرفی شده است. این ضریب‌ها شامل؛ ضریب‌های کاهنده‌ی مشخصه‌های اصلی عضو، یعنی سختی، مقاومت و شکل‌پذیری است. نحوه‌ی اعمال این ضریب‌ها بر روی خصوصیات عضو در رابطه‌های زیر نشان داده شده است:

$$K' = \lambda_K K \quad (۱-۳)$$

$$Q' = \lambda_Q Q \quad (۲-۳)$$

$$\Delta' = \lambda_D \Delta \quad (۳-۳)$$

که در عبارت‌های K' ، Q' ، Δ' به ترتیب بیانگر سختی، مقاومت و شکل‌پذیری اصلاح شده‌ی عضو تعمیر شده است و λ_K ، λ_Q ، λ_D به ترتیب به ضریب‌های کاهنده‌ی مشخصات اولیه‌ی عضو، شامل؛ سختی، مقاومت و شکل‌پذیری اشاره دارد. الگوی کلی نحوه‌ی تأثیر این ضریب‌ها در منحنی رفتاری یک عضو، قبل از آسیب دیدن و پس از تعمیر شدن، که از ۳۶۰ ح شده، در شکل (۱۷-۳) نمایش داده شده است.



شکل (۱۷-۳): نمودار رفتاری عضو قبل از آسیب و بعد از تعمیر

در جدول (۴-۳) ضریب‌های لازم برای تصحیح عملکردهای مختلف یک عضو تعمیر شده، ارائه شده است. در جدول (۴-۳)، ضریب λ_L مربوط به کاهش معیارهای پذیرش است که باید در میزان جابجایی یا دوران معیار پذیرش اعضا ضرب شود.

در برخی اعضا ممکن است تحت تلاش‌های مختلفی از عضو، مانند خمش و برش هم‌زمان، درجات مختلفی از آسیب در موده‌های عملکردی متناظر (خمشی یا برشی) وجود داشته باشد. در این حالت باید ضرایب کاهشی برای همه موده‌های عملکردی بر اساس بالاترین درجه‌ی آسیبی که ممکن است از هر یک از موده‌های محتمل به دست آمده باشد، در نظر گرفته شود.

جزئیات مربوط به هر یک از روش‌های ترمیم برای انواع اعضا در سطح‌های مختلف آسیب در شکل‌های (۱۸-۳) الی (۳-۳)

(۲۴) ارائه شده است

جدول (۳-۴): ضرایب کاهش براساس نوع تعمیر و سطح آسیب

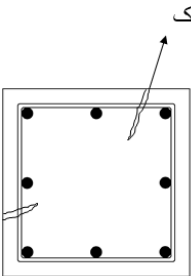
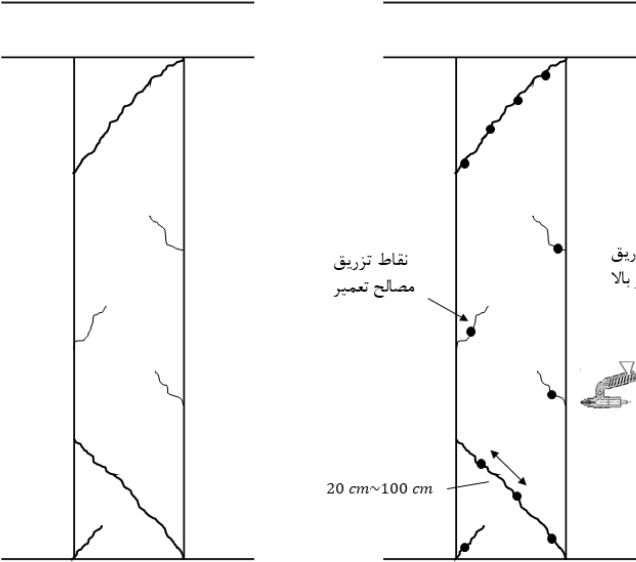
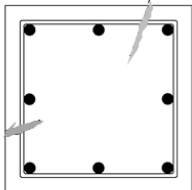
عضو	نوع عملکرد	سطح آسیب	نوع تعمیر	جزئیات تعمیر	λ_K	λ_Q	λ_D	λ_L
ستون	خمشی	I	تزریق ترک	۱	0.7	0.9	0.9	0.9
		II	قالب‌بندی و بتن‌ریزی	۲	0.7	0.9	0.6	0.6
		III	تخریب و نوسازی عضو	۳	1	1	1	1
	بار محوری	I	تزریق ترک	۱	0.36	0.8	-	-
		II	قالب‌بندی و بتن‌ریزی	۲	0.36	0.8	-	-
		III	تخریب و نوسازی عضو	۳	1	1	-	-
	برشی	I	تزریق ترک	۱	0.8	0.9	0.9	0.9
		II	قالب‌بندی و بتن‌ریزی	۲	0.5	0.8	0.8	0.8
		III	تخریب و نوسازی عضو	۳	1	1	1	1
تیر	خمشی	I	تزریق ترک	۱	0.7	0.9	0.9	0.9
		II	قالب‌بندی و بتن‌ریزی	۴	0.7	0.9	0.6	0.6
		III	تخریب و نوسازی عضو	۵	1	1	1	1
	برشی	I	تزریق ترک	۱	0.9	0.9	0.9	0.9
		II	قالب‌بندی و بتن‌ریزی	۴	0.8	0.9	0.9	0.9
		III	تخریب و نوسازی	۵	1	1	1	1
تیر همبند	خمشی/کش ش مورب	I	تزریق ترک	۱	0.8	0.9	0.9	0.9
		II	قالب‌بندی و بتن‌ریزی	۴	0.5	0.8	0.8	0.8
		III	تخریب و نوسازی	۵	1	1	1	1
	برشی	I	تزریق ترک	۱	0.9	0.9	0.9	0.9
		II	قالب‌بندی و بتن‌ریزی	۴	0.8	0.9	0.9	0.9
		III	تخریب و نوسازی	۵	1	1	1	1
دیوار برشی	خمشی	I	تزریق ترک	۶	0.9	0.9	0.9	0.9
		II	تزریق ترک یا قالب‌بندی و بتن‌ریزی	۷	0.8	0.9	0.9	0.9
		III	تخریب و نوسازی	-	1	1	1	1
	برشی	I	تزریق ترک	۶	0.9	0.9	0.9	0.9
		II	تزریق ترک یا قالب‌بندی و بتن‌ریزی	۷	0.8	0.9	0.9	0.9
		III	تخریب و نوسازی	-	1	1	1	1
	خمشی/کش ش مورب	I	تزریق ترک	۶	0.8	0.9	0.9	0.9
		II	تزریق ترک یا قالب‌بندی و بتن‌ریزی	۷	0.5	0.8	0.8	0.8
		III	تخریب و نوسازی	-	1	1	1	1

یکی از روش‌های اصلی، ترمیم ترک با استفاده از تزریق مصالح ترمیمی در اعضا است. در چنین حالتی لازم است تا مصالح ترمیمی از نظر کیفیت و کمیت بر اساس مطالعات آزمایشگاهی انتخاب شود؛ اما تا حصول نتایج تحقیقات کامل‌تر در این زمینه، می‌توان به‌عنوان پیشنهاد اولیه از مصالح با مشخصات مندرج در جدول (۳-۵) استفاده نمود.

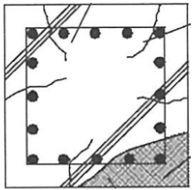
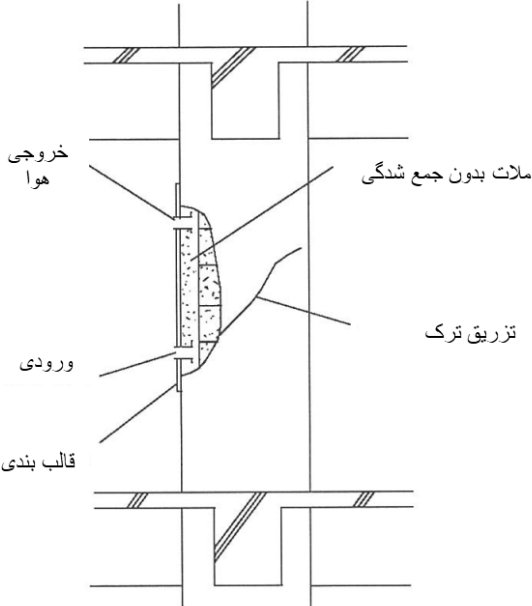
جدول (۳-۵): مصالح پیشنهادی برای تزریق در ترک اعضای بتنی

مصلح تعمیر	حداکثر عرض ترک (mm)
اپوکسی	ویسکوزیته کم 0.1~0.5
	ویسکوزیته متوسط 0.3~1.5
	ویسکوزیته زیاد 0.5~2
ملات سیمانی	با سنگدانه‌های بسیار ریز 0.1~2
	معمولی 1~3

چنانچه انجام هریک از روش‌های تعمیر برای عضو آسیب‌دیده قابل اجرا نبود، می‌بایست از روش ارائه شده برای درجه‌ی آسیب بالاتر برای تعمیر عضو مورد نظر استفاده شود. چنانچه با این رویکرد هم امکان اجرای تعمیر موضعی عضو آسیب‌دیده میسر نباشد، برای تعمیر سازه‌ی آسیب‌دیده می‌بایست بر اساس ضوابط بند ۳-۷-۵، اقدام نمود.

عملکرد: خمشی-محوری-برشی	نوع عضو: ستون-تیر-تیر پیوند	سطح آسیب: ۱
 ترک	 نقاط تزریق مصالح تعمیر دستگاه تزریق با فشار بالا ترک ترمیم شده 20 cm~100 cm	 ترک ترمیم شده
(۱) قبل از هر اقدامی باید ترک‌های ایجاد شده در مقطع شناسایی و علامت‌گذاری شود. (۲) تمام قسمت‌هایی از مقطع که سست شده، باید جدا شود. البته این موضوع در این سطح از آسیب کمتر دیده خواهد شد. (۳) گرد و غبار موجود در شکاف ترک‌های شناسایی شده توسط تجهیزات مناسب مثل؛ شستشو با فشار آب، برس یا پمپ باد تا حد امکان خارج شود. (۴) در درون ترک نباید هیچ نوع چربی یا مواد دیگری که مانع چسبیدن مصالح تزریق به درون ترک می‌شود، وجود داشته باشد. (۵) تزریق باید توسط مصالح و تجهیزات مناسب انجام شود تا بتوان مصالح ترمیم را به عمق ترک نفوذ داد. (۶) فاصله نقاطی که مصالح ترمیم در داخل عضو تزریق می‌شود، بین ۲۰ الی ۱۰۰ سانتی‌متر می‌باشد. (۷) عملیات تزریق باید از پایین ترک شروع شود و به سمت بالا ادامه یابد. (۸) ترک‌هایی با عرض بین ۲ میلی‌متر باید توسط تزریق رزین ترمیم شود. برای ترمیم ترک‌های عریض‌تر از تزریق دوغاب سیمانی استفاده شود. (۹) استفاده از یک لایه دور پیچ کامل ورق FRP در کل عضو می‌تواند جایگزین تزریق ترک‌های با عرض بین ۱/۰ تا ۲ میلی‌متر باشد. (۱۰) در اعضای ترمیمی با ترک‌های به عریض‌تر از ۲ میلی‌متر لازم است پس از اتمام ترمیم ترک‌ها، کل عضو با یک لایه دور پیچ کامل ورق FRP تقویت شود.		

شکل (۳-۱۸): جزئیات روش تعمیر موضعی شماره ۱

عملکرد: خمشی-محوری-برشی	نوع عضو: ستون	سطح آسیب: ۲
		
(۱) قبل از انجام هر عملیات تعمیر باید با نصب سازه‌ی موقت نسبت به انتقال بارهای ستون مورد تعمیر به نحو اصولی و ایمن اقدام شود. (۲) کلیه‌ی قسمت‌های بتنی که آسیب‌دیده و سست شده است، باید از عضو جدا شود. (۳) ناحیه‌ای که نیاز به تعمیر دارد، از هرگونه گرد و غبار پاک شود. (۴) ناحیه‌ی آسیب‌دیده، باید با ایجاد سطح زبر و غیرمسطح، آماده قالب‌بندی و بتن‌ریزی شود. (۵) قبل از بتن‌ریزی، باید سطح عضو در محل اتصال با بتن جدید با آب اشباع شود. (۶) قالب‌بندی انجام شده در ناحیه‌ی آسیب‌دیده باید به‌گونه‌ای باشد که بتن، تمام نواحی تخلیه شده را بدون کوچک‌ترین خلاء پر کند. این موضوع ممکن است باعث شود، بتن‌ریزی در ابعادی بزرگ‌تر از ابعاد عضو اصلی انجام شود. در این صورت باید بعد از یک روز قالب‌ها جدا شده و نواحی اضافی تراشیده شود. (۷) سایر ترک‌های موجود با عرض ۲ تا ۵ میلی‌متر باید بر اساس جزئیات شماره ۱ (شکل ۳-۱۸) ترمیم شود. (۸) لازم است پس از اتمام ترمیم ستون مطابق موارد ۱ تا ۷، با یک لایه دور پیچ کامل ورق FRP در کل ستون، آن را تقویت نمود (پیشنهاد می‌شود در راستای توضیحات موارد ۱ تا ۷ و عدم اطمینان از کیفیت تزریق، حتماً انجام یک لایه ورق FRP در دستور کار قرار گیرد).		

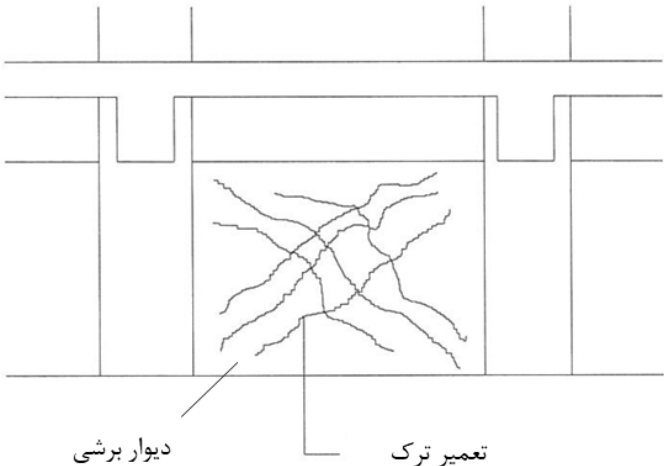
شکل (۳-۱۹): جزئیات روش تعمیر موضعی شماره ۲

عملکرد: خمشی-محوری-برشی	نوع عضو: ستون	سطح آسیب: ۳
(۱) قبل از انجام هر عملیات تعمیر باید با نصب سازه‌ی موقت نسبت به انتقال بارهای ستون مورد تعمیر به نحو اصولی و ایمن اقدام شود. (۲) کلیه‌ی قسمت‌های بتنی ستون که آسیب‌دیده و سست شده باید از عضو جدا شود. (۳) تمام میلگردهای آسیب‌دیده باید از عضو جدا شود. (۴) به منظور ایجاد طول مهارتی لازم برای اتصال میلگردهای جدید و همچنین حذف بتن‌های آسیب‌دیده باید ناحیه‌ی بیشتری از بتن ستون تخریب و تخلیه شود. در صورت عدم امکان تخریب بیشتر باید از سایر روش‌های اتصال آرماتورها همچون وصله مکانیکی یا جوشی استفاده شود. (۵) تعداد لازم میلگردهای جدید، طبق نظر مهندس طراح نصب شود. (۶) وصله میلگردها جدید به قدیم می‌تواند به صورت پوششی، مکانیکی یا جوشی طبق ضوابط مربوطه در نشریه ۱۲۰ باشد. (۷) سطح بتن قدیمی عضو باید زیر و خشن (مضرس) باشد و عاری از هرگونه گرد و غبار و چربی و آماده قالب‌بندی و بتن‌ریزی شود. (۸) با نظر طراح می‌توان از روش‌های تقویت اتصال بتن قدیم و جدید همچون؛ داول، کیفیت و کمیت مضرس بودن سطوح، افزودنی‌های شیمیایی چسباننده استفاده نمود. (۹) مقاومت بتن جدید باید برابر و در نهایت کمی بیش از بتن قدیمی باشد. در هر حالت مبنای مقاومتی مورد استفاده در محاسبات باید حداقل مقاومت بتن عضو منظور شود. (۱۰) قبل از بتن‌ریزی، سطح عضو در محل اتصال با بتن جدید باید با آب اشباع شود. (۱۱) قالب‌بندی انجام شده در ناحیه‌ی آسیب‌دیده باید به گونه‌ای باشد که بتن، تمام نواحی تخلیه شده را بدون کوچک‌ترین خلاء پر کند. این موضوع ممکن است باعث شود، بتن‌ریزی در ابعادی بزرگ‌تر از ابعاد عضو اصلی انجام شود. در این صورت باید بعد از یک روز قالب‌ها جدا شده و نواحی اضافی تراشیده شود. (۱۲) سایر ترک‌های موجود با عرض ۲ تا ۵ میلی‌متر لازم است بر اساس جزئیات شماره ۱ (شکل ۳-۱۸) ترمیم شود. (۱۳) پس از اتمام ترمیم ستون لازم است کل ستون با یک لایه دور پیچ کامل ورق FRP تقویت شود (پیشنهاد می‌شود در راستای توضیحات موارد ۱ تا ۱۲ و عدم اطمینان لازم از کیفیت بخش‌های باقیمانده‌ی ستون اصلی حتماً اجرای یک لایه ورق FRP در دستور کار قرار گیرد).		

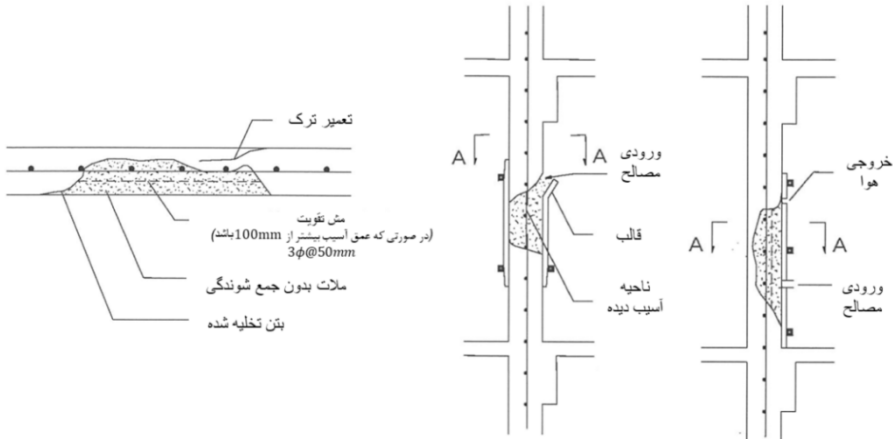
سطح آسیب: ۲	نوع عضو: تیر- تیر همبند	عملکرد: خمشی- برشی- خمشی/کشش مورب
(۱) قبل از انجام هر عملیات تعمیر باید با نصب سازه‌ی موقت نسبت به انتقال بارهای ستون مورد تعمیر به نحو اصولی و ایمن اقدام شود. (۲) کلیه‌ی قسمت‌های بتنی که آسیب‌دیده و سست شده است، باید از عضو جدا شود. (۳) ناحیه‌ای که نیاز به تعمیر دارد، از هرگونه گرد و غبار پاک شود. (۴) ناحیه‌ی آسیب‌دیده، باید با ایجاد سطح زیر و غیرمسطح، آماده قالب‌بندی و بتن‌ریزی شود. (۵) قبل از بتن‌ریزی، باید سطح عضو در محل اتصال با بتن جدید با آب اشباع شود. (۶) قالب‌بندی انجام شده در ناحیه‌ی آسیب‌دیده باید به گونه‌ای باشد که بتن، تمام نواحی تخلیه شده را بدون کوچک‌ترین خلاء پر کند. این موضوع ممکن است باعث شود، بتن‌ریزی در ابعادی بزرگ‌تر از ابعاد عضو اصلی انجام شود. در این صورت باید بعد از یک روز قالب‌ها جدا شده و نواحی اضافی تراشیده شود. (۷) سایر ترک‌های موجود با عرض ۲ تا ۵ میلی‌متر باید بر اساس جزئیات شماره ۱ (شکل ۳-۱۸) ترمیم شود. (۸) لازم است پس از اتمام ترمیم مطابق موارد ۱ تا ۷، با یک لایه دور پیچ کامل ورق FRP در کل ستون، آن را تقویت نمود (پیشنهاد می‌شود در راستای توضیحات موارد ۱ تا ۷ و عدم اطمینان از کیفیت تزریق، حتماً انجام یک لایه ورق FRP در دستور کار قرار گیرد).		

شکل (۳-۲۱): جزئیات روش تعمیر موضعی شماره ۴

عملکرد: خمشی - برشی - خمشی/کشش مورب	نوع عضو: تیر - تیر همبند	سطح آسیب: ۳
		۱) قبل از انجام هر عملیات تعمیر باید با نصب سازه‌ی موقت نسبت به انتقال بارهای ستون مورد تعمیر به نحو اصولی و ایمن اقدام شود. ۲) کلیه‌ی قسمت‌های بتنی ستون که آسیب‌دیده و سست شده باید از عضو جدا شود. ۳) تمام میلگردهای آسیب‌دیده باید از عضو جدا شود. ۴) به‌منظور ایجاد طول مهارتی لازم برای اتصال میلگردهای جدید و هم‌چنین حذف بتن‌های آسیب‌دیده باید ناحیه‌ی بیشتری از بتن عضو تخریب و تخلیه شود. در صورت عدم امکان تخریب بیشتر باید از سایر روش‌های اتصال آرماتورها همچون وصله مکانیکی یا جوشی استفاده شود. ۵) تعداد لازم میلگردهای جدید، طبق نظر مهندس طراح نصب شود. ۶) وصله میلگردها جدید به قدیم می‌تواند به‌صورت پوششی، مکانیکی یا جوشی طبق ضوابط مربوطه در نشریه ۱۲۰ باشد. ۷) سطح بتن قدیمی عضو باید زیر و خشن (مضرس) باشد و عاری از هرگونه گرد و غبار و چربی و آماده قالب‌بندی و بتن ریزی شود. ۸) با نظر طراح می‌توان از روش‌های تقویت اتصال بتن قدیم و جدید همچون؛ داول، کیفیت و کمیت مضرس بودن سطوح، افزودنی‌های شیمیایی چسباننده استفاده نمود. ۹) مقاومت بتن جدید باید برابر و در نهایت کمی بیش از بتن قدیمی باشد. در هر حالت مبنای مقاومتی مورد استفاده در محاسبات باید حداقل مقاومت بتن عضو منظور شود. ۱۰) قبل از بتن‌ریزی، سطح عضو در محل اتصال با بتن جدید باید با آب اشباع شود. ۱۱) قالب‌بندی انجام شده در ناحیه‌ی آسیب‌دیده باید به‌گونه‌ای باشد که بتن، تمام نواحی تخلیه شده را بدون کوچک‌ترین خلاء پر کند. این موضوع ممکن است باعث شود، بتن‌ریزی در ابعادی بزرگ‌تر از ابعاد عضو اصلی انجام شود. در این صورت باید بعد از یک روز قالب‌ها جدا شده و نواحی اضافی تراشیده شود. ۱۲) سایر ترک‌های موجود با عرض ۲ تا ۵ میلی‌متر لازم است بر اساس جزئیات شماره ۱ (شکل ۳-۱۸) ترمیم شود. ۱۳) پس از اتمام ترمیم لازم است کل عضو با یک لایه دور پیچ کامل ورق FRP تقویت شود (پیشنهاد می‌شود در راستای توضیحات موارد ۱ تا ۱۲ و عدم اطمینان لازم از کیفیت بخش‌های باقیمانده‌ی عضو اصلی حتماً اجرای یک لایه ورق FRP در دستور کار قرار گیرد). تیرهای همبند به دلیل آنکه جزو اعضای اصلی سامانه‌ی باربر جانبی است، باید کل عضو تخریب و نوسازی شود.

سطح آسیب: ۱	نوع عضو: دیوار برشی	عملکرد: خمشی - برشی - خمشی/کششی مورب
		
(۱) بر اساس جزئیات شماره ۱ ارائه شده در شکل (۳-۱۸) اقدام شود. (۲) در صورت استفاده از ورق FRP برای طرح ترمیم، حتماً باید با عبور نوارهای ورق FRP از عرض دیوار، مهار مناسبی ایجاد شود.		

شکل (۳-۲۳): جزئیات روش تعمیر موضعی شماره ۶

سطح آسیب: ۲	نوع عضو: دیوار برشی	عملکرد: خمشی - برشی - خمشی/کششی مورب
		
(۱) بر اساس جزئیات شماره ۲ ارائه شده در شکل (۳-۱۹) اقدام شود. (۲) در صورت استفاده از ورق FRP برای طرح ترمیم، حتماً باید با عبور نوارهای ورق FRP از عرض دیوار، مهار مناسبی ایجاد شود.		

شکل (۳-۲۴): جزئیات روش تعمیر موضعی شماره ۷

۳-۷-۴- تعمیر کلی

در صورتی که سازه براساس روش‌های تعمیر موضعی ارائه شده در بند ۳-۷-۳ تعمیر شود، در این حالت براساس کیفیت و کمیت اجرای طرح تعمیر انتظار می‌رود وضعیت سازه به ظرفیت پیش از آسیب خود بازگردد؛ اما بازگشت ظرفیت سازه به وضعیت پیش از آسیب، به مفهوم تأمین معیارهای پذیرش و اهداف مورد نظر نیست. از این رو لازم است برای ارتقاء ظرفیت و عملکرد ساختمان از روش‌های تعمیر کلی به‌صورت موردی یا تلفیقی استفاده شود. برای این منظور، با توجه به آسیب‌های سازه می‌توان از روش‌های تعمیر کلی معرفی شده در جدول ۳-۶ استفاده نمود.

جدول (۳-۶): نقایص سازه‌ای و روش‌های پیشنهادی کلی تعمیر ساختمان آسیب‌دیده در زلزله

روش‌های تعمیر کلی				نقص‌ها	
افزودن اعضای جدید	ارتقاء اعضای موجود	کاهش تقاضا	سایر گزینه‌ها	نشانه‌ها	راهبردهای ۴ گانه (بند ۳-۷-۱)
قاب مهاربندی دیوار برشی بتنی دیوار مصالح بنایی	تیرها ستون‌ها اتصالات دیوارهای برشی	جداسازی لرزه‌ای تعبیه میراگر	کاهش تعداد طبقات تغییر کاربری	عدم کفایت مقاومت قاب	مقاومت
قاب مهاربندی دیوار برشی بتنی دیوار مصالح بنایی	تیرها ستون‌ها اتصالات دیوارهای برشی	تعبیه میراگر	تغییر کاربری	تغییر مکان نسبی زیاد	سختی
-	تیرها ستون‌ها اتصالات	جداسازی لرزه‌ای	تغییر کاربری حذف اتصال میانقاب‌ها	تردد بودن رفتار کلی سازه	شکل‌پذیری
قاب مهاربندی دیوار برشی بتنی دیوار مصالح بنایی	-	-	حذف اتصال میانقاب‌ها	طبقه نرم	پیکربندی
قاب مهاربندی دیوار برشی بتنی دیوار مصالح بنایی	ارتقاء جزئیات	-	حذف تورفتگی و پیش آمدگی در پلان	تورفتگی و پیش آمدگی در پلان	
قاب مهاربندی دیوار برشی بتنی دیوار مصالح بنایی	تیرها ستون‌ها اتصالات دیوارهای برشی	-	حذف اتصال میانقاب‌ها حذف دیوارهای برشی حذف مهاربند	پیش‌پیش	

۳-۷-۴-۱- افزودن اعضای جدید

افزودن اعضای جدید به سامانه‌ی باربر جانبی به‌عنوان یکی از روش‌های تقویت سازه‌ی آسیب‌دیده مطرح می‌باشد. این روش تعمیر باعث افزایش سختی و افزایش مقاومت شده و در مواردی می‌تواند تأمین‌کننده شکل‌پذیری مناسب سازه باشد. مهندس طراح باید آگاهانه از این شیوه برای دستیابی به هدف مورد نظر در ارتقاء عملکرد سازه‌ای ساختمان مورد بررسی، استفاده نماید. مهم‌ترین روش‌های کاربردی در این خصوص، در بند ۲-۷-۴-۱-ب با عنوان افزودن سامانه‌ی مهاربندی و در بند ۲-۷-۴-۱-پ با عنوان افزودن دیوار برشی بتنی و در بند ۲-۷-۴-۱-ث با عنوان افزودن دیوار مصالح بنایی ارائه شده است.

۳-۷-۴-۲- ارتقاء اعضای سازه‌ای موجود

زمانی که بر اساس اهداف عملکردی انتخاب شده برای ساختمان، انتظار می‌رود که سازه سطح بالاتری از ظرفیت را دارا باشد، تعمیر کلی ساختمان را می‌توان با ارتقاء اعضای سازه‌ای موجود انجام داد. برای این منظور، روش‌های پیشنهادی زیر قابل کاربرد خواهد بود:

الف- تقویت تیرها. تیرها یکی از اعضای اصلی قاب‌های خمشی بتنی هستند که عمل جمع‌آوری بارهای ثقلی طبقات و انتقال آن به ستون‌ها را بر عهده دارد. در قاب‌های خمشی، تیرها به‌عنوان عضوی از سامانه‌ی باربر جانبی نیز وارد عمل می‌شود. این موضوع سبب می‌شود که به این اعضا تلاشی از جنس خمش اعمال شود. در برخی موارد به‌خصوص در تیرهای بتنی کوتاه، نیروی برشی بر عضو حاکم بوده و نیاز است عضو بر اساس نوع تلاش و ضعف‌هایی که در آن وجود دارد تقویت شود. یکی از راهکارهای تقویت این اعضا، افزودن ابعاد آن‌ها است. به‌منظور کسب اطلاعات بیشتر از نحوه‌ی طراحی و جزئیات اجرایی، به بند ۷-۴-۵ نشریه ۷۴۱ سازمان برنامه و بودجه مراجعه شود.

یکی دیگر از راهکارهای تقویت تیرهای موجود در ساختمان بتنی استفاده از مصالح پلیمری (ورق‌های FRP) مانند؛ الیاف کربن، شیشه، آرامید و امثال این‌ها است. با نصب درست این مصالح بر روی سطح خارجی تیر مورد نظر و ایجاد محصورشدگی برای بتن می‌توان ظرفیت و شکل‌پذیری عضو را افزایش داد. به‌منظور کسب اطلاعات بیشتر از نحوه‌ی طراحی و جزئیات اجرایی، به نشریه ۳۴۵ سازمان برنامه و بودجه مراجعه شود.

برای تقویت تیرها بهتر است ابتدا با زدن جک بار ثقلی از روی تیر برداشته شود و سپس موارد تقویت انجام شود.

ب- تقویت ستون‌ها. ستون‌ها، اعضای اصلی قاب‌های ساختمانی برای تحمل و انتقال بارهای ثقلی و جانبی هستند. از آنجا که ظرفیت باربری یک ستون بتنی با در نظر گرفتن اثر متقابل نیروی محوری و لنگر خمشی تعیین می‌شود، به‌منظور تقویت آن، می‌توان از راهکار کلی اجرای ژاکت با استفاده از مصالح متداول زیر عمل نمود:

۱. مصالح پلیمری (ورق‌های FRP) مانند؛ الیاف کربن، شیشه، آرامید و امثال این‌ها،

۲. مصالح بتنی،

۳. مصالح فولادی.

این راهکار می‌تواند ظرفیت محوری، خمشی و در عین حال شکل‌پذیری ستون را افزایش دهد. در هنگام استفاده از هر یک از این مصالح باید ضوابط مربوطه بررسی و رعایت شود.

یکی از نکاتی که در اجرای طرح تقویت ستون‌های بتنی باید مورد توجه قرار گیرد، نحوه‌ی اتصال عضو تقویت شده به بالا و پایین ستون موجود است، به‌گونه‌ای که ستون جدید به صورت یکپارچه و منسجم بتواند کل بار وارده را تحمل نماید. در واقع باید توجه داشت که در ابتدا باید بار موجود از روی ستون برداشته شده و پس از انجام تقویت لازم مجدداً عضو جدید در زیر بار قرار گیرد. به‌منظور کسب اطلاعات بیشتر از نحوه‌ی طراحی و جزئیات اجرایی، به بند ۷-۴-۳ و ۷-۴-۴ نشریه ۷۴۱ و نشریه ۳۴۵ سازمان برنامه و بودجه مراجعه شود.

پ- تقویت اتصالات. اتصالات در ساختمان‌های بتنی، به‌خصوص ساختمان‌های با سامانه‌ی باربر جانبی قاب خمشی، نقشی مهم و اساسی بر عهده دارد. چنانچه بر اساس محاسبات و مدل‌سازی‌های انجام شده اتصالات موجود توانایی تحمل تلاش‌های وارد شده را نداشته باشد، می‌توان با محور نمودن اتصال به‌نوعی مقاومت و شکل‌پذیری آن را افزایش داد. این محور شدگی می‌تواند با استفاده از مصالح فولادی یا مصالح پلیمری (ورق‌های FRP) مانند؛ الیاف کربن، شیشه، آرامید و امثال این‌ها انجام شود. کلیه ضوابط و معیارهای مربوط به استفاده از این مصالح در تقویت اتصالات باید بر اساس آخرین ویرایش آیین‌نامه‌های موجود باشد.

ت- تقویت دیوارهای برشی بتنی. در این خصوص به توضیحات بند (۲-۷-۴-۲-ت) مراجعه شود.

۳-۴-۷-۳- کاهش تقاضای لرزه‌ای

در یکی دیگر از روش‌های تعمیر ساختمان‌های آسیب‌دیده، کاهش تقاضای لرزه‌ای ساختمان است. این راهکار به سه صورت زیر قابل اجرا است. در هنگام استفاده از مبانی راهکارهای دوم و سوم این بخش، مهندس طراح باید با تسلط کامل بر مبانی طراحی هر قسمت و اطمینان از جزئیات طراحی و آگاهی از پیامدهای هر انتخاب، برای استفاده از مسیر طراحی سامانه‌های کنترلی اقدام نماید.

الف) کاهش انتظارات لرزه‌ای. یکی از راهکارهای تعمیر سازه‌ی آسیب‌دیده از زلزله، کاهش انتظارات لرزه‌ای است. در این روش مبانی طراحی تغییری نمی‌کند، بلکه سطح انتظارات استفاده از ساختمان کاهش داده می‌شود. این راهکار زمانی مورد توجه قرار می‌گیرد که ساختمان مورد بررسی دارای حداقل یکی از شرایط زیر باشد:

۱. ساختمان موقتی باشد،
۲. ساختمان از ضریب اهمیت پایینی برخوردار باشد،
۳. ساختمان دارای طراحی یا اجرای بسیار ضعیفی باشد که حتی بازگرداندن آن به شرایط پیشین، نیاز به صرف هزینه‌ی بالای اقتصادی داشته باشد.

با دیدگاه کاهش انتظارات لرزه‌ای، می‌توان سطح خطر لرزه‌ای یا سطح عملکرد لرزه‌ای مورد انتظار از ساختمان مورد بررسی را کاهش داد و به این ترتیب هزینه‌های اجرای تعمیر ساختمان نیز تا اندازه‌ی زیادی کاهش می‌یابد. در مجموع پیشنهاد مهندس طراح در خصوص راهکارهای ذیل باید از طرف کارفرما مورد بررسی و موافقت قرار گیرد. به‌طور مثال برای تغییر کاربری ساختمان می‌توان یک مدرسه را به انبار تبدیل کرد.

ب) استفاده از سامانه‌ی جداسازی لرزه‌ای. در این روش از ایده‌ی کاهش انرژی ورودی به ساختمان برای کاهش تقاضای لرزه‌ای سازه‌ی ساختمان استفاده می‌شود. بدین صورت که با تعبیه‌ی سازوکارهای جدا سازی لرزه‌ای در تراز پایه‌ی یک ساختمان، می‌توان باعث کاهش انرژی ورودی لرزه‌ای و به تبع آن کاهش تقاضای لرزه‌ای سازه‌ی ساختمان شد. این راهکار، مانند بسیاری از راهکارهای متعارف، برای تمامی ساختمان‌ها و در تمامی موقعیت‌های ژئوتکنیکی منجر به کارایی مناسب نمی‌شود. استفاده از این راهکار، محدودیت‌ها و تعاریفی دارد که یکی از مهم‌ترین آن‌ها، داشتن اطمینان از عملکرد یکپارچه‌ی سازه در بالای سطح جداسازی است. در صورتی که ساختمان مورد بررسی، قدیمی یا از دیدگاه سختی سازه‌ای ضعیف باشد، تأمین رفتار نزدیک به صلب طبقات در ارتفاع ساختمان، می‌تواند معضلی به‌مراتب دشوارتر از تعمیر ساختمان مورد بررسی باشد. از این‌رو، مهندس طراح باید با تسلط بر مبانی کلی و اشراف کامل به جزئیات طراحی و اجرای سامانه‌ی جداسازی لرزه‌ای، اقدام به استفاده از این راهکار نماید.

در هنگام به کارگیری جداسازهای لرزه‌ای به‌منظور بهسازی و تقویت ساختمان آسیب‌دیده باید به محدودیت‌های معماری توجه نمود. جداسازهای لرزه‌ای انواع مختلفی دارد که بسته به مشخصات سازه، هدف از به کارگیری جداسازها و همچنین در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی طرح، می‌توان طرح مناسبی از ترکیب آن‌ها را به کار برد. این طراحی باید بر اساس آخرین ویرایش آیین‌نامه‌های موجود از جمله رعایت ضوابط نشریات ۳۶۰ و ۵۲۳ انجام پذیرد.

ج) استفاده از میراگرها. این روش تلاش دارد با تعبیه‌ی ادواتی در ساختمان، انرژی ورودی به طبقات را مستهلک نموده و تقاضای لرزه‌ای در اعضای اصلی را کاهش دهد. برای اینکه میراگرهای نصب شده در ساختمان بتواند انرژی جذب کند، سامانه‌ی سازه‌ای که این میراگرها بر روی آن نصب شده است، باید رفتار الاستیک خطی داشته باشد. از این‌رو، مهندس طراح باید با تسلط بر مبانی کلی و اشراف کامل به جزئیات طراحی و اجرای میراگرها، اقدام به استفاده از این راهکار نماید. میراگرها نیز مانند جداسازهای لرزه‌ای انواع مختلفی دارد که بسته به مشخصات سازه، هدف از به کارگیری جداسازها و همچنین در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی طرح، می‌توان ترکیب مناسبی از آن‌ها ارائه نمود. طراحی این سامانه باید بر اساس آخرین ویرایش آیین‌نامه‌های موجود انجام پذیرد.

۳-۷-۵- تعمیر ساختمان آسیب‌دیده در زلزله به روش ساده

در این روش از سامانه‌ی باربر جانبی موجود در سازه به دلیل وجود آسیب‌های مشهود و احتمالی چشم‌پوشی می‌شود. از این‌رو، برای تأمین سامانه‌ی باربر جانبی جدید با رعایت حاشیه‌ی اطمینان مناسب از سامانه‌های دیوار برشی یا مهاربندی

استفاده می‌شود. در این حالت، سامانه‌های باربر جانبی جدید (دیوار یا مهاربند) به همراه اعضای مرزی برای انتقال کل بارهای جانبی تا شالوده، طرح و اجرا می‌شود.

در استفاده از این روش تعمیر باید مهندس طراح به نکات بسیاری توجه داشته باشد که در ادامه به تعدادی از این موارد اشاره شده است: جانمایی دیوارهای برشی یا قاب مهاربندی در ساختمان آسیب‌دیده، حل مشکلات برخورد با معماری ساختمان، حل مسئله شالوده‌ی دیوارها و مهاربندها که قرار است کل نیروی زلزله را به زمین منتقل کند، یکپارچه سازی سامانه جدید و اتصال آن با سازه‌ی موجود، موضوع انتقال برش ایجاد شده در طبقات به سامانه‌ی باربر جانبی جدید و مواردی از این قبیل.

روش ساده با رعایت شرایط مندرج در بند ۳-۷-۵-۱ در ساختمان‌های بتنی قابل استفاده است.

۳-۷-۵-۱- شرایط استفاده از روش تعمیر ساده

در صورت احراز شرایط زیر می‌توان از روش تعمیر ساده برای تعمیر ساختمان‌های بتنی استفاده نمود:

- ۱) در صورتی که مقاومت مشخصه‌ی فشاری بتن، ارزیابی شده مطابق بند ۳-۳-۲، شرایط بند ۳-۳-۱ را نداشته باشد.
- ۲) در صورتی که برای انجام روش‌های تعمیر موضعی، ارائه شده در بخش ۳-۷-۳، شرایط اجرا وجود نداشته باشد یا از نظر اقتصادی توجیه نداشته باشد.
- ۳) در صورتی که شدت آسیب‌های ایجاد شده در سازه به گونه‌ای باشد که بر اساس نظر مهندس طراح، ظرفیت باربری جانبی سازه‌ی آسیب‌دیده قابل صرف‌نظر کردن باشد.

۳-۷-۵-۲- ضوابط روش تعمیر ساده

در صورت لزوم به استفاده از روش تعمیر ساده لازم است در هنگام طرح و اجرای طرح تعمیر ساختمان مورد بررسی، ملاحظات زیر منظور شود:

۱. سازه‌ی آسیب‌دیده در این روش باید ظرفیت کافی برای تحمل بارهای ثقلی را داشته باشد یا تقویت شود،
۲. از دیوارهای برشی یا مهاربند به منظور تحمل و انتقال بارهای جانبی استفاده می‌شود،
۳. دیوار برشی یا مهاربند باید برای کل نیروی جانبی و ۳۰ درصد از بار ثقلی طراحی شود،
۴. از آنجا که در این روش تمامی بارهای جانبی توسط دیوارهای برشی یا قاب‌های مهاربندی جدید تحمل می‌شود و نیرویی به سازه‌ی آسیب‌دیده منتقل نمی‌شود، نیازی به انجام تعمیرات سازه‌ای برای اعضای سازه‌ای آسیب‌دیده نیست.
۵. در مدل‌سازی به روش ساده، کلیه اتصالات تیر به ستون سازه‌ی آسیب‌دیده باید به صورت مفصلی مدل شود،

۶. جانمایی دیوارهای برشی یا قاب‌های مهاربندی در روش تعمیر ساده‌ی سازه‌ی آسیب‌دیده باید حداقل در هر دو راستای سازه و در هر راستا حداقل در دو دهانه تعبیه شود،
۷. لازم است برای جمع‌آوری و انتقال بارهای جانبی در تراز سقف‌ها، جمع‌کننده‌ها (کلکتورها) طراحی شود،
۸. در صورت وجود آسیب در مهاربندها یا دیوار برشی (آسیب سطح ۳)، این عضو باید با عضو جدید جایگزین شود. در این صورت این تغییرات باید با دقت کافی در مدل سازه‌ی تعمیرشده منظور شود. در صورتی که حذف دیوار برشی ممکن نباشد، باید بر اساس سطح آسیب ایجاد شده، مشخصات سختی، مقاومت و شکل‌پذیری دیوار تقلیل یافته و در مدل‌سازی منظور شود.

فصل ۴

ساختمان‌های بنایی

۴-۱- مقدمه

با توجه به فراوانی قابل توجه ساختمان‌های بنایی در کشور، کیفیت اجرا و تنوع زیاد، بازطراحی و تعمیر این گونه ساختمان‌ها پس از وقوع زلزله از اهمیت زیادی برخوردار است. ساختمان‌های بنایی دارای سختی زیاد با عملکرد به نسبت ترد (غیر شکل پذیر) می‌باشد که برای ارزیابی آن‌ها می‌توان از یکی از روش‌های ساده یا تفصیلی تشریح شده در این فصل استفاده نمود. مراحل تعمیر ساختمان‌های بنایی در روند نمای (۴-۱)، نشان داده شده است. هر کدام از مراحل این روند نما، در بخش‌های بعدی تشریح شده است.

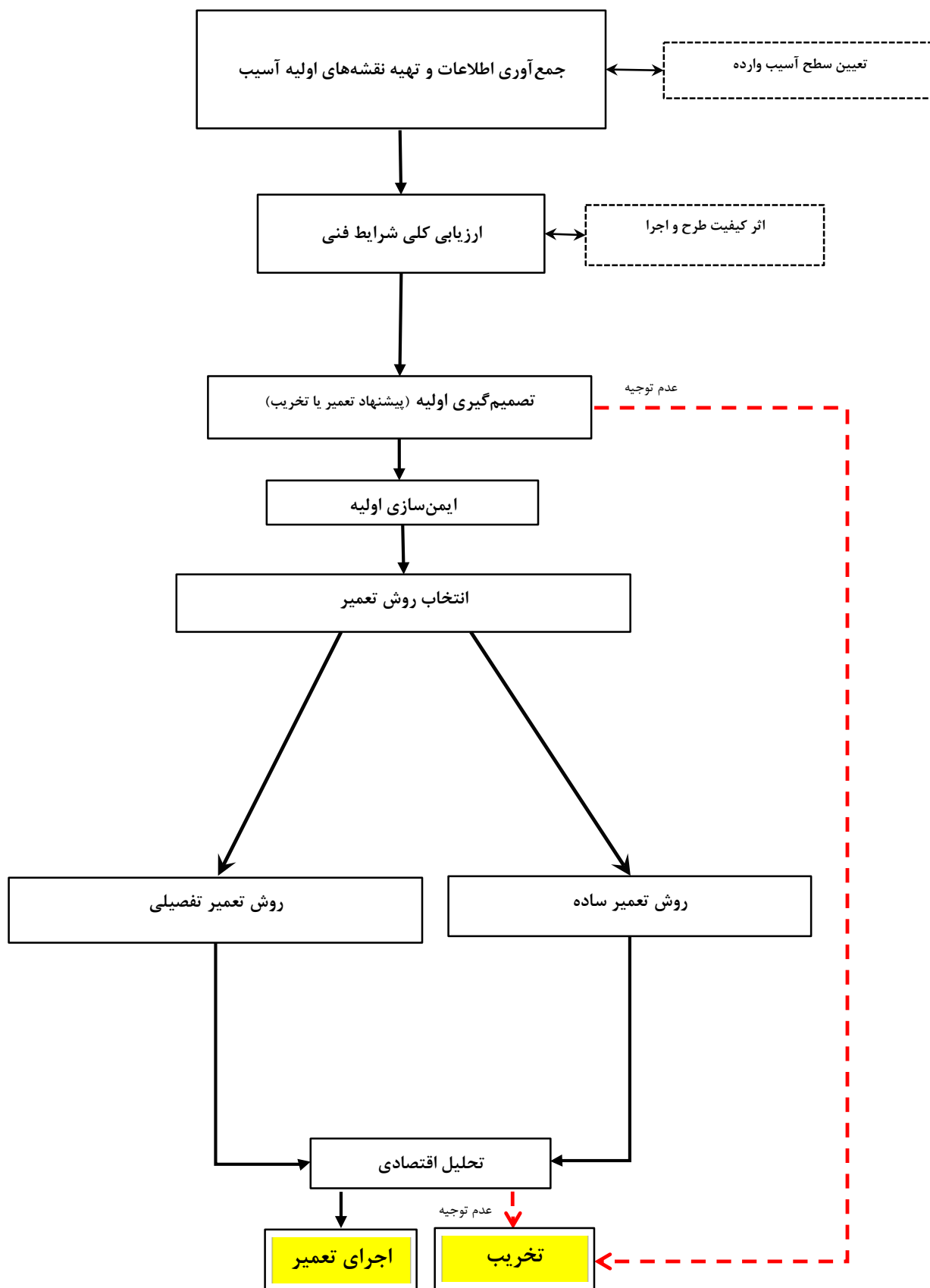
ضوابط این بخش از راهنما برای بهسازی ساختمان‌های بنایی غیر مسلح شامل؛ کلاف‌دار و بدون کلاف که در آن‌ها تمام و یا قسمت عمده‌ی بارهای قائم و جانبی توسط دیوارهای آجری، بلوک‌های سیمانی یا سنگی تحمل می‌شود، کاربرد دارد. از آنجا که راهنمای حاضر بر مبنای اصول عملکردی استوار است کلیه ساختمان‌های بنایی غیر مسلح (فارغ از توجیه اقتصادی یا تعداد طبقات) که در زلزله آسیب دیده است را می‌توان بر اساس دسته‌بندی‌های ارائه شده در این بخش و جزئیات روش‌های اجرایی، تعمیر نمود. البته بناهای خشتی و بناهای خاص، از جمله بناهای تاریخی، مشمول ضوابط این راهنما نمی‌شود.

۴-۲- جمع‌آوری اطلاعات و تهیه نقشه‌های اولیه آسیب

ساختمان‌های بنایی که وارد مرحله‌ی تعمیر شده است، از قبل، مسیر ارزیابی سریع موضوع نشریه ۸۳۲ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (سریع و کیفی) را طی کرده است. از این‌رو، این ساختمان‌ها پیش از این، در یک یا دو مرحله‌ی ارزیابی سریع و کیفی، مورد بازرسی گروه‌های کارشناسی قرار گرفته است. اطلاعات برداشت شده از ارزیابی‌های میدانی آسیب‌های وارده، در فرم‌های مربوطه می‌تواند کمک مؤثری در تعیین وضعیت ساختمان برای مرحله‌ی تعمیر با شد. در نهایت، در یک بازدید از ساختمان، اطلاعات موجود در فرم‌ها با وضعیت موجود مطابقت داده شده و اطلاعات موجود، راستی‌آزمایی و در صورت نیاز اصلاح می‌شود. در این مرحله لازم است آسیب‌های وارد به سازه بر اساس دسته‌بندی ارائه شده در بند (۴-۲-۱)، روی نقشه‌های چون ساخت (موجود) مشخص شود تا نقشه‌های اولیه آسیب ساختمان تهیه شود.

۴-۲-۱- دسته‌بندی آسیب‌های وارده و تعیین سطح آسیب وارده

مهم‌ترین آسیب‌هایی که یک ساختمان بنایی در حین زلزله تجربه می‌کند، عموماً شامل؛ ترک‌خوردگی دیوارهای بنایی از جمله ترک‌های قطری، لغزش درز ملات، ترک‌های گوشه دیوار، خردشدگی پاشنه دیوار، ترک‌خوردگی‌های در اطراف بازشوها، جابجایی خارج از صفحه دیوار، خرابی یا فروریزش خرپشته، آسیب راه‌پله‌ها، آسیب سقف به دلیل فروریزش دیگر مصالح سنگین بر روی سقف، خرابی اجزای غیر سازه‌ای و برخورد ساختمان‌های مجاور می‌باشد.



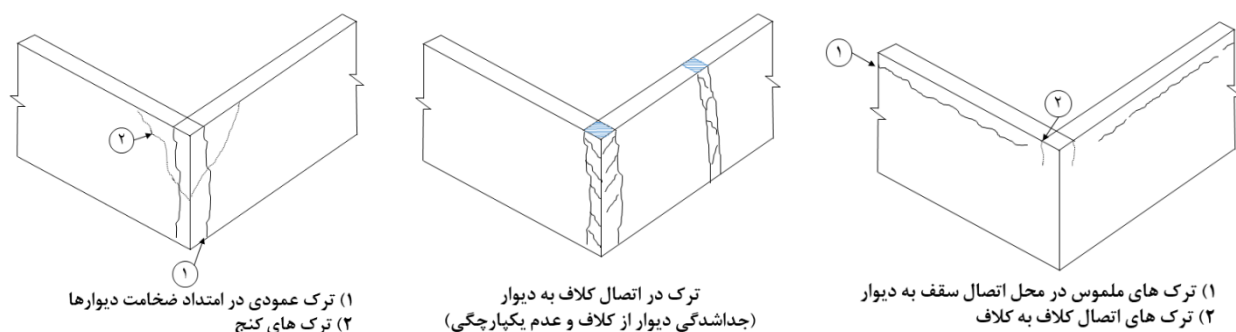
روند نمای ۴-۱: مراحل بررسی و تعمیر یا تخریب ساختمان‌های مصالح بنایی آسیب‌دیده در زلزله

با توجه به اهمیت میزان آسیب‌های وارد به یک ساختمان بنایی، می‌توان آسیب‌ها را در سه سطح کم، متوسط و زیاد دسته‌بندی نمود. آسیب‌های کم، مواردی است که در عمل اهمیت سازه‌ای ندارد. از این‌رو، در مرحله‌ی ارزیابی سریع، مورد پذیرش قرار گرفته و به مرحله‌ی ارزیابی تفصیلی ارجاع نمی‌شود. در نتیجه، هر ساختمان بنایی ارجاع شده به این مرحله، از نظر آسیب‌های وارده در دو گروه متوسط و زیاد دسته‌بندی می‌شود. شاخص‌های تفکیک این دو سطح آسیب پیشنهادی در جدول (۱-۴) شرح داده شده است. در دسته‌بندی آسیب‌ها برای هر دسته، تلاش شده آسیب‌ها با یکدیگر هم‌ارز باشد؛ بنابراین، در صورت مشاهده یک آسیب لازم است آسیب‌های دیگر آن دسته نیز جستجو شود.

جدول (۱-۴): دسته‌بندی آسیب‌ها

شدت آسیب	شرح آسیب‌ها
متوسط	۱. مشاهده‌ی ترک با بازشدگی در دیوارهای کلاف‌دار یا بدون کلاف، در کمتر از ۵۰٪ دیوارهای باربر (۲۲ سانتی‌متری و بیشتر) در یک راستا یا ترک عریض در کمتر از ۲۰٪ آن‌ها، ۲. مشاهده‌ی ترک با بازشدگی در اتصالات دیوار به دیوار، دیوار به کلاف، کلاف به کلاف، ستون به سقف یا کف، سقف به دیوار، ۳. مشاهده‌ی ترک با بازشدگی در سقف، ۴. وجود انحنا یا ناشاقولی ناشی از زلزله تا ۴٪/۰ در هر کدام از طبقات.
شدید	۱. ترک با بازشدگی در دیوارهای کلاف‌دار یا بدون کلاف، در حداقل ۵۰٪ دیوارهای باربر (۲۲ سانتی‌متری و بیشتر) در یک راستا یا وجود ترک عریض در حداقل ۲۰٪ آن‌ها ۲. ترک عریض در اتصالات (دیوار به دیوار - دیوار به کلاف - کلاف به کلاف - ستون به سقف یا کف - سقف به دیوار) ۳. مشاهده ترک‌خوردگی عریض در سقف یا فروریزش بخشی از آن ۴. فروریزش بخشی از ساختمان یا یکی از اعضای سازه‌ای (ستون - دیوارهای باربر - اتصالات) یا بروز ناشاقولی بیش از ۴٪/۰ در هر کدام از طبقات (متناظر بروز جابجایی ماندگار در طبقه یا کل ساختمان بیش از ۴٪/۰ (ASCE 41))

به‌منظور مستندسازی و تعیین وضعیت ساختمان، آسیب‌های موجود باید بر روی نقشه‌ی ساختمان، علامت‌گذاری شده و با ذکر مشخصات (عرض یا نوع ترک و جابجایی ماندگار طبقه) مشخص شود. برای سهولت دسته‌بندی، نوع ترک برخی از متداول‌ترین محل‌های ترک در شکل (۱-۴) نشان داده شده است.



شکل (۱-۳): متداول‌ترین محل ترک‌ها در دیوار بنایی

توضیح: در صورت تردید بین دو سطح آسیب، سطح آسیب بحرانی‌تر، یعنی سطح آسیب بالاتر، ملاک عمل قرار گیرد. این مرحله، طی بازدید بازرسان از ساختمان بنایی آسیب‌دیده از زلزله، هم‌زمان با تطبیق فرم‌های ارزیابی سریع انجام می‌شود. برای تعیین عرض ترک می‌توان از خط‌کش‌های مخصوص (EN1504) که نمونه‌ای از آن در شکل (۲-۴) نشان داده شده است، استفاده نمود. ترک جدید دارای لبه تیز و فرسایش نیافته است و درون آن فاقد دوده، گرد و خاک و آثار هوازدگی می‌باشد. منظور از عرض ترک، فاصله عمودی بزرگ‌ترین بازشدگی بین دو لبه‌ی ترک جدید، ناشی از زلزله‌ی مورد نظر که بر اثر تغییر مکان نسبی طبقه در عضو ایجاد شده است و شامل لبه‌ی کنده یا ریخته شده‌ی مصالح دو طرف ترک نمی‌شود. ترک‌های ایجاد شده در سه رده‌ی زیر دسته‌بندی می‌شود:

الف- ترک جدیدی: ترک جدیدی است که بازشدگی آن چندان قابل مشاهده نیست.

ب- ترک با بازشدگی: ترک جدیدی است که دارای بازشدگی قابل مشاهده با عرض کمتر از ۳ میلی‌متر باشد.

ج- ترک عریض: ترک جدیدی است که دارای بازشدگی قابل مشاهده با عرض ترک بیش از ۳ میلی‌متر باشد.

در اعضای باربر قائم و سقف‌ها، ترک‌های با بازشدگی و ترک‌های عریض، از اهمیت زیادی برخوردار است. از این‌رو، در دسته‌بندی آسیب‌ها در جدول (۴-۱) به آن‌ها اشاره شده است. در صورت بروز ترک‌های با بازشدگی در اعضای باربر قائم و سقف، مقدار آسیب ساختمان در دسته‌ی متوسط برآورد شده و در صورت بروز ترک‌های عریض، ساختمان با آسیب شدید دسته‌بندی می‌شود.



شکل (۲-۴): خط‌کش مدرج شفاف برای تعیین عرض ترک

برای تعیین جابجایی ماندگار ناشی از زلزله که در جدول تحت عنوان ناشاقولی ذکر شده است، می‌توان از شاقول استفاده نمود. ممکن است در عمل تعیین ناشاقولی ۱/۲ سانتی‌متری (در صورتی که عضو قائم ۳ متر ارتفاع داشته باشد) با ابزار شاقول کمی دشوار باشد. از این‌رو، در صورت قرار گرفتن ساختمان در محدوده‌های مرزی یا بنا به تشخیص مهندس طراح یا درخواست کارفرما، می‌توان از دوربین نقشه‌برداری نیز برای تعیین دقیق جابجایی ماندگار استفاده نمود. در صورت عدم وجود آسیب در اعضای سازه‌ای یک طبقه، ناشاقولی آن طبقه مورد استناد قرار نمی‌گیرد. همچنین، در تفکیک ناشاقولی ذاتی عضو و ناشاقولی ناشی از زلزله باید از مجموعه‌ی شواهد دیگری همچون؛ شدت، مسیر و راستای آسیب در ساختمان، کیفیت اجرا و تشخیص ناشاقولی ذاتی قابل مشاهده در دیگر اعضای قائم، استفاده نمود.

۴-۳- ارزیابی کلی اولیه

بر اساس کیفیت ساختمان در مقایسه با ساختمان‌های مشابه مجاور، ارزش اقتصادی، فرهنگی و تاریخی خود ساختمان، برنامه‌ریزی‌ها و طرح‌های جامع شهری و تصمیمات مدیریتی می‌توان در مورد تعمیر یا تخریب ساختمان مورد نظر تصمیم‌گیری نمود.

۴-۳-۱- ارزیابی کلی شرایط فنی

یکی از شاخصه‌های مهم در کیفیت ساختمان بنایی (کلاف‌دار یا بدون کلاف) آسیب‌دیده در زلزله، تناسب میزان آسیب با شدت زلزله‌ی روی‌داده در منطقه‌ی مورد بررسی است. از این طریق می‌توان به صورت غیرمستقیم اثر کیفیت طرح و اجرا را در نحوه‌ی برخورد با ساختمان‌های آسیب‌دیده منظور نمود.

اثر کیفیت طرح و اجرا: در این راهنما، برای منظور نمودن اثر کیفیت مصالح و اجزاء، از مقایسه‌ی وضعیت آسیب ساختمان مورد نظر نسبت به تعدادی از ساختمان‌های اطراف با طبقات مشابه، فارغ از نوع و سامانه‌ی سازه‌ای، استفاده می‌شود. تعداد ساختمان‌هایی که باید با ساختمان مورد نظر مقایسه شود، کمینه سه عدد و بیشینه بر اساس تشخیص بازرسان ارزیابی تعیین می‌شود.

نتیجه این ارزیابی در دو سطح کم و زیاد دسته‌بندی می‌شود. بدین معنی که اگر آسیب مشاهده شده در ساختمان مورد نظر از سطح متوسط آسیب منطقه‌ای ساختمان‌های مشابه کمتر بود، گزینه‌ی مناسب و اگر آسیب مشاهده شده در ساختمان مورد نظر از سطح متوسط آسیب منطقه‌ای ساختمان‌های مشابه بیشتر یا در همان سطح بود، گزینه‌ی نامناسب به آن ساختمان اختصاص داده می‌شود.

در صورتی که آسیب‌های ساختمان مورد بررسی محدود و کمتر از آسیب‌های متوسط منطقه‌ای باشد، بدین معنی است که این ساختمان از نظر کیفیت مصالح، اجرا و عملکرد، در سطح بهتری نسبت به ساختمان‌های پیرامون خود قرار دارد، از این‌رو ادامه‌ی ارزیابی می‌تواند با سخت‌گیری کمتری ادامه یابد. برعکس، اگر آسیب‌های ساختمان مورد بررسی، در حد آسیب‌های متوسط منطقه‌ای یا بیشتر از آن باشد، بیانگر ضعف اجرا و ضعف کیفیت مصالح آن است، از این‌رو ادامه‌ی ارزیابی ساختمان باید با دید سخت‌گیرانه‌تری انجام پذیرد.

۴-۳-۲- تصمیم‌گیری اولیه

پس از جمع‌آوری و راستی‌آزمایی اطلاعات ساختمان مورد بررسی، بر اساس معیار کیفیت مصالح ساختمان و نحوه‌ی اجرای آن، تعیین برآورد نسبی از شدت رویداد لرزه‌ای که در منطقه رخ داده، تعیین سطح آسیب مشاهده شده در ساختمان مورد بررسی در مقایسه با ساختمان‌های اطراف و برآوردی تقریبی از هزینه‌های تعمیر مستتر در این ارزیابی، می‌توان پیشنهادی برای تصمیم‌گیری اولیه ارائه نمود. این تصمیم اولیه‌ی پیشنهادی در جدول (۴-۲) ارائه شده است.

اثر کیفیت طرح و اجرای یک ساختمان بنایی، فارغ از وجود یا عدم وجود کلاف که بر اساس موارد ذکر شده در فرم‌های ارزیابی سریع و موارد مندرج در بند ۴-۳-۱، در دو سطح **نامناسب و مناسب** دسته‌بندی شده، در ستون (۱) جدول (۴-۲) مورد استناد قرار گرفته است. در ادامه، برای تعیین شدت زلزله‌ی رخ داده در یک منطقه و همچنین میزان انسجام و یکپارچگی عملکرد ساختمان مورد بررسی در مقابل مخاطرات لرزه‌ای به موارد مندرج در ستون (۲) جدول (۴-۲) اشاره شده است. درنهایت، جمع‌بندی و تصمیم‌پیشنهادی، در ستون (۳) جدول با همین نام ارائه شده است. شایان ذکر است که توجیه اقتصادی تعمیر ساختمانی با این میزان آسیب‌دیدگی که زلزله‌ای با یک سطح مشخص را تجربه نموده است، نیز در تصمیم‌پیشنهادی مستتر است.

موارد پیشنهادی، حداقل موارد مورد نیاز برای تأمین اهداف فنی این راهنما می‌باشد که بسته به شرایط موجود، از طرف مهندس طراح پیشنهاد می‌شود. بدیهی است تصمیم نهایی در این مرحله، مبنی بر تخریب یا ادامه‌ی فرآیند ارزیابی تعمیر، بر اساس پیشنهاد مهندس طراح و تصویب مالک یا کارفرمای طرح قابل اجرا خواهد بود.

جدول (۲-۴): تصمیم‌گیری اولیه‌ی پیشنهادی برای ساختمان‌های بنایی (کلاف دار و بدون کلاف)

اثر کیفیت طرح و اجرا	برآوردی از سطح مخاطرات رخ داده و سطح آسیب در ساختمان مورد بررسی	تصمیم‌گیری اولیه‌ی پیشنهادی
نامناسب	مشاهده‌ی کمتر از سه مورد از آسیب‌های متوسط* یا فقط یک مورد از آسیب‌های شدید*	ادامه‌ی فرایند ارزیابی تعمیر
	مشاهده‌ی بیش از دو مورد از آسیب‌های متوسط یا بیش از یک مورد آسیب‌های شدید	تخریب
مناسب	مشاهده‌ی کمتر از چهار مورد از آسیب‌های متوسط یا کمتر از سه مورد از آسیب‌های شدید	ادامه‌ی فرایند ارزیابی تعمیر
	مشاهده‌ی همه‌ی موارد آسیب‌های متوسط یا بیش از دو مورد از آسیب‌های شدید	تخریب

* تشخیص، آسیب متوسط و آسیب شدید بر اساس موارد جدول (۴-۱) انجام می‌پذیرد.

۴-۴-۴-۴-ایمن سازی اولیه

در این خصوص به توضیحات بند (۱-۱۱) رجوع شود.

۴-۵- انتخاب روش تعمیر ساختمان بنایی آسیب دیده

در این مرحله لازم است روش تعمیر ساختمان بنایی آسیب‌دیده انتخاب شود. بر اساس شرایط ساختمان و مبنای پیشنهادی برای تعیین روش تعمیر، یکی از دو روش تعمیر ساده یا تفصیلی برای ادامه‌ی فرآیند ارزیابی و ارائه‌ی روش تعمیر توسط مهندس طراح برگزیده می‌شود. مهندس طراح وظیفه دارد، دلایل انتخاب و پیامدهای اقتصادی روش تعمیر انتخابی را به اطلاع کارفرما رسانده و تأیید او را برای ادامه‌ی فعالیت تعمیر دریافت دارد.

۴-۵-۱- شرایط کاربرد روش تعمیر ساده یا تفصیلی

در روش تعمیر ساده تلاش می‌شود، شرایط و الزامات کمینه‌ی لازم برای ایمن بودن یک ساختمان بنایی که در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ به آن اشاره شده است، برای ساختمان مورد بررسی تأمین شود. برای استفاده از روش تعمیر ساده، می‌بایست شرایطی که در ادامه بیان شده است، احراز شود. از طرف دیگر، در روش تعمیر تفصیلی، تلاش می‌شود تا تمامی

اعضای باربر موجود ساختمان شناسایی شده و در ارزیابی ظرفیت مورد استفاده قرار گیرد. استفاده از روش تعمیر تفصیلی برای تمامی ساختمان‌های بنایی قابل اجرا است.

انجام فرآیند بررسی و ارائه‌ی طرح تعمیر در روش تعمیر ساده، نسبت به روش تعمیر تفصیلی ساده‌تر و سریع‌تر است، اما برآوردها در این روش دست بالاتر بوده و هزینه‌های اقتصادی بیشتری را به مالک یا کارفرما تحمیل می‌نماید. از طرف دیگر، تعیین درست مشخصات رفتاری اعضای باربر قائم و جانبی ساختمان در روش تفصیلی نیاز به تخصص و مهارت بیشتر مهندس طراح و تیم بازرسی دارد.

محدودیت‌های روش تعمیر ساده به قرار زیر است:

۱. برآورد شدت آسیب وارده به ساختمان، مطابق جدول (۴-۱) این راهنما، آسیب شدید نباشد.
 ۲. با توجه به طبقه‌بندی انجام شده در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، اهمیت ساختمان مورد بررسی متوسط یا کم باشد.
 ۳. بیشینه تعداد طبقات ساختمان بنایی مورد بررسی، بدون احتساب زیرزمین (که آن هم نباید بیش از یک طبقه باشد) دو طبقه باشد، به طوری که ارتفاع تراز روی بام نسبت به متوسط تراز زمین از ۸ متر تجاوز ننماید.
 ۴. در ساختمان بنایی مورد بررسی، سایر شرایط موجود در بند (۷-۲-۱) ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ وجود داشته باشد، یا در مراحل تعمیر تمامی آن شرایط تأمین شود.
- در صورتی که ساختمان بنایی آسیب‌دیده در زلزله تمامی موارد بالا را احراز نماید، می‌توان آن را با استفاده از روش تعمیر ساده مطابق بند ۴-۵-۲ تعمیر نمود. ساختمان‌های بنایی آسیب‌دیده‌ای که تمامی این شرایط را احراز نمی‌نماید، می‌بایست بر اساس روش تعمیر تفصیلی مطابق بند ۴-۵-۳ تعمیر شود.

۴-۵-۲- روش تعمیر ساده

در روش تعمیر بر اساس روش ساده، تلاش می‌شود ساختمان بنایی آسیب‌دیده در زلزله، در نهایت به ساختمانی با شرایط و ضوابط مندرج در فصل مربوط به ساختمان‌های بنایی در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، منطبق شود. از این‌رو، در ابتدا باید با انجام بازرسی تکمیلی، از تمامی کاستی‌های سازه‌ای ساختمان بنایی آسیب‌دیده، برآورد دقیقی به دست آید. در هر موردی که مشخصات اجزای ساختمان مورد بررسی با شرایط ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ انطباق نداشته باشد، می‌بایست بر اساس مندرجات بند (۵-۲-۲) نشریه ۷۴۰ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با عنوان بهسازی اجزای سازه‌ای ساختمان‌های موجود آجری متداول، کاستی‌های موجود جبران شود. به‌منظور انطباق با ضوابط فصل ۷ ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، جزئیات مورد نیاز برای تعمیر یک ساختمان بنایی آسیب‌دیده در زلزله در ادامه ارائه شده است.

۴-۵-۲-۱- پلان ساختمان

پلان ساختمان آسیب‌دیده در زلزله باید منطبق بر بند (۷-۲-۲) ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، باشد. در صورت عدم احراز هر یک از این مشخصات، لازم است با تعبیه‌ی درز انقطاع، این شرایط تأمین شود.

تبصره. اگر تراز کف طبقات ساختمان مورد بررسی با ساختمان مجاور یکی باشد و تفاوت ارتفاع دو ساختمان کمتر از ۵۰ درصد ارتفاع ساختمان کوتاه‌تر باشد، نیازی به رعایت درز انقطاع نیست.

۴-۵-۲-۲- پیش‌آمدگی (طره)

مشخصات پیش‌آمدگی (طره) در ساختمان آسیب‌دیده در زلزله باید منطبق بر بند (۷-۲-۳) ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، باشد. در صورت عدم احراز هر یک از این مشخصات، می‌توان با افزودن دستک یا دیوار باربر، پیش‌آمدگی را از حالت طره خارج کرد.

۴-۵-۲-۳- اختلاف تراز

اختلاف تراز در ساختمان آسیب‌دیده در زلزله باید منطبق بر بند (۷-۲-۴) ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ یا مشخصات مندرج در بند (۱-۹-۱) این راهنما باشد.

۴-۵-۲-۴- شالوده

در تعمیر ساختمان‌ها به روش ساده، عدم وجود آسیب در شالوده به منزله‌ی کفایت مشخصات آن تلقی شده و ضرورتی به سونداژ و ارائه‌ی طرح تقویت برای آن مطابق شرایط و مشخصات ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ نمی‌باشد.

در صورت وجود ترک عریض در پای دیوار سازه‌ای، احتمال اینکه ترک مزبور وارد شالوده شده باشد وجود دارد. در چنین حالاتی باید بررسی دقیق از محل مزبور در شالوده صورت گیرد. در صورت وجود آسیب در شالوده، می‌توان بازسازی آن را بر اساس بند (۷-۲-۵) ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، انجام داد. در صورت وجود آسیب در شالوده‌ی تعدادی از دیوارها (کمینه ۲۰٪ دیوارهای نسبی سازه‌ای در یک راستا)، تعمیر ساختمان بر اساس روش تفصیلی بند (۴-۵-۳) انجام شود.

۴-۵-۲-۵- وضعیت بازشوها (درب- پنجره- گنجه)

موقعیت و ابعاد بازشوها در ساختمان‌های آسیب‌دیده در زلزله باید منطبق بر بند (۷-۳) ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، باشد. در صورت عدم احراز هر یک از این مشخصات، لازم است در این خصوص، از روش‌های تعمیر و تقویت پیشنهادی

مندرج در نشریات معتبر، همچون نشریه ۷۴۰، بند (۲-۲-۵) با عنوان بهسازی اجزای سازه‌ای ساختمان، زیر بند (۲-۲-۵-۴) برای تأمین آن استفاده نمود.

۴-۵-۲-۶- دیوارهای سازه‌ای

با توجه به عدم امکان تغییر مصالح و اصلاح جزئیات اجرایی دیوارهای سازه‌ای موجود، فقط در شرایطی که نیاز به بازسازی و نوسازی بخش‌هایی از ساختمان باشد، رعایت ضوابط بند (۲-۵-۷) ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای سایر دیوارهای سازه‌ای ساختمان مورد بررسی، می‌توان اصلاح را به‌گونه‌ای انجام داد که در نهایت ضوابط بند (۴-۵-۲-۵) رعایت شود یا اینکه از روش‌های زیر برای تعمیر آن‌ها استفاده نمود:

الف) نوسازی و جایگزینی دیوارهای ترک‌خورده. استفاده از روش نوسازی در مقادیر محدود، دارای توجه اقتصادی و اجرایی است. از این‌رو، در هنگام نوسازی باید ضوابط مندرج در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ در این خصوص به‌دقت اجرا شود.

ب) افزایش دیوارهای سازه‌ای. برای تأمین میزان دیوار نسبی در ساختمان مورد بررسی، می‌توان طول دیوارهای سازه‌ای موجود را افزایش داد، یا به اطراف بازشوه‌های موجود، کلاف‌هایی مطابق بند (۳-۱-۲-۵) نشریه ۷۴۰ اضافه نمود، به گونه‌ای که بتوان دیوار مورد نظر را جزء دیوارهای سازه‌ای محسوب نمود.

پ) تعمیر موضعی دیوارهای آسیب‌دیده به روش تزریق تحت فشار یا ثقلی. در روش تزریق تحت فشار ابتدا دیوار ترک‌خورده با تزریق گروت ترمیم می‌شود. سپس نوارهای تور سیمی عمود بر مسیر ترک، بر روی دیوار قرار داده شده و به آن متصل می‌شود. سپس بر روی تور سیمی، به صورت دستی یا ماشینی، بتن پاشیده می‌شود. لازم است خصوصیات مورد نیاز برای مصالحی که بر روی دیوار پاشیده می‌شود منطبق بر موارد مندرج در مراجع [۸ و ۹ و ۱۰] این راهنما باشد. در موارد لزوم، استناد و استفاده از ضوابط و مشخصات بتن پاشیده مندرج در بند (۶-۱۱) آیین‌نامه بتن ایران، نشریه ۱۲۰ (تجدید نظر دوم) جلد دوم بلامانع می‌باشد.

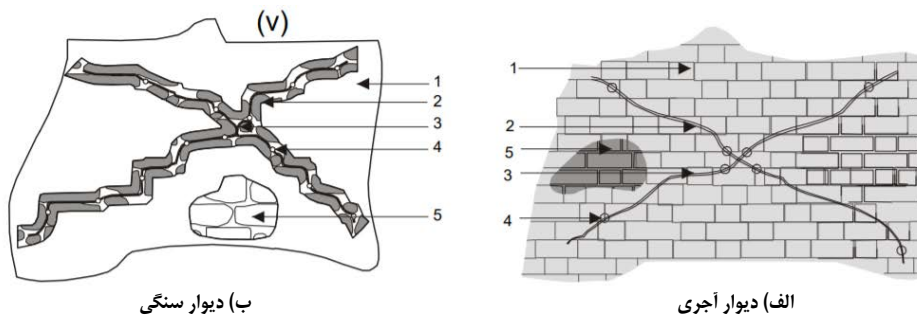
پ-۱) تزریق تحت فشار. در این روش با استفاده از تجهیزات و امکانات تزریق گروت تحت فشار، تعمیر باید بر اساس مراحل زیر انجام شود (شکل ۴-۳):

۱. مسیر ترک‌ها بر روی نازک‌کاری دیوار ترک‌خورده شناسایی و علامت‌گذاری شود.
۲. نازک‌کاری مسیر ترک‌های علامت‌گذاری شده، تراشیده شده و سپس تمیزکاری آن با پمپ باد یا شستشو از بالای ترک تا پایین‌ترین قسمت آن انجام شود.
۳. مسیر ترک‌ها هم‌زمان با نصب نازل‌ها (به قطر ۱۲ میلی‌متر با طول ۳۰ الی ۴۰ میلی‌متر) با بتونه (گچ یا مصالح مناسب) مسدودسازی و آب‌بندی شود. از این نازل‌ها که در فاصله‌های ۲۰۰ الی ۳۰۰ میلی‌متر جایگذاری می‌شود، برای تزریق گروت استفاده خواهد شد.

۴. تزریق گروت از پایین‌ترین نازل آغاز شده و با بیرون زدن دوغاب از نازل‌های بالایی ادامه داده شود. سپس ادامه تزریق از نازل بالایی ادامه یافته و این حرکت به سمت بالای دیوار تا تکمیل تزریق ادامه یابد.

۵. جمع‌آوری نازل‌ها، تسطیح مسیر تزریق و ترمیم نازک‌کاری به‌عنوان بخش آخر عملیات ترمیم صورت پذیرد.

دوغاب مورد استفاده (گروت) برای تزریق در ساختمان‌های بنایی با ملات سیمان یا ملات آهک، شامل دوغاب سیمان منبسط شونده با نسبت آب به سیمان یک و برای ساختمان‌های بنایی با ملات گل، از دوغاب فوق به همراه ما سه ریزدانه (زیر الک ۵/۰ میلی‌متر) به نسبت ۱ به ۳ استفاده شود.



- ۱- تراشیدن نازک‌کاری اطراف ترک و تمیزکاری ترک
- ۲- نصب نازل‌ها و آب‌بندی مسیر ترک
- ۳- شروع تزریق گروت از پایین‌ترین نازل
- ۴- جمع‌آوری نازل‌ها و ترمیم نازک‌کاری

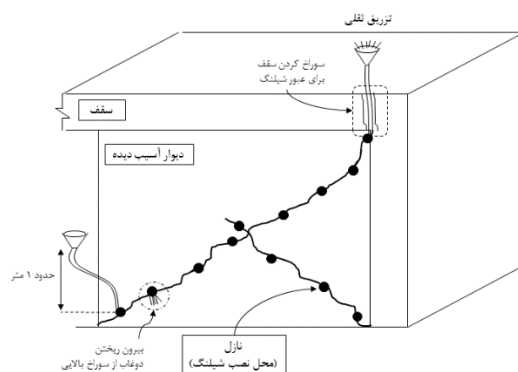
شکل (۳-۴): مراحل تعمیر دیوارهای سازه‌ای ترک‌خورده به روش تزریق تحت فشار

پ-۲) **تزریق ثقلی**. در صورت عدم وجود امکانات و تجهیزات تزریق تحت فشار می‌توان از روش تزریق به صورت ثقلی، با انجام مراحل زیر استفاده نمود:

۱. مسیر ترک‌ها بر روی نازک‌کاری دیوار ترک‌خورده شناسایی و علامت‌گذاری شود.
۲. در فواصل حداکثر یک متری حفره‌هایی به داخل ترک به عمق حداقل ۱۰ سانتی‌متر (تقریباً نصف ضخامت دیوار) با مته به قطر حداقل ۱۵ میلی‌متر ایجاد شود.
۳. با قرار دادن شیلنگ آب در داخل این حفره‌ها، ترک‌ها به ترتیب از بالا تا پایین دیوار، شسته شود.
۴. با توجه به عدم نیاز به تخریب نازک‌کاری، ترک‌های موجود بر روی دیوار با بتونه‌کاری ترمیم شود، به‌گونه‌ای که دوغاب تزریق شده در مرحله‌ی بعد از این ترک‌ها بیرون نریزد (آب‌بند کردن). باید توجه نمود که حفره‌های ایجاد شده در دیوار (در مرحله ۲ بالا) مسدود نشود.
۵. دوغاب تزریقی، شامل سیمان و ماسه‌بادی (پودر سنگ) به نسبت ۱ به ۳، آب و افزودنی فوق روان‌کننده و منبسط‌کننده در حد مجاز تهیه شود. نسبت آب به سیمان باید کمینه مقداری باشد که دوغاب در

حفره‌ها به خوبی نفوذ کند و در ترک‌ها جاری شود. در صورت عدم دسترسی به یک وجه دیوار، برای آب‌بند کردن ترک و جلوگیری از بیرون ریختن دوغاب، بهتر است از دوغاب با غلظت بیشتر (نسبت آب به سیمان) استفاده شود، یا اینکه عملیات تزریق در چند مرحله با فاصله‌ی زمانی کوتاه انجام شود.

۶. تزریق دوغاب مطابق شکل (۴-۴) به صورت ثقلی با قیف و لوله به داخل حفره‌ها (سوراخ‌های تزریق) انجام شود. پس از بیرون ریختن دوغاب از حفره‌ی بالاتر یا مسدود شدن حفره‌ی مزبور، شیلنگ از حفره خارج و همین مراحل برای حفره‌ی بالاتر تکرار شود.



شکل (۴-۴): مراحل تعمیر دیوارهای ترک خورده به روش ثقلی

۷. برای ترمیم ترک‌های بخش فوقانی دیوار که ارتفاع لازم برای استفاده از روش تزریق ثقلی دوغاب برای آن‌ها وجود ندارد، می‌توان روی سقف سوراخی حفر نموده، شیلنگ مزبور را برای اتصال به نازل‌های بالای دیوار، از داخل آن عبور داد.

۸. تقویت موضعی محل ترک‌های تزریق شده با استفاده از یک شبکه‌ی فولادی به روش زیر:

- ابتدا نازک‌کاری روی دیوار به گونه‌ای تراشیده شود که بتوان روی ترک‌ها را مطابق شکل (۴-۵) با یک شبکه‌ی فولادی به ابعاد تقریبی ۱۵۰ در ۴۰۰ میلی‌متر پوشاند. شبکه‌ی فولادی به کمینه قطر ۲ میلی‌متر و چشمه‌های مربع‌مستطیل با ابعاد ۲۵ الی ۵۰ میلی‌متری باشد. برای سهولت در نصب شبکه‌ی فولادی، ارجح است نازک‌کاری در هر طرف، حداقل ۲٫۵ سانتی‌متر بیشتر از ابعاد نوار این شبکه از روی دیوار تراشیده شود.

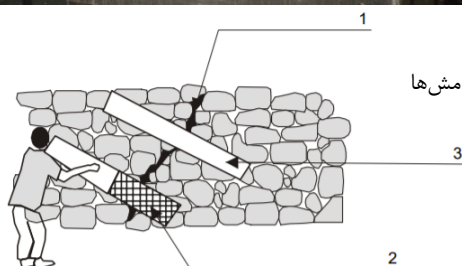
- نحوه‌ی قرارگیری نوارهای شبکه‌ی فولادی بر روی ترک به گونه‌ای باشد که تا حد امکان، طول آن عمود بر راستای ترک قرار گیرد و فاصله‌ی نوارها از یکدیگر نیز کمتر از ۶۰ سانتی‌متر باشد. ابتدا تلاش شود مرکز هر نوار بر روی ترک قرار گیرد، سپس تعدادی میخ آهنی سرکج (میخ طویله به قطر حداقل ۵ میلی‌متر و طول حداقل ۱۰ سانتی‌متر) نوار را به درزهای قائم متصل نماید و فاصله‌ی شبکه‌ی فولادی تا دیوار، نصف ضخامت بتن پاشیده باشد.

- در مرحله‌ی آخر روی دیوار یک لایه بتن پاشیده (شاتکریت) دستی یا ماشینی، حداقل به ضخامت ۲۵ میلی‌متر اجرا شود. برای این منظور لازم است پس از مرطوب نمودن محل، بتن پاشیده دستی یا

ماشینی با ملات ماسه سیمان با نسبت ۳ به ۱ انجام شود. برای کاهش ریزش ملات بتن پاشیده لازم است نسبت آب به سیمان کمترین مقدار ممکن باشد.

- بتن پاشیده بر اساس شرایط آب و هوایی و حداقل به مدت ۷ روز عمل‌آوری شود.

۹. تمیزکاری و ترمیم نازک‌کاری سطح دیوار مشابه دیگر قسمت‌های دیوار در پایان عملیات ترمیم صورت پذیرد.



- ۱- تزریق ثقیلی ترک، تراشیدن نازک‌کاری اطراف ترک با توجه به ابعاد مش‌ها
- ۲- نصب مش‌ها با میخ آهنی و با فاصله‌ی مناسب از دیوار
- ۳- بتن پاشیده دستی روی شبکه‌ی مش

شکل (۴-۵): طرح تقویت دیوار ترک‌خورده با تزریق ثقیلی و نصب نوارهای موضعی شبکه‌ی فولادی عمود بر ترک

ت) بتن پاشیده (شاتکریت) دستگاهی. در صورت عدم امکان تزریق و ترمیم ترک‌ها در دیوار یا برای انسجام بخشی کلی ساختمان می‌توان از روش بتن پاشیده بر روی دیوار استفاده نمود. جزئیات اجرایی بتن پاشیده باید منطبق بر موارد مندرج در مراجع [۸ و ۹ و ۱۰] این راهنما باشد. در موارد لزوم، استناد و استفاده از ضوابط و مشخصات بتن پاشیده مندرج در بند (۱۱-۶) آیین‌نامه بتن ایران نشریه ۱۲۰ (تجدید نظر دوم) جلد دوم بلامانع می‌باشد.

در این روش مجموع ضخامت لایه‌های بتن پاشیده روی دو وجه دیوار، حداقل معادل یک‌چهارم ضخامت دیوار اولیه می‌باشد [۱۱]. در این صورت می‌توان ضخامت دیوار اولیه (بدون منظور نمودن ضخامت بتن پاشیده) جزو دیوارهای سازه‌ای نسبی طبقه محسوب نمود. لازم به ذکر است که اجرای بتن پاشیده در هر دو وجه دیوار بهتر از اجرای آن در یک وجه است. تبصره ۱: در صورت استفاده از روش بتن پاشیده، نیازی به استفاده از کلاف عمودی نیست و بخش آجری دیوار را می‌توان جزو دیوارهای سازه‌ای نسبی محسوب نمود. اجرای کلاف افقی با مشخصات مندرج در این راهنما، با جزئیات اجرایی ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ یا دیگر مراجع معتبر، در تراز پایین دیوارها و زیر سقف الزامی است.

تبصره ۲: ایجاد مهار مکانیکی در انتهای آزاد شبکه‌ی فولادی و استفاده از میلگردهای مورب در گوشه‌های باز شو بسیار اهمیت دارد.

تبصره ۳: در تمام روش‌های تقویتی با استفاده از بتن پاشیده مسلح، لازم است شبکه‌ی میلگرد در هنگام پاشیدن بتن در بتن مغروق شود، به طوری که این شبکه در حدود وسط ضخامت لایه‌ی بتن پاشیده قرار گیرد. از این‌رو، در هنگام قرار دادن شبکه‌ی میلگرد بر روی دیوار، حفظ فاصله‌ی مناسب آن از سطح دیوار اهمیت زیادی دارد.

ث) بتن پاشیده دستی. بهتر است روش اجرای بتن پاشیده به صورت دستگاهی باشد. در صورت عدم وجود امکانات و تجهیزات لازم، اجرای آن به صورت دستی با رعایت شرایط مندرج در این بند نیز مجاز است. کلیات مطرح شده در بند (ت) برای بتن پاشیده دستی نیز صادق است. اگرچه این روش اجرایی، دارای دقت و کیفیت پایین‌تری نسبت به روش دستگاهی (بند ت) است، ولی انتظار می‌رود با رعایت نکات اجرایی و تکمیلی که در ادامه‌ی این بخش ارائه شده، حداقل مشخصات لازم را داشته باشد:

۱. جزئیات اجرایی روش بتن پاشیده دستی همانند بند (ت) انجام شود و همچنین، شبکه‌ی میلگردهای فولادی مطابق با مشخصات ذکر شده در بند (ت)، کل سطح دیوار را بپوشاند.
۲. ملات مورد استفاده در روش بتن پاشیده دستی، باید با عیار ۳۰۰ کیلوگرم در مترمکعب ماسه با حداقل نسبت آب به سیمان که کمترین ریزش را داشته باشد، ساخته شود و حداکثر ظرف مدت ۹۰ دقیقه استفاده شود.

۴-۵-۲-۷- وضعیت کلاف‌بندی

مشخصات کلاف‌بندی ساختمان آسب‌دیده باید منطبق بر بند (۷-۶) ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ ایران باشد. در صورت عدم احراز هر یک از این مشخصات، لازم است از روش‌های تعمیر در این خصوص برای تأمین آن استفاده نمود.

الف) در صورتی که طول و ارتفاع آزاد دیوارهای سازه‌ای از مقادیر مجاز ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ بیشتر بود، می‌توان از روش‌های پیشنهادی تعمیر و اصلاح وضعیت آن عضو، مندرج در نشریات معتبر، همچون نشریه ۷۴۰، بند ۲-۲-۵ با عنوان به‌سازی اجزای سازه‌ای ساختمان، زیر بند (۳-۱-۲-۲-۵) و (۷-۱-۲-۲-۵) و بند (۳-۲-۲-۵) با عنوان به‌سازی اتصالات، استفاده نمود.

تبصره: در مورد کلاف‌های موجود بدون آسیب، با توجه به عدم امکان تغییر مصالح و اصلاح جزئیات، رعایت ضوابط کیفیت مصالح و جزئیات اجرایی مانند؛ بند ۷-۴، ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، فقط در شرایطی که نیاز به نوسازی باشد مورد استناد قرار می‌گیرد.

ب) در صورت استفاده از روش بتن پاشیده، برای تأمین کلاف افقی و قائم می‌توان از روش‌هایی که در بخش کلیات، بند (ت)، تبصره ۱ بیان شد، استفاده نمود.

۴-۵-۲-۸- سقف

جزئیات اجرای سقف ساختمان آسیب‌دیده باید مطابق بند (۷-۷) ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، باشد. در صورت عدم احراز هر یک از این مشخصات، لازم است از روش‌های پیشنهادی تعمیر و اصلاح وضعیت آن عضو، مندرج در نشریات معتبر، همچون نشریه ۷۴۰، بند (۵-۲-۲-۲) با عنوان بهسازی سقف، برای تأمین آن استفاده نمود.

تبصره ۱: در مورد سقف‌های موجود بدون آسیب، با توجه به عدم امکان تغییر مصالح و اصلاح جزئیات، رعایت ضوابط کیفیت مصالح و جزئیات اجرایی، مانند بند (۷-۷-۲)، ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، فقط در شرایطی که نیاز به نوسازی باشد، مورد استناد قرار می‌گیرد.

۴-۵-۳- روش تعمیر تفصیلی

استفاده از روش تعمیر تفصیلی برای همه ساختمان‌های بنایی مجاز است. در صورتی که ساختمان بنایی آسیب‌دیده در زلزله حتی یکی از شرایط استفاده از روش تعمیر ساده، مطابق بند ۴-۵-۱ را نداشته باشد، برای تعمیر آن حتماً باید از روش تعمیر تفصیلی استفاده نمود. در این روش برای ساختمان بنایی آسیب‌دیده، یک سامانه‌ی باربر جدید تعبیه می‌شود که می‌تواند هر کدام از سامانه‌های مذکور در جدول (۳-۴) ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ باشد.

۴-۵-۳-۱- بازرسی تکمیلی

در این مرحله، با انجام بازرسی تکمیلی بر اساس ضوابط مندرج در نشریه ۳۶۰، می‌بایست کلیه‌ی مشخصات اعضا و مصالحی که به تشخیص مهندس طراح لازم است در باربری جانبی مشارکت داشته باشد، استخراج شود.

۴-۵-۳-۲- تعمیر بر اساس روش‌های تفصیلی مندرج در نشریه ۳۶۰

برآورد ظرفیت و انجام محاسبات بر اساس نشریات مرتبط با بهسازی لرزه‌ای، از جمله نشریه‌های مرتبط ۳۶۰، ۳۷۶، ۵۲۴، ۷۴۰ و ۷۴۴ و امثال این‌ها انجام می‌شود. در ادامه مهم‌ترین نکات تکمیلی این روش عبارت‌اند از:

الف) در صورت نیاز و به صلاحدید مهندس طراح، در برآورد ظرفیت مورد نیاز ساختمان بنایی آسیب‌دیده، می‌توان از ظرفیت دیوارهای بنایی سالم که فاقد هرگونه آسیب اعم از انواع ترک، خردشدگی یا جداسدگی باشد، استفاده نمود؛ اما باید از ظرفیت دیوارهای آسیب‌دیده صرف‌نظر شود.

ب) با توجه به تجربیات موجود در زمینه‌ی استفاده از روش بتن پاشیده دستگای در مقاوم‌سازی، می‌توان برای تعمیر ساختمان‌های بنایی نیز از این روش استفاده نمود. به این شیوه می‌توان دیوارهای ساختمان بنایی آسیب‌دیده را به دیوار برشی تبدیل نمود. مشخصات رفتاری لایه‌ی بتن پاشیده بر اساس محاسبات مشخص می‌شود.

۴-۶- تحلیل اقتصادی

در این خصوص به توضیحات بند (۱-۸-۲) رجوع شود.

فصل ۵

پیوست‌ها

پیوست ۱: تجهیزات و ایمنی بازرسان

در این پیوست به موضوعات اجرایی مربوط به تجهیزات و ایمنی بازرسان در زمان عملیات بازرسی پرداخته می‌شود. گروه بازرسی لازم است در حین عملیات، به موارد مطرح شده در ذیل توجه نماید.

پ-۱-۱- تجهیزات لازم

بازرسان برای موفقیت و کارآمدی در ارزیابی ساختمان‌های آسیب‌دیده در زلزله، نیازمند یک برنامه‌ی دقیق بازرسی و همراه داشتن حداقل تجهیزات ضروری هستند. مجموعه‌ای از تجهیزات ضروری و اختیاری مورد نیاز بازرسان در جدول (پ-۱-۱) ارائه شده است. تجهیزات پیشنهادی بر اساس تجربیات بازرسی‌های پیشین می‌باشد، اگرچه تحت شرایط خاص می‌توان تغییراتی در آن ایجاد نمود.

جدول (پ-۱-۱): تجهیزات پیشنهادی مورد نیاز بازرسان

ضروری	اختیاری
کارت شناسایی بازرسی میدانی و بیمه‌ی حوادث بازرسان	کارت شناسایی شخصی یا گواهینامه‌ی رانندگی
فرم‌های بازرسی، برچسب‌های وضعیت ساختمان‌ها به صورت خودچسب و ضد آب	داروهای تجویزی، بسته‌ی کمک‌های اولیه
نقشه محدودده‌ی بازدید، زبردستی نوشتاری، کاغذ، قلم و دیگر ملزومات مورد نیاز	عینک شخصی اضافه
ماسک برای مواقع گرد و غبار	ساق‌بند، کیسه‌خواب، کوله‌پشتی
وسیله ارتباطی نظیر تلفن همراه، شارژر، باتری یدک (پاور بانک)	لوازم شخصی بهداشتی، لباس مناسب برای مواقع بارندگی و لباس اضافه
متر، شاقول، ریسمان، دوربین و چراغ‌قوه و ملزومات آن	نردبان
کلاه ایمنی، عینک ایمنی حفاظدار، دستکش کار، کفش کار	دوربین شکاری یا پهپاد
نرم‌افزارهای نصب‌شده بر روی تلفن همراه برای تعیین موقعیت، مساحی و لوازم دیگری از این گونه	قمقمه‌ی آب، قرص یا تجهیزات تصفیه‌ی آب
نوار زرد با پیام هشدار مانند: «خطر سقوط اشیا»، «از خط عبور نکنید»	ابزارهای چندمنظوره: چکش، اره، دیلم (اهرم)، سیم‌چین، میله‌ی تخریب
وسیله نقلیه‌ی در صورت نیاز	(قلم)، چاقوی نظامی، تیشه برای برداشت نازک‌کاری
نام‌ها و شماره تلفن‌های کاربردی همچون؛ اورژانس، نیروهای امدادی، آتش‌نشانی	متن این راهنما

پ-۱-۲- ضوابط ایمنی

رعایت ایمنی فردی نکته‌ی بسیار مهمی است که هر بازرس باید در حین فعالیت میدانی خود به آن توجه ویژه‌ای داشته باشد. در زلزله‌های شدید، برخی ساختمان‌ها به حدی آسیب‌دیده است که خطر فروریزش ساختمان یا سقوط برخی از اجزای ناپایدار آن وجود دارد.

در اغلب موارد، پس‌لرزه‌های قوی به تناوب و با فواصل کم پس از یک زلزله مخرب روی می‌دهد. وقوع رویدادهایی این‌چنین می‌تواند عامل ناپایداری و سقوط اجزای سست و جداشده‌ی ساختمان بر سر رهگذران باشد. از این‌رو، بازرسان باید در تمام مدت بازرسی مراقب ایمنی فردی خود و اعضای گروه خود باشند.

به‌طور کلی، بازرسان باید در گروه‌های حداقل دو نفره حرکت کنند. در این حالت اگر یکی از افراد گروه مجروح یا در موقعیت نامناسبی قرار گرفت، دیگر افراد گروه بتوانند سریعاً به کمک وی بشتابند یا از طریق تجهیزات ارتباطی (تلفن همراه، بی‌سیم) برای او درخواست کمک نمایند.

قبل از ورود به ساختمان برای بازرسی از داخل آن، بازرسان باید ساختمان را از بیرون مورد بررسی دقیق قرار دهند. پیشنهاد می‌شود، بازرسان قبل از ورود به ساختمان، اطراف ساختمان را به صورت پیاده، طی نموده و ساختمان را از نظر ایمنی ارزیابی نمایند؛ زیرا ممکن است نمای ساختمان از یک زاویه‌ی خاص دارای آسیب‌های سطحی به نظر برسد اما از زوایای دیگر، آسیب‌ها بسیار وسیع و خطرآفرین باشد. در صورتی که ساختمان به‌وضوح وضعیت خطرآفرین داشته و به‌عنوان ناایمن ارزیابی شده باشد، دیگر نیازی برای ورود گروه بازرسی به آن ساختمان نیست. بدیهی است هیچ بازرسی نباید وارد یک ساختمان در حال فروریزش شود، یا در موقعیت‌هایی قرار گیرد که مواد خطرآفرین همچون؛ مواد ضد حریق آزه‌ستی، نشت مواد شیمیایی سمی و موارد مشابه در آن محل انتشار یافته است. همچنین لازم است بازرسان از هرگونه اقدام خطرناک غیرضروری پرهیز نمایند و بازدید از محل‌های داخلی ساختمان را در کوتاه‌ترین زمان ممکن انجام دهند.

در هنگام عملیات بازرسی، بازرس باید از تجهیزات ایمنی مرتبط استفاده نماید. برای مثال در هنگام دست زدن به آوار ناشی از تخریب ساختمان‌ها باید مجهز به دستکش و عینک ایمنی باشد یا در مناطق غبارآلود باید از ماسک یا عینک، یا هر دوی آن‌ها استفاده نماید. کلاه ایمنی باید در تمامی مراحل بازرسی مورد استفاده قرار گیرد.

بازرسان باید از خطرات خاصی که در داخل ساختمان‌های آسیب‌دیده وجود دارد، آگاه باشند. سقوط اشیاء می‌تواند هم در داخل و هم در خارج ساختمان وجود داشته باشد. در خارج ساختمان احتمال سقوط جان‌پناه، شیشه و قطعات الحاقی وجود دارد. در داخل ساختمان احتمال سقوط کلی یا موضعی؛ سقف کاذب، کانال‌ها یا لوله‌های عبوری، دیوارهای جداکننده و تجهیزات برقی و مکانیکی وجود دارد. این خطرات ممکن است به خودی خود، یا در هنگام پس‌لرزه‌ها اتفاق افتد. اگر هنگام بازرسی یک ساختمان، پس‌لرزه‌ای رخ دهد بازرس باید بلافاصله خود را به نقاط ایمن موجود در محل، نظیر محیط‌های کمتر آسیب‌دیده، اطراف لوازمی که تشکیل مثلث حیات می‌دهد و امثال این‌ها برساند. اگر این شرایط امکان‌پذیر نباشد، باید به سرعت نشسته و با کمک گرفتن از دستان، از سر خود محافظت نماید.

بازرسان باید همواره آگاه و آماده باشند. هرگاه آتش مختصری مشاهده شد باید اقدام مناسبی برای خاموش نمودن آن انجام پذیرد. در برخورد با حجم زیاد آتش‌سوزی، باید با استفاده از تجهیزات ارتباطی (تلفن همراه، بی‌سیم) موضوع به مسئولین آتش‌نشانی اطلاع داده شود.

هم‌چنین، بازرسان باید نسبت به خطرات احتمالی ناشی از وارد آمدن آسیب به شریان‌های حیاتی همچون؛ خطوط انتقال برق، گاز، آب و موارد مشابه آگاه باشند. لازم است ضمن پرهیز از نزدیک شدن به خطوط برق سقوط کرده و محیط‌های

دارای نشت گاز، به سرعت موارد را گزارش نموده و محل را ترک نمایند. نشت گاز معمولاً به واسطه‌ی بوی آن قابل تشخیص است. از این‌رو، در صورت امکان، در اسرع وقت باید شیر اصلی گاز بسته شود. به دلیل خطرات احتمالی ناشی از آتش‌سوزی، استعمال دخانیات در تمامی مناطق بازدید، ممنوع می‌باشد.

پ-۱-۲-۱- خلاصه‌ی نکات ایمنی برای یادآوری

در مجموع و به‌طور خلاصه لازم است نکات ایمنی زیر رعایت شود:

۱. همواره در گروه‌های حداقل دو نفره بازدید انجام شود.
۲. قبل از ورود به داخل ساختمان، لازم است ساختمان از بیرون کاملاً بررسی شود.
۳. فقط زمانی وارد ساختمان شوید که از ایمنی آن اطمینان حاصل شود.
۴. همواره از کلاه ایمنی استاندارد استفاده شود.
۵. از مناطقی که در آن احتمال آزاد شدن یک ماده خطرناک وجود دارد، پرهیز شود.
۶. در صورت لزوم باید از تجهیزات ایمنی مناسب استفاده شود.
۷. در خصوص سقوط اشیاء باید کاملاً هوشیار بود.
۸. در موارد مواجهه با آتش، برای خاموش نمودن آن اقدام نموده یا به آتش‌نشانی اطلاع داده شود.
۹. از خطوط انتقال برق سقوط کرده و ساختمان‌های در مسیر آن پرهیز شود.
۱۰. در صورت نشت گاز، (در صورت امکان) شیر اصلی گاز در اسرع وقت بسته و نشت آن گزارش شود.

پ-۱-۳- نحوه شناسایی و برخورد با مواد خطر آفرین

مواد خطر آفرین شامل؛ یک ماده یا ترکیبی از مواد است که به دلیل کمّیت، غلظت، خصوصیات فیزیکی، شیمیایی یا عفونی، ممکن است:

- در کوتاه‌مدت عامل اصلی یا تأثیرگذار در مرگ یا بیماری‌های شدید باشد.
- در طولانی‌مدت خطر قابل توجهی برای انسان یا محیط‌زیست ایجاد کند.

احتمال وجود مواد خطر آفرین در محل‌های بازدید همواره وجود دارد. در هنگام وقوع زلزله، وارد آمدن آسیب یا شکست ظرف، مخزن یا لوله‌های انتقال، می‌تواند منجر به انتشار مواد خطر آفرین، انتشار مواد در محیط اطراف شده و برای محیط زیست و انسان بسیار خطرناک باشد.

پ-۱-۳-۱- مواد خطر آفرین

برخی از مهم‌ترین مواد خطر آفرین و تهدیدات مرتبط با آن‌ها شامل موارد زیر می‌باشد:

– مخازن سوخت در ایستگاه‌های پمپ‌بنزین؛

- مخازن سموم و آفت‌کش‌های ذخیره‌شده در مراکز کشاورزی؛
- سموم و مایعات قابل اشتعال موجود در مراکز بهداشت؛
- انبارهای مواد منفجره در پروژه‌های عمرانی خاص؛
- مخازن گاز تحت فشار در تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب؛
- مخازن مواد شیمیایی موجود در بیمارستان‌ها و مراکز صنعتی؛
- عایق‌های آزبستی استفاده شده در صنعت یا ساختمان؛

روش‌های مختلفی برای تشخیص انتشار مواد خطرآفرین وجود دارد. مشاهده‌ی ترک یا شکاف در بدنه‌ی مخازن یا شکست خطوط لوله انتقال این مواد، همچنین استنشاق بوی یک مایع یا جامد فرار در فضا، نشانه‌هایی برای شناسایی این مواد در محیط است. برخی دیگر از مهم‌ترین نشانه‌ها؛ مشاهده‌ی حیوانات مرده یا مواد پودری مشکوک یا لغزنده بر روی اشیاء در ناحیه مشکوک به انتشار، بوهای خاص، صداها، عجیب، یا آثار جسمانی مانند؛ حالت تهوع، سرگیجه، سوزش چشم یا پوست می‌باشد. بازرسی در صورت روبرو شدن با این موارد باید بلافاصله آن محدوده را ترک نماید.

بیشتر مواد شیمیایی تجاری موجود در انبارها یا مناطق ذخیره‌سازی بر اساس ملاحظات ایمنی نسبی آن‌ها با استاندارد خاصی دسته بندی شده است. کلبه‌ی مراکز صنعتی یا دفاتر مسئول انبارهای این مواد باید فهرست کامل مواد شیمیایی موجود خود را در قالب «برگه‌های مشخصات ایمنی مواد» به نزدیک‌ترین ایستگاه آتش‌نشانی اطلاع دهند. در صورت امکان، سعی کنید این اطلاعات را قبل از شروع بازرسی به دست آورید.

اگر وجود نشت مشخص باشد، بازرسان نباید به آن محل نزدیک شوند. در صورت ضرورت نزدیک شدن به محل‌هایی که احتمال نشت مواد در آن‌ها وجود دارد، باید در جهت وزش باد به آن محل نزدیک شد. اگر در هنگام بازرسی انتشار یا نشت مواد خطرآفرین اتفاق افتد، بازرسی باید به سرعت منطقه را ترک نموده و به ایستگاه آتش‌نشانی و گروه‌های امدادی اطلاع‌رسانی کند. قبل از ترک محل در صورت امکان، سعی کنید نام ماده‌ی شیمیایی مندرج بر روی ظروف حاوی مواد را با دقت به خاطر سپرده و به نیروهای امدادی اطلاع دهید. همچنین تا رسیدن نیروهای امدادی، افراد را از آن محل دور نگه‌دارید.

پ-۱-۳-۲- تشخیص مواد خطرآفرین

به‌طور خلاصه مهم‌ترین روش‌های تشخیص مواد خطرآفرین عبارت است از:

۱. نوع تأسیسات (مانند؛ انبار مواد شیمیایی، کارخانه صنعتی) اغلب نشانه‌ای برای یافتن مواد خطرآفرین است.
۲. نشانه‌های زیر بیانگر احتمال وقوع نشت مواد خطرآفرین است:

- مخازن ترک‌خورده؛
- شکستگی در خطوط لوله؛
- نشت آشکار مواد شیمیایی جامد یا مایع؛

- بوهای خاص، صداهاى عجيب، يا آثار جسمانى (تهوع، سرگیجه، سوزش چشم يا پوست، حيوانات مرده و...).

پ-۱-۳-۳- اعلام هشدار

در صورت برخورد با مواد خطر آفرين لازم است به روش‌هاى پيشنهادهى زير اطلاع‌رسانى صورت پذيرد:

۱. در صورت امكان با نواركشى مناسب، محدوده‌هاى كه نشت مواد شيميايى يا آلودگى به مواد آزبستى دارد، مشخص شود، سپس محل را ترك كنيد.
۲. در صورت امكان نام ماده‌ى شيميايى مندرج بر روى ظروف حاوى مواد را به خاطر سپرده و به نيروهاى امدادى يا ايستگاه آتش‌نشانى نزديك اطلاع دهيد. تا رسيدن نيروهاى امدادى، افراد را از آن محل دور نگه‌داريد.

پیوست ۲: رویکرد پیشنهادی برای تعیین ساختمان‌های تخریبی (کاربردی برای ساختمان‌های فولادی و بتنی)

در این بخش از دستورالعمل تعمیر ساختمان‌های فولادی و بتنی آسیب‌دیده در زلزله، مباحث و معیارهایی مطرح شده است که می‌تواند به عنوان ابزاری کاربردی، به مهندس طراح کمک نماید تا فرآیند تصمیم‌گیری در خصوص اینکه ساختمان مورد بررسی تعمیر شود، یا اینکه تخریب شده و بنای جدیدی جایگزین آن شود، اندکی تسهیل شود. این فعالیت، شامل؛ بررسی‌ها و ارزیابی‌های کیفی و اولیه فنی و اقتصادی گروه مهندس طراح، بر روی ساختمان آسیب‌دیده است؛ اما نتیجه‌ی این فعالیت ارزیابی اولیه، تنها پس از تأیید کارفرمای طرح، قابل اجرا خواهد بود.

رویکرد پیشنهادی برای تعیین تخریبی بودن ساختمان آسیب‌دیده در زلزله، شامل ۴ گام اجرایی است که باید توسط بازرسان باتجربه، زیر نظر مهندس طراح انجام پذیرد. این گام‌ها به ترتیب شامل موارد زیر است:

۱. تهیه‌ی کارنامه‌ی ساختمان،
۲. تعیین عملکرد نسبی ساختمان،
۳. تعیین کیفیت طراحی و ساخت ساختمان،
۴. مقایسه‌ی نمره‌ی کسب شده‌ی کارنامه با مقدار مجاز.

البته رویکرد پیشنهادی برای گروه‌های خاصی از ساختمان‌ها ارائه شده است و همه‌ی ساختمان‌ها (همچون ساختمان‌های مصالح بنایی) را در بر نمی‌گیرد. بر این اساس، ساختمان‌های موجود در ۴ گروه کلی جای داده شده که در جدول (پ-۱-۲) ارائه شده است. در این گروه‌بندی، ساختمان‌های میراث فرهنگی که از دیدگاه ارزشی و تاریخی قابل جایگزین شدن نیستند، در گروه ۱ جای می‌گیرد. به همین منظور، برای این ساختمان‌ها هیچ محدودیتی برای تعمیر پیشنهاد نمی‌شود.

جدول (پ-۱-۲): گروه‌بندی ساختمان‌ها

گروه ساختمانی	توضیحات
گروه ۱	کلیه ساختمان‌های مربوط به میراث فرهنگی.
گروه ۲	کلیه‌ی ساختمان‌هایی که وقفه در بهره‌برداری از آن‌ها به‌طور غیرمستقیم موجب افزایش تلفات و خسارت‌ها می‌شود؛ مانند بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها، مراکز آتش‌نشانی، مراکز و تأسیسات آب‌رسانی، نیروگاه‌ها و تأسیسات برق رسانی، برج‌های مراقبت فرودگاه‌ها، مراکز مخابرات، رادیو و تلویزیون، تأسیسات نظامی و انتظامی، مراکز کمک رسانی و به‌طور کلی تمام ساختمان‌هایی که استفاده از آن‌ها در نجات و امداد مؤثر می‌باشد. ساختمان‌ها و تأسیساتی که خرابی آن‌ها موجب انتشار گسترده‌ی مواد سمی و مضر در کوتاه‌مدت و درازمدت برای محیط‌زیست می‌شود، جزو این گروه ساختمان‌ها منظور می‌شود.
گروه ۳	کلیه‌ی ساختمان‌های مشمول این بخش، به‌جز ساختمان‌های عنوان شده در سه گروه دیگر، مانند ساختمان‌های مسکونی، اداری، تجاری، هتل‌ها، پارکینگ‌های چند طبقه، مدارس، مساجد، سالن‌های اجتماعات، فروشگاه‌های بزرگ، استادیوم‌ها، مراکز سینما و تئاتر، سالن‌های پایانه مسافری، انبارها، کارگاه‌ها، ساختمان‌های غیرصنعتی و امثال این‌ها.
گروه ۴	این گروه از ساختمان‌ها شامل: انبارهای کشاورزی و سالن‌های مرغداری و ساختمان‌های موقت.

گروه ۲ به ساختمان‌هایی اختصاص داده شده است که از دیدگاه ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، در زمره‌ی ساختمان‌های با «اهمیت خیلی زیاد» قرار می‌گیرد. برای ارزیابی این ساختمان‌ها نیز نمی‌توان از رویکرد پیشنهادی در این پیوست برای تخریب آن‌ها استفاده نمود. برای مطالعات ارزیابی تعمیر یا تخریب ساختمان‌های گروه ۲، استفاده از روش‌های دقیق و تحلیل‌های پیچیده‌تر پیشنهاد می‌شود.

بر این اساس، رویکرد پیشنهادی در این پیوست فقط به‌عنوان الگویی برای تخریبی بودن یا تعمیری بودن ساختمان‌های آسیب‌دیده در زلزله، برای گروه‌های ساختمانی ۳ و ۴ در جدول (پ-۲-۱) قابل استفاده خواهد بود.

پ-۲-۱- تهیه‌ی کارنامه‌ی ساختمان

اولین گام از رویکرد پیشنهادی برای تعیین تعمیری یا تخریبی بودن ساختمان آسیب‌دیده از زلزله، تهیه‌ی کارنامه‌ی ساختمان است. در این گام، بازرسان تلاش دارند با ارزیابی دقیق آسیب‌های وارده به ساختمان مورد بررسی، به‌صورت کیفی و غیرمستقیم، الگویی از میزان رفتار غیرالاستیک سازه‌ی ساختمان به دست آورده و تخمینی از ظرفیت‌های باقیمانده‌ی باربری قائم و جانبی سازه‌ی ساختمان ارائه نمایند.

کارنامه‌ی ساختمان، الگوی دقیق‌تری از وضعیت آسیب‌های ساختمان در زلزله ارائه می‌دهد. در ابتدا لازم است گروه کارشناسی پس از بازدید از ساختمان مورد نظر، گزارشی کامل و دقیق همراه با جزئیات ارائه نمایند. این ارزیابی باید توسط گروه کارشناسی دارای صلاحیت که به مبنای طراحی و اجرای ساختمان مورد بررسی، اعم از؛ فولادی، بتنی و مصالح بنایی تسلط کافی دارند، انجام پذیرد. معیارهای اصلی چهارگانه در این ارزیابی عبارت‌اند از:

۱. تعیین جابجایی ماندگار،
۲. میزان آسیب وارده به اجزای غیرسازه‌ای،
۳. میزان آسیب وارده به اجزای سامانه‌ی باربر جانبی،
۴. میزان آسیب وارده به اجزای سامانه‌ی باربر ثقلی.

از آنجا که این ارزیابی و گزارش بازرسی ارائه شده مبنای اصلی ارزیابی فنی مهندس طراح برای ارائه‌ی پیشنهاد تخریب یا تعمیر ساختمان آسیب‌دیده است، برآورد هر کدام از این معیارها باید با دقت بالایی انجام پذیرد. در واقع، گروه بازرسی باید این مسئولیت را به‌خوبی درک کرده باشد و از اهمیت و پیامدهای ارزیابی خود به‌درستی آگاه باشد. ساختار کلی این ارزیابی در جدول (پ-۲-۲) ارائه شده است.

بر اساس ساختار ارائه شده برای تنظیم کارنامه‌ی ساختمان، آسیب‌های ساختمان در سه سطح: آسیب متوسط، زیاد و خیلی زیاد دسته‌بندی شده است. پس از تعیین سطح آسیب هر یک از معیارهای چهارگانه در جدول (پ-۲-۲)، در انتها با جمع مقادیر آسیب، عددی به‌عنوان خروجی کارنامه‌ی ساختمان مورد بررسی، تعیین می‌شود. این عدد «نمره‌ی ساختمان» نامیده می‌شود.

جدول (ب-۲-۲): کارنامه ساختمان آسیب‌دیده

معیار	نمره	وضعیت آسیب		
		متوسط	زیاد	خیلی زیاد
تعیین جابجایی ماندگار		منظور از جابجایی ماندگار، بیشینه جابجایی نسبی ماندگار محاسبه شده برای یک طبقه، در یک راستای ساختمان است. برآورد این معیار، باید برای بحرانی ترین مقدار محاسبه شده از میان برآوردهای تمامی طبقات در هر دو راستا انجام پذیرد.		
		$0.5\Delta_{LS} \leq \Delta_{res} < \Delta_{LS}$ ☐ (30)	$\Delta_{LS} \leq \Delta_{res} < \frac{\Delta_{LS} + \Delta_{CP}}{2}$ ☐ (60)	$\Delta_{CP} > \Delta_{res} \geq \frac{\Delta_{LS} + \Delta_{CP}}{2}$ ☐ (100)
میزان آسیب وارده به اجزای غیرسازه‌ای		منظور از اجزای غیرسازه‌ای، دیوارهای جداکننده‌ی ساختمان است. اعضای که بر اساس بند (۸-۲-۴) ضابطه ۸۳۲، به‌عنوان عضو آسیب‌دیده شناخته می‌شود، باید وارد محاسبات این بند شود. محاسبه‌ی نسبت‌های عنوان شده مختص یک طبقه نیست، بلکه باید تمامی اعضای غیرسازه‌ای ساختمان در محاسبه‌ی آن منظور شود.		
		10% - 30% ☐ (15)	30% - 50% ☐ (30)	50% به بالا ☐ (50)
میزان آسیب وارده به اجزای سامانه‌ی باربر جانبی		کلیه‌ی اعضای سامانه باربر جانبی ساختمان در یک طبقه، در یک راستا، شامل؛ تیرها، ستون‌ها، اتصالات، دیوارها و مهاربندهایی که بر اساس ضابطه‌ی ۸۳۲ به‌عنوان اعضای آسیب‌دیده در نظر گرفته می‌شود، باید وارد محاسبات این بند شود. برآورد این معیار، باید برای بحرانی ترین مقدار محاسبه شده از میان برآوردهای تمامی طبقات، در هر دو راستا، انجام پذیرد.		
		20% - 40% ☐ (25)	40% - 50% ☐ (50)	50% به بالا ☐ (80)
میزان آسیب وارده به اجزای سامانه‌ی باربر ثقیل		کلیه‌ی اعضای سامانه‌ی باربر قائم ساختمان در یک طبقه، در یک راستا، شامل؛ ستون‌ها و دیوارهای سازه‌ای که بخشی از بارهای قائم را انتقال می‌دهد که بر اساس ضابطه‌ی ۸۳۲ به‌عنوان اعضای آسیب‌دیده‌ی قائم طبقه در نظر گرفته می‌شود، باید وارد محاسبات این بند شود. برآورد این معیار، باید بر اساس بحرانی ترین طبقه، انجام پذیرد.		
		5% - 15% ☐ (50)	15% - 25% ☐ (100)	به بالا ۲۵% ☐ (150)
جمع				

تعیین جابجایی ماندگار. اولین معیار در کارنامه‌ی ساختمان آسیب‌دیده از زلزله، تعیین مقدار جابجایی ماندگار ساختمان است. جابجایی ماندگار به‌عنوان معیاری جایگزین، برای داشتن تخمینی از بیشینه جابجایی تجربه شده توسط ساختمان در حین وقوع جنبش قوی زمین، مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای برآورد معیار جابجایی ماندگار، بیشترین مقدار جابجایی نسبی قابل مشاهده و قابل اندازه‌گیری در یکی از طبقات ساختمان که می‌تواند در هر راستای آن باشد، ملاک عمل قرار می‌گیرد. این مقدار باید با دو معیار ثابت سنجش: (۱) مقدار جابجایی نسبی طبقه برای سطح ایمنی جانی، Δ_{LS} و (۲) مقدار جابجایی نسبی طبقه برای سطح آستانه‌ی فروریزش، Δ_{CP} مربوط به ساختمان مورد بررسی مقایسه شود. معیارهای مناسب

کنترلی برای این دو پارامتر بر اساس مصالح و سامانه‌ی باربر جانبی متفاوت ساختمان در جدول (پ-۲-۳) پیشنهاد شده است. در واقع، معیار جابجایی ماندگار، تلاش دارد میزان ورود سازه به محدوده‌های رفتار غیرالاستیک ساختمان مورد بررسی را ارزیابی نماید. این مقدار، برای تمامی طبقات دارای جابجایی نسبی قابل توجه در هر دو راستای ساختمان برآورد می‌شود. در نهایت، بیشینه مقدار برآورد شده از میان تمامی موارد، در مقایسه با مقادیر ارائه شده در جدول (پ-۲-۳)، ملاک سنجش این معیار برای ساختمان موردنظر خواهد بود.

جدول (پ-۲-۳): معیارهای پیشنهادی برای حدود جابجایی نسبی طبقه برای سطح ایمنی جانی و سطح آستانه‌ی فروریزش برای ساختمان‌های با مصالح مختلف و سامانه‌ی باربر جانبی متفاوت

سامانه باربر جانبی	Δ_{LS}	Δ_{CP}
قاب خمشی بتنی	1%	4%
قاب خمشی فولادی	1%	5%
قاب فولادی مهاربندی	0.5%	2%
دیوارهای بتنی	0.5%	2%
دیوار پرکننده با مصالح بنایی غیر مسلح	0.3%	0.6%
دیوارهای بنایی غیر مسلح	0.6%	1%
دیوار بنایی مسلح	0.6%	1.5%

میزان آسیب وارده به اعضای غیرسازه‌ای. دومین معیار، در کارنامه‌ی ساختمان آسیب‌دیده در زلزله، تعیین میزان آسیب وارده به اعضای غیرسازه‌ای ساختمان مورد بررسی است. این معیار، تلفیقی از شدت لرزه‌ای، کیفیت ساخت و تخمینی از هزینه‌های تعمیر ساختمان را در نظر دارد. این معیار بر اساس میزان آسیب وارده به اجزای غیرسازه‌ای، مانند دیوارهای جداکننده‌ی ساختمان، برآورد می‌شود. اعضای که بر اساس بند (۸-۲-۴)، دستورالعمل ارزیابی سریع ساختمان‌های آسیب دیده در زلزله، ضابطه ۸۳۲، به‌عنوان عضو آسیب‌دیده شناخته می‌شود، باید در برآورد محاسبات این معیار منظور شود. محاسبه‌ی نسبت‌های عنوان شده برای این معیار به یک طبقه یا راستا محدود نمی‌شود، بلکه باید تمامی اعضای غیرسازه‌ای ساختمان مورد بررسی را در بر گیرد.

میزان آسیب وارده به اعضای سامانه‌ی باربر جانبی. سومین معیار، در کارنامه‌ی ساختمان آسیب‌دیده در زلزله، تعیین برآوردی از میزان آسیب وارده به اعضای سامانه‌ی باربر جانبی ساختمان مورد بررسی است. این معیار، تلاش دارد تخمینی از میزان ظرفیت مصرف شده و ظرفیت باقیمانده‌ی سامانه‌ی باربر جانبی در یک طبقه از ساختمان، ارائه دهد. منظور از اعضای سامانه‌ی باربر جانبی ساختمان: تیرها، ستون‌ها، اتصالات، دیوارها و مهاربندهایی است که ظرفیت آن‌ها در باربری جانبی ساختمان، مورد استفاده قرار می‌گیرد. کلیه‌ی اعضای سامانه‌ی باربر جانبی که بر اساس ضابطه‌ی ۸۳۲، به‌عنوان اعضای آسیب‌دیده در نظر گرفته می‌شود، باید در برآورد محاسبات این معیار منظور شود. محاسبه‌ی نسبت‌های عنوان شده

برای این معیار، فارغ از راستای ساختمان، باید بر اساس بحرانی‌ترین طبقه، انجام پذیرد. در واقع، ضعیف‌ترین طبقه، یا به عبارت بهتر، آسیب‌دیده‌ترین طبقه، از نظر باربری جانبی، ملاک ارزیابی این معیار قرار می‌گیرد.

میزان آسیب وارده به اعضای سامانه‌ی باربر قائم. چهارمین معیار، در کارنامه‌ی ساختمان آسیب‌دیده در زلزله، تعیین برآوردی از میزان آسیب وارده به اعضای سامانه‌ی باربر قائم ساختمان مورد بررسی است. این معیار، تلاش دارد تخمینی از میزان ظرفیت باقیمانده‌ی سامانه‌ی باربر قائم ساختمان، ارائه دهد؛ به عبارت دیگر، آسیب‌های وارده، به چه میزان از عملکرد محوری اعضای سامانه‌ی باربر قائم ساختمان، شامل؛ ستون‌ها و دیوارهایی که بخشی از بارهای قائم را انتقال می‌دهد، کاسته است. کلیه‌ی اعضای سامانه‌ی باربر قائم که بر اساس ضابطه‌ی ۸۳۲، به‌عنوان اعضای آسیب‌دیده در نظر گرفته می‌شود، باید در برآورد محاسبات این معیار منظور شود. محاسبه‌ی نسبت‌های عنوان شده برای این معیار، باید بر اساس بحرانی‌ترین طبقه، انجام پذیرد. در واقع، ضعیف‌ترین طبقه، یا به عبارت بهتر، آسیب‌دیده‌ترین طبقه، از نظر باربری قائم، ملاک ارزیابی این معیار قرار می‌گیرد.

پ-۲-۲- تعیین عملکرد نسبی ساختمان

گام دوم از رویکرد پیشنهادی برای تعیین تعمیری یا تخریبی بودن ساختمان آسیب‌دیده در زلزله، تعیین عملکرد نسبی ساختمان است. در این گام، بازرسان ارزیابی تلاش دارند با مقایسه‌ی عملکرد ساختمان مورد بررسی، با سایر ساختمان‌های موجود در منطقه، به‌صورت غیرمستقیم الگویی از میزان شدت لرزه‌ای، کیفیت مصالح استفاده شده و نحوه‌ی ساخت ساختمان مورد بررسی را تعیین نمایند.

برای این منظور، بازرسان باید برآوردی از عملکرد ساختمان‌های اطراف ساختمان مورد بررسی، به دست آورند. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود، محدوده‌ای از اطراف ساختمان مورد بررسی، از هر سمت شامل؛ ۳ ساختمان یا به‌طور حدودی ۱۰۰ متر، هر کدام که کمتر است، مورد ارزیابی قرار گیرد. در هنگام این ارزیابی توجه به موارد ذیل توصیه می‌شود:

- در صورتی که در هر سمت ساختمان مورد بررسی، در محدوده‌ی مورد نظر، عارضه‌ای طبیعی وجود داشته باشد، نیازی به بررسی ساختمان‌های موجود در آن سمت ساختمان مورد بررسی نیست.
- در صورت امکان، در محدوده‌ی مورد نظر، ساختمان‌هایی مورد ارزیابی قرار گیرد که از نظر تعداد طبقات با ساختمان مورد بررسی مشابه باشد.
- در بررسی عملکرد ساختمان‌های موجود در منطقه‌ی مورد نظر نیاز به بررسی دقیق ساختمان‌ها نیست. بلکه صرفاً بازدید از خارج ساختمان‌ها کفایت می‌کند.
- تعداد ساختمان‌های ارزیابی شده باید به‌گونه‌ای باشد که بازرسان به جمع‌بندی قابل‌قبولی دست پیدا کنند؛ اما در هر صورت، نباید مجموعاً کمتر از سه عدد باشد.

در ادامه برای تعیین عملکرد نسبی ساختمان آسیب‌دیده، لازم است در بازدید ساختمان‌های اطراف عملکرد ساختمان مورد بررسی در یکی از سطوح نسبی خوب، متوسط یا ضعیف دسته‌بندی شود. تعریف و نحوه‌ی تشخیص هر یک از این سه سطح عبارت است از:

عملکرد نسبی خوب: ارزیابی بازرسان نشان می‌دهد که تمامی ساختمان‌های محدوده‌ی مورد نظر، عملکرد نسبی در حدود عملکرد ساختمان مورد بررسی یا ضعیف‌تر از آن داشته است؛ به عبارت دیگر، عملکرد نسبی ساختمان مورد بررسی، از تمامی ساختمان‌های آن محدوده بهتر بوده است.

عملکرد نسبی متوسط: ارزیابی بازرسان نشان می‌دهد که تعدادی از ساختمان‌های محدوده‌ی مورد نظر، عملکرد نسبی بهتر و تعدادی دیگر عملکرد نسبی ضعیف‌تر از ساختمان مورد بررسی داشته است؛ به عبارت دیگر، عملکرد نسبی ساختمان مورد بررسی، در حدود میانگین عملکرد نسبی ساختمان‌های آن محدوده بوده است.

عملکرد نسبی بد: ارزیابی بازرسان نشان می‌دهد که اکثر ساختمان‌های محدوده‌ی مورد نظر، عملکرد نسبی بهتری از ساختمان مورد بررسی داشته است؛ به عبارت دیگر، عملکرد نسبی ساختمان مورد بررسی، از اکثر ساختمان‌های آن محدوده ضعیف‌تر بوده است.

پ-۲-۳- تعیین کیفیت طراحی و اجرای ساختمان

گام سوم از رویکرد پیشنهادی برای تعیین تعمیری یا تخریبی بودن ساختمان آسیب‌دیده در زلزله، تعیین کیفیت طراحی و اجرای ساختمان است. در این گام، بازرسان ارزیابی تلاش دارند، با بازدید مستقیم ساختمان مورد نظر و مشاهده‌ی آسیب‌های ناشی از رویداد جنبش قوی زمین، ارزیابی کلی از رفتار ساختمان مبنی بر رعایت معیارهای پیکربندی و توزیع مناسب جرم، توزیع مناسب اعضای باربر قائم، توزیع مناسب اعضای باربر جانبی در طبقه و ارتفاع ساختمان و مسیرهای پیوسته و کوتاه برای انتقال مناسب نیروها از طبقات بالا به پی‌ها به دست آورند. همچنین ممانعت از پیش‌سازه‌ی ساختمان متناسب با پیشنهادها و ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ لازم است مد نظر قرار گیرد. عدم رعایت پیشنهادها و ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ می‌تواند در هنگام طراحی یا در هنگام اجرای ساختمان اتفاق افتاده باشد.

برای تعیین کیفیت طراحی و ساخت ساختمان آسیب‌دیده، ۳ سطح: خوب، متوسط و ضعیف مورد نظر قرار گرفته است. معیارهای مورد بررسی در این قسمت در جدول (پ-۲-۴) ارائه شده است. بازرسان می‌بایست بر اساس شواهد متقن، گزینه‌ی مناسب: «بلی» یا «خیر» را برای هر مورد علامت‌گذاری نمایند. در صورتی که برخی بازرسان در هنگام ارزیابی، دلایل متقنی برای اعلام پاسخ «بلی» نیافتند، یا بر اساس برخی شواهد موجود، دچار هرگونه شک و تردیدی شدند، باید گزینه‌ی «خیر» را انتخاب نمایند. از دیدگاه فنی، پاسخ «خیر» به معنی نیاز ساختمان به تأمین ایمنی بیشتر است. از این‌رو، بازرسان باید آگاه باشند که انتخاب گزینه‌ی «خیر»، احتمال تخریب سازه و جایگزینی آن با یک ساختمان جدید را بیشتر می‌نماید. این رویداد، معادل افزایش هزینه‌های بیشتر کارفرما و به نوعی افزایش خسارت‌های ناشی از رویداد زلزله، برای

جامعه است. به این ترتیب، بسیار تأکید می‌شود تا بازرسان برای پاسخ به موارد این قسمت، با کنکاش و دقت بیشتری عمل نمایند تا نتیجه‌ی ارزیابی آن‌ها با کمترین شبهه‌ای همراه باشد.

در پایان این مرحله، ضرایب C_q مربوط به مواردی از جدول (پ-۲-۴) است که به آن پاسخ «بلی» داده شده که جمع آن‌ها در انتهای ستون موردنظر در همان جدول نوشته می‌شود. در صورتی که پاسخ تمامی موارد در جدول (پ-۲-۴)، «بلی» باشد، ضریبی معادل عدد ۳۰ به دست می‌آید. این عدد نشانگر سازه‌ای است که در آن موارد متناسب با ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، رعایت شده و می‌توان تا اندازه‌ی زیادی مطمئن بود که مبانی طراحی و ساخت در آن به‌خوبی پیاده شده است.

جدول (پ-۲-۴): تعیین کیفیت طراحی و ساخت ساختمان

ردیف	توضیحات	وضعیت	C_q
۱	آیا ساختمان بر اساس بند (۱-۷-۱-الف) ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، فاقد نامنظمی در پلان است؟	بله ☐ خیر ☐	۱
۲	آیا سامانه‌ی باربر جانبی، در پلان ساختمان، دارای توزیع متقارن است؟	بله ☐ خیر ☐	۱
۳	آیا ساختمان بر اساس بند (۱-۷-۱-پ-۱) ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، فاقد نامنظمی در دیافراگم است؟	بله ☐ خیر ☐	۱
۴	آیا ساختمان بر اساس بند (۱-۷-۱-ت) ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، فاقد نامنظمی خارج از صفحه است؟	بله ☐ خیر ☐	۲
۵	آیا ساختمان بر اساس بند (۱-۷-۱-ث) ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، فاقد نامنظمی سامانه‌های باربر غیر موازی است؟	بله ☐ خیر ☐	۱
۶	آیا ساختمان بر اساس بند (۱-۷-۲-الف) ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، فاقد نامنظمی هندسی در ارتفاع است؟	بله ☐ خیر ☐	۱
۷	آیا ساختمان بر اساس بند (۱-۷-۲-ب) ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، فاقد نامنظمی جرمی است؟	بله ☐ خیر ☐	۱
۸	آیا ساختمان بر اساس بند (۱-۷-۲-پ-۱) ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، فاقد نامنظمی قطع سامانه‌ی باربر جانبی است؟	بله ☐ خیر ☐	۲
۹	آیا ساختمان بر اساس بند (۱-۷-۲-ث) ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، فاقد نامنظمی در سختی جانبی است؟	بله ☐ خیر ☐	۱
۱۰	آیا بر اساس بندهای (۱-۴-۱ و ۳-۵-۶) ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، ضابطه‌های مربوط به درز انقطاع در ساختمان رعایت شده است؟	بله ☐ خیر ☐	۱
۱۱	آیا در آسیب‌های ایجاد شده در ساختمان، پدیده ستون کوتاه مشاهده نشده است؟	بله ☐ خیر ☐	۲
۱۲	آیا در ساختمان آسیب‌دیده، اتصالات فاقد هرگونه آسیب هستند؟	بله ☐ خیر ☐	۳
۱۳	آیا در ساختمان آسیب‌دیده، اعضای نیرو کنترل سامانه باربر جانبی فاقد هرگونه آسیب هستند؟	بله ☐ خیر ☐	۳
۱۴	آیا ساختگاه ساختمان ایمن بوده و فاقد ناپایداری، زمین لغزش یا روانگرایی است؟	بله ☐ خیر ☐	۳
۱۵	آیا ساختمان از یک سامانه‌ی باربر جانبی یکپارچه و از قبل تعیین شده بهره می‌برد؟	بله ☐ خیر ☐	۷
$\sum C_q =$			جمع

در این مرحله، مقدار نهایی به دست آمده برای ضریب C_q از جدول (پ-۲-۴)، برای برآورد کیفیت طراحی و اجرای ساختمان مورد بررسی، در سه رده‌ی خوب، متوسط و ضعیف بر اساس جدول (پ-۲-۵) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جدول (پ-۲-۵): برآورد سطوح کیفیت طراحی و ساخت ساختمان

سطح کیفیت ساختمان		
ضعیف	متوسط	خوب
$\sum C_q \leq 23$	$23 < \sum C_q \leq 27$	$\sum C_q > 27$

پ-۲-۴- کمینه نمره‌ی مجاز برای تعمیر ساختمان مورد بررسی

گام چهارم از رویکرد پیشنهادی برای تعیین تعمیری یا تخریبی بودن ساختمان آسیب‌دیده در زلزله، تنظیم جدول مقدارهای مجاز برای «نمره‌ی ساختمان» مورد بررسی است. با مشخص شدن «نمره‌ی ساختمان»، «سطح عملکرد نسبی ساختمان» و «سطح کیفیت ساختمان» در مرحله‌های پیشین، می‌توان معیاری برای تعمیری یا تخریبی بودن ساختمان آسیب‌دیده به دست آورد. برای این منظور، بیشینه مقدار مجاز برای «نمره‌ی ساختمان‌های» گروه ۳ و گروه ۴، در جدول (پ-۲-۶) پیشنهاد شده است. در صورت بزرگ‌تر بودن نمره‌ی ساختمان از مقادیر مشخص شده در این جدول‌ها، پیشنهاد تخریب ساختمان از دیدگاه فنی و اقتصادی می‌تواند از طرف مهندس طراح ساختمان مطرح شود؛ اما همان‌گونه که در ابتدای این پیوست بیان شد، این فعالیت، شامل بررسی‌ها و ارزیابی‌های کیفی و اولیه‌ی فنی و اقتصادی گروه مهندس طراح، بر روی ساختمان آسیب‌دیده در زلزله است. نتیجه‌ی این فعالیت الزام آور نبوده و تنها پس از تأیید کارفرمای طرح، قابل اجرا خواهد بود.

جدول (پ-۲-۶): بیشینه مقدار مجاز «نمره‌ی ساختمان» برای تعمیر ساختمان مورد بررسی، ساختمان‌های گروه ۳ و گروه ۴

سطح کیفیت ساختمان			سطح عملکرد نسبی ساختمان
کیفیت ضعیف	کیفیت متوسط	کیفیت خوب	
عملکرد ضعیف	۶۰	۸۰	
عملکرد متوسط	۸۰	۱۰۰	
عملکرد خوب	۱۰۰	۱۲۰	۱۴۰

پیوست ۳: تعاریف عمومی

در این بخش، معیارها و تعاریف عمومی لازم که چارچوب اصلی مطالعات تعمیر ساختمان‌های آسیب‌دیده در زلزله را تشکیل می‌دهد، ارائه شده است. این تعاریف و معیارها از آیین‌نامه‌های جاری کشور که در مراجع پایان این راهنما از آن‌ها نام برده شده است، صرفاً برای سادگی دسترسی، مجدداً در اینجا آورده شده است. طبیعی است با تغییر این تعاریف در ویرایش‌های جدیدتر، تعاریف جدید ارائه شده در آیین‌نامه‌های جاری موردنظر، به جای تعاریف این فصل، ملاک عمل این راهنما نیز خواهد بود.

پ-۳-۱- انتخاب هدف تعمیر

انتخاب هدف تعمیر، از مراحل اولیه و در عین حال بسیار مهم فرآیند مطالعات تعمیر است. هدف تعمیر باید شامل؛ تعیین سطح یا سطوح خطر مورد نظر برای ارزیابی ساختمان و عملکرد متناظر مورد نظر با هر یک از این سطوح باشد. هدف تعمیر توسط مهندس طراح، با بررسی دقیق و دریافت دیدگاه‌های بهره‌بردار یا مالک ساختمان که از این پس کارفرما نامیده می‌شود و توجه به میزان اهمیت و وضعیت کاربری ساختمان پس از تعمیر همراه با ارائه گزارش فنی-اقتصادی پیشنهاد و انتخاب می‌شود. گزارش فنی-اقتصادی ارائه شده، مبنی بر دلایل انتخاب هدف تعمیر، باید مورد تأیید کارفرمای پروژه قرار گیرد. در جدول (پ-۳-۱)، اهداف پیشنهادی برای تعمیر ساختمان‌های دولتی و عمومی ارائه شده است که می‌توان به عنوان پیشنهاد اولیه از آن استفاده نمود.

هدف از تعمیر ساختمان آسیب‌دیده، دستیابی به یکی از سطوح عملکرد مبنای بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، مطابق «نشریه ۳۶۰ سازمان برنامه و بودجه» است. هدف تعمیر، بر اساس میزان اهمیت ساختمان و سطح عملکرد ساختمان مورد نظر، مطابق یکی از بندهای (پ-۳-۱-۱) الی (پ-۳-۱-۵) انتخاب می‌شود. این موارد، می‌تواند شامل یک یا چند هدف تعمیر باشد که برمبنای انتخاب سطح خطر لرزه‌ای، مطابق بند (پ-۳-۲) و سطح عملکردی برای ساختمان، مطابق بند (پ-۳-۴)، تعیین می‌شود.

جدول (ب-۳-۱): اهداف پیشنهادی برای تعمیر ساختمان‌های دولتی و عمومی

نوع ساختمان	کاربری	هدف تعمیر	سطوح عملکردی	
			سطح خطر ۱	سطح خطر ۲
استراتژیک	ساختمان‌های اصلی و استقرار برای: نهاد رهبری، نهاد ریاست جمهوری، فرماندهی کل یا فرماندهی ستاد مشترک نیروهای مسلح، فرماندهی نیروی انتظامی، وزارت خانه‌های کشور، نفت، امور خارجه، مخابرات و ارتباطات، صداوسیما، تأسیسات ویژه نوابری فرودگاه و بندرها	ویژه	A-1	A-2
سیاسی	ساختمان‌های مرکزی: قوه مقننه، قوه قضاییه، استانداری‌ها، فرمانداری‌ها، وزارت‌خانه‌ها، بانک مرکزی، خزانه	ویژه	B-1	C-3
امدادی	الف- ساختمان‌های بیمارستان و درمانگاه‌های بزرگ شامل: قسمت‌های اورژانس، جراحی و خدمات پزشکی وابسته به آن‌ها، مراکز اورژانس پزشکی	ویژه	B-1	C-2
	ب- ساختمان مرکزی: امداد و نجات، آتش‌نشانی، هلال‌احمر، نیروی انتظامی (پلیس) و بسیج	ویژه	B-1	C-3
ستادی	بخشداری‌ها، مراکز فرماندهی نیروهای مسلح و نیروی انتظامی در استان‌ها، مراکز مخابراتی	ویژه	B-2	C-4
شریان‌های حیاتی	ساختمان‌های اصلی و استقرار برای تأسیسات: آب‌رسانی، برق‌رسانی، گاز رسانی، رادیو و تلویزیون، برج‌های مراقبت فرودگاه	ویژه	B-1	C-2
ساختمان‌های تراز اول میراث فرهنگی	موزه‌ها، بناهای تاریخی، کتابخانه‌های نفیس نظیر ملی، مجلس و مراکز اسناد ملی	ویژه	B-2	C-3
تأسیسات زیربنایی	ساختمان‌های اصلی و عملیاتی پالایشگاه، نیروگاه، مجتمع‌های پتروشیمی، کارخانه‌های تولید مواد شیمیایی	ویژه	B-1	C-3
مهم	الف- دانشگاه‌ها، حوزه‌های علمیه، مدارس، سازمان‌های مهم و مؤسسات تحقیقاتی	مطلوب	C-3	E-5
	ب- ادارات کل وزارت‌خانه‌ها و ادارات مرکزی سازمان‌های مهم در استان‌ها	مطلوب	B-2	E-5
عمومی	مساجد و مصلی‌ها، ساختمان‌های تجمعی و فرهنگی شهرداری‌ها، سینما و تئاتر، استادیوم‌های ورزشی، کتابخانه‌ها، پایانه‌های مسافری، فروشگاه‌های بزرگ و مراکز تجمعی بیش از ۳۰۰ نفر	مطلوب	C-3	E-5
	ساختمان‌های مسکونی، اداری-تجاری، هتل‌ها، پارکینگ‌های چند طبقه، ساختمان‌های صنعتی	مبنا	C-3	-
	ساختمان‌های انبارهای کشاورزی، سالن‌های مرغداری و ساختمان‌های با بهره‌برداری موقت	مبنا یا محدود	D-3	-

هدف تعمیر ساختمان آسیب‌دیده در زلزله، مطابق تعاریف نشریه ۳۶۰، می‌تواند یکی از موارد تعمیر مبنا، تعمیر مطلوب،

تعمیر ویژه، تعمیر محدود یا تعمیر موضعی به شرح ذیل باشد:

پ-۳-۱-۱- تعمیر مبنا

در تعمیر مبنا انتظار می‌رود، ساختمان آسیب‌دیده بعد از تعمیر، تحت زلزله‌ی سطح خطر ۱، ایمنی جانی ساکنین ساختمان را تأمین کند (سطح عملکرد C-3).

پ-۳-۱-۲- تعمیر مطلوب

در تعمیر مطلوب انتظار می‌رود، ساختمان آسیب‌دیده بعد از تعمیر، تحت زلزله‌ی سطح خطر ۱، ایمنی جانی ساکنین ساختمان را تأمین کند (سطح عملکرد C-3) و علاوه بر آن، تحت زلزله‌ی سطح خطر ۲، دچار فروریزش نشود (سطح عملکرد E-5).

پ-۳-۱-۳- تعمیر ویژه

در تعمیر ویژه، نسبت به تعمیر مطلوب، سطح عملکرد بالاتری برای ساختمان مدنظر قرار می‌گیرد. بدین منظور ممکن است تحت همان سطوح خطر زلزله‌ی مورد استفاده در تعمیر مطلوب، سطح عملکرد بالاتری برای ساختمان در نظر گرفته شود، یا با حفظ سطح عملکرد مشابه با تعمیر مطلوب، سطوح خطر زلزله‌ی بالاتری مدنظر قرار گیرد.

پ-۳-۱-۴- تعمیر محدود

در تعمیر محدود، سطح عملکردی پایین‌تر از تعمیر مبنا در نظر گرفته می‌شود، به گونه‌ای که حداقل یکی از اهداف زیر برآورد شود:

الف- تحت زلزله‌ای خفیف‌تر از زلزله‌ی سطح خطر ۱، ایمنی جانی ساکنین تأمین شود، سطح عملکرد C-3.

ب- تحت زلزله‌ای برابر یا خفیف‌تر از زلزله‌ی سطح خطر ۱، سطوح عملکرد C-4، D-4، E-4، C-5، D-5، E-5 یا D-6 تأمین شود.

پ-۳-۱-۵- تعمیر موضعی

تعمیر موضعی، بخشی از یک طرح تعمیر کلی است که هدف آن (پ-۳-۱-۱) الی (پ-۳-۱-۴) انتخاب شده است، اما بنا به دلایلی، در شرایط موجود، فقط بخشی از آن اجرا می‌شود. در این حالت، تعمیر باید به گونه‌ای برنامه‌ریزی و اجرا شود که هدف تعمیر بخش‌های دیگر، در مراحل بعدی قابل برآورده شدن باشد. تعمیر موضعی باید با توجه به موارد زیر انجام شود:

۱- تعمیر موضعی ساختمان نباید منجر به پایین آمدن سطح عملکرد قبلی ساختمان آسیب‌دیده شود.

۲- تعمیر موضعی ساختمان نباید سبب افزایش نیروهای ناشی از زلزله در اعضای که وضعیت بحرانی دارند، شود.

۳- تعمیر موضعی ساختمان نباید منجر به نامنظم شدن یا افزایش نامنظمی در ساختمان شود.

پ-۳-۲- تحلیل خطر

تحلیل خطر باهدف برآورد پارامترهای جنبش قوی زمین انجام می‌گیرد. خطر ناشی از زلزله به دو صورت «طیف طرح شتاب» و «تاریخچه زمانی شتاب جنبش قوی زمین»، تعریف می‌شود که به دو صورت احتمالی یا تعیینی قابل محاسبه است. در بند (پ-۳-۱) به ارائه روش‌های برآورد طیف طرح شتاب و در بند (پ-۳-۲) به انتخاب شتاب‌نگاشت‌های سازگار با سطوح مختلف خطر پرداخته شده است. هم‌چنین در بند (پ-۳-۳) گام‌های کلیدی برای انجام تحلیل خطر احتمالی ویژه‌ی ساختگاه، هنگامی که انجام این تحلیل لازم باشد، ارائه شده است.

پ-۳-۲-۱- طیف طرح شتاب

دستورالعمل عمومی این بخش می‌تواند برای تعیین طیف طرح شتاب در مورد هر یک از سطوح خطر زلزله زیر مورد استفاده قرار گیرد:

۱. **سطح خطر ۱:** معادل سطحی از جنبش‌های قوی زمین است که احتمال فرا گذشت از آن ۱۰٪ در ۵۰ سال باشد. این سطح خطر معادل دوره‌ی بازگشت ۴۷۵ سال است. سطح خطر ۱ در **ویرایش چهارم** استاندارد ۲۸۰۰، «زلزله طرح» نامیده شده است.
۲. **سطح خطر ۲:** معادل سطحی از جنبش‌های قوی زمین است که احتمال فرا گذشت از آن ۲٪ در ۵۰ سال باشد. این سطح خطر معادل دوره‌ی بازگشت ۲۴۷۵ سال است.
۳. **سطح خطر انتخابی** (زلزله با هر احتمال رویداد در ۵۰ سال): معادل سطحی از جنبش‌های قوی زمین است که احتمال فرا گذشت از آن انتخابی است. این سطح خطر برای موارد خاص و با ملاحظات ویژه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

طیف طرح شتاب با یکی از دو فرآیند استفاده از شکل «طیف ثابت» یا شکل «طیف حاصل از تحلیل ویژه ساختگاه» تعیین می‌شود.

پ-۳-۲-۱-۱- فرآیند استفاده از شکل طیف ثابت

فرآیند استفاده از شکل طیف ثابت با یکی از دو روش استفاده از «شکل طیف استاندارد ۲۸۰۰»، یا استفاده از «شکل طیف طراحی»، پیشنهاد شده در این دستورالعمل صورت می‌پذیرد:

طیف استاندارد ۲۸۰۰ در این روش، طیف طرح ارتجاعی شتاب از حاصل ضرب مقادیر «ضریب شتاب مبنای طرح» (A)، «ضریب بازتاب» (B) و «شتاب ثقل زمین» (g) به دست می‌آید. طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ برای میرایی ۵٪ تعیین شده

است. میزان شتاب مبنای طرح مربوط به زلزله‌ی سطح خطر ۱ با استفاده از نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زلزله‌ی استاندارد ۲۸۰۰ تعیین می‌شود. میزان شتاب مبنای طرح مربوط به زلزله‌ی سطح خطر ۲ با یکی از دو روش زیر تعیین می‌شود:

۱. $1/5$ برابر ضریب A استاندارد ۲۸۰۰ برای ساختمان‌هایی که برای هدف تعمیر مطلوب تعمیر می‌شوند.
۲. انجام تحلیل خطر ویژه‌ی ساختگاه برای محاسبه‌ی مقدار شتاب مؤثر جنبش قوی زمین در تراز پایه‌ی ساختمان برای دوره‌ی بازگشت ۲۴۷۵ سال.

طیف طراحی. تهیه طیف در این روش مستلزم برآورد مقدار شتاب طیفی در زمان تناوب کوتاه، 0.2 ثانیه (S_s)، نیز مقدار شتاب طیفی در زمان تناوب بلند، $1/0$ ثانیه (S_1)، در سطح خطر مورد نظر است. این مقادیر برای نسبت میرایی 5% و در سنگ‌بستر (سطح بستر لرزه‌ای) محاسبه می‌شود. برآورد مقادیر فوق با یکی از دو روش زیر تعیین می‌شود:

۱. نقشه‌های معتبری که مقادیر شتاب طیفی را در سنگ‌بستر برای دوره‌ی بازگشت مورد نظر در اختیار قرار دهد.
۲. انجام تحلیل خطر ویژه‌ی ساختگاه برای محاسبه‌ی مقادیر شتاب طیفی در سنگ‌بستر برای دوره‌ی بازگشت مورد نظر.

برای برآورد میزان تأثیر «اثرات ساختگاهی» بر مقادیر طیفی، می‌توان از روابط (پ-۳-۱) و (پ-۳-۲) استفاده نمود:

$$S_{xs} = F_a S_s \quad (\text{پ-۳-۱})$$

$$S_{x1} = F_v S_1 \quad (\text{پ-۳-۲})$$

در این روابط F_a و F_v ضریب‌های اثرات ساختگاهی است که بر اساس نوع خاک، مقدار پارامتر S_s از جدول (پ-۳-۲)، و مق پارامتر S_1 از جدول (پ-۳-۳) قابل محاسبه است. برای برآورد مقادیری از S_s و S_1 که در بین حدود ارائه شده قرار دارد، از درون‌یابی خطی استفاده می‌شود.

جدول (پ-۳-۲): مقادیر F_a برحسب نوع خاک و مقدار S_s

نوع خاک	مقدار شتاب طیفی در زمان تناوب کوتاه S_s				
	$S_s > 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 100$	$S_s > 1.25$
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
3	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
4	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9

جدول (پ-۳-۳): مقادیر S_s بر حسب نوع خاک و مقدار S_s

نوع خاک	مقدار شتاب طیفی در زمان تناوب کوتاه S_s				
	$S_s > 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s > 1.25$
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
3	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
4	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9

اگر شرایط ژئوتکنیکی ویژه‌ای در ساختگاه حاکم باشد، استفاده از ضریب‌های فوق‌الذکر کافی نیست و لازم است با انجام مطالعات میدانی و تهیه‌ی مدل‌های رفتار دینامیکی مناسب، اثر بزرگنمایی خاک را بر روی طیف به دست آمده برای سنگ‌بستر، منظور نمود. هرگاه حداقل یکی از شرایط زیر برقرار باشد، شرایط ژئوتکنیکی ساختگاه «ویژه» تلقی می‌شود:

۱. خاک‌های مستعد فروریزش تحت بارهای لرزه‌ای مانند؛ خاک‌های با قابلیت روانگرایی بالا و رس‌های بسیار حساس،

۲. خاک‌های دستی و یا خاک‌های متشکل از مواد آلی با ضخامت بیش از ۳ متر،

۳. رس‌های بسیار خمیری با اندیس خمیری $PI > 75$ و ضخامت بیش از ۸ متر،

۴. وجود لایه‌ای با ضخامت بیش از ۴۰ متر از رس نرم یا با سختی متوسط.

پس از برآورد S_{xs} و S_{x1} ، طیف طرح شتاب افقی مطابق شکل (پ-۳-۱) و بر اساس روابط (پ-۳-۳) ساخته می‌شود:

$$S_a = S_{xs} \left[\left(\frac{5}{B} - 2 \right) \frac{T}{T_s} + 0.4 \right] \quad 0 < T < T_0 \quad (\text{پ-۳-۳})$$

$$\begin{aligned} S_a &= S_{xs} / B & T_0 < T < T_s \\ S_a &= S_{x1} / (BT) & T > T_s \end{aligned}$$

که در این روابط T_0 و T_s عبارت‌اند از

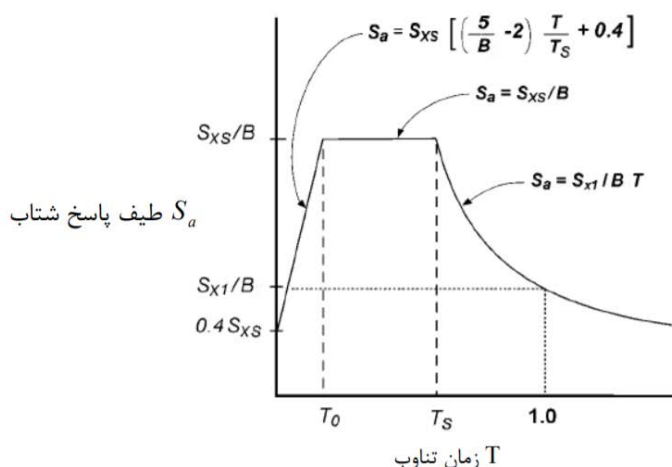
$$T_0 = 0.2 T_s \quad (\text{پ-۳-۴})$$

$$T_s = S_{x1} / S_{xs} \quad (\text{پ-۳-۵})$$

همچنین ضریب B به‌صورت تابعی از نسبت میرایی مؤثر، β ، بیان می‌شود:

$$B = 4 / [5.6 - \ln(100\beta)] \quad (\text{پ-۳-۶})$$

برای نسبت میرایی ۵٪ مقدار B واحد است.



شکل (پ-۳-۱): طیف طرح شتاب افقی

پ-۳-۱-۲-۲- فرآیند استفاده از شکل طیف حاصل از تحلیل ویژه‌ی ساختگاه خطر زلزله

فرآیند استفاده از شکل طیف حاصل از «تحلیل خطر زلزله‌ی ویژه‌ی ساختگاه» با دو روش استفاده از «طیف خطر یکنواخت» و استفاده از «طیف طرح آماری» صورت می‌پذیرد.

طیف خطر یکنواخت. با انجام تحلیل خطر ویژه‌ی ساختگاه و به دست آوردن مقادیر طیف برای دوره‌های تناوب مختلف در سطح خطر مورد نظر، طیف خطر یکنواخت محاسبه می‌شود. استفاده از طیف خطر یکنواخت به دست آمده به این روش به شرطی مجاز است که مقدار این طیف کمتر از ۷۰ درصد طیف شکل ثابت استاندارد ۲۸۰۰ نباشد. برای منظور نمودن اثرات ساختگاهی در محاسبه‌ی طیف خطر یکنواخت روی سطح خاک، می‌توان از دو راهکار زیر استفاده نمود:

۱. برآورد طیف خطر یکنواخت در سنگ‌بستر و محاسبه طیف خطر روی سطح خاک با منظور نمودن اثرات بزرگنمایی حاصل از مدل‌سازی رفتار دینامیکی خاک.
۲. برآورد مستقیم طیف خطر یکنواخت در سطح خاک با بهره‌گیری از روابط کاهندگی که می‌تواند اثرات ساختگاهی را در نظر بگیرد.

طیف طرح آماری. پس از تکمیل تحلیل خطر، طیف طرح آماری ویژه‌ی ساختگاه مطابق مرحله‌های زیر تهیه می‌شود:

۱. انتخاب کمینه شتاب‌نگاشت مناسب و سازگار با زلزله‌ی کنترل‌کننده و نیز شرایط ژئوتکنیکی ساختگاه،
۲. هم‌پایه نمودن شتاب‌نگاشت‌ها برحسب بیشینه دامنه‌ی به دست آمده از تحلیل خطر ویژه‌ی ساختگاه،
۳. تهیه‌ی طیف پاسخ برای هر یک از شتاب‌نگاشت‌ها در نسبت میرایی ۵٪ یا درصد میرایی موردنیاز،

۴. انجام تحلیل‌های آماری به‌منظور تهیه‌ی طیف طرح. برای نمونه، محاسبه‌ی میانگین یا میانگین به‌علاوه‌ی یک انحراف معیار تمامی طیف‌های پاسخ. استفاده از طیف طرح میانگین یا طیف طرح میانگین به‌علاوه یک انحراف معیار به شرطی مجاز است که مقدار دامنه‌ی طیف به دست آمده کمتر از ۷۰ درصد دامنه‌ی طیف شکل ثابت استاندارد ۲۸۰۰ نباشد.

پ-۳-۲-۲- انتخاب شتاب‌نگاشت سازگار با خطر زلزله

هرگاه انجام «تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی» مدنظر باشد، لازم است کمینه سه جفت شتاب‌نگاشت افقی با رعایت شرایط زیر انتخاب و در تحلیل مورد استفاده قرار گیرد:

۱. بزرگا، فاصله و نیز سازوکار گسلش شتاب‌نگاشت‌ها، نزدیک به شرایط زلزله‌ی کنترل‌کننده‌ی ساختگاه باشد. زلزله‌ی کنترل‌کننده‌ی ساختگاه با انجام تحلیل تفکیک‌پذیری مندرج در بند (پ-۳-۲-۳) قابل تعیین است،

۲. با محاسبه‌ی جذر حاصل جمع مربعات طیف پاسخ هر جفت شتاب‌نگاشت یک طیف منفرد به دست می‌آید،

۳. شتاب‌نگاشت‌ها به نحوی مقیاس شود که طیف میانگین حاصل در محدوده‌ی زمان تناوبی $0.2T$ تا $1.5T$ کمتر از ۱.۳ برابر طیف طرح سازگار با سطح خطر مورد نظر نباشد (T معرف زمان تناوب اصلی سازه‌ی مورد نظر برای تحلیل دینامیکی است). طیف طرح سازگار با سطح خطر به یکی از روش‌های مندرج در بند (پ-۳-۲-۱) ساخته می‌شود.

پ-۳-۲-۳- تحلیل خطر احتمالاتی

تحلیل خطر به‌منظور برآورد پارامترهای شتاب زمین و طیف طرح شتاب در سنگ‌بستر ساختگاه صورت می‌پذیرد. اثرات ساختگاهی و نیز ساخت طیف طراحی بر اساس ضوابط مندرج در بند (پ-۳-۲-۱) انجام می‌شود. در کلیه گزارش‌های تحلیل خطر لازم است بخش‌های زیر پوشش کافی داده شود.

مباحث «لرزه‌زمین ساخت» موارد زیر را در بر می‌گیرد:

۱. شناخت زمین‌ریخت‌شناسی و توپوگرافی منطقه،
۲. تاریخچه‌ی زمین‌شناسی منطقه،
۳. تبیین ساختار تکتونیکی منطقه،
۴. اشاره به مطالعات دیرینه لرزه‌شناسی برای چشمه‌های فعال و اثرگذار منطقه (در صورت وجود چنین مطالعاتی یا امکان انجام آن)،
۵. تعیین گسل‌های لرزه‌زای فعال در شعاع مؤثر،

۶. تعیین پارامترهای لرزه‌ای گسل‌های فعال و تطابق آن‌ها با سایر اطلاعات لرزه‌ای و در صورت وجود، داده‌های نرخ لغزش حاصل از مطالعات ژئودزی (اندازه‌گیری‌های GPS)،
۷. مدل‌سازی چشمه‌های لرزه‌زا به صورت چشمه‌های خطی و سطحی.

مباحث «لرزه‌خیزی» موارد زیر را در بر می‌گیرد:

۱. مطالعات و شناسایی زلزله‌های تاریخی در منطقه،
۲. مطالعات و شناسایی زلزله‌های اخیر (۱۹۰۰ میلادی تا حال)،
۳. تدوین داده‌های تاریخی و دستگاهی،
۴. حذف زلزله‌های وابسته در کاتالوگ،
۵. منظور نمودن عدم قطعیت‌ها در ثبت کاتالوگ،
۶. ارزیابی کامل بودن کاتالوگ،
۷. استخراج پارامترهای لرزه‌خیزی،
۸. تحلیل عمق رخدادها در کاتالوگ،
۹. مدل‌سازی چشمه‌های لرزه‌ای.

کمینه باید سه «رابطه‌ی کاهندگی» با در نظر گرفتن ملاحظات ذیل انتخاب شود:

۱. روابط کاهندگی معتبر باشد.
۲. روابط کاهندگی دربردارنده‌ی پارامترهای شتاب و طیف پاسخ شتاب باشد.
۳. حتی‌المقدور با خصوصیات تکتونیکی و لرزه‌خیزی منطقه هم‌خوان باشد.
۴. وزن‌دهی مناسبی بر اساس مطالعات معتبر برانزنگی روابط و نیز قضاوت مهندسی صورت پذیرد.

در نهایت، برای انجام «تحلیل خطر» و تعیین «زلزله‌ی تعیین‌کننده» باید گام‌های زیر انجام پذیرد:

۱. انجام تحلیل خطر احتمالی با انتگرال‌گیری تلفیقی از مدل‌های احتمالی چشمه‌های لرزه‌ای و پارامترهای لرزه‌خیزی و رابطه‌ی کاهندگی برای به دست آوردن منحنی خطر (احتمال فرا گذشت بر حسب پارامتر حرکت قوی زمین)،
۲. انتخاب و اعتبارسنجی نرم‌افزار مناسب برای انجام فرآیند انتگرال‌گیری تحلیل خطر،
۳. مدل‌سازی مناسب کلیه‌ی منابع انتشار عدم قطعیت‌های ذاتی و تصادفی و در نظر گرفتن تأثیر آن‌ها،
۴. تحلیل حساسیت نتایج تحلیل خطر به منابع عمده عدم قطعیت،
۵. تحلیل تفکیک لرزه‌ای به منظور تعیین زلزله تعیین‌کننده در ساختگاه،
۶. برآورد شتاب طرح در سطح خطر ۱ و سطح خطر ۲،
۷. تهیه طیف طرح مطابق روش مورد نظر.

پ-۳-۳- معیارهای پذیرش

سطح عملکرد ساختمان بر مبنای عملکرد اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای مطابق بندهای (پ-۳-۳-۱) الی (پ-۳-۳-۴) تعریف شده و به اختصار با یک رقم برای عملکرد اجزای سازه‌ای و یک حرف برای عملکرد اجزای غیرسازه‌ای نشان داده می‌شود. سطوح عملکرد ساختمان در تعیین هدف بهسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. سطح عملکرد ساختمان میزان آسیب پذیری اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای را نشان می‌دهد.

پ-۳-۳-۱- سطوح عملکرد اجزای سازه‌ای

سطوح عملکرد اجزای سازه‌ای شامل چهار سطح عملکرد اصلی و دو سطح عملکرد میانی است. سطوح عملکرد اصلی عبارت‌اند از:

الف- سطح عملکرد ۱: قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه،

ب- سطح عملکرد ۳: ایمنی جانی،

پ- سطح عملکرد ۵: آستانه‌ی فروریزش،

ت- سطح عملکرد ۶: منظور نشده.

سطوح عملکرد میانی عبارت‌اند از:

ث- سطح عملکرد ۲: خرابی محدود،

ج- سطح عملکرد ۴: ایمنی جانی محدود.

روش بهسازی اجزاء و معیار پذیرش آن‌ها برحسب هر یک از سطوح فوق باید مطابق روش بهسازی ساده یا تفصیلی باشد.

پ-۳-۳-۱-۱- سطح عملکرد ۱- قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه

سطح عملکرد قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه به سطح عملکردی اطلاق می‌شود که پیش‌بینی شود در اثر وقوع زلزله‌ی محتمل، مقاومت و سختی اجزای سازه تغییر قابل توجهی پیدا نکرده و استفاده‌ی بی‌وقفه از آن ممکن باشد.

پ-۳-۳-۱-۲- سطح عملکرد ۲- خرابی محدود

سطح عملکرد خرابی محدود به سطح عملکردی اطلاق می‌شود که پیش‌بینی شود در اثر وقوع زلزله‌ی محتمل، خرابی در سازه به میزان محدود ایجاد شود، به گونه‌ای که پس از زلزله با انجام تعمیر بخش‌های آسیب‌دیده، ادامه‌ی بهره‌برداری از ساختمان به سادگی میسر باشد.

پ-۳-۳-۱-۳- سطح عملکرد ۳- ایمنی جانی

سطح عملکرد ایمنی جانی به سطح عملکردی اطلاق می‌شود که پیش‌بینی شود در اثر وقوع زلزله‌ی محتمل، خرابی در سازه ایجاد شود، اما میزان خرابی‌ها به اندازه‌ای نباشد که منجر به خسارت جانی شود.

پ-۳-۳-۱-۴- سطح عملکرد ۴- ایمنی جانی محدود

سطح عملکرد ایمنی جانی محدود به سطح عملکردی اطلاق می‌شود که پیش‌بینی شود در اثر وقوع زلزله‌ی محتمل، خرابی در سازه ایجاد شود، اما میزان خرابی‌ها به اندازه‌ای نباشد که منجر به خسارت جانی کمینه باشد.

پ-۳-۳-۱-۵- سطح عملکرد ۵- آستانه فروریزش

سطح عملکرد آستانه‌ی فروریزش به سطح عملکردی اطلاق می‌شود که پیش‌بینی شود در اثر وقوع زلزله‌ی محتمل، خرابی گسترده در سازه ایجاد شود، اما ساختمان فرونریزد و تلفات جانی کمینه باشد.

پ-۳-۳-۱-۶- سطح عملکرد ۶- منظور نشده

چنانچه برای عملکرد اجزای سازه‌ای سطح عملکرد خاصی انتخاب نشده باشد، سطح عملکرد اجزای سازه‌ای، منظور نشده، نامیده می‌شود.

پ-۳-۴-۲- سطح عملکرد اجزای غیرسازه‌ای

سطح عملکرد اجزای غیرسازه‌ای ساختمان شامل پنج سطح عملکرد به شرح زیر می‌باشد:

الف- سطح عملکرد A: خدمت‌رسانی بی‌وقفه؛

ب- سطح عملکرد B: قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه؛

پ- سطح عملکرد C: ایمنی جانبی؛

ت- سطح عملکرد D: ایمنی جانی محدود؛

ث- سطح عملکرد E: منظور نشده.

پ-۳-۴-۱- سطح عملکرد A- خدمت‌رسانی بی‌وقفه

سطح عملکرد خدمت‌رسانی بی‌وقفه به سطح عملکردی اطلاق می‌شود که پیش‌بینی شود اجزای غیرسازه‌ای در اثر زلزله‌ی محتمل، دچار خرابی بسیار جزئی شود، به گونه‌ای که خدمت‌رسانی ساختمان به‌طور پیوسته انجام شود.

پ-۳-۴-۲- سطح عملکرد B- قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه

سطح عملکرد قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه به سطح عملکردی اطلاق می‌شود که پیش‌بینی شود اجزای غیرسازه‌ای در اثر زلزله‌ی محتمل، دچار خرابی جزئی شود، به‌گونه‌ای که پس از زلزله، راه‌های دسترسی و فرار مانند؛ درها، راهروها، پله‌ها، آسانسورها و روشنایی آن‌ها مختل نشده و استفاده از ساختمان بی‌وقفه میسر باشد.

پ-۳-۴-۲- سطح عملکرد C- ایمنی جانی

سطح عملکرد ایمنی جانی به سطح عملکردی اطلاق می‌شود که پیش‌بینی شود خرابی اجزای غیرسازه‌ای در اثر زلزله‌ی محتمل، خطر جدی برای جان ساکنین به وجود نیاورد.

پ-۳-۴-۲- سطح عملکرد D- ایمنی جانی محدود

سطح عملکرد ایمنی جانی محدود به سطح عملکردی اطلاق می‌شود که پیش‌بینی شود خرابی اجزای غیرسازه‌ای در اثر زلزله‌ی محتمل، به اندازه‌ای باشد که خسارت جانی کمینه باشد.

پ-۳-۴-۲- سطح عملکرد E- منظور نشده

چنانچه برای عملکرد اجزای غیرسازه‌ای سطح عملکرد خاصی انتخاب نشده باشد سطح عملکرد اجزای غیرسازه‌ای، منظور نشده، نامیده می‌شود.

پ-۳-۴-۳- سطح عملکرد کل ساختمان

سطح عملکرد کل ساختمان برحسب سطح عملکرد اجزای سازه‌ای ۱ تا ۶ مطابق بند (پ-۳-۳-۱) و غیرسازه‌ای آن (A) تا E مطابق بند (پ-۳-۴-۲) تعریف می‌شود. سطوح مختلف عملکرد ساختمان که در بهسازی مبنا، مطلوب و ویژه به کار می‌رود مطابق یکی از بندهای (پ-۳-۴-۳-۱) الی (پ-۳-۴-۳-۴) تعریف می‌شود. سطوح عملکرد ساختمان در جدول (پ-۳-۴) ارائه شده است.

پ-۳-۴-۱- سطح عملکرد خدمت‌رسانی بی‌وقفه (A-1)(OP)

ساختمانی دارای سطح عملکرد خدمت‌رسانی بی‌وقفه است که اجزای سازه‌ای آن دارای سطح عملکرد ۱ (قابلیت استفاده بی‌وقفه) و اجزای غیرسازه‌ای آن دارای سطح عملکرد A (خدمت‌رسانی بی‌وقفه) باشند.

پ-۳-۴-۲- سطح عملکرد قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه (B-1)(IO)

ساختمانی دارای سطح عملکرد قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه است که اجزای سازه‌ای آن دارای سطح عملکرد ۱ (قابلیت استفاده بی‌وقفه) و اجزای غیرسازه‌ای آن دارای سطح عملکرد B (قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه) باشند.

جدول (پ-۳-۴): سطوح عملکرد ساختمان

سطح عملکرد سازه						سطوح عملکرد اجزای غیرسازه‌ای
قابلیت استفاده بی‌وقفه S-1	خرابی محدود S-2	ایمنی جانی S-3	ایمنی جانی محدود S-4	آستانه فروریزش S-5	لحاظ نشده S-6	
خدمت‌رسانی بی‌وقفه A-1	A-2	*	*	*	*	خدمت‌رسانی بی‌وقفه N-B
قابلیت استفاده بی‌وقفه B-1	B-2	B-3	*	*	*	قابلیت استفاده بی‌وقفه N-B
C-1	C-2	ایمنی جانی C-3	C-4	C-5	C-6	ایمنی جانی N-C
*	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	ایمنی جانی محدود N-D
*	*	*	E-4	آستانه فروریزش E-5	ارزش بهسازی ندارد	منظور نشده N-E

• این سطوح عملکرد به دلیل اختلاف زیاد بین سطح عملکرد اجرای سازه‌ای و غیرسازه‌ای توصیه نمی‌شود.

پ-۳-۴-۳-۳- سطح عملکرد ایمنی جانی (C-3)(LS)

ساختمانی دارای سطح عملکرد ایمنی جانی است که اجزای سازه‌ای آن دارای سطح عملکرد ۳ (ایمنی جانی) و اجزای غیرسازه‌ای آن دارای سطح عملکرد C (ایمنی جانی) باشد.

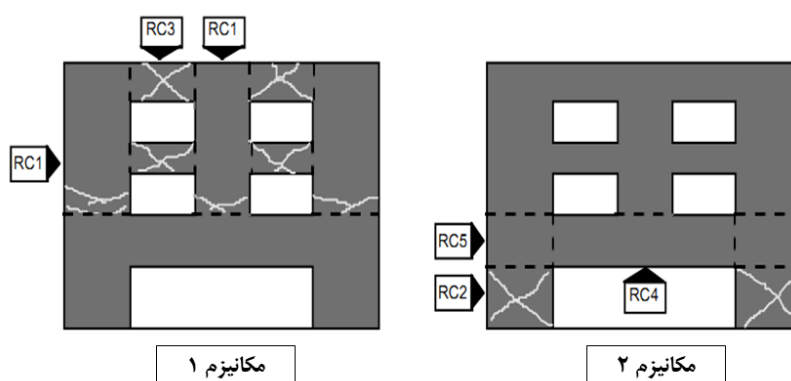
پ-۴-۳-۴-۳- سطح عملکرد آستانه‌ی فروریزش (E-5)(CP)

ساختمانی دارای سطح عملکرد آستانه‌ی فروریزش است که اجزای سازه‌ای آن دارای سطح عملکرد ۵ (آستانه‌ی فروریزش) باشد. در این حالت محدودیتی برای سطح عملکرد اجزای غیرسازه‌ای وجود ندارد (سطح عملکرد لحاظ نشده E).

پیوست ۴: صحت‌سنجی

پ-۴-۱ صحت‌سنجی

بررسی آسیب و شناسایی اعضا می‌تواند یک روند تکرار شونده باشد. شناسایی اولیه‌ی اجزاء برای تعیین مقاومت و سختی نسبی و شناخت سازوکار رفتار غیر ارتجاعی اعضا در برابر بارهای جانبی انجام می‌شود. اطلاعات میدانی کمک می‌کند تا مهندس طراح بر اساس رفتار واقعی، نوع رفتار عضو را تشخیص دهد. برای نمونه، در شکل (پ-۵-۱) دو سازوکار جانبی غیر ارتجاعی محتمل برای یک عضو را نشان می‌دهد. محاسبات نظری ممکن است یک سازوکار و در نتیجه نوع مشخصی از آسیب را برای یک عضو پیش‌بینی کند؛ اما مشاهدات آسیب‌های میدانی، ممکن است در مورد سازوکار اصلی و شناسایی عضو، منجر به نتیجه‌گیری متفاوتی شود. دلایل متنوعی برای اختلاف بین تحلیل و مشاهده وجود دارد که در ادامه شرح داده شده است.

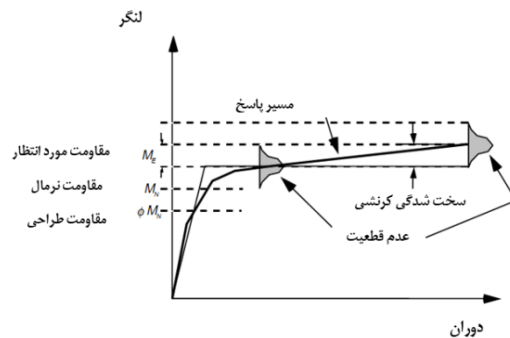


شکل (پ-۴-۱): دو سازوکار جانبی غیر الاستیک متفاوت

۱. ممکن است توزیع نیروهای جانبی زلزله‌ی مخرب از توزیعی که در مدل‌سازی و تحلیل برای ایجاد سازوکار جانبی غیر ارتجاعی استفاده شده متفاوت باشد. در چنین موردی، مودهای رفتاری اعضا در مشاهده‌ی میدانی، به دلیل اندازه‌ی نسبی مقادیر تلاش‌ها در اعضا، ممکن است با مقداری که از نظر تحلیلی برآورد شده است، متفاوت باشد. به عنوان نمونه، استفاده از یک توزیع بالا مثلثی برای بار جانبی یک دیوار برشی طره‌ای ممکن است مود رفتار خمشی را پیش‌بینی کند که در آن ظرفیت گشتاور نهایی در پای دیوار پیش از رسیدن به ظرفیت برشی حاصل شده است. اگر در مشاهده‌ی میدانی با مود رفتار برشی مواجه شویم، نشانگر توزیع بار جانبی مستطیلی یا دوزنقه‌ای است که تمایل به کاهش نسبت خمش به برش در آن عضو دارد. همچنین، ایجاد طبقه‌ی نرم در اثر توزیع یکنواخت نیروهای لرزه‌ای محتمل‌تر از اثر توزیع بار بالا مثلثی است.

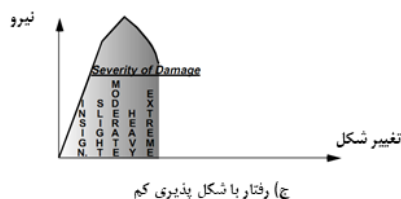
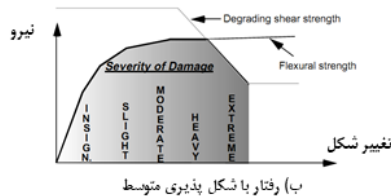
۲. ممکن است مقاومت اعضا برای تلاش‌های مختلف با آنچه از نظر تحلیلی پیش‌بینی شده متفاوت باشد. این مسئله می‌تواند به حالت‌های مختلف آسیب در اعضا یا مودهای رفتاری متفاوت یا هر دوی آن‌ها منجر شود که نمایش بهتری از رفتار واقعی را نمایان می‌سازد. به منظور کاربرد در معادلات طراحی، روابط نظری متداول متفاوتی برای مقاومت یک مؤلفه در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب، در عین حال که این روابط برای طیف گسترده‌ای از کاربردها مناسب است، تنوع روابط،

میزان محافظه‌کاری موجود در این زمینه را نیز به خوبی نشان می‌دهد. فرآیند ارزیابی آسیب به‌طور اساسی با طراحی متفاوت است. هدف، استفاده از نظریه‌ها و مشاهدات برای تشخیص مقاومت و رفتار واقعی اجزای سازه‌ای است. در شکل (پ-۵-۲) تفاوت بین مقاومت طراحی و مقاومت مورد انتظار مشاهده شده و شرایط خاص ارتباط نزدیک‌تری داشته باشد، مناسب است برای اهداف ارزیابی از این برآورد دیگری با رفتار مشاهده شده و شرایط خاص ارتباط نزدیک‌تری داشته باشد، مناسب است برای اهداف ارزیابی از این برآورد استفاده شود؛ اما این بدان معنی نیست که این برآورد برای اهداف کلی طراحی نیز قابل کاربرد است.



شکل (پ-۳-۲): رابطه‌ی بین مقاومت طراحی و مقاومت مورد انتظار

۳. شدت و تأثیر آسیب تا اندازه‌ی زیادی به شکل‌پذیری و مود رفتاری بستگی دارد (شکل پ-۵-۳). همان‌طور که در نمونه‌ی عضو با شکل‌پذیری متوسط در شکل (پ-۵-۳ ب) نمایش داده شده است، تعدادی از مؤلفه‌ها، مودهای رفتاری ترکیبی از خود نشان می‌دهد. این مؤلفه در ابتدا رفتار خمشی نشان می‌دهد، اما در تغییر فرم‌های بالاتر تغییر شکل، رفتار آن به برش کنترل انتقال می‌یابد. این نوع رفتار غیرمعمول نیست ولی تشخیص آن دشوار است.



شکل (پ-۳-۳): منحنی رفتار اعضا با شکل‌پذیری‌های متفاوت

۴. ممکن است شدت کلی جنبش مخرب زمین با آنچه در تحلیل فرض شده، متفاوت باشد. بیشینه جابجایی کلی که به واقع در هنگام زلزله رخ داده است، می‌تواند بزرگ‌تر یا کوچک‌تر از مقدار پیش‌بینی شده باشد. این مسئله باعث می‌شود شدت کلی آسیب وارده به اجزاء به نسبت کم‌تر یا بیشتر برآورد شود. نوع اجزاء و مود رفتاری در غیاب تفاوت‌های دیگر تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد.

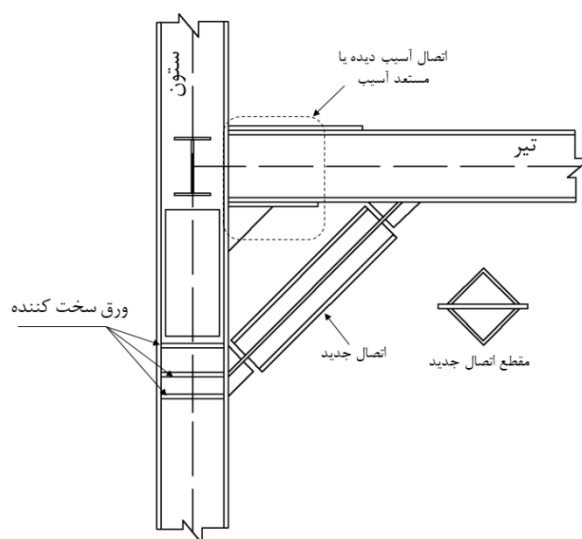
برای اصلاح این تفاوت‌ها لازم است تنظیماتی در تحلیل و مدل سازه‌ای ایجاد شود به‌طوری که نوع اجزاء، مودهای رفتاری و شدت آسیب حاصل با شرایط مشاهده شده مطابقت یابد. در برخی موارد، ممکن است مهندس طراح تصمیم بگیرد برای حل تناقض‌های موجود در داده‌ها، آزمایش‌ها یا بررسی‌های بیشتری انجام دهد. اگر این روال به درستی انجام شود، این فرآیند، همان‌طور که برای درک دقیق پاسخ سازه به جنبش مخرب زمین ضروری است، به نتایج معقول و سازگار مودهای رفتاری حاکم و آسیب‌های واقعی خاتمه می‌یابد.

پیوست ۵: اتصال صلب

در ساختمان‌های فولادی که سامانه‌ی باربر جانبی آن‌ها قاب خمشی است، این امکان وجود دارد که در برخی موارد اتصالات این قاب‌ها دچار آسیب پنهان یا آشکار شود. بازدید کامل از اتصالات یا تعمیر این اتصالات در برخی موارد بسیار هزینه‌بر است. گاهی ممکن است، مالک ساختمان به علت وارد آمدن آسیب به برخی نقاط ساختمان در هنگام بازدید یا تعمیر، اجازه‌ی انجام این عملیات را به تیم اجرایی ندهد. به همین دلایل بهتر است با استفاده از راهکارهایی همچون استفاده از دستک فولادی در زیر تیر بدون بازدید یا انجام عملیات تعمیر بتوان از صلیبیت اتصال اطمینان حاصل نمود.

پ-۵-۱ جزئیات و محدودیت‌ها

تجهیزات جدید نصب شده بر روی تیر یا اتصال باید توانایی انتقال لنگر و برشی به اندازه‌ی ظرفیت تیر متصل به ستون را داشته باشد. همچنین جزئیات این اتصال باید به گونه‌ای باشد تا باعث ایجاد تمرکز تنش در تیر و ستون نشود. در ادامه به عنوان مثال جزئیات یکی از اتصالات مورد بحث ارائه شده است.



شکل (پ-۵-۱): جزئیات اتصال صلب

پیوست ۶: سایر راهکارهای تعمیر

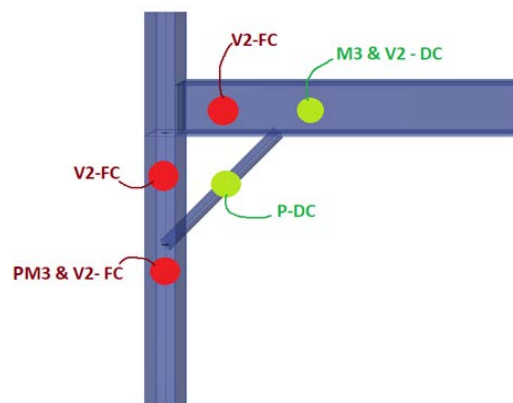
علاوه بر روش‌های ارائه شده در این راهنما به منظور تعمیر یک ساختمان آسیب‌دیده در زلزله راهکارهای دیگری نیز وجود دارد که به دلیل عدم وجود اطلاعات کامل ارائه نشده است. ولی در صورتی که طراح بخواهد از هر یک از روش‌های دیگر برای انجام فرآیند تعمیر استفاده کند باید مستندات متقن و مورد تأیید خود را به مراجع دارای صلاحیت ارائه نماید.

یکی از این راهکارها به گونه‌ای است که طراح با قضاوت مهندسی بر اساس ارزیابی کیفی خود از شدت آسیب‌های سازه، جابجایی‌های ماندگار، نا شاقولی، کیفیت اجرا و مواردی از این قبیل، ضریبی بین $0/9$ الی $0/6$ به عنوان ضریب کاهش به صورت یکسان به هر یک از سه پارامتر سختی، مقاومت و شکل‌پذیری اعمال نماید. در صورتی که از دیدگاه طراح نیاز به ضریب پایین‌تری باشد باید از ظرفیت آن عضو در سامانه‌ی باربر جانبی صرف نظر شود. در صورتی که اعضای جدید در سازه مورد استفاده قرار می‌گیرد، نیازی به در نظر گرفتن ضریب کاهش نیست. به عنوان یک قاعده‌ی کلی، ستون‌های آسیب‌دیده باید تقویت شود حتی در صورتی که با اعمال ضرایب کاهش در مدل‌سازی نیازی به تقویت آن‌ها نباشد.

راهکار دیگری که می‌توان در تعمیر ساختمان‌های آسیب‌دیده به خصوص ساختمان‌ها با سامانه‌ی قاب خمشی فولادی استفاده کرد، اضافه کردن عضو دیگر به عنوان فیوز در نزدیکی چشمه اتصال است. در این روش عضوی مورب با مقطع لوله ای شکل در نزدیکی چشمه اتصال نصب می‌شود. رفتار این عضو به صورت تغییر شکل کنترل بوده که در نتیجه سبب جذب انرژی در زمین‌لرزه‌های آینده خواهد شد. سایر اعضا به جز تیر، دارای رفتار نیرو کنترل خواهد بود و باید در تحلیل انجام شده تلاش‌های وارده بر تمام اعضا مورد بررسی قرار بگیرد.



شکل (پ-۶-۲): نمونه‌ای از اعضای مورب بکار رفته در ساختمان تعمیر شده



شکل (پ-۶-۱): نحوه در نظر گرفتن مفصل

مراجع

- ۱- دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (تجدید نظر اول)، نشریه شماره ۳۶۰ سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۹۳.
- ۲- تفسیر دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (ویرایش اول)، نشریه شماره ۳۶۱ سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۸۸.
- ۳- دستورالعمل ارزیابی و بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی متداول موجود، نشریه شماره ۷۴۱ سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۹۶.
- ۴- دستورالعمل ارزیابی و بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی متداول موجود، نشریه شماره ۷۴۲ سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۹۶.
- ۵- دستورالعمل ارزیابی و بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های آجری متداول موجود، نشریه شماره ۷۴۰ سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۹۶.
- ۶- راهنمای ارزیابی ایمنی ساختمان‌ها پس از زلزله، نشریه شماره ۸۳۲ سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۹۹.
- ۷- دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های بنایی غیرمسلح موجود، نشریه شماره ۳۷۶ سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۸۶.
- ۸- مشخصات فنی و جزییات تیپ اجرایی بهسازی لرزه‌ای مدارس کشور به روش بتن پاشیده پیرامونی، سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور، شماره ۲-۲۲۶۶ در مورخ ۱۳۹۰/۰۲/۲۱.
- ۹- اجرای بتن پاشیده در مقاوم‌سازی مدارس، سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور، شماره ۳۱۵۶-۱۰۲۸۹/۲ مورخ ۱۳۸۹/۰۳/۲۶.
- ۱۰- دستورالعمل اتصالات بتن پاشیده در بهسازی لرزه‌ای مدارس آجری، سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور، شماره ۱۳۶۱۳-۱۰۲۸۹/۲ مورخ ۱۳۸۹/۱۱/۲۷.
- 11- Ghazimahalleh, M. M. (2007). Stiffness and damping of infilled steel frames. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings, 160(2), 105-118 .
- ۱۲- آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد شماره ۲۸۰۰ ایران، ویرایش چهارم، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
- 13-FEMA-306, «Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings – basic procedures manual», Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, 1998.
- 14-FEMA-307, «Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings – technical resources», Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, 1998.
- 15-FEMA-308, «Repair of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings», Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, 1998.
- 16-FEMA-352, «Recommended Postearthquake Evaluation and Repair Criteria for Welded Steel Moment-Frame Buildings», Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, 2000.
- 17-Simeonov S. Building construction under seismic conditions in the Balkan region: REPAIR AND STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE, STONE AND BRICK-MASONRY

BUILDINGS. United Nations Industrial Development Organization, executing agency for the United Nations Development Programme; 1983.

18-Repair of Damaged Buildings after Earthquakes, Building Research Institute, 1995. Leelataviwat, S. Suksan.

19-B., Srechai, J., & Warnitchai, P. (2010). Seismic design and behavior of ductile knee-braced moment frames. Journal of structural engineering, 137(5), 579-588.

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور، با گذشت بیش از پنجاه سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر نهصد عنوان ضابطه و نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین نامه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت های عمرانی به کار برده شود. فهرست ضوابط و نشریه های منتشر شده در سال های اخیر در سایت اینترنتی nezamfanni.ir به صورت رایگان و برای عموم قابل دستیابی می باشد.

Guidelines for the Redesign and Repair of Earthquake-Damaged Buildings

[IR-Code 912]

Authors & Contributors Committee:

Omid Bahar	International Institute of Earthquake Engineering and Seismology	Ph.D. of Civil Eng.
Behrokh Hossein Hashemi	International Institute of Earthquake Engineering and Seismology	Ph.D. of Civil Eng.
Abdoreza Sarvghad Moghadam	International Institute of Earthquake Engineering and Seismology	Ph.D. of Civil Eng.
Hamidreza Farshchi	International Institute of Earthquake Engineering and Seismology	M.Sc. of Civil Eng.
Afshin Kalantari	International Institute of Earthquake Engineering and Seismology	Ph.D. of Civil Eng.
Amirhossein Lookzade	International Institute of Earthquake Engineering and Seismology	M.Sc. of Civil Eng.
Majid Mohammadi	International Institute of Earthquake Engineering and Seismology	Ph.D. of Civil Eng.

Supervisory Committee:

Farhad Behanmfar	Isfahan University of Technology	Ph.D. of Civil Eng.
Mahmood Hosseini	International Institute of Earthquake Engineering and Seismology	Ph.D. of Civil Eng.
Majid Hamidi Rad		M.Sc. of Civil Eng.
Mohammad Khanmohammadi	University of Tehran	Ph.D. of Civil Eng.
Mostafa Zeinodini	Khajeh Nasir Toosi University of Technology	Ph.D. of Civil Eng.

Steering Committee(Plan and Budget Organization):

Alireza Toutounchi	Deputy of Technical and Executive Affairs Department
Farzad Parsa	Deputy of Technical and Executive Affairs Department
Mohammad Kargar Shooraki	Expert of Technical and Executive Affairs Department

Abstract:

Empirical evidence from seismic events in both urban and rural contexts consistently demonstrate extensive structural damage across a wide spectrum of building typologies. The 2017 Ezgeleh–Kermanshah earthquake, a high-magnitude event occurring in proximity to densely populated areas, underscored the critical importance of post-earthquake structural repair. According to official data released in December 2019, a substantial proportion of affected buildings were rehabilitated through repair interventions rather than full demolition and reconstruction.

Despite prior experiences with limited repair and reconstruction efforts following major earthquakes such as Bam (2003), Silakhor (2006), and Varzeqan (2012), the absence of a coherent technical framework and institutionalized expertise in post-seismic rehabilitation within Iran resulted in ad hoc responses. These interventions were typically executed on a case-by-case basis, relying heavily on individualized engineering assessments without standardized methodologies.

In response to the widespread and geographically dispersed damage caused by the Ezgeleh–Kermanshah earthquake, the Planning and Budget Organization of Iran, in collaboration with the International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), initiated the development of a national guideline for rapid post-earthquake building assessment. This effort culminated in the Publication No. 823 in 2020.

Building upon this foundational work, and recognizing the multifaceted technical, safety, and economic implications of post-earthquake rehabilitation, the “**Guideline for Redesign and Repair of Earthquake-Damaged Buildings**” was subsequently developed in partnership with IIEES. Drawing upon both the best international practices and domestic experience, the guideline delineates the objectives, procedural framework, and technical criteria for the redesign and repair of damaged steel, reinforced concrete, and masonry structures. The document is structured into five chapters:

- **Chapter 1** outlines the scope, objectives, and methodological approach underpinning the guideline.
- **Chapter 2** specifies the technical criteria for the redesign and repair of earthquake-damaged steel structures.
- **Chapter 3** addresses the rehabilitation of reinforced concrete buildings affected by seismic activity.
- **Chapter 4** presents the criteria for the redesign and repair of masonry buildings.
- **Chapter 5** includes supplementary provisions and clarifications, organized into six technical appendices.

While the guideline reflects extensive research and accumulated experience, it is acknowledged that the domain of post-earthquake structural rehabilitation remains underdeveloped both nationally and globally. Given the evolving nature of seismic risk, the diversity of existing building conditions, and the limited precedent for large-scale repair operations, the guideline is intended as a living document.

Periodic review and revision, informed by expert feedback and field application, are essential to enhance its technical robustness and practical relevance.

**Islamic Republic of Iran
Plan and Budget Organization**

Guidelines for the Redesign and Repair of Earthquake-Damaged Buildings

IR-Code 912

Last Version 21/02/2026

Deputy of Technical, Infrastructure and
Production

Department of Technical and Executive
Affairs

nezamfanni.ir

International Institute of
Earthquake Engineering and Seismology

iiies.ac.ir

این ضابطه

با عنوان «راهنمای مطالعات بازطراحی و تعمیر ساختمان‌های آسیب‌دیده در زلزله» در راستای ارزیابی وضعیت و ارائه‌ی روش‌های تعمیر مناسب برای ساختمان‌های آسیب‌دیده در اثر زلزله، در چهار فصل و شش پیوست تدوین شده که شامل فصل‌های کلیات، ساختمان‌های فولادی، ساختمان‌های بتنی، ساختمان‌های بنایی و پیوست‌های تجهیزات و ایمنی بازرسان، رویکرد پیشنهادی برای تعیین ساختمان‌های تخریبی، تعاریف عمومی، صحت‌سنجی، اتصال صلب و سایر راهکارهای تعمیر می‌باشد.