فهرست مطالب

عنوان

صفحه

مقدمه 1

فصل ۱

مفاهیم اولیه ۳

۱-۱ تعریف خسارت ۳

۱-۲ عوامل موثر بر خسارت ۴

۱-۳ دسته بندی خسارت ساختمان ۵

۱-۳-۱ خسارت وارده به اجزای معماری ۵

۱-۳-۲ خسارت وارده به تاسیسات ۵

۱-۳-۳ خسارت وارده به اجزای مستقر در ساختمان ۵

۱-۳-۴ خسارت سازه ای ۶

۱-۴ سطوح عملکرد سازه ۶

۱-٤-۱ سطح عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه ۷

۱-٤-۲ سطح عملکرد ایمنی جانی ۷

۱-۴-۳ سطح عملکرد آستانه فروریزش ۷

فصل ۲

تاریخچه مطالعات ۸

۲-۱ ارزیابی خسارت ۸

۲-۲ فعالیت های انجام شده در ایران ۹

۲-۳ طبقه بندی خسارت ۱۰

۲-۴ طبقه بندی روش های ارزیابی خسارت ۱۲

۲-۴-۱ روش های کیفی ۱۳
۲-۴-۲ روش های کمی ۱۳
۲-۵ مطالعات انجام شده در ارزیابی عملکرد سازه ۱۳

فصل ۳
مبانی نظری در ارزیابی و طراحی بر اساس عملکرد ۱۵
۳-۱ مقدمه ۱۵
۳-۲ رفتار اعضای سازه ای با توجه به منحنی نیرو- تغییر مکان ۱۶
۳-۳ سطوح عملکرد ۱۸
۳-۴ طراحی بر اساس سطوح عملکرد ۲۰
۳-۵ کنترل تغییرشکل در سطوح عملکرد ۲۱

فصل ۴
شاخص خسارت ۲۲
۴-۱ تعریف شاخص خسارت ۲۲
۴-۲ شاخص های محلی خسارت ۲۴
۴-۳ شاخص خسارت اولیه پارک- انگ ۲۵
۴-۳-۱ تعیین مقدار β ۲۶
٤-۳-۲ مطالعه آماری شاخص خسارت پارک- انگ ۲٦
٤-۳-۳ تعیین حدود شاخص خسارت پارک- انگ ۲۷
٤-۳-٤ شاخص خسارت اصلاح شده کوناث ۳٤
٤-۳-٥ شاخص خسارت اصلاح شده رجبی و برقی ۳٦
۴-۴ شاخص خسارت طبقات و شاخص خسارت سراسری ۳۷

فصل ۵
مبانی نظری تحلیل‌های دینامیکی سازه‌های بتن مسلح ٤۰
۵-۱ کلیات تحلیل‌های غیرخطی ۴۰
۵-۱-۱ فرمولاسیون سختی برای اعضای سازه ۴۱
۵-۱-۲ مدل رشته ای برای المان های سازه ای ۴۴

۵-۱-۳ محاسبه ظرفیت تغییر شکل نهایی ٤٧
۵-۱-٤ قوانین رفتار چرخه ای (هیسترزیس) ٤٨
۵-۲ تحلیل دینامیکی ۵۰

فصل ۶
معرفی قابها و طراحی بر اساس سطوح عملکرد مختلف ۵۱
۶-۱ مقدمه ۵۱
۶-۲ مدلسازی قابها ۵۲
۶-۳ شتابنگاشت های مورد استفاده ۵۴
۶-۴ مدل های رفتار چرخه ای المان ها ۵۷
۶-۵ طراحی قابها در سطوح عملکرد ۵۸
۶-۶ بررسی نتایج حاصل از تحلیل ۶۱

فصل ۷
ارزیابی شاخص خسارت پارک- انگ در سطوح عملکرد ٦٩
۷-۱ مقدمه ۶۹
۷-۲ شاخص خسارت اعضا ۶۹
۷-۲-۱ شاخص خسارت تیرها ۷۱
۷-۲-۱-۱ بررسی شاخص خسارت پارک- انگ در تیرها ۷۱
۷-۲-۱-۲ بررسی شاخص خسارت کوناث در تیرها ۷۵
۷-۲-۱-۳ بررسی شاخص خسارت رجبی- برقی در تیرها ۷۸
۷-۲-۱-۴ بررسی سهم دو قسمت شاخص خسارت پارک- انگ در تیرها ۸۱
۷-۲-۱-۵ بررسی سهم دو قسمت شاخص خسارت کوناث در تیرها ۸۴
۷-۳-۲ شاخص خسارت ستونها ۸۸
۷-۳-۲-۱ بررسی مقادیر شاخص خسارت ستونها ۸۸
۷-۳-۲-۲ بررسی سهم دو قسمت شاخص خسارت ستونها ۹۳
۷-۴ شاخص خسارت طبقات ۹۶
۷-۴-۱ شاخص خسارت طبقات تیرها ۹۷
۷-۴-۲ شاخص خسارت طبقات ستونها ۹۹
۷-۴ شاخص خسارت سراسری ۱۰۲

فصل ۸
نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۰۵

۸-۱ نتیجه گیری ۱۰۵
۸-۲ پیشنهادات ۱۰۷

مراجع ۱۰۸

چکیده انگلیسی

عنوان انگلیسی

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل (۳-۱) سه نوع منحنی نیرو- تغییرشکل ۱۶
شکل (۳-۲) منحنی نیرو- تغییر مکان برای اعضای با قابلیت شکل پذیری بالا ۱۷
شکل (۳-۳) منحنی نیرو- مکان برای اعضا با شکل پذیری متوسط ۱۷
شکل (۳-٤) منحنی نیرو- مکان برای اعضا با شکل پذیری کم ۱۸
شکل (۳-٥) سطوح عملکرد مختلف اعضای سازه ای با توجه به منحنی نیرو- تغییرمکان در سازه های شکل پذیر ۱۹
شکل (۳-٦) سطوح عملکرد مختلف اعضای سازه ای با توجه به منحنی نیرو- تغییرمکان در سازه های غیر شکل پذیر ۱۹
شکل (٤-۱) شاخص خسارت پارک- انگ با احتمال اگاریتمی نرمال شده ۲۷
شکل (٤-۲) رابطه نیرو- تغییرمکان و شاخص خسارت ستون ها ۲۸
شکل (٤-۳) محاسبه شاخص خسارت متناظر با خسارت مشاهده شده ۲۹
شکل (٥-۱) جزئیات مقطع عضو برای تحلیل مدل رشته ای ٤٤
شکل (٥-۲) منحنی تنش- کرنش در بتن محصور نشده و فولاد مسلح کننده ٤٥
شکل (٦-۱) قاب های مدل سازی شده ٥۳
شکل (٦-۲) شتابنگاشت های زلزله های مورد استفاده ٥٦
شکل (٦-۳) طیف زلزله های استفاده شده ٥٦
شکل (٦-٤) مقایسه طیف میانگین و طیف طرح آیین نامه ۲۸۰۰ ٥۷
شکل (٦-٥) مقاطع استفاده شده در قاب ***S4B2*** ٦۰
شکل (٦-٦) درصد تغییرمکان نسبی جانبی در قاب ***S4B2-IO*** ٦۲
شکل (٦-**6**) درصد تغییرمکان نسبی جانبی در قاب ***S4B2-LS*** ٦۲
شکل (٦-۸) درصد تغییرمکان نسبی جانبی در قاب ***S4B2-CP*** ٦۲

شکل (٦-٩) توزیع مفاصل خمیری در قابهای مورد نظر ٦٤
شکل (٦-١٠) تغییرات برش پایه در قاب ***S6B3*** در زلزله *Northridge* ٦٦
شکل (٦-١١) منحنی ظرفیت قابهای ***S4B2*** ٦٧
شکل (٦-١٢) منحنی ظرفیت قابهای ***S6B3*** ٦٧
شکل (٦-١٣) منحنی ظرفیت قابهای ***S9B3*** ٦٧
شکل (٧-١) شاخص خسارت پارک- انگ برای تیرهای قاب ***S4B2*** ٧١
شکل (٧-٢) شاخص خسارت پارک- انگ برای تیرهای قاب ***S6B3*** ٧٢
شکل (٧-٣) شاخص خسارت پارک- انگ برای تیرهای قاب ***S9B3*** ٧٢
شکل (٧-٤) رابطه شاخص خسارت پارک- انگ و سطوح عملکرد تیرها ٧٤
شکل (٧-٥) مقایسه شاخص خسارت پارک- انگ و دوران مفاصل خمیری تیرها ٧٤
شکل (٧-٦) شاخص خسارت کوناث برای تیرهای قاب ***S4B2*** ٧٥
شکل (٧-٧) شاخص خسارت کوناث برای تیرهای قاب ***S6B3*** ٧٥
شکل (٧-٨) شاخص خسارت کوناث برای تیرهای قاب ***S9B3*** ٧٦
شکل (٧-٩) مقایسه شاخص خسارت کوناث و دوران مفاصل خمیری تیرها ٧٧
شکل (٧-١٠) مقایسه شاخص خسارت کوناث و دوران مفاصل خمیری تیرها ٧٨
شکل (٧-١١) شاخص خسارت رجبی- برقی برای تیرهای قاب ***S4B2*** ٧٩
شکل (٧-١٢) شاخص خسارت رجبی- برقی برای تیرهای قاب ***S6B3*** ٧٩
شکل (٧-١٣) شاخص خسارت رجبی- برقی برای تیرهای قاب ***S9B3*** ٧٩
شکل (٧-١٤) مقایسه شاخص خسارت رجبی- برقی و دوران مفاصل خمیری تیرها ٨٠
شکل (٧-١٥) مقایسه شاخص خسارت رجبی- برقی و دوران مفاصیل خمیری تیرها ٨١
شکل (٧-١٦) درصد سهم دو قسمت شاخص خسارت پارک- انگ در قاب ***S4B2*** ٨٢
شکل (٧-١٧) درصد سهم دو قسمت شاخص خسارت پارک- انگ در قاب ***S9B3*** ٨٢
شکل (٧-١٨) درصد سهم دو قسمت شاخص خسارت پارک- انگ در قاب ***S9B3*** ٨٢
شکل (٧-١٩) درصد سهم دو قسمت شاخص خسارت کوناث در قاب ***S4B2*** ٨٤
شکل (٧-٢٠) درصد سهم دو قسمت شاخص خسارت کوناث در قاب ***S9B3*** ٨٤
شکل (٧-٢١) درصد سهم دو قسمت شاخص خسارت کوناث در قاب ***S9B3*** ٨٥
شکل (٧-٢٢) مقایسه درصد سهم خسارت مقاومتی در سه شاخص خسارت در قاب ***S4B2*** ٨٥
شکل (٧-٢٣) مقایسه درصد سهم خسارت مقاومتی در سه شاخص خسارت در قاب ***S6B3*** ٨٦
شکل (٧-٢٤) مقایسه درصد سهم خسارت مقاومتی در سه شاخص خسارت در قاب ***S9B3*** ٨٦
شکل (٧-**25**) مقایسه شاخص خسارت پارک- انگ و شاخص کوناث برای تیرهای سه قاب ٨٧
شکل (٧-**26**) مقایسه شاخص خسارت رجبی- برقی و شاخص کوناث برای تیرهای سه قاب ٨٧
شکل (٧-**27**) مقایسه شاخص خسارت پارک- انگ و شاخص رجبی- برقی برای تیرهای سه قاب ٨٨
شکل (٧-٢٨) شاخص خسارت پارک- انگ برای ستونها ٨٩
شکل (٧-٢٩) شاخص خسارت کوناث برای ستونها ٨٩

شکل (۷-۳۰) شاخص خسارت رجبی- برقی برای ستونها ۹۰
شکل (۷-۳۱) رابطه شاخص خسارت پارک- انگ در ستونها و دوران مفاصل خمیری ۹۱
شکل (۷-۳۲) رابطه شاخص خسارت کوناث در ستونها و دوران مفاصل خمیری ۹۱
شکل (۷-۳۳) رابطه شاخص خسارت رجبی- برقی در ستونها و دوران مفاصل خمیری ۹۱
شکل (۷-۳٤) مقایسه شاخص خسارت پارک- انگ و شاخص کوناث با درون یابی درجه یک ۹۲
شکل (۷-۳۵) مقایسه شاخص خسارت رجبی- برقی و شاخص کوناث با درون یابی درجه یک ۹۲
شکل (۷-۳٦) مقایسه شاخص خسارت پارک- انگ و شاخص رجبی- برقی با درون یابی درجه یک ۹۳
شکل (۷-۳۷) درصد سهم خسارت مقاومتی در سه شاخص خسارت در قابهای ***S4B2-LS*** و ***S4B2-CP*** ۹۳
شکل (۷-۳۸) درصد سهم خسارت مقاومتی در سه شاخص خسارت در قابهای ***S6B3-LS*** و ***S6B3-CP*** ۹٤
شکل (۷-۳۹) درصد سهم خسارت مقاومتی در سه شاخص خسارت در قابهای ***S9B3-LS*** و ***S9B3-CP*** ۹٤
شکل (۷-٤۰) شاخص خسارت تیر طبقات در قاب ***S4B2*** ۹۷
شکل (۷-٤۱) شاخص خسارت تیر طبقات در قاب ***S6B3*** ۹۷
شکل (۷-٤۲) شاخص خسارت تیر طبقات در قاب ***S9B3*** ۹۸
شکل (۷-٤۳) شاخص خسارت ستون طبقات در قاب ***S4B2*** ۱۰۰
شکل (۷-٤٤) شاخص خسارت ستون طبقات در قاب ***S6B3*** ۱۰۰
شکل (۷-٤۵) شاخص خسارت ستون طبقات در قاب ***S9B3*** ۱۰۰
شکل (۷-٤٦) شاخص خسارت سراسری در قاب ***S4B2*** ۱۰۲
شکل (۷-٤۷) شاخص خسارت سراسری در قاب ***S6B3*** ۱۰۳
شکل (۷-٤۸) شاخص خسارت سراسری در قاب ***S9B3*** ۱۰۳

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول (۲-۱) طبقه بندی خسارت ۱۲

جدول (۳-۱) اصطلاحات به کار رفته در ***FEMA*-356** و دستوراعمل بهسازی برای سطوح عملکرد اجزای سازه ای ۱۸

جدول (٤-۱) ارتباط بین شاخص آسیب سنجیده شده و درجه آسیب سازه ای ۳۰

جدول (٤-۲) شاخص های خسارت در سطوح عملکرد ۳۵

جدول (٤-۳) شاخص های خسارت پارک- انگ برای سطوح عملکرد ***FEMA*** ۳۵

جدول (٤-٤) مقادیر شاخص خسارت پارک- انگ در سطوح عملکرد ۳٦

جدول (٥-۱) مقادیر مختلف پارامترهای هیسترزیس ٤۹

جدول (٦-۱) مشخصات بتن ٥۳

جدول (٦-۲) مشخصات بتن ٥٤

جدول (٦-۳) مشخصات شتابنگاشت ها ٥٥

جدول (٦-٤) پارامترهای مدل چرخه ای ٥۸

جدول (٦-٥) آرماتورگذاری تیرها و ستونها در قاب ***S4B2*** ٥۹

جدول (٦-٦) مشخصات دینامیکی قاب **S4B2** قبل و بعد از انجام تحلیل با زلزله ناغان **61**

جدول (**6-7**) بیشینه پاسخ ها برای قاب **S6B3** در سطوح عملکرد مختلف **65**

جدول (**7-1**) مقادیر متوسط، بیشینه و کمینه شاخص خسارت پارک- انگ تیرها ۷۳

جدول (**7-**۲) مقادیر متوسط، بیشینه و کمینه شاخص خسارت کوناث تیرها ۷۷

جدول (7-۳) مقادیر متوسط، بیشینه و کمینه شاخص خسارت رجبی- برقی تیرها ۸۰
جدول (۷-٤) میانگین ضریب β تیرها ۸۳
جدول (7-٥) متوسط شاخص خسارت ستونها در سطوح عملکرد ۹۲
جدول (۷-٦) مقادیر ضریب β ستونها برای سه شاخص خسارت ۹٥
جدول (۷-۷) حدود شاخص خسارت برای قاب S6B3 ۹٦
جدول (۷-۸) شاخص خسارت تیر طبقات در قابهای S6B3 ۹۹
جدول (۷-۹) شاخص خسارت ستون طبقات در قابهای S6B3 ۱۰۱
جدول (۷-۱۰) شاخص خسارت سراسری در قابهای *S6B3* ۱۰٤

مقدمه

زلزله یکی از حوادث طبیعی است که در سال‌های گذشته به جوامع بشری خسارات جانی و مالی زیادی وارد کرده است. تخریب سازه ها پس از وقوع زلزله تنها بعد ظاهری و نمایان فاجعه است. انهدام واحدهای تولیدی، مزارع و کارگاه‌های صنعتی سبب از هم گسیختگی بنیان‌های اقتصادی در بخش‌های گوناگون تولیدی اعم از کشاورزی و صنعتی می‌شود، به طوری که در بعضی مواقع بی‌ثباتی دولت‌ها را نیز به همراه داشته است. در کنار این صدمات مادی، ابعاد اجتماعی و فرهنگی آسیب‌ها گستردگی بیشتری دارد. عدم طراحی دقیق و مناسب با شرایط، اجرای بی‌دقت و بدون نظارت که منجر به ساخت ضعیف سازه‌ها می شود، از مهمترین عوامل تشدید کننده آسیب‌پذیری در برابر زلزله است.

آسیب‌پذیری اصطلاحی است که به طور کلی برای نشان دادن وسعت و میزان آسیب و خساراتی که احتمالا بر اثر وقوع زلزله به ساختمان و جوامع وارد شده است، استفاده می شود. به دلایل اقتصادی در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها درجه ای از آسیب‌پذیری در نظر گرفته می شود. حال برای پیش‌بینی مقدار خسارت‌ها

در هنگام طراحی، محققان به دنبال تعریف معیارهایی هستند تا بتوان طراحی متناسب با آسیب‌های قابل انتظار داشته باشند.

با وقوع زلزله، ممکن است در برخی از اجزای سازه آسیب‌های جزئی و یا قابل توجهی وارد شود. محققان با تعاریف و برداشت‌های مختلفی به دنبال تعریف خسارت سازه‌ها بوده اند. خسارت را می‌توان در کاهش برخی از مشخصات سازه‌ای بررسی کرد. این مشخصات می تواند شامل سختی، مقاومت و ظرفیت انرژی تلف شده سازه باشد. برای این منظور شاخص‌های خسارت تعریف می شوند.

شاخص‌های خسارت معیارهایی هستند که شامل چند متغیر خسارت بوده و اثرات آن متغیرها را روی خسارت نشان می‌دهند. در این مطالعه از شاخص خسارت پارک- انگ استفاده شده است. در این شاخص خسارت هم اثرات تغییرشکل های غیرالاستیک و هم خسارت‌های ناشی از رفتار چرخه‌ای وارد شده است. به طور کلی خسارت در قاب‌های خمشی بتن مسلح ناشی از تغییرشکل های برگشت‌ناپذیر (غیرالاستیک) است، هر متغیر خسارتی باید به نحوی به تغییرشکل ها مرتبط باشد.

عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها را می توان با تعیین حدود خسارت وارد شده به آن به کمک شاخص خسارت کمی نمود. برای یک سیستم یک درجه آزاد، شاخص خسارت مناسب، یک کمیت نرمان شده‌ای است که مقدار آن برای حالت الاستیک برابر صفر (بدون خسارت) و برای حالتی که خرابی روی داده است، برابر یک است. هدف اصلی طراحی لرزه‌ای بر اساس عملکرد، فراهم کردن پیش‌بینی عملکرد سازه در هنگام طراحی است.

هدف این مطالعه بررسی تغییرات شاخص خسارت پارک- انگ و روابط اصلاحی آن در سطوح عملکرد است. برای این منظور تعداد سه قاب بتن مسلح در نظر گرفته شده و تحلیل دینامیکی غیرخطی روی آنها انجام شده است و در نهایت قاب‌ها، مورد تحلیل خسارت قرار گرفته اند. در این قابها علاوه بر بررسی مقادیر شاخص‌های خسارت، نحوه توزیع خسارت در بین اعضا و روابط میان شاخص خسارت اعضا، طبقات و نهایتا شاخص کلی سازه ارزیابی شده است.

در فصل اول این پایان نامه مفاهیم اولیه شامل خسارت و دسته بندی های ارائه شده برای آن و همچنین سطوح عملکرد و نحوه بیان این سطوح برای ساختمان ها شرح داده شده است.

فصل دوم به بیان تاریخچه مطالعات انجام شده در مورد ارزیابی خسارت و روش های کمی و کیفی که توسط محققان تعریف شده است، می پردازد.

در فصل سوم مبانی نظری در ارزیابی و طراحی سازه ها بر اساس عملکرد مورد بررسی قرار می گیرد. در این فصل نحوه بیان سطوح عملکرد برای اجزای سازه ای و غیرسازه ای و در نهایت برای کل سازه بیان می-شود و از طرف دیگر با طراحی بر اساس سطوح عملکرد بر اساس آیین نامه های عملکردی آشنا می شویم.

در فصل چهارم شاخص های خسارت و دسته بندی های مختلف آنها بیان می شود و در فصل پنجم مبانی نظری لازم در تحلیل دینامیکی سازه های بتن مسلح شرح داده شده و شاخص های خسارت مورد نظر بیان شده و دسته بندی های لازم صورت گرفته است.

در فصل های ششم و هفتم قابهای مورد نظر تعریف شده و روند انجام مطالعه بیان شده است. در فصل هفتم بر روی قابها تحلیل خسارت صورت گرفته و نتایج بررسی شاخص های مختلف نمایش داده شده است. در این فصل مقادیر شاخص‌های خسارت اعضا، طبقات و سازه ارزیابی شده و نحوه توزیع این خسارت ها بررسی شده است.

فصل ۱

مفاهیم اولیه

۱-۱ تعریف خسارت

پس از وقوع زلزله، ممکن است آسیب‌های جزئی و یا قابل توجهی به سازه وارد شود. تاکنون تعاریف و برداشت‌های مختلفی از خسارت سازه ها بیان شده است. خسارت در سازه‌ها را از جهات مختلف می‌توان بررسی کرد. هنگامی که ظرفیت یک سازه در نتیجه بارگذاری زلزله، پاسخگوی نیاز لرزه‌ای آن نباشد، می‌توان گفت که سازه دچار آسیب می‌شود. خسارت را همچنین می توان در کاهش برخی از مشخصات سازه‌ای

بررسی کرد. این مشخصات می‌تواند شامل سختی، مقاومت و ظرفیت انرژی تلف شده سازه باشد. در هر صورت می‌توان گفت سازه آسیب دیده نسبت به سازه‌ی سالم که قبل از وقوع زلزله وجود داشت، متفاوت است و نسبت به آن ضعیف‌تر عمل می‌کند.

در سازه‌های بتنی شکل‌پذیری کمتری نسبت به سازه‌های فولادی وجود دارد و به علت تشکیل ترک در اعضای بتنی، سطح مقطع عضو در نتیجه‌ی تغییرشکل‌های رفت و برگشتی کاهش یافته و در نتیجه سختی و مقاومت عضو و سازه به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. خسارت در اعضای بتن مسلح به طور کلی با ترک خوردگی عضو شروع شده و در نهایت به تخریب بتن ختم می‌شود، به این ترتیب که ابتدا پوشش بتن پوسته پوسته شده[۱] و بعد هسته بتن منهدم می‌شود، این مرحله متناظر با گسیختگی عضو است. در طی پوسته شدن بتن پوششی، مودهای شکست دیگری ممکن است سبب انهدام هسته بتنی شود، برای مثال کمانش میلگردهای طولی یا بیرون کشیده شدن میلگرد به خاطر طول مهاری ناکافی[۲] از جمله مودهای گسیختگی عضو هستند.

شرایط نهایی در اعضای بتن مسلح، حتی اگر تنها رفتار خمشی وجود داشته باشد، به راحتی قابل تعریف نیست. برخی از محققان معیارهای زیر را برای شرایط نهایی اعضای بتن مسلح ارائه داده‌اند:

۱- افت کم یا زیاد مقاومت (مقادیر بین ۱۰ تا ۳۰ درصد) با توجه به منحنی های بار-تغییرمکان یا لنگر- انحنا.

۲- گسیختگی محصورکننده ها، متناظر با گسیختگی حداقل یکی از خاموت‌ها یا دورپیچ ها. در تحقیقات مشخص شده که گسیختگی میلگردهای عرضی بیان کننده گسیختگی عضو نیستند ولی نقطه شروع کاهش مقاومت است.

۳- رسیدن به کرنش نهایی کششی در میلگردهای مسلح کننده.

۴- شروع کمانش میلگردهای طولی، این نوع شکست در تعداد حلقه های کم با کاهش شدید مقاومت روی می دهد. (*Thomas Telford* و *I Heron Quay*، *1997*)

یکی از روش های رایج در تعیین خسارت اعضا استفاده از شاخص خسارت است. شاخص خسارت شامل پارامترهایی است که میان خسارت اعضا و کل سازه در طول تاریخچه بارگذاری ارتباط برقرار می کنند. در سال‌های اخیر محققان زیادی با دیدهای گوناگون شاخص هایی تعریف کرده و سعی کرده اند میزان خسارت-های سازه ای و غیرسازه ای را برآورد کنند. در این مطالعه سعی شده است شاخص های خسارت با نگاه دقیق‌تری مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان با دقت بیشتری خسارت ها را ارزیابی کرد.

۲-۱ عوامل موثر بر خسارت

[۱] Spilling
[۲] Bond failure

در اثر وقوع زمین لرزه خسارت‌های مختلفی در منطقه زلزله زده به ساکنین وارد می شود، که می توان به خسارت ساختمانی، خسارت جانی، خسارت اقتصادی، خسارات موضعی یا کلی و... اشاره نمود. این خسارت‌ها باید در تحلیل خطر منطقه و آسیب پذیری منطقه در نظر گرفته شوند. اولین خسارتی که پس از وقوع زمین لرزه مشاهده می شود خسارت به ساختمان‌ها است که در پی آن خسارت های مالی و جانی و ... اتفاق می افتد. از عوامل موثر بر خسارت می توان به خصوصیات زمین ساختی منطقه مانند نوع خاک، گسل های منطقه، خصوصیات زمین لرزه ای مانند مدت دوام، محتوای فرکانسی، بیشینه شتاب، دامنه ارتعاشات و انرژی آزاد شده اشاره نمود. (سید حسن مدنی، ۱۳۸۵)

در ساختمان های بتن مسلح، عوامل موثر در ایجاد خسارت را می توان به دو دسته کلی تقسیم کرد: خسارتهایی که ناشی از بیشینه تغییرشکل ها در اعضا هستند و خسارتهایی که در اثر رفتار چرخه ای و استهلاک انرژی در طول زلزله در اجزای سازه ایجاد می شوند. بنابراین برای بررسی خسارت ضرورت دارد که اثرات این دو بخش در کنار هم دیده شده و مورد بررسی قرار گیرد.

شاخص‌های خسارت معیارهایی هستند که شامل چند متغیر خسارت بوده و اثرات آن متغیرها را روی خسارت نشان می دهند. در این مطالعه از شاخص خسارت پارک- انگ که شامل دو بخش فوق است، استفاده شده است. به عبارت دیگر، هم اثرات تغییرشکل های غیرالاستیک در آن دیده شده و هم خسارت های ناشی از رفتار چرخه ای در آن وارد شده است. بنابراین پارامترهایی که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته جزء موثر ترین عوامل در ایجاد خسارت در قاب های خمشی بتن مسلح می باشند.

۱-۳ دسته بندی خسارت ساختمان

همانطور که در قسمت قبل بیان شد اولین خسارتی که در اثر وقوع زمین لرزه به یک منطقه وارد می شود خسارت ناشی از خرابی ساختمان ها است. بنابراین لازم است به منظور جلوگیری از وقوع خسارت های دیگر، خسارت وارده به ساختمان را کاهش داد. بدین منظور در گام نخست لازم است به شناخت برخی از انواع آسیب‌های احتمالی در زمین لرزه و آسیب های رخ داده در زمین لرزه های پیشین پرداخته شود، در اینجا به خساراتی که به اجزای سازه ای و غیر سازه ای ممکن است وارد شود به اختصار اشاره می شود.

۱-۳-۱ خسارت وارد به اجزای معماری

این اجزا شامل جداگرها، پنجره و موارد مشابه اند که در زلزله های متوسط که سازه دچار تخریب نمی شود، اینها دچار خسارت می شوند، این خسارت باید به گونه ای کنترل شود که باعث صدمات جانی برای ساکنین نشود.

دیوارهای میانقاب می تواند به خاطر افزایش سختی سازه در رفتار سازه موثر باشد. با افزایش سختی مقدار بیشتری نیرو به اجزای سازه ای اعمال می شود که در طراحی در نظر گرفته نشده است. این اجزا در ضمن ممکن است باعث تغییر مرکز صلبیت سازه شود و سازه را دچار پیچش نماید و پس از شکست این میانقاب ها که اجزای ضعیفی هستند سازه دچار یک کاهش ناگهانی در سختی می شود که این امر در قاب های می تواند باعث آسیب شود.

۱-۳-۲ خسارت وارد به تاسیسات

تجهیزاتی مانند آسانسور، ژنراتور، لوله های تاسیسات در معرض آسیب پذیری جدی هستند و باید مورد توجه قرار گیرد. به خصوص لوله های گاز که ممکن است موجب آتش سوزی شوند.

۱-۳-۳ خسارت وارد به اجزای مستقر در ساختمان‌ها

در اثر وقوع زلزله اشیا داخل ساختمان به حرکت در می آید. این موضوع ممکن است باعث تخریب اشیاء با ارزش مانند وسایل آزمایشگاهی یا اشیاء قیمتی شود و در نتیجه به خسارت مالی و احتمالا جانی منجر شود.

۱-۳-۴ خسارت سازه ای

این نوع خسارت‌ها از جمله رایج ترین خسارت در ساختمان هاست. لازم به ذکر است بسیاری از خسارت‌های مطرح شده در بخش‌های قبل ناشی از وقوع خسارت‌های سازه ای است. لذا شناسایی و تلاش برای رفع این نوع ضعف‌ها در ساختمان‌ها از جمله پراهمیت ترین کار جهت کنترل و کاهش آسیب‌پذیری است.
از بین این خسارت‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- **ایجاد طبقه نرم:** یکی از مسائل مهم در طرح سازه ها، رعایت تقارن و تناسب در ارتفاع و پلان است. در سازه‌هایی که سختی یک طبقه به صورت قابل ملاحظه‌ای از سختی طبقه فوقانی خود کمتر باشد این مسئله اتفاق می‌افتد. در این سازه‌ها، سازه به صورت پاندول وارونه شروع به نوسان می‌کند و تمرکز خسارت در طبقه اول می‌باشد. ایجاد طبقه نرم از جمله خطرناک‌ترین خسارت-هاست، چون باعث متمرکز شدن خسارت‌ها در تعداد اعضای خاص شده و از ظرفیت پذیرش خسارت در اعضای دیگر استفاده نمی‌شود.

۲- **خسارت ناشی از سازه های مجاور:** زمانیکه فاصله مناسب بین دو سازه مجاور رعایت نمی شود دو ساختمان به یکدیگر ضربه می‌زنند. این ضربه زدن زمانیکه ارتفاع دو ساختمان با هم متفاوت

باشد خسارت بیشتری به بار می‌آورد. زیرا باعث تخریب ستون های دو ساختمان می شود. (سید حسن مدنی، ۱۳۸۵)

۳- **خسارت ناشی از ضعف های موضعی:** از جمله این ضعف ها می توان به خرابی ستون ها، خرابی تیرها اشاره کرد. در قابهای خمشی بتن مسلح مناسب است که ابتدا در تیرهای قاب مفصل خمیری تشکیل شده و در نهایت در ستونها مفصل تشکیل شود. ایجاد خرابی موضعی در ستونها به سرعت سازه را به سمت انهدام کلی پیش می‌برد، به همین دلیل قابهای خمشی باید به گونه‌ای طراحی شوند که از شکست موضعی ستون قبل از تیرها جلوگیری شود.

۱-۴ سطوح عملکرد سازه

یک سطح عملکرد، در واقع یک حالت از رفتار ساختمان به هنگام تجربه نیازهای یک زلزله با شدت مشخص است. در بیشتر آیین نامه های لرزه ای جدید دو سطح عملکرد اصلی زیر برای قاب های بتنی ارائه شده است:

- بدون خسارت یا خسارت شدید (تحت زلزله طرح)
- محدود کردن خسارت (تحت زلزله ای با احتمال وقوع بالا نسبت به زلزله طرح)

در اکثر آیین‌نامه ها بسیار کم از واژه های گسیختگی (فروریزش) و خسارت استفاده می‌شود در حالی که بیشتر از واژه‌های حدود نهایی و خدمت‌دهی استفاده شده است. از آنجا که میزان بهره برداری و استفاده از سازه ها متناسب با میزان خسارت‌های ایجاد شده در آنهاست، لازم است که برای تعیین سطح عملکرد سازه-ها، میزان خسارت روی داده در اعضای سازه برآورد شود. برای کمی کردن معیارهای عملکرد لرزه‌ای، ضروری است که خسارت سازه به صورت کمی بیان شود، به این ترتیب که بیشترین درجه خسارتی که سازه می‌تواند بپذیرد، مشخص شود.

در ارزیابی و طراحی بر اساس عملکرد، معمولا چند سطح عملکرد سازه‌ای مدنظر هستند. یک سطح عملکرد، در واقع یک حالت از رفتار ساختمان به هنگام یک زلزله با شدت مشخص می‌باشد. در ادبیات علمی مربوط به طراحی بر اساس عملکرد ساختمان‌ها، سه سطح عملکرد تعریف شده‌اند که سطوح قابلیت استفاده بی وقفه (IO)، ایمنی جانی(LS) و آستانه فروریزش (CP) نامیده می‌شوند و هر کدام مشخصه‌های خاص خود را دارند.

۱-۴-۱ سطح عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه (***Immediate Occupancy Performance*** ***Level-IO***)

در سطح عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه خرابی های ایجاد شده در سازه محدود است و سختی سازه زیاد تغییر نمی‌کند و استفاده بی‌وقفه از آن ممکن خواهد بود، بنابراین تغییر شکل ماندگار و ترک خوردگی در اعضا ایجاد نمی‌شود. در مجموع می توان گفت در این سطح عملکرد، خسارت کلی ساختمان کم است.

۱-۴-۲ سطح عملکرد ایمنی جانی (*Life Safety Performance Level-LS*)

در سطح عملکرد ایمنی جانی ساختمان دچار خرابی‌های قابل توجه می شود و سختی سازه به مقدار چشمگیری کاهش می‌یابد، ولی به هر حال در این حالت حاشیه ایمنی قابل توجهی برای جلوگیری از فروریزش سازه وجود دارد. در مجموع می‌توان گفت در این سطح عملکرد خسارت کلی ساختمان متوسط است.

۱-۴-۳ سطح عملکرد آستانه فروریزش (*Collapse Perevention Performance Level-CP*)

در سطح عملکرد آستانه فروریزش ساختمان دچار خرابی‌های گسترده و فراوانی می شود. اگر سازه دچار تغییرمکان‌هایی بیش از این حد شود، سازه ناپایدار شده و فرو می‌ریزد. در مجموع می‌توان گفت در این سطح عملکرد خسارت کل ساختمان شدید است.

در استانداردها و آیین‌نامه‌های مبتنی بر عملکرد (*ASCE-41، 2006*) سطوح عملکرد برای اجزای سازه‌ای و غیرسازه به صورت جداگانه تعریف شده و سطح عملکرد سازه به صورت ترکیبی از سطح عملکرد اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای تعریف می‌شود. در این آیین‌نامه‌ها برای تعیین سطح عملکرد اعضا از میزان دوران در مفاصل خمیری استفاده می‌شود.

فصل ۲

تاریخچه مطالعات

۲-۱ ارزیابی خسارت

«کاپوس» (*Kappos*) و همکاران (*1996*) شاخص خسارت پارک- انگ را مورد بررسی قرار دادند. آنها روی سهم دو قسمت شاخص خسارت مطالعه ی بیشتری انجام دادند و دریافتند که سهم خسارت های ناشی از استهلاک انرژی کمتر در نظر گرفته شده و لازم است آزمایش های چرخه ای بیشتری برای ارزیابی آن صورت گیرد.

«اس کی جربیک» (*Skjaerbaek P.S.*) و همکاران (*1996*) روش جدیدی را برای بررسی تمرکز خسارت و اندازه گیری آن در قاب های بتن مسلح تحت اثر زلزله ارائه نمودند. در این روش حداقل به یک اندازه گیری پاسخ در سازه و شتاب طبقه بندی خسارت نیاز بود، بنابراین با بازرسی چشمی و نیز با آزمایش های آماری مقایسه گردید و نتیجه‌گیری شد که خصوصا در حالتی که خسارت در یک تراز معین از سازه متمرکز می گردد با استفاده از روش پیشنهادی، ارزیابی مناسبی از خسارت به دست می‌دهد.

«ویلیامز» (*Williams M.S.*) و همکاران (*1997*) مطالعاتی در مورد شاخص خسارت لرزه ای برای اعضای بتنی بارگذاری شده در ترکیب برش و خمش انجام دادند. آنها هشت شاخص خسارت محلی را به عنوان شاخص‌های خسارت لرزه ای در نظر گرفتند که یکی از آنها شاخص خسارت پارک- انگ بود. این شاخص‌ها قبلا با در نظر گرفتن رفتار خمشی تعریف گردیده و یا در یک مقطع بر حسب لنگر و انحنا بیان شده بودند. پس برای به کار بردن آنها در آزمایش هایی که برش حکم فرما بود، تعریف دوباره آنها بر حسب نیرو و جابجایی لازم دیده می شود. در نهایت نتیجه حاصله عبارت است از روابطی که بر مبنای تغییر شکل هستند و در آنها تعداد چرخه‌های بارگذاری دخیل نیست و ترازهای مختلف خسارت را دقیق تر از روابطی که به علت در نظر گرفتن چرخه های بارگذاری به ظاهر دارای دقت هستند، مشخص گردید.

«سندی» (*Sandi H.*) و «واکارینو» (*Vacareanu R.*) (*1998*) با مطالعه و تحلیل آماری زلزله‌های با شدت مختلف کشور رومانی و بدست آوردن دوره بازگشت آنها اهمیت تحلیل آسیب را بررسی نمودند. مطالعه‌ی آنها بر روی تعدادی قاب دو دهانه با تعداد طبقات مختلف بر اساس فرضیات سه خطی بودن همراه با کاهش سختی و زوال مقاومت و با استفاده از شاخص پارک- انگ صورت گرفت. با مقایسه شاخص خسارت بدست آمده، حالات مختلف خسارت و نیز تغییر مکان تراز بام و نسبت بیشینه تغییرمکان نسبی طبقات بررسی شد.

در سال ۱۹۹۷ «قبارا» (*Ghobarah A.*) و «العطار» (*EI-Attar M.*) رفتار سازه ای ساختمان های بتن مسلح موجود که تنها برای بارهای ثقلی طراحی شده بود را با ساختمان های طراحی شده بر اساس بارهای ثقلی و جانبی مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که ساختمان های طراحی شده بر اساس بارهای ثقلی، به علت ناکافی بودن طول وصله پوششی ، ظرفیت برشی ستون (عدم محصور شدگی و جزئیات ضعیف آرماتورگذاری)، اتصالات ضعیف (ظرفیت برشی محدود و ناکافی بودن آرماتورهای عرضی) و عدم وجود

ظرفیت دورانی در انتهای تیرها (کافی نبودن مهار آرماتورهای مثبت) رفتار ضعیفی از خود نشان می دهند. این مطالعات با استفاده از شاخص پارک- انگ انجام شده است.

«کروز» (*M. F. Cruz*) و همکاران (*2004*) بر اساس شاخص خسارت پارک- انگ یک روش طراحی بر اساس عملکرد معرفی کرده که در نهایت به طرحی کامل اقتصادی منجر خواهد شد. در این روش از شاخص خسارت به عنوان ملاک طراحی استفاده شده است و بر اساس آن سازه برای زلزله متوسط و شدید طراحی می شوند.

«جیانگ» (*H. J. Jiang*) و همکاران (*2011*) شاخص خسارت پارک- انگ را در نقطه ی گسیختگی مورد بررسی قرار داده اند و به این نتیجه رسیدند که مقادیر بدست آمده در اعضای نزدیک به گسیختگی دارای پراکندگی زیادی است. برای این منظور رابطه ی اصلاحی برای این شاخص تعریف کرده اند.

۲-۲ فعالیت های انجام شده در ایران

در ایران پس از زلزله رودبار-منجیل ارزیابی خسارت ساختمان ها و بررسی روش های مقاوم سازی به طور جدی مورد مطالعه قرار گرفت. به عنوان نمونه می توان به تهیه شناسنامه ساختمان‌ها در مرکز مقابله با سوانح طبیعی ایران اشاره کرد که در راستای ارزیابی خسارت ساختمان‌ها و روش‌های مقاوم سازی آنها ارائه گردیده است.

«شایانفر» و «انگوتی» (۱۳۸۰) شش قاب بتن مسلح که برای بارهای ثقلی طراحی شده و فاقد مقاومت لرزه‌ای لازم بودند را تحت اثر زلزله طبس، ناغان و منجیل در برنامه *IDARC-2D* تحلیل و بررسی کردند. نتیجه نشان داد که این سازه ها دارای ضعف شدید در برابر زلزله بودند و تغییر مکان جانبی زیاد و آسیب-دیدگی شدید ستون‌ها در همه آنها مشاهده می‌شد و احتمالا قادر به تحمل زلزله‌های محتمل در بسیاری از شهرهای ایران نبودند.

«عباس نیا» و «برقی» (۱۳۸۳) شاخص خسارت پارک- انگ را برای ارزیابی خسارت ستونها مورد بررسی قرار دادند. آنها تعداد ۲۵ ستون بتنی را تا نقطه‌ی انهدام بارگذاری کرده و شاخص خسارت تحلیلی و آزمایشگاهی آنها را محاسبه کردند. در این مطالعات رابطه میان شاخص‌های بدست آمده مورد بررسی قرار گرفته است.

«تابش پور» (*Tabeshpour M.R.*) و همکاران (*2004*) نحوه توزیع خسارت در میان اعضا را در شاخص خسارت پارک- انگ مورد بررسی بیشتر قرار داده و ضرایبی را برای اصلاح توزیع خسارت اعضا در رابطه پارک- انگ ارائه دادند.

«ارجمندی» (*Arjomandi*) و همکاران (*2009*) برای سطوح عملکرد آیین نامه ***FEMA-356*** (*2000*) شاخصی تعریف کرده و ارتباط میان این شاخص سطوح عملکرد و شاخص های خسارت موجود از جمله شاخص پارک- انگ را بررسی کرده و روابطی برای ارتباط میان آنها ارائه داده اند.

«رجبی» و «برقی» (۱۳۹۰) شاخص اصلاح شده پارک- انگ را برای ستونهای بتن مسلح ارزیابی کردند. در این مطالعات ضریب β این شاخص مورد بررسی قرار گرفته و آشکار شد که دارای پراکندگی زیادی می باشد. بنابراین آنها بر اساس نتایج آزمایشگاهی خود رابطه ی اصلاحی را برای ضریب β ارائه نمودند.

«حبیبی» و «امیدوار» (۱۳۹۱) چند سازه ی قابی را با تحلیل های بارافزون مورد بررسی قرار داده و توزیع خسارت را در این قاب ها مطالعه کردند. آنها رابطه میان شاخص خسارت پارک- انگ و میزان تغییرمکان نسبی ایجاد شده در قابها را مورد بررسی قرار دادند.

«حبیبی» (*Habibi A.R.*) و «ایزدپناه» (*Izadpanah M.*) (*2012*) با استفاده از شاخص خسارت پارک- انگ، یک روش طراحی بر اساس عملکرد بیان کردند که علاوه بر کنترل خسارت، طرحی کاملا اقتصادی به دست می‌دهد. آنها شاخص خسارتی بر اساس انرژی معرفی کرده و آن را بر اساس شاخص پارک- انگ سنجیده‌اند و در نهایت از این شاخص برای طراحی بر اساس عملکرد استفاده نمودند.

۲-۳ طبقه بندی خسارت

در مورد روش های استفاده شده توسط مهندسین برای طبقه بندی خسارت لرزه ای اطلاعات زیادی منتشر نشده است. در کشور یونان ساختمان ها پس از زلزله با رنگ های مختلف مشخص می شود:

- رنگ قرمز: به معنی آن است که سازه غیر ایمن است و دارای پتانسیل ریزش ناگهانی می باشد. خسارات عمده سازه و ریزش های جزئی در آن رخ داده است. ورود به ساختمان (جز مقامات مسئول) ممنوع می باشد. ساختمان های مجاور باید محافظت شوند. این بیان لزوما به معنای تخریب نیست.
- رنگ زرد: به معنای آن است که ظرفیت لرزه‌ای اولیه ساختمان کاهش یافته است و خطر ریزش در اثر پس زلزله وجود دارد. خسارت متوسط تا سنگین به صورت محلی به آن وارد شده است. ورود به داخل ساختمان به شکل محدود امکان‌پذیر می باشد.
- رنگ سبز: به معنای آن است که ظرفیت اولیه ساختمان کاهش زیادی نیافته است. خسارت سازه-ای یا وجود ندارد یا به شکل بسیار جزئی است. خسارت غیر سازه‌ای اندک می باشد. ورود و استفاده از ساختمان مجاز است.

مطالعات زیادی برای ارتباط دادن شاخص خسارت با خسارت مشاهده شده در سازه با استفاده از یک طبقه‌بندی ساده و مبنای نشانه های ظاهری خسارت انجام شده است. به عنوان مثال *Park* و همکاران (*1987*) از طبقه بندی زیر استفاده کرده اند :

- بودن خسارت : ترک‌خوردگی جزئی و متمرکز در بدترین حالت
- خسارت جزئی : ترک‌خوردگی جزئی که در سراسر سازه به چشم می خورد.
- خسارت متوسط : ترک‌خوردگی شدید و پکیدن بتن به صورت متمرکز
- خسارت شدید : خرد شدن بتن و بیرون زدگی آرماتورها

بدیهی است که به کار بردن چنین طبقه‌بندی هم در مطالعات آزمایشگاهی و هم در بازرسی‌های پس از زلزله بسیار ساده است. هر چند اگر این طبقه بندی به طور مشخص‌تر تعریف می شد، سودمندتر بود. برای مثال مشخص نیست که ترک‌خوردگی شدید معرف چه اندازه ای از ترک است. به علاوه ممکن است نوع ترک‌خوردگی (خمشی، برشی، شکاف خوردگی چسبندگی و...) برای بیان خسارت، مهم‌تر از مقدار ترک-خوردگی، پراکندگی و اندازه آنها باشد.

موسسه تحقیقاتی اوکلند آمریکا *EERI* (۱۹۹۷)، از طبقه بندی استفاده می کند که آسیب غیر سازه‌ای، مدت زمان احتمالی فقدان در عملکرد و خطر تلفات ساکنین ساختمان را در نظر می گیرد :

A. بدون خسارت
B. خسارت جزئی- خسارت کم به اجزای غیر سازه ای، ساختمان در مدت کمتر از یک هفته بازگشایی می شود.
C. خسارت متوسط-عمدتا خسارت غیر سازه‌ای، خسارت سازه ای کم و یا وجود ندارد، ساختمان تا مدت سه ماه غیر قابل سکونت خواهد بود، خطر تلفات جانی پایین.
D. خسارت شدید- خسارت سازه‌ای گسترده، ساختمان برای مدت طولانی غیر قابل سکونت است و احتمالا نیازمند تخریب کامل می‌باشد، خطر تلفات جانی بالاست.
E. خسارت کامل- فروریزش و یا خسارت بسیار شدید غیر قابل مرمت، خطر تلفات جانی بسیار بالا.

به منظور لحاظ کردن خسارت برش «ویلیامز» (*Williams M.S.*) و همکاران (*1997*) اصلاحاتی روی طبقه بندی فوق انجام دادند که در جدول ۲-۱ مشاهده می شود.

طبقه بندی خسارت	**خسارت مشاهده شده**	**نتایج احتمالی**
بدون خسارت	بودن ترک یا تعداد محدودی ترک خمشی(۹۰درجه) یا برشی (۴۵ درجه)	هیچ منعی در بهره برداری از سازه وجود ندارد و تعمیر لازم نیست.

خسارت کم	ترک جزئی همه جا پراکنده و یا وجود تعداد کمی ترک با عرض بیش از یک میلیمتر یا ترک های برشی جزئی کهد امتداد آنها به زاویه ۳۰ درجه ختم می شود.	وجود اشکالاتی جزئی در بهره برداری از سازه، نیاز به تعمیرات کم برای بازگرداندن مقاومت سازه و مقاومت طراحی
خسارت متوسط	ترک مهم از قبیل ترک های با امتداد ۹۰ درجه با عرض بیش از دو میلیمتر، ترک های با امتداد ۴۵ درجه با عرض بیشتر از دو میلیمتر و ترک های با امتداد ۳۰ درجه با عرض بیش از یک میلیمتر	استفاده از سازه به مدت چند هفته متوقف می شود تا تعمیرات اساسی در آن صورت گیرد.
خسارت شدید	ترک های خمشی یا برشی خیلی بزرگ معمولا همراه با جدا شدن پوشش بتن	خسارت وارده غیر قابل تعمیر است و سازه باید منهدم شود.
فروریزش	ترک های خیلی شدید و پوسته شدن بتن، کمانش، پیچ خوردگی و گسیختگی آرماتورها	کل سازه و یا قسمتی از آن فرو می ریزد.

جدول ۲-۱ طبقه بندی خسارت

۲-۴ طبقه بندی روش های ارزیابی خسارت

محققین برای ارزیابی خسارت سازه های موجود روش های گوناگونی را پیشنهاد کرده اند. این روش‌ها به طور کلی به سه دسته آماری، روش های آزمایشگاهی و روش های تحلیلی-عددی تقسیم می شوند. از روش‌های آماری در همه ی موارد نمی‌توان استفاده کرد و روش های آزمایشگاهی نیز در مقیاس گسترده بسیار گران تمام می شود. کاربرد روش های فوق بیشتر برای سنجیدن نتایج حاصل از روش های تحلیل عددی است.

طبقه بندی که برای روش های ارزیابی خسارت بیان شده است به صورت زیر است :

۱. روش های کیفی(تقریبی-سریع)

۲. روش های کمی(دقیق)

۲-۴-۱ روش های کیفی

این روش‌ها نسبت به روش‌های دیگر روش‌های سریعتری هستند و برای مطالعات آماری برآورد خسارت ساختمان‌ها در مقیاس وسیع مناسب هستند. در این روش با توجه به شرایط لرزه‌خیزی و ساختمان‌سازی منطقه و بر اساس تجربیات بدست آمده از زلزله های گذشته برای جمع آوری اطلاعات فرم‌های ویژه‌ای تهیه می شود و توسط بازرسان اعزامی به محل، اطلاعات سازه ای جمع آوری می شود. این اطلاعات به صورت