نگرشی نو بر طراحی لرزه ای ساختمانها

دکتر سید بهرام بهشتی اول*، عضو هیئت علمی دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

دکتر مصطفی برقی**، عضو هیئت علمی دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

*تلفن:۸۱۹۸۱۹۳۱-۰۲۱ ، نمابر: ۲۲۹۰۸۵۹۱-۰۲۱ پست الکترونیکی: beheshti@kntu.ac.ir

چکیده: در آینده نزدیک آیین نامه های زلزله دستخوش تغییرات اساسی خواهند شد. این آیین نامه ها نه تنها قابل کاربرد برای ساختمانهای جدید می باشد بلکه جهت کنترل کفایت لرزه ای ساختمانهای موجود نیز بر اساس روشهای مشابهی استفاده خواهند شد. عملکردهای جدید برخلاف اهداف عملکردی فعلی قابل درک و انتخاب برای کارفرمایان که اطلاعات ناچیزی از مهندسی زلزله دارند، خواهند بود. این اهداف شامل ریسکهای مربوط به فقدان مالی، جانی و مدت زمان عدم بهره برداری ساختمان بعد از وقوع زلزله می باشند. مشکل تضمین عملکرد ساختمان تحت اثر زلزله که روشهای فعلی قادر به پوشش آن نمی باشند حل شده و لذا موسسات بیمه می توانند بر اساس میزان احتمال و اطمینان ریسکهای مربوطه نسبت به بیمه ساختمانهای جدید و موجود اقدام نمایند. توابع تهیه شده که شامل توابع خطر زلزله، پاسخ سازه، شکنندگی و فقدان می باشند، می باید توسط اولیاء مسئول برای هر کشوری تهیه گردند. لذا بر خلاف آیین نامه های گذشته نمی توان با تغییرات جزئی قابل کاربرد برای دیگر کشورها باشند. بدین جهت لازم است مسئولان ذیربط چون سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، وزارت مسکن و شهرسازی و سازمان نظام مهندسی کشور به عنوان متولیان با کمک دانشگاهها و مراکز تحقیقاتی، مهندسین مشاور و پیمانکارهای اجرایی کشورمان از هم اکنون نسبت به تهیه چنین توابعی که بر گرفته از تاریخچه زلزله های گذشته و فرهنگ و تکنولوژی بومی ساختمان سازی است، اقدام نمایند.

۱- مقدمه

فرآیند عملکردی فعلی که در دستورالعمل بهسازی ساختمانهای موجود کشورمان مورد استفاده قرار گرفته است، به علل ذیل نمی تواند پاسخ مناسبی به نیاز فعلی جامعه مهندسی باشد.

۱- در حالیکه واکنشهای سازه و میزان نیاز از رفتار کل سازه حاصل می گردد، عملکرد کل ساختمان با عدم کفایت حتی یک المان در محدوده مورد دلخواه زیر سئوال می رود. این المان ممکن است در مقاومت لرزه ای کل ساختمان تاثیر زیادی نداشته باشد.

۲- اغلب معیارهای قبولی در مدارک که توسط مهندسین جهت ارزیابی تائید عملکرد سازه استفاده می گردد، بر اساس تصمیم گیریها و نظرات جمعی بجای نتایج آزمایشگاهی یا مشاهدات مستقیم می باشد. این امر سبب عدم اعتبار روش می شود.

۳- بسیاری از مهندسین سازه معتقدند که دستورالعملها نسبت به معیارهای پیشگویانه بسیار محافظه کارانه می باشند. تاکنون قابلیت اطمینان و توانایی آنها در رسیدن به عملکرد دلخواه مورد تائید قطعی قرار نگرفته است.

۴- سطوح عملکرد دستورالعمل بهسازی بطور مشخص نگرانیهای صاحبان سرمایه را بجهت برآورد هزینه تعمیر احتمالی و مدت زمان وقفه در خدمت رسانی در اثر آسیب های حاصل از زلزله رفع نکرده است.

۵- هر دو توزیع نیرو و جابجایی هدف در فرآیند عملکرد بر اساس فرض آنکه واکنش توسط مود اصلی که در طول تغییر شکلهای غیر ارتجاعی نیز تغییر نمیکند، محاسبه میگردند. این فرضیات با تئوری دینامیک سازه ها سازگاری ندارد.

۶- فرآیند ارزیابی المانهای غیر سازه ای تقریباً به ملاحظات پایداری اتصالات آنها به سازه اصلی محدود میگردد. بدین جهت در این روش آسیب پذیری و عملکرد پس زلزله این اعضاء و سیستمهای در برگیرنده این مولفه ها مشخص نمی شود. از آنجا که میتوان ادعا نمود که بیشتر خرابی های تجربه شده در ساختمانها در زلزله های گذشته میتواند به عملکرد این اعضا غیر سازه ای و مجموعه سیستم در بر گیرنده آنها مربوط می باشد، لذا نحوه نگرش به آسیب پذیری این المانها نقطه ضعف روش فوق محسوب می گردد.

۷- فرآیند مهندسی پایه بر اساس روش طراحی عملکردی ممکن است این شائبه را برای تعدادی کارفرمایان ایجاد نماید که اولیا امور طراحی می توانند قابلیت عملکرد سازه را تضمین نمایند. باید دانست که با توجه به عدم قطعیت موجود در ورودی فرآیند یعنی شدت خطر زلزله و مشخصات مصالح و دقت روشهای تحلیلی چنین امری ممکن نیست.

۸- اهداف عملکردی و سطوح خطر زلزله بر اساس توصیف مجزا آنها معرفی می شوند. در حالیکه بسنده است این عملکرد و سطوح خطر به جهت پوشش مناسب مقادیر مختلف بر اساس پارامترهای پیوسته بیان شوند. بسیاری از مهندسین دست اندرکار مقاوم سازی معتقدند فاصله عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه و ایمنی جانی زیاد بوده و لازم است اهداف عملکردی بینا بین وجود داشته باشد.

۹- در حالیکه ارزیابی عملکرد کاملاً تعینی(تحلیلی) می باشد، ورودی فرآیند یعنی شدت حرکت زمین کاملاً یک مقدار احتمالاتی است. بدین جهت عدم تلفیق آنها به همراه نادیده گرفتن مواردی که سبب عدم قطعیت می گردند کاربرد ارزیابی عملکرد را بر پایه قابلیت اطمینان، اجتناب ناپذیر گردانیده است.

۱۰- اهداف عملکردی نمی تواند توسط افراد غیر مسلط به مباحث فوق مشخص و انتخاب گردد.

۱۱- عدم قطعیت در مدل مشخصات مکانیکی اعضا سازه و معیار قبولی آنها برای سطوح مختلف عملکرد نادیده گرفته شده است.

لذا لازم است با تغییر روشها و اهداف عملکردی نقاط ضعف فوق را تا حد ممکن مرتفع نمود. احتمالاً بیشتر مهندسین عمران با این سئوال بعد از وقوع هر زلزله مخرب در گوشه کنار ایران مواجه شده اند که "آیا ساختمان ما قادر است در برابر زلزله آتی مقاومت نماید یا خیر؟" یک محاسب ممکن است بر اساس روند کنترل آیین نامه ای پس از انجام محاسبات مربوطه جواب منفی به صاحب بنا بدهد. بدنبال آن ممکن است صاحب ابنیه پرسش دیگری بدین شکل مطرح نماید که

"چه بر سر بناء بعد از وقوع زلزله می آید؟" مهندس محاسب بر اساس آیین نامه های زلزله ممکن است سه نوع آسیب جزئی، شدید و خرابی کلی را تشخیص دهد. صاحب بنا با این جوابهای کلی نمی تواند تصمیم درستی در ارتباط با تقویت بناء خود بگیرد، لذا مجدداً درخواست توضیح بیشتری از مهندس می نماید. مهندس محاسب می تواند با عدد و رقم جوابگوی او باشد، یعنی مثلا بگوید در اثر این تخریب، این تعداد تلفات دارد و مثلاً ساختمان برای ۶ ماه قابل استفاده نخواهد بود و تعمیرات ساختمان تخریب شده حدود۴۰٪ قیمت ساختمان هزینه در بر دارد. صاحب ملک با این پاسخ می تواند تصویری از فقدان های حاصل از زلزله در ذهن خود تصور نماید. این فقدانها ممکن است برای او مورد قبول نباشد لذا سئوال دیگری که ممکن است از مهندس بپرسد آن است که چه کاری میتوان جهت ممانعت از این فقدانها انجام داد. آنگاه اگر مهندس بتواند اطلاعات مندرج در جدول (۱) را در اختیار او قرار دهد، وی می تواند با مقایسه هزینه مقاوم سازی، تعداد تلفات احتمالی، مدت زمان عدم خدمت رسانی و هزینه تعمیر در صورت آسیب به بناء مقاوم شده بعد از وقوع زلزله، تصمیم مناسبی بر اساس مقایسه سود و زیان بگیرد.

جدول(۱) معیارهای بهسازی قابل فهم برای کارفرمایان

ردیف	هزینه مقاوم سازی (ریال)	تعداد تلفات احتمالی	مدت زمان عدم خدمت رسانی	هزینه تعمیر (ریال)
۱	۰	۱۰	۶ ماه	۱۶/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰
۲	۸۰۰/۰۰۰/۰۰۰	۰	۳ هفته	۱۲/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰
۳	۲/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰	۰	۶ هفته	۲/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰
۴	۴/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰	۰	۰	قابل صرفنظر کردن

کارفرمای مورد نظر بر اساس ذهنیات خود با توجه به اهمیتی که برای جان انسانها قائل است و توازن هزینه مقاوم سازی و نوسازی و تعمیر بعد از وقوع زلزله، ردیف سوم را برمی گزینند. باید به این نکته توجه کرد که هر یک از کارفرمایان، عملکرد لرزه ای را از دیدگاه های مختلف بررسی

نموده و براین اساس عملکرد مورد دلخواه خود را بر اساس فرآیندهای تصمیم گیری متفاوت انتخاب می نمایند. بسیاری از کارفرمایان با ذهنیت انتخاب فرآیند حداقل عملکرد مجاز که توسط مقررات موجود مجاز دانسته شده عملکرد مورد نظر خود را انتخاب می نمایند. دیگران ممکن است عملکرد مورد قبول را بر اساس ریسک ملاحظات خرابی و شدید ترین سناریو وقوع حادثه قابل پیش بینی بر گزینند. حتی ممکن است تعدادی عملکرد مورد نظر خود را بر اساس روش پر زحمت سود و زیان، یا منفعت قابل برگشت حاصل از انجام مطالعات آسیب پذیری انتخاب نمایند. انتخاب هر یک از اهداف بهسازی صرفنظر از فرآیندی که هر یک از کارفرمایان بر می گزینند باید بر اساس برآورد مناسبی از ریسک مربوط به انتخاب هر یک از آنها و محدودیت سرمایه گذاری لازم انجام شود.

۲- فرآیند آتی طراحی لرزه ای

فرآیند جدید طراحی لرزه ای بر اساس روش عملکردی که در حال توسعه و بسط می باشد، عملکرد را مستقیماً بر اساس جملاتی ار ریسک های با مقدار مشخص که قابل فهم توسط کارفرمایان می باشد، بیان خواهد نمود. این ریسکها بر اساس مقادیری از تلفات انسانی آتی، هزینه تعمیرات بنا و تجهیزات، مدت زمان عدم بهره برداری بنا جهت انجام تعمیرات پس از آسیب زلزله که نتیجه ای از تصمیمات موخذه است، تعریف می گردند [شکل(۱)] .

شکل(۱) سه معیار تصمیم گیری قابل فهم برای صاحبان سرمایه

ریسکهای مورد نظر ممکن است در اشکال مختلفی بیان گردند:

۱- فقدانهای شرطی (Conditional Losses):

مقدار احتمالی فقدان (تلفات، پول، زمان)که توسط شدت مشخص حرکت زمین تجربه شده اند(مثل شدت ۷ مرکالی یا شتاب زمین حداکثر PGA= ۰/۴ g).

۲- فقدانهای به شکل سناریو (Scenario Losses):

فقدان مورد انتظار بر اساس یک زلزله مشخص (مثلا بزرگی M6.7 در یک گسل مشخص).

۳- فقدانهای احتمالاتی (Parabolistic Losses):

متوسط فقدان سالانه که شامل همه زلزله های ممکن و احتمال وقوع هر کدام و یا احتمال تجربه یک فقدان با اندازه ای بزرگتر از یک مقدار مشخص.

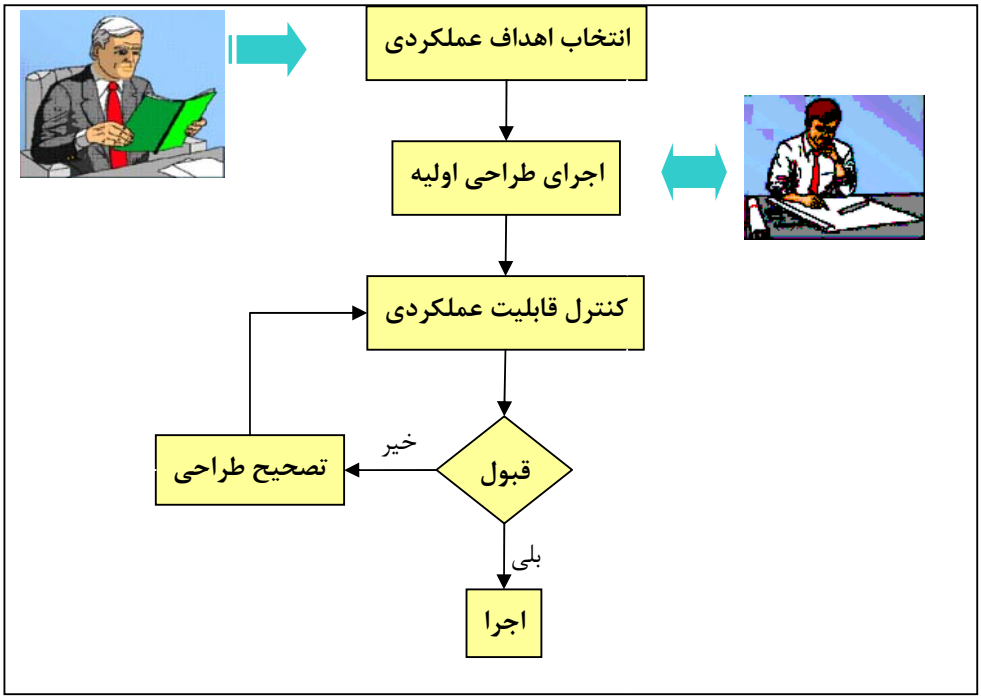
جهت کمک و راهنمایی و هدایت صاحبان سرمایه در انتخاب سطح ریسک مناسب، مدارک راهنمای لازم آماده خواهد گردید. به موازات آن دستورالعملهای لازم مهندسی نیز برای کمک به طراحان، جهت طراحی ابنیه که علاوه بر اعتبار لازم قادر به برآورده نمودن معیارهای ریسک باشد، تهیه خواهد شد. شکل (۲) فرآیند تعمیم طراحی عملکردی را به روش اخیر نشان می دهد.

در سپتامبر ۲۰۰۱ میلادی، ATC تحت قراردادی با FEMA وارد پروژه ای طولانی مدت گشته است که نسل جدیدی از روش طراحی بر اساس عملکردی را تهیه و منتشر نماید. نسل جدید روش عملکردی شامل بسط و توسعه فرآیند عملکردی است که اجازه خواهد داد تا مهندسین بر اساس همان عباراتی که توسط کارفرمایان یا صاحبان سرمایه قابل فهم باشد، به طراحی ساختمانهای جدید و یا مقاوم سازی ساختمانهای موجود بپردازند. فرآیند آتی شامل موارد ذیل است.

۱- ارائه قوانین و روشهای مدل سازی و محاسبه واکنش سازه ها تحت زلزله های با شدت های مختلف .

۲- برآورد شدت خرابی متحمل شده توسط اجزاء مکانیکی، برقی، معماری و یا سیستمهای متصل به سازه بر اساس تنشها و تغییر شکلهای محاسباتی.

۳- ارائه فرآیند لازم جهت تبدیل آسیب محاسبه شده به میزان فقدان. بطور مثال عرض ترک را به اندازه ای از فقدان احتمالی، شامل هزینه تعمیر، مدت زمان توقف بهره برداری و یا تلفات وارده مربوط سازد.



شکل (۲) فرآیند روش عملکردی تعمیم یافته

با در نظر گرفتن احتمال وقوع شدتهای مختلف زلزله، محدوده ای از واکنش ساختمان در هر سطح از شدت محاسبه شده و آسیبهای احتمالی و متعاقباً فقدانهای حاصل از آسیب فوق برآورد می گردد. بدین منوال مهندسین قادرند تا پتانسیل فقدان را برای ساختمانهای موجود و یا جدید به جملات و عبارات یکسانی که توسط تصمیم گیرندگان جهت ارزیابی و مشخص نمودن ریسک لرزه ای قابل فهم است، بیان نمایند.

این فرآیندها بگونه ای مرتب می گردند که نتنها روش عملکردی اصلاح شده، قابل کاربرد در ساختمانهای جدید می باشند بلکه قابل استفاده برای ترفیع ساختمانهای موجود نیز باشند. پیش بینی عملکرد محتمل یک ساختمان در زلزله آتی تحت اثر بسیاری از عدم قطعیتها است، بطوریکه نه مکان و نه مقدار زلزله های آتی مشخص و معلوم می باشند. حتی اگر دانش زلزله شناسی نیز قادر به برآورد دقیق مقادیر فوق باشد، در حال حاضر قادر به پیش بینی مشخصات حرکت زمین که در یک ساختگاه مشخص اتفاق می افتد ،نیستیم. متشابهاً مدلهای ریاضی ساختمان نیز که عملکرد را تحت لرزش زمین شبیه سازی می نمایند، قادر به نمایش پاسخ دقیق ساختمان و یا خسارات حاصله نمی باشند. لذا هر تخمینی از عملکرد آتی که به شکل فوق توصیف گردد ممکن است در محدوده حد بالا و یا پایین ریسک واقعی قرار گیرد. لذا مهم است که بتوانیم میزان عدم قطعیت مربوط به ارزیابیهای عملکرد را به مقدار تبدیل نماییم. با این عمل هم تصمیم گیرندگان می توانند کیفیت اطلاعاتی را که تصمیم بر اساس آن اتخاذ شده است دریافت نمایند، هم مهندسان لازم نیست عملکرد سازه طراحی شده را مطابق عملکرد مورد انتظار تضمین نمایند. در ادامه عدم قطعیتهایی که در برآورد ظرفیت بنا مورد توجه می باشد را بیشتر مورد بحث قرار می دهیم.

همانطور که در قسمت دوم این مقاله عنوان گردید، در گذشته وقتی از ظرفیت سازه صحبت می گردید، مقاومت سازه و اجزاء مربوطه در ذهن تداعی می شد. در حال حاضر طراحی ضد لرزه ای بر اساس تاکید بر ظرفیت تغییر شکل و اضمحلال انرژی است. با این وجود هنوز از ظرفیت مقاومت به صورت وسیع در یک طراحی لرزه ای استفاده می گردد. علت این امر آنستکه می توانیم ظرفیت مقاومت المانها را بخصوص وقتی رفتار عضو خمشی باشد را با دقت مناسب اندازه بگیریم. لازم به ذکر است که حتی برای برآورد ظرفیت مقاومت خمشی مهندسان با مشکلات ذیل مواجه می باشند.

- نقش دال در رفتار مرکب با تیر

- ظرفیت اتصالات، اثر تغییر شکلهای چشمه اتصال، مقاومت جوشها و کشیدگی به بیرون میلگردها
- اثر برش در اعضاء، رفتار اتصالات و دیوارهای سازه ای
- اعضاء با محدودیت شکل پذیری در ساختمانهای موجود.
- اعضاء غیر سازه ای، پوششها یا دیگر مولفه های معماری که ممکن است واقعاً مانند اعضاء سازه ای رفتار نمایند.

کدها و معادلات طراحی مشابه حد پایین محدوده ظرفیت می باشند. عدم سازگاری این معادلات حتی وقتی از روابط بسیار کارا جهت محاسبه ظرفیت استفاده شده باشد، سبب مشکل شدن محاسبه مد شکست یک سیستم می گردد. بطوریکه ممکن است شکست یک یا دو المان سبب شکست کل سیستم شود.

آزمایشهای مقاومت مصالح نیز منبع دیگر عدم قطعیتها هستند. آزمایشات اغلب در سطوح فرضی پایان می یابند، بطوریکه برای محاسبه مقاومت، بسیاری مواقع المانها تا سطح شکست بارگذاری نمی شوند. بطور مثال در سطح فرضی جابجایی نسبی یا شکل پذیری مشخص آزمایش قطع می گردد. همچنین در بعضی موارد کمانش جانبی، پوسته شدن پوشش بتن و کمانش موضعی که در بیان شرایط حدی مهم می باشند، ثبت نمی شوند. لذا بسیاری از روابط تجربی محاسبه مقاومت المانها، بدرستی ظرفیت آنها را نمایش نمی دهند. منبع دیگر عدم قطعیت در محاسبه ظرفیت، این واقعیت می باشد که هر دو ظرفیت مقاومت و تغییر شکل به تاریخچه (در سیکلهای کم خستگی) و سرعت بارگذاری حساس می باشند. لذا رفتار سازه تحت تاثیر پارامترهای تصادفی چون مشخصات مصالح، اضمحلال و کاهندگی و کیفیت ساخت می باشند.

پارامترهای منسوب به نیاز زلزله نیز دارای ماهیت تصادفی هستند. حرکات زلزله ذاتاً تصادفی می باشند و لذا در هر دو بحث تحریک و واکنش، عوامل تصادفی دخیل هستند.

چنانچه بخواهیم منابع عدم قطعیت را در طلب زلزله بر شماریم، می توان عوامل زیر را مد نظر قرار داد.

۱- زلزله شناسی: روشهای مورد استفاده در تخمین شدت و پریود برگشت زلزله.

۲- مشخصات حرکت زمین: طیف واکنش متناظر به یک حرکت زمین به شدت و مشخصات خاک داده شده وابسته هستند.

۳- مشخصات سازه ای: جرم، سختی، مقاومت، استهلاک، شرایط فونداسیون واقعی.

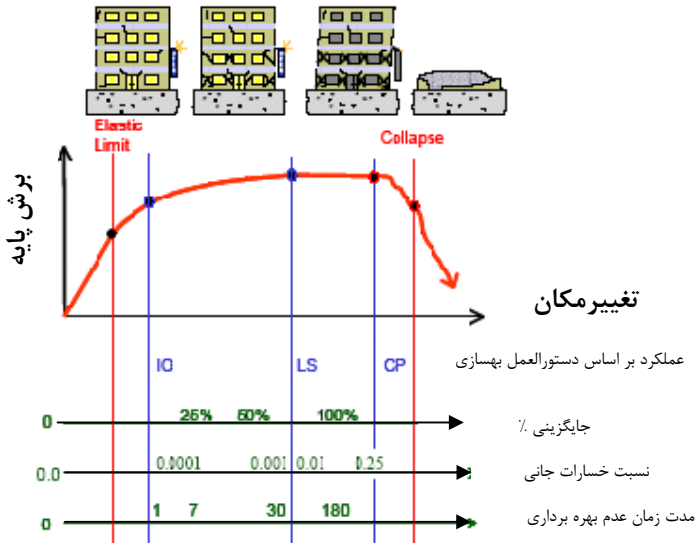
۴- مدل سازی

۵- روش تحلیل سازه ای: روش مورد استفاده برای حصول به رفتار واقعی (خطی یا غیر خطی، استاتیکی یا دینامیکی).

همه این منابع عدم قطعیت در محاسبه ظرفیت و نیاز نشان دهنده آن است که عدم قطعیتهای موجود در حرکات زلزله و مشخصات سازه ای به طریقی در محاسبه پاسخ باید مدنظر قرارگیرد تا تصمیم گیرندگان از اعتبار پاسخهای ارائه شده اطلاع کافی داشته باشند. تناقض موجود در محاسبه پاسخ سازه تحت زلزله را می توان چنین بیان نمود که وابستگی زمانی(پریود برگشت) شدت زلزله براساس یک تحلیل خطر احتمالی برآورد می شود، در حالیکه ارزیابی عملکرد با استفاده از مقدار متوسط ولی تقریبی طیف خطر زلزله و مقادیر اسمی مقاومت، سختی و ظرفیتهای تغییر شکل اعضاء سازه ای که کاملاً تحلیلی و تعینی است برآورد می گردد. عدم قطعیتهای مربوط به مشخصات اعضاء سازه ای نمی تواند مقادیر پاسخ را به سطح عملکرد مشخصی منسوب نماید، چراکه با آنکه طیف شتاب بر اساس فرآیند احتمالاتی بر اساس خطر معینی برآورد می شود، در ادامه کلیه محاسبات مهندسی و معیارهای قبولی تعینی می باشد. این فرآیند از دخالت عدم اطمینان بر ورودیهای فرآیند و در نتیجه برآورد عملکرد لرزه ای ممانعت به عمل می آورد. بدین ترتیب می توان چنین نتیجه گرفت که فرآیند فعلی که شامل تخمین حرکت زمین، برآورد واکنش و معیار قبولی عملکرد است،

نمی تواند روش احتمالی کاملی را برای ارزیابی عملکرد، چه بصورت گسسته و چه پیوسته تبیین نماید.

شکل(۳) روشهای مختلف انتخاب سطوح عملکرد مجزا را بر اساس روش عملکردی فعلی که در دستورالعمل بهسازی ایران معرفی شده اند و شکل پیوسته آن که در روش عملکردی آتی مدنظر قرار می گیرند را نشان می دهد. همانطورکه ملاحظه می شود عملکرد میتواند بر اساس جملاتی از متغیرهای پیوسته، چون درصد هزینه تعمیر، مدت اختلال در خدمت رسانی و نسبت تلفات بیان شود. مطابق بخش پایین شکل، مقدارهای معین و مشخصی از این متغیرها میتواند به سطوح عملکردی خاص منسوب شود. اما مهمترین مزیت این متغیرهای پیوسته آن است که آنها می توانند به شکل احتمالی تخمین زده شوند و مجبور نیستیم که بر اساس سطح عملکرد تعریف شده ای آنها را معرفی نمائیم.



شکل(۳) تعریف پیوسته و گسسته سطوح عملکرد

لذا اگر بخواهیم جمع بندی از بحثهای به عمل آمده داشته باشیم:

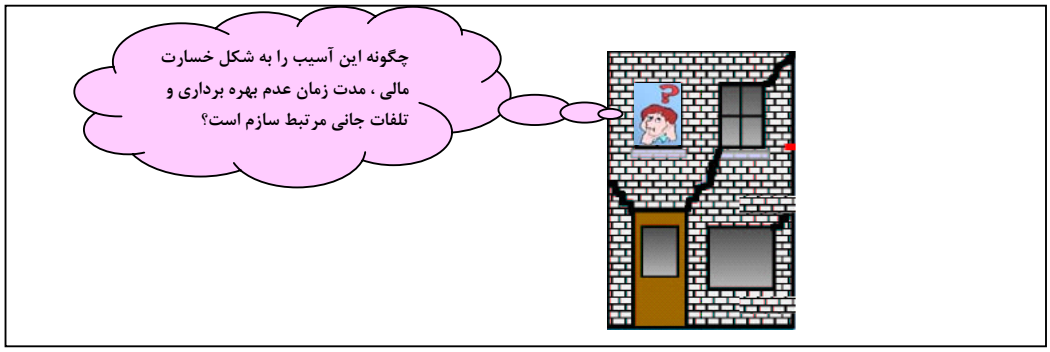
۱- در قدم اول لازم است که روشهای بیان عملکرد لرزه ای ساختمانها، با عباراتی که قابل فهم توسط کارفرمایان که تصمیم گیرندگان اصلی می باشند. یافت گردد. به موازات آن باید نسبت به بسط و توسعه یک ارزیابی عملکرد لرزه ای جامع اقدام نمود.

۲- بر اساس فرآیند فعلی روش عملکردی مهندسان هیچ ابزاری به جز اعمال نقطه نظرات خود در روند طراحی که بتواند عملکرد مورد دلخواه را برآورد نماید، ندارند. لذا جهت کارا شدن روش، لازم است طراحی اولیه به گونه ای انجام یابد تا نتیجه طرح به مشخصات عملکردی لازم همگرا گردد. بدین ترتیب مرحله دوم پروژه شامل تهیه دستورالعملهای لازم جهت طراحی و برآورده نمودن عملکرد دلخواه می باشد. جهت حصول به اهداف یاد شده می باید اقدامات ذیل مدنظر قرار گیرد.

- ارزیابی قابلیت عملکردی فرآیند کدهای موجود (که بدین جهت می باید عملکرد حاصل شده و تغییرات آن را نسبت به فرآیند موجود بررسی نماییم).
- معرفی سطح عملکرد و اهداف توصیه شده(اهداف عملکردی استاندارد بر اساس عبارات قابل فهم برای تصمیم گیرندگان بیان شود).
- ابداع روشهای جدید در توصیف ظرفیت و نیاز و تخمین فقدان بر اساس مفاهیم احتمالاتی.
- بسط و توسعه فرآیند تحلیلی معتبر که ارزیابی عملکرد طیف وسیعی از سیستمهای خاک و انواع فونداسیون و سیستمهای سازه ای و غیر سازه ای جدید و تجهیزات و ملحقات ساختمان را در تمام سطوح عملکرد، ممکن سازد.
- فرآیند طراحی کاربردی
- فرآیندی جدید برای روش پیشگویانه

مهمترین چالش پیش روی تنظیم کنندگان آیین نامه جدید طراحی لرزه ای جهت نیل به یک روش جامع و پایدار، تخمین میزان آسیب واقعی برای هر سطح عملکرد داده شده است. در مرحله

بعدی می باید بر اساس مقادیر آسیب فوق هزینه تعمیر و مدت زمان فقدان بهره برداری و تعداد تلفات را تخمین زد (شکل۴).



شکل(۴) رابطه آسیب با سه متغیر هزینه،زمان و تلفات

۲-۱- برآورد پارامترهای تصمیم گیری

فرآیند جدید روش عملکردی توسط پژوهشگران ATC در حال تدوین می باشد. شکل(۵) فرآیند ارزیابی فوق را نشان می دهد. معادله(۱) مدل ریاضی تخمین فقدان را بر حسب پارامترهای موثر لرزه ای ساختمان محاسبه می نماید.

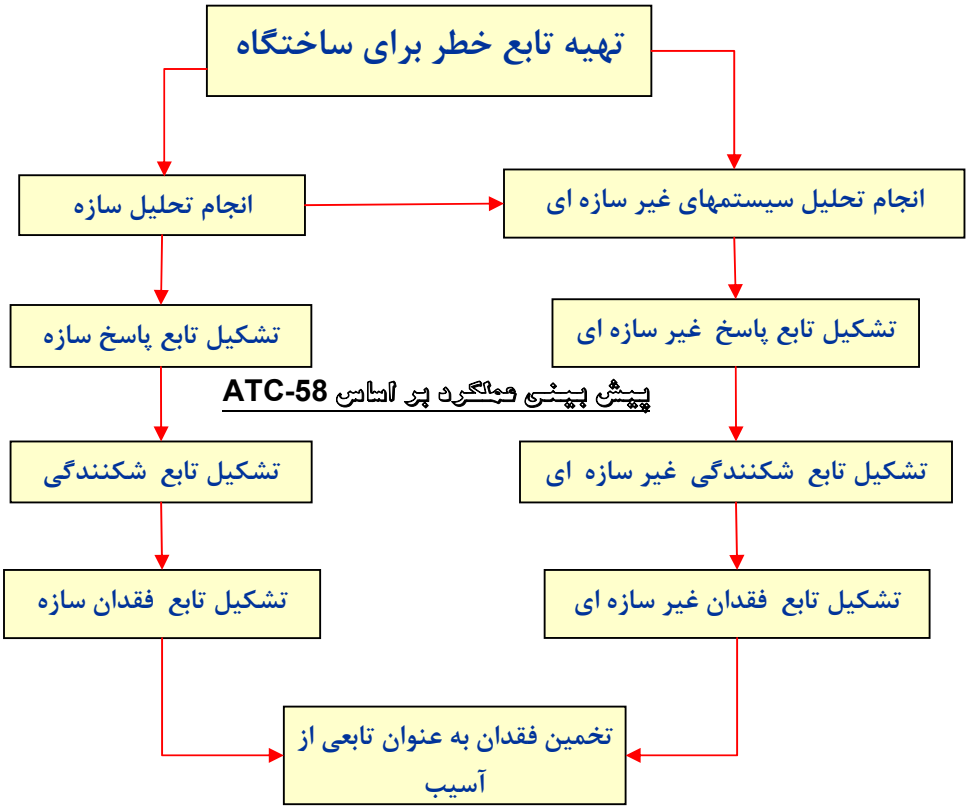
$$E[DV] = \iiint P(DV/DM)dP(DM/EDP)\,dP(EDP/IM)\,dP(IM) \qquad (۱)$$

فرآیند با تعیین مشخصات خطر سایت که شامل احتمال آنکه ساختمان سطوح مختلفی از حرکت زمین را تجربه نماید شروع می شود. این خطر میتواند توسط اندازه گیری شدت زمین (IM) مانند شتاب حداکثر زمین، شتاب طیفی طراحی یا جابجایی طیفی غیر خطی در مود اصلی ساختمان یا هر اندازه ای که نشان دهنده شدت فوق باشد بیان شود. البته انتخاب شدت فوق بسته به آن که ارزیابی چه قسمتی از ساختمان مورد توجه قرار گیرد، میتواند متفاوت باشد. بطور مثال چنانچه هدف پیش بینی خرابی اجزاء سازه ای باشد، واکنش طیفی طراحی (شتاب یا جابجایی طیفی در مود اول نوسان) بهترین انتخاب است. اما چنانچه هدف بررسی آسیب پذیری مولفه های غیر سازه

ای است، بیشینه شتاب حرکت زمین میتواند انتخاب مرجح باشد. P(IM) احتمال تجربه یک سطح از شدت که ممکن است در ساختگاه به وقوع به پیوندد، می باشد.EDP پارامتر نشان دهنده پاسخ سازه به حرکت زمین است. بطور مثال جابجایی نسبی طبقه را میتوان بعنوان پارامتر فوق در نظر گرفت. P(EDP/IM) نیز احتمال شرطی تجربه یک سطح از واکنش بر حسب سطح مشخص از حرکت زمین است.DM پارامتر نشان دهنده یک حالت خرابی مانند جدایش پوشش بتن، شکست اتصالات فولادی و یا هر نوع خرابی سازه ای است. P(DM/EDP) احتمال شرطی تجربه خرابی برای سطحی مشخص واکنش سازه ای EDP می باشد. DV نیز پارامتر تصمیم گیری که نشان دهنده فقدان بوده و بر اساس مقادیر خسارت مالی (هزینه ترمیم)، تلفات و مدت عدم بهره برداری ساختمان، بیان می شود. این پارامتر در واقع همان متغیری است که میزان مقاومت لرزه ای مورد نظر، بر اساس آنها تعیین می گردد.

P(DV/DM) احتمال شرطی تجربه یک مقدار مشخصی از فقدان بر حسب سطح مشخصی از خرابی DM را نشان می دهد.

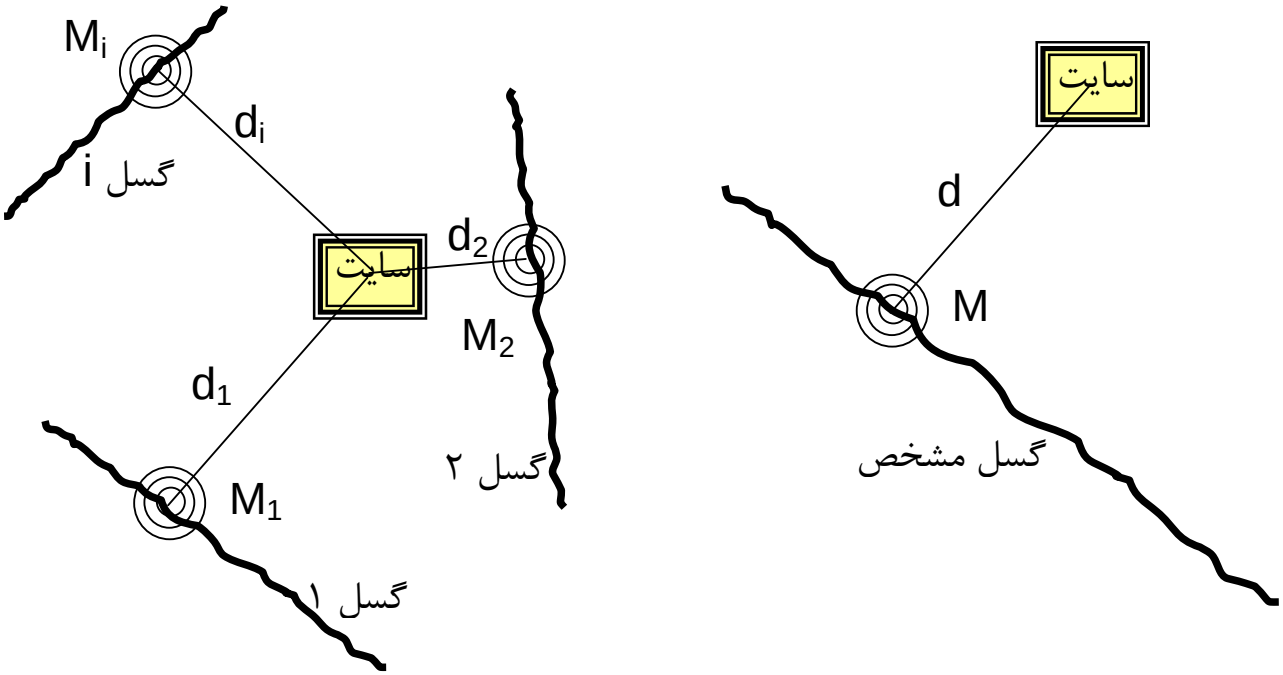
تخمین فقدان یا در واقع همان مقدار متغیرهای تصمیم گیری(E(DV بر حسب جمع این مقادیر بر روی تغییر پارامترهای شدت حرکت زمین(IM)، واکنش (EDP) و خرابی (DM) مورد نظر محاسبه می شود. بدین ترتیب میزان فقدان بر حسب طیف وسیعی از شدت خطر زلزله قابل تصور محاسبه می گردد. در ادامه به معرفی توابع مورد استفاده در رابطه (۱) می پردازیم.



شکل (۵) فرآیند ارزیابی عملکرد آتی

۲-۱-۱- شدت حرکت زمین

معمولاً احتمال تجربه زمین لرزه در یک شدت معین (IM) به شکل تابع خطر سایت بیان می گردد. تابع خطر می تواند بر اساس یک سناریو که فقط وقوع مقدار مشخصی از زمین لرزه حاصل از گسل مشخص را در نظر بگیرد، محاسبه شود و یا این تابع می تواند بر پایه احتمالاتی که تمام پتانسیل های لرزه زا ناشی از گسلهای شناخته شده مجاور ساختگاه برآورد گردد. توابع خطر فوق نشان دهنده احتمال شرطی تجاوز شدتهای مختلف حرکت در اثر وقوع زلزله های فرضی بر اساس یک سناریو مشخص می باشند (شکل ۶).

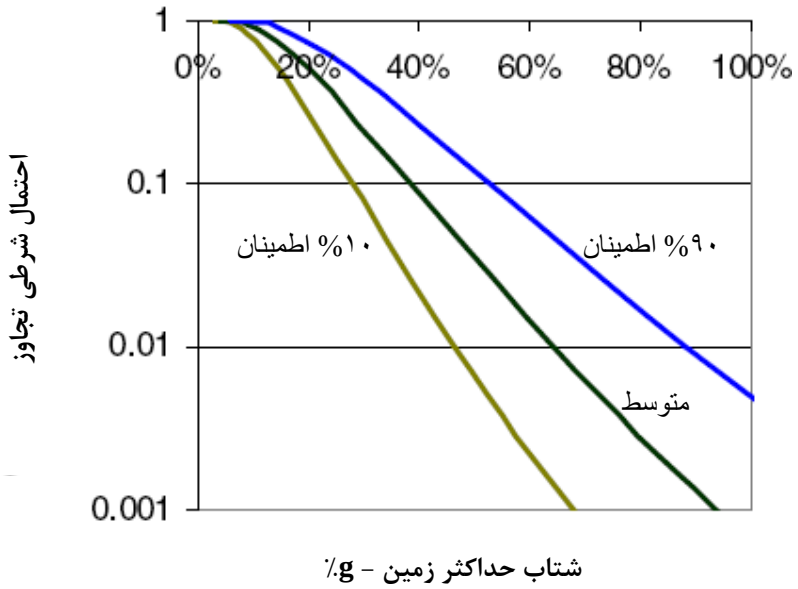


الف) بر اساس یک سناریو ب) بر اساس احتمالاتی

شکل(۶) خطر زلزله حاصل از چشمه لرزه زا

شکل(۷) تابع سناریویی خطر یک سایت فرضی و وقوع زلزله مشخص را نشان میدهد. منحنیهای خطر میتواند به شکل متوسط احتمال که عدم قطعیت مربوط به آن متوسط گرفته شده است و یا توسط یک محدوده اطمینان بیان گردند. منحنی متوسط احتمال شرطی تجاوز از شدتهای مختلف حرکت زمین (بر اساس حداکثر شتاب زمین (PGA) بر اساس وقوع سناریویی حرکت زمین است. علاوه بر احتمال شرطی متوسط فوق، دو منحنی دیگر در بالا و پایین منحنی توسط ، نشان دهنده محدوده اطمینان مربوط به تخمین این خطر را معرفی می نمایند. در واقع این منحنیها حاصل کم شدن یا اضافه شدن مقدار انحراف معیار از مقادیر متوسط در هر مقدار شتاب زمین می باشند. بطور مثال با یک اطمینان متوسط، شانس آنکه مقدار شتاب زمین در اثر سناریو زلزله فوق بیشتر از ۰/۴g در سایت گردد،۱۰ درصد می باشد. همچنین با ۱۰٪ اطمینان ،کمتر از ۱۰درصد شانس برای

آنکه زمین شتاب ۰/۲g را تجربه نماید، این در حالیستکه با ۹۰ درصد اطمینان کمتر از ۱۰٪ برای تجربه شتاب ۰/۵g وجود دارد. توابع خطر احتمالاتی نشان دهنده کل احتمال تجاوز شدتهای مختلف حرکت با در نظر گرفتن کل زلزله های که ممکن است رخ دهد و احتمال و اطمینان مربوط به هر یک از وقایع فوق می باشد. احتمال به اشکال مختلفی ممکن است بیان شود که از آن جمله میتوان به احتمال سالانه تجاوز (یا عدم تجاوز)، متوسط پریود بازگشت و یا احتمال تجاوز (یا عدم تجاوز) دریک پریود تعریف شده ای از سال(اغلب ۵۰ سال) اشاره نمود. بجهت محدودیت اندازه هر دو بزرگی زلزله که از گسلهای مختلف ایجاد می شود و شدت حرکت زمین که می تواند ناشی از یک زلزله مشخص باشد، توابع خطر تمایل به میل نمودن به یک مجانب را دارند.



شکل(۷): توابع سناریویی خطر برای سایت

در اینجا از حداکثر شتاب زمین بعنوان پارامتری که شدت حرکت زمین را نشان میدهد استفاده گردید. استفاده از یک پارامتر مفید و کارا در مراحل بعد می تواند بسیار مهم و ضروری باشد. بطوریکه چنانچه پارامتر فوق علاوه بر سازگاری با روش تحلیل سازه انتخاب شده بتواند حاوی

اطلاعاتی از مشخصات خاک مسیر گذر امواج زلزله از منبع تا ساختگاه باشد، رفتار سازه تحلیل شده نزدیکتر به واقعیت خواهد بود. استفاده از توابع خطر و یا نمایش آن به شکل ترسیمی از روی نقشه کشوری می تواند سبب تسریع در محاسبات شود. چنانچه پارامتر فوق بتواند بنحوی در بردارنده مشخصات سازه نیز باشد (مثلاً پاسخ حاصل از تغییر شکل و آسیب)، می تواند علاوه بر مشخصات محیطی شامل مشخصات رفتاری و نوع سازه نیز باشد.

شدت های اندازه گیری مورد نظر که جهت تخمین پاسخ و آسیب استفاده میگردند، شامل شتاب پاسخ طیفی الاستیک در مود اول، تغییر مکان نیاز طیفی غیر الاستیک در مود اول و روشهای برداری که شامل ملاحظات مربوط به مودهای اول و بالاتر پاسخ سازه است، می باشند.

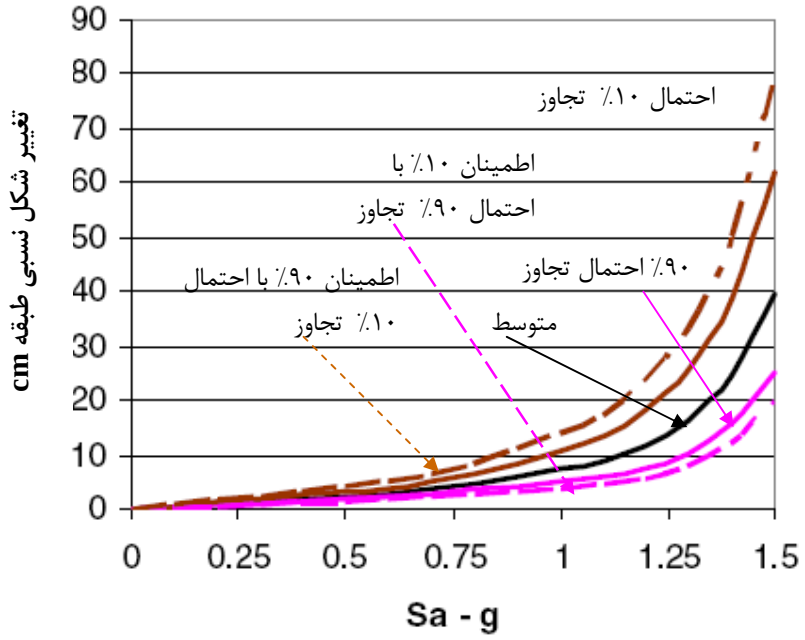
۲-۱-۲- تحلیل سازه

تحلیل سازه در یک فرآیند ارزیابی عملکرد به دو منظور استفاده میشوند اول آنکه آنها جهت پیش بینی مقادیر واکنش سازه (پارامترهای نیاز مهندسی) که به عنوان پیش نیاز اندازه گیری آسیب است، مورد استفاده قرار می گیرند و دوماً جهت پیش بینی مقادیر شتاب واکنش و تغییر مکان نسبی طبقات که از آنها برای ارزیابی عملکرد و پاسخ اجزا غیر سازه ای کاربرد دارد، استفاده میگردند.

این پارامترها نسبت به شتاب حرکت زمین دارای مزیت دیگری نیز می باشند که علاوه بر مشخصات ساختار سایت ،مشخصات سازه را نیز به همراه دارند. اگر بر روی اولین کاربرد تمرکز نماییم، برای یک سازه مشخص و یک سطح از شدت حرکت زمین، تحلیل سازه، جهت تخمین مقدار یک یا بیشتر پارامترهای نیاز مهندسی استفاده می گردد. در قدم بعدی فرآیند میتواند جهت تخمین آسیب سازه ای استفاده شود. به عنوان مثال پاسخ شتاب طیفی الاستیک در ۵ درصد میرایی در مود اول را به عنوان پارامتر شدت و جابجایی نسبی طیفی را به عنوان پارامتر نیاز

مهندسی که ابزار تخمین آسیب است، انتخاب می نماییم. یک رکورد حرکت زمین که نماینده مشخصات منبع، مسیر و مشخصات سایت است بر اساس سطح شدت داده شده مقیاس می نماییم. طیف رکورد فوق می باید متناسب با طیف مشخصات سایت باشد. سپس با اعمال رکورد فوق و انجام تحلیل غیر خطر دینامیکی سازه، حداکثر نیاز جابجایی نسبی طبقه را اندازه گیری می نماییم. این مقدار از نیاز جابجایی نسبی طبقه نتنها به مشخصات جرم، سختی، مقاومت و میرایی سازه بستگی دارد، بلکه تابعی از حرکت زمین نیز می باشد. اگر رکوردهای مختلفی از حرکت زمین را که بر اساس مقدار مشخصی از شدت اندازه گیری، مقیاس شده است را بر سازه اعمال نماییم و مجدداً تحلیلهای لازم را با ثابت نگه داشتن بقیه پارامترها انجام دهیم، مقادیر نسبتاً متفاوتی برای جابجایی نسبی محاسبه خواهد شد و اگر باور داشته باشیم که هر یک از رکوردها بطور مساوی می تواند نماینده طیف و خطر مربوطه باشد، نتایج نیاز جابجایی نسبی به شکل تصادفی برای این شدت خاص پخش خواهد شد. پخش مقادیر فوق میتواند بصورت مقادیر متوسط از پخش تصادفی نشان داده شود. اگر این فرآیند را برای محدوده ای از شدت های حرکت زمین(شتاب واکنش طیفی) تکرار گردد، تابع واکنش سازه را که نشان دهنده پخش احتمالی پارامتر نیاز مهندسی (جابجایی نسبی طبقه) است، می توان رسم نمود. شکل(۸) تابع واکنش سازه فرضی را به شکل مقدار متوسط نیاز جابجایی نسبی طبقه بر اساس تابعی از شدت حرکت زمین نشان میدهد. منحنیهای مربوط به ۱۰٪ و۹۰٪ احتمال تجاوز از مقادیر فوق نیز در آن گنجانده شده اند. در منحنی های فوق، فرض گردیده که مقادیر واقعی و ثابت سختی، جرم و پارمترهای هیسترزیس سازه استفاده شده است. در هر صورت مقادیر واقعی کاملاً معلوم نبوده و عدم اطمینان از تخمین مقدار دقیق آنها وجود دارد. لذا بعلت عدم دقت مقادیر فوق، واکنشهای سازه ای می تواند در محدوده ای، وضعیتی بالاتر و یا پایینتر از مقدار واقعی برای هر مقدار از شدت قرار گیرند. اساساً امکان تخمین پارامترهای مشخصات سازه ای دقیقاً ممکن نیست. اما تخمین نزدیک به مقدار واقعی در محدوده بالا و پایین

آنها ممکن می باشد. اگر یک سری از تحلیلها با تغییر پارامترهای فوق انجام شود، امکان نمایش تغییر از نیاز جابجایی نسبی طبقات مربوط به این عدم اطمینان در هر سطح از شدت حرکت زمین میسر می باشد. این عدم اطمینان جدید سبب عریض شدن محدوده مقادیر واکنش سازه در هر سطح شدت حرکت زمین مطابق شکل (۸) میگردد. برای یک سازه واقعی، مشخص نمودن این محدوده عدم اطمینان، مستلزم انجام آنالیزهای متعدد برای در نظر گرفتن متغیرهای تصادفی زیادی است. به عنوان جایگزین میتوان، این محدوده عدم اطمینان را با فرض یک شکل استاندارد برای پخش مقادیر(برای هر مقدار از شدت) مثل تابع لگاریتمی نرمال و انتخاب ضریب تغییرات بر اساس نظر کارشناسی یا تغییرات مشاهده شده در تحلیل تعداد محدودی سازه استاندارد، انتخاب نمود.



شکل (۸): تابع واکنش فرضی با مقادیر عدم اطمینان مربوطه

لازم به ذکر است که علاوه بر جابجایی نسبی طبقه، دیگر پارامترهای نیاز مهندسی چون تغییر شکل غیرالاستیک مولفه های مختلف، نیاز مقاومت بخشهای مختلف سازه و دیگر واکنشهای مشابه بعنوان پارامتر نیاز حاصل از تحلیل می تواند استفاده گردد. بسته به اهمیت هر یک از پارامترها در تخمین آسیب بخشهای مختلف سازه، پارامتر فوق می تواند جایگزین پارامتر نیاز تغییر شکل نسبی گردد.

۲-۱-۳- توابع شکنندگی سازه

توابع شکنندگی سازه ای، توابعی می باشند که احتمال آنکه سازه آسیبی بزرگتر (یاکمتر) از یک سطح خاص را که ناشی از اثر یک سطح مشخص از واکنش است، تجربه نماید.

همانند توابع واکنش، شکنندگی نیز بر اساس پخش احتمالی بجای روابط تعینی بجهت در نظر گرفتن تغییرات و عدم اطمینان ذاتی فرآیند تخمین آسیب سازه ای که تابعی از واکنش سازه ای است،معرفی میگردند. در واقع همانطورکه واکنش سازه ای دستخوش احتمال و عدم اطمینان است، آسیب نیز که تابعی از آن می باشد دارای چنین مشخصه ای می باشد. باید به این نکته توجه نمود که همه پارامترهای نیاز قادر به معرفی و اعلام صحیح آسیب سازه ای نمی باشد. مثال زیر این مطلب را میتواند روشن تر نماید.

دو حرکت مختلف زمین می توانند سبب میزان مساوی جابجایی نسبی طبقه یک ساختمان گردند. ولی تاریخچه زمانی این حرکات مشابه یکدیگر نمی باشند. بطوریکه یکی از این حرکات زلزله سبب یک رفت و برگشت در آن سطح از جابجایی نسبی و سپس حرکات رفت و برگشت کوچک در حول وضعیت اولیه آن می گردد. دومین حرکت زمین میتواند چندین سیکل سازه را در آن سطح از جابجایی نسبی طبقه جابجا نماید و در نهایت سازه را در همان محدوده تغییر شکل رها کند. واضح است که حرکت دوم زمین به مراتب سبب آسیب بیشتری به ساختمان می گردد، در حالیکه پارامتر نیاز مهندسی برای هر دو یکسان است. لذا اگر مقادیر دقیق حرکت زمین و واکنش سازه معلوم

نباشد، نمی توان اثرات فوق را در فرآیند بررسی لرزه ای تشخیص داد. این درحالی است که عدم اطمینان علاوه بر مشخصات حرکت زمین به علت عدم تعریف دقیق مقاومت و مشخصات مصالح و کیفیت ساخت همواره وجود دارد.

به جهت معرفی توابع شکنندگی لازم است که اندازه خرابی را تعریف نماییم. محققین پیشتر از مفهوم اندیس خرابی که اندازه ای از خرابی را معرفی می نماید، استفاده می کردند. اندیسهای خرابی پارامترهای بدون بعدی هستند که دارای مقادیری بین صفر تا یک می باشند. صفر نشان دهنده عدم آسیب و یک نشان دهنده خرابی کامل است. اغلب این اندیسهای خرابی برای المانها و اجزا سازه ای معرفی شده اند. این در حالی است که در سطح سازه کمتر مورد استفاده قرار گرفته اند. بیشتر آنها دارای شکل عمومی زیر هستند.

$$DI = (\frac{\Delta_i}{\Delta_u})^x + (\frac{E_i}{E_u})^y \le 1.0 \qquad (۲)$$

که:

$(\frac{\Delta_i}{\Delta_u})$ = نسبت ماکزیمم تغییر شکل غیر الاستیک یا نیاز تغییر شکل که در ساختمان یا عضو حادث میگردد به ظرفیت تغییر شکل نهایی سازه می باشد

$(\frac{E_i}{E_u})$ = اندازه ای از خرابی انباشته حاصل از تکرار چرخه واکنش غیر الاستیک است که عمدتاً بر اساس نسبت انرژی غیر الاستیک مستهلک شونده بیان می شود.

توجه داریم که ارتباط چنین اندیسهایی به هزینه تعمیر و دیگر فقدانها که در پروژه ATC58 به عنوان اهداف عملکردی مطرح می باشند بسیار مشکل میباشد. لذا در پروژه ATC58، تمایل به پارامتری نمودن خرابی بطور مستقیم با دنبال نمودن شرایط هر یک از المانهای سازه و مولفه های آن به طور جزء به جزء و ترکیب آن با اندازه گیری خرابی کلی ساختمان می باشد. بطور مثال برای قابهای مقاوم خمشی فلزی، خرابی میتواند بر پایه تسلیم چشمه اتصال، مفصل پلاستیک در تیر،

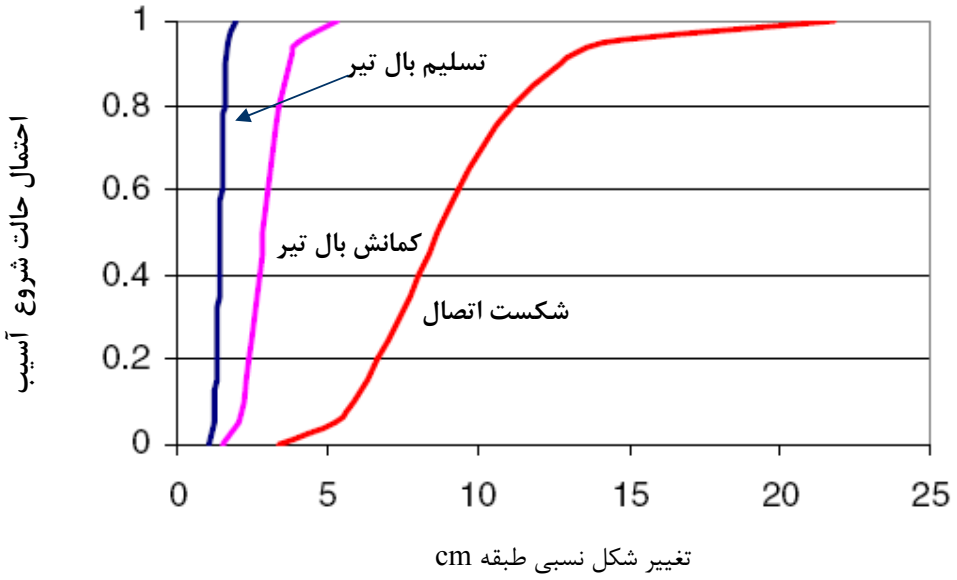
کمانش بال تیر و شکست جوش اتصال باشد، در حالیکه خرابی کل میتواند شامل تغییر شکل ماندگار جابجایی نسبی در مقادیر مختلف(یعنی ۱٪و۲٪و۳٪ و یا خرابی کامل) در طبقات مختلف باشد. هر کدام ا ز حالات خرابی در موارد مختلفی با در نظر گرفتن ایمنی بعد از زلزله و مواردی چون هزینه تعمیر و مدت زمان عدم بهره برداری مورد استفاده قرار می گیرند. درنهایت خرابی های اندازه گیری شده بر پایه یک سیستم مشخص بر روی کل سازه جمع زده می شوند. شکنندگی می تواند بر اساس یک مشخصه سیستم و یا بر پایه یک مشخصه سازه ای شکل بگیرد. عملاً به علت نبود توانایی در ساخت یک سازه ایده آل و به دنبال آن انجام تستهای آزمایشگاهی و اندازه گیری آسیب پدید آمده، شکنندگی بر اساس تحلیل داده های آزمایشگاهی و نقطه نظرات کارشناسی تهیه میگردد. فرآیند تهیه چنین توابعی در برنامه FEMA/SAC گنجانده شده است. مولفه های اندازه گیری آسیب برای کلاس سازه هایی چون قابهای فلزی مقاوم خمشی کوتاه شامل شروع تسلیم تیر،کمانش بال تیر، شکست بال تیر و جابجایی نسبی ماندگار طبقه به اندازه ۱٪، ۲٪، ۳٪ و خرابی طبقه در نظر گرفته شده است. بر اساس مطالعات FEMA/SAC مقدار تغییر مکان نسبی ماکزیمم بعنوان پارامتر نیاز مهندسی برای اندازه گیری میزان آسیب انتخاب شده است. روش فوق بدین شکل است که مقدار متوسط تغییر مکان نسبی طبقه که در آن سبب شروع سیلان بال تیر میگردد، ۰/۰۱ رادیان، ۰/۰۲ برای شروع کمانه بال تیر و ۰/۰۶ برای شروع شکست بال تیر انتخاب می گردد.

بهترین تخمین جابجایی نسبی ماندگار ۵۰٪ مقدار جابجایی نسبی ماکزیمم و بهترین تخمین که خرابی کلی حادث شود ۰/۰۱ رادیان می باشد. ضرایب تغییر مربوط به هر یک از رفتارهای فوق ۰/۱٪ برای شروع سیلان، ۰/۲٪ برای شروع کمانش، ۰/۳٪ برای شروع شکست و در نهایت ۰/۵٪ برای جابجایی نسبی ماندگار در شروع خرابی است. شکل (۹) منحنی شکنندگی اتصالهای تیر

ستون را با استفاده از اطلاعات موجود و فرض پخش لگاریتمی نرمال را نشان میدهد. شکل (۱۰) اندازه گیری کلی شکنندگی را به شکل مشابه نشان می دهد.

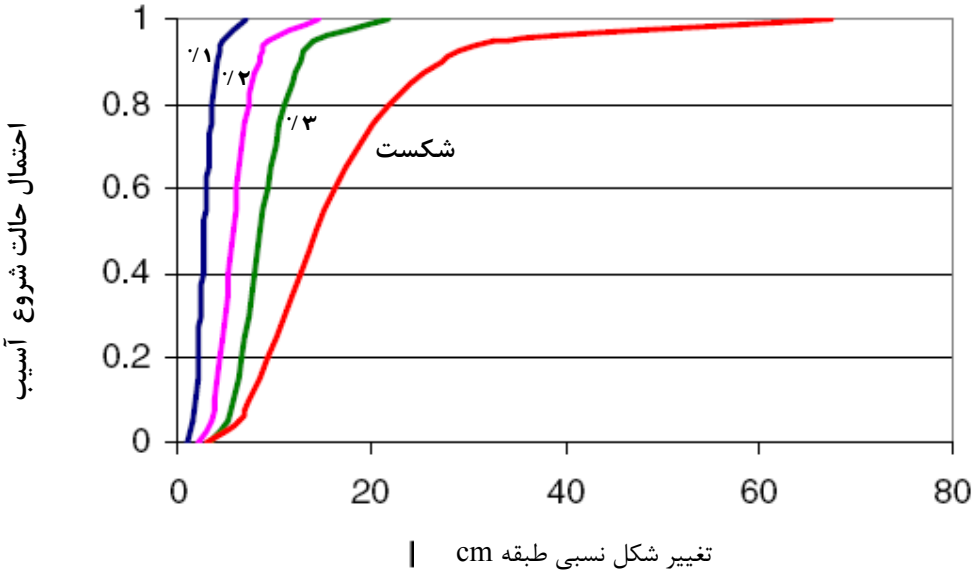
منحنی های شکنندگی بطور مستقیم نشان دهنده احتمال آنکه آسیب در هر یک از حالات فوق اتفاق افتد، نمی باشد. بلکه نشان دهنده احتمال همان آسیب با مقداری مساوی یا بزرگتر می باشند. آنها نشان دهنده احتمال آنکه یک سازه در اثر یک واکنش مشخص دریک حالت آسیب داده شده قرار گیرد، می باشند.

لازم است که اختلاف میان احتمال شروع آسیب فوق با احتمال آنکه آسیب شدید بعدی شروع شود، اندازه گیری گردد. برای منحنی شکنندگی نشان داده شده (شکل ۹) بطور مثال در جابجایی نسبی نیاز ۵۰ میلیمتر، به احتمال ۱۰۰٪ بال تیر تسلیم می گردد و ۹۵٪ احتمال وجود دارد که بال تیر کمانه کند. این در حالی است که فقط ۵ ٪ شانس شکست بال تیر یا جوشهای اتصالی وجود دارد. لذا در چنین جابجایی نسبی۵۰ میلیمتر، فقط ۵ ٪ احتمال وجود دارد که بال تیر سیلان نموده ولی کمانه نکند، ۹۰٪ احتمال وجود دارد که بال تیر کمانه نموده ولی نشکند و فقط ۵٪ احتمال شکست وجود دارد.



شکل(۹) مثالی از تابع منحنی شکنندگی برای رفتار اتصال تیر- ستون

همچنین مطابق شکل (۱۰) بطور مشابه در ماکزیمم نیاز جابجایی نسبی ۵۰ میلیمتر، ۹۶٪ احتمال وجود دارد که سازه جابجایی نسبی ماندگار ۱٪ یا بزرگتر در آن حادث شود،۳۲٪ احتمال آن است که سازه تحت جابجایی نسبی ۲٪ یا بزرگتر قرار گیرد و ۳٪ احتمال آنکه سازه تحت اثر جابجایی نسبی ۴٪ یا بیشتر قرار بگیرد، وجود دارد. لذا احتمال آنکه جابجایی نسبی ماندگار سازه کمتر از ۱٪ باشد،۴٪ (اختلاف ۹۶٪ و ۱۰۰٪)، احتمال آنکه سازه در جابجایی نسبی میان ۱٪ و۲٪ قرار گیرد، ۹۴٪ و بین ۲ ٪ تا ۳ ٪ معادل ۲۹٪ است. لذا دراین سطح از جابجایی نسبی احتمال کمی برای خرابی کل وجود دارد.



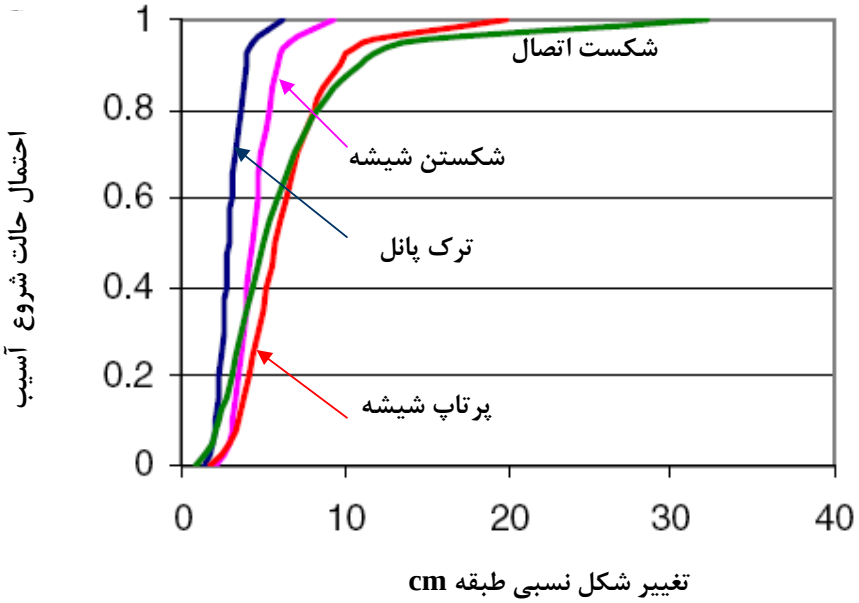
شکل(۱۰): مثالی از توابع شکنندگی برای رفتار کلی سازه

۲-۱-۴- شکنندگی اجزاء غیر ساز ه ای

شکنندگی اجزا غیر سازه ای همانند شکنندگی اجزا سازه ای است، بجز آنکه آنها بجای اجزاء سازه ای نشان دهنده مولفه های غیر سازه ای می باشند. اندازه گیری شدت مورد استفاده در بررسی اجزاء غیر سازه ای و یا خرابی یک سیستم متفاوت از بررسی خرابی اجزاء سازه ای است. اندازه گیری شدت مناسب برای برآورد خرابی اجزاء غیر سازه ای شامل پاسخ شتابهای ماکزیمم کف در مود اول و جابجایی نسبی ماکزیمم طبقه در سطوح مربوط به مولفه های غیر سازه ای متصل به آن می باشد. خرابی قابل تعریف برای مولفه های غیر سازه ای شامل عدم کارکرد صحیح، فقدان پیوستگی سازه ای و فرو افتادن است. درحالت کلی هر مجموعه و کلاسی از مولفه های غیر سازه ای یا یک سیستم، مانند سقفهای کاذب، سیستمهای اتقاء حریق، جداگرهای داخلی و غیره دارای توابع شکنندگی مختلفی می باشند که به چندین اندازه گیری شدت مختلف مربوط هستند.

این کار میتواند با جمع آوری اطلاعات مربوط به زلزله هایی که سبب خرابی و آسیب غیر سازه ای شده اند و شبیه سازی آنها در آزمایشگاه و تحلیل سازه انجام یابد. شکل (۱۱) منحنی شکنندگی

فرضی را برحسب مولفه های حساس (مانند اجزاء دیوارهای خارجی نما) برای جابجایی نسبی طبقه را برای مولفه های حساس(مانند دیوارهای خارجی نما) به تغییرشکل نشان میدهد.

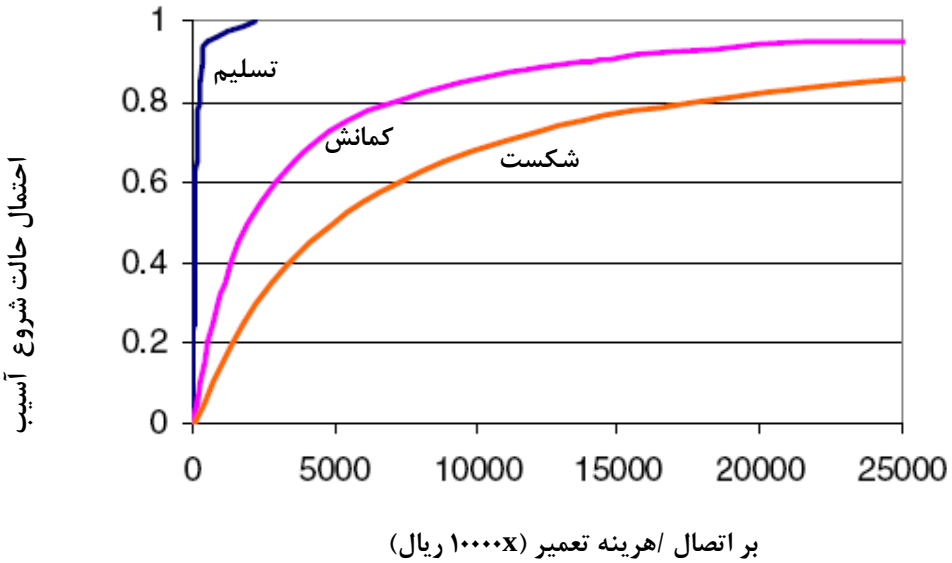


۲-۱-۵- تابع فقدان

تابع فقدان احتمال اتفاق سطوح مختلف فقدان را در اثر اندازه مشخص از آسیب سازه ای و یا غیرسازه ای را بر اساس هزینه تعمیر، تلفات(مرگ یا زخمی) و مدت زمان عدم بهره برداری بیان می نماید. این منحنیها نشان دهنده احتمال آنکه فقدان کمتر یا مساوی مقدار فوق (در اثر مقدار مشخصی از خرابی) است می باشد. توابع فقدان میتواند برای یک ساختمان یا مجموعه ساختمان های هم کلاس، توسط فرض آسیب خاص سازه ای یا غیر سازه ای که نشان دهنده یک سطح از خرابی است و تخمین فقدان متناظر به آن خرابی، تهیه شود. با تغییر فرضیات و یا کشف اندازه ای از عدم قطعیت مربوط به این فرضیات که ذاتاً در این تخمینها وجود دارد، میتوان پخش احتمالاتی فقدان های ممکن را به شکل تابعی از خرابی نشان داد. اگر داده های تاریخی کافی برای فقدان

واقعی در اثر زلزله های گذشته موجود باشد، می توان منحنیهای فوق را بر اساس داده های تاریخی تهیه نمود.

توابع فقدان نسبت به توابع خطر واکنش و شکنندگی دارای عدم اطمینان بیشتری میباشند چرا که آنها بسیار به فاکتورهای انسانی چون توانایی پیمانکار و کارفرما جهت تعمیر و سرعت عمل مربوطه و روشهای کاهش هزینه وابسته می باشند. شکل (۱۲) منحنی فرضی هزینه تعمیر را برای یک اتصال تیر-ستون در قاب مقاوم خمشی برای چندین سطح خرابی را نشان می دهد.

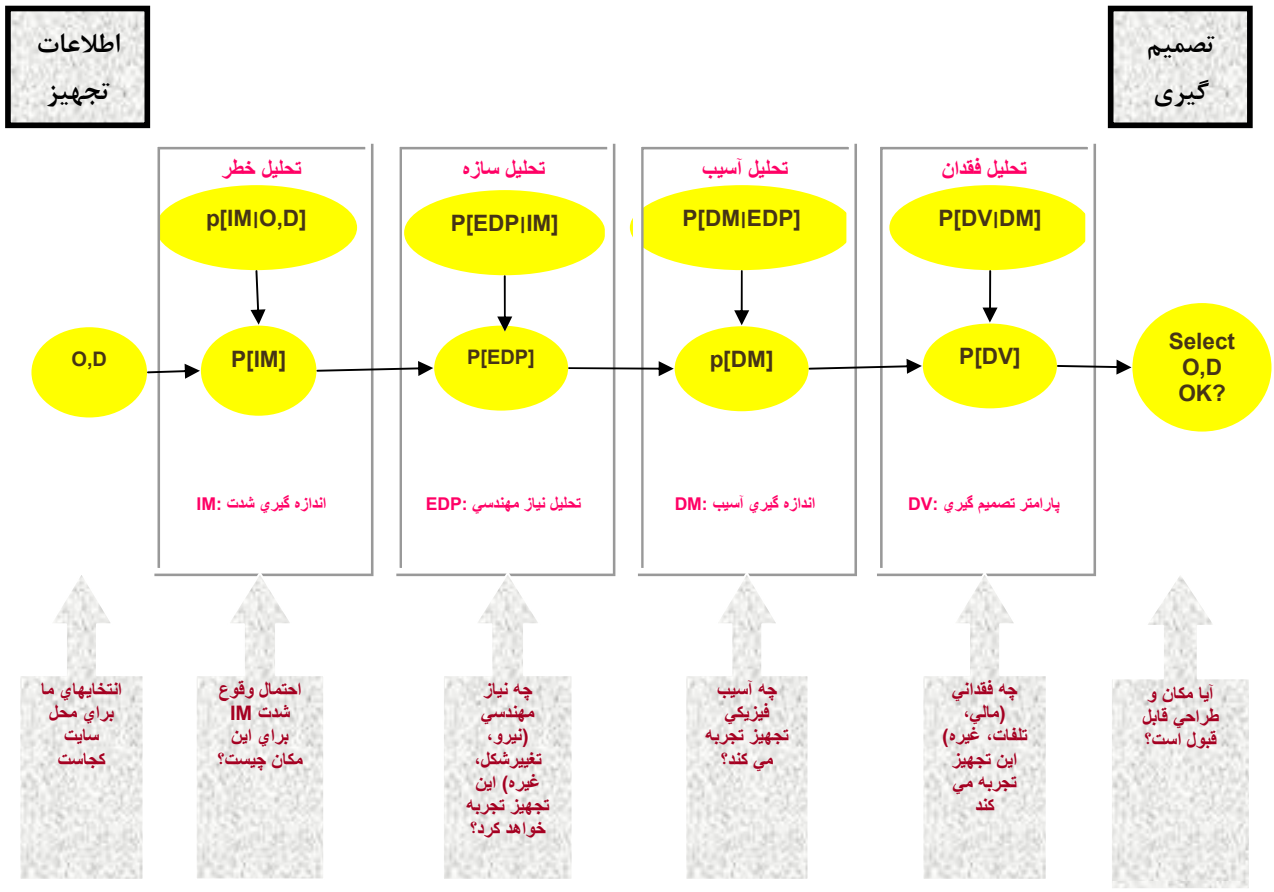


شکل(۱۲) منحنی فقدان فرضی برای قاب مقاوم خمشی بر حسب ریال در اثر خرابی اتصال

۳- جمع فقدان

شکل(۱۳) فرآیند کلی تعیین عملکرد سازه مورد بررسی را از ابتدا تا انتها نشان میدهد. همانطور که ملاحظه میگردد فرآیند شامل چهار مرحله کلی ۱-تحلیل خطر ۲-تحلیل سازه ۳-تحلیل آسیب ۴-تحلیل فقدان می باشد. خروجی فرآیند فوق پارامترهای تصمیم گیری هستند. چنانچه توابع خطر،

پاسخ سازه، خرابی و فقدان که در قسمتهای قبلی توضیح داده شد، به شکل عددی محاسبه شده باشند، با استفاده از نرم افزارهای صفحه گسترده و یا چنانچه شکل مناسبی از توابع بر آن برازش شده باشند، بصورت حل بسته انتگرال گیری (۱) پارامترهای تصمیم گیری محاسبه می گردند.



شکل(۱۳): فرآیند انجام روش ATC 58

۴-نتیجه گیری

لازم به تاکید این نکته می باشد که آخرین مرحله از طراحی یک سازه، تهیه نقشه ها و دستورالعمل های اجرایی می باشد. کیفیت خروجی ساخت بستگی به شفافیت این مدارک و توانایی و باور سازنده در کاربرد این دستورالعملها دارد. لذا طراحی به روش عملکردی باید با اجرا عملکردی همراه

باشد. در این فرآیند مهندسین اجرایی و کنترل کیفیت نقش اساسی دارند. معماران، مهندسین طراح و محاسب و پیمانکاران باید بصورت مشترک و تنگاتنگ بجای مجموعه های جدا تشریک مساعی نمایند. موسسات تحقیقاتی نیز بیشتر از گذشته باید با معماران، پیمانکاران و مهندسین که نقش اجرایی دارند، در ارتباط باشند. در این وضعیت نهادهای تصمیم گیری، اهداف عملکردی را مشخص نموده و اولیا طراحی و اجراء باید راهی برای برآورده شدن آنها بیابند.

چنانچه ملاحظه می گردد فرآیند آتی آیین نامه های لرزه ای مستلزم تهیه توابع خطر، شکنندگی و فقدان است که می باید توسط موسسات و کانونهای مهندسی ذیربط تهیه گردد. این منحنیها و توابع مختص هر کشور بوده و می باید بر اساس فرهنگ طراحی و مهندسی و اجرایی مرسوم آن کشورها تهیه شوند. باید گفت که دوره استفاده کشورهای در حال توسعه از داده ها و نتایج تحقیقات کشورهای پیشرفته بسر آمده و می باید هر کشور بر اساس داده های مهندسی و تاریخچه زلزله های گذشته خود به تهیه این توابع بپردازد. لذا لازم است هماهنگ با کشورهای پیشرفته، در کشورهای در حال توسعه نیز ارگانهای اجرایی در کنار مهندسین مشاور و مجامع تحقیقاتی و دانشگاهی در یک جمع منسجم، تهیه این توابع را برای سازه های موجود با کیفیت و دقت اجرایی مرسوم شروع نمایند.

۵-مراجع

۱- دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود، پژوهشکده بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۸۱

2. Deierlein, G. (2004), " A Framework for performance-based earthquake engineering, Bled-04 proceedings.
3. Hamburger, R., Rojahn, C., Moehle, j., Bachman, R., Comartin C., Whittaker, A., (2004) " The Atc-58 Project: Development Of Next-Generation Performance-Based Earthquake Engineering Design Criteria for Buildings", 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, Paper No. 1819
4. Hamburger, R. O. (1994), "Development of Next-Generation Performance-Based Seismic Design Guidelines", ATC58 Published.

5. Hamburger, R. O. and A. S. Whittaker (2003), "Considerations in Performance-Based Blast Resistant Design of Steel Structures," Proceedings, AISC-SINY Symposium on Resisting Blast and Progressive Collapse, American Institute of Steel Construction, New York, N.Y.
6. Krawinkler H. (2002), "Advancing Performance-Based Earthquake Engineering," PEER Published.
1. Krawinkler, H., and E. Miranda (2004), " Performance-based earthquake engineering," Chapter 9 of Earthquake Engineering: from Engineering Seismology to Performance-Based Engineering, CRC Press