# شاخص آسیب و آسیب پذیری ساختمانهای بتن آرمه در اثر زلزله

**ایرج محمودزاده کنی**
دانشیار گروه مهندسی عمران - دانشکده فنی - دانشگاه تهران
**فیروز امامی فروشانی**
کارشناس ارشد سازه - دانشکده فنی - دانشگاه تهران
(تاریخ دریافت ۷۶/۳/۲۸، تاریخ تصویب ۷۶/۹/۲۲)

## چکیده

در این مقاله پس از توصیف شاخص آسیب ناشی از وقوع زلزله در ساختمانهای بتن آرمه، پارامترهای مؤثر در محاسبهٔ چنین شاخصی مشروحاً مورد بحث قرار می گیرند. سپس ارتباط بین این شاخص و میزان فیزیکی خرابی نشان داده می‌شود. بعد از آن تعریف جدیدی برای ضریب رفتار سازه براساس شاخص آسیب ارائه می گردد. برای زلزلهٔ مربوط به حالت حدّی خدمت پذیری ، مقداری برای شاخص آسیب توصیه می‌شود. در انتها ضمن بررسی یک ساختمان هفت طبقهٔ بتن آرمه، تاثیر پارامترهای مختلف روی شاخص آسیب مورد بحث قرار می گیرد.

**کلید واژه ها:** شاخص آسیب، طراحی در برابر زلزله، سازه های بتن آرمه

## مقدمه

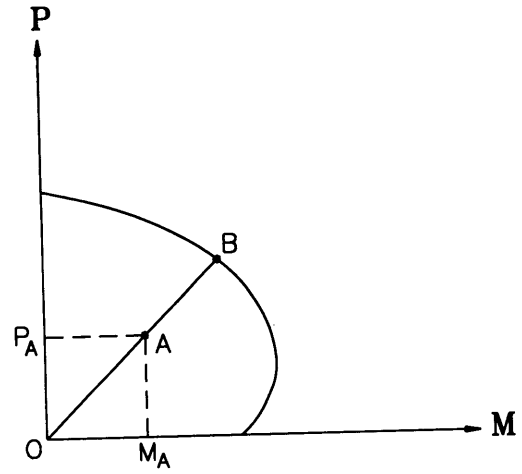
امروزه در طرّاحی سازه ها، دو حالت حدّی نهایی و خدمت پذیری ، عوامل تعیین کننده هستند و روشهای طرّاحی بر مبنای حالات حدّی کاملاً رایج شده‌اند. در این میان یکی از مسائل مهم ، تعریف صحیح حالات حدّی برای هر سازه و در مرحلهٔ بعد، تشخیص وضعیت ایمنی اعضای یک سازه نسبت به مرزهای این حالات حدّی است.

هرگاه در مورد یک مقطع خاص بتن آرمه با خواص معیّن ،که تنها تحت تاثیر لنگر خمشی قرار دارد، لنگر $M_u$ ، بعنوان لنگر حالت حدّی نهایی درنظر گرفته شود و M لنگر خمشی وارد به این مقطع باشد، می‌توان برای هر مقدار از M، وضعیت مقطع را از نظر حاشیهٔ ایمنی نسبت به حالت حدّی نهایی تعیین کرد. می توان نسبت $D = M/M_u$ را نوعی شاخص آسیب برای چنین مقطعی دانست که اگر برابر یک باشد نمایانگر خرابی قریب الوقوع و حالت حدّی نهایی است. این ساده ترین بیان از مفهوم شاخص آسیب است.

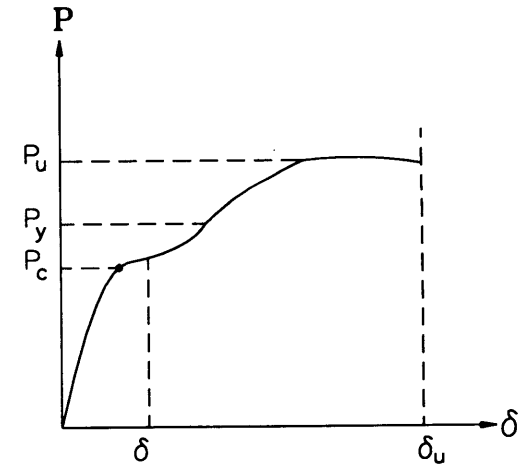
## شاخص آسیب در حالات استاتیکی

هرگاه بخواهیم اثر تداخل نیروهای مختلف را در چنین شاخص آسیبی ملاحظه کنیم، می توانیم یک تیر-ستون بتن آرمه را بامنحنی تداخلی P-M در حالت حدّی نهایی در نظر بگیریم. همانگونه که در شکل (۱) دیده می شود، در چنین وضعیتی باتوجه به مقادیر نیروهای وارده به یک مقطع خاص ( که نقطه A نمایانگر آن است) ، می توان بعنوان مثال نسبت OA/OB را بعنوان شاخص آسیب در نظر گرفت.

بعنوان مثالی دیگر، یک تیر کنسول بتن آرمه را تحت یک بار متمرکز در انتهای آن که بطور تدریجی افزایش می‌یابد در نظر می گیریم. نمودار نیرو-تغییر مکان این تیر در شکل (۲) رسم شده است؛ که در آن $P_c$ ،$P_y$ و $P_u$، بترتیب نیروهای متناظر با ترک خوردگی، جاری شدن فولاد و بار نهایی تیر هستند و $\delta_u$، تغییرمکان متناظر با گسیختگی تیر است. حال اگر در اثر مقداری از نیروی




شکل ۱: منحنی اندرکنش P-M.




شکل ۲: منحنی نیرو - تغییرمکان .

انتهایی، تغییرمکان $\delta$ حاصل شود ، وضعیت فعلی تیر را می‌توان با شاخص آسیب رابطهٔ (۱) بررسی کرد.

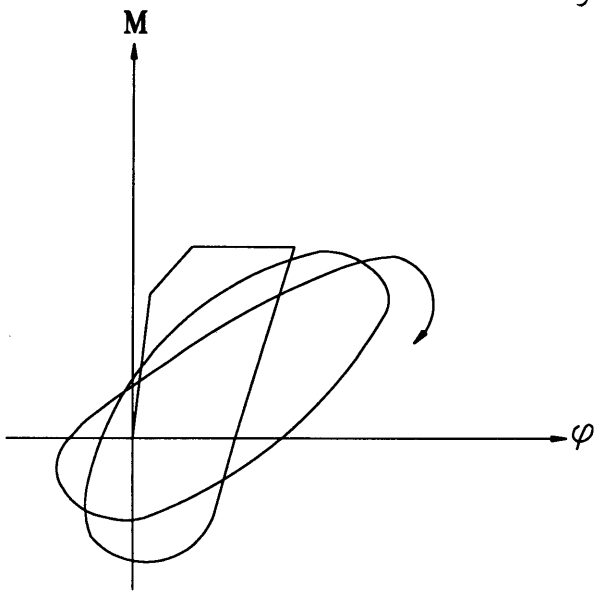
$$D = \frac{\delta}{\delta_u} \qquad (۱)$$

در این رابطه ،$\delta_u$، مقدار ظرفیت (عرضهٔ) تیر است ، و $\delta$ تغییر مکان نظیر یک نیروی خارجی یا تقاضای مطرح شده از سوی این نیرو است [۱].

## شاخص آسیب در بارگذاری ناشی از زلزله

آسیبی که شاخص رابطهٔ (۱) بیانگر آن است ، را می‌توان آسیب تغییرمکانی استاتیکی نامید. امّا واقعیّت این است که برای عضوی از سازه که تحت تاثیر ارتعاشات زلزله می باشد، حالت دینامیکی و خستگی کم سیکل نیز در آسیب کلی موثر خواهند بود [۲]. در این شرایط ممکن است بدون آنکه تغییرمکان حداکثر به مقدار نهایی $\delta_u$ برسد، خرابی اتّفاق بیفتد. لذا در نظر گرفتن یک جزء دیگر در رابطهٔ شاخص آسیب که نمایانگر عوامل اضافی ناشی از زلزله باشد، ضروری است . در حقیقت این انرژی جذب شده توسّط عضو است که به شکل نزدیکتری به آسیب وارده مرتبط می‌باشد.

همانگونه که در شکل (۳) دیده می شود، یک مقطع از عضو می تواند در طول زمان در حلقه های هیسترزیس انرژی وارده را به مرور جذب کند و در عین حال مرتباً دچار انباشت آسیب بیشتری گردد. مقدار انرژی جذب شده در هر سیکل برابر مساحت داخل چرخهٔ مربوطه خواهد بود. با این تفاصیل، در سال ۱۹۸۵ ، Park و Ang [۳]، مدل جدید خود در مورد شاخص آسیب را به شکل ترکیبی از عامل نزدیکی به تغییرمکان نهایی و عامل اتلاف انرژی در هیسترزیس به صورت رابطهٔ (۲) ارائه کردند:




شکل ۳: منحنی هیسترزیس لنگر - انحنا.

$$D = \frac{\delta_m}{\delta_u} + \frac{\beta}{P_y \cdot \delta_y} \int dE \qquad (۲)$$

در رابطهٔ (۲)، جمله اول نشانگر شاخص آسیب تغییرمکانی ، و جمله دوم معرف شاخص آسیب هیسترزیس می باشد. $\delta_u$، تغییر مکان نهایی عضو تحت

بارگذاری تدریجی و $P_y$ ، حّد تسلیم عضو می‌باشد که هر دو در زمرهٔ پارامترهای ظرفیت (Capacity) عضو هستند و $\delta_m$ و dE مقادیری هستند که به عنوان تقاضای (Demand) زلزله از سازه مطرح می‌باشند. ضریب $\beta$ یکی از سه پارامتر کاهش مقاومت (زوال) است (بخش ۴) ، که توسّط آنها چرخه‌های هیسترزیس و نوع حرکتشان تعریف می‌گردند. با طی شدن سیکلهای پیاپی روی منحنی هیسترزیس عضو، و اجتماع اثر dE ها برای حلقه ها به صورت انتگرال ، انباشت آسیب انجام گرفته و بر مقدار شاخص آسیب D، افزوده می شود. پارامتر $\beta$ توسط Park و Ang [۳]، با آزمایش بر روی ۴۰۰ تیر و ستون مختلف بتن آرمه، به صورت یک رابطهٔ تجربی بدست آمده است.

پس از انجام یک آنالیز دینامیکی گام به گام غیرخطی و محاسبهٔ شاخص آسیب برای همهٔ اعضا، می توان میزان آسیب در سطح طبقه و یا کل سازه را محاسبه کرد. برای اینکار برای هر عضو i، یک ضریب وزنی $\lambda_i$ محاسبه می شود که نسبت انرژی تلف شده توسط عضو ($E_i$) به کل انرژی تلف شده توسط سازه می باشد. با اعمال این ضریب وزنی روی شاخص آسیب عضو ($D_i$) ، و جمع آن روی تمام اعضا، میزان شاخص آسیب کل سازه محاسبه می‌گردد:

$$\lambda_i = \frac{E_i}{\sum E_i} \qquad (۳)$$

$$D = \sum \lambda_i D_i$$

باید توجه داشت که مقدار کل انرژی جذب شده توسط عضو i($E_i$)، از دو قسمت تشکیل شده است: یکی انرژی مربوط به تغییرمکان ماکزیمم، که سطح زیر منحنی پوش هیسترزیس است، و دیگری مقدار انرژی جذب شده طی چرخه‌های متوالی هیسترزیس است که توسط انتگرال dEها محاسبه می شود. به این ترتیب می‌توان برای یک زلزلهٔ مشخّص ، وضعیّت شاخص آسیب را برای هریک از اعضا و همچنین برای کل سازه تعیین نمود.

در اثر مطالعات و آزمایشاتی که روی ۹ ساختمان بتن آرمه صورت گرفته اند. جدول ۱ برای کالیبراسیون شاخص آسیب ارائه شده است [۳].

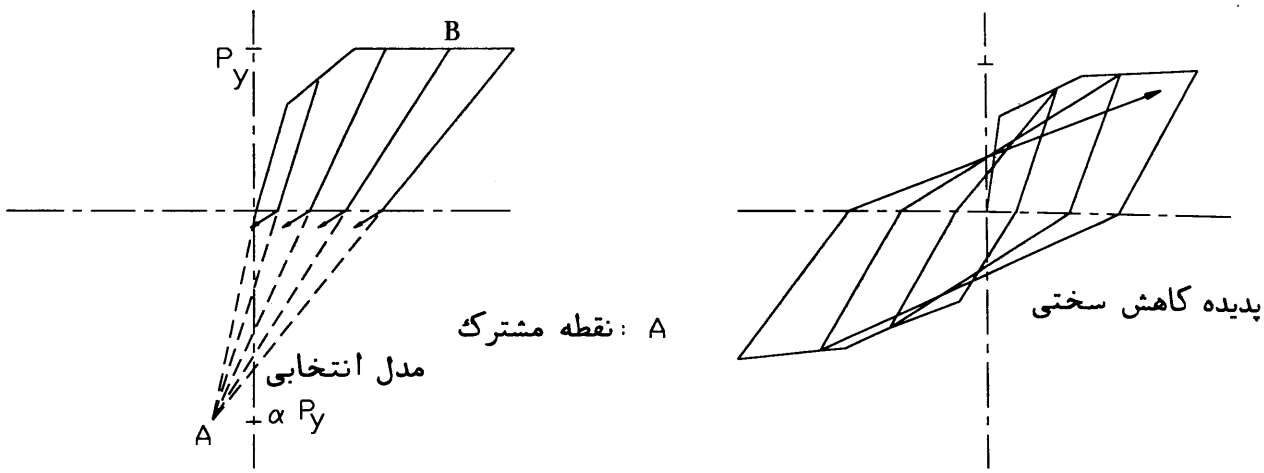
جدول ۱ : کالیبراسیون شاخص آسیب .

| درجه آسیب | وضعیت ظاهری | شاخص آسیب | توضیحات |
|---|---|---|---|
| ویرانی کامل | انهدام جزئی یا کلی اجزای اصلی | D>1.0 | سازه دیگر وجود ندارد |
| آسیب بالا | خردشدگی بتن و کمانه کردن فولاد دراکثر نقاط | 0.4<D<1.0 | سازه غیرقابل تعمیر |
| آسیب متوسط | ظهورترکهای‌بزرگ وورقه شدن‌بتن دراعضای‌ضعیف | D<0.4 | سازه قابل تعمیر |
| آسیب کم | ترکهای اندک و خردشدگی جزئی بتن درستونها | | |
| آسیب ناچیز | وقوع برخی ترکهای پراکنده در سازه | | |

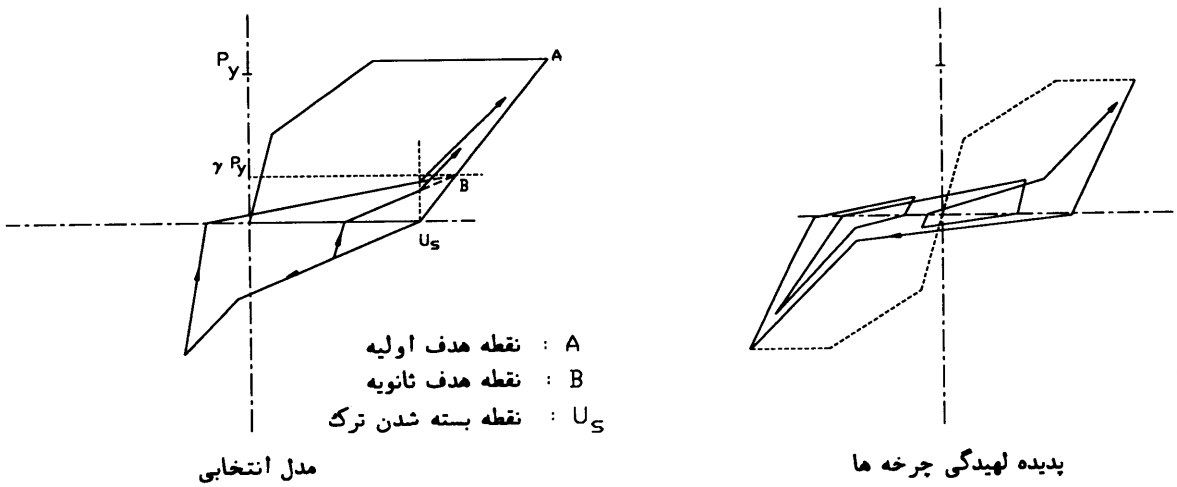
## عوامل مؤثّر بر رفتار هیسترتیک اعضا

امروزه در کاملترین بررسی ها، سه عامل کاهش مقامت، کاهش سختی، و اثر لهیدگی چرخه ها (عوامل زوال) را در رفتار اعضا تحت بارگذاری سیکلیک ، در نظر می گیرند [۳]. در این بارگذاری، کاهش سختی و کاهش مقاومت از یک چرخهٔ هیسترزیس به چرخهٔ بعد قابل تشخیص است (شکل ۴ و ۶). کاهش سختی به شکل تغییر در شیب منحنی هیسترزیس و کاهش مقاومت به شکل افت نقطهٔ حداکثری که منحنی به آن می رسد مشاهده میگردد.

افزون بر این ، چرخه ها در حوالی مبداء ، دچار نوعی جمع‌شدگی به سمت مبداء هستند، که اثر لهیدگی چرخه‌ها نامیده می شود. این اثر بدلیل بسته نشدن ترک سیکل قبل، در بارگذاری جدید می باشد. در حقیقت زیاد بودن فولاد موجود موقّتاً از بسته شدن ترک جلوگیری می نماید و این امر باعث می شود که در قسمتی از چرخه، مقطع کاملاً ترک خورده باشد و چرخه فرم لهیدگی پیدا




شکل ۴: کاهش سختی .




شکل ۵: لهیدگی چرخه ها.

کند. امّا با افزایش نیرو سرانجام ترک بسته شده و چرخه از فرم لهیدگی خارج می شود(شکل ۵). در هنگام وقوع زلزله، پاسخ حاصله در ابتدا شبیه منحنی سه خطی مبنا می‌باشد (اشکال ۴ و ۵ و ۶) و در حلقه های بعدی، آثار زوال ظاهر می شوند. برای مدل کردن سه عامل فوق‌الذکر، سه پارامتر $\alpha$ ,$\beta$ و $\gamma$ تعریف می شوند، که به ترتیب‌فروسایی سختی ، تضعیف مقاومت و لهیدگی چرخه‌ها را مدل می کنند. باید توجه داشت که هریک ازاین سه عامل زوال، بنوعی بیانگر تفاوت مدل مورد بحث با یک مدل الاستوپلاستیک بدون آثار زوال می‌باشد.

### عامل کاهش سختی

اوّلین پدیدهٔ مورد بحث یعنی کاهش سختی، در هنگام باربرداری رخ می دهد. برخلاف مدل الاستوپلاستیک ، که در آن شیب منحنی برگشت برابر با شیب اولیهٔ منحنی است، هنگامیکه در شکل ۴ در نقطه B باربرداری انجام

می شود، شیب برگشت کمتر از شیب اولیه است . هرچه تغییرمکان غیرارتجاعی بیشتر باشد، کاهش سختی چشمگیرتر خواهد بود. برای مدل کردن این پدیده، خطّ نمایشگر سختی اولیه (الاستیک) را امتداد داده و نقطه ای به عرض $-\alpha P_y$ (نقطه A) را روی آن در نظر می گیریم. $P_y$ مقدار مقاومت نهایی مورد نظر است . فرض می کنیم که در هر نقطه‌ای که باربرداری آغاز شود، منحنی بجای آنکه موازی شیب اولیه بازگردد، نقطه A را هدف قرار می‌دهد.

نقش پارامتر $\alpha$ در مقدار کاهش سختی کاملاً نمایان است و دیده می شود که هرچه $\alpha$ تغییرکند، مساحت محصور در حلقهٔ هیسترزیس، که نمایانگر میزان انرژی جذب شده در یک رفت و برگشت است نیز تغییر می کند. پارامتر $\alpha$ بوسیلهٔ آزمایش تعیین می‌شود [۱].

**عامل لهیدگی چرخه ها**

رفتار لهیدگی چرخه ها قبلاً بطور خلاصه بررسی شد و دلیل این رفتار ذکر گردید. برای مدل‌سازی این رفتار باید توجه کرد که هنگام عوض شدن جهت لنگر (مثلاً از منفی به مثبت)، بدلایل مذکور در بالا، لنگر تا قبل از بسته شدن ترکها، تنها توسط فولاد تحمل می گردد. بدین دلیل شیب منحنی در این محدوده کاهش می یابد. اما پس از رسیدن به نقطهٔ بسته شدن ترک، دوباره شیب زیاد شده (سختی بالا می‌رود) و منحنی بسوی نقطهٔ ماکزیمم سیکل قبل پیش می رود، همانطور که در شکل (۵) نشان داده شده است.

این کاهش سختی در نقطهٔ برخورد با محور افقی، و سپس افزایش مجدد سختی، با پارامتر لهیدگی $\gamma$ نمایش داده می شود. همانگونه که در شکل ۵ دیده می‌شود، در سیکل جدید بارگذاری، به جای آنکه منحنی به سمت ماکزیمم دور قبل یعنی A نشانه برود، به سمت نقطهٔ B روی راستای باربرداری قبلی و با عرض $\gamma.P_y$ نشانه می رود تا به نقطهٔ $U_s$ (یعنی نقطهٔ بسته شدن ترک و تشکیل دوباره بلوک فشاری در بتن) برسد. از این نقطه منحنی شکسته شده و بسوی ماکزیمم دور قبل (نقطه A) نشانه می رود. بدین ترتیب سطح زیر منحنی هیسترزیس و در نتیجه میزان جذب انرژی کاهش می یابد. پارامتر $\gamma$ بوسیلهٔ آزمایش تعیین می شود [۱].

**عامل کاهش مقاومت**

پدیدهٔ کاهش مقاومت در هر سیکل نوسان را با پارامتر $\beta$ نشان می دهیم. هرگاه انرژی هیسترتیک جذب شده را با E نمایش دهیم، انرژی هیسترتیک نرمالیزه به شکل زیر تعریف می شود:

$$E_n = \frac{E}{(P_y \cdot \delta_u)} \qquad (۴)$$

این مقادیر حالت تجمعی دارند و ما در سیکلهای متوالی برای تعریف $\beta$ از دیفرانسیل آنها بصورت زیر استفاده می کنیم :

$$\beta = \frac{d(\frac{\delta_m}{\delta_u})}{d(E_n)} = P_y \frac{d(\delta_m)}{d(E)} \qquad (۵)$$

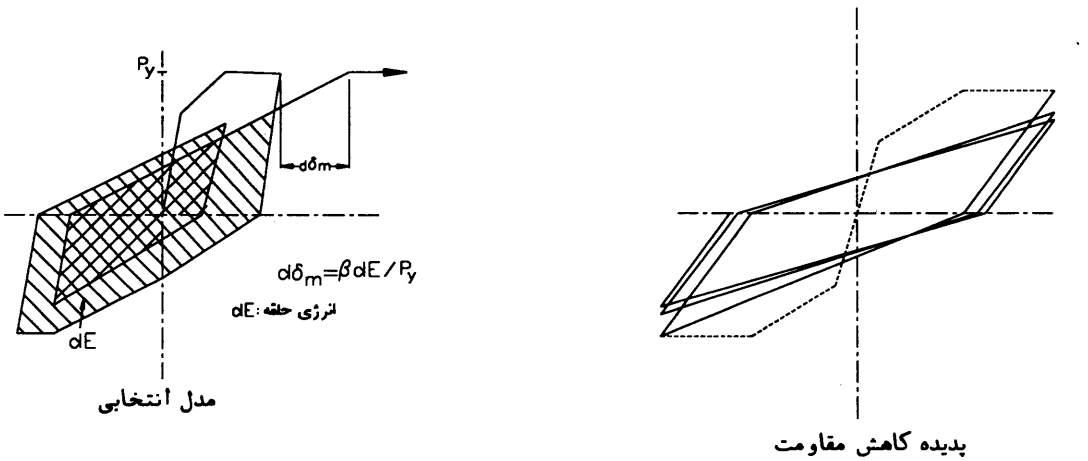
که در آن $\delta_m$ افزایش در ماکزیمم پاسخ ، و $\delta_u$ میزان پاسخ نهایی است . دیده می شود که :

$$d(\delta_m) = \beta \frac{dE}{P_y} \qquad (۶)$$

در شکل (۶)، dE آن قسمت از انرژی هیسترتیک مربوط به یک حلقه می باشد و $d\delta_m$ نمایشگر افزایش در تغییرمکان حداکثر $\delta_m$ از یک حلقه به حلقهٔ بعد می‌باشد. بدین ترتیب با افزایش $\beta$، میزان افزایش $\delta_m$ از یک حلقه به حلقهٔ بعد بیشتر شده و باتوجه به ثبات تقریبی سطح نیرو، عملاً نوعی کاهش مقاومت را باعث می شود. پارامتر $\beta$ مستقیماً در تعریف شاخص آسیب (رابطهٔ ۲) بکار می رود و بوسیله Park و Ang [۳]، با آزمایش روی ۴۰۰ تیر و ستون مختلف بتن آرمه، بدست آمده و رابطه ای برای آن ارائه شده است [۱].

## برنامه آنالیز دینامیکی غیرخطی IDARC

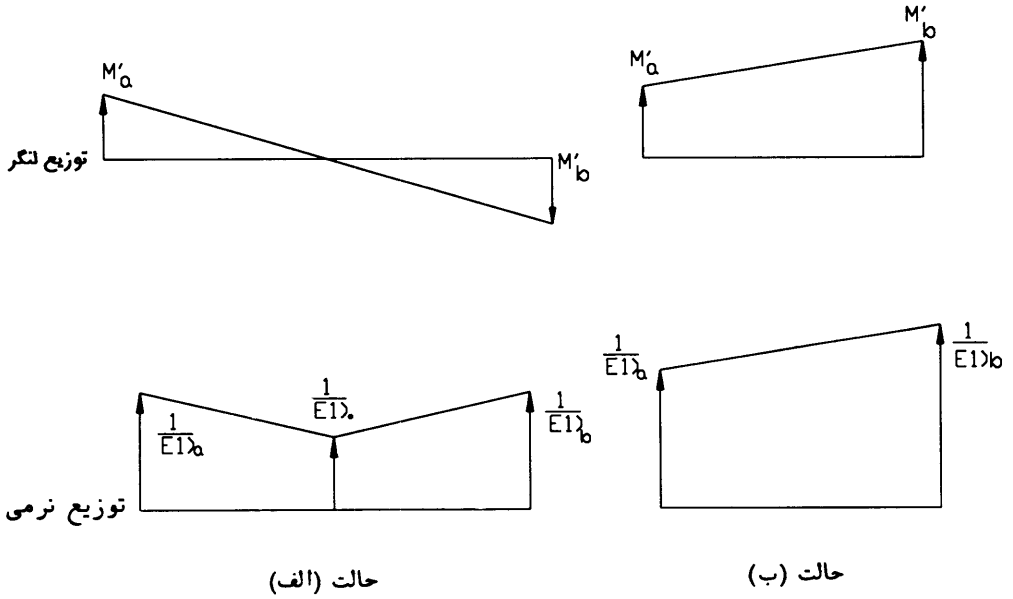
مدلهای ذکر شده در بالا در برنامهٔ کامپیوتری IDARC [۳] بکار رفته اند، که در زیر به توضیح بیشتری راجع به این برنامه می پردازیم زیرا در آنالیز آسیب مورد استفاده قرارگرفته است. برای آنالیز دینامیکی غیرخطی با شتابنگاشت حرکت پایه، می‌توانیم از روشهای گام به گام نظیر روش بتای نیومارک استفاده کنیم. معادلهٔ تعادل دینامیکی زیر با روش گام به گام حل می شود:




شکل ۶: کاهش مقاومت .

$$[M]\{\ddot{u}_r\} + [C]\{\dot{u}_r\} + \{R(u_r)\} = \{F(t)\} \qquad (۷)$$

که در آن $\{u_r\}$ تغییر مکان نسبی سازه است نسبت به زمین و $\{F(t)\}$ ماتریس ستونی نیروهای موثر ناشی از حرکات زمین می باشد. جزء $\{R(u)\}$ به نوعی بیانگر تغییرات ماتریس سختی در طول زمان است. در برنامهٔ IDARC بجای متمرکز فرض کردن تغییر شکلهای غیرخطی در دو انتهای اعضاء، سعی می‌شود که تاثیر رفتار غیرخطی در تمام طول عضو درنظر گرفته شود. برای اینکار، مطابق شکل ۷، تغییرات ضریب نرمی 1/EI در طول عضو و در بین مقاطع بحرانی بصورت خطی در نظر گرفته می شود. به این ترتیب قادریم ماتریس نرمی هر عضو را در هر لحظه برحسب مقادیر ضرایب نرمی در آن لحظه بدست آوریم.




شکل ۷: تغییرات خطی ضریب نرمی .

هنگامیکه مسیر یک آنالیز گام به گام را طی می‌کنیم، منحنی های هیسترزیس را نیز در طول زمان می پیماییم. اگر وضعیّت انحنای عضو (علامت لنگرهای ابتدا و انتها) مشخص باشد و همچنین مقدار سختی EI در نقاط بحرانی ابتدا و انتها و احتمالاً نقطهٔ عطف میانی مشخص باشد، میتوان ماتریس نرمی را تشکیل داد. در یک آنالیز

گام به گام، همهٔ مقادیر فوق از گام قبل مشخص هستند. مقدار EI در هر درجهٔ آزادی چرخشی ابتدا یا انتهای تیر، در حقیقت شیب منحنی هیسترزیس لنگر - انحنا در آن درجهٔ آزادی و در آن لحظهٔ زمانی می باشد. در نقطهٔ عطف میانی برنامهٔ IDARC، سختی اولیهٔ الاستیک را در نظر می‌گیرد. ماتریس سختی المانها (که عکس ماتریس نرمی است) در هر گام زمانی در صورتی تجدید می‌شود که تغییری در سختی ایجاد شده باشد. بنابراین تنها قسمتی از ماتریس سختی کل تجدید می‌شود که متناظر با المانهایی است که سختی آنها تغییر کرده است.

ماتریس جرم ، در برنامه بصورت یک ماتریس قطری در نظر گرفته می شود و اثر جرم در راستای افقی برای هر تراز بصورت متمرکز در نقطهٔ مرکز جرم در نظر گرفته می شود.

در طی گامهای آنالیز، چند پارامتر دیگر نیز توسط برنامهٔ IDARC محاسبه می شوند، مانند انرژی کل جذب شده توسط هر عضو سازه، انرژی هیسترتیک جذب شده بوسیلهٔ هر عضو، حداکثر تغییر مکان نظیر هر عضو در طول آنالیز، و سرانجام میزان نیروهای داخلی هر عضو در مقایسه با مقادیر مقاومت عضو مشخص می گردند. بااستفاده از این اطلاعات ، اکنون بسادگی می توان بااستفاده از روابط ۲ و ۳، شاخص آسیب هر یک از اعضا و شاخص آسیب کل سازه را بدست آورد.

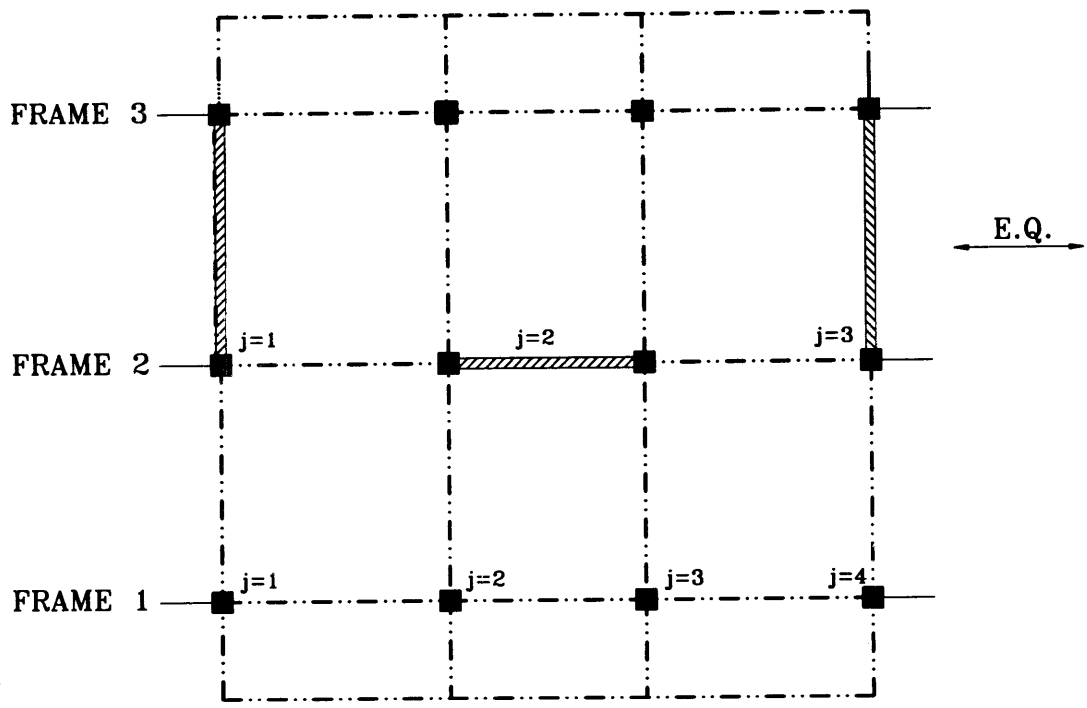
## یک تعریف منطقی برای ضریب رفتار R براساس شاخص آسیب

هدف از کاربرد ضریب رفتار R در آیین نامه‌های زلزله، کاهش نیروی برشی پایه در طراحی براساس روش استاتیکی معادل است. البته امیدواریم که سازهٔ طراحی شده در هنگام رخداد بزرگترین زلزلهٔ محتمل در منطقه، فرو نریزد. فروپاشی سازه در اثر یک زلزلهٔ بزرگ ناشی از خسارات تجمعی سیکلهای غیرارتجاعی است که مستقیماً در محاسبهٔ شاخص آسیب دخالت دارند. بنابراین می توان گفت که R چنان عددی است که پس از آنالیز و طراحی سازه براساس آن، هرگاه آنالیز دینامیکی سازه ، با احتساب آثار زوال، تحت بزرگترین زلزلهٔ محتمل انجام شود و شاخص آسیب سازه تعیین گردد، این شاخص نزدیک به عدد یک باشد.

معمولاً در محاسبات سازه ها در برابر زلزله، مقدار شتاب حداکثر حرکت افقی زمین، براساس زلزله‌خیزی منطقه (که با شتاب مبنای طرح در آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران مشخص می شود)، فاصله سایت از گسل لرزه زا، دورهٔ بازگشت موردنظر برای زلزله و پارامترهای دیگر بدست می آید. غالباً دورهٔ بازگشت برای زلزله های متوسط برابر ۱۰۰ سال، و برای بزرگترین زلزلهٔ محتمل ۲۰۰۰ سال در نظر گرفته می شود. منظور از زلزلهٔ متوسط زلزله‌ای است که در اثر آن خسارات سازه‌ای مهمی در ساختمان ایجاد نشود، مثلاً حداکثر یک مفصل خمیری در آن تشکیل گردد. بااستفاده از گرافهای موجود [۴] و با فرض شتاب مبنا برابر 0.35g برای منطقه با زلزله‌خیزی بالا، مقدار شتاب ماکزیمم برای زلزلهٔ متوسط و بزرگترین زلزلهٔ محتمل بترتیب برابر 0.2g و 0.45g خواهد شد. بدین ترتیب اگر مقدار R صحیح انتخاب شده باشد (و این خود می‌تواند روشی برای تعیین مقدار R باشد)، تحت زلزلهٔ 0.45g شاخص آسیب D ، نباید از ۱ تجاوز کند.

## مقدار شاخص آسیب برای حالت حدّی خدمت‌پذیری

معمولاً زلزلهٔ متوسط منطقه را می توان بعنوان زلزلهٔ مربوط به حالت حدّی خدمت پذیری در نظر گرفت. واضح است که اگر طراح سهواً یا عمداً در یک اتصال، عضوی را ضعیف طرح کرده باشد، با کوچکترین ارتعاشی ممکن است یک مفصل خمیری در این عضو تشکیل شود، در حالیکه تمام اعضای دیگر سازه در مراحل اولیهٔ ارتجاعی هستند. باوجود کم بودن احتمال چنین وضعیتی، بهتر است مانند حالت حدّی نهایی ، رسیدن به حالت حدّی خدمت‌پذیری را با رسیدن شاخص آسیب به یک مقدار مشخص تعیین نمود تا برخوردی یکنواخت به این دو حالت حدّی شده باشد. طبیعتاً شاخص آسیب بدست آمده تحت چنین زلزله ای، باید خیلی کمتر از یک باشد. در این مقاله حداکثر $D = 0.2$ برای زلزلهٔ مربوط به حالت حدّی خدمت پذیری پیشنهاد می شود.



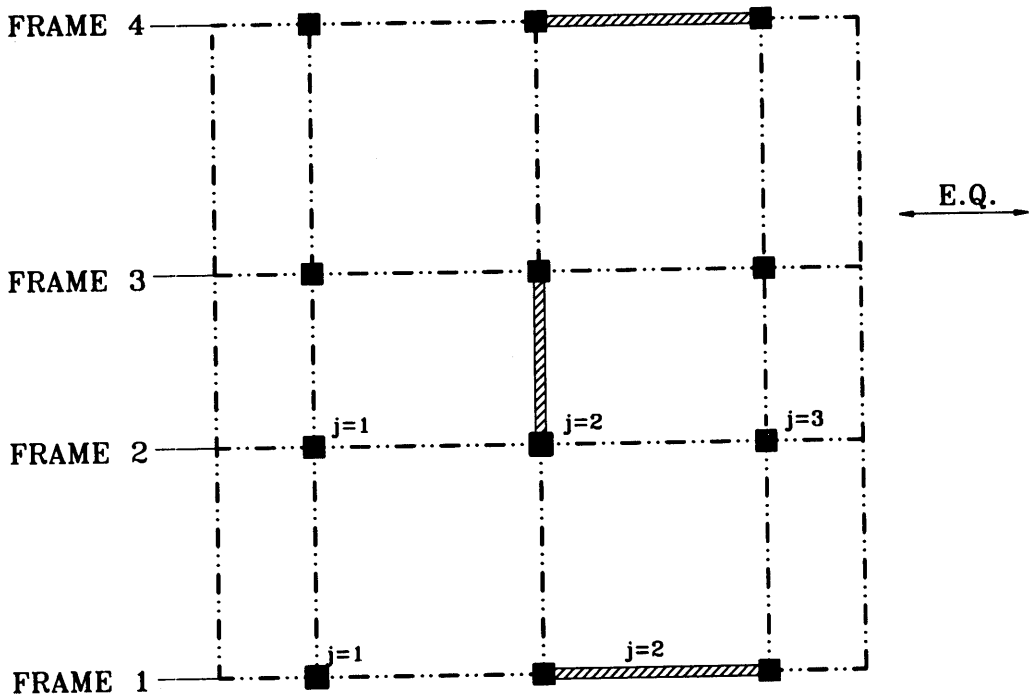

بوسیله برنامه محاسبه می شود $\beta =$ برای تیرها و ستونها و رفتارخمشی دیواربرشی $\begin{cases}\alpha=2\\ \beta=\\ \gamma=1000(\infty)\end{cases}$

شکل ۸ - الف : مدل تحلیلی اول .

## معرّفی ساختمان مورد بررسی

یک ساختمان هفت طبقه باکاربری آموزشی (شکل ۸) در دو جهت (مدلهای ۱ و ۲) مورد بررسی قرار گرفت. ساختمان هفت طبقه بطور کامل تحت بارهای ثقلی و جانبی آنالیز و طراحی گردید. برای کنترل مدلها از زلزله‌های طبس، ناغان، منجیل، ال‌سنترو و تاکاچی اوکی با شتاب حداکثر 0.2g و 0.45g استفاده شد. در این مقاله صرفاً نتایج مربوط به مدل ۱ ارائه شده اند. سایر نتایج، همراه با نتایج مربوط به یک ساختمان هشت طبقهٔ مسکونی در مرجع [۱] ارائه شده اند. طراحی اولیهٔ سازه مدل ۱، با مقادیر ضریب رفتار 8.0 , 7.8 و 7.5 انجام شده است. برای ضریب رفتار R = 8.0، نتایج مربوط به شتابنگاشت های مختلف برای شتاب حداکثر 0.45g، در جدول شمارهٔ ۲ آمده اند.

براساس جدول شمارهٔ ۲، شاخص آسیب حاصله از زلزله های منجیل و تاکاچی اوکی به شکل کاملاً محسوسی بزرگتر از مقادیر مربوط به سایر زلزله‌هاست. علت این مساله این است که در این دو زلزله ، علامت شتاب بسیار سریعتر از بقیهٔ زلزله ها عوض می شود و در نتیجه آسیب حاصله بیشتر می‌گردد. بعنوان مثال در رکورد طبس ، گاهی تا ۱۵ نقطهٔ متوالی، جهت (علامت شتاب) عوض نمی‌شود.




$$\text{برای رفتاربرشی دیواربرشی} \begin{cases} \alpha=0.01 \\ \beta= \text{ بوسیله برنامه محاسبه می شود} \\ \gamma=0.01 \end{cases}$$

شکل ۸ - ب : مدل تحلیلی دوم .

جدول ۲: شاخص آسیب ناشی از رکوردهای مختلف .

| رکورد | مدت (ثانیه) | شتاب حداکثر | شاخص آسیب |
|---|---|---|---|
| طبس | ۲۵ | 0.45g | 0.30 |
| منجیل | ۲۹ | 0.45g | 2.2 |
| ناغان | ۵ | 0.45g | 0.21 |
| تاکاچی اوکی | ۲۵ | 0.45g | 0.86 |
| ال سنترو | ۵۲ | 0.45g | 0.36 |

بنابراین اگر در طول یک زمان مشخص ، روی منحنی هیسترزیس، تعداد سیکل بیشتری داشته باشیم، تعداد دفعات کاهش در مقاومت، کاهش در سختی و رخدادهای لهیدگی بیشتر خواهند بود و به این ترتیب انباشت آسیب بیشتر می گردد. لذا در این مورد خاص، شتابنگاشت منجیل، آثار زوال را در سازه تشدید می کند. همواره لازم است در چنین مطالعه‌ای، تعداد مناسبی از زلزله های بزرگ و مهم برروی سازه اثر داده شود.

براساس این نتیجه گیری ، در مطالعات بعدی، زلزله منجیل را بعنوان زلزلهٔ مبنا مورد استفاده قرار دادیم. برای مطالعهٔ اثر مقدار ضریب رفتار روی شاخص آسیب ، مدل ۱، برای ضرایب رفتار 7.8, 8.0 و 7.5 طراحی گردید و شاخص آسیب حاصل بدست آمد. نتایج در جدول ۳ منعکس شده‌اند.

جدول ۳: تغییرات شاخص آسیب با ضریب رفتار.

| ضریب رفتار | شاخص آسیب |
|---|---|
| 8.0 | 2.2 |
| 7.8 | 1.70 |
| 7.5 | 1.08 |

براساس جدول ۳، می توان ضریب رفتار مناسب برای مدل ۱ را حدود 7.5 ارزیابی کرد. این ضریب رفتار برای حالت حدّی خدمت پذیری (شتاب حداکثر 0.2g) نیز مناسب است، زیرا در این حالت حدّی با ضریب رفتار بزرگتر R = 8، شاخص آسیب برابر D=0.2 بدست می آید.

## نتیجه گیری

آنالیز دینامیکی غیرخطی سازه‌های بتن آرمه در برابر زلزله، به کمک برنامه‌هایی از قبیل DRAIN-2D بدون احتساب آثار زوال انجام گرفته و می گیرد. در چنین آنالیزی معمولاً تشکیل یک طبقهٔ نرم، که تبعات آن در حالت استاتیکی و دینامیکی ممکن است یکسان نباشد، بعنوان معیار فروپاشی سازه اختیار می‌شود. در این مقاله نشان داده شد که در نظر گرفتن آثار زوال، در قالب محاسبهٔ شاخص آسیب (D) ، برای اعضا، طبقات و کل سازه، نتایجی بسیار مفید و منطقی ، در مورد قابل قبول بودن طراحی در برابر زلزله، از دیدگاه حالت حدّی نهایی و خدمت پذیری ارائه می کند. تعریف ضریب رفتار براساس شاخص آسیب، یک بستر تئوریک مقبول برای نتایج تجربی گذشته مطرح می سازد. مقادیر D = 1.0 و D = 0.2 مقادیر پیشنهادی مقاله برای حالات حدّی نهایی و خدمت پذیری هستند. نتایج حاصله برای یک ساختمان بتن آرمه هفت طبقه با دیوار برشی، شامل بررسی تاثیر رکورد انتخابی و مقدار ضریب رفتار، مورد بحث قرار گرفتند و نقش تعیین کنندهٔ شاخص آسیب در تعبیر نتایج نشان داده شد.

## مراجع


۱ - امامی فروشانی ، ف. پایان نامهٔ کارشناسی ارشد، "کاربرد شاخص آسیب برای تعیین ضریب رفتار ساختمانهای بتن آرمه با دیوار برشی". دانشکده فنی ، دانشگاه تهران ، تابستان (۱۳۷۵).

۲ - واکابایاتی، م. " ساختمانهای مقاوم در برابر زلزله". ترجمه دکتر محمدمهدی سعادت پور، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان .

3 - Park, Y. J., Reinhorn, A. M., and Kunnath, S. K. (1987). "IDARC: Inelastic Damage Analysis of Reinforced Concrete Frame-Shear Wall Structures". *Technical Report NCEER-87-0008,* State University of New-York at Buffalo, U.S.A.

۴ - راتق، ا. ر. محمودزاده کنی، ا. "آئین نامه ۲۸۰۰ ایران و زلزله‌های متوسط". دومین کنفرانس بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله ، ۲۵-۲۷ اردیبهشت (۱۳۷۴)، تهران ، ایران .