

# بررسی پاسخ های گذرای ناشی از شکست ترد اتصالات با کمک دو نوسانگر یک درجه و دو درجه آزادی

م.حسین گرامی<sup>۱</sup>، امیرحسین نوروزی<sup>۲</sup>

[Mgerami@semnan.ac.ir](mailto:Mgerami@semnan.ac.ir) م.حسین گرامی

[ah.norouzi64@gmail.com](mailto:ah.norouzi64@gmail.com) امیرحسین نوروزی

## چکیده

بروز شکست ترد در اتصالات تیر به ستون قابهای خمشی فولادی جوش شده، مانند آنچه که در زلزله ی نرتریج ۱۹۹۴ رخ داد، باعث کاهش ناگهانی در سختی و استقامت اتصالات شد. این تغییرات به رفتارهای دینامیکی گذرای گوناگونی هم در تراز کلی وهم محلی منجر شد.

این اثرات روی شتاب کلی، پاسخ گذرا و پاسخ های به شکل موج با فرکانس بالا که بلافاصله بعد از شکست رخ می دهد را شامل می شود که به سرعت هم کاهش می یابد. رفتار این پاسخ های گذرای ناشی از شکست ترد به صورت شکست در پایه ی دو نوسانگر یک درجه ی آزادی و دو درجه ی آزادی که در واقع مدل هایی از شکست ترد اتصالات تیر به ستون می باشند، به صورت تئوری و تحلیلی بررسی شده است و وجود و اثر آنها در نتایج تحلیل سازه ای نشان داده شده است.

آزمایشات و تحلیل ها نشان می دهد که به دلیل بازه ی زمانی کوتاه، پاسخ گذرای باعث تغییرات ناگهانی در تغییر مکان جانبی سازه ها نمی شود. بنابراین این شتاب های گذرای کلی تقریباً اثرات بی خطری روی رفتار کلی سیستم دارند حتی اگر مقادیر بزرگی داشته باشد. و در آخر هم بعضی از علل بروز شکست ترد ذکر شده است و نتایج آزمایشات بر روی تأثیر یکی از این فاکتورها که در واقع نوع ساختمان میکروسکوپی اجزا و اتصالات و تنش های پسماند ناشی از جوش می باشد، ارائه شده است.

**واژه های کلیدی:** پاسخ گذرا، شکست ترد اتصالات، اتصال خمشی تیر به ستون

## مقدمه

شکست ترد که در اتصالات فولادی مقاوم در برابر خمش که بعد از زلزله ی نرتریج مشاهده شده نگرانی زیادی بین مهندسان و مالکان ساختمان ها ایجاد کرد. این نگرانی به تحقیق زیادی در باره ی علت شکست ها و اثر آن شکست ها روی رفتار سازه ها و وسایل لازم برای جلوگیری از شکست ها که در آینده اتفاق می افتد منجر شد. قسمت آزمایشگاهی این تحقیقات تعداد بی سابقه ای از آزمایش های نیمه استاتیکی سیکلی را روی اتصالات تیر به ستون که زیر مجموعه ی نقاط شکست می باشند را در بر می گرفت. هم طراحی های جدید بعد از نرتریج و هم قدیمی قبل از نرتریج آزمایش شدند و تعدادی از نمونه های قبل از نرتریج بصورت ترد شکسته شدند.

بخاطر هزینه ی زیادی که از آزمایش روی تیر کامل به نظر می رسد، بیشتر تحقیقات تا امروز درباره ی اثر شکست روی پاسخ سیستم های با قاب خمش به

استادیار دانشگاه سمنان

دانشجوی کارشناسی ارشد عمران، زلزله دانشگاه سمنان

Mostafa Subhani@Semnan.ac.ir

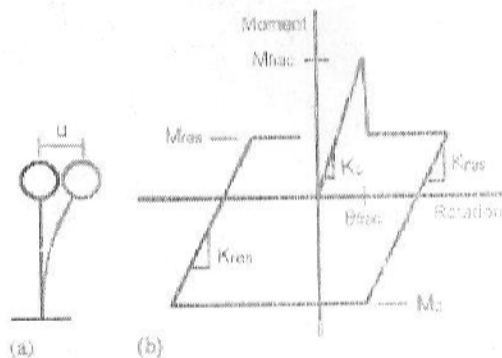
صورت تحلیلی انجام شدند تعدادی از این کارهای آنالیزی روی ارزیابی مقادیر کلی پاسخ سازه از قبیل ماکزیمم مقدار تغییر مکان نسبت طبقات و برش طبقات و به علاوه پیش گویی جایی که شکست در اتصالات ممکن است رخ دهد و مقایسه ی این پیش گویی ها با شکست های واقعی که در طی بازرسی تصادفی از سازه ی تحت زلزله یافت می شود، متمرکز شده است. ولی تأکیدات بسیار کمی روی رفتار گذرا و محلی ناشی از شکست و یا روی مفاهیم آنها برای رفتار سیستم شده است. اگر چه تحلیل های متعددی در جایی که شکست اتصالات صریحا مدل شده است انجام شده است ولی اثرات شکست ها روی شتاب های سازه در نتایجی که منتشر شده موجود نمی باشد.

به هر حال تعداد کمی از مطالعات روی اثرات گذرای مربوط به شکست در دسترس هستند، برای مثال ناکاشیما در مقاله خود یک تئوری از چگونگی رخداد باز توزیع لنگر استاتیک بعد از شکست را بر این چندین حالت از توزیع مقاومت در اتصالات را ارائه داده است و یونانی و تاگاو بر روی پاسخ گذرای یک تیر با یک شکست در یک انتها با مدل یک توزیع جرم پیوسته و یک مدل سازه مطالعه کرده اند و مشخص کردند که مدل سازه روند کلی پاسخ سازه را خوب در بر می گیرد اما اثرات شکست روی شتاب کلی در هیچ کدام از این مطالعات موجود نمی باشد.

دانسته های اصلاح شده از پاسخ دینامیکی گذرای حاصل از شکست ترد میتواند اطلاعات لازم را جهت حصول راه های جدید برای کشف خسارت تأمین کند به علاوه رفتار کلی و محلی پیچیده ی حاصل از شکست را برای ما آسان می کند اهداف این مقاله امتحان کردن و بررسی کردن اثرات شکست ترد اتصالات روی پاسخ دینامیکی گذرای قایدهای خمش فولادی می باشد به خصوص اثرات بر روی شتاب های کلی سازه ای و همچنین مشخص کردن اهمیت چنین اثراتی بر روی رفتار کل سازه.

پاسخ سیستم با یک درجه ی آزادی

آزمایش نوسانگر غیر خطی ساده ی نشان داده شده در شکل (a) با یک درجه آزادی جانبی درباره ی گذرا بودن پاسخ دینامیکی کلی حاصل از شکست به ما آگاهی می دهد. این نوسانگر یک تپری عمومی ساده است که نماینده ی یک عضو فولادی با یک شکست بحرانی در اتصال در پایه ی خود می باشد. به خاطر به دست آوردن آگاهی درباره ی رفتار دینامیکی پیچیده از شکست سیستم، نوسانگر از جنبه های اساسی مختلفی امتحان می شود. پاسخ سیستم به چندین تحریک، بسیار ساده با استفاده از معادله ی حرکت در ابتدا با بکار بردن هر دو راه Closed-Form و روش عددی time stepping امتحان می شود.



شکل 1.1) نوسانگر غیر خطی و (b) رفتار چرخه ای فرض شده ی اتصال شکست خورده

اثرات تئوری حاصل از شکست بر روی شتاب های سازه ای :

روش Closed-Form :

پاسخ یک نوسانگر SDOF به تحریک زلزله با معادله ی (1) داده شده است که  $m$  به عنوان جرم و  $a$  به عنوان شتاب مطلق است و  $f(u, \dot{u})$  به عنوان یک نیروی ذخیره ی عمومی است که تابع سرعت و -جابجایی نسبی می باشد. شتاب مطلق متشکل از شتاب نسبی سازه نسبت به زمین و خود شتاب زمین می باشد که در معادله ی (2) نشان داده شده است.

$$m\ddot{u} + f(\dot{u}, u) = 0 \quad (1)$$

$$\ddot{u} = \ddot{u}_{structure} + \ddot{u}_{ground} \quad (2)$$

اگر میرایی بصورت خطی ویسکوز فرض شود، معادله ی (۲) به صورت معادله (۳) ساده سازی می شود که ((c)) به عنوان ضریب میرایی و  $r(u)$  که به عنوان نیروی ذخیره و مقاوم می باشد.

$$m(\ddot{u}_{structure} + \ddot{u}_{ground}) + cv + r(u) = 0 \quad (3)$$

شکست در اتصال صلب (خمشی) موجود در پایه ی نوسانگر باعث کاهش ناگهانی در ظرفیت خمش و سختی اتصال می شود. کاهش در ظرفیت خمشی پایه نیروی کلی  $r$  را کاهش می دهد به دلیل اینکه  $r$  حاصل از تقسیم لنگر  $m$  بر ارتفاع  $h$  می باشد. معادله ی (۳) نشان می دهد که اگر فرض شود شتاب زمین  $\ddot{u}_{ground}$  و جرم  $m$  بعد از لحظه ی شکست ثابت باقی بمانند آنگاه کاهش ناگهانی در نیروی  $r$  که ناشی از شکست میباشد همراه با افزایش ناگهانی در شتاب مازه ( $\ddot{u}_{structure}$ ) با سرعت (۷) خواهد بود.

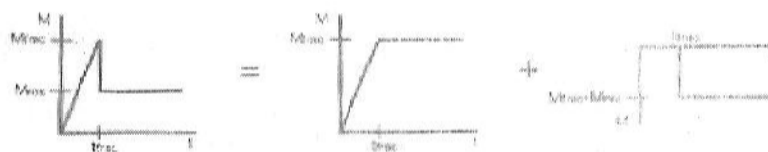
برای یک حالت ایده آل وقتیکه شکست در طول لرزش آزاد الاستیک (در پی جنبش شتابدار زمین) رخ می دهد، مدت بسیار مختصر پروسه شکست ترد پاسخ فوری پس از شکست را ایجاد می کند شبیه به آنکه این پاسخ در اثر یک نیروی خارجی پله ای  $p(t)$  وارد بر سیستم ایجاد شود که در معادله ی (۴) نشان داده شده است. تا زمانی که بار برداری رخ می دهد  $p(t)$  می تواند به عنوان یک نیروی معادل با تغییر در ظرفیت ( $\Delta r$ ) به خاطر شکست باشد که در معادله (۵) نشان داده شده است.

$$m\ddot{u}_{structure}(t) + cv(t) + r(u, t) = p(t) \quad (4)$$

$$p(t) = \begin{cases} 0 & t < t_{fracture} \\ -\Delta r & t_{fracture} \leq t < t_{unload} \end{cases} \quad (5)$$

ترم ( $\Delta r$ ) به شرح ذیل برای شکست ترد در پایه ی نوسانگر در نظر گرفته شده است که برای ساده سازی فرض می شود که پاسخ چرخه ای (hysteretic) دارد که در شکل (b) نشان داده شده است. تا زمان بار برداری، نمودار گشتاور - زمان مربوط به اتصال شکسته شده که دارای لنگر مقاوم باقیمانده  $M_{res}$  است، همان طوری که در شکل (۲) نشان داده شده است می تواند به پاسخ یک سیستم الاستوپلاستیک کامل و یک تابع پله ای تقسیم شود، مقدار تابع پله ای در واقع ظرفیت کم شده به خاطر شکست می باشد،  $M_{frac} - M_{res}$  و ظرفیت کم شده نیروی مقاوم را نیز می توان از تقسیم این مقدار بر ارتفاع به دست آورد، برای رفتار چرخه ای فرض شده، مقدار نیروی ذخیره ای ( $r$ ) با معادله ی (۶) داده شده است. ظرفیت از دست رفته به دلیل شکست به عنوان نیروی  $p(t)$  به طرف دیگر معادله منتقل شده است.

$$r(u, t) = \begin{cases} K_{OU}(t) & t < t_{fracture} \\ M_{frac}/h & t_{fracture} \leq t < t_{unload} \end{cases}$$



شکل ۳. نیروی معادل نمودار گشتاور - زمان برای شکست (معتبر تا لحظه ی بار برداری)

معادله (۷) از جایگزاری عبارات به دست آمده برای  $p(t)$  و  $r(t)$  در معادله ی حرکت با فرض  $\ddot{u}_{ground}=0$  بدست آمده است و از زمان شکست تا زمان بار برداری معتبر است. پاسخ در زمان شکست با معادله ی استاندارد برای پاسخ سیستم SDOF الاستیک منظور شده است.

$$m\ddot{u}_{structure}(t) + cv(t) + \frac{M_{frac}}{h} = \frac{M_{frac} - M_{res}}{h}, \quad t_{fracture} \leq t < t_{unload} \quad (7)$$

معادله (۷) یک معادله دیفرانسیل عادی است که با بکاربردن تکنیک های استاندارد می تواند حل شود که معادله (۸) نتیجه می شود ، مقدار سرعت اولیه و جایجایی اولیه از حل الاستیک در  $t_{fracture}$  تعیین می شوند . حل الاستیک به سهولت در دسترس است و اینجا تکرار نمی شود.

$$u(t) = \frac{M_{res}m + v_0 c h m + u_0 c^2 h}{c^2 h} - \frac{M_{res}}{c h} t - \frac{m}{c^2 h} (M_{res} - v_0 c h) e^{-(c/m)t} \quad t_{fracture} \leq t < t_{unload}$$

معادله (۸) نشان می دهد که تغییر مکان از یک ترم اصلی کاهش نمای (c) و یک ترم خطی تشکیل می شود . در این حالت ترم نوسانی (هارمونیک) وجود ندارد چون مدهای بالاتر تحریک وجود ندارد و سازه تسلیم می شود و ضریب زاویه که همان سختی می باشد به خاطر فرض رفتار پلاستیک در طی شکست صفر می شود به محض اینکه باربرداری رخ می دهد نوسان شروع می شود زیرا در آن هنگام پاسخ سیستم به صورت لرزش الاستیک و آزاد خواهد بود اگر چه سختی سازه نسبت به قبل از شکست کمتر خواهد بود. معادله (۸) روابطی برای سرعت و شتاب برای زمان  $t_{fracture} < t < t_{unload}$  به ما می دهد که به ترتیب در (۹) و (۱۰) نشان داده شده است.

زمان باربرداری را میتوان با صفر قرار دادن معادله (۹) و حل آن بر حسب (t) بدست آورد.

معادله (۱۰) نشان می دهد که شتاب سازه پلاناهله پس از شکست با یک مولفه نمایی کاهش می یابد که در یک ضریب ثابت که شامل لنگر باقیمانده و جرم و ضریب میرایی و ارتفاع و سرعت اولیه می باشد ، ضرب شده است.

$$v(t) = \dot{u}(t) = \frac{-M_{res}}{c h} + \left( \frac{M_{res}}{c h} + u_0 \right) e^{-(c/m)t} \quad t_{fracture} \leq t < t_{unload} \quad (9)$$

$$a_{structure}(t) = \ddot{u}(t) = \frac{M_{res} + v_0 c h}{m h} e^{-(c/m)t} \quad t_{fracture} \leq t < t_{unload} \quad (10)$$

پاسخ گذرای حاصل از شکست ترد را می توان با فرض کردن  $m=c=h=m_{res}=1$  ،  $u_0=v_0=a_0=0$  به صورت ساده تر مشاهده کرد و نمودارهای (۸) و (۹) و (۱۰) بر اساس زمان در شکل (۳) نشان داده شده است. شکل (۳) نشان می دهد که یک تغییر ناگهانی به صورت یک پرش ناپیوسته در شتاب در  $t=1$  رخ میدهد (زمان شکست). اما تغییرات در سرعت و تغییر مکان به صورت تدریجی است. به هر حال همان طوری که نشان داده شده است انحراف در شتاب زودگذر است.



شکل ۳. شتاب و تغییر مکان سیستم شکست خورده هنگامیکه شتاب زمین صفر است

معادله (۷) با این فرض است که شتاب زمین صفر است. حالا اگر نیروی پلای  $p(t)$  به یک سازه اعمال شود که هم زمان با شتاب زمین نیز تحریک شده باشد خواهیم داشت :

$$m a_{structure}(t) + c v(t) + \frac{M_{frac}}{h} = \frac{M_{frac} - M_{res}}{h} - m a_{ground}(t) \quad t_{fracture} \leq t < t_{unload} \quad (11)$$

به جهت ساده سازی تحریک شتاب زمین به صورت  $\sin$  در نظر گرفته میشود. موج سینوسی در  $t=0$  شروع می شود در حالیکه  $p(t)$  مانند قبل در  $t=1$  اعمال می شود. حل Closed-Form برای این حالت با بکار بردن تکنیک های استاندارد بدست می آید که در عبارت (۱۲) نشان داده شده است. شتاب را نیز میتوان با معادلات دیفرانسیل به دست آورد که در معادله ی (۱۳) نشان داده شده است. هر دو حل از زمان شکست تا زمان باربرداری معتبر هستند. تا زمان شکست هم پاسخ با حل الاستیک برای تحریک هارمونیک منظور می شود.

$$w(t) = \frac{m c \cos(t) + m^2 \sin(t)}{c^2 + m^2} + \frac{M_{res}(m - ct)}{c^2 h} + \frac{m(v_0 - 1)}{c} + w_0 \quad (12)$$

$$- \frac{m e^{(-ct/m)}}{c^2 h} \left( M_{res} + v_0 c h - \frac{m^2 c t}{c^2 + m^2} \right), \quad \text{if } m c h \leq t < \text{failure}$$

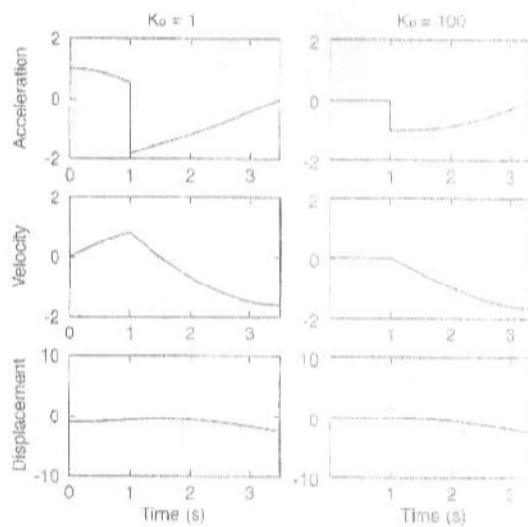
(13)

$$\ddot{w}(t) = -\frac{m c \cos(t) + m^2 \sin(t)}{c^2 + m^2} - \frac{e^{(-ct/m)}}{m h} \left( M_{res} + v_0 c h - \frac{m^2 c t}{c^2 + m^2} \right), \quad \text{if } m c h \leq t < \text{failure}$$

شتاب در عبارت (۱۳) شامل یک ترم نوسانی است که مرتبط با حرکت سینوسی زمین می باشد و همچنین یک ترم نمایی کاهشی که مرتبط با تابع پله ای که به نمایندگی از شکست ترد است می باشد.

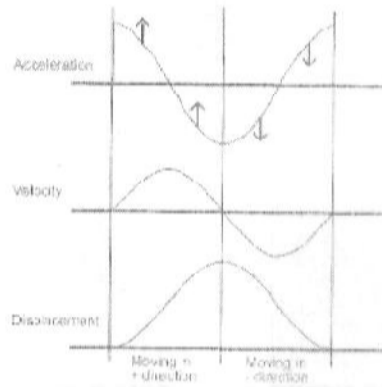
در حالتی که شتاب زمین صفر فرض می شود، سیستم تسلیم می شود (دارای سختی صفر). بنابراین ترمی متناسب با فرکانس طبیعی سیستم وجود ندارد. پاسخ های سیستم در شکل ۴ برای دو حالت بسیار متفاوت سختی اولیه  $K_0$  رسم شده است که تغییرات ممکن در رفتار قبل از شکست سازه را نشان می دهد. برای ساده سازی فرض می شود که سیستم از شرایط اولیه ی صفر شروع به حرکت کرده و  $M_{res}, c, h, m$  همگی برابر با ۱ فرض می شوند.

با توجه به زمان کوتاه شکست و خاصیت زودگذر آشفتگی شتاب، اثر محتمل در تغییر مکان سازه کوچک خواهد بود حتی اگر مقدار آشفتگی بزرگ باشد بنابراین حتی مقادیر بزرگ شتاب گذرای حاصل از شکست هم محتمل نیستند که اثر بسیار بدی را بر روی رفتار سازه بگذارند. نتایج دیگر شکست (برای مثال کاهش مقاومت)، رفتار اتصال پس از شکست، مواردی از تحریک زمانی می توانند عوامل مهمی در پاسخ عضوی از سیستم باشند که دارای موقعیت بحرانی تروبا شکست های متعدد باشند.



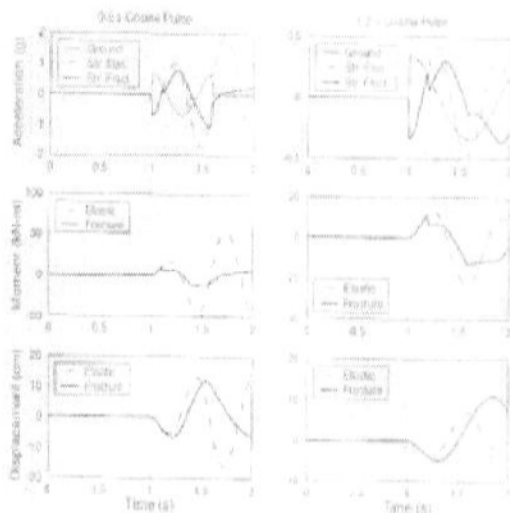
شکل ۴. شتاب و تغییر مکان سیستم شکست خورده هنگامیکه شتاب زمین برابر با  $\sin(t)$  است

شتاب گذرای مشاهده شده در مطالعات تحلیلی  
 تحلیل دو نوسانگر اجرا شده با بکار بردن نرم افزار open sees که استعداد مدل کردن شکست اتصالات را بصورت ساده در مدل رفت و برگشتی دارند ( بنابراین روش تجزیه بکار نمی رود ) .  
 نوسانگر اول مانند آنچه که در شکل (۱۸) نشان داده شده می باشد با یک درجه آزادی جانبی ، دومین نوسانگر بصورت فنی یک سیستم دو درجه آزادی است اما فقط یک درجه آزادی جانبی دارد و درجه یک درجه آزادی چرخشی دارد (در ارتفاع h بالای پایه) و یک پل بین سیستم یک درجه آزادی بحث شده

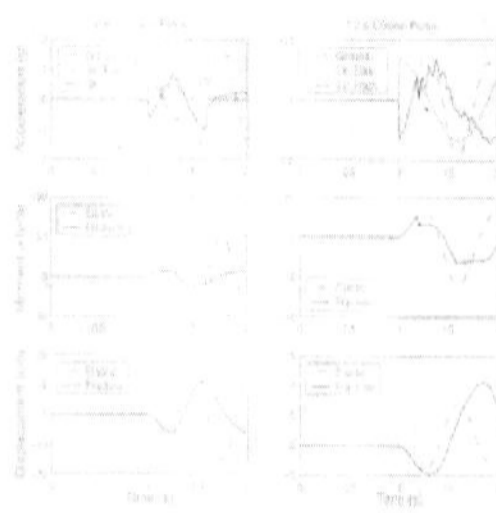


شکل ۵ . جهت تغییرات ناگهانی شتاب (ناپیوستگی جهشی) که باعث می شود سازه در جهت حرکت شتاب بگیرد

و سیستم چند درجه آزادی در بخش بعدی شرح داده می شود ایجاد می کنند نوع نوسانگر در معرض پالس های شتاب کسینوسی قرار گرفتند. برای چنین پالس هایی ، تغییرات ناگهانی در شتاب، در جهت های نشان داده با پیکان در شکل (۵) به این مفهوم است که سازه به طور ناگهانی به جلو حرکت می کند و شتاب به طور ناگهانی در جهتی که سازه در همان جهت در حال حرکت است افزایش پیدا می کند. این بدین معنی است که اگر علامت تغییر ناگهانی شتاب با جهش نا پیوستگی مشابه سرعت باشد می توان گفت سازه به سمت جلو جهش می کند.  
 در چندین حالت ، تاریخچه زمانی سرعت به راحتی از خروجی های برنامه تحلیلی قابل دسترسی نیست ، اما علامت سرعت را می توان با استفاده از شیب نمودار تغییر مکان بدست آورد . این حالتی است برای تحلیل open sees نوسانگر های 2 dof, 3 dof ، که به ترتیب در شکل های ۷ و ۸ نشان داده شده اند . طبیعت پاسخ شتاب به طور ناگهانی بلافاصله بعد از شکست تعبیر می کنند نتایج یک تحلیل الاستیک برای مقایسه اهداف فراهم شده است .



شکل ۶ . مدل 3dof برنامه open sees با پریود متوسط (s)  $t=0.6$  ، تحت تحریک پالس کسینوسی 0.6s (چپ) و 1.2 (راست)



شکل ۷ . مدل 2dof برنامه open sees با پریود متوسط (s)  $t=0.6$  ، تحت تحریک پالس کسینوسی 0.6s (چپ) و 1.2 (راست)

زمان شکست را می توان از نمودار لنگر اتصالات بدست آورد اگر چه یک جهش در شتاب حالت شکسته شده مشاهده می شود ولی چنین نا پیوستگی در پاسخ تغییر مکان موجود نمی باشد و یک تغییر تدریجی با برپود طولی مشاهده می شود.

برای هر دو سیستم  $sdoF, 2dof$  نشان داده شده در شکل های ۶ و ۷، به ترتیب جهت اولین حرکت برای شتاب های در ادامه شکست این چنین است که شتاب به طور ناگهانی در جهت مثبت کاهش پیدا می کند و بنابراین در جهت منفی افزایش پیدا می کند، که جهت حرکت است، با توجه به قراردادهای شکل (۵)، این به این معنی است که سازه به طور ناگهانی به طرف جلو جهش می کند، و فقدان نیروی ذخیره شده با افزایش در سرعت متعادل ویالانس می شود، بنابراین تعادل دینامیکی حفظ می شود.

شکست باعث می شود سازه به صورت ناگهانی در جهت حرکت، افزایش سرعت دهد این نتایج با پیشگویی های بدست آمده از معادله حرکت سازگار است و تشریح می کند که روند مشابهی در سیستم های با یک درجه ی آزادی و سیستم های با چند درجه ی آزادی مشاهده می شود. نوسانهای گذرا با فرکانسهای بالا در ادامه شکست که در شکل ۷ نشان داده شده بخاطر تحریک حاصل از درجه ی آزادی چرخشی می باشد این نتیجه تشریح می کند که شکست در سازه های با چند درجه آزادی مدهای بالاتر را تحریک می کند.

#### بعضی علل شکست ترد اتصالات:

شکست ترد در فولاد ممکن است به دلیل فاکتورهای زیر باشد:

وضعیت و بیکر بندی اتصال و جزئیات اتصال، خصوصیات مکانیکی و بافت میکروسکوپی اجزای فولادی، مناطق تحت تأثیر حرارت و جوش، طبیعت و نوع تنش های وارده، تنش های پسماند و وجود تنش و عیب و ناپیوستگی و نامنظمی اتصالات.

تحقیقاتی بر روی اثر خواص مکانیکی و بافت میکروسکوپی و یا تنش های پسماند انجام شده است که نتایج آن در بعضی نوشتجات موجود است. در اینجا نتایج آزمایشات مربوط به این فاکتور همراه با جوش ارائه شده است.

- ترک اولیه در ریشه ی جوش و مرکز اتصال تیر به ستون رخ می دهد.

- بافت میکروسکوپی همراه با ترک اولیه در واقع یک بافت میکروسکوپی MAC (بافت میکروسکوپی هیدروکسید آهن شامل مارتنیت (ماده ی فلزی سخت و شکننده) و کاربید که ترکیبی از کربن و چند فلز است) درشت می باشد.

- در ابتدا ترک های شکل پذیر ایجاد می شود و سپس ترک های ترد.

- تبدیلی از شکست ترد به شکست شکل پذیر در داخل بافت میکروسکوپی مشابه MAC ایجاد می شود.

- بیشترین سختی داخل ریشه ی جوش در مرکز اتصال تیر به ستون مشاهده شده است و این سختی با افزایش فاصله از مرکز کاهش می یابد.

کاهش بافت میکروسکوپی شکننده در نزدیکی ریشه ی جوش در بروز شکست ترد سهم می باشد. به جت کاهش احتمال شکست ترد در اتصال تیر به ستون جوش شده لازم است که از بافت های میکروسکوپی شکننده به خصوص در نزدیکی ریشه ی جوش و مجاورت محلی که تمرکز تنش وجود دارد، اجتناب کرد. به هر حال در این مرحله مشخص نیست که تشکیل یک بافت میکروسکوپی شکل پذیر بتواند از شکست ترد جلوگیری کند. تغییرات زیاد در مقطع عرضی اتصال تیر به ستون که شبیه یک شکاف عمل می کند، ممکن است باعث تشکیل و توسعه ی تنش های سه محوری شود که حتی یک بافت میکروسکوپی شکل پذیر هم در نزدیکی محل ایجاد تنش نتواند از شکست ترد در این اتصالات جلوگیری کند، مگر این که اثر شکاف در اتصال تیر به ستون به اندازه ی قابل ملاحظه ای کاهش یابد.

#### نتیجه:

تحلیل ها نشان می دهند هنگامی که شکست ترد اتصالات رخ می دهد تغییرات ناگهانی در شتاب جانبی کلی بوجود می آید، برای سیستم های SDOF کاهش ناگهانی نیروی مقاوم (نیروی ذخیره در سیستم که به دلیل شکست می باشد سبب افزایش ناگهانی شتاب جانبی میشود بطوری که معادلات دینامیک هنوز برقرار است.

در نهایت هر چند افزایش خالص در شتاب انتظار می رود، در سیستمهای میرا این اثر گذرا است بنابراین معادلات تعادل نشان می دهد که تغییرات ناگهانی در شتاب تغییرات ناگهانی در جابجایی را سبب نمی شود و انتظار می رود که نمودار مکان-زمان پس از شکست بصورت منحنی و صاف باقی بماند. آنالیزها نشان می دهد که تغییرات ناگهانی در شتاب کلی افقی، با آنچه که به کمک معادلات تعادل در سیستم های سازه ای پیش بینی می شود از نظر جهت و علامت حرکت سازگار است و نشان می دهد که سازه در حالت کلی در جهت حرکت شتاب میگیرد.

با توجه به مطالب مطرح شده شتاب گذرا با فرکانس بالا که توسط آنالیزها پیش بینی شد، باعث تغییرات زیادی در جابجایی سازه نمی شود در حالت کلی دیگر اثرات شکست مثل کاهش مقاومت و سختی باعث افزایش تغییر مکان سازه می شود، خصوصاً اگر ترکهای بسیاری رخ دهد و همچنین اتصالات به سمت از دست دادن مقاومت خود بر اثر ترک خوردگی و شکست بروند. با توجه به نتایج بدست آمده از تحلیل دو نوسانگر یک درجه ای آزادی و دو درجه ای آزادی، می توان گفت با افزایش درجات آزادی سازه، در اثر شکست مودهای بالاتر نوسان نیز تحریک می شود.

این امکان وجود دارد افزایش ناگهانی در شتاب تأثیر زیان آوری بر روی رفتار دینامیکی سیستم در حالات های خاص داشته باشد. یکی از احتمالات این رخداد زمانی است که تمام یا قسمتی از اتصالات خمشی موجود در قاب های خمشی دچار ترک و شکستهای همزمان و نزدیک به هم شوند.

اگر شکست های همزمان ایجاد شده قابل صرف نظر کردن باشند (و اغلب طراحان مقاوم سازی خواهان پرهیز و صرف نظر کردن از این ترکها، بنا به دلایل مختلف می باشند) تأثیر تغییرات تصادفی در شتاب به نظر کم می باشد، در نتیجه دارای تأثیر مهمی در طراحی نمی باشد. با وجود اینکه این پدیده (شکست ترد) دارای تأثیر بسیار ناچیزی بر روی پاسخ تغییر مکان سازه می باشد، ولی شتاب گذرا با فرکانس زیاد ایجاد می کند به گونه ای که باعث تغییرات قابل توجهی در محسوسات فرکانس و میران دامنه آن می شود که به سادگی از تاریخچه شتاب نگاشت قابل تشخیص است در نتیجه شتاب نگاشت قابلیت بکار رفتن در تشخیص شکستها و ترکها در اتصالات را در قاب های خمشی فولادی دارد.

منابع:

- 1-Bertero VV , Anderson JC , Krawinkler H . Performance of steel building structures during the Northridge earthquake . Report UCB/EERC-94/09, Engineering Research , Univresity of California , Berkeley, CA, 1994
- 2-FEMA, Recommended seismic design criteria for new steel moment frame building . FEMA -350, SAC Joint Venture for the Federal Emergency Agency , Washington, DC 2000
- 3-C. P. OSTERTAG and E. DRESCHER-KRASICKA , J mater .sci . in press