مقاومسازی ساختمانهای فلزی موجود با کاهش مقطع بال

محسن گرامی** ، استادیار دانشگاه سمنان،پژوهشگر فوق دکتری سازه،دانشگاه تربیت مدرس

امین غزنوی اسکوئی* ، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه سمنان

** پست الکترونیکی : **Mgerami@semnan.ac.ir**

* پست الکترونیکی : *amin_ghaznavi@yahoo.com*

چکیده:

قبل از زلزله نرتریج ، تصور بر این بود که سازه های دارای قاب خمشی فولادی دارای رفتار مناسبی در هنگام وقوع زلزله می باشند. اما پس از وقوع زلزله نرتریج بر اثر تحقیقات ،مشخص شد که بیشتر اتصالات بعلت ترک خوردگی جوش بدون داشتن شکل پذیری مناسب دچار شکست صلب شده بود. برای جلوگیری از ترک خوردگی جوش و در نتیجه شکست ترد اتصال، می توان از دو روش عمده بهره جست. یکی تقویت اتصال درناحیه اتصال تیر به ستون می باشد. مشکل عمده این روش افزایش لنگر وارده به ستون است. روش دوم، تضعیف تیر در ناحیه نزدیک اتصال می باشد. در این روش میزان کاهش مقطع به حدی است که باعث انتقال مفصل پلاستیک از بر ستون به داخل تیر می شود. این بدان علت است که بال پایینی معمولا در دسترس بوده و در داخل دال بتنی قرار ندارد. در این مقاله با استفاده از نرم افزار **ANSYS** به بررسی این مدلها پرداخته شده است.

کلید واژه ها : اتصال **RBS** ، اتصال **SMF** ، مفصل پلاستیک، منحنی هیسترسیس ، چشمه اتصال

۱- مقدمه:

پس از زلزله نرتریج ، خرابیهای بسیاری در سازه های فولادی که دارای قاب خمشی فولادی ویژه بودند رخ داد. این خرابیها نشاندهنده ضعف این سیستم در برابر زلزله بود . در صورتیکه تا پیش از زلزله نرتریج تصور بر آن بود که سازه های دارای قاب خمشی ویژه دارای رفتار بسیار مناسبی در هنگام وقوع زلزله می باشد.اما مشاهده شد که عدم توجه به نحوه تشکیل مفصل پلاستیک باعث

تشکیل مفصل پلاستیک در بر ستون گشته و در نتیجه تمرکز تنش زیادی در انتهای تیر و در ناحیه اتصال تیر به ستون ایجاد شده و بالطبع تمرکز کرنش در این ناحیه ایجاد می شود . با توجه به این نکته که جوش متصل کننده بال تیر به بال ستون دارای رفتار ترد و شکننده می باشد و قادر به تحمل کرنشهای بالا نمی باشد، در نتیجه این جوشها بر اثر نیروی زلزله اعمال شده دارای شکستگی شده و باعث جدا شدن تیر از ستون می شود.

در نتیجه به علل ذکر شده در بالا قابهای خمشی ویژه (که با روابطی که در آیین نامه های قبل از زلزله نرتریج بیان شده بود طراحی شده بود) رفتار خوبی از خود نشان نداد. حتی ساختمانهایی که برای استفاده بی وقفه و با کیفیت مناسب طراحی شده بودند نیز نتواستند در برابر زلزله مقاومت کنندو آسیب دیدند.

باتوجه به استفاده فراوان از قابهای خمشی فولادی در طراحی های لرزه ای سازه ها ، و با توجه به این نکته که این سازه ها بر اساس ضوابط و آیین نامه هایی طراحی شده است که ضوابط مربوط به نحوه تشکیل مفصل پلاستیک و نحوه گسترش آن رامورد بررسی قرار نداده اند ، در نتیجه پس از زلزله نرتریج تحقیقات بسمت افزایش شکل پذیری اتصالات صلب پیش رفت و بطور کلی اتصالات پس از زلزله نرتریج (**Post-Northridge**) شکل گرفت . در این اتصالات هدف بطور عمده انتقال مفصل پلاستیک به داخل تیر و به یک فاصله معین از بر ستون می باشد.بگونه ای که با دور ساختن مفصل پلاستیک از بر ستون ، باعث کاهش تمرکز کرنش بوجود آمده در ناحیه جوش می شوند و در نتیجه باعث کاهش در میزان ترک خوردگی جوش و بالطبع کاهش شکست ترد در اتصال می شوند. روشهاس متعددی برای انتقال مفصل پیشنهاد گردید. در حالت کلی این روشها بدو دسته عمده تقسیم می شود:

۱- یکسری از اتصالات (**Post- Northridge**) بگونه ای طراحی شده اند که با افزودن اجزایی به اتصال باعث افزایش مقاومت تیر در ناحیه اتصال شده و در نتیجه باعث کاهش تنش در اتصال می شود. و در نتیجه باعث انتقال مفصل پلاستیک بداخل تیر می شود. همچنین با مقاومتر کردن اتصال از چرخش اجزای اتصال نسبت به هم (تیر نسبت به ستون) جلوگیری می کنند که در نتیجه تنش کمتری در ناحیه جوش ایجاد می شود.استفاده از ماهیچه (**Haunch**) و یا پشت بند (**Rib**) و ... از این دسته اند.

۲- در روش دوم با کاهش مقاومت تیر در بخشهای مشخص از تیر ، باعث تضعیف تیر در یک ناحیه مشخص و از پیش تعیین شده گشته که در نتیجه مفصل پلاستیک در این

ناحیه تشکیل می شود.و از بر ستون به داخل تیر منتقل می شود.انواع اتصالات **RBS** از این دسته اند.

برای مقاومسازی از هر دو روش می توان بهره جست . هر کدام از این دو روش دارای مزایا و معایبی هستند که قبل از انتخاب دیتیل برای بهسازی لرزه ای اتصال باید بطور کامل به بررسی آنها پرداخت. در اینجا به بررسی یکی از دیتیلهای مقاومسازی اتصال در قاب خمشی ویژه فولادی پرداخته می شود.

همانگونه که قبلا ذکر گردید برش بال تیر یکی از روشهای مقاومسازی اتصالات می باشد. برش بال تیر در ناحیه نزدیک ستون و در یک فاصله مشخص و با دیتیل مشخصی صورت می پذیرد. این نوع اتصال در دنیا با نام **RBS** و یا **Dogbone** و در ایران به نام اتصال استخوانی شناخته می شود. آزمایشات متعددی بر روی این اتصال صورت پذیرفته و روابط برش و دیتیل آن در **FEMA** موجود می باشد.[۵]. اتصال **RBS** دارای انواع مختلفی می باشد . این اتصال دارای سه نوع دیتیل متداول می باشد. در اینجا به بررسی اتصال **RBS** دارای برش شعاعی پرداخته شده است.

۲- روند طراحی اتصال RBS:

برای طراحی اتصال **RBS** با برش شعاعی از روابط پیشنهادی **FEMA** استفاده می شود.(روابط ۱و۲و۳و٤).[۵]

$$a \approx (0.5 \square 0.75)b_f \qquad (۱)$$

$$b \approx (0.65 \square 0.85)d \qquad (۲)$$

$$c \approx (0.2b_f \square 0.25b_f) \qquad (۳)$$

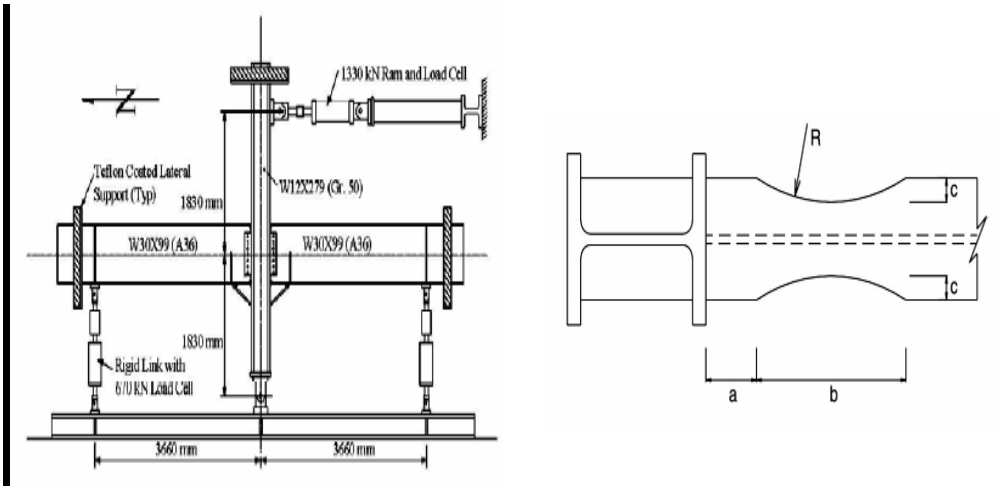
$$R = \frac{4c^2 + b^2}{8c} \qquad (٤)$$

بگونه ای که **a,b,c,R** بترتیب برابر با شعاع برش و میزان برش حد اکثر و طول برش و فاصله ابتدای ناحیه بریده شده تا بر ستون می باشد.(شکل شماره ۱- الف). همچنین b_f **, d** بترتیب برابر با عرض بال تیر و ارتفاع مقطع تیر می باشد.[۵].

نکته قابل توجه اینکه بعلت عدم دسترسی به بال پایینی تیر که معمولا در دال بتنی مدفون می باشد و تخریب دال و برش بال بالایی بسیار پر هزینه می باشد ،در نتیجه معمولا برای بهسازی اتصالات قاب خمشی موجود ، از اتصال **RBS** در بال پایینی استفاده می شود . مشخصات برش در این

حالت همانند زمانی است که هر دو بال دارای بریدگی هستند. بر اساس تمهیدات **FEMA** ، حداکثر میزان کاهش مقطع برابر با ٪۵۰ می باشد که در اینجا نیز حداکثر کاهش به همین میزان محدود می شود. برشهای بیشتر از این مقدار می تواند مشکلات عدیده ای را برای پایداری تیر فراهم سازد.(کمانش جان تیر ، کمانش جانبی – پیچشی بال تیر و ....).[۶و۳].

در مدلهای استفاده شده در این مقاله از میزان برش ۰/۵۰ استفاده شده است. یعنی میزان $C = 0.25b_f$ مورد استفاده قرار گرفته است. مقادیر برش و ابعاد **a,b,c,R** در جدول (۱) موجود می باشد.



ب الف

شکل ۱: الف)معرفی پارامترهای طراحی در اتصال با برش شعاعی –ب) زیر سازه استفاده شده در مدلسازی

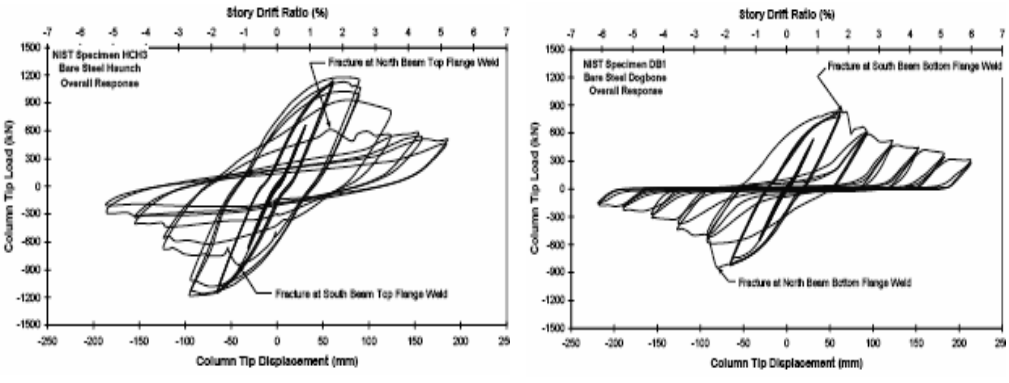
جدول شماره ۱ : مشخصات مقطع در اتصال **RBS**

تیر	a	b	c	R
IPE۳۳۰	۱۰ **cm**	۲۶ **cm**	٤ **cm**	۲۳،۱۲۵ **cm**

۳- آزمایشات صورت پذیرفته:

یکی از آزمایشاتی که به منظور بهسازی لرزه ای اتصالات صلب فولادی با استفاده از کاهش مقطع بال صورت پذیرفته ،توسط **Scott A.Civjan & Engelhardt** می باشد.[۸] در این آزمایشات از زیرسازه صلیبی شکل (شکل ۱- ب) استفاده شده است. تیر در این مدل از نوع فولاد **A۳۶** می باشد و دارای مقطع **W۳۰x۹۹** می باشد. ستون دارای مقطع **W۱۲x۲۷۹** بوده و با فولاد **A۵۷۲ Grade**

۵۰ می باشد.انتخاب مقطع و طول دهانه ها بگونه ای بود که زیر سازه انتخاب شده بتواند شرایط تیر و ستونها متداول مصرفی در ساختمان (نوع مقطع ، نوع فولاد مصرفی ، طول دهانه تیر و طول ستون) را مدل نماید. همچنین قانون تیر ضعیف – ستون قوی نیز رعایت شده است. ابتدا اتصال بصورت اتصالات قبل از زلزله نرتریج طراحی و ساخته شد و سپس بهسازی اتصال بر روی اتصال موجود صورت پذیرفت. عملیات جوشکاری در این نمونه ها توسط الکترود E۷۰T-٤ صورت پذیرفته است. مقاومت جاری شدگی استاتیکی تیرها بطور میانگین برابر با ۳۲۹ MPa (٤٧/٧ Ksi) می باشد و مقاومت جاری شدگی دینامیکی آن برابر با ۳٤٥ MPa (۵۰ Ksi) می باشد و حد نهایی مقاومت دینامیکی برابر با ٤٥٢ MPa (٦٥/٥ Ksi) می باشد. دو مدل از آزمایشات صورت گرفته دارای اتصال RBS و با کاهش مقطع ٪۵۰ در بال پایینی می باشد. (DB۲ , DB۱) . در مدل DB۱ ، جوش متصل کننده بال تیر به جان ستون تعویض نشده و دارای شرایط اتصال قبل از زلزله نرتریج می باشد و تنها تسمه پشت بند برداشته می شود. در مدل DB۲ جوشهای متصل کننده بال تیر به ستون که با الکترود E۷۰T-٤ صورت گرفته بود ، کاملا برداشته شده و عملیات جوشکاری توسط الکترود E۷۱T-۸ صورت می پذیرد. همچنین در بال پایینی تسمه پشت بند برداشته می شود . اما در بال بالایی این تسمه برداشته نشده و توسط جوش نواری به ستون جوش داده می شود. تفاوت دیگری که دو مدل DB۱ و DB۲ دارند ، وجود دال بتنی به عرض ۲٤٤۰ mm بر روی مدل DB۲ می باشد که به علت بررسی اثر دال بتنی بر روی روند مقاومسازی می باشد. تعداد و نحوه گسترش برشگیر ها نیز همانند ساختمانهای متعارف موجود می باشد. منحنی های هیسترسیس و شکل مدلها پس از آزمایش در شکل(۲و۳)مشخص است.



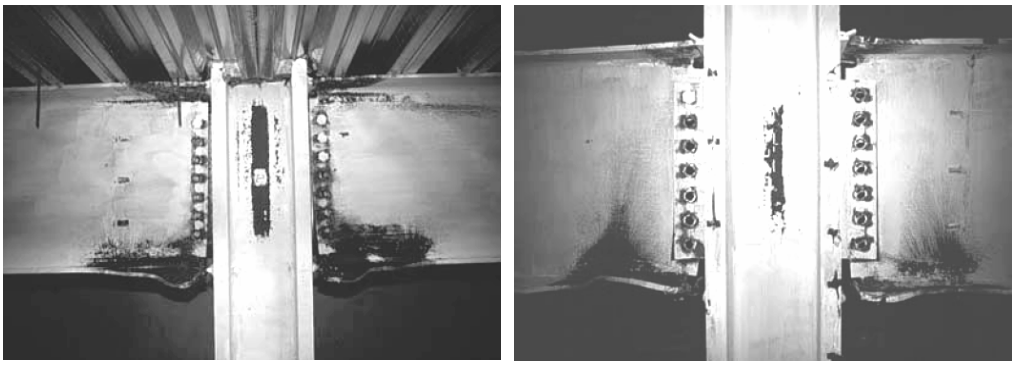
ب)　　الف)

شکل ۲ : نمودار بار – تغییر مکان– الف) نمونه DB۱ ب) نمونه DB۲

بر اساس نتایج بدست آمده برای نمونه **DB۱** مشخص شد که ایجاد اتصال **RBS** در مدل **DB۱** دارای تاثیر زیادی در افزایش شکل پذیری اتصال نمی باشد . در صورتیکه در نمونه **DB۲** شکل پذیری به میزان قابل توجهی افزایش می یابد. این تغییر در رفتار دو مدل می تواند بدو علت باشد.

اولا : در مدل **DB۱** بعلت استفاده از الکترود **E۷۰T-٤** که دارای فلز جوش با سختی وچقرمگی کم (**Low Toughness weld metal**) می باشد ، جوش در مراحل اولیه بارگذاری گسیخته می شود . در صورتیکه مدل **DB۲** که در آن تیر توسط جوش با الکترود**E۷۱T-۸** که دارای فلز جوش با سختی وچقرمگی زیاد (**High Toughness weld metal**) می باشد صورت پذیرفته است.

ثانیا: در مدل **DB۲** بعلت وجود دال بتنی و تاثیر آن در مقاومت اتصال ، میزان چرخش بدست آمده بسیار بیشتر از نمونه **DB۱** می باشد. همچنین افزودن دال بتنی باعث کاهش میزان کرنش در بال بالایی تیر می شود که نشاندهنده اثر مثبت دال بر روی رفتار لرزه ای اتصال می باشد. همچنین در این تحقیق مشخص شد که دال بتنی تاثیر مهمی بر روی رفتار کلی بال پایینی تیر ندارد.



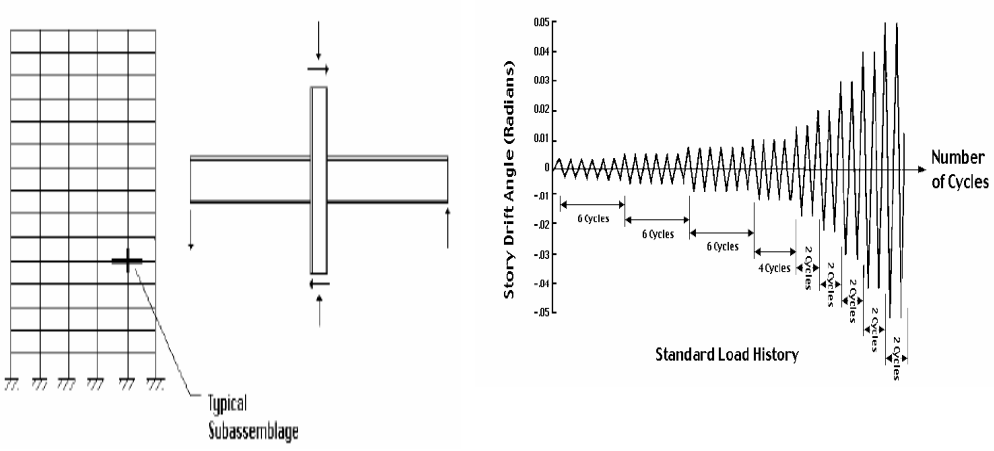
الف) ب)

شکل ۳: نمونه های آزمایش شده – الف) نمونه **DB۱** ب) نمونه **DB۲**

٤- مدلسازی اتصال :

با توجه به اینکه مقاطع مورد آزمایش در **SAC** و**FEMA** و سایر منابع موجود همگی مقاطع با ارتفاع زیاد برای تیر می باشند و در ایران از این مقاطع استفاده نمی شود، بررسی تاثیر روش مقاومسازی مطرح شده در بالا بر روی پروفیلهای متداول در ایران ضروری بنظر می رسد.

در نتیجه در اینجا به بررسی تاثیر ایجاد اتصال **RBS** در بال پایینی بر روی رفتار لرزه ای اتصال توسط نرم افزار **ANSYS** پرداخته شده است. برای مقطع تیر از پروفیل **IPE۳۳۰** و برای مقطع ستون ازپروفیل **IPB۲۶۰** استفاده شده است . همچنین طراحی بگونه ای صورت گرفته که چشمه اتصال در حالت بالانس باشد و در نتیجه از دو ورق مضاعف به ضخامت **۱cm** استفاده شده است . (ظرفیت چشمه اتصال متناسب با ظرفیت پلاستیک تیر باشد.) همچنین از ورق پیوستگی نیز در مدلسازی استفاده شده است. دو مدل ، یکی دارای اتصال **SMF** می باشد و دیگری توسط برش در بال پایینی مقاومسازی شده است . هر دو مدل توسط اتصال مستقیم بال تیر به ستون طراحی شده و مدل شده اند. همچنین در مدل سازی ورقهای منتقل کننده برش از جان تیر به ستون نیز مد نظر قرار گرفته است و طراحی شده است. [۲].



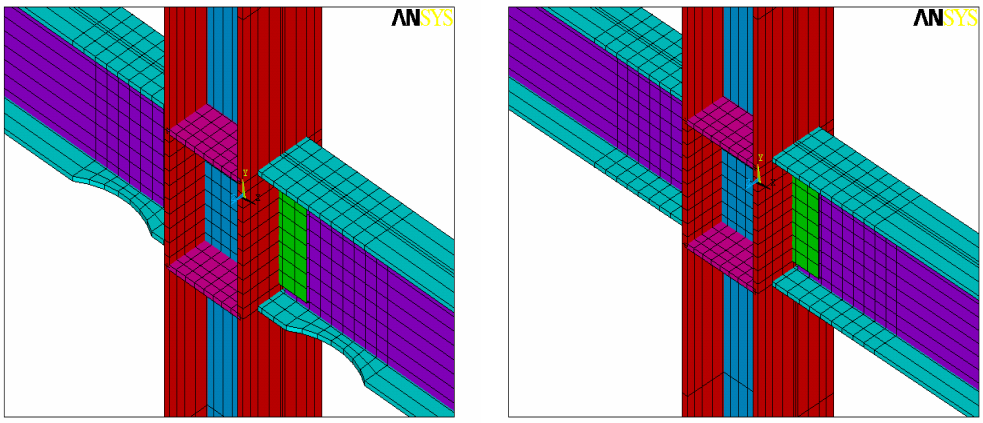
ب) الف)

شکل ۴: الف)تاریخچه بار گذاری مورد استفاده در تحلیل – ب) زیر سازه استفاده شده در نرم افزار

برای مدلسازی از المان صفحه ای **SHELL۴۳** استفاده شد که دارای چهار گره می باشد و هر گره دارای شش درجه آزادی می باشد (سه درجه آزادی انتقالی و سه درجه آزادی دورانی) و دارای خواص غیر خطی و تغییر شکل بزرگ می باشد. با توجه به این نکته که در این زیر سازه تمرکز تنش و کرنش در ناحیه اتصال و چشمه اتصال می باشد از مش بندی ریزتری در این نواحی

استفاده شد. سپس مدلها تحت بار گذاری سیکلیک قرار گرفتند.نمودار بار گذاری در شکل(٤-الف) مشاهده می شود. نحوه بارگذاری بگونه ای است که تغییر مکان به بالای زیر سازه صلیبی شکل وارد می شود.(شکل ٤- ب) برای مدل کردن جوشهای گوشه که متصل کننده ورق برشی به جان تیر می باشد از المان **SHELL٤٣** استفاده شده است بگونه ای که ضخامت ورق متصل کننده به اندازه ضخامت گلوی جوش می باشدکه دارای تقریب قابل قبول می باشد.

نحوه مدلسازی و مش بندی انجام شده در شکل(٥)مشخص است.



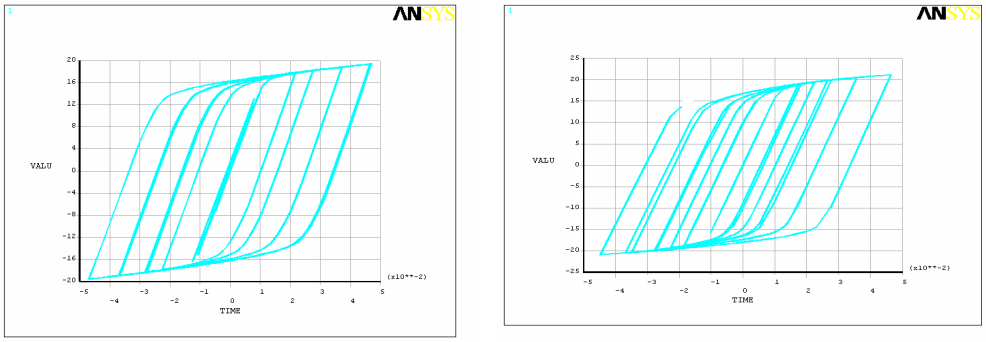
ب) الف)

شکل ٥: نمونه های آنالیز شده - الف) نمونه **smf** ب) نمونه **RBS**

٥- نتایج بدست آمده از تحلیل:

همانگونه که در شکل(٦)مشخص است ،منحنی لنگر - زاویه تغییر مکان جانبی داخلی(**inter story drift angle**) برای دو نمونه بدست آمده است . با توجه به این نمودار مشخص می شود که حداکثر لنگر وارده از طرف تیر در بر ستون در دو نمونه متفاوت می باشد. بگونه ای که برای اتصال معمولی این میزان برابر با **t.m** ٢١/١٥ می باشد.در صورتیکه این مقدار برای اتصال دارای برش در بال پایین برابر با **t.m** ١٩/٥٤ می باشد. با توجه به این نکته که ظرفیت پلاستیک تیر برابر با **t.m** ١٩/٣ می باشد ، نسبت حداکثر لنگروارده به ظرفیت مقطع برای اتصال **smf** و **RBS** بترتیب برابر با ١/١ و ١/٠١ می باشد. بعبارت دیگر افزودن اتصال **RBS** در بال پایینی باعث کاهش لنگر وارده به اتصال و در نتیجه کاهش نیروی برشی وارده به چشمه اتصال می شود. بگونه ای که نسبت لنگرها ٠/٩٢ می باشد. یعنی ٠/٠٨ کاهش در میزان لنگر وارده از طرف تیر به ستون رخ داده است. همچنین حداکثر تنش برشی در مدل مقاومسازی شده نسبت به مدل **smf** در چشمه اتصال و جان

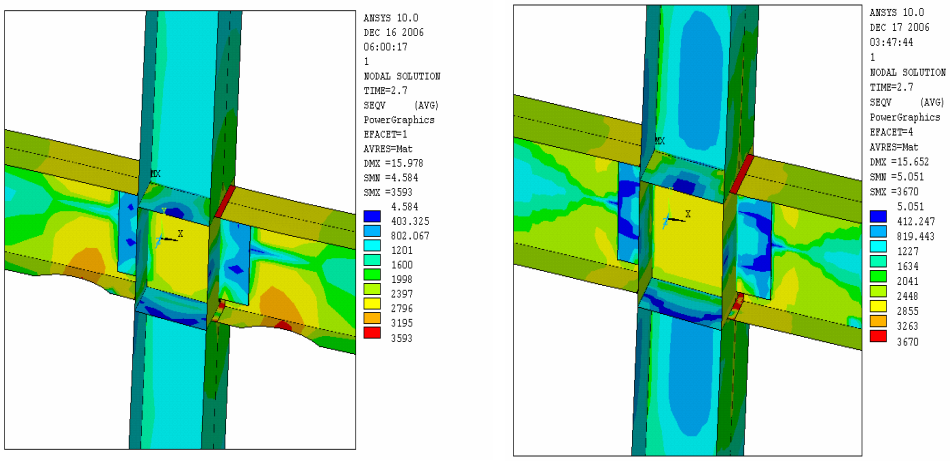
تیر بترتیب ۰/۰٤ و ۰/۱۳ کاهش یافته است. (شکل شماره ۸). همانگونه که در شکل (۷) مشخص است . حداکثر تنش بدست آمده در مدل معمولی در تیر و در بر ستون می باشد . در صورتیکه این میزان برای تیر مقاومسازی شده در فاصله مشخص و از پیش تعیین شده می باشد وتاثیر برش بال تیر بر روی نحوه گسترش مفصل پلاستیک بخوبی مشهود است.



ب) الف)

شکل ٦: منحنی لنگر-زاویه تغییر مکان جانبی داخلی نمونه های آنالیز شده(**inter story drift angle**)

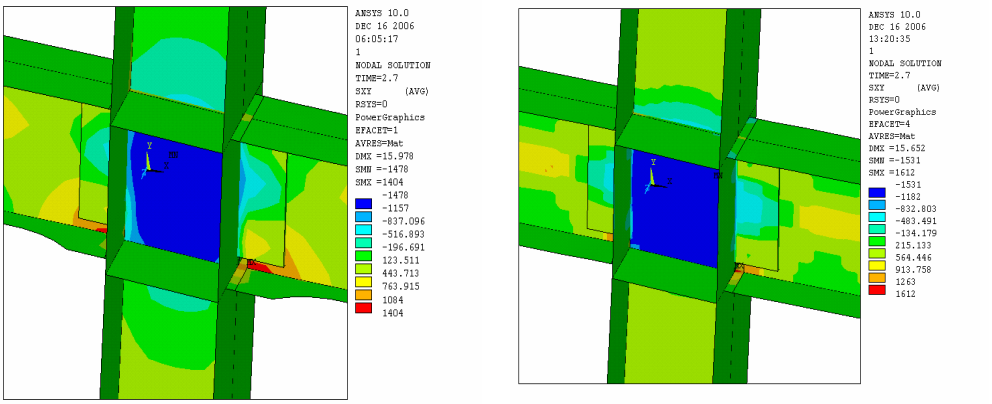
الف) نمونه **smf** ب) نمونه **RBS**



ب) الف)

شکل ۷: تنشهای معیار فون مایسز در زاویه تغییر مکان جانبی داخلی ۰/۰٤۷(**inter story drift angle**)

الف) نمونه **smf** ب) نمونه **RBS**



ب) الف)

شکل ۸: تنشهای برشی وارده در صفحه چشمه اتصال در زاویه تغییر مکان جانبی داخلی ۰/۰۴۷

الف) نمونه **smf** ب) نمونه **RBS**

٦- بحث و نتیجه گیری:

۱. با توجه به تجربیات زلزله های گذشته مقاومسازی اتصالات در قابهای خمشی که بدون توجه به نحوه تشکیل و گسترش مفصل پلاستیک طراحی و اجرا شده اند ضروری می باشد. اصولا مقاومسازی اتصالات معمولا با هدف انتقال مفصل پلاستیک به داخل تیر و به دو صورت امکان پذیر است. یکی افزودن اجزایی به اتصال تحت دیتیل خاص ، بگونه ای که باعث انتقال مفصل پلاستیک به یک ناحیه از پیش تعیین شده می شود. و دیگری بریدن بخشی از بال تیر که باعث کاهش ظرفیت تیر در آن ناحیه و هدایت مفصل پلاستیک به آن ناحیه می شود.

۲. با توجه به آزمایشات صورت پذیرفته در مقیاس واقعی مشخص شد که نحوه اتصال بال تیر به بال ستون و فلز جوش مورد استفاده می تواند دارای تاثیر بسیار زیادی در رفتار اتصال باشد و در صورتیکه طاقت فلز جوش تحت بارگذاری کم باشد (الکترود **E۷۰T-٤**) برش بال پایینی تیر و ایجاد اتصال **RBS** به تنهایی نمی تواند باعث بهبود رفتار لرزه ای اتصال شود. در صورتیکه فلز جوش مورد استفاده از نوع پر مقاومت

(الکترود ۸-**E۷۱T**) باشد ، آنگاه ایجاد برش در بال پایینی تیر می تواند باعث افزایش کارایی اتصال شود.

۳. همچنین مشخص شد که دال بتنی دارای تاثیر مثبتی در رفتار لرزه ای اتصال می باشد و باعث کاهش میزان کرنش در بال بالایی تیر می شود. و دال هیچگونه تاثیری بر روی روند گسترش مفصل پلاستیک و میزان کرنش در بال پایینی تیر ندارد.

٤. با توجه به آنالیزهای صورت گرفته مشخص شد که این روند در پروفیلهای متداول در ایران نیز صادق می باشد و نحوه گسترش مفصل پلاستیک در مدلهای دارای اتصال **RBS** در بال پایین بسیار متفاوت با حالت اتصال **SMF** می باشد . در اتصال مقاومسازی شده توسط برش بال تحتانی ، مفصل پلاستیک بخوبی بداخل تیر منتقل شده است و در نتیجه کرنش در جوش متصل کننده بال تیر به ستون کاهش یافته و خطر شکست ترد کمتر می شود. در اتصالات مقاومسازی نشده لنگر بیشتری به ناحیه اتصال و چشمه اتصال وارد می گردد.البته شایان ذکر است در مدلهای آنالیز شده طراحی اولیه با فرض رعایت کامل ضوابط مربوط به تیر ضعیف – ستون قوی می باشد . همچنین مقاومت چشمه اتصال در حالت تعادل با ظرفیت خمشی تیر می باشد. بدیهی است در صورت تغییر در مقاومت چشمه اتصال میزان چرخش پلاستیک تیر و همچنین شکل پذیری سیستم و تاثیر ایجاد اتصال **RBS** در رفتار لرزه ای اتصال تغییر می نماید.

۷- مراجع:

[۱] آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله ، استاندارد ۲۸۰۰ – ویرایش سوم

[۲] مقررات ملی ساختمان . مبحث دهم : طرح و اجرای ساختمانهای فولادی.۱۳۸٤

[۳]. Civjan, S. A, Engelhardt, M. D., and Gross, J. L. "Retrofit of Pre-Northridge Moment Resisting Connections." ASCE Journal of Structural Engineering. April ۲۰۰۰. pp. ٤٤٥-٤٥۲.

[٤].Roeder C. ,The state-of-the-art report on connection performance. FEMA ۳۵۵d. Washington, DC: Federal Emergency Management Agency, ۲۰۰۰.

[٥]. Federal Emergency Management Agency. ,Recommended seismic design criteria for new steel moment-frame buildings. Report no. FEMA-٣٥٠; ٢٠٠٠.

[٦]. Chia-Ming Uang , Qi-Song ‘‘Kent’’ Yu, Shane Noel, and John Gross, CYCLIC TESTING OF STEEL MOMENT CONNECTIONS REHABILITATED WITH RBS OR WELDED HAUNCH , JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING / JANUARY ٢٠٠٠.pp. ٥٧-٦٨.

[٧]. AISC (١٩٩٩). ,Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (١٩٩٧), Supplement No. ١, American Institute of Steel Construction.