



## نقدی بر پیش نویس ضوابط طراحی و اجرای ساختمان های با اتصال خورجینی

محمد فروغی ، عضو هیأت علمی دانشگاه یزد \*

محمدعلی بر خورداری ، عضو هیأت علمی دانشگاه علم و صنعت ایران \*\*

\* تلفن : ۰۳۵۱-۸۲۱۲۲۳۱ ، شماره : ۰۳۵۱-۸۲۱۲۲۳۰ ، پست الکترونیکی : foroughi\_mohammad@yahoo.com

\*\* تلفن : ۰۲۱-۲۰۹۳۰۳۸۵ ، شماره : ۰۲۱-۸۸۲۵۰۱۰ ، پست الکترونیکی : barkhorbafgh@yahoo.uk.ir

### چکیده :

با تلاش پیگیر و مستمر چندین ساله جامعه علمی و اساتید توانمند کشور در ارتباط با شناخت رفتار اتصالات خورجینی و ارائه راه کارهای اصلاحی، نهایتاً پیش نویس ضوابط طراحی و اجرای این ساختمان ها به عنوان حاصل کار منتشر شد و جایگاه این اتصالات را که زمانی وجود آن ها به عنوان ضعف جامعه علمی کشور محسوب می گردید، به مرتبه افتخاری ملی ارتقاء داد. بدیهی است با توجه به اینکه این اتصالات تقریباً مختص کشور ما است، هنوز کارهایی جدی را می طلبد، از جمله اینکه بالاترین امتیاز اتصالات خورجینی نسبت به اتصالات استاندارد که موجب رواج آن ها در کشور، حتی در زمان ممنوعیت آن ها از سوی جامعه علمی شده است، سهولت اجرای آن ها است. بنابراین نگارندگان بر این باورند که هدف نهایی مطالعات بایستی رسیدن به جزئیات و دستورالعمل هایی باشد که ضمن دارا بودن غنای علمی، از سهولت اجرائی قابل قبولی برخوردار باشد، بگونه ای که به این امتیاز اتصال خدشه ای وارد نگردد. در این مقاله، سعی نگارندگان بر این است که با تکیه بر مطالعات پژوهشی انجام شده تا بحال و پژوهشی که در حال انجام دارند، ضمن بررسی پاره ای از ضوابط مندرج در این پیش نویس، به ارائه راه کارهایی در این زمینه بپردازند.

**کلید واژه :** اتصال خورجینی، اتصالات، ساختمان های فولادی

### ۱- مقدمه

تقریباً همه اهل فن ساختمان در ایران می دانند که کاربرد اتصالات خورجینی در سازه های فولادی تنها در کشور ما رواج دارد. بنابراین در شناخت رفتار این اتصال و کار بر روی آن نمی توان انکسائی به مطالعات جهانی داشت و چاره ای جز تلاش ملی و فراگیر در این زمینه نمی باشد. خوشبختانه بعد از زلزله اسف بار خرداد ۶۹ که ویرانی سازه های فولادی منطقه زلزله زده گیلان را سبب گردید، تلاش های

علمی ارزشمندی در زمینه شناخت رفتار، اصلاح جزئیات و رفتار و نیز چگونگی مدل‌سازی کامپیوتری این اتصالات صورت پذیرفته و نیز کارهایی در زمینه استخراج روابط طراحی آن‌ها انجام شده است [۱ تا ۹ و غیره]، که حاصل این تلاش‌ها در پیش نویس ضوابط طراحی و اجرای ساختمان‌های با اتصال خورجینی تبلور یافته است [۱].

این پیش نویس از ویژگی‌های مثبت زیادی برخوردار است ولی مشخصاً همچون هر اثر دیگر بشری نقاط ضعفی نیز دارد.

در این مقاله نگارندگان قصد دارند ضمن مرور کلی بر روی متن این پیش نویس با استفاده از مطالعات و پژوهش‌های قبلی و در دست انجام خویش [۱۰]، بر روی بعضی از موارد مندرج در این پیش نویس متمرکز شده، ضمن نقد و بررسی آن‌ها، به ارائه راه کارهایی پردازند.

## ۲- بررسی اجمالی بر روی کلیات

۲-۱- در مروری کلی بر روی این پیش نویس موارد مثبت زیر جلب توجه می نماید.

۲-۱-۱- توجه به شکل پذیری اتصالات موردنظر:

این موضوع یکی از نکات ضروری و مثبت این پیش نویس است. این موضوع، خصوصاً در سال‌های اخیر مورد توجه تعدادی از پژوهشگران داخلی بوده است [۷ و ۱۱ تا ۱۴ و غیره].

۲-۱-۲- تقسیم بندی اتصالات خورجینی به ساده، صلب و نیمه صلب:

این موضوع که اولین بار توسط نگارنده مطرح گردید [۳]، تا این اواخر به ندرت مورد توجه قرار گرفته بود [۵، ۸، ۱۵، ۱۳، ۱۴ و ۱۷]. بررسی‌ها نشان داده است که اتصال خورجینی به مفهوم اتصالی که عبور جفت تیر سرتاسری را از طرفین یک ستون سرتاسری تأمین می نماید، را می توان با جزئیات مختلفی اجرا نمود که هر یک در محدوده ای از صلبیت، از محدوده عملکرد «ساده» تا «صلب»، قرار می گیرد و در نتیجه بایستی همچون اتصالات استاندارد، مورد تقسیم بندی قرار گیرد.

۲-۱-۳- ارائه جزئیات اجرائی در پیوست ۱ این پیش نویس، راهنمای خوبی برای طراحان و یکی از ضروریاتی است که این پیش نویس به آن پرداخته است.

۲-۱-۴- افزودن بخشی تحت عنوان «تفسیر و راهنمای ضوابط طراحی و اجرای ساختمان‌های با اتصال خورجینی» نیز اقدام مثبتی است که می تواند راهنمای خوبی برای کاربران این نوشته باشد.

۲-۲- از طرفی دیگر بنظر می رسد در یک نظر کلی نکات زیر می تواند مطرح بوده، انتظار رفع آن‌ها در نسخه نهائی معقول می نماید.

۲-۲-۱- نبود فهرست منابع بعنوان یک کمبود خودنمایی می کند. وجود این بخش و ارجاع صحیح به منابع می تواند راهنمای خوبی برای کاربران دقیق و پژوهشگران علاقه مند به موضوع باشد.

۲-۲-۲- جزئیات داده شده در پیوست ۲ فقط برای اتصالات خورجینی گیردار (یا به عبارت صحیح تر، صلب) نوع ۲ ارائه شده است و در سایر موارد جزئیاتی داده نشده است.

۲-۲-۳- با یک نگاه کلی، این احساس القاء می گردد (و بنظر می رسد احساس صحیحی باشد)، که اجرای اتصالات پیشنهادی خصوصاً صلب موردنظر پیش نویس، بطور قابل توجهی سخت است. بنظر می رسد اجرای اتصالات صلب پیشنهادی، نه تنها راحت تر از اجرای اتصالات صلب استاندارد نیست، بلکه شاید مشکل تر هم باشد.

۲-۲-۴- برای واحد وزن، کیلوگرم انتخاب شده است. بنظر می رسد برای هماهنگی هر چه بیشتر با مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و ...، از واحد معادل آن یعنی «دکانیوتن» استفاده گردد.

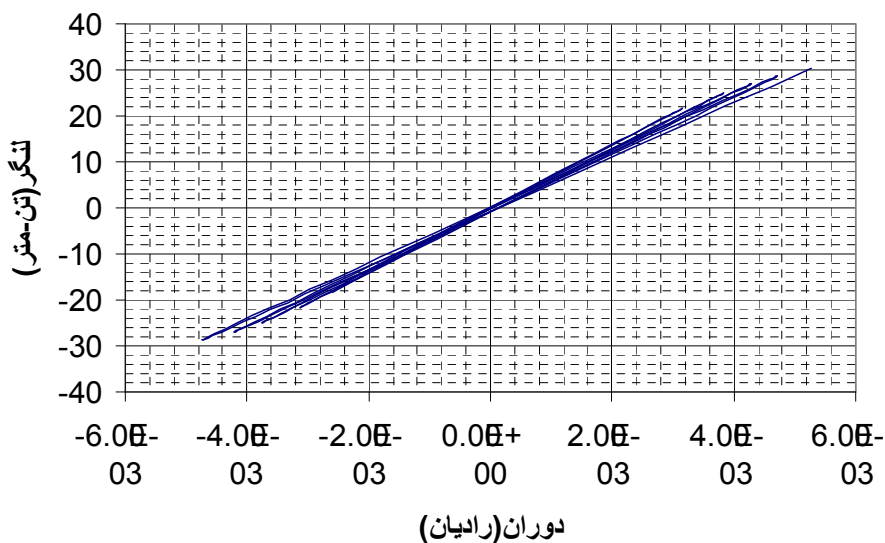
۲-۲-۵- در بخش «تفسیر و راهنمای ضوابط ...»، توضیحات مختلف داده شده برای طراحی انواع ورق ها، فقط برای حالت گیردار (صلب) نوع ۲ صورت پذیرفته است و در سایر موارد بحثی به میان نیامده است.

### ۳- بررسی دقیق تر متن

۳-۱- محاسن: مطالعه بر روی جزئیات اتصالات ارائه شده، نشانگر آن است که از نظر توزیع نیرو در اتصال و نیز کاهش تمرکز تنش بر روی جوش های اتصال، در انواع ارائه شده در این پیش نویس اعم از انواع ساده و انواع صلب مطرح شده، شرایط کاملاً بهبود یافته است. جایگزینی ورق لچکی در بالای تیر بجای نبشی فوقانی از صلیبیت اتصال در صفحه قاب کاسته، بر صلیبیت آن در صفحه اتصال افزوده و ضمن ایجاد پایداری لازم برای اتصال، تمرکز تنش را بخوبی کاهش می دهد. همچنین در اتصال ساده با نشیمن سخت، استفاده از نشیمن سخت شده استاندارد با تنها یک ورق لچکی در میانه آن، بجای قرار دادن ورق یا ورق های لچکی درون نبشی نشیمن، بطور جدی خصوصیات فوق را تقویت می کند. مطالعات انجام شده، از جمله توسط نگارنده [۱۵] بخوبی بیانگر اشکالات زیاد جزئیات مرسوم با استفاده از نبشی نشیمن یا نبشی نشیمن سخت شده در پایین و نبشی فوقانی در بالا است و تأثیر جدی جزئیات ارائه شده در این پیش نویس را بخوبی می پذیرد. تهیه کنندگان پیش نویس در گزارشات طرح های پژوهشی خویش بر روی این اتصالات، رفتار بهبود یافته اتصال را بخوبی نشان داده اند [۱۲ و ۱۳]. بررسی های اخیر نگارندگان بر روی اتصالاتی مشابه اتصال خورجینی نوع ۲ این پیش نویس بیانگر عملکرد مطلوب این اتصال است (تصاویر ۲ و ۱۰)، هر چند که باز در گوشه های نبشی ها و خصوصاً جوش ها در این مواضع تمرکز تنش بالایی داریم (تصویر ۳).

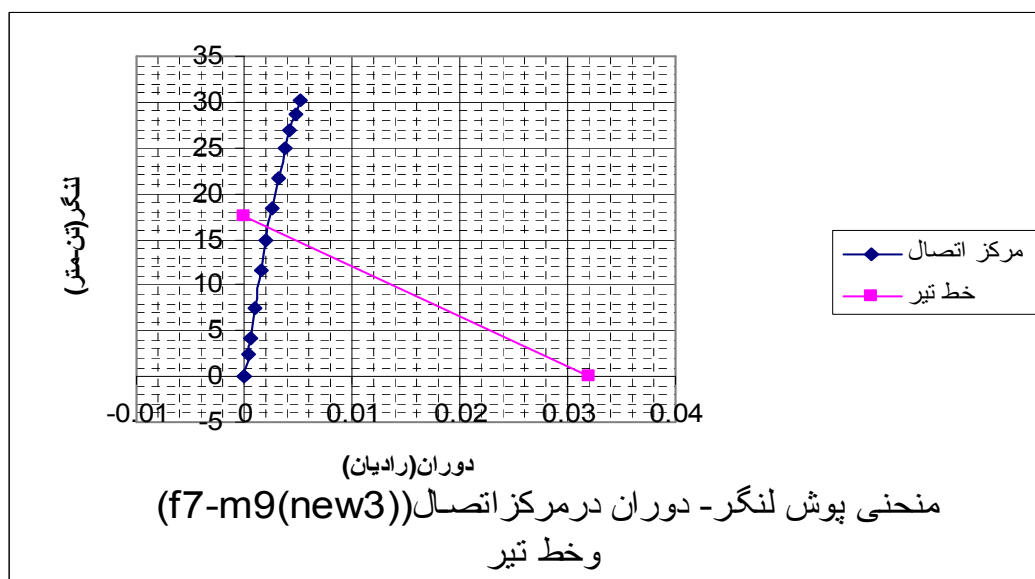
اتصالات صلب ارائه شده نیز در راستای ایجاد صلیبیت کافی در هر دو صفحات اتصال و قاب و نیز کاهش تمرکز تنش در جوش ها، بخوبی گام برداشته اند. خصوصاً اتصال صلب نوع دو که بجای نصب

ورق های گیرداری بر روی تیرها که منجر به قوی شدن تیرها در محدوده اتصال و احتمال بروز حالت تیر قوی- ستون ضعیف در محدوده اتصال می گردد، ورق هایی را بر روی ستون ها نصب کرده است که در نتیجه ستون ها در موضع اتصال قویتر شده و تیرها بدون تقویت مانده، به حالت تیر ضعیف- ستون قوی کمک می نماید و در نتیجه اتصال به مراتب مطلوب تری را ایجاد خواهد نمود. همچنین جزئیات ارائه شده در این پیش نویس، شناخت وضعیت توزیع نیروها را تا حدودی ساده تر کرده، فرمولبندی های ارائه شده برای طراحی را اعتبار بیشتری بخشیده است.



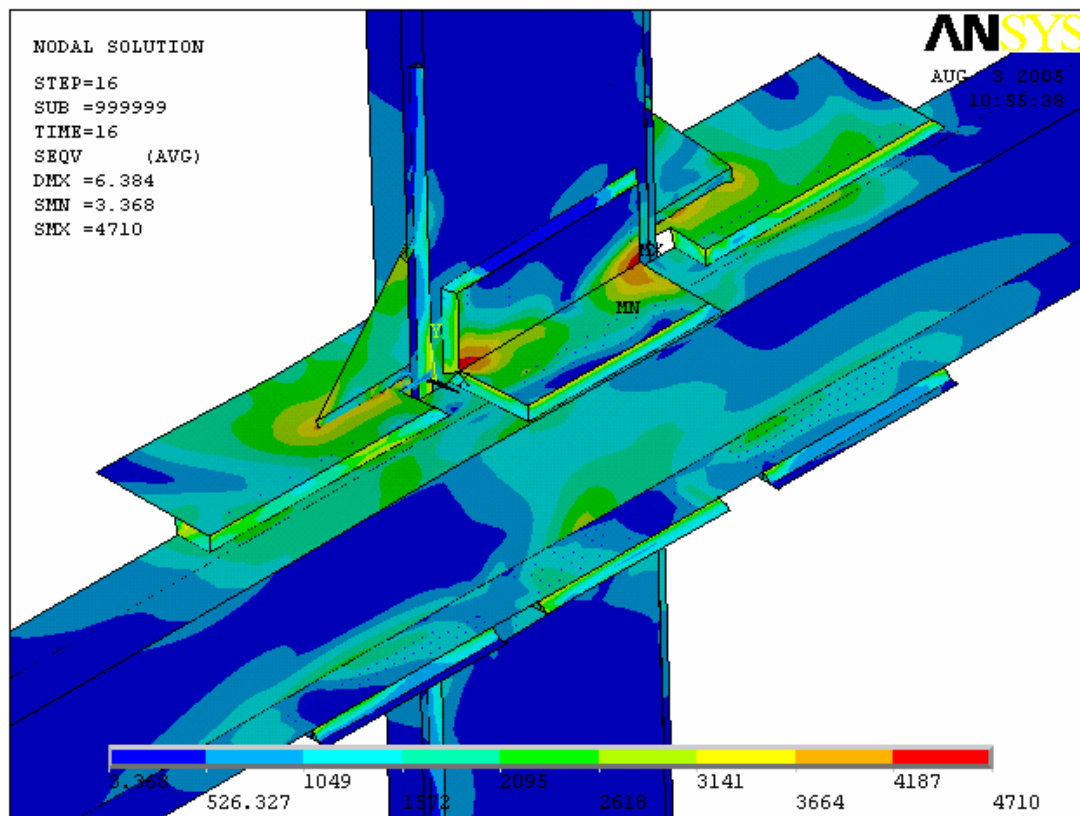
منحنی چرخه ای لنگر-دوران (f7-m9(new3))

تصویر (۱) منحنی چرخه ای لنگر - دوران اتصال یک چرخه پایدار را نشان می دهد.



منحنی پوش لنگر- دوران در مرکز اتصال (f7-m9(new3)) و خط تیر

تصویر (۲) تلاقی منحنی پوش لنگر- دوران و خط تیر صلیبت کاملاً بالای ۹۰٪ را نشان می دهد.



تصویر (۳) سطوح هم شدت تنش در اتصال. این تصویر، تمرکز تنش هائی را در گوشه نبشی فوقانی نشان میدهد. (توضیح: تنش گسیختگی ۴۷۱۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع برای مصالح مقاطع تیر، ستون و نبشی ها و سایر مشخصات مصالح و غیره بااستناد به آزمایشات انجام شده در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن [۱۳] بر روی اتصال مشابه مورد نظر اختیار شده است.)

۳-۱- مشکلات: از طرف دیگر، بحث های زیر در رابطه با این اتصالات می تواند مطرح باشد که عمده ترین آن ها بدین قرار است.

۳-۲-۱- وجود لچکی های فوقانی، ممکن است موجبات نگرانی برای مخفی کردن آن ها در کف طبقات استقرار یافته بر روی قاب های خورجینی را فراهم آورد. به نظر نگارنده، با توجه به عمومیت یافتن سقف های تیرچه بلوک که عموماً ضخامتی بیش از ارتفاع تیرهای خورجینی دارند و نیز استقرار لوله های برق، آب و بویژه شوفاژ بر روی سقف، و در نتیجه الزام به پوکه ریزی بر روی سقف، در زیر فرش کف، به حق این امیدواری را ایجاد می کند که صفحات کوچک لچکی در زیر کف سازی طبقات مخفی گردند و اشکالی را ایجاد نمایند.

۳-۲-۲- بطور اخص، اتصالات صلب نوع دوم از نظر اجرائی پیچیده شده و به نظر می رسد اجرای آن ها اگر مشکل تر از اجرای اتصالات صلب استاندارد نباشد، مطمئناً راحت تر نیست. در اتصال صلب استاندارد بیشترین مشکل، برش دقیق تیرها و نصب آن ها در محل و در مرحله بعد انجام جوش های نفوذی آن می باشد. در اینجا ۸ ورق پیوستگی، بایستی با دقت در محل خویش نصب و جوش شوند.

حداقل ۴ ورق داخلی بایستی بر روی زمین با دقت جوش شوند و ۴ ورق دیگر نیز هر گاه بخواهند بعد از نصب تیر بر روی نشیمن، نصب گردند، انجام این کار، راحت تر از اجرای دقیق بر روی زمین نخواهد بود. همچنین برش دقیق ورق اتصال قائم (ورق R)، خصوصاً برش محل های نصب تیرها، از اهمیت بسزائی برخوردار است که خود بر سختی اجرا می افزاید و نصب تیرهای خورجینی در داخل محل های تعبیه شده در این ورق ها، مشکلات اجرائی خاص خویش را دارد. بنظر می رسد مجموعه این عوامل و پاره ای عوامل دیگر، موجبات افزایش سختی کار و عدم استقبال کاربران، از جزئیات موردنظر تهیه کنندگان این اثر ارزشمند گردد.

۳-۲-۳- تعیین حداقل ۱ سانتی متر فاصله بین تسمه رابط فوقانی از بر ستون برای اتصال نوع ساده با عملکرد قیچی سان منطقی بنظر نمی رسد و با توجه به اینکه این میزان به زاویه چرخش (بصورت قیچی سان) تیر نسبت به ستون بستگی دارد، پیشنهاد نگارنده استفاده از کمینه دو مقدار  $\Phi.d_b$  و ۵ سانتی متر است. که  $\Phi$  زاویه چرخش اتصال، استخراج شده از تحلیل سازه و  $d_b$  ارتفاع تیر خورجینی است. عدد ۵ سانتی متر نیز بصورت تجربی و با توجه به بزرگترین مقاطع فولادی مرسوم در ساختمان های با اتصال خورجینی منظور شده است [۱۵].

۳-۲-۴- در بند ۲-۴ برای تحلیل قاب ساده تحت بار وزنی، دستورالعمل داده شده، بدین صورت است که اتصال تیر به ستون، ساده منظور شده، ضمن اینکه در تحلیل، تیرها در محل اتصال بایستی پیوسته منظور گردند و در تحلیل ستون ها، علاوه بر بار محوری، اثر لنگر ناشی از عدم تقارن بار نیز لازم الرعایه دانسته شده است. مطالعات اولیه بر روی اینگونه اتصالات [۲] نشان داده است که تقریب زدن اتصال قیچی سان به اتصال ساده و یا صلب در تحلیل سازه، قابل قبول نیست و در هر حال می تواند بطور موضعی در خلاف جهت اطمینان باشد. با وجود مدل های عمومی ساده ارائه شده توسط نگارنده [۳] و تأیید مکرر آن توسط پژوهشگران دیگر [۶، ۸، ۱۵ و غیره]، پیشنهاد می گردد که صراحتاً مدل سازی اتصال بصورت قیچی سان، در تحلیل سازه، در تمام حالات بار گذاری الزامی گردد.

۳-۲-۵- برای محاسبه تسمه های رابط تیرهای خورجینی، پیشنهاد می گردد که از راه حل ارائه و تحقیق شده توسط نگارنده [۱۶] استفاده گردد.

۳-۲-۶- در شماره ۱ بند ۳-۶-۵-۱، طراحی ورق های اتصال  $T_y$  و  $B_y$ ، عملاً تیرهای جهت  $y$  با تیرهای خورجینی جهت  $x$  هم نمره، فرض شده اند. راه حل داده شده برای حالتی که مقطع تیر جهت  $y$  کوتاهتر باشد، بطور اصولی، قابل اجرا نمی نماید، و در حالتیکه مقطع این تیر بزرگتر از مقطع تیر خورجینی باشد، بشدت اجرائی بودن آن زیر سؤال است.

۳-۲-۷- مطالعات تئوری انجام شده توسط نگارنده [۳، ۵ و ۱۵]، همچنین بعضی مطالعات آزمایشگاهی توسط دیگران حاکی از این است که اتصال خورجینی بخودی خود، بدلیل خروج از مرکزیت بار نسبت به بر اتصال، بطور جدی در معرض لنگری قابل توجه حول محور اصلی تیرهای خورجینی (پیچش تیر)،

قرار دارد. هرگاه قاب عمود بر قاب خورجینی، صلب باشد و تیرهای این قاب با کمک تیرهای خورجینی، اتصال صلب خویش به ستون را تأمین نمایند، بدیهی است این خروج از مرکزیت افزایش یافته، مشکل اتصال را دو چندان می کند. پیشنهاد می گردد، جزئیات داده شده در پیوست ۱ این پیش نویس که برای اتصال یک قاب صلب به خورجینی می باشد، تا انجام تحقیقات جدی تر و ارائه راه کارهای مناسب احتمالی حذف گردند. همچنین پیشنهاد می گردد در حال حاضر، ضابطه ای در متن اضافه شود که قاب های عمود بر جهت قاب های خورجینی، الزاماً، از نوع ساده و دارای سیستم بادبندی برای مقابله با بارهای جانبی باشند. لازم بذکر است، مطالعات اولیه نگارنده [۳، ۵ و ...]، استفاده از قاب های صلب عمود بر راستای خورجینی را بلا اشکال می نمود ولی مطالعات تکمیلی [۱۵]، این موضوع را در حاله ای از ابهام فرو برد و تا آنجا که نگارنده اطلاع دارد، تا بحال هیچگونه تحقیقات مطمئنی در این رابطه صورت نپذیرفته است.

#### ۴- نتیجه گیری

۱. به نظر می رسد علیرغم محسنات متعدد پیش نویس «ضوابط طراحی و اجرای ساختمان های با اتصال خورجینی»، قبل از انتشار رسمی، قسمت هایی از متن نیاز به بازنگری داشته باشد.
۲. به نظر می رسد برای کاربردی شدن این مجموعه و استقبال کاربران از آن، خصوصاً اتصالات خورجینی صلب نوع دوم، جهت ایجاد سهولت در اجرای جزئیات اتصال، نیاز به بازنگری داشته، شاید بهتر باشد بر روی اتصالات جایگزین، کار شود.

#### ۵- منابع :

- ۱- مقدم، حسن و آقا کوچک، علی اکبر و مزروعی، علی و میرقادری، رسول، پیش نویس ضوابط طراحی و اجرای ساختمان های با اتصال خورجینی، تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، اسفند ۱۳۸۲.
- ۲- سیمونیان، وهاگ و کافی فلاورجانی، محمدعلی، اعمال اتصالات قیچی در تحلیل ماتریسی سازه ها، تبریز، انتشارات عمیدی، پائیز ۱۳۷۰.
- ۳- فروغی، محمد، بررسی اتصالات خورجینی و چگونگی مدل کردن کامپیوتری آن ها، سمینار کارشناسی ارشد سازه، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران، آذرماه ۱۳۷۱.
- ۴- کریمی محمدی، رضا، بررسی خواص مکانیکی- سازه ای اتصالات خورجینی و نقش آن در طراحی لرزه ای، پایان نامه کارشناسی ارشد سازه، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، اسفند ۱۳۷۱.
- ۵- فروغی، محمد، بررسی اتصالات خورجینی و ارائه روشی برای حل آن ها، پایان نامه کارشناسی ارشد سازه، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تیرماه ۱۳۷۲.
- ۶- قانع، علی و مقدم، حسن و غفوری آشتیانی، محسن و تیو، مهران، بررسی رفتار دینامیکی سازه های با اتصالات خورجینی با انجام آزمایش فیزیکی بر روی مدل 1/2 یک سازه چهار طبقه، تهران، موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۷۳.

- ۷- رازانی، رضا، بحثی درباره شکل پذیری و ضریب رفتار سازه و لزوم محدودیت ارتفاع برای قاب های فولادی مهاربندی شده با اتصالات رکابی (خورجینی)، تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن - کارگاه طراحی و تحلیل سازه های با اتصالات خورجینی، ۱۳۷۵.
- ۸- فروغی، محمد، رفتار الاستیک اتصالات خورجینی با صلیب های مختلف در سازه های فولادی تحت تأثیر بارهای دینامیکی زلزله، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، زمستان ۱۳۷۶.
- ۹- فتحی، مجتبی و آقا کوچک، علی اکبر، تحلیل دینامیکی غیر خطی قاب های فولادی دارای اتصالات خورجینی، تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، مجموعه مقالات دومین کارگاه تخصصی اتصالات خورجینی، آبان ۱۳۷۷.
- ۱۰- فروغی، محمد، بررسی اتصالات خورجینی در قاب ها با استفاده از آنالیز غیر خطی، پروژه دکترای سازه، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران، در دست انجام.
- ۱۱- فروغی، محمد، بررسی صلیب، شکل پذیری و مقاومت اتصالات خورجینی اصلاح شده، هفتمین همایش سالانه بررسی تحلیلی و تجربی رفتار سازه ها تحت اثر زلزله و بارهای دینامیکی، رشت، دانشگاه گیلان، ۳۱ خرداد ۱۳۷۹.
- ۱۲- آقا کوچک، علی اکبر، تعیین ضریب رفتار  $R$  در اتصالات خورجینی، مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران، ۱۳۸۰.
- ۱۳- مزروعی، علی، بررسی ضوابط طراحی و مشخصات فنی اتصال خورجینی بر اساس تحقیقات انجام شده و ارائه دستورالعمل، ۱۳۸۰.
- ۱۴- مقدم، حسن، تهیه و تدوین ضوابط و راهنمای اتصالات خورجینی، ۱۳۸۱.
- ۱۵- فروغی، محمد، بررسی اتصالات خورجینی و ارائه ضوابط اجرائی خاص برای آن ها، طرح پژوهشی، یزد، دانشگاه یزد، ۱۳۷۸.
- ۱۶- فروغی، محمد، طرح ورق های تیر دویل در اتصال خورجینی، بنا (انجمن مهندسان راه و ساختمان ایران)، شماره چهاردهم و پانزدهم، آذرماه ۱۳۸۱.
- ۱۷- آقا کوچک، علی اکبر و وشکینی، پیمان، مطالعه آزمایشگاهی شکل پذیری قاب های فولادی دارای اتصالات خورجینی، مجله فنی و مهندسی مدرس، شماره چهاردهم، زمستان ۱۳۸۲.