

نکاتی در مورد طراحی چشمه اتصال بر اساس مبحث نهم مقررات ملی ساختمان – ویرایش ۹۹ و آیین

نامه ۱۹-۳۱۸ ACI در نرم افزار ETABS2019 (ورژن 19.1.0)

احمد رضا جعفری

۱. مقدمه

یکی از مباحث مهم در طرح سازه های بتن آرمه ، بحث طراحی چشمه اتصال میباشد. این موضوع در ویرایش ۹۹ از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان به طور ویژه مورد توجه قرار گرفته است و دارای تغییرات عمده نسبت به ویرایش ۹۲ از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان است. چشمه اتصال به ناحیه ای از ستون که در روبروی محل اتصال به تیر قرار دارد، اطلاق میگردد. در ویرایش ۹۲ از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان در بحث طراحی چشمه اتصال برای قابهای خمشی بتن آرمه با شکلپذیری معمولی و متوسط ، تنها به رعایت یک ضابطه آرماتور حداقلی در چشمه اتصال بسنده شده بود و ضوابط سختگیرانه تر برای سطح شکلپذیری زیاد در قابهای خمشی پیش بینی شده بود. اما در ویرایش ۹۹ از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ، حتی برای سطوح شکلپذیری متوسط و معمولی هم ضوابط خاص و سختگیرانه ای پیش بینی شده است که میتواند بر روی کل فرآیند طرح یک سازه بتنی تاثیرگذار و تعیین کننده باشد. ضوابط مربوط به طرح چشمه اتصال به صورت عمومی در فصل ۹-۱۶ از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ذکر شده است. ضوابط تکمیلی لرزه ای نیز بسته به سطح شکلپذیری در فصل ۹-۲۰ ذکر شده است. این ضوابط عمدتاً برای سطح شکلپذیری ویژه است و برای سطوح شکلپذیری متوسط و کم در عمده موارد همان ضوابط فصل ۹-۱۶ حاکم میباشد. این ضوابط تقریباً همان ضوابط ۱۹-۳۱۸ ACI در فصل های ۱۶ و ۱۸ میباشد.

۲. مرور اجمالی بر ضوابط طرح چشمه اتصال در مبحث نهم ویرایش ۹۹

در طرح چشمه اتصال یک رابطه اصلی مشابه بخشهای دیگر و به شرح زیر داریم:

$$\phi V_n \geq V_u$$

در بالا ϕ ضریب کاهش مقاومت ، V_n مقاومت اسمی برشی در چشمه اتصال و V_u نیروی برشی ضریبدار در چشمه اتصال است. ضریب ϕ برای طراحی چشمه اتصال در سطح شکلپذیری ویژه برابر ۰.۸۵ و در بقیه موارد برابر ۰.۷۵ پیشنهاد شده است.

۹-۱۶-۴-۲ مقاومت برشی طراحی

$$\phi V_n \geq V_u \quad ۹-۱۶-۴-۲-۱$$

مقاومت برشی طراحی ناحیه ای اتصال تیر به ستون باید رابطه ای $\phi V_n \geq V_u$ زیر را برآورده نماید؛ ضریب ϕ مطابق بخش ۹-۷-۴ برای برش تعیین می شود.

جدول ۹-۷-۲ ضریب‌های کاهش مقاومت ϕ بر اساس وضعیت مورد نظر در طراحی مقطع

ϕ	وضعیت مورد نظر در طراحی مقطع
۰/۹۰	(۱) لنگر، نیروی محوری، و یا ترکیب لنگر و نیروی محوری الف) مقاطع کشش - کنترل (بند ۹-۷-۴-۲) ب) مقاطع فشار - کنترل (بند ۹-۷-۴-۳)
۰/۷۵	- اعضای با دورپیچ
۰/۶۵	- سایر اعضا
۰/۶۵-۰/۹۰	پ) مقاطع در ناحیه‌ی انتقال (بند ۹-۷-۴-۴)
۰/۷۵	(۲) برش
۰/۷۵	(۳) پیچش
۰/۶۵	(۴) مقاومت انکابی (لهیدگی)
۰/۸۵	(۵) نواحی مهارى پس کشیده
۰/۷۵	(۶) نشیمن‌ها (براکت‌ها و کوریل‌ها)
۰/۷۵	(۷) نواحی مختلف در مدل‌های بست و بند
۰/۹۰	(۸) اجزای اتصالات اعضای پیش ساخته‌ای که با تسلیم عناصر فولادی در کشش کنترل می‌شوند.
۰/۶۰	(۹) عناصر بتنی ساده (بدون فولاد)
۰/۴۵-۰/۷۵	(۱۰) مهار در عناصر بتنی

۹-۷-۴-۵ در تعیین ضریب کاهش مقاومت برای طراحی در مقابل برش، برای سازه‌هایی که با عملکرد قاب خمشی ویژه، دیوار سازه‌ای ویژه، و یا دیوار سازه‌ای متوسط پیش ساخته در مناطق لرزه‌ای با خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد، در مقابل تأثیرات زلزله، F_t ، مقاومت می‌کنند، باید موارد زیر را رعایت نمود:

ت- در اتصالات تیر- ستون قاب‌های خمشی ویژه و نیز در تیرهای هم‌بندی که با فولاد گذاری قطری مسلح شده‌اند، در برش $\phi = 0.85$ منظور می‌شود.

مقاومت برشی مورد نیاز در چشمه اتصال (V_u) باید بر اساس ضوابط بند ۹-۱-۴-۱۶ در حالت عمومی و ۴-۵-۶-۲۰-۹-۱ برای سطح شکلپذیری ویژه تعیین شود.

۹-۱۶-۴-۱ مقاومت برشی مورد نیاز

۹-۱۶-۴-۱-۱ نیروی برشی ناحیه‌ی اتصال، V_u ، باید در صفحه‌ی میانی ارتفاع ناحیه‌ی اتصال با استفاده از نیروهای کششی و فشاری ناشی از خمش تیر و برش ستون، منطبق با یکی از حالت‌های زیر محاسبه شود.

الف- حداکثر لنگری که بین تیر و ستون انتقال می‌یابد و از طریق تحلیل با بارهای ضریب‌دار برای تیرهای پیوسته در راستای برش مورد بررسی در ناحیه اتصال تعیین می‌شود.

ب- مقاومت‌های اسمی تیرها، M_n .

۹-۲۰-۶-۵-۴-۱ نیروی برشی در اتصال تیر به ستون باید در صفحه‌ی افقی وسط ارتفاع این اتصال و بر اساس نیروهای محاسبه شده در بر گره، با توجه به نیروهای فشاری و کششی در تیرها

که مطابق بند ۹-۲۰-۶-۵-۲ به دست آمده، و نیروی برشی در ستون‌ها در تطابق با مقاومت خمشی محتمل تیرها، M_{pr} ، محاسبه گردد.

M_n	مقاومت خمشی اسمی مقطع.	نیوتن میلی متر
-------	------------------------	-------------------

M_{pr}	مقاومت خمشی محتمل عضو، با یا بدون بار محوری، در بر گره اتصال که با فرض تنش کششی در میلگردهای طولی حداقل برابر با $1.25f_y$ و ضریب کاهش مقاومت ϕ برابر با ۱/۰ محاسبه می‌شود	نیوتن میلی متر
----------	---	-------------------

همانطور که مشخص است، تفاوت حالت شکل‌پذیری ویژه با بقیه موارد در این است که در شکل‌پذیری ویژه فرض می‌شود که لنگر تیرها در انتها برابر M_{pr} و در بقیه حالات برابر M_n است. M_{pr} بر اساس رسیدن آرماتورها به $1.25F_y$ و M_n بر اساس رسیدن آرماتورها به تنش تسلیم F_y محاسبه می‌شود. طبیعی است که M_{pr} ، ۱,۲۵ برابر M_n می‌باشد.

مقدار مقاومت برشی V_n در حالت عمومی بر اساس بند ۹-۲-۴-۱۶ و برای قاب خمشی با سطح شکلپذیری ویژه بر اساس بند ۹-۲۰-۴-۵-۶ تعیین میشود. مقاومت برشی چشمه اتصال وابسته به این است که ستون و تیر در محل اتصال پیوسته میباشند یا خیر و همچنین اتصال دارای محصورشدگی میباشد یا خیر. تعیین این موارد به شرح بندهای زیر است:

۹-۲-۱۶-۶ ادامه (توسعه) یک ستون در حالتی شرایط پیوستگی در ناحیهی اتصال تیر به ستون در امتداد برش مورد بررسی را ایجاد می نماید که شرایط زیر برآورده گردند:

الف- ستون در بالای ناحیهی اتصال حداقل به میزان یک عمق ستون (h) در امتداد برش مورد بررسی ادامه داشته باشد.

ب- میلگردهای طولی و عرضی ستون در پایین ناحیهی اتصال تا انتهای ستون در بالا ادامه یابند.

مطابق بند فوق در عمده موارد به غیر از طبقه بام یا خرپشته شرط پیوستگی ستون برقرار است. در طبقه بام نیز برای ستونهای زیر خرپشته باز هم این شرط برقرار است. برای بقیه ستونها هم اگر ستون بالای تراز بام به اندازه بعد بزرگتر ستون ادامه یابد، عملاً این شرط هم برای این ستونها تامین میشود. این موضوع برای ستونهای پیرامون بام که بالای آنها دست انداز اجرا میشود معمولاً مشکلی ندارد و قابل اجرا است و تنها برای ستونهای میانی ممکن است مشکل اجرایی داشته باشد.

۹-۲-۱۶-۷ ادامه (توسعه) یک تیر در حالتی شرایط پیوستگی در ناحیهی اتصال تیر به ستون در امتداد برش مورد بررسی را ایجاد می نماید که شرایط زیر برآورده گردند:

الف- تیر بعد از ناحیهی اتصال حداقل به میزان یک عمق تیر (h) ادامه داشته باشد.

ب- میلگردهای طولی و عرضی تیر در سمت مقابل ناحیه اتصال تیر به ستون تا انتهای تیر ادامه یابند.

مطابق بند فوق شرایط پیوستگی برای تیرها هم در مورد عمده ستونهای میانی که از ۴ جهت متصل به تیر هستند، برقرار است. برای ستونهای کناری هم لاقلاً برای یکی از دو جهت اصلی ستون این شرط برقرار است. اگر ساختمان دارای تیر کنسول به طول آزاد لاقلاً برابر عمق تیر باشد، برای ستونهای کناری و در هر دو جهت این شرط برقرار میتواند باشد. فقط در ستونهای گوشه است که ممکن است برای هیچکدام از دو جهت این شرط

برقرار نباشد. برای این ستونها هم وجود تیر کنسول میتواند لااقل یکی از دو جهت را مشمول شرط پیوستگی نماید.

۹-۱۶-۲-۸ در ناحیه‌ی اتصال تیر به ستون در امتداد برش مورد بررسی وقتی دارای شرایط محصور شدگی است که در آن دو تیر عرضی مطابق بندهای (الف) و (ب) و (پ) در زیر قرار داده شود:

الف- عرض هر یک از تیرهای عرضی حداقل سه چهارم عرض ستون در وجه اتصال باشد.
ب- تیرهای عرضی حداقل به طول یک عمق تیر بعد از ناحیه‌ی اتصال ادامه داشته باشند.
پ- تیرهای عرضی حداقل دارای دو میلگرد پیوسته در بالا و پایین مطابق بند ۹-۱۱-۵-۱ باشند؛ و حداقل دارای خاموتهایی با قطر ۱۰ میلی متر یا بیش‌تر مطابق بندهای ۹-۱۱-۵-۲ و ۹-۱۱-۶-۳ باشند.

مطابق بند فوق شرط محصورشدگی ممکن است در بسیاری موارد برقرار نگردد. این شرط خصوصاً در ستونهای گوشه در اکثر موارد نمیتواند برقرار باشد. برای برقرار شدن این ضابطه باید دقت کرد که از خاموتهای با قطر حداقل ۱۰ میلیمتر برای تیرها استفاده کنیم و همچنین عرض تیرها از سه چهارم عرض ستونها کمتر اختیار نشود. نهایتاً با توجه به موارد فوق، مقدار مقاومت برشی اسمی V_n از جدول ۹-۱-۱۶ در حالت عمومی و جدول ۹-۲۰-۲ برای سطح شکلپذیری ویژه محاسبه میشود:

جدول ۹-۱۶-۱ مقاومت برشی اسمی ناحیه‌ی اتصال (V_n)

ستون	V_u تیر در راستای	محصور با تیرهای عرضی مطابق ۸-۲-۱۶-۹	$V_n (N)$
پیوسته یا مطابق ۶-۲-۱۶-۹	پیوسته یا مطابق ۷-۲-۱۶-۹	محصور	$2\lambda\sqrt{f'_c} A_j$
		محصور نشده	$1.70\lambda\sqrt{f'_c} A_j$
	سایر موارد	محصور	$1.70\lambda\sqrt{f'_c} A_j$
		محصور نشده	$1.20\lambda\sqrt{f'_c} A_j$
سایر موارد	پیوسته یا مطابق ۷-۲-۱۶-۹	محصور	$1.70\lambda\sqrt{f'_c} A_j$
		محصور نشده	$1.20\lambda\sqrt{f'_c} A_j$
	سایر موارد	محصور	$1.20\lambda\sqrt{f'_c} A_j$
		محصور نشده	$\lambda\sqrt{f'_c} A_j$

ضریب λ برای انواع بتن‌های ساخته شده با سنگ دانه های سبک برابر ۰/۷۵، و برای بتن با سنگ دانه‌های معمولی ۱/۰ می‌باشد.

۹-۱۶-۴-۳ سطح مقطع موثر ناحیه‌ی اتصال (A_j) از حاصل ضرب عمق ستون در راستای

مورد بررسی در عرض موثر ناحیه‌ی اتصال به دست می‌آید. عرض موثر در صورتی که عرض تیر از عرض ستون بیش‌تر باشد، برابر با عرض ستون، و در صورتی که عرض ستون از عرض تیر بیش‌تر باشد، برابر با حداقل مقادیر (الف) و (ب) منظور می‌گردد (به شکل ۹-۱۶-۱ توجه شود).

الف- عرض تیر به علاوه‌ی عمق ستون

ب- دو برابر فاصله‌ی عمودی بین محور طولی تیر تا نزدیک‌ترین وجه ستون

جدول ۹-۲۰-۲ مقاومت اسمی برشی اتصال تیر به ستون

ستون	تیر در امتدادی که V_{uz} حساب شده است	محصور شدگی با تیرهای عرضی مطابق بند ۹-۱۶-۲-۸	$V_n (N)$
پیوسته یا مطابق بند ۹-۱۶-۲-۶	پیوسته یا مطابق بند ۹-۱۶-۲-۷	محصور شده	$1.70\lambda\sqrt{f'_c}A_j$
		محصور نشده	$1.20\lambda\sqrt{f'_c}A_j$
	سایر موارد	محصور شده	$1.20\lambda\sqrt{f'_c}A_j$
		محصور نشده	$1.00\lambda\sqrt{f'_c}A_j$
سایر موارد	پیوسته یا مطابق بند ۹-۱۶-۲-۷	محصور شده	$1.20\lambda\sqrt{f'_c}A_j$
		محصور نشده	$1.00\lambda\sqrt{f'_c}A_j$
	سایر موارد	محصور شده	$1.00\lambda\sqrt{f'_c}A_j$
		محصور نشده	$0.70\lambda\sqrt{f'_c}A_j$

در جدول فوق، λ برای انواع بتن‌های ساخته شده با دانه‌های سبک برابر ۰/۷۵ و برای بتن با وزن معمولی برابر ۱/۰ می‌باشد. A_j باید بر اساس بند ۹-۱۶-۴-۲-۴ محاسبه شود.

۹-۲۰-۶-۴-۵-۴ سطح مقطع موثر ناحیه‌ی اتصال تیر به ستون، A_j ، برابر با حاصل ضرب عمق در عرض موثر ناحیه‌ی اتصال است. عمق ناحیه‌ی اتصال برابر با ارتفاع کل مقطع ستون، h ، است.

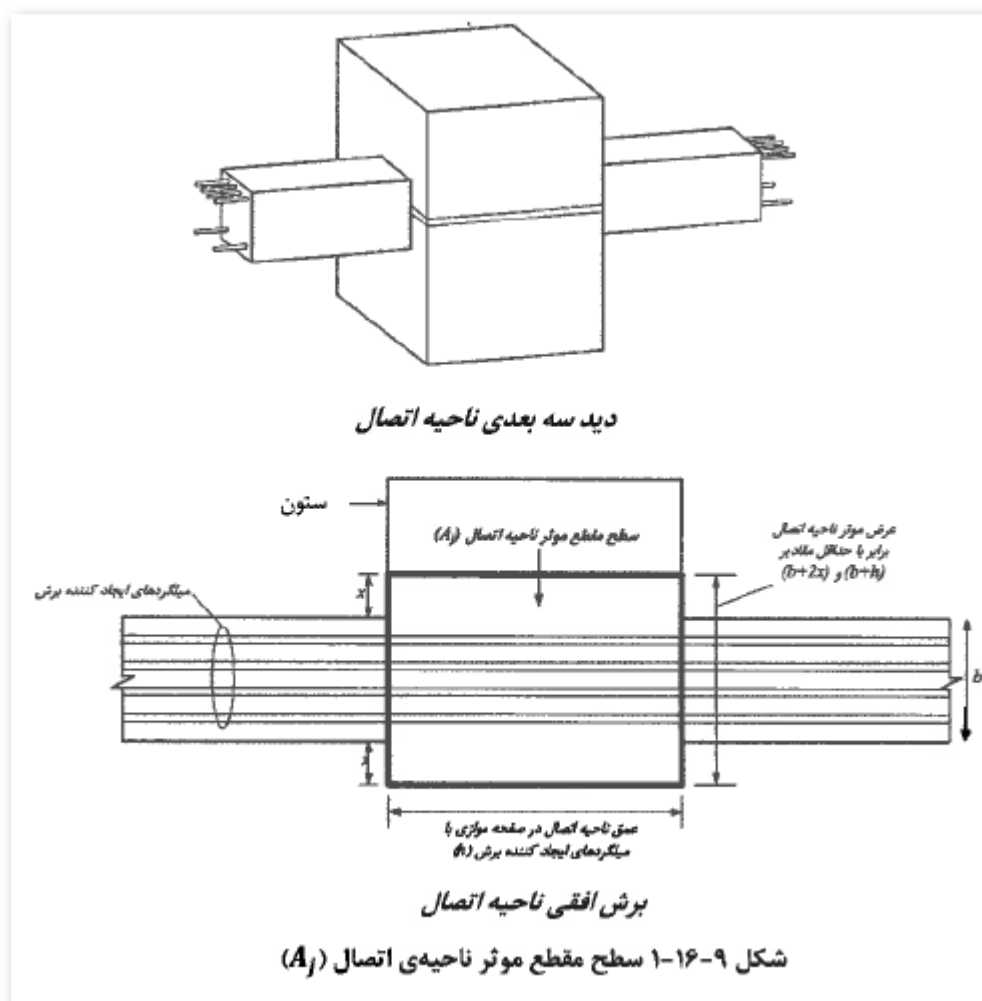
عرض موثر ناحیه‌ی اتصال، به جز در مواردی که عرض تیر از عرض ستون متصل به آن کم‌تر است، برابر با عرض کل مقطع ستون بوده و نباید از کم‌ترین دو مقدار زیر بیش‌تر در نظر گرفته شود:

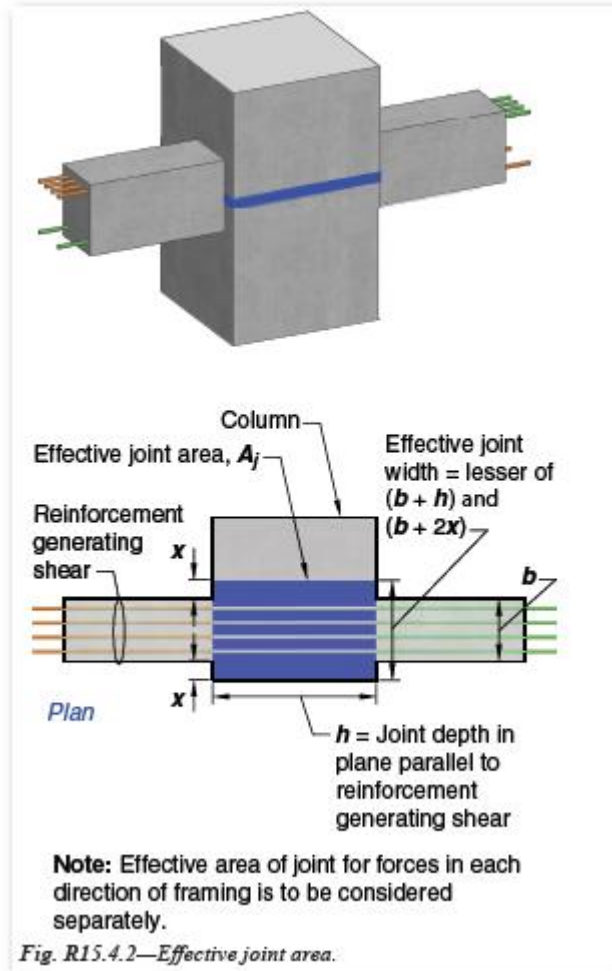
الف- عرض تیر به علاوه‌ی عمق ناحیه‌ی اتصال

ب- دو برابر کوچک‌ترین فاصله‌ی محور طولی تیر تا وجوه موازی ستون با محور تیر

همانطور که مشاهده می‌شود، برای A_j در حالت عمومی و شکلی‌پذیری ویژه تعاریف یکسان است. ضریب λ هم به نظر می‌رسد که در شرایط معمول باید برابر یک فرض شود. تفاوت اصلی بین دو حالت عمومی و ویژه در ضرایب است که در دو جدول ۹-۱۶-۱ و ۹-۲۰-۲ با هم متفاوت است و در حالت ویژه مقدار محاسبه شده برای

V_n کمتر می باشد. در محاسبه V_n نیاز به A_j می باشد. برای درک بهتر از مفهوم و نحوه محاسبه A_j بد نیست نگاهی به شکل ۹-۱۶-۱ در مبحث نهم و R15.4.2 از ACI318-19 انداخته شود:





با توجه به شکل‌های فوق برای رسیدن به بیشترین مقدار برای A_j که منجر به بیشترین مقدار برای V_n میشود، بهتر است که تیرها در آکس ستون اجرا شوند. در صورتی که مثلاً برای تیرهای پیرامونی و یا تیرهای کنار راه پله بین آکس ستون و آکس تیر فاصله بیفتد، عرض چشمه اتصال به حداکثر دو برابر کمترین فاصله آکس تیر تا لبه ستون کاهش پیدا میکند و در نتیجه مقدار A_j و مقدار V_n نیز کاهش پیدا میکند و ممکن است که چشمه اتصال برای برش وارده جوابگو نباشد.

نکته ۱: برای تیرهای کناری که در اجرا معمول است که در لبه خارجی ستون اجرا شوند، بهتر است از مقاطع L یا T شکل استفاده گردد (بال در بالای مقطع) و محور تیر در همان محور ستون اجرا گردد و عرض بال تیر به گونه ای انتخاب گردد که با لبه خارجی ستون در یک تراز جانبی قرار گیرد.

نکته ۲: در محاسبه Az یک ابهام برای شرایطی وجود دارد که عرض دو تیر متصل به ستون در دو سمت یک وجه از ستون با هم متفاوت باشند. در مبحث نهم و ACI صراحتاً نحوه برخورد با این حالت ذکر نشده است. در صورتی که مبنای محاسبه Az در این حالت تیر با عرض کمتر قرار گیرد، در جهت اطمینان است؛ اما به نظر میرسد که به صورت منطقی باید میانگین عرض دو تیر مبنای محاسبه عرض چشمه اتصال جهت محاسبه AJ قرار گیرد.

در مورد روش محاسبه برش چشمه اتصال (Vu) شکل‌های زیر مربوط به منوال نرم افزار ETABS 2019 میتواند کمک نماید. دقت نمایید که چون لنگر مقاوم اسمی مقطع به دلیل متفاوت بودن میزان آرماتور پایین و بالای مقطع در دو حالت ساعتگرد و پادساعتگرد با هم یکسان نیست؛ در محاسبه Vu باید یک بار لنگرهای وارد بر مقطع به صورت ساعتگرد و یک بار دیگر به صورت پادساعتگرد در نظر گرفته شود و نهایتاً برش ناشی از دو حالت با هم مقایسه و حالت بحرانی مبنای محاسبات قرار گیرد. باید دقت کرد که جز در طبقه آخر، در بقیه طبقات، باید برش ستون در طبقه بالا، (متناظر با شکلگیری لنگرهای مقاوم اسمی در تیرها) که اثر کاهنده بر روی برش چشمه اتصال دارد، در محاسبه Vu لحاظ گردد. طبیعی است که این برش نباید بیشتر از حداکثر برش مقاوم ستون (متناظر با رسیدن دو انتهای ستون به لنگر مقاوم اسمی) در نظر گرفته شود.

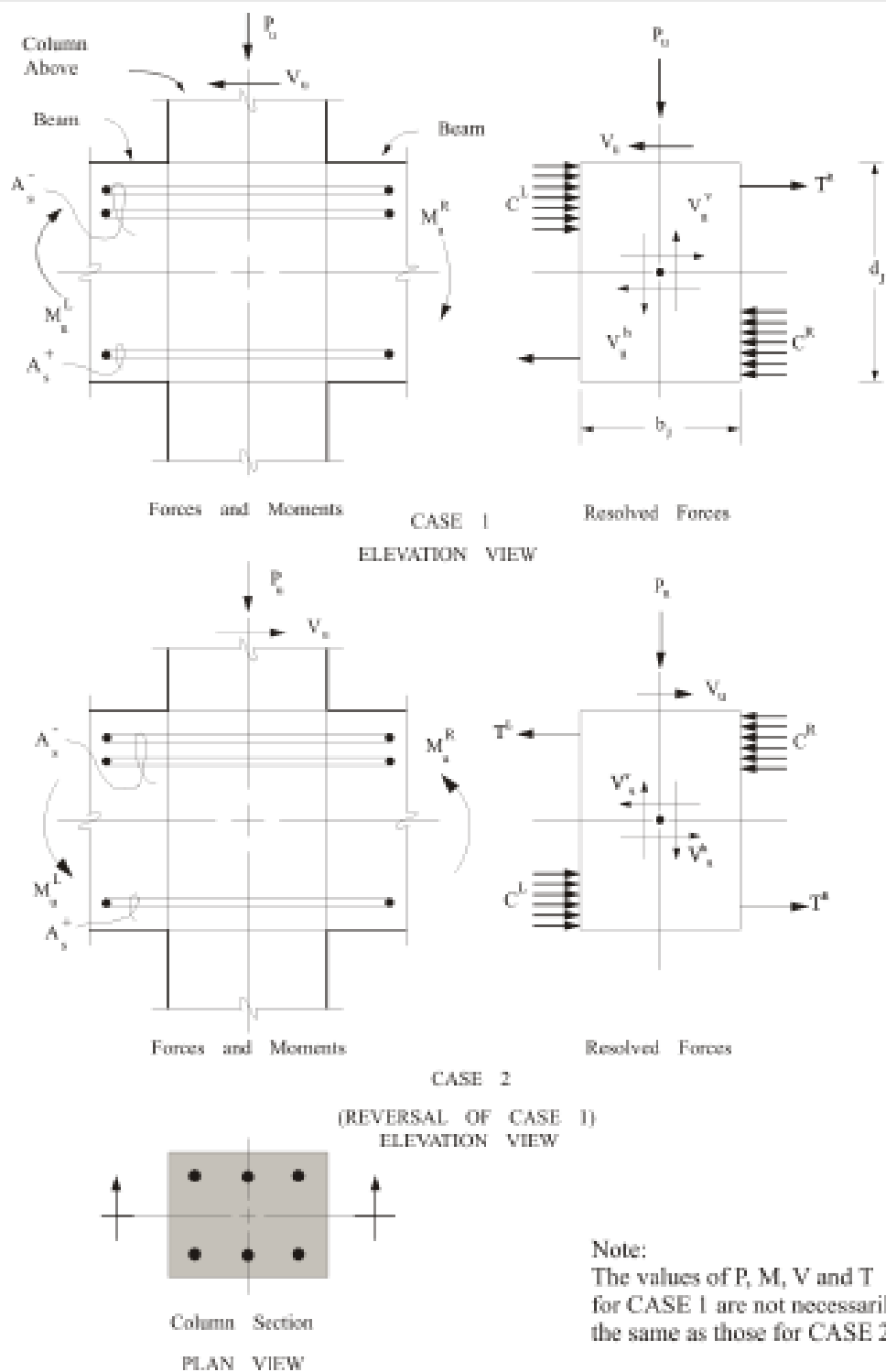


Figure 3-10 Beam-column joint analysis

همانطور که در قسمتهای قبل اشاره شد، نزدیک ترین آیین نامه به مبحث نهم مقررات ملی ساختمان – ویرایش ۹۹، آیین نامه ACI318-19 میباشد. در اینجا مروری خواهیم داشت بر جزئیات محاسبات مرتبط با برش چشمه اتصال در نرم افزار ETABS2019 (ورژن 19.1.0) بر اساس این آیین نامه. در ادامه به نکات مهم در این زمینه اشاره میشود:

۱- در قسمتهای قبل اشاره گردید که در ویرایش جدید مبحث نهم و آیین نامه ACI ضوابط مربوط به چشمه اتصال علاوه بر سطح شکلپذیری ویژه برای سطوح شکلپذیری دیگر نیز به صورت عمومی در نظر گرفته شده است. اما این موضوع هنوز در نرم افزار ETABS اعمال نشده است و هم اکنون محاسبات مربوط به برش چشمه اتصال فقط برای سطح شکلپذیری ویژه انجام میگردد. پس برای در نظر گرفتن این ضوابط برای سطوح شکلپذیری پایینتر از ویژه، باید از فایل اصلی یک save as گرفته شود و در این فایل، ستونها برای طراحی بر روی سطح شکلپذیری ویژه (Sway Special) تنظیم گردند. در صورتی که طراحی سازه در سطح شکلپذیری ویژه مد نظر باشد، نیازی به ساخت فایل دوم نیست و در همان فایل اول، تیرها و ستونها روی سطح شکلپذیری ویژه (Sway Special) تنظیم میگردند.

نکته ۳: برای سطح شکلپذیری متوسط یا معمولی فقط ستونها بر روی حالت ویژه تنظیم میشوند و تیرها بر اساس تنظیم اولیه مطابق سطح شکلپذیری مورد انتظار از سازه خواهند بود. در صورتی که تیرها نیز بر روی سطح شکلپذیری ویژه تنظیم شوند، در محاسبه برش چشمه اتصال (V_u)، این برش بر اساس رسیدن انتهای تیرها به لنگر مقاوم اسمی محتمل M_{pr} محاسبه میشود که ۲۵ درصد بزرگتر از لنگر مقاوم اسمی تیر (M_n) است. در نتیجه برش چشمه اتصال به صورت محافظه کارانه محاسبه خواهد شد.

E Concrete Frame Design Overwrites for ACI 318-19

	Item	Value
01	Current Design Section	Varies
02	Framing Type	Sway Special
03	Live Load Reduction Factor	Varies
04	Unbraced Length Ratio (Major)	0.8125
05	Unbraced Length Ratio (Minor)	0.8125
06	Effective Length Factor (K Major)	1
07	Effective Length Factor (K Minor)	1
08	Moment Coefficient (Cm Major)	1
09	Moment Coefficient (Cm Minor)	1
10	NonSway Moment Factor (Dns Major)	1
11	NonSway Moment Factor (Dns Minor)	1
12	Sway Moment Factor (Ds Major)	1
13	Sway Moment Factor (Ds Minor)	1
14	Consider Minimum Eccentricity?	Yes

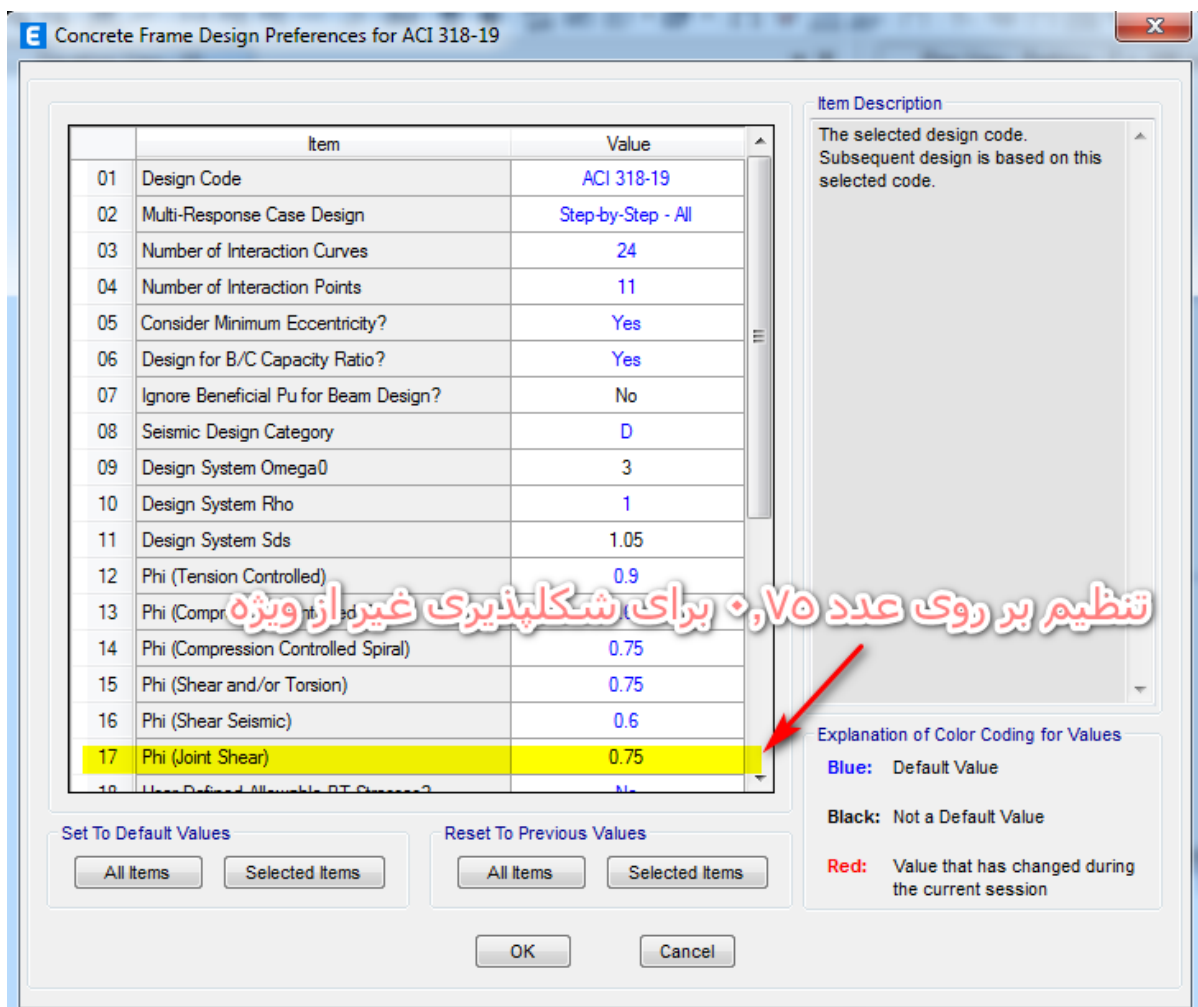
Item Description
The design section for the selected frame objects. When this overwrite is applied, any previous auto select section assigned to the frame object is removed.

Explanation of Color Coding for Values
Blue: All selected items are program determined
Black: Some selected items are user defined
Red: Value that has changed during the current session

Set To Default Values

Reset To Previous Values

۲- در بخشهای قبل اشاره گردید که ضریب جزئی ایمنی (ضریب کاهش مقاومت) یا همان ϕ در طرح برش در چشمه اتصال ، برای حالت عمومی برابر ۰٫۷۵ و برای شکلپذیری ویژه برابر ۰٫۸۵ در نظر گرفته میشود. این ضریب در نرم افزار ETABS به صورت پیش فرض برابر ۰٫۸۵ است. پس اگر قصد طراحی برای سطح شکلپذیری متوسط یا معمولی را داریم، باید این ضریب به عدد ۰٫۷۵ ویرایش گردد.

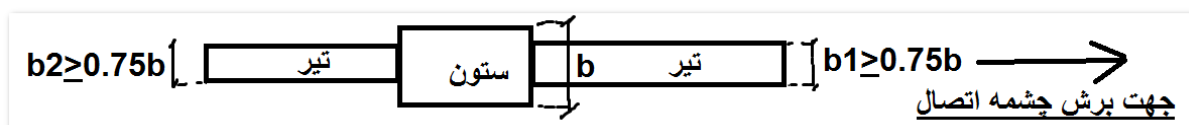


۳- همانطور که در قسمتهای قبل اشاره شد، مقاومت برشی اسمی چشمه اتصال وابسته به پیوسته یا عدم پیوسته بودن ستون و تیر در محل اتصال و همچنین محصورشدگی یا عدم محصورشدگی اتصال با تیرهای جهت متعامد دارد. نکات مرتبط با این موضوع در قسمتهای قبل بیان شده است. نحوه محاسبه مقاومت برشی چشمه اتصال در نرم افزار اما در برخی موارد متفاوت از ضوابط آیین نامه میباشد. این تفاوتها به شرح زیر میباشد:

- مقاومت برشی اسمی چشمه اتصال در مبحث نهم و آیین نامه ACI وابسته به پیوسته بودن ستون در محل اتصال دارد. این پیوستگی در طبقه آخر ممکن است وجود نداشته باشد که منجر به مقاومت برشی اسمی کمتری برای چشمه اتصال میگردد. نرم افزار ETABS در این مورد تمایزی بین ستونهای پیوسته یا ناپیوسته قائل نیست و هر دو حالت را با رابطه ای مشابه بررسی میکند. بر این اساس ممکن است نتایج نرم افزار برای برش چشمه اتصال در طبقه آخر دست پایین و غیرمحافظه کارانه باشد. برای رفع این مشکل بهتر است حتی الامکان ستونها در آخرین طبقه حداقل به اندازه بعد بزرگتر خود در بالای طبقه بام ادامه یابند. در مواردی که این موضوع امکانپذیر نیست، کنترل برش چشمه

اتصال باید بر اساس نسبت D/C (تقاضا به ظرفیت) کمتری نسبت به عدد ۱ مورد بررسی قرار گیرد و یک حاشیه اطمینان در این مورد در نظر گرفته شود.

- در پیوستگی تیرها و محصورشدگی اتصال نیز روش نرم افزار متفاوت از ضوابط مبحث نهم و آیین نامه ACI میباشد. نرم افزار بر حسب اینکه اتصال از چند وجه خود متصل به تیر و محصور شده میباشد، مقادیر متفاوتی برای مقاومت برشی اسمی چشمه اتصال در نظر می گیرد. در این زمینه تنها تیرهایی در نرم افزار در نظر گرفته میشود که عرضی لااقل برابر سه چهارم بعد ستون در وجهی که تیر به آن متصل شده باشد، داشته باشند. نرم افزار به درستی تفاوتی بین تیرهای ممتد تا تیر یا ستون سمت مقابل و تیرهای طره متصل به ستون قائل نیست و حتی اگر یک تیر طره با عرض بیشتر از سه چهارم وجه ستون نیز به آن متصل باشد، آن وجه را محصورشده در نظر میگیرد. نرم افزار در این محاسبه فقط با تیرهای موازی برش چشمه اتصال کار دارد و کاری با تیرهای جهت متعامد ندارد. بر این اساس نهایتاً دو حالت در نرم افزار به شرح زیر نظر گرفته میشود:
- الف- در راستای برش چشمه اتصال دو تیر به عرض حداقل سه چهارم بعد ستون (عمود بر راستای برش چشمه اتصال) در دو وجه مقابل ستون به آن متصل است:



$$V_n = 1.25\lambda\sqrt{f'_c}A_j$$

ب- هر حالتی غیر از حالت الف :

$$V_n = \lambda\sqrt{f'_c}A_j$$

- همانطور که در قسمتهای قبل اشاره شد، مقاومت برشی اسمی چشمه اتصال در حالت عمومی با حالت شکلپذیری ویژه در مبحث نهم و آیین نامه ACI متفاوت است و در واقع در حالت ویژه در جهت اطمینان، مقاومت برشی اسمی، نسبت به بقیه حالات کمتر در نظر گرفته میشود. نرم افزار ETABS بین این دو حالت، تمایزی قائل نیست.

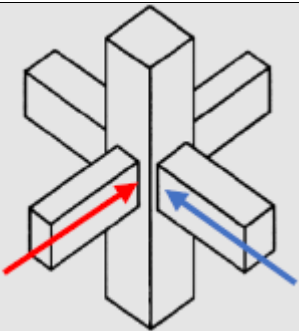
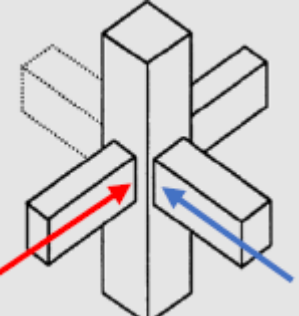
با توجه به موارد فوق مطابق جداول زیر مقایسه ای میکنیم بین مقادیر محاسبه شده برای V_n در نرم افزار و مقدار مورد نظر در مبحث نهم. و در نهایت جهت جبران اختلاف دو حالت، یک مقدار حداکثر برای نسبت D/C در ردیف آخر جدول پیشنهاد میگردد. در شکلهایی که تیر به صورت خط چین نمایش داده شده است، منظور این است که عرض تیر کمتر از سه چهارم عرض ستون

بوده است.^۱ جهت سادگی و با توجه به اینکه تفاوتها در محاسبه مقاومت برشی اسمی فقط در یک ضریب میباشد، مقاومت برشی اسمی با رابطه زیر نمایش داده میشود و در جدول تنها به ذکر ضریب C بسنده شده است:

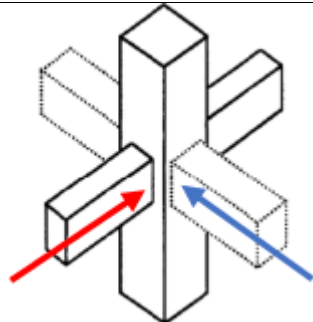
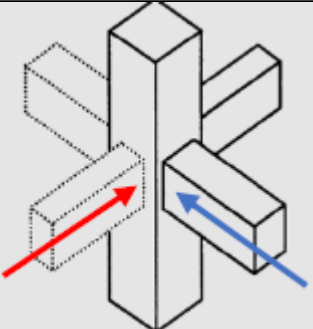
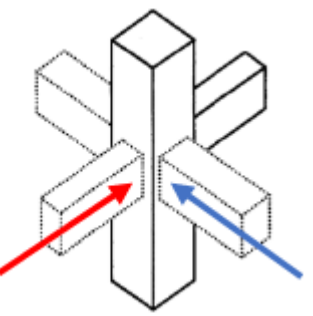
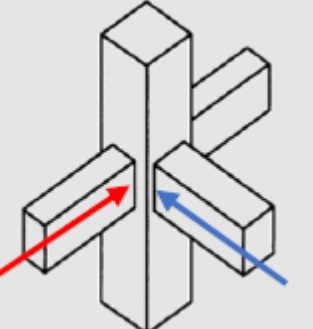
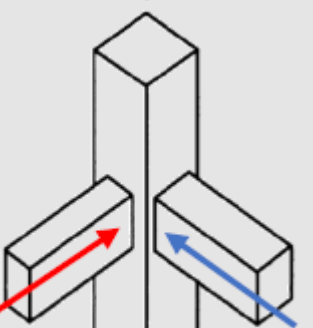
$$V_n = C * \lambda * \sqrt{f'_c} * A_j$$

دقت گردد که در جداول زیر فرض بر این است که در تیرها از خاموتهای نمره ۱۰ یا بالاتر استفاده شده است.

جدول ۱: مقایسه مقاومت برشی چشمه اتصال در حالت عمومی (غیر از قاب خمشی ویژه) ستونهای پیوسته (غیر از طبقه آخر)

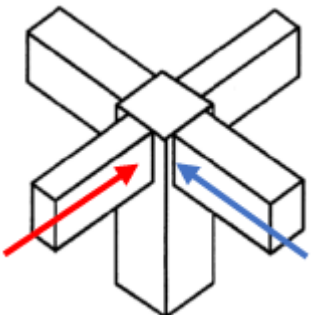
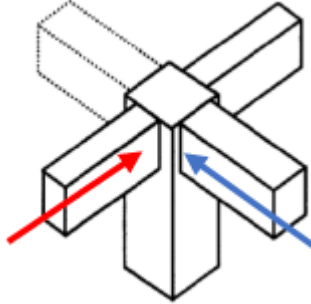
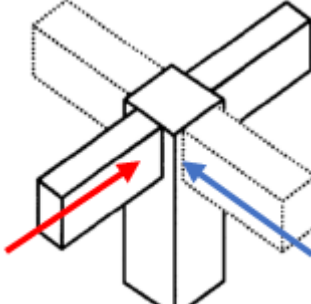
شکل اتصال	ضریب C در رابطه مقاومت برشی اسمی ETABS در		ضریب C در رابطه مقاومت برشی اسمی در مبحث نهم		حداکثر D/C قابل قبول			
	جهت قرمز	جهت آبی	جهت قرمز	جهت آبی	جهت قرمز	جهت آبی		
1			۱,۲۵	۱,۲۵	۲	۲	۱,۶	۱,۶
2			۱,۲۵	۱	۱,۷	۲	۱,۳۶	۲

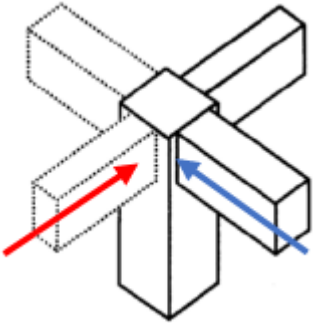
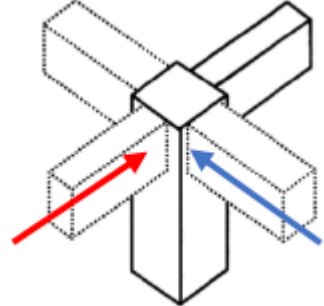
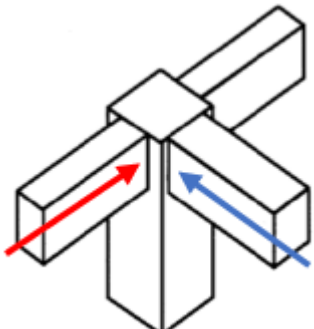
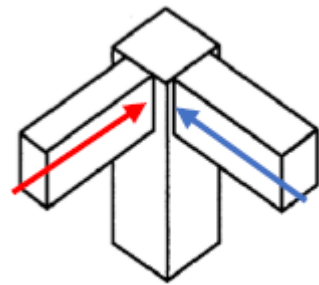
^۱ عکسهای نمایش داده شده در جدول از مقاله آقایان مهندس صمد و پویا آقازاده تحت عنوان «مقاومت برشی ناحیه اتصال تیر به ستون بر اساس ACI318-2019 و مبحث نهم ویرایش ۱۳۹۹» استخراج شده است.

3		۱,۲۵	۱	۱,۷	۲	۱,۳۶	۲
4		۱	۱	۱,۷	۱,۷	۱,۷	۱,۷
5		۱	۱	۱,۷	۱,۷	۱,۷	۱,۷
6		۱,۲۵	۱	۱,۷	۱,۷	۱,۳۶	۱,۷
7		۱	۱	۱,۲	۱,۲	۱,۲	۱,۲

همانطور که از جدول ۱ دیده میشود در حالتی که با سیستمی غیر از قاب خمشی ویژه و طبقه ای غیر از بام مواجه باشیم، محاسبات نرم افزار در مورد مقاومت برشی چشمه اتصال در تمامی حالات در جهت اطمینان است.

جدول ۲: مقایسه مقاومت برشی چشمه اتصال در حالت عمومی (غیر از قاب خمشی ویژه) ستونهای ناپیوسته (طبقه آخر)

شکل اتصال	ضریب C در رابطه مقاومت برشی اسمی در ETABS		ضریب C در رابطه مقاومت برشی اسمی در مبحث نهم		حداکثر D/C قابل قبول	
	جهت قرمز	جهت آبی	جهت قرمز	جهت آبی	جهت قرمز	جهت آبی
	۱,۲۵	۱,۲۵	۱,۷	۱,۷	۱,۳۶	۱,۳۶
	۱,۲۵	۱	۱,۲	۱,۷	۰,۹۶	۱,۷
	۱,۲۵	۱	۱,۲	۱,۷	۰,۹۶	۱,۷

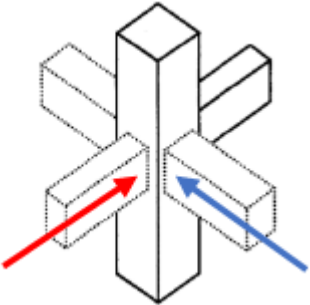
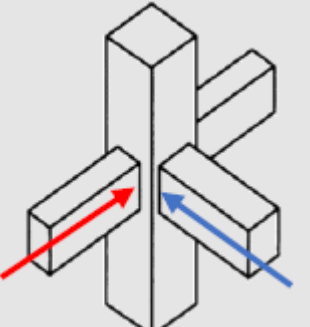
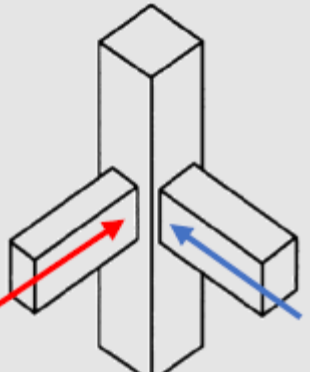
	۱	۱	۱,۲	۱,۲	۱,۲	۱,۲
	۱	۱	۱,۲	۱,۲	۱,۲	۱,۲
	۱,۲۵	۱	۱,۲	۱,۲	۰,۹۶	۱,۲
	۱	۱	۱	۱	۱	۱

همانطور که در جدول ۲ هم مشخص است برای حالتی غیر از سطح شکلپذیری ویژه، نتایج نرم افزار برای مقاومت برشی اسمی چشمه اتصال با اندکی اغماض در تمامی موارد یا قابل قبول و یا محافظه کارانه است.

در ادامه همین مقایسه در جداول ۳ و ۴ برای سطح شکلپذیری ویژه نیز انجام میگیرد:

جدول ۳: مقایسه مقاومت برشی چشمه اتصال در سطح شکلپذیری ویژه - ستونهای پیوسته (غیر از طبقه آخر)

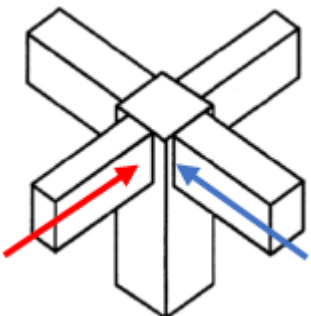
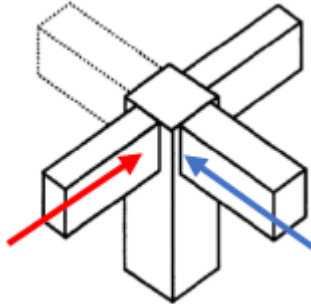
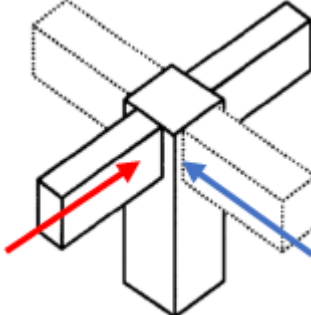
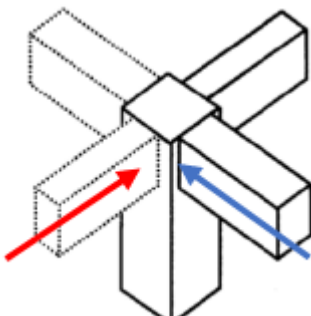
شکل اتصال	ضریب C در رابطه مقاومت برشی اسمی ETABS در		ضریب C در رابطه مقاومت برشی اسمی در مبحث نهم		حداکثر D/C قابل قبول		
	جهت قرمز	جهت آبی	جهت قرمز	جهت آبی	جهت قرمز	جهت آبی	
1		۱,۲۵	۱,۲۵	۱,۷	۱,۷	۱,۳۶	۱,۳۶
2		۱,۲۵	۱	۱,۲	۱,۷	۰,۹۶	۱,۷
3		۱,۲۵	۱	۱,۲	۱,۷	۰,۹۶	۱,۷
4		۱	۱	۱,۲	۱,۲	۱,۲	۱,۲

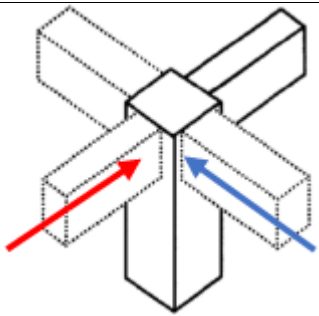
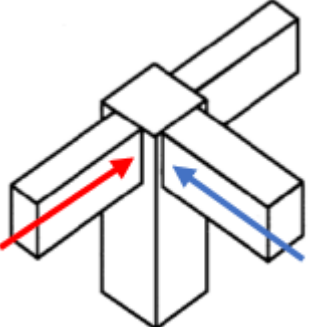
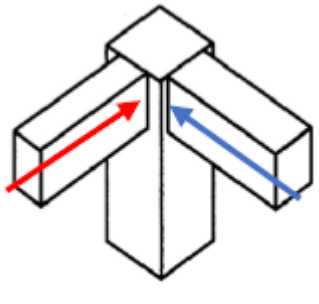
5		۱	۱	۱,۲	۱,۲	۱,۲	۱,۲
6		۱,۲۵	۱	۱,۲	۱,۲	۰,۹۶	۱,۲
7		۱	۱	۱	۱	۱	۱

همانطور که از جدول ۳ مشخص است، برای سطح شکلپذیری ویژه و ستونهای پیوسته با اندکی اغماض، محاسبات نرم افزار در تمامی حالات یا قابل قبول است و یا محافظه کارانه است.

جدول ۴: مقایسه مقاومت برشی چشمه اتصال در حالت شکلپذیری ویژه - ستونهای ناپیوسته (طبقه

آخر)

شکل اتصال	ضریب C در رابطه مقاومت برشی اسمی در ETABS		ضریب C در رابطه مقاومت برشی اسمی در مبحث نهم		حداکثر D/C قابل قبول	
	جهت قرمز	جهت آبی	جهت قرمز	جهت آبی	جهت قرمز	جهت آبی
	۱,۲۵	۱,۲۵	۱,۲	۱,۲	۰,۹۶	۰,۹۶
	۱,۲۵	۱	۱	۱,۲	۰,۸	۱,۲
	۱,۲۵	۱	۱	۱,۲	۰,۸	۱,۲
	۱	۱	۱	۱	۱	۱

	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	۱,۲۵	۱	۱	۱	۰,۸	۱
	۱	۱	۰,۷	۰,۷	۰,۷	۰,۷

همانطور که در جدول ۴ دیده میشود، نتایج نرم افزار در برخی از حالات برای ستونهای طبقه آخر در سطح شکلپذیری ویژه خلاف اطمینان است. برای حل این مشکل میتوان در صورت امکان ستونها را به اندازه بعد بزرگتر آن بالاتر از طبقه بام ادامه داد و یا نسبت D/C را مطابق جدول به مقداری کمتر از ۱ محدود کرد. در صورتی که نسبت D/C کمتر از ۰,۷ باشد در تمامی حالات مقاومت برشی چشمه اتصال با ضوابط مبحث نهم جوابگو خواهد بود.

۴- در محاسبه مقاومت برشی چشمه اتصال، نیاز به محاسبه پارامتر A_j (مساحت چشمه اتصال) میباشد. این پارامتر در صورتی که محور تیر بر محور ستون منطبق باشد به درستی محاسبه میشود. در حالتی که عرض تیرهای متصل به ستون در دو سمت اتصال با هم متفاوت باشد، محاسبه در نرم افزار بر اساس تیر با عرض کمتر انجام می گیرد که البته در جهت اطمینان است. در مبحث نهم و آیین نامه ACI318-19 مستقیماً چیزی در این مورد بیان نشده است؛ ولی به نظر میرسد که در این حالت میتوان میانگین عرض دو تیر متصل به ستون در دو وجه مقابل ستون را مبنا قرار داد که ممکن است در برخی از حالات باعث افزایش A_j نسبت به نرم افزار گردد. البته باید دقت کرد که حداکثر مقدار A_j برابر سطح مقطع ستون است و در

صورتی که در نرم افزار مقدار A_j برابر سطح مقطع ستون فرض شده باشد؛ عملاً محاسبات نرم افزار نیز در این مورد صحیح است. مورد دیگر که ضعف نرم افزار محسوب میشود، عدم توانایی محاسبه صحیح A_j در زمانی است که تیر نسبت به ستون دارای خروج از مرکزیت است. این مورد به طور مثال در تیرهای کنار بازشوها و تیرهای پیرامونی ممکن است به وجود آید. در این حالت حتی اگر این برون از مرکزیت در مدلسازی نرم افزار با استفاده از قابلیت Insertion Point هم لحاظ گردد؛ اما باز هم نرم افزار مبنا را بر هم محور بودن تیر و ستون قرار میدهد که منجر به مقداری بزرگتر برای A_j میشود. در اینگونه موارد میتوان A_j را دستی محاسبه کرده و مقدار D/C قابل قبول را بر اساس نسبت A_j با محاسبه دستی و A_j محاسبه شده در نرم افزار کاهش داد. در صورتی که به روشی مثل استفاده از تیرهای L یا T شکل، محور تیر و محور ستون با هم یکسان گردند و خروج از مرکزیت از بین برود، محاسبات نرم افزار در این مورد نیز قابل اطمینان خواهد بود و نیازی به محاسبه دستی برای A_j نیست. دقت شود که در هر صورت مطابق ضوابط لرزه ای فصل ۲۰ مبحث نهم یک محدودیت برای برون از مرکزیت تیر نسبت به ستون وجود دارد و این برون از مرکزیت نمیتواند از حد مجاز ذکر شده بیشتر اختیار گردد.

۵- یکی از نکات مهم در کنترل برش چشمه اتصال، محاسبه صحیح برش چشمه اتصال (V_u) است. نرم افزار برای این منظور بر حسب اینکه سطح شکلپذیری تیرها ویژه یا غیر از ویژه انتخاب شده است، مبنای محاسبه خود را لنگر خمشی مقاوم محتمل (M_{pr} برای شکلپذیری ویژه) و یا لنگر مقاوم اسمی (M_n برای غیر از حالت ویژه) قرار میدهد. همانطور که در قسمتهای قبل بیان شد، در محاسبه M_{pr} تنش تسلیم آرماتورها ۲۵ درصد افزایش داده میشود و البته در هر دو حالت ضرایب کاهش مقاومت ϕ برابر یک فرض میشود. با توجه به اینکه آرماتور محاسباتی بالا و پایین تیر با هم معمولاً متفاوت است، این محاسبات یک بار بر اساس لنگر خمشی ساعتگرد و یکبار بر اساس لنگر خمشی پادساعتگرد در تیرهای دو وجه مقابل اتصال انجام می گیرد. در هر یک از دو حالت فوق، برش متناظر با این لنگرهای خمشی در طبقه بالای ستون نیز محاسبه میشود. این برش نسبت به برش ناشی از لنگرهای خمشی تیرها در چشمه اتصال حالت کاهنده دارد. به همین جهت نرم افزار کنترل می کند که این برش در ستون از حداکثر برش قابل ایجاد در ستون، متناظر با شکلگیری مفصل پلاستیک در دو انتهای بالا و پایین ستون (با لحاظ کردن اثر کاهنده ناشی از بار محوری در ستون) بیشتر نگردد. نهایتاً برش چشمه اتصال در هر یک از دو وجه ستون در دو حالت به دست می آید و بین دو حالت فوق، مقدار بزرگتر مبنای محاسبات قرار میگیرد. با توجه به موارد فوق به نظر میرسد که محاسبات نرم افزار برای به دست آوردن نیروی برشی V_u قابل اطمینان باشد.

نکته ۴: معمولاً صرفنظر از مقدار گزارش شده برای آرماتورهای طولی بالا و پایین تیرها در نرم افزار، در نقشه های اجرایی به دلیل مسایل اجرایی، آرماتور تیرها از یک حد مشخص کمتر در نظر گرفته نمیشود. مثلاً ممکن است در تمامی تیرها به عنوان یک حداقل از ۳ عدد آرماتور نمره ۱۶ در بالا و پایین مقطع استفاده شود. این موضوع در محاسبات برش چشمه اتصال منجر به لنگر مقاوم اسمی بزرگتر میگردد و طبعاً نیروی برشی چشمه اتصال هم بزرگ میشود و محاسبات نرم افزار در این مورد خلاف اطمینان خواهد بود. جهت جبران این خطا، در هنگام تعریف هر مقطع تیر در نرم افزار در قسمت Reinforcement Area Overwrite for Ductile Beams باید مقدار آرماتورهای حداقل مورد نظر در دو انتهای مقطع برای بالا و پایین مقطع به نرم افزار معرفی گردد.

نکته ۵: مبنای محاسبه Vu در نرم افزار، آرماتورهای محاسباتی طولی خمشی مقطع تیر است. اما ممکن است به دلیل وجود پیچش در تیر، در عمل آرماتورهای طولی بیشتری در بالا و پایین مقطع اجرا گردد که اثر این آرماتورهای اضافه در محاسبه لنگر خمشی مقاوم مقطع دیده نمیشود. در مواردی که آرماتور طولی پیچشی، مقدار قابل توجهی است، بهتر است این اثر به صورت دستی دیده شود و یا نسبت D/C قابل قبول در نرم افزار با قضاوت مهندسی کاهش داده شود.

۴. خلاصه و نتیجه گیری

بحث طراحی برای برش چشمه اتصال در نرم افزار ETABS2019 و با استفاده از آیین نامه ACI318-19 دارای چالش هایی است که در این نوشته به صورت نسبتاً مفصل به آن پرداخته شد. نکات مهم منتج از این نوشته به شرح زیر است:

- در صورتی که کنترل برش چشمه اتصال برای سطح شکلپذیری غیر از ویژه مد نظر است، باید از فایل اصلی یک Save As گرفت و در فایل دوم سطح شکلپذیری ستونها بر روی سطح ویژه (Sway Special) تنظیم گردد. این تغییر لازم نیست که برای تیرها نیز اعمال گردد. همچنین برای ضریب کاهش مقاومت در طرح برش چشمه اتصال باید این ضریب را از مقدار پیش فرض ۰.۸۵ به مقدار ۰.۷۵ ویرایش کرد.

- در تعریف مقاطع تیرها جهت محاسبه صحیح برش چشمه اتصال، در قسمت Reinforcement Area Overwrite for Ductile Beams باید مقدار آرماتورهای حداقل مورد نظر در دو انتهای مقطع برای بالا و پایین مقطع به نرم افزار معرفی گردد. این مقدار حداقل بر اساس مسایل اجرایی است و سلیقه و قضاوت مهندسی هم در تعیین مقدار آن دخالت دارد.

- محاسبات مربوط به برش مقاوم اسمی چشمه اتصال در نرم افزار نسبت به ضوابط مبحث نهم با روابط متفاوتی انجام میگردد. این محاسبات برای سیستم غیر از شکلپذیری ویژه، در نرم افزار در عمده موارد محافظه کارانه یا قابل قبول است و میتوان نتایج نرم افزار را در جهت اطمینان قبول کرد. برای سطح شکلپذیری ویژه برای ستونهای پیوسته، محاسبات عمدتاً در جهت اطمینان و برای ستونهای غیر پیوسته (عمدتاً طبقه آخر) بعضاً خلاف اطمینان است. میتوان با ادامه دادن ستونها به اندازه بعد بزرگتر آنها در آخرین طبقه، این مشکل را حل نمود. در غیر این صورت بهتر است برای طبقه آخر برای سطح شکلپذیری ویژه مقدار D/C را به عدد ۰.۷ محدود کرد.

- در برخی از موارد، اجرای تیر نسبت به ستون به صورت خارج از مرکز انجام میگردد. این موضوع معمولاً در تیرهای پیرامونی و تیرهای کنار بازشوها پیش می آید. این برون از مرکزیت باعث کاهش سطح مقطع چشمه اتصال (A_j) و در نتیجه کاهش مقاومت برشی اسمی چشمه اتصال میگردد. این موضوع در نرم افزار در حال حاضر لحاظ نمیشود. در صورتی که در سازه برای برخی از تیرها چنین شرایطی وجود دارد، بهتر است مقدار A_j به صورت دستی محاسبه شود و بر اساس نسبت A_j به دست آمده به مقدار A_j محاسبه شده در نرم افزار، مقدار D/C قابل قبول نرم افزار برای برش چشمه اتصال کاهش یابد. در صورتی که بتوان با ترفندهایی مثل اجرای تیر با مقطع T یا L شکل از برون از مرکزیت تیر نسبت به ستون جلوگیری کرد، این مشکل قابل حل خواهد بود.