مجله علمی – پژوهشی
عمران مدرس
دوره چهاردهم، شماره چهار، زمستان ۱۳۹۳

یادداشت تحقیقاتی:

کاربرد اتصال برشی – اصطکاکی در اتصال مفصلی تیر میان طبقه راه پله بتنی به ستون

حمیدرضا فرشچی

کارشناس ارشد پژوهشکده سازه، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

hamidreza_farshchi@yahoo.com

تاریخ دریافت: [۱۳۹۰/۸/۲۳] **تاریخ پذیرش:** [۱۳۹۲/۲/۲۰]

چکیده– امروزه در ساختمان‌های قاب خمشی بتنی اتصال پله در میان طبقه به ستون‌ها یکی از مشکلات طراحی و اجرایی محسوب می‌شود. این مشکل از آنجا ناشی می‌شود که اتصال تیرمیان طبقه به ستون، در نرم‌افزار به صورت مفصل مدل‌سازی می‌شود این در حالی است که اجرای این اتصال مفصلی به‌علت عدم جزییات اجرایی مناسب با فرض اولیه (اتصال مفصلی) تطابق ندارد. آشکار است این اتصال غیراصولی تیرمیان طبقه به ستون از نظر تغییر بارگذاری و در آخر تغییر رفتار چند ستون متصل به دال نیم طبقه پله، ضعفی آشکار برای این ستون‌ها و کل سازه محسوب می‌شود. هدف از این پژوهش ارایه جزییات اتصالی ساده و اجرایی است که با عملکردی برشی – اصطکاکی برای اتصال دال پله در میان طبقه به ستون‌ها قابل استفاده است. این اتصال براساس ظرفیت‌های موجود در ضوابط و مقررات ملی ساختمان، مبحث ۹ تعریف شده و می‌تواند راهکاری مناسب برای تطبیق طراحی با اجرا باشد.

واژگان کلیدی– تیرمیان طبقه؛ اتصال بتنی؛ راه‌پله؛ مفصل؛ ستون.

مقدمه

از وظایف اصلی راه پله در ساختمان‌ها فراهم کردن امکان حرکت افراد از طبقه‌ای به طبقه‌ی دیگر است. این فلسفه وجودی راه پله‌ها در کنار مسایلی مانند افزایش تعداد طبقات ساختمان و استفاده از آنها به‌عنوان پله فرار اهمیت زیادی برای این فضاها در سازه ایجاد کرده است که باید در طرح و اجرای آنها دقت زیادی کرد تا در خدمت‌رسانی بدون وقفه آنها در مواقع اضطرای خللی وارد نیاید. پله در ساختمان از نظر سازه‌ای نقش دوم را دارد در حالی که هنگام خدمت‌رسانی، در نقش اول ظاهر می‌شود. به این معنا که با حذف پله، سازه ناپایدار و تخریب نمی‌شود لیکن خدمت‌رسانی سازه مختل می‌شود. از این رو کم‌تر به این مهم توجه می‌شود و نقایص طراحی و اجرایی کنونی در حدی نیست که تحت بارگذاری ثقلی آسیب جدی به سازه و خدمت‌رسانی آن وارد کند. اما با توجه به تجربیات زلزله‌های گذشته و صدمات جدی این بخش از سازه در می‌یابیم که نه تنها این اعضاء نخواهند توانست به وظیفه ذاتی خود هنگام وقوع زلزله که همان تخلیه ساکنین است عمل کند بلکه با عملکرد غیر اصولی خود جان ساکنین و پایداری سازه را نیز به خطر می‌اندازند (شکل ۱).

راه‌پله‌ها دارای انواع بسیار زیادی هستند که در یک نگاه کلی می‌توان بر حسب نوع مصالح سازه، آنها را تقسیم‌بندی نمود. این پژوهش در خصوص راه پله‌های بتنی در ساختمان‌های بتن‌آرمه است. به علت مزایای نسبی ساختمان‌های بتن‌آرمه نسبت به سایر مصالح،

امروزه کشور شاهد اجرای گسترده‌ی این ساختمان‌ها است. اجرای ساختمان‌های بتن‌آرمه باید بر اساس ضوابط و رعایت جزییات اجرایی آنها باشد. زیرا تنها عملیاتی شدن دقیق طراح‌ها است که می‌تواند ضامن عملکرد مورد نظر سازه و اجزای آن مطابق محاسبات انجام شده، باشد. از گذشته تاکنون تطابق طراحی و اجراء همواره از دغدغه‌های پژوهشگران، طراحان، محاسبان، ناظران و عوامل اجرایی ساختمان بوده و در این عرصه کارهای بسیاری صورت گرفته به گونه‌ای‌که امروزه توان اجرای دقیق طرح‌های محاسباتی ساختمان‌های بتن‌آرمه به‌وجود آمده است. اما در این مسیر همچنان راه‌های نرفته بسیاری وجود دارد که با عملیاتی شدن آنها شاهد ارتقاء کیفیت ساخت و سازه این نوع سازه‌ها خواهیم بود.

شکل ۱: صدمات وارده بر پله ساختمان‌های بتنی

یکی از کمبودهای موجود در خصوص ساختمان‌های بتن‌آرمه کشور عدم جزییات اجرایی مناسب در اتصال پله بتنی به ستون است. جزییات اجرایی این اتصالات امروزه به صورت قانونی نوشته نشده بین متخصصین طراح و مجری وجود داشته و به صورت سلیقه‌ای اجرا می‌شوند. که در بخش بعدی (ادبیات فنی) به برخی از مهم‌ترین آنها اشاره شده است.

از این رو با توجه به اهمیت این عضو از ساختمان و لزوم تطابق جزییات اجرایی با طراحی در این خصوص در ادامه این پژوهش به بررسی وضعیت موجود این اتصالات، ویژگی‌های طرح جدید و ضوابط طراحی اتصال مفصلی جدید و مدلسازی آن پرداخته می‌شود. در آخر با جمع‌بندی مطالب ارایه شده مزایای کاربرد این اتصال بیان شده تا بدین طریق این خلاء اجرایی به نحو مناسبی پوشش داده شود.

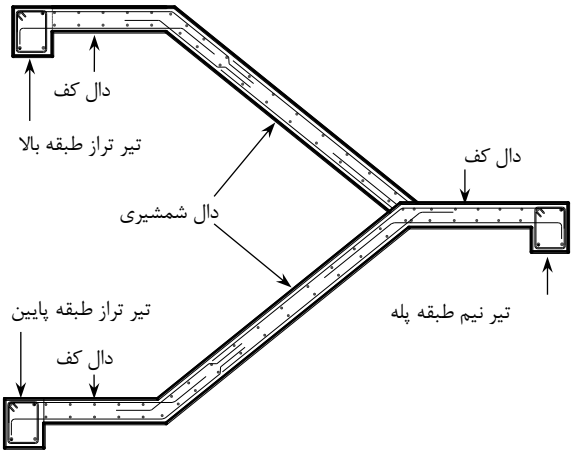
۱- ادبیات فنی

راه‌پله بتنی در ساختمان‌های بتن‌آرمه دارای سه جزء اصلی ۱- شمشیری ۲- دال پله و ۳- تیرها و اتصالات رابط پله با سازه می‌باشد. روش‌ها و مصالح مختلفی برای اجرای یک راه‌پله در سازه بتنی وجود دارد که می‌توان به روش تیرچه‌بلوک، دال بتنی، کامپوزیت و پیش‌ساخته اشاره نمود. موضوع کنونی بحث روش اجرای دال بتنی است که به‌صورت پیوسته بتن‌ریزی شده و دو اختلاف سطح را به هم متصل می‌نماید. ضخامت این دال‌ها برحسب دهانه و مقدار بارگذاری تعیین می‌شود که دو شبکه میل‌گرد مطابق با مشخصات طراحی در این ضخامت جای می‌گیرند (شکل ۲). پله‌های قابل اجرا از نظر معماری در ساختمان‌های بتن‌آرمه شامل؛ پله پیچ، دوطرفه، سه طرفه و چهار طرفه است. انتقال بار این پله‌ها بر اساس تعداد اتصال آنها به سازه تعیین می‌شود برای مثال پله پیچ در ابتدا و انتها به تیرهای کف متصل است و کل وزن و بارهای وارد بر آن به وسیله‌ی این دو نقطه به سازه منتقل می‌شود. در حالی که به‌علت شکستگی و تغییر زاویه در پله‌های دیگر این انتقال بار در هر تغییر جهت پله به وسیله‌ی اتصال دال پله به ستون مجاور آن منتقل می‌شود. بر اساس جزییات کنونی، این اتصال به وسیله‌ی تیر میان طبقه پله که در زیر دال پله قرار گرفته و دوسر آن به ستون‌های دوطرف متصل می‌باشد تأمین می‌شود.

فلسفه طراحی و مفروضات این اتصال برای جلوگیری از تحلیل دینامیکی، بسیار ساده منظور می‌شود اما در واقع با جزییات اجرایی کنونی این اتصال تطبیق ندارد. اجزای پله

(دال شمشیری و کف) با رفتار پوسته‌ایی خود فقط نیروهای برشی را به تکیه‌گاه‌ها منتقل می‌کنند. این تکیه‌گاه‌ها شامل کف طبقات بالا، پایین و در حدفاصل ارتفاع طبقه به وسیله‌ی تیر میان طبقه به ستون‌های کناری آن منتقل می‌شود. در این جزییات تیر میان طبقه قرار نیست به‌عنوان بخشی از قاب خمشی در سیستم باربر جانبی مشارکت نماید. بلکه باید تیری دو سر مفصل باشد و فقط انتقال نیروی برشی قائم و افقی توسط آن امکان‌پذیر باشد نه نیروهای خمشی یا پیچشی. به‌علت سختی اندک دال و شمشیری پله در جهت افقی نیروی وارد از آن به ستون‌ها بسیار کم است که در غیر این صورت برای جلوگیری از وقوع پدیده‌ی ستون کوتاه باید در بالا و پایین اتصال تیر به ستون خاموت‌گذاری فشرده صورت گیرد.

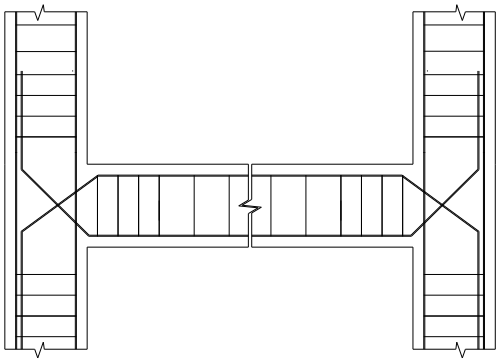
روشن است طراحی و اجرای اتصالی بتنی که دارای چنین ویژگی باشد بسیار دشوار است. به‌عبارتی می‌توان گفت اجرای اتصال مفصلی ایده‌ال با بتن‌ریزی درجا غیر ممکن است. جزییات اجرایی اتصالات و نحوه انتقال بارهای وارد از پله در نیم طبقه به سازه، درصدی از یک اتصال مفصلی ایده‌ال را پوشش می‌دهند. در ادامه این بخش به بررسی انواع اتصالات متداول در این زمینه و مقایسه آنها با اتصال مفصلی ایده‌ال می‌پردازیم:



شکل ۲: برش مقطع پله دو طرفه دال بتنی

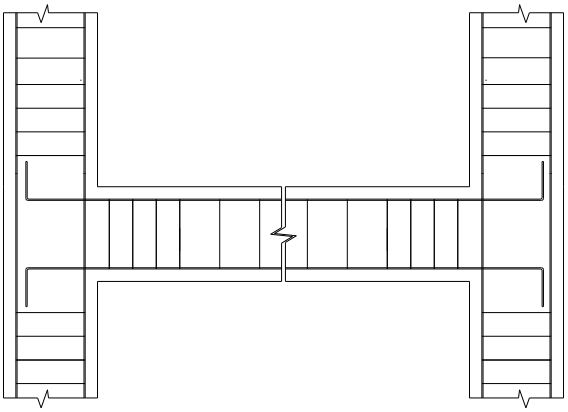
الف) تیر میان طبقه با اتصال X: این اتصال متداول‌ترین اتصال مفصلی تیر میان طبقه به ستون می‌باشد، در گذشته نه چندان دور تنها گزینه پیش روی برای اجرای اتصال تیر میان طبقه بود. در طراحی این اتصال با عبور میل‌گردهای بالا و پایین تیر در بر تکیه‌گاه (ستون‌ها) به‌صورت ضربدری، از انتقال نیروهای خمشی و پیچشی به ستون جلوگیری می‌شود (شکل ۳).

فلسفه کاربرد این اتصال و همگرا کردن میل‌گردهای طولی طرحی از پرفسور نعیم است، که از این اتصال برای دور کردن مفصل پلاستیک از محل اتصال استفاده کرده‌اند[۱].

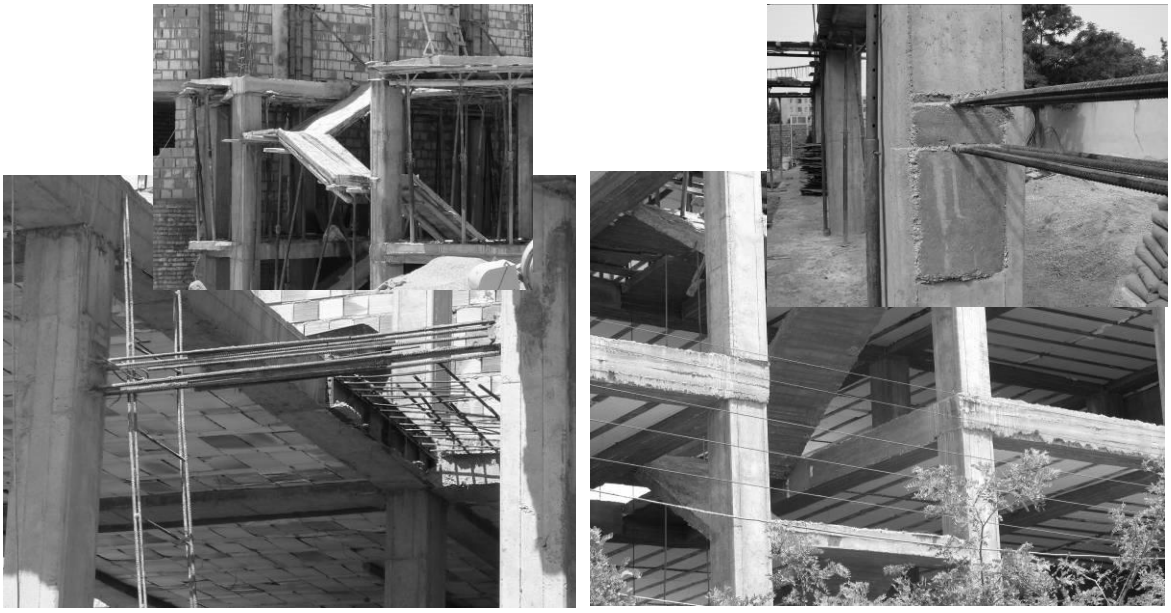


شکل ۳: نمایی از اتصال X تیر میان طبقه به ستون

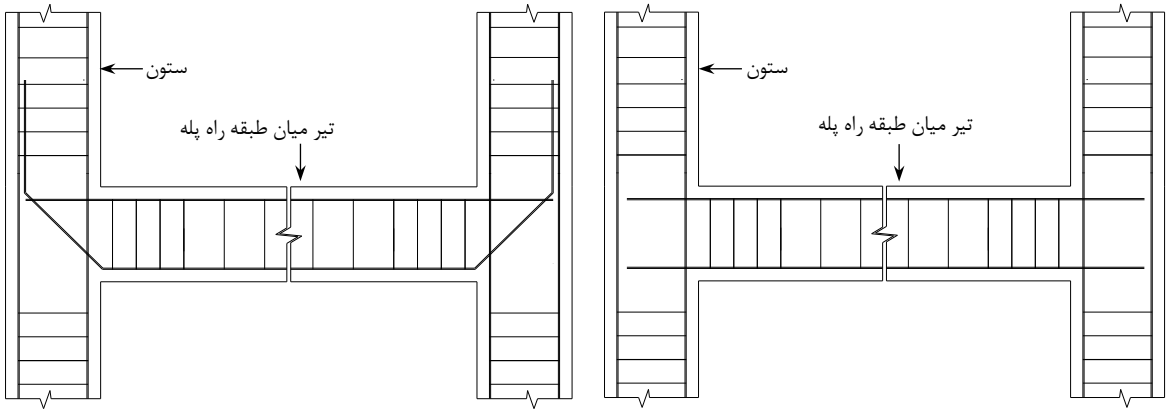
اما براساس جدیدترین پژوهش‌های صورت گرفته این اتصال رفتار مفصلی ندارد[۲].درحالی که اجرای اتصال فوق در کشور دشوار و به ندرت می‌توان اتصالی را با این روش اجرا یافت. نصب خاموت‌ها در محل اتصال، خم دقیق میلگردهای طولی، قالب‌بندی و بتن‌ریزی ستون و تیر، برخی از مشکلات اجرایی این روش استبرای آسانی اجرای این اتصال در عمل به شکل شکل (٤)، است که میلگردهای تیر در داخل ستون دارای قلاب ۹۰ درجه بوده و رفتار آنها بیش‌تر شبیه به تیر دو سر گیردار است.



شکل ٤: نمایی از میلگردگذاری تیر میان طبقه به شکل گیردا



شکل ٥: کاهش ارتفاع تیر میان طبقه به اندازه ضخامت دال پله چگونگی میلگردگذاری و اجرا



الف) اتصال بدون اجرای مهار میلگردهای خمشی در طراحی ب) ساده سازی غیر اصولی طرح اولیه اتصال در اجرا

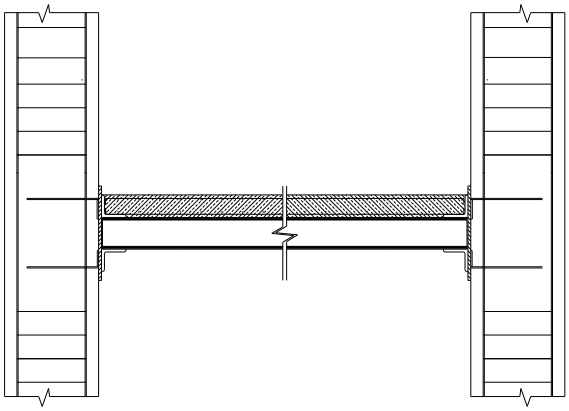
شکل ٦: تغییرات اتصال بدون مهار میلگردهای خمشی از طراحی تا اجرا

ب) تیر میان طبقه به ضخامت دال: پس از اجرای ناموفق اتصال x در اجرا، برخی طراحان برای هماهنگی فرضیات خود با روش‌های اجرایی، پیشنهاد کاهش ارتفاع تیر میان طبقه به اندازه‌ی ضخامت دال پله را ارائه نمودند. در این طرح کاهش ارتفاع تیر به اندازه‌ی ضخامت دال مطرح شد تا به این طریق با کاهش ارتفاع مؤثر تیر نیم طبقه ظرفیت خمشی تیر کاهش یابد. به این صورت لنگر انتقالی به ستون‌ها کاهش زیادی پیدا می‌کند. در شکل (۵) چگونگی میلگردگذاری و نمونه‌ی اجرا شده‌ی چنین طرحی دیده می‌شود.

پ) تیر میان طبقه با حذف مهار میلگرد تیر: در این روش برای کاهش ظرفیت خمشی تیر، مهار میلگردها در ستون حذف شده، و انتظار می‌رود هنگام وارد شدن لنگر، این میلگردها بر اثر کشش وارد شده در جای خود بلغزند و نیرویی منتقل نشود. از این اتصال به مراتب استقبال بیش‌تری نسبت به نوع x صورت گرفت. اما برخی از مشکلات اجرایی عنوان شده در اتصال قبلی همچنان مانع از اجرای دقیق آن می‌شود. به طوری‌که عموماً میلگردهای طولی پایین نیز مانند بالا ساده اجرا می‌شود (شکل ٦).

ت) **تیر میان طبقه فولادی:** این روش به بهترین شکل اتصال مفصلی دو سر تیر را عملیاتی می‌کند. از آنجا که اجرای اتصال مفصلی با فولاد با دقت بسیار بیش‌تری نسبت به بتن قابل اجرا است، در این روش با تعبیه صفحات فولادی بر وجوه ستون محل اتصال تیر، به صورت درجا با شاخک یا کاشت بولت امکان اتصال نبشی‌های بالا و پایین تیر فولادی فراهم می‌شود. (شکل ۷).

در اتصال دو سر تیر آهن با نبش بالا و پایین عملاً نیروی برشی منتقل می‌شود. بال بالای این تیرآهن نشیمن‌گاه دال بتنی کف پله خواهد بود و به‌علت وجود درز اجرایی سرد (عدم بتن‌ریزی پیوسته بین دو عضو بتنی دال و ستون) بین دال بتنی و ستون هیچ لنگری بر ستون وارد نخواهد آمد. در صورت نیاز به کاهش نیروهای افقی وارد از دال پله به ستون لازم است درز اتصال دال پله با ستون با مصالح انعطاف‌پذیر پُر شود.



شکل ۷: نحوه اتصال تیرآهن به ستون یا دیوار بتنی؛ سمت راست (تعبیه ورق نشیمن)، سمت چپ (تعبیه رول بولت)

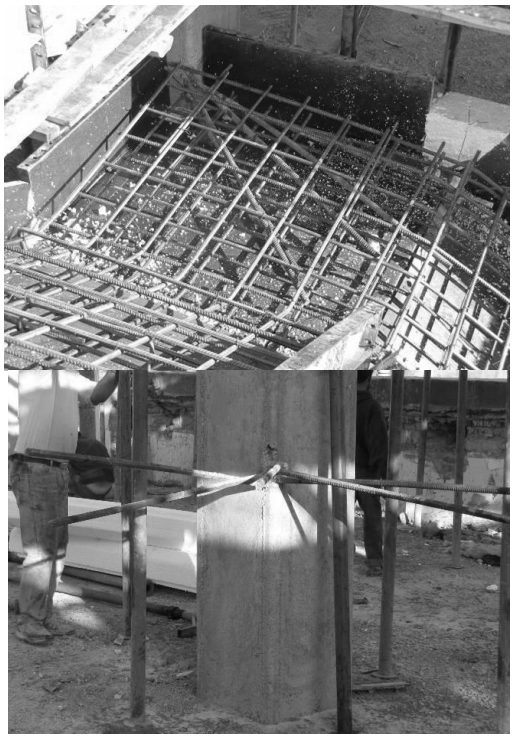
علاوه بر روش‌های یاد شده برخی راه‌کارهای دیگر مانند تعبیه دستک (کُربل) در وضعیت پیش ساختگی و انتقال بار کف پله در میان طبقه به تیر بالا یا پایین، اجرایی است. در ایران روش‌های یاد شده کم استفاده می‌شود و روش‌های گفت شده (الف–ب–پ–ت) با تمام نواقص همچنان به‌عنوان گزینه‌های اجرایی به کار برده می‌شوند.

۲- ویژگی‌های طرح جدید اتصال مفصلی

پس از بررسی دقیق بارهای وارده تیر میان طبقه و عملکرد مورد نیاز اتصال این تیر، ظرفیت‌های موجود در ضوابط و استانداردهای کشور مطالعه و طرح اتصال برشی- اصطکاکی برای این اتصال پیشنهاد شد. همان‌گونه که از نام این اتصال مشخص است، بخش اعظم نیروی برشی به وسیله‌ی میلگرد (ظرفیت برشی فولاد) و بخش اندکی از آن در صورت رعایت ضوابط اجرایی اتصال بتن جدید به قدیم به وسیله‌ی اصطکاک بتن، به ستون منتقل می‌شود. تمرکز اصلی انتقال نیرو به وسیله‌ی این اتصال، بر برش فولاد بوده البته در صورت نیاز و تمهیدات لازم در این اتصال می‌توان از ظرفیت برشی- اصطکاکی بتن نیز استفاده کرد. برای به کمینه رساندن ظرفیت لنگر این اتصال، باید در این طرح اتصال دال پله با ستون با کم‌ترین سطح مقطع اجرا شود. پس دال کف پله فقط به گوشه‌ی ستون به وسیله‌ی میلگردهای انتظار قرار داده شده، متصل می‌شود. نمونه‌ی جای‌گذاری شده این میلگردها در مقطع ستون به شعاع ۹۰ درجه و در سطوح ارتفاعی مختلف مماس بر هم در شکل (۸) نشان داده شده است. تعداد، اندازه و طول مهار میلگردهای فوق در بخش بعدی محاسبه خواهد شد.

لازم است میلگردهای انتظار در کنج ستون با پیش‌بینی قرارگیری آنها در حد فاصل دو شبکه میلگرد دال پله و در جهت‌های مختلف برای کاهش طول مهاری جای‌گذاری شوند. سپس قالب‌بندی و بتن‌ریزی ستون با موقعیت میلگردهای قرار داده شده انجام می‌شود.

میلگردگذاری این اتصال، بعد از بستن شبکه‌ی میلگرد ستون انجام می‌شود. این اتصال کم‌ترین مزاحمت را برای قالب‌بندی ستون خواهد داشت و فقط قالب کنج محل اتصال به اندازه‌ی ضخامت دال کف پله بالاتر نصب می‌شود. پس از آن منافذ موجود بسته می‌شود تا از خروج و کرمو شدن بتن این ناحیه جلوگیری شود. پس از بازکردن قالب، برای کاهش مصرف میلگرد در این اتصال می‌توان سطوح بتنی در تماس با دال کف پله را مضرس کرد. تا به این طریق از ظرفیت برشی اتصال بتن دال پله با بتن ستون به شکل مناسبی استفاده شود.



شکل ۸: گذاشتن میلگرد انتظار در کنج ستون برای ایجاد اتصال مفصلی

۳- ضوابط طراحی اتصال مفصلی جدید

طراحی این اتصال بر اساس مبحث ۹ مقررات ملی ایران انجام می‌شود. با توجه به نوع اتصال دال به ستون که در دو صفحه جداگانه نیرو به صورت برشی – اصطکاکی منتقل می‌شود، از ضوابط مندرج در بند (۹-۱۲-۱۳) برای طراحی استفاده می‌شود. کاربرد این ضوابط در مواردی مجاز است که انتقال نیروی برشی بین دو سطح با مشخصات (الف) الی (ت) مورد نظر باشد و انتقال برش در موارد بالا به وسیله‌ی عملکرد برشی - اصطکاکی صورت می‌گیرد [۳].

الف) وجود ترک یا استعداد ترک خوردن بین دو سطح

ب) دو سطح ساخته شده با مصالح غیر متشابه

ت) دو سطح بتن‌ریزی شده در زمان‌های متفاوت

روشن است که اتصال فوق دارای شرایط بند **(ت)** است. از طرفی شرایط بند **(الف)** نیز در مورد آن می‌تواند درست باشد. زیرا با وجود بتن‌ریزی در زمان‌های مختلف با پیوستگی بتن جدید و قدیم همراه خواهد بود و در مقابل برش مستقیم نسبتاً قوی است، با این وجود همواره این احتمال وجود دارد که یک ترک در موقعیت نامناسبی تشکیل شود. در فرضیه اتصال برش- اصطکاکی است که وقوع چنین ترکی در این حدفاصل را در نظر می‌گیرد و میلگردها باید در عرض ترک فراهم شوند تا مقاومتی در برابر جابه‌جایی نسبی در راستای ترک بوجود آید. هنگامی که برش در راستای یک ترک اثر می‌کند، صفحه‌ی ترک نسبت به صفحه‌ی دیگر دچار لغزش می‌شود. چنانچه سطوح ترک زبر و ناهموار باشند این لغزش با جدا شدن سطوح ترک همراه است. در اخر این جدا شدگی برای ایجاد تنش در میلگردهای گذرنده از محل ترک تا رسیدن به نقطه‌ی تسلیم کفایت می‌کند. میلگردها در میان سطوح ترک، یک نیروی منگنه‌ای برابر $A_{vf}\ f_y$ ایجاد می‌کنند. سپس مقاومت در برابر برش اعمال شده، به وسیله‌ی اصطکاک بین سطوح ترک (به وسیله مقاومت در برابر بریده شدن ناهمواری‌ها در سطوح ترک و به وسیله‌ی عمل دوخت آرماتور گذرنده از محل ترک) تأمین می‌شود [۳].

در مواردی که آرماتور برش اصطکاکی عمود بر صفحه برش باشد از رابطه (۱) بر حسب مگاپاسکال استفاده می‌شود که نسبت به روابط مشابه در ACI محافظه‌کارانه‌تر است [٤]:

$$V_r = \mu \phi_s A_{vf} f_y \qquad (۱)$$

ضریب ایمنی جزئی مقاومت فولاد برابر ϕ_s = ۰/۸۵ و ضریب ایمنی جزئی مقاومت بتن در قطعات درجا ϕ_c = ۰/۶۵ ضریب اصطکاک μ در رابطه بالا، به میزان زبری و چگونگی اتصال بتن جدید به قدیم ارتباط مستقیم دارد. از آنجا که در اتصال بالا همواره بتن‌ریزی دال پله بعد از خودگیری بتن ستون اجرا می‌شود. پس بر اساس بند (۹-۱۲-۱۳-۳-۵) در مواردی که بتن در مجاورت بتن سخت شده قبلی ریخته می‌شود، سطح تماس برای انتقال برش باید تمیز و عاری از دوغاب خشک شده باشد. در صورتی‌که این سطح تماس با خراش‌های به عمق تقریبی ۵ میلی‌متر به حالت زبر در آورده شود μ=۰/۹ فرض می‌شود و در صورت کمتر بودن زبری اتصال از مقادیر فوق، μ=۰/۵ منظور می‌شود.

برای محاسبه مقدار مورد نیاز سطح مقطع میلگرد از رابطه (۱) استفاده می‌شود. در این رابطه V_r نیروی برشی مقاوم مقطع است.

$$A_{vf} = \frac{V_r}{\mu \phi_s f_y}$$

رابطه (۲) به وسیله‌ی ACI ارایه شده که از رابطه (۱) دقیق‌تر بوده و تخمین نزدیک‌تری از مقاومت انتقال برش ارایه می‌کند.

$$V_r = 0.8\,\phi_s A_{vf}\, f_y + A_c K_1 \qquad (۲)$$

در رابطه بالا A_c سطح مقطع بتن مقاوم در برابر انتقال برش بر حسب میلی‌متر مربع و مقدار K_1 برای بتن معمولی برابر ۲/۸ مگاپاسکال برای بتنی که یکپارچه ریخته می‌شود یا سطح اصطکاک زیاد با زبری بیش از ٦ میلی‌متر و بدون دوغاب و تمیز باشد. برای بتن تمام سبک مقدار K_1 برابر با ۱/٤ مگاپاسکال و برای بتن ماسه سبک مقدار K_1 برابر با ۱/۷ مگاپاسکال منظور خواهد شد.

برای مهار مناسب میلگردها فیمابین دو عضو بتنی در بند (۹-۱۲-۱۳-۳-٤) آمده است: میلگردهای برش اصطکاکی باید به‌شکل مناسب در سطوح صفحه برش توزیع شوند و برای آن‌که بتوانند به تنش جاری شدن برسند باید به طور کامل در دو سمت صفحه برش در بتن مهار گردند. برای مهار کردن میلگردها می‌توان از ادوات مکانیکی استفاده کرد.

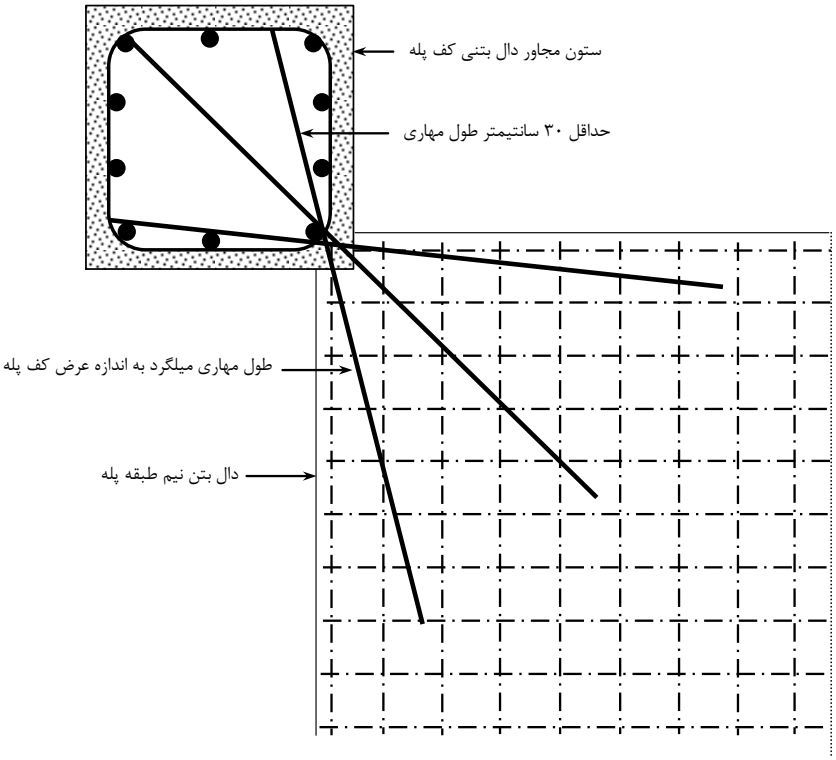
این اتصال بنابر ماهیت قرار گیری متقاطع میلگردها در مقطع ستون همواره تعدادی میلگرد عمود بر صفحه کشش قرار گرفته و مقاومت برشی آنها به نوعی اتصال مکانیکی بوجود می‌آورد که نیاز به طول مهار زیاد را با توجه به نیروی کششی اندک (در بخش مدلسازی نمونه به ۲۷/٤ کیلونیوتن اشاره شده است) منتفی می‌کند. اگرچه در صورت طراحی و نیاز به طول مهاری بیشتر قطعاً استفاده از خم نیز الزامی می‌شود لیکن برای رعایت ضوابط آیین‌نامه رعایت کمینه طول مهاری ۳۰ سانتی‌متر بدون خم لازم است. طول مهاری میلگردها در کف پله برای پرهیز از تمرکز تنش در محدوده اتصال، باید به اندازه کمینه طول مهاری کاشت به‌علاوه ضخامت دال پله در کف پله ادامه یابد (شکل ۹).

٤- مدلسازی

به جهت بررسی نیروهای موجود در این اتصال و اندرکنش دال پله با ستون نمونه مثالی با مشخصات واقعی در نرم افزار Sap (Ver.11.0.8) شبیه سازی می‌شود. فرضیات منظور شده در این مدل پله‌ی دو طرفه مطابق جدول (۱) است (شکل ۱۰). در اتصال بالا به‌علت تراکم زیاد آرماتور و مشکلات اجرایی ناشی از آن در جهت ایجاد اتصالی با اصطکاک بالا، در جهت اطمینان μ=۰/۵ فرض می‌شود. برای محاسبه مقدار مورد نیاز سطح مقطع میلگرد و بتن در اتصال دال کف پله به ستون به صورت زیر عمل می‌شود.

ابتدا بارگذاری اتصال در دو حالت محاسبات دستی و نرم‌افزاری تعیین می‌شود: بار وارد بر هر اتصال گوشه راه پله:

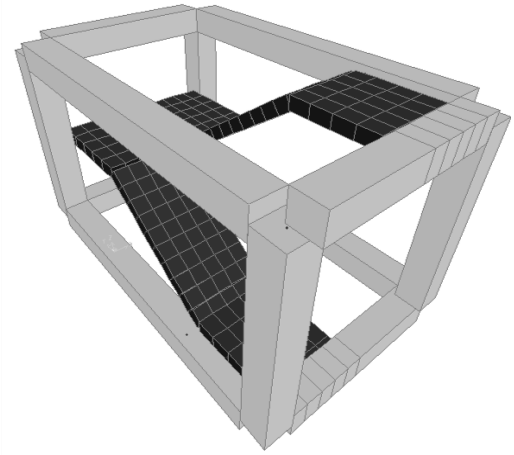
$$V_{LL+DL} = \frac{4 \times 2.5 \times 11}{4} = 27.5\ KN$$



شکل ۹: چگونگی قرار گیری میلگردهای انتظار در کف پله

جدول (۱): فرضیات مدل‌سازی پله دوطرفه بتنی

تیر	٤٠×٤٠ سانتی‌متر	**ضریب زلزله**	C= ۰/۱۱
نوع پله	دال بتنی با ضخامت ۲۰ سانتی‌متر	**فضای راه پله**	٤×۲/۵ متر
بار مرده	۷/۵ کیلونیوتن بر متر مربع	**مشخصات میلگرد اتصال**	$f_y = 400 \ MPa$
بار زنده	۳/۵ کیلونیوتن بر متر مربع	**ایمنی ضریب جزیی فولاد**	$\phi_s = ۰/۸۵$
ستون	٤٠×٤٠ سانتی‌متر با ارتفاع ۳ متر	**ضریب اتصال اصطکاکی**	μ=۰/۵
اتصال کف پله به ستون	در جهت لنگرها آزاد تعریف شده	**نیروی محوری ستون‌ها ناشی از بارگذاری طبقات بالا حداقل**	۱۵۰ کیلو نیوتن
آرایش میلگرد ستون	۱٤Φ۲۰	**مقاومت فشاری بتن**	۲۱ مگاپاسکال
دال بتنی پله	۲ شبکه Φ۱٤@۱۵×۱۵	**ضخامت بتن پوشش ستون**	٤۵ میلی‌متر



شکل ۱۰: مدل‌سازی پله‌ای دو طرفه بتنی

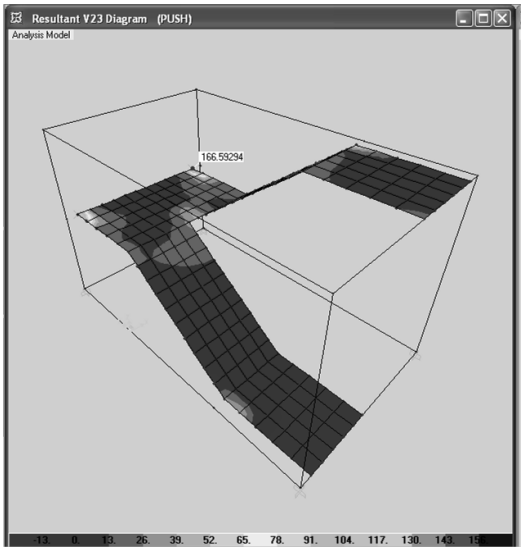
در نرم‌افزار ابتدا پوش ترکیب بارگذاری تعریف شده تا بیش‌ترین نیروها به‌راحتی نمایش داده شوند. در پنجره شکل (۱۱) مقدار برش در واحد ضخامت دال (۰/۲ متر) و در نقطه اتصال برابر ۱٦٦/٦ کیلونیوتن متر است.

نیروی برشی در این نقطه برابر است با:

$$V_{(LL+DL+EQX+EQY)} = 166.6 \times 0.2 = 33.3 \ KN$$

برای محاسبه سطح مقطع میلگرد مقاوم برشی در اتصال اصطکاکی با استفاده از رابطه (۱-۲) به‌دست می‌آید. با توجه به نیروی برشی بیش‌تر حاصل از نرم‌افزار مقدار فوق در رابطه جای‌گذاری می‌شود:

$$A_{vf} = \frac{33.3 \times 1000}{0.5 \times 0.85 \times 400} = 196 \ mm^2$$



شکل ۱۱: مقادیر برش بیشینه در نقاط اتصال دال به ستون

براساس بند آیین‌نامه باید این اتصال برای نیروهای کششی نیز به‌صورت جداگانه طرح و مقادیر میلگرد مورد نیاز به تعداد میلگردهای برش‌گیر اضافه شود. بر اساس تحلیل نرم افزاری مقدار نیروی کششی بیشینه در نقاط اتصال ۲۷/٤ کیلونیوتن است. مقدار فولاد مورد نیاز برای چنین نیرویی براساس بند (۹-۱۸-٤-۱-۷) عبارت است از :

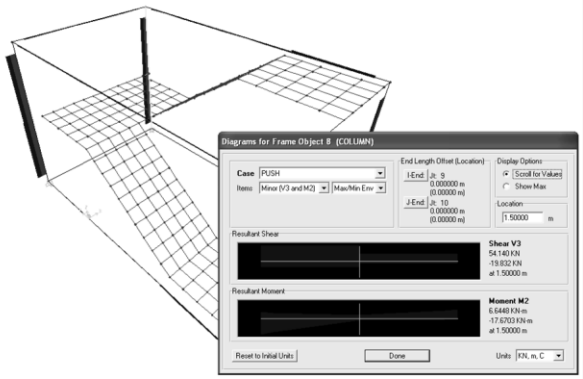
$$A_{tf} = \frac{27.4 \times 1000}{400 \times 0.8} = 85.62 \ mm^2$$

در این محاسبات از اصطکاک و اتصال بتن جدید به قدیم در جهت اطمینان صرف‌نظر شده است و مجموع سطح مقطع میلگرد مورد نیاز در رابطه زیر مشاهده می‌شود.

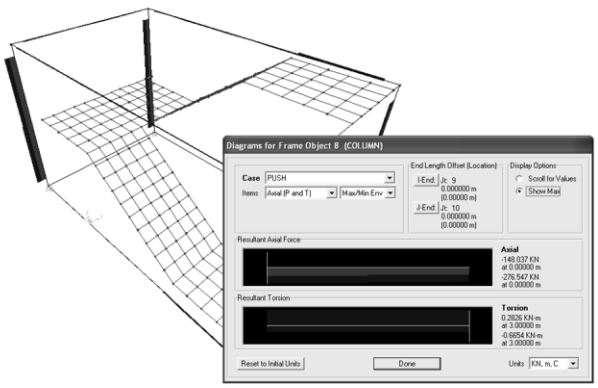
$$N = \frac{(196 + 85.62)\,mm^2}{153.8\,(\phi 14)} = 1.83 \approx 2$$

ملاحظه می‌شود، تعداد میلگردهای مورد نیاز تعداد ۲ عدد میلگرد نمره ۱٤ است. توصیه می‌شود برای اطمینان بیش‌تر و همچنین برای ایجاد مهار مکانیکی برای مهارها حداقل تعداد ۳ عدد با زاویه حدود ٤٥ درجه نسبت به یکدیگر استفاده شود (شکل ۹).

ایجاد لنگر و نیروهای پیچشی در ستون برای چنین اتصالی دلخواه نیست بنابراین در ادامه مقادیر فوق در ستون‌های اجرا شده با این اتصال بررسی می‌شود. در این بخش مقادیر لنگر و پیچش موجود در ستون با استفاده از نرم‌افزار بررسی شده و نمودار آن به ترتیب در اشکال (۱۱ و ۱۲) ملاحظه می‌شود. مقادیر لنگر و پیچش بسیار کم‌تر از ظرفیت مقطع است.



شکل ۱۱: مقادیر لنگر موجود در ستون مجاور دال نیم طبقه راه‌پله



شکل ۱۲: مقادیر پیچش موجود در ستون مجاور دال نیم طبقه راه‌پله

۵- نتیجه‌گیری

اجرای صحیح جزییات ساختمان‌های بتنی همواره از سخت‌ترین مراحل اجرای یک سازه بتنی است. ساده‌سازی و قابلیت اجرایی جزییات سازه بتنی فقط با آگاهی طراحان از تجهیزات کارگاهی و نکات فنی امکان‌پذیر خواهد بود. برای یک طراحی اصولی و اجرایی که با کم‌ترین خطا عملیاتی شود لازم است طراحان ضمن تمرکز بر اصول فنی، نیم نگاهی بر عوامل تأثیر گذاری چون اقتصاد و سرعت اجرایی طرح، تجهیزات و دانش اجرایی مورد نیاز اجرای آن داشته باشند. در این صورت ضمن رعایت اصول فنی و کاهش خطاهای اجرایی با استقبال مصرف کنندگان نیز همراه می‌شود.

متأسفانه برخی تجویزهای طراحی به علت دشواری بسیار زیاد در اجرا تا کنون اجرا نشده‌اند که می‌توان به اتصال مفصلی تیر میان طبقه، اجرای خاموت ستون در حدفاصل ضخامت سقف و رامکای بتنی ستون اشاره کرد.

در این پژوهش مراحل طراحی و جزییات اجرایی اتصال مفصلی تیر میان طبقه به ستون براساس روشی ساده و اجرایی که مطابق با ضوابط موجود در استانداردهای کشور نیز است، ارایه شده است. این روش با توجه به مزایای زیادی که دارد به‌راحتی می‌تواند جایگزین روش‌های کنونی در این زمینه باشد. نیاز بیشتر ساختمان‌های بتنی به اجرای تیر میان طبقه از دیگر امتیازات این طرح است تا در جهت حفظ سرمایه‌های کشور در کنار بهبود عملکرد این سازه‌ها نقش آفرینی کند. برخی از مهم‌ترین مزایای این اتصال نوین در ادامه ارایه می‌شود:

۱- هماهنگی بیشتر با چگونگی مدل‌سازی درمقایسه با سایر روش‌های موجود.

۲- کاهش آثار نامطلوب تیر میان طبقه بر ستون‌ها

۳- کاهش مصرف مصالح (بتن و میلگرد)

٤- کاهش بارگذاری (به علت حذف تیر میان طبقه)

۵- کاهش قالب‌بندی (به علت حذف تیر میان طبقه)

٦- افزایش سرعت اجرایی (به علت حذف تیر میان طبقه)

۷- اقتصادی بودن

۸- اجرای آن در بسیاری از نقاط دیگر ساختمان‌ها که دارای چنین شرایطی هستند.

۹- سادگی و کفایت تخصص موجود در اجرای اتصال

۱۰- مطابقت با ظرفیت‌های موجود در مقررات ملی ساختمان مبحث ۹ و استانداردهای جهانی.

۱۱- قابلیت کاربرد به‌عنوان روشی مناسب در بهسازی و مقاوم سازی سازه‌های بتن‌آرمه خصوصاً در اتصالات راه‌پله.

٦- مراجع

۱- Naeim; Farzad; The Seismic Design Handbook (Chapter 10: Seismic Design of Reinforced Concrete Structures); 2003.

۲- امین؛ محمد؛ بررسی آزمایشگاهی رفتار چند نوع اتصال مفصلی؛ پایان نامه کارشناسی ارشد؛ دانشگاه آزاد واحد علوم وتحقیقات؛ ۱۳۸۹.

۳- دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان؛ مبحث (۹) طرح و اجرای ساختمان‌های بتن‌آرمه؛ ۱۳۸۸.

٤- آیین نامه ACI 318-08؛ طراحی سازه‌های بتنی و تفسیر؛ ترجمه قربانی؛ لاجوردی؛ داود نبی، انتشارات علم عمران، ۱۳۸۷.

قدردانی

با تشکر از مهندس علی نیکوفر و دیگر همکاران محترم در پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله که در جهت انجام این تحقیق بنده را یاری کردند.