



طراحی و تیپ بندی کوله های پیش ساخته پل های سواره رو با قابلیت نصب سریع

هاشم شریعتمدار^۱، سمانه محسنی^۲، مهدی محسنی^۳

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشجوی دکترای مهندسی ساخت، دانشگاه نبراسکا-لینکلن، آمریکا

shariatmadar@um.ac.ir

خلاصه

در این مقاله مطالعات طراحی و تیپ بندی کوله های پیش ساخته پل های سواره رو که در آنها کاهش زمان نصب و بهره برداری از اهمیت بالایی برخوردار است، ارایه شده است. برای این منظور ابتدا شرایط محیطی مختلف طبقه بندی شده و سپس راهکارهای موجود برای سرعت بخشیدن به عملیات ساخت بررسی شده اند. در ادامه، گزینه های مختلف فولادی و بتنی بررسی شده و چند اتصال متداول برای یکپارچه سازی قطعات پیش ساخته ارایه شده اند. در پایان نیز معایب و مزایای طرح های یاد شده به همراه پیشنهاداتی جهت انجام مطالعات آینده ارایه شده اند.

کلمات کلیدی: پل، قطعات پیش ساخته بتنی، اتصال، کوله، سرستون.

۱. مقدمه

ساخت و اجرای پل ها به شیوه متداول که نیازمند ساخت مرحله به مرحله است، بسته به ابعاد و اهمیت پل، از چند ماه تا بیش از یک سال در کشور ما به طول می انجامد. در این روش، لازم است بعد از بتن ریزی قسمتهای بتنی (که پی ها، پایه ها و کوله ها عموماً از این نوعند) زمان لازم برای گیرش بتن سپری شود و سپس مرحله بعد اجرا می شود. این امر نیازمند صرف زمان زیاد، نیروی انسانی بیشتر و در نهایت هزینه بیشتر می گردد. از سوی دیگر ایده ساخت پل های پیش ساخته که در حال حاضر در کشورهای توسعه یافته با جدیت زیادی دنبال می شود، توانسته است تا حد زیادی زمان و هزینه احداث پل های سواره رو را کاهش داده و باعث افزایش سلامت و ایمنی نیروی انسانی و کاهش الودگی محیط زیست شود. در برخی مواقع به دلیل زمان کوتاهی که در اختیار سازندگان پل قرار دارد، استفاده از پل های پیش ساخته تنها راه حل موجود می باشد. از جمله این موارد می توان به پلسازی در محل تقاطع های پرتردد و مهم اشاره کرد که در آنها قطع جریان ترافیکی به سادگی امکان پذیر نمی باشد. احداث سریع پل ها برای مقاصد نظامی و امداد رسانی نیز از دیگر موارد کاربرد این پل هاست که می تواند در محل پل های تخریب شده و یا برای ایجاد مسیر دسترسی جدید ساخته شود. پل هایی که برای مقاصد نظامی و جهت عبور و مرور ماشین ها و تجهیزات جنگی ساخته می شوند، لازم است علاوه بر بار یک کامیون ۴۰ تنی، برای بار تانک ۷۰ تنی جنگی نیز طراحی شوند. در صورت استفاده از تریلی تانک بر برای جابجایی تانک ها، این بار به ۹۰ تن افزایش می یابد. هرگاه بارهای نظامی استثنایی و سنگین تر از مفروضات فوق برای عبور از پل در نظر گرفته شده باشد، لازم است قبلاً به آگاهی طراح برسد. پل هایی که با هدف کمک رسانی در شرایط استثنایی و وقوع حوادث غیر مترقبه احداث خواهند شد، عمدتاً مربوط به پل های تخریب شده در زمان سیل یا زلزله بوده و لازم است شرایط محیطی خاص آنها مورد نظر طراح قرار گیرد. در هر حال، در مواردی که ضرورت احداث پل و محل آن از قبل قابل پیش بینی نیست، لازم است شرایط احداث و ابعاد مختلف پلها دسته بندی شده و نسبت به ساخت پل های پیش ساخته ای که بتوانند نیازهای مورد نظر را برآورده کنند اقدام شود. قطعات پیش ساخته تهیه شده باید در انبارهای مطلوب و با رعایت ملاحظات طراح نگهداری شوند. در این مقاله ضمن مطالعه و دسته بندی راهکارهای موجود، شرایط مختلف محیطی دسته بندی شده و راه حل های عملی متناسب با نیازهای مطرح شده ارایه شده اند. در ادامه، طرح های کلی کوله ها متناسب با شرایط مطرح شده به همراه تصویر ارایه شده است. همچنین به بحث و بررسی رفتار اتصال



سرستون پیش ساخته با ستون پرداخته شده است. در پایان مزایا و معایب طرح‌های نامبرده بررسی شده و پیشنهاداتی جهت انجام مطالعات بیشتر در این زمینه ارائه شده است.

۲. طبقه‌بندی شرایط محیطی

برای دسته‌بندی و طراحی مناسب کوله‌ها که جوابگوی انواع شرایط پیش آمده باشند، لازم است ابتدا شرایط مختلف کاربرد پل‌های پیش ساخته بررسی شوند. برقراری یک تعادل اقتصادی و فنی بین طول خاکریز پشت کوله و طول عرشه پل منجر به ارائه طرح بهینه خواهد شد. استفاده از عرشه‌های با دهانه طولانی‌تر باعث کاهش طول خاکریز پشت کوله و نیز کاهش ارتفاع کوله می‌شود. هرچند به طور معمول زمان احداث خاکریز کمتر از زمان تکمیل عرشه می‌باشد، اما در صورت استفاده از عرشه‌های پیش ساخته، کاهش طول خاکریز کمک قابل توجهی به کاهش زمان احداث مسیر دسترسی می‌کند.

از نقطه نظر نوع تقاطع، پلها می‌توانند از نوع رودخانه‌ای (دره‌ای) یا روگذر باشند که پلهای روگذر خود شامل تقاطع با راه یا راه آهن می‌شوند. در برخی پلهای دره‌ای با توجه به توپوگرافی زمین و جنس دیواره‌ها می‌توان از نشیمن‌های ساده و یا کوله‌های کم ارتفاع استفاده کرد. با این حال در زمین‌های آبرفتی که شیب زمین در مجاورت رودخانه کم است استفاده از کوله‌های بلندتر واحداث خاکریز اجتناب ناپذیر است.

در تقاطع‌های راه با راه یا راه آهن، در صورت عدم وجود حجم بالای ترافیک، احداث سریع پل ضروری نبوده و در مواردی که تردد وسایل نقلیه زیاد است و قطع جریان ترافیکی باعث بروز مشکل خواهد شد، به ساخت سریع آنها مبادرت می‌شود. از این رو محور اصلی این مقاله بررسی‌ها پل‌های دره‌ای یا رودخانه‌ای خواهند بود. وضعیت محتمل دیگر علاوه بر احداث پلهای جدید در شرایط اضطراری، نیاز به بازسازی سریع پل‌های تخریب شده می‌باشد. در این شرایط با به کارگیری قسمتهای تخریب نشده می‌توان به عملیات ساخت پل سرعت بخشید.

با توجه به موارد ذکر شده تکیه گاه جانبی پل‌ها را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود: نشیمن‌های ساده و کوله‌ها. برای سهولت کار کوله‌ها از نظر ارتفاعی به چند تپ تقسیم بندی می‌شوند. سر ستون‌ها و مقاطع ستون‌های کوله برای تپ‌های ارتفاعی مختلف یکسان خواهند بود، ولی بسته به شرایط خاک بستر برای هر کدام از تپ‌های ارتفاعی دو یا سه نوع فونداسیون در نظر گرفته خواهد شد.

۳. راهکارهای موجود

قطعات پیش ساخته شامل انواع فونداسیون‌ها، کوله‌ها، پایه‌ها، سرستون‌ها و قطعات عرشه هستند که به شیوه‌های مختلف ساخته می‌شوند. روش‌های ساخت و نصب قطعات پیش ساخته شامل استفاده از انواع پروفیل‌های فولادی، استفاده از قطعات پیش ساخته بتنی بدون نیاز به بتن‌ریزی در محل، استفاده از قطعات پیش ساخته بتنی با ضرورت تزریق دوغاب و بتن در محل اتصالات و قطعات بتنی پیش ساخته تنیده می‌باشند. برای طراحی پلهای غیرموقت (دایم)، ضوابط لرزه خیزی منطقه بویژه در محل اتصالات باید در نظر گرفته شود. اتصالات در مناطق لرزه خیز معمولاً علاوه بر آرماتور طولی دارای کابل‌های پیش تنیده مهار نشده نیز می‌باشند. در این اتصالات آرماتورهای طولی خارج شده از ستون در مجراهایی پیش بینی شده در سرستون قرار می‌گیرند تا امکان شکل پذیری مناسب آن‌ها را فراهم کنند.

در این میان پروفیل‌های فولادی به دلیل وزن کمتر قطعات موجب سهولت جابجایی و نصب می‌شود. با این وجود استفاده از فولاد در محیط‌های خورنده و در دراز مدت خطر ایجاد خوردگی در قسمتهای مختلف را در بر دارد که لازم است با استفاده از رنگ یا به کارگیری سایر روش‌ها از خوردگی آنها جلوگیری شود. شکل ۱ یک ردیف پایه‌های فولادی را نشان می‌دهد که پس از کوبیده شدن، توسط یک سرستون بتنی به یکدیگر متصل شده‌اند.

اگر چه این روش نسبت به روشهای سنتی در زمان کوتاه‌تری قابل اجرا است، ولی به دلیل نیاز به شمع کوبی و تجهیزات خاص، استفاده از آن در برخی شرایط ممکن است عملی نباشد. همانطور که در سمت راست تصویر قابل مشاهده است. سرستون پیش ساخته از قبل دارای محل مناسبی برای قرارگیری پایه فولادی بوده و پس از جایگذاری و نصب، اطراف ستون‌های فولادی با دوغاب پر شده‌اند. شکل ۲ نوع دیگری از این سیستم را نشان می‌دهد که در آن از مقاطع فولادی I شکل برای ساخت پایه‌ها استفاده شده است.

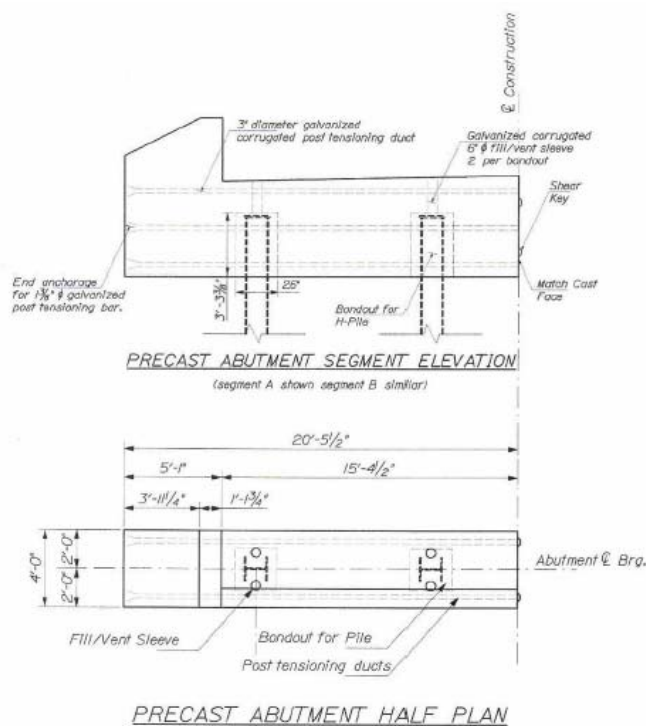


شکل ۱- سرستون پایه های فولادی [1]



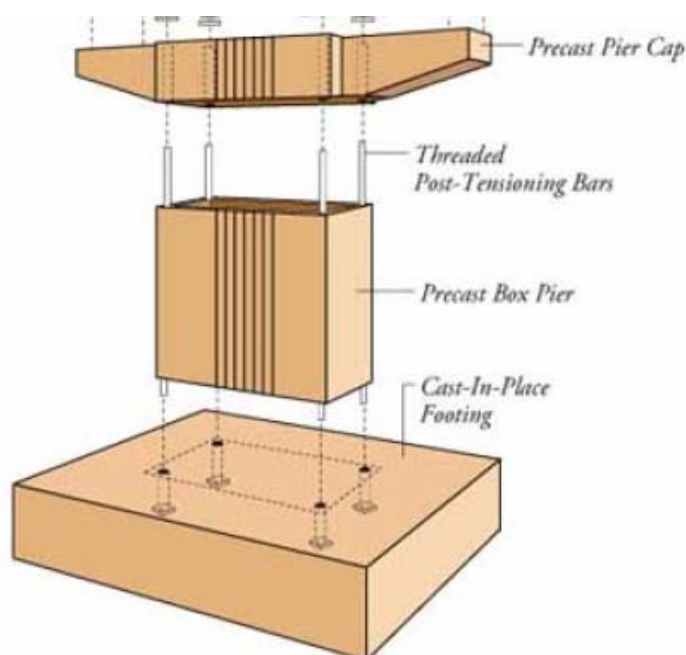
شکل ۲- پایه پل - مقاطع فولادی I شکل [2]

در شکل ۳ جزئیات ساخت سرستون فوق نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود مجراهایی برای بتن ریزی در اطراف ستونها در بالای سرستون تعبیه شده است.

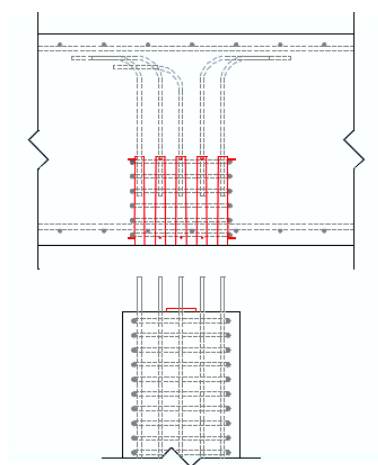


شکل ۳- جزئیات ساخت سرستون [2]

همانند آنچه در مورد ستونهای فلزی مشاهده شد، کوله‌ها و پایه‌های پیش ساخته می‌توانند از قطعات پیش ساخته بتنی تشکیل شوند. قطعات پیش ساخته بتنی مقاومت بسیار بالایی در مقابل خوردگی دارند. به ویژه اینکه با ساخت قطعات در کارگاههای مجهز امکان کنترل کیفیت در رسیدن به کیفیت مطلوب وجود دارد. با این حال قطعات بتنی که بصورت توپر هستند دارای وزن بیشتری بوده و لازم است قطعات در اندازه های کوچکتر ساخته شوند. برای مثال یک ستون بتنی از چند قطعه در ارتفاع تشکیل می‌شود. در صورتی که امکان بتن‌ریزی مختصر در محل نصب وجود داشته باشد، می‌توان با بتن‌ریزی در محل درزهای پیش بینی شده و در داخل قطعه‌های توخالی که همانند قالب عمل می‌کنند، به سیستم یکپارچه‌تری دست یافت. پایه های پیش ساخته می‌توانند به شکل های مستطیل، شش وجهی، هشت وجهی یا دایره ساخته شوند. برای پایه هایی که پیش تنیده طراحی می‌شوند شکل مستطیلی توصیه نمی‌شود و دایره شکل‌ها دارای اجرای بسیار مشکلی می‌باشند. شکل ۴ تصویر شماتیک یک نمونه پایه پیش ساخته بتنی را نشان می‌دهد. برای اتصال پی به ستون و همچنین ستون به سرستون از مجراهای فلزی از پیش جایگذاری شده و آرماتورهای انتظار استفاده می‌شود. پس از قرار گیری آرماتورها در هر مرحله، مجرای در بر گیرنده از طریق لوله های جایگذاری شده با دوغاب پر می‌شوند (شکل ۵).



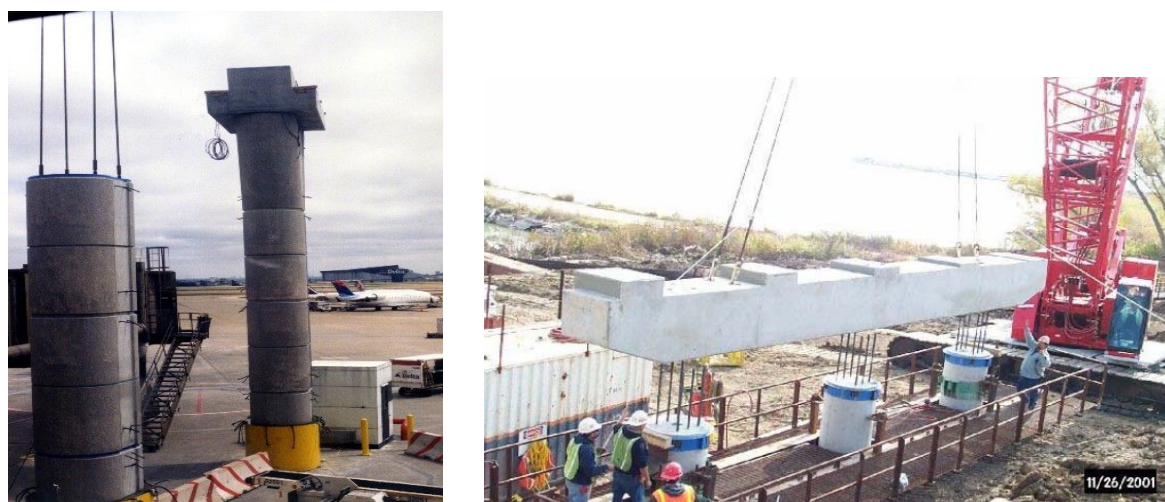
شکل ۴- پایه پل متشکل از قطعات پیش ساخته بتنی [3]



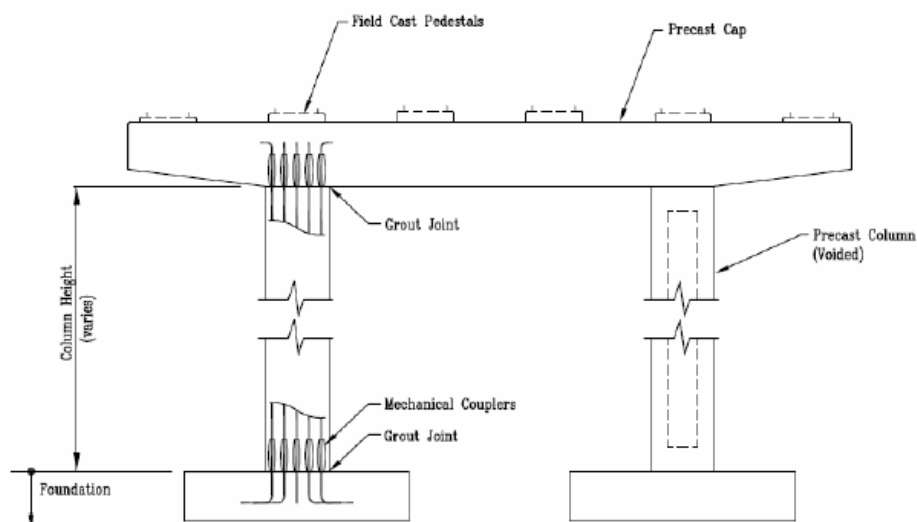
شکل ۵- نحوه اتصال سرستون پیش ساخته با پایه پل [4]

برای سهولت نصب و جایگذاری لازم است تعداد آرماتورهای انتظار به حداقل ممکن کاهش داده شوند. برای این منظور می توان از آرماتورهای با قطر بالا بهره جست. پس از پر کردن مجراهای فلزی جایگذاری شده، سطح تماس قطعات پیش ساخته نیز دوغاب ریزی می شود. از معایب این اتصالات می توان به وجود یک مقطع ضعیف برای ایجاد ترکهای بالقوه اشاره کرد. با شکل گیری ترک در مقطع یاد شده در نتیجه وجود لنگرهای خمشی در مقطع، آرماتورها در معرض خوردگی قرار خواهند گرفت. یکی از راههای مقابله با خوردگی این آرماتورها استفاده از میلگردهای FRP به جای میلگردهای فولادی می باشد. علاوه بر آن تمرکز کرنش در آرماتورهای کششی سبب کسینجنگی زودهنگام آرماتورها و کاهش شکل پذیری مقطع خواهد شد.

نمونه هایی از انواع پلهای اجرا شده با این روش را می توان در اشکال ۶ و ۷ مشاهده کرد. در شکل ۷ به علت وزن زیاد، ستون مورد نظر در قطعات مختلف ساخته شده و با عبور یک سری آرماتور از میان قطعات، استحکام و یک پارچگی آنها تضمین شده است. اشکال ۸ تا ۱۰ جزئیات قالب بندی و آرماتورگذاری یک سری پایه پیش ساخته بتنی را نشان می دهند.

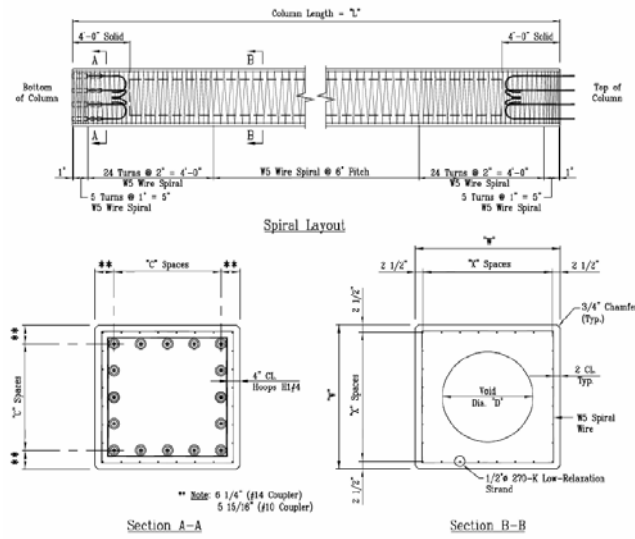


شکل ۶ و ۷- جایگذاری سر ستون پیش ساخته بر روی پایه های پل [3]

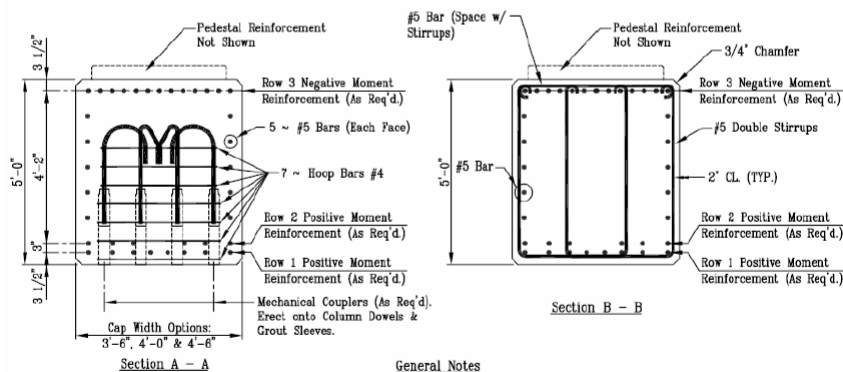
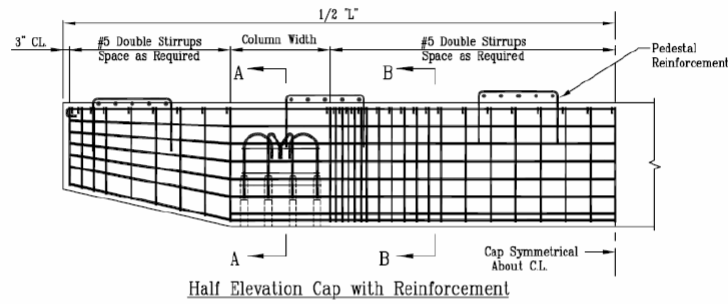
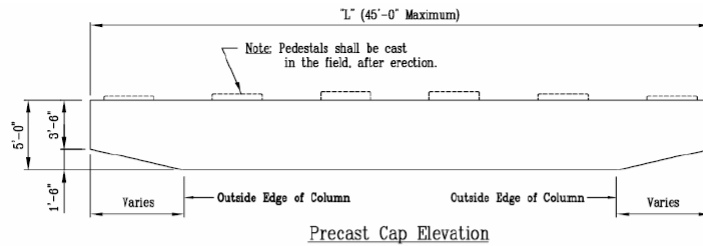


Typical Precast Bent

شکل ۸- نحوه اتصال پایه ستون پیش ساخته به فنداسیون و سر ستون پیش ساخته [3]



شکل ۹- نحوه آرماتور گذاری پایه ستون پیش ساخته [3]



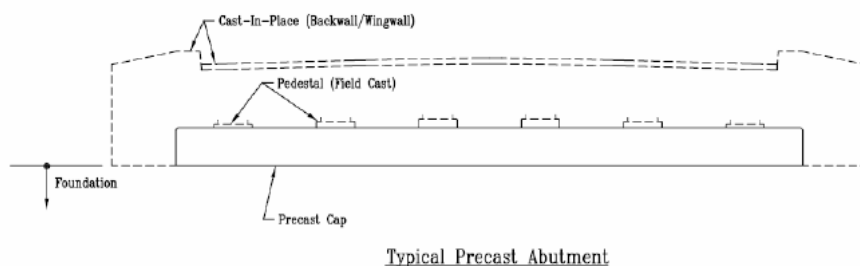
General Notes

- (1) The concrete in the precast caps shall have a minimum of 5,000 psi compressive strength prior to stripping from the form and a minimum 28 day compressive strength of 6,000 psi.
- (2) All steel reinforcement shall be AASHTO M31 Grade 60.
- (3) Mechanical Couplers shall be NMB Splice-Sleeve system or approved equal.
- (4) Precast Caps for this project are configured for a two column arrangement.

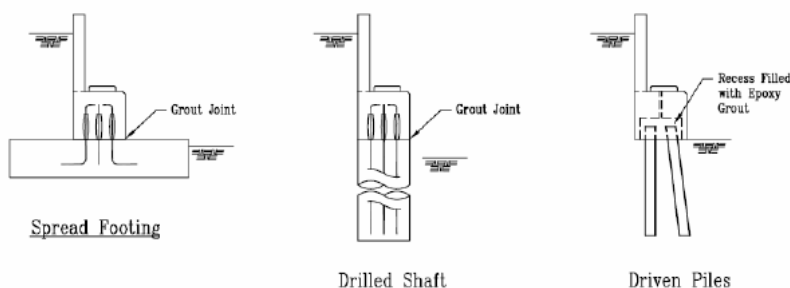
Precast Cap Details

شکل ۱۰- نحوه آرماتور گذاری سرستون پیش ساخته [3]

در صورت استفاده از عرشه با دهانه بزرگ و کاهش حداکثر ارتفاع خاکریز پشت کوله، کوله‌هایی با ارتفاع کم، که مانند نشیمن گاهی ساده وزن عرشه را به خاک منتقل می‌کنند، به کار می‌روند (شکل ۱۱).



Typical Precast Abutment



Typical Foundation Types

شکل ۱۱- کوله‌های با ارتفاع کم که به صورت نشیمن گاه ساده عمل می‌کنند [3]

۴. نتیجه گیری

در سالهای اخیر استفاده از روشهای ساخت سریع پلها، به عنوان یک گزینه اقتصادی و در بعضی مواقع به عنوان یک نیاز، مورد توجه خاص پژوهشگران در زمینه مهندسی پل قرار گرفته است. استفاده از قطعات پیش ساخته فولادی و بتنی همواره یکی از موثرترین راههای کاهش زمان ساخت کوله ها در پلهای سواره رو بوده است. علاوه بر آن، کاهش حجم خاکریز پشت کوله ها از طریق افزایش تعداد و یا طول دهانه ها نیز به ساخت پل سرعت می بخشد. لازم به ذکر است که در صورت وجود عرشه با دهانه کافی، به ویژه در مورد پلهای دره ای، می توان از نشیمن های ساده استفاده کرد. ماهیت این قطعات از یک سطح بتنی که نشیمن گاه عرشه خواهد بود، تشکیل می شود که سطح پایین قطعات عریض تر شده و مستقیماً به عنوان فونداسیون عمل می کنند. در این قطعات با ایجاد پله ای در پشت دیوار پیشانی، محلی برای قرار گرفتن دال دسترسی پیش ساخته پیش بینی می شود.

با توجه به محدودیت ظرفیت بالابرها و به منظور کاهش مشکلات اجرایی می توان نسبت به ساخت نشیمن های پیش ساخته در ابعاد مختلف اقدام کرد که با در نظر گرفتن تمهیداتی نظیر استفاده از داندانه ها و عبور دادن آرماتورهای اتصال از مجراهای از پیش تعیین شده می توان قطعات مختلف نشیمن را در عرض دهانه به یکدیگر متصل کرد. در صورتی که استفاده از کوله با ارتفاع قابل توجه اجتناب ناپذیر بود، می توان از ستون های فولادی یا بتنی پیش ساخته که از پایین به قطعات فونداسیون و از بالا به سرستون متصل می شوند، استفاده کرد. اگرچه استفاده از کوله ها و پایه های پیش ساخته در مناطق با لرزه خیزی پایین بسیار موفق بوده است، ضعف اتصالات به ویژه اتصال پی به پایه ها/کوله ها و یا اتصال ستون به سرستون در مناطق لرزه خیز از معایب بزرگ این روش بوده و بررسی مطالعات بیشتر تجربی و تحلیلی در این زمینه را طلب میکند.

۵. مراجع

1. Abu-Hawash, A, McDonald, N.L., Nelson, J.S., Nielsen, S., and Samuelson A., (2007), " Accelerated Construction in Iowa", Iowa Department of Transportation.



2. FHWA, (2009) "Connection details for prefabricated bridge elements and systems", FHWA-IF-09-010, US Department of Transportation.
3. Fouad, F.H., Rizk, T., Stafford, E.L., and Hamby, D., (2006), "A Prefabricated Precast Concrete Bridge System for the State of Alabama," UTCA Report 05215, University Transportation Center for Alabama.
4. PCI, (2006), "Guidelines for Accelerated bridge Construction Using Precast/Prestressed Concrete Components," PCINER-06-ABC, PCI Northeast Bridge Technical Committee, First Edition.
5. Tang, B., (2009), "Acceptable Seismic Connection Details" 16th Annual Caltrans-PCMAC Bridge Seminar.