

## استفاده از روش اجرای بتن پیش آکنده جهت تبدیل خطوط ریلی بالاستی به خطوط بدون بالاست

مر ترضی اسمعیلی<sup>۱</sup>، میلاد حسین اصفهانی<sup>۲</sup>، علی همتی<sup>۳</sup>

۱- دانشیار دانشکده مهندسی راه آهن دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی راه آهن.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی خطوط، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران.

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی خطوط، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران.

Milad3600@gmail.com

### چکیده

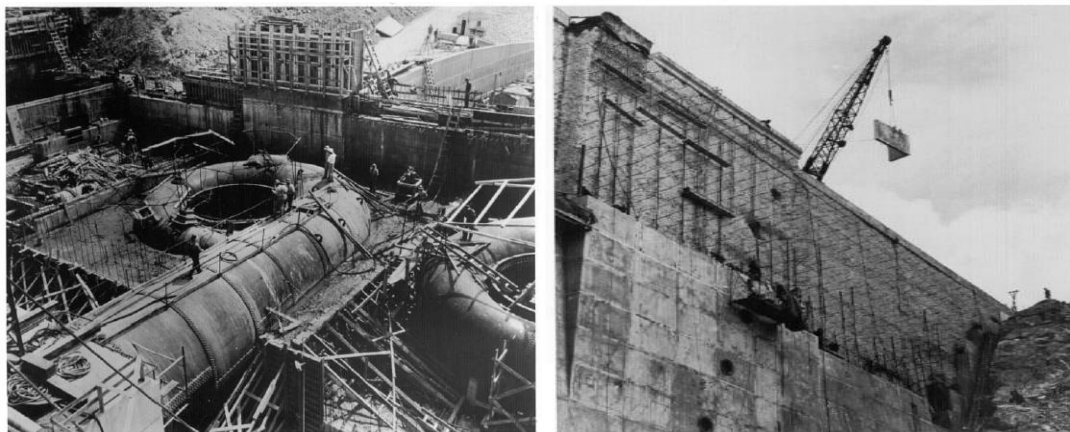
در این مقاله با بررسی تاریخیچه بکارگیری بتن پیش آکنده در دنیا، الزامات اجرا، طرح اختلاط، دانه بندی سنگدانه ها، مزایای استفاده از این روش در اجراء سازه های بتنی نسبت به دیگر روش های معمول بیان می گردد و در بخشی از مقاله به بررسی الزامات و چگونگی استفاده از این روش ساخت در تبدیل خطوط بالاستی راه آهن به دال خط صلب پرداخته می شود. در بخش دیگری به معرفی مصالح مورد استفاده در این بتن پرداخته خواهد شد. با توجه به تجهیزات آزمایشگاهی توسعه داده شده در آزمایشگاه روسازی پیشرفته دانشکده مهندسی راه آهن دانشگاه علم و صنعت ایران به منظور شبیه سازی روند ساخت و تزریق ملات ماسه سیمان در بالاست، نتایج آزمون های آزمایشگاهی روی بتن بدست آمده با این روش جهت استفاده در خطوط ریلی معرفی خواهند شد. در انتها نیز طرح مخلوطی به منظور دستیابی به بهترین ملات تزریقی پیشنهاد و همچنین نتایج مقاومت فشاری ملات ها، مقاومت فشاری و کششی بتن های ساخته شده آورده خواهند شد.

کلمات کلیدی: بتن پیش آکنده، طرح اختلاط، دال خط صلب، تزریق ملات

### ۱. مقدمه

جهت سیر ایمن خطوط ریلی، بایستی طی عملیات تعمیر و نگهداری خطوط ریلی، همواره این خطوط مورد بررسی قرار گیرند و از سالم بودن اجزای روسازی و زیرسازی خطوط ریلی اطمینان حاصل شود. این امر بوسیله بازدید های روزانه مامورین خط صورت گرفته و در صورت بروز مشکل در اجزای خط بایستی عملیات تعمیر صورت گیرد. [۱] بطور معمول عملیات تعمیر و نگهداری در خطوط ریلی بالاستی از اهمیت بیشتری نسبت خطوط بدون بالاست برخوردار است، چرا که این خطوط به دلیل انعطاف پذیری ناشی از شکل پذیری بالاست، مستعد خرابی های هندسی خط همچون نشست های نامتقارن، پیچش و اعوجاج می باشند. [2] از سوی دیگر آلودگی بالاست در این خطوط باعث کاهش انعطاف پذیری خط گردیده و ضمن کاهش قدرت زهکشی خط، مقاومت جانبی و قائم خط را در شرایط مرطوب کاهش می دهد که این موضوع می تواند سبب کاهش پایداری خط و قطار و در برخی موارد خروج از خط وسیله نقلیه گردد. و لذا بطور معمول بخش مهمی از هزینه های چرخه عمر خطوط ریلی بالاستی صرف تعمیر و نگهداری بالاست می شود. از طرفی افزایش ترافیک عبوری و زمان سیر قطارها در بعضی خطوط باعث بوجود آمدن مشکلاتی مثل نبود زمان کافی برای تعمیرات جزئی و عدم امکان مسدودی خط برای زمان طولانی جهت بهسازی و نوسازی خطوط بالاستی می شود. به دلیل حجم بالای ترافیک عبوری، مسدودی خط حتی در یک روز باعث خسارات قابل توجه مادی و ناراضیاتی مسافران این مسیرها خواهد شد. [۳] تمام این عوامل باعث شده که طی سالهای اخیر ساخت خطوط ریلی بدون بالاست مورد توجه بیشتری قرار گرفته و در خطوطی که دارای ترافیک دائمی می باشند استفاده از این نوع خط دارای مزیت های ویژه ای باشد. در سالهای اخیر تبدیل خطوط بالاستی به بدون بالاست با بکارگیری تکنولوژی ساخت بتن پیش آکنده در برخی کشور های دنیا مورد توجه قرار گرفته است. اجرای بتن پیش آکنده ابتدا در سال ۱۹۳۷ برای تعمیر یک تونل

در کالیفرنیا انجام شد. طی سال‌های متمادی بکارگیری این نوع بتن فقط در صحنه تعمیر پل و تونل خودنمایی می‌کرد اما پس از آزمایش‌های مختلف، اداره احیاء اراضی ایالات متحده<sup>۱</sup> (USBR) از این روش در بازسازی سرریز سد Hoover استفاده نمود و سپس در سال ۱۹۴۶ در تعمیرهای بالادست سد در کلرادو این شیوه بکار رفت بطوریکه در سد مذکور درحالی‌که دریاچه سد از آب پر بود، سریعاً طی ۱۰ روز تزریق ملات انجام شد. گروه مهندسين ارتش آمریکا<sup>۲</sup> در سال ۱۹۵۱ نیز آن را بکار گرفتند و در سال ۱۹۵۴ و ۱۹۵۵ تقریباً بیش از ۳۸۰۰۰۰ مترمکعب از این بتن در ساخت ۳۴ پایه پل بکار رفت. از سال ۱۹۵۰ در ژاپن و سپس در استرالیا و کشورهای دیگر این شیوه بتن‌ریزی و تعمیر به‌وفور بکار رفته است. [4]



شکل ۱- سمت راست: سد Barker در کلرادو، سمت چپ: توربین سد Bull Shoals

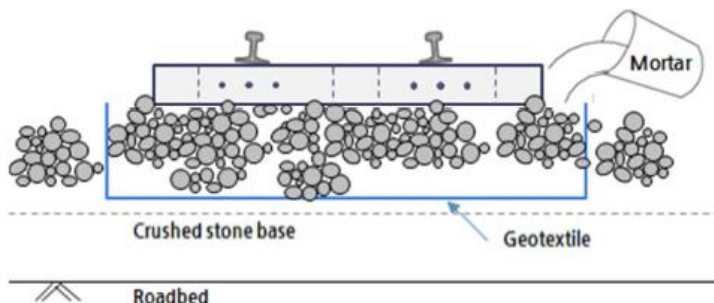
در حوزه مهندسی راه آهن، از این روش اجرای بتن برای تبدیل خط بالاستی به دالخط استفاده گردیده است. در حدود ۴۰ سال پیش برای اولین بار در کشور ژاپن، یک تعداد محدودی از خطوط بالاستی با این روش به دالخط تبدیل شدند. در سال ۱۹۷۰، تیپ‌های A، B و D بتن پیش‌آکنده معرفی شدند که جزییات دقیق آنها در دسترس نیست. در سال ۱۹۸۳، تیپ E بتن پیش‌آکنده بعنوان تیپ پیشرفته شده ی B معرفی شد. در این تیپ، بجای آسفالت داغ از دوغاب سیمان بعنوان پرکننده بین دانه‌ها استفاده شد. [5] در سال ۱۹۹۷، تیپ TC بتن پیش‌آکنده در راه آهن ژاپن معرفی و در سال ۱۹۸۸ در تاباتا-شینجوکو-تاماجی که بخشی از خط یامانوته است، اجرا گردید. در سال ۲۰۰۲ نیز چندین بخش دیگر از خطوط راه آهن ژاپن به این نوع از دالخط تجهیز گردید و در نهایت تا سال ۲۰۰۸، ۱۸۲ کیلومتر از خطوط متروی ژاپن به بتن پیش‌آکنده مجهز شد. [6] در کشور کره، از سال ۲۰۰۳ بطور جدی بحث بتن پیش‌آکنده کانون توجه قرار گرفته است. از سال ۲۰۰۷ در قسمت‌هایی از تونل‌های متروی سئول، از این بتن استفاده شده است. در سال ۲۰۰۹ نیز در یکی از پل‌های خط ۲ متروی یانگسان، این بتن اجرا شد. [7] از آنجا که دانش فنی تیپ‌های روسازی یاد شده ی بالا و جزییات دقیق اجرای این بتن در آنها دسترس نیست لذا مطالعه حاضر در یک روند مهندسی معکوس تلاش دارد تا با توسعه تجهیزات ساخت بتن پیش‌آکنده در مقیاس آزمایشگاهی ابهامات اجرایی به این روش را مورد بررسی قرار داده راهکارهای لازم برای اجرای روسازی صلب به این روش در کشور را ارائه دهد.

<sup>۱</sup> United States Bureau of Reclamation

<sup>۲</sup> US Army Corps of Engineers

## ۲. مشخصات و ویژگی های بتن پیش آکنده

بتن پیش آکنده به بتنی اطلاق می شود که سنگدانه آن در محل وجود داشته و با قالب بندی اطراف آن و تزریق ملات ما سه و سیمانی با طرح اختلاط از پیش تعیین شده به داخل سنگدانه ها، آن را به بتنی تحت عنوان بتن پیش آکنده تبدیل می کنند. استفاده ی این بتن در پروژه های بزرگ توجیه پیدا می کند بنابراین در پروژه های با بتن ریزی های حجیم مثل سد، پایه پل، فونداسیون های بزرگ و اجرای درجای دال خط راه آهن بعنوان رویکردی جدید در مهندسی راه آهن، استفاده از متد اجرایی بتن پیش آکنده کانون توجه جامعه مهندسی قرار گرفته است. جهت افزودن ملات داخل سنگدانه، از کمپرسور فشار هوا استفاده می شود تا تمامی تخلخل بین سنگدانه ها توسط ملات پر شود. بدیهی است اگر ملات بصورت ثقلی وارد سنگدانه ها شود، نمی تواند تمامی فضاهای بین سنگدانه ها را پر نماید (علی الخصوص اگر نسبت آب به سیمان ملات موردنظر پایین باشد).



شکل ۲- شکل شماتیک چگونگی شکل گیری بتن پیش آکنده

استفاده از بتن پیش آکنده دارای مزایایی نسبت به بتن معمولی می باشد که می توان این مزیت ها را، دلیل استفاده از این بتن نیز قلمداد کرد. از مهمترین ویژگی های این بتن می توان به موارد زیر اشاره کرد: عدم جدایی اجزاء تشکیل دهنده بتن و همگنی بسیار خوب آن به ویژه در بتن های سنگین با داشتن سنگدانه های سنگین وزن با چگالی ۵٫۳ تا ۸٫۷، جمع شدگی خمیری کم و هم چنین جمع شدگی کم ناشی از خشک شدگی که معمولاً در این بتن ها نصف تا ثلث بتن های معمولی مشابه هستند. پتانسیل ترک خوردگی نیز بدین علت کاهش می یابد و این امر برای منابع آب و تعمیر و غیره بسیار مهم است، امکان مصرف سیمان کمتر که به نوبه خود گرمزایی و سرعت گرمزایی کمتر را در بتن های حجیم باعث می گردد و تضاد ایجاد مقاومت و دوام با سیمان کم را با کار آیی بتن مرتفع می سازد، آب بندی و دوام بهتر این بتن ها در محیط های خورنده به دلیل همگنی و ترک کمتر و نسبت آب به سیمان کم، امکان خنک سازی و گرم سازی ساده تر مصالح سنگی و ملات تزریقی در هوای گرم و سرد و بتن ریزی حجیم، امکان ایجاد نماهای خاص و بکارگیری مصالح سفید و رنگی در مجاورت سطح، امکان استفاده از دانه بندی گسسته در این بتن، عدم نیاز به تراکم (مگر در موارد لزوم) که خود یک امتیاز بزرگ برای بتن ریزی است، امکان ریختن بتن در زیر آب اعم از ساکن و جاری به ویژه در آب های کم عمق و کمک در تثبیت و فروبردن قالب ها در آب، امکان دستیابی به مقاومت های نسبتاً زیاد با به کارگیری نسبت آب به سیمان کمتر و مصرف روان کننده و میکرو سیلیس در ملات تزریقی. مقاومت ۴۰، ۶۰ و ۹۰ مگا پاسکال برای سنین ۲۸ و ۹۰ روزه و یک ساله بدون روان ساز و میکرو سیلیس گزارش شده است که با توجه به عیار سیمان آن ها جالب توجه می باشد، کم کردن هزینه های تجهیز کارگاه به ویژه در بتن ریزی های حجیم و سدها، داشتن مدول ارتجاعی بیشتر، ضریب پواسون کمتر و خزش کمتر از بتن های معمولی مشابه، امکان مصرف افزودنی های حباب زاء، روان ساز، پوزولان ها، پلیمرها، حباب زداها، ضد قارچ، زودگیر کننده ها، کندگیر کننده ها، انبساط زاها و اتصال زاها.

### ۳. طرح مخلوط مصالح در بتن پیش آکنده

در این بخش مشخصات مصالح مصرفی اعم از سنگدانه ها و ملات ماسه سیمان مورد استفاده در اجرای بتن پیش آکنده مورد بررسی قرار داده می شود. [4,9]

جدول ۱- مشخصات سنگدانه درشت

- شن‌ها باید از نوع شکسته کوهی یا نیمه شکسته رودخانه‌ای باشند تا پوکی لازم تأمین گردد. پوکی شن انباشته در قالب باید در حدود ۰,۳۵ تا ۰,۵ باشد.

- حتی‌الامکان باید از شن تقریباً یکدست (تک اندازه) استفاده نمود. دانه‌بندی بر روی پوکی و تأثیر می‌گذارد. دانه‌بندی‌های یکنواخت پوکی را بیشتر می‌کند.

- حداکثر اندازه شن بسته به ابعاد قطعه و نوع کار بین ۲۵ تا ۱۵۰ میلی‌متر تغییر می‌کند. با افزایش حداکثر اندازه پوکی شن بیشتر می‌شود. حداکثر اندازه شن معمولاً کمتر از یک‌چهارم فاصله قالب‌ها می‌باشد.

- شن‌ها باید تمیز و عاری از گل‌ولای بوده و مسلماً باید از مقاومت و دوام کافی طبق استانداردهای معتبر برای سنگ‌دانه‌های درشت برخوردار باشند.

- هر چه شن درشت‌تر، شکسته‌تر، یکدست‌تر و دارای چگالی ذرات کمتر باشد وزن مخصوص توده‌ای کمتری را خواهد داشت و به عدد ۱,۲۵ نزدیک‌تر خواهد شد.

- در بتن‌های سنگین چگالی ظاهری ذرات شن بین ۳,۵ تا ۷,۸ می‌باشد که مسلماً وزن مخصوص توده‌ای آن‌ها به مراتب بیشتر از شن‌های معمول خواهد شد. باریت، لیمونیت، هماتیت، ماگنتیت و حتی قطعات چدنی و فولادی از این جمله‌اند.

جدول ۲- مشخصات سنگدانه ریز

- اگر حداکثر اندازه شن کوچک شود ماسه‌هایی با مدول ریزی کمتر و حداکثر اندازه کوچک‌تر بکار می‌رود. به‌رحال ملات ساخته شده با این ماسه باید بتواند به راحتی در لابه‌لای فضای خالی شن‌ها حرکت نماید و آن‌ها را پر کند. برای شن ۱۵۰ میلی‌متری با حداقل اندازه ۴۰ میلی‌متر، حداکثر اندازه ماسه ۵ میلی‌متر و مدول ریزی آن ۲,۱ تا ۲,۶ می‌باشد. برای شن با حداکثر اندازه ۷۵ میلی‌متر و حداقل اندازه ۲۰ میلی‌متر، حداکثر اندازه ماسه ۳ میلی‌متر و مدول ریزی آن ۱,۸ تا ۲,۳ می‌باشد. هم‌چنین برای حداکثر اندازه ۵۰ میلی‌متر و حداقل اندازه ۱۵ میلی‌متر، حداکثر اندازه ماسه ۲ میلی‌متر و مدول ریزی آن ۱,۵ تا ۲ می‌باشد. برای شن با حداکثر اندازه ۳۸ میلی‌متر و حداقل اندازه ۱۲ میلی‌متر، حداکثر اندازه ماسه ۱,۵ میلی‌متر و مدول ریزی آن ۱,۳ تا ۱,۷ می‌باشد. اگر حداکثر اندازه شن به ۲۵ میلی‌متر برسد حداکثر اندازه ماسه به ۱ میلی‌متر محدود می‌شود.

- مصرف ماسه کاملاً گرد گوشه در همه موارد ارجحیت دارد.

- ماسه باید سخت، تو پر، بادوام و عاری از گل‌ولای (به‌ویژه در سطح) باشد.

- در بتن‌های سنگین ممکن است از ماسه با چگالی زیاد استفاده شود که به دلیل عیار بالای سیمان و پوزولان امکان جدایی مواد در ملات کم است. بتن‌های حاصله در این حالت دارای وزن مخصوص ۳,۵ تا بیش از ۵,۵ تن بر مترمکعب خواهند بود.

جدول ۳- مشخصات سیمان مصرفی

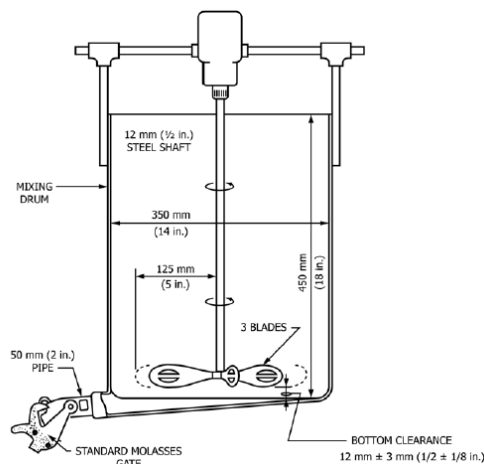
- در انجام پروژه حاضر، از سیمان پرتلند تیپ یک استفاده شده است، زیرا برای اجرای بتن پیش آکنده در خط بالاستی که بعنوان یک بتن ریزی حجیم تلقی می شود، به بتنی پر مقاومت که کمتر در مجاورت حمله سولفات ها قرار دارد نیاز است. همچنین این بتن باید بتواند در ساعات اولیه گیرش خود به حدود ۷۰ درصد مقاومت فشاری خود برسد.

۴. تجهیزات آزمایشگاهی توسعه داده شده

به منظور شبیه سازی عمل تزریق می بایست تجهیزات آزمایشگاهی معرفی شده در [4,9,10] ساخته و نمونه های بتنی از زیر قالب ها با استفاده از فشار هوای کمپرسور تزریق گردند. این تجهیزات، در آزمایشگاه روسازی پیشرفته دانشکده مهندسی راه آهن دانشگاه علم و صنعت ایران ساخته و به منظور شبیه سازی عمل تزریق به کار برده شده اند. تجهیزات آزمایشگاهی ساخت نمونه های بتنی به روش پیش آکنده به شرح زیر می باشند:

۴-۱- مخزن اختلاط دوغاب ماسه سیمان

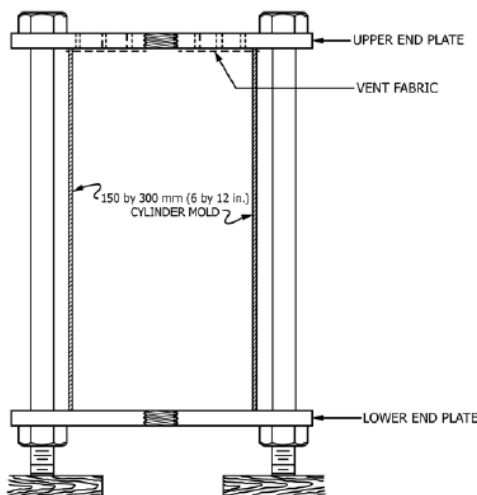
مخزن اختلاط ملات شامل سه پره به جنس فولاد به ضخامت ۳ میلی متر به شکل بیضی با طول ۱۲۵ میلی متر است که هر پره دارای دو سوراخ در وسط به ابعاد ۷۵ میلی متر حول محور بزرگ، به شفت اصلی با زاویه ۲۳ درجه نسبت به افق جوش داده می شود و با سرعت ۲۷۵ دور بر دقیقه می چرخد. ترازو باید کالیبره بوده و دقت ۰,۳٪ وزن کامل تست را دارا باشد. مخزن اختلاط در شکل زیر نشان داده شده است. جهت ساخت ملات و هم زدن مواد اولیه، از یک بشکه بتایی بعنوان مخزن اختلاط استفاده شده است. هم زدن و مخلوط کردن مصالح توسط سیستم موتور، گیربکس، شفت و پره انجام می گیرد. موتور مستقر شده روی دستگاه، از نوع الکتریکی بوده و با سرعت ۱۴۵۰ دور در دقیقه حول محور اصلی خود دوران می کند. برای دستیابی به سرعت توصیه شده در آیین نامه، لازم است گیربکسی سر راه موتور قرار بگیرد تا از سرعت گردش آن بکاهد. به این منظور، از یک گیربکس ۱ به ۷ معمولی بدون جعبه دنده استفاده شده است. عمل مخلوط کردن ملات به عهده شفت و پره های متصل به آن می باشد. شفت متصل به گیربکس، از جنس استیل ضدزنگ و دارای طولی معادل ارتفاع بشکه یعنی ۱۱۸ سانتی متر می باشد. جهت حفظ یکپارگی عمل اختلاط و جلوگیری از خم شدن شفت در حین هم زدن، از شفت توپر استفاده شده است. پره ها به توصیه آیین نامه باید با زاویه ای حدود ۲۳ درجه نسبت به محور افق به شفت متصل گردند و دارای شکل بیضی باشند. از این رو جهت اختلاط یکنواخت ملات، از ۲ دسته پره استفاده شده است که هر دسته شامل ۳ عدد پره بوده و با زاویه ۱۲۰ درجه نسبت به هم قرار گرفته اند. دسته پره ی اول در ابتدای شفت و دسته پره ی دوم در تراز ۳۰ سانتی متری از ابتدای شفت توسط سه عدد پیچ و مهره ی فولادی به شفت متصل شده اند. دلیل استفاده ی اتصال پیچی بجای اتصال جوشی این است که امکان جداسازی و شستشوی ادوات اختلاط فراهم باشد تا از رسوب شدگی و زنگ زدگی ادوات تا حدی جلوگیری شود. کل سیستم موتور، گیربکس، شفت و پره بر روی پایه ای در تراز ۲ متری سطح زمین قرار گرفته اند تا ملات بصورت ثقلی از طریق لوله ۲ اینچی متصل شده به زیر بشکه به داخل کپسول تحت فشار سرازیر شود. اجزای سیستم اختلاط در شکل های زیر نمایش داده شده اند :



شکل ۳- سمت چپ: ابعاد مخزن اختلاط توصیه شده توسط آیین نامه، سمت راست: مخزن اختلاط ساخته شده

#### ۲-۴- محفظه ساخت نمونه تحت تزریق

به منظور تزریق تحت فشار ملات داخل نمونه های استوانه ای، لازم است از یک مخزن فشار قوی که از ورق با ضخامت زیاد تولید شده باشد، استفاده گردد. در همین راستا از یک کپسول برای انجام عمل تزریق تحت فشار استفاده شده است. ورودی این کپسول مجهز به یک دوراهی است که یک سر آن به خروجی بشکه متصل است که ملات توسط لوله ۲ اینچ به داخل کپسول ریخته شود، و سر دیگر آن توسط یک لوله ۱/۲ اینچ به کمپرسور هوا متصل است. در خروجی کپسول نیز یک شلنگ فشار قوی ۳/۴ اینچ برای تزریق ملات به داخل نمونه قرار گرفته است. در قسمت ورودی کپسول، یک شیر خروج هوا قرار تعبیه شده است. دلیل کارگذاری این شیر، خروج هوای اضافی داخل کپسول و جلوگیری از ورود آن به داخل نمونه و همچنین تخلیه ی فشار هوای داخل کپسول می باشد. انتظار می رود این مخزن بتواند فشاری معادل ۱۵ بار را از سوی کمپرسور تحمل نماید. برای اینکه مخزن تحت فشار، ملات را بصورت ثقیلی از بشکه دریافت کند، تراز بشکه باید بالاتر از مخزن قرار گرفته باشد، لذا پایه ی کوتاه تری برای نگهداری کپسول تعبیه شده است. همچنین برای جلوگیری از بازگشت ملات به بشکه و همچنین کنترل هوای ورودی به سیستم، مجموعه ای از شیرها در انتهای بشکه، ابتدای کپسول و انتهای کپسول تعبیه شده است. شکل کلی سیستم تحت فشار در شکل زیر نشان داده شده است. همانطور که در فصل قبل توضیح داده شد، برای نمونه گیری باید از قالب های استوانه ای استفاده کرد که توسط دو فلنج در بالا و پایین مهار شده است. قالب های استوانه ای دارای قطر ۲۰ سانتی متر و طول ۳۵ سانتی متر هستند. سیستم نمونه گیری بر روی یک پایه ی فلزی کوچک قرار می گیرد تا شلنگ فشار قوی به راحتی به فلنج پایینی متصل گردد. فلنج ها باید کاملاً محکم به هم بسته شوند و از دوطرف توسط عایق، آب بندی شوند تا هنگام تزریق تحت فشار ملات، ملات از اطراف نمونه بیرون نرزد. سیستم نمونه گیری در شکل زیر نمایش داده شده است:



شکل ۴- سمت چپ: ابعاد سیستم نمونه گیری، سمت راست: سیستم های تحت فشار و نمونه گیری ساخته شده

## ۵. مشخصات مصالح مصرفی و طرح مخلوط ملات

در بتن پیش آکنده برای حداکثر اندازه دانه های ما سه ۲,۳۶ میلیمتر بین ۷۵۰ تا ۹۰۰ کیلوگرم سیمان در هر متر مکعب ملات استفاده می شود که در فرض اول مقدار آن را ۸۰۰ کیلوگرم در نظر گرفته و با نسبت آب به سیمان ۰,۴ مقدار آب آزاد نیز ۳۲۰ کیلوگرم در هر متر مکعب بدست می آید. حال وزن هر یک از ماسه ها و در نهایت طرح اختلاط پیشنهادی از رابطه های بالا محاسبه خواهد شد. ماسه های استفاده شده، ماسه استاندارد فیروزکوه بوده و برای ماسه درشت دانه از ماسه ۱,۳۱، متوسط دانه از ماسه ۱۶۱ و ریزدانه از ماسه ۱۸۱ فیروزکوه استفاده شده است. توضیح اینکه سهم فرضی ماسه درشت دانه، متوسط دانه و ریزدانه به ترتیب ۴۰، ۴۰ و ۲۰ درصد اختیار شده است. مقدار مصرف فوق روان کننده زودگیر و دیرگیر هردو به یک میزان بوده است. جهت ساخت این بتن، از طرح اختلاط ارائه شده در جدول زیر استفاده می گردد:

جدول ۴- مشخصات اجزای بتن پیش آکنده

عبار سیمان ( $\frac{kg}{m^3}$ )	$\frac{W}{C}$	آب آزاد ( $\frac{kg}{m^3}$ )	ماسه درشت دانه ( $\frac{kg}{m^3}$ )	ماسه متوسط دانه ( $\frac{kg}{m^3}$ )	ماسه ریز دانه ( $\frac{kg}{m^3}$ )	فوق روان کننده ( $\frac{g}{l}$ )
۸۰۰	۰,۴	۳۲۰	۴۲۰	۴۲۵	۲۱۴	۰,۵

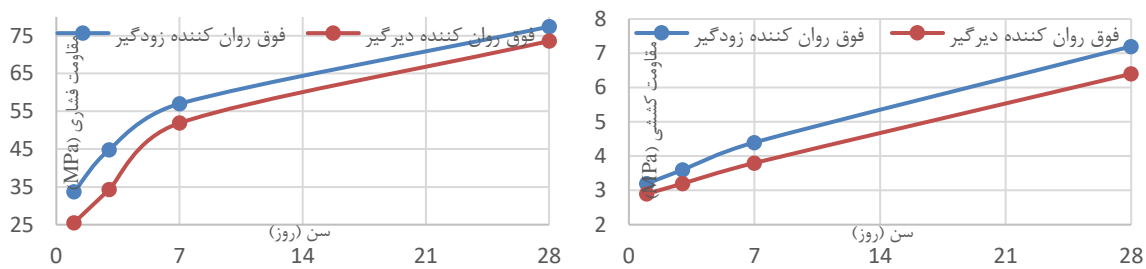
توضیح اینکه مقدار هوای داخل ملات در یک متر مکعب مقدار ۳۰ لیتر در نظر گرفته شده است و بعلت کم بودن حجم افزودنی نسبت به حجم سایر مصالح، از محاسبه آن صرف نظر شده است. بر همین اساس، برای بدست آوردن مقاومت ملات، پس از ساخت آن با استفاده از طرح اختلاط یاد شده و اضافه کردن افزودنی، ملات داخل قالب های ۵\*۵\*۵ سانتی متر ریخته می شود و برای یک روز داخل اتاق رطوبت و پس از آن داخل حوضچه آب قرار داده می شود.

## ۶. نتایج آزمایش های مقاومت فشاری و کششی

پس از فرار سیدن سن مورد نظر، نمونه از حوضچه آب بیرون آورده شده و با شکستن آن زیر جک، مقاومت فشاری نظیر سن آن بدست می آید. نتایج زیر برای مقاومت فشاری ملات، مقاومت فشاری و کششی بتن در سنین مختلف و در حضور دو نوع فوق روان کننده متفاوت استخراج گردید:

جدول ۵- مقاومت فشاری ملات های ساخته شده در سنین مختلف و با حضور دو نوع مختلف فوق روان کننده

سن (روز)	مقاومت فشاری (با فوق روان کننده ی زودگیر) (MPa)	مقاومت فشاری (با فوق روان کننده ی دیرگیر) (MPa)
۱	۱۶،۸	۱۳،۲
۳	۲۳،۷	۱۹،۶
۷	۳۶	۳۳،۷
۲۸	۶۲،۵	۶۱،۲



شکل ۵- سمت چپ : نمودار مقاومت فشاری بتن در سنین مختلف، سمت راست : نمودار مقاومت کششی بتن در سنین مختلف

با توجه به نمودارهای مقاومت می توان دریافت که نرخ رشد مقاومت در سنین اولیه این بتن بیشتر بوده و با افزایش سن، با افت تدریجی شیب نمودار، نرخ کاهش رشد مقاومت نتیجه می گردد. همچنین می توان دریافت که فوق روان کننده زودگیر در کسب مقاومت عملکرد بهتری را از خود نشان می دهد. شایان ذکر است که در سنین پایین، این عملکرد بهتر بوده و با رسیدن بتن به سنین بالاتر، هردو نوع فوق روان کننده اثر مقاومتی تقریباً یکسانی از خود نشان می دهند. ضعف ذاتی بتن در کشش نیز در این نوع بتن مشاهده می گردد.

## ۷. نتیجه گیری

در این مقاله به مرور سابقه بکارگیری این نوع بتن در جهان پرداخته و سپس الزامات فنی موجود در آیین نامه ها اعم از نوع سنگدانه ها و سیمان مصرفی از نظر گذرانده شد. در ادامه با ارائه مشخصات فنی دستگاه تزریق بتن پیش آکنده، سیستم تزریق ساخته شده در آزمایشگاه روسازی پیشرفته دانشکده مهندسی راه آهن دانشگاه علم و صنعت ایران نشان داده شد. با ارائه طرح مخلوط ملات پیشنهادی جهت تزریق درون بالاست، مقاومت فشاری ملات و همچنین مقاومت فشاری و کششی بتن های ساخته شده با این روش ارائه گردید. بطور کلی استفاده از فوق روان کننده زودگیر در سنین اولیه بتن، ۱۲ درصد مقاومت فشاری بیشتر را نسبت به نوع دیرگیر خود نتیجه داد اما در سنین بالاتر، هردو نمونه تقریباً در یک محدوده مقاومتی قرار داشتند. استفاده از فوق روان کننده زودگیر، مقاومت درازمدت بیشتری را نسبت به فوق روان کننده دیرگیر بدست داد، همچنین نتایج آزمایشات، نرخ رشد مقاومت در سنین اولیه این بتن را بیشتر از نرخ رشد آن در سنین بالاتر را نشان داد.

## ۸. مراجع

[۱] ذاکری، ج.، (۱۳۹۴). "روشهای نگهداری خطوط ریلی". مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

[2] Odaka T., et al. (2003). "Development of Low-maintenance Railway Tracks Using the Full-size Railway Track Testing". JREA 46: 23–25.



- [۳] میرمحمدصادقی، ج.، (۱۳۸۷). "تحلیل و طراحی خطوط بالاستی راه آهن". مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.
- [4] ACI 304-1R. (1997). "Guide for the Use of Pre Placed Aggregate Concrete for Structural and Mass Concrete Applications".
- [5] "Properties of Quick Hardening Cement, Asphalt Grout, and Concrete and Their Practical Problems, Railway". (1975). Technical Research Report, Railway Technical Research Institute.
- [6] Murao K., Aihara H. (2003). "Development of Low-maintenance Tracks". Journal of east Technical Review, 6: 28-35.
- [7] Takahashi T., Itou K., Fuchigami S., Momoya Y. (2012). "Development of Pre-Packed Concrete Trackbed for Shinkansen". Railway Technical Research Institute Report, 26(2): 19-24
- [8] ASTM C150. (2015). "Standard Specification for Portland Cement".
- [9] ASTM C938. (2010). "Standard Practice for Proportioning Grout Mixtures for Preplaced-Aggregate Concrete".
- [10] ASTM C943. (2010). "Standard Practice for Making Test Cylinders and Prisms for Determining Strength and Density of Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory".