

مقایسه فنی، اجرایی و اقتصادی استفاده از بتن خود متراکم در

اجرای شاهتیرهای جعبه‌ای بتن مسلح

کد 189F

علیرضا راکعی^۱، حسنعلی تواضع^۲

۱- کارشناس ارشد عمران

۲- دکترای سازه- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرقان

چکیده:

بتن خود متراکم نوعی از بتن می‌باشد که در کنار کارایی بالا و عدم جداشدگی، به راحتی می‌تواند فضای قالب را پر کند و در نتیجه فرآیند و بهره‌برداری بتن را حذف خواهد نمود. استفاده از این نوع بتن در مکان‌هایی که عملیات ویراسیون بتن، مستلزم صرف هزینه زمانی بالا و مرحله به مرحله شدن عملیات اجرایی است، کاملاً توجیه پذیر بوده و باعث افزایش بهره‌وری می‌شود. نمونه بارز این مساله، اجرای تیرهای جعبه‌ای بتن مسلح می‌باشد. بطور کلی تیرهای جعبه‌ای بتن مسلح در مواقعی که احتیاج به ایجاد مومان اینرسی حداکثر در کنار عدم تحمیل بار اضافی مرده وجود داشته باشد، کاربرد دارد. مشکل اجرای این تیرها بدین صورت است که به علت ضخامت پایین جداره مقطع، ناچاراً عملیات بتن‌ریزی مرحله به مرحله انجام خواهد شد؛ حال اگر بجای بتن معمولی در این تیرها از بتن خودمتراکم استفاده گردد تا حد زیادی در عملیات اجرایی تسریع حاصل می‌گردد. در این مقاله سعی شده است از نقطه نظر فنی، اجرایی و اقتصادی، استفاده از بتن خودمتراکم در ساخت تیرهای جعبه‌ای بتن مسلح با حالت بتن معمولی مقایسه گردد. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از بتن خودمتراکم در پروژه مذکور باعث کاهش جزیی در هزینه اجرای کار در کنار کاهش قابل ملاحظه زمان اجرای کار و افزایش شاخص سوددهی پروژه خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: بتن خودمتراکم، تیرهای جعبه‌ای، اجرای سازه‌های بتن مسلح

۱- مقدمه

برای اولین بار در سال ۱۹۸۶ یک پژوهشگر ژاپنی بنام اوکامورا (Okamura) ایده استفاده از بتن خود متراکم را ارائه نمود. دلیل شکل‌گیری این ایده، پایین بودن کیفیت سازه‌های بتنی در موقعیت‌های با تراکم بالای میلگرد و همچنین عدم دسترسی به نیروی ماهر جهت انجام عملیات ویریه بتن بوده است [۱]. تاکنون مطالعات زیادی در مورد نحوه ساخت و شیوه اجرای بتن خود متراکم انجام گردیده است. در ابتدای امر بتن خود متراکم در گروه بتن‌های خاص و پیچیده به حساب می‌آمده است اما با گذشته زمان و افزایش دایره تحقیقات، توانایی‌ها و ویژگی‌های فوق‌العاده این بتن مشخص شده است. قابلیت‌های منحصر بفرد این نوع بتن باعث شده تا هم اکنون به عنوان یکی از پرکاربردترین انواع بتن جهت بتن‌ریزی در شرایط پیچیده تبدیل شود.

بتن خود متراکم یا SCC (Self-Compacting Concrete) نوعی از بتن می‌باشد که بواسطه کارایی بالا، قابلیت شکل‌پذیری زیاد و مقاومت مناسب در برابر جداسدگی دانه‌ها، بدون احتیاج به ویراتور متراکم می‌گردد و همچنین توانایی رسوخ در محل‌های با تراکم بالای میلگرد را براحتی دارا می‌باشد [۲]. علاوه بر این سطح بتن ریخته شده نیز تا حد زیادی مطلوب و اصطلاحاً اکسپوز خواهد بود. این ویژگی‌های بتن خود متراکم ناشی از طرح اختلاط مصالح آن می‌باشد. مصالح استفاده شده در بتن خود متراکم مشابه بتن معمولی است با این تفاوت که با حذف دانه‌های درشت و افزایش یکدستی مصالح سنگی، روانی و تراکم‌پذیری بتن افزایش پیدا می‌کند. علاوه بر این معمولاً اضافه نمودن افزودنی‌های خاص مانند فوق‌روان کننده یا مواد اصلاح کننده لزجت در این نوع بتن اجتناب‌ناپذیر است.

طبق تحقیقات دی اسکوتر (De. Schutter) [۳] بتن خود متراکم می‌بایست سه خصوصیت زیر را بصورت همزمان داشته باشد: الف) توانایی جاری شدن تحت وزن خود را داشته باشد، ب) توانایی پرکردن تمامی فضای خالی قالب را داشته باشد، ج) توانایی ایجاد یک مخلوط همگن متراکم را بدون احتیاج به عملیات ویریه داشته باشد. بطور کلی دستیابی به بتن خود متراکم با ویژگی‌های فوق‌الذکر مستلزم صرف هزینه در طرح اختلاط پیشنهادی می‌باشد اما با توجه به سهولت اجرا و حذف برخی از هزینه‌های اجرایی، در برخی از موارد اقتصادی می‌باشد.

به عنوان یک قاعده کلی می‌توان این ادعا را نمود که در مواردی که اجرای سازه‌های بتنی به علت تراکم بالای میلگرد و عدم دسترسی جهت ویریه بتن، ناچاراً در چندمرحله انجام می‌شود استفاده از بتن خود متراکم می‌تواند از طریق کاهش قابل ملاحظه زمان اجرا و حذف برخی از هزینه‌های بالاسری باعث افزایش بهره‌وری گردد. یکی از این موارد مربوط به استفاده از بتن خود متراکم در اجرای شاهتیرهای جعبه‌ای بتن مسلح با ضخامت بدنه پایین می‌باشد. در این مقاله سعی بر آن خواهد بود تا مزایای فنی، اجرایی و اقتصادی استفاده از بتن خود متراکم در یک نمونه واقعی از اجرای شاهتیرهای مذکور مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد. پروژه مورد نظر نیز یک پل عابر پیاده بتنی بطول حدود ۴۲۰ متر می‌باشد که در ادامه توضیحات آن ارائه گردیده است.

۲- توضیحات پروژه

رینگ پل عابر پیاده با طرح هندسی بیضی با قطر بزرگ و کوچک به ترتیب برابر ۱۸۰ و ۸۰ متر اجرا خواهد شد که تصویر ۳ بعدی آن در شکل ۱ ملاحظه می‌گردد. طول پیاده رو رینگ اصلی پل ۴۲۰ متر می‌باشد که با طی کردن هر ۸۵ متر از پیاده رو به یکی از رمپ‌های دسترسی متصل می‌گردد. سیستم سازه‌ای پل عابر پیاده به صورت زیرسازه فونداسیون و روسازه ستون و عرشه با جزئیات تیر جعبه‌ای درجا اجرا گردیده است، که با توجه به طول زیاد عرشه، در هر سه دهانه یک درز انقطاع اجرا می‌گردد، به عبارتی ۴۲۰ متر طول عرشه در قالب ۱۳ دهانه به طول‌های ۳۰ الی ۳۳ متر اجرا گردیده است. هدف اصلی این پل ایجاد ارتباط عابر پیاده در خروجی‌های پیرامون میدان خواهد بود علاوه بر این با توجه به جنبه زیباشناختی میداین شهری، باعث افزایش زیبایی میدان ساخته شده خواهد گردید.



شکل ۱- نمای ۳ بعدی پروژه مورد مطالعه (عرشه رینگ بیضی شکل دور میدان از شاهتیرهای جعبه‌ای ساخته شده است)

۳- طرح اختلاط بتن خودمتراکم

بتن خودمتراکم شامل بازه گسترده‌ای از طرحهای اختلاط می‌باشد که خواص بتن تازه و سخت شده لازم برای کاربری‌های خاص را دارا می‌باشد. اگر چه مقاومت همچنان معیار اصلی موفقیت این نوع بتن می‌باشد اما ویژگی‌های مورد انتظار برای این نوع بتن (من جمله روانی، پیوستگی و ...) بسیار فراتر از بتن‌های معمولی متراکم‌شونده توسط ویبراتورها می‌باشد. این خواص می‌بایست در زمان و محل بتن‌ریزی نیز حفظ شود. علیرغم ویژگی‌های مطلوب، طرح اختلاط و اجرای این نوع بتن به عوامل متعددی از قبیل دانه‌بندی مصالح سنگی، نوع مواد افزودنی و همچنین فیلرهای مورد استفاده بستگی دارد. در ادامه راجع به جزئیات مصالح مورد مصرف در طرح اختلاط بکار گرفته شده توضیحاتی ارائه خواهد شد.

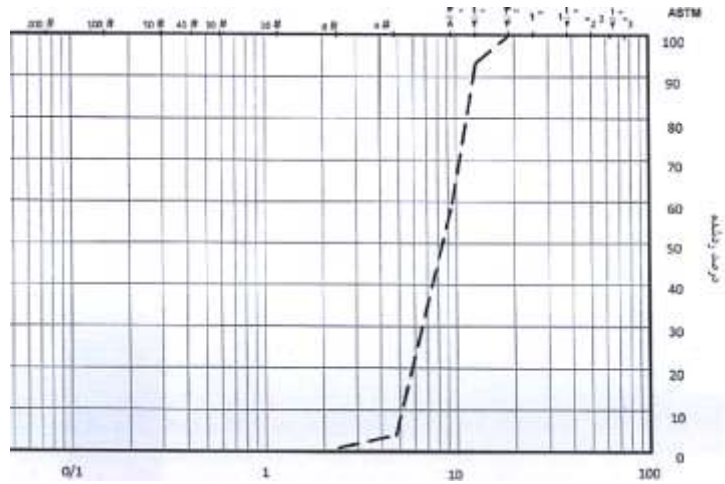
۳-۱- مصالح سنگی:

با توجه به خاصیت پرکنندگی و روانی مورد انتظار برای بتن خود متراکم، استفاده از شن بادمی در این طرح اختلاط حذف گردیده است. همچنین میزان شن نخودی نیز محدود گردیده است. بطور کلی مصالح سنگی استفاده شده شامل شن نخودی، ماسه شسته و ماسه بادی (به عنوان فیلر) می‌باشد. در ابتدا آزمایش دانه‌بندی مصالح سنگی بر اساس استاندارد ASTM C136 [4] انجام شده است. نتایج منحنی دانه‌بندی در اشکال ۲، ۳ و ۴ به ترتیب برای شن، ماسه شسته و ماسه بادی مورد استفاده، ارائه گردیده است.

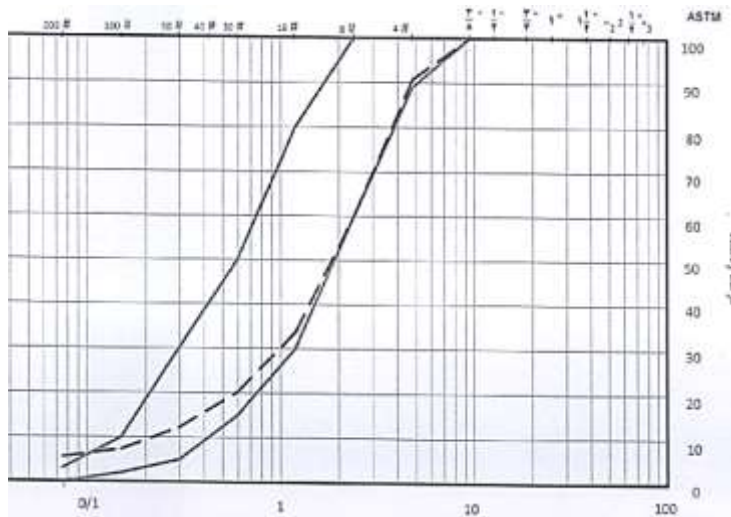
طبق توصیه ACI [5] مقدار مدول نرمی ماسه می‌بایست بین $\frac{2}{3}$ تا $\frac{3}{1}$ باشد که با توجه به آزمایشات انجام شده، مدول نرمی ماسه مورد نظر حدود ۳ بدست آمد که قابل قبول می‌باشد. حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی نیز به عدد $\frac{12}{5}$ میلیمتر محدود شده است.

برای اطمینان از کیفیت مناسب مصالح سنگی مورد استفاده آزمایش‌های زیر بر روی آنها انجام گردیده است:

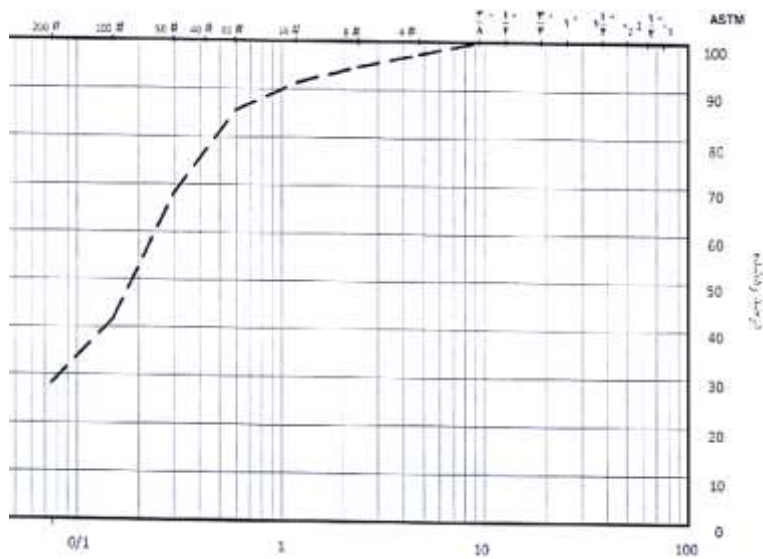
الف) آزمایش ارزش ماسه‌ای که مطابق ASTM D2419 [6] انجام شده است و طبق آئین نامه‌های داخلی عدد آن نباید کمتر از ۷۵ باشد.



شکل ۲- نمودار دانه‌بندی شن ریز



شکل ۳- نمودار دانه‌بندی ماسه شسته



شکل ۴- نمودار دانه‌بندی ماسه بادی

ب) آزمایش تطویل و تورق بر اساس استاندارد BS 812
 ج) آزمایش ساییش لوس آنجلس طبق استاندارد ASTM C136 [4]. لازم به ذکر است ساییش مصالح سنگی درشت دانه نباید از عدد ۴۰ بیشتر باشد
 د) آزمایش وزن مخصوص ظاهری و حقیقی و همچنین درصد جذب آب که طبق استانداردهای ASTM C127 و ASTM C128 [7] انجام شده است.
 و) آزمایش وزن واحد حجم متراکم و غیرمتراکم که طبق استاندارد ASTM C29 [8] انجام شده است.
 بر همین اساس آزمایشات لازم انجام و نتایج آن در جدول ۱ ارائه گردیده است. همانطور که مشخص است مصالح مورد استفاده از استاندارد لازم تبعیت می‌کند.

جدول ۱- مشخصات مصالح سنگی مورد استفاده در طرح اختلاط بتن خود متراکم

وزن واحد حجم غیر متراکم (gr/cm ³)	وزن واحد حجم متراکم (gr/cm ³)	درصد جذب آب	وزن مخصوص حقیقی (gr/cm ³)	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm ³)	درصد تورق	درصد تطویل	ساییش لس آنجلس	ارزش ماسه‌ای	ضریب نرمی	نوع مصالح
۱/۴۳۸	۱/۵۸۶	۱/۴	۲/۵۹۱	۲/۶۸۹	٪۹	٪۴	٪۲۵	-	-	شن نخودی
۱/۳۹۴	-	۱/۳	۲/۶۰۴	۲/۶۹۷	-	-	-	۸۷	۳/۰۵	ماسه شسته
۱/۲۷۴	-	۱/۸	۲/۸۵۲	۲/۷۱۱	-	-	-	۷۳	۲/۲۲	ماسه بادی

۳-۲- سیمان:

سیمان مورد استفاده از نوع تیپ ۲ می‌باشد که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن با مشخصات مندرج در آئین‌نامه‌های ذیربط همخوانی کامل دارد. برای مشاهده خصوصیات شیمیایی سیمان نیز از آنالیز نیمه کمی XRF استفاده شده است.

۳-۳- آب:

طبق آئین نامه بتن ایران [9]، آب مصرفی در بتن می‌بایست کاملاً صاف و عاری از هرگونه مواد اسیدی، قلیایی، مواد آلی و املاح باشد و PH آن بین ۵ تا ۸/۵ باشد. مطابق آزمایشات صورت گرفته PH آب استفاده شده حدود ۶/۷ می‌باشد که از این جهت مناسب است.

۳-۴- مواد افزودنی:

ماده افزودنی ماده‌ای غیر از سیمان، مصالح سنگی و آب می‌باشد که باعث اصلاح و ارتقای برخی از ویژگی‌های بتن می‌شود و حین اختلاط یا قبل از آن به بتن اضافه می‌گردد. در گزینه مورد مطالعه در این پژوهش جهت تامین روانی، مقاومت و لزجت بتن از یک نوع خاص ژل میکروسیلیس به میزان ۷ درصد وزن سیمان استفاده شده است. این افزودنی خاص شامل ویژگی‌های زیر می‌باشد:

- ۱- افزایش روانی و کارایی بتن
- ۲- افزایش مدت زمان کارایی بتن در حالت خمیری
- ۳- سهولت پمپاژ
- ۴- افزایش ۳۰ الی ۷۰ درصدی مقاومت فشاری بتن
- ۵- رفع نفوذپذیری بتن
- ۶- افزایش مقاومت سایشی بتن

۷- بهبود مقاومت خمشی و کششی بتن

بر اساس مصالح توضیح داده شده و پس از انجام کلیه آزمایشات طرح اختلاط بتن خود متراکم مطابق جدول زیر ارائه گردیده است:

جدول ۲- نسبت اختلاط ارائه شده جهت طرح اختلاط بتن خود متراکم

وزن مصرفی (کیلوگرم)	نوع مصالح
۳۳۰	شن نخودی
۱۱۷۰	ماسه شسته
۲۰۰	ماسه بادی
۵۳۰	سیمان تیپ ۲ فیروزآباد
۳۶	افزودنی میکروسلیس
۲۴۰	آب

۳-۵- آزمایشهای کنترل کیفیت طرح اختلاط ارائه شده

۳-۵-۱) آزمایش مقاومت فشاری بتن

این آزمایش مشابه آزمایش مقاومت فشاری بتن معمولی می باشد با این تفاوت که از ابعاد قالب ۱۰ سانتیمتری جهت تست مقاومت فشاری بتن استفاده خواهد شد. برای این منظور نمونه گیری در سنین ۷ و ۲۸ روزه انجام شده است که در سن ۷ روز حدود ۷۰٪ مقاومت و در سن ۲۸ روز حدود ۱۰۵٪ مقاومت را جابگو بوده است.

۳-۵-۲) آزمایش جریان اسلامپ (Slump Flow)

آزمایش جریان اسلامپ مشابه آزمایش اسلامپ برای بتن معمولی می باشد. در این آزمایش پس از برداشتن مخروط ناقص تست اسلامپ، ۲ قطر عمود بر هم دایره تشکیل شده، اندازه گیری و میانگین گیری می شود که این عدد نماد روانی بتن خواهد بود. عدد بدست آمده برای نمونه ساخته شده ۶۰ سانتیمتر بدست آمده است که حداقل های مورد نظر را ارضا می کند.

۳-۵-۳) آزمایش T50

اگر در هنگام انجام آزمایش جریان اسلامپ صفحه آزمایش اسلامپ مدرج باشد، می توان با محاسبه زمان رسیدن قطر دایره تشکیل شده به ۵۰ سانتیمتر، زمان T50 را محاسبه نمود. این آزمایش بیانگر نرخ تغییر شکل با تعریف یک حد روانی است. در مورد بتن اجرا شده این زمان حدود ۲ ثانیه می باشد.

۳-۵-۴) آزمایش حلقه J

این آزمایش جهت اندازه گیری قابلیت گذرندگی بتن بکار می رود. در این آزمایش یک حلقه فلزی با پایه های ۱۰ سانتیمتری میلگردی ساخته خواهد شد و اختلاف تراز بتن خارج و داخل حلقه محاسبه می شود. در اینجا از میلگرد شماره ۱۲ و به فاصله ۳ سانتیمتر استفاده شده است. بر اساس آزمایشات انجام شده، اختلاف تراز بدست آمده حدود ۹ میلیمتر بدست آمده است که قابل قبول می باشد.

۳-۵-۵) آزمایش قیف V

این آزمایش به منظور اندازه گیری قابلیت پرکنندگی بتن استفاده می شود. در این تست زمان لازم برای جریان پیدا کردن و خالی شدن بتن از قیف دستگاه اندازه گیری می شود. سپس قیف دوباره از بتن پر شده و مدت ۵ دقیقه در همان حالت باقی مانده

و دوباره آزمایش تکرار می‌شود. چنانچه بتن دچار جداشدگی شود، بین بار اول و دوم آزمایش اختلاف زمانی معنی‌داری بوجود خواهد آمد. در این مورد نتیجه این آزمایش برای بار اول ۴ ثانیه بدست آمد و در بار دوم تغییر محسوسی مشاهده نشد (در حدود ۳۰ صدم ثانیه) که نشان دهنده مطلوب بودن عملکرد بتن ساخته شده در آزمایش قیف ۷ شکل می‌باشد.

۳-۵-۶- آزمایش جعبه U

این آزمایش نیز جهت ارزیابی قدرت پرکنندگی بتن بکار می‌رود. در این آزمایش از یک لوله U شکل استفاده خواهد شد بدین صورت که در یک سر لوله بتن ریخته شده و در پایین لوله میلگردهای با قطر ۱۳ میلیمتر تعبیه شده است. اختلاف ارتفاع بتن در دو لوله متصل بهم نشان دهنده میزان عدم تمایل بتن به پرکردن فضاهای متراکم خواهد بود. در اینجا این اختلاف تراز حدود عدد ۲۰ میلیمتر بدست آمد که قابل قبول می‌باشد.

۳-۵-۶- آزمایش جعبه L

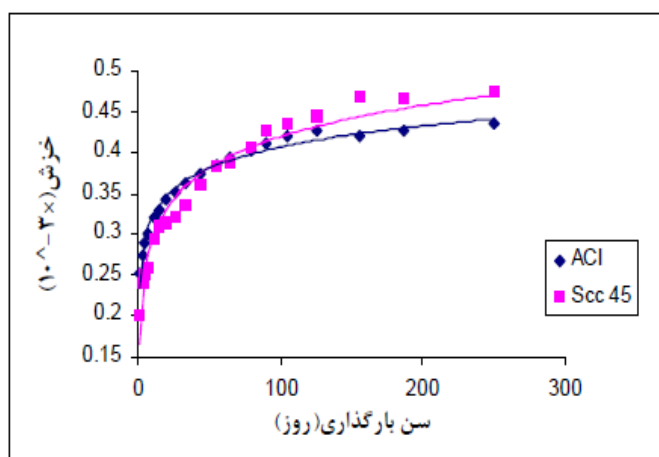
این آزمایش جهت سنجش جریان یابی بتن و همچنین انسداد بتن ناشی از تراکم میلگردها بکار می‌رود. در این آزمایش با استفاده از یک جعبه L شکل اختلاف تراز بتن در انتها و ابتدای ضلع افقی جعبه L بدست می‌آید و بر حسب درصد بیان می‌شود. این اختلاف تراز در بتن مورد نظر در این پژوهش برابر با حدود ۸۷٪ می‌باشد که در محدوده قابل قبول قرار دارد.

۴- مقایسه فنی بتن خودمتراکم و معمولی در اجرای شایسته‌های جعبه‌ای بتن مسلح

استفاده از بتن خودمتراکم در مقایسه با بتن معمولی در اجرای شایسته‌های جعبه‌ای باعث تغییرات زیر در شرایط فنی پروژه خواهد شد:

۴-۱- کاهش بار مرده

همانطور که از طرح اختلاط ارائه شده مشخص است حذف شن بادامی و کاهش مصرف شن نخودی باعث سبک شدن بتن به میزان حدود ۷٪ خواهد گردید. این میزان کاهش وزن در طراحی عرشه پل عابر پیاده با دهانه بلند که بار اصلی آن بار مرده محسوب می‌شود، بسیار تاثیر گذار خواهد بود و باعث کاهش وزن فولاد مصرفی و همچنین کاهش ابعاد مقطع خواهد گردید. علاوه بر آن اثرات خزشی ناشی از بار مرده اضافی نیز حذف خواهد شد. نکته دیگری که وجود دارد این است که بتن خود متراکم خود باعث افزایش خزش می‌گردد. بر طبق تحقیقات آزمایشگاهی انجام شده توسط سنگی و همکاران [۱۰] استفاده از بتن خودمتراکم نسبت به بتن معمولی باعث افزایش ۷ درصدی میزان خزش می‌گردد (شکل ۵) که معادل کاهش بار مرده ناشی از استفاده از این نوع بتن در این سازه خاص خواهد شد. در نتیجه از منظر خزش سازه مشکل خاصی را نخواهد داشت.



شکل ۵- تاثیر استفاده بتن خود متراکم در افزایش خزش [۱۰]

۴-۲- عدم کرمو شدن بتن پس از باز کردن قالب

بتن خودمتراکم به علت روانی بالا، خاصیت پرکنندگی و لزجت زیاد سطح اکسپوزی را ایجاد می‌نماید. علاوه بر این با توجه اینکه در این مقطع خاص به علت ضخامت نازک انجام عملیات و پیراسیون براحتی قابل انجام نمی‌باشد، رسیدن به سطح ظاهری بتن مناسب بسیار سخت خواهد بود. همچنین چند مرحله‌ای شدن اجرا باعث ایجاد خط بتن در مکان‌های قطع بتن‌ریزی خواهد شد که در شکل ۶ قابل رویت است.



شکل ۶- ایجاد خط بتن در مکانهای قطع بتن در بتن معمولی (در حالت استفاده از بتن خودمتراکم به خاطر یکپارچگی قالب‌ها خطوط قابل رویت حذف می‌شود)

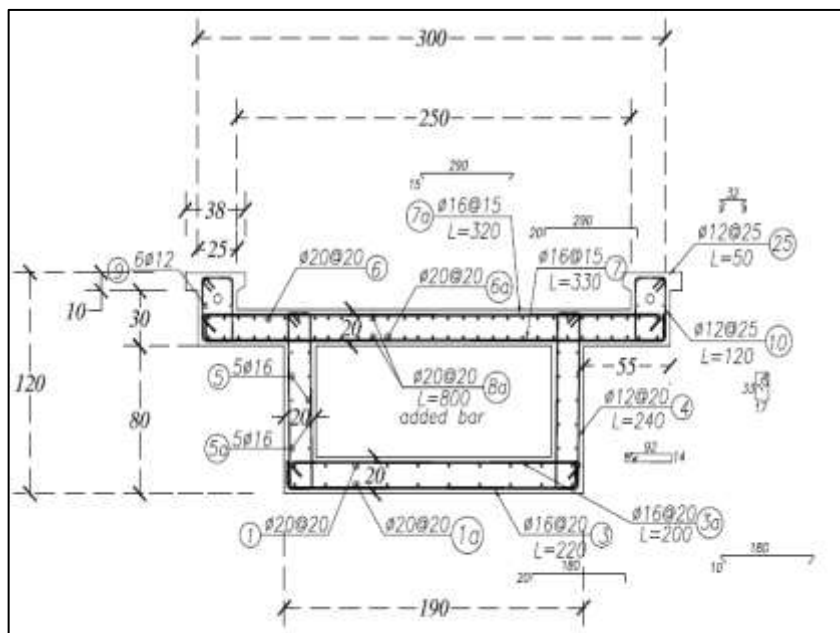
۵- مقایسه اجرایی بتن خودمتراکم و معمولی در اجرای شایسته‌های جعبه‌ای بتن مسلح

در اجرای پروژه پل عابر پیاده با روسازه تیرهای جعبه‌ای در جا ریز، زمان‌بندی اولیه با بتن معمولی ۲۸۷ روز در نظر گرفته شده است؛ برنامه زمان‌بندی مذکور و مسیر بحرانی اجراء در نمودار شکل ۷ ارائه گردیده است.



شکل ۷- برنامه زمان‌بندی اجرای پل عابر پیاده بتنی با بتن معمولی

یکی از فاکتورهای کیفیت در اجرای سازه های بتن مسلح، ایجاد سطح مطلوب بتن ریخته شده یا اصطلاحاً آکسپوز می باشد. همین امر موجب افزایش مراحل اجرایی تیرهای جعبه ای درجا ریز این پل عابر پیاده با سطح مقطع ارائه شده در شکل ۸، می گردد.



شکل ۸- مقطع تیر بتنی درجا

با امکان سنجی انجام شده، در صورت استفاده از بتن خودمتراکم، تغییراتی در مراحل اجرای کار صورت می پذیرد. در این حالت، با تغییر نوع قالب و به دلیل کارایی بتن خودمتراکم، تعداد مراحل قالب بندی و بتن ریزی مطابق جدول شماره ۳ به ترتیب، سه و دو مرحله کاهش و به تبع آن، مدت زمان اجرا به مدت ۵۰ روز کمتر خواهد شد.

جدول ۳- کاهش مراحل قالب بندی در صورت استفاده از بتن خودمتراکم

تعداد مراحل بتن ریزی	تعداد مراحل آرماتوربندی	تعداد مراحل قالب بندی	نوع بتن مورد استفاده
۵	۲	۵	معمولی
۳	۲	۲	خودمتراکم

در نمودار شکل ۹، تاثیرات حاصل از تغییر بتن مورد استفاده، در برنامه زمانبندی نشان داده شده است؛ همانطور که در اشکال ۷ و ۹ مشخص است در صورت استفاده از بتن خودمتراکم، زمان اجرا از ۲۸۷ روز به ۲۳۷ روز کاهش یافته است. همچنین در حالت استفاده از بتن خودمتراکم، کاهش زمان مسیر بحرانی اجرا، باعث تسریع در شروع سایر عملیات خارج از مسیر بحرانی برنامه زمانبندی بتن معمولی می گردد. با کاهش تعداد مراحل بتن ریزی و با توجه به یکسان بودن شرایط رسیدن به مقاومت مشخصه بتن، تغییراتی در منابع مورد نیاز تیرهای جعبه ای درجا ریز، حاصل می گردد. این تغییرات شامل افزایش منابع تجهیزاتی، کاهش منابع ماشین آلاتی و انسانی خواهد بود.



شکل ۹- برنامه زمان بندی اجرای پل عابر پیاده بتنی با بتن خودمتراکم

۶- مقایسه اقتصادی بتن خودمتراکم و معمولی در اجرای شاهتیرهای جعبه ای بتن مسلح

از نقطه نظر اقتصادی، مقایسه استفاده از بتن خودمتراکم و بتن معمولی در گزینه مورد بررسی، می تواند به دو طریق انجام گردد. در حالت اول می توان با محاسبه هزینه اجرا در دو روش مورد نظر میزان صرفه جویی ناشی از استفاده از بتن خودمتراکم را محاسبه نمود. و اما در حالت دوم نوع نگاه به مساله کمی متفاوت می باشد؛ بدین صورت که اگر از بتن SCC بجای بتن معمولی استفاده گردد، علاوه بر کاهش هزینه های اجرا، مدت زمان بازگشت درآمد در جریان نقدینگی کار کاهش می یابد (با توجه به کاهش مدت زمان اجرا مطابق شکل ۹ و تسریع در شروع سایر عملیات خارج از مسیر بحرانی برنامه زمانبندی)، به همین دلیل باعث بهبود مضاعف شاخص نرخ بازده داخلی (IRR) می گردد. جزییات مقایسه اقتصادی انجام شده از دو جنبه مذکور در زیر ارائه گردیده است؛

۶-۱- محاسبه اختلاف هزینه در روش اجرای بتن خودمتراکم نسبت به بتن معمولی

اگر کل عملیات اجرایی عرشه جعبه ای به ۴ دسته کلی قالب بندی، بتن ریزی، آرماتور بندی و اسکالندبندی تقسیم شود، استفاده از بتن خودمتراکم باعث کاهش هزینه قالب بندی و اسکالندبندی و افزایش هزینه بتن ریزی خواهد شد. علاوه بر این در میزان هزینه آرماتور بندی بین دو حالت مورد مطالعه تفاوتی وجود نخواهد داشت. نتایج مقایسه انجام شده در جدول ۴ ارائه گردیده است.

جدول ۴- مقایسه هزینه اجرای شاهتیر جعبه ای مورد نظر در دو حالت بتن معمولی و خودمتراکم

نوع عملیات	مقدار	واحد	بتن معمولی		بتن SCC	
			قیمت واحد	جمع هزینه	قیمت واحد	جمع هزینه
بتن	۵۶۸	مترمکعب	۱,۸۳۱,۲۵۰	۱,۰۴۰,۱۵۰,۱۸۷	۳,۷۳۸,۱۳۸	۱,۵۵۵,۲۴۲,۴۹۹
آرماتور	۱۳۲۵۳۹	کیلوگرم	۲۷,۹۵۰	۳,۷۰۴,۴۶۵,۰۵۰	۲۷,۹۵۰	۳,۷۰۴,۴۶۵,۰۵۰
قالب بندی	۲۲۲۰.۸	مترمربع	۷۴۸,۶۲۲	۱,۶۷۰,۰۴۹,۹۸۳	۴۸۱,۱۰۷	۱,۰۷۲,۲۵۲,۷۰۳
اسکالندبندی	بتن معمولی	مترمکعب-روز	۳,۳۲۱	۱,۵۳۸,۶۸۷,۶۰۱	۳,۳۲۱	۱,۴۵۷,۸۰۷,۸۶۸
جمع کل				۷,۹۵۲,۳۵۲,۸۲۰		۷,۷۹۰,۷۸۹,۱۲۰
اختلاف دو روش						-۱۶۲,۵۶۳,۷۰۰

همانطور که در جدول ۴ مشاهده می گردد، علیرغم اختلاف قیمت بتن SCC با بتن معمولی، بدلیل کاهش هزینه های اسکالند و قالب بندی و همچنین کاهش منابع ماشین آلاتی مورد استفاده، هزینه های بالاتر تهیه بتن خودمتراکم جبران خواهد شد و حتی

صرفه‌جویی جزئی در هزینه‌های اجرای کار را نیز در پی خواهد داشت. البته همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، اجرای بتن خودمتراکم باعث کاهش ۵۰ روزه در برنامه زمان‌بندی خواهد شد، که این موضوع نیز باعث کاهش هزینه‌های بالاسری اجرای کار می‌شود.

۶-۲- مقایسه استفاده از بتن خودمتراکم و بتن معمولی از دید شاخص نرخ بازده داخلی (IRR)

شاخص اقتصادی IRR برای ارزیابی میزان بازگشت سرمایه پروژه‌های اقتصادی استفاده می‌شود. برای این منظور با استفاده از این شاخص تلاش می‌شود تا جریان نقدینگی به ارزش زمان حال تنزیل داده شود؛ سپس با صفر قرار دادن ارزش خالص فعلی، نرخ بازگشت بدست می‌آید که به نحوی نشان دهنده سود پروژه می‌باشد. از نظر نویسنده از این شاخص می‌توان به عنوان شاخص سوددهی پروژه‌های عمرانی (از منظر پیمانکار) استفاده نمود که هم میزان سود ناشی از نسبت هزینه به درآمد و هم نحوه بازپرداخت درآمد و مدت زمان دست‌یافتن پیمانکار به درآمد کار اجرا شده را در نظر می‌گیرد. برای این منظور می‌توان با در نظر گرفتن چرخش نقدینگی و تعیین زمان دقیق میزان پول هزینه شده پیمانکار و همچنین زمان پرداخت صورت وضعیت کار انجام شده توسط کارفرما، شاخص IRR را به عنوان شاخص سود پیمانکار در پروژه مورد نظر محاسبه نمود. حال اگر با توجه به توضیحات مذکور، جریان نقدینگی را در پایان هر ماه برای دو روش استفاده از بتن معمولی و خودمتراکم در نظر بگیریم می‌توان مطابق جداول ۵ و ۶، به ترتیب جریان نقدینگی را برای بتن معمولی و خودمتراکم در پروژه مورد مطالعه محاسبه نمود.

جدول ۵- محاسبه جریان نقدینگی استفاده از بتن معمولی در پروژه پل عابر پیاده بتنی و محاسبه شاخص سوددهی پروژه

	هزینه	درآمد	جریان نقدینگی
۱ ماه	-2,256,422,482	0	-2,256,422,482
۲ ماه	-3,404,644,167	0	-3,404,644,167
۳ ماه	-4,416,760,767	3,035,137,322	-1,381,623,445
۴ ماه	-2,499,755,147	4,215,101,912	1,715,346,765
۵ ماه	-2,665,887,014	5,130,199,345	2,464,312,331
۶ ماه	-2,807,432,113	2,746,794,415	-60,637,698
۷ ماه	-3,040,498,304	2,766,324,102	-274,174,201
۸ ماه	-3,928,616,715	2,719,595,363	-1,209,021,352
۹ ماه	-2,199,121,778	2,799,780,691	600,658,913
۱۰ ماه	-1,153,129,129	3,428,725,176	2,275,596,047
۱۱ ماه	0	1,791,003,378	1,791,003,378
۱۲ ماه	0	899,703,800	899,703,800
۱۳ ماه	0	0	0
۱۴ ماه	0	1,640,686,973	1,640,686,973
۱۵ ماه	0	0	0
۱۶ ماه	0	0	0
۱۷ ماه	0	0	0
۱۸ ماه	0	1,640,686,973	1,640,686,973
6.49603%			

جدول ۶- محاسبه جریان نقدینگی استفاده از بتن خودمتراکم در پروژه پل عابر پیاده بتنی و محاسبه شاخص سوددهی پروژه

	هزینه	درآمد	جریان نقدینگی
۱ ماه	-2,344,541,030	0	-2,344,541,030
۲ ماه	-4,299,824,596	0	-4,299,824,596
۳ ماه	-6,307,611,082	3,051,230,891	-3,256,380,191
۴ ماه	-2,978,139,175	5,201,492,529	2,223,353,354
۵ ماه	-3,269,495,210	7,188,237,517	3,918,742,307
۶ ماه	-3,292,505,114	3,216,851,490	-75,653,624
۷ ماه	-3,266,504,683	3,295,830,843	29,326,160
۸ ماه	-1,755,956,802	3,155,641,623	1,399,684,822
۹ ماه	0	2,932,335,175	2,932,335,175
۱۰ ماه	0	1,490,086,417	1,490,086,417
۱۱ ماه	0	0	0
۱۲ ماه	0	1,640,650,360	1,640,650,360
۱۳ ماه	0	0	0
۱۴ ماه	0	0	0
۱۵ ماه	0	0	0
۱۶ ماه	0	1,640,650,360	1,640,650,360
*	7.69194%		

همانطور که در جداول ۵ و ۶ مشخص است استفاده از بتن خود متراکم باعث افزایش ۱/۱۹۵ درصدی در سود ماهیانه پروژه و حدود ۱۴/۳ درصدی در سود سالیانه پروژه خواهد شد. لازم به ذکر است در صورت در نظر نگرفتن جریان نقدینگی و مدت زمان اجرای کار، میزان افزایش سود پروژه حدود ۰/۷ درصد می باشد که بواسطه مدت زمان کمتر اجرای کار و کاهش هزینه های بالاسری این عدد به ۱/۱۹۵ درصد می رسد.

۷- تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسندگان بر خود لازم می دانند از حمایت های مدیران محترم شرکت سد و عمران پارس گستر از پروژه های تحقیقاتی، تشکر و قدردانی نمایند.

۸- نتیجه گیری

بتن خودمتراکم با استفاده از روانی و قدرت پرکنندگی بالا می تواند در موقعیت های که دسترسی جهت ویبره بتن وجود ندارد، استفاده شود. همچنین در مواردی که اجرای سازه های بتنی به علت تراکم بالای میلگرد و عدم دسترسی جهت ویبره بتن، ناچاراً در چندمرحله انجام می شود استفاده از بتن خود متراکم می تواند از طریق کاهش قابل ملاحظه زمان اجرا و حذف برخی از هزینه های بالاسری باعث افزایش بهره وری گردد. یکی از این موارد مربوط به استفاده از بتن خودمتراکم در اجرای شاهتیرهای جعبه ای بتن مسلح با ضخامت بدنه پایین می باشد. برای این منظور یک گزینه واقعی اجرای شاهتیرهای جعبه ای در حالت استفاده از بتن خود متراکم و بتن معمولی با یکدیگر مقایسه و نتایج زیر حاصل گردید:

۱- استفاده از بتن خود متراکم باعث کاهش ۲۱ درصدی (۵۰ روزه) در برنامه زمان بندی پروژه خواهد گردید.

- ۲- به علت حذف برخی از هزینه‌های مربوط به قالب بندی، اسکافلدبندی و منابع تجهیزاتی، استفاده از بتن خودمتراکم با وجود اینکه باعث افزایش ۵۰ درصدی هزینه ساخت بتن می‌گردد اما در نهایت باعث کاهش جزیی هزینه اجرای کار خواهد شد.
- ۳- به علت تغییر در نوع جریان نقدینگی، به علت کاهش هزینه‌های بالاسری و مهمتر از آن کاهش زمان جریان نقدینگی به علت کاهش در زمان اجرا، از دید شاخص بازده IRR پروژه در دو حالت استفاده از بتن معمولی و خودمتراکم مقایسه گردید که نتایج نشان می‌دهد که استفاده از بتن خودمتراکم باعث افزایش ۱/۱۹۵ درصدی در سود ماهیانه پروژه و حدود ۱۴/۳ درصدی در سود سالیانه پروژه خواهد شد

۹- مراجع

- 1- Okamura, Hajime and Ouchi, Masahiro. "Self-Compacting Concrete". Journal of Advanced Concrete Technology. 1 (1), pp. 5-15, 2003.
 - 2- S.Subramanianand , D.chattopadhyay ; Eyperiments for mix proportioning of self-compacting concrete ; the indian conerete Journal , pp. 13-20, 2002.
 - 3- De Schutter, G. Bartos, P. J. M , Domone, P.L, Gibbs, J. Self-Compacting Concrete, CRC press, pp. 296-299, 2008.
 - 4- ASTM C 136, "Standard Test Method for Sieve analysis of fine and coarse aggregate", Annual Book of ASTM Standards, USA, 2008.
 - 5- ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete," American Concrete Institue, Farmington Hills, Mich. USA, 2005.
 - 6- ASTM D2419, "Standard Test Method for sand equivalent value of soil and fine aggregates", Annual Book of ASTM Standards, USA, 2008.
 - 7- ASTM C 128, "Standard Test Method for relative density and water absorption of fine aggregate", Annual Book of ASTM Standards, USA, 2008.
 - 8- ASTM C 29, "Standard Test Method for bulk density and void in aggregate", Annual Book of ASTM Standards, USA, 2008.
- ۹- آئین نامه بتن ایران (آبا)، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، نشریه شماره ۱۲۰، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، چاپ سوم، سال ۱۳۸۱
- ۱۰- منیره سنگی، مرتضی حسینعلی بیگی، بهرام نوایی نیا. "بررسی آزمایشگاهی خزش در بتن خود متراکم"، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، سال ۱۳۸۹.