



مزایای بکارگیری بتن پیش آکنده (PA) در بتن حجیم و سدهای بتنی

محسن تدین ، عضو هیأت علمی (مربی) دانشکده مهندسی ، دانشگاه بوعلی سینا ، همدان ، ایران

چکیده

همواره در بتن ریزی قطعات حجیم و سدهای بتنی رفع مشکل حبس گرما و افزایش دما در بخش های مرکزی ناشی از گرمایی و سرعت گرمایی باعث بروز مشکلاتی در طرح اختلاط و اجرا می گردد. برای برطرف نمودن این مشکلات در روش ستی بتن ریزی راهکارهایی مورد استفاده قرار می گیرد که افزایش هزینه ها را به همراه می آورد. علیرغم این تدابیر باز هم در کیفیت بتن حاصله نقص هایی به چشم می خورد. استفاده از بتن پیش آکنده در بتن حجیم می تواند ضمن رفع بیشتر مشکلات ، هزینه ها را کاهش داده و سرعت اجرا را بالا برد. ایمنی بیشتر ، کاهش هزینه های تجهیز کارگاه و افزایش کیفیت بتن حاصله به همراه سهولت اجرا از جمله مزایای این روش بتن ریزی است.

کلید واژه ها : بتن پیش آکنده ، بتن حجیم ، سد بتنی

مقدمه

در این نوشتار ابتدا ضمن اشاره به بتن ریزی سنتی در قطعات حجیم و سدهای بتنی، مشکلات موجود را از نظر می‌گذرانیم و ترفندهای غلبه بر این مشکلات را مرور می‌کنیم. سپس با بیان اصول بتن ریزی پیش‌آکنده به قابلیت‌ها و مزایای آن در بتن ریزی حجیم می‌پردازیم. در پایان، این دو روش را مقایسه کرده و نشان می‌دهیم با استفاده از بتن پیش‌آکنده، دست‌اندرکاران طراحی و اجرای سدهای بتنی می‌توانند طول مدت اجرا و هزینه‌ها را کاهش دهند و کیفیت را بالا ببرند.

بتن ریزی سنتی (معمولی) در قطعات حجیم و سدهای بتنی و مشکلات آن

کلیات

بتن سدهای وزنی و قوسی در بلوکهایی به طول ۱۰ تا ۲۰ متر و لیفت‌هایی به ارتفاع ۲ تا ۳ متر و لایه‌هایی به ضخامت ۰/۴۰ تا ۰/۶۰ متر ریخته می‌شود. حجم هر لیفت حدود ۳۰۰ تا بیش از ۱۵۰۰ متر مکعب است. طول بلوک معمولاً به دلیل جمع‌شدگی بتن و محدودیت‌های اجرایی و سازه‌ای، ارتفاع لیفت عمدتاً به واسطه گرمایی و بالا رفتن دمای بتن، و ضخامت لایه به دلیل مشکلات تراکمی و اجرایی محدود می‌شود [۱ و ۲].

گرمایی سیمان و بویژه آهنگ ایجاد این گرما باعث بالا رفتن دمای بخش‌های مرکزی، انبساط و تنش‌های حرارتی می‌گردد. هیدراته شدن سریع اکسید کلسیم و منیزیم آزاد موجود در سیمان در دمای زیاد و فشار بالا نیز شدیداً انبساط مخربی را به وجود می‌آورد. ترک‌های حاصله به کیفیت مکانیکی و دوام بتن جوان لطمه جدی می‌زند. دمای زیاد، سقف مقاومتی بتن را کاهش داده و موجب پایین آمدن مدول ارتجاعی آن می‌گردد. همچنین پایایی بتن صدمه دیده و نفوذپذیری آن افزایش می‌یابد. کنترل افزایش دما به میزان ۲۰ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای بتن ریزی یا دمای متوسط سالیانه منطقه ضروری است [۱ و ۲].

برای کنترل افزایش دما در اوان بتن ریزی در اثر گرمایی و آهنگ آن مصرف سیمان کم حرارت یا کندگیر با C_2S بیشتر، پوزلان جانشین سیمان، سیمانهای درشت‌تر و بیات، سیمان با CaO ، MgO کمتر، کندگیر کننده‌ها و سیمان کمتر توصیه شده است. همچنین استفاده از بتن خنک برای هدف بالا ضروری است که روش پیش‌تبرید نام دارد. بکارگیری روش پس‌تبرید راه حل دیگری است که هدف آن خروج گرمای حاصله و جلوگیری از بالا رفتن دمای بخش‌های مرکزی می‌باشد که به نوبه خود کنترل آهنگ گرمایی را باعث می‌شود. به هر حال مصرف سیمان کمتر و پیش‌تبرید از جمله اقدامات مهم و اساسی است که مشکلاتی را در پی دارد [۱ و ۲ و ۳].

اجرا با سیمان کمتر

برای مصرف سیمان کمتر و حفظ بیشتر ویژگیهای مکانیکی و پایایی و نفوذناپذیری بتن باید آب مورد نیاز را کم کرد. کاهش روانی بتن، افزایش حداکثر اندازه سنگدانه‌ها، انتخاب شکل و دانه بندی مناسب، بکارگیری روان کننده‌ها (کاهنده آب) و حباب‌زها از ترفندهای رایج است. در طراحی می‌توان با انتخاب مقاومت مشخصه کمتر و یا با دقت بیشتر با کاهش مقاومت نشانه (ناشی از کاهش انحراف معیار) سیمان کمتری را در مخلوط داشت. هرچند لازم به ذکر است که معمولاً W/C مربوط به نیازهای پایایی و نفوذپذیری تعیین کننده تر از W/C مربوط به مقاومت می‌باشد [۱ و ۲ و ۳].

کاهش روانی مشکل تراکمی را در پی دارد که هزینه ها را بالا می برد و سرعت اجرا را کم می کند. افزایش حداکثر اندازه سنگدانه ها در کنار روانی کم و عیار پایین سیمان مسئله جدایی مواد و ناهمگنی را جدی جلوه می دهد. همچنین مشکل تراکم را به دنبال می آورد که در مجموع کاهش مقاومت و E ، کاهش پایداری و افزایش نفوذپذیری را باعث می شود [۱ و ۲].

تأمین سنگدانه هایی تا ۱۵۰ میلیمتر به ویژه از بستر رودخانه مشکل می باشد و همیشه امکان پذیر نیست. سنگدانه های حاصل از شکستن سنگ کوه، مصرف آب را بالا می برد و به سیمان بیشتری نیاز است [۱۱]. ضخامت لایه با افزایش MSA زیاد می شود که ضمن حفظ خنکی بتن، زمان تکمیل لایه را بالا برده و ممکن است سطح لایه دچار گیرش شده و درز سرد حاصل شود. برای پرهیز از بروز این امر باید حجم بتن رسانی در هر ساعت را افزایش داد و هزینه تجهیز کارگاه را بالا برد و لازم است از جامه های بزرگ استفاده شود که جدایی بیشتر در پی دارد [۱۱]. امروزه مصرف روان کننده ها رایج است و اغلب روان کننده های دیرگیر کاربرد دارد. هزینه مصرف این افزودنیها به ازای هر متر مکعب بتن قابل توجه است [۱ و ۲ و ۱۱].

مصرف حباب زها هزینه زیادی را در بر ندارد. ایجاد روانی بیشتر در کنار کاهش مقاومت، افزایش پایداری و نفوذناپذیری را به همراه دارد و در صورت نیاز به ثابت نگهداشتن W / C سیمان کمتری مصرف می شود ولی مقاومت کم می گردد. برای ثابت نگهداشتن مقاومت باید سیمان را افزایش داد که نقض غرض است. خوشبختانه اغلب نیاز مقاومتی حرف اول را نمی زند و حباب زها کاربرد وسیعی را برای افزایش پایداری و نفوذناپذیری دارد [۱ و ۲ و ۱۱]. دست یابی به دانه بندی مناسب نیز نیاز به تأمین ۵ تا ۷ محدوده اندازه در سنگدانه هاست و این نیز به فضا و امکانات ویژه ای نیاز دارد. دستگاههای بتن ساز مرکزی نیز باید دارای سیلوهای موقت بزرگ باشد که آنها را بزرگ و گران می نماید [۱۱].

اجرا با بتن خنک (پیش تبرید)

تولید بتن خنک هزینه هایی را در بر دارد که قابل توجه است. استفاده از خنک سازی سنگدانه های ریز و درشت، خنک نمودن سیمان و مصرف پودر یخ و آب سرد علاوه بر پیچیده کردن کار و افزایش هزینه، تجهیزات ویژه ای را می طلبد و ایجاد این تجهیزات زمان بر و هزینه بر است. در اجرای سنتی گریزی از ساخت بتن خنک نیست و اگر مصرف ازت مایع برای تنظیم دما در حین اختلاط ضروری باشد هزینه گزافی را باید بپردازیم و تجهیزات ویژه ای را باید راه اندازی نماییم [۳ و ۲ و ۱].

در لایه لایه ریختن بتن، اتلاف دما چشمگیر است و راهکار پله ای ریختن بتن، بکارگیری امکانات و نفقات بیشتری را می طلبد. در حمل بتن و ریختن باید سرعت قابل توجهی داشت تا اتلاف حرارتی کاهش یابد و لازم است تدابیر ویژه ای را اندیشید که هزینه زا می باشد [۱ و ۲ و ۱۱].

سایر مشکلات اجرایی

علاوه بر عوامل مشکل زای بالا، به خاطر حجم لیفت و ضخامت لایه به دیوهای بزرگ سنگدانه نیازمندیم. همچنین تجهیزاتی را برای انتقال سنگدانه به بتن ساز مرکزی احتیاج داریم. معمولاً باید دستگاه های بتن ساز مرکزی بتواند ۱۰۰ تا ۲۵۰ مترمکعب در ساعت بتن تولید نماید. وسایل حمل و ریختن و تراکم نیز باید قادر به مصرف این بتن باشند. جام ها و جرثقیل های متعدد یا جام بزرگ متحرک بر روی کابل، تراک های بتن متعدد با حجم زیاد از جمله تجهیزات مورد نیاز است. لرزاننده های قطور ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلیمتری و وسایل کُشنده و پخش کننده از این جمله اند. اصلاح درز اجرایی نیز در

بین لیفت ها در این شیوه از مواردی است که زمان بر و هزینه زا است. در این روش اجرا، ایمنی کار نیز محل تردید است [۱۱].

اصول بتن ریزی پیش آکنده

در این روش ابتدا قالب ها در جای خود به خوبی محکم و نصب و آب بندی می شوند. در مرحله اول لوله های تزریق ملات به قطر داخلی ۲۵ تا ۵۰ میلیمتر را به طور قائم در قالب تا پایین قطعه به فاصله های حدود ۱/۲۵ تا ۳ متر کار می گذاریم و سپس سنگدانه های درشت یکنواخت و یکدست و ترجیحا شکسته با حداکثر اندازه مورد نظر (بیش از ۲۵ میلیمتر) در قالب و لایه لای لوله های تزریق ملات می ریزیم. در بیشتر موارد سنگدانه ها متراکم نمی شود. سپس ملاتی شل و ریزدانه با حداکثر اندازه ای به مراتب ریزتر از حداقل اندازه اسمی شن را با عیار سیمانی در حدود ۳۷۵ تا ۷۵۰ کیلوگرم در مترمکعب با W/C مطلوب از طریق این لوله ها با فشار به درون فضای خالی سنگدانه درشت تزریق می نماییم تا این فضاها با ملات پر شود، سطح ملات در قالب بالا آید و بتن حاصل گردد. مسلما در طول تزریق به تدریج لوله ها بالا کشیده می شود و ممکن است از لوله های خروج هوا و بازدید نیز استفاده نماییم [۴ و ۵ و ۸ و ۹ و ۱۰].

اگر قالب از آب پر باشد نیز این روش قابل اجرا است و با تزریق ملات درحالی که سر لوله تزریق در ملات تزریقی می باشد، آب پس زده و بتن حاصل می شود [۴ و ۵ و ۱۰].

ساختار نهایی بتن پیش آکنده عملا شبیه ساختار خاک های مرکب با اتکاء مستقیم می باشد، در حالی که ساختار بتن معمولی شباهت زیادی به خاکهای مرکب نیمه شناور دارد [۱۰].

برای کنترل کیفی ملات و بتن پیش آکنده و تهیه نمونه ها دستورالعملهای ویژه ای وجود دارد [۶].

بتن ریزی پیش آکنده در سد بتنی

ابتدا قالب ها به ارتفاع ۳ متر نصب و آب بندی می گردد. لوله های تزریق به قطر ۳۸ تا ۵۰ میلیمتر و به فاصله ۱/۷۵ تا ۳ متر را قرار داده و سنگدانه های درشت یکدست با حداکثر اندازه ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلیمتر و حداقل اندازه ۳۸ تا ۵۰ میلیمتر با شکل گرد گوشه یا شکسته را در قالب می ریزیم. پوکی شن در این حالت بهتر است ۳۵ تا ۴۵ درصد باشد. چگالی توده ای شن در این حالت ۱/۲۵ تا ۱/۴۵ می باشد و چگالی بتن تازه ۲/۴ تا ۲/۵۵ خواهد شد. حداکثر اندازه ماسه ۲/۵ تا ۵ میلیمتر است. مدول ریزی ماسه برای بتن حجیم ۱/۶ تا ۲/۶ و عیار مواد چسباننده آن (بدون روان کننده) ۳۷۵ تا ۶۰۰ کیلو و با روان کننده و حباب زا ۳۲۵ تا ۵۰۰ کیلو سیمان و پوزلان در هر متر مکعب بتن خواهیم داشت. نسبت $S/(C+P)$ برابر ۲ تا ۴ (بدون روان کننده) می باشد. روانی ملات با حداکثر اندازه ۲/۵ میلیمتر توسط قیف مخصوص در حدود ۱۸ تا ۲۶ ثانیه (برای آب حدود ۸ ثانیه) و برای حداکثر اندازه بزرگتر، توسط میز روانی (فلو) با ۵ ضربه در ۳ ثانیه این مقدار حدود ۱۴۰ تا ۱۶۰ درصد می باشد [۴ و ۵ و ۸ و ۹ و ۱۰].

→ معمولا سهم پوزلان در چسباننده ها ۲۵ تا ۵۰ درصد می باشد که ضمن کاهش گرمازایی، آب انداختن را کم کرده و ایجاد حالت خمیری بهتر می نماید. عیار سیمان و پوزلان بتن حجیم پیش آکنده در حدود ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلو خواهد بود. در این حالت نسبت آب به سیمان عملا ۰/۴۵ تا ۰/۵۵ می گردد و آب آزاد ملات ۲۵۰ تا ۳۵۰ کیلو (بدون روان کننده) می باشد. مقدار ماسه مصرفی در حدود ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ کیلوگرم در هر متر مکعب ملات خواهد بود و عیار ماسه در بتن نهایی حدود ۴۰۰ تا ۶۰۰ کیلوگرم است درحلیکه مقدار آب آزاد بتن نهایی ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلو (بدون روان کننده) است [۱۰].

با مصرف روان کننده مقدار آب را می توان کمتر نمود و عیار سیمان و پوزلان نیز به حدود ۱۲۰ تا ۲۰۰ کیلو می رسد. حجم ملات مصرفی در تزریق را پوکی شن تعیین می کند [۱۰].

فشار تزریق با توجه به دانه بندی و پوکی شن، روانی ملات و فاصله لوله ها مشخص می شود و عملاً بین ۵ تا ۱۰ آتمسفر می باشد و ممکن است تا حد ۱۵ آتمسفر بالا رود [۵ و ۱۰].

سرعت ملات در لوله ها بین ۰/۶ تا ۱/۲ متر بر ثانیه و سرعت حجمی تزریق ملات بین ۶۰ تا ۱۲۰ لیتر در دقیقه (۳/۶ تا ۷/۲ متر مکعب در ساعت برای هر لوله) و سرعت ارتفاعی تزریق معمولاً ۳ تا ۶ متر در ساعت می باشد. با مصرف کندگیر کننده می توان این سرعت ارتفاعی را کاهش داد و به حداکثر ۳ متر در ساعت محدود نمود تا فشار وارد بر قالب ها کم شود [۴ و ۵ و ۱۰].

معمولاً به تراکم بتن نیازی نیست و صرفاً می توان قالب ها را لرزاند تا نمای بهتری حاصل شود [۴ و ۵ و ۱۰]. برای ساخت بتن خنک می توان آب خنک را در قالب ریخت و ملات را تزریق نمود. ضمناً تزریق ملات خنک نیز امکان پذیر است، هرچند خنک سازی شن ها و مقدار قابل توجه شن می تواند ما را از مصرف ملات خنک بی نیاز سازد. بهتر است شن ها در حد اشباع با سطح خشک باشد [۴ و ۵ و ۱۰].

مقایسه روش بتن ریزی سنتی و پیش آکنده

در بتن پیش آکنده همگنی و عدم جدایی مواد، جمع شدگی کمتر، مقاومت بهتر، E بیشتر، ضریب پواسون کمتر، مصرف کمتر سیمان و پوزلان، آب بندی بهتر، دوام و پایداری بیشتر، مصرف کمتر افزودنی ها و عدم نیاز به لرزاننده های قوی داخلی و سهولت دستیابی به بتن خنک را داریم. ضمناً امکان بکارگیری دستگاه های بتن ساز مرکزی کوچکتر، وسایل حمل و نقل و نفرات کمتر در کارگاه وجود دارد و در هنگام بتن ریزی کارگاه از شلوغی برخوردار نیست و کنترل بهتری می تواند اعمال شود. سرعت کار بیشتر و هزینه اجرا به مراتب کمتر خواهد بود و زمان تحویل کار کوتاهتر می باشد. همچنین اتصال بهتری بین بتن نو و قدیمی در درزهای اجرایی لیفت ها به دلیل جمع شدگی کمتر خواهیم داشت. با توجه به استفاده از وسایل و نفرات کمتر ایمنی کار در حد بالایی تأمین می گردد. در جدول زیر سعی می شود این مقایسه به صورتی ساده به نمایش در آید.

جدول ۱ - جدول مقایسه ویژگی ها، مقادیر و امکانات لازم برای بتن ریزی سد بتنی به صورت سنتی و پیش آکنده

ویژگی - مقدار - امکانات	بتن ریزی سنتی در سدها	بتن ریزی پیش آکنده در سدها	توضیحات
مقدار سیمان و پوزلان (بدون روان کننده)	متوسط (۲۵۰ تا ۳۵۰) کیلو	کم (۱۵۰ تا ۲۵۰) کیلو	با فرض روانی یکسان و حداکثر اندازه مسای و W/C ثابت
مقدار سیمان و پوزلان (با روان کننده)	کم (۲۰۰ تا ۲۷۵)	خیلی کم (۱۲۰ تا ۲۰۰)	با فرض روانی یکسان و حداکثر اندازه مسای و W/C ثابت
مقدار سنگدانه درشت اشباع	۸۰۰ تا ۱۲۰۰ کیلو	۱۳۰۰ تا ۱۵۰۰ کیلو	
مقدار سنگدانه ریز اشباع	۶۰۰ تا ۹۰۰ کیلو	۴۰۰ تا ۶۰۰ کیلو	
مقدار روان کننده	بیشتر	کمتر	
مقدار کند گیر کننده	بیشتر	کمتر	
جمع شدگی	متوسط تا کم	کم تا خیلی کم	حدود نصف تا ثلث با شرایط یکسان، زیرا سنگدانه ها قید ایجاد

ویژگی - مقدار - امکانات	بتن ریزی سنتی در سدها	بتن ریزی پیش آکناه در سدها	توضیحات
جدایی مواد - ناهمگنی	زیاد	خیلی کم تا هیچ	کمی عیار سیمان و روانی و زیاد بودن حداکثر اندازه ناهمگنی را زیاد می کند
مقاومت با W/C ثابت	کمتر	شدگی کمتر، یلغوث مقاومت بیشتر	اتکای مستقیم سنگدانه ها و جمع می شوند.
نفوذپذیری با W/C ثابت	بیشتر	کمتر	همگنی و جمع شدگی کمتر نفوذ پذیری را کمتر می کند.
دوام با W/C ثابت	کمتر	بیشتر	همگنی و جمع شدگی کمتر دوام را بیشتر می کند.
E	کمتر	بیشتر	اتکای مستقیم سنگدانه های درشت سبب افزایش E می شود.
ضریب پواسون	بیشتر	کمتر	سنگدانه ها فید بیشتری را بوجود می آورد
وسایل تراکمی	بسیار زیاد و قوی	بی نیاز - ویریه قالب	
پرسنل یا ماشین آلات دیگر برای پخش و تراکم	قابل توجه	بی نیاز	
وسایل ساخت بتن	گران قیمت با حجم زیاد	ارزان قیمت و کم حجم	مقدار حجم ملات یک سوم تا یک دوم حجم بتن خواهد بود.
وسایل حمل و ریختن	تراک بتن با تعداد زیاد، جام ها و جرثقیل ها، جام یزرگ و کابل	پمپ و لوله	ساخت راه های ارتباطی و تجهیزات لازم در بتن ریزی سنتی قابل توجه است.
خنک سازی بتن	تجهیزات و هزینه زیاد	تجهیزات و هزینه کمتر	
اصلاح درز و اتصال	پر خرج، طولانی، اتصال ضعیف	کم هزینه، سریع، اتصال بهتر	تزریق تا چند سانتیمتری بالای سنگدانه ها انجام می شود.
بتن یا ملات واسطه اتصال	نیاز به یک لایه ملات واسطه	بدون نیاز به ملات واسطه	
تأمین سنگدانه و دانه بندی	تأمین مشکل تر و دانه بندی با محدوده باریک	تأمین ساده تر سنگدانه	
مشکل اجرا در شرایط بد جوی	بتن ریزی باید تعطیل شود	مشکلی را برای اجرا پیش نمی آورد	
نما و شرایط آن	نمای معمولی	نمای خاص با مشاهده بخشی از سنگدانه	
امکان بتن ریزی در کنار قالب	نیاز به دو طرح مخلوط و ضخامت زیاد در کنار قالب	سهولت بکارگیری دو طرح و نمای خاص سفید و رنگی در بدنه با ضخامت کم	در کناره قالب با ایجاد یک صفحه دو نوع شن و دو نوع ملات می تواند ریخته شود.
ازدحام و شلوغی در اجرا	رفت و آمد زیاد، ازدحام زیاد	رفت و آمد ناچیز، خلوت بودن کارگاه	
امکان افزایش طول بلوک	با اشکال همراه می باشد		

ویژگی - مقدار - امکانات	بتن ریزی سنتی در سدها	بتن ریزی پیش آکنده در سدها	توضیحات
امکان افزایش ارتفاع لیفت	با کاهش بیشتر در گرمایی و سیمان به سختی میسر است.	امکان افزایش دارد اما آب بندی قالبها مشکل اساسی است.	
امکان اجرا در انواع سدهای بتنی	امکان اجرا وجود دارد	امکان اجرا وجود دارد	در مورد بتن غلتکی فقط در سدهای وزنی امکان اجرا وجود دارد.
زمان اجرا و تجهیز	متوسط تا زیاد	کم تا متوسط	امکان کاهش زمان تا حدود نصف
هزینه اجرا و تجهیز کارگاه	زیاد	متوسط	هزینه تجهیز به نصف تقلیل می یابد.
ایمنی اجرا	متوسط	زیاد	

نتیجه گیری

همانگونه که بتن ریزی غلتکی توانسته است برخی مشکلات بتن ریزی سنتی در بتن حجیم را مرتفع سازد و هزینه و زمان را به شدت کاهش دهد [۷]، بتن ریزی پیش آکنده نیز قادر است هزینه و زمان اجرا را کاهش دهد و از نقطه نظر کیفیت نیز مسلماً بتن بهتری را بدست می دهد، وسایل و تجهیزات کمتری را نیاز دارد که تأمین آن نیز در داخل کشور میسر است. مصرف سیمان کمتر و بهبود پایداری و آب بندی و خصوصیات مکانیکی در کنار جمع شدگی کمتر از جمله ویژگی های این نوع بتن می باشد.

→ انتظار می رود در ایران بتوان سدی را با این شیوه ساخت و راه را برای اجرای گسترده تر فراهم نمود که مسلماً نیاز به مطالعه و تحقیقات وسیعتری دارد.

مراجع

- [1] ACI Committee 207, "207.1R - 87, Mass Concrete", ACI, Detroit, 1998.
- [2] USBR, "Concrete Manual", USDI, Denver, 1981, PP.300-304.
- [3] ACI Committee 207, "207.4R - 93, Cooling & Insulating Systems For Mass Concrete", ACI, Detroit, 1998.
- [4] USBR, "Concrete Manual", USDI, Denver, 1981, PP.446-449.
- [5] ACI Committee 304, "304.1R - 92, Guide For The Use of Preplaced Concrete For Structural & Mass Concrete Applications", ACI, Detroit, 1998.
- [6] ASTM, "C937, C938, C939, C940, C941, C942, C943, C953", ASTM, Philadelphia, 1996.
- [7] ACI Committee 207, "207.5R - 89, Roller Compacted Mass Concrete", ACI, Detroit, 1998.

- ۳- محدوده مناسب اسلایپ در این نوع بتن پاشی بین ۵-۱۰ cm پیشنهاد می‌گردد.
- ۴- حداکثر سیمان مصرفی در این نوع "بتن پاشی" به 400 kg/m^3 محدود می‌گردد.
- ۵- حداکثر نسبت آب به سیمان در این نوع بتن پاشی به ۰/۵۲ محدود می‌گردد.
- ۶- حداکثر قطر اسمی سنگدانه‌ها در این نوع بتن پاشی به ۹/۵۲ mm محدود می‌گردد.
- ۷- با رعایت موارد بیان شده برگشت بتن پاشیده شده در محدوده ۵ تا ۱۰ درصد خواهد بود.

علائم اختصاری

f'_c	مقاومت فشاری مشخصه بتن در نمونه استوانه‌ای
f_{cr}	مقاومت هدف بتن
f_c	متوسط مقاومت فشاری ناشی از آزمایش نمونه استوانه‌ای
$f_{c \min}$	حداقل مقاومت فشاری ناشی از آزمایش نمونه استوانه‌ای
f_{core}	متوسط مقاومت فشاری نمونه مغزه‌گیری شده
σ	انحراف از معیار
W/C	نسبت آب به سیمان
ρ	وزن مخصوص سنگدانه
A	ظرفیت جذب آب
x, y	ضریب بی بعد
D	قطر مغزه استوانه‌ای
L	ارتفاع مغزه استوانه‌ای

References

- 1- ACI Manual of Concrete Practice, Part 5 "Guide to Shotcrete" Reported by ACI Committee 506-1994
- 2- ACI Manual of Concrete Practice Part 1 "Guide to Mix Design" Reported by ACI Committee 211-1995
- 3- ASTM "Standard in Building Codes" Volume 1-4-1994
- 4- Hassinen, P, Aysto, P. ":The Work of CIB.W56. Lightweight Construction."Batiment Interntional, 1988
- 5- "ASHRAE Hand book - Fundamentals", American Society of Heating. Refrigerating and Air- Conditioning Engineers. Inc. New York. 1985.
- 6- Wade, T.G, Porter, M.L. and Jacobs, D.R "Glass-Fiber Composite Connector for Insulated Concrete Sandwich Walls." Report, Engineer Research Institute. Iowa State University 1988.
- 7- Strzepek, W.R "Overview of Phsical Properties of Cellular Thermal Insulation" Insulation Materials Testing, and Applications, ASTMSTP 1030, D.L.Mc Elrog and J.F Kimpflem (editors) American Society for Testing and Materials, Philadelphia PA, 1990,

- [۸] نویل ، آدام ، " خواص بتن " ، ترجمه هرمز فامیلی ، بازنگری چهارم ، انتشارات ابوریحان بیرونی ، تهران ، ۱۳۷۸ ، صفحات ۲۷۴ تا ۲۷۶ .
- [۹] قالیبافیان ، م. ، سلطانی عربشاهی ، ک. ، " اجرای ساختمانهای بتن آرمه " ، انتشارات دهخدا ، تهران ، ۱۳۷۶ ، صفحات ۳۰۷ تا ۳۱۰ .
- [۱۰] تدین ، محسن ، " جزوه درسی بتن پیش آکنده " ، دانشگاه بوعلی سینا ، همدان ، ۱۳۷۸ .
- [۱۱] تدین ، محسن ، " جزوه درسی بتن حجیم " ، دانشگاه بوعلی سینا ، همدان ، ۱۳۶۸ .