Archive

بند

محمد علی ارجمند[۱]، یاشار مصطفایی[۲]، سپیده مصطفایی[۳]

۱- استادیار دانشکده تربیت دبیر شهید رجایی

۲- دانشجوی دکتری عمران واحد رودهن

۳-دانشجوی دکتری معماری واحد قشم

Yashar.omran۱۳۵۹@gmail.com

چکیده

در این مقاله، بررسی اجمالی از تئوری و شیوه ساخت و ساز با مواد خام بتنی حاوی بیشتر از ۵۰٪ خاکستر بادی توسط انبوهی از مواد خام سیمانی ارائه می شود. مکانیزم کار مورد بحث قرار می گیرد که از طریق آن ترکیب حجم بالای خاکستر بادی در بتن نیاز آب را کاهش می دهد، و دوام را بهبود می بخشد، ترک خوردگی را به سبب انقباض حرارتی و خشک کردن کاهش می دهد، و دوام را نسبت به خوردگی آرماتور، حمله سولفات، و گسترش قلیایی-سیلیکایی بهبود می بخشد. برای کشورهایی همانند چین و هند، این فناوری می تواند نقش مهمی را در برآوردن نیازهای زیاد برای زیر ساخت ها با شیوه ی پایدار ایفا کند. بنا به دلایل متعددی، صنعت ساخت و ساز بتن پایدار نیست. نخست، زیرا مقادیر زیادی از مواد خام مصرف می شود. دومین علت، چسب اصلی در بتن سیمان پورتلند است، که تولید آن از عوامل اصلی انتشار گاز گلخانه ای است که در گرم شدن زمین و تغییرات آب و هوایی نقش دارد. سوما، سازه های بتنی زیادی دارای عدم دوام هستند که این امر دارای یک تاثیر معکوس بر بهره وری منابع صنعتی است. از آنجاییکه سیتم بتنی با حجم بالای خاکستر بادی به تمامی مسائل پایداری می پردازد، اتخاذ آن، صنعت ساخت و ساز بتن را قادر می سازد تا پایدار تر شود.

کلمات کلیدی: سیمان، بتن، مقاومت سازه، مکانیسم، خاکستر

www.SID.ir

Archive

۱- مقدمه

چگونگی برآوردن نیازهای ساخت مسکن و زیر بنایی جامعه در یک شیوه پایدار بدون شک مهمترین چالش پیش روبروی صنعت امروزی بتن است. در میان مسائل مربوط به پایداری، سه مسئله عمده که بطور گسترده ای در گزارش های منتشر شده مورد بحث قرار گرفته است، ممکن است به شرح زیر خلاصه شود:

تغییر در آب و هوا – در بسیاری از بخش های دنیا، الگوهای شدید آب و هوایی با بسامد زیادی روی می دهد. برخی از دانشمندان معتقدند که این پدیده با میزان انتشار گازهای گلخانه ای، در درجه اول کربن، تداعی می شود که غلظت زیست محیطی آن از ۲۸۰ تا ۳۷۰ قسمت به ازای هر میلیون حجم عمدتا در طول عصر صنعتی افزایش داشته است. صنعت حمل و نقل و صنعت سیمان پورتلند دو تولید کننده بزرگ دی اکسید کربن هستند. صنعت سیمان پورتلند تقریبا مسئول ۷ درصد از انتشار دی اکسید کربن جهان است.

بهروه وری منابع – صنعت بتن عمده ترین مصرف کننده مواد خام بکر همانند ماسه، سنگ ریزه، و آب تازه است. این صنعت در حال مصرف سیمان پورتلند و سیمان اصلاح شده پورتلند در یک میزان سالانه ای در حدود ۱,۶ میلیون تن متریک می باشد. تولید سیمان مقدار عظیمی از سنگ آهک و خاک رس را علاوه بر این که انرژی بر است، مصرف می کند.

بدیهی است، مقادیر زیادی از انرژی و مواد خام، علاوه بر منابع مالی، هنگامیکه سازه ها خراب می شوند یا دچار نقص پیش از موعد می شوند، هدر می رود، که در حقیقت موضوع بسیاری از عرشه های پل بتنی تقویت شده اخیرا ساخته شده، گاراژ های پارکینگ، و سازه های دریایی در سرتاسر جهان است. به طور سنتی، اکثر سازه های بتنی برای عمر ۵۰ ساله طراحی شده اند. با ظهور مخلوط های بتن با عملکرد بالا، برخی از سازه ها اکنون در حال طراحی هستند، و برای عمری از ۱۰۰ سال ساخته می شوند. در دراز مدت، توسعه پایدار صنعت بتن روی نخواهد داد تا اینکه ما قادر شویم بهبودی های چشمگیری را در بهره وری منابع مان صورت دهیم. در این زمینه، لازم به ذکر است که Factor Ten Club، یک گروهی از دانشمندان، افراد اقتصاددان و تاجران اعلامیه ای را منتشر کردند که در عرض یک نسل، ملت ها می توانند به ده برابر بیشتر از بهره وری منابع شان از طریق ۹۰ درصد کاهش در استفاده از انرژی و مواد خام دست یابند.

محیط صنعتی – دستیابی به بهبودی قابل توجه در بهره وری منابع از طریق افزایش دوام محصولات البته یک راه حل بلند مدت برای توسعه پایداری است. یک استراتژی کوتاه مدت که باید بطور همزمان ترغیب شود اعمال شیوه های صنعتی در مقیاس بزرگ تر از موارد امروزی است. به زبان ساده اینگونه تعریف می شود، اعمال محیط صنعتی توسط یک صنعت تولیدی

www.SID.ir

Archive

مستلزم جایگزینی و استفاده مجدد از زباله های تولید شده خودمان و تا جای ممکن زباله های تولید شده صنایع دیگری است که بازیافت آنها در فرایند تولید خودشان امکان پذیر نمی باشد.

بر اساس گزارش، بیشتر از ۱ میلیارد تن از ضایعات تخریب شده و ساخت و ساز هر سال تولید می شود. فناوری های مقرون به صرفه ای برای بازیافت اکثر این ضایعات به عنوان جایگزین جزئی برای درشت دانه در مخلوط های بتنی، اخیرا در دسترس هستند. به همین نحو، فاضلاب های صنعتی و آب های غیر قابل شرب می توانند جایگزین آب شهری برای مخلوط سیمان شوند مگر اینکه از طریق آزمایش ثابت شود که مضر است. سیمان های مخلوط شده پورتلند که دارای خاکستر بادی از نیروگاه های زغال سنگ، و روباره دانه دانه شده زمین از صنعت آهن کوره ذوب آهن هستند نمونه های خوبی از عادات صنعتی عالی را نشان می دهند زیرا آنها یک راه حل جامعی را برای کاهش تاثیر محیط زیست از صنایع متعدد ارائه می دهند.

صنعت ساخت و ساز در حال حاضر از مخلوط های بتنی استفاده می کند که حاوی مواد خام جایگزین سیمان همانند ۱۵٪ تا ۲۰٪ خاکستر بادی یا ۳۰٪ تا ۴۰٪ سرباره های انبوه می باشد. همانطوریکه در این مقاله مورد بحث قرار گرفت، با مواد خام معمولی و فناوری، اکنون امکان پذیر است تا مخلوط های بتنی با عملکرد بالایی که حاوی ۵۰٪ تا ۶۰٪ خاکستر بادی بطور انبوه از مواد خام سیمانی مخلوط شده است، تولید شود. توجه داشته باشید که خاکستر بادی به اسانی در دسترس اکثر بخش های جهان است. هند و چین، دو کشوری هستند که مقادیر بالایی از سیمان را مصرف می کنند، و با یکدیگر بیش از ۳۰۰ میلیون تن از خاکستر بادی را هر ساله تولید می کنند.

۲. بتن با عملکرد بالا

بر طبق یک مقاله اخیرا نوشته شده توسط آیتکین، آنچه که به عنوان بتن با مقاومت بالا در اواخر دهه ی ۱۹۷۰ شناخته می شد، اکنون به عنوان بتن با عملکرد بالا (HPC) شناخته می شود زیرا مشخص شده است که آن چیزی بیشتر از صرفا مقاومت است. ACI بتن با عملکرد بالا را به عنوان یک بتنی که بطور خاصی مهندسی شده است تعریف می کند، که یک یا چند ویژگی خاص آن از طریق انتخاب مولفه های مواد خام و نسبت مخلوط افزایش یافته است. توجه داشته باشید که این تعریف یک محصول منفرد را پوشش نمی دهد اما یک خانواده ای از محصولات بتن با تکنولوژی بالا را تعریف می کند که خواصش متناسب شده است تا نیازهای مهندسی خاص همانند کارآیی بالا، مقاومت اولیه خیلی بالا (بطور مثال، ۳۰ تا ۴۰ مگا پاسکال مقاومت فشاری در ۲۴ ساعت)، چقرمگی بالا، و دوام بالا در برابر شرایطی که در معرض اش قرار می گیرد را برآورده سازد.

www.SID.ir

Archive

یک انتقاد مهم در برابر تعریف ACI در مورد بتن با عملکرد بالا این است که دوام بتن الزامی نیست؛ این یکی از گزینه ها است. این تصور غلط که مقاومت بالا بطور خودکار منجر به دوام بالا خواهد شد احتمالا منجر به حالت های متعددی از ترک خوردگی و زوال زود رس سازه های بتن با عملکرد بالا می شود، همانطوریکه در ادبیات پیشینه چاپ شده است. این دلیل در نسبت های مخلوط استفاده شده جهت بدست اوردن مقاومت خیلی بالا قرار می گیرد؛ برای مثال، مخلوط های بتنی با مقاومت بالا تجاری اغلب طوری طراحی می شوند تا یک مقاومت فشاری ۵۰ تا ۸۰ مگاپاسکالی را در طی ۲۸ روز و به طور همزمان مقادیر مقاومت اولیه ی بالا تقریبا ۲۵ تا ۴۰ مگا پاسکالی را در یک روز، به همراه ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی متر نشست را برای سهولت قابلیت ساخت و ساز اگر سازه بشدت تقویت شود، بدست اورد. معمولا، این مخلوط ها متشکل از یک سیمان بتنی بالا، یعنی ۴۵۰ تا ۵۰۰ kg/m۳ سیمان پورتلند یا سیمان مخلوط شده پورتلند هستند که حاوی یک مقدار نسبتا کوچکی از میکروسیلیس و خاکستر بادی یا سرباره، یک سیمان/کم آب تقریبا ۰,۳ (با کمک یک افزودنی فوق روان کننده)، و یک عامل کشنده هوا در زمانی که محافظت سیمان از چرخه انجماد و ذوب ضروری است، می باشد. تجربه نشان می دهد که مخلوط های بتنی با مقاومت بالا قبلی مستعد متحمل شدن ترک خوردگی زود رس به سبب دلایل متعددی همانند غلظت حرارتی بالا به سبب محتوای بالا سیمان پورتلند، یک انقباض خود زا زیاد به سبب نسبت پایین آب-سیمان، و یک انقباض خشک سازی به سبب نسبت بالا سیمان خمیر- سنگدانه هستند.

آیتکین ترجیح می دهد تا بتن با عملکرد بالا را به عنوان یک بتن با آب/چسب کم با یک نسبت بهینه شده ای از سنگدانه –و- چسب جهت کنترل پایداری ابعادی اش (یعنی، انقباض خشک سازی) تعریف کند، که یک عمل آوری با آب کافی را (جهت کنترل انقباض خودزا) دریافت می کند. این تعریف به طور کافی به پتانسیل عدم دوام بتن با عملکرد بالا به جزء با اعضاء ساختاری انبوه که ممکن است در معرض ترک خوردگی حرارتی قرار گیرند، می پردازد. از این لحاظ، یک تعریف اولیه ارائه شده توسط مهتا و آیتکین بیان می کند که واژه بتن با عملکرد بالا باید در فرایند مخلوط بتن بدنبال سه ویژگی اعمال شود: کارآیی بالا، مقاومت بالا، و دوام بالا.

بررسی انتقادی فوق از شیوه تجاری و معنای دریافت شده از واژه، بتن با عملکرد بالا، برای پاسخگویی این سوال که آیا بتن با عملکرد بالا یک محصول پایدار است یا خیر الزامی است. اکثر محصولات معمولی بتن با عملکرد بالا واجد شرایط نخواهند بود تا به عنوان "پایدار" طبقه بندی شوند زیرا آنها احتمالا بطور زیادی بادوام نیستند و ممکن است شامل یک مقدار بالایی از سیمان پورتلند و یک مقدار نسبتی کمی از محصولات فرعی سیمانی و پوزولانی برای جایگزینی سیمان باشند. بهرحال،

www.SID.ir

Archive

سیستم خاکستر بادی با حجم بالا (HVFA)، که در بخش بعدی مورد بحث قرار می گیرد، یک فناوری در حال ظهور را برای تولید مخلوط های بتن با عملکرد بالا پایدار ارائه می دهد.

۳. بتن خاکستر بادی با حجم بالا

خاکستر بادی، یک محصول فرعی اصلی نیروگاه های سوخت زغال سنگ است، که به خوبی به عنوان یک مواد پوزولانی پذیرفته شده است که ممکن است یا به عنوان یک مولفه ای از سیمان های ترکیب شده پورتلند با به عنوان یک مخلوط مواد معدنی در بتن استفاده شود. در شیوه تجاری، دوز خاکستر بادی بوسیله ی توده کلی مواد سیمانی به ۱۵٪ تا ۲۰٪ محدود می شود. معمولا، این مقدار دارای یک تاثیر مفیدی بر کارآیی و هزینه اقتصادی بتن است اما آن ممکن است برای اینکه به اندازه کافی دوام بتن نسبت به حملات سولفات، گسترش قلیایی-سیلیکایی، و ترک خوردگی حرارتی بهبود یابد کافی نباشد. برای این منظور، مقادیر بالاتری از خاکستر بادی، تقریبا ۲۵٪ تا ۳۵٪ استفاده می شود.

اگرچه ۲۵٪ تا ۳۵٪ خاکستر بادی با توده ای از مواد خام سیمانی بطور قابل توجهی بیشتر از ۱۵٪ تا ۲۰٪ است، اما این امر به اندازه کافی جهت شفاف سازی مخلوط های همانند بتن HVFA بر طبق تعریف ارائه شده توسط مالهوترا و مهتا کافی نیستند. از لحاظ ملاحظات نظری و تجربه عملی، نویسندگان تعیین کرده اند که با جایگزینی۵۰٪ یا مقدار سیمان بیشتر با خاکستر بادی، تولید ترکیب های بتنی با عملکرد بالا و پایدار امکان پذیر است که کارآیی بالا، مقاومت نهایی بالا، و دوام بالا را نشان می دهد. متن زیر حاوی یک شرح خلاصه ای از ترکیب و خواص بتن HVFA است که از کتاب مالهوترا و مهتا در مورد بتن HVFA اقتباس شده است.

۳,۱. بتن با عملکرد بالا چیست؟

ویژگی هایی که یک مخلوط بتن HVFA را تعریف می کند به شرح زیر است:

- حداقل ۵۰٪ از خاکستر بادی با تراکمی از مواد خام سیمانی باید حفظ شود.
- سیمان با آب کم، معمولا دارای کمتر از ۱۳ kg/m۳ الزامی است.
- مقدار سیمان، معمولا نه بیشتر از ۲۰۰ kg/m۳ مطلوب است.

www.SID.ir

Archive

- برای مخلوط های بتنی با ۲۸ روز مشخص از مقاومت فشاری با ۳۰ مگاپاسکال یا بیشتر، نشت های بیشتر از ۱۵۰ میلی متر، و نسبت مواد خام آب- به- سیمان تقریبا ۰,۳۰ ، مواد افزودنی کاهنده آب با برد بالا (فوق روان کننده) لازم است.
- برای بتن در معرض محیط زیست انجمادی و ذوب شونده، استفاده از یک مواد افزودنی کشنده هوا که سبب عامل تهی سازی فضای هوایی کافی شود ضروری است.
- برای مخلوط های سیمان با نشست های کمتر از ۱۵۰ میلی متر و ۲۸ روز مقاومت فشاری کمتر از ۳۰ مگا پاسکال، مخلوط های بتنی HVFA با یک نسبتی از مواد خام آب به سیمان تقریبا ۰,۴۰ ممکن است بدون فوق روان کننده استفاده شود.

با اقتباس از مقاله اخیر مالهوترا، طیف معمولی از مولفه مواد خام برای سطوح مختلفی از مقاومت در عملکرد بالا، بتن HVFA در جدول ۱ نشان داده شده است. توجه داشته باشید که کنترل آب سیمان بسیار ضروری است زیرا مقدار آب درون یک طیف محدودی بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ Kg/m۳ با استفاده از یک ترکیبی از یک یا دو ابزار همانند مواد افزودنی فوق روان کننده، یک خاکستر بادی با کیفیت بالا، و سنگدانه با اندازه خوب مختلف می باشد. بسته به سطوح مقاومت مطلوب، محتوا و نسبت سیمان/خاکستر بادی چسب می تواند مختلف باشد. از آنجاییکه محتوا آب بین سطوح مقاومتی مختلف خیلی زیاد نیست، افزایش مواد خام سیمان بطور قابل ملاحظه ای ضروری است تا مقاومت بیشتری بدست آید. هنگامیکه مقاومت خیلی بالا در هر زمانی لازم باشد، این امر می تواند از طریق اتخاذ یک یا چند روش زیر بدست آید: یک نسبت بالاتری بین سیمان پورتلند و خاکستر بادی، جایگزینی سیمان پورتلند با مقاومت زیاد اولیه با سیمان معمولی پورتلند، و جایگزینی انتخاب خاکستر بادی با یک پوزولان واکنش پذیر تر همانند میکرو سیلیس یا خاکستر پوسته برنجی.

جدول ۱: نسبت های مخلوط معمول برای سطوح مقاومتی مختلف

سطح مقاومت (مگا پاسکال)	پایین	متوسط	بالا
۲۸ روز	۲۰	۳۰	۴۰
۹۰ روز تا ۱ سال	۴۰	۵۰	۶۰
نسبت های مخلوط (kg/m۳)			
آب	۱۲۰-۱۳۰	۱۱۵-۱۲۵	۱۰۰-۱۲۰

www.SID.ir

Archive

سیمان، ASTM نوع I//II	۱۰۰-۱۳۰	۱۵۰-۱۶۰	۱۸۰-۲۰۰
خاکستر بادی، ASTM کلاس F	۱۲۵-۱۵۰	۱۸۰-۲۰۰	۲۰۰-۲۲۵
آب/سیمان	۰,۴۰-۰,۴۵	۰,۳۳-۰,۳۵	۰,۳۰-۰,۳۲
سنگدانه درشت، ۱۹ میلی متر حداکثری	۱۱۰۰-۱۲۰۰	۱۱۰۰-۱۲۰۰	۱۱۰۰-۱۲۰۰
سنگدانه ریز	۸۰۰-۹۰۰	۸۰۰-۹۰۰	۸۰۰-۹۰۰

* سیمان های با عملکرد متوسط و عملکرد بالا نیازمند یک فوق روان کننده هستند تا یک نسبت پایینی از آب/سیمان بدست آید. همچنین، برخی از تنظیمات در آب/سیمان لازم خواهد بود هنگامیکه یک عامل هوا کشنده برای محافظت در برابر چرخه های انجماد و ذوب شدگی استفاده شود.

۳,۳. مکانیسم هایی که از طریق آنها خاکستر بادی خواص بتن را بهبود می بخشد

یک درک خوبی از مکانیسم ها که از طریق آنها خاکستر بادی خواص رئولوژی سیمان تازه و مقاومت نهایی و همچنین دوام بتن سخت شده را بهبود بخشد مفید است تا اطمینان حاصل شود که مزیت های بالقوه مورد انتظار از مخلوط بتن HVFA کاملا تحقق می یابد. این مکانیسم در بخش بعدی مورد بحث قرار می گیرد.

۴-خاکستر بادی به عنوان یک کاهنده آب

مخلوط آب بسیار زیاد احتمالا مهمترین دلیل مشکلات زیادی است که با مخلوط های بتنی مواجه می شود. دو دلیل وجود دارد که چرا مخلوط های بتن معمول حاوی مخلوط آب زیادی است. در مرحله نخست، نیاز آب و کارآیی تا حد زیادی تحت تاثیر توزیع سایز ذرات، تاثیر بسته بندی ذرات، و حفره های موجود در سیستم جامد قرار دارد. مخلوط های بتن معمول دارای یک توزیع سایز بسته بندی بهینه نیستند و این امر به سبب نیاز بسیار بالا و نامطلوب به آب است تا کارآیی معینی بدست اید. دوما، برای روان سازی خمیر یک سیمان جهت بدست آوردن ثباتی رضایت بخش، مقدار بیشتری از آب نسبت به مقداری که برای هیدراتاسیون سازی سیمان لازم است، باید استفاده شود زیرا ذرات سیمان پورتلند به سبب حضور شارژ الکتریکی بر روی سطح، تمایل به تشکیل توده هایی دارند که حجم های مخلوط آب را حبس می سازد.

به طور کلی مشاهده شد که جایگزین بخشی از سیمان پورتلند با خاکستر بادی در یک مخلوط سیمان یا ملات، نیاز آب برای بدست آوردن یک سازگاری معین را کاهش می دهد. مطالعات تجربی صورت گرفته توسط اوون و جیانگ و مالهوترا نشان داد که با مخلوط های بتنی HVFA، بسته به کیفیت خاکستر بادی و مقدار سیمان جایگزین شده، می توان تا ۲۰٪ کاهش در

www.SID.ir

Archive

نیاز آب بدست آید. این مسئله بدین معناست که خاکستر بادی خوب به عنوان یک مخلوط فوق روان کننده در زمانیکه در حجم بالا استفاده می شود عمل می کند. این پدیده مرتبط با سه مکانیسم است. نخست، ذرات ریز خاکستر بادی در بار مخالف سطوح ذرات سیمان جذب می شوند و مانع لخته شدن آنها می شود. بنابراین ذرات سیمان بطور موثری پراکنده می شوند و مقادیر بیشتری از آب را حبس خواهند کرد، که بدین معنا است که این سیستم نیازمند آب کاهش یافته ای خواهد بود تا یک سازگاری معینی بدست اید. دوما، شکل کروی و سطوح نرم ذرات خاکستر بادی به کاهش اصطکاک بین ذره ای و از این رو تسهیل سازی تحرک کمک می کند. سوما، "اثر بسته بندی ذرات" همچنین مسئول نیاز آب کاهش یافته در روان سازی این سیستم است. ممکن است ذکر شود که سیمان پورتلند و خاکستر بادی ذرات را تشکیل می دهند که عمدتا در طیف سایزی ۱ تا ۴۵ میکرو متر هستند، و بنابراین به عنوان پرکننده های عالی برای فضای خالی درون مخلوط سنگدانه عمل می کنند. در حقیقت، به سبب چگالی پایین تر و حجم بالاتر در واحد جرم، خاکستر بادی یک پرکننده فضای خالی موثر تری از سیمان پورتلند است.

۵-انقباض در اثر خشک شدن

شاید بزرگترین نقطه ضعف مرتبط به استفاده از بتن سیمان پورتلند آب نگرفته ترک خوردگی به سبب انقباض در اثر خشک شدن باشد. انقباض در اثر خشک شدن بتن بطور مستقیم تحت تاثیر مقدار و کیفیت خمیر سیمان موجود قرار دارد. آن با افزایش نسبت سنگدانه به خمیر سیمان در مخلوط سیمان افزایش می یابد و همچنین با مقدار اب خمیر نیز افزایش می یابد. واضح است که، خواص کاهنده – آب خاکستر بادی می تواند بطور سودمندانه ای برای دستیابی به یک کاهش قابل توجهی در انقباض در اثر خشک شدن مخلوط های بتن استفاده شود.

اهمیت این موضوع بوسیله ی داده های موجود در جدول ۲ نشان داده شد که خواص مخلوط یک بتن معمول ۲۵ مگا پاسکالی در مقایسه با یک بتن HVFA فوق روان کننده با مقاومت مشابه اما نشست بیشتر را نشان می دهد. به سبب یک کاهش قابل توجه در مقدار آب لازم، حجم کلی خمیر سیمان در بتن HVFA تنها ۲۵٪ در مقایسه با ۲۹,۶٪ برای بتن سیمان-پورتلند معمولی است که بیانگر یک کاهش ۳۰٪ در نسبت حجم سنگدانه به خمیر سیمان است.

www.SID.ir

Archive

جدول ۲: مقایسه حجم های خمیر سیمان

	سیمان معمولی		سیمان HVFA	
	Kg/m۳	M۳	Kg/m۳	M۳
سیمان	۳۰۷	۰,۰۹۸	۱۵۴	۰,۱۴۹
خاکستر بادی	-	-	۱۵۴	۰,۰۶۵
آب	۱۸۷	۰,۱۷۸	۱۲۰	۰,۱۲۰
هوای حبس شده (٪۲)	-	۰,۰۲۰	-	۰,۰۲۰
سنگدانه درشت	۱۰۴۰	۰,۳۸۵	۱۲۱۰	۰,۴۴۸
سنگدانه ریز	۸۲۵	۰,۳۰۵	۷۷۵	۰,۲۸۷
کل	۲۳۵۰	۰,۹۸۶	۲۴۱۳	۰,۹۸۹
آب/سیمان	۰,۵۸	-	۰,۳۹	-
خمیر: درصد حجم	- -	۰,۲۹۶ ۳۰درصد	- -	۰,۲۵۴ ۲۵,۷ درصد

جدول۲

۶- ترک خوردگی حرارتی

ترک خوردگی حرارتی نگرانی عمده در سازه های بتنی عظیم است. بطور کلی تصور می شود که این یک مشکل در مورد ساختارهای بتنی تقویت شده با ضخامت متوسط بطور مثال ۵۰ سانتی متر ضخامت یا کمتر نیست. بهرحال، به سبب واکنش

www.SID.ir

Archive

بالای موارد بتنی جدید از ترک خوردگی حرارتی حتی در سازه های ساخته شده با سایز متوسط با مخلوط های بتنی مقدار سیمان- بالا که تمایل به ایجاد گرما بیش از حدی در طول زمان گیرش دارند، گزارش شده است. ویژگی های شیمایی-فیزیکی سیمان های معمولی پورتلند امروزی طوری هستند که در مقایسه با سیمان های پورتلند نرمال موجود ۴۰ سال قبل گرمای خیلی زیادی از هیدارسیون در زمان آغازی تولید می کنند. همچنین، الزامات مقاومتی بسیار بالا در شیوه ساخت و ساز جدید معمولا بوسیله ی افزایش در مقدار سیمان مخلوط بتن حاصل می شود. علاوه براین، فعالیت های ساخت و سازی قابل توجهی اکنون در مناطق هوای خشک جهان وجود دارد جاییکه دمای بتنی بیش از ۶۰ درجه سانتی گراد در عرض چند روز از جایگیری بتن غیر معمول نیست.

برای ساخت و ساز بتن-انبوه تقویت نشده، روش های متعددی بکار می رود تا از ترک خوردگی حرارتی جلوگیری شود و برخی از این تکنیک ها می تواند بطور موفقیت آمیزی برای کاهش ترک های حرارتی در سازه های بتنی- تقویت شده عظیم استفاده شود. برای مثال، یک مخلوط بتن ۴۰ مگا پاسکالی حاوی ۳۵۰ kg/m۳ سیمان پورتلند می تواند دمای بتن را تا تقریبا ۵۵ تا ۶۰ درجه سانتی گراد در یک هفته افزایش دهد اگر هیچ هدر رفت گرمایی در محیط وجود نداشته باشد. بهرحال، با یک مخلوط بتن HVFA حاوی ۵۰٪ جایگزین سیمان با خاکستر بادی کلاس F، افزایش دمای آدیاباتیک انتظار می رود تا ۳۰ تا ۳۵ درجه سانتی گراد باشد. به طور تخمینی، تفات حداکثری دما بین بتن داخلی و بیرونی نباید فرای ۲۵ درجه سانتی گراد باشد تا از ترک خوردگی حرارتی اجتناب شود. این مسئله بدین سبب است که تفاوت های دمایی بیشتر توسط میزان های سردسازی سریع انجام می شود که معمولا منجر به ترک خوردگی می شود. بدیهی است، در مورد بتن متعارف حل این مشکل یا از طریق حفظ بتن عایق دار شده و گرم شده برای یک زمان طولانی تر در اشکال تا تفاوت دمایی بین ۲۵ درجه سانتی گراد کاهش یابد یا از طریق کاهش قابل توجه ای از نسبت سیمان پورتلند در چسب آسان است. گزینه دوم می تواند اعمال شود اگر مهندس ساختاری تمایل به پذیرش میزان نسبتا کمتری از ایجاد مقاومت در طول ۲۸ روز نخست داشته باشد، و ویژگی مقاومتی بتن بر مبنای ۹۰ روز به جای ۲۸ روز مقاومت باشد.

۷-تنگی – آب و دوام

به طور کلی، مقاومت یک سازه بتنی- تقویت شده در برابر خوردگی، گسترش سنگدانه-قلیایی، سولفات و اشکال دیگر حملات شیمیایی بستگی به تنگی-آب بتن دارد. تنگی- آب بتن تاحد زیادی تحت تاثیر مقدار مخلوط- آب، نوع و مقدار مواد تکمیلی سیمانی، زمان گیرش، و ترک خوردگی مقاومت بتن قرار دارد. مخلوط های بتنی خاکستر بادی با حجم بالا، زمانیکه به درستی

www.SID.ir

Archive

سخت شود، قادر هستند تنگی- آب و دوام عالی را فراهم آورند. مکانیسم مسئول این پدیده در ادامه بطور مختصری بحث می شود.

هنگامیکه مخلوط بتن بعد از جایگزینی تثبیت شود، همراه با در دام افتادن هوا، یک بخشی از مخلوط- آب همچنین آزاد می شود. همانطوریکه آب دارای چگالی کمی است، آن تمایل دارد تا بر روی سطح بتن حرکت کند. بهرحال، تمام این "روان سازی آب" قادر نیست تا راهش را به سمت سطح سیمان بیابد. به سبب تاثیر خوب ذرات سنگدانه درشت، برخی از آن در اطراف سطوح سنگدانه جمع می شوند، که سبب یک توزیع ناهمگنی از آب در این سیستم می شود. بدیهی است، منطقه انتقال سطحی بین سنگدانه و خمیر سیمان منطقه ای با آب/سیمان زیاد است و بنابراین فضای در دسترس بیشتری وجود دارد که شکل گیری یک محصول هیدرتاسیون بسیار متخلخل که حاوی کریستال های زیادی از هیدروکسیدکلسیم و اترینگایت است، صورت می گیرد. میکرو ترک ها به سبب تنش به آسانی در سرتاسر این محصول شکل می گیرند زیرا آن بسیار ضعیف تر از خمیر سیمان تنیده با یک سیمان/آب کمتر است.

بیان شده است که میکرو ترک ها در منطقه انتقال سطحی نقش مهمی را نه تنها در تعیین خواص مکانیکی بلکه همچنین در نفوذ پذیری و دوام بتنی که در معرض شرایط آب و هوایی شدید قرار دارد، ایفا می کند. دلیل این است که میزان انتقال مایع در بتن بوسیله ی تروش در سرتاسر یک شبکه به هم پیوسته از میکرو ترک ها بیشتر از انتشار یا مکش مویینه است. گوناگونی در میکروسازه های خمیر سیمان –پورتلند هیدراته، به خصوص وجود منافذ بزرگ و محصولات کریستالی بزرگ در منطقه انتقال، تا حد زیادی توسط معرفی ذرات ریز خاکستر بادی کاهش می یابد. با پیشرفت واکنش پوزولانی، یک کاهش تدریجی در سایز منافذ مویرگی و محصولات هیدراتاسیون کریستالی در منطقه انتقال روی می دهد و در نتیجه ضخامت آن کاهش می یابد و پیوند ضعیف در میکرو سازه های بتن از بین می رود. در نتیجه، یک ترکیبی از اثر بسته بندی ذرات، سیمان آب کم، و واکنش پوزولانی مسئول ناپدید شدن نهایی منطقه انتقال سطحی در بتن HVFA روی می دهد و بنابراین توسعه یک محصول با دوام و با مقاومت زیاد در برابر ترک روی می دهد.

۳,۴. شیوه ساخت بتن

به سبب حجم زیاد سنگدانه های ریز و یک سیمان با آب کم، مخلوط های بتنی سیستم HVFA معمولا بسیار منسجم هستند و یک آب انداختن ناچیز و یا هیچ آب انداختن و جدا شدگی را نشان می دهد. آنها پمپاز و کارآیی عالی را در نشست به اندازه ی ۷۵ میلی متر نشان می دهند، بهرحال مقادیر نشست های بیشتر ممکن است با سازه های بسیار تقویت شده

www.SID.ir

مشخص شود. مواد به خوبی حرکت می کنند تا بدون تلاش زیاد فضا ها را پر کنند و تقریبا همانند یک بتن خود متراکم کننده رفتار می کند. در نتیجه، سطح پرداخت معمولا صاف، خوشایند و بدون لانه زنبوری و سوراخ زیر سطحی است.

به سبب مقدار کمتر سیمان پورتلند، مخلوط های بتنی HVFA ممکن است یک تا دو ساعت بیشتر برای سفت شدن زمان نیاز داشته باشند. تسریع سازی مواد افزودنی نباید استفاده شود مگر اینکه سازگاری شان با مخلوط بتن واقعی بطور کافی مورد آزمایش قرار گرفته باشد. در چنین مواردی، استفاده از سیمان سریع سفت شونده ی پورتلند یک راه حل بهتری را ارائه می دهد.

معمولا، مخلوط های بتن HVFA متحمل ضرر نشست بیش از حدی در یک دوره ی کوتاه نمی شود. اختلاط مجدد در مکان بتن آماده مخلوط HVFA مجاز است تا اتلاف نشست شدید با یک مقدار کوچکی از فوق روان کننده یا آب باز گردانده شود، به شرطی که اب/سیمان بیش از محدوده ی مشخص شده نباشد.

مخلوط های بتنی غیر- آب انداخته شده، آب/سیمان کم نسبت به ترک خوردگی انقباض خمیر و همچنین ترک خوردگی انقباض خودزا آسیب پذیر هستند. با دال های روی پایه، سطوح بتن باید در برابر هر هدر رفت آب بوسیله ی عملکرد یک مه پاش در اطراف این سطح در طول جایگیری، یا با پوشش سطح با یک ورقه خمیری سنگین بلافاصله بعد از جایگیری و اتمام عملیات شمشه کشی، محافظت شود. حداقل ۷ روز برای نگهداری رطوبت بتن ضروری است تا ویژگی های مقاومتی بهینه و با دوامی بدست آید که برای استفاده از بتن HVFA امکان پذیر است. با دال ها، فونداسیون ها، اسکله ها، و تیرها، ترک کردن قابلبندی در مکان برای حداقل یک هفته در عوض نگهداری رطوبت بتن قابل قبول است.

۳,۵. تجارب میدانی

تاریخچه موردی کاربردی بتن HVFA برای انواع سازه ها در کانادا و ایالات متحده در گزارش های متعددی مورد بحث قرار گرفته است. یکی از کاربردهای نخست متشکل از یک سنگفرش بتنی تقویت نشده در ویسکانسین در دهه ی ۱۹۷۰ است. در کانادا، کاربردش با سازه های بتنی عظیم ساخته شده در سال ۱۹۸۷ برای آزمایش مولفه های ارتباطات ماهواره ای، ستون های تقویت شده، تیرها، و دال های کف از یک مجتمع اداری نصب شده در سال ۱۹۸۸، و شمع های صندوقه فرو شده برای یک اسکله در سال ۱۹۹۰ آغاز شد. جزئیات کاربردهای آنها و سایر موارد در کانادا توسط لانگلی و لیمن شرح داده شد. مهتا و لانگلی آزمایش ساخت با یک فونداسیون بتنی سایز بزرگ (۳۶ در ۱۷ در ۱,۲ متر) و یکپارچه را شرح داده اند که تا کنون بدون ترک باقی مانده است (برای تقریبا سه سال بعد از نصبش). تجربه مشابه با دال های فونداسیون بزرگ، پایه ها و صندوقه فرو شده درجا از ساختارهای ایجاد شده ی اخیر در اثر هوستون و شیکاگو گزارش شده است. مهتا و موهان همچنین تجارب

www.SID.ir

Archive

ساختاری با پروژه بتنی HVFA دیگری را بیان کردند که شامل یک فونداسیون تقویت شده با تسمه، دیوار برشی، و تیرهای جمع آورنده برای ارتقاء لرزه یک ساختمان در دانشگاه کالیفرنیا در برکلی می باشد.

۳,۶. خواص بتن

بر مبنای تجارب میدانی و تست های آزمایشاهی، خواص بتن HVFA، زمانیکه با بتن سیمان پورتلند معمولی مقایسه می شود، می تواند به شرح زیر خلاصه شود:

- سیالیت، پمپاز، و تراکم پذیری اسان تر
- پراخت سطح بهتر و زمان پرداخت سریع تر زمانیکه پرداخت قدرتی لازم نباشد.
- زمان نصب کمتر، که دارای یک تاثیر مربوطه بر زمان گیرش مشترک و زمان پرداخت قدرتی کمتر برای دال ها خواهد بود.
- مقاومت اولیه تا ۷ روز، که می تواند با تغییرات مناسب در طراحی مخلوط در زمان حذف چهارچوب اولیه یا زمانیکه بارگذاری ساختاری اولیه مورد نظر است، تسریع شود.
- دسترسی به مقاومت بعدی بیشتر بین ۲۸ روز تا ۹۰ روز یا بیشتر. (با مخلوط های بتن HVFA، بهبودی مقاومت بین ۷ و ۹۰ روز اغلب فراتر از ۱۰۰٪ است، بنابراین، غیر ضروری است تا آنها با توجه به یک مقاومت مشخص شده معینی بیش از حد طراحی شوند.)
- ثبات ابعادی و مقاومت برتر در برابر ترک خوردگی از انقباض حرارتی، انقباض خودزا، و انقباض در زمان خشک شدن. در بتن محافظت نشده، یک تمایل بیشتری برای ترک خوردگی انقباض خمیری وجود دارد.
- بعد از سه یا شش ماه از زمان گیرش، مقاومت الکتریکی بیشتر، و مقاومت در برابر نفوذ یون کلرید، برطبق ASTM روش C۱۲۰۲ بدست می آید.
- دوام بسیار زیاد نسبت به خوردگی آرماتور، گسترش قلیایی-سیلیکیایی، و حملات سولفات.
- مقرون به صرفه گی بهتر به سبب هزینه مواد خام کمتر و هزینه چرخه عمر بسیار مطلوب تر.
- زیست دوستی برتر به سبب دفع زیست محیطی مقادیر بزرگ خاکستر بادی، کاهش تولید گازهای گلخانه ای دی اکسید کربن، و ارتقاء بهره وری منابع از صنعت ساخت بتن.

۸. نتیجه گیری

www.SID.ir

Archive

در سرتاسر دنیا، هزینه های دفع تا حد زیادی افزایش یافته است. بطور همزمان، صنعت ساخت بتن دریافته که هزینه خاکستر بادی نسبتا ارزان تر است و به طور گسترده ای به صورت محصول فرعی در دسترس است که می تواند برای جایگزینی جزءی سیمان استفاده شود تا کارآیی عالی در مخلوط های بتنی تازه بدست اید. در نتیجه، در شیوه های ساخت و سازی مدرن ۱۵٪ تا ۲۰٪ از خاکستر بادی با انبوهی از مواد خام سیمانی در حال حاضر در آمریکای شمالی استفاده می شود. مقادیر بیشتری از خاکستر بادی تقریبا ۲۵٪ تا ۳۰٪ توصیه می شود زمانیکه نگرانی برای ترک خوردگی حرارتی، بسط قیلایی-سیلیکایی، یا حملات سولفاتی وجود دارد. چنین نسبت های بالایی از خاکستر بادی از سوی صنعت ساخت ساز به سبب میزان کمتر ایجاد مقاومت در طول عمر اولیه به اسانی قابل قبول نیست.

سیستم بتن با حجم بالای خاکستر بادی بر مشکلات مقاومت طول عمر اولیه تا حد زیادی از طریق کاهش شدیدی در نسبت مواد خام آب/سیمانی با استفاده ار روش های ترکیبی، همانند بهره وری از اثر فوق روان کننده خاکستر بادی هنگامیکه در حجم زیاد استفاده می شود، یا استفاده از یک فوق روان کننده شیمیایی، و دانه بندی سنگدانه ای مناسب، غلبه می کند. در نتیجه، محصولات بتنی با حجم بالا بدرستی عمل آمده شده در میکرو سازه ها بسیار همگن می شوند، و عملا عاری از ترک خوردگی و بسیار بادوام می باشند. زیرا یک ارتباط مستقیمی بین دوام و بهره وری منابع وجود دارد، افزایش استفاده از بتن با حجم بالا به بهبودی ماندگاری صنعت بتن کمک خواهد کرد.

در نتیجه، بتن با حجم بالا یک راه حل جامعی را برای مشکل برآوردن نیازهای در حال افزایش برای بتن در آینده در یک حالت پایدار و در یک هزینه کاهش یافته یا بدون هیچ هزینه اضافی، و به طور همزمان با کاهش تاثیر محیطی در دو صنعتی که برای توسعه اقتصادی حیاتی هستند یعنی صنعت سیمان و صنعت زغال سنگ ارائه می دهد. فناوری بتن خاکستر بادی با حجم زیاد به خصوص برای کشورهایی همانند چین و هند قابل توجه است جاییکه با توجه به مقدار محدود منابع مالی و طبیعی، تقاضای بالا برای بتن در زیرساخت ها لازم است و مسکن سازی می تواند به اسانی در یک شیوه ی مقرون به صرفه و زیست محیطی برآورده شود.

منابع:

[۱]HIGH-PERFORMANCE, HIGH-VOLUME FLYASH CONCRETE FOR SUSTAINABLEDEVELOPMENTP. Kumar MehtaUniversity of California, Berkeley, USA
۲. Mehta, P.K. “Concrete Technology for Sustainable Development.” *Concrete International* ۲۱(۱۱), ۱۹۹۹, pp. ٤٧-٥٢.
۳. Mehta, P.K. “Durability: Critical Issues for the Future.” *Concrete International* ۱۹(۷), ۱۹۹۷, pp. ٦٩-٧٦.
٤. Hawken, P., E. Lovins, and H. Lovins. *Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution.* Little Brown and Co., ۱۹۹۹, ۳٦۹ pp.

www.SID.ir

Archive

٥. Aitcin, P.C. “The Art and Science of Durable High-Performance Concrete.” *Proceedings of the Nelu Spiratos Symposium*. Committee for the Organization of CANMET/ACI Conferences, ٢٠٠٣, pp. ٦٩-٨٨.
٦. Mehta, P.K., and R.W. Burrows. “Building Durable Structures in the ٢١st Century.” *Concrete International* ٢٣(٣), ٢٠٠١, pp. ٥٧-٦٣.
٧. Krauss, P.D., and E.A. Rogalla. “Transverse Cracking in Mewly Constructed Bridge Decks.” *National Cooperative Highway Research Project Report* ٣٨٠. Transportation Research Board, Washington, DC, ١٩٩٦, ١٢٦ pp.
٨. Mehta, P.K., and P.C. Aitcin. “Principles Underlying the Production of High-Performance Concrete.” *Cement, Concrete and Aggregates Journal* ١٢(٢), ١٩٩٠, pp. ٧٠-٧٨.
٩. Malhotra, V.M., and P.K. Mehta. *High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete.* Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development, Inc., Ottawa, Canada, ٢٠٠٢, ١٠١ pp.
١٠. Malhotra, V.M. “High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete.” *Concrete International* ٢٤(٧), ٢٠٠٢, pp. ٣٠-٣٤.
١١. Owen, P.L. “Fly Ash and Its Usage in Concrete.” *Journal of Concrete Society* ١٣(٧), ١٩٧٩, pp. ٢١-٢٦.
١٢. Jiang, L.H., and V.M. Malhotra. “Reduction in Water Demand of Non Air-Entrained Concrete Incorporating Large Volume of Fly Ash.” *Cement and Concrete Research* ٣٠, ٢٠٠٠, pp. ١٧٨٥-١٧٨٩.
١٣. Naik, T.R., B.W. Ramme, R.N. Kraus, and R. Siddique. “Long Term Performance of High-Volume Fly Ash Concrete Pavements.” *ACI Materials Journal* ١٠٠(٢), ٢٠٠٣, pp. ١٥٠-١٥٥.
١٤. Langley, W.S., and G.H. Leaman. “Practical Uses for High-Volume Fly Ash Concrete.” *AC, SP-١٧٨*. American Concrete Institute, ١٩٩٨, pp. ٥٤٥-٥٧٤.
١٥. Mehta, P.K., and W.S. Langley. “Monolith Foundation: Built to Last a ١٠٠٠ Years.” *Concrete International* ٢٢(٧), ٢٠٠٠, pp. ٢٧-٣٠.
١٦. Mehta, P.K. “Use of Superplactisizers in High-Volume Fly Ash Concrete: U.S. Case Histories.” *Proceedings of the Nelu Spiratos Symposium*. Committee for the Organization of CANMET/ACI Conferences, ٢٠٠٣, pp. ٨٩-١٠٥.
١٧. Manmohan, D., and P.K. Mehta. “Heavily Reinforced Shear Walls and Mass Foundations Built With Green Concrete.” *Concrete International* ٢٤(٨), ٢٠٠٣, pp. ٦٤-٧٠

www.SID.ir