حذف آلودگی زیست محیطی رسوبات زلال کننده تصفیه خانه های آب با تولید موزائیک

ارجمند مهربانی [*] [۱]، محمود پیکری [۲]، بابک گلزاری ضمیر [۱]

۱. اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی شیمی

۲. اهواز، دانشگاه صنعت نفت

Arjomand@cc.iut.ac.ir

نهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران

دانشگاه علم و صنعت ایران
۳-۵ آذر ماه ۱۳۸۳

چکیده

انرژی اصلی نیروگاه های حرارتی از سوزاندن سوخت های فسیلی تامین می شود. انرژی تولیدی توسط بخار آب منتقل می گردد و در طی فرآیند هایی به انرژی برق تبدیل می گردد.آب یکی از مهمترین مواد اولیه نیروگاه های حرارتی تر است.آب مصرفی از هر منبعی که تامین گردد، دارای املاح است. به منظور جلوگیری از ترسیب املاح در درون دستگاه ها، تصفیه آب امری ضروری است. در بخشی از فرآیند تصفیه آب به منظور حذف سختی، در واحد زلال کننده با افزودن موادشیمیایی، همانند آهک و سدیم کربنات، بخش عمده ای از املاح محلول در آب رسوب می کند. میزان این رسوبات تولیدی قابل توجه است. این رسوبات در محیط زیست دفع می شود و موجب آلوده سازی محیط زیست و تاثیرنامطلوب بر روی آن می گردند. در طی این تحقیق، این رسوبات شناسایی و روشی مناسب برای دفع مطلوب آنها یافته می شود. بر اساس بررسی ها و مطالعات انجام یافته، این رسوبات می تواند با استفاده در تولید محصولاتی نظیرموزائیک به موادی قابل استفاده وباارزش تبدیل شوندکه زمینه ساز مصرف کمتر نوع طبیعی و معدنی آن باشد .

کلمات کلیدی : کلسیم کربنات معدنی، زلال کننده، رسوبات، محیط زیست، موزائیک.

مقدمه

نیروگاه های حرارتی ازجمله صنایع آلوده کننده محیط زیست هستند که به صورت های گوناگون برروی محیط زیست اثرنامطلوب می گذارند. پساب نیروگاه های حرارتی ازجمله پساب های صنعتی محسوب می شوند و دارای ویژگی های مربوط به خود می باشند. یکی ازمنابع اصلی تولید پساب، واحدهای تصفیه آب خام هستند که پساب های نمکی حاوی ترکیبات متنوع به مانند سولفات ها، سولفیت ها، نیترات ها، نیتریت ها، کلریدها، فسفات ها، کربنات ها و بی کربنات ها تولید می نمایند. حضور این نمک ها درکیفیت آب های مختلف مورد استفاده منجمله کشاورزی موثراست. به عنوان مثال چنانچه غلظت املاح سدیم آب بیش از حد مجاز باشد موجب خرابی زمین کشاورزی وکاهش قابلیت نفوذ آب در زمین می گردد. به طورکلی تجمع املاح معدنی در خاک زراعی به تدریج زمینه ساز از بین رفتن و یا کندی رشدگیاهان می گردند، البته مقاومت گیاهان، بسته به مقدار و نوع مواد معدنی محلول درآب ،متفاوت است. وجود بیش از اندازه مجاز املاح فوق در آب آشامیدنی موجب بروز مشکلات در سلامتی انسان و حیوان نیز می شود.

رسوبات ناشی ازتصفیه آب خام

پساب ورسوبات ناشی ازتصفیه آب خام در زلال کننده ها حاوی درصدبالایی ازکلسیم کربنات است. علاوه بر این ترکیب، موادی چون منیزیم هیدروکسید، ترکیبات آهن و آلمینیوم نیز در رسوبات یافت می شوند. نوع و میزان آن بستگی به منعقدکننده های مصرفی دارد. جدول شماره ۱، مقدارمواد مختلف موجود در رسوبات حاصل از زلال کننده های نیروگاه اسلام آباد اصفهان را مشخص می سازد. میزان تولید این رسوبات در کشور زیاد است. با توجه به مصرف آب در نیروگاه های کشور به میزان ۸۰۰۰ مترمکعب در هر ساعت، و با در نظر گرفتن صنایع بزرگ دیگری همانند، صنایع فولاد، پلی اکریل، ذوب آهن، پالایشگاه ها و پتروشیمی ها که مبادرت به حذف سختی آب مورد مصرف می نمایند می توان برآورد آب مصرفی را حداقل چهار برابر رقم ذکر شده در نظر گرفت. با در نظر گرفتن تولید متوسط ۱۵۰ گرم رسوب برای هر متر مکعب از آب مورد استفاده، می توان برآوردی از میزان تولید رسوب را بدست آورد .

جدول ۱- مواد مختلف موجود دررسوبات حاصل از زلال کننده های نیروگاه اسلام آباد اصفهان

مواد	درصد مواد
$CaCO_3$	۸۸
$Mg(OH)_2$	۴/۲
$Fe(OH)_3$	۱/۹۶
SO_4^{2-}	۰/۱۹
Cl^-	۰/۰۲
SiO_2	۲/۵
رطوبت	۳/۱۳

برآوردکل آب عبوری از تصفیه خانه آب صنایع کشور : ۸۰۰۰ (m^3/hr) x ۴ = ۳۲۰۰۰ (m^3/hr)

کل رسوبات تولید شده : ۳۲۰۰۰ (m^3/hr) x۱۵۰ (m^3/hr) = ۴۸۰۰۰۰۰ (gr/hr)

کل رسوبات تولید شده: ۴۸۰۰۰۰۰ (gr/hr) x ۱ (ton) /۱۰۰۰۰۰۰ (gr) = ۴/۸ (ton/hr)

که نشان دهنده برآورد تولید رسوبات به میزان ۴/۸ تن در هر ساعت است که عدد قابل توجهی می باشد. این رسوبات درمحیط زیست انباشته می شوند و به طور کلی مسایل ومشکلات متعددی را به دنبال دارد.

اثرات زیست محیطی رسوبات

نیاز به تامین زمین با مساحت زیاد برای تخلیه و دپو نمودن این مواد یکی از مشکلات است. شکل (۱) نمایانگر رسوبات تخلیه شده در محیط و مقدار سطح اشغال شده توسط آنها است. در زمین هایی که این رسوبات دور ریز می شوند، به هنگام بارش های جوی، مقداری از این مواد درآب حل شده و وارد آب های زیر زمینی می گردند که موجب تغییر در غلظت املاح موجود درآب های منطقه می شوند. این تغییرات بر روی اکوسیستم جانوری و گیاهی منطقه اثرات منفی باقی می گذارد.

شکل ۱- رسوبات تخلیه شده از نیروگاه به داخل حوضچه های مجاور آن(نیروگاه شهید مفتح همدان)

در ضمن اینکه تمام پساب های حاصل از واحد های سیستم تصفیه آب اعم از واحدهای بی یون کننده[۱] و نرم کننده[۲]، پراز املاح گوناگون می باشند که اثرات زیست محیطی مختلفی دارند.

حضور رسوبات در آب ها موجب افزایش مواد معلق و مواد جامد محلول می شوند. مواد معلق آن به مرور زمان ته نشین می گردند و ایجاد لجن می نمایند. در ضمن افزایش املاح و سختی آب، موجب کاهش در میزان تبخیر و افزایش نقطه جوش آن می شود. تخلیه پساب به صورت اسیدی و بدون خنثی سازی به علت قدرت انحلال اسید ها، موجب می شود تا پساب، راه خود را به طرف آب های زیرزمینی باز نماید و سبب آلودگی سفره های آب زیرزمینی شود. این پساب ها درواکنش با کربنات ها، تولید گازکربنیک می کنندکه موجب افزایش مقدار گاز کربنیک آب های زیرزمینی می شوند که درصورت جاری شدن به صورت آب های سطحی،

[۱] Demineralizer

[۲] Softener

موجبات به هم خوردن تعادل زندگی موجودات آبزی را فراهم می سازند. ازطرف دیگر در رشد میکروبها ازجمله باکتری ها چرخه گوگرد (سولفوباکتریها) اثر منفی می گذارند.
در یک محیط هوازی، باکتری ها می توانند نیتروژن آمونیاکی و نیتریت ها را به نیترات ها اکسید نمایند. جلبک ها و دیگر گیاهان آبزی نیز برای تولید پروتئین گیاهی، نیترات ها را مورد استفاده قرار می دهند که این مواد به نوبه خود توسط حیوانات به پروتئین حیوانی تبدیل می شوند. غلظت نیترات درآب های سطحی حدود ۵ میلی گرم در لیتر است. افزایش بیش از حد آن در آب های سطحی به دلیل نفوذ پساب ها و املاح موجود در رسوبات سبب رشد و نمو بیش ازحدگیاهان آبزی ودرنتیجه کاهش اکسیژن محلول درآب می گردد. از سوی دیگر یون سولفات موجود در پساب ها می تواند تحت شرایط بی هوازی به طورشیمیایی توسط باکتری ها به ترکیب هیدروژن سولفیدتبدیل شود. گازهیدروژن سولفید تولیدی بواسطه بوی مخصوص آن به آسانی قابل شناسایی می باشد. بااکسیدشدن بیولوژیکی هیدروژن سولفید، سولفوریک اسید تولید می شود که خاصیت خورندگی را تشدید می نماید. حضور کلریدها نیزباعث تغییر رنگ، بو و کاهش رشد باکتریها می شود. موادآلی که در نتیجه تزریق بازدارنده در حین فرآیند اسیدشویی وارد پساب می شوند، بویشان در طی واکنش های هوازی زایل می شود[۱]. برخی از ترکیبات کلرایدها و فسفات ها و نیترات ها نیز می توانند سبب کاهش رشد جمعیت میکروارگانیزم ها شوند. ترکیبات کرم بویژه کرم شش ظرفیتی اثر مسموم کننده ای بر روی جانوران و گیاهان دارد. انواعی از ماهی ها در غلظت های بین ۱۶ تا ۷۰۰ میلی گرم در لیتر از یون فلزکرم آسیب می بینند. یون فلزکرم با غلظت ۰/۲ میلی لیتر در آب، رشد جلبک ها را به نصف مقدار معمول کاهش می دهد [۲]. ترکیبات کرم در نهایت وارد چرخه زندگی انسان می شود که موجب آسیب فراوان می گردد. با توجه به موارد ذکر شده، ملاحظه می شودکه پساب های ناشی از زلال کننده ها یکی از آلوده کننده های محیط زیست می باشند. در سالیان اخیر، سازمان محیط زیست با اطلاع از آلایندگی این رسوبات، نیروگاه ها را تحت فشار قرار داده است تا روشی برای دفع بهتر این رسوبات پیدا کنند. ولی متاسفانه تاکنون هیچگونه تلاش جدی به منظور دفع بهتر وصحیح تراین مواد علیرغم وجود استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران و اصل پنجاهم قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران که تاکید بر حفظ محیط زیست برای نسل آتی دارد، صورت نگرفته است. این آلاینده ها در حجم های بسیار قابل توجه در حال حاضر همچنان در محیط زیست تخلیه می گردند.

راهکاری برای دفع رسوبات ازمحیط زیست

مطالعه دقیق وبررسی خواص این رسوبات در طی یک پژوهش موجب گردیده است تا با ایجاد روش هایی از آنها در تولید محصولات بهره گرفت و به گونه ای جایگزین مواد معدنی مشابه گردد. این موضوع زمینه هایی را برای دفع مناسب این رسوبات ارائه می نماید. به طور کلی روش مورد استفاده بایستی شرایط زیر را در بر داشته باشد:

الف- کم هزینه و ساده باشد و با امکانات داخل کشور قابل اجرا باشد.
ب- امکان استفاده با حجم زیاد از رسوبات درآن وجود داشته باشد.
پ- آلوده ساز نباشد و درحدامکان، ازنظرمالی سودآورباشد.

یکی ازساده ترین روشها، استفاده از این مواددرساخت موزائیک ها برای کاربرد درساختمان ها است.

شیوه های تولید و موارد مصرف موزائیک

صنعت ساخت موزائیک از جمله صنایعی است که درآن ازکلسیم کربنات به میزان زیاد استفاده می گردد. به طورکلی موزائیک از سه ماده اصلی، سیمان، شن و ماسه، کلسیم کربنات که تولید کنندگان موزائیک در اصطلاح به آن خاک سنگ یا پودر سنگ می گویند، تشکیل می گردد. موزائیک ها در ابعاد و اندازه های مختلف ساخته می شوند که بطور عموم دارای ابعاد ۳۰×۳۰ سانتی متر و ۲۵× ۲۵ سانتی متری هستند. از ترکیبات مختلفی ازجمله از گل اخری هم برای ایجاد رنگ دراین محصول استفاده می شود. بطور معمول موزائیک ها به رنگ سیمان (خاکستری) و یا قرمز و یا آبی هستند. شکل نهائی موزائیک و نوع نقش های روی سطح آن هم بستگی به طراحی قالب مورد استفاده دارد. از موزائیک به میزان گسترده ای در ایران استفاده می شود. از موارد مصرف آن می توان به سنگفرش خیابان ها، پیاده روها وکف حیاط منازل وکف پشت بام ها اشاره کرد. در ایران از دو روش عمده برای تولید موزائیک استفاده می شود:

- روش قالب فشاری: موزائیک تولیدی با این روش از دو لایه تشکیل می شود. لایه زیرین آن از سه حجم شن و ماسه و یک حجم سیمان تشکیل شده است. لایه سطحی آن از سه حجم کلسیم کربنات و یک حجم سیمان و در صورت لزوم از گل اخری به میزان لازم برای ایجاد رنگ درآن استفاده می شود. در ابتدا، لایه سطحی که به صورت دوغاب تهیه می شود در قالب ریخته می شود. سپس بر روی آن مخلوط شن و ماسه و سیمان افزوده می شود. در مرحله بعد قالب تحت فشار یک جک هیدرولیکی قرار داده می شود تا مواد فشرده شده و آب آن خارج گردد. سپس موزائیک شکل گرفته از قالب بیرون آورده می شود و برای چند روز به منظور رسیدن به استحکام نهائی در معرض آب قرار می گیرد.
- روش قالب ویبره: موزائیک تهیه شده از این روش از یک دوغاب همگن تهیه می گردد. مخلوط تهیه شده درون قالب های لاستیکی ریخته می شود و قالب راتحت عمل ویبراسیون قرار می گیرد تا موزائیک شکل خود را بدست آورد. پس از چند ساعت موزائیک از قالب بیرون آورده می شود و به مدت چند روز برای رسیدن به استحکام نهائی به طور متناوب به آن آب می دهند.

کاربرد رسوبات حاصل اززلال کننده ها در ساخت موزائیک

در این تحقیق جهت تعیین امکان استفاده از مواد رسوبی در تولید موزائیک از روش مرسوم قالب فشاری برای ساخت نمونه ها استفاده شد. نمونه ها با استفاده از رسوبات حاصل از زلال کننده های نیروگاه اسلام آباد اصفهان تهیه گردید. برای مقایسه، نمونه هایی با استفاده از پودر سنگ معمولی ولی فاقد ذرات مرمر ساخته شد. بکارگیری ذرات مرمر در موزائیک برای زیبایی و افزایش استحکام و مقاومت در برابر سایش می باشد.
بعد از آماده شدن نمونه ها و انجام آزمایشات نتایج زیر حاصل شد:

- مقاومت سایشی موزائیک ساخته شده با مواد رسوبی در مقایسه با موزائیک معمولی کمتر بود، بطوری که موزائیک رسوبی و معمولی توسط دستگاه سایش مورد آزمایش قرار گرفتند. برای مدت زمان

سایش مساوی، نمونه رسوبی بیشتر از نمونه معمولی سائیده گردید و صدمه دید. این مطلب حاکی ازکم بودن مقاومت سایشی سطحی نمونه های رسوبی است. علت این موضوع را می توان در وجود کلسیم هیدروکسید اضافی در رسوبات دانست که در طی فرایند حذف سختی مورد استفاده قرار می گیرد. pH محلول حاوی پودر سنگ معمولی مورد استفاده حدود ۹/۳ و pH محلول حاوی رسوبات تولیدی مورد استفاده حدود ۱۰/۵ می باشد.

- موزائیک تولید شده با مواد رسوبی دارای رنگ سفیدتری در مقایسه با موزائیک معمولی بود که به دلیل روشن تر بودن رنگ رسوبات زلال کننده ها در مقایسه با پودر سنگ مصرفی می باشد.

به منظور حذف نقیصه کمبود مقاومت سایشی، درادامه نمونه هایی ساخته شد که درسطح خود دارای ذرات سنگ مرمر (لاشه) به میزان مساوی درنمونه های رسوبی ومعمولی بودند، با افزودن این ذرات به سطح موزائیک ها کمی مقاومت سایشی درنمونه های رسوبی بطور کامل رفع شد و نمونه رسوبی به مانند نمونه معمولی درمقابل سایش مقاومت نمود. در مرحله بعد نمونه موزائیک ها مورد آزمایشات مقاومت فشاری قرار گرفتند. نتایج نشان دهنده کم بودن مقاومت فشاری موزائیک های تولید شده با مواد رسوبی در مقایسه با نمونه های معمولی بود.

کاربرد میکروسیلیس

برای افزایش مقاومت فشاری و سایشی نمونه های رسوبی، استفاده از میکروسیلیس پیشنهاد گردید. میکروسیلیس یکی از انواع پوزولون ها است. پوزولون ها ترکیباتی از سیلیس و آلومیناتی هستندکه خاصیتی اسیدی دارند و دارای میل ترکیبی زیادی با آهک می باشند. این مواد به تنهائی دارای قابلیت چسبانندگی ناچیزی می باشند ولی ذرات ریز آن در حضور رطوبت و در دمای معمولی با کلسیم هیدروکسید ترکیب می شوند و خاصیت چسبانندگی پیدا می نمایند. پوزولان ها را می توان به دو دسته طبیعی و مصنوعی تقسیم بندی کرد. پوکه سنگ های طبیعی، خاکسترهای آتشفشانی، خاک های دیاتمه دار، شیل هاوتوفهای اپالینی و برخی خاک های رس کلسینه شده جزء دسته پوزولان های طبیعی به شمار می روند[۳]. از میان پوزولان های مصنوعی نیز می توان به سرباره کوره بلند ذوب آهن[۱] ، خاکستر بادی[۲]، خاکستر پوسته برنج[۳] ، سرباره مس، خاکستر سوخته های احتراق یافته[۴] و میکروسیلیس[۵] اشاره نمود[۴،۵،۳].

پوزولان ها با توجه به منشا آنها دارای ترکیبات مختلفی هستند. ولی بطور کلی تمام پوزولان ها دارای 50 تا 90 درصد سیلیس می باشند. وجود سیلیس را نمی توان به تنهائی علت واکنش دانست، زیرا کوارتز که دارای 95 در صد SiO_2 است، با آهک در شرایط معمولی به هیچ وجه ترکیب نمی شود. علت این موضوع را می توان

۱- Blast furnace slag
۲- Fly ash
۳- Rice husk ash
۴- Pulverized fuel ash
۵- Silica Fuma

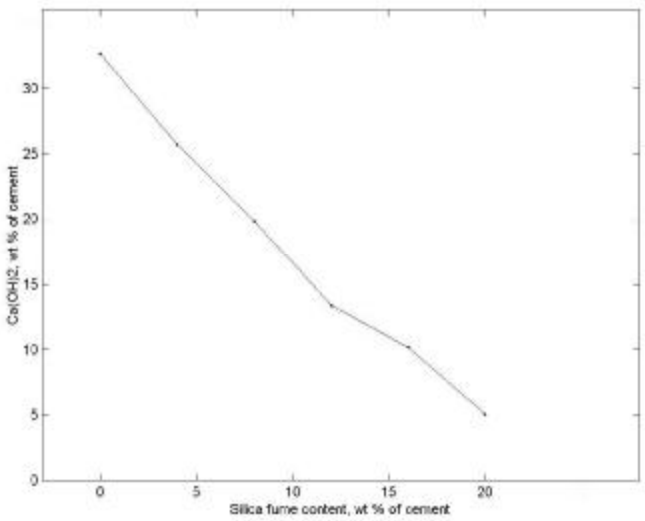
در کریستالی بودن کوارتز و سنگ های مشابه دانست. تنها در دمای بالا بطور مثال دمای اتو کلاو امکان به هم خوردگی نظم کریستالی و در نتیجه انجام واکنش با آهک وجود دارد.
سیلیس موجود درپوزولان ها بصورت غیر کریستالی است. به دلیل وجود میل ترکیبی سیلیس با کلسیم کربنات ترکیب کلسیم هیدروسیلیکات تشکیل می شود که از ترکیبات موجود درسیمان است. حضور این ترکیب در روند کسب مقاومت فشاری و سایشی تاثیر بسزایی دارد [۵].

$$3Ca(OH)_2 + SiO_2 \longrightarrow 3CaO.SiO_2.3H_2O$$

درمیان مواد پوزولانی، ترکیب میکرو سیلیس بسیار فعال است و تفاوت اساسی میکروسیلیس با سایر پوزولان ها در حصول زودتر فعالیت پوزولانی آن می باشد. دراثر فرآیند هیدراتاسیون سیمان پرتلند، حدود ۲۲ تا ۲۵ درصد از وزن کل مواد هیدراته شده، کلسیم هیدروکسید تولید می گردد. کریستال های کلسیم هیدروکسید در مقایسه با، محصول اصلی هیدراتاسیون سیمان، یعنی هیدرات کلسیم سیلیکات آمورف (ژل C-S-H) ، بزرگتر هستند و در افزایش مقاومت ونفوذ ناپذیری بتن سهم اندکی دارند [۵].

کلسیم هیدروکسید + ژل (C-S-H) ⟵ آب + سیمان پرتلند معمولی

میکروسیلیس به علت فعالیت شدید پوزولانی می تواند کریستال های کلسیم هیدروکسید غیر مفید را به ژل (C-S-H) تبدیل نماید. به عبارتی میکروسیلیس باکلسیم هیدروکسید ترکیب شده و آن را تبدیل به ترکیبات کلسیم سیلیکات پایدار می نماید. تحقیقات انجام شده نشان می دهد که با افزایش میزان میکروسیلیس در بتن، درصد کلسیم هیدروکسید خمیر سیمان به شدت کاهش می یابد (شکل۲).



شکل ۲- تاثیر جایگزینی سیمان با میکروسیلیس روی مقدار کلسیم هیدروکسید[۵].

کلسیم هیدروکسید به دلیل جذب آب و انتقال آن به خارج از بتن، منشا ضعف در آن است، زیرا آب می تواند کلسیم هیدروکسید را در خود حل نموده و به خارج از بتن انتقال دهد. دراین حالت پودر کلسیم کربنات به صورت سفیدک بر روی سطح بتن رسوب می نماید ویا در اثر ترکیب با سولفات ها، گچ ویا

سولفوآلومینیات کلسیم تولید نماید، که حجیم تر است و باعث ایجاد ترک وآسیب دیدگی بتن می گـردد. در ضمن واکنش های قلیایی سیلیسی سنگدانه ها نیز در حضور کلسیم هیدروکـسید درخمیـر سـیمان تـشدید می گردد. وجود یک ماده پوزولانی قوی نظیر میکروسیلیس از شدت تمامی این آثارمخرب می کاهد [۵].

کاربرد میکرو سیلیس در بتن بایستی به همراه مواد شیمیایی به نام روان کننده ها باشد. روان کننده ها مواد کاهنده آب می باشند که هر کدام می تواند دارای آثار جانبی دیگری مانند افزایش یا کاهش زمان گیرش بتن نیز باشد. افزودن این مواد دربتن، دارای مزایای عمده ای بشرح زیر است :

الف: افزایش کارایی بتن، بدون افزودن آب اضافی.

ب: افزایش مقاومت بتن در کارائی یکسان.

پ: کاهش حرارت هیدراتاسیون در بتن ریزی حجیم، از طریق کاهش میزان مصرف سیمان.

ت: جلوگیری از آب افتادگی بتن وجدائی ذرات.

روان کننده ها قادرند میزان آب لازم برای ساختن مخلوط را بین ۵ تا ۱۵ درصد کاهش دهند. مقدار کـاهش آب مصرفی به هنگام استفاده از فوق روان کننده ها بین ۲۵ تا ۳۵ در صد است [۶].عمده تـرین و مهمتـرین اثرات میکروسیلیس بر روی بتن سخت شده به صورت زیر می باشند:

الف: افزایش مقاومت فشاری.

ب: افزایش مقاومت سایشی.

پ: افزایش مقاومت دربرابر عوامل شیمیایی مخرب.

ت: دوام در برابر ذوب و یخبندان.

ث: افزایش مدول الاستیسیته یانگ.

تولید موزائیک میکروسیلیسی

ساختار موزائیک را می توان به گونه ای در رده بتن ها قرار داد و آن را یک قطعه بتن پیش ساخته فرض کرد. با توجه به این موضوع، می توان در مواردی همچون طرح اختلاط هم با موزائیک به عنوان یک بتن رفتار کرد و در ساختار آن از مواد افزودنی استفاده کرد. به علت وجود کلسیم هیدروکسید اضافی در رسـوبات حاصـل از لجن زلال کننده ها، موزائیکی که از این مواد ساخته می شود بطور ملموسی از نظر مقاومت سایشی و فشاری نسبت به موزائیک ساخته شده از مواد معمولی، ضعیف تر می باشد. از طرفی با توجه به خواص میکروسیلیس، می توان استنتاج کرد که با افزودن مقدار میکروسیلیس به لایه سـطحی موزائیـک کـه از کلـسیم کربنـات و سیمان تشکیل یافته است، این نقایص جبران می شوند. میکروسیلیس با توجه بـه خاصـیت پـوزولانی آن بـا کلسیم هیدروکسید ناشی از هیدراتاسیون سیمان و همچنین کلسیم هیدروکسید اضافی موجـود در رسـوبات ترکیب می شود و آنها را تبدیل به کلسیم سیلیکات می نماید. در نتیجه باعث بهبود و افزایش مقاومـت هـای فشاری و سایشی و حتی افزایش مقاومت در برابر انجماد موزائیک می شود که افزایش دوام موزائیک را بهمراه می آورد.

طراحی آزمایشات

عدم وجود استاندارد خاص در زمینه تولید موزائیک موجب گردید تا در این تحقیق، آزمایشات بصورت مقایسه ای بین نمونه های موزائیک ساخته شده از مواد رسوبی با نمونه های ساخته شده از مواد معمولی انجام شود ولی با این حال نمونه ها بر اساس استانداردهای مربوط به بتن طراحی وساخته شدند. در این مطالعه، نخست آزمایش هایی برای تعیین خواص فیزیکی مواد اولیه مصرفی مانند سیمان و شن و ماسه تدارک دیده شد، و سپس آزمایش هایی هم برای تعیین میزان دوام موزائیک ها و مقایسه آن ها طرح ریزی شد، آزمایش ها به منظور تعیین مقاومت های فشاری و سایشی نمونه ها انجام گرفت.

مصالح ومواد مصرفی

برای انجام آزمایش های لازم در این طرح، از همان موادی که بطور معمول در کارگاه های موزائیک سازی بکار می رود، استفاده گردید و شرایط برای همه نمونه ها یکسان بود.

الف- سیمان : سیمان مورد استفاده دراین کارگاه از نوع سیمان پر تلند معمولی، تولیدی شرکت سیمان هگمتان بصورت فله ای بود. دانسیته سیمان بر اساس روش ASTM C 188-89 [۷]، معادل ۳/۱۵ gr/cm^3 تعیین گردید. لازم به ذکر است که بعلت نگهداری نامناسب این سیمان، آثار تخریبی مانند کلوخه شدن در سیمان مشاهده گردید.

ب- شن وماسه : دانسیته شن و ماسه مصرفی بطور متوسط بر طبق روش استاندارد ASTM C 70 [۸] ، برابر ۲/۶ gr/cm^3 تعیین شد.

پ- پودر سنگ : این ماده به علت جذب شدید رطوبت، تبدیل به کلوخه های سختی در اندازه های متفاوت شده بود. بمنظور اندازه گیری دانسیته آن، در ابتدا کلوخه ها توسط آسیاب چکشی خرد شد و در مرحله بعد دانسیته آن بر اساس روش استاندارد ASTM C 188-89 معادل ۲/۷ gr/cm^3 تعیین گردید. این کلوخه ها به هنگام مصرف به علت اختلاط باآب از هم باز می شوند. pH این ماده در مخلوط ۱۰۰ ml آب و ۱۰ gr پودر سنگ با استفاده از pH متر دیجیتالی معادل ۹/۴ بدست آمد.

ت- میکروسیلیس : میکروسیلیس مصرفی دارای سطح مخصوص معادل ۲۰ m^2/gr بود که تولیدی شرکت فروسیلیس ایران (سمنان) است. دانسیته آن طبق استاندارد ASTM C 188-89 برابر ۲/۴ gr/cm^3 تعیین گردید.

ث- آب : آب مصرفی از آب چاه موجود در کارگاه موزائیک سازی تامین شد و فاقد هر گونه مواد معلق بود.

ج- روان کننده : روان کننده مصرفی از نوع زودگیر بود و از شرکت اصفهان سوپلای با نام تجاری، F-۴۳۰ آراکس، تهیه شد. این نوع روان کننده به رنگ قهوه ای، دارای وزن مخصوص ۱/۲ gr/cm^3 وpH آن ۷/۵ می باشد.

طرح اختلاط مواد

به منظور انجام آزمایش ها و مقایسه موزائیک های ساخته شده از رسوبات و مواد معمولی، و همچنین برای تعیین میزان بهینه میکروسیلیس مصرفی، نمونه هایی با ترکیب درصدهایی متفاوت از صفر الی ۱۵ در صد برای نمونه های رسوبی بر طبق جدولهای (۲) و (۳)ساخته شدند. به منظور بررسی تاثیر مواد رنگی بر روی نمونه رسوبی حاوی میکروسیلیس، نمونه ای هم با ۱۰ درصد میکروسیلیس و ۸ درصد رنگ ساخته شد. نتایج بدست آمده با نتایج نمونه هایی با همان درصد میکروسیلیس ولی بدون ماده رنگی مقایسه گردید.

جدول ۲- ترکیب وزنی نمونه های موزاییک

نمونه	سیمان (gr)	کلسیم کربنات (gr)	میکروسیلیس (gr)	روان کننده (gr)
۱	۶۰۰	۱۸۰۰	۴۲	۸/۴
۲	۶۰۰	۱۸۰۰	۳۰	۶
۳	۶۰۰	۱۸۰۰	۶۰	۱۲
۴	۶۰۰	۱۸۰۰	۷۸	۱۵/۶
۵	۶۰۰	۱۸۰۰	۹۰	۱۸
۶	۶۰۰	۱۸۰۰	۰	۰
۷*	۶۰۰	۱۸۰۰	۰	۰
۸**	۶۰۰	۱۸۰۰	۶۰	۱۲

*** : این نمونه معمولی وبقیه نمونه ها رسوبی هستند.**

**** : این نمونه حاوی ۸ درصدرنگ (نسبت به سیمان) می باشد.**

این نمونه ها به ابعاد ۶× ۷× ۷ سانتی متر و در یک کارگاه موزائیک سازی با استفاده از یک قالب به ضخامت کلی ۱۱ cm و یک جک هیدرلیکی با فشار موثر $120\ kg/cm^3$ ساخته شدند. به منظور عمل آوری، نمونه ها به مدت ۲۸ روز در داخل حوضچه های آب در دمای ۲۳ درجه سانتیگراد، نگهداری شدند. نمونه ها در سنین ۷، ۱۴، ۲۱، ۲۸ روزه از آب خارج شده و مقاومت فشاری آنها در آزمایشگاه مقاومت مصالح به کمک یک جک هیدرولیکی تعیین شد. در روش استاندارد این آزمایش برای هر ترکیب در صد لازم است سه نمونه تهیه شود. ولی به علت محدودیت های مالی، فقط دو نمونه از هر ترکیب درصد ساخته شد و برای هر یک از ترکیب درصدها میانگین عددی مقاومت فشاری دو نمونه تهیه شده به عنوان نتیجه اعلام شد.

استانداردی برای اندازه گیری مقاومت سایشی موزائیک وجود ندارد. لذا برای تعیین مقاومت سایشی نمونه ها از روش مقایسه ای بهره گرفته شد. نمونه ها برای مدت زمان یکسان توسط دستگاه ساینده تحت سایش قرار گرفتند.

جدول ۳ -ترکیب درصد وزنی نمونه های موزاییک

نمونه	سیمان (حجم)	کلسیم کربنات (حجم)	میکروسیلیس (درصد نسبت به سیمان)	روان کننده (درصد نسبت به سیمان)
۱	۱	۳	۵	۱
۲	۱	۳	۷	۱/۴
۳	۱	۳	۱۰	۲
۴	۱	۳	۱۳	۲/۶
۵	۱	۳	۱۵	۳
۶	۱	۳	۰	۰
۷*	۱	۳	۰	۰
۸**	۱	۳	۱۰	۲

* : این نمونه معمولی وبقیه نمونه ها رسوبی هستند.

**: این نمونه حاوی۸ درصدرنگ (نسبت به سیمان) می باشد.

نتایج آزمایش مقاومت فشاری

استانداردهای گوناگونی برای انجام آزمایش مقاومت فشاری وجود دارد. از استاندارد ASTM C 684-8 [۹] در این طرح برای تعیین مقاومت فشاری نمونه ها استفاده شد. نتایج حاصله از این آزمایشات در جدول (۴) برای نمونه ها در سنین ۷، ۱۴، ۲۱، ۲۸ روز گزارش شده است. در این روش استاندارد ابعاد نمونه ها بایـد۷× ۷× ۷ سانتی متر باشد ولی به علت عدم وجود قالب موزائیک با ابعاد فوق در کارگاه های موزائیک سازی و وجـود محدودیت های مالی برای ساخت آن از قالبی به ابعاد ۶× ۷× ۷ سانتی متر استفاده گردید. تنها ضخامت این نمونه ها با نمونه استاندارد متفاوت بود. البته بایستی در نظر داشت که در این پروژه، مقایـسه نتـایج مقاومـت فشاری نمونه ها مطرح و در مد نظر بوده است. جدول (۴) نتایج بدست آمده را برای سنین مختلف نمونـه هـا ارائه می دهد.

نمودارهای (۱) تا (۸)، توسعه مقاومت را تا سن ۲۸ روزه برای هر مورد نشان می دهند. همانطور کـه در ایـن نمودارها مشهود است، بالاترین مقاومت ها در سن ۲۸ روزه بدست آمده است. البته این افزایش مقاومت ها به دلیل استفاده از میکروسیلیس تنها در لایه سطحی نمونه ها چندان قابل توجه نیست. در نمودار هـای (۹) تـا (۱۳)، مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه نمونه ها حاوی میکروسیلیس با مقاومت فشاری سـن ۲۸ روزه نمونـه های موزائیک معمولی ورسوبی فاقد میکروسیلیس مقایسه شده اند. با توجه به این نمودارها ملاحظه می شود که، با افزایش میکروسیلیس به نمونه های رسوبی مقاومت فشاری افزایش یافته است. همانگونه کـه مـشخص گردیده است مقاومت فـشاری نمونـه معمـولی مـا بـین مقاومـت فـشاری نمونـه رسـوبی حـاوی ۱۰ درصـد میکروسیلیس ونمونه رسوبی حاوی ۱۳ درصد میکروسیلیس قرار دارد به گونه ای کـه مقاومـت فـشاری آن از مقاومت فشاری نمونه حاوی ۱۰ درصد میکروسیلیس بیشتر است و از نمونه حاوی ۱۳ درصـد میکروسـیلیس

کمتر است. لذا می توان نتیجه گرفت که درصد بهینه میکروسیلیس در حدود ۱۰ تا ۱۳ درصد مـی باشـد. بـا افزودن ۱۳ درصد میکروسیلیس به یک موزائیک ساخته شده از رسوبات حاصل از زلال کننده، می توان آن را از یک نمونه معمولی به لحاظ مقاومت فشاری مقاوم تر ساخت.

جدول۴ - نتایج آزمایش مقاومت فشاری برای نمونه ها ازسن۷ تا ۲۸ روزگی بر حسب (kg/cm^2)

نمونه	درصد میکرو سیلیس	مقاومت فشاری ۷روزه	مقاومت فشاری ۱۴روزه	مقاومت فشاری ۲۱روزه	مقاومت فشاری ۲۸روزه
۱	۵	۱۶۷	۱۷۴/۴۹	۱۷۵/۵۵	۱۷۹/۶۰
۲	۷	۱۷۱/۰۳	۱۸۰/۶۱	۱۸۵/۷۱	۱۸۷/۷۵
۳	۱۰	۱۷۹/۰۷	۱۸۷/۷۵	۱۸۹/۸۰	۱۹۲/۸۵
۴	۱۳	۲۰۹/۲۵	۲۲۰/۴۱	۲۲۲/۴۵	۲۲۶/۵۳
۵	۱۰	۲۳۲/۳۹	۲۴۰/۸۲	۲۴۱/۸۴	۲۴۲/۸۶
R	۰	۱۶۰/۹۶	۱۶۷/۳۵	۱۶۸/۳۷	۱۶۹/۴۰
M	۰	۱۸۵/۱۱	۲۰۴/۰۸	۲۱۱/۲۲	۲۱۷/۳۷
C	۱۰	۱۷۵/۰۵	۱۷۹/۵۹	۱۸۴/۴۰	۱۸۵/۷۱

R : نمونه رسوبی

M : نمونه معمولی

C: نمونه رسوبی حاوی رنگ

مقاومت فشاری نمونه حاوی ۱۰ درصد وزنی میکروسیلیس را با مقاومت فشاری نمونه حاوی ۱۰ درصد وزنـی میکروسیلیس و ۸ درصد وزنی رنگ نمودار (۱۴) مورد مقایسه قرار گرفته است. مقاومت فشاری نمونه حـاوی رنگ، حدود ۳/۷ درصد کمتر از مقاومت فشاری نمونه بدون رنگ است. دلیل این تضعیف را، ایجاد شکـست و فاصله در شبکه بتن به سبب حضور رنگ می توان دانست.

نتایج آزمایش مقاومت سایشی

عدم وجود استاندارد برای تعیین مقاومت سایشی سطحی موزائیک، موجب گردید تا این آزمایش نیز از طریق مقایسه ای انجام گیرد. برای مقایسه مقاومت سایشی نمونه ها، نمونـه هـایی از موزائیـک در ابعـاد ۳۰×۳۰ سانتی متر از مواد رسوبی، مواد معمولی و مواد رسوبی حاوی ۱۰ درصد میکروسیلیس ساخته شد. هـر یـک از ایـن نمونـه هـا توسـط دسـتگاه سـاینده موجـود در کارگـاه موزائیـک سـازی تحـت سـایش قـرار گرفتنـد. نمونه ها همگی دارای مقدار یکسانی از ذرات مرمر(لاشه) بودند. زمان سائیده شدن برای هر سه نمونه یکـسان بود. وجود نقاط بخوبی سائیده نشده در سطح نمونه حاوی میکروسیلیس نشان دهنده وجود نقاطی با مقاومت سایشی بالاتر در نمونه و نیاز به زمان بیشتر برای سایش خوب و کافی است. نمونه رسوبی فاقد میکروسیلیس هم، به خوبی و همانند نمونه معمولی سابیده شد و هیچگونه اثـر نـا مطلـوبی در آن دیـده نـشد. البتـه بـرای مقایسه بهتر می بایست کاهش وزن نمونه ها دراثر سایش به دست آورده می شد. ولی به دلیل این که قسمت

زیرین نمونه ها از شن و ماسه و سیمان تشکیل شده است و در اثر فشار دستگاه سایش، مقداری از ذرات شن و ماسه جدا می شد امکان توزین نمونه ها برای دستیابی به وزن قسمت سائیده شده مهیا نبود چون به عبارت دیگر کاهش جرم در اثر سائیده شدن بسیار کمتر از کاهش جرم در اثر جدا شدن ذرات موزائیک است.

نتیجه گیری

بررسی و تحلیل نتایج بدست آمده از آزمایش های انجام شده بر روی نمونه های موزائیک را به صورت زیر بدست می توان مدون نمود:

الف- مقاومت فشاری موزائیک ساخته شده از رسوبات حاصل از زلال کننده ها به اندازه ۲۲/۵ در صد کمتر از مقاومت فشاری موزائیک ساخته شده از کلسیم کربنات معمولی است. این امر به دلیل کلسیم هیدروکسید اضافی موجود در رسوبات حاصل از زلال کننده ها است. برای جبران این نقیصه می توان معادل ۱۳ درصد وزن سیمان مصرفی، میکروسیلیس بهمراه ۲ تا ۲/۶ درصد وزن سیمان مصرفی از ماده روان کننده را به مواد اولیه موزائیک های تهیه شده از جنس مواد رسوبی افزود، با این عمل مقاومت فشاری موزائیک رسوبی از مقاومت فشاری نمونه معمولی بیشتر می شود.

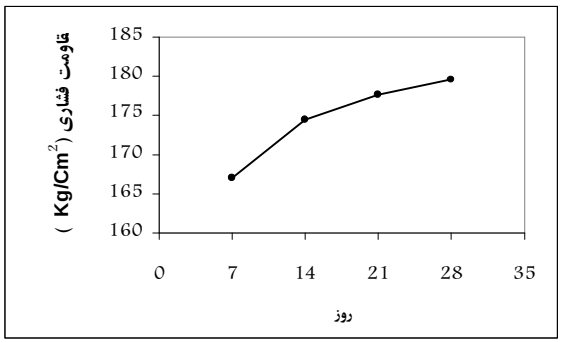
ب- افزودن میکروسیلیس باعث برطرف شدن نقیصه عدم تحمل مقاومت فشاری می شود ولی موارد زیر را در استفاده از آن بایستی در نظر گرفت:

- همان گونه که از نام میکروسیلیس مشخص است این ماده از ذرات فوق العاده ریز تشکیل شده است. این ذرات همانند گرد و غبار در هوا پراکنده می شوند و از طریق تنفس وارد دستگاه تنفسی افراد می گردند و موجب بیماری باشند.
- ملات حاوی میکروسیلیس سریع سفت می شود. برای جلوگیری از این امر لازم است، ملات بطور مداوم به هم بخورد.

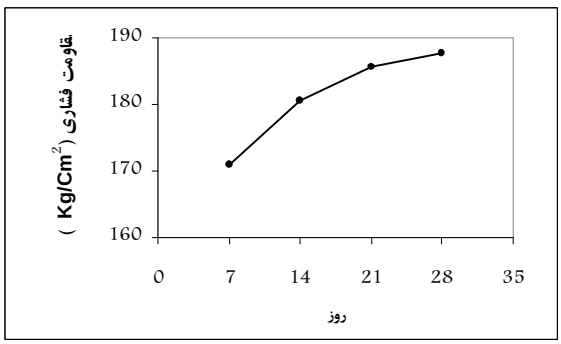
لذا در صورت استفاده از میکروسیلیس برای تولید موزائیک بایستی از تهویه مناسب برخوردار بود. در ضمن نیاز به دستگاه بهم زن به منظور جلوگیری از گیرش زودرس ملات است.

پ- برای رفع اثرات نامطلوب حاصل از مصرف میکروسیلیس روش زیر پیشنهاد می شود:

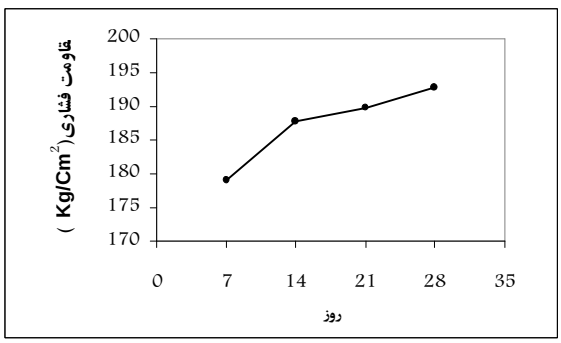
اگر رسوبات حاصل از زلال کننده ها به نسبت ۵۰٪ با پودر سنگ معمولی مخلوط شوند، pH آمیزه حاوی ۱۰۰ آب و ۱۰ gr مخلوط رسوبات و پودر سنگ معمولی حدود ۹/۷خواهد شد. به عبارت دیگر با اختلاط رسوبات و پودر سنگ معمولی به نسبت ۵۰٪ اثر کلسیم هیدروکسید اضافی موجود در رسوبات به میزان زیادی کاهش می یابد و نیازی به استفاده از میکروسیلیس برای کاهش pH نیست. pH آمیزه حاصل فقط ۲ درصد بیشتر از pH پودر سنگ معمولی است.



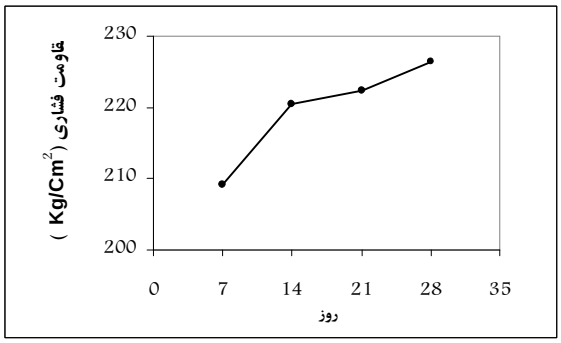
نمودار۱- روند توسعه مقاومت برای نمونه رسوبی حاوی ۵ درصد میکرو سیلیس



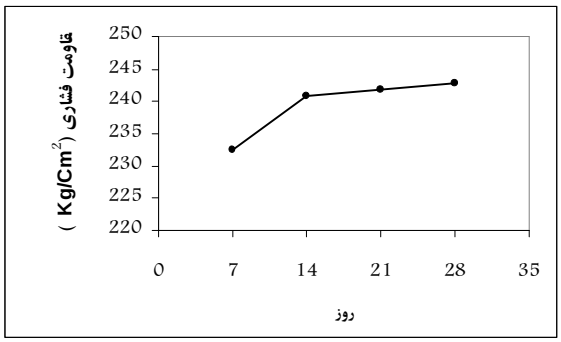
نمودار۲- روند توسعه مقاومت برای نمونه رسوبی حاوی ۷ درصد میکرو سیلیس



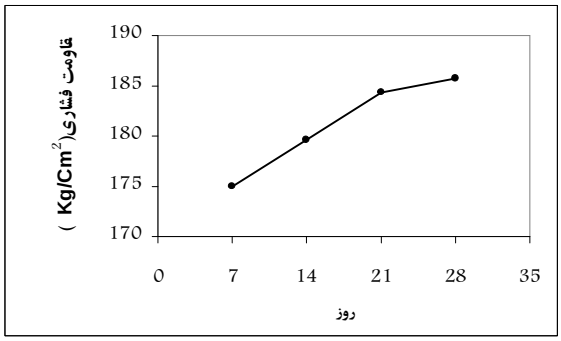
نمودار ۳- روند توسعه مقاومت برای نمونه رسوبی حاوی ۱۰درصد میکرو سیلیس



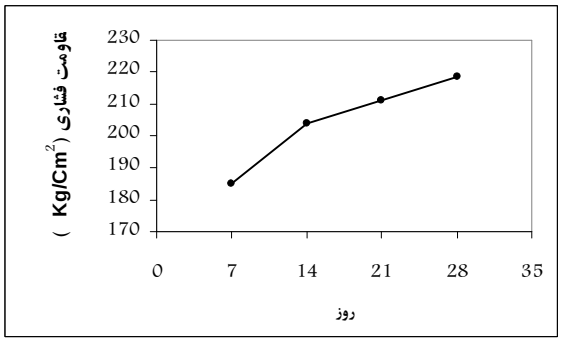
نمودار ۴- روند توسعه مقاومت برای نمونه رسوبی حاوی ۱۳درصد میکرو سیلیس



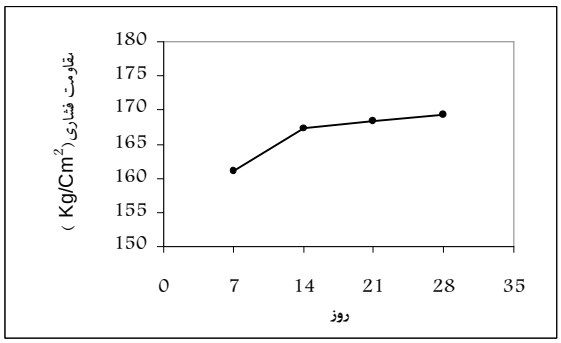
نمودار۵- روند توسعه مقاومت برای نمونه رسوبی حاوی ۱۵درصد میکرو سیلیس



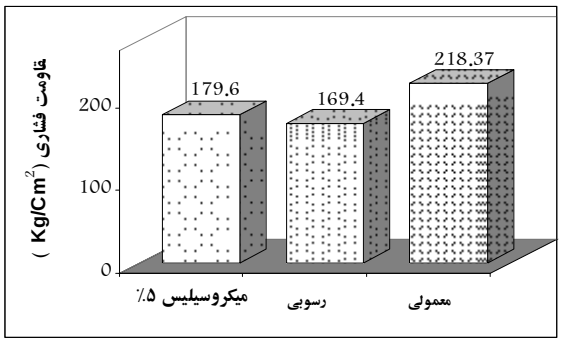
نمودار۶- روند توسعه مقاومت برای نمونه رسوبی حاوی ۱۰ درصد میکرو سیلیس و رنگ



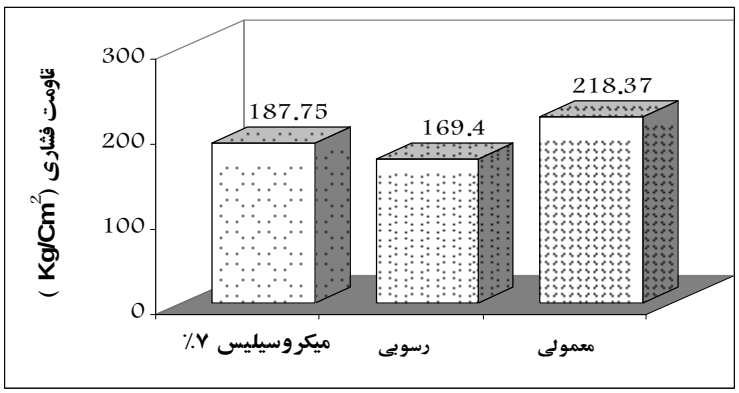
نمودار۷- روند توسعه مقاومت برای نمونه معمولی بدون میکرو سیلیس



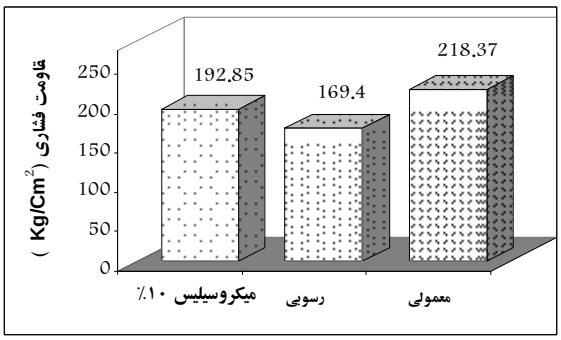
نمودار۸- روند توسعه مقاومت برای نمونه رسوبی بدون میکرو سیلیس



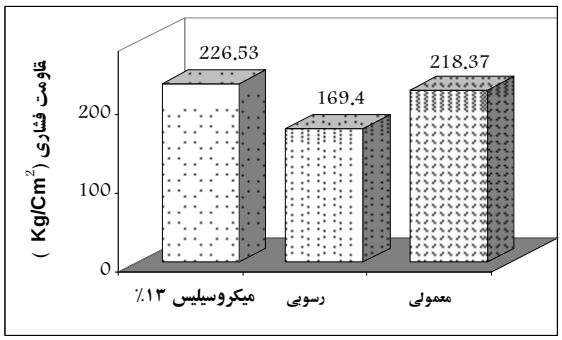
نمودار۹- مقایسه مقاومت ۲۸ روزه نمونه رسوبی حاوی ۵ درصد میکروسیلس با نمونه های رسوبی و معمولی بدون میکرو سیلیس



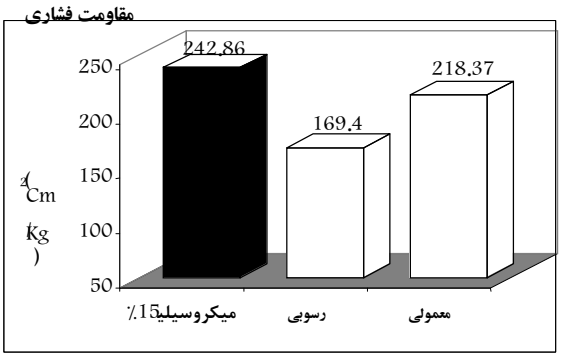
نمودار۱۰- مقایسه مقاومت ۲۸ روزه نمونه رسوبی حاوی ۷ درصد میکروسیلس با نمونه های رسوبی و معمولی بدون میکرو سیلیس



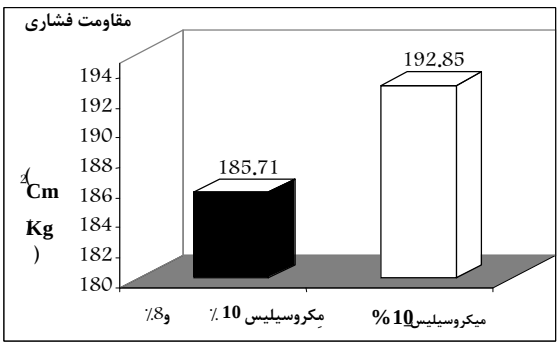
نمودار۱۱- مقایسه مقاومت ۲۸ روزه نمونه رسوبی حاوی ۱۰ درصد میکروسیلس با نمونه های رسوبی و معمولی بدون میکرو سیلیس



نمودار۱۲- مقایسه مقاومت ۲۸ روزه نمونه رسوبی حاوی ۱۳ درصد میکروسیلس با نمونه های رسوبی و معمولی بدون میکرو سیلیس



نمودار۱۳- مقایسه مقاومت ۲۸ روزه نمونه رسوبی حاوی ۱۵ درصد میکروسیلس با نمونه های رسوبی و معمولی بدون میکرو سیلیس



نمودار۱۴- مقایسه مقاومت ۲۸ روزه نمونه رسوبی حاوی۱۰ درصد میکروسیلس با نمونه رسوبی حاوی ۱۰ درصد میکروسیلیس و ۸درصد رنگ

منابع و مراجع

1. Nemerow, N.I.; “Liquid waste of industry”; Edition Wesley Publishing Company; 1971.
2. Azad, H.S.; “Industrial waste management handbook”; McGraw-Hill Book Company; 1976.
۳. جهانگیری، ع،”پوزولان ها و سیمان های پوزولانی“،سازمان صنایع ایران وشرکت سیمان سپاهان،۱۳۷۰.
4. Metha, P.K; “Condensed silica fume, cement replacement materials”; Surry
5. University Press; PP. 134-170, 1960.
۶. ارزیابی میکروسیلیس کارخانه فروسیلیس ایران“، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن،۱۳۷۶.
۷. ماجدی اردکانی،م.ح،” ترکیبات وویژگی های فوق روان کننده هـای بـتن“ ،مرکـز تحقیقـات سـاختمان ومسکن،۱۳۷۴.
8. Annual Book of ASTM Standards; Vol.: 04.01, C 188-95; “Standard test method for density of hydraulic cement”; 1997.
9. Annul Book of ASTM Standards; Vol.: 04.02, C 70-79; “Standard test method for surface moisture in fine aggregate”; 1992.
10. Annul Book of ASTM Standards; Vol.: 04.02, C 684-96; “Standard test method for making, accelerated curing, and testing concrete compression test specimens”; 1997.