

موضوع مقاله: تاثیر روان کننده های عاملی بر روی استحکام بتن و ساختار منفذها

مقدمه: مخلوط های شیمیایی مواد ضروری و تکنولوژی اصلی برای ساخت بتن جدید است و عناصر اصلی در توسعه بتن در رشته های پیشرفته است. در مهندسی اگر عملکرد عامل کاهنده آب پلی کربوکسیلیک اسید فقط به میزان کاهش آب و استحکام بتن محدود شود، سازگاری و خواص رئولوژی عامل کاهنده آب پلی کربوکسیلیک اسید و ماده داخل بتن نمیتوانند سازگار شوند که باعث کارایی فیزیکی ضعیف مخلوط بتن و در نهایت مشکلاتی در ثبات و دوام ساختار بتن میشود. بنابراین مطالعه روان کننده های عاملی بر پایه پلی کربوکسیلیک اسید اهمیت زیادی دارد. روان کننده ها بطور گسترده ای برای ایجاد جریان پذیری، استحکام و بتن های با دوام استفاده میشود. رفتارهای آب پوشی سیمان پورتلندی در حضور روان کننده ها توسط تعداد زیادی از محققان بررسی شده است. **Kreppelt**، تاثیر انواع مختلف روان کننده های پلی کربوکسیلیک اسید را بر روی آب پوشی اولیه سیمان با استفاده از آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی **SEM** مطالعه کرد و متوجه شد که ترکیب روان کننده های پلی کربوکسیلیک اسید مانع شکل گیری آلومین، اکسید آهن و تری سولفات **Aft** بعنوان محصول آبپوشی میشود. **Roncero**، از روشهای **29Si MAS NMR** و پراکنش اشعه ایکس **XRD** استفاده کرد و متوجه شد که زمانیکه سیمان و آب برای ۱۵ دقیقه مخلوط شدند هیچ پیک مشخصه ای برای **Aft** در طیف **XRD** دوغاب خالی مشاهده نشد اما هنگامیکه عامل کاهنده آب کربوکسیلیک اسید به مخلوط اضافه شد، این پیک ظاهر شد. پیک مشخصه **Aft** نشان دهنده این است که ترکیب عامل کاهنده آب پلی کربوکسیلیک اسید نرخ رشد **Aft** را تغییر میدهد. حین تحقیقات حرارتی افتراقی، **puertas** متوجه شد که پلی کربوکسیلیک کاهنده آب مقدار **Ca(OH)₂** تولید شده در محصولات آبپوشی اولیه را کاهش میدهد. گمان میشد که عامل کاهنده آب آبپوشی فاز کانی سیلیکات را سرکوب میکند و بنابراین باعث تاخیر در شکل گیری **Ca(OH)₂** میشود. بنابراین هیدرات سیلیکات کلسیم **CSH** هیچ تاثیری بر شکل گیری **Aft** ندارد. **Ferrari**، از میکروسکوپ نیروی اتمی **AFM** برای مشاهده مورفولوژی محصولات آبپوشی سیمان استفاده کرد و همان نتایج **Puertas** را بدست آورد. آنها معتقد بودند که میزان تاثیر به مقدار عامل کاهنده آب و ترکیب شیمیایی محلول بستگی دارد. همانطور که توسط پیک های **XRD** در سالهای مختلف و آنالیز **SEM** برای مطالعه ساختار منفذ خمیر سیمان تایید شد، عامل های کاهنده آب تاثیر آشکاری بر میکرو-مورفولوژی خمیر سیمان دارد. بطور کلی مواد بر پایه سیمان سخت شده از سیستم های ساختاری پیچیده محصولات آبپوشی، فاز های معدنی سیمان بدون آب و منافذ چند مقیاس ساخته شده است. منافذ چند مقیاس بر روی خواص مکانیکی مواد بر پایه سیمان تاثیر میگذارد و اهمیت قابل توجهی برای توصیف ساختارهای منافذ پیچیده و چند مقیاس خمیرهای

سیمان سخت شده دارد. ساختار منفذ، ریزساختار ماده را بازتاب میکند و رابطه بین ریزساختار و کارایی هسته‌ی علوم جدید است. بتن ساختاری پیچیده و ناهمگن دارد. بنابراین کارایی ماکروسکوپی آن هم خیلی پیچیده است. بنابراین مطالعه رابطه‌ی بین منفذ بتن و کارایی ماکروسکوپی آن میتواند اثر عامل‌های کاهنده آب بر روی ساختار و کارایی بتن را بازتاب کند. علاوه بر این، متوجه شده‌اند که تخریب ساختار منفذ عامل اصلی شکست بتن است. بنابراین این مقاله بر روی آنالیز تاثیر انواع مختلف روان‌کننده پلی‌کربوکسیلیک اسید بر روی بتن در نسبت معین آب/سیمان حین استفاده از مخلوط و شرایط پخت یکسان تمرکز میکند. اثر عامل‌های کاهنده آب بر روی استحکام چسبندگی، ساختار منفذ و فرآیند آبیوشی سیمان با مقایسه تفاوت‌های پارامترهای ساختار منفذ و تغییرات پیک‌های XRD در سالهای مختلف مطالعه شده است. آنالیز SEM همچنین برای مطالعه ساختار منفذ، که به خواص مکانیکی ماکروسکوپی کمک میکند و تاثیر روان‌کننده‌های مختلف پلی‌کربوکسیلیک اسید عاملی را روشن میکند، استفاده شده است. تاثیر کارایی بالای عامل‌های کاهنده آب بر پایه پلی‌کربوکسیلیک اسید بر روی فرآیند آبیوشی و عمل سخت شدن بتن هم بررسی شده است.

آزمایشی

۱. مواد: گریدهای مختلف آلکیلن آلکنیل پلی‌اکسی اتیلن اتر

(OXAB-702, Mw=3000; OXAB-608, Mw=2400; OXAB-801, Mw=4000)

توسط Liaoning oxiranchem تهیه شد. سدیم متاکریلات از Taicang xinmao polyester خریداری شد و هیدروژن پروکسید و سدیم هیدروکسید توسط Tianjin Bodi chemistry تهیه شد. آکریلیک اسید AA از Wanhua chemical خریداری شد و عامل‌های کاهنده (آسکوربیک اسید) توسط CSPC holding group تهیه شد. هیدروکسی اتیل آکریلات HEA بوسیله Beijing oriental petrochemical تهیه شد و مرکاپتوپروپیونیک اسید S از Hebei Tongli chemical خریداری شد. روان‌کننده پلی‌کربوکسیلیک اسید (F, 20%) از Sika خریداری شد و عامل کاهنده آب بر پایه نفتالن NF از Shandong Wanshan chemical خریداری شد. سیمان پورتلندی عادی PO 42.5 R از Dalian Onoda cement خریداری شد.

آماده سازی نمونه ها:

سنتز روان کننده پلی‌کربوکسیلیک اسید کاهنده آب L: در یک فلاسک ۱ لیتری، ۴۳۵.۶ گرم آب دیونیز شده، ۳۶۰ گرم منومر (OXAB-702) و ۵.۶۹ گرم سدیم متاکریلیک اسید اضافه شد و فلاسک تا دمای ۶۰ درجه سانتیگراد گرم شد. سپس مخلوطی از ۳.۱۷ گرم هیدروژن پروکسید و ۵۰ گرم آب دیونیز شده به

بالای فلاسک اضافه شد و ماده A (مخلوط ۳۰.۲۴ گرم آکرلیک اسید و ۸۰ گرم آب دیونیز شده) و ماده B (مخلوط ۱۰.۸ گرم آسکوربیک اسید و ۱۱ گرم آب دیونیز شده) با هم واکنش داده اند. واکنش مواد A و B در حالیکه بطور پیوسته برای ۱ ساعت هم زده میشدند در ۳ و ۳.۵ ساعت کامل شدند. در پایان واکنش ، پلیمر تا دمای پایین ۳۰ درجه سانتیگراد سرد شد و مخلوط ۱۶.۸ گرم سدیم هیدروکسید و ۳۹.۲ گرم آب دیونیز شده هنگام هم زدن به واکنش اضافه شد. PH واکنش در ۷ تنظیم شد و روان کننده J بعنوان پلی کربوکسیلیک اسید کاهنده آب با کارایی بالا بدست آمد.

سنتز روان کننده پیوسته رهش پلی کربوکسیلیک اسید H: ما ۴۶۱.۴ گرم آب دیونیز شده و ۳۶۰ گرم منومر (OXAB-608) را به فلاسک ۱ لیتری اضافه کردیم و دما را تا ۴۰ درجه سانتیگراد افزایش دادیم. سپس، مخلوطی از ۳.۳۱ گرم هیدروژن پروکسید و ۵۰ گرم آب دیونیز شده به بالای فلاسک اضافه شد و ماده A (مخلوط ۲۵.۹۲ گرم آکرلیک اسید ، ۲۷.۸۷ گرم هیدروکسی اتیل آکریلات و ۸۴ گرم آب دیونیز شده) و ماده B (مخلوط ۱.۶۶ گرم آسکوربیک اسید ، ۰.۸۰ گرم مرکاپتوپروپیونیک اسید و ۱۰ گرم آب دیونیز شده) با هم واکنش داده است. واکنش مواد A و B در حالیکه بطور پیوسته برای ۱ ساعت هم زده میشدند در ۳ و ۳.۵ ساعت کامل شد. در پایان واکنش، پلیمر بدست آمده تا دمای پایین ۳۰ درجه سانتیگراد سرد شد و مخلوط ۱۴.۴ گرم سدیم هیدروکسید و ۳۳.۶ آب دیونیز شده حین هم زدن اضافه شد. PH واکنش در ۷ تنظیم شد و روان کننده H بعنوان پلی کربوکسیلیک اسید پیوسته رهش کاهنده آب بدست آمد.

سنتز روان کننده پلی کربوکسیلیک اسید مقاوم اولیه Z: به یک فلاسک ۱ لیتری ، ۴۵۷.۴۶ گرم آب دیونیز شده و ۳۶۰ گرم منومر (OXAB-801) اضافه شد و تا ۴۰ درجه سانتیگراد حرارت داده شد. سپس مخلوط ۳.۲۲ گرم هیدروژن پروکسید و ۵۰ گرم آب دیونیز شده به بالای فلاسک اضافه شد و ماده A (مخلوط ۲۵.۹۲ گرم آکرلیک اسید ، ۱۲.۷۹ گرم آکریل آمید و ۷۱.۲۹ گرم آب دیونیز شده) و ماده B (مخلوط ۱.۶۱ گرم آسکوربیک اسید ، ۰.۴۸ گرم مرکاپتوپروپیونیک اسید و ۱۰.۵ گرم آب دیونیز شده) با هم واکنش دادند. تیتراسیون ماده A و B در حالیکه مداوم برای ۱ ساعت هم زده میشد در ۳ و ۳.۵ ساعت کامل شد. در آخر واکنش، پلیمر تا دمای زیر ۳۰ درجه سانتیگراد سرد شد و مخلوط ۱۴.۴ گرم سدیم هیدروکسید و ۳۳.۶ گرم آب دیونیز شده حین هم زدن اضافه شد. PH واکنش در ۷ تنظیم شد تا روان کننده Z بعنوان کربوکسیلیک اسید مقاوم اولیه کاهنده آب بدست آید.

خواص روان کننده های پلی کربوکسیلیک اسید عاملی: جدول زیر خواص فیزیکی پلی کربوکسیلیک اسیدهای کاهنده آب سنتز شده را فهرست کرده است.

ID نمونه	حجم جامد %	میزان کاهش آب بتن %
J	40	30
H	40	18
Z	40	25

ساخت بتن: ترکیب نمونه های بتن آماده شده در جدول زیر خلاصه شده است.

ID نمونه	میزان آب/سیمان	میزان ماسه	آب (Kg/m ³)	سیمان (Kg/m ³)	خاکستر (Kg/m ³)	ماسه (Kg/m ³)	سنگ (kg/m ³)	مقدار عامل کاهنده آب %
C40	0.42	0.39	210	425	75	704	1100	0
J	0.27	0.39	137	425	75	704	1100	1.0
Z	0.27	0.39	137	425	75	704	1100	1.0
H	0.27	0.39	137	425	75	704	1100	1.0
F	0.32	0.39	160	425	75	704	1100	2.0
NF	0.34	0.39	170	425	75	704	1100	2.0

توصیف صفات اختصاصی:

آنالیز استحکام فشاری: شیوه ی آزمون استحکام فشاری دوغاب سیمانی: نمونه های مکعبی کوچک (20mm×20mm×20mm) برای به حداقل رساندن خمیر سیمان استفاده شده در آنالیزهای استحکام فشاری ، آماده شد. گروهی از قطعه های آزمایشی شامل ۶ قطعه آزمایشی است. نمونه های کلینکر با یا بدون افزودن سنگ گچ با استفاده از آب دیونیز شده و میزان آب به سیمان ۰.۴ ترکیب شدند. در فرآیند قالبگیری، فقط کوبیدن انجام شد و قالب بدلیل این که میزان آب به سیمان یک میزان عادی است که در پروژه ها استفاده میشود و مناسب خمیرهای عملی است از میز لرزش استفاده نکرد. هنگامیکه خمیرها درون قالب ها ریخته شدند، سطح هر قالب با فیلم پلاستیک پوشانده شد و سپس در یک جعبه استاندارد پخت قرار گرفتند. بعد از یک روز پخت، قالب برداشته شد و نمونه های مکعبی در یک دمای ثابت ۲۰ درجه سانتیگراد درون آب دیونیز شده قرار گرفتند و و بمدت مشخص ۱.۷ و ۲.۸ روز پخت شدند. نمونه ها در زمان مناسب بیرون آورده شدند و

خشک شدند و هنگامیکه قالبگیری برای اجرای تست استحکام فشاری انجام میشود، کناره های نمونه ها بعنوان سطح فشرده سازی بالایی و پایینی استفاده شد. سرعت بارگذاری حین تست استحکام فشاری 1.0-1.5 KN/s بود. هنگامیکه نمونه نزدیک شکست است و شروع به تغییر شکل میکند، تنظیم دریچه گاز ماشین تست باید متوقف شود تا نمونه تخریب شود تا بار آسیب نهایی ثبت شود. استحکام فشاری میانگین مقادیر بدست آمده برای گروه قطعه های آزمون است. زمانیکه حداکثر و حداقل مقدار استحکام فشاری در گروهی از نمونه ها با مقدار میانگین بیشتر از ۲۰٪ اختلاف دارد، مقدار میانگین ۴ قطعه آزمون در مرکز باید در نظر گرفته شود. بعد از آزمون استحکام فشاری نمونه ها، مرکز بلوک بعنوان خمیرهای نمونه برای توصیف صفات بیرون کشیده شد.

فرآیند آزمون استحکام فشاری بتن: قطعه آزمون بتنی با ابعاد 150mm×150mm×150mm شکل

گرفت. گروهی از قطعات آزمون شامل ۳ قطعه است که تا یک زمان مشخص تحت شرایط پخت استاندارد پخت شدند. قطعه حین آزمون بیرون کشیده شد و خشک شد و هنگام تشکیل کناره ها بعنوان سطح فشاری بالایی و پایینی استفاده شد. بارگذاری با سرعت 0.5-0.8 MPa/s انجام شد. هنگامیکه نمونه به تغییر شکل نزدیک میشود و شروع به تغییر شکل میکند، تنظیم دریچه گاز ماشین آزمون متوقف میشود تا نمونه تخریب شود و آسیب نهایی ثبت شود.

روش اندازه گیری سیالیت دوغاب سیمانی: صفحه شیشه ای در موقعیت افقی قرار گرفت و صفحه شیشه

ای و قالب مخروطی بطور یکسان با دستمال مرطوب پاک شدند تا سطح بدون لکه های آب مرطوب شود. دوغاب خالص به سرعت در قالب مخروطی مخلوط شد و با کاردک تراشیده شد. قالب مخروطی در جهت عمودی قرار گرفت. سپس اجازه دادیم که خمیر سیمان برای ۳۰ ثانیه روی صفحه شیشه ای جریان داشته باشد و از یک خط کش برای اندازه گیری حداکثر قطر قسمت جاری در دو جهت عمودی استفاده شد. مقدار میانگین بعنوان سیالیت خمیر سیمان اعلام شد.

آنالیز های XRD: آنالیز های XRD روی کلینکر متفاوت و نمونه های آبیوشی شده انجام شد. نمونه های

خمیری پخته شده در آب در یک دمای ثابت ۲۰ درجه سانتیگراد تا پایان آبیوشی نگهداری شدند و خمیرهای آبیوشی خرد شده در الکل اتیل غوطه ور کردند. پس از آن خمیرهای غوطه ور شده در یک دستگاه خشکسازي در دمای اتاق تا ۲۴ ساعت نگهداری شدند تا حلال یا آب را از بین ببرند و از رطوبت جلوگیری شوند. سپس، نمونه های پخت شده در یک کوره خشک کن در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد برای ۲۴ ساعت خشک شدند.

دیفراکتومتر X-RAY طراحی Bruker D8 استفاده شد. زمان اندازه گیری هر نمونه ۳۱ دقیقه به ازای هر الگوی جداگانه برای بدست آوردن نسبت سیگنال به نویز مطلوب بود. نهایتاً الگوهای XRD آنالیز شدند تا فازهای کریستابی نمونه ها را تعیین کند.

طیف سنجی FTIR: طیف سنجی FTIR با استفاده از Thermo Fisher Nicolet iS5 انجام شد که شامل ATR iD5 برای آنالیز لرزش و شکست پیوندهای مولکولی نمونه ها است. آنالیز در محدوده طول موج 4000-400 1/cm انجام شد و در طیف کمتر از 4 1/cm از 5±1 mg نمونه استفاده شد.

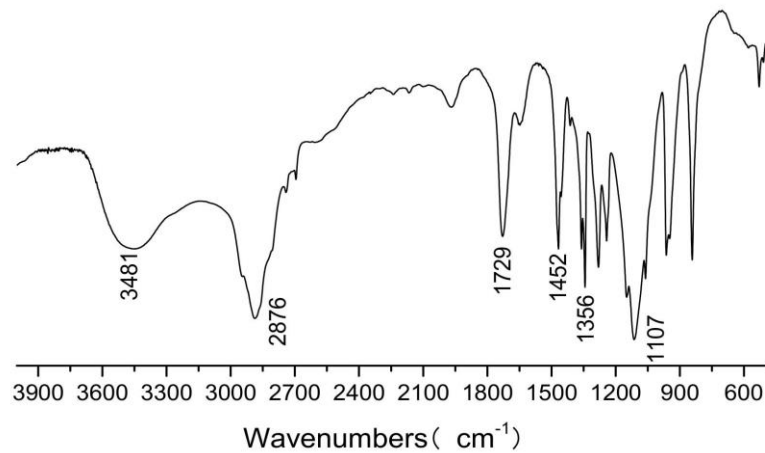
نفوذ جیوه Porosimetry: نفوذ جیوه (MIP) Porosimetry با استفاده از سری های AUTOPORE IV 9500 (با بیشینه فشار ۳۳۰۰۰) که توسط Micromeritic Instrument Corp ساخته شده انجام شد تا اندازه منفذ نمونه ها را توصیف کند. برخی از نمونه های بلوکی ۱.۵-۲.۵ گرم برای این آنالیز استفاده شد و نمونه ها در کوره خشک کن در ۳۵ درجه سانتیگراد برای ۲۴ ساعت خشک شد تا آب را از ساختار خلل و فرج نمونه ها خارج کند.

SEM: تصاویر SEM برای آنالیز ریزساختار نمونه ها و پیدا کردن شکاف ها در ناحیه انتقال سطحی ITZ و مطالعه منفذهای نمونه های مختلف استفاده شد.

نتایج: طیف سنجی FTIR: طیف سنجی FTIR روان کننده J در شکل ۱ ترسیم شده است. پیک جذب

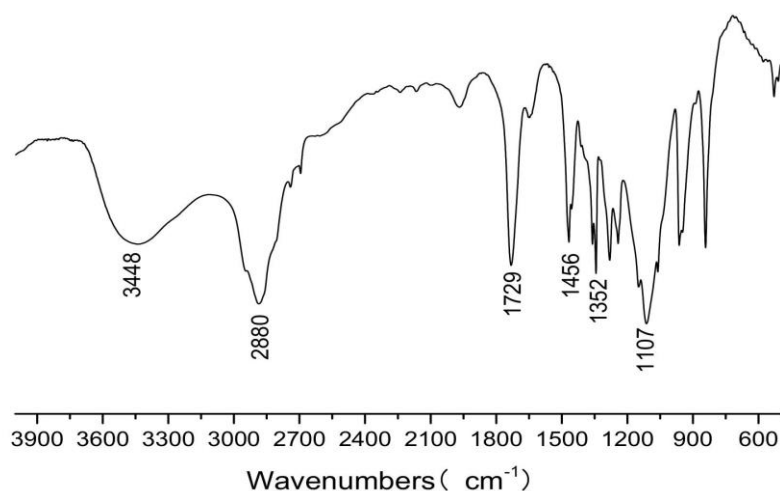
نامتقارن در محدوده 3115 تا 3655 1/CM به گروه OH- نسبت داده شده است. پیک موجود در 3481 1/CM ممکن است پیک کششی ارتعاشی کربوکسیل COOH- و گروه های هیدروکسیل OH- در روان کننده J باشد. پیک های 2876, 1452, 1356 1/CM مشخصه جذب گروه های متیل و متیلن را مشخص میکند و پیک 1729 1/CM کششی ارتعاشی C=O- در گروه استر را نمایش میدهد. پیک مشخصه جذب در 1107 1/CM نشان دهنده کششی ارتعاشی

C-O-C- پلی اتر در روان کننده J است.



طیف سنجی FTIR روان کننده J

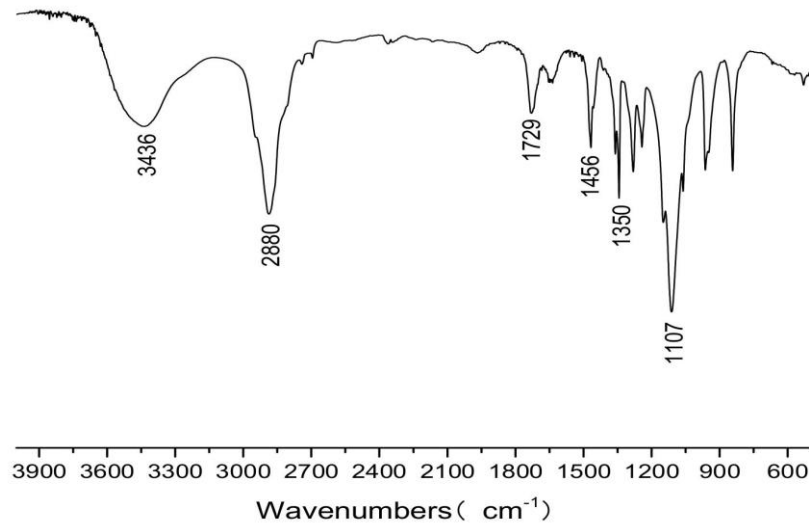
شکل ۲ طیف سنجی FTIR روان کننده H را نشان میدهد. پیک نامتقارن کششی ارتعاشی هیدروکسیل OH- در محدوده $3115-3655 \text{ 1/CM}$ قرار دارد. پیک جذب در 3448 1/CM ممکن است مربوط به گروه های کربوکسیل COOH- و هیدروکسیل OH- باشد. پیک های $2880, 1456, 1352 \text{ 1/CM}$ نشان دهنده مشخصه جذب گروه های متیل و متیلن است و پیک 1729 1/CM کششی ارتعاشی C=O- در گروه های استر است. پیک جذب 1107 1/CM به کششی ارتعاشی C-O-C- پلی اتر در روان کننده H نسبت داده میشود.



طیف سنجی FTIR روان کننده H

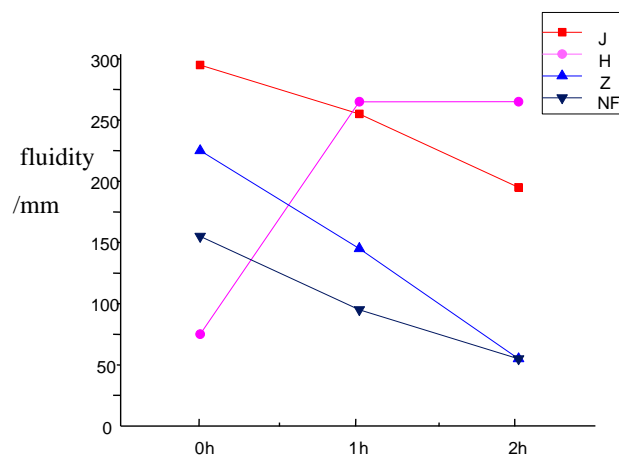
طبق طیف سنجی FTIR روان کننده Z (شکل ۳)، پیک های کششی ارتعاشی نامتقارن در محدوده 3115 تا 3655 1/CM مربوط به گروه های هیدروکسیل OH- است که نشان میدهد که پیک 3436 1/CM ممکن است

مربوط به جذب گروه های کربوکسیا -COOH و هیدروکسیل -OH باشد. پیک های 2880, 1456, 1350 $1/\text{CM}$ مشخصه جذب گروه های متیل و متیلن است و پیک 1729 $1/\text{CM}$ کششی ارتعاشی -C=O در گروه استر را نشان میدهد. پیک جذب در 1107 $1/\text{CM}$ کششی ارتعاشی -C-O-C- پلی اتر در روان کننده Z را نشان میدهد.

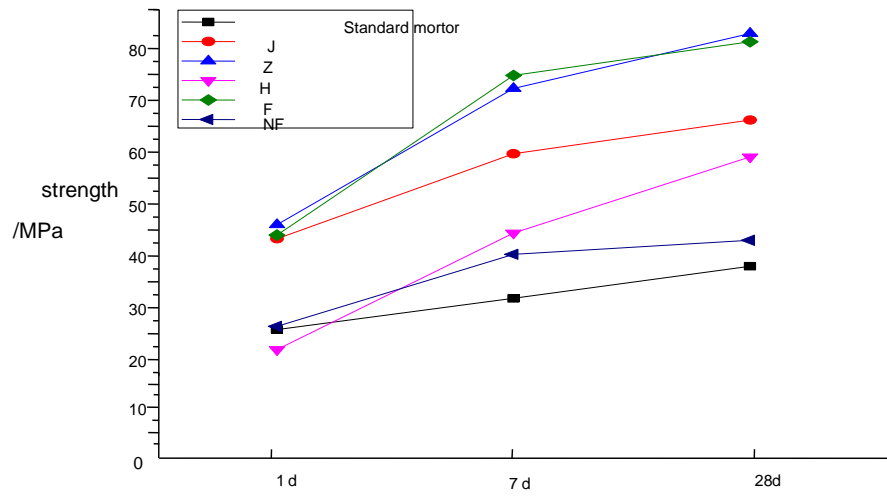


طیف سنجی FTIR روان کننده Z

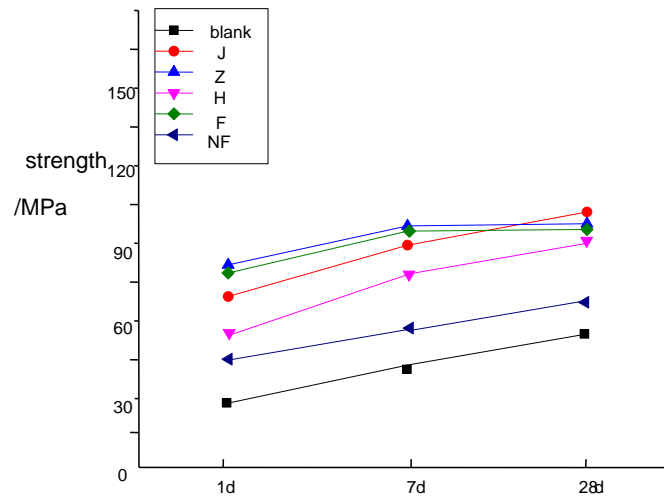
استحکام فشاری: سیالیت خمیر سیمان مخلوط شده با پلی کربوکسیلیک اسید عاملی کاهشده آب همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده ، اندازه گیری شد. استحکام فشاری خمیر سیمان ، ملات و بتن اندازه گیری شد (در سن ۱، ۷ و ۲۸ روز) و در شکل ۵-۷ نشان داده شد.



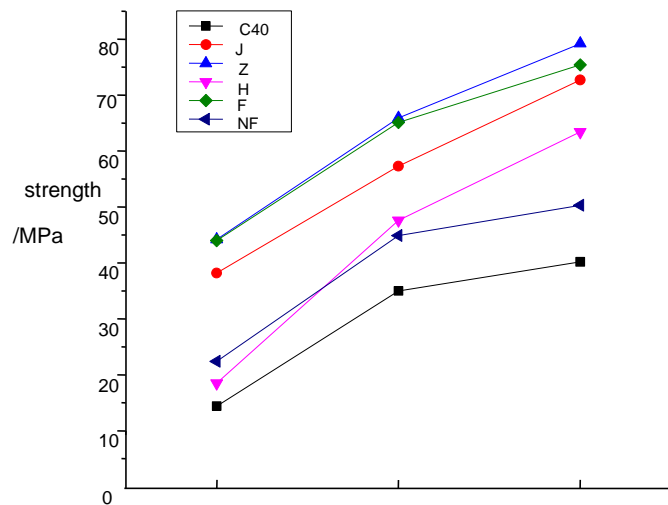
سیالیت خمیر سیمان



مقایسه استحکام ملات بعنوان تابعی از زمان



مقایسه استحکام خمیر سیمان بعنوان تابعی از زمان

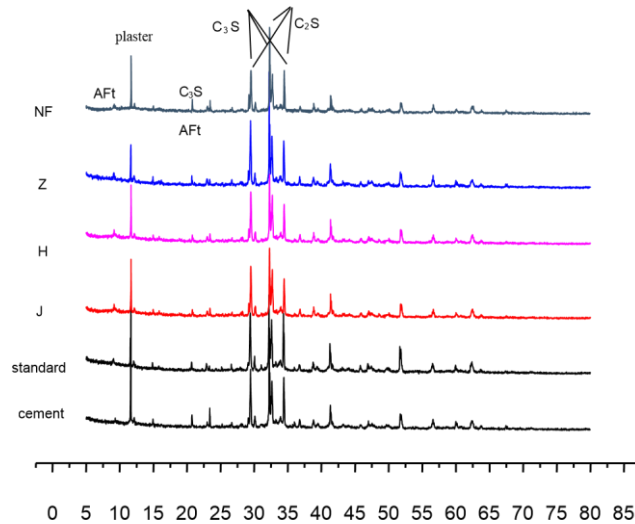


مقایسه استحکام بتن بعنوان تابعی از زمان

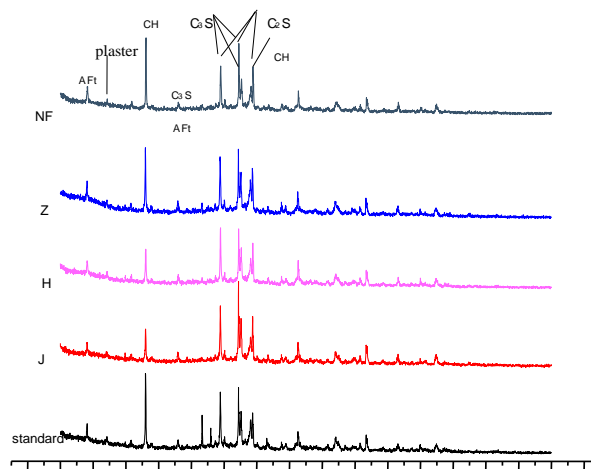
این شکل میزان جریان خمیر سیمان را بعنوان تابعی از زمان نشان میدهد و شیب نمودارها کاهش میزان جریان خمیر سیمان با گذشت زمان را نمایش میدهد. واضح است که مقدار دقیق شیب نمودار سیالیت روان کننده Z بیشتر از شیب نمودار سیالیت بقیه روان کننده ها در محدوده صفر تا یک ساعت است که نشان میدهد که واکنش آبیوشی سیمان سریعتر است و ساختار شبکه ای سیمان در حضور روان کننده Z سریعتر شکل میگیرد. هرچند در حالت سیمان، ملات یا بتن، جز اصلی شرکت کننده در واکنش آبیوشی سیمان است بنابراین خمیر سیمان به سیالیت و کاهش میزان جریان ملات و بتن به یک حد مشخص کمک میکند. همانطور که از شکل ها استنباط میشود که استحکام اولیه گروهی که شامل روان کننده Z است بیشتر از بقیه گروه ها است و روان کننده Z به استحکام سیمان، ملات و یا بتن کمک میکند تا با گذشت زمان پیشرفت کند که برتری آن را به بقیه روان کننده ها ثابت میکند. بنابراین میتوان نتیجه گرفت که روان کننده Z واکنش آبیوشی را در مراحل اولیه ترویج میدهد و استحکام اولیه سیمان، ملات و یا بتن را بهبود میبخشد. بدین وسیله مشخصه های استحکام اولیه روان کننده های پلی کربوکسیلیک اسید را بازتاب میکند.

XRD: شکل های زیر محصولات آبیوشی سیمان مخلوط شده با پلی کربوکسیلیک اسید های کاهنده آب متفاوت را مقایسه میکند. سیمان تازه مخلوط شده با روان کننده Z ضعیفترین پیک های سنگ گچ، سنگ گچ با آلومینات و آلومینات را نشان میدهد. تشکیل Ettringite بدلیل واکنش اسیدهای معدنی هم میتواند ثابت کند که زمانیکه آبیوشی سیمان به تاخیر می افتد، استحکام اولیه افزایش پیدا میکند. زنجیرهای جانبی خیلی بلند در ساختار روان کننده Z اثر ممانعت فضایی قوی دارد و پراکندگی سیمان را به خوبی بهبود میبخشد. در واقع ذرات بدلیل این که سطح تماس بیشتری با آب دارند بهتر پراکنده میشوند. علاوه بر این زنجیرهای جانبی

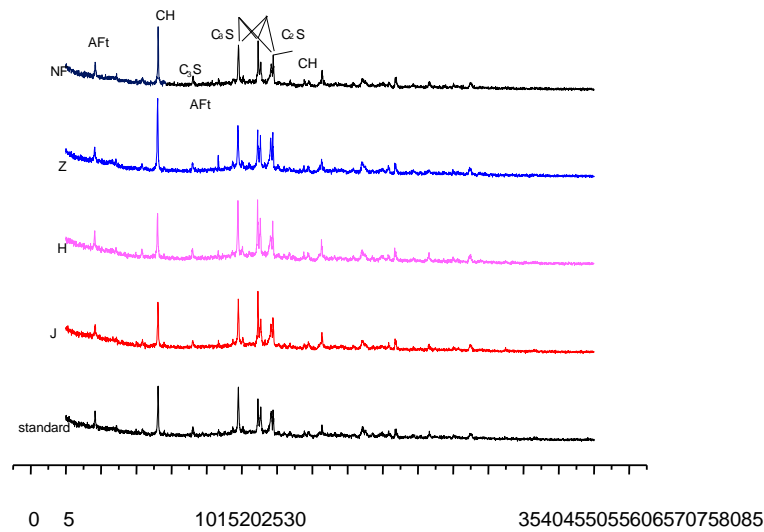
بلند اثر پوششی کمی روی آبیوشی دارد که باعث میشود آبیوشی سیمان پیشرفت کند و برای تشکیل سیمان یا ساختار بتن مفید است. بنابراین مشخصه های استحکام اولیه سیمان معلوم شده است.



مقایسه طیف سنجی XRD خمیر سیمان تازه



مقایسه طیف سنجی XRD خمیر سیمان بعد از یک روز

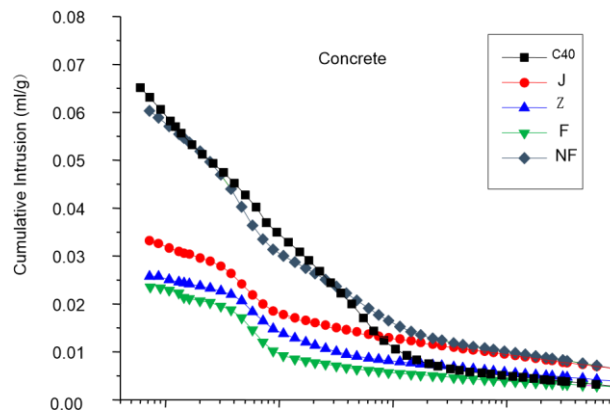


مقایسه طیف سنجی XRD خمیر سیمان بعد از ۲۸ روز

نفوذ جیوه Porosimetry: داده های آزمایشی فشار جیوه در شکل های زیر در ۲۸ روز آورده شده است. حجم منفذ روان کننده Z همانند روان کننده F است و حجم کلی منفذ، سطح کلی منفذ، و تخلخل نمونه شامل عامل کاهنده Z کوچکتر از گروه های دیگر در میانگین قطر منفذ یکسان است.

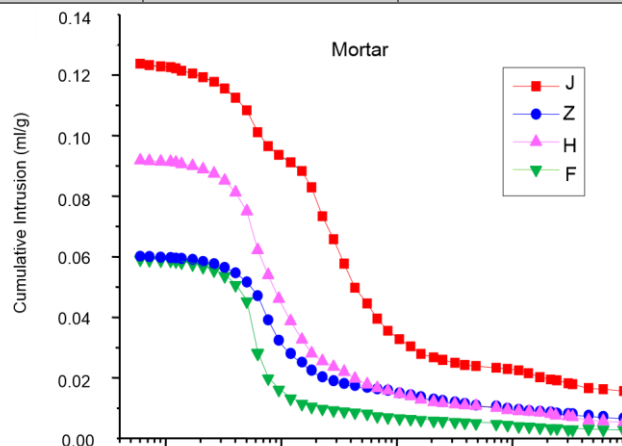
باید توجه شود که روان کننده F یک پلی کربوکسیلیک اسید کاهنده مستحکم تجاری است که به عنوان یک نقطه عطف برای تخمین کارایی پلی کربوکسیلیک اسید کاهنده آب مستحکم Z سنتز شده در مقاله حاضر است.

تاثیر عامل های کاهنده آب بر ساختار منفذ بتن



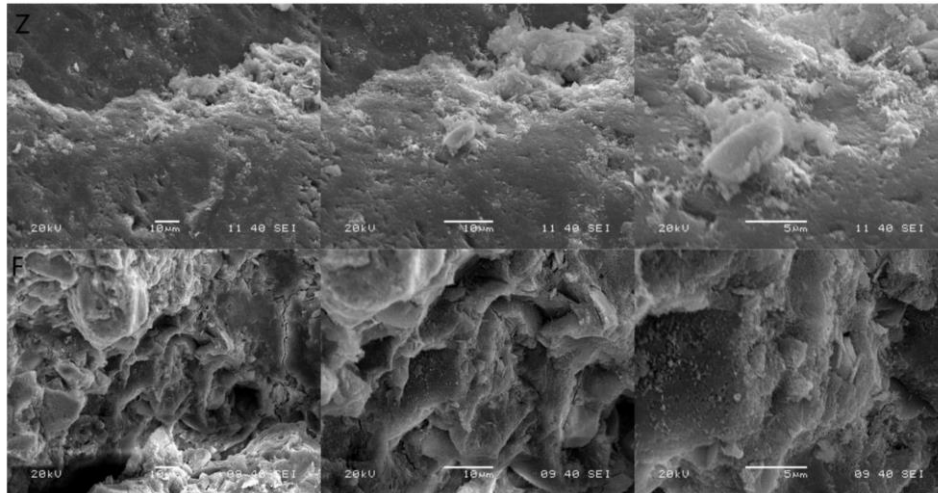
عامل کاهنده آب	حجم کلی منفذ mL/g	مساحت کلی منفذ M2/g	تخلخل %	میانگین اندازه منفذ nm
J	0.1239	3.798	24.1222	130.5
Z	0.0598	2.799	13.3953	85.4
H	0.0915	4.036	19.1709	90.7
F	0.0593	3.428	13.2647	69.2

عامل کاهنده آب	حجم کلی منفذ mL/g	مساحت کلی منفذ M2/g	تخلخل %	میانگین اندازه منفذ nm
Standard C40	0.0651	7.164	11.9276	36.4
J	0.0233	2.813	5.4088	33.2
Z	0.0159	1.835	3.7872	34.7
F	0.0229	2.779	5.3845	32.9
NF	0.0603	6.137	12.6345	39.3



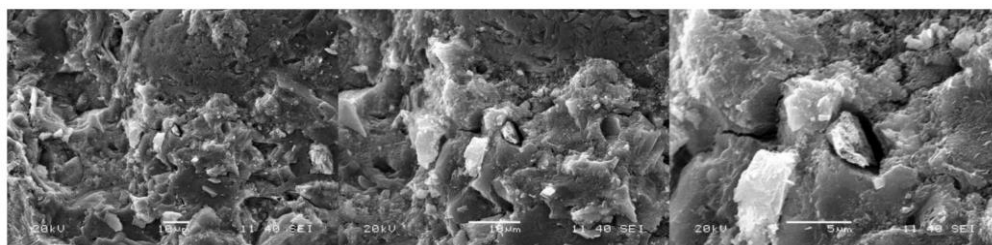
تأثیر عامل کاهنده آب بر ساختار منفذ ملات

هنگامیکه تصویر SEM بزرگنمایی میشود، مشاهده میشود که چگالی نمونه های شامل روان کننده Z و F یکنواخت و بیشتر از نمونه های دیگر است. شکل زیر تصویر SEM نمونه های شامل کاهنده آب Z و F را در بزرگنمایی ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۵۰۰۰ مقایسه میکند. فشردگی ساختار نمونه های Z و F یکسان است اما نمونه Z یساختار یکنواخت تری دارد. خمیر سیمان میتواند در حفره تقریباً سیمان شود و هیچ آبی در سطح ذرات دیده نمیشود. در بزرگنمایی ۵۰۰۰، تصاویر SEM نشان میدهد که کریستال های لایه ای $Ca(OH)_2$ درهم پیچیده اند و ژل C-S-H آبیوشی شده اطراف را میگیرد و محکم به آن میپیچد تا یک چگال کامل تشکیل شود. بنابراین میزان آبیوشی بهتر است و ساختار فشرده تر است که برای مقاومت اولیه بالاتر سودمند است.



تصاویر SEM بتن مخلوط شده با عامل های کاهنده آب Z و F

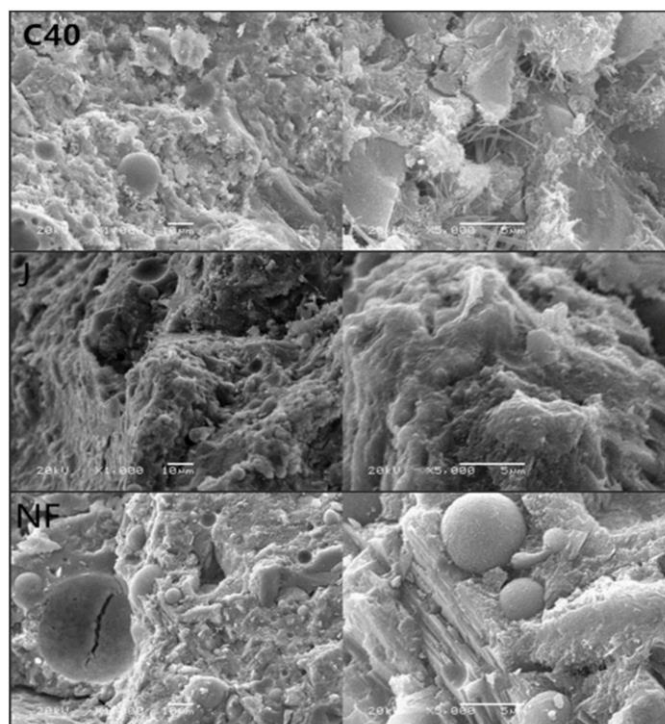
SEM: استحکام سیمان مخلوط شده با عامل کاهنده آب H بعد از یک روز کم است اما بسرعت در ۷ روز افزایش پیدا میکند و همین ویژگی را در بتن، ملات و سیمان نشان میدهد. همانطور که دیدیم سیالیت نمونه H با زمان افزایش پیدا میکند که با کارایی بقیه گروه ها در ارتباط است. سیالیت دوغاب سیمان با گذشت زمان زیاد میشود و نقش آهسته رهش را بازی کند چرا که عامل کاهنده آب H ساختار مولکولی کوچکی با پلی اکسی اتیلن و گروه های عاملی استر دارد و زنجیرهای شاخه ها در فاز مایع نفوذ میکند تا ذرات را پراکنده کند. تشکیل فیلم آب ثبات آبیوشی لایه را افزایش میدهد، آبیوشی سیمان را به تاخیر می اندازد و از تشکیل ساختار سیمان به سیمان با مقاومت اولیه کم جلوگیری میکند. میزان کاهش آب عامل H کمتر از روان کننده Z و J است بنابراین بدلیل ویژگی تاخیر آبیوشی، آبیوشی روان کننده H به خوبی عامل های کاهنده Z و F بعد از زمان یکسان ۲۸ روز نیست.



تصاویر SEM بتن مخلوط شده با عامل کاهنده آب H

هنگامیکه تصویر SEM ۵۰۰۰ مرتبه بزرگنمایی شد، شما توانستید بعضی رشته های ژل CSH و Aft سوزنی نامرتب روی ژل CSH بطورزیگژیگی قرار گرفته اند که به این معنی است که ساختار بصورت چگال نیست و شامل تعدادی منفذ است. بنابراین تخلخل، مساحت کلی منفذ، حجم منفذ بتن مخلوط شده با نمونه کاهنده آب

H بیشتر از بتن مخلوط شده با نمونه ها Z و F است. طبق تصاویر XRD، پیک های Aft و CH دوغاب سیمان مخلوط شده با روان کننده H ضعیف ترین است که نشاندهنده این است که شکل کریستال CH دوغاب سیمان مخلوط شده با نمونه H به خوبی روان کننده های Z و H نیست. شکل کریستال CH خوب است که اساساً بدلیل زنجیر مولکولی جانبی کوتاه روان کننده H است. علاوه بر این گروه استر روان کننده H تحت تاثیر محیط قلیایی سیستم سیمان است. هیدرولیز به گروه های عاملی کاهنده آب کربوکسیل میتواند آبیوشی سیمان را بیشتر به تاخیر بیندازد. بنابراین در مقایسه با روان کننده های J و Z، روان کننده H میتواند آبیوشی سیمان را به تاخیر اندازد. هرچه ذرات بدون آبیوشی سیمان بیشتر باشد باعث نرخ کمتر پیشرفت استحکام میشود. در مقایسه با روان کننده H، ساختار عامل کاهنده آب J شامل زنجیرهای جانبی بلندتری است با این وجود زنجیرهای جانبی آن کوتاهتر از روان کننده Z است. میتوان از میزان سیالیت سیمان نتیجه گرفت که تحت مصرف آب یکسان، روان کننده J سیالیت بیشتری دارد و با گذشت زمان کمترین میزان کاهش سیالیت در هر گروه را دارد که این نشان دهنده این است که عامل کاهنده آب J میتواند آب را بر روی سطح ذرات سیمان جذب کند. درمورد استحکام فشاری سیمان، سیمان مخلوط شده با روان کننده J قوی تر از سیمان مخلوط شده با گروه Standard C40 است. درواقع پراکندگی مناسب سیمان میتواند به خوبی واکنش بین سیمان و آب را افزایش دهد. سیمان مخلوط شده با Standard C40 تعداد زیادی منفذهای کوچک دارد و میتواند یک ساختار غیریکنواخت شامل نواحی متراکم و منفذ دار باشد. ساختار منفذ نمونه NF متراکم تر از Standard C40 اما بی قاعده تر از نمونه J است.



مقایسه تصاویر SEM سیمان مخلوط شده با روان کننده های NF, J, C40 Standard

علاوه بر این با وجود این که منفذهای کمی در نمونه NF است، ذرات بیشتری در معرض فصل مشترک سیمان و خاکستر هوابرد قرار میگیرد. در واقع ساختار سیمان فصل مشترک ضعیفی دارد. در مقایسه با نمونه Standard C40، نمونه J تعداد زیادی منفذهای بزرگ و منفذهای کوچک یکنواخت دارد. از طرف دیگر ساختار ژل CSH متراکم است که منفذهای سنگ سیمان را پر میکند و فشردگی آنرا افزایش میدهد. با وجود اینکه ساختار کلی نمونه J متراکم نیست، بهتر از ساختار نمونه Standard C40 است که نشان دهنده این است که عامل کاهنده آب J نقش قابل توجهی در بهبودی ریزساختار سیمان بازی میکند.

نتیجه گیری: روان کننده های پلی کربوکسیلیک اسید عاملی به اسم های F، Z، و H در واکنش آپیوشی سیمان شرکت نمیکنند بلکه ترجیحا واکنش اولیه سیمان را کند میکنند. روان کننده Z اثر ممانعت فضایی قوی بدلیل زنجیرهای جانبی خیلی بلند در ساختارش دارد که میتواند سطح تماس بین ذرات سیمان و آب را افزایش دهد، آپیوشی سیمان را سریع کند، نسل CSH و Aft را ترویج دهد و تقریبا با CSH ترکیب شود. میتوان از نتایج SEM دید که عامل کاهنده آب Z میتواند یک ساختار متراکم سنگ سیمان تشکیل دهد بنابراین ویژگی مقاومت اولیه بیشتری به سیمان میدهد. از طرف دیگر روان کننده H با زنجیرهای جانبی کوتاهتر در ساختارش و گروه های عاملی استر میتواند آپیوشی سیمان را کند کند. هرچند میتوان از نتایج SEM متوجه شد که در مقایسه با عامل کاهنده آب Z و J، عامل کاهنده آب H ساختار کلی سنگ سیمان را کمتر متراکم میکند. روان کننده J میتواند یکنواختی و سیالیت بالای بتن را تضمین کند درحالیکه میزان کاهش آب رضایت بخش دارد و ساختار منفذها و استحکام بتن را بهبود میبخشد. درمقایسه با عامل کاهنده آب NF، روان کننده های پلی کربوکسیلیک اسید عاملی (J, Z, H) اساساً به گروه های عاملی مثل هیدروکسیل، کربوکسیل، سولفونیک اسید و پلی آکسی اتیلن در ساختار مولکولی آنها تکیه میکند تا راحت تر مانع ته نشینی فاز اولیه مواد معدنی شود.

