

"ارزیابی عملکرد فوق‌روان‌کننده‌ها در سیمان و بتن - بخش دوم: جذب سطحی"

حسام آذری جعفری^۱، محمد شکرچی‌زاده^۲، جواد برنجیان^۳، بابک احمدی^۴ و^۵

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت ساخت موسسه آموزش عالی طبری بابل

۲- کارشناس انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران

۳- دانشیار دانشگاه تهران و سرپرست انستیتو مصالح ساختمانی

۴- استادیار و رییس موسسه آموزش عالی طبری بابل

۵- دانشجوی دکترای مهندسی و مدیریت ساخت دانشگاه صنعتی امیرکبیر

Email: h_azari@ymail.com

افزودنی مانند فوق‌روان‌کننده‌ها بایستی الزامات مورد نیاز متعددی را برای استفاده در بتن بر آورده سازد. ASTM C 494 برای مواد افزودنی بتن الزامات خاصی برای کاهش آب، زمان گیرش، مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، دوام و تغییرات ابعادی بتن در نظر گرفته است. ASTM 1017 عواملی شامل اسلامپ، زمان گیرش، مقاومت فشاری، مقاومت خمشی را برای ارزیابی فوق‌روان‌کننده‌ها برای بتن‌های روان در نظر گرفته است. کتابچه راهنمای ACI اجرای بتن بخش 3R-212 در مواد افزودنی با اطلاعات در مورد مواد افزودنی، جنبه‌های ارزیابی، کاربردهای این مواد، معیارهای عملکرد، درصد‌های اجزای بتن، اثرات آن در بتن تازه و سخت شده و تضمین کیفیت بتن حاوی فوق‌روان‌کننده سروکار دارد. در تمامی این استانداردها معمولاً روش آزمون تصریح می‌شود. با این حال، برای درک کامل از نقش فوق‌روان‌کننده‌ها، کاربرد تکنیک‌های تحقیقاتی مختلف ضروری به نظر می‌رسد. این روش‌ها ما را قادر به درک مکانیسم عمل در مخلوط، ریزساختار، نفوذپذیری، دوام، کارپذیری، سازگاری بین مواد افزودنی و سیمان، پیش‌بینی خواص، خواص منحصر به فرد مواد، توسعه مواد جدید، تکنیک‌ها و روش‌های آزمون می‌سازد. از طرفی دیگر، عملکرد بسیاری از مواد افزودنی مانند کندگیرکننده‌ها، مواد هوازا، مواد کاهنده آب و فوق‌روان‌کننده‌ها مربوط به پدیده جذب سطحی می‌باشد. فوق‌روان‌کننده‌ها در حضور آب همراه با سیمان فعل و انفعال داشته و بر لزجت، قدرت پراکندگی، سینتیک هیدراتاسیون خمیر سیمان و بتن را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در این تحقیق اثر موارد مختلف در جذب سطحی، روش اندازه‌گیری جذب سطحی، مکانیسم جذب سطحی و ارتباط بین جذب سطحی و خواص بتن تازه حاوی فوق‌روان‌کننده مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین به منظور بررسی سازگاری فوق‌روان‌کننده‌های مختلف و سیمان آمیخته با زئولیت، جذب سطحی این دو سیمان در حضور فوق‌روان‌کننده با پایه‌های شیمیایی مختلف نیز اندازه‌گیری شد.

واژگان کلیدی: جذب سطحی، فوق‌روان‌کننده، تکنیک‌های ارزیابی عملکرد فوق‌روان‌کننده، خواص بتن تازه

Methods for Evaluating the Effects of Superplasticizers in Cement and Concrete- Part II: Adsorption

Hessam Azari Jafari, Mohammad Shekarchizadeh, Javad Berenjian, Babak Ahmadi

Admixtures such as superplasticizers have to fulfill several requirements for use in concrete. The ASTM C 494 for concrete admixtures has specific requirements for water reduction, setting time, compressive strength, flexural strength, durability and length changes. The ASTM 1017 includes slump, setting time, compressive strength, flexural strength, etc for flowing concrete containing superplasticizers. The ACI manual of concrete practice part I: 212-3R on admixtures deal with information on the materials, evaluation aspects, applications, performance criteria, proportioning of concrete, effects on fresh and hardened concrete and quality assurance for superplasticized concrete. In the standards usually established test methods are advocated. However, for a complete understanding of the role of superplasticizers the application of various research techniques become necessary. Such investigations enable an understanding of the mechanism of the action of the admixture, microstructure, permeability, durability, workability, compatibility between the admixture and cement, prediction of properties, material characterization, and development of new materials, techniques and test methods. Many techniques have been used to investigate the action of superplasticizer. The action of many admixtures such as retarders, air entraining agents, water reducers and superplasticizers related to the phenomenon of adsorption. Superplasticizer interact with the cement components in the presence of water and influence the viscosity, dispersion, hydration kinetics and etc of cement paste and concrete. In this paper effect of different criteria on adsorption, adsorption mechanism and relationship between adsorption and fresh concrete properties were investigated. In order to evaluate compatibility of different superplasticizers and blended cement, adsorption of cement and zeolite blended cement were measured.

Keywords: Compatibility of superplasticizers, Zeta potential, Blended cement, Workability retention

۱- مقدمه و بیان مسئله:

میزان جذب سطحی فوق روان کننده‌ها در سیمان به روش اسپکتروفوتومتری توسط دستگاه TOC^1 و یا اسپکتروفوتومتر فرابنفش^۲ بدست می‌آید به طوریکه از تفاضل مقدار روان کننده مورد استفاده در طرح اختلاط و مقدار کربن آلی مورد نیاز در روش اسپکتروفوتومتری، مقدار فوق روان کننده جذب شده توسط ذرات سیمان قابل محاسبه خواهد بود [۱].

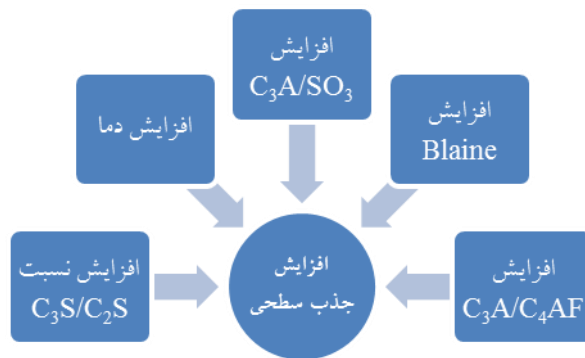
فوق روان کننده‌ها در اثر تماس با آب ایجاد بار منفی کرده و پس از جذب شدن بر روی ذرات سیمان مانع از نزدیک شدن این ذرات به یکدیگر می‌شوند و به این ترتیب در روانی و کارایی بتن موثرند. از طرفی، استفاده از فوق روان کننده‌ها در بتن نسبت آب به سیمان را بدون از دست رفتن کارایی بتن، کاهش می‌دهد و در این صورت بتن پرمقاومت و با دوام کافی جایگزین خواهد شد [۲]. از این رو توجه به خصوصیات فوق روان کننده‌ها از جمله خواص رئولوژیکی آن‌ها مانند مقدار جذب سطحی فوق روان کننده‌ها در سیمان حائز اهمیت می‌باشد. به منظور بررسی عوامل موثر بر جذب سطحی فوق روان کننده‌ها روی ذرات سیمان، Yoshioka و همکاران اثرات مقدار و نوع فوق روان کننده و همچنین تاثیر فازهای سیمان را در مقدار جذب سطحی فوق روان کننده‌ها مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد در همه انواع فوق روان کننده، مقدار جذب سطحی فوق روان کننده در فازهای C_3A و C_4AF بیشتر از فازهای C_3S و C_2S بوده است [۲]. علاوه بر این، zingg و همکاران در مطالعه ای مقدار جذب سطحی فوق روان کننده پلی الکترولیت با پایه پلی کربوکسیلات روی C_3S ، سیلیکات کلسیم هیدراته (C-S-H) و اترینگایت را بررسی کردند. نتایج نشان داد مقدار جذب سطحی این فوق روان کننده روی اترینگایت با توجه به پخش شدگی کمتر در اترینگایت در حضور فوق روان کننده، در مقایسه با C_3S بیشتر بوده است [۳]. در مطالعه ای دیگر، تاثیر نوع فوق روان کننده مانند A41 و پلی استایرن در میزان جذب سطحی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد به دلیل طول مولکولی متفاوت، A41 دارای جذب سطحی بیشتری نسبت به پلی استایرن می‌باشد [۴]. Andersen و همکاران تاثیر جرم ملکولی فوق روان کننده در جذب سطحی آن روی سیمان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایش اسپکتروفوتومتری روی ۴ فوق روان کننده پلی استایرن سولفونات با جرم‌های ملکولی مختلف ۴۰۰۰، ۱۶۰۰۰، ۳۱۰۰۰ و ۷۰۰۰۰ گرم بر مول نشان داد این فوق روان کننده با بیشترین مقدار جذب سطحی، دارای جرم ملکولی حدود ۱۶۰۰۰ گرم بر مول می‌باشد [۵]. Kim و همکاران نیز مقدار جذب سطحی فوق روان کننده پلی نفتالین سولفونات (PNS) در ۶ نوع سیمان مختلف و تاثیر آن روی روانی بتن را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد سیمان‌های با قلیائیت کمتر دارای قابلیت جذب سطحی مقدار بیشتری از PNS می‌باشند. همچنین افزایش روانی خمیر سیمان در گرو جذب سطحی کمتر PNS می‌باشد [۶]. Vikan و همکاران جذب سطحی فوق روان کننده‌هایی چون نفتالین سولفونات فرمالدهید (NSF)، لیگنوسولفونات (LS) و پلی اکریلات (PA) را مورد بررسی قرار دادند. در مطالعه خود از روش اسپکتروفوتومتری روی جذب سطحی فوق روان کننده‌ها در پنج دوغاب سیمان استفاده کردند. نتایج نشان داد کاربرد افزودنی‌های NSF و PA در ابتدا باعث افزایش مقدار جذب سطحی و پس از رسیدن به ماکزیمم مقدار، باعث کاهش جذب سطحی می‌شود [۵، ۸]. پخش کنندگی فوق روان کننده‌ها با پایه پلی کربوکسیلات به مقدار جذب سطحی پلیمرها روی سطوح سیمان، وجود نیروهای الکترواستاتیک و نیروهای دافع وابسته است [۹ و ۱۰]. این مکانیزم‌ها منتهی به تنشی‌های علوم کلوتیدی می‌باشد [۱۱-۱۳]. از طرفی، افزودنی فوق روان کننده بین سطوح ذرات سیمان و محلول تنش داخلی ایجاد کرده و در خواص فیزیکی خمیر سیمان شامل ویسکوزیته و تنش تسلیم موثر است. جذب سطحی فوق روان کننده با پایه پلی کربوکسیلات در سیمان به ساختار این فوق روان کننده وابسته است [۱۴]. محققانی دیگر تاثیر ساختار و غلظت فوق روان کننده با پایه پلی کربوکسیلات (PCE) را روی سیمان‌هایی با مقادیر مختلف C_3A بررسی کردند. نتایج نشان داد با افزایش مقدار C_3A به منظور رسیدن به تنش تسلیم صفر در خمیر سیمان، مقادیر بیشتری از PCE مورد نیاز است. PCE با طول زنجیره و چگالی بیشتر، دارای جذب سطحی ضعیف‌تر با نیروهای بین ملکولی ضعیف لاندن یا نیروهای ضعیف یون-دوقطبی می‌باشد [۱۵]. پارامترهایی چون طول زنجیره فوق روان کننده پلی اتیلن اکسید (PEO) و چگالی آن در کنترل جذب سطحی

^۱ Total Organic Carbon

^۲ UV Spectrophotometer

PEO و قابلیت آن در پراکندگی ذرات سیمان موثر است [۲۰-۱۶]. بررسی اثر دما روی جذب سطحی فوق روان کننده نشان داد با افزایش دما مقدار جذب سطحی فوق روان کننده کاهش می‌یابد که علت آن افزایش انرژی جنبشی یا آنتروپی ملکول‌ها با افزایش دما می‌باشد [۱].

نتایج مطالعه Vikan روی فوق روان کننده‌ها نشان داد درجه اشباع آن‌ها به نرمی سیمان، مقدار C_3A موجود در سیمان و انحلال‌پذیری سولفات‌ها بستگی دارد. همچنین درجه اشباع لیگنوسولفونات نسبت به نفتالین سولفونات فرمالدهید بیشتر تحت تاثیر میزان قلیائیت می‌باشد. غلظت اشباع فوق روان کننده با افزایش مقدار قلیائیت افزایش می‌یابد. افزایش غلظت سولفات قلیایی در محلول باعث افزایش نرخ هیدراتاسیون و کاهش جذب سطحی فوق روان کننده می‌شود [۱]. Nawa و همکارانش نیز تاثیر مقدار سولفات را روی ویسکوزیته خمیر سیمان بررسی کردند. نتایج نشان داد در حضور سولفات ویسکوزیته کاهش می‌یابد که علت این امر پائین بودن مقدار جذب سطحی فوق روان کننده توسط C_3A و C_4AF در حضور سولفات می‌باشد. بنابراین، در حضور سولفات پراکندگی فاز سیلیکاتی افزایش یافته و روانی خمیر سیمان افزایش می‌یابد [۲۱]. بررسی روی فاز C_3S سیمان نشان داد این فاز بیشترین مقدار جذب سطحی فوق روان کننده را دارد. به طور مشابه نشان داده شده است که فاز C_3A سیمان در حضور فوق روان کننده کلسیم لیگنوسولفونات دارای جذب سطحی بیشتری می‌باشد [۲۲ و ۲۳]. بررسی تاثیر نوع سیمان روی مقدار جذب سطحی فوق روان کننده نفتالین سولفونات فرمالدهید نشان داد سیمان نوع III، سیمان نوع I و بعد سیمان نوع II به ترتیب دارای بیشترین مقدار جذب سطحی فوق روان کننده روی ذرات خود می‌باشند. به طوریکه نسبت C_3A/SO_3 در این سیمان‌ها نیز رفتاری مشابه مقدار جذب سطحی دارد [۲۴]. Colleparidi و همکاران نشان دادند مقدار جذب سطحی سیمان به طور عمده تابع مقدار C_3A می‌باشد. به طوریکه برای دستیابی به روانی ثابت در مخلوط‌های سیمانی حاوی سیمان نوع یک و نوع پنج، مقدار روان کننده مصرفی در مخلوط حاوی سیمان نوع یک بیشتر از مخلوط حاوی سیمان نوع پنج می‌باشد [۲۵]. در تحقیق دیگری اثر نرمی سیمان و سولفات‌های قلیایی در سیمان روی جذب سطحی سیمان بررسی شده است. نتایج نشان داد با افزایش نرمی سیمان، میزان جذب سطحی فوق روان کننده‌ها افزایش می‌یابد [۲۶]. Asakura و همکاران تاثیر نسبت فازهای سیلیکاتی (C_3S/C_2S) و آلومیناتی (C_3A/C_4AF) روی مقدار جذب سطحی را بررسی کردند. نتایج نشان داد با افزایش نسبت‌های مذکور مقدار جذب سطحی نیز افزایش می‌یابد [۲۷]. با توجه به مطالعات صورت گرفته توسط محققان روی مکانیزم و عوامل موثر بر جذب سطحی فوق روان کننده‌ها روی ذرات سیمان، شکل ۱ طبقه بندی مهمترین عوامل موثر بر مکانیزم جذب سطحی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- طبقه بندی مهمترین عوامل موثر بر مکانیزم جذب سطحی

در تحقیق حاضر، به منظور بررسی جذب سطحی فوق روان کننده‌های با پایه شیمیایی لیگنوسولفونات سدیم (LS)، نفتالین سولفونات فرمالدهید (NSF) و پلی کربوکسیلات اتر (PCE)، دو طرح اختلاط حاوی سیمان پرتلند نوع ۲ و سیمان آمیخته ژئولیتی با ۱۰٪ ژئولیت جایگزین سیمان ساخته شده است. توسط آزمایش اسپکتروفتومتری مقادیر جذب سطحی فوق روان کننده‌های مذکور روی ذرات سیمان در هر دو طرح بدست آمده است.

۲- مشخصات مصالح:

سیمان مورد استفاده در تمامی طرح ها از سیمان نوع ۲ تهران مطابق استاندارد ASTM C150 است. پودر زئولیت مورد استفاده تولیدی کارخانه افرندتوسکا از معادن افتر سمنان می باشد. آنالیز شیمیایی سیمان و زئولیت مصرفی در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مشخصات شیمیایی سیمان و زئولیت

زئولیت	سیمان نوع ۲	
۶۷/۷۹	۲۱/۲۵	SiO ₂
۱۳/۶۶	۳/۳۸	Al ₂ O ₃
۱/۴۴	۳/۵۶	Fe ₂ O ₃
۱/۶۸	۶۳/۱	CaO
۱/۲۰	۱/۹۶	MgO
۰/۵۰	۱/۷۱	SO ₃
۲/۰۴	۰/۲۱۶	Na ₂ O
۱/۴۲	۰/۵۴	K ₂ O
-	۶۴	C ₃ S
-	۱۴	C ₂ S
-	۳	C ₃ A
-	۱۱	C ₄ AF
۱۰/۲۳	۱/۸۷	L.O.I.

مواد افزودنی شیمیایی مورد استفاده در آزمایشها تهیه شده از شرکت طراحان بتن پایدار است. مشخصات این افزودنیها در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- مشخصات افزودنی شیمیایی مصرفی

پایه شیمیایی	وزن مخصوص (gr/cm ³)	PH	درصد ماده جامد	رنگ
لیگنوسولفونات سدیم (LS)	۱/۱۷	۶/۱۳	۴۰	قهوه‌ای تیره
نفتالین سولفونات فرمالدهید (NSF)	۱/۲	۷/۲	۴۰	قهوه‌ای روشن
پلی کربوکسیلات اتر (PCE)	۱/۱۴	۶/۲۵	۳۰	کهربایی

۳- برنامه آزمایشگاهی و نحوه ساخت نمونه‌ها:

از روش اسپکتوفتومتری به منظور اندازه‌گیری میزان تمرکز پلیمر در محلول استفاده می‌شود. به دلیل این که قرائت میزان پلیمر محلول در محدوده نمایان، قابل رویت نبود، طول موج بهینه در محدوده فرابنفش اندازه‌گیری شد. به این ترتیب که با ساخت محلول استاندارد با pH ثابت، میزان حداکثر قرائت پلیمر موجود در محلول (پلیمر جذب شده) با آزمون و خطا شناسایی شده و طول موج بهینه برای پایه لیگنوسولفونات و نفتالین فرمالدهید سولفونات را نشان می‌دهد. سپس با ساخت مواد سیمانی با نسبت آب به سود ۲ با درصدهای مختلف پلیمر به میزان ۱۰/۵ و ۱/۵ درصد ساخته شد. نمونه‌ها در داخل لوله آزمایش به مدت ۱۵ دقیقه توسط مخلوط کن آهنربایی به هم زده شد سپس نمونه‌ها در داخل دستگاه سانتیفریوژ قرار گرفت تا فاز مایع از ذرات سیمان جدا شود. عمل سانتیفریوژ در مدت زمان ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه انجام شد. سپس از محلول منفذی جدا شده از سیمان، نمونه‌گیری شده و داخل میکرو پلیت مخصوص ریخته می‌شود. دستگاه مورد استفاده نوعی از ELISA READER با نام تجاری power wave محصول شرکت BIO-TEK می‌باشد. پس از ریختن نمونه‌ها در میکروپلیت، بلافاصله مایع به وسیله محلول ۰/۱ مولار با pH بین ۱۳/۵- ۱۲/۵ تا ۱۰۰ برابر رقیق شد تا با توجه به شفافیت مد نظر توسط دستگاه قابل قرائت باشد. تحقیقات نشان داده است که رقیق کردن تا اندازه ۱۰۰۰ برابر همان جواب مد نظر را می‌دهد [۱]. تمرکز پلیمر در فاز مایع به جذب UV اندازه‌گیری شد. کالیبراسیون دستگاه توسط رقت‌های مختلف محلول حاوی پلیمر شامل ۰/۰۶۲۵٪، ۰/۱۲۵٪، ۰/۰۱۵٪، ۰/۰۱٪ و ۰/۰۲٪ انجام شد. همچنین تمامی آزمایشها در درجه حرارت ثابت ۲۱±۱ درجه سانتیگراد انجام شد.

۴- نتایج آزمایشها:

با توجه به مقادیر فوق روان کننده‌های LS، NSF و PCE در طرح‌های اختلاط حاوی سیمان پرتلند نوع ۲ و سیمان آمیخته زئولیتی، نتایج حاصل از آزمایش اسپکتروفتومتری به منظور تعیین مقادیر جذب سطحی هم دما در هر یک از فوق روان کننده‌ها در جداول ۳، ۴ و ۵ آورده شده است.

جدول ۳- مقادیر مصرفی و جذب شده LS در طرح‌های حاوی سیمان پرتلند نوع ۲ و سیمان آمیخته زئولیتی

LS		
مقدار مصرفی در هر دو طرح اختلاط (mg/g)	مقدار جذب شده در طرح حاوی سیمان پرتلند نوع ۲ (mg/g)	مقدار جذب شده در طرح حاوی سیمان آمیخته زئولیتی (mg/g)
۰	۰	۰
۲	۱/۸۳	۲/۱
۵	۳/۳۸	۴/۳۳
۱۰	۵	۶/۱
۱۵	۵/۵	۷/۷

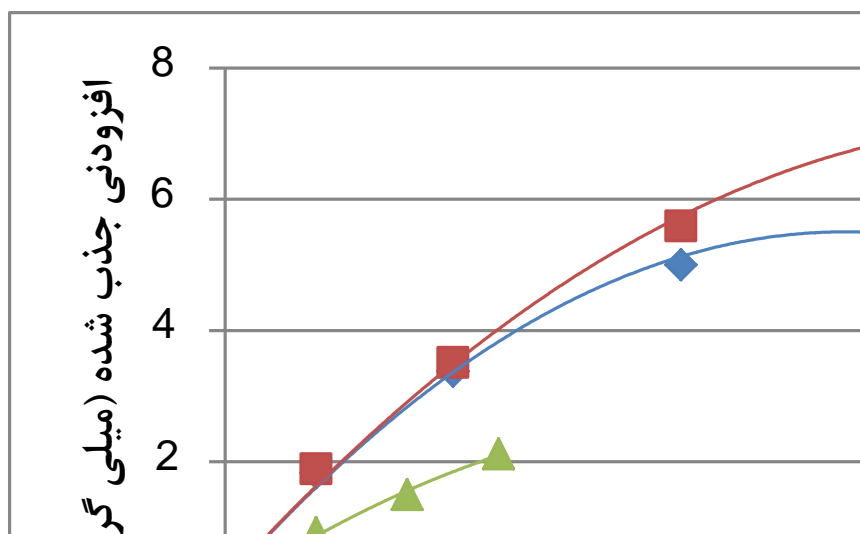
جدول ۴- مقادیر مصرفی و جذب شده NSF در طرح‌های حاوی سیمان پرتلند نوع ۲ و سیمان آمیخته زئولیتی

NSF		
مقدار مصرفی در هر دو طرح اختلاط (mg/g)	مقدار جذب شده در طرح حاوی سیمان پرتلند نوع ۲ (mg/g)	مقدار جذب شده در طرح حاوی سیمان آمیخته زئولیتی (mg/g)
۰	۰	۰
۲	۱/۸۹	۲/۱۸
۵	۳/۵۱	۴/۸۳
۱۰	۵/۵۹	۷/۸۵
۱۵	۷/۰۱	۱۰/۳۳

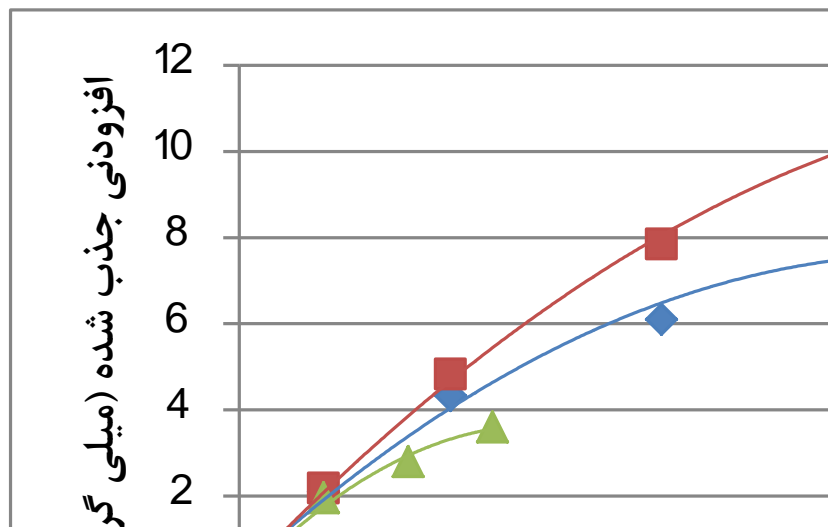
جدول ۵- مقادیر مصرفی و جذب شده PCE در طرح‌های حاوی سیمان پرتلند نوع ۲ و سیمان آمیخته زئولیتی

PCE		
مقدار مصرفی در هر دو طرح اختلاط (mg/g)	مقدار جذب شده در طرح حاوی سیمان پرتلند نوع ۲ (mg/g)	مقدار جذب شده در طرح حاوی سیمان آمیخته زئولیتی (mg/g)
۰	۰	۰
۰/۸	۰/۴	۰/۶۲
۲	۰/۹۲	۱/۹۶
۴	۱/۵	۲/۸
۶	۲/۱۲	۳/۶

نتایج آزمایش اسپکتروفتومتری برای سه نوع افزودنی LS، NSF و PCE در مخلوط‌های سیمانی حاوی سیمان پرتلند نوع ۲ و سیمان آمیخته زئولیتی در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲- تاثیر نوع افزودنی در مقدار جذب سطحی آن روی ذرات سیمان در طرح حاوی سیمان پرتلند نوع ۲



شکل ۳- تاثیر نوع افزودنی در مقدار جذب سطحی آن روی ذرات مواد سیمانی در طرح حاوی ۱۰٪ سیمان آمیخته زئولیتی

همانطور که در شکل ۲ نشان داده می‌شود، با استفاده از ۱/۵٪ و ۰/۲٪ نفتالین سولفونات فرمالدهید در طرح حاوی سیمان پرتلند نوع ۲ به ترتیب حدود ۰/۷٪ و ۰/۲٪ آن جذب ذرات سیمان می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد در مقادیر کم مورد استفاده از این افزودنی در طرح‌ها تقریباً به طور کامل جذب ذرات سیمان شده و در روانی و کارایی مخلوط تاثیر اندکی خواهد داشت. درصدهای پائین افزودنی با پایه شیمیایی لیگنوسولفونات سدیم نیز به طور کامل جذب ذرات سیمان می‌شود. در حالیکه مصرف ۰/۸٪، ۰/۲٪، ۰/۴٪ و ۰/۶٪ فوق روان کننده با پایه شیمیایی پلی کربوکسیلات اتر به ترتیب دارای مقادیر جذب سطحی حدود ۰/۴٪، ۰/۱٪، ۰/۱۵٪ و ۰/۲٪ می‌باشد و این نتیجه نشان دهنده موثر بودن این فوق روان کننده حتی در مقادیر کم مورد استفاده در طرح مخلوط می‌باشد.

با توجه به شکل ۳، مصرف ۰/۲٪ و ۰/۵٪ نفتالین سولفونات فرمالدهید در طرح حاوی ۱۰٪ سیمان آمیخته پوزولانی نشان می‌دهد تقریباً به طور کامل جذب سطحی ذرات سیمان می‌شود. با مصرف ۰/۸٪ و ۰/۶٪ پلی کربوکسیلات اتر، ۰/۶٪ و ۰/۳۶ درصد آن جذب مواد سیمانی شده است. همچنین در مورد لیگنوسولفونات سدیم، استفاده از ۰/۲٪ و ۰/۱۵٪ از آن در طرح مخلوط، ۰/۸٪ و ۰/۱۸٪ جذب سطحی مواد سیمانی می‌شود.

با توجه به شکل های ۲ و ۳ بدون توجه به نوع سیمان مورد استفاده در طرح اختلاط، افزودنی NSF دارای بیشترین مقدار جذب سطحی روی ذرات سیمان می‌باشد و پس از آن LS نسبت به PCE دارای مقدار جذب سطحی بیشتری است. با توجه به میزان نسبی کم قلیایی معادل سیمان و همچنین این نکته که فوق روان کننده پایه نفتالینی در محیط سیمان با قلیایی معادل کم ناسازگاری دارد، به دلیل جذب بالای فوق روان کننده بر روی ذرات سیمان افت اسلامپ شدیدی ایجاد خواهد شد [۲۸]. از این رو مقدار فوق روان کننده باقی مانده در محلول منفذی بسیار کاهش یافته و مقدار جذب سطحی آن روی ذرات سیمان افزایش می‌یابد.

همچنین با افزایش مقدار مصرفی هر سه نوع فوق روان کننده، مقدار جذب سطحی آن‌ها روی ذرات سیمان افزایش می‌یابد.

همانطور در شکل ۲ و ۳ مشاهده می‌شود هر سه نوع فوق روان کننده در طرح مخلوط حاوی ۱۰٪ زئولیت جایگزین سیمان نسبت به طرح حاوی سیمان پرتلند نوع ۲ دارای جذب سطحی بیشتری می‌باشند.

دو خاصیت عمده زئولیت شامل تبادل کاتیونی و بالا بودن جذب سطحی قلیایی‌های سیمان، این پوزولان را نسبت به پوزولانهای دیگر متمایز می‌کند [۲۹]. در نتیجه در طرح حاوی ۱۰ درصد زئولیت جایگزین سیمان، مقدار جذب سطحی فوق روان کننده نسبت به طرح شاهد (حاوی سیمان پرتلند و بدون زئولیت) افزایش می‌یابد. این موضوع با خصوصیات جذبی بالای زئولیت بسیار سازگار است. علاوه بر این، بتن حاوی زئولیت افت شدیدی در کارایی دارد. Sahmaran و همکارانش در تحقیقی با جایگزینی درصدهای مختلف زئولیت جایگزین سیمان و با میزان فوق روان کننده مصرفی ثابت نسبت تنش برشی بتن حاوی زئولیت را حداقل دو برابر طرح بدون زئولیت بدست آورده اند [۳۰]. در مورد پلی

کربوکسیلات اتر و لینگوسولفونات سدیم بایستی به این نکته اشاره کرد که سطح مخصوص بسیار بالای ژئولیت (حدود ۱۳۰ برابر سطح مخصوص سیمان) باعث جذب مقدار زیادی از این افزودنی‌ها بر روی ذرات شده است. از این رو مقدار جذب سطحی این فوق روان کننده‌ها نسبت به این مقدار در طرح شاهد افزایش و مقدار کارایی نیز کاهش یافته است.

۵- جمع بندی و نتیجه گیری:

در این مقاله مقدار جذب سطحی سه نوع فوق روان کننده با پایه شیمیایی متفاوت روی ذرات سیمان با روش اسپکتروفوتومتری مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر حاصل شد.

۱- در هر دو طرح حاوی سیمان پرتلند و سیمان آمیخته ژئولیتی، فوق روان کننده با پایه شیمیایی نفتالین سولفونات فرمالدهید و پس از آن لینگوسولفونات سدیم و بعد پلی کربوکسیلات اتر دارای جذب سطحی بالایی روی ذرت سیمان هستند.

۲- در طرح‌های حاوی سیمان پرتلند نوع ۲ و سیمان آمیخته ژئولیتی، با استفاده از مقادیر کم فوق روان کننده‌های با پایه شیمیایی نفتالین سولفونات فرمالدهید، لینگوسولفونات سدیم و پلی کربوکسیلات اتر مصرفی در طرح‌های اختلاط، تقریباً کل مقدار مصرفی جذب ذرات سیمان می‌شود.

۳- با توجه به حساسیت فوق روان کننده نفتالینی به میزان قلیایی معادل موجود در محلول سیمان و همچنین با توجه به جذب قلیایی بالای ذرات ژئولیت استفاده از فوق روان کننده نفتالینی به دلیل جذب بسیار زیاد بر روی ذرات سیمان و کاهش مقدار باقی مانده در محلول منفذی، مقادیر جذب سطحی بالایی مشاهده شده است.

۴- در طرح‌های حاوی ۱۰ درصد ژئولیت به عنوان جایگزین سیمان نسبت به طرح‌های حاوی سیمان پرتلند، مقدار جذب سطحی فوق روان کننده و در نتیجه میزان فوق روان کننده مصرفی را افزایش می‌دهد. این موضوع می‌تواند مربوط به جذب سریع ذرات فوق روان کننده توسط ژئولیت باشد.

فهرست مراجع:

- [1]. Vikan H., rheology and reactivity of cementitious binders with plasticizers, Doctoral thesis, NTNU- Norwegian University of Science and Technology, 2005.
- [2]. Yoshioka K., Tazawa E., Kawai K., Enohata T., Adsorption characteristics of superplasticizers on cement component minerals, Cement and Concrete Research, 32, 2002, 1507-1513.
- [3]. Zingg A., Winnefeld F., Holzer L., Pakusch J., Beckerb S., Gauckler L., Adsorption of polyelectrolytes and its influence on the rheology, zeta potential, and microstructure of various cement and hydrate phases, Journal of Colloid and Interface Science, 323, 2008, 301-312.
- [4]. Andersen P.J., Roy D.M., Gaidis J.M., the effect of adsorption of superplasticizers on the surface of cement, Cement and Concrete Research, 17, 1987, 805-813.
- [5]. Andersen P.J., Roy D.M., Gaidis J.M., the effect of superplasticizer molecular weight on its adsorption on, and dispersion of, cement, Cement and Concrete Research, 18, 1988, 980-986.
- [6]. Kim B.G., Jiang S., Jolicoeur C., Aitcin P.C., The adsorption behavior of PNS superplasticizer and its relation to fluidity of cement paste, Cement and Concrete Research, 30, 2000, 887-893.
- [7]. Plank J., Winter C., Competitive adsorption between superplasticizer and retarder molecules on mineral binder surface, Cement and Concrete Research, 38, 2008, 599-605.
- [8]. Vikan H., Justnes H., Figi R., Adsorption of plasticizers – Influence of plasticizer and cement type, 127-134.
- [9] Uchikawa H., Hanehara S., Sawaki D., the role of steric repulsive force in the dispersion of cement particles in fresh paste prepared with organic admixture. Cement and Concrete Research, 27(1), 1997, 37-50.

- [10] Kauppi A., Andersson K.M., Bergström L., Probing the effect of superplasticizer adsorption on the surface forces using the colloidal probe AFM technique. *Cement and Concrete Research*, 35(1), 2005, 133-140.
- [11] Neubauer C.M., Yang M., Jennings H.M., Interparticle potential and sedimentation behaviour of cement suspensions: effects of admixtures. *Advance Cement Based Materials*, 8(1), 1998, 17-27.
- [12] Flatt R.J., Interparticle forces and superplasticizers in cement suspensions. EPFL, PhD thesis; 1999. p.301.
- [13] Plank J., Schwerd R., Vlad D., Brandl A., Chatziagorastou P., Kolloidchemische Aspekte zur Verflüssigung von Zementleimen mit Polycarboxylaten. In: *Tagung Bauchemie. Monographie Bd.*, Erlangen, 31, 2004, 58-69.
- [14]. Li C.Z., Feng N.Q., Li Y.D., Chen R.J., Effects of polyethylene oxide chains on the performance of polycarboxylate-type water-reducers. *Cement and Concrete Research*, 35(5), 2005, 867-73.
- [15]. Zingg A., Winnefeld F., Holzer L., Pakusch J., Becker S., Figi R., Gauckler L., Interaction of polycarboxylate-based superplasticizers with cements containing different C₃A amounts, *Cement and Concrete Composites*, 31, 2009, 153-162.
- [16]. Hanehara S., Yamada K., Interaction between cement and chemical admixture from the point of cement hydration, adsorption behaviour of admixture, and paste rheology, *Cement and Concrete Research*, 29(8), 1999, 1159-65.
- [17]. Yamada K., Takahashi T., Hanehara S., Matsuhisa M., Effects of the chemical structure on the properties of polycarboxylate-type superplasticizer. *Cement and Concrete Research*, 30(2), 2000, 197-207.
- [18]. Kreppelt F., Weibel M., Zampini D., Romer M., Influence of solution chemistry on the hydration of polished clinker surfaces- a study of different types of polycarboxylic acid-based admixtures. *Cement and Concrete Research*, 32(2), 2002, 187-198.
- [19]. Kirby G.H., Lewis J.A., Comb polymer architecture effects on the rheological property evolution of concentrated cement suspensions. *J Am Ceram Soc*, 87(9), 2004, 1643-52.
- [20]. Cho H.Y., Suh J.M., Effects of the synthetic conditions of poly{carboxylate-g- (ethylene glycol) methyl ether} on the dispersibility in cement paste. *Cement and Concrete Research*, 35(5), 2005, 891-899.
- [21]. Nawa T., Eguchi H., Fukuya Y., Effect of Alkali Sulfate on the Rheological Behavior of Cement Paste Containing Superplasticizer, *ACI SP-119*, 1989, 405-424.
- [22]. Ramachandran V.S., Elucidation of the Role of Chemical Admixtures in Hydrating Cements by DTA Technique, *Thermochimica Acta*, 3, 1972, 343-366.
- [23]. Ramachandran, V.S., Effect of Calcium Lignosulfonate on Tricalcium Aluminate and its Hydration Products, *Materiaux et Constructions*, 5, 1972, 67-76.
- [24]. Burk A.A., Gaidis J.M., Rosenberg A.M., Adsorption of Naphthalene-Based Superplasticizers on Different Cements, *NIinter. Conf: Superplasticizers in Concrete*, p. 23, Ottawa, Canada, 1981.
- [25]. Collepardi M., Corradi M., Valente M., (Private Communication).
- [26]. Nawa, T. and Eguchi, H., Effect of Cement Characteristics on the Fluidity of Cement Paste Containing an Organic Admixture, *9th Inter. Cong. Chem Cements*, IV:597-603, New Delhi, 1992.
- [27]. Asakura, E., Yoshida, H., and Nakae, H., Influence of Superplasticizer on Fluidity of Fresh Cement Paste with Different Clinker Phase Composition, *9th Int'l, Cong. Chem. Cements*, New Delhi, India, IV:570-576, 1992.
- [28]. Kim G.B., Jiange S., Jolicoeur C., Aitcin P.C., the adsorption behavior of PNS super plasticizer and its relation to fluidity of cement paste, *Cement and Concrete research*, 30, 2000, 887-893.
- [29]. Ahmadi B., Shekarchi M., Use of natural zeolite as a supplementary cementitious material, *cement and concrete composites*, 32, 2010, 134-141.
- [30]. Sahmaran M., The effect of replacement rate and fineness of natural zeolite on the rheological properties of cement-based grout, *Canadian Journal of civil engineering*, 35, 2008, 796-806.