

بررسی تاثیر ماده افزودنی زانتان گام بر خواص مکانیکی و دوام بتن

رضا فرخ زاد *

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

محمد جمالی

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

چکیده

امروزه استفاده از مواد پودری و افزودنی‌های شیمیایی، جهت ارتقاء خواص مکانیکی، دوامی و رئولوژیکی انواع بتن‌ها به شدت در حال گسترش است. استفاده از مواد روان‌ساز و قوام‌دهنده بر پایه‌های مختلف (نفتالین، پلی‌کربوکسیلات و ملامین) یکی از راهکارهای موثر، جهت کنترل میزان ناپایداری بتن است. یکی از پایه‌های روان‌ساز و قوام‌بخش جدید، بیوپلیمر زانتان گام می‌باشد. این ماده سنتز شده از صمغ گیاهی، دارای لزجت بالا بوده که در صنایع مختلف دارای کاربردهای فراوانی می‌باشد. پس از مشاهده نوع روانی، قوام بالا و قیمت مناسب این ماده بر آن شدید تاثیر آن را در بتن نیز مشاهده نماییم. در این تحقیق ۱۶ طرح اختلاط حاوی پوزولان میکروسیلیس با ۱۰ درصد وزنی سیمان و عیارهای مختلف سیمان مورد بررسی قرار گرفت. به نمونه‌های مکعبی بتنی، روان‌کننده به میزان ۰/۲۵ درصد وزنی و ماده افزودنی زانتان گام اضافه گردید. نتایج نشان می‌دهد که افزودنی زانتان گام به دلیل افزایش لزجت باعث افت اسلامپ، کاهش جداسدگی و افزایش مقاومت فشاری می‌گردد. ایجاد پیوستگی بین مصالح بتن و کاهش خلل و فرج و تخلخل، موجب کاهش ضریب موئینگی و افزایش مقاومت الکتریکی بتن می‌گردد. بررسی‌های ریزساختاری بتن، شامل آزمایش میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نشان داد، در اثر استفاده از زانتان گام، میزان نفوذپذیری کاهش و پیوندهای ساختاری چسب بتن تقویت گردیده و در نتیجه نمونه‌های حاوی زانتان گام، دارای تخلخل کمتری نسبت به نمونه‌های فاقد آن می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بتن، زانتان گام، ریزساختار، دوام، خواص مکانیکی.

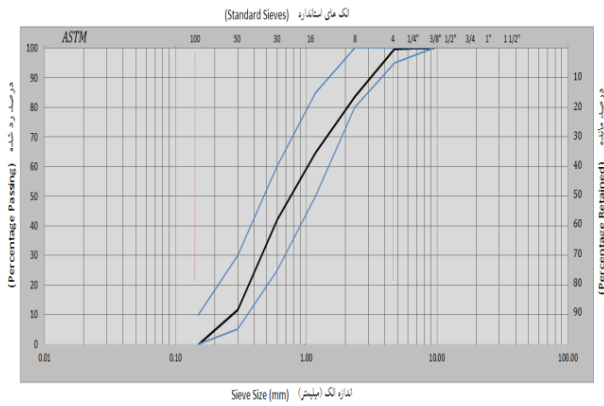
* نویسنده مسئول: r.farokhzad@qiau.ac.ir

۱- مقدمه

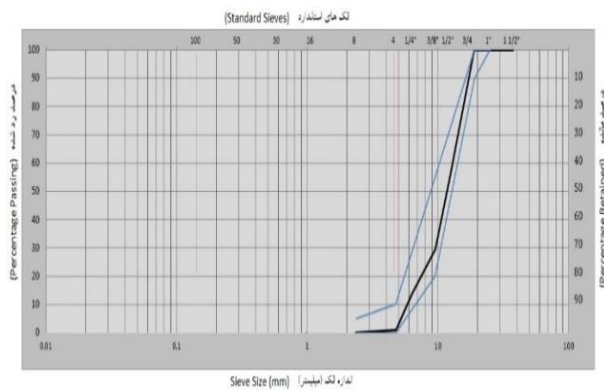
نشان می‌دهد در صورتی که هدف حفظ تنش تسلیم و افزایش لزجت بتن باشد استفاده از مواد قوام آور چندان مناسب نیست زیرا مواد قوام آور تأثیری در تغییر لزجت حداقل در مقیاس خمیر سیمان نداشته‌اند. همچنین تأثیر مواد افزودنی قوام آور بر تغییر مشخصات رئولوژیکی خمیر سیمان محسوس نیست. تأثیر مواد قوام آور در قابلیت تشکیل سوسپانسیون و حفظ ذرات سنگدانه است. بنابراین به نظر می‌رسد تأثیر مواد قوام آور در مخلوط‌های حاوی سنگدانه نمایان گردد. سونتی در سال ۲۰۰۶ و پی و همکارانش در سال ۲۰۱۵ عنوان کردند که ولان، دیاتان و زانتان گام از نوع VMA مواد اصلاح کننده لزجت هستند و باعث افزایش لزجت می‌شوند [۱-۲]. ایزیک و همکارش در سال ۲۰۱۴ تحقیقی به عنوان استفاده از پلی ساکارید ها به عنوان عامل اصلاح کننده لزجت در بتن خود تراکم انجام دادند. آنها در این مطالعه امکان تولید بتن خود تراکم با استفاده از مواد اصلاح کننده لزجت بر پایه پلی ساکارید را مورد بررسی قرار دادند. آنها نشان دادند که زانتان گام می‌تواند به عنوان مواد اصلاح کننده لزجت باشد. همچنین از ترکیب ۳ نوع VMA بر پایه ی ساکارید مثل ولن گام، زانتان گام و نشاسته امکان به دست آوردن بتن خود تراکم با حداقل اسلامپ ۶۰۰ میلی متر وجود دارد. زمان T50 در بتن‌های مقاوم به جداسدگی بیشتر از دیگر نمونه‌ها است و میزان شیره دهی یا آب انداختگی بتن را کاهش می‌دهد و همچنین نشان دادند که افزودن VMA تأثیر قابل توجهی بر روی مقاومت فشاری بتن خود تراکم ندارد [۳]. روناک و همکارانش در سال ۲۰۱۵ در تحقیقی استفاده از زانتان گام را به عنوان مواد اصلاح لزجت به همراه با فوق روان کننده در بتن خود تراکم بررسی کردند. نشان دادند که استفاده از افزودنی های اصلاح کننده لزجت (VMA) در تثبیت خواص رئولوژیکی و سازگاری بتن خود تراکم بسیار موثر است [۴، ۵]. با استفاده از افزودنی های شیمیایی نسل جدید، می‌توان بتن خود تراکم داشت. در این مطالعه، امکان تولید بتن خود تراکم با استفاده از پلی ساکارید VMA (زانتان گام) همراه با فوق روان کننده از درصدهای مختلف بررسی شد. با مطالعه دقیق تر بر روی خواص تازه و سخت شده بتن خود تراکم مانند جریان تخلیه، زمان جریان، مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مقاومت خمشی انجام

امروزه انواع مختلفی از سیمان‌ها که حاوی پوزولان‌ها و افزودنی‌های متفاوتی هستند، تولید می‌شود. یکی از مواد افزودنی اصلاح کننده لزجت بیوپلیمر زانتان گام می‌باشد که در سال‌های اخیر استفاده از بیوپلیمرها در زمینه صنعت عمران، به دلیل کم هزینه بودن و کاهش عوارض محیطی رو به افزایش است. استفاده از مواد پودری و ماده افزودنی شیمیایی اصلاح کننده لزجت (VMA) که معمولاً از جمله راه‌های کنترل ناپایداری بتن بوده و منجر به تغییر قابل توجه در رفتار آن می‌شود. استفاده از افزودنی های روان کننده در بتن باعث افزایش کارایی و روانی می‌شود. از طرف دیگر، روانی بیش از حد ممکن است موجب آب انداختگی، جداسدگی و بروز مشکلاتی در تولید بتن شود. استفاده از مواد پودری و ماده افزودنی شیمیایی اصلاح کننده لزجت (VMA¹) از جمله راه‌های کنترل ناپایداری بتن بوده و منجر به تغییر قابل توجه در رفتار آن خواهد شد. یکی از مواد افزودنی اصلاح کننده لزجت، بیوپلیمر زانتان گام می‌باشد. در واقع زانتان گام نوعی پلی ساکارید می‌باشد که به عنوان یک ماده افزودنی غذایی و همچنین برای کاهش روانی به کار می‌رود. زانتان گام به وسیله مخمرهای گلوکز یا ساکاروز تولید می‌گردد. صمغ زانتان گام یک پلی ساکارید خارج سلولی است که توسط انواعی از باکتری گرانوموناس تولید می‌شود. این ماده خصوصیات رئولوژیکی ویژه ای دارد و در صنایع مختلف به کار می‌رود. صمغ زانتان گام سوسپانسیون از، منعقد کننده، استابیلایزر، پایدار کننده، غلظت دهنده، ژل کننده، قوام دهنده، جاذب آب و روغن می‌باشند و همچنین حجم دهنده است و لزجت محصولات را بالا می‌برد. در این زمینه تحقیقاتی انجام شده است، از جمله؛ امدادی و همکارانش در سال ۱۳۸۵ بر روی تأثیر مواد افزودنی شیمیایی بر خصوصیات رفتاری بتن خود تراکم (بخش خمیر سیمان) مطالعه کردند. آن‌ها عنوان کردند که با افزایش افزودنی های قوام آور و با ثابت نگه داشتن مقدار تنش تسلیم پارامتر لزجت تقریباً بدون تغییر مانده است. با افزایش مواد قوام آور چون مقدار آب به سیمان برای رسیدن به یک مقدار تنش تسلیم مشخص افزایش یافته، پارامتر لزجت تغییر چندانی نیافته است. نتایج بررسی های انجام گرفته

¹ Viscosity Modifying Admixture

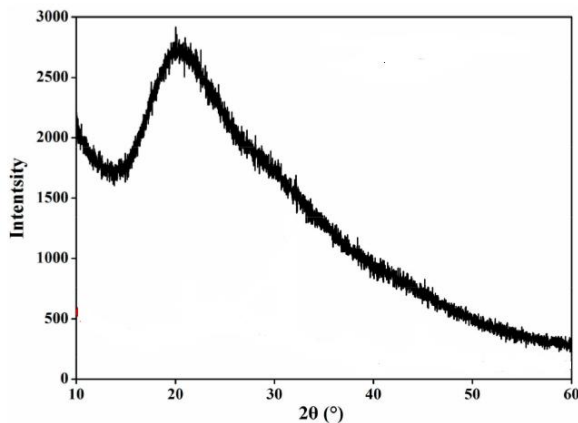


شکل ۱- نمودار دانه بندی ماسه مصرفی [۱۳]



شکل ۲- نمودار دانه بندی شن مصرفی [۱۳]

در این پژوهش از سیمان آبیکی از نوع پرتلند با عیار ۳۵۰، ۴۰۰، ۴۵۰ و ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب استفاده شد. هماهنگ با اکثر استانداردها، آب مصرفی آبی است که برای آشامیدن مناسب باشد. از روان کننده با نام تجاری CIVIL FLOW 260M استفاده شده است. در طرح‌های اختلاط از میکروسلیس به عنوان پوزولان برای ساخت بتن استفاده شده است. در شکل‌های ۳ و ۴ الگوی رفتاری ماده زانتان گام آورده شده است.



شکل ۳- آنالیز XRD^۱ برای ماده زانتانگام

گرفت. عملکرد مخلوط بتن خودتراکم‌های مختلف با VMA و فوق روان کننده با ترکیب بتن معمولی مقایسه شد و مشخص شد که خواص سخت کننده در این بتن‌ها بهتر از بتن معمولی است. افزودن زانتان گام، باعث کاهش افت جریان، افزایش T50، افزایش زمان جریان و کاهش مقدار جعبه L می‌شود. اما بعد از افزودن درصد بیش از ۰/۶ درصد زانتان گام، میزان جریان اسلامپ بیش از پیش کاهش می‌یابد. با افزایش درصد مصرفی زانتان گام مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مقاومت خمشی کاهش می‌یابد. همچنین افزایش فوق روان کننده، افزایش زانتان گام مصرفی را به همراه دارد [۶-۱۱].

۲- برنامه آزمایشگاهی

در این تحقیق ۱۶ طرح اختلاط بتن حاوی پوزولان میکروسلیس با ۱۰ درصد وزنی سیمان، با عیار سیمان ۳۵۰، ۴۰۰، ۴۵۰ و ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب به صورت نمونه‌های مکعبی ۱۵×۱۵×۱۵ و ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی متر ساخته شده است. به نمونه‌ها روان کننده به میزان ۰/۲۵ درصد حجمی و مواد افزودنی زانتان گام به میزان ۰، ۰/۳، ۰/۳۵ و ۰/۴ وزنی مجموع سیمان و مواد پودری اضافه شده است. بتن تازه تحت بررسی اسلامپ قرار می‌گیرد و عمل‌آوری در آب با تعداد روزهای ۷ و ۲۸ روز، انجام گرفت. تمام نمونه‌ها در همان سنین در آزمایش‌های مقاومت فشاری، جذب آب موئینه، مقاومت الکتریکی و تصویربرداری SEM سنجیده شد [۱۲].

۳- ویژگی‌های مصالح مورد استفاده

در این تحقیق از ماسه رودخانه‌ای استفاده شد. ماسه مصرفی با قطر ۰-۴/۷۵ mm و وزن مخصوص ظاهری آن در حالت اشباع با سطح خشک برابر 2700 Kg/m^3 و جذب آب ۲۴ ساعت آن ۱/۵٪ می‌باشد.

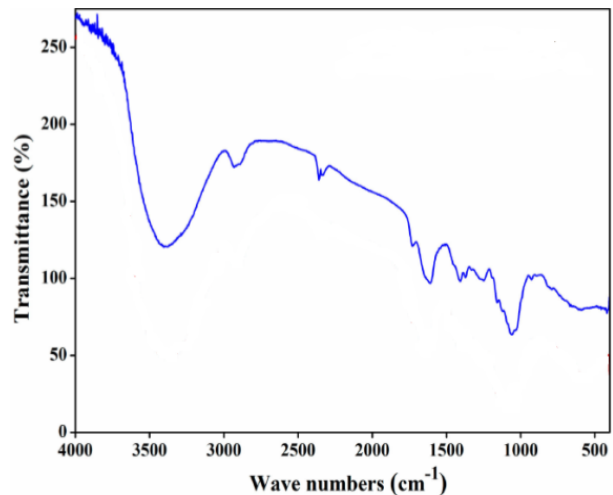
دانه‌بندی ماسه مصرفی مطابق استاندارد ASTM C33 [۱۳] در شکل ۱ قابل مشاهده می‌باشد. شن مصرفی نیز عبوری از الک $\frac{3}{4}$ (19mm) و مانده روی الک No. 4 (4/75mm) می‌باشد. همچنین لازم به ذکر است که دانه بندی شن مصرفی در محدوده استاندارد ASTM C33 [۱۳] می‌باشد. (شکل ۲)

^۱ X-ray Powder Diffraction

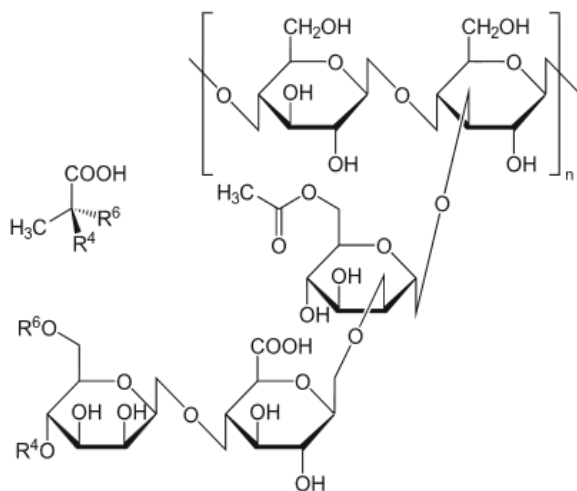
۴- آزمایش‌های انجام گرفته

۴-۱- آزمایش اسلامپ

تمام نمونه‌ها تحت آزمون اسلامپ قرار می‌گیرد و نتایج در شکل ۶ برای نمونه‌های حاوی زانتان گام و فاقد زانتان گام به صورت نمودار ترسیم شده است. همچنین به دنبال آن تأثیر عیار سیمان بر نتایج اسلامپ و تأثیر افزودن و افزایش درصد مواد افزودنی بیوپلیمر زانتان گام بررسی شده است. بالاترین افت اسلامپ با مقدار ۱۳/۵ سانتی متر متعلق به نمونه C500P (عیار ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، فاقد زانتان گام) و پایین‌ترین افت اسلامپ با مقدار ۶ سانتی متر مربوط به نمونه C350X0.4 (عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب، ۰/۴ درصد زانتان گام) می‌باشد.



شکل ۴- نمودار FT-IR^۱ ماده زانتانگام [۱۴]



شکل ۵- ساختار مولکولی ماده زانتانگام [۱۵]

خواص فیزیکی پوزولان و زانتان گام به کار رفته در جدول ۱ و ترکیبات شیمیایی مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است. بیوپلیمر مورد استفاده [۱۵] صمغ زانتان گام با پایداری حرارتی ۲۲۵ درجه فرانهیت است که به عنوان افزایش دهنده لزجت به کار رفته است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی زانتان گام و میکروسلیس در جدول ۳ و ۴ آورده شده است [۱۵].

در مجموع به منظور دستیابی به اهداف این پژوهش، شانزده طرح اختلاط به علاوه یک طرح کنترل ساخته شد که در جدول ۴ مشاهده می‌شود. در شکل ۵ ساختار مولکولی زانتان گام قابل مشاهده می‌باشد. همان‌گونه که در این شکل مشخص است ماده زانتان گام ساختاری شبیه قند می‌باشد.

جدول ۱- خواص فیزیکی میکروسلیس و زانتان گام مورد استفاده در ساخت بتن

ماده	رنگ	قطر میانگین ذرات (میکرومتر)	چگالی ویژه/وزن مولکولی	pH
میکروسلیس	خاکستری مایل به سفید	کمتر از ۱	۲/۲-۲/۳	۸,۵ تا ۵,۵
زانتان گام	زرد مایل به سفید	۶۰۰-۳۵۵	۹۳۳ (gr/mol)	۸,۵ تا ۵,۳

جدول ۲- آنالیز شیمیایی میکروسلیس و سیمان مصرفی

ترکیبات	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	LOI
میکروسلیس	۰/۱-۰/۷	۸۶-۹۴	۰/۲-۲	۰/۲-۲/۵	۰/۳-۳/۵	۰/۵-۳	۰/۲-۱/۵	۰/۱-۰/۳	۲/۱
سیمان	۵۹,۹	۱۹,۹	۳,۵۸	۳,۹۴	۳,۰۸	۰,۸۴	۰,۰۵	۰,۵	—

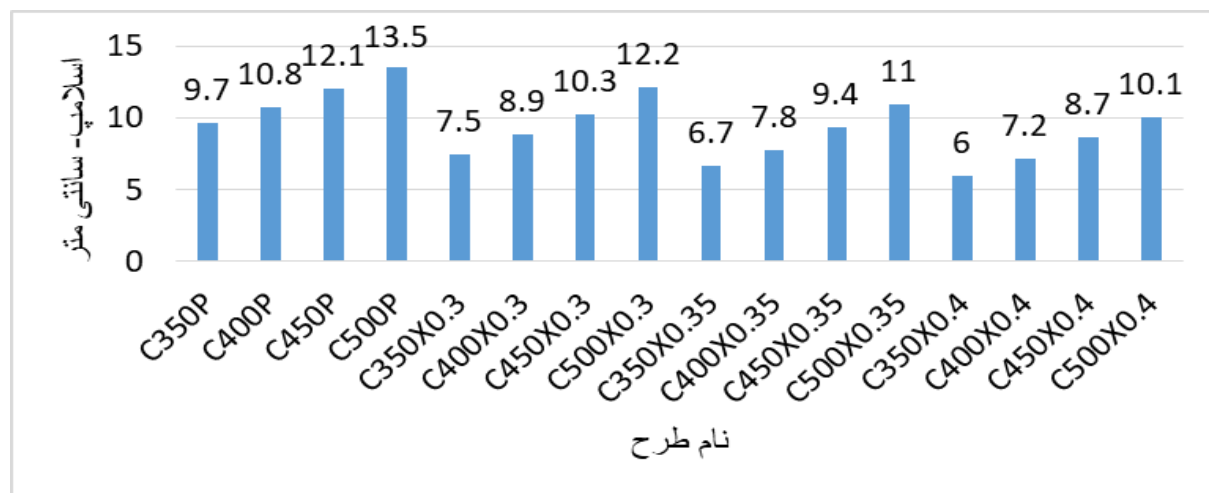
جدول ۳- خصوصیات شیمیایی برای ۱۰ گرم زانتان گام [۱۴]

ترکیبات	(NH ₄) ₂ SO ₄	KH ₂ PO ₄	K ₂ HPO ₄	NaCl	CaCl ₂	MgSO ₄	FeSO ₄	MnSO ₄	ZnSO ₄	CoCl ₂
زانتان گام	۱	۱,۵	۲	۰,۵	۰,۵	۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱

^۱ Fourier Transform Infrared Spectroscopy

جدول ۴- جزئیات طرح اختلاط‌های ساخته شده در این تحقیق

Name	سیمان (kg/m ³)	شن (kg/m ³)	ماسه (kg/m ³)	میکروسیلیس (kg/m ³)	آب (kg/m ³)	آب به سیمان	روان کننده (%)	درصد زانتان گام (%)
C350P	315	895	1029	35	140	۰/۴	۰/۲۵	0
C400P	360	851	978	40	160	۰/۴	۰/۲۵	0
C450P	405	833	957	45	180	۰/۴	۰/۲۵	0
C500P	450	764	879	50	200	۰/۴	۰/۲۵	0
C350X0.3	315	895	1029	35	140	۰/۴	۰/۲۵	۰/۳
C400X0.3	360	851	978	40	160	۰/۴	۰/۲۵	۰/۳
C450X0.3	405	833	957	45	180	۰/۴	۰/۲۵	۰/۳
C500X0.3	450	764	879	50	200	۰/۴	۰/۲۵	۰/۳
C350X0.35	315	895	1029	35	140	۰/۴	۰/۲۵	۰/۳۵
C400X0.35	360	851	978	40	160	۰/۴	۰/۲۵	۰/۳۵
C450X0.35	405	833	957	45	180	۰/۴	۰/۲۵	۰/۳۵
C500X0.35	450	764	879	50	200	۰/۴	۰/۲۵	۰/۳۵
C350X0.4	315	895	1029	35	140	۰/۴	۰/۲۵	۰/۴
C400X0.4	360	851	978	40	160	۰/۴	۰/۲۵	۰/۴
C450X0.4	405	833	957	45	180	۰/۴	۰/۲۵	۰/۴
C500X0.4	450	764	879	50	200	۰/۴	۰/۲۵	۰/۴



شکل ۶- نتایج آزمایش اسلامپ بر روی انواع طرح اختلاط

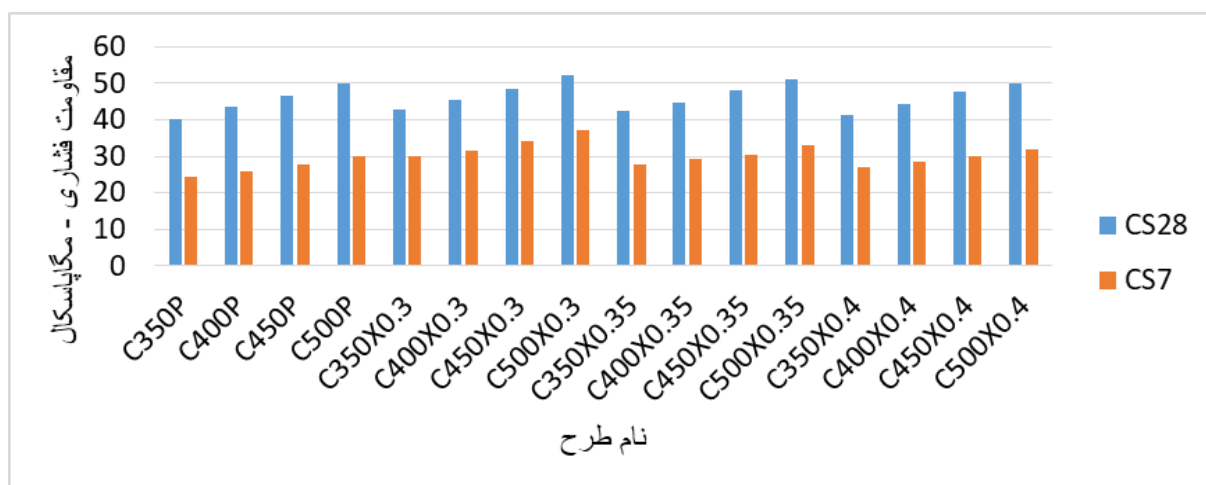
میزان اسلامپ برای نمونه‌های با عیار ۳۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب بین ۶ تا ۹/۷ سانتی متر، برای نمونه‌های با عیار ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب بین ۷/۲ تا ۱۰/۸ سانتی متر، برای نمونه‌های با عیار ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب بین ۸/۷ تا ۱۲/۱ سانتی متر و برای نمونه‌های با عیار ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب بین ۱۰/۱ تا ۱۳/۵ سانتی متر می باشد. بدین صورت بتن برای عیار ۳۵۰، ۴۰۰ و ۴۵۰ با کارایی متوسط و عیار ۵۰۰ با کارایی بالا خواهد بود. بنابراین با ثابت بودن نسبت آب به سیمان، روان کننده و میزان پوزولان، با افزایش عیار سیمان از ۳۵۰ به ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب میزان افت اسلامپ افزایش می یابد و بتن روان تر بوده و میزان کارایی آن افزایش می یابد. چرا که افزایش سیمان، افزایش حجم خمیره را به دنبال دارد. خمیر موجود در بتن با افزودن به فاصله بین

می شود. چراکه زانتان گام با خاصیت قوام آوردر بتن باعث افزایش لزجت و تنش تسلیم در بتن می شود. زانتان گام افزایش چسبندگی بین مصالح و افزایش اصطکاک درونی را به همراه دارد که این امر کاهش کارایی را به همراه دارد.

۴-۲- نتایج آزمایش تعیین مقاومت فشاری نمونه‌ها

پس از ساخت و انجام آزمایش های تعیین اسلامپ بتن ها در حالت تازه، از تمامی طرح های ساخته شده ۱۶ نمونه مکعبی ۱۵ سانتی گرفته شد و به مدت ۷ و ۲۸ روز در آب تحت عمل آوری قرار گرفت. پس از آن نمونه ها از آب خارج کرده و به صورت اشباع مورد آزمایش تعیین مقاومت فشاری قرار گرفتند. در این مطالعه از آزمایش مقاومت فشاری براساس استاندارد ASTM C39 [۱۳]، [۱۶] استفاده شد. در شکل ۷ نتایج آزمون مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه به صورت نمودار ستونی دیده می شود.

سنگ دانه ها، موجبات کاهش اصطکاک بین ذره ای مصالح سنگی را پدید می آورد که به تبع آن خصوصیات بتن تازه تغییر یافته و کارایی بتن بهبود می یابد. میزان اسلامپ برای نمونه های بدون زانتان گام بین ۹/۷ تا ۱۳/۵ سانتی متر، برای نمونه های با درصد زانتان گام بین ۷/۵ تا ۱۲/۲ سانتی متر، برای نمونه های با ۰/۳۵ درصد زانتان گام بین ۶/۷ تا ۱۱ سانتی متر و برای نمونه های با ۰/۴ درصد زانتان گام بین ۶ تا ۱۰/۱ سانتی متر می باشد. بدین صورت بتن برای طرح بدون زانتان گام با کارایی بالا و برای طرح های ۰/۳، ۰/۳۵ و ۰/۴ درصد زانتان گام دارای کارایی متوسط خواهد بود. بنابراین افزودن مواد قوام آور زانتان گام در مخلوط بتن منجر به کاهش افت اسلامپ و کاهش کارایی بتن می شود. در واقع زانتان گام نوعی بیوپلیمر بوده و موجب تغییر لزجت در بتن و کاهش روانی می شود. افزایش میزان مصرف زانتان گام از ۰/۳ تا ۰/۴ باعث کاهش افت اسلامپ، کاهش روانی و کاهش کارایی



شکل ۷- مقاومت فشاری طرح های ساخته شده در سنین مختلف [۱۶]

مخلوط، با افزایش عیار سیمان، چگالی بتن افزایش یافته و در نتیجه بتن چگال تر می شود و به همین علت مقاومت فشاری نیز با افزایش عیار سیمان بیشتر می گردد. افزودن بیوپلیمر زانتان گام بر مقاومت فشاری نمونه ها در تمامی عیار های ۳۵۰، ۴۰۰، ۴۵۰ و ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و در هر دو سن ۷ و ۲۸ روزگی تاثیر مثبت داشته و باعث افزایش مقاومت فشاری می شود. چراکه با افزودن زانتان گام ریزساختار بتن بهبود یافته و حفرات بیشتری از بتن پر شده است و بتن مقاوم تری ایجاد می کند. هنگامی که از روان کننده در بتن استفاده می شود، مقدار زیادی آب به ازای هر واحد وزن سیمان در مخلوط بتن وجود دارد؛ بنابراین اگر یک حجم ثابت از بتن به صورت یک

مطابق انتظار، در تمامی طرح ها با افزایش سن، به دلیل کامل شدن فرآیند هیدراتاسیون، افزایش مقاومت فشاری مشاهده می شود و ارتباط بین مقاومت فشاری نمونه ها در سنین ۷ و ۲۸ روزه با توجه به عیار سیمان و سن بتن برای هر یک از درصد های مصرفی زانتان گام بررسی گردیده است. با افزایش عیار سیمان از ۳۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب به ۵۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب به طور میانگین میزان مقاومت نیز افزایش می یابد. علت افزایش مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه نمونه ها در تمامی درصدهای افزودنی زانتان گام را می توان به افزایش مقدار سیمان نسبت داد. همچنین می توان ادعا کرد که به علت بالا بودن سطح ویژه ذرات سیمان نسبت به سایر اجزای

زانتان گام) می باشد. نتایج بدست آمده در این تحقیق با مقاله ابراهیم و همکارانش [۳] درست آزمایشی گردید.

۴-۳- نتایج آزمایش جذب آب موئینه

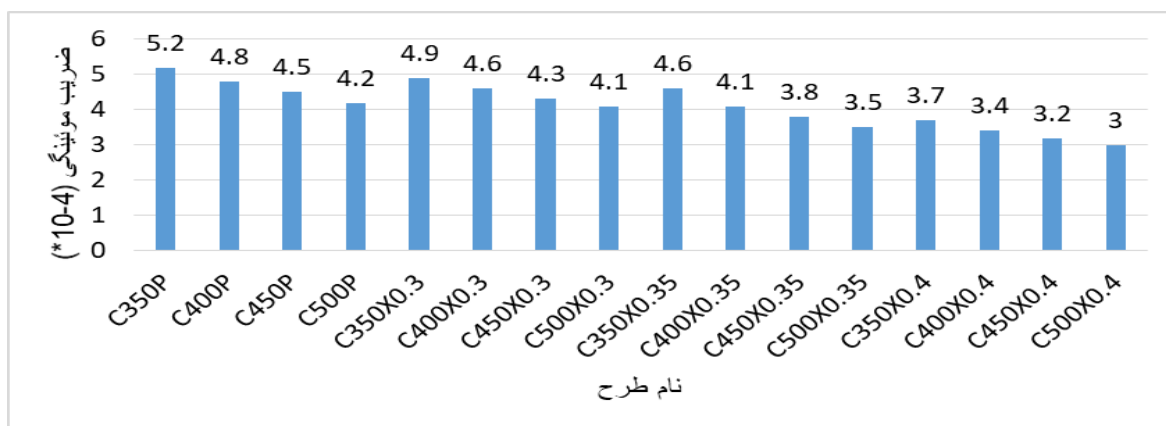
روش حاضر روشی جدید و مستقل می باشد که به آزمایش پایایی یا دوام (۳۰:۱۸۰) شناخته شده است [۱۷] و در حقیقت مشتق شده از روش فاگرلند [۱۸] می باشد که توسط سامر اصلاح شده و گسترش یافته است. این آزمایش به منظور اندازه گیری جذب آب موئینه بتن ابداع گردیده که براساس آن نتایج بر روی یک نمونه ۷ روزه در عرض ۲۴ الی ۴۸ ساعت به دست می آید. اندیس موئینگی در حقیقت شیب اولیه رابطه بین جذر زمان و درصد رطوبت حجمی جذب شده (θ) است این پارامتر یکی از کلیدی ترین خصوصیات بتن است و تمایل به جذب آب و املاح را نشان می دهد که هرچه نرخ جذب رطوبت کمتر باشد بتن نیز پایدارتر می باشد.

$$I_C = \frac{\theta_0 - \theta_i}{\sqrt{t_0} - \sqrt{t_i}} \quad (1)$$

با گذشت زمان مشخص (t_0)، میزان رطوبت جذب شده در حفره های موئین بتن به مقدار ثابتی می رسد. در رابطه فوق، θ_i : رطوبت حجمی اولیه، θ_0 : رطوبت حجمی ثابت شده، $\sqrt{t_i}$: زمان اولیه، $\sqrt{t_0}$: زمان پس از ثابت شدن درصد رطوبت حجمی و I_C اندیس موئینگی است [۱۷، ۱۹، ۲۰]

بنابراین پس از انجام آزمایش مقاومت فشاری، میزان جذب آب موئینه نمونه های بتنی ۱۰ سانتیمتری در سن ۷ روز تعیین گردید. علت آن هم این است که ضریب موئینگی کمتر به معنای ورود کمتر مواد مضر برای بتن و لذا پایایی بیشتر آن خواهد بود. نتایج این آزمون در شکل ۸ آورده شده است.

مکعب بتن ریزی شود، تعداد زیادی حفره آب در مکعب بتنی وجود خواهد داشت، بنابراین هنگامی که واکنش هیدراتاسیون در سطح ذرات سیمان شروع می شود، فرآورده های ژل مانند هیدراتاسیون در آب به دور از سطح ذرات سیمان رسوب می کنند. از آنجایی که یک فضای بزرگی برای فرآورده های خارجی هیدراتاسیون وجود دارد، فرآورده های خارجی هیدراتاسیون ابعاد بزرگی دارند. از قانون اثر اندازه می توان نتیجه گرفت که ذرات بزرگ تر مقاومت پایین تری در مقایسه با ذرات با اندازه کوچک تر دارند. همچنین با توجه به مقدار زیاد آب موجود در مخلوط، مقداری آب همچنان زمانی که بتن به سخت شدگی رسید و آماده استفاده شد باقی می ماند. این آب محسوس شده به تدریج تبخیر می شود و فضاهای خالی را در بلوک بتنی بر جای می گذارد. بنابراین افزودن زانتان گام با اثر قوام دهی و افزایش لزجت به بتن و با اثر پرکنندگی حفرات موجود در بتن باعث افزایش مقاومت فشاری می شود. اما لازم به ذکر است که موضوع افزایش مقاومت فشاری بتن تا ۰/۳ درصد زانتان گام مطرح است و پس از افزایش مصرف زانتان گام به ۰/۳۵ و ۰/۴ درصد، مقاومت فشاری کاهش می یابد. یکی از علل آن را می توان تاخیر هیدراتاسیون و یا عدم انجام هیدراتاسیون بخشی از دانه های سیمان به دلیل احاطه شدن دانه های سیمان توسط بیوپلیمر زانتان گام که در ساختار مخلوط استفاده شده است در نظر گرفت. اما همچنان از نمونه های فاقد زانتان گام مقاومت فشاری بالاتری را دارد. پایین ترین مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه به ترتیب با مقدار ۲۴/۲ و ۴۰/۲۲ مگاپاسکال متعلق به نمونه C350P (عیار ۳۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب، فاقد زانتان گام) و بالاترین مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه به ترتیب با مقدار ۳۷ و ۵۲/۱۹ مگاپاسکال مربوط به نمونه C500X0.3 (عیار سیمان ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، ۰/۳ درصد



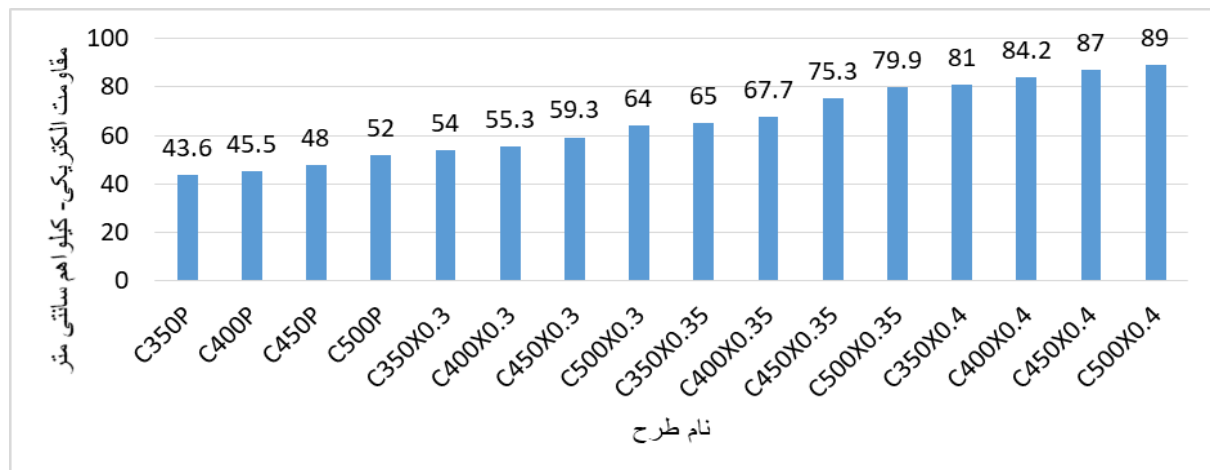
شکل ۸- ضریب موئینگی طرح های ساخته شده بر اساس ASTM C1583 [20]

کاهش مقدار آب خمیرسیمان است. بر اساس ایجاد یک لایه یا شبکه در اطراف ذرت سیمان خواص بتن بهبود بخشیده می‌شود. از دیدگاه دیگر مصرف زانتان گام باعث کاهش جمع شدگی خود بتن، کاهش جمع شدگی خمیری ناشی از تبخیر در بتن تازه و کاهش جمع شدگی ناشی از خشک شدن در بتن سخت شده می‌شود که این خود باعث افزایش دوام بتن و کاهش جذب آب موئینه در نمونه‌ها می‌شود. بالاترین ضریب موئینگی با مقدار $10^{-4} * 5/2$ متعلق به نمونه C350P (عیار ۳۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب، فاقد زانتان گام) و کمترین ضریب موئینگی با مقدار $10^{-4} * 3$ مربوط به نمونه C500X0.4 (عیار سیمان ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، ۰/۴ درصد زانتان گام) می‌باشد.

۴-۴- نتایج آزمون مقاومت الکتریکی

میزان مقاومت الکتریکی بتن به پارامترهای متعددی وابسته است که از آن جمله می‌توان به نفوذپذیری و حرکت یونها در منافذ بتن به ویژه منافذ موئینه اشاره کرد. این منافذ در بتن به طور تصادفی پخش می‌شوند و اندازه‌های متفاوتی دارند و به طور نامنظم با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. مقاومت الکتریکی بتن به حجم تخلخل‌ها و ارتباط این منافذ با یکدیگر ارتباط دارد [۲۱]، لذا می‌توان با اندازه گیری مقاومت الکتریکی بتن به صورت نسبی کیفیت و میزان تخلخل بتن را مشخص نمود و همچنین به اطلاعات خوبی درخصوص سرعت خوردگی آرماتور موجود مدفون بتن در محیط‌های گزند بار دست پیدا کرد. برای اندازه گیری مقاومت الکتریکی بتن از روش دو نقطه‌ای استفاده شده است. این آزمون بر روی نمونه‌های بتنی در سن ۲۸ روز انجام گردید. در شکل ۹ نتایج آزمون مقاومت الکتریکی به صورت نمودار ستونی دیده می‌شود.

شاخص موئینگی برای نمونه‌های حاضر در دامنه بین $10^{-4} * 3$ تا $10^{-4} * 5/2$ متغیر است. به طوری که تمامی نمونه‌ها جز C350P، C400P در محدوده مجاز قرار دارد. ارتباط بین جذب آب موئینه نمونه‌ها با توجه به عیار سیمان برای هر یک از درصد های مصرفی زانتان گام بررسی شده است. با افزایش عیار سیمان از ۳۵۰ به ۵۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب به طور میانگین شاخص موئینگی بتن کاهش می‌یابد. علت کاهش ضریب موئینگی نمونه‌ها در تمامی درصد های افزودنی زانتان گام را می‌توان به افزایش مقدار سیمان نسبت داد. همچنین می‌توان ادعا کرد با افزایش عیار سیمان، چگالی بتن افزایش یافته و در نتیجه بتن تراکم تر می‌شود و به همین علت ضریب موئینگی نیز با افزایش عیار سیمان کمتر می‌گردد. اضافه نمودن و افزایش زانتان گام در سن ۷ روزگی سبب کاهش ضریب موئینگی بتن می‌شود که نشانگر مسدود شدن منافذ می‌باشد. بیوپلیمرها نیز به منظور نفوذناپذیر کردن بتن در مقابل آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین پلیمر برای افزایش پیوستگی بین مصالح موجود در بتن مورد استفاده قرار گرفته اند. افزودنی‌هایی که منجر به پیوستگی بتن می‌شوند اغلب از امولسیون آب مواد آلی به دست می‌آیند که شامل زانتان گام هم می‌باشد. زانتان گام با فعالیت پلیمری خود در داخل بتن میزان خلل و فرج را کاهش و مانع از نفوذ آب به داخل آن می‌شود. باتوجه به یکسان بودن سنگ‌دانه، روان کننده و پوزولان مصرفی، دلیل بهبود در جذب آب موئینه بتن را می‌توان بهبود فاز خمیر سیمان و فاز ناحیه انتقال دانست. بهبود ناحیه انتقال در اثر تعادل شیمیایی بین ذرات پلیمر و برخی از محصولات هیدراتاسیون سیمان است که باعث تغییر در برخی از محصولات خمیرسیمان به خصوص هیدروکسید کلسیم و کاهش تخلخل در ناحیه اطراف سنگدانه‌ها به عنوان نتیجه‌ای از

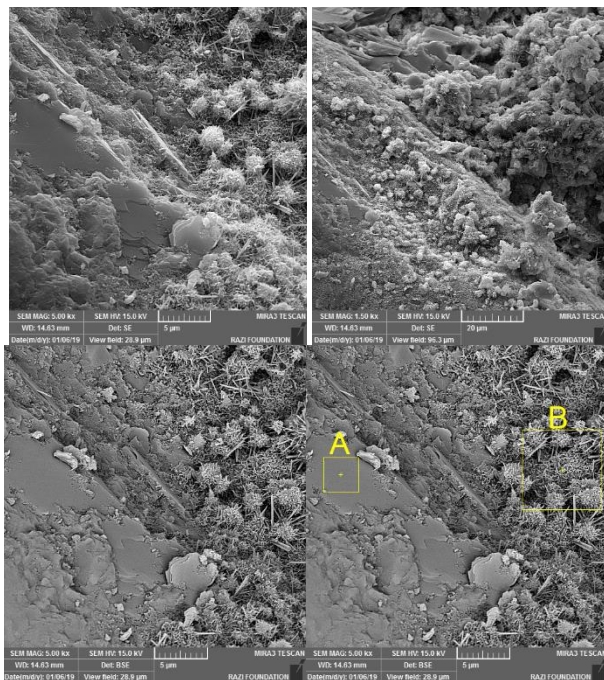


شکل ۹- نتایج مقاومت الکتریکی طرح های ساخته شده

و مقاومت الکتریکی) نقش ایفا نموده است. همچنین بالاترین مقاومت فشاری ۲۸ روزه الزاماً کمترین میزان موئینگی را حاصل نکرده است.

۴-۵- نتایج حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)^۱

SEM از روش‌های پر کاربرد میکروسکوپی محسوب می‌شود. همانند دیگر میکروسکوپ‌های الکترونی، به دلیل استفاده از پرتوی الکترونی در SEM، حد تفکیک بسیار بالایی قابل دستیابی است. به منظور کسب اطلاعات بیشتر از روند هیدراتاسیون و اندازه حفرات داخل نمونه‌های بتن دارای زانتانگام و همچنین نمونه‌های بتن فاقد زانتان گام، اقدام به تصویر برداری از نمونه‌ها، به کمک میکروسکوپ الکترونی روبشی گردید و در تصاویر شکل ۱۰ نمونه‌های فاقد زانتان گام و شکل ۱۱ نمونه‌های دارای افزودنی زانتان گام نشان داده شده است.



شکل ۱۰- نتایج SEM از نمونه‌های فاقد زانتان گام

در شکل ۱۰ نتایج آزمایش SEM برای نمونه‌های فاقد زانتان گام می‌باشد. در این تصویر میکروسلیس به صورت ریز ساختار قابل مشاهده می‌باشد.

از آنجاکه تمامی مقاومت الکتریکی حاصله بالاتر از ۲۰ کیلو اهم سانتی می باشد بنابراین تمامی نمونه‌ها از نظر کیفیت در مرتبه عالی و احتمال خوردگی خیلی کم قرار دارد. بتن تحت اثر میدان الکتریکی همانند یک خازن به همراه مقاومت عمل می‌کند که دلیل این امر وجود یون‌های داخل بتن می‌باشد. یون‌هایی که به داخل حجم بتن نفوذ کرده اند از میان منافذ موجود در ساختار بتن حرکت می‌کنند. به علت حرکت یون‌ها در داخل حجم بتن، بتن دارای هدایت الکتریکی می‌باشد. مقدار مقاومت الکتریکی بتن بستگی مستقیم به نفوذپذیری و جذب آب بتن و شرایط محیطی بتن دارد و مسلماً هرچه نفوذپذیری و جذب آب بتن بیشتر باشد، یون‌ها به راحتی و با سرعت بیشتری می‌توانند به داخل بتن راه یابند و بتن به صورت خازن به همراه مقاومت عمل می‌کند و مقدار مقاومت الکتریکی پایین تری را نشان می‌دهد [۲۲]. به نوعی دیگر افزایش مقاومت الکتریکی بتن به منزله کاهش نفوذپذیری است. نتایج مقاومت الکتریکی دقیقاً مطابق نتایج آزمون جذب آب موئینه می‌باشد. با افزایش عیار سیمان در تمامی درصد‌های مصرفی زانتان گام و افزودن و افزایش زانتان گام در تمامی عیارهای سیمان، همانطور که در قبل اشاره گردید و توضیح داده شد، مقاومت الکتریکی افزایش می‌یابد. پایین‌ترین مقاومت الکتریکی با مقدار ۴۳/۶ کیلو اهم متر متعلق به نمونه C350P (عیار ۳۵۰ کیلو گرم بر متر مکعب، فاقد زانتان گام) و بالاترین مقاومت الکتریکی با مقدار ۸۹ کیلو اهم-سانتیمتر مربوط به نمونه C500X0.4 (عیار سیمان ۵۰۰ کیلو گرم بر متر مکعب، ۰/۴ درصد زانتان گام) می‌باشد.

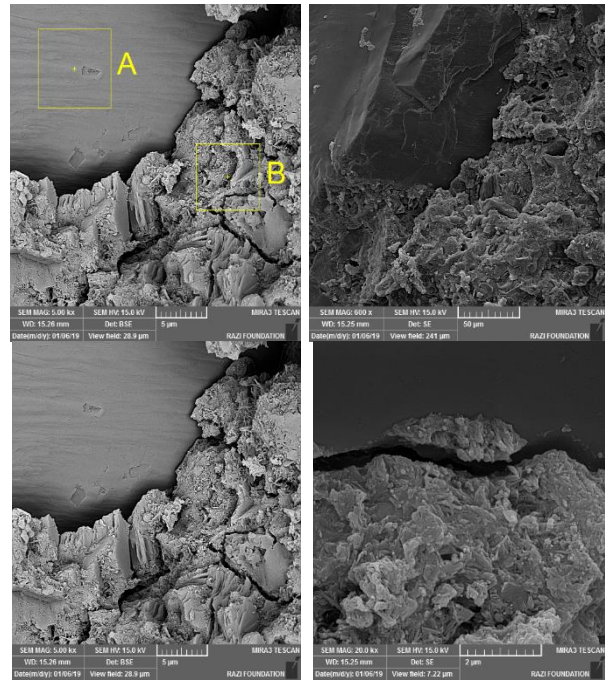
از بررسی‌های انجام گرفته در نهایت می‌توان به این جمع‌بندی رسید که میزان دوام بتن (نفوذپذیری، درصد جذب آب و مقاومت الکتریکی) متاثر از عوامل مختلفی مانند مقدار سیمان، نوع افزودنی‌ها و مقدار افزودنی می‌باشد. البته این عوامل بر میزان مقاومت فشاری بتن نیز تاثیر گذار است. روند تغییرات افزایش مقاومت فشاری منجر به کاهش جذب موئینه و افزایش مقاومت الکتریکی خواهد شد. چنان که در این تحقیق دیده شده است زانتان گام بر روی بهبود خصوصیات دوام بتن (جذب موئینه آب

¹ Scanning Electron Microscope

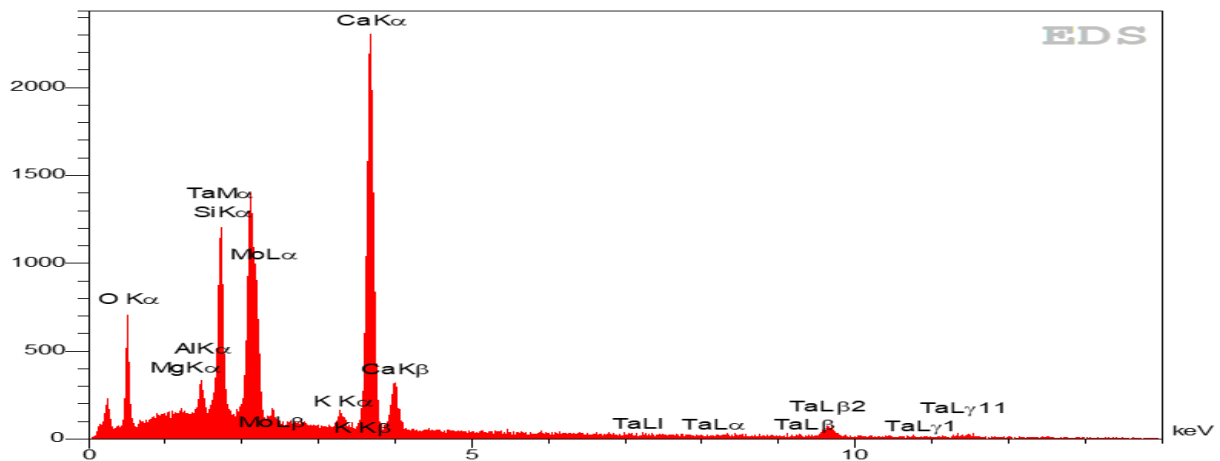
بررسی‌ها نشان می‌دهد، نمونه‌های دارای زانتان گام، دارای تخلخل کمتری نسبت به نمونه‌های فاقد زانتان گام می‌باشند و ساختار محصولات هیدراتاسیون (C-S-H) در بتن حاوی زانتان گام بسیار متراکم‌تر و فشرده‌تر می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از آزمایش EDS و شدت پیک‌های هیدروکسید کلسیم در آن و مقایسه هیدروکسید کلسیم در نمونه‌های دارای زانتان گام و فاقد زانتان گام نشان می‌دهند که زانتان گام در کاهش میزان هیدروکسید کلسیم در ساختار بتن موثر بوده است.

۴-۶- طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس EDS

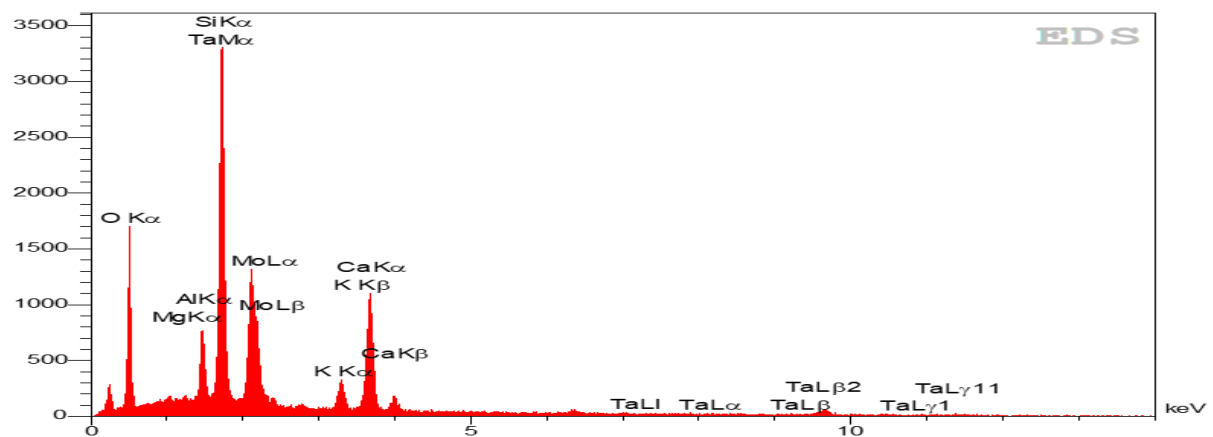
این روشی است که برای تجزیه و تحلیل ساختاری یا خصوصیات شیمیایی یک نمونه به کار می‌رود. در نمودارهای شماره ۱۲ تا ۱۵ طیف‌های حاصل از آزمایش EDS^۱ نیز برای نمونه‌های دارای زانتان گام و فاقد زانتان گام آورده شده است [۱۲].



شکل ۱۱- نتایج تصویربرداری از نمونه‌های دارای زانتان گام

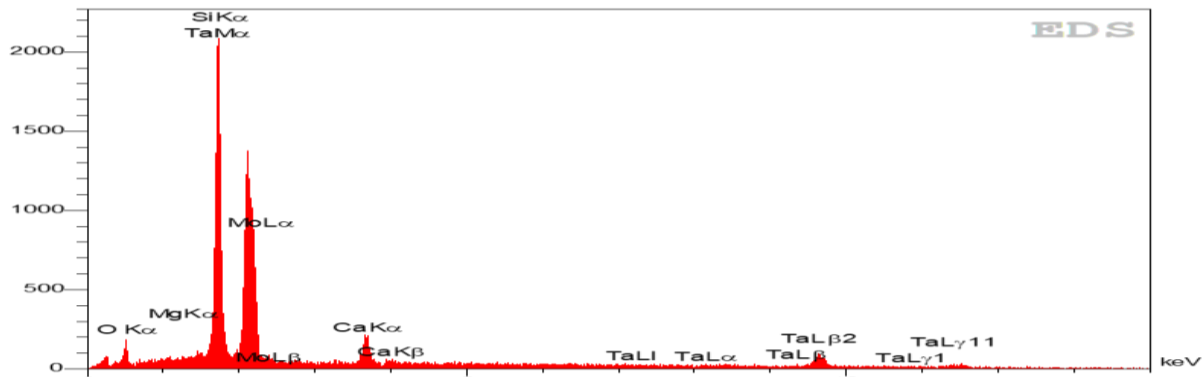


شکل ۱۲- طیف‌های حاصل از آزمایش EDS در نمونه‌های فاقد زانتان گام در قسمت A

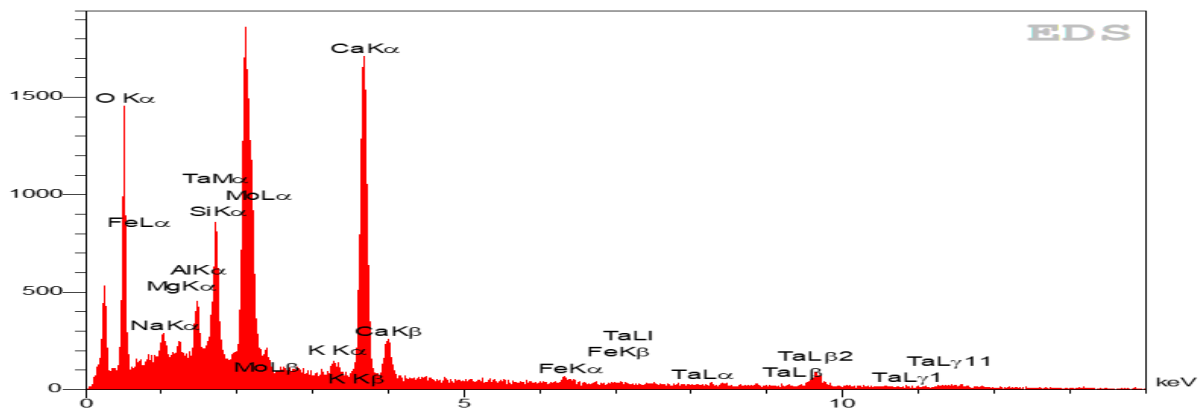


شکل ۱۳- طیف‌های حاصل از آزمایش EDS در نمونه‌های فاقد زانتان گام در قسمت B

^۱ Energy-dispersive X-ray spectroscopy



شکل ۱۴- طیف های حاصل از آزمایش EDS در نمونه های دارای زانتان گام در قسمت A



شکل ۱۵- طیف های حاصل از آزمایش EDS در نمونه های دارای زانتان گام در قسمت B

۵- نتایج

(۵) تمامی مقاومت الکتریکی حاصله بالاتر از ۲۰ کیلو اهم سانتی

می باشد و بنابراین تمامی نمونه ها از نظر کیفیت در مرتبه عالی و احتمال خوردگی خیلی کم قرار دارد.

(۶) نمونه های دارای زانتان گام، دارای تخلخل کمتری نسبت به نمونه های فاقد زانتان گام می باشند و ساختار محصولات هیدراتاسیون (C-S-H) در بتن حاوی زانتان گام بسیار متراکم تر و فشرده تر می باشد. همچنین نتایج حاصل از آزمایش XRD و شدت پیک های هیدروکسید کلسیم در آن و مقایسه پیک ماکزیمم هیدروکسید کلسیم در نمونه های دارای زانتان گام و فاقد زانتان گام نشان می دهند که زانتان گام در کاهش میزان هیدروکسید کلسیم در ساختار بتن مؤثر بوده است.

(۱) افزودن مواد قوام آور زانتان گام در مخلوط بتن منجر به کاهش افت اسلامپ و کاهش کارایی و روانی بتن می شود و افزایش میزان مصرف زانتان گام از ۰/۳ تا ۰/۴ باعث کاهش افت اسلامپ، کاهش روانی و کاهش کارایی می شود.

(۲) افزودن ۰/۳ درصد بیوپلیمر زانتان گام بر مقاومت فشاری نمونه ها در تمامی عیار های ۳۵۰، ۴۰۰، ۴۵۰ و ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و در هر دو سن ۷ و ۲۸ روزگی تاثیر مثبت داشته و باعث افزایش مقاومت فشاری می شود و پس از افزایش مصرف زانتان گام به ۰/۳۵ و ۰/۴ درصد، مقاومت فشاری کاهش می یابد. اما همچنان از نمونه های فاقد زانتان گام مقاومت فشاری بالاتری را دارد.

(۳) شاخص موئینگی برای نمونه های حاضر در دامنه بین 10^{-4} تا 3×10^{-4} تا ۲,۵ متغیر است. به طوری که تمامی نمونه ها بجز C350P، C400P در محدوده مجاز قرار دارد.

(۴) افزایش و افزودن زانتان گام در تمامی عیار سیمان سبب کاهش ضریب موئینگی بتن و جذب آب موئینه می شود.

۶- مراجع

- [1]. Sonebi, M., Rheological properties of grouts with viscosity modifying agents as diutan gum and welan gum incorporating pulverised fly ash. Cement and Concrete Research, 2006. 36(9): p. 1609-1618.
- [2.] Pei, R., J. Liu, and S. Wang, Use of bacterial cell

- production, recovery, and properties. *Biotechnology advances*, 2000. 18(7): p. 549-579.
- [16.] C39, A., Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens. *Annual Book of ASTM Standards*, 2009. 04(02).
- [17.] Summers, G., A framework for durable concrete. *Gulf Construction Magazine, Concrete Technology Journal*, 2004. 3(1): p. 22-29.
- [18.] Fagerlund, G., The capillarity of concrete. *Nordic Concrete Research*, 1982(1).
- [19.] Baniasadzade, M. and S.T.T. Aghda, Investigation and comparison of test methods of evaluation of concrete durability in the Persian Gulf environment.
- [20.] C1585, A., Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes. *Annual Book of ASTM Standards*, 2013.
- [21.] Andrade, C., et al. Methodology based on the electrical resistivity for the calculation of reinforcement service life. in *Proceedings of the 5th CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete*. 2000.
- [22.] Poppe, A.-M. and G. De Schutter, Cement hydration in the presence of high filler contents. *Cement and Concrete Research*, 2005. 35(12): p. 2290-2299.
- [۲۳] اکبرنژاد، سمیه؛ قائمی، مسعود؛ عرب عامری، محمد؛ آهنگری، کاوه؛ "اثر بیوپلیمر زانتان گام بر روی خاک درشت دانه (خاک ماسه بابلسر)"، نهمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، اردیبهشت ۱۳۹۵.
- [۲۴] امدادی، آرزو؛ محمد وحدانی؛ ایمان مهدی پور و سپهر دارا، ۱۳۸۵، "تأثیر مواد افزودنی شیمیایی بر خصوصیات رفتاری بتن خود تراکم بخش اول: خمیر سیمان"، اولین کارگاه تخصصی بتن خودتراکم، تهران، دانشگاه تهران، انستیتو مصالح دانشکده فنی.
- walls as a viscosity-modifying admixture of concrete. *Cement and Concrete Composites*, 2015. 55: p. 186-195.
- [3] Isik, I.E. and M.H. Ozkul, Utilization of polysaccharides as viscosity modifying agent in self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 2014. 72: p. 239-247.
- [4] Farokhzad, R., et al., Representing a logical grading zone for self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*, 2016. 115: p. 735-745.
- [5] Jelokhani Niaraki, R. and R. Farokhzad, Prediction of mechanical and fresh properties of self-consolidating concrete (SCC) using multi-objective genetic algorithm (MOGA). *Journal of Structural Engineering and Geo-Techniques*, 2017. 7(2): p. 1-13.
- [6.] Khayat, K. and A. Ghezal. Effect of viscosity-modifying admixture-superplasticizer combination on flow properties of SCC equivalent mortar. in *3rd International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete*. 2003.
- [7.] Wang, D., et al. Effect of viscosity modifying agents on the rheology properties of cement paste with polycarboxylate superplasticizer. in *Proceedings of the Second International Symposium on Design, Performance and Use of Self-Consolidating Concrete*, Beijing, China. 2009.
- [8.] Palacios, M. and R. Flatt, Working mechanism of viscosity-modifying admixtures, in *Science and Technology of Concrete Admixtures*. 2016, Elsevier. p. 415-432.
- [9.] Shi, S., M. Deng, and L.-w. MO, Effect of super-fine mineral admixtures and chemical admixtures on rheological property of super-fine cement grouts. *Concrete*, 2011(10): p. 26.
- [10.] Ma, B.G., et al. Effects of Viscosity Modifying Admixtures on the Workability of Self-Compacting Concrete. in *Advanced Materials Research*. 2011. Trans Tech Publ.
- [11.] Qi, Y., et al., Hydration effect of sodium silicate on cement slurry doped with xanthan. *Construction and Building Materials*, 2019. 223: p. 976-985.
- [12.] Fares, H., et al., High temperature behaviour of self-consolidating concrete: microstructure and physicochemical properties. *Cement and Concrete Research*, 2010. 40(3): p. 488-496.
- [13.] ASTM C33, Standard specification for concrete aggregates *Annual Book of ASTM Standards*, 2008. 04(02).
- [14.] Hu, X., et al., Characterization and Antioxidant Activity of a Low-Molecular-Weight Xanthan Gum. *Biomolecules*, 2019. 9(11): p. 730.
- [15.] Garcia-Ochoa, F., et al., Xanthan gum:

Effect of Xanthan gum Additive on Mechanical, durability properties of concrete

Reza Farokhzad *

Department of Civil Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.

Mohammad Jamali

Department of Civil Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.

Abstract

Today, the use of powdered materials and chemical additives to improve the mechanical, durability, and rheological properties of a variety of concretes is rapidly expanding. The use of naphthalene, polycarboxylate and melamine-based lubricating and thickening agents is one of the effective strategies to control the instability of concrete. One of the foundations of the new lubricant is the xanthan gum biopolymer. The substance synthesized from the vegetable gum has a high viscosity that is widely used in various industries. After observing the lubricating type, high consistency, and appropriate price of this material, we decided to observe its effect on concrete. In this research, 16 mixing schemes containing Pozzolan Microsilica with 10 wt% cement and different grades were investigated. A 0.25 wt% lubricant and xanthan gum additive were added to the concrete cube samples. The results show that the xanthan gum additive reduces slump and separation and increases compressive strength, due to the increased viscosity. A bonding between concrete materials and decreased pores and porosity would reduce the capillary coefficient and increase electrical resistance of the concrete. Microstructural studies of concrete, including scanning electron microscopy (SEM) experiments, showed that the permeability is reduced and structural bonds of concrete adhesive are strengthened, due to the use of xanthan gum, and as a result, the samples containing xanthan gum have less porosity than samples lacking xanthan gum.

Keywords: concrete, Xanthan gum, microstructural, durability, mechanical properties.

* Corresponding Author: r.farokhzad@qiau.ac.ir

