

مقایسه ی خصوصیات مکانیکی بتن های حاوی پوزولان های مختلف

404-f

سروش عیسی پور^۱، جاوید ملک دوست^۲،

۱- کارشناسی عمران، دانشکده فنی دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۲- کارشناسی ارشد عمران سازه، دانشکده فنی دانشگاه گیلان، رشت، ایران

*1-email: soroushisapour@yahoo.com

2-email: j.malakdoust@gmail.com

چکیده:

اثرات مطلوب پوزولان ها بر روی دوام و مقاومت بتن و کاهش دمای هیدراتاسیون در بتن ریزی های حجیم، امروزه پوزولان ها را به عنوان یکی از اجزای اصلی تشکیل دهنده بتن تبدیل کرده است. در کشور ایران نیز معادن غنی از این پوزولان ها وجود دارد. در این مطالعه به بررسی و مقایسه ی خصوصیات مکانیکی بتن های حاوی پوزولان های زئولیت، متاکائولن، خاکستر پوسته ی برنج که ذخایر و مواد اولیه آنها به وفور در کشور یافت می شود با پوزولان های نظیر میکروسیلیس، خاکستر بادی و نانو سیلیس که اکثراً وارداتی هستند و یا تولید آنها در کشور محدود می باشد، پرداخته شده است. نتایج نشان می دهد بتن های حاوی پوزولان های موجود در ایران خصوصیات مکانیکی مشابه و حتی بهتری را در مقایسه با بتن های ساخته شده با دیگر پوزولان ها دارا می باشند.

واژه های کلیدی: متاکائولن، زئولیت، خاکستر پوسته ی برنج، میکروسیلیس، نانو سیلیس، خاکستر بادی، خصوصیات مکانیکی

۱. مقدمه

آنچه بیش از بیش حضور پوزولان ها را به عنوان یکی از اجزای تشکیل دهنده ی بتن مطرح می کند بهبود در دوام و خصوصیات مکانیکی و رئولوژیکی بتن می باشد. در فرایند هیدراتاسیون سیمان، مقادیر زیادی از کلسیم هیدروکسید $Ca(OH)_2$ تولید می شود که ساختار این محصول به صورت کریستالی بوده و این لایه های کریستالی با نیروی چسبندگی مولکولی ضعیفی به هم متصل شده اند که در نتیجه نمی توانند خیلی به کسب مقاومت خمیر سیمان سخت شده کمک کنند [۱]. در این حالت حضور پوزولان ها باعث می شود که سیلیس موجود در آن ها با کلسیم هیدروکسید واکنش دهد و آنرا مصرف نماید که این امر به تولید بیشتر $C-S-H$ منجر می شود که میزان آن تأثیر مستقیم در مقاومت اکتسابی بتن دارد [۲]. همچنین در بتن ریزی های حجیم مانند سد سازی و یا در پی ریزی، نگرانی عمده ای در رابطه با بالا رفتن دمای بتن، ناشی از فرایند سریع هیدراتاسیون وجود دارد که می تواند موجب بروز ترک های حرارتی گردد. استفاده از پوزولان ها موجب می شود که فرایند هیدراتاسیون در مدت زمان طولانی تری صورت گرفته و دمای هیدراتاسیون به مقدار قابل ملاحظه ای کاهش یابد. از دیگر محاسن استفاده از پوزولان ها کمک به کاهش حضور آلاینده ها در محیط زیست می باشد. در فرایند تولید سیمان گازهای

مضر از جمله مونو اکسید کربن آزاد می گردد که برای سلامتی انسان بالأخص ساکنین شهر های صنعتی مضر می باشد. در کشور ایران نیز معادن غنی از برخی پوزولان ها مانند زئولیت و متاکائولن به وفور یافت می شود، علاوه بر آن به دلیل سطح زیر کشت بالای برنج در کشور دسترسی به پوسته ی شلتوک برنج و تبدیل آن به پوزولانی با کیفیت مطلوب وجود دارد. از سایر پوزولان ها می توان به میکرو سیلیس، خاکستر بادی و نانوسیلیس اشاره کرد که به دلیل تولید محدود در کشور و یا وارداتی بودن دارای قیمت های به مراتب بالاتری نسبت به پوزولان های موجود در داخل کشور می باشد. بنابر این جای دارد که با مطالعه و شناخت دقیق از خصوصیات مکانیکی و دوام پوزولان های رایج در کشور به استفاده از آنها در صنعت سیمان کشور مبادرت گردد. در این مطالعه به بررسی خصوصیات مکانیکی بتن های ساخته شده از پوزولان های زئولیت، خاکستر پوسته ی شلتوک برنج، متاکائولن، خاکستر بادی، میکروسیلیس و نانو سیلیس پرداخته شده و نتایج حاصل با نمونه ی شاهد مقایسه گردیده است.

۲. برنامه ی آزمایشگاهی

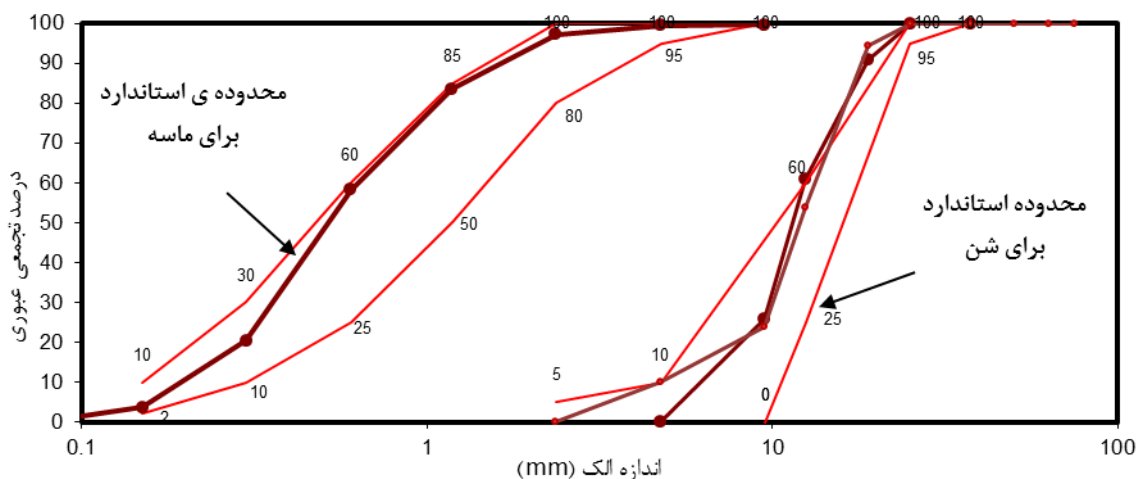
۱.۲ مصالح

۱.۱.۲ سنگدانه

در این مطالعه از دو نوع شن گرد گوشه و شکسته با حداکثر اندازه ی ۱۹ میلی متر به عنوان مصالح درشت دانه استفاده گردید و ماسه ی مورد استفاده نیز از نوع رودخانه ای بوده است. مشخصات فیزیکی سنگدانه ها در جدول ۱ آمده است. در شکل ۱ نمودار دانه بندی شن و ماسه مصرفی نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی سنگدانه ها

سنگدانه	وزن مخصوص	جذب آب	مدول نرمی
ماسه ۰-۶	۲/۶۷	۲/۲۵	۲/۷۷
شن ۵-۱۵ (شکسته)	۲/۷۴	۱/۲۱	۷/۹۸
شن ۵-۱۹ (گرد گوشه)	۲/۷۱	۱/۲۱	۸/۱۸



شکل ۱- دانه بندی شن و ماسه ی مصرفی

۲.۱.۲ مواد سیمانی

در این مطالعه از سیمان تیپ دو هگمتان همدان استفاده شده است که دارای وزن مخصوص 3150 kg/m^3 و سطح ویژه ی $290 \text{ m}^2/\text{kg}$ می باشد. همچنین در این تحقیق شش پوزولان مورد استفاده قرار گرفته است. خاکستر پوسته ی برنج محصول کوره ی پارک علم و فناوری دانشگاه گیلان می باشد که توسط دستگاه لس آنجلس نرم گردیده و سپس از الک نمره ی ۱۰۰ عبور داده شده است. زئولیت

مورد استفاده در این تحقیق از معادن شرق سمنان تهیه گردیده است. نانو سیلیس به کار رفته در این مطالعه از شرکت وند شیمی تهیه شده است و به صورت محلول بی رنگ می باشد که دارای وزن مخصوص ۱/۳ کیلوگرم بر لیتر بوده و مقدار سیلیس موجود در آن ۵۰ درصد وزنی کل محلول می باشد. میکرو سیلیس به کار رفته نیز از شرکت صنایع فرو آلیاژ ایران تهیه شده است. پوزولان متاکائولن نیز محصول شرکت کاویان صنعت می باشد. در جدول ۲ مشخصات شیمیایی و فیزیکی پوزولان های به کار رفته آورده شده است.

نوع مواد	خصوصیات شیمیایی									خصوصیات فیزیکی	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	L.O.I	وزن مخصوص (g/cm ³)	ریزی (m ² /kg)
سیمان	۲۱/۵۴	۴/۹۵	۳/۸۲	۶۳/۲۴	۱/۵۵	۲/۴۳	۰/۴۸	۰/۷۵	۱/۱۵	۳/۱۵	۲۹۰
زئولیت	۶۸/۵	۱۱	۱/۵۰	۰/۶	۱/۳	۰/۳۳	۳/۸۰	۴/۴۰	۱۱	۲/۳۰	۳۲۰
خاکستر پوسته برنج	۹۰/۹	۰/۸۳	۰/۶	۰/۸	۰/۵۶	۰/۱۵	۰/۲۵	۲/۱۶	۵/۹	۲/۴	-
متاکائولن	۵۲/۱	۴۲/۸	۱/۶	۰/۲	۰/۲۱	-	۰/۱۱	۰/۳۲	-	۲/۶	۲۵۴۰
خاکستر بادی	۵۹	۲۳	۹	۲	۱	۰/۳	-	-	-	۲/۱	-
میکرو سیلیس	۹۵/۱	۱/۳۲	۰/۸۷	۰/۴۹	۰/۹۷	۰/۱	۰/۳۱	۱/۰۱	-	۲/۱۲	۲۰۲۰۰
نانو سیلیس	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱/۳۰	(۷۰-۱۰۰) × ۱۰ ^۳

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی مواد سیمانی کننده مورد استفاده

۳.۱.۲. آب و مواد افزودنی

در این مطالعه از آب شرب شهر رشت استفاده گردیده است. برای تأمین کارایی مورد نظر در برخی از طرح های اختلاط از فوق کاهنده ی آب با نام تجاری گلنیوم ۱ ۵۱ استفاده گردیده است که مشخصات آن در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳- مشخصات فوق روان کننده ی مورد استفاده

نام	بر پایه	ظاهر	وزن مخصوص (kg/cm ³)	PH	یون کلر
Gelenium 51P	پلی کربوکسیلات	مایع غلیظ قهوه ای کم رنگ	۱/۰۸-۱/۰۶	۶/۶	ندارد

۳.۲. طرح اختلاط به کار رفته

در طراحی طرح های اختلاط سعی گردید تا در ابتدا درصد های جایگزینی بهینه برای تمامی پوزولان ها تعیین و سپس مبادرت به ساخت نمونه های اصلی گردد. درصدهای جایگزینی بهینه ی بر مبنای سن ۴۲ روز بوده و برای هر یک از پوزولان های خاکستر پوسته ی شلتوک برنج، زئولیت، متاکائولن، خاکستر بادی، میکرو سیلیس و نانو سیلیس به ترتیب مقادیر ۲۰، ۱۵، ۱۰، ۴۰، ۱۰ و ۵ درصد حاصل شده است. در تمامی طرح ها نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۱ ثابت نگه داشته شده است تا مقایسه ی معناداری ممکن شود. برای ایجاد خصوصیات بتن تازه ی مشابه در تمامی طرح ها سعی شده که مقادیر افت اسلامپ به ۴/۵ الی ۶ سانتی متر محدود شود، از این رو در طرح های اختلاط حاوی پوزولان های زئولیت و خاکستر پوسته ی برنج که جذب آب بالایی دارند مقادیر جزئی از فوق روان کننده استفاده گردید. نحوه ی اختلاط مصالح به گونه ای بوده است که در ابتدا سنگدانه های شن و ماسه و در پی آن نیمی از آب اختلاط به میکسر اضافه و به مدت یک دقیقه میکسر در حالت چرخش رها گردید. سپس دستگاه خاموش و مواد سیمانی به همراه مابقی آب اختلاط به میکسر اضافه شد، پس از آن اجازه داده شد تا به مدت ۳ دقیقه عملیات اختلاط به خوبی صورت گیرد. طرح اختلاط به کار رفته در جدول ۴ نشان داده شده است.

¹ Gelenium 51p

جدول ۴ - طرح اختلاط به کار رفته (kg/m³)

HR	W/CM	W	CM	NS	SF	FA	MK	RHA	ZEO	C	G 5-19	G 5-15	S 0-6	شماره ی طرح
۰/۱۵	۰/۳۹	۱۸۵	۴۷۵	-	-	-	-	-	۷۱	۴۰۴	۴۴۴	۴۴۴	۸۳۰	ZEO
۰/۱۵	۰/۳۹	۱۸۵	۴۷۵	-	-	-	-	۹۵	-	۳۸۰	۴۴۳	۴۴۳	۸۲۸	RHA
-	۰/۳۹	۱۸۵	۴۷۵	-	-	-	۴۷/۵	-	-	۴۲۷/۵	۴۴۸	۴۴۷	۸۳۷	MK
-	۰/۳۹	۱۸۵	۴۷۵	-	-	۱۹۰	-	-	-	۲۸۵	۴۲۹	۴۲۸	۸۰۲	FA
۰/۱	۰/۳۹	۱۸۵	۴۷۵	-	۴۷/۵	-	-	-	-	۴۲۷/۵	۴۴۵	۴۴۴	۸۳۱	SF
-	۰/۳۹	۱۸۵	۴۷۵	۲۳/۷	-	-	-	-	-	۴۵۱/۳	۴۴۳	۴۴۳	۸۲۸	NS
-	۰/۳۹	۱۸۵	۴۷۵	-	-	-	-	-	-	۴۷۵	۴۵۰	۴۵۰	۸۴۰	CC

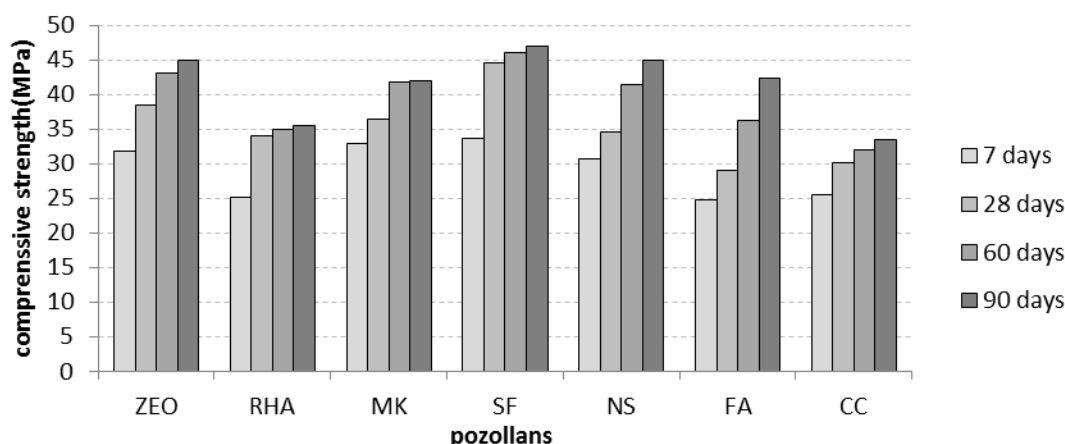
۳.۲. آزمایش های صورت گرفته

برای بررسی تأثیر پوزولان ها بر روی خواص مکانیکی بتن، آزمایش های مقاومت فشاری در سنین ۷، ۲۸، ۶۰ و ۹۰ روز و آزمایش مقاومت خمشی در سن ۹۰ روز بر روی نمونه ها انجام گرفت. سنین مذکور به این علت انتخاب شد تا بررسی جامع تری بر روی خواص سخت شده ی بتن در دراز مدت انجام گیرد، زیرا واکنش های پوزولانی اغلب تا سنین ۹۰ روز ادامه می یابند. برای بررسی روند تغییرات مقاومت بتن در سنین مذکور آزمایش های غیر مخرب اولتراسونیک و چکش اشمیت نیز بر اساس استاندارد های به ترتیب: BS 1881 Part 203 و [۳] BS 1881: Part 202 [۴] به کار گرفته شده اند تا مقایسه ای بین نتایج این آزمایش ها با نتایج مقاومت فشاری بتن در سنین مذکور صورت گیرد. آزمایش سرعت امواج اولتراسونیک با استفاده از دستگاه پاندیت [۵] با فرکانس ۵۴ کیلوهرتز انجام گرفته است. برای بررسی خصوصیات دوامی بتن نیز آزمایش های جذب آب اولیه و نهایی و آزمایش جذب آب موینه انجام گرفت. برای بررسی خصوصیات بتن تازه آزمایش افت اسلامپ انجام گرفت.

۳. تحلیل و ارائه ی نتایج

۳.۱. مقاومت فشاری

مقاومت فشاری بتن مهم ترین ویژگی بتن است که می تواند معرفی از کیفیت کلی بتن نیز باشد. مقایسه ای بین نتایج بتن های حاوی پوزولان های مختلف و بتن شاهد در سنین ۷، ۲۸، ۶۰ و ۹۰ روز انجام گرفته است و نتایج آن در نمودار شکل ۲ ارائه شده است. نتایج ارائه شده در هر سن میانگین ۳ نمونه ی فشاری مکعبی ۱۰ سانتی متری می باشد.

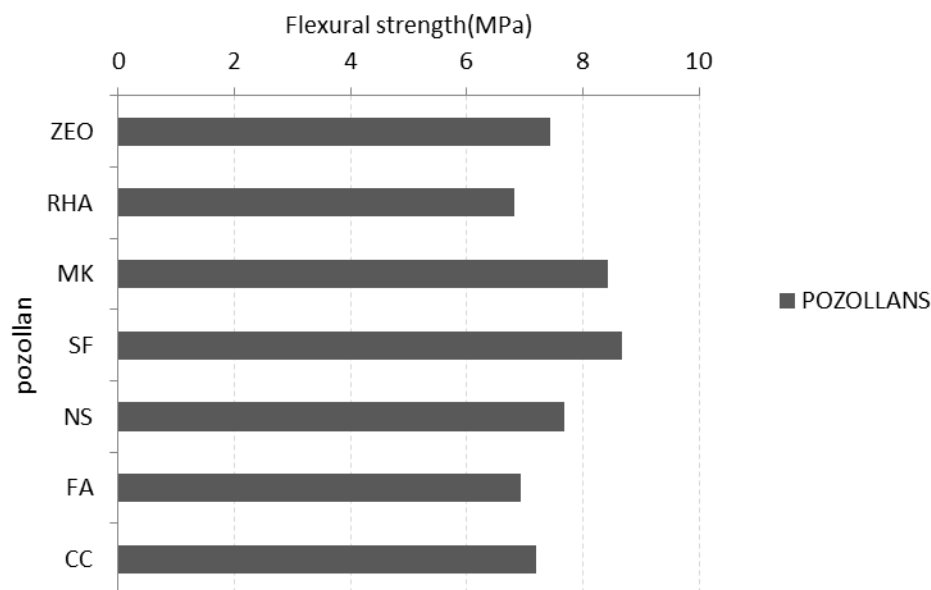


شکل ۲- مقاومت فشاری بتن در سنین مختلف (MPa)

همانطور که نتایج نشان می دهد در تمامی طرح های اختلاط به غیر از طرح های حاوی خاکستر بادی و خاکستر پوسته ی برنج مقاومت های حاصله در سن ۷ روز بیشتر از نمونه های شاهد بوده است، و کاهش مقاومت در سن ۷ روز برای بتن های حاوی دو پوزولان فوق الذکر را می توان به دلیل درصد جایگزینی بالای این پوزولان ها دانست. با افزایش سن نمونه ها مقاومت های حاصله نیز در حال افزایش بوده ولی روند این افزایش در طرح های مختلف متفاوت می باشد به طوریکه در نمونه ی حاوی خاکستر بادی به دلیل درصد جایگزینی بالای پوزولان روند افزایش مقاومت تا سن ۹۰ روز به خوبی قابل رویت می باشد. بهترین عملکرد از لحاظ مقدار مقاومت مربوط به طرح حاوی میکرو سیلیس بوده است. نمونه های ساخته شده با ژئولیت نیز نشان داده اند که عملکرد مناسبی از لحاظ مقاومت حاصله در سن ۹۰ روز داشته اند و با مقادیر حاصله از نمونه های ساخته شده از نانو سیلیس در این سن برابری می کنند که این می تواند نشان دهنده ی خاصیت پوزولانی بالای ژئولیت مورد استفاده و از سویی دیگر درصد سیلیس موجود در نانو سیلیس به کار رفته در این تحقیق باشد. به طور کلی تمامی پوزولان های به کار رفته در این مطالعه نشان داده اند که مقاومت نمونه های ساخته شده با آنها در سن ۲۸ روزه و در سنین بالاتر افزایش قابل توجهی نسبت به نمونه های شاهد داشته اند، در این بین پوزولان های ژئولیت و متاکائولن نیز نشان داده اند که می توانند عملکرد مناسبی در قیاس با نمونه های ساخته شده با پوزولان های میکروسیلیس، نانوسیلیس و خاکستر بادی داشته باشند، اگرچه خاکستر پوسته ی برنج نیز عملکرد بهتری نسبت به نمونه های شاهد از خود نشان داده است ولی نسبت به دو پوزولان متاکائولن و ژئولیت عملکرد ضعیف تری را داشته است که این می تواند مربوط به خصوصیات پوسته ی برنج به کاررفته و یا مرحل فرآوری آن از جمله دمای احتراق و مدت زمان سوزاندن و مدت زمان سرد کردن و سایر عواملی باشد که در تهیه این پوزولان نقش بسزایی دارند [۶].

۲.۳. مقاومت خمشی

از دیگر خصوصیات مهم بتن مقاومت خمشی (مدول گسیختگی) آن می باشد. در این مطالعه مقاومت خمشی بتن های حاوی پوزولان های مختلف بررسی گردیده و با نمونه های شاهد مقایسه شده است. برای این منظور از نمونه های منشوری با ابعاد $28 \times 7 \times 7$ سانتی متر استفاده شده است. نتایج ارائه شده در شکل ۳ میانگین ۳ نمونه ی آزمایشگاهی بود و آزمایش در سن ۹۰ روز انجام گرفته است. نتایج ارائه شده بیانگر عملکرد مشابه و حتی بهتر برای بتن های حاوی پوزولان می باشد، هرچند که پوزولان های خاکستر بادی و خاکستر پوسته ی برنج کاهش ناچیزی را نشان می دهند.

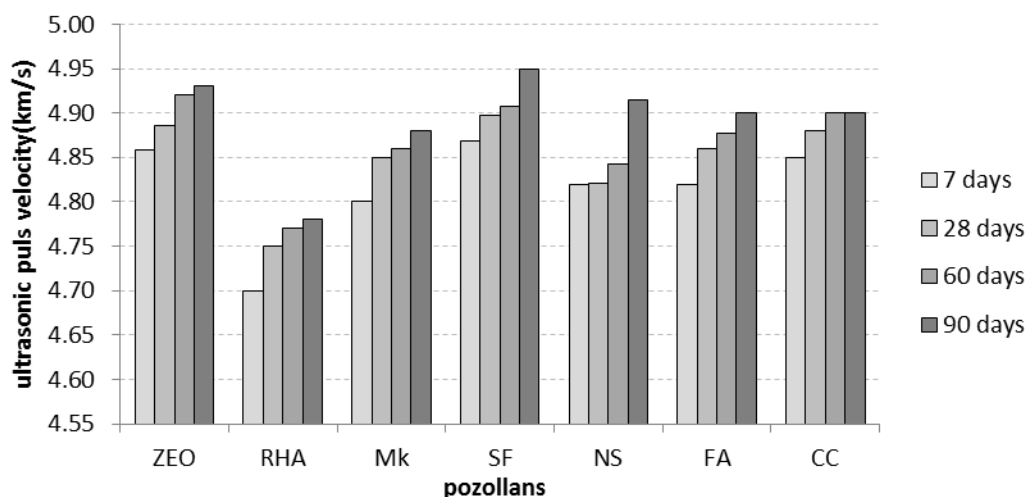


شکل ۳- مقاومت خمشی بتن های حاوی پوزولان های مختلف

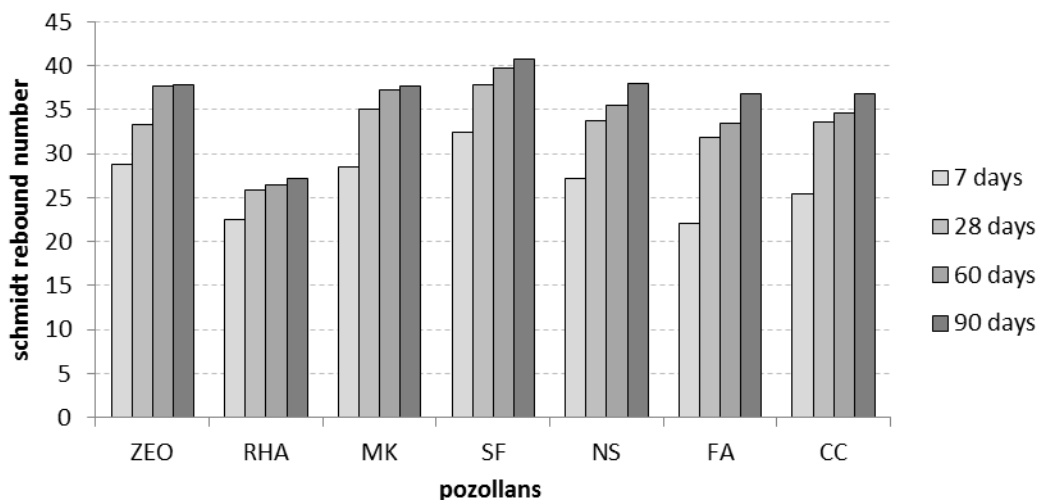
برای ارزیابی روند تغییرات خصوصیات سخت شده ی بتن آزمایش های غیر مخرب اولتراسونیک و چکش اشمیت بر روی نمونه های مکعبی ۱۰ سانتی متری انجام گرفت که نتایج مربوط به آن به ترتیب در شکل های ۳ و ۴ آورده شده است.

۳.۳. آزمایش های غیر مخرب

در طرح های به کار رفته از پوزولان های مختلف روند تغییرات و افزایش سرعت امواج با گذشت زمان به خوبی مشخص می باشد و این روند افزایش برای بتن های ساخته شده از پوزولان های مختلف متفاوت بوده است. برای بررسی خصوصیات سطحی بتن آزمایش چکش برجهنگی اشمیت انجام گرفت. مقادیر نشان داده شده در شکل ۴ میانگین نتایج ۳ نمونه ی مکعبی در هر سن می باشد. نتایج نشان می دهد که با افزایش سن نمونه ها مقادیر چکش اشمیت نیز افزایش می یابد. روند تغییرات نتایج چکش برجهنگی چکش اشمیت و سرعت امواج برای نمونه های ساخته شده از پوزولان های مخلف در هماهنگی خوبی با یکدیگر می باشند، به طور مثال در طرح حاوی میکرو سیلیس که عدد برجهنگی چکش اشمیت در سن ۹۰ روزه بالاترین مقدار را در بین سایر طرح ها از خود نشان داده است، مقادیر سرعت امواج نیز بالاترین مقادیر را نسبت به سایر طرح ها دارا می باشد.



شکل ۴- تغییرات مقادیر اولتراسونیک با گذشت زمان



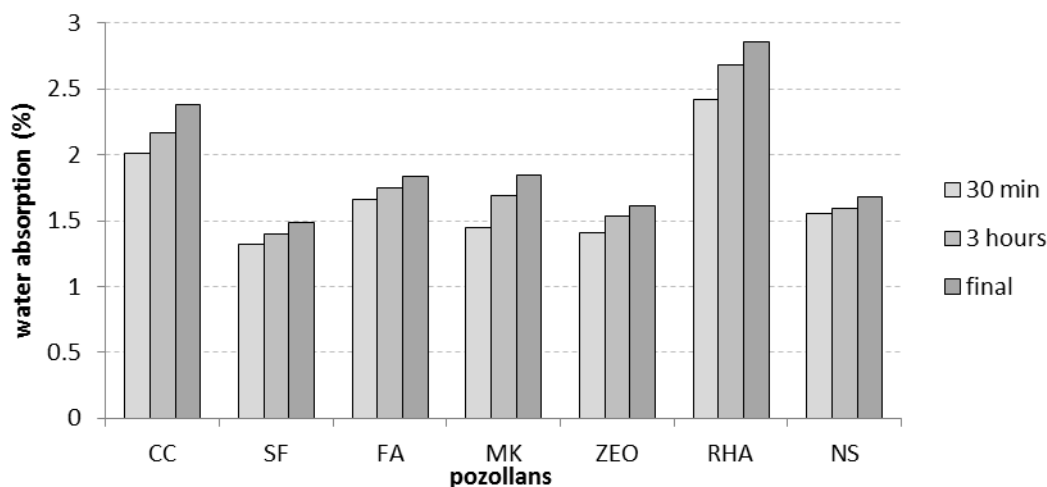
شکل ۵- تغییرات عدد برجهندگی چکش اشمیت با گذشت زمان

۴.۳. درصد وزنی جذب آب

در این مطالعه به منظور ارزیابی دقیق تری از خصوصیات سخت شده ی طرح های حاوی پوزولان های مختلف، درصد جذب آب اولیه و نهایی نمونه های مکعبی اندازه گیری شد. در این روش نمونه ها پس از خشک شدن در Oven با دمای ۱۱۰ درجه و سپس هم دمایی با محیط، در آب قرار گرفتند. نمونه در زمان های ۳۰ دقیقه پس از قرار گیری در آب توزین شدند. سایر نمونه ها تا رسیدن به وزن ثابت در دو وزن کشی متوالی که معرف جذب آب نهایی خواهد بود در آب نگهداری شدند. همچنین میزان جذب آب ۳ ساعته در این مطالعه برای همه ی طرح ها اندازه گیری و مورد مقایسه قرار گرفت.

آیین نامه ی CEB به منظور سنجش کیفیت بتن در آزمایش جذب آب، بتن های با جذب آب ۵ درصد و بالاتر را در رده ی ضعیف، ۳ تا ۵ درصد را در رده ی متوسط و کمتر از ۳ درصد را در رده ی خوب دسته بندی کرده است [۷].

همچنین در آیین نامه ی ملی پایایی بتن در محیط خلیج فارس و دریای عمان حداکثر درصد جذب آب نهایی در شرایط محیطی E) فوق العاده شدید، سازه های دریایی دارای قسمت هایی در ناحیه ی جزر و مدی و ناحیه ی پاشش (F) (فوق العاده شدید، سازه های نگهدارنده های آب و تصفیه خانه فاضلاب)، ۳/۵ درصد تعیین شده است [۸]. همانطور که در شکل ۶ مشخص است بیشترین میزان جذب آب در هر سه زمان برای طرح حاوی خاکستر پوسته ی برنج و طرح شاهد و کمترین میزان برای نمونه های طرح حاوی دوده ی سیلیس اندازه گیری شده است، اما مقادیر جذب آب نهایی اندازه گیری شده برای همه ی طرح ها کمتر از ۳ درصد می باشد.



شکل ۶- تغییرات میزان جذب آب اولیه و نهایی در سن ۴۲ روز

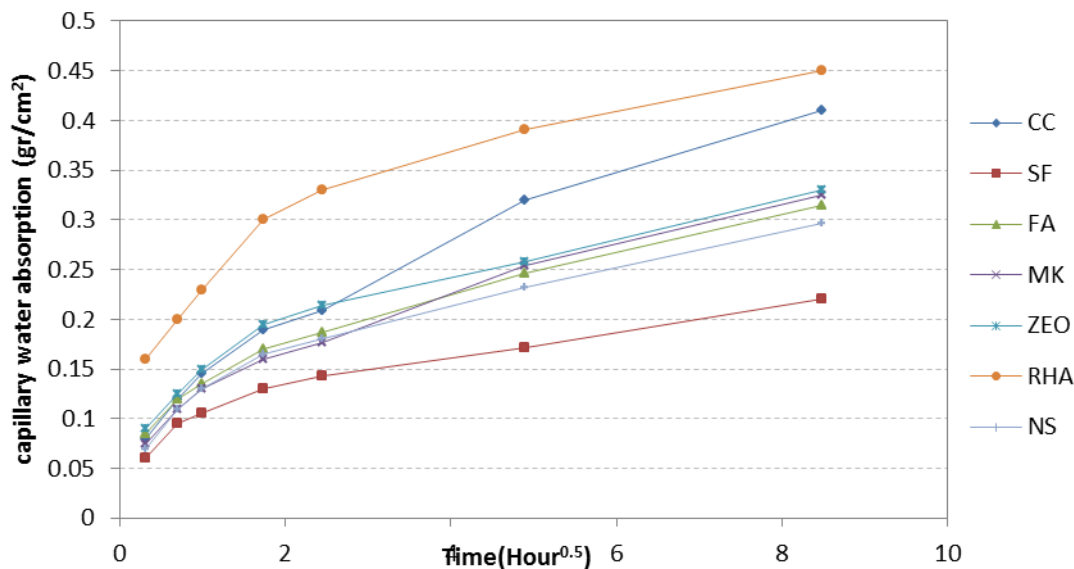
۵.۳. جذب آب مویینه

جذب آب مویینه ی نمونه ها در این مطالعه مطابق روش انجام شده در مطالعه ی Brouwers و Radix انجام گرفت [۹]. نمونه ها ی مکعبی ۱۰ سانتی متری به مدت ۴۸ ساعت در Oven با دمای ۱۱۰ درجه نگهداری شد و پس از این مدت، جهت سرد شدن در دمای آزمایشگاه قرار داده شدند. پس از کاهش دما، دو نمونه از هر طرح اختلاط در ظرف محتوی آب و بر روی میلگردهای با قطر ۱۰ میلی متری بطوری قرار داده شدند تا عمق 1 ± 5 میلی متر از کف نمونه ها در آب قرار گیرد. افزایش وزن ناشی از جذب مویینه ی آب با توزین نمونه در زمان های، ۱۰ دقیقه، ۰.۵، ۱، ۳، ۶، ۲۴ و ۷۲ ساعت پس از شروع آزمایش اندازه گیری شد. نتایج آزمایش جذب آب مویینه بر حسب gr/cm^2 گزارش می شود که از حاصل تقسیم افزایش وزن نمونه ناشی از جذب آب بر مساحت کف نمونه که در تماس با آب قرار دارد بدست می آید. یک رابطه ی خطی بین جذر زمان و مقدار آب جذب شده در واحد سطح وجود دارد.

$$a_i = C + S t^{0.5}$$

در این رابطه a_i مقدار جذب آب بر واحد سطح بر حسب میلیمتر در زمان t ساعت پس از شروع آزمایش، C ثابت جذب مویینه و S ضریب جذب مویینه بر حسب $gr/cm^2 \times h^{0.5}$ می باشد. در این مطالعه a_i برای هر یک از زمان های ذکر شده اندازه گیری و محاسبه شد که در شکل ۷ تغییرات این پارامتر، برای هر یک از طرح های اختلاط نشان داده شده است. همچنین S ضریب جذب مویینه که معادل شیب خط تغییرات است، برای طرح های مختلف محاسبه و در جدول ۵ ارائه شده است. در این جدول شیب بهترین خط عبوری از نقاط مورد نظر و ضریب همبستگی نقاط در دو بازه ی زمانی آورده شده است. در حالت اول بازه ی زمانی از اولین قرائت یعنی زمان ۱۰ دقیقه تا زمان ۷۲ ساعت را شامل می شود و در حالت دوم بازه ی زمانی به مقادیر ثبت شده از ۳ تا ۷۲ ساعت محدود شده است.

در نمودار شکل ۷ مشاهده می شود که برای طرح اختلاط حاوی دوده ی سیلیس کمترین میزان جذب مویینه به ازای واحد سطح در همه ی قرائت ها اندازه گیری شده است. به همین ترتیب برای طرح های اختلاط شاهد و حاوی خاکستر پوسته ی برنج نیز بیشترین جذب آب ثبت شده است.



شکل ۷- تغییرات میزان جذب آب مویینه

مقایسه ی ضریب همبستگی نتایج جذب آب مویینه در دو بازه ی [10 min -72 hours] و [3-72 hours] نشان می دهد که محدود کردن بازه ی زمانی به ۳ تا ۷۲ ساعت افزایش چشمگیر ضریب همبستگی نتایج را سبب شده است که در این حالت شیب خط عبوری (ضریب جذب مویینه) نتایج معتبر تری را در اختیار می گذارد.

حذف زمانهای اولیه ی جذب در محاسبه، سبب کاهش ضریب جذب مویینه در همه ی طرح ها شده است. این به معنی شیب تندتر تغییرات در زمان های ابتدایی جذب است که از نرخ بالاتر جذب آب در این زمان ها نسبت به بازه ی زمانی ۳ تا ۷۲ ساعت خبر می دهد.

جدول ۵- مقادیر ضریب جذب آب مویینه (S) و ضریب همبستگی (R²) برای بازه های مختلف آزمایش

طرح اختلاط	[10 min -72 hours]		[3-72 hours]	
	S	R ²	S	R ²
CC	0.0389	0.9625	0.0334	0.9818
SF	0.0171	0.9079	0.0131	0.9984
FA	0.0262	0.9512	0.0215	0.9969
MK	0.029	0.9608	0.0248	0.9878
ZEO	0.0266	0.9092	0.0196	0.9982
RHA	0.0332	0.8623	0.0216	0.9762
NS	0.0250	0.9233	0.0194	0.9985

مقایسه ی ضریب جذب بدست آمده در طرح های مختلف نیز، برای طرح حاوی دوده ی سیلیس کمترین و برای طرح شاهد بیشترین نرخ جذب آب مویینه را نشان می دهد. همچنین برای نمونه های حاوی زئولیت و نانوسیلیس مقادیر S کمتری در مقایسه با سایر پوزولان ها محاسبه شده است.

۴. نتیجه گیری

- ۱- مقاومت فشاری نمونه های ساخته شده از تمامی پوزولان ها در سنین بعد از ۲۸ روز مقادیر بالاتری را نسبت به نمونه های شاهد از خود نشان می دهد.
- ۲- برخلاف سایر پوزولان های به کار رفته، خاکستر بادی و خاکستر پوسته ی برنج نشان داده اند که دارای مقاومت فشاری کمتری نسبت به نمونه های شاهد در سن ۷ روز می باشند که این می تواند به علت درصد جایگزینی بالای این دو پوزولان باشد.
- ۳- پوزولان های زئولیت و متاکائولن نشان داده اند که می توانند عملکرد تقریباً مشابهی از لحاظ مقاومت فشاری در دراز مدت در قیاس با نمونه های ساخته شده با پوزولان های میکروسیلیس، نانوسیلیس و خاکستر بادی داشته باشند.
- ۴- سرعت امواج اولتراسونیک و عدد برجهندگی چکش اشمیت با گذشت زمان افزایش یافته است.
- ۵- نمونه های حاوی دوده ی سیلیس کمترین جذب آب اولیه و نهایی و نمونه های حاوی پوسته ی برنج بیشترین جذب آب اولیه و نهایی را نسبت به نمونه های شاهد دارا بوده اند.
- ۶- مقایسه ی ضریب همبستگی نتایج جذب آب مویینه در دو بازه ی [10 min -72 hours] و [3-72 hours] نشان می دهد که محدود کردن بازه ی زمانی به ۳ تا ۷۲ ساعت افزایش چشمگیر ضریب همبستگی نتایج را سبب شده است که در این حالت شیب خط عبوری (ضریب جذب مویینه) نتایج معتبر تری را در اختیار می گذارد.

۵. مراجع

1. Amadi. Babak, Shekarchi. Mohammad, "Use of natural zeolite as a supplementary cementitious material", cement and concrete composites, 32(2010), pp. 134-141
2. Feng N, Yang H, Zu L. "The strength effect of mineral admixture on cement concrete", Cem Concr Res 1988;18(3):pp.464-72.
- 3-BS 1881: Part 203 Recommendations for measurement of velocity of ultrasonic pulses in concrete. British Standards Institution, London.
- 4-BS 1881: Part 202 Recommendations for surface hardness testing by rebound hammer. British Standards Institution, London.
- 5- PUNDIT, CNS Electronics Ltd, 61-63 Holmes Rd, London.
- 6-M.F.M. Zain, M.N. Islam, F. Mahmud, M. Jami, " Production of rice husk ash for use in concrete as a supplementary cementitious material", Construction and Building Materials 25 (2011) 798-805
7. CEB-FIP, Diagnosis and assessment of concrete structures- "State of the Art Report", CEB Bulletin 192, 1989, 83-5.
۸. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۱۳۸۴)، "نشریه ی شماره ض-۴۲۸: آیین نامه ملی پایایی بتن در محیط خلیج فارس و دریای عمان (پیشنهادی)". چاپ اول، تهران، ایران.
9. H.J.H. Brouwers, H.J. Radix, Self-Compacting Concrete: Theoretical and experimental study, Cement and Concrete Research 35 (2005) 2116 – 2136