

مطالعه و مقایسه خاصیت پوزولانی سیمان پوزولانی حاوی متاکائولین و پرلیت

کدمقاله : 54E-3

سیدحسین قاسم زاده موسوی نژاد^۱ ، امین رضاپور^۲*

۱- استادیار-دانشگاه گیلان

۲- دانشجوی ارشد-دانشگاه گیلان

h.mosavi@guilan.ac.ir

aminrezapour29@yahoo.com

چکیده

پوزولانها موادی هستند سیلیسی و آلومینی که پس از ترکیب با آهک در حضور آب و دمای معمولی، مواد پایداری تشکیل داده و خاصیت گیرشی بروز میدهند. هر چه میزان شیشه موجود در مواد پوزولانی بیشتر باشد، فعالیت پوزولانی برای جذب آهک بیشتر خواهد شد. بر این اساس فاز شیشه (آمورف) در ترکیبات پوزولانی از اهمیت بیشتری برخوردار است.

پرلیت و متاکائولین که از مواد معدنی هستند که دارای خاصیت پوزولانی بوده و می توانند به عنوان منابع پوزولانی تلقی گردند. بهمین منظور و برای بررسی عملکرد بتن های پوزولانی، نمونه های مکعبی برای آزمایش مقاومت فشاری و جذب آب و نمونه هایی برای آزمایش مقاومت خمشی و انقباض از سیمان پرتلند و متاکائولین و پرلیت به صورت جداگانه به عنوان ماده پوزولانی ساخته شدو آزمایشهایی از قبیل مقاومت فشاری ۷ و ۱۴ و ۲۸ روزه و پارامترهای مربوط به دوام انجام شد. برای این منظور ابتدا با جایگزینی بخشی از سیمان پرتلند توسط متاکائولین و پرلیت بطور جداگانه، نوعی سیمان پوزولانی تهیه نموده سپس با نسبت آب به سیمان ۰.۵ و سیمان مذکور با مقادیر مختلف پوزولان (۵ و ۱۰ و ۱۵ و ۲۰ و ۲۵ درصد) به صورت مجزا ولی با روانی تقریباً یکسان، طرح های اختلاط مختلف ملات تهیه و نمونه های ملات ساخته شد و پس از عمل آوری مناسب آزمایشهای لازم روی نمونه ها صورت گرفت. سپس با توجه به نسبت های اختلاط این ملاتها، تأثیر سیمان با مقادیر مختلف پوزولان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله مقایسه مناسبی از خاصیت پوزولانی پرلیت و متاکائولین را مشخص نمود که به درصد جایگزینی یکسان برای هر دو افزایش مقاومت خمشی ملات حاوی پرلیت در مقایسه با ملات حاوی متاکائولین می توان اشاره کرد.

کلمات کلیدی: متاکائولین، پرلیت، خاصیت پوزولانی

Comparison and Study of pozzolanic properties of pozzolanic cement containing perlite and metakaolin

Qasemzadeh Mousavi nezhad Hosein, Rezapour Amin

1 - Assistant Professor - University of Guilan

2 - graduate student - University of Guilan

h.mosavi @ guilan.ac.ir

Aminrezapour29@yahoo.com

Abstract

Pozzolanic materials are silica and aluminum, which then combine with lime in the presence of water and room temperature, formation and stability of material properties exhibited setting. The amount of glass is more pozzolanic materials, pozzolanic activity will attract more lime. Accordingly, the glass phase (amorphous) in combination enjoys more important pozzolanic.

perlite and metakaolin are the mineral materials which pozzolanic properties and can be considered as pozzolanic materials. For this reason and for the evaluation of concrete pozzolanic samples of cubes to test the compressive strength and absorbing water samples for testing flexural strength shrinkage of Portland cement and Metakaolin and perlite as the pozzolanic were made tests such as compressive strength at 7, 14 and 28 days, parameters of persistence was performed.

For this purpose, initially by replacing Metakaolin and perlite instead of part of cement Portland type separately, cement Pozzolanic provide then with water to cement ratio of 0.5 and provided cement with different amounts of pozzolan (5 , 10, 15 , 20, 25%) as a separate but psychologically almost identical , designs, mixing of mortar prepared samples mortars made appropriate postoperative necessary tests on the samples were collected . Accordingly, the mixing ratio of the mortar, the effect of different amounts of pozzolan cement was studied . Compare the results good pozzolanic properties of perlite and metakaolin specify the percentage increase for both flexural strength of mortar containing perlite in equal replace with mortar containing Metakaolin be noted.

Keywords: Metakaolin, perlite, Pozzolanic properties, cement

۱- مقدمه:

بتن با سرانه ی مصرف بیش از دو تن در سال به عنوان پر مصرف ترین ماده صنعتی در دنیا شناخته میشود. بتن، رایج ترین ماده کاربردی در صنعت ساختمان در جهان است که مخلوطی از دو جزء اصلی شامل مصالح ریزدانه و خمیر چسباننده می باشد. در سالهای اخیر، تحقیقات و اصلاحات زیادی به منظور تولید بتن با خصوصیات و ویژگیهای مطلوب انجام شده است و نیز برای رسیدن به بتن یا کارایی و مقاومت بیشتر ادامه دارد.

تولید سیمان برای مصرف در بتن با مشکلات عدیده ای از جمله مصرف انرژی زیاد و آلودگی محیط زیست مواجه است. بنابراین اصلاح الگوی مصرف و بهینه سازی تولید سیمان بیش از پیش ضرورت دارد. از جمله راه های بهسازی تولید سیمان، جایگزین کردن بخشی از آن با مواد افزودنی معدنی ارزان قیمت و در دسترس است که پوزولان های طبیعی از جمله این مواد می باشند. [۱] هدف از این تحقیق معرفی مواد معدنی پرلیت و متاکائولین به عنوان پوزولانهای طبیعی توانمند و بررسی و مقایسه عملکرد آنها بعنوان جایگزین سیمان در بتن به منظور بهبود دوام بتن می باشد. پوزولانها موادی هستند سیلیسی و آلومینی که پس از ترکیب با آهک در حضور آب و دمای معمولی، مواد پایداری تشکیل داده و خاصیت گیرشی بروز میدهند. هرچه میزان شیشه موجود در مواد پوزولانی بیشتر باشد، فعالیت پوزولانی برای جذب آهک بیشتر خواهد شد. بر این اساس فاز شیشه (آمورف) در ترکیبات پوزولانی از اهمیت بیشتری برخوردار است.

شناسایی خاصیت پوزولان ها در بتن و ملات سال هاست که به طور وسیعی در کشورهای مختلف آمریکایی، اروپایی و ایران صورت گرفته است به نحوی که به کارگیری این مواد به عنوان ماده جایگزین سیمان در بتن در آیین نامه ها آورده شده است. از جمله مزایای استفاده از پوزولانها، داشتن خصوصیات سیمانی و در نتیجه صرفه ی اقتصادی، بالابردن مقاومت در برابر حمله اسیدها و قلیایی سنگدانه ها و جلوگیری از ترک خوردن سطحی گسترده بتن، کاهش بتن ریزی، خاصیتی که در ارتباط با آب بند بودن سازه های نگهدارنده آب و همچنین در ارتباط با حملات شیمیایی مورد توجه می باشد. بررسی مکانیزم حمله سولفات ها و تاثیر پوزولان ها بر افزایش مقاومت بتن در برابر حمله سولفات ها، از طریق کاهش میزان C3A در سیمان که منجر به بالا بردن دوام بتن مورد تهاجم آب دریا می شود، صورت می گیرد.

مقدار جایگزینی مواد پوزولانی در سیمان پرتلند بستگی به فعالیت پوزولانی آنها دارد. هر چه فعالیت پوزولانی آنها بیشتر باشد درصد جایگزینی آنها نیز بیشتر می گردد ولی به طور کلی برای هر پوزولان خاص مقدار درصد بهینه ای که بیشترین مقاومت و یا خصوصیت مورد نظر را حاصل کند، بایستی به دست آورد و برای آن پوزولان خاص مقدار درصد بهینه مربوط به خود را استفاده نمود. بنابراین در سیمانهای پرتلند پوزولانی با توجه به نوع و ترکیبات فیزیکی و شیمیایی و فعالیت پوزولان مورد مصرف (درصد بهینه) متفاوت خواهد بود. واکنش پوزولانی در دمای معمولی آهسته انجام می شود و تا دو هفته به طول می انجامد. به همین دلیل مقاومت بتن های ساخته شده با سیمانهای پوزولانی در سنین اولیه کمتر و در سنین بعدی زیادتر از بتنی است که تنها با سیمان پرتلند ساخته شده باشد. همزمان با انجام این واکنش ها حرارت زایی سیمانهای پوزولانی نیز کمتر از سیمان پرتلند می گردد.

زمانهای گیرش با آنکه در محدوده سیمانهای پرتلند استاندارد می باشد ولی کمی افزایش دارد. سیمانهای پوزولانی معمولاً در مقابل حمله سولفاتی آب دریا، محلولهای سولفات و آبهای اسیدی طبیعی مقاوم اند. سیمانهای پوزولانی قابلیت کاهش انبساط ناشی از واکنش قلیایی سنگدانه ها را دارند و اغلب نفوذ پذیری بتن را، خصوصاً در بتن های کم عیار، کاهش می دهند. با توجه به خصوصیات ذکر شده، مورد استفاده اصلی پوزولان و سیمانهای پوزولانی در بتن های حجیم، اسکله و بندر، سواحل دریا، فاضلابها در آب و هوای گرم می باشد. پوزولان به دلیل افزایش خمیر، خصوصیات بتن تازه را بهبود می بخشد و چسبندگی و روانی بتن را افزایش می دهند. البته نرمی و شکل ذرات هم در این مسئله دخیل هستند [۲]

۱-۲ پرلیت

پرلیت نوعی سنگ آتشفشانی با ترکیب اسیدی تا حد وسط است که در محیط آب و یا مرطوب تشکیل میشود. پرلیت دارای بافت شیشه ای است و به سبب همراه داشتن آب اشکال کروی در آن ایجاد شده است. میزان آب هراه با پرلیت در حدود ۲ تا ۵ درصد است. پرلیت ماده معدنی است که با توجه به اجزای تشکیل دهنده آن می تواند به عنوان ماده ای پوزولانی برای رفع معضل مذکور مورد توجه قرار گیرد. پرلیت نوعی سنگ سیلیکونی حاصل از گدازه های آتشفشانی است که طی سوابق به دست آمده از قرن سوم پیش از میلاد شناخته شده و با توجه به ویژگی های منحصر به فرد خود در سال ۱۹۴۰ در آمریکا و در سال ۱۹۴۶ در اروپا مورد بهره برداری قرار گرفته است. امروزه پرلیت در صنایع مختلف از جمله:

ساختمان - نفت - پتروشیمی - نساجی - فیلتراسیون - نظامی - کشاورزی و ... کاربردهای فراوانی دارد [۲]

۳-۱ متاکائولین

متاکائولین یک سیلیکات آلومینیم آمورف سفید رنگ می باشد که دارای خواص پوزولانی می باشد و براساس استاندارد ASTM C 618 در رده پوزولان های کلاس N (پوزولان های طبیعی خام یا کلسینه شده) قرار می گیرد. پیشوند متا (meta) در ادبیات برای نشان دادن "تغییر" به کار می رود. از لحاظ علمی این پیشوند به این منظور استفاده شده است تا عبارت "کمترین میزان هیدراته شده از یک گونه یا سری" را نشان دهد.

متاکائولین به طور کامل قابل جایگزینی با پوزولانهای توانمند (نظیر دوده سیلیس / میکروسیلیس) است. درباره مقاومت فشاری، کاهش درصد افزودن متاکائولین برای ایجاد کارایی معادل با پوزولان های قبلی ممکن خواهد بود. در ضمن امکان کاهش درصد فوق روانساز مورد نیاز برای طرح اختلاط حاوی متاکائولین در مقایسه با طرح اختلاط حاوی دوده سیلیس وسایر پوزولانها وجود دارد. [۴]

۴-۱ مقایسه خاصیت پوزولانی

درصد سیلیس و آلومینیوم موجود در مواد معدنی که خاصیت پوزولانی آنها را مشخص می کند، با توجه به اینکه دو ماده معدنی متاکائولین و پرلیت دارای مقادیر بالایی از سیلیس و آلومینیوم می باشند و این دو جزء بیش از ۸۰ درصد از مواد تشکیل دهنده این دو ماده می باشند، می توانند خاصیت پوزولانی داشته باشند. با توجه به آزمایشهای فراوانی که بر روی ماده معدنی متاکائولین به لحاظ تشخیص خاصیت پوزولانی آن و تاثیر آن بر ملاتهای سیمانی انجام شده است و نتایج حاکی از آن است که متاکائولین در قسمتهای بالای هرم مواد معدنی پوزولانی جای دارد به همین جهت معیار و مقیاس مناسبی جهت مقایسه می باشد و در این مقاله خاصیت پوزولانی ماده معدنی پرلیت به عنوان پوزولانی جدید که قبلا از این جهت مورد مطالعه و بررسی قرار نگرفته است با خاصیت پوزولانی متاکائولین مورد مقایسه قرار گرفته است. [۵]

مطالعات گذشته حاکی از افزایش مقاومت فشاری بتن معمولی با افزودن متاکائولین بویژه در روزهای اولیه عمل آوری است. Poon و همکارانش [۶] گزارش کرده اند که در روزهای اولیه عمل آوری، فعالیت بالای پوزولانی متاکائولین باعث افزایش سرعت کسب مقاومت فشاری و همچنین کاهش تخلخل خمیرسیمان نسبت به خمیرسیمان حاوی دوده سیلیس یا خاکستر بادی می شود در تحقیقی دیگر در سال ۲۰۱۲ مدن دوست و همکاران [۷] مقایسه خاصیت پوزولانی زئولیت و متاکائولین با ۲۰ درصد جانشینی از هر کدام به جای سیمان مورد مطالعه و بررسی قراردادند که نتایج حاصله نشان می دهد که خاصیت پوزولانی متاکائولین به لحاظ مقاومت فشاری بهتر از زئولیت می باشد ولی از نظر جذب آب تاثیر مشابه ایی داشته و تقریبا جذب آب یکسانی در تمامی سنین دارند. در تحقیقی دیگر که در سال ۲۰۱۲ توسط Shekarchi و همکاران [۸ و ۹] انجام گرفته شده است بتن با جایگزینی ۱۵ درصد متاکائولین را دارای وضعیت مناسبی در چرخه های ذوب و یخ زدن معرفی نمودند. Batis و همکاران [۱۰] در تحقیقی با محور بررسی تاثیر متاکائولین در مقاومت در برابر خوردگی آرماتور نشان دادند که استفاده از متاکائولین به عنوان جایگزین قسمتی از سیمان و یا ماسه می تواند تاثیر مثبتی بر بهبود مقاومت در برابر خوردگی آرماتور در بتن داشته باشد.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱-۱ مصالح مصرفی

۲-۱-۱-۱- ماسه مصرفی از نوع رودخانه ای شسته بوده و از کارخانه لوله سازی شمال تهیه گردید. جذب آب ماسه مذکور با انجام آزمایش ۲ درصد تعیین گردید. دانه بندی ماسه مذکور را با توجه استاندارد ASTM C 788 مورد مصرف قرار گرفت که مطابق جدول شماره ۱ می باشد.

جدول ۱- حدود دانه بندی ماسه مصرفی		
شماره الک	درصد عبوری استاندارد	درصد عبوری ماسه مصرفی
الک شماره ۱۶	۱۰۰	۱۰۰
الک شماره ۲۰	۱۰۰	۱۰۰
الک شماره ۳۰	۱۰۰	۱۰۰-۹۶
الک شماره ۴۰	۷۵	۷۵-۶۵
الک شماره ۵۰	۲۵	۳۰-۲۰
الک شماره ۱۰۰	۲	۴-۰

۲-۱-۲- سیمان مصرفی

سیمان مصرفی برای ساخت این نمونه ها از نوع پرتلند نوع ۱-۴۲۵ تولید شده کارخانه سیمان خزر می باشد که اجزای تشکیل دهنده آن در جدول شماره ۲ آورده شده است
۲-۱-۳- آب

آب مصرفی در این پروژه آب شرب شهر رشت می باشد. همچنین برای ساخت ملات حاوی پوزولان های مذکور با روانی تقریبا یکسان از فوق روان کننده با پایه پلی کربوکسیلاتی استفاده گردید. مقدار فوق روان کننده مورد نیاز برای هر طرح اختلاط توسط آزمایش مخروط ناقص تعیین گردید.

۲-۱-۴- متاکائولین و پرلیت

در این مطالعه آزمایشگاهی دو ماده معدنی پرلیت و متاکائولین مورد استفاده قرار گرفته است که متاکائولین مصرفی از شرکت کاویان صنعت و پرلیت مورد استفاده از شرکت پرلیت تابنده طوس مشهد تهیه گردید که مشخصات آنها به همراه مشخصات سیمان مصرفی در جدول شماره ۲ آمده است.

جدول ۲- مشخصات شیمیایی متاکائولین و پرلیت و سیمان مصرفی			
سیمان	متاکائولین	پرلیت	ترکیبات شیمیایی
۲۱.۵	۵۲.۱	۷۳.۸	SiO ₂
۵.۰۵	۴۲.۸	۱۳.۹	Al ₂ O ₃
۲.۷۷	۱.۶	۰.۹	Fe ₂ O ₃
۶۳.۰۵	۰.۲	۰.۹	CaO
۱.۷۴	۰.۲۱	۰.۳	MgO
۲.۵	۰.۰۰	۰.۰۰	SO ₃
۰.۸۵	۰.۳۲	۴.۳	K ₂ O
۰.۲۶	۰.۱۱	۴.۷	Na ₂ O

۳- طرح اختلاط

در این تحقیق آزمایشگاهی به منظور مقایسه خاصیت پوزولانی و تاثیر جانیشینی درصدهای مختلف متاکائولین و پرلیت به جای سیمان طرحهای اختلاط با مقادیر مختلف پوزولان در نظر گرفته شد که بدین منظور پرلیت و متاکائولین بادرصدهای جانیشینی (۵،۱۰،۱۵،۲۰،۲۵) جایگزین سیمان شدند و طبق استاندارد ۳۹۳ موسسه استاندارد ایران ملات ساخته شده و در نمونه های ۵*۵*۵ برای آزمایش های فشاری و جذب آب و چگالی و در قالبهای ۴*۴*۱۶ برای انجام آزمایش خمشی با توجه به روشی که در استاندارد آورده شده است قرارداد داده و کوبش مورد نیاز طبق استاندارد انجام گرفت. همچنین ملات فوق در نمونه های ۵*۵*۲۰ جهت انجام آزمایش انقباض ریخته شد و کوبش لازم انجام گرفت. مقادیر مواد مصرفی و طرح اختلاط انجام گرفته به قرار زیر می باشد

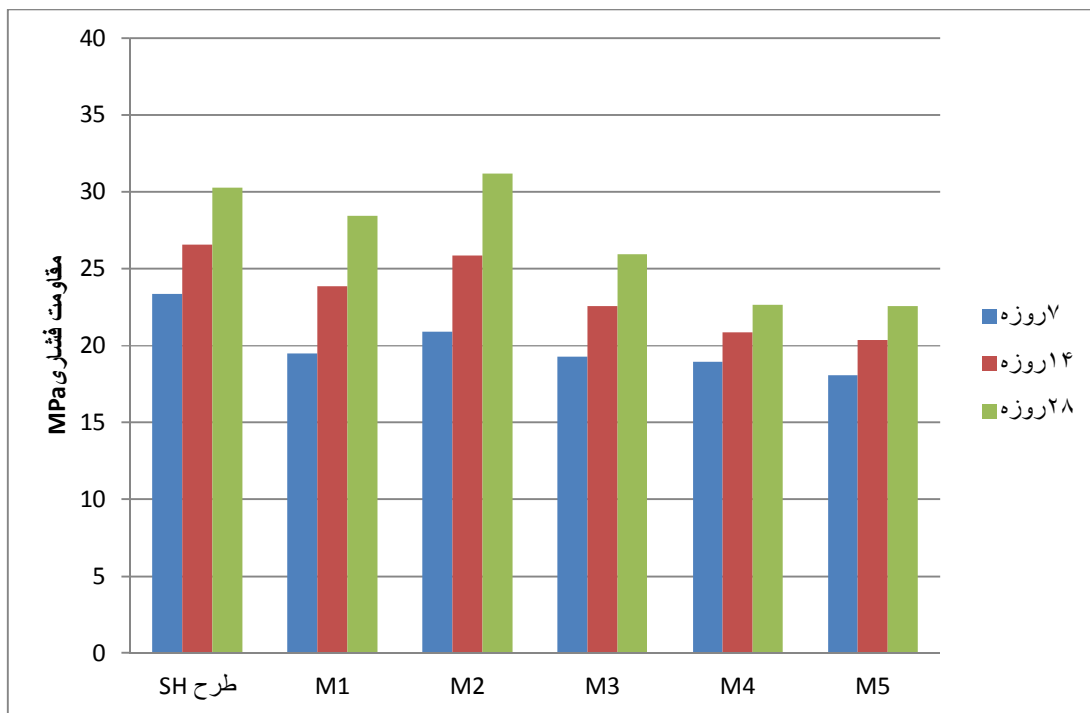
جدول ۳- مقادیر درصدهای مورد استفاده مواد مصرفی در طرحهای اختلاط						
عنوان طرح	سیمان (%)	نسبت پرلیت به سیمان (%)	نسبت متاکائولین به سیمان (%)	نسبت آب به سیمان	نسبت سنگدانه به مواد سیمانی	اسلامپ سانتی متر
SH	۱۰۰	۰	۰	۰/۵	۲/۷۵	۳۲
M1	۹۵	۰	۵	۰/۵	۲/۷۵	۳۲
M2	۹۰	۰	۱۰	۰/۵	۲/۷۵	۳۱.۵
M3	۸۵	۰	۱۵	۰/۵	۲/۷۵	۳۱
M4	۸۰	۰	۲۰	۰/۵	۲/۷۵	۳۱
M5	۷۵	۰	۲۵	۰/۵	۲/۷۵	۳۰
P1	۹۵	۵	۰	۰/۵	۲/۷۵	۳۲
P2	۹۰	۱۰	۰	۰/۵	۲/۷۵	۳۲
P3	۸۵	۱۵	۰	۰/۵	۲/۷۵	۳۱
P4	۸۰	۲۰	۰	۰/۵	۲/۷۵	۳۱
P5	۷۵	۲۵	۰	۰/۵	۲/۷۵	۳۰.۵

نمونه های مورد نیاز در اندازه های مختلف و مورد نیاز برای آزمایشهای مختلف توسط ملات های تهیه شده با طرحهای اختلاط مذکور تهیه گردید و نمونه ها پس از ۲۴ ساعت از قالب خارج گردید و داخل حوضچه های آب قرار گرفت و در سنین مورد نظر از حوضچه خارج گردید و مورد آزمایش های مورد نظر قرار گرفت. البته نمونه های مربوط به آزمایش انقباض در محیط آزمایشگاه قرار گرفت و جمع شدگی نمونه تحت شرایط محیطی اندازه گیری شد. ساخت نمونه ها و آزمایشهای مورد نیاز در آزمایشگاه بتن دانشکده فنی دانشگاه گیلان انجام گرفت.

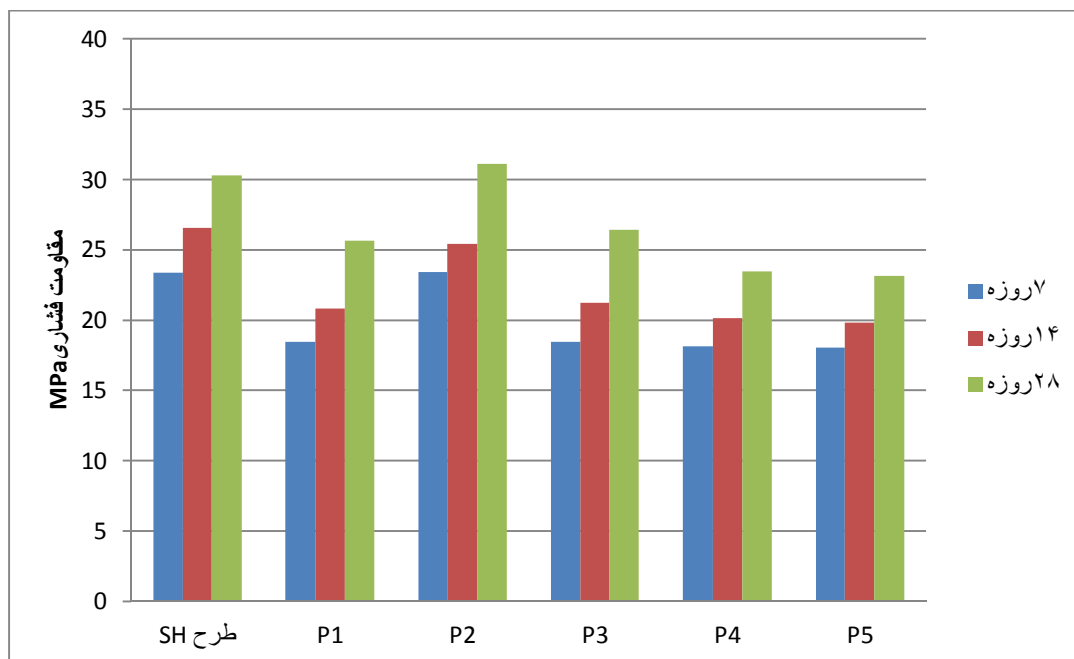
۴- نتایج آزمایش ها

۴-۱- آزمایش مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری براساس دستورالعمل ASTM C109 و در سنین ۷ و ۱۴ و ۲۸ روز بر رونمونه های مکعبی انجام شد [۱۱] طرحهای آزمایش را می توان به دو دسته تقسیم نمود یک دسته نمونه های با جایگزینی پرلیت و دسته دیگر نمونه های با جایگزینی متاکائولین می باشد. این تقسیم بندی به ما کمک می کند تا مقایسه مناسبی از مقاومت فشاری نمونه های مختلف داشت. بنابراین نمودار نتایج مقاومت فشاری نمونه های با جایگزینی متاکائولین و نمودار ۲ نتایج مقاومت فشاری نمونه های با جایگزینی پرلیت می باشد. البته در هر دو نمودار نتایج طرح شاهد نیز آورده شده است.



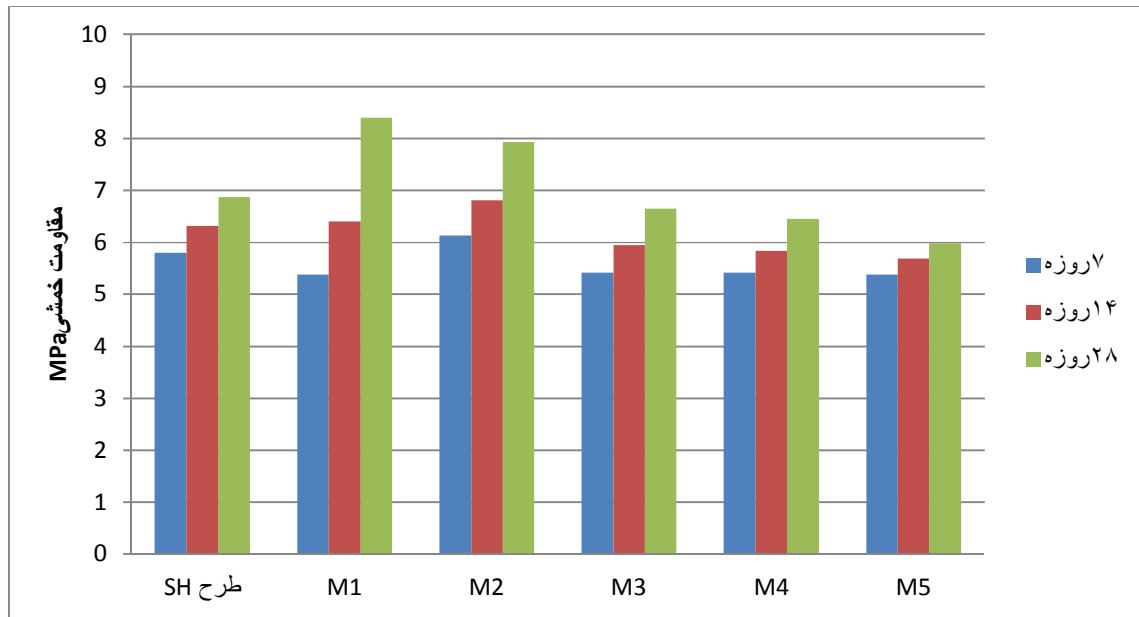
نمودار ۱- مقاومت فشاری نمونه های حاوی متاکاتولین



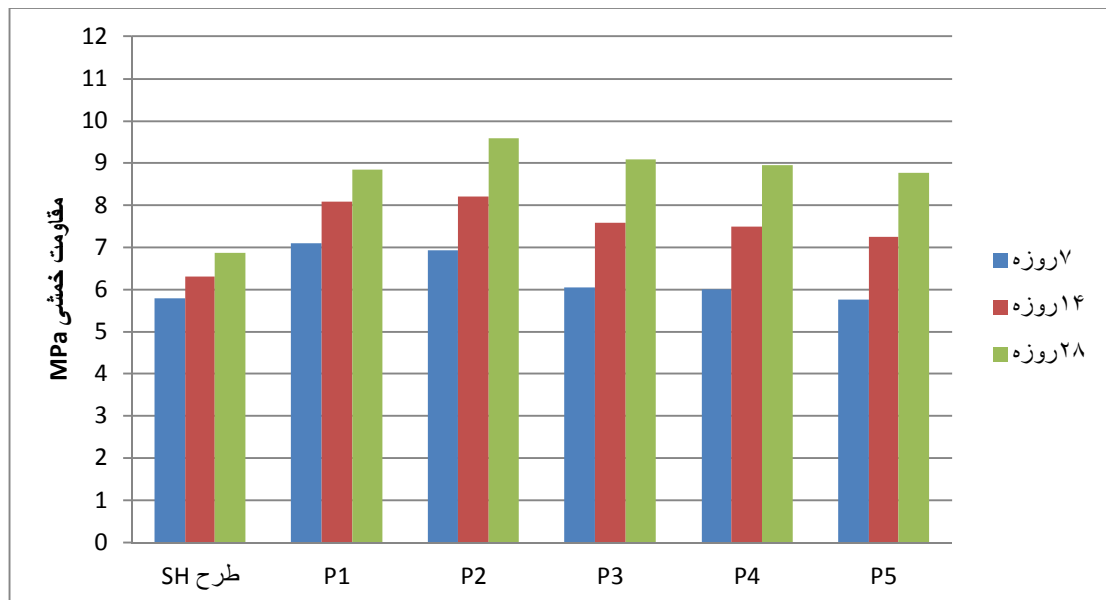
نمودار ۲- مقاومت فشاری نمونه های حاوی پرلیت

۴-آزمایش مقاومت خمشی

از دیگر خصوصیات مهم بتن مقاومت خمشی آن می باشد. در این تحقیق مقاومت خمشی نمونه های حاوی دو نوع پوزولان پرلیت و متاکائولین در سنین ۷ و ۱۴ و ۲۸ روز بدست آمدنمودار ۳ و ۴ نتایج حاصل رانشان می دهد. نتایج ارائه شده نشان دهنده برتری و افزایش مقاومت خمشی نمونه حاوی پوزولان پرلیت نسبت به نمونه حاوی پوزولان متاکائولین با درصد جایگزینی مشابه می باشد.



نمودار ۳-مقاومت خمشی نمونه های حاوی متاکائولین



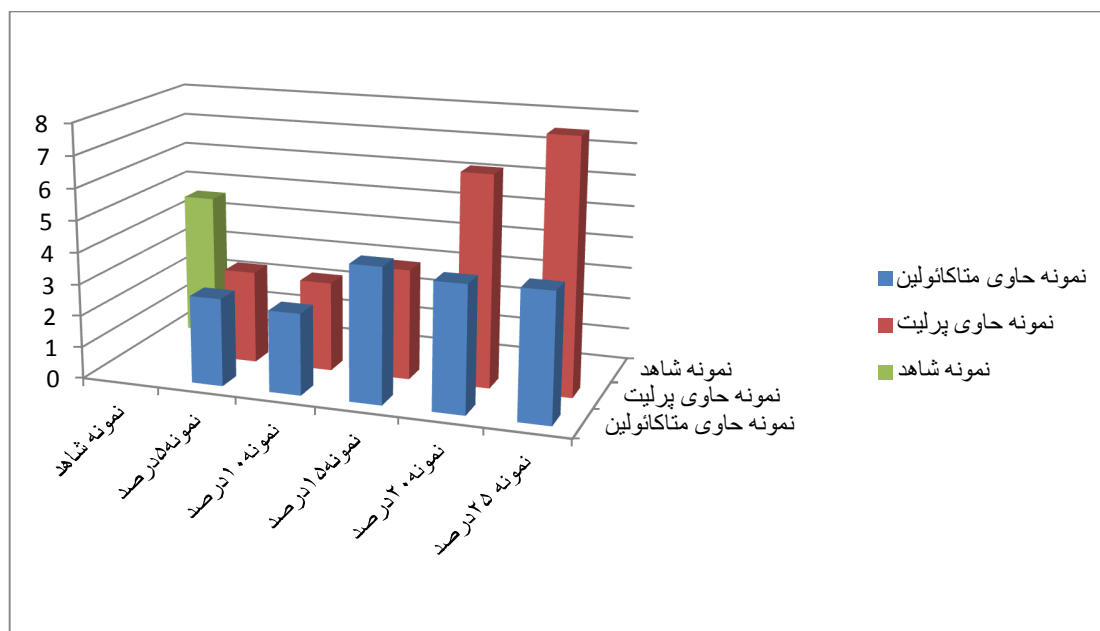
نمودار ۴-مقاومت خمشی نمونه های حاوی پرلیت

۴-۳ آزمایش جذب آب

یکی از آزمایش هایی که معیار بسیار مناسبی برای تشخیص کارایی مناسب سیمان مصرفی، آزمایش جذب آب می باشد. بدین ترتیب که هرچه مقدار نفوذ آب در نمونه کمتر باشد نمونه مقاومت بیشتری دارد و همچنین مقدار نفوذ آب نسبت عکس با مقدار تخلخل و فضای خالی موجود در نمونه دارد. نمودارهای ۵ و ۶ به ترتیب مقادیر جذب آب ۲۸ روزه و جذب آب نیم ساعته که در سن ۲۸ روز طبق استاندارد ASTM C642 اندازه گیری شده است را نشان می دهد. [۱۲]



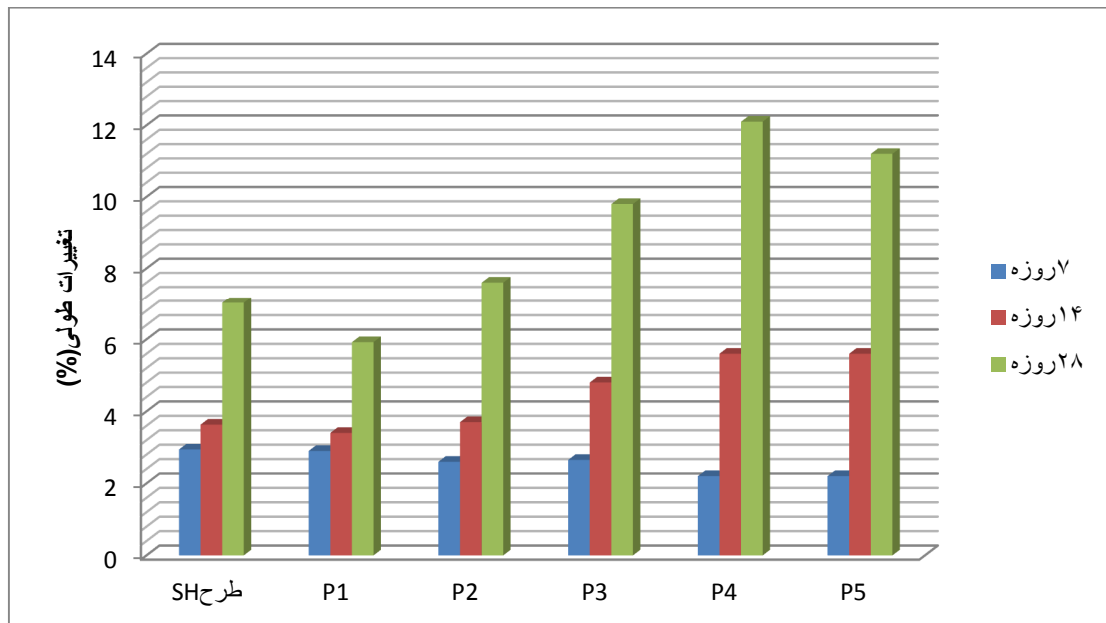
نمودار ۵-مقادیر جذب آب ۲۸ روزه



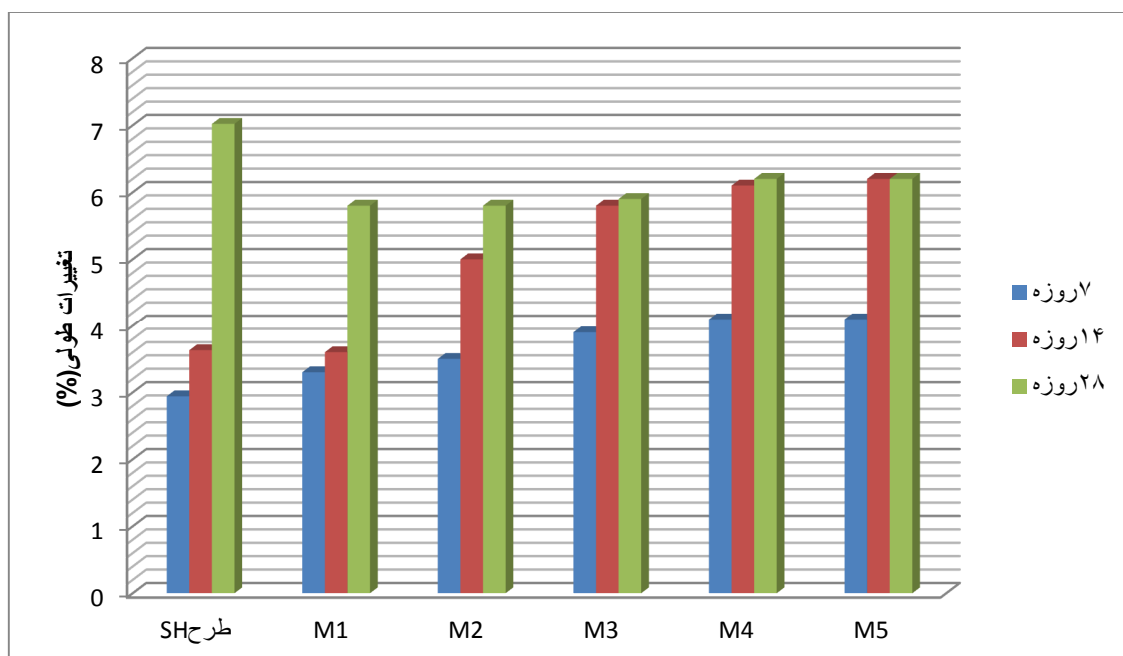
نمودار ۶-مقادیر جذب آب نیم ساعته در سن ۲۸ روز

۴-۳ آزمایش انقباض

دیگر پارامتری که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته شده است مقدار انقباض (جمع شدگی) نمونه هامی باشد. برای این منظور نمونه های ۵*۵*۲۰ ساخته شد و پس از ۲۴ ساعت که از قالب خارج شد در محیط آزمایشگاه قرارداده شد و مقادیر جمع شدگی نمونه ها در سنین ۷ و ۱۴ و ۲۸ روز اندازه گیری شد. نتایج حاصله در نمودارهای ۷ و ۸ آورده شده است.



نمودار ۷-مقادیر انقباض (جمع شدگی) نمونه های حاوی پرلیت



نمودار ۸-مقادیر انقباض (جمع شدگی) نمونه های حاوی متاکائولین

۵. تفسیر و بررسی نتایج

۵-۱ آزمایش مقاومت فشاری و خمشی

آزمایشهای فوق برای مقایسه دوماه معدنی پرلیت و متاکائولین به لحاظ بعضی از خواص آنها انجام گردید که نتایج آن در نمودار های فوق آورده شده است. متاکائولین ماده ایی است که بارها مورد آزمایش قرار گرفته است و مقیاس مناسبی جهت مقایسه می باشد.

پرلیت که در تحقیقات فراوانی به عنوان سبکدانه برای ساخت بتن سبک مورد بررسی قرار گرفته است اما در این تحقیق با رویکردی دیگر به عنوان پوزولان مورد بررسی قرار گرفته شده است. نتایج حاصل بطور کلی نشان دهنده خاصیت پوزولانی مناسب این ماده معدنی می باشد و حتی در مواردی از جمله در مورد افزایش مقاومت خمشی شرایطی به مراتب بهتر از متاکائولین دارد. دلیل مقاومت خمشی فوق العاده نمونه های حاوی پرلیت سبکی این ماده می باشد که در مقایسه با متاکائولین و یا سایر پوزولانها در وزن برابر شامل تعداد ذرات خیلی بیشتری می باشد که تعداد ذرات بیشتر با پراکندگی مناسب در کل حجم نمونه باعث افزایش مقاومت خمشی نمونه می گردند. اما در مورد مقاومت فشاری پرلیت شرایطی تقریباً مشابه متاکائولین دارد که دلیل این موضوع وجود سیلیس و آلومینیوم در اجزای تشکیل دهنده پرلیت می باشد که نزدیک به ۹۰ درصد ترکیب شیمیایی پرلیت را این دوماه که منشأ خاصیت پوزولانی می باشند، تشکیل می دهند.

۵-۱-۱ آزمایش جذب آب

ذرات بسیار ریز پوزولان از طریق واکنش جهت رسوب محصولات هیدراتاسیون و از طریق کاهش اندازه کریستالهای هیدروکسید کلسیم باعث ایجاد ریزساختاری همگن و یکنواخت میگردند و همچنین با کاهش حفرات نفوذپذیر از طریق پرکردن حفرات موینه موجود در بافت خمیر سیمان و مسدود کردن راههای ارتباطی شبکه موینه موجب کاهش جذب آب نمونه ها میگردد. در مورد جذب آب در درصدهای پایین جانشینی پرلیت تأثیری بهتر از متاکائولین بر ملات دارد اما در درصدهای بالای جانشینی این شرایط ضعیف تر و برعکس می شود. البته دلیل این مسئله این می باشد که پرلیت دارای وزن مخصوص پائینی است و فضایی که در درصدهای بالای جانشینی اشغال می کند بسیار زیاد می باشد.

کیفیت بتن به لحاظ جذب آب از نظر آیین نامه CEB [۱۳] به ۳ دسته تقسیم می شود که رده ضعیف برای جذب آب بیشتر و مساوی ۵ درصد و رده متوسط برای جذب آب بین ۳ تا ۵ درصد و رده خوب برای جذب آب کمتر از ۳ درصد در نظر گرفته شده است

۵-۲ آزمایش انقباض

در توضیح افزایش رفتار جمع شدگی نمونه های ساخته شده دو دلیل اساسی وجود دارد: اولاً اینکه آزمایشها نشان داده اند که مواد پوزولانی سبب افزایش سرعت هیدراتاسیون و در نتیجه افزایش گرمای هیدراتاسیون میشود. به عبارت دیگر استفاده از پوزولان باعث تسریع در روند کسب مقاومت در سنین اولیه میگردد لذا حرارت زیادی در جسم ملات تولید میشود که باعث از دست رفتن سریعتر آب موجود در ملات میگردد. بر این اساس افزایش گرمای هیدراتاسیون می تواند از جمله عوامل تأثیر گذار بر افزایش میزان انقباض ملاتهای حاوی پوزولان در سنین اولیه تلقی شود. ثانیاً تحقیقات نشان داده است استفاده از فوق روان کننده موجب افزایش انقباض نمونه های ملات میشود. وانگ و همکاران [۱۴] با استفاده از فوق روان کنندهای بر پایه پلی کربسیلات اثر گزارش کردند که با افزایش میزان فوق روان کننده، بر میزان انقباض کوتاه مدت افزوده میشود، به نظر می رسد کاهش حفرات موجود در خمیر سیمان سخت شده در نتیجه پراکنده شدن بهتر ذرات سیمان از جمله عوامل موثر در افزایش درصد تغییرات جمع شدگی می باشد. افزایش انقباض در نمونه های حاوی پرلیت در سنین بالاتر به دلیل وجود آب همراه پرلیت و تبخیر آن در سنین بالاتر می باشد.

۶. نتیجه گیری

۱. به لحاظ مقاومت فشاری درصد بهینه برای هردو ماده معدنی متاکائولین و پرلیت برابر با ۱۰ درصد جانشینی سیمان می باشد
۲. از نقطه نظر مقاومت خمشی ملات حاوی پرلیت دارای مقاومتی به مراتب بالاتر در مقایسه با ملات حاوی متاکائولین می باشد و حتی تمامی درصدهای جانشینی پرلیت دارای مقاومت خمشی بالاتر از نمونه شاهد می باشند.
۳. نمونه های حاوی هردو ماده معدنی پرلیت و متاکائولین از لحاظ جذب آب و تأثیر آن بر ملات شرایط تقریباً مشابه ایی دارند بدین ترتیب که در درصدهای ۵ و ۱۰ دارای جذب آب پایین تر نسبت به نمونه شاهد می باشد و با توجه به رده بندی استاندارد اروپا

CEB در رده خوب قرار دارند.

۴. آزمایش انقباض نشان دهنده مقدار بسیار بیشتر جمع شدگی نمونه های حاوی پرلیت نسبت به نمونه های حاوی متاکائولین در درصد های بالای جانمایی می باشد که این مسئله ناشی از تبخیر آب همراه پرلیت می باشد اما این مسئله در درصد های جانمایی ۱۰ درصد پرلیت تاثیر کمتری دارد.
۵. بطور کلی می توان گفت که ماده معدنی پرلیت دارای خاصیت پوزولانی مناسبی می باشد و در هرم مواد پوزولانی می تواند در کنار متاکائولین در قسمت میانی هرم قرار گیرد.

منابع

- 1- Dali Bondar, C.J. Lynsdale, Neil B. Milestone, N. Hassani, A.A. Ramezaniapour, "Effect of type, form, and dosage of activators on strength of alkali-activated natural pozzolans", *Cement & Concrete Composites* 33, pp.251–260, (2010)
- ۲- یزساختار، خواص و اجزای بتن (تکنولوژی بتن پیشرفته)، پ. کومار مهتا-پائولو ج. م. مونته ئیرو، ترجمه رمضانپور، قدوسی، گنجیان، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) بهار ۱۳۹۱
۳. قربانی، م، "پرلیت و پوک های معدنی"، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات زمینی کشور، (۱۳۷۸).
- 4- Hansson, C. M., Poursaee, A., and Laurent, A., "Macrocell and Microcell Corrosion of Steel in Ordinary Portland Cement and High Performance Concrete", *Cement and Concrete Research*, No. 36, pp. 2098 –2102, (2006)
- 5- Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete
- 6- Poon CS, Lam L, Kou SC, Wong YL, Wong R. Rate of pozzolanic reaction of metakaolin in highperformance cement pastes. *Cement and Concrete Research*, 31, 1301–1306, 2001
- 7- CONCRETE MADE WITH ZEOLITE AND METAKAOLIN: A COMPARISON ON THE STRENGTH AND DURABILITY PROPERTIES, R. Madandoust¹, J. Sobhani², P. Ashoori, 20 February 2013
- 8- Najmi, M. and Sobhani, J. and Ahmadi, B. and Shekarchi, M., "An experimental study on durability properties of concrete containing zeolite as a highly reactive natural pozzolan," *Constr Build Mater*, Vol. 35, Jul, 2012, pp. 1023-103
- 9- Shekarchi M, Bonakdar A, Bakhshi M, Mirdamadi A, Mobasher B. Transport properties in metakaolin blended concrete. *Construction and Building Materials*, 24, 2217–2223, 2010
- 10- Batis G, Pantazopoulou P, Tsivilis S, Badogiannis E. The effect of metakaolin on the corrosion behavior of cement mortars. *Cement & Concrete Composites*, 27, 125–130, 2005
- 11- ASTM C109, (2000), "Standard test method for compressive strength of hydraulic cement

12 - ASTM C642, (2000), "Standard test method for density, Absorption and voids in hardened concrete," Annual book of ASTM standards, 4.02. __ pp 321-323.

13-CEB-FIP, Diagnosis and assessment of concrete structures-"State of the Art Report. CEB Bulletin192,1989, 83-5

14-13-B.G.Ma.X.G,Wang,W.Q.Liang,X.G.Li,Z.He,Study on early-age cracking of cement-based materials with superplasticizers.", Construction and Building Materials, 21,2017-2022;(2007