بررسی اثر پوزولانی میکروسیلیس بر ملات‌های سیمانی سبک وزن

سمیه لطفی[۱*]، حسین یوزباشی زاده[۲] و اسماعیل صلاحی[۳]

[۱] کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات
[۲] دانشیار، دانشکده مواد، دانشگاه صنعتی شریف
[۳] دانشیار، پژوهشکده سرامیک، پژوهشگاه مواد و انرژی

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۸۸/۳/۱۰، تاریخ دریافت نسخهٔ اصلاح‌شده: ۱۳۸۸/۵/۲۳، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۹۱/۱۰/۱۲

چکیده یکی از مشکلاتی که در استفاده از بتن‌ها و ملات‌ها همواره مطرح بوده، چگالی زیادشان می باشد و پژوهشگران همواره به دنبال راهی برای کاهش چگالی و افزایش استحکام آن‌ها بوده‌اند. هدف از پژوهش حاضر، ساخت ملات‌های سبک به‌کمک پرلیت منبسط شده و بررسی اثر پوزولانی میکروسیلیس بر استحکام آن‌هاست. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزودن سنگدانه پرلیت، چگالی و استحکام ملات کاهش و با افزایش مقدار میکروسیلیس (تا ۹٪ وزنی سیمان) استحکام ملات افزایش می‌یابد. با افزایش مقدار میکروسیلیس، زمینه سیمانی متراکم‌تر شده و ساختار یکنواخت‌تری به‌دست می‌آید. همچنین میکروسیلیس با هیدروکسید کلسیم ناشی از آبگیری سیمان واکنش کرده و سیلیکات کلسیم آبدار تشکیل می‌دهد که این فاز از عوامل ایجاد مقاومت در ملات می‌باشد. ریزساختار نمونه‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) بررسی شد، تصاویر میکروسکوپی نشان داد که مسیر گسترش ترک‌ها به‌طرف دانه-های پرلیت است و از مرز دانه‌های ماسه با فاز سیمانی عبور می‌کنند. بدین ترتیب پرلیت، عامل تضعیف و ماسه عامل تقویت استحکام فاز زمینه می‌باشند. همچنین اثر پوزولانی میکروسیلیس بر تشکیل و توسعه فازی نمونه‌ها توسط روش پراش پرتو ایکس (XRD) بررسی شد.

واژه‌های کلیدی ملات سبک، پرلیت، میکروسیلیس، پوزولان.

Investigation of Pozzolanic Effect of Micro Silica on light Weight Concretes

S. Lotfi*[1], H. Yushbashi-zadeh[2] and E. Salahi[3]

[1]Materials Department, Sharif University of Technology, Tehran, Iran
[2]Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran
[3]Ceramic Department, Materials and Energy Research Center, Karaj, Iran

Abstract Light weight concrete was aimed of several investigations and developed in order to increase mechanical strength. In the present study, pozzolanic effect of micro silica on density and mechanical strength of light weight concretes is investigated. Results showed that density and strength will decrease due to Perlite increased and in contrast strength will increase because of micro silica increased. By increasing micro silica amount, concrete matrix will be become denser and more homogenous. Strength increasing is supposed to micro silica and calcium hydroxide reaction to and hydrous calcium silicate phase evolution. Scanning electron micrographs showed crack deflection toward Perlite particles and in contrast cracks passed from sand and cement phase boundaries. Pozzolanic effect of micro silica on phase evolution was investigated by XRD technique.

Keywords Light weight concrete, Perlite, Micro Silica, Pozzolan.

*عهده‌دار مکاتبات
نشانی: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات
تلفن: - ، **دورنگار:** - ، **پیام نگار:** smlotfi@yahoo.com

۱- مقدمه

سنگدانه‌ها و اگریگیت‌های سبک وزن می‌توانند در تهیه ملات‌های سیمانی با چگالی کم به‌کار روند. پرلیت یک سنگ آتشفشانی شیشه‌ای با ترکیب ریولیتی است که در حدود ۵-۳ درصد آب، به صورت حبس شده در خود دارد. در اثر حرارت دادن در حوالی دمای ۸۰۰°C آب حبس شده در آن به‌صورت بخار در می‌آید و خروج آب از داخل ذرات نرم شده سنگ پرلیت سبب می‌شود که حجم آن از ۲۰-۴ برابر افزایش یابد و حباب‌های هوای به‌وجود آمده در آن‌ها سبب کاهش بسیار زیاد چگالی می‌شوند [۴-۱]. میکروسیلیس، محصول فرعی در فرایند تولید سیلیسیم و آلیاژهای آن، به‌ویژه آلیاژ فروسیلیس است. ذرات میکروسیلیس به‌طور معمول کروی شکل و دارای قطر متوسطی حدود ۰/۱ تا ۰/۲ میکرومتر و به حالت غیربلورین هستند [۵]. میکروسیلیس، شکل ریزی از مواد سیلیسی است که میزان سیلیس آن ۹۸ - ۸۵ درصد بوده و روشن است که با توجه به درصد بالای سیلیس و ریز بودن اندازه ذرات میکروسیلیس می‌تواند دارای اثر پوزولانی بالایی باشد. برخی از پژوهشگران اثر میکروسیلیس و خاکستر بادی را به‌عنوان جایگزین سیمان در بتن پرلیتی مورد بررسی قرار داده و دریافته‌اند که با جایگزین کردن این مواد به‌جای سیمان استحکام بتن سبک پرلیتی افزایش می‌یابد [۶]. دانشمندان نامبرده در سال ۲۰۰۲ میلادی اثر دانه‌های پرلیت منبسط شده، میکروسیلیس و خاکستر بادی را بر رسانش گرمایی بتن سبک بررسی کرده‌اند [۷]. همچنین آن‌ها نشان دادند که با افزایش میکروسیلیس و خاکستر بادی به‌عنوان جایگزین برای سیمان، رسانش گرمایی بتن کاهش و با افزایش میزان رطوبت، افزایش می‌یابد. ساختارهای بلورین رسانش گرمایی بیشتری را نسبت به ساختارهای آمورف نشان می‌دهند. با جایگزین شدن میکروسیلیس به‌جای سیمان، با توجه به سطح زیاد و طبیعت آمورف میکروسیلیس، رسانش گرمایی بتن کاهش می‌یابد. رسانش گرمایی سیلیکا در حالت بلورین حدود ۱۵ برابر بیشتر از حالت آمورفش است و طبیعی است که در بتن با سیلیکای آمورف رسانش گرمایی کمتر می‌باشد [۸،۹].

۲- روش آزمایش

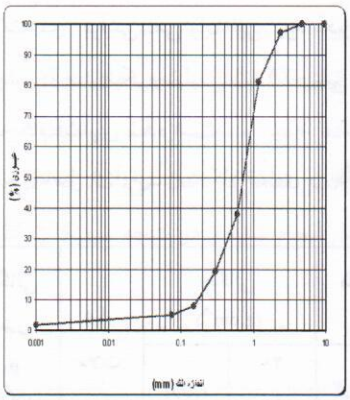
پرلیت منبسط شده و ماسه، سنگدانه‌های مورد استفاده در ملات پرلیتی است و سیمان پرتلند تیپ ۲ در طرح اختلاط‌ها استفاده شد. در دسته اول آزمایش‌ها، ترکیب بهینه ملات پرلیتی با چگالی kg/m^3 ۱۸۰۰ و ۱۵۰۰ و۱۲۰۰ محاسبه و در دسته دوم آزمایش‌ها، مقدار ۳٪، ۶٪ و ۹٪ وزنی سیمان، میکروسیلیس به ترکیب بهینه افزوده شد. افزودنی شیمیایی مورد استفاده دراین نوع ملات، فوق روان کننده نوع N و برپایه پلی نفتالن بوده و در مرحله افزودن میکروسیلیس برای جبران افزایش گرانروی ترکیب اضافه شد. مقدار فوق روان کننده، ثابت و به میزان ۱/۵ درصد وزنی سیمان است. برای تهیه طرح اختلاط ملات، نیاز به تعیین برخی از خواص مواد اولیه می باشد. آزمایش‌های تعیین خواص مواد اولیه شامل دانه بندی ماسه و پرلیت بر اساس استاندارد (ASTM C33)، درصد جذب آب ماسه و پرلیت و چگالی اشباع آن‌ها بر اساس استاندارد (BS 1902) و تعیین چگالی سیمان می‌باشد [۱۰ و ۱۱]. چگالی سیمان توسط دستگاه میکرومتریکس (Acccupycl330v) اندازه‌گیری و محدوده اندازه دانه سیمان توسط دستگاه (Particle sizer)، ساخت کارخانه (Fritch)، مدل (Anlaysette22) تعیین شده است. در جدول ۱ نتایج حاصل از اندازه‌گیری چگالی و درصد جذب آب مواد اولیه نشان شده است. شکل‌های ۱ تا ۳ منحنی‌های توزیع اندازه ذرات ماسه، پرلیت و سیمان مصرفی را نشان می‌دهد.

جدول ۱. چگالی و درصد جذب آب مواد اولیه.

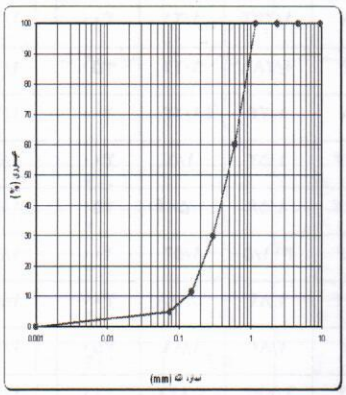
نام ماده	چگالی (g/cm^3)	درصد جذب آب ۲۴ ساعته
پرلیت	۰/۸۶(اشباع با آب)	٪۱۲۰
ماسه	۲/۶(اشباع باآب)	٪۵
سیمان	۲/۹۸	-

برای آنالیز فازی برخی نمونه‌ها از دستگاه XRD ، مدل PW3710 ساخت شرکت Philips آلمان، با آند مس و طول موج ۱/۵۴ آنگستروم، ولتاژ ۴۰ کیلو ولت و آمپراژ ۳۰ میلی آمپر استفاده شد. با توجه به شکل ۴، کوارتز اصلی‌ترین فاز

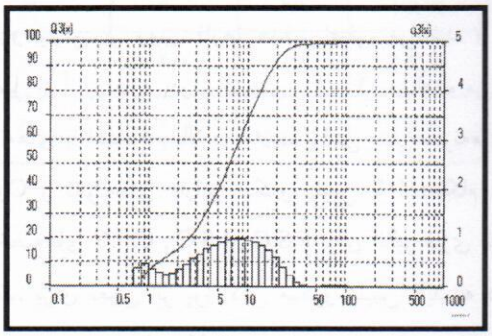
موجود در پرلیت منبسط شده مورد استفاده می‌باشد. فازهای مهم دیگر در این ماده آلبیت، کریستوبالیت و میکاست و با توجه به شکل ۵، فاز اصلی موجود در آنالیز فازی ماسه، دولومیت بوده، کلسیت، کوارتز و آلبیت از فازهای دیگر موجود در ماسه مصرفی می‌باشند.



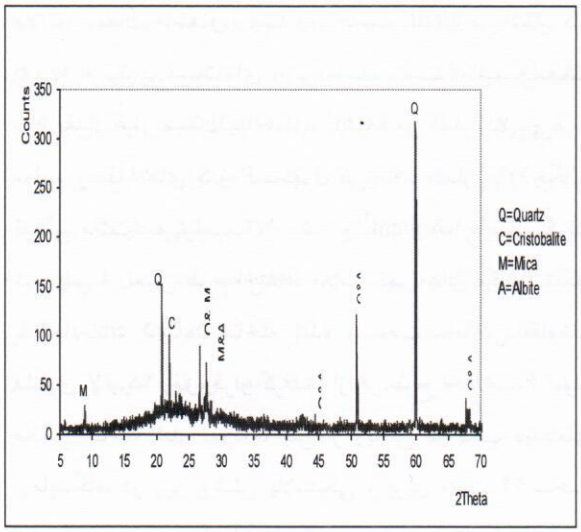
شکل ۱. منحنی توزیع اندازه ذرات پرلیت.



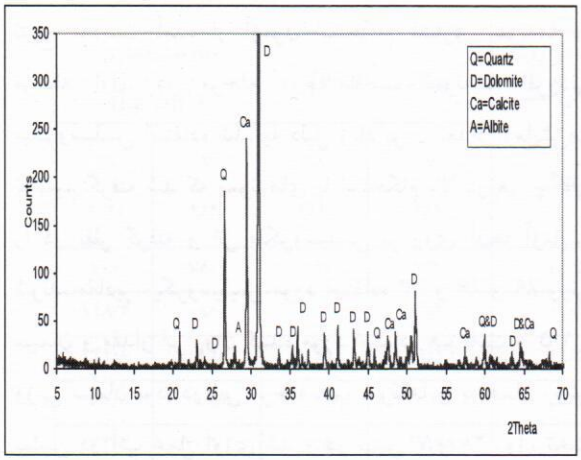
شکل ۲. منحنی توزیع اندازه ذرات ماسه.



شکل ۳. منحنی توزیع اندازه ذرات سیمان.



شکل ۴. الگوی پراش پرتو ایکس پرلیت منبسط شده.



شکل ۵. الگوی پراش پرتو ایکس ماسه.

برای انجام طرح‌های اختلاط گوناگون، از مصالح با نسبت‌های وزنی مختلف در مخلوط ملات استفاده شد. با فرض کردن چگالی ملات، عیار ملات و نسبت آب به سیمان، توسط روابط زیر، مقدار ماسه و پرلیت که به صورت نسبت وزنی به سیمان ارایه می‌شوند، برای طرح اختلاط به دست می‌آیند [۱۲]:

$$\rho_b = \frac{(1+s+p+w)}{\left(\frac{1}{\rho_c}+\frac{s}{\rho_s}+\frac{p}{\rho_p}+w\right)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\left(\frac{1}{\rho_c}+\frac{s}{\rho_s}+\frac{p}{\rho_p}+w\right)\times a=1000 \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه‌های بالا ρ_b، ρ_c، ρ_s، ρ_p به‌ترتیب چگالی

ملات، سیمان، ماسه و پرلیت و برحسب g/cm^3 می‌باشند. S ، p ، w به ترتیب نسبت‌های وزنی ماسه، پرلیت و آب به سیمان و a مقدار عیار سیمان بر حسب kg/m^3 می‌باشد. ρ_c,ρ_s,ρ_p,W معلوم و مقدارهای S و P مجهول می‌باشد. مقدار ρ_b (چگالی فرضی ملات) به ترتیب ۱/۲ ، ۱/۵ و ۱/۸ g/cm^3 در نظر گرفته شد. پس از تعیین طرح اختلاط ملات، نمونه‌های مکعبی شکل با ابعاد cm ۵×۵×۵ ساخته شده و تحت آزمایش مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه قرار گرفتند. از هر طرح اختلاط، ۶ نمونه مکعبی ساخته شد. نمونه‌ها پس از ریختن در قالب در دمای آزمایشگاه، در زیر پوشش پلاستیکی و برای مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند و پس از آن تا یک روز پیش از انجام آزمایش فشار، به‌صورت غوطه‌ور در آب، عمل‌آوری شدند. با توجه به نتایج به‌دست آمده از آزمون استحکام فشاری نمونه‌ها در مرحله اول، در مرحله دوم ساخت نمونه‌ها، افزودنی میکروسیلیس استفاده شد. به دلیل زیاد بودن تعداد آزمایش‌ها، تصمیم گرفته شد که نمونه‌های با استحکام بالا در هر چگالی را در نظر گرفته و اثر میکروسیلیس بر روی آن‌ها آزمایش شوند. مقادیر میکروسیلیس مورد استفاده ۳٪ و ۶٪ و ۹٪ وزنی سیمان و مقدار ابر روان کننده مورد استفاده هم ثابت و ۱/۵ ٪ وزنی سیمان بود. در این مرحله هم، نمونه‌ها را به همان روش پیشین در آب عمل آوری شد و در سنین ۷ و ۲۸ روز، تحت آزمون استحکام فشاری قرار گرفتند. دستگاه مورد استفاده جهت اندازه‌گیری استحکام فشاری، آزمون کشش - فشار (Instron universal) می باشد. ریزساختار نمونه‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (Cambridge-streo scan,SEM) بررسی شد.

۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از انجام آزمون استحکام فشاری و چگالی نمونه‌های بدون میکروسیلیس در جدول ۲ و نمونه‌های با درصدهای گوناگون میکروسیلیس در جدول ۳ آمده است. با توجه به شکل‌های ۶ و۷، با افزایش عیار سیمان، روند افزایشی در استحکام فشاری دیده می‌شود و دلیل آن افزایش میزان سیمان و کاهش تخلخل در خمیر سیمان می‌باشد. با مقایسه روندهای اشاره شده در سنین ۷ و ۲۸ روز دیده می‌شود که روندها در سن ۲۸ روز به سمت مقادیر بیشتر برای استحکام فشاری جا به جا شده و این موضوع ادامه واکنش‌های دانه‌های هیدراته نشده سیمان از سن ۷ روز به بعد را نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌های ۸ و ۹، به اثر میکروسیلیس بر استحکام فشاری ملات‌های پرلیتی می‌توان پی برد. در مورد ملات پرلیتی، افزایش درصد میکروسیلیس (تا ۹٪ وزنی سیمان) سبب افزایش استحکام فشاری شده است.

جدول ۲. نتایج حاصل از آزمون استحکام فشاری و چگالی ملات های پرلیتی.

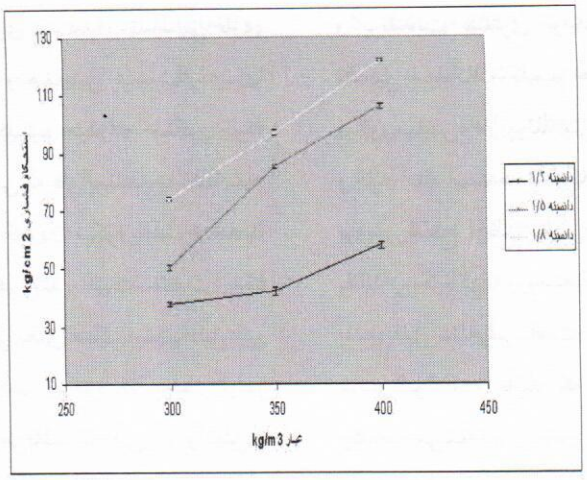
کد نمونه	چگالی فرضی ρ_b ملات	عیار ملات	چگالی ($g.cm^{-3}$)		مقاومت فشاری ($kg.cm^{-1}$)	
			۷روزه	۲۸ روزه	۷روزه	۲۸ روزه
A	۱/۲	۳۰۰	۱/۲۱	۱/۲۳۲	۳۸	۴۶/۸
B	۱/۲	۳۵۰	۱/۲۲	۱/۲۸۸	۴۲	۶۴
C	۱/۲	۴۰۰	۱/۲۳	۱/۲۳	۵۸	۹۰/۴
D	۱/۵	۳۰۰	۱/۵	۱/۵۲	۵۰/۴	۹۷/۶
E	۱/۵	۳۵۰	۱/۵۰۴	۱/۵۶	۸۵/۲	۱۰۱/۶۴
F	۱/۵	۴۰۰	۱/۵۲	۳۱۱/۵	۱۰۶	۱۲۲/۴
G	۱/۸	۳۰۰	۱/۸۰۸	۱/۸۴	۷۴/۴	۹۹/۸
H	۱/۸	۳۵۰	۱/۸۱	۱/۸۳	۹۷	۱۶۶
I	۱/۸	۴۰۰	۱/۸۴۲	۱/۸۶۳	۱۲۲	۲۰۴

در شناسایی فازی نمونه‌ها بررسی تاثیر پوزولانی میکروسیلیس بر روی فازها هدف اصلی می‌باشد و نتایج حاصل از آنالیز فازی در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌شوند. نمونه‌های با استحکام بالا در ملات پرلیتی یعنی نمونه‌های I و H و G و C و نمونه‌های دارای میکروسیلیس با استحکام بالا با مشخصه‌های F.S.C , I.S.C , C.S.C برای آنالیز فازی انتخاب شدند. برای تعیین اثر پوزولانی میکروسیلیس باید به دو فاز پرتلندیت و سیلیکات کلسیم هیدراته توجه کرد. در واکنش پوزولانی به‌جای تولید آهک، آهک مصرف می‌شود که تأثیر مهمی بر دوام خمیر هیدراته در برابر محیط‌های اسیدی دارد. با انجام واکنش پوزولانی، جسم کم مقاومت هیدروکسید کلسیم به سیلیکات کلسیم هیدراته که نقش به سزایی در تعیین مقاومت خمیر سیمانی دارد، تبدیل می‌شود. فاز سیلیکات

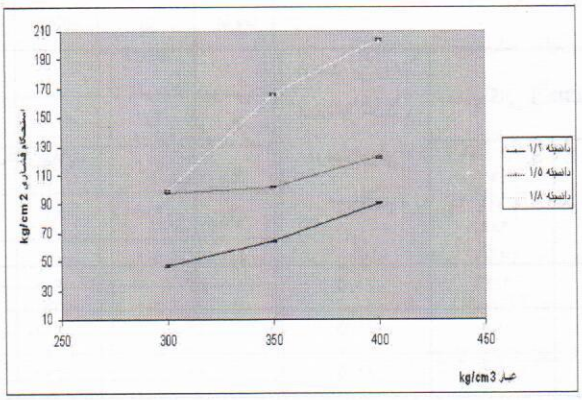
کلسیم هیدراته به‌صورت شبه بلوری است. در شناسایی فازی به‌دلیل زیاد بودن فازهای آمورف و همچنین همپوشانی پیکها با هم، شناسایی فاز سیلیکات کلسیم هیدراته ممکن نبود، بنابراین برای تعیین اثر میکروسیلیس به فاز پرتلندیت اکتفا شد. در بررسی‌ها مشخص است که با افزودن میکروسیلیس، شدت پیک‌های مربوط به پرتلندیت کم شده است. شدت پیک پرتلندیت در نمونه C بیشتر از نمونه‌های دیگر است. دلیل این موضوع استفاده خمیر سیمان از آب موجود در پرلیت و در نتیجه ادامه واکنش هیدراته شدن می‌باشد که طی آن واکنش‌ها به‌صورت کامل انجام شده و در نتیجه سیلیکات کلسیم هیدراته و پرتلندیت بیشتری تولید می‌شود. واکنش (۱-الف و ب) تشکیل سیلیکات کلسیم هیدراته را نشان می‌دهد. با افزودن میکروسیلیس، فاز پرتلندیتی ($Ca(OH)_2$) که در واکنش بالا به‌وجود آمده است به سیلیکات کلسیم هیدراته تبدیل می‌شود. با بررسی سطح مقطع پولیش شده ملات پرلیتی، دو فاز سنگدانه با اندازه گوناگون و زمینه که حاصل هیدراته شدن سیمان می‌باشد قابل تشخیص است. شکل ۱۲ تصویری از سطح پولیش شده نمونهF می‌باشد که سنگدانه‌ها و فاز سیمانی در آن مشاهده می‌شوند.

جدول ۳. نتایج حاصل از آزمون استحکام فشاری و چگالی نمونه‌های C ,I ,F با درصدهای گوناگون میکروسیلیس.

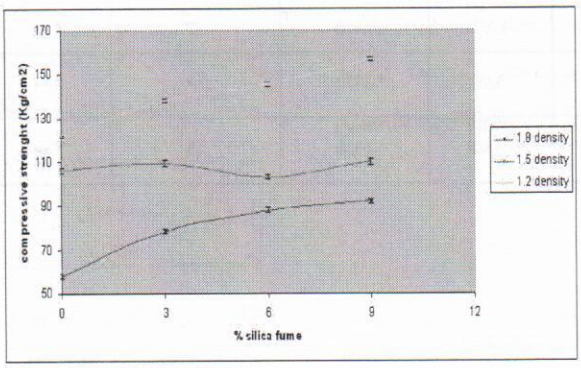
شناسه نمونه	چگالی فرضی ملات ρ_c	عیار ملات	درصد افزودنی میکروسیلیس بر حسب درصد وزنی سیمان	درصد ابر روان کننده بر حسب درصد وزنی سیمان	چگالی (g/cm^3)		مقاومت فشاری (kg/cm^2)	
					۷ روزه	۲۸ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه
C.S.A	۱/۲	۴۰۰	٪۳	٪۱/۵	۱/۲۱	۱/۱۳	۷۸/۴	۱۰۰
C.S.B	۱/۲	۴۰۰	٪۶	٪۱/۵	۱/۲	۱/۲۴	۸۸	۱۲۸/۴
C.S.C	۱/۲	۴۰۰	٪۹	٪۱/۵	۱/۲	۱/۲۱	۹۲	۱۴۴/۸
F.S.A	۱/۵	۴۰۰	٪۳	٪۱/۵	۱/۴۸	۱/۶۴	۱۰۹/۵	۱۴۶/۸
F.S.B	۱/۵	۴۰۰	٪۶	٪۱/۵	۱/۵۲۸	۱/۵۵	۱۰۳/۲	۱۳۳/۲
F.S.C	۱/۵	۴۰۰	٪۹	٪۱/۵	۱/۴۸۸	۱/۵۳	۱۱۰	۱۶۳/۶
I.S.A	۱/۸	۴۰۰	٪۳	٪۱/۵	۱/۷۴	۱/۸۵	۱۳۸	۲۱۱
I.S.B	۱/۸	۴۰۰	٪۶	٪۱/۵	۱/۸	۱/۸۲	۱۴۵/۵	۲۳۴
I.S.C	۱/۸	۴۰۰	٪۹	٪۱/۵	۱/۸۵	۱/۸۸	۱۵۷	۲۴۰



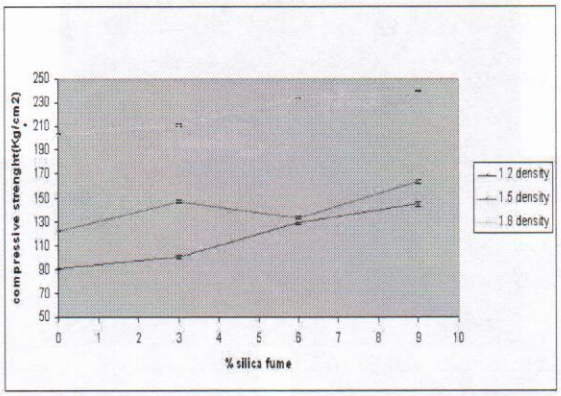
شکل ۶. تغییرات استحکام فشاری ۷ روزه با عیار به‌ازای چگالی‌های گوناگون ملات پرلیتی.



شکل ۷. تغییرات استحکام فشاری ۲۸ روزه با عیار به‌ازای چگالی‌های مختلف ملات پرلیتی.



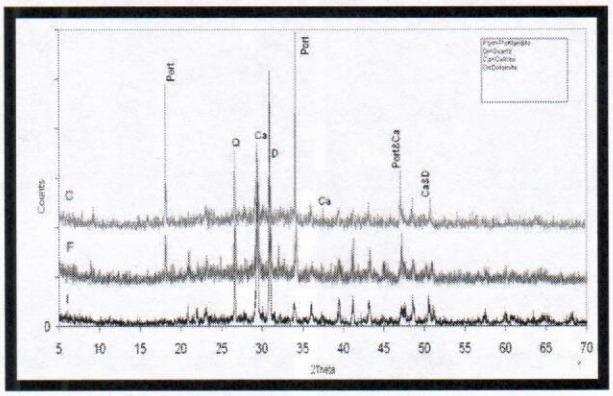
شکل ۸. تغییرات استحکام فشاری با افزودنی میکروسیلیس به‌ازای چگالی‌های گوناگون در سن ۷ روز.



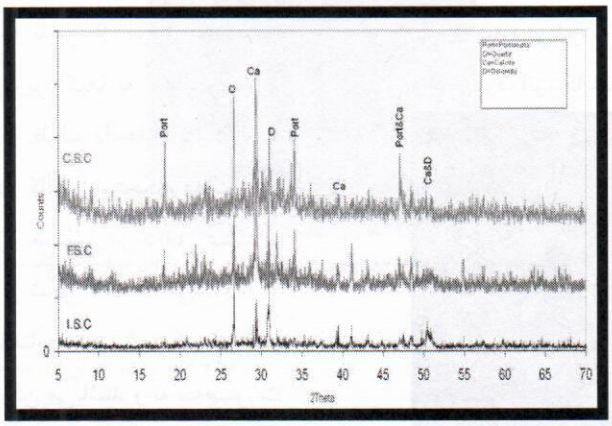
شکل ۹. تغییرات استحکام فشاری با افزودنی میکروسیلیس به‌ازای چگالی‌های گوناگون در سن ۲۸ روز.

$$2Ca_3OSiO_4 + 6H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 3Ca(OH)_2$$ رابطه (۱-الف)

$$2Ca_2SiO_4 + 4H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + Ca(OH)_2$$ رابطه (۱-ب)

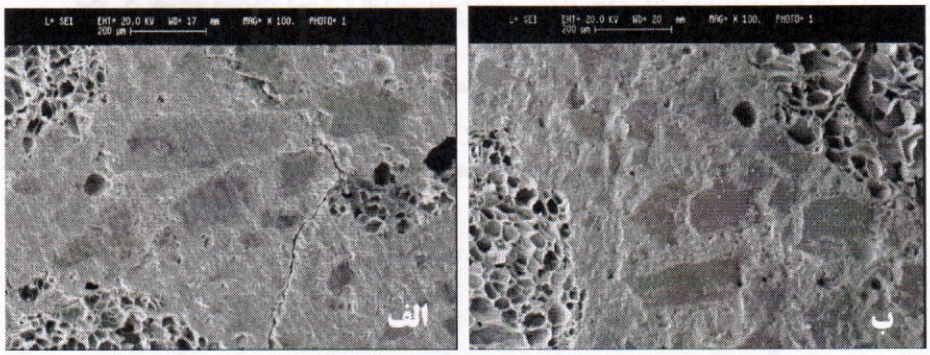


شکل ۱۰. مقایسه الگوهای پراش پرتو ایکس نمونه‌های C , F , I.



شکل ۱۱. مقایسه الگوهای پراش پرتو ایکس نمونه‌های C.S.C , F.S.C , I.S.C.

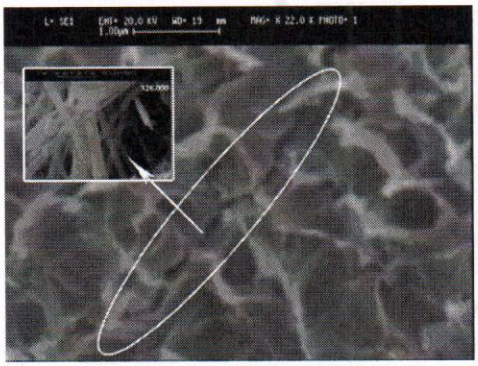
شکل ۱۲. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) سطح مقطع پولیش شده نمونه F.



شکل ۱۳. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) الف-نمونه I.S.C پس از انجام آزمون استحکام فشاری و نمایش مسر حرکت ترک ب- نمونهI.S.C پیش از آزمون استحکام فشاری.

در مقایسه، سطح مقطع پولیش شده نمونه‌ها پیش وپس از انجام آزمون استحکام فشاری، ملاحظه شد که نمونه‌هایی که تحت آزمون استحکام فشاری قرار گرفته‌اند، دارای ترک‌های عریضی می‌باشند که این ترک‌ها ناشی از نیروی وارده در جهت شکست نمونه و پیوستن ریزترک‌ها به یکدیگر است. همچنین مسیر گسترش ترک‌ها به طرف دانه‌های پرلیت می‌باشد. بنابراین پرلیت عامل مهم در کاهش استحکام ملات بوده و ترک‌ها تمایل دارند که به‌طور مستقیم در داخل سنگدانه پرلیت توسعه یابند. این موضوع در شکل ۱۳ دیده می‌شود.

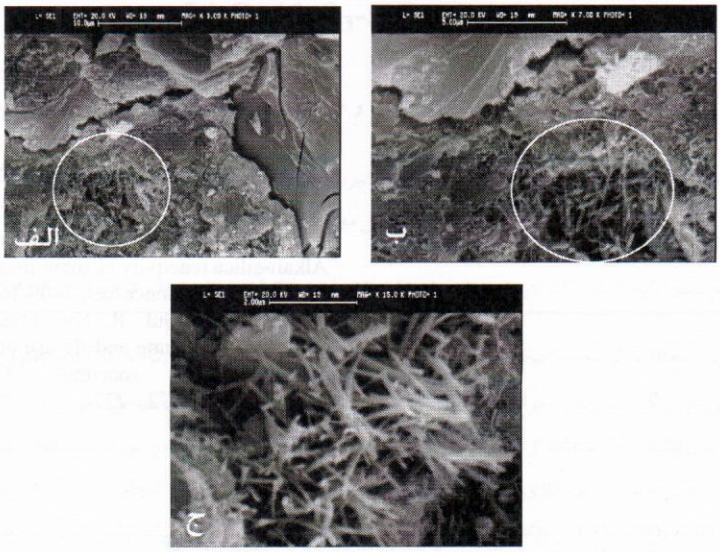
با مطالعه ملات در مقیاس ریزساختاری دیده شد که دو فاز سنگدانه و خمیر، نه خودشان همگن می‌باشند و نه به‌صورت همگن نیز پخش شده‌اند. بررسی‌ها نشان داد که خمیر سخت شده سیمان دارای پخش غیر همگنی از انواع و مقادیر مختلف ذرات جامد، حفره‌ها و ترک‌های ریز می‌باشد. شکل ۱۴ ریزترک موجود در فاز سیمانی سیلیکات کلسیم هیدراته را نشان می‌دهد. خمیر سخت شده سیمان در برخی از قسمت‌ها، حتی متراکم تر از سنگدانه ماسه است، در حالی‌که در بخشی دیگر بسیار متخلخل است. در ملات پرلیتی هم مانند سایر ملات‌ها عدم همگنی در خمیر سیمان به چشم می‌خورد. شکل ۱۵ خمیر سیمانی را نشان می‌دهد که موضوع اشاره شده به خوبی در آن دیده می‌شود. نام فاز سوزنی شکلی که در این شکل وجود دارد، اترینگایت است.



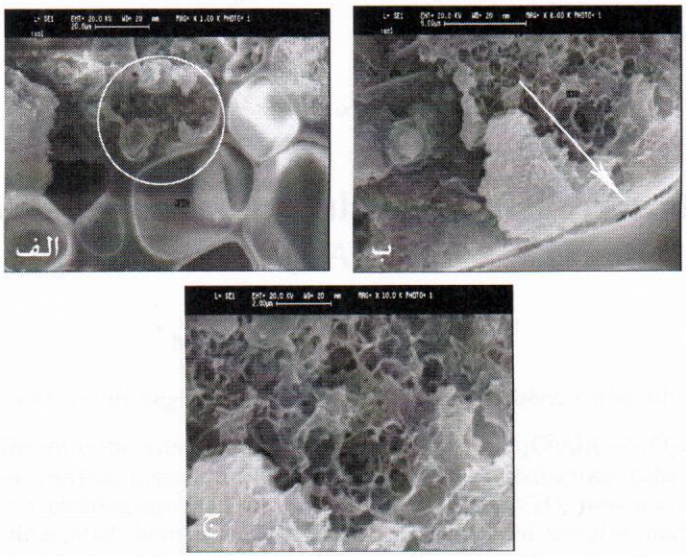
شکل ۱۴. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نمایش ریزترک موجود در فاز سیلیکات کلسیم هیدراته.

برخی از محققان معتقدند که این فاز به دلیل ایجاد تخلخل در فاز سیمانی از عوامل کاهش استحکام می باشد [۱۳]. شکل ۱۶ مرز دانه پرلیت با فاز سیلیکات کلسیم هیدراته را نمایش می-

دهد. در بررسی‌های میکروسکوپی فاز سیلیکات کلسیم هیدراته در کنار دانه‌های پرلیت بیشتر دیده می‌شود و دلیل این موضوع بالا بودن نسبت آب به سیمان در اطراف دانه‌های پرلیت است.



شکل ۱۵. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) الف و ب و ج: مکانهای متخلخل در فاز سیمانی (نمونهF)



شکل ۱۶. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) الف و ب و ج مرز دانه پرلیت با فاز سیلیکات کلسیم هیدراته موجود در نمونه F.S.C.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات انجام شده، با افزایش عیار سیمان (تا ۴۰۰ kg/m^3)، روند افزایشی در استحکام فشاری دیده می‌شود. با افزایش درصد میکروسیلیس (تا ۹٪ وزنی سیمان) استحکام فشاری ملات پرلیتی افزایش می‌یابد و با افزودن میکروسیلیس، فاز پرتلندیت کم و به سیلیکات کلسیم هیدراته تبدیل و با توجه به این نتایج تاثیر پوزولانی میکروسیلیس مشاهده می‌شود. با توجه به تصاویر ملات پرلیتی ساخته شده، مسیر گسترش ترک به طرف دانه‌های پرلیت می‌باشد، به‌طوری که ترک‌ها از دانه‌های پرلیت به یکدیگر پل می‌زنند. بنابراین پرلیت عامل مهم در کاهش استحکام ملات بوده و ترک‌ها تمایل دارند که به‌طور مستقیم در داخل سنگدانه پرلیت توسعه یابند و پرلیت به‌دلیل اینکه همانند منبع آب عمل می‌کند می‌تواند سبب افزایش فاز سیلیکات کلسیم هیدراته در اطرافش

شود.

مراجع

۱. محمدی تهرانی، ف.،"راهنمای جامع لیکا، دانه رس سبک منبسط شده و فراورده های آن"، دفتر فنی شرکت لیکا.

۲. رمضانیانپور، ع. ا.، شاه نظری،م.ر.،"تکنولوژی بتن"، ترجمه:" concrete technology",Nevill,A.M.، انتشارات پرهام،۱۳۸۰.

3. Mlandenovic A, Suput JS, Ducman V, Skapin A [2004]. "Alkali-silica reactivity of some frequently used lightweight aggregates.Cem Concr Res, 1809-16.

4. Demirbogar,Gul R."The effect of expanded perlite aggregate,silica fume and fly ash on the thermal conductivity of lightweight concrete". Cement and concrete research.2003,33:723-727.