تحقیقات بتن
سال سیزدهم، شمارهٔ چهارم
زمستان ۹۹
ص ۱۳۶ – ۱۲۳
تاریخ دریافت: ۹۸/۴/۴
تاریخ پذیرش: ۹۹/۶/۱۷

یادداشت پژوهشی

بررسی تأثیر میکروسیلیس و پوزولان تفتان برخواص بتن‌های حجیم سخت شده

بنیامین عامری کردیانی *
دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات خراسان‌رضوی، نیشابور.
مسعود عطاریان
کارشناس ارشد ژئوتکنیک، دانشگاه سمنان.
حمید وارسته‌پور
استادیار، گروه عمران موسسه آموزش عالی صنعت آب و برق مشهد.

چکیده
ترک‌های حرارتی در سنین اولیه ناشی از گرادیان‌های دمایی ایجادشده است که ازجمله مخرب‌ترین مسائل سازه‌های بتنی حجیم همانند سدهای بتنی، پایه‌های پل‌ها، فونداسیون‌های عظیم و غیره است. امروزه استفاده از مواد مکمل سیمانی به‌عنوان یک راهکار جهت کاهش مسائل حرارتی در این سازه‌ها بسیار متداول شده است. موضوع تحقیق حاضر بررسی اثر جایگزینی میکروسیلیس و پوزولان تفتان(خاش) بجای درصدی از وزن سیمان بر رفتار حرارتی و روند کسب مقاومت بتن‌های حجیم می‌باشد. بدین منظور تعداد ۱۱ طرح اختلاط بصورت ترکیب‌های ۲ و۳ جزئی میکروسیلیس و پوزولان خاش با نسبت آب به سیمان ۰/۵ و عیار سیمان ٤٥٠ کیلوگرم بر متر مکعب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که جایگزینی میکروسیلیس و پوزولان خاش با درصدی از سیمان عمدتا باعث کاهش حداکثر دما مخلوط می‌گردد. همچنین جایگزینی پوزولان خاش باعث کاهش و میکروسیلیس عمدتا باعث افزایش مقاومت فشاری در سنین اولیه می‌گردد. در نهایت طرح مخلوط دارای درصد جایگزینی ۲۵ درصد پوزولان خاش به همراه ۲۰ درصد میکروسیلیس ضمن افزایش ۲۵ درصدی مقاومت فشاری(نسبت به آزمونه شاهد) باعث کاهش ۷ درجه سانتی گرادی دما نیز شد که به‌عنوان طرح ۳ جزیی منتخب معرفی گردید.

واژه‌های کلیدی: **بتن حجیم، پوزولان تفتان، میکروسیلیس، حرارت زایی، مقاومت فشاری.**

* نویسنده مسئول: benyamin1991.j@gmail.com

۱- مقدمه

بتن به‌دلیل قیمت پایین و استفاده آسان یکی از پرمصرف‌ترین مصالح ساختمانی است. از زمان ساخت اولین بتن توسط رومیان تاکنون بشر به دنبال بهبود خواص و ویژگی‌های این ماده بوده است. در چند دهه گذشته به‌دلیل توسعهٔ روزافزون ساختمان‌های بلند و سازه‌های بتنی با دهانه‌های بزرگ، نیاز به استفاده از بتن‌های توانمند با مقاومت‌های بالا اجتناب ناپذیر شده است. مشخصه اصلی بتن‌های پر مقاومت نسبت آب به سیمان کم و عیار سیمان بالاست که باعث حرارت‌زایی مخلوط بتن می‌شود.

هیدراتاسیون سیمان پرتلند منجر به تولید حرارت می‌شود، بالا رفتن دما در زمان بتن‌ریزی طبیعی است. دمای بالا در بتن سبب افزایش سرعت هیدراتاسیون و توزیع غیر یکنواخت محصولات هیدراتاسیون می‌شود. [۱] ,[۲]

زمانی‌که بتن حجیم ریخته می‌شود، دماهای بالاتری در عضو به‌وجود می‌آید. مهندسین در اجرا دماهای بالا تا حدود ۹۳ درجه سانتی‌گراد را در پروژه‌های مختلف مشاهده نمودند.[۳]

ACI-116R بتن حجیم را به‌صورت ذیل تعریف می‌کند "هر حجمی از بتن با ابعادی به‌اندازه کافی بزرگ که نیازمند کنترل گرمای تولیدشده ناشی از هیدراسیون سیمان و حداقل کردن تغییر حجم‌های همراه با آن باشد "[۴]

بنابر آنچه ACI 116R تعریف کرده است، بتن حجیم به حجمی از بتن با ابعادی آن‌قدر بزرگ گفته می‌شود که لازم است تدابیری برای کاهش گرمای حاصل از هیدراسیون سیمان در مغز بتن اندیشید تا از تغییر حجم کاسته شود و ترک به حداقل برسد. هرچند واژه بتن حجیم، سازه‌هایی با ابعاد بزرگ را در ذهن متصور می‌سازد ولی بایستی توجه داشت که در سازه‌هایی با ابعاد متوسط نیز در شرایطی خاص، نظیر بالا بودن مقدار مواد سیمانی بتن و شرایط گیرداری، امکان وقوع سریع ترک‌های حرارتی وجود داشته و می‌بایست بتن موردنظر را در گروه بتن حجیم قرارداد[۵]. ممکن است بتنی با حجم حدود ۸ مترمکعب بتن حجیم محسوب شود و بتنی با حجم بسیار زیاد، بتن حجیم به‌حساب نیاید زیرا حداقل بُعد آن آن‌قدر کم باشد که هیچ‌گونه حبس گرمای جدی در آن به‌وجود نیاید. بالا رفتن دمای بتن حجیم به دمای اولیه بتن و نسبت حجم به سطح پوسته بستگی دارد. علاوه بر این افزایش دما به طور چشمگیری تحت‌تأثیر ترکیبات شیمیایی سیمان به‌ویژه C_3A و C_3S می‌باشد.[۶] بررسی و مرور کار گذشتگان نشان می‌دهد که افزایش دما مقاومت اولیه را افزایش، اما مقاومت بلند مدت را کاهش می‌دهد [۷] به علاوه سرعت انتشار محصولات هیدراسیون در دمای بالا، اجازه توزیع یکنواخت خمیر در بر گیرنده ملات سیمان در این اعضاء را نمی‌دهد. در نتیجه محصولات تراکم هیدراسیون اطراف دانه‌های سیمان را می‌گیرد ویک حفره باز بین دانه‌ها شکل می‌گیرد. این توزیع، تخلخل کلی و حجم حفرات را افزایش داده و منجر به بیشتر شدن نفوذ یون کلر می‌شود. یون‌های کلر سبب خوردگی میلگردهای فولادی و تخریب زودهنگام سازه‌های بتنی می‌شود. مشکل دیگر مربوط به دمای عمل‌آوری بالا، تأخیر تشکیل اترینگایت است.[۸]

هنگامی‌که سیمان هیدراته می‌شود اترینگایت به‌صورت بلند تشکیل می‌شود به محض از دست دادن آب، اترینگایت به شکل کوتاه در می‌آید. در عمل‌آوری با دمای بالا شکل کوتاه اترینگایت به شکل بلند برمی‌گردد و موجب ترک‌های ریز می‌گردد. هم اکنون تعداد زیادی از محققان و پژوهشگران صنعت سازه در سراسر جهان در حال بررسی اثر جایگزینی مواد پوزولانی با سیمان در ترکیب‌های ۲ و ۳ جزئی به جهت کاهش اثرات نامطلوب استفاده از سیمان نظیر تأثیرات مخرب زیست محیطی، صرفه جویی اقتصادی، کاهش گرادیان‌های حرارتی، کاهش نفوذپذیری و افزایش مقاومت فشاری هستند.

پوزولان‌ها مواد سیلیسی و آلومینی هستند که در مجاورت آب در حرارت معمولی با آهک ترکیب شده و تشکیل مواد پایدار و نامحلول (ژل) داده و خاصیت سیمانی شدن دارند. اقدام جهت شناسایی خاصیت پوزولان‌ها در بتن و ملات سال‌ها است که به‌طور وسیعی در کشورهای مختلف آمریکایی، اروپایی و ایران صورت گرفته است به نحوی که به‌کارگیری این مواد به‌عنوان مادهٔ جایگزین سیمان در بتن در آیین نامه‌ها آورده شده است.

در سال ۲۰۰۸ zhang با بررسی جایگزینی میکروسیلیس با سیمان به این نتیجه رسید که جایگزینی ۸٪ میکروسیلیس ضمن کاهش حرارت نهایی مخلوط، موجب افزایش ۲۲ درصدی مقاومت فشاری ۲۸ روزه نسبت به آزمونه شاهد می‌شود.[۹]

همچنین در سال ۱۳۹۳ دکتر مقصودی با هدف بررسی پوزولان خاش به‌عنوان پوزولان بومی جایگزین سیمان، دریافتند که جایگزینی پوزولان خاش با سیمان در درصدهای مختلف باعث

کاهش مقاومت فشاری در سنین ۷،۳و ۲۸ روز می‌شود [۱۰]. در این مقاله به بررسی آزمایشگاهی تأثیر جایگزینی درصدهای مختلف پوزولان خاش و میکروسیلیس با سیمان به جهت بررسی مقاومت فشاری و حرارت زایی مخلوط پرداخته شده است. بدین منظور تعداد ۱۱ طرح اختلاط با ترکیب‌های ۲ و ۳ جزئی پوزولان خاش و میکروسیلیس در نظر گرفته شد که جهت بررسی مقاومت فشاری در سنین مختلف تعداد ۱۶۵ آزمونه مکعبی ۱۰ × ۱۰ سانتی متری بتنی و جهت بررسی حرارت زایی مخلوط‌ها تعداد ۲۲ آزمونه استوانه‌ای ۱۶ × ۸ سانتی متری ملاتی ساخته شده است.

۲- معرفی مصالح

در ابتدا تأثیر پوزولان خاش و میکروسیلیس بر مقاومت فشاری بتن‌های توانمند (بتن با عیار بالا) بررسی‌شده است و درنهایت آزمایش‌های حرارت‌سنجی بر روی این پوزولان‌ها طبق استاندارد صورت گرفته است تا درنهایت طرح اختلاط منتخب که هر دو معیار مقاومتی و حرارتی را در محدوده مورد انتظار لحاظ می‌کند، معرفی شود. در ادامه به بررسی مصالح مصرفی می‌پردازیم:

۲-۱- سیمان

در ساخت آزمونه‌ها از سیمان پرتلند تیپ II کارخانه سیمان بجنورد با چگالی $3/164\ ton/m^3$ استفاده‌شده که در آن الزامات مربوط به ASTM C150 رعایت شده است.

ب)میکروسیلیس

میکروسیلیس مورداستفاده در ساخت طرح مخلوط‌های بتن و ملات، میکروسیلیس تولیدی شرکت فروسیلیس ایران بوده است که به‌صورت بسته‌بندی از شرکت صنایع شیمیایی بتن ژیکاوا تهیه‌شده است.

پ)پوزولان

در این پژوهش از پوزولان تفتان به‌عنوان یک پوزولان بومی و ارزان و از میکروسیلیس به عنوان یک پوزولان شناخته شده استفاده شده است. مشخصات شمیایی پوزولان تفتان در جدول ۱ ارائه شده است.

۲-۲- آب

آب نقش بسیار اساسی و مهم در بتن دارد به همین جهت استفاده از آب مناسب در بتن همواره باید موردتوجه قرار گیرد. آبی که برای اختلاط، عمل‌آوری و شستن مصالح سنگی بتن به‌کار می‌رود باید تازه، تمیز و عاری از فضولات ناشی از فاضلاب شهری و صنعتی، روغن، اسید، نمک، مواد قلیایی و آلی و دیگر مواد زیان‌آور بوده و به‌طورکلی مطابق آئین‌نامه بتن حجیم ایران باشد(نشریه ۳۴۴). آب مورداستفاده در این تحقیق، آب شرب مشهد می‌باشد که میزان PH آن ۷/۵ و غلظت یون کلر آن ۰/۰۱۳۴ درصد می‌باشد. شایان‌ذکر است آب آشامیدنی مشهد ضوابط ASTM D 1129 را برآورده کرده و مطابق با الزامات آئین نامه بتن حجیم ایران می‌باشد (نشریه ۳۴۴).

جدول۱- مشخصات شیمیایی پوزولان تفتان

Blain(gr/cm²)	>4500	%Na2O	<1.9
%Sio2	59-62	%K2O	<2.2
%Al2O3	17.8-19	%Cl	<0.04
%Fe2O3	4.6-5.5	%SO3	<0.4
%CaO	7-8.5	%L.O.I	<2.8
%MgO	<2.7		

۲-۳- مصالح سنگی

مصالح سنگی موردنیاز از شن شویی‌های مستقر در جاده کلات در اطراف مشهد تأمین‌شده است. در ادامه آزمایش‌های انجام شده و نمودارهای دانه بندی مصالح ریزدانه و درشت‌دانه توضیح داده شده است. تصویر مصالح درشت‌دانه و مصالح ریز دانه مصرفی به ترتیب در شکل ۱ و شکل ۲ نمایش داده شده است.

شکل ۱- مصالح درشت دانه مصرفی در طرح‌ها

۲-۳-۱- مصالح سنگی درشت‌دانه

آزمایش‌های زیر بر روی مصالح سنگی درشت‌دانه انجام پذیرفته است (جدول ۲):

-آزمایش دانه‌بندی، بر اساس استاندارد ASTM C 136-96

-آزمایش چگالی اشباع با سطح خشک (SSD) براساس استاندارد ASTM C 127-88
-آزمایش ظرفیت جذب آب بر اساس استاندارد ASTM C 127-88

شکل ۲- مصالح ریز دانه مصرفی در طرح‌ها

۲-۳-۲- مصالح ریز دانه

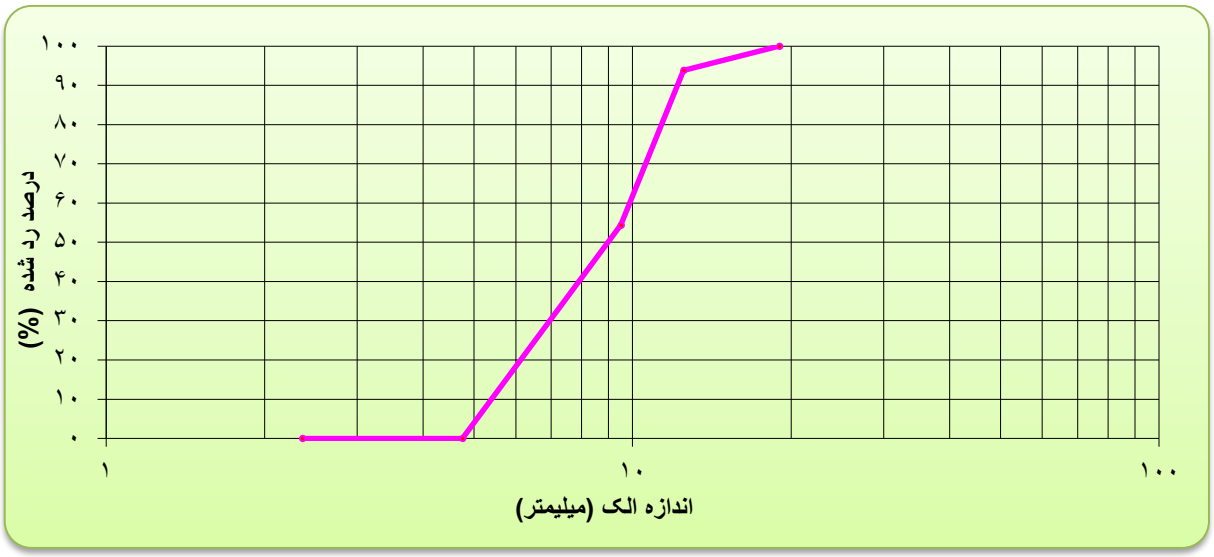
ماسه مورداستفاده از نوع گرد گوشه شسته شده از مجموعهٔ صنعتی ولیعصر جاده کلات در اطراف مشهد تأمین‌شده است. آزمایش‌های زیر بر روی ماسه انجام‌شده است (جدول ۲):

-آزمایش دانه‌بندی، بر اساس استاندارد ASTM C 136-96
-آزمایش چگالی اشباع با سطح خشک (SSD) بر اساس استاندارد ASTM C 128-97
-آزمایش ظرفیت جذب آب بر اساس استاندارد ASTM C 127-88

جدول۲- نتیجه آزمایشات مصالح سنگی

نوع مصالح	چگالی SSD (gr/cm3)	درصد جذب آب ٪
ماسه	۲/۶۳	۲
شن نخودی	۲/۶۶	۱/۴۲
شن درشت	۲/۶	۱/۳

در شکل‌های ۳ و ۴ منحنی دانه بندی شن و ماسه مصرفی در طرح‌ها نمایش داده شده است. همانظور که مشاهده می‌شود دانه بندی در محدوده مجاز آئین نامه قرار گرفته است.

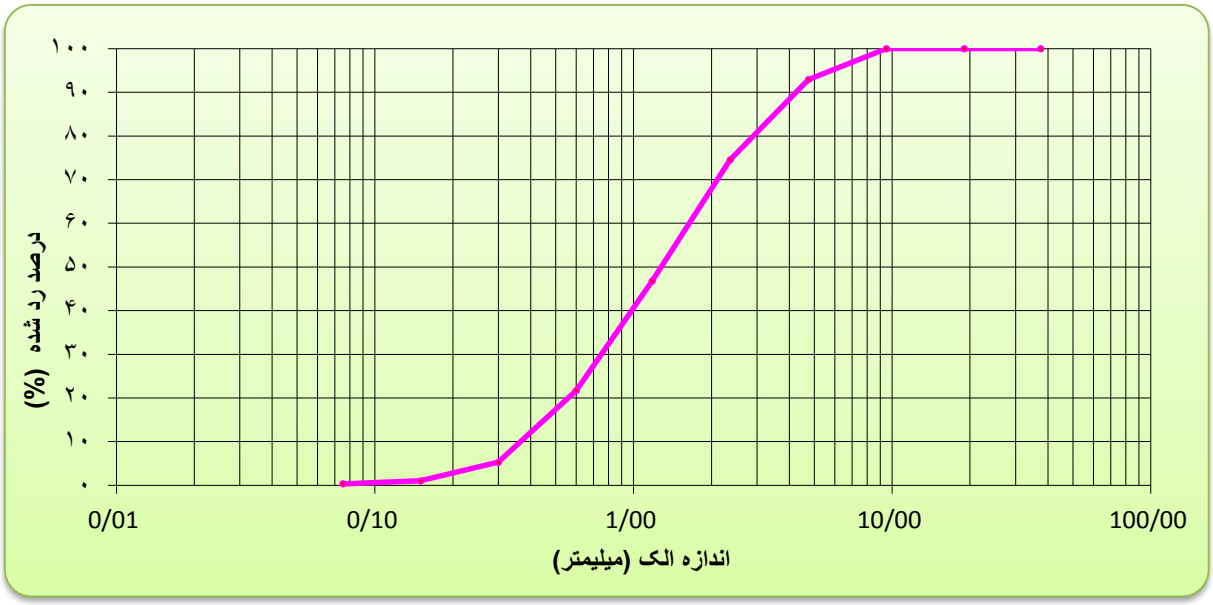


شکل ۳- منحنی دانه‌بندی شن نخودی

۳- طراحی و تعیین نسبت‌های اختلاط

دو گروه آزمونه‌های بتنی(جهت بررسی مقاومت فشاری) و ملاتی(جهت بررسی حرارت زایی) تهیه و مطالعه بر روی آن‌ها صورت گرفته است. در طراحی مخلوط‌های بتنی و ملاتی نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۵ در نظر گرفته‌شده است. همچنین در طراحی مخلوط‌های ملاتی، نسبت آب به مواد سیمانی(مطابق با استاندارد196-9:2010) برابر مقدار ثابت ۰/۵ در نظر گرفته‌شده است. میکروسیلیس به میزان۵،۱۰،۱۵ و ۲۰ درصد وزنی سیمان و پوزولان تفتان به‌میزان ۱۰، ۲۵، ۳۵، ۴۵ درصد وزنی سیمان جایگزین شده است. همچنین در این تحقیق باهدف

بررسی تولید بتن‌های هدفمند، عیار سیمان برابر ۴۵۰ کیلوگرم در مترمکعب تعیین گردید. طرح‌های بتنی حاوی درصدهای مختلف جایگزینی سیمان با افزودنی‌های پوزولان تفتان، میکروسیلیس مطابق جدول ۳ تهیه گردیده است. همچنین مقادیر اجزای مخلوط ملات‌ها در جدول ۴ نمایش شده است. در این جداول، C نماد بتن، R نماد ملات، P نماد پوزولان تفتان(خاش)، M نماد میکروسیلیس و اعداد نشان‌دهنده پس از هر نماد، درصد جایگزینی آن‌ها می‌باشد.



شکل ۴- منحنی دانه‌بندی ماسه طبیعی

جدول۳- مقادیر اجزای طرح مخلوط بتن‌ها

ردیف	طرح اختلاط	سیمان	آب	ماسه	سنگدانه	پوزولان تفتان		میکروسیلیس	
		Kg/m^3	Kg/m^3	Kg/m^3	Kg/m^3	درصد	Kg/m^3	درصد	Kg/m^3
1	CP0M0	450	225	987/75	656/25	0	0	0	0
2	CP10M0	382/5	224/75	981/5	652	10	67/5	0	0
3	CP25M0	337/5	225/25	976/75	649/25	25	112/5	0	0
4	CP35M0	292/5	224/75	973/25	646/5	35	157/5	0	0
5	CP45M0	247/5	225/25	968/25	643/75	45	202/5	0	0
6	CP0M5	427/5	227/5	980/25	653	0	0	5	22/5
7	CP0M10	405	227/25	975/25	649/75	0	0	10	45
8	CP0M15	382/5	227/25	970/5	646/5	0	0	15	67/5
9	CP0M20	360	227	965/75	643/25	0	0	20	90
10	CP25M20	247/5	226/5	955/25	636/25	25	112/5	20	90
11	CP35M10	247/5	226/75	961	640	35	157/5	10	45

٤- آزمایش‌ها

برای بررسی ویژگی‌های بتن تازه همواره آزمایش‌های مختلفی مورد توجه قرار می‌گیرد. هیچ روشی به‌تنهایی نمی‌تواند به‌طور جامع خواص بتن تازه را پوشش دهد و هرکدام از آن‌ها می‌توانند تنها تأثیر یک یا چند عامل را نشان دهند. معمولاً ترکیبی از روش‌ها و آزمایش‌های مختلف برای بیان ویژگی‌های بتن تازه باید موردتوجه قرار گیرد. به عنوان مثال بعضی از این آزمایش‌های به بررسی کارایی بتن تازه، بعضی به‌منظور تعیین

چگالی بتن تازه و اسلامپ و تعدادی از آن‌ها برای تعیین میزان حرارت زایی و مقاومت فشاری بتن مناسب هستند. در ادامه به معرفی و بحث پیرامون تعدادی از این آزمایش‌های پرداخته شده است.

جدول٤- مقادیر اجزای طرح مخلوط ملات‌ها

ردیف	طرح اختلاط	سیمان	آب	ماسه استاندارد	پوزولان تفتان		میکروسیلیس	
		Kg/m^3	Kg/m^3	Kg/m^3	درصد	Kg/m^3	درصد	Kg/m^3
1	RP0M0	450	225	1350	0	0	0	0
2	RP10M0	405	225	1350	10	45	0	0
3	RP25M0	337/5	225	1350	25	112/5	0	0
4	RP35M0	292/5	225	1350	35	157/5	0	0
5	RP45M0	247/5	225	1350	45	202/5	0	0
6	RP0M5	427/5	225	1350	0	0	5	22/5
7	RP0M10	405	225	1350	0	0	10	45
8	RP0M15	382/5	225	1350	0	0	15	67/5
9	RP0M20	360	225	1350	0	0	20	90
10	RP25M20	247/5	225	1350	25	112/5	20	90
11	RP35M10	247/5	225	1350	35	157/5	10	45

۴-۱-آزمایش اسلامپ

برای ارزیابی روانی بتن تازه از آزمایش اسلامپ مطابق استاندارد ASTM C14 استفاده شده است.

آزمایش اسلامپ به تعیین مقدار مناسب آبی که مخلوط بتن برای تأمین روانی مناسب نیاز دارد کمک می‌کند. این سنجش از سری سنجش‌های بتن تر (در مقابل سنجش بتن خشک) می‌باشد. این آزمایش معمولاً با نام‌های مخروط بتن یا روانی اولیه بتن شناخته می‌شود.

۴-۲-آزمایش تعیین چگالی بتن تازه

این آزمایش برای کنترل صحت طرح مخلوط و یا کنترل یکنواختی اختلاط بتن انجام می‌شود که نیاز به پیمانه مخصوص دارد. این آزمایش طبق استاندارد ملی ایران شماره ۶-۳۲۰۳ که مربوط به تعیین چگالی بتن تازه می‌باشد انجام گردیده است. هدف از تدوین این استاندارد تعیین وزن مخصوص بتن تازه بعد از تراکم در آزمایشگاه و کارگاه می‌باشد.

اساس این آزمایش بدین‌صورت است که، در این روش، بتن تازه در یک قالب (ظرف) آب‌بندی‌شده با حجم معین از یک جنس سخت، ریخته و متراکم شده، سپس توزین می‌گردد.

۴-۳- آزمایش تعیین مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری آزمونه‌های مکعبی 10 سانتیمتری بر اساس EN12390-3 انجام شد [۱۱]. قبل از انجام آزمایش مقاومت فشاری ابعاد آزمونه‌ها بر اساس استاندارد ISIRI 3202 تعیین شده و سرعت بارگذاری جک برای تمام آزمونه‌ها یکسان در نظر گرفته شده است. مراحل انجام آزمایش بدین صورت است که قبل از ریختن بتن در قالب باید از قفل و بست قالب‌ها اطمینان حاصل نمود تا آب ملات نشت نکند. همچنین سطح داخلی قالب بایستی با لایه نازکی از روغن چرب شود تا از چسبیدن بتن به قالب جلوگیری به‌عمل آید. براساس استاندارد انگلستان (BS) قالب‌ها در سه لایه پر می‌گردد. معمولا قالب تا بالاتر از لبه پر می‌شود و پس از تراکم، بتن اضافی توسط یک خط کش فلزی برداشت شده و سطح رویی آزمونه به وسیله ماله پرداخت می‌گردد. هر لایه بتن باید با حداقل ۳۵ ضربه یک میله فولادی کوبیده شود. سپس آزمونه مکعبی ۲۴ ساعت باید در دمای ۱۸ تا ۲۲ درجه سانتیگراد نگهداری شود. بعد از این مرحله قالبها را باز کرده و آزمونه بتنی را در آبی با دمای ۱۹ تا ۲۱ درجه سانتیگراد به مدت ۳، ۷، ۲۸ و ۹۰ روز برای عمل آوری قرار می‌دهیم. شکل ۵ تصویر آزمونه‌های مکعبی ۱۰

سانتی‌متری را نشان می‌دهد. در شکل ۶ جک هیدرولیکی برای تست فشار آزمونه بتنی نمایش داده شده است و شکل ۷ آزمونه‌های مکعبی بعد از آزمایش مقاومت فشاری را نمایش می‌دهد.

شکل۵- آزمونه‌های مکعبی آماده شده در آزمایشگاه برای آزمایش مقاومت فشاری

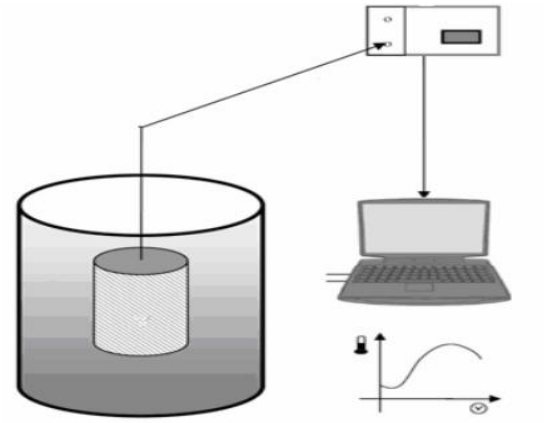
شکل ۶ جک به همراه فک ویژه ی آزمونه مکعبی برای انجام آزمایش مقاومت فشاری

شکل۷- آزمونه‌های مکعبی بعد از انجام آزمایش مقاومت فشاری

لازم به ذکر است پس از آزمایش نوع شکست آزمونه‌ها با توجه به همین مرجع بررسی شده است. شکست تمام آزمونه‌ها جزء شکست‌های صحیح بوده است.

۴-۴-آزمایش تعیین حرارت زایی ملات

جهت تعیین میزان حرارت تولیدشده ناشی از هیدراسیون سیمان، از یک کالری متر نیمه آدیاباتیک استفاده‌شده است. شکل ۸ تصویر شماتیک این دستگاه را نشان می‌دهد.



شکل۸- محفظه نیمه آدیاباتیک متصل به دیتا لوگر

این آزمایش طبق استاندارد EN 196-9:2010 BS انجام گردیده است. این استاندارد اروپایی روش اندازه‌گیری گرمای هیدراتاسیون سیمان را با استفاده از کالری متری نیمه آدیاباتیک شرح داده است.

این استاندارد برای تمام سیمان‌ها و چسباننده‌های هیدرولیکی به‌جز سیمان‌های زود گیر قابل‌استفاده می‌باشد. دمای آزمایشگاه که در آن ملات آماده می گردد باید برابر ۲۰±۲ °C ثابت باشد. اتاقی که آزمایش در آن انجام می‌شود باید در دمای ۲۰±۲°C حفظ شود. حداقل فاصله ۲ دستگاه کالری متر باید ۱۲۰ سانتیمتر باشد. سرعت جریان هوای آزاد در محیط آزمایشگاه باید کمتر از ۰/۵ متر بر ثانیه باشد. هنگامی که چند آزمایش هم‌زمان انجام می‌شود، باید حداقل یک کالری متر مرجع ارائه شود.

این استاندارد حداقل قرائت‌هایی را در دوره آزمایش به شرح زیر تعیین نموده است. حداقل ۱ اندازه‌گیری دما باید در ۳۰ دقیقه اول و بعدازآن هر ۱ ساعت حداقل یک قرائت تا ۲۴ ساعت اول انجام گیرد. در روز دوم حداقل هر ۴ ساعت و پس‌ازآن تا انتهای زمان برداشت هر ۶ ساعت باید قرائت‌ها تکرار شود. زمان اضافه کردن آب به مخلوط باید به‌عنوان زمان شروع ثبت حرارت ملات لحاظ گردد.

پس از ساخت هر سری ملات، آزمونه استوانه‌ای ۸ × ۱۶ سانتیمتری مطابق استاندارد تهیه و درون محفظه نیمه آدیاباتیک[1] قرار داده می‌شود. قبل از بسته شدن درب محفظه، سنسور حرارتی داخل آزمونه قرار می‌گیرد. دمای توسعه‌یافته ملات ناشی از حرارت هیدراسیون سیمان در هر دقیقه توسط یک دستگاه ترمومتر اندازه‌گیری و ثبت می‌گردد.

لازم به ذکر است ازآنجاکه دستگاه نیمه آدیاباتیک این آزمایش در ایران بسیار محدود می‌باشد و شرایط خرید و تهیه آن نیز بسیار دشوار می‌باشد، لذا محقق در این پژوهش دو دستگاه نیمه آدیاباتیک مطابق با این استاندارد و با رعایت جزییات آیین‌نامه‌ای و فنی ساخته، و آزمایش‌ها کنترل حرارت زایی ملات توسط این دستگاه انجام گردیده است. همچنین لازم به ذکر است جهت کنترل صحت سنجی نتایج و افزایش دقت برداشت‌های آزمایشگاهی، دو آزمونه کاملاً مشابه برای هر یک از طرح اختلاط‌ها تهیه و توسط دو دستگاه حرارت آزمونه‌ها تعیین گردیده و باهم مقایسه شدند. شکل ۹ تصویر دستگاه ساخته‌شده و اجزای جانبی آن را نشان می‌دهد.

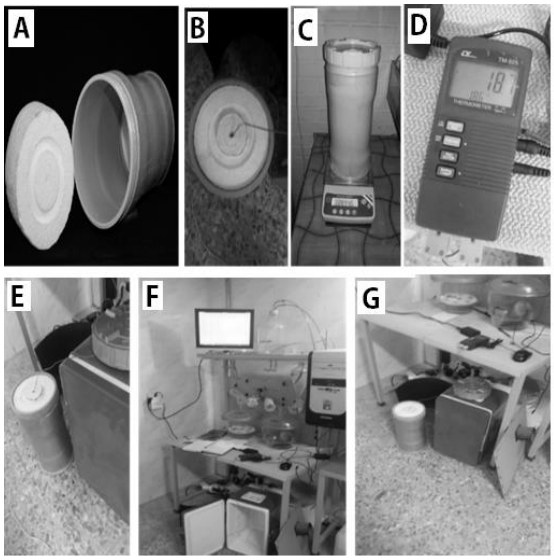
۵- نتایج آزمایشگاهی

۵-۱- آزمون مقاومت فشاری

این آزمایش برای به‌دست آوردن مقاومت فشاری بتن، مطابق با استاندارد EN12390-3 انجام می‌شود. در این آزمایش، یک نیروی محوری به آزمونه اعمال می‌شود تا بتن گسیخته شود. مقاومت فشاری آزمونه از تقسیم نیرو در هنگام گسیختگی بر سطح مقطع آن به دست می‌آید. در این بخش به بررسی جایگزینی درصدهای مختلف میکروسیلیس و پوزولان تفتان (خاش) با سیمان می‌پردازیم تا اثرات آن را بر خواص بتن‌های تازه و سخت شده بررسی نماییم. بدین منظور در وهله اول، پوزولان تفتان و میکروسیلیس در طرح‌های ۲ جزئی، در درصدهای مختلف و به صورت مجزا مورد بررسی قرار گرفتند و سپس بصورت ترکیبی این دو پوزولان در طرح‌های ۳ جزیی بررسی شده اند:

۵-۱-۱- میکروسیلیس

در این پژوهش، هر یک از گروه‌های بتنی دارای ۰، ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ میکروسیلیس می‌باشد. برای هریک از طرح‌ها تعداد ۱۵ عدد آزمونه مکعبی ۱۰ سانتیمتری گرفته شده که مقاومت فشاری آزمونه‌ها در سنین ۳، ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه بدست آمد. جهت افزایش دقت در بدست آوردن نتایج، از هر طرح ۳ آزمونه ساخته شده و سپس از مقدار میانگین مقاومت‌ها استفاده می‌شود.



شکل ۹- اجزای دستگاه نیمه آدیاباتیک (A،B،C: نماهای مختلف از سلول حرارتی، D: دیتالاگر،E،F،G: چیدمان دستگاه)

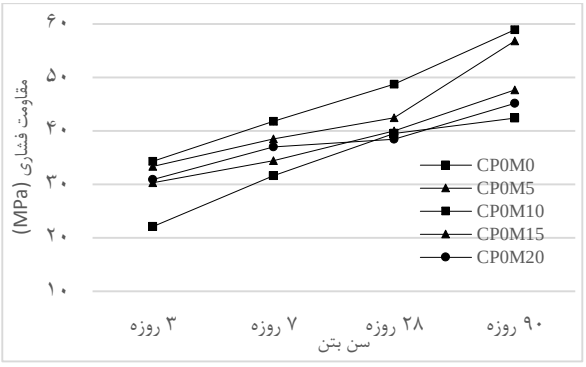
میانگین مقاومت فشاری‌های بدست آمده در جدول ۵ نمایش داده شده است. نحوه اختلاط میکروسیلیس هم بصورت خشک انجام شد؛ بدین صورت که ابتدا میکروسیلیس و پودر سیمان بصورت خشک با هم کاملا مخلوط شدند و سپس به مخلوط کن اضافه شدند. شایان ذکر است که قبل از ریختن هر طرح اختلاط در مخلوط کن، مخلوط کن با آب داغ کاملا شسته و خشک می‌شود تا موجب بالا بردن دقت نهایی کار شود.

پس از هربار تمیز کردن کامل مخلوط کن، شن و ماسه به همراه ۵۰ درصد از آب کلی در نظر گرفته شده، در مخلوط کن ریخته می‌شود. بعد از دو دقیقه مخلوط شدن، سیمان و میکروسیلیس به همراه بقیهٔ آب به مخلوط اضافه می‌شود. زمان چرخش کلی برای هربار مخلوط کردن ۶ دقیقه است. پس از مخلوط کردن مواد در مخلوط کن، محصول به‌دست آمده در قالب بتنی در سه لایه ریخته شده و در هر بار لایه ریزی کوبیده می‌شود. از آنجا که ذرات میکروسیلیس بسیار کوچک اند، سطح ویژه آنها بسیار زیاد است. مطابق جدول ۵ در هنگام جایگزینی میکروسیلیس با سیمان از ۵ به

[1] Hay box

۲۰ درصد، میزان اسلامپ از ۲۱ سانتی متر به ۲,۵ سانتی متر کاهش پیدا می‌کند.

شکل ۱۰ روند تغییرات مقاومت فشاری آزمونه‌های بتنی در سنین مختلف را نمایش می‌دهد. در تمامی‌آزمونه‌ها با افزایش سن بتن، میزان مقاومت فشاری افزایش می‌یابد. میکروسیلیس مهم‌ترین تأثیر خود را بر مقاومت نود روزه بتن می‌گذارد به‌طوری‌که با جایگزینی ۱۵ درصد میکروسیلیس میزان رشد مقاومت فشاری از سن ۲۸ به ۹۰ روزه ۳۴ درصد رشد کرده است که این رشد برای آزمونه شاهد ۷ درصد است.



شکل ۱۰- نمودار مقاومت فشاری آزمونه‌های بتنی دارای میکروسیلیس در سنین مختلف بتن

جدول ۵- نتیجه‌های آزمون مقاومت فشاری بر روی آزمونه‌های بتنی دارای میکروسیلیس

گروه	اسلامپ (cm)	چگالی (kg/m^3)	میانگین مقاومت فشاری بتن۳ روزه (MPa)	میانگین مقاومت فشاری بتن۷ روزه (MPa)	میانگین مقاومت فشاری بتن۲۸ روزه (MPa)	میانگین مقاومت فشاری بتن۹۰ روزه (MPa)
CP0M0	۲۱	۲۴۰۰	۲۲/۱	۳۱/۶	۳۹/۵	۴۲/۴۳
CP0M5	۲۱	۲۴۶۰	۳۰/۳۵	۳۴/۴۶	۴۰/۰۶	۴۷/۶۵
CP0M10	۱۵/۵	۲۴۳۳	۳۴/۳	۴۱/۸۳	۴۸/۷	۵۸/۹
CP0M15	۸/۵	۲۳۷۶	۳۳/۴	۳۸/۵	۴۲/۴۳	۵۶/۸
CP0M20	۲/۵	۲۳۷۶	۳۰/۹۵	۳۷	۳۸/۴۳	۴۵/۱۶

۵-۱-۲- پوزولان تفتان

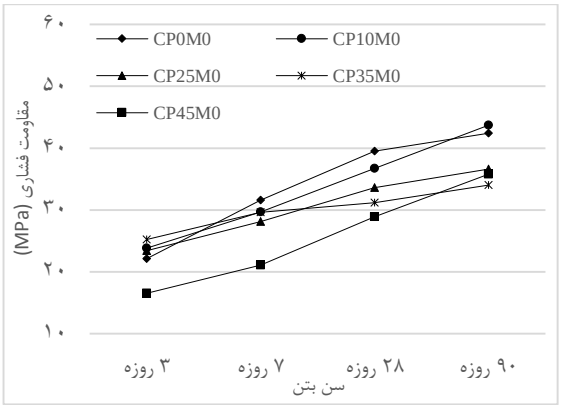
در این پژوهش، هر یک از گروه‌های بتنی دارای ۰، ۱۰٪، ۲۵٪، ۳۵٪ و ۴۵٪ پوزولان تفتان (خاش) می‌باشد. برای هریک از طرح‌ها تعداد ۱۵ عدد آزمونه مکعبی ۱۰ سانتیمتری گرفته شده است. مقاومت فشاری آزمونه‌ها در سنین ۳، ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه بدست آمد. جهت افزایش دقت در هر سن تعداد سه آزمونه تحت آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفتند که میانگین مقاومت فشاری آزمونه‌ها در جدول ۶ نمایش داده شده است.

جدول ۶- نتیجه‌های آزمون مقاومت فشاری بر روی آزمونه‌های بتنی دارای پوزولان

گروه	اسلامپ (cm)	چگالی (kg/m^3)	میانگین مقاومت فشاری بتن۳ روزه (MPa)	میانگین مقاومت فشاری بتن۷ روزه (MPa)	میانگین مقاومت فشاری بتن۲۸ روزه (MPa)	میانگین مقاومت فشاری بتن۹۰ روزه (MPa)
CP0M0	۲۱	۲۴۰۰	۲۲/۱	۳۱/۶	۳۹/۵	۴۲/۴۳
CP10M0	۲۲/۵	۲۴۱۰	۲۳/۸	۲۹/۷	۳۶/۷۶	۴۳/۷۳
CP25M0	۲۲	۲۴۱۰	۲۳/۴	۲۸/۱۵	۳۳/۶	۳۶/۶
CP35M0	۱۹	۲۴۱۰	۲۵/۲	۲۹/۶۲	۳۱/۲۳	۳۴
CP45M0	۱۹	۲۳۸۶	۱۶/۵	۲۱/۰۷	۲۸/۹۳	۳۵/۸

نمودارهای تحلیلی در شکل ۱۱ بیانگر تغییرات مقاومت فشاری سنین ۳، ۷، ۲۸و ۹۰ روزه است. همانطور که در جدول ۶ مشخص می‌باشد افزودن پوزولان تفتان تاثیر چندانی بر اسلامپ و چگالی بتن تازه ندارد. همچنین افزودن پوزولان تفتان در همه سنین باعث کاهش مقاومت فشاری نسبت به آزمونه شاهد می‌شود. فقط در سنین بالا (۹۰ روزه) و در درصد جایگزینی پائین (۱۰ درصد)

مقدار مقاومت فشاری حاصله از مقاومت فشاری آزمونه شاهد بیشتر شده است.



شکل ۱۱- نمودار مقاومت فشاری آزمونه‌های بتنی دارای پوزولان در سنین مختلف بتن

با توجه به شکل ۱۱ می‌توان نتیجه‌گیری کرد که پوزولان تفتان در سنین اولیه، واکنش پوزولانی کمی‌دارد ولی به مرور بر فعالیت پوزولانی خود افزوده، بطوریکه آزمونه دارای ۱۰ درصد پوزولان تفتان، میزان کاستی ۱۸ درصدی مقاومت فشاری خود را نسبت به آزمونه شاهد در سن ۳ روزه، به ۲ درصد کاستی در سن ۲۸ روزه کاهش داده است، و در ادامه این روند شکل معکوس به خود گرفته به نحویکه در سن ۹۰ روزه شاهد ۱۲ درصد رشد مقاومت فشاری این آزمونه نسبت به طرح شاهد هستیم که بیانگر کامل شدن فعالیت‌های پوزولانی و کسب مقاومت طرح‌های دارای پوزولان تفتان نسبت به طرح فاقد پوزولان است.

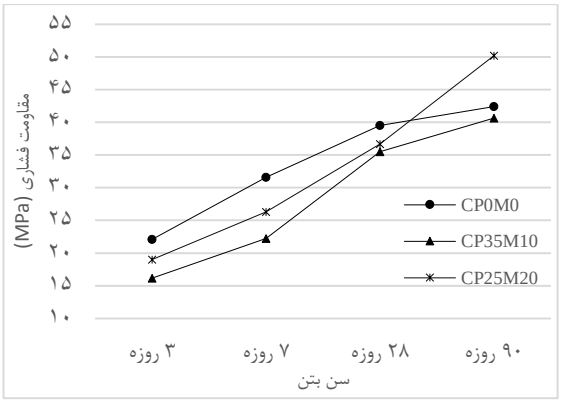
در ادامه به بررسی ترکیب این دو پوزولان می‌پردازیم.

۵-۱-۳- ترکیبی از پوزولان تفتان و میکروسیلیس

با توجه به هدف‌گذاری اصلی مقاله مبنی بر کاهش هزینه و افزایش راندمان (شامل کاهش دما و افزایش مقاومت فشاری نهایی بتن) درصدهای بالای جایگزینی مورد نظر قرار گرفت؛ لذا ترکیبی از میکروسیلیس و پوزولان تفتان، جایگزین ۴۵ درصد از سیمان شد. یک طرح مخلوط از ۱۰٪ میکروسیلیس و ۳۵٪ پوزولان تفتان و طرح دیگر از ۲۰٪ میکروسیلیس و ۲۵٪ پوزولان تفتان تشکیل‌شده است. برای هریک از طرح‌ها تعداد ۱۵ عدد آزمونه مکعبی شکل ساخته‌شده است. نتایج آن در شکل ۱۲ و جدول ۷ نمایش داده شده است.

جدول ۷- نتایج آزمون فشاری بر روی آزمونه‌های بتنی دارای پوزولان و میکروسیلیس

گروه	اسلامپ (cm)	چگالی (kg/m^3)	میانگین مقاومت فشاری بتن۳ روزه (MPa)	میانگین مقاومت فشاری بتن۷ روزه (MPa)	میانگین مقاومت فشاری بتن۲۸ روزه (MPa)	میانگین مقاومت فشاری بتن ۹۰ روزه (MPa)
CP0M0	۲۱	۲۴۰۰	۲۲/۱	۳۱/۶	۳۹/۵	۴۲/۴۳
CP35M10	۹/۵	۲۴۰۳	۱۶/۱۷	۲۲/۲۳	۳۵/۵	۴۰/۶۶
CP25M20	۲/۵	۲۳۵۳	۱۹	۲۶/۳	۳۶/۷	۵۰/۲



شکل ۱۲- نمودار مقاومت فشاری آزمونه‌های بتنی دارای پوزولان و میکروسیلیس در سنین مختلف بتن

شکل ۱۲ مقاومت فشاری آزمونه‌های بتنی را در سنین مختلف بتن نمایش می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در همه سنین و در هردو طرح مخلوط، ترکیب پوزولان تفتان و میکروسیلیس نسبت به طرح شاهد مقاومت فشاری کمتری دارد؛ تنها در سنین بالا (۹۰روزه) طرح اختلاط دارای ۲۵درصد پوزولان تفتان و ۲۰ درصد میکروسیلیس مقاومت فشاری بیشتری نسبت طرح شاهد دارد.

۵-۲- آزمون حرارتی

پس از ساخت هر طرح اختلاط، ملات بتن مطابق استاندارد در یک قالب ویژه ریخته شده و درون محفظه نیمه آدیاباتیک قرار داده می‌شود. باتوجه به اینکه آزمونه در یک محفظه‌ی عایق در دستگاه

گرماسنجی نیمه آدیاباتیک قرار می‌گیرد، گرمای آزادشده در طی هیدراسیون در دو بخش تعیین می‌گردد. قسمتی از این گرما جهت افزایش دما در بتن و قسمتی دیگر به‌صورت اتلاف حرارت به محیط اطراف محفظه محاسبه می‌شود.

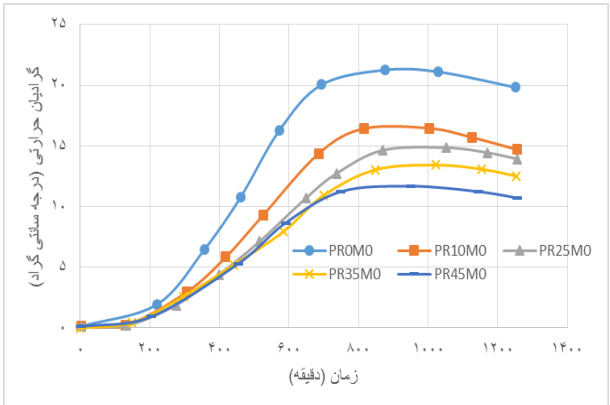
در این بخش به بررسی تأثیر جایگزینی پوزولان تفتان و میکروسیلیس باسیمان در ترکیب‌های ۲ و۳ جزئی، بر حرارت زایی مخلوط‌های ملات می‌پردازیم.

۵-۲-۱- پوزولان تفتان

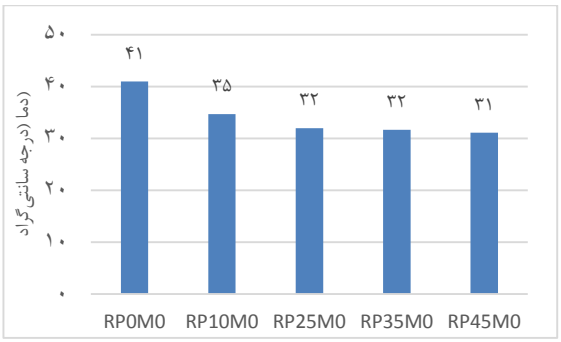
در این قسمت حرارت زایی درصدهای جایگزینی ۰، ۱۰٪، ۲۵٪، ۳۵٪ و ۴۵٪ مورد بررسی قرار گرفته است. برای هریک از طرح‌ها تعداد دو عدد آزمونه استوانه‌ای ساخته‌شده است. با مشاهده شکل ۱۳ که منحنی گرادیان حرارتی را در ملات‌ها نشان می‌دهد از زمان صفرتا ۹۲۱ دقیقه روند صعودی را طی می‌کند و بعد از آن مقداری کاهش می‌یابد. بیشترین گرادیان حرارتی مربوط به آزمونه شاهد بدون پوزولان می‌باشد. با افزایش پوزولان به ملات‌ها، میزان گرادیان حرارتی کاهش می‌یابد و ملات با ۴۵٪ پوزولان تفتان در انتهای بازه زمانی دارای ۱۰,۷ درجه سانتی‌گراد گرادیان حرارتی می‌باشد. شکل ۱۴ حداکثر دمای مخلوط‌های دارای پوزولان را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود با جایگزینی ۴۵ درصد پوزولان تفتان حداکثر دمای مخلوط نسبت به شاهد ۱۰ درجه کاهش پیدا کرده است.

۵-۲-۲- میکروسیلیس

تأثیر حرارت زایی جایگزینی میکروسیلیس در درصدهای ۰، ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ مورد بررسی قرار گرفته است. برای هریک از طرح‌ها تعداد دو عدد آزمونه استوانه‌ای ساخته‌شده است.

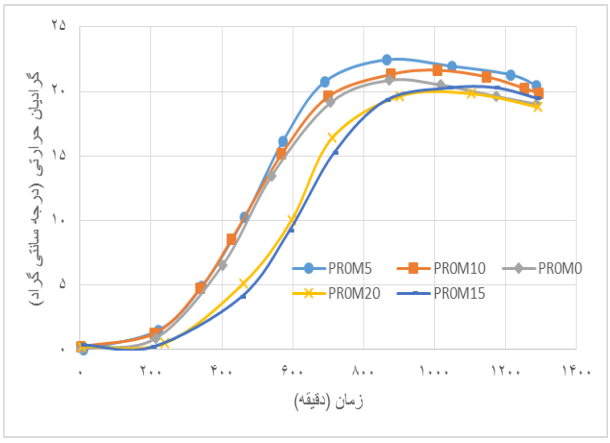


شکل ۱۳- منحنی گرادیان حرارتی بر روی تمامی مخلوط‌های ملات دارای پوزولان تفتان

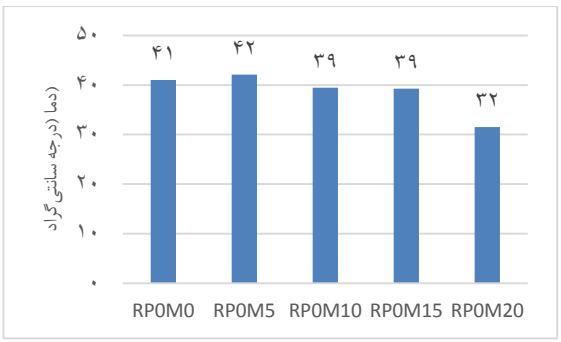


شکل ۱۴- نمودار میله‌ای حداکثر دمای مخلوط ملات‌ها با درصدهای مختلف پوزولان تفتان

شکل ۱۵ منحنی گرادیان حرارتی ملات‌های حاوی میکروسیلیس با درصدهای متفاوت را نمایش می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که از زمان صفرتا ۸۴۱ دقیقه روند صعودی را طی می‌کند و پس از آن روند نزولی شروع می‌شود. منحنی گرادیان حرارتی ملات با ۵٪ میکروسیلیس در بازه زمانی آزمایش به بیشترین دما می‌رسد. شکل ۱۶ نیز حداکثر دمای مخلوط ملات‌ها با درصدهای مختلف میکروسیلیس را نشان می‌دهد.



شکل ۱۵- منحنی گرادیان حرارتی بر روی تمامی مخلوط‌های ملات دارای میکروسیلیس

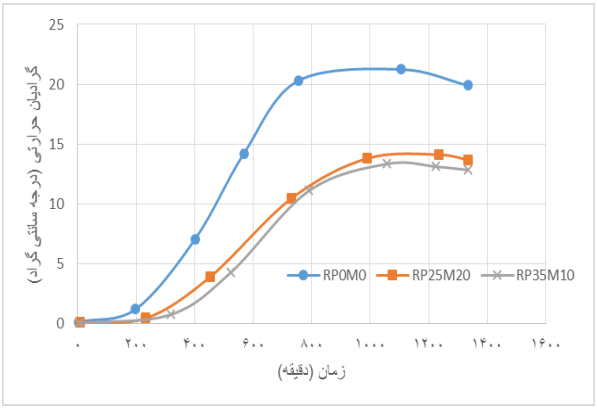


شکل ۱۶- نمودار میله‌ای حداکثر دمای مخلوط ملات‌ها با درصدهای مختلف میکروسیلیس

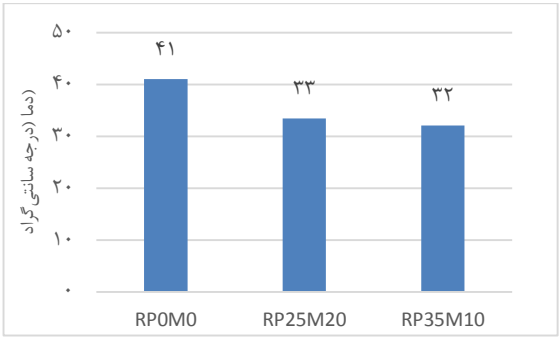
۵-۲-۳- ترکیبی از پوزولان تفتان و میکروسیلیس

در این بخش اثرات حرارتی این دو پوزولان در کنار هم دیده شده است. یک ملات از ۱۰٪ میکروسیلیس و ۳۵٪ پوزولان تفتان و آزمونهٔ دیگر از ۲۰٪ میکروسیلیس و ۲۵٪ پوزولان تفتان تشکیل‌شده است. برای هریک از طرح‌ها تعداد دو عدد آزمونه استوانه‌ای شکل ساخته‌شده است. شکل ۱۷ منحنی گرادیان حرارتی را در ملات‌ها حاوی میکروسیلیس و پوزولان تفتان با درصدهای متفاوت را نمایش می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که طرح‌ها از زمان صفر تا ۹۱۶ دقیقه روند صعودی را طی می‌کنند و پس از آن روند نزولی می‌شود. منحنی گرادیان حرارتی دو نوع ملات در مقایسه با آزمونه شاهد دمای خیلی کم‌تری را کسب می‌کند.

شکل ۱۸ نیز حداکثر دمای مخلوط ملات‌ها با درصدهای مختلف میکروسیلیس و پوزولان تفتان را نشان می‌دهد.



شکل ۱۷- منحنی گرادیان حرارتی بر روی تمامی مخلوط‌های ملات دارای میکروسیلیس و پوزولان تفتان



شکل ۱۸- نمودار میله‌ای حداکثر دمای مخلوط ملات‌ها با درصدهای مختلف میکروسیلیس و پوزولان تفتان

٤-نتیجه گیری:

در این پژوهش، خواص مکانیکی وحرارتی مخلوط‌های ساخته شده با مخلوط‌های سیمانی دوجزیی و سه جزیی پوزولان تفتان و میکروسیلیس مورد بررسی قرارگرفت که نتایج زیر قابل استخراج می‌باشد:

-در همه درصدهای جایگزینی پوزولان تفتان با سیمان شاهد کاهش مقاومت بودیم؛ فقط در طرح دارای ۱۰٪ جایگزینی پوزولان تفتان و در سن بالا، مقاومت فشاری بتن از آزمونه شاهد بیشتر شد. نرخ رشد مقاومت طرح‌های دارای پوزولان تفتان در سنین بالا صعودی بود بطوریکه در طرح دارای ۴۵٪ پوزولان تفتان از سن ۲۸ به ۹۰ روز شاهد ۳۰٪ رشد مقاومت بودیم.

-در طرح‌های سه جزیی بیشترین میزان رشد مقاومت فشاری بتن مربوط به طرح دارای ۲۵٪ پوزولان تفتان و ۲۰٪ میکروسیلیس بوده است. مقاومت فشاری این طرح پس از ۲۸ روز از آزمونه شاهد بیشتر شده است.

-جایگزینی میکروسیلیس در درصدهای بیشتر از ۵٪ باعث کاهش حداکثر دمای طرح‌ها شد. حداکثر کاهش دما با جایگزینی ۲۰٪ میکروسیلیس بدست آمد. (۵ درجه سانتی گراد)

-جایگزینی پوزولان تفتان در همه درصدهای جایگزینی باعث کاهش حداکثر دمای طرح‌ها شد. حداکثر کاهش دما با جایگزینی ۴۵٪ پوزولان تفتان بدست آمد. (۱۰ درجه سانتی گراد)

- با توجه به بررسی نتایج مقاومتی و حرارتی بهترین طرح اختلاط جایگزینی ۲۵٪ پوزولان تفتان + ۲۰٪ میکروسیلیس است؛ چرا که ضمن افزایش ۲۵ درصدی مقاومت فشاری نسبت به آزمونه شاهد حداکثر دمای آن نسبت به آزمونه شاهد ۷ درجه سانتی گراد کاهش یافته است.

- منابع

[1] Neville, A.M. (1997). Properties of Concrete. John Wiley & Sons Inc.
[2] TAN, Ke-feng. and Nichols, John. M. (2004). Performance of Concrete Under Elevated Curing Temperature. Journal of Wuhan University of Technology-Mater. SCi. Ed. USA.
[3] Verbeck, George J. and Helmuth, Richard.H. (1968). Structures and Physical Properties of Cemebt Paste. Proceedings of the 5th International Symposium of the Chemistry of Cement, Tokyo. 1-32.
[4] ACI237 ETC. (2005). Self-consolidating concrete.
[5] Nili, M. Salehi, A. M. (2010). Effect of Heat Curing in Core and Surface of Massive Concrete Structures on long term Strength of High Strength

Concrete, construction and bulding materials, 37: 406-424.
[6] Kjellsen, K. O., Detwiler, R. J., GjCrv, O. E. (1991). Pore Structure of Plain Cement Pastes Hydrated at Different Temperatures, to he published in Cement and Concrete Research. 21(1):179-89.
[7] Kantro, D. L., Brunauer, S., Weise, C.H. (2002). The surface energies of calcium oxide and calcium hydroxide. J. Phys. Chem. 66: 1804.
[8] Copeland, L.E. and Kantro, D.L. (2010). 5th Intl. Conf. Chem. Cements, 2: 387–421.
[9] Zhang, M.H., Swaddiwudhipong, S., Tay, K.Y.J., and Tam, C.T. (2008). Effect of silica fume on cement hydration and temperature rise of concrete in tropical environment. The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineeringm, 1(2): 154–162.
[۱۰] پور اربابی، م.، مقصودی، ع، ا.، رضایی افخم، م.، پور اربابی، ع. (۱۳۹۳). بررسی اثر حضور پوزولان تفتان بر مقاومت فشاری بتن، هشتمین کنفرانس ملی مهندسی عمران، بابل، دوره هشتم.
[11] BS EN12390-3, (2009). Compressive strength of test specimens.

Study the effect of substitution Silica Fume & Taftan Pozzolan on Properties of Large hardened concrete

B. Ameri Kordiani *
MSc Student, Islamic Azad University, Civil Department, Neyshabur.
M. Attarian
Geotechnical Master's Degree, Semnan University.
H. Varastehpor
Assistant Professor, Institute for Energy & Hydro Technology, Civil Department, Mashhad.

Abstract

The initial ages of heat created from the created temperature gradients are among the most destructive problems of large concrete structures, such as concrete dams, bridge bridges, massive foundations, and so on. Today, the use of cement supplements as a way to reduce thermal problems in these structures is very common. The subject of this research is Study the effect of substitution Silica Fume & Taftan Pozzolan. Instead of a percentage of cement weight On the thermal behavior and the process of obtaining the strength of Large concrete. For this purpose 11 mixed Plan Compounds 2 and 3 minor Silica Fume & Taftan Pozzolan With 0.5 water to cement ratio & Cement cement 450 Kilograms per cubic meter was investigated. The results show that Replacement Silica Fume & Taftan Pozzolan The percentage of cement mainly reduces the maximum temperature of the mixture. Also replacement Taftan Pozzolan Reduced and Silica Fume Mainly increases the compressive strength of the early ages. Finally, the mix design has a replacement percentage 25% Taftan Pozzolan with 20% Silica Fume While increasing the strength of concrete by 25% (Compared to the control sample) Reduced the temperature by 7 ° C Which was introduced as a partial 3-point design.

Keywords: Large concrete,Taftan Pozzolan,Silica Fume, Heat generation,compressive strength.

* Corresponding Author: benyamin1991.j@gmail.com