تحقیقات بتن
سال دوازدهم، شمارهٔ اول
بهار ۹۸
ص ۱۳۲ – ۱۱۹
تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۲۴
تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۳

بررسی تأثیر جایگزینی پودر دیاتومیت به جای دوده سیلیسی در بتن پودری واکنش‌زا

جاوید چاخرلو
کارشناس ارشد مهندسی عمران- سازه، هنرآموز آموزش و پرورش، ارومیه، ایران.
بهمن شروانی تبار *
عضو هیئت علمی گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.

چکیده

در تحقیق حاضر بعد از به دست آوردن طرح اختلاط بهینه و ساخت نمونه های بتن، برای بررسی تغییرات مقادیر جایگزینی پودر دیاتومیت به جای دوده‌سیلیسی، با هدف کاهش قیمت تولید بتن پودری، شش طرح اختلاط حاوی صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد پودر دیاتومیت و طرح آخر همان ۱۰۰ درصد پودر دیاتومیت با افزایش ١٤ درصدی آب به دلیل اصلاح روانی درنظر گرفته شد. از پودر دیاتومیت معدن ممقان استفاده شده است که بدون نیاز به پختن و به صورت خام مصرف می شود و ارزان قیمت می‌باشد. از طرف دیگر مجموعه‌ی مصالح ساختمانی در دسترس و قابل استفاده در بتن پودری افزایش می‌یابد. از میز جریان برای بررسی روانی وکارایی بتن پودری استفاده شده است. نمونه‌های ساخته شده در داخل آب با دمای ۲۵ و ۵۰ درجه سلسیوس در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه عمل‌آوری شده و تحت آزمایش فشاری، کششی، جذب آب ۲۸ روزه و جذب آب حین عمل‌آوری قرار گرفتند. نتایج نشانگر این نکته است که بیشترین مقاومت فشاری برای بتنی با ۲۵٪ پودر دیاتومیت حاصل می شود که مقاومت فشاری آن ۸۷/۲ مگاپاسکال در مدت ۹۰ روز می باشد. دوده‌سیلیسی و پودر دیاتومیت هر دو دارای سیلیس بسیار ریز و فعال از لحاظ شیمیایی می‌باشند لذا انتظار داشتیم که از لحاظ مقاومت‌های فشاری و کششی در هنگام جایگزینی‌های مذکور مشکلی وجود نداشته باشد. نتایج آزمایشات این پیش‌بینی را برآورده کرد و به وضوح نشان داد که پودر دیاتومیت می تواند به عنوان جایگزین دوده سیلیسی در ساخت بتن پودری مورد استفاده قرار گیرد. همچنین نتایج حاکی از آن بود که دمای محیطی عمل‌آوری تأثیرات قابل توجهی بر مقاومت اولیه بتن پودری واکنش‌زا دارد، به‌طوریکه با افزایش دما، جذب آب و کسب مقاومت فشاری و کششی بیشتر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بتن پودری واکنش‌زا، پودر دیاتومیت، عمل‌آوری، روانی، مقاومت فشاری، مقاومت کششی.

* نویسنده مسئول: b.shervani@yahoo.com

۱- مقدمه

بتن پودری واکنش‌زا شکل نسبتاً جدیدی از بتن می‌باشد که برای کاربردهای خاص، تولید می‌شود. دو دانشمند فرانسوی در سال ۱۹۹۴ میلادی تعریفی از RPC[1] ارائه داده‌اند، و برطبق تحقیقاتشان بر روی ویژگی‌های کلیدی این ماده گزارش گردید حذف درشت-دانه عامل افزایش همگنی ماتریس بوده و افزایش چگالی باریزدانه کردن مخلوط بتن حاصل شده است [۱]. دربتن پودری واکنش‌زا افزودن فوق‌روان‌کننده برای دست یافتن به نسبت آب به مواد سیمانی پایین استفاده می‌شود و از عمل‌آوری با دمای بالا یا عمل‌آوری با بخار برای رسیدن به مقاومت بالا استفاده می‌شود [۲]. RPC نوع جدیدی از بتن های توانمند است که به دلیل ریزی مواد پودری و پوزولانی مورد استفاده در آن و نیز مقدار زیاد موادی که به صورت هیدرولیکی فعال اند به آن بتن پودری واکنشی یا واکنش زا می گویند [۳]. مواد اصلی تشکیل دهنده بتن پودری واکنشی سیمان پرتلند معمولی، آب، دوده‌سیلیسی، ماسه کوارتزی (سیلیسی)، پودر کوارتز ، فوق‌روان‌کننده و در بعضی موارد الیاف می‌باشد [۴]. استفاده از الیاف فولادی به دلیل بهبود مقاومت خمشی برای استفاده در دهانه‌های طویل و عضوهای سازه‌ای باریک بدون آرماتوربندی سنتی مفید است [۳]. استفاده از دوده‌سیلیسی از سال ۱۹۷۰ میلادی به عنوان مواد سیمانی جایگزین در اروپا و از سال ۱۹۸۰ در آمریکای شمالی مرسوم شده است [۵]. دیاتومیت نوعی سنگ رسوبی است که بیشترین بخش آن را اسکلت دیاتوم ها تشکیل میدهند .سیلیس موجود در اسکلت دیاتوم ها به اوپال (سیلیس بی شکل و آبدار) شباهت دارد. دیاتومیت از بقایای اسکلت سیلیسی جلبک‌های دریایی و غیردریایی کف زی و شناور، تشکیل شده است. دیاتومیت خالص به رنگ سفید و از لحاظ شکل ظاهری شبیه گچ و بسیار خردشونده و وزن مخصوص دیاتومیت خشک شده در آون بین ۳۲۰ تا ۶۴۰ و وزن مخصوص مطلق پودر دیاتومیت برابر ۱۷۳۰-۲۰۰۰ کیلوگرم در متر مکعب است. برای تعریف دقیق دیاتوم می‌توان گفت که دیاتوم یک جلبک ذره بینی تک سلولی دارای یک هسته است که در یک اتاقک کوچک سیلیسی به نام فروستول محفوظ نگه داشته شده است. دیاتومیت‌ها خواص غیر عادی نسبت به سنگهای دیگر دارند. دیاتومیت ها به علت داشتن ساختار میکروسکوپی (قابلیت واکنش زیاد)، دارا بودن تخلخل میکروسکوپی بالا، چگالی کم و ویژگی‌های منحصر به فرد مورد استفاده قرار می گیرند. دیاتومیت به عنوان: صافی، جذب کننده، عایق، پرکننده، ساینده و همچنین پودر آن به عنوان سیلیس فعال شناخته می شود. واکنش پوزولانی دیاتومیت باعث تولید بیشتر محصولات هیدراسیون سیمان می شود که این امر موجب رشد خواص مکانیکی ملات های حاوی آن شده است [۶].

نخستین کاربرد دیاتومیت به حدود سال ۵۳۲ میلادی در دوره امپراتوری روم قدیم بازمی گردد که در ساختمان منار کلیسای سنت صوفی در قسطنطنیه وجود دارد، به گونه ای که آجرهای آن از خاک دیاتوم‌دار ساخته شده است. از دیاتومیت بعنوان عایق حرارتی، آجر نسوز و ماده افزودنی در ملات مورد استفاده قرار می‌گیرد. دیاتومیت می تواند ۲ تا ۳ برابر وزن خود آب جذب کند .ضریب هدایت حرارتی ان بسیار کم است. دیاتومیت از نظر شیمیایی خنثی بوده و میل ترکیبی با اکثر مایعات و محلول ها را ندارد. از نظر خواص شیمیایی دیاتومیت تا حد زیادی مشابه سیلیس و قسمت اعظم دیاتومیت از اکسید سیلیسیم تشکیل شده است و اغلب در ترکیب های شیمیایی غیر قابل حل بوده ودارای قابلیت دیرگدازی است. پس از سیلیس، ترکیباتی مانند اکسیدهای آلومینیم و آهن در ترکیب شیمیایی دیاتومیت وجود دارند. از نظر فیزیکی دیاتومیت طبیعی و خالص به رنگ سفید می باشد. دیاتومیت دارای خواص ویژه ای است که عبارت است از وزن مخصوص کم، سطح مخصوص بالا، قدرت جذب فراوان، عایق بودن در برابر حرارت و تخلخل بالا، سختی دیاتومیت بین ۴ تا ۵ در مقیاس موس است و نقطه ذوب دیاتومیت و انواع خاک‌های دیاتومه به درجه خلوص بستگی دارد و از ۱۰۰۰ تا ۱۷۵۰ درجه سانتی‌گراد متغیر است. تکلس دیاتومه میتواند باعث بهبود خواص آن از قبیل افزایش وزن مخصوص از ۱/۷۳ به ۲ تا ۲/۳ ، سختی از ۴ به ۵/۵ تا ۶ شود. وقتی ناخالصی های همراه دیاتومیت به مقدار قابل توجهی می‌رسند واژه های دیگری برای آن به کار می‌رود. به عنوان مثال : دیاتومیت ماسه ای، دیاتومیت رسی، مارن دیاتومیتی. در ایران مهمترین نهفته های دیاتومیتی در ناحیه اذربایجان مشاهده شده است این حوضه رسوبی در اطراف تبریز (شرق دریاچه ارومیه)، بخشی از میانه و منطقه ممقان در شمال

[1] Reactive Powder Concrete

غرب ایران می باشد. همچنین در اطراف بیرجند در خراسان جنوبی معادن دیاتومیت وجود دارد.

هدف از این پژوهش بررسی نقش دیاتومیت استخراج شده از معدن دیاتومیت ممقان به‌عنوان یک ماده پوزولانی طبیعی قابل جایگزین با دوده‌سیلیسی و تغییرات دمای عمل‌آوری بر روی بتن پودری واکنش‌زا می باشد که نمونه‌های ساخته شده بتن پودری واکنش‌زا را در آب با دماهای متفاوت ۲۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد عمل‌آوری کرده و به بررسی تأثیر تغییرات جایگزینی پودر دیاتومیت با دوده‌سیلیسی که عاملی تأثیرگذار بر روی مشخصات این نوع بتن می‌باشد، برای تعیین مشخصات رئولوژی نظیر مقاومت فشاری و مقاومت کششی و درصد جذب آب ۲۸ روزه و جذب آب حین عمل‌آوری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه می‌پردازیم.

فراگولیس[1] و همکاران در پروژه خود با هدف جایگزینی دیاتومیت به عنوان مواد پوزولانی برای ساخت ملات سیمان در یونان مورد بررسی قرار دادند [۷]. در این تحقیق به بررسی دو نوع دیاتومیت رسی و آهکی از دو ناحیه مختلف در مصر به‌عنوان جانشینی آنها به جای بخشی از سیمان در ملات سیمانی و مقایسه‌ی آن با ملات ساخته شده در آزمایشگاه پرداختند. نتایج حاصل از مطالعه تجربی صورت گرفته نشان داد که نیاز به آب ملات با افزایش دیاتومیت افزایش می یابد و زمان گیرش ابتدایی و نهایی آن نیز بیشتر می شود و همچنین مقاومت بلند مدت همه نمونه های حاوی دیاتومیت افزایش می‌یابد. تحقیقات کرامن[2] و همکاران در سال ۲۰۱۵، شامل بررسی اثرات افزودنی دیاتومیت به عنوان پوزولان طبیعی و تاثیر آن بر خصوصیات مکانیکی بتن سبک مورد بررسی قرار گرفت [۸]. نتایج نشانگر این بود که دیاتومیت با افزایش جذب آب می تواند برای تولید بلوک های بتنی سبک با قدرت کافی و هدایت گرمای کم استفاده شود، که با کاهش و صرفه جویی در هزینه ها همراه است. همچنین به این نتیجه رسیدند که این بلوک ها ممکن است مزایای عایق بندی قابل توجهی را برای گرمای تعادل انبار دام فراهم کند. و به عنوان یک نتیجه گیری کلی دریافتند که دیاتومیت می تواند با عایق حرارت بالا در تولید بتن سبک مورد استفاده قرار گیرد. ارگون[3] در تحقیق خود دیاتومیت را برای بررسی خواص مکانیکی بر روی نمونه های آزمایشگاهی به عنوان جایگزینی بخشی از سیمان در بتن مورد بررسی قرار داد [۹]. آزمایش ها با استفاده از نسبت های مختلف به عنوان جایگزینی برای بخشی از سیمان و همچنین با کاربرد افزودنی فوق روان کننده برای کاهش آب مصرفی و افزایش مقاومت‌های فشاری و خمشی نمونه ها صورت گرفت. نتایج حاصل از آزمایشات صورت گرفته بر روی بتن های مرسوم نشان داد که با جانشینی دیاتومیت در اختلاط بتن با درصدهای ۵ ، ۷/۵ و ۱۹ درصد دیاتومیت با افزایش مقاومت های فشاری و خمشی همراه بوده است . طبق بررسی‌های دگیرمنجی و ییلماز[4] [۱۰] از پودر دیاتومیت به عنوان جایگزین بخشی از سیمان در تولید ملات سیمان استفاده گردید و دیاتومیت را در درصدهای ۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد جایگزینی برای سیمان در نظر گرفته شد و در حالی که با ثابت نگه داشتن مقادیر ماسه و آب، کاهش مقاومت فشاری و خمشی با افزایش مقدار دیاتومیت جایگزینی را تجربه کردند، هر چند که این نمونه‌ها در برابر حملات سولفاتی، واکنش قلیایی سنگدانه‌ها و همچنین مقاومت در برابر سیکل های ذوب و یخبندان عملکرد بهتری داشته اند و جایگزینی دیاتومیت به طور کلی باعث اندکی افزایش مقاومت در برابر سیکل های ذوب و یخبندان شده است.کاستیس[5] و همکاران [۶] در تحقیقات خود ابتدا جایگزینی سیمان با دیاتومیت در ملات سیمان با درصدهای ۰٪، ۱۰٪، ۲۰٪ و ۳۵٪ مورد بررسی قرار دادند و نتایج حاصل از مطالعه تجربی صورت گرفته، نشان دهنده این بود که مخلوط حاصل با ۱۰ درصد پودر دیاتومیت، مقاومت فشاری همانند نمونه شاهد بوده، در حالی که حضور دیاتومیت منجر به افزایش میزان آب مصرفی می‌شود. همچنین واکنش‌های پوزولانی دیاتومیت سبب تولید بیشتر مواد حاصل از هیدراسیون به ویژه در سنین بالاتر می‌شود. لتلیر[6] و همکاران در مطالعه خود به ارزیابی خواص مکانیکی بتن ساخته شده با استفاده از دیاتومیت و سنگدانه‌های قابل بازیافت پرداخته و ویژگی‌های آنها را مورد بررسی قرار دادند [۱۱]. در این مطالعه، بهترین نتایج در نمونه‌های بتنی حاوی ۲۵ درصد سنگ‌دانه بازیافتی و ۵ درصد دیاتومیت مشاهده شده است، که می‌تواند به‌عنوان

[1] fragoulis
[2] Karaman
[3] Ergün
[4] Degirmenci & Yilmaz
[5] Kastis
[6] Letelier

جایگزینی از سیمان و سنگدانه‌های درشت بدون کاهش خواص مکانیکی بتن در مقایسه با بتن مبنا یا شاهد، استفاده گردد. تاپکو و اورگون‌اوغلو[1] در تحقیقات خود در رابطه با تأثیر جایگزینی پودر دیاتومیت به جای بخشی از سیمان پرتلند در بتن خودتراکم را مورد بررسی قرار دادند [۱۲]. نتایج نشان داد که با افزایش درصد جایگزینی پودر دیاتومیت به جای سیمان، مقاومت فشاری کاهش یافته اما انرژی کرنشی نهایی متناظر با بیشترین تنش و همچنین ضریب هدایت حرارتی افزایش پیدا کرده‌اند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- سیمان

در این پژوهش از سیمان پرتلند تیپ دو، تهیه شده از کارخانه سیمان صوفیان تبریز، استفاده شده است. مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول۱- مشخصات فیزیکی سیمان نوع دو صوفیان

مشخصات فیزیکی	میزان
وزن مخصوص (gr/cm^3)	۳/۱۲
بلین(cm^2/gr)	۲۸۶۰
انبساط طولی	۰/۲۳
زمان گیرش اولیه (دقیقه)	۸۰
زمان گیرش ثانویه (دقیقه)	۲۷۵
مقاومت فشاری ۳ روزه (kgf/cm^2)	۱۷۹
مقاومت فشاری ۷ روزه (kgf/cm^2)	۲۷۴
مقاومت فشاری ۲۸ روزه (kgf/cm^2)	۳۷۰

جدول۲- مواد تشکیل دهنده سیمان نوع دو صوفیان

ترکیب شیمیایی	درصد
SiO_2	۲۱/۹۱
Al_2O_3	۴/۸۵
Fe_2O_3	۳/۴۶
CaO	۶۴/۵۶
MgO	۲/۳۸
CaO.f	۱/۰۸
C_4AF	۱۰/۵۳
LOI	۰/۷۵
I.R	۰/۵۸
C_3S	۴۹/۵
C_3A	۷
C_2S	۲۵/۴۷
K_2O	۰/۹۷
Na_2O	۰/۳۴
SO_3	۱/۷۱

[1] Topcu & Uygunoglub

۲-۲- دوده‌سیلیسی

لفظ دوده‌سیلیسی، میکروسیلیس و سیلیس تبخیرشده، اغلب برای توصیف محصولات استخراج شده از بخار خارج شده از گازهای سیلیکون، فروسیلیکون و سایر آلیاژ فلزات کوره تصفیه، استفاده می‌شود. از لفظ دوده سیلیسی در استاندارد اروپا استفاده شده است [۱۳]. مشخصات دوده‌سیلیسی مصرفی طبق جدول ۳ و ۴ می‌باشد.

جدول۳- مشخصات فیزیکی دوده‌سیلیسی مصرفی

خاصیت	مقدار
اندازه متوسط (میکرومتر)	۰/۱
سطح مخصوص (m^2/kg)	۲۰۰۰۰
وزن مخصوص مطلق (gr/cm^3)	۲/۰
وزن مخصوص انبوهی (gr/cm^3)	۰/۳۶۷
شکل ذرات	کروی و غیرکریستاله
شکل	بی‌شکل (آمورف)

جدول۴- مشخصات شیمیایی دوده‌سیلیسی مصرفی

ترکیبات موجود	درصد
SiO_2	۹۶/۴
H_2O	۰/۰۸
SiC	۰/۵
C	۰/۳
Fe_2O_3	۰/۸۷
Al_2O_3	۱/۳۲
CaO	۰/۴۹
MgO	۰/۹۷
Na_2O	۰/۳۱
K_2O	۱/۰۱
P_2O_5	۰/۱۶
SO_3	۰/۱
CL	۰/۰۴

۲-۳- دیاتومیت

یکی از غنی‌ترین معادن دیاتومیت شمال غرب کشور، معدن ممقان واقع در۳۵ کیلومتری جاده‌ی تبریز-آذرشهر می‌باشد. در این پژوهش دیاتومیت مورد استفاده از معدن دیاتومیت ممقان واقع در جنوب غرب شهر تبریز می‌باشد.

مقایسه عملکرد دیاتومیت با سایر پوزولانهای ایران نشانگر عملکرد بهتر آن در بتن می‌باشد [۱۴].

جدول۵- آنالیز شیمیایی دیاتومیت معدن ممقان [۱۴]

ترکیبات موجود	درصد نمونه A	درصد نمونه B
SiO_2	۹۰/۴	۸۸/۶۶
Al_2O_3	۲/۱۵	۲/۰۲
Fe_2O_3	۰/۷۱	۲/۱۲
CaO	۰/۹۸	۱/۱۲
MgO	۰/۶۴	۱/۵۴
Na_2O	۰/۴۵	۰/۸
K_2O	۰/۲	۰/۲۷
L.O.I	۳/۰۴	۳/۴۴

L.O.I=Loss of Ignition (1000°c)

شکل۱- پودر دیاتومیت مصرفی در ساخت نمونه‌ها

۲-٤- ماسه سیلیسی

ماسه مصرفی در این تحقیق از معدن ماسه سیلیسی صنعتی قوم تپه در نزدیکی شهر تبریز با وزن مخصوص ۲/۶۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب، با هفت دهم الی یک درصد جذب آب SSD (اشباع با سطح خشک) و با اندازه ذرات ۰/۶ میلی‌متر و به رنگ طوسی می‌باشد. ترکیبات شیمیایی ماسه مصرفی در جدول ۶ آورده شده است.

جدول۶- ترکیب شیمیایی ماسه مصرفی

ماده	درصد
SiO_2	۶۱/۸۴
FeO	۰/۴۲
Fe_2O_3	۳/۹۲
Fe_3O_4	۱/۳۷
Al_2O_3	۱۵/۲
BaO	۰/۱۱
CaO	۳/۵۱
MnO	۰/۰۸
Na_2O	۴/۸۳
K_2O	۳/۵۳
MgO	۱/۳۲
Fei	۳/۷۳
SO_3	۰/۰۵>
L.O.I	۳/۳۶
P_2O_5	۰/۱۹
TiO_2	۰/۶۹

۲-۵- پودر کوارتز

کوارتز شکسته یک جزء اصلی در بتن پودری واکنش‌زا می باشد. قطر ذرات آن بین ۵ تا ۲۵ میکرون است [۴]. پودر کوارتز به کار رفته در این پژوهش از معدن گوهران اصفهان ایران تهیه شده است و مشخصات فنی آن طبق جدول ۷ می‌باشد.

جدول۷- مشخصات فنی پودر کوارتز مصرفی

خاصیت	مقدار
اندازه متوسط (میلی‌متر)	۰/۰۵<
میزان رطوبت	۱/۰>
(٪) SiO_2	۹۶

۲-٦- فوق‌روان‌کننده

در این تحقیق از ابر روان‌کننده و کاهنده قوی آب که فوق‌روان‌کننده‌ای بر پایه پلی کربوکسیلاتی می‌باشد استفاده شده است. این فوق‌روان‌کننده بر اساس استاندارد ASTM C1017/C1017M و ASTM C494/C494M TYPEF تهیه شده است. مشخصات فیزیکی و شیمیایی این فوق روان‌کننده در جدول ۸ آورده شده است. در شکل ۲ چند قطره از آن روی کاغذ سفید ریخته شده است که زرد رنگ دیده می‌شود ولی در داخل استوانه مدرج و ظرف استیل، به رنگ قهوه‌ای دیده می‌شود. تحقیقات نشان داده است که موثرترین نوع فوق‌روان‌کننده‌ها بر خواص بتن پودری واکنش‌زا، فوق‌روان‌کننده‌هایی با پایه پلی‌کربکسیلات اتر می‌باشند [۱۵].

جدول۸- مشخصات فیزیکی و شیمیایی فوق‌روان‌کننده

خاصیت	مقدار
حالت فیزیکی	مایع
بنیان شیمیایی	پلی‌کربوکسیلات
رنگ	قهوه‌ای
ورن مخصوص (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۱/۱۱
میزان مصرف (بر حسب وزن مواد سیمانی)	٪(۱-۰/۳)
یون کلر	ندارد

۲-۷- آب

در این پژوهش، آب مصرفی ساخت طرح های اختلاط آب شرب دانشگاه شهید مدنی آذربایجان می باشد.

شکل۲- ابرروان‌کننده و کاهنده قوی آب، به کار رفته در ساخت نمونه‌ها

۳- آماده سازی و عمل آوری طرح های اختلاط

در اختلاط بتن پودری، ابتدا مواد خشک (سیمان، میکروسیلیس، پودر دیاتومیت، پودر کوارتز و ماسه سیلیسی) وزن شده در ترازوی دیجیتال به مدت ۱۰ دقیقه با یکدیگر مخلوط می‌شوند. طوری که یک مخلوط خشک کاملا همگن بدست آید. سپس نصف آب و نصف فوق‌روان‌کننده اضافه شده و به مدت ۴ دقیقه مجددا مخلوط می‌شوند. نهایتا بقیه آب و فوق‌روان‌کننده اضافه شده و ۴ دقیقه دیگر نیز مخلوط می‌شوند تا در نهایت مخلوط کاملا همگنی بدست آید. برای انجام آزمایشات در این تحقیق برای هر طرح اختلاط ۱۹ نمونه مکعبی استاندارد ۱۰*۱۰*۱۰ سانتی‌متری به منظور تعیین مقاومت فشاری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه و جذب آب ۲۸ روزه و همچنین جذب آب در طول مدت زمان عمل‌آوری و ۱۸ نمونه استوانه‌ای استاندارد ۱۰*۲۰ جهت آزمایش کشش برزیلی (دو نیم شدن)، در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه آماده شد. پس از هر اختلاط و قبل از قالب گیری آزمایش میز جریان انجام شد و پس از ۲۴ ساعت نمونه‌ها از قالب بیرون آورده شد بعد از خروج نمونه‌ها از قالب، تمام نمونه‌ها تا زمان انجام آزمایش در داخل آب و در دمای ۲۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد در حالت غوطه‌وری عمل‌آوری می‌شوند. جزئیات نمونه‌های مختلف استفاده شده برای مطالعه، در جدول ۹ و شکل ۳ نشان داده شده است.

جدول۹- مشخصات نمونه‌های مورد آزمایش

مشخصات آزمایش	آزمایش مقاومت فشاری	آزمایش مقاومت کششی
شکل نمونه	مکعبی	استوانه‌ای
سنین نمونه‌ها	۷، ۲۸ و ۹۰روزه	۷، ۲۸ و ۹۰روزه
ابعاد نمونه (سانتی‌متر)	۱۰*۱۰*۱۰	۱۰*۲۰
دمای‌عمل‌آوری (سانتی‌گراد)	۲۵ و ۵۰	۲۵ و ۵۰

شکل۳- نمونه‌های مختلف ساخته شده بتن پودری واکنش‌زا جهت مطالعه و آزمایش

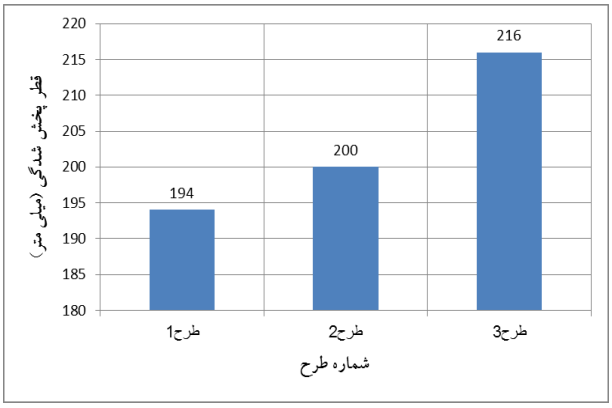
۳-۱- طرح اختلاط

برنامه تجربی انجام شده در این تحقیق، جایگزینی پودر دیاتومیت به جای دوده سیلیسی می‌باشد. در راستای تحقق هدف پروژه ۶ مخلوط بتنی با درصدهای مختلف پودر دیاتومیت و دوده‌سیلیسی تهیه شد. با توجه به استفاده از عیار سیمان بالا در تولید بتن پودری که معمولا در حدود ۷۰۰ الی ۱۰۰۰ کیلوگرم در متر مکعب بتن می‌باشد، در این پژوهش از قسمت پایین حد متوسط عیار سیمان استفاده شده است. نسبت وزنی ماسه به سیمان ۱/۳۳ برای طرح مبنا در نظر گرفته شده و نسبت آب به مواد سیمانی، مقدار دوده‌سیلیسی و فوق روان کننده با سعی و خطا توسط آزمایش میز جریان و مقاومت فشاری هفت روزه انتخاب شده است.

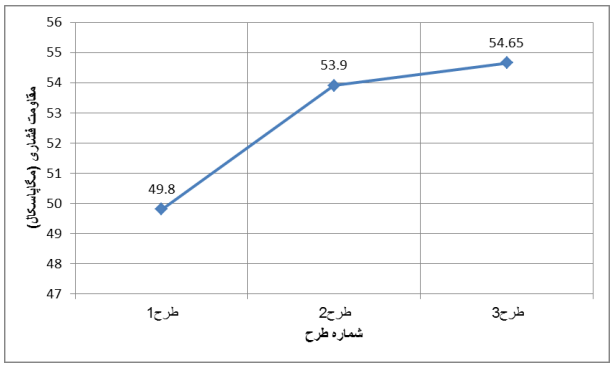
در جدول ۱۰ نسبت‌های چند طرح اختلاط اولیه آورده شده است. همچنین قطر پخش شدگی در شکل۴ و مقاومت فشاری ۷ روزه مربوطه در شکل ۵ نشان داده شده است.

جدول ۱۰- نسبت‌های طرح مخلوط اولیه

اجزای تشکیل دهنده (کیلوگرم بر مترمکعب)	طرح ۱	طرح ۲	طرح ۳
سیمان	۷۸۰	۷۸۰	۷۸۰
دوده‌سیلیسی	۱۹۵	۱۴۰	۱۴۰
ماسه سیلیسی	۱۰۴۰	۱۰۴۰	۱۰۴۰
پودر کوارتز	۱۹۰	۱۹۰	۱۹۰
فوق‌روان‌کننده	۱۹/۵	۲۰	۳۰
آب	۲۸۳	۱۸۵	۱۸۵
نسبت آب به سیمان	۰/۳۶	۰/۲۳۷	۰/۲۳۷
نسبت آب به مواد سیمانی	۰/۲۹	۰/۲	۰/۲
میز جریان (میلی‌متر)	۱۹۴	۲۰۰	۲۱۶
مقاومت فشاری (مگاپاسکال)	۴۹/۸	۵۳/۹	۵۴/۶۵



شکل۴- نمودار میز جریان ترکیبات



شکل۵- تأثیر ترکیبات طرح‌ها در مقاومت فشاری

با توجه به نتایج فوق، آب مصرفی در این پژوهش به‌میزان ۰/۲ وزن مواد سیمانی و فوق‌روان‌کننده مصرفی به میزان ۰/۰۳ وزن مواد سیمانی در کارایی و روانی بتن به عنوان بهترین درصد فوق‌روان‌کننده و آب انتخاب گردید و همان‌طور که مشاهده می‌شود طرح ۳ دارای بیشترین مقاومت فشاری می‌باشد، با بررسی طرح اختلاط بتن های پودری تهیه شده تا این مرحله با اصلاحاتی که صورت گرفت طرح شماره سه به‌دلیل کارایی و روانی قطر پخش شدگی و مقاومت فشاری مطلوب به‌عنوان طرح اختلاط نهایی برای بررسی تاثیر درصدهای مختلف جایگزینی پودر دیاتومیت با دوده‌سیلیسی انتخاب شد. لازم به ذکر است که استاندارد ملی ایران فعلا در مورد بتن پودری واکنش‌زا توصیه‌ای ننموده است. مشخصات تمام طرح اختلاط های بررسی شده در جدول ۱۱ آورده شده است.(لازم بذکر است طرح شماره ۵ به دلیل نداشتن کارایی، اصلاح شده و به عنوان طرح شماره ۶ آورده شده است. طرح ۶ نسبت به طرح ۵ دارای ۱۴ درصد آب بیشتری می باشد).

جدول۱۱- مشخصات طرح اختلاط ترکیبات

اجزای تشکیل دهنده (کیلوگرم بر مترمکعب)	DP0	DP25	DP50	DP75	DP100	ADP100
سیمان	۷۸۰	۷۸۰	۷۸۰	۷۸۰	۷۸۰	۷۸۰
دوده‌سیلیسی	۱۴۰	۱۰۵	۷۰	۳۵	۰	۰
پودر دیاتومیت	۰	۳۵	۷۰	۱۰۵	۱۴۰	۱۴۰
ماسه سیلیسی	۱۰۴۰	۱۰۴۰	۱۰۴۰	۱۰۴۰	۱۰۴۰	۱۰۴۰
پودر کوارتز	۱۹۰	۱۹۰	۱۹۰	۱۹۰	۱۹۰	۱۹۰
فوق‌روان‌کننده	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
آب	۱۸۵	۱۸۵	۱۸۵	۱۸۵	۱۸۵	۲۱۰/۹
نسبت آب به سیمان	۰/۲۳۷	۰/۲۳۷	۰/۲۳۷	۰/۲۳۷	۰/۲۳۷	۰/۲۷
نسبت آب به مواد سیمانی	۰/۲۰۱	۰/۲۰۱	۰/۲۰۱	۰/۲۰۱	۰/۲۰۱	۰/۲۲۹

٤- بررسی نتایج آزمایش

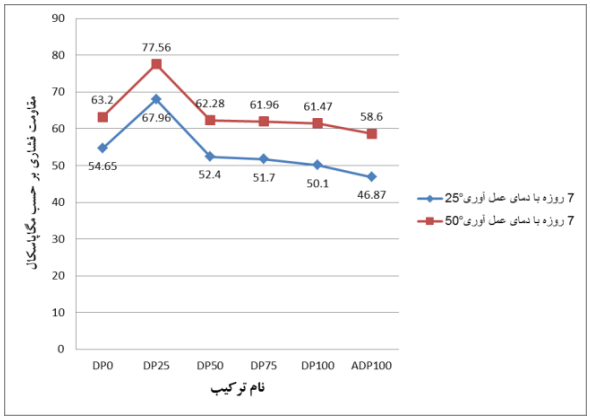
٤-١- تعیین مقاومت فشاری نمونه‌ها

مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی ۱۰*۱۰*۱۰ سانتی‌متری مطابق با استاندارد BS 1881-116:1983 در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه تعیین گردید (عمل آوری نمونه ها در داخل آب در دو دمای ۲۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد انجام گرفته است). نتایج حاصل از این آزمایش در جدول ۱۲ بر حسب مگاپاسکال نشان داده شده است.

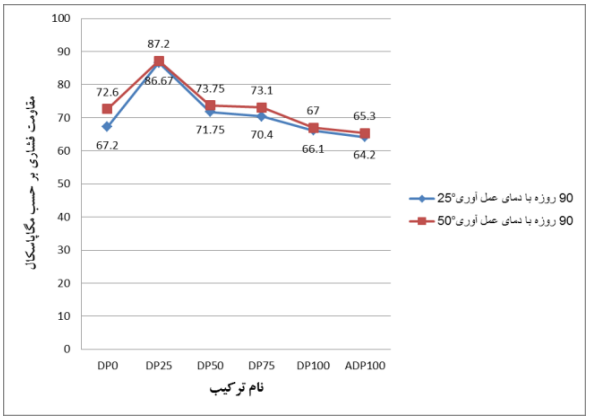
تأثیر زمان و دمای عمل‌آوری بر مقاومت فشاری ترکیبات و همچنین تأثیر درصد پودر دیاتومیت در مقاومت فشاری ترکیبات در شکل ۶، ۷ و ۸ قابل مشاهده است. با توجه به نمودار می‌توان اظهار کرد که با افزایش زمان عمل‌آوری مقاومت فشاری نمونه‌ها افزایش یافته و همچنین در تمام زمان های عمل آوری، بیش‌ترین مقاومت فشاری نیز برای بتنی با ۲۵ درصد پودر دیاتومیت جایگزین بدست آمده است.

جدول۱۲- مقاومت فشاری ترکیبات

نام ترکیب	دمای عمل‌آوری ۲۵ (درجه سانتیگراد)			دمای عمل‌آوری ۵۰ (درجه سانتیگراد)		
	۷ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه
DP0	۵۴/۶۵	۶۶/۴	۶۷/۲	۶۳/۲	۷۰	۷۲/۶
DP25	۶۷/۹۶	۷۹/۵۳	۸۶/۶۷	۷۷/۵۶	۸۳/۶	۸۷/۲
DP50	۵۲/۴	۶۶/۱۷	۷۱/۷۵	۶۲/۲۸	۶۹/۹۷	۷۳/۷۵
DP75	۵۱/۷	۶۶/۰۷	۷۰/۴	۶۱/۹۷	۶۹/۷۸	۷۳/۱
DP100	۵۰/۱	۶۲/۰۵	۶۶/۱	۶۱/۴۷	۶۳/۴	۶۷
ADP100	۴۶/۸۷	۵۹/۵	۶۴/۲	۵۸/۶	۶۰/۲۵	۶۵/۳



شکل ۶- مقاومت فشاری ترکیبات در سن ۷ روزه و در دو دمای ۲۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد



شکل ۸- مقاومت فشاری ترکیبات در سن ۹۰ روزه و در دو دمای ۲۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد

شکل ۷- مقاومت فشاری ترکیبات در سن ۲۸ روزه و در دو دمای ۲۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد

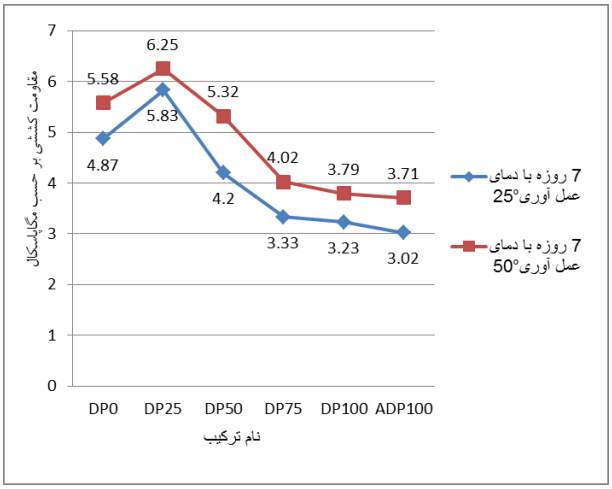
نمودار شکل‌های ۶، ۷ و ۸ نشان می دهد که با افزایش پودر دیاتومیت تا ۲۵ درصد جایگزینی، مقاومت فشاری افزایش می یابد. به ازای ۲۵ درصد پودر دیاتومیت بیشترین مقاومت فشاری حاصل شده و کمترین مقاومت فشاری نیز برای بتنی با ۱۰۰ درصد پودر دیاتومیت با ۱۴ درصد افزایش آب بدست آمده است. مقاومت فشاری نمونه‌های ترکیب DP25 نسبت به نمونه های ترکیب DP0 در دو دمای عمل آوری و در سنین مختلف، حدود ۲۰ الی ۲۹ درصد افزایش داشته است. نمونه‌های آزمایشگاهی ساخته شده بتن پودری واکنش‌زا تحت بار وارده از جک هیدرولیکی دچار شکست می‌شوند که در شکل ۷

نحوه شکست برخی از نمونه‌های مکعبی نشان داده شده است، که برای شکست نمونه‌های آزمایشگاهی از دستگاه جک فشاری هیدرولیکی ۲۰۰ تنی با استفاده از فشرده‌سازی با سرعتی ثابت در محدوده ۷۰۰ تا ۱۴۰۰ کیلوپاسکال بر دقیقه تا هنگام گسیختگی نمونه، به آن اعمال بار می‌شود که ایجاد ترک در بعضی از نمونه‌ها به صورت آهسته و تقریبا با عمق کم و شکست تقریبا نرمی داشته و در بعضی از نمونه‌ها شکست کاملا ترد و به صورت انفجاری می‌باشد که پس از بارگذاری ترک‌های بزرگی در سطح نمونه ایجاد می شود که این ترکهای عمیق در نهایت باعث ورقه شدن نمونه و تجزیه نمونه می‌شود. تمام نمونه‌ها از هر چهار جهت تقریبا به طور یکسان ترک برداشته و خرد می‌شوند.

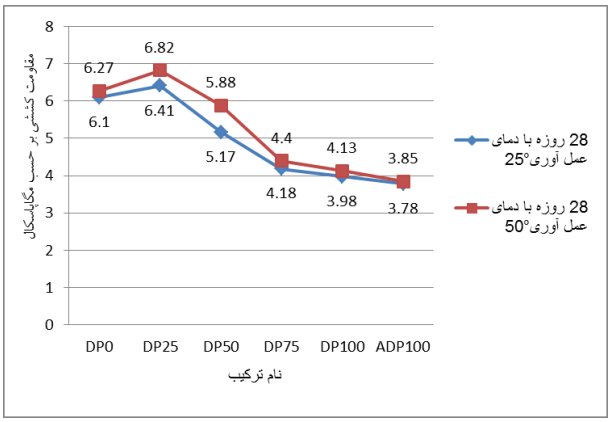
شکل۹- برخی از شکست‌های مطلوب نمونه‌ها

٤-۲- تعیین مقاومت کششی نمونه‌ها

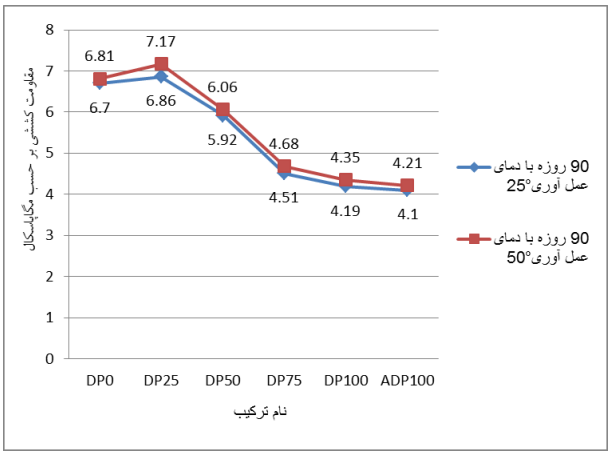
مقاومت کششی نمونه‌های استوانه‌ای ۲۰*۱۰ سانتی‌متری ساخته شده طبق استاندارد ASTM C496/C496M-04 در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه تعیین شده است (عمل آوری نمونه ها در داخل آب در دو دمای ۲۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد انجام گرفته است). نتایج حاصل از این آزمایش در شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است.



شکل۱۰- مقاومت کششی ترکیبات در سن ۷ روزه و در دو دمای ۲۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد



شکل۱۱- مقاومت کششی ترکیبات در سن ۲۸ روزه و در دو دمای ۲۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد



شکل۱۲- مقاومت کششی ترکیبات در سن ۹۰ روزه و در دو دمای ۲۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد

ارتباط بین مقاومت‌های کششی و فشاری در بتن با پودر دیاتومیت مشابه با ارتباط این مقاومت‌ها با یکدیگر در بتن معمولی می‌باشد. افزایش مقاومت فشاری با استفاده از جای‌گزینی ۲۵ درصد دوده‌سیلیسی با پودر دیاتومیت منجر به افزایش نسبی در مقاومت کششی و فشاری می‌شود.

از نمودار شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ مشاهده می‌شود که افزایش مقاومت در طرح اختلاط شماره ۲ با نام ترکیب DP25، نسبت به سایر طرح‌ها بیشتر است. این مورد در نمودارهای مقاومت فشاری نیز مشاهده شده است. نمودار مقاومت کششی ترکیبات نشان می‌دهد که با افزایش درصد پودر دیاتومیت جایگزین، مقاومت کششی ترکیبات تا ۲۵ درصد جایگزینی به صورت صعودی و سپس تا آخرین طرح اختلاط سیر نزولی داشته است و بیشترین مقاومت کششی ۹۰ روزه مربوط به ترکیب DP25 با ۷/۱۷ مگاپاسکال و کم‌ترین مقاومت کششی برای ترکیب ADP100

با ۴/۲۱ مگاپاسکال می‌باشد. ترکیباتی با درصد پودر دیاتومیت بیشتر در آزمایش شکافت از تنش کششی کمتری برخوردار هستند.

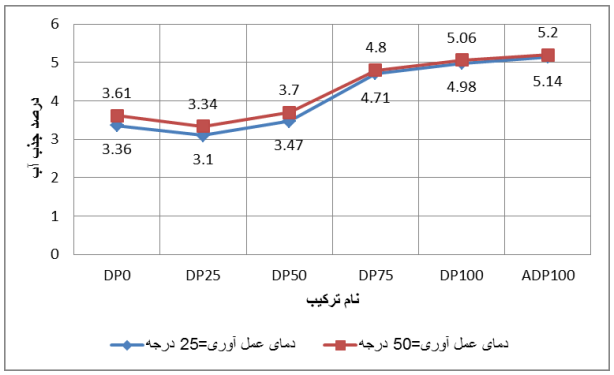
نحوه اعمال بار بر نمونه‌های استوانه‌ای و نحوه شکست نمونه‌های استوانه‌ای بتن پودری واکنش‌زا به‌روش تست برزیلی(دو نیم شدن) در شکل ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده است.

شکل۱۳- نحوه اعمال بار بر نمونه‌های استوانه‌ای

شکل۱۴- نحوه شکست نمونه‌های استوانه‌ای

٤-٣- آزمایش جذب آب طبق استاندارد ASTM C642-06

هدف از انجام این آزمایش تعیین درصد جذب آب نمونه‌های بتنی سخت‌شده می‌باشد. به طور کلی، جذب آب در بتن باعث ایجاد مشکلات جدی می شود که بر مقاومت بتن تأثیر می گذارد. به این علت تعیین درصد جذب آب نمونه های بتنی اهمیت زیادی دارد. شکل ۱۵ درصد جذب آب نمونه های بتنی ۲۸ روزه خشک شده در آون با دمای ۱۰۰ الی ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد، پس از ۲ روز غوطه وری در آب ۲۵ درجه را نشان می دهد.



شکل۱۵- نقش مقدار پودر دیاتومیت در میزان جذب آب

نمودار شکل۱۵ نشان می دهد که در ابتدا با افزایش درصد جایگزینی پودر دیاتومیت ابتدا میزان جذب آب ترکیب DP25 کاهش یافته سپس تا طرح آخر ADP100 با افزایش درصد پودر دیاتومیت از ۲۵ درصد به بعد جذب آب افزایش می یابد. نمونه DP25 دارای کم ترین جذب آب و نمونه ADP100 دارای بیش ترین جذب آب می باشد.

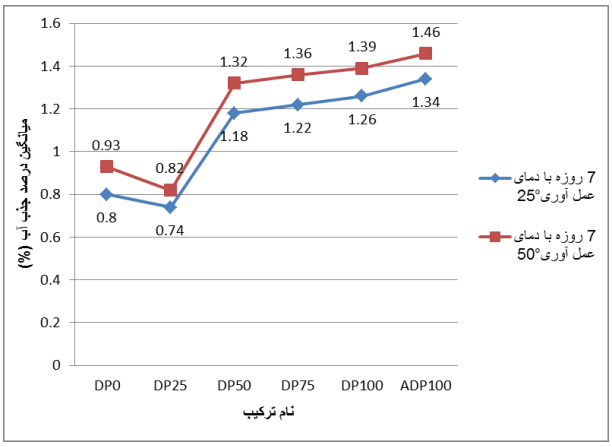
٤-٤- جذب آب در طول مدت زمان عمل آوری

در این قسمت به بررسی تاثیر دمای عمل‌آوری آب بتن بر روی جذب آب در طول مدت زمان عمل آوری پرداخته شده است. برای محاسبه جذب آب حین عمل آوری نمونه‌ها بعد از اختلاط طرح های مورد نظر وخارج نمودن نمونه ها از قالب اولین توزین انجام میگیرد و سپس هنگام خارج کردن از محفظه آب در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه توزین انجام میگیرد. بدین ترتیب که با یک پارچه آب روی نمونه ها رو خشک می‌کنیم . سپس در همین حالت SSD وزن نمونه ها توسط ترازوی دیجیتال اندازه گیری می‌شود. در نهایت با استفاده از رابطه زیر میزان جذب آب در طول مدت زمان عمل آوری را محاسبه می‌کنیم (نتایج محاسبات در نمودار شکل‌های ۱۶، ۱۷ و ۱۸ آمده است).

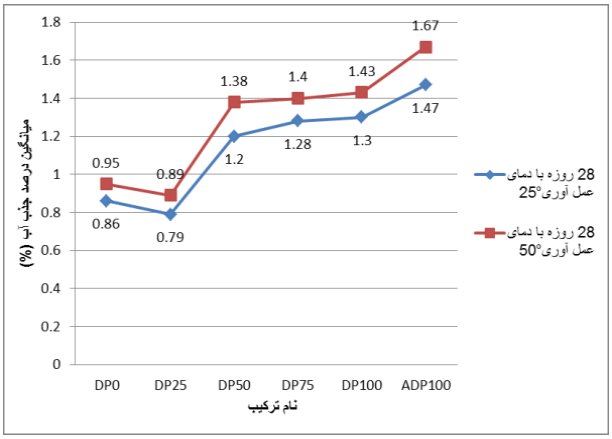
$$\text{جذب آب} = \frac{(\text{جرم قبل از عمل‌آوری} - \text{جرم بعد از عمل‌آوری})}{\text{جرم قبل از عمل‌آوری}} \times 100$$

توضیح اینکه جذب آب در حین عمل آوری نشان دهنده پیشرفت واکنشهای هیدراسیون می‌باشد. در حالی که جذب آب نمونه‌های بتنی در سن ۲۸ روزه طبق استاندارد ASTM C642-06 نشان دهنده تخلخل داخلی بتن است. همچنین اعم از حباب‌های اتفاقی و شبکه لوله‌های موئینی، لازم به ذکر است که آب ژل طبق بررسی

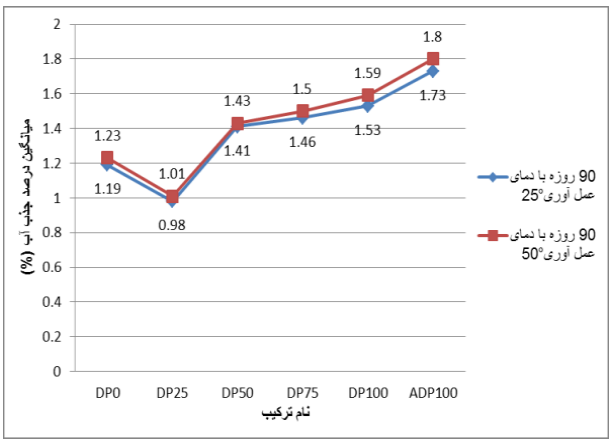
محققان وزن مخصوصی در حدود ۱/۱ دارد و آب مولکولی داخل کریستال‌های ناشی از واکنش‌های هیدراسیون وزن مخصوصی در حدود ۱/۲ دارا می‌باشد.



شکل۱۶- تأثیر دمای آب ۲۵ و ۵۰ درجه بر جذب آب حین عمل‌آوری در سن ۷ روزه



شکل۱۷- تأثیر دمای آب ۲۵ و ۵۰ درجه بر جذب آب حین عمل‌آوری در سن ۲۸ روزه



شکل۱۸- تأثیر دمای آب ۲۵ و ۵۰ درجه بر جذب آب حین عمل‌آوری در سن ۹۰ روزه

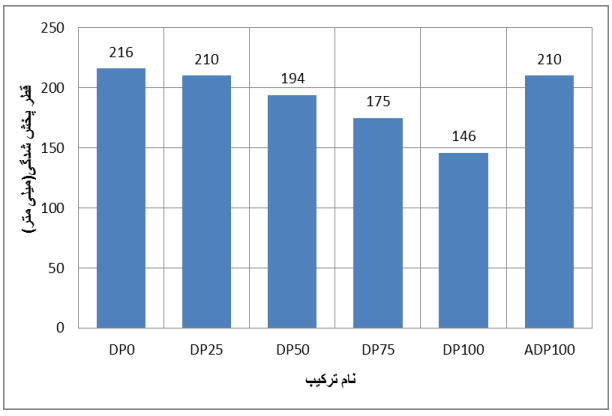
از نتایج حاصل از آزمایش تعیین درصد جذب آب در حین عمل‌آوری مشاهده می‌شود که میانگین جذب آب از زمان باز کردن قالب تا موقع انجام آزمایشات تستی و فشاری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه با افزایش مقدار پودر دیاتومیت تا ۲۵ درصد جایگزینی کاهش یافته و تا آخرین طرح جای‌گزینی ۱۰۰ درصد پودر دیاتومیت نمودار سیر صعودی داشته و جذب آب حین عمل آوری افزایش یافته است. همان‌طور که از نمودار شکل‌های ۱۶، ۱۷ و ۱۸ مشاهده می‌شود، افزایش دمای آب عمل‌آوری بتن بر روی جذب آب تاثیر مستقیمی داشته و باعث افزایش این مقدار شده است. علت این افزایش آن است که واکنش پوزولانی در بتن پودری واکنش‌زا با افزایش دما افزایش می‌یابد. این افزایش در تمام سنین مشاهده شده است. بیشترین مقدار جذب آب در حین عمل آوری نسبت به سایر دوره‌ها مربوط به ترکیب ADP100 و کمترین میزان آن مربوط به ترکیب DP25 می‌باشد. با بررسی کمی نتایج حاصل به این نتیجه می‌رسیم که افزایش جذب آب نمونه‌ها ناشی از افزایش دمای عمل‌آوری ناچیز است.

٤-٥- بررسی تاثیر استفاده از پودر دیاتومیت در کارایی بتن پودری واکنش‌زا

هدف از انجام آزمایش میز جریان تعیین کارایی یا روانی بتن تازه می‌باشد. به‌خاطر نوع تازه بتن پودری واکنش‌زا که روانی بالایی دارد، اندازه‌گیری اسلامپ غیرعملی می‌باشد. بنابراین، برای بتن‌های با اسلامپ بالا و ملات‌ها براساس استاندارد ASTM C230/C230 M از آزمون میز جریان برای اندازه‌گیری ویژگی‌های روانی بتن پودری واکنش‌زا استفاده می‌شود. در زمان ساخت بتن پودری واکنش‌زا برای هر طرح اختلاط ابتدا آزمایش میز جریان انجام شده و قطر پخش شدگی بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری شده است. نتایج حاصل از آزمایش میز جریان در شکل ۱۹ آورده شده است.

نتایج آزمایش میز جریان نشان می‌دهد که با افزایش درصد پودر دیاتومیت در ترکیب بتن پودری واکنش‌زا میزان قطر پخش شدگی کاهش چشمگیری پیدا می‌کند. ترکیباتی که دارای ۰ ، ۲۵ و ۵۰ درصد پودر دیاتومیت هستند قطر پخش شدگی مطلوبی دارند اما با افزایش درصد پودر دیاتومیت از میزان قطر پخش‌شدگی کاسته می‌شود طوری که بتن حاوی ۱۰۰٪ پودر دیاتومیت حالت خمیری

سفت به خود گرفته و قطر پخش شدگی بسیار ناچیزی دارد. به همین دلیل با افزایش ۱۴ درصدی مجدد آب در طرح آخر با نام ترکیب ADP100 به روانی و قطر مطلوب رسیده است. با توجه به نتایج آزمون میز جریان که در شکل۱۹ نمایش داده شده است، افزایش پودر دیاتومیت سبب افت روانی بتن پودری واکنش‌زا گردیده است. علت اصلی این موضوع احاطه مقداری از مولکول‌های آب آزاد توسط ذرات پودر دیاتومیت در ساختار خمیر سیمان است.



شکل۱۹- نمودار میز جریان ترکیبات بتن پودری واکنش‌زا

۵- نتیجه‌گیری

بخش مهم و قابل استفاده هر تحقیقی، بخش نتایج به‌دست آمده است که اگر تمام موارد به‌طور دقیق بیان شده باشد، مسلماً نتایج مفید و قابل استناد خواهند بود. در این قسمت به جمع‌بندی نتایج حاصل از آزمایشات می‌پردازیم.

۱- نتایج حاصل از آزمایشات نشان می‌دهد که دمای عمل‌آوری تاثیر قابل توجهی بر روی مقاومت اولیه بتن پودری واکنش‌زا دارد. این افزایش مقاومت اولیه ناشی از هیدراسیون سریع سیمان در دمای بالای عمل‌آوری نسبت به دمای پایین‌تر است. به‌هرحال، واکنش‌های هیدراسیون سیمان و همچنین مواد پوزولانی در دماهای بالای عمل‌آوری سرعت پیدا می‌کند.

۲- ذرات پودر دیاتومیت دارای تخلخل درون ذره ای می باشند لذا مقداری از آب را در این تخلخل ویژه حبس می نمایند و باعث کاهش قابل ملاحظه ای در روانی می شود. با افزایش درصد جایگزینی پودر دیاتومیت به جای دوده سیلیسی، کارایی بتن به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد.

۳- نمونه‌های ساخته شده بتن پودری واکنش‌زا در دمای بالای آب عمل‌آوری در سنین پایین به مقاومت بهینه می‌رسند و دیگر نیازی به عمل‌آوری در دمای بالا نمی‌باشد؛ زیرا واکنش های هیدراسیون سیمان و همچنین مواد پوزولانی در بتن پودری در سنین اولیه عمل‌آوری در داخل آب با دماهای بالاتر سرعت بیشتری دارد و با افزایش سن به‌تدریج کاهش می‌یابد. با وجود اینکه افزایش دمای آب عمل‌آوری بتن بر روی جذب آب ۲۸ روزه و جذب آب حین عمل آوری تاثیر مستقیمی داشته و باعث افزایش این مقدار می‌شود ولی این افزایش ناچیز است.

۴- مخلوط های حاوی صفر ، ۲۵ و ۵۰ درصد پودر دیاتومیت جایگزین دوده‌سیلیسی دارای روانی مطلوبی می باشند. با افزایش درصد پودر دیاتومیت در مخلوط، افت شدیدی در روانی آزمایش میز جریان مشاهده می شود. زیرا مقداری از مولکول‌های آب آزاد توسط تخلخل درون ذره ای ذرات پودر دیاتومیت در ساختار خمیر سیمان حبس می‌شود. طوری که بتن حاوی ۱۰۰٪ پودر دیاتومیت حالت خشکی به خود گرفته و با قطر پخش شدگی ۷/۱۴ سانتی‌متر از روانی بسیار پایینی برخوردار شد که با افزایش ۱۴ درصدی آب همان طرح مجددا انجام و با قطر پخش‌شدگی ۲۱ سانتی‌متری به روانی مطلوب رسید.

۵- نتایج آزمایش مقاومت فشاری نشان می دهد که در تمام مدت زمان های عمل آوری مقاومت فشاری ترکیب DP25، از تمام ترکیبات حاوی پودر دیاتومیت بیشتر می باشد. در این تحقیق افزایش قابل ملاحظه ای در مقاومت فشاری مخلوط های حاوی ۲۵٪ پودر دیاتومیت نسبت به بتن مبنا مشاهده شد. با افزایش درصد پودر دیاتومیت تا ۲۵٪، میزان مقاومت فشاری نمونه های بتنی افزایش یافته و پس از آن مقاومت فشاری تا ترکیب طرح آخر سیر نزولی داشته است بطوری‌که ترکیب ADP100 دارای کم ترین مقاومت فشاری در بین ۶ طرح است. مقاومت فشاری نمونه های DP25 نسبت به نمونه های DP0 در دو دمای عمل آوری و در سنین مختلف، حدود ۲۰ الی ۲۹ درصد افزایش داشته است.

۶- پودر دیاتومیت می تواند یک جایگزین مناسبی برای دوده سیلیسی در بتن پودری واکنش‌زا باشد.

۷- با افزایش زمان عمل آوری نمونه های بتنی، مقاومت فشاری تمام ترکیبات افزایش می یابد.

۸- با افزایش درصد پودر دیاتومیت، نمودار مقاومت کششی نمونه‌های بتنی تا ۲۵ درصد جایگزینی به جای دوده سیلیسی صعودی و سپس تا طرح اخر بصورت نزولی بصورت جزئی کاهش می یابد، البته روند مشابه تغییرات مقاومت فشاری است ولی درصد تغییرات کمتر است.

۹- با افزایش درصد پودر دیاتومیت از میزان جذب آب نمونه های بتنی تا ۲۵ درصد جایگزینی به جای دوده سیلیسی کاسته می شود. این میزان کاهش جذب آب تا نمونه DP25 بوده اما با افزایش درصد پودر دیاتومیت از ۲۵٪ به بعد درصد جذب آب نیز افزایش می یابد.

۱۰- ترکیب DP25 دارای کم ترین میزان جذب آب و ترکیب ADP100 دارای بیش ترین درصد جذب آب می باشد.

۱۱- بین مقاومت فشاری و درصد جذب آب نمونه های بتنی رابطه معکوس وجود دارد. بطوری که با افزایش مقاومت فشاری از درصد جذب آب نمونه های بتنی کاسته می شود.

٦- مراجع

[1]. Lok, T., Zhao, P., (2004), "Impact response of steel fiber reinforced concrete using a split hopkinson pressure bar", Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 16, No. 1, pp. 54-59.

[2]. Maalej, M., Quek, S., Zhang, J., (2005), "Behavior of hybrid fiber engineered cementitious composition subjected to dynamic loading and projectile impact", Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 17, No. 2, pp. 143-152.

[3]. Xiang Gao, B., (2007), "Mix Design and Impact Response of Fibre Reinforced and Plain Reactive Powder Concrete", School of Civil, Environmental and Chemical Engineering RMIT University.

[4]. Richard, P., Cheyrezy, M., (1995), "Composition of reactive powder concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 25, No. 7, pp. 1501-1511.

[5]. Ross, C., Tedesco, J., Kuennen, S., (1995), "Effects of strain rate on concrete strength", ACI Materials Journal, Vol. 92, No. 1, pp. 37-47.

[6]. Kastis, D., Kakali, G., Tsivilis, S., Stamatakis, M. G., (2006), "properties and hydration of blended cemens with calcareous diatomite", cement concrete, Vol. 36, No. 10, pp. 1821-6.

[7]. Fragoulis, D., stamatakis, M. G., papageorgiou D., chaniotkis, E., (2005), "the physical and mechanical properties of composite cements manufactured with calcareous and clayey Greek diatomite mixtures", cement and concrete composites, Vol. 27, pp. 205-209.

[8]. Karaman, S., Oztoprak, B., Sisman, C. B., (2015), "Usage Possibilities of Diatomite in the Concrete Production for Agricultural Buildings", Journal of Basic & Applied Sciences, Vol. 11, pp. 31.

[9]. Ergün, A., (2011), "Effects of the usage of diatomite and waste marble powder as partial replacement of cement on the mechanical properties of concrete", Construction and Building Materials, Vol. 25, pp. 806–812.

[10]. Degirmenci, N., Yilmaz, A., (2009), "Use of diatomite as partial replacement for Portland cement in cement mortars", Construction and Building Materials, Vol. 23, No. 1, pp. 284-288.

[11]. Letelier, V., Tarela, E., Munoz, P., Moriconi, G., (2016), "Assessment of the mechanical properties of a concrete made by reusing both: Brewery spent diatomite and recycled aggregates", Construction and Building Materials. Elsevier BV, pp. 492–8.

[12]. Topçu, I. B., and Uygunoglu, T., (2010), "Effect of aggregate type on properties of hardened Self- Consolidating Lightweight Concrete (SCLC)", Construction and Building Materials, Vol. 24, No. 7, pp. 1286-1295.

[13]. Newman, J., Choo, B. S., (2003), "Advanced concrete technology constituent materials", Department of Civil Engineering, Imperial College, London, UK.

[۱۴]. رضایی، ب.، (۱۳۷۵)، مطالعه و بررسی خواص‌سنجی دیاتومیت از دیدگاه فراوری، نشریه علمی پژوهشی امیرکبیر، دوره ۱۹، شماره ۱، صفحه ۳۱-۳۹.

[15]. Wille, K., Naaman, A., ParraMontesions, G., (2011), "Ultra High Performance Concrete With Compressive Strength exceeding 150 MPa", ACI Materials Journal, Vol. 108, No. 1, pp. 34-46.

[16]. ASTM C230/C230M–03, (2003), "Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement", ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.

[17]. ASTM C496/C496M-04, (2004), "Standard Test Method for Splitting Strength of Cylindrical Concrete", ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.

[18]. ASTM C642-06, (2006), "Standard Test Method for Density, Absorption,and Voids in Hardened Concrete", ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.

[19].BS 1881-114:1983, (2003), "Methods for determination of density of hardened concrete", British Standard Part114.

Investigation of the Effect of Diatomite Powder Replacement Instead of Silica Fume in Reactive Powder Concrete (RPC)

Javid Chakherlou
Masters of Civil-Structural Engineering, Teacher of Education, Urmia, Iran
Bahman Shervani Tabar *
Member of Academy Staff Civil Eng. Department, Faculty of Engineering, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

Abstract

In the present study, after obtaining an optimal mixing plan and making concrete samples, in order to investigate changes in the amount of replacements of diatomite instead of Silica Fume, with the aim of reducing the price of RPC production, six mixing plans were considered. These six mixing plans are containing 0, 25, 50, 75 and 100 percent diatomite powder, and the final design is the same as 100% diatomite powder with an increase of 14% water due to the consistency correction. The used diatomite powder is from Mamaghan mines, which is used without cook and raw and cheap. On the other hand, the available building materials collection and usable in RPC is increased. The flow table test is used for checking consistency and workability of RPC. Samples were cured in water at 25 and 50 degrees Celsius at the age of 7, 28 and 90 days, then pressure and tensile tests where done, and also water absorption at the age of 28 days and water absorption during the curing. The results indicate that the highest compressive strength for concrete with 25% diatomite powder is obtained, which compressive strength is 87.2 MPa for 90 days. Silica Fume and Diatomite powder are both highly reactive and chemically active silicon. Therefore, we expected that there was no problem in terms of compressive strength and tensile strength during the above-mentioned substitutions. The results of the experiments clearly showed that diatomite powder could be used as a substitute for silica fume in the manufacture of RPC, and also the results indicated that the curing temperature had a significant effect on the initial resistance of RPC, so that with increasing temperature the compressive strength, tensile strength and water absorption also increase.

Keywords: RPC, Reactive Powder Concrete, Diatomite Powder, Consistency, Compressive Strengthe.

* Corresponding Author: b.shervani@yahoo.com