

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

جاوید چاخرنلو

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 دوده سیلیسی، 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 ۱۴ درصدی آب به دلیل اصلاح روانی در نظر 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 می باشد. از طرف دیگر مجموعه ای مصالح ساختمانی در دسترس و قابل استفاده در بتن پودری افزایش می یابد. از میز جریان برای بررسی روانی و کارایی بتن پودری استفاده شده است. نمونه های ساخته شده در داخل آب با دمای ۲۵ و ۵۰ درجه سلسیوس در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه عمل آوری شده و تحت آزمایش فشاری، کششی، جذب آب ۲۸ روزه و جذب آب حین عمل آوری 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. دوده سیلیسی و پودر دیاتومیت هر دو دارای سیلیس بسیار ریز و فعال از لحاظ شیمیایی می باشند لذا انتظار داشتیم که از لحاظ مقاومت های فشاری و کششی در هنگام جایگزینی های مذکور مشکلی وجود نداشته باشد. نتایج آزمایشات این پیش بینی 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 عمل آوری تأثیرات قابل توجهی بر مقاومت اولیه بتن پودری واکنش‌زا دارد، به طوری که با افزایش دما، جذب آب و کسب مقاومت فشاری و کششی بیشتر می شود.

واژه های کلیدی: بتن پودری واکنش‌زا، پودر دیاتومیت، عمل آوری، روانی، مقاومت فشاری، مقاومت کششی.

* نویسنده مسئول: b.shervani@yahoo.com

۱- مقدمه

میکروسکوپی (قابلیت واکنش زیاد)، دارا بودن تخلخل میکروسکوپی بالا، چگالی کم و ویژگی‌های منحصر به فرد مورد استفاده قرار می‌گیرند. دیاتومیت به عنوان: صافی، جذب کننده، عایق، پرکننده، ساینده و همچنین پودر آن به عنوان سیلیس فعال شناخته می‌شود. واکنش پوزولانی دیاتومیت باعث تولید بیشتر محصولات هیدراسیون سیمان می‌شود که این امر موجب رشد خواص مکانیکی ملات‌های حاوی آن شده است [۶].

نخستین کاربرد دیاتومیت به حدود سال ۵۳۲ میلادی در دوره امپراتوری روم قدیم بازمی‌گردد که در ساختمان منار کلیسای سنت صوفی در قسطنطنیه وجود دارد، به گونه‌ای 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 می‌تواند ۲ تا ۳ برابر وزن خود آب جذب کند. ضریب هدایت حرارتی آن بسیار کم است. دیاتومیت از نظر شیمیایی خنثی بوده و میل ترکیبی با اکثر مایعات و محلول‌ها 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 ترکیب‌های شیمیایی غیر قابل حل بوده و دارای 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 می‌باشد. دیاتومیت دارای خواص ویژه‌ای 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 ناخالصی‌های همراه دیاتومیت به مقدار قابل توجهی می‌رسند واژه‌های دیگری برای آن به کار می‌رود. به عنوان مثال: دیاتومیت ماسه‌ای، دیاتومیت رسی، مارن دیاتومیتی. در ایران مهمترین نهفته‌های دیاتومیتی در ناحیه اذربایجان مشاهده شده است این حوضه رسوبی در اطراف تبریز (شرق دریاچه ارومیه)، بخشی از میانه و منطقه ممقان در شمال

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^۱ 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]. در بتن 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 بتن‌های 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 واکنش‌زا می‌گویند [۳]. مواد اصلی تشکیل دهنده بتن پودری واکنشی سیمان پرتلند معمولی، آب، دوده سیلیسی، 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 دوده سیلیسی 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 دیاتوم‌ها تشکیل می‌دهند. سیلیس موجود در اسکلت دیاتوم‌ها به اوپال (سیلیس بی شکل و آبدار) شباهت دارد. دیاتومیت از بقایای اسکلت سیلیسی جلبک‌های دریایی و غیردریایی کف‌زی 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 آن 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. دیاتومیت‌ها به علت داشتن ساختار

^۱ Reactive Powder Concrete

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 مقاومت های 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 بررسی های دیگر منجی و ییلماز^۴ [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 نمونه ها در برابر حملات سولفاتی، واکنش قلیایی سنگدانه ها 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^۵ 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 می شود. همچنین واکنش های پوزولانی دیاتومیت سبب تولید بیشتر مواد حاصل از هیدراسیون به ویژه در سنین بالاتر می شود. لتلیر^۶ و همکاران در مطالعه خود به ارزیابی خواص مکانیکی بتن ساخته شده با استفاده از دیاتومیت و سنگدانه های قابل بازیافت پرداخته و ویژگی های آنها را مورد بررسی قرار دادند [۱۱]. در این مطالعه، بهترین نتایج در نمونه های بتنی حاوی ۲۵ درصد سنگ دانه بازیافتی و ۵ درصد دیاتومیت مشاهده شده است، که می تواند به عنوان

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 به عنوان یک ماده پوزولانی طبیعی قابل جایگزین با دوده سیلیسی و تغییرات دمای عمل آوری بر روی بتن پودری واکنش زا می باشد که نمونه های ساخته شده بتن پودری واکنش زا را در آب با دماهای متفاوت ۲۵ و ۵۰ درجه سانتی گراد عمل آوری کرده و به بررسی تأثیر تغییرات جایگزینی پودر دیاتومیت با دوده سیلیسی که عاملی تأثیرگذار بر روی مشخصات این نوع بتن می باشد، برای تعیین مشخصات رئولوژی نظیر مقاومت فشاری و مقاومت کششی و درصد جذب آب ۲۸ روزه و جذب آب حین عمل آوری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه می پردازیم.

فراگولیس^۱ 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 به عنوان جانشینی آنها به جای بخشی از سیمان در ملات سیمانی و مقایسه ی 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 می یابد. تحقیقات کرامن^۲ و همکاران در سال ۲۰۱۵، شامل بررسی اثرات افزودنی دیاتومیت به عنوان پوزولان طبیعی و تأثیر 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^۳ در تحقیق خود

⁴ Degirmenci & Yilmaz

⁵ Kastis

⁶ Letelier

¹ fragoulis

² Karaman

³ Ergün

۲-۲- دوده سیلیسی

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

جدول ۳- مشخصات فیزیکی دوده سیلیسی مصرفی

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

جدول ۴- مشخصات شیمیایی دوده سیلیسی مصرفی

درصد	ترکیبات موجود
۹۶/۴	SiO ₂
۰/۰۸	H ₂ O
۰/۵	SiC
۰/۳	C
۰/۸۷	Fe ₂ O ₃
۱/۳۲	Al ₂ O ₃
۰/۴۹	CaO
۰/۹۷	MgO
۰/۳۱	Na ₂ O
۱/۰۱	K ₂ O
۰/۱۶	P ₂ O ₅
۰/۱	SO ₃
۰/۰۴	CL

۲-۳- دیاتومیت

یکی از غنی ترین معادن دیاتومیت شمال غرب کشور، معدن ممقان واقع در ۳۵ کیلومتری جاده تبریز-آذرشهر می باشد. در این پژوهش دیاتومیت مورد استفاده از معدن دیاتومیت ممقان واقع در جنوب غرب شهر تبریز می باشد. مقایسه عملکرد دیاتومیت با سایر پوزولانهای ایران نشانگر عملکرد بهتر آن در بتن می باشد [۱۴].

جایگزینی از سیمان و سنگدانه های درشت بدون کاهش خواص مکانیکی بتن در مقایسه با بتن مبنا یا شاهد، استفاده گردد. تاپکو و اورگون اوغلو^۱ 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 کرده اند.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- سیمان

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

جدول ۱- مشخصات فیزیکی سیمان نوع دو صوفیان

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

جدول ۲- مواد تشکیل دهنده سیمان نوع دو صوفیان

درصد	ترکیب شیمیایی
۲۱/۹۱	SiO ₂
۴/۸۵	Al ₂ O ₃
۳/۴۶	Fe ₂ O ₃
۶۴/۵۶	CaO
۲/۳۸	MgO
۱/۰۸	CaO.f
۱۰/۵۳	C ₄ AF
۰/۷۵	LOI
۰/۵۸	I.R
۴۹/۵	C ₃ S
۷	C ₃ A
۲۵/۴۷	C ₂ S
۰/۹۷	K ₂ O
۰/۳۴	Na ₂ O
۱/۷۱	SO ₃

¹ Topcu & Uygunoglu

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 می باشد.

جدول ۷- مشخصات فنی پودر کوارتز مصرفی

مقدار	خاصیت
۰/۰۵<	اندازه متوسط (میلی متر)
۱/۰>	میزان رطوبت
۹۶	(%) SiO ₂

۲-۶- فوق روان کننده

در این تحقیق از ابر روان کننده و کاهنده قوی آب که فوق روان کننده‌ای بر پایه پلی کربوکسیلاتی می باشد استفاده شده است. این فوق روان کننده بر اساس استاندارد ASTM C1017/C1017M و ASTM C494/C494M TYPEF تهیه شده است. مشخصات فیزیکی و شیمیایی این فوق روان کننده در جدول ۸ آورده شده است. در شکل ۲ چند قطره از آن روی کاغذ سفید ریخته شده است که زرد رنگ دیده می شود ولی در داخل استوانه مدرج و ظرف استیل، به رنگ قهوه‌ای دیده می شود. تحقیقات نشان داده است که موثرترین نوع فوق روان کننده‌ها بر خواص بتن پودری واکنش‌زا، فوق روان کننده‌هایی با پایه پلی کربوکسیلات اتر می باشند [۱۵].

جدول ۸- مشخصات فیزیکی و شیمیایی فوق روان کننده

مقدار	خاصیت
مایع	حالت فیزیکی
پلی کربوکسیلات	بنیان شیمیایی
قهوه‌ای	رنگ
۱/۱۱	ورن مخصوص (گرم بر سانتی متر مکعب)
(۰/۳-۱) %	میزان مصرف (بر حسب وزن مواد سیمانی)
ندارد	یون کلر

۲-۷- آب

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

جدول ۵- آنالیز شیمیایی دیاتومیت معدن ممقان [۱۴]

درصد نمونه B	درصد نمونه A	ترکیبات موجود
۸۸/۶۶	۹۰/۴	SiO ₂
۲/۰۲	۲/۱۵	Al ₂ O ₃
۲/۱۲	۰/۷۱	Fe ₂ O ₃
۱/۱۲	۰/۹۸	CaO
۱/۵۴	۰/۶۴	MgO
۰/۸	۰/۴۵	Na ₂ O
۰/۲۷	۰/۲	K ₂ O
۳/۴۴	۳/۰۴	L.O.I

L.O.I=Loss of Ignition (1000°C)



شکل ۱- پودر دیاتومیت مصرفی در ساخت نمونه‌ها

۲-۸- 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 سانتی متر مکعب، با هفت دهم الی یک درصد جذب آب (اشباع با سطح خشک) و با اندازه ذرات ۰/۶ میلی متر و به رنگ طوسی می باشد. ترکیبات شیمیایی ماسه مصرفی در جدول ۶ آورده شده است.

جدول ۶- ترکیب شیمیایی ماسه مصرفی

درصد	ماده
۶۱/۸۴	SiO ₂
۰/۴۲	FeO
۳/۹۲	Fe ₂ O ₃
۱/۳۷	Fe ₃ O ₄
۱۵/۲	Al ₂ O ₃
۰/۱۱	BaO
۳/۵۱	CaO
۰/۰۸	MnO
۴/۸۳	Na ₂ O
۳/۵۳	K ₂ O
۱/۳۲	MgO
۳/۷۳	Fei
۰/۰۵>	SO ₃
۳/۳۶	L.O.I
۰/۱۹	P ₂ O ₅
۰/۶۹	TiO ₂

جدول ۹- مشخصات نمونه‌های مورد آزمایش

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



شکل ۳- نمونه‌های مختلف ساخته شده بتن پودری واکنش‌زا جهت مطالعه و آزمایش

۳-۱- طرح اختلاط

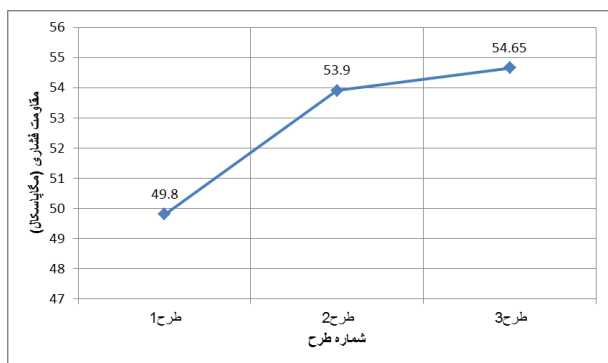
برنامه تجربی انجام شده در این تحقیق، جایگزینی پودر دیاتومیت به جای دوده سیلیسی می‌باشد. در راستای تحقق هدف پروژه ۶ مخلوط بتنی با درصدهای مختلف پودر دیاتومیت و دوده سیلیسی تهیه شد. با توجه به استفاده از عیار سیمان بالا در تولید بتن پودری که معمولاً در حدود ۷۰۰ الی ۱۰۰۰ کیلوگرم در متر مکعب بتن می‌باشد، در این پژوهش از قسمت پایین حد متوسط عیار سیمان استفاده شده است. نسبت وزنی ماسه به سیمان ۱/۳۳ برای طرح مینا در نظر گرفته شده و نسبت آب به مواد سیمانی، مقدار دوده سیلیسی 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 شکل ۴ و مقاومت فشاری ۷ روزه مربوطه در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۲- ابروان کننده و کاهنده قوی آب، به کار رفته در ساخت نمونه‌ها

۳- آماده سازی و عمل‌آوری طرح‌های 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 کاملاً همگن بدست آید. سپس نصف آب و نصف فوق‌روان کننده اضافه شده و به مدت ۴ دقیقه مجدداً مخلوط می‌شوند. نهایتاً بقیه آب و فوق‌روان کننده اضافه شده و ۴ دقیقه دیگر نیز مخلوط می‌شوند تا در نهایت مخلوط کاملاً 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 قالب‌گیری 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.

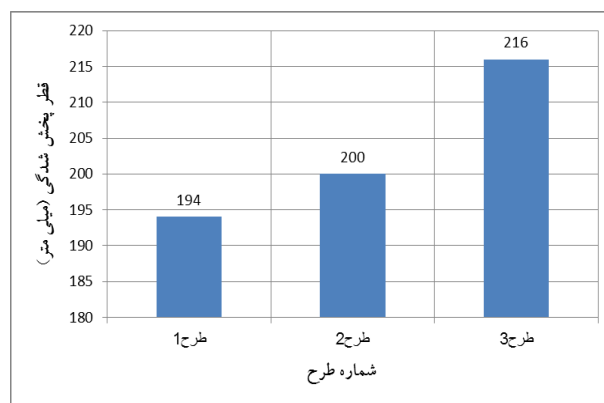


شکل ۵- تأثیر ترکیبات طرح‌ها در مقاومت فشاری

با توجه به نتایج فوق، آب مصرفی در این پژوهش به میزان ۰/۲ وزن مواد سیمانی و فوق‌روان‌کننده مصرفی به میزان ۰/۰۳ و 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 بتن‌های پودری تهیه شده تا این مرحله با اصلاحاتی که صورت گرفت طرح شماره سه به دلیل کارایی و روانی قطر پخش شدگی و مقاومت فشاری مطلوب به عنوان طرح اختلاط نهایی برای بررسی تأثیر درصدهای مختلف جایگزینی پودر دیاتومیت با دوده سیلیسی انتخاب شد. لازم به ذکر است که استاندارد ملی ایران فعلاً در مورد بتن پودری واکنش‌زا توصیه‌ای ننموده است. مشخصات تمام طرح اختلاط‌های 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 می‌باشد).

جدول ۱۰- نسبت‌های طرح مخلوط اولیه

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



شکل ۴- نمودار میز جریان ترکیبات

جدول ۱۱- مشخصات طرح اختلاط ترکیبات

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

۴- بررسی نتایج آزمایش

۴-۱- تعیین مقاومت فشاری نمونه‌ها

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 زمان‌های عمل‌آوری، بیش‌ترین مقاومت فشاری نیز برای بتنی با ۲۵ درصد پودر دیاتومیت جایگزین بدست آمده است.

مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی ۱۰*۱۰*۱۰ سانتی‌متری مطابق با استاندارد BS 1881-116:1983 در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه تعیین گردید (عمل‌آوری نمونه‌ها 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.

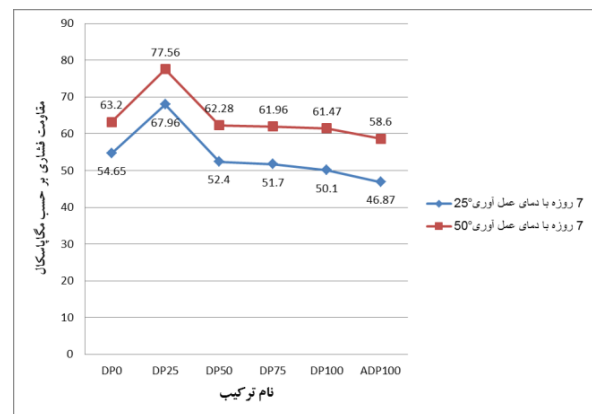
جدول ۱۲- مقاومت فشاری ترکیبات

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 ۸- مقاومت فشاری ترکیبات در سن ۹۰ روزه و در دو

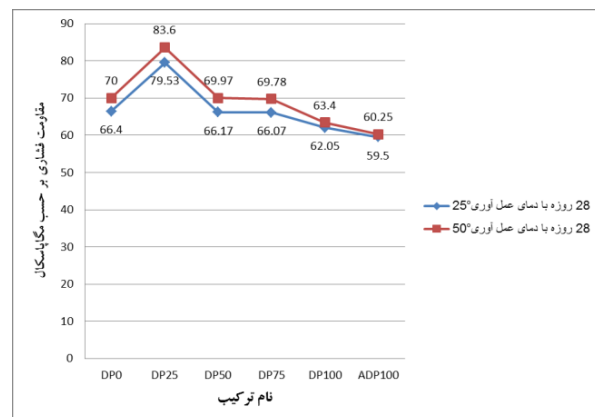
دمای ۲۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد



شکل ۶- مقاومت فشاری ترکیبات در سن ۷ روزه و در دو دمای

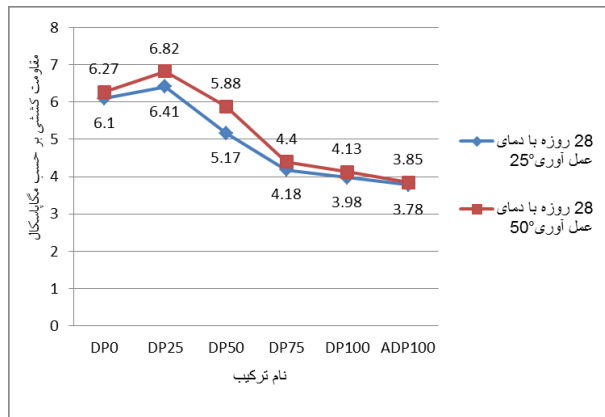
۲۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد

نمودار شکل‌های ۶، ۷ و ۸ نشان می‌دهد که با افزایش پودر دیاتومیت تا ۲۵ درصد جایگزینی، مقاومت فشاری افزایش می‌یابد. 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 نمونه‌های ترکیب DP0 در دو دمای عمل‌آوری 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

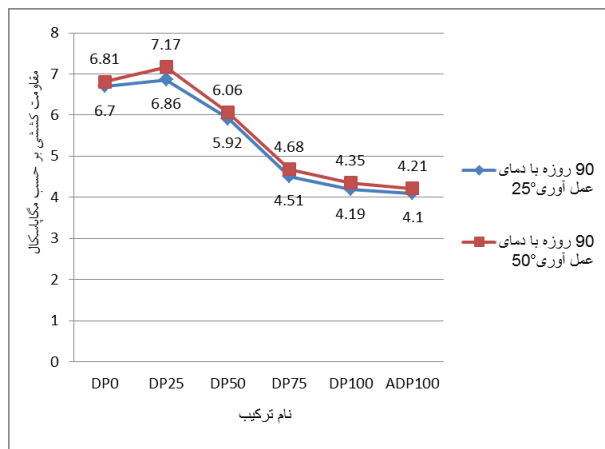


شکل ۷- مقاومت فشاری ترکیبات در سن ۲۸ روزه و در دو

دمای ۲۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد



شکل ۱۱- مقاومت کششی ترکیبات در سن ۲۸ روزه و در دو دمای ۲۵ و ۵۰ درجه سانتی گراد



شکل ۱۲- مقاومت کششی ترکیبات در سن ۹۰ روزه و در دو دمای ۲۵ و ۵۰ درجه سانتی گراد

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 دوده سیلیسی 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

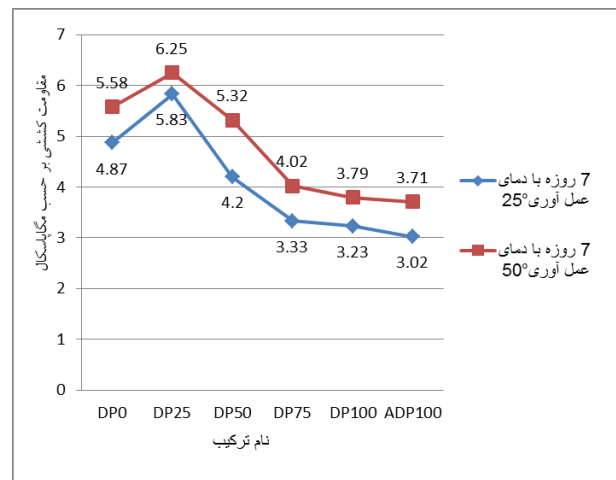
نحوه شکست برخی از نمونه‌های مکعبی نشان داده شده است، که برای شکست نمونه‌های آزمایشگاهی از دستگاه جک فشاری هیدرولیکی ۲۰۰ تنی با استفاده از فشرده‌سازی با سرعتی ثابت در محدوده ۷۰۰ تا ۱۴۰۰ کیلوپاسکال بر دقیقه تا هنگام گسیختگی نمونه، به آن اعمال بار می‌شود که ایجاد ترک در بعضی از نمونه‌ها به صورت آهسته و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



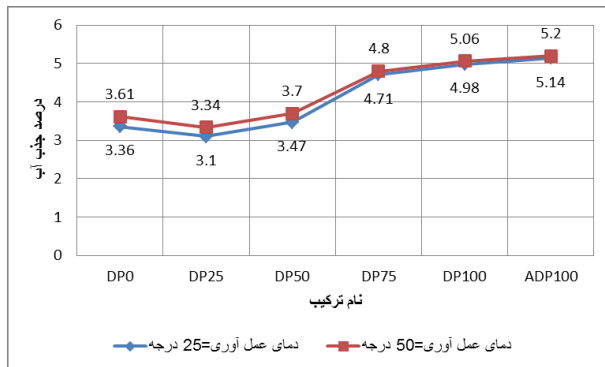
شکل ۹- برخی از شکست‌های مطلوب نمونه‌ها

۴-۲- تعیین مقاومت کششی نمونه‌ها

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



شکل ۱۰- مقاومت کششی ترکیبات در سن ۷ روزه و در دو دمای ۲۵ و ۵۰ درجه سانتی گراد



شکل ۱۵- نقش مقدار پودر دیاتومیت در میزان جذب آب

نمودار شکل ۱۵ 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.

۴-۴- جذب آب در طول مدت زمان عمل آوری

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

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

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

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

نحوه اعمال بار بر نمونه های استوانه ای و نحوه شکست نمونه های استوانه ای بتن پودری واکنش زا به روش تست برزیلی (دو نیم شدن) در شکل ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۳- نحوه اعمال بار بر نمونه های استوانه ای



شکل ۱۴- نحوه شکست نمونه های استوانه ای

۴-۳- آزمایش جذب آب طبق استاندارد ASTM C642-06

هدف از انجام این آزمایش تعیین درصد جذب آب نمونه های بتنی سخت شده می باشد. 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 سانتی گراد، پس از ۲ روز غوطه وری در آب ۲۵ درجه را نشان می دهد.

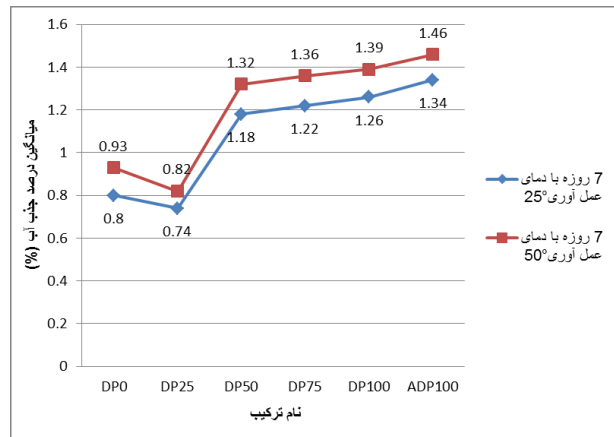
از نتایج حاصل از آزمایش تعیین درصد جذب آب در حین عمل آوری مشاهده می‌شود که میانگین جذب آب از زمان باز کردن قالب تا موقع انجام آزمایشات تستی و فشاری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه با افزایش مقدار پودر دیاتومیت تا ۲۵ درصد جایگزینی کاهش یافته و تا آخرین طرح جایگزینی ۱۰۰ درصد پودر دیاتومیت نمودار سیر صعودی داشته و جذب آب حین عمل آوری افزایش یافته است. همان‌طور که از نمودار شکل‌های ۱۶، ۱۷ و ۱۸ مشاهده می‌شود، افزایش دمای آب عمل آوری بتن بر روی جذب آب تأثیر 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 عمل آوری ناچیز است.

۴-۵- بررسی تأثیر استفاده از پودر دیاتومیت در کارایی بتن پودری واکنش‌زا

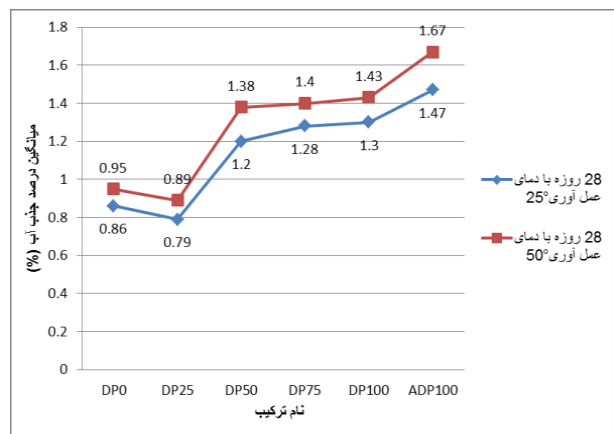
هدف از انجام آزمایش میز جریان تعیین کارایی یا روانی بتن تازه می‌باشد. به‌خاطر نوع تازه بتن پودری واکنش‌زا که روانی بالایی دارد، اندازه‌گیری اسلامپ غیرعملی می‌باشد. بنابراین، برای بتن‌های با اسلامپ بالا و ملات‌ها براساس استاندارد ASTM C230/C230 M از آزمون میز جریان برای اندازه‌گیری ویژگی‌های روانی بتن 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 پخش شدگی کاسته می‌شود طوری که بتن حاوی ۱۰۰٪ پودر دیاتومیت حالت خمیری

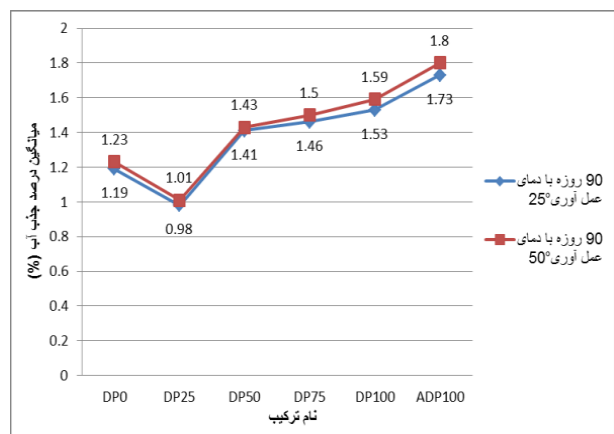
محققان وزن مخصوصی در حدود ۱/۱ دارد و آب مولکولی داخل کریستال‌های ناشی از واکنش‌های هیدراسیون وزن مخصوصی در حدود ۱/۲ دارا می‌باشد.



شکل ۱۶- تأثیر دمای آب ۲۵ و ۵۰ درجه بر جذب آب حین عمل آوری در سن ۷ روزه



شکل ۱۷- تأثیر دمای آب ۲۵ و ۵۰ درجه بر جذب آب حین عمل آوری در سن ۲۸ روزه



شکل ۱۸- تأثیر دمای آب ۲۵ و ۵۰ درجه بر جذب آب حین عمل آوری در سن ۹۰ روزه

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 واکنش‌های 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 به تدریج کاهش می‌یابد. با وجود اینکه افزایش دمای آب عمل‌آوری بتن بر روی جذب آب ۲۸ روزه و جذب آب حین عمل‌آوری تاثیر مستقیمی داشته و باعث افزایش این مقدار می‌شود ولی این افزایش ناچیز است.

۴- مخلوط‌های حاوی صفر، ۲۵ و ۵۰ درصد پودر دیاتومیت جایگزین دوده سیلیسی دارای روانی مطلوبی می‌باشند. با افزایش درصد پودر دیاتومیت در مخلوط، افت شدیدی در روانی آزمایش میز جریان مشاهده می‌شود. زیرا مقداری از مولکول‌های آب آزاد توسط تخلخل درون ذره‌ای 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 مجدداً انجام و با قطر پخش شدگی ۲۱ سانتی‌متری به روانی مطلوب رسید.

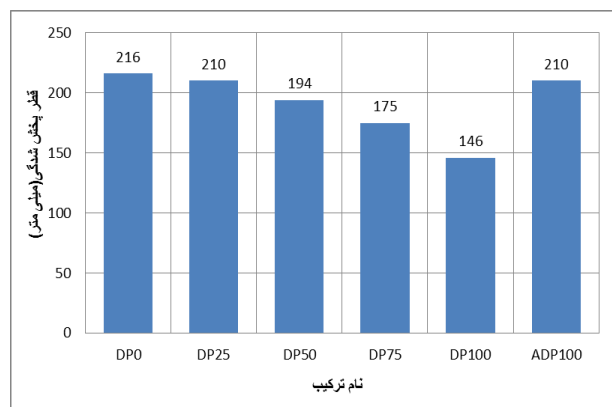
۵- نتایج آزمایش مقاومت فشاری نشان می‌دهد که در تمام مدت زمان‌های عمل‌آوری مقاومت فشاری ترکیب DP25، از تمام ترکیبات حاوی پودر دیاتومیت بیشتر می‌باشد. در این تحقیق افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقاومت فشاری مخلوط‌های حاوی ۲۵٪ پودر دیاتومیت نسبت به بتن مینا مشاهده شد. با افزایش درصد پودر دیاتومیت تا ۲۵٪، میزان مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی افزایش یافته و پس از آن مقاومت فشاری تا ترکیب طرح آخر سیر نزولی داشته است بطوری که ترکیب ADP100 دارای کم‌ترین مقاومت فشاری در بین ۶ طرح است. مقاومت فشاری نمونه‌های DP25 نسبت به نمونه‌های DP0 در دو دمای عمل‌آوری و در

سنین مختلف، حدود ۲۰ الی ۲۹ درصد افزایش داشته است.

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

۷- با افزایش زمان عمل‌آوری نمونه‌های بتنی، مقاومت فشاری تمام ترکیبات افزایش می‌یابد.

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 شکل ۱۹ 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.



شکل ۱۹- نمودار میز جریان ترکیبات بتن پودری واکنش‌زا

۵- نتیجه‌گیری

بخش مهم و قابل استفاده هر تحقیقی، بخش نتایج به دست 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. به هر حال، واکنش‌های هیدراسیون سیمان و همچنین مواد پوزولانی در دماهای بالای عمل‌آوری سرعت پیدا می‌کند.

۲- ذرات پودر دیاتومیت دارای تخلخل درون ذره‌ای می‌باشند لذا مقداری از آب را در این تخلخل ویژه حبس می‌نمایند و باعث کاهش قابل ملاحظه‌ای در روانی می‌شود. با افزایش درصد جایگزینی پودر دیاتومیت به جای دوده سیلیسی، کارایی بتن به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

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 خواص سنجی 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 Part 114.

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.

۶- 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., Tsvivilis, S., Stamatakis, M. G., (2006), “properties and hydration of blended cements 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

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 were 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 Strength.

* Corresponding Author: b.shervani@yahoo.com