

تأثیر جایگزینی دیاتومیت بر مقاومت فشاری بتن سبک سازه ای

حامد علی زاده^۱، سید حسین حسینی لواسانی^۲، ماهان سلیمیان^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گرایش سازه دانشگاه دولتی خوارزمی تهران

۲- عضو هیئت علمی دانشگاه دولتی خوارزمی تهران

۳- دانش آموخته ی کارشناسی دانشگاه دولتی خوارزمی تهران

آدرس پست الکترونیکی نویسنده رابط Hamed.alizade.eng@gmail.com

چکیده

بتن پرمصرف ترین ماده در سازه های عمرانی است. همین مصرف گسترده باعث شده است که تحقیقات بسیاری برای بهینه کردن ویژگی های آن صورت پذیرد. یکی از خصوصیات بتن که بهینه کردن آن تأثیر بسزایی در رفتار آن دارد، وزن آن است. امروزه حاصل تحقیقات مهندسی در این زمینه، باعث بوجود آمدن نوع خاصی از بتن به نام بتن سبک شده است. بتن های سبک خود در چند دسته، تقسیم بندی شده اند. بتن های سبک سازه ای علاوه بر داشتن وزن مخصوص های تعیین شده توسط آیین نامه ها، می بایست مقاومت فشاری لازم را نیز داشته باشند. در راستای کاهش وزن مخصوص و کسب مقاومت فشاری، پوزولان ها یکی از پرکارترین مواد در ساخت این نوع بتن ها هستند. دیاتومیت نوعی پوزولان است که به دلیل برخورداری از ساختار آمورفی و وزن مخصوص پایین به خوبی نیازهای بتن سبک را برطرف می کند. در این تحقیق دیاتومیت در چهار حالت ۰، ۱۰، ۱۲/۵ و ۱۵ درصد، در چهار طرح اختلاط متفاوت مورد استفاده قرار گرفت. پس از تهیه و عمل آوری، نمونه ها در سن هفت روزگی شکسته می شوند. نتایج حاکی از آن است که با افزایش درصد دیاتومیت جایگزین سیمان، مقاومت فشاری کاهش می یابد، که البته نرخ کاهش مقاومت فشاری تقریباً مقدار ثابتی است. این مقدار کاهش مقاومت منتهی، می تواند در برابر صرفه جویی اقتصادی بدست آمده حاصل از جایگزینی دیاتومیت قابل چشم پوشی باشد.

کلمات کلیدی: بتن سبک، مقاومت فشاری، پوزولان، دیاتومیت.

۱. مقدمه

بتن سبک وزن مخصوصی کمتر از بتن معمولی دارد، همچنین وزن مخصوص آن از عدد ۱۸۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب تجاوز نمی کند [۱]. هدف از تولید بتن سبک، کاهش بارهای مرده است که این خود باعث ایجاد المان های ظریف تر می شود و در نتیجه در مصرف سیمان که گرانترین جزء بتن نیز می باشد صرفه جویی می شود. تولید بتن های سبک کماکان در حال توسعه می باشند به طوری که بتن های بدون ریز دانه برای تولید بلوک هایی با وزن مخصوص ۱۲۰۰-۳۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب مورد استفاده قرار می گیرند [۲].

برای تولید این نوع بتن ها در سراسر جهان تکنیک ها و مصالح متنوعی به کار گرفته می شوند که با توجه به منابع و معادن کشور ها متفاوت می باشند، اما همه ی این مصالح در یک خصیصه مشترک هستند و آن وزن مخصوص پایین آنها می باشد. یکی از مصالحی که برای تولید این نوع بتن ها به وفور مورد استفاده قرار می گیرد و کشور عزیزمان ایران نیز منابع غنی از آن را در اختیار دارد پوزولان های طبیعی است. این مواد به دلیل برخورداری از ساختار آمورفی و همچنین دارا بودن مقادیر زیادی از سیلیس، جایگزین بسیار مناسبی برای (درصدی از وزن) سیمان هستند. دیاتومیت نیز نوعی پوزولان است که مقادیر بسیاری از آن در استان آذربایجان شرقی یافت می شود. معمولاً در بتن دیاتومیت ۱۰ الی ۲۰ درصد وزنی سیمان جایگزین آن می شود.

طی تحقیق ییلماز^۱ و همکاران [۳] نمونه های بتنی که مقادیر دیاتومیت را با ۱۵-۰ درصد جایگزین سیمان، شامل می شدند، با افزایش مقدار دیاتومیت کاهش مقاومت خمشی و فشاری را تجربه کرده اند. 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 بسیار بهتری داشته اند. تاپکو^۲ و همکاران [۴] تاثیر جایگزینی دیاتومیت را در بتن خودتراکم بررسی کردند. آنها متوجه شدند که با افزایش درصد جایگزینی دیاتومیت به جای سیمان، مقاومت کاهش یافته اما انرژی کرنشی نهایی متناظر با بیشترین تنش و همچنین ضریب هدایت حرارتی افزایش پیدا کرده اند. ادیز^۳ و همکاران [۵] نتیجه گرفتند که افزودن دیاتومیت چه در حالت خام و چه در حالت تکلیس شده باعث پایداری حجمی بتن شامل آنها خواهد شد. حسین، انور حسین، حسین و لاچمی [۶-۹] جایگزینی دیاتومیت را در بتن بر حسب درصد وزنی سیمان بررسی کردند، به طوری که با جایگزینی ۲۰٪ وزنی سیمان، حداقل مقاومت فشاری ۲۸ روزه ۶۵ مگاپاسکال، بدست آمده است.

۲. بتن سبک

بتن پرکاربردترین محصول ساخته ی دست بشر است که در صنعت ساختمان سازی مورد استفاده قرار می گیرد. این کاربرد به دلیل ویژگی هایی مانند تطبیق پذیری، دوام، در دسترس بودن و صرفه ی اقتصادی می باشد. با این همه هنوز موانعی وجود دارد که باعث می شود تا کاربرد بتن محدود شود. از جمله ی این موانع می توان به چگالی و هدایت حرارتی بالای آن اشاره کرد. همین عوامل محققان را برمی انگیزد تا در مورد بتن های سبک تر که میان هدایت حرارتی و ویژگی های مکانیکی آنها تعادل وجود دارد، تحقیق کنند [۱۰].

به سنگدانه هایی که چگالی نسبی کمتری از سنگدانه های معمولی دارند سنگدانه های سبک گفته می شود. همچنین بتن هایی که همین ویژگی را نسبت به بتن های معمولی دارا هستند بتن های سبک نامیده می شوند. بتن هایی که با استفاده از سنگدانه های سبک ساخته می شوند بر اساس ASTM بر اساس ویژگی های فیزیکی، سازه ای، سازه ای/غیر سازه ای (عایق

1- Yilmaz
2- Topcu
3- Ediz

بندی، جداکننده) ، چگالی بتن، انتقال حرارت و مقاومت فشاری به سه گروه اصلی تقسیم می شوند. این تقسیم بندی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: دسته بندی بتن های سبک بر اساس مشخصات فیزیکی آنها طبق ASTM C330 , C332 [۱۱]

نوع بتن سبک	نوع سنگدانه سبک استفاده شده در بتن	چگالی بتن سبک (kg/m ³)	مقاومت فشاری بتن سبک (MPa)	هدایت حرارتی بتن سبک (W/m * K)
سازه ای	پایه سازه ای LWA C330	۱۴۴۰ تا ۱۸۴۰	>۱۷	_____
سازه ای/غیرسازه ای	پایه سازه ای C330 یا پایه غیرسازه ای C332 یا ترکیب آنها	۷۲۰ تا ۱۴۴۰	۱۷ تا ۳,۴	C332 از ۰,۴۳ تا ۱,۰۵
غیر سازه ای	پایه غیرسازه ای LWA C332	۸۰۰ تا ۲۴۰	۳,۴ تا ۰,۷	C332 از ۰,۰۶۵ تا ۰,۲۲

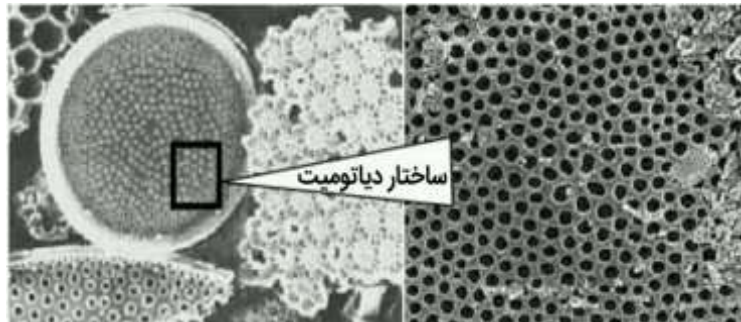
۳. پوزولان ها

تعریف پوزولان در ACI 116R-00 در قسمت اصطلاحات بتن و سیمان بیان شده است که طبق آن پوزولان یک ماده سیلیسی یا سیلیسیمی و آلومینیومی، که در خود دارای مقدار کمی چسبندگی یا بدون ارزش سیمانی است، اما در شکل ریز تقسیم شده و در حضور رطوبت و دمای معمولی واکنش شیمیایی با هیدروکسید کلسیم نشان می دهد که نتیجه ی آن تشکیل ترکیبات دارای خواص سیمانی می باشد [۱۲]. پوزولان ها به صورت طبیعی و مصنوعی هستند. سه ویژگی پوزولان ها آنها را واکنش زا و در نتیجه کارا می کند. اولین و البته مهمترین ویژگی، دارا بودن محتوای سیلیس بالا است، زیرا سیلیکا در واکنش با هیدروکسید کلسیم آزاد شده در فرآیند هیدراتاسیون سیمان، ماده ی چسباننده ی مضاعف تولید می کند. ویژگی دوم در اختیار داشتن درجه بالایی از ساختار بی شکل (آمورف) است. وقتی پوزولان ها به آرامی سرد می شوند سیلیس موجود در آنها تمایل به تشکیل یک حالت بلوری دارد، اما زمانی که سرد شدن به سرعت اتفاق می افتد آنها زمانی برای ایجاد حالت کریستالی شکل در ساختار خود ندارند و در نتیجه به حالت آمورف در می آیند. البته می توانند حالت فی ما بین را نیز داشته باشند. ویژگی سوم سطح مخصوص بسیار بالای آنها می باشد که این سطح مخصوص به آنها اجازه ی واکنش زایی بیشتر را می دهد [۱۰].

۳-۱. دیاتومیت

خاک های دیاتومیت، که به عنوان پودر فسیلی یا دیاتومیتی شناخته می شوند، عمدتاً از مواد رسوبی پوسته ی بیرونی دیاتوم ها تشکیل شده اند. این پودرهای بسیار ریز از اسکلت تک سلولی ها که مقادیر بسیار زیادی سیلیس، سطح مخصوص بسیار بالا و تخلخل فوق العاده را دارا هستند، تشکیل شده اند. دیاتومیت ها سفید، زرد، خاکستری، خاکستری ملایم، گاهی اوقات خاکستری تیره و خاکستری قهوه ای هستند. رنگ تیره و قهوه ای دیاتومیت ها به دلیل حضور ناخالصی های آلی در آنها، از جمله بقایای گیاهی است. در میکروگرافی ها (شکل ۱) مشخص است که هر اسکلت دیاتومه در دیاتومیت یک ساختار میکرو و نانوذره به وضوح مشخص، دارد [۱۳]. معمولاً پس از تکلیس کردن آن، که منظور حذف مواد آلی آن از ساختار

آنها صورت می گیرد، به عنوان یکی از اقلام تجاری وارد بازار می شوند و همان طور که ذکر شد یکی از کاربردهای بسیار مهم آنها جایگزینی به عنوان بخشی از سیمان در ساختار بتن، ملات و سایر کامپوزیت ها است.



شکل ۱: میکروساختار دیاتومیت [۱۳]

۴. مصالح مورد استفاده قرار گرفته

در این تحقیق به منظور ساخت نمونه ها سنگدانه های پرلیت، اسکوریا و لیکا مورد استفاده قرار گرفتند که مشخصات ظاهری آنها با آیین نامه ی ASTM C330 کنترل شد. هم چنین دیاتومیت که از معدن شهرستان ممقان تهیه شده است به صورت پودر (گذشته از الک #200) در آمده و فرآورده ی حرارتی شده است تا مواد زاید آن از بین بروند. سیمان مورد استفاده نیز سیمان خمسه بوده است. برای بررسی تاثیر جایگزینی پوزولان دیاتومیت که به صورت درصد وزنی سیمان در این طرح ها جایگزین سیمان شده است، چهار طرح اختلاط بتن سبک متفاوت در نظر گرفته شد که در هر کدام از آنها به ترتیب ۱۰،۰، ۱۲/۵ و ۱۵٪ دیاتومیت بر حسب وزن سیمان، جایگزین آن می شود. مشخصات مربوط به هر کدام از طرح ها در جدول های ۲ تا ۵ نشان داده شده است. برای هر کدام از طرح ها و درصد های متفاوت به کارگیری دیاتومیت، ۳ نمونه ساخته شد که مقدار میانگین را به عنوان مقاومت فشاری می پذیریم. این نمونه ها بعد از یک روز از تهیه، از قالب در آورده و سپس در حمام آب قرار داده شدند، سپس همه ی آنها در سن هفت روزگی با جک آزمایش مقاومت فشاری شکسته شدند که جدول ۶ الی ۹ مقاومت هر یک از نمونه ها را مشخص می کند. از طرف دیگر چگالی هر یک از نمونه ها در جدول های نشان داده شده است که با توجه به تقسیم بندی صورت گرفته جدول ۱ در می یابیم که بتن های سبک ساخته شده در زمره بتن های سبک سازه ای قرار دارند. شایان ذکر است که کلیه ی عملیات در آزمایشگاه تکنولوژی بتن دانشگاه دولتی خوارزمی تهران صورت گرفته است.

جدول ۲: مشخصات طرح اول

شماره طرح	A0	A1	A2	A3
مواد پودری (gr)	۴۸۵/۶	۴۸۵/۶	۴۸۵/۶	۴۸۵/۶
آب به سیمان	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷
سیمان (gr)	۴۸۵/۶	۴۳۷	۴۲۴/۹	۴۱۲/۸
دیاتومیت (gr)	۰	۴۸/۶	۶۰/۷	۷۲/۸
روان کننده (gr)	۹/۷	۹/۷	۹/۷	۹/۷
آب (gr)	۱۳۱،۱۱	۱۳۱،۱۱	۱۳۱،۱۱	۱۳۱،۱۱
(gr)#۱/۲	۱۱/۱	۱۱/۱	۱۱/۱	۱۱/۱
(gr)#۳/۸	۳۵/۷	۳۵/۷	۳۵/۷	۳۵/۷
(gr)#۴	۲۳۰/۳	۲۳۰/۳	۲۳۰/۳	۲۳۰/۳
(gr)#۸	۲۴۳/۲	۲۴۳/۲	۲۴۳/۲	۲۴۳/۲
(gr)#۱۶	۱۵۴/۲	۱۵۴/۲	۱۵۴/۲	۱۵۴/۲
(gr)#۳۰	۹۶/۴	۹۶/۴	۹۶/۴	۹۶/۴
(gr)#۵۰	۶۱/۵	۶۱/۵	۶۱/۵	۶۱/۵
(gr)#۱۰۰	۳۱/۲	۳۱/۲	۳۱/۲	۳۱/۲

جدول ۳: مشخصات طرح دوم

شماره طرح	B0	B1	B2	B3
مواد پودری (gr)	۵۷۶/۱	۵۷۶/۱	۵۷۶/۱	۵۷۶/۱
آب به سیمان	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۴
سیمان (gr)	۵۷۶/۶	۵۱۸/۵	۵۰۴/۱	۴۸۹/۷
دیاتومیت (gr)	۰	۵۷/۶۱	۷۲	۸۶/۴
روان کننده (gr)	۹/۳	۹/۳	۹/۳	۹/۳
آب (gr)	۱۳۸/۲۶	۱۳۸/۲۶	۱۳۸/۲۶	۱۳۸/۲۶
(gr)#۱/۲	۱۰/۸	۱۰/۸	۱۰/۸	۱۰/۸
(gr)#۳/۸	۳۲/۶	۳۲/۶	۳۲/۶	۳۲/۶
(gr)#۴	۲۱۰	۲۱۰	۲۱۰	۲۱۰
(gr)#۸	۲۲۱/۳	۲۲۱/۳	۲۲۱/۳	۲۲۱/۳
(gr)#۱۶	۱۴۰/۵	۱۴۰/۵	۱۴۰/۵	۱۴۰/۵
(gr)#۳۰	۸۷/۵	۸۷/۵	۸۷/۵	۸۷/۵
(gr)#۵۰	۵۶/۱	۵۶/۱	۵۶/۱	۵۶/۱
(gr)#۱۰۰	۲۸/۶	۲۸/۶	۲۸/۶	۲۸/۶

جدول ۴: مشخصات طرح سوم

شماره طرح	C0	C1	C2	C3
مواد پودری (gr)	۴۷۸/۱	۴۷۸/۱	۴۷۸/۱	۴۷۸/۱
آب به سیمان	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۴
سیمان (gr)	۴۷۸/۱	۴۳۰/۲	۴۱۸/۳۳	۴۰۶/۳۸
دیاتومیت (gr)	۰	۴۷/۸	۵۹/۷۶	۷۱/۷۱
روان کننده (gr)	۷/۸	۷/۸	۷/۸	۷/۸
آب (gr)	۱۱۴/۷۴	۱۱۴/۷۴	۱۱۴/۷۴	۱۱۴/۷۴
(gr)#۱/۲	۱۱/۹	۱۱/۹	۱۱/۹	۱۱/۹
(gr)#۳/۸	۳۸/۳	۳۸/۳	۳۸/۳	۳۸/۳
(gr)#۴	۲۴۷/۲	۲۴۷/۲	۲۴۷/۲	۲۴۷/۲
(gr)#۸	۲۶۱	۲۶۱	۲۶۱	۲۶۱
(gr)#۱۶	۱۶۵/۵	۱۶۵/۵	۱۶۵/۵	۱۶۵/۵
(gr)#۳۰	۱۰۳/۴	۱۰۳/۴	۱۰۳/۴	۱۰۳/۴
(gr)#۵۰	۶۶	۶۶	۶۶	۶۶
(gr)#۱۰۰	۳۳/۵	۳۳/۵	۳۳/۵	۳۳/۵

جدول ۵: مشخصات طرح چهارم

شماره طرح	D0	D1	D2	D3
مواد پودری (gr)	۵۴۸/۹	۵۴۸/۹	۵۴۸/۹	۵۴۸/۹
آب به سیمان	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷
سیمان (gr)	۵۴۸/۹	۴۹۴	۴۸۰/۳	۴۶۶/۵۶
دیاتومیت (gr)	۰	۵۴/۹	۶۸/۶	۸۲/۳۳
روان کننده (gr)	۸/۲	۸/۲	۸/۲	۸/۲
آب (gr)	۱۴۸/۲	۱۴۸/۲	۱۴۸/۲	۱۴۸/۲
(gr)#۱/۲	۱۱/۴	۱۱/۴	۱۱/۴	۱۱/۴
(gr)#۳/۸	۳۶/۶	۳۶/۶	۳۶/۶	۳۶/۶
(gr)#۴	۲۳۶/۲	۲۳۶/۲	۲۳۶/۲	۲۳۶/۲
(gr)#۸	۲۴۹/۴	۲۴۹/۴	۲۴۹/۴	۲۴۹/۴
(gr)#۱۶	۱۵۸/۱	۱۵۸/۱	۱۵۸/۱	۱۵۸/۱
(gr)#۳۰	۹۸/۸	۹۸/۸	۹۸/۸	۹۸/۸
(gr)#۵۰	۶۳/۱	۶۳/۱	۶۳/۱	۶۳/۱
(gr)#۱۰۰	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲

جدول ۶: اطلاعات مربوط به مقاومت فشاری و چگالی نمونه های طرح اول

چگالی (kg/m ³)	مقاومت میانگین (MPa)	مقاومت نمونه سوم (MPa)	مقاومت نمونه دوم (MPa)	مقاومت نمونه اول (MPa)	ردیف
۱۴۸۰	۲۴/۱	۲۳/۲	۲۴/۹	۲۴/۲	A0
۱۴۸۰	۲۳/۵۶	۲۳/۷	۲۴/۲	۲۲/۸	A1
۱۴۸۰	۲۲/۹۳	۲۳/۴	۲۲/۹	۲۲/۵	A2
۱۴۸۰	۲۱/۹۶	۲۱/۷	۲۲/۲	۲۲	A3

جدول ۷: اطلاعات مربوط به مقاومت فشاری و چگالی نمونه های طرح دوم

چگالی (kg/m ³)	مقاومت میانگین (MPa)	مقاومت نمونه سوم (MPa)	مقاومت نمونه دوم (MPa)	مقاومت نمونه اول (MPa)	ردیف
۱۵۰۰	۳۳/۶	۳۴	۳۳/۶	۳۳/۲	B0
۱۵۰۰	۳۲/۸	۳۲/۵	۳۳/۱	۳۲/۸	B1
۱۵۰۰	۳۲/۰۶	۳۱/۸	۳۲/۴	۳۲	B2
۱۵۰۰	۳۱/۱۶	۳۱/۴	۳۱	۳۱/۱	B3

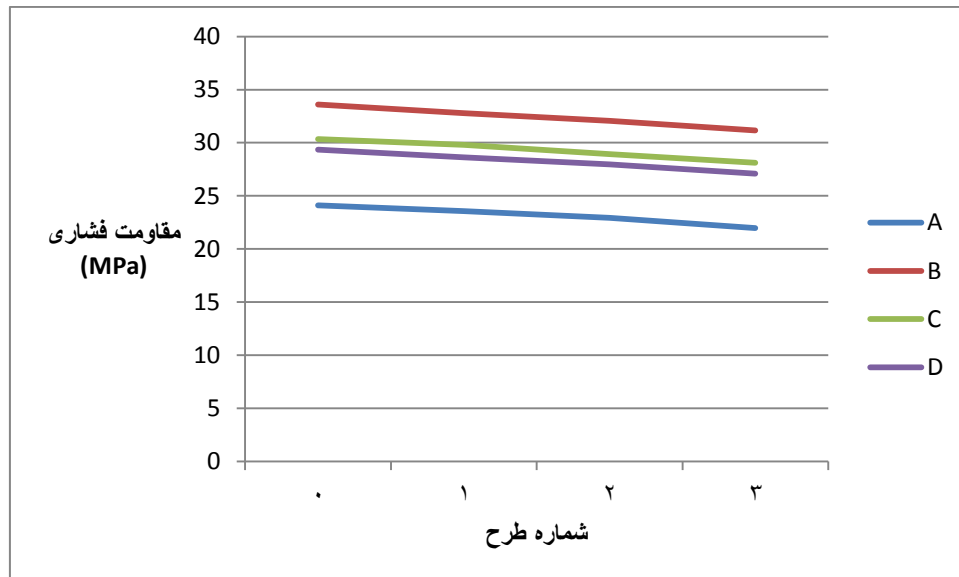
جدول ۸: اطلاعات مربوط به مقاومت فشاری و چگالی نمونه های طرح سوم

چگالی (kg/m ³)	مقاومت میانگین (MPa)	مقاومت نمونه سوم (MPa)	مقاومت نمونه دوم (MPa)	مقاومت نمونه اول (MPa)	ردیف
۱۵۲۰	۳۰/۳۶	۳۰/۷	۳۰/۵	۲۹/۹	C0
۱۵۲۰	۲۹/۸	۲۹/۸	۲۹/۵	۳۰/۱	C1
۱۵۲۰	۲۸/۹۳	۲۸/۶	۲۹/۲	۲۹	C2
۱۵۲۰	۲۸/۱۳	۲۷/۷	۲۸/۲	۲۸/۵	C3

جدول ۹: اطلاعات مربوط به مقاومت فشاری و چگالی نمونه های طرح چهارم

چگالی (kg/m ³)	مقاومت میانگین (MPa)	مقاومت نمونه سوم (MPa)	مقاومت نمونه دوم (MPa)	مقاومت نمونه اول (MPa)	ردیف
۱۵۸۰	۲۹/۳۶	۲۹/۳	۲۹/۸	۲۹	D0
۱۵۸۰	۲۸/۶۳	۲۸/۳	۲۹	۲۸/۶	D1
۱۵۸۰	۲۷/۹۶	۲۸/۲	۲۷/۷	۲۸	D2
۱۵۸۰	۲۷/۱	۲۷/۷	۲۷/۱	۲۶/۵	D3

برای رسیدن به درکی ملموس تر از روند تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌ها اعداد نشان داده شده در جداول ۹-۶ در شکل ۲ نشان داده شده‌اند.



شکل ۲: منحنی‌های تغییرات مقاومت فشاری به ازای جایگزینی درصدی دیاتومیت

۵. نتیجه گیری

در این تحقیق پوزولان دیاتومیت عبوری از الک #200، بعد از فرآوری حرارتی، با درصدهای ۱۰، ۱۲/۵ و ۱۵ در چهار طرح اختلاط متفاوت بتن سبک، جایگزین سیمان شد. جمعا ۴۸ نمونه ای استوانه ای استاندارد ساخته و سپس در محیط آزمایشگاه و در حمام آب عمل آوری شدند. سپس همه ی نمونه ها در سن هفت روزگی توسط جک آزمایش مقاومت فشاری شکسته و نتایج زیر حاصل شدند:

(۱) با افزایش مقدار درصد دیاتومیت مقاومت فشاری نمونه ها کاهش پیدا کرده است که علت امر را می توان در قدرت چسبانندگی کمتر دیاتومیت، نسبت به سیمان دانست.

(۲) نرخ کاهش مقاومت فشاری، در درصدهای مختلف جایگزینی دیاتومیت تقریبا عددی ثابت است که این موضوع از طریق منحنی شکل ۲ نیز قابل درک است.

(۳) با توجه به جداول ۹-۶ حداکثر تغییرات مقاومت فشاری به ازای مقدار ۱۵ درصد اتفاق می افتد، و بازه ی این تغییرات ۷ الی ۹ درصد است.

(۴) اگرچه جایگزینی دیاتومیت باعث شده تا مقاومت فشاری (۹-۶ درصد) کاهش یابد، اما توانسته است در مصرف ۱۰ الی ۱۵ سیمان صرفه جویی کند که این امر از جنبه ی اقتصادی بسیار حائز اهمیت است.

۶. مراجع

- [1] ASTM C330M, Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete, February 2010.
- [2] Chandra, S. B. L., (2002). "Lightweight aggregate concrete: Science, technology and application". William Andrew Publishing, Norwich, New York, USA.
- [3] Degirmenci, N. and 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.
- [4] 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.
- [5] Yilmaz, B. and Ediz, N. (2008). "The use of raw and calcined diatomite in cement production." Cement and Concrete Composites, Vol. 30, No. 3, pp. 202-211.
- [6] Hossain, K. M. A. (2003). "Blended cement using volcanic ash and pumice." Cement and Concrete Research, Vol. 33, No. 10, pp. 1601-1605.
- [7] Anwar Hossain, K. M. (2005). "Chloride induced corrosion of reinforcement in volcanic ash and pumice based blended concrete." Cement and Concrete Composites, Vol. 27, No. 3, pp. 381-390.
- [8] Hossain, K. M. A. and Lachemi, M. (2006). "Performance of volcanic ash and pumice based blended cement concrete in mixed sulfate environment." Cement and Concrete Research, Vol. 36, No. 6, pp. 1123-1133.
- [9] Hossain, K. M. A. and Lachemi, M. (2007). "Strength, durability and micro-structural aspects of high performance volcanic ash concrete." Cement and Concrete Research, Vol. 37, No. 5, pp. 759-766.
- [10] Glas, D. J., Yu, Q. L., Spiesz, P. R., & Brouwers, H. J. H. (2015). Structural lightweight aggregates concrete. In H-B. Fischer (Ed.), Weimar, Bundesrepublik Deutschland (Vol. 2, pp. 1375-1382). Weimar: F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde.
- [11] ASTM C332, Standard Specification for Lightweight Aggregates for Insulating Concrete, February 2000.
- [12] ACI 116R-00, 2000, Cement and Concrete Terminology.
- [13] S. É. Ivanov1 and A. V. Belyakov, 2008, DIATOMITE AND ITS APPLICATIONS, Glass and Ceramics, Vol. 65, Nos. 1 – 2.