

یادداشت تحقیقاتی

بررسی تأثیر استفاده از پودر صدف دریایی و کوهی بر مقاومت حرارتی و سایدگی بتن

حمید رضا بهادری^۱، امیر احمد هدایت^{۲*}، علی کاربخش^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سیرجان، سیرجان، ایران

۲- دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرمان، کرمان، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سیرجان، سیرجان، ایران

* amirahmad1356@yahoo.com

تاریخ دریافت ۹۹/۱۲/۱۱

تاریخ پذیرش ۱۴۰۰/۰۴/۱۲

چکیده

از گذشته‌های دور، بتن را دارای خواص ضد حریق می‌دانستند. به همین سبب بیشترین نگرانی از سازه‌های بتنی در زمان آتش سوزی مربوط به آرماتورها و جاری نشدن آنها بوده است. اما با توسعه تکنولوژی بتن، نگاه‌ها به بهبود خواص مکانیکی بتن برای افزایش مقاومت آن در برابر حریق نیز معطوف شد. کاربرد پوزولان‌ها و افزودنی‌ها در بتن برای دستیابی به بتن‌های با مقاومت بالا و با دوام، چند سال است که در صنعت بتن جا باز نموده است. در این پژوهش نقش پودر صدف دریایی و کوهی و تأثیر آن بر خواص مکانیکی و پایایی بتن و رسیدن به درصد بهینه استفاده از پودر صدف برای کسب مقاومت بالا در برابر آتش سوزی و دوام مناسب مورد بررسی قرار گرفته است. به همین منظور در این پژوهش تست‌های آزمایشگاهی که شامل بررسی اسلامپ، درصد جذب آب و آزمایش مقاومت فشاری نمونه تحت حرارت روی نمونه‌هایی با ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد وزنی پودر صدف جایگزین سیمان در شرایط سنی ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه صورت پذیرفته است. با توجه به نتایج بدست آمده به نظر می‌رسد که بدون توجه به نوع پودر صدف، استفاده از ۵٪ پودر صدف می‌تواند منجر به حصول مقاومت فشاری بالاتری در برابر حرارت شود و همچنین نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که درصد بهینه استفاده از پودر صدف دریایی و کوهی به جای سیمان پرتلند می‌تواند در نهایت منجر به حصول یک بتن مناسب از نظر احترام به محیط زیست شود.

واژگان کلیدی: مقاومت حرارتی، پودر صدف دریایی و کوهی، درصد جذب آب، وزن مخصوص بتن، سایدگی بتن.

۱- مقدمه

بتن دارای دوام خوبی در حرارت بالا و آتش سوزی می باشد و می تواند محافظ مناسبی برای میلگردهای تسلیح کننده بتن باشد. زمانی که بتن در معرض دمای زیاد قرار می گیرد، ویژگی هایی مانند قابلیت باربری و دوام آن به علت فرآیندهای ترمومکانیک و ترموهیدرولیک دچار افت می شوند و منجر به ترک خوردگی، افت مقاومت فشاری و قلوه کن شدن می شود. وقتی که درجه حرارت بتن زیاد می شود، این ماده دچار تغییراتی در ترکیبات شیمیایی و ساختار فیزیکی می شود. این تغییرات در وهله اول در خمیر سیمان به وقوع می پیوندد و از تجزیه هیدروکسید کلسیم در دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد شروع و تا نابودی کامل در دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد ادامه پیدا می کند [1, 2]. سنگدانه ها نیز بر حسب نوع آنها (کوارتز و یا کربناتی) رفتار متفاوت دارند. علت عمده ایجاد ضعف های ذکر شده به ویژه قلوه کن شدن بتن این است که قلوه کن شدن به علت انرژی کرنشی ذخیره شده در نمونه به علت عدم سازگاری بین خمیر سیمان و سنگدانه ها است. زمانی که نمونه تحت حرارت قرار می گیرد، در مراحل اولیه سنگدانه ها منبسط می شوند، در حالی که خمیر سیمان به علت از دست دادن آب منقبض می شود و باعث به وجود آمدن تنش حاصل از جمع شدگی ناشی از خشک شدن می شود [3-6]. مطابق پژوهش هایی که Gabriel Alexander Houry در کالج لندن انجام داده است، کاهش مقاومت فشاری بتن تا دمای حدود ۸۰ درجه سانتیگراد، پس از سرد شدن قابل بازگشت است. بر این اساس، نرخ کاهش مقاومت گرمایی بتنی که تا دمای ۲۰۰-۳۰۰ درجه سانتیگراد گرم می شود، بیشتر از نرخ کاهش مقاومت گرمایی بتن در آغاز است. بیشتر بتن ها، بیشترین کاهش مقاومت را در دمای ۳۰۰ درجه سانتیگراد تجربه می کنند، البته این موضوع به نوع سنگدانه ها و خمیر سیمان و طرح مخلوط نیز بستگی دارد [7].

از میان یکصد عنصر که در پوسته زمین یافت می شود تنها چند عنصر قادرند ترکیبات نسوز پایداری ایجاد کنند. این عناصر عبارتند از: آلومینیم، کریپتون، کلسیم، سیلیسیم و زیرکونیوم.

این عناصر اکسید مفیدی مانند آلومینیم اکسید، زیرکونیوم اکسید، سیلیسیم اکسید و کلسیم کربنات را به وجود می آورند که مواد ذکر شده در مورد ترکیبات ضد آتش است. کربنات کلسیم در میان تمامی انواع مواد معدنی مانند سیلیسیم، منیزیم و آلومینیوم به عنوان بهترین و ارزان ترین ماده پرکننده شناخته می شود. استفاده از کربنات کلسیم به عنوان فیلر در تولید محصولات مختلف، علاوه بر اینکه هزینه های تولید را به شکل چشمگیری کاهش می دهد، مزایای قابل توجهی نیز ایجاد می نماید [8]. نتایج مطالعه روی جایگزینی ۱٪ نانوکربنات کلسیم به جای سیمان، کاهش اسلامپ و بهبود نسبی مقاومت فشاری اولیه و نهایی را نسبت به نمونه شاهد نشان می دهد [9]. در پژوهش دیگری (۲۰۱۲)، در اثر افزودن ۵-۲۰ درصد نانوکربنات کلسیم به بتن بر مقاومت در شرایط عمل آوری سرد، مقاومت فشاری اولیه بهبود یافته است. اما به دلیل اثری که روان کننده در توزیع بهتر ذرات دارد، اسلامپ بتن با افزایش درصد جایگزینی، افزایش داشته است [10]. همچنین نتایج مطالعه ی دیگری در سال ۲۰۱۱ نشان داده است که افزودن ۱٪ و ۲٪ نانو کربنات کلسیم به بتن با رده مقاومتی ۳۰C، افزایش ۵ تا ۲۰ درصدی مقاومت فشاری اولیه را در پی داشته است، در حالی که در مقاومت فشاری ۲۸ روزه بی تأثیر بوده است. در این گزارش، تأثیرگذاری مواد مذکور در مقاومت در سنین اولیه و نهایی بتن ۵۰C خمشی گزارش شده است. همچنین نمونه های ساخته شده برای آزمایش مقاومت خمشی رفتار مشابه داشته اند [11]. اثر افزودن نانوکربنات کلسیم در ترکیب با میکروذرات این مواد در مقاومت فشاری بتن در در شرایط دمایی ۱۰ و ۲۰ درجه سانتیگراد موضوع مطالعه آزمایشگاهی دیگری بوده است که در آن بهبود مقاومت فشاری بتن گزارش شده است [12]. احمد اردکانی و همکاران پژوهشی را روی اثر میکروسیلیس بر مقاومت حرارتی بتن انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که نکته مشترکی که در تمام طرح های ساخته شده مشهود است، کاهش مقاومت فشاری بعد از قرار گرفتن در معرض حرارت است. بهینه ترین درصد میکروسیلیس برای حصول بتن با بیشترین مقاومت در دمای ۲۱ درجه سانتیگراد (دمای اتاق) با توجه به درونیابی ۸/۷ درصد است. درحالی که با افزایش

۲-۲- انتخاب سنگدانه‌ها

بطور متوسط سه چهارم حجم مخلوط بتن را سنگدانه‌ها تشکیل می‌دهند. این مصالح نه تنها بر مقاومت بتن موثرند بلکه دوام و پایداری بتن نیز تا حد زیادی تحت تاثیر این مواد قرار دارد. از طرف دیگر افزایش بهینه مصرف سنگدانه‌ها در بتن از نقطه نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه خواهد بود. آیین‌نامه BS ۸۱۲:۱۹۷۵ [14] سنگدانه‌ها را از نظر شکل به دسته‌های گرد گوشه، نامنظم، پولکی، گوشه دار و طویل تقسیم می‌نمایند. سنگدانه‌های طویل و پولکی علاوه بر کاهش کارایی با صفحه‌ای قرار گرفتن در مخلوط بتن موجب حبس آب و هوا در زیر خود و در نتیجه تضعیف بتن می‌گردند، و معمولاً وجود سنگدانه‌های طویل و پولکی بیش از ۱۰ تا ۱۵ درصد وزنی نامطلوب تشخیص داده می‌شود. بطور منطقی مقاومت لازم برای سنگدانه‌ها باید از مقاومت معمولی بتن نیز بالاتر باشد، زیرا تنش‌های وارد بر سطح تماس با یک دانه ممکن است بسیار بالاتر از متوسط تنش فشاری باشد. در این پژوهش از مصالح سنگی شکسته استفاده شد تا به دلیل وجود سطوح زبر و خشن در این دانه‌ها شاهد چسبندگی و نفوذ بیشتر سیمان در سنگدانه‌ها و خلل و فرج آن که در نتیجه به یکپارچگی مخلوط بتن خواهد انجامید، باشیم. اگر چه افزایش اندازه دانه‌ها مقدار آب لازم برای تر نمودن سطح آنرا کاهش می‌دهد، و در نهایت با یک نسبت پایین آب به سیمان می‌توان کارایی و مقاومت بالاتری از بتن گرفت، اما عبور از سقف مجاز حداکثر اندازه قطر دانه‌ها موجب کاهش چسبندگی و ایجاد گسستگی در بتن خواهد شد. ماسه مصرفی از منطقه شوشتر از نوع ماسه شسته طبیعی رودخانه، و شن‌های مصرفی از منطقه رامهرمز از نوع شکسته نامنظم در دو سایز ۰/۲۳ و ۰/۷۴ اینچ، که در آن لزوم مربوط به استاندارد ASTM C33 [15] رعایت شده است می‌باشد. نمودار دانه‌بندی در شکل‌های (۱، ۲ و ۳) و سایر مشخصات مصالح مصرفی در جدول (۲) ارائه شده است.

دما این درصد کاهش یافته و در نهایت در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد به ۵/۸ درصد رسیده است [13].

از آنجا که در پژوهش‌های گذشته فقط روی اثر نانوکربنات کلسیم بر خواص مقاومتی بتن کار شده است و کربنات کلسیم استفاده شده از نوع شیمیایی بوده است، در این پژوهش سعی بر آن است تا اثر کربنات کلسیم طبیعی حاصل از پودر کردن صدف دریایی و کوهی را بر مقاومت فشاری و دوام بتن در برابر حرارت بررسی شود.

مصالح مصرفی

۲-۱- سیمان پرتلند

در این آزمایش‌ها از سیمان تیپ ۲ کارخانه سیمان تهران استفاده شده است، سیمان تیپ ۲ مقاوم در برابر سولفات است و چگالی مورد استفاده برای این سیمان ۳۱۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب است. سایر مشخصات این سیمان در جدول (۱) خلاصه شده است.

جدول ۱. ترکیبات شیمیایی سیمان تیپ ۲

Chemical compounds	Percentage
CaO	62.44
SiO ₂	20.06
Al ₂ O ₃	5.85
MgO	1.93
Fe ₂ O ₃	3.05
K ₂ O	0.97
MnO ₂	0.20
P ₂ O ₅	0.17
SO ₃	2.71
TiO ₂	0.28
LOI	1.09

Table 1. Chemical compounds of cement type-2

جدول ۲. ویژگی‌های سنگدانه‌های مصرفی

Aggregate	Specific gravity			Absorption (%)	Fineness Modulus
	Bulk dry	SSD	Apparent		
Coarse gravel	2.47	2.55	2.70	3.48	-
Fine gravel	2.13	2.28	2.32	5.69	-
Sand	2.59	2.63	2.45	1.4	2.55

Table 2. Properties of used aggregates.

۲-۳- پودر صدف

صدف معدنی یکی از پرکاربردترین مواد شناخته شده برای بشر است که مستقیماً از معدن حاصل شده و در صنایع به کار برده می‌شود. صدف معدنی جامد، ماده سفید رنگی با فرمول شیمیایی CaCO_3 است. این ماده بیش از ۴٪ از پوسته زمین را شامل و در سرتاسر دنیا پیدا می‌شود. مهمترین کانی‌های آن، آراگونیت، سنگ آهک، ماربل و تراورتن است. در این پژوهش از صدف معدنی و دریایی که در استان گلستان، شهرستان گنبدکاووس، منطقه آق‌بند، میلیون‌ها سال پیش بر اثر پسروی آب‌های دریای خزر، صدف‌ها و مرجان‌های دریایی روی هم انباشته شده و اکنون پس از گذشت سالیان متمادی به صورت فسیل در آمده‌اند استفاده شده است. وزن مخصوص پودر صدف دریایی و پودر صدف کوهی به ترتیب ۲/۲۸ و ۲/۱۵ است. شکل (۴) صدف معدنی یا کربنات کلسیم (CaCO_3) که به صورت کوهی و فسیلی موجود است را در چهار حالت گرانولی، شکری، پودری و مش را نشان می‌دهد.

صدف دریایی و کوهی را پس از آسیاب و پودر نمودن آن به شکلی که از الک نمبر ۲۰۰ عبور کرده (یعنی دارای قطری کوچکتر از ۰/۰۷۶ میلی‌متر باشد) را به مدت ۲ ساعت در کوره تا دمای ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده تا کربنات کلسیم CaCO_3 به CaO آهک زنده تبدیل شود. آنالیز

شکل ۱. منحنی دانه بندی شن بادامی

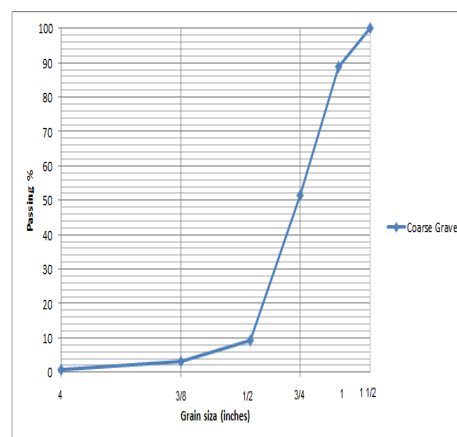


Fig. 1. Coarse gravel sieve analysis

شکل ۲. منحنی دانه بندی شن نخودی

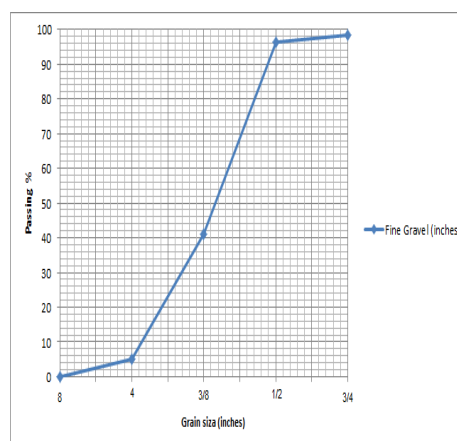


Fig. 2. Fine Gravel sieve analysis

شکل ۳. منحنی دانه بندی ماسه

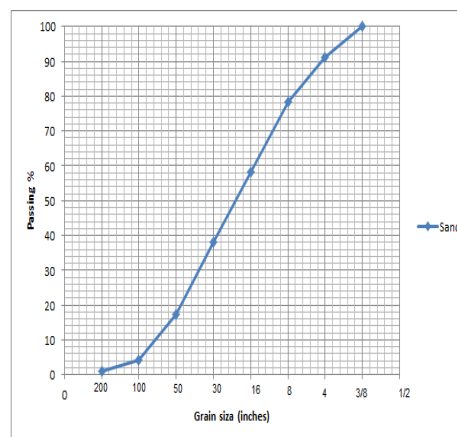


Fig. 3. Sand sieve analysis

۳- برنامه آزمایشگاهی

۳-۱- مشخصات طرح‌های اختلاط

طرح اختلاط استفاده شده در ساخت بتن کنترل در این پژوهش طبق استاندارد ACI-211 [16] است. در این پژوهش از ۳ طرح اختلاط استفاده شده است که یکی از آنها به عنوان بتن شاهد و ۲ طرح دیگر با ثابت نگه داشتن نسبت آب به مواد سیمانی برابر ۰/۵ و تغییر در مقدار سیمان که در صدهایی از پودر صدف دریایی و کوهی با مقادیر ۲/۵، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد جایگزین سیمان شده نمونه‌ها ساخته شده است و به دلیل کاهش مقاومت فشاری زیاد بعد از ۲۰ درصد از مقادیر جایگزینی بیشتر استفاده نشده است. مشخصات کلی این طرح‌ها در جدول (۴) ارائه شده است.

۳-۲- جزئیات نمونه‌ها

در این پژوهش تست‌های آزمایشگاهی مختلفی روی بتن معمولی به عنوان بتن شاهد و بتن با درصدهای ۲/۵، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد پودر صدف دریایی و کوهی جایگزین سیمان مصرفی در شرایط سنی ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه و به صورت جداگانه روی نمونه مکعبی ۱۵×۱۵×۱۵ سانتی‌متری صورت پذیرفته است. بعد از قالب‌گیری، پارچه خیس برای جلوگیری از تبخیر آب روی نمونه‌ها قرار داده شد و پس از ۲۴ ساعت و در شرایط مرطوب در محیط آزمایشگاه از قالب خارج شدند و به صورت مستغرق در آب قرار داده شدند. پس از عمل آوری، آزمایش مورد نظر روی نمونه‌ها طبق استاندارد مربوطه انجام پذیرفت.

۴- نتایج آزمایش‌ها و تفسیر آنها

۴-۱- روانی

برای هر نوبت بتن‌گیری پس از بهم آمیختن کامل و یکنواخت مصالح بتن، آزمایش اسلامپ انجام شد. نتایج آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش طبق استاندارد ASTM143

عنصری آن طبق آزمایش XRF و مقایسه آن با سیمان در جدول (۳) ارائه شده است.

شکل ۴. پودر صدف میکرونیزه شده



Fig. 4. Micronized shell powder

جدول ۳. مقایسه ترکیبات موجود در پودر صدف کوهی و دریایی و سیمان تیپ ۲

Chemical compounds	Seashell powder	Lumashell powder	Cement Type 2
CaO	55.18	54.10	62.24
CaCo3	35.7	35.8	3.27
SiO2	3.00	1.18	20.06
Al2O3	0.53	0.42	4.46
MgO	0.62	0.83	2.52
Fe2O3	0.34	0.31	3.73
K2O	0.27	0.20	0.41
MnO2	0.21	0.22	0.20
P2O5	0.34	0.74	0.13
SO3	1.26	0.23	1.61
TiO2	0.23	0.04	0.28
LOI	2.32	2.93	1.09

Table 3. Comparison between cement type 2 and seashell and shellfish powder compounds

که پودر صدف دریایی در مقایسه با پودر صدف کوهی باعث کاهش بیشتری در مقدار اسلامپ بتن شد. اگرچه در هر دو مورد بعد از ۱۵٪، مقدار کاهش اسلامپ تقریباً ثابت شد. به طور متوسط استفاده از پودر صدف با درصدهای ۵٪ و ۱۵٪ به ترتیب باعث کاهش ۱۳/۵٪ و ۵۱/۴٪ در مقدار اسلامپ شد.

۲-۴- آزمایش جذب آب

به منظور بررسی تأثیر پودر صدف دریایی و کوهی بر میزان نفوذپذیری و جذب آب نمونه‌های ساخته شده، آزمایش جذب آب مطابق دستورالعمل ASTM C642 [18] و در سن ۲۸ روزگی نمونه‌ها انجام شد. اهمیت این آزمایش به آن لحاظ است. که نتایج آن می‌تواند معرف میزان تخلخل و حجم و گستردگی حفرات مویینه موجود در بتن باشد. با توجه به اینکه جذب آب بتن به عنوان یکی از ویژگی‌های ریز ساختار آن از لحاظ میزان خلل و فرج و پیوستگی آنها با هم هست، نتایج حاصل از انجام این آزمایش، برای اندازه‌گیری چگالی، درصد جذب آب و درصد حفرات موجود در بتن سخت شده قابل استفاده است. در جداول (۵ و ۶) مقادیر جذب آب در حضور درصدهای مختلف پودر صدف دریایی و کوهی ارائه شده‌اند.

[17] نشان از تغییرات روانی و کارایی بتن‌های حاوی درصدهای مختلف پودر صدف نسبت به بتن شاهد داشت. نتایج این آزمایش در شکل (۵) ارائه شده است.

شکل ۵. مقادیر اسلامپ در مقابل درصد پودر صدف

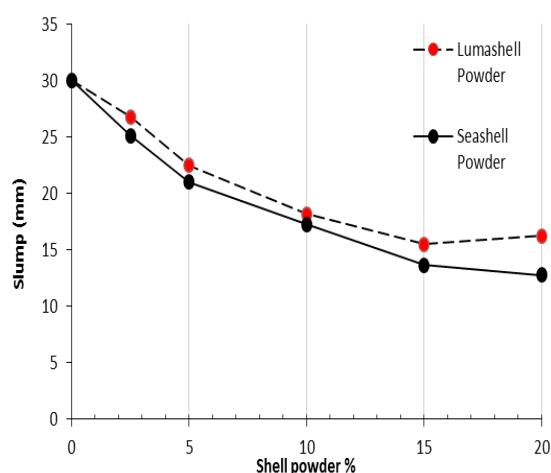


Fig. 5. Slump values versus Seashell and Lumashell powder percent

همانطور که مشاهده می‌شود افزودن پودر صدف دریایی و کوهی باعث افت اسلامپ در بتن می‌شود. علت این امر افزایش چسبندگی بین سیمان و سنگدانه‌ها است. پودر صدف به دلیل ریزی زیاد و خاصیت پوزولانی، چسبندگی را افزایش و اسلامپ را کاهش می‌دهد که این امر باعث کاهش کارپذیری بتن می‌شود. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد

جدول ۴. مشخصات طرح‌های اختلاط

Design code	Cement (kg/m ³)	Water proportion to cement materials	Sea/Luma shell Powder (%)	cement (kg/m ³)	Sea/Luma shell Powder (kg/m ³)	Gravel SSD (kg/m ³)	Sand SSD (kg/m ³)	Water (kg/m ³)
LS0	350	0.5	0	350.0	0.0	1093	905	70.92
L2.5	350	0.5	2.5	341.3	8.8	1093	590	70.92
LS5	350	0.5	5	332.5	17.5	1093	590	70.92
LS10	350	0.5	10	315.0	35.0	1093	590	70.92
LS15	350	0.5	15	297.5	52.5	1093	590	70.92
LS20	350	0.5	20	280.0	70.0	1093	590	70.92

Table 4. Mixture designs properties

جدول ۵. مقادیر جذب آب پودر صدف دریایی

ID number	Sample weight (gr)		Water absorption percent
	Dry	Saturation	
LS0	7757	7789	0.410
LS2.5	7630	7652	0.280
LS5	7515	7533	0.230
LS10	7330	7338	0.109
LS15	7555	7563	0.105
LS20	7885	7890	0.080

Table 5. Water absorption values of Seashell powder

جدول ۶. مقادیر جذب آب پودر صدف کوهی

ID number	Sample weight (gr)		Water absorption percent
	Dry	Saturation	
LS0	7757	7789	0.410
LS2.5	7831	7861	0.380
LS5	7618	7631	0.170
LS10	7533	7542	0.110
LS15	7724	7799	0.064
LS20	7725	7727	0.050

Table 6. Water absorption values of Lumashell powder

همان‌گونه که نتایج ارائه شده در جدول نشان می‌دهد مقدار جذب آب به ترتیب با افزایش درصد پودر صدف کاهش یافته است که می‌تواند به دلیل ریزی پودر صدف باشد که فضاهای خالی بتن را می‌پوشاند. همچنین نتایج ارائه شده در این جداول نشان می‌دهند که مقدار کاهش جذب آب در هنگام استفاده از پودر صدف بیش از ۱۰٪ به طور چشمگیری کاهش می‌یابد به شکلی که مقادیر جذب آب در درصدهای ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد به هم نزدیک هستند که این

جدول ۷. مشخصات فیزیکی نمونه حاوی پودر صدف دریایی قبل از قرار گرفتن در کوره

Initial and final weight difference	Special weight (gr/Cm ³)	Final weight (gr)	Initial weight (gr)	Volume (cm ³)	Area (cm ²)	Dimension (cm)	ID number
12	2.29	7757	7769	3375	225	15X15X15	LS0
26	2.38	7517	7543	3150	225	14X15X15	LS2.5
104	2.28	7330	7434	3212.47	214.16	14.5X14.77X15	LS5
100	2.18	7080	7180	3246.75	225	15X15X14.43	LS10
78	2.27	7384	7462	3252.3	219.75	14.65X15X14.8	LS15
18	2.36	7495	7513	3175.5	211.7	15X14.6X14.5	LS20

Table 7. Physical characteristics of the Seashell powder before being placed in the oven

امر می‌تواند به علت متخلخل نشدن بتن در این درصدها باشد. جذب آب بالای سنگ دانه در دوره ساخت بتن و پس از آن از عوامل مضر در بتن است. پژوهش‌های فراوانی برای پیدا کردن راه کاری در مورد کاهش جذب آب بتن و افزایش دوام بتن در محیط‌های مخرب انجام شده است که به نظر می‌رسد استفاده از پودر صدف می‌تواند راهکار مناسب و کم هزینه‌ای در این بین باشد.

۳-۴- آزمایش مقاومت فشاری نمونه تحت حرارت

قرارگیری بتن در حرارت زیاد یکی از شدیدترین شرایطی است که ممکن است بتن در معرض آن قرار گیرد. زمانی که بتن در معرض دمای زیاد قرار می‌گیرد، ویژگی‌هایی مانند قابلیت باربری و دوام آن به علت فرآیندهای مکانیکی و هیدرولیکی دچار افت می‌شوند و منجر به ترک‌خوردگی، افت مقاومت فشاری و قلوه‌کن شدن می‌شود. برای انجام آزمایش‌ها تحت اثر حرارت، ابتدا نمونه‌ها به مدت ۲۷ روز در آب قرار داده شدند و سپس از آب خارج شده و در هوا نگه داری شدند و پس از خشک شدن سطح نمونه‌ها در کوره قرار داده شدند. نمونه‌های بتنی پس از توزین به مدت ۲ ساعت در دمای ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ درجه قرار گرفته و سپس به آرامی در داخل کوره سرد شدند. علت این کار جلوگیری از به وجود آمدن شوک حرارتی در بتن پس از حرارت دیدن است. مشخصات فیزیکی نمونه‌های حاوی پودر صدف دریایی و کوهی قبل از قرار گرفتن در کوره در جداول (۷ و ۸) و همچنین مقایسه نمونه‌ها در داخل و خارج از کوره در شکل‌های (۶ و ۷) آورده شده است.

جدول ۸ مشخصات فیزیکی نمونه حاوی پودر صدف کوهی قبل از قرار گرفتن در کوره

Initial and final weight difference	Special weight (gr/Cm3)	Final weight (gr)	Initial weight (gr)	Volume (cm3)	Area (cm2)	Dimension (cm)	D number
12	2.29	7757	7769	3375	225	15x15x15	LS0
26	2.38	7515	7543	3150	225	14x15x15	LS2.5
16	2.25	7517	7533	3336	222.45	15x14.83x15	LS5
208	2.11	7130	7338	3375	225	15x15x15	LS10
83	2.22	7488	7571	3363	224.25	14.95x15x15	LS15
14	2.31	7619	7633	3285	219	15x14.6x15	LS20

Table 8. Physical characteristics of the Lumashell powder before being placed in the oven

شکل ۷. مقایسه نمونه تحت حرارت و نمونه در دمای محیط



Fig. 7. Comparison of samples under high temperature and samples at ambient temperature

مطابق تمام استانداردهای بین‌المللی معتبر، دمای آتش‌سوزی (که باعث افزایش حرارت می‌شود در گذشت زمان، به حدود ۱۰۰۰ سانتی‌گراد می‌رسد. برای آنکه دماهای آتش‌سوزی شبیه‌سازی شود، نمونه‌ها در یک کوره قرار داده شدند. سیکل تغییر دمای کوره به این ترتیب انتخاب شد که به ازای گذشت هر ۲ ساعت زمان، ۲۰۰ درجه سانتیگراد دمای کوره بالا رود. این روند تا دمای ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد و گذشت زمان ۴ ساعت ادامه پیدا کرد. سپس در پایان ساعت پنجم، دما به

شکل ۶. نمونه بتنی در داخل کوره



Fig. 6. Concrete sample inside the furnace

برای آزمایش نمونه‌های بتنی در حرارت بالا از دو راهکار می‌توان بهره برد. راهکار اول آزمایش روی نمونه‌های مرطوب و راهکار دوم خشک نمودن نمونه‌ها در اون یا گرمکن با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۳ روز است. در حالت دوم به علت از بین رفتن آب آزاد در بتن احتمال قلوه‌کن شدن تا حد زیادی کاهش یافته و امکان ثبت افت مقاومت نیز فراهم می‌شود. در این پژوهش از روش دوم استفاده شده است. مرسوم‌ترین پارامترهای مورد اندازه‌گیری در پژوهش قبلی، اندازه‌گیری میزان افت مقاومت فشاری (به بیان دقیق‌تر اندازه‌گیری نسبت مقاومت فشاری نمونه تحت حرارت و نمونه شاهد) است.

۹۰۰ درجه سانتی‌گراد و در پایان ساعت ششم، دما به ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد رسید. از آنجایی که از هر طرح مخلوط، باید ۲ نمونه در آتش قرار می‌گرفت، ابتدا تمام ۱۲ طرح و ۲۴ نمونه در کوره قرار داده شدند. سپس مطابق چرخه افزایش دما، دو نمونه از هر طرح مخلوط از کوره خارج شدند. در نتیجه در پایان کار، به ازای هر دما و هر طرح مخلوط، دو نمونه حرارت دیده به دست آمد. از هر کدام از طرح مخلوط ها، دو نمونه نیز بدون حرارت نگه داشته شدند تا به عنوان نمونه شاهد استفاده شوند.

از میان یکصد عنصرکه در پوسته زمین یافت می‌شوند تنها چند عدد قادرند که ترکیبات نسوز پایدار ایجاد کنند که

مهمترین آنها سیلیسیوم و اکسیدهای کلسیم است. از آنجا که پودر صدف، دارای مقادیر زیاد کربنات کلسیم نسبت به سیمان پرتلند است به نظر می‌رسد تاثیر مثبتی بر مقاومت فشاری بتن در حرارت بالا داشته باشد و همچنین فشار زیاد بخار آب که نمی‌تواند از بتن خارج شود (به علت حفرات ریز) باعث قلوه‌کن شدن بتن می‌شود. بنابراین هر اندازه بتن متراکم‌تر باشد، خطر قلوه‌کن شدن افزایش می‌یابد. به همین دلیل در این پژوهش تصمیم بر آن شد که مقاومت حرارتی بتن حاوی این پودر نیز مورد آزمایش قرار گیرد. نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌ها در دماهای مختلف در جداول (۹ و ۱۰) ارائه شده است.

جدول ۹. نتایج مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی پودر صدف دریایی در دماهای مختلف برحسب مگاپاسکال

Two hours in 800°C	An hour in 800°C	600°C	400°C	200°C	Environment temperature	ID number
0.57	4.14	11.27	16.14	18.2	18.33	LS0
1.11	5.43	12.74	17.48	17.84	18.77	LS2.5
1.44	5.98	13.33	17.71	18.43	19.02	LS5
1.19	3.13	8.46	10.59	12.50	13.43	LS10
Concrete divot	2.48	7.59	8.43	9.69	10.59	LS15
Concrete divot	0.92	6.37	7.55	8.55	8.86	LS20

Table 9. Compressive strength results of samples containing Seashell powder at different temperatures (MPa)

جدول ۱۰. نتایج مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی پودر صدف کوهی در دماهای مختلف برحسب مگاپاسکال

Two hours in 800°C	An hour in 800°C	600°C	400°C	200°C	Environment temperature	ID number
0.57	4.14	11.27	16.14	18.2	18.33	LS0
0.53	4.39	10.88	15.75	17.84	18.40	LS2.5
0.65	4.85	11.96	17.16	18.29	18.53	LS5
Concrete divot	2.27	8.01	9.94	11.84	11.96	LS10
Concrete divot	1.76	6.19	7.94	9.31	9.61	LS15
Concrete divot	1.07	5.95	7.55	8.28	8.86	LS20

Table 10. Compressive strength results of samples containing Lumashell powder at different temperatures (MPa)

پودر صدف دریایی و کوهی کمتر از بتن شاهد است. تا دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد شکل ظاهری نمونه تنها دچار تغییر رنگ جزئی شده است. اما در دمای بالاتر ترک خوردگی مشاهده شد.

شکل ۹. مقاومت فشاری نمونه ها با درصد مختلف پودر صدف دریایی در دماهای مختلف

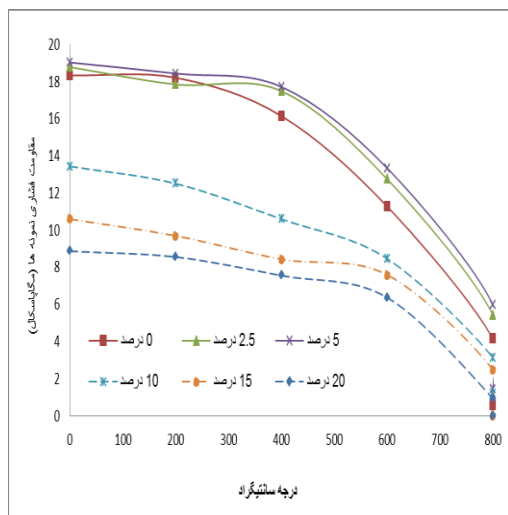


Fig. 9. Compressive strength of samples with different percentages of Seashell powder at different temperature

در دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد ریز ترک‌هایی مشاهده شد که میزان این ریز ترک‌ها در بتن حاوی پودر صدف دریایی و کوهی کمتر از بتن شاهد است. در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد نمونه دارای پودر صدف دریایی و کوهی دارای ظاهری بهتر و فاقد ترک است. اما نمونه شاهد در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد دچار ترک خوردگی نقشه‌ای شکل، قلوه‌کن شدن و پوسته پوسته شدن شده است، ولی بتن حاوی پودر تنها دچار ترک خوردگی بسیار ریز شده است. در دمای ۸۰۰ درجه سانتیگراد مشاهده می‌شود که نمونه شاهد دارای ترک‌های زیاد و قلوه‌کن است که باعث افت شدید مقاومت فشاری این نمونه شده است. علت کاهش شدید مقاومت فشاری نمونه شاهد ترک خوردگی‌های زیاد و میزان افت وزن نمونه‌ها است. به طور کلی پودر صدف دریایی و کوهی دارای کلسیم کربنات با غلظت بالای ۹۰٪ و بقیه اکسیدها در غلظت پایین‌تر قرار دارند. از آنجا که کلسیم

برای مشاهده بهتر این نتایج، مقاومت‌های فشاری در شکل‌های (۸ و ۹) ارائه شده‌اند. با توجه به نتایج بدست آمده به نظر می‌رسد که بدون توجه به نوع پودر صدف، استفاده از ۵٪ پودر صدف می‌تواند منجر به حصول مقاومت فشاری بالاتری در برابر حرارت شود. با توجه به نتایج بدست آمده چنین نتیجه می‌شود، عواملی چون فعالیت کربنات کلسیم، اثر پرکنندگی و بهبود ریز ساختار سطح تماس خمیر سیمان و سنگدانه‌ها باعث افزایش مقاومت مکانیکی نمونه‌ها در برابر حرارت شده است. حضور کربنات کلسیم در بهبود ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌های کامپوزیت سیمانی بسیار موثر است. تشکیل سیلیکات‌های کلسیم هیدراته از نقطه نظر شیمیایی نیاز به وجود سیلیس یا یون سیلیکات‌های موجود در ملات، وجود آهک هیدراته شده و شرایط محیطی مناسب دارد. عامل مهم دیگر ویژگی فیلر یا پرکنندگی پودر صدف است.

شکل ۸. مقاومت فشاری نمونه ها با درصد مختلف پودر صدف کوهی در دماهای مختلف

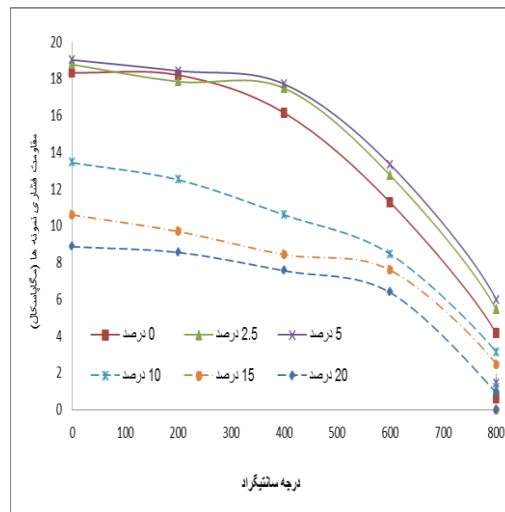


Fig. 8. Compressive strength of samples with different percentages of Lumashell powder at different temperatures

همان‌گونه که مشاهده شد، تا دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد افت مقاومت نمونه‌ها جزئی است. اما در دمای بالاتر با شروع ترک خوردگی افت مقاومت مشاهده می‌شود. در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد افت مقاومت شدیدی حاصل شد که به نظر می‌رسد میزان این افت در بتن حاوی

جایگزینی برای سیمان، صرف نظر از نوع آن، مضر بوده و باعث کاهش قابل توجه مقاومت حرارتی بتن می‌شود.

۴- زمانی که بتن در معرض دمای زیاد قرار می‌گیرد، ویژگی‌هایی مانند قابلیت باربری و دوام آن به علت فرآیندهای ترمومکانیک و ترموهیدرولیک دچار افت می‌شوند و منجر به ترک‌خوردگی، افت مقاومت فشاری و قلوه کن شدن می‌شود.

۵- پس از تحلیل فیزیکی و شیمیایی انواع پودر صدف، مقاومت حرارتی بتن به دست آمده از مقایسه با نمونه شاهد، نشانگر افزایش مقاومت در محدوده جایگزینی ۵٪ پودر صدف به جای سیمان در تمامی انواع نمونه‌ها است که برای استفاده در پروژه‌های بزرگ و سازه‌های بتنی حجیم در راستای به تحقق رساندن هدف این پژوهش، کاهش مصرف سیمان پرتلند و تولید بتن سبز، قابل قبول است.

References

۶- مراجع

- [1]. KIM, J., et al., *Experimental measurement of concrete thermal expansion*. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2003. 5(13): p. 1035-1048.
- [2]. Lukefahr, E. and L. Du, *Coefficients of Thermal Expansion of Concrete with Different Coarse Aggregates-Texas Data*. Journal of Testing and Evaluation, 2010. 38(6): p. 683-690.
- [3]. Toman, J. and R. Černý, *Thermal and hygric expansion of high performance concrete*. Acta Polytechnica, 2001. 41(1).
- [4]. Li, Q., L. Yuan, and F. Ansari, *Model for measurement of thermal expansion coefficient of concrete by fiber optic sensor*. International journal of solids and structures, 2002. 39(11): p. 2927-2937.
5. Childs, P., et al., *Measurement of the coefficient of thermal expansion of ultra-high strength cementitious composites using fibre optic sensors*. Cement and concrete research, 2007. 37(5): p. 789-795.

دارای خواص ضد حریق است این ماده تاثیر مثبتی بر مقاومت حرارتی بتن دارد.

۵- نتیجه گیری

۱- آزمایش‌ها نشان می‌دهند که پودر صدف دریایی و کوهی، سبب افزایش سرعت هیدراتاسیون و در نتیجه افزایش گرمای هیدراتاسیون می‌شود. پس حرارت زیادی در ملات تولید می‌شود که باعث از دست رفتن سریعتر آب موجود در ملات می‌شود. علاوه بر این پودر صدف دریایی و کوهی به دلیل ریزتر بودن ذرات آن نسبت به سیمان آب بیشتری جذب کرده و این باعث کاهش روانی بتن تازه و در نهایت باعث کاهش اسلامپ بتن شده است. صرف نظر از نوع پودر صدف، افزودن ۲/۵٪، ۵٪ و ۱۵٪ پودر صدف، به طور متوسط منجر به کاهش ۱۳/۵٪، ۲۷/۵٪ و ۵۲٪ کاهش در اسلامپ بتن می‌شود.

۲- وجود پودر صدف دریایی و کوهی در ملات سیمانی سبب کاهش جذب آب نمونه‌ها می‌شود و آنها را غیرقابل نفوذتر می‌کند. علت این امر این است که ذرات بسیار ریز پودر صدف با کاهش حفرات نفوذپذیر از طریق پرکردن حفرات موینه موجود در بافت خمیر سیمان و مسدود کردن راههای ارتباطی شبکه موینه موجب کاهش جذب آب نمونه‌ها می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که جایگزینی سیمان با ۲/۵٪، ۵٪ و ۱۰٪ از پودر صدف دریایی و کوهی به ترتیب منجر به کاهش ۲۷٪، ۴۴٪، ۷۳٪ و (۷٪، ۵۹٪، ۷۳٪) در مقدار جذب آب بتن می‌شود و هنگامی که پودر صدف مورد استفاده بیش از ۱۰٪ باشد مقدار جذب آب تغییری نکرد و تقریباً با حالت ۱۰٪ درصد استفاده از پودر صدف برابری می‌کند.

۳- از نتایج ارائه شده کاملاً آشکار است که جایگزینی سیمان با پودر صدف دریایی و کوهی مقاومت حرارتی بتن را به مقدار اندکی افزایش می‌دهد و مقدار جایگزینی ۵٪ وزنی سیمان با پودر صدف به عنوان درصد بهینه گزارش می‌شود. افزودن بیش از ۵٪ پودر صدف به عنوان

- concrete with different strength grades. *Advanced Materials Research*. Trans Tech Publ, 480-484.
- [12]. Camiletti, J., A. Soliman, and M. Nehdi, *Effects of nano-and micro-limestone addition on early-age properties of ultra-high-performance concrete*. Materials and structures, 2013. **46**(6): p. 881-898.
- [13]. Ardakani, A., H. Barzegar, and E. Dehghani. *Investigating the effect of microsilica on compressive strength of concrete after fire*. in 7th National Iranian Concrete Conference. 2015.
- [14]. BS476, B.S., *Part 13 (ISO 5657-1986) Fire Tests on Building Materials and Structures, Methods of measuring ignitability of products subjected to thermal irradiance*. 1987, BSI, London.
- [15]. ASTM, *1984 Annual Book of ASTM Standards: Parts 13-14*. 1984, ASTM.
- [16]. ACI212.3R-16, *Report on Chemical Admixtures for Concrete*. 2016, ACI.
- [17]. C143/C143M-15a A. (2015) Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [18]. ASTM. *ASTM C642: Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*. 2001. ASTM Philadelphia^ ePA PA.
- [6]. Shin, H.-C. and Y. Chung, *Determination of coefficient of thermal expansion effects on Louisiana's PCC pavement design*. 2011, Louisiana Transportation Research Center.
- [7]. Khoury, G.A., B.N. Grainger, and P.J. Sullivan, *Strain of concrete during first heating to 600 C under load*. Magazine of concrete research, 1985. **37**(133): p. 195-215.
- [8]. Matschei, T., B. Lothenbach, and F.P. Glasser, *The role of calcium carbonate in cement hydration*. Cement and concrete research, 2007. **37**(4): p. 551-558.
- [9]. Supit, S.W. and F.U. Shaikh, *Effect of nano-CaCO₃ on compressive strength development of high volume fly ash mortars and concretes*. Journal of Advanced Concrete Technology, 2014. **12**(6): p. 178-186.
- [10]. Xu QL, Meng T and Huang MZ. (2012) Effects of nano-CaCO₃ on the compressive strength and microstructure of high strength concrete in different curing temperature. *Applied Mechanics and Materials*. Trans Tech Publ, 126-131.
- [11]. Huang MZ, Meng T, Qian XQ, et al. (2011) Influence of nano-SiO₂ and nano-CaCO₃ on the mechanical properties of

Effects of Seashell and Lumashell limestone powder on concrete thermal resistance

Hamid Reza Bahadori¹, Amir Ahmad Hedayat^{2*}, Ali Karbakhsh³

1. Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Sirjan-branch, Islamic Azad University, Sirjan, Iran

2. Associate Professor, Department of Civil Engineering, Kerman-branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran

3. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan-branch, Islamic Azad University, Sirjan, Iran

*amirahmad1356@yahoo.com

ABSTRACT

The structure must be able to maintain its stability and resistance in the event of a fire to protect human life. From time immemorial, concrete has been known to have fire-retardant properties. That's why the biggest concern with concrete structures at the time of the fire was the reinforcement and their non-flow. But with the development of concrete technology, the focus has also shifted to improving the mechanical properties of concrete to increase its fire resistance. The use of pozzolans and additives in concrete to achieve high-strength and durable concrete has been in the concrete industry for several years. In this study, the role of seashell and lumashell powder and their effects on the mechanical properties of concrete and achieving the optimal percentage of using shellfish powder to achieve high fire resistance and durability have been studied. For this purpose, laboratory tests involving slump evaluation, water absorption percent, and compressive strength under high temperature were conducted on samples in which the replacement ratios of Portland cement with the same weight of shell powder were 2.5, 5, 10, 15 and 20% weight percent. Experimental results showed that seashell and lumashell powder increase the hydration rate and consequently caused an increase in the heat of hydration which resulted in a faster loss of water in the concrete. Furthermore, Seashell and Lumashell powder absorbed more water than cement due to their finer particles. All these ultimately resulted in a reduction in concrete slump such that regardless to the shell powder type, adding 2.5, 5 and 15% of shell powder, in average led to 13.5, 27.5 and 52% reduction in concrete slump respectively and it became approximately constant when the used shell powder was in excess of 15%. In addition, results showed that the presence of seashell and lumashell powder decrease water absorption in samples and made them more impenetrable. It happened because by filling the void in the cement paste with fine powder particles, the permeable cavities have been reduced and the connection paths of the cavities have been somewhat blocked. Replacement of cement with 2.5%, 5% and 10% of Seashell and Lumashell powder led to (27%, 44%, 73%) and (7%, 59%, 73%) reduction in concrete water absorption values respectively and it became approximately constant when the used shell powder was in excess of 10%. The results of this study also showed that the replacement of cement with Seashell and Lumashell powder slightly increases the thermal resistance of concrete and the amount of replacement of 5% by weight of cement with shell powder is reported as the optimal percentage. Adding more than 5% shell powder as a substitute for cement, regardless of its type, is harmful and significantly reduces the thermal resistance of concrete. Also, the results of laboratory tests showed that when concrete is exposed to high temperatures, properties such as load-bearing capacity and durability are reduced, leading to cracking, loss of compressive strength and concrete divot. Finally, it can be concluded that the optimal percentage of using seashell and lumashell powder instead of Portland cement can lead to a suitable concrete in terms of respect for the environment.

KEYWORDS: Thermal resistance, Seashell powder, Lumashell powder, Water absorption percentage, Durability