مجله علمی – پژوهشی
مهندسی عمران مدرس
دوره بیستم، شماره ۳، سال ۱۳۹۹

بررسی رسانایی هیدرولیکی و گرفتگی بتن های نفوذپذیر سبک حاوی لیکا و اسکوریا

کمیل مومنی[1*]، رضا قویدل[2]

۱. استادیار فنی – دپارتمان مهندسی عمران – آموزشکده فنی امام صادق(ع) – دانشگاه فنی و حرفه ای استان گیلان– ایران
۲. مدرس گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد لشت نشا

[1]kmomeni@tvu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۹/۳/۳۱

چکیده

بتن نفوذپذیر به بتنی گفته می‌شود که با توجه به تخلخل بالا امکان عبور آب با سرعت بالا را از درون خود امکان پذیر می‌سازد. رویه‌های آسفالتی و بتنی جاده‌ها هرچند قابلیت‌های سازه‌ای و دوام بالایی دارند ولی از نظر زیست محیطی و همچنین الودگی صوتی آسیب‌های زیادی را به محیط زیست انسان‌ها وارد می‌کنند. یکی از این مشکلات، عدم نفوذ آب حاصل از بارندگی به زمین است، علاوه بر این جاری شدن آب باران موجب به وجود آمدن سیلاب در شهرها می‌شود که ممکن است خسارات مالی و جانی فراوانی را به همراه بیاورد.از سوی دیگر، آلودگی رواناب های سطحی به رس می‌تواند باعث ایجاد گرفتگی در تخلخل‌های موثر بتن نفوذپذیر شود که در نتیجه مهم‌ترین ویژگی این بتن را که نفوذپذیری بالا است، دچار مشکل می کند. در این پژوهش با بهره‌گیری از پوزولان دوده سیلیسی سعی شد تا علاوه بر نفوذپذیری بالا و گرفتگی کمتر، ویژگی‌های مکانیکی بهتری بدست آید. علاوه بر این با بهره‌گیری از سبکدانه‌های لیکا و اسکوریا وزن مخصوص بتن نفوذپذیر به طور محسوسی پایین آورده شد تا ضمن افزایش تخلخل داخلی و ساختاری به کاهش آلودگی های صوتی نیز کمک نماید. نتایج مشخص نمود که نمونه‌های حاوی لیکا عملکرد بهتری در آزمون‌های مکانیکی به دست می‌دهند. نمونه‌های حاوی سنگدانه اسکوریا تخلخل و نفوذپذیری در مقایسه با نمونه‌های حاوی لیکا دارند که هر دوی این ویژگی‌ها از اهمیت بالایی در بتن نفوذپذیر برخوردار هستند. جایگزینی ۱۰٪ از سیمان با دوده سیلیسی ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌ها را بهبود بخشید. در تمام حالات، نمونه‌ها نفوذپذیری قابل قبولی را برای عبور سوسپانسیون‌های رسی حتی در غلظت های بالا (۷۵ و ۱۰۰ درصد) نشان دادند. اما اختلاف بین مخلوط ۱۰٪ با آب فاقد رس چشمگیر بود در حالی که با افزایش غلظت، اختلاف رسانایی هیدرولیکی بسیار کمتر شد.

واژگان کلیدی: بتن نفوذپذیر، بتن سبک، رسانایی هیدرولیکی، گرفتگی، درصد تخلخل

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-07-18]

[DOR: 20.1001.1.24766763.1399.20.3.12.2]

۱- مقدمه

بتن نفوذپذیر یا متخلخل نوعی کامپوزیت سیمانی است که معمولا بین ۲۰ تا ۳۰٪ از حجم آن را مجراهای تو خالی متصل به هم تشکیل می دهند. سایز این حفرات و مجراها نیز معمولا بین ۲ تا ۸ میلی متر است و نفوذپذیری این بتن بین ۲ تا ٦ میلی متر بر ثانیه برای آن تعریف شده است. این نفوذپذیری از طریق ایجاد عمدی تخلخل با بهره‌گیری از درشت دانه و حذف یا کاهش شدید ریزدانه به دست می آید. بیشترین ریزدانه مصرفی در ساخت بتن نفوذپذیر در مقالات ۲۰٪است که توسط منینگر انجام شده و تعریف مشابهی نیز توسط انجمن بتن آمریکا ارائه شده است. توجه خاص به این بتن را که سابقه‌ای ۲۵ ساله دارد، می‌توان مربوط به قوانین جدید وضع شده توسط آژانس حفاظت از محیط زیست دانست که طبق آن کنترل مقدار و کیفیت آب حاصل از بارندگی بر اساس قوانین، الزامی است. علاوه بر قابلیت اصلی این بتن یعنی سرعت عبور قابل توجه آب، مقابله با پدیده جزیره گرم، کاهش نویز بین لاستیک و سطح جاده، تغذیه سفره‌های آب زیر زمینی و ایمنی بالاتر هنگام رانندگی از دیگر نکاتی هستند که می‌توان برای این بتن معرفی نمود. در حال حاضر کاربرد اصلی این بتن در پارکینگ‌ها، پیاده‌روها و در برخی موارد، جاده‌های با حجم تردد پایین است. گوئده و همکارانش پژوهشی روی دو رویه نفوذپذیر ساخته شده انجام دادند. نتیجه پژوهش آنها مشخص نمود که اگر طرح اختلاط مناسبی برای بتن نفوذپذیر استفاد شود می‌توان از این بتن در اکثر جاده‌های شهری برای عمری حدود ۲۰ تا ۳۰ سال بهره برداری کرد. نتایج مطالعه روی یکی از رویه‌ها در امریکا نشان داد که عملکرد و دوام قابل قبولی دارد و آب باران با سرعت مطلوب از روی سطح بتن خارج می‌شود. در ژاپن کاربرد معمول بتن نفوذپذیر به عنوان لایه سطحی جاده‌هاست.لایه‌های نازک بتن نفوذپذیر ساخته شده روی اساس‌های قبلی بهترین گزینه برای جایگزینی سیستم‌های نفوذناپذیر قدیمی به سیستم‌های نفوذپذیر جدید به حساب می‌آیند. دو مطالعه آزمونگاهی روی بتن نفوذپذیر با ضخامت ۲۰۰ میلی‌متر در ژاپن انجام شد .در اروپا نیز آزمون‌های انجام شده بر رویه‌های بتن نفوذپذیر ساخته شده حکایت از قابلیت بالای این بتن در کاهش نویز بین سطح جاده و لاستیک دارد. به علاوه بتن نفوذپذیربرای ساخت جاده‌ها و ساخت لایه نهایی رویه‌ها در اروپا مصرف شده است.

پژوهش دیگری معلوم کرد که دوام پایین رویه بتن نفوذپذیر در برابر ذوب و یخبندان یک مشکل اساسی می‌تواند باشد که با اضافه کردن افزودنی‌های پلیمری و افزایش عیار سیمان این مشکل در پروژه‌های بعدی برطرف شد. چین در سال ۲۰۱۲ ایده شهر اسفنجی را مطرح نمود. این ایده مجموعه‌ای از تاسیسات و زیرساخت‌ها برای مدیریت آب حاصل از بارندگی است. چن و همکارانش [1] عملکرد رویه نفوذپذیر بزرگراه‌ها را بررسی کردند و پیشنهاد دادند که بهتر است لایه رویه نفوذپذیر بعد از گیرش اولیه لایه نفوناپذیر زیرین اجرا شود. همچنین آنها [2] گزارش دادند که بهترین زمان برای اجرای لایه نفوذپذیر بین گیرش اولیه و نهایی لایه زیرین است. مقاومت فشاری معمولی بتن نفوذپذیر بین ۷ تا ٤۰ مگاپاسکال برای تخلخل‌های بین ۱۵ تا ۳۰٪ اندازه گیری شده است [3]. حتی مقاومت‌های بالاتر از ٤۰ مگاپاسکال نیز توسط پژوهشگران گزارش شده است. این کار توسط جایگزینی بخشی از سیمان با پوزولان‌ها به ویژه دوده سیلیسی امکان پذیر شد [4]. در سال ۲۰۱۵ بتن نفوذپذیر توانمند توسط ژونگ و همکارش [5] معرفی شد. این دو با بهینه کردن نسبت سنگدانه به خمیر سیمانی و مهندسی سایز سنگدانه توانستند ویژگی‌های دوام و مقاومت بتن نفوذپذیر را بدون کاهش نفوذپذیری بهبود بخشند. دئو و همکارش [6] تاثیر بهینه‌سازی مخلوط بر مشخصات بتن سخت شده را ارزیابی کردند. از جمله افرادی که از سبکدانه در ساخت بتن نفوذپذیر بهره جستند می توان به ونگسا و همکارانش [7] اشاره کرد. پژوهش‌های زیادی در زمینه مصرف سنگدانه‌های مختلف برای بهبود خصوصیات بتن نفوذپذیر انجام شده است. از جمله آنها می‌توان به مطالعه خان‌خواجه و همکارانش [8] اشاره کرد. کوسیک و همکارانش [9] نیز تاثیر نوع سنگدانه و سایز آن را بر ویژگی‌های بتن نفوذپذیر اندازه‌گیری کردند. گونیسی و همکارانش [10] سنگدانه‌های بازیافتی را در درصدهای مختلف جایگزین سنگدانه معمولی در بتن نفوذپذیر کردند. برای تولید بتن نفوذپذیر توانمند بوتا و همکارانش [11] از سه دانه‌بندی مختلف بهره گیری کردند. گرچه در بتن نفوذپذیر به طور معمول ریزدانه مصرف نمی‌شود ولی در برخی

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-07-18]

[DOR: 20.1001.1.24766763.1399.20.3.12.2]

مقالات برای بهبود مقاومت‌های مکانیکی از درصدهای پایین ماسه بهره برداری شده است. پژوهشگرانی همچون بونیسلی و همکارانش [12] ماسه را در درصدهای ۵ و ۱۰ به طرح‌های اختلاط اضافه کردند.

دئو و همکارانش [13] بیان داشتند که مقاومت فشاری تحت تاثیر سایز حفرات، توزیع آنها و فاصله بین حفرات است. ردار و همکارانش[14] گزارش دادند که اگرچه سختی شکست به تخلخل نمونه نفوذپذیر وابسته است، ولی افزایش سایز حفرات باعث کاهش سختی شکست می‌شود. همچنین ژونگ و ویله [15] گزارش کردند که تخلخل پارامتر لازم برای اندازهگیری رسانایی هیدرولیکی بتن نفوذپذیر است ولی کافی نیست. در پژوهش حسامی و همکارانش [16] از شلتوک برنج به عنوان جایگزین بخشی از سیمان مصرف شد. ژونگ و همکارش [17]. بتن نفوذپذیر را با سه خمیر سیمانی با مقاومت های ۳۰، ٦۰ و ۱۸۰ مگاپاسکال ساختند و تحت آزمون مقاومت ذوب یخبندان قرار دادند. آلودگی صوتی نیز یکی دیگر از موضوعاتی است که به واسط کاربرد این بتن مورد مطالعه قرار می‌گیرد [18].راه‌های معمول کاهش نویز بین لاستیک و جاده مانند برپایی موانع صوتی و استفاده از مصالح عایق با اینکه کاربردهایی دارند اما صرفه اقتصادی به همراه نمی‌آورند [19,20]. یکی از راه‌های به صرفه برای کاهش نویز را می‌توان اجرای یک لایه بتن نفوذپذیر بر روی سطح نفوذناپذیر زیرین دانست [21]. گرهارز [22] پیشنهاد داد که مصرف سنگدانه بین ٤ تا ۸ میلی‌متر برای ساخت بتن نفوذپذیر با قابلیت‌های عایق صوتی مناسب است. یکی از مشکلات اصلی رویه‌های نفوذپذیر، گرفتگی تدریجی در اثر پر شدن حفرات با ذرات گل و لای حمل شده توسط رواناب‌های سطحی است [23].ولکر و همکارانش [24] دریافتند که مواد رسوبی درصد کمی از تخلخل بتن نفوذپذیر را شامل می‌شوند و بیشتر این مواد از مصالح کنده شده از خود رویه هستند. پژوهش دیگری بیشتر مواد رسوب کرده را از مواد رسوبی بزرگ‌تر از ۳۸ میکرون و ذرات ریز گیاهان اطراف رویه گزارش کرده است. در پژوهش دیگری مشاهده شد که ذرات درشت ماسه به دلیل عدم نفوذ به حفرات، نفوذپذیری را به طور چشمگیری کم نمی‌سازد [25]. ازطرفی ماسه باعث کاهش شدید نفوذپذیری شد، در حالی که رس حاوی لای تاثیری بر گرفتگی نداشت. تحلیل گرفتگی به دلیل توزیع اندازه بزرگتر است که احتمال ته نشینی را می‌افزاید. همچنین ساختار پیوسته رس باعث چسبندگی بیشتر ذرات به همدیگر شد [26]. نتیجه پژوهش کالین و همکارانش [27] این شد که رس گرفتگی ده برابر بیشتر از ماسه را نتیجه داد. کورن [28] سرعت جریان عبوری از دال‌های نفوذپذیر پرشده با دوغاب ماسه و خاک گیاهی را بررسی کرد. برخی پژوهش‌ها مشخص کردند که گرفتگی معمولا در سطح و لایه بالایی بتن متخلخل ایجاد می‌شود [29].در حالی که دیگران گزارش دادند میزان گرفتگی در لایه‌های زیری نیز دقیقا به همان اندازه لایه های سطحی است [30].نتایج پژوهشی مشخص نمود که گرفتگی در رویه‌هایی که تحت چرخه‌های خیس و خشک شدگی قرار گرفتند به تاخیر می‌افتد و این رویه‌ها حدود دو برابر رویه‌هایی که دائما تحت تماس جریان آب هستند عمر می‌کنند [31].باید اشاره شود که گرفتگی می‌تواند تخریب بر اثر ذوب و یخبندان را نیز تسریع بخشد. برای نمونه، گوتریه [32] دوام بتن نفوذپذیر در برابر ذوب و یخبندان را در سطوح مختلف گرفتگی و اشباع آب بررسی کرد.

۲-اهداف پژوهش

در این پژوهش برای بررسی ویژگی‌های رسانایی هیدرولیکی و میزان گرفتگی بتن‌های نفوذپذیر سبک، طرح‌های مختلفی با دو نوع سنگدانه تعریف شده و با تغییرات درصد دوده سیلیسی به عنوان جایگزین سیمان، تغییرات رفتار مکانیکی و هیدرولیکی نمونه‌ها مورد مطالعه قرار گرفت.

۳-برنامه آزمایشگاهی

۳-۱-مصالح

در این پروژه سیمان تیپ ۲ هگمتان مصرف شد. جدول (۱) ترکیبات شیمیایی سیمان، دوده سیلیسی، لیکا و اسکوریای مصرف شده را نمایش می دهد. در این پژوهش برای افزایش تراکم خمیر سیمانی و به‌منظور دستیابی به ویژگی‌های مکانیکی بهتر، از دوده سیلیسی به‌عنوان جایگزین بخشی از سیمان مصرف شد. درصدهای جایگزینی برای دوده ۱۰، ۲۰ و ۳۰٪ در نظر گرفته شد. برای تقویت مقاومت مکانیکی بتن نفوذپذیر ۱۰٪ ماسه رودخانه‌ای در ترکیب

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-07-18]
[DOR: 20.1001.1.24766763.1399.20.3.12.2]

سنگدانه‌ها مصرف شد. دانه‌بندی ماسه مصرف‌شده مطابق با استاندارد[33] ASTM C778 بود. در نیمی از طرح‌های اختلاط تولیدشده در این پژوهش سنگدانه لیکا به‌عنوان سبکدانه مصرف شد. لیکای مصرف شده دارای سایز بین ٤ تا ١٠ میلی‌متر و از معادن داخل کشور تهیه شد. اسکوریای مصرف شده نیز محدوده دانه‌بندی بین ٤ تا ١٠ میلی‌متر داشت و از معادن داخل کشور تهیه شد

جدول ١. ترکیب شیمیایی مواد مصرف‌شده

Scoria	Leca	Silica Fume	Cement	Comp
10.76	3	1.5	64.38	CaO
45.53	62	85	21.08	SiO2
15.87	18	1	5.36	Al2O3
13.89	7	2	3.64	Fe2O3
5.65	3	–	2	MgO
1.02	4	–	0.82	K2O
3.46	1	–	0.5	Na2O
–	–	–	2.1	SO3
–	–	3	–	C
–	–	–	0.28	IR[1]
0.93	1.36	3.5	0.9	[2]L.O.I

Table 1. Chemical composition of the materials used

٣-٢-ساخت، قالب‌گیری و عمل‌آوری

در ساخت این نوع بتن خمیر سیمانی جداگانه تولیدشده و سپس به مقدار موردنیاز به مخلوط سنگدانه‌ها اضافه می‌شود. بدین منظور ابتدا خمیر سیمانی شامل سیمان، دوده سیلیسی و آب باهم مخلوط شده تا خمیری با روانی مطلوب به دست آید. سپس به این خمیر به مقدار موردنظر که برای چسباندن سنگدانه‌ها به هم کافی بوده و همچنین نه‌چندان زیاد که باعث کاهش شدید درصد تخلخل خمیر سیمانی شود به سنگدانه‌ها اضافه شدند و مخلوط کردن تا زمان به دست آمدن مخلوطی همگن ادامه پیدا کرد. ٤٨ ساعت پس از قالب‌گیری نمونه‌ها از قالب بیرون آورده شدند و تا زمان آزمون در حوضچه‌های آب‌آهک نگهداری شدند.

٣-٣-طرح اختلاط

در این پژوهش درمجموع ٢٤ طرح اختلاط ساخته شد. نیمی از طرح‌های حاوی لیکا و نیمی دیگر حاوی اسکوریا بودند. همچنین درصد جایگزینی دوده سیلیسی نیز متغیر در نظر گرفته شد تا تأثیر این ذرات روی مقاومت و تخلخل بتن نفوذپذیر دیده شود. نسبت آب به مواد سیمانی در تمامی طرح‌های ثابت در نظر گرفته شد تا اثر مخرب افزایش این نسبت روی مقاومت مکانیکی حذف شود. جدول (٢) طرح‌های اختلاط این مطالعه را نمایش می‌دهد.

٣-٤-آزمایش ها

آزمون مقاومت فشاری روی نمونه‌های مکعبی با بعد ١٥٠ میلی‌متر و با نرخ ٩٠٠ نیوتن بر ثانیه بارگذاری انجام شد. آزمون در سنین ٧ و ٢٨ روز صورت گرفت.

آزمون کشش غیرمستقیم طبق استاندارد ASTM C496 [34] انجام می‌گیرد. این آزمایش که به آزمون برزیلی نیز معروف است روی نمونه‌های استوانه‌ای انجام می‌شود. استوانه‌های به قطر ١٥٠ میلی‌متر و ارتفاع ٣٠٠ میلی‌متر به‌صورت خوابیده زیر دستگاه جک بتن شکن قرارگرفته و بار به‌آرامی و به میزان ١,٤ مگاپاسکال بر دقیقه به نمونه وارد می‌شود. شکل (١)، نمونه شکسته شده در آزمون کشش غیرمستقیم را نمایش می‌دهد.

شکل ١. نمونه شکسته شده در آزمون مقاومت کشش غیرمستقیم

Fig. 1. Fractured specimen in splitting tensile strength

تعیین جذب آب نمونه‌ها طبق استاندارد ASTM C642 [35]انجام شد. به دلیل تخلخل بالای بتن نفوذپذیر و حضور

1.Insoluble Residue
2.Loss On Ignition

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-07-18]
[DOR: 20.1001.1.24766763.1399.20.3.12.2]

جدول ۲. طرح های اختلاط بکار رفته

Mix	Cement (kg/m3)	Water (kg/m3)	W/B (kg/m3)	Silica Fume (kg/m3)	scoria(4-10) Aggregates (kg/m3)	leca(4-10) Aggregates (kg/m3)	Fine Aggregates (kg/m3)
L220_0	220	55	0.25	0	-	700	70
L220_10	198	55	0.25	22	-	700	70
L220_20	176	55	0.25	44	-	700	70
L220_30	154	55	0.25	66	-	700	70
L260_0	260	65	0.25	0	-	700	70
L260_10	234	65	0.25	26	-	700	70
L260_20	208	65	0.25	52	-	700	70
L260_30	182	65	0.25	78	-	700	70
L340_0	340	85	0.25	0	-	700	70
L340_10	306	85	0.25	34	-	700	70
L340_20	272	85	0.25	68	-	700	70
L340_30	238	85	0.25	102	-	700	70
S220_0	220	55	0.25	0	700		70
S220_10	198	55	0.25	22	700		70
S220_20	176	55	0.25	44	700		70
S220_30	154	55	0.25	66	700		70
S260_0	260	65	0.25	0	700		70
S260_10	234	65	0.25	26	700		70
S260_20	208	65	0.25	52	700		70
S260_30	182	65	0.25	78	700		70
S340_0	340	85	0.25	0	700		70
S340_10	306	85	0.25	34	700		70
S340_20	272	85	0.25	68	700		70
S340_30	238	85	0.25	102	700		70

Table 2. Mixing schemes used

حفرات در مقیاس میلی‌متر در مقایسه با حفرات موجود در بتن معمولی در مقیاس میکرومتر، روش خاصی برای اندازه‌گیری تخلخل بتن نفوذپذیر به کار گرفته شد. ابتدا نمونه‌ها در سن ۲۸ روز از حوضچه‌های آب‌آهک بیرون آورده شدند. سپس به مدت ۳ ساعت در دمای آزمونگاه روی سطح مشبک قرار داده شدند تا آب اضافی خارج شده و نمونه‌ها به شرایط اشباع با سطح خشک برسند. پس از اندازه‌گیری وزن، در قالب استاندارد نمونه که از پیرامون عایق شده است، قرارگرفته و دوباره وزن شود. سپس قالب حاوی نمونه کاملاً تا سطح نمونه با آب پر می‌شود و وزن مجموع اندازه‌گیری میشود. اختلاف بین وزن نمونه قبل از پر شدن حفرات با آب و بعدازآن میزان کل تخلخل مؤثر بتن نفوذپذیر را تعیین می‌کند. ازآنجایی‌که بتن نفوذپذیر رسانایی هیدرولیکی به‌مراتب بالاتری نسبت به بتن معمولی دارد(۳-۱۰تا٤-۱۰ میلی‌متر بر ثانیه در مقایسه با۱۲-۱۰ میلی‌متر بر ثانیه) به دلیل حضور تخلخل‌های به‌هم‌پیوسته زیاد، روش‌های معمولی اندازه‌گیری رسانایی هیدرولیکی در مورد بتن نفوذپذیر مؤثر نیست.

برای اندازه‌گیری رسانایی هیدرولیکی بتن نفوذپذیر دستگاه هد ثابت آب که در شکل (۲) به نمایش در آمده است، ساخته شد. در این دستگاه قطر داخلی ورودی دستگاه ۱۰ سانتی‌متر و قطر خروجی آب ٦ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. همان‌گونه که در شکل نمایش داده‌شده است نمونه استوانه‌ای با قطر ۱۰ سانتی‌متر بین دو رینگ آلومینیومی قرار گرفت و به‌طور کامل نسبت به عبور آب عایق شد. با پر کردن هد آب به ارتفاع موردنظر نرخ عبور آب از داخل نمونه با اندازه‌گیری سرعت پر شدن لوله خروجی دستگاه اندازه‌گیری شد. برای جلوگیری از خروج آب از حفرات جانبی نمونه استوانه‌ای، بعد جانبی نمونه به‌طورکلی با **چسب** عایق شد. ضریب نفوذپذیری بتن متخلخل

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-07-18]

[DOR: 20.1001.1.24766763.1399.20.3.12.2]

با بهره‌گیری از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$K = \frac{A_1 l}{A_2 t}\log(\frac{h_1}{h_2}) \quad (۱)$$

در این رابطه A1 و A2 سطح مقطع نمونه و سطح مقطع دستگاه هد ثابت، l طول نمونه، h1 هد اولیه آب،h2 هد نهایی خروجی، و t زمان رسیدن به تعادل می‌باشند. برای آزمون میزان گرفتگی حفرات بتن‌های نفوذپذیر تولیدشده با سنگدانه های متفاوت، از سوسپانسیون رسی بهره‌گیری شد. درصدهای مختلف رس در قالب سوسپانسیون با آب مخلوط و سپس به‌جای آب معمولی در دستگاه هد ثابت از این سوسپانسیون ها به‌عنوان سیال عبوری استفاده شد و درنتیجه اختلاف‌زمان عبور مایع از داخل نمونه نسبت به آب شهر اندازه‌گیری شد. شکل (۲) نمونه آزموده شده را نمایش می‌دهد.

شکل ۲. دستگاه هد ثابت (بالا)، نمونه نفوذپذیر پس از انجام آزمون گرفتگی (پایین)

Fig. 2. Constant head device (top), permeable sample after clogging test (bottom)

٤- نتایج و تفسیر

٤-١-مقاومت فشاری

شکل (۳) مقاومت فشاری نمونه‌های مختلف را در سنین ۷ و ۲۸ روز نمایش می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود افزایش عیار سیمان از ۲۲۰ به ۳٤۰ برای نمونه های حاوی لیکا ٦۳,٥٪ و برای نمونه‌های حاوی اسکوریا ۷۲,۸٪ (بهینه هر دسته) افزایش مقاومت به همراه داشت. جایگزینی ۱۰٪ دوده به جای سیمان در طرح های حاوی لیکا حداقل ۲۱٪ افزایش مقاومت ایجاد نمود که در طرح های حاوی اسکوریا این افزایش در بهترین حالت ۱۷٪ بود. می توان گفت که دوده سیلیسی به دلیل عیار پایین سیمان و مقدار آهک مازاد کمتر متعاقب آن، در درصدهای کمتر مصرف بهینه شده و درصدهای بالاتر منجر به افت مقاومت شده‌اند.

٤-۲-مقاومت کشش دونیم شدن

شکل (٤) نتایج آزمون مقاومت کشش غیرمستقیم را برای نمونه‌های حاوی لیکا و اسکوریا نمایش می‌دهد. مشابه با نتایج به دست آمده برای مقاومت فشاری، مقاومت کشش غیرمستقیم نیز به شدت تحت تأثیر عیار مواد سیمانی بوده است. در بتن‌های حاوی لیکا، در عیار ۲٦۰ با جایگزینی ۱۰٪ دوده، حداکثر ۱۰٪ افزایش می یابد. در حالی که برای بتن‌های حاوی اسکوریا، این افزایش بسیار کمتر بوده و در این دسته نیز برای عیار ۲٦۰ حدود ٤,۸٪ است. تخلخل بالای اسکوریا را می توان دلیل احتمالی اصلی بر کاهش رشد مقاومت و اثر دوده دانست

برای بررسی همبستگی نتایج مقاومت فشاری و مقاومت کششی شکل (٥)، همان‌گونه که در شکل (الف) دیده می‌شود برازش نمایی به‌خوبی و با ضریب بسیار بالایی به نتایج سازگار شده است. ضریب ۰,۹٦ اعلام می‌دارد که مشابه با گزارش‌هایی که در مورد بتن معمولی به‌دست‌آمده است برای بتن نفوذپذیر نیز رابطه معناداری بین مقاومت فشاری و کشش غیرمستقیم برقرار می‌باشد. در شکل (ب) نیز این رابطه بین مقاومت‌ها برای نمونه‌های حاوی اسکوریا مشاهده می‌شود.

٤-۳-جذب آب

شکل (٦) جذب آب نمونه‌های مختلف را در سن ۲۸ روز نمایش می‌دهد. همان‌طور که انتظار می‌رفت افزایش عیار مواد سیمانی جذب آب را تحت تأثیر قرار داده است و باعث کاهش آن شده است.

.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-07-18]

[DOR: 20.1001.1.24766763.1399.20.3.12.2]

شکل ۳. مقاومت فشاری طرح‌های مختلف در سنین ۷ و ۲۸ روز

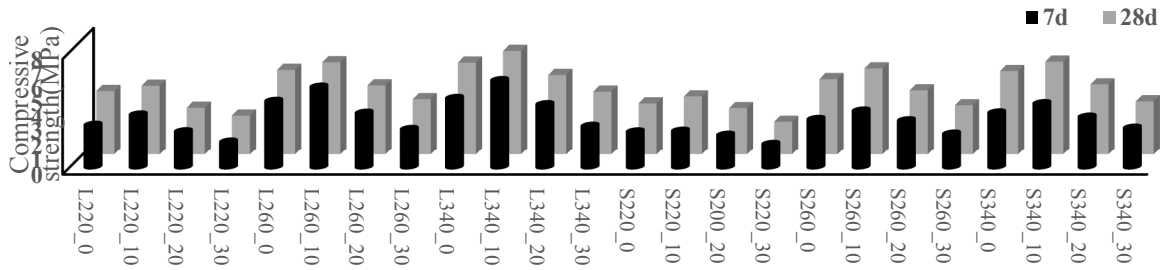
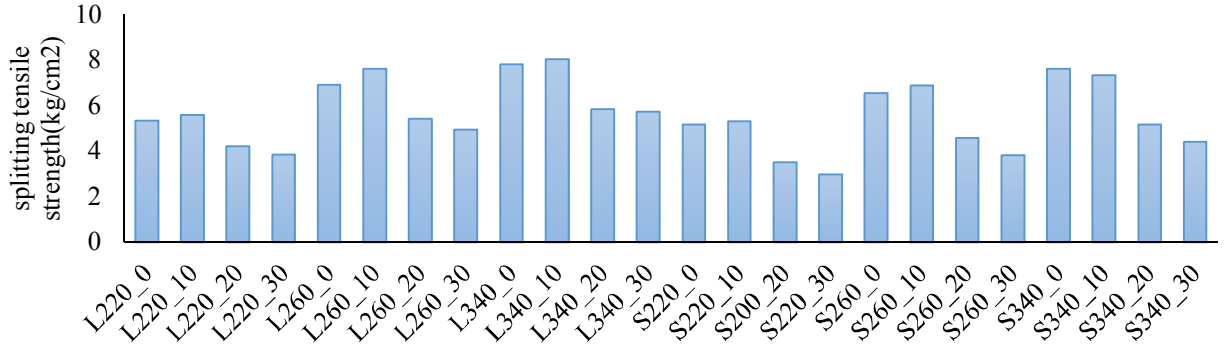


Fig. 3. Compressive strength of different samples at 7 and 28 days

شکل ٤.نتایج آزمون مقاومت کششی دونیم شدن در سن ۲۸ روز برای نمونه‌های مختلف



test at 28 days for different samples **Fig. 4.** The results of the Splitting tensile strength

شکل ٦. جذب آب نمونه‌های مختلف در سن ۲۸ روز

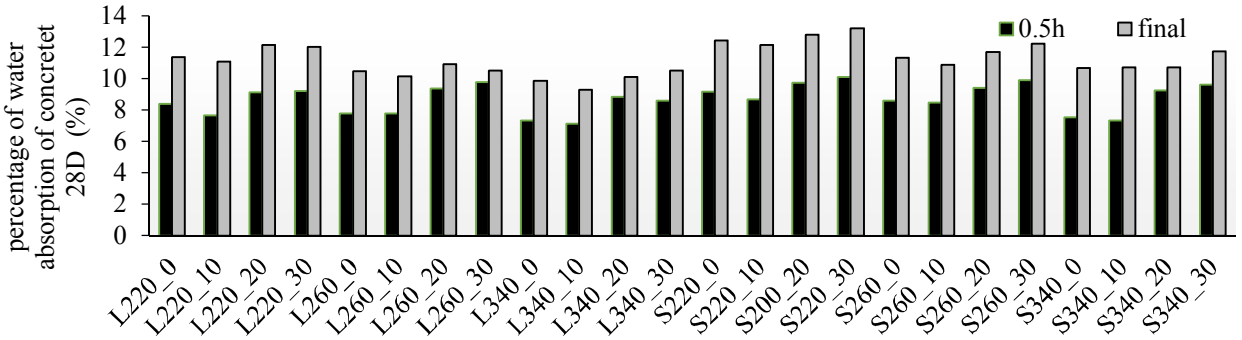


Fig. 6. Water absorption of different samples at 28 days

شکل ۷. درصد تخلخل طرح‌های مختلف درسن ۲۸ روز

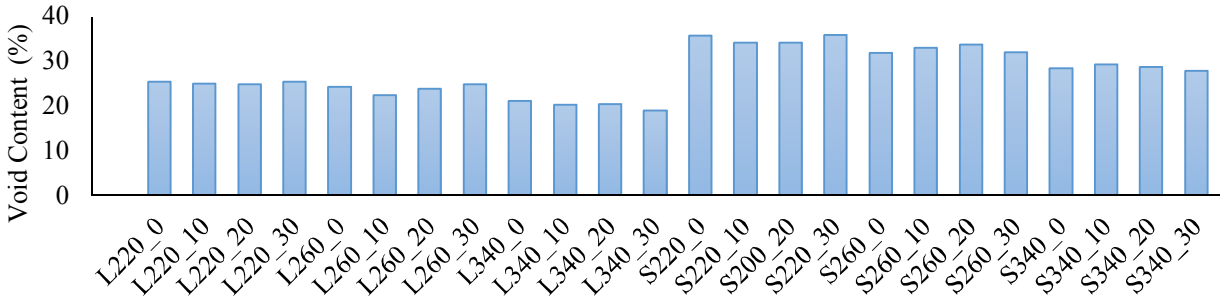
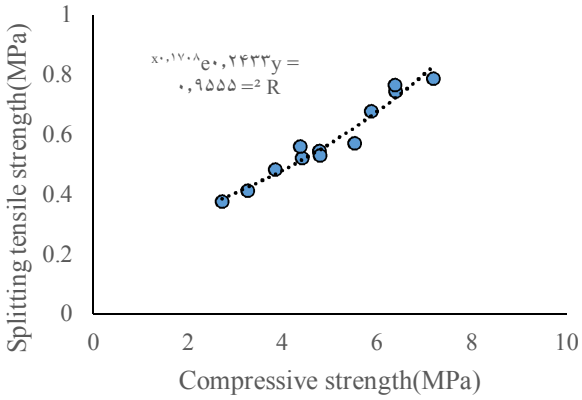


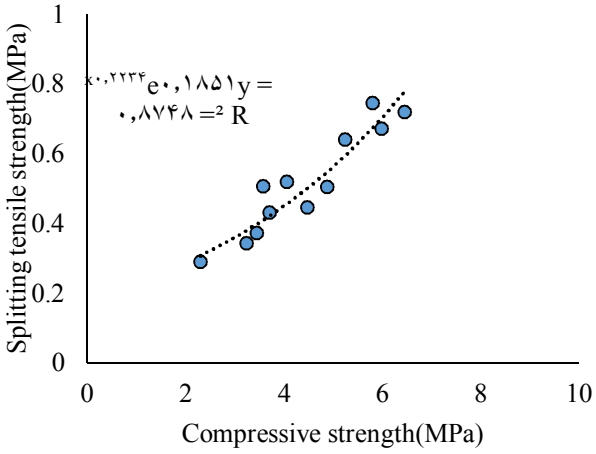
Fig. 7. Void Content of different samples at 28 days

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-07-18]
[DOR: 20.1001.1.24766763.1399.20.3.12.2]

شکل ۵. رابطه بین مقاومت فشاری و کشش غیرمستقیم (الف) لیکا (ب) اسکوریا



(الف)



(ب)

Fig. 5. Relationship between compressive strength and Splitting tensile strength (a) Leca (b) Scoria

بتن‌های حاوی لیکا نسبت به اسکوریا کاهش جذب آب بیشتری را با جایگزینی ۱۰٪ دوده نشان می دهند و حداکثر ۹٪ کاهش جذب آب اولیه در عیار ۲۲۰ و ٦٪ کاهش جذب آب نهایی در عیار ۳٤۰ قابل مشاهده است که می تواند به دلیل جذب آب کمتر لیکا نسبت به اسکوریا باشد

٤-٤- درصد تخلخل

تغییرات درصد تخلخل در نمونه‌های مختلف شکل (۷) به شکل و ماهیت سنگدانه‌ها وابسته است. همان‌طور که در آزمون مقاومت فشاری اشاره شد افزایش عیار مواد سیمانی اگرچه باعث افزایش مقاومت می‌شود ولی کاهش تخلخل را نیز در پی داشت. همانگونه که در نمودار دیده می شود، اختلاف تخلخل نمونه های حاوی اسکوریا با نمونه های لیکا بسیار زیاد بوده و حداقل ٪۹,۷ و تا سقف ٪۸۹,٦ اختلاف مشاهده می شود. ضمن اینکه تاثیر دوده سیلیسی برای نمونه های حاوی لیکا (درصد بهینه ۱۰) حداکثر ٪۸,۲ و برای نمونه های حاوی اسکوریا حداکثر ٪٤,٥ است.

به طور کل هر دو نمونه‌های حاوی لیکا و اسکوریا نتایج قابل قبولی را در آزمون تخلخل نمایش داده‌اند و با توجه به نزدیک بودن نتایج آزمون‌های مکانیکی، به نظر می‌رسد تنها آزمون نرخ عبور بتواند تعیین کند که کدام سنگدانه شرایط مناسب‌تری برای مصرف در بتن نفوذپذیر دارد.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-07-18]

[DOR: 20.1001.1.24766763.1399.20.3.12.2]

٤-٥- رسانایی هیدرولیکی و گرفتگی

افزایش عیار مواد سیمانی به ۲٦۰ کیلوگرم بر مترمکعب همان‌گونه که در شکل (۸) دیده می‌شود، کاهش نسبی نفوذپذیری را نتیجه داده است. همان‌گونه که از داده‌ها می توان استنباط نمود، افزایش دوده سیلیسی در طرح های لیکا منجر به کاهش نفوذپذیری شده است که به ازای جایگزینی ۱۰٪ دوده، بیشینه ۸,۲٪ (در عیار ۲٦۰) کاهش را نشان می دهد. اما در نمونه‌های حاوی اسکوریا تغییرات بسیار کمتر است و به بیشینه ۱,۹٪ در مقادیر نفوذپذیری می‌رسد. اما اختلاف نفوذپذیری بین نمونه‌های حاوی لیکا و اسکوریا قابل توجه است و نمونه‌های اسکوریا حداقل ۱۰,۹٪ نفوذپذیری بیشتری از خود نشان می‌دهند. با افزایش مقدار رس در آب تا ۵۰٪ حدود ۱۳,۸٪ دیگر نیز رسانایی کاهش می‌یابد و به افت متوسط ٦۰,۷٪ می‌رسد. با افزایش مقدار رس به ۷۵٪، روند افت رسانایی کندتر می‌شود و به ٦,٤٪ نسبت به سوسپانسیون ۵۰٪ می‌رسد. در غلظت ۱۰۰٪ رس، همچنان روند کند کاهش رسانایی ادامه دارد و متوسط ٦,۸٪ کاهش نسبت به سوسپانسیون پیشین قابل مشاهده است. در مجموع با افزایش ۱۰۰٪ رس نسبت به آب معمولی، متوسط کاهش رسانایی به ۷۳,۹٪ می‌رسد که می‌توان گفت با توجه به غلظت بسیار بالای رس کاملا مورد انتظار بوده و عملکرد بسیار خوب بتن نفوذپذیر را در سیلاب‌های پر گل و لای به خوبی نمایش می‌دهد. کاهش شدید رسانایی در سوسپانسیون ۲۵٪ فارغ از نوع سبکدانه و مقدارافزودنی، بیانگر اثر رس در ایجاد گرفتگی داخلی این بتن است و چسبندگی آن به دیواره های مجراهای متصل تخلخل نمونه را می‌توان از دلایل اصلی این افت شدید برشمرد. اما با افزودن سوسپانسیون حاوی رس، مقادیر نفوذپذیری دچار کاهش می شوند که بیشترین میزان این افت مربوط به سوسپانسیون ۲۵٪ و با مقدار افت متوسط ٤٦,۹٪ می باشد. تعداد مسیرهای عبور آب نقش مهمی را نفوذپذیری بتن متخلخل بازی می‌کند. درصورتی‌که تعداد زیادی مسیر برای عبور آب موجود باشد حتی در صورت وجود سوسپانسیون‌های با درصد بالا، بازهم تعدادی از مسیرها برای عبور آب‌باز خواهد بود. علاوه بر این پیچ‌وخم موجود در مسیر نیز جز پارامترهای تعیین‌کننده است، پیچ‌وخم بیشتر در مسیر به معنای ته‌نشینی بیشتر ذرات و گرفتگی بیشتر حفرات است. روند نتایج به دست آمده با سوسپانسیون ۱۰۰٪، مشابه با نمودارهای قبلی است و کاهش بیشتر ضریب با افزایش درصد رس مشاهده شده است. نکته جالب‌توجه، نفوذپذیری قابل‌توجه برای تمامی نمونه‌ها در سوسپانسیون با ۱۰۰٪ رس است که حکایت از ویژگی‌های هیدرولیکی قابل‌توجه نمونه‌های تولید شده است.

شکل (۹) رابطه بین تخلخل و نفوذپذیری را برای نمونه‌های حاوی اسکوریا و لیکا نمایش می‌دهد. شکل (الف) نمایش می‌دهد که رابطه نمایی با تقریب خوبی روی نقاط سازگار شد. ضریب برازش ۰,۷۷٦ اثبات می‌کند که می‌توان با تقریب خوبی نفوذپذیری بتن متخلخل را از روی درصد تخلخل آن پیش بینی نمود. در شکل (ب) مربوط به نمونه‌های اسکوریا نیز ضریب برازش حاکی از رابطه معنادار بین نتایج است.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-07-18]

[DOR: 20.1001.1.24766763.1399.20.3.12.2]

شکل ۸. تغییرات رسانایی هیدرولیکی بر اساس میزان غلظت سوسپانسیون‌های رسی برای طرح‌های مختلف برحسب mm/s

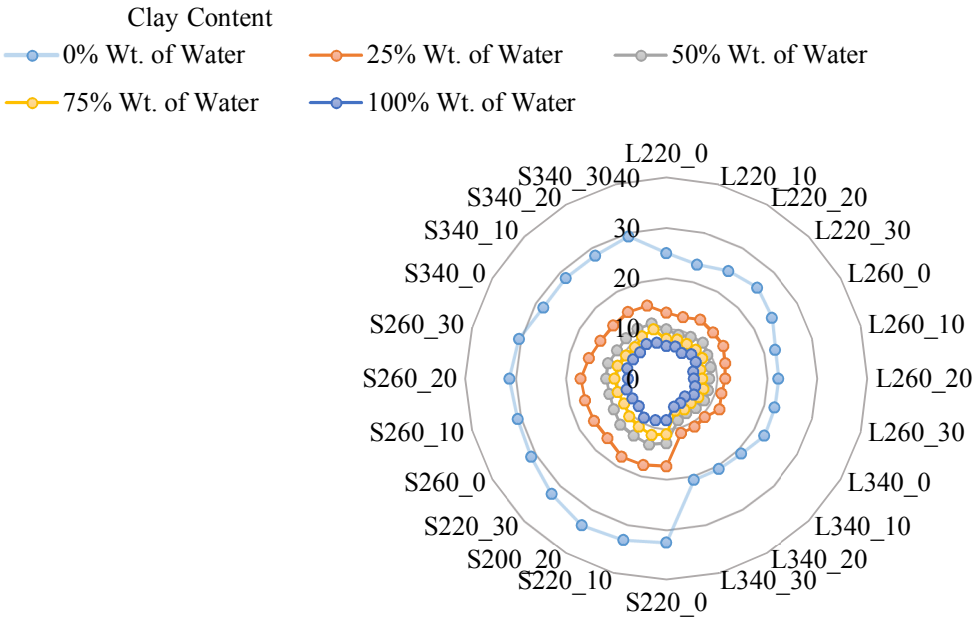


Fig 8. Hydraulic conductivity changes based on the concentration of clay suspensions for different samples (mm/s)

شکل ۹. رابطه بین تخلخل و نفوذپذیری (الف) لیکا (ب) اسکوریا

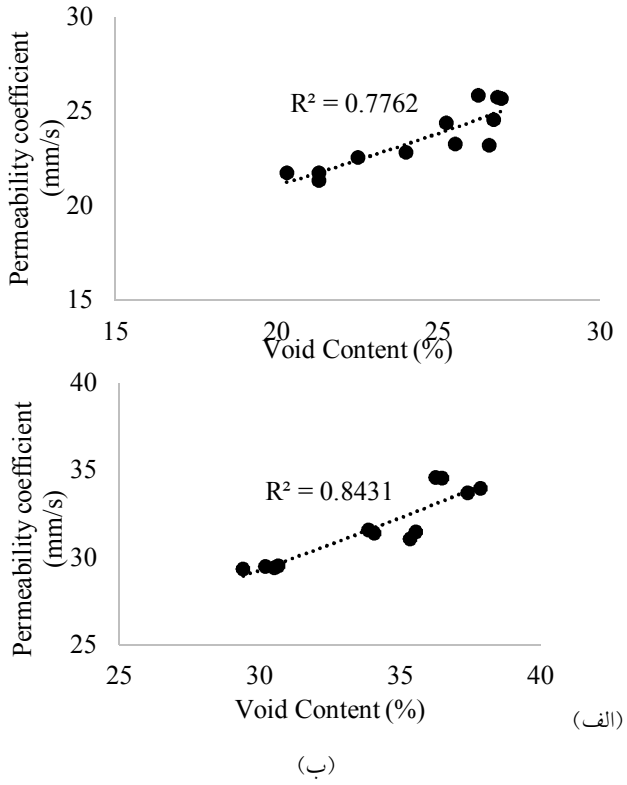


Fig.9 Relationship between Void Content and Permeability coefficient (a) Leca (b) Scoria

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-07-18]
[DOR: 20.1001.1.24766763.1399.20.3.12.2]

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش با بهره‌گیری از سنگدانه‌های سبک اسکوریا و لیکا ساخت بتن نفوذپذیر سبک مورد آزمون قرار گرفت. درحالی‌که تمام سنگدانه‌های درشت از اسکوریا و لیکا انتخاب شده بود برای بهبود و مکانیکی از ۱۰٪ ماسه نیز استفاده شد. همچنین برای تقویت خمیر سیمانی از درصدهای مختلف جایگزینی دوده سیلیسی به‌جای سیمان بهره‌گیری شد. آزمون‌های مختلفی شامل مقاومت فشاری، کشش غیرمستقیم، جذب آب، درصد تخلخل و نفوذپذیری روی نمونه‌ها انجام شد و با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از آزمون‌های می‌توان نتیجه‌گیری‌های زیر را ارائه داد:

-در آزمون مقاومت فشاری مشخص شد که نمونه‌های حاوی لیکا عملکرد بهتری نسبت به نمونه‌های حاوی اسکوریا داشتند. البته تمامی نمونه‌ها مقاومت بین ٤ تا ۷ مگا پاسکال از خود نشان دادند.

- افزایش عیار مواد سیمانی منجر به افزایش مقاومت فشاری شد. هرچند نرخ افزایش برای نمونه های حاوی ۲٦۰ کیلوگرم بر متر مکعب نسبت به نمونه های با عیار ۳٤۰ بیشتر بود.

- افزودن دوده سیلیسی به میزان ۱۰ درصد منجر به تقویت خمیر سیمانی و در نتیجه بالا رفتن مقاومت فشاری شد. گرچه با افزایش بیشتر دوده سیلیسی کاهش شدید مقاومت دیده شد. این کاهش در تمامی نمونه‌های حاوی اسکوریا و لیکا با روند مشابهی نتیجه شد.

- جایگزینی سیمان با دوده سیلیسی به مقدار ۱۰٪ تاثیر مثبتی روی مقاومت کشش غیر مستقیم داشت. مشابه با نتایج به دست آمده در آزمون مقاومت فشاری افزایش بیشتر دوده سیلیسی کاهش مقاومت را بدنبال داشت.

- در آزمون جذب آب مشخص شد که نمونه‌های حاوی اسکوریا جذب به مراتب بالاتری نسبت به نمونه‌های لیکا دارند. با توجه به نفوذپذیر بودن بتن تولید شده جذب اب اندازه گرفته شده بالاتر از حد بتن معمولی بود.

- در اندازه گیری درصد تخلخل نمونه مشخص شد که نمونه‌های اسکوریا با تخلخلی حدود ۳۳ تا ۳٤٪ تخلخل بیشتری نسبت به نمونه‌های لیکا (حدود ۲۵٪) داشتند.

- افزایش عیار مواد سیمانی کاهش درصد تخلخل را در پی داشت. با افزاش عیار سیمان و در نتیجه افزایش خمیر سیمانی تخلخل اندازه‌گیری شده کاهش پیدا کرد.

- نمونه‌های حاوی اسکوریا نفوذپذیری به مراتب بالاتری نسبت به نمونه‌های حاوی لیکا از خود نشان دادند. هر چند افزایش عیار مواد سیمانی کاهش نرخ نفوذ را در پی داشت.

- با افزودن رس و ساخت سوسپانسیون‌هایی با درصدهای مختلف رس، ضریب نفوذپذیری نمونه ها کاهش یافت ولی حتی در سوسپانسیون با ۱۰۰٪ رس تمامی نمونه‌ها ضریب‌های قابل قبولی ارئه دادند و ویژگی‌های هیدرولیکی آنها طبق استانداردهای معین جهانی بود.

٦- مراجع
References

[1] Chen Y., Zhang Q., Gao Y., 2010, Experiment on mechanical performance of porouscement concrete applied to surface layer of highway pavement, China *J.Highway Transport 23* (2) 18–24.

[2] Li X., Yang Q., 2013, Impact analysis of porous concrete overlay timing on tunnelpavement, J. *East China Jiaotong Univ*. 30 (1) 41–45.

[3] Lian C., Zhuge Y., Beecham S., 2011, The relationship between porosity and strengthfor porous concrete, *Constr. Build. Mater*. 25 4294–4298.

[4] Chen Y., Wang K., Wang X., Zhou W., 2013, Strength, fracture and fatigue of perviousconcrete, *Constr. Build. Mater*. 42 97–104.

[5] Zhong R., Wille K., 2015, Material design and characterization of high performance perviousconcrete, *Construction and Building Materials*, 98, 51-60.

[6] Deo O., Neithalath N., 2011, Compressive response of pervious concretes proportioned for desired porosities, *Construction and Building Materials*, 25, 4181-4189.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-07-18]
[DOR: 20.1001.1.24766763.1399.20.3.12.2]

[7] Wongsa Y. Z. A., Sata V., Chindaprasirt P., 2013, Use of lightweight aggregates in pervious concrete, *Construction and Building Materials*, 48, 585-591.
[8] Khankhaje E., Salim M. R., Mirza J., Hussin M. W., Rafiezonooz M., 2016, Properties of sustainable lightweight pervious concrete containing oilpalm kernel shell as coarse aggregate, *Construction and Building Materials*, 126, 1054-1065.
[9] Cosic K., Korat L., Ducman V., Netinger I., 2015, Influence of aggregate type and size on properties of pervious concrete, *Construction and Building Materials*, 78, 69-76.
[10] Guneyisi E., Gesoglu M., Kareem Q., Ipek S., 2014, Effect of different substitution of natural aggregateby recycled aggregate on performance characteristicsof pervious *concrete, Mater Struct*, 49, 521–536.
[11] Rafique M. A., Bhutta, K. Tsuruta, Mirza J., 2012, Evaluation of high-performance porous concrete properties, *Construction and Building Materials*, 31, 67-73.
[12] Bonicelli A., Giustozzi F., Crispino M., 2015, Experimental study on the effects of fine sand addition on differentiallycompacted pervious concrete, Construction and Building Materials, 91, 102-110.
[13] Deo O., Neithalath N., 2010, Compressive behavior of pervious concretes and aquantification of the influence of random pore structure features, Mater. Sci.Eng., 528 402–412.
[14] Rehder B., Banh K., Neithalath N., 2014, Fracture behavior of pervious concretes: theeffects of pore structure and fibers, Eng. Fract. Mech. 118 1–16.
[15] Zhong R., Xu M., Netto R.V., Wille K., 2016, Influence of pore tortuosity on hydraulicconductivity of pervious concrete: characterization and modeling, Constr.Build. Mater. 125 1158–1168.
[16] Hesami S., Ahmadi S., Nematzadeh M., 2014, Effects of rice husk ash and fiber on mechanical properties of perviousconcrete pavement, Construction and Building Materials, 53, 680-691.
[17] Zhong R., Wille K., 2018, Influence of matrix and pore system characteristics on the durabilityof pervious concrete, Construction and Building Materials, 162, 132-141.
[18] Bernhard R., Wayson R., 2005, An introduction to tire-pavement noise. FinalResearch Report SQDH 2005-1. Purdue University, West Lafayette, IN, USA.
[19] Marolf A., Neithalath N., Sell E., Wegner K., Weiss J., Olek J., 2004, Influence of aggregate size and gradation on the acoustic absorption of enhanced porosity concrete, ACI Mater. J. 101 (1) 82–91.
[20] Ohiduzzaman M.D., Sirin O., Kassem E., Rochat J.L., 2016, State-of-of-the-art review on sustainable design and construction of quieter pavements – part 1: traffic noise measurement and abatement techniques, Sustainability 8 (8) 742–769.
[21] Neithalath N., Weiss J., Olek J., 2006, Characterizing enhanced porosity concreteusing electrical impedance to predict acoustic and hydraulic performance,Cem. Concr. Res. 36 (11) 2074–2085.
[22] Gerharz B., 1999, Pavements on the base of polymer-modified drainage concrete,Colloids Surface A 152 205–209.
[23] Pratt, C.J., Mantle, J.D., Schofield, P.A., 1995, UK research into the performance of permeable pavement, reservoir structures in controlling stormwater discharge quantity and quality. *Water Sci. Technol*. 32 (1), 63-69.
[24] Welker, A.L., Gilbert Jenkins, J.K., McCarthy, L., Nemirovsky, E., 2013, Examination of the material found in the pore spaces of two permeable pavements. J. *Irrig. Drain. Eng*. 139, 278-284.
[25] Kayhanian, M., Anderson, D., Harvey, J.T., Jones, D., Muhunthan, B., 2012, Permeability measurement and scan imaging to assess clogging of pervious concrete pavements in parking lots. *J. Environ. Manage 95* (1), 114-123.
[26] Deo, O., Neithalath, N., 2011, Compressive response of pervious concretes proportioned for desired porosities. *Constr. Build. Mater*. 25 (11), 4181-4189.
[27] Coughlin, J.P., Campbell, C.D., Mays, D.C., 2012, Infiltration and clogging by sand and clay in a previous concrete pavement system. *J. Hydro. Eng*. 17 (1), 68e73. CRMA, 2009. Specifier's Guide for Pervious Concrete Pavement Design. Colorado Ready Mix Concrete Association, 24 pp.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-07-18]
[DOR: 20.1001.1.24766763.1399.20.3.12.2]

[28] Kevern, J.T., 2015, Evaluating permeability and infiltration requirements for pervious concrete. J. *Test. Eval*. 43 (3), 544-553.

[29] Yong, C.F., McCarthy, D.T., Deletic, A., 2013, Predicting physical clogging of porous and permeable pavements. *J. Hydrol*. 481, 48-55.

[30] Chopra, M., Wanielista, M., Ballock, C., Spence, J., 2007, Construction and Maintenance Assessment of Pervious Concrete Pavements. *Stormwater Management Academy University of Central Florida*

[31] Mackey, R.E., Koerner, G.R., 1999, Biological clogging of geotextile filters - a five-year study. In: Geosynthetics 99 Conference Proceedings, 28-30 April 1999. IFAI Publishing, Boston, Massachusetts. St. Paul, Minnesota, pp. 783-798.

[32] Guthrie, W.S., Carson, B.D., Dennis, L.E., 2010, Effects of soil clogging and watersaturation on freeze-thaw durability of pervious concrete. *J. Transp. Res. Board* 2164, 89-97.

[33] ASTM C778, Standard Specification for Standard Sand, ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.

[34] ASTM C496, Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.

[35] ASTM C642, Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-07-18]
[DOR: 20.1001.1.24766763.1399.20.3.12.2]

Investigation of hydraulic conductivity and clogging of permeable Lightweight Concrete containing Leca and Scoria

K. Momeni[1*], R. Ghavidel[2]

1. PHD of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Faculty of Imam sadeq Astaneh ashrafiyeh, Guilan Branch, Technical and Vocational University (TVU), Guilan, Iran
2. PHD, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University of Lashenesha-Zibakenar Branch, Lashtenesha, Guilan, Iran

*** kmomeni@tvu.ac.ir**

Abstract:
Pervious concrete is a concrete that, given its high porosity, allows higher rates of water infiltration through it. Although asphalt and concrete pavements have high structural and durability capabilities, they have a considerable high impact on the environment in terms of environmental as well as acoustic noise production. One of these problems are the drastic decrease in rainwater penetration to the ground and the consequent flooding disasters in the cities, which can lead to significant financial and life damage. On the other hand, surface clay pollution runoff can lead to clogging and take negative impact at effective permeability of such concrete. Thus making the most important feature of this concrete, which is high permeability, would be accompanied by some difficulties. In this study, using silica fume, it's been tried to make a permeable concrete in order to have desirable mechanical properties, high permeability and less clogging. In addition, with the use of leca and scoria lightweight aggregates, the specific gravity of pervious concrete was significantly reduced to help noise pollution reduction by increasing internal and structural porosity. The compressive strength test showed that the samples containing Leca have better performance than the samples containing Scoria. However, all samples exhibited resistance between 4 and 7 MPa. Increasing level of cementitious materials resulted in increased compressive strength. However, the rate of increase for samples containing 260 kg/m^3 found to be higher than for samples with 340 kg/m^3. Also, replacing cement with silica fume by 10% had a positive effect on indirect tensile strength. Similar to the results obtained in the compressive strength test, a further increase in silica fume resulted in a decrease in resistance. Regarding hydraulic conductivity, the specimens containing scoria aggregates have higher porosity and permeability, which both have high importance in pervious concrete. In all cases, the samples showed acceptable permeability for slurry passage even at high concentrations, but the difference between the 10% clay suspensions compared to clay-free water was significant, while the hydraulic conductivity decrease rate was much lower with increasing the concentration of clay. Concerning the clogging of specimens, the results showed that the increase in silica fume in the Leca mixtures resulted in a decrease in permeability, with a maximum reduction of 8.2% (260 kg/m^3 cement content) for the replacement of 10%. But in the samples containing Scoria, the variation is much less, reaching a maximum of 1.9% in permeability values. However, the permeability difference between the samples containing Leca and Scoria is significant, and the samples of Scoria exhibit at least 10.9% higher permeability. With the increase in the amount of clay in water up to 50%, the conductivity decreased about 13.8% to an average drop of 60.7%. By increasing the amount of clay to 75%, the conductivity drop is slower, reaching 6.4% compared to the 50% suspension. At a 100% clay concentration, the slow conductivity decrease continues, with an average decrease of 6.8% compared to the previous suspension. Overall, with a 100% increase in clay content compared to clay-free water, the average conductivity decrease reaches 73.9%, which can be said to be quite expected given the very high concentration of clay and the excellent performance of permeable concrete in muddy floods. The trend of results obtained with 100% suspension is similar to previous observations and further decrease of coefficient is observed with increasing clay percentage. Interestingly, significant permeability was observed for all specimens in 100% clay suspension, indicating significant hydraulic properties of the specimens produced.

Keywords: Permeable Concrete, Lightweight Concrete, Hydraulic Conductivity, Clogging, Porosity Percentage

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-07-18]

[DOR: 20.1001.1.24766763.1399.20.3.12.2]