

روسازی بتن متخلخل

مقاله علمی - پژوهشی

مصطفی آدرسی^{*}، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
بهروز شیرگیر، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
علیرضا باقرزاده، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
^{*}پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.adresi@sru.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۵ - پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۸

صفحه ۹۶-۸۳

چکیده

افزایش سطوح نفوذناپذیر کنترل روان آب را با چالش بزرگی مواجه نموده است. از سوی دیگر افزایش سطوح غیرقابل نفوذ باعث عدم تبادل حرارتی لایه‌های زیرین زمین با هوا می‌شود که منجر به تشدید پدیده گرمایش جهانی می‌شود. یکی از راه حل‌های کمک به این چالش استفاده از روسازی‌های متخلخل است. از محاسن روسازی متخلخل نسبت به روسازی عادی؛ علاوه بر کنترل روان آب، می‌توان به افزایش راحتی کاربران راه، افزایش اصطکاک جاده و افزایش ایمنی راه و... اشاره کرد. از محدودیت‌های بتن متخلخل می‌توان به محدودیت استفاده در جاده‌های با ترافیک زیاد یا بار سنگین ترافیکی اشاره کرد؛ به عبارت دیگر با دانش فعلی درباره این سیستم روسازی از آن می‌توان در راه‌های کم تردد نظیر راه‌ها و خیابان‌های محلی و محوطه‌های پارکینگ‌ها استفاده کرد. هدف از انجام این تحقیق بررسی بتن متخلخل و آشنایی با استانداردهای مرتبط با بتن متخلخل است. همچنین، در این تحقیق محاسن و معایب بتن متخلخل نحوه ساخت و تعمیر و نگهداری و مشکلات متداول این سیستم روسازی مورد بررسی قرار گرفته است. در پایان این تحقیق علاوه بر دست‌یابی به دانش کلی درباره بتن متخلخل و طرح مخلوط روسازی‌های بتن متخلخل، شیوه‌های نگهداری متداول از روسازی متخلخل و آزمایش‌های رایج در پژوهش‌های مرتبط معرفی شده است. در آخر نتیجه شد که با دستیابی به دانش کافی می‌توان از روسازی بتن متخلخل در جاده‌های با تردد کم یا بار ترافیکی سبک بهره برد.

واژه‌های کلیدی: روسازی بتنی متخلخل، بتن نفوذپذیر، طرح مخلوط، آزمایش‌ها، تعمیر و نگهداری

۱-مقدمه

امروزه بدلیل افزایش سطوح نفوذناپذیر روسازی و محوطه سازی شهری با سیستم‌های نفوذناپذیر، کنترل روان آب مسئله جدی در مدیریت شهری است. قطعاً یکی از راه‌کارهای مناسب برای کنترل روان آب استفاده از روسازی متخلخل است. در واقع سیستم روسازی متخلخل روان آب را بصورت عمقی زهکشی می‌کند. مهم‌ترین وجه تمایز بتن متخلخل با بتن نفوذناپذیر (بتن معمولی) دانه‌بندی سنگدانه‌ها است. در روسازی متخلخل، دانه‌بندی باید به صورت یکنواخت یا

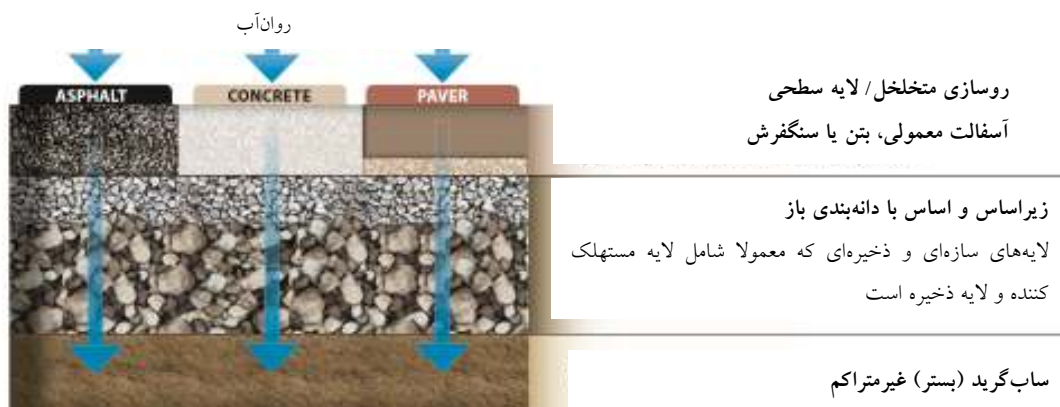
منقطع باشد. معمولاً در بتن متخلخل ریزدانه وجود ندارد ولی برای افزایش مقاومت فشاری بتن می‌توان از ریز دانه به صورت محدود استفاده کرد. در صورت استفاده؛ ریز دانه منجر به کاهش تخلخل و نفوذپذیری می‌شود. بتن متخلخل، بتن مخصوصی است که دارای مقدار زیادی فضای خالی است، تا هوا یا آب از درون بتن عبور کند. بطور معمول، بتن متخلخل دارای منافذ متصل به هم با اندازه از ۲ تا ۸ میلی‌متر است. میزان تخلخل این نوع بتن بین ۱۸ درصد تا ۳۵ درصد

از سطوح غیرقابل نفوذ به مناطق و اجزای سیستم زهکشی می‌شود. هدف اصلی برای بهبود و یا حمایت از منابع آبی کشور برای پشتیبانی از سیستم‌های آب زیرزمینی و تغییرات کلی فیزیکی و شیمیایی سیستم هیدرولوژیکی طبیعی در یک حوضه آبریز، کاهش پوشش غیرقابل نفوذ در حوضه‌های پر بارش است. از دیگر مزایای روسازی متخلخل می‌توان به افزایش مقاومت لغزشی درمقایسه با روسازی‌های عادی، کاهش انعکاس نور از سطح جاده، کاهش پدیده پاشش در سطح جاده در هوای بارانی، کاهش سر و صدا، افزایش راحتی راننده و... اشاره کرد. از معایب روسازی متخلخل نیز می‌توان به افزایش هزینه‌های تولید و نگهداری و کاهش طول عمر بهره‌برداری اشاره کرد. از آنجا که روسازی‌های متخلخل می‌توانند عملکرد وسایل نقلیه و عابر پیاده را تامین کنند، آن‌ها برای استفاده در مناطق شهری که هدف دوگانه مدیریت روان‌آب و حفظ کارایی روسازی را در نظر دارند استفاده می‌شوند. برای طراحی روسازی متخلخل نوع مواد انتخاب شده روسازی متخلخل و طراحی سیستم روسازی کاملاً به اهداف پروژه و نوع کاربری برای روسازی بستگی دارد (European Environment Agency (EEA)).

روسازی‌های متخلخل در حال حاضر برای استفاده برای بارهای سنگین مداوم، حمل و نقل کامیون، جاده‌های پرسرعت و حجم زیاد ترافیک یا مناطقی که ممکن است دارای پتانسیل بالاتری برای آلودگی، رسوب یا تجمع ماده آلی باشند، توصیه نمی‌شود.

همچنین برای بسیاری از سطوح؛ روسازی متخلخل بخصوص آسفالت متخلخل گزینه مناسبی نیست. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، یک سطح مقطع معمولی سیستم روسازی متخلخل شامل یک لایه روسازی با نفوذپذیری بالا در بالای لایه‌های اساس/زیراساس است.

و مقاومت فشاری آن بین ۲/۸ تا ۲۸ مگاپاسکال است (ACI Committee 522). بتن متخلخل بیش از ۳۰ سال است که در بسیاری از کشورهای جهان به ویژه در انگلیس و ایالات متحده مورد استفاده قرار گرفته است (Schaefer, VR; Wang, K; Suleiman, MT; Kavern). بتن متخلخل را می‌توان در ساخت سطوح پارک، مناطقی با ترافیک سبک و پیاده‌روها، زمین تنیس، گلخانه و سایر پروژه‌های مهندسی عمران و آثار معماری استفاده کرد (ACI Committee 522; Tyner et al.; Schaefer, VR; Wang, K; Suleiman, MT; Kavern; Schaefer et al.; Haselbach et al.; Thomas; Scholz and Grabowiecki; B. Huang et al.). از بتن متخلخل با درصد تخلخل بالا می‌توان در سایر برنامه‌های کاربردی مانند کاربرد‌های حرارتی و عایق، جذب آکوستیک، بستر بتنی برای پوشش گیاهی یا موجودات زنده و تصفیه آب استفاده کرد. بنابراین، بتن متخلخل بتن سازگار با محیط زیست است. طرح مخلوط بتن متخلخل به طور معمول از سیمان، درشت‌دانه تشکیل شده است، در صورت لزوم مقدار کمی ریزدانه، آب و مقادیر کمی مواد افزودنی وجود دارد. بطور کلی، سیمان پرتلند بعنوان ماده اصلی اتصال دهنده در بتن متخلخل استفاده می‌شود (Yang and Jiang; Kim and Lee; Park and Tia; Paul et al.; Luck et al.). روسازی نفوذناپذیر (روسازی متداول) در حوضه‌های پر بارش منجر به افزایش روان‌آب و کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی در حین وقوع بارندگی می‌شود. این افزایش روان‌آب می‌تواند منجر به تأثیرات منفی بر سیستم‌های زهکشی شهری، منابع طبیعی و مایملک شخصی شود. تأثیرات روان‌آب‌های حاصل از پوشش‌های نفوذناپذیر می‌تواند شامل افزایش حجم جریان آب و سرعت آن باشد که می‌تواند باعث فرسایش شود. علاوه‌براین باعث حمل آلاینده‌ها و بقایای مربوط به روان‌آب



شکل ۱. مقطع عرضی روسازی متخلخل

کرد، تا بتواند نفوذ کامل روان‌آب را انجام دهد (European Environment Agency (EEA)) شکل ۲ الف یک نمونه بتن متخلخل تازه ریخته شده در قالب فلزی ۳۰×۱۵ سانتی‌متر را نشان می‌دهد. بتن‌های ساخته شده در این عکس از دانه‌بندی ASTM NO 89 پیروی می‌کنند. این نمونه‌ها با سیمان پرتلند تیپ ۱ با عیار ۳۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب و نسبت آب به سیمان ۰/۲۷ و نسبت سنگدانه به سیمان ۴/۵ ساخته شده‌اند. در شکل ۲ الف منافذی که در سیستم روسازی بتنی متخلخل ایجاد می‌شود تا توانایی زهکشی عمقی را داشته باشد نشان داده شده است در واقع برای اینکه این منافذ در بتن متخلخل وجود آید باید از دانه‌بندی یکنواخت یا منقطع استفاده کرد و علاوه بر این نباید از سنگدانه‌های کوچک‌تر از ۱/۱۸ میلی‌متر استفاده شود (ACI Committee 522). شکل ۲ ب تصویری از قابلیت گذردهی آب نمونه بتنی متخلخل را نشان می‌دهد.



شکل ۲. الف) قابلیت گذردهی آب نمونه بتنی متخلخل ب) منافذ بتن متخلخل

همان‌طور که در استاندارد شماره ۷ دپارتمان وریجینیا برای روسازی‌های متخلخل بیان شده روسازی‌های متخلخل سطوح جایگزینی است که اجازه می‌دهد تا روان‌آب از طریق حفره‌های موجود در سطح روسازی به مخزن زیرزمینی (لایه مخزن)، جایی که موقتاً آب در آن ذخیره شده و یا نفوذ کند، وارد شود. انواع سطوح روسازی متخلخل از جمله بتن متخلخل، آسفالت متخلخل و بلوک‌های بتنی قابل نفوذ، در حالی که دارای طراحی خاص خود می‌باشند. در عین حال دارای یک ساختار مشابه، متشکل از یک لایه سطحی روسازی، و یک لایه سنگی مخزن (در اساس زیر اساس) هستند. ضخامت لایه مخزن توسط دو عامل باربری و هیدرولوژیکی تعیین می‌شود. لایه روسازی برای عبور روان‌آب و همچنین برای تحمل بار ترافیک روسازی استفاده می‌شود. اگر میزان نفوذ در خاک‌های منطقه مجاز باشد، می‌توان روسازی متخلخل را بدون زهکشی از زیر طراحی

۲- طرح مخلوط بتن متخلخل

ساخت پارکینگ و پیاده‌رو استفاده می‌شود. نسبت آب به سیمان بین ۰/۲۷ تا ۰/۳۴ توصیه می‌شود، همچنین از روان کننده هم در صورت لزوم می‌توان استفاده کرد. میزان سنگدانه مصرفی بین (کیلوگرم بر متر مکعب) ۱۱۸۰ تا ۱۴۷۵ (کیلوگرم بر متر مکعب) قرار دارد. میزان مصالح سیمانی (عیار سیمان) بین ۲۶۵ تا ۴۱۳ (کیلوگرم بر متر مکعب) در هر متر مکعب توصیه شده است. نسبت سنگدانه به سیمان بین ۴ تا ۴/۵: ۱ پیشنهاد می‌شود (ASTM Standard C33; TechBrief). اندازه سنگدانه‌های متداول مصرفی در بتن

استانداردهای ACI 522 و راهنمای FHWA متداول‌ترین منابع برای بتن متخلخل هستند که آستانه‌های متغیرهای طرح مخلوط این سیستم را معرفی کرده‌اند. بتن متخلخل همانند بتن عادی حاوی مصالح سیمانی، درشتدانه، آب و در صورت لزوم افزودنی است. از ریزدانه به صورت محدود و بین ۵٪ تا ۷٪ برای افزایش مقاومت در برابر چرخه ذوب و یخ استفاده می‌شود. دانه‌بندی بتن متخلخل از استانداردهای شماره ۷ و ۸ و ۶۷ و ۸۹، ASTM C33/C33M پیروی می‌کند. از استاندارد شماره ۸۹ برای

در ادامه برای آشنایی بیشتر با آستانه‌های طرح مخلوط بتن متخلخل جدول‌های ۱ تا ۳ آورده شده است. در جدول ۱ طرح مخلوط‌های بتن متخلخل تعدادی از پژوهش‌های گذشته آورده شده است. در جدول ۲ ویژگی‌های متداول بتن متخلخل گزارش شده است. در جدول ۳ نیز ویژگی‌های متداول مصالح بتن متخلخل آورده شده است. ریزتری به نسبت سایر استانداردها است و از این جهت می‌تواند برای پارکینگ و استفاده در روسازی راه مناسب‌تر باشد (TechBrief).

متخلخل در تحقیقات انجام شده شامل ۴ نوع سنگدانه هستند. ماسه‌های متداول مصرفی در بتن متخلخل شامل ۲ نوع هستند، نوع ریزتر ماسه شامل سنگدانه‌های مانده بین الک شماره ۸ و الک شماره ۱۶ و نوع درشت‌تر آن شامل سنگدانه‌های مانده بین الک شماره ۴ و الک شماره ۸ است. در مورد شن نیز به طور کلی با ۲ نوع ریز و درشت مواجه هستیم، نوع ریزتر شامل سنگدانه‌های مانده بین الک ۳/۸ اینچ و الک شماره ۴ و نوع درشت‌تر آن شامل سنگدانه‌های مانده بین الک ۱/۲ اینچ و ۳/۸ اینچ است (Hamada et al.).

جدول ۱. طرح مخلوط‌های بتن متخلخل تعدادی از پژوهش‌های گذشته

منبع	میزان سنگدانه (کیلوگرم بر متر مکعب)	سیمان (کیلوگرم بر متر مکعب)	آب (کیلوگرم بر متر مکعب)	نسبت سنگدانه به سیمان	نسبت آب به سیمان
(Ćosić et al.)	۱۷۸۳	۳۰۰	۹۹	۵/۹۴ به ۱ و ۱۶/۸۴ به ۱	۰/۳۳
(Yang et al.)	۱۶۲۲	۳۵۲	۹۹	۴/۶ به ۱	۰/۲۸
(CEEJ_Volume 50_Issue 4_Pages 673-684 (1))	۱۵۹۰ و ۱۶۷۲ و ۱۵۶۵	۲۱۰ تا ۴۹۵	۶۱ تا ۱۴۷	۶/۸ تا ۴/۵	۰/۲۵ و ۰/۳ و ۰/۳۵
(Tho-In et al.)	۱۷۶۸	۲۲۱	۷۶/۵	۸ به ۱	۰/۳۴

جدول ۳. ویژگی‌های متداول مصالح بتن متخلخل (ACI Committee 522)

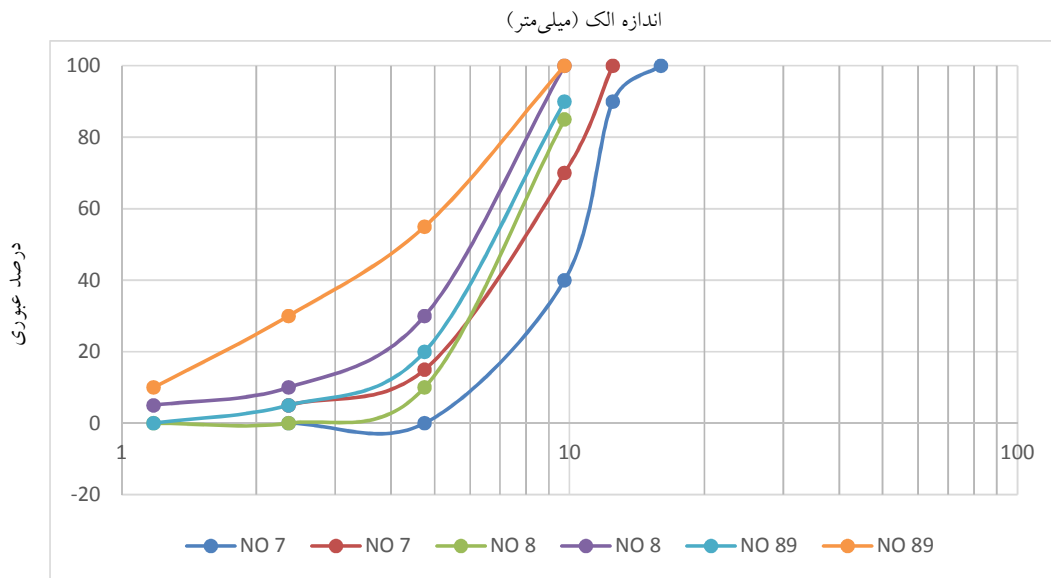
محدوده	پارامتر طراحی
۱۱۸۰ تا ۱۴۷۵ کیلوگرم بر مکعب	درشت‌دانه
۲۶۵ تا ۴۱۳ کیلوگرم بر مکعب	مصالح سیمانی
۰/۲۷ تا ۰/۳۴	نسبت آب به سیمان
۴ تا ۴/۵ به ۱	نسبت سنگدانه به سیمان

۳-دانه‌بندی بتن متخلخل

دانه‌بندی بتن متخلخل از استانداردهای شماره ۷ و ۸ و ۸۹، ASTM C33/C33M پیروی می‌کند. شکل ۳ منحنی‌های دانه‌بندی این استانداردها را با هم مقایسه کرده است. در این شکل آستانه‌های بالا و پایین هر استاندارد مشخص شده است. لازم به ذکر است که استاندارد ASTM NO 89 همان طور که در شکل قابل مشاهده است دارای دانه‌بندی می‌باشد.

جدول ۲. ویژگی‌های متداول بتن متخلخل (Paul et al.)

ویژگی	مقدار متداول
بتن تاره	
وزن مخصوص	۷۰ درصد بتن عادی
زمان کارا بودن مخلوط	۱ ساعت
بتن سخت شده	
چگالی	۱۶۰۰ تا ۲۰۰۰ (کیلوگرم بر متر مکعب)
مقاومت فشاری	۳/۴۵ تا ۲۷/۵ مگا پاسکال
مقاومت خمشی	۱ تا ۳/۸ مگا پاسکال
نفوذپذیری	L/m ² /min تا ۸۱/۶ L/m ² /min و ۷۳۴/۴



شکل ۳. منحنی‌های دانه‌بندی استاندارد ۷ و ۸ و ۸۹، ASTM C33/C33M

۴-محاسن و معایب بتن متخلخل

با توجه به افزایش سطوح و روسازی‌های نفوذناپذیر و مشکل کنترل روان‌آب و پدیده گرمایش جهانی بتن متخلخل راه‌کاری برای رفع این مشکلات است که هم دوست‌دار محیط زیست است (امکان تبادل حرارتی لایه‌های زیرین زمین را با هوای آزاد فراهم می‌کند) و هم بعلت مصرف کم‌تر سیمان نسبت به روسازی معمولی دارای توجیه اقتصادی نیز است. همچنین روسازی متخلخل دارای مزیت‌های فراوانی است که در ذیل به صورت خلاصه به برخی از آنها اشاره شده است (ACI Committee 522; John T Kevern, Wang, et al.; J. T. Kevern et al.; Nguyen et al.)

-کاهش صدای تاپر در خودروها

-جلوگیری از انعکاس نور و پدیده خیره‌شدگی

-جلوگیری از آب گرفتگی معابر

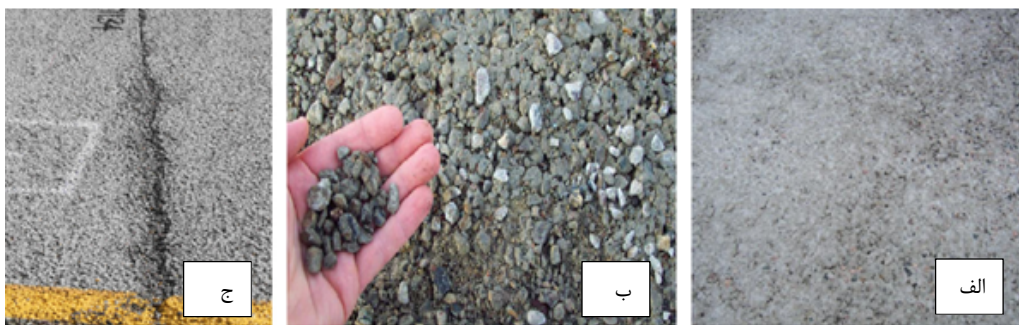
-افزایش ضریب اصطکاک در سطح راه

اما بتن متخلخل با وجود مزیت‌های فراوان دارای مشکلات و محدودیت‌هایی نیز است. از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به مقاومت فشاری کم‌تر نسبت به بتن عادی اشاره کرد که علت آن کاهش ۳۰ درصدی چگالی در بتن متخلخل نسبت به بتن عادی است که این مورد خود عاملی است که منجر به محدودیت استفاده بتن متخلخل در

راه‌های با تردد زیاد یا بار سنگین ترافیکی است (Tho-In et al.). در کنار محدودیت‌های کاربری، مشکل اصلی بتن متخلخل پدیده انسداد و گرفتگی است. سیستم روسازی متخلخل بعد از ساخت در معرض انواع مختلفی از رسوبات نظیر ماسه و رس و ریزگردها قرار می‌گیرد که این رسوبات به مرور زمان باعث انسداد منافذ روسازی متخلخل می‌شوند در صورتی که این انسداد رخ دهد روسازی متخلخل علاوه بر اینکه قابلیت گذردهی آب را از دست می‌دهد با جمع شدن رسوبات و آشغال‌های محلی در منافذ روسازی متخلخل باعث شیوع بیماری‌های مختلفی می‌شود (Sandoval et al.). راه‌کار جلوگیری از انسداد روسازی متخلخل تمیز کردن دوره‌ای (تعمیر و نگهداری) این سیستم روسازی است. روش‌های مختلفی برای تمیز کردن روسازی متخلخل وجود دارد که هر کدام از این روش‌ها متناسب با رسوبات غالب در سیستم دارای برتری هستند. لازم به ذکر است که رسوبات غالب در هر محل متفاوت است و به همین خاطر برای هر پروژه باید تحقیقات میدانی انجام شود تا روش بهینه تمیز کردن روسازی متخلخل تعیین شود. روش‌های متداول تمیز کردن روسازی متخلخل شامل «شستشوی با فشار آب» و «دستگاه مکنده» و «دستگاه دمنده هوا» و یا ترکیبی از این روش‌ها مانند «مکنده + شستشوی با فشار آب» را شامل می‌شود. برای تناوب تمیز کردن روسازی متخلخل نیز اغلب پژوهش‌ها و راهنماها، ۱ یا ۲ بار تمیز کردن در سال را توصیه

متخلخل شامل Raveling و خرابی درز و پوسته شدن سطح است (Chandrapa and Biligiri).

می‌کنند (Dougherty et al.). بطور کلی بر اساس پژوهش‌های انجام شده و شکل ۴ انواع خرابی‌های رایج بتن



شکل ۴. الف- پوسته شدن درز ب) جداشدگی Raveling ج) خرابی درز

آزمایش‌های متداول بتن متخلخل

(کیلوگرم در متر مکعب)، M_s جرم کل مصالح برحسب (کیلوگرم) است، V_s مجموع حجم مطلق مواد تشکیل دهنده برحسب (مترمکعب) است. تخلخل گزارش شده متوسط تخلخل سه نمونه ساخته شده باید باشد (پس از آزمایش تخلخل، نمونه‌های استوانه‌ای در لوله PVC قرار گرفته و توسط گیره‌های محیطی محکم شدند (سری ثابت). آزمایش در شکل ۵ نشان داده شده است. آزمایش نفوذپذیری وقتی انجام می‌شد که جریان به حالت پایدار رسید. لازم به ذکر است که برای این که ضریب نفوذپذیری محاسبه شده فقط در جهت قائم باشد ضروری است که سطح جانبی نمونه‌های استوانه‌ای به خوبی عایق بندی شود. ضرایب نفوذپذیری آب (K) محاسبه شده بر مبنای متوسط سه نمونه ساخته شده است و طبق قانون دارسی و معادله ۳ محاسبه شده است:

$$k = \frac{QL}{HAt} \quad (3)$$

در معادله بالا k (سانتی‌متر بر ثانیه) ضریب نفوذپذیری آب است، Q (سانتی‌متر مکعب) مقدار آب جمع شده با گذشت زمان t (s) است، L (سانتی‌متر) طول نمونه، H (سانتی‌متر) هد آب، A (سانتی‌متر مربع) سطح مقطع نمونه است.

از آنجایی که سرعت نفوذ آب به درون سیستم روسازی مهم‌ترین مسئله در طراحی و ساخت این سیستم روسازی است؛ که مستلزم وجود منافذ متصل به هم در سیستم روسازی است. این مورد با آزمایش‌های تخلخل و نفوذ پذیری سنجیده می‌شود. خواص مکانیکی روسازی متخلخل نیز با آزمایش‌های مقاومت فشاری و کششی و چرخه ذوب و یخ مورد بررسی و سنجش قرار می‌گیرد. در ادامه چگونگی انجام این آزمایش‌ها به همراه استاندارد هر آزمایش ذکر شده است.

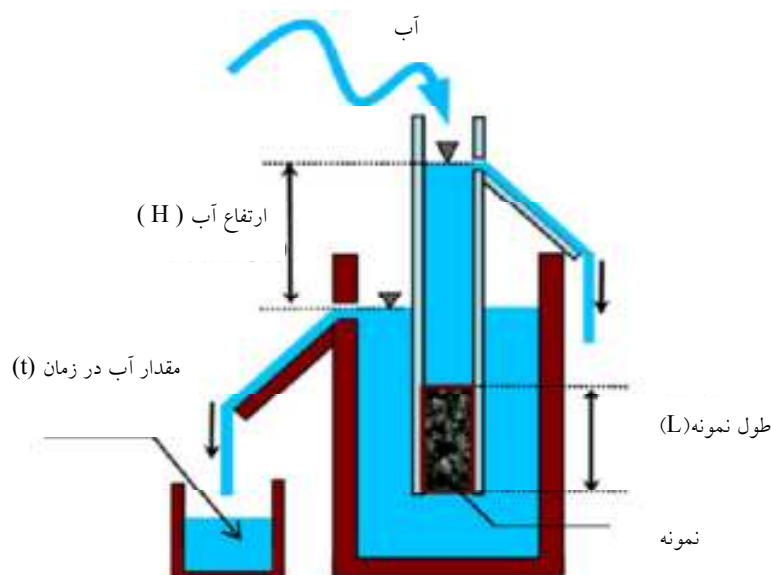
میزان تخلخل و نفوذ پذیری آب

میزان تخلخل و نفوذپذیری آب نمونه‌های بتنی با استفاده از نمونه‌های استوانه‌ای به قطر ۱۰۰ میلی‌متر و ارتفاع ۲۰۰ میلی‌متر مطابق با ASTM C 1688 و با استفاده از محاسبه رابطه (۱) اندازه‌گیری می‌شود.

$$V_T = \frac{(T - D)100}{T} \quad (1)$$

$$T = \frac{M_s}{V_s} \quad (2)$$

جایی که V_T مقدار تخلخل (%)، T چگالی نظری بتن متخلخل است که براساس محاسبه در هوای آزاد (کیلوگرم بر متر مکعب) محاسبه می‌شود. D چگالی بتن متخلخل



شکل ۵. دستگاه آزمایش هد ثابت نفوذپذیری آب

آزمایش مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری توسط قالب‌های استوانه‌ای به ارتفاع ۲۰۰ میلی‌متر و قطر ۱۰۰ میلی‌متر انجام می‌شود. مقاومت فشاری نمونه‌ها در سن ۷ روز مورد آزمایش قرار می‌گیرند. سیلندره‌ای تست مقاومت فشاری در هر دو انتها با یک کلاهک گوگرد پوشانده می‌شود. مقاومت فشاری گزارش شده میانگین سه مقاومت است، برای آزمایش مقاومت فشاری از استاندارد ASTM C39 استفاده شد (ASTM C39).

آزمایش چرخه ذوب و یخ

آزمایش چرخه ذوب و یخ یکی از آزمایش‌های سنجش دوام روسازی بتنی است. یکی از نگرانی‌های استفاده از روسازی متخلخل مسئله مقاومت در برابر چرخه ذوب و یخ است. این آزمایش تا وقتی ادامه پیدا می‌کند که تعداد چرخه‌های ذوب و یخ به ۳۰۰ برسد یا زمانی که کاهش وزن نمونه از ۱۵ درصد کم‌تر شود ادامه دارد.

البته باید توجه داشت که به دلیل تخلخل نمونه بایستی اصلاحاتی بر روی نمونه صورت گیرد تا قابلیت انجام آزمایش ذوب و یخ فراهم گردد. در خصوص بتن متخلخل مقالات بسیاری نوشته شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها پرداخته شده است.

Yi zhang و همکاران خواص جذب صدای بتن متخلخل و پارامترهای مربوطه را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که تحت شرایط یکسان خاصیت جذب صدا بتن متخلخل با افزایش اندازه مصالح و افزایش نسبت سیمان به سنگدانه کاهش می‌یابد؛ و با افزایش ضخامت روسازی این خاصیت افزایش می‌یابد. بعلاوه رطوبت و دما تاثیر بسزایی در خاصیت جذب صدا دارند (Y. Zhang et al.).

Guaofang zhang و همکاران خواص بتن متخلخل ساخته شده با سرباره آهن را با چسباننده‌های مختلف بررسی کردند. نتایج نشان داد که بتن متخلخل با مصالح سرباره آهن دارای خواص مطلوبی است. چسباننده‌های دارای افزودنی معدنی ناحیه انتقال بتن متخلخل را تقویت می‌کنند. خصوصیات هیدراتاسیون چسباننده‌ها اندکی بر مقاومت بتن متخلخل تاثیر می‌گذارد.

نتایج نشان داد که با افزایش نسبت چسباننده به سنگدانه خواص مکانیکی بهبود می‌یابد. در مقایسه با بتن متخلخل ساخته شده با سیمان پرتلند معمولی؛ بتن متخلخل ساخته شده با خاکستر بادی، سرباره، سیلیکا فوم که جایگزین بخشی از سیمان پرتلند شده اند دارای مقاومت فشاری کمتر و منافذ متصل به هم بیشتری هستند (G. Zhang et al.).

جایگزینی ۶٪ برای سیلیکا فوم و ۱۰٪ برای خاکستر بادی و برای حالت ترکیبی خاکستر بادی و سیلیکا فوم برابر حالتی است که ۰٪ از خاکستر بادی و ۶٪ از سیلیکا فوم استفاده شد (J. Huang et al.).

Xiao Chen و همکاران با اصلاح بتن متخلخل ژئوپلیمری حاوی سرباره با chitosan اقدام به ساخت سیستم روسازی با هدف حذف آلاینده‌هایی نظیر یون‌های سنگین فلزی و سایر آلاینده‌ها کردند. در این مقاله پارامترهای حجمی بتن به وسیله آزمایش‌های متعامد بهینه شد. تخلخل بهینه ۳۰٪ و نسبت خمیر سیمان به سنگدانه در حالت بهینه برابر ۰/۲۵ معرفی شد. از NaOH و آب شیشه به عنوان فعال کننده‌های قلیایی استفاده شد. نسبت وزنی مجموع آب‌های یونیزه شده و آب شیشه به وزن پودر سرباره برابر ۰/۵ و ثابت در نظر گرفته شد (Chen et al.). در جدول ۴ بطور خلاصه به بررسی ۱۲ مقاله مرتبط با بتن متخلخل پرداخته شده است.

Jinlin Huang و همکاران با بررسی اثر نوع و سایز سنگدانه و افزودنی‌های معدنی بر خواص بتن متخلخل به نتایج زیر دست یافتند:

- بتن متخلخل ساخته شده با سنگدانه‌های دولرایت (Dolerite) در مقایسه با بتن متخلخل ساخته شده با سنگدانه‌های گرانیتی دارای مقاومت فشاری بیشتر و نفوذپذیری بیشتری است.

- تخلخل بهینه و نسبت آب به سیمان بهینه برای بتن متخلخل با دولرایت و گرانیت به ترتیب از راست به چپ برابر ۱۸٪ و ۲۵٪ است.

- برای سنگدانه‌های گرانیتی، نفوذپذیری با افزایش درصد جایگزینی سیلیکا فوم افزایش می‌یابد؛ درحالی که با افزایش درصد جایگزینی خاکستر بادی کاهش می‌یابد.

- بیشترین نفوذپذیری برای حالتی که فقط از سیلیکا فوم و خاکستر بادی به صورت جداگانه استفاده شد مربوط به

جدول ۴. پیشینه تحقیق بتن متخلخل

نویسندگان	آزمایش	طرح اختلاط	خلاصه
J. T. Kevern, M. ASCE ; D. Biddle ; and Q. Cao, S.M. ASCE (John T. Kevern et al.)	مقاومت فشاری مقاومت کششی تخلخل / نفوذ پذیری / چرخه ذوب و یخ	الیاف در دوز های ۳ گانه ۲/۵ و ۵ و ۷/۵ pecy و طول های ۲/۲۵ اینچی و ۱۱/۵ اینچی به مخلوط اضافه شدند	قبل از این تحقیق مطالعات بر روی الیاف میکرو در بتن متخلخل انجام شده بود و اجرای الیاف ماکرو در بتن متخلخل با دوز های غیر استاندارد اجرا می‌شد. این تحقیق نسبت اختلاط بهینه را برای الیاف ماکرو گزارش کرد. همچنین عنوان شد که الیاف با طول بلندتر عملکرد بهتری بر دوام بتن دارند.
Tawatchai Tho-in & Vanchai Sata & Prinya Chindaprasirt & Chai Jaturapitakku	تخلخل نفوذ پذیری مقاومت فشاری ASTM C39	نسبت وزنی خاکستر بادی به درشتدانه: ۱ به ۸ نسبت سیلیکات سدیم به سدیم هیدروکسید: ۰/۵ (ثابت) نسبت مایع قلیایی (آلکالین) به خاکستر بادی (L/A) : ۰/۳۵ ، ۰/۴۰ و ۰/۴۵ غلظت سدیم هیدروکسید: ۱۰ - ۱۵ - ۲۰ مولار	ژئوپلیمر مبتنی بر خاکستر بادی را برای بتن متخلخل مورد بررسی قرار داده است و در نهایت نتیجه شد که مقاومت فشاری اندکی کمتر از بتن متخلخل با سیمان معمولی است.
Fu sheng wen و همکاران (Wen et al.)			با تجزیه و تحلیل مشخصات منافذ و شبیه‌سازی عددی نفوذپذیری در بتن متخلخل ضد یخ حاوی الیاف به نتایج زیر دست یافتند: با تجزیه و تحلیل عکس‌های CT و روش CFD (محاسبه جریان دینامیکی) دریافتند که CT scanning و فرایند تحلیل عکس‌های دیجیتال راهی مناسب برای تحلیل ۲ بعدی و ۳ بعدی ساختار منفذی بتن متخلخل است.

<p>با جایگزینی سنگدانه بازیافتی (RCA) به جای سنگدانه عادی و به کار گیری الیاف فلزی و پلاستیکی بازیافتی و استفاده از نانو رس و سیلیکا فوم اقدام به ساخت بتن متخلخل کردند و به نتایج زیر دست یافتند:</p> <p>بتن متخلخل با RCA خواص مکانیکی ضعیفی به نسبت بتن متخلخل عادی دارد ولی دارای خاصیت نفوذپذیری بهتری است</p> <p>سیلیکا فوم و نانو سیلیس باعث کاهش خواص مکانیکی بدون تغییر در نفوذپذیری نسبت به نمونه شاهد شدند.</p> <p>الیاف پلاستیکی بازیافتی می‌تواند باعث افزایش خواص مکانیکی بتن شوند ولی به نسبت الیاف فلزی دارای عملکرد ضعیف‌تری هستند.</p> <p>استفاده از ۱۰۰٪ RCA به همراه ۲٪ الیاف فلزی و ۲٪ نانو سیلیس مقاومت فشاری ۲۸ روزه ۲۱ مگاپاسکالی را دارد که این طرح اختلاط به عنوان طرح اختلاط مطلوب معرفی شد.</p>	<p>استفاده از ۳ نوع دانه‌بندی مطابق استاندارد ACI</p> <p>استفاده از ۲ نوع الیاف سایر متغیرهای طرح مخلوط نیز مطابق استاندارد ACI 522 انتخاب شده است.</p>	<p>مقاومت فشاری</p> <p>مقاومت کششی</p> <p>تخلخل / نفوذ پذیری</p>	<p>علی طغرلی و همکاران (Toghroli et al.)</p>
<p>با استفاده از روش تاگوچی و درست کردن ۹ طرح اختلاط و ترسیم نمودارهای مربوط به روش تاگوچی مشخص شد که بیشترین تاثیر را بر مقاومت فشاری به ترتیب متغیرهای درصد خمیر سیمان و نسبت آب به سیمان و اندازه سنگدانه دارد.</p>	<p>از دانه بندی‌های ۹/۵-۴/۷۵-۳ میلی‌متر / ۱۲/۵-۹/۵ میلی‌متر / ۱۹-۱۲/۵ میلی‌متر استفاده شد. همچنین نسبت های آب به سیمان برابر ۰/۳۵ و ۰/۳ و ۰/۲۵ انتخاب شد و در مجموع با توجه به بهینه سازی انجام شده توسط روش تاگوچی ۹ طرح اختلاط شکل گرفت همچنین برای انجام تست ها از استانداردهای زیر استفاده شد:</p> <p>ASTM C192/C192M-07 ASTM C150/C150M-09</p>	<p>تخلخل</p> <p>نفوذپذیری</p> <p>مقاومت فشاری</p>	<p>علی اکبر رضاییان پور، علیرضا جوشقانی، امید عطایی و امیر گلرو (Jashaghani and Ramezaniapour)</p>
<p>با جایگزینی ۵ و ۱۰ و ۱۵ درصد لیکا با سنگدانه‌های مصرفی و همچنین برای پرلایت نتیجه شد که لیکا عملکرد مقاومتی و تخلخل بهتری نسبت به پرلایت دارد. همچنین با افزودن ۲۰ درصد وزنی ریزدانه تاثیر آن بررسی شد.</p>	<p>اختلاط : ACI 211/3R</p> <p>$w/c=0/38$</p> <p>$C_{ment}=330 \text{ kg/m}^3$</p> <p>$Coarse \ aggregate = 1400 \text{ kg/m}^3$</p> <p>نمونه های آزمایشی مکعبی ساخته شد.</p>	<p>تخلخل</p> <p>نفوذپذیری</p> <p>مقاومت فشاری</p>	<p>احسان تیموری و حجت کرمی و سید فرهاد موسوی و سعید فرزین (Teymouri et al.)</p>
<p>با این جایگزینی نتیجه شد با توجه به ساختار متخلخل تراورتن با افزایش درصد جایگزینی تخلخل نمونه ها افزایش می‌یابد و در نتیجه مقاومت آنها هم کم می‌شود. بیشترین مقاومت مربوط به نمونه ۱۰۰ درصد حاوی مصالح تراورتن است.</p>	<p>سنگ‌های تراورتن را در آزمایشگاه خرد کرده و سپس دانه‌بندی کرده است. بین ۴.75-۹/5 میلی‌متر / جایگزینی با سنگدانه های تراورتن به ترتیب به میزان ۲۵ و ۵۰ و ۷۵ و ۱۰۰ درصد وزنی با مصالح عادی است.</p>	<p>تخلخل</p> <p>نفوذپذیری</p> <p>مقاومت فشاری</p>	<p>سعید فرزین و مهسا دوست محمدی و حجت کرمی و سیدفرهاد موسوی و امید رضایی فر</p>

<p>از ۳ نوع سنگدانه گرانیته و مرمریت و آهکی برای نشان دادن جنس مصالح در خصوصیات مقاومتی بتن متخلخل استفاده شد. در نهایت نتیجه شد که مقاومت سنگدانه‌های گرانیته بیشتر از مرمریت و مرمریت بیشتر از آهکی است. همچنین دانه‌بندی A,B موجود در مقاله بعنوان دانه بندی‌های مطلوب معرفی شد.</p>	<p>از استاندارد ASTM C136 برای دانه‌بندی بتن متخلخل استفاده شد. همچنین از ۴ نوع دانه‌بندی متفاوت در محدوده استاندارد دانه‌بندی بتن متخلخل استفاده شد.</p>	<p>تخلخل نفوذپذیری مقاومت فشاری</p>	<p>مجید رستمی گله دار و ایمان بهرامی چگنی</p>
<p>نتیجه شد که همه نمونه‌های ژئوپلیمری ساخته شده با سرباره دارای مقاومت بیشتری نسبت به نمونه شاهد هستند. نتیجه شد با افزایش مقدار سرباره کارایی بعلت تاخیر در فعالیتهای شیمیایی بهبود پیدا می‌کند و خواص مکانیکی نمونه‌ها هم دارای چنین رابطه‌ای با نسبت سرباره است.</p>	<p>از سدیم هیدروکسید و پتاسیم هیدروکسید بعنوان فعال کننده‌های قلبایی استفاده شد. همچنین از سرباره بعنوان مصالح خام ۳۰۰ و ۳۵۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب استفاده شد. نسبت آب به سیمان ۰/۴ و ۰/۳۵ همچنین از ۱ دصد وزن سرباره فوق روان کننده پلی کربوکسیالت اتر اصلاح شده استفاده شد.</p>	<p>افت اسلامپ مقاومت فشاری جذب موئینگی آب مقاومت الکتریکی RCMT تعیین ضریب انتشار براساس پروفیل نفوذ یون‌های کلراید</p>	<p>علی اکبر رمضانیان پور فرناز بهمن زاده آرش ذولفقار نسب امیر محمد رمضانیان پور (CEEJ Volume 50_Issue 4_Pages 673-684 (1))</p>
<p>با افزایش عدد ضریب یکنواختی دانه‌بندی‌ها مقاومت‌ها افزایش می‌یابد که در نتیجه آن نفوذپذیری و تخلخل کاهش می‌یابد. با افزایش ریزدانه مقاومت زیاد و تخلخل کاهش پیدا می‌کند. با استفاده از رگرسیون درجه ۲ درصد بهینه ریزدانه برابر حالتی که نسبت عبوری از الک ۴ به مانده برابر ۰/۴۶ و مقاومت فشاری متناظر آن ۱۳/۵ مگاپاسکال و نفوذپذیری ۲۰ سانتیمتر بر دقیقه است.</p>	<p>از سیمان پرتلند معمولی و فوق روان کننده استفاده شد. ۵ نوع دانه‌بندی مختلف براساس ASTM C-33 استفاده شد. طرح اختلاط: با فرض چگالی مخلوط ۱۹۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب نسبت های وزنی ارائه شد / نسبت سیمان به سنگدانه ۰/۲۲ و آب به سیمان ۰/۲۹ انتخاب شد. برای مقاومت فشاری از نمونه مکعبی و نفوذپذیری از استوانه‌ای استفاده شد.</p>	<p>سایش لس آنجلس / افت وزنی با سولفات سدیم / تطویل و تورق/ ارزش ماسه‌ای / تخلخل نفوذپذیری مقاومت فشاری</p>	<p>بهروز شیرگیر و ابوالفضل حسنی و هادی علیزاده گودرزی</p>
<p>نتایج نشان داد که با افزایش اندازه سنگدانه‌ها در بتن متخلخل مقاومت آنها کاهش و تخلخل و نفوذپذیری افزایش می‌یابد. هرچه نسبت آب به سیمان بیشتر شود مقاومت فشاری افزایش می‌یابد.</p>	<p>با ۳ دانه بندی سنگدانه ۱۰۰ دصد مانده روی الک ۴ و الک ۳/۸ اینچ و الک ۰/۵ اینچ و سیمان پرتلند تیپ ۱ نمونه‌ها ساخته شد. ۲ نسبت آب به سیمان ۰/۲۷ و ۰/۳۷ برای ساخت نمونه‌ها در نظر گرفته شد که در مجموع ۶ طرح اختلاط به وجود آمد.</p>	<p>تخلخل نفوذپذیری مقاومت فشاری مقاومت خمشی آزمایش کشش غیر مستقیم (برزیلی)</p>	<p>امید عطایی و امیر گلرو و علیرضا جوشقانی</p>

۵- نتیجه گیری

بررسی استانداردها و پژوهش‌های مرتبط با این حوزه آستانه‌های بالا و پایین متغیرهای طرح مخلوط بتن متخلخل معرفی شدند. همچنین راه‌کارهای جلوگیری و از بین بردن انسداد روسازی متخلخل مورد بررسی قرار گرفت و دوره تناوب تمیز کردن هر ۱ یا ۲ بار در سال برای بتن متخلخل

با توجه به تحقیق‌های انجام شده در حوزه بتن متخلخل نتیجه شد که ساخت بتن متخلخل علاوه بر این‌که دوست‌دار محیط زیست است مشکل کنترل روان‌آب را نیز حل نموده و محاسنی از جمله کاهش صدای تاپر و افزایش راحتی کاربران راه در قیاس با روسازی عادی غیرقابل نفوذ دارد. در ادامه با

-وجود آوردن روش طراحی نوین بتن متخلخل با هدف کاربرد این نوع سیستم در جاده‌های با تردد زیاد و بار ترافیکی سنگین.
-بکارگیری از مصالح نوین و بازیافتی به جای سنگدانه‌های طبیعی و مسلح کردن آن.

توصیه شد و در پایان آزمایش‌های متداول تحقیق‌های مرتبط با بتن متخلخل مورد بررسی قرار گرفت. در پایان این تحقیق موضوع‌های متنوعی را می‌توان برای تحقیق‌های آتی بتن متخلخل معرفی کرد که به قرار زیر هستند:
-جایگزینی کل یا بخشی از سیمان معمولی با ژئوپلیمر
-مسلح کردن بتن متخلخل با الیاف مختلف

۶-مراجع

- doi:10.1017/CBO9781107415324.004.
-Hamada, Hussein M., et al., (2020), "Use of Oil Palm Shell as an Aggregate in Cement Concrete: A Review." *Construction and Building Materials*, Vol. 265, Elsevier Ltd, pp. 120357.
doi:10.1016/j.conbuildmat.120357.
-Haselbach, Liv M., et al., (2006), "Permeability Predictions for Sand-Clogged Portland Cement Pervious Concrete Pavement Systems", *Journal of Environmental Management*, Vol. 81, No. 1, pp. 42-49.
doi:10.1016/j.jenvman.2005.09.019.
-Huang, Baoshan, et al., (2010), "Laboratory Evaluation of Permeability and Strength of Polymer-Modified Pervious Concrete." *Construction and Building Materials*, vol. 24, No. 5, Elsevier Ltd, pp. 818-23.
doi:10.1016/j.conbuildmat.2009.10.025.
-Huang, Jinlin, et al., (2020), "Impact of Aggregate Type and Size and Mineral Admixtures on the Properties of Pervious Concrete: An Experimental Investigation", *Construction and Building Materials*, Vol. 265, Elsevier Ltd, pp. 120759.
doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.120759.
-Joshaghani, Alireza, and Ali Akbar Ramezani-pour, (2016) Influence of Pervious Concrete on Environment. No. December.
-Kevern, By John T, Kejin Wang, et al., (2008), "Pervious Concrete in Severe. No. July", pp. 43-50.
-Kevern, J. T., et al., (2009), "The Effect of Curing Regime on Pervious Concrete Abrasion Resistance." *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 37, No. 4, pp. 337-42, doi:10.1520/JTE101761.
-Kevern, John, and Joseph Sparks, (2013), "Low-Cost Techniques for Improving the Surface Durability of Pervious Concrete",
-ACI Committee 522. "Report on Pervious Concrete." *Aci 522R-10*, 2010, pp. 42.
Astm_C1688.Pdf.
-ASTM C39, (2015) "Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens", *ASTM Standards*, pp. 1-7. doi:10.1520/C0039.
-ASTM Standard C33, (2003), "Standard Specification for Concrete Aggregates", *ASTM International*, Vol. i, No. C, 2003, pp. 11, doi:10.1520/C0033.
CEEJ_Volume 50_Issue 4, pp. 673-684 (1).
-Chandrupa, Anush K., and Krishna Prapoorna Biligiri, (2016), "Pervious Concrete as a Sustainable Pavement Material-Research Findings and Future Prospects: A State-of-the-Art Review", *Construction and Building Materials*, Vol. 111, Elsevier Ltd, pp. 262-74.
doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.02.054.
-Chen, Xiao, et al., (2020), "Design of a Chitosan Modifying Alkali-Activated Slag Pervious Concrete with the Function of Water Purification", *Construction and Building Materials*, Vol. 251, Elsevier Ltd, pp. 118979.
doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.118979.
-Ćosić, K., et al., (2015), "Influence of Aggregate Type and Size on Properties of Pervious Concrete." *Construction and Building Materials*, Vol. 78, pp. 69-76.
doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.12.073.
-Dougherty, Mark, et al., (2011), "Quick Surface Infiltration Test to Assess Maintenance Needs on Small Pervious Concrete Sites." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 137, No. 8. American Society of Civil Engineers (ASCE), Aug. pp. 553-63. doi:10.1061/(asce)ir.1943-4774.0000324.
-European Environment Agency (EEA), *Permeable pavements_American_Society*. No. 9, 2019.

- Climates, Final Report.” National Concrete Pavement Technology Center, No. Iowa State University, Ames, IA, USA, pp. 83.
- Sfer, V. R., et al., (2006), "Mix Design Development for Pervious Concrete in Cold Climates. no. January, pp. 1–67. http://www.ctre.iastate.edu/reports/mix_design_pervious.pdf.
- Scholz, Miklas, and Piotr Grabowiecki, (2007), "Review of Permeable Pavement Systems”, Building and Environment, Vol. 42, No. 11, pp. 3830–36. doi:10.1016/j.buildenv.2006.11.016.
- TechBrief. "Pervious Concrete (TechBrief)", (2012), TechBrief, Vol. 2, No. Aci 2010, pp. 1–8. <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/pubs/hif13006/hif13006.pdf>.
- Tho-In, Tawatchai, et al., (2012), "Pervious High-Calcium Fly Ash Geopolymer Concrete”, Construction and Building Materials, Vol. 30, No. 325, Elsevier Ltd., 2012, pp. 366–71. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.12.028.
- Thomas, W. N., (1983), "Experiments on the Freezing of Certain Buildings Materials", No. 105, pp. 146.
- Toghroli, Ali, et al., (2020), "Evaluating the Use of Recycled Concrete Aggregate and Pozzolanic Additives in Fiber-Reinforced Pervious Concrete with Industrial and Recycled Fibers”, Construction and Building Materials, Vol. 252, Elsevier Ltd., 2020, pp. 118997. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.118997.
- Tyner, J. S., et al., (2009), "Increasing Exfiltration from Pervious Concrete and Temperature Monitoring”, Journal of Environmental Management, Vol. 90, No. 8, Elsevier Ltd, pp. 2636–41. doi:10.1016/j.jenvman.2009.02.007.
- Wen, Fusheng, et al., (2020), "Pore Characteristics Analysis and Numerical Seepage Simulation of Antifreeze Permeable Concrete”, Construction and Building Materials, Vol. 255, Elsevier Ltd, 2020, pp. 119310. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.119310.
- Yang, Jing, and Guoliang Jiang. (2003), "Experimental Study on Properties of Pervious Concrete Pavement Materials.” Cement and Concrete Research, vol. 33, no. 3, (2003), pp. 381–86.
- Transportation Research Record, No. 2342, pp. 83–89. doi:10.3141/2342-10.
- Kevern, John T., et al., (2011), "Mixture Proportion Development and Performance Evaluation of Pervious Concrete for Overlay Applications.” ACI Materials Journal, vol. 108, no. 4, pp. 439–48. doi:10.14359/51683117.
- Kevern, John T (University of Missouri-Kansas City), Liv (Washington State University) Haselbach, et al., (2001), "Hot Weather Comparative Heat Balances in Pervious Concrete and Impervious Concrete Pavement Systems.” Second International Conference on Countermeasures to Urban Heat Islands, Vol. 7, No. Akbari, 2009, pp. 1–9. <http://heatland2009.lbl.gov/docs/211340-haselbach-doc.pdf>.
- Kim, H. K., and H. K. Lee., (2010), "Acoustic Absorption Modeling of Porous Concrete Considering the Gradation and Shape of Aggregates and Void Ratio”, Journal of Sound and Vibration, Vol. 329, No. 7, Elsevier, pp. 866–79. doi:10.1016/j.jsv.2009.10.013.
- Luck, Joe D., et al., (2009), "Consequences of Manure Filtration through Pervious Concrete during Simulated Rainfall Events.” Biosystems Engineering, Vol. 102, No. 4, IAgRE, pp. 417–23. doi:10.1016/j.biosystemseng.2008.09.034.
- Nguyen, Dang Hanh, et al., (2014), "A Modified Method for the Design of Pervious Concrete Mix”, Construction and Building Materials, vol. 73, Elsevier Ltd, pp. 271–82. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.09.088.
- Park, Sung Bum, and Mang Tia., (2004), "An Experimental Study on the Water-Purification Properties of Porous Concrete.” Cement and Concrete Research, Vol. 34, No. 2, pp. 177–84. doi:10.1016/S0008-846(03)00223-0.
- Paul, Tennis D., et al., (2004), "Pervious Concrete Pavements, No. January.
- Sandoval, Gersson F. B., et al., (2020), "Proposal of Maintenance Methodology for Pervious Concrete (PC) after the Phenomenon of Clogging”, Construction and Building Materials, Vol. 248, Elsevier Ltd, pp. 118672. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.118672.
- Schaefer, VR; Wang, K; Suleiman, MT; Kavern, J., (2006), "Mix Design Development for Pervious Concrete in Cold Weather

Aggregates and Different Mineral Admixtures as Binders.” Construction and Building Materials, Vol. 257, Elsevier Ltd, pp. 119543.

doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.119543.

-Zhang, Yi, et al., (2020), “Effect of Different Factors on Sound Absorption Property of Porous Concrete.” Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol. 87, Elsevier Ltd, Oct. pp. 102532.

doi:10.1016/j.trd.2020.102532.

doi:10.1016/S0008-8846(02)00966-3.

-Yang, Xiaojie, et al., (2020), “Performance and ITZ of Pervious Concrete Modified by Vinyl Acetate and Ethylene Copolymer Dispersible Powder.” Construction and Building Materials, Vol. 235, Elsevier Ltd., pp. 117532.

doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.117532.

-Zhang, Guofang, et al., (2020), “Properties of Pervious Concrete with Steel Slag as

Porous Concrete Pavement

*Mostafa Adresi, Assistant Professor, Department of Civil Engineering,
Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran.*
*Behrooz Shirgir, Assistant Professor, Civil Engineering, Engineering Faculty,
Kharazmi University, Tehran, Iran.*
*Alireza Bagherzadeh, M.Sc., Student, Civil Engineering, Engineering Faculty,
Kharazmi University, Tehran, Iran.*

E-mail: m.adresi@sru.ac.ir

Received: October 2021- Accepted: May 2022

ABSTRACT

Increasing impermeable levels has made water control a great challenge. On the other hand, the increase of impermeable surfaces causes the lack of heat exchange of the underground layers with the air, which will increase global warming. One solution to this challenge is to use porous pavements. Advantages of porous pavement compared to normal pavement; only on run-water control, he can easily increase the use of the road, increase the main road and increase the road, and so on. Restrictions on porous concrete include restrictions on use on high-traffic roads or heavy traffic loads; In other words, with the current knowledge about this pavement system, it can be used in less traffic routes such as local roads and streets and parking lots. The purpose of this study is to investigate aerated concrete and get acquainted with the standard related to aerated concrete. Also in this research, the advantages and disadvantages of porous concrete, construction, maintenance and common problems of this system have been required. At the end of this research, only to gain general knowledge about aerated concrete and aerated concrete pavement mix design, common maintenance methods of porous pavement and common tests in the relevant researches are introduced. In the end, it was concluded that with sufficient knowledge, porous concrete pavement can be used on roads with low traffic or light traffic load.

Keywords: Pervious Concrete Pavement, Test, Repairman, Mix Design