



بررسی مزایا و معایب اجرای رویه‌های بتن متخلخل

مهدی اکبری^{۱*}، احسان‌همتئی محمد فردوسیان^۲

۱- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان

۲- دانشجوی کارشناسی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان

خلاصه

آب گرفتگی معابر و یا حتی جاده‌ها پس از نزولات جوی، تبدیل به معضلی جدی برای شهروندان می‌شود. این پدیده حتی گاهی اوقات تبدیل به سیلاب و رواناب می‌شود و سیستم‌های مختلف مدیریت شهری را درگیر می‌کند. همین موضوع باعث شد متخصصین این حوزه دنبال راهکارهایی برای حل این معضل باشند. از این جهت که می‌توان آب‌های سطحی را مدیریت کرد، نفوذپذیری یک مزیت برای بتن متخلخل تلقی می‌شود. بتن متخلخل تشکیل شده است از آب، سیمان و سنگدانه بدون ریزدانه. نبود ریزدانه باعث کاهش پیوستگی ساختار بتن و در نتیجه کاهش مقاومت فشاری و افزایش نفوذپذیری آن می‌شود؛ اما مقاومت فشاری کم بتن متخلخل نقطه ضعف بزرگی است که باعث می‌شود نتوان از این نوع رویه در جاده‌های با حجم ترافیکی بالا استفاده کرد. این مقاله به بررسی کلی مزایا و معایب رویه بتن متخلخل پرداخته و به برخی آزمایش‌ها از جمله آزمایش‌های میکروسکوپی با دستگاه‌های فوق پیشرفته، آزمایش‌های مکانیکی و دیدگاه‌های مختلف در این زمینه پرداخته است.

کلمات کلیدی: بتن متخلخل، رویه بتنی، روسازی راه، نفوذپذیری

۱. مقدمه

آب گرفتگی معابر و یا حتی جاده‌ها پس از نزولات جوی، تبدیل به معضلی جدی برای شهروندان می‌شود. این پدیده حتی گاهی اوقات تبدیل به سیلاب و رواناب می‌شود و سیستم‌های مختلف مدیریت شهری را درگیر می‌کند. همین موضوع باعث شد متخصصین این حوزه دنبال راهکارهایی برای حل این معضل باشند. از جمله این راهکارها ایجاد کانال‌ها و جوی‌های شهری بود اما متخصصین این امر تصمیم به ایجاد تغییر در انواع رویه‌ها کردند که نتیجه آن تولید محصولی به نام بتن متخلخل شد. این بتن با تخلخل زیاد و خلل و فرج فراوان، شرایط نفوذ آب را فراهم می‌سازد. لذا با افزایش نفوذپذیری، مانداب روی سطوح و معابر به شدت کاهش می‌یابد و مشکلاتی نظیر آب گرفتگی معابر برطرف می‌گردد. از بتن متخلخل برای اولین بار در سال ۱۸۶۵ میلادی در کشور اسکاتلند و در یک معبر شهری با استفاده از عمل تراکم برای کنترل فضای خالی استفاده شد [۱]. بتن متخلخل از سیمان، آب، سنگدانه (عمدتاً درشت‌دانه) و مواد افزودنی تشکیل شده است. عدم وجود ریزدانه به قدر کفایت باعث می‌شود فضای بین سنگدانه‌ها کاملاً پر نشود و آب به راحتی از بین آن فضاها عبور نماید (شکل ۱).

در ادامه روی مزایای این نوع بتن از جمله کاهش آلودگی صوتی، مدیریت آب‌های سطحی، کاهش احتمال یخبندان، نفوذپذیری و کاهش شیب عرضی و همچنین معایب آن از

* Corresponding author

Email: Email: akbari@semnan.ac.ir



قبیل مقاومت فشاری کم، افزایش تولید سیمان، رسوب گیری، هزینه بالای نگهداری، امکان رشد گیاهان و حشرات، عدم امکان استفاده در جاده های پرتراфик بحث خواهیم کرد.



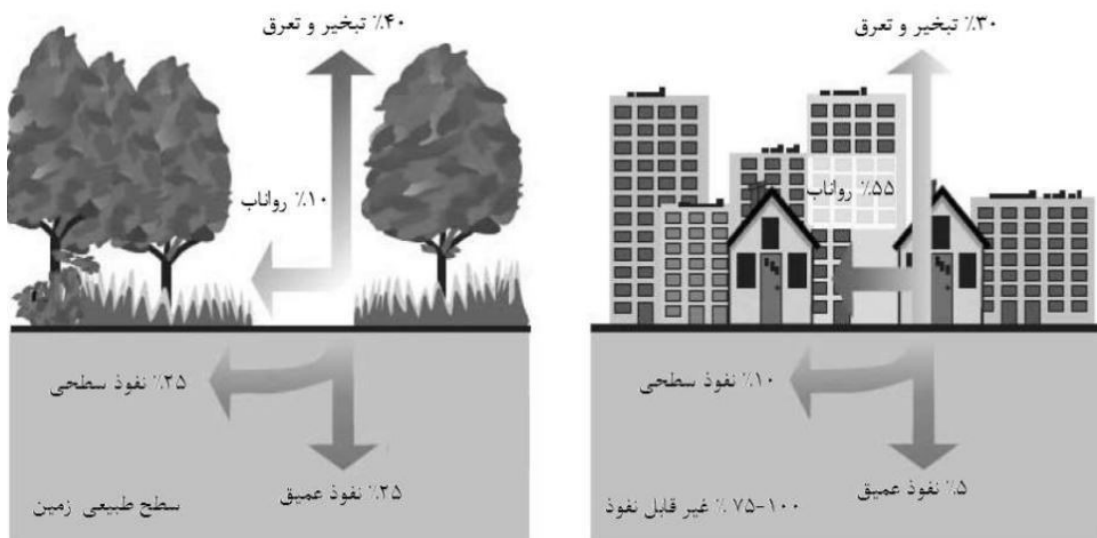
شکل ۱- عبور آب از نمونه بتن متخلخل

۲. مزایا

این نوع بتن از مزایای بسیار زیادی برخوردار است که از مهم ترین آنان می توان به موارد زیر اشاره کرد.

2. 1. کاهش آلودگی صوتی
صدای زیاد ناشی از اصطکاک لاستیک خودروها و آسفالت جاده ها یک مسئله مهم است؛ به ویژه برای شهروندانی که در کنار خیابان ها و یا بزرگراه ها با حجم ترافیک بالا سکونت دارند. اصطکاک لاستیک خودروها با بتن متخلخل، صدای کمتری ایجاد می کند که این مزیت نسبی در نگاه اول، ارجحیت استفاده از بتن متخلخل را نشان می دهد [2].

2. 2. مدیریت آب های سطحی
با گسترش شهرنشینی و پوشیده شدن معابر با انواع روسازی ها، گرفتگی معابر در هنگام بارندگی، امری همیشگی است. هرچه تراکم پوشش شهرنشینی بالاتر باشد میزان نفوذ آب کمتر و کمتر می شود و در نتیجه، میزان تغذیه آب های زیرزمینی نیز کاهش می یابد [3]. در شکل 2، وضعیت و نسبت جذب یا دفع آب باران برای محیط شهری و غیرشهری نشان داده شده است.



شکل ۲- تفاوت نفوذ در پوشش شهری و غیرشهری

حجم بالای رواناب که متأسفانه با عدم مدیریت صحیح، علاوه بر از بین بردن زیبایی بصری شهر، باعث اتلاف مقدار بسیار زیادی از این نعمت می‌شود. همچنین جاری شدن این آب در سطح شهر و جابجایی مقدار بسیار زیادی ذرات معلق به پایین‌دست شهر که معمولاً به باغ‌های کشاورزی منتهی می‌شود برای محیط‌های پیرامون شهرها و همچنین زمین‌های کشاورزی مضر است [4].

عمده مزیت استفاده از بتن متخلخل را می‌توان ایجاد پتانسیل بالا برای کنترل آب‌های سطحی دانست. تخلخل بالای این نوع بتن منجر به نفوذپذیری و لذا هدایت آب‌های سطحی به زیر سطح می‌شود.

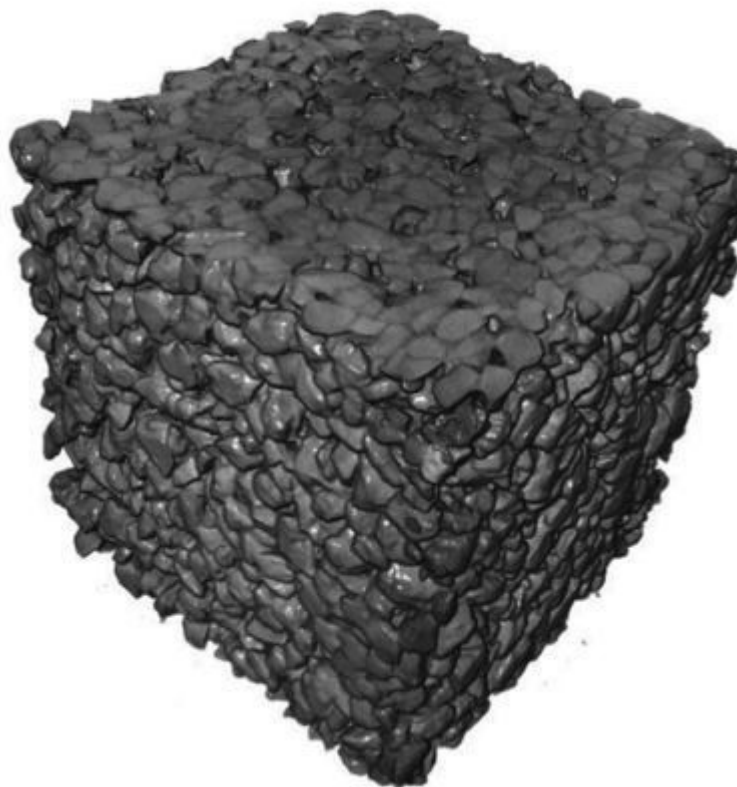
2. 3. کاهش احتمال یخبندان

در شهرهایی که احتمال یخبندان در آن‌ها بالاست اگر آب به مدت کوتاهی روی سطح باقی بماند، یخ می‌زند و منجر به حوادث ناگواری از جمله تصادفات می‌شود. ولی بتن متخلخل به دلیل حجم خالی زیاد بین سنگدانه‌ها (۱۵-۲۵ درصد) آب را به راحتی در خود جای می‌دهد. البته اگر تمام فضای خالی بین سنگدانه‌ها از آب پر شود به علت انبساط حجمی آب بر اثر یخ زدگی، احتمال تخریب بتن همچنان وجود خواهد داشت [3].

2. 4. نفوذپذیری

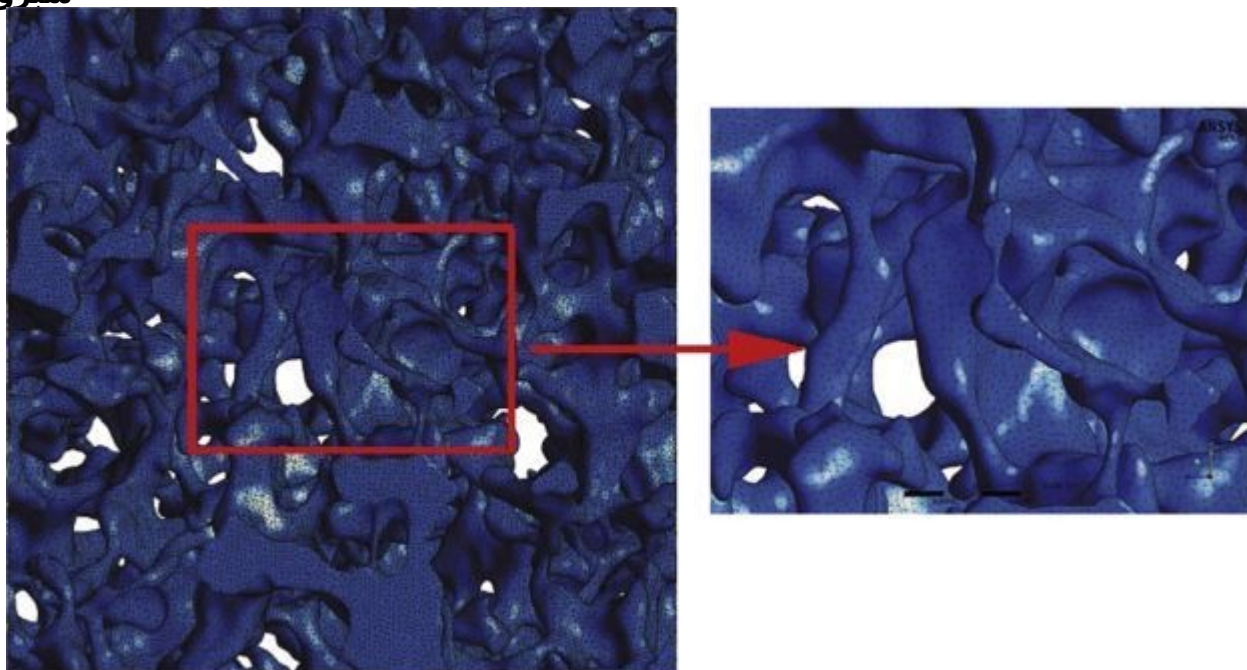
به دلیل وجود قیر در ساختار آسفالت، نفوذ آب به آن بسیار کم است. لذا آب باران تمام آلودگی‌های روی سطح را جمع می‌کند و به پایین‌دست منتقل می‌کند که این موضوع باعث گسترش آلودگی آب‌ها می‌شود؛ اما بتن متخلخل این ویژگی را ندارد و آب به راحتی در آن نفوذ می‌کند. لذا آلودگی‌های سطحی به پایین‌دست منتقل نمی‌شوند. یک روسازی با ضخامت ۱۲۵ میلی‌متر و تخلخل ۲۰ درصد، قادر خواهد بود حجم آب بارانی به شدت ۲۵ میلی‌متر که به طور مداوم می‌بارد را در فضای خالی خود ذخیره کند [5].

به دلیل وجود فضای خالی، آب می‌تواند در بتن متخلخل حرکت نماید اما یکنواختی سنگدانه‌های بتن باعث کاهش مقاومت فشاری آن نیز می‌شود. حسنی و همکاران به هدف افزایش مقاومت فشاری مصالح حاکی (از قبیل ماسه آتشفشانی و ماسه طبیعی) را به ترکیب بتن متخلخل افزودند که نتیجه چندان چشمگیری را دریافت نکردند. ضمن اینکه میزان نفوذپذیری بتن متخلخل نیز با کاهش مواجه شد [6]. در شکل 3 نمونه‌ای از بافت پرمنفذ بتن متخلخل نشان داده شده است.



شکل ۳- نمونه‌ای از بافت بتن متخلخل

تحقیقات میکروسکوپی سه بعدی روی نمونه‌های بتن متخلخل توسط ژیاونگ ژانگ و همکارانش نشان داد که تمام خلل و فرج‌ها و منافذ در هدایت آب دخیل نیستند بلکه خلل و فرج‌هایی که به یکدیگر متصل هستند (connected pores) را می‌توان خلل و فرج مؤثر (effective pores) در زهکشی و هدایت آب برشمرد که روی میزان نفوذپذیری بتن اثر می‌گذارند (شکل ۴). به عبارتی حباب‌های هوای محبوس که به سوراخ دیگری متصل نیستند، تأثیری بر میزان نفوذپذیری بتن ندارند و نمی‌توان گفت که تمام فضای خالی درون بتن، محل آبگری است. تحقیقات آن‌ها نشان داد هرچه درصد تخلخل بیشتر باشد نسبت خلل و فرج مؤثر به کل خلل و فرج‌ها بیشتر است. به نحوی که نمونه با تخلخل $1/14$ درصد، $6/10$ درصد خلل و فرج مؤثر داشت (نسبت خلل و فرج مؤثر به کل خلل و فرج $2/75$ درصد بود) اما نمونه با تخلخل $2/26$ درصد، $8/25$ درصد خلل و فرج مؤثر داشت (نسبت خلل و فرج مؤثر به کل خلل و فرج $5/98$ درصد بود). لذا میزان نفوذپذیری در خلل و فرج بالا به صورت غیرخطی افزایش می‌یابد [7].



شکل ۴- نمونه سوراخ‌های متصل در عکس X-RAY

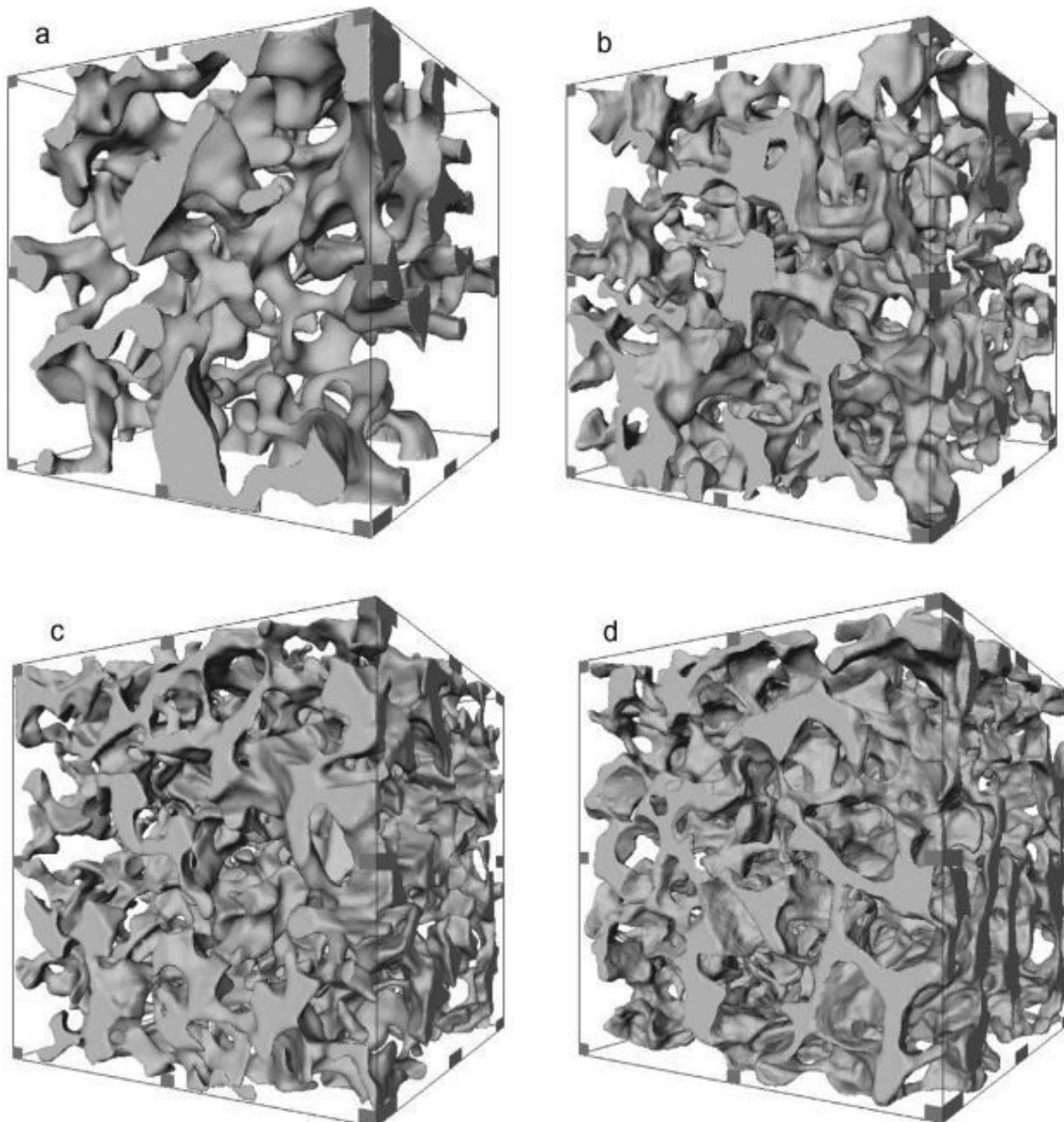
2. 5. کاهش شیب عرضی

از اهداف شیب عرضی در راهسازی، هدایت آب باران به خارج از جاده است تا آب روی سطح جاده باقی نماند. ایجاد شیب عرضی نیاز به ماشین‌آلات خاص و به تبع آن، نیاز به مخارج زیاد دارد. بتن متخلخل می‌تواند مقدار زیادی از آب روی سطح جاده را به درون خود هدایت کند بنابراین نیاز کمتری به شیب عرضی زیاد وجود دارد [4].

۳. معایب

3. 1. مقاومت فشاری کم

بتن متخلخل از سنگدانه‌های یکنواخت تشکیل شده است. لذا بین سنگدانه‌های آن پیوستگی و چسبندگی کافی وجود ندارد (شکل ۵). این موضوع باعث کاهش تعداد نقاط اتصالی بین سنگدانه‌ها، سطح چسبندگی پایین به خاطر نبود ریزدانه و در نهایت کاهش مقاومت فشاری بتن متخلخل می‌شود. در آزمایش نمونه بدون فیلر با تخلخل 9/24 درصد؛ مقاومت فشاری 19/5 مگاپاسکال مشاهده شد [6]. پاشیده و همکاران در یک آزمایش با افزودن میکروسیلیس تلاش بر افزودن مقاومت فشاری بتن متخلخل داشتند و در نهایت، افزودن ۱۰ درصد میکروسیلیس به جای سیمان را پیشنهاد کردند [8].



شکل ۵- عدم پیوستگی در بتن متخلخل در نسبت تخلخل‌های مختلف

3. 2. افزایش تولید سیمان و آسیب‌های محیط زیستی
دوستان محیط زیست همواره مخالف تولید سیمان به دلیل آسیب‌های زیست محیطی آن بوده و هستند. گرد و غبار ناشی از آسیاب کردن مواد اولیه، گازهای متصاعد شده نظیر NO_x و SO_x که از احتراق سوخت‌های مورد نیاز از مشعل کوره حاصل می‌شوند و همچنین عناصر سنگین موجود در مواد آهکی از عوامل آسیب به محیط زیست در فرایند تولید سیمان هستند. جایگزین کردن بتن به جای آسفالت حجم تولید سیمان و به تبع آن میزان آلودگی‌های زیست محیطی را افزایش می‌دهد [9].

3. 3. رسوب گل و لای موجود در سیلاب



سبزواری

یکی از عمده‌ترین مشکلات موجود در استفاده از رویه بتن متخلخل در راه‌سازی، رسوب گل‌ولای موجود در سیلاب است. رسوب گل‌ولای به مرور زمان باعث می‌شود که ذرات ریز موجود در سیلاب مانند یک فیلتر عمل کرده و باعث کاهش نفوذپذیری رویه شوند که در شکل 6، نمونه‌ای از این وضعیت به تصویر درآمده است [10].



شکل ۶- رسوب گل‌ولای پس از سیلاب

3. 4. هزینه بالای نگهداری
برای حل مشکل رسوب زیاد در اثر بارندگی، جاروب کردن مسیر پس از بارندگی به وسیله مکنده‌های قوی پیشنهاد شده است که این موضوع هزینه نگهداری راه را به دلایل مختلف افزایش می‌دهد که برخی از آنها عبارتند از: تامین نیروی انسانی، تامین ماشین‌آلات و تجهیزات و بستن راه به جهت پاک‌سازی راه [11].

3. 5. امکان رشد گیاهان
به دلیل وجود خلل و فرج‌های فراوان در سطح، امکان رشد گیاهان حاصل از بذرهایی که باد آن‌ها را حمل کرده وجود دارد [10].

3. 6. امکان رشد حشرات و گسترش بیماری
از مهم‌ترین مسائل مربوط به عملکرد روسازی‌های بتنی متخلخل، جداشدگی در سطح است که باعث ایجاد محیطی برای تولید نسل پشه‌ها می‌شود، این موضوع همراه با گسترش بیماری‌هایی مانند مالاریا، تب زرد و ویروس نیل غربی است [10].

3. 7. عدم امکان استفاده در جاده‌های پرترافیک
به دلیل مقاومت فشاری کم بتن متخلخل نمی‌توان از آن به عنوان رویه در جاده‌های با حجم ترافیکی بالا استفاده کرد [6].

۴. نتیجه‌گیری



سبزواری

بتن متخلخل علی‌رغم نقاط قوت فراوان از جمله نفوذپذیری، نقاط ضعفی نیز دارد که بهره‌وری را با مشکل مواجه می‌سازد. مشکل‌سازترین ایراد آن مقاومت فشاری آن است. لذا پیشنهاد می‌شود که از آن در معابر با حجم ترافیک کم استفاده شود. همچنین این نوع بتن می‌تواند پیشنهاد بسیار خوبی برای پیاده‌روها و پیست‌های موتورسواری و پادچرخه‌سواری باشد؛ زیرا فشار کمتری نسبت به جاده‌ها به آن وارد می‌شود، ضمن آنکه آب‌های سطحی روی آن باقی نمی‌ماند.

از این نوع بتن می‌توان در پارک‌های بزرگ شهری نیز استفاده نمود. همچنین در آلمان‌های شهری که با آب سروکار دارند و عبور آب از آن‌ها آلمان زیبایی را پدید می‌آورد (مانند آب‌نماها) نیز می‌توان از بتن متخلخل استفاده نمود.

به طور کلی با توجه به دو ویژگی اصلی بتن متخلخل یعنی نفوذپذیری بالا و مقاومت فشاری کم می‌توان در جاهایی که فشار کم است و در عین حال آب‌های سطحی مشکل‌ساز است از آن استفاده نمود.

۵. مراجع

1. Croney, David, and Paul Croney. Design and Performance of Road Pavements, New York McGraw Hill 1998.
2. Bruce K. Ferguson. Porous Pavement, Taylor and Francis Group 2005.
۳. رفیعی بخش، م؛ و توتونچی، آ. (۱۳۹۷)، بررسی بتن متخلخل به عنوان تکنولوژی پایدار در بهبود وضعیت آب‌های زیرزمینی و کاهش رواناب، ششمین کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و توسعه اقتصاد شهری، شیراز، موسسه آموزشی مدیران خبره نارون
۴. گل محمدی، ا.س؛ و رفتاری، م. (۱۳۹۶)، «بررسی کاربردهای مختلف بتن متخلخل در معابر شهری»، اولین کنفرانس ملی رویکردهای نو در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد
5. Tennis, P. D. et al. Pervious Concrete Pavements, Portland Cement Association, Silver Spring, Maryland 2004; pp 32.
۶. حسینی، ا؛ محمدی جانکی، ا و بیدشکی، م.ج. (۱۳۹۷)، پر کردن منافذ روسازی بتن متخلخل با مصالح خاکی، کنفرانس عمران، معماری و شهرسازی کشورهای جهان اسلام، تبریز، دانشگاه تبریز - دانشگاه شهید مدنی آذربایجان - دانشگاه علمی کاربردی شهرداری تبریز
7. Zhang.j, Guodong.M, Ruiping.M, Xinzhuang.C. Li Li, Huining.X, "Numerical study on seepage flow in pervious concrete based on 3D CT imaging", Construction and Building Materials, pp 468-478
8. پاچیده. ق، قلهکی. م، عسگری موحد. م، غایی. ا، مرادی حقیقی. م، (۱۳۹۶)، بررسی عملکرد بتن متخلخل روسازی حاوی میکرو سیلیس، دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران (مهندسی سازه و مدیریت ساخت) تهران، دانشگاه صنعتی شریف
9. عباسی، ج و سالاری، م. (۱۳۸۵)، آلودگی‌های زیست‌محیطی کارخانه‌ها سیمان، پنجمین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان
10. شفا بخش، غ. احمدی، س. ۱۶۰۳، ارزیابی ویژگی‌های بتن متخلخل به عنوان رویه در روسازی‌های بتنی، دومین کنفرانس ملی رویه‌های بتنی، تهران، ۳ و ۹ اردیبهشت.
11. رمضانیاپور، ع.ا؛ و جوشقانی. ع، (۱۳۹۲)، راه‌حل‌های تعمیر و نگهداری برای روسازی‌های بتنی متخلخل با منافذ پر شده، دومین کنفرانس بین‌المللی صنعت سیمان، انرژی و محیط‌زیست، تهران، دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران