

## جذب مستقیم رواناب به وسیله بتن نفوذپذیر

سید حسام مدنی<sup>۱</sup>، نازنین غلامی ثانی<sup>۲\*</sup>

۱- استادیار دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان

### چکیده

با توجه به توسعه روزافزون فضاهای شهری و نیاز بشر به راه‌های ارتباطی درون‌شهری، استفاده از روسازی‌هایی که سازگار با محیط‌زیست باشند خالی از اهمیت نیست. بتن متخلخل نوعی روسازی صلب به شمار می‌رود که عموماً بدون ریزدانه و با دانه‌بندی منفصل است، نفوذپذیری و تخلخل افزایش یافته این بتن یک رویکرد نوآورانه برای کنترل و مدیریت روان‌آب و فاضلاب‌های سطحی ایجاد می‌کند. هنگامی که بتن متخلخل به‌عنوان روسازی استفاده شود، با حذف نیاز به تأسیسات نگهداری رواناب اجازه جذب به روان‌آب سطحی می‌دهد، این فرآیند موجب نفوذ آب به داخل زمین شده و تقویت منابع آب‌های زیرزمینی را در پی دارد. کاهش ذخایر آب‌های زیرزمینی و آلوده شدن آنها به آلاینده‌های صنعتی و شیمیایی در بیشتر مناطق مشکلات متعددی را در پی دارد، استفاده از بتن متخلخل نوعی پیش‌تصفیه رواناب قبل از نفوذ به خاک محسوب شده و از نفوذ مواد روغنی به خاک و در نتیجه آب‌های زیرزمینی جلوگیری می‌کند. مقادیر ریزدانه موردنیاز در دانه‌بندی بتن متخلخل حداقل است و از دانه‌بندی درشت منفصل تک اندازه در آن استفاده می‌گردد. کنترل دقیق نسبت آب به سیمان برای ساخت یک خمیر باکیفیت، بسیار ضروری است. خمیر سیمان با اتصال دانه‌های سنگی درشت، حفرات به هم پیوسته‌ای را به وجود می‌آورد که برای زهکشی آب کاربرد مناسبی دارد. درصد تخلخل این بتن به‌طور معمول ۱۵ تا ۲۵ درصد در بتن سخت شده، در نظر گرفته می‌شود. سرعت نفوذ آب در آن  $81 - 730 \text{ L/min/m}^2$  است.

واژه‌های کلیدی: اجرا، بتن متخلخل، رواناب، روسازی، کاربرد، عوامل مؤثر

## Direct Absorption of Runoff by Perforated Concrete

Seyed Hesam Madani<sup>1</sup>, Nazanin Gholami sani<sup>2\*</sup>

1- Assi. Prof. Industrial and advanced technology University of Kerman for supplementary education.

2- MS.c student of Structure. Industrial and advanced technology University of Kerman for supplementary education

### Abstract:

Due to the growing development of urban spaces and human needs to urban communicative, using environmentally friendly pavements usage is necessary. A porous concrete is a kind of rigid pavement is generally no fine aggregate and single-sized coarse aggregate. Increased permeability and porosity of the concrete is an innovative approach to control and manage surface runoff and sewage creates. When a porous concrete is used as the pavement, the elimination of the need for runoff storage facilities allow absorb of the surface runoff. This process lead to water infiltration into the ground and strengthen the groundwater resources accordingly. Reducing the groundwater storages and their contamination to industrial and chemical

\* Nazanin.sani@gmail.com

\* Corresponding Author's E-mail(Nazanin.sani@gmail.com)



pollutants are involved more numerous problems in most areas and prevent oil infiltration to the soil. The required fine aggregate amounts in the formation of porous concrete is minimum and single-sized coarse aggregate is used. Accurate control of the water-cement ratio is essential for making a high-quality paste. Cement paste to bind the coarse aggregate, make interlocking pores that are suitable for water drainage. The porosity of this concrete is considered typically 15 to 25% in hardened concrete. Infiltration rate is 81 - 730 L / min / m<sup>2</sup>.

**Key words:** Porous concrete implementation, runoff, pavement, application, effective factors.

## الف - مقدمه

بتن متخلخل نوع خاصی از بتن با تخلخل بالاست که یکی از عمده‌ترین کاربردهای آن اجرای روسازی است و معمولاً فاقد ریزدانه بوده و تنها با ملات سیمانی، مصالح درشت‌دانه را به هم می‌چسباند. این بتن با اسلامپ پایین بوده و در مقایسه با بتن معمولی که دارای ۳-۵ درصد فضای خالی است، ۱۵-۲۵ درصد، تخلخل دارد. با وجود حفراتی به اندازه ۲-۸ میلی‌متر به صورت زهکش عمل می‌نماید و از این رو به عنوان پیش‌تصفیه رواناب قبل از ورود به آب‌های زیرزمینی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. با اجرا و نگهداری صحیح، سنگ‌فرش‌های بتن متخلخل می‌تواند تا ۶۵٪ مواد حل‌نشده و تا ۹۵٪ رسوبات رواناب‌ها را برطرف کند. مقاومت فشاری این بتن از ۲/۸ تا ۲۸ مگا پاسکال بسته به شرایط استفاده متغیر است. با توجه به رشد آلاینده‌های منابع آب زیرزمینی در سال‌های اخیر می‌توان دریافت که روان آب آلوده یکی از دلایل آلودگی ذخایر آب زیرزمینی است. همچنین می‌توان به احتمال وقوع سیل در پایین‌دست، در اثر جریان روان آب اشاره کرد. بتن متخلخل می‌تواند مقدار روان آب را بسیار کم کند و مواد روغنی و گریسی موجود در آن را جذب کند تا تأثیر در آلاینده‌های ذخایر آب زیرزمینی به حداقل برسد.

## کاربردها

سرعت نفوذ بالای بتن متخلخل توانایی ذخیره آب باران از طریق نفوذ به خاک بستر، کاهش رواناب سطحی، تقویت آب‌های زیرزمینی را دارد. در پارکینگ‌های روباز استفاده بهینه از آب باران برای تغذیه ذخایر آب زیرزمینی با توجه به ویژگی تخلخل بالای این بتن به خوبی صورت می‌گیرد. همچنین کاهش تأسیسات جمع‌آوری روان آب در این پارکینگ‌ها با توجه به این خصیصه امکان‌پذیر است. روسازی بتن متخلخل و اساس آن با دارا بودن ظرفیت ذخیره‌سازی آب، نیاز به استخر نگهداری و مهار آب باران را از بین می‌برد، همچنین با توجه به ویژگی زهکشی این بتن می‌توان به کاهش اثر آب و زهکشی در طراحی اشاره کرد. از کاربردهای دیگر این بتن با توجه به ویژگی زهکشی آن می‌توان به استفاده در شانه راه‌ها، پیاده‌روها و گذرگاه‌ها، زمین تنیس، گلخانه‌های طبقاتی، پایدارسازی شیب، باغ‌وحش و اسطبل حیوانات، عرشه‌های استخر شنا اشاره کرد و از ویژگی تخلخل بالا می‌توان به عنوان عایق صدا و حرارت در دیوار ساختمان‌ها استفاده کرد. از جمله



مهم‌ترین مزایای بتن متخلخل کنترل آلودگی رواناب قبل از ورود به مجاری آب است که آن را تا حدودی تصفیه می‌کند. همچنین استفاده از آن نیاز به آبروهای کنار خیابان و نگهدارنده‌های کنار پیاده‌رو را کمتر کرده و موجب تقویت ذخایر آب زیرزمینی می‌شود و به علت عدم جمع شدن آب روی سطوح تابش خیره‌کننده در جاده‌ها و پدیده سراب را از بین می‌برد. استفاده از آن در مناطق با ترافیک سنگین وسیله نقلیه به دلیل کم بودن مقاومت فشاری نسبت به بتن معمولی، محدود است. روش‌های ساخت‌وساز بتن متخلخل تخصصی بوده و در اجرای آن به اکپ متخصص نیاز است. این بتن بسیار به مقدار آب حساس بوده و نیاز به کنترل دقیق در زمان اختلاط و عمل‌آوری دارد.

### مصالح تشکیل‌دهنده

بتن متخلخل معمولاً بدون ریزدانه بوده و به بتن با درصد تخلخل افزایش‌یافته نام دارد. (EPC) از سیمان، مصالح سنگی و آب تشکیل شده است. مطابق ASTM C150/C150m، C595/C595M و C1157/C1157M می‌توان از دوده سیلیسی، خاکستر بادی و روبراه آهن‌گذاری علاوه بر سیمان پرتلند معمولی استفاده کرد به‌گونه‌ای که الزامات ASTM C618، C989 و C1240 را برآورده نماید. دوده سیلیسی از دانه‌های خیلی ریز و ذرات کروی تشکیل شده و مقاومت و دوام بتن را افزایش می‌دهد. خاکستر بادی، محصول فرعی انبار زغال‌سنگ سوزان در نیروگاه تولید برق است و از آن می‌توان ۵-۶۵٪ سیمان استفاده کرد. از روبراه کوره آهن‌گذاری که محصول فرعی زباله در صنعت فولاد است می‌توان ۲۰-۷۰٪ استفاده کرد. مصالح سنگی مورد استفاده به صورت درشت‌دانه تک اندازه با ابعاد ۹۰۵ تا ۱۹ میلی‌متر است و می‌تواند شکسته یا گرد گوشه باشد. دانه‌های سنگی مورد استفاده باید الزامات ASTM D448 و ASTM C33/C33m را داشته باشد. مقدار ریزدانه باید بسیار کم باشد زیرا ریزدانه درحالی‌که مقاومت فشاری و چگالی را افزایش می‌دهد ولی نفوذپذیری و سرعت جریان آب را کم می‌کند. کیفیت مصالح سنگی مورد استفاده باید خوب باشد، از ذرات پوسته شده و باریک نباید استفاده کرد، همچنین ذرات باید سخت، تمیز و عاری از هرگونه گردوغبار و خاک رس باشد. رطوبت دانه‌ها در زمان مخلوط کردن بسیار مهم است و باید به صورت اشباع با سطح خشک باشد، دانه‌های خشک آب بتن را جذب نموده و مانع از به دست آمدن روانی کافی می‌شوند همچنین رطوبت اضافی موجب از بین رفتن تخلخل بتن می‌شود. کیفیت آب بتن باید مطابق ASTM C94/C94M و AASHTO M-157 باشد، نسبت آب به سیمان مخلوط کم است و معمولاً بین ۰.۲۶-۰.۴۰ است. آب زیاد موجب از بین رفتن منافذ و عملکرد زهکشی بتن می‌شود. مقدار آب نسبت به سایر بتن‌ها کم است تا پس از بتن‌ریزی آب به سرعت تبخیر شده و مخلوط پس از یک ساعت از آب تخلیه شود. در مخلوط این بتن می‌توان از افزودنی‌های بسیاری

استفاده کرد. در هوای سرد از مواد افزودنی تسریع کننده گیرش سیمان می توان استفاده کرد. استفاده از میکرو سیلیس موجب کاهش مقاومت فشاری و افزایش تخلخل در این نوع مخلوط می شود. در استفاده از مواد افزودنی حباب هواساز باید الزامات ASTM C260 را برآورده شود که در سیکل های متوالی یخبندان مورد استفاده قرار می گیرد.

نسبت های پیشنهادی از مواد مختلف در بتن متخلخل

مقدار مواد	نسبت مواد
۲۷۰-۴۱۵	مواد دارای خواص سیمان $\text{kg/m}^3$
۱۴۸۰-۱۱۹۰	سنگدانه $\text{kg/m}^3$
۰.۴-۰.۲۶	نسبت آب به سیمان
۴-۴.۵:۱	نسبت سنگدانه به سیمان
۰-۱:۱	نسبت سنگدانه ریز به سنگدانه درشت

#### خواص بتن متخلخل

مخلوط بتن متخلخل تازه، سخت تر از بتن معمولی است، به طوری که اسلامپ آن کمتر از ۲۰ میلی متر است. برای کنترل کیفیت بتن تازه از آزمایش وزن مخصوص استفاده می شود و آزمایش اندازه گیری اسلامپ معیار مناسبی نیست. از جمله خواص بتن سخت شده می توان به موارد ذیل اشاره کرد:

#### مقاومت فشاری

مقاومت فشاری این بتن بین ۳.۵ - ۲۸ مگا پاسکال بسته به کاربرد متفاوت است و به میزان تراکم (حجم هوا)، یکنواختی مخلوط در حین بتن ریزی، وزن واحد حجم، ابعاد سنگدانه، مدول نرمی، نسبت آب به سیمان و مواد افزودنی پلیمری، ضخامت ملات بستگی دارد و با افزایش قطر میانگین سنگدانه ها از ۵ تا ۱۰ میلی متر به میزان ۲۲٪ از مقاومت فشاری می کاهد. با افزایش ضخامت ملات به میزان کمتر از ۰.۳ میلی متر، به دلیل افزایش مقاومت پیوندی بین خمیر سیمان و سنگدانه ها مقاومت فشاری افزایش یافته و با کم شدن میزان هوا مقاومت فشاری زیاد می شود و بهره وری کم می شود. با افزایش وزن مخصوص تراکم زیاد شده و مقاومت فشاری نیز افزایش می یابد. آزمایش مغزه گیری بهترین روش برای به دست آوردن مقاومت فشاری بتن متخلخل است.



## مقاومت خمشی

بستگی به حجم حفرات، تخلخل، وجود ماسه (کمتر از ۰.۵٪ حجمی) دارد و رابطه مقاومت خمشی بر حسب مقاومت فشاری:

$$f_r = 0.083 f_c'^{2/3}$$

افزایش قطر میانگین سنگدانه‌ها به میزان ۵ تا ۱۰ میلی‌متر تا ۵۰ درصد از مقاومت خمشی می‌کاهد.

## حجم حفرات و دانسیته

حجم حفرات مخلوط که به دو روش حجمی و تجزیه و تحلیل تصویری اندازه‌گیری می‌شود تابعی از خواص مصالح، اندازه دانه‌ها، نسبت آب به سیمان و میزان تراکم است. اندازه دانه‌ها در نفوذ آب و جذب آکوستیک مؤثر است. برای ایجاد منافذ بزرگ‌تر، استفاده از دانه‌های درشت‌تر توصیه می‌شود، زیرا احتمال گرفتگی منافذ را کاهش می‌دهد.

## انقباض

در این بتن انقباض خشک‌شدگی نسبت به سایر انقباض‌ها شایع‌تر است و باین حال انقباض کل آن از انقباض بتن معمولی کمتر است. ۵۰ تا ۸۰ درصد انقباض در ۱۰ روز اول پس از بتن‌ریزی رخ می‌دهد که بتن معمولی در مدت مشابه ۲۰ تا ۳۰ درصد است

## سرعت نفوذ

بستگی به تخلخل و اندازه منافذ، پیچ‌خوردگی منافذ و یا درجه‌ای از اتصال منافذ به صورت شبکه‌ای دارد. برای تخلخل ۲۰-۲۵٪، ضریب نفوذپذیری  $10^{-10} \text{ m/s}$  است. با افزایش سرعت نفوذ، حجم هوا افزایش در نتیجه مقاومت فشاری کاهش می‌یابد.

## دوام

تأثیر دمای بالا، مواد شیمیایی مانند اسید روی بتن متخلخل هنوز ناپدید نشده است ولی مقاومت در برابر سیکل‌های یخبندان به درجه اشباعیت فضای خالی در زمان انجماد بستگی دارد زیرا دوره آسیب را کوتاه‌تر می‌کند. درعین حال



نفوذپذیری بالا مانع از اشباعیت کامل آن شده و بهتر است از لایه با نفوذپذیری مناسب زیر سطح آن استفاده شود. به دلیل وجود حفرات اجازه گرم شدن سریع تر برف را دارد لذا سطح پوشیده از برف آن سریع تر از بتن معمولی قابل پاک سازی است. در برابر حملات سولفات ها مانند بتن معمولی عمل کرده و در برخی موارد ساختار باز آن در یک سطح وسیع بیشتر از بتن معمولی مستعد آسیب است. از آنجاکه سطح بتن متخلخل زبر و خشن است، سایش و جدا شدن دانه ها مسئله مهمی است به ویژه در سطوحی که با ماشین آلات برف روب در تماس اند.

### چقرمگی (طاقت)

استفاده از الیاف مصنوعی در افزایش طاقبت بتن متخلخل پس از ترک خوردگی تأثیرگذار است. چقرمگی با آزمون ASTM C1399 اندازه گیری و تأیید می شود.

### جذب صوت

جذب صوت از طریق اصطکاک داخلی بین مولکول های هوای در حال حرکت و دیواره منافذ صورت می گیرد.

### طراحی

در طراحی ضخامت روسازی بتن متخلخل دو عامل خواص هیدرولیکی مانند نفوذپذیری و حجم حفرات و خواص مکانیکی مانند مقاومت و استحکام باید مورد توجه قرار گیرد. در رویکرد هیدرولیکی با استفاده از میزان بارندگی و شدت رواناب سطحی پیش بینی شده، نفوذپذیری و ظرفیت ذخیره سازی مورد نیاز به گونه ای که از بروز رواناب مازاد جلوگیری شود، تعیین می شود و با استفاده از آن ضخامت لایه ها طراحی می گردد. برای در نظر گرفتن خواص مکانیکی با استفاده از استانداردهای ACI325.9R، ACI330R ضخامت لازم طراحی می شود. عدد ضخامت بزرگ تر به دست آمده از دو رویکرد طراحی ملاک عمل قرار می گیرد.

### اجرا و ساخت

بتن متخلخل را می توان به وسیله تراک میکسیرهای معمولی تهیه و تحویل داد، ولی باید در نظر گرفت که اجرای آن متفاوت از بتن های معمولی است. کیفیت و عملکرد این بتن بستگی به نحوه اجرای آن دارد و مشخصات نمونه ها باید مطابق ACI 522.1 باشد.

### ۱- آماده کردن زیراساس و زیربنا

سطح زیرین بتن ریزی باید یکنواخت بوده و محل عبور چرخ های کامیون ها و دیگر اختلافات قبل از بتن ریزی متراکم و صاف شود. همچنین باید ۹۰-۹۵٪ تراکم داشته باشد تا استحکام کلی آن حفظ شود و به دلیل وجود منافذ زیاد باید زیرساخت آن در حدی که آب جمع شدگی نداشته باشیم مرطوب باشد.

### ۲- اختلاط و دسته بندی مصالح

احتیاج به کنترل دقیق در توزین مصالح دارد، مخصوصاً مقدار آب به سیمان که برای رسیدن به مقاومت و نفوذپذیری کافی و جلوگیری از جداسدگی دانه ها باید دقیق باشد. رطوبت مصالح سنگی باید کنترل شود و تست جرم حجمی برای به دست آمدن اطمینان از نسبت اختلاط ضروری است که باید ۱۶۰۰-۲۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب با در نظر گرفتن ۵٪ اختلاف کارگاهی باشد.

### ۳- انتقال

به دلیل کم بودن نسبت آب به سیمان، اسلامپ این بتن کم است و سرعت تخلیه آن آهسته تر از بتن معمولی بوده و استفاده از تراک میکسیر با دهانه بزرگ تر سرعت بتن ریزی را افزایش می دهد. تا یک ساعت پس از اختلاط باید کاملاً تخلیه شود و در صورت استفاده از افزودنی های کند گیر کننده این زمان تا ۱۰۵ ساعت اضافه می شود. شرایط باد و دما نیز در زمان تخلیه تأثیر دارد.

### ۴- تراکم و بتن ریزی



آمادگی زیراساس برای بتن ریزی باید کنترل شود. به دلیل سخت بودن این بتن، نمی توان از پمپ برای بتن ریزی استفاده کرد و آزمایش اسلامپ، تست مناسبی نیست و از آزمایش جایگزین جرم حجمی برای کنترل کیفیت بتن تازه استفاده می شود. بتن ریزی باید پیوسته بوده و تسطیح سطوح باید به سرعت انجام شود. برای تراکم می توان از ویرنه مکانیکی با سطح فرکانس معین و یا شمشه استفاده کرد همچنین از غلتک های فولادی می توان برای تراکم استفاده کرد.

#### ۵- درز بتن ریزی

با اینکه در این نوع بتن ترک های ناشی از انقباض بسیار کم تر از بتن معمولی است ولی برای جلوگیری از ترک های احتمالی درزهایی در بتن تعبیه می شود که عمق آن یک چهارم ضخامت بتن ریزی بوده و در فواصل بیشتری نسبت به بتن معمولی تعبیه می شوند. اجرای این درزها باید به سرعت و به وسیله یک تیغه راست انجام شود و تا حد امکان استفاده از اره برای ایجاد درز توصیه نمی شود زیرا ممکن است ذرات زیر موجب پر شدن منافذ و جداشدگی زیاد درز شوند.

#### ۶- پرداخت

به دلیل امکان بسته شدن حفرات بالایی در اثر مالش و صاف کردن این مرحله همان مرحله تراکم است.

#### ۷- عمل آوری و مراقبت

به دلیل عدم آب انداختگی این بتن تمایل زیادی به ترک های انقباض پلاستیک دارد و برای حفاظت آن باید سطح زیر بتن مرطوب بوده و روی آن پلاستیک کشیده شود و عمل آوری این بتن حداقل هفت روز به طول می انجامد.

#### ب- منابع

- ACI Committee 522, March 2010, "Report on Pervious Concrete"
- Paul D. Tennis, Michael L. Leming, and David J. Akers, Second Printing (rev.) 2004, "Pervious Concrete Pavements", The Portland Cement Association (PCA),
- U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 2012, "TechBrief- Pervious Concrete".
- The Portland Cement Association (PCA), "Pervious Concrete and Freeze-Thaw".
- [www.concretenetwork.com](http://www.concretenetwork.com)
- [www.perviouspavement.org](http://www.perviouspavement.org)