

استفاده از بتن متخلخل در روسازی راههای مناطق سردسیر

نوید نوزاد^۱، نریمان افزلی^۲، نگار راحمی^۳

۱- دانشجوی عمران، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی ارومیه، آذربایجان غربی، ایران

۲- دانشجوی عمران، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی ارومیه، آذربایجان غربی، ایران

۳- دانشجوی عمران، دانشکده عمران، دانشگاه مازندران، مازندران، ایران

nariman.afzali@gmail.com

خلاصه

بتن متخلخل نوع خاصی از بتن سبک با تخلخل بالاست که فاقد مصالح ریزدانه بوده، بگو نه ای که تخلخل آن بین ۱۵ تا ۳۵ درصد است. این بتن بصورت زهکش عمل نموده و بعنوان پیش تصفیه ی رواناب، قبل از ورود به آبهای زیرزمینی می باشد. بخاطر همین می تواند در مناطق با بارندگی بالا، بجای روسازی های نفوذ ناپذیر مورد استفاده قرار گیرد. در این مقاله سعی شده است که به طرح اختلاط، ملاحظات طراحی و روش اجرای این بتن در مناطق سردسیر اشاره شود.

کلمات کلیدی: بتن متخلخل، طرح اختلاط، روسازی بتنی، کاربرد در مناطق سردسیر

مقدمه

بتن متخلخل، نوع خاصی از بتن با تخلخل بالاست که یکی از عمده ترین کاربرد های آن، روسازی می باشد [۱]. این بتن آبهای سطحی و آب باران را از خود عبور می دهد و منجر به کاهش رواناب جاری شده بر سطح زمین می شود. این بتن فاقد مصالح ریزدانه می باشد و تنها با ملات سیمانی و مصالح درشت دانه به هم چسبانیده می شود. بخاطر همین خاصیت تخلخل، می توان از روسازی ساخته شده با این نوع بتن، در مناطق و شهرهای سردسیر استفاده کرد. چراکه بوجود آمدن یخبندان در پیاده رو ها و کوچه های کم تردد در شهرهای سردسیر از مشکلاتی است که باعث آزار و اذیت استفاده کنندگان در معابر می شود. بخاطر عدم نور گیری کافی معابر در فصل زمستان و پایین بودن درجه حرارت، برف های ذوب شده در ساعات گرم، قدرت تبخیر را ندارند و در نتیجه در هنگام شب در جای دیگری یخ بسته و ایجاد مشکل می کنند. با ساخت بتن های متخلخل، با قابلیت زهکشی و دوام کافی در سیکل ذوب و یخ، می توان به این مشکل پایان داد. البته، بتن متخلخل سالهاست که در مناطقی با آب و هوای گرمسیری در نقاط مختلف دنیا مورد استفاده قرار می گیرد و نتایج قابل قبولی به تولید کنندگان خود داده است [۲]. ولی کاربرد این بتن در مناطق با آب و هوای متغیر، با سیکل ذوب و یخ فراوان، استفاده کنندگان را در وهله ی اول به این فکر وا می دارد که این بتن قابلیت دوام در سیکل ذوب و یخ های متداول را ندارد و نمی توان از آن در مناطق سردسیر استفاده کرد. ما در این مقاله، بیشتر به این موضوع پرداخته و نتایج آن را مورد بررسی قرار می دهیم.

نحوه استفاده از این بتن در مناطق سردسیر

دوام هر بتن در برابر سیکل ذوب و یخ، بستگی به فضاها ی خالی آن، درجه ی اشباع شدن بتن، مقدار آب قابل یخ زدن، میزان برودت هوا و میانگین ماکزیم فاصله ی ذرات بهم چسبیده در سطح آزاد بتن، جایی که یخ به آسانی می تواند شکل بگیرد، می باشد [3]. بتن متخلخل باید طوری طراحی شود که در سیکل ذوب و یخ های متوالی زود تخریب نشده، و بتواند آب را از خود عبور دهد و درخود نگه ندارد. چراکه سیکل ذوب و یخ می تواند رابطه ی مستقیمی با درجه ی اشباع شدن بتن که آن نیز به فاصله ی سطح آزاد سنگدانه ها بستگی دارد، ارتباط داشته باشد. طراحی و تولید درست این نوع بتن باعث می شود که همانند یک مکنده ای، آب باران و آب ناشی از ذوب برف و دیگر رواناب ها را به داخل خود کشیده و زهکشی کند. بخاطر همین خصوصیات ذکر شده باید مقداری فضای خالی عمدی در داخل بتن بوجود بیاوریم، که این کار با یکسان گرفتن سایز دانه ها انجام می شود.

^۱دستیار پژوهشی، آزمایشگاه بتن دانشگاه آزاد اسلامی ارومیه

^۲دستیار پژوهشی، آزمایشگاه بتن دانشگاه آزاد اسلامی ارومیه

^۳دستیار پژوهشی، آزمایشگاه بتن دانشگاه مازندران

¹NRMCA راهنمای هایی برای استفاده از بتن متخلخل در محیط هایی که دارای سیکل ذوب و یخ هستند ارائه کرده است [۳].

پیشنهاد های NRMCA

آب و هوایی با یخبندان شدید و غیر شدید بدون رطوبت :

مناطق، با یخبندان بدون رطوبت، جزء مناطقی بحساب می آیند که حداقل ۱۵ سیکل ذوب و یخ در سال دارند. در این مناطق میزان بارندگی در زمستان بسیار کم است. اگر میانگین دمای زیر صفر هوا در طول روز دارای پرید طولانی باشد، این مناطق جزء مناطق با یخبندان شدید اند. چون بتن های متخلخل میلی به اشباع ماندن ندارند، اعمال احتیاط های ویژه، برای عملکرد موفق این بتن نیاز نیست. اگر یک لایه ی ضخیم ۴-۸ اینچ با مصالح از جنس سنگدانه های شسته شده استفاده شود، بتن تولیدی، منبع خوبی برای ذخیره ی آب می شود. خیلی از قسمت های غربی آمریکا دارای این نوع آب و هوا هستند.

آب و هوایی با یخبندان مرطوب :

همانند مناطق بالا دارای حداقل ۱۵ بار سیکل ذوب و یخ در سال می باشند، با این تفاوت که در فصل زمستان بارندگی های زیادی رخ می دهد. چون سطح زمین برای مدت طولانی یخ نمی زند، روسازی، مقدار بسیاری از آب را زهکشی می نماید و اشباع نمی شود. برای این نوع مناطق نیز اعمال احتیاط های ویژه، برای عملکرد موفق این بتن نیاز نیست. تولید یک لایه ی ۴-۸ اینچ از این نوع بتن مناسب است. قسمت میانی شرق آمریکا دارای این گونه آب و هواست.

آب و هوایی با یخبندان خیلی شدید مرطوب :

هر گاه میانگین دمای زیر صفر هوا در طول روز دارای پرید طولانی باشد، مناطق با یخبندان و رطوبت جزء مناطقی با یخبندان شدید رطوبتی تقسیم بندی می شوند. چون در این مناطق خاک کاملا یخ می زند، نفوذ پذیری بسیار پایینی پیدا می کند و بخاطر همین روسازی موجود در این مناطق بطور کامل اشباع می شود. عمق نفوذ یخبندان (که در دمای صفر درجه رخ می دهد) در مناطق مختلف مقدار های متفاوتی دارد. بخاطر همین NRMCA پیشنهاداتی را برای عدم برخورد با مشکلات ارائه کرده است :

الف) محاسبه ی عمق نفوذ یخبندان

ب) محاسبه ی ۶۵٪ از این عمق

FAA بر این عقیده است که مواد در عمق بالای ۶۵ درصد، در معرض یخ زدگی قرار ندارند ولی در ۳۵ درصدی این عمق یخ می زند. FAA، این ضریب اطمینان را برای جلوگیری از ایجاد تورم در یخبندان ذکر کرده است. این مقدار در حدود ۵۰ سانتیمتر برای ۷۰ سانتیمتر عمق یخبندان است.

ج) استفاده از سنگدانه های هم ارز

۵۰ سانتیمتر محاسبه شده در بالا را به ۱۵ سانتیمتر بتن متخلخل و ۳۵ سانتیمتر مصالح سنگی هم اندازه ی با کیفیت تقسیم می کنیم. مصالح سنگی مورد استفاده باید مصالحی تمیز با قابلیت زهکشی خوب و دانه بندی با فاصله با ناخالصی هایی (در حدود ۰,۰۲ میلیمتر) کمتر از ۱,۵ درصد باشند.

اگر عمق یخبندان خیلی زیاد باشد (مثلا ۲۵۰ سانتیمتر) با اعمال تدابیری از قبیل گذاشتن لوله های پی وی سی و زهکشی آب به خارج از روسازی در سنگدانه های بیسیس، احتمال اشباع کامل بتن متخلخل را کاهش می دهیم.

محدودیت های استفاده از بتن متخلخل

استفاده از بتن متخلخل در مکان هایی که سطح آب های زیرزمینی بالا است تا جایی که کمتر از ۹۰ سانتیمتر از سطح زمین فاصله دارد و احتمال سیکل ذوب و یخ نیز هست و یا در مکان هایی که امکان جاری شدن آب از ارتفاع بالاتر وجود دارد توصیه نمی شود.

کاربردهای دیگر این نوع بتن

نرخ بالای آب که از بتن متخلخل عبور می کند اجازه می دهد که آب باران به داخل زمین تراوش شود و در نتیجه از نرخ سیلاب بکاهد و منابع آبهای زیرزمینی تقویت شود. پایداری ساختمان ها و ارائه ی یک راه حل برای ساختمان هایی که به عوامل محیطی حساس اند از بتن متخلخل نتیجه می شود [۴]. همچنین با توجه به عوامل محلی و محیطی، یک بتن متخلخل و زیر اساس ممکن است شامل ظرفیت ذخیره ی آب برای حذف نیاز کانال (آب راهه) کنار پیاده رو و دیگر اجزاء ذخیره ی آب باران شود. دیگر کاربرد هایی که از نرخ بالای جریان عبوری از بتن متخلخل حاصل می شوند شامل محیط زهکشی شده برای سازه های هیدرولیکی، پارکینگ ها، گلخانه ها، زمین های تنیس و لایه های اساس متخلخل روسازی های سنگین می شود [1]. در شکل ۱ شمایی از این نوع بتن نشان داده شده است.

¹ The National Ready Mixed Concrete Association



شکل ۲- شمایی از بتن متخلخل

طرح اختلاط و مصالح

در بتن متخلخل از مصالح همانند بتن معمولی استفاده می شود با این تفاوت که در این بتن مصالح ریزدانه حذف می شود و توزیع درشت دانه نیز بطور یکنواخت و در یک اندازه نگه داشته می شود. این باعث سختی بتن می شود. مصالحی که در این نوع بتن استفاده می شود [5]:
 الف) مواد سیمانی مورد مصرف در این بتن، سیمان پرتلند و سیمان های مخلوط شده ای است که طبق استاندارد (ASTM C150-C1157) در بتن معمولی بکار می روند. چون این بتن ها به لحاظ ساختار و شکل ظاهری خود بیشتر می توانند مورد هجوم مواد زیان آور قرارگیرند بخاطر همین می توان از مواد شبه سیمانی نظیر میکروسیلیس، خاکستر بادی، روبراره و ... برای افزایش دوام، کاهش نفوذ پذیری و ترک خوردگی استفاده کرد.

ب) مصالح سنگی : مقدار مصالح ریزدانه در بتن متخلخل محدود و کم می باشد و مصالح درشت دانه در یک رنج ثابت و اندازه ی یکنواخت استفاده می شود. عموماً دانه بندی مصالح درشت دانه (3/8 in) (3/8 in to no4) (3/8 in to no16) (9.5 to 1.18 mm) می باشد و دانه های مصالح سنگی تک سایز بیشتر از یک اینچ استفاده می شود. استاندارد ASTM D448 اغلب برای دانه بندی این بتن ها استفاده می شود. باید توجه کرد که دانه بندی تک سایز یک معیار و ویژگی مهم است. مصالح درشت دانه تر برای سطحی زمخت تر استفاده می شود. اخیراً استفاده ی بتن متخلخل بر روی پارکینگ ها، محل های عبور با ترافیک کم و پیاده رو ها متمرکز شده است بخاطر همین استفاده از سنگدانه های ریز تر می تواند نیاز زیبایی را در این مکان ها تامین کند. برای انتخاب نوع سنگدانه نیز باید به این مطلب توجه کرد که از هر دو نوع سنگدانه ی گرد گوشه و زبر در این نوع بتن استفاده می شود ولی سنگدانه های گرد گوشه می توانند مقاومت های بیشتری را بدست آورند. برای تولید بتن متخلخل باید به این نکته اشاره کرد که، سنگدانه های مصرفی در بتن باید به صورت اشباع و یا نزدیک اشباع باشند و یا رطوبت آزادی برای سنگدانه ها محاسبه شود چراکه اگر آب توسط سنگدانه های خیلی خشک جذب شود بتن دیگر کارایی و روانی خوبی نخواهد داشت.

ج) نسبت آب به سیمان : بطور معمول نسبت های آب به سیمانی بین ۰,۲۷ تا ۰,۳ برای این نوع بتن ها انتخاب می شود ولی با نسبت گنجایش مواد شیمیایی نسبت های ۰,۳۴ و ۰,۴ نیز جواب قابل قبولی داده اند. رابطه ی بین نسبت آب به سیمان و مقاومت در بتن های متخلخل هنوز روشن نیست. در این بتن ها حجم خمیر از حجم خلل و فرج بین سنگدانه ها کمتر است و در نتیجه احتمال نمی رود که با افزایش مقاومت خمیر مقاومت کلی نیز افزایش پیدا کند.

نسبت مواد موجود در بتن متخلخل در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- نسبت مواد موجود در بتن متخلخل

نسبت مواد	مقدار مواد
مواد دارای خواص سیمانی	270-415kg/m ³
سنگدانه	1190-1480kg/m ³
نسبت آب به سیمان	۰,۲۷-۰,۳
نسبت سنگدانه به سیمان	4-4.5:1
نسبت سنگدانه ی ریز به سنگدانه ی درشت	0to1:1

و رفتار این نوع بتن نیز در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- رفتار بتن متخلخل

مشخصات	میزان
اسلامپ	20mm
چگالی	1600 to 2000kg/m ³
زمان گیرش	1h
تخلخل	15%-25%
میزان نفوذ پذیری	120-320L/m ² /min
مقاومت فشاری	28Mpa-3.5Mpa
مقاومت خمشی	3.8Mpa-1Mpa
افت بتن	200x*10 ⁻⁶

اجرا بتن متخلخل

اجرای بتن متخلخل شامل چهار مرحله می باشد: مخلوط کردن، جا گذاری، تراکم و فشرده‌گی، عمل آوری. کیفیت و عملکرد بتن متخلخل بستگی به میزان آشنایی و عملکرد اجرا کننده دارد. مسئله‌ی مهمتر دریک روسازی بتن متخلخل مقدار پوکی آن است. البته باید بدانیم که زیر سازی این بتن و زمین زیرینش باید کمی نفوذ پذیر باشند تا آب بتواند براحتی زهکشی شود [5].

الف) آماده کردن زیر اساس و زیربنا

یکنواختی زیر اساس یک معیار برای جایگذاری سطح متخلخل می باشد. به عبارتی سطح ایجاد شده قبل از بتن ریزی باید کاملاً صاف و یک دست گردد. از آنجا که آماده کردن زیر اساس و زیربنا یک ترکیب حساس در اجرای بتن متخلخل است باید ملاحظات طراحی هیدرولیکی طراحی سازه ای در نظر گرفت. باید دقت کرد که تراکم ایجاد شده به اندازه ای باشد که هم موارد فنی را از لحاظ روسازی تامین کند و هم نفوذ پذیری را بسیار کاهش ندهد.

ب) اختلاط و دسته بندی مصالح

مشخصات خاص بتن متخلخل احتیاج به کنترل دقیق در توزین مصالح دارد. مخصوصاً نسبت آب در بتن باید به مقداری باشد که بتوان به نفوذ پذیری و مقاومت کافی دست پیدا کرد.

ج) انتقال

به دلیل اینکه بتن متخلخل دارای آب کمی می باشد باید توجه خاصی را در حین بتن ریزی در نظر گرفت. امکان دارد اسلامپ خیلی کم سبب کندی تخلیه ی بتن از بتنیر شود بخاطر همین باید از بتن سازهایی استفاده کرد که دهانه ی بزرگتری دارند چراکه بتن تولیدی باید ظرف یک ساعت پس از اختلاط اولیه کاملاً تخلیه شود. البته می توان زمان را با استفاده از دیر گیر کننده ها افزایش داد.

د) بتن ریزی و تراکم

روش های گوناگون بتن ریزی برای ساخت سنگ فرش های بتن متخلخل مورد استفاده قرار می گیرد. باید توجه شود که بتن متخلخل را نمی توان پمپ کرد. بخاطر همین باید از روش های مناسب انتقال استفاده نمود. قبل از بتن ریزی آمادگی و ترکیب لایه های زیری باید کنترل شود و تمام سطوح صاف و یک دست باشند. بتن ریزی باید پیوسته باشد و صاف کردن سطح و شمشه کشی سریع انجام شود. باید دقت کرد که شمشه های دستی امکان گسیختگی سطح را بوجود می آورند. ویرنه نمودن نیز همانند بتن های معمولی است ولی برای دوری از تراکم بیشتر سطح فرکانس ارتعاش از حدی بالاتر نباشد. در شکل های ۲ یکی از روش های بتن ریزی نشان داده شده است.



شکل ۲ - بتن ریزی

ه) پرداخت

سنگ فرش بتن متخلخل همانند بتن معمولی پرداخت نمی شود. عملیات صاف کردن و ماله کشی معمولی باعث مسدود شدن سطح بتن می گردد و اصلی ترین کاربرد بتن متخلخل را با مشکل روبرو می کند. در بتن متخلخل مرحله ی پرداخت، همان متراکم کردن است. در شکل ۳ روش پرداخت سطح این نوع بتن نشان داده شده است.



شکل ۳ - پرداخت سطح بتن متخلخل

و) عمل آوری و مراقبت

سازه ی باز و سطح نسبتاً زبر بتن متخلخل بدون حفاظ و خمیر سیمان در معرض تبخیر، عمل آوری را نسبت به بتن معمولی ضروری تر می کند. عمل آوری سریع سیمان برای بتن های متخلخل امری بحرانی است و باید هرچه سریع تر انجام شود. با کشیدن حفاظ پلاستیکی می توان عمل آوری را شروع کرد. این حفاظ باید حداقل ۷ روز روی بتن باشد. بهترین زمان برای آغاز عمل آوری حداکثر ۲۰ دقیقه بعد از اجرای عملیات بالا می باشد. توصیه می شود که سطح برای مدت ۷ روز باز نشود و هیچ عبور و مروری بر روی آن انجام نگردد و تا ۷ روز فقط عمل آوری شود.

نتیجه گیری

با رعایت کلیه ی اصول تولید این محصول، می توان از آن به عنوان یک روسازی ایمن مقرون بصرفه و بادوام در پروژه های شهر سازی استفاده کرد.

مراجع

1. Portland Cement Association, Pervious Concrete: Hydrological Design and Resources (CD), CD063, Skokie, Illinois, 2006.
2. Storm Water Phase II Final Rule: An Overview, EPA 833-F-00-001, Fact Sheet 1.0, US Environmental Protection Agency, Office of Water, January 2000, 4 pages.

3. NRMCA, Freeze-Thaw Resistance of Pervious Concrete, National Ready Mix Concrete Association, Silver Spring, Maryland, 2004, 17 pages
4. Portland Cement Association, Pervious Concrete at the LEED™-Certified East Atlanta Library (video), CD067, Skokie, Illinois, 2006.
5. Tennis, P. D., Leming, M. L., and Akers, D. J., Pervious Concrete Pavements, EB302, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, and National Ready Mix Concrete Association, Silver Spring, Maryland, 2004, 25 pages.