بررسی خواص مکانیکی و تاثیرات سنگدانه‌های متداول در ساخت بتن متخلخل

مجید رستمی گله دار، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی اصفهان
ایمان بهرامی چگنی، عضو هیئت علمی و مدیرگروه عمران دانشگاه لرستان
Majid.rostami1@cv.iut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۱/۳۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۰۲/۱۰

چکیده:

بتن متخلخل، نوع خاصی از بتن با تخلخل بالا است که یکی از عمده‌ترین کاربردهای آن، استفاده در رویه‌ها می‌باشد. با توجه به اهمیت حمل و نقل در جهان امروز و استفاده از مصالح نوین در زیر ساخت‌های حمل و نقل جاده‌ای، دریایی، هوایی و ریلی، تحقیق در این زمینه مورد توجه قرار گرفته است. بتن متخلخل یکی از انواع روسازی‌های صلب می‌باشد، که مزایای فراوانی از قبیل نفوذپذیری بالا، هدایت هیدرولیکی مناسب، فیلتراسیون آب‌های سطحی و تزریق به سفره های آب زیرزمینی و...را دارا می‌باشد. اما با وجود مزیت‌های فراوان مقاومت فشاری پایین این نوع بتن یکی از معایب آن است، که این خود لزوم تحقیقات بیشتر در راستای بالا بردن مقاومت فشاری این نوع بتن‌ها را نشان می‌دهد. در تحقیق حاضر با انجام یک سری مطالعات آزمایشگاهی بر روی چند نمونه سنگدانه متداول با جنس و دانه بندی‌های مختلف، در گام نخست خواص فیزیکی و ظاهری آنها بررسی شده، و پس از تهیه طرح اختلاط‌های مختلف در ساخت نمونه‌های بتن متخلخل، خواص بتن‌های به دست آمده از جمله نفوذپذیری، تخلخل و مقاومت فشاری بررسی می‌شود. و در ادامه پس از انجام آزمایش‌روی نمونه‌های مختلف، به بررسی و تحلیل نتایج پرداخته می‌شود. در نهایت براساس نتایج و تحلیل‌های بدست آمده از انجام آزمایشات، طرح اختلاط‌های بهینه بسته به نوع کاربرد آن‌ها معرفی شده است.

کلید واژگان: بتن متخلخل، سنگدانه، نفوذپذیری، تخلخل، مقاومت فشاری

۱-مقدمه

همانطور که می‌دانیم امروزه صنعت بتن نقش بسیار مهمی در ساخت و سازهای جوامع بشری ایفا می کند و یکی از عوامل بسیار مؤثر در سازه های بتنی در جهان است. در این راستا انجمن سیمان پرتلند (PCA) تحقیقاتی را به منظور استفاده از بتن در دیگر پروژه‌ها آغاز نموده، پس از آزمایشات و تحقیقات فراوان موفق شد به راه حل بسیار خوبی به نام بتن اسفنجی (بتن متخلخل) دست یابد. بتن اسفنجی که حاصل این دست رنج بود، توانست تحولات زیادی را در محوطه سازی های شهرهای اروپا و آمریکا ایجاد کند [۱].

بتن اسفنجی یک مخلوط سنگدانه درشت (شن)، سیمان، آب و ماسه به میزان اندک و گاهی اوقات بدون ماسه می باشد، استفاده از شن به جای ماسه در این نوع بتن بدلیل تخلخل و فضای خالی موجود در آن می باشد، در ساختار این بتن ۱۵ الی ۲۵ درصد (از لحاظ حجم) فضای خالی وجود دارد که این امر موجب عبور آب از داخل

Archive of SID
www.SID.ir

بتن می‌گردد. در بتن اسفنجی از آب نسبت به دیگر انواع بتن کمتر استفاده می شود و این موضوع باعث شده تا پس از ساختن مخلوط بتن، آب آن به سرعت تبخیر و مخلوط در مدت یک ساعت کاملاً از آب تخلیه شود. [۲].

بتن اسفنجی دارای مزایای اقتصادی و زیست محیطی فراوانی است، که البته مزایای زیست محیطی آن بیشتر مدنظر است. از مزایای اقتصادی آن می‌توان به پایین آمدن خرج‌های فراوان به منظور هدایت آب باران و فاضلاب اشاره داشت. در واقع می‌توان گفت با وجود بتن اسفنجی نیازی به ساختن جوی‌های آب فراوان در سطح شهر و کنار خیابان و کوچه‌ها و همچنین کانال‌های بزرگ آب نیست. زیرا این بتن هرگونه بارندگی را مستقیماً به زمین و سفره‌های آب زیرزمینی منتقل می‌کند و در واقع یک مزیت زیست محیطی نیز محسوب می‌شود. از دیگر مزایای زیست محیطی آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- جلوگیری از بروز آب‌گرفتگی در معابر و مکان‌ها به هنگام بارندگی.
۲- جلوگیری از آلوده‌شدن آب بارندگی ها (زیرا اگر زمین غیر قابل نفوذ باشد، آب باران و برف در سطح زمین که آلودگی فراوان دارد جریان می‌یابد و منجر به آلوده شدن آب بارندگی می‌شود.)
۳- پر شدن ذخایر آب زیرزمینی
۴- در نقاط سرد که ماندن برف و باران روی زمین (بعد از بارش) منجر به سردتر شدن آن مناطق می‌شود می‌توان با استفاده از این بتن آب باران و برف را به داخل زمین هدایت کرد و از سردتر شدن آن ناحیه جلوگیری کرد.
۵- همچنین می‌توان از این نوع بتن در مکان‌هایی که نیاز به زمین خشک استفاده کرد مثلاً در زیرسازی چمن‌های استادیوم‌های فوتبال.
۶- همچنین در مناطق سردسیر، بدلیل عبور آب از این بتن از یخ‌زدگی سطح معابر و در نتیجه ایجاد خطر جلوگیری می‌کند که شهرداری‌های محترم می‌توانند از این بتن در پیاده‌روسازی‌ها و محوطه‌سازی پارک‌ها، پارکینگ‌ها و معابری که مشکل آبگیری دارند استفاده نمایند.
۷- ایجاد مناظری زیبا به هنگام بارندگی، زیرا با وجود این بتن دیگر هنگام بارندگی آب گرفتگی وجود ندارد. [۳].

البته این نوع بتن هنوز در ایران جا نیفتاده، ولی امید است با تلاش مسئولین ادارات، مهندسین و متخصصین فن این بتن به منظور حفظ بیشتر محیطزیست و مقرون به صرفه بودن مورد استفاده در پروژه‌های کشورمان نیز قرار بگیرد.

۲-مطالعات آزمایشگاهی:

۲-۱ مصالح مورد استفاده

در انجام این تحقیق از سیمان پرتلند معمولی تیپ یک کارخانه سیمان دورود استفاده شد. خصوصیات سیمان انتخابی طبق استاندارد C150 ASTM می‌باشد و نتایج آنالیز شیمیایی آن در جدول (۱) آمده است.

جدول۱- آنالیز شیمیایی سیمان پرتلند تیپ یک کارخانه سیمان دورود

ترکیبات	SiO_2	AL_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O
درصد وزنی	۲۲/۶	۵/۳	۳/۷	۶۲/۴	۱/۶	۱/۸	۰/۸

نرمی سیمان مورد استفاده حدود 3100 cm2/g می‌باشد و مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن ۳۶۵ kg/cm2 می‌باشد.

در انجام این آزمایش از سه نوع سنگدانه با جنس‌های مختلف شامل سنگ آهک۱، مرمریت۲ و گرانیت مشکی۳ از معادن کوهی استفاده می‌شود. که در شکل (۱) نشان داده شده است. این سنگدانه‌ها با قرار گرفتن در دستگاه سنگ شکن خورد شده و در محدوده‌های مجاز دانه‌بندی شن و ماسه تفکیک می‌شوند.

برای هر نوع از سنگدانه‌ها نخست آزمایش‌های لوس‌آنجلس (سایش)، جذب آب و رطوبت را انجام داده و سپس در مرحله بعدی چهار دانه‌بندی مختلف که در محدودهٔ استاندارد ASTM C136 می‌باشند، جهت ساختن بتن متخلخل استفاده می‌شوند.

[1]Lime stone
[2]Marble
[3]Black Granite

Archive of SID
www.SID.ir

۲-۲-آزمایش مصالح

الف) آزمایش لس آنجلس: این آزمایش طبق استاندارد ASTM C131 انجام شده است، که نتایج آزمایش در جدول شماره (۲)آمده است:

جدول ۲- درصد سایش سنگدانه‌ها براساس آزمایش لس‌آنجلس

جنس سنگدانه	وزن اولیه نمونه (w_1) (gr)	وزن ثانویه نمونه (w_2) (gr)	درصد سایش $[(W_1-W_2)/W_1]*100$ (٪)
سنگ آهک	۵۰۰۰	۳۶۸۰/۳	۲۶/۳۹
مرمریت	۵۰۰۰	۳۸۸۳/۶	۲۲/۳۳
گرانیت	۵۰۰۰	۴۴۲۱/۳	۱۱/۵۷

ب) آزمایش جذب آب: این آزمایش طبق استاندارد ASTM C127 انجام شده است.که نتایج آزمایش در جدول شماره(۳)آمده است:

جدول ۳- نتایج آزمایش جذب آب سنگدانه‌ها

سنگ	وزن نمونه خشک شده در هوا (A) (gr)	وزن نمونه اشباع با سطح خشک در هوا (B) (gr)	درصد جذب آب $[(B-A)/A]*100$
سنگ آهک	۳۰۰۰	۳۰۶۴/۲	۲/۱۴
مرمریت	۳۰۰۰	۳۰۲۱	۰/۷
گرانیت	۳۰۰۰	۳۰۰۹	۰/۳

ج) آزمایش رطوبت سنگدانه‌ها[1]: این آزمایش طبق استاندارد ASTM C566 انجام شده است که نتایج آزمایش در جدول است.

جدول۴- نتایج آزمایش رطوبت سنگدانه ها

سنگ	وزن اولیه نمونه مرطوب (W) (gr)	وزن نمونه خشک شده (D) (gr)	مقدار رطوبت کلی نمونه $[(W-D)/D]*100$ (٪)
سنگ آهک	۱۵۰۰	۱۴۹۷/۹	۰/۱۴
مرمریت	۱۵۰۰	۱۴۹۶/۶	۰/۲۳
گرانیت	۱۵۰۰	۱۴۹۷/۲	۰/۱۹

از مقایسه نتایج آزمایشگاهی فوق روی سنگدانه‌ها مشاهده می‌شود، سنگدانه‌های گرانیتی به لحاظ مقاومت سایشی نسبت به سایر سنگدانه‌ها مقاوم‌تر عمل می‌نمایند، و درصد جذب آب و نیز رطوبت این سنگدانه‌ها نسبت به سایر سنگدانه‌ها کمتر است. که این خود مزیت بالای استفاده از این سنگدانه‌ها را در بتن متخلخل نشان می‌دهد.

اما متاسفانه هزینه تهیه و دانه‌بندی این سنگدانه‌ها سایر سنگدانه‌ها بالاتر است. اما پس از سنگدانه‌های گرانیتی، به لحاظ نتایج سایش و جذب آب و رطوبت، می‌توان سنگدانه‌های مرمریت را در اولویت بعدی قرار داد، که هزینه دانه‌بندی کمتری نسبت به نوع گرانیتی دارند.

[1] Moisturetest

Archive of SID
www.SID.ir

۳-دانه‌بندی سنگدانه‌ها

همان‌طور که قبلاً گفتیم در دانه‌بندی سنگدانه‌ها به منظور تهیه بتن متخلخل در آزمایش مذکور از استاندارد ASTM C136 استفاده می‌شود، بدین منظور چهار نوع دانه‌بندی در محدوده درشت‌دانه از این استاندارد طبق مشخصات جدول (۵) و با در نظر گرفتن محدوده‌های مجاز جهت دانه‌بندی مصالح سنگی در بتن متخلخل درنظر گرفته می‌شود.

جدول ۵-محدوده دانه‌بندی سنگدانه‌های مورد آزمایش

شماره الک	درصد وزنی مانده روی الک‌های استاندارد در هر گروه از سنگدانه‌ها			
	دانه بندی A	دانه بندی B	دانه بندی C	دانه بندی D
#8	۱۰٪	۰	۰	۰
#4	۸۰٪	۳۰٪	۴۰٪	۰
	۱۰٪	۲۰٪	۶۰٪	۰
	۰	۵۰٪	۰	۱۰۰٪
	۰	۰	۰	۰

با توجه به دانه‌بندی واضح است که در بتن متخلخل مصالح عمدتاً به صورت یکنواخت و یا در دسته‌بندی بد دانه‌بندی [1] شده قرار دارند. در این آزمایش همچنین از فوق روان‌کننده (HWR) که برپایهٔ پلی‌کربوکسیلیک اصلاح شده می‌باشد، استفاده می‌شود.

۴- طرح اختلاط

در این تحقیق با توجه به تفاوت در مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی سنگدانه‌ها، به منظور کنترل نسبت آب به سیمان و با در نظر گرفتن عیار سیمان برابر با ۳۵۰ kg/m3 به تعیین میزان نسبت آب به سیمان با در نظر گرفتن معیار روانی و کارپذیری و نیز جلوگیری از خروج شیره بتن پرداخته می‌شود. در اینجا ذکر این نکته مهم ضروری است، که در بتن‌های معمولی بیرون‌زدگی شیره معمولاً در اثر تراکم نادرست و در حین جا دادن بتن اتفاق می‌افتد، و حال آنکه در بتن‌های متخلخل به علت فقدان ریزدانه خروج شیره بتن زودتر و در همان لحظات اولیه و در اثر عدم توجه به نسبت آب به سیمان مناسب رخ می‌دهد، به عبارتی در کنترل نسبت آب به سیمان اثر توأم روانی و عدم خروج شیره بتن به صورت همزمان اعمال می‌شود، که در ادامه مقادیر بهینه نسبت آب به سیمان (W/C) و نیز نسبت درصد فوق روان کننده به سیمان (HWR/C) آمده است:

با ساخت نمونه‌های متعدد مرمریت در انواع دانه‌بندی‌های D, C, B, A و عیار یکسن سیمان برابر با ۳۵۰ کیلوگرم در متر مکعب مشاهده می‌شود، که برای مقادیر W/C > ۰/۳ و (%) ۰/۶ > HWR/C بیرون زدگی شیره بتن همواره وجود دارد، که در این نمونه‌ها نسبت بهینه آب به سیمان و نیز فوق روان کننده به ترتیب در مقادیر W/c=۰/۲۵ و HWR/C=۰/۶ (%) حاصل می‌شود. برای سایر سنگدانه‌هاس آهکی و گرانیت نیز مقادیر بهینه نسبت آب به سیمان و فوق روان کننده در جدول (۶) آمده است.

جدول۶- طرح اختلاط انواع مصالح دانه‌بندی شده در بتن متخلخل

شماره نمونه	جنس سنگدانه	دانه بندی	سیمان (Kg/m³)	آب (Kg/m³)	HWR/C (٪)
۱	سنگ آهک	A	۳۵۰	۱۰۵	۰/۸
۲	سنگ آهک	B	۳۵۰	۱۰۵	۰/۸
۳	سنگ آهک	C	۳۵۰	۱۰۵	۰/۸
۴	سنگ آهک	D	۳۵۰	۱۰۵	۰/۸
۵	مرمریت	A	۳۵۰	۸۷/۵	۰/۶
۶	مرمریت	B	۳۵۰	۸۷/۵	۰/۶
۷	مرمریت	C	۳۵۰	۸۷/۵	۰/۶
۸	مرمریت	D	۳۵۰	۸۷/۵	۰/۶
۹	گرانیت	A	۳۵۰	۸۷/۵	۰/۶
۱۰	گرانیت	B	۳۵۰	۸۷/۵	۰/۶
۱۱	گرانیت	C	۳۵۰	۸۷/۵	۰/۶
۱۲	گرانیت	D	۳۵۰	۸۷/۵	۰/۶

۵-تهیه نمونه‌ها و انجام آزمایش

کلیه مصالح پس از آماده شدن با درصدهای معین طرح اختلاط، در یک مخلوط‌کن با جام ثابت ریخته و باهم مخلوط می‌شوند. جهت افزودن فوق روان‌کننده پس از افزودن کمی بیشتر از نصف آب مصرفی، فوق‌روان‌کننده در جام ریخته شده و سپس بقیه آب را می‌افزاییم. در ادامه جهت نمونه‌گیری مطابق استاندارد B.S از قالب‌های ۱۵۰*۱۵۰*۱۵۰ میلیمتر چدنی استفاده می‌شود. تراکم نمونه‌ها بوسیله یک میله استاندارد در سه لایه و هر لایه با ۲۵ ضربه انجام می‌شود. پس از آن عمل‌آوری و مراقبت از نمونه‌ها در رطوبت و دمای استاندارد به مدت ۲۸ روز انجام می‌شود. نمونه‌های تهیه شده در ادامه تحت آزمایش‌های تخلخل، نفوذپذیری و مقاومت فشاری قرار می‌گیرند.

1Poorly Graded

Archive of SID
www.SID.ir

الف) آزمایش تخلخل:

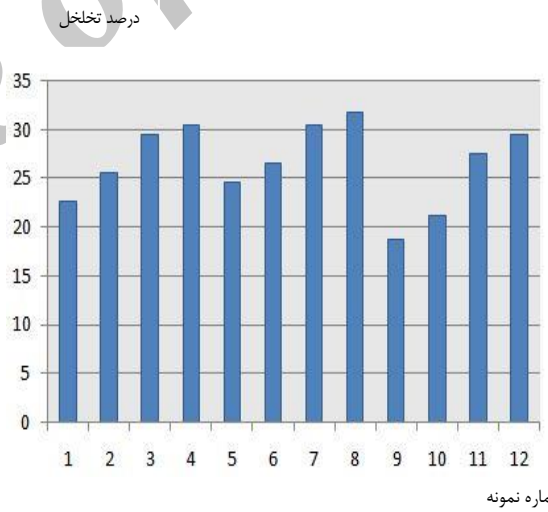
برای اندازه‌گیری درصد تخلخل از استاندارد ASTM C1688 استفاده نموده بدین منظور نمونه‌ها را در ظرف مخصوصی با سطح مقطع و ارتفاع معین آب غوطه‌ور نموده، پس از مدتی که هوای داخل نمونه تخلیه شد، مقدار بالا آمدن آب را اندازه‌گیری نموده و درصد تخلخل از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$v = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \times 100 \qquad (۱)$$

V: درصد تخلخل و V_1: حجم نمونه بتنی و V_2: حجم آب جابجا شده می‌باشد، که حجم آب جابجا شده از ضرب مقدار آب بالا آمده در سطح مقطع ظرف بدست می‌آید.

جدول شماره(۷)-نتایج آزمایش تست

شماره نمونه	تخلخل(%)	شماره نمونه	تخلخل(%)
۱	۲۲/۶	۷	۳۰/۴
۲	۲۵/۵	۸	۳۱/۸
۳	۲۹/۴	۹	۱۸/۸
۴	۳۰/۴	۱۰	۲۱/۲
۵	۲۴/۶	۱۱	۲۷/۵
۶	۲۶/۵	۱۲	۲۹/۴



شکل۱- نمودار درصد تخلخل

همانطور که از جدول شماره (۱) مشخص است، نمونه شماره (۸) که مربوط به سنگدانه های مرمریت در محدوده دانه‌بندی درشت دانه می باشد، بیشترین میزان تخلخل را دارا می‌باشد. و کمترین میزان تخلخل نیز مربوط به سنگدانه‌های گرانیتی در محدوده دانه‌بندی با اندازه حداقل است. لازم به ذکر است که با توجه به محدوده‌ی آیین‌نامه‌ای درصد تخلخل ٪ (۱۵-۲۵) جهت استفاده از بتن‌های متخلخل در لایه‌های رویه، در واقع می‌توان گفت: تمامی سنگدانه‌های با دانه بندی‌های A,B در آزمایش فوق قابلیت استفاده در بتن‌های رویه در روسازی‌ها را دارا می‌باشند، مشروط بر آنکه تستهای نفوذپذیری و مقاومت فشاری را نیز ارضاء نمایند.

ب) آزمایش نفوذپذیری[۱]:

در ادامه به منظور انجام تست نفوذپذیری، با توجه به محدودهٔ بالای نفوذپذیری بتن‌های متخلخل از روش آزمایش نفوذپذیری با بار ثابت استفاده می‌شود. جنس ظرف آزمایش از نوع پلکسی گلاس بوده و ابعاد داخلی ظرف آزمایش (۱۶۰*۱۶۰) میلیمتر و ارتفاع آن ۵۰۰ میلیمتر می‌باشد. نمونه‌ها را به منظور جلوگیری از تأثیر تمرکز سیمان از بالا و پایین به میزان ۲/۵ سانتیمتر (معادل ۱ اینچ) برش می‌دهیم. ابتدا نمونه بتنی را برای جلوگیری از نشت آب از کناره‌ها به وسیله پارافین آب‌بندی نموده، سپس در ظرف آزمایش قرار داده و نخست با جریان معکوس آب از کف نمونه به بالا حباب‌های هوای درون منافذ تخلیه می‌شوند.

برای اندازه‌گیری نفوذپذیری زمان تغییر افت هد آب را با استفاده از فرمول دارسی اندازه‌گیری کردیم. ارتفاع ستون آب جهت اندازه‌گیری نفوذپذیری، طوری تعیین می‌گردد که معمولاً روسازی‌ها این هد را تجربه می‌کنند. (حدود ۲۰ CM) ضریب نفوذپذیری از رابطه (۲) قابل محاسبه است:

$$K = \frac{V.L}{A.h(t_2 - t_1)} \qquad (۲)$$

K : ضریب نفوذپذیری بر حسب cm/s،

V: حجم آب عبوری از نمونه از زمان t_1 تا t_2

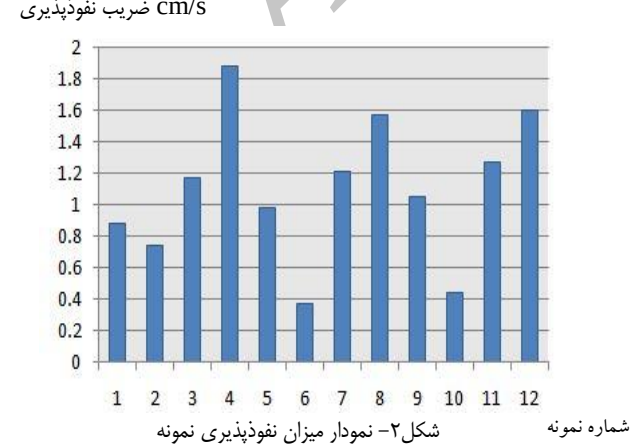
L : ارتفاع نمونه بتنی بر حسب cm،

A: سطح مقطع نمونه بتنی بر حسب cm^2

h : اختلاف تراز سطح آب در بالا و پایین نمونه بر حسب cm می‌باشد.

جدول۸- نتایج آزمایش تست نفوذپذیری نمونه ها

شماره نمونه	ضریب نفوذپذیری (cm/s)	شماره نمونه	ضریب نفوذپذیری (cm/s)
۱	۰/۸۸	۷	۱/۲۱
۲	۰/۷۴	۸	۱/۵۷
۳	۱/۱۷	۹	۱/۰۵
۴	۱/۸۸	۱۰	۰/۴۴
۵	۰/۹۸	۱۱	۱/۲۷
۶	۰/۳۷	۱۲	۱/۶



شکل۲- نمودار میزان نفوذپذیری نمونه

[6]Permeability Test

Archive of SID
www.SID.ir

با انجام آزمایش نفوذپذیری و توجه به جدول شماره (۸) و شکل شماره (۲) واضح است که در انواع سنگدانه‌های با جنس‌های متفاوت میزان نفوذپذیری با یکنواختی بافت دانه‌بندی ارتباط مستقیم دارد. به عبارتی از آنجاییکه نفوذپذیری در واقع بیانگر مقاومت اصطکاکی بافت درونی محیط متخلخل در برابر عبور سیال است، باهم اندازه شدن دانه‌ها مقاومت مذکور کاهش یافته و نفوذپذیری افزایش می‌یابد. در آزمایش مذکور دابه‌بندی D در تمامی سنگدانه‌ها بیشترین یکنواختی را دارا می‌باشد، لذا تمامی طرح‌های اختلاط بتن متخلخل مربوط به این نوع دانه‌بندی بیشترین نفوذپذیری را از خود نشان می‌دهند. و در یک جمع‌بندی کلی می‌توان گفت: نفوذپذیری بتن متخلخل به عواملی از قبیل تخلخل، توزیع و اندازه حفره‌های درونی، اصطکاک جداره حفره‌ها (همان عامل ضریب زبری در علم هیدرولیک) و همچنین پیچ و خم‌ها و نحوهٔ ارتباط کانال‌های میان حفره‌ها بستگی دارد.

ج) آزمایش مقاومت فشاری

آنچه که امروزه به عنوان مقاومت فشاری بتن‌های متخلخل معرفی می‌شود، در واقع محدوده‌ی بین (۵/۳–۲۸) مگا پاسکال می‌باشد. که در همین محدوده نیز کاربردهای متعددی جهت بتن متخلخل وجود دارد. اما به این نکته نیز باید دقت شود، که تاکنون آزمایش استانداردی جهت اندازه‌گیری مقاومت فشاری بتن‌های متخلخل در استانداردهای ارائه شده توسط سازمان بین‌المللی توسعه استانداردها (ASTM) ارائه نشده است. که این امر خود به علت پراکندگی بالای نتایج مقاومت‌های فشاری با روش‌های مختلف اندازه‌گیری می‌باشد. به عبارتی با توجه به این نکته می‌توان گفت برخلاف بتن‌های معمولی در بتن‌های متخلخل مقاومت فشاری به عنوان تنها ملاک پذیرش بتن تلقی نمی‌شود، بلکه به موازات مقاومت فشاری، تخلخل و نفوذپذیری هم حائز اهمیت می‌باشند.

جدول۹- نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌ها

شماره نمونه	مقاومت فشاری (MPa)	شماره نمونه	مقاومت فشاری (MPa)
۱	۱۴/۵۲	۷	۱۳/۹۱
۲	۱۶/۵۴	۸	۱۱/۲۶
۳	۱۲/۷	۹	۱۷/۱
۴	۷/۱۶	۱۰	۲۴/۴
۵	۱۶/۱۵	۱۱	۱۵/۶
۶	۲۰/۹۷	۱۲	۱۳/۲

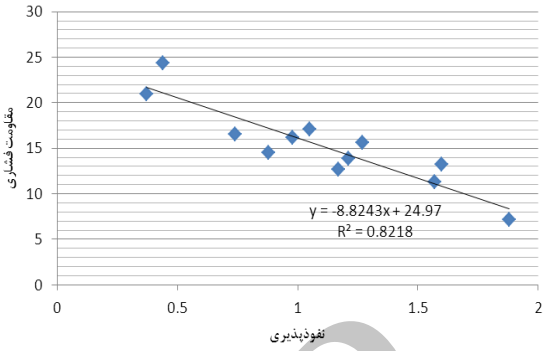
در انجام تست مقاومت فشاری برای نمونه‌های بتنی فوق از استاندارد ASTM C39 استفاده می‌شود، اما به علت ناهمواری سطح فوقانی، نخست عملیات کپینگ[۱] نمونه‌ها با استفاده از گچ دندانپزشکی با ضخامت معین و در محل سطوح با فک‌های جک بتن شکن انجام می‌شود. با دقت در جدول شماره (۹) می‌توان فهمید، نمونه‌های ساخته شده از سنگدانه‌های گرانیتی بیشترین مقاومت فشاری را از خود نشان می‌دهند. که این خود هم به علت مقاومت فشاری و هم سختی بالای سنگدانه‌های گرانیتی نسبت به سایر سنگدانه‌ها می‌باشد. همچنین دقت در سطوح شکست نمونه‌های شکسته از سنگدانه‌های گرانیتی در محدوده دانه‌بندی‌های D,C نشان می‌دهد، که عمدتاً سطوح شکست از فضای بین سنگدانه‌ای عبور نموده است، که این خود لزوم استفاده از چسباننده‌های قویتر و سایر افزودنی‌ها و تغییرات در درصدهای اختلاط به منظور رسیدن به مقاومت بالاتر را می‌طلبد. پس از نمونه‌های با سنگدانه‌های گرانیتی، نمونه‌های با سنگدانه‌های مرمریت و سپس آهکی در رده‌های دوم و سوم مقاومتی قرار دارند، که در هر دو دسته اخیر سطوح شکست تماماً از وسط سنگدانه‌ها عبور نموده است.

۶-تحلیل نتایج

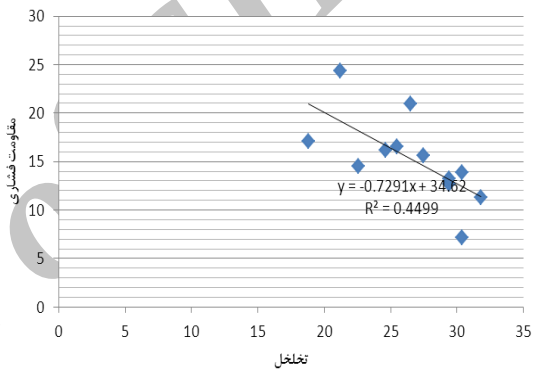
بررسی نتایج حاصل از جدول شماره (۷) در خصوص آزمایش تست تخلخل، بیانگر آن است که در تمامی نمونه‌های بتنی متخلخل ساخته شده در حرکت از دانه‌بندی A به B میزان تخلخل نمونه‌ها افزایش می‌یابد، که علت این پدیده را باید در افزایش حداکثر اندازه سنگدانه‌ها و نیزحرکت به سمت دانه‌بندی یکنواخت جستجو نمود. اما در اینجا یک حالت استثناء وجود دارد، و آن اینکه دانه‌بندی B اگرچه در مقایسه با دانه‌بندی C محدوده درشت دانه‌تری را پوشش می‌دهد، اماتخلخل نمونه بتنی حاصله کمتر است، که علت را باید در نوع منحنی دانه‌بندی جستجو نمود. به عبارتی از آنجا که دانه‌بندی B در واقع محدوده دانه‌بندی بیشتری را پوشش می‌دهد، (به سمت منحنی خوب دانه‌بندی شده حرکت می‌نماید) علیرغم حداکثر اندازه سنگدانه بزرگتر نسبت به نمونه تولید شده با دانه بندی C، تخلخل کمتری در نمونه بتنی ایجاد می‌کند. همچنین نمونه‌های ساخته شده از سنگدانه‌های مرمریتی با توجه به کاهش نسبت آب به سیمان و نیز فوق روان کننده کمتر، در مقایسه با نمونه‌های ساخته شده از سنگدانه‌های آهکی تخلخل بیشتری از خود نشان می‌دهند، اما در مقایسه با نمونه‌های ساخته شده از سنگدانه‌های گرانیتی با وجود شرایط مشابه نسبت آب به سیمان و نیز فوق روان کننده‌ها، شرایط برعکس می‌شود، بدین معنا که سنگدانه‌های گرانیتی تخلخل کمتری از خود نشان می‌دهند، که علت این پدیده را در حداقل بودن درصد جذب آب و نیز بیشتر بودن رطوبت سنگدانه‌های گرانیتی باید دانست، که خود به نحوی در بالا بردن روانی و کارآیی نمونه‌های ساخته شده از سنگدانه‌های گرانیتی و پایین آوردن درصد تخلخل آنها مؤثر است.

[۱] Capping

Archive of SID
www.SID.ir



شکل۳-نمایش تحلیل رگرسیون خطی بین مقادیر مقاومت فشاری و نفوذپذیری



شکل۴-نمایش تحلیل رگرسیون خطی بین مقادیر مقاومت فشاری و تخلخل

تحلیل آماری نتایج بدست آمده حاصل از مقایسه مقادیر مقاومت فشاری با نفوذپذیری و نیز تخلخل نمونه‌ها موارد ذیل را نتیجه می دهد: الف) با توجه به شکل شماره (۳) مشخص است که: همبستگی بالایی بین مقادیر بدست آمده حاصل از نتایج آزمایش مقاومت فشاری و نفوذپذیری وجود دارد. به عبارتی با توجه به آنکه در عبور از طرح اختلاط نمونه‌های با دانه‌بندی A به نمونه‌های با دانه‌بندیB ، مقاومت فشاری با توجه به بافت مناسب‌تر دانه‌بندی افزایش می‌یابد، میزان نفوذپذیری کاهش یافته و در سایر نمونه‌ها با کاهش مقاومت فشاری، نفوذپذیری افزایش می‌یابد. و یا می‌توان گفت این ارتباط معکوس در تمامی نمونه‌ها بین مقاومت فشاری و نفوذپذیری برقرار است. که این خود باعث افزایش همبستگی نتایج به میزان بالاتر از ۸۰ درصد شده است.

ب) اما دقت در شکل شماره (۴) نشان می‌دهد، که میزان همبستگی نتایج حاصله از تست مقاومت فشاری و تخلخل پایین است، به عبارتی با داشتن مقادیر تخلخل با قطعیت نمی‌توان در مورد نحوه تغییرات مقاومت فشاری برای دانه‌بندی‌های مختلف قضاوت نمود، با وجود آنکه نتایج تحقیقاتی که تاکنون در این خصوص انجام شده با ثابت نگه داشتن نوع دانه‌بندی و تغییرات در سایر اجزاء طرح اختلاط بتن متخلخل این همبستگی را تأیید نموده است، اما در این تحقیق باید دقت نمود که در طرح‌های اختلاط مختلف متغیر مورد بحث تغییرات در جنس و نوع منحنی دانه‌بندی است. که همین عامل خود در پدید آمدن همبستگی بین نتایج مؤثر می‌باشد. به عنوان مثال در عبور از طرح اختلاط نمونه‌های با دانه‌بندی A به نمونه‌های با دانه‌بندی B، با وجود افزایش تخلخل، مقاومت فشاری نیز افزایش می‌یابد. که این پدیده خود به علت دانه‌بندی مناسب‌تر و به عبارتی حرکت دانه‌بندی به سمت خوب دانه‌بندی‌تر می‌باشد. و متعاقباً در سایر نمونه‌های شماره (۲)، (۶) و (۱۰) برای انواع سنگدانه‌ها همین شرایط حاکم می‌باشد، که بر عامل افزایش تخلخل غلبه کرده و افزایش مقاومت فشاری را ایجاد نموده است. اما در بقیه نمونه‌ها با افزایش تخلخل مقاومت فشاری کاهش یافته است.

۷-نتیجه‌گیری

در هر سه نوع سنگدانه مقاومت فشاری بالاتر در طرح اختلاط نمونه‌های با دانه بندی B حاصل می‌شود، که میزان نفوذپذیری نیز در این نمونه‌ها حداقل می‌باشد. پس از معرفی نمونه‌های با طرح اختلاط شامل دانه بندی B به عنوان نمونه‌های بهینه، در ادامه از بین کل نمونه‌ها، نمونه شماره (۱۰) که شامل سنگدانه‌های گرانیتی می‌باشد، بیشترین مقاومت فشاری را تولید می‌کند. اما با توجه به هزینه بالای تهیه و دانه‌بندی سنگدانه‌های گرانیتی، عمدتاً جز در موارد خاص - استفاده از این سنگدانه‌ها توصیه نمی‌شود. در اولویت بعدی نمونه شماره (۶) که همان طرح اختلاط با دانه‌بندی B اما شامل سنگدانه های آهکی می‌باشد، توصیه می‌شود. که هم هزینه تمام شده کمتری نسبت به نمونه‌های گرانیتی دارد، و هم مقادیر مقاومت فشاری، تخلخل و نفوذپذیری آن در محدوده مجاز می‌باشد.

۸-منابع

[1]- Portland Cement Association, , Pervious Concrete: Hydrological Design and Resources (CD), CD063,Skokie, Illinois, 2006.

[2]- Henderson, V., &Tighe, S. (2012). “Evaluation of pervious concrete pavement performance in cold weather climates”. International Journal of Pavement Engineering, 13(3), 197-208.

[3]- Ghafoori, N. And Dutta, Sh., (1995), "Development Of no fines concrete pavement applications", Journal of transportation engineering, pp 283-288.

[4]- بهفرنیا، ک.، ابطحی، س، م.، حجازی، س، ا، ر. (۱۳۹۰) " بررسی آزمایشگاهی بتن متخلخل و اثر افزودنی‌ها بر مشخصات

Archive of SID
www.SID.ir

مکانیکی آن". ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، ۶ و ۷ اردیبهشت.

[5]- . ASTM C131, "Standard Test Method forResistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregateby Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine"ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003, 4 pp.

[6]- ASTM C127, "Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate" ASTM International, West Conshohocken, PA, 2001, 6 pp.

[7]- ASTM C566, "Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying" ASTM International, West Conshohocken, PA, 2004, 3 pp.

[8]- ASTM C143, "Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete" West Conshohocken, PA.

[9]- . ASTM C617, "Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003, 6 pp.

[10]- ASTM C39, "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003, 7 pp.

Archive of SID

www.SID.ir

Investigation of Mechanical Properties and Effects Oftypicalaggregates in Preparation of Pervious Concrete

M.Rostami Galehdar[1]
Isfahan University of Technology Graduate Student, Isfahan, Iran
I.Bahrami Chegeni[2]
Lorestan University Faculty member and director of the Department of Civil Engineering, Lorestan, Iran

Archive of SID

ABSTRACT:

Pervious concrete is a special kind of concrete which has a high degree of porosity and one of its major applications is in the roadway pavements. Todays, because ofthe transportation importance, using of new materials in land, sea, airand railway transportation infrastructures is among hot research topic. Pervious concrete is one kindof the rigid pavement which has great advantages include; high permeability, proper hydraulic conduction, surface water filtration and to the underground water sourcesinjection. Despite having many advantages, its low compressive strength is one of its disadvantageswhich indicate demands for deeperstudies to increase the compressive strength of this type of concrete. In this research, a series of experimentaltestsis done on typical aggregate samples with different material and graduation, in first step their physical and specious properties was examined and then after preparation of different mix designs for making perviousconcrete sample, properties of obtained concrete samples like: permeability, porosity, and compressive strength were investigated, after that, conducting the tests on various specimens, the results were analyzed. Finally, based on the results and analyses of the conducted tests, the optimum mix designs were introduced based on their application.

Keywords: pervious concrete, aggregate, permeability, porosity, compressive strength.

www.SID.ir