

ارزیابی تأثیر حداکثر اندازه سنگدانه بر خواص دوامی بتن‌های معمول

دریافت مقاله: ۱۳۹۶-۷-۱۷

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷-۱-۲۸

ابراهیم قیاسوند

استادیار گروه عمران دانشکده فنی کبودرآهنگ، دانشگاه بوعلی سینا

e.ghiasvand@basu.ac.ir

چکیده:

سنگدانه‌ها را می‌توان مهم‌ترین جزء بتن دانست که حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد حجم بتن را به خود اختصاص می‌دهد. از این رو خصوصیات بتن تازه و سخت‌شده متأثر از کیفیت سنگدانه‌ها بوده اما نقش آن تاکنون مورد توجه قرار نگرفته است. بر اساس مطالعات انجام‌شده توسط محققین مختلف، می‌توان نفوذپذیری را مهم‌ترین عامل در پایداری بتن دانست. عوامل متعددی نظیر نسبت آب به سیمان، مقدار، شکل و بافت سطحی مصالح سنگی، نوع و عیار سیمان و ... بر میزان نفوذپذیری بتن موثر است. مقاله حاضر، اثر تغییرات حداکثر اندازه سنگدانه را بر خواص دوامی بتن‌های معمول با نسبت آب به سیمان ۰/۵۵، مورد مطالعه قرار داده است. به این منظور پس از آماده‌سازی مصالح سنگی (با حداکثر اندازه دانه‌های ۹/۵، ۱۲/۵، ۱۹ و ۲۵ میلی‌متر و مدول نرمی ثابت) و ساخت بتن، انجام آزمایش‌هایی چون مقاومت فشاری، جذب آب مویینه، جذب آب حجمی، جذب آب سطحی، نفوذ و مهاجرت تسریع‌شده یون کلر در سنین مختلف در دستور کار قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، به طور کلی با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه، مقاومت فشاری بتن‌های مورد بررسی افزایش و پارامترهای دوامی آن‌ها بهبود یافته است.

واژه‌های کلیدی: حداکثر اندازه سنگدانه، مدول نرمی، نفوذپذیری، دوام

۱. مقدمه

امروزه بتن به عنوان یکی از پر مصرف‌ترین مصالح ساختمانی در جهان شناخته شده است. اقتصادی بودن، سهولت دسترسی به اجزاء تشکیل دهنده آن و شکل‌پذیری و پایایی نسبتاً بالای این مخلوط ناهمگن، باعث توجه روزافزون به آن شده است. کاربرد گسترده بتن، لزوم بررسی رفتار و عوامل موثر بر خواص آن را آشکار می‌سازد. بدیهی‌ترین راهکار جهت ساخت بتن‌های با کیفیت (دارای خواص مکانیکی و دوامی مناسب) انتخاب دقیق و هوشمندانه مصالح سازنده آن است. یکی از مهم‌ترین اجزای سازنده بتن که سهم قابل ملاحظه‌ای را به خود اختصاص داده (حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد از اجزای سازنده آن) و تأثیر بسزایی در شکل‌گیری خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آن دارد، سنگدانه‌ها است. تصور اولیه در مورد سنگدانه‌ها، بی‌اثر بودن و غیر قابل انبساط بودن آن‌ها بوده که در خمیری از سیمان پخش می‌شوند و حجم بزرگی را با عنوان بتن پدید می‌آورند. اما پس از انجام مطالعات عمیق‌تر، بطلان این تصور آشکار گشت. به بیان دیگر، سنگدانه‌ها بی‌اثر نبوده و خواص فیزیکی، حرارتی و پاره‌ای از اوقات نیز، خواص شیمیایی آن‌ها در عملکرد بتن می‌تواند بسیار اثرگذار باشد [۱-۲]. محققین بتن را ماده‌ای ناهمگن و متشکل از چند فاز (فازهای سنگدانه، خمیر سیمان و ناحیه انتقالی) دانسته‌اند. فاز ناحیه انتقالی (ناحیه تماس سنگدانه‌های درشت و خمیر سیمان) می‌تواند بسیار در خواص مکانیکی و دوامی بتن اثر گذار باشد. از آنجاکه سهم قابل ملاحظه‌ای از حجم بتن به سنگدانه‌ها اختصاص یافته و حدود نیمی از این سهم، مرتبط با سنگدانه‌های درشت است، لذا خصوصیات سازه‌ای و دوامی بتن را می‌توان به میزان زیادی متأثر از خواص سنگدانه‌های درشت دانست [۳]. علاوه بر این، برخی خواص سنگدانه‌ها نظیر کانی‌های سازنده آن، سطح مخصوص، بافت سطحی، اندازه و شکل آن‌ها، مدول الاستیسیته، دانه‌بندی و جذب آب نیز می‌تواند بر روی عملکرد بتن اثرات قابل ملاحظه‌ای داشته باشد [۴-۵].

نتایج تحقیقات صورت گرفته در این زمینه حاکی از آن است که، هر چه اندازه سنگدانه‌ها بزرگتر باشد سطح مخصوص آن‌ها کمتر می‌گردد؛ بنابراین با افزایش اندازه سنگدانه‌ها، آب لازم در مخلوط، جهت دستیابی به کارایی ثابت کاهش خواهد یافت. به طوری که برای یک کارایی و مقدار سیمان معین، می‌توان نسبت آب به سیمان را پایین آورد و در نتیجه، افزایش در مقاومت و بهبود در دوام را حاصل نمود. هم‌چنین با افزایش اندازه سنگدانه، حجم خمیر مورد نیاز در سیستم (عیار سیمان) نیز می‌تواند کاهش یابد. از طرف دیگر، از آنجاکه وجود ذرات بزرگ سنگدانه سبب تشدید ناهمگنی و تضعیف ناحیه انتقالی می‌شود، این موضوع می‌تواند منجر به تضعیف کلی بتن گردد. ضمناً با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه‌ها سطح مخصوص بیشتر شده و پیوند قوی‌تری بین خمیر سیمان و مصالح سنگی برقرار می‌شود؛ اما این موضوع می‌تواند مقدار جمع‌شدگی در بتن را افزایش دهد. به طور مثال، با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه از ۳۸ میلی‌متر به ۱۹ میلی‌متر، مقدار جمع‌شدگی بتن حدود ۲۵ درصد افزایش می‌یابد. این موضوع را می‌توان به افزایش حجم خمیر سیمان جهت پوشش سطوح سنگدانه‌ها نسبت داد. به بیان دیگر با کاهش اندازه سنگدانه‌ها، جزء مقاوم در برابر جمع‌شدگی (سنگدانه‌ها) کاهش و جزء مسبب جمع‌شدگی (سیمان) در بتن، افزایش می‌یابد. لذا با کاهش یا افزایش حداکثر اندازه سنگدانه، همواره با بهبود خواص بتن روبه‌رو نبوده و لازم است با تجربه کردن، مشخص نمود که کدام یک بر دیگری (برای هر بتن تحت شرایط محیطی خود) غلبه دارد [۱-۲، ۶ و ۷].

در پژوهش حاضر، اثر تغییرات حداکثر اندازه سنگدانه بر برخی خواص دوامی بتن‌های معمول با نسبت آب به سیمان ۰/۵۵، مورد مطالعه قرار گرفته است. ضمناً در کلیه طرح مخلوط‌های مورد بررسی، مدول نرمی سنگدانه‌ها یکسان در نظر گرفته شده است.

۲. برنامه آزمایشگاهی

۱-۲. مصالح مصرفی

سیمان پرتلند نوع دو مورد استفاده در این پژوهش، از کارخانه هکمتانه همدان تهیه شد. همچنین سنگدانه مصرفی نیز از یکی از معادن مصالح سنگی استان همدان، تهیه شد. لازم به ذکر است سنگدانه‌های درشت، مصالح کاملاً شکسته (با درصد شکستگی بیش از ۸۰ درصد) و مصالح ریزدانه نیز، رودخانه‌ای (تقریباً گردگوشه) بودند. در جداول یک و دو به ترتیب ویژگی‌های سیمان و سنگدانه مصرفی و در شکل ۱ نیز، منحنی‌های دانه‌بندی مخلوط سنگدانه مورد استفاده در این پژوهش، ارائه شده است. در هر چهار منحنی دانه‌بندی سنگدانه، مدول نرمی یکسان و برابر با ۴/۴۳ در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، طرح مخلوط بتن‌های مورد بررسی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات فیزیکی و شیمیایی سیمان نوع دو

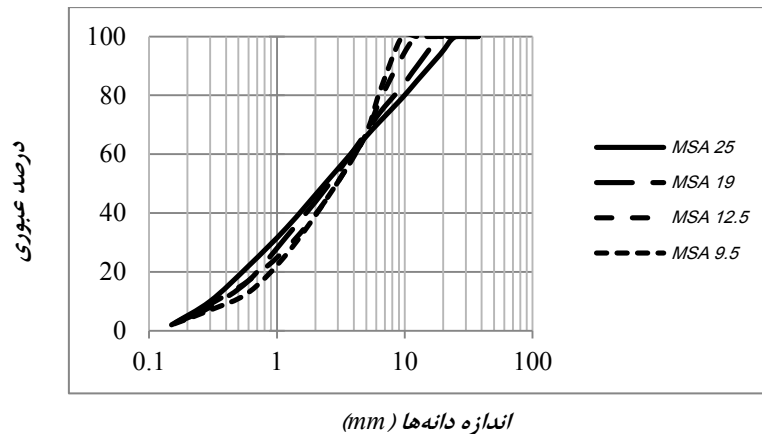
مقدار	مشخصه	مقدار	مشخصه
۰/۷۲	Potassium oxide (K_2O) (%)	۶۳/۵۴	Calcium oxide (CaO) (%)
۰/۵۲	Sodium oxide (Na_2O) (%)	۲۱/۴۴	Silicon dioxide (SiO_2) (%)
۰/۱۵	Titanium oxide (TiO_2) (%)	۱/۴۸	Magnesium oxide (MgO) (%)
۱/۴	LOI (%)	۴/۵۲	Aluminium oxide (Al_2O_3) (%)
۳/۱۲	Specific Gravity	۳/۶۹	Ferric oxide (Fe_2O_3) (%)
۳۳۵۰	Blaine (cm^2/gr)	۲/۲۶	Sulphate oxide (SO_3) (%)

جدول ۲: مشخصات فیزیکی سنگدانه

مقدار	مشخصه
2700 kg/m^3	جرم مخصوص شن (در حالت اشباع با سطح خشک)
2575 kg/m^3	جرم مخصوص ماسه (در حالت اشباع با سطح خشک)
۰/۷	جذب آب شن (درصد)
۲/۶	جذب آب ماسه (درصد)

جدول ۳: طرح مخلوط بتن‌های مورد بررسی

طرح مخلوط	حداکثر اندازه سنگدانه (mm)	سیمان (kg)	آب (kg)	نسبت آب به سیمان	سهم شن (%)	سهم ماسه (%)	شن (kg)	ماسه (kg)	مدول نرمی مخلوط سنگدانه
MSA 9.5	۹/۵	۴۰۰	۲۲۰	۰/۵۵	۳۵	۶۵	۵۷۹/۱	۱۰۷۵/۵	۴/۴۳
MSA 12.5	۱۲/۵	۴۰۰	۲۲۰	۰/۵۵	۳۴	۶۵	۵۶۲/۳	۱۰۹۱/۵	۴/۴۳
MSA 19	۱۹	۴۰۰	۲۲۰	۰/۵۵	۳۵	۶۵	۵۷۹/۱	۱۰۷۵/۵	۴/۴۳
MSA 25	۲۵	۴۰۰	۲۲۰	۰/۵۵	۳۵	۶۵	۵۷۹/۱	۱۰۷۵/۵	۴/۴۳



شکل ۱: منحنی دانه‌بندی مخلوط سنگدانه با حداکثر اندازه سنگدانه متفاوت و مدول نرمی ثابت

۲-۲. روش انجام آزمایش‌ها

در پژوهش حاضر، آزمایش‌های مقاومت فشاری، جذب آب حجمی، جذب آب موئینه، جذب آب سطحی (ISAT)، نفوذ تسریع شده یون کلر (RCPT) و مهاجرت تسریع شده یون کلر (RCMT)، بر روی نمونه‌های بتنی در سنین مختلف انجام شد. در ادامه، روش انجام و جزئیات مربوط به این آزمایش‌ها ذکر شده است:

- مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی با استفاده از نمونه‌های مکعبی $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز تعیین شد. به این منظور، نمونه‌های بتنی پس از گذشت ۲۴ ساعت از زمان ریختن در قالب، از قالب بیرون آمده و تا سن انجام آزمایش، در محلول آب و آهک اشباع عمل‌آوری شدند.

- جذب آب حجمی نمونه‌ها در سنین ۲۸ و ۹۰ روز تعیین شد. به این منظور، نمونه‌های مکعبی $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ در سن مورد نظر به مدت ۱۴ روز در دمای ۵۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. سپس، پس از هم‌دمای شدن نمونه‌ها با دمای آزمایشگاه و قرائت وزن اولیه آن‌ها، در داخل ظرفی پر از آب غوطه‌ور شدند. پس از ۱۰/۵ و ۲۴ ساعت از آغاز غوطه‌وری، وزن نمونه‌ها بدست آمد. جهت انجام این آزمایش تا حدودی از روش مندرج در استاندارد ASTM C642 [۸]، استفاده شد.

- جذب آب موئینه نمونه‌ها در سنین ۲۸ و ۹۰ روز تعیین شد. به این منظور، نمونه‌های مکعبی $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ در سن مورد نظر به مدت ۱۴ روز در دمای ۵۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. سپس، پس از هم‌دمای شدن نمونه‌ها با دمای آزمایشگاه و قرائت وزن اولیه آن‌ها، به روش مندرج در استاندارد BS EN-480-5 [۹]، این آزمایش انجام شد.

- جذب آب سطحی اولیه نمونه‌ها در سنین ۲۸ و ۹۰ روز تعیین شد. به این منظور، نمونه‌های مکعبی $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ در سن مورد نظر به مدت ۱۴ روز در دمای ۵۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. سپس، پس از هم‌دمای شدن نمونه‌ها با دمای آزمایشگاه، به روش مندرج در استاندارد BS 1881-208 [۱۰]، این آزمایش انجام شد.

- آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلر (RCPT) بر اساس استاندارد ASTM C1202 [۱۱] و در سنین ۲۸ و ۹۰ روز انجام شد. در این آزمایش از نمونه‌های استوانه‌ای با قطر ۱۰ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر، قطعاتی به ضخامت ۵ سانتی‌متر تهیه و پس از اعمال خلأ و اشباع کردن با آب، مورد آزمایش قرار گرفت. نتیجه این آزمایش به صورت بار الکتریکی عبوری از هر نمونه (شار عبوری) گزارش می‌شود. لازم به ذکر است هر نمونه شامل حداقل سه آزمون بود.

- آزمایش مهاجرت تسریع شده یون کلر (RCMT) بر اساس استاندارد AASHTO TP 64 [۱۲] و در سنین ۲۸ و ۹۰ روز انجام شد. نمونه‌های مورد استفاده از این آزمایش مشابه با آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلر (RCPT) تهیه شد. در این آزمایش، ابتدا ولتاژ اعمالی بر آزمون‌ها برابر با ۶۰V تنظیم شده و جریان عبوری از هر آزمون اندازه‌گیری می‌شود. در صورت زیاد بودن جریان اولیه عبوری، ولتاژ اعمالی کاهش داده می‌شود تا نرخ جریان کاهش پیدا کرده و از گرم شدن آزمون جلوگیری شود. پس از مدت زمان 18 ± 2 ساعت دستگاه خاموش می‌شود. سپس آزمون به دو نیم شکافته شده و محلول نیترات نقره روی سطح تازه شکافته شده پاشیده شده و با

اندازه‌گیری عمق ناحیه تغییر رنگ داده عمق نفوذ یون کلر تعیین می‌شود. در انتها نرخ نفوذ یون کلر از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

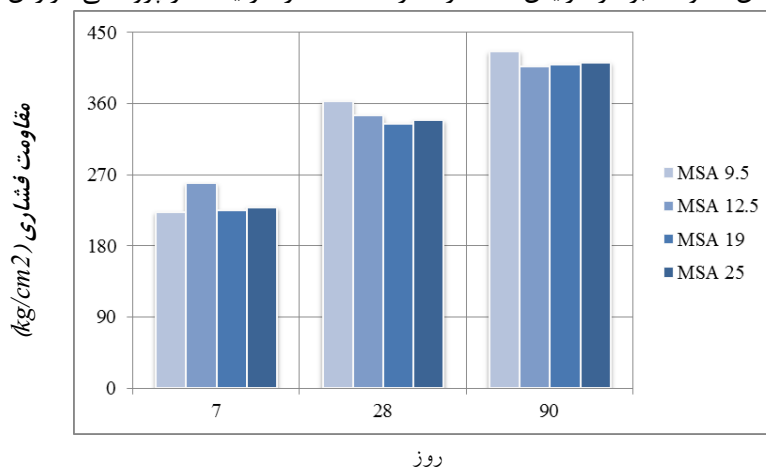
$$M = h / (Vt) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه M نرخ نفوذ یون کلر بر حسب میلی‌متر بر ولت ساعت، h میانگین عمق نفوذ یون کلر بر حسب میلی‌متر، V ولتاژ اعمال شده به نمونه‌ها بر حسب ولت، t مدت زمان آزمایش بر حسب ساعت می‌باشد. لازم به ذکر است نتایج اعلام شده در این پژوهش، مربوط به نمونه‌ها بوده که هر نمونه شامل حداقل سه نمونه می‌باشد. یکی از معایب مهم روش آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلر (RCPT)، افزایش دمای ایجاد شده در نمونه به علت عبور جریان تحت اختلاف پتانسیل نسبتاً زیاد ۶۰ ولت می‌باشد. این افزایش دما (گاهاً تا ۴۰ درجه سلسیوس در بتن‌های ضعیف) می‌تواند منجر به کاهش مقاومت الکتریکی بتن گردد و در نتیجه شاهد عبور جریان بیشتری باشیم [۱۳]. خوشبختانه روش آزمایش مهاجرت تسریع شده یون کلر (RCMT) دارای چنین نقصی نبوده و با نتایج روش‌های طولانی مدت انطباق خوبی دارد [۱۴].

۳. شرح و تفسیر نتایج

۳-۱. مقاومت فشاری

نتایج مقاومت فشاری مرتبط با طرح مخلوط‌های مورد بررسی در این پژوهش در شکل ۲، قابل ملاحظه است. با دقت در این شکل، رشد مقاومت فشاری بتن در کلیه طرح‌ها با افزایش سن نمونه‌ها کاملاً محسوس است. این موضوع را می‌توان به ادامه و توسعه واکنش‌های هیدراته شدن نسبت داد. ضمناً با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه، تا حدودی بر مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی افزوده شده است. این موضوع در سنین ۷ و ۲۸ روز محسوس‌تر است. افزایش مقاومت با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه در این پژوهش را می‌توان به بهبود خواص ناحیه انتقالی نسبت داد. همانطور که می‌دانیم سنگدانه‌های درشت‌تر تمایل به تشکیل لایه انتقالی ضعیف‌تر با ریزترک‌های بیشتر دارند. البته این موضوع خصوصاً هنگامی اهمیت می‌یابد که میزان آب آزاد در بتن همانند این مطالعه، ثابت باشد. Zhang و همکاران [۱۵] نیز، کاهش مقاومت بر اثر افزایش حداکثر اندازه سنگدانه را در یک کار پژوهشی گزارش نموده‌اند.



شکل ۲: مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز

۳-۲. جذب آب حجمی

نتایج آزمایش جذب آب حجمی مرتبط با طرح مخلوط‌های مورد بررسی در این پژوهش در جدول ۴، قابل ملاحظه است. با دقت در این جدول، کاهش میزان جذب آب حجمی نمونه‌های بتنی در کلیه طرح‌ها با افزایش سن نمونه‌ها تا حدودی محسوس است. این موضوع را می‌توان به ادامه و توسعه واکنش‌های هیدراته شدن نسبت داد. به طور مثال میزان جذب آب حجمی ۲۴ ساعته در سن ۹۰ روز برای طرح مخلوط MSA 9.5، در مقایسه با سن ۲۸

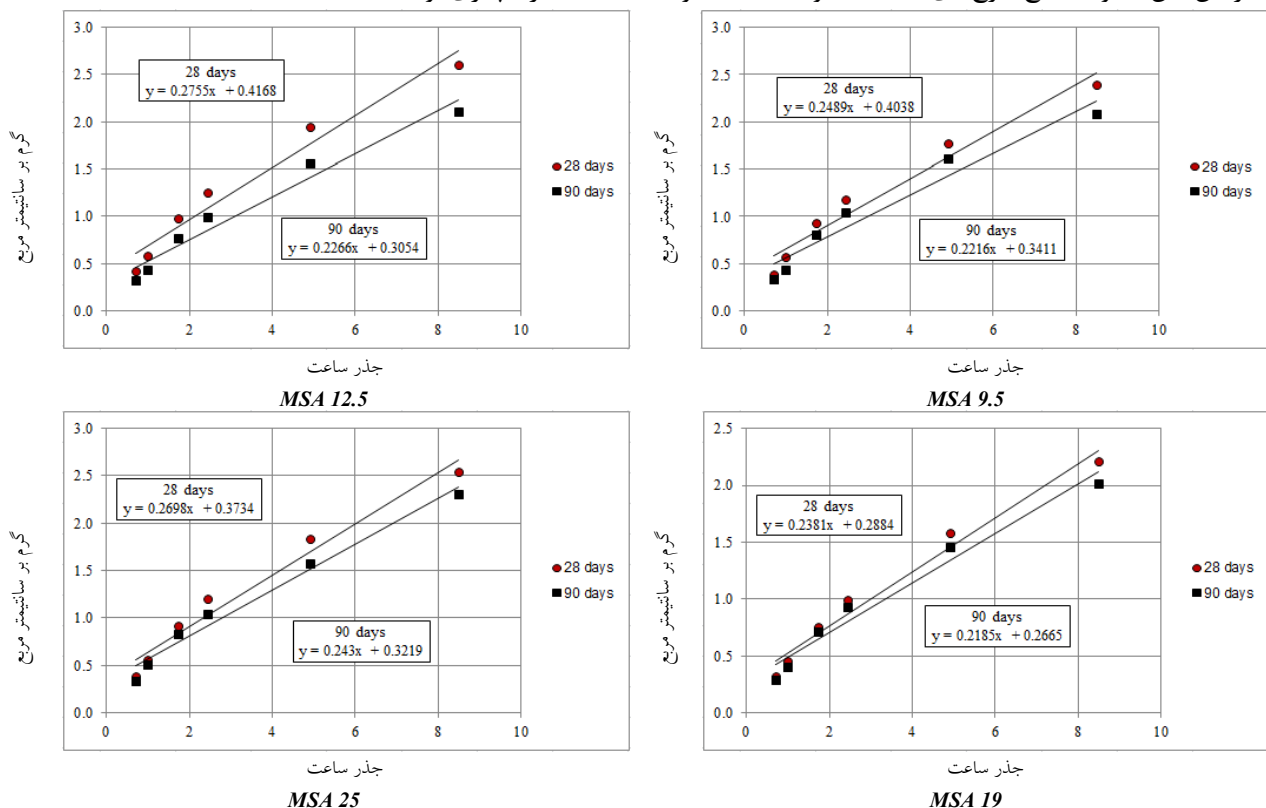
روز، حدوداً ۹ درصد کمتر است. علاوه بر این با افزایش حداکثر اندازه سنگدانه، تا حدودی بر میزان جذب آب حجمی نمونه‌ها افزوده شده است. به طور مثال در سن ۹۰ روز، با افزایش حداکثر اندازه سنگدانه از ۹/۵ به ۲۵ میلیمتر، میزان جذب آب حجمی حدود ۱۱/۶ درصد افزایش یافته است. ضمناً نتایج طرح‌های *MSA 9.5* و *MSA 12.5* بسیار به هم نزدیک بوده و تفاوت معنادار نیست. Zhang و همکاران [۱۵] نیز نشان دادند با افزایش حداکثر اندازه سنگدانه، نفوذپذیری افزایش می‌یابد.

جدول ۴: نتایج آزمایش جذب آب حجمی نمونه‌های بتنی در سنین ۲۸ و ۹۰ روز (بر حسب درصد)

طرح	روزه ۲۸			روزه ۹۰		
	تغییرات ۲۴ ساعته نسبت به طرح <i>MSA 9.5</i> (%)	یک‌ساعته	نیم‌ساعته	تغییرات ۲۴ ساعته نسبت به طرح <i>MSA 9.5</i> (%)	یک‌ساعته	نیم‌ساعته
<i>MSA 9.5</i>	-	۶/۰۵	۳/۵۱	۲/۷	۵/۵۱	۳/۳۶
<i>MSA 12.5</i>	-۰/۸	۶	۳/۶۳	۲/۷۶	۵/۵۳	۳/۴۵
<i>MSA 19</i>	۷/۱	۶/۴۸	۴/۱۹	۳/۲۷	۶/۰۱	۳/۸۵
<i>MSA 25</i>	۱۰/۱	۶/۶۶	۴/۲۹	۳/۳۹	۶/۱۵	۳/۹۱

۳-۳. جذب آب مویینه

نتایج آزمایش جذب آب مویینه مرتبط با طرح مخلوط‌های مورد بررسی در این پژوهش در شکل ۳ و جدول ۵، قابل ملاحظه است. با دقت در این نتایج ملاحظه می‌شود کمترین و بیشترین میزان جذب آب مویینه در سن ۹۰ روز، به ترتیب مرتبط با نمونه‌های *MSA 19* و *MSA 25* است. علاوه بر این، نتایج نمونه‌های *MSA 9.5* در هر دو سن ۲۸ و ۹۰ روز، بسیار به نمونه‌های *MSA 19* نزدیک است. از این‌رو می‌توان بیان نمود که با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه در مخلوط‌های بتنی، تا حدودی مقادیر جذب آب مویینه کاهش می‌یابد. به طور مثال در سن ۹۰ روز، با افزایش حداکثر اندازه سنگدانه از ۹/۵ به ۲۵ میلیمتر، میزان جذب آب مویینه حدود ۹/۵ درصد افزایش یافته است. ضمناً در این سن، تفاوت نتایج طرح‌های *MSA 9.5* و *MSA 12.5* و *MSA 19* مقدار ناچیزی بوده است.



شکل ۳: جذب آب مویینه نمونه‌های بتنی در سنین ۲۸ و ۹۰ روز

جدول ۵: ضریب مویبگی نمونه‌های بتنی در سنین ۲۸ و ۹۰ روز بر حسب $cm/h0.5$

طرح	۲۸ روزه	تغییرات نسبت به طرح $MSA 9.5$ (%)	۹۰ روزه	تغییرات نسبت به طرح $MSA 9.5$ (%)
$MSA 9.5$	۰/۲۴۹	-	۰/۲۲۲	-
$MSA 12.5$	۰/۲۷۶	۱۱	۰/۲۲۷	۲/۲
$MSA 19$	۰/۲۳۸	-۴/۴	۰/۲۱۸	۱/۸
$MSA 25$	۰/۲۷	۸/۴	۰/۲۴۳	۹/۵

۳-۴. جذب آب سطحی اولیه (ISAT)

در جدول ۶، نتایج جذب آب سطحی اولیه نمونه‌های بتنی در سنین ۲۸ و ۹۰ روز ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود در کلیه نمونه‌ها، میزان این پارامتر با گذشت زمان کاهش یافته است. ضمناً مشابه نتایج بدست آمده در بخش‌های قبل نیز با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه، میزان جذب آب سطحی اولیه نمونه‌ها کاهش یافته است. به طور مثال، بهترین و ضعیف‌ترین عملکرد در بین نمونه‌ها، به ترتیب متعلق به نمونه‌های $MSA 9.5$ و $MSA 25$ می‌باشد. همچنین در سن ۹۰ روز می‌توان اشاره نمود که با افزایش حداکثر اندازه سنگدانه از ۹/۵ تا ۲۵ میلیمتر، میزان جذب آب سطحی اولیه به ترتیب حدود ۸/۲، ۱۳/۱ و ۲۳ درصد افزایش یافته است. ضمناً اثر منفی افزایش حداکثر اندازه سنگدانه در نفوذپذیری بتن‌های ساخته شده در این آزمایش مشهودتر است. مشابه نتایج حاصل از این پژوهش، در مطالعات سایر محققین نیز بدست آمده است. *Basheer* و همکاران [۱۶] نشان دادند با افزایش نسبت درشت‌دانه‌ها به کل سنگدانه در مخلوط، تخلخل محلی در ناحیه انتقال افزایش یافته و به دنبال آن، پارامترهای دوام تضعیف می‌شود. همچنین کاهش اندازه متوسط سنگدانه‌ها در مخلوط نیز، منجر به بهبود ساختار منافذ و افزایش دوام بتن می‌شود.

جدول ۶: نتایج آزمایش جذب آب سطحی اولیه نمونه‌های بتنی در سنین ۲۸ و ۹۰ روز (بر حسب $ml/m2.s$ - 10)

طرح	۲۸ روزه			۹۰ روزه		
	تغییرات ۶۰ دقیقه نسبت به طرح $MSA 9.5$ (%)	۶۰ دقیقه	۳۰ دقیقه	۱۰ دقیقه	۳۰ دقیقه	۶۰ دقیقه
$MSA 9.5$	-	۱۰	۱۲	۱۷	۶/۱	۶/۱
$MSA 12.5$	۶	۱۰/۶	۱۴	۱۹	۶/۶	۸/۲
$MSA 19$	۳	۱۰/۳	۱۴	۲۱	۶/۹	۱۳/۱
$MSA 25$	۲۰	۱۲	۱۶	۲۳	۷/۵	۲۳

۳-۵. نفوذ تسریع شده یون کلر (RCPT)

در جدول ۷، نتایج آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلر در سنین ۲۸ و ۹۰ روز برای طرح مخلوط‌های مورد بررسی ارائه شده است. همانند نتایج بدست آمده در سایر آزمایش‌های این پژوهش، بهبود عملکرد نمونه‌های بتنی با افزایش سن در این آزمایش نیز رخ داده است. به بیان دیگر، با افزایش سن نمونه‌ها تا حدودی از میزان نفوذ تسریع شده یون کلر کاسته شده است. علاوه بر این، بهبود عملکرد نمونه‌ها در این آزمایش با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه‌ها از ۲۵ به ۱۲/۵ میلی‌متر، بوضوح مشهود است و بهترین عملکرد بین طرح مخلوط‌های مورد بررسی، متعلق به طرح مخلوط $MSA 12.5$ می‌باشد. این موضوع را می‌توان به بهبود ساختار منافذ و تقویت ناحیه انتقالی با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه‌ها نسبت داد. البته در بتن‌های ساخته شده از مصالح سنگی با حداکثر اندازه سنگدانه ۹/۵ میلی‌متر، اندکی افزایش نفوذپذیری در مقایسه با $MSA 12.5$ رخ داده است. از آنجاکه در کلیه طرح مخلوط‌های مورد بررسی، حجم خمیر سیمان ثابت بوده و می‌دانیم با کاهش اندازه دانه‌ها، سطح مخصوص آن‌ها و به دنبال آن، تقاضای خمیر بیشتر می‌شود، لذا به نظر می‌رسد حجم خمیر در طرح مخلوط $MSA 9.5$ در مقایسه با $MSA 12.5$ ، نتوانسته سطح سنگدانه‌ها را به خوبی پوشش دهد و از این رو، اندکی نفوذپذیری افزایش یافته است. ضمناً، با دقت در نتایج ملاحظه می‌شود بر اساس معیار تعریف شده در استاندارد *ASTM C1202*، کلیه طرح مخلوط‌ها در

هر دو سن آزمایش از حیث نفوذپذیری در برابر یون کلر، در رده بالا قرار دارد. عملکرد ضعیف بتن‌های بررسی شده در این پژوهش در برابر نفوذ یون کلر را می‌توان به عواملی چون، بالا بودن نسبت آب به سیمان و عدم استفاده از مواد مکمل سیمانی (نظیر مواد پوزولانی) در آن‌ها نسبت داد.

جدول ۷: نتایج آزمایش نفوذ و انتقال تسریع شده یون کلر در سنین ۲۸ و ۹۰ روز

RCMT (mm/V.h)			RCPT (Coulomb)			طرح
تغییرات ۹۰ روزه نسبت به طرح MSA 9.5 (%)	۹۰ روزه	۲۸ روزه	تغییرات ۹۰ روزه نسبت به طرح MSA 9.5 (%)	۹۰ روزه	۲۸ روزه	
-	۰/۰۶۳	۰/۰۷۳	-	۶۸۴۰	۷۸۵۶	MSA 9.5
-۶۳	۰/۰۵۹	۰/۰۶۸	-۱/۷	۶۷۲۰	۷۶۳۵	MSA 12.5
-۱/۶	۰/۰۶۲	۰/۰۷۱	۴/۵	۷۱۵۰	۷۸۶۰	MSA 19
۱/۶	۰/۰۶۴	۰/۰۷۵	۱۲/۵	۷۶۹۰	۸۶۴۰	MSA 25

۳-۶. مهاجرت تسریع شده یون کلر (RCMT)

در جدول ۷، نتایج آزمایش مهاجرت تسریع شده یون کلر در سنین ۲۸ و ۹۰ روز برای طرح مخلوط‌های مورد بررسی ارائه شده است. با دقت در این جدول ملاحظه می‌شود در مقایسه با نتایج آزمایش RCPT، افزایش حداکثر اندازه سنگدانه چندان منجر به افزایش نرخ مهاجرت تسریع شده یون کلر نشده است. ضمناً بهترین عملکرد در بین طرح مخلوط‌های مورد بررسی نیز متعلق به طرح مخلوط MSA 12.5 می‌باشد. به طور مثال، میزان مهاجرت تسریع شده یون کلر در این طرح مخلوط در مقایسه با طرح مخلوط MSA 25 در سن ۹۰ روز، حدود ۸ درصد کاهش یافته است.

۴. نتیجه گیری

قبل از ارائه کلی نتایج بدست آمده از این پژوهش، لازم است فرضیات حاکم بر آن مجدداً یادآوری گردد تا از تعمیم نتایج حاصله برای کلیه بتن‌ها پرهیز شود. در مطالعه حاضر، در تمامی بتن‌های حجم خمیر سیمان و مدول نرمی مصالح سنگی یکسان بوده است. لذا با توجه به این موضوع می‌توان مهم‌ترین نتایج حاصل از این پژوهش را به صورت مندرج در ذیل خلاصه نمود:

- به طور کلی در بتن‌های مورد بررسی، با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه (از ۲۵ به ۱۲/۵ میلی‌متر) پارامترهای مرتبط با نفوذپذیری بتن بهبود یافته و در نتیجه، دوام بتن افزایش می‌یابد. این موضوع خصوصاً در نتایج آزمایش جذب آب سطحی اولیه مشهود بوده و با افزایش حداکثر اندازه سنگدانه تا ۲۵ میلی‌متر، حدود ۲۳ درصد میزان این پارامتر افزایش یافته است.

- به طور کلی، در بتن‌های مورد بررسی در این پژوهش، با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه، مقاومت فشاری بتن افزایش می‌یابد.

- ارتقاء پارامترهای مکانیکی و دوامی بتن‌های مورد بررسی در این پژوهش، به دلیل کاهش حداکثر اندازه سنگدانه در آن‌ها را می‌توان به بهبود خواص ناحیه انتقالی و کاهش میزان خلل و فرج در سیستم منافذ آن‌ها نسبت داد.

۵. قدردانی

این پژوهش در محل آزمایشگاه بتن دانشکده فنی کبودراهنگ دانشگاه بوعلی سینا و با همکاری صمیمانه مسئولان محترم آن دانشکده انجام شده است، لذا لازم است از این عزیزان کمال تشکر و قدردانی را داشته باشیم.

۶ مراجع

[۱] مهتا؛ مونته‌ئیرو؛ مترجمین (رمضانیان‌پور و همکاران)؛ "ریزساختار، خواص و اجزای بتن (تکنولوژی پیشرفته بتن)" انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر؛ صفحه ۸۷ تا ۹۳.

[۲] میندس، س؛ یانگ، ف؛ داروین، د؛ مترجمین (شکرچی‌زاده و همکاران)؛ "بتن" انتشارات دانشگاه تهران؛ صفحه ۱۵۶ تا ۱۶۰.

[3] Sengul, Ö. Tasdemir, C. and Tasdemir, MA.; "Influence of aggregate type on mechanical behaviour of normal and high-strength concretes"; *ACI Materials Journal* 99, No. 6 (2002) 528-533.

[4] Goble, CF. and Cohen, MD.; "Influence of aggregate surface area on mechanical properties of mortar"; *ACI Materials Journal* 96, No. 6 (1999) 657-662.

[5] Zhou, FP. Lydon, FD. and Barr, BIG.; "Effect of coarse aggregate on elastic modulus and compressive strength of high-performance concrete"; *Cement and Concrete Research* 25, No. 1 (1995) 177-186.

[6] Jae-Il, S. Keun-Hyeok, Y. and Joong-Kyu, J.; "Influence of aggregate size on the compressive size effect according to different concrete types"; *Construction and Building Materials* 44 (2013) 716-725.

[7] Jae-Il, S. Keun-Hyeok, Y. Kim, HY. and Choi, BJ.; "Size and shape effects on compressive strength of lightweight concrete"; *Construction and Building Materials* 33 (2013) 854-864.

[8] ASTM C642.; "Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete"; *ASTM International; West Conshohocken* (2006).

[9] BS EN-480-5.; "Tests methods, determination of capillary absorption"; *British Standards Institution* (1997).

[10] BS 1881-208.; "Testing concrete, Part 208. Recommendations for the determination of the initial surface absorption of concrete"; *British Standards Institution* (1997).

[11] ASTM C 1202.; "Standard Test Method for Electrical indication of concrete's ability to resist chloride Ion penetration"; *ASTM International; West Conshohocken* (2006).

[12] AASHTO TP 64.; "Predicting chloride penetration of hydraulic cement concrete by the rapid migration procedure"; *AASHTO* (2007).

[13] Feldman, R.F. Chan, G.W. Brousseau, R.J.m. and Tumidajski, P.J.; "Investigation of rapid chloride permeability tests"; *ACI Materials Journal* 91, No. 2 (1994) 246-255.

[۱۴] باقری، ع؛ زنگانه، حامد؛ «مقایسه عملکرد روش RCMT برای ارزیابی سریع مقاومت بتن در برابر نفوذ یون کلر با روش‌های RCPT و مقاومت الکتریکی»؛ مجله عمران مدرس، سال ۱۲، شماره ۳، پائیز ۱۳۹۱، صفحه ۱۰۳ تا ۱۱۲.

[15] Zhang, F. Li, N. Guo, M. and Chi, X.; "Coarse Aggregate Effects on Compressive Strength and Permeability Coefficient of Non-fine Concrete"; *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering* 19, (2014) 8905-8912.

[16] Basheer, L. Basheer, P.A.M. Long, A.E.; "Influence of coarse aggregate on the permeation, durability and the microstructure characteristics of ordinary Portland cement concrete", *Construction and building materials* 19, No. 9 (2005) 682-690.

Investigation of Effect of Maximum Aggregate Size on Durability of Normal Concretes

Ebeahim Ghiasvand

*Assistant Professor, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Kaboodrahang, Hamedan, Iran
e.ghiasvand@basu.ac.ir*

Abstract

Aggregates are the major constituents of concrete and typically occupy between 60% and 80% of the concrete volume. Properties of both fresh and hardened concrete are influenced by the quality of aggregates and yet their role is often overlooked. According to studies performed by various researchers, the permeability of concrete is the most important parameter in its durability. Several factors are effective in concrete permeability such as water to cement ratio, content, shape and texture of aggregate, type and content of cement, etc. This paper examines the effect of changes of maximum size aggregate on the durability properties of normal concrete (with $w/c = 0.55$). For this purpose, after preparing the aggregate (with maximum size of 9.5, 12.5, 19 and 25 mm and similar fineness modulus) and concrete, experiments were carried out on concrete including compressive strength, sorptivity, absorption, ISAT, RCPT, and RCMT. The results show that generally with decrease in maximum aggregate size the compressive strength of concretes increases and improves the durability parameters.

Keywords: *Maximum Size Aggregate, Fineness Modulus, Permeability, Durability*