

## بررسی اثر عمل آوری داخلی بوسیله ماسه سبک اسکوریا بر جمع شدگی خودزا، خصوصیات مقاومتی و انتقالی ملات‌های سیمانی

جمشید اسماعیلی\*

دانشیار، دانشگاه تبریز

جمیل کسائی

کارشناس آزمایشگاه تکنولوژی بتن و مصالح ساختمانی، دانشگاه تبریز

### چکیده:

در این مقاله اثر ماسه سبک اسکوریای از پیش‌اشباع شده بر جمع شدگی خودزا و خصوصیات مقاومتی و انتقالی ملات‌های سیمانی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. ملات‌های سیمانی مختلف با نسبت آب به سیمان ثابت ۰/۳۴ و جایگزینی ماسه معمولی توسط ماسه سبک اسکوریا به صورت حجمی با دانه‌بندی ثابت در پنج درصد جایگزینی ۰، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ تهیه شده‌اند. آزمایش‌های مربوط به جمع شدگی خودزا، مقاومت‌های فشاری و خمشی، کارائی، سرعت پالسی، درصد جذب آب و جذب آب کاپیلاره (آهنگ جذب آب) در تمامی نمونه‌های ملات انجام گرفت. در نهایت با ارزیابی نتایج مشخص گردید که بکارگیری ماسه سبک اسکوریای از پیش‌اشباع شده در ملات سیمانی به‌عنوان ماده عامل عمل آوری داخلی، می‌تواند به‌طور موفقیت‌آمیزی منجر به کنترل جمع شدگی خودزا گردد اما در عین حال آثار معکوسی بر دیگر ویژگی‌های ملات (خصوصیات مقاومتی و انتقالی) دارد که بایستی حتما مورد توجه قرار گیرد. به نظر می‌رسد که کاربرد بهینه و به‌اندازه ماسه سبک اسکوریا می‌تواند منجر به بهبود تمامی ویژگی‌های ملات و بتن گردد.

**واژه‌های کلیدی:** عمل آوری داخلی، ملات سیمانی، ماسه سبک اسکوریا، جمع شدگی خودزا، خواص مقاومتی، خواص انتقالی

---

\* نویسنده مسؤل: J-Esmaeili@tabrizu.ac.ir

## ۱- مقدمه

عامل عمل آوری داخلی مانند سنگ دانه‌های سبک در اختلاط بکار برده شود، می‌توان خواص مقاومتی پایین تری را برای ملات یا بتن به‌خاطر سنگدانه‌های سبک ضعیف‌تر پیش‌بینی نمود. بنابراین میزان بهینه استفاده از سنگدانه‌های سبک از پیش اشباع شده در ملات یا بتن به‌منظور کاهش یا از بین بردن جمع‌شدگی خودزا بدون افت قابل ملاحظه دیگر خصوصیات اصلی از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد.

این تحقیق قصد دارد تا اثر مقادیر مختلف حجمی از ماسه سبک اسکوریای از پیش اشباع‌شده را بر جمع‌شدگی خودزا و خواص مقاومتی و انتقالی ملات‌های سیمانی تعیین نماید. ملات‌های سیمانی مختلف با نسبت آب به سیمان ثابت ۰/۳۴ و جایگزینی ماسه معمولی توسط ماسه سبک اسکوریا به‌صورت حجمی و با دانه‌بندی ثابت در پنج‌درصد جایگزینی ۰، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ تهیه شده‌اند. آزمایش‌های مربوط به جمع‌شدگی خودزا، مقاومت‌های فشاری و خمشی، کارایی، سرعت پالسی، درصد جذب آب و جذب آب کاپیلاره (آهنگ جذب آب) در تمامی نمونه‌های ملات انجام گرفته و مورد ارزیابی قرار گرفت.

## ۲- روند آزمایشگاهی

### ۲-۱- مشخصات مصالح

#### ۲-۱-۱- سیمان

سیمان پرتلند نوع دو کارخانه سیمان صوفیان در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته‌است. این سیمان دارای وزن مخصوص ۳/۱۵ گرم بر سانتیمتر مکعب و نرمی بلین ۲۸۶۰ سانتیمترمربع بر گرم می‌باشد. ترکیب شیمیایی و خصوصیات فیزیکی این سیمان در جدول ۱ ارائه شده‌است.

#### ۲-۱-۲- مصالح سنگی ریزدانه

در مخلوط‌های ملات سیمانی، ماسه رودخانه‌ای طبیعی توسط ماسه سبک اسکوریای از پیش اشباع‌شده در درصد‌های مختلف ۰، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ به‌صورت حجمی جایگزین شده‌است. هر دو ماسه رودخانه‌ای و اسکوریا در ابتدا به‌صورت مجزا الک شده و از ترکیب مشخص مانده بر روی الک‌ها، مصالح سنگی ریزدانه استاندارد با مدول نرمی ۳ و دانه‌بندی ثابت تهیه گردید. منحنی دانه‌بندی ثابت هر دو نوع ماسه در شکل ۱ نشان داده شده‌است.

جمع‌شدگی زودرس مواد پایه سیمانی حاصل چند پدیده پیچیده فیزیکی- شیمیایی می‌باشد [۱]. جمع‌شدگی زودرس می‌تواند منجر به ترک‌هایی گردد که در سنین بعدی و بالاتر بوجود می‌آیند. اگرچه ترک‌های زودرس، داخلی و در مقیاس میکروسکوپی می‌باشند، جمع‌شدگی هرچه بیشتر ماده در سنین بالاتر ممکن است صرفاً موجب بازشدگی ترک‌های موجود و ایجاد مشکلات بعدی گردد [۲]. جمع‌شدگی خودزا (autogenous shrinkage) افتی زودرس می‌باشد که منحصرراً در اثر هیدراته شدن سیمان ایجاد شده باشد و شرایط محیط پیرامون ماده بر آن اثرگذار نمی‌باشد [۳]. ملات‌های سیمانی و بتن‌های با نسبت آب به سیمان بسیار پائین مستعد و در معرض خشک‌شدگی داخلی می‌باشند که منجر به جمع‌شدگی خودزا در این مواد می‌گردد.

جمع‌شدگی خودزا با نسبت آب به سیمان پائین ارتباط دارد به‌طوری‌که هیدراته شدن سیمان نه تنها آب حفره‌های بزرگ‌تر، بلکه آب موجود در ساختار حفره‌ای بسیار ریز را مصرف کرده و باعث می‌گردد تا بتن به‌قدری از داخل خشک شود که ترک‌ها ایجاد گردند [۴]. یکی از روش‌های کاهش جمع‌شدگی خودزا، عمل آوری داخلی می‌باشد که با تامین آب مورد نیاز مواد سیمانی، حفره‌های کوچک و تازه ایجاد شده را در وضعیت اشباع نگه می‌دارد [۵]. عمل آوری داخلی، آب عمل آوری اضافی و بیشتری را از طریق وارد کردن مواد متخلخل از پیش اشباع شده (از قبیل سنگ‌دانه‌های سبک و پلیمرهای فوق‌جاذب) که ماده عامل عمل آوری داخلی نامیده می‌شوند در خمیر سیمان در حال هیدراته شدن تامین می‌نماید. این استراتژی بسیار موثر می‌باشد زیرا فاصله‌ای که آب عمل آوری اضافی می‌بایستی از میان میکروساختار ماده طی نماید تا دوباره حفره‌های خالی را پر نماید بطور قابل ملاحظه‌ای در مقایسه با روش‌های عمل آوری معمول کاهش می‌یابد [۳].

این مقاله بر اثر عمل آوری داخلی به‌وسیله ماسه سبک اسکوریای از پیش اشباع شده بر ویژگی‌های ملات سیمانی می‌پردازد. مواد عامل عمل آوری داخلی از قبیل سنگ‌دانه‌های سبک، ممکن است بخودی خود آثار قابل ملاحظه‌ای بر خواص ملات و بتن داشته باشند. در صورتی که اگر مقدار زیادی از ماده

مقاومت فشاری ملات استفاده گردید. نمونه‌های منشوری  $16 \times 16 \times 4$  سانتی متری برای بدست آوردن مقاومت خمشی، درصد جذب آب و سرعت پالسی مورد استفاده قرار گرفتند. برای انجام آزمایش جذب آب کاپیلاره (آهنگ جذب آب)، رینگ‌های استوانه‌ای به قطر ۱۰ و ارتفاع ۵ سانتی متر با برش دادن نمونه‌های استوانه‌ای  $20 \times 10$  سانتی متری بکار گرفته شد. نمونه‌های منشوری  $28/5 \times 2/5 \times 2/5$  سانتی متری در آزمایش تعیین جمع‌شدگی خودزا مورد استفاده قرار گرفت. پس از ریختن ملات در قالب‌ها، تمامی نمونه‌ها غیر از نمونه‌های مربوط به آزمایش جمع‌شدگی خودزا، در قالب‌های خود در محیط آزمایشگاه با دمای  $23 \pm 3$  درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت و پس از آن در مخزن عمل‌آوری با دمای آب  $23 \pm 1$  درجه سانتی گراد تا زمان انجام آزمایش‌ها نگه داشته شدند. سطح نمونه‌های مربوط به آزمایش جمع‌شدگی خودزا بلافاصله توسط ماده عمل‌آوری پوشش داده شد تا از تبخیر آب ملات پس از ریختن آن در قالب‌ها جلوگیری شود. جمع‌شدگی خودزای ملات‌های سیمانی تا ۲۸ روز و پس از ۱۶ ساعت عمل‌آوری اولیه در قالب‌ها اندازه‌گیری شد. بلافاصله پس از باز نمودن قالب‌ها، نمونه‌های آزمایش جمع‌شدگی خودزا با دو لایه چسب آلومینیومی پوشانده شدند تا از افت رطوبت نمونه‌ها جلوگیری گردد و پس از آن طول اولیه نمونه‌ها قرائت گردید. نمونه‌ها در اتاقی با دمای  $23 \pm 2$  درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی  $50 \pm 4$  درصد در طول انجام آزمایش نگهداری شدند. تغییرات طول نمونه‌ها در هفته اول به صورت روزانه و پس از آن به صورت هفتگی تا ۲۸ روز قرائت گردید.

#### ۲-۴- روش‌های انجام آزمایش

آزمایش میز جریان طبق ASTM C305, 1999 [۶] به منظور تعیین کارائی هر مخلوط ملات تازه انجام گرفت. آزمایش درصد جذب آب به منظور ارزیابی میزان نفوذپذیری ملات‌های سیمانی سخت شده در سن ۲۸ روز مطابق با ASTM C642, 1997 [۷] انجام گرفت. آزمایش تعیین مقاومت خمشی در سنین ۳،۷، ۲۸ و ۹۰ روز بر روی نمونه‌ها براساس ASTM C348, 2002 [۸] انجام شد. آزمایش تعیین مقاومت فشاری مطابق با ASTM C109, 2002 [۹] در سنین ۳،۷، ۲۸ و ۹۰ روز بر روی نمونه‌های آزمایشگاهی انجام گرفت. آزمایش تعیین سرعت پالسی مطابق با

ماسه سبک اسکوریا به عنوان ماده عامل عمل‌آوری داخلی از پیش به مدت ۲۴ ساعت در آب جوش اشباع گردید تا بدین وسیله تا آنجا که ممکن است آب را جذب نماید. ماسه سبک اسکوریای بکار رفته دارای وزن مخصوص  $2/21$  و درصد جذب آب  $10/5$  می‌باشد. وزن مخصوص و درصد جذب آب ماسه رودخانه‌ای طبیعی به ترتیب  $2/63$  و  $1/86$  می‌باشد.

#### ۲-۱-۳- فوق‌روان کننده

فوق‌روان کننده (sp) با پایه پلی کربوکسیلات و وزن مخصوص  $1/15$  گرم بر سانتیمتر مکعب و میزان مواد جامد حدودا  $40-30$  درصد به صورت درصدی از مقدار سیمان در مخلوط‌های آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفته است.

#### ۲-۲- نسبت اختلاط مصالح

به منظور بررسی اثر ماسه سبک اسکوریای از پیش اشباع شده بر خصوصیات ملات‌های سیمانی، نمونه‌های آزمایشگاهی با مقادیر مختلف ماسه سبک اسکوریا که جایگزین ماسه رودخانه‌ای می‌شود (به صورت حجمی) ساخته شده‌اند. درصد‌های جایگزینی ماسه رودخانه‌ای توسط ماسه اسکوریا عبارت‌اند از:  $0\%$  (نمونه شاهد)،  $10\%$ ،  $20\%$ ،  $50\%$  و  $100\%$ . نمونه شاهد (C)، با نسبت وزنی سیمان به ماسه  $1:2/75$  (C/S) و نسبت آب به سیمان  $0/34$  (W/C) طرح گردیده و در دیگر مخلوط‌ها (L-10، L-20، L-50 و L-100) ماسه سبک اسکوریا به صورت حجمی در درصد‌های مختلف جایگزین ماسه معمولی شده است. فوق‌روان کننده در تمامی مخلوط‌های ملات سیمانی مورد استفاده قرار گرفت تا میزان غلظت و روانی مناسب ملات تامین گردد. نسبت اختلاط مخلوط‌های ملات سیمانی در جدول ۲ ارائه گردیده است.

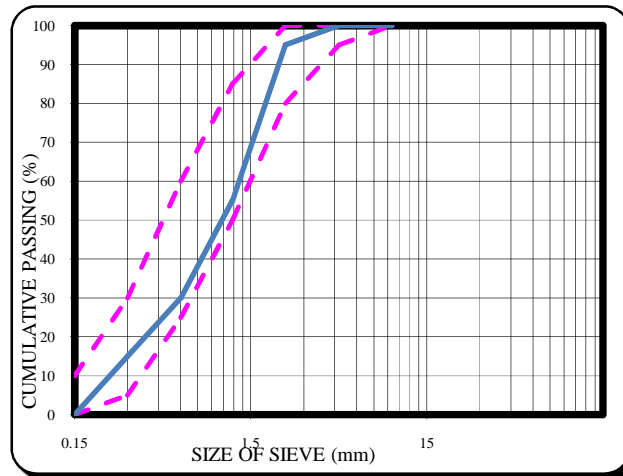
#### ۲-۳- روش تهیه نمونه‌ها، قالب‌ها و عمل‌آوری

مخلوط‌های ملات سیمانی براساس روند آزمایشگاهی پیشنهادی ASTM C305, 1999 [۶] تهیه شده‌اند. قبل از ریختن ملات در قالب‌ها آزمایش میز جریان بر روی ملات تازه انجام شد تا میزان کارائی هر مخلوط مشخص گردد. از ملات تازه در ساخت نمونه‌های مکعبی  $5 \times 5 \times 5$  سانتی متری برای آزمایش تعیین

- ۳- بررسی نتایج آزمایش‌ها  
 ۱-۳- ویژگی‌های ملات تازه  
 قطر نمونه‌های ملات تازه در آزمایش میز جریان در جدول ۱  
 نمونه‌های آزمایش جمع‌شدگی خودزا در هفته اول به صورت  
 روزانه و پس از آن به صورت هفتگی تا ۲۸ روز مطابق با ASTM  
 C490, 2000 [۱۲] اندازه‌گیری گردید.

نوع سیمان	Lo.I%	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO%	MgO%	SO <sub>3</sub> %	K <sub>2</sub> O%	Na <sub>2</sub> O%	Blaine سانتیمترمربع برگرم	مقاومت فشاری کیلوگرم بر سانتیمترمربع		
											۳	۷	۲۸
پ-۲	۰/۷۵	۲۱/۹۱	۴/۸۵	۳/۴۶	۶۴/۵۶	۲/۳۸	۱/۷۱	۰/۹۷	۰/۳۴	۲۸۶۰	۱۷۹	۲۷۴	۳۷۰

جدول ۱- آنالیز شیمیایی و خصوصیات فیزیکی سیمان



شکل ۱- منحنی دانه‌بندی ثابت هر دو نوع ماسه

جدول ۲- نسبت اختلاط و برخی از ویژگی‌های ملات‌های سیمانی

نام طرح	نوع ماسه	W/C	sp (درصد)	جریان اسلامپ کوچک (میلی‌متر)	وزن مخصوص تازه (کیلوگرم بر متر مکعب)	سرعت پالسی (متر بر ثانیه)
C	100% NRS a	۰/۳۴	۰/۴	۱۳۵	۲۳۹۰	۴۲۵۱
	10% LSS b + 90% NRS	۰/۳۴	۰/۵	۱۲۸	۲۳۵۹	۴۲۲۹
	L-10 20% LSS + 80% NRS	۰/۳۴	۰/۶	۱۳۰	۲۳۲۱	۴۱۴۲
	L-20 50% LSS + 50% NRS	۰/۳۴	۰/۷	۱۳۰	۲۲۵۴	۴۰۸۲
	L-50 100% LSS	۰/۳۴	۰/۹	۱۱۵	۲۱۰۷	۳۶۳۹
	L-100					

ماسه سبک اسکوریا = b ، ماسه رودخانه‌ای طبیعی = a

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌گردد، انبساط و افزایش حجم در نمونه حاوی ۱۰۰٪ ماسه سبک اسکوریای از پیش اشباع شده، خصوصاً در سنین اولیه (طی هفته اول) وجود دارد. مکانیزمی که منجر به چنین افزایش حجم و انبساط زودرس در مواد پایه سیمانی می‌گردد هنوز به خوبی شناخته نشده است. در هر حال، این نوع انبساط زودرس را بیشتر می‌توان به فشار تبلور ناشی از تشکیل اترینگایت و یا تورم زل ناشی از محصولات هیدراته شدن سیمان نسبت داد [۱۳].

### ۳-۲-۲- مقاومت فشاری

مقاومت فشاری نمونه‌های ملات سیمانی در سنین ۳، ۷، ۲۸ و ۹۰ روز در شکل ۳ نشان داده شده است. مقادیر مقاومت فشاری میانگین نتایج حاصل از سه نمونه آزمایشگاهی می‌باشد. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌گردد، مقاومت‌های فشاری ملات‌های حاوی درصدهای مختلف ماسه رودخانه‌ای و ماسه اسکوریا تقریباً در تمامی سنین یکسان می‌باشد، غیر از L-100 که حاوی ۱۰۰٪ ماسه اسکوریا می‌باشد. زمانی که ماسه رودخانه‌ای کاملاً توسط ماسه سبک اسکوریا جایگزین می‌گردد، کاهش نسبتاً قابل ملاحظه‌ای در مقاومت فشاری ملات مشاهده می‌گردد. این کاهش مقاومت در سنین مختلف ثابت نیست و در بیشترین حالت به ۲۷٪ می‌رسد. ماسه اسکوریا ضعیف‌تر از ماسه رودخانه‌ای بوده و این امر می‌تواند عامل افت مقاومت در نمونه L-100 باشد. در هر حال، تغییر قابل توجهی در مقاومت فشاری ملات‌های سیمانی که در آن‌ها ماسه رودخانه‌ای تا ۵۰ درصد توسط ماسه اسکوریا جایگزین شده مشاهده نمی‌گردد.

### ۳-۲-۳- مقاومت خمشی

مقاومت خمشی نمونه‌های ملات سیمانی در سنین ۳، ۷، ۲۸ و ۹۰ روز در شکل ۴ نشان داده شده است. مقادیر مقاومت خمشی میانگین نتایج حاصل از سه نمونه آزمایشگاهی می‌باشد. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد، مقاومت‌های خمشی ملات‌های حاوی درصدهای مختلف ماسه رودخانه‌ای و ماسه اسکوریا تقریباً در تمامی سنین یکسان می‌باشند غیر از L-100 که حاوی ۱۰۰٪ ماسه اسکوریا می‌باشد. زمانی که ماسه رودخانه‌ای کاملاً توسط ماسه سبک اسکوریا جایگزین می‌گردد، کاهش نسبتاً

همانطور که در این جدول نشان داده شده است، مقادیر مختلفی از ماده فوق‌روان‌کننده در مخلوط‌های ملات سیمانی مورد استفاده قرار گرفته است تا قطر جریان تقریباً ثابت ملات در محدوده ۱۳۵-۱۱۵ میلیمتر حاصل گردد. میزان فوق‌روان‌کننده مصرف شده در مخلوط‌ها با افزایش مقدار ماسه سبک اسکوریا افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد که بافت سطحی زبر و متخلخل ماسه سبک اسکوریا قابلیت جریان و روانی ملات سیمانی را کاهش می‌دهد.

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌گردد، جایگزینی ماسه رودخانه‌ای طبیعی توسط ماسه سبک اسکوریای از پیش اشباع شده، وزن مخصوص ملات‌های سیمانی تازه را تا ۱۳/۴٪ کاهش می‌دهد.

### ۳-۲-۳- ویژگی‌های ملات سخت‌شده

#### ۳-۲-۳-۱- جمع‌شدگی خودزا

اثر میزان استفاده از ماسه سبک اسکوریای از پیش اشباع شده بر جمع‌شدگی خودزای ملات‌های سیمانی در شکل ۲ نشان داده شده است. جایگزینی بخشی از ماسه رودخانه‌ای طبیعی با ماسه سبک اسکوریای از پیش اشباع شده موجب کاهش قابل ملاحظه‌ای در جمع‌شدگی خودزای ملات سیمانی طی ۲۸ روز آب‌بندی با استفاده از پوشش آلومینیومی شده است. با افزایش مقدار ماسه سبک اسکوریا در ملات، جمع‌شدگی خودزا به میزان بیشتری کاهش پیدا می‌کند. در نمونه ملات سیمانی حاوی ۱۰۰٪ ماسه اسکوریا (L-100)، نه تنها جمع‌شدگی خودزا از بین رفته است بلکه حدود ۰/۰۵٪-۰/۰۲۵٪ انبساط طی ۲۸ روز در نمونه مشاهده می‌گردد. ماسه سبک اسکوریای از پیش اشباع شده به عنوان یک منبع ذخیره آب داخلی عمل می‌نماید که آب عمل‌آوری داخلی را برای رفع خشک‌شدگی داخلی و کاهش جمع‌شدگی زودرس تامین می‌کند. میزان آب نگه‌داشته شده در ملات‌های سیمانی حاوی ۱۰، ۲۰ و ۵۰ درصد از ماسه اسکوریا (L-10, L-20, L-50) به مقداری نیست که منجر به از بین رفتن کامل جمع‌شدگی خودزا گردد. در هر حال، نمونه L-50 که حاوی ۵۰٪ ماسه اسکوریا می‌باشد، جمع‌شدگی خودزای کمتری نسبت به نمونه شاهد (C) دارد که این کاهش پس از ۲۸ روز به ۴۰٪ نیز می‌رسد.

قابل ملاحظه ای در مقاومت خمشی ملات مشاهده می گردد. این کاهش مقاومت در سنین مختلف ثابت نیست و در بیشترین حالت به ۴۰٪ می رسد. ماسه اسکوریا ضعیف تر از ماسه رودخانه ای بوده و این امر می تواند عامل افت مقاومت در نمونه L-100 باشد.

در هر حال، تغییر قابل توجهی در مقاومت خمشی ملات های سیمانی که در آن ها ماسه رودخانه ای تا ۵۰ درصد توسط ماسه اسکوریا جایگزین شده مشاهده نمی گردد.

### ۳-۲-۴- سرعت پالسی

آزمایش سرعت پالسی آلتراسونیک با استفاده از دستگاه غیرمخرب آلتراسونیک (PUNDIT) بر روی نمونه ها انجام شد. این آزمایش براساس تئوری انتقال امواج فراصوت در داخل ماده طراحی شده و عموماً به منظور شناخت میزان تخلخل و ساختار حفره ای بتن بکار برده می شود [۱۴]. آزمایش آلتراسونیک روشی معمول می باشد که برای آنالیز ساختار حفره ای بتن و به منظور پیدا کردن نقص و عیوب داخلی آن از قبیل خلل و فرج، ترک، تورق و... مورد استفاده قرار می گیرد [۱۵].

آزمایش سرعت پالسی آلتراسونیک در تمامی نمونه ها در سن ۲۸ روز انجام شد و نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به نتایج بدست آمده می توان مشاهده نمود که سرعت پالسی نمونه ها با افزایش میزان ماسه سبک اسکوریا در ملات کاهش پیدا می کند. بیشترین افت سرعت پالسی در حدود ۱۴٪ بوده و مربوط به نمونه ای است که در آن ماسه رودخانه ای کاملاً توسط ماسه اسکوریا جایگزین شده است (L-100). به نظر می رسد که ساختار حفره ای و متخلخل ملات ها با افزایش میزان ماسه سبک اسکوریا افزایش یافته و این امر موجب کاهش سرعت پالسی گردیده است.

### ۳-۲-۵- درصد جذب آب

درصد جذب آب نمونه ها در سن ۲۸ روز در شکل ۵ نشان داده شده است. در این شکل مشاهده می گردد که درصد جذب آب نمونه ها با افزایش میزان ماسه اسکوریا افزایش پیدا می کند. نمونه L-100 که ملاتی با ۱۰۰٪ ماسه اسکوریا می باشد، بیشترین درصد جذب آب را دارد که حدوداً دو برابر درصد جذب آب نمونه شاهد (C) می باشد. بالاتر بودن درصد جذب آب این نمونه ها را

می توان در نتیجه افزایش تخلخل به دلیل افزایش میزان ماسه اسکوریا دانست. این افزایش تخلخل قبلاً از طریق انجام آزمایش سرعت پالسی نیز به اثبات رسید.

### ۳-۲-۶- جذب آب کاپیلاره (آهنگ جذب آب)

نتایج مربوط به آهنگ جذب آب اولیه و ثانویه بر روی نمونه های ۹۰ روزه در شکل ۶ نشان داده شده است. آهنگ جذب آب نمونه ها از طریق رگرسیون خطی شیب نمودار جذب آب کاپیلاره در برابر ریشه دوم زمان بدست آورده می شود. با توجه به نتایج بدست آمده می توان مشاهده نمود که هر دو آهنگ جذب آب اولیه و ثانویه نمونه ها با افزایش میزان ماسه اسکوریا افزایش پیدا می کند. آهنگ جذب آب را می توان به عنوان معیاری برای ارزیابی نیروهای کاپیلاره اعمال شده توسط ساختار حفره ای دانست که منجر به مکش مایعات به داخل جرم ماده می گردد [۱۶]. آهنگ جذب آب نمونه ای که در آن ماسه رودخانه ای کاملاً توسط ماسه اسکوریا جایگزین شده (L-100)، به طور قابل ملاحظه ای افزایش یافته است. این افزایش در آهنگ جذب آب را می توان به میزان ماسه اسکوریا در ملات نسبت داد. از آنجائی که وجود ماسه سبک اسکوریا حفره های موئین بیشتر و از لحاظ ابعادی بلندتر را در نتیجه تخلخل بیشتر خود ایجاد می کند، تنش کاپیلاره افزایش یافته و در نهایت آهنگ جذب آب نمونه ملات سیمانی افزایش می یابد.

### ۴- نتیجه گیری

با ارزیابی ملات های سیمانی حاوی مقادیر مختلفی از ماسه سبک اسکوریای از پیش اشباع شده (به عنوان ماده عامل عمل آوری داخلی)، می توان نتیجه گیری نمود که:

۱. جایگزینی بخشی از ماسه رودخانه ای طبیعی توسط ماسه سبک اسکوریای از پیش اشباع شده، موجب کاهش قابل توجه جمع شدگی خودزا در طول ۲۸ روز آب بندی نمونه ها با پوشش آلومینیومی می گردد. با افزایش میزان ماسه اسکوریا در ملات، جمع شدگی خودزا کاهش پیدا کرده و حتی از بین می رود. بنابراین، این نوع ماسه سبک اسکوریا را می توان به منظور کنترل جمع شدگی خودزا و ترک های زودرس در ملات های سیمانی با نسبت آب به سیمان پائین مورد استفاده قرار داد.

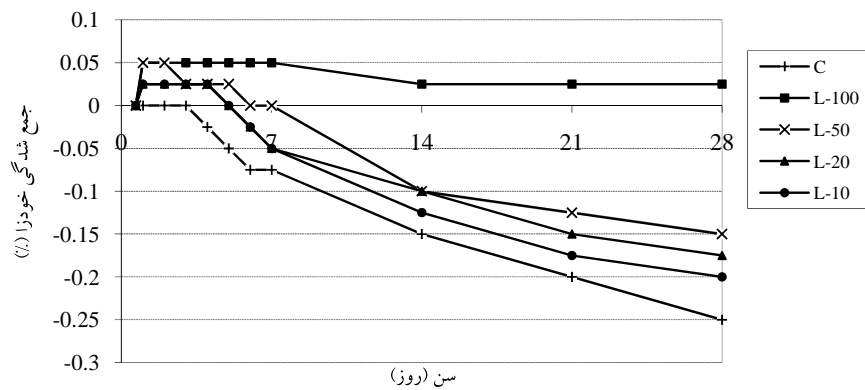
۲. بکارگیری ماسه سبک اسکوریا به منظور عمل آوری داخلی اثر معکوسی بر کارائی ملات تازه دارد. این کاهش کارائی ملات به دلیل بافت سطحی زبر و متخلخل سنگ دانه های اسکوریا می باشد و می توان آنرا با بکارگیری فوق روان کننده جبران نمود.

۳. جایگزینی ماسه رودخانه ای طبیعی توسط ماسه سبک اسکوریای از پیش اشباع شده تا ۵۰ درصد، اثر قابل ملاحظه ای بر خصوصیات مقاومتی ملات های سیمانی (مقاومت های فشاری و خمشی) ندارد. در هر حال، به ترتیب افتی در حدود ۲۷٪ و ۴۰٪ در مقاومت های فشاری و خمشی نمونه هایی مشاهده گردید که در آنها ماسه رودخانه ای کاملاً توسط ماسه اسکوریا جایگزین شده بود که بایستی مورد توجه قرار گیرد.

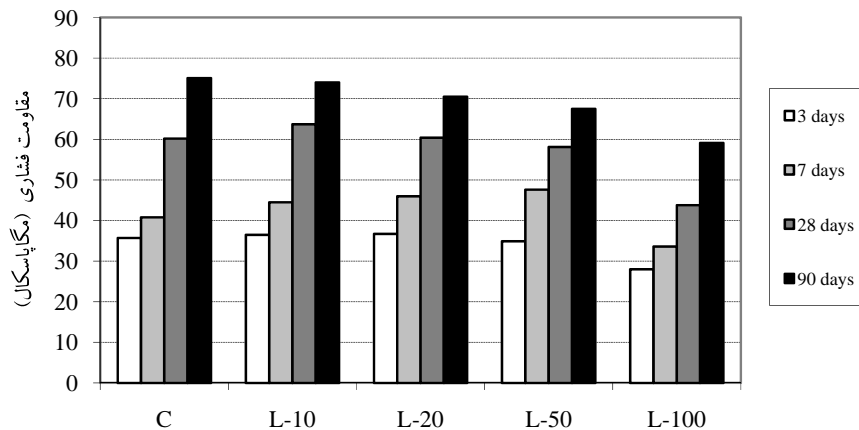
۴. سرعت پالسی آلتراسونیک در نمونه های ملات سیمانی با افزایش میزان ماسه اسکوریا کاهش می یابد. این افت در سرعت می تواند منجر به بهبود تمامی ویژگی های ملات و بتن گردد.

۵. خصوصیات انتقالی نمونه های ملات سیمانی (درصد جذب آب و آهنگ جذب آب اولیه و ثانویه) با افزایش بکارگیری ماسه اسکوریا در ملات افزایش می یابد. افزایش درصد جذب آب و جذب آب کاپیلاره می تواند منجر به کاهش دوام ملات و بتن گردد.

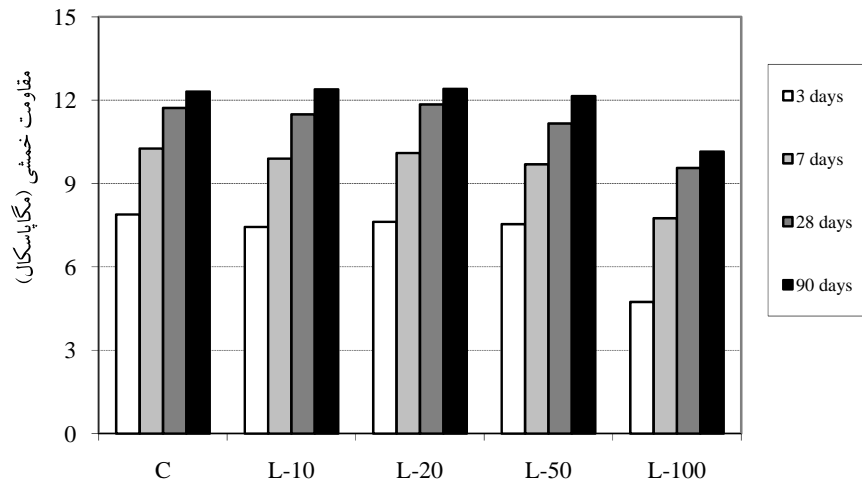
۶. بکارگیری ماسه سبک اسکوریای از پیش اشباع شده در ملات سیمانی به عنوان ماده عامل عمل آوری داخلی، می تواند به طور موفقیت آمیزی منجر به کنترل جمع شدگی خودزا گردد اما در عین حال آثار معکوسی بر دیگر ویژگی های ملات (خصوصیات مقاومتی و انتقالی) دارد که بایستی حتماً مورد توجه قرار گیرد. به نظر می رسد که کاربرد بهینه و به اندازه ماسه سبک اسکوریا می تواند منجر به بهبود تمامی ویژگی های ملات و بتن گردد.



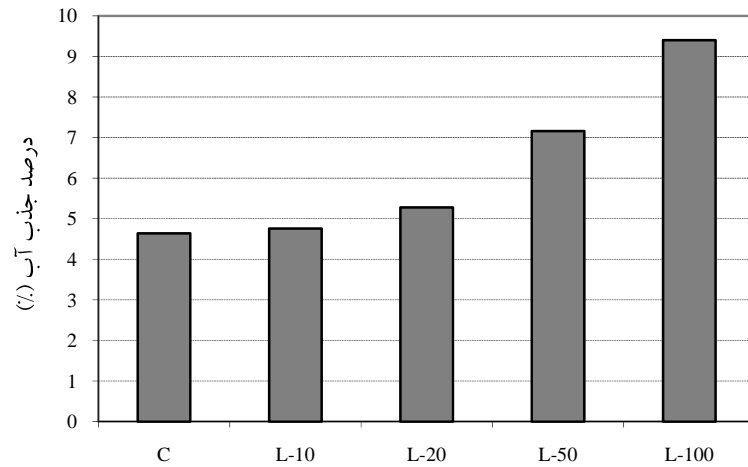
شکل ۲- جمع شدگی خودزای ملات های سیمانی



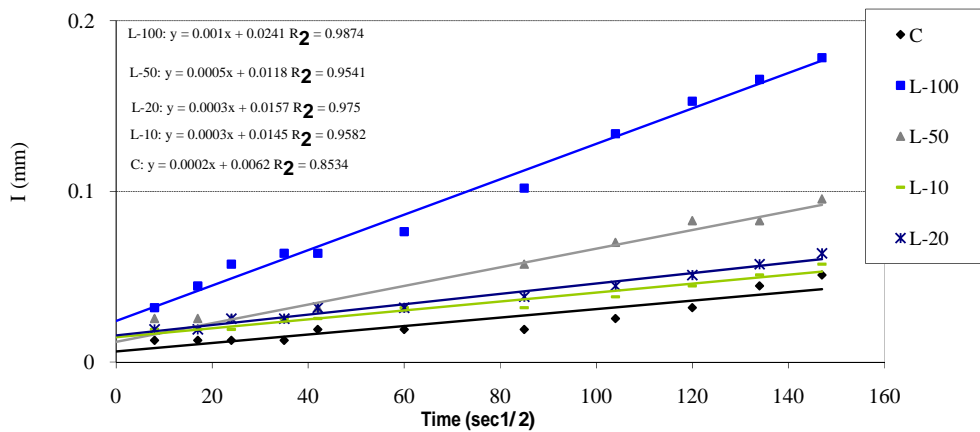
شکل ۳- مقاومت فشاری نمونه های ملات سیمانی در سنین ۳، ۷، ۲۸ و ۹۰ روز



شکل ۴- مقاومت خمشی نمونه‌های ملات سیمانی در سنین ۳، ۷، ۲۸ و ۹۰ روز

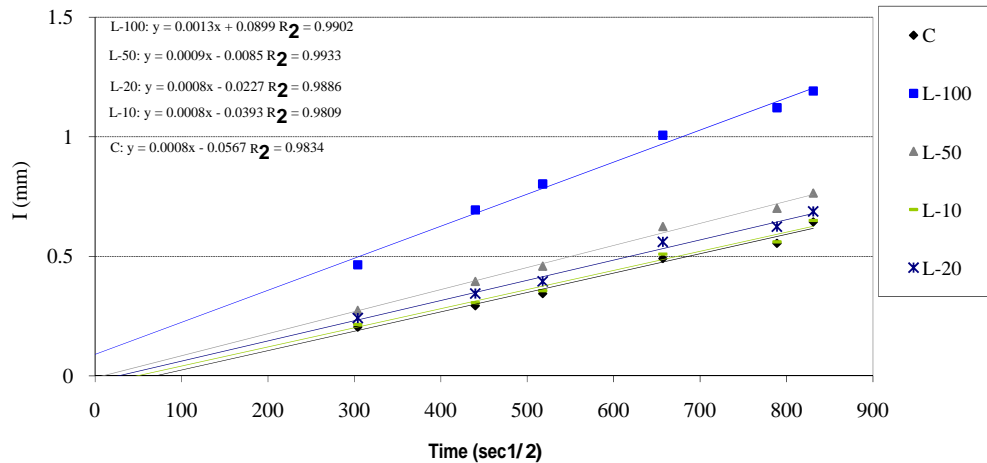


شکل ۵- درصد جذب آب نمونه‌ها در سن ۲۸ روز



شکل ۶- الف- آهنگ جذب آب اولیه نمونه‌های ۹۰ روزه





شکل ۶-ب- آهنگ جذب آب ثانویه نمونه‌های ۹۰ روزه

[8]. ASTM C 348 – 02 (2002). Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars.

[9]. ASTM C 109/C 109M – 02 (2002). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars.

[10]. ASTM C 597 – 02 (2002). Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.

[11]. ASTM C 1585 – 04 (2004). Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic- Cement Concretes.

[12]. ASTM C 490 – 00a (2000). Standard Practice for Use of Apparatus for the Determination of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concrete.

[13]. Bentz DP, Sant G, Weiss WJ. (2008) Early-age properties of cement-based materials: I. Influence of cement fineness, ASCE J. Mat. Civ. Eng. 20 (7) (2008) 502–508.

[14]. Vasconcelos G, Lourenco PB, Alves CAS and Pamplona J. (2008). Ultrasonic evaluation of the physical and mechanical properties of granites. Ultrasonics;48:453–66.

[15]. Lafhaj Z, Goueygou M, Djerbi A, Kaczmarek M. (2006). Correlation between porosity, permeability and ultrasonic parameters of mortar with variable water/cement ratio and water content. Cem Concr Res;36:625–33.

[16]. Hall C. (1989). Water sorptivity of mortars and concretes: a review. Magazine of Concrete Res; 41(14):51–61.

#### ۵- مراجع

[1]. Bauasker M, Mounanga P, Turcry P, Loukili A, Khelidj A.(2008). Chemical shrinkage of cement pastes and mortars at very early age: effect of limestone filler and granular inclusions. Cem Conc Comp 2008;30:13–22.

[2]. Bentz DP, Jensen OM. (2004). Mitigation strategies for autogenous shrinkage cracking. Cem Conc Comp 2004;26:677–85.

[3]. Kawashima S, Shah SP. (2011). Early-age autogenous and drying shrinkage behavior of cellulose fiber-reinforced cementitious materials: Cement & Concrete Composites 33 (2011) 201–208.

[4]. Rodriguez de Sensale G, Ribeiro AB, Gonçalves A. (2008). Effects of RHA on autogenous shrinkage of Portland cement pastes. Cement & Concrete Composites: 30 (2008) 892–897.

[5]. Akcay B., Tasdemir MA. (2009). Optimisation of using lightweight aggregates in mitigating autogenous deformation of concrete. Construction and Building Materials: 23 (2009) 353–363.

[6]. ASTM C 305–99 (1999). Standard Test Method for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency.

[7]. ASTM C 642 – 97 (1997). Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete.

# Effect of Internal Curing Using Lightweight Scoria Fine Aggregates on Autogenous Shrinkage, Strength and Transport Properties of Cement Mortars

J. Esmaeili\*

Associate Professor, the University of Tabriz

J. Kasaei

BSc, Concrete Technology Laboratory, the University of Tabriz

( Received: 2013/8/3 Accepted: 2013/12/17)

## Abstract

In this paper, the effect of pre-soaked local lightweight scoria fine aggregates on autogenous shrinkage, strength and transport properties of cement mortars is investigated. Different cement mortars with a constant water/cement ratio of 0.34 were prepared substituting normal fine aggregates by lightweight scoria fine aggregates with the same grading at five different volume fractions of 0%, 10%, 20%, 50% and 100%. Autogenous shrinkage, compressive and flexural strength, workability, pulse velocity, water absorption and sorptivity (rate of water absorption), were measured in all mortars and compared with reference specimen. It has been found that incorporation of pre-soaked lightweight scoria sand in cement mortars as internal curing agent can successfully control the autogenous shrinkage, but effects inversely on other properties (strength and transport properties) of mortars that should be significantly considered. It seems that an optimum use of pre-soaked lightweight scoria sand can modify all properties of mortars and concretes.

**Keywords:** Internal Curing, Cement Mortar, Scoria Fine Aggregates, Autogenous Shrinkage, Strength properties, Transport Properties.

---

\* Corresponding author: J-Esmaeili@tabrizu.ac.ir

