

# عمل آوری داخلی با استفاده از سبکدانه‌ها و تاثیر آن بر ویژگی‌های مکانیکی بتن با مقاومت بالا

جمال احمدی\*<sup>۱</sup>، علیرضا پناهی<sup>۲</sup>، حسام عزیزی<sup>۳</sup>

۱- استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان

\* j\_ahmadi@iust.ac.ir

تاریخ دریافت: [۹۴/۰۹/۲۱]

تاریخ پذیرش: [۹۵/۰۳/۱۹]

## چکیده

عمل آوری داخلی بتن با مقاومت بالا به وسیله سبکدانه از پیش اشباع شده به عنوان یک روش مناسب برای کاهش و یا حذف احتمالی خود خشک‌شدگی و خود جمع‌شدگی شناخته می‌شود. اگرچه جایگزینی این مواد با مقداری از سنگدانه‌های معمولی، ممکن است به ویژگی‌های مکانیکی مانند مقاومت فشاری بتن لطمه وارد کند.

ویژگی اصلی ماده عمل آورنده داخلی توانایی آن در نگهداری آب مورد نیاز بتن، برای عمل آوری است. به همین دلیل مواد عمل آورنده معمولاً مواد با تخلخل زیاد و مشخصات مکانیکی ضعیف هستند که باید آثار این مواد در ویژگی‌های مهم بتن با مقاومت بالا بررسی شود. این آثار و ارتباط آن با مواد عمل آوری داخلی همچنان به عنوان یک موضوع پژوهشی توجه می‌شود.

در این مقاله، سعی شده است ویژگی‌های مکانیکی و پایایی بتن از جمله؛ مقاومت در برابر نفوذ یون کلریدها، خود جمع‌شدگی خشک‌شدگی و همچنین وزن بتن بررسی شود. به همین منظور نمونه‌های بتن با مقاومت بالا با نسبت آب به سیمان مختلف ساخته شد و آثار عمل آوری داخلی روی ویژگی‌های بتن با مقاومت بالا به صورت تابعی از نسبت آب به سیمان به دست آمده است.

**واژگان کلیدی:** بتن با مقاومت بالا، عمل آوری داخلی، سنگدانه‌های سبک وزن، جذب آب، خود جمع‌شدگی

## ۱- مقدمه

به بتن با مقاومت بالا بخاطر خواص مکانیکی و دوام عالی آن بیش از پیش توجه شده است [1]. بتن با مقاومت بالا هزینه‌های نگهداری را کاهش و عمر سرویس دهی سازه را

افزایش می‌دهد [2]. در محیط‌هایی که بتن معمولی جوابگوی نیاز مهندسی نیست، خواص بالای دوام بتن با مقاومت بالا کاربرد بیشتری پیدا می‌کند، کاربرد این نوع بتن‌ها با وجود حساسیت در ترک‌خوردگی زود هنگام آن، در ساخت و ساز

با افزایش آب طرح اختلاط، مقاومت بتن کاهش می‌یابد. این در حالی است که با عمل آوری داخلی، مقدار هیدراسیون سیمان و خمیر سیمان در بتن افزایش می‌یابد که این امر با افزایش مقاومت بتن همراه است. به گونه‌ای که اثر هر کدام از موارد فوق در بتن بیش تر باشد باعث کاهش و یا افزایش و یا حتی خستگی کردن اثر یکدیگر می‌شود.

بتن با مقاومت بالا، علاوه بر دارا بودن مشخصات مکانیکی مناسب‌تر، بیشتر به دلیل ویژگی‌های دوام خوب آن استفاده می‌شود. این ویژگیها در صنعت و هم در پژوهش‌ها، بیشتر به بررسی نفوذ پذیری آب و یا گاز، جذب سطحی مایعات، نفوذ یون‌های کلر و حمله سولفات‌ها معطوف می‌شود. اگر چه استفاده از مواد عمل آورنده مانند سبکدانه‌ها و مواد پلیمری فوق جاذب باعث افزایش تخلخل در بتن می‌شود ولی مواد مذکور به عنوان سبکدانه آثار مثبت مناسبی روی دوام بتن نیز دارد که از آن جمله می‌توان به ۱- حذف و یا کاهش ترک خوردگی ناشی از خود جمع شدگی [5,20] ۲- کاهش ریزترک‌ها در ریز ساختارهای بتن به دلیل بهبود و افزایش خمیر سیمان [15] و ۳- کاهش نفوذ پذیری به علت بهبود شرایط ناحیه انتقال بین سنگدانه‌ها و خمیر سیمان [4] و ... اشاره کرد. در حقیقت عملکرد بتن‌های سبک وزن در قیاس با بتن‌های معمولی بهتر و یا حداقل برابر بوده است [16,21]. در حالی که در بتن‌های با مقاومت بالا، بتن‌های سبک وزن مقدار نفوذ پذیری یون کلر، آب و گاز بیشتری نسبت به بتن با سنگدانه‌های معمولی دارند [17]. باید توجه شود در مطالعات صورت گرفته، سبکدانه‌ها به صورت خشک در طرح اختلاط آورده شده و آب اضافی با احتساب مقدار جذب آب به وسیله سبکدانه‌ها در یک ساعت در طرح اختلاط منظور شده است. همچنین تاثیر جایگزینی بخشی از سنگدانه‌های معمولی به وسیله سبکدانه‌های از پیش اشباع شده نیز مطالعه شده است [4,18]. افزایش درصد جایگزینی، کاهش نفوذ پذیری یون کلر را به همراه دارد [18]. اندازه سبکدانه‌ها نیز بر نفوذ پذیری تاثیر می‌گذارد به گونه‌ای که هرچه سبکدانه‌ها ریزتر باشند نفوذ پذیری بیشتر کاهش پیدا می‌یابد. یک بررسی و سنجش در مورد عرشه‌ی پل‌های

دریایی، ساختمان‌های با ارتفاع زیاد، در عرشه و پایه‌ی پل‌ها، پوسته‌های با ضخامت کم، باند فرودگاه‌ها و در موارد دیگر به شکل چشم‌گیری در حال رشد است [3].

از جمله اهداف مهم به کارگیری عمل آوری داخلی کاهش جمع‌شدگی ناشی از خشک‌شدگی داخلی یا خود جمع‌شدگی بوده است، پژوهش‌های زیادی روی چگونگی اندازه‌گیری خود جمع‌شدگی در خمیر سیمان، ملات یا بتن صورت گرفته است. بتن ساخته شده با نسبت آب به سیمان خیلی پایین، بسیار مستعد خود خشک‌شدگی است که در نهایت منجر به خود جمع‌شدگی می‌شود [3].

عمل آوری داخلی به عنوان یک روش عمل آوری با قابلیت حذف و یا کاهش شدید خود جمع‌شدگی بتن نظر پژوهشگران را به خود جلب کرده است [5-10]. همچنین نشان داده شده است که با کاهش حساسیت بتن در برابر ترک خوردگی، دیگر ویژگی‌های بتن نیز تا حدود زیادی بهبود یافته است [7-11].

امروزه با گسترش روش‌های عمل آوری داخلی، مواد اضافه بیشتری به عنوان ماده عمل آورنده داخلی مطرح شده است. مواد فوق جاذب [12-13] مواد از جنس چوب [3] و مواد قابل بازیافت [14] به عنوان عامل عمل آورنده داخلی برای تهیه بتن با مقاومت بالا گزارش شده‌اند.

ویژگی اصلی ماده عمل آورنده داخلی، توانایی آن در نگهداری آب مورد نیاز بتن برای عمل آوری آن است. با توجه به این ویژگی مواد عمل آورنده معمولاً مواد با تخلخل زیاد و دارای مشخصات مکانیکی ضعیف هستند که باید آثار این مواد در ویژگی‌های مهم بتن با مقاومت بالا بررسی شود. این آثار و ارتباط آن با مواد عمل آوری داخلی همچنان به عنوان یک موضوع پژوهشی جذاب توجه می‌شود.

در بیشتر بررسی‌ها، تعیین اثر عمل آوری داخلی روی مقاومت بتن گزارش داده شده است [5-7]. این گزارش‌ها و آثار عمل آوری داخلی روی مقاومت بتن بسیار متنوع بوده و بستگی به نوع ماده عمل آورنده مصرفی دارد. بعضی از مقالات از کاهش مقاومت و برخی از آنها از افزایش مقاومت بتن با عملکرد بالا صحبت کرده‌اند.

سبکدانه استفاده شد. منحنی جذب آب لیکا در شکل (۱) نشان داده شده است. اندازه ذرات سبکدانه لیکا ۰-۴ میلی متر است. با توجه به خود خشک‌شدگی، مقدار لیکای استفاده شده در طرح اختلاط با در نظر گرفتن مقدار آب اضافی عمل آوری و بیشینه دفع رطوبت لیکا در محیط و میزان درجه اشباع لیکا به دست می‌آید.

$$\text{کل } w/c = \text{موثر } w/c + \text{عمل آوری } w/c \quad (۱)$$

$$M_{leca} = W_{ic} / (\phi \cdot S \cdot a) \quad (۲)$$

در اینجا به دلیل استفاده از لیکا اشباع شده، مقدار درجه اشباع لیکا، یک است ( $s=1$ ). همچنین لیکای مورد نظر در کنار سیلیکا ژل، ۹۵ درصد از آب جذب شده خود در حالت اشباع را دفع کرده است پس  $\phi = 0,95$  و  $a$  نیز درصد جذب آب به وسیله لیکا بعد از ۴۸ ساعت است که از منحنی جذب به دست می‌آید و برابر  $0,23$  است. جایگزینی لیکا به صورت حجمی است. به گونه‌ای که به میزان حجم مورد نیاز از لیکا، با توجه به وزن  $M_{leca}$ ، بدست آمده از رابطه (۲)، از حجم ماسه کم شد. قطر سنگدانه‌های معمولی بین ۶ تا ۱۹ میلی متر و دارای درصد وزنی آب  $1/5$  درصد است. مقدار شن در تمامی طرح‌های اختلاط ثابت در نظر گرفته شده است. ماسه مصرفی، رودخانه‌ای و با درصد وزنی جذب آب ۲٪ است. جدول (۱) بیانگر مشخصات و نسبت‌های طرح اختلاط است. در این جدول ماسه و شن در حالت SSD و لیکا در حالت اشباع ۴۸ ساعته لحاظ شده است.

شکل ۱. منحنی جذب آب سنگدانه لیکا در طول زمان

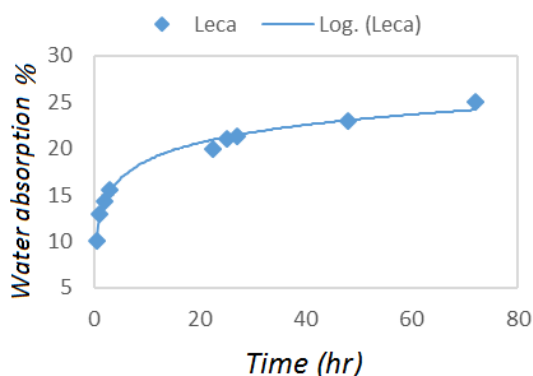


Fig. 1. Water absorption curve for LECA

ساخته شده با بتن با مقاومت بالا نشان می‌دهد که عمل‌آوری داخلی تاثیر خوبی روی عمر سرویس دهی پل‌ها داشته است [19].

سنگدانه‌های داخل بتن و یا سازه‌های خارجی اطراف آن در برابر خود جمع‌شدگی بتن به صورت قیود داخلی و یا خارجی مقاومت می‌کنند که موجب ایجاد ترک و یا حتی گسیختگی در بتن می‌شود [4]. همان‌گونه که مشخص است بتن ترک خورده ویژگی‌های مکانیکی و دوامی پایین‌تری دارد، پس برطرف کردن و حل این مشکل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به منظور حذف و یا کاهش اثر مخرب خود جمع‌شدگی، استفاده از سبکدانه‌های از پیش اشباع شده پیشنهاد شده است. سبکدانه‌های از پیش اشباع شده به عنوان یک مخزن داخلی آب در بتن تحت عنوان عمل‌آوری داخلی، آب مورد نیاز برای حذف خود جمع‌شدگی را تامین می‌کند. همچنین از آنجا که نسبت آب به سیمان یکی از شاخص‌های مهم در دوام بتن است، تاثیر عمل‌آوری داخلی روی ویژگی‌های دوام بتن با مقاومت بالا در نسبت‌های مختلف آب به سیمان از اهمیت بالایی برخوردار است.

در این مطالعه به بررسی تاثیر عمل‌آوری داخلی روی مقاومت در برابر نفوذ یون کلر، خود جمع‌شدگی، مقاومت بتن‌های با مقاومت بالا با آب به سیمان کلی  $0,35$  پرداخته شده است. لازم به گفتن است که آب به سیمان کل در طرح اختلاط برابر با مجموع نسبت‌های آب به سیمان موثر و آب به سیمان اضافی عمل‌آوری تعریف شده است.

## ۲- برنامه آزمایشگاهی

### ۲-۱- طرح اختلاط

مخلوط‌های بتن با نسبت آب به سیمان موثر  $0,28$ ،  $0,30$ ،  $0,33$  برای بتن با نسبت‌های آب به سیمان کل  $0,35$  رابطه (۱) آزمایش شدند. برای حفظ اسلامپ نمونه‌ها در محدوده ۱۵-۱۰ سانتی‌متر، از فوق روان‌کننده معمولی استفاده شد. سیمان استفاده شده تیپ یک و مقدار آن در تمامی اختلاط‌ها ثابت و برابر  $350$  کیلوگرم بر متر مکعب است. از سنگدانه لیکا با وزن مخصوص  $970$  کیلوگرم بر متر مکعب به عنوان

## ۲-۲-آزمایش‌ها

## ۲-۲-۱-آزمایش نفوذپذیری یون کلرید

سانتی‌متر مطابق با استاندارد ASTM C39 ساخته شدند. مقاومت جداشدگی (کششی) و فشاری بر نمونه‌های استوانه‌ای اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها بعد از گذشت یک روز از قالب خارج و در داخل آب نگهداری شدند. به ازای هر طرح اختلاط ۹ نمونه ساخته و آزمایش شد.

در این پژوهش برای ارزیابی مقاومت بتن در برابر نفوذ یون کلر از روش تسریع شده انتقال یون کلر در بتن هماهنگ با استاندارد ASTM-C1202 استفاده شد. در این آزمایش مقدار کل جریان عبوری از یک نمونه اشباع شده بتن تحت اختلاف ولتاژ ۶۰ ولت در طی مدت ۶ ساعت اندازه‌گیری می‌شود. فرض بر این است که عبور جریان از نمونه و از طریق محلول منفذی بتن که به عنوان الکترولیت عمل می‌کند، صورت می‌گیرد. مقدار و پیوستگی منافذ نمونه‌های متخلخل با منافذ پیوسته دارای جریان عبوری زیاد و نمونه‌های با تخلخل و پیوستگی منافذ کم دارای جریان عبوری کم است. [22]

## ۲-۲-۲-خود جمع‌شدگی

## ۳-نتایج

## ۳-۱-مقاومت در برابر نفوذ یون کلر

نتایج آزمایش تسریع شده مقاومت بتن در برابر نفوذ بتن در شکل (۲) آمده است. همان‌گونه که در شکل پیداست برای بتن با نسبت آب به سیمان موثر ۰/۳ ضریب نفوذ پذیری کلر وقتی از عمل‌آوری داخلی استفاده شده کاهش یافته است. برای بتن با نسبت  $w/c$  موثر ۰/۳۳، ضریب نفوذ پذیری تقریباً برابر با نمونه بدون عمل‌آوری آن است. در بتن‌های با  $w/c$  موثر ۰/۲۸ ضریب نفوذ پذیری مقدار کمی نسبت به نمونه بدون عمل‌آوری داخلی افزایش یافته است.

محاسبه خود جمع‌شدگی بتن، نیاز به تمهیدات و دستگاه و ابزارهای دقیقی دارد تا بتوان از همان دقایق اول بعد از قالب برداری، خود جمع‌شدگی را اندازه‌گیری کرد. در این راستا برای حفظ آب موجود در بتن و خارج نشدن رطوبت و جلوگیری از تبخیر آب از سطح بتن از عایق رطوبتی پلیمری استفاده شد. پس از عایق‌بندی، نمونه‌ها زیر گچ کرنش‌سنج با دقت ۰/۰۲ میلی‌متر قرار داده شد و هم‌زمان با گذشت زمان مقدار تغییرات طولی نمونه یادداشت برداری شد. خود جمع‌شدگی روی نمونه با ابعاد  $400 \times 100 \times 100$  میلی‌متر از لحظه گیرش بتن شروع به اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری از یک روش اپتیکی استفاده شد. نمونه‌ها در محیط آزمایشگاهی عمل‌آوری شدند.

## ۲-۲-۳-کاهش وزن

کاهش وزن روی نمونه‌ها با ابعاد  $400 \times 100 \times 100$  میلی‌متر اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها بعد از ۲۴ ساعت از زمان ساخت، از قالب خارج و در محیط آزمایشگاهی با دمای  $20 \pm 2$  درجه سلسیوس و رطوبت نسبی  $50 \pm 4\%$  نگهداری شدند.

## ۲-۲-۴-مقاومت

نمونه‌ها به صورت استوانه‌ای شکل با قطر ۱۵ و ارتفاع ۳۰

شکل ۲. مقاومت در برابر نفوذ یون کلر در بتن با نسبت آب به سیمان

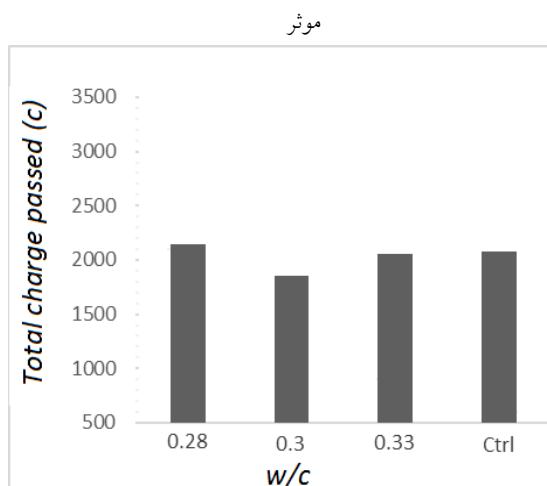


Fig.2. Chloride penetration resistance in concrete with  $w/c_e$

## ۳-۲-خود جمع‌شدگی

شکل (۳) مربوط به نتایج خود جمع‌شدگی است. اندازه‌گیری بلافاصله بعد از ساخت بتن صورت گرفته است. می‌توان مشاهده کرد که خود جمع‌شدگی به وسیله عمل‌آوری داخلی کاملاً حذف شده است. حتی نمونه با  $w/c$

است. مقاومت فشاری ۹۰ روزه در نسبت آب به سیمان موثر ۰/۳۰ و ۰/۲۸ به ترتیب ۴٪ و ۱۰٪ در نمونه با عمل آوری داخلی نسبت به نمونه بدون عمل آوری داخلی کاهش یافته است. کاهش مقاومت می‌تواند با کاهش چگالی بتن به دلیل جایگزینی بخشی از سنگدانه‌های ریز با سبک‌دانه‌ها ارتباط داشته باشد.

نمونه ۰/۳۳ کمترین کاهش در مقاومت فشاری ۹۰ روزه را داشته است. این در حالیست که مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های ۰/۳۳ و ۰/۳ از مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه شاهد کمی بیشتر است.

شکل ۳. خودجمع شدگی نمونه‌ها بر حسب سن آنها، محور طولی

لگاریتمی ترسیم شده است

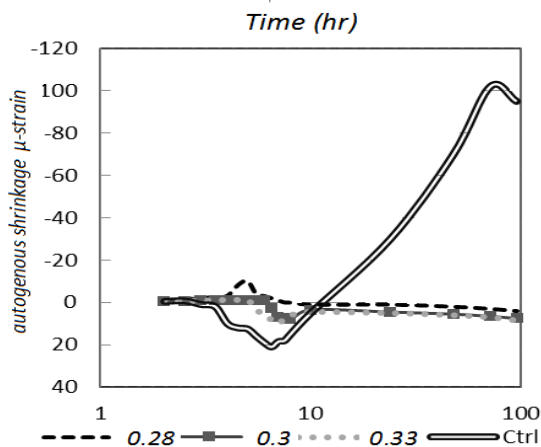


Fig. 3. Autogenous shrinkage curves of concrete specimens

شکل ۴. مقادیر کاهش وزن نمونه‌ها در طول سن آنها، محور طولی

لگاریتمی ترسیم شده است.

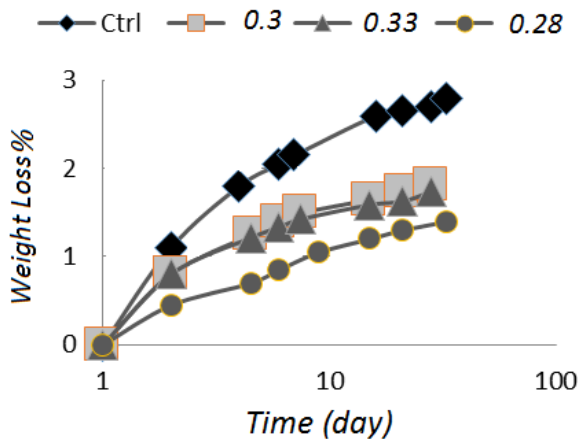


Fig. 4. Amount of weight loss of concrete specimens

موثر ۰/۲۸ هم خود جمع شدگی نداشته است. نمونه شاهد همان‌گونه که انتظار می‌رود دچار خودجمع شدگی شده است. با توجه به اینکه با کاهش رطوبت بتن پدیده خودجمع شدگی شدت می‌گیرد با ذخیره آب در سبکدانه و تزریق تدریجی به محیط بتن و در نتیجه حفظ رطوبت بتن و همچنین افزایش درصد هیدراته شدن در نمونه‌های با عمل آوری داخلی خودجمع شدگی حذف شده است. در بتن‌ها با نسبت آب به سیمان موثر ۰/۲۸ انتظارداشتن خودجمع شدگی بالا می‌رود زیرا آب موجود در دسترس به صورت مستقیم کم است و در هنگام گیرش اولیه و افزایش دمای بتن این رطوبت به سرعت کاهش می‌یابد با این وجود با عمل آوری داخلی این نمونه‌ها نیز با حذف خودجمع شدگی روبرو شدند.

### ۳-۳- کاهش وزن

نمودار کاهش وزن در شکل (۴) ارائه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود نمونه شاهد کاهش وزنی بیشتری نسبت به نمونه‌های با عمل آوری داخلی داشته است. این به دلیل آن است که در نمونه شاهد رطوبت بیشتری از بتن خارج شده و در نتیجه کاهش وزن بیشتری دارد. در بتن با عمل آوری داخلی کاهش نسبت آب به سیمان موثر، تغییری قابل ملاحظه‌ای در روند کاهش وزن ایجاد نمی‌کند.

جدول ۱. نسبت‌های اختلاط به کار رفته در آزمایش‌ها

-Mix design	W/C <sub>t</sub>	W/C <sub>e</sub>	cement	sand	gravel	LICA	Superplasti cizer
0.28	0.35	0.28	350	688	950	137.7	3%
0.3	0.35	0.3	350	775	950	98.5	2%
0.33	0.35	0.33	350	866	950	39.5	1.40%
Ctrl	0.35	0.35	350	950	950	-	1%

Table .1. Mix proportions used in the experiments

### ۳-۴- مقاومت

مقاومت فشاری و کششی (آزمایش برزیلی یا دونیم شدن) به ترتیب در شکل‌های (۵ و ۶) آمده است. نتایج نشان می‌دهد که عمل آوری داخلی اثر کاهنده‌ای روی مقاومت بتن دارد. با توجه به شکل، مقاومت جدشدگی تقریباً بین ۸ تا ۱۱ درصد در بتن‌های با عمل آوری داخلی کاهش پیدا کرده

ندارد. مشخص است که به دلیل وجود درصدی از آب به سیمان کل در سنگدانه‌ها، کاهش وزن نمونه‌های با عمل آوری داخلی کمتر بوده است. نتایج خودجمع شدگی نشان می‌دهد که لیکا به عنوان ماده عمل آورنده داخلی مفید بوده است. خودجمع شدگی به طور کامل در تمامی نمونه‌ها و در نسبت‌های آب به سیمان موثر حذف شده است.

تاثیر عمل آوری داخلی روی مقاومت بتن در برابر نفوذ یون کلر با توجه به نسبت آب به سیمان موثر متفاوت بوده است. مقاومت در برابر نفوذ یون کلر با نسبت آب به سیمان موثر ۰/۳۳ نسبت به نمونه بدون عمل آوری بهبود یافته است. برای آب به سیمان موثر ۰/۳۰ این مطلب تقریباً یکسان است در حالی که برای نسبت آب به سیمان موثر ۰/۲۸ نسبت به نمونه کنترل مقدار کمی کاهش یافته است و قابل توجه نیست. به نظر می‌رسد در نسبت آب به سیمان موثر ۰/۲۸ نیاز به مواد سیمانی اضافی مانند میکرو سیلیس است تا مقاومت بتن را در برابر نفوذ یون کلر بهبود قابل توجهی بخشد. به عبارت دیگر زمانی که از میکرو سیلیس استفاده می‌شود اثر مخرب و زیان‌آور عمل آوری داخلی در نسبت آب به سیمان پایین روی مقاومت بتن کمتر خواهد بود. این پدیده به دلیل حذف و تبدیل هیدروکسید کلسیم از محیط و تبدیل آن به سیلیکات کلسیم هیدراته به ویژه در ناحیه انتقالی است.

در نمونه‌های مطالعه شده عمل آوری داخلی روی مقاومت بتن تاثیر مثبتی نداشته است. کاهش مقاومت جداشدگی تا ۱۱٪ قابل توجه است. لازم به گفتن است که نقش عمل آوری داخلی بر پدیده‌های مانند ترک خوردگی و جمع شدگی بتن بسیار مفید و با اهمیت است به گونه‌ای که آثار مثبت آن در دوام سازه‌های مختلف مورد توجه قرار گرفته است [19].

## ۵- نتیجه‌گیری

عمل آوری داخلی در بتن‌های مطالعه شده هر چند موجب افت نسبی مشخصات مکانیکی نمونه‌های بتنی شده است ولی آثار مفید و مثبتی روی دوام و پایداری بتن داشته است.

شکل ۵. مقاومت فشاری نمونه‌ها در روزهای ۷، ۲۸ و ۹۰

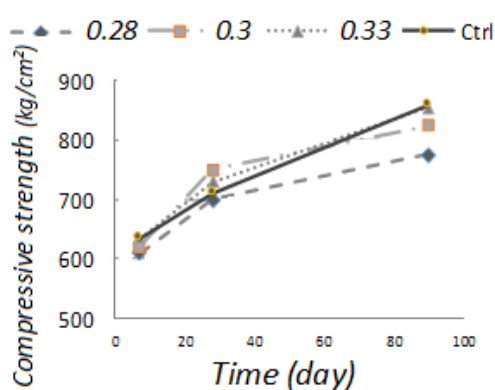


Fig. 5. Compressive strength of the specimens

شکل ۶. مقاومت کششی نمونه‌ها در روزهای ۷، ۲۸ و ۹۰

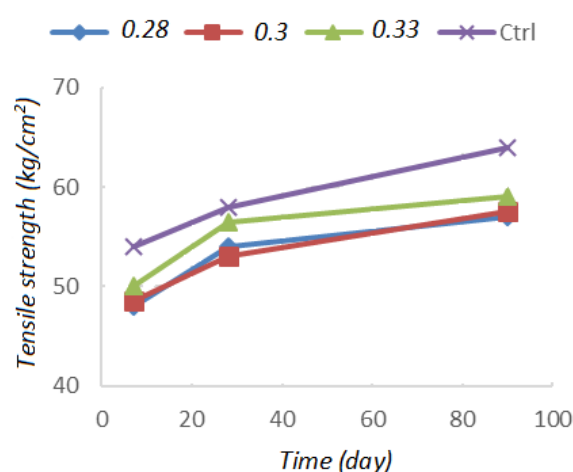


Fig. 6. Tensile strength of the specimens

## ۴- بحث و تحلیل

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت که عمل آوری داخلی روی ویژگی‌های دوام بتن به دلیل کاهش ترک خوردگی ناشی از کرنش‌های خودجمع شدگی می‌تواند تاثیر مثبتی داشته باشد. همان‌گونه که نتایج این پژوهش نشان می‌دهد در بعضی از موارد عملکرد بتن عمل آوری شده داخلی بهبود یافته است. گرچه آثار عمل آوری داخلی برای بتن با عملکرد بالا با نسبت آب به سیمان‌های موثر گوناگون، متفاوت است.

کاهش وزن بتن بدون عمل آوری داخلی تقریباً ۲ برابر کاهش وزن نمونه با آب به سیمان موثر ۰/۲۸ است. کاهش وزن در بین بتن‌ها با عمل آوری داخلی تفاوت قابل توجهی



- [10] K. van Breugel, H. Outwerk, J. de Vries, Effect of mixture composition and size effect on shrinkage of high strength concrete, in: V. Baroghel-Bouny, P.C. Aitcin (Eds.), Proc. Int. Workshop on Shrinkage of Concrete Paris, 2000, pp. 161-177.
- [11] S. Zhutovsky, K. Kovler, A. Bentur, Efficiency of lightweight aggregates for internal curing of high strength concrete to eliminate autogenous shrinkage, RILEM Int. Conf. on Early Age Cracking in Cementitious Systems, 2001, pp. 365-374.
- [12] O.M. Jensen, P.F. Hansen, Water-entrained cement-based materials, principles and theoretical background, Cem. Concr. Res. 31 (2001) 647-654.
- [13] O.M. Jensen, P.F. Hansen, Water-entrained cement-based materials II: experimental observations, Cem. Concr. Res. 32 (2002) 973-978.
- [14] I. Maruyama, R. Sato, a trial of reducing autogenous shrinkage by recycled aggregate, Gaithersburg (MD), USA, in: B. Persson, D.P. Bentz, L.O. Nilsson (Eds.), Proc. 4th Int. Sem. on Self-Desiccation and Its Importance in Concrete Technology, 2005, pp. 264-270.
- [15] T.W. Bremner, T.A. Holm, Elastic compatibility and the behaviour of concrete, J. Am. Concr. I. 83 (1986) 244-250.
- [16] T.A. Holm, O.S. Ooi, T.W. Bremner, Moisture dynamics in lightweight aggregate and concrete, in: J.P. Ries, T.A. Holm (Eds.), Theodore Bremner Symp. on High-Performance Lightweight Concrete, Proc. 6th Int. Conf. on Durability of Concrete, Thessalonika, Greece, 2003, pp. 167-184.
- [17] K.S. Chia, M. Zhang, Water permeability and chloride penetrability of high-strength lightweight aggregate concrete, Cem. Concr. Res. 32 (2002) 639-645.
- [18] H. Lam, R.D. Hooton, Effects of internal curing methods on restrained shrinkage and permeability, Gaithersburg (MD), USA, in: B. Persson, D.P. Bentz, L.O. Nilsson (Eds.), Proc. 4th Int. Sem. on Self-Desiccation and Its Importance in Concrete Technology, 2005, pp. 210-228.
- [19] D. Cusson, Z. Lounis, L. Daigle, Benefits of internal curing on service life and life-cycle cost of high-performance concrete bridge decks—a case study, Cem. Concr. Comp. 32 (2010) 339-350.
- [20] E. Tazawa, Y. Matsuoka, S. Miyazawa, S. Okamoto, Effect of Autogenous Shrinkage on Self Stress in Hardening Concrete, Munich, Germany, in: R. Springenschmidt (Ed.), Proc. of Int. RILEM Symp. Thermal Cracking in Concrete at Early Ages, 1994, pp. 220-228.
- [21] A.M. Vaysburd, Durability of lightweight concrete bridges in severe environments, Concr. Int. 18 (1996) 33-38.
- [22] Bagery. A, Zanganeh.H, the Comparison of RCMT, RCPT and electrical resistance methods for evaluation of chloride penetration resistance in concrete, Modares Civil Engineering Journal, V 12, 2012 (In Persian).

اثر عمل آوری داخلی در مقاومت در برابر نفوذ یون کلر به نسبت آب به سیمان موثر بتن بستگی دارد، به گونه‌ای که در نسبت آب به سیمان موثر ۰/۳ افزایش مقاومت، در نسبت آب به سیمان ۰/۲۸ کاهش مقاومت رخ می‌دهد.

استفاده از لیکا با دانه‌بندی ریز، به عنوان ماده عمل آورنده داخلی بتن می‌تواند خود جمع شدگی در بتن با عملکرد بالا را تا حدود زیادی حذف نماید.

## References

## ۶- مراجع

- [1] K.W. Meeks, N.J. Carino, "Curing of High-Performance Concrete: Report of the State-of-the-Art," NISTIR 6295, 1999.
- [2] A.I. Neville, P.C. Aitcin, High performance concrete—an overview, Mater. Struct. 31 (1998) 111-117.
- [3] S. Zhutovsky, K. Kovler, Effect of internal curing on durability-related properties of high performance concrete, Cem & Conc research. 42 (2012) 20-26
- [4] D.P. Bentz, K.A. Snyder, P.E. Stutzman, Microstructural Modeling of Self-Desiccation During Hydration, Lund, Sweden, in: B. Persson, G. Fagerlund (Eds.), Proceeding of an Int. Research Seminar Self-Desiccation and Its Importance in Concrete Technology, 1997, pp. 132-140.
- [5] A. Bentur, S. Igarashi, K. Kovler, Control of autogenous shrinkage stresses and cracking in high strength concretes, Proc. of 5th Int. Symp. of High Strength/High Performance Concrete Sandefjord, Norway, 1999, pp. 1017-1026.
- [6] P. Lura, K. van Breugel, Moisture exchange as a basic phenomenon to understand volume changes of lightweight aggregate concrete at early age, in: V. Baroghel-Bouny, P.C. Aitcin (Eds.), Proc. Int. Workshop on Shrinkage of Concrete Paris, 2000, pp. 533-546.
- [7] S. Zhutovsky, K. Kotler, A. Bentur, Influence of wet lightweight aggregate on autogenous shrinkage of concrete at early ages, in: F.-J. Ulm, Z.P. Bazant, F.H. Wittmann (Eds.), Proc. 6th Int. Conf. Creep, Shrinkage and Durability Mechanics of Concrete and Other Quasi-Brittle materials Cambridge (MA), USA, 2001, pp. 697-702.
- [8] RILEM TC-196, Internal Curing of Concrete, State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 196-ICC, in: K. Kovler, O.M. Jensen (Eds.), RILEM Publications S.A.R.L, France, Bagnaux, 2007, 139 pp.
- [9] P. Schwesinger, G. Sickert, reducing shrinkage in HPC by internal curing by using pre-soaked LWA, Proc. Int. Workshop on Control of Cracking in Early-Age Concrete, Tohoku University, Japan, 2000, pp. 313-318.

# Internal Curing of High-Strength Concrete using Lightweight aggregate

J. Ahmadi<sup>1\*</sup>, A. Panahi<sup>2</sup>, H. Azizi<sup>3</sup>

1- Assist. Prof., Civil Engineering. Dept., Faculty of Eng., Zanzan University

2- Student, Structural Engineering, Faculty of Eng., Zanzan University

3- Student, Structural Engineering, Faculty of Eng., Zanzan University

\* j\_ahmadi@iust.ac.ir

## Abstract:

Due to the effects of shrinkage on concrete, such as creation and propagation of the cracks in concrete volume, reduction of durability and lifetime of concrete structures, and so on; it is crucial to consider some special arrangements to confront with shrinkage strain.

A suitable concrete curing is one of the effective factors in improving the durability of a concrete structure which makes them more sustainable. During the curing procedure -that is generally accompanied with sufficient water support- two major objectives are considered: 1. Hydration products and their penetration in the internal pores and consequently, reduction in porosity that increases the strength and sustainability of concrete. 2. Reduction in shrinkage and volume changes and consequently, reduction of crack probability in the concrete.

There are different methods for curing to keep the internal relative moisture of concrete in an acceptable level. External curing, is a traditional and common method for concrete curing in which the required moisture is provided by sprinkling water or using wet canvas which is sometimes not performed homogeneously. To solve this problem, some modern methods such as internal curing have been developed and used in recent years. It must be noted that, in external curing for concrete element with a low water/cement ratio, water can penetrate just some millimeters inside; while in internal curing, water can be distributed in the whole parts of a concrete element.

Considering the significant role of autogenous shrinkage in the low water/cement-ratio concretes, reduction of the negative effects of autogenous shrinkage strains on the strength and sustainability of concrete are investigated in this research, by providing internal curing conditions using LECA lightweights.

According to the above-mentioned, the main objective of this research is to study the effects of internal curing methods on the autogenous shrinkage of concrete and mechanical properties of the high-strength concrete. For this goal, it's tried to study the absorption specifications; also test the efficiency of internal curing agent, and study its specifications for internal curing. Firstly, some experiments -such as the determination of absorption amount- were uninterruptedly -performed on the internal curing agent as the water reservoirs. Additional tests for determination of autogenous shrinkage, compressive strength, tensile strength, chloride penetration and electrical resistance were also performed to determine the effects of internal curing on the micro-structures and effects of hydration procedure on specimens including LECA and specimens without internal curing.

The materials used in this research include Portland cement/Type I, river aggregates, LECA as an internal curing agent, and some additives. The used LECA in this experiment is classified as fine and their maximum nominal diameter is 4 mm. In all of the concrete mix designs, micro silica is added equal to 10% of cement weight. In order to reach a suitable workability, also to reduce the water-cement ratio Glenium plasticizer, that is a polymer based on poly-carboxylic, is added to the mix design.

According to the obtained results, it was observed that LECA is capable to omit the autogenous shrinkage in concrete, but the presence of LECA causes reduction in concrete strength in the concrete specimens.

**Keywords:** High-Strength Concrete, Internal Curing of Concrete, Autogenous Shrinkage, Light Weight Aggregate