

## اثر عمل آوری داخلی بر مقاومت فشاری بتن سبک با استفاده از سبکدانه های لیکا با عیار سیمان مختلف

حمیدرضا ایرانی<sup>۱</sup>، وحید رحیمی<sup>۲</sup>، بهروز حسینی<sup>۳</sup>، سید علیرضا نصرتی<sup>۴</sup>

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود- دانشکده عمران و معماری

۲- جهاد دانشگاهی استان سمنان - معاونت پژوهشی

۳- دانشگاه صنعتی شاهرود - دانشکده عمران و معماری

۴- دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود- دانشکده عمران و معماری

:

VahidRahimi1363@yahoo.com

### خلاصه

در این مقاله به بررسی تاثیر عیار سیمان بر مقاومت فشاری بتن سبک با استفاده از سبکدانه های لیکا به عنوان مصالحی برای عمل آوری داخلی بتن پرداخته خواهد شد. لیکا به عنوان ماده ای جاذب رطوبت می تواند پس از اشباع شدن در آب و قرار گرفتن در ساختار بتن، آب جذب شده را در زمانی طولانی به بتن پس داده و باعث تداوم هیدراسیون سیمان در دوره عمل آوری شود. در این مقاله به منظور تعیین میزان تاثیر سیمان مصرفی در خصوصیات بتن سبک که با استفاده از دانه های لیکا عمل آوری داخلی می شوند با استفاده از یک روش سیستماتیک بتن هایی با عیارهای سیمان متفاوت ساخته شد. نمونه ها در دو محیط خشک و مرطوب نگهداری شدند. سپس برای سنجش تاثیرات عیار سیمان بر عمل آوری خارجی در مجاورت رطوبت و عمل آوری داخلی بوسیله مصالح سبکدانه لیکا آزمایش مقاومت فشاری برای سنجش میزان تغییرات در دو نوع عمل آوری بر روی بتن ها با عیارهای سیمان مختلف صورت گرفت. نتایج نشان دادند که استفاده از عیار سیمان پایین در عمل آوری داخلی بتن سبک از طریق اشباع سبکدانه های لیکا در آب تاثیر مناسبی در کسب مقاومت فشاری بتن سبک دارد. در پایان نتایج تحقیق از طریق نمودارها و جداول ارائه شده و مقدار و نوع بهینه استفاده از این مصالح نیز تبیین گردید.

کلمات کلیدی: بتن سبک، عیار سیمان، لیکا، عمل آوری داخلی، مقاومت فشاری.

### ۱. مقدمه

یکی از مهمترین تفاوتها بین ترکیبات بتن معمولی و بتن سبک استفاده از مصالح سنگی سبک است. این مصالح علاوه بر سبک سازی وزن بتن سبک، به دلیل خلل و فرج موجود در ساختار خود برای عمل آوری داخلی بتن نیز کاربرد داشته باشند[۱]. برای بتن های معمولی، یکی از روشهای بسیار موثر، عمل آوری مرطوب در مجاورت آب است. علاوه بر این، عمل آوری از طریق منابع آب داخلی نیز می تواند انجام شود. این نوع از عمل آوری که به عمل آوری داخلی معروف است در دهه ۷۰ رشد چشمگیری داشته است[۲]. روشهای مختلف عمل آوری براساس پیشنهاد کمیته فنی RILEM با نام مخفف TC-196 ICC طبقه بندی شده است[۳]. RILEM عمل آوری داخلی را به این صورت تعریف نمود: عمل آوری داخلی اشاره به وارد کردن یک ترکیب به داخل بتن دارد، بطوریکه بتواند به عنوان یک ماده عمل آورنده در داخل بتن قرار گیرد. این ماده می تواند یا یک سنگدانه باشد که در شرایط ویژه ای وارد بتن شده است (مثل حالت اشباع) و یا یک افزودنی ویژه باشد[۵،۴]. تعریفی که مؤسسه بتن آمریکا (ACI Committee) در مورد عمل آوری داخلی دارد، با تعریف ارائه شده توسط مؤسسه RILEM کمی متفاوت است.

Hr\_irani@iau-shahrood.ac.ir  
VahidRahimi1363@yahoo.com  
B\_hassani@iust.ac.ir  
Nosrati.alireza@gmail.com

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد عمران، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی شاهرود؛  
<sup>۲</sup> کارشناس عمران، جهاد دانشگاهی سمنان، استان سمنان؛  
<sup>۳</sup> دانشیار گروه مهندسی عمران دانشکده عمران و معماری، دانشگاه صنعتی شاهرود؛  
<sup>۴</sup> لیسانس عمران، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی شاهرود؛

طبق این تعریف عمل آوری داخلی به فرایندی گفته می شود که عمل هیدراسیون به علت در دسترس بودن آب داخلی اضافی پیشرفت می کند که این آب قسمتی از آب مخلوط نمی باشد [۶]. عمل آوری داخلی یکی از انواع روشهای عمل آوری بتن محسوب می شود که نیازی به عمل آوری به صورت خارجی نیست [۶]. این روش که به روش شیمیایی خود عمل آورنده معروف است، شامل اضافه کردن یک ماده حل شونده در آب نظیر پلیمرهای گلیکول (پلی اتیلن گلیکول) در طول فرایند مخلوط کردن بتن می باشد، که تبخیر آب از بتن سخت شده را به تأخیر می اندازد و یا کاهش می دهد. همچنین از اتلاف و جذب آب توسط لایه های زیرین بتن جلوگیری می کند. این افزودنی ها حفاظت آبی را در بتن ارتقاء داده و باعث بالا رفتن درجه هیدراسیون بتن می شوند همچنین باعث افت فشار بخار آب و در نتیجه کاهش تبخیر آب خواهند شد. مزیت های استفاده از این مواد زمانی مشهود است که نگهداری آب برای چنین مخلوطهایی، با بتن های معمولی مقایسه می شود. بتن های خود عمل آورنده در مقایسه با بتن های معمولی کمتر در معرض فرایند خود خشک شدن قرار دارند. از طرفی در بتن های خود عمل آورنده شرایط هیدراسیون بهتر خواهد شد. این مطلب را هم می توان از مقایسه میزان نفوذ پذیری بتن های خود عمل آورنده با بتن های معمولی نتیجه گرفت زیرا که در این نوع از بتن ها میزان کاهش نفوذ پذیری با زمان بیشتر از بتن های معمولی است [۷]. در مورد عوامل تاثیر گذار بر خواص بتن های عمل آوری شده از طریق فرایند عمل آوری داخلی تحقیقات در آغاز راه قرار دارد و میزان تاثیر عواملی همچون میزان عیار سیمان موجود در نمونه ها که موضوع این مقاله می باشد نیاز به بررسی های جامع و کامل دارد.

## ۲. مصالح سبک جاذب رطوبت

تحقیقات زیادی نشان داده اند که استفاده از مصالح سنگی سبک فرایند عمل آوری داخلی را راحت تر ساخته است [۹،۸]. لیکا خاک رس منبسط شده ای است که در یک کوره دوار حرارت داده شده و در طی این فرایند بعلا انتشار گازهای ناشی از مواد آلی موجود در رس حالت متخلخل به خود می گیرند [۷]. حفرات بسیار زیادی در طی فرایند انبساط خاک رس ایجاد می شود که اندازه آنها از چند میکرومتر تا چند صد میکرومتر متغیر است. تخلخل کلی دانه های لیکا ممکن است بیش از ۸۰٪ باشد. بر اساس آزمایشات انجام شده که توسط نفوذپذیری جیوه صورت گرفته است اندازه حفرات و خلل و فرج باز این مصالح بین ۷۰ تا ۳۵۰ میکرومتر می باشد، اما باید گفت که حفرات با اندازه ۱۰۰ میکرومتر حجم حفرات را تشکیل می دهند. به همین دلیل آبی که توسط لیکا جذب می شود آزادانه برای عمل آوری داخلی در دسترس خواهد بود [۱۰]. میزان آبی که طی فرایند عمل آوری و هیدراسیون در دسترس خمیر سیمان قرار می گیرد به این صورت است که هنگامیکه آب محیط اطراف یک مصالح سبک (LWA) به طرف ذرات سیمان در حال هیدراته شدن منتقل می شود، آب جذب شده توسط LWA جایگزین این آب می شود تا شرایط اشباع در داخل خمیر سیمان حفظ شود که این امر باعث کاهش رطوبت موجود در LWA می شود. آبی که در LWA وجود دارد باید به طور مؤثر در فرایند هیدراسیون شرکت کند و قبل از اینکه رطوبت نسبی داخلی به ۸۵ تا ۹۰ درصد برسد، از آزاد شدن آن کاملاً مطمئن گردید [۱۱]. توان جذب آب ۳۰ دقیقه ای ذرات سبکدانه رسی منبسط شده که دارای سطح آب بند (پوشش دار) و کیفیت خوب می باشند، اندکی بیش از نصف توان جذب همان ماده (در صورتی که پوشش سطحی آن به وسیله برش دادن ذرات برداشته شده باشد) خواهد بود [۱۲]. در فرایند استفاده از این مواد دو نکته از اهمیت بالایی برخوردار است اول اینکه استفاده از مصالحی با ریزی بیشتری در دانه بندی باعث خواهد شد که فاصله بین ذرات کاهش یابد بطوریکه آب موجود مجبور نباشد یک فاصله طولانی را برای از بین بردن خود خشک شدن در بتن پوشش دهد. دوم اینکه مقدار آب در LWA باید به گونه ای باشد که میزان استفاده از این مواد را به حداقل برساند. مکانیسم اولیه ای که برای نگهداری آب در این مواد قابل پیش بینی است، نیروهای موئینه است. و بر طبق تحقیقات انجام شده فقط حفراتی که اندازه تقریبی آنها بیش از ۱۰۰nm است برای عمل آوری داخلی مفید می باشند [۱۳]. در حفرات با اندازه های کوچکتر آب به گونه ای نگهداری می شود که آب لازم برای واکنش های سیمانی به راحتی قابل دسترس نخواهد بود [۸].

## ۳. برنامه آزمایشگاهی و مصالح مصرفی

در این بخش به بیان مصالح مصرفی، فعالیتهای آزمایشگاهی این تحقیق پرداخته خواهد شد. برای انجام این تحقیق با یک روش سیستماتیک و تعیین طرح اختلاط های مرجع، ۸ سری نمونه بتن سبک ساخته شد. برای سنجش تاثیر محیط عمل آوری بر مقاومت فشاری بتن سبک، از هر طرح اختلاط دو سری نمونه ساخته شد. یک سری از نمونه ها پس از ۲۴ ساعت از قالب ها باز شده و در محیط آب برای عمل آوری مرطوب خارجی قرار گرفتند. سری دوم نمونه ها که با طرح اختلاط مشابه ساخته شدند، پس از اینکه از قالب باز شدند در مجاورت هوا قرار داده شده تا تاثیر عمل آوری داخلی و

میزان تفاوت و اختلاف بر مقاومت فشاری بتن سبک در دو نوع عمل آوری مشخص شود. برای آزمایش مقاومت فشاری از نمونه های استوانه ای  $150 \times 300$  mm در دوره های ۷، ۲۸ و ۹۰ روز استفاده شد. لذا مجموعاً از هر طرح اختلاط ۶ نمونه ساخته شد.

### ۳.۱ سبکدانه لیکا و دانه بندی آن

در بتن سبک دانه بندی عمدتاً بر مقدار آب امتزاجی لازم برای کارآئی مناسب بتن اثر می گذارد. افزایش نسبت مصالح ریزدانه، افزایش مقدار آب لازم را همراه دارد و این مسئله سبب کم شدن مقاومت بتن می گردد، مگر اینکه مقدار سیمان نیز افزایش داده شود. بنابراین نسبت مواد درشت دانه و حداکثر اندازه دانه ها باید همیشه تا حدی باشد که الزامات حصول کارآئی مطلوب اجازه می دهد. استفاده از دانه های خیلی درشت مصالح سبک وزن در بتن سبک سبب می شود بتن تا حدی به علت مقاومت کمتر مصالح و تا حدی نیز در نتیجه سست شدن زمینه دور مصالح ضعیف گردد. بنابراین باید حداکثر اندازه دانه ها به ۲۵ میلیمتر محدود گردد. وجود دانه های با حداکثر اندازه کمتر و نسبت زیادی مصالح ریز دانه ممکن است مقاومت را بالا ببرد ولی در این صورت چگالی بتن افزایش خواهد یافت [۱۴]. ماسه طبیعی (معمولاً ماسه رودخانه ای) اغلب جهت بهبود کارآئی، کاهش انقباض بتن تازه، افزایش مقاومت بتن و یا بدلیل اقتصادی بودن بیشتر بکار می رود اما این امر سبب می شود چگالی بتن به میزان چشمگیری افزایش یابد. هنگام استفاده از ماسه طبیعی، اختلاف چگالی بین مخلوط سیمان، مصالح ریز و مصالح درشت دانه افزایش یافته و سبب تفکیک مواد متشکله می گردد. برای ممانعت از پدیده تفکیک مواد، مهم است که در مخلوط مقدار کافی ریز دانه به ابعاد ۲۵ میلیمتر و یا کمتر بکار رود. توصیه هایی در مورد اندازه دانه بندی مصالح وجود دارد [۱۴]. لذا در این پژوهش حداکثر بعد سنگدانه های سبک لیکا به ۱۶ mm محدود شد. در مجموع ۲ نوع سنگدانه سبک در طرح اختلاط ها به کار رفت، سنگدانه های با اندازه دانه بندی ۸-۴ و دانه بندی ۱۶-۸ میلیمتر که دانه های متوسط نامیده می شوند. در هنگام ساخت نمونه ها ماسه با حدود اندازه ۴/۷۵-۰ میلیمتر به میزان ۱۰ درصد وزن مصالح سبکدانه به مخلوط اضافه شد.

### ۳.۲ نسبت آب به سیمان و فوق روان کننده

نسبت آب به سیمان روی قابلیت نفوذ پذیری بتن در مقابل آب یا تخلخل موئینه آن موثر است. نسبت آب به سیمان با توجه به طرح اختلاط و میزان مصالح مصرفی متغییر و در محدوده ۵۰ تا ۵۸٪ انتخاب شد. برای عمل آوری نمونه ها از آب شرب شهری استفاده شد. فوق روان کننده ها مواد آلی یا ترکیبی از مواد آلی و معدنی هستند که سبب کاهش در میزان آب مصرفی و افزایش مقاومت فشاری و بهبود برخی خواص بتن می شوند. بدلیل ریز بودن بیش از حد میکروسیلیس در صورت استفاده از نسبت آب به سیمان کم، کارآئی بتن به شدت پایین می آید. لذا استفاده از فوق روان کننده میتواند این نقیصه را جبران نماید [۱۵]. در این تحقیق از فوق روان کننده بر پایه پلی کریوسیلیک اتر (مطابق با استاندارد ASTM C494) استفاده شد. میزان استفاده از فوق روان کننده با توجه به میزان آب مخلوط و تجربیات گذشته بین ۰/۸ تا ۱ درصد سیمان بکار برده شد [۱۷،۱۶].

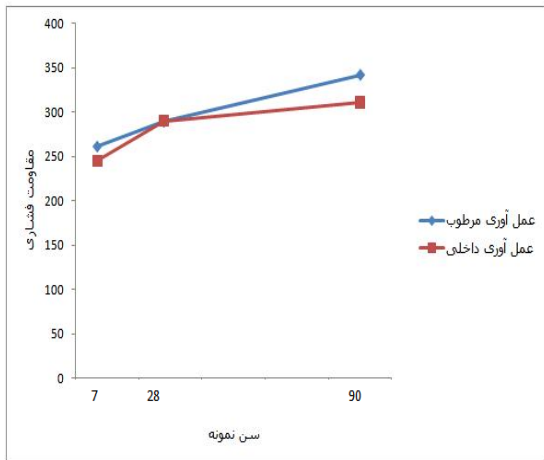
### ۳.۳ سیمان و میکروسیلیس

سیمان مورد استفاده در طرح های اختلاط، سیمان تیپ II با چگالی ویژه  $3/15 \text{ gr/cm}^3$  و بلین  $3200 \text{ gr/cm}^2$  می باشد. ۸ مقدار مختلف ۴۰۰ تا  $470 \text{ kg/m}^3$  سیمان برای ساخت بتن مورد استفاده قرار گرفته است. بر اساس تحقیقات انجام شده استفاده از ۵ درصد میکروسیلیس سیمان در نسبت آب به سیمان کمتر از ۴۳ درصد و ۱۵ درصد میکروسیلیس در نسبت های بیشتر توصیه شده است [۱۶].

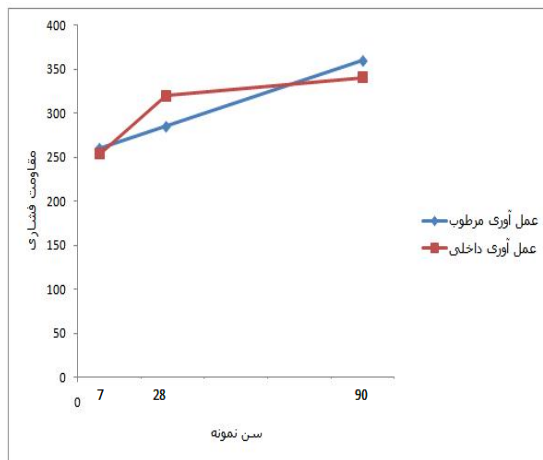
### ۴. نتایج و بحث

از آنجایی که مقاومت فشاری ۷، ۲۸ و ۹۰ روز معیار مورد قبولی برای سنجش مقاومت فشاری نمونه ها می باشد، لذا در این پژوهش نمونه ها در این دوره های زمانی مورد آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفتند. آزمایش مقاومت فشاری در هر یک از دو حالت عمل آوری مرطوب خارجی و عمل آوری داخلی در این دوره های زمانی بر روی نمونه ها انجام شد. جدول شماره ۲ مشخصات طرح های اختلاط و نتایج آزمایش مقاومت فشاری را برای نمونه های بتن سبک نشان می دهد. برای نمایش و تحلیل مناسب، نتایج آزمایش های مقاومت فشاری در سنین مختلف از طریق شکل های ۱ الی ۸ نشان

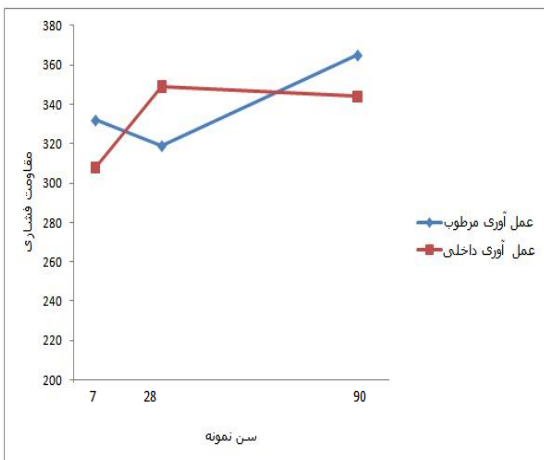
داده شده اند. در این نمودارها نتایج آزمایش های مقاومت فشاری بر روی نمونه هایی با مشخصات یکسان که به دو صورت عمل آوری مرطوب خارجی و عمل آوری داخلی ساخته شده اند نمایش داده می شود.



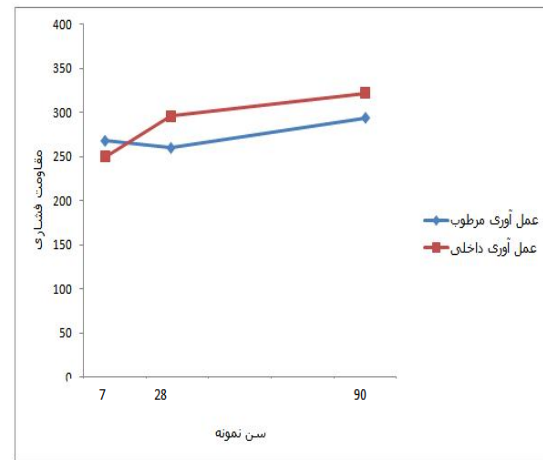
شکل ۲. نمودار مقاومت فشاری برای سیمان ۴۱۰



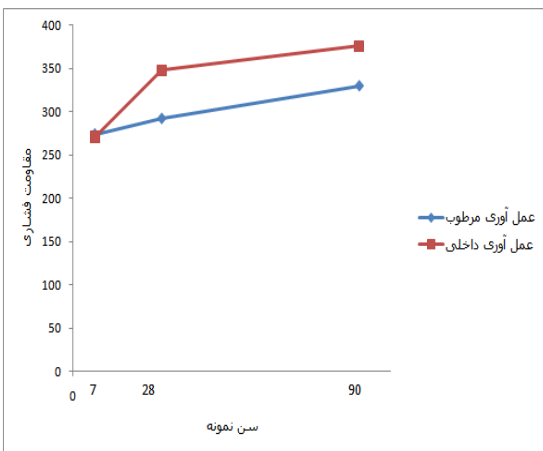
شکل ۱. نمودار مقاومت فشاری برای سیمان ۴۰۰



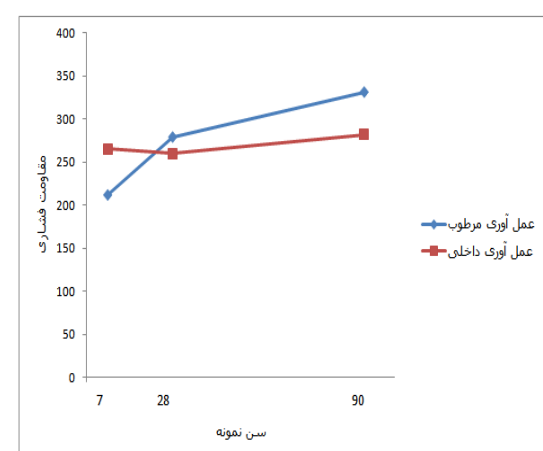
شکل ۴. نمودار مقاومت فشاری برای سیمان ۴۳۰



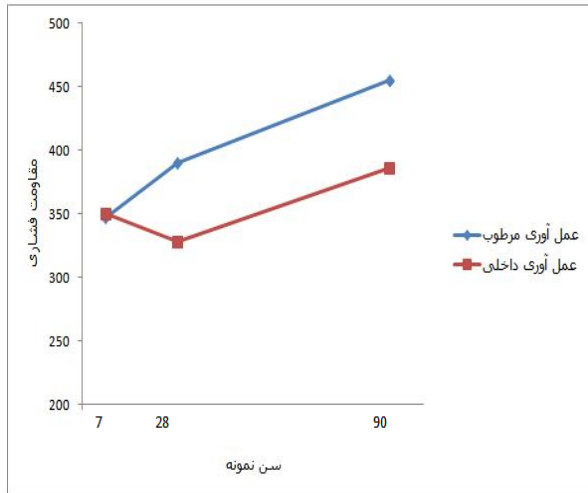
شکل ۳. نمودار مقاومت فشاری برای سیمان ۴۲۵



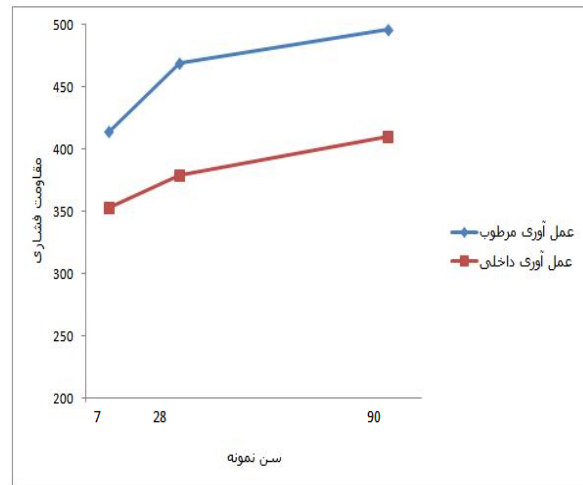
شکل ۶. نمودار مقاومت فشاری برای سیمان ۴۵۰



شکل ۵. نمودار مقاومت فشاری برای سیمان ۴۴۰



شکل ۸. نمودار مقاومت فشاری برای سیمان ۴۷۲



شکل ۷. نمودار مقاومت فشاری برای سیمان ۴۶۰

همانگونه که در شکل ۱ مشخص است در عیار سیمان  $400 \text{ Kg/m}^3$  مقاومت فشاری نمونه بتن سبک با عمل آوری داخلی در سن ۲۸ روز بیشتر از مقاومت فشاری نمونه های با عمل آوری مرطوب داخلی است، بعلاوه در این نمونه ها در سن ۷ و ۹۰ روز نیز مقاومت فشاری نمونه های با عمل آوری داخلی اندکی کمتر از عمل آوری مرطوب خارجی است که این مقدار با توجه به رشد مقاومت ناچیز است. با افزایش سن بتن از ۲۸ به ۹۰ روز، آهنگ افزایش مقاومت فشاری در نمونه با عمل آوری داخلی نسبت به نمونه با عمل آوری مرطوب خارجی کندتر رشد پیدا می کند. این اتفاق در سایر نمونه ها با توجه به شکل های ۱ الی ۸ نیز روی می دهد. علت این امر را می توان در کاهش منابع آب داخلی در بتنهای با عمل آوری داخلی حدس زد. در این بتنهای آب جذب شده از طریق سبکدانه لیکا طی ۲۸ روز کاملاً در فرایند هیدراسیون وارد شده و باعث افزایش مناسب مقاومت فشاری می شود. همانگونه که در شکل های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۶ دیده می شود، مقاومت ۲۸ روزه نمونه های با عمل آوری داخلی بیشتر از نمونه های با عمل آوری مرطوب خارجی است. ولی با گذشت زمان و اتمام این آب، آهنگ افزایش مقاومت فشاری در بتن های با عمل آوری مرطوب خارجی به دلیل در دسترس بودن محیط مرطوب با سرعت بیشتری رو به رشد می باشد. این امر با توجه به مقاومت ۹۰ روزه نمونه ها در دو نوع عمل آوری در شکل های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ مشخص است. افزایش عیار سیمان در نمونه ها موجب افزایش کلی مقاومت فشاری در هر دو سری نمونه می شود. اما با توجه به نمودارهای ۵، ۷ و ۸ می توان به این نکته پی برد که در پی بالا رفتن عیار سیمان مصرفی در نمونه ها، مقاومت فشاری در نمونه های با عمل آوری مرطوب خارجی در اغلب سنین به خصوص سن ۲۸ و ۹۰ روز نسبت به عمل آوری داخلی افزایش می یابد. با بررسی به عمل آمده و تحلیل این نتایج می توان این امر را ناشی از فراهم بودن رطوبت کافی برای هیدراسیون مواد سیمانی در نمونه های با عمل آوری مرطوب خارجی دانست. از طرفی در نمونه های با عمل آوری داخلی، از آنجا که رطوبت کافی برای هیدراسیون مواد سیمانی وجود ندارد، با افزایش میزان سیمان مصرفی این مواد سیمانی وارد واکنش هیدراسیون نشده و به صورت بی اثر در بتن باقی می ماند و موجب ضعف ساختار بتن می گردند. لذا باید توجه داشت در صورتی که برای نمونه های بتن سبک، عمل آوری داخلی برای کسب مقاومت بکار رود، باید از عیار سیمان پایین در ساخت نمونه ها استفاده شود. بر طبق نتایج این تحقیق حداکثر سیمان مناسب برای عمل آوری داخلی نمونه های بتن سبک  $430 \text{ Kg/m}^3$  می باشد. با توجه به میزان مقاومت فشاری بدست آمده از نمونه های با عمل آوری داخلی که در برخی موارد مقاومتی بالاتر از بتن های با عمل آوری مرطوب خارجی نشان می دهند و در بقیه موارد نیز کاهش مقاومت آنها نسبت به نمونه های با عمل آوری مرطوب خارجی ناچیز و قابل چشم پوشی است، به نظر می رسد استفاده از این روش عمل آوری داخلی برای نمونه های بتن سبک با عیار سیمان پایین مناسب می باشد.

جدول ۲. مشخصات طرح های اختلاط و نتایج آزمایش مقاومت فشاری

| طرح اختلاط | عیار سیمان (Kg/m <sup>3</sup> ) | W/C (%) | SF/C (%) | SP/C (%) | عمل آوری مرطوب                     |         |         | طرح اختلاط | عیار سیمان (Kg/m <sup>3</sup> ) | W/C (%) | SF/C (%) | SP/C (%) | عمل آوری داخلی                     |         |         |
|------------|---------------------------------|---------|----------|----------|------------------------------------|---------|---------|------------|---------------------------------|---------|----------|----------|------------------------------------|---------|---------|
|            |                                 |         |          |          | مقاومت فشاری (kg/cm <sup>2</sup> ) |         |         |            |                                 |         |          |          | مقاومت فشاری (kg/cm <sup>2</sup> ) |         |         |
|            |                                 |         |          |          | ۷ روزه                             | ۲۸ روزه | ۹۰ روزه |            |                                 |         |          |          | ۷ روزه                             | ۲۸ روزه | ۹۰ روزه |
| Mix1       | ۴۰۰                             | ۰/۵۸    | ۱۵       | ۰/۸      | ۲۶۰                                | ۲۸۵     | ۳۶۰     | Mix1       | ۴۰۰                             | ۰/۵۸    | ۱۵       | ۰/۸      | ۲۵۴                                | ۳۲۰     | ۳۴۱     |
| Mix2       | ۴۱۰                             | ۰/۵۷    | ۱۵       | ۰/۸      | ۲۶۱                                | ۲۸۹     | ۳۴۲     | Mix2       | ۴۱۰                             | ۰/۵۷    | ۱۵       | ۰/۸      | ۲۴۵                                | ۲۹۰     | ۳۱۱     |
| Mix3       | ۴۲۵                             | ۰/۵۵    | ۱۵       | ۰/۸      | ۲۶۸                                | ۲۶۰     | ۲۹۴     | Mix3       | ۴۲۵                             | ۰/۵۵    | ۱۵       | ۰/۸      | ۲۵۰                                | ۲۹۶     | ۳۲۲     |
| Mix4       | ۴۳۰                             | ۰/۵۴    | ۱۵       | ۰/۸      | ۲۷۴                                | ۲۹۲     | ۳۳۰     | Mix4       | ۴۳۰                             | ۰/۵۴    | ۱۵       | ۰/۸      | ۲۷۱                                | ۳۴۸     | ۳۷۶     |
| Mix5       | ۴۴۰                             | ۰/۵۳    | ۱۵       | ۰/۸      | ۲۱۲                                | ۲۷۹     | ۳۳۱     | Mix5       | ۴۴۰                             | ۰/۵۳    | ۱۵       | ۰/۸      | ۲۶۵                                | ۲۶۰     | ۲۸۲     |
| Mix6       | ۴۵۰                             | ۰/۵۱    | ۱۵       | ۱        | ۳۳۲                                | ۳۱۹     | ۳۶۵     | Mix6       | ۴۵۰                             | ۰/۵۱    | ۱۵       | ۱        | ۳۰۸                                | ۳۴۹     | ۳۴۴     |
| Mix7       | ۴۶۰                             | ۰/۵۰۵   | ۱۵       | ۱        | ۳۴۷                                | ۳۹۰     | ۴۵۵     | Mix7       | ۴۶۰                             | ۰/۵۰۵   | ۱۵       | ۱        | ۳۵۰                                | ۳۲۸     | ۳۸۶     |
| Mix8       | ۴۷۴                             | ۰/۵۰    | ۱۵       | ۱        | ۴۱۴                                | ۴۶۹     | ۴۹۶     | Mix8       | ۴۷۴                             | ۰/۵۰    | ۱۵       | ۱        | ۳۵۳                                | ۳۷۹     | ۴۱۰     |

## ۵. نتیجه گیری

- عمل آوری داخلی نسبت به عمل آوری مرطوب خارجی در بتن سبک سازه ای از لحاظ اجرایی و اقتصادی در صنعت مناسب تر و کاربردی تر است.
- در نمونه های بتن با عمل آوری داخلی، حداکثر عیار سیمان ۴۳۰ Kg/m<sup>3</sup> برای کسب مقاومت های مناسب توصیه می شود.
- مقاومت فشاری ۲۸ روز اغلب نمونه های با عمل آوری داخلی نسبت به بتن های با عمل آوری مرطوب خارجی بیشتر است.
- با افزایش سن نمونه های بتنی، آهنگ افزایش مقاومت فشاری نمونه های با عمل آوری مرطوب خارجی بیشتر از نمونه های با عمل آوری داخلی است. لذا توصیه می شود در بتن هایی که با روش عمل آوری داخلی ساخته می شوند، پس از سن ۲۸ روز رطوبت خارجی نیز تا حدودی برای عمل آوری نمونه ها استفاده شود. میزان این رطوبت نیاز به تحقیقات وسیع تر دارد.
- نتایج این تحقیق متناسب با شرایط منطقه و مصالح مورد استفاده می باشد و توصیه می گردد در صورتی که تصمیم برای استفاده از این روش وجود دارد، تحقیقات تکمیلی و منطقه ای با توجه به شرایط محیطی و مصالح مصرفی انجام پذیرد.

## ۶. مراجع

- [1]. Dhir, R.K.; Hewlett, P.C.; Lota, J.S.; and Dyer, T.D., "An Investigation into the Feasibility of Formulating 'Self-Cure' Concrete" Materials & Structures, V. 27, No. 174, 1994, pp. 606-615.
- [2]. Bentz DP, Jensen OM (2004) " Mitigation Strategies for autogenous Shrinkage Cracking " Cem Comp 26(6): 677-685.
- [3]. Konstantin Kovler and Ole. Jensen. " Novel Techniques for Concrete Curing ". Concrete International / September 2005.
- [4]. Hoa Lam., " Effect of Internal Curing Methods on Restrained shrinkage and Permeability ". Thesis for Fulfillment of PHD Work at the University of Toronto (2005).
- [5]. Daniel Cusson and Ted Hoogveen " Internal curing of high-performance concrete with pre-soaked lightweight aggregate sand for prevention of autogenous shrinkage cracking " National Research Council Canada, Ottawa, Ontario, Canada, K1A 0R6 (2008).

- [6]. Jensen OM, P.F. Hansen, " Models to Support justification for international water curing ", Materials & Structures, V.27, No. 174, 2005, pp. 606-615.
- [7]. Neville AM and J.J Brooks, " Concrete Technology ", Co published in the United States with John Wiley & Sons, Inc (1987).
- [8]. Lura P, Bentz DP, Lange DA, Kovler K, Bentur A(2004)" Pumice aggregates for internal water curing " In: Kovler K, Marchand J, Mindess S, Weiss J(eds)PRO 36:proc.int.RILEM Symp. on concrete science and engineering – a tribute to Arnon Bentur ,24 March,2004,Northwestern University, Evanston , Illinois, RILEM Publications, S.A.R.L.PP 137-151.
- [9]. Pietro Lura, " Internal Water Curing with Liapor aggregates ", Department Civil Engineering Technical University of Denmark. HERON, Vol. 50, No 1 (2005).
- [10]. Pietro Lura, Jan Bisschopon, " the Origin of Eigen stresses in Lightweight aggregate Concrete ", Cement & Concrete composites 26 (2004) 445-452.
- [11]. Dale P. Bentz , Phillip M. Halleck, Abraham S. Grader, and John W. Roberts., " water Movement during Internal Curing ", Concrete international / October 2006.
- [12]. M.-H. ZHANG and O. E. GJORV, " Characteristics of lightweight aggregate for high- strength concrete ", ACI Materials Journal, 88, No. 2, pp. 150-8 (1991).
- [13]. Konstantin Kovler and Ole. Jensen, " Novel Techniques for Concrete Curing " Concrete international / SEPTEMBER 2005.
- [۱۴]. فامیلی، هرمز. حکیمما، بهروز، «بتن دانه سبک»، انتشارات جهاددانشگاهی دانشگاه علم و صنعت، چاپ دوم.
- [15]. Nazarali G, Jandaghi Alae F. A, " Practical Ultra High Performance Concrete ", 2nd International Conference on Seismic Retrofitting with the focus on Concrete Technology, Tabriz, Iran, 2009.
- [16]. Aminiyan P, Rahimi V, Nosrati S.A, " Producing High Strength Concrete with Semnan Province Material ", 2nd International Conference on Seismic Retrofitting with the focus on Concrete Technology, Tabriz, Iran, 2009.
- [17]. Ameri M, Hassani B, Rahimi V, Nosrati S.A, " Effect of Wooden Chips on the Compressive Strength of Lightweight Concrete ", 2nd International Conference on Seismic Retrofitting with the focus on Concrete Technology, Tabriz, Iran, 2009.





Office of International Conferences  
on Seismic Retrofitting



Iranian Retrofitting  
Researchers Ins.

*This Scroll is presented to*

**B. Hassani**

*In recognition of Poster Presenting paper titled:*

**Effect Of Internal Curing By Lica Aggregate  
In Lightweight Concrete With Different Cement Content**

*in 3rd International Conference on  
Seismic Retrofitting  
with the focus on Bridge, Lifeline Engineering  
and Concrete Technology, held in  
Petroshimi Cultural Complex, Tabriz, Iran,  
20th - 22th October 2010.*

*Dr. Y. Zand*  
Conference Coordinator



*Dr. S. Mohasseb*  
Conference Scientific Coordinator

دبیرخانه دانشی کنفرانس های  
مقاوم سازی کشور

*S. Mohasseb*