

## Daily variation measurement of water and air temperatures inside the semi-full water storage tanks which have solid and porous concrete walls

Milad Vahdatifar<sup>1</sup>, Hojat Karami<sup>2\*</sup>, Sayed-Farhad Mousavi<sup>3</sup>, Saeed Farzin<sup>4</sup>

1- MSc. student, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

2- Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

3- Professor, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

4- Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

### ABSTRACT

Nowadays, access to safe drinking water is a major challenge in most arid and semi-arid regions of the world. Due to the low cost of raw materials for construction of concrete tanks, these types of structures are common in many areas where water problems are encountered. This study explores the use of porous concrete by utilizing the idea of old water storage tanks (Ab-Anbars), which played an important role in water storage for remote areas, rural and small towns until three to four decades ago, and their effect on water temperature. At the water-storage tanks' walls, effect of air passage through the porous concrete on the water inside the tanks is studied. For further investigation, LECA (5% by weight of the aggregates) was used as an additive to porous concrete and 3 replicates of this specimen and control specimen were made. Daily ambient temperature and humidity were measured by the respective sensors of digital thermometer and hygrometer, and inside temperature of the tanks was measured with two industrial sensors, one in the middle of the tank water and one in the middle of the open space of the tank, in the warmest hour of the day (14:30 pm) in spring and summer of 2019. Results showed that mean water temperature of the specimen containing LECA was lower than mean water temperature of control specimen and mean air temperature of control specimen was higher than mean air temperature of the specimen containing LECA. Mean air and water temperatures inside the tanks were always less than mean ambient temperature. Also, porosity, permeability and compressive strength of the porous concrete were investigated. Results showed that the compressive strength and porosity of the specimen containing LECA were higher than the control specimen and its permeability was insignificantly lower than the control specimen.

### ARTICLE INFO

**Receive Date:** 09 February 2020

**Revise Date:** 12 November 2020

**Accept Date:** 04 May 2021

### Keywords:

Concrete tanks

Porous concrete

Porosity

Permeability

Compressive strength

Additive

Water temperature

Air temperature

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.219151.2076>

\*Corresponding author: Hojat Karami

Email address: hkarami@semnan.ac.ir

## اندازه‌گیری تغییرات روزانه دمای آب و هوای داخل مخازن ذخیره آب با جداره بتن و بتن متخلخل

میلاذ وحدتی فر، حجت کرمی<sup>۲\*</sup>، سید فرهاد موسوی<sup>۳</sup>، سعید فرزین<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۳- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۴- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

### چکیده

امروزه دسترسی به آب شرب سالم در اکثر مناطق خشک و نیمه خشک جهان چالشی مهم می‌باشد. به دلیل ارزان بودن مواد اولیه ساخت مخازن بتنی، این نوع از سازه‌ها در بسیاری از مناطقی که با مشکل آبی مواجه هستند، مرسوم می‌باشد. این تحقیق با بهره‌گیری از ایده آب‌انبارهای قدیمی، که تا سه چهارم دهه پیش نقش مهمی در ذخیره آب در مناطق دور افتاده، روستایی و شهرهای کوچک داشتند، و تأثیرگذاری آنها بر دمای آب، به بررسی کاربرد بتن متخلخل در جداره‌های مخازن ذخیره آب و تأثیر عبور هوا از محیط متخلخل این بتن می‌پردازد. برای بررسی بیشتر، از افزودنی لیکا به مقدار ۵ درصد وزنی سنگدانه‌ها نیز استفاده گردید و از این نمونه و نمونه شاهد سه تکرار ساخته شد. اندازه‌گیری روزانه دما و رطوبت نسبی محیط با دستگاه دماسنج و رطوبت‌سنج دیجیتال به وسیله حسگر مربوطه و دمای آب و هوای داخل مخازن با دو دماسنج صنعتی، یکی در بخش حاوی آب مخزن و یکی در بخش بدون آب، در گرمترین ساعت روز (۱۴:۳۰) در فصول بهار و تابستان ۱۳۹۸ انجام شد. نتایج نشان داد که میانگین دمای آب نمونه حاوی لیکا نسبت به میانگین دمای آب نمونه شاهد کمتر می‌باشد. میانگین دمای هوای داخل مخزن نمونه شاهد نسبت به نمونه حاوی لیکا کمی بیشتر بود. میانگین دمای آب و هوای داخل مخازن، همواره از میانگین دمای محیط کمتر بود. همچنین، تخلخل، نفوذپذیری و مقاومت فشاری بتن متخلخل نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقاومت فشاری و تخلخل نمونه حاوی لیکا بیشتر از نمونه شاهد است و نفوذپذیری با اختلاف بسیار کمی از نمونه شاهد کمتر می‌باشد.

کلمات کلیدی: مخازن بتنی، بتن متخلخل، تخلخل، نفوذپذیری، مقاومت فشاری، افزودنی، دمای آب، دمای هوا

سابقه مقاله:		شناسه دیجیتال:			
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.219151.2076
۱۳۹۸/۱۱/۲۰	۱۳۹۹/۰۸/۲۲	۱۴۰۰/۰۲/۱۴	۱۴۰۰/۰۲/۱۴	۱۴۰۰/۱۲/۲۹	doi: 10.22065/jsce.2021.219151.2076
*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:		حجت کرمی hkarami@semnan.ac.ir			

## ۱- مقدمه

در حال حاضر، در کشورهایی مانند ایران، رشد روزافزون جمعیت، چالش تغییر اقلیم و اثرات خشکسالی، توزیع نامتقارن مکانی و زمانی آب شیرین به لحاظ کمی و کیفی، تأمین آب مطمئن را به یکی از مشکلات مهم کشور تبدیل کرده است. لذا، رویکرد دوباره‌ی استفاده از روش‌های سنتی استحصال و ذخیره‌سازی آب شرب برکه‌ها، آبگیرها، قنوت و آب‌انبارها در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ضمن جبران برخی از این کمبودها، موجب افزایش ذخیره منابع آب موجود و کاهش هزینه اجرای طرح‌های متعارف آبرسانی، به‌خصوص در مناطق دورافتاده و روستایی، می‌گردد [۱].

مخازن، تأسیساتی هستند که در تصفیه‌خانه‌های آب شرب و یا سیستم‌های تأمین و توزیع آب برای ذخیره و پاسخ‌گویی به تأمین فشار مطلوب احداث می‌گردند. مخازن ذخیره‌سازی آب به دو دسته عمرانی و صنعتی تقسیم می‌شوند. این سازه‌ها در شکل‌ها و جنس‌های مختلف به منظور ذخیره احجام زیاد آب یا ذخیره مواد سوختی به صورت هم‌تراز با زمین، گاهی برای استتار و مسائل مربوط به دما و یا ملاحظات اجرایی، به صورت زیرزمینی و یا به دلیل تأمین و تعدیل فشار آب در شبکه‌های آبرسانی شهرها به صورت هوایی ساخته می‌شوند.

بتن متخلخل به نوعی از بتن با حجم زیادی از حفره‌های به هم پیوسته گفته می‌شود [۲]. این بتن، به دلیل توانایی عبور سریع آب، روشی نوین برای مدیریت سیلاب‌ها و رواناب‌های شهری می‌باشد. قابل توجه است که از مزیت‌های این روش نسبت به سیستم‌های حاوی بتن معمولی، چندکاربردی بودن، دوست‌دار محیط‌زیست و مقرون به صرفه بودن آن می‌باشد [۳]. برای به دست آوردن تخلخل زیاد و حفره‌های پیوسته ساختار این نوع از بتن باید با گونه معمول آن متفاوت باشد. در بتن متخلخل، تغییرات اندازه سنگدانه‌ها کم بوده و همچنین مقدار کمی ریزدانه دارد. از سوی دیگر، مقدار سیمان مصرفی در این نوع بتن کمتر از حد نرمال آن می‌باشد و اسلامپ این بتن صفر است [۴].

هوانگ<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی، از ماسه و پلیمر لاتکا برای بهبود خصوصیات مقاومتی بتن متخلخل استفاده کرده و بر حالت بهینه بین ضریب نفوذپذیری و مقاومت فشاری متمرکز شدند. نتایج نشان داد که می‌توان بتن متخلخلی با نفوذپذیری مورد قبول و مقاومت زیاد ساخت [۵]. شو<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۱)، در پژوهشی، به مقایسه عملکرد آزمایشگاهی و میدانی مخلوط‌های بتنی پرداختند. در این پژوهش، عملکرد آزمایشگاهی و میدانی از طریق آزمایش و اندازه‌گیری حفره‌های هوا، نفوذپذیری، مقاومت کششی، مقاومت فشاری، سایش، دوام و مقاومت در برابر انجماد و ذوب شدن انجام شد. مصالح استفاده شده در این پژوهش از دو نوع درشت‌دانه شامل مصالح آهکی و گرانیتی بود. به منظور بهبود عملکرد کلی بتن متخلخل، افزودنی‌هایی شامل لاتکس، مواد حباب‌زا و مواد کاهنده آب به این مصالح اضافه شد. نتایج نشان داد که مخلوط‌هایی که با درشت‌دانه آهک و افزودنی لاتکس ساخته شدند دارای مقاومت فشاری و سایش بیشتر و هدایت هیدرولیکی و تخلخل کمتری نسبت به سایر مخلوط‌ها می‌باشند. همچنین، افزودن مواد حباب‌زا به بتن هم باعث بهبود مقاومت در برابر چرخه ذوب و انجماد می‌شود. مقایسه بین بتن میدانی و آزمایشگاهی نشان می‌دهد که بتن متخلخل از نظر آزمایشگاهی مورد تأیید می‌باشد و می‌تواند نفوذپذیری، مقاومت و عملکرد حوزه عمل را برآورده سازد [۶]. آلیت<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۱)، در پژوهشی، کاربرد انواع کفیوش‌های متخلخل در مدیریت رواناب و سیلاب شهری را بررسی نمودند. هدف این تحقیق، دست یافتن به بهینه‌ترین نمونه برای روسازی بتن متخلخل به منظور ذخیره‌سازی آب می‌باشد و در نهایت، روسازی بتن متخلخل بهینه برای آبیاری حداقل یک ماه فضای سبز معرفی شد [۷]. اندروگرال<sup>۴</sup> (۲۰۱۳)، از آسفالت متخلخل به‌عنوان سطحی نفوذپذیر استفاده نمود. در این تحقیق، به تأثیر شیب عرضی بر مقدار آب نفوذی در پیاده‌روهای متخلخل پرداخته شد. نتایج نشان داد که نفوذ و شیب عرضی دارای رابطه معکوس می‌باشند و نفوذپذیری و جریان دارای رابطه معناداری نمی‌باشند. همچنین، در این تحقیق، به باز کردن حفرات توسط دو روش پاکیزه کردن و خشک کردن

<sup>1</sup> Huang

<sup>2</sup> Shu

<sup>3</sup> Ullate

<sup>4</sup> Andrew

حفرات مسدود شده در آسفالت پرداخته شد. نتایج نشان داد که در روش خشک کردن، نفوذپذیری افزایش یافت [۸]. ساتا<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۳)، از مصالح بازیافتی نظیر بتن و آجر بازیافتی در بتن متخلخل استفاده نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که بتن متخلخل ساخته شده با مصالح بازیافتی نسبت به مصالح طبیعی دارای مقاومت کمتری می‌باشد. همچنین، بتن حاوی بتن بازیافتی، تخلخل و هدایت هیدرولیکی بیشتری نسبت به بتن کنترلی و بتن حاوی خرده آجر بازیافتی دارد [۹]. زاتانگ<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۳)، از سنگدانه‌های سبک برای ساختن بتن متخلخل استفاده کردند. نتایج نشان داد که هدایت حرارتی و چگالی این نوع بتن، ۳ تا ۴ مرتبه نسبت به بتن متخلخل شامل سنگدانه طبیعی کاهش می‌یابد [۱۰]. حسامی و همکاران (۲۰۱۴)، کاربرد استیل، فیبرهای شیشه و ppt را در بهبود بخشیدن رفتار بتن بررسی نمودند. در نهایت، فیبرهای ذکر شده توانایی مناسبی در بهبود بخشیدن مقاومت فشاری بتن متخلخل داشتند [۱۱]. گادیک<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۱۴)، در پژوهشی، به بررسی رابطه تخلخل و نفوذپذیری پرداختند. نتایج نشان داد که مقاومت فشاری بتن متخلخل با تخلخل این بتن رابطه عکس دارد و همچنین علاوه بر تخلخل، مواد افزودنی، مقدار ریزدانه و سطح تراکم روسازی در هنگام اجرا بر مقاومت فشاری تأثیر قابل توجهی می‌گذارند [۱۲]. اوسیک<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۱۵)، به بررسی تأثیر سنگدانه بر بتن متخلخل پرداختند. نتایج نشان داد که دانه‌بندی و اندازه سنگدانه‌های مورد استفاده در بتن، نسبت آب به سیمان و میزان تراکم بتن متخلخل، بر اندازه حفرات و تخلخل تأثیرگذار می‌باشند. به طور معمول، برای رسیدن به تخلخل بیش از ۱۵٪ از درشت‌دانه‌هایی با اندازه یکسان استفاده می‌شود. همچنین، از عوامل مؤثر بر مقاومت فشاری می‌توان به دانه‌بندی، اندازه سنگدانه و میزان سنگدانه مصرفی در مخلوط بتن متخلخل اشاره نمود [۱۳]. ابراهیم و عبدالرزاق (۲۰۱۶)، از درصد‌های مختلف کلینکر روغن پالم (محصول جانبی تولید روغن پالم) به عنوان جایگزین درشت‌دانه در بتن متخلخل استفاده نمودند. نتایج نشان داد که افزایش میزان این ماده در بتن متخلخل موجب کاهش مقاومت فشاری و چگالی و افزایش نفوذپذیری و تخلخل می‌شود [۱۴]. هدف مطالعه چن<sup>۹</sup> و همکاران (۲۰۱۷)، بررسی مدت زمان یخ‌زدگی روسازی بتن متخلخل (PCP) در عمق‌های نزدیک سطح زمین برای استفاده در عملیات نگهداری زمستانه بود. همچنین، وسایل لازم برای پیش‌بینی دمای نزدیک سطح زمین PCP در ماه‌های زمستان توصیه شده است. یک پیاده‌رو از جنس PCP در محوطه دانشگاه ایالتی واشنگتن در شهر پولمن کار گذاشته شد و تجهیز گردید. اول، اندازه‌گیری‌های دما در عمق‌های مختلف PCP و دوره‌های یخ‌زدگی در همان عمق‌ها برای یک فصل زمستان نشان داده شد. سپس، مدل اقلیمی پیشرفته یکپارچه (EICM)<sup>۱۱</sup> برای پیش‌بینی دمای نزدیک سطح زمین مربوط به PCP استفاده شد. با استفاده از خصوصیات گرمایی هر لایه، مدل EICM، انتقال حرارت بین روسازی و محیط اطراف آن تخمین زده شد. هدایت و ظرفیت گرمایی PCP با استفاده از یک مدل موازی و بر اساس تخلخل PCP و نسبت‌های حجمی اجزای تشکیل‌دهنده مخلوط، تعریف شد. شاخص‌های هواشناسی برای مدل از یک ایستگاه محلی هواشناسی و یک تشعشع‌سنج کارگذاشته شده در محل برای اندازه‌گیری تشعشع خورشیدی به دست آمد. مقایسه دمای پیش‌بینی شده عمق ۳ اینچ (۷۶ میلی‌متر) فوقانی لایه بتن متخلخل نشان از تطابق با اطلاعات میدانی در طول زمستان داشت. یک مدل رگرسیون خطی چندگانه برای پیش‌بینی دمای PCP در عمق ۰/۵ اینچ (۱۳ میلی‌متر) توسعه داده شد [۱۵]. شکل ۱ نحوه قرارگیری حسگرهای حرارتی را در این تحقیق نشان می‌دهد.

<sup>5</sup> Sata

<sup>6</sup> Zaetang

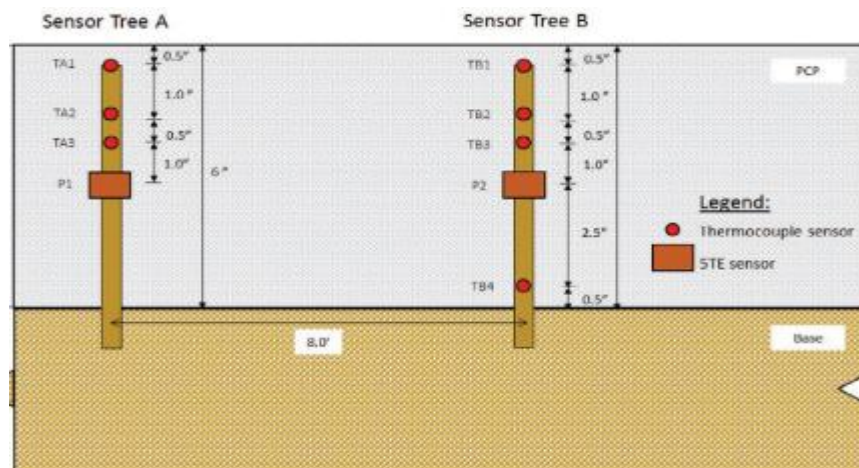
<sup>7</sup> Gaedicke

<sup>8</sup> Ćosic

<sup>9</sup> Chen

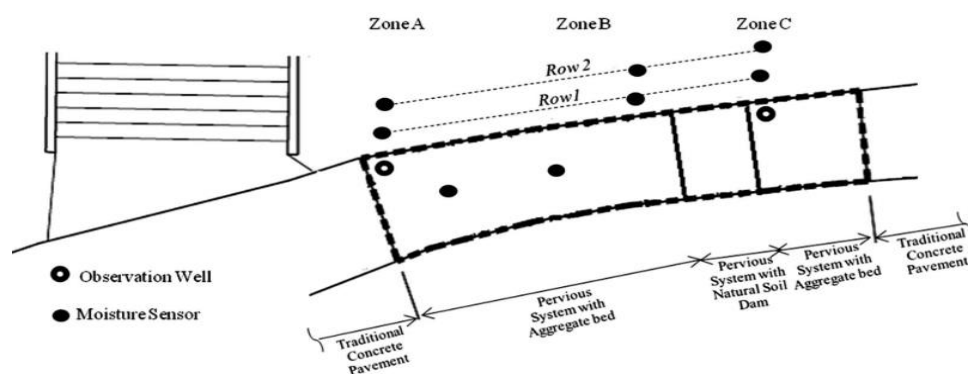
<sup>10</sup> Pervious Concrete Pavement (PCP)

<sup>11</sup> Enhanced Integrated Climatic Model (EICM)



شکل ۱: نحوه قرارگیری حسگرهای حرارتی در پیاده‌رو بتن متخلخل

یککلار<sup>۱۲</sup> و همکاران (۲۰۱۸)، در تحقیقی، تغییرات رطوبت و دمای خاک رس را در مخزن زیر بستر پیاده‌روی از جنس بتن متخلخل در فصل زمستان در پولمن واشنگتن<sup>۱۳</sup> ارزیابی کردند. حسگرهای حرارتی در فواصل ۳۰، ۶۰ و ۹۰ سانتی‌متری زیر خاک، برای بررسی اثرگذاری مخازن زیرزمینی بر خاک‌های مجاور، همانند تأثیر شانه‌های قابل نفوذ بر خاک‌های اطراف خود در حاشیه آسفالت جاده نصب شدند. بر اساس نتایج به دست آمده، در طول مدت زمستان نسبتاً ملایم، دمای قرائت شده خاک به دمای انجماد نرسید و میزان رطوبت خاک بیشتر از اشباع نشد. هیچکدام از قرائت‌های دمای خاک زیر نقطه یخ زدن نرسید و همچنین هیچکدام از قرائت‌های رطوبت خاک فراتر از حالت اشباع نرفت. همچنین، در مدتی که بارش می‌بارید، خاک‌های نزدیک بستر ذخیره سنگدانه خیلی سریع‌تر از خاک‌های دورتر سرد شده و سپس گرم شدند. خاک‌های نزدیک سیستم نگهداری دائم<sup>۱۴</sup> در اعماق بالای بستر ذخیره سنگدانه، خشک‌تر از خاک‌های دورتر ماندند. در حالی که خاک‌های زیر بستر ذخیره سنگدانه، میزان رطوبت بیشتری از خاک‌های دورتر داشتند. نتایج نشان می‌دهد که سیستم‌های روسازی متخلخل با بسترهای زیرزمینی ذخیره سنگدانه، ممکن است سیستم‌های کارایی در نزدیکی سایر زیرساخت‌ها، نظیر راه‌آهن، باشند که رطوبت زیاد خاک یا دماهای کم می‌تواند مسئله‌ساز باشد [۱۶]. شکل ۲ نحوه قرارگیری حسگرهای حرارتی در خاک را نشان می‌دهد.



شکل ۲: محل قرارگیری حسگرهای حرارتی در خاک

تیموری و همکاران (۲۰۱۶)، در پژوهشی، کاربرد سبکدانه‌های پوکه معدنی و پرلیت در بهبود خواص فیزیکی بتن متخلخل را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که افزودن پوکه معدنی به همراه ماسه رودخانه‌ای باعث بهبود مقاومت فشاری شد. اما پرلیت، عملکرد مناسبی در بهبود رفتار سازه‌ای بتن متخلخل نداشت [۱۷]. دوست‌محمدی (۲۰۱۷)، تأثیر جایگزینی جاذب‌های پومیس، اسکریا، زئولیت و تراورتن با مقادیر مختلف سنگدانه را بر برخی خواص مکانیکی و فیزیکی بتن متخلخل و پارامترهای کیفی رواناب و فاضلاب

<sup>12</sup> Yekkalar

<sup>13</sup> Pullman, Washington

<sup>14</sup> Retention system

بررسی کردند. نتایج نشان داد که با افزایش درصد جایگزینی جاذب با سنگدانه، مقاومت فشاری نمونه‌ها کاهش و تخلخل و نفوذپذیری افزایش یافت [۱۸]. آزاد (۲۰۱۷)، به بررسی تأثیر نسبت‌های مختلف افزودنی‌های دولومیت، ورمیکولیت، کوارتز، تالک و متاکائولن بر رفتار سازه‌ای بتن متخلخل پرداخت. نتایج نشان داد که با افزایش نسبت این افزودنی‌ها، مقاومت فشاری افزایش و نفوذپذیری و تخلخل کاهش پیدا کردند. در ضمن، عمل‌آوری نمونه‌ها در زمستان و بهار نشان داد که استفاده از متاکائولن<sup>۱۵</sup> در بهار باعث افزایش مقاومت فشاری و بهبود عملکرد بتن متخلخل و در زمستان باعث تشدید احتمال یخ‌زدگی نمونه‌ها می‌گردد [۱۹]. رضایی‌لری و همکاران (۱۳۹۷)، در تحقیقی، به بررسی و ارزیابی استفاده از سرباره مس در بتن متخلخل و تأثیر آن بر خصوصیات این بتن پرداختند. نتایج نشان داد که وزن مخصوص بالای سرباره مس، باعث افزایش وزن مخصوص بتن می‌شود. همچنین، به دلیل خصوصیات ظاهری و جذب آب کمتر آن نسبت به سنگدانه دولومیتی، با جایگزینی تدریجی آن، درصد نفوذپذیری و تخلخل افزایش می‌یابد. علاوه بر این، نتایج آزمایش‌های کشش غیرمستقیم، مقاومت فشاری و خمشی نشان داد که جایگزینی سرباره مس در مخلوط بتنی موجب بهبود پارامترهای مورد نظر شد [۲۰].

با توجه به بررسی تحقیقات موجود، به نظر می‌رسد که راجع به فرایند انتقال گرما یا سرما از طریق بتن متخلخل، با و بدون افزودنی، در مقایسه با بتن معمولی، برای کاربرد در مخازن ذخیره آب، تحقیق خاصی صورت نگرفته است. در تحقیق حاضر، به بررسی کاربرد بتن متخلخل در جداره مخازن ذخیره آب و تأثیر عبور هوا از محیط به داخل این نوع بتن پرداخته شده است. از افزودنی لیکا به مقدار ۵ درصد وزنی سنگدانه‌ها نیز استفاده گردید. اندازه‌گیری روزانه دما و رطوبت نسبی محیط با دماسنج و رطوبت‌سنج دیجیتال به وسیله حسگر مربوطه و دمای آب و هوای داخل مخازن با دو دماسنج صنعتی، یکی در بخش حاوی آب مخزن و یکی در بخش بدون آب، در گرمترین ساعت روز در فصول بهار و تابستان ۱۳۹۸ انجام شد.

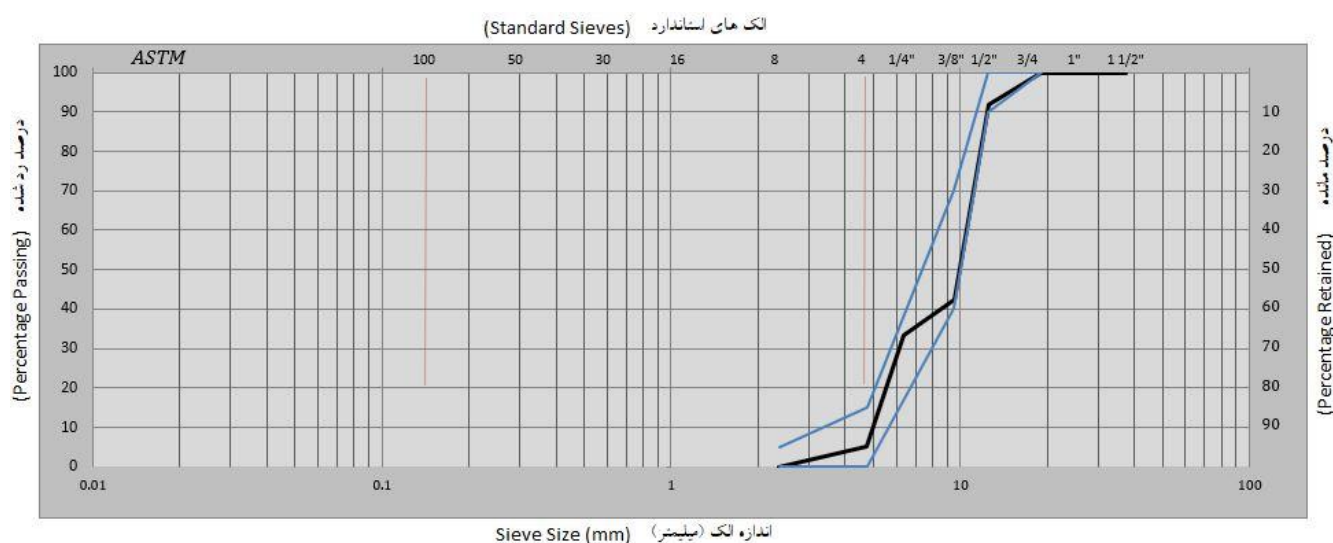
## ۲- مواد و روش‌ها

در این پژوهش، که در حومه شهر ساری انجام گرفت، از شن، ماسه، سیمان و افزودنی لیکا برای ساخت نمونه‌های بتن متخلخل استفاده شد. همچنین، آزمایش‌های مقاومت فشاری، تخلخل و نفوذپذیری روی نمونه‌های مکعبی انجام شد. علت انتخاب این سه آزمایش این بود که تأثیر استفاده از بتن متخلخل بر مقاومت بتن و عبور هوای محیط بیرون مخزن آب به داخل آن، نسبت به مخزن آبی که تماماً از بتن ساخته شده، سنجیده شود. این تحقیق در مراحل زیر انجام شد:

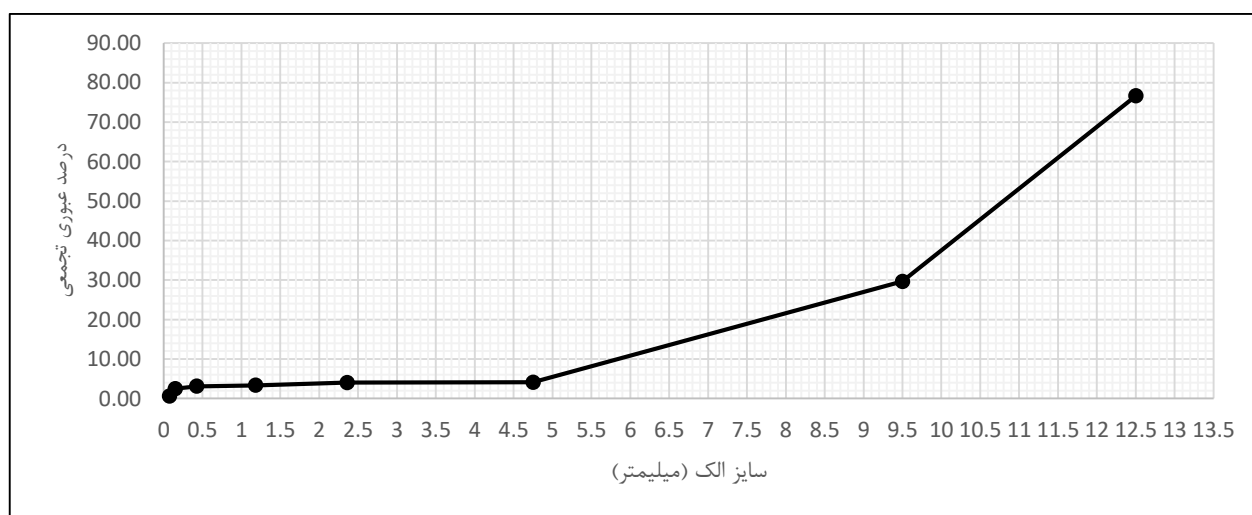
### ۲-۱ تهیه مصالح مورد نیاز

در این پژوهش، شن مورد استفاده از خانواده سنگ‌های رسوبی و سیمان مصرفی (تیپ ۲) ساخت کارخانه سیمان مازندران می‌باشد. شکل ۳، دانه‌بندی شن (استاندارد ملی ۳۰۲) و شکل ۴، دانه‌بندی لیکا را نشان می‌دهد.

<sup>15</sup> Metakaolin



شکل ۳: منحنی دانه بندی شن



شکل ۴: منحنی دانه بندی لیکا

دانه های لیکا در کوره های گردان و در دمای نزدیک به ۱۲۰۰ درجه سلسیوس از منبسط شدن نوع خاصی از خاک رس تولید می شوند. شکل دانه های لیکا تقریباً گرد است و دارای سطح زبر و ناهموارند. رویه میکروسکوپی خارجی دانه ها دارای خلل و فرج زبر قهوه ای رنگ و بخش داخلی دانه ها دارای بافت سلولی سیاه رنگ می باشد. لیکا به علت خصوصیتی مثل سبک بودن، عایق صوت و دما، عایق رطوبت، تراکم ناپذیر در برابر فشار مداوم، غیرقابل تجزیه، مقاوم در برابر حرارت، pH نزدیک به ۷، طبیعی بودن ساختار اصلی آن، تولید آن در کشور و هزینه کمتر نسبت به جاذب های صنعتی، می تواند به عنوان یک جاذب مناسب ارزان و سازگار با محیط زیست استفاده شود [۲۱، ۲۲].

## ۲-۲ طرح اختلاط بتن

طرح اختلاط بتن شامل تعیین نسبت اجزای بتن (سیمان، آب، شن و ماسه) برای دستیابی به خواص مشخص می باشد. برای طرح اختلاط بتن متخلخل طبق استاندارد ACI 211.3R، مقدار سنگدانه و عیار سیمان به ترتیب ۱۶۱۰ و ۲۳۵ کیلوگرم بر متر مکعب و نسبت آب به سیمان ۰/۴ در نظر گرفته شد. برای ساخت نمونه های بتن متخلخل، افزودنی لیکا با میزان وزنی ۰/۵ جایگزین سنگدانه اصلی شد. در جدول ۱، طرح اختلاط بتن متخلخل مشاهده می شود.



جدول ۱: طرح اختلاط بتن متخلخل

نام نمونه	نوع سیمان	علامت اختصاری	عیار سیمان (kg/m <sup>3</sup> )	عیار سنگدانه (kg/m <sup>3</sup> )	نسبت آب به سیمان (w/c)	عیار افزودنی (kg/m <sup>3</sup> )
شاهد	تیپ ۲	SH۲	۲۳۵	۱۶۱۰	۰/۴	۰
لیکا	تیپ ۲	۵L	۲۳۵	۱۳۰۹	۰/۴	۶۵/۵

همچنین، در این پژوهش، برای طرح اختلاط بتن معمولی از آیین نامه ACI 211.1-89 استفاده شد. در جدول ۲، طرح اختلاط بتن پیشنهادی ارائه شده است.

جدول ۲: طرح اختلاط بتن

نام نمونه	نسبت آب به سیمان (w/c)	مقدار ماسه (kg/m <sup>3</sup> )	مقدار سیمان (kg/m <sup>3</sup> )	مقدار آب (kg/m <sup>3</sup> )	مقدار شن (kg/m <sup>3</sup> )
بتن	۰/۵۵	۹۰۲	۳۶۰	۱۹۸	۸۵۳

### ۲-۳ آزمایش مقاومت فشاری

با توجه به استاندارد BS 1881 [۲۳]، ابعاد نمونه‌های مکعبی مورد استفاده در آزمایش مقاومت فشاری ۱۵×۱۵×۱۵ سانتی‌متر می‌باشد. پس از عمل‌آوری ۲۸ روزه نمونه‌ها در حوضچه آب، آنها را به مدت ۲۴ ساعت در محیط بیرون آزمایشگاه سازه قرار داده تا خشک شوند و سپس مقاومت فشاری نمونه‌ها با جک بارگذاری اندازه‌گیری شد.

### ۲-۴ آزمایش نفوذپذیری

مشابه این آزمایش در استاندارد ACI 522-R ذکر شده، ولی به جزئیات آن پرداخته نشده است [۲]. با توجه به نبودن استاندارد خاص برای اندازه‌گیری نفوذپذیری (هدایت هیدرولیکی) بتن متخلخل، که پارامتری تعیین‌کننده در جریان آب و یا هوا از آن می‌باشد، از دستگاه بار افتان (شکل ۵) ساخته شده در آزمایشگاه سازه دانشگاه سمنان برای انجام این آزمایش استفاده شد.



شکل ۵: دستگاه اندازه‌گیری نفوذپذیری نمونه‌های بتن متخلخل

ضریب نفوذپذیری از رابطه ۱، که معادله دارسی است، قابل محاسبه می‌باشد:

$$K = \frac{aL}{At} \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right) \quad (1)$$



در این رابطه،  $K$  نفوذپذیری بر حسب  $\frac{cm}{s}$ ،  $a$  سطح مقطع محفظه شیشه‌ای بر حسب  $cm^2$ ،  $L$  طول نمونه بر حسب  $cm$ ،  $A$  سطح مقطع نمونه بر حسب  $cm^2$ ،  $t$  زمان افت هد آب از  $h_1$  به  $h_2$  بر حسب ثانیه و  $h_1$  و  $h_2$  به ترتیب نشان‌دهنده ارتفاع اولیه و ثانویه آب بر حسب  $cm$  می‌باشند.

## ۲-۵ آزمایش تخلخل

میزان تخلخل بتن متخلخل می‌تواند ارتباط مستقیمی با نفوذپذیری داشته باشد. این آزمایش مطابق با استاندارد ASTM C1754 انجام شد [۲۴]. با استفاده از رابطه ۲، درصد تخلخل نمونه‌ها محاسبه شد:

$$A_t = \left(1 - \frac{W_2 - W_1}{\rho_w \times V}\right) \times 100 \quad (2)$$

در این رابطه،  $A_t$  تخلخل کل بر حسب درصد،  $V$  حجم نمونه (سانتی‌متر مکعب)،  $\rho_w$  چگالی آب در دمای ۲۰ درجه سلسیوس (گرم بر سانتی‌متر مکعب)،  $W_2$  وزن نمونه خشک (گرم) و  $W_1$  وزن نمونه در آب (گرم) می‌باشد.

## ۲-۶ اندازه‌گیری دما

ابعاد داخلی مخازن  $60 \times 60 \times 100$  سانتی‌متر (به ترتیب از سمت چپ طول، عرض و ارتفاع)، ابعاد خارجی مخازن  $70 \times 70 \times 100$  سانتی‌متر، ضخامت تمام جوانب ۵ سانتی‌متر، ارتفاع جداره بتن ۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع جداره بتن متخلخل (که روی جداره بتن قرار می‌گرفته) نیز ۵۰ سانتی‌متر می‌باشد. اندازه‌گیری دمای آب و هوای داخل مخازن با قرار دادن دو حسگر حرارتی (شکل ۶-الف) در ارتفاع ۲۵ و ۷۵ سانتی‌متری از کف مخزن با دماسنج دیجیتال (شکل ۶-ب) در ساعت ۱۴:۳۰ (گرم‌ترین ساعت روز) انجام شد. همچنین، رطوبت و دمای محیط توسط رطوبت‌سنج و دماسنج دیجیتال (شکل ۶-ج) در نزدیکی محل قرارگیری مخازن اندازه‌گیری شد.



ج

ب

الف

شکل ۶: الف) حسگر دما، ب) دماسنج و ج) رطوبت‌سنج و دماسنج دیجیتال

## ۲-۷ ساخت نمونه‌ها

برای ساخت نمونه‌ها ابتدا طرح اختلاط مورد نظر را آماده کرده و سپس مواد لازم در دستگاه مخلوط‌کن بتن ریخته شد و پس از اینکه به طور کامل مخلوط شدند، برای نمونه‌های مکعبی (شکل ۷)، آن‌ها را در قالب‌های مورد نظر ریخته و در سه لایه با کوبه استاندارد و هر لایه ۲۵ ضربه کوبیده شدند.

برای ساخت نمونه‌های مکعبی، ابتدا سطح داخلی قالب‌ها روغن کاری گردید تا بتن سخت شده به راحتی از قالب جدا شود. مقادیر مصالح مصرفی در بتن مطابق طرح اختلاط توزین و سپس مصالح مورد استفاده در دستگاه بتونیر مخلوط گردید. لازم به توضیح است که به

دلیل زیاد بودن درصد جذب آب لیکای مصرفی در بتن متخلخل، ۲۴ ساعت قبل از مصرف در آب اشباع شده و قبل از اختلاط آنها را پهن کرده تا به صورت اشباع و با سطح خشک با مواد دیگر مخلوط شوند. برای انجام آزمایش مقاومت فشاری بتن متخلخل، از هر طرح اختلاط سه نمونه مکعبی  $150 \times 150 \times 150$  میلی‌متر (شکل ۷) و برای آزمایش‌های تخلخل و نفوذپذیری سه نمونه مکعبی  $100 \times 100 \times 100$  میلی‌متر ساخته شد.



شکل ۷: نمونه‌های مکعبی بتن متخلخل

ابعاد مخازن به دلیل خاصی انتخاب نشده و صرفاً انجام یک آزمایش برای بررسی تأثیر بتن متخلخل بر دمای آب و هوای داخل این مخازن بوده است. برای قالب‌بندی دیواره مخازن از قالب فلزی بتن‌ریزی با اتصال پین و گوه استفاده شد. مراحل ساخت مخزن عبارت بود از: (۱) قالب‌بندی وجوه جانبی، کف و سقف مخزن، (۲) بتن‌ریزی کف مخزن، (۳) قالب‌بندی وجه داخلی مخزن به ارتفاع یک متر، (۴) قالب‌بندی وجه خارجی نیمه پایینی دیواره مخزن (مرحله اول) به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر، (۵) بتن‌ریزی نیمه پایینی دیواره مخزن به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر (شکل ۸)، (۶) قالب‌بندی وجه خارجی نیمه بالایی دیواره مخزن به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر، (۷) قالب‌بندی وجوه جانبی مخزن، (۸) بتن‌ریزی (بتن متخلخل) نیمه بالایی دیواره مخزن به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر (شکل ۸)، (۹) بتن‌ریزی (بتن متخلخل) سقف مخزن (پیش‌ساخته)، (۱۰) نصب سقف بتن متخلخل (پیش‌ساخته) روی دیواره‌ی مخزن در ارتفاع یک متری (شکل ۹) و (۱۱) آبگیری مخزن تا ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر. برای اتصال بهتر بتن و بتن متخلخل، از دو میلگرد به طول ۳۰ سانتی‌متر در هر وجه استفاده گردید. همچنین، از هر طرح اختلاط، سه نمونه ساخته شد.



شکل ۸: بتن‌ریزی دیواره مخازن



شکل ۹: مخزن با جداره پائینی بتن و بالایی بتن متخلخل

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱ مقاومت فشاری

با توجه به جدول ۳، بیشترین مقاومت فشاری بتن متخلخل (میانگین سه نمونه) مربوط به بتن متخلخل حاوی شن می‌باشد که به دلیل عدم استفاده از افزودنی در این بتن است. با اضافه کردن افزودنی لیکا به بتن متخلخل، مقاومت آن کاهش پیدا کرد که دلیل کاهش مقاومت، کمتر بودن وزن مخصوص این افزودنی نسبت به شن می‌باشد.

جدول ۳: میانگین مقاومت فشاری نمونه‌ها

نام ماده	میانگین مقاومت فشاری (MPa)
بتن	۲۶/۴
بتن متخلخل حاوی شن	۹/۸
بتن متخلخل حاوی لیکا	۶/۲

#### ۳-۲ نفوذپذیری و تخلخل

با توجه به جدول ۴، با اضافه شدن لیکا به نمونه بتن متخلخل، ضریب نفوذپذیری نسبت به نمونه شاهد افزایش غیرمعنی‌دار یافت. انتظار می‌رفت که با اضافه شدن افزودنی به بتن متخلخل، ضریب نفوذپذیری کمی افزایش یابد که دلیل این افزایش، بزرگتر بودن تقریبی اندازه دانه‌های لیکا نسبت به سنگدانه‌ها (شکل‌های ۳ و ۴) می‌باشد.

جدول ۴: میانگین ضریب نفوذپذیری نمونه‌ها

نام ماده	ضریب نفوذپذیری ( $\frac{mm}{s}$ )
بتن متخلخل حاوی شن	۱/۲۹
بتن متخلخل حاوی لیکا	۱/۳۰

همچنین با توجه به جدول ۵، میزان تخلخل نمونه بتن حاوی افزودنی لیکا، به اندازه کمتر از ۰.۳٪ کمتر از نمونه شاهد شد. به نظر می‌رسد که دلیل این کاهش، بزرگتر بودن تقریبی ذرات لیکا نسبت به سنگدانه‌ها می‌باشد (شکل‌های ۳ و ۴).

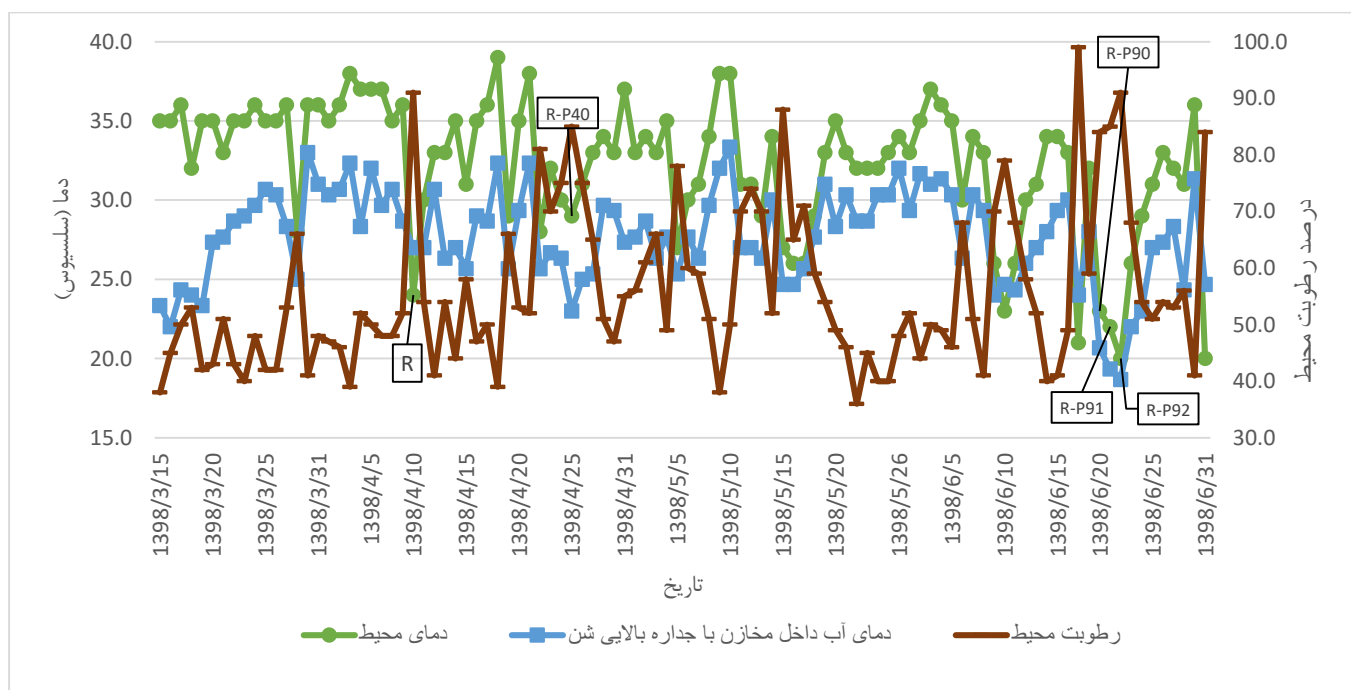
جدول ۵: میانگین تخلخل نمونه‌ها

نام ماده	میانگین تخلخل (درصد)
بتن متخلخل حاوی شن	۳۸/۳۷
بتن متخلخل حاوی لیکا	۳۷/۲۲

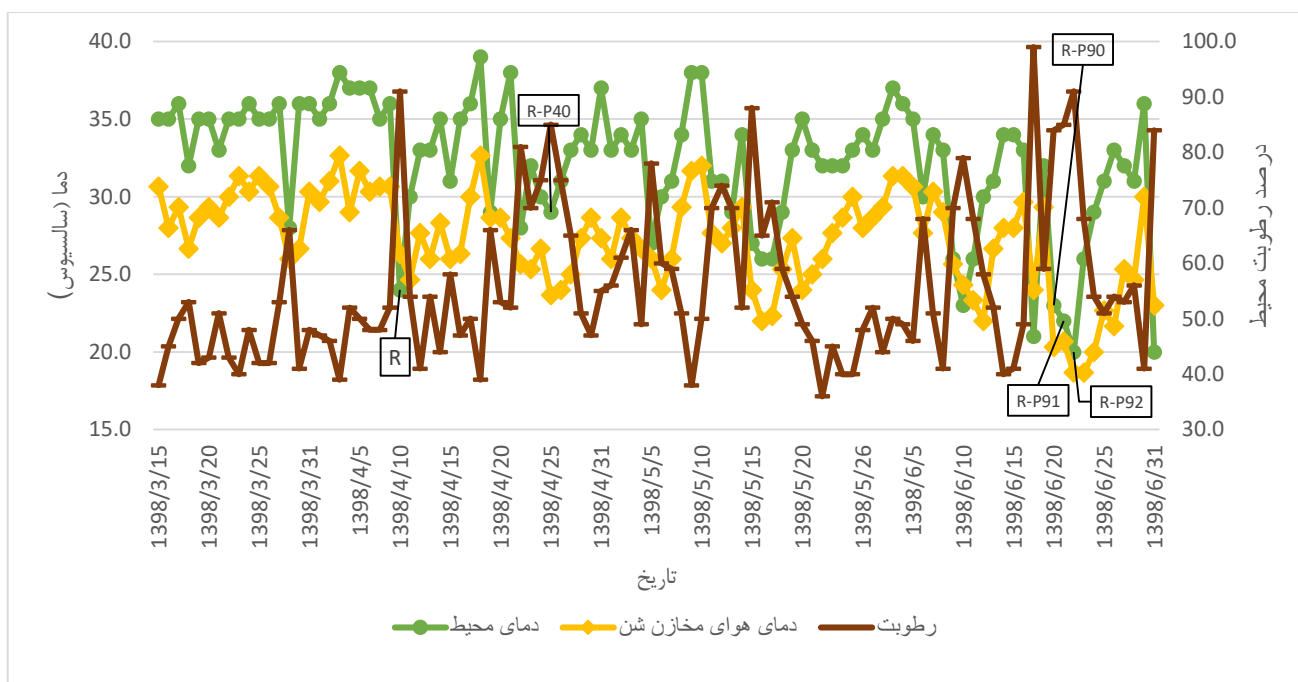
## ۳-۳ دمای آب و هوای داخل مخازن

شکل ۱۰، تغییرات دمای آب در مخازن با جداره بالایی بتن متخلخل حاوی شن را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، طی روزهای متوالی و غیربارانی فصول بهار و تابستان، روند افزایشی یا کاهش دمای آب مخازن بتن متخلخل حاوی شن با دمای محیط رابطه مستقیم داشت. در روزهای بارانی فصل تابستان، به دلیل تغییرات ناگهانی جو (کاهش دما)، دمای آب داخل مخازن از دمای محیط بیشتر بود. در روزهای بارانی R-P40، R-P90، R-P91 و R-P92 شکل ۱۰ (یعنی به ترتیب ۴۰، ۹۰، ۹۱ و ۹۲ روز بعد از شروع آزمایش) با توجه به اینکه دمای محیط با شیب ملایم کاهش یافت، دمای آب توانست خود را با دمای محیط تطبیق دهد و دمای آب از دمای محیط کمتر شد.

شکل ۱۱، تغییرات دمای هوا در مخازن با جداره بالایی بتن متخلخل حاوی شن را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، طی روزهای متوالی و غیربارانی فصول بهار و تابستان، روند افزایشی یا کاهش دمای هوای مخازن بتن متخلخل حاوی شن با دمای محیط رابطه مشخصی ندارد. برای مثال، با افزایش دمای محیط، دمای هوای مخازن حاوی شن در بعضی روزها کاهش یا افزایش یافت. در روزهای بارانی فصل تابستان (که با R مشخص شده‌اند) به دلیل تغییرات ناگهانی جو (کاهش دما)، دمای هوای مخازن از دمای محیط بیشتر بود. در روزهای R-P40، R-P90، R-P91 و R-P92، با توجه به اینکه دمای محیط با شیب ملایم کاهش یافت، دمای هوای مخازن توانست خود را با دمای محیط تطبیق دهد و دمای هوای داخل مخازن از دمای محیط کمتر شد.



شکل ۱۰: تغییرات روزانه دمای آب داخل مخازن با جداره بالایی بتن متخلخل حاوی شن

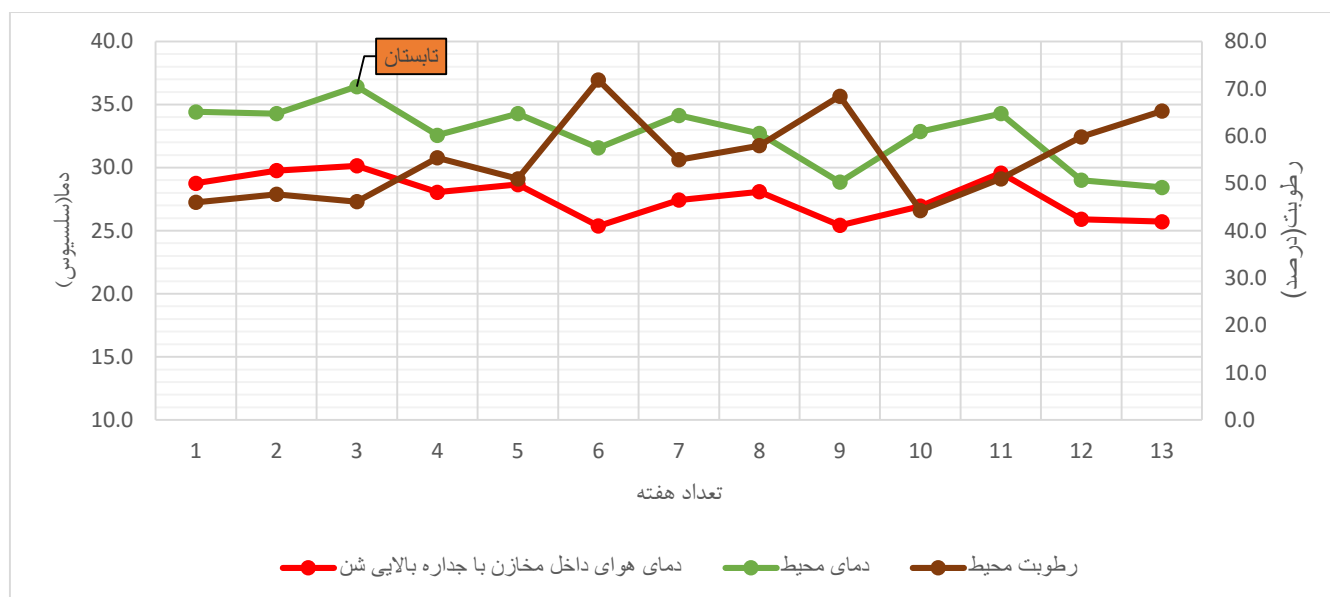


شکل ۱۱: تغییرات روزانه دمای هوای داخل مخازن با جداره بالایی بتن متخلخل حاوی شن

با توجه به تعداد زیاد نقاط اندازه‌گیری روزانه دمای آب و هوای داخل مخازن و درهم بودن نمودارهای شکل‌های ۱۰ و ۱۱، تحلیل‌ها بر اساس میانگین هفتگی پارامترها انجام شد. به طور مثال، شکل ۱۲، تغییرات میانگین هفتگی دمای هوای داخل مخزن با جداره بالایی بتن متخلخل حاوی شن را نشان می‌دهد. در تمامی بازه‌ها، دمای هوای داخل مخزن کمتر از دمای محیط می‌باشد. در فصل بهار، با کاهش دمای محیط و افزایش رطوبت، دمای هوای داخل مخزن افزایش یافت و اختلاف دمای هوای داخل مخزن و دمای محیط کم شد. در ادامه، با افزایش دمای محیط و کاهش رطوبت، دمای هوای داخل مخزن با شیب ملایم‌تری افزایش یافت. در فصل تابستان، با افزایش رطوبت و کاهش دمای محیط، دمای هوای داخل مخزن کاهش یافت. با کاهش رطوبت و افزایش دمای محیط، دمای هوای داخل مخزن افزایش پیدا کرد. در ادامه، با افزایش رطوبت و دمای محیط، به طور همزمان، دمای هوای داخل نیز افزایش پیدا کرد و با نزدیک شدن به پایان فصل تابستان، دمای هوای داخل مخزن با افزایش رطوبت محیط و کاهش دمای محیط، کاهش پیدا کرد.

جدول ۶، مقایسه‌ی آماری بین دمای آب و هوای داخل مخازن با جدار بالایی بتن متخلخل حاوی شن و دمای محیط را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، کمتر بودن انحراف معیار دمای آب داخل مخازن در فصول بهار و تابستان نسبت به دمای محیط، نشان‌دهنده کمتر بودن میزان نوسانات دمای آب نسبت به دمای محیط می‌باشد. همچنین، در این فصول، کم بودن میزان انحراف معیار دمای هوا و آب داخل این مخازن، نشان‌دهنده نوسانات کم دما می‌باشد. لذا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که نوسانات دمایی هوا و آب داخل مخازن با جداره بالایی بتن متخلخل حاوی شن از نوسانات دمایی هوای بیرون این مخازن کمتر است و این مخازن متعادل‌کننده دمای داخل آنها بوده‌اند.





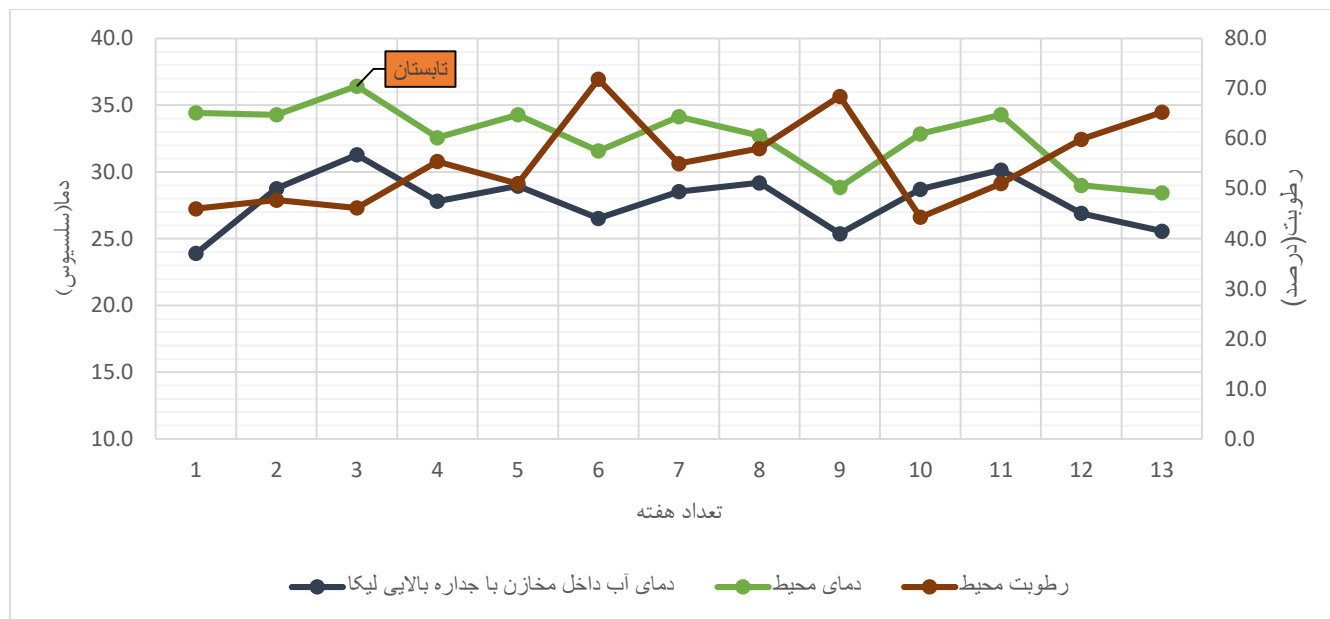
شکل ۱۲: تغییرات میانگین هفتگی دمای هوای داخل مخازن با جداره بالایی بتن متخلخل حاوی شن

جدول ۶: مقایسه آماری دمای آب و هوای داخل مخازن با جداره بالایی بتن متخلخل حاوی شن و دمای محیط

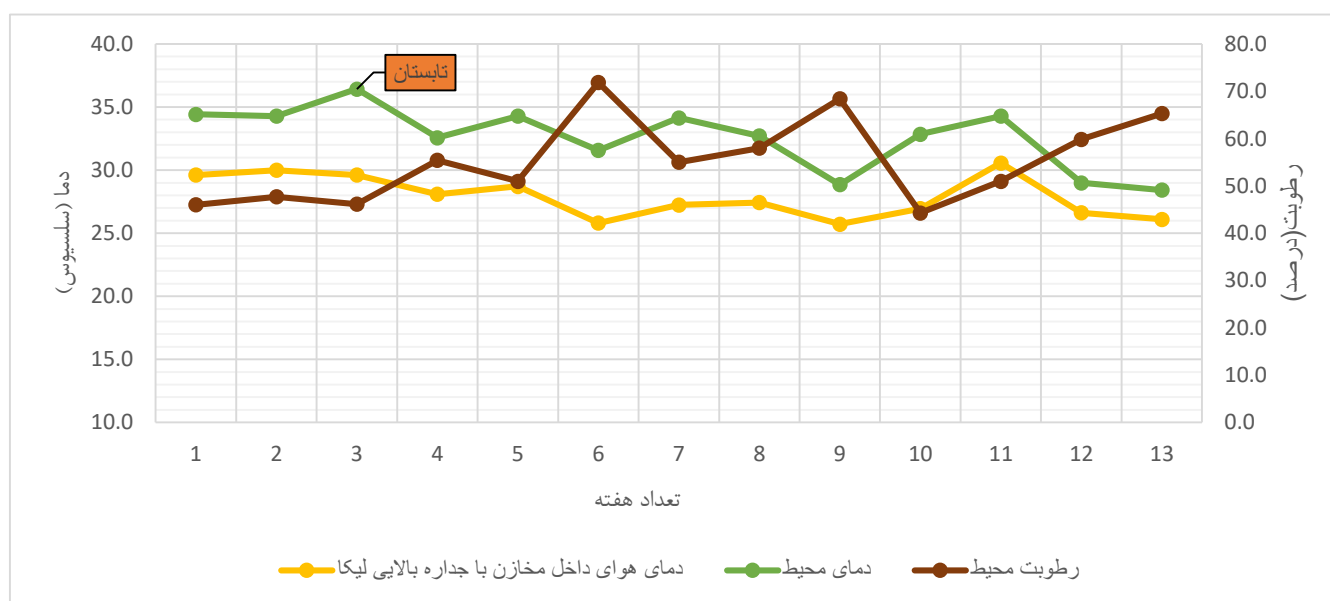
انحراف معیار	میانگین (°C)	دما
۴/۱۹	۳۲/۳	محیط
۳/۰۳	۲۷/۷	آب داخل مخازن
۳/۱۴	۲۷/۲	هوای داخل مخازن

شکل ۱۳، تغییرات میانگین هفتگی دمای آب داخل مخازن با جداره بالایی بتن متخلخل حاوی لیکا را نشان می‌دهد. در تمامی هفته‌ها، میانگین دمای آب از میانگین دمای محیط کمتر می‌باشد. در فصل بهار، با کاهش دمای محیط و افزایش رطوبت، دمای آب مخازن بتن متخلخل حاوی لیکا با شیب تندی افزایش یافت. در ادامه، با افزایش دمای محیط و کاهش رطوبت، دمای آب این مخازن با شیب ملایم نیز افزایش یافت. در فصل تابستان، با افزایش رطوبت و کاهش دمای محیط، دمای آب این مخازن کاهش یافت. با کاهش رطوبت و افزایش دمای محیط، دمای هوای این مخازن افزایش پیدا کرد. در انتهای فصل تابستان، با افزایش رطوبت و کاهش دمای محیط، دمای آب داخل این مخازن نیز کاهش یافت.

شکل ۱۴، تغییرات میانگین هفتگی دمای هوا در مخازن با جداره بالایی بتن متخلخل حاوی لیکا را نشان می‌دهد. در تمامی هفته‌ها، میانگین دمای هوای داخل این مخازن از میانگین دمای محیط کمتر می‌باشد. در فصل بهار، با کاهش دمای محیط و افزایش رطوبت، دمای هوای این مخازن افزایش یافت. در ادامه، با افزایش دمای محیط و کاهش رطوبت، دمای هوای این مخازن نیز افزایش یافت. در فصل تابستان، با افزایش رطوبت و کاهش دمای محیط، دمای هوای این مخازن کاهش یافت. با کاهش رطوبت و افزایش دمای محیط، دمای هوای داخل این مخازن افزایش پیدا کرد. در انتهای فصل تابستان با افزایش رطوبت و کاهش دمای محیط، دمای هوای داخل این مخازن کاهش یافت.



شکل ۱۳: تغییرات میانگین هفتگی دمای آب داخل مخازن با جداره بالایی بتن متخلخل حاوی لیکا



شکل ۱۴: تغییرات میانگین هفتگی دمای هوای داخل مخازن با جداره بالایی بتن متخلخل حاوی لیکا

جدول ۷، مقایسه‌ی آماری بین دمای هوا و آب داخل مخازن با جداره بالایی بتن متخلخل حاوی لیکا و دمای محیط را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، کمتر بودن انحراف معیار دمای آب داخل این مخازن در فصول بهار و تابستان نسبت به دمای محیط، نشان‌دهنده کمتر بودن میزان نوسانات دمای آب و هوای داخل این مخازن نسبت به دمای محیط می‌باشد. همچنین، در این فصول، کم بودن میزان انحراف معیار هوا و آب داخل این مخازن نشان‌دهنده نوسانات کم دمای هوا و آب می‌باشد. لذا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که نوسانات دمایی هوا و آب داخل مخازن با جداره بالایی بتن متخلخل حاوی لیکا از نوسانات دمایی هوای بیرون این مخازن کمتر است و این مخازن متعادل کننده دمای داخل آنها بوده‌اند.

اما مقایسه جداول ۶ و ۷ نشان می‌دهد که میانگین دمای آب داخل مخزن با جداره بالایی بتن متخلخل حاوی لیکا (۲۷/۶ درجه سلسیوس) در حد ۰/۱ گرمتر بود. همچنین،



دمای هوای داخل مخزن با جداره بالایی بتن متخلخل حاوی شن (۲۷/۲ درجه سلسیوس) از دمای آب داخل مخزن با جداره بالایی بتن متخلخل حاوی لیکا (۲۷/۴ درجه سلسیوس) سردتر بود. این نتایج نشان داد که کاربرد ۵٪ افزودنی لیکا به بتن متخلخل تأثیر قابل توجهی بر دمای هوا و آب مخازن آب با جداره بتن متخلخل ندارد.

جدول ۷: مقایسه آماری دمای آب و هوای داخل مخازن با جداره بالایی بتن متخلخل حاوی لیکا و دمای محیط

انحراف معیار	میانگین (°C)	دما
۴/۱۹	۳۲/۳	محیط
۳/۲	۲۷/۶	آب داخل مخازن
۳/۱۲	۲۷/۴	هوای داخل مخازن

#### ۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، از شن و افزودنی لیکا در ساخت دیواره متخلخل مخزن ذخیره آب استفاده شد تا تأثیر آنها بر دمای آب و هوای داخل مخزن بررسی گردد. نتایج به دست آمده عبارتند از:

- با اضافه کردن افزودنی لیکا به بتن متخلخل به عنوان جایگزین وزنی قسمتی از سنگدانه‌ها، مقاومت فشاری کاهش یافت. علت این کاهش را می‌توان به کم بودن مقاومت افزودنی و وزن مخصوص آن نسبت به دانه‌های شن نسبت داد.
- با اضافه کردن افزودنی لیکا به بتن متخلخل، نفوذپذیری و تخلخل افزایش یافت. علت این افزایش، گرد گوشه و متخلخل بودن دانه‌های افزودنی نسبت به دانه‌های شن می‌باشد. در نمونه شاهد، به دلیل عدم استفاده از افزودنی، فضای خالی و در نتیجه تخلخل کاهش یافت. میزان تخلخل نمونه بتن با افزودنی لیکا، کمتر از نمونه شاهد شد. دلیل این کاهش، بزرگتر بودن اندازه ذرات لیکا در مقایسه با ذرات شن می‌باشد.
- در فصل بهار و تابستان، اختلاف دمای آب مخازن حاوی لیکا با هوای محیط کمتر از اختلاف دمای آب مخازن شاهد می‌باشد. به دلیل وجود جریان هوا بین محیط داخل مخازن متخلخل و دمای محیط، طعم و مزه آب تغییر نکرد و هیچگونه لجنی روی دیوارهای مخازن مشاهده نشد. همچنین بین اختلاف دمای آب و دمای محیط و تخلخل نمونه‌ها ارتباط معنی‌داری پیدا شد. با افزایش تخلخل و نفوذپذیری، دمای آب مخازن نسبت به دمای محیط خنک‌تر می‌باشد. بنابراین می‌توان برای خنک نگه‌داشتن آب در فصل گرما از افزودنی لیکا برای مخازن بتنی با جداره بالایی بتن متخلخل استفاده نمود. برای بررسی بیشتر می‌توان از افزودنی‌ها و درصد‌های مختلف آنها، و ضخامت‌های بیشتر دیواره‌های مخازن استفاده نمود. همچنین، می‌توان اندازه‌گیری‌های دمای آب و هوای داخل مخازن را در ساعات دیگر شبانه‌روز و فصول پاییز و زمستان انجام داد.

#### مراجع

- [1] Hejranfar, A., Moti, H. and Ahmadi, M. (2011). A re-approach to the use of traditional potable water storage tanks in arid and semi-arid regions under climate change. First International Conference on Natrava Concrete Drinking Water Tanks, Rasht.
- [2] ACI Committee 211. (2006). Guide for Selecting Proportions for No-slump Concrete.
- [3] Jang, J. G., Ahn, Y. B., Souri, H. and Lee, H. K. (2015). A novel eco-friendly porous concrete fabricated with coal ash and geopolymeric binder, heavy metal leaching characteristics and compressive strength. Construction and Building Materials, 79, 173-181.
- [4] Ghafoori, N. and Dutta, S. (1995). Development of no-fines concrete pavement applications. Journal of Transport Engineering, 121, 283-288.
- [5] Huang, B., Wu, H., Shu, X. and Burdette, E. G. (2010). Laboratory evaluation of permeability and strength of polymer-modified pervious concrete, Construction and Building Materials, 24, 818-823.
- [6] Shu, X., Huang, B., Wu, H., and Burdette, G. (2011). Performance comparison of laboratory and field produced pervious concrete mixtures. Construction and Building Materials, 25, 3187-3192.

- [7] Ullate, E. G., Lopez, E. C., Fresno, D. C. and Bayon, J. R. (2011). Analysis and contrast of different pervious pavements for management of storm-water in a parking area in northern Spain. *Water Resources Management*, 25, 1525-1535.
- [8] Andrew Grahl, N. (2013). Hydrologic design of pervious concrete highway shoulders, M.S. Thesis in Civil Engineering, University of Missouri.
- [9] Sata, V., Wongsa, A. and Chindaprasirt, P. (2013). Properties of pervious geopolymers using recycled aggregate. *Construction and Building Materials*, 42, 33-39.
- [10] Zaetang, Y., Wongsa, A., Sata, V. and Chindaprasirt, P. (2013). Use of lightweight aggregates in pervious concrete. *Construction and Building Materials*, 48, 585-591.
- [11] Hesami, S., Ahmadi, S. and Nematzadeh, M. (2014). Effects of rice husk ash and fiber on mechanical properties of pervious concrete pavement. *Construction and Building Materials*, 53, 680-691.
- [12] Gaedicke, C., Marines, A. and Miankodila, F. (2014). A method for comparing cores and cast cylinders in virgin and recycled aggregate pervious concrete. *Construction and Building Materials*, 52, 494-503.
- [13] Ćosić, K., Korat, L., Ducman, V. and Netinger, I. (2015). Influence of aggregate type and size on properties of pervious concrete. *Construction and Building Materials*, 78, 69-76.
- [14] Ibrahim, H. A. and Abdul Razak, H. (2016). Effect of palm oil clinker incorporation on properties of pervious concrete. *Construction Building and Materials*, 115, 70-77.
- [15] Chen, Z., Nantasai, B., Nassiri, S. and Haselbach, L. (2017). Prediction of thermal behavior of pervious concrete pavements in winter. Technical Report, Center for Environmentally Sustainable Transportation in Cold Climates, pp. 74-138.
- [16] Yekkalar, M., Haselbach, L. and Langfitt, Q. (2018). Impacts of a pervious concrete retention system on neighboring clay soils. *Journal of Cold Regions Engineering*, 32(1), 32-44.
- [17] Teymouri, E., Mousavi, S. F., Karami, H. and Farzin, S. (1995). Performance of porous concrete containing additive in reduction of urban runoff. *Journal of Structural Engineering*, 13, 33-44.
- [18] Doostmohammadi, M. (2017). Experimental investigation of the possibility of replacing some adsorbents in porous concrete to treat urban runoff and effluent of wastewater treatment plant. Master of Science Thesis, Faculty of Civil Engineering, Semnan University.
- [19] Azad, A. (2017). Application of porous concrete containing adsorbent as a new approach in improving the quality of urban runoff. Master of Science Thesis, Faculty of Civil Engineering, Semnan University.
- [20] Rezaei Lori, A. (2017). Evaluating the effect of copper slag on load repetition fatigue cracks properties of pervious concrete pavements. Department of Highway & Transportation Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University.
- [21] Leca Co. (2006). What is Leca? Leca coIran. [Available at: <http://www.Leca.ir/index.2006>]
- [22] Nkansah, M. A., Christy, A. A., Barth, T. and Francis, G. W. (2012). The use of lightweight expanded clay aggregate (LECA) as sorbent for PAHs removal from water. *Journal of Hazardous Materials*, 217, 360-365.
- [23] British Standard, Testing Concrete, (1983). Method for Making Test Cubes from Fresh Concrete. BS 1881, part 108.
- [24] ASTM C1754/C1754M-12. (2012). Standard Test Method for Density and Void Content of Hardened Pervious Concrete. ASTM International, USA.