



## ارزیابی فنی و اقتصادی استفاده از سنگدانه‌های طبیعی برای کاهش تبخیر از مخازن آب

سعید صفری<sup>۱</sup>، علی عباسی<sup>۲</sup>، ناصر حافظی مقدس<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

<sup>۲</sup> استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسئول)

<sup>۳</sup> استاد گروه زمین شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

[saeedsafari9083@gmail.com](mailto:saeedsafari9083@gmail.com)

[aabbasi@um.ac.ir](mailto:aabbasi@um.ac.ir)

[nhafezi@um.ac.ir](mailto:nhafezi@um.ac.ir)

### خلاصه

در سال‌های اخیر با وقوع خشکسالی‌های متوالی در کنار افزایش مصرف آب در بخش‌های صنعتی، کشاورزی و خانگی، فشار موجود بر منابع آب محدود در کشور بسیار زیاد شده است. لذا تلاش برای پیشگیری از اتلاف این حجم محدود موجود بسیار ارزشمند خواهد بود. در میان تلفات موجود از منابع آبی کشور، تبخیر از سطح مخازن و دریاچه‌ها درصد زیادی را شامل می‌شود که با توجه به وجود اقلیم خشک و نیمه خشک در اکثر مناطق ایران نیازمند استفاده از راهکارهای مناسب و اقتصادی برای کاهش تلفات آب هستیم. در پژوهش حاضر تلاش شده است تا میزان کارایی پوشش پیشنهادی که از سنگدانه‌های طبیعی منبسط شده همراه با یک پوشش اپوکسی تشکیل شده است، از دیدگاه اقتصادی و نیز فنی مورد بررسی قرار گیرد. این پوشش از مواد و مصالح موجود در هر منطقه قابل تهیه می‌باشد و لذا هزینه‌های آن به مراتب کمتر از سایر پوشش‌های مرسوم خواهد بود. پوشش مذکور برای اولین بار در مخازن آب در شرایط اقلیمی استان خراسان رضوی، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته و نهایتاً بر اساس داده‌های به دست آمده میزان کارایی فنی و اقتصادی آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

**کلمات کلیدی:** تبخیر، مخازن آب، سنگدانه‌های طبیعی منبسط شده، روکش اپوکسی، خراسان رضوی

### ۱ مقدمه

خشکسالی‌های اخیر در کنار افزایش تقاضا برای آب (مصارف صنعتی، شرب و کشاورزی) در سالهای اخیر باعث افزایش فشار بر منابع آب موجود شده است. در پاسخ به این افزایش نیاز، ارزیابی تمام روش‌های دستیابی به منابع آب قابل اطمینان و پایدار دارای اهمیت زیادی می‌باشد [۱]. یکی از این راهکارها، کاهش میزان تلفات آب از مخازن در اثر تبخیر می‌باشد. در بین مؤلفه‌های مختلف هیدرولوژیکی، تلفات تبخیر تنها تلفات واقعی از مخزن به حساب می‌آید. با توجه به حجم بالای تبخیر از منابع آب در کشور، کاهش میزان تبخیر کمک شایانی در راستای تامین میزان آب در دسترس و قابل برنامه ریزی خواهد داشت. با در نظر داشتن حجم مخازن موجود در کشور و نیز ارزش و قیمت اقتصادی آب (با توجه به استفاده از آن در صنعت و نیز ایجاد اشتغال و ارزش افزوده حاصل از آن) و نیز بالابودن نرخ تبخیر (از سطح پهنه‌های آبی) در کشور این موضوع اهمیت زیادی پیدا خواهد کرد [۲].

طبق مطالعات انجام شده در مناطق خشک و نیمه خشک ایران (به عنوان مثال در استان سیستان و بلوچستان) حدود ۴۰ تا ۵۰ برابر مقدار بارندگی سالانه، آب ذخیره شده در منابع آبی از جمله سدها و بندها تبخیر می‌شود که این حجم تبخیر معادل حجم سه تا چهار سد مخزنی است. این مقادیر عملاً نشان دهنده میزان بالای هدررفت آب از منابع آبی در کنار هزینه‌های میلیاردی و صرف سال‌ها وقت برای ساخت مخازن آبی می‌باشد. اهمیت این موضوع زمانی آشکارتر خواهد شد که این میزان تلفات آب با توجه به شرایط نامناسب منابع آب در ایران و تبعات ناشی از آن مورد بررسی قرار گیرد [۳].

با توجه به مشکلات کم آبی حاکم بر عمده مناطق مختلف ایران، بررسی و مطالعه روش‌های مختلف تخمین و کنترل تبخیر از سطوح پهنه‌های آبی کشور می‌تواند به‌عنوان یکی از راهکارهای پایدار مورد توجه قرار گیرد. برای کنترل تبخیر از سطح دریاچه‌ها، سدهای مخزنی، آبگیرها و رودخانه‌ها به‌عنوان اکوسیستم‌های آبی کشور می‌توان روش‌های مختلفی را اعمال کرد که انتخاب این روش‌ها تابع شرایط منطقه و آنالیزهای اقتصادی خواهد بود.

افخمی و همکاران (۱۳۹۶)، برای کاهش تبخیر از سطح کوچک آب در سدهای آشغال‌گیر کارخانه مس سرچشمه، از لاستیک‌های مستعمل به‌همراه پوشش یونولیت در وسط آن استفاده نمودند [۱]. آنها نشان دادند که تابش خورشید و بارش باران در زمستان روی این پوشش به‌مدت بیش از ۵ ماه هیچ‌گونه تخریبی در آن ایجاد نکرد و در مدت ۲ ماه تبخیر را به میزان ۸۰٪ کاهش داد. این پوشش‌ها حدود ۸۰٪ سطح آب را پوشانده و از ۲۰٪ باقی‌مانده تبادل اکسیژن در سطح آب برای حفظ محیط زیست در آب انجام می‌شد. پیری و همکاران (۱۳۹۰)، پژوهش‌هایی را برای بررسی تأثیر مواد شیمیایی الکلی بر کاهش تبخیر از سطوح کوچک آب مانند تشتک کلاس (آ) انجام دادند [۴]. این پژوهشگران ترکیبی از هگزا دکانول و اکتادکانول، به‌ترتیب معادل ۲۰ و ۴۰ گرم در هکتار را به کار بردند و به این نتیجه رسیدند که کاربرد پیوسته ۳۶ روز این ترکیب، باعث کاهش محسوس تبخیر شد. همچنین با کاربرد پوشش‌های فیزیکی مانند پلی استیرن با ضخامت ۱/۵ سانتیمتر و میزان پوشش ۴۰،۶۰ و ۸۰٪ نشان دادند که در مدت ۳۸ روز تبخیر به‌میزان ۳۰ تا ۵۵٪ کاهش یافته است. در تلاش‌های دیگر انجام شده، رنجبر و همکاران (۱۳۹۰) بتن‌های سبک به مساحت یک مترمربع مسلح به الیاف مصنوعی (پلی پروپیلن) را که با ضخامت ۳۰ سانتیمتر و به‌صورت تو خالی ساخته شده بودند و امکان اتصال آنها به سادگی فراهم بود، را بر روی قسمتی از دریاچه سد کارون به کار بردند [۵]. گروهی از پژوهشگران در منطقه سیستان و بلوچستان با کاربرد مواد شیمیایی (الکل‌های زنجیره ای) نشان دادند که می‌توان با استفاده از این پوشش‌ها، در مساحتی حدود ۰/۵ کیلومترمربع به میزان ۶۰٪ و در مساحت ۱۰ کیلومترمربع به‌میزان ۹٪ از میزان تبخیر از سطح آب کاست [۶].

در مخزن استفن کریک (استرالیا)، بررسی‌های کاهش تبخیر در طول مدت ۱۴ هفته با کاربرد محلول ستیل الکل ۱۰٪ و میزان روزانه ۰/۲ اونس الکل جامد در اگر انجام شد. بررسی‌ها نشان دادند که با انجام این عملیات، مقدار تبخیر ۳۷٪ کاهش یافت. هر چند به‌علت سرعت زیاد باد نتایج به‌دست آمده چندان مطلوب نبودند [۷]. در دریاچه هنفر (آمریکا)، کاربرد پوشش‌های تک‌لایه‌ای الکل روی سطح آب بررسی شد [۸]. طبق نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، کاربرد ستیل الکل تبخیر را به‌میزان ۹٪ کاهش داده و در عین حال باعث افزایش یک درجه سانتی‌گرادی آب در دریاچه شده است. طبق این نتایج، سرعت باد مهمترین عامل مؤثر در پایداری پوشش‌های تک‌لایه‌ای (تک مولکولی) روی سطح آب بوده و در سرعت‌های باد بیش از ۸ متر در ثانیه ایجاد این پوشش تک مولکولی عملاً غیر ممکن می‌باشد. در مخزن مالیا در آفریقا، محلول ۳٪ شامل مخلوطی از ستیل الکل و استریل الکل که در نفت مخلوط شده‌اند در بررسی‌های انجام شده به کار برده شد. نتایج این بررسی نشان داد که در سرعت‌های بالای باد، این محلول تنها ۱۱٪ تبخیر از سطح آب را کاهش داد. در بررسی دیگری که در مخزن ادلاید هیل در استرالیا، انجام شد، ترکیبی از آهک آب‌دیده، استریل الکل و ستیل الکل برای کاهش تبخیر از سطح آب به کار رفت. این مخلوط، یک لایه تک‌مولکولی غیرقابل رؤیت با چشم غیرمسلح، بر روی سطح آب ایجاد می‌کند که در مدت ۲ تا ۴ روز تجزیه می‌شود و هیچ‌گونه اثرات زیان‌بار بر محیط زیست و کیفیت آب مخزن ندارد. این مخلوط باید در طول تابستان به‌طور منظم روی سطح آب پخش شود. هر چند میزان عمل‌کرد این مخلوط مطلوب ارزیابی شد، اما تنها برای کاهش تبخیر از مخازن کوچک کاربردی است و برای مخازن بزرگ از قبیل مخزن ادلاید هیل، به‌دلیل کارا نبودن آن در سرعت‌های زیاد باد، مناسب نیست [۷].

در این پژوهش تلاش شده است تا کارایی پوشش تشکیل شده از سنگدانه‌های طبیعی منبسط شده، به‌عنوان یک راه‌کار مناسب جهت کاهش تبخیر از سطح آب در شرایط اقلیمی استان خراسان رضوی، هم از دیدگاه فنی و هم از دیدگاه اقتصادی مورد بررسی قرار گیرد. آزمایش‌های موردنیاز در این طرح با استفاده از دو استخر مشابه در کنار هم، که یک استخر به‌عنوان استخر شاهد و دیگری به‌عنوان استخر تست در نظر گرفته شده‌اند، در محل تصفیه خانه شماره یک شرکت آب و فاضلاب مشهد انجام شده‌اند.

## ۲ روش‌های کاهش تبخیر

برای کاهش تبخیر از پهنه‌های آبی روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد:

<sup>۱</sup> Stephen Creek  
<sup>۲</sup> Henfar Lake  
<sup>۳</sup> Malia Tank  
<sup>۴</sup> Adelide Hill Tank

- روش‌های فیزیکی: روش‌های فیزیکی معمولاً هزینه‌های زیادی دارند، اما در کاهش تبخیر بسیار مؤثرند. مهمترین فاکتور بازدارنده در استفاده از روش‌های فیزیکی، بحث هزینه‌های اقتصادی و مقرون به صرفه بودن آن است. عوامل تعیین کننده صرفه اقتصادی در پروژه منابع آب عبارتند از: فراوانی آب (مقدار آب موجود و در دسترس) در منطقه و قیمت آب [۱].
- روش‌های شیمیایی: روش‌های شیمیایی کاهش تبخیر در مخزن سدها بر دو ماده مهم استوار است: یکی الکل‌های هگزاکانول (ستیل الکل) و دیگری الکل‌های اکتادکانول (استریل الکل). استفاده از مواد جامد و شیرآبه‌های کاهنده تبخیر و کاربرد مواد پودری نیز از سایر روش‌های شیمیایی کاهش تبخیر هستند [۱].
- روش‌های بیولوژیک: در روش‌های بیولوژیک کاهش تبخیر از مخازن سد از گیاهان آبی (مانند نیلوفر آبی) که روی سطح آب قرار می‌گیرند، استفاده می‌شود. این گیاه می‌تواند به کاهش ۹ الی ۱۵ درصدی تبخیر کمک کند. ایراد اساسی روش‌های بیولوژیک آن است که همه گیاهان نمی‌توانند مؤثر باشند. علاوه بر آن، کیفیت آب در این روش‌ها معمولاً تحت تأثیر قرار می‌گیرد. کاهش فعالیت‌های تفریحی مخزن و تهدید گونه‌های آبی از دیگر ایرادهای روش‌های بیولوژیک می‌باشند. کاشت کمر بند سبز در اطراف مخازن آب، یکی دیگر از روش‌های بیولوژیک کاهش تبخیر است. در این روش معمولاً با کاشت درختان در محیط دور مخزن تلاش می‌شود تا سرعت باد (به‌عنوان یکی از عوامل اصلی تشدید تبخیر در مخازن) کاهش یابد. این روش در مخازن بزرگ کارایی چندانی ندارد و عمدتاً در مخازن کوچک قابل استفاده می‌باشد.
- سایر روش‌ها: یکی دیگر از روش‌های کاهش تبخیر کم کردن اثر پارامترهای مؤثر در مقدار تبخیر از قبیل کاهش سطح آزاد مخزن می‌باشد که در صورتی که شرایط فیزیکی محل مخازن اجازه دهد می‌توان اثر کاهش سطح را با افزایش عمق جبران نمود. میزان تأثیر این روش کم تا متوسط برآورد شده است و اجرای آن با محدودیت‌های زیادی مواجه می‌باشد [۲].

## ۳ روش انجام پژوهش

در این پژوهش، کارایی پوشش تشکیل شده از سنگدانه‌های طبیعی منبسط شده، به‌عنوان یک راهکار مناسب جهت کاهش تبخیر از سطح آب در شرایط اقلیمی استان خراسان رضوی، هم از دیدگاه فنی و هم از دیدگاه اقتصادی مورد بررسی قرار می‌گیرد. ابتدا مشخصات فیزیکی و شیمیایی سنگدانه‌های طبیعی مورد استفاده مورد بررسی قرار می‌گیرد و در ادامه میزان راندمان آنها در کاهش مقدار تبخیر بررسی می‌شود. آزمایش‌های مورد نیاز در این طرح با استفاده از دو استخر مشابه در مجاورت یکدیگر، که یک استخر به‌عنوان استخر شاهد و دیگری به‌عنوان استخر تست در نظر گرفته شده‌اند، در محل تصفیه خانه شماره یک شرکت آب و فاضلاب مشهد انجام شده‌اند.

## ۳،۱ مشخصات پوکه صنعتی مورد استفاده

پوکه‌ها به دو گروه طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌شوند. انواع طبیعی نظیر پامیس، اسکوریا (سنگ پا) عمدتاً منشأ آذرین دارند و برخی دیگر مانند دیاتومیت دارای منشأ رسوبی هستند. سنگدانه‌های مصنوعی نیز شامل انواع سرباره، ترکیبات آلی منبسط شونده (نظیر استایرن‌ها) و پوکه‌های حاصل از فرآوری شیشه‌های آتش‌فشانی سیلیسی نظیر پرلیت و خاک رس و سنگ‌های رس دار است. برای اولین بار در ایران پوکه صنعتی مشهد (مورد استفاده در این پژوهش) از مصالح سنگی تولید می‌گردد. این مصالح به جهت اینکه از خاک استفاده نمی‌کند صنعت سبز و سازگار با محیط زیست محسوب می‌گردد. به علاوه، پوکه تولیدی با مصالح سنگی دارای جذب آب کمتر، مقاومت و دوام بالاتری نسبت به انواع با پایه رسی است. پوکه صنعتی مشهد بسته به نیاز مصرف کننده در اندازه‌های مختلف و از ذرات کوچک تا ابعاد بیش از ۱۰ سانتی‌متر قابل تولید است. سطح خارجی پوکه کاملاً زبر و ناهموار با خلل و فرج بسیار زیاد بوده و بخش داخلی دانه‌ها دارای بافت سلولی سیاه‌رنگ می‌باشد. خلل و فرج زیاد و حالت سرامیکی ناشی از پخت مصالح در کوره سبب ایجاد ویژگی‌های قابل توجه مانند وزن کم، هدایت حرارتی پایین، افت صوتی مناسب، مقاومت در برابر آتش، دوام و پایداری شیمیایی این مصالح شده است. در جدول (۱) خصوصیات پوکه صنعتی مشهد و در جدول (۲) خصوصیات بتن تهیه شده با این پوکه ارائه شده است.

جدول (۱): خصوصیات پوکه صنعتی مشهد

اندازه دانه‌ها/خصوصیات	ریزدانه	درشت دانه
درصد جذب آب	۵-۱۲	۳-۷
وزن مخصوص فله درشت دانه‌ها	۰/۴۵-۰/۴۰	۰/۴۵-۰/۳۵
وزن مخصوص مترآکم درشت دانه‌ها	۰/۴۶	۰/۴۴
زاویه اصطکاک داخلی-درجه	۳۲-۳۵	۳۴-۴۰

۱۷	درصد سایش لس آنجلس
۳-۱	نفوذپذیری
> ۰,۱	آنالیز سلامت سنگ (سولفات منیزیم)
> ۰,۳	آنالیز سلامت سنگ (سولفات سدیم)
۷/۹	اسیدپته

جدول (۲): خصوصیات بتن تهیه شده با پوکه صنعتی

مقاومت فشاری ۲۸ روزه (kg-cm <sup>2</sup> )	مقاومت فشاری ۸ روزه (kg-cm <sup>2</sup> )	وزن مخصوص (gr-cm <sup>3</sup> )
۱۵۰-۲۵۰	۱۳۰-۱۸۰	۱/۲-۱/۵

در جدول (۳) نتیجه آنالیز و شناسایی ترکیبات بکار رفته در ساختمان سنگدانه‌های مورد استفاده در این پژوهش نشان داده شده است. نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که عمده مواد به کار رفته در این سنگدانه‌ها اکسید سیلیس (SiO<sub>2</sub>) و اکسید آلومینیوم (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) است که به ترتیب ۵۸ درصد و ۱۶ درصد ساختمان کلی این سنگدانه‌ها را شامل می‌شوند. طبق این آنالیز ترکیبات شیمیایی به کار رفته در ساختمان سنگدانه‌ها عبارتند از: اکسید سیلیس، اکسید آلومینیوم، اکسید باریوم، اکسید کلسیم، اکسید آهن، اکسید پتاسیوم، اکسید منیزیم، اکسید منگنز، اکسید سدیم، اکسید پتاسیم، گوگرد و اکسید لیلیوم. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در نمایش ترکیبات شیمیایی موجود در این سنگ دانه‌ها از روش XRF که به صورت نمایش درصدی است بهره گرفته شده است. نمودارهای XRD نیز وجود دارند که به لحاظ نتیجه با XRF کاملاً یکسان‌اند اما تفاوت در نحوه نمایش است. بنابراین برای نمایش ترکیبات شیمیایی به کار رفته در سنگدانه‌ها اگر بخواهیم به صورت گراف عمل کنیم از روش XRD و اگر بخواهیم به طور درصدی نمایش دهیم از روش XRF استفاده می‌نماییم. بررسی ترکیبات شیمیایی به کار رفته در این سنگدانه‌ها نشان می‌دهد که سهم سایر ترکیبات مانند اکسید باریوم، اکسید کلسیم و ... نسبت به اکسید سیلیس و اکسید آلومینیوم بسیار کمتر می‌باشد که حاکی از بی‌خطر بودن این سنگدانه‌ها و ترکیبات آن در بحث کیفیت آب است و لذا از نظر زیست محیطی با محیط زیست پیرامون سازگار خواهد بود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود نتایج تعداد ۵ نمونه که به آزمایشگاه تحویل داده شد همگرا و تقریباً یکسان است.

جدول (۳): خصوصیات و مواد شیمیایی تشکیل دهنده سنگدانه‌های منبسط شده



شرکت مطالعات مواد معدنی زرآزما واحد معدنی منتخب سال ۹۲

Client: Chakad kansar kavan elika

Project: Private



۱۳۹۹/۱۱/۲۹

تاریخ:

نتایج فقط بازگو کننده نمونه های آنالیز شده می باشد  
نتایج با مهر و امضاء شرکت معتبر می باشد.

CERTIFICATE OF ANALYSIS

96ZR-5252AF

96ZR-5252AF

Element	SiO2	Al2O3	BaO	CaO	Fe2O3	K2O	MgO	MnO	Na2O	P2O5	SO3	TiO2	LOI
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
DL	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Scheme	WR-01	WR-01	WR-01	WR-01	WR-01	WR-01	WR-01	WR-01	WR-01	WR-01	WR-01	WR-01	WR-01
CO													
EL2-S1	57.92	15.99	<	3.64	6.55	2.82	2.02	0.33	1.28	0.2	0.16	0.75	8.33
EL2-S3	60.71	14.68	<	3.03	6.53	2.34	2.15	0.39	1.44	0.15	0.24	0.74	7.6
EL2-S4	58.41	17.48	<	1.63	6.51	3.08	2.34	0.22	1.65	0.14	0.14	0.81	7.59
EL2-S5	57.85	17.38	<	1.41	7.02	3.14	2.49	0.34	1.25	0.14	0.73	0.79	7.45
EL2-S6	57.49	17.32	<	1.93	6.61	3.19	2.49	0.3	1.35	0.15	0.73	0.78	7.66

پوکه صنعتی مشهد به دلیل نفوذپذیری بالا، دانسیته پایین، مقاومت مناسب، و زاویه اصطکاک داخلی زیاد کاربردهای متنوعی دارد. در ادامه به برخی از کاربردهای آن اشاره شده است:

- مصالح پرکننده در کف سازی طبقات و سقف ساختمان‌ها؛
- مصالح دانه ای سبک در تولید بتن سبک باربر و غیر باربر زیر اساس در جاده، راه آهن و فرودگاه در شرایطی که بستر نشست پذیری بالایی دارد. در این شرایط به دلیل وزن کمتر نسبت به مصالح طبیعی معمولی نشست زمین کمتر خواهد شد؛
- مصالح پرکننده در پشت دیواره‌های نگهبان: به دلیل نفوذ پذیری بالا و وزن مخصوص پایین، استفاده از این مصالح سبب کاهش تنش فعال خاک به کمتر از یک سوم نسبت به مصالح معمولی می‌گردد؛
- مصالح پوششی بر روی لوله‌های مدفون و تونل‌ها؛
- مصالح زهکشی و فیلتر؛

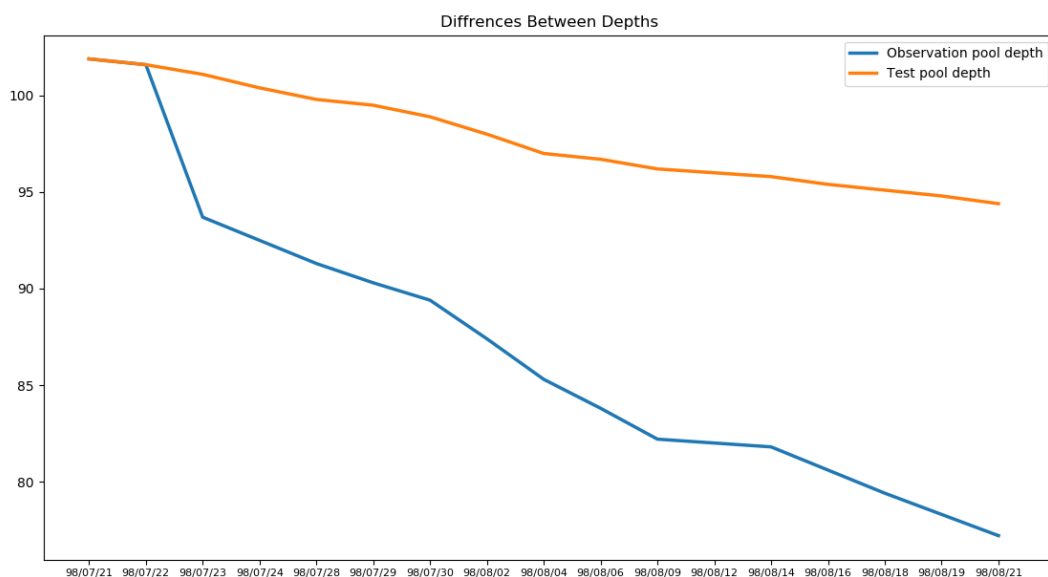
## ۳,۲ قیمت سنگدانه‌های طبیعی منبسط شده

قیمت سنگدانه‌های طبیعی منبسط شده پس از فرآوری و به صورت تجاری (بدون هیچ گونه پوشش) ۱۴۵ هزار تومان در هر مترمکعب است. هر مترمکعب از این مصالح برای پوشش یک سطح ۲۰ مترمربعی به صورت ۱۰۰ درصد و یا ۳۰ متر مربع به صورت پوشش ۶۰ درصدی کفایت می‌کند. در یک نگاه و با یک حساب ساده می‌توان به اقتصادی بودن این مصالح و برتری این مصالح به لحاظ اقتصادی نسبت به سایر مواد و روش‌های مرسوم کاهش تبخیر پی برد.

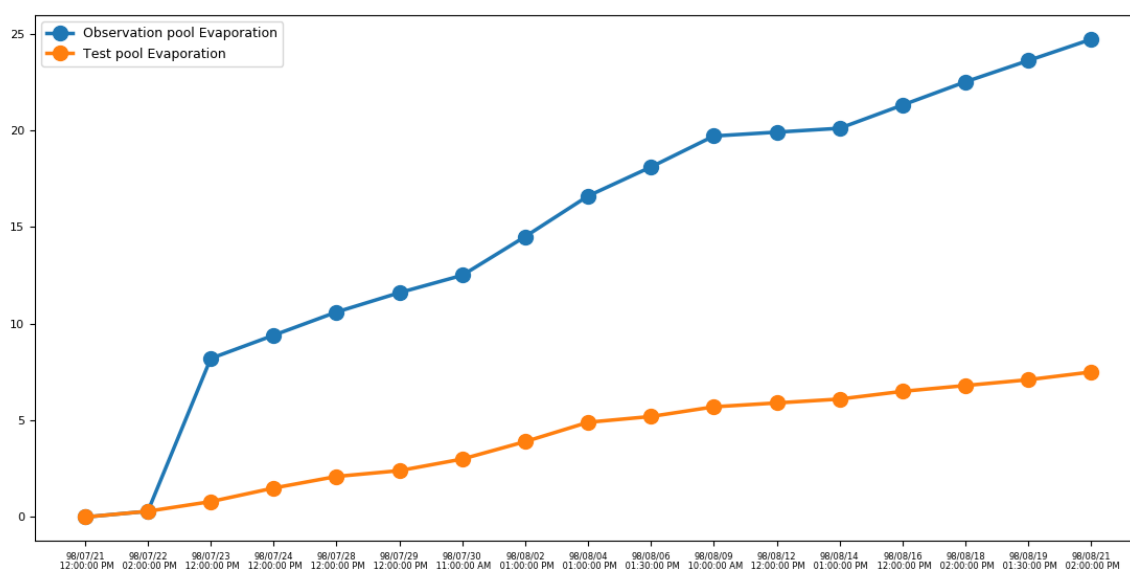
## ۴ روش و مراحل انجام کار

برای انجام این پژوهش مراحل زیر انجام شده است:

- ساخت دو مخزن با ابعاد ۲ (عرض) در ۲ (طول) در ۱ (عمق) متر در محل مناسب در سایت (تصفیه خانه آب شماره ۱ مشهد)؛
- جمع آوری اطلاعات هواشناسی و اقلیمی مناطق مورد بررسی؛
- بررسی و ارزیابی روش‌های تخمین مقدار تبخیر از سطوح آزاد آب در منطقه؛
- بررسی روش‌های معمول برای کاهش تبخیر از سطوح آزاد آب؛
- آماده‌سازی پوشش‌های مورد استفاده (سنگدانه‌های طبیعی با روکش اپوکسی) و قرار دادن بر روی استخر مورد نظر؛
- مقایسه و تحلیل مقدار عمق آب استخرها با پوشش و بدون پوشش (شکل (۱))؛
- اندازه‌گیری مقدار تبخیر از سطوح آب در دو استخر (یک استخر با پوشش و استخر دوم بدون پوشش) (شکل (۲))؛
- تحلیل اقتصادی و فنی پوشش مورد استفاده؛



شکل (۱): مقایسه مقدار تغییرات عمق آب در دو استخر



شکل (۲): مقایسه مقدار تغییرات تبخیر آب در دو استخر

## ۵ نتیجه گیری

روش‌های مختلف کاهش تبخیر از دهه ۵۰ تاکنون مورد توجه محققان قرار گرفته است، ولی تاکنون روش کامل و جامع برای کاهش تبخیر آب مخازن سدها ارائه نشده است. هر روش متناسب با شرایط اقلیمی، اقتصادی، مدیریتی و فرهنگی کشورها مختلف و متفاوت است. از راهکارهای کاهش نرخ تبخیر می‌توان به روش‌های شیمیایی و فیزیکی اشاره نمود. به‌عنوان مثال استفاده از الکل‌های چرب و یا الکل‌های سنگین همانند هگزاگانول و اکتادکانول و دیگر لایه‌هایی که تبخیر آب را کاهش می‌دهند استخراج شده است. باید گفت به‌دلایل متنوعی این تک‌لایه‌های تأثیرگذار روی ذخایر آبی به سرعت تبخیر را کاهش می‌دهند اما دوام آن‌ها به مدت یک یا دو روز می‌باشد و همچنین هزینه بیش از حد این مواد از نقاط ضعف آن به‌شمار

می رود چرا که به لحاظ اقتصادی زمانی سودمند خواهند بود که تک لایه هایی با دوام بالاتر شناسایی و مورد استفاده قرار گیرند. در رابطه با روش های فیزیکی نیز می توان به استفاده از پوشش های شناور مانند ضایعات پلیمری، پنل های خورشیدی، توپ سایه، پوشش های پی وی سی و ... اشاره نمود که از میان آن ها روش استفاده از سنگدانه های طبیعی منبسط شده (روش مورد استفاده در این پژوهش) برای کاهش تبخیر روشی کارآمد و با صرفه اقتصادی می باشد. بررسی نتایج به دست آمده از اندازه گیری های میدانی در این پژوهش، نشان می دهد که استفاده از این پوشش بر روی سطح استخرهای مورد استفاده باعث کاهش نرخ تبخیر به میزان ۷۷ درصد شده است که این میزان کاهش با صرف هزینه ای معادل ۵۵۰ هزار ریال به ازاء هر مترمربع پوشش امکان پذیر می باشد که با در نظر گرفتن مقدار کاهش هدر رفت آب دارای توجیه اقتصادی می باشد. همچنین قابل ذکر است که سهولت تأمین مصالح مورد استفاده در این پوشش از دیگر نقاط قوت آن می باشد. کارگاه تولید سنگدانه های طبیعی منبسط شده در حال حاضر به صورت انبوه و در مقیاس تجاری و صنعتی به طور پیوسته و دائم در حال تولید و توزیع سنگدانه های مذکور می باشد. این ها عواملی هستند که باعث برتری این روش نسبت به سایر روش های مرسوم کاهش تبخیر می شوند. همچنین رنگ به کار رفته در پوشش سنگدانه ها که سفید است، بهترین رنگ از نظر جذب نور و حرارت می باشد و میزان جذب نور در این رنگ نسبت به سایر رنگ ها کمترین مقدار ممکن است. لذا بهترین رنگ برای پوشش سطح سنگدانه ها سفید است. آزمایش های کیفی انجام شده بر روی آب استخرهای مورد تست نشان می دهد که مصالح مذکور فاقد هرگونه تأثیر منفی بر روی محیط زیست و کیفیت آب هستند.

## ۷. مراجع

- [۱] افخمی، حمیده، ملکی نژاد، حسین، اسماعیل زاده، عصمت، غریبی، خداکرم، "طراحی پوشش شناور یونورینگ با استفاده از لاستیک های فرسوده جهت کاهش تبخیر از منابع روباز آبی"، مجله تحقیقات منابع آب ایران شماره ۳، صص ۲۱۴-۲۱۹، ۲۱۹-۱۳۹۶
- [۲] افخمی، حمیده، ملکی نژاد، حسین، اسماعیل زاده، عصمت، عزیزیان، ابوالفضل، "طراحی و ساخت پوشش فیزیکی فومتالات با استفاده از ضایعات پلیمری به منظور کاهش تبخیر از پساب های اسیدی"، مجله محیط زیست و مهندسی آب، شماره ۱، ۵۴-۶۵، ۱۳۹۶
- [۳] حسام، موسی، پیری، مهدی، دهقانی، امیراحمد، مفتاح هلقی، مهدی، "مطالعه آزمایشگاهی تاثیر استفاده از الکل های سنگین بر کاهش تبخیر از مخازن آب"، کنفرانس بین المللی بحران آب، دوره اول، صص، دانشگاه زابل، ۱۳۸۷
- [۴] پیری، م.، حسام، م.، دهقانی، ا.، حلاق، م.، ۱۳۹۰. "مطالعه عامی اثر روش های فیزیکی و شیمیایی روی کاهش تبخیر از سطح آب". مجله حفاظت آب و خاک ۱۵۴-۱۴۱: (۴) ۱۷.
- [۵] رنجبر، ا.، مهدویان، ا.، مکنون، ر. "بررسی امکان استفاده از صفحات شناور بتن سبک پرلیتی برای کاهش تبخیر مخزن های سدها". مجموعه مقالات سومین کنفرانس ملی سدها و نیروگاه های آبی. تهران، ۱۳۹۰.
- [۶] پیری، م.، حسام، م.، دهقانی، ا.، حلاق، م.، ۱۳۴۹. "استفاده از مواد شیمیایی برای جلوگیری از تبخیر آب". سمینار آبیاری و زهکشی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی، نشریه شماره ۱، انتشارات وزارت آب و برق، آبان ۱۳۴۹. صفحه های ۹۴ تا ۹۹.

[7].Sinha, S.K., Kumar, L., Srivastava, R., Thangamani, R., Kumar, S., Jha, Sh., Luthara, P.K., Pa, A. 2006. Evaporation Control in Reservoirs. Government of India, Central water Commission, Basin Planning and Management Organization. New Delhi. 90 p

[8].Crow, F.R., Allen, J.B., Fry, W.E., Mitchel, A.L. 1969. Evaporation and its suppression by chemical films at Lake Henfer. American Society of Agricultural Engineering, Transactions, 12:889-898