

## طراحی و ارزیابی پوشش شناور یورتالات در کاهش تبخیر از منابع آبی مجتمع مس سرچشمه

حمیده افخمی<sup>۱\*</sup>، حسین ملکی نژاد<sup>۲</sup> و عصمت اسماعیل زاده<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، <sup>۲</sup> دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد و <sup>۳</sup> رئیس امور تحقیقات آب و محیط زیست، مجتمع مس سرچشمه

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۷

### چکیده

پژوهش حاضر که با هدف جلوگیری از هدررفت و تبخیر آب از مخازن آبی معدن مس سرچشمه انجام گرفته است، با استفاده از بطری و فوم پلی یورتان پوششی شناور با نام یورتالات طراحی شده است. یورتالات طراحی شده شامل پوشش‌های چهار ضلعی دو لایه، متشکل از بطری می‌باشد که برای نگهداشت و شکل‌دهی، فوم پلی یورتان به درون آن تزریق شده، آستری از بتن ضد اسید برای حفاظت از لایه فوقانی بر روی آن ایجاد شده است. به منظور بررسی کارایی پوشش‌های تهیه شده در کاهش میزان تبخیر، دو حوضچه با ابعاد نه متر مربع در مجاورت سد رسوب‌گیر مجتمع مس سرچشمه احداث و به مدت دو ماه کارایی پوشش شناور یورتالات دو لایه بر روی آن بررسی شده است. نتایج نهایی به دست آمده نشان می‌دهد، کارایی یورتالات دو لایه در کاهش میزان تبخیر بیش از ۹۲/۵۰ درصد می‌باشد. با توجه به دوام و کارایی یورتالات، این طرح می‌تواند طرحی ارزشمند در راستای مصرف و کاربرد مفید ضایعات مخرب محیط زیست از یک‌سو و ذخیره و نگهداشت آب در شرایط بحرانی امروز کشور از سوی دیگر تلقی شود.

**واژه‌های کلیدی:** پساب اسیدی، ضایعات، کاهش تبخیر، محیط زیست، پلی یورتان

### مقدمه

حرارت، حمل و نقل آسان و همچنین، به علت صرفه اقتصادی نسبت به سایر مواد بسته‌بندی، کاربرد این‌گونه مواد را قابل توجه کرده است. یکی از پر مصرف‌ترین مشتقات پلیمری، پلی (اتیلن-ترفتالات)<sup>۱</sup> با نام اختصاری PET است. این پلیمر ترموپلاستیکی<sup>۲</sup> می‌باشد که از پلیمریزاسیون<sup>۳</sup> تراکمی ترفتالیک اسید<sup>۴</sup> یا دی‌متیل ترفتالات<sup>۵</sup> و اتیلن گلیکول<sup>۶</sup> حاصل

توسعه صنایع پتروشیمی و مشتقات آن، جایگاه خاصی را در بسیاری از صنایع کسب کرده است. به طوری که استفاده از صنایع پلیمری و مشتقات آن به خصوص در صنایع غذایی و آشامیدنی منجر به گسترش روزافزون آن در دنیای امروزی شده است. در عصر حاضر به علت ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و مقاومت فشاری مناسب مواد پلیمری در برابر صدمات مکانیکی، نفوذناپذیری به رطوبت، مقاومت در برابر

<sup>1</sup> Polyethylene terephthalate

<sup>2</sup> Thermoplastic polymer

<sup>3</sup> Polymerization

<sup>4</sup> Terephthalic acid

<sup>5</sup> Dimethyl terephthalate

<sup>6</sup> Ethylene glycol

\* مسئول مکاتبات: hamide afkhami@gmail.com

قابل توجهی موجب شکوفایی اقتصادی شود. در این پژوهش که با هدف جلوگیری از هدررفت و تبخیر آب از مخازن و سطوح روباز معدن مس سرچشمه انجام گرفته است، سعی شده تا با جمع‌آوری بتری‌های نوشابه مصرفی در سطح کارخانه و استفاده از فوم پلی‌یورتان<sup>۱</sup>، طرحی هدفمند برای مصرف این ضایعات و جلوگیری از تبخیر آب ارائه شود. تا کنون تکنیک‌های متنوعی در راستای کنترل تبخیر ارائه شده است که شامل روش‌های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیک، ساختاری و مکانیکی می‌باشد (Craig و همکاران، ۲۰۰۵). برخی از این تکنیک‌ها استفاده از فراورده‌های خاصی را شامل می‌شود که هم اینک به صورت تجاری موجود و قابل استفاده می‌باشد (Brown، ۱۹۸۸). استفاده از فراورده‌های فیزیکی که از مهمترین مؤثرترین روش‌های کنترل تبخیر به شمار می‌روند، شامل پوشش‌های شناور در سطح آب، پوشش‌های مدولار<sup>۲</sup> و ساختارهای سایه‌انداز می‌باشد. پوشش‌های شناور که بیشتر از جنس موادی همچون پلی‌استایرن<sup>۳</sup>، فوم، موم و پلی‌اتیلن می‌باشد، تأثیر بالایی در کاهش تبخیر دارد و هزینه نصب و راه‌اندازی آن نیز به نسبت بالا است. کارایی پوشش‌های مدولار به دلیل این که یکپارچه نبوده، کل سطح را پوشش نمی‌دهد، نسبت به پوشش‌های شناور تا حدودی کمتر می‌باشد و هزینه نصب و نگهداری آن نیز نسبتاً بالا است. پوشش‌های سایه‌انداز از طریق جلوگیری از تابش نور خورشید و جلوگیری از وزش مستقیم باد روی سطح آب باعث کاهش تبخیر می‌شوند. این پوشش‌ها نیز تبخیر آب را به طور قابل ملاحظه‌ای کم می‌کنند. از طرفی هزینه اولیه و نصب این پوشش‌ها بالا بوده و برای سطوح کوچک مناسب می‌باشند. البته روش‌های شیمیایی شامل الکل‌های چرب، پارافین، موم و غیره، همچنین، روش‌های بیولوژیک و روش‌های مدیریتی از جمله ساختار مخازن نگهدارنده آب نیز برای کنترل تبخیر از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. در این میان، روش شیمیایی نسبت به سایر روش‌ها اقتصادی‌تر بوده، هزینه اولیه، نصب و نگهداری بسیار

می‌شود. مقاومت خوب و وزن کم این ترموپلاستیک سبب گسترش فراوان آن در صنایع مختلف از جمله صنایع نساجی و تولید الیاف، صنایع غذایی و بتری‌های آشامیدنی، لاستیک‌سازی، صنایع بسته‌بندی، فیلم‌های رادیوگرافی و تجهیزات پزشکی شده است. از دیگر خصوصیات این پلیمر، طول عمر و دوام آن است که در طبیعت بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ سال تخمین زده شده است. طول عمر و تجزیه‌ناپذیری این پلیمر در طبیعت از یک سو و تولید انبوه آن از سوی دیگر، زنگ خطری به لحاظ بروز مسائل زیست‌محیطی می‌باشد. از این رو، ضایعات PET از دیدگاه اقتصادی و حفظ محیط زیست دارای جایگاه ویژه‌ای می‌باشد. یکی از فراوان‌ترین انواع ضایعات PET، بتری‌های نوشیدنی است که همواره حجم عظیمی از این ضایعات، به عنوان زباله وارد محیط زیست می‌شود. بخشی از این ضایعات پلیمری به همراه سایر زباله‌ها در گودال‌های عظیمی مدفون شده که گاهی منجر به بروز آلودگی‌های خاک و آب می‌شود. از طرفی، سوزاندن این پلیمر نیز منجر به تولید گازهای سمی و گلخانه‌ای شده و منجر به بروز آلودگی‌های اتمسفر می‌شود. لذا، سوزاندن و مدفون کردن ضایعات پلیمری نه تنها منجر به تخریب زیست‌محیطی می‌شود، بلکه منجر به هدررفت و نابودی این سرمایه ملی نیز خواهد شد. امروزه اگرچه بازیافت ضایعات پلیمری از اهمیت زیادی برخوردار است، اما متأسفانه در زمینه بازچرخش مواد پلاستیکی اقدامات اساسی انجام شده، بسیار محدود بوده، تبدیل و بازچرخش این مواد بیشتر در زمینه تولید محصولاتی است که ارزش افزوده زیادی نداشته باشد. هم اینک با وجود تولید روزافزون بتری‌های نوشیدنی در شرایط بهینه، شاید کمتر از ۳۰ درصد این مواد به چرخه بازیافت راه پیدا می‌کند و مابقی همچنان در طبیعت باقی می‌مانند. بر این اساس، ایجاد راه‌کارهای مناسب با هدف ارائه فرایندی مؤثر برای به‌کارگیری و مصرف این نوع ضایعات، از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است و می‌تواند منجر به کاهش تولید زباله، حفظ منابع زیست‌محیطی، کاهش مصرف انرژی، کاهش گازهای گلخانه‌ای و تغییرات آب و هوایی و کاهش هزینه‌ها شود. علاوه بر این، در سطح کلان می‌تواند به میزان

<sup>1</sup> Polyurethane

<sup>2</sup> Modular

<sup>3</sup> Polystyrene

تبخیر طبقه A در کارتاژنای<sup>۳</sup> اسپانیا انجام گرفت، کاهش میزان تبخیر روزانه با پوشش‌های سایه‌انداز تک لایه و دو لایه به ترتیب ۷۵ و ۸۳ درصد گزارش شد و تحلیل اقتصادی طرح نشان داد که استفاده از پوشش فوق برای جلوگیری از تبخیر در جنوب اسپانیا توجیه‌پذیر می‌باشد. Barnes و Finn (۲۰۰۷) طی دو سال بر روی پوشش‌های سوپراسپین<sup>۴</sup> در چندین محل مطالعه کردند و دریافتند چنانچه مواد مغذی کمی به آب وارد شود، این پوشش‌ها با وجود این‌که رشد جلبک‌ها را کاهش می‌دهند، می‌توانند میزان تبخیر از سطح آب را نیز تا ۹۰ درصد کاهش دهند. Howard و Schmidt (۲۰۰۸) از پوشش‌های معلق دایره‌ای و مسطح در سطح آب استفاده کردند. این پوشش‌ها مقداری از انرژی تابشی خورشید را منعکس می‌کنند و در واقع، عملکرد آن، همانند موانع فیزیکی است که از جابه‌جایی بخار آب چه به‌صورت عمودی و چه به‌صورت افقی جلوگیری می‌کند. AL-Hassoun (۲۰۰۹) برای کاهش تبخیر از سطح مخازن با استفاده از برگ‌های درخت نخل پوششی تهیه کردند و در دو استخر آزمایشی، یکی را به‌صورت کامل و دیگری را با نصف پوشش تهیه شده پوشاندند. نتایج ارائه شده در دو استخر به ترتیب کاهش تبخیر را به اندازه ۶۳ و ۲۶ درصد نشان دادند. در مطالعه دیگری که به‌وسیله AL-Hassoun و همکاران (۲۰۱۱) گزارش شده است، استفاده از پوشش شناور ساخته شده با برگ‌های نخل منجر به کاهش ۵۵ درصد در میزان تبخیر شده است. Santafe (۲۰۱۱) سلول‌های شناور خورشیدی<sup>۵</sup> را برای کاهش تبخیر از سطح آب و همچنین، تولید جریان الکتریسته بر روی مخازن آب آبیاری طراحی کرد. در تحقیق دیگری که به‌وسیله Santafe و همکاران (۲۰۱۴) به‌منظور کاهش تبخیر از مخازن ذخیره در مناطق خشک و نیمه‌خشک اسپانیا (والنسیا)<sup>۶</sup> از سلول‌های خورشیدی استفاده کردند و در نهایت این کاربرد دو منظوره که با هدف کاهش تبخیر و تولید جریان الکتریسته انجام گرفت، روشی نسبتاً آسان و مقرون به‌صرفه ارزیابی شد. در زمینه استفاده

کمتری دارند ولی در عین حال، راندمان آن‌ها نیز کمتر از روش‌های دیگر است و شاید تنها راه‌حل مناسب برای کنترل تبخیر از مخازن بزرگ محسوب شوند (GHD, ۲۰۰۳). استفاده از گیاهان در روش بیولوژیک اگرچه به‌منظور کاهش تبخیر آب می‌باشد، اما راندمانی به‌مراتب پایین‌تر از سایر روش‌ها داشته، به‌خصوص برای منابع آبی بزرگ اصلاً توصیه نمی‌شوند. روش‌های ساختاری نیز مربوط به طراحی مخازنی با عمق بیشتر و سطح کمتر، استفاده از بادشکن و موج‌شکن و تقسیم سطوح بزرگ مخازن به سطوح کوچک‌تر برای کاهش تأثیر تشدیدکننده باد در تبخیر آب می‌باشد (Watts, ۲۰۰۵). تا کنون مطالعات زیادی در ارتباط با پتانسیل روش‌های نامبرده در کاهش میزان تبخیر از سطح آب انجام گرفته است. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که در میان روش‌های کاهش تبخیر، استفاده از پوشش‌های شناور، بیشترین تأثیر را در کاهش میزان تبخیر داشته است. این پوشش‌ها با کاهش انرژی ورودی خورشید به جسم آب، به دام انداختن بخار آب و کاهش سرعت باد در سطح آب نقش مؤثری در کاهش میزان تبخیر خواهند داشت (GHD, ۲۰۰۳). برای کاهش تبخیر از سطح آب، Bureston و Akbarzadeh (۱۹۵۵) پوشش‌های شناور آکواکاپ<sup>۱</sup> را پیشنهاد کردند. این دو دانشمند ادعان کردند که این پوشش‌ها علاوه بر این‌که اجازه ورود اکسیژن نامحلول و تابش خورشید به درون آب را می‌دهند، می‌توانند تا ۶۵/۴ درصد در کاهش تبخیر از سطح آب مؤثر باشند. Bureston (۲۰۰۲) در مطالعات خود ادعا کرد، چنانچه سامانه آکواکاپ از شکل صفحه‌ای به گنبدی تغییر شکل یابد، میزان کارایی این پوشش تا ۸۹ درصد افزایش خواهد یافت. تأثیر پوشش‌های ای-وپ-کپ<sup>۲</sup> توسط Craig و همکاران (۲۰۰۵) در کاهش تبخیر از سطح آب بررسی و در پایان، کارایی این پوشش را تا ۹۵ درصد گزارش کردند. Alvarez و همکاران (۲۰۰۶) تأثیر پوشش‌های پلی‌اتیلنی تک لایه و دو لایه را بر کاهش میزان تبخیر از سطح آب بررسی کردند. در این مطالعه که در طول فصل تابستان بر روی دو تشتک

<sup>3</sup> Cartagena

<sup>4</sup> Superspan

<sup>5</sup> Floating Photovoltaic Cover System (FPCS)

<sup>6</sup> Valensia

<sup>1</sup> Aquacap

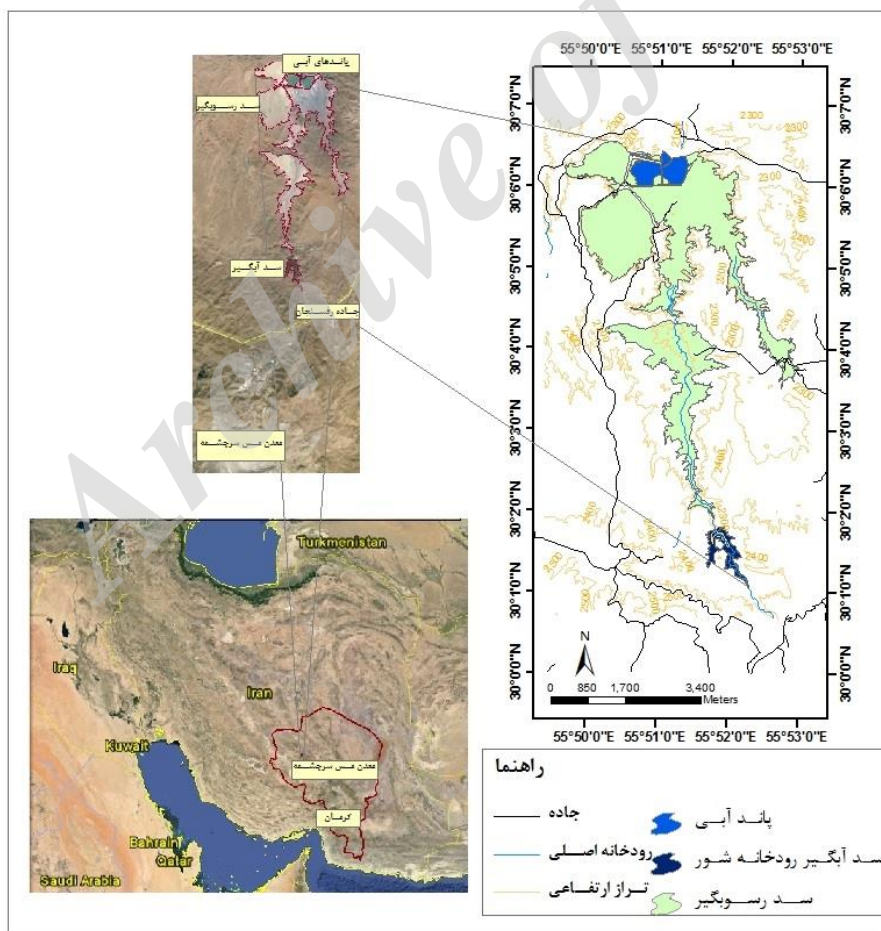
<sup>2</sup> EVapcap

که با استفاده از روش‌های فیزیکی، ۳۰ تا ۵۵ درصد میزان تبخیر را می‌توان کاهش داد (Piri و همکاران، ۲۰۱۱). در تحقیق دیگری که به‌وسیله Ranjbar و همکاران (۲۰۱۱) بر روی دریاچه سد کارون ۳ انجام گرفت، از صفحات بتن سبک پرلیتی به مساحت یک متر مربع برای کاهش تبخیر مخازن روباز استفاده شد.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد پژوهش:** معدن مس سرچشمه یکی از بزرگ‌ترین معادن مس پورفیری ایران محسوب می‌شود که با مختصات ۲۰° ۵۲' ۵۵" طول شرقی و ۴۰° ۵۶' ۲۹" عرض شمالی در ۱۶۰ کیلومتری جنوب غرب کرمان و در فاصله ۵۰ کیلومتری رفسنجان واقع شده است. موقعیت معدن سرچشمه در شکل ۱ نمایش داده شده است.

از منولیرها و مواد شیمیایی تجربیات زیادی وجود دارد که در بهترین حالت، کارایی این مواد در کاهش تبخیر ۴۰ تا ۶۰ درصد گزارش شده است، اما در عمل، همیشه کمتر از میزان یاد شده می‌باشد. قابلیت کاهش کارایی این مواد به شدت تحت تأثیر سرعت باد و موج است (Barnes, ۱۹۸۶؛ Knights, ۲۰۰۵؛ Hesin, ۲۰۰۲؛ Barnes, ۲۰۰۸). در ایران، با وجود وضعیت شدید و بحرانی منابع آب و تبخیر بسیار بالا در بیشتر مناطق کشور، تا کنون اقدامات عملی چندانی در راستای کنترل تبخیر انجام نگرفته است. از جمله اقدامات انجام شده، می‌توان به مطالعه Piri و همکاران (۲۰۱۱) اشاره کرد. در این مطالعه، تأثیر پوشش‌های فیزیکی پلی‌استیرین با ضخامت‌های ۱/۵ سانتی‌متر و درصد پوشش ۴۰، ۶۰ و ۸۰ و اثر مغناطیس کردن آب در کاهش تبخیر بر روی تشتک طبقه A بررسی شد. نتایج به‌دست آمده نشان دادند



شکل ۱- نقشه موقعیت معدن مس سرچشمه در استان کرمان و ایران

عایق مناسب برای حرارت و رطوبت بوده، در صنعت از ترکیب دو جزء پلی‌آل<sup>۱</sup> و ایزوسیانات<sup>۲</sup> تهیه می‌شود. دوام، عدم خوردگی، مقاومت بالا، خاصیت شکل‌گیری و چسبندگی مناسب از خواص برجسته این فوم برای کاربرد آن در این طرح می‌باشد. برای ساخت یورتالات تعداد ۱۵۰۰ عدد بطری از مکان‌های سرو غذا در کارخانه جمع‌آوری شد. سپس ۱۰ قالب چوبی با ابعاد  $۰/۵ \times ۰/۵ \times ۰/۲$  متر برای قالب‌گیری آماده شد. با توجه به مساحت حوضچه‌ها تعداد ۳۶ قطعه از پوشش‌های آماده شده یورتالات به صورت دو لایه با بطری تهیه شد. با توجه به دامنه تغییرات pH دریاچه سد رسوب‌گیر که در بیشتر مواقع شرایط اسیدی بر آن حاکم است و همچنین، به منظور حفاظت از لایه سطحی این پوشش‌ها که در معرض امواج، اشعه خورشید و تنش‌های محیطی قرار می‌گیرد، نوعی بتن ضد اسید طراحی شد. در این بتن که پس از انجام ۱۸ طرح متفاوت اختلاط، پیشنهاد شده است، از مصالح مصرفی خاص متناسب با شرایط اسیدی آب پشت سد باطله استفاده شد. سپس، به صورت آستری به ضخامت  $۰/۵$  تا یک سانتی‌متر بر سطح فوقانی پوشش‌های تهیه‌شده شاتکریت شده است و طی مدت زمان ۲۸ روز عمل‌آوری شده است. نمونه‌ای از پوشش یورتالات قبل و بعد از آسترکشی با بتن در شکل ۲ نمایش داده شده است.

**طراحی و ساخت حوضچه‌های تحقیقاتی:** به منظور بررسی کارایی یورتالات دو لایه در شرایط میدانی، دو حوضچه مطالعاتی با ابعاد  $۳ \times ۳ \times ۱$  متر در مجاورت سد رسوب‌گیر احداث و به وسیله پوشش ایزوگام حوضچه‌ها در برابر هرگونه نشت، کاملاً ایزوله شد. همچنین، به منظور کنترل میزان کاهش تبخیر، شاخص‌های فلزی طراحی و داخل هر حوضچه نصب شد. همان‌طور که گفته شد، مکان‌یابی حوضچه‌ها بیشتر بر اساس، ارائه الگویی از واقعیت و شرایط طبیعی حاکم بر منطقه در زمان کاربرد پوشش‌ها در سطح وسیع می‌باشد. بعد از تهیه پوشش‌ها و ساخت حوضچه‌ها، تعداد ۳۶ قطعه یورتالات دو لایه به محل احداث حوضچه‌ها انتقال داده شد. بدین ترتیب با

آمار بلندمدت ایستگاه هواشناسی سد رسوب‌گیر در این منطقه، نشان می‌دهد که متوسط تبخیر بالقوه در محل سد حدود ۲۲۶۶ میلی‌متر و در ایستگاه کارخانه ۲۰۶۱ میلی‌متر می‌باشد. این در حالی است که با وجود کمبود و بحران آب در مجتمع، بیش از ۱۰۰ هکتار از منابع آبی کارخانه (سد آبی و سد رسوب‌گیر) در معرض تبخیر قرار دارند. علاوه بر این، منابع در داخل مجتمع نیز مخازن ذخیره آبی با سطحی بالغ بر  $۱۲/۵$  هکتار به صورت روباز بوده که این سطح وسیع منجر به هدررفت بیش از ۲۳۹۸۳۳ متر مکعب آب ناشی از تلفات تبخیر در سال می‌شود. با توجه به این‌که تا کنون اقدامات عملی و قابل ملاحظه‌ای در رابطه با کاهش تبخیر در منطقه صورت نگرفته است، بدیهی است اعمال روش‌هایی مناسب برای جلوگیری از خروج این سرمایه عظیم، می‌تواند کمک بزرگی در مقابله با چالش بحران آب در منطقه باشد. شایان ذکر است، طرح ارائه شده در پژوهش حاضر که با توجه به ضایعات داخلی کارخانه ارائه شده است، قابل اجرا برای مخازن داخلی مجتمع است. چرا که این پوشش‌ها بیشتر مناسب مخازن کوچک بوده، از طرفی حجم تولید ضایعات نیز برای تهیه پوشش یورتالات برای پوشاندن سطح مخازن داخلی مجتمع مناسب است. لذا، محاسبات ارائه شده برای مخازن داخلی کارخانه شامل تیکنرهای خمیری با میزان سالانه تبخیر ۲۲۶۶ میلی‌متر و مخزن سد، تیکنرهای تغلیظ، واحد ۷۵، واحد ۸۱ و سد انحرافی با تبخیر سالانه ۲۰۶۱ میلی‌متر انجام شده است.

**آماده‌سازی یورتالات:** پژوهش حاضر با هدف کاهش تبخیر از سد آبگیر، سد باطله و همچنین، مخازن روباز مجتمع مس سرچشمه انجام گرفته است. به این منظور و با توجه به حجم انبوه بطری مصرف‌شده در سطح کارخانه، سعی شد تا با به‌کارگیری این ضایعات، طرحی دو جانبه در راستای بهره‌وری اقتصادی از این زباله و همچنین، کاهش تلفات آب از طریق تبخیر ارائه شود. پوشش طراحی‌شده در این پژوهش که یورتالات نام دارد، شامل پوشش‌های مکعبی متشکل از بطری‌های دو لایه است که برای نگهداشت و شکل‌دهی به بطری‌ها، فوم پلی‌یورتان در درون قالب‌های اولیه تزریق شده است. فوم پلی‌یورتان به‌عنوان یک

<sup>1</sup> Polyol

<sup>2</sup> Isosianat

ادامه، یک حوضچه با یورتالات پوشانیده شد و حوضچه دیگر نیز به عنوان شاهد مد نظر قرار گرفت.



شکل ۲- پوشش یورتالات قبل از پاشش بتن (تصویر سمت راست)، پوشش یورتالات بعد از پاشش بتن (تصویر سمت چپ)

اضافه شد که در مجموع هزینه پوشش یورتالات در هر متر مربع حدود ۳۰۰ هزار ریال است. طول عمر اقتصادی طرح<sup>۲</sup>: برای پوشش‌های نامبرده حدود ۱۰ سال در نظر گرفته شد.

در حال حاضر قیمت و ارزش تمام شده هر متر مکعب آب مصرفی<sup>۳</sup> در مجتمع مس سرچشمه حدود ۴۰ هزار ریال است.

نرخ بهره بانکی<sup>۴</sup> معادل ۱۵ درصد، و نرخ تورم<sup>۵</sup> حدود ۶/۵ در نظر گرفته شد. با توجه به این دو پارامتر، نرخ بهره واقعی<sup>۶</sup> مطابق معادله ۲ محاسبه شد.

$$I_{actual} = \frac{1 + I_{inflation}}{1 + I_{nominal}} - 1 \quad (2)$$

تابع اقساط<sup>۷</sup>: تقسیم سرمایه اولیه به ازای هر سال با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول که مطابق رابطه (۳) تعیین شد.

$$EUD = PMT(I_{actual}, E_{life}, Capex) \quad (3)$$

میزان سالیانه تبخیر در تیکنرهای خمیری حدود ۲۲۶۶ و در سایر منابع آبی کارخانه ۲۰۶۱ میلی‌متر می‌باشد که با توجه به کارایی<sup>۸</sup> پوشش یورتالات، حجم

توجه به این‌که آب مخازن مجتمع بیشتر از آب برگشتی سد رسوب‌گیر تأمین می‌شود، انتقال و پمپاژ آب از محل سد به داخل حوضچه‌ها انجام شد. در

مقادیر کاهش تبخیر از تاریخ ۹۵/۰۴/۲۳ تا ۹۶/۰۶/۲۱ به فاصله زمانی هر سه روز یکبار و رأس ساعت ۱۱ صبح اندازه‌گیری و ثبت شد و در نهایت کارایی انواع توپ‌ها در کاهش میزان تبخیر با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$\frac{L_{control} - L_{cover}}{L_{control}} \times 100 \quad (1)$$

که در آن،  $L_{control}$  میزان تلفات از حوضچه شاهد طی بازه اندازه‌گیری و  $L_{cover}$  میزان تلفات از حوضچه دارای پوشش در همان بازه است.

**تحلیل و توجیه اقتصادی طرح:** به منظور بررسی توجیه اقتصادی طرح مذکور، قیمت و ارزش ذخیره هر متر مکعب آب به ازای هزینه هر متر مکعب پوشش یورتالات محاسبه و تحلیل شد. در انجام محاسبات، با توجه به ارزش زمانی پول پارامترهای زیر محاسبه شد. **هزینه‌های سرمایه‌گذاری<sup>۱</sup>:** معادل کل هزینه در نظر گرفته شده برای پوشش مخازن آبی مجتمع است. هزینه‌های آماده‌سازی پوشش یورتالات شامل، جمع-آوری بطری‌های خالی با توجه به ظرفیت تولید در مجتمع، تزریق فوم پلی‌یورتان بین بطری‌ها و شات آستر بتی در سطح آن می‌باشد. هزینه‌های فوق با نظر کارشناسی در واحد سطح برآورد شده، ۲۰ درصد هزینه نیز به عنوان هزینه جانبی به مجموع هزینه‌ها

<sup>2</sup> E(Life)

<sup>3</sup> Water price

<sup>4</sup>  $I_{nominal}$

<sup>5</sup>  $I_{inflation}$

<sup>6</sup>  $I_{actual}$

<sup>7</sup> EUA capex

<sup>8</sup> Efficiency

<sup>1</sup> Capex

حالت ۱- با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول قابل و ۲- بدون در نظر گرفتن ارزش زمانی پول (N.P.W=0) محاسبه شد.

۴- نرخ بازده داخلی<sup>۴</sup>: شاخص IRR از جمله پرکاربردترین شاخص‌های مالی است که در ارتباط تنگاتنگ با فرمول NPW می‌باشد. در محاسبه این شاخص، ارزش زمانی پول در نظر گرفته می‌شود و با استفاده از آن می‌توان توجیه‌پذیری مالی طرح را در مقایسه با شرایط معمول سرمایه‌گذاری در کشور و آن صنعت خاص، به دست آورد. محاسبه شاخص IRR به صورت حدس و خطا و با استفاده از روش‌هایی نظیر روش نیوتن می‌باشد که قابل محاسبه با نرم افزارهای محاسباتی نظیر Excel است.

### نتایج و بحث

پوشش یورتالات تهیه شده با بطری به منظور کاهش تبخیر و به مدت ۶۱ روز از تاریخ ۹۵/۰۴/۲۳ تا ۹۵/۰۶/۲۱ بر روی حوضچه‌های احداث شده در مجاور سد رسوب‌گیر مجتمع مس سرچشمه قرار داده شدند. جدول ۱، مقادیر کاهش تبخیر از حوضچه پوشانیده شده با یورتالات دولایه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در فاصله زمانی اندازه‌گیری، مقدار کل تبخیر از حوضچه شاهد ۵۲۰ میلی‌متر به ثبت رسیده در حالی که میزان تبخیر تجمعی از حوضچه پوشانیده شده با یورتالات دو لایه ۴۱/۱۰ میلی‌متر می‌باشد. با توجه به مقادیر تبخیر که در بازه‌های سه‌روزه به ثبت رسیده است، میزان متوسط سه‌روزه تبخیر در حوضچه شاهد ۲۶ میلی‌متر و در حوضچه پوشانیده شده با یورتالات دولایه ۲/۰۵ میلی‌متر می‌باشد. به این ترتیب، متوسط تبخیر روزانه نیز محاسبه شده که در حوضچه شاهد ۸/۶ میلی‌متر و در حوضچه پوشانیده شده با یورتالات ۰/۶۸ میلی‌متر می‌باشد.

همچنین، شکل ۳ نمودار تبخیر تجمعی از حوضچه پوشانیده شده با پوشش‌های یورتالات را در مقایسه با حوضچه شاهد نشان می‌دهد.

ذخیره سالیانه در مخازن از رابطه (۴) قابل محاسبه است.

$$Volume\ per\ year = Area(n^2) \times Efficiency(\%) \times Evaporation(m) \quad (4)$$

سود حاصل از اجرای پروژه یورتالات معادل ارزش ریالی ذخیره آب است که از رابطه ۵ محاسبه شد.

$$Benefit = Volume\ per\ year \times Water\ price \quad (5)$$

قیمت تمام شده هر متر مکعب آب ذخیره شده با استفاده از پوشش یورتالات که با توجه به ارزش زمانی پول از رابطه (۶) قابل محاسبه است.

$$Price_{stored\ water} = EUA\ per\ year / Volume\ per\ year \quad (6)$$

روش مرسوم در بررسی اقتصادی پروژه‌های اجرایی این است که پس از محاسبه هزینه‌های اجرا، هزینه نگهداری و نیز درآمدها (در یک طول دوره معقول) و با در نظر گرفتن نرخ بهره و محاسبه ضریب بهره، نسبت سود (درآمد) به هزینه در یک مقطع مشخص (سال مشخص) تعیین شود و سپس اقتصادی و یا عدم اقتصادی بودن پروژه‌ها ارزیابی شود. به این منظور، غالباً از روابط زیر استفاده می‌شود.

۱- ارزش خالص کنونی<sup>۱</sup>، مطابق رابطه (۷)

$$N.P.W = \sum_{t=1}^n \frac{Benefit_{year} - EUA}{(1+I_{actual})^n} \quad (7)$$

که در آن،  $n$  تعداد سال (عمر بهره‌دهی پروژه) است.

در این حالت زمانی پروژه اقتصادی است که مقدار  $N.P.W > 0$  باشد.

۲- نسبت سود به سرمایه<sup>۲</sup>، مطابق رابطه (۸)

$$B.C.R = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{Benefit}{(1+I_{actual})^n}}{\sum_{t=1}^n \frac{EUA}{(1+I_{actual})^n}} \quad (8)$$

عوامل معادله، همانند حالت قبل است و در ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها بایستی مقدار B.C.R بزرگ‌تر از یک باشد تا پروژه از نظر اقتصادی توجیه داشته باشد.

۳- دوره بازگشت سرمایه<sup>۳</sup> که به منظور مقایسه در دو

<sup>1</sup> Net Present Worth (N.P.W)

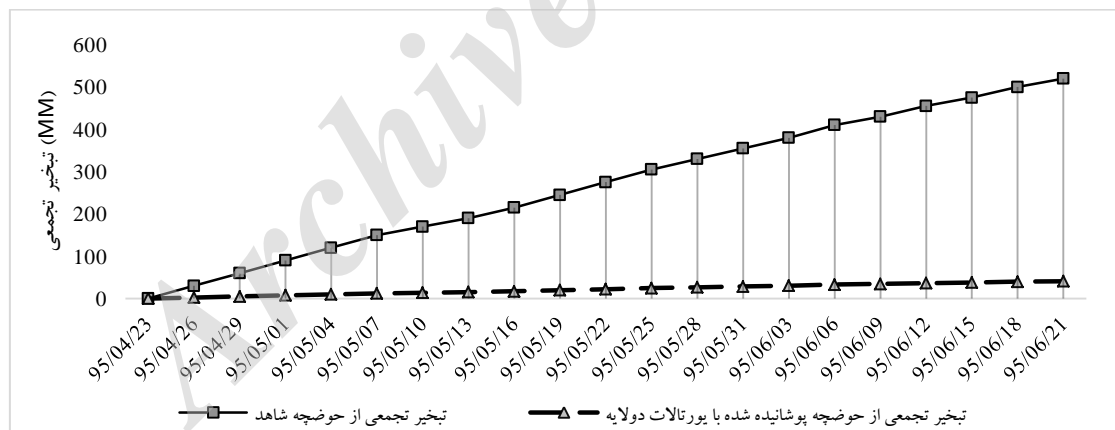
<sup>2</sup> Benefit Cost Ratio (B.C.R)

<sup>3</sup> Capital Recovery Time (C.R.T)

<sup>4</sup> Internal Rate of Return (I.R.R)

**جدول ۱-** مقادیر تبخیر تجمعی و درصد کاهش تبخیر در حوضچه پوشیده شده با یورتالات دو لایه در مقایسه با حوضچه شاهد

| تاریخ    | آب ذخیره شده در حوضچه دارای پوشش نسبت به شاهد (mm) | کاهش تبخیر نسبت به شاهد (درصد) |
|----------|--|--------------------------------|
| ۹۵/۰۴/۲۳ | ۰/۰۰   | ۰/۰۰                           |
| ۹۵/۰۴/۲۶ | ۲۷/۵۰  | ۹۱/۶۷                          |
| ۹۵/۰۴/۲۹ | ۲۷/۵۰  | ۹۱/۶۷                          |
| ۹۵/۰۵/۰۱ | ۲۷/۵۰  | ۹۱/۶۷                          |
| ۹۵/۰۵/۰۴ | ۲۷/۵۰  | ۹۲/۳۳                          |
| ۹۵/۰۵/۰۷ | ۲۷/۵۰  | ۹۱/۶۷                          |
| ۹۵/۰۵/۱۰ | ۱۸/۵۰  | ۹۲/۵۰                          |
| ۹۵/۰۵/۱۳ | ۱۸/۵۰  | ۹۲/۵۰                          |
| ۹۵/۰۵/۱۶ | ۲۳/۲۰  | ۹۲/۸۰                          |
| ۹۵/۰۵/۱۹ | ۲۷/۵۰  | ۹۱/۶۷                          |
| ۹۵/۰۵/۲۲ | ۲۷/۵۰  | ۹۱/۶۷                          |
| ۹۵/۰۵/۲۵ | ۲۷/۵۰  | ۹۱/۶۷                          |
| ۹۵/۰۵/۲۸ | ۲۳/۰۰  | ۹۲/۰۰                          |
| ۹۵/۰۵/۳۱ | ۲۳/۳۰  | ۹۳/۲۰                          |
| ۹۵/۰۶/۰۳ | ۲۳/۰۰  | ۹۲/۰۰                          |
| ۹۵/۰۶/۰۶ | ۲۷/۵۰  | ۹۱/۶۷                          |
| ۹۵/۰۶/۰۹ | ۱۸/۵۰  | ۹۲/۵۰                          |
| ۹۵/۰۶/۱۲ | ۲۳/۰۰  | ۹۲/۰۰                          |
| ۹۵/۰۶/۱۵ | ۱۸/۵۰  | ۹۲/۵۰                          |
| ۹۵/۰۶/۱۸ | ۲۳/۲۰  | ۹۲/۸۰                          |
| ۹۵/۰۶/۲۱ | ۱۸/۵۰  | ۹۲/۵۰                          |
| متوسط    |  | ۹۲/۱۵                          |



**شکل ۳-** نمودار تبخیر تجمعی از حوضچه پوشانیده شده با یورتالات دو لایه در مقایسه با شاهد در بازه مورد اندازه گیری

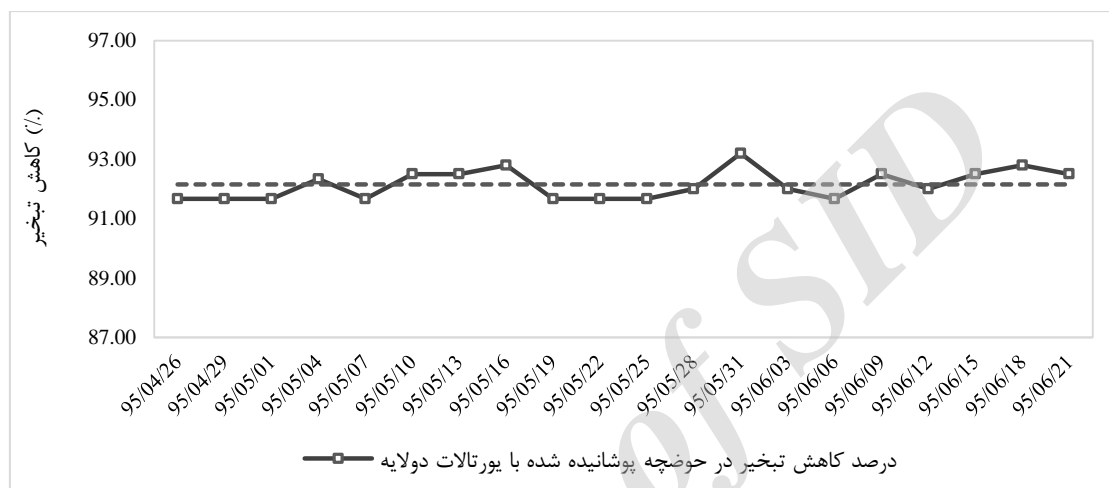
پوشش‌های کاهنده تبخیر می‌باشد. با توجه به سطح حوضچه‌های احداث شده که برابر نه متر مربع می‌باشد، حجم تبخیر از حوضچه شاهد در فاصله ۶۱ روز برابر ۴۶۸۰ لیتر است که اعمال پوشش‌های یورتالات در حوضچه دیگر منجر به کاهش بخش عظیمی از این تلفات شده است. به این ترتیب، اعمال پوشش‌های یورتالات منجر شده تا حجم تبخیر از این حوضچه به

در نمودار ترسیم شده در شکل ۳، سطح زیر منحنی شاهد تا محور افقی معادل حجم تبخیر از حوضچه شاهد و سطح زیر منحنی تبخیر تجمعی از پوشش‌های یورتالات، حجم تبخیر از حوضچه پوشانده شده با این نوع پوشش‌ها را نشان می‌دهد. به این ترتیب، سطح مابین دو منحنی رسم شده در نمودار، معادل حجم آب ذخیره شده ناشی از اعمال



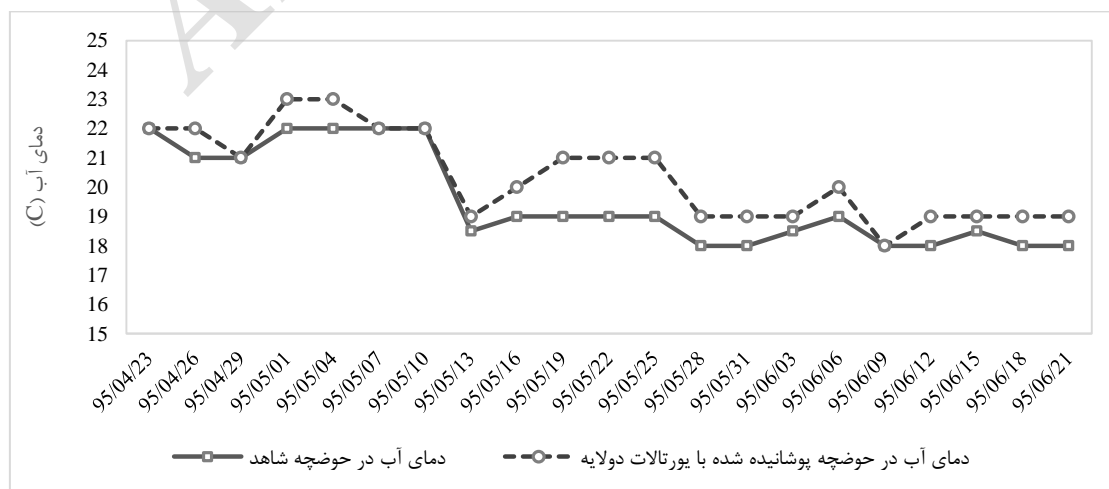
جدول ۱ نیز آورده شده است، نشان می‌دهد که درصد کاهش تبخیر در طول بازه اندازه‌گیری در پوشش دولایه یورتالات بیش از ۹۲/۱۵ درصد می‌باشد. این میزان از عملکرد، در حوضچه‌های اندازه‌گیری شده، کارایی بسیار بالایی را در جلوگیری از اتلاف آب از خود نشان می‌دهند. نمودار مقایسه درصد کاهش تبخیر در پوشش‌های یورتالات طی بازه اندازه‌گیری در شکل ۴ آورده شده است.

۳۶۹/۹ لیتر کاهش یابد. به این ترتیب، مقایسه حوضچه تحت پوشش در مقایسه با حوضچه شاهد ذخیره تبخیری به اندازه ۴۳۱۰ لیتر را نسبت به حوضچه شاهد نشان می‌دهد. حجم آب ذخیره شده ناشی از اعمال پوشش‌های یورتالات در مقایسه با حوضچه شاهد کارایی بالای این پوشش‌ها را در کاهش میزان تبخیر نشان می‌دهد. میزان ذخیره و درصد کاهش تبخیر پوشش‌های دولایه یورتالات که در



شکل ۴- درصد کارایی یورتالات دولایه در بازه اندازه‌گیری بر روی حوضچه اندازه‌گیری

منحنی ترسیم شده در شکل ۴، عملکرد پوشش یورتالات دو لایه را در طول بازه اندازه‌گیری نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، تغییر نوسانات یورتالات نسبت به میزان متوسط آن که حدود ۹۲/۱۵ درصد برآورد شده است، جزئی و قابل اغماض می‌باشد. با توجه به محاسبات عملکرد یورتالات در کاهش میزان تبخیر، بیشینه کارایی ۹۳/۲۰ درصد و کمینه آن ۹۱/۶۷ درصد گزارش شده است که این میزان اختلاف، می‌تواند ناشی از خطای اندازه‌گیری و قرائت شاخص تبخیر در طول بازه اندازه‌گیری باشد. همچنین، تغییرات دمای سطح آب نیز در دو حوضچه شاهد و دارای پوشش اندازه‌گیری و منحنی تغییرات آن در شکل ۵ ترسیم شده است.



شکل ۵- نمودار تغییرات دمایی در حوضچه پوشانیده شده با یورتالات دو لایه در مقایسه با حوضچه شاهد

همان‌گونه که در شکل ۵ نیز مشاهده می‌شود، منحنی دمای سطح آب حوضچه شاهد در طول بازه اندازه‌گیری، در تراز پایین‌تر نسبت به حوضچه دارای پوشش قرار گرفته است. افت دما در حوضچه شاهد، نشان می‌دهد که با وجود جذب بیشتر اشعه آفتاب در این حوضچه نسبت به حوضچه دارای پوشش، عدم وجود مانع بر سطح این حوضچه منجر می‌شود تا باد با عبور از سطح آب به تشدید فرایند تبخیر سطحی کمک کرده و با جدا شدن مولکول‌ها از سطح آب دما در محدوده نزدیک به سطح کاهش یابد. همچنین، روند نزولی کلی دما در طول بازه اندازه‌گیری و دو حوضچه نشان از کاهش دمای محیط از تیرماه به شهریور می‌باشد.

**تحلیل اقتصادی اجرای طرح یورتالات:** پارامترهای مورد نیاز برای بررسی و توجیه اقتصادی استفاده از پوشش یورتالات به‌منظور پوشاندن مخازن داخل مجتمع برآورد و در جدول ۲ ارائه شده است. ذخایر سالیانه آب با توجه به مساحت هر مخزن و میزان

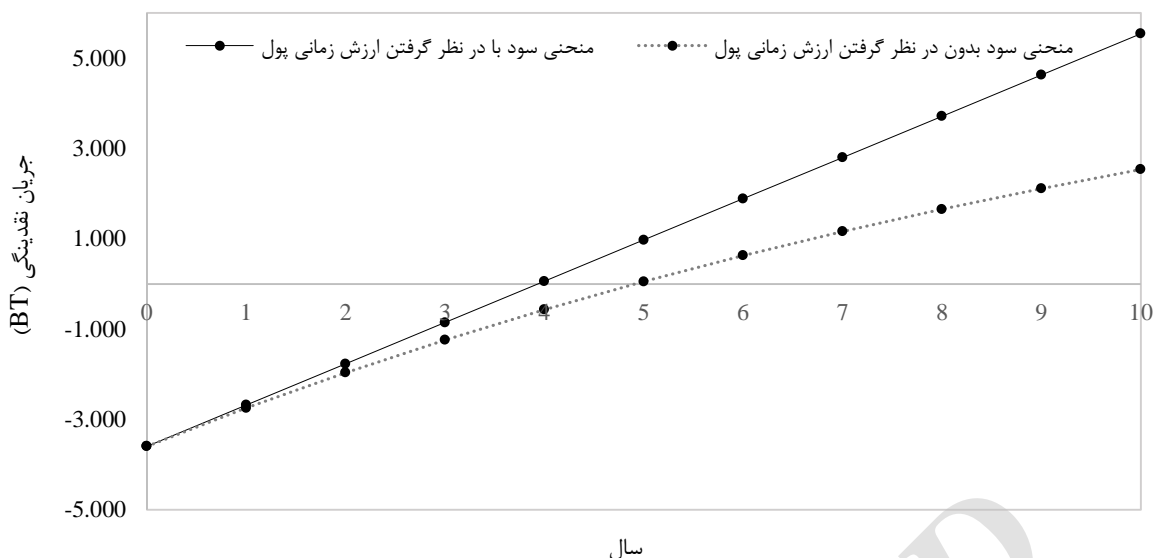
تبخیر محاسبه و میزان سود و هزینه سالیانه تحلیل شد. مجموع کل هزینه لازم برای تهیه و اجرای طرح یورتالات حدود ۳/۷۶ بیلیون تومان می‌باشد که با توجه به ارزش زمانی پول، میزان سود خالص کنونی این پروژه ۲/۶۷ بیلیون تومان است. در مجموع، قیمت تمام شده هر متر مکعب ذخیره آب، طی پروژه حاضر، برای تیکنرهای خمیری و سایر مخازن به‌ترتیب ۲۱۳۳ و ۲۳۴۵ تومان می‌باشد که در مقایسه با هزینه فعلی آب در مجتمع که حدود ۴۰۰۰ تومان است، مقرون به صرفه‌تر است. همچنین، نرخ بازده داخلی برای تیکنرهای خمیری و سایر مخازن به‌ترتیب ۲۵ و ۲۲ درصد به‌دست آمده است که این نرخ بازده، بیانگر جذابیت پروژه به‌منظور سرمایه‌گذاری است. نسبت سود به هزینه نیز که از دیگر پارامترهای مهم در توجیه اقتصادی طرح‌هاست برای مخازن بین ۱/۷۰۶ تا ۱/۸۷۵ محاسبه شده، که این مقادیر بالاتر از یک بوده و موید اجرای طرح می‌باشد.

جدول ۲- محاسبه پارامترهای اقتصادی طرح یورتالات

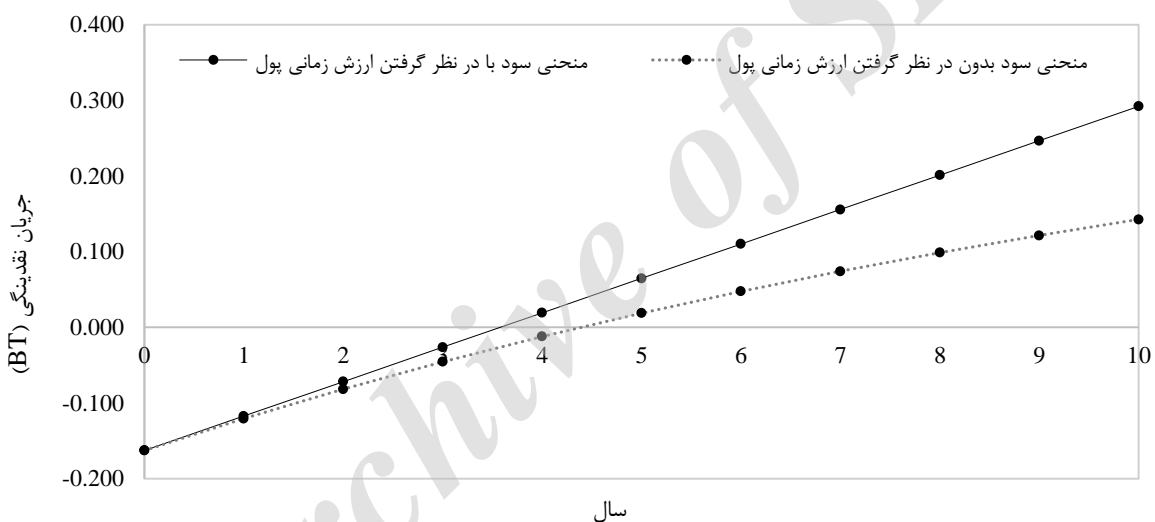
| C.R.T<br>(N.P.W=0) | C.R.T<br>(year) | B.C.R | I.R.R<br>(%) | N.P.<br>W<br>(BT) | قیمت تمام<br>شده متر<br>مکعب آب<br>(T) | سود<br>سالانه<br>(BT) | EUD<br>(BT) | Capex<br>(BT) | ذخیره<br>سالانه<br>(m <sup>3</sup> ) | مساحت<br>(ha) | مخازن             |
|--------------------|-----------------|-------|--------------|-------------------|--|-----------------------|-------------|---------------|--------------------------------------|---------------|-------------------|
| ۳/۹۳               | ۴/۹             | ۱/۷۰۶ | ٪۲۲          | ۰/۹۹              | ۲۳۴۵                                   | ۰/۳۵۶                 | -۰/۲۰۹      | ۱/۴۰۰         | ۸۸۹۸۱                                | ۴/۶۷          | تیکنرهای<br>تغلیظ |
| ۳/۹۳               | ۴/۹             | ۱/۷۰۶ | ٪۲۲          | ۱/۱۰              | ۲۳۴۵                                   | ۰/۳۹۸                 | -۰/۲۳۳      | ۱/۵۶۶         | ۹۹۴۹۶                                | ۵/۲۲          | واحد ۷۵           |
| ۳/۹۳               | ۴/۹             | ۱/۷۰۶ | ٪۲۲          | ۰/۲۱              | ۲۳۴۵                                   | ۰/۰۷۶                 | -۰/۰۴۵      | ۰/۳۰۰         | ۱۹۰۶۴                                | ۱/۰۰          | واحد ۸۱           |
| ۳/۹۳               | ۴/۹             | ۱/۷۰۶ | ٪۲۲          | ۰/۰۱              | ۲۳۴۵                                   | ۰/۰۰۳                 | -۰/۰۰۳      | ۰/۰۱۳         | ۸۰۱                                  | ۰/۰۴۲         | سد<br>انحرافی     |
| ۳/۹۳               | ۴/۹             | ۱/۷۰۶ | ٪۲۲          | ۰/۲۲              | ۲۳۴۵                                   | ۰/۰۸۰                 | -۰/۰۴۷      | ۰/۳۱۷         | ۲۰۱۱۸                                | ۱/۰۶          | رزرواير           |
| ۳/۵۸               | ۴/۴             | ۱/۸۷۵ | ٪۲۵          | ۰/۱۴              | ۲۱۳۳                                   | ۰/۰۴۵                 | ۰/۰۲۴       | ۰/۱۶۳         | ۱۱۳۷۳                                | ۰/۵۴          | تیکنرهای<br>خمیری |

همان‌گونه که در جدول ۲ نیز نشان داده شده است، به‌منظور اهمیت در نظر گرفتن ارزش زمانی پول در پروژه حاضر، مدت زمان برگشت سرمایه در دو حالت محاسبه و ارائه شده است. این مدت زمان در

نمودار ترسیم شده شکل ۶، مربوط به مخازن داخل کارخانه و شکل ۷ مربوط به تیکنرهای خمیری نشان داده شده است.



شکل ۶- نمودار تجمعی سود سالیانه با و بدون در نظر گرفتن ارزش زمانی پول (مخازن داخل کارخانه به استثنای تیکنرهای خمیری)



شکل ۷- نمودار تجمعی سود سالیانه با و بدون در نظر گرفتن ارزش زمانی پول (تیکنرهای خمیری)

در شکل‌های فوق محل تلاقی منحنی سود با محور افقی مدت زمان لازم برای برگشت سرمایه را نشان می‌دهد. در حالتی که ارزش زمانی پول در نظر گرفته نشود، تابع سود خطی و درجه یک بوده و شیب منحنی سود نیز یک می‌باشد. در این حالت، مدت زمان برگشت سرمایه کمتر از حالتی است که ارزش زمانی پول در نظر گرفته می‌شود. در حالی که تابع سود در حالت دوم (با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول) لگاریتمی و درجه دو بوده و مدت زمان واقعی برگشت سرمایه را نشان می‌دهد. این مدت زمان در تیکنرهای خمیری و سایر مخازن کارخانه به‌ترتیب

۴/۴ و ۴/۹ به‌دست آمده است. در واقع سود حاصل از ذخیره آب بعد از گذشت مدت زمان یاد شده، سود واقعی می‌باشد که میزان تجمعی آن تا پایان عمر پروژه سود خالص کنونی را نشان می‌دهد.

#### نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر که به‌منظور کاهش تبخیر از منابع آبی روباز مجتمع مس سرچشمه انجام شده است، منجر به ارائه طرحی دو جانبه به لحاظ مدیریت و نگهداشت آب و همچنین، مصرف مفید ضایعات زیست‌محیطی از جمله بطری‌های نوشابه از جنس

توجه به سهم بیش از ۶۵ درصدی بطری در بدنه یورتالات، مصرف پلی‌یورتان در حجم مورد نظر کاهش یافته و منجر به افزایش صرفه اقتصادی در ساخت پوشش فوق خواهد شد. همچنین، خاصیت چسبندگی بالای پلی‌یورتان به پلی اتیلن ترفنتالات، منجر به افزایش دوام یورتالات نیز می‌شود. قابل ذکر است که با توجه به ارتفاع زبری ۲۰ سانتی‌متری در پوشش‌های دولایه یورتالات و همچنین، وزن نهایی پوشش‌ها، حدود ۲/۵ سانتی‌متر از ارتفاع یورتالات در آب نفوذ کرده، ۱۷/۵ سانتی‌متر ارتفاع زبری یورتالات روی سطح آب می‌باشد. این پوشش در هر متر مربع، توانایی تحمل وزن تا ۱۷۰ کیلوگرم را خواهد داشت. نکته حائز اهمیت دیگری که قابل ذکر است، این‌که اگرچه قطعات یورتالات به لحاظ شکل هندسی منظمی که دارند کمترین فضای خالی را در سطح آب ایجاد می‌کنند، اما وجود درزها بین قطعات یورتالات اجازه ورود بارش را به درون آب داده، مشکلی به لحاظ تغذیه طبیعی مخازن ایجاد نمی‌کند. در مجموع، پوشش یورتالات با کارایی بیش از ۹۲/۱۵ درصد، عملکرد قابل قبولی را در کنترل تبخیر از خود نشان داده است. شکل ۸، تصاویر مربوط به حوضچه‌ها در حین و بعد از اتمام اندازه‌گیری‌ها است. تصویر سمت راست در تاریخ ۹۵/۰۶/۰۳ بعد از ۴۳ روز از آغاز اندازه‌گیری و تصویر سمت چپ در تاریخ ۹۵/۰۶/۲۱ و مربوط به ۶۱ روز بعد شروع اندازه‌گیری‌ها است که پوشش‌ها از روی سطح آب جمع‌آوری شده و میزان افت تراز آب در حوضچه شاهد نسبت به حوضچه دارای پوشش قابل مشاهده است. تصویر فوق، کارایی بالای این نوع از پوشش‌ها را در کاهش تبخیر به‌وضوح نشان می‌دهد.

ترفنتالات می‌باشد. پوشش فیزیکی یورتالات معرفی‌شده در این پژوهش، نتایج قابل قبول و با کارایی بالا را در کاهش تبخیر ارائه می‌دهد. یورتالات که حاصل تزریق فشرده بطری‌ها در ماتریکسی از خمیر پلی‌یورتان است، منجر به ایجاد پوشش‌هایی با مقاومت بالا می‌شود که عایق حرارت و رطوبت است. این ماتریکس که پس از ترکیب دو جزء پلی‌آل و ایزوسیانات ایجاد می‌شود، ترکیب جامدی است که ماهیت کاملاً متفاوت با فاز محلول دو جزء اولیه داشته و به لحاظ کیفیت در آب تغییری ایجاد نمی‌کند. علاوه بر این، با توجه به طول عمر پلی‌اتیلن ترفنتالات که در طبیعت بیش از ۵۰۰ سال تخمین زده شده است و همچنین، دوام بالای فوم پلی‌یورتان، عمر مفید این پوشش‌ها بیش از ده سال تخمین زده می‌شود. همچنین، آستر بتنی که سطح فوقانی یورتالات را پوشش می‌دهد، به‌عنوان محافظی مقاوم و ضد اسید از تخریب و تغییر رنگ فوم پلی‌یورتان در مقابل اشعه UV خورشید جلوگیری می‌کند. همچنین پوشش بتن، منجر به افزایش وزن قطعات یورتالات و پایداری بیشتر آن نیز می‌شود. محاسبات نشان می‌دهد که وزن اولیه بطری و فوم پلی‌یورتان در پوشش‌های دو لایه بدون استفاده از آستر بتنی شش کیلوگرم در متر مربع است که حدود ۶۵ درصد وزن اولیه یورتالات، مربوط به بطری و ۳۵ درصد باقی‌مانده مربوط به پلی‌یورتان می‌باشد. اعمال آستر بتنی نه‌تنها منجر به حفاظت پلی‌یورتان در برابر عوامل جوی می‌شود، بلکه با افزایش چهار برابر وزن قطعات یورتالات، منجر به پایداری و ثبات بیشتر قطعات یورتالات در مقابل امواج آب و بادهای شدید منطقه‌ای می‌شود. همچنین، استفاده از بطری‌ها در طرح ارائه شده، نه‌تنها از تجمع و تخریب زیست‌محیطی جلوگیری می‌کند، بلکه با



شکل ۸- استفاده از پوشش یورتالات در حین اندازه‌گیری و بعد از اتمام پروژه و برداشتن پوشش‌ها

دسترس خارج می‌شود، بسیار ارزشمند و قابل توجیه می‌باشد. با توجه به تولید بالای بطری‌های مصرفی در مجتمع مس سرچشمه ارائه طرح یورتالات می‌تواند الگویی مناسب و کاربردی در راستای معضل مصرف ضایعات و مقابله با بحران آب در سراسر کشور محسوب شود. با توجه به بحران کم‌آبی و تبخیر بالا در بیشتر نقاط کشور، چنانچه این طرح به‌وسیله مسئولان، ارگان‌ها و مقامات زیربط حمایت شود، می‌تواند به‌عنوان طرحی جامع مطرح شده و در مقیاس‌های متفاوت از استخرهای کشاورزی گرفته تا دریاچه پشت سدها و مخازن روباز به مرحله اجرا در آید.

### تشکر و قدردانی

این مطالعه در قالب طرح پژوهشی مصوب و با حمایت مالی مجتمع مس سرچشمه انجام گرفته است. نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از واحدهای مختلف مجتمع از جمله واحد تحقیقات و توسعه، شرکت ارفع سازان، واحد آبرسانی و تأسیسات و همچنین، واحد حمل و نقل که در انجام این پروژه مساعدت و همکاری لازم را به‌عمل آوردند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

با توجه به میزان متوسط تبخیر سالیانه از ایستگاه سد و کارخانه که به‌ترتیب حدود ۲۲۶۶ میلی‌متر و ۲۰۶۱ میلی‌متر گزارش شده است و همچنین، مساحت مخازن آبی روباز (تیکنرهای خمیری و سایر مخازن موجود در کارخانه) که در مجتمع حدود ۱۲۵۲۷۹ متر مربع است، می‌توان گفت سالیانه حدود ۲۵۹۲۷۹ متر مکعب آب قابل استفاده از دسترس خارج می‌شود. با توجه به کارایی ۹۲/۱۵ درصدی پوشش یورتالات در کاهش میزان تبخیر و همچنین، سطح آزاد آب در مجتمع مس سرچشمه، چنانچه کل سطح با استفاده از یورتالات دو لایه پوشش داده شود، سالیانه حدود ۲۳۹۸۳۳ متر مکعب آب ناشی از کاهش تلفات تبخیر ذخیره می‌شود که این مقدار با توجه به ۱۰ سال عمر مفید یورتالات به‌طور متوسط معادل ۲۳۹۸۳۳۰ متر مکعب برای یورتالات دو لایه طی ۱۰ سال تخمین زده شده است. همچنین، عوامل اقتصادی محاسبه شده، از قبیل نسبت سود به هزینه، نرخ بازده داخلی، ارزش خالص کنونی، مدت زمان برگشت سرمایه و قیمت تمام شده هر متر مکعب آب، اجرای طرح را از لحاظ اقتصادی توجیه می‌کند. در حال حاضر با توجه به کمبود آب و افت تراز سفره در دشت خاتون‌آباد، حفظ این ذخیره موجود که به‌راحتی از

### منابع مورد استفاده

1. Al-Hassoun, S.A., T. Ahmed Mohammed and J. Nurdin. 2009. Evaporation reduction from impounding reservoirs in arid areas using palm leaves. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4: 247-250.
2. Al-Hassoun, S.A., A.A. AlShaikh, A.M. AlRehaili and M. Misbahuddin. 2011. Effectiveness of using palm fronds in reducing water evaporation. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 38: 1170-1174.
3. Álvarez, V.M., A. Baille, J.M. Martínez and M.G. Real. 2006. Effect of black polyethylene shade covers on the evaporation rate of agricultural reservoirs. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 4: 280-288.
4. Barnes, G. 1986. The effects of monolayers on the evaporation of liquids. *Advances in Colloid and Interface Science*, 25: 89-200.
5. Barnes, G. 2008. The potential for monolayers to reduce the evaporation of water from large water storages. *Agricultural Water Management*, 95: 339-353.
6. Brown, J. 1988. The potential for reducing open water evaporation losses: a review. Paper Presented at the Hydrology and Water Resources Symposium 1988: Preprints of Papers.
7. Burston, I. and A. Akbarzadeh. 1995. Fresh water storage—evaporation research. Reducing Loss from Evaporation: Report to the Cotton Research and Development Corporation, Saintry.
8. Burston, I.A. 2002. Conservation of water from open storages by minimising evaporation. RMIT University Melbourne.
9. Craig, I., A. Green, M. Scobie and E. Schmidt. 2005. Controlling evaporation loss from water storages. National Centre for Engineering in Agriculture Publication 1000580/1, USQ, Toowoomba, <http://www.ncea.org.au>.
10. Finn, N. and S. Barnes. 2007. The benefits of shade-cloth covers for potable water storages. CSIRO Textile and Fibre Technology, CSIRO Gale Pacific.

11. GHD. 2003. Methods for reducing evaporation from storages used in urban water supplies. Final Report for Department of Natural Resources and Mines, Drought Urban Water Supply Taskforce, Queensland.
12. Howard, E. and T. Schmidt. 2008. The effectiveness of Nylex Aqua Cap floating module technology at the Rio Tinto Northparkes Mine. The National Centre for Engineering in Agriculture: University of Southern Queensland Toowoomba.
13. Hsin, Y.L.L. 2002. Feasibility experiments into the use of hexadecanol for hurricane mitigation and the planning and construction of the Monolayer Evaporation Retardation Laboratory. Massachusetts Institute of Technology.
14. Knights, S. 2005. Reducing evaporation with chemical monolayer technology. Australian Cottongrower, 26: 32-33.
15. Piri, M., M. Hesam, A.A. Dehghaniand and M. Meftah Halaghi. 2011. Experimental study on the effect of physical and chemical approach in reducing the evaporation from water surface. Journal of Water and Soil Conservation, 17: 141-154 (in Persian).
16. Ranjbar, A., A.A. Mahdavian and R. Maknoon. 2011. The possibility of using floating plates of perlite light concrete to evaporation reduction of dams reservoirs. Proceedings of the 1st International and 3rd National Conference on Dams and Hydropower, Tehran (in Persian).
17. Santafé, M.R. 2011. Diseño de un sistema de cubierta flotante fotovoltaica para Balsas de Riego. PhD Thesis, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 254 page.
18. Santafé, M.R., P.S.F. Gisbert, F.J.S. Romero, J.B.T. Soler, J.J.F. Gozávez and C.M.F. Gisbert. 2014. Implementation of a photovoltaic floating cover for irrigation reservoirs. Journal of Cleaner Production, 66: 568-570.
19. Watts, P. 2005. Scoping study: reduction of evaporation from farm dams. Final Report to the National Program for Sustainable Irrigation. Feedlot Services Australia Pty Ltd, Toowoomba.

Archive of SID