

تأثیر توپ‌های شناور بر کاهش میزان تبخیر از منابع آبی روباز (مطالعه موردی: سد رسوبگیر معدن مس سرچشمه)

۱- حمیده افخمی، دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

Hamide.afkhami@gmail.com

۲- حسین ملکی نژاد، دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

۳- عصمت اسماعیل‌زاده، رئیس امور تحقیقات آب و محیط زیست، مجتمع مس سرچشمه

دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۶

پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۲۶

چکیده

تبخیر از جمله مهم‌ترین تلفات محسوس از سطوح آبی به‌خصوص مناطق بیابانی است که بشر کمترین دخالت را در آن دارد و اقلیم مهم‌ترین شاخص میزان این تلفات در مناطق مختلف به‌شمار می‌رود. تاکنون راهکارهای مختلفی جهت کاهش میزان تبخیر ارائه گردیده است. در پژوهش حاضر که با هدف کاهش میزان تبخیر از سد رسوبگیر و سطوح آبی روباز مجتمع مس سرچشمه انجام گرفت، سعی شده تا برای اولین بار کارایی سه نوع توپ به‌عنوان پوشش‌های کاهنده تبخیر بررسی گردد. توپ‌های مورد استفاده که در مکانیسم عمل، اندازه و جنس، متفاوت هستند، شامل دو نوع توپ تک روزه و چند روزه از جنس پلی‌اتیلن با قطر ۸ سانتیمتر و یک نوع توپ ریز^۱ با قطر یک سانتیمتر و از جنس پلی‌پروپیلن می‌باشد. به‌منظور بررسی عملکرد این پوشش‌ها در کاهش تبخیر، مخازن کوچک یک مترمربعی در مجاورت سد رسوبگیر سرچشمه احداث و کارایی پوشش‌های نامبرده با دو تکرار به مدت یک ماه از ۹۵/۰۱/۱۵ تا ۹۵/۰۲/۱۴ بررسی شدند. بر اساس آزمون مقایسه میانگین توکی و دانکن سه نمونه توپ به لحاظ تغییرات میزان تبخیر و دما با شاهد اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشتند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد توپ‌های تک‌روزه با کارایی ۶۵/۱٪ بیشترین سهم را در کاهش تبخیر داشتند در حالی که توپ‌های چندروزه و توپ‌های ریز با کارایی ۶۵/۱٪ و ۳۸/۸٪ در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. در نهایت توپ‌های تک‌روزه به دلیل زبری مناسب در سطح و ثابت ماندن درصد فضاهای خالی در طول زمان، به‌عنوان بهترین نوع پوشش کاهنده تبخیر در پژوهش حاضر شناسایی گردیدند.

واژگان کلیدی: پوشش کاهنده تبخیر؛ مناطق خشک؛ حفاظت آب؛ تلفات آب؛ کرمان.

مقدمه

به‌ویژه در مناطق خشک ایران است. با توجه به بحران آب، مدیریت منابع آب در مناطق خشک و بیابانی نقش موثری بر کاهش روند بیابان‌زایی نیز خواهد داشت [۶]. از جمله راهکارهای مهم در بحث منابع آبی روباز، کاهش تلفات تبخیر از این سطوح است. کنترل تبخیر از سطح آب با روش‌های مختلف، راه‌حل مهمی در حفاظت از آب است و در بسیاری از موارد از جمع‌آوری و ذخیره همان مقدار آب از منابع دیگر اقتصادی‌تر است. روش‌های کاهش تبخیر از سطح مخازن و دریاچه سدها به سه دسته شامل روش‌های فیزیکی، روش‌های شیمیایی و روش‌های بیولوژیکی تقسیم می‌شود [۴]. تاکنون مطالعات وسیعی در جهان در رابطه با استفاده از پوشش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی انجام گرفته است. با ارزیابی میزان کارایی این پوشش‌ها در مقیاس آزمایشگاهی و میدانی، در بسیاری از موارد نتایج قابل قبولی ارائه شده است.

آب یک عنصر مهم و حیاتی در زندگی بشر و سیستم‌های طبیعی محسوب می‌گردد. رشد سریع جمعیت، گسترش شهرها و توسعه صنعت، خشکسالی و تغییر اقلیم منجر به افت سطح سفره‌های آبی از یک طرف و افزایش تقاضای آب از طرف دیگر شده است به‌طوری‌که میزان سرانه آب تجدیدپذیر کشور در سال ۱۳۰۰ حدود ۱۳۰۰۰ متر مکعب بوده و در حال حاضر به ۱۹۰۰ متر مکعب کاهش یافته و در آینده به مراتب وضع بدتر خواهد شد [۶]. بارندگی سالانه جهان حدود ۸۵۰ میلیمتر است. ایران با ۲۵۰ میلی‌متر بارش حدود یک سوم متوسط بارندگی سالانه جهان را دریافت می‌کند. از طرفی متوسط پتانسیل تبخیر سالانه در جهان حدود ۷۰۰ میلیمتر و این میزان در ایران حدود سه برابر و معادل ۲۱۰۰ میلیمتر است. موضوع فوق بیانگر محدودیت و کمبود منابع آبی

می‌رود. در این حالت به آب اجازه عبور از بین ساقه‌ها را می‌دهد و باعث کاهش راندمان کاهش تبخیر می‌شود. در پایان این دوره ضریب کاهش تبخیر توسط این گونه‌ها به ۱۹٪ کاهش پیدا کرد. به‌منظور کاهش تبخیر از پوشش‌های متفاوت سایه‌انداز استفاده شد [۳]. به این منظور از دو تشتک کلاس A با پوشش و بدون پوشش استفاده شد پوشش‌های متفاوت استفاده شده در این تحقیق شامل شبکه‌های پلی‌اتیلنی یک‌لایه و دولایه پوشش‌دار شده با تیمار آکرولیک سفید و رنگی و همچنین شبکه‌های آلومینیومی بود. نتایج کاهش معنی‌داری را در میزان تبخیر روزانه نشان داد. به‌طوری‌که نرخ کاهش تبخیر در پوشش‌های آلومینیومی ۵۰ درصد و در پوشش‌های پلی‌اتیلن رنگی تا ۸۰ درصد گزارش شد. پوشش تک لایه و دولایه مشکی بهترین کارایی را در میان دیگر پوشش‌ها از خود نشان داد. به‌منظور کاهش تبخیر با استفاده از برگ و شاخه‌های نخل و شبکه‌های سیمی پوشش‌های سایه‌انداز تک لایه و دولایه تهیه و در یک دوره ۹ ماهه بر روی تشتک تبخیر کاهش میزان تبخیر ارزیابی شد [۲]. نتایج بدست آمده نشان داد در صورتی‌که از پوشش‌های تک لایه استفاده گردد میزان تبخیر تا ۴۷ درصد و در صورت استفاده از پوشش‌های دولایه می‌توان تا ۵۸ درصد میزان تبخیر را کاهش داد. در پژوهشی به‌منظور کاهش تبخیر از مخازن ذخیره از سلول‌های خورشیدی^۴ استفاده شد [۱۶]. به‌این منظور در سال ۲۰۰۹، در یک نمونه آزمایشی، به مدت ۲ سال بخشی از مخزن ذخیره آب با مساحتی بالغ بر ۳۵۰ مترمربع (حدود ۷ درصد از سطح مخزن) با سلول‌های خورشیدی پوشیده شد. سپس در سال ۲۰۱۲، با توجه به کارایی مناسب این صفحات در تولید برق و کاهش تبخیر، مساحتی بالغ بر ۴۴۹۰ مترمربع با ۱۴۵۸ سلول خورشیدی و ۷۵۰ پنتون^۵ پوشانده شد. آخر، این کاربرد دومنظوره کاهش تبخیر و تولید جریان الکتریسته، روشی نسبتاً آسان و مقرون‌به‌صرفه ارزیابی گردید. بررسی‌های داخلی نشان می‌دهد کشور ایران نیز براساس شاخص سازمان ملل، با مصرف بیش از ۶۹ درصد کل آب تجدیدپذیر، در وضعیت

کاربرد مواد شیمیایی کاهنده تبخیر برای اولین بار در اوایل دهه ۱۹۵۰ در استرالیا و با استفاده از الکل‌های چرب شروع شد. [۱۱]. مطالعات وسیعی در رابطه با استفاده از الکل‌های چرب در کشورهای مختلف جهان از جمله آمریکا، هند، فلسطین اشغالی، کانادا و به‌ویژه استرالیا انجام شده است. از جمله موارد مورد استفاده از الکل‌های فوق در دهه‌های اخیر می‌توان به تحقیق کنایت [۱۰] اشاره نمود. در این تحقیق، هگزادکانول^۱ در چند سد و مخازن آبی مورد استفاده برای کشت پنبه در استرالیا پخش گردید، نتایج به‌دست آمده کاهش ۲۰ درصدی را در میزان تبخیر از سطح آب نشان داد. ابرین [۱۳] با ترکیب هگزادکانول و مقداری هیدروکسید کلسیم و اندکی سیلیس ماده‌ای تهیه و در چندین مخزن بزرگ آب مورد آزمایش قرار داد. کاهش میزان تبخیر با استفاده از ترکیبات قابل محسوس گزارش شد. نتایج تحقیق بارنز [۴] نشان داد الکل‌های هگزادکانول و اکتادکانول^۲ برای کاهش تبخیر از مخازن بزرگ مناسب بوده و دوام آن‌ها یک تا دو روز است. هم‌زمان با بررسی استفاده از مواد شیمیایی در کاهش تبخیر، مطالعاتی نیز در زمینه استفاده از پوشش‌های فیزیکی در سطح دنیا انجام گرفته است. در این راستا کولی و مایر [۵] کاربرد موادی از قبیل استیروفوم^۳ را برای کاهش تبخیر بررسی نمودند. نتایج آزمایش‌های انجام شده تاثیر ۸۰ درصدی ماده فوق را در کاهش تبخیر نشان داد. در تحقیقی دیگر که توسط توما [۱۷] انجام گرفت، برای جلوگیری از خروج بخار از سطح مایع، استفاده از یک نوع پلاستیک ضخیم و یک تخته چندلایه ضخیم به‌عنوان پوشش در بالای سطح آب معرفی شد. نتایج آزمایش بر روی این دو لایه پوششی نشان داد با افزایش فاصله لایه پوششی از سطح آب، میزان تبخیر نیز کاهش می‌یابد. در ایالت راجستان هند برای کاهش تبخیر و ایجاد سایه بر روی سطح آب از نوعی نی به نام بامبو که در منطقه به وفور یافت می‌شد استفاده شد [۹]. نتایج نشان داد با پوشاندن ۹۸٪ سطح، میزان تبخیر تا ۵۴٪ کاهش می‌یابد. نتایج مطالعه در طول یک دوره ۱۹ ماهه نشان داد که ساقه‌های این نی با جذب آب سنگین شده و در آب فرو

1-Hexadecanol

2- Octadecanol

3- Styrofoam

4- Floating Photovoltaic Cover System(FPCS)

5- Pantone

گرفتن قسمت وسیعی از کشور ایران در اقلیم خشک و بیابانی و بالا بودن میزان تبخیر سالانه و به‌رغم گستردگی صنایع پتروشیمی برای ساخت پوشش‌های فیزیکی مناسب، تاکنون مطالعه جامع و کاربردی در زمینه کاهش میزان تبخیر از منابع آبی صورت نگرفته است. در پژوهش حاضر، با هدف کاهش تبخیر از مخازن و منابع روباز آبی در مناطق خشک، تأثیر و کارایی انواع توپ‌های شناور پلی‌اتیلنی و پلی‌پروپیلنی به عنوان کاهنده‌های تبخیر بررسی می‌شود و در پایان با انتخاب برترین گزینه، راهکاری مناسب و اجرایی جهت کاهش تبخیر منابع آبی مجتمع مس سرچشمه ارائه می‌گردد.

مواد و روش

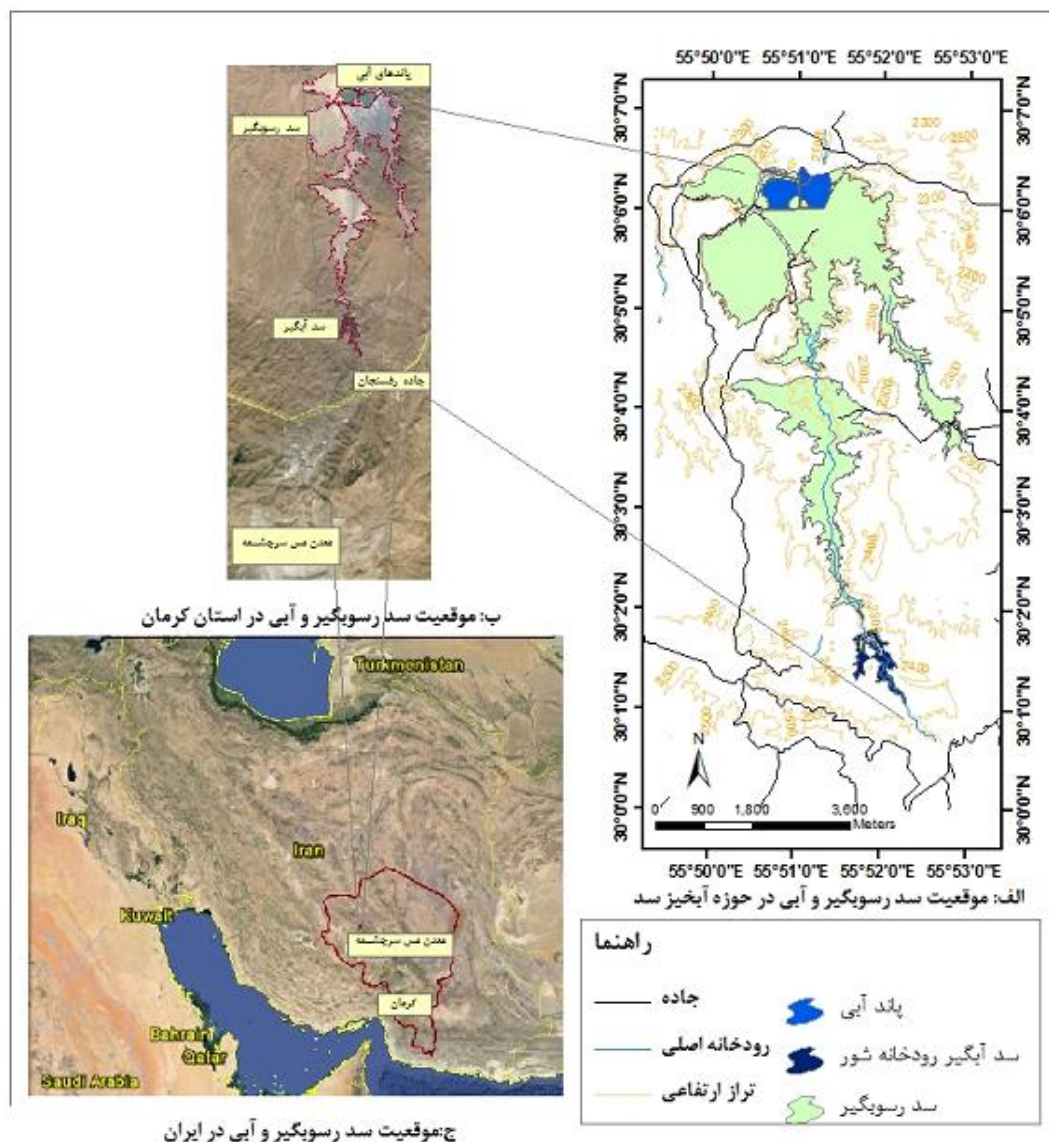
منطقه مورد مطالعه

معدن مس سرچشمه به‌عنوان از بزرگ‌ترین معادن مس پورفیری ایران در مختصات جغرافیایی $20^{\circ} 52' 55''$ طول شرقی و $40^{\circ} 56' 29''$ عرض شمالی در ۱۶۰ کیلومتری جنوب غرب کرمان و در فاصله ۵۰ کیلومتری رفسنجان واقع شده است. موقعیت معدن سرچشمه و سد باطله در شکل ۱ نمایش داده شده است.

متوسط تبخیر بالقوه ایستگاه هواشناسی سد رسوب‌گیر و ایستگاه هواشناسی کارخانه به‌ترتیب ۲۲۶۶ و ۲۰۶۱ میلی‌متر در سال است. در حال حاضر آب مورد استفاده در مجتمع از چاه‌های دشت خاتون‌آباد تأمین می‌گردد خشکسالی‌های اخیر و برداشت مداوم آب باعث کاهش سطح سفره در این دشت شده است. از طرفی مخازن آبی موجود در مجتمع از جمله سد آبگیر، سد رسوب‌گیر و مخزن ذخیره رزرواير، تیکنرهای خمیری و مخازن ۷۵ و ۸۱ با مساحتی بالغ بر ۱۱۵ هکتار به‌صورت روباز طراحی شده است. برآوردها نشان می‌دهد با توجه به توان بالقوه تبخیر و مساحت سطوح آبی، سالیانه حدود ۲۵۸۰۰۰۰ مترمکعب آب قابل‌استفاده از دسترس خارج می‌گردد که این مقدار معادل برداشت بیش از ۲/۵ ماه آب تازه از تمام چاه‌های دشت خاتون‌آباد است [۱۸]. با وجود بالا بودن میزان تبخیر از منابع آبی و مخازن سدها، تاکنون اقدامی عملی در زمینه کاهش تلفات تبخیر صورت نگرفته است. با توجه به بحران و نیاز آبی در این مجتمع و سایر

بحران شدید آبی قرار دارد [۶]. از جمله مطالعات انجام‌شده در ایران در زمینه مقابله با بحران آب از طریق کاهش تبخیر می‌توان به تحقیق انجام‌شده توسط قراوی و ال احمد [۷] پیرامون روش‌های کنترل تبخیر و محدودیت‌های عملی آن اشاره نمود. در تحقیق، به ارزیابی روش‌های مختلف کاهش تبخیر از جمله استفاده از مونولیرها، پوشش‌های شناور و معلق، بادشکن‌ها و کاهش سطح مخزن پرداخته شد و در آخر استفاده از پوشش‌های معلق و شناور در بسیاری از موارد به‌عنوان مؤثرترین روش کاهش تبخیر معرفی گردید. مطالعه‌ای جهت کاهش میزان تبخیر در سطح آزمایشگاهی با استفاده از الکل‌های سنگین انجام شد [۸]. در این مطالعه الکل‌های سنگین هگزادکانول و اکتادکانول در اتانول حل شده و معادل ۲۰ و ۴۰ گرم در هکتار در سه تکرار روی سطح تشت‌های تبخیر کلاس A پاشیده شد. نتایج نشان داد که استفاده پیوسته از الکل‌ها، می‌توان منجر به کاهش محسوسی در میزان تبخیر گردد. علاوه بر این در پژوهش دیگری تأثیر پوشش‌های فیزیکی کاهنده تبخیر بر روی تشتک کلاس A بررسی شد [۱۴]. به‌عنوان روش فیزیکی از پلی‌استایرن با ضخامت‌های ۱/۵ سانتی‌متر و درصد پوشش ۴۰، ۶۰ و ۸۰ استفاده شد. عمق آب داخل تشت‌ها، طی مدت ۳۸ روز اندازه‌گیری و سپس تبخیر روزانه محاسبه شد. سپس مقادیر به‌دست آمده با نمونه شاهد مقایسه و نتایج ارائه شد. نتایج نشان داد که با استفاده از روش‌های فیزیکی می‌توان، میزان تبخیر را ۳۰ تا ۵۵ درصد کاهش دهد. مقیمان و اصلانی [۱۲] تأثیر نانوذرات را در کاهش میزان تبخیر مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد نانوذرات Ni/Fe و $\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{ZrO}_2, \text{Tio}_2$ (سیال)، در کاهش میزان تبخیر تأثیر مثبت داشت درحالی‌که نانو ذره رس میزان تبخیر را افزایش دادند. در پژوهشی از صفحات بتن سبک پرلیتی بر روی دریاچه سد کارون استفاده شد [۱۵]. در این تحقیق صفحاتی به مساحت ۱ متر مربع با استفاده از الیاف مصنوعی پلی‌پروپیلن با ضخامت ۳۰ سانتیمتر و به‌صورت تو خالی ساخته شد. این صفحات با درجه آزادی زیاد به راحتی قابل اتصال به یکدیگر هستند. این خصوصیت موجب افزایش مقاومت صفحات در مقابل موج‌های احتمالی مخزن پشت سد می‌شود. با وجود قرار

نواحی، به منظور حفظ سرمایه عظیم آب به عنوان عنصری حیاتی، ارائه روش‌های کاهش تبخیر از این مخازن ضروری به نظر می‌رسد.



شکل ۱- موقعیت سد رسوبگیر و آبیگیر مجتمع مس سرچشمه در (الف): حوزه آبخیز سد، (ب): استان کرمان و (ج): ایران

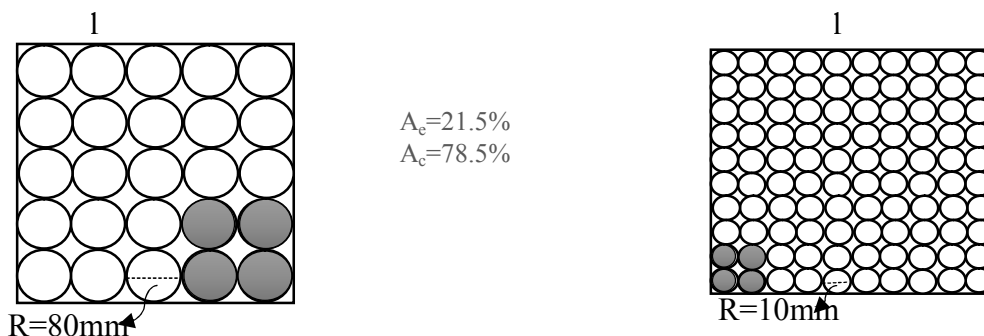
روش تحقیق

ذکر این نکته حائز اهمیت است که درصد پوشش سطح و فضاهای خالی در پوشش‌های مدور مستقل از قطر پوشش است. بر اساس شکل ۲، چنانچه سطح محصورشده با پوشش‌های مدور را با AC و سطح فضاهای خالی را با Ae نمایش داده شود، تحت شرایط یکسان، با تغییر قطر درصد سطح آزاد و پوشیده شده ثابت و میزان آن به ترتیب برابر $21/5$ و $78/5$ درصد است.

پژوهش حاضر با هدف ارائه روش‌هایی جهت کاهش تبخیر بر روی سطح دریاچه سد آبیگیر و رسوبگیر و همچنین سایر مخازن روباز مجتمع مس سرچشمه انجام گرفت. پوشش‌های استفاده شده شامل سه نمونه توپ می‌باشد. نمونه اول و دوم، توپ‌هایی از جنس پلی‌اتیلن با وزن تقریبی ۱۱ گرم و نمونه دوم توپ‌های ریزی از جنس پلی‌پروپیلن و با قطر معادل ۱ سانتیمتر می‌باشد (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های انواع توپ‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر

نوع پوشش	جنس	مقاومت به درجه حرارت (°C)	نقطه نرمی	قطر (mm)	تعداد روزنه	ابعاد روزنه (mm)	درصد پوشاندگی در سطح
توپ‌های ریز (Bit Layers)	پلی پروپیلن	۱۲۰	بالا	۱۰	ندارد	-	۷۹/۵
توپ‌های چند روزنه	پلی اتیلن	۹۰	پایین	۸۰	۴	۱-۱/۵	۷۹/۵
توپ‌های تک روزنه	پلی اتیلن	۹۰	پایین	۸۰	۱	۱-۱/۵	۷۹/۵



شکل ۲- نمایش درصد فضاهای خالی ثابت در توپ‌های ریز و درشت در یک سطح هندسی مشخص

گردیده و بر روی بزرگ‌ترین سطح خود که بیشترین پوشاندگی را ایجاد می‌کند بایستند. تنها در این شرایط است که بیشترین زبری در سطح آب و کمترین فضای خالی بین توپ‌ها ایجاد می‌گردد. به این ترتیب، در مرحله اول تعداد ۴۰۰ عدد توپ به شیوه فوق سوراخ گردید. با قرارگیری بر سطح آب وزن ثانویه توپ‌ها به‌طور متوسط به ۸ تا ۹ برابر وزن اولیه می‌رسد. به دلیل تنش‌های محیطی از جمله سرعت باد زیاد در منطقه مورد مطالعه همواره این احتمال وجود دارد که توپ تحت شرایط مختلف چرخیده و با قرارگیری حتی یک روزنه بالاتر از سطح آب، شرایط برای ورود آب از روزنه‌های دیگر در توپ فراهم گردد. به این ترتیب، با ورود حجم بیشتری از آب، میزان غوطه‌وری توپ در آب بیشتر شده و توپ بر روی سطح تماس کوچک‌تری بر روی آب قرار می‌گیرد. این مسئله منجر به افزایش فضاهای خالی بین توپ شده و ضمن کاهش زبری توپ در سطح آب، میزان تبخیر را افزایش داده و از کارایی پوشش فوق می‌کاهد. از این رو، به منظور رفع مشکل فوق، روش دیگری جهت ایجاد روزنه بر سطح توپ اعمال گردید. در روش ثانویه به منظور افزایش وزن توپ‌ها تنها یک روزنه در سطح آن تعبیه شد. با ایجاد یک روزنه در توپ و قرارگیری بر سطح آب، به دلیل عدم وجود روزنه‌ای جهت خروج هوا، آب به خودی خود وارد توپ نخواهد شد،

با توجه به وزن ناچیز دو نمونه توپ پلی اتیلنی و سرعت بالای باد در منطقه، همواره احتمال جمع شدن و پراکنش توپ‌ها در سطح آب وجود دارد. این مسئله کارایی این نوع پوشش‌ها را کاهش می‌دهد. به منظور رفع مشکل فوق سعی گردید در دو نمونه اول که شامل توپ‌های پلی اتیلنی با قطر ۸ سانتیمتر است، روزنه‌هایی بر سطح توپ ایجاد گردد تا با ورود آب در داخل توپ وزن توپ‌ها افزایش یابد. بدین منظور جهت افزایش وزن توپ‌های پلی اتیلنی دو شیوه متفاوت بر این نوع توپ‌ها اعمال گردید. در شیوه نخست، با توجه به قرارگیری توپ در سطح آب چند روزنه به قطر یک میلی‌متر بر سطح تماس توپ با آب ایجاد گردید و یک روزنه به منظور خروج هوا در زمان ورود آب به داخل توپ، در نقطه مقابل روزنه‌ها در نظر گرفته شد. به این ترتیب آب، به محض قرارگیری توپ بر روی سیال از طریق روزنه‌های ایجاد شده وارد توپ شده و از روزنه مقابل هوا خارج می‌گردد. با ورود آب، توپ به سمت روزنه خروجی هوا شروع به چرخش نموده تا سطح آب در روزنه‌های مقابل به یکدیگر، هم‌تراز گردد. با قرارگیری تمام روزنه در زیر سطح آب، ورود آب به داخل توپ متوقف گردد. تعبیه روزنه‌ها بر روی توپ‌ها به گونه‌ای طراحی شد تا میزان ورود آب به داخل توپ زمانی متوقف گردد که توپ‌ها تا نیمه در آب غوطه‌ور

توپ نخواهد داد. وزن آب تزریق شده با انجام آزمون و خطا و متناسب با قطر توپ، طوری تعیین گردید تا در این شیوه نیز توپ تا نیمه وارد آب شده و بر روی بزرگترین سطح خود در آب شناور گردد. در این شیوه، دیگر شرایط جهت ورود و خروج حجم بیشتر آب وجود نخواهد داشت. جدول ۲ وزن آب موجود در توپها به طور میانگین و میزان فرورفتگی آنها را نشان می‌دهد.

از طرفی چنانچه آب در داخل توپ نیز وجود داشته باشد با ایجاد یک روزنه در سطح توپ، شرایط جهت خروج خود به خودی آب وجود نخواهد داشت. با توجه به این اصل، در شیوه دوم تعداد ۴۰۰ عدد توپ تهیه و با تعبیه یک روزنه به قطر ۱ تا ۱/۵ میلیمتر، آب از طریق سرنگ و تحت فشاری بیش از فشار اتمسفر به داخل آن تزریق گردید. بدیهی است با ورود آب به داخل توپ، فشار هوای داخل توپ اجازه ورود آب را از طریق یک روزنه به داخل

جدول ۲- وزن و میزان غوطه‌وری توپهای دارای روزنه در آب

نوع توپها	وزن متوسط آب (gr)	میزان متوسط فرورفتگی در ابتدای بازه (cm)	میزان متوسط فرورفتگی در انتهای بازه (cm)
چندروزنه	۱۲۰-۱۴۰	۴/۳-۳/۵	۴-۵/۵
تکروزنه	۱۲۰-۱۳۰	۳/۵-۴	۳/۵-۴

حفاری گردید. سپس مخازنی از جنس پلی‌اتیلن که در داخل حفاظ مشبک فلزی قرار گرفته شده بود متناسب با ابعاد محل گودبرداری تعبیه گردید. همچنین جهت اندازه‌گیری تراز آب و میزان تبخیر تعدادی خط‌کش نیم متری به میله‌های بالای محافظ هر مخزن متصل گردید (شکل ۳).

نمونه سوم توپها، شامل توپهای ریز از جنس پلی‌پروپیلن هستند که این توپها بدون اعمال هیچ‌گونه تغییری بر سطح آب قرار گرفته و میزان کارایی آن در شرایط طبیعی منطقه در دو تکرار بررسی گردید. جهت تعیین کارایی پوشش‌های نامبرده، در مجاورت سد رسوب‌گیر چاله‌هایی به ابعاد ۱۲۰ × ۱۲۰ × ۱۲۰ سانتیمتر



شکل ۳- استفاده از توپهای ریز پلی‌پروپیلنی (راست) و توپهای تک روزنه و چند روزنه پلی‌اتیلنی (چپ)

۱۰۰۰۰ عدد توپهای ریز و هر کدام در دو مخزن پلی‌اتیلنی به طور کامل پوشانیده شد. به مدت ۱ ماه از تاریخ ۱۵ فروردین ۱۳۹۵ تا ۱۵ اردیبهشت ۱۳۹۵ و با فاصله زمانی ۳ روز میزان کاهش تبخیر و دمای آب در عمق ۲۰ سانتیمتری از سطح اندازه‌گیری شد. در آخر

بعد از آماده‌سازی، توپها به محل مخازن در مجاورت سد انتقال داده شد. بدین ترتیب مخازن با استفاده از آب پشت سد آبیگری شد. سپس دو مخزن به‌عنوان شاهد و شش مخزن دیگر به ترتیب با استفاده از ۲۰۰ عدد توپهای چند روزنه، ۲۰۰ عدد توپهای تک روزنه و

تحلیل واریانس یک طرفه و آزمون توکی و دانکن جهت مقایسه میانگین تأثیر انواع پوشش‌ها بر کاهش تبخیر و دما استفاده گردید.

کارایی انواع توپ‌ها در کاهش میزان تبخیر با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید.

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

که در آن:

$L_{control}$ میزان تلفات از مخزن شاهد طی بازه اندازه‌گیری و L_{cover} میزان تلفات در هر یک از پوشش‌ها در همان بازه می‌باشد. مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر و دمای سطح آب به صورت $Mean \pm S.d$ ارائه شد. از

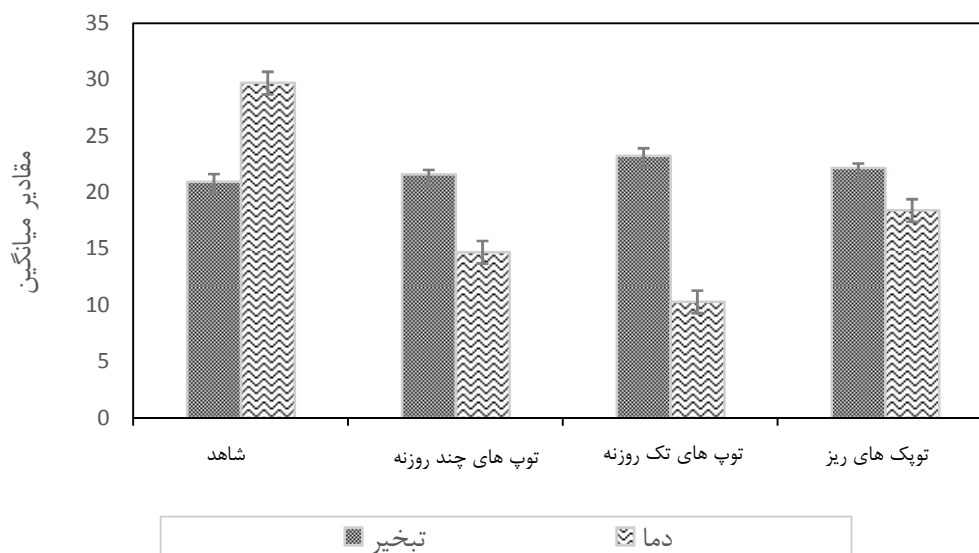
نتایج

کارایی انواع توپ‌ها در مخازن پلی اتیلنی

مقادیر میانگین و انحراف استاندارد پارامترهای تبخیر و دما در جدول ۳ و شکل ۴ آورده شده است.

جدول ۳- آماره های تبخیر و دما در گروه های مختلف در بازه زمانی اندازه‌گیری

پوشش‌ها	متغیرها	میانگین	انحراف استاندارد
مخزن شاهد	تبخیر (میلیمتر)	۲۹/۷۰	۴/۷۳
	دما (سلسیوس)	۲۰/۹۵	۰/۶۷
مخزن پوشانیده شده با توپ های چند روزنه	تبخیر (میلیمتر)	۱۴/۷۰	۳/۰۸
	دما (سلسیوس)	۲۱/۶۰	۰/۳۹
مخزن پوشانیده شده با توپ های تک روزنه	تبخیر (میلیمتر)	۱۰/۳۰	۲/۱۱
	دما (سلسیوس)	۲۳/۲۵	۰/۶۶
مخزن پوشانیده شده با توپ های ریز	تبخیر (میلیمتر)	۱۸/۴۰	۴/۴۹
	دما (سلسیوس)	۲۲/۱۵	۰/۴۱



شکل ۴- مقایسه مقادیر میانگین سه روزه تبخیر و دما در بازه اندازه‌گیری شده بین پوشش‌ها

می‌دهد. بر اساس مقادیر نسبت پراش، بین پوشش‌های مختلف از نظر میزان تبخیر و دما در سطح احتمال ۰.۹۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۴).

همان‌گونه که مشاهده می‌گردد مقادیر تبخیر و دما در نمونه‌های اندازه‌گیری شده متفاوت است. این امر تأثیر مثبت استفاده از انواع توپ‌ها را در کاهش تبخیر نشان

جدول ۴- انحراف واریانس یک سویه برای بررسی تغییرات تبخیر و دما در پوشش های مختلف

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	آماره F	میانگین مربعات	نسبت پراش (معنی داری)
بین گروه ها	۴۱۳۸/۵۵	۳	۹۷/۸۶	۱۳۷۹/۵۲	۰/۰۰۰
درون گروه ها (خطا)	۱۰۷۱/۴۰	۷۶		۱۴/۱۰	
جمع کل	۵۲۰۹/۹۵	۷۹			
بین گروه ها	۵۶/۹۴	۳	۶۲/۶۳	۱۸/۹۸	۰/۰۰۰
درون گروه ها (خطا)	۲۳/۰۳	۷۶		۰/۳۰	
جمع کل	۷۹/۹۷	۷۹			

به منظور بررسی تأثیر پوشش ها بر میانگین تبخیر در جدول ۵ آورده شده است.

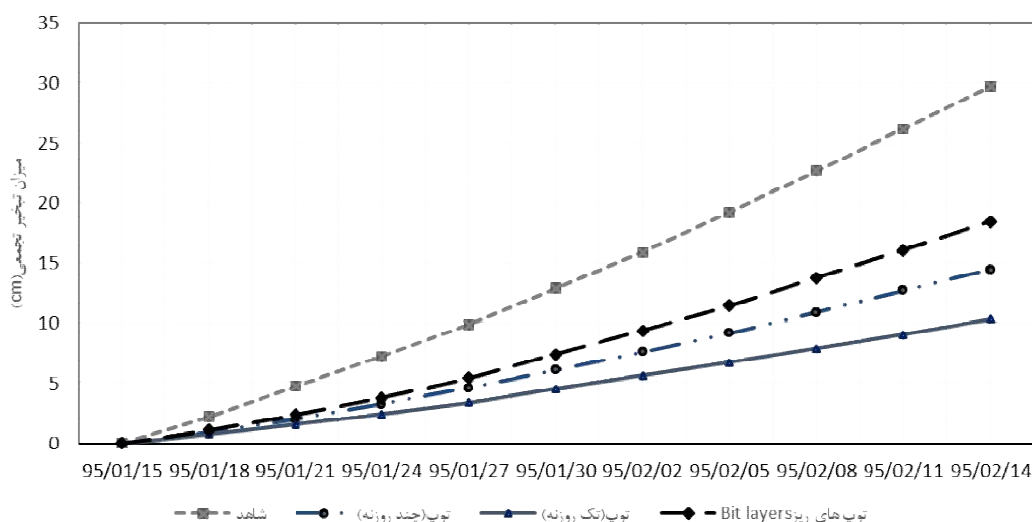
در ادامه جهت تشخیص تفاوت بین میانگین تبخیر و دما در هر یک از زوج پوشش ها از دو آزمون توکی و دانکن در سطح اطمینان ۰/۰۵ استفاده شد. نتایج این دو آزمون

جدول ۵- نتایج آزمون های مقایسه میانگین تأثیر پوشش ها در تبخیر

آزمون	پوشش ها	طبقه بندی از لحاظ معنی داری
توکی (HSD)	مخزن پوشانیده شده با توپ های تک روزه	۱
	مخزن پوشانیده شده با توپ های چند روزه	۲
	مخزن پوشانیده شده با توپ های ریز	۳
دانکن	مخزن پوشانیده شده با توپ های تک روزه	۱
	مخزن پوشانیده شده با توپ های چند روزه	۲
	مخزن پوشانیده شده با توپ های ریز	۳

میزان ذخیره آب یا حجم کاهش تبخیر ناشی از اعمال پوشش های مختلف با انواع مختلف توپهاست. بیشترین مساحت مربوط به سطح مابین منحنی مربوط به مخزن پوشیده شده با توپ های تک روزه و شاهد بوده که کمترین میزان تبخیر از سطح این مخزن اتفاق افتاده است. مخازن پوشیده شده با توپ های چند روزه و توپ های ریز از نظر کاهش تبخیر به ترتیب در رتبه های دوم و سوم قرار دارند. میزان درصد کاهش تبخیر با استفاده از سه نوع مختلف توپ در جدول ۶ نشان داده شده است. بیشترین میزان درصد کاهش تبخیر مربوط به مخزن پوشیده شده با توپ های تک روزه می باشد که این میزان به طور متوسط در بازه یک ماه اندازه گیری برابر با ۶۵/۱ درصد به دست آمده است. درصد متوسط کاهش میزان تبخیر در مخازن پوشیده شده با توپ های چند روزه و توپ های ریز به ترتیب برابر با ۵۱/۷ و ۳۸/۸ درصد است.

نتایج مقایسه میانگین تأثیر پوشش های مختلف توپ بر میزان تبخیر نشان داد که پوشش ها در گروه های مختلف آماری قرار گرفتند. بر این اساس، مخزن شاهد بیشترین مقدار تبخیر را در بین دیگر مخازن داشته، درحالی که مخزن های پوشیده شده با توپ های تک روزه کمترین مقدار را در تلفات تبخیر نشان داد. مقایسه مقادیر میانگین تبخیر در آزمون دانکن هیچ گونه حروف مشترکی را نشان نمی دهد و این امر بدان معناست که تمام زوج پوشش ها در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی داری با هم دارند. نمودار تجمعی مقادیر متوسط تبخیر در مدت زمان یادشده در پوشش های مختلف در شکل ۴ نمایش داده شده است. در شکل ۴ سطح زیر منحنی مربوط به مخزن شاهد، پتانسیل کل حجم تبخیر صورت گرفته را در شرایط طبیعی نمایش می دهد. سطح زیر سایر منحنی های مشاهده شده در نمودار نیز برابر با حجم آب تلف شده در مخازن پوشیده شده با توپ های مختلف است. بر این اساس، مساحت بین هر منحنی تا منحنی شاهد برابر با



شکل ۴- نمودار تجمعی میزان تبخیر از سه مخزن تحت پوشش و شاهد

جدول ۶- درصد متوسط کاهش تبخیر از سه مخزن پوشیده شده با توپ‌ها در مقایسه با شاهد

تاریخ	درصد کاهش تبخیر (توپ چند روزنه)	درصد کاهش تبخیر (توپ تک روزنه)	درصد کاهش تبخیر (Bit Layers)
۱۳۹۵/۰۱/۱۵	۰/۰	۰/۰	۰/۰
۱۳۹۵/۰۱/۱۸	۶۰/۰	۶۶/۷	۵۰/۰
۱۳۹۵/۰۱/۲۱	۵۶/۷	۶۶/۷	۵۰/۰
۱۳۹۵/۰۱/۲۴	۵۰/۰	۶۶/۷	۴۳/۳
۱۳۹۵/۰۱/۲۷	۵۰/۰	۶۳/۳	۴۰/۰
۱۳۹۵/۰۱/۳۰	۵۰/۰	۶۳/۳	۳۳/۳
۱۳۹۵/۰۲/۰۲	۵۰/۰	۶۳/۳	۳۳/۳
۱۳۹۵/۰۲/۰۵	۵۱/۴	۶۵/۷	۳۷/۱
۱۳۹۵/۰۲/۰۸	۵۰/۰	۶۶/۷	۳۳/۳
۱۳۹۵/۰۲/۱۱	۴۸/۶	۶۵/۷	۳۴/۳
۱۳۹۵/۰۲/۱۴	۵۰/۰	۶۳/۳	۳۳/۳
متوسط	۵۱/۷	۶۵/۱	۳۸/۸

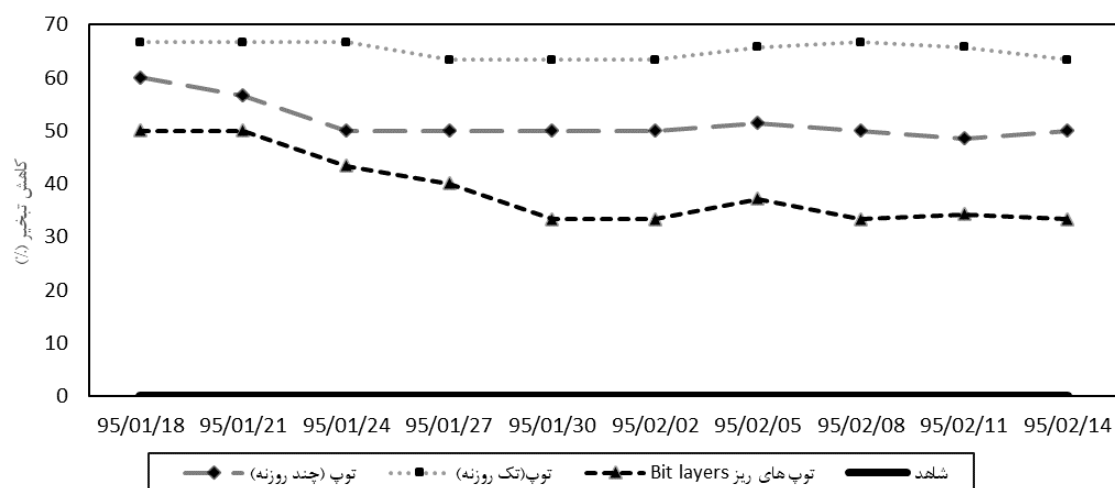
کمترین درصد تغییرات کاهش تبخیر در توپ‌های تک روزنه و بیشترین میزان مربوط به توپ‌های ریز است. همچنین در توپ‌هایی با چندین روزنه این تغییرات در ابتدای بازه زیاد و به مرور کاهش یافته است.

تأثیر پوشش‌های کاهنده تبخیر بر دمای آب

برای مقایسه تأثیر استفاده از انواع پوشش‌ها بر دمای سطح آب نیز از دو آزمون توکی و دانکن استفاده شد (جدول ۷).

بررسی مقادیر تبخیر در بازه‌های سه روزه اندازه‌گیری نشان می‌دهد که متوسط تبخیر روزانه از سطح مخزن شاهد برابر با ۹۹ میلی‌متر است و در سه مخزن که با توپ‌های تک روزنه، توپ‌های چند روزنه و توپ‌های ریز پوشانیده شده، مقدار تبخیر به ترتیب ۳۴، ۴۸ و ۶۱ میلی‌متر گزارش شده است.

همچنین شکل ۵، درصد کاهش تبخیر در سه نمونه مختلف توپ را در بازه اندازه‌گیری نشان می‌دهد. با توجه به مقایسه سه نمودار فوق بدیهی است. با وجود این که درصد فضای خالی بین سه نمونه توپ یکسان بوده اما



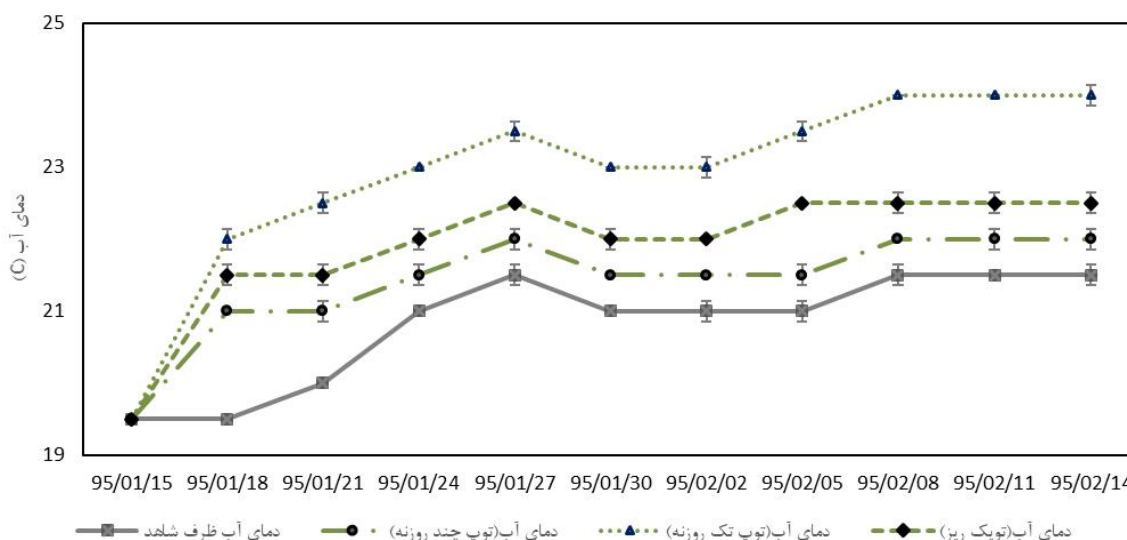
شکل ۵- نمودار درصد کاهش تبخیر در بازه زمانی اندازه گیری از مخازن دارای پوشش

جدول ۷- نتایج آزمون های مقایسه میانگین تأثیر پوشش ها بر دمای سطح آب

طبقه بندی از لحاظ معنی داری				پوشش ها	آزمون
۴	۳	۲	۱		
			۲۰/۹۵	مخزن پوشانیده شده با توپ های تک روزنه	توکی (HSD)
		۲۱/۶۰		مخزن پوشانیده شده با توپ های چند روزنه	
	۲۲/۱۵			مخزن پوشانیده شده با توپ های ریز	
۲۳/۲۵				مخزن شاهد	
			^d ۲۰/۹۵	مخزن پوشانیده شده با توپ های تک روزنه	دانکن
		^c ۲۱/۶۰		مخزن پوشانیده شده با توپ های چند روزنه	
	^b ۲۲/۱۵			مخزن پوشانیده شده با توپ های ریز	
^a ۲۳/۲۵				مخزن شاهد	

همان گونه که در شکل ۶ مشاهده می شود کمترین میزان دما مربوط به مخزن شاهد و سپس به ترتیب توپ های چند روزنه، توپ های ریز و توپ های تک روزنه است. مخزن مربوط به توپ های تک روزنه با وجود اینکه بیشترین درصد کاهش تبخیر را نشان می دهد، بیشترین اختلاف دما را با مخزن شاهد دارد. این اختلاف در برخی از روزهای برداشت تا ۲/۵ درجه سانتی گراد نیز ثبت شده است در حالی که حداکثر اختلاف دما در دو مخزن پوشانیده شده با توپ های ریز و توپ های چند روزنه به ترتیب ۲ و ۱/۵ درجه سانتی گراد است.

نتایج مقایسه میانگین تأثیر پوشش های مختلف بر تغییرات دمای سطح آب نیز نشان می دهد پوشش ها در گروه های مختلف آماری قرار گرفته اند. عدم وجود حرف مشترک در بین گروه ها نیز نشان از نظر تفاوت معنی دار از لحاظ دما بین تمام زوج گروه ها است. مقایسه مقادیر دما نشان می دهد، مخزن شاهد بیشترین میزان دما و مخازن پوشیده شده با توپ های تک روزنه کمترین مقدار را دارا می باشند. افزون بر این نمودار نوسانات دمای آب در انواع پوشش ها طی بازه اندازه گیری، در شکل ۶ نمایش داده شده است. شایان ذکر است دما در عمق ۲۰ سانتیمتری از سطح آب اندازه گیری شده است.



شکل ۶- نمودار متوسط تغییرات دمایی در چهار مخزن تحقیقاتی با انواع توپ‌ها

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به منظور جلوگیری از تبخیر آب از مخازن آبی سد رسوب‌گیر در مجتمع مس سرچشمه، کارایی سه نمونه توپ از نظر جنس و اندازه و اعمال تغییراتی جهت افزایش کارایی و ماندگاری بررسی شد. بر

اساس جدول ۸، بهترین نوع توپ‌ها که بالاترین کارایی را در مخازن مورد آزمایش از خود نشان دادند، توپ‌های پلی‌اتیلنی با قطر ۸ سانتیمتر بود که مقادیر مشخصی آب، توسط یک روزنه و تحت فشار به درون آن تزریق شده و تا نیمه پر از آب گردیده است.

جدول ۸- مقایسه کارایی توپ‌های مختلف در شرایط محیطی یکسان

کاهش تبخیر (%)	روش
۳۸/۸	استفاده از توپ‌های ریز (Bit Layers)
۵۱/۷	استفاده از توپ‌های چند روزه
۶۵/۱	استفاده از توپ‌های تک روزه

نوسانات باد منجر شده که برخی توپ‌ها چرخیده و در شرایط چرخش یکی از روزنه‌ها در معرض هوا قرار گیرد. به این ترتیب توپ میزان بیشتری آب جذب کند. در این شرایط با جذب بیشتر آب، توپ سنگین شده و میزان غوطه‌وری آن در آب افزایش می‌یابد. این امر منجر شده تا بیش از نیمی از حجم توپ وارد آب شود و توپ بر روی وجه کوچک‌تر از وجه بیشینه قرار بگیرد، به این ترتیب درصد فضای خالی مابین توپ‌ها بیشتر و تبخیر از سطح آب بیشتر می‌شود. همچنین با توجه به شکل ۴ توپ‌های ریز در ابتدا بازه اندازه‌گیری توان کاهش تبخیری به میزان ۵۰ درصد را داشتند که به مرور زمان کارایی این نوع از توپ‌ها نیز تا ۳۳ درصد کاهش یافت. تأثیر کاهش کارایی توپ‌های ریز به این علت است که بعد از یک هفته در

مقایسه توپ‌های تک روزه و چند روزه نشان می‌دهد کمترین میزان تبخیر و تغییرات آن در توپ‌های تک روزه اتفاق افتاده است در حالی که در توپ‌هایی که دارای چندین روزنه بودند، در چند برداشت اول درصد کاهش تبخیر بیشتر و به تدریج کم شده است. تغییر در کاهش تأثیر توپ‌های چند روزه را می‌توان ناشی از امواج باد دانست، چراکه در ابتدای قرارگیری بر سطح آب، توپ‌ها با توجه به خاصیت خود پرنندگی، شروع به جذب آب نموده و سپس به یک ثبات اولیه رسیده و در این حالت توپ بر روی بزرگ‌ترین وجه خود در شرایط ثابت قرار می‌گیرند. در این وضعیت نصف حجم توپ در آب شناور و نصف حجم آن بالای سطح آب قرار داشته و کمترین فضای خالی بین توپ‌ها ایجاد می‌گردد. بعد از چند روز

بر روی یک نمونه از آن را در مخازن ۱۰۰۰ لیتری در شکل ۷ نشان داده شده است.



اطراف و بخصوص سطح بالایی تمام توپ‌ها بلورهای سفیدرنگی از ناخالصی‌های موجود در آب سد تجمع پیدا کرده است. تصویر توپ‌های ریز و همچنین تجمع رسوبات



شکل ۷- تجمع رسوبات موجود در پساب در سطح فوقانی توپ‌های ریز

عامل موجب می‌شود تا توپ‌های تک روزه بیشترین میزان کاهش تبخیر را نسبت به دو نوع دیگر از خود نشان دهد. در مجموع می‌توان گفت، هر چند توپ‌های تک روزه نیز به دلیل شکل کروی تنها قادر به ایجاد پوشش ۷۹/۵ درصد سطح بودند اما وجود این فضاها منجر به نفوذ اشعه خورشید به درون آب شده و از رشد باکتری‌ها و جلبک‌ها جلوگیری به عمل می‌آورد. از طرف دیگر وجود فضاهای خالی اجازه ورود بارش به سطح آب را نیز خواهد داد. شایان ذکر است مکانیسم عمل این توپ‌ها در کنترل تبخیر برای نخستین بار در پژوهش حاضر مورد بررسی قرار گرفته است.

روند تغییرات دمایی نیز در سه نوع توپ تفاوت معنی‌داری دارد. در راستای توجیه نوسانات دمایی بین سه نوع مختلف توپ در مخازن تحت پوشش، چون جنس توپ‌ها از ماده پلی‌اتیلن می‌باشد، این ماده گرمای خورشید را جذب کرده و افزایش زبری سطح منجر به افزایش دمای آب شده است. به طوری که زبری بیشتر در مخزن پوشیده با توپ‌های تک روزه نسبت به دو مخزن دیگر منجر به افزایش دما در این مخزن شده است. همان‌گونه که قبلاً نیز بیان گردید توپ‌های چند روزه تحت تأثیر جریانات و نوسانات محیطی گاهی دچار چرخش شده و این عامل منجر می‌شود تا حجم بیشتر آب به درون آن‌ها نفوذ کند. عمق نفوذ آب در این حالت بیشتر از عمق روزه‌هایی است که مقابل هم قرار گرفته اند. در این حالت، غوطه‌وری

تجمع رسوبات بر سطح این توپ‌ها که قطری کمتر از ۱ سانتیمتر دارد منجر به سنگین شدن و غوطه‌وری بیشتر آن‌ها در آب شده (شکل ۷، چپ). در این حالت نیز توپ‌ها بر روی وجهی کوچک‌تر از وجه پیشینه قرار گرفتند که این عامل نیز با افزایش درصد فضاهای خالی منجر به افزایش میزان تبخیر گردیده است. از طرفی عامل زبری کم در توپ‌های ریز نیز از مهم‌ترین عاملی است که منجر به افزایش تبخیر نسبت به دو مخزن دیگر شده است. همچنین این توپ‌ها در مقیاس وسیع به دلیل عدم جذب آب و سبک بودن، در هنگام مواجه با باد به راحتی تحت تأثیر آن قرار گرفته و با غلتیدن بر روی یکدیگر و جمع شدن در یک گوشه درصد فضای خالی را افزایش داده و منجر به افزایش تبخیر شده‌اند. در مجموع می‌توان گفت کارایی توپ‌های تک‌روزه به چندین دلیل از سایر توپ‌ها بهتر بود. اول اینکه هنگامی که توپ‌های تک روزه در سطح آب و در معرض جریانات باد و امواج آب قرار می‌گرفت چون خروجی دیگری برای تخلیه هوا نداشتند، حجم آب درون آن ثابت مانده و تغییری نمی‌کردند. این توپ‌ها، به همین دلیل، همواره بر روی بزرگ‌ترین وجه خود در سطح آب شناور بودند. ثانیاً این توپ‌ها همچنین نسبت به دو نوع دیگر بیشترین میزان زبری را در سطح آب ایجاد نمود. افزایش میزان زبری در ارتباط مستقیم با کاهش تبخیر می‌باشد، به طوری که هر چه زبری سطح بیشتر باشد تبخیر از سطح کمتر صورت گرفته و همین

۵۵ درصد گزارش نموده است، در حالی که این میزان کاهش تبخیر با استفاده از پوشش فیزیکی توپ‌های کاهنده تبخیر در پژوهش حاضر بیش از ۶۵ درصد برآورد شده است.

در مجموع، میزان کل تبخیر از مخازن آبی سد رسوب‌گیر و کارخانه با مساحت ۱۱۵۰۰۰۰ مترمربع تقریباً معادل ۲۵۸۰۰۰۰ مترمکعب برآورد گردیده است. چنانچه میزان کارایی توپ‌های تک‌روزنه در کاهش میزان تبخیر به طور متوسط حدود ۶۴/۵ درصد در سال در نظر گرفته شود، می‌توان ادعا نمود با پوشاندن کل سطوح آبی با توپ‌های تک‌روزنه، سالیانه حدود ۱۶۶۴۱۰۰ مترمکعب آب ناشی از کاهش تلفات تبخیر ذخیره می‌گردد. این مقدار آب با توجه به ۱۰ سال عمر مفید توپ‌های پلی‌اتیلنی به طور متوسط معادل ۱۶/۶۴۱/۰۰۰ مترمکعب تخمین زده می‌شود. این میزان معادل بیش از ۱۶ ماه برداشت آب از کل چاه‌های خاتون‌آباد است. با توجه به کمبود آب و افت تراز سفره در دشت خاتون‌آباد و بسیاری از مناطق خشک، بدیهی است حفظ این ذخیره بسیار با اهمیت بوده و در بسیاری از موارد عاملی موثر بر بیابانزدایی محسوب می‌گردد.

سپاسگزاری

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 حمل‌ونقل که در انجام این طرح مساعدت و همکاری لازم را به عمل آوردند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

References

- [1]. Abass Dawood, Kh., Lafta Rashir, F., & Hashim, A. (2013). Reduction evaporation losses from water reservoirs. *International journal of Energy and Environmental Research*, 1(1), 23-29.
- [2]. Alam, S., & AlShaikh, A. A. (2013). Evaporation reduction to improve water storage efficiency. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 25(1), 55-58.

بیشتر این نوع توپ‌ها منجر می‌شود تا زبری در این مخزن نسبت به مخزن پوشیده شده با توپ‌های تک‌روزنه کمتر و درصد فضای خالی نسبت به دو نمونه دیگر افزایش یابد، در مخزن پوشیده شده با توپ‌های چند روزنه، افزایش فضاها خالی به علت غوطه‌وری بیشتر توپ‌ها در آب به همراه کاهش زبری در سطح منجر به کاهش دما در این مخزن نسبت به دو مخزن دیگر شده است. توپ‌های ریز با وجود زبری کمتری که در سطح ایجاد می‌کنند، اما به دلیل تراکم بیشتر و درصد فضای خالی کمتر نسبت به توپ‌های چند روزنه، جذب گرمای بیشتری داشته و دمای آب در این مخزن بیشتر از مخزن پوشیده شده با توپ‌های چند روزنه است. در حالی که مقایسه این توپ‌ها با توپ‌های تک‌روزنه ثابت می‌کند که چنانچه فضای خالی در این دو مخزن یکسان باشد، زبری ایجادشده توسط توپ‌های ریز نسبت به توپ‌های تک‌روزنه کمتر بوده و این عامل منجر به جذب گرمای کمتر و در نتیجه دمای آب کمتر این مخزن شده است. در مجموع اگر چه پوشش‌های مختلف منجر به افزایش دمای آب تا بیش از ۲ درجه سانتیگراد شده است اما این افزایش دما تاثیری بر افزایش تبخیر نداشته و توپ‌های مورد استفاده تاثیر مثبت بر کاهش میزان تبخیر از سطح آب داشتند.

نتایج حاصل از تحقیق حاضر با نتایج دیگر تحقیقات انجام شده در خارج از ایران و با تراشه‌های پلی‌اتیلنی در کاهش میزان تبخیر مطابقت دارد [۱]. طبق گزارش انجام شده، تراشه‌های پلی‌اتیلنی در بهترین حالت قادر به کاهش میزان تبخیر تا ۵۷ درصد می‌باشند. همچنین تأثیر پوشش‌های فیزیکی کاهنده تبخیر با استفاده از پلی‌استایرن و با درصد پوشش‌های مختلف که در ایران انجام شده است [۱۴]، بهترین کارایی این روش‌ها را بین ۳۰ تا

- [3]. Álvarez, V. M., Baille, A., Martínez, J.M., & Real, M. G. (2006). Effect of black polyethylene shade covers on the evaporation rate of agricultural reservoirs. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 4(4), 280-288.
- [4] Barnes, G.T. (2008). The potential for monolayers to reduce the evaporation of water from large water storages: a review'. *Agricultural Water Management*, 95(4),

- 339 – 353.
- [5]. Cooley, K. R., & Myers, L. E. (1973). Evaporation reduction with reflection covers. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 99(IR3), 353-363.
- [6]. Ehsani, M., & Khaledi, H. (2000). Water Productivity in Agriculture, *National Committee on Irrigation and Drainage*. (in Farsi).
- [7]. Gharvani, S., & Al-Ahmad, S. H. (2007). Evaporation and control methods. *Iranian Journal of Civil Engineering School*, 81, 53-59. (in Farsi).
- [8]. Hesam, M., Piri, M., Dehghani, A.A., & Meftah Halaghi, M. (2009). Experimental study on the effect of fatty alcohols approach in reducing the evaporation from water surface, 1st International Conference water crisis, Zabol, Iran. (in Farsi).
- [9]. Khan, M.A., & Issac, V.C. (1990). Evaporation reduction in stock tanks for increasing water supplies. *Journal of Hydrology*, 119(1), 21-29.
- [10]. Knights, S. (2005). Reducing evaporation with chemical monolayer technology. *Aust. Cottongrower*, 26, 32–33.
- [11]. Mansfield, W. W. (1974). Proc. Physical Chem. Div., R. A. I. C., *National Convention Canberra*, Australia.
- [12]. Moghiman, M., & Aslani, B. (2013), Influence of nanoparticles on reducing and enhancing evaporation mass transfer and its efficiency, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 61, 114–118.
- [13]. O'Brien, R.N. (2006). Method for making a coated powder for reducing evaporative water loss. International Patent Application WO 2006/012740 A1.
- [14]. Piri, M., Hesam, M., Dehghani, A.A., & Meftah Halaghi, M. (2011). Experimental study on the effect of physical and chemical approach in reducing the evaporation from water surface. *Iranian Journal of Water and Soil Conservation*, 17(4), 141-154. (in Farsi).
- [15]. Ranjbar, A., Mahdavian, A.A., & Maknoon, R. (2011). The possibility of using floating plates of perlite light concrete to evaporation reduction of dams reservoirs. in: proc. Of 1st International and 3rd National Conference on Dams and hydropower, Tehra. (in Farsi).
- [16]. Santafé, M. R., Gisbert, P. S. F., Romero, F. J. S., Soler, J. B. T., Gozávez, J. J. F. & Gisbert, C. M. F. (2014). Implementation of a photovoltaic floating cover for irrigation reservoirs. *Journal of Cleaner Production*, 66, 568-570.
- [17]. Thoma, A. F. (1973). Model tests with thin sheets to reduce evaporation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 99(IR2), 117–131.
- [18]. The part of Statistics and meteorology (2016). Sarcheshmeh Copper Complex. (in Farsi).

Effect of floating balls on evaporation reduction from open water resources (Case study: Tailing dam of Sarcheshmeh copper mine), Kerman

- 1- H. Afkhami, P.H.D. student, Faculty of Natural Resources, Yazd University
hamide.afkhami@gmail.com
- 2- H. Malekinezhad, Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Yazd University
- 3- E. Esmailzadeh, Chief of water and Environmental Research, Sarcheshmeh Copper Complex

Received: 06 Mar 2017

Accepted: 18 Oct 2017

Abstract

Evaporation is one of the most important sensible losses from water resources, especially in desert areas that humans have the lowest level of intervention. Climate is the most important index at the amount of these losses in different areas. Different methods have been presented for reducing of water evaporation rate. In this study, in order to evaporation reduction from tailing dams and open water resources of Sarcheshmeh copper complex investigated performance of three types balls as evaporation reducing coating for the first time. Used balls are different in the mechanism of action, size and material. They are including two types of polyethylene balls, mono-aperture and multi-aperture, with a diameter of 8 cm and a type of small polypropylene white ball with a diameter of 1 cm. For evaluating of performance of these coatings, several small ponds with an area of 1m^2 in the vicinity of Sarcheshmeh tailing dam were built and evaporation losses were measured for a month from 03.04.2016 until 03.05.2016 in each covers with two repeats. Based on the Tukey and Duncan multiple comparison tests, there are significant differences between covers, in 5% significant level. Results showed, the mono-aperture balls with performance of 65.1%, had the greatest impact on reducing evaporation, while multi-aperture balls and small balls with 51.7% and 38.8% respectively were in the next priorities. Finally, the mono-aperture balls were identified as the best evaporation reducing coating, because these types of balls had the most roughness on the surface and amount of empty spaces was constant in during time.

Keywords: Reducing coating evaporation; Arid regions; Water conservation; Water losses; Kerman.