دو فصلنامه علمی- پژوهشی خشک بوم
جلد ۸، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۷
DOI: http://dx.doi.org/10.29252/aridbiom.8.1.59

تاثیر توپ‌های شناور برکاهش 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 بارکارایی سه نوع توپ به‌عنوان پوشش‌های کاهنده تبخیر بررسی گردد. توپ‌های مورداستفاده که در مکانیسم عمل، اندازه و جنس، متفاوت هستند، شامل دو نوع توپ تک روزنه و چند روزنه از جنس پلی‌اتیلن با قطر ۸ سانتیمتر و یک نوع توپ‌ریز[1] 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 تک‌روزنه با کارایی ۶۵/۱ ٪ بیشترین سهم را در کاهش تبخیر داشتند در حالی‌که توپ‌های چندروزنه و توپ‌های ریز با کارایی ۶۵/۱ ٪ و ۳۸/۸ ٪ در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. درنهایت توپ‌های تک‌روزنه 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

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 میلیمتراست. 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 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 کارآیی این پوشش‌ها در مقیاس آزمایشگاهی و میدانی، در بسیاری از موارد نتایج قابل قبولی ارائه شده است.

1-Bit-layers

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 ازجمله آمریکا، هند، فلسطین اشغالی، کانادا و به‌ویژه استرالیا انجام شده است. ازجمله موارد مورداستفاده از الکل‌های فوق در دهه‌های اخیر می‌توان به تحقیق کنایت [۱۰] اشاره نمود. در این تحقیق، هگزادکانول[1] در چند سد و مخازن آبی مورداستفاده 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[2] 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 استیروفوام[3] 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 تا۵۴٪ 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 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 گونه نی‌ها 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. به‌منظورکاهش 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 درصورتی‌که 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[4] 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 کارآیی مناسب این صفحات در تولید برق و کاهش تبخیر، مساحتی بالغ بر ۴۴۹۰ مترمربع با ۱۴۵۸ سلول خورشیدی و ۷۵۰ پنتون[5] 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

1-Hexadecanol
2- Octadecanol
3- Styrofoam

4- Floating Photovoltaic Cover System(FPCS)
5- Pantone

بحـران شـدید آبـی قـرار دارد [۶]. از جملـه مطالعـات انجام‌شده در ایران در زمینه مقابله با بحـران آب از طریـق کاهش تبخیر می‌توان به تحقیق انجام‌شده توسط قـراوی و ال احمـد [۷] پیرامـون روش‌هـای کنتـرل تبخیـر و محدودیت‌های عملی آن اشاره نمود. در تحقیق، به ارزیابی روش‌هـای مختلـف کـاهش تبخیـر ازجملـه اسـتفاده از مونولیرها، پوشش‌های شناور و معلق، بادشکن‌ها و کـاهش سطح مخزن پرداخته شد و در آخر استفاده از پوشش‌هـای معلق و شناور در بسیاری از موارد به‌عنوان مؤثرترین روش کاهش تبخیر معرفی گردید. مطالعه‌ای جهت کاهش میزان تبخیـر در سـطح آزمایشـگاهی بـا اسـتفاده از الکـل‌هـای سنگین انجام شد[۸]. در این مطالعـه الکـل‌هـای سـنگین 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 اسـتفاده پیوسـته از الکل‌ها، می‌توان منجر بـه کـاهش محسوسـی درمیـزان تبخیـر گـردد. عـلاوه بـر ایـن در پـژوهش دیگـری تـأثیر پوشش‌های فیزیکی کاهنده تبخیر بر روی تشـتک کـلاس A بررسی شد[۱۴]. به‌عنوان روش فیزیکی از پلـی‌اسـتایرن با ضخامت‌های ۱/۵ سانتی‌متر و درصـد پوشـش ۴۰، ۶۰ و ۸۰ استفاده شد. عمق آب داخل تشت‌هـا، طـی مـدت ۳۸ روز اندازه‌گیری و سپس تبخیر روزانه محاسبه شد. سـپس مقادیر به‌دست آمده با نمونه شاهد مقایسـه و نتـایج ارائـه شد. نتایج نشان داد که بـا اسـتفاده از روش‌هـای فیزیکـی می‌توان، میزان تبخیر را ۳۰ تـا ۵۵ درصـد کـاهش دهـد. مقیمان و اصلانی [۱۲] تأثیر نانوذرات را در کاهش میـزان تبخیر مورد بررسی قرار دادنـد. نتـایج نشـان داد نـانوذرات Fe2o3،Zro2،Tio2 و Ni/Fe (سـیال)، در کـاهش میـزان تبخیر تأثیر مثبت داشت درحالی‌کـه نـانو ذره رس میـزان تبخیر را افزایش دادند. در پژوهشی از صفحات بتن سـبک پرلیتی بر روی دریاچه سد کـارون اسـتفاده شـد [۱۵]. در این تحقیق صفحاتی به مساحت ۱ متر مربع بـا اسـتفاده از الیاف مصـنوعی پلـی‌پـروپیلن بـا ضـخامت ۳۰ سـانتیمتر و به‌صورت تو خالی ساخته شد. این صفحات با درجـه آزادی زیـاد بـه راحتـی قابـل اتصـال بـه یکـدیگر هسـتند. ایـن خصوصـیت موجـب افـزایش مقاومـت صـفحات در مقابـل موج‌های احتمالی مخزن پشت سد می‌شود. با وجـود قـرار گرفتن قسمت وسیعی از کشـور ایـران در اقلـیم خشـک و بیابانی و بالا بودن میزان تبخیر سالانه و به‌رغم گسـتردگی صـنایع پتروشـیمی بـرای سـاخت پوشـش‌هـای فیزیکـی مناسب، تاکنون مطالعه جامع و کاربردی در زمینه کـاهش میزان تبخیر از منابع آبی صورت نگرفته است. در پـژوهش حاضر، با هدف کاهش تبخیر از مخازن و منابع روبـاز آبـی در مناطق خشک، تاثیر و کـارآیی انـواع تـوپ‌هـای شـناور پلی‌اتیلنی و پلی پروپیلنی به عنـوان کاهنـده هـای تبخیـر بررسـی مـی‌شـود و در پایـان بـا انتخـاب برتـرین گزینـه، راهکاری مناسب و اجرایی جهت کاهش تبخیر منـابع آبـی مجتمع مس سرچشمه ارائه می‌گردد.

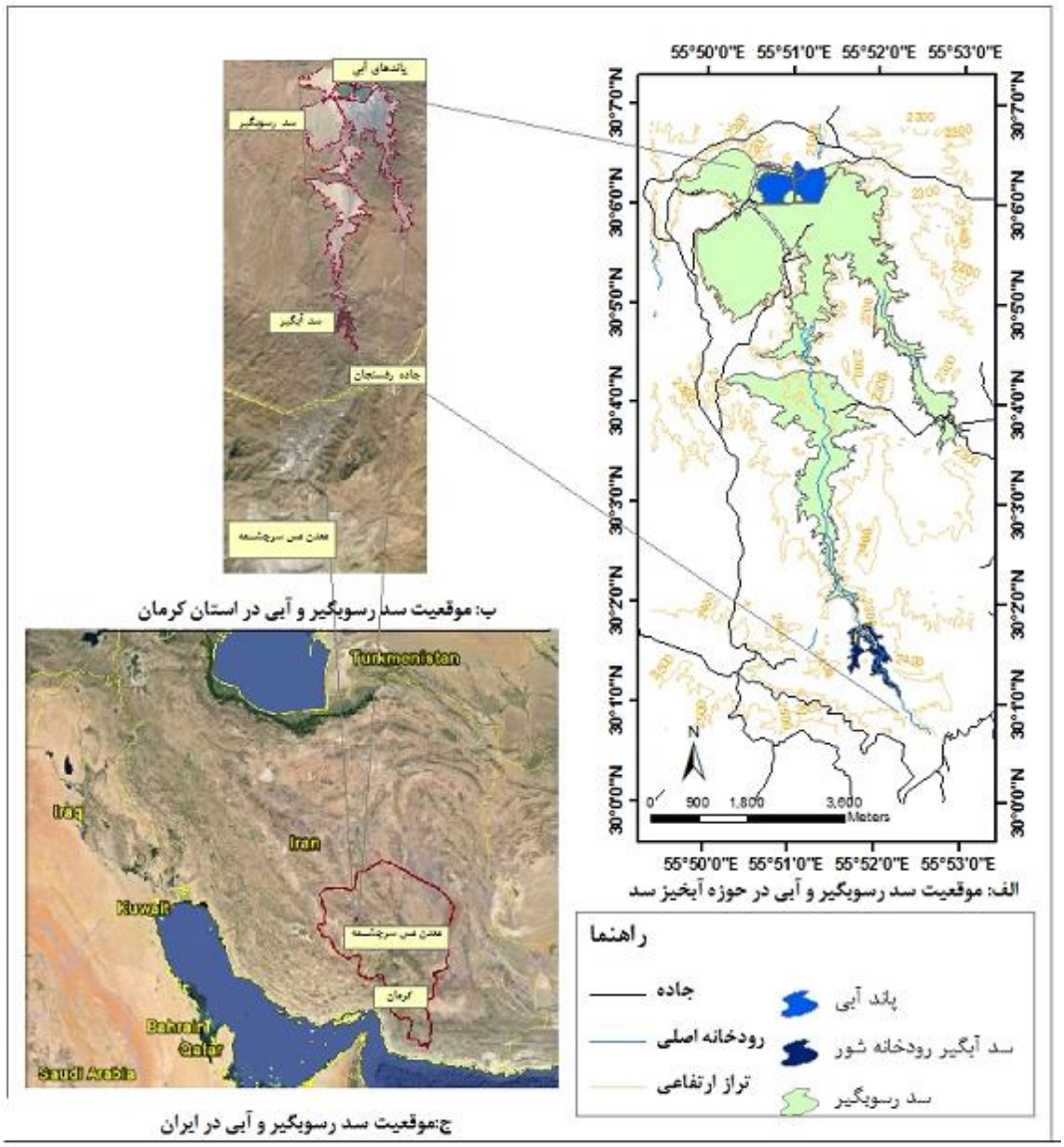
مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

معدن مس سرچشمه به‌عنـوان از بـزرگ‌تـرین معـادن مس پورفیری ایران در مختصات جغرافیایی "۲۰ '۵۲ °۵۵ طـول شـرقی و "۴۰ '۵۶ °۲۹ عـرض شـمالی در ۱۶۰ کیلومتری جنوب غرب کرمان و در فاصـله ۵۰ کیلـومتری رفسنجان واقع شده است. موقعیت معدن سرچشمه و سـد باطله در شکل ۱ نمایش داده شده است.

متوسط تبخیر بالقوه ایستگاه هواشناسی سد رسوب‌گیر و ایستگاه هواشناسـی کارخانـه بـه‌ترتیـب ۲۲۶۶ و ۲۰۶۱ میلی‌متر در سال است. در حال حاضر آب مورد استفاده در مجتمع از چاه‌هـای دشـت خـاتون‌آبـاد تـأمین مـی‌گـردد خشکسالی‌های اخیر و برداشـت مـداوم آب باعـث کـاهش سطح سفره در این دشت شده است. از طرفی مخازن آبـی موجود در مجتمع از جمله سد آبگیـر، سـد رسـوب‌گیـر و مخزن ذخیره رزروایر، تیکنرهای خمیـری و مخـازن ۷۵ و ۸۱ بـا مسـاحتی بـالغ بـر ۱۱۵ هکتـار بـه‌صـورت روبـاز طراحی‌شده است. برآوردها نشان می‌دهد با توجه بـه تـوان بـالقوه تبخیـر و مسـاحت سـطوح آبـی، سـالیانه حـدود ۲۵۸۰۰۰۰ مترمکعب آب قابل‌اسـتفاده از دسـترس خـارج می‌گردد که این مقدار معادل برداشت بیش از ۲/۵ ماه آب تازه از تمام چاه‌های دشت خاتون‌آباد است [۱۸]. با وجـود بالا بودن میزان تبخیر از منابع آبی و مخازن سدها، تاکنون اقدامی عملی در زمینه کاهش تلفات تبخیر صورت نگرفتـه است. با توجه به بحران و نیاز آبی در این مجتمـع و سـایر

نواحی، به‌منظور حفظ سرمایه عظیم آب به‌عنوان عنصری حیاتی، ارائه روش‌های کاهش تبخیر از این مخازن ضروری به‌نظر می‌رسد.



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

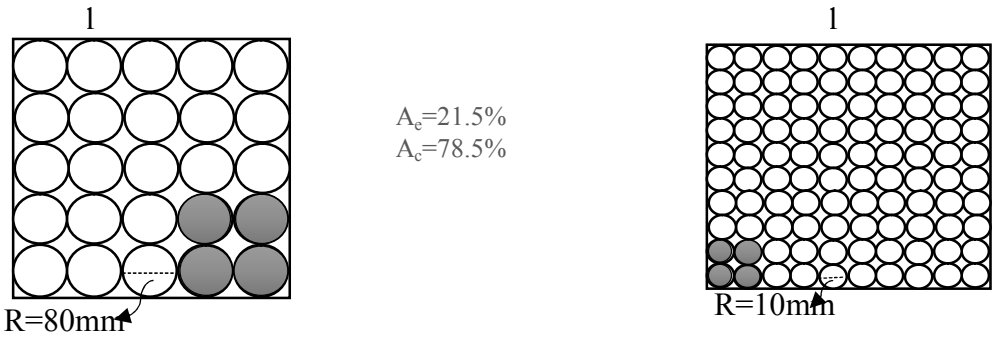
روش تحقیق

پژوهش حاضر با هدف ارائه روش‌هایی جهت کاهش تبخیر بر روی سطح دریاچه سد آبگیر 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).

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 ۲۱/۵ و ۷۸/۵ درصد است.

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 پوشانندگی 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

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 کارآیی این نوع پوشش‌ها را کاهش می‌دهد. به‌منظور رفع مشکل فوق سعی گردید در دو نمونه اول که شامل توپ-های پلی‌اتیلنی 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 پلی‌اتیلنی 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 به‌منظور خروج هوا در زمان ورود آب به داخل توپ، در نقطه مقابل روزنه‌ها در نظر گرفته شد. به‌این‌ترتیب آب، به‌محض 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 به‌گونه‌ای طراحی شد تا میزان ورود آب به داخل توپ زمانی متوقف گردد که توپ‌ها تا نیمه در آب غوطه‌ور گردیده و بر روی بزرگ‌ترین سطح خود که بیشترین پوشانندگی را ایجاد می‌کند بایستند. تنها در این شرایط است که بیشترین زبری در سطح آب و کمترین فضای خالی بین توپ‌ها ایجاد می‌گردد. به‌این‌ترتیب، 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 ازجمله 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. به‌این‌ترتیب، 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 کارآیی پوشش فوق می‌کاهد. از این رو، به‌منظور رفع مشکل فوق، روش دیگری جهت ایجاد روزنه بر سطح توپ اعمال گردید. در روش ثانویه به‌منظور 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،

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 تحت‌فشاری 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 توپ نخواهد داد. وزن آب تزریق‌شده با انجام آزمون‌وخطا 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.

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

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 کارآیی پوشش‌های نامبرده، در مجاورت سد رسوب‌گیر چاله‌هایی به ابعاد ۱۲۰×۱۲۰×۱۲۰ سانتیمتر 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).

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

بعد از آماده‌سازی، توپ‌ها به محل مخازن در مجاورت سد انتقال داده شد. بدین ترتیب مخازن با استفاده از آب پشت سد آبگیری 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 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

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

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

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

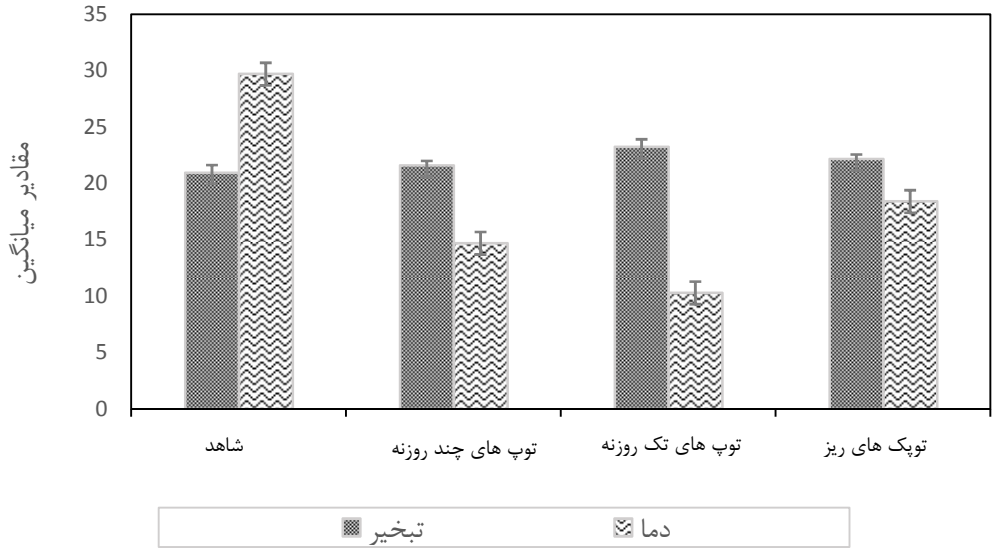
نتایج

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



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

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 می‌دهد. بر اساس مقادیر نسبت پراش، بین پوشش‌های مختلف از نظر میزان تبخیر و دما در سطح احتمال ۹۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۴).

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)
تبخیر	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			
دما	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			

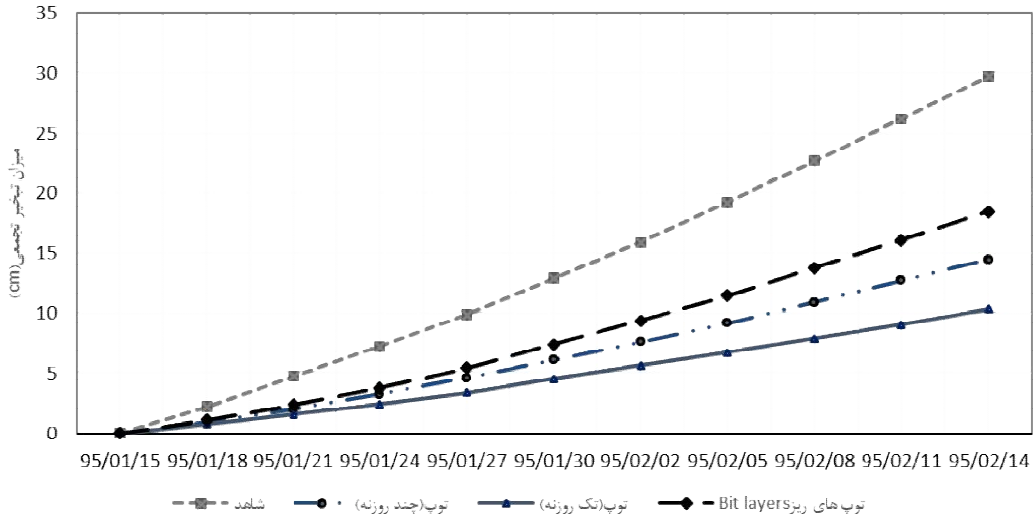
در ادامه جهت تشخیص تفاوت بین میانگین تبخیر و دما در هر یک از زوج پوشش‌ها از دو آزمون توکی و دانکن در سطح اطمینان ۰/۰۵ استفاده شد. نتایج این دو آزمون به منظور بررسی تأثیر پوشش‌ها بر میانگین تبخیر در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵- نتایج آزمون‌های مقایسه میانگین تاثیر پوشش‌ها در تبخیر

آزمون	پوشش‌ها	طبقه‌بندی از لحاظ معنی‌داری			
		۱	۲	۳	۴
توکی (HSD)	مخزن پوشانیده شده با توپ های تک روزنه	۱۰/۳۰			
	مخزن پوشانیده شده با توپ های چند روزنه		۱۴/۷۰		
	مخزن پوشانیده شده با توپ های ریز			۱۸/۴۰	
	مخزن شاهد				۲۹/۷۰
دانکن	مخزن پوشانیده شده با توپ های تک روزنه	[d]۱۰/۳۰			
	مخزن پوشانیده شده با توپ های چند روزنه		[c]۱۴/۷۰		
	مخزن پوشانیده شده با توپ های ریز			[b]۱۸/۴۰	
	مخزن شاهد				[a]۲۹/۷۰

نتایج مقایسه میانگین تأثیر پوشش‌های مختلف توپ بر میزان تبخیر نشان داد که پوشش‌ها در گروه‌های مختلف آماری قرار گرفتند. بر این اساس، مخزن شاهد بیش‌ترین مقدار تبخیر را در بین دیگر مخازن داشته، درحالی‌که مخزن‌های پوشیده شده با توپ‌های تک‌روزنه کمترین مقدار را در تلفات تبخیر نشان داد. مقایسه مقادیر میانگین تبخیر در آزمون دانکن هیچ‌گونه حروف مشترکی را نشان نمی‌دهد و این امر بدان معناست که تمام زوج پوشش‌ها در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری با هم دارند. نمودار تجمعی مقادیر متوسط تبخیر در مدت زمان یادشده در پوشش‌های 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 می‌دهد. سطح زیر سایر منحنی‌های مشاهده شده در نمودار نیز برابر با حجم آب تلف‌شده در مخازن پوشیده شده با توپ‌های مختلف است. بر این اساس، مساحت بین هر منحنی تا منحنی شاهد برابر با میزان ذخیره آب یا حجم کاهش تبخیر ناشی از اعمال پوشش‌های مختلف با انواع مختلف توپ‌هاست. بیشترین مساحت مربوط به سطح مابین منحنی مربوط به مخزن پوشیده شده با توپ‌های تک روزنه و شاهد بوده که کمترین میزان تبخیر از سطح این مخزن اتفاق افتاده است. مخازن پوشیده شده با توپ‌های چند روزنه و توپ‌های ریز از نظر کاهش تبخیر به ترتیب در رتبه‌های 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 توپ‌های تک روزنه می‌باشد که این میزان به‌طور متوسط در بازه یک‌ماه اندازه‌گیری برابر با ۶۵/۱ درصد به‌دست‌آمده است. درصد متوسط کاهش میزان تبخیر در مخازن پوشیده شده با توپ‌های چند روزنه و توپ‌های ریز به ترتیب برابر با ۵۱/۷ و ۳۸/۸ درصد است.



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

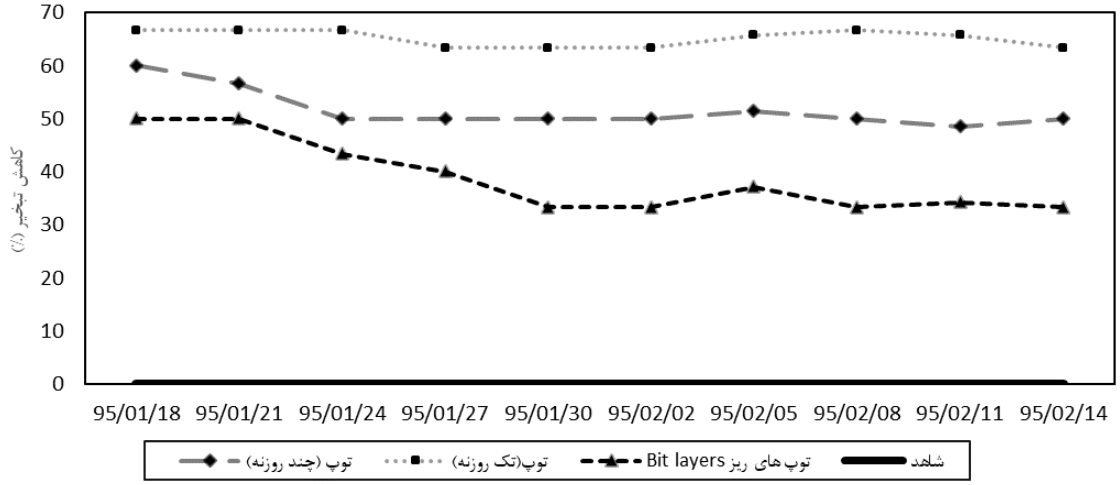
تاریخ	درصد کاهش تبخیر (توپ چند روزنه)	درصد کاهش تبخیر (توپ تک روزنه)	درصد کاهش تبخیر (Bit Layers)
۱۳۹۵/۰۱/۱۵	۰/۰	۰/۰	۰/۰
۱۳۹۵/۰۱/۱۸	۶۰/۰	۶۶/۷	۵۰/۰
۱۳۹۵/۰۱/۲۱	۵۶/۷	۶۶/۷	۵۰/۰
۱۳۹۵/۰۱/۲۴	۵۰/۰	۶۶/۷	۴۳/۳
۱۳۹۵/۰۱/۲۷	۵۰/۰	۶۳/۳	۴۰/۰
۱۳۹۵/۰۱/۳۰	۵۰/۰	۶۳/۳	۳۳/۳
۱۳۹۵/۰۲/۰۲	۵۰/۰	۶۳/۳	۳۳/۳
۱۳۹۵/۰۲/۰۵	۵۱/۴	۶۵/۷	۳۷/۱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

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 میلی‌مترگزارش 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 این‌که درصد فضای خالی بین سه نمونه توپ یکسان بوده اما 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 تاثیر استفاده از انواع پوشش ها بر دمای سطح آب نیز از دو آزمون توکی و دانکن استفاده شد (جدول ۷).



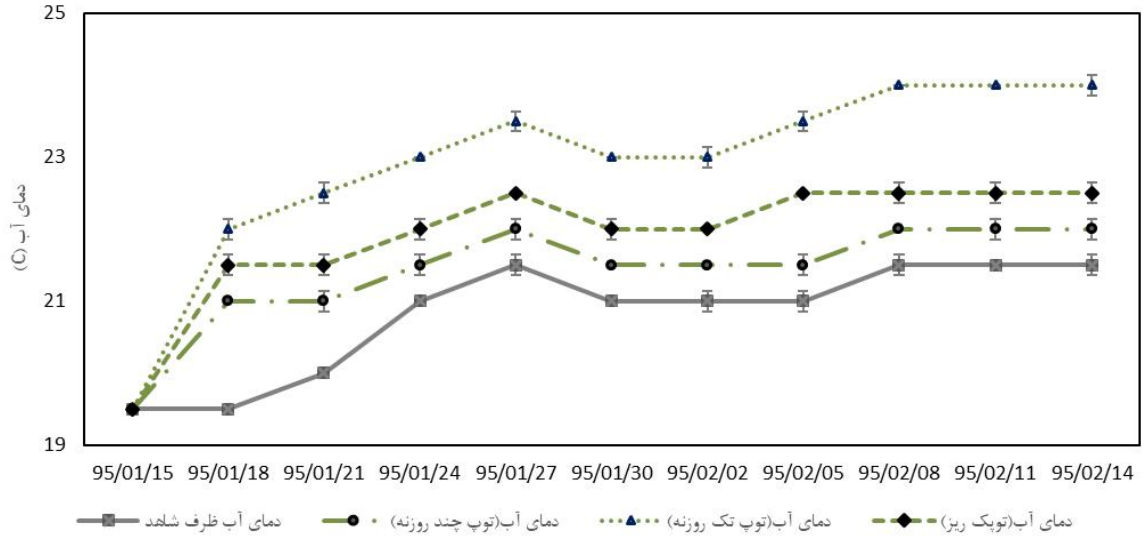
شکل ۵- نمودار درصد کاهش تبخیر در بازه زمانی اندازه‌گیری از مخازن دارای پوشش

جدول ۷- نتایج آزمون‌های مقایسه میانگین تأثیر پوشش‌ها بر دمای سطح آب

آزمون	پوشش‌ها	طبقه‌بندی از لحاظ معنی‌داری			
		۱	۲	۳	۴
توکی (HSD)	مخزن پوشانیده شده با توپ‌های تک روزنه	۲۰/۹۵			
	مخزن پوشانیده شده با توپ‌های چند روزنه		۲۱/۶۰		
	مخزن پوشانیده شده با توپ‌های ریز			۲۲/۱۵	
	مخزن شاهد				۲۳/۲۵
دانکن	مخزن پوشانیده شده با توپ‌های تک روزنه	[d]۲۰/۹۵			
	مخزن پوشانیده شده با توپ‌های چند روزنه		[c]۲۱/۶۰		
	مخزن پوشانیده شده با توپ‌های ریز			[b]۲۲/۱۵	
	مخزن شاهد				[a]۲۳/۲۵

نتایج مقایسه میانگین تأثیر پوشش‌های مختلف بر تغییرات دمای سطح آب نیز نشان می‌دهد پوشش‌ها در گروه‌های مختلف آماری قرار گرفته‌اند. عدم وجود حرف مشترک در بین گروه‌ها نیز نشان از نظر تفاوت معنی‌دار از لحاظ دما بین تمام زوج گروه‌ها است. مقایسه مقادیر دما نشان می‌دهد، مخزن شاهد بیش‌ترین میزان دما و مخازن پوشیده شده با توپ‌های تک روزنه کمترین مقدار را دارا می‌باشند. افزون بر این نمودار نوسانات دمای آب در انواع پوشش‌ها طی بازه اندازه‌گیری، در شکل ۶ نمایش داده شده است. شایان ذکر است دما در عمق ۲۰ سانتیمتری از سطح آب اندازه‌گیری شده است.

همان‌گونه که در شکل ۶ مشاهده می‌شود کمترین میزان دما مربوط به مخزن شاهد و سپس به ترتیب توپ-های چند روزنه، توپ‌های ریز و توپ‌های تک روزنه است. مخزن مربوط به توپ‌های تک روزنه باوجود اینکه بیشترین درصد کاهش تبخیر را نشان می‌دهد، بیشترین اختلاف دما را با مخزن شاهد دارد. این اختلاف در برخی از روزهای برداشت تا ۲/۵ درجه سانتی‌گراد نیز ثبت شده است درحالی‌که حداکثر اختلاف دما در دو مخزن پوشانیده شده با توپ‌های ریز و توپ‌های چند روزنه به ترتیب ۲ و ۱/۵ درجه سانتی‌گراد است.



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

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به‌منظور جلوگیری از تبخیر آب از مخازن آبی سد رسوب‌گیر در مجتمع مس سرچشمه، کارآیی سه نمونه توپ از نظر جنس و اندازه و اعمال تغییراتی جهت افزایش کارآیی 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 تحت‌فشار به درون آن تزریق شده و تا نیمه پر از آب گردیده است.

جدول ۸- مقایسه کارایی توپ‌های مختلف در شرایط محیطی یکسان

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

مقایسه توپ‌های تک روزنه و چند روزنه نشان می‌دهد کمترین میزان تبخیر و تغییرات آن در توپ‌های تک روزنه اتفاق افتاده است درحالی‌که در توپ‌هایی که دارای چندین روزنه بودند، در چند برداشت اول درصد کاهش تبخیر بیشتر و به‌تدریج کم شده است. تغییر در کاهش تأثیر توپ‌های چند روزنه را می‌توان ناشی از امواج باد دانست، چراکه در ابتدای قرارگیری بر سطح آب، توپ‌ها با توجه به خاصیت خود پرکنندگی، 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 نوسانات باد منجر شده که برخی توپ‌ها چرخیده و در شرایط چرخش یکی از روزنه‌ها در معرض هوا قرار گیرد. به‌این‌ترتیب 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، به‌این‌ترتیب 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

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

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

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 بیشینه 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 به‌راحتی 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 تک‌روزنه به چندین دلیل از سایر توپ‌ها بهتر بود. اول اینکه هنگامی‌که توپ‌های تک روزنه 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، به‌طوری‌که هر چه زبری سطح بیشتر باشد تبخیر از سطح کمتر صورت گرفته و همین عامل موجب می‌شود تا توپ‌های تک روزنه بیشترین میزان کاهش تبخیر را نسبت به دو نوع دیگر از خود نشان دهد. در مجموع می‌توان گفت، هر چند توپ‌های تک روزنه نیزبه 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. به‌طوری‌که زبری بیشتر در مخزن پوشیده با توپ‌های تک روزنه نسبت به دو مخزن دیگر منجر به افزایش دما در این مخزن شده است. همان‌گونه که قبلاً نیز بیان گردید توپ‌های چند روزنه 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 روزنه‌هایی است که مقابل هم قرار گرفته اند. در این حالت، غوطه‌وری

بیشتر این نوع توپ‌ها منجر می‌شود تا زبری در این مخزن نسبت به مخزن پوشیده شده با توپ‌های تک روزنه کمتر و درصد فضای خالی نسبت به دو نمونه دیگر افزایش یابد، در مخزن پوشیده شده با توپ‌های چند روزنه، افزایش فضاهای 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. درحالی‌که مقایسه این توپ‌ها با توپ‌های تک روزنه ثابت می‌کند که چنانچه فضای خالی در این دو مخزن یکسان باشد، زبری ایجادشده توسط توپ‌های ریز نسبت به توپ‌های تک روزنه 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 پلی اتیلنی 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 پلی استایرن و با درصد پوشش‌های مختلف که در ایران انجام شده است [۱۴] ، بهترین کارآیی این روش‌ها را بین ۳۰ تا ۵۵ درصد گزارش نموده است، در حالی‌که 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 مترمربعتقریباً معادل ۲۵۸۰۰۰۰ مترمکعب برآورد گردیده است. چنانچه میزان کاراییتوپ‌های 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 تک روزنه، سالیانه حدود ۱۶۶۴۱۰۰ مترمکعب آب ناشی از کاهش تلفات تبخیر ذخیره می‌گردد. این مقدار آب با توجه به ۱۰ سال عمر مفید توپ‌های پلی‌اتیلنی به‌طور 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 انجام‌گرفته است. نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از واحدهای مختلف مجتمع ازجمله 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.

[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 damsreservoirs. 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., Gozálvez, 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 resourcese, 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 has 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.