تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال هجدهم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱
Volume 18, No. 4, Winter 2023 (IR-WRR)
۷۵-۸۷

ارزیابی شیوه‌های کاهش تبخیر از طریق روش‌های ترکیبی توپ‌های شناور و مونولایر در تشتک کلاس A (مطالعه موردی شهر خرم آباد)

صدیقه ابراهیمیان[۱]، ناصر طهماسبی پور[۲*]، محسن عادلی[۳] و حسین زینی‌وند[۴]

چکیده

در مناطق خشک و نیمه‌خشک علت عمده تلفات آب را می‌توان پدیده‌ای به نام تبخیر سطحی دانست که در دماهای پایین‌تر از نقطه جوشش آب اتفاق می‌افتد. بنابراین، یک پدیده اجتناب‌ناپذیر است و با توجه به موقعیت و شرایط آب‌وهوایی کشورها، به‌عنوان یک عامل مهم در میزان تلفات منابع آبی در یک کشور، نقش ایفا می‌کند. یکی از روش‌های عمده در کاهش میزان تبخیر از سطح مخازن روباز که در بسیاری از مناطق گرم و خشک به‌کار برده می‌شود، استفاده از پوشش‌های فیزیکی و شیمیایی است. در پژوهش حاضر که با هدف کاهش میزان تبخیر از تشتک‌های تبخیر کلاس A انجام گرفت، سعی شده است تا برای اولین بار کارایی سه نوع توپ با ترکیب مونولایر هگزادکانول به عنوان پوشش کاهنده تبخیر بررسی گردد. توپ‌های مورد استفاده شامل سه نوع توپ دو روزنه و شش روزنه و بدون روزنه با قطر ۷ سانتی متر از جنس پروپیلن مورد استفاده قرار گرفت. به منظور بررسی عملکرد این پوشش‌ها در کاهش تبخیر تشتک‌های کلاس A به مدت ۲ ماه از ۱۴۰۰/۶/۱ تا ۱۴۰۰/۷/۳۰ بررسی شدند. با توجه به این که اندازه‌گیری تبخیر در طول مدت تبخیر به صورت سری زمانی تکرار شده است به طوری که در هر روز در طی ۱۰ ساعت و هر ساعت یک بار از ۸ صبح تا ۱۷ بعد از ظهر عملیات تکرار شده است مباحث مربوط به سری زمانی مورد توجه قرار گرفتند و از نظر آماری تجزیه و تحلیل شده‌اند. مقادیر تبخیر اندازه‌گیری شده در نرم‌افزار SAS آنالیز شد و مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال ۹۹ درصد بر اساس آزمون مقایسه میانگین دانکن انجام شد، ترکیب مونولایر هگزادکانول و سه نمونه توپ به لحاظ تغییرات میزان تبخیر و دما با شاهد اختلاف معناداری در سطح ۵ درصد داشتند. نتایج مقایسه میانگین تأثیر پوشش‌های مختلف بر میزان تبخیر نشان داد که تشتک شاهد بیشترین مقدار تبخیر را در بین دیگر تشتک‌ها داشته، در حالی که تشتک‌های پوشیده شده با ترکیب مونولایر هگزادکانول و توپ‌های بدون روزنه کمترین مقدار تبخیر را نشان داد. مقایسه مقادیر میانگین تبخیر در آزمون دانکن هیچگونه حروف مشترکی را نشان نمی‌دهد. این امر بدان معناست که تمام زوج پوشش‌ها در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با هم دارند. نتایج به دست آمده نشان داد ترکیب مونولایر هگزادکانول و توپ‌های بدون روزنه با کارایی ۸۶/۷ درصد بیشترین سهم را در کاهش تبخیر داشتند در حالی که ترکیب مونولایر هگزادکانول و توپ‌های دو روزنه و شش روزنه با کارایی ۵۹/۶ و ۵۶/۷ درصد در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. در نهایت ترکیب مونولایر هگزادکانول و توپ‌های بدون روزنه به دلیل زبری مناسب در سطح و ثابت ماندن درصد فضاهای خالی در طول زمان، به عنوان بهترین پوشش کاهنده تبخیر در پژوهش حاضر شناسایی گردیدند.

کلمات کلیدی: تبخیر، توپ شناور، تشتک کلاس A، هگزادکانول.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۲/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۳

۱- دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.
۲- دانشیار، گروه آبخیزداری دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.
۳- استاد گروه شیمی آلی، دانشکده علوم پایه دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.
۴- دانشیار، گروه آبخیزداری دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۴۰۲ امکانپذیر است.

Evaluating the Evaporation Reduction through Combined Methods of Floating Balls and Monolayer in Class A Pan (Case Study of Khorramabad City)

S. Ebrahimian[1], N. Tahmasebipour[2], M. Adeli[3], and H. Zeinivand[4]*

Abstract

In arid and semi-arid regions, surface evaporation can be considered the main cause of water loss. Evaporation occurs at temperatures lower than the boiling point of water and it is an inevitable phenomenon and it plays an important role in the loss of water resources in countries according to their geographical and meteorological conditions. One of the main methods to reduce evaporation from the surface of open tanks, which is used in many hot and dry regions, is the use of physical and chemical coatings. In the current research, which was conducted with the aim of reducing the rate of evaporation from class A evaporation pans, it was tried for the first time to investigate the efficiency of three types of balls with monolayer composition of hexadecanol as an evaporation reducing coating. Three types of balls with a diameter of 7 cm made of propylene were used; balls with two holes, six holes, and no holes. In order to investigate the performance of these coatings in reducing the evaporation of class A pans, they were investigated for 2 months from 1400/6/1 to 1400/7/30 (two months). The measurement of evaporation has been repeated once every hour from 8:00 am to 5:00 pm and the resulted times series were analyzed statistically. The measured evaporation values were analyzed in SAS software and the comparison of averages was done at the 99% probability level based on Duncan's average comparison test. Results showed that the combination of hexadecanol monolayer and three ball samples had a significant difference at the 5% level in terms of changes in evaporation rate and temperature. The results of comparing the average effect of different coatings on the rate of evaporation showed that the control pan had the highest amount of evaporation among other pans, while the pans covered with the monolayer combination of hexadecanol and non-porous balls showed the lowest amount of evaporation. The comparison of average evaporation values in Duncan's test did not show any common letters which means that all pairs of coatings have a significant difference at the 5% level. The results showed that the combination of hexadecanol monolayer and non-porous balls with an efficiency of 86.7% contributed the most in reducing evaporation. While the combination of hexadecanol monolayer with two-hole and six-hole balls with efficiency of 59.6% and 56.7% were placed in the next priorities. Finally, the combination of hexadecanol monolayer and balls without holes were identified as the best evaporation reducing coating in the present study due to the appropriate surface roughness and the constant percentage of empty spaces over time.

Keywords: Evaporation, Floating Ball, Class A Pan, Hexadecanol.
Received: May 5, 2022
Accepted: January 3, 2023

1- Ph.D. Student in Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran. Email: ebrahimiyan.2000@yahoo.com
2- Associate Professor, Department of Watershed Management, Lorestan University, Khorramabad, Iran. Email: ntahmasebipour@yahoo.com
3- Professor, Department of Organic Chemistry, Faculty of Basic Sciences, Lorestan University, Khorramabad, Iran. Email: adeli.m@lu.ac.ir
4- Associate Professor, Department of Watershed Management, Lorestan University, Khorramabad, Iran. Email: hzeinivand@gmail.com
*- Corresponding Author
Dor: 20.1001.1.17352347.1401.18.4.5.9

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

۱- مقدمه

با توجه به اهمیت آب که یکی از نخستین نیازهای زندگی بشری است و با توجه به این مسأله که ایران با متوسط بارندگی سالانه ۲۴۰ میلیمتر و جمعیت ۸۰ میلیون نفری، کشوری خشک و نیمه‌خشک بوده و با تنش آبی بسیار، مواجه است؛ ضروری است تا حد امکان از هدر رفت آب باید جلوگیری شود. یکی از پدیده‌های عمده که موجب تلفات مقادیر زیادی از آب‌های جمع‌آوری شده پشت سدها، استخرها و دریاچه‌ها و غیره می‌شود، تبخیر است. نوعی از تبخیر وجود دارد که در هر دمایی رخ می‌دهد که به آن تبخیر سطحی گفته می‌شود. در تبخیر سطحی مولکول‌های روی سطح آب در معرض تابش نور خورشید و یا وزش باد قرار می‌گیرند و با افزایش جنب و جوش، از سطح آب جدا شده و به بخار آب تبدیل می‌شوند. در محدوده سرزمینی ایران، تبخیر از سطح کلیه مخازن روباز آب باعث کاهش سالانه بین ۱ تا ۲ متری در سطح آب می‌گردد. نتایج به دست آمده از حجم تبخیر سالانه از سطح دریاچه سدهای در حال بهره‌برداری کشور نشان می‌دهد که مجموع حجم تبخیر سالانه معادل ۲/۰۲ میلیارد متر مکعب می‌باشد. که با توجه به حجم کل مخازن در حال بهره‌برداری (۳۲/۵ میلیارد متر مکعب)، حدود ۶/۲ درصد از آب سدها تبخیر می‌گردد (Sharayei, 2020). بر اساس اندازه‌گیری‌ها اتلاف آب از مخازن نگهداری آب از ۱۷ ایالت غربی در ایالت متحده هر ساله ۱۵/۶ میلیون ایکر بر فیت بوده است. که این اتلاف معادل با ناپدید شدن تمام آب موجود ذخیره شده در کالیفرنیا در سال ۱۹۵۶ می‌باشد (Sajia, 2015). کنترل تبخیر از سطوح آب با استفاده از روش‌های مختلف، راه‌حل مهمی در حفاظت از آب می‌باشد و در بسیاری از موارد از جمع‌آوری و ذخیره همان مقدار آب از منابع دیگر اقتصادی‌تر می‌باشد. تاکنون مطالعات وسیعی در جهان در رابطه با استفاده از پوشش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی انجام گرفته است. از جمله، Piri (2010) با بررسی تأثیر استفاده از الکل‌های سنگین هگزادکانول و اکتادکانول با غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ گرم در هکتار، نتایج نشان داد استفاده مجزا از هر دو نوع الکل، در کاهش تبخیر موثر بوده، ولی استفاده از ترکیب آن‌ها می‌تواند تأثیر بیشتری در کاهش تبخیر از سطح آب داشته باشد. Qarawi and Al Ahmad (2010) به ارزیابی روش‌های مختلف کاهش تبخیر از جمله استفاده از مونولایرها، پوشش‌های شناور و معلق، بادشکن‌ها و کاهش سطح مخزن پرداخت. در نهایت کارایی بادشکن در کنترل تبخیر تا ۲۰ درصد، پوشش‌های معلق تا ۶۵ درصد و پوشش‌های شناور بین ۴۰ تا ۹۵ درصد گزارش شد. Davood et al. (2016) در تحقیقی با استفاده از پوشش‌های شناور پلی‌اتیلنی با دانسیته‌های مختلف ۸۰۰،۸۷۵،۹۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب به این نتایج دست یافت که با کاهش تراکم پلی‌اتیلن، زمان تبخیر افزایش یافته و در نتیجه دما و میزان تبخیر کاهش می‌یابد به طوری که پلی‌اتیلن‌های با دانسیته ۸۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب با کارایی ۵۷ درصد، بیشترین میزان کاهش تبخیر را داشته است. Afkhami et al. (2017) در تحقیقی با احداث دو حوضچه ۹ متر مربعی در مجاورت سد رسوبگیر مجتمع مس سرچشمه با استفاده از حلقه‌های یونورینگ فرسوده در طی ۲ ماه در کاهش میزان تبخیر به طور متوسط ۷۸/۳۵ درصد برآورد نموده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد با توجه به بحران شدید آب و تلفات قابل توجه تبخیر در کشور و همچنین حجم عظیم لاستیک‌های فرسوده، طرح ارائه شده می‌تواند به عنوان طرحی موفق در کاهش میزان تبخیر از مخازن آبی مورد توجه قرار گیرد. Sagai et al. (2018) در طی تحقیقی با پخش مونولایرهای هگزادکانولی در مناطق گرم و خشک بر روی دریاچه‌ی آلچریا و اندازه‌گیری میزان تبخیر در بازه‌ی زمانی ۲۰ هفته‌ای به بازده ۲۲ درصد دست پیدا کرده است. این الکل به عنوان لایه تک ملکولی بازدارنده تبخیر می‌باشد. نمونه ذکر شده بیشترین مقاومت را در جلوگیری از تبخیر داشته و فراوانی و استفاده آسان آن از دیگر مزیت استفاده از الکل فوق می‌باشد. Salehi et al. (2018) در تحقیقی با استفاده از پوشش پلی‌اتیلنی متخلل سیاه، می‌تواند به طور متوسط کاهش تبخیری برابر ۷۷ درصد در حالت استفاده از پوشش تک لایه و ۸۳ درصد در حالت پوشش دو لایه داشته باشد. Amir Hosseini et al. (2018) با استفاده از پودر واترسیور (مخلوطی از ستیل الکل و هگزادکانول) با پوشش این پودر در دو مرحله ابتدا معادل ۰/۱ گرم در بازه ۲ ماهه و سپس ۱۰ گرم در بازه زمانی یک ماهه در سطح ۱ متر مربع که به ترتیب برای پودر ۰/۱ گرم ۱۸ درصد کاهش تبخیر و پودر ۱۰ گرم ۳۰ درصد کاهش تبخیر به وجود آمد. اگرچه تبخیر به صورت تدریجی انجام می‌گیرد. اما مطالعات نشان می‌دهد این مؤلفه سالیانه منجر به هدررفت و خروج بخش عظیمی از آب مخازن سدها می‌گردد. (Qazvinian et al., 2022) در پژوهشی برای کاهش تبخیر از تشت‌های تبخیر استاندارد کلرادو مدفون در زمین، از ورقه‌های پلی استایرن، قطعات چوب و ورقه‌های موم عسل به‌عنوان پوشش‌های فیزیکی روی سطح آب استفاده کردند. نتایج آزمایش نشان داد که پوشش پلی‌استایرن به طور متوسط ۵۴ درصد، پوشش چوب ۱۹ درصد و پوشش موم ۱۸ درصد در کاهش تبخیر مؤثر است. ضرورت انجام این پژوهش زمانی بیشتر مشخص می‌شود که شرکت مدیریت منابع آب ایران میزان تبخیر از مخازن پشت سدهای کشور در سال ۹۲ را ۲/۱ میلیارد متر مکعب اعلام نمود، که این مقدار حدود ۳ الی ۴ درصد آب ورودی به مخازن می‌باشد. البته حدود ۵۰ درصد این مقدار در چهار ماه خرداد تا شهریور صورت می‌گیرد؛ بنابراین با توجه به کاهش منابع آبی، استفاده از راه‌های جلوگیری از این هدر رفت ضروری به نظر

می‌رسد (شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، ۱۳۹۳). در پژوهش حاضر، با هدف کاهش تبخیر از مخازن در مناطق خشک، تأثیر و کارایی ترکیب مونولایر هگزادکانول با انواع توپ‌های شناور پلی‌اتیلنی به عنوان کاهنده‌های فیزیکی بررسی می‌شود و در پایان با انتخاب برترین گزینه، راهکارهای مناسب و اجرایی جهت کاهش تبخیر منابع آبی ارائه می‌گردد که به عنوان نوآوری این پژوهش مطرح است.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

مکان اجرای پژوهش در محوطه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان می‌باشد. خرم آباد دارای مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه و ۴۱ ثانیه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۲۶ دقیقه و ۸۶ ثانیه عرض شمالی و ارتفاع ۱۲۰۰ متر از سطح دریا میانگین حداکثر دما ۲۵/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد و میانگین حداقل آن ۹/۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین دمای سالانهٔ آن ۱۷/۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه ۴۹۰ میلی‌متر است (Herwij and Segar, 2008). در شکل ۱ موقعیت دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی خرم آباد درایران و استان لرستان را نشان می‌دهد. از عوامل تأثیرگذار بر تبخیر دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، مساحت سطح در معرض باد می‌باشد که در نمودار ۱ تغییرات دمایی و تبخیر در بازه زمانی تحقیق که به مدت ۶۰ روز از تاریخ ۱ شهریور ۱۴۰۰ تا ۳۰ مهر ۱۴۰۰ را نشان می‌دهد. طبق نمودار ۱ یک رابطه‌ی مستقیم بین افزایش دما و میزان تبخیر وجود دارد.

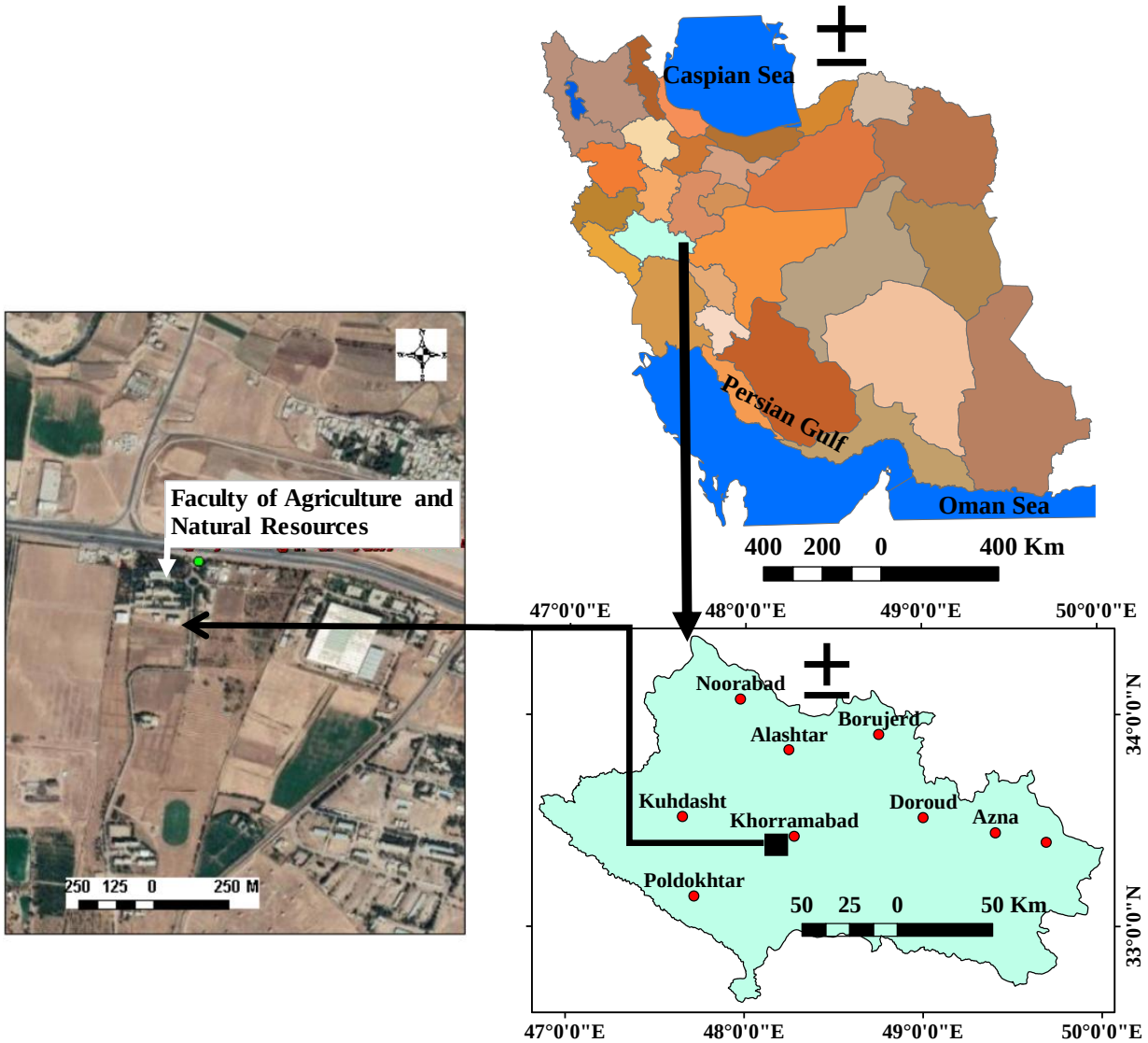

Fig. 1- Location of Khorramabad Faculty of Agriculture and Natural Resources in Lorestan Province

شکل ۱- موقعیت دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی خرم آباد درایران و استان لرستان

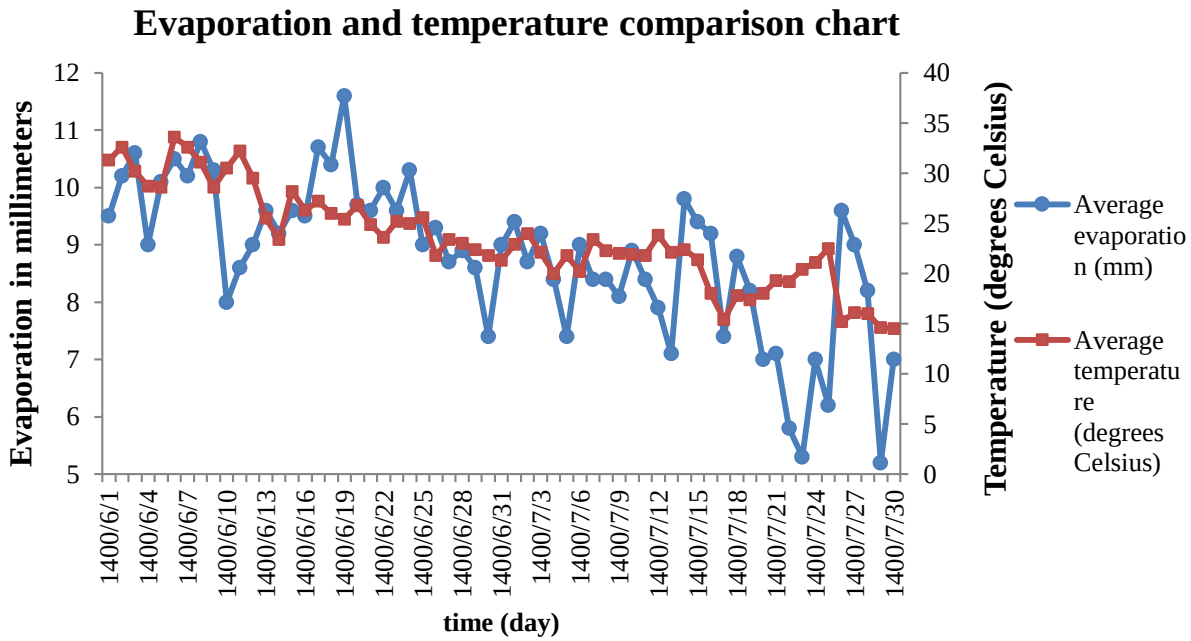

Chart 1- Comparison of temperature and evaporation changes in the study period

نمودار ۱- مقایسه تغییرات دما و تبخیر در دوره مورد مطالعه تحقیق

۳- روش تحقیق

پژوهش حاضر با هدف بررسی میزان کاهش تبخیر از طریق ترکیب مونولایر هگزادکانول و توپک‌های شناور است. پوشش‌های استفاده شده شامل سه نمونه توپ است که هر سه نمونه از جنس پلی‌اتیلن می‌باشند و دارای وزن تقریبی۱۰ گرم هستند (جدول ۱). ذکر این نکته حائز اهمیت است که درصد پوشش سطح به قطر توپ‌های مورد نظر بستگی دارند. در شکل ۲-الف بعد از ست کردن تشتک کلاس A با اسپری شیشه‌ای کل سطح آب مونولایر هگزادکانول پاشش شد. در شکل ۲-ب و ۲-ج بعد از اسپری مونولایر هگزادکانول توپک‌های سفید دارای روزنه و بدون روزنه با تعداد ۲۴۰ توپ در هر تشتک مسقر شد. این ۲۴۰ عدد توپ با توجه به قطر ۱/۲ متر تشتک کلاس A، با محاسبه مساحت سطح تشتک از معادله‌ی πr^2، و با درنظر گرفتن مساحت هر توپ با قطر ۷ سانتیمتر، با تقسیم مساحت تشتک بر مساحت توپ تعداد ۲۴۰ عدد توپ در سطح تشتک جای گرفت.

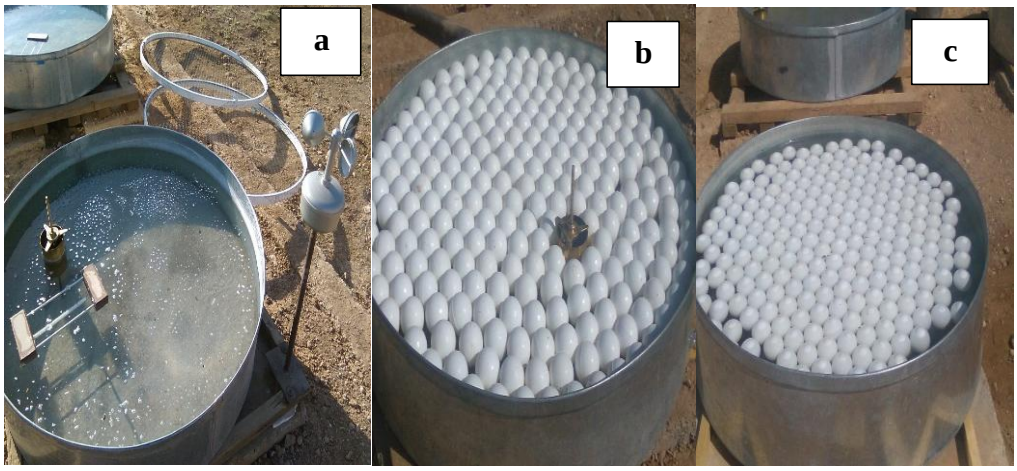

Fig. 2- a) class A pan with a monolayer of hexadecanol, b) a pan with a monolayer of hexadecanol and non-porous balls, c) a pan with a monolayer of hexadecanol and two-hole balls

شکل ۲- شکل (الف) تشتک کلاس A دارای مونولایر هگزادکانول، شکل (ب) تشتک دارای مونولایر هگزادکانول و توپ بدون روزنه، شکل (ج) تشتک دارای مونولایر هگزادکانول و توپ دو روزنه

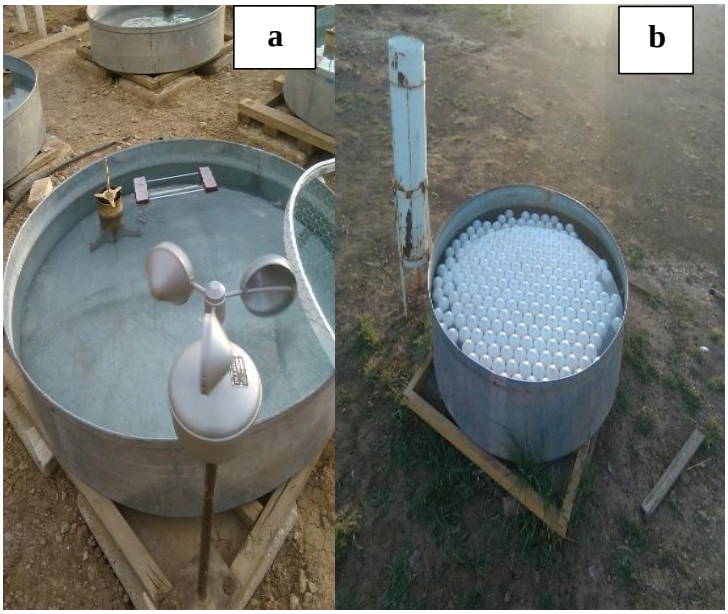

Fig. 3- a) class A control pan, b) pan with hexadecanol monolayer and balls with six-hole
شکل ۳- الف) تشتک کلاس A شاهد، ب) تشتک دارای مونولایر هگزادکانول و توپ شش روزنه

Table 1- Characteristics of balls used in the present study
جدول ۱- ویژگی‌های توپ‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر

Percentage coverage on the surface	Hole dimensions (mm)	diameter (mm)	soft point	Temperature resistance (C˚)	material	Cover type
80		70	Down	90	Polyethylene	Non-porous balls
80	1-2	70	Down	90	Polyethylene	Two hole balls
80	1-2	70	Down	90	Polyethylene	Six hole balls

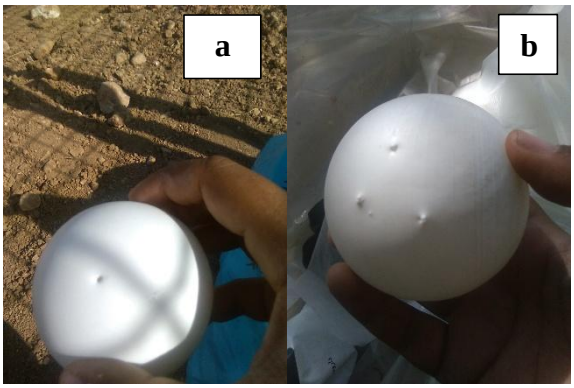

Fig. 3- A view of two-hole ball (a) and six-hole ball (b)
شکل ۳- نمایی از توپ دو روزنه (الف)، توپ شش روزنه (ب)

با توجه به وزن ناچیز دو نمونه توپ پلی‌اتیلنی و سرعت بالای باد در منطقه، همواره احتمال جمع‌شدن و پراکنش توپ‌ها در سطح آب وجود دارد. این مسأله کارایی این پوشش را کاهش می‌دهد. به منظور رفع مشکل فوق سعی گردید در دو نمونه توپ پلی‌اتیلن با قطر ۷ سانتیمتر، روزنه‌هایی بر سطح توپ ایجاد گردد تا با ورود آب در داخل توپ وزن توپ‌ها افزایش یابد. به این منظور جهت افزایش وزن توپ‌های پلی اتیلنی با توجه به نحوه‌ی قرارگیری توپ در سطح آب در تشتک توپ شش روزنه، سه روزنه و در تشتک دو روزنه، یک روزنه به قطر یک میلیمتر بر سطح تماس توپ با آب ایجاد شد و سه روزنه و یک روزنه به منظور خروج هوا در زمان ورود آب به داخل توپ، در نقطه مقابل

روزنه‌ها درنظر 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، هم تراز 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 شود که توپ‌ها تا نیمه در آب غوطه‌ور شده 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. به این ترتیب، تعداد ۲۴۰ عدد توپ برای هر تشتک دو روزنه و شش روزنه سوراخ گردید. با قرار گیری بر سطح آب وزن ثانویه توپ‌ها به طور متوسط به ۸ تا ۹ برابر وزن اولیه می‌رسد. به دلیل تنش‌های محیطی از جمله سرعت زیاد باد 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 مسأله 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. قبل از پخش توپ‌ها بر روی سطح آب مونولایر هگزادکانول ($C_{16}H_{33}OH$) با غلظت ۲۰ گرم در هکتار بر سطح آب اسپری شد. هر ۳ روز یکبار مونولایر در سطح آب به دلیل کاهش کارایی در مقابل سرعت باد در منطقه تمدید شد. مونولایر هگزادکانول از مهمترین الکل‌های چرب که از قدیم الایام در سطح وسیع مورد استفاده قرار گرفته است (Piri, 2010) تأثیر انواع تک لایه‌ها بر کیفیت آب با اندازه‌گیری پارامترهای PH، DO و EC دما و کدورت بر روی نمونه‌ها در محیط و آزمایشگاه مورد آزمایش قرار گرفت و تأثیر شیمیایی تک لایه بر روی کلروفیل a، فسفر کل، فسفر فیلتر شده، نیتروژن کل و آمونیوم مورد بررسی قرار گرفت هیچگونه تأثیری بر روی کیفیت پارامترهای اندازه‌گیری شده نداشته است. پژوهش حاضر، به مدت ۶۰ روز از تاریخ ۱ شهریور ۱۴۰۰ تا ۳۰ مهر ۱۴۰۰ انجام شد که در ساعت ۱۰ صبح داده‌برداری انجام شد. میزان کاهش تبخیر و دمای آب در عمق ۵ سانتیمتری از سطح با دماسنج حداقل و حداکثر دمای سطحی آب اندازه گیری شد. جدول ۲، وزن آب موجود در توپ‌ها به طور میانگین و میزان فرورفتگی آن‌ها را نشان می‌دهد. بعد از آماده‌سازی، توپ‌ها در سطح تشتک‌های کلاس A پخش شدند. یک تشتک به عنوان شاهد و سه تشتک دیگرکه هر کدام با ۲۴۰ عدد توپ شناور به عنوان تیمار با توپ‌های دو روزنه، شش روزنه و بدون روزنه درنظر گرفته شدند.

در آخر کارایی انواع توپ‌ها در کاهش میزان تبخیر با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد:

$$\left(\frac{\text{M control} - \text{Mcover}}{\text{Mcontrol}}\right) \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن $M_{control}$ میزان تلفات از مخزن شاهد طی بازه اندازه گیری و M_{cover} میزان تلفات در هریک از پوشش‌ها در همان بازه می‌باشد. مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر و دمای سطحی آب به صورت $\text{Mean} \mp \text{S.d}$ ارائه شد. از تحلیل واریانس یک طرفه و آزمون دانکن جهت مقایسه میانگین تأثیر انواع پوشش‌ها بر کاهش تبخیر و دما استفاده شد.

۴- نتایج

۴-۱- کارایی انواع توپ‌ها در تشتک‌ها

مقادیر میانگین و انحراف استاندارد، واریانس، مینیمم و ماکزیمم پارامترهای تبخیر و دما در جدول ۳ و ۴ آورده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود مقادیر تبخیر و دما در نمونه‌های اندازه‌گیری شده متفاوت است. این امر تأثیر مثبت استفاده از انواع پوشش‌ها را در کاهش تبخیر نشان می‌دهد. بر اساس مقادیر نسبت پراش، در جدول ۴، بین پوشش‌های مختلف از نظر میزان تبخیر و دما در سطح احتمال ۹۵ درصد اختلاف معناداری دارد. در ادامه جهت تشخیص تفاوت بین میانگین تبخیر و دما هر یک از زوج پوشش‌ها از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۰/۰۵ استفاده شد.

Table 2- Weight and amount of immersion in water for balls with holes

جدول ۲- وزن و میزان غوطه وری توپ‌های دارای روزنه در آب

The average amount of indentation at the end of the span (cm)	The average amount of indentation at the beginning of the span (cm)	Average weight of water (grams)	Cover type
4-5.5	3.5-4.3	130-150	Six hole balls
3.5-4	3.5-4	120-130	Two hole balls

Table 3- Evaporation and temperature statistics in the measurement period for different combinations

جدول ۳- آماره‌های تبخیر و دما در گروه‌های مختلف در بازه زمانی اندازه‌گیری

	Evaporation of the control pan (mm)	Evaporation - hexadecanol compound and six-hole balls (mm)	Evaporatio-hexadecanol combination pan and two-hole ball (mm)	Evaporation-hexadecanol compound and non-porous balls (mm)	Temperature - control pan (°C)	Temperature-hexadecanol composition and non-porous balls (°C)	Temperature - hexadecanol monolayer and two-hole balls (°C)	Temperature - hexadecanol combination and six-hole balls (°C)
Average	8.80	3.96	3.55	0.35	23.51	26.01	24.61	24.29
standard error	0.17	0.08	0.07	0.01	0.62	0.62	0.62	0.62
Variance	1.82	0.37	0.32	0.00	23.28	23.28	23.28	23.58
minimum	5.20	2.34	2.03	0.20	14.50	17.00	15.60	14.80
maximum	11.60	5.22	4.71	0.47	33.60	36.10	34.70	34.40

Table 4- One-way variance deviation to investigate evaporation and temperature changes in different coatings

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

Diffraction Ratio (meaning)	average of squares	Statistics F	Degrees of freedom	sum of squares	The source of changes	
0.00	1226	96	7	2026.2	between combinations	evaporation
	15.4		64	1069	within combinations	
0.00	17.4		73		total	
			9	48	between combinations	temperature
	0.3		66	39	within combinations	
			75		total	

نتایج این دو آزمون به منظور بررسی تأثیر پوشش‌ها بر میانگین تبخیر در جدول ۵ آورده شده است. نتایج مقایسه میانگین تأثیر پوشش‌های مختلف 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، در حالی که مخزن‌های پوشیده شده با ترکیب مونولایر هگزادکانول و توپ‌های بدون روزنه کمترین مقدار تبخیر را 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 ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با هم دارند.

Table 5- Test results comparing the average effect of coatings on evaporation

جدول ۵- نتایج آزمون مقایسه میانگین تأثیر پوشش‌ها در تبخیر

Classification				Covers	Test
			7^{A}	A pan coated with a combination of hexadecanol monolayer and non-porous balls	Duncan
		8.4^{B}		The pan is covered with a combination of monolayer hexadecanol and two-hole balls	
	9.8^{C}			The pan is covered with a combination of hexadecanol monolayer and six-hole balls	
11.4^{D}				witness pan(control pan)	

نمودار مقایسه کنترل تبخیر در نمودار ۲ و نمودار تجمعی مقادیر متوسط تبخیر در مدت زمان یاد شده در پوشش‌های مختلف در نمودار ۳ نمایش داده شده است. در نمودار ۳ حداکثر ارتفاع ستون مربوط به تشتک شاهد، که بیانگر پتانسیل کل حجم تبخیر صورت گرفته را در شرایط طبیعی است. سایر ستون‌ها مشاهده شده در نمودار نیز برابر با حجم آب تلف شده در تشتک‌های پوشیده شده با ترکیب مونولایر و توپ‌های مختلف است. بر این اساس، اختلاف ارتفاع بین هر ستون تا ستون شاهد برابر با میزان ذخیره آب یا حجم کاهش تبخیر ناشی از اعمال پوشش‌های مختلف با انواع مختلف توپ‌هاست. بیشترین اختلاف ارتفاع مربوط به ارتفاع ما بین ستون مربوط به تشتک پوشیده شده با ترکیب مونولایر هگزادکانول و توپ‌های بدون روزنه و شاهد بوده که کمترین میزان تبخیر از سطح این تشتک اتفاق افتاده است. تشتک‌های پوشیده شده با ترکیب هگزادکانول و توپ‌های دو روزنه و شش روزنه از نظر کاهش تبخیر به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارند. میزان درصد کاهش تبخیر با استفاده از سه نوع توپ در نمودار ۴ نشان داده شده است. بیشترین میزان درصد کاهش تبخیر مربوط به مخزن پوشیده شده با توپ‌های بدون روزنه با مونولایر هگزادکانول دارای کاهش ۸۶/۷ درصد به دست آمده است. درصد متوسط کاهش تبخیر در تشتک‌های پوشیده شده با توپ‌های تک روزنه و توپ‌های چند روزنه همراه مونولایر هگزادکانول که به ترتیب دارای کاهش تبخیر ۵۶/۷، ۵۹/۶ درصد است. با توجه به مقایسه سه نمودار فوق بدیهی است. با وجود این که درصد فضای خالی بین سه نمونه توپ یکسان بوده است؛ اما کمترین درصد تغییرات کاهش تبخیر در توپ‌های بدون روزنه و بیشترین میزان مربوط به توپ‌های چند روزنه است که به اثر ضریب زبری بیشتر توپ‌های بدون روزنه با مونولایر نسبت به توپ‌های غوطه‌ور در آب (دو و شش روزنه) می‌توان اشاره کرد. همچنین، در توپ‌هایی با چندین روزنه این تغییرات در ابتدای بازه زیاد و به مرور کاهش یافته است.

۴-۲- تأثیر پوشش‌های کاهنده تبخیر بر دمای آب

مقادیر میانگین پارامترهای تبخیر و دما در جدول ۶ و نمودار ۵ آورده شده است.

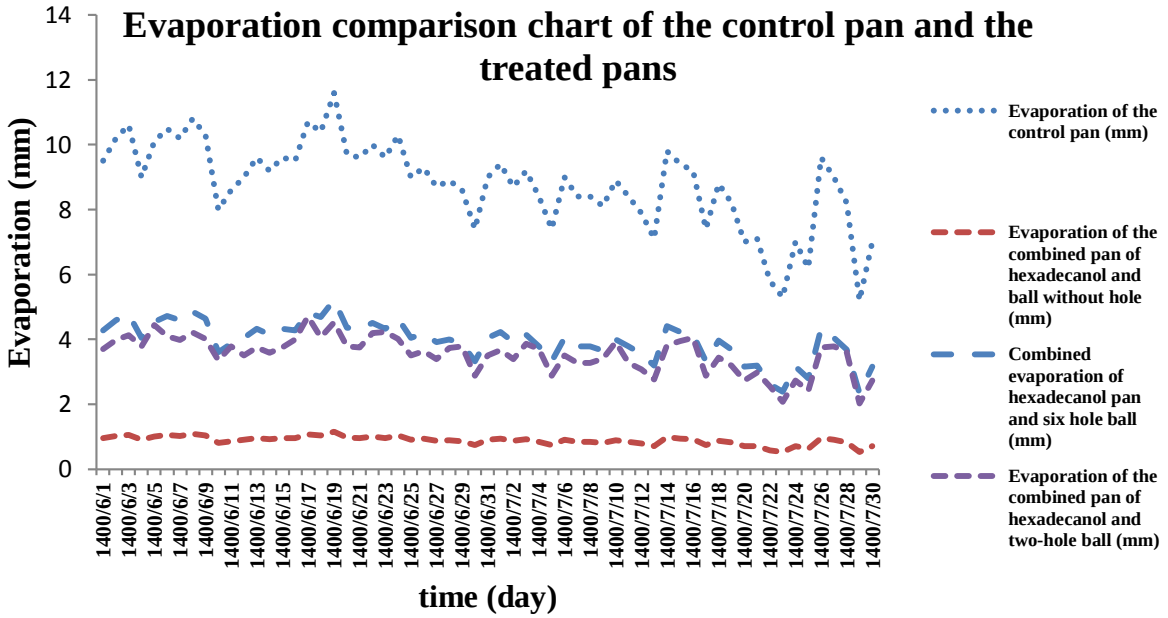

Chart 2- Comparison of evaporation rate from three pans under cover and control

نمودار ۲- مقایسه میزان تبخیر از سه تشتک تحت پوشش و شاهد

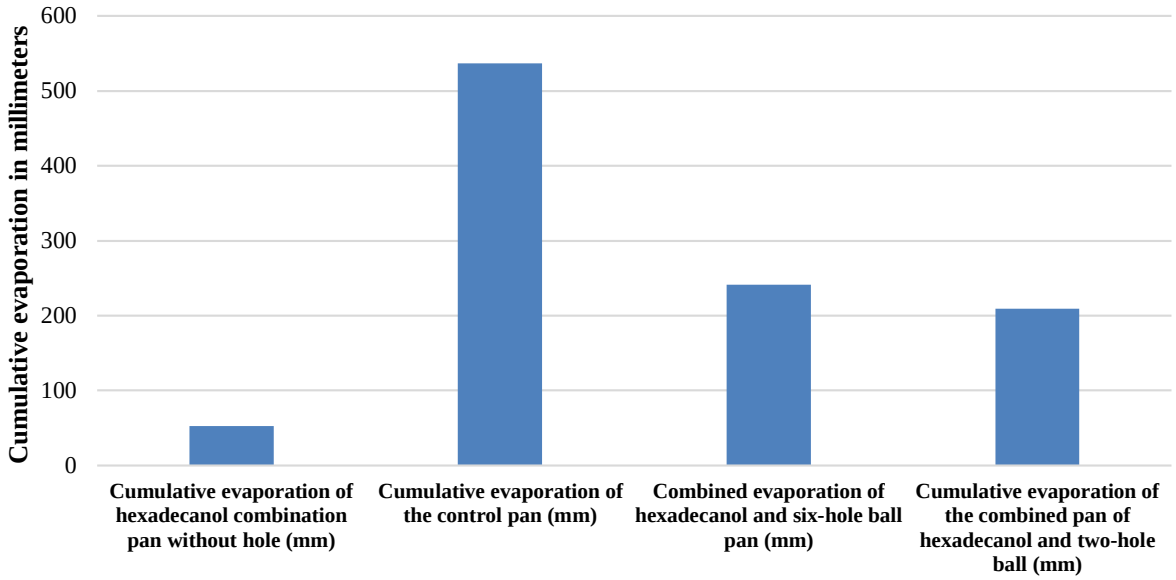

Chart 3- Cumulative diagram of evaporation rate from three covered and control pans

نمودار ۳- نمودار تجمعی میزان تبخیر از سه تشتک تحت پوشش و شاهد

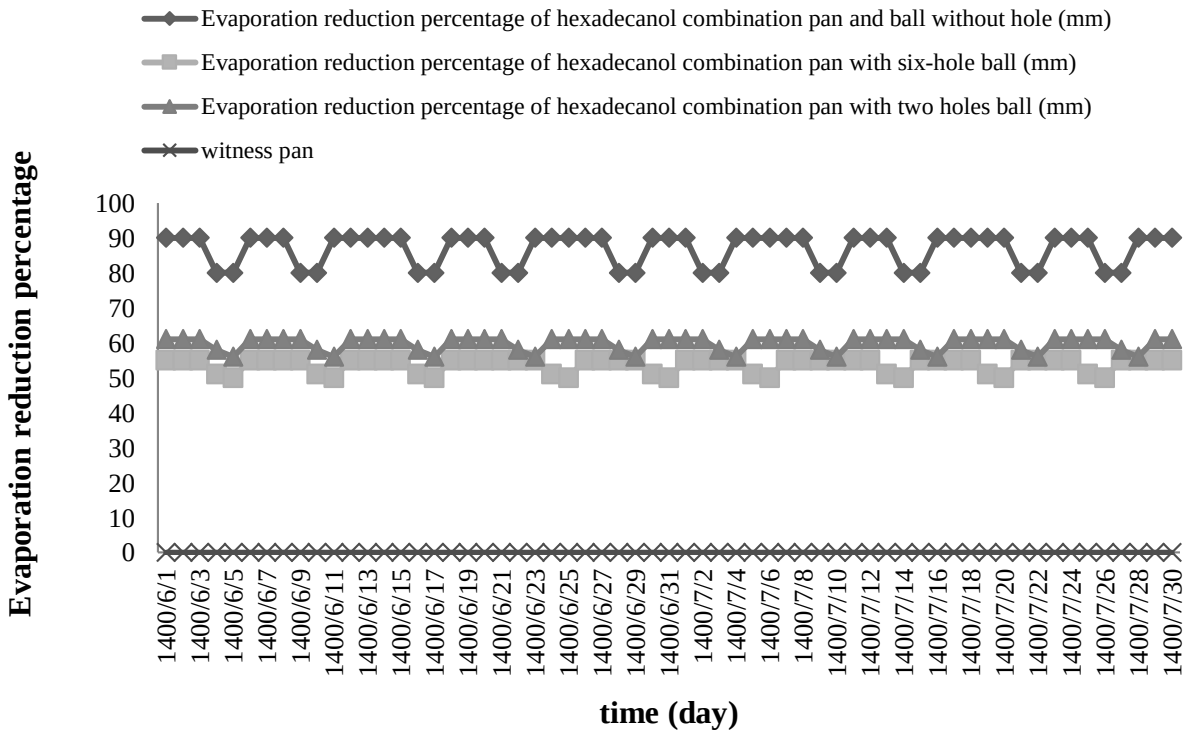

Chart 4- Mean percentage of evaporation reduction from three pans covered with balls and hexadecane monolayer compared to control pan

نمودار ۴- درصد متوسط کاهش تبخیر از سه تشتک پوشیده شده با توپ‌ها و مونولایر هگزادکانول در مقایسه با تشتک شاهد

Table 6- Comparison of average temperature and evaporation

جدول ۶- مقایسه میانگین دما و تبخیر

Mean	Variables	Covers
26 0.9	Temperature (centigrade): Evaporation (mm)	A pan coated with a combination of monolayer hexadecanol and non-porous balls
24.6 3.6	Temperature (centigrade): Evaporation (mm)	The pan is covered with a combination of monolayer hexadecanol and two-hole balls
24.3 4.3	Temperature (centigrade): Evaporation (mm)	The pan is covered with a combination of hexadecanol monolayer and six-hole balls
23.5 8.8	Temperature (centigrade): Evaporation (mm)	witness pan

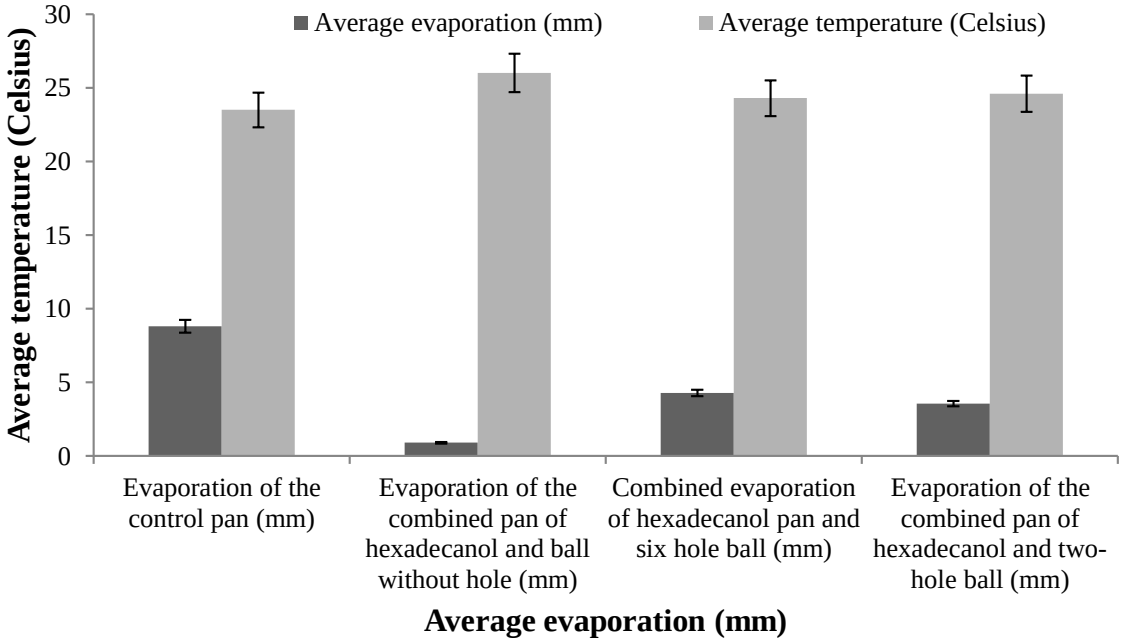

Chart 5- Comparison of average temperature and evaporation

نمودار ۵- مقایسه میانگین دما و تبخیر

برای مقایسه تأثیر استفاده از انواع پوشش‌ها بر دمای سطح آب نیز از آزمون دانکن استفاده شد (جدول ۷). 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، تشتک شاهد بیشترین میزان دما و تشتک بدون روزنه کمترین مقدار را دارا می‌باشد. شایان ذکر است دما در عمق ۵ سانتیمتری از سطح آب اندازه‌گیری شده است. همان‌گونه که در نمودار ۶ مشاهده می‌شود کمترین میزان دما مربوط به تشتک شاهد و سپس به ترتیب توپ‌های شش روزنه، توپ دو روزنه و توپ بدون روزنه است. تشتک مربوط به توپ‌های بدون روزنه با وجود این که بیشترین درصد کاهش تبخیر را نشان می‌دهد، بیشترین اختلاف دما را با مخزن شاهد دارد. این اختلاف در برخی روزهای برداشت تا ۲ درجه سانتی‌گراد نیز ثبت شده است. در حالی که حداکثر اختلاف دما در دو تشتک پوشانده شده با توپ تک روزنه و چند روزنه به ترتیب ۱و ۰/۵ درجه سانتی‌گراد است.

۵- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به منظور جلوگیری از تبخیر آب کارایی ترکیب مونولایر هگزادکانول و سه نمونه توپ از نظر تعداد روزنه با اعمال تغییراتی جهت افزایش کارایی و ماندگاری بررسی شد.

Table 7- The results of the comparison test of the average effect of temperature on evaporation

جدول ۷- نتایج آزمون مقایسه میانگین تأثیر دما در تبخیر

Classification				Covers	Test
			25.3[a]	A pan coated with a combination of hexadecanol monolayer and non-porous balls	Duncan
		26.7[b]		The pan is covered with a combination of monolayer hexadecanol and two-hole balls	
	27.1[c]			The pan is covered with a combination of hexadecanol monolayer and six-hole balls	
27.9[d]				witness pan(control pan)	

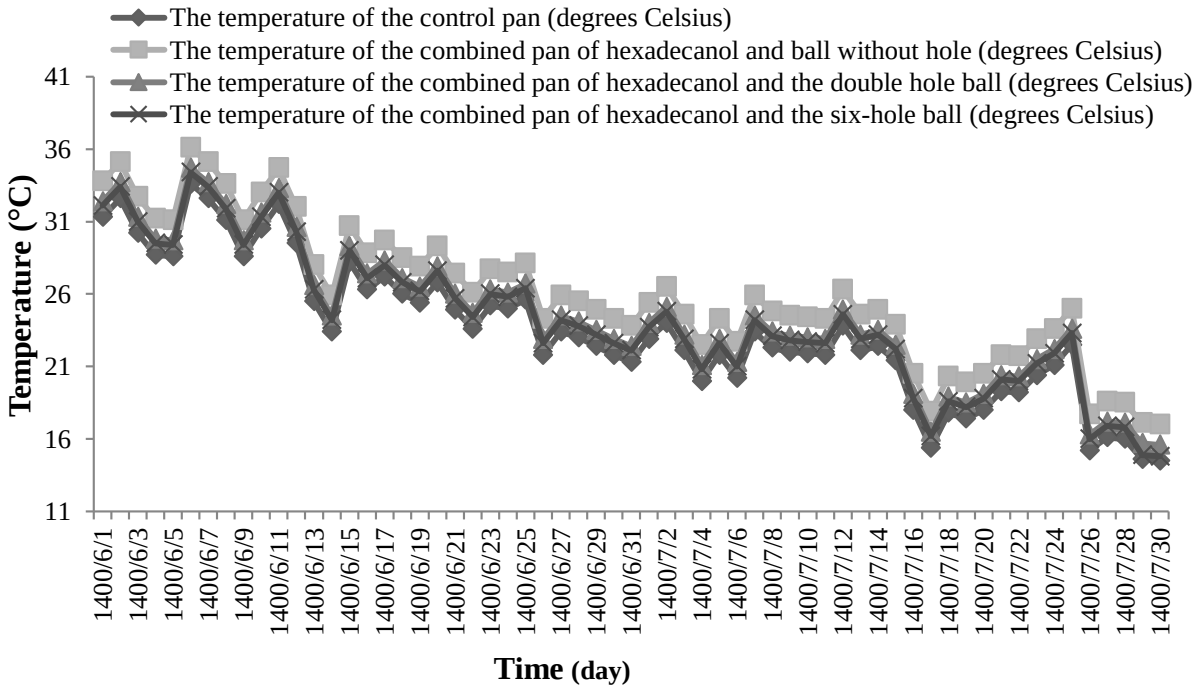

Chart 6- A average temperature changes in four research pans with a combination of hexadecane monolayer and different types of balls

نمودار ۶- نمودار متوسط تغییرات دمایی در چهار تشتک تحقیقاتی با ترکیب مونولایر هگزادکانول و انواع توپ‌ها

۱- الکل‌ها هر ۳ روز یکبار تمدید می‌شدند؛ زیرا بعد از ۳ روز میزان تبخیر رو به افزایش و عملاً با داده‌برداری روز ۴ مشخص می‌شد که مونولایر دوام کمتری برای کنترل تبخیر داراست و نوعی گسیختگی در سطح مشخص می‌شد؛

۲- همچنین، این الکل‌ها باید به موقع و در جهت وزش باد بر روی سطح آب توزیع شوند. با افزایش سرعت باد از ۷ متر بر ثانیه، عملکرد الکل‌ها کم می‌شود، از این رو استفاده از این روش در مناطقی که متوسط سرعت باد در آن‌ها بیش از این مقدار است تأثیر مثبتی نخواهد داشت؛

۳- براساس جدول ۸، بهترین نوع پوشش ترکیب مونولایر هگزادکانول با توپ‌های پلی‌اتیلنی با قطر ۷ سانتیمتر بود که بدون روزنه بودند و بعد ترکیب مونولایر هگزادکانول با توپ‌های پلی‌اتیلنی دو روزنه که تا نیمه از آب پر گردیده بودند. در حالی که در توپ‌های که دارای شش روزنه بودند، در چند برداشت اول درصد کاهش تبخیر بیشتر و به تدریج کم شده است. تغییر در کاهش تأثیر توپ‌های شش روزنه را می‌توان ناشی از امواج باد دانست، چراکه در ابتدای قرار گیری بر سطح آب، توپ‌ها با توجه به خاصیت خودپرکنندگی، 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 آب بالای سطح آب قرار داشته و کمترین فضای خالی بین

توپ ایجاد می‌گردد. بعد از چند روزنوسانات 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 کوچک تر از وجه بیشینه قرار بگیرد، به این ترتیب درصد فضای خالی مابین توپها بیشتر و تبخیر از سطح آب بیشتر می‌شود؛

۴- کارایی ترکیب مونولایر هگزادکانول با توپ دو روزنه نسبت به ترکیب مونولایر هگزادکانول با شش روزنه میزان زبری بیشتر در سطح است که منجر به کاهش تبخیر مؤثرتر می‌شود؛

۵- روند تغییرات دمایی نیز در سه نوع ترکیب مونولایر هگزادکانول با توپ تفاوت معنی‌داری دارد. در راستای توجیه نوسانات دمایی بین سه نوع مختلف توپ در مخازن تحت پوشش، چون جنس توپ‌ها از ماده پلی اتیلن 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 تشتک پوشیده با توپ‌های بدون روزنه نسبت به دو تشتک دیگر منجر به افزایش دما در این تشتک شده است. به طوری که زبری بیشتر در تشتک پوشیده با توپ‌های بدون روزنه نسبت به دو مخزن دیگر منجر به افزایش دما در این تشتک شده است؛

۶- همان‌گونه که قبلا نیز بیان گردید توپ‌های شش 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 گرفته‌اند. در این حالت، غوطه‌وری بیشتر این نوع توپ‌ها منجر می‌شود تا زبری در این مخزن نسبت به مخزن پوشیده شده با توپ‌های دو روزنه کمتر و درصد فضای خالی نسبت به دو نمونه دیگر افزایش یابد. 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 (Davood et al., 2016). طبق گزارش انجام شده، تراشه‌های پلی‌اتیلنی در بهترین حالت قادر به کاهش میزان تبخیر ۵۷ درصد می‌باشد. همچنین تأثیر پوشش‌های فیزیکی کاهنده تبخیر با استفاده از پلی استایرن و با درصد پوشش‌های مختلف که در ایران انجام شده است. Piri (2010) بهترین کارایی این روش‌ها را بین ۳۰ تا 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 (Afkhami& et al., 2017). تأثیر توپ‌های شناور بر کاهش میزان تبخیر از مخازن آبی روباز معدن مس سرچشمه مطالعه کرد، نتایج به دست آمده نشان داد توپ‌های تک روزنه با کارایی ۶۵/۱ درصد بیشترین سهم را در کاهش تبخیر داشتند در حالی که توپ‌های چند روزنه و توپ‌های ریز با کارایی ۳۸/۱ و ۵۱/۷ درصد در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. در نهایت توپ‌های تک روزنه به دلیل زبری مناسب در سطح و ثابت ماندن درصد فضای خالی در طول زمان؛ به عنوان بهترین نوع پوشش کاهنده تبخیر در پژوهش شناسایی گردیدند. وصالی ناصح در سال ۱۳۹۸ در پژوهشی به مقایسه روش‌های فیزیکی و شیمیایی کاهش تبخیر در مقیاس آزمایشگاهی پرداخت. در این مطالعه استفاده از توپ‌های پلاستیکی (توپ سایه) به عنوان روش فیزیکی و استفاده از الکل‌های سنگین (اکتادکانول و هگزادکانول) به عنوان روش شیمیایی درنظر گرفته شد. نتایج نشان داد که هر دو روش فیزیکی (توپ سایه) و شیمیایی (الکل‌های سنگین) اثر قابل توجهی در کاهش تبخیر دارند و بررسی ترکیبی هر دو روش نیز حاکی از این بود که تلفیق دو روش، بالاترین راندمان را دارد.

Table 8- Comparison of the performance of hexadecane monolayer composition and different balls in the same environmental conditions

جدول ۸- مقایسه کارایی ترکیب مونولایر هگزادکانول و توپ‌های مختلف در شرایط محیطی یکسان

Method	Evaporation reduction (percentage)
A pan coated with a combination of hexadecanol monolayer and non-porous balls	86.7
The pan is covered with a combination of monolayer hexadecanol and two-hole balls	59.6
The pan is covered with a combination of hexadecanol monolayer and six-hole balls	56.7

۶- مراجع

Afkhami H, Malekinejad H, Gharibi KH, Azizian A (2017) Investigation of water wastage with emphasis on methods to reduce evaporation from the tailings dam and open water resources of Sarcheshmeh Copper Complex. Journal of Separation Science and Engineering 9:61-77 (In Persian)

Amirhosseini Y A, Zarei T, Zati T (2015) Investigating the effect of different amounts of evaporation reducing agent quantitatively and qualitatively on water resources, studying water pools. Iran Water and Wastewater Science and Engineering Congress, Faculty of Technology and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin (In Persian)

Abass Dawood K, Lafta Rashir F, and Hashim A (2013) Reduction evaporation losses from water reservoirs. International Journal of Energy and Environmental Research 1(1):23-29

Herweijer C, Seager R (2008) The global footprint of persistent extra-tropical drought in the instrumental era. International Journal of Climatology 28(13):1761-1774

Panjabi K, Rudra R, and Goel P (2016) Evaporation retardation by monomolecular layers: An experimental study at the Aji Reservoir (India). Open Journal of Civil Engineering 6:346-357

Piri M, Hussam A, Dehghani A, and Muftah M (2010) Laboratory study of the effect of using physical and chemical methods on reducing evaporation from water reservoirs. Journal of Water and Soil Conservation Research 17(4):141-154 (In Persian)

Qarawi A, Ahmad S. (2007) Evaporation and its control methods. Scientific Journal of Students of the Faculty of Civil Engineering 2(5):59-53 (In Persian)

Qazvinian H, Farzin S, Karmi H, and Mousavi S F (2020) Investigating the effect of using polystyrene layers on reducing the evaporation of water storage tanks in arid and semi-arid areas. Journal of water and sustainable development. Year 7, Number 2, Pages: 45-52 (In Persian)

Segal L, and Burstein L (2010) Retardation of water evaporation by a protective float. Water Resour Manage 24(3):129-137

Sharayei M, Haghyeghi AS (2020) An overview of methods to reduce evaporation from the free surface of water and introduction of suitable method. Jornal of Water and Suatainable Development 7(2):53-62

Salehi S M H, Niksokhan M, Ardestani M (2017) Estimation of black porous polyethylene shade covers effect on evaporation rate in dam reservoirs. Journal of Iran Water and Soil Research (Agricultural Sciences of Iran) 49(5):1017-1029 December and January 2017 (In Persian)

Saggai S Bachi O E K (2018) Evaporation reduction from water reservoirs in arid lands using monolayers: Algerian Experience1. Water Resources, ISSN 0097-8078, , 45(2):280–288 Pleiades Publishing, Ltd.