



## Investigating the effect of different shape of polypropylene sheets on the rate of evaporation from the free surface of water

Amin Bagherzadeh Ansari<sup>1</sup> , Javad Zahiri<sup>2✉</sup> , Adell Moradi Sabzkouhi<sup>3</sup> , Mitra Cheraghi<sup>4</sup> 

<sup>1</sup> MSc. graduated of Water Structures, Department of Nature Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran. E-mail: aminbansari6671@gmail.com

<sup>2</sup> Corresponding Author, Associate Professor, Department of Nature Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran. E-mail: j.zahiri@asnrukh.ac.ir

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran. Email: adellmoradi@asnrukh.ac.ir

<sup>4</sup> Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran. Email: cheraghi.mitra@asnrukh.ac.ir

### ABSTRACT

In order to reduce the amount of evaporation from water reservoirs, various methods have been proposed, which can be divided into two physical and chemical categories. In the physical methods, by using physical coverings, such as floating balls, metal and polymer plates, or tree leaves, and by covering the water surface, evaporation waste is greatly reduced. These covers reduce a large amount of solar energy reaching the water surface and reduce vapor transmission by slowing the air flow (Zhang et al, 2017). The present study was conducted with the aim of investigating the effect of the coverage and shape of polypropylene sheets on reducing the evaporation rate and the effect of meteorological variables on the efficiency of these sheets efficiency. This research was carried out in two parts, in the first part, the efficiency of square and triangular polypropylene plates was investigated in comparison with floating balls, and in the second part, the efficiency of 100, 70, 50, and 30% coverage of polypropylene plates was evaluated. The results obtained from the tests showed that in the conditions of using floating balls, the reduction of evaporation was more intense and this coating was able to reduce evaporation to a greater extent compared to square and triangular floating plates. Also, using the square and triangular polypropylene plates and floating balls reduced evaporation by 30.71%, 14.86% and 48.7%, respectively, compared to the control pan. The results of two-way ANOVA on different meteorological variables showed that the percentage of relative humidity, which was the most important factor in evaporation from the pan, lost its significance due to the presence of floating balls and polypropylene sheets on the water surface. The comparison of rectangular covers with different densities showed that by increasing the density from 30, 50 and 70% to 100% respectively, evaporation decreases by 2.3, 1.5 and 0.8 times.

**Keywords:** Evaporation, physical methods, polypropylene plates, ANOVA.

**Article Type:** Research Article

**Article history:** Received: 16 January 2024 Revised: 10 March 2024 Accepted: 24 March 2024 ePublished: 26 March 2024

### 1. Introduction

Water is considered as the main factor for the growth of agriculture and industry in arid and semi-arid regions. Improper and excessive consumption of water resources and its waste in various ways have led to the reduction of water resources. One of the most important challenges of the current century is the lack of water. This issue has affected many countries of the world and created many problems for governments and people. This problem has made the need for an optimal solution for monitoring and managing water resources to be more attention. Water is a limiting resource due to rapid population growth and climate change, especially in arid and semi-arid regions. The annual evaporation rate in the Karun River basin has been measured as 1521 mm, which directly evaporates several billion cubic meters of water annually from the entire surface of the reservoirs of this river. Accordingly, in this research, an attempt has been made to investigate the rate of evaporation from the free surface of water using different shape of polypropylene plates. Floating balls were used to evaluate the performance of polypropylene sheets. In addition to the effect of the shape of the polypropylene plates, the density of the plates has also been evaluated on the rate of evaporation from the water surface.

### 2. Methodology

The present study was conducted to investigate the effect of the amount of coverage and shape of polypropylene sheets on the reduction of evaporation and the effect of meteorological variables on the efficiency of these sheets. Experiments related to this research were carried out at Ahvaz Airport meteorological station located in Ahvaz city. Ahvaz is the capital of Khuzestan province with a hot and dry climate, which is located in the southwest of Iran along the Karun River, the largest river in Iran, at 31° 20' N and 48° 40' E latitude and 16 meters above sea level. The annual average rainfall is 202.5 mm and the average minimum temperature is 19.2 and maximum temperature is 33.4 °C. Along with polypropylene sheets, floating balls, which are among the common methods to reduce evaporation from the water surface, were used as a measure to evaluate the efficiency of polypropylene sheets. The diameter of the balls was 10 cm, made of PVC and 200 balls were used in one pan. In this research, polypropylene sheets with square and triangle geometric shapes, 10 cm in size and 100%, 70%, 50% and 30% coverage were used. Two-way analysis of variance was used to investigate the effect of different meteorological variables on the performance of

---

polypropylene sheets in this study. In this study, this analysis was used to investigate the effects of independent variables on the dependent variable. The independent variables in this research include different meteorological variables such as temperature, relative humidity percentage, average vapor pressure, wind speed and solar radiation, and the dependent variable of evaporation was considered in different treatments. To perform two-way analysis of variance, the dependent variables should have an approximately normal distribution.

### 3. Results and discussion

The results of two-way analysis of variance (ANOVA) to investigate the effects of different meteorological variables on the rate of evaporation from the free surface of water showed that the effect of temperature and relative humidity variables on the rate of evaporation is significant. The Partial Eta Squared coefficient of relative humidity had the highest value, which showed that different levels of relative humidity have the largest changes on the amount of evaporation from the free surface of the pan. The results of two-way ANOVA to investigate the effects of different meteorological variables on the rate of evaporation from the free surface of water in the pan containing floating balls showed that none of the meteorological variables was significant on the rate of evaporation from the pan containing floating balls. In other words, the presence of floating balls reduced the impact of changes in meteorological variables on the rate of evaporation. Meanwhile, the results of two-way ANOVA related to square composite plates showed that in the presence of polypropylene plates, the temperature variable had a significant effect on the rate of evaporation. Comparing the results of the two methods of floating balls and polypropylene plates with the control pan showed that the percentage of relative humidity, which is the most important factor in evaporation from the control pan, has lost its significance due to the presence of elements on the water surface. The investigation of different methods of reducing evaporation showed that the use of square floating plates, triangular floating plates and floating balls reduced the evaporation from water surface about 30.71%, 14.86% and 48.7% comparing to control pan, respectively. According to the measurements, the control pan, triangular floating plates, square floating plates and floating balls have the highest evaporation rate. The results of one-way analysis of variance to investigate the effect of different densities of polypropylene sheets on the rate of evaporation from the free surface of water showed that there was a significant difference between all the coverages used.

### 4. Conclusions

The results of two-way variance analysis to investigate the effects of different meteorological variables on the rate of evaporation from the free surface of water showed that the variables of temperature and relative humidity were significant on the rate of evaporation in the control pan. This is despite the fact that none of the meteorological variables were significant on the rate of evaporation from the pan containing floating balls. In other words, the presence of floating balls reduced the effect of changes in meteorological variables on the rate of evaporation. In addition, in the presence of polypropylene sheets, only the temperature variable had a significant effect on the rate of evaporation. Comparing the results of the two methods of floating balls and polypropylene plates with the control pan showed that the percentage of relative humidity, which is the most important factor in evaporation from the control pan, has lost its significance due to the presence of elements on the water surface. Examining the different treatments investigated showed that the use of square and triangular floating plates compared to the control pan caused a reduction of 30.71% and 14.86% of evaporation from the pan, respectively. The reason for the difference between the two cover was related to more free space between the triangular elements compared to the square elements, although we tried to make the covers 100%. The comparison of rectangular covers with different densities showed that by increasing the coverage level from 30%, 50% and 70% to 100%, evaporation decreases by 2.3, 1.5 and 0.8 times, respectively.

### 5. References

Zhang, H., Gorelick, S. M., Zimba, P. V., & Zhang, X. (2017). A remote sensing method for estimating regional reservoir area and evaporative loss. *Journal of Hydrology*, 555, 213-227. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.10.007>

### 6. Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

---

**Cite this article:** Bagherzadeh Ansari, A., Zahiri, J., Moradi Sabzkouhi, A., & Cheraghi, M. (2024). Investigating the effect of different shape of polypropylene sheets on the rate of evaporation from the free surface of water, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 4(1), 65-81. DOI: <https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10419.1118>





## بررسی تأثیر شکل صفحات پلی پروپیلن بر میزان تبخیر از سطح آزاد آب

امین باقرزاده انصاری<sup>۱</sup>، جواد ظهیری<sup>۲</sup>، عادل مرادی سبزوکی<sup>۳</sup>، میترا چراغی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، خوزستان، ایران. رایانامه: aminbansari6671@gmail.com

<sup>۲</sup> نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، خوزستان، ایران. رایانامه: j.zahiri@asnrkh.ac.ir

<sup>۳</sup> استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، خوزستان، ایران. رایانامه: adellmoradi@asnrkh.ac.ir

<sup>۴</sup> استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، خوزستان، ایران. رایانامه: mitra@asnrkh.ac.ir

### چکیده

در حال حاضر جهت کاهش میزان تبخیر از مخازن آب روش‌های مختلفی ارائه گردیده است که می‌توان آن‌ها را به دو دسته فیزیکی و شیمیایی تقسیم‌بندی کرد. در روش فیزیکی با به‌کارگیری پوشش‌های فیزیکی از جمله توپ‌های شناور و صفحات فلزی و پلیمری و یا برگ‌های درختان و با پوشاندن سطح آب، هدرروی تبخیر به میزان زیادی کاهش می‌یابد. این پوشش‌ها مقدار زیادی از انرژی خورشیدی که به سطح آب می‌رسد را کاهش داده و با کند کردن جریان هوا، انتقال بخار را کاهش می‌دهند. پژوهش حاضر باهدف بررسی تأثیر میزان پوشش و شکل صفحات پلی پروپیلن بر کاهش میزان تبخیر و تأثیر متغیرهای هواشناسی بر کارایی این صفحات صورت پذیرفت. این تحقیق در دو بخش صورت پذیرفت که در بخش اول کارایی صفحات مربع و مثلث پلی پروپیلن در مقایسه با توپ‌های شناور مورد بررسی قرار گرفت و در بخش دوم راندمان پوشش‌های ۱۰۰، ۷۰، ۵۰ و ۳۰ درصدی صفحات پلی پروپیلن ارزیابی شد. نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌ها نشان داد که در شرایط استفاده از توپ‌های شناور میزان کاهش تبخیر از شدت بیشتری برخوردار بوده و این پوشش توانست تبخیر را در مقایسه با صفحات شناور به شکل مربع و مثلث به میزان بیش‌تری کاهش دهد. بررسی اختلاف بین تیمارهای مختلف مورد بررسی نشان داد که کاربرد صفحات مربع و مثلث پلی پروپیلن و توپ‌های شناور به ترتیب باعث کاهش ۳۰/۷۱ درصدی، ۱۴/۸۶ درصدی و ۴۸/۷ درصدی تبخیر نسبت به تست شاهد گردید. نتایج تحلیل واریانس دوطرفه بر روی متغیرهای مختلف هواشناسی نشان داد که درصد رطوبت نسبی که مهم‌ترین عامل در تبخیر از تست شاهد بوده است، با حضور توپ‌های شناور و صفحات پلی پروپیلن در سطح آب، معناداری خود را از دست‌داده است. مقایسه پوشش‌های مستطیلی شکل با تراکم‌های مختلف نشان داد که با افزایش درصد پوشش به ترتیب از ۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد به ۱۰۰ درصد باعث کاهش تبخیر به میزان ۲/۳، ۱/۵ و ۰/۸ برابر می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** تبخیر، روش‌های فیزیکی، صفحات پلی پروپیلن، تحلیل واریانس.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۲۶ دی ۱۴۰۲ اصلاح: ۲۰ اسفند ۱۴۰۲ پذیرش: ۰۵ فروردین ۱۴۰۳ چاپ الکترونیکی: ۰۷ فروردین ۱۴۰۳

**استناد:** باقرزاده انصاری، ا.، ظهیری، ج.، مرادی سبزوکی، ع.، و چراغی، م. (۱۴۰۳). بررسی تأثیر شکل صفحات پلی پروپیلن بر میزان تبخیر از سطح آزاد آب، فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب، ۴(۱)، ۸۱-۶۵. شناسه دیجیتال: <https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10419.1118>



## مقدمه

آب به عنوان اصلی ترین عامل رشد کشاورزی و صنعت در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می شود. مصرف نادرست و بیش از حد منابع آب و هدر رفت آن از راه های مختلف منجر به کاهش منابع آبی گردیده است (قزوینیان و همکاران، ۱۳۹۹). یکی از مهم ترین چالش های قرن حاضر کمبود آب به حساب می آید. این مسئله بسیاری از کشورهای جهان را در بر گرفته و معضلات بسیاری را برای دولت ها و مردم ایجاد نموده است. همین مسئله باعث شده است تا نیاز به یک راه حل بهینه جهت پایش و مدیریت منابع آبی بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد (ژانگ و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۷). آب به دلیل رشد سریع جمعیت و تغییرات آب و هوایی، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، یک منبع محدودکننده است (چودھاری و ال-زهرانی<sup>۲</sup>، ۲۰۱۵؛ حمادی<sup>۳</sup>، ۲۰۲۰ و موری و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۲۱) و پیش بینی می شود گرمایش جهانی با تأثیرات نامطلوب آن بر دسترسی به آب تأثیر یابد (حقیقی و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۸؛ عبدالله<sup>۶</sup>، ۲۰۲۰ و چودھاری و همکاران، ۲۰۱۶). جهان برای استفاده بهینه از منابع آب به دلیل افزایش نگرانی های زیست محیطی، تحت فشار است. به عنوان مثال، در استرالیا، میزان تبخیر ۲ متر در سال و میانگین بارندگی ۵۰۰ میلی متر در سال است (کریگ<sup>۷</sup>، ۲۰۰۵). در چنین گرمایی، حدود ۹۵ درصد از بارندگی قبل از اینکه به زمین برسد تبخیر می شود. مطالعات نشان داده است که بیش از نیمی از آب انباشته شده در پشت سدها و مخازن کوچک به دلیل تبخیر از بین می رود (کریگ، ۲۰۰۵). در مناطق گرم و خشک، از دست دادن آب مخازن به اندازه ای چشمگیر است که حتی می تواند اثرات مثبت ذخیره آب در پشت سدها را کم اثر یا بی اثر کند (یانگ و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۱۷ و ژائو و گائو<sup>۹</sup>، ۲۰۱۹).

## مبانی نظری و پیشینه پژوهش

کشور ایران در منطقه خشکی از جهان با نزولات جوی اندک واقع شده است. میانگین بارندگی سالانه ایران حدود ۲۲۲ میلی متر بوده در حالی که میزان متوسط بارندگی سالانه در سطح خشکی های کره زمین تقریباً ۸۶۰ میلی متر تخمین زده شده و در نتیجه بارندگی در ایران از یک سوم میزان بارندگی متوسط در سطح دنیا کمتر است (علیزاده، ۱۳۹۴). منابع آب تجدید پذیر ایران حدود ۱۰۵ میلیارد مترمکعب است که ۰/۳ درصد از کل آب های شیرین جهان را شامل می شود، در حالی که وسعت سرزمین ایران حدود ۱/۱ درصد از وسعت جهان بوده و سرانه آب تجدید پذیر کشور ۱۳۰۰ مترمکعب است (سپاسخواه، ۱۳۹۷). میزان تبخیر در نواحی مختلف ایران متفاوت اما تا ۵۰۰۰ میلی متر در سال برآورد شده است. به عنوان مثال میانگین تبخیر در شهرهای اهواز، اصفهان، بندرعباس، تهران و زابل به ترتیب برابر با ۳۴۰۰، ۲۶۰۰، ۳۵۰۰ و ۲۴۰۰ میلی متر در سال گزارش شده است (نجاتیان، ۱۳۹۹). این ارقام نشان می دهد که اگر با روش هایی میزان تبخیر مخازن سدها کاهش یابد، می توان از این منابع بهره برداری مناسب تری نمود. به طور مثال وسعت مخزن سد کارون ۳ در حوضه آبریز کارون بزرگ ۶۹۰۰ هکتار بوده و میانگین تبخیر سالانه این حوضه ۱۸۲۴ میلی متر است. بدین ترتیب سالانه حدود ۱۲۶ میلیون مترمکعب آب از مخزن این سد تبخیر می شود که نسبت به حجم مخزن ۳ میلیارد مترمکعبی آن حدود ۴/۲ درصد خواهد بود (سپاسخواه، ۱۳۹۷). به دلیل قرار گرفتن ایران در کمربند خشک و نیمه خشک جهان، کشور ما به صورت طبیعی همواره با کمبود آب مواجه است و در زمره کشورهایی با محدودیت منابع آبی قلمداد می شود. عدم توجه به نرخ بالای تبخیر در کشور سبب شده که هر ساله میلیارد ها مترمکعب آب از مخازن بیش از ۶۰۰ سد موجود در کشور تبخیر شود. میزان متوسط تبخیر سالانه در ایران ۲۱۰۰ میلی متر بوده که سه برابر میزان متوسط جهانی است (مظفری و همکاران<sup>۱۰</sup>، ۲۰۱۹). متوسط تبخیر از مخازن سدها به صورت میانگین حدود ۱۰ درصد حجم مفید آن ها برآورد شده است که با در نظر گرفتن حدود ۳۵ میلیارد مترمکعب به عنوان حجم مفید کل مخازن سدهای در حال بهره برداری کشور، سالانه ۳/۵

<sup>1</sup> Zhang et al

<sup>2</sup> Chowdhury and Al-Zahrani

<sup>3</sup> Hammadi

<sup>4</sup> Morsy et al

<sup>5</sup> Haghghi et al

<sup>6</sup> Abdallah

<sup>7</sup> Craig

<sup>8</sup> Yang et al

<sup>9</sup> Zhao, G. and Gao

<sup>10</sup> Mozafari et al

میلیارد مترمکعب تلفات ناشی از تبخیر خواهد بود (سپاسخواه، ۱۳۹۷). از این رو، کنترل شدت تبخیر از سطوح مخازن یکی از روش‌هایی است که می‌تواند کمک شایانی در حفظ و تأمین منابع آب مناطق گرمسیری با پتانسیل تبخیر بالا بنماید (مددی و همکاران، ۱۳۹۹).

مخازن آبیاری نقش حیاتی در تأمین آب کشاورزی و مدیریت آبیاری به‌ویژه در مناطق خشک دارند (رضازاده و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۲۰، و ژائو ژائو و گائو<sup>۲</sup>، ۲۰۱۹). در سراسر جهان، نزدیک به ۱۶/۷ میلیون مخزن با مساحت متوسط ۱۰۰ مترمربع وجود دارد (لهنر و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۱). با این حال، به‌ویژه در مناطق خشک مقادیر قابل توجهی از آب مخازن از طریق تبخیر از دست می‌رود (السیبای و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۷، و علم و الشایخ<sup>۵</sup>، ۲۰۱۳) که معادل ۲۵ درصد از مصرف جهانی آب شیرین (کشاورزی، صنایع و خانوارها) است (هوقبوم و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۱۸). چنین تخمین زده شده است که در مناطق خشک ممکن است تا نیمی از ظرفیت مخازن در اثر تبخیر از بین برود (کریگ، ۲۰۰۵، آسولین و نارکیس<sup>۷</sup>، ۲۰۲۱، آسولین و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۱۱، روست و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۰۸، و فریدریچ و همکاران<sup>۱۰</sup>، ۲۰۱۸). بر اساس مطالعات مطالعات سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، ایران در بین ۱۱۲ کشور از نظر بحران آب در رده ۱۱ قرار دارد که نشان‌دهنده وضعیت نامناسب ایران از لحاظ منابع آبی است. بر این اساس ایران باید در سال ۲۰۲۸ جهت حفظ شرایط موجود ۱۱۲ درصد به منابع آب قابل استحصال خود بیفزاید که این افزایش می‌تواند از راه‌های مختلفی از قبیل افزایش راندمان آبیاری و کاهش تبخیر صورت پذیرد. به جز نواحی محدودی از ایران در حاشیه دریای خزر، در سایر مناطق مقدار بارندگی به‌مراتب کمتر از تبخیر است. به‌عنوان مثال توان تبخیری نیوار در یزد و مناطق کویری ایران در حدود ۹۳۱۱ میلی‌متر است (هاشمی گرمدره و اسلامیان، ۱۳۸۴).

در حال حاضر جهت کاهش میزان تبخیر روش‌های مختلفی ارائه گردیده است که می‌توان آن‌ها را به دو دسته فیزیکی و شیمیایی و یا ترکیبی از هر دو روش تقسیم‌بندی کرد. در روش فیزیکی با به‌کارگیری پوشش‌های فیزیکی از جمله توپ‌های شناور و صفحات فلزی و پلیمری و یا برگ‌های درختان و اندازه‌گیری میزان تبخیر در یک دوره مشخص، اثرگذاری آن روش‌ها بررسی می‌شود. با پوشاندن سطح آب با پوشش‌های شناور، هدرروی تبخیری به میزان زیادی کاهش خواهد یافت. این پوشش‌ها مقدار زیادی از انرژی خورشیدی که به سطح آب می‌رسد را کاهش داده و با کند کردن جریان هوا، انتقال بخار را کاهش می‌دهند. در روش شیمیایی نیز با استفاده از محلول‌های مختلف از جمله مونولایرها و ایجاد یک‌لایه حائل بر روی سطح آب میزان تبخیر کاهش می‌یابد. در این پژوهش سعی شده است تا کارایی روش‌های مختلف فیزیکی از قبیل صفحات پلی‌پروپیلن و روش توپ‌های شناور در کاهش تبخیر مورد ارزیابی قرار گیرد و تأثیر متغیرهای مختلف هواشناسی بر روی میزان راندمان آن‌ها تعیین گردد. پوشش‌های فیزیکی یک رویکرد مؤثر و بادوام برای کاهش تبخیر هستند (هان و همکاران<sup>۱۱</sup>، ۲۰۱۹، و یوسف و خودزینسکایا<sup>۱۲</sup>، ۲۰۱۹). این پوشش‌ها، مواد سایه‌انداز شناور یا معلق هستند که به‌طور کامل یا جزئی سطح آب را می‌پوشانند، تابش خورشیدی ورودی را منعکس می‌کنند و به‌عنوان موانع فیزیکی در برابر بخار آب عمل می‌کنند (یائو و همکاران<sup>۱۳</sup>، ۲۰۱۰). پوشش‌های شناور می‌توانند پوشش‌های پیوسته (ورق‌های شناور) یا پوشش‌های اشیاء شناور (یائو و همکاران، ۲۰۱۰) باشند. پوشش‌های شناور کاهنده تبخیر آب توسط مواد چوبی و فولادی ارائه می‌شوند که می‌تواند تبخیر را ۷۵ تا ۹۰ درصد کاهش دهد (گالگو- الویرا و همکاران<sup>۱۴</sup>، ۲۰۱۱)، بدون اینکه بر کیفیت آب تأثیر بگذارد (ماستری- والرو و همکاران<sup>۱۵</sup>، ۲۰۱۱). در مقابل، پوشش‌های

<sup>1</sup> Rezazadeh et al

<sup>2</sup> Zhao and Gao

<sup>3</sup> Lehner et al

<sup>4</sup> Elsebaie et al

<sup>5</sup> Alam and Alshaikh

<sup>6</sup> Hogeboom et al

<sup>7</sup> Assouline and Narkis

<sup>8</sup> Assouline et al

<sup>9</sup> Rost et al

<sup>10</sup> Friedrich et al

<sup>11</sup> Han et al

<sup>12</sup> Youssef and Khodzinskaya

<sup>13</sup> Yao et al

<sup>14</sup> Gallego-Elvira et al

<sup>15</sup> Maestre-Valero et al

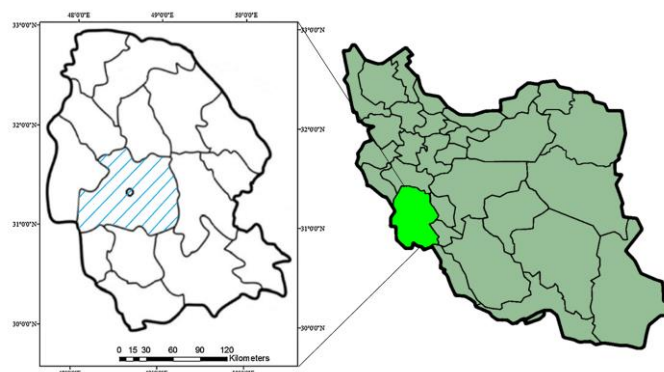
شناور، به‌عنوان مثال، پوشش‌های شناور پیوسته یا پوشش‌های شناور مجزا مستقیماً روی سطح آب شناور می‌شوند (کریگ، ۲۰۰۵، و یائو و همکاران، ۲۰۱۰). پوشش‌های شناور را می‌توان به‌طور خودکار پس از تغییر سطح آب مجدداً مرتب و نصب کرد (هان و همکاران، ۲۰۲۰).

برخلاف پوشش‌های شناور پیوسته و پوشش‌های معلق، پوشش‌های شناور مجزا به دلیل شکاف‌های باز بین قطعات شناور جدا از هم اجازه نفوذ نور و تبادل گاز بین هوا و آب را می‌دهند (روسکوویتز و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۴، و رضازاده و همکاران، ۲۰۲۰).

میزان تبخیر سالانه در حوضه رودخانه کارون ۱۵۲۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است که به‌طور مستقیم سالانه چندین میلیارد مترمکعب آب از کل سطح مخازن این رودخانه تبخیر می‌شود (فرزین و علیزاده، ۱۳۹۴). بر همین اساس در این تحقیق سعی شده است تا با استفاده از صفحات پلی‌پروپیلن، میزان تبخیر از سطح آزاد آب مورد بررسی قرار گیرد. جهت ارزیابی کارایی صفحات پلی‌پروپیلن از توپ‌های شناور استفاده شده است. علاوه بر تأثیر شکل صفحات پلی‌پروپیلن، میزان تراکم صفحات نیز بر روی میزان تبخیر از سطح آب مورد ارزیابی قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر جهت بررسی تأثیر میزان پوشش و شکل صفحات پلی‌پروپیلن بر کاهش میزان تبخیر و تأثیر متغیرهای هواشناسی بر کارایی این صفحات صورت پذیرفت. آزمایش‌های مرتبط با این پژوهش در ایستگاه هواشناسی فرودگاه اهواز واقع در شهر اهواز انجام شد. اهواز مرکز استان خوزستان با اقلیمی گرم و خشک که در جنوب غربی ایران و در امتداد رودخانه کارون به‌عنوان بزرگ‌ترین رودخانه ایران و در طول ۲۰' ۳۱° شمالی و ۴۰' ۴۸° عرض شرقی و ارتفاع ۱۶ متر از سطح آب‌های آزاد قرار دارد. میانگین سالانه بارندگی ۲۰۲/۵ میلی‌متر، میانگین تبخیر سالانه ۳۴۰۰ میلی‌متر و میانگین کمینه دما ۱۹/۲ و بیشینه دما ۳۳/۴ درجه سانتی‌گراد است. موقعیت محل انجام آزمایش‌ها در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل ۱. موقعیت قرارگیری شهرستان اهواز به‌عنوان محل انجام آزمایش‌ها

با توجه به استقرار ایستگاه هواشناسی در فرودگاه اهواز و اندازه‌گیری متغیرهای مختلف هواشناسی در این ایستگاه، تست‌های تبخیر در مجاورت آن قرار گرفت تا بتوان از اطلاعات ایستگاه هواشناسی جهت بررسی تأثیر متغیرهای مختلف هواشناسی بر کارایی صفحات پلی‌پروپیلن استفاده نمود. تست تبخیر کلاس A (قطر ۱۲۰/۷ سانتیمتر و ارتفاع ۲۵/۴ سانتیمتر) موجود در ایستگاه هواشناسی به‌عنوان تست شاهد در نظر گرفته و سه تست دیگر جهت تیمارهایی با پوشش‌های مختلف استفاده شد. تست‌ها روی پالت (۱۳۰ × ۱۳۰ سانتی‌متر، با ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر) قرار گرفتند و برای ممانعت از مصرف آب توسط حیوانات، روی تست‌ها با تور پوشش داده شد. فاصله تست‌ها از هم حدود ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

در این تحقیق بررسی صفحات شناور با پوشش ۱۰۰٪ (از تاریخ ۲۷ شهریور تا ۲۸ مهر ۱۴۰۱) و بررسی درصد پوشش صفحات مربعی (از تاریخ ۹ آبان تا ۲۳ آذر ۱۴۰۱) جهت بررسی میزان کارایی صفحات استفاده گردید. در کنار صفحات پلی‌پروپیلن از توپ‌های شناور (قطر

<sup>1</sup> Ruskowitz et al

توپها ۱۰ سانتیمتر، تعداد ۲۰۰ عدد در یک تشت، جنس توپها پی‌وی‌سی) که از جمله روش‌های متداول جهت کاهش تبخیر از سطح آب بوده به‌عنوان معیاری جهت ارزیابی میزان کارایی صفحات پلی‌پروپیلن استفاده گردید. در این تحقیق از صفحات پلی‌پروپیلن با شکل هندسی مربع و مثلث به ابعاد ۱۰ سانتی‌متر و در پوشش‌های ۱۰۰٪، ۷۰٪، ۵۰٪ و ۳۰٪ استفاده گردید. قابل‌ذکر است که میزان تبخیر به‌صورت روزانه و با استفاده از اشل برداشت شد. نمایی از نحوه قرارگیری صفحات شناور بر روی سطح آب در تشت‌های آزمایش در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل ۲. پوشش‌های پلی‌پروپیلن در نسبت‌های تراکم مختلف

فرآیند تبخیر به دلیل تمایل مولکول‌های آب برای فرار به هوای مجاور به‌صورت بخار آب صورت می‌گیرد. از عوامل مؤثر در تبخیر می‌توان به دمای سطح آب، کمبود فشار بخار هوا، سرعت باد، فشار اتمسفر و کیفیت آب اشاره کرد (سپاسخواه، ۱۳۹۷). بر همین اساس می‌توان نتیجه گرفت که میزان تبخیر رابطه مستقیمی با شدت تابش خورشیدی، میزان دمای حداقل و حداکثر، درجه حرارت و فشار بخار اشباع دارد. با توجه به تأثیر متغیرهای مختلف هواشناسی بر میزان تبخیر از سطح آزاد آب، اثرات پارامترهای میانگین دمای هوا، میانگین فشار هوا، میانگین سرعت باد، میانگین رطوبت نسبی و میزان تابش روزانه بر متوسط تبخیر از سطح آزاد آب مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی تأثیر متغیرهای مختلف هواشناسی بر روی عملکرد صفحات پلی‌پروپیلن در این مطالعه، از تحلیل واریانس دوطرفه استفاده شد. در این مطالعه از این تحلیل جهت بررسی اثرات متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته استفاده شده است. متغیرهای مستقل در این تحقیق شامل متغیرهای مختلف هواشناسی از قبیل درجه حرارت، درصد رطوبت نسبی، میانگین فشار بخار، سرعت باد و تابش خورشیدی بوده و متغیر وابسته تبخیر در تیمارهای مختلف در نظر گرفته شد. برای انجام تحلیل واریانس دوطرفه، متغیرهای وابسته باید به‌طور تقریبی دارای توزیع نرمال باشند. بر این اساس از نمودار احتمال نرمال (Q-Q (Quartile-Quartile Plot) استفاده گردید. چنانچه در نمودارهای احتمال، پراکندگی داده‌ها اکثراً در اطراف خط ۴۵ درجه قرار گرفته باشند، می‌توان فرض نرمال بودن داده‌ها را صحیح در نظر گرفت. علاوه بر این جهت انجام تحلیل واریانس دوطرفه، متغیرهای وابسته می‌بایستی شامل دو یا تعدادی بیشتر از سطوح باشند. بر همین اساس کلیه متغیرهای هواشناسی به سه سطح کم، متوسط و زیاد تقسیم شدند. جهت این کار ابتدا متغیرهای مختلف هواشناسی بر اساس میانگین هر متغیر اصلاح گردید. بدین گونه که میانگین هر متغیر از تمامی داده‌های آن متغیر کاسته شد. در چنین حالتی میانگین داده‌های آن متغیر برابر با صفر خواهد شد. پس از آن با توجه به انحراف معیار (Sd) هر متغیر، داده‌های آن متغیر به سه قسمت تقسیم گردید. مقادیر کمتر از  $-1Sd$  به‌عنوان مقادیر کم (سطح ۱)، مقادیر بیشتر از  $+1Sd$  به‌عنوان مقادیر زیاد (سطح ۳) و مقادیر بین  $-1Sd$  و  $+1Sd$  به‌عنوان مقادیر

بینابین (سطح ۲) در نظر گرفته شد (کریمزاده و همکاران، ۲۰۲۳). در این مطالعه از ضریب Partial Eta Squared که یکی از معیارهای مربوط به اندازه‌گیری اثر در جدول تحلیل واریانس و شیوه استنباطی آن است، استفاده شده است. از این مقدار برای تحلیل واریانس بین آزمودنی یا تحلیل واریانس یک‌طرفه و تحلیل فاکتوریل استفاده می‌شود.

جهت محاسبه قیمت آب برای برآورد اقتصادی از مطالعه رزاقی و همکاران (۱۴۰۱) استفاده شد. در مطالعه مذکور قیمت اقتصادی آب سد کوثر جهت مصارف کشاورزی برای سال ۱۳۹۳ حدود ۵۴۱۱ ریال به ازای هر مترمکعب برآورد شد. سپس، برای به‌روزرسانی قیمت اقتصادی آب از نرخ تورم سالانه استفاده و قیمت اقتصادی آب در سال ۱۴۰۲ محاسبه شد که این قیمت معادل ۴۲۲۱۹ ریال به‌دست‌آمده آمد. در ادامه با استفاده از میانگین نرخ تورم ۱۰ سال اخیر منتهی به سال ۱۴۰۲ (معادل ۲۹/۳)، قیمت اقتصادی آب در طول ۳ سال عمر مفید صفحات پلی‌پروپیلن محاسبه شد. در ادامه، از طریق حاصل ضرب نرخ کاهش تبخیر آب ناشی از به‌کارگیری صفحات پلی‌پروپیلن و میزان تبخیر آب سد کوثر در واحد سطح، میزان جلوگیری از هدر رفت آب در سد کوثر محاسبه و سپس با ضرب این میزان در قیمت اقتصادی آب سالانه، بازده اقتصادی سالانه (F) کاربرد صفحات پلی‌پروپیلن در واحد سطح محاسبه شد. پس از تهیه و تدوین داده‌های بازده اقتصادی سالانه کاربرد صفحات پلی‌پروپیلن در طول عمر مفید این صفحات، معیارهای توجیه‌پذیری اقتصادی مانند مجموع ارزش حال خالص، نرخ بازده داخلی و دوره بازگشت سرمایه محاسبه شد. به‌منظور محاسبه مجموع ارزش حال خالص (NPV) از فرمول زیر استفاده شد:

$$NPV = \left[ \sum_{t=1}^3 \left( \frac{F_t}{(1+i)^t} \right) \right] - C_0 \quad (1)$$

هزینه خرید، نصب و نگهداری یک مترمربع از صفحات به قیمت سال ۱۴۰۲ (سال پایه) که قیمت خرید یک مترمربع از این صفحات معادل ۱۵۰۰۰۰ ریال و هزینه نصب و نگهداری سالانه آن به ترتیب ۲۰٪ و ۱٪ قیمت صفحات در نظر گرفته شد. بازده اقتصادی سالانه محاسبه‌شده ناشی از کاربرد یک مترمربع از صفحات، نرخ بهره (تنزیل) که معادل ۲۰ درصد لحاظ شد و فاصله زمانی سال پایه ۱۴۰۲ به‌عنوان سال رخداد هزینه (t=0) تا سال پایان عمر مفید صفحات است. به‌منظور محاسبه نرخ بازده داخلی کاربرد این صفحات کافی است که به‌جای نرخ بهره در رابطه ۱ نرخ بازده داخلی (IRR) را مجهول قرار داده و آن را به‌گونه‌ای محاسبه کرد که مجموع ارزش حال خالص (NPV) برابر با صفر شود.

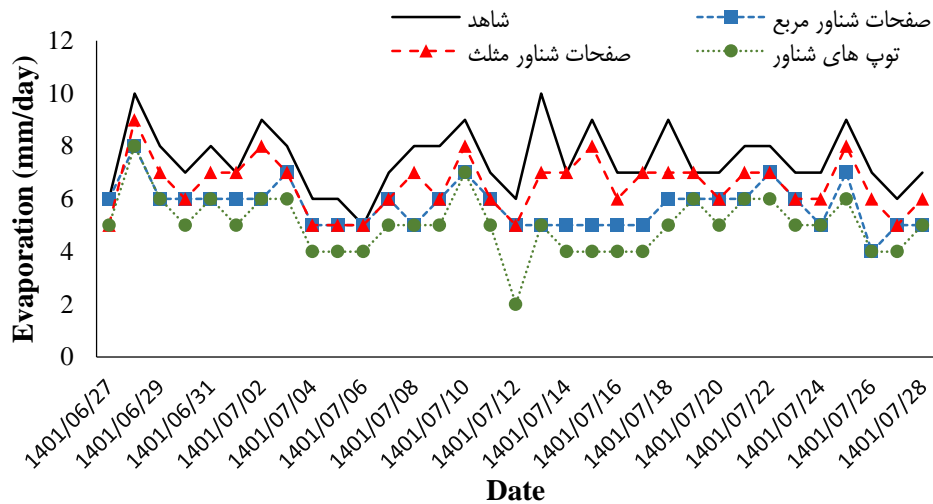
$$NPV=0 \rightarrow \left[ \sum_{t=1}^3 \left( \frac{F_t}{(1+IRR)^t} \right) \right] - C_0=0 \quad (2)$$

مدت‌زمانی که ارزش حال خالص برابر با صفر می‌شود به‌عنوان دوره بازگشت سرمایه شناخته می‌شود.

## یافته‌ها

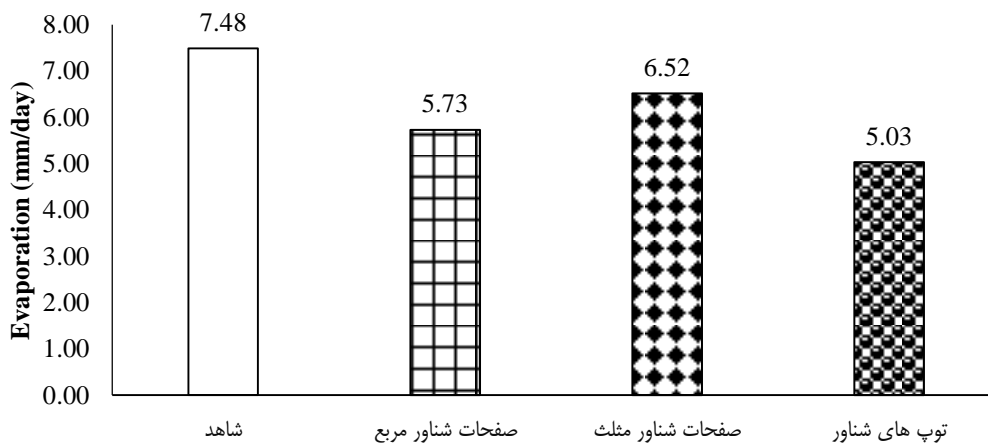
بازه تغییرات تبخیر در شرایط شاهد، پوشش صفحات شناور مربع، صفحات شناور مثلث و توپ‌های شناور در بازه انجام آزمایش‌ها به ترتیب از ۵ تا ۱۰، ۴ تا ۸، ۵ تا ۷ و ۲ تا ۸ میلی‌متر متغیر بوده است که در شکل (۳) نشان داده شده است. در شرایط کاربرد توپ‌های شناور، میزان کاهش تبخیر از مقدار بیشتری برخوردار بود و این پوشش توانست تبخیر را به میزان بیشتری کاهش دهد.





شکل ۳. روند تغییرات تبخیر در شرایط کاربرد پوشش های مختلف پلی پروپیلن و توپ های شناور

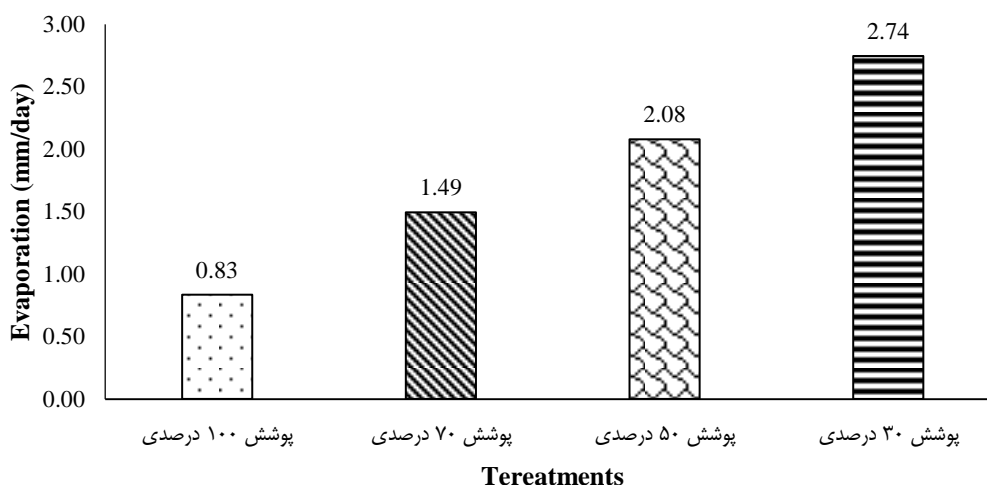
بررسی اختلاف بین تیمارهای مختلف مورد بررسی نشان داد که کاربرد صفحات شناور مربع نسبت به شاهد سبب کاهش  $30/71$  درصدی، کاربرد صفحات شناور مثلث نسبت به شاهد سبب کاهش  $14/86$  درصدی و کاربرد توپ های شناور نسبت به شاهد سبب کاهش  $48/7$  درصدی تبخیر از تشت شده است. بر اساس اندازه گیری های صورت گرفته، به ترتیب تشت شاهد، صفحات شناور مثلث، صفحات شناور مربع و توپ های شناور بیشترین میزان تبخیر را داشته اند. میانگین تبخیر از تیمارهای مختلف در شکل (۴) ارائه شده است.



شکل ۴. میانگین میزان تبخیر در شرایط کاربرد پوشش های مختلف پلی پروپیلن و توپ های شناور

در این بخش تأثیر درصدهای مختلف پوشش صفحات شناور مربع بر میزان کاهش تبخیر مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج میانگین میزان تبخیر در شرایط کاربرد درصدهای مختلف پوشش پلی پروپیلن در شکل (۵) ارائه شده است که نشان می دهد با افزایش درصد پوشش صفحات شناور، میزان تبخیر از تشت کاهش داشته است. مقایسه میانگین میزان تبخیر در دو پوشش  $100\%$  و  $50\%$  نشان می دهد که کاربرد پوشش صفحات پلی پروپیلن  $100\%$  سبب کاهش  $149/39$  درصدی میزان تبخیر نسبت به پوشش  $50\%$  خواهد شد. در واقع افزایش  $50\%$  درصدی میزان پوشش توانسته است تا  $149/39$  درصد به کاهش میزان تبخیر منجر شود. مقایسه سطح پوشش  $30\%$  و  $50\%$  نیز نشان می دهد که میزان میانگین تبخیر در پوشش  $50\%$  نسبت به پوشش  $30\%$   $32$  درصد کاهش داشته است. علاوه بر این با افزایش  $20$  درصدی سطح پوشش (از  $50$  درصد به  $70$  درصد) میزان میانگین تبخیر  $38/92$  درصد کاهش در پی دارد. بیشترین میزان میانگین تبخیر

از تشت در شرایط پوشش ۳۰ درصدی با میزان ۲/۴۷ میلی‌متر و کمترین میزان آن به کاربرد پوشش ۱۰۰ درصدی با میزان ۰/۸۳ میلی‌متر اختصاص داشت.



شکل ۵. میانگین میزان تبخیر در شرایط کاربرد درصدهای مختلف پوشش تشت با صفحات پلی‌پروپیلن

نتایج تحلیل واریانس دوطرفه جهت بررسی اثرات متغیرهای مختلف هواشناسی بر میزان تبخیر از سطح آزاد آب در تشت شاهد در جدول (۱) ارائه شده است. بر اساس جدول ارائه شده تأثیر متغیرهای درجه حرارت و رطوبت نسبی بر روی میزان تبخیر معنادار است. بر اساس مطالعات صورت گرفته بر روی داده‌های طولانی مدت ایستگاه هوا، هر پنج متغیر اشاره شده دارای تأثیر معنادار بر روی میزان تبخیر بوده‌اند (ظهیری و مرادی، ۱۴۰۲) ولی در این مطالعه با توجه به کوتاه بودن بازه انجام آزمایش‌ها، تنها دو متغیر درجه حرارت و رطوبت نسبی تأثیر معنادار بر میزان تبخیر داشته‌اند. ضریب Partial Eta Squared رطوبت نسبی بیشترین مقدار را داشته است که نشان می‌دهد سطوح مختلف رطوبت نسبی بیشترین تغییرات را بر روی میزان تبخیر از سطح آزاد تشت شاهد داشته است.

جدول ۱. نتایج آنالیز واریانس دوطرفه جهت بررسی اثرات متغیرهای مختلف هواشناسی بر میزان تبخیر از سطح آزاد آب در تشت شاهد

متغیر	درجه آزادی	F	Sig.	پارامتر مجذور اتا
درجه حرارت	۲	۷/۳۲	۰/۰۰۱	۰/۱۶
رطوبت نسبی	۲	۱۸/۱۸	۰/۰۰۰	۰/۳۲
فشار سطح	۲	۱/۱۲۶	۰/۳۳۰	۰/۰۲
سرعت باد	۲	۲/۲۷	۰/۱۱۰	۰/۰۵۷
تابش خورشیدی	۲	۲/۰۸	۰/۱۳۱	۰/۰۵

نتایج تحلیل واریانس دوطرفه جهت بررسی اثرات متغیرهای مختلف هواشناسی بر میزان تبخیر از سطح آزاد آب در تشت حاوی توپ‌های شناور و صفحات پلی‌پروپیلن مربعی به ترتیب در جداول (۲) و (۳) ارائه شده است. بر اساس جدول (۲) تأثیر هیچ‌کدام از متغیرهای هواشناسی بر روی میزان تبخیر از تشت حاوی توپ‌های شناور معنادار نیست. به عبارتی دیگر وجود توپ‌های شناور باعث کاهش تأثیر تغییرات متغیرهای هواشناسی بر روی میزان تبخیر شده است. این در حالی است که بر اساس جدول (۳) در حضور صفحات پلی‌پروپیلن، متغیر درجه حرارت تأثیر معناداری بر روی میزان تبخیر دارد. مقایسه نتایج دو روش توپ‌های شناور و صفحات پلی‌پروپیلن با تشت شاهد نشان می‌دهد که درصد رطوبت نسبی که مهم‌ترین عامل در تبخیر از تشت شاهد بوده است، با حضور المان‌ها در سطح آب، معناداری خود را از دست داده است.

جدول ۲. نتایج آنالیز واریانس دوطرفه جهت بررسی اثرات متغیرهای مختلف هواشناسی بر میزان تبخیر از سطح آزاد آب در تشت حاوی توپ‌های شناور

منبع	درجه آزادی	F	Sig.	پارامتر مجذور اتا
درجه حرارت	۲	۲/۴۴۱	۰/۱۳۰	۰/۰۸۶
رطوبت نسبی	۲	۰/۳۲۲	۰/۵۷۵	۰/۰۱۲
فشار سطح	۲	۰/۴۷۳	۰/۴۹۸	۰/۰۱۸
سرعت باد	۲	۰/۷۱۶	۰/۴۹۸	۰/۰۵۲
تابش خورشیدی	۲	۰/۹۵۷	۰/۳۳۷	۰/۰۳۵

جدول ۳. نتایج آنالیز واریانس دوطرفه جهت بررسی اثرات متغیرهای مختلف هواشناسی بر میزان تبخیر از سطح آزاد آب در تشت حاوی صفحات مربعی پلی پروپیلن

منبع	درجه آزادی	F	Sig.	پارامتر مجذور اتا
درجه حرارت	۲	۶/۳۵۹	۰/۰۱۸	۰/۱۹۷
رطوبت نسبی	۲	۰/۷۸۳	۰/۳۸۴	۰/۰۲۹
فشار سطح	۲	۰/۶۵۸	۰/۴۲۵	۰/۰۲۵
سرعت باد	۲	۰/۹۵۴	۰/۳۹۸	۰/۰۶۸
تابش خورشیدی	۲	۰/۲۴۵	۰/۶۲۵	۰/۰۰۹

بر اساس نتایج آماره‌های توصیفی ارائه شده در جدول (۴) دامنه تغییرات تبخیر از تشت در توپ‌های شناور < شاهد < صفحات شناور مربع و مثلث بوده است. میزان واریانس بالا در تیمار توپ‌های شناور نیز نشان از پراکندگی بیشتر داده‌ها نسبت به میانگین دارد.

جدول ۴. آماره‌های توصیفی داده‌های تبخیر از تشت در شرایط کاربرد پوشش‌های مختلف پلی پروپیلن

تیمار	میانگین	دامنه تغییرات	انحراف معیار	ضریب تغییرات
شاهد	۷/۵	۵/۱	۰/۰۲	۰
صفحات شناور مربع	۵/۷	۴/۳	۰/۴۱	۰/۰۷
صفحات شناور مثلث	۶/۵	۴/۲	۰/۶۲	۰/۱
توپ‌های شناور	۵	۶/۰	۰/۸۷	۰/۱۷

نتایج مربوط به آنالیز واریانس یک‌طرفه مقایسه روش‌های مختلف مورد استفاده در مطالعه حاضر در جدول ۵ ارائه شده است. بر اساس محاسبات صورت گرفته، کلیه روش‌های مورد استفاده در مقایسه با تشت شاهد دارای اختلاف معنادار می‌باشند که نشان‌دهنده مؤثر بودن روش‌های مختلف بر میزان تبخیر است. مقایسه کارایی صفحات پلی پروپیلن با توپ‌های شناور نشان می‌دهد که تنها صفحات مثلثی با توپ‌های شناور دارای اختلاف معنادار است که این اختلاف در مورد صفحات مربعی مشاهده نگردید.

جدول ۵. نتایج آنالیز واریانس یک طرفه جهت بررسی تأثیر روش های مختلف مورد استفاده بر میزان تبخیر از سطح آزاد آب

95% Confidence Interval		Sig.	اختلاف میانگین (I-J)	روش (J)	روش (I)
Upper Bound	Lower Bound				
۲/۷۸	۱/۲۲	۰/۰۰۰	۲/۰۰*	توپ های شناور	
۲/۳۰	۰/۷۳	۰/۰۰۰	۱/۵۱*	صفحات مربعی	تشت شاهد
۱/۸۴	۰/۲۸	۰/۰۰۲	۱/۰۶*	صفحات مثلثی	
-۱/۲۲	-۲/۷۸	۰/۰۰۰	-۲/۰۰*	تشت شاهد	
۰/۳۰	-۱/۲۷	۰/۵۹۶	-۰/۴۸	صفحات مربعی	توپ های شناور
-۰/۱۶	-۱/۷۲	۰/۰۱۰	-۰/۹۳*	صفحات مثلثی	
-۰/۷۳	-۲/۳۰	۰/۰۰۰	-۱/۵۱*	تشت شاهد	
۱/۲۷	-۰/۳۰	۰/۵۹۶	۰/۴۸	توپ های شناور	صفحات مربعی
۰/۳۳	-۱/۲۴	۰/۷۳۲	-۰/۴۵	صفحات مثلثی	
-۰/۲۸	-۱/۸۴	۰/۰۰۲	-۱/۰۶*	تشت شاهد	
۱/۷۲	۰/۱۶	۰/۰۱۰	۰/۹۳*	توپ های شناور	صفحات مثلثی
۱/۲۴	-۰/۳۳	۰/۷۳۲	۰/۴۵	صفحات مربعی	

در جدول (۶) آماره های توصیفی داده های تبخیر از تشت در شرایط کاربرد درصدهای مختلف پوشش های پلی پروپیلن ارائه شده است. دامنه تغییرات میزان تبخیر از تشت با کاهش سطح پوشش افزایش پیدا کرد که نشان از نوسان بیشتر تبخیر از سطح داشت. با کاهش درصد پوشش سطح تشت از ۱۰۰ به ۳۰ درصد نیز دامنه تغییرات تبخیر از تشت افزایش می یابد. کمترین واریانس در ۷۰ درصد پوشش مشاهده شد که نشان از همگنی داده ها دارد. میزان واریانس بالا در پوشش ۱۰۰ درصدی نیز نشان از پراکندگی بیشتر داده ها نسبت به میانگین دارد. با کاهش درصد پوشش از ۱۰۰ به ۳۰ درصد ضریب تغییرات نیز کاهش نشان داد.

جدول ۶. آماره های توصیفی داده های تبخیر از تشت در شرایط کاربرد درصدهای مختلف پوشش های پلی پروپیلن

پوشش	میانگین	دامنه تغییرات	انحراف معیار	ضریب تغییرات
۱۰۰ درصد پوشش	۰/۸	۰/۵	۱/۲	۱/۴۸
۷۵ درصد پوشش	۱/۳	۱/۰	۰/۸	۰/۶۴
۵۰ درصد پوشش	۱/۸	۲/۱	۱	۰/۵۸
۳۰ درصد پوشش	۲/۵	۲/۵	۱/۱	۰/۴۴

نتایج آنالیز واریانس یک طرفه جهت بررسی تأثیر تراکم های مختلف صفحات پلی پروپیلن بر میزان تبخیر از سطح آزاد آب در جدول (۷) ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، میان کلیه تراکم های مورد استفاده اختلاف معنادار وجود دارد. علاوه بر این بررسی اختلاف میان میانگین تراکم های مختلف نشان می دهد که روند کاهش تبخیر با افزایش پوشش صفحات پلی پروپیلن تا حد زیادی به صورت خطی است.

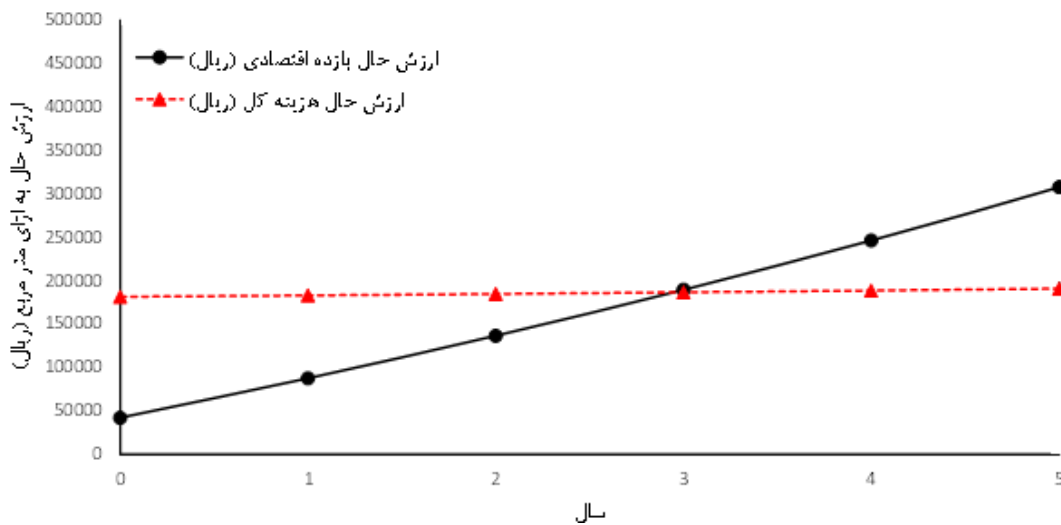
جدول ۷. نتایج آنالیز واریانس یک طرفه جهت بررسی تأثیر تراکم های مختلف مورد استفاده بر میزان تبخیر از سطح آزاد آب

95% Confidence Interval		Sig.	اختلاف میانگین (I-J)	روش (J)	روش (I)
Upper Bound	Lower Bound				
۱/۱۲	۰/۴۷	۰/۰۰۰	۰/۷۹*	پوشش ۵۰٪	
۱/۶۹	۱/۰۴	۰/۰۰۰	۱/۳۶*	پوشش ۷۰٪	پوشش ۳۰٪
۲/۴۱	۱/۷۵	۰/۰۰۰	۲/۰۷*	پوشش ۱۰۰٪	

-۰/۴۷	-۱/۱۲	-۰/۰۰۰	-۰/۷۹*	پوشش ۳۰٪	
۰/۹۰	۰/۲۴	-۰/۰۰۰	۰/۵۷*	پوشش ۷۰٪	پوشش ۵۰٪
۱/۶۱	۰/۹۶	-۰/۰۰۰	۱/۲۸*	پوشش ۱۰۰٪	
-۱/۰۴	-۱/۶۹	-۰/۰۰۰	-۱/۳۶*	پوشش ۳۰٪	
-۰/۲۴	-۰/۹۰	-۰/۰۰۰	-۰/۵۷*	پوشش ۷۰٪	پوشش ۵۰٪
۱/۰۴	۰/۳۸	-۰/۰۰۰	۰/۷۱*	پوشش ۱۰۰٪	
-۱/۷۵	-۲/۴۱	-۰/۰۰۰	-۲/۰۷*	پوشش ۳۰٪	
-۰/۹۶	-۱/۶۱	-۰/۰۰۰	-۱/۲۸*	پوشش ۷۰٪	پوشش ۱۰۰٪
-۰/۳۸	-۱/۰۴	-۰/۰۰۰	-۰/۷۱*	پوشش ۷۰٪	

بر اساس تحلیل‌های صورت گرفته بر اساس نتایج برآورد اقتصادی استفاده از صفحات پلی پروپیلن، مقدار NPV برای صفحات پلی پروپیلن جهت استفاده در مخزن سد کوثر ۲۸۰۸ ریال به ازای هر مترمربع سطح مخزن محاسبه گردید. مقدار NPV مثبت نشان‌دهنده اقتصادی بودن طرح است. با در نظر گرفتن ۱٪ قیمت اولیه صفحات پلی پروپیلن به عنوان هزینه نگهداری سالانه، دوره بازگشت سرمایه کمتر از ۳ سال محاسبه گردید. نمودار مربوط به ارزش بازده اقتصادی با توجه به ارزش حال قیمت آب و ارزش حال هزینه کل (ارزش حال هزینه سرمایه + ارزش حال هزینه نصب + ارزش حال هزینه نگهداری) در طول عمر مفید صفحات پلی پروپیلن به ازای واحد سطح مخزن

در شکل (۶) ارائه شده است. جهت محاسبه نرخ بازده داخلی از رابطه ۲ استفاده گردید. بر اساس محاسبات صورت گرفته، نرخ بازده داخلی برابر با ۳۰٪ خواهد بود. بر این اساس با توجه به نرخ بهره بانکی از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر است. مهم‌تر از تحلیل‌های صورت گرفته، در نظر گرفتن ارزش ذاتی آب بوده که مقدار آن بسیار فراتر از مبالغ در نظر گرفته شده است و با توجه به چالش‌های موجود در زمینه منابع آب، کشور ناگزیر به استفاده از این روش‌ها جهت حفظ منابع خود است.



شکل ۶. ارزش حال بازده اقتصادی و ارزش حال هزینه کل صفحات پلی پروپیلن به ازای واحد سطح مخزن سد کوثر

## بحث

در این تحقیق کارایی پوشش صفحات شناور مربع، صفحات شناور مثلث و توپ شناور و نیز پوشش‌های ۱۰۰٪، ۷۰٪، ۵۰٪ و ۳۰٪ صفحات پلی پروپیلن بررسی گردید. آزمایش‌های مرتبط با این پژوهش در ایستگاه هواشناسی فرودگاه اهواز واقع در شهر اهواز انجام شد. علاوه بر این تأثیر متغیرهای مختلف هواشناسی بر روی میزان تبخیر از سطح آزاد آب در حضور پوشش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. بازه تغییرات تبخیر در شرایط شاهد، پوشش صفحات شناور مربع، صفحات شناور مثلث و توپ‌های شناور در بازه انجام آزمایش‌ها به

ترتیب از ۵ تا ۱۰، ۴ تا ۸، ۵ تا ۷ و ۲ تا ۸ میلی متر متغیر بوده است در شرایط کاربرد توپ‌های شناور، میزان کاهش تبخیر از مقدار بیشتری برخوردار بود و این پوشش توانست تبخیر را به میزان بیشتری کاهش دهد.

### نتیجه‌گیری

نتایج تحلیل واریانس دوطرفه جهت بررسی اثرات متغیرهای مختلف هواشناسی بر میزان تبخیر از سطح آزاد آب نشان داد که تأثیر متغیرهای درجه حرارت و رطوبت نسبی بر روی میزان تبخیر در تشت شاهد معنادار است. این در حالی است که هیچ‌کدام از متغیرهای هواشناسی بر روی میزان تبخیر از تشت حاوی توپ‌های شناور معنادار نیست. به عبارتی دیگر وجود توپ‌های شناور باعث کاهش تأثیر تغییرات متغیرهای هواشناسی بر روی میزان تبخیر شده است. علاوه بر این، در حضور صفحات پلی‌پروپیلن، تنها متغیر درجه حرارت تأثیر معناداری بر روی میزان تبخیر داشته است. مقایسه نتایج دو روش توپ‌های شناور و صفحات پلی‌پروپیلن با تشت شاهد نشان می‌دهد که درصد رطوبت نسبی که مهم‌ترین عامل در تبخیر از تشت شاهد بوده است، با حضور المان‌ها در سطح آب، معناداری خود را از دست داده است. بررسی اختلاف بین تیمارهای مختلف مورد بررسی نشان داد که کاربرد صفحات شناور مربع و مثلث نسبت به تشت شاهد سبب کاهش به ترتیب ۳۰/۷۱ و ۱۴/۸۶ درصدی تبخیر از تشت شده است. دلیل تفاوت میان دو پوشش مربوط به فضای آزاد بیشتر میان المان‌های مثلثی در مقایسه با المان‌های مربعی است، هرچند که سعی گردید تا پوشش‌ها به صورت ۱۰۰٪ باشند. علاوه بر این کاربرد توپ‌های شناور نسبت به شاهد سبب کاهش ۴۸/۷ درصدی تبخیر از تشت گردید. مقایسه پوشش‌های مستطیلی با تراکم‌های مختلف نشان داد که افزایش درصد پوشش به ترتیب از ۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد به ۱۰۰ درصد باعث کاهش تبخیر به میزان ۲/۳، ۱/۵ و ۰/۸ برابر می‌شود.

### منابع

- رزاقی، فاطمه، رجب‌پور، رسول، لیانی‌سنگ‌نیشتی، قاسم و میرزایی، عباس. (۱۴۰۱). برآورد ارزش اقتصادی آب جهت مصارف شهری و کشاورزی: مطالعه موردی سد کوثر. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۱۴(۱)، ۹۱-۷۶.  
<https://doi.org/10.30495/jae.2022.22251.2057>
- سپاسخواه، علیرضا. (۱۳۹۷). کاهش تبخیر از مخزن آب سدها، دوفصلنامه پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۳(۱)، ۲۶-۱۳.  
<https://doi.org/10.22047/srjasnr.2018.110633.13-26>
- ظهیری، جواد، و مرادی، عادل. (۱۴۰۲). بررسی تأثیر متقابل پارامترهای هواشناسی بر تبخیر از سطح آب با استفاده از تحلیل واریانس. پژوهش‌های خشکسالی و تغییر اقلیم، ۱(۳)، ۱۰۴-۸۷.  
<https://dx.doi.org/10.22077/JDCR.2023.6498.1028>
- علیزاده، امین. (۱۳۹۴). اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات آستان قدس رضوی، دانشگاه امام رضا، مشهد.  
<https://www.gisoom.com/book/1775360>
- فرزین، سعید، و علیزاده صنمی، فروغ. (۱۳۹۴). توپ سایه، تدبیری برای کاهش تبخیر آب مخازن سد. سومین کنگره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهری، تهران، ایران. 470523.  
<https://civilica.com/doc/470523>
- قزوینیان، حمیدرضا، فرزین، سعید، کرمی، حجت، و موسوی، سید فرهاد. (۱۳۹۹). بررسی اثر استفاده از لایه‌های پلی‌استایرن بر کاهش تبخیر مخازن ذخیره آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک (مطالعه موردی: شهر سمنان). نشریه آب و توسعه پایدار. ۷(۲): ۴۵-۵۲.  
<https://doi.org/10.22067/jwsd.v7i2.81748>
- مددی، محمدرضا، کوهستانی، شاپور، جداوی، محمد، و ذکریایی، سیدمحمد. (۱۳۹۹). مقایسه عملکرد دو نوع پوشش طبیعی و مصنوعی در کاهش تبخیر از مخازن آبی (مطالعه موردی: منطقه جیرفت). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۴(۴)، ۱۴۵۹-۱۴۴۸.  
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.1399.14.4.27.6>
- نجاتیان، امیر. (۱۳۹۹). تخمین تبخیر از دریاچه چیتگر و تأثیر پوشش‌های شیمیایی بر کاهش مقدار آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.
- هاشمی منفرد، سید آرمان، رضایپور، مهدی، و ژیان، تهمینه. (۱۳۹۷). بررسی اثر استفاده از دیوارهای بادشکن در کاهش تبخیر از سطح دریاچه‌ها و مخازن با استفاده از مدل عددی فلوئنت (مطالعه موردی: چاه نیمه شماره ۴ سیستان و بلوچستان). نشریه اکوهیدرولوژی، ۱(۱)، ۲۷۸-۲۶۵.  
<https://doi.org/10.22059/ije.2017.236320.652>

### References

- Abdallah, A. M., Parihar, C. M., Patra, S., Nayak, H. S., Saharawat, Y. S., Singh, U., Parihar M. D., Kakraliya, S. K., Nassar, I. N., Ugolini, F., Zohir, W.F., & Shalaby, M. M. (2021). Critical evaluation of functional aspects of evaporation barriers through environmental and economics lens for evaporation suppression- A review on milestones from improved technologies. *Science of Total Environment*, 788. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147800>
- Alam, S., & AlShaikh, A. A. (2013). Use of palm fronds as shaded cover for evaporation reduction to improve water storage efficiency. *Journal of King Saud University– Engineering Sciences*, 25(1), 55–58. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2012.01.003>
- Assouline, S., & Narkis, K. (2021). Reducing evaporation from water reservoirs using floating lattice structures. *Water Resources Research*, 57, e2021WR029670. <https://doi.org/10.1029/2021wr029670>
- Assouline, S., Narkis, K., & Or, D. (2011). Evaporation suppression from water reservoirs: Efficiency considerations of partial covers. *Water Resources Research*, 47, W07506. <https://doi.org/10.1029/2010WR009889>
- Chowdhury, S., & Al-Zahrani, M. (2015). Characterizing water resources and trends of sector wise water consumptions in Saudi Arabia. *Journal of King Saud University– Engineering Sciences*, 27, 82-68. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2013.02.002>
- Chowdhury, S., Al-Zahrani, M., & Abbas, A. (2016). Implications of climate change on crop water requirements in arid region: An example of Al-Jouf, Saudi Arabia. *Journal of King Saud University– Engineering Sciences*, 28, 21–31. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2013.11.001>
- Craig, I. P. (2005). Loss of storage water due to evaporation. NCEA publication, University of Southern Queensland, Australia, Literature review. <https://research.usq.edu.au/item/9y39x/loss-of-storage-water-due-to-evaporation-a-literature-review>
- Elsebaie, I. H., Fouli, H., & Amin, M. (2017). Evaporation reduction from open water tanks using palm-frond covers: Effects of tank shape and coverage pattern. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21, 2977–2983. <https://doi.org/10.1007/s12205-017-0539-4>
- Friedrich, K., Grossman, R. L., Huntington, J., Blanken, P. D., Lenters, J., Holman, K. L. D., Gochis, D., Livneh, B., Prairie, J., Skeie, E., Healey, N. C., Dahm, K., Pearson, C., Finnessey, T., Hook, S. J., & Kowalski, T. (2018). Reservoir evaporation in the Western United States. *Bulletin of the American Meteorological Society (BAMS)*, 99, 167–187. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00224.1>
- Gallego-Elvira, B., Baille, A., Martin-Gorriz, B., Maestre-Valero, J. F., & Martínez Alvarez, V. (2011). Energy balance and evaporation loss of an irrigation reservoir equipped with a suspended cover in a semiarid climate (southeastern Spain). *Hydrology Process*, 25, 1694–1703. <https://doi.org/10.1002/hyp.7929>
- Haghighi, E., Madani, K., & Hoekstra, A. Y. (2018). The water footprint of water conservation using shade balls in California. *Nature Sustainability*, 1, 358–360. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0092-2>
- Hammadi, S. H. (2020). Integrated solar still with an underground heat exchanger for clean water production. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 32, 339–345. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2019.04.004>
- Han, K. W., Shi, K. B., Yan, X. J., & Cheng, Y. Y. (2019). Water savings efficiency of counterweighted spheres covering a plain reservoir in an arid area. *Water Resour. Manag*, 33, 1867–1880. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02214-x>
- Hogeboom, R. J., Knook, L., & Hoekstra, A. Y. (2018). The blue water footprint of the world's artificial reservoirs for hydroelectricity, irrigation, residential and industrial water supply, flood protection, fishing and recreation. *Advances in Water Resources*, 113, 285–294. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2018.01.028>
- Karimzadeh, M., Zahiri, J., & Nobakht, V. (2023). Efficiency of monolayers in evaporation suppression from water surface considering meteorological parameters. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 17, 50783-50794. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26149-4>

- Lehner, B., Liermann, C. R., Revenga, C., Vörösmarty, C., Fekete, B., Crouzet, P., Döll, P., Endejan, M., Frenken, K., Magome, J., Nilsson, C., Robertson, J. C., Rödel, R., Sindorf, N., & Wisser, D. (2011). High-resolution mapping of the world's reservoirs and dams for sustainable river-flow management. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9, 494–502. <https://doi.org/10.1890/100125>
- Maestre-Valero, J. F., Martínez-Alvarez, V., Gallego-Elvira, B., & Pittaway, P. (2011). Effects of a suspended shade cloth cover on water quality of an agricultural reservoir for irrigation. *Agricultural Water Management*, 100, 70–75. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.08.020>
- Morsy, S. M., Elbasyoni, I. S., Abdallah, A. M. & Baenziger, P. S. (2021). Imposing water deficit on modern and wild wheat collections to identify drought-resilient genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 1–14. <https://doi.org/10.1111/jac.12493>
- Mozafari, A., Mansouri, B. & Chini, S. F. (2019). Effect of wind flow and solar radiation on functionality of water evaporation suppression monolayers. *Water Resources Management*, 33, 3513–3522. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02313-9>
- Rezazadeh, A., Akbarzadeh, P., & Aminzadeh, M. (2020). The effect of floating balls density on evaporation suppression of water reservoirs in the presence of surface flow. *Journal of Hydrology*, 591, 125323. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125323>
- Rost, S., Gerten, D., Bondeau, A., Lucht, W., Rohwer, J., & Schaphoff, S. (2008). Agricultural green and blue water consumption and its influence on the global water system. *Water Resources Research*, 44, W09405. <https://doi.org/10.1029/2007WR006331>
- Ruskowitz, J. A., Suárez, F., Tyler, S. W. & Childress, A. E. (2014). Evaporation suppression and solar energy collection in a salt-gradient solar pond. *Solar Energy*, 99, 36–46. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.10.035>
- Yao, X., Zhang, H., Lemckert, C., Brook, A., & Schouten, P. (2010). Evaporation reduction by suspended and floating covers: Overview, modelling and efficiency. *Urban Water Security Research Alliance*, 2, 14-26. <http://hdl.handle.net/10072/37724>
- Youssef, W. Y., & Khodzinskaya, A. (2019). A Review of evaporation reduction methods from water surfaces. In: *E3S Web of Conferences*, 97, 05044. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199705044>
- Zhang, H., Gorelick, S. M., Zimba, P. V., & Zhang, X. (2017). A remote sensing method for estimating regional reservoir area and evaporative loss. *Journal of Hydrology*, 555, 213-227. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.10.007>
- Zhao, G., & Gao, H. (2019). Estimating reservoir evaporation losses for the United States: Fusing remote sensing and modeling approaches. *Remote Sensing of Environment*, 226, 109-124. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.015>
- Sepaskhah, A. (2018). Evaporation Reduction from Water Reservoir of Dams. *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 3(1), 13-26. <https://doi.org/10.22047/srjasnr.2018.110633> [In Persian]
- Razzaghi, F., Rajabpour, R., Layani, G., & Mirzaei, A. (2022). Estimation of the economic value of water for urban and agricultural use: A case study for Kowsar dam. *Agricultural Economics Research*, 14(1), 76-91. <https://doi.org/10.30495/jae.2022.22251.2057> [In Persian]
- Alizadeh, A. (2014). Principles of applied hydrology. Astan Quds Razavi Publishing House, Imam Reza University, Mashhad. <https://www.gisoom.com/book/1775360> [In Persian]
- Farzin, S., & Alizade Sanami, F. (2014). Shadow ball, a measure to reduce water evaporation of dam reservoirs. *Third International Congress on Civil Engineering, Architecture and Urban Development*, Tehran, Iran. <https://civilica.com/doc/470523> [In Persian]
- Nejatian, A. (2019). Estimation of evaporation from Chitgar Lake and the effect of chemical coatings on its reduction. Master's thesis, Sharif University of Technology, Tehran, Iran. [In Persian]
- Madadi, M. R., Kouhestani, S., Jadavi, M., & Zakariayi, M. (2020). Performance Comparison of Two Types of Natural and Artificial Covers in Reducing Evaporation from Water Reservoirs: A Case Study (Jiroft). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 14(4), 1448-1459. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.1399.14.4.27.6> [In Persian]



- Hashemi Monfared, S. A., Rezapoor, M., & Zhian, T. (2018). Investigation of the Effect of Wind Breaks in Decreasing Reservoir Evaporation Using Fluent (Case Study: Chahnimeh of Sistan). *Iranian journal of Ecohydrology*, 5(1), 265-278. <https://doi.org/10.22059/ije.2017.236320.652> [In Persian]
- zahiri, J., & Moradi-Sabzkouhi, A. (2023). Investigating the Interaction Effects of Meteorological Parameters on Evaporation from the Water Surface Using Variance Analysis. *Journal of Drought and Climate change Research*, 1(3), 87-104. <https://dx.doi.org/10.22077/JDCR.2023.6498.1028> [In Persian]