

Quantitative efficiency of composite plates in reducing evaporation from water surface

Javad Zahiri^{*1} , Adell Moradi Sabzkouhi² 

1. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Water Science and Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran. E-mail: j.zahiri@asnruk.ac.ir
2. Assistant Prof., Dept. of Water Science and Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran. E-mail: adellmoradi@asnruk.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 07.21.2023
Revised: 11.09.2023
Accepted: 11.21.2023

Keywords:
Analysis of variance,
Composite plates,
Evaporation,
Interaction effects

ABSTRACT

Background and Objectives: Iran's average annual evaporation rate is 2100 millimeters, which is three times the global average. This figure indicates that if the evaporation rate of reservoirs decreases with appropriate methods, we can better use these resources. Neglecting the high evaporation rate in the country has caused billions of cubic meters of water to evaporate from the reservoirs of more than 600 dams in the country every year. This research studied the effectiveness of composite plates in reducing evaporation from the free surface of water under real conditions.

Materials and Methods: The present study was conducted in the meteorological station of Ahvaz airport, with a geographical latitude of 31° 32', a geographical longitude of 48° 66', and an altitude of 16 meters above sea level. Class A evaporation pans made of galvanized iron with a diameter of 120.7 millimeters and a depth of 25 centimeters were used. All experiments were conducted between July and December 2022. In this study, composite plates with aluminum coating were used to reduce evaporation from the water surface with a thickness of 4 millimeters and consisted of two layers of aluminum sheet in the outer shell and a layer of polyethylene in the middle. Floating balls, a relatively common method of reducing evaporation, are used to investigate the effectiveness of composite plates. In addition, the effect of various meteorological variables such as temperature, relative humidity percentage, average vapor pressure, wind speed, and solar radiation on the efficiency of composite panels was investigated. Two-way analysis of variance was used to investigate the effect of various weather variables on the performance of composite plates.

Results: Experiments showed that square composite plates had an efficiency of 69%, triangular composite plates had an efficiency of 67%, and floating balls had an efficiency of 73% in reducing evaporation from the water surface. Therefore, floating balls had a slightly greater effect on reducing evaporation from the free surface. The empty space between square composites, due to their larger dimensions compared to triangular composites, is less, which can be considered as one of the reasons for the reduction of evaporation in square composites compared to triangular composites. According to the analysis of variance, two parameters, relative humidity, and wind speed, significantly affect the efficiency of composite plates in reducing evaporation from the water surface. Based on the analysis of variance considering the interaction effects, none of the

interaction effects significantly affect the efficiency of composite plates. However, considering the interaction effects in addition to the main effects, the R-squared value of the created model increased to 0.669, indicating that the interaction effects contributed about 0.2 to this value.

Conclusion: Based on the analysis of variance considering the main effects, two parameters, relative humidity and wind speed, have a significant effect on the efficiency of composite panels in reducing evaporation from the water surface. Relative humidity has an effect of 0.182, and wind speed has an effect of 0.197 on the efficiency of composite panels. Relative humidity and wind speed are among the parameters that significantly impact the rate of evaporation from the water surface, causing a decrease and an increase in evaporation from the water surface, respectively. The presence of composite panels has greatly reduced these two parameters' effect on the water surface's evaporation rate.

Cite this article: Zahiri, Javad, Moradi Sabzkouhi, Adell. 2023. Quantitative efficiency of composite plates in reducing evaporation from water surface. *Journal of Water and Soil Conservation*, 30 (3), 1-22.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2024.21586.3670

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

بررسی کمی کارایی صفحات کامپوزیت در کاهش تبخیر از سطح آب

جواد ظهیری^{۱*}، عادل مرادی سبزوکی^۲

۱. نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، خوزستان، ایران. رایانامه: j.zahiri@asnrukh.ac.ir
۲. استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، خوزستان، ایران. رایانامه: adelmoradi@asnrukh.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: مقدار متوسط تبخیر سالانه در ایران ۲۱۰۰ میلی‌متر بوده که سه برابر میزان متوسط جهانی است. این رقم نشان می‌دهد که اگر با روش‌هایی میزان تبخیر مخازن سدها کاهش یابد، می‌توان از این منابع بهره‌برداری مناسب‌تری نمود. عدم توجه به نرخ بالای تبخیر در کشور سبب شده که هرساله میلیاردها مترمکعب آب از مخازن بیش از ۶۰۰ سد موجود در کشور تبخیر شود. در پژوهش حاضر سعی شده است تا کارایی صفحات کامپوزیت در کاهش تبخیر از سطح آزاد آب در شرایط واقعی مورد بررسی قرار گیرد.
تاریخ دریافت: ۲/۰۴/۳۰ تاریخ ویرایش: ۲/۰۸/۱۸ تاریخ پذیرش: ۲/۰۸/۳۰	مواد و روش‌ها: مطالعه حاضر در محوطه ایستگاه هواشناسی فرودگاه اهواز با عرض جغرافیایی ۳۲° ۳۱'، طول جغرافیایی ۶۶° ۴۸' و ارتفاع از سطح دریا ۱۶ متر به انجام شد و از تشت‌های تبخیر کلاس A به قطر ۱۲۰/۷ سانتی‌متر و عمق ۲۵ سانتی‌متر از جنس آهن گالوانیزه استفاده گردید. همه آزمایش‌ها در بازه مرداد تا آذرماه ۱۴۰۱ انجام گرفت. در این پژوهش از صفحات کامپوزیت با روکش آلومینیومی جهت کاهش تبخیر از سطح آب استفاده گردید. صفحات کامپوزیت مورداستفاده دارای ضخامت ۴ میلی‌متر بوده و از دولایه ورق از جنس آلومینیوم در پوسته بیرونی و یک‌لایه از جنس پلی‌اتیلن در وسط تشکیل شده است. جهت بررسی میزان کارایی صفحات کامپوزیت، از توپ‌های شناور که روشی نسبتاً متداول در کاهش تبخیر به حساب می‌آید، استفاده شده است. علاوه بر این تأثیر متغیرهای مختلف هواشناسی مانند درجه حرارت، درصد رطوبت نسبی، میانگین فشار بخار، سرعت باد و تابش خورشیدی بر روی میزان کارایی صفحات کامپوزیت بررسی شد. در این مطالعه از تحلیل واریانس دوطرفه برای بررسی تأثیر متغیرهای مختلف هواشناسی بر روی عملکرد صفحات کامپوزیت استفاده گردید.
واژه‌های کلیدی: اثرات متقابل، تبخیر، تحلیل واریانس، صفحات کامپوزیت	یافته‌ها: نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد کارایی صفحات کامپوزیت مربعی ۶۹٪، صفحات کامپوزیت مثلثی ۶۷٪ و توپ‌های شناور نیز کارایی ۷۳٪ در کاهش تبخیر از سطح آب داشته‌اند.

بر این اساس توپ‌های شناور به مقدار بسیار جزئی تأثیر بیش‌تری بر کاهش تبخیر از سطح آزاد داشته‌اند. فضای خالی بین کامپوزیت‌های مربعی به دلیل داشتن ابعاد بزرگ‌تر نسبت به کامپوزیت‌های مثلثی، کم‌تر بوده و همین مسأله می‌تواند از دلایل کاهش تبخیر در کامپوزیت‌های مربعی نسبت به کامپوزیت‌های مثلثی به حساب آید. براساس نتایج تحلیل واریانس، دو پارامتر رطوبت نسبی و سرعت باد تأثیر معنادار بر میزان کارایی صفحات کامپوزیت در کاهش تبخیر از سطح آب دارا هستند. با توجه نتایج تحلیل واریانس با در نظر گرفتن اثرات متقابل، هیچ‌کدام از اثرات متقابل تأثیر معناداری بر میزان کارایی صفحات کامپوزیت ندارند. باین‌وجود، در نظر گرفتن اثرات متقابل در کنار اثرات اصلی، ضریب تبیین مدل ساخته‌شده را به $0/669$ افزایش داده است که نشان می‌دهد اثرات متقابل به میزان حدود $0/2$ در این ضریب تأثیر داشته‌اند.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج تحلیل واریانس با در نظر گرفتن اثرات اصلی، دو پارامتر رطوبت نسبی و سرعت باد تأثیر معناداری بر میزان کارایی صفحات کامپوزیت در کاهش تبخیر از سطح آب دارند. رطوبت نسبی دارای اثری برابر با $0/182$ و سرعت باد اثری برابر $0/197$ دارا می‌باشند. رطوبت نسبی و سرعت باد از جمله پارامترهای تأثیرگذار بر میزان تبخیر از سطح آب بوده که به‌ترتیب باعث کاهش و افزایش تبخیر از سطح آب می‌گردند. حضور صفحات کامپوزیت باعث شده است تا تأثیر این دو پارامتر بر روی روند تبخیر از سطح آب به شدت کاهش یابد.

استناد: ظهیری، جواد، مرادی سبزوکی، عادل (۱۴۰۲). بررسی کمی کارایی صفحات کامپوزیت در کاهش تبخیر از سطح آب. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۳۰ (۳)، ۲۲-۱.

DOI: 10.22069/jwsc.2024.21586.3670



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

منابع آب در بسیاری از نقاط جهان به شدت تحت تأثیر رشد سریع جمعیت و تغییرات آب و هوایی قرار گرفته است (۱ و ۲). علاوه بر این انتظار می رود تغییرات آب و هوایی باعث تشدید کمبود آب نیز گردد (۳ و ۴). 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 هدررفت آن از راه های مختلف منجر به کاهش منابع آبی گردیده است (۵). کشور ایران در منطقه ای خشک و نیمه خشک، با نزولات جوی اندک واقع شده است. میانگین بارش سالانه ایران حدود ۲۵۰ میلی متر بوده در حالی که میزان متوسط بارش 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 کم تر است (۶). مطالعات صورت گرفته نشان می دهد که میانگین سالانه سرانه آب تجدیدپذیر موجود در ایران که در سال ۱۹۶۰ از ۴۰۰۰ تا ۵۰۰۰ مترمکعب در سال در نوسان بود، در سال ۲۰۱۰ به کم تر از ۲۰۰۰ مترمکعب در سال کاهش یافت و به دلیل رشد جمعیت در ایران تا سال ۲۰۲۲ به کم تر از ۱۰۰۰ مترمکعب در سال خواهد رسید (۷ و ۸).

میزان متوسط تبخیر سالانه در ایران ۲۱۰۰ میلی متر بوده که سه برابر میزان متوسط جهانی است (۹). این رقم 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 در تراز حداکثر 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

مترمکعب آن حدود ۴/۲ درصد خواهد بود (۱۰). کشور ایران به دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه خشک جهان، به صورت طبیعی همواره با کمبود آب مواجه است و در زمره کشورهای با محدودیت منابع آبی قلمداد می شود. عدم توجه به نرخ بالای تبخیر در کشور سبب شده که هر ساله میلیاردها مترمکعب آب از مخازن بیش از ۶۰۰ سد موجود در کشور تبخیر شود. متوسط تبخیر از مخازن سدها به صورت میانگین حدود ۱۰٪ حجم مفید آنها 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 میلیارد مترمکعب تلفات ناشی از تبخیر خواهد بود (۱۰). از این رو، کنترل شدت تبخیر از سطوح مخازن یکی از روش هایی است که می تواند کمک شایانی در حفظ و تأمین منابع آب مناطق گرمسیری با پتانسیل تبخیر بالا نماید (۱۱).

مددی و همکاران (۲۰۲۰) تأثیر دو پوشش مصنوعی پلیمر پلی استایرن گرانولار و برگ درخت سپستان به صورت طبیعی را بر روی میزان تبخیر در منطقه جیرفت در فصل گرم سال (خردادماه تا تیرماه) مورد بررسی قرار دادند. نتایج مقایسه میانگین و تحلیل آماری با آزمون LSD نشان داد تأثیر هر دو پوشش در کاهش تبخیر معنی دار است. نتایج این پژوهش نشان داد که پوشاندن سطح آب با هر درصد تراکم، سبب کاهش معنی دار میزان تبخیر می شود. علاوه بر این بیشترین تراکم دو پوشش مصنوعی و طبیعی به ترتیب ۲۹٪ و ۲۴٪ کاهش تبخیر را نشان می دهد (۱۱). قزوینیان و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی میزان کاهش تبخیر آب با استفاده از ورقه های پلی استایرن با ضخامت ۳ میلی متر و جرم ۵۰ گرم در مترمربع و پوشش ۶۰ درصد سطح تشت های تبخیر استاندارد کلرادو پرداختند. در این آزمایش که در فضای باز

بسیار خوبی با داده‌های اندازه‌گیری شده بود (۱۴). هان و همکاران (۲۰۲۰) به ارزیابی تأثیر گوی‌های وزنه‌دار بر تلفات تبخیر در مخازن کشاورزی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که در طول دوره آبیاری، میانگین میزان تبخیر کاهش می‌یابد. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که پوشش گوی‌ها به کاهش تبخیر و افزایش مقدار آب موردنیاز برای آبیاری کمک می‌کند. اگرچه مزایای اقتصادی این فناوری قابل‌توجه نبود، اما در میزان مصرف آب صرفه‌جویی شد. پایین‌ترین و بالاترین نرخ کاهش تبخیر در ماه جولای (۶۷/۳٪) و ماه اکتبر (۷۷٪) مشاهده گردید (۱۵). شلیبی و همکاران (۲۰۲۱) از دو تشت تبخیر کلاس A در محیط بیرونی برای بررسی تأثیر پوشش‌های شناور مختلف که از نظر رنگ، شکل و درصد پوشش متفاوت هستند بر راندمان کاهش تبخیر، با در نظر گرفتن اکولوژی آب با تعیین رشد ریزجلبک‌ها به‌عنوان یک شاخص زیستی، استفاده کردند. نتایج نشان داد که توپ‌های سفید عملکرد بهتری در مقایسه با سایر توپ‌ها داشته و چنانچه کل سطح پوشانده شود میزان تبخیر تا ۹۶٪ کاهش خواهد یافت (۱۶).

در پژوهش حاضر سعی شده است تا کارایی صفحات کامپوزیت در کاهش تبخیر از سطح آزاد آب در شرایط واقعی موردبررسی قرار گیرد. در اغلب پژوهش‌های صورت گرفته به تأثیر روش‌های مختلف کاهش تبخیر بر میزان تبخیر از سطح آب پرداخته شده و تحلیل جامعی بر روی اثرات اصلی و متقابل متغیرهایی که می‌توانند میزان تبخیر را تحت‌تأثیر خود قرار دهند، انجام نشده است. با توجه به تأثیر متغیرهای مختلف هواشناسی بر میزان تبخیر از سطح آب، در این پژوهش از تحلیل واریانس استفاده گردید. نوآوری پژوهش حاضر بر بررسی اثرات اصلی و متقابل متغیرهای مختلف هواشناسی بر میزان کارایی

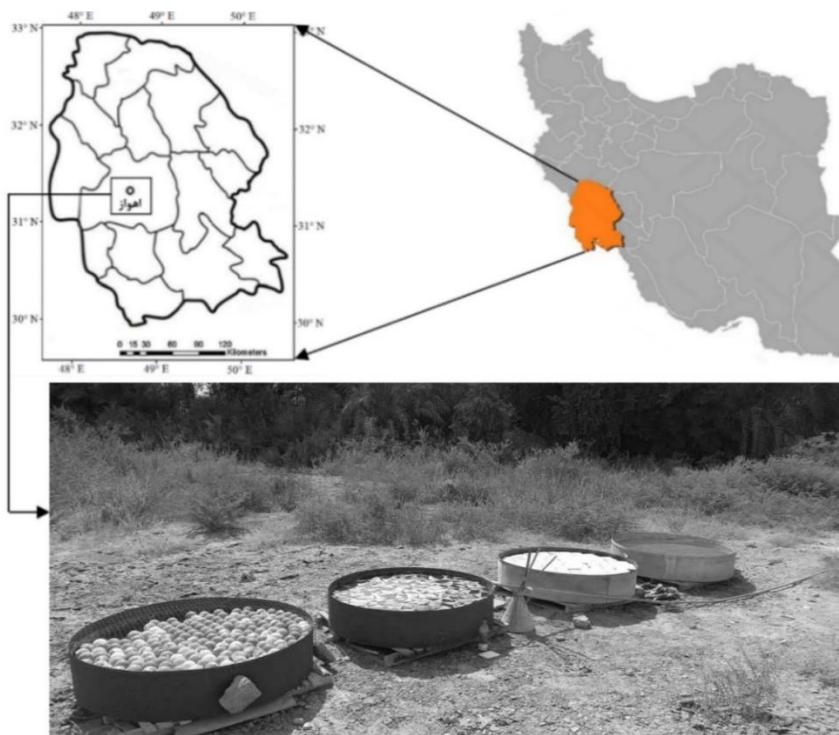
دانشکده مهندسی عمران دانشگاه سمنان انجام شد، با اندازه‌گیری میزان تبخیر به مدت چهار ماه از خرداد تا شهریور برای ۶ مخزن، پژوهش‌گران دریافتند که با کاربرد صفحات پلی‌استایرن می‌توان میزان تبخیر را تا ۴۴ درصد کاهش داد. از دیگر مزایای این ورقه‌ها، قیمت ارزان و دوام مناسب در برابر شرایط محیطی است (۵). رضازاده و همکاران (۲۰۲۰) به مدل‌سازی و بررسی آزمایشگاهی تأثیر توپ‌های سیاه‌وسفید بر کاهش تبخیر از سطح آب در حضور جریان سطحی پرداختند. پژوهش‌گران در این مطالعه با استفاده از مخلوطی مساوی از توپ‌های سیاه‌وسفید جهت پوشش مخزن و یک پمپ جهت ایجاد جریان سطحی دریافتند که حضور جریان‌های سطحی با دبی مناسب می‌تواند راندمان کاهش تبخیر اجسام شناور را افزایش دهد. همچنین در تمامی شرایط وجود یا عدم وجود جریان سطحی، کم‌ترین میزان تبخیر با پوشش‌دهی توپ‌های سفید مشاهده شد (۱۲). بن‌زقتا و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی قابلیت پوشش‌های شناور و سازه‌ای بر کاهش تبخیر از آب‌های آزاد در آب‌وهوای مرطوب پرداختند. میانگین کاهش تبخیر برای یک دوره آزمایشی یک سال به ترتیب ۴۰، ۳۳ و ۲۶ درصد برای تشک، تخته سه‌لایه و ورقه آهن گالوانیزه گزارش شد. تحلیل‌های کیفی آب انجام‌شده روی تیمارها نشان داد که پوشش‌ها تأثیر جدی بر کیفیت آب ندارند. این نتایج کارایی پوشش‌ها را برای کاهش تبخیر بدون هیچ اثر مضر بر کیفیت آب تأیید می‌کند (۱۳). تابودا و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی در کشور شیلی، با قرار دادن پوشش شناور و سلول‌های فتوولتاییک در سطح آب، به این نتیجه رسیدند که این پوشش در کاهش تبخیر مؤثر بوده است. مقادیر میانگین دمای روزانه آب پیش‌بینی‌شده از یک مدل انتقال گرما و جرم با استفاده از داده‌های آزمایشی هواشناسی در طول هشت ماه عملیات مداوم در تطابق

تبخیر مورد استفاده براساس استاندارد ارائه شده تهیه گردید. بر روی همه تشت‌ها از توری سیمی استفاده گردید تا مانع استفاده از آب تشت توسط پرندگان و سایر حیوانات گردد. علاوه بر این همه تشت‌ها بر روی پایه‌های چوبی به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر تراز گردیدند. در این مطالعه آزمایش‌ها در سه مرحله انجام شد، مرحله اول از تاریخ ۵ مرداد تا ۳۱ مرداد ۱۴۰۱ صورت پذیرفت و تنها از پوشش کامپوزیت مربعی استفاده شد. مرحله دوم آزمایش‌ها مربوط به بررسی تأثیر شکل صفحات کامپوزیت بوده که در بازه ۲۵ شهریور تا ۲۹ مهر ۱۴۰۱ انجام گرفت. علاوه بر پوشش‌های مربعی و مثلثی کامپوزیت، از توپ‌های شناور نیز در این مرحله استفاده شد. مرحله سوم در بازه ۹ آبان تا ۲۳ آذر ۱۴۰۱ انجام گرفت و در آن تأثیر پوشش کامپوزیت مربعی بر میزان تبخیر مورد بررسی قرار گرفت.

صفحات کامپوزیت در کاهش تبخیر از سطح آب استوار است.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در محوطه ایستگاه سینوپتیک هواشناسی فرودگاه اهواز با عرض جغرافیایی $31^{\circ} 32'$ شمالی، طول جغرافیایی $48^{\circ} 66'$ شرقی و ارتفاع از سطح دریای آزاد ۱۶ متر به انجام رسید و از تشت‌های تبخیر کلاس A به قطر $120/7$ سانتی‌متر و عمق ۲۵ سانتی‌متر از جنس آهن گالوانیزه استفاده گردید، به طوری که در مجاورت محل استقرار تشت تبخیر ایستگاه هواشناسی قرار گرفته بودند. زیر تمام تشت‌ها پایه چوبی به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر قرار داده و تشت‌ها روی آن‌ها تراز شده بودند. نمایی از محل انجام آزمایش‌ها در ایستگاه هواشناسی فرودگاه اهواز به همراه تشت‌های تبخیر مورد استفاده جهت انجام آزمایش‌ها در شکل ۱ ارائه شده است. همه تشت‌های

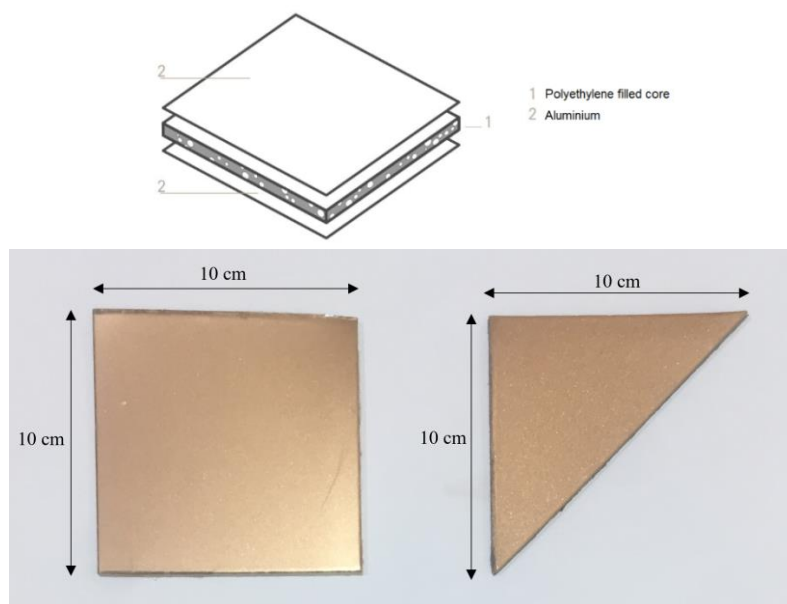


شکل ۱- نمایی از موقعیت انجام آزمایش‌ها به همراه تشت‌های تبخیر مجاور آن.

Figure 1. The location of Ahvaz meteorological station along with nearby evaporation pans.

کامپوزیت در برابر شرایط محیطی است که در کشورهای گرمسیری و مرطوب، بی‌نظیر هستند. ساختار صفحات کامپوزیت و صفحات مثلثی و مربعی مورد استفاده در مطالعه حاضر در شکل ۲ ارائه شده است. ورق کامپوزیت مورد استفاده به دلیل سطح بسیار صاف و صیقلی آلومینیوم، نور خورشید را منعکس می‌نماید و کم‌ترین گرما را از خورشید جذب می‌کند. هم‌چنین ورق کامپوزیت آلومینیوم یکی از مقاوم‌ترین فلزات در برابر رطوبت است و زنگ نمی‌زند و تغییر رنگ آن در مقایسه با سایر مصالح موجود کم‌تر است. چگالی سطح صفحات کامپوزیت $5/55 \text{ kg/m}^2$ می‌باشد.

در این پژوهش از صفحات کامپوزیت باروکش آلومینیومی جهت کاهش تبخیر از سطح آب استفاده گردید. صفحات کامپوزیت مورد استفاده دارای ضخامت ۴ میلی‌متر بوده و از دولایه ورق از جنس آلومینیوم در پوسته بیرونی و یک‌لایه از جنس پلی‌اتیلن در وسط تشکیل شده است. ورق کامپوزیت بسته به ضخامت، نوع آلیاژ آلومینیوم لایه‌ها، نوع رنگ به‌کاررفته در پوسته بیرونی و نوع مواد به‌کاررفته در لایه میانی، دارای انواع مختلفی می‌باشند که هر کدام دارای کیفیت و کاربرد خاصی است. مقاومت در برابر تغییرات اقلیم محیطی (رطوبت، گرما و نور خورشید) یکی از بارزترین خصوصیات ورق‌های آلومینیومی



شکل ۲- ویژگی‌های ساختاری صفحات کامپوزیت و صفحات کامپوزیت مربعی و مثلثی مورد استفاده در پژوهش حاضر.

Figure 2. Structural features of composite plates and composite plates used in this research.

شد و در تست آخر جهت ارزیابی تأثیر پوشش‌های مورد استفاده بر میزان تبخیر از یکی از روش‌های متداول کاهش تبخیر از سطح آزاد آب که شامل توپ‌های پلاستیکی بود، استفاده شد. جهت بررسی دقیق‌تر کارایی روش‌های مختلف مورد استفاده از نمودار جعبه‌ای استفاده گردید.

برای بررسی کارایی صفحات کامپوزیت در کاهش تبخیر از سطح آب در این مطالعه، تأثیر پوشش‌های مربع و مثلث شکل صفحات کامپوزیت بر میزان تبخیر از سطح آب تست‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. بر این اساس از چهار تست تبخیر کلاس A استفاده گردید که یکی از تست‌ها جهت تیمار شاهد در نظر گرفته شد. دو تست توسط صفحات مربعی و مثلثی پوشانده

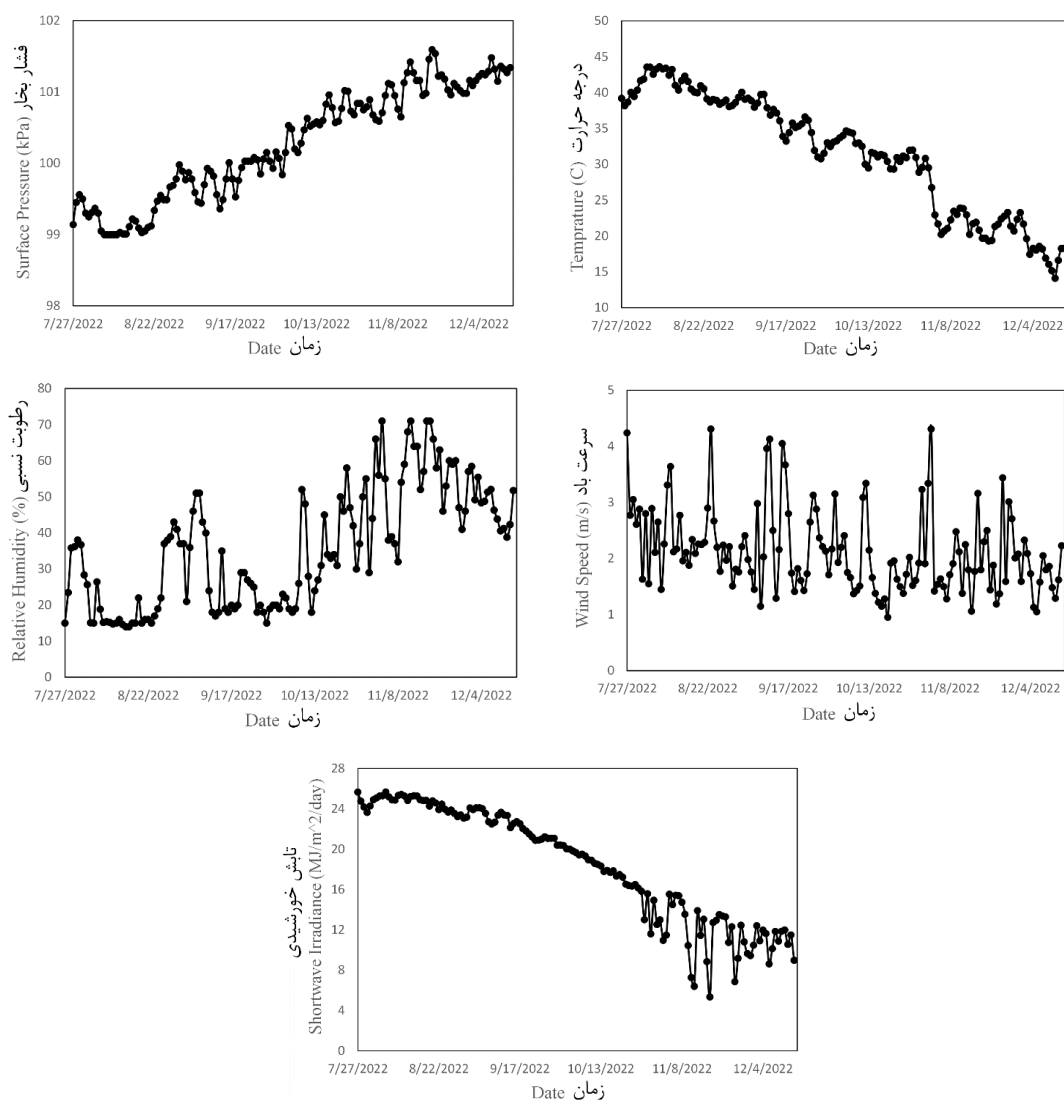
دو طرفه، متغیرهای وابسته باید شامل دو یا تعدادی بیش تر از سطوح باشند. بر همین اساس همه پارامترهای هواشناسی به سه سطح کم، متوسط و زیاد تقسیم شدند. جهت این کار ابتدا پارامترهای مختلف هواشناسی براساس میانگین هر پارامتر اصلاح گردید. بدین گونه که میانگین هر پارامتر از تمامی داده‌های آن پارامتر کاسته شد. در چنین حالتی میانگین داده‌های آن پارامتر برابر با صفر خواهد شد. پس از آن با توجه به انحراف معیار (Sd) هر پارامتر، داده‌های آن پارامتر به سه قسمت تقسیم گردید. مقادیر کم تر از $-1Sd$ به عنوان مقادیر کم (سطح ۱)، مقادیر بیش تر از $+1Sd$ به عنوان مقادیر زیاد (سطح ۳) و مقادیر بین $-1Sd$ و $+1Sd$ به عنوان مقادیر بینابین (سطح ۲) در نظر گرفته شد (۱۷). ویژگی‌های آماری پارامترهای مختلف هواشناسی در بازه انجام آزمایش‌ها به همراه مقادیر حد پایین، بالا و بینابین در جدول ۱ و سری‌های روزانه متغیرهای هواشناسی در شکل ۳ ارائه شده است. جهت بررسی تأثیر پوشش صفحات کامپوزیت بر میزان اکسیژن محلول در آب از دستگاه اکسیژن متر پرتابل مدل AZ85031 استفاده گردید. قابل ذکر است که میزان اکسیژن محلول تنها برای صفحات کامپوزیت مربعی در فاز دوم آزمایش اندازه‌گیری شد.

برای تحلیل واریانس دو طرفه در این مطالعه جهت بررسی تأثیر متغیرهای مختلف هواشناسی بر روی عملکرد صفحات کامپوزیت، از تحلیل واریانس دو طرفه استفاده شد. از این تحلیل جهت بررسی اثرات اصلی و متقابل متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته استفاده می‌شود. متغیرهای مستقل در این پژوهش شامل متغیرهای مختلف هواشناسی از قبیل درجه حرارت، درصد رطوبت نسبی، میانگین فشار بخار، سرعت باد و تابش خورشیدی بوده و متغیر وابسته کارایی صفحات کامپوزیت در نظر گرفته شد. اثر متغیرهای هواشناسی بر میزان کارایی صفحات کامپوزیت به عنوان اثرات اصلی و تأثیر هم‌زمان متغیرهای هواشناسی بر میزان کارایی صفحات کامپوزیت به عنوان اثرات متقابل در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام تحلیل واریانس دو طرفه، 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

جدول ۱- مشخصات آماری پارامترهای مختلف هواشناسی در طول دوره مورد مطالعه.

Table 1. Statistical characteristics of different meteorological parameters during the studied period.

کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	
Minimum	Maximum	Average	Standard deviation	Bond 1	Bond 2	Bond 3	
14.11	43.56	27.94	7.63	<20.6	20.6-35.6	>35.6	درجه حرارت Temperature (C)
15.00	71.00	41.85	16.91	<24.84	24.8-58.8	>58.86	درصد رطوبت نسبی Humidity (%)
99.05	101.59	100.59	0.65	<99.9	99.9-101.2	>101.2	میانگین فشار بخار Pressure (kPa)
0.95	4.31	2.03	0.71	<1.3	1.3-2.7	>2.7	سرعت باد Wind Speed (m/s)
5.35	25.67	16.16	5.32	<10.8	10.8-21.5	>21.5	تابش خورشیدی Solar Irradiance (MJ/m ² /day)



شکل ۳- سری‌های روزانه متغیرهای هواشناسی مورد استفاده در بازه انجام آزمایش‌ها.

Figure 3. Daily series of meteorological variables used in the experiment period.

اقتصادی آب در طول ۳۰ سال عمر مفید صفحات کامپوزیتی محاسبه شد. براساس مطالعات صورت گرفته صفحات کامپوزیتی می‌توانند عمر بیش‌تری نیز داشته باشند (۱۹). در ادامه، از طریق حاصل ضرب نرخ کاهش تبخیر آب ناشی از به‌کارگیری سطوح کامپوزیتی و میزان تبخیر آب سد کوثر در واحد سطح، میزان جلوگیری از هدررفت آب در سد کوثر محاسبه و سپس با ضرب این میزان در قیمت اقتصادی آب سالانه، بازده اقتصادی سالانه (F) کاربرد صفحات کامپوزیتی در واحد سطح محاسبه شد. پس

جهت محاسبه قیمت آب برای برآورد اقتصادی از مطالعه رزاقی و همکاران (۲۰۲۲) استفاده شد (۱۸). در مطالعه مذکور قیمت اقتصادی آب سد کوثر جهت مصارف کشاورزی برای سال ۱۳۹۳ حدود ۵۴۱۱ ریال به‌ازای 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

حال خالص، نرخ بازده داخلی و دوره بازگشت سرمایه محاسبه شد. به منظور محاسبه مجموع ارزش حال خالص (NPV) از فرمول زیر استفاده شد:

$$NPV = \left[\sum_{t=0}^{30} \left(\frac{F_t}{(1+i)^t} \right) \right] - C_0 \quad (1)$$

مترمربع از صفحات، نرخ بهره (تنزیل) که معادل ۲۰ درصد لحاظ شد و فاصله زمانی سال پایه ۱۴۰۲ به عنوان سال رخداد هزینه ($t=0$) تا سال پایان عمر مفید صفحات است.

به منظور محاسبه نرخ بازده داخلی کاربرد این صفحات کافی است که به جای نرخ بهره در رابطه ۱ نرخ بازده داخلی (IRR) را مجهول قرار داده و آن را به گونه ای محاسبه کرد که مجموع ارزش حال خالص (NPV) برابر با صفر شود.

$$NPV = 0 \rightarrow \left[\sum_{t=0}^{30} \left(\frac{F_t}{(1+IRR)^t} \right) \right] - C_0 = 0 \quad (2)$$

کامپوزیت مثلثی ۶۷٪ و توپ های شناور نیز کارایی ۷۳٪ در کاهش تبخیر از سطح آب داشته اند. بر این اساس توپ های شناور به مقدار بسیار جزئی تأثیر بیش تری بر کاهش تبخیر از سطح آزاد داشته اند. وجود توپ های شناور باعث می شود تا تأثیر باد بر روی سطح آب کاهش یابد و همین مسأله می تواند بر میزان کاهش تبخیر مؤثر باشد. فضای خالی بین کامپوزیت های مربعی به دلیل داشتن ابعاد بزرگتر نسبت به کامپوزیت های مثلثی، کم تر بوده و همین مسأله می تواند از دلایل کاهش تبخیر در کامپوزیت های مربعی نسبت به کامپوزیت های مثلثی به حساب آید.

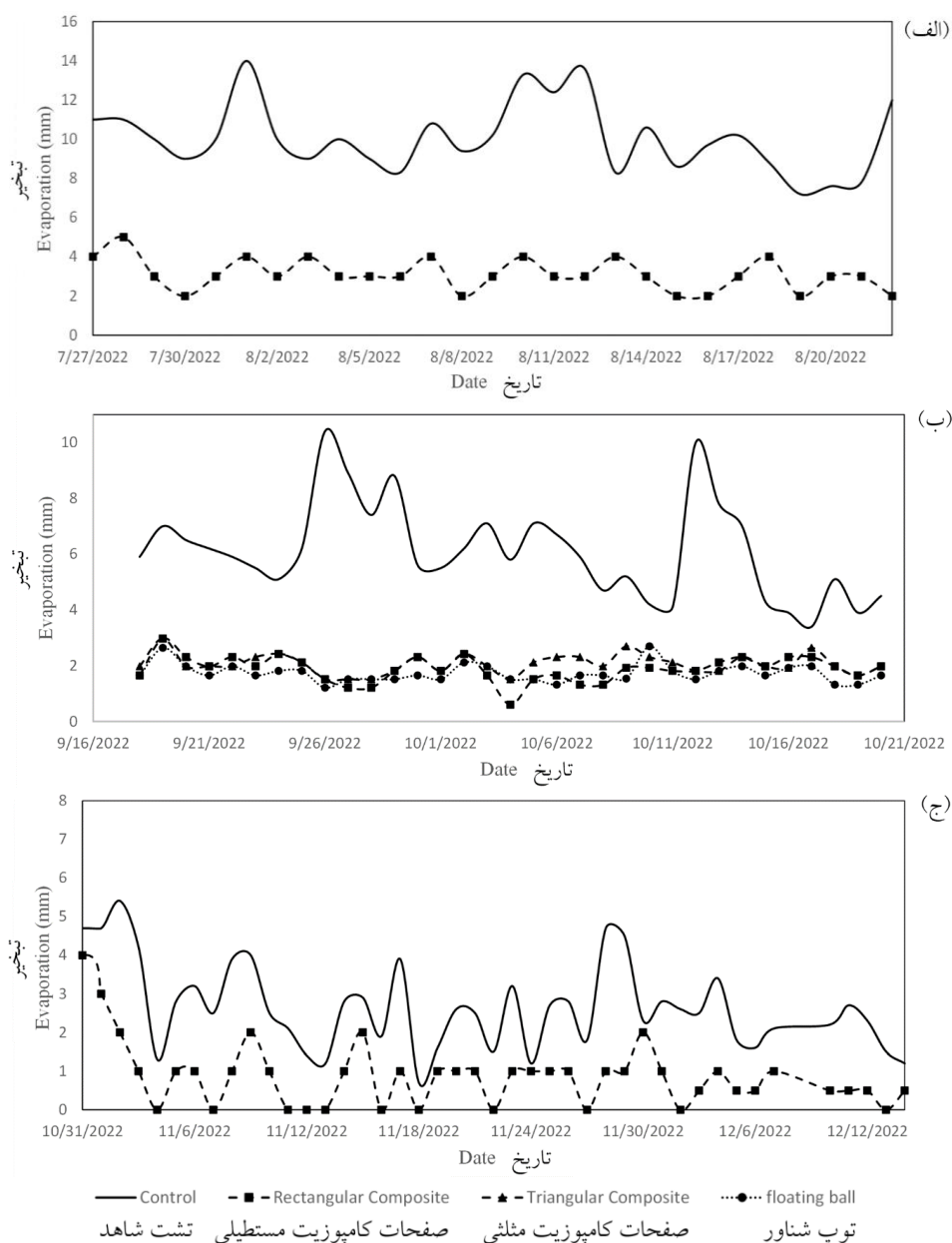
از تهیه و تدوین داده های بازده اقتصادی سالانه کاربرد صفحات کامپوزیتی در طول عمر مفید این صفحات، معیارهای توجیه پذیری اقتصادی مانند مجموع ارزش

هزینه خرید، نصب و نگهداری یک مترمربع از صفحات به قیمت سال ۱۴۰۲ (سال پایه) که قیمت خرید یک مترمربع از این صفحات معادل ۱۰۰۰۰۰۰ ریال، هزینه نصب هر مترمربع آن نیز معادل ۲۰۰۰۰۰ ریال و هزینه نگهداری سالانه آن ۱٪ قیمت صفحات در نظر گرفته شد. با توجه به این که صفحات کامپوزیت نسبت به شرایط محیطی بسیار مقاوم می باشند، هزینه نگهداری آن ها ۱٪ در نظر گرفته شد. بازده اقتصادی سالانه محاسبه شده ناشی از کاربرد یک

مدت زمانی که ارزش حال خالص برابر با صفر می شود به عنوان دوره بازگشت سرمایه شناخته می شود.

نتایج و بحث

تأثیر روش های مختلف کاهش تبخیر مورد استفاده در پژوهش حاضر بر میزان تبخیر از سطح آب در شکل ۴ ارائه شده است. با توجه به شکل ۴ علی رغم تفاوت در میزان تبخیر از سطح آزاد آب در روش های مختلف مورد استفاده، کارایی این روش ها تفاوت چندانی با هم ندارد. در این مرحله از آزمایش های کارایی صفحات کامپوزیت مربعی ۶۹٪، صفحات

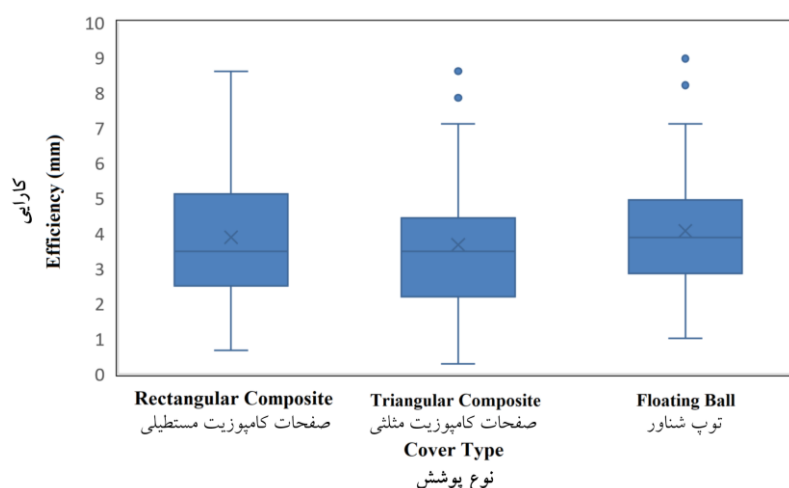


شکل ۴- تأثیر روش‌های مورد استفاده بر میزان تبخیر در (الف) فاز اول آزمایش‌ها، (ب) فاز دوم آزمایش‌ها و (ج) فاز سوم آزمایش‌ها.

Figure 4. The effect of the evaporation suppression methods on the evaporation rate in (a) the first phase, (b) the second phase and (c) the third phase of the experiments.

مثلی بوده و توپ‌های شناور از این لحاظ وضعیت بهتری در مقایسه با پوشش‌های کامپوزیت دارا هستند. همین مسأله در ارتباط با موقعیت چارک اول نیز مشاهده می‌شود. در ارتباط با موقعیت میانه، پوشش کامپوزیت مربعی از کارایی بهتری برخوردار است.

کارایی روش‌های مختلف مورد استفاده با استفاده از نمودار جعبه‌ای در کاهش تبخیر در مرحله دوم آزمایشات در شکل ۵ ارائه شده است. بر اساس شکل ۵ نیز شباهت بالایی میان کارایی روش‌های مختلف مشاهده می‌شود. حداقل کارایی مربوط به پوشش

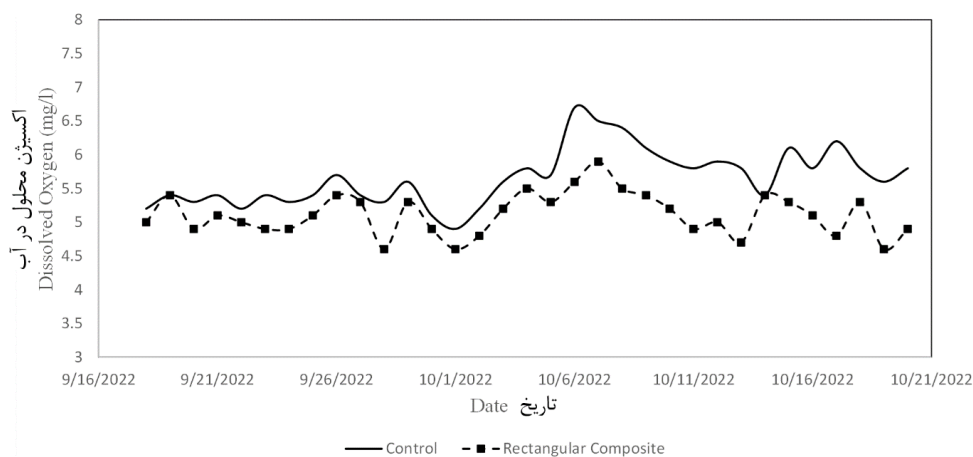


شکل ۵- نمودار جعبه‌ای کارایی پوشش‌های مورد استفاده بر کاهش تبخیر.

Figure 5. Box diagram of the efficiency of the used coatings on reducing evaporation.

قابل ملاحظه نمی‌باشد. بر اساس آزمایش‌های صورت گرفته حداکثر کاهش میزان اکسیژن محلول در دوره انجام آزمایش‌ها برابر با $1/4$ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. کم‌ترین اکسیژن محلول اندازه‌گیری شده در حضور صفحات کامپوزیت برابر با $4/6$ میلی‌گرم بر لیتر بوده که از لحاظ استانداردهای محیط زیستی نرمال به حساب می‌آید.

با توجه به تأثیر پوشش صفحات کامپوزیت مربعی بر میزان اکسیژن محلول در آب می‌توان اظهار نظر نمود که نتایج مربوط به اکسیژن محلول در آب در دو تیمار شاهد و صفحات کامپوزیت مربعی در فاز دوم آزمایش‌ها در شکل ۶ ارائه شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، صفحات کامپوزیت باعث کاهش اکسیژن محلول در آب شده ولی این کاهش



شکل ۶- تأثیر پوشش صفحات کامپوزیت مربعی بر میزان اکسیژن محلول در آب.

Figure 6. The effect of square composite plates on the amount of dissolved oxygen in water.

واریانس دوطرفه در میزان کارایی صفحات کامپوزیت استفاده می‌شود. در این بخش جهت بررسی تأثیر متغیرهای مختلف هواشناسی بر میزان کارایی پوشش

تحلیل واریانس (ANOVA) یکی از مهم‌ترین تحلیل‌های آماری به حساب می‌آید. جهت بررسی تأثیر متغیرهای مستقل بر یک متغیر وابسته از تحلیل

همه پارامترهای هواشناسی دارای تأثیر معنادار بر میزان تبخیر می‌باشند. به عبارتی حضور صفحات کامپوزیت بیش‌ترین تأثیر را بر روی رطوبت نسبی دارای اثری برابر با ۰/۱۸۲ و سرعت باد اثری برابر ۰/۱۹۷ دارا می‌باشند. مدل ایجاد شده جهت تعیین کارایی صفحات کامپوزیت در کاهش تبخیر دارای ضریب تبیین ۰/۴۷۱ بوده که نشان می‌دهد اثرات اصلی به تنهایی نمی‌توانند کارایی این صفحات را به خوبی تخمین بزنند و نیاز است که اثرات متقابل نیز مدل‌سازی شوند.

کامپوزیت در کاهش تبخیر از سطح آب از تحلیل واریانس دوطرفه استفاده گردید. بر همین اساس در ابتدا تنها از اثرات اصلی پارامترهای مستقل استفاده گردید و در مرحله بعد علاوه بر اثرات اصلی از اثرات متقابل نیز استفاده شده است.

در این بخش با استفاده از تحلیل واریانس دوطرفه، اثرات اصلی پارامترهای مستقل بر میزان کارایی صفحات کامپوزیت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحلیل در جدول ۲ ارائه شده است. براساس نتایج این تحلیل، دو پارامتر رطوبت نسبی و سرعت باد دارای تأثیر معنادار هستند. در حالت تیمار شاهد،

جدول ۲- نتایج تحلیل واریانس دوطرفه بر اساس اثرات اصلی.

Table 2. Results of ANOVA based on the main effects.

پارامتر مجذور اتا Partial Eta Squared	Sig.	F	جذر میانگین مربعات خطا Root Mean Square Error	درجه آزادی df	منبع Source
0.006	0.657	0.201	0.002	2	درجه حرارت Temperature
0.182	0.008	8.002	0.098	2	رطوبت نسبی Humidity
0.003	0.733	0.118	0.001	2	فشار سطح Pressure Surface
0.197	0.019	4.421	0.108	2	سرعت باد Wind Speed
0.026	0.338	0.943	0.011	2	تابش خورشیدی Solar Irradiance

پارامتر فشار در سطح زمین ارائه شده است که براساس آزمون بن‌فرونی، سه سطح مورد استفاده تفاوت معناداری در سطح احتمال ۰/۰۱ دارا می‌باشند. در جدول ۶ نتایج آزمون بن‌فرونی پارامتر سرعت باد ارائه شده است که تنها میان سطوح ۱ و ۲ و ۱ و ۳ تفاوت معنادار مشاهده شده است. در ارتباط با رطوبت نسبی نیز که نتایج آن در جدول ۷ نشان داده شده است، میان همه سطوح تفاوت معنادار وجود دارد.

جهت بررسی اثرات درون‌گروهی هر کدام از متغیرهای مستقل از آزمون بن‌فرونی استفاده گردید. نتایج این آزمون در مورد متغیر تابش خورشیدی در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس این جدول تفاوت معناداری میان سه سطح تابش انتخاب شده وجود دارد. در جدول ۴ نتایج اثرات درون‌گروهی میان سطوح مختلف دما ارائه شده است که بر اساس این جدول نیز، سطوح انتخاب شده تفاوت معناداری با یکدیگر دارند. در جدول ۵ اثرات درون‌گروهی

جدول ۳- نتایج آزمون بن فرونی در اثرات درون گروهی پارامتر تابش آفتاب.

Table 3. Bonferroni test on the within-group effects of the sun solar irradiance.

95% Confidence Interval		Sig.	میانگین تفاضلات Mean Difference	تابش خورشیدی Irradiance	تابش خورشیدی Irradiance
Upper Bound	Lower Bound				
-1.17	-3.69	0.000	-2.43*	2	1
-5.44	-8.85	0.000	-7.15*	3	
3.69	1.17	0.000	2.43*	1	2
-3.29	-6.13	0.000	-4.71*	3	
8.85	5.44	0.000	7.15*	1	3
6.13	3.29	0.000	4.71*	2	

جدول ۴- نتایج آزمون بن فرونی در اثرات درون گروهی پارامتر دمای هوا.

Table 4. Bonferroni test on the within-group effects of the temperature.

95% Confidence Interval		Sig.	میانگین تفاضلات Mean Difference	دمای هوا Temperature	دمای هوا Temperature
Upper Bound	Lower Bound				
-0.99	-3.48	0.000	-2.23*	2	1
-4.79	-8.02	0.000	-6.40*	3	
3.48	.99	0.000	2.23*	1	2
-2.82	-5.50	0.000	-4.16*	3	
8.02	4.79	0.000	6.40*	1	3
5.50	2.82	0.000	4.16*	2	

جدول ۵- نتایج آزمون بن فرونی در اثرات درون گروهی پارامتر فشار.

Table 5. Bonferroni test on the within-group effects of the pressure.

95% Confidence Interval		Sig.	میانگین تفاضلات Mean Difference	فشار هوا Pressure	فشار هوا Pressure
Upper Bound	Lower Bound				
6.12	3.39	0.000	4.76*	2	1
8.35	4.77	0.000	6.56*	3	
-3.39	-6.12	0.000	-4.76*	1	2
3.21	0.39	0.007	1.80*	3	
-4.77	-8.35	0.000	-6.56*	1	3
-0.39	-3.21	0.007	-1.80*	2	

جدول ۶- نتایج آزمون بن فرونی در اثرات درون گروهی پارامتر سرعت باد.

Table 6. Bonferroni test on the within-group effects of the wind speed.

95% Confidence Interval		Sig.	میانگین تفاضلات Mean Difference	سرعت باد Wind Speed	سرعت باد Wind Speed
Upper Bound	Lower Bound				
-0.09	-0.39	0.001	-.24*	2	1
-0.11	-0.44	0.000	-.28*	3	
0.39	0.09	0.001	.24*	1	2
0.06	-0.13	1.000	-.03	3	
0.44	0.11	0.000	.28*	1	3
0.13	-0.06	1.000	.03	2	

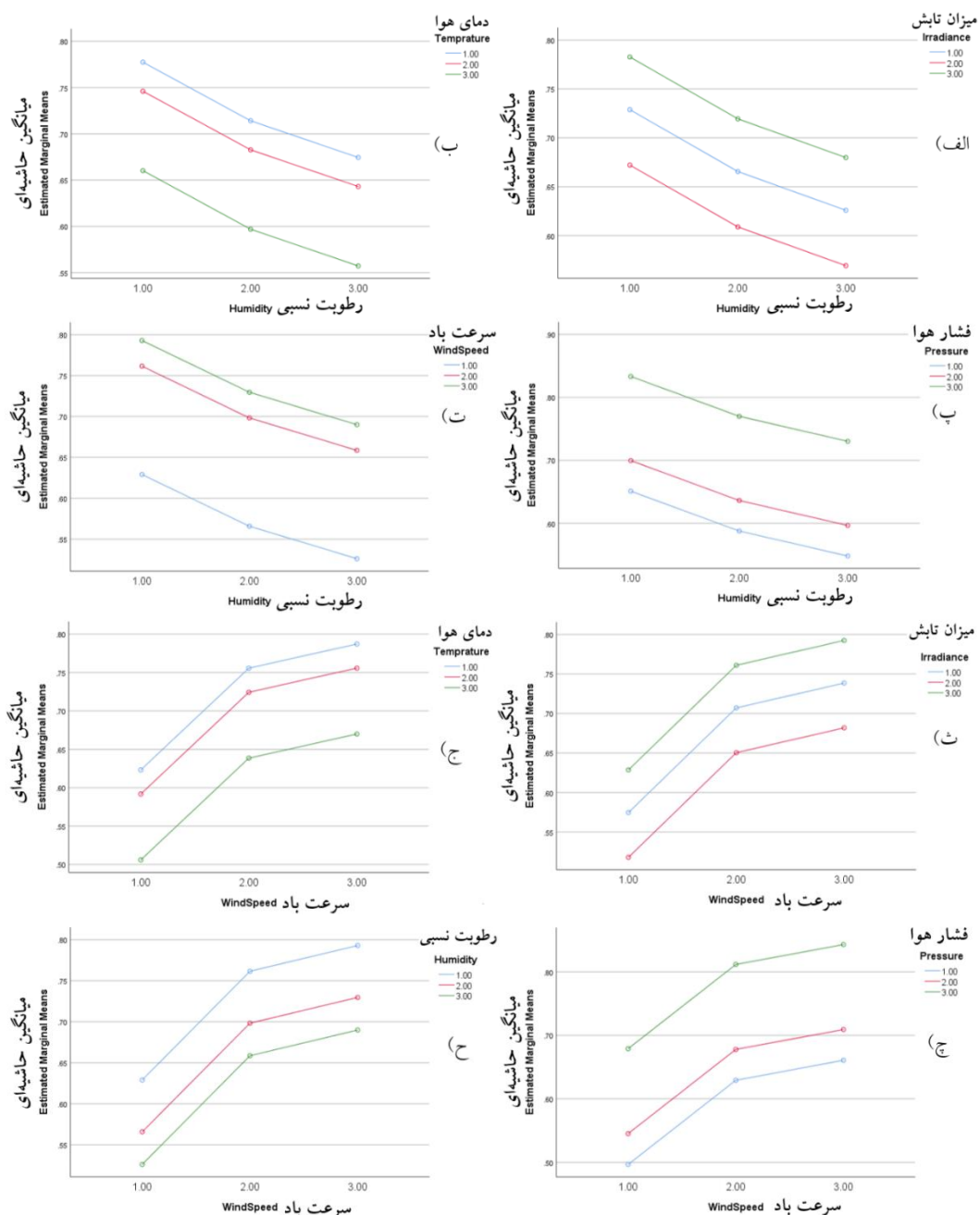
جدول ۷- نتایج آزمون بین‌فرونی در اثرات درون‌گروهی پارامتر رطوبت نسبی.

Table 7. Bonferroni test on the within-group effects of the relative humidity.

95% Confidence Interval		Sig.	میانگین تفاضلات Mean Difference	رطوبت نسبی Humidity	رطوبت نسبی Humidity
Upper Bound	Lower Bound				
5.08	2.65	0.000	3.87*	2	1
7.73	4.55	0.000	6.14*	3	1
-2.65	-5.08	0.000	-3.87*	1	2
3.61	0.93	0.000	2.27*	3	2
-4.55	-7.73	0.000	-6.14*	1	3
-0.93	-3.61	0.000	-2.27*	2	3

میزان تبخیر در تیمار شاهد و صفحات کامپوزیت افزایش می‌یابد. این مسأله باعث افزایش کارایی صفحات کامپوزیت شده است. در شکل ۷-ب در سطوح ثابت درجه حرارت، با افزایش رطوبت نسبی، کارایی صفحات کامپوزیت کاهش یافته است. در شکل ۷-پ، بیش‌ترین کارایی صفحات مربوط به فشارهای حداکثر می‌باشد. در این شکل نیز با افزایش میزان رطوبت نسبی، کارایی صفحات کامپوزیت کاهش پیدا کرده است. در شکل ۷-ت، سطوح ۲ و ۳ سرعت باد نزدیک به یکدیگر بوده و تفاوت زیادی با سطح ۱ دارند. بر اساس جدول ۵، تنها بین سطوح ۱ و ۲ و نیز ۱ و ۳ تفاوت معنادار وجود دارد که در این شکل نیز مشاهده می‌شود. در این شکل، با افزایش سرعت باد، میزان کارایی صفحات کامپوزیت افزایش پیدا کرده است. در شکل ۷-ج، با افزایش فشار در سطح زمین و افزایش باد، کارایی صفحات کامپوزیت افزایش پیدا کرده است. تفاوت میان سطح ۳ فشار با سطوح ۱ و ۲ قابل‌ملاحظه بوده و تغییرات کارایی صفحات از سطح ۱ به ۲ سرعت باد بیش‌تر از تغییر از سطح ۲ به ۳ می‌باشد.

اثرات پارمترهای مختلف هواشناسی بر میزان کارایی صفحات کامپوزیت در کاهش تبخیر از سطح آب در شکل ۷ ارائه شده است. در شکل ۷، محور افقی مربوط به رطوبت نسبی هوا و یا سرعت باد و محور قائم مربوط به میزان کارایی صفحات کامپوزیت می‌باشد. رطوبت نسبی از جمله پارامترهای تأثیرگذار بر میزان تبخیر از سطح آب بوده و افزایش رطوبت باعث کاهش تبخیر از سطح آب می‌گردد. در شکل ۷ افزایش رطوبت نسبی باعث کاهش کارایی صفحات کامپوزیت شده است این مسأله به دلیل تأثیر این پارامتر بر تیمار شاهد است. به این صورت که افزایش رطوبت نسبی باعث کاهش شدید تبخیر در تیمار شاهد شده ولی در تشت حاوی صفحات کامپوزیت به دلیل کم بودن تبخیر، رطوبت نسبی تأثیر چندانی نداشته و به همین دلیل کارایی صفحات نسبت به تیمار شاهد کاهش یافته است. در مورد سرعت باد، این مسأله حالت عکس دارد. به این صورت که افزایش سرعت باد به شدت باعث افزایش تبخیر می‌گردد، این در حالی است که صفحات کامپوزیت مانع برخورد مستقیم باد با سطح آب شده و تفاوت



شکل ۷- تأثیر پارامترهای مختلف هواشناسی بر میزان کارایی صفحات کامپوزیت در کاهش تبخیر.

Figure 7. The effect of meteorological parameters on the efficiency of composite panels in reducing evaporation.

نمی‌توانند میزان کارایی صفحات را شبیه‌سازی نمایند. بر همین اساس در این مرحله علاوه بر اثرات اصلی، اثرات متقابل پارامترهای هواشناسی نیز در نظر گرفته شد. نتایج تحلیل واریانس دوطرفه با در نظر گرفتن اثرات متقابل در جدول ۸ ارائه شده است. با توجه به

بررسی اثرات متقابل پارامترهای مستقل بر میزان کارایی صفحات کامپوزیت: با توجه به ضریب تبیین به‌دست آمده در تحلیل مربوط به اثرات اصلی پارامترهای مختلف هواشناسی بر کارایی صفحات کامپوزیت، مشخص شد که اثرات اصلی به‌تنهایی

صفحات کامپوزیت اثرات متقابل تأثیر خود را بر میزان تبخیر از دست می‌دهند. با این وجود، در نظر گرفتن اثرات متقابل در کنار اثرات اصلی، ضریب تبیین مدل ساخته شده را به ۰/۶۶۹ افزایش داده است که نشان می‌دهد اثرات متقابل به میزان ۰/۲ در این ضریب تأثیر داشته‌اند.

نتایج این جدول، هیچ‌کدام از اثرات متقابل تأثیر معناداری بر میزان کارایی صفحات کامپوزیت ندارند. نتایج حاصل از تحلیل واریانس دوطرفه بر میزان تبخیر از سطح آب بدون استفاده از صفحات کامپوزیت نشان می‌دهد که همه اثرات متقابل به جز اثر متقابل سرعت باد و تابش خورشیدی دارای تأثیر معنادار بر میزان تبخیر می‌باشند ولی با استفاده از

جدول ۸- نتایج تحلیل واریانس دو طرفه با در نظر گرفتن اثرات اصلی و اثرات متقابل.

Table 8. Results of two-way ANOVA based on main and interaction effects.

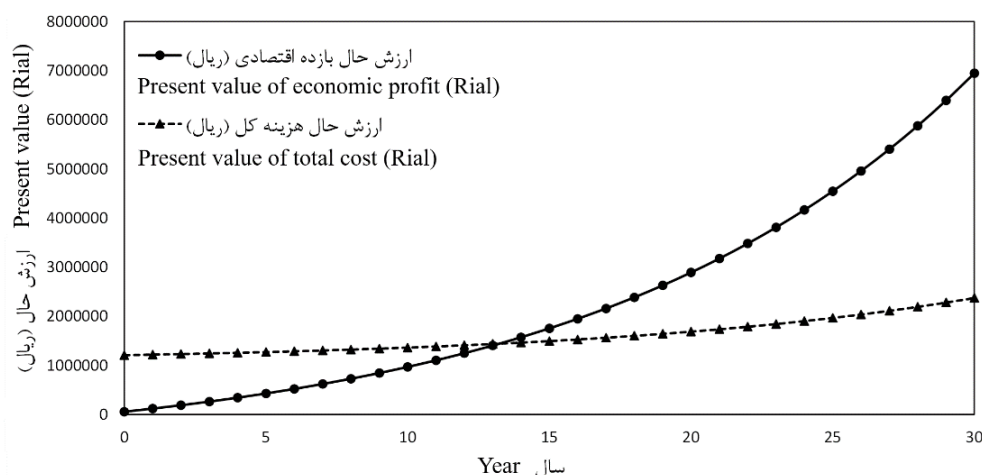
پارامتر مجذور اتا Partial Eta Squared	Sig.	F	درجه آزادی df	منبع Source
0.002	0.704	0.146	1	رطوبت نسبی × تابش خورشیدی Humidity × Solar Irradiance
0.002	0.757	0.097	1	رطوبت نسبی × فشار سطح Humidity × Surface Pressure
0.000	0.915	0.011	1	دما × رطوبت نسبی Temperature × Humidity
0.009	0.763	0.272	2	رطوبت نسبی × سرعت باد Humidity × Wind Speed
0.004	0.620	0.248	1	فشار سطح × تابش خورشیدی Surface Pressure × Solar Irradiance
0.000	0.895	0.018	1	دما × تابش خورشیدی Temperature × Solar Irradiance
0.008	0.787	0.241	2	سرعت باد × تابش خورشیدی Wind Speed × Solar Irradiance
0.036	0.142	2.216	1	دما × فشار سطح Temperature × Surface Pressure
0.001	0.806	0.061	1	فشار سطح × سرعت باد Surface Pressure × Wind Speed
0.001	0.843	0.040	1	دما × سرعت باد Temperature × Wind Speed

اقتصادی بودن طرح می‌باشد. با در نظر گرفتن ۱٪ قیمت اولیه صفحات کامپوزیت به‌عنوان هزینه نگهداری سالانه، دوره بازگشت سرمایه برابر با ۱۳ سال محاسبه گردید. نمودار مربوط به ارزش بازده اقتصادی با توجه به ارزش حال قیمت آب و ارزش

بر اساس تحلیل‌های صورت گرفته براساس نتایج برآورد اقتصادی استفاده از صفحات کامپوزیت، مقدار NPV برای صفحات کامپوزیت جهت استفاده در مخزن سد کوثر ۰،۱۷۰،۵۷۵،۴ به‌ازای هر مترمربع سطح مخزن محاسبه گردید. مقدار NPV مثبت نشان‌دهنده

بانکی از لحاظ اقتصادی توجیه پذیر می باشد. مهم تر از تحلیل های صورت گرفته، در نظر گرفتن ارزش ذاتی آب بوده که مقدار آن بسیار فراتر از مبالغ در نظر گرفته شده می باشد و با توجه به چالش های موجود در زمینه منابع آب، کشور ناگزیر به استفاده از این روش ها جهت حفظ منابع خود می باشد.

حال هزینه کل (ارزش حال هزینه سرمایه + ارزش حال هزینه نصب + ارزش حال هزینه نگهداری) در طول عمر مفید صفحات کامپوزیت به ازای واحد سطح مخزن در شکل ۸ ارائه شده است. جهت محاسبه نرخ بازده داخلی از رابطه ۲ استفاده گردید. براساس محاسبات صورت گرفته، نرخ بازده داخلی برابر با ۲۷٪ خواهد بود. بر این اساس با توجه به نرخ بهره



شکل ۸- ارزش حال بازده اقتصادی و ارزش حال هزینه کل در طول عمر مفید صفحات کامپوزیت به ازای واحد سطح مخزن سد کوثر.
Figure 8. The present value of the economic profit and the present value of the total cost during the useful life of the composite plates per unit area of the Kowsar Dam reservoir.

این نشان می دهد که حضور صفحات کامپوزیت بر دو پارامتر اشاره شده بیشترین تأثیر را داشته است. در تشت حاوی صفحات کامپوزیت به دلیل کم بودن تبخیر، رطوبت نسبی تأثیر چندانی نداشته و به همین دلیل کارایی صفحات نسبت به تیمار شاهد کاهش یافته است. مدل ایجاد شده براساس اثرات اصلی جهت تعیین کارایی صفحات کامپوزیت دارای ضریب تبیین ۰/۴۷۱ بوده که نشان می دهد اثرات اصلی به تنهایی نمی توانند کارایی این صفحات را تخمین بزنند و نیاز است که اثرات متقابل نیز مدلسازی شوند. با توجه نتایج تحلیل واریانس با در نظر گرفتن اثرات متقابل، هیچ کدام از اثرات متقابل تأثیر معناداری بر میزان

نتیجه گیری کلی

در این پژوهش اثر پارامترهای مختلف هواشناسی بر میزان کارایی صفحات کامپوزیت در کاهش تبخیر از سطح آب مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج تحلیل واریانس با در نظر گرفتن اثرات اصلی، دو پارامتر رطوبت نسبی و سرعت باد تأثیر معناداری بر میزان کارایی صفحات کامپوزیت در کاهش تبخیر از سطح آب دارند. رطوبت نسبی دارای اثری برابر با ۰/۱۸۲ و سرعت باد اثری برابر ۰/۱۹۷ دارا می باشند. رطوبت نسبی و سرعت باد از جمله پارامترهای تأثیرگذار بر میزان تبخیر از سطح آب بوده که به ترتیب باعث کاهش و افزایش تبخیر از سطح آب می گردند.

تبخیر نسبت به سطوح آزاد آب متفاوت است. در این پژوهش از ۱۰۰٪ پوشش سطح تشت استفاده شده است و کاهش پوشش مورد استفاده می‌تواند بر نتایج به دست آمده مؤثر باشد.

داده‌ها و اطلاعات

در این پژوهش از اطلاعات میدانی توسط پژوهش‌گران پژوهش به صورت بخشی از پروژه تحقیقاتی به شماره ۱۶۲۴۶-۲۱۵۶۱۱ استفاده شده است.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافع وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: مجری طرح پژوهش و آماده‌سازی روش‌شناسی، انجام تحلیل‌ها. نویسنده دوم: مشارکت در تحلیل‌ها، اصلاح و ویرایش نهایی مقاله

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها می‌باشد.

حمایت مالی

این پژوهش با حمایت مالی سازمان جهاد دانشگاهی استان خوزستان در قالب پروژه تحقیقاتی به شماره ۱۶۲۴۶-۲۱۵۶۱۱ صورت پذیرفته است.

کارایی صفحات کامپوزیت ندارند. باین وجود، در نظر گرفتن اثرات متقابل در کنار اثرات اصلی، ضریب تبیین مدل ساخته شده را به ۰/۶۶۹ افزایش داده است که نشان می‌دهد اثرات متقابل به میزان ۰/۲ در این ضریب تأثیر داشته‌اند. صفحات کامپوزیت در برابر شرایط جوی و اشعه ماوراءبنفش و همچنین شرایط اسیدی و قلیایی قوی، آلودگی‌ها و خوردگی و رنگ‌پریدگی مقاومت فوق‌العاده‌ای از خود بروز می‌دهند و سالیان متمادی بدون تغییر، خواص ظاهری و فنی خود را حفظ می‌کند. براساس آزمایش‌ها صورت گرفته حداکثر کاهش میزان اکسیژن محلول برابر با ۱/۴ میلی‌گرم بر لیتر بوده و کم‌ترین اکسیژن محلول اندازه‌گیری شده در حضور صفحات کامپوزیت برابر با ۴/۶ میلی‌گرم بر لیتر بوده که از لحاظ استانداردهای محیط زیستی نرمال به حساب می‌آید. نتایج به دست آمده با پژوهش‌های بن‌زقتا و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد. هرچند مطالعات بعضی از پژوهش‌گران نشان می‌دهد که با پوشاندن ۵۰٪ سطح آب، میزان اکسیژن محلول در آب در حد استاندارد باقی خواهد ماند (۲۰). هرچند بعضی از پژوهش‌ها دیگر نشان می‌دهد که استفاده از پوشش‌های شناور تأثیر چندانی بر روی پارامترهای کیفی آب ندارد (۱۳). نتایج برآورد اقتصادی صورت گرفته نشان می‌دهد که استفاده از صفحات کامپوزیت توجیه اقتصادی داشته و دارای دوره بازگشت ۱۳ ساله است. باید توجه داشت که میزان تبخیر از مخازن آب نسبت به تشت‌های تبخیر قرارگرفته در خشکی دارای تفاوت بوده که باید جهت استفاده عملی، از ضرایب اصلاحی استفاده شود. علاوه بر این تأثیر باد در تشت‌های

منابع

1. 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 Resources Management*. 33, 1867-1880.
2. Rezazadeh, A., Akbarzadeh, P., & Aminzadeh, M. (2020). The effect of floating balls density on evaporation suppression of water reservoirs in the presence of surface flows. *Journal of Hydrology*. 591, 125323.
3. Oosthoek, J., & Gills, B. K. (2005). Humanity at the crossroads: The globalization of environmental crisis. *Globalizations*. 2 (3), 283-291.
4. Wang, W., Zou, S., Shao, Q., Xing, W., Chen, X., Jiao, X., Luo, Y., Yong, B., & Yu, Z. (2016). The analytical derivation of multiple elasticities of runoff to climate change and catchment characteristics alteration. *Journal of Hydrology*. 541, 1042-1056.
5. Ghazvinian, H., Farzin, S., Karami, H., & Mousavi, S. F. (2020). Investigating the effect of using polystyrene sheets on evaporation reduction from water-storage reservoirs in arid and semiarid regions (Case study: Semnan city). *Journal of Water and Sustainable Development*. 7 (2), 45-52. [Translated in Persian]
6. Alizadeh, A. (2013). The principles of applied hydrology. Ferdowsi University of Mashhad. [Translated in Persian]
7. Arabi Yazdi, A., Niknia, N., Majidi, N., & Emami, H. (2015). Water security assessment in arid climates based on water footprint concept (case study; south Khorasan province). *Iran J. Irrig. Drain*. 4 (8), 735-746. [Translated in Persian]
8. Mokarram, M., Zarei, A. R., & Etedali, H. R. (2021). Optimal location of yield with the cheapest water footprint of the crop using multiple regression and artificial neural network models in GIS. *Theoretical and Applied Climatology*. 143, 701-712.
9. 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.
10. Sepaskhah, A. R. (2018). Evaporation reduction from water reservoir of dams. *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 3 (1), 13-26. [Translated in Persian]
11. 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 and Drainage*. 14 (4), 1448-1459. [Translated in Persian]
12. Rezazadeh, A., Akbarzadeh, P., & Aminzadeh, M. (2020). Modelling and Experimental Investigation of the Evaporation Suppression Using Floating Covers in the Presence of Surface Flows. *Amirkabir J. Mech. Eng*. 53 (1), 1-3. [Translated in Persian]
13. Benzaghta, M. A., Mohammed, T. A., Ghazali, A. H., & Soom, M. A. M. (2013). Testing of evaporation reduction methods in humid climates. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management* (Vol. 166, No. 4, 207-216). Thomas Telford Ltd.
14. Taboada, M. E., Cáceres, L., Graber, T. A., Galleguillos, H. R., Cabeza, L. F. & Rojas, R. (2017). Solar water heating system and photovoltaic floating cover to reduce evaporation: Experimental results and modeling. *Renewable Energy*. 105, 601-615.
15. Han, K. W., Shi, K. B., & Yan, X. J. (2020). Evaporation loss and energy balance of agricultural reservoirs covered with counterweighted spheres in arid region. *Agricultural Water Management*. 238, 106227.
16. Shalaby, M. M., Nassar, I. N., & Abdallah, A. M. (2021). Evaporation suppression from open water surface using various floating covers with consideration of water ecology. *Journal of Hydrology*. 598, 126482.
17. 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.
18. Razzaghi, F., Rajabpor, R., Layani, G., & Mirzaei, F. (2022). Estimation of the Economic Value of Water for Urban and Agricultural Use: A Case Study for Kowsar Dam. *Journal of Agricultural Economics Research*. 14 (1), 76-91. [Translated in Persian]
19. Grabovac, I., & Whittaker, D. (2009). Application of bonded composites in the repair of ships structures—A 15-year service experience. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 40 (9), 1381-1398.
20. El Baradei, S. A., & Al Sadeq, M. (2019). Optimum coverage of irrigation canals to minimize evaporation and maximize dissolved oxygen concentration: case study of Toshka, Egypt. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 16, 4223-4230.