نشریه علوم آب و خاک
سال بیست و ششم / شماره چهارم / زمستان ۱۴۰۱/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۱۶۱ تا ۱۷۵

بررسی عملکرد مونولایرها بر کاهش تبخیر از سطح آب با درنظر گرفتن پارامترهای هواشناسی

مهرداد کریم‌زاده[۱]، جواد ظهیری[۱*] و ولی‌اله نوبخت[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۲۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۱۸)

چکیده

سدهای مخزنی در کنار تمامی مزایای که برای بشر داشته‌اند، مشکلاتی را نیز به‌همراه داشته است. یکی از مهم‌ترین این مشکلات در معرض قرار دادن سطح وسیعی از آب در مجاورت هوا است که باعث هدررفت مقدار زیادی آب بر اثر تبخیر می‌شود. یکی از روش‌های کاهش تبخیر از سطح آب، استفاده از روش‌های شیمیایی بوده که کاربرد الکل‌های سنگین از آن جمله به‌حساب می‌آیند. در این تحقیق از سه امولسیون اکتادکانول، هگزادکانول و ترکیب اکتادکانول و هگزادکانول به‌همراه بریج- ۳۵ (دودسیل پلی‌اتیلن اکسید اتر) در کنار دو روش فیزیکی سایبان و توپ‌های شناور برای بررسی عملکرد امولسیون‌های مختلف استفاده شد. از آنالیز واریانس یک‌طرفه برای مقایسه میانگین تبخیر در روش‌های مختلف شیمیایی و فیزیکی و آنالیز واریانس دو طرفه برای بررسی اثرات اصلی و متقابل پارامترهای مختلف هواشناسی بر میزان تبخیر استفاده شد. مقایسه میانگین تبخیر در روش‌های مختلف نشان می‌دهد که دو روش فیزیکی سایبان و توپ‌های شناور عملکرد بهتری نسبت به روش‌های شیمیایی داشته و در بین روش‌های شیمیایی نیز روش اکتادکانول از عملکرد بهتری نسبت به دو مونولایر دیگر برخوردار بوده است. نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که از میان روش‌های شیمیایی مورد استفاده، تنها روش اکتادکانول با توپ‌های شناور در سطح احتمال ۹۹ درصد ($P<0/01$) فاقد اختلاف معنادار است. از طرفی آنالیز واریانس دوطرفه نشان داد که دمای هوا و درصد رطوبت نسبی بیشترین تأثیر را روی میزان تبخیر داشته‌اند. بررسی تأثیر سطوح مختلف پارامترهای هواشناسی روی عملکرد روش‌های کاهش تبخیر نشان داد که در دماهای کم، مونولایر اکتادکانول عملکرد ضعیف‌تری را نسبت به دو روش فیزیکی کاهش تبخیر دارا بوده ولی با افزایش دما عملکرد آن بهبود پیدا کرده است. همچنین این مونولایر، در سرعت‌های باد کم، از عملکرد مناسبی در مقایسه با روش‌های فیزیکی برخوردار بوده ولی با افزایش سرعت باد، عملکرد آن به‌شدت تحت تأثیر قرار گرفته و کارایی آن کاهش می‌یابد، به‌گونه‌ای‌که در دماهای بیشتر از ۳۷ درجه سانتی‌گراد، تغییر سرعت باد از ۳/۵ متر بر ثانیه به بیشتر از ۸/۷ متر بر ثانیه باعث افزایش بیش از ۵۰ درصد میزان تبخیر شده است. تأثیر مونولایرها و روش‌های فیزیکی کاهش تبخیر بر ویژگی‌های کیفی آب از جمله اکسیژن محلول از اهمیت زیادی برخوردار است که بایستی در تحقیقات آینده بیشتر به آن پرداخته شود.

واژه‌های کلیدی: مونولایر، تبخیر، الکل‌های سنگین، بریج-۳۵، آنالیز واریانس

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ایران
۲. گروه شیمی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: zahiri1983@yahoo.com

مقدمه

یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن حاضر کمبود آب به‌حساب می‌آید. این مسئله بسیاری از کشورهای جهان را در برگرفته و معضلات بسیاری را برای دولت‌ها و مردم این کشورها ایجاد کرده است. همین مسئله باعث شده است تا نیاز به یک راه‌حل بهینه برای پایش و مدیریت منابع آبی بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد (۱۹). در کشور ایران نیز وجود تعداد زیاد سدهای مخزنی باعث کاهش اهمیت این مسئله نشده است به‌گونه‌ای که در سال‌های اخیر کمبود آب به‌عنوان یکی از چالش‌های اساسی کشور، توجهات بسیاری را به‌خود جلب کرده است. وجود سدهای مخزنی می‌تواند به‌عنوان منبع اساسی تأمین آب در کشورهای خشک و نیمه‌خشک به‌حساب بیاید ولی از آنجا که متوسط درجه حرارت در این‌گونه کشورها زیاد است، ذخیره آب در پشت سدها، میزان زیاد تبخیر را نیز به‌همراه خواهد داشت (۵). میزان آبی که از مخازن سدها در مقیاس جهانی به‌صورت تبخیر هدر می‌رود از مجموع آب مورد نیاز صنعت و شرب بیشتر است (۲۱). با این‌حال، این حجم زیاد آب تلف شده به‌دلیل پیچیدگی‌هایی که در برآورد این تلفات وجود دارد، فقط در شیوه‌های مدرن مدیریت منابع آب مورد توجه قرار می‌گیرد. از دست رفتن آب مخازن در مناطق گرم و خشک می‌تواند به‌اندازه‌ای قابل توجه باشد که اثرات مثبت نگهداشت آب در پشت مخازن را خنثی کند (۲۰). علاوه بر پارامترهای مختلف اقلیمی و هواشناسی که تأثیر بالایی بر میزان تبخیر از سطح آزاد دارند، اثر واحه‌ای نیز بر روی میزان تبخیر مؤثر است. تأثیر این پارامتر به‌گونه‌ای است که در ماه‌هایی که اثر واحه‌ای وجود دارد، میزان خطای روش‌های متداول برآورد تبخیر از قبیل پنمن- مانتیس بین ۳۲ تا ۶۶ درصد گزارش شده است (۴). بر اساس تحقیقات صورت گرفته، میزان تبخیر از مخازن ایالت تگزاس در آمریکا حدود ۷/۵۳ میلیارد مترمکعب در سال است که برابر با ۶۱ درصد نیاز کشاورزی یا ۱۲۶ درصد کل نیاز آب شرب این ایالت در سال ۲۰۱۰ را شامل می‌شود. این میزان تبخیر از مخازن در دوره‌های خشکسالی که به‌تازگی افزایش پیدا کرده است، تشدید خواهد شد (۱۸). مطالعه دیگری که روی مخازن ایالت تگزاس صورت گرفته است نشان می‌دهد که سالانه حدود ۲۰ درصد حجم مفید مخازن تحت تأثیر تبخیر هدر می‌رود. بر اساس این مطالعه در پنج حوضه ساحلی، تلفات تبخیری مخازن از حداقل جریان آب شیرین مورد نیاز برای حفظ سلامت پایدار اکوسیستم نیز بیشتر بوده است (۲۰). در تحقیق دیگری که روی ۷۲۱ مخزن سد در ایالات متحده صورت گرفته مشخص شد که میزان آب هدررفته از این مخازن سالانه بیش از ۳۰ میلیارد مترمکعب است که معادل ۹۳ درصد تأمین آب عمومی سالانه ایالات متحده است. نکته نگران‌کننده دیگر در این ارتباط به افزایش شدت تبخیر از مخازن سدها به‌دلیل تغییرات اقلیمی و افزایش سطح آب مخازن به‌دلیل ته‌نشینی رسوبات مربوط می‌شود (۲۱). در یک طرح مطالعاتی در کوئینزلند استرالیا، تلفات تبخیر به‌تنهایی بیش از ۴۰ درصد برآورد شد (۱۷). مطالعه صورت گرفته روی سد قرعون (Qaraoun Dam) در لبنان نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۳، ۱۷/۸۸ میلیون مترمکعب آب از سد براثر تبخیر تلف شده است که اگر این میزان آب برای تولید برق مورد استفاده قرار می‌گرفت، حدود ۸۵۰ هزار دلار سود داشت. با این‌حال، این مقدار تنها ۵/۱ درصد از کل ضرر را شامل می‌شود. در سمت دیگر، تأثیر تبخیر روی آبیاری بسیار بیشتر بوده است به‌گونه‌ای که ضرر ناشی از تبخیر در آن سال روی آبیاری حدود ۴۳ میلیون دلار برآورد شده است (۲). درک پدیده تبخیر از سطوح آزاد می‌تواند نقش مهمی در رسیدن به توسعه پایدار در استفاده از منابع آب ایفا کند. کنترل تبخیر از سطح آزاد آب با استفاده از روش‌های مختلف می‌تواند نقش مهمی در حفاظت منابع آبی موجود ایفا کند. از طرفی با توجه به اینکه این روش اغلب نیاز به ایجاد تأسیسات جدید ندارد و آب ذخیره شده بدون تأخیر ناشی از ایجاد تأسیسات جدید در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌گیرد، در اغلب موارد کاهش تبخیر از لحاظ اقتصادی نسبت به جمع‌آوری و ذخیره همان مقدار آب به‌صرفه‌تر خواهد بود (۱۰). بر همین اساس مطالعات متعددی در داخل و خارج کشور برای کاهش تبخیر از سطح

آب مخازن صورت گرفته است. مقایسه تأثیر ستیل و استریل الکل به‌عنوان روش‌های شیمیایی و پلی استیرن با درصد پوشش ۴۰ تا ۸۰ درصد به‌عنوان روش فیزیکی روی میزان تبخیر از تشت نشان داد که روش‌های شیمیایی کارایی بهتری نسبت به روش فیزیکی مورد استفاده داشته‌اند (۱۰). مطالعه میزان تبخیر از دریاچه سد امیرکبیر (کرج) و زمین‌های کشاورزی پایین‌دست آن در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد سال ۱۳۹۰ نشان داد که میزان تبخیر از کل سطح دریاچه در تاریخ‌های منتخب بین ۵ تا ۱۱ میلی‌متر در روز متغیر بوده که مقدار نسبتاً قابل‌توجهی را نشان می‌دهد و برنامه‌هایی برای جلوگیری از هدررفت آن می‌بایستی درنظر گرفته شود (۱۹). بررسی روش‌های مختلف کاهش تبخیر از سطح مخازن با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی از نظر اقتصادی، اجرایی و زیست‌محیطی نشان داد که توپ‌های سایه، آبدان‌ها و پنل‌های خورشیدی از اولویت بیشتری نسبت به دیگر روش‌ها برخوردار بوده‌اند (۱۲). یکی از دلایلی که روش‌های شیمیایی در این تحقیق از امتیاز کمتری برخوردار شده‌اند، تأثیر این مواد روی کیفیت آب ذکر شده است. نتایج استفاده از پوشش‌های فیزیکی از قبیل ورقه‌های پلی استایرن، قطعات چوب و ورقه‌های موم عسل برای کاهش تبخیر از سطح آب تشت‌های تبخیر نشان داد که استفاده از پوشش پلی‌استایرن نسبت به دیگر روش‌های مورد استفاده از عملکرد مناسب‌تری برخوردار بوده است (۶). پلی‌استایرن مورد استفاده دارای درصد پوشش ۷۰ درصد بوده که میزان تبخیر را به‌میزان ۴۵ تا ۶۰ درصد کاهش داده است. در تحقیقی برای کاهش تبخیر از سطح آزاد آب در مخازن سد رسوب‌گیر مجتمع سرچشمه، از پوشش فیزیکی شناوری به نام یونوبتن استفاده شد (۱). پوشش مورد استفاده از قطعات مکعبی پلی‌استایرن تشکیل شده که با آستری از جنس بتن پوشیده شده‌اند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، پوشش یونوبتن کارایی حدود ۹۰ درصد در کاهش تبخیر از سطح آزاد دارد. مقایسه عملکرد روش فیزیکی توپ سایه و روش شیمیایی الکل‌های سنگین در کاهش تبخیر از سطح آب نشان داد که هر دو روش فیزیکی و شیمیایی تأثیر قابل‌توجهی بر کاهش تبخیر از سطح آب دارند (۱۶). علاوه بر این می‌توان با ترکیب این دو روش به راندمان بیشتر نیز رسید. تحقیقات صورت گرفته روی گیاه عدسک آبی به‌عنوان یک پوشش دوستدار محیط‌زیست برای کاهش تبخیر از سطح آب نشان داد که پوشش گیاهی عدسک آبی منجر به کاهش حدود ۹ درصدی تبخیر شده است (۱۴). علاوه بر این هوادهی باعث رشد بیشتر عدسک آبی و کاهش شدت تبخیر شد. در مطالعه‌ای که به مقایسه عملکرد دو نوع پوشش طبیعی (برگ درخت سپستان) و مصنوعی (پلی استایرن گرانولار) روی شدت تبخیر از سطوح آبی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه جیرفت صورت گرفت، مشخص شد که هر دو نوع پوشش در همه تراکم‌ها تأثیر معنی‌داری روی کاهش تبخیر دارند. علاوه بر این پوشش مصنوعی حدود ۵ درصد عملکرد بهتری نسبت به پوشش طبیعی در تراکم ۱۰۰ درصد داشته است (۸). بررسی تأثیر پوشش‌های شناور پلی‌کربنات، پلی‌استایرن و پلی‌استایرن با روکش آلومینیوم بر روی میزان تبخیر از مخازن آب نشان داد که این پوشش‌ها می‌توانند تبخیر را به میزان ۷۵ تا ۸۵ درصد کاهش دهند. در میان پوشش‌های مورد استفاده، میزان هزینه پوشش پلی‌استایرن نسبت به پلی‌کربنات کمتر بوده، ولی پوشش پلی‌کربنات از دوام بهتری برخوردار بوده است (۹). بررسی تأثیر پوشش شفاف روی میزان تبخیر از حوضچه‌های خورشیدی آب‌نمک نشان داد که میزان کارایی پوشش مورد استفاده در کاهش تبخیر متناسب با ریشه سوم ناحیه پوشش شده است که نسبت به مخازن آب شیرین بازده کمتری را نشان می‌دهد (۱۳). در تحقیقی دیگر که به مطالعه تأثیر کره‌های وزنی تعادلی بر روی میزان تبخیر از مخازن کشاورزی مناطق خشک صورت گرفت، مشخص شد که وجود کره‌ها در فصل آبیاری باعث کاهش بیش از ۷۰ درصدی تبخیر از مخازن شده است. علاوه بر این استفاده از این روش با درنظر گرفتن میزان محصول تولید شده بر اساس هر مترمکعب آب، از لحاظ اقتصادی مقرون به‌صرفه بوده است. کره‌های مورد استفاده بر عکس کره‌های معمول، وزن بیشتری داشته و دارای مقاومت بیشتری نسبت به باد

و موج هستند (۷).

استفاده از روش‌های فیزیکی در کاهش تبخیر تنها برای مخازن کوچک به‌صرفه بوده و با افزایش سطح مخزن از لحاظ اقتصادی مقرون به‌صرفه نبوده و از طرفی با مشکلات زیست‌محیطی همراه هستند. بر همین اساس در این تحقیق سعی شد از روش‌های شیمیایی و استفاده از الکل‌های سنگین برای کاهش تبخیر از سطح آب استفاده شود. بر همین اساس سه امولسیون اکتادکانول، هگزادکانول و ترکیب اکتادکانول و هگزادکانول به همراه بریج- ۳۵ مورد استفاده قرار گرفت. برای بررسی کارایی روش‌های مورد استفاده از دو روش فیزیکی سایبان و توپ‌های شناور استفاده شد. در این مطالعه برای بررسی دقیق تأثیر روش‌های مختلف و نیز پارامترهای مختلف هواشناسی بر روی میزان تبخیر از سطح آب، از آنالیزهای واریانس یک‌طرفه و دوطرفه استفاده شد. بررسی اثر متقابل پارامترهای مختلف هواشناسی بر میزان کارایی روش‌های پیشنهادی نیز از جمله مسائل مورد مطالعه در تحقیق حاضر است.

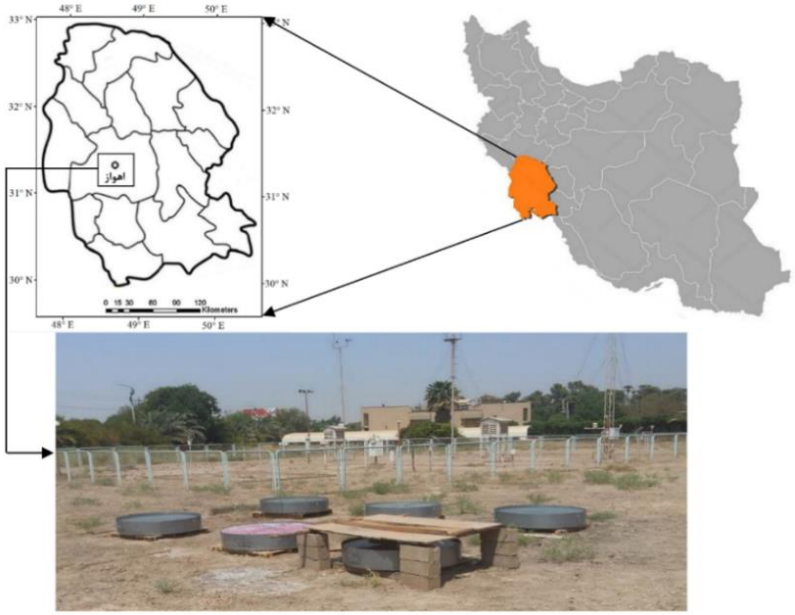
مواد و روش‌ها

این تحقیق در محوطه ایستگاه هواشناسی اهواز با عرض جغرافیایی '۳۲ °۳۱، طول جغرافیایی '۶۶ °۴۸ و ارتفاع از سطح دریا ۱۶ متر انجام گرفت. آزمایش‌ها در طول دوره ۳۵ روزه میان شهریور ماه و مهرماه ۱۳۹۷ صورت پذیرفت. برای برآورد میزان تبخیر از تشت‌های تبخیر کلاس A به قطر ۱۲۰/۷ سانتی‌متر و عمق ۲۵ سانتی‌متر از جنس آهن گالوانیزه استفاده شد. موقعیت انجام آزمایش‌ها به‌همراه تشت‌های مورد استفاده در مجاورت ایستگاه هواشناسی شهرستان اهواز در شکل ۱ ارائه شده است.

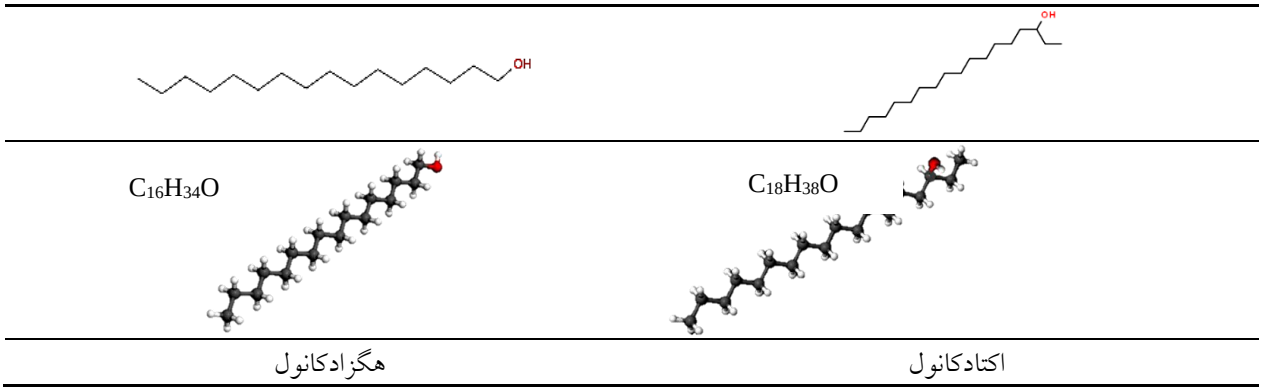
زیر تمام تشت‌ها پایه چوبی به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر قرار داده شده و تشت‌ها روی آنها تراز شد. مقدار تبخیر از مخازن و تشت تبخیر به‌علت پارامترهای اقلیمی و فیزیکی متفاوت بوده و با توجه به شرایط هر منطقه برای تبدیل شدت تبخیر از تشت به‌شدت تبخیر از مخزن، ضریب اصلاحی که معمولاً بین ۰/۷ تا ۱/۱ است به‌کار می‌رود (۱۵). بر این اساس می‌توان از نتایج مربوط به تشت تبخیر برای مقایسه کارایی روش‌های مختلف کاهش تبخیر استفاده کرد.

هدف از این تحقیق بررسی عملکرد روش‌های شیمیایی در کاهش تبخیر است. معمولاً حلال‌های مورد استفاده برای مونولایرها دارای مشکلات زیست‌محیطی بوده بر همین اساس در تحقیقات اخیر از "بریج -۷۸" که فاقد مشکلات زیست‌محیطی بوده و می‌تواند با مونولایر تشکیل یک امولسیون را دهد، استفاده شده است (۳). در این تحقیق پس از آزمایش‌های صورت گرفته مشخص شد که "بریج-۳۵" در مقایسه با بریج-۷۸ پیوند قطبی قوی‌تری می‌تواند ایجاد کرده و در تماس با سطح آب مقاومت بیشتری در برابر تبخیر از خود نشان می‌دهد. بر همین اساس در تحقیق حاضر از بریج-۳۵ برای ساخت امولسیون استفاده شد. در ساخت امولسیون اول، ۴ درصد اکتادکانول با درجه خلوص ۹۹ درصد با ۱ درصد بریج-۳۵ ترکیب و به‌صورت امولسیون درآورده شد. سپس ۹۵ درصد آب مقطر با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به آن افزوده و تا زمانی که سرد شد به هم زده شد. این مونولایر تا ۶ ماه قابل استفاده خواهد بود (۳ و ۱۵). برای تهیه امولسیون دوم از ۴ درصد هگزادکانول و برای امولسیون سوم از ۲ درصد اکتادکانول و ۲ درصد هگزادکانول در ترکیب فوق استفاده شد. بر این اساس در تحقیق حاضر از سه نوع مونولایر به‌صورت: اکتادکانول/بریج-۳۵/آب مقطر (۹۵:۱:۴)، هگزادکانول/بریج-۳۵/آب مقطر (۹۵:۱:۴) و ترکیب اکتادکانول-هگزادکانول/بریج-۳۵/آب مقطر (۹۵:۱:۲:۲) استفاده شد. ساختار شیمیایی اجزای امولسیون‌های تهیه شده در شکل ۲ ارائه شده است.

برای بررسی کارایی مونولایرهای مورد استفاده در کاهش تبخیر از سطح آزاد آب، از روش‌های فیزیکی سایبان و توپ‌های شناور استفاده شد. بر این اساس می‌توان مقایسه دقیق‌تری میان روش‌های فیزیکی متداول و روش‌های شیمیایی پیشنهادی انجام داد. در تیمار توپ‌های شناور، ۱۰۰ درصد سطح تشت با توپ هایی از جنس پلی‌اتیلن به قطر ۶-۵ میلی‌متر پوشانده شد و



شکل ۱. موقعیت محل اجرای آزمایش‌ها و نحوه قرارگیری تشت‌های تبخیر در مجاورت ایستگاه هواشناسی



شکل ۲. ساختار شیمیایی اکتادکانول و هگزادکانول

در تیمار سایه‌بان نیز، فاصله سایه‌بان از تشت برابر با ۳۰ سانتی‌متر با ۱۰۰ درصد پوشش سطح آب تشت درنظر گرفته شد. اندازه‌گیری میزان تبخیر از تشت‌ها به‌صورت روزانه و با استفاده از اشل مدرج و همزمان با قرائت تشت تبخیر ایستگاه هواشناسی انجام گرفت. در مرحله اول میزان تبخیر از تشت ایستگاه با مقدار تبخیر از تشت شاهد مورد مقایسه قرار گرفت که نزدیکی مقادیر تبخیر از دو تشت بیانگر صحت اندازه‌گیری‌ها بود. در کلیه مراحل تحقیق، تشت‌های مورد آزمایش به‌مانند تشت تبخیر ایستگاه هواشناسی با آب شهری پر شد.

در این مطالعه از آنالیزهای واریانس یک‌طرفه و دوطرفه برای مقایسه و بررسی تأثیر روش‌های کاهش تبخیر و پارامترهای مختلف هواشناسی استفاده شد. در ابتدا برای بررسی معنادار بودن تفاوت میان روش‌های مختلف کاهش تبخیر از آنالیز واریانس یک‌طرفه استفاده شد و پس از آن برای بررسی تأثیر پارامترهای مختلف هواشناسی بر روی عملکرد روش‌های مختلف، از آنالیز واریانس دوطرفه استفاده شد. برای استفاده از آنالیز واریانس بایستی کلیه پارامترها تا حدودی از توزیع نرمال تبعیت کنند. بر این اساس از نمودار احتمال نرمال (Quartile-Quartile Plot) Q-Q استفاده شد. با توجه به اینکه در کلیه

نمودارهای احتمال، پراکندگی داده‌ها بیشتر در اطراف خط ۴۵ درجه قرار گرفته بودند می‌توان فرض نرمال بودن داده‌ها را صحیح درنظر گرفت. علاوه بر این برای انجام آزمون واریانس دوطرفه، متغیرهای مستقل می‌بایستی دارای مقیاس اسمی یا ترتیبی باشند. بر همین اساس کلیه پارامترهای هواشناسی به سه سطح زیاد، متوسط و کم تقسیم شدند. برای این کار ابتدا پارامترهای مختلف هواشناسی بر اساس میانگین هر پارامتر اصلاح شد. 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 شد. 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) درنظر گرفته شد. مشخصات آماری پارامترهای مختلف هواشناسی در طول دوره آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

نتایج و بحث

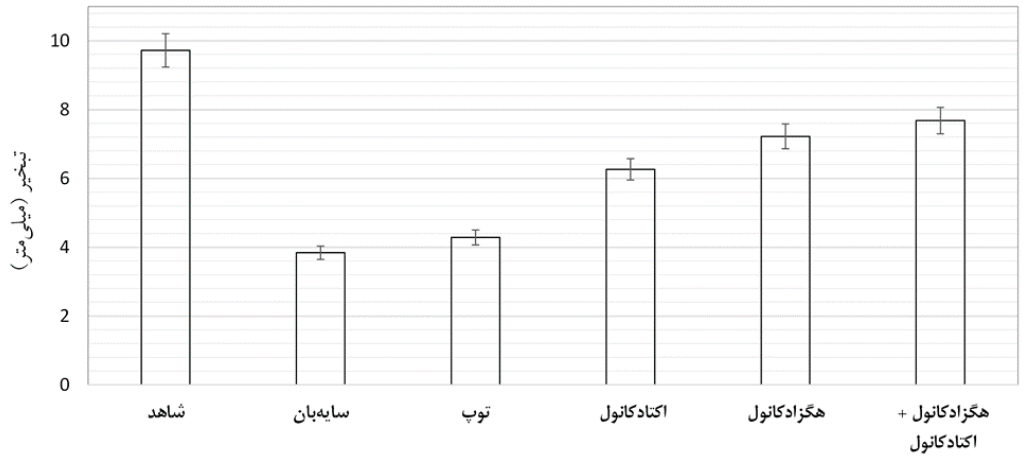
نتایج مربوط به میانگین تبخیر از سطح آب در روش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی در شکل ۳ ارائه شده است. همان‌گونه که در نمودار ستونی مشاهده می‌شود، دو روش فیزیکی سایبان و توپ‌های شناور نسبت به روش‌های شیمیایی از کارایی بیشتری برخوردار بوده و توانسته‌اند میزان تبخیر را تا مقدار قابل توجهی کاهش دهند. میانگین تبخیر از تشت در دو روش فیزیکی سایبان و توپ‌های شناور به‌ترتیب ۳/۸۴ و ۴/۲۸ میلی‌متر بوده که در مقایسه با تشت شاهد (۹/۷۲ میلی‌متر)، این دو روش به‌ترتیب باعث کاهش ۶۰ و ۵۶ درصدی تبخیر از سطح آب شده‌اند. در بین روش‌های شیمیایی، امولسیون اکتادکانول با میانگین ۶/۲۷ میلی‌متر نسبت به دو روش شیمیایی دیگر عملکرد بهتری داشته است. با درنظر گرفتن میزان تبخیر از تشت شاهد، امولسیون اکتادکانول باعث کاهش ۳۶ درصدی تبخیر شده است. دو امولسیون هگزادکانول و ترکیب هگزادکانول و اکتادکانول نیز به‌ترتیب باعث کاهش ۲۵ و ۲۱ درصدی تبخیر شده‌اند. این میزان کاهش تبخیر مشابه با کارایی مواد تجاری موجود در این زمینه با عنوان واترسیور (Watersaver) است (۱۱). وارما (۱۵) نیز نشان داد که الکل‌های سنگین می‌توانند تا ۴۰ درصد کاهش تبخیر از سطح آب را باعث شوند که با یافته‌های این تحقیق همخوانی دارد. وصالی ناصح و شهیدی (۱۶) نیز میزان کاهش تبخیر توسط توپ سایه را برابر با ۵۰ تا ۷۰ درصد برآورد کردند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. پیری و همکاران (۱۰) نیز میزان کاهش تبخیر با استفاده از الکل‌های سنگین را بین ۴۰ تا ۵۵ درصد گزارش کرده‌اند. براساس نتایج این پژوهشگران امولسیون اکتادکانول از کارایی بیشتری نسبت به هگزادکانول برخوردار بوده که مشابه نتایج تحقیق حاضر است.

آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه روی روش‌های مختلف کاهش تبخیر از سطح آب نشان داد که تفاوت میان میانگین‌ها از لحاظ آماری معنی‌دار است. بر همین اساس برای تعیین تفاوت میان روش‌های مختلف مورد استفاده از آنالیز بن‌فرونی استفاده شد. در این آزمون، تمامی روش‌های کاهش تبخیر به‌صورت دوبه‌دو مورد مقایسه قرار گرفت و تفاوت میان روش‌ها از لحاظ آماری بررسی شد. در جدول ۲ نتایج مربوط به آزمون بن‌فرونی ارائه شده است. بر اساس نتایج این آزمون، تبخیر از تشت شاهد با تمامی تشت‌ها، در سطح احتمال ۹۹ درصد دارای اختلاف معنادار است. تبخیر از تشت سایبان با کلیه روش‌های مورد استفاده به‌جز توپ‌های شناور دارای اختلاف معنادار است. توپ‌های شناور از میان روش‌های شیمیایی تنها با اکتادکانول فاقد اختلاف معنادار در سطح ۹۹ درصد است که نشان‌دهنده کارایی بیشتر این روش در مقایسه با دو روش شیمیایی دیگر است.

بر اساس جدول ۲، سه روش شیمیایی مورد استفاده با یکدیگر فاقد اختلاف معنادار هستند. میزان ضریب تعیین در آنالیز واریانس یک‌طرفه برابر با ۰/۴ محاسبه شده که نشان می‌دهد روش‌های درنظر گرفته در این آنالیز حدود ۴۰ درصد از کمیت

جدول ۱. مشخصات آماری پارامترهای مختلف هواشناسی در طول دوره آزمایش

	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
درجه حرارت	۳۱/۴	۳۹/۱	۳۴/۷	۲/۴	< ۳۲/۳	۳۲/۳ – ۳۷/۱	> ۳۷/۱
درصد رطوبت نسبی	۱۵/۵	۵۷/۵	۳۵/۸	۱۱/۶	< ۲۴/۲	۲۴/۲ – ۴۷/۴	> ۴۷/۴
تعداد ساعات آفتابی	۶/۸	۱۱/۸	۱۰/۲	۱/۲	< ۹	۹ – ۱۱/۴	> ۱۱/۴
سرعت باد (متر بر ثانیه)	۲	۱۲	۶/۱	۲/۶	< ۳/۵	۳/۵ –۸/۷	> ۸/۷
میزان تابش (ژول بر سانتی‌متر مربع در روز)	۲۰۴۶	۲۶۰۵	۲۴۰۲	۱۷۰/۸	< ۲۲۳۱	۲۲۳۱–۲۵۷۳	> ۲۵۷۳
میانگین فشار بخار (هکتوپاسکال)	۷/۵	۲۹/۲	۱۳/۹	۵/۲	< ۸/۷	۱۹/۱–۸/۷	> ۱۹/۱



شکل ۳. عملکرد روش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی مورد استفاده در کاهش تبخیر

جدول ۲. نتایج آزمون بن‌فرونی در مورد اختلاف میانگین روش‌های مختلف کاهش تبخیر از سطح آب

روش (I)	روش (J)	Sig.	کران پایین	کران بالا	روش (I)	روش (J)	Sig.	کران پایین	کران بالا
شاهد	سایبان	۰/۰۰	۴/۰۸	۷/۶۷	اکتادکانول	شاهد	۰/۰۰	–۵/۲۴	–۱/۶۶
	توپ‌های شناور	۰/۰۰	۳/۶۴	۷/۲۲		سایبان	۰/۰۰۱	۰/۶۳	۴/۲۱
	اکتادکانول	۰/۰۰	۱/۶۶	۵/۲۴		توپ‌های شناور	۰/۰۱۸	–۰/۱۸	۳/۷۷
	هگزادکانول	۰/۰۰۱	۰/۷۰	۴/۲۸		هگزادکانول	۱/۰۰	–۲/۷۵	۰/۸۳
	هگزا+اکتادکانول	۰/۰۱۳	۰/۲۴	۳/۸۳		هگزا+اکتادکانول	۰/۲۹۹	–۳/۲۰	۰/۳۷
سایبان	شاهد	۰/۰۰	–۷/۶۷	–۴/۰۸	هگزادکانول	شاهد	۰۱/۰۰	–۴/۲۸	–۰/۷۰
	توپ‌های شناور	۱/۰۰	–۲/۲۳	۱/۳۴		سایبان	۰/۰۰	۱/۵۹	۵/۱۷
	اکتادکانول	۰/۰۰۱	–۴/۲۱	–۰/۶۳		توپ‌های شناور	۰/۰۰	۱/۱۴	۴/۷۳
	هگزادکانول	۰/۰۰	–۵/۱۷	–۱/۵۹		اکتادکانول	۱/۰۰	–۰/۸۳	۲/۷۵
	هگزا+اکتادکانول	۰/۰۰	–۵/۶۳	–۲/۰۴		هگزا+اکتادکانول	۱/۰۰	–۲/۲۵	۱/۳۳
توپ‌های شناور	شاهد	۰/۰۰	–۷/۲۲	–۳/۶۴	هگزا+اکتادکانول	شاهد	۰/۰۱۳	–۳/۸۳	–۰/۲۴
	سایبان	۱/۰۰	–۱/۳۴	۲/۲۳		سایبان	۰/۰۰	۲/۰۴	۵/۶۵
	اکتادکانول	۰/۰۱۸	–۳/۷۷	۰/۱۸		توپ‌های شناور	۰/۰۰	۱/۶۰	۵/۱۹
	هگزادکانول	۰/۰۰	–۴/۷۳	–۱/۱۴		اکتادکانول	۰/۲۹۹	–۰/۳۷	۳/۲۰
	هگزا+اکتادکانول	۰/۰۰	–۵/۱۹	–۱/۶۰		هگزادکانول	۱/۰۰	–۱/۳۳	۲/۲۵

میزان تبخیر را می‌توانند برآورد کنند. این مسئله نشان می‌دهد که میزان تبخیر از تشت علاوه بر روش‌های مختلف کاهش تبخیر، تحت تأثیر پارامترهای دیگری از قبیل پارامترهای هواشناسی نیز است. پس از تبدیل پارامترهای مستقل هواشناسی از مقیاس کمی به حالت کیفی از تحلیل واریانس دو طرفه استفاده شد که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس جدول ۳، علاوه بر معنادار بودن تأثیر نوع روش کاهش تبخیر، پارامترهای دما، رطوبت نسبی، تعداد ساعات آفتابی و میزان تابش نیز تأثیر معناداری روی میزان تبخیر داشته‌اند. با توجه به مقادیر مجذور اتا (Partial Eta Squared) و پارامتر F، نوع روش کاهش تبخیر بیشترین تأثیر را روی میزان تبخیر از تشت‌ها داشته است. دمای هوا، رطوبت نسبی، تعداد ساعات آفتابی و میزان تابش نیز تأثیر تقریباً مشابهی روی میزان تبخیر داشته‌اند. بررسی اثرات متقابل نشان می‌دهد که اثرات متقابل پارامترهای مختلف هواشناسی تأثیر معنادار آماری بر روی میزان تبخیر نداشته‌اند. بر اساس آزمون واریانس دوطرفه، مقدار ضریب تبیین برابر با ۰/۸ محاسبه شد که نشان می‌دهد مدل ارائه شده می‌تواند حدود ۸۰ درصد کمیت تبخیر از تشت‌ها را با توجه به نوع پوشش مورد استفاده و پارامترهای هواشناسی برآورد کند.

برای بررسی دقیق‌تر تأثیر پارامترهای مختلف هواشناسی بر روی میزان تبخیر از تشت‌ها از آزمون بن‌فرونی استفاده شد تا مشخص شود میزان تبخیر تحت تأثیر سطوح مختلف پارامترهای هواشناسی به چه صورت تغییر می‌کند. نتایج این آزمون در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس آزمون جدول ۴، میان سطوح ۱ و ۳ و همچنین سطوح ۲ و ۳ درجه حرارت اختلاف معنادار وجود دارد. در مورد رطوبت نسبی و ساعات آفتابی نیز بین همه سطوح اختلاف معنادار مشاهده شده است. در مورد سرعت باد نیز اگرچه این پارامتر بر روی میزان تبخیر دارای اثر معنادار نبوده ولی میان سطوح درنظر گرفته شده اختلاف معنادار مشاهده شده است که این اختلاف مربوط به سطوح ۱ و ۳ و نیز ۲ و ۳ است. بین سطوح ۱ و ۳ و نیز ۲ و ۳ دو پارامتر میزان تابش و میانگین فشار بخار نیز اختلاف معنادار مشاهده شد.

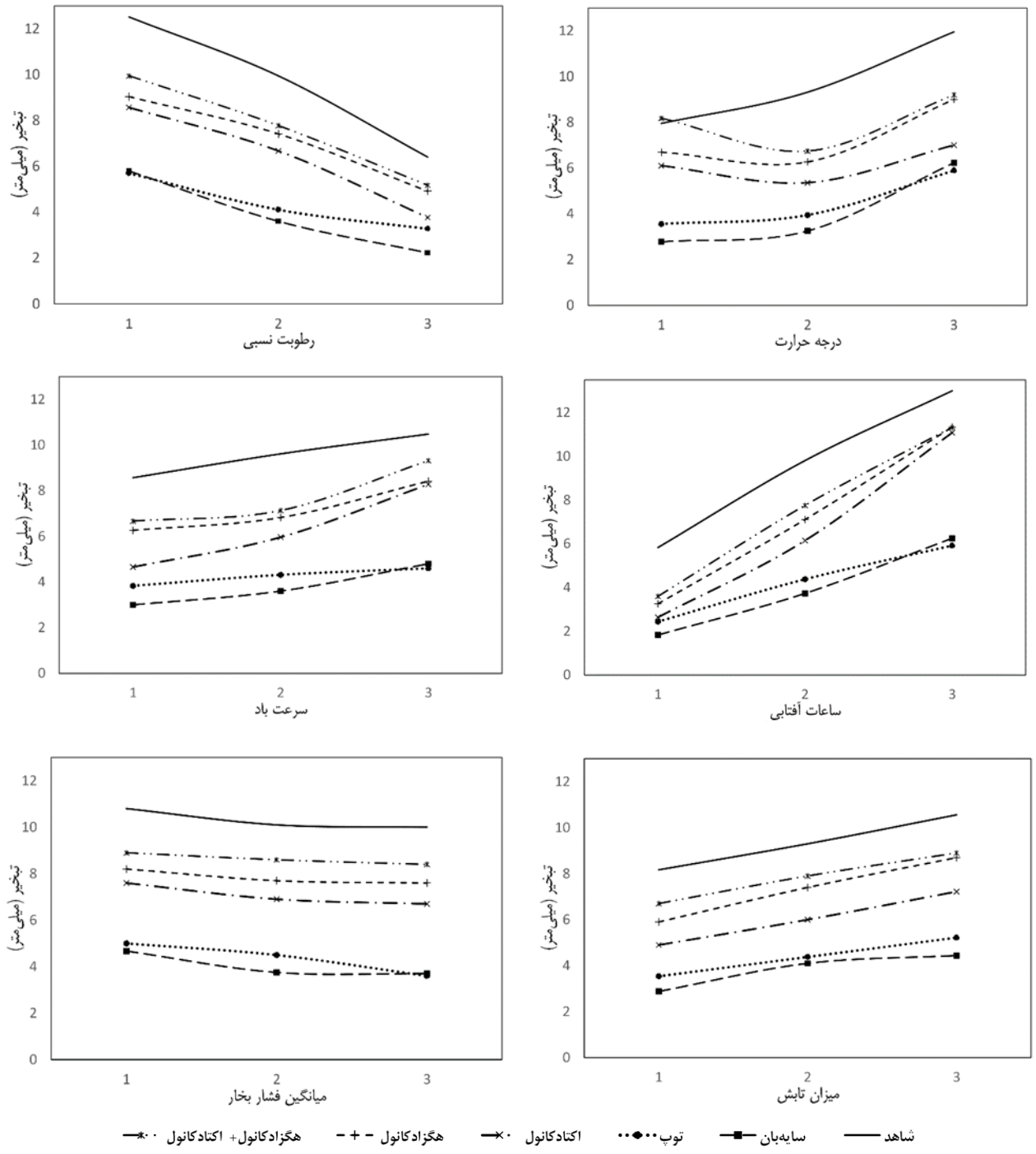
در شکل ۴ تأثیر سطوح مختلف پارامترهای هواشناسی بر روی عملکرد روش‌های فیزیکی و شیمیایی کاهش تبخیر از سطح آب ارائه شده است. تأثیر سطوح مختلف درجه حرارت روی میزان تبخیر نشان می‌دهد که در دماهای کم، مونولایر اکتادکانول عملکرد ضعیف‌تری را نسبت به دو روش فیزیکی کاهش تبخیر دارا بوده ولی با افزایش دما عملکرد آن بهبود پیدا کرده و کارایی آن به روش‌های فیزیکی نزدیک شده است. دو روش شیمیایی دیگر عملکرد بسیار ضعیفی را در سطوح کم دما داشته به‌گونه‌ای که در مورد ترکیب اکتادکانول و هگزادکانول هیچ‌گونه تأثیری روی تبخیر از تشت در دماهای کم مشاهده نمی‌شود. تأثیر سطوح مختلف رطوبت نسبی هوا روی عملکرد روش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی نشان می‌دهد که در رطوبت‌های نسبی کم، روش شیمیایی اکتادکانول از عملکرد ضعیف‌تری نسبت به روش‌های فیزیکی برخوردار بوده ولی در بیشترین سطح رطوبت نسبی، عملکرد آن بهبود پیدا کرده و کارایی مشابه با توپ‌های شناور داشته است. در میان دو روش فیزیکی مورد مقایسه نیز، در دماهای کم عملکرد مشابهی مشاهده می‌شود ولی در رطوبت‌های نسبی زیاد، سایبان عملکرد بهتری نسبت به توپ‌ها داشته است. تأثیر سطوح مختلف ساعات آفتابی روی عملکرد روش‌های مختلف نشان می‌دهد که با افزایش تعداد ساعات آفتابی عملکرد دو روش فیزیکی به یکدیگر نزدیک شده و از میزان کارایی روش شیمیایی اکتادکانول کاسته شده است. مقایسه روند افزایش تبخیر ناشی از افزایش ساعات آفتابی نشان می‌دهد که شدت افزایش تبخیر از تیمارهای شاهد و روش‌های شیمیایی تا حد زیادی مشابه است. تأثیر سرعت باد روی میزان تبخیر از تشت‌های مختلف نشان می‌دهد که عملکرد روش‌های شیمیایی تا چه اندازه تحت تأثیر باد است. روش اوکادکانول، در سرعت‌های باد کم، عملکرد مشابه با روش‌های فیزیکی ولی با افزایش سرعت باد، عملکرد آن به‌شدت تحت تأثیر قرار گرفته و کارایی

جدول ۳. نتایج تحلیل واریانس دوطرفه در مورد اثرات اصلی و متقابل پارامترهای مختلف بر میزان تبخیر

	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig.	مجذور اتا
نوع روش کاهش تبخیر	۸۵۱/۷	۵	۱۷۰/۳	۷۶/۱	۰/۰۰	۰/۶۸۳
درجه حرارت	۳۲/۹	۲	۱۶/۵	۷/۴	۰/۰۰	۰/۰۷۷
رطوبت نسبی	۲۸/۱	۲	۱۴/۰	۶/۳	۰/۰۰	۰/۰۶۶
ساعات آفتابی	۳۰/۱	۲	۱۵/۶	۷/۰	۰/۰۰	۰/۰۷۱
سرعت باد	۱/۴	۲	۰/۷	۰/۳	۰/۷۳	۰/۰۰۴
میزان تابش	۲۸/۵	۲	۱۴/۳	۶/۴	۰/۰۰	۰/۰۶۷
میانگین فشار بخار	۳/۲	۲	۱/۶	۰/۷	۰/۴۸	۰/۰۰۸
میانگین فشار بخار × میزان تابش	۱/۰	۱	۱/۰	۰/۵	۰/۵۰	۰/۰۰۳
ساعات آفتابی × میزان تابش	۰/۴	۱	۰/۴	۰/۲	۰/۶۲	۰/۰۰۱
درجه حرارت × میزان تابش	۰/۷	۱	۰/۷۲	۰/۳	۰/۵۷	۰/۰۰۲
رطوبت نسبی × ساعات آفتابی	۶/۴	۱	۶/۴	۲/۸	۰/۰۹	۰/۰۱۶
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...

جدول ۴. نتایج آزمون بن‌فرونی در میانگین اختلاف بین گروهی پارامترهای مختلف هواشناسی

	سطح (I)	سطح (J)	میانگین اختلاف	Std. Error	Sig.		سطح (I)	سطح (J)	میانگین اختلاف	Std. Error	Sig.
درجه حرارت	۱	۲	-۰/۲۲	۰/۲۹	۱/۰۰	ساعات آفتابی	۱	۲	-۳/۳۱	۰/۲۸	۰/۰۰
		۳	-۳/۶۶	۰/۳۱	۰/۰۰			۳	-۷/۰۹	۰/۳۵	۰/۰۰
	۲	۱	۰/۲۲	۰/۲۹	۱/۰۰		۲	۱	۳/۳۱	۰/۲۸	۰/۰۰
		۳	-۳/۴۳	۰/۲۲	۰/۰۰			۳	-۳/۷۸	۰/۲۶	۰/۰۰
	۳	۱	۳/۶۶	۰/۳۱	۰/۰۰		۳	۱	۷/۰۹	۰/۳۵	۰/۰۰
		۲	۳/۴۳	۰/۲۲	۰/۰۰			۲	۳/۷۸	۰/۲۶	۰/۰۰
رطوبت نسبی	۱	۲	۱/۷۰	۰/۲۶	۰/۰۰	سرعت باد	۱	۲	-۰/۴۴	۰/۳۱	۰/۴۶
		۳	۳/۰۵	۰/۳۲	۰/۰۰			۳	-۱/۶۲	۰/۳۹	۰/۰۰
	۲	۱	-۱/۷۰	۰/۲۶	۰/۰۰		۲	۱	۰/۴۴	۰/۳۱	۰/۴۶
		۳	۱/۳۵	۰/۲۵	۰/۰۰			۳	-۱/۱۸	۰/۲۸	۰/۰۰
	۳	۱	-۳/۰۵	۰/۳۲	۰/۰۰		۳	۱	۱/۶۲	۰/۳۹	۰/۰۰
		۲	-۱/۳۵	۰/۲۵	۰/۰۰			۲	۱/۱۸	۰/۲۸	۰/۰۰
میزان تابش	۱	۲	۰/۵۸	۰/۲۶	۰/۰۹	میانگین فشار بخار	۱	۲	۰/۲۲	۰/۲۵	۱/۰۰
		۳	۲/۱۷	۰/۲۶	۰/۰۰			۳	-۰/۹۴	۰/۲۸	۰/۰۰
	۲	۱	-۰/۵۸	۰/۲۶	۰/۰۹		۲	۱	-۰/۲۲	۰/۲۵	۱/۰۰
		۳	۱/۵۹	۰/۲۴	۰/۰۰			۳	-۱/۱۶	۰/۲۵	۰/۰۰
	۳	۱	-۲/۱۷	۰/۲۶	۰/۰۰		۳	۱	۰/۹۴	۰/۲۸	۰/۰۰
		۲	-۱/۵۹	۰/۲۴	۰/۰۰			۲	۱/۱۷	۰/۲۵	۰/۰۰



شکل ۴. تأثیر سطوح مختلف پارامترهای هواشناسی بر میزان عملکرد روش‌های مختلف کاهش تبخیر

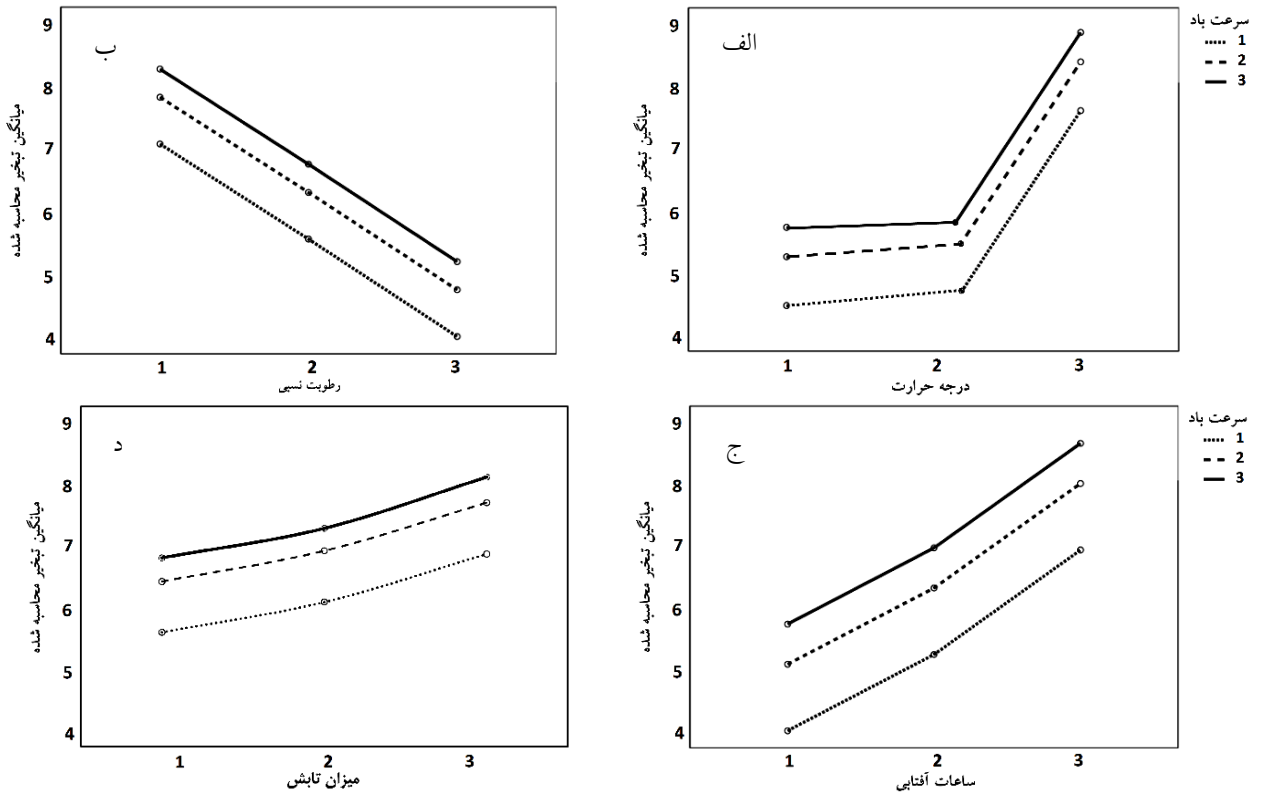
آن کاهش یافته است. نتایج به‌دست آمده در این قسمت با مشاهدات پیری و همکاران (۱۰) مطابقت دارد. نتایج وارما (۱۵) نیز نشان می‌دهد با افزایش سرعت باد به حدود ۷ متر بر ثانیه، میزان کارایی الکل‌های سنگین به‌شدت کاهش می‌یابد. بررسی تأثیر سرعت باد بر روی دو روش فیزیکی نشان می‌دهد که با توجه به پوشش کامل سطح آب در دو روش سایبان و توپ‌های شناور، افزایش سرعت باد تأثیر چندانی بر میزان تبخیر نداشته است. بررسی تأثیر میزان تابش بر عملکرد

روش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی نشان می‌دهد که با افزایش میزان تابش، تبخیر نیز افزایش پیدا کرده است. در میان روش‌های شیمیایی، میزان تبخیر در تیمار هگزادکانول از شیب بیشتری نسبت به دیگر ترکیبات شیمیایی برخوردار است. در مورد سایبان، با افزایش میزان تابش از سطح ۲ به سطح ۳ تغییر چندانی در میزان تبخیر مشاهده نشد که این مسئله به‌دلیل تأثیر سایبان بر میزان تابش رسیده به سطح آب بوده است. میانگین فشار بخار نیز تأثیر به‌نسبت مشابهی روی میزان عملکرد روش‌های مختلف کاهش تبخیر داشته است.

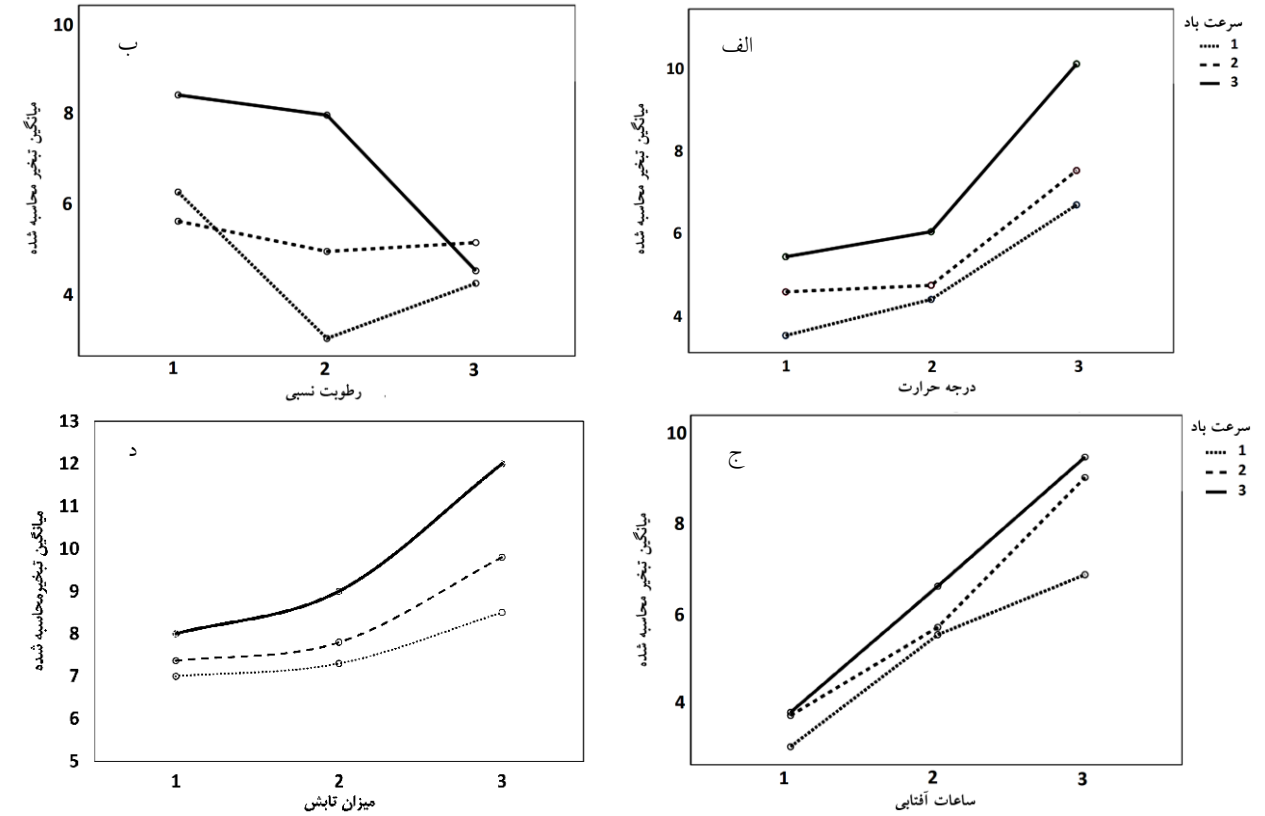
بر اساس تحقیقات گذشته، یکی از پارامترهای مؤثر روی عملکرد مونولایرها، سرعت باد است. در این تحقیق اگرچه سرعت باد تأثیر معناداری روی میزان تبخیر نداشته ولی می‌توان به بررسی تأثیر متقابل این پارامتر با دیگر پارامترهای هواشناسی روی عملکرد مونولایر اکتادکانول پرداخت. بر همین اساس در آنالیز واریانس دوطرفه، در ابتدا فقط اثرات اصلی پارامترهای هواشناسی روی میزان تبخیر از تشت حاوی مونولایر اکتادکانول لحاظ شد و در حالت دوم اثرات متقابل نیز در کنار اثرات اصلی در آنالیز واریانس دخالت داده شد. شکل‌های ۵ و ۶ به‌ترتیب مربوط به تأثیر سرعت باد در تقابل با دیگر پارامترهای هواشناسی بر روی تبخیر از تشت حاوی اکتادکانول در دو حالت فوق است. در شکل ۵ که فقط اثرات اصلی لحاظ شده‌اند، سرعت باد اثر مستقیمی روی میزان تبخیر داشته به‌گونه‌ای که در تمامی حالت‌ها با افزایش سرعت باد، میزان تبخیر نیز افزایش یافته است. در شکل ۶ که حاوی اثرات متقابل پارامترهای مستقل علاوه بر اثرات اصلی است، تأثیر اثرات متقابل به‌وضوح روی میزان تبخیر مشاهده می‌شود. در شکل ۶- الف، در دماهای زیاد با افزایش سرعت باد به‌شدت بر میزان تبخیر افزوده می‌شود، به‌گونه‌ای که در درجه حرارت زیاد (سطح ۳)، با تغییر سرعت باد از کم (سطح ۱) به زیاد (سطح ۳)، میزان تبخیر بیش از ۵۰ درصد افزایش یافته و با تغییر سرعت باد از سطح ۲ به سطح ۳، میزان تبخیر ۳۴ درصد افزایش خواهد یافت. در شکل ۶- ب که اثر متقابل سرعت باد و درصد رطوبت نسبی نشان داده است، در رطوبت‌های نسبی کم، تفاوت آشکاری میان تبخیر در سرعت‌های مختلف باد مشاهده می‌شود. این درحالی است که با افزایش رطوبت نسبی، این تفاوت کاهش می‌یابد، به‌گونه‌ای که در رطوبت‌های نسبی زیاد، پارامتر سرعت باد تأثیر چندانی روی میزان تبخیر در حضور مونولایر نداشته است. شکل ۶- ج نشان می‌دهد که در ساعت‌های آفتابی زیاد تأثیر سرعت باد روی میزان تبخیر افزایش می‌یابد. شکل ۶- د نشان می‌دهد که در تابش‌های زیاد تأثیر سرعت باد روی میزان تبخیر افزایش می‌یابد. در سطح ۳ تابش، میزان تبخیر در بیشترین سطح سرعت باد نسبت به کمترین سطح آن، حدود ۵۰ درصد افزایش داشته است.

نتیجه‌گیری

یکی از معایب روش‌های شیمیایی کاهش تبخیر از سطح آب مربوط به آثار زیست‌محیطی آنها است. بر همین اساس در این تحقیق برای ساخت امولسیون‌های مختلف از بریج- ۳۵ که آثار زیست‌محیطی به‌مراتب کمتری در مقایسه با ترکیبات مشابه دارد استفاده شده است. بر اساس آزمایش‌های صورت گرفته و تحلیل‌های آماری، روش‌های فیزیکی در مقایسه با روش‌های شیمیایی از عملکرد بهتری برخوردار بوده‌اند. مقایسه میانگین تبخیر در روش‌های مختلف نشان می‌دهد که دو روش فیزیکی سایبان و توپ‌های شناور به‌ترتیب با کاهش ۶۰ و ۵۶ درصدی تبخیر بهترین عملکرد را داشته‌اند. در بین روش‌های شیمیایی مورد استفاده روش اکتادکانول با کاهش ۳۶ درصدی تبخیر از عملکرد بهتری نسبت به هگزادکانول و ترکیب اکتادکانول و هگزادکانول برخوردار بوده و در بعضی موارد، کارایی نزدیک به روش‌های فیزیکی داشته است. چنانکه نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد اختلاف معناداری میان روش اکتادکانول و توپ‌های شناور در سطح احتمال ۹۹ درصد مشاهده نشد. با توجه به اینکه پارامترهای هواشناسی تأثیر بسیار زیادی بر میزان تبخیر از سطح آب دارند، می‌بایستی تأثیر این پارامترها بر عملکرد مونولایرها مورد بررسی قرار گیرد. نتایج آنالیز واریانس دوطرفه



شکل ۵. تأثیر سرعت باد بر دیگر پارامترهای هواشناسی در میزان تبخیر بدون درنظر گرفتن اثرات متقابل



شکل ۶. تأثیر سرعت باد بر دیگر پارامترهای هواشناسی در میزان تبخیر با درنظر گرفتن اثرات متقابل

در این مطالعه نشان داد که اندازه اثر روش‌های کاهش تبخیر مورد استفاده روی واریانس ۰/۵۶ بوده این درحالی است که دمای هوا و رطوبت نسبی به‌ترتیب ۰/۱۶ و ۰/۱۴ روی واریانس تأثیر داشته‌اند. بررسی سرعت باد روی میزان عملکرد اکتادکانول در سطوح مختلف رطوبت نسبی نشان داد که در رطوبت‌های زیاد بر خلاف رطوبت‌های کم، سرعت باد دارای کمترین تأثیر روی کارایی مونولایر است. این مسئله در مورد دمای هوا حالت عکس داشته به‌گونه‌ای که در دماهای زیاد، سرعت باد تأثیر بیشتری بر میزان تبخیر از سطح آب در حضور مونولایر داشته است.

منابع مورد استفاده

1. Afkhami, H. and M. Ekhtesasi. 2019. Evaluating the performance of unconcreted floating cover to reduce evaporation from open water resources. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering* 13 (44): 48-51. (in Farsi).
2. Bou-Fakhreddine, B., I. Mougharbel, A. Faye and Y. Pollet. 2019. Estimating daily evaporation from poorly-monitored lakes using limited meteorological data: A case study within Qaraoun dam-Lebanon. *Journal of Environmental Management* 241: 502-513.
3. Brink, G., T. Symes and N. Hancock. 2011. Development of a smart monolayer application system for reducing evaporation from farm dams: Introductory paper. *Australian Journal of Multi-disciplinary Engineering* 8(2): 121-130.
4. Daneshkarasteh, P., M. Tajrishi, M. Mirlatifi and B. Saghafian. 2006. The necessity of revision of evaporation estimation models from free water level in arid regions with regional oasis effect: a case study in Chah-nimeh Reservoir. *Journal of Agricultural Engineering Research* 5: 37-58. (in Farsi).
5. Gao, Y., D. Long and Z. Li. 2008. Estimation of daily evapotranspiration from remotely sensed data under complex terrain over the upper Chao River basin in north China. *International Journal of Remote Sensing* 29(11): 3295-3315.
6. Ghazvinian, H., S. Farzin, H. Karami and S. Mousavi. 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. (in Farsi).
7. Han, K. W., K. B. Shi and X. J. Yan. 2020. Evaporation loss and energy balance of agricultural reservoirs covered with counterweighted spheres in arid region. *Agricultural Water Management* 238: 106227.
8. Madadi, M. R., S. Kouhestani, M. Jadavi and M. Zakariayi. 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. (in Farsi).
9. Mazaheri, E. and J. Abedi Koupai. 2017. Reduction of evaporation from open reservoirs using floating covers. *Iran Water and Soil Research* 94(3): 506-647. (in Farsi).
10. Piri, M., M. Hesam, A. Dehghani and A. Meftah halghi. 2012. Experimental study on the effect of physical and chemical approach in reducing the evaporation from water surface. *Journal of Water and Soil Conservation* 17(4): 141-154. (in Farsi).
11. Sepaskhah, A. R. 2018. Evaporation reduction from water reservoir of dams. *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 3(1): 13-26.
12. Sharayei, M. and S. Haghyeghi Moghadam. 2020. A Review of methods to reduce evaporation from the free water surface and the introduction of appropriate methods of practical and economic. *Journal of Water and Sustainable Development* 7(2): 53-62. (in Farsi).
13. Silva, C., D. González and F. Suárez. 2017. An experimental and numerical study of evaporation reduction in a salt-gradient solar pond using floating discs. *Solar Energy* 142: 204-214.
14. Soltani, Z., A. Khani, K. Mahanpoor and A. Marjani. 2020. Reducing evaporation of standing waters by fresh and non-living duckweed covering. *Water and Wastewater* 31(3): 43-50. (in Farsi).
15. Varma, C. V. J. 1997. Manual on evaporation and its restriction from free water surfaces. *Hydrological Sciences Journal* 42(6): 960-960.
16. Vesali Naseh, M. R. and K. Shahidi. 2019. An experimental study to compare shade balls and heavy alcohols for evaporation reduction from the water surface. *Journal of Water and Wastewater Science and Engineering* 4(3): 5-41. (in Farsi).
17. Watts, P. 2005. Scoping study: Reduction of evaporation from farm dams. Final report to the national program for sustainable irrigation. Feedlot Services Australia Pty Ltd, Toowoomba, Australia.
18. Wurbs, R. A. and R. A. Ayala. 2014. Reservoir evaporation in Texas, USA. *Journal of Hydrology* 510: 1-9.

19. Zamani, S. and M. Rahimzadegan. 2018. Mapping dam lake evaporation using SEBAL evapotranspiration model Case study: Amir Kabir Dam. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)* 27(106): 57-69. (in Farsi).
20. Zhang, H., S. M. Gorelick, P. V. Zimba and X. Zhang. 2017. A remote sensing method for estimating regional reservoir area and evaporative loss. *Journal of Hydrology* 555: 213-227.
21. Zhao, G. and H. Gao. 2019. Estimating reservoir evaporation losses for the United States: Fusing remote sensing and modeling approaches. *Remote Sensing of Environment* 226: 109-124.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 26, No. 4, Winter 2023, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Investigation the Monolayers Performance on Evaporation Reduction from the Water Surface with Regard to Meteorological Parameters

M. Karim Zadeh[1], J. Zahiri[1*] and V. Nobakht[2]

(Received: January 5-2021; Accepted: September 6-2021)

Abstract

Reservoir dams have had problems despite all the benefits for humans. one of the most important issues is exposing a large amount of water in contact with the air causing a large amount of water to evaporate. Using chemical methods including heavy alcohols is one of the evaporation suppression methods. In this study, three emulsions of octadecanol, hexadecanol, and a combination of octadecanol, and hexadecanol along with Brij-35 and two physical methods of the canopy and floating balls were used to evaluate the performance of different emulsions. A one-way analysis of variance was applied to compare the mean of evaporation in different chemical and physical methods and a two-way analysis of variance was performed to investigate the main and interaction effects of different meteorological parameters on the value of evaporation. The mean comparison of the evaporation in different methods showed that the two physical methods of the canopy and floating balls had better performance than the chemical methods, and the octadecanol was more efficient than the two other chemical methods. The results of one-way ANOVA showed that among the chemical methods, the octadecanol had no significant difference with floating balls at a 99% probability level ($P < 0.01$). Two-way ANOVA indicated that air temperature and relative humidity had the greatest effect on evaporation. Examination of the effect of different levels of meteorological parameters on the performance of evaporation reduction methods showed that at low temperatures, octadecanol had poor performance than the two physical methods but with increasing temperature, its performance improved. In addition, this monolayer had a suitable performance at low wind speeds compared to physical methods. By increasing wind speed, its performance is severely affected and its efficiency decreases. So, at temperatures above 37° C, an increase in wind speed from 3.5 m/s to above 8.7 m/s has increased evaporation by more than 50%. The effects of monolayers and other evaporation suppression methods on the quality characteristics of the water including dissolved oxygen are significant and should be investigated in future research.

Keywords: Monolayer, Evaporation, Heavy alcohols, Brij-35, ANOVA.

1. Department of Water Engineering, College of Agricultural Engineering and Rural Development, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran.
2. Department of Chemistry, College of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
*: Corresponding author, Email: j.zahiri@asnrukh.ac.ir