

تأثیر فیلم‌های شیمیایی بر کاهش تبخیر پساب‌های اسیدی مجتمع مس سرچشمه

حمیده افخمی^{۱*}، حسین ملکی‌نژاد^۲، عصمت اسماعیل‌زاده^۳، خداکرم غریبی^۴ و ابوالفضل عزیزیان^۵

چکیده

پساب سدهای باطل شده و فاضلاب‌های روباز، یکی از منابع مهم تبخیر و هدررفت آب است که امروزه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در مطالعه حاضر، تأثیر نسبت‌های مختلف از الکل‌های چرب، بر کاهش میزان تبخیر از پساب اسیدی سد باطل شده مجتمع مس سرچشمه بررسی شد. بر این اساس، در شرایط آزمایشگاهی با استفاده از ۵ ترکیب متفاوت از دو الکل چرب هگزادکانول و اکتادکانول، میزان کاهش تبخیر به مدت یک ماه، بر روی دو نمونه پساب و آب شرب ارزیابی شد. نتایج به دست آمده نشان داد که تأثیر استفاده از ترکیبات مختلف الکل‌های چرب بر کاهش میزان تبخیر از سطح پساب بین ۲ تا ۱۴ درصد کمتر از آب شرب است؛ اما این تفاوت در تیمارهایی که عملکرد بالایی در کاهش میزان تبخیر داشته‌اند، کمتر از سایر تیمارها است. همچنین، ترکیب (۷:۳) هگزادکانول و اکتادکانول با کارایی ۵۸/۴۷ و ۵۱/۷۵ درصد به ترتیب بالاترین عملکرد را در کاهش میزان تبخیر آب شرب و پساب سد رسوب‌گیر داشت؛ در حالی که استفاده از الکل‌های چرب هگزادکانول و اکتادکانول به صورت خالص با ۱۸/۱۸ و ۲۰/۹۸ درصد به ترتیب کمترین کارایی را در کاهش میزان تبخیر از پساب سد رسوب‌گیر و آب شرب از خود نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: آب شرب، اکتادکانول، پساب، تبخیر، مجتمع مس سرچشمه، هگزادکانول.

ارجاع: افخمی ح.، ملکی‌نژاد ح.، اسماعیل‌زاده ع.، غریبی خ و عزیزیان ا. ۱۳۹۸. تأثیر فیلم‌های شیمیایی بر کاهش تبخیر پساب‌های اسیدی مجتمع مس سرچشمه. مجله پژوهش آب ایران. ۱۱-۱۶: ۳۵.

۱- دکتری آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و کوبرشناسی، دانشگاه یزد.

۲- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و کوبرشناسی، دانشگاه یزد.

۳- رئیس امور تحقیقات آب و محیط‌زیست، مجتمع مس سرچشمه.

۴- استادیار گروه استخراج، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد.

۵- استادیار گروه آبیاری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه اردکان.

* نویسنده مسئول: hamide.afkhami@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۰۲

مقدمه

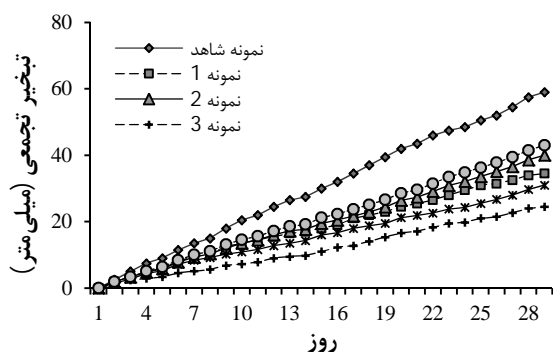
دریاچه‌ها و ذخایر روباز، یکی از منابع مهم آب‌های تازه محسوب می‌شوند و تبخیر از سطح این منابع به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین دلایل تلفات نامحسوس ذخایر آبی به شمار می‌رود (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲). ایران با تبخیر متوسط سالانه ۲۱۰۰ میلی‌متر سه برابر متوسط جهانی تلفات تبخیر دارد که این میزان در مناطق مختلف، متفاوت است (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲). در مهم‌ترین طبقه‌بندی، روش‌های کاهش تبخیر به پنج دسته تقسیم می‌شوند (کرایج و همکاران، ۲۰۰۵) که روش شیمیایی، یکی از روش‌های ارزان و شاید تنها روش مورد استفاده در مخازن بزرگ محسوب می‌شود (کرایج و همکاران، ۲۰۰۷). این روش، شامل استفاده از منولیرهای شیمیایی، مانند الکل‌های چرب، پارافین، موم و مواد تجاری، از جمله واترسیو (Watersave) و آکوآتین (Aquatine) است. در این راستا، ابرین (۲۰۰۴) در کانادا و کنایت (۲۰۰۵) در استرالیا و بارنز (۲۰۰۸) تأثیر الکل‌های چرب را بر کاهش تبخیر، مثبت ارزیابی کردند. موریسون و همکاران (۲۰۰۸)، تأثیر استفاده از ماده آکوآتین را در کاهش میزان تبخیر مثبت قلمداد کردند. هرزیگ و همکاران (۲۰۱۱)، تأثیر عامل آمولسیون را در فرایند پخش اکتادکانول و اکوسانل، مثبت و بر پخش هگزادکانول بی‌اثر دانستند. مقیمان و اصلانی (۲۰۱۳)، تأثیر نانوذرات را در کاهش میزان تبخیر به اثبات رساندند. در مطالعه دیگری که توسط پیتوی و همکاران (۲۰۱۵) انجام شد، تأثیر تخریب زیستی دو الکل چرب هگزادکانول و اکتادکانول و همچنین گلیکول اتر در سطح آب تمیز و تیره بررسی شد. نتایج این پژوهش، نشان داد مدت زمان ماند هگزادکانول و گلیکول اتر در سطح آب تمیز در مقابل تخریب زیستی بیشتر است و همین عامل استفاده از آن را برای کاهش تبخیر مقرون‌به‌صرفه می‌کند. میلز و همکاران (۲۰۱۶)، نشان دادند اضافه‌کردن الکل‌های چرب زنجیره بلند به یک قطره آب-ساکاروز می‌تواند به آسانی نرخ اولیه تلفات تبخیر آب را کاهش داده و درجه دی‌هیدراته‌شدن آب را در طول پدیده تبخیر کنترل کند. واندل و همکاران (۲۰۱۷)، نرخ انتشار و پخش‌شدگی اکتادکانول را به‌عنوان کاهنده تبخیر آب بررسی کردند و سپس، یک رابطه تجربی را برای نرخ پخش اکتادکانول توسعه دادند. از جمله مطالعات انجام‌شده در ایران می‌توان به مطالعه پیری

و همکاران (۱۳۸۹) اشاره کرد. در این تحقیق، نویسندگان نشان دادند استفاده مداوم از الکل‌های چرب، باعث کاهش محسوس در مقدار تبخیر خواهد شد. اکثر مطالعات کاهش تبخیر بر روی آب‌های تازه انجام گرفته است؛ این در حالی است که در بسیاری از معادن و از جمله معدن مس سرچشمه پساب‌های سدهای باطل شده، ذخیره‌گاه حجم عظیمی از آب قابل استفاده در صنعت است که به لحاظ استفاده مجدد در چرخه می‌تواند بسیار حایز اهمیت باشد. با توجه به اینکه تاکنون در راستای کنترل تبخیر از سطح پساب، مطالعات قابل توجهی صورت نگرفته است، مطالعه حاضر به بررسی استفاده از مواد شیمیایی روی پساب‌های سد باطل شده معدن مس سرچشمه پرداخته است.

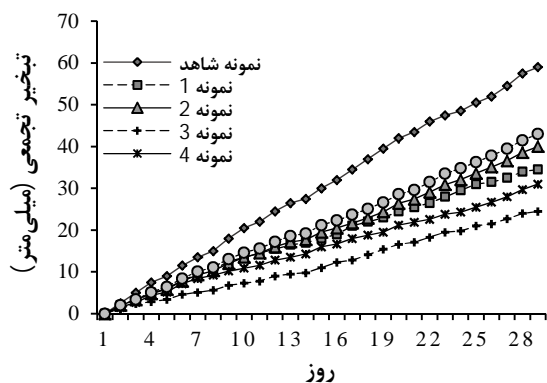
مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر با هدف کاهش تبخیر از سد باطل‌شده مجتمع مس سرچشمه انجام گرفته است. بدین‌منظور، از دو نمونه الکل چرب هگزادکانول ۹۹ درصد و اکتادکانول ۹۵ درصد به‌صورت جامد با پنج نسبت متفاوت استفاده شده است. نسبت‌های مورد استفاده در این تحقیق، شامل نمونه ۱ (C16)، نمونه ۲ ((C16:C18, (1:9))، نمونه ۳ ((C16:C18, (3:7))، نمونه ۴ ((C16:C18, (5:5))، نمونه ۵ (C18) است که در هر نمونه میزان ۱ گرم پودر جامد از الکل‌ها در ۲۰ سی‌سی اتانول ۹۸ درصد حل شد و بعد از آماده‌شدن در ظرف‌های شیشه‌ای با قابلیت اسپری نگهداری شدند. شایان‌ذکر است، نسبت‌های مذکور بر روی دو نمونه آب که شامل پساب سد باطل شده مجتمع و همچنین آب شرب مجتمع است؛ اجرایی شد. بدین‌ترتیب، ۲۴ ظرف با سطح مقطع ۵۲۵ سانتی‌مترمربع با ۱۵۰۰ سی‌سی از دو نمونه برای دو تکرار پر شدند. به‌این‌ترتیب، برای هر نسبت از الکل‌های نامبرده شده در بالا، چهار ظرف پر شده با آب شرب و پساب باطل شده (دو تکرار) در نظر گرفته شد. چهار ظرف نیز به‌عنوان شاهد آب شرب و پساب باطل شده (دو تکرار) بدون اضافه‌کردن هیچ‌گونه مواد کاهنده تبخیر مدنظر قرار گرفت. در شروع آزمایش‌ها، pH پساب سد و آب شرب به‌ترتیب برابر با ۳/۲۲ و ۷/۹۲ و دمای آب در زمان اسپری الکل‌ها ۲۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. بعد از فراهم‌شدن تمام شرایط، ترکیبات مختلف الکل با نسبت‌های متفاوت، بر سطح هر ظرف اسپری شد تا یک لایه نازک از منولیرها بر سطح آب

پساب است؛ به طوری که در این تحقیق، میزان تبخیر از سطح پساب به میزان ۱۷/۵ درصد بیشتر از آب شرب برآورد شده است و این نتایج نشان می‌دهد شرایط اسیدی و ترکیبات نمکی موجود در پساب سد رسوب‌گیر نسبت به آب شرب می‌تواند عاملی مؤثر بر فرار مولکول‌های آب از سطح آب و افزایش میزان تبخیر باشد. همچنین، نتایج حاصل از به‌کارگیری تیمارهای مختلف با نسبت‌های متفاوتی از الکل‌های چرب نیز نشان می‌دهد، میزان تبخیر در تیمارهای مختلف دو نمونه آب تا بیش از ۵۵ درصد کاهش یافته است. نمودار تجمعی میزان تبخیر در ۵ ظرف نمونه پر شده با آب شرب در شکل ۲ و نمودار تجمعی میزان تبخیر در ۵ ظرف نمونه پر شده با پساب در مقایسه با ظرف شاهد در شکل ۳ نمایش داده شده است.



شکل ۲- مقادیر تبخیر تجمعی نمونه‌های آب شرب در تیمارهای مختلف با الکل‌های چرب



شکل ۳- مقادیر تبخیر تجمعی نمونه‌های آب سد در تیمارهای مختلف با الکل‌های چرب

آنچه از مقادیر ثبت شده در جدول ۱ و گراف‌های ترسیم شده در شکل ۲ و ۳ برمی‌آید، تأثیر مثبت ترکیبات مختلف از الکل‌های چرب بر روی دو نمونه آب است؛ به طوری که روند کاهش میزان تبخیر طی تیمارهای

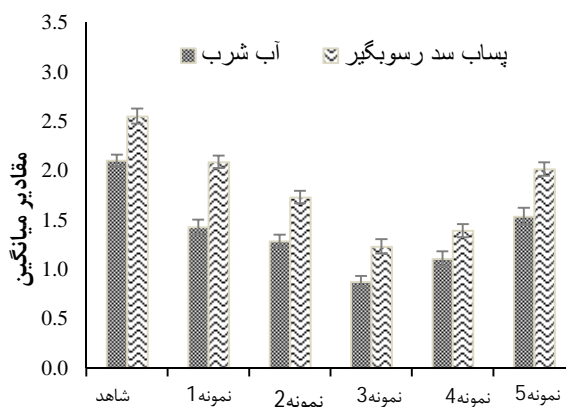
تشکیل شود. بدین ترتیب، به مدت تقریباً یک ماه از تاریخ ۹۵/۴/۲۷ تا ۹۵/۵/۲۴ به فاصله زمانی ۲۴ ساعت و رأس ساعت ۱۲ ظهر، تراز آب در ظرف‌ها با استفاده از کولیس خوانده شد. همچنین، مدت زمان لازم برای اسپری مجدد ترکیبات آماده شده در سطح آب ۵ روز است. در نهایت، کارایی نمونه‌های مختلف از نسبت‌های متفاوت الکل‌های چربی در کاهش میزان تبخیر با استفاده از معادله (۱) محاسبه شد (گاگلیوتی و همکاران، ۲۰۰۵).

$$e = \frac{L_{control} - L_{treatment}}{L_{control}} \times 100 \quad (1)$$

که در آن e ، کارایی نمونه‌های مختلف؛ $L_{control}$ ، میزان تلفات از ظرف شاهد؛ و $L_{treatment}$ ، میزان تلفات در هر یک از نمونه‌ها است. شایان ذکر است، مقادیر اندازه‌گیری شده به صورت $Mean \pm S.d$ ارائه شد و از تحلیل واریانس یک‌طرفه و به دنبال آن از آزمون دانکن برای مقایسه میانگین تأثیر انواع سناریوها بر کاهش تبخیر استفاده شد. پس از به‌دست آوردن اطلاعات از انواع مختلف ترکیبات، نتایج به‌دست آمده تجزیه و تحلیل و $P < 0.05$ به‌عنوان شاخص معنی‌دار بودن مطرح شد.

نتایج و بحث

مقادیر میانگین و انحراف استاندارد تبخیر در دو نمونه آب در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱- مقایسه مقادیر میانگین تبخیر در بازه اندازه‌گیری شده در نمونه‌های مختلف

همان‌گونه که در شکل ۱ نیز مشاهده می‌شود، نتایج به‌دست آمده از مقادیر متوسط تبخیر در دو ظرف نمونه شاهد که با آب شرب و پساب سد رسوب‌گیر پر شده‌اند، متفاوت است که نشان از افزایش میزان تبخیر از سطح

شرب گزارش شده است. نتایج حاصل از کاهش میزان تبخیر با استفاده از ترکیبات مختلف الکل بر دو نمونه آب شرب و پساب در جدول ۱ آورده شده است.

مختلف در دو نمونه آب مشابه است؛ اما میزان کاهش تبخیر متفاوت است و همانند مقادیر شاهد در دو ظرف، در تمام نمونه‌ها میزان تبخیر بر روی پساب بیشتر از آب

جدول ۱- کارایی الکل‌های چرب بر میزان کاهش تبخیر در آب شرب و پساب

ظرف	نمونه	آب شرب		سد رسوب‌گیر		درصد عملکرد بهتر تیمارها بر آب شرب نسبت به پساب
		تبخیر تجمعی (mm)	کاهش تبخیر (%)	تبخیر تجمعی (mm)	کاهش تبخیر (%)	
شاهد	-	۵۹	-	۷۱/۵	-	-
۱	C16	۴۰	۳۲/۲۰	۵۸/۵	۱۸/۱۸	۴۳/۵
۲	C16:C18(1:9)	۳۶	۳۸/۹۸	۴۸/۵	۳۲/۱۷	۱۸
۳	C16:C18(3:7)	۲۴/۵	۵۸/۴۷	۳۴/۵	۵۱/۷۵	۱۱/۵
۴	C16:C18(5:5)	۳۱	۴۷/۴۶	۳۹	۴۵/۴۵	۴/۵
۵	C18	۴۳	۲۴/۱۲	۵۶/۵	۲۰/۹۸	۲۲/۸

کارایی این مواد در کاهش تبخیر به ترتیب ۲۴/۱۲ و ۱۸/۱۸ درصد گزارش شد.

به منظور بررسی معنی دار بودن تفاوت‌های مشاهده شده در کاهش تبخیر از لحاظ آماری نیز، تحلیل واریانس مطابق با جدول ۲ انجام شد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بر اساس مقادیر نسبت پراش از نتایج ارائه شده در جدول تجزیه واریانس، بین ترکیبات مختلف الکل‌های چرب در دو نمونه آب شرب و پساب سد رسوب‌گیر بر کاهش میزان تبخیر در سطح احتمال ۹۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲).

با توجه مقادیر به دست آمده در جدول ۱، می‌توان گفت اگرچه الکل‌های چرب بر کاهش میزان تبخیر از پساب نیز تأثیری مثبت داشته‌اند؛ اما میزان این تأثیر در مقایسه با آب شرب کمتر بوده است. بیشترین کارایی الکل‌های چرب در کاهش میزان تبخیر مربوط به تیمار ۳ است که شامل نسبت (C16:C18, (3:7)) از دو الکل است. استفاده از این ترکیب منجر به کاهش تبخیر به میزان ۵۸/۴۷ و ۵۱/۷۵ درصد روی ظروف پر شده با آب شرب و پساب شده است. کمترین کارایی در نمونه شرب مربوط به تیمار ۵ و در نمونه پساب مربوط به تیمار ۱ است که به ترتیب از اکتادکانول و هگزادکانول خالص استفاده شد. میزان

جدول ۲- انحراف واریانس یک سویه برای بررسی تغییرات تبخیر در این تحقیق

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	آماره F	میانگین مربعات	نسبت پراش (معنی‌داری)
بین گروه‌ها	۴۹/۸۷	۵	۵۶/۵۸	۹/۹۷	۰/۰۰۰
درون گروه‌ها (خطا)	۵۸/۱۷	۳۳۰		۰/۱۷۶	
جمع کل	۱۰۸/۰۴	۳۳۵			
بین گروه‌ها	۶۶/۳۰	۵	۵۲/۵۵	۱۳/۲۶	۰/۰۰۰
درون گروه‌ها (خطا)	۸۲/۲۷	۳۳۰		۰/۲۵	
جمع کل	۱۴۹/۵۷	۳۳۵			

نسبت‌های مختلف الکل‌های چرب بر میانگین تبخیر پرداخته است، در جدول ۳ ارائه شده است.

همچنین، برای تشخیص تفاوت بین میانگین تبخیر در هر یک از زوج نمونه‌ها، از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۵ درصد استفاده شد. نتایج این آزمون که به بررسی تأثیر

جدول ۳- نتایج آزمون دانکن جهت مقایسه میانگین تاثیر نسبت‌های مختلف الکل‌های چرب در میزان تبخیر از سطح آب

n	۵	۴	۳	۲	۱		
a					۰/۸۸ ^a	C16:C18(3:7)	نمونه ۳
b				۱/۱۱ ^b		C16:C18(5:5)	نمونه ۴
c			۱/۲۹ ^c			C16:C18(1:9)	نمونه ۲
cd		۱/۴۳ ^d	۱/۴۳ ^c			C16	نمونه ۱
d		۱/۵۴ ^d				C18	نمونه ۵
e	۲/۱۱ ^e						شاهد
a					۱/۲۳ ^a	C16:C18(3:7)	نمونه ۳
a					۱/۳۹ ^a	C16:C18(5:5)	نمونه ۴
b				۱/۷۳ ^b		C16:C18(1:9)	نمونه ۲
c			۲/۰۲ ^c			C18	نمونه ۵
c			۲/۰۹ ^c			C16	نمونه ۱
d		۲/۵۵ ^d					شاهد

Subset for alpha = 0.05 And N=56

خالص بود؛ از طرفی، در تیمارهای ترکیبی، نمونه‌هایی که نسبت اکتادکانول بیشتری داشته‌اند، عملکرد بهتری را نشان دادند؛ به طوری که دو نمونه ۳ و ۴ که در آنها نسبت اکتادکانول بیشتر از هگزادکانول است، نسبت به سایر ترکیبات عملکرد بهتری را در دو نمونه آب داشتند. نتایج این تحقیق با نتایج به دست آمده از پژوهش گاللیوتی و همکاران (۲۰۰۵) مقایسه شد. در تحقیق نامبرده، ترکیب (C16:C18, (1:9)) با کاهش تبخیر ۵۷ درصد بهترین عملکرد را در کاهش میزان تبخیر مخازن آب سائو پالو (Sao Paulo) داشت. رقم گزارش شده اگرچه به بهترین عملکرد در پژوهش حاضر نزدیک است؛ اما نسبت الکل‌های استفاده شده در این تحقیق برای دستیابی به نتیجه فوق متفاوت است و مربوط به نسبت (C16:C18, (3:7)) بوده است. این اختلاف می‌تواند ناشی از نوع آب مورد استفاده و ترکیبات موجود در آن باشد. از طرفی، زمان تجدیدپذیری الکل‌ها بر سطح آب در تحقیق حاضر، بیش از دو برابر زمان گزارش شده در تحقیق گاللیوتی و همکاران (۲۰۰۵) است.

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از تاثیر ترکیبات مختلف دو نمونه الکل چرب هگزادکانول و اکتادکانول بر نمونه‌های آب تهیه شده از پساب سد رسوب‌گیر مجتمع مس سرچشمه و در شرایط آزمایشگاهی مثبت قلمداد شد. در مجموع، اگرچه

همان‌گونه که در جدول ۳ نیز مشاهده می‌شود، طبق آزمون دانکن در گروه‌بندی نهایی تیمارهایی که در یک حرف مشترک هستند، در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. بر این اساس، در آب شرب نمونه‌های ۲ و ۱ و همچنین نمونه‌های ۵ و ۱ به لحاظ آماری در یک گروه قرار دارند و به لحاظ تفاوت در میزان تبخیر اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. در آب شرب ظرف شاهد بیشترین مقدار تبخیر را در بین دیگر تیمارها داشته است؛ در حالی که نمونه سه که ترکیب نسبت ۳ به ۷ از هگزادکانول به اکتادکانول است، کمترین میزان تبخیر را داشته است. نتایج به دست آمده از ترکیبات مختلف بر روی پساب سد رسوب‌گیر نیز اختلاف معنی‌داری را با مقادیر ظرف شاهد نشان داد. در این نمونه، نیز تیمارهای ۳ و ۴ و همچنین ۱ و ۵ از نظر آماری تفاوتی در سطح ۵ درصد نداشته‌اند و از لحاظ تاثیر بر کاهش تبخیر در یک گروه آماری قرار گرفته‌اند. در این نمونه، نیز ظرف شاهد بیشترین میزان تبخیر و تیمار ۳ و ۴ که در یک گروه آماری قرار گرفته‌اند، کمترین تلفات تبخیر را نشان می‌دهند.

نتایج به دست آمده از ترکیبات مختلف الکل‌ها نشان می‌دهد که در مجموع، تاثیر الکل‌های ترکیبی نسبت به استفاده الکل‌ها به صورت خالص بیشتر بوده است؛ به طوری که کمترین کارایی الکل‌ها در کاهش تبخیر در میان دو نمونه آب مربوط به استفاده از دو نمونه الکل به صورت

6. Herzig M. Barnes G. and Gentle I. 2011. Improved spreading rates for monolayers applied as emulsions to reduce water evaporation. *Journal of colloid and interface science*. 357(1): 239-242.
7. Gugliotti M. Baptista M. S. and Politi M. J. 2005. Reduction of evaporation of natural water samples by monomolecular films. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 16(6A): 1186-1190.
8. Knights S. 2005. Reducing evaporation with chemical monolayer technology. *Aust. Cottongrower*. 26: 32-33.
9. Moghiman M. and Aslani B. 2013. Influence of nanoparticles on reducing and enhancing evaporation mass transfer and its efficiency. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 61: 114-118.
10. Morrison P. Gill R. Symes T. Misra R. Craig I. Schmidt E. and Hancock N. 2008. Small scale evaporation mitigation trials. 2007-08. National Centre for Engineering in Agriculture. Publication 1002040. 1.
11. O'brien R. 2004. Method for making a coated powder for reducing evaporative water loss: Google Patents. 10/910, 950
12. Pittaway P. Herzig M. Stuckey N. and Larsen K. 2015. Biodegradation of artificial monolayers applied to water storages to reduce evaporative loss. *Journal of Water Science and Technology*. 72(8): 1334-1340.
13. Miles R. E. Davies J. F. and Reid J. P. 2016. The influence of the surface composition of mixed monolayer films on the evaporation coefficient of water. *Journal of Physical Chemistry Chemical Physics*. 18(29): 19847-19858.
14. Wandel A. P. Brink G. N. Hancock N. H. and Pather S. 2017. Spreading rate and dispersion behavior of evaporation-suppressant monolayer on open water surfaces: Part 2-Under wind stress. *Journal of Experimental Thermal and Fluid Science*. 87: 171-181.

در تمام نمونه‌ها تأثیر تیمارهای مختلف الکل بر پساب سد رسوب‌گیر کمتر از آب شرب بود؛ اما ترکیب شماره ۳ با عملکرد ۵۱/۷۵ درصد بیشترین تأثیر را در کاهش میزان تبخیر بر روی نمونه‌های پساب داشت. شایان‌ذکر است، نتایج به‌دست آمده در شرایط آزمایشگاهی بوده و در شرایط محیطی بالطبع کارایی این مواد کاهش می‌یابد؛ به‌طوری که استفاده از مواد بالا در روزها و ماه‌هایی از سال که میزان تبخیر بالا بوده و سرعت باد نیز کمتر از ۷-۸ کیلومتر بر ساعت است، قابلیت استفاده خواهند داشت. از طرفی، دوام و کارایی این مواد در شرایط آزمایشگاهی انجام شده در این تحقیق ۵ روز است؛ درحالی که تجدید این مواد در سطح آب و در شرایط میدانی کمتر از بازه تجدید مواد در شرایط آزمایشگاهی خواهد بود.

سپاس‌گزاری

این مطالعه در قالب طرح پژوهشی و با حمایت مالی مجتمع مس سرچشمه انجام شده است. نگارندگان لازم می‌دانند از واحدهای مختلف مجتمع که در انجام این پروژه همکاری کرده‌اند، صمیمانه قدردانی کنند.

منابع

۱. پیری م. حسام م. دهقانی ا. ا. و مفتاح هلقی م. ۱۳۸۹. مطالعه آزمایشگاهی تأثیر استفاده از روش‌های فیزیکی و شیمیایی بر کاهش تبخیر از مخازن آب. *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*. ۱۷(۴): ۱۴۱-۱۵۴.
۲. احسانی م. و خالدی ه. ۱۳۸۲. بهره‌وری آب کشاورزی. چاپ اول، تهران. کمیته آبیاری و زهکشی ایران.
3. Barnes G. T. 2008. The potential for monolayers to reduce the evaporation of water from large water storages. *Agricultural Water Management*. 95(4): 339-353.
4. Craig I. Green A. Scobie M. and Schmidt E. 2005. Controlling evaporation loss from water storages. National Centre for Engineering in Agriculture Publication 1000580/1, USQ. Toowoomba. <<http://www.ncea.org.au> . >
5. Craig I. Aravinthan V. Baillie C. P. Beswick A. Barnes G. Bradbury R. Fitzmaurice L. 2007. Evaporation, seepage and water quality management in storage dams: a review of research methods. *Environmental Health*. 7(3): 84-97.