Archive of SID

مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی جلد ۳ شماره ۱ صفحه‌های ۱۳ تا ۲۶ (۱۳۹۷)

کاهش تبخیر از مخزن آب سدها[1]

علی‌رضا سپاس‌خواه[۲،۳]

چکیده

به دلیل خشکی هوا و دمای بالا، هدرروی تبخیر از سطح مخزن‌های سدهای ایران بالا است. بنابراین، لازم است از میزان تبخیر از سطح مخزن‌ها کاسته شود، تا به میزان منابع آبی قابل استفاده کشور افزوده شود. میزان تبخیر از سطح مخزن‌های سدها بین ۴/۲٪ تا ۱۴/۳٪ (به طور میانگین ۱۰٪) از حجم کل مخزن سد است که باید در شرایط کمبود و بحران آب و خشکسالی کاهش یابد و از آب حفظ شده در کشاورزی، صنعت و به ویژه شرب بهره‌برداری شود. روش‌های مختلف، برای کاهش تبخیر در جهان به کار برده شده است که کاربرد مواد شیمیایی به صورت پودر، شیرابه[4] و کاربرد پوشش‌های مختلف مناسب‌ترین آن ها می‌باشند که می‌توانند در ایران برای کاهش تبخیر از مخزن‌های سدها بررسی شوند. محلول یا پودرپاشی روی سطح آب، لایه‌ای یک مولکولی (تک لایه) برای کاهش تبخیر ایجاد می‌کند که در اثر باد و موج آب پراکنده می‌شوند. بنابراین به طور متناوب با دور ۱ تا ۲ روزه باید به کار برده شوند. مواد تجاری موجود در دنیا برای این کار عبارتند از واترسیوِر[5] که از نظر محیط زیستی کاربرد آن‌ها مانعی ندارد. کاربرد این مواد می‌تواند تا ۴۰٪ تبخیر را کاهش دهد. پوشش‌های دیگری که می توانند به کار برده شوند عبارتند از صفحه‌های شناور یونولیت به رنگ سفید یا صفحه‌های شناور بتونی توخالی سبک که قادر است تبخیر را دست‌کم تا ۸۰٪ کاهش دهد. تحلیل‌های اقتصادی نشان داده است که کاهش تبخیر و حفاظت آب با روش‌های یاد شده می‌تواند با تولید آب از روش شیرین کردن آب شور و تصفیه فاضلاب رقابت کند.

واژه‌های کلیدی: الکل‌های چرب، بلوک‌های استایروفوم، پودرهای شیمیایی، پوشش با بلوک‌های سبک، مواد شیمیایی تک‌لایه‌ای.

مقدمه

آب از نعمت‌های خدادادی است که حیات را روی کره زمین ممکن کرده است. تمدن‌های بشری بیشتر در کنار منابع آب شکل گرفته است. کل آب موجود روی کره زمین ۱۳۶۰ میلیون کیلومتر مکعب تخمین زده می‌شود که از آن تنها حدود ۳۳/۵ میلیون کیلومتر مکعب آب شیرین است که حدود ۲/۵٪ از کل آب‌های کره زمین را تشکیل می‌دهد. کل آب تجدیدپذیر در ایران حدود ۱۰۵ میلیارد متر مکعب است که حدود ۰/۳٪ از کل آب شیرین جهان را شامل می شود، در حالی‌که جمعیت و وسعت زمین‌های ایران حدود ۱/۱٪ از جمعیت و زمین‌های دنیا است. از سوی دیگر سرانه آب تجدید پذیر در ایران حدود ۱۳۰۰ متر مکعب در سال است که در مقایسه با سایر کشورها کم است (جدول ۱). بنابراین، کمبود منابع آب در ایران از سایر نقاط جهان شدیدتر است. در مناطق نیمه خشک، که اغلب

۱- تاریخ دریافت: ۹۶/۱/۲ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۲۲

۲- نویسنده مسئول، پست الکترونیک: sepas@shirazu.ac.ir

۳- عضو پیوسته فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران و استاد دانشگاه شیراز.

4. Emulsion

5. Watersaver

www.SID.ir

Archive of SID

وسعت ایران را تشکیل می‌دهد، بیشتر باران در فصل زمستان می‌بارد. بنابراین باید برای مصرف در مواقع دیگر سال آن را در پشت سدها ذخیره کرد. درسال ۱۳۹۲ کل حجم ظرفیت سدهای کشور حدود ۴۸ میلیارد متر مکعب و مقدار قابل تنظیم آن ۳۴ میلیارد مترمکعب است. به علت خشکی هوا و دمای بالا هدرروی تبخیری از سطح این مخزن‌ها بالا است. بنابراین لازم است تا از میزان تبخیر از سطح مخزن‌ها کاسته شود تا به میزان منابع آبی قابل استفاده کشور افزوده شود.

جدول ۱- سرانه آب کشورهای مختلف در جهان (۲۳).

کشور	سرانه آب (متر مکعب در سال)	کشور	سرانه آب (متر مکعب در سال)
هند	۱۸۲۰	استرالیا	۱۸۱۶۲
برزیل	۴۰۸۵۵	فرانسه	۳۳۵۱
ایالات متحده آمریکا	۸۹۰۲	مکزیک	۳۶۱۴
چین	۲۲۱۵	ژاپن	۳۳۹۳
اسپانیا	۲۸۰۸	ایران	۱۳۰۰

با توجه به این‌که در حال حاضر سرانه آب در ایران ۱۳۰۰ متر مکعب است و در آینده هم به احتمال کمتر خواهد شد، همراه با برنامه‌ریزی برای افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی، صنعت و شرب به‌نظر می رسد که جلوگیری از تبخیر آب‌های شیرین از روی مخزن‌های سدها به ویژه آب‌های شرب حتی با هزینه‌های زیاد، ضروری است.

در استرالیا آب باران در مخزن‌های کوچک و سدها جمع آوری می‌شود اما حدود نیمی از آن در اثر تبخیر تلف می‌شود (۱۱). از طرفی دیگر کل حجم مخزن‌های کشاورزی در کوینزلند استرالیا ۲/۵ میلیارد مترمکعب است که به علت کم عمق بودن آن‌ها (۴ تا ۵ متر) حدود ۴۰٪ آن تبخیر می شود و اگر از تبخیر آن‌ها جلوگیری شود حدود ۱/۰ میلیارد متر مکعب آب حفظ می‌شود که می‌تواند حدود ۱۲۵ هزار هکتار زمین را زیر کشت آبی درآورد و در آمدی حدود ۳۷۵ میلیون دلار به‌همراه داشته باشد (۲۵). برای کاهش میزان تبخیر از روش‌های مختلفی می‌توان استفاده کرد (۱۸، ۲۱).

میزان تبخیر از مخزن‌ها در ایران

میزان تبخیر در نواحی مختلف ایران عبارت است از: سواحل دریای خزر (۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ میلی متر)، پهنه مرکزی (۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ میلی متر) و ساحل‌های خلیج فارس (۳۰۰۰ تا ۵۰۰۰ میلی متر) (۳). این داده ها نشان می‌دهند که اگر بتوان به طور اقتصادی با کاربرد مواد یا روش‌هایی از میزان تبخیر از سطح آب دریاچه‌های سدها کاست می‌توان از منابع آب ایران بهره برداری بیشتری کرد. برای نمونه، وسعت مخزن سد کارون ۳ حدود ۶۹۰۰ هکتار بوده و میانگین تبخیر سالانه این حوضه ۱۸۲۴ میلی متر است. بدین ترتیب، سالانه حدود ۱۲۶ میلیون متر مکعب آب از سطح مخزن این سد تبخیر می‌شود که نسبت به حجم کل مخزن (۳ میلیارد متر مکعب) ۴/۲٪ است.

میزان تبخیر از دریاچه سد دوستی در ترکمنستان به کمک الگوریتم سنجش از دور برابر ۱۱۰۸ میلی متردر سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۱ معادل ۶۰ میلیون متر مکعب گزارش شده است (۶). باتوجه به ظرفیت سد دوستی و مساحت آن که به ترتیب ۱۲۵۰ میلیون متر مکعب و ۵۵ کیلومتر مربع است حجم تبخیر معادل ۶۰ میلیون متر مکعب است. بنابراین میزان تبخیر حدود ۵٪ حجم مخزن است.

www.SID.ir

Archive of SID

میـزان تبخیـر از سـطح دریاچـه سـد درودزن اسـتان فـارس سـالانه حـدود۲۰۰۰ میلـی متـر اسـت. در حجـم ۸۰۰ میلیون متـر مکعـب، سـطح دریاچـه حـدود ۴ هـزار هکتـار اسـت بنـابراین حجـم آب تبخیـر شـده از سـطح دریاچـه حـدود ۸۰ میلیون متر مکعب در سال (۱۰٪ کل آب دریاچه) است.

بـر اسـاس آمـار سـال ۱۳۴۳ تـا ۱۳۴۹ میـزان تبخیـر از سـطح آب در زابـل سـالانه ۴۹۰۰ میلـی متـر اسـت. در شـرایط جـوی زابـل در اسـتان سیسـتان و بلوچسـتان، در مخزنـی بـه مسـاحت ۵۰ کیلـومتر مربـع بـه ظرفیـت ۷۰۰ میلیـون متـر مکعـب، میـزان تبخیـر بـه ۱۰۰ میلیـون متـر مکعـب در ۵ ماهـه خـرداد تـا مهـر مـاه مـی‌رسـد (۱۴/۳٪) و چنانچـه بتـوان مقـداری از ایـن تبخیـر را کـاهش داد در آبـادانی ایـن منطقـه تـأثیر فراوانـی خواهـد داشـت (۳). پژوهشـگران در منطقـه پژوهش نشـان دادنـد کـه در مخزنـی بـا سـطح حـدود ۱۱۵ هکتـار (۱/۱۵ کیلـومتر مربـع) بـا تبخیـر سـالانه ۲۲۶۶ میلـی متـر، حـدود ۲/۵۸ میلیـون متـر مکعـب از منـابع آبـی از دسـترس خـارج مـی شـود و بـا کـاهش تبخیـر بـه میـزان ۸۰٪ حجـم چشمگیری از منابع حفظ می‌شود.

عامل‌های مؤثر بر تبخیر از مخزن ها

تبخیـر آب عبـارت اسـت از: فرآینـدی کـه در آن آب مـایع بـه بخـار آب تبـدیل مـی‌شـود. مولکـول‌هـای آب در حـال حرکت هستند و بعضی از آن‌ها انرژی لـازم بـرای فـرار بـه هـوای مجـاور بـه صـورت بخـار آب را دارنـد (۹). عامـل‌هـای مـؤثر در تبخیـر از سـطح مخـزن‌هـا عبارتنـد از مسـاحت سـطح آب، دمـای هـوا، کمبـود فشـار بخـار هـوا، سـرعت بـاد، فشـار اتمسـفر و کیفیت آب.

روش‌های کاهش تبخیر

روش‌هـای کـاهش تبخیـر عبارتنـد از احـداث بادشـکن، پوشـاندن سـطح آب، کـاهش سـطح آب در معـرض تبخیـر، ذخیـره آب در زیـرزمین و کـاربرد مـواد شـیمیایی بـرای کـاهش تبخیـر. در اینجـا از ایـن عامـل‌هـا فقـط دو مـورد بررسـی خواهد شد.

پوشاندن سطح آب

با پوشاندن سطح آب به وسـیله پوشـش‌هـای ثابـت یـا شـناور، هـدرروی تبخیـری بـه‌مقـدار زیـادی کـاهش مـی یابـد. این پوشـش‌هـا اغلـب بـه رنـگ سـفید بـوده و مقـدار زیـادی از تـابش خورشـیدی را مـنعکس کـرده و باعـث کـاهش هـدرروی تبخیری از سطح آب مـی‌شـود. همچنـین ایـن پوشـش‌هـا جریـان هـوا را کنـد مـی‌کنـد و انتقـال بخـار آب را کـاهش مـی‌دهـد. پوشش‌های ثابت به طـور معمـول بـرای سـطح‌هـای آبـی کوچـک در حـد چنـد هکتـار مناسـب اسـت. بـرای سـطح‌هـای وسـیع پوشش‌های شناور به صورت تخته‌ای و یا کروی مناسب‌تر است.

کاربرد مواد شیمیایی برای کاهش تبخیر

اولـین بـار در اوایـل دهـه ۱۹۵۰ از الکـل‌هـای چـرب بـرای کـاهش تبخیـر از سـطح آب در اسـترالیا اسـتفاده شـد. مولکول‌های الکل‌هـای چـرب وقتـی کـه روی آب قـرار مـی‌گیـرد، تغییـر جهـت مـی‌دهنـد بـه نحـوی کـه قطـب جـاذب آن بـه سمت آب قـرار مـی‌گیـرد و قطـب دیگـر آن بـه سـمت بالـا و خـارج از آب قـرار مـی‌گیـرد و در حالـت آرمـانی یـک لایـه از ایـن مولکول‌ها را روی سـطح آب قـرار مـی‌دهـد و تبخیـر از سـطح آب را کـاهش مـی‌دهـد (گـزارش شـده در ۲). ضـخامت ایـن لایـه که به طور معمول نامرئی اسـت حـدود یـک نـانومتر اسـت. ایـن لایـه توسـط قطـره‌هـای بـاران، بـاد و مـوج آب شکسـته شـده و دوباره در صورتی‌که توسط بـاد یـا مـوج شـدید تکـه‌هـای آن خیلـی از هـم دور نشـده باشـد بـه هـم متصـل مـی‌شـود . کـاربرد تک لایه‌ها روی سطح آب در مقایسه با کاربرد باد شکن و پوشش سایه انداز ارجحیت دارد (۲).

www.SID.ir

Archive of SID

کاربرد مواد شیمیایی که می‌تواند لایه نازکی روی سطح آب ایجاد کنند در کاهش تبخیر از سطح آب مؤثر است. این لایه نازک، انرژی ورودی از جو را منعکس کرده و موجب کاهش تبخیر می‌شود. همچنین این لایه‌ها هوای کافی را از خود عبور می‌دهد و ادامه حیات موجودهای آبزی را ممکن می‌سازد. لایه نازک از بخش الکل‌های چرب با کیفیت‌های مختلف ایجاد می‌شود. الکل‌های چرب روی سطح آب لایه تک مولکولی ایجاد می‌کنند که بین آب و هوای مجاور مانع می‌شود. این مواد به صورت پودر، محلول یا شیرابه وجود دارند.

فهرست مواد شیمیایی به کار رفته برای کاهش تبخیر از سطح آب عبارتند از هگزا دکانول، اوکتادکانول، استیل استیریل الکل، لینوکسید، اتوکسیلات الکل و الکل خطی. الکل‌های چرب در شرایط زیر می‌تواند به کار برده شود:

۱- الکل انتخاب شده باید ویژگی‌های چسبندگی لازم را داشته باشد تا لایه تک مولکولی را در شرایط باد بر روی سطح آب ایجاد کند. حتی اگر لایه تک مولکولی در اثر باد شدید پاره شده باشد، الکل انتخاب شده باید قابلیت ایجاد دوباره لایه تک مولکولی را داشته باشد.

۲- الکل انتخاب شده نباید اثر منفی بر کیفیت آب به‌ویژه اثر سمی بر زندگی جانداران آبزی و انسان داشته باشد.

۳- الکل انتخاب شده باید به گونه‌ای باشد که هوا از لایه تک مولکولی ایجاد شده در سطح آب عبور کرده و وارد آب شود تا اثر منفی بر زندگی جاندارن آبزی به‌جا نگذارد.

ویژگی‌های مواد شیمیایی برای کاهش تبخیر

مواد شیمیایی برای کاهش تبخیر باید دارای ویژگی‌های زیر باشند:

الف- این مواد باید به راحتی پخش شوند و یک لایه تک مولکولی فشرده ، چسبنده و یکنواخت روی سطح آب ایجاد کنند.

ب- لایه تشکیل شده باید نسبت به اکسیژن و گازکربنیک نفوذپذیر بوده اما به اندازه کافی متراکم باشد که از فرار مولکول بخار آب جلوگیری کند.

پ- این مواد باید با دوام باشند و بتوانند پارگی‌های حاصل از باد و موج را ترمیم کنند. فشار لایه تشکیل شده رابطه مستقیمی با مؤثر بودن لایه تک مولکولی دارد.

ت- مواد شیمیایی مناسب باید بدون مزه ، بدون بو، غیر سمی و اشتعال‌ناپذیر باشند. همچنین؛ این مواد نباید روی کیفیت آب و جانداران آبزی اثر منفی داشته باشند.

ث- این مواد نباید تأثیر منفی روی باکتری‌ها، پروتئین و سایر ناخالصی‌های آب داشته باشند.

الکل‌های چرب خالص

ترکیب‌هایی که ویژگی‌های مطلوب یاد شده را داشته باشند و برای کاهش تبخیر از سطح آب به کار برده می‌شود عبارتند از، ستیل الکل یا هگزادکانول[1]، استیریل الکل یا اکتادکانول[2] و دو کوسانول یا بهنیل الکل[3] یا مخلوطی از این ترکیب‌ها. همه این الکل‌ها باید درجه خلوص ۹۹٪ داشته باشند تا ویژگی‌های مطلوب تک لایه شدن را داشته باشند.

بررسی‌ها روی ستیل الکل نشان داده است که این ترکیب ویژگی‌های زیر را دارد:

۱- تک لایه مولکولی متراکم با نیروی قوی چسبندگی بین زنجیره های متوالی را ایجاد می‌کند.

۲- سرعت پخش و پوشش دادن سطح آب را به نسبت خوبی دارد.

1. C16H33OH 2. $C_{18}H_{33}OH$ 3. $C_{22}H_{45}OH$

www.SID.ir

Archive of SID

ویژگی اول منجر به کاهش بیشتر تبخیر شده و ویژگی دوم باعث ترمیم بهتر پارگی تک لایه مولکولی در اثر باد و موج آب می‌شود. ورقه‌های تک لایه مولکولی همراه با موج آب ، منقبض و منبسط و در سرعت باد معینی پاره می‌شوند. در صورتی‌که مقدار الکل هگزادکانول باندازه کافی مصرف شده باشد مولکول‌ها محکم به هم متصل شده و از فرار بخار آب جلوگیری می‌کند اما به اندازه کافی متخلخل می باشد که اکسیژن و گازکربنیک را از خود عبور دهد و از نظر زیست‌محیطی ایمن باشد. قدرت کاهش تبخیر اکتادکانول الکل بیشتر از هگزادکانول الکل است، اما قدرت پخش شدگی آن کمتر است.

سودمندی‌ها و کاستی‌های مواد جامد و شیرابه کاهنده تبخیر

بعضی از مواد به صورت جامد یا شیرابه یا هر دو وجود دارند. مقدار مصرف آن‌ها به صورت پودر ۷۵ گرم در هکتار است. مقدار مصرف آن‌ها به صورت شیرابه ۵۰۰ گرم در هکتار در روز بوده که می‌تواند پس از ۱۵ روز مصرف به ۲۵۰ گرم در هکتار در روز کاهش یابد. بنابراین مصرف به صورت شیرابه ۳ برابر مصرف پودر است. مصرف مواد به صورت پودر ساده است اما مصرف به صورت شیرابه به دلیل رقیق کردن، مخلوط کردن و پخش کردن قدری مشکل است. مشکل اصلی کاربرد این مواد این است که سرعت باد بیش از ۱۰ کیلومتر برساعت باعث پاره شدن لایه های تک مولکولی الکل روی سطح آب می‌شود.

دستور کار مصرف مواد کاهنده تبخیر

دستور کارهای زیر برای کاربرد مواد کاهنده تبخیر در مناطق خشک ، شرایط خشکسالی یا کمبود آب پیشنهاد شده است. این دستور کار عمومی است و بسته به شرایط کاربرد، ویژگی‌های کارخانه سازنده و وسایل کاربرد می‌تواند تغییر کند.

کاربرد مواد شیرابه‌ای

اندازه مصرف مواد شیرابه‌ای برای آب‌های آزاد در ۱۵ روز اولیه، ۵۰۰ گرم بر هکتار در روز است و برای دوره‌های بعدی به ۲۵۰ گرم بر هکتار در روز کاهش می‌یابد. مقدار مصرف را با آب به میزان ۲۰ تا ۲۵ مرتبه رقیق کرده، سپس مصرف می‌کنند. پس از مخلوط کردن با آب به وسیله مخلوط‌کن‌های مکانیکی، آن را با صافی صاف می‌کنند تا ناخالصی‌هایی که منجر به گرفتگی نازل دستگاه پخش می‌شود جدا شوند. مخلوط آماده شده به وسیله دستگاه پخش‌کننده که به بشکه حاوی مخلوط متصل است و روی قایق معمولی قرار دارد، روی سطح آب پخش می‌شود. برای پخش مخلوط می‌توان از پخش‌کننده مستقر در ساحل آب نیز استفاده کرد. کلک یا قایق را در تقسیم‌بندی‌های چهار گوشه روی سطح آب مستقر کرده به طوری‌که مساحت هر استقرار به اندازه ظرفیت بشکه حاوی مخلوط باشد. برای مخزن‌های کوچک، بشکه حاوی مخلوط در کنار آب قرار داده شده و مخلوط روی آب پخش می‌شود. پخش کردن مخلوط در جهت باد غالب به پخش آن مخلوط کمک می‌کند.

باد شدید و تغییر جهت آن لایه تک مولکولی الکل را پاره می‌کند، بنابراین راهکارهایی برای حفظ یک‌پارچگی این لایه‌ها لازم است. برای تشخیص یک‌پارچگی لایه تک مولکولی روی سطح آب، از یک قطره روغن کرچک در نقش معرف استفاده می‌شود. تنش سطحی روغن کرچک ۱۷ دین بر سانتیمتر در دمای ۲۱ درجه سلسیوس است. چنانچه یک قطره روغن کرچک روی سطح الکل‌پاشی شده شکل خود را حفظ کند، نشان می دهد که لایه تک مولکولی روی سطح آب وجود دارد.

کاربرد مواد پودری

میزان کاربرد مواد پودری، ۷۵ گرم در هکتار در روز است. مواد پودری کیسه‌ای باید پیش از مصرف با وسایل مکانیکی خرد شده و به صورت پودر در آیند. مواد پودری از روی کلک یا قایق با وسایل پودرپاش روی سطح

www.SID.ir

Archive of SID

آب پاشیده می‌شود. برای اینکه پخش این مواد هرچه سریعتر و اقتصادی‌تر انجام شود، دو دستگاه پودرپاش در دو طرف قایق یا کلک نصب می‌شود. سرعت حرکت قایق باید به‌گونه‌ای تنظیم شود که کمترین موج روی سطح آب ایجاد شود و پخش مواد پودری با سرعت مقبولی انجام شود. متناسب با وسعت سطح آب، تعداد دفعه‌های عبور قایق تنظیم شده و از جهت وزش باد هم برای پخش بهره‌گیری می شود. پس از پاشیدن پودر روی سطح آب باید از ایجاد لایه تک مولکولی روی سطح آب اطمینان حاصل شود. حدود ۱۰ تا ۱۵٪ از میزان پاشش روزانه ذخیره می‌شود تا در صورت پارگی لایه تک مولکولی برای ترمیم آن به کار برده شود. در بعضی شرایط می‌توان مصرف مواد شیرابه و پودر را با هم به کار برد. در هنگام شب مواد شیرابه به وسیله دستگاه محلول پاش پخش می‌شود و در هنگام روز مواد پودری روی سطح آب پخش می‌شود.

محدودیت استفاده از تک لایه‌ها

وزش باد و موج آب از محدودیت‌های مهم استفاده از تک لایه‌ها ست. از نکته‌های منفی کاربرد این مواد این است که لایه تشکیل شده در سطح آب در سرعت زیاد باد تکه پاره می‌شود. آزمایش‌ها نشان داد که در سرعت باد بیش از ۱۶ کیلومتر بر ساعت تبخیر بین ۱۰ تا ۲۰٪ کاهش می‌یابد و در سرعت‌های بیش از ۲۴ کیلومتر بر ساعت اثر بخشی تک لایه‌ها بر کاهش تبخیر ناچیز است (۱۶). از سوی دیگر پژوهش‌ها روی سطح‌های آبی متوسط نشان داد که تأثیر تک لایه بر کاهش تبخیر در سرعت های باد تا ۳۰ کیلومتر بر ساعت باقی می‌ماند (۲۰). همچنین وارما[1] (۲۴) نشان داد که تا سرعت باد ۸ کیلومتر برساعت کاهش تبخیر تا ۴۰٪ با الکل‌های سنگین مشاهده شده است، اما در سرعت‌های بیش از ۲۴ کیلومتر بر ساعت هیچ نوع کاهش تبخیر حاصل نمی‌شود. کاربرد مواد شیمیایی در شرایط زیر مناسب نیست:

۱- وقتی سرعت باد از ۱۰ تا ۱۶ کیلومتر بر ساعت زیادتر است.

۲- وقتی که دمای هوا بالاتر از ۴۰ تا۴۲ درجه سلسیوس است.

۳- وقتی مساحت مخزن به نسبت زیاد است.

سرعت پخش تک‌لایه‌ها

بهترین سرعت پخش تک لایه‌ها در دمای ۲۴ درجه سلسیوس، ۱ تا ۱۲ سانتیمتر بر ثانیه است. برای ترکیب ۴۵٪ هگزادکانول، ۴۰٪ اکتادکانول و ۱۵٪ الکل اولیل[2] در دمای ۲۵ درجه سلسیوس بهترین سرعت پخش ۲۷ تا ۲۸ سانتیمتر بر ثانیه است (گزارش شده در ۲).

ابزارهای پخش ماده شیمیایی واترسیور در سطح های بزرگ

دستگاه‌های مختلفی برای پخش مواد شیمیایی روی سطح آب در دنیا ساخته شده است که ویژگی آن‌ها در جدول ۲، ارایه شده است.

جنبه‌های مثبت مواد شیمیایی

کاربرد مواد شیمیایی به سرمایه گذاری اندکی نیاز دارد. کلک‌های ساخته شده محلی می‌توانند برای پخش این مواد به کار برده شوند و نیازی به کارگر ماهر نیست، مگر این‌که از قایق‌های موتوری برای پخش آن‌ها استفاده شود. الکل‌های چرب خطری در کاربرد ندارند، اشتعال‌ناپذیر ، غیر سمی و غیرحساسیت‌زا هستند. تا به حال هیچ‌گونه اثر سمی از آن در آب برای شرب انسان گزارش نشده است. همچنین هیچ‌گونه خطری از نظر بوم‌شناسی در مورد آن گزارش نشده است؛ چون الکل‌های چرب دارای زنجیر ترکیب‌های کربنی خطی هستند که تجزیه‌پذیر بوده و نسبت به

1. Varma
2. $C_{18}H_{35}OH$

www.SID.ir

Archive of SID

اکسیژن نفوذپذیر است. تأثیر روش‌های شیمیایی به خوبی روش‌های فیزیکی نیست اما هزینه کمتری داشته و از نظر اثرهای زیست‌محیطی، بهداشت و کیفیت آب خطر کمتری دارد (۱۵).

جنبه‌های منفی مواد شیمیایی

الکل‌های چرب به سادگی دسترس نبوده و گران هستند. در گذشته الکل‌های چرب تنها از اسپرم نهنگ‌ها و یا احیای سدیمی روغن‌های حیوانی و چربی تولید می‌شد و پس از توسعه فرایند هیدروژنیزه کردن در فشار بالا هم اکنون الکل‌های چرب با کیفیت خوب به صورت تجاری در دسترس است. البته این فناوری بسیار پیشرفته است که به متخصص‌های ماهر برای تولید آن نیاز است.

جدول ۲- ویژگی‌های دستگاه‌های پخش مواد شیمیایی روی سطح آب (گزارش شده در ۲).

نام دستگاه پخش‌کننده	ظرفیت دستگاه (لیتر)	مساحت سطح آب (هکتار)	نحوه پخش	قیمت دستگاه (دلار آمریکا) در سال ۲۰۱۰ میلادی
واترسیور	۴۰	۱۰	خودکار در دوره‌های تنظیم‌پذیر	-
ام-۶۰[1]	۶۰	۱۰ تا ۲۰	خودکار در دوره‌های تنظیم‌پذیر	۳۴۰۰
جی‌وی-۲۲۵[2]	۲۲۵	۲۰ تا ۶۰	در مدت ۳ ساعت و بیست دقیقه با قایق و دو کارگر	۲۹۵۰
هوشمند (رایانه‌ای)	-	-	کنترل‌پذیر با رایانه در هر نقطه از سطح آب	-

نمونه‌های کاهش تبخیر از مخزن‌ها در ایران

برای کاهش تبخیر از سطح کوچک آب از لاستیک‌های مستعمل به همراه پوشش یونولیت در وسط آن در کارخانه مس سرچشمه استفاده شد (۱). تابش خورشید و بارش زمستان روی این پوشش به مدت بیش از ۵ ماه هیچ‌گونه تخریبی در آن ایجاد نکرد و در مدت ۲ ماه تبخیر را به میزان ۸۰٪ کاهش داد. این پوشش‌ها حدود ۸۰٪ سطح آب را پوشانده و از ۲۰٪ باقی‌مانده تبادل اکسیژن در سطح آب برای حفظ محیط زیست در آب انجام می‌شود.

پژوهش‌های دیگری برای بررسی تأثیر مواد شیمیایی الکلی بر کاهش تبخیر از سطح‌های کوچک مانند تشت کلاس الف انجام شد (۴). این پژوهشگران ترکیبی از هگزا دکانول و اکتادکانول، معادل ۲۰ و ۴۰ گرم در هکتار به کار بردند. کاربرد پیوسته ۳۶ روز باعث کاهش محسوس تبخیر شد. همچنین کاربرد پوشش‌های فیزیکی مانند پلی استیرن با ضخامت ۱/۵ سانتیمتر و میزان پوشش ۴۰، ۶۰ و ۸۰٪ نشان داد که در مدت ۳۸ روز تبخیر به میزان ۳۰ تا ۵۵٪ کاهش یافته است.

بتن‌های سبک به مساحت یک متر مربع مسلح به الیاف مصنوعی (پلی پروپیلن) با ضخامت ۳۰ سانتیمتر و به صورت توخالی ساخته شد که به راحتی به هم متصل می‌شوند. این پوشش‌ها روی دریاچه سد کارون به کار برده شد (۵). در منطقه سیستان و بلوچستان با کاربرد مواد شیمیایی (الکل‌های زنجیره‌ای) می‌توان در مساحت ۰/۵ کیلومتر مربع به میزان ۶۰٪ و در مساحت ۱۰ کیلومتر مربع به میزان ۹٪ از تبخیر کاست (۳).

نمونه‌های کاهش تبخیر ازسطح مخزن‌ها در کشورهای دیگر

کاربرد مواد کاهنده تبخیر

۱- مخزن استفن کریک[3] (استرالیا): بررسی‌های کاهش تبخیر بر روی این مخزن در طول مدت ۱۴ هفته با کاربرد محلول ستیل الکل ۱۰٪ و میزان روزانه ۰/۲ اونس الکل جامد در اکر انجام شد. با این عملیات، تبخیر ۳۷٪ کاهش یافت و به علت سرعت زیاد باد نتایج خوبی به دست نیامد (۲۳).

1. M-60 2. JV-225 3. Stephen Creek

www.SID.ir

Archive of SID

۲- دریاچه هنفر[1] (آمریکا): کاربرد ورقه‌های تک لایه‌ای الکل روی سطح آب این دریاچه بررسی شد (۱۲). کاربرد ستیل الکل تبخیر را ۹٪ کاهش و دمای آب را ۱ درجه سلسیوس افزایش داد. نتایج نشان داد که سرعت باد مهمترین عامل مؤثر در پایداری ورقه‌های تک مولکولی روی سطح آب بوده و در سرعت بیش از ۸ متر در ثانیه ایجاد پوشش ورقه‌های تک مولکولی غیرممکن می شود.

۳- مخزن مالیا[2] در آفریقا: محلول ۳٪ مخلوطی از ستیل الکل و استیریل الکل که در نفت مخلوط شده‌اند در بررسی های انجام شده در مخزن مالیا در آفریقا به کار برده شد. نتایج نشان داد که در شرایط نامناسب باد، تنها ۱۱٪ تبخیر کاهش یافت.

۴- مخزن ادلاید هیل[3] در استرالیا : یکی از مواد کاهنده تبخیر از سطح آب ترکیبی از آهک آبدیده ، استریل الکل و ستیل الکل است. این مخلوط لایه تک مولکولی که دیده نمی‌شود بر روی سطح آب ایجاد می‌کند که در مدت ۲ تا ۴ روز تجزیه می‌شود و هیچگونه اثر زیان‌بار بر محیط زیست ندارد. این مخلوط در مدت تابستان به طور منظم روی سطح آب پخش می‌شود. این مخلوط برای کاهش تبخیر از مخزن‌های کوچک در استرالیا کاربردی است اما برای مخزن بزرگ ادلاید هیل مناسب نیست. علت اصلی کارا نبودن آن سرعت زیاد باد است (۲۳).

۵- کار برد در مخزن یانلینگ چین[4] : مخلوطی از پودر کلسیم هیدورکساید ، استیریل الکل و ستیل الکل توسط شرکتی در نوادای آمریکا تولید شد و برای کاهش تبخیر در مخزن یانلینگ چین به کار برده شد و حدود ۴۲٪ تبخیر از سطح آب را کاهش داد (۲۳). از این ماده در مخزن‌های دیگری هم استفاده شده است که عبارتند از:

- بیکزفیلد[5] کالیفرنیا (آمریکا) که منجر به ۲۷٪ کاهش در تبخیر شد (اکتبر ۲۰۰۱).
- دانشگاه آنا[6] در هند که منجر به ۲۰تا ۳۰٪ کاهش در تبخیر شد (مارس ۲۰۰۲).
- آریزونای (آمریکا) که منجر به ۲۰٪ کاهش در تبخیر شد (ژوئن ۲۰۰۲).
- ماساچوست آمریکا که هگزادکانول برای کاهش تبخیر به کار برده شد (ژوئن ۲۰۰۲) و اثر چندانی روی کاهش تبخیر نداشت.
- بلوک‌های سیمانی شناور که از مواد سبک مانند پرلیت ساخته شده‌اند در کاهش تبخیر از مخزن آبی به وسعت یک هزار متر مربع در آفریقای جنوبی نتایج مثبتی به بار آورده است (۵).
- ماده شیمیایی الکلی هگزادکانول در چند دریاچه سد در استرالیا به کار برده شد و منجر به کاهش تبخیر حدود ۲۰٪ شده است (گزارش شده در ۱).
- استفاده از تایرهای پر شده پلی استایرن در دریاچه سد بلایت در استرالیای جنوبی منجر به کاهش تبخیر از سطح آب گردید (گزارش شده در ۱). از قطعه‌ها شناور پلی استایرن برای کاهش تبخیر از سطح آب رودخانه نیل در مصر استفاده شد (۱۳) و با پوشش ۵۰٪ سطح آب ۳۹٪ تبخیر از سطح آب کاهش یافت.
- کاربرد ستیل الکل در دو مخزن به صورت محلول در مخزن اول به مساحت ۰/۴ هکتار در دوره ۴ هفته‌ای ۲۵٪ و در مخزن دوم به مساحت ۲/۶ هکتار در دوره ۴ روزه ۳۰٪ تبخیر را کاهش داد. همچنین دریاچه ای به مساحت ۲/۴ کیلومتر مربع در استرالیا، با ستیل الکل پوشانده شد و کاهش تبخیر ۴۰٪ مشاهده شد (گزارش شده در ۲، ۲۲). همچنین دسای[7] و همکاران (گزارش شده در ۵) در هند نشان داد که استفاده از تک لایه‌ها در مخزن سدها میزان تبخیر را تا ۳۰٪ کاهش داده است. با پخش ستیل الکل در چند سد مخزنی برای

1. Henfar Lake
2. Malia Tank
3. Adelide Hill Tank
4. Yangling Reservoir
5. Bakesfield
6. Ana University
7. Desai

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده در کشت پنبه در استرالیا میزان کاهش تبخیر ۲۰٪ مشاهده شد. همچنین در سایر نقاط استرالیا استفاده از این روش منجر به کاهش تبخیر تا ۴۰٪ هم شد (۱۹) . بارنز[1] (۸) در دانشگاه کوییزلند شمالی در استرالیا نشان داد که استفاده از الکل‌های هگزا دکانول و اکتادکانول برای کاهش تبخیرسطح های آبی بزرگ مناسب هستند و دوره دوام آن‌ها ۱ تا ۲ روز است.

- در دهه ۸۰ میلادی شیرابه‌ای بر پایه الکل‌های چرب (اغلب ستیل الکل و استریل الکل) که از روغن‌های گیاهی به دست می‌آیند در هند به کار برده شد و نشان داده شدکه با مصرف حدود ۵۰ میلی گرم بر متر مربع در روز از این شیرابه میزان تبخیر ۳۰٪ کاهش می یابد (گزارش شده در ۵، ۷).
- در سال های اخیر برای ایجاد تک لایه روی سطح های بزرگ آبی ترکیبی از ستیل الکل ، استاریل الکل و سدیم بی‌کربنات به نسبت ۵ : ۵ : ۹۰ به کار برده می‌شود. این ترکیب به صورت تجاری تولید و عرضه می شود و به نام واترسیور نامیده شده است. این کالا در بسته‌های ۲۲ کیلوگرمی عرضه شده و در سال ۲۰۱۰ قیمت هر کیلوی آن ۱۲ دلار آمریکا بود (گزارش شده در ۲). کاربرد این محصول روی دریاچه اونز[2] در کالیفرنیای آمریکا در ماه سپتامبر ۲۰۰۴ منجر به کاهش تبخیر۳۷/۵٪ شد. کاربرد این محصول روی مخزن آب شهری در لاتور هند با سطح ۹۰۰ هکتار به مدت ۱۵ روز باعث ۳۴٪ کاهش تبخیر شد. کاربرد واترسیور روی مخزن کورونگ واله[3] در استرالیا به مساحت ۴ هکتار کاهش تبخیر معادل ۲۹ تا ۵۴٪ را ایجاد کرد (گزارش شده در ۲).

مواد دانه‌ای شناور

در پژوهش‌هایی اثر کاربرد مواد دانه‌ای شناور بر کاهش تبخیر بررسی شد. این پژوهش‌ها روی مخزنی با قطر ۷/۲ متر مدفون در خاک انجام شد که در آن به تقریب تمام تبادل انرژی از سطح آب انجام می‌شد. مواد به کار رفته عبارتند از گرد کلسیم کربنات، شن سیلیکا، دانه های پلی استایرین، تکه‌های استایروفوم و پرلیت. اندازه گیری کاهش تبخیر در مدت یک هفته نشان داد که کاهش تبخیر برای شن سیلیکا تا ۲۱٪ و برای تکه های استایروفوم تا ۶۴٪ تغییر کرد (۲۰). موم ماده‌ای است که برای کاهش تبخیر به کار برده می‌شود. به طور معمول تکه های شناور موم را به آب اضافه می‌کنند. این تکه‌ها در اثر تابش خورشید نرم شده و لایه‌ای پیوسته و انعطاف‌پذیر روی سطح آب ایجاد می‌کند. در آریزونای آمریکا لایه‌هایی از موم روی یک مخزن آب پس از۴ سال هنوز قابل استفاده بود. حتی اگر لایه موم در زمستان در اثر سرما از هم باز شود ولی در فصل گرما دوباره لایه به هم پیوسته را تشکیل می‌دهد (۵).

گنت و روهنر[4] (گزارش شده در۲۳) گزارش کردند که پوشش‌های کروی شناور در مخزن کوچک، تبخیر را به میزان ۸۰٪ کاهش داد. سفید بودن این پوشش‌ها سبب افزایش بازتاب انرژی خورشیدی شده و باعث کاهش بیشتر تبخیر می‌شود.

پژوهش‌هایی در هند انجام شده که در آن‌ها اثر اجسام شناور دیگر از قبیل روغن‌های خوراکی، موم، کاه گندم، کاه برنج، قطعات چوب، خاک اره و قطعات زغال در مدت زمان محدود (حدود ۱۵ روز) روی کاهش تبخیر بررسی شد. از بین این اجسام شناور، روغن خردل با ۴۲٪ کاهش تبخیر بیشترین تأثیر را داشته است (۲۳). اثر بقیه اجسام به ترتیب عبارتند از قطعه‌های زغال، موم، کاه برنج ، کاه گندم ، خاک اره و قطعه‌های چوب. با وجود این کاربرد اقتصادی آن‌ها در مقیاس وسیع توصیه نشده است، چون هنوز بررسی‌های اقتصادی برای مصرف آن‌ها انجام نشده است.

1. Barnes 2. Owens 3. Korung Vale's Tank 4. Ghent and Rowhner

www.SID.ir

Archive of SID

اجسام شناور

از روش‌های دیگر که در کوتاه مدت از آن استفاده می‌شود، پوشاندن سطح آب برای جلوگیری از افزایش دمای آب و اثر باد است، اما این روش را نمی‌توان برای سطح‌های وسیع به کار برد. کاربرد جسم‌های پلاستیکی شناور برای کاهش تبخیر بسیار مؤثر است گرچه روشی اقتصادی نیست . در این روش می‌توان از اجسام کروی از جنس پلی– استریل استفاده کرد. رنگ سفید این اجسام کروی فایده دیگری هم دارد که باعث انعکاس انرژی خورشیدی می شود و در نتیجه تبخیر از سطح آب را کاهش می‌دهد. پوشش‌های شناور ساخته شده از مواد کم تراکم (۱۱۰ تا ۱۳۰ کیلوگرم بر متر مکعب) ورقه‌های لاستیکی سلولی نیز می‌تواند به‌کار برده شود. این پوشش‌ها می‌تواند از به هم چسبیدن ورقه‌هایی به ضخامت ۶/۴ میلی متر ساخته شود. عمر مفید این پوشش ممکن است تا ۸ سال هم باشد. به طور معمول اندازه این پوشش را قدری بزرگتر از سطح آب در نظر می‌گیرند چون با گذشت زمان قدری منقبض می‌شود. از این پوشش‌ها برای پوشاندن مخزن‌های ذخیره آب کوچک استفاده می‌شود.

ورقه‌های لاستیکی شناور روی مخزن‌های آب در یوتا (آمریکا) به کار برده شد. این ورقه‌ها در برابر خوردگی بسیار مقاوم هستند و وقتی که ۹۵٪ سطح آب را پوشاندند موجب کاهش تبخیر به میزان ۷۵٪ شدند (۱۴).

بلوک‌های فوم آغشته به موم

در یک پژوهش برای کاهش تبخیر از سطح آب، دو روش بررسی شد. یکی روش ایجاد سایه بان روی سطح آب و دیگری به کار گیری پوشش های شناور در سطح آب که از بین این دو روش، پوشش‌های شناور روی سطح آب عملی‌تر بود.

میزان کاهش تبخیر با به کارگیری بلوک‌های فوم آغشته به موم در طول مدت ۸ سال از ۳۶٪ تا ۸۴٪ بود و در این مدت اثر آن به تدریج کاسته نشد (۱۰).

موادی که توسط شرکت جی‌اچ‌دی‌پی‌تی‌وای[1] استرالیا تولید شده است:

الف– یکی از این مواد ای-واپ- کپ[2] است. این ماده ورقه چند لایه‌ای پلی اتیلن به ضخامت تقریبی ۰/۵ میلی متری است که حاوی سلول‌های شناورکننده در لایه‌های آن است. سطح بالایی این پوشش دارای رنگ سفید است که تابش را منعکس کرده و از تخریب اشعه فرابنفش می کاهد. لایه زیرین آن دارای رنگ سیاه است تا از نفوذ نور به داخل آب جلوگیری کرده و از فعالیت زیستی جلوگیری کند. این پوشش با دو کیفیت تولید می‌شود که یکی از آن‌ها معمولی و دیگری در بسته بندی مواد غذایی کاربرد دارد که قیمت آن ۱۰٪ بیشتر است. به نظر می رسد که هیچگونه آلودگی به آب وارد نمی‌کند. این ورقه‌ها در صورتی‌که تمام سطح مخزن را بپوشاند۱۰۰٪ از تبخیر را کاهش می‌دهد. لبه این ورقه در اطراف مخزن زیر خاک محکم می‌شود.

ب– اجسام شناور آکواکپ[3] ین اجسام پوشش‌های گنبدی شکل هستند و هنوز در مرحله تحقیقاتی قرار دارند و آماده استفاده تجاری نیستند.

پ– هیدروتکت[4] این ماده شیمیایی مخلوطی از ۶۰٪ آب و ۴۰٪ الکل الیفاتیک است. ادعا شده است که این شیرابه سمی نبوده ، تجزیه پذیر بوده و برای مخزن‌های آب شرب هم کاربردی است. ساده‌ترین روش پخش آن استفاده از قایق است که باید در جهت وزش باد پخش شود تا باد به پخش آن روی سطح آب کمک کند.

1. GHDPty Ltd 2. E-Vap –Cap 3. Aquacap 4. Hydrotect

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی‌های اقتصادی کاربرد روش‌های کاهنده تبخیر

گرچه بعضی از روش‌های درازمدت مانند احداث باد شکن، کاهش سطح تبخیر آب و ذخیره آب در زیر زمین در بعضی کشورها به کار برده شده است اما اثرهای بلندمدت و اقتصادی بودن آن‌ها هنوز در حال بررسی است. روش‌های کوتاه‌مدت کاهش تبخیر در شرایط کمبود و بحران آب (خشکسالی) به ویژه برای مدیریت بحران به کار برده می‌شود. به دلیل این‌که کاربرد مواد شیمیایی اقتصادی نیستند کاربرد آن ها فقط در شرایط کمبود و بحران آب در مدیریت بحران برای تأمین آب شرب مجاز خواهد بود. روش کاربرد مواد شیمیایی در مقیاس وسیع اقتصادی نیست. از نکته‌های منفی کاربرد این مواد هزینه زیاد آن است اما چنانچه در شرایط کمبود و بحران آب از این روش استفاده شود ممکن است که اقتصادی‌تر از روش‌های دیگر تأمین آب مانند انتقال از نقاط دور دست یا شیرین کردن آب شور باشد. تحلیل اقتصادی بودن کاربرد این مواد در مناطق مختلف بسته به عامل‌های محلی متفاوت است.

بررسی‌ها نشان داده است که کاربرد مواد کاهنده تبخیردر چند ایالت هند از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر است اما اقتصادی بودن کاربرد این مواد به شرایط محلی بستگی دارد چنان‌که در بعضی از ایالات هند کاربرد این مواد اقتصادی نبوده است. در مناطقی که کاربرد مواد کاهنده تبخیر اقتصادی نبوده هزینه کاربرد این مواد بین ۱۰/۰ تا ۱۳/۴۳ روپیه (معادل ۶۰۰ تا ۸۰۰ تومان) برای هر متر مکعب آب حفظ شده گزارش شده است. یکی از دلیل‌های هزینه بالای کاربرد این مواد برای حفاظت از آب، سرعت زیاد باد در منطقه مورد نظر بوده است.

رنجبر و همکاران (۵) الیاف مصنوعی پلیمری را در نقش مواد مسلح کننده در بتون‌های سبک پرلیتی به کار بردند و بلوک‌های سیمانی شناور سبک و مستحکم را به ابعاد ۰/۳ × ۱× ۱ متر تولید کردند که دارای مساحت یک متر مربع و به ضخامت ۰/۳ متر است. این بلوک‌ها توخالی بوده و می توانند روی سطح آب به هم متصل گردند و باعث کاهش تبخیر از سطح آب شوند. وزن این بلوک‌ها ۱۶۰ کیلوگرم بوده و هزینه تولید و استقرار هر کدام از آن روی سطح آب ۱۲ هزار تومان (قیمت سال ۱۳۹۰) است. گرچه رنجبر و همکاران (۵) میزان کاهش تبخیر را گزارش نکردند اما این پوشش‌ها می‌توانند دست‌کم ۸۰٪ تبخیر را کاهش دهد (۱). بنابراین در منطقه‌هایی با میزان تبخیر سالانه ۳۰۰۰ میلی متر حدود ۲/۴ متر مکعب آب در هر بلوک حفظ می‌شود. با توجه به عمر مفید ۱۰ ساله این بلوک‌ها و نرخ بهره ۶٪، هزینه حفظ هر متر مکعب آب حدود ۷۰۰ تومان است که از هزینه تولید آب شیرین از آب شور کمتر است.

اگر سطح دریاچه سد دورودزن با ورقه‌های یونولیت سفید رنگ به ضخامت ۱۰ سانتیمتر پوشانده شود هزینه سالانه پوشش با نرخ بهره ۶٪ و عمر ورقه های پوشش ۵ سال حدود ۷۱ میلیارد تومان یا حدود ۹۰۰ تومان برای هر متر مکعب آب به قیمت سال ۱۳۹۵ خواهد شد. چنانچه ایجاد پوشش، راندمان ۸۰٪ در کاهش تبخیر داشته باشد هزینه سالانه پوشش حدود ۱۱۰۰تومان برای هر متر مکعب آب خواهد شد. چنانچه قرار باشد آب صرفه جویی شده در اثر کاهش تبخیر از منابع دیگری مانند آب شیرین‌کن تأمین شود، کمینه هزینه تولید آن بیش از یک دلار (۴۰۰۰ تومان) برای هر متر مکعب آب است. با این هزینه گزاف، در سال ۱۳۹۴ میزان تولید آب شیرین از آب شور حدود ۴۲۳ هزار متر مکعب بود. بنابراین به نظر می‌رسد که بعضی از روش‌های کاهش تبخیر از سطح مخزن‌ها از نظر اقتصادی توجیه پذیرند. حتی اگر هزینه پوشش دادن سطح آب از آن‌چه در این محاسبه به کار رفته بیشتر باشد.

تحلیل‌های اقتصادی برای تصفیه فاضلاب در ایران نشان داده است که برای تولید هر متر مکعب پساب حدود ۲۵۰۰ تومان هزینه می‌شود. البته این هزینه شامل هزینه انتقال هم می‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد که آب ذخیره شده از روش کاهش تبخیر از آب پساب با صرفه‌تر است.

www.SID.ir

Archive of SID

تحقیق و توسعه برای آینده

پژوهش برای تولید مواد شیمیایی که بتواند در سرعت‌های باد بیش از ۱۵ تا ۲۰ کیلومتر در ساعت لایه‌های تک‌مولکولی با نیروی چسبندگی قوی، خود گستردگی و ترمیم پارگی مناسب ایجاد کند باید ادامه یابد. علت این نیاز هم این است که در حال حاضر مواد شیمیایی موجود برای مخزن های کوچک و متوسط مناسب هستند و برای مخزن‌های وسیع، باد عامل پارگی این لایه‌ها روی سطح آب می‌باشد.

جمع‌بندی و نتیجه گیری

در این مقاله، نشان داده شد که تبخیر از سطح مخزن‌های سدها مهم است (بین ۴/۲ تا ۱۴/۳٪ از حجم کل مخزن سد). مقدار آب تبخیر شده از سطح مخزن‌های سدها به طور میانگین (۱۰٪) بالغ بر ۸/۴ میلیارد مترمکعب می‌شود که باید در شرایط کمبود و بحران آب و خشکسالی کاهش یابد و از آب حفظ شده در کشاورزی، صنعت و به ویژه شرب بهره برداری شود. روش‌های مختلفی برای کاهش تبخیر در جهان به کار برده شده است که کاربرد مواد شیمیایی به صورت پودر و شیرابه و کاربرد پوشش‌های مختلف مناسب‌ترین آن‌ها هستند که می‌توانند در ایران برای کاهش تبخیر از مخزن‌های سدها استفاده شوند. محلول یا پودرپاشی روی سطح آب، لایه تک‌مولکولی (تک لایه) به منظور کاهش تبخیر ایجاد می‌کند که در اثر باد و موج آب پراکنده می‌شوند. بنابراین، به‌طور متناوب با دور ۱ تا ۲ روزه باید به کار برده شوند. بعضی از مواد تجاری موجود در دنیا برای این‌کار عبارتند از واترسیورِ و هیدروتکت که سمی نبوده و تجزیه پذیرند و از نظر محیط زیستی کاربرد آن‌ها بلامانع است، حتی برای مخزن‌های آب شرب هم می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. کاربرد این مواد می‌تواند تا ۴۰٪ تبخیر را کاهش دهد. البته برای بعضی از مواد، بررسی‌های اقتصادی و محیط زیستی آن‌ها کامل نبوده، بنابراین مصرف آن‌ها در حال حاضر توصیه نمی‌شود. پوشش‌های مختلف که می‌توانند به کار برده شوند عبارتند از، صفحه‌های شناور یونولیت به رنگ سفید یا صفحه‌های شناور بتونی مجوف سبک که قادرند تبخیر را دست‌کم تا ۸۰٪ کاهش دهند. تحلیل‌های اقتصادی نشان داده است که کاهش تبخیر و حفاظت آب با روش‌های یاد شده با تولید آب از روش شیرین کردن آب شور، می‌تواند رقابت کند.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از مرکز مطالعات خشکسالی دانشگاه شیراز به دلیل در اختیار قرار دادن امکانات پژوهشی قدردانی می‌شود.

منابع

۱. افخمی، ح.، ملکی نژاد، ح.، اسماعیل زاده، ع. ۱۳۹۶. طراحی پوشش شناور یونورینگ با استفاده از لاستیک های فرسوده جهت کاهش تبخیر از منابع روباز آبی. مجله تحقیقات منابع آب ایران ۲۱۹-۲۱۴:(۳)۱۳.

۲. بحرینی-مطلق، م.، حسین پور، ف.، امیری، م.، غفوری-فرد، س.، احمدیان، ر. ۱۳۹۱. پتانسیل کاهش تبخیر با استفاده از الکل های چرب. مجموعه مقالات سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب. ۲۰ و ۲۱ شهریور.

۳. بی نام. ۱۳۴۹. استفاده از مواد شیمیایی برای جلوگیری از تبخیر آب. سمینار آبیاری و زهکشی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی، نشریه شماره ۱، انتشارات وزارت آب و برق، آبان ۱۳۴۹. صفحه‌های ۹۴ تا ۹۹.

۴. پیری، م.، حسام، م.، دهقانی، ا.ا.، مفتاح-حلاقی، م. ۱۳۹۰. مطالعه عملی اثر روشهای فیزیکی و شیمیایی روی کاهش تبخیر از سطح آب. مجله حفاظت آب و خاک ۱۵۴-۱۴۱:(۴)۱۷.

www.SID.ir

Archive of SID

۵. رنجبر، ا.، مهدویان، ا.ا.، مکنون، ر. ۱۳۹۰. بررسی امکان استفاده از صفحات شناور بتون سبک پرلیتی برای کاهش تبخیر مخزن‌های سدها. مجموعه مقالات سومین کنفرانس ملی سدها و نیروگاه های آبی. تهران.

۶. مجیدی-خلیل آباد، م، علیزاده، ا، فرید-حسینی، ع.ر.، وظیفه دوست، م. ۱۳۹۶. تبخیر از دریاچه و مخازن سدها: توسعه الگوریتم سنجش از دوری بیلان اترژی آب و سطح مرجع. تحقیقات منابع آب ایران ۱۶۹-۱۵۴:(۲)۱۳.

7. Asian Institute of Technology. 1982. Evaporation control using monomolecular films. Bangkok, Division of Water Resources Engineering.
8. Barnes, G.T. 2007. The potential for monolayers to reduce the evapotranspiration of water from large water storages: A review. Agricultural Water Management. 95: 339-353.
9. Brutsart, W. 1982. Evaporation in to atmosphere: Theory, History and Application. Reidel, Dordrecht. 299 p.
10. Cooly, K.R. 1983. Evaporation reduction: Summary of long-term tank studies. J. Irrig. Drain. Engin. 109(1): 89-98.
11. Craig, I., Green, A., Scobie, M., Schmidt, E. 2005. Controlling evaporation loss from water storages. NCEA Publication No. 1000580/1.
12. Crow, F.R., Allen, J.B., Fry, W.E., Mitchel, A.L. 1969. Evaporation and its suppression by chemical films at Lake Henfer. American Society of Agricultural Engineering, Transactions, 12:889-898.
13. Darvish, A.M., Wameedh, G.A.H., Tala, A.A. K. 2011. A theoretical attempt to increase the amount of water flowing through the Nile. Annals of the Faculty of Engineering, Hunedoara-International J. Engin. Tome IX, Fascicule 3:1584-1673.
14. Dedrick, A.R., Hansen, T.D., Williamson, W.R. 1973. Floating sheet of foam rubbers for reducing stock tank evaporation. J. Range Manag. 26(6):404-406.
15. Erick, S. 2007. Controlling evaporation losses from large dams using chemical monolayers. Report, Centre for Engineering in Agriculture: University of Southern Queensland, Australia.
16. Fitzgerald, L.M., Vines, R.G. 1963. Reduction of evaporation by monolayers: Practical aspects of the treatment of large water storages. Aust. J. Appl. Sci. 14:340-346.
17. Ganguly, J.K., Kaul, R.N. 1969. Technical Bulletin (AGRIC), No. 22, ICAR, New Delhi.
18. Hipsey, M.R., Sivapalan, M. 2003. Parameterizing the effects of a wind shelter on evaporation from small water bodies. Water Resour. Res. 39(12):1339, Doi: 10.1029/2002WR001784.
19. Knight, S. 2005. Reducing evaporation with chemical monolayer technology. Australian Cotton Grower. 26:32-33.
20. Mayers, L.E., Frasier, G.W. 1970. Evaporation reduction with floating granular materials. Journal of Irrigation and Drainage Division. Proceeding of ASCE, Vol. 96, No. IR4. Proceeding Paper 7741, pp. 425-436.
21. Montaseri, M., Adeloye, A.J. 2004. A graphical rule for volumetric evaporation loss correction in reservoir capacity-yield-performance planning in Urmia region, Iran. Water Resour. Manag. 18:55-74.
22. Reiser, C.O. 1969. A system for controlling water evaporation. Indust. Engin. Chem. Prod. Res. Develop. 8:63-69.
23. Sinha, S.K., Kumar, L., Srivastava, R., Thangamani, R., Kumar, S., Jha, Sh., Luthara, P.K., Pa, A. 2006. Evaporation Control in Reservoirs. Government of India, Central water Commission, Basin Planning and Management Organization. New Delhi. 90 p.
24. Varma, C.V.J. 1996. Manual on Evaporation and its Reduction from Free Water. Balkema Publishers, USA. 98 p.
25. Watts, P.J. 2005. Scoping study - Reduction of evaporation from farm dams. Final report to the National Program for Sustainable Irrigation. NPSI. Final Report FSA1, 79 p.

www.SID.ir

Archive of SID
Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 3(1):13-26 (2018)

Evaporation Reduction from Water Reservoir of Dams

A.R. Sepaskhah[1, 2]

Total renewable water resources in Iran is about 105 billion m^3 that is about 0.3% of the world total fresh water; whereas, the land area and population of Iran is 1.1% of the world. Furthermore, the per capita water resources in Iran is about 1300 m^3 that is lower than that in many other countries in the world. Therefore, shortage of water resources in Iran is higher than that for other countries. The total capacity of dam reservoirs in Iran is about 48 billion m^3 from which about 34 billion m^3 is regulated water and may be used for agriculture, industry and domestic. Due to dry air and high air temperature the evaporation water loss from the dam reservoirs is high; therefore, it should be reduced to save the stored water resources. In this study it is shown that the magnitude of evaporated water is important (4.2%-14.3% of total capacity of the stored water in dams). The amount of evaporated water, on average (10%) is 4, 8 billion m^3 that should be reduced in drought and water crisis conditions and the saved water should be used in agriculture, industry and domestic. Different methods for reduction of water evaporation from reservoirs are used in the world, among which emulsion and powder chemicals and covering water surface are suitable ones that can be used in Iran. Application of emulsion and powder on the water surface produces monolayers that cover the water surface to reduce the evaporation losses. However, wind and water wave disrupt the monolayer and reduce its effects on the evaporation reduction; therefore, it should be applied continuously by 1-2 day intervals. One of the evaporation reduction chemicals in the world is "Watersaver" that its use is safe for environment. Application of this chemical can reduce the water evaporation by 40%. Covering materials that can be used are floating white Styrofoam or floating light hollow concrete blocks that reduce the evaporation loss by 80%. Economic analysis indicated that evaporation reduction and water conservation by these chemical and materials are compatible to fresh water production by desalinization of saline sea water and wastewater treatment.

Key words: Chemical monolayer powders, Fatty alcohol, Light blocks cover, Monolayers, Styrofoam blocks.

1. Corresponding author, Email: sepas@shirazu.ac.ir
2. Fellow of I.R. Academy of Sciences and Professor of Shiraz University.

www.SID.ir