2020, Vol.7, No.2, Pages 53 to 62
Journal of Water and Sustainable Development

سال هفتم، شماره ۲، ۱۳۹۹، صفحات ۵۳ تا ۶۲
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Review

نوع مقاله: مروری

# A Review of Methods to Reduce Evaporation from the Free Water Surface and the Introduction of Appropriate Methods of Practical and Economic

**M. Sharayei[1*], S.A. Haghyeghi moghadam[2]**

1- MSc Student, Hydraulic Structures, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Iran. 2- Assistant professor, Khorasan Razavi Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Mashhad, Iran.
*(Corresponding Author Email: Maryamsharayei@yahoo.com)
Received: 17-08-2019
Accepted: 15-02-2020

## Abstract

Due to the importance of water that is one of the first needs of human life and according to the problem that Iran has an average annual rainfall of 240 mm and its population of 80 million, It is a dry and semi-arid country, and it faces a lot of water stress, It is essential to prevent water loss as much as possible. One of these methods is the control of evaporation from water storage tanks, which is possible in different ways. Climate change on earth has also contributed to the cause, and the rate of evaporation has been increasing in recent decades. This can sometimes reduce more than 40% of the volume of water stored in the dam. This study introduces different methods and products of chemical and physical of evaporation control from the water surface and disadvantages and benefits of each. Finally, the methods were compared and prioritized using Analytical Hierarchy Process(AHP) in economic, executive, and environmental terms.

**Keywords:** Evaporation Reduction, Water Tanks, Physical and Chemical Control, AHP.

# مروری بر روش‌های کاهش تبخیر از سطح آزاد آب و معرفی شیوه‌های مناسب کاربردی و اقتصادی

**مریم شرایعی[1*]، سید ابوالقاسم حقایقی مقدم[2]**

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران. ۲- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: Maryamsharayei@yahoo.com)
تاریخ دریافت: ۹۸/۰۵/۲۶
تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۲۶

## چکیده

با توجه به اهمیت آب که یکی از نخستین نیازهای زندگی بشری است و با توجه به این مسأله که ایران با متوسط بارندگی سالانه ۲۴۰ میلی‌متر و جمعیت ۸۰ میلیون نفری آن، کشوری خشک و نیمه‌خشک بوده و با تنش آبی بسیار، مواجه می‌باشد؛ ضروری است تا حد امکان از هدررفت آب جلوگیری شود. یکی از این روش‌ها، کنترل تبخیر از مخازن ذخیره آب می‌باشد که به طرق مختلف امکان‌پذیر است. تغییرات آب‌وهوایی کرهٔ زمین نیز مزید برعلت شده و میزان تبخیر در چند دههٔ اخیر رو به افزایش بوده است؛ بطوریکه این پدیده گاهی می‌تواند بیش از ۴۰ درصد از حجم آب ذخیره شده در دریاچهٔ سد را کاهش دهد. در این پژوهش روش‌ها و محصولات مختلف فیزیکی و شیمیایی کنترل تبخیر از سطح آب معرفی و معایب و مزایای هر یک بیان شده است. در انتها نیز روش‌ها با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی[1] از نظر اقتصادی، اجرایی و زیست‌محیطی با یکدیگر مقایسه و اولویت‌بندی شده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** کاهش تبخیر، مخازن آب، کنترل فیزیکی و شیمیایی، تحلیل سلسله مراتبی.



DOI: 10.22067/jwsd.v7i2.82471

## مقدمه

بر اساس پیش‌بینی‌های اقلیمی، دمای کره زمین رو به افزایش است؛ این مسئله توازن میان آب مصرفی و آب مورد نیاز را برهم می‌زند. بدین ترتیب آب مصرفی بیشتر از ذخایر آبی موجود می‌شود. این عدم توازن علاوه بر کشاورزی و محیط‌زیست، انسان را هم تحت تأثیر قرار می‌دهد و او را از نعمت داشتن آب تصفیه شده و تغذیه مناسب محروم می‌سازد. یکی از پدیده‌های عمده که موجب تلفات مقادیر زیادی از آب‌های جمع‌آوری شده پشت سدها، استخرها، دریاچه‌ها و ... می‌شود، تبخیر است. نوعی از تبخیر وجود دارد که در هر دمایی رخ می‌دهد که به آن تبخیر سطحی گفته می‌شود. در تبخیر سطحی مولکول‌های روی سطح آب در معرض تابش نور خورشید و یا وزش باد قرار می‌گیرند و با افزایش جنب‌وجوش، از سطح آب جدا شده و به بخار آب تبدیل می‌شوند. روش‌های زیادی برای کنترل تبخیر از سطح آزاد آب موجود است که دارای ماهیت و هزینه‌های متفاوت می‌باشند. در ادامه برخی از این روش‌ها معرفی شده‌اند.

## روش‌های فیزیکی /مکانیکی

### ۱- پوشش‌های شناور[۲]

این نوع پوشش‌ها عموماً به‌صورت يك پردهٔ نفوذناپذیر که بر روی تمام سطح آب شناور است، عمل می‌نمایند و علاوه بر این که میزان تابش خورشیدی دریافتی در سطح آب مخزن را کاهش می‌دهند، تماس جریان هوا با سطح آب را بسیار کم می‌کنند(آهنی و حسینعلی، ۱۳۹۴). حداکثر اندازه مناسب مخزن برای نصب این محصولات تقریباً ۴ هکتار می‌باشد و از نظر اقتصادی بهتر است تمام سال، مخزن دارای آب باشد. مواد مختلفی که در گذشته به این منظور به کارگرفته می‌شدند شامل پلی‌اتیلن، موم، کف، واکس و پلی‌استر بودند(شمسایی و حسنی، ۱۳۸۶). برخی از تحقیقاتی که در این زمینه انجام گرفته به شرح جدول (۱) می‌باشد.

جدول ۱- چکیده برخی تحقیقات انجام شده در رابطه با کاربرد پوشش‌های شناور به منظور کاهش تبخیر از سطح آزاد آب

| منبع | نوع محصول | بازده (٪) | ملاحظات |
|---|---|---|---|
| باقری اردبیلیان و همکاران، ۱۳۸۷ | پلی‌اتیلن چند لایه | - | ضخامت محصول ۰/۵ میلی‌متر،کاهش انتقال اکسیژن را در پی دارد که باعث شرایط بی‌هوازی شده و نیاز به فرآیند تصفیه آب دارد. |
| Craig، ۲۰۰۵ | پلی‌اتیلن | ۹۵ | - |
| Craig، ۲۰۰۶ | E-VapCap | ۹۵ | عمر مفید محصول ۱۵ سال |
| Finn و Barnes، ۲۰۰۷ | SuperSpan suspended | ۹۰ | عمر مفید محصول ۲۰ سال |
| Burston، ۲۰۰۲ | AquaCaps | ۷۰ | عمر مفید محصول ۱۰ سال |
| Craig، ۲۰۰۶ | Netpro | ۷۰ | عمر مفید محصول ۱۵ تا ۳۰ سال |
| رنجبر و همکاران، ۱۳۹۰ | موم | - | در آریزونا لایه‌هایی از موم بر روی یک مخزن آب پس از ۴ سال، هنوز قابل استفاده بوده است، حتی اگر لایه موم در زمستان در اثر سرما از هم باز شود در فصل گرما دوباره تشکیل یک لایه پیوسته می‌دهد. |
| Thoma، ۱۹۷۳ | صفحه نازک آلومینیوم | ۳۷/۳ | - |
| Khan و Issac، ۱۹۹۰ | پلی استر | ۸۲ | در صورت پوشاندن ۹۸٪ سطح آب، بازده ۸۲ درصد حاصل شد و این به خاطر خاصیت جداکنندگی پلی‌استر می‌باشد. |
| Cooleyو Mayers، ۱۹۷۳ | استیروفوام | ۱۰۰ | در صورت پوشاندن ۸۰٪ سطح آب بازده ۱۰۰ درصد حاصل می‌شود. |
| Cooleyو Mayers، ۱۹۷۳ | پارافین | - | به طور دائمی نمی‌تواند سطح را بپوشاند. |
| پیری و همکاران، ۱۳۸۹ | پلی‌استایرن | ۵۵-۳۰ | - |

**۲- پوشش‌های چندقسمتی[۳]**

دقیقاً مشابه پوشش‌های شناور هستند، با این تفاوت که این پوشش از چندین بخش مجزای شناور تشکیل شده وبا اتصال تمام تکه‌ها به یکدیگر می‌توان یك پوشش بزرگتر ایجاد نمود. این پوشش‌ها به صورت شش‌وجهی، دایره‌ای و مستطیلی و... موجوداند و در نتیجه اندازه و شکل بخش‌ها همواره نمی‌تواند ۱۰۰ درصد سطح آب را پوشش دهد. بنابراین بازدهی این روش از روش پوشش‌های شناور کمتر می‌باشد. این نوع پوشش به صورت پیش ساخته و یا ساخته شده در محل استفاده می‌شود (باقری اردبیلیان و همکاران، ۱۳۸۷؛ شمسایی و حسنی، ۱۳۸۶؛ بحرینی مطلق و همکاران، ۱۳۹۱ب). برخی از تحقیقاتی که در این زمینه انجام گرفته، در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲- چکیده برخی تحقیقات انجام شده در رابطه با کاربرد پوشش‌های شناور چندقسمتی با هدف کاهش تبخیر از سطح آب

| منبع | نوع محصول | بازده (٪) | ملاحظات |
|---|---|---|---|
| مرادی مزرعه نو و همکاران، ۱۳۹۲ | پوشش یونولیتی | ۵۱/۶ | در حالت پوشاندن ۹۰٪ سطح آب این بازده حاصل شد. |
| افخمی و همکاران، ۱۳۹۶ | پوشش فومتالات | ۹۰/۳ | این محصول حاصل تزریق صنعتی پلی استایرن در قالب‌های پر شده با بطری دلستر می‌باشد. |
| رنجبر و همکاران، ۱۳۹۰ | بتن سبک پرلیتی | - | تحقیق بر روی دریاچه سد کارون ۳ انجام شد و این بتن در کاهش تبخیر موثر بود. محصول به گونه‌ای است که از ورود اکسیژن به آب، جلوگیری نمی‌کند. اما از ورود آلاینده‌ها نظیر ریزگردهای معلق در هوا جلوگیری می‌نماید. |
| رنجبر و همکاران، ۱۳۹۰ | گونی‌های پلاستیکی | - | به صورت بافته شده از مواد پلاستیکی می‌باشد و حدود ۵۰٪ سطح را می‌پوشاند، این پوشش با حرکت مووینگی آب به سمت بالا با خیس کردن سطح خود باعث کاهش تبخیر می‌شود. |
| Khan و Issac، ۱۹۹۰ | اسفنج مصنوعی سفید رنگ | ۷۵ | در حالت پوشاندن ۹۰٪ سطح آب این بازده حاصل شد. مشکل اصلی این پوشش جذب گرد و غبار است. |
| Khan و Issac، ۱۹۹۰ | لایه‌های شناور پلی‌اتیلن | ۶۶ | در حالت پوشاندن ۷۵٪ سطح آب، این بازده حاصل می‌شود. در پایان دوره، سطح لایه پلی‌اتیلن از بین رفته و ترک و شکاف روی سطح آن مشاهده می‌گردد که می‌توان آن را با پرتوهای خورشیدی مرتبط دانست. |

**۳- ترکیبات سایه‌انداز[۳]**

این نوع ترکیبات عموماً توسط کابل بر روی سطح آب معلق می‌گردند و بر روی سطح آب، سایه می‌اندازند. این نوع پوشش، باعث کاهش تشعشع خورشید و سرعت باد و گیرانداختن رطوبت هوا در بین پوشش و سطح آب شده که همگی فاکتورهای مؤثر بر میزان تبخیر می‌باشند. حداکثر اندازهٔ مناسب مخزن برای این پوشش، ۵ هکتار (مخازن کوچک) عنوان شده است. این روش بازدهی دو روش قبل را نخواهد داشت (شمسایی و حسنی، ۱۳۸۶). برخی از تحقیقات مرتبط با این روش، به شرح جدول (۳) می‌باشد.

جدول ۳- چکیده برخی تحقیقات انجام شده در رابطه با ترکیبات سایه‌انداز مورد استفاده در کاهش تبخیر از سطح آب

| منبع | نوع محصول | بازده (٪) | ملاحظات |
|---|---|---|---|
| Jennision، ۲۰۰۳ | سایه‌بان | ۵۹-۷۶ | این تحقیق بر روی تانک‌های ۱۰۰۰ لیتری انجام شده است. |
| Khan وIssac ، ۱۹۹۰ | نی‌بامبو | ۵۴ | در حالت پوشاندن ۹۸٪ سطح آب این بازده حاصل شد. در طول یک دوره ۱۹ ماهه، معلوم شد که ساقه‌های نی با جذب آب سنگین شده و در آب فرو می‌روند. |
| Alvarez و همکاران، ۲۰۰۶ | آلومینیوم | ۵۰ | - |
| Alvarez و همکاران، ۲۰۰۶ | پلی‌اتیلن | ۸۰ | - |

**۴- آبدان‌ها (بادکنک‌ها)[۵]**

این کیسه‌ها معمولاً از مواد پلی‌اتیلن و یا پلی‌استر ساخته شده و یک لایه نفوذناپذیر در بالا و پایین مخزن ذخیره آب تشکیل می‌دهند. پوشش بالای مخزن و دیواره‌های آن، با سطح آب مخزن بالا و پایین می‌رود که می‌تواند باعث فرسوده شدن پوشش نیز بشود. این کیسه‌ها تبخیر و تراوش از منبع آب را بطور توأمان کاهش می‌دهند. این کیسه‌ها را می‌توان در حفره‌های بزرگ زمینی یا در کانال‌های آبیاری نیز نصب نمود. این محصول مزایا و معایبی مشابه با سایر پوشش‌های شناور دارد(باقری اردبیلیان و همکاران،۱۳۸۷).

**۵- بادشکن[۶]**

ساختمان بادشکن می‌تواند از ساختن دیوارهای بلند در اطراف منبع تا کاشت درختان در اطراف آن را شامل شود. در صورت امکان، بهتر است منبع آب جایی قرار بگیرد که از عوارض طبیعی مثل تپه‌ها برای کاهش دادن سرعت باد در اطراف آن بهره‌گیری شود (باقری اردبیلیان و همکاران، ۱۳۸۷). استفاده از درخت به عنوان بادشکن مزایایی به دنبال دارد، از جمله این که می‌توان زمان زیادی از آن استفاده کرد. البته باید توجه داشت که درختان نباید بسیار نزدیک به منبع آبی کاشته شوند، زیرا ریشهٔ آن‌ها جذب آب بیشتری از مخزن خواهند داشت )بحرینی مطلق و همکاران، ۱۳۹۱ب؛ فرزین و علی‌زاده صنمی، ۱۳۹۴). درختان مناسب به عنوان بادشکن را از نوع درختان مخروطی مثل کاج و سرو، اقاقیا و اکالیپتوس می‌باشند (Wilson و Josiah، ۲۰۰۴). خلاصهٔ برخی از تحقیقاتی که در این زمینه انجام گرفته، به شرح جدول (۴) می‌باشد.

جدول ۴- چکیده برخی تحقیقات انجام شده در رابطه با استفاده از بادشکن برای کاهش تبخیر از سطح آب

| منبع | نوع محصول | بازده (٪) | ملاحظات |
|---|---|---|---|
| Skidmoreو Hagan، ۱۹۷۰ | بادشکن | ۳۵ | - |
| Miller و همکاران، ۱۹۷۳ | بادشکن | ۲۰ | - |
| Van Eimern و همکاران،۱۹۶۴ | بادشکن | ۱۴ | - |
| Gibbings و Raine، ۲۰۰۵ | درختان ۸ متری | ۳۰ | این تحقیق بر روی یک سد کوچک (سطحی معادل ۳۶۰۰ متر مربع) انجام شده است. |

## روش‌های شیمیایی

در روش‌های شیمیایی کاهش تبخیر، از لایهٔ حاوی ترکیبات شیمیایی کاهندهٔ تبخیر استفاده می‌شود؛ به طور کلی روش‌های شیمیایی به اندازه روش‌های فیزیکی برای کاهش میزان تبخیر، مؤثر نمی‌باشند. محدودهٔ وسیعی از مقادیر به عنوان بازده روش‌های شیمیایی در کاهش میزان تبخیر اعلام شده است که مقدار متوسط آن می‌تواند در محدوده‌ی ۲۰ تا ۴۰ درصد ارزیابی شود(آهنی و حسینعلی، ۱۳۹۴). این نوع پوشش در مقیاس کوچك با دست و در مقیاس بزرگ با دستگاه اجرا می‌شود. امروزه این پوشش‌ها از روش‌های مناسب برای مخازن بزرگتر از ۱۰هکتار هستند و برای مخازن آبی که در تمام طول سال آب ندارند نیز، مفید می‌باشند (شمسایی و حسنی، ۱۳۸۶).

**۱- تک‌لایه‌ها[۷]**

این مواد باید قابلیت پخش‌شوندگی در سطوح آب را دارا باشند؛ به طوری که در ابعاد مولکولی، در یک جهت مولکول خاصیت هیدروفلیک (جاذب آب) و در سمت دیگر هیدروفوبیک (دافع آب) داشته باشند (انصاری‌فر و خادم‌آذریان، ۱۳۹۳). از آنجا که این لایه‌ها خود تبخیر می‌شوند، باید هر ۱ الی ۴ روز مجدداً اجرا گردند. معمولاً برای بررسی تأثیرات زیست‌محیطی این مواد در محل و توسط حس‌گرهای مناسب، تحلیل بر روی PH، اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی، درجه حرارت و کدورت آب صورت می‌گیرد. همچنین در آزمایشگاه برای نمونه‌های آب، پارامترهایی مانند میزان سبزینه، مقدار فسفر، نیتروژن، آمونیوم و فسفات اندازه‌گیری می‌شوند (شمسایی و حسنی، ۱۳۸۶). تحت شرایط مطلوب و ایده‌آل در آزمایشگاه، کاهش تبخیر توسط تک‌لایه‌ها بیش از ۶۰ درصد گزارش شده است، اما در شرایط عادی بازدهی کمتری خواهند داشت (باقری اردبیلیان و همکاران، ۱۳۸۷؛ بحرینی مطلق و همکاران، ۱۳۹۱آ). برخی از تحقیقاتی که در این زمینه انجام گرفته به شرح جدول (۵) است.

**۲- الکل‌های آلیفاتیک[۸]**

روش دیگر کاهش تبخیر، استفاده از یک نوع امولسیون متشکل از ۶۰٪ آب و ۴۰٪ الکل‌های آلیفاتیک می‌باشد(باقری اردبیلیان و همکاران، ۱۳۸۷). کاویان‌پور و همکاران(۱۳۸۸) ادعا کردند که این مواد باعث خارش پوست و چشم و ناراحتی‌های تنفسی می‌شود. برای اجرای این روش می‌توان از ماشین‌های آتش‌نشانی محلی، کامیون‌های مجهز به اسپری و روش دستی بهره جست (باقری اردبیلیان و همکاران، ۱۳۸۷).

جدول ۵- چکیده برخی تحقیقات انجام شده در رابطه با استفاده از مواد مونولایر به منظور کاهش تبخیر از سطح آب

| منبع | نوع محصول | بازده (٪) | ملاحظات |
|---|---|---|---|
| Hedestrand، ۱۹۲۴ | ستیل الکل | ۵۰-۳۰ | قابل تجزیه بیولوژیکی بوده و غیرسمی است. نسبت به اکسیژن قابل نفوذ می‌باشد و برای منابع آب آشامیدنی قابل استفاده است. |
| Khan و Issac، ۱۹۹۰ | ستیل الکل | ۲۰ | - |
| Desai و همکاران، ۱۹۹۰ | امولسیون مبتنی بر الکل‌های چرب | ۳۰ | این محصول از گیاهان روغنی بدست آمده است. در صورت استفادهٔ ۵۰ میلی‌گرم در هر متر مربع، بازده ۳۰ درصد حاصل خواهد شد. |
| Knights، ۲۰۰۵ | ستیل الکل | ۲۰ | - |
| Knights، ۲۰۰۵ | Agri-Products | - | محصول روغنی بر پایه سیلیکون است. ادعا می‌شود که نسبت به محصولات مشابه، این محصول مقاوم‌تر بوده، سریع‌تر پخش می‌شود و با محیط زیست سازگارتر است. ضخامت پیشنهادی برای استفاده از این روغن ۶۰۰ نانومتر است و ضخیم‌تر از سایر تک‌لایه‌ها می‌باشد. |
| Obrien، ۲۰۰۶ | ترکیب ستیل الکل و هیدروکسید کلسیم و سیلیس | ۴۰ | - |
| Israelsen و همکاران، ۱۹۶۳ | مواد الکلی | ۷۲-۲۴ | این نتایج در دماهای متفاوت به دست آمد. |
| Barnes، ۲۰۰۷ | ستیل الکل و استریل الکل | - | برای مخازن بزرگ مناسب بوده و دوام آنها ۱ تا ۲ روز است. |
| Katti و Sansare، ۱۹۷۰ | اتانول | - | بیشترین مقاومت تبخیری و بیشترین نرخ پخش‌شوندگی را دارد. اما نمونه عملی این پروژه انجام نشده است. |
| انصاری فر و خادم آذریان، ۱۳۹۳ | پلی دی‌متیل سیلوکسان | ۳۰-۲۰ | این ماده غیرسمی و غیر قابل اشتعال است. دارای کشش سطحی و آب‌گریزی زیاد، انعطاف‌پذیری زیاد در دمای محیط، زیست سازگاری خوب و دمای انتقال شیشه‌ای بسیار کم می‌باشد. |
| احدیان، ۱۳۹۳ | ترکیبات سیلیکونی با ایزوپروپیل الکل | ۵۰-۳۰ | - |
| احدیان، ۱۳۹۳ | ترکیبات سیلیکونی | بیشتر از ۵۰ | طول عمر این مواد ۱ تا ۷ روز است. |
| احدیان، ۱۳۹۳ | اکسید گرافن با سورفکتانت | ۶۰ | - |
| کاویانپور و همکاران،۱۳۸۸؛ نوذری و میری، ۱۳۹۳ | الکل گیاه جوجوبا | ۳۳ | این محصول هیچ آسیبی به محیط‌زیست وارد نمی‌کند. ضد ویروس و ضد قارچ است. طول عمر حدود ۳ تا ۴ روز دارد. |
| یاوری‌زاده و عارف‌زاده، ۱۳۹۳ | ترکیب نوعی ماده پلیمری و نوعی ماده سطح فعال | ۵۰-۴۰ | - |
| نوذری و میری، ۱۳۹۳ | محصول تجاری اکواتین | ۴۰ | مایع سفید شیری رنگ، با بوی بسیار ناچیز و عمر ۲ تا ۴ روز است. محدودیت دمایی ۴۲ درجه سانتی‌گراد دارد. |
| نوذری و میری، ۱۳۹۳ | محصول تجاری واترسیور | ۳۰ | طول عمر این مواد ۳ تا ۴ روز است. حداکثر تا ۱۵۰۰۰ هکتار می‌توان آن را اجرا نمود. محدودیت دمایی ۴۲ درجه سانتی‌گراد دارد. |

## روش‌های زیستی

در روش‌های زیستی معمولاً از گیاهان آبزی یا گیاهانی با قابلیت رشد در نزدیکی مخازن استفاده می‌شود. در این روش میزان برهم‌کنش هوا با لایهٔ مرزی سطح آب و همچنین تابش خورشیدی به سطح آب کم می‌شود و در نتیجه کاهش تبخیر اتفاق می‌افتد(آهنی و حسینعلی، ۱۳۹۴). برخی از پوشش‌های زیستی، برگ‌های شناور زنبق آبی و خزه می‌باشند. این گیاهان برای زنده ماندن به آب و تعرق احتیاج دارند، بنابراین نتیجه نهایی ممکن است افزایش تبخیر باشد. در مورد این نوع پوشش‌ها باید دقت شود که در صورت بیشتر بودن ضریب بازتاب مربوط به گیاه از مقدار مربوط به سطح آب، میزان تبادلات تشعشعی و در نتیجه میزان تبخیر افزایش خواهد یافت (شمسایی و حسنی، ۱۳۸۶). برخی از تحقیقاتی که در این زمینه انجام گرفته به شرح جدول (۶) می‌باشد.

جدول ۶- چکیده برخی تحقیقات انجام شده در مورد استفاده از روش‌های زیستی با هدف کاهش تبخیر از سطح آب

| منبع | نوع محصول | بازده (٪) | ملاحظات |
|---|---|---|---|
| Jennison، ۲۰۰۳ | عدسک آبی | بیش از ۱۰ | بر روی کیفیت آب اثر گذاشته و بر روی حیات طبیعی اکوسیستم‌ها موثر هستند. |
| Issac و Khan، ۱۹۹۰ | ساقه‌های سچروم مونجا[9] | ۲۶-۵۰ | در صورت پوشاندن ۹۰٪ سطح آب، این بازده حاصل خواهد شد. این روش در دو ماه اول، کاهش تبخیر ۵۰٪ را موجب گردیدو در پی تغییرات در پایان دوره، ضریب کاهش تبخیر به ۲۶٪ رسید. |
| رنجبر و همکاران، ۱۳۹۰ | شن و سنگ | ۹۰ | این روش برای جلوگیری از تبخیر آب پشت سد می‌باشد. مخزن سد را از شن و سنگ پر کرده که آب بین آنها نگهداری شده و در وقت لزوم با حفر چاه استفاده می‌شود. معمولاً سطح آب ۳۰ سانتی‌متر پایین‌تر از سطح سنگ‌ها نگهداری می‌شود. |

## روش‌های طراحی/ ساختمانی

به‌طورکلی هنگام احداث سد باید توجه داشت که در صورت امکان، محل سد طوری انتخاب شود تا نسبت سطح مخزن به حجم آن، حداقل شود. همچنین برای جلوگیری از گسترش سطح آزاد آب دریاچه، دیوارچینی ساحل دریاچه در نواحی کم‌عمق و کم‌شیب صورت گیرد (امین‌نژاد و ولی‌زاده، ۱۳۸۸)، به این منظور می‌توان ساختار سلولی ایجاد نمود که در آن مخازن بزرگ به سلول‌های کوچك تقسیم می‌شوند تا بتوان سرعت و تأثیر باد را کاهش داده، با انتقال آب میان سلول‌ها و استفاده از بادشکن اطراف مخزن، عمق آب را حداکثر نمود (شمسایی و حسنی، ۱۳۸۶). برای حداکثر نگه‌داشتن عمق آب، بایستی به وسیله پمپ‌کردن آب از سلول‌های نیمه خالی به همدیگر، سطح موجود برای تبخیر را به حداقل رسانید. در کشور ژاپن با استفاده از سیستم آبگیری تلسکوپی که در سدهای سامه‌اورا[10] و تومی‌ساتو[11] به کار برده‌اند، امکان آبگیری از ترازهای مختلف مخزن را فراهم نموده و در کنترل پدیدهٔ لایه‌بندی دمایی آب مخزن و در نظر گرفتن ملاحظات کیفی آب، موفق عمل نموده‌اند (امین‌نژاد و ولی‌زاده، ۱۳۸۸).

## روش‌های مدیریتی

می‌توان با اعمال روش‌های مدیریتی مختلف، میزان تبخیر کل را کاهش داد. آب را می‌توان بین مخازن پمپ نمود تا سطح مقطع در واحد حجم آب ذخیره شده، حداقل گردد. چرخش آب همچنین می‌تواند باعث کاهش دمای سطح آب و کاهش نرخ تبخیر شود (شمسایی و حسنی، ۱۳۸۶).

## استفاده از توپ سایه[12]

توپ‌های پلاستیکی با قطر ۱۰ سانتی‌متر هستند که از جنس پلی‌اتیلن سیاه ساخته و پر از آب شده‌اند. این توپ‌ها بین ۳۷ تا ۴۰ گرم وزن دارند و در اثر وزیدن باد در سطح آب، کنار نمی‌روند. وجود یک پوشش مخصوص باعث مقاومت آن‌ها در برابر نور ماوراءبنفش خورشید و تجزیه و تخریب می‌گردد. توپ‌های سایه مانع جذب تقریباً ۴۰ تا ۵۰ درصد اشعه خورشید می‌شوند. این طرح حتی در حوضچه‌های پرورش ماهی هم قابل استفاده است؛ چون در زمستان از یخزدگی سطح آب جلوگیری می‌کند. ادعای سازندگان این است که استفاده از این روش می‌تواند ۹۰ درصد از کل تبخیر ۷۰ درصدی آب در کشور را کاهش بدهد(دهقانیان و همکاران، ۱۳۹۵). فرزین و علی‌زاده صنمی (۱۳۹۴) نیز این روش را برای کاهش تبخیر از سد کارون ۳ پیشنهاد کردند.

## نصب سیستم‌های خورشیدی (فتوولتائیکی[13])

یکی دیگر از روش‌های کاهش تبخیر، کاربرد دو منظورهٔ پانل‌های خورشیدی با هدف کاهش تلفات تبخیر و تولید انرژی است. در این روش پانل‌ها نور خورشید را جذب کرده و در عمل مانع نفوذ نور خورشید به سطح آب زیرین آن‌ها شده، بدین ترتیب تبخیر کاهش می‌یابد (آلاشتی و غلامی سفیدکوهی، ۱۳۹۶؛ سهرابی و همکاران، ۱۳۹۱). هزینه‌های بستر پانل‌ها، خنک‌سازی، ردیابی و سیستم رفلکتور با افزایش میزان برق تولیدی کاهش خواهد یافت. این سیستم‌ها ممکن است ثابت و یا شناور باشند. سهرابی و همکاران (۱۳۹۱) این روش را برای کاهش تبخیر دریاچه ارومیه، و آلاشتی و سفیدکوهی (۱۳۹۶) برای سد البرز، پیشنهاد کردند. این روش نسبتاً آسان و مقرون به صرفه ارزیابی شده است (Santafe و همکاران، ۲۰۱۴).

## لایروبی مخازن

در صورتی که در مخزن مورد نظر، رسوبات بیش از حد باشد، لایروبی مخزن نیز می‌تواند به کاهش تبخیر کمک کند، که البته فواید و الزامات دیگری نظیر جلوگیری از کاهش حجم مخزن، افزایش کیفیت آب و... دارد. در یک تحقیق بر روی سد کارده مشخص شد که رسوب‌گذاری طی زمان، هندسه این مخزن را به سمت یک مخزن نسبتاً وسیع و کم‌عمق تغییر داده و باعث شده که تبخیر از سطح مخزن در رقوم نرمال آن، حدود ۳۰ درصد نسبت به سال شروع بهره‌برداری افزایش یابد (یزدان‌پرست و همکاران، ۱۳۹۵).

## مقایسه و تحلیل روش‌های مختلف کاهش تبخیر

در جدول (۷) روش‌های مختلف کاهش تبخیر از نظر میزان بازده، مزایا و معایب با هم مقایسه شده‌اند. امتیاز برای هر روش از طریق روش تحلیل سلسله مراتبی و با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice۱۱ محاسبه گردیده است. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه (کمی و یا کیفی) است که بر اساس درخت سلسله مراتب تصمیم و پس از آن مقایسات زوجی، بنا نهاده شده و می‌تواند منجر به انتخاب یک سناریو و یا اولویت‌بندی آن‌ها شود. با استفاده از این نرم‌افزار عدد ۱۰۰، بر اساس مقایسات زوجی بین روش‌های مختلف تقسیم گردیده است (به‌طوری که جمع امتیازات تمام روش‌ها به عدد ۱۰۰ می‌رسد) و بدین‌ترتیب امتیازات مربوطه اولویت‌بندی روش‌ها را ممکن می‌سازد.

جدول ۷- مقایسه روش‌های مختلف کاهش تبخیر از سطح آزاد آب

| ردیف | نام روش | بازده (٪) | مزایا | معایب | امتیاز |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | پوشش‌های شناور | ۱۰۰-۳۰ | ۱. کاهش نفوذ نور و ایجاد جلبك و بهبود برخی جنبه‌های کیفی آب. | ۱. کاهش زیستگاه‌های گیاهی و جانوری و به هم‌خوردن اکوسیستم، ۲. هزینه اولیه بالا، ۳. دشواری برای مخازن بزرگ،۴. هزینه‌های تعمیر و نگهداری بالا،۵. عمر محدود (بسته به نوع محصول حدوداً ۱۰ تا ۱۵ سال)،۶. محدودیت در اجرا،۷. کاهش تماس جریان هوا با سطح آب. | ۶/۶ |
| ۲ | پوشش‌های چند قسمتی | ۹۰-۵۰ | ۱. قابلیت تعمیر وتعویض هر بخش به صورت مجزا، ۲. کاهش جلبک، ۳. کاهش فعالیت‌های موجی، ۴. امکان ورود آب باران به داخل مخزن، ۵. هزینه نگهداری کم، ۶. نصب آسان‌تر نسبت به پوشش‌های شناور | ۱. هزینه اولیه بالا، ۲. عمر محدود، ۳. تخریب دراثر بادهای شدید، ۴. سخت بودن اجرا در شرایط وزش باد. | ۷/۴ |
| ۳ | ترکیبات سایه‌انداز | ۸۰-۵۰ | ۱.کاهش تشعشعات خورشیدی، ۲. کاهش سرعت باد، ۳. عدم تأثیر بر کیفیت آب، ۴. امکان ورود آب باران به داخل مخزن، ۵. کاهش جلبک، ۶. بسته به نوع محصول حدوداً ۱۰ تا ۱۵ سال عمر می‌کند. | ۱. هزینه اولیه بالا، ۲. سخت بودن اجرا در شرایط وزش باد، ۳. محدودیت در اجرا، ۴. به هم خوردن اکوسیستم، ۵. هزینه نگهداری بالا. | ۶/۵ |
| ۴ | آبدان‌ها | ۱۰۰ | ۱. کاهش اثرات شرایط بی‌هوازی. | ۱.عدم امکان ورود آب باران به داخل آن، ۲. با افزایش زمان ماند کیفیت آب کاهش می‌یابد، ۳. به‌هم خوردن اکوسیستم، ۴. هزینه اولیه بالا، ۵. دشواری برای مخازن بزرگ، ۶. هزینه‌های تعمیر و نگهداری بالا، ۷. عمر محدود، ۸. محدودیت در اجرا، ۹. کاهش تماس جریان هوا با سطح آب | ۱۰/۷ |
| ۵ | انواع بادشکن | ۳۵-۱۴ | ۱. امکان ورود آب باران به داخل مخزن. | ۱.سخت‌شدن دسترسی به مخزن، ۲. درصورت استفاده از درختان به عنوان بادشکن: تخریب کناره‌ها و خاکریز مخزن توسط ریشه‌ها،۳. عدم بازدهی برای مخازن بزرگ. | ۶/۶ |
| ۶ | تک‌لایه‌ها | ۷۲-۲۰ | ۱. امکان ورود آب باران به داخل مخزن، ۲. قابلیت اعمال در سطوح کوچک و بزرگ، ۳. زیست‌تجزیه‌پذیری سریع، ۴. اثرات زیست‌محیطی کم،۵. سهولت در استفاده زمان‌بندی شده، ۶. هزینه اولیه و هزینه نگهداری متوسط و نسبتاً پایین، ۷. توانایی اجرا در شرایط موردنیاز، ۸. مناسب برای مخازن بزرگتر از ۱۰هکتار و مخازنی که در تمام طول سال آب ندارند. | ۱.بر کیفیت آب تأثیر می‌گذارد، ۲. رشد جلبک‌ها، ۳. نیاز به کاربرد مجدد در فواصل زمانی کوتاه، ۴. برای محیط‌های با باد شدید مناسب نیست. | ۴/۸ |
| ۷ | الکل‌های آلیفاتیک | ۳۵-۲۳ | ۱. امکان ورود آب باران به داخل مخزن، ۲. قابلیت اعمال در سطوح کوچک و بزرگ، ۳. قابل تجزیه بیولوژیکی، ۴. اثرات زیست‌محیطی کم، ۵. سهولت در استفاده زمان‌بندی شده، ۶. هزینه اولیه و هزینه نگهداری متوسط و نسبتاً پایین، ۷. توانایی اجرا در شرایط موردنیاز، ۸.غیرسمی، ۹. مناسب برای مخازن آب آشامیدنی | ۱. نیاز به کاربرد مجدد در فواصل زمانی کوتاه، ۲. برای محیط‌های با باد شدید مناسب نیست. | ۴/۳ |
| ۸ | گیاهان آبزی | ۵۰-۱۰ | ۱. زیبایی، ۲. در برخی موارد پالاینده مواد سمی‌اند. | ۱. باعث تخریب محیط‌زیست در هنگام خشکسالی می‌شود،۲. در برخی موارد بر کیفیت آب تأثیر می‌گذارد،۳. در برخی موارد در حیات طبیعی اکوسیستم‌ها تأثیر دارند. | ۶/۴ |

ادامه جدول ۷- مقایسه روش‌های مختلف کاهش تبخیر از سطح آزاد آب

| ردیف | نام روش | بازده (٪) | مزایا | معایب | امتیاز |
|---|---|---|---|---|---|
| ۹ | طراحی ساختمان مخزن | بسته به طراحی | ۱. عدم تأثیر بر کیفیت آب. | ۱.منابع عمیق‌تر باعث تقویت پدیده لایه‌بندی آب در مخازن گشته که بر روی کیفیت آب موثر است، ۲. روشی پیچیده و نیازمند لوله‌ها و پمپ می‌باشد. | ۱۰/۱ |
| ۱۰ | مدیریت بهره‌برداری از مخزن | بسته به روش | ۱.کاهش هزینه‌ها. | | ۷/۸ |
| ۱۱ | توپ‌های سایه | ۹۰ | ۱.در اثر وزش باد کنار نمی‌روند، ۲. مقاوم در برابر نور ماورابنفش خورشید و تجزیه و تخریب،۳. مانع انجام فعالیت‌های شیمیایی ۴. کاهش جلبک، ۵. بی‌خطر برای آبزیان و کیفیت آب، ۶. رسیدن اکسیژن و نور لازم آب، ۷. قابل استفاده در حوضچه‌های پرورش ماهی به دلیل جلوگیری از یخ‌زدگی در زمستان، ۸. عمر مفید ۲۵ سال. | ۱.هزینه تولید هر توپ در سال ۲۰۱۵، ۳۶ سنت بوده است. | ۱۲ |
| ۱۲ | پنل‌های خورشیدی | ۸۰ | ۱.تولید برق، ۲. استفاده بهینه از فضای منابع آبی، ۳. جذب توریست، ۴. نسبتاً آسان و مقرون به صرفه، ۵. کاهش هزینه‌ها با افزایش تولید برق، ۶. حفظ کیفیت آب، ۷. عمر مفید ۲۵ سال، ۸. کاهش امواج و خوردگی مخزن، ۹. بر روی کیفیت آب تأثیری ندارد، ۱۰. اثرات زیست‌محیطی کم. | ۱. هزینه اولیه نسبتاً بالا. | ۱۰/۲ |
| ۱۳ | لایروبی مخزن | ۳۰ | ۱.استفاده بهینه از فضای مخزن، ۲. افزایش عمر مخزن، ۳. افزایش کیفیت آب. | ۱. هزینه‌های بالا، ۲. اجرای آن مشکل می‌باشد. | ۶/۵ |

## بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به منظور بررسی و معرفی انواع روش‌های کاهش تبخیر از سطح آزاد آب بوده و با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، روش‌های معرفی شده را با توجه به شاخص‌های اقتصادی (شامل زیر شاخص‌های هزینه اولیه، هزینه نگهداری و عمر مفید محصول)؛ شاخص‌های اجرایی (شامل زیرشاخص‌های سهولت اجرا و نیاز به نیروی متخصص در اجرا و بهره‌برداری)، شاخص‌های زیست‌محیطی (شامل زیرشاخص‌های حفظ کیفیت آب و حفظ اکوسیستم) و راندمان کل کاهش تبخیر، بررسی و مقایسه نموده و در نهایت به هر روش، امتیازی کلی اطلاق گردید که اولویت این روش‌ها بر یکدیگر را با توجه به شاخص‌ها و زیرشاخص‌های معرفی شده، مشخص می‌سازد که بدین شرح می‌باشد:

(۱) توپ‌های سایه؛ (۲) آبدان‌ها؛ (۳) پنل‌های خورشیدی؛ (۴) طراحی ساختمان مخزن؛ (۵) مدیریت بهره‌برداری از مخزن؛ (۶) پوشش‌های چندقسمتی؛ (۷) پوشش‌های شناور؛ (۸) بادشکن‌ها؛ (۹) ترکیبات سایه‌انداز؛ (۱۰) لایروبی مخزن؛ (۱۱) گیاهان آبزی، (۱۲) تک‌لایه‌ها، (۱۳) الکل‌های آلیفاتیک.

همان‌طور که مشاهده می‌شود با توجه به شاخص‌ها و زیرشاخص‌های در نظر گرفته شده، استفاده از توپ‌های سایه بیشترین امتیاز را بدست آورده است. این محصول با راندمانی حدود ۹۰٪، محصولی کم‌هزینه بوده و نیز دارای عمر مفید ۲۵ سال می‌باشد، به سادگی قابل اجرا است و به نیروهای متخصص نیازی ندارد. همچنین به علت فضای موجود بین توپ‌ها، اکسیژن امکان ورود به آب را دارد و بدین ترتیب تأثیر چندانی بر اکوسیستم و کیفیت آب نخواهد داشت. وجود این توپ‌ها روی سطح آب از ورود آلاینده‌هایی نظیر گردوغبار نیز به داخل آب جلوگیری می‌کند (فرزین و علی‌زاده صنمی، ۱۳۹۴). مبدع این روش شخصی ایرانی بوده و در دیگر کشورهای دنیا مورد استفاده قرار گرفته‌است، اما تاکنون کاربردی از این روش در داخل کشور گزارش نشده است.

قابل ذکر است که این مقایسات به طور نسبی صورت گرفته و شرایط محلی و محیطی مخزن مورد نظر نیز باید در انتخاب روش بهینه مورد توجه قرار گیرد.

پی‌نوشت

1- Analytical Hierarchy process (AHP)
2- Continuous Covers or Floating Covers
3- Modular Covers
4- Shade Structures
5- Water Bladders
6- Wind Break
7- Monolayer

8- Aliphatic alcohols
9- Saccharum munja
10- Sameura Dam
11- Tomisato Dam
12- Conservation Balls
13- Solar cell or photovoltaic cell

## منابع


آلاشتی، م.ر. و غلامی سفیدکوهی، م.ع. ۱۳۹۶. کاهش تبخیر آزاد از سطح دریاچه سدها از طریق استحصال انرژی خورشیدی و تولید الکتریسیته (مطالعه موردی: سد البرز). دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران. انجمن هیدرولوژی ایران، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

آهنی، ع. و حسینعلی، ا. ۱۳۹۴. معرفی یک روش هوشمند برای کاهش تبخیر آب از سطح مخازن روباز. رویداد پیوند آب و انرژی شریف. کانون علمی فرهنگی دانشکدهٔ برق (رسانا). انستیتو آب و انرژی شریف، تهران، ایران.

احدیان، م. ۱۳۹۳. کاهش تبخیر منابع آبی با استفاده از نانومواد. اولین همایش منطقه‌ای دریا، توسعه و منابع آب مناطق ساحلی خلیج فارس. جهاددانشگاهی هرمزگان، بندرعباس، ایران.

افخمی، ح. ملکی‌نژاد، ح. اسماعیل‌زاده، ع. و عزیزیان، ا. ۱۳۹۶. طراحی و ساخت پوشش فیزیکی فومتالات با استفاده از ضایعات پلیمری به منظور کاهش تبخیر از پساب‌های اسیدی؛ مجله محیط‌زیست و مهندسی آب، ۳(۱): ۵۴-۶۵.

امین‌نژاد، م. و ولی‌زاده، س. ۱۳۸۸. تبخیر از سدهای مخزنی و تأثیر آن بر میزان کاهش ذخیره آب و روش‌های کنترل آن. اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌ها. دانشگاه تهران، تهران، ایران.

انصاری فر، م. و خادم‌آذریان، ن. ۱۳۹۳. تکنولوژی جدید برای کاهش میزان تبخیر منابع آبی بزرگ. هفتمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست. دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران، تهران، ایران.

باقری اردبیلیان، پ.، باقری اردبیلیان، م. و مسافری، م. ۱۳۸۷. بررسی روش‌های کاهش تبخیر از منابع و مخازن آب با نگاهی به وضعیت تبخیر در آبهای سطحی استان آذربایجان شرقی. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی عمران، تبریز، ایران.

بحرینی مطلق، م. حسن‌پور، ف. امیری، م. غفوری فرد، س. و احمدیان، ر. ۱۳۹۱آ. پتانسیل کاهش تبخیر با استفاده از الکل‌های چرب. سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

بحرینی مطلق، م. حسن‌پور، ف. امیری، م. و طباطبایی، س.م. ۱۳۹۱ب. کاهش تبخیر با استفاده از روش‌های فیزیکی (مرور منابع). اولین همایش ملی توسعه پایدار در مناطق خشک و نیمه خشک. دانشگاه آزاد اسلامی واحد ابرکوه، ابرکوه، ایران.

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 سطح آب. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۷(۴): ۱۴۱-۱۵۴.

دهقانیان، ع. کشاورز، س.ح. دشتی‌زاده، ن. و حیدریان، ف. ۱۳۹۵. بررسی روش‌های کاهش میزان تبخیر از مخازن آب و بیان معایب و محاسن آن. دومین کنفرانس بین‌المللی یافته‌های نوین علوم و تکنولوژی. مرکز مطالعات و تحقیقات اسلامی سروش حکمت مرتضوی، قم، ایران.

رنجبر، ا. مهدویان، ا. س. و مکنون، ر. ۱۳۹۰. بررسی امکان استفاده از صفحات بتن سبک پرلیتی برای کاهش تبخیر مخازن سدها. اولین کنفرانس بین‌المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برق آبی، تهران، ایران.

سهرابی، ف. نیک‌نیازی، آ. و طایفه حسنلو، ع. ۱۳۹۱. ابداع روش نصب سیستم‌های فتوولئاتیکی (خورشیدی) با هدف کاهش میزان تبخیر دریاچه ارومیه. پنجمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان اسلام، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

شمسایی، ا. و حسنی، ا. ۱۳۸۶. مروری بر روش‌های کاهش میزان تبخیر از سطوح آزاد آبی در مناطق خشك و نیمه‌خشك. اولین همایش سازگاری با کم‌آبی. ماهنامه مهرآب، تهران، ایران.

فرزین، س. و علی‌زاده صنمی، ف. ۱۳۹۴. توپ سایه، تدبیری برای کاهش تبخیر آب مخازن سد. سومین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، کشاورزی و توسعه شهری. دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

کاویانپور، م. ر. کیانی، آ. و نوذری، ن. ۱۳۸۸. کاهش میزان تبخیر منابع آب با استفاده از الکل جوجوبا. هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران. دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

مرادی مزرعه نو، ح. ر. طالبی، م. ص. و حسن‌زاده، م. ۱۳۹۲. ارزیابی کاهش تبخیر از استخرهای ذخیره آب کشاورزی با استفاده از پوشش یونولیتی (مطالعه موردی: منطقه عقدا). اولین همایش ملی کاربرد علوم و فناوریهای نوین در کشاورزی و منابع طبیعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد، میبد، ایران.

نوذری، ن. و میری، م. ۱۳۹۳. مقایسه نانو پوشش‌های اکواتین و واترسیور برای کاهش تبخیر در منابع آب با پوشش با پایه الکل جوجوبا. همایش ملی راهکارهای پیش‌روی بحران آب در ایران و خاورمیانه. مرکز همایش‌های علمی همایش نگار، شیراز، ایران.

یاوری‌زاده، م.م. و عارف‌زاده، ع. ۱۳۹۳. روش‌های نوین در استفاده از پلیمرها برای کاهش تبخیر از مخازن آب. همایش ملی

راهکارهای پیش‌روی بحران آب در ایران و خاورمیانه. مرکز همایش‌های علمی همایش نگار، شیراز، ایران.

یزدان‌پرست، م. مساعدی، ا. خداشناس، س.ر. و گل‌کاریان، ع. ۱۳۹۵. تأثیر رسوب‌گذاری بر تبخیر از دریاچه سد کارده. ششمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه کردستان، کردستان، ایران.

Alvarez V. M. Baille A. Martinez J. M. and Real M. G. 2006. Effect of black polyethylene shade coverson the evaporation rate of agricultural reservoirs. Spanish Journal of Agricultural Research, 4(4): 280-288.

Barnes G.T. 2007. The potential for monolayers to reduce the evaporation of water from large water storages: a review. Journal of Agricultural water management, 95: 339-353.

Burston I.A. 2002. Conservation of water from open storages by minimizing evaporation. PhD Thesis. RMIT University. Melbourne, Victoria. Australia.

Cooley K. R. and Myers L. E. 1973. Evaporation reduction with reflection covers. Journal of Irrigation and drainage division, 99(IR3): 353-363.

Craig I. 2005. Loss of storage water due to evaporation - a literature review. Technical Report. University of Southern Queensland, National Centre for Engineering in Agriculture. Toowoomba. Australia.

Craig I. 2006. Evaporation Mitigation Technology (EMT) Manufactures Liaison Report. Technical Report. University of Southern Queensland, National Centre for Engineering in Agriculture. Toowoomba. Australia.

Desai A.C. Iyer T.K. Tople V.M. 1990. Use of water evaporation retardants for water conservation. Journal of Indian Water Works Assoc, 193–194.

Finn N. and Barnes S. 2007. The benefits of Shadecloth cover for potable water storag.Gale Pacific, East Gippsland Water, Supersan and CSIRO Textile & Fibre Technology. Belmont, Victoria.

Gibbings P. and Raine S. 2005. Evaporation of a hydrographic technique. Agricultural Water Management, 78 (2005): 209–221.

Hedestrand G. 1924. The influence of thin surface films on the evaporation of Water. Journal of Physical Chemistry, 28: 1-12.

Israelsen C. Earl Hansen. Vaughn E. 1963. Aerial Application of Evaporation Reducing Chemicals Development and Evaluation of Equipment and Techniques. USBR contract NO: 14-06-D_4387. prepared by Engineering Experiment station.

Jennison I. 2003. Methods for reducing evaporation from storages used for urban water supplies. Final Report. GHD Department of Natural Resources and Mines Queensland.

Katti S.S. Sansare S.D. 1970. Pressure-area isotherms, rates of spreading and equilibrium spreading pressures of n-alkoxypropanols and oxy butanols. Journal of Colloid Interface Science, 32(2): 361-366.

Khan M. A. and Issac V. C. 1990. Evaporation reduction in stock tanks for increasing water supplies. Journal of Hydrology, 119: 21-29.

Knights S. 2005. Reducing evaporation with chemical monolayer technology. Australian Cottongrower, 26(3): 32-33.

Miller D.R. Rosenberg N.J. and Bagley W.T. 1973. Soybean water use in the shelter of a slat-fence windbreak. Journal of Agricultural Meteorology, 11: 405-418.

Obrien R.N. 2006. Method for making a coated powder for reducing evaporative water loss. International Patent Application. WO 2006/012740 A1: 1-15.

Santafe M. R. Gisbert P. S. F. Romero F. J. S. Soler J. B. T. Gozalvez J. J. F. and Gisbert C. M. F. 2014. Implementation of a photovoltaic floating cover for irrigation reservoirs. Journal of Cleaner Productions, 66: 568-570 .

Skidmore E.L. and Hagan L.J. 1970. Evaporation in sheltered as influenced by windbreak porosity. Agricultural Meteorology, 7: 363-374.

Thoma A. F.1973. Model tests with thin sheets to reduce evaporation. Journal of Irrigation and drainage division, 99(IR2): 117 –131.

Van Eimern J. Karshon R. Razumova L.A. and Robertson G.W. 1964. Windbreaks and Shelterbelts. Secretariat of the World Meteorological Organization. University of Minnesota.

Wilson J. S. and Josiah S. J. 2004. Windbreak Design. Institute of Agriculture and Natural Resources. World Meteorol. Org Technical Note No: 59.