

نشریه فنی

راهکارهای کاهش تبخیر و جلوگیری از رشد جلبک در مخازن ذخیره آب

بهمن یارقلی و فرشید تاران



بسم الله الرحمن الرحيم

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نشریه فنی:

راهکارهای کاهش تبخیر و جلوگیری از رشد
جلبک در مخازن ذخیره آب

تهیه و تدوین:

بهمن یارقلی و فرشید تاران

اعضای هیئت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

سال انتشار:

۱۴۰۴



وزارت جهاد کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی



نوع نوشتار: نشریه فنی

عنوان نوشتار: راهکارهای کاهش تبخیر و جلوگیری از رشد جلبک در مخازن ذخیره آب

نگارندگان: بهمن یارقلی و فرشید تاران

ویراستار ادبی: محمدرضا داهی

صفحه آرا: شبنم جباری

طراح جلد: سمیه وطن دوست

ناشر: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

شمارگان: محدود

نوبت چاپ: اول

سال انتشار: ۱۴۰۴



مسئولیت صحت مطالب با نگارندگان است.

شماره ثبت ۶۷۴۶۸ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع رسانی کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به تاریخ ۱۴۰۴/۰۳/۱۳

مخاطبان نشریه:

متخصصان حوزه آب و محیط زیست؛ مدیران و سیاست‌گذاران؛ مهندسان و مشاوران؛
کشاورزان

هدف‌های آموزشی:

شما خوانندگان گرامی در این نشریه با:

- اهمیت مدیریت منابع آب و چالش‌های ناشی از تبخیر و رشد جلبک در مخازن ذخیره آب
- روش‌های کاهش تبخیر از سطح مخازن آب
- پوشش‌های فیزیکی و مزایای پوشش‌های حباب‌دار

آشنا خواهید شد.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۱	جلوگیری از هدررفت آب
۴	کاهش تبخیر
۶	جلوگیری از رشد جلبک
۸	راهکارهای کاهش تبخیر و جلوگیری از رشد جلبک
۹	انواع پوشش‌ها
۹	پوشش‌های شیمیایی
۹	پوشش‌های بیولوژیکی
۱۰	پوشش‌های فیزیکی
۱۰	الف) پوشش‌های شناور
۱۱	ب) پوشش‌های چند قسمتی
۱۳	پ) پوشش‌های معلق سایه‌انداز
۱۳	ت) بادشکن‌ها
۱۵	پوشش‌های فیزیکی حباب‌دار
۱۸	نکاتی در مورد روش اجرای پوشش‌های فیزیکی حباب‌دار
۱۸	مزایای اقتصادی استفاده از پوشش‌های فیزیکی حباب‌دار
۱۹	خلاصه
۲۰	پیوست
۲۲	فهرست منابع

مقدمه

آب یکی از منابع اصلی حیات بشر است و نقش مهمی در توسعه جوامع دارد، اما رشد سریع جمعیت و گسترش شهرها، توسعه صنعت، تغییر اقلیم و خشکسالی منجر به افت سطح سفره‌های آبی و نیز باعث افزایش تقاضای آب و تبدیل آن به یک منبع محدود شده است. با اینکه آب دو سوم سطح کره زمین را اشغال کرده است، به دلیل محدودیت‌های زمانی و مکانی و حجم کم آب شیرین و قابل دسترس، مدیریت و برنامه‌ریزی و اتخاذ تدابیر گوناگون برای استفاده بهینه از این منابع آب شیرین و آینده‌نگری در مورد آن ضروری است. مناطق بسیاری در سراسر جهان در دسترسی به منابع آب دچار مشکلات شدیدی هستند. برخی مناطق خاک خشک و آب شور دارند و برخی دیگر با مشکلات مربوط به انتقال آب روبه‌رو هستند. انتظار می‌رود با افزایش جمعیت و گسترش زمین‌های تحت آبیاری، تغییر الگوهای بارش و تداوم خشکسالی، رقابت بر سر منابع آب شیرین نیز افزایش یابد. افزایش دمای جهان موجب افزایش بیشتر این تقاضا و در نتیجه کمبود آب خواهد شد. بنابراین، برای مقابله با چالش‌های ناشی از کمبود آب و حصول اطمینان از پایداری منابع آب، اتخاذ راهکارهای مؤثر در کاهش هدررفت آب و بهینه‌سازی مصرف آن حیاتی خواهد بود.

جلوگیری از هدررفت آب

یکی از راهکارهای ذخیره آب و جلوگیری از هدررفت آن، ایجاد سد در مناطق مختلف است. دریاچه‌ها و مخازن منابع آب با ارزشی هستند که اهمیت زیادی در پرورش ماهی، ایجاد تاسیسات تفریحی آبی و حفظ اکوسیستم جانوران آبی دارند. این مخازن نقش مهمی در تولید نیروی برق و تامین آب آبیاری، صنایع و شهری دارند. مخازن برای کنترل سیلاب و مدیریت خشکسالی نیز استفاده می‌شوند، به طوری که رواناب ناشی از بارش را ذخیره می‌کنند تا در دوران خشکسالی استفاده شوند. اما مشکل اساسی، هدررفت آب در اثر تبخیر^۱

از سطح مخازن است که پدیده‌ای است مهم در چرخه هیدرولوژیکی و موجب از دست رفتن بخش زیادی از بارش‌ها، به‌ویژه در مناطق خشک، می‌گردد. تغییرات اقلیمی، به‌ویژه افزایش دما، باعث تشدید تبخیر و کمبود آب شده است. حدود ۱۱۷ میلیون دریاچه در جهان وجود دارد (ورپورتر^۱ و همکاران، ۲۰۱۴)، که تقریباً ۸۷ درصد آب شیرین زمین را در خود نگه می‌دارند (گلیک^۲، ۱۹۹۳) و تبخیر سالانه آنها محیط زیست و کیفیت و کمیت آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

مقدار آب تبخیر شده از مخازن آب با سطح نسبتاً وسیع، در مقایسه با حجم آب ذخیره شده، گاهی می‌تواند حتی بیشتر از مقدار آبی باشد که برای تولید محصول یا مصارف صنعتی و خانگی به‌کار می‌رود. تبخیر آب از سطح مخازن موجب می‌شود آبی که می‌تواند در بخش‌های کشاورزی و شهری استفاده گردد، اتلاف شود، و نیز موجب می‌شود غلظت املاح افزایش و در نتیجه کیفیت آب آبیاری کاهش یابد. بنابراین، تبخیر از سطح آب، به‌عنوان فرایندی دائمی در چرخه هیدرولوژیکی دارای اهمیت زیادی است و درک این پدیده و نقش آن در برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع آب ضروری است. این موضوع، به‌ویژه در ایران به‌عنوان کشوری با اقلیم خشک و نیمه‌خشک با بارندگی کم، اهمیت بیشتری دارد زیرا در مناطق خشک مقادیر زیادی آب از سطح مخازن آب و کانال‌ها در اثر تبخیر به هدر می‌رود و این مسئله، چالش بزرگی در راندمان ذخیره آب در مخازن به‌وجود می‌آورد. ایران از کشورهایی است که وضعیت نامناسبی از نظر منابع آبی دارد و دچار بحران آب است. ایران در سال‌های اخیر به‌دلیل بهره‌برداری نادرست و بی‌رویه از منابع آب و آلودگی این منابع در اثر ورود فاضلاب‌های صنعتی، به‌ویژه در بخش کشاورزی با مشکلات زیادی مواجه شده است.

کل آب موجود روی کره زمین ۱۳۶۰ میلیون کیلومتر مکعب است که تنها حدود ۳۳/۵

1. Verpoorter

2. Gleick

میلیون کیلومتر مکعب (حدود ۲/۵ درصد) آن شیرین است. کل آب تجدیدپذیر^۱ ایران حدود ۱۰۵ میلیارد متر مکعب (۰/۳ درصد آب شیرین دنیا) است، در حالی که جمعیت و وسعت زمین‌های ایران حدود ۱/۱ درصد از جمعیت و زمین‌های دنیا است. از طرفی، سرانه آب تجدیدپذیر در ایران حدود ۱۳۰۰ متر مکعب در سال است که در مقایسه با کشورهای دیگر بسیار کم است (جدول ۱). بارندگی در ایران با میانگین ۲۵۰ میلی‌متر در سال حدود یک-سوم میانگین بارندگی سالانه در جهان است، در حالی که میانگین تبخیر در ایران با ۲۱۰۰ میلی‌متر در سال حدود سه برابر میانگین تبخیر در جهان با ۷۰۰ میلی‌متر در سال است. این موضوع، نشان دهنده مشکل کمبود آب در ایران است. در مناطق نیمه‌خشک، که اکثر وسعت ایران را تشکیل می‌دهند، بیشتر بارندگی‌ها در زمستان اتفاق می‌افتد که برای مصرف کردن در مواقع دیگر سال باید آن را پشت سدها ذخیره کرد. ولی به دلیل خشکی هوا و دمای بالا، هدررفت این آب در اثر تبخیر زیاد است. بنابراین، در ایران باید از هدررفت آب جلوگیری شود که این کار از راه‌های مختلفی مانند افزایش راندمان آبیاری و کاهش تبخیر قابل اجراست.

جدول ۱- سرانه مصرف آب^۲ کشورهای مختلف (سپاس‌خواه، ۱۳۹۷)

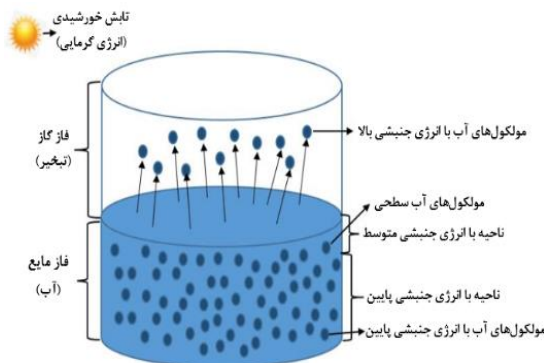
کشور	سرانه آب (متر مکعب در سال)	کشور	سرانه آب (متر مکعب در سال)
هند	۱۸۲۰	استرالیا	۱۸۱۶۲
برزیل	۴۰۸۵۵	فرانسه	۳۳۵۱
امریکا	۸۹۰۲	مکزیک	۳۶۱۴
چین	۲۲۱۵	ژاپن	۳۳۹۳
اسپانیا	۲۸۰۸	ایران	۱۳۰۰

1. Renewable water

2. Water consumption per capita

کاهش تبخیر

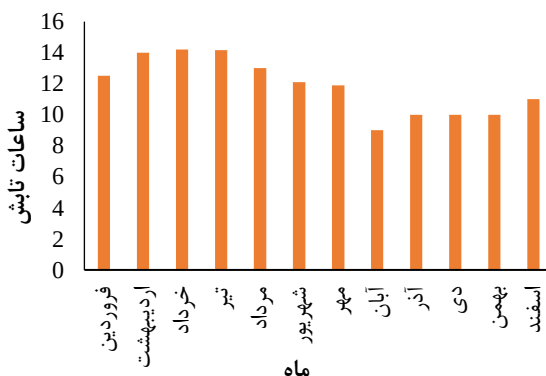
تبخیر عبارت است از انتقال آب از سطح مخزن و ورود آن به اتمسفر (شکل ۱). تبخیر وقتی رخ می‌دهد که تعداد مولکول‌هایی که از سطح آب خارج و به صورت فاز گاز وارد هوا می‌شوند، بیشتر از مولکول‌هایی باشد که دوباره از هوا وارد آب می‌شوند. شدت تبخیر با افزایش تابش خورشیدی و سرعت باد و دما و کاهش رطوبت افزایش می‌یابد. مقدار قابل توجهی از آب مخازن هر سال در اثر تبخیر از بین می‌رود و چرخه هیدرولوژیکی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. تبخیر یکی از پیچیده‌ترین پدیده‌های هیدرولوژیکی است که اندازه‌گیری آن به دلیل واکنش‌های سیستم زمین-گیاه-اتمسفر دشوار است.



شکل ۱- تبخیر از سطح آب (نگانچا^۱ و همکاران، ۲۰۲۰)

از راهکارهای پیشنهادی برای کاهش تبخیر از سطح سدها و استخرهای ذخیره‌سازی آب می‌توان به ذخیره‌کردن آب در مخازن سرپوشیده، توسعه مخازن زیرزمینی آب و طراحی سد در محلی اشاره کرد که دریاچه آن با حجم مناسب کمترین سطح را داشته باشد. با این حال، ذخیره‌سازی آب در مخازن سرپوشیده از نظر ساخت و نگهداری هزینه‌بر است و احداث سد تنها در مسیر رودخانه‌ها امکان‌پذیر است. وزارت نیرو در ایران در سال‌های اخیر

برای حل این بحران به احداث چندین سد دست زده است، اما این راه حل نتوانسته مشکل کم‌آبی کشور را رفع کند. بنابراین، می‌توان کاهش تلفات تبخیر از سطوح مخازن را روشی مهم در مدیریت و حفاظت منابع آب معرفی کرد که در بسیاری از موارد، اقتصادی‌تر از جمع‌آوری و ذخیره‌کردن همان مقدار آب است. برای این منظور، باید تاثیر پارامترهای موثر در میزان تبخیر مانند سرعت باد، پرتوهای خورشیدی و دمای سطح آب را کاهش داد، به‌ویژه تابش آفتاب که از جمله عوامل موثر در تبخیر شدید آب است. بر اساس شکل ۲ می‌توان دریافت که تابش آفتاب در ایران به‌طور متوسط ۱۲ ساعت در روز است. در حال حاضر آفتاب‌گیر بودن کشور از عوامل موثر در تشدید بحران کم‌آبی است. یکی از اصلی‌ترین روش‌ها برای کاهش تبخیر از سطح آب، به حداقل رساندن سطح آب در معرض اتمسفر از طریق ساخت مخازن عمیق با مساحت سطح کوچک است. با این حال، تنظیم ابعاد مخازن این طور نیست که همیشه امکان‌پذیر باشد.



شکل ۲- متوسط ساعات آفتابی در ماه‌های مختلف سال در ایران
(نعمت الهی و همکاران، ۱۳۹۴)

جلوگیری از رشد جلبک

جلبک‌ها از اجزای اصلی محیط‌های آبی هستند که با رشد بیش از حد خود همراه با علف‌های هرز آبی باعث بروز مشکلات متعددی در منابع آب می‌شوند. این موجودات از گیاهان میکروسکوپی تشکیل شده‌اند که در اثر تابش خورشید به سرعت رشد می‌کنند و توده‌های متراکمی را در سطح آب‌های سرشار از مواد غذایی به وجود می‌آورند. اسپور این موجودات دائماً با باد و جریان‌های آبی جابه‌جا و به منابع آبی دیگر وارد می‌شوند. جلبک‌ها باعث تداخل در سیستم‌های تصفیه آب می‌شوند و مصرف کلر را که یکی از راه‌های کنترل آنهاست افزایش می‌دهند و باعث افزایش ذرات جامد معلق^۱ (TSS)، اکسیژن مورد نیاز زیستی^۲ (BOD) و مشکلات ثانویه ناشی از رشد باکتری‌ها می‌شوند.

جلبک‌ها به شاخه‌های مختلفی دسته‌بندی می‌شوند که هریک ویژگی‌های خاص خود را دارد. این تقسیم‌بندی‌ها بر اساس ویژگی‌های مختلف از جمله رنگدانه‌ها، ساختار سلولی، و نوع تولید مثل است. هریک از این شاخه‌ها نقش مهمی در اکوسیستم‌های آبی و تولید اکسیژن دارد. هر شاخه به خانواده‌های مختلفی دسته‌بندی می‌شود.

Chlorophyta (جلبک‌های سبز): شامل جلبک‌های سبز تک‌سلولی و چندسلولی است و مشابه گیاهان خشکی هستند. اندازه سلول: ۱ تا ۱۰۰ میکرومتر.

Rhodophyta (جلبک‌های قرمز): عمدتاً در آب‌های شور زندگی می‌کنند. حاوی رنگدانه‌های فیکواریترین و فیکوکاینین هستند که به آنها رنگ قرمز می‌دهد. اندازه سلول: ۵ تا ۵۰۰ میکرومتر.

Phaeophyceae (جلبک‌های قهوه‌ای): بیشتر در آب‌های سرد و شور یافت می‌شوند. حاوی رنگدانه‌های فوکوزانتین هستند که به آنها رنگ قهوه‌ای می‌دهد. اندازه سلول: ۱۰ تا ۵۰۰ میکرومتر.

1. Total suspended solids
2. Biological oxygen demand
3. phylum

Diatoms (Bacillariophyta - دیاتومها): جلبک‌های تک‌سلولی با دیواره سلولی سیلیسی هستند. یکی از مهم‌ترین تولیدکنندگان اکسیژن در اکوسیستم‌های آبی محسوب می‌شوند. اندازه سلول: ۲ تا ۲۰۰ میکرومتر.

Dinoflagellates (Dinophyta - دینوفلاژله‌ها): معمولاً تک‌سلولی و دارای دو تاژک هستند. برخی از این گونه‌ها می‌توانند نورافشانی کنند. اندازه سلول: ۱۰ تا ۲۰۰۰ میکرومتر. Euglenophyta (یوگلنوفیتا): تک‌سلولی و معمولاً یک یا دو تاژک دارند. دارای ویژگی‌های مشترک با گیاهان و جانوران هستند. اندازه سلول: ۱۰ تا ۵۰۰ میکرومتر.

Chrysophyta (جلبک‌های طلایی): حاوی رنگدانه‌های کاروتنوئید هستند که به آنها رنگ طلایی می‌دهد، معمولاً تک‌سلولی و دارای دیواره سلولی سیلیسی یا کربناتی هستند. اندازه سلول: ۵ تا ۱۰۰ میکرومتر.

Charophyta (جلبک‌های سبز سنگی): شبیه به جلبک‌های سبز هستند ولی برخی ویژگی‌های خاص را دارند که آنها را به گیاهان خشکی نزدیک‌تر می‌کند. اندازه سلول: ۱۰ تا ۵۰۰ میکرومتر.

علاوه بر تبخیر، رشد جلبک‌ها^۱ روی سطح آب استخرها، مخازن و دریاچه‌ها مسئله دیگری است که به‌ویژه در بهار و تابستان می‌تواند موجب بروز مشکلات زیادی شود. جلبک‌ها اساس زنجیره غذایی در اکوسیستم آبی هستند و برای رشد کردن نیاز به نور و CO₂ دارند. بنابراین، شدت رشد آنها می‌تواند نشانگری مناسب برای دسترسی به نور، تبادل گاز، سلامت اکوسیستم و نوسان‌های دمایی آب باشد، اما جلبک‌ها می‌توانند پوشش متراکمی در محیط‌های آبی ایجاد کنند و تاثیر منفی بر منابع آب بگذارند. برای مثال، رشد آنها در استخرهایی که برای آبیاری استفاده می‌شود موجب انسداد پمپ‌ها و فیلترها و ایجاد بوی نامطبوع می‌شود. در نتیجه، کارایی سیستم‌های آبیاری و زهکشی و نیز تجهیزات خانگی و صنعتی در اثر این موجودات آبی کاهش می‌یابد و جریان آب در کانال‌ها محدود می‌شود

که موجب سرریز از کانال‌ها و کاهش شدت جریان می‌گردد. جلبک‌ها همچنین موجب رسوب مواد جامد معلق و در نتیجه مسدود شدن سازه‌های مهندسی می‌گردند. به‌همین دلیل، پژوهشگران همواره دنبال راهکارهایی جدید برای کاهش تبخیر و جلوگیری از رشد جلبک‌ها هستند.

راهکارهای کاهش تبخیر و جلوگیری از رشد جلبک

از مهم‌ترین راهکارها برای کاهش تبخیر از سطح آب مخازن و جلوگیری از رشد جلبک بر سطح آب، پوشاندن سطح آب با استفاده از روش‌های شیمیایی^۱، بیولوژیکی^۲ و فیزیکی^۳ است. پوشش‌ها مانعی در سطح آب ایجاد می‌کنند که موجب کاهش تبادل انرژی در سطح مشترک آب و اتمسفر و در نتیجه، کاهش تلفات آب در اثر تبخیر می‌شود و رشد جلبک‌ها را کاهش می‌دهد. بهترین طرح‌های کنترل تبخیر و رشد جلبک شامل ترکیبی از روش‌های شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی هستند، اما روش شیمیایی با اینکه پرکاربرد است اغلب هزینه‌بر نیز هست، کارایی مناسبی ندارد، محدودیت‌هایی را در استفاده از آب برای مصارف شرب و آبیاری ایجاد می‌کند و پیامدهای محیط زیستی دارد. این روش‌ها علاوه بر جلبک‌ها موجب نابودی گیاهان و دیگر موجودات زنده موجود در آب می‌شوند و میزان اکسیژن آب را کاهش می‌دهند. به‌طور کلی، پوشش‌های بیولوژیکی و شیمیایی، هزینه پائین‌تر، بازدهی و ماندگاری کمتری نسبت به پوشش‌های فیزیکی دارند. استفاده از پوشش‌های فیزیکی در مخازن هنوز کاربرد فراوانی ندارد، اما با توجه به بحران آب و کمیاب شدن منابع آبی، انتظار می‌رود علاقه‌مندی به این روش در آینده گسترش یابد.

-
1. Chemical
 2. Biological
 3. Physical
 4. Cover

انواع پوشش‌ها

پوشش‌های مورد استفاده بر سطح آب مخازن برای کاهش تبخیر و جلوگیری از رشد جلبک بر سطح آب، به سه دسته تقسیم می‌شوند:

پوشش‌های شیمیایی

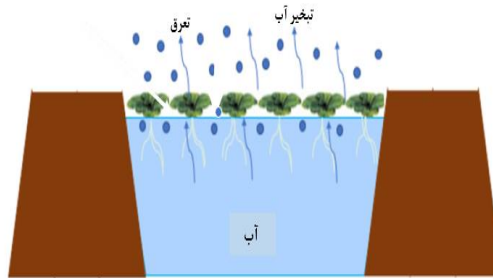
در روش شیمیایی معمولاً از یک ماده تک‌لایه^۱ حاوی ترکیبات شیمیایی به عنوان پوشش بر سطح آب استفاده می‌گردد. مطالعات نشان داده‌اند که این روش می‌تواند تا ۶۰ درصد تبخیر را کاهش دهد (بارنز^۲، ۱۹۹۳). این پوشش‌ها در مقیاس کوچک به صورت دستی و در مقیاس بزرگ با دستگاه اجرا می‌شود. معمولاً این پوشش‌ها برای مخازن بزرگ‌تر از ۱۰ هکتار و نیز مخازنی مناسب هستند که در بخشی از سال آب ندارند (شمسایی و حسنی، ۱۳۸۶). مواد تک‌لایه قابلیت پخش‌شوندگی را بر سطح آب دارند، یعنی در ابعاد مولکولی، در یک جهت جاذب آب و در جهت دیگر دافع آب هستند (انصاری فر و خادم آذریان، ۱۳۹۳). از آن‌جا که این مواد، خود قابل تبخیر شدن هستند، باید هر یک تا چهار روز بر سطح آب اعمال شوند (شرایعی و حقایقی مقدم، ۱۳۹۹). در روش شیمیایی می‌توان از امولسیون‌ها و ترکیبی از الکل‌ها نیز استفاده کرد. این مواد با استفاده از ماشین‌های آتش‌نشانی یا روش دستی قابلیت به‌کارگیری دارند. جنبه منفی این مواد آن است که ممکن است موجب خارش پوست و چشم و ناراحتی‌های تنفسی شوند.

پوشش‌های بیولوژیکی

در روش بیولوژیکی، معمولاً از گیاهان آبی استفاده می‌شود. در اثر استفاده از پوشش‌های بیولوژیکی، واکنش بین هوا و سطح آب، تابش خورشیدی به سطح آب و در نتیجه تبخیر کاهش می‌یابد. بقایای مواد آلی، برگ‌های برخی درختان و برگ‌های شناور گیاهانی

1. Monolayer
2. Barnes

مانند زنبق آبی، عدسک آبی و خزه، نمونه‌هایی از این نوع پوشش‌ها هستند (شکل ۳).



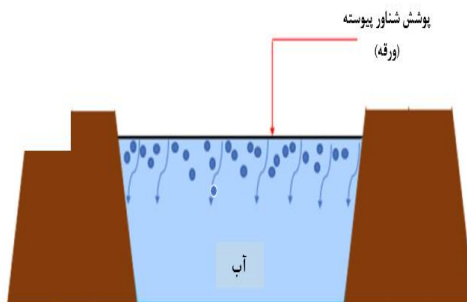
شکل ۳- گیاهان شناور^۱ بر سطح آب به عنوان پوشش (عبدالله و همکاران، ۲۰۲۱)

پوشش‌های فیزیکی

روش‌های فیزیکی انواع مختلفی دارند که در آنها سطح آب با استفاده از پوشش‌هایی مانند ورقه‌های پلاستیکی، توپ‌های پلاستیکی و غیره پوشش داده می‌شود تا مانع تبخیر و رشد جلبک شوند. پوشش‌های فیزیکی، تابش خورشیدی ورودی را منعکس و به‌عنوان مانعی فیزیکی در مقابل تبخیر آب عمل می‌کنند.

الف) پوشش‌های شناور

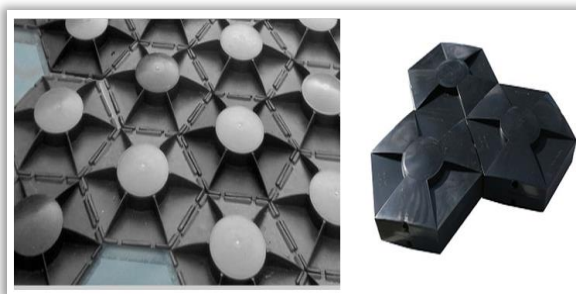
این پوشش‌ها به صورت لایه‌ای نفوذناپذیر روی تمام سطح آب شناور هستند و میزان تابش خورشیدی را بر سطح آب و تماس هوا را با سطح آب کاهش می‌دهند (شکل ۴). این پوشش‌ها معمولاً از موادی مانند پلی اتیلن، موم و پلی استر ساخته می‌شوند (شمسایی و حسنی، ۱۳۸۶). یکی از مزایای پوشش‌های فیزیکی شناور این است که قابل نصب دوباره و بازچینی بعد از تغییرات سطح آب یا وزش باد هستند. در واقع، این پوشش‌ها با نیروی شناوری آب نگه داشته می‌شوند و هزینه نصب پایینی دارند.



شکل ۴- پوشش فیزیکی شناور بر سطح آب (عبدالله و همکاران، ۲۰۲۱)

ب) پوشش‌های چند قسمتی^۱

این پوشش‌ها مشابه انواع شناور هستند، با این تفاوت که از چند بخش مجزای شناور تشکیل شده‌اند که با اتصال آنها به یکدیگر، یک پوشش بزرگ‌تر ایجاد می‌شود. این پوشش‌ها معمولاً به شکل شش‌وجهی، دایره‌ای یا مستطیلی‌اند (شکل ۵) و این طور نیست که همیشه بتوانند سطح آب را پوشش دهند (شکل ۶)، از این رو نسبت به پوشش‌های شناور بازدهی کمتری دارند.



(الف)

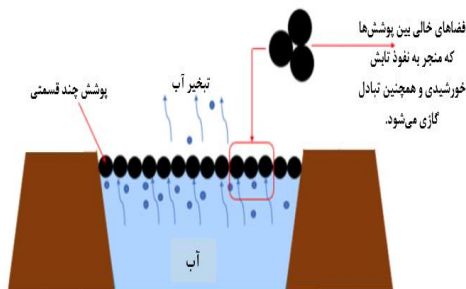


(ب)



(پ)

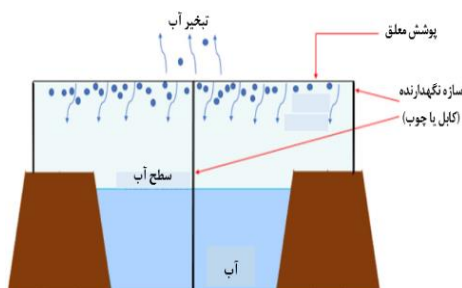
شکل ۵- پوشش‌های فیزیکی چند قسمتی؛ الف) شش وجهی، ب) دایره‌ای، و پ) مستطیلی (مارتینز-اسپینوسا^۱، ۲۰۲۱)



شکل ۶- پوشش فیزیکی چند قسمتی بر سطح آب (عبدالله و همکاران، ۲۰۲۱)

پ) پوشش‌های معلق سایه‌انداز^۱

این پوشش‌ها با کابل یا چوب روی سطح آب معلق می‌شوند و سایه می‌اندازند (شکل ۷). در اثر استفاده از این پوشش‌ها، سرعت باد و تابش خورشیدی ورودی به سطح آب کاهش می‌یابد و رطوبت هوا بین پوشش و سطح آب محبوس می‌شود. این فاکتورها همگی بر میزان تبخیر مؤثر هستند. حداکثر اندازه مناسب مخزن برای استفاده از این پوشش‌ها ۵ هکتار (مخازن کوچک) است و این روش، بازدهی دو روش قبل را ندارد (شمسایی و حسنی، ۱۳۸۶).

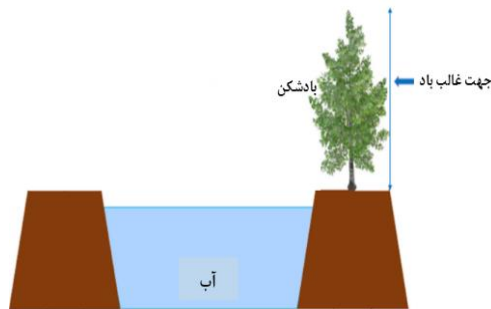


شکل ۷- پوشش فیزیکی معلق (عبدالله و همکاران، ۲۰۲۱)

ت) بادشکن‌ها^۲

بادشکن‌ها شامل دیوارهای بلند یا درختانی هستند که در اطراف مخزن ساخته و کاشته می‌شوند (شکل ۸). در صورت امکان بهتر است مخزن آب در محلی قرار گیرد که از عوارض طبیعی مانند تپه‌ها برای کاهش سرعت باد در اطراف آن بهره‌گیری شود. باید توجه داشت که درختان زیاد نزدیک به مخزن آب کاشته نشوند تا ریشه آنها آب مخزن را جذب نکند. معمولاً از درختانی مانند کاج، سرو، اقاچیا و اکالیپتوس به عنوان بادشکن استفاده می‌شود (ویلسون و جوسیا، ۲۰۰۴).

1. Shade structures
2. Windbreakers
3. Wilson and Josiah



شکل ۸- بادشکن (عبدالله و همکاران، ۲۰۲۱)

علاوه بر استفاده از پوشش‌های شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی، نصب سیستم‌های دومانظوره فتوولتائیک^۱ (PV) نیز یکی از روش‌هایی است که علاوه بر کاهش تبخیر آب و جلوگیری از رشد جلبک‌ها برای تولید انرژی نیز مناسب هستند. در این روش، پنل‌ها بر سطح آب قرار می‌گیرند، نور خورشید را جذب می‌کنند و از نفوذ آن به سطح آب جلوگیری می‌کنند و به این ترتیب باعث کاهش تبخیر می‌شوند. شکل ۹ بزرگ‌ترین سیستم PV دنیا را در هاینان چین نشان می‌دهد. یکی از معایب این روش که مانع از توسعه و فراگیر شدن آن می‌شود، هزینه‌های بستر پنل‌ها، خنک‌سازی، ردیابی و سیستم رفלקتور و نیاز به تیم متخصص برای نگهداری و بهره‌برداری از آن است. PVهای شناور، قابل نصب بر سطح آب دریاچه‌ها، مخازن، استخرهای پرورش ماهی و کانال‌ها هستند و با جلوگیری از رسیدن تابش خورشیدی به سطح آب و کاهش جریان هوا باعث بهبود کیفیت آب نیز می‌شوند. برخی از PVها روی زمین نصب می‌شوند و بسته به نوع پنل‌ها و شرایط اقلیمی، ۴-۱۸ درصد انرژی خورشیدی جذب شده را به الکتریسیته تبدیل می‌کنند. بقیه این انرژی خورشیدی به گرما تبدیل می‌شود که دمای PV را به‌طور قابل توجهی افزایش می‌دهد. PVهای نصب شده روی آب، به دلیل اثر خنک‌کنندگی آب، دمای محصور بسیار پایین‌تری

1. Photovoltaic

دارند. به هر حال، هنوز روشن نیست که این کاهش دریافت تابش خورشیدی توسط سطح آب چه تاثیرات دیگری در زندگی آبی دارد.



شکل ۹- بزرگ‌ترین سیستم خورشیدی شناور دنیا؛ هاینان، چین
(گزارش شده توسط عبید^۱ و همکاران (۲۰۱۸))

مطالعات نشان می‌دهند پوشش‌های فیزیکی، در مقایسه با پوشش‌های شیمیایی و بیولوژیکی، بازدهی و ماندگاری بیشتری دارند. با اینکه هزینه‌های زیاد و نیاز به تیم متخصص برای نصب، بهره‌برداری و نگهداری فتوولتائیک‌ها معمولاً مانع توسعه آنها می‌شود، پوشش‌های فیزیکی برای کاهش تبخیر از سطح مخازن آب و کاهش رشد جلبک در آنها در اولویت هستند.

پوشش‌های فیزیکی حباب‌دار

پوشش‌های شناور حباب‌دار از جنس پلی‌اتیلن هستند. پلی‌اتیلن به دلیل ویژگی‌های مقاومتی که دارد و سبک است، گزینه‌ای عالی برای ساخت این نوع پوشش‌هاست. این ماده

1. Abid

کمک می‌کند پوشش‌ها دوام بیشتری داشته باشند و هزینه تولید را نیز کاهش می‌دهد. پوشش حباب‌دار در استخرها با ایجاد لایه‌ای از حباب‌های هوا در روی آب به‌عنوان یک لایه عایق عمل می‌کند و از تبخیر آب و انتقال گرمای نامناسب جلوگیری خواهد کرد. در واقع، پوشش حباب‌دار با ایجاد مانعی در سطح آب باعث کاهش جذب تابش توسط آب می‌شود و با خنک نگه‌داشتن آب، اثر دو عامل تابش و دمای هوا و در نتیجه، تبخیر را کاهش می‌دهد. این نوع پوشش، به‌صورت لایه‌ای محافظ از ورود ذرات معلق، برگ‌ها، حشرات و دیگر آلاینده‌ها به داخل آب استخر جلوگیری می‌کند. این موضوع باعث حفظ کیفیت آب و کاهش نیاز به تصفیه و پاک‌سازی مکرر آب می‌شود. جلوگیری از رشد جلبک‌ها در اثر کاهش تابش خورشیدی به سطح آب، مزیت دیگر استفاده از این پوشش‌هاست. در شکل ۱۰ تصویری از پوشش‌های حباب‌دار دیده می‌شود. این نوع پوشش، در مقایسه با پوشش‌های فیزیکی دیگر، دارای ضخامت کمتر و در نتیجه وزن پایین‌تر است؛ جوش‌پذیری و اتصال آن راحت‌تر است؛ به‌دلیل افزودنی‌ها و مواد اولیه، ماندگاری بیشتری دارد؛ به‌دلیل مواد ضد UV که به آن افزوده شده، طول عمر بیشتری دارد؛ و تفاوت در اجرا و نصب آن به‌نحوی است که پوشش ۱۰۰ درصدی سطح آب را تامین می‌کند. شکل ۱۱ تصاویری از روکش حباب‌دار اجرا شده در شهرهای مختلف ایران را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- ورقه (پوشش) حباب‌دار



(ب) صنایع شیمیایی سینا شیراز



(الف) مجموعه فولاد یزد



(ت) استخر کشاورزی در یساول (اراک)



(پ) شهرک گلخانه‌ای کردکوی (گرگان)



(ج) شرکت آرتا انرژی اردبیل



(ث) استخر کشاورزی در دماوند



(ح) کشت و صنعت قارچ ملارد



(چ) کشت و صنعت فکا اصفهان

شکل ۱۱- اجرای پوشش حباب‌دار در برخی مناطق ایران

نکاتی در مورد روش اجرای پوشش‌های فیزیکی حباب‌دار

رول‌های ورقه حباب‌دار معمولاً ۲/۵ متر عرض و ۴۰ متر طول دارند. در فرآیند نصب، تعداد محدودی از رول‌ها در دماهای زیر صفر پهن می‌شوند تا جوشکاری به‌طور موثری اجرا شود. برای جلوگیری از آسیب‌دیدگی‌های احتمالی، هیچ ماشین‌آلاتی نباید از روی ورقه‌های حباب‌دار عبور کند. عملیات نصب باید به‌گونه‌ای پیش رود که کمترین چروک در ورقه‌ها به‌وجود آید. برای این کار، جوش دادن ورقه‌ها باید زمانی باشد که دماهای آنها با هم برابر است. سطح زیرین ورقه‌ها در محل جوشکاری باید کاملاً صاف و بدون برآمدگی و فرورفتگی باشد تا آسیبی به روکش وارد نشود. به‌اندازه ۱۰ سانتی‌متر از لبه عرضی هر ورقه به‌صورت صاف و بدون حباب تولید می‌شود تا امکان اتصال آنها با دستگاه‌های جوش اتوماتیک فراهم باشد. علاوه بر این، از نوارهای حرارتی برای اتصال ورقه‌ها به یکدیگر استفاده می‌شود. درپچه‌های عبور باران به‌قطر ۱۰ سانتی‌متر و به فاصله‌های حدود ۳ متر در امتداد خطوط جوش ایجاد می‌شوند تا از تجمع آب جلوگیری شود. جوشکاری به‌صورت پیوسته و با حداقل همپوشانی ۱۰ سانتی‌متری است. شکل ۱۲ تصاویری از استخرهای پوشش‌دار همراه با نصب پوشش‌ها را نشان می‌دهد. در پیوست، روش اجرای پوشش‌های حباب‌دار به‌تفصیل توضیح داده شده است.

مزایای اقتصادی استفاده از پوشش‌های فیزیکی حباب‌دار

استفاده از پوشش‌های حباب‌دار می‌تواند به‌دلایل مختلف از نظر اقتصادی بسیار باصرفه باشد:

- ۱- مدیریت و کاهش تبخیر، به‌ویژه در فصل‌های گرم و هم‌زمان با پیک نیاز آبی محصولات زراعی.
- ۲- جلوگیری از تبخیر و، به‌طور غیرمستقیم، پیشگیری از شور شدن آب به‌واسطه کاهش تبخیر.
- ۳- جلوگیری از ورود ذرات، غبار و آلودگی‌های فیزیکی به آب ذخیره شده.

۴- کارایی بالا در جلوگیری از رشد جلبک و، به تبع آن، کاهش گرفتگی تاسیسات و اجزا و سیستم‌های مدرن آبیاری.

۵- عمر بالا و امکان استفاده از این پوشش‌ها با ماندگاری چند سال.

۶- راحت بودن عملیات اجرا و نگهداری و پایین بودن هزینه.

خلاصه

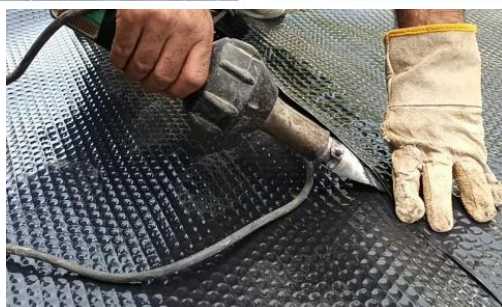
مدیریت منابع آب، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران و با توجه به بحران کم‌آبی، چالشی اساسی است که با افزایش تبخیر از سطح مخازن و رشد جلبک‌های زیان‌بار پیچیده‌تر می‌شود. این دو عامل نه‌تنها موجب هدررفت حجم قابل‌توجهی از منابع آبی می‌شوند، بلکه کیفیت آب را کاهش و هزینه‌های تصفیه و بهره‌برداری از منابع را افزایش می‌دهند. راهکارهای مختلفی برای کاهش تبخیر و کنترل رشد جلبک‌ها در پیش‌گرفته می‌شود که در این میان استفاده از پوشش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی گزینه‌های اصلی هستند. یافته‌ها نشان می‌دهند که در میان این پوشش‌ها، پوشش‌های فیزیکی به‌دلیل بازدهی بالا، ماندگاری طولانی‌تر و پیامدهای زیست‌محیطی کمتر، برتری قابل‌توجهی نسبت به روش‌های شیمیایی و بیولوژیکی دارند. پوشش‌های حباب‌دار پلی‌اتیلنی، به‌ویژه، با ایجاد لایه‌ای عایق روی سطح آب، میزان تبخیر را کاهش می‌دهند و مانع از رشد جلبک‌ها می‌شوند. این پوشش‌ها علاوه بر کاهش مستقیم تبخیر، موجب حفظ کیفیت آب، جلوگیری از ورود ذرات و آلاینده‌ها، و کاهش نیاز به تصفیه می‌شوند. استفاده از آنها می‌تواند هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری از مخازن را کاهش و کارایی سیستم‌های آبیاری و انتقال آب را افزایش دهد. پوشش‌های حباب‌دار، به‌دلیل باصرفه‌بودن، سهولت اجرا و پایداری بالا، یکی از مناسب‌ترین گزینه‌ها برای مدیریت منابع آب محسوب می‌شوند. به‌کارگیری این فناوری‌ها، در کنار دیگر تمهیدات مدیریتی مانند بهینه‌سازی الگوی مصرف و افزایش راندمان آبیاری، می‌تواند نقش مهمی در تامین پایدار منابع آبی و مقابله با چالش‌های ناشی از تغییرات اقلیمی داشته باشد.

پیوست

دستورالعمل نصب پوشش‌های حباب‌دار شناور بر روی آب استخرها

- رول‌های پوشش حباب‌دار شناور در ابعاد ۲/۵ متر عرض و ۴۰ متر طول تولید می‌شوند.
- تعداد رول‌هایی که پهن می‌شوند نباید بیش از توان تیم نصاب برای جوش‌دادن در همان روز باشد.
- هیچ ماشین‌آلاتی نباید از روی محصول پوشش حباب‌دار شناور تردد کند.
- فرآیند نصب باید به گونه‌ای باشد که کمترین چروک در پوشش به‌وجود آید. برای این کار باید تلاش کرد تا ورقه‌ها در هنگام هم‌دم شدن جوش داده شوند.
- سطح زیرین رول‌ها در محل عملیات جوش باید صاف و بدون برآمدگی و فرورفتگی باشد تا آسیبی به پوشش وارد نگردد.
- ده سانتی‌متر از لبه عرضی هر رول باید صاف و بدون حباب تولید شده باشد تا امکان اتصال رول‌ها با دستگاه‌های جوش اتوماتیک (مانند کامت) فراهم باشد. می‌توان از نوارهای حرارتی نیز برای اتصال پوشش‌ها به یکدیگر استفاده کرد.
- سطح پوشش باید فاقد پارگی، زدگی یا سوختگی باشد.
- سطح زیر پوشش باید روی سطحی صاف و عاری از اشیای تیز و برنده پهن شود.
- در هنگام پهن کردن، سطح برجسته پوشش‌ها به سمت آب قرار می‌گیرد.
- در سطح پوشش باید دریچه‌های عبور باران تعبیه شود. این دریچه‌ها به صورت دایره‌هایی با قطر ۱۰ سانتی‌متر به فاصله‌های حدود ۳ متر در امتداد خطوط جوش ایجاد می‌شوند.
- پیش از جوشکاری، سطح جوش باید کاملاً تمیز و عاری از آلودگی و گرد و غبار باشد.
- ورقه‌ها باید با دما و سرعت مناسب جوشکاری شوند تا ورق دچار سوختگی نشود و مقاومت کافی داشته باشد.
- توصیه می‌شود جوشکاری ورقه‌ها به یکدیگر به صورت پیوسته پیش رود.
- جوشکاری ورقه‌ها باید با رعایت حداقل همپوشانی ۱۰ سانتی‌متر صورت پذیرد.

- کلیه جوش‌ها پس از پایان کار باید بازرسی چشمی شوند.
در شکل ۱۲ تصاویری از نصب این پوشش‌ها مشاهده می‌شود.



شکل ۱۲- نصب پوشش‌های حباب‌دار

فهرست منابع

انصاری فر، م. و خادم آذریان، ن. ۱۳۹۳. تکنولوژی جدید برای کاهش میزان تبخیر منابع آبی بزرگ. هفتمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، ایران.

سپاس خواه، ع.ر. ۱۳۹۷. کاهش تبخیر از مخزن آب سدها. مجله پژوهش های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۳ (۱): ۱۳-۲۶.

شرایعی، م. و حقایقی مقدم، س.ا. ۱۳۹۹. مروری بر روش های کاهش تبخیر از سطح آزاد آب و معرفی شیوه های مناسب کاربردی و اقتصادی. نشریه آب و توسعه پایدار، ۷ (۲): ۶۲-۵۳.

شمسایی، ا. و حسنی، ا. ۱۳۸۶. مروری بر روش های کاهش میزان تبخیر از سطوح آزاد آبی در مناطق خشک و نیمه خشک. اولین همایش سازگاری با کم آبی، تهران، ایران.
نعمت الهی، م.ر.، آقایی فروشانی، م. و بینازاده، م. ۱۳۹۴. سلول های خورشیدی شناور بر آب: راهی برای حل مشکل تبخیر آب از سطح سدها و استخرهای ذخیره سازی آب و تولید هم زمان برق خورشیدی. ششمین کنفرانس آب، پساب و پسماند، تهران، ایران.

Abdallah, A.M., Parihar, C.M., Patra, S., Nayak, H.S., Saharawat, Y.S., Singh, U., Parihar, M.D., Kakraliya, S.K., Nassar, I.N., Ugolini, F., Zohir, W.F. and Shalaby, M.M. 2021. Critical evaluation of functional aspects of evaporation barriers through environmental and economics lens for evaporation suppression- A review on milestones from improved technologies. Science of the Total Environment, 788: 147800.

Abid, M., Abid, Z., Sagin, J., Murtaza, R., Sarbassov, D. and Shabbir, M. 2018. Prospects of floating photovoltaic technology and its implementation in Central and South

- Asian Countries. International Journal of Environmental Science and Technology, 16 (3): 1755-1762.
- Barnes, G. 1993. Optimum conditions for evaporation control by monolayers. Journal of Hydrology, 145 (1-2): 165-173.
- Gleick, H.P. 1993. Water and conflict: fresh water resources and international security. International Security, 18 (1): 79-112.
- Martinez-Espinosa, R.M. 2021. Controversy over the Use of “Shade Covers” to Avoid Water Evaporation in Water Reservoirs. Sustainability, 13 (20): 11234.
- Ngancha, P.B., Kusakana, K. and Markus, E.D. 2020. Energy Management Methodology for Sustainable Water Development and Servicing, Considering the POET Based Concept. Journal of Physics: Conference Serie, 1577: 012043.
- Saggai, S. and Bachi, O.E.K. 2018. Evaporation reduction from water reservoirs in arid lands using monolayers: Algerian experience. Water Resources, 45 (2): 280-288.
- Verpoorter, C., Kutser, T., Seekell, D.A. and Tranvik, L.J. 2014. A global inventory of lakes based on high-resolution satellite imagery. Geophysical Research Letters, 41 (18): 6396-6402.
- Wilson, J.S. and Josiah, S.J. 2004. Windbreak Design. Institute of Agriculture and Natural Resources, World Meteorological Organization, Technical Note No. 59.