مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی جلد ۷ شماره ۲ صفحه‌های ۱۳۹ تا ۱۵۸ (۱۴۰۱)

واکاوی اسنادی فناوری‌های نوین آبیاری و آب کشاورزی در جهان و امکان بومی‌سازی آن‌ها در ایران[1]

جواد بذرافشان[2]، علی خلیلی، شاهرخ زندپارسا، علی‌رضا سپاس‌خواه، امین علیزاده و جواد فرهودی[3]

چکیده

مدیریت نوآورانه و پایدار آب کشاورزی اهمیت زیادی در برنامه‌های سازگاری با تغییرپذیری و تغییر اقلیم دارد و پیش‌بینی می‌شود که فناوری‌های نوظهور آبیاری همراه با فناوری‌های بوم‌سازگار نقشی کلیدی در امنیت آبی و غذایی آینده جهان داشته باشند. پژوهش حاضر با هدف معرفی و آسیب‌شناسی فناوری‌های نوین آبیاری و مدیریت آب کشاورزی در جهان و امکان بومی‌سازی آن‌ها در ایران انجام‌شده است. در ابتدا، روش‌ها و فناوری‌های پیشرفته و نوین آبیاری و آب کشاورزی در جهان معرفی شده است. این روش‌ها در هفت گروهِ فناوری‌های هوشمند، نانو، گلخانه، ابرجاذب‌ها، بارورسازی ابرها، بهره‌برداری از آب‌های ژرف، و شیرین‌کردن آب دریا دسته‌بندی شدند. پس از آن، کاربرد فناوری‌های یاد شده از نظر اقتصادی، میزان مصرف آب و انرژی و برخی دیدگاه‌های محیط‌زیستی (مانند سمیّت و انتشار گازهای گلخانه‌ای) آسیب‌شناسی شده است. در پایان، وضع کنونی فناوری‌های نوین آبیاری و آب کشاورزی در ایران بررسی و نیاز به بومی‌سازی آن‌ها با توجه به پتانسیل‌های موجود کشور ارائه شده است. واکاوی بررسی‌های اسنادی نشان می‌دهد که ایران از نظر فناوری‌های هوشمند مدیریت آب کشاورزی و فناوری نانو در ابتدای راه قرار دارد و برای استفاده از این فناوری‌ها به پژوهش‌های بیشتری نیاز است. با این حال، استفاده از مدل‌های رشد و عملکرد محصول و برنامه‌های کاربردی گوشی‌های تلفن همراه و اجرای آبیاری موضعی به‌عنوان راه حل قابل دسترس برای مدیریت آبیاری و آب کشاورزی پیشنهاد شد. برای ضدعفونی‌کردن آب در ناحیه‌های دورافتاده، استفاده از نانوذره‌ها نقره و برای ناحیه¬هایی که مشکل تأمین برق دارند، بهره-گیری از تیتانیم دی‌اکسید پیشنهاد شد. فناوری کشت عمودی، با توجه به کفایت زمین در کشور و دشواری‌های تأمین برق مورد نیاز و آلایندگی هوا در وضع کنونی پیشنهاد نشد. فناوری نور مصنوعی و صفحه‌های خورشیدی در ایران بومی‌سازی شده است و برای توسعه کاربرد در گلخانه‌ها نیاز به پژوهش‌های بیشتری دارد. فناوری‌های بارورسازی ابرها، آب‌های ژرف و شیرین‌کردن آب دریا در ایران بومی شده‌اند. بارورسازی ابرها به صورت مقطعی قادر به تسکین خشکسالی‌ها و تقویت آبخوان‌ها نیست. استفاده از فناوری آب‌های ژرف با توجه به پیامدهای محیط‌زیستی در کشور توصیه نمی‌شود. کاربرد روش‌های شیرین‌کردن آب دریا فقط برای شرب و صنعت (نه کشاورزی) با صرفه است.

واژه‌های کلیدی: آب ژرف، آبیاری موضعی، بارور سازی ابرها، پیامد محیط‌زیستی، شیرین‌سازی آب دریا.

۱- تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۳۰

۲- نویسنده مسئول، پست الکترونیک:jbazr@ut.ac.ir

۳- به ترتیب، عضو مدعو فرهنگستان علوم ج.ا.ایران. و دانشیار دانشگاه تهران، عضو وابسته و استاد دانشگاه تهران، عضو مدعو و استاد دانشگاه شیراز، عضو پیوسته و استاد دانشگاه شیراز، عضو پیوسته و استاد دانشگاه فردوسی مشهد و عضو مدعو و استاد دانشگاه تهران.

مقدمه

در سال‌های گذشته، نوآوری در فناوری‌های کشاورزی رشد چشمگیری داشته است. فناوری‌های نوین در کشاورزی با هدف‌های گوناگونی توسعه یافته‌اند مانند کاهش مصرف آب، کاهش مصرف عنصرهای غذایی گیاه و کود شیمیایی، کاهش اثرهای منفی کاربرد آب و عنصرهای شیمیایی بر محیط زیست، کاهش انتقال ترکیب‌های شیمیایی به آب‌های سطحی و زیرزمینی، راندمان بالاتر کاربرد آب و عنصرهای شیمیایی و کاهش هزینه‌های تولید، توسعه یافته‌اند. در بین موردهای یاد شده، فناوری‌های نوین و پیشرفته آبیاری به دلیل مسئله‌هایی مانند رشد جمعیت، خشکسالی و کمبود آب، جایگاه ویژه‌ای دارند (۲۸). مدیریت نوآورانه و پایدار آب کشاورزی اهمیت زیادی در برنامه‌های سازگاری با تغییرپذیری و تغییر اقلیم دارد و پیش‌بینی می‌شود که فناوری‌های نوظهور آبیاری همراه با فناوری‌های بوم‌سازگار نقشی کلیدی در امنیت آبی و غذایی آینده جهان داشته باشند (۴۹). روش‌ها و فناوری‌ها نوین آبیاری در کشاورزی هدف‌هایی مانند افزایش و بهبود تامین آب، افزایش بهره‌وری مصرف آب کشاورزی، و مدیریت تقاضای آب و نگهداری سامانه‌های آبیاری را دنبال می‌کنند (۴۹). امروزه با توجه به محدودیت افزایش و دسترسی به منبع‌های آب‌های شیرین در جهان، فناوری‌های نوین آبیاری بیشتر با هدف افزایش بهره‌وری آب آبیاری و مدیریت و نظارت هوشمند بر آب کشاورزی ابداع شده‌اند.

این پژوهش با هدف معرفی و آسیب‌شناسی فناوری‌های نوین آبیاری و مدیریت آب کشاورزی در جهان و امکان بومی‌سازی این فناوری‌ها در ایران اجراشده است. در بخش بعدی، روش‌ها و فناوری‌های نوین آب و آبیاری در کشاورزی در هفت دسته طبقه‌بندی و مرور شده‌اند. پس از آن، آسیب‌شناسی این فناوری‌ها بررسی شده است. در بخش چهارم، امکان‌ها و راهکارهای بومی‌سازی این فناوری‌ها در ایران بررسی شده‌اند و در پایان جمع‌بندی ارائه شده است. این پژوهش به شیوه کتابخانه‌ای و با بررسی نزدیک به شصت سند (مقاله، گزارش پژوهشی و خبری) به انجام رسیده است.

مروری بر فناوری‌های نوین آب و آبیاری در جهان

فناوری‌های هوشمند

چالش‌های گوناگونی وجود دارند مانند بهره‌گیری دوباره از آب، پایش آلودگی آب، و آبیاری دقیق محصول در مزرعه که فناوری‌های هوشمند راه‌حل‌های متنوعی برای آن‌ها ارائه می‌دهند. سامانه‌های سایبری- فیزیکی (CPS)، شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSN)، اینترنت اشیا (IoT) و پلتفرم‌های ابری (CP) اصلی‌ترین نمونه‌ها یا الگوواره‌های[1]پژوهشی هستند که از آن‌ها در فناوری‌های هوشمند استفاده می‌شود. این پارادایم‌ها به‌عنوان ابزاری برای ایجاد سامانه خودکار و یکپارچه وارد صنعت کشاورزی شده‌اند و به حسگرهایی متکی هستند که می‌توانند اندازه‌گیری کمّی از وضعیت خاک، رشد محصول، تغییر وضع هوا و دیگر داده‌های مفید فراهم کنند. این حسگرها (برای نمونه، حسگرهای هواشناسی، دستگاه‌های تشخیص مواد شیمیایی، حسگرهای زیستی، کاوشگرها) شبکه‌ای از دستگاه‌ها تشکیل می‌دهند که توانایی ارسال و دریافت داده هستند و ذخیره‌سازی و پردازش داده‌ها را آسان می‌کنند (۴۵). افزون بر حسگرها، فناوری‌های سنجش از دور (برای نمونه: پهپادها و ماهواره‌ها) نیز اطلاعات ارزشمندی در مورد گیاهان و وضع هوا ارائه می‌دهند. سامانه‌های هوشمند متنوعی نیز برای آبیاری دقیق مزرعه‌ها طراحی شده‌اند که میزان مختلفی از خودکارسازی و فناوری را پوشش می‌دهند. برخی سامانه‌های هوشمند برای کنترل خودکار آبیاری با آهنگ متغیر (۴۴، ۵۱، ۵۳)، مدیریت آبیاری بر مبنای وضع هوا و عامل‌های مزرعه (۲۵) و کنترل نیاز آبی

1. Paradigms

محصول با بهره‌گیری از سامانه تصمیم‌یار مبتنی بر منطق فازی (۲۰، ۴۷، ۵۷) طراحی شده‌اند. امروزه به دلیل هزینه زیاد رایانه و سامانه‌های ذخیره و انتقال داده، برنامه‌بندی آبیاری با استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز رشد گیاهان در قالب برنامه‌های کاربردی گوشی‌های هوشمند تلفن همراه[1]، روش باصرفه‌ای برای کشاورزان محسوب می‌شود. به کمک این مدل‌ها می‌توان تبخیر-تعرق و رشد محصول را شبیه‌سازی کرد. همچنین، با شبیه‌سازی رطوبت خاک بر اساس شرایط خاک هر محل می‌توان زمان و مقدار آبیاری را به صورت هوشمند تعیین کرد و بهره‌وری مصرف آب را افزایش داد (۲۳).

فناوری نانو

فناوری نانو در تولیدات زراعی و حفاظت گیاهان با تأکید بر کاربرد کودهای نانو، آفت‌کش‌های نانو، پایش آلودگی خاک (۵۴) و تصفیه آب و فاضلاب (۴۰) اهمیت زیادی پیدا کرده است. استفاده از نانو ذرات در کشاورزی منجر به کاهش مصرف مواد شیمیایی، کاهش اتلاف مواد غذایی خاک و افزایش محصول از طریق مدیریت بهتر کود و آفات می شود (۴۸). در زمینه تصفیه آب و فاضلاب، پژوهش‌های اخیر نشان داده است که نانو ذرات به‌طور مؤثری آلوده‌کننده‌های ویروسی مواد آلی و باکتری‌ها را از آب تفکیک می‌کنند. نمونه‌هایی از این نانو ذرات عبارتند از: نقره، آهن، روی، اکسیدهای تیتانیوم، روی، آهن، نانولوله‌های کربنی و نانوکامپوزیت‌ها (۴۰). از کاربردهای دیگر نانو ذرات در کشاورزی می‌توان به استفاده از مواد نانو رسی برای مدیریت دقیق آب و خاک، اصلاح خاک‌های شور و شوری‌زدائی از آب و تثبیت فرسایش خاک اشاره کرد (۲۱). به‌علاوه، از فناوری نانو در ساخت نوعی سامانه آبیاری زیرسطحی تحت عنوان لوله مرطوب[2] استفاده شده است (۳۰).

فناوری‌های نوین گلخانه‌ای از دیدگاه بهره‌وری مصرف آب و انرژی

بررسی اسنادی موجود نشان می‌دهد استفاده از فناوری کشت عمودی[3] و فناوری‌های نور بخشیده و مصنوعی در گلخانه، بهره‌وری مصرف آب را افزایش داده است. در کشاورزی عمودی، گیاهان زراعی و باغبانی روی سازه‌های افقی و چندین طبقه و به‌صورت مرتفع و عمودی در محیط‌های دارای خاک یا بدون خاک کاشته می‌شوند. به طورکلی، سامانه‌های بدون خاک به دو گروه باز و بسته تقسیم می‌شوند. در نوع باز، برخلاف نوع بسته، محلول غذایی پس از تغذیه گیاه به مخزن بر نمی‌گردد و بنابراین، احتمال گسترش بیماری وجود ندارد. سامانه‌های بدون خاک از نظر محیط نگهدارنده نیز تقسیم می‌شوند و کشت در آب (آبکشت[4]) و هواکشت[5] دو نوع رایج آن‌هاست. در روش آبکشت، گیاه از بالای ریشه با مقوا، چوب، پلاستیک یا سیم نگه داشته می‌شود و ریشه به‌طور مداوم یا متناوب در برابر محلول غذایی یا لایه‌ای نازک از مواد غذایی قرار می‌گیرد. در کشت سبزی‌ها به روش آبکشت، ۷۰ تا۹۰٪ در مصرف آب صرفه‌جویی می‌شود (۵۲). هلند، استرالیا، فرانسه، انگلستان، کانادا و ایالات متحده آمریکا کشورهای پیشرو در زمینه آبکشت هستند. در روش هواکشت، ریشه گیاهان به‌طور متناوب با محلول مواد غذایی خیس می‌شود. استفاده از این روش کشت در مورد گیاهانی مانند گوجه فرنگی، بادمجان و کاهو نتیجه خوب نشان داده است. افزون بر شیوه کشت در گلخانه‌ها، بهره‌گیری از فناوری نور پخشیده و نور پالایش‌شده نیز موجب افزایش بازده مصرف آب و تولید محصول می‌شود. نور پخشیده با کاهش دمای برگ در گلخانه (در مقایسه با نور مستقیم) موجب کاهش تبخیرتعرق گیاه و کاهش مصرف آب می‌شود. بهترین محدوده طول موج نور برای فتوسنتز گیاه، نور آبی و قرمز است. پالایش طیف نور به‌طوری که طول موج‌های نور آبی و قرمز اجازه عبور داشته باشند، انرژی گرمایی گلخانه را کاهش می‌دهد که این فرایند، بدون تأثیر کاهشی بر میزان فتوسنتز گیاه، تبخیر-تعرق و آب مصرفی گیاه را کاهش می‌دهد. کاربرد نور مصنوعی برای تکمیل نور آفتاب در کشت گلخانه‌ای در زمان کم بودن نور خورشید، روشی است برای افزایش تولید محصول

1. Mobile applications 2Moistube 3. Vertical cultivation 4. Hydroponic 5. Aeroponic

در گلخانه. با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی برای محاسبه مقدار بهینه نور مکمل، تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز با لامپ‌های HPS و LED2 در گلخانه می‌توان سود حاصل از نور مصنوعی در تولید محصول‌های گلخانه‌ای را افزایش داد (۴۱).

استفاده از منبع‌های انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی (به‌جای سوخت‌های فسیلی) برای توسعه پایدار گلخانه‌های نوین بسیار ضروری است (۵۵). در فناوری‌های مبتنی بر انرژی خورشیدی، الکتریسیته یا گرمای مورد نیاز در محیط گلخانه از صفحه‌های خورشیدی تامین می‌شود که قادر به ذخیره مازاد انرژی نیز هستند. این صفحه‌ها، انرژی مورد نیاز سامانه خودکارسازی گلخانه مانند تهویه، فن‌ها و کودآبیاری را فراهم می‌کنند (۵۶).

فناوری ابرجاذب‌ها

بَسپار (پلیمر)های ابرجاذب موادی هستند که می‌توانند حجم زیادی از آب را در خود ذخیره می‌کنند و پس از تورم نیز به همان شکل باقی می‌مانند. با خشک شدن خاک، آب داخل بَسپار به تدریج تخلیه می‌شود. به این ترتیب خاک به مدت طولانی و بدون نیاز به آبیاری مجدد مرطوب می‌ماند. از سودمندی‌های کاربرد ابرجاذب‌ها در کشاورزی می‌توان به کاهش هدررفت آب آبیاری، کاهش دفعه آبیاری، کاهش فشردگی خاک و بهبود تهویه خاک اشاره کرد (۴۶).

فناوری بارورسازی ابرها

فناوری بارورسازی ابرها با هدف‌های مختلفی به‌کار گرفته شده است مانند افزایش مقدار بارش برای کاهش تأثیر خشکسالی در ناحیه‌های خشک و نیمه‌خشک جهان، کاهش مقدار بارش به منظور کاهش خسارت سیل و جلوگیری از خسارت تگرگ به محصول‌های کشاورزی. البته هدف اولیه در بسیاری از پروژه‌های بارورسازی ابرها، افزایش بارش ابرهایی است که احتمال بارش آن‌ها کم است (۱۸). ایالات متحده، چین، تایلند و استرالیا کشورهایی هستند که پژوهش‌هایی درازمدت در این زمینه داشته‌اند. کره جنوبی از بارورسازی ابرها در مهار آتش‌سوزی‌های جنگلی و خسارت ناشی از خشکسالی‌ها نتیجه‌هایی موفقیت آمیز به‌دست آورده است (۳۷).

فناوری استفاده از آب‌های ژرف (فسیلی)

آب‌های ژرف به آب‌های زیرزمینی عمیقی گفته می‌شود که از بارندگی‌ها تغذیه نمی‌شوند و به‌طورمعمول، در عمق ۳۰۰ تا ۱۲۰۰ متر قرار دارند. آب این منابع به‌دلیل شوری زیاد و وجود مواد جامد انحلال‌پذیر در آب (بیشتر از ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) مناسب برای آشامیدن نیست، ولی می‌تواند برای فعالیت‌های کشاورزی، به‌ویژه در کشورهایی بهره‌برداری شود که اقلیم خشک و بیابانی دارند. در بسیاری از کشورها مانند الجزایر، اردن، عربستان، لیبی، آمریکا و انگلیس مطالعه درباره آب‌های فسیلی از مدت‌ها قبل شروع شده و در برخی کشورها این آب‌ها به مرحله بهره‌برداری رسیده‌اند. در عربستان در سال ۲۰۰۰، ۶۶٪ آب موردنیاز با استحصال آب‌های ژرف تامین شده است. حجم برداشت از آب‌های ژرف در این کشور از ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۰ حدود ۲۶۰ میلیارد مترمکعب برآورد شده است (۱۰).

فناوری شیرین‌کردن آب دریا

فناوری‌های شیرین‌کردن یا نمک‌زدایی آب دریا به دو گروه حرارتی و غشایی تقسیم‌بندی می‌شوند. مهم‌ترین فناوری‌های شیرین‌سازی حرارتی آب دریا که به صورت تجاری استفاده می‌شوند عبارت‌اند از: تقطیر ناگهانی چند مرحله‌ای، تقطیر چند اثر مرحله‌ای، و بخار متراکم. از روش‌های مرسوم فرایندهای غشایی می‌توان به روش‌های الکتروتراکافت، اسمز معکوس، اسمز پیش‌رونده، میکروصافش، فراصافش، نانوصافش، و صافش یونی اشاره کرد (۳۳). بخش بزرگی از تأسیسات شیرین‌سازی

آب دریا در خاورمیانه و بزرگترین آن با ظرفیتی بیش از یک میلیون متر مکعب در روز در شهر راس‌الزور عربستان سعودی استقرار یافته است. بعد از عربستان، امارات و کویت بزرگترین تأسیسات آب‌شیرین‌کن دنیا را در اختیار دارند (۵۹). در خاورمیانه، بیش از ۹۰٪ تاسیسات آب‌شیرین‌کن از فناوری‌های حرارتی و در اروپا، بیش از ۹۲٪ تاسیسات آب شیرین‌کن از فناوری غشایی استفاده می‌کنند. مقایسه بین فناوری‌های مختلف به‌کار گرفته‌شده در واحدهای شیرین‌سازی آب دریا در جهان نشان می‌دهد که فناوری اسمز معکوس با ۶۴٪ و به دنبال آن تقطیر ناگهانی چندمرحله‌ای با ۲۳٪ و تقطیر چند اثرِ مرحله‌ای با ۸٪ به ترتیب در رتبه‌های اول تا سوم قرار گرفته‌اند. فناوری الکتروصافش با ۴٪ و دیگر فناوری‌های مورداستفاده در بحث شیرین‌سازی در ۱٪ از کل آب شیرین‌کن‌های جهان استفاده شده‌اند (۱۵).

آسیب‌شناسی فناوری‌های نوین آبیاری و آب کشاورزی

در این بخش، آسیب‌شناسی کاربرد فناوری‌های نوین آب و آبیاری از نظر اقتصادی، میزان مصرف آب و انرژی و برخی موردهای محیط‌زیستی (مانند سمیّت و انتشار گازهای گلخانه‌ای) بررسی می‌شود.

آسیب‌شناسی فناوری‌های هوشمند

امروزه فناوری‌های هوشمند بی‌شماری در زمینه مدیریت آب کشاورزی در جهان ابداع شده اند، اما بررسی‌های میدانی در ایالات متحده (۱۷) وکشورهای اروپایی (۳۱، ۳۴) نشان می‌دهند که ۲۰ تا۴۰٪ کشاورزان از این فناوری‌ها استقبال نکرده‌اند. مهم‌ترین دلیل نارضایتی کشاورزان، پیش‌بینی نادرست وضع هوا توسط سامانه‌های هوشمند گزارش شده است. اِشکال‌های حقوقی مربوط به اشتراک‌گذاری داده‌های مزرعه‌ای، دسترسی‌نداشتن به شبکه بی‌سیم، پوشش باند پهن اینترنتی و تأمین انرژی مورد نیاز سامانه‌ها در منطقه‌های روستایی همراه با هزینه زیاد تهیه ابزار هوشمند، امکان نصب و بهره‌برداری از این سامانه‌ها را در کشورهای در حال توسعه مشکل‌تر ساخته است. افزون بر این، در مورد امنیت اطلاعات فناوری‌های ارتباطی هوشمند که ارتباط بین حسگرهای مستقر در مزرعه‌ها و کشاورزان را از راه‌های مختلف مانند گوشی‌های هوشمند برقرار می‌کنند، باید دشواری‌های مرتبط با حمله‌های سایبری را نیز اضافه کرد (۲۷)، زیرا ممکن است حمله‌های سایبری به این سامانه‌ها، اقتصاد کشورهایی را فلج کند که وابستگی زیادی به کشاورزی دارند.

آسیب‌شناسی فناوری نانو

استفاده از نانو ذره‌ها مانند نانولوله‌های کربنی، نانوجاذب‌های بّسپاری(پلیمری)، زئولیت‌ها، نانو فلزها و اکسیدهای نانوفلزی (نانو نقره و نانو تیتانیم دی اکسید، نانوذره‌ها مغناطیسی) به‌طور مؤثری آلوده‌کننده‌های ویروسی، ترکیب‌های آلی و باکتری‌ها را از آب حذف می‌کنند. برخلاف روش‌های متداول تصفیه آب که با مواد آلی موجود در آب ترکیب‌های سمّی تشکیل می‌دهند، نانولوله‌های کربنی ضمن دارابودن خاصیت ضدباکتری، هیچگونه محصول جانبی سمّی ندارند. با این‌که نانولوله‌های کربنی بر کربن فعال برتری دارند، استفاده از آن‌ها در تصفیه‌خانه‌های بزرگ آب و فاضلاب شهری، به دلیل هزینه زیاد تولید در میان‌مدت، با صرفه نیست. نانوجاذب‌های بسپاری (پلیمری) قادر به جذب مواد آلی و فلزهای سنگین هستند. البته، به دلیل پیچیدگی ساخت آن‌ها، به جز برخی شرکت‌های تازه‌تاسیس چینی، هیچ پشتیبان تجاری در ایران نداشته‌اند. از محدودیت‌های تولید نانوجاذب‌های بسپاری، دشواری تولید و پرهزینه بودن آن‌ها است. خوشبختانه، مواد اولیه تولید نانولوله‌های کربنی، نانوفلزها و زئولیت‌ها به‌طور طبیعی در محیط وجود دارند و از نظر محیط‌زیست در گروه ماده‌های سمّی دسته‌بندی نمی‌شوند (۳۹). استفاده از نانوفلزها و اکسیدهای نانوفلز در بخش تصفیه آب و فاضلاب، به شدت بستگی دارد به

کارآیی (جذب فلزهای سنگین) و پایداری (آزاد نشدن) فلزهای مورد استفاده در محیط. استفاده از نانوذره‌ها نقره برای ضدعفونی‌کردن آب، خطری برای سلامت انسان ندارد. مزیت اصلی نانو ذره‌های تیتانیم دی‌اکسید، نسبت به نانو ذره‌ها نقره، عمر تاحدودی بی‌پایان چنین پوشش‌هایی است، زیرا تیتانیم دی‌اکسید به‌عنوان کاتالیزور در فرایند تخریب ترکیب‌های آلی و ریزموجودها بدون تغییر باقی می‌ماند. اثر ضد میکروبی نانو نقره بر اساس انتشار مداوم یون‌های نقره است. پس از یک دوره عملیاتی ویژه، بسته به ضخامت و ترکیب لایه‌های نانو نقره، پوشش باید تجدید یا دستگاه به‌طور کامل تعویض شود که هزینه زیادی خواهد داشت. با این حال، در مقایسه با تیتانیم دی‌اکسید که برای فعال‌سازی به لامپ‌های فرا بنفش نیاز دارد، نانو نقره نیازی به دستگاه‌های اضافی مصرف‌کننده انرژی ندارد. این موضوع نشان می‌دهد که نانو نقره برای منطقه‌های دور افتاده می‌تواند ضد عفونی‌کننده‌ای مناسب باشد. استفاده از نانوذره‌ها مغناطیسی برای حذف آرسنیک از آب‌های زیرزمینی (در مقایسه با کربن فعال) به زمان و هزینه پاک‌سازی کمتری نیاز دارد. خوشبختانه، نانوذره‌های مغناطیسی به دلیل کاربردشان در تصویربرداری پزشکی به عنوان ماده حاجب، توسط سازمان غذا و داروی آمریکا از نظر سمیّت به شکلی جامع بررسی شده اند و می‌توان با مراجعه به پایگاه داده منتشر شده، از نانوذره‌ها مغناطیسی کم‌خطر برای تصفیه آب و فاضلاب بهره گرفت (۲۴). استفاده از فناوری نانو در آبیاری زیرسطحی (آبیاری لوله مرطوب) نیز با وجود پیشرفت‌هایی که در چین داشته است، دشواری‌هایی مانند انسداد و تأثیر دمای آب روی قطر نانولوله‌ها دارد که هنوز برطرف نشده است (۳۰). ضایعات لوله‌ها و باقی‌مانده‌های لوله مرطوب در مزرعه به‌طور معمول موجب تخریب محیط زیست می‌شود.

آسیب‌شناسی فناوری‌های نوین گلخانه‌ای از دیدگاه آب و انرژی

در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک جهان که با محدودیت زمین و آب رو به رو هستند، فناوری کشت عمودی می‌تواند در افزایش بازده نهاده‌ها در واحد سطح مؤثر باشد. در سامانه‌های بسته کشت عمودی، مصرف آب تا ۹۵٪ و در برخی موارد تا ۹۹٪ کاهش یافته است، زیرا آب مورد استفاده در سامانه بازچرخانی می‌شود و حتی هدررفت آب در اثر تبخیر می‌تواند توسط سامانه رطوبت‌زدایی۲ بار دیگر به چرخه برگردانده شود. با استفاده از فناوری کشت‌های عمودی می‌توان زمین‌های کشاورزی بیشتری را به عرصه‌های طبیعی بازگرداند (۱۶). عیب مهم کشت‌های عمودی، در مقایسه با کشت‌های سنتی، این است که به انرژی بسیار زیادی برای تامین روشنایی سامانه نیاز دارند. بنابراین، اگر از انرژی‌های تجدیدناپذیر استفاده شود، کشت‌های عمودی، نسبت به مزرعه‌های سنتی یا گلخانه‌ها، می‌توانند آلودگی بیشتری ایجاد کنند. هزینه‌های اولیه ساخت مزرعه‌های عمودی بسیار زیادست و مدت زیادی طول می‌کشد تا به سود آوری برسند. به دلیل کمبود CO_2 در سامانه‌های کشت عمودی، برای تامین آن از منابع سوخت فسیلی استفاده می‌شود. این نوع سوخت‌ها، آلاینده‌هایی مانند SO_2 و اتیلن تولید می‌کنند که موجب وارد شدن خسارت به محصول می‌شوند. بنابراین، پیش از استفاده باید این گازها تصفیه شوند. در صورتی که از کود و سم‌های دفع آفت‌ها در کشت‌های عمودی استفاده شود، این نهاده‌ها بر کیفیت آب تاثیر می‌گذارند و پساب‌ها برای استفاده مجدد باید تصفیه شوند.

فناوری مرسوم در گلخانه‌ها برای تامین نیاز نوری گیاهان، لامپ‌های سدیمی فشار بالا (HPS) است. این لامپ‌ها بازده انرژی اندکی دارند و کاربرد آنها در گلخانه در گاهی توجیه اقتصادی ندارد. به همین دلیل، امروزه فناوری جدیدی جانشین این لامپ‌ها شده است که دیودهای پرتوتاب نور (LED) نامیده می‌شوند. لامپ‌های LED دارای مزایایی هستند مانند طول عمر زیاد، ایجاد طول موج ویژه، هدررفت کم انرژی و قابلیت تنظیم شدت نور نسبت بـه منـابع دیگر روشنایی. کارآیی مصرف

1. Moistube 2 Dehumidification

نور محصول خیار گلخانه‌ای در صورتی که از لامپ‌های LED (بالای پوشش گیاهی و درون پوشش گیاهی) استفاده شود بیشتر از لامپ‌های HPS است (۳۵). با این‌که استفاده از لامپ‌های LED در گلخانه‌ها (به ویژه در پاییز و زمستان در کشورهای واقع در عرض‌های جغرافیایی بالا مانند نروژ) رو به افزایش است، اما پژوهش‌ها در زمینه تاثیر این نوع لامپ‌ها بر کارآیی مصرف آب گیاهان اندک بوده است. استفاده از لامپ LED در گلخانه گوجه فرنگی موجب افزایش کارآیی مصرف آب شده است (۳۸). گوجه فرنگی اگر در برابر طول موج‌های ویژه‌ای از LED قرار بگیرد کارآیی مصرف آب آن نسبت به زمانی که در برابر لامپ‌های HPS قرار می‌گیرد، به مقدار به‌نسبت زیادی کاهش می‌یابد (۳۶). در بررسی منابع موجود، زیان‌های ویژه‌ای برای استفاده از لامپ‌های LED گزارش نشده است. با این حال، از نظر تاثیر این فناوری بر رشد و نمو گیاهان و بازده مصرف آب لازم است پژوهش‌های بیشتری در آینده بشود.

در چندسال گذشته، استفاده از انرژی خورشیدی به عنوان منبع انرژی تجدیدپذیر و قابل اطمینان با کمینه تأثیر بر محیط زیست، برای تامین نیازهای نوری، گرمایشی و سرمایشی در منطقه‌های بدون محدودیت در انرژی خورشیدی مورد توجه قرار گرفته است. به‌کارگیری فناوری صفحه‌های خورشیدی می‌تواند به کاهش وابستگی سامانه‌های کشت گلخانه‌ای به منابع متعارف تامین انرژی کمک کند و انتشار گازهای گلخانه‌ای را به کمینه برساند. سادگی فناوری‌های مرتبط با انرژی خورشیدی، امکان استفاده از آن‌ها را در منطقه‌های پرت و دور افتاده فراهم می‌کند (۲۶).

آسیب‌شناسی فناوری ابرجاذب‌ها

از سودمندی‌های مهم فناوری بسپارهای ابرجاذب، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک است. این ویژگی ابرجاذب‌ها سبب می‌شود تا کارآیی مصرف آب در کاربرد آن‌ها در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک جهان (که به طور طبیعی با مشکل کمبود آب روبه‌رو هستند) افزایش یابد. با این حال، مصرف ابرجاذب‌ها در مزرعه، اغلب با صرفه نیست. در خاک‌های شور، بسته به نوع نمک و غلظت آن، قابلیت جذب بسپارهای ابرجاذب کاهش می‌یابد (۱۴). در استفاده از بسپارهای ابرجاذب، باید ایمنی، سمّیت و سرنوشت محیط‌زیستی آن‌ها در نظر گرفته شود. بسپارهای مصنوعی ابرجاذب برگشت‌ناپذیر هستند، به این معنی که یا تجزیه‌پذیر به مواد اولیه خود نیستند یا نمی‌توانند به متابولیت‌های سمّی تبدیل شوند (۵۸). این ترکیب‌ها در گروه مواد pH خنثی، بی‌اثر و در کل ایمن و غیر سمّی طبقه‌بندی می‌شوند و در حال حاضر در جزء ماده‌های خطرناک قرار نمی‌گیرند. نتیجه تجزیه بسپارهای ابرجاذب تولید CO_2، آب، آمونیاک و موادی مانند سدیم (بسته به ترکیب بسپار) در خاک است. اگرچه هیچ یک از این ماده‌های تولید شده سمّی نیستند، اما سازوکار اثرهای تجمعی آن‌ها در بوم‌سازگان خاک مشخص نیست (۱۹). نیم‌عمر بسپارهای ابرجاذب در خاک ۵ تا ۷ سال است و تجزیه آن‌ها در خاک به pH خاک بستگی دارد. تجزیه زیستی بسپارهای ابرجاذب در خاک به صورت کانی‌سازی یا انحلال‌پذیر است که در حضور قارچ پوسیدگی سفید ریشه تشدید می‌شود. کاربرد بیش از حد ابرجاذب‌های مصنوعی در بلندمدت ممکن است موجب تخریب خاک شود. مسئله مهم دیگر، تحرّک‌پذیری بسپارهای ابرجاذب در خاک است. این بسپارها در صورت تحرّک در خاک می‌توانند وارد سفره‌های آب زیرزمینی شوند. با اینکه این ترکیب‌ها سمّی نیستند، ولی لازم است تاثیر آن‌ها بر آب‌های زیرزمینی نیز بررسی شود.

آسیب‌شناسی فناوری بارورسازی ابرها

فناوری بارورسازی ابرها بیشتر از نظر تعدیل و تغییر وضع هوا در دنیا مورد توجه قرار گرفته است. در زمینه افزایش بارش، گرچه گزارش‌هایی در مورد افزایش ۵ تا ۱۰٪ بارش (نسبت به نرمال) در نتیجه بارورسازی ابرها وجود دارد (۲۲، ۵۰)، اما به‌دلیل کنترل نشدن فیزیکی کامل فرایند بارورسازی ابر و نبود روش‌های آماری مناسب برای واکاوی نتیجه‌ها، هیچگونه

شاهد قابل پذیرشی درباره افزایش معنی‌دار و مؤثر بارش در نتیجه به‌کارگیری این فناوری وجود ندارد. حتی در صورت افزایش بارش، این فناوری توزیع طبیعی بارش را تغییر می‌دهد که موضوعی نگران‌کننده برای منطقه‌هایی است که به نظم طبیعی بارش در آن‌ها به دلیل به‌کارگیری این فناوری آسیب می‌رساند.

آسیب‌شناسی فناوری استفاده از آب‌های ژرف (فسیلی)

یکی از دشواری‌های بهره‌برداری درازمدت از منابع آب ژرف، کاهش کیفیت و افزایش شوری آن‌هاست، مشکلی که از منطقه‌هایی مانند جنوب کشور تونس گزارش شده است. دیگر این‌که، سرنوشت منطقه‌های که وابسته به آب‌های ژرف فسیلی هستند، با اتمام ذخیره‌های این منابع، نابودی است. افزون بر دشواری شوری، برخی آبخوان‌های ژرف ممکن است آلودگی اتمی و سمّیت نیز داشته باشند. بنابراین، برهم خوردن تعادل طبیعی آب شور و شیرین و زیست‌بوم منطقه‌ها از دشواری‌های مهم استفاده از این منابع آبی است، در نتیجه، استخراج از چنین منابعی باید با در نظر گرفتن موضوع‌های محیط‌زیستی و بررسی‌های اولیه دقیق دنبال شود (۱۰).

آسیب‌شناسی فناوری شیرین‌کردن آب دریا

استفاده از فناوری شیرین‌سازی آب دریا برای آبیاری محصول‌های کشاورزی تنها به یک دهه گذشته و به ناحیه‌های خشک ساحلی و ناحیه‌های با کشاورزی پربازده محدود شده است. اسپانیا نمونه‌ای از این ناحیه‌ها است که پس از یک دوره خشکسالی چهار ساله در دهه ۱۹۹۰ به تاسیس و راه‌اندازی ۲۰۰ واحد شیرین‌سازی آب دریا برای آبیاری محصول‌های کشاورزی دست زد. این کشور درحال حاضر برای جلوگیری از بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، تعداد واحدهای شیرین‌سازی آب دریا را افزایش داده است. با وجود رشد در ساخت واحدهای آب‌شیرین‌کن، اغلب آن‌ها به‌دلیل‌هایی مانند تأمین برق مورد نیاز و نبود لوله‌های انتقال آب به مزرعه، کارکرد ندارند (۴۲). یکی از مسئله‌های مهم در بهره‌گیری از آب نمک‌زدایی شده برای آبیاری محصول‌های کشاورزی،کیفیت آب مورد نیاز است. به‌جز اسپانیا و فلسطین اشغالی، که استانداردهایی برای کیفیت آب شرب و کشاورزی دارند، استاندارد جهانی ویژه‌ای برای کیفیت مناسب آب نمک‌زدایی‌شده به منظور آبیاری محصول‌های کشاورزی وجود ندارد. افزون بر این، نگرانی‌هایی نیز در زمینه کاربرد آب نمک‌زدایی‌شده دریا برای آبیاری محصول‌های کشاورزی به شرح زیر گفته شده است (۴۳):

- کمبود مواد مغذی ضروری در آب نمک‌زدایی‌شده و تأثیر آن بر کاهش حاصلخیزی خاک.
- تأثیر گیاه‌سوزی (فیتوتوکسی) برم و یون‌های کلر و سدیم در صورت نفوذ آن‌ها در آب تصفیه‌شده دریا (نفوذ غشایی).
- تخریب ساختمان خاک به دلیل انباشت یون‌های سدیم در صورت نفوذ آن‌ها در آب تصفیه‌شده دریا (نفوذ غشایی).
- زیاد بودن هزینه شیرین‌سازی آب دریا (۲ کیلو وات ساعت در هر مترمکعب آب تصفیه شده دریا≈۲دلار).
- ورود شورابه آب شیرین شده به دریا که موجب افزایش شوری آب و دشواری‌های محیط‌زیستی می‌شود،
- افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای مانند CO_2 در صورت استفاده از انرژی‌های تجدید ناپذیر و فسیلی.

فناوری‌های نوین آب و آبیاری در ایران و بومی‌سازی آن‌ها

فناوری‌های هوشمند

در چند سال اخیر، طرح‌هایی در زمینه هوشمندسازی مدیریت آب در کشاورزی در کشور به اجرا درآمده و ادعاهایی مبنی بر موفقیت آن‌ها مطرح شده است، اما نتیجه آن‌ها هنوز منتشر نشده است. پژوهش‌هایی نیز به طور محدود در زمینه مقایسه و ساخت دستگاه‌های حسگر هوشمند رطوبت خاک اجرا شده است (۴، ۹). در سال‌های گذشته، پروژه‌های

هوشمندسازی به صورت محدود توسط کشاورزان اجرا شده است و برای اجرای طرح هوشمندسازی در استان‌های گلستان، اردبیل، قزوین، خراسان رضوی، و فارس برنامه‌ریزی شده است در هر حال، با توجه به نتیجه بررسی‌های موجود، در زمینه توسعه و کاربرد فناوری‌های هوشمند برای مدیریت آبیاری و آبیاری دقیق در کشور موردهای زیر پیشنهاد می‌شود:

- استفاده از فناوری حسگرها به دلیل دشواری‌هایی که در تعیین رطوبت خاک با آن روبه‌رو است و در بخش‌های پیشین اشاره شده، توصیه نمی‌شود. به جای آن، توصیه می‌شود که بومی‌سازی برنامه‌های هوشمندسازی زمان‌بندی آبیاری و کود در وضعیت ایران با به‌کارگیری مدل‌های پیش‌بینی رشد و محصول گیاهان زراعی با استفاده از داده‌ها و ویژگی‌های خاک (نقشه‌های خاکشناسی و ارزیابی خاک) و داده‌های هواشناسی به‌روز دنبال شود و زمان آبیاری و مقدار کود برای محصول‌های مختلف تعیین و به اطلاع کشاورزان رسانده شود. یکی از اجزای این فناوری، کشاورزی دقیق است یعنی به کارگیری مدیریت‌های مختلف (آب، کود، سم و مانند این‌ها) در نقطه‌های مختلف مزرعه. این فناوری به دلیل کوچک بودن مساحت زمین‌های کشاورزان (به علت موروثی بودن زمین) قابل کاربرد نیست، مگر این‌که برنامه‌ای برای یکپارچه کردن زمین‌ها ارائه و عملیاتی شود.
- در سال‌های اخیر و در پی بروز خشکسالی در بیشتر کشورهای دنیا (از جمله ایران) به عنوان راهکاری عملی برای مقابله با خشکسالی، استفاده از سامانه‌های آبیاری زیر فشار گسترش یافته است که موجب شده فشار مضاعفی روی منابع آب زیرزمینی وارد شود. به دلیل آسانی گسترش این سامانه‌های آبیاری، وضعیتی پیش می‌آید که بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی سرعت بیشتری گیرد و زنگ خطری برای پایداری آن‌ها باشد و در عمل رسیدن به هدف‌های اصلی در صرفه‌جویی واقعی آب در سطح حوضه آبریز و آبخوان میسر نگردد. از این رو، گسترش سامانه‌های آبیاری زیر فشار در ایران، نقد شده است و عامل‌هایی که موجب ناکامی در دستیابی به هدف‌های صرفه‌جویی واقعی آب می‌شود، بررسی شده است. با این همه، به شرط طراحی و اجرای اصولی و دقیق سامانه‌های آبیاری زیر فشار که همراه با شناخت کافی از اقلیم منطقه مورد نظر باشد، می‌توان به راندمان بیشتر آبیاری دست یافت. بنابراین با توجه به اقلیم گرم و خشک سرزمین ایران اجرای آبیاری موضعی نسبت به آبیاری بارانی برتری دارد (۱).

فناوری نانو

فعالیت‌های مرتبط با توسعه فناوری نانو در ایران در سال ۱۳۷۹ آغاز شد و در نتیجه این فعالیت‌ها دو سند راهبردی ۱۰ ساله تنظیم شد. در سند ۱۰ ساله نخست (۱۳۹۳-۱۳۸۴) توسعه و تربیت سرمایه انسانی و تأمین زیرساخت‌های توسعه فناوری نانو مورد توجه قرار گرفت (۶). سند ۱۰ ساله دوم (۱۴۰۳-۱۳۹۴)، توسعه فناوری‌نانو، ارتقای اقتدار علمی کشور، توسعه صنعت و بازار نانو با نگاه صادراتی و نقش‌آفرینی این فناوری در تولید ثروت و بهبود کیفیت زندگی هدف‌گیری شده است. در سند اخیر، پنج حوزه کاربردی به‌عنوان اولویت‌های کلان فناوری نانو انتخاب شده‌اند که حوزه محیط زیست و آب یکی از آن‌هاست. در این سند، استفاده از فناوری نانو (نانوذره‌ها ، نانوفیلترها، نانوحسگرها و مانند این‌ها) در موضوع‌هایی مانند تصفیه آب، نمک‌زدایی و تصفیه پساب مورد توجه قرار گرفته است (۷). با توجه به مطلب‌های ارایه شده، به نظر می‌رسد که استفاده از نانوذره‌ها نقره به عنوان ضد عفونی کننده مناسب برای مناطق دور افتاده ایران قابل استفاده باشد. در صورت در دسترس بودن انرژی الکتریکی به نظر می‌رسد که تیتانیم‌دی‌اکسید می‌تواند به‌کار گرفته شود. در صورت وجود آرسنیک در آب چاه‌های ایران در بعضی منطقه‌ها، فناوری نانو ذره‌ها مغناطیسی می‌تواند برای تصفیه این آب‌ها به‌کار رود. به هر حال،

به نظر می رسد که این فناوری در شرایط ایران و با وجود آب‌هایی با نمک‌های فراوان و سخت (زیاد بودن کربنات کلسیم و کلرور کلسیم) با دشواری‌های زیادی همراه باشد.

فناوری‌های نوین گلخانه‌ای از دیدگاه آب و انرژی

در سرجمع بحث‌ها و آسیب‌شناسی‌ها در زمینه فناوری‌های کشت عمودی، نور مصنوعی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌ویژه، انرژی خورشیدی و بومی‌سازی این فناوری‌ها در کشور، موردهای زیر پیشنهاد می‌شود:

در حال حاضر به دلیل‌هایی مانند وجود زمین کافی در کشور، نیاز به انرژی زیاد برای تامین روشنایی، و آلودگی هوا ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی برای تامین دی اکسیدکربن مورد نیاز در محیط رشد، نیازی به فناوری کشت عمودی در ایران احساس نمی‌شود.

فناوری تولید لامپ‌های LED با توجه به سودمندی‌هایی مانند طول عمر، ایجاد طول موج ویژه، هدررفت کم انرژی و قابلیت تنظیم شدت نوری که در گلخانه دارند، در ایران بومی‌سازی شده و در گلخانه‌ها قابل استفاده است. با این حال همان‌طورکه در بخش‌های پیشین گفته شد، از نظر تأثیر این فناوری بر رشد و نمو گیاهان و بازده مصرف آب لازم است در آینده پژوهش‌های بیشتری بشود.

خوشبختانه بخش بزرگی از کشور محدودیت انرژی خورشیدی ندارد و در حال حاضر فناوری استفاده از انرژی خورشیدی در ایران بومی‌سازی شده و در گلخانه‌ها قابل استفاده است.

فناوری ابرجاذب‌ها

باوجود بررسی‌های مختلف در مورد تأثیر بسپارهای ابرجاذب بر عملکرد محصول‌های کشاورزی در ایران، نتیجه‌ها بسیار متنوع هستند و پراکندگی زیادی را نشان می‌دهند. نتیجه بررسی‌ها در مورد کاربرد ابرجاذب‌ها در کشاورزی ایران در سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۷ نشان می‌دهد که در ۸۳٪ از پژوهش‌ها در کشور، محدوده کاربرد بسپارهای ابرجاذب بین ۲۶ تا ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار بوده است (۲۹). فناوری تولید ابرجاذب‌ها در ایران بومی‌سازی شده است، اما بیشتر پرهزینه‌اند و کاربرد آن‌ها در زراعت اقتصادی نیست. این فناوری برای استقرار نهال‌ها و بوته‌های جنگلی در ابتدای کاشت می‌تواند به‌کار برده شود تا پس از استقرار با آب باران به رشد خود ادامه دهند.

فناوری بارورسازی ابرها

استفاده از فناوری بارورسازی ابرها در ایران در سال ۱۳۴۷ در قانون «آب و نحوه ملی شدن آن» به عهده وزارت آب و برق سابق و در پی آن در سال ۱۳۵۳ به عهده وزارت نیرو گذاشته شد و طرح باروری ابرها برای نخستین بار در همین سال در حوضه رودخانه‌های کرج و جاجرود به منظور تغذیه سدهای کرج و لتیان توسط یک شرکت کانادایی[1] به اجرا درآمد و تا سال ۱۳۵۷ به مدت چهارسال ادامه یافت. با تأسیس مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها وابسته به وزارت نیرو، فعالیت ایجاد مصنوعی بارش از ۱۳۸۷ با همکاری سازمان هواشناسی کشور با هدف تقویت آب‌های زیرزمینی و کاهش تأثیر خشکسالی بار دیگر شروع شد (۸). در جدول ۱ چکیده‌ای از نتیجه برخی از پروژه‌های اجرا شده ارائه شده است.

از بررسی نتیجه‌های پروژه‌هایی که هدفشان افزایش بارندگی (و نه تعدیل آب و هوا) در جهان و ایران بوده است، نکته‌های زیر را می‌توان برشمرد:

1. Weather. Eng. Co.

باروری بیشینه ابرها می‌تواند ۵ تا ۱۰٪ افزایش بارندگی را در بازه زمانی باروری ایجاد کند و این زمان کمتر از یک ساعت و به طور میانگین ۳۰ دقیقه است (۵). بر این پایه، به نظر نمی‌رسد که در حال حاضر فناوری‌های باروری ابرها به‌توانند نقش مؤثری در مقدار بارندگی‌های سالانه داشته باشند و تردید جدی وجود دارد در این‌که به کمک آن در کشوری با اقلیم غالب خشک و نیمه‌خشک مانند ایران به‌توان برای مقابله با خشکسالی‌ها و تغذیه سفره آب‌های زیرزمینی یا تامین نیاز دیمزارها روی آن حساب باز کرد.

جدول ۱- ارزیابی میزان افزایش بارندگی در چند پروژه باروری ابرها در ایران.

منطقه اجرای پروژه	دوره اجرا	برآورد و مقدار افزایش بارندگی (درصد)		مرجع
		برآورد تغییرهای ماهانه	میانگین	
حوضه کرج-جاجرود	۱۹۷۴-۱۹۷۸	-	۱۸ †	۲
گیلان	مه- ژوئیه ۲۰۰۷	۱۲/۷-۸/۶	۱۰/۱	۱۲
زاگرس- استان اصفهان	ژانویه- آوریل ۲۰۰۹	۳۸/۵-۵/۵	۱۹/۳	۱۱
زاگرس- استان قم	ژانویه- آوریل ۲۰۰۹	۳۷/۱۴-۷/۵	۲۴/۶	۱۱
زاگرس- استان مرکزی	ژانویه- آوریل ۲۰۰۹	۳۰/۶-۱/۲	۱۷/۶	۱۱

† در بازنگری محاسبه‌ها، این بازده چهار ساله عملیات ۱۳٪ گفته شده است.

سامانه‌های باران‌زا در فصل‌های بارندگی، در کل، بزرگ‌مقیاس هستند و منطقه‌ای وسیع را زیر پوشش دارند. در حالی که بذرپاشی و بارورکردن ابرها فرایندی خردمقیاس است و منطقه زیر اثر آن با محدودیت‌هایی که از نظر فراوانی تزریق هسته‌ها به داخل ابر وجود دارد، به الزام کوچک و محلی است و در حال حاضر انتظار تأثیر گسترده و منطقه‌ای از اجرای عملیات باران‌زایی نباید داشت.

در افق زمانی دور، ولی قابل تصور، موفقیت کامل فناوری بارور کردن ابرها مسئله‌های حقوقی جدیدی را در سطح بین‌المللی و کشوری به وجود خواهد آورد. در نظر بگیریم که محتوای آبی هر سامانه باران‌زا بی‌نهایت نیست. در حال حاضر سامانه‌های ابری، باران خود را با نظم اقلیمی سازمان‌یافته‌ای بر سرزمین‌های مختلف می‌بارانند. مهار ابرها این نظم طبیعت را به هم می‌ریزد و موفقیت انسان در کنترل ابرها، که شاید به‌توان آن را «دبی رودهای نیواری» نام گذاشت، مسئله‌ساز خواهد بود. در حال حاضر ۶۴٪ سامانه‌های اصلی باران‌زای ایران از سمت مدیترانه، ۱۳٪ از شمال‌غرب و دریای سیاه و ۲۳٪ از جنوب‌غرب به ایران وارد می‌شوند (۳۲). تعارض‌های حقوقی وقتی به‌وجود می‌آید که کشورهایی که در پیش‌رس سامانه‌ها قرار دارند توانایی آن را خواهند داشت که بدون در نظر گرفتن حقابه ابری کشورهای پایین‌دست از سامانه‌های باران‌زا برداشت کنند، مانند آن‌چه در مورد رودخانه‌های مرزی در حال رخ دادن است. در مقیاس ملی نیز قابل تصور است که در حقابه ابری منطقه شرق ایران در منطقه‌های پیش‌رس غرب، دست برده شود.

با تمام این‌ها، حتی اگر پروژه‌های اجرایی باروری ابرها از نظر اثربخشی یا محاسبه‌های سود/هزینه تأیید نشوند و باروری ابرها نتواند کمک مؤثر و حتی نیمه‌مؤثری به حل بحران آب کند، وجود نهادهای پژوهشی برای به‌روز شدن و به‌روز بودن

جامعه علمی و فنی کشور در مسئله مرتبط با فیزیک جو، خردفیزیک ابرها و ارزیابی و بهره‌گیری از دستاورد پژوهش‌های جهانی در زمینه پایش و شناخت رودخانه‌های جوی ضرورت دارد.

فناوری استفاده از آب‌های ژرف (فسیلی)

شوربختانه اطلاعات کاملی از منبع‌های آب فسیلی در کشور ما وجود ندارد و برای ردیابی اولیه این منبع‌ها در کشور از راه تشابه‌های زمین‌شناسی با آبخوان‌های فسیلی کشورهای همسایه استفاده شده است. بررسی‌ها نشان داده است که سپر عربستان (که دارای حجم عظیمی از آب‌های فسیلی است) از نظر زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، تکتونیکی شباهت‌هایی با محیط‌های رسوبی ایران تا اواخر دوران دوم زمین‌شناسی دارد (۳). با توجه به این شواهد، افزون بر منطقه‌های زاگرس و البرز از ایران مرکزی منطقه‌هایی چون طبس و یزد که سازندهای ماسه‌سنگی و از نظر زمین‌ساخت (تکتونیک) به تقریب غیرفعال هستند، به عنوان منطقه‌های محتمل وجود آب فسیلی درنظر گرفته می‌شوند (۱۳). در استان فارس، استان‌های ساحلی و در بستر خلیج فارس و دریای عمان، استان‌های آذربایجان، گیلان، خراسان جنوبی، یزد، کرمان، سیستان و بلوچستان و رشته کوه‌های زاگرس و البرز احتمال رسیدن به آب ژرف وجود دارد. از این رو مطالعه و شناخت این منبع‌ها ضروری است. خوشبختانه، فناوری حفاری و برداشت از این منبع‌های آبی در ایران وجود دارد، ولی به دلیل‌هایی که در بخش آسیب‌شناسی گفته شد، استفاده از آن توصیه نمی‌شود.

فناوری شیرین‌کردن آب دریا

روش‌های مختلف شیرین‌سازی آب دریا در دنیا، در ایران نیز کم وبیش استفاده شده‌اند. مسئله مهم در انتخاب فناوری شیرین‌سازی آب شور، پیش‌بینی هزینه‌های لازم برای انتخاب روش مناسب و قیمت تمام شده آب شیرین تولید شده است. سرمایه‌گذاران، بدون آگاهی از هزینه‌های لازم و اطمینان از بازگشت سرمایه در مدت مناسب، قادر به انتخاب روش مطلوب نخواهند بود. در جدول ۲، قیمت تمام‌شده یک مترمکعب آب شیرین به همراه حجم تولید روزانه دستگاه شیرین‌کننده، با فناوری‌های مختلف ارائه شده است. لازم به یادآوری است که قیمت‌های مندرج در این جدول باید با توجه به نرخ تورم و نوسان قیمت‌ها، در هنگام تصمیم‌گیری بازبینی شوند که تغییرهای آن چشمگیر نخواهد بود.

براوردهای تقریبی نشان می‌دهند که در سال ۲۰۳۰ میلادی، کشور ما سالانه به حدود ۴۰ میلیارد مترمکعب آب اضافی نیازمند خواهد بود. در حال حاضر، تولید بیشتر محصول‌های کشاورزی با آبِ نمک‌زدایی شده، به دلیل هزینه‌های زیاد انرژی و سرمایه اولیه مورد نیاز، سود آور نیست. هم اکنون مصرف انرژی در فرآیند نمک‌زدایی حدود ۵ کیلو وات ساعت بر متر مکعب است که هنوز بسیار بیشتر از مقدار کمینه تئوری ۱ کیلو وات ساعت بر متر مکعب است. برای ایران به دلیل دارا بودن ساحل‌های طولانی و منبع انرژی‌های تجدیدناپذیر و تجدیدپذیر، نمک زدایی آب دریا منبعی پایدار به نظر می‌رسد. استفاده از این روش در حال حاضر برای تولید آب مورد استفاده در شرب و صنعت با صرفه شده است. در حال حاضر با رعایت صرفه‌جویی در مصرف آب، با استفاده از روش‌های جایگزین تهیه آب، مانند آبخیزداری، اجرای طرح‌های تعادل‌بخشی و تصفیه ارزان‌تر فاضلاب‌های منطقه‌های مسکونی و صنعتی با سامانه اسمز معکوس نسبت به تصفیه آب دریا، می‌توان افزون بر بهبود شرایط محیط زیست، با هزینه کمتری آب مورد نیاز را تامین کرد و از اثرهای مخرب محیط‌زیستی انتقال آب از خلیج فارس نیز دور ماند. در آینده، با روی آوردن به پژوهش‌های بیشتر، کاهش بیشتر در هزینه‌ها و توجیه‌پذیر شدن تدریجی این روش برای تأمین آب مورد نیاز در تولید برخی از محصول‌های کشاورزی دارای ارزش افزوده زیاد از جمله محصول‌های گلخانه‌ای را نوید می‌دهد. باید به این نکته توجه کرد که دفع پساب آب شیرین‌کن‌ها موجب آلودگی محیط‌زیست (دریا یا زمین‌های

محل دفع) به ویژه دریای بسته (دریای خزر) یا نیمه‌بسته (خلیج فارس) می‌شود. البته، به مشکل شوری و آلودگی دریا باید مسئله هزینه‌های سرسام‌آور نمک‌زدایی و انتقال آب را نیز اضافه کرد که مقدار این هزینه با توجه به قصد ایران برای شیرین‌سازی سالانه حدود ۵۶۰ میلیون متر مکعب در حدود ۶۰ میلیارد دلار برآورد می‌شود.

استفاده از فناوری شیرین سازی آب دریا می‌تواند مزیت‌های بومی مختلف داشته باشد: الف- کمک به تامین آب شرب سالم و با کیفیت در منطقه‌های ساحلی و همجوار و در صورت نیاز در منطقه‌های دورتر، ب- تهیه آب بطری سالم برای آشامیدن، پ- تامین آب با کیفیت مناسب و قابل قبول برای صنایع معدنی (مانند مس، آهن، سنگ).

بومی‌سازی تولید انرژی الکتریکی خورشیدی در ایران در حال پیشرفت است، از این رو، شیرین‌سازی آب شور با انرژی خورشیدی و به روش اسمز معکوس می‌تواند بسیاری از مشکل‌های موجود را برطرف کند. بومی‌سازی فناوری تبدیل آب شور یا فاضلاب به آب شیرین برای شرب در ناحیه‌های دور افتاده و در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک که دارای منبع‌های آب شور هستند به راحتی قابل اجراست. برای حفظ محیط زیست می‌توان پساب سامانه‌های آب شیرین‌کن را در استخرهای تبخیری جمع‌آوری کرده و با تبخیر آن‌ها و جمع‌آوری نمک‌های باقی مانده برای مصرف صنعتی یا دفع بهداشتی آن‌ها گام‌های مؤثری برداشت.

جدول ۲- ظرفیت و هزینه تولید آب با روش‌های مختلف شیرین‌سازی.

روش شیرین سازی	اندازه واحد (مترمکعب بر روز)	دلار آمریکا در مترمربع
	کمتر از ۱۰۰	۱۰ - ۲/۵
شیرین‌سازی چند مرحله ای	۱۲۰۰۰-۵۵۰۰۰	۱/۹۵ -۰/۹۵
	بیشتر از ۹۱۰۰۰	۱/۰۱ – ۰/۵۲
شستشوی چند مرحله ای	۲۳۰۰۰-۵۲۸۰۰۰	۱/۷۵ – ۰/۵۲
تراکم بخار	۱۰۰۰-۱۲۰۰	۲/۶۶ – ۲/۰
اسمز معکوس		
	کمتر از ۲۰	۱۲/۸۷ – ۵/۶
آب شور مزه	۲۰-۱۲۰۰	۱/۳۳ – ۰/۷۸
	۴۰۰۰۰-۴۶۰۰۰	۰/۵۴ – ۰/۲۶
	بیشتر از ۱۰۰	۱۸/۷۵ – ۱/۵
	۲۵۰-۱۰۰۰	۱۲/۹۳ – ۱/۲۵
آب دریا	۱۰۰۰-۴۸۰۰	۱/۷۲ – ۰/۷
	۱۵۰۰۰-۶۰۰۰۰	۱/۶۲ – ۰/۴۸
	۱۰۰۰۰۰-۳۲۰۰۰۰	۰/۶۶ – ۰/۴۵

جمع‌بندی

در این مقاله، روش‌ها و فناوری‌های نوین آبیاری و مدیریت آب کشاورزی در جهان بررسی شد و در هفت گروه شامل فناوری‌های مدیریت هوشمند آبیاری، نانو، گلخانه، ابرجاذب‌ها، بارورسازی ابرها، آب‌های ژرف، و شیرین‌کردن آب دریا دسته‌بندی گردید. کاربرد فناوری‌های یاد شده از نظر صرفه اقتصادی، بازده مصرف آب و انرژی و برخی موضوع‌های محیط‌زیستی (مانند سمیّت و انتشار گازهای گلخانه‌ای) آسیب‌شناسی شد. همچنین، وضع کنونی این فناوری‌ها در ایران و نیاز به بومی‌سازی آن‌ها با توجه به پتانسیل‌های موجود کشور ارزیابی گردید. مهم‌ترین نکته‌های قابل توجه در هر یک از گروه‌های هفتگانه فناوری گفته شده به شرح زیر است:

- در زمینه هوشمندسازی مدیریت آب در مزرعه گرچه روش‌ها و فناوری‌های پیشرفته‌ای ابداع شده است، اما به دلیل‌هایی مانند هزینه زیاد رایانه و سامانه‌های ذخیره و انتقال داده، پیش‌بینی نادرست وضع هوا توسط سامانه‌های هوشمند، دشواری‌های حقوقی مربوط به اشتراک‌گذاری داده‌های مزرعه‌ای، نداشتنِ دسترسی به شبکه بی‌سیم، پوشش باند پهن اینترنتی و تامین انرژی مورد نیاز سامانه‌ها در ناحیه‌های روستایی همراه با هزینه بالای تهیه ابزار هوشمند، استفاده از این سامانه‌ها در کشورهای در حال توسعه مانند ایران، پیشنهاد نمی‌شود. به جای آن، برنامه‌بندی آبیاری با استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز رشد و عملکرد گیاهان در قالب برنامه‌های کاربردی گوشی‌های هوشمند تلفن همراه، روشی باصرفه برای کشاورزان محسوب می‌شود. به کمک این مدل‌ها و شبیه‌سازی رطوبت خاک، تبخیر-تعرق و رشد محصول می‌توان زمان و مقدار آبیاری را به صورت هوشمند تعیین کرد و بهره‌وری مصرف آب را افزایش داد.
- در زمینه تصفیه آب و فاضلاب، پژوهش‌های اخیر نشان داده است که نانو ذره‌های نقره و اکسیدهای تیتانیم به‌طور مؤثری آلوده‌کننده‌های ویروسی مواد آلی و باکتری‌ها را از آب جدا می‌کنند. افزون بر این، از فناوری نانو در ساخت نوعی سامانه آبیاری زیرسطحی زیر عنوان لوله مرطوب استفاده شده است که کاربرد آن در وضعیت فعلی به دلیل انسداد نانولوله‌ها، تخریب محیط زیست، و مانند آن، توصیه نمی‌شود.
- استفاده از فناوری کشت عمودی در کشورهایی که با محدودیت آب و زمین رو به رو هستند بهره‌وری مصرف آب را تا حد زیادی افزایش می‌دهد، اما هزینه اولیه و انرژی مصرفی چنین سازه‌هایی بالاست و با توجه به مصرف سوخت‌های فسیلی برای تامین CO_2 در گلخانه، سبب آلایندگی هوا می‌شوند.
- فناوری نور پخشیده با کاهش دمای برگ در گلخانه موجب کاهش تبخیر-تعرق گیاه و افزایش بهره‌وری مصرف آب می‌شود. پالایش طیف نور به‌طوری که طول موج‌های نور آبی و قرمز اجازه عبور داشته باشند، انرژی حرارتی گلخانه را کاهش می‌دهد که این فرایند، بدون تأثیر کاهشی بر میزان فتوسنتز گیاه، تبخیر-تعرق و آب مصرفی گیاه را کاهش می‌دهد.
- در منطقه‌هایی که با کمبود انرژی خورشیدی روبه‌رو هستند، کاربرد فناوری نور مصنوعی به‌عنوان نور مکمل، از طریق لامپ‌های LED در گلخانه می‌تواند سود حاصل از تولید محصول‌های گلخانه‌ای را افزایش دهد.
- در منطقه‌هایی که محدودیت تابش خورشید ندارند، با استفاده از صفحه‌های خورشیدی می‌توان انرژی مورد نیاز سامانه خودکارسازی گلخانه مانند تهویه، فن‌ها، کودآبیاری را فراهم کرد.
- در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک جهان کاربرد بَسپار (پلیمر)های ابرجاذب در کشاورزی منجر به کاهش هدررفت آب آبیاری، کاهش نوبت‌های آبیاری، کاهش فشردگی خاک و بهبود تهویه خاک می‌شود. با این حال، ابرجاذب‌های

مصنوعی تجزیه پذیر نیستند، مصرف آن‌ها در مزرعه، اغلب به صرفه نیست و کارایی آن‌ها در خاک‌های شور کاهش می‌یابد.

- ❖ بومی‌سازی فن باروری ابرها گام‌های آغازین را در ایران برداشته است و فناوری نو محسوب نمی‌شود، ولی در این‌که گام‌های برداشته شده تا چه اندازه موثر بوده است، ارزیابی دقیقی از نظر کمّی و کیفی در دست نیست. این‌که این فناوری در مجموع تا چه مقدار توانسته است یا می‌تواند از تنگناهای بحران آب در کشور بکاهد نیاز به ارزیابی مجدد دستاوردها و انتظارها دارد. طرح‌های بارورسازی ابرها از نظر اثربخشی و محاسبه‌های سود/هزینه و همچنین موضوع‌های زیست‌محیطی تأیید نمی‌شوند. افزون بر این، باروری ابرها نمی‌تواند هیچ کمک معنی‌داری به حل بحران خشکسالی‌های مقطعی کند و حتی نقش موثر و قابل توجهی در تقویت آب‌های زیرزمینی در کوتاه‌مدت داشته باشد، زیرا تقویت آبخوان‌ها جز با راهبرد درازمدت و بسیار درازمدت امکان‌پذیر نیست. با تمام این ضعف‌ها، وجود نهاد پژوهشی برای به‌روز شدن و به‌روز بودن جامعه علمی و فنی کشور در موضوع‌های مرتبط با فیزیک جو، خردفیزیک ابرها و ارزیابی و بهره‌گیری از دستاورد پژوهش‌های جهانی در زمینه پایش و شناخت رودخانه‌های جوی و آن‌چه در مسیر بر سر ابرهای مهاجری که از غرب می‌رسند می‌آید، مفید و شاید ضروری باشد.
- ❖ آب‌های ژرف به‌دلیل شوری زیاد مناسب شرب نیستند، ولی می‌توانند در فعالیت‌های کشاورزی، به‌ویژه در کشورهایی که اقلیم خشک و بیابانی دارند، استفاده شوند. بهره‌برداری نامتعادل از آبخوان‌های ژرف سبب برهم خوردن تعادل طبیعی آب شیرین و شور و زیست‌بوم منطقه‌ها می‌شود. احتمال وجود مشکل‌هایی مانند آلودگی اتمی و ترکیب‌های سمّی را نیز باید به عیب‌های آبخوان‌های ژرف افزود. با توجه به دشواری‌های یاد شده، بهره‌برداری از این ذخیره‌های طبیعی با توجه به ناشناخته‌بودن آن‌ها در کشور (با وجود وجود فناوری استخراج) توصیه نمی‌شود.
- ❖ روش‌ها و فناوری‌های شیرین‌سازی آب دریا در ایران بومی‌سازی شده‌اند. با این حال، به‌دلیل مشخص نبودن استانداردهای کیفی لازم برای استفاده از آب نمک‌زدایی‌شده برای آبیاری محصول‌های کشاورزی (احتمال کاهش حاصلخیزی خاک، گیاه‌سوزی، تخریب خاک) و هزینه زیاد ساختن تأسیسات مورد نیاز، توصیه می‌شود که تنها برای آشامیدن و در صنعت از تصفیه‌شده آب دریا استفاده شود.

منابع

۱- احمدی، س.ح.، ع. سپاسخواه. ۱۳۹۶. واکاوی پیامدهای گسترش آبیاری زیر فشار در ایران. مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱۳۱-۱۴۸:(۳)۲.

۲- ارزیابی گزارش مرحله اول عملیات ایجاد باران از راه تحریک ابر در حوضه آبریز رودخانه کرج و جاجرود، وزارت نیرو، مرکز اسناد ۱۳۵۷.

۳- آقانباتی، س.ع. ۱۳۸۳. کتاب زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی ایران ۶۴۰ صفحه.

۴- پورغلام آمیجی، م.، ع. لیاقت، م.ح. ولی و ح. پارسامهر. ۱۳۹۸. ساخت حسگر رطوبتی به‌منظور آبیاری هوشمند و تعیین محل مناسب نصب آن برای دستور توقف آبیاری با هدف جلوگیری از تلفات آب. مدیریت آب در کشاورزی ۳۶-۲۱:۶

۵- خزائی، م. ۱۳۹۵. بارور کردن ابرها و باران مصنوعی، نظریه ها و عملکردها، گزارش سمینار دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران، شهریور ۱۳۹۵.

۶- ستاد ویژه توسعه فناوری نانو. ۱۳۸۴. راهبرد آینده ۲۱۰ صفحه.

۷- ستاد ویژه توسعه فناوری نانو. ۱۳۹۱. سند تکمیلی سوم راهبرد ده ساله توسعه فناوری نانو در جمهوری اسلامی ایران. ۶۲ صفحه.

۸- سید حسینی، م. ۱۳۹۱. باروری ابرها از باور تا واقعیت. انتشارات وزارت نیرو، مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها، ۱۹۰صفحه.

۹- قائمی ع.ا. و ج. رحمانی ثقیه. ۱۳۹۳. مقایسه عملکرد حسگرهای هوشمند رطوبت خاک با چند روش متداول تعیین رطوبت خاک در روش آبیاری میکرو، نشریه آبیاری و زهکشی ایران ۲۵-۱۶:۸.

۱۰- کیخایی، ف. و ف. عباسی. ۱۳۹۸. منابع آب ژرف: فرصت ها و چالش ها. آب و توسعه پایدار ۶۶-۶۶۱.

۱۱- گزارش نهایی اجرا و ارزیابی پروژه باروری ابرها با هدف افزایش بارندگی در استان های اصفهان، قم و مرکزی (پروژه زاگرس) ، مهندسین مشاور آب آوران دشت کویر، شهریور ۱۳۸۸، ۱۲۵ صفحه.

۱۲- گزارش نهایی پروژه بارورسازی ابرها در استان گیلان و مناطق مجاور آن، شرکت مدیریت منابع آب ایران، موسسه تحقیقات آب، مرکز اسناد ، پاییز ۱۳۸۷، ۱۷۴ صفحه.

۱۳- میرعربی، ع. و س.ا. حسینی. ۱۳۹۳. آبهای فسیلی ذخایر استراتژیک جهان. پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران . انجمن زمین‌شناسی ایران. دانشگاه تربیت معلم، تهران ۱۰ صفحه.

14. Al Jabri, S.A., H.A.A. Rahman and A.M. Ibrahim. 2015. Agricultural polymers revisited: Salinity interactions and soil-water conservation. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 46:2661-674.
15. AlMarzooqi, F.A., A.A. Al Ghaferi, I. Saadat and N. Hilal. 2014. Application of Capacitive Deionisation in water desalination: A review. Desalination, 342:3-15.
16. Benke, K. and B. Tomkins. 2017. Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture Sustainability: Science, Practice and Policy 13:13-26.
17. Brewster, C., E. Jan, K. Raymond, P. Rakers, T. Iver, V. Jürgen and W. Astrid. 2018. Strategic Research and Innovation Agenda; ETIP Wind: Brussels, Belgium.
18. Conrad, G.K.Jr., G.W. Bomar, T.P. DeFelice, D.A. Griffith and D.W. Langerud. 2016. Guidelines for Cloud Seeding to Augment Precipitation. doi:10.1061/9780784408193.
19. De Barros, A.F., L.D. Pimentel and E.F. Araujo. 2017. Super-absorbent polymer application in seeds and planting furrow: it will be a new opportunity for rainfed agriculture. Semina: CIencias Agrarias, 38:1703-1714.
20. dela Cruz, J.R., R.G. Baldovino, F.B. Culibrina, A.A. Bandala and E.P. Dadios. 2017. Fuzzy-based decision support system for smart farm water tank monitoring and control. Proceedings of the 2017 IEEE 5th Inter-national Conference on Information and Communication Technology (ICoIC7), IEEE, Malacca City, pp. 1–4.
21. Ditta, A. 2012. How helpful is nanotechnology in agriculture? Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology, 3:033002(10p). doi:10.1088/2043-6262/3/3/033002
22. Elliott, R.D., C.G.Jr. Keyes and R.F. Reinking. 1995. Summary: Guidelines for cloud seeding to augment precipitation. ASCE, Reston, VA, pp. 1–7.
23. Freebairn, D.M., A. Ghahramani, J.B. Robinson and D.J. McClymont. 2018. A tool for monitoring soil water using modelling, on-farm data, and mobile technology. Environmental Modelling & Software 104: 55-63.

24. Gehrke, I., A. Geiser and A. Somborn-Schulz. 2015. Innovations in nanotechnology for water treatment. Nanotechnology, science and applications 8:1-17.
25. Goap, A., D. Sharma, A.K. Shukla and C.R. Krishna. 2018. An IoT based smart irrigation management system using machine learning and opensource technologies. Computer Electronic Agriculture,155:41–49.
26. Gorjian, S., F. Calise, K. Kant, M.S. Ahamed, B. Copertaro, G. Najafi and R.R. Shamshiri. 2020. A Review on Opportunities for Implementation of Solar Energy Technologies in Agricultural Greenhouses. J. Cleaner Produc. 285:124807. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124807
27. Gupta, M., Abdelsalam, M., Khorsandroo, S., Mittal, S. 2020. Security and privacy in smart farming: Challenges and opportunities. IEEE Access, 8: 34564-34584.
28. Hadipour, M., J.F. Derakhshandeh and M.A. Shiran. 2020. An experimental setup of multi-intelligent control system (MICS) of water management using the Internet of Things (IoT). ISA Transactions, 96:309-326.
29. Jahan, M. and M. Nassiri Mahallati. 2020. Can Superabsorbent Polymers Improve Plants Production in Arid Regions? Advances in Polymer Technology, 7124394. doi:10.1155/2020/7124394
30. Kanda, E.K., W. Niu, T. Mabhaudhi, et al. 2020. Moistube Irrigation Technology: A Review. Agricultural Research, 9:139–147.
31. Kernecker, M., A. Knierim, A. Wurbs, T. Kraus and F. Borges. 2020. Experience versus expectation: Farmers'perceptions of smart farming technologies for cropping systems across Europe. Precision Agr. 21:34–50.
32. Khalili, A. and J. Rahimi. 2018. Climate. In: Roozitalab, M. H., Siadat, H., Farshad, A. (eds) The Soils of Iran. Springer International Publishing, Cham, 19-33. doi:10.1007/978-3-319-69048-3_3
33. Khawaji, A.D., I.K. Kutubkhanah and J.M. Wie. 2008. Advances in seawater desalination technologies. Desalination, 221(1–3): 47-69.
34. Knierim, A., F. Borges, M. Kernecker, T. Kraus and A. Wurbs. 2018. What drives adoption of smart farming technologies? Evidence from a cross-country study. In Proceedings of the European International Farm Systems Association Symposium, Chania, Greece, 1–5 July 2018:1–5.
35. Kowalczyk, K., D. Olewnicki, M. Mirgos and J. Gajc-Wolska. 2020. Comparison of Selected Costs in Greenhouse Cucumber Production with LED and HPS Supplemental Assimilation Lighting. Agronomy 10, 1342. https://doi.org/10.3390/agronomy10091342
36. Lanoue, J., E.D. Leonardos, X. Ma and B. Grodzinski. 2017. The Effect of Spectral Quality on Daily Patterns of Gas Exchange, Biomass Gain, and Water-Use-Efficiency in Tomatoes and Lisianthus: An Assessment of Whole Plant Measurements Frontiers in Plant Science 8 doi:10.3389/fpls.2017.01076
37. Lee, C., K.H. Chang, J.W. Cha, J.W. Jung, J.Y. Jeong, H.Y. Yang, S.K. Seo, J.Y. Bae, S.Y. Kang, Y.J. Choi. et al. 2010. Estimation for the economic benefit of weather modification (Precipitation enhancement and fog dissipation). Atmosphere, 20: 187–194, (In Korean with English abstract).
38. Li, Q. et al. 2019. Effect of supplemental lighting on water transport, photosynthetic carbon gain and water use efficiency in greenhouse tomato Scientia Horticulturae, 256: 108630.
39. Liu, X., M., Wang S. Zhang and B. Pan. 2013. Application potential of carbon nanotubes in water treatment: a review. J. Environ. Scien. (China). 25:S1263–S1280.
40. Lu, H., J. Wang, M. Stoller, T. Wang, Y. Bao and H. Hao. 2016. An Overview of Nanomaterials for Water and Wastewater Treatment. Advances in Materials Science and Engineering, 4964828(10p) doi:10.1155/2016/4964828

41. Mahdavian, M. and N. Wattanapongsakorn. 2017. Optimizing Greenhouse Lighting for Advanced Agriculture Based on Real Time Electricity Market Price. Mathematical Problems in Engineering, 6862038 (11p). https://doi.org/10.1155/2017/6862038.
42. March, H., D. Saurí, and A.M. Rico-Amorós. 2014. The end of scarcity? Water desalination as the new cornucopia for Mediterranean Spain, J. Hydrology 519:2642-2651 doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.04.023
43. Martínez-Alvarez, V., M.J., González-Ortega, B. Martin-Gorriz, M. Soto-García and J.F. Maestre-Valero. 2018. 14 -Seawater desalination for crop irrigation—Current status and perspectives. In: Gude, V. G. (ed) Emerging Technologies for Sustainable Desalination Handbook. Butterworth-Heinemann, pp. 461-492. doi: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815818-0.00014-X
44. Muangprathub, J., N. Boonnam, S. Kajornkasirat, N. Lekbangpong, A. Wanichsombat and P. Nillaor. 2019. IoT and agriculture data analysis for smart farm. Computer and Electronic in Agriculture,156:467–474.
45. Ojha, T., S. Misra and N.S. Raghuwanshi. 2015. Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. Computer and Electronic in Agriculture, 118: 66–84.
46. Ostrand, M.S., T.M. DeSutter, A.L.M. Daigh, R.F. Limb and D.D. Steele. 2020. Superabsorbent polymer characteristics, properties and applications. Agrosystems, Geosciences & Environment, 3: e20074. https://doi.org/10.1002/agg2.20074
47. Paucar, L.G., A.R. Diaz, F. Viani, F. Robol, A. Polo and A. Massa. 2015. Decision support for smart irrigation by means of wireless distributed sensors, in Proceedings of the 2015 IEEE 15th Mediterranean Microwave Symposium (MMS), IEEE, Lecce, pp. 1–4.
48. Prasad, R., A. Bhattacharyya and Q.D. Nguyen. 2017. Nanotechnology in Sustainable Agriculture: Recent Developments, Challenges, and Perspectives Frontiers in Microbiology 8. doi:10.3389/fmicb.2017.01014
49. Reinders, F.B. 2020. New products and emerging irrigation technologies in light of the icid vision 2030. Irrigation and Drainage 69:294-298.
50. Sandhyavitri, A.M., A. Perdana, S. Sutikno and F.H. Widodo. 2018. The roles of weather modification technology in mitigation of the peat fires during a period of dry season in Bengkalis, Indonesia. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 309:12-16.
51. Severino, G., G. D'Urso, M. Scarfato and G. Toraldo. 2018. The IoT as a tool to combine the scheduling of the irrigation with the geostatistics of the soils. Future Generation Computer Systems, 82:268–273.
52. Sharma, N., S. Acharya, K. Kumar, N. Singh, and O.P. Chaurasia. 2018. Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: an overview. J. Soil Water Conserv. 17(4):364–371.
53. Tan, L. 2016. Cloud-based decision support and automation for precision agriculture in orchards. IFAC-Papers OnLine, 49:330–335.
54. Usman, M., M. Farooq, A. Wakeel, A. Nawaz, S.A. Cheema, H.U. Rehman, I. Ashraf and M. Sanaullah. 2020. Nanotechnology in agriculture: Current status, challenges and future opportunities. Sci. Total Environ.721:137-778.
55. Wang, T., G. Wu, J. Chen, P. Cui, Z. Chen, Y. Yan, Y. Zhang, M. Li, D. Niu, B. Li and H. Chen. 2017. Integration of solar technology to modern greenhouse in China: Current status, challenges and prospect. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 70:1178-1188.
56. Wangmo, P., V.K. Jadoun and A. Agarwal. 2020. A Review on Solar Energy-Based Smart Greenhouse. In: Kumar H., Jain P. (eds) Recent Advances in Mechanical Engineering. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1071-7_52

57. Yadav, R. and A.K. Daniel. 2018. Fuzzy based smart farming using wireless sensor network. Proceedings of the 2018 5th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON), IEEE, Uttarpradesh, India pp. 1–6.
58. Zohuriaan-Mehr, M.J. and K. Kabiri. 2008. Superabsorbent polymer materials: A review. Irn. Polymer J. 17:451-477.
59. Zotalis, K., E.G. Dialynas, N. Mamassis and A.N. Angelakis. 2014. Desalination technologies: Hellenic experience. Water, 6: 1134-1150. https://doi.org/10.3390/w6051134

Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 7(2): 139-158 (2022)

Documentary Analysis of New Irrigation and Agricultural Water Technologies and their Possible Application in Iran

J. Bazrafshan[1], A. Khalili, S. Zand-Parsa, A.R. Sepaskhah, A. Alizadeh and J. Farhoodi[2]

Innovative and sustainable agricultural water management is critical in adaptation programs to climate variability and change, and emerging, eco-friendly irrigation technologies are expected to play a key role in the world's future water and food security. The current study was carried out with the aim of discussing pros and cons of new irrigation and agricultural water technologies in the world, and the possibility of application of these technologies in Iran. These techniques are classified into seven categories: smart technology, nanotechnology, greenhouse technology, superabsorbent technology, cloud seeding technology, deep water technology, and seawater desalination technology. These technologies are analyzed in terms of economics, water and energy usage, and certain environmental factors (such as toxicity and greenhouse gas emissions). The state-of-the-art of modern irrigation and agricultural water technologies in Iran is examined, and the issue of their domestic application is matched with the country's potentials. According to documentary studies, our country is at the beginning of the road in terms of intelligent technologies for agricultural water management and nanotechnology, and further study is required to employ these technologies. However, intelligent irrigation management utilizing crop growth and yield models, mobile phone applications, and micro-irrigation implementation was proposed as a feasible solution. The use of silver nanoparticles was suggested for the disinfection of water in remote areas, and the use of titanium dioxide for areas that do not have power supply problems. Employing the vertical farming is not recommended in the country due to the problems of electrical power supply and air pollution and presence of unlimited arable land. The technology of artificial light and solar panels has been adopted in Iran and more research is needed to justify their applications in greenhouses. Cloud seeding, deep water, and seawater desalination technologies have become indigenous to Iran. Cloud seeding is ineffective to alleviating droughts and strengthening aquifers. Because of the environmental consequences, the employment of deep-water technologies is not recommended. Employing of seawater desalination technologies for drinking and industrial (not agricultural) uses is cost effective.

Key words: Agriculture water, Application, Irrigation, Modern technology, Pathology.

1. Corresponding author, Email: jbazr@ut.ac.ir

2. Invited Scholar of I.R.I. Academy of Sciences and Associate Professor of Tehran University, Associate member and Professor of Tehran University, Invited Scholar and Professor of Shiraz University, Fellow member and Professor of Shiraz University, Fellow member and Professor of Ferdowsi Mashhad University and Invited Scholar and Professor of Tehran University, respectively.