

ارزیابی و بررسی کارآیی سیستم چگالش بخار آب در خاک‌های تقویت شده با مواد آلی

- ❖ فرود شریفی*؛ دانشیار و عضو هیئت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان آموزش، تحقیقات و ترویج کشاورزی
- ❖ سمانه اروندی؛ دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
- ❖ علی شاهنظری؛ دانشیار و عضو هیئت علمی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

چکیده

با توجه به کمبود آب و خشک بودن بسیاری از عرصه‌ها، توسعه فناوری‌های جدید تأمین نیاز آبی گیاه در مرحله استقرار یا پس از آن حائز اهمیت است. چگالش بخار در خاک روشی نوین و در حال توسعه است که با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، دارای قابلیت در احیاء اراضی است. در این روش با استفاده از انرژی حاصل از تابش خورشید، تأمین آب و رطوبت، از بخار موجود در هوا حاصل شده و به طور مستقیم به ناحیه ریشه منتقل می‌شود و رطوبت خاک را تا ظرفیت مزرعه بالا می‌برد. هدف تحقیق حاضر امکان‌سنجی افزایش رطوبت خاک‌های مختلف بهبود یافته با مواد آلی است. در این روش بخار آب تولیدی وارد لوله‌های هادی بخار شده و پس از تقطیر منجر به افزایش رطوبت خاک می‌شود. نتایج این تحقیق نشان داد که چگالش بخار نقش قابل توجهی در افزایش رطوبت خاک دارد و چشم‌انداز امیدبخشی دارد. نتایج این تحقیق نشان داد میزان رطوبت ذخیره شده در خاک اصلاح شده با مواد آلی به بیش از ۱۱ درصد در طول آزمایش رسید. ارزیابی آماری داده‌های برداشتی نظیر پارامترهای دما، بافت خاک، مواد آلی و اثر متقابل هر کدام از این پارامترها بر تغییرات رطوبت خاک نشان داد که در مقایسه با شاهد، این روش در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. بنابراین با احتمال ۹۹ درصد این روش می‌تواند به افزایش رطوبت خاک کمک کند. همچنین پارامترهای دما، مواد آلی و اثر متقابل دما و بافت خاک و همچنین دما و مواد آلی بر تغییرات دمای خاک در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. بنابراین با احتمال ۹۹ درصد تغییر این عوامل بهترین تأثیر را در افزایش رطوبت خاک دارد. بافت خاک نیز در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است که نشان‌دهنده آن است که با تغییر بافت خاک با احتمال ۹۵ درصد بهترین تأثیر را در افزایش رطوبت می‌توان بدست آورد. نتیجه تجزیه واریانس اثر متقابل بافت، دمای بخار و مواد آلی نشان داد که این سه پارامتر تأثیر معنی‌دار بر افزایش رطوبت ندارد. نتایج نشان داد خاک با بافت متوسط، ۳۵ درصد ماده آلی و بخار ۴۵ درجه سانتی‌گراد با لوله هادی پوشش‌دار از شرایط بهتری نسبت به بقیه تیمارها از نظر رطوبت و دما برخوردار بوده‌اند.

کلید واژگان: بخار آب، چگالش، خاک، مواد جاذب رطوبت

[۲]. با توجه به افزایش جمعیت و محدودیت منابع آب تا سال ۲۰۲۵، بسیاری از کشورها با کمبود آب مواجه خواهند شد و رقابت برای آب شیرین افزایش می‌یابد [۱۳].

اتکای بیش از حد اقتصاد ایران به نفت یکی از عوامل اصلی پایین بودن بهره‌وری در بخش‌های مختلف اقتصاد کشور قلمداد می‌شود؛ بخش کشاورزی و منابع طبیعی نیز از این قاعده کلی مستثنی نیست. در حالی که بخش کشاورزی بیشترین میزان آب کشور را مصرف می‌کند، روی هم رفته از راندمانی حدود ۴۰ درصد در آبیاری در بخش کشاورزی برخوردار بوده و بهره‌وری آب به تولید در این حوزه حدود ۰/۷۵ کیلوگرم در متر مکعب است. سهم کشاورزی با این حجم بالای مصرف آب، معادل ۱۵ درصد از تولید ناخالص ملی بدون نفت را تشکیل می‌دهد [۱۰].

همزمان با افزایش جمعیت، کاهش منابع آب شیرین و افزایش خشکسالی‌ها، استفاده از منابع آبی غیر متداول نظیر پساب فاضلاب‌های تصفیه شده، آب لب شور، آب دریا و بخار موجود در هوا به طور فزاینده‌ای در سرتاسر جهان مورد توجه قرار گرفته است. طبق گزارش سازمان جهانی بهداشت، پیش‌بینی می‌شود که ۶۷ درصد از جمعیت جهان در سال ۲۰۲۵ با کمبود آب مواجه شوند. در ایران نیز با توجه به نرخ بالای رشد جمعیت و ضرورت توسعه مناطق ساحلی، پیش‌بینی می‌شود در حاشیه خلیج فارس و دریای عمان بهره‌برداری از آب دریا به دلیل عدم دسترسی و مشکلات استفاده از منابع داخلی و قابل اعتماد آب، بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد. از این رو انتخاب بهترین روش چگالش بخار آب برای کاهش هزینه‌ها و تأمین آب کافی، امری اجتناب‌ناپذیر است [۱۴].

از طرفی افزایش جمعیت، افزایش تقاضا برای غذا را به دنبال خواهد داشت که نشان می‌دهد تولیدات کشاورزی باید در یک سرعت برابر با رشد جمعیت، ولی با همان زمین‌ها و منابع آب ثابت، رشد کنند. به هر حال موفقیت‌های گذشته انقلاب سبز به راحتی تکرار نخواهد شد، مناطقی از تکنولوژی انقلاب سبز فایده بردند که همه حاصلخیز و غنی از آب شیرین بودند. از طرفی استفاده از آب‌های با کیفیت پایین‌تر، از قبیل آب شور و یا هرز آب‌ها در آبیاری باعث کاهش شدید در عملکرد محصول و عوارض دیگر در خاک خواهد شد. با این تفاسیر تنها راه

کشور ما از نظر جغرافیایی در بخش نیمه‌خشک و خشک جهان قرار گرفته به شکلی که میانگین بارش سالانه در ایران حدود ۲۵۰ میلیمتر است، در حالی که میانگین جهانی حدود ۸۵۰ میلیمتر و بیش از سه برابر میزان بارش در ایران است (۱۶). آب ماده‌ای حیاتی است که به طور یکنواخت در سطح کره زمین موجود نیست و نقاط مختلف کره زمین با کمبود آب مواجه هستند. آب از بعد اقتصادی حائز اهمیت است زیرا به حرکت درآورنده چرخ صنعت و رونق بخش فعالیت‌های کشاورزی و منابع طبیعی است. با توجه به رشد روزافزون جمعیت جهان و ثابت بودن منابع آبی می‌توان نتیجه گرفت که معضل کمبود آب به مشکل بزرگی در آینده تبدیل خواهد شد. باید راهکارهای جدید و مطمئنی برای حفظ منابع آبی در دسترس در پیش گرفته شود. کمبود آب برای زندگی انسان بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک و در کشورهای در حال توسعه به صورت یک تهدید واقعی نمایان شده است (۱۵). بنابر گزارش‌های اخیر، در سال ۲۰۲۵ حدود ۶۰ درصد از مردم دنیا با مسئله کمبود آب و بحران‌های ناشی از آن مواجه خواهند شد [۱۱]. بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب شیرین در دنیا بوده و بین ۷۰ درصد از منابع آب موجود در کشورهای توسعه‌یافته و تا ۹۰ درصد آن در کشورهای در حال توسعه به این بخش اختصاص دارد [۵؛ ۱۸]. با توجه به ارزش آب در کشاورزی و محدودیت این منبع مهم و حیاتی و وجود خشکسالی‌های متناوب در کشور، اشتیاق بهره‌برداران را در جهت استفاده مناسب از منابع آب و افزایش درآمد حاصل از کشت را افزایش داده است و نگاه آن‌ها را به گزینه‌های بهبود کارایی مصرف آب دقیق‌تر نموده است.

حجم آب‌های زمین در حدود ۶۱/۳۸ میلیارد مترمکعب است که حدود ۷۰ درصد از کره زمین را پوشانده است، ولی سهم کمی از آب‌های موجود برای مصارف بهداشتی و کشاورزی قابل استفاده می‌باشد. آب اقیانوس‌ها، دریاها و اغلب دریاچه‌ها به علت شوری بیش از حد و داشتن املاح معدنی، برای مقاصد کشاورزی غیرقابل استفاده است. تنها ۲/۵ درصد این آب‌ها، شیرین می‌باشد

در حال حاضر، آب شیرین به عنوان یک کالای اقتصادی، نقش اساسی در تولیدات کشاورزی، صنعتی و تأمین نیازهای بهداشتی و شرب در سطح جهان ایفاء می‌کند. در بخش کشاورزی به‌عنوان محور توسعه، سرمایه‌گذاری‌های متنابهی به کار گرفته شده تا پتانسیل منابع آب قابل استحصال در چرخه تولید وارد شود و در این راستا مدیریت مؤثر عرضه و تقاضا و مصرف آب برای افزایش بهره‌وری از این منابع قابل دسترس، نقش کلیدی خواهد داشت. بخش کشاورزی به لحاظ راندمان آبیاری پایین، به تنهایی بیشتر آب قابل استحصال در کشور را مصرف می‌کند. لذا، ضروری است تا به هر وسیله ممکن، هم راندمان آبیاری در بخش کشاورزی را افزایش داد و هم به دنبال راهکارهایی در راستای استفاده از آب‌های غیرمتعارف و یا با کیفیت نامناسب، برای آبیاری محصولات کشاورزی بود [۱۷].

سیستم چگالشی (CI^۱) از انرژی تابشی خورشید برای تبخیر آب‌شور و یا آب‌های آلوده و زه‌آب‌ها استفاده می‌کند. در محفظه‌های تبخیر، هوای محصور به وسیله آب گرم درون دستگاه مرطوب می‌شود و سپس وارد سیستم لوله‌های زیرزمینی می‌شود و در آنجا سرد و بخار به صورت آب شیرین در دیواره داخلی لوله چگالش می‌یابد. اگر از لوله‌های زهکشی استفاده شود، آب چگالیده شده و کمی از هوای مرطوب از میان سوراخ‌های لوله زهکش خارج می‌شوند و در نتیجه ناحیه ریشه را آبیاری می‌کنند. اگر از لوله‌های معمولی استفاده شود می‌توان آب را در انتهای لوله‌ها جمع‌آوری کرد و برای آشامیدن استفاده کرد [۸]. وقتی رطوبت موجود در لوله‌ها چگالش می‌یابد، ناگزیر گرمای خود را به محیط اطراف می‌دهد، بنابراین خاک اطراف لوله‌ها گرم می‌شود و در نتیجه با گذشت زمان بازده تولید آب کاهش می‌یابد. برای کاهش دمای زمین، هوای سرد در طول شب در سیستم لوله‌ها منتشر می‌شود و آن را خنک می‌کند، (شکل ۱).

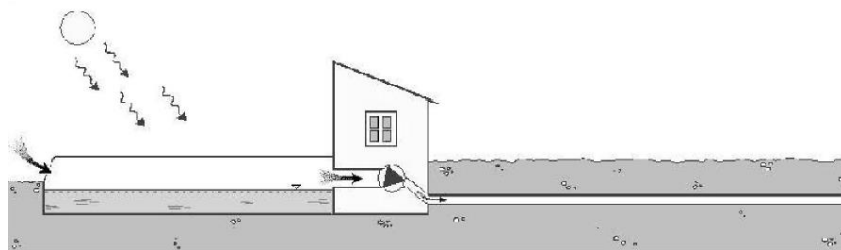
مناسب برای تولید بیشتر آب شیرین استفاده از آب‌های نامتعارف و شیرین کردن آن‌ها با استفاده از مکانیزم‌های مختلف می‌باشد [۱۷].

تأمین امنیت غذایی برای جمعیت رو به رشد جهان مستلزم افزایش سطح زیرکشت و یا اتخاذ راهکارهای مدیریتی جهت افزایش میزان عملکرد در واحد سطح می‌باشد. این در حالی است که محدودیت جهانی منابع آب، افزایش تولید از طریق افزایش سطح زیرکشت را محدود می‌سازد [۴]. لذا، در چنین شرایطی، اعمال مدیریت جهت مصرف صحیح این منابع محدود، در راستای افزایش کارآیی مصرف آب اهمیت بسیاری خواهد داشت [۱۲].

آب‌های شور و لب شور از منابع مورد استفاده برای آبیاری محصولات کشاورزی هستند؛ لیکن، مقدار زیاد نمک در این آب‌ها، کاربرد آن‌ها را برای دستیابی به کشاورزی پایدار بدون اعمال روش‌های مدیریتی مناسب امکان پذیر نخواهد کرد. بنابراین، اگر روش‌های مدیریتی مناسب و اصول استفاده از آب‌های شور در کشاورزی رعایت نشود، باعث شور شدن خاک و در پاره‌ای موارد، از بین رفتن زمین‌های زراعی می‌شود [۱۹]. توجه به رشد روزافزون جمعیت، نیاز به تولید محصولات غذایی بیشتر، بیش از پیش احساس می‌شود. کشاورزی به عنوان یکی از محوری‌ترین بخش‌ها در تأمین احتیاجات غذایی بشر مطرح است. این افزایش تولید تنها از طریق افزایش سطح زیرکشت و یا بالابردن عملکرد در واحد سطح میسر است [۲۰].

روند نزولی کمی و کیفی آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک از یک طرف و مستعد بودن اراضی کشاورزی از طرف دیگر می‌طلبد تا کاربرد روش‌های مدیریتی برای حصول عملکرد مطلوب، در ضمن پایداری کشاورزی مورد ارزیابی قرار گیرند. با کاربرد منطقی از آب شور به‌عنوان یک منبع آب آبیاری ضمن افزایش تولیدات کشاورزی، می‌توان از رقابت موجود برای آب غیر شور نیز کاست. با توجه به آثار و تبعات منفی آب شور بر گیاه و خاک، باید شیوه‌های مختلف استفاده از آب شور و غیر شور، واکنش گیاهان و تغییرات ایجاد شده در ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک مورد بررسی قرار گیرد [۷؛ ۱۴].

¹ Condensation Irrigation



شکل ۱. طرح کلی سیستم چگالشی، هوا به وسیله انرژی گرمایی خورشید گرم و مرطوب می‌شود و به درون لوله‌های دفن شده می‌رود، در آنجا سرد می‌شود و رطوبت موجود در آن چگالش می‌یابد [۷]

رشته‌کوه‌های البرز، با مختصات تقریبی $35^{\circ}39' N$ و $51^{\circ}7' E$ ، (۳۵ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و ۷ دقیقه شرقی) قرار گرفته نشان داده شده است. خاک‌های مورد استفاده در این پژوهش با بافت‌های سبک، سنگین و متوسط بودند.

این پژوهش در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به منظور بررسی کارایی سیستم چگالش بخار در خاک‌های تقویت شده با مواد آلی صورت گرفت. آزمایش‌ها در ۱۲ تیمار و در سه تکرار انجام شد و نتایج با استفاده از طرح عاملی کامل سنجدیده شد. سه نوع خاک، دو نوع لوله هادی بخار (با پوشش پلی‌استر و بدون پوشش)، دو درجه دمای بخار (در چندین آزمایش در فلوم آزمایشگاهی مناسب‌ترین دما ۴۵ و ۵۵ درجه انتخاب شد) و خاک‌ها در دو حالت مخلوط با مواد آلی و بدون آن (در دو سطح ۲۵ و ۳۵ درصد) مورد آزمون قرار گرفت. جذب رطوبت پلی‌استر بسیار کم و در شرایط استاندارد حداکثر ۰/۵٪ است. دارای خواص فیزیکی و شیمیایی همچون استحکام بالا، ثبات ابعادی مناسب، مقاومت سایشی، مقاومت در برابر نور خورشید هستند و میزان جذب رطوبت آن پایین و در حدود ۰/۴٪ می‌باشد، (جهاددانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۰).

با استفاده از دستگاه بخارساز، بخار آب اشباع با دمای ۴۵ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد به درون لوله‌های هادی بخار دمیده شد. در طول مدت انجام آزمایش مقدار رطوبت و دما در سه عمق ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری و ثبت شد. شکل (۳) نحوه آماده‌سازی تیمارها، دستگاه اندازه‌گیری

هدف از این تحقیق بررسی کارایی سیستم چگالش بخار در خاک‌های تقویت شده با مواد آلی است که در دو دمای مختلف و با لوله‌های هادی بخار که بدون پوشش و با پوشش هستند بررسی شده است. در این تحقیق میزان تأثیر چگالش بخار در تأمین رطوبت ناحیه ریشه، میزان تأثیر مواد آلی در افزایش رطوبت ناحیه ریشه با چگالش بخار، میزان تولید آب در لوله‌های با پوشش و بدون پوشش، میزان تولید آب در دمای ۴۵ درجه در مقایسه با دمای ۵۵ درجه و میزان تولید رطوبت در خاک‌های سبک، سنگین و متوسط تعیین و ارزیابی شده و در نهایت بهترین تیمار برای حصول نتایج بهتر معرفی شده است.

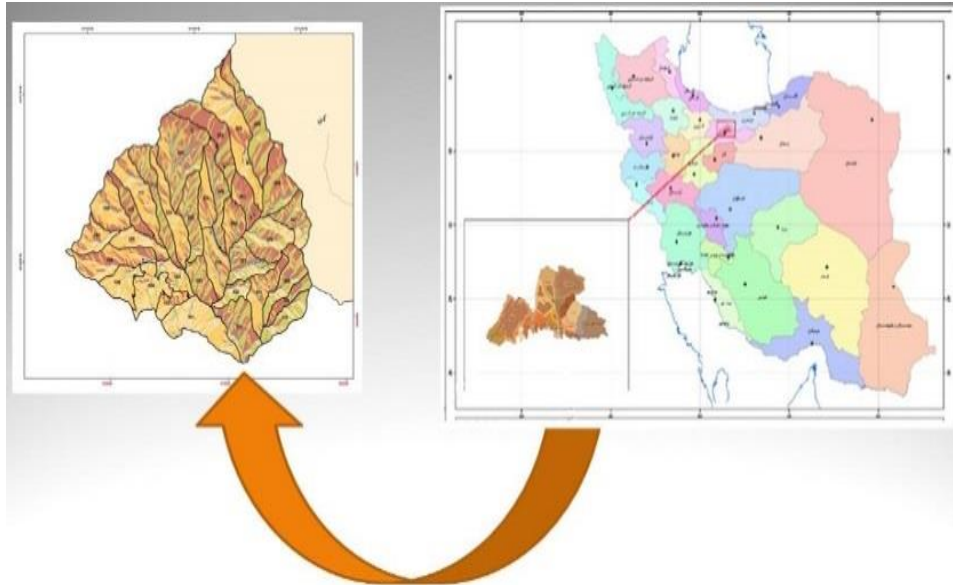
با توجه به لزوم ایجاد بخار در دماهای مختلف و استفاده از آن در شرایط گوناگون استفاده از بخار ساز و محیطی کنترل شده بود که این امر با انجام آزمایش‌ها در گلخانه صورت گرفت. در شرایطی که هدف ایجاد چنین شرایطی در مزرعه باشد نیاز به صرف وقت طولانی‌تری است، لذا به منظور نتیجه‌گیری بهتر و استفاده بهینه از زمان و مکان پژوهش مورد نظر در شرایط آزمایشگاهی ترجیح داده شد.

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش بر روی خاکی از دامنه‌های جنوبی البرز، در شمال غرب تهران و در منطقه وردیج انجام شد. این منطقه عمدتاً کوهستانی و مشتمل بر اراضی مرتعی بوده و دارای پستی و بلندی‌های زیادی می‌باشد. در شکل (۲) نمایی از وضعیت منطقه انتخاب شده که در ارتفاعات

می‌دهد. در تمام طول مدت آزمایش مقدار رطوبت و دما در بازه‌های زمانی ۲/۵ ساعت اندازه‌گیری شد.

رطوبت (Trime Fm)، دستگاه اندازه‌گیری دمای خاک، دستگاه رطوبت زنی هوا و دوربین اندازه‌گیری فلر را نشان



شکل ۲. نمایی از منطقه مطالعاتی در ارتفاعات رشته‌کوه‌های البرز



شکل ۳. نحوه آماده‌سازی تیمارها، دستگاه اندازه‌گیری رطوبت، دستگاه اندازه‌گیری دمای خاک، دوربین فلر

$$h_D = (N_{UD} \cdot k_1) / D_p \quad (۳)$$

که در آن k_1 ($W m^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$) و D_p (m) هدایت گرمایی هوا و قطر لوله هستند.

$$N_{UD} = \frac{\frac{f}{8} (Re_D - 1000) p_r}{(1 + 12.7 \cdot (\frac{f}{8})^{0.5}) \cdot (p_r^{2/3} - 1)} \quad (۴)$$

که در آن Re_D عدد رینولدز، و f فاکتور اصطکاک:

$$f = (0.79 \cdot \ln(Re_D) - 1.64)^{-2} \quad (۵)$$

اگر جریان هوا آرام باشد سپس $N_{UD} = 3.66$ استفاده می‌شود. در حرکت از محل $i-1/2$ به $i+1/2$ با کاهش شار جرم با مقدار بخار میعان یافته در حجم کنترل و با جرم بخار هوا که از منافذ خارج می‌شوند، $\dot{m}_{s,i}$ ($kg s^{-1}$)، در مقطع خاک i مواجه می‌شویم:

$$\dot{m}_{1,i+1/2} = \dot{m}_{1,i-1/2} - A_p h_{m,i} (\rho_{1,i} - \rho_{p,i}) - \dot{m}_{s,i} \quad (۶)$$

که در آن A_p (m^2) مقطع سطحی لوله است. ثابت جرم همرفتی h_m ($m s^{-1}$) از آنالوگ رینولدز بدست می‌آید:

$$h_m = \frac{h_D D_{av}}{\rho_l^{1/3} c_p^{1/3} k_l^{-2/3}} \quad (۷)$$

$$\dot{m}_{s,i} = -A_h k_i \rho_{l,i} g \rho_{w0} \sum_{j=1}^n \frac{k_{rg,j}}{\mu_{g,j}} (\nabla H_{g,jk} + \nabla y) \quad (۸)$$

$\dot{m}_{s,i}$ به عنوان نسبتی از اختلاف فشار استاتیک هوای مرطوب درون لوله است، $H_{l,i}$ (m)، فشار گاز در خاک بیرون لوله، $H_{g,i}$ (m)، در مقطع، طبق:

$$\nabla H_{\alpha,jk} \quad A_h \text{ (m}^2\text{) کل سطح منافذ لوله‌ها در مقطع.}$$

گرادیان فشار بین فشار استاتیک جریان هوا در مقطع i و گره k ، و گره‌های همجوار در همان مقطع i در دیواره مجاور لوله [۱۱].

خاک مورد استفاده و شرایط حاکم بر آزمایش‌های صورت گرفته در آزمایشگاه در جدول (۱) نشان داده شده است.

آزمایش مربوط به هر تیمار در ۳ نوبت تکرار گردید. میزان دما و رطوبت حجمی خاک در هر یک از مقاطع زمانی ثبت شد. از آنجایی که هوای مرطوب در طول دمیدن به درون لوله‌ها خنک می‌شود، بخار بر دیواره خنک‌تر لوله‌ها تقطیر می‌شود. گرمای نهان و محسوس از هوای مرطوب از لوله‌ها یافته و در خاک اطراف تجمع می‌یابد. میزان تقطیر در طول لوله به خواص جریان هوای ورودی و خاک بستگی دارد.

زمانی که جریان هوای گرم و مرطوب به لوله‌های آبیاری زیرزمینی سردتر وارد می‌شود، بخار به صورت قطره و به شکل مایع در می‌آید. آب و مقداری هوای مرطوب به خاک اطراف از طریق منافذ لوله‌ها نفوذ می‌کند، بنابراین شار جرم درون لوله‌ها را کاهش می‌دهد. با استفاده از یک حجم کنترل اطراف لوله، بین دو محل $i-1/2$ و $i+1/2$ در هر طرف مقطع i خاک، افت جریان هوای گرم در لوله افقی، $q_{p,i}$ (W) با استفاده از فرمول (۱) محاسبه می‌شود:

$$q_{p,i} = \dot{m}_{1,i-1/2} (h_1 + \frac{c^2}{2})_{i-1/2} - \dot{m}_{1,i+1/2} (h_1 + \frac{c^2}{2})_{i+1/2} \quad (۱)$$

که در آن \dot{m}_1 ($kg s^{-1}$)، hl ($J kg^{-1}$) و c ($m s^{-1}$) شار جرم، آنتالپی و سرعت جریان هوای گرم هستند. گرما از دیواره لوله به خاک در مقطع دوبعدی i انتقال می‌یابد، همچنین $q_{p,i}$ (W) برابر با تغییر انرژی جریان هواست، به عنوان نمونه مجموع انتقال گرمای همرفتی به دلیل اختلاف و میزان درجه حرارت در جایی که که گرما با انتقال جرم از درون منافذ لوله به مقطع i از خاک کاهش می‌یابد:

$$q_{p,i} = A_p (h_D (T_1 - T_p) + L h_m (\rho_1 + \rho_p))_i + \dot{m}_{s,i} h_{l1} \quad (۲)$$

در جایی که A_p (m^2)، T_p ($^\circ C$) و ρ_p ($kg m^{-3}$) در سطح لوله، دمای دیواره و چگالی بخار، T_1 ($^\circ C$) و ρ_1 ($kg m^{-3}$) متوسط دمای هوا و چگالی در سطح مقطع است، $\dot{m}_{s,i}$ ($kg s^{-1}$) شار جرم درون منافذ است. ثابت همرفتی h_D ($W m^{-2} \text{ } ^\circ C^{-1}$) به صورت معادله (۳) توصیف می‌شود:

جدول ۱. نام‌گذاری خاک‌های مورد استفاده در تحقیق

خاک سنگین، لوله هادی بدون پوشش	1	خاک سنگین، لوله هادی پوشش دار	1c
خاک سبک، لوله هادی بدون پوشش	2	خاک سبک، لوله هادی پوشش دار	2c
خاک متوسط، لوله هادی بدون پوشش	3	خاک متوسط، لوله هادی پوشش دار	3c
خاک سبک، لوله هادی بدون پوشش، مواد ارگانیک	4	خاک سبک، لوله هادی پوشش دار، مواد ارگانیک	4c
خاک سنگین، لوله هادی بدون پوشش، مواد ارگانیک	5	خاک سنگین، لوله هادی پوشش دار، مواد ارگانیک	5c
خاک متوسط، لوله هادی بدون پوشش، مواد ارگانیک	6	خاک متوسط، لوله هادی پوشش دار، مواد ارگانیک	6c

۳. نتایج

نتایج به دست آمده از بررسی دما و رطوبت در نمودارهایی که در این بخش وجود دارد نمایش داده شده‌اند. نام‌گذاری خاک‌ها طبق جدول ۱ می‌باشد. به ترتیب از بالا به پایین محور افقی نمودارها نشان‌دهنده درصد ماده ارگانیک مورد استفاده ۰٪، ۲۵٪ و ۳۵٪، نوع خاک (جدول ۱) و دمای بخار ۴۵ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

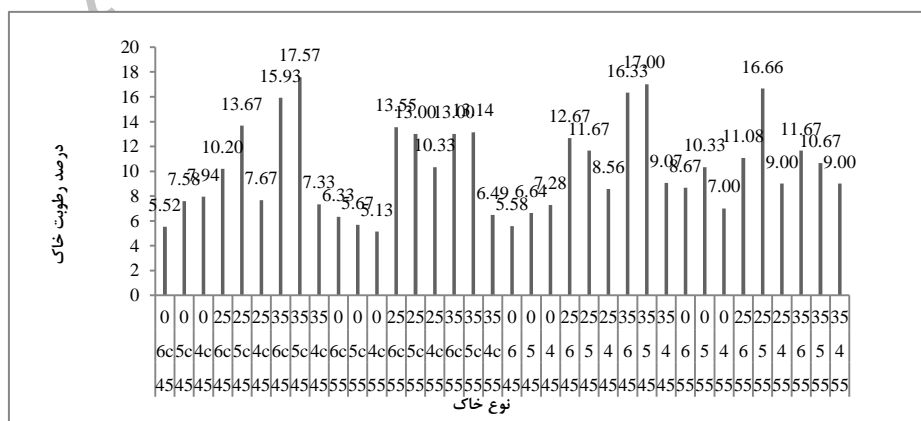
۱،۳. مقدار درصد رطوبت در عمق ۱۰

سانتی متری خاک

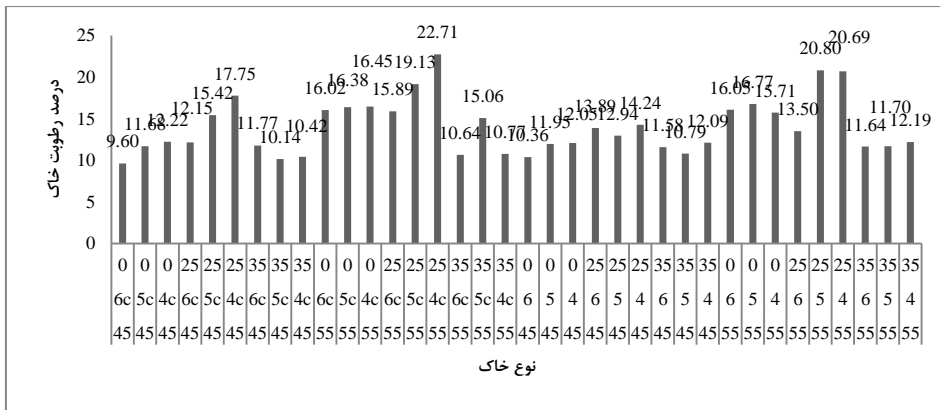
نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۵) حاصل از داده‌ها نشان داد که اثر ساده تیمارهای و برهم‌کنش متقابل آن‌ها در سطح یک درصد بر صفت رطوبت خاک در عمق ده سانتی متری معنی دار شد. نتایج مقایسه میانگین این تیمارها نشان داد که بیشترین و کمترین درصد رطوبت در این عمق در ترکیب تیمارهای جدول (۲) می‌باشد.

جدول ۲. مقدار درصد رطوبت در عمق ۱۰ سانتی متری خاک

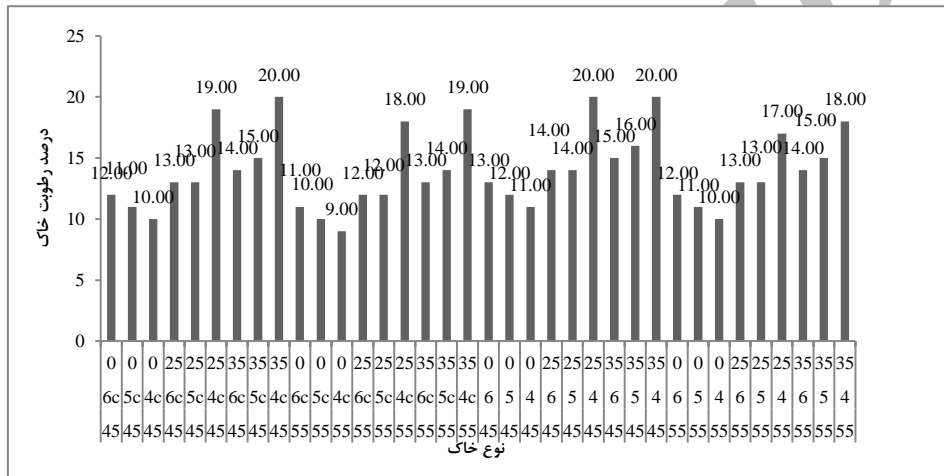
دما	بافت خاک	پوشش لوله هادی بخار	درصد مواد آلی	درصد رطوبت خاک
۵۵	سبک	دارد	۰	۵/۱۳
۴۵	متوسط	دارد	۰	۵/۵۲
۴۵	متوسط	ندارد	۰	۵/۵۸
۵۵	سنگین	ندارد	۲۵	۱۶/۶۶
۴۵	سنگین	ندارد	۳۵	۱۷
۴۵	سنگین	دارد	۳۵	۱۷/۵۷



شکل ۴. اثر تیمارهای مختلف بر درصد رطوبت خاک در عمق ۱۰ سانتی متری خاک



شکل ۵. اثر متقابل تیمارهای آزمایشی بر درصد رطوبت خاک در عمق ۲۰ سانتی متری خاک



شکل ۶. اثر متقابل تیمارهای آزمایشی بر درصد رطوبت خاک در عمق ۳۰ سانتی متری خاک

شد. مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین و کمترین رطوبت در عمق ۲۰ سانتی خاک در تیمارهای جدول (۳) می باشد.

۲،۳. درصد رطوبت در عمق ۲۰ سانتی متری خاک طبق جدول تجزیه واریانس (جدول ۵) حاصل از داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تیمار کود بافت خاک و دما بر درصد رطوبت خاک در سطح یک درصد معنی دار

جدول ۳. مقدار درصد رطوبت در عمق ۲۰ سانتی متری خاک

دما	بافت خاک	پوشش لوله هادی بخار	مواد آلی	درصد رطوبت خاک
۴۵	متوسط	دارد	۰	۹/۶
۴۵	سنگین	دارد	۳۵	۱۰/۱۴
۴۵	متوسط	ندارد	۰	۱۰/۳۶
۵۵	سبک	ندارد	۲۵	۲۰/۶۹
۵۵	سنگین	ندارد	۲۵	۲۰/۸
۵۵	سبک	دارد	۲۵	۲۲/۷۱

طرفی مقایسه میانگین این تیمارها نشان داد که بیشترین و کمترین رطوبت خاک در عمق ۳۰ سانتی متری خاک مربوط به تیمارهای جدول (۴) می باشد.

۳,۳. درصد رطوبت در عمق ۳۰ سانتی متری خاک
 نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۵) حاصل از داده ها نشان داد که اثر دما، بافت خاک، مواد آلی و اثر متقابل این تیمارها در سطح یک درصد معنی دار شد، از

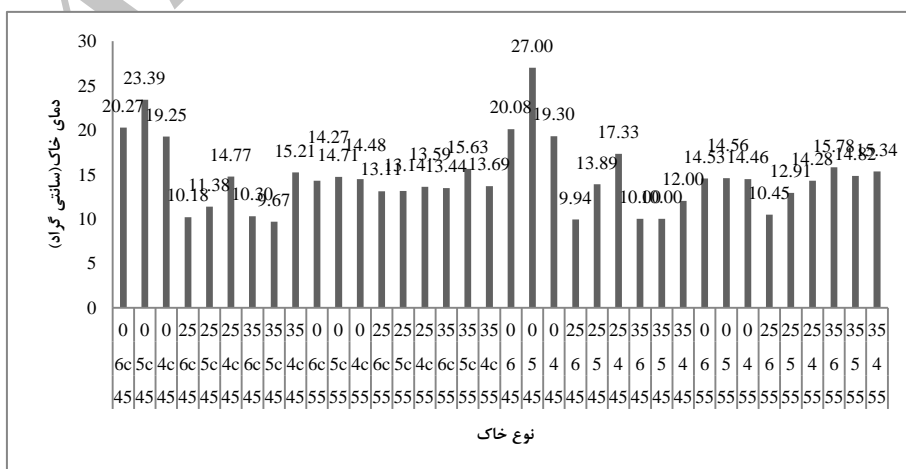
جدول ۴. مقدار درصد رطوبت در عمق ۳۰ سانتی متری خاک

درصد رطوبت خاک	مواد آلی	پوشش لوله هادی بخار	بافت خاک	دما
۹	۰	دارد	سبک	۵۵
۱۰	۰	دارد	سبک	۴۵
۱۰	۰	دارد	سنگین	۵۵
۲۰	۳۵	دارد	سبک	۴۵
۲۰	۲۵	ندارد	سبک	۴۵
۲۰	۳۵	ندارد	سبک	۴۵

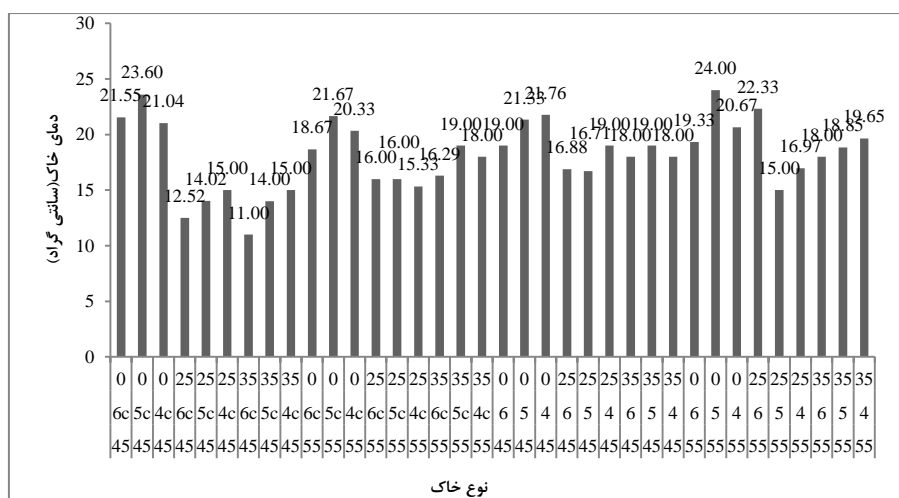
جدول ۵. تجزیه واریانس تیمارهای آزمایشی بر رطوبت خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	رطوبت در عمق ۱۰ سانتی متری	مجموع مربعات	رطوبت در عمق ۲۰ سانتی متری	رطوبت در عمق ۳۰ سانتی متری
دما	۱	۶۴۸**	۳۴۳/۸**	۳۸۴/۸**	
اشتباه اصلی	۷۲	۴۵/۵۲	۰/۱۳	۰۰/۱۵	
بافت خاک	۵	۱۲/۷۷**	۱۵/۹**	۲۸/۸۵**	
مواد آلی	۲	۲۲۶/۸**	۲۰۴/۳**	۲۵۲/۳**	
اثر دما و بافت خاک	۵	۱۲/۱۷**	۷/۵**	۸/۱**	
اثر دما*مواد آلی	۲	۷۶/۵۰**	۴۹/۲**	۴۹/۵۶**	
اثر بافت*دما*مواد آلی	۲۰	۱۰/۶۸**	۹/۷**	۱۵/۵۲**	
ضریب تغییرات (درصد)		۴/۷	۲/۶	۲/۵	

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی، معنی داری در سطح ۵ درصد و معنی داری در سطح یک درصد می باشد.



شکل ۷. اثر متقابل تیمارهای آزمایشی در عمق ۱۰ سانتی متری



شکل ۸. اثر متقابل تیمارهای آزمایشی بر میانگین دمای خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متری

متقابل دما، بافت خاک و مواد آلی معنی‌دار نشد. مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی نشان داد که بهترین تیمار از نظر کنترل دما و کاهش دمای خاک مربوط به تیمارهای موجود در جدول ۶ می‌باشند که در اصل این تیمارها بدون مصرف مواد آلی بودند. این نشان‌دهنده این امر است که مواد آلی می‌توانند دمای زیاد را در خاک کنترل کنند و در نتیجه باعث کاهش دمای خاک شوند (شکل ۷).

۴.۳. بررسی تغییرات دما در عمق ۱۰

سانتی‌متری خاک

نتایج جدول تجزیه واریانس، (جدول ۹)، حاصل از داده‌ها نشان داد اثر دما، بافت خاک در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار شد در صورتی که اثر متقابل این دو تیمار معنی‌دار نشد. از طرفی تیمار مواد آلی و اثر متقابل مواد آلی و دما در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد. اما اثر

جدول ۶. بررسی تغییرات دما در عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک

دما	بافت خاک	پوشش لوله هادی بخار	درصد مواد آلی	دمای خاک	
۴۵	سنگین	دارد	۳۵	۹/۶۷	
۴۵	متوسط	ندارد	۲۵	۹/۹۴	کمترین
۴۵	متوسط	ندارد	۳۵	۱۰	
۴۵	متوسط	دارد	۰	۲۰/۲۷	
۴۵	سنگین	دارد	۰	۲۲/۳۹	بیشترین
۴۵	سنگین	ندارد	۰	۲۷	

تیمار بافت خاک و مواد آلی و اثر متقابل دما و مواد آلی و همچنین اثر متقابل دما بافت و مواد آلی معنی‌دار شد، این معنی‌داری در سطح یک درصد می‌باشد. از طرفی مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی نشان می‌دهد که بهترین تیمار از نظر کنترل دما و کاهش دما در عمق

۵.۳. بررسی تغییرات دما در عمق ۲۰ سانتی‌متری

خاک

جدول تجزیه واریانس، (جدول ۹)، حاصل از داده‌ها نشان داد که دما و اثر متقابل دما و بافت معنی‌دار نشد اما

بیست سانتی متری خاک مربوط به تیمارهای ذکر شده در جدول ۷ می باشد.

جدول ۷. بررسی تغییرات دما در عمق ۲۰ سانتی متری خاک

دما	بافت خاک	پوشش لوله هادی بخار	درصد مواد آلی	دمای خاک	
۴۵	متوسط	دارد	۳۵	۱۱	
۴۵	متوسط	دارد	۲۵	۱۲/۵۲	کمترین
۴۵	سنگین	دارد	۳۵	۱۴	
۵۵	متوسط	ندارد	۲۵	۲۲/۳۳	
۴۵	سنگین	دارد	۰	۲۳/۶	بیشترین
۵۵	سنگین	ندارد	۰	۲۴	

بر صفت دمای خاک در سطح یک درصد معنی دار شد. مقایسه میانگین این تیمار نیز نشان داد که کمترین دما مربوط به تیمارهای -25.6C.45 جدول ۸ می باشد.

۶,۳. بررسی دما در عمق ۳۰ سانتی متری خاک

نتایج جدول تجزیه واریانس، (جدول ۹)، حاصل از داده ها نشان داد که اثر ساده و اثر متقابل تمامی تیمارها

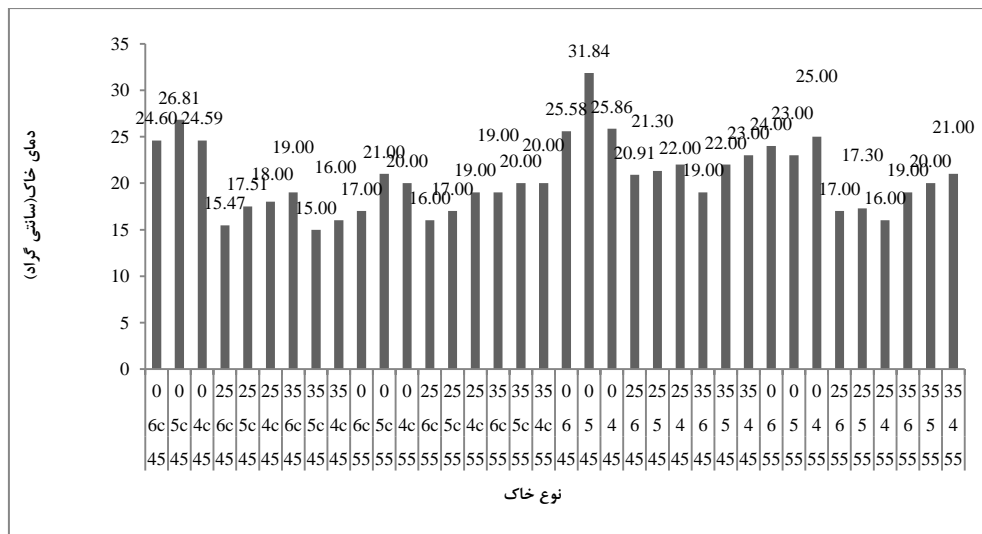
جدول ۸. بررسی تغییرات دما در عمق ۲۰ سانتی متری خاک

دما	بافت خاک	پوشش لوله هادی بخار	درصد مواد آلی	دمای خاک	
۴۵	سنگین	دارد	۳۵	۱۵	
۴۵	متوسط	دارد	۲۵	۱۵/۴۷	کمترین
۴۵	سبک	دارد	۳۵	۱۶	
۴۵	سبک	ندارد	۰	۲۵/۸۶	
۴۵	سنگین	دارد	۰	۲۶/۸۱	بیشترین
۴۵	سنگین	ندارد	۰	۳۱/۸۴	

جدول ۹. تجزیه واریانس تیمارهای آزمایشی بر میانگین دمای خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات		
		دما در عمق ۱۰ سانتی متری	دما در عمق ۲۰ سانتی متری	دما در عمق ۳۰ سانتی متری
دما	۱	۱۱۵/۶*	۵۳ ^{NS}	۱۷۵۲**
اشتباه اصلی	۷۲	۱۶/۸۹	۱۰/۵۴	۰/۷۴
بافت خاک	۵	۴۳/۸*	۴۷/۷ ^{NS}	۱۰۳/۷**
مواد آلی	۲	۲۴۹/۸**	۱۸۲/۹**	۵۷۷/۲**
اثر دما و بافت خاک	۵	۱۲/۱۷**	۷/۵**	۳۰/۱۴**
اثر دما*مواد آلی	۲	۱۶۸/۷**	۱۴/۲۸**	۶۷/۶**
اثر بافت*دما*مواد آلی	۲۰	۱۴/۷۰ ^{Ns}	۱۵/۹۶ ^{NS}	۲۵/۸**
ضریب تغییرات (درصد)		۲۷	۱۷	۰/۷۴

NS، * و ** به ترتیب غیر معنی، معنی داری در سطح ۵ درصد و معنی داری در سطح یک درصد می باشد.



شکل ۹. اثر متقابل تیمارهای آزمایشی بر میانگین دمای خاک در عمق ۳۰ سانتی‌متری

بخار می‌توان راندمان را بالاتر برد. در شرایط آزمایشگاهی میزان تولید آب ۱/۵ تا ۲/۵ میلی‌متر در روز بدست می‌آید. با افزایش سرعت حرکت بخار در لوله انتقال، که تا ۴۴۰ متر بر ثانیه می‌تواند بالا برده شود و استفاده از حرارت و آب گرم شده توسط خورشید و استفاده از دمای کم آب در عمق خاک یا دریا امکان تولید آب تا ۱۰۰۰ متر مکعب در روز بوجود می‌آید. برای تأمین نیاز آبی گیاه در شرایطی که خاک خیلی سنگین و یا خیلی سبک نباشد و هوا بتواند جریان یافته و درجه حرارت بشکلی تنظیم شود که چگالش تداوم داشته باشد، تأمین نیاز آبی گیاه به آسانی انجام می‌شود. چگالش بخار می‌تواند نقش قابل توجهی در افزایش رطوبت خاک و چشم‌انداز امیدبخشی برای سرسبز کردن مناطق خشک و کم آب داشته باشد که مستلزم تحقیقات بیشتر است.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از نتایج طرح تحقیقاتی در حال اجرای پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری (سازمان آموزش و تحقیقات کشاورزی) با حمایت معاونت علمی و توسعه فناوری ریاست جمهوری است. بدین وسیله از

۴. بحث و نتیجه‌گیری

چگالش رطوبت هوا یکی از روش‌های نوین تأمین آب برای استفاده مستقیم یا برای تأمین رطوبت کمکی است. هوای گرم و مرطوب با دادن گرمای خود به زمین، باعث ذخیره آب شیرین در محیط چگالش می‌شود. این روش می‌تواند در نمک‌زدایی آب شور، استفاده مستقیم از رطوبت هوا و یا استفاده از آب‌های آلوده برای، تأمین نیاز آبی گیاه، تولید آب شرب و یا صنعت مورد استفاده قرار گیرد. در شرایطی که رطوبت هوا کافی و منبع گرمایش و سرمایش به‌طور طبیعی در دسترس باشد، این فناوری بدون اثر سوء زیست محیطی و با سوددهی بالا قابل اجرا است. ساده و کاربردی بودن و نیاز به سرمایه گذاری کم این فناوری را در ردیف یکی از کارآمدترین روش‌های نوین قرار داده است. از مزایای این روش در تأمین نیاز آبی گیاه، تهویه بهتر خاک، کاهش هدررفت آب، فناوری ساده و سرمایه‌گذاری کم می‌باشد. اگر مواد آلی بهبود دهنده، یا جاذب الرطوبه به خاک اضافه شود، با استفاده از ظرفیت خنک‌کنندگی خاک و استفاده از انرژی خورشید جهت امکان پمپاژ بخار بیشتر و ایجاد بخار سرد و تأمین سرعت حرکت مناسب در لوله انتقال

پشتیبانی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
سپاس‌گزاری می‌شود.

حمایت‌های مالی معاونت علمی، همکاری دانشکده
مهندسی آب دانشگاه منابع طبیعی و کشاورزی ساری و

References

- [1] Amirkabir Industrial Engineering Academy, 2011. Research Vice-Chancellery, Preliminary feasibility studies of production polymer and absorption water with polymer color ester for high dendrimer use. (In Persian).
- [2] Bazargan, M. Ahmadi, A. Beiglui, M. 2014. The production of fresh water by using underground cooling of humid air and sunlight, Quarterly Journal of Renewable and New Energy, No. 1.(In Persian).
- [3] Deng X.P. Shan L. Zhang H. and Turner N.C, 2006. Improving agriculture water use efficiency in arid and semi-arid areas of China. *Agricultural Water Management*. 80, 23–40.
- [4] Douh B. Mguidiche A. Bhourri-Khila S. Mansour M. Harrabi R. and Boujlben A. 2013. Yield and water use efficiency of cucumber (*Cucumis sativus* L.) conducted under subsurface drip irrigation system in a Mediterranean climate. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*. 2 (4), 46–51.
- [5] FAO, 2002, *The State of Food and Agriculture*.
- [6] Gindel, I. 1965. *Nature*, "Irrigation of Plants with Atmospheric Water within the Desert", Vol. 207:1173-1175.
- [7] Hamdy, A., Abdel, S. and M. Abu-Zeid. 1993. Saline water management for optimum crop production. *Agricultural. Water Management*, 24:189-203.
- [8] Iranian Academic Center for Education Culture and Research Amirkabir University of Technology Branch, Research Deputy, 2012, Preliminary feasibility studies of poly-alpha production and absorption of water with polymer-ester paint for high dendrimer use.
- [9] Lindblom, J. and Nordell, B. 2006, Water production by underground condensation of humid air, *Desalination* 248-260.
- [10] Lindblom, J. 2006. Condensation irrigation: simulations of heat and mass transfer. Licentiate thesis, Luleå University of Technology.
- [11] Lindblom, J. 2012. Condensation Irrigation a combined system for desalination and irrigation, Doctoral Thesis Division of Architecture and Water Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering Lulea University of Technology SE-97187 Lulea, Sweden Printed by Universitetstryckeriet, Luleå.
- [12] Nasrabadi, 2015. Environmental evidence of Iran's water crisis and some solutions, *Journal of Social-Cultural Strategy*, Fourth Year, No. 15, pp. 89-65.(In Persian).
- [13] Qadir M , 2003, "Report on present situation, problems and solutions in the legal system related to corruption control and corruption cases in Pakistan", *International Review of Penal Law*, Vol. 74, 2003/1, pp. 515-525.
- [14] Rahil M.H. and Antonopoulos V.Z. 2007. Simulating soil water flow and nitrogen dynamics in a sunflower field irrigated with reclaimed wastewater. *Agricultural Water Management*. 92, 142–150.
- [15] Rhoades, J. D. 1987. Use of saline water for irrigation. *Water Quality Bulletin* 12: 14-20.
- [16] Rosegrant, M.W. Cai, X. and Cline, S.A. 2002. *World water and food to 2025: Dealing with scarcity*. International Food Policy Research Institute. ISBN 0-89629-646-6.
- [17] Safaie, M. MasumBeigi, H. 2004. Methods of treatment and desalination of saline waters, *Journal of Educational Development Office of the School of Public Health*, 2007, No. 74, pp. 28-17.(In Persian).
- [18] Sedaghati, N. Hoseinifard, S J. Nikoui Dastjerdi, M R. 2018. Investigating the effects of using magnesium salt water on chemical properties and soil permeability and growth and yield of pistachio trees, *Journal of Water Research in Agriculture*, Volume 31, (In Persian).

- [19] Shahrokhnia MH, Sepaskhah AR, 2017. Safflower model for simulation of growth and yield under various irrigation strategies, planting methods and nitrogen fertilization, International Journal of Plant Production, Volume 11, Issue1.
- [20] Sharma DP and Rao KVGK (1998) Strategy for long term use of saline drainage water for irrigation in semi-arid regions. Soil Tillage Research. 48: 287-295.
- [21] Szabolcs H, 1989. Salt affected soils. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida.
- [22] Yusefi, P. 2015. Water crisis, Second National Conference on Water Crisis Advances in Iran and the Middle East, Shiraz.(In Persian).
- [23] Yusefi, B. Behzad, M. Borumandnasab, S. Rahmanshahi Zahabi, M. 2011. Evaporation-distillation irrigation a new method for the use of salt and unconventional waters, Fourth Iranian Water Resources Management Conference. (In Persian).
- [24] World Resources, 2005, The wealth of the poor, managing ecosystems to fight poverty, United Nations Development Programme, United Nations Environment Programme, the World Bank and World Resources Institute - September 2005.

Archive of SID