نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۴، مرداد - شهریور ۱۳۹۹، ص. ۸۵۴-۸۴۱

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 14, Agu.-Sept. 2020, p. 841-854

بررسی اثر پوشش‌های طبیعی در کاهش تبخیر از سطح خاک تحت شوری‌های مختلف آب آبیاری

نجمه یرمی[۱*]، امیرمحمد علی محمدی دره[۲]، امیرمحمد طحان پور بیده[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱/۷

چکیده

حفاظت از آب و افزایش بازده مصرف آن از ارکان اصلی کشاورزی پایدار به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. استفاده از خاکپوش‌های طبیعی سازگار با محیط زیست یک روش مؤثر کاهش تبخیر از سطح خاک و در نتیجه کاهش مصرف آب می‌باشد. در این پژوهش به منظور بررسی اثر پوشش‌های مختلف در شرایط شور و غیر شور بر تبخیر از سطح خاک، آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار پوشش (C_1: خاک بدون پوشش، C_2: سنگریزه، C_3: کنجاله کنجد و C_4: ضایعات پسته)، سه سطح شوری آب آبیاری (S_1: آب شرب با شوری 0.8 dSm^{-1}، S_2: آب با شوری 6 dSm^{-1} و S_3: آب با شوری 12 dS m^{-1}) و سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که بیشترین کاهش تبخیر بعد از سه هفته به میزان ۵۸٪ در تیمار پوشش سنگریزه و سپس کنجاله کنجد و ضایعات پسته به ترتیب به مقدار ۴۱ و ۳۷٪ نسبت به شاهد مشاهده شد. با خاکپوش سنگریزه حتی ۱۰۵ روز بعد از آبیاری نیز تبخیر تجمعی ۷٪ کمتر و رطوبت خاک حدود دو برابر بیشتر از خاک بدون پوشش بود. اگر چه اثر شوری آب آبیاری بر تبخیر از خاک معنی‌دار نبود اما نتایج نشان داد که رطوبت خاک در تیمارهای آب شور نسبت به تیمار غیر شور در هر نوع خاکپوش نسبت به خاک لخت حدود ۱ تا ۳ درصد بیشتر بود. با تعمیم نتایج کاهش تبخیر به سطح مزرعه، دور آبیاری حداقل ۵ روز طولانی‌تر و تعداد دفعات آبیاری باغات پسته در دوره رشد، در منطقه اردکان حداقل یک بار کمتر می‌شود. با کاربرد پوشش سنگریزه، کنجاله کنجد و ضایعات پسته به ترتیب می‌توان ۸/۵، ۶ و ۵/۴ Mm^3 آب صرفه‌جویی نمود. این حجم صرفه‌جویی در راستای تعادل بخشی سفره‌های آب زیرزمینی معادل با خاموشی ۱۸۵ چاه با دبی ۲۰ lit/s به ترتیب به مدت ۲۷، ۱۹ و ۱۷ روز در منطقه اردکان است.

واژه‌های کلیدی: تبخیر تجمعی، تعادل بخشی سفره زیرزمینی، دور آبیاری طولانی‌تر، خاکپوش طبیعی، شوری

مقدمه

ارتقاء بازده مصرف آب یکی از اهداف ضروری در تولیدات کشاورزی به خصوص در مناطق خشک که با محدودیت منابع آب مواجهند، می‌باشد. از آنجایی که تقاضای آب برای غیر کشاورزی رو به افزایش است، لذا آب قابل دسترس برای بخش کشاورزی در حال کاهش است. بنابراین، توجه به راهکارهایی که بتواند مصرف آب را در این بخش کاهش دهد، اهمیت دارد. در نواحی خشک، بخش قابل توجهی از آب آبیاری از طریق تبخیر از سطح خاک به اتمسفر برمی‌گردد که جزء تلفات محسوب می‌شود. همچنین در مناطقی که سطح ایستابی بالایی دارند به دلیل تبخیر از سطح خاک، تجمع املاح در سطح خاک رخ داده و در نتیجه شور شدن خاک نیز به وقوع می‌پیوندد. لذا کنترل تبخیر حائز اهمیت است.

تبخیر از سطح خاک به طور مستقیم بر کارایی مصرف آب توسط گیاه مؤثر است و حدود ۲۰ تا ۵۰ درصد از کل تبخیر-تعرق را شامل می‌شود (Liu et al., 2002) وکاهش تبخیر از سطح خاک در افزایش کارایی مصرف آب گیاه مؤثر است (Gao et al., 2019; Fan et al., 2017). نسبت تبخیر به تبخیر-تعرق برای ذرت دیم در یکی از فلات‌های چین به طور متوسط ۳۷ درصد بدست آمد (Zhou et al., 2017). یکی از ساده‌ترین روش‌های کنترل تلفات تبخیر استفاده از مواد مختلف به عنوان خاکپوش است. خاکپوش‌ها علاوه بر کاهش تبخیر از سطح خاک، نقش کنترل و تعدیل تغییرات دمایی خاک، کاهش رشد علف‌های هرز، جلوگیری از فرسایش خاک، جلوگیری از شور شدن لایه سطحی خاک و حفظ رطوبت خاک برای استفاده گیاه

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی علوم و مهندسی آب، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران
۳- دانشجوی کارشناسی علوم و مهندسی آب، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: nyarami@ardakan.ac.ir

را ایفا می‌کنند. در این میان کاربرد خاکپوش‌های طبیعی و در دسترس و سازگار با محیط زیست مناسب‌تر است. نوع، ضخامت، اندازه ذرات خاکپوش و قدرت تبخیرپذیری هوا بر سرعت تبخیر از سطح خاک مؤثر است (Tolk et al., 1999; Bezborodov et al., 2010).

دمیر و همکاران مشاهده کردند که کاربرد خاکپوش‌های با منشأ آلی بر روی سطح خاک باعث کاهش تبخیر و افزایش مواد آلی خاک و بهبود مشخصات فیزیکی خاک می‌شود (Demir et al., 2009). در پژوهشی اثر خاکپوش‌های مختلفی مانند کاه و کلش، چمن و برگ-های خشک با ضخامت‌های مختلف بر تبخیر از سطح خاک آزمایش شد. نتایج نشان داد که کاربرد همه‌ی انواع خاکپوش‌ها باعث کاهش معنی‌دار تبخیر نسبت به خاک بدون پوشش شد. علاوه بر این مشخص شد که با افزایش ضخامت خاکپوش از ۵ به ۱۰ سانتی‌متر تبخیر به طور معنی‌داری کاهش یافت اما افزایش ضخامت خاکپوش ها تا حد ۱۵ سانتی‌متر تأثیر معنی‌داری بر کاهش میزان تبخیر نداشت (McMillen, 2013). وانگ و همکاران اثر ضخامت‌های مختلف مالچ سنگریزه را بر تبخیر از سطح خاک، تغییرات دما و کارایی مصرف آب هندوانه بررسی نمودند. نتایج حاکی از آن بود که افزایش ضخامت خاکپوش تا حدود ۷ تا ۸ سانتی متر در کاهش تبخیر و افزایش کارایی مصرف آب مؤثر است و ضخامت‌های بیشتر اثر معنی‌داری بر تبخیر سطحی نداشتند (Wang et al., 2014).

خاشعی سیوکی و باربد (۱۳۹۴) به بررسی اثر پوشش‌های مختلف سطح خاک بر کاهش تبخیر پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که پوشش سطح خاک با موادی مانند کوکوپیت و کلش می‌تواند در کاهش معنی‌دار تبخیر از سطح خاک مؤثر باشد. یوزوما و آنوکا اثر خاکپوش‌های آلی به صورت کمپوست و غیر کمپوست را بر هدایت هیدرولیکی اشباع و تبخیر سطحی خاک بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که کاربرد خاکپوش به هر دو صورت باعث کاهش تبخیر واقعی از سطح خاک به خصوص در اوایل دوره رشد گیاه شده و در بهبود هدایت هیدرولیکی اشباع خاک نیز مؤثر بوده است (Uzoma and Onwuka, 2018). شاهی و همکاران (۱۳۹۷) تاثیر مقادیر مختلف سنگریزه در بافت‌های مختلف خاک را بر تبخیر از سطح خاک بدون پوشش مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که بیشترین میزان تبخیر تجمعی به ترتیب در خاک‌های سیلتی رسی، لومی و لوم شنی اتفاق افتاد و افزایش حجم سنگریزه باعث کاهش درصد حجمی خاک و در نتیجه کاهش آب موجود در خاک و به تبع آن باعث کاهش تبخیر گردید. گائو و همکاران در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که استفاده از خاکپوش کاه و کلش بهترین روش برای حفظ رطوبت خاک، افزایش ماده آلی، افزایش عملکرد و ارتقای کارایی مصرف آب ذرت می‌باشد (Gao et al., 2019).

قدرت تبخیرپذیری اتمسفر کاملاً مستقل از ویژگی‌های خاکی که از آن تبخیر صورت می‌گیرد، نمی‌باشد (Hillel, 1998). حتی اگر فرض شود که این قدرت مستقل از ویژگی‌های خاک باشد و تبخیر از سطح خاک دقیقا با تبخیر از سطح آزاد آب برابر شود، شوری به دلیل ایجاد پتانسیل اسمزی باعث درگیر شدن مولکول‌های آب و کاهش فشار بخار آب شده و در نتیجه منجر به کاهش تبخیر می‌گردد (Al-Shammiri, 2002). لذا کاهش تبخیر در مرحله‌ی اول آن در اثر کاهش انرژی مولکول‌های آب یا افزایش پتانسیل اسمزی می‌باشد. در مرحله دوم و سوم تبخیر علاوه بر این دلیل، تشکیل لایه نمک (soil crust) در سطح خاک با بالا بردن ضریب آلبیدوی سطح خاک ضمن تقلیل انرژی دریافتی سبب کاهش تبخیر می‌شود. بنابراین شوری آب و خاک نیز می‌تواند در میزان تبخیر مؤثر باشد. پژوهش‌هایی نیز در این زمینه انجام شده که حاکی از آن است که با افزایش شوری، تبخیر از خاک کاهش می‌یابد. در مطالعه‌ای اثر رطوبت و شوری خاک بر تبخیر روزانه از سطح خاک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تبخیر از سطح خاک شور کمتر از خاک غیر شور است که علت آن تجمع نمک در سطح خاک بیان شد که باعث کاهش تبخیر می‌شود (Xue and Akae, 2010). اثر لایه نمکی که به دلیل شوری در سطح خاک تشکیل می‌شود در جلوگیری از فرسایش بادی به دلیل ساختمان ریز و متراکم آن (Maurer et al., 2010) و کاهش تبخیر از سطح خاک به دلیل افزایش ضریب آلبیدوی خاک (Fujimaki et al., 2006; Zhange et al., 2013) بیان شده است. سلاح‌ورزی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی به محاسبه تبخیر در مرحله اول و دوم از سطح خاک شور بدون پوشش با بافت‌های مختلف پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش شوری از 0.7 به 8 $dS\ m^{-1}$ میزان تبخیر از خاک‌های رس شنی، شن لومی و لوم شنی به ترتیب 15.9، 11.4 و 37.8 درصد کاهش یافت.

ضایعات تولیدی در مراحل تولید و فرآوری محصولات کشاورزی می‌توانند گزینه‌های مناسب، سازگار با محیط زیست و کم‌هزینه برای استفاده به عنوان خاکپوش باشند که با شخم سال‌های آتی به عنوان ماده آلی به خاک اضافه می‌شوند. ضایعات حاصل از تولید پسته و تولید فرآورده های کنجدی از جمله موادی هستند که به وفور در استان یزد و به ویژه شهرستان اردکان یافت می‌شوند. سنگریزه نیز به عنوان یک پوشش طبیعی و قابل دسترس در اکثر مناطق می‌تواند گزینه مناسبی برای خاکپوش باشد. در زمان چال‌کود پوشش سنگریزه با شن‌کش به صورت موضعی کنار زده می‌شود و پس از کوددهی دوباره پوشش به وضعیت اولیه برگردانده می‌شود. این کار هر دو یا سه سال یک بار در فصل زمستان انجام می‌شود. از آنجا که اثر شوری آب آبیاری بر میزان تبخیر از سطح خاک در حضور خاکپوش‌ها بررسی نشده است لذا این پژوهش با اهداف ذیل انجام شد: ۱- ارزیابی و مقایسه‌ی اثر خاکپوش‌های طبیعی قابل دسترس در کاهش تبخیر سطحی خاک ۲- مقایسه‌ی تبخیر سطحی با کاربرد انواع خاکپوش‌ها در شرایط آبیاری با آب شور.

مواد و روش‌ها

خاکپوش‌ها

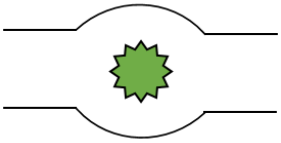
پسته بیشترین سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در استان یزد (۴۴ هزار هکتار) را شامل می‌شود. سطح زیر کشت این محصول در اردکان ۷۵۰۰ هکتار است (جهاد کشاورزی استان یزد، ۱۳۹۸). ضایعات پسته به مجموعه موادی گفته می‌شود که هنگام پوست‌گیری از پسته تازه باقی می‌ماند. این ضایعات ترکیبی از پوسته نرم پسته، خوشه‌هایی که دانه‌های پسته به آن متصل بوده‌اند و مقداری برگ درخت می‌باشد. در گویش محلی به این مواد پغر (Paghar) می‌گویند. به طور متوسط بسته به رقم پسته، ۴۰ تا ۵۰ درصد عملکرد تر پسته را ضایعات تشکیل می‌دهد. این مواد می‌تواند به عنوان خاکپوش استفاده شود. در این پژوهش ضایعات پسته از یک کارگاه محلی پوست‌کنی پسته تهیه شد.

شهرستان اردکان به عنوان قطب تولید فرآورده‌های کنجدی محسوب می‌شود، لذا ضایعات کنجد که اصطلاحاً کنجاله کنجد نامیده می‌شود به وفور در دسترس می‌باشد که می‌توان از آن به عنوان خاکپوشی ارزان قیمت استفاده نمود. در این پژوهش کنجاله کنجد از یکی از کارگاه‌های محلی تولید حلوا ارده تهیه شد.

سنگریزه با دانه‌بندی‌های مختلف از جمله مواد طبیعی در دسترس در اکثر مناطق کشور است. استفاده از سنگریزه به عنوان خاکپوش در باغات به ویژه باغات دیم و نیز باغات دارای سیستم آبیاری قطره‌ای کاربرد دارد. اندازه سنگریزه نیز در کارایی آن برای کاهش تبخیر از سطح خاک مؤثر است. در این پژوهش سنگریزه از منابع محلی تهیه گردید و با الک در اندازه ۵ تا ۱۰ میلی‌متر برای استفاده جداسازی شد.

کاربرد خاکپوش‌ها

در شیوه آبیاری سطحی پسته در استان یزد و شهرستان اردکان عموماً در امتداد ردیف درختان نوارهایی ایجاد می‌شود و دور تنه درخت فضایی دایره‌ای وجود دارد که محل نفوذ و ذخیره آب در خاک است (شکل ۱). با استفاده از خاکپوش، تبخیر سطحی از این ناحیه را می‌توان کنترل نمود. در آبیاری قطره‌ای نیز چنین فضایی در محل چاله کاشت درخت وجود دارد که عملیات خاکورزی و کوددهی در خاک این ناحیه هر دو یا سه سال یک بار انجام می‌گردد. تبخیر سطحی از این ناحیه نیز که محل نفوذ آب به خاک است با مدیریت پوشش سطح خاک قابل کنترل است.



شکل ۱- نمایی از نوارهای کاشت در اطراف درختان پسته

کاربرد ضایعات پسته و کنجاله کنجد بعد از یک سال با برگردانده شدن به خاک می‌تواند در افزایش مواد آلی و بهبود ساختمان خاک (مشکلات ناشی از ساختمان خاک به دلیل شوری در منطقه زیاد است) مؤثر باشد. پوشش سنگریزه محدودیت‌هایی را در مسأله خاکورزی و شخم ایجاد می‌کند. راه حل محلی این مشکل این است که کشاورز در زمان شخم سنگریزه را با شن‌کش کنار زده، شخم و چال کود را انجام داده و دوباره سنگریزه‌ها را بر روی خاک اطراف درخت پخش کند.

روش اجرای آزمایش

به منظور بررسی مقدار تبخیر در حضور خاکپوش‌های طبیعی و در شرایط شوری‌های مختلف آب آبیاری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار نوع پوشش (C_1: خاک بدون پوشش، C_2: پوشش سنگریزه با دانه بندی ۵ تا ۱۰ میلی‌متر، C_3: پوشش کنجاله کنجد و C_4: پوشش ضایعات پسته)، سه سطح شوری آب آبیاری (S_1: آب شرب با شوری $0.8\ dS\ m^{-1}$، S_2: آب با شوری $6\ dS\ m^{-1}$ و S_3: آب با شوری $12\ dS\ m^{-1}$) و سه تکرار در آزمایشگاه آب و خاک، دانشگاه اردکان انجام گرفت. به منظور بررسی بهتر روند تغییرات میزان تبخیر در تیمارهای مختلف، در مدت آزمایش گلدان‌ها در محیط کنترل شده‌ی آزمایشگاه با دمای نسبتاً خنک نگهداری شدند به طوری‌که دمای حداکثر و حداقل در این دوره به ترتیب حدود ۳۲ و ۲۲ درجه سانتی‌گراد بود. خاک مورد استفاده در این آزمایش از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه جمع‌آوری شد. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده شده در جدول ۱ ارائه شده است.

برای اجرای تیمارهای آزمایشی از گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۱۸ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر استفاده شد. تمام گلدان‌ها با مقدار مشخصی از خاک هوا خشک رد شده از الک دو میلی‌متری پر شد. ضخامت خاکپوش‌ها تقریباً ۵ سانتی‌متر بود. وزن پوشش‌ها در تکرارهای مختلف یک تیمار یکسان بود. ظرفیت نگهداری آب در خاک مشابه روش تعیین حد FC در مزرعه در سه گلدان اشباع و پوشیده شده با پلاستیک و توزین روزانه تا رسیدن به وزن ثابت تعیین شد. زمانی که وزن گلدان‌ها به مقدار ثابت رسید، مقدار رطوبت موجود در خاک آنها به عنوان ظرفیت نگهداری آب خاک در گلدان در نظر گرفته شد. بعد از ریختن پوشش‌ها بر روی خاک گلدان‌ها، آبیاری آنها انجام شد. با توجه به اینکه ظرفیت نگهداری خاک ۳۰/۱ درصد وزنی تعیین شد و وزن خاک خشک داخل گلدان‌ها نیز مشخص بود، حجم آب مورد نیاز برای آبیاری آنها تا حد ظرفیت نگهداری از رابطه زیر تعیین گردید:

$$V = Ws \times \theta_w \qquad (۱)$$

در معادله فوق V: حجم آب مورد نیاز برای آبیاری (سانتی‌متر-

مکعب)، W_s: وزن خاک خشک داخل گلدان (گرم) و θ_w: رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت نگهداری می‌باشد.

برای تهیه آب با شوری‌های مورد نظر از نمک کلرید سدیم و کلرید کلسیم به نسبت یک به یک و دستورالعمل استاندارد شماره۶۰ آزمایشگاه شوری خاک آمریکا (Richards, 1954) استفاده گردید. بعد از آبیاری، به طور روزانه و به مدت سه هفته (۲۱ روز که دور معمول آبیاری باغات پسته است) گلدان‌ها توزین شدند و روند تبخیر سطحی محاسبه شد. علاوه بر این به منظور بررسی فرآیند تبخیر در دراز مدت، ۳۵ و ۱۰۵ روز بعد از آبیاری (دور آبیاری در باغاتی که با مشکل کمبود آب مواجه هستند) نیز گلدان‌ها وزن شدند و رطوبت وزنی خاک و تبخیر تجمعی برای تمام تیمارها تعیین گردید.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

بافت	شن (٪)	رس (٪)	ظرفیت نگهداری (٪ وزنی)	حد پژمردگی دائم (٪وزنی)	رطوبت اولیه (٪وزنی)	چگالی ظاهری (g cm^{-3})	هدایت الکتریکی عصاره اشباع ($dS\ m^{-1}$)
لوم	۴۹/۸	۲۰/۲	۳۰/۱	۱۲/۴	۲/۱	۱/۲۸	۷/۱۵

محاسبه رطوبت، تبخیر تجمعی و نسبت تبخیر تجمعی در هر پوشش نسبت به خاک بدون پوشش

بر اساس توزین گلدان‌ها در هر روز با استفاده از روابط زیر درصد رطوبت وزنی موجود در خاک و تبخیر تجمعی از خاک تعیین گردید:

$$\theta_i = (\frac{W_{Pi} - W_{Pd}}{W_{ds}}) \times 100 \quad (۲)$$

$$\mathrm{CE}_i = \sum_{i=1}^{n} (\frac{W_{Pi} - W_{P(i-1)}}{A}) \times 10 \quad (۳)$$

در معادلات فوق، θi: درصد وزنی رطوبت خاک، W_{Pi}: وزن گلدان و محتویات آن در هر روز (گرم)، W_{pd}: وزن گلدان و محتویات آن قبل از آبیاری که شامل مجموع وزن گلدان، خاک خشک و پوشش مورد استفاده می‌باشد (گرم)، W_{ds}: وزن خاک خشک موجود در گلدان (گرم)، CE_i: ارتفاع تبخیر تجمعی در هر روز (میلی‌متر)، $W_{P(i-1)}$: وزن گلدان و محتویات آن در روز ماقبل (گرم) و A: سطح مقطع گلدان (سانتی‌مترمربع) می‌باشد. به منظور مقایسه بهتر میزان تبخیر از خاک در تیمارهای دارای خاکپوش نسبت به خاک بدون پوشش، پارامتر نسبت تبخیر تجمعی بر اساس رابطه زیر تعیین گردید:

$$\mathrm{CER}_i = \frac{CE_{i-CT}}{CE_{i-NC}} \quad (۴)$$

که در آن: CER_i: نسبت تبخیر تجمعی هر پوشش نسبت به خاک لخت در هر روز، $CE_{i\text{-}CT}$: تبخیر تجمعی برای هر نوع خاکپوش در هر روز (میلی‌متر) و $CE_{i\text{-}NC}$: تبخیر تجمعی برای خاک بدون پوشش در هر روز (میلی‌متر) می‌باشد.

تجزیه و تحلیل و مقایسه میانگین‌ها

رسم نمودارها و انجام محاسبات لازم برای تعیین پارامترهایی نظیر تبخیر تجمعی و رطوبت وزنی خاک در محیط نرم افزار Excel صورت پذیرفت. تجزیه و تحلیل آماری نتایج و مقایسه میانگین‌های بدست آمده با آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد توسط نرم افزار SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

تبخیر تجمعی

نتایج تجزیه واریانس تبخیر تجمعی از خاک گلدان‌ها در ۲۱ و ۱۰۵ روز بعد از آبیاری در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به جدول اثر نوع خاکپوش بر تبخیر تجمعی ۲۱ و ۱۰۵ روز بعد از آبیاری معنی-دار بود. در حالی‌که شوری آب آبیاری بر تبخیر تجمعی اثر معنی‌دار نداشت. همچنین برهمکنش نوع خاکپوش و شوری آب آبیاری بر تبخیر تجمعی معنی‌دار نبود. بزرگ‌تر بودن میانگین مربعات در مورد همه پارامترهای آنالیز شده (تبخیر تجمعی و رطوبت وزنی) حاکی از غالب بودن اثر عامل خاکپوش نسبت به شوری و برهمکنش دو عامل می‌باشد.

مقایسه میانگین مقادیر تبخیر تجمعی در تیمارهای خاکپوش در ۲۱ و ۱۰۵ روز پس از آبیاری در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج حاکی است که ۲۱ روز بعد از آبیاری، بیشترین مقدار تبخیر تجمعی از سطح خاک بدون پوشش و کمترین مقدار از خاکپوش سنگریزه اتفاق افتاده است. به طوری‌که کاهش تبخیر در حضور پوشش سنگریزه ۵۸ درصد کمتر از خاک بدون پوشش بود. دلیل حداقل بودن تبخیر از خاکپوش سنگریزه را می‌توان به درشت بودن منافذ بین ذرات سنگریزه و قطع مسیرهای صعود موئینگی از خاک به سطح مرتبط دانست. مقدار تبخیر تجمعی از خاکپوش کنجاله کنجد به طور معنی‌دار حدود ۶ درصد کمتر از خاکپوش ضایعات پسته بوده که بیانگر آن است که ضایعات پسته که نوعی مواد آلی است با جذب آب از خاک و به دلیل بافت درشت خود آن را در اختیار هوا برای تبخیر قرار داده است. وجود خاکپوش‌های کنجاله کنجد و ضایعات پسته بر روی خاک به ترتیب باعث کاهش ۴۱ و ۳۷ درصدی تبخیر نسبت به خاک بدون پوشش شد.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تبخیر تجمعی (میلی‌متر) و رطوبت وزنی خاک (درصد) تحت تاثیر نوع خاکپوش و شوری آب آبیاری به کار برده شده و برهمکنش آنها در روزهای مختلف بعد از آبیاری

منبع تغییرات	میانگین مربعات			
	تبخیر تجمعی ۲۱ روز بعد از آبیاری (CE_{21})	تبخیر تجمعی ۱۰۵ روز بعد از آبیاری (CE_{105})	درصد وزنی رطوبت ۲۱ روز بعد از آبیاری (θ_{21})	درصد وزنی رطوبت ۱۰۵ روز بعد از آبیاری (θ_{105})
نوع خاکپوش	۳۵۹/۰۳*	۱۹/۸۳ *	۲۱۴/۵۳ *	۱۵/۰۸*
شوری آب آبیاری	۰/۰۴ ns	۰/۱۶ ns	۱/۳۸ ns	۰/۸۹ ns
برهمکنش نوع خاکپوش و شوری آب	۱/۷۶ ns	۰/۱۲ ns	۱/۳۷ ns	۰/۲۷ ns
خطا	۰/۸۷	۰/۶۷	۰/۷۷	۰/۳۳

* بر اساس آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است.

ns بر اساس آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست.

در ۱۰۵ روز بعد از آبیاری، حداقل تبخیر تجمعی با ۷ درصد کاهش نسبت به خاک بدون پوشش، از خاکپوش سنگریزه اتفاق افتاده است و مقادیر تبخیر تجمعی از خاکپوش‌های کنجاله کنجد و ضایعات پسته با مقدار تبخیر تجمعی از خاک بدون پوشش اختلاف معنی‌دار نداشتند. این موضوع کارایی خاکپوش سنگریزه در کاهش تبخیر از سطح خاک حتی در دوره‌های طولانی آبیاری را نشان می‌دهد که مناسب بودن استفاده از آن در باغات دیم را تأیید می‌کند. آقارضی و داودی راد (۱۳۹۸) تأثیر پوشش سنگریزه در حفظ رطوبت خاک و رشد بهتر درختان بادام دیم را در نتیجه کاهش تبخیر سطحی دانستند. اثر کاهش معنی‌دار تبخیر از سطح خاک با کاربرد خاکپوش-هایی مانند کاه و کلش ارزن و چمن در پژوهش یوزوما و آنوکا نیز گزارش شده است (Uzoma and Onwuka, 2018). خاشعی سیوکی و باربد (۱۳۹۴) نیز اظهار داشتند که اگر پوشش خاک به طور مؤثری با موادی مانند کوکوپیت و کلش صورت گیرد، می‌تواند در کاهش تبخیر تجمعی از سطح خاک نقش داشته باشد.

جدول ۳- مقایسه میانگین تبخیر تجمعی (میلی‌متر) و رطوبت وزنی (درصد) در تیمارهای خاکپوش ۲۱ و ۱۰۵ روز بعد از آبیاری (تیمارهای خاکپوش شامل C1: بدون پوشش، C2: سنگریزه، C3: کنجاله کنجد، C4: ضایعات پسته)

نوع پوشش	تبخیر تجمعی ۲۱ روز بعد از آبیاری (CE_{21})	تبخیر تجمعی ۱۰۵ روز بعد از آبیاری (CE_{105})	رطوبت وزنی ۲۱ روز بعد از آبیاری (θ_{21})	رطوبت وزنی ۱۰۵ روز بعد از آبیاری (θ_{105})
بدون پوشش (C_1)	۲۵/۸۷ A*	۳۹/۹۷ A	۱۲/۸۲ D	۲/۳۳ B
سنگریزه (C_2)	۱۰/۸۹ D	۳۷/۲۹ B	۲۴/۴۱ A	۴/۷۶ A
کنجاله کنجد (C_3)	۱۵/۲۶ C	۴۰/۵۵ A	۲۱/۱۸ B	۲/۳۵ B
ضایعات پسته (C_4)	۱۶/۲۳ B	۴۰/۱۴ A	۱۹/۷۲ C	۱/۹۲ B

*در هر ستون، حروف مشابه نشان دهنده‌ی عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد می‌باشد.

در جدول ۴ نتایج مقایسه میانگین مقادیر تبخیر تجمعی در تیمارهای مختلف پوشش و در سطوح مختلف شوری آب آبیاری ۲۱ روز بعد از آبیاری مشاهده می‌گردد. همان‌طور که در این جدول مشخص است، بیشترین تبخیر تجمعی مربوط به خاک بدون پوشش با شوری S_2 و کمترین مقدار تبخیر مربوط به پوشش سنگریزه با شوری S_2 بود. مقادیر تبخیر تجمعی از هر نوع خاکپوش در سطوح مختلف شوری آب آبیاری دارای اختلاف معنی‌دار نبود و این نشان می‌دهد که در شرایطی که از خاکپوش استفاده شود، به دلیل اثر زیاد آن بر کاهش تبخیر از سطح خاک، نقش لایه نمک تجمع یافته در سطح خاک در کاهش تبخیر کم‌رنگ می‌شود. حتی در مورد خاک بدون پوشش نیز این اختلاف معنی‌دار نبود. شاید دلیل آن، این است که در پژوهش حاضر اثر تبخیر از سطوح مختلف شوری آب آبیاری با

یک بار آبیاری بررسی شد. در حالی‌که اگر خاک لخت باشد در استفاده دراز مدت از آب شور برای آبیاری انتظار می‌رود که لایه نمک تجمع یافته در سطح خاک بتواند در کاهش تبخیر از سطح خاک نقش داشته باشد. در مطالعات زیادی کاهش تبخیر از سطح خاک بدون پوشش به دلیل تشکیل لایه نمک در سطح خاک در مقایسه با عدم تشکیل آن گزارش شده است (Fujimaki et al., 2006; Zhange et al., 2013).

جدول ٤- مقایسه میانگین تبخیر تجمعی (میلی‌متر) و رطوبت وزنی (درصد) در تیمارهای مختلف ۲۱ روز بعد از آبیاری

تبخیر تجمعی ۲۱ روز بعد از آبیاری (CE_{21})			
شوری آب آبیاری (dS/m)			
نوع خاکپوش	EC=0.7 (S_1)	EC=6 (S_2)	EC=12 (S_3)
بدون پوشش (C_1)	۲۴/۸۸ b*	۲۶/۷۰ a	۲۶/۰۴ ab
سنگریزه (C_2)	۱۱/۶۱ e	۱۰/۳۷ e	۱۰/۷۰ e
کنجاله کنجد (C_3)	۱۵/۶۷ cd	۱۵/۲۶ cd	۱۴/۳۵ d
ضایعات پسته (C_4)	۱۶/۱۷ cd	۱۵/۶۷ cd	۱۶/۸۳ c
درصد وزنی رطوبت ۲۱ روز بعد از آبیاری (θ_{21})			
شوری آب آبیاری (dS/m)			
نوع خاکپوش	EC=0.7 (S_1)	EC=6 (S_2)	EC=12 (S_3)
بدون پوشش (C_1)	۱۳/۴۲ e	۱۲/۰۶ e	۱۲/۹۹ e
سنگریزه (C_2)	۲۳/۶۷ a	۲۴/۵۳ a	۲۵/۰۲ a
کنجاله کنجد (C_3)	۲۰/۲۷ cd	۲۱/۲۰ bc	۲۲/۰۶ b
ضایعات پسته (C_4)	۱۹/۵۹ d	۲۰/۰۲ cd	۱۹/۵۳ d

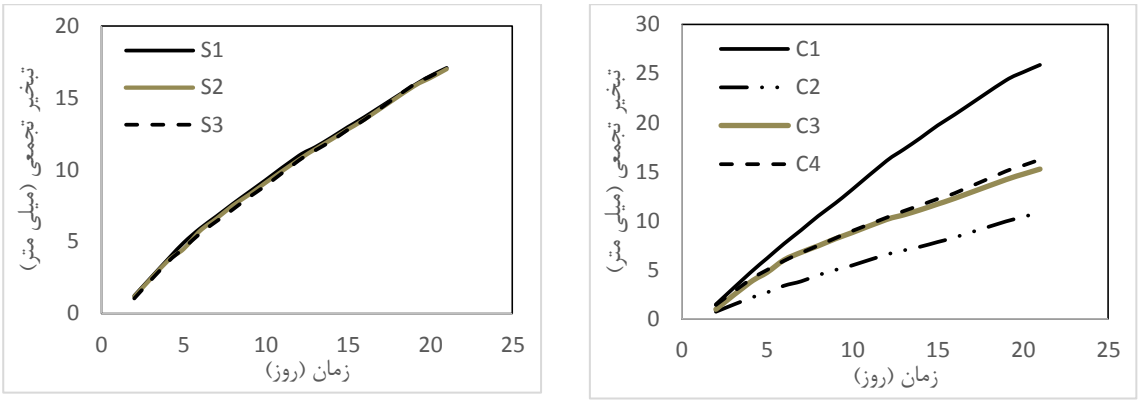
* در هر ستون یا هر ردیف، حروف مشابه نشان دهنده‌ی عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد می‌باشد.

به منظور مقایسه بهتر اثر شوری در هر خاکپوش، درصد کاهش تبخیر نسبت به خاک بدون پوشش در شرایط غیر شور (سطح S_1) و در شرایط شور (میانگین سطوح S_2 و S_3) بر اساس جدول ۴ محاسبه شد. نتایج نشان داد که با استفاده از سنگریزه در شرایط غیر شور و شرایط شور به ترتیب به میزان ۵۳ و ۶۰ درصد کاهش تبخیر تجمعی نسبت به خاک بدون پوشش وجود داشت. با استفاده از کنجاله کنجد در شرایط غیر شور و شرایط شور به ترتیب به میزان ۳۷ و ۳۹ درصد کاهش و برای ضایعات پسته این مقادیر به ترتیب ۳۵ و ۳۸ درصد بود. این نتایج حاکی است که در حضور خاکپوش‌های مختلف و در شرایط شور، تبخیر کاهش بیشتری نسبت به شرایط غیر شور داشته است. دلیل آن را می‌توان افزایش پتانسیل اسمزی آب خاک در شرایط شور و در نتیجه کاهش میزان تبخیر توجیه نمود. زیرا مولکول‌های آب شور که در پیوند با یون‌های املاح هستند به راحتی تبخیر نمی‌شوند.

شکل ۲ به منظور مقایسه بهتر روند تغییرات تبخیر تجمعی در تیمارهای مختلف پوشش و سطوح شوری تا ۲۱ روز پس از آغاز تبخیر رسم شده است. نمودار سمت راست حاکی از آن است که مقادیر روزانه تبخیر تجمعی از خاک دارای پوشش سنگریزه نصف مقادیر تبخیر از خاک بدون پوشش بوده است. در حالی‌که روند تبخیر تجمعی از خاک دارای پوشش کنجاله کنجد و ضایعات پسته به هم نزدیک و بیشتر از خاک دارای پوشش سنگریزه بود. نمودار سمت چپ نیز نشان می‌دهد که متوسط تبخیر تجمعی در سطوح مختلف شوری دارای تفاوت معنی‌داری نبوده است. نتایج تحقیقات فیز و همکاران، خطدان و همکاران و شاهی و همکاران (۱۳۹۷) نشان دادند که وجود سنگریزه در خاک با کاهش ظرفیت نگهداری آب خاک مقدار تبخیر را کاهش می‌دهد (Fies et al.,2002; Khetdan et al., 2017). این موضوع در دیم‌کاری گیاهان متراکم اهمیت دارد. اما استفاده از پوشش سنگریزه برای کاهش تبخیر در دیم‌کاری باغات قابل توجه است چنان‌که راحمی و همکاران (۱۳۹۳) نیز تأکید نموده‌اند.

درصد رطوبت وزنی

نتایج آنالیز واریانس درصد رطوبت وزنی خاک در روزهای مختلف بعد از آبیاری (جدول ۲) نشان می‌دهد که تنها اثر نوع خاکپوش بر میزان رطوبت وزنی خاک معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین مقادیر رطوبت وزنی در روزهای بعد از آبیاری تحت اثر اصلی نوع خاکپوش در جدول ۳ ارائه شده است. طبق این جدول ملاحظه می‌گردد که در ۲۱ روز پس از آغاز تبخیر کمترین مقدار رطوبت در خاک بدون پوشش و بیشترین مقدار در خاک دارای پوشش سنگریزه وجود داشته است، به طوری‌که رطوبت موجود در خاک در حضور سنگریزه حدود دو برابر رطوبت در خاک بدون پوشش بود.



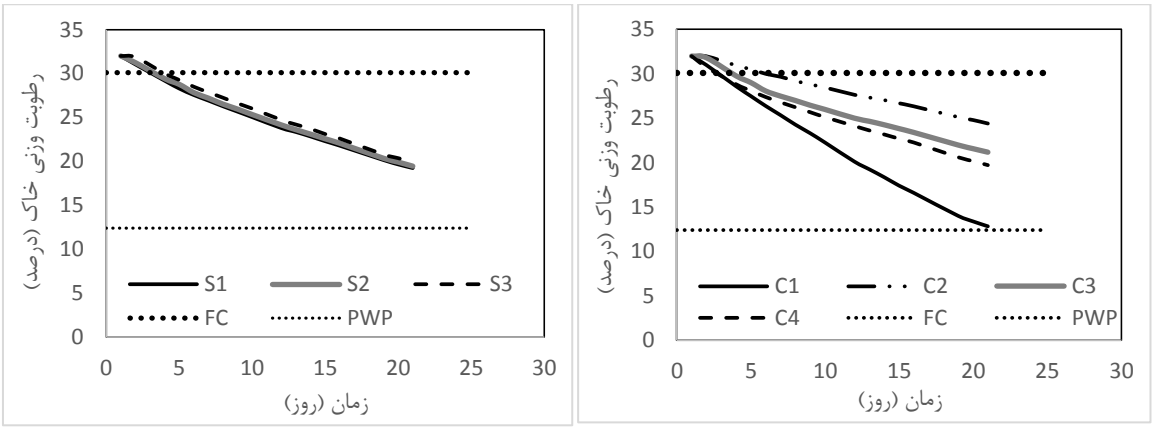
شکل ۲- متوسط تغییرات تبخیر تجمعی تابعی از زمان در تیمارهای مختلف خاکپوش (سمت راست) و در سطوح مختلف شوری آب آبیاری (سمت چپ) تا ۲۱ روز پس از شروع تبخیر (تیمارهای خاکپوش شامل C_1: بدون پوشش، C_2: سنگریزه، C_3: کنجاله کنجد، C_4: ضایعات پسته و تیمارهای شوری S_1=0.7، S_2= 6 و S_3=12 dS/m)

استفاده از خاکپوش کنجاله کنجد نیز نسبت به ضایعات پسته در حفظ رطوبت خاک به طور معنی‌داری بهتر عمل نموده است. کنجاله کنجد و ضایعات پسته به ترتیب باعث حفظ رطوبت خاک به میزان ۶۵ و ۵۴ درصد بیشتر از خاک بدون پوشش شده است. در ۱۰۵ روز بعد از آبیاری، رطوبت خاک در تیمار دارای سنگریزه بیشترین مقدار بود و اختلاف معنی‌دار با سایر تیمارهای خاکپوش داشت. حتی در دراز مدت نیز پوشش سنگریزه باعث حفظ رطوبت خاک به میزان دو برابر خاک لخت شده است. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌گردد بعد از گذشت ۱۰۵ روز در خاک بدون پوشش و خاک دارای پوشش کنجاله کنجد و ضایعات پسته رطوبت موجود در خاک به حدود رطوبت هوا خشک (۲ درصد) رسیده است. در حالی‌که با پوشش سنگریزه، خاک حدود ۲/۵ تا ۳ درصد رطوبت بیشتری داشته است.

روند تغییرات روزانه رطوبت وزنی در تیمارهای مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است. این شکل (نمودار سمت راست) حاکی از آن است که در شروع فرآیند تبخیر که شدت تبخیر زیاد بوده اثر خاکپوش‌ها در حفظ رطوبت موجود در خاک کمتر است (نزدیک بودن منحنی‌ها به هم دیگر) اما با گذشت زمان و وارد شدن تبخیر در مرحله با شدت کمتر، نقش خاکپوش‌ها در حفظ رطوبت خاک افزایش یافت و به همین دلیل اختلاف بین نمودارها برای خاکپوش‌های مختلف به تدریج بیشتر شد. همچنین این شکل نشان می‌دهد که بیشترین سطح رطوبت در روزهای مختلف مربوط به پوشش سنگریزه و بعد از آن به ترتیب کنجاله کنجد و ضایعات پسته بوده است. شکل ۳ (نمودار سمت چپ) همچنین نشان می‌دهد که تفاوت رطوبت موجود در خاک در سطوح مختلف شوری آب آبیاری قابل توجه نبوده در حالی‌که متوسط رطوبت در سطح شوری بالاتر ($12\ dS\ m^{-1}$)، بیشتر از دو سطح دیگر بوده است.

خطوط مربوط به حدود رطوبت ظرفیت نگهداری (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) نیز در این نمودارها نشان داده شد. با توجه به نمودار سمت راست مشخص است که در گلدان‌هایی که خاک آنها لخت بوده است بعد از گذشت ۲۱ روز رطوبت خاک به حد PWP رسید، در حالی‌که در حضور سایر خاکپوش ها به ویژه سنگریزه هنوز رطوبت خاک خیلی بالاتر از حد PWP بود. این موضوع اهمیت کاربرد خاکپوش برای حفظ رطوبت خاک و استفاده آن توسط گیاه و در نتیجه افزایش کارایی مصرف آب گیاه را نشان می‌دهد که این موضوع در پژوهش‌های فان و همکاران، گائو و همکاران و شن و همکاران نیز تایید شده است (Fan et al., 2017; Gao et al., 2019; Shen et al., 2019). نمودار سمت چپ نیز نشان می‌دهد که در سطوح شوری تفاوت معنی‌داری در کاهش رطوبت خاک وجود نداشت.

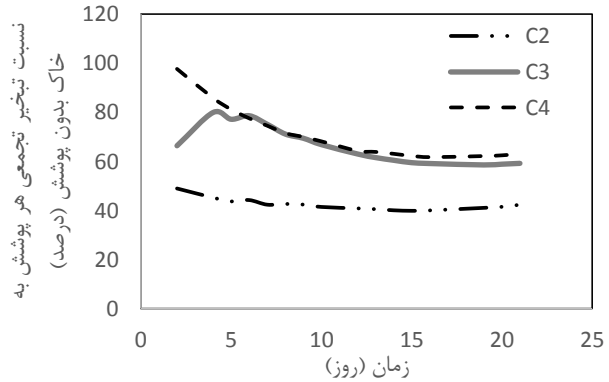
نتایج مقایسه میانگین مقادیر رطوبت خاک در تیمارهای مختلف پوشش و در سطوح مختلف شوری آب آبیاری پس از ۲۱ روز از آبیاری در جدول ۴ ارائه شده است. بیشترین رطوبت وزنی مربوط به خاک با پوشش سنگریزه و شوری S_3 و کمترین مقدار رطوبت مربوط به خاک بدون پوشش با شوری S_2 بود. علیرغم اینکه مقادیر رطوبت خاک در هر نوع خاکپوش در سطوح مختلف شوری آب آبیاری دارای اختلاف معنی‌دار نبود، اما نتایج نشان داد که رطوبت خاک در تیمارهای آب شور نسبت به تیمار بدون شوری در هر نوع خاکپوش نسبت به خاک بدون پوشش حدود ۱ تا ۳ درصد بیشتر بود. مثلا در حضور سنگریزه در سطح S_1 رطوبت خاک ۱۰ درصد بیشتر از خاک بدون پوشش بود در حالی‌که در سطوح S_2 و S_3 رطوبت خاک حدود ۱۲ درصد بیشتر از خاک بدون پوشش بود. نتایج مشابهی در مورد دو خاکپوش دیگر هم وجود داشت. در مطالعات زیادی مؤثر بودن خاکپوش‌های طبیعی مانند بقایای گیاهی در حفظ رطوبت بیشتر در خاک گزارش شده است (Cai et al., 2015; Teame et al.,2017).



شکل ۳- متوسط تغییرات رطوبت وزنی خاک تابعی از زمان در تیمارهای مختلف خاکپوش (سمت راست) و در سطوح مختلف شوری آب آبیاری (سمت چپ) ۲۱ روز پس از شروع تبخیر (تیمارهای خاکپوش شامل C_1: بدون پوشش، C_2: سنگریزه، C_3: کنجاله کنجد، C_4: ضایعات پسته و تیمارهای شوری S_1=0.7، S_2= 6 و S_3=12 dS/m)

نسبت تبخیر تجمعی از سطوح دارای خاکپوش به خاک بدون پوشش

روند تغییرات نسبت تبخیر تجمعی از سطوح دارای خاکپوش‌های مختلف به خاک بدون پوشش در شکل ۴ ارائه شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود این نسبت برای خاکپوش از نوع سنگریزه دارای حداقل مقادیر (به طور متوسط ۴۲ درصد) در روزهای مختلف از آغاز تبخیر می‌باشد که نشان‌دهنده‌ی نقش بارزتر سنگریزه در کاهش تبخیر از سطح خاک نسبت به سایر پوشش‌ها است. زیرا سنگریزه با بافت درشتی که دارد ارتباط تبخیری خاک با هوا را قطع کرده است. نسبت تبخیر تجمعی به تبخیر از سطح خاک لخت در پوشش‌های کنجاله کنجد و ضایعات پسته به طور متوسط به ترتیب ۵۹ و ۶۳ درصد بود. با توجه به شکل ۴ نسبت تبخیر تجمعی از خاک دارای پوشش کنجاله کنجد به خاک بدون پوشش ابتدا افزایش یافته و پس از حدود ۶ روز روند کاهشی به خود گرفته است. کمتر بودن تبخیر نسبی با پوشش کنجاله کنجد نسبت به پوشش ضایعات پسته در شروع فرآیند تبخیر، به دلیل بافت ریز کنجاله کنجد بوده (اندازه منافذ آن نیز کوچک است) که مقاومت بیشتری را بر سر راه انتقال آب به بالا برای تبخیر ایجاد کرده است. دلیل افزایش این نسبت در روزهای اولیه تبخیر را می‌توان به جذب آب خاک و افزایش حجم کنجاله کنجد نسبت داد که آب بیشتری را در معرض تبخیر گذاشته است. البته با افزایش حجم کنجاله (ضخامت کنجاله روی سطح خاک تا یک و نیم برابر افزایش یافت) مقاومت سر راه انتقال آب به سطح برای تبخیر بیشتر شد و نرخ تبخیر کاهش یافت که در مجموع پس از چند روز نسبت تبخیر روند کاهشی به خود گرفت.



شکل ٤- نسبت تبخیر تجمعی روزانه از سطوح دارای خاکپوش‌های مختلف به خاک بدون پوشش تا ۲۱ روز پس از شروع تبخیر (تیمارهای خاکپوش شامل C_2: سنگریزه، C_3: کنجاله کنجد، C_4: ضایعات پسته)

نتایج درصد تبخیر تجمعی به تبخیر از خاک بدون پوشش در روزهای مختلف بعد از آبیاری در جدول ۵ ارائه شده است. بر طبق این نتایج در روز ۳۵ نسبت به روز ۲۱ مقادیر این نسبت در تمام تیمارها افزایش یافته است و این نشان می‌دهد که با افزایش زمان از آغاز تبخیر، مقدار تبخیر تجمعی حتی با وجود خاکپوش، به مقدار تبخیر تجمعی از خاک لخت نزدیک شده است. ۱۰۵ روز بعد از آبیاری این نسبت برای پوشش کنجاله کنجد و ضایعات پسته به ۱۰۰ درصد رسیده است. اما با پوشش سنگریزه حتی در این روز هم این نسبت به ۱۰۰ نرسیده و این حاکی است که استفاده از سنگریزه به عنوان خاکپوش نه تنها در مراحل اولیه تبخیر بلکه حتی در شرایطی که دور آبیاری بسیار طولانی باشد هم می‌تواند سبب حفظ مقداری رطوبت در خاک شود. چنانکه قبلا اشاره شد این موضوع در دیم‌کاری اهمیت ویژه دارد.

جدول ۵- نسبت تبخیر تجمعی به تبخیر از خاک بدون پوشش (درصد) در روزهای مختلف بعد از آبیاری

	شوری آب آبیاری ($dS\ m^{-1}$)		
	EC=0.7 (S_1)	EC=6 (S_2)	EC=12 (S_3)
نوع خاکپوش	درصد تبخیر تجمعی به تبخیر از خاک بدون پوشش ۲۱ روز بعد از آبیاری (CE_{21})		
سنگریزه (C_2)	۴۷/۰۰	۳۸/۸۱	۴۱/۱۷
کنجاله کنجد (C_3)	۶۳/۲۴	۵۷/۱۶	۵۷/۱۸
ضایعات پسته (C_4)	۶۵/۲۵	۵۷/۷۳	۶۵/۰۶
نوع خاکپوش	درصد تبخیر تجمعی به تبخیر از خاک بدون پوشش ۳۵ روز بعد از آبیاری (CE_{35})		
سنگریزه (C_2)	۵۶/۲۳	۴۹/۷۶	۵۱/۸۶
کنجاله کنجد (C_3)	۷۰/۱۱	۶۵/۴۶	۶۳/۸۲
ضایعات پسته (C_4)	۷۴/۴۹	۶۹/۰۹	۷۵/۶۶
نوع خاکپوش	درصد تبخیر تجمعی به تبخیر از خاک بدون پوشش ۱۰۵ روز بعد از آبیاری (CE_{105})		
سنگریزه (C_2)	۹۳/۵۹	۹۳/۳۶	۹۳/۰۲
کنجاله کنجد (C_3)	۱۰۱/۸۸	۱۰۲/۰۸	۱۰۰/۴۲
ضایعات پسته (C_4)	۱۰۰/۶۶	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۶۳

به تعویق افتادن دور آبیاری با کاربرد خاکپوش

از کل آب قابل دسترس (رطوبت بین دو حد ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم)، بخشی از آن به سهولت جذب گیاه می‌شود که آب سهل الوصول نام دارد. در خاک لومی مورد استفاده در این پژوهش که بافت غالب خاک منطقه پسته‌کاری اردکان است، با توجه به حدود رطوبتی ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم (جدول ۱)، کل آب قابل دسترس در یک متر از عمق خاک حدود ۲۲۰ میلی‌متر است. اگر عمق فعال ریشه گیاه پسته را ۱/۵ متر در نظر بگیریم و با در نظر گرفتن حد تخلیه مجاز رطوبتی ۰/۶۵ برای پسته که گیاهی مقاوم به خشکی است، مقدار آب سهل الوصول گیاه در عمق ریشه ۲۱۴ میلی-متر خواهد بود. با توجه به این مقدار رطوبت ذخیره شده و بر اساس تبخیر-تعرق روزانه درختان پسته می‌توان دور آبیاری را تعیین نمود. مقدار تبخیر-تعرق روزانه گیاه بر اساس پژوهش‌های انجام شده در استان یزد در نظر گرفته شد. با توجه به پژوهش دستورانی و همکاران (۱۳۹۱) حداکثر تبخیر-تعرق استاندارد پسته در منطقه اردکان در نیمه دوم تیرماه که مصادف با مرحله پر شدن دانه می‌باشد حدود ۱۱ میلی-متر بر روز است. بر اساس پژوهش فلاح و همکاران (۱۳۹۸) نیز حداکثر تبخیر-تعرق واقعی روزانه‌ی پسته که در تیرماه رخ می‌دهد حدود ۶ میلی‌متر است. اگر سهم تبخیر از خاک را حدود ۲۰ تا ۵۰ درصد (به طور متوسط ۳۵ درصد) از میزان تبخیر-تعرق پسته در نظر بگیریم، با کاربرد سنگریزه، کنجاله کنجد و ضایعات پسته به عنوان خاکپوش، بر اساس نتایج این پژوهش به میزان ۵۸، ۴۱ و ۳۷ درصد از مقدار تبخیر کاهش می‌یابد. با استفاده از پارامترهای فوق، دور آبیاری برای خاک بدون پوشش و خاک با پوشش سنگریزه، کنجاله کنجد و ضایعات پسته بر اساس دو معیار تبخیر-تعرق محاسبه گردید (جدول ۶). نتایج نشان داد با در نظر گرفتن تبخیر-تعرق پتانسیل پسته در حداکثر دوره نیاز آبی گیاه، دور آبیاری با کاربرد پوشش‌های سنگریزه، کنجاله کنجد و ضایعات پسته نسبت به خاک بدون پوشش به ترتیب ۵، ۳ و ۲ روز به تعویق می‌افتد. در شرایطی که حداکثر تبخیر-تعرق واقعی در نظر گرفته شود مقادیر متناظر ۹، ۶ و ۵ روز است. نتایج نشان می‌دهد که حتی در دوره حداکثر مصرف گیاه با کاربرد خاکپوش می‌توان با طولانی‌تر کردن دور آبیاری، مصرف آب را کاهش داد. در جدول ۶ همچنین تعداد دفعات آبیاری در فصل رشد پسته (۷ ماه، از فروردین تا مهر) محاسبه شده است. بر اساس تبخیر-

تعرق پتانسیل پسته با کاربرد سنگریزه به عنوان خاکپوش دو بار و با کاربرد ضایعات پسته و کنجاله کنجد یک بار از تعداد دفعات آبیاری کاسته می‌شود. اما بر اساس تبخیر-تعرق واقعی پسته تعداد دفعات آبیاری در طول فصل رشد را صرف نظر از نوع خاکپوش می‌توان یک بار کاهش داد. با کاهش تعداد دفعات آبیاری مقدار قابل توجهی از مصرف آب کاسته می‌شود.

جدول ٦- محاسبات مربوط به دور و تعداد دفعات آبیاری در تیمارهای مختلف پوشش خاک

معیار مصرف آب	نوع پوشش	کاهش تبخیر از خاک (%)	رطوبت سهل الوصول در عمق ریشه mm	تعرق* (mm)	تبخیر** (mm)	تبخیر- تعرق (mm)	دور آبیاری (day)	تعداد دفعات آبیاری در فصل رشد (۷ ماه)
تبخیر-تعرق پتانسیل پسته در تیرماه (دستورانی و همکاران،۱۳۹۱)	بدون پوشش	-	۲۱۴	۷/۱۵	۳/۸۵	۱۱/۰۰	۲۰	۱۰/۵
	سنگریزه	۵۸	۲۱۴	۷/۱۵	۱/۶۲	۸/۷۷	۲۵	۸/۴
	کنجاله کنجد	۴۱	۲۱۴	۷/۱۵	۲/۲۷	۹/۴۲	۲۳	۹/۱
	ضایعات پسته	۳۷	۲۱۴	۷/۱۵	۲/۴۳	۹/۵۸	۲۲	۹/۵
تبخیر-تعرق واقعی پسته در تیرماه (فلاح و همکاران،۱۳۹۸)	بدون پوشش	-	۲۱۴	۳/۹	۲/۱۰	۶/۰۰	۳۶	۵/۸
	سنگریزه	۵۸	۲۱۴	۳/۹	۰/۸۸	۴/۷۸	۴۵	۴/۷
	کنجاله کنجد	۴۱	۲۱۴	۳/۹	۱/۲۴	۵/۱۴	۴۲	۵/۰
	ضایعات پسته	۳۷	۲۱۴	۳/۹	۱/۳۲	۵/۲۲	۴۱	۵/۱

*مقدار تعرق به طور متوسط ۶۵ درصد تبخیر-تعرق در نظر گرفته شده است.

**مقدار تبخیر به طور متوسط معادل ۳۵ درصد تبخیر-تعرق در نظر گرفته شده و ضریب کاهش تبخیر به دلیل کاربرد خاکپوش نیز در آن اعمال شده است.

تأثیر کاربرد خاکپوش بر تعادل بخشی سفره آب زیرزمینی

هر ساله در فصل زمستان شرکت‌های آب منطقه‌ای در دشت‌های ممنوعه از جمله دشت یزد-اردکان برای تعادل بخشی به سفره‌های آب زیرزمینی برنامه خاموش نگه داشتن چاه‌های برداشت آب در بخش کشاورزی را اجرا می‌کنند. در این پژوهش حجم آب صرفه-جویی شده در نیاز آبی پسته در اثر کاهش تبخیر از سطح خاک در اراضی تحت کشت پسته شهرستان اردکان محاسبه شد و با توجه به آن تعداد روزهایی که می‌توان چاه‌های منطقه را خاموش نگه داشت و بدین ترتیب به تعادل بخشی ذخیره آب زیرزمینی کمک نمود، تعیین گردید.

با توجه به پژوهش دستورانی و همکاران (۱۳۹۱) تبخیر-تعرق استاندارد پسته در کل دوره رشد در منطقه اردکان ۱۳۷۵ میلی‌متر و بر اساس پژوهش فلاح و همکاران (۱۳۹۸) نیز تبخیر-تعرق واقعی پسته در فصل رشد ۵۵۶ میلی‌متر است. اگر سهم تبخیر از خاک به طور متوسط ۳۵ درصد از میزان تبخیر-تعرق پسته باشد، با کاربرد سنگریزه، کنجاله کنجد و ضایعات پسته به عنوان خاکپوش، بر اساس نتایج این پژوهش به میزان ۵۸، ۴۱ و ۳۷ درصد از سهم تبخیر کاهش می‌یابد. سطح زیر کشت پسته در شهرستان اردکان در سال ۹۷ حدود ۷۵۰۰ هکتار بوده است (جهاد کشاورزی استان یزد، ۱۳۹۸). با استفاده از پارامترهای فوق حجم آب قابل ذخیره ناشی از کاهش تبخیر سطحی برای کل مساحت زیر کشت پسته در شهرستان با کاربرد خاکپوش‌های سنگریزه، کنجاله کنجد و ضایعات پسته نسبت به خاک بدون پوشش بر اساس دو معیار تبخیر-تعرق محاسبه شد (جدول ۷). بر اساس نتایج جدول ۷ با کاربرد پوشش سنگریزه با در نظر گرفتن مصرف آب پتانسیل پسته در کل سطح زیر کشت پسته در اردکان می‌توان حدود ۲۱ میلیون‌مترمکعب در مصرف آب صرفه‌جویی نمود یا به عبارتی این مقدار آب را ذخیره نمود. این حجم قابل صرفه‌جویی معادل با خاموشی ۶۶ روز ۱۸۵ حلقه چاه موجود در شهرستان اردکان با دبی متوسط ۲۰ لیتر بر ثانیه (جهاد کشاورزی استان یزد، ۱۳۹۸) می‌باشد. اگر همین محاسبات را با شرایط تبخیر-تعرق واقعی پسته با کاربرد ضایعات پسته به عنوان خاکپوش انجام دهیم که دارای کمترین صرفه‌جویی در مصرف آب است (۵/۴ میلیون‌مترمکعب)،

حجم صرفه‌جویی معادل با خاموشی ۱۷ روز ۱۸۵ حلقه چاه در منطقه است. حتی اگر کاربرد خاکپوش در نیمی از باغات پسته شهرستان صورت گیرد باز هم حجم آب قابل صرفه‌جویی قابل توجه خواهد بود و حداقل روزهای خاموشی چاه‌ها حدود ۱۰ روز می‌تواند باشد. محاسبات فوق نشان می‌دهد که با کاربرد خاکپوش و کاهش تلفات تبخیر می‌توان بهره‌وری مصرف آب را افزایش داد و در تعادل بخشی آب سفره‌های زیرزمینی منطقه نقش مؤثری داشت.

جدول ۷- محاسبات مربوط به حجم آب قابل ذخیره در تیمارهای مختلف خاکپوش

معیار مصرف آب	نوع پوشش	کاهش تبخیر از خاک (%)	تبخیر-تعرق در کل فصل رشد (mm)	تبخیر* (mm)	کاهش تبخیر نسبت به خاک بدون پوشش (mm)	حجم کاهش تبخیر (قابل ذخیره) ($m^3\ ha^{-1}$)	حجم آب قابل ذخیره در اراضی پسته کاری ($10^6 \times m^3$)
تبخیر-تعرق پتانسیل پسته در کل دوره رشد (دستورانی و همکاران،۱۳۹۱)	بدون پوشش	–	۱۳۷۵	۴۸۱	-	-	–
	سنگریزه	۵۸	۱۰۹۶	۲۰۲	۲۷۹	۲۷۹۰	۲۰/۹
	کنجاله کنجد	۴۱	۱۱۷۸	۲۸۴	۱۹۷	۱۹۷۰	۱۴/۸
	ضایعات پسته	۳۷	۱۱۹۷	۳۰۳	۱۷۸	۱۷۸۰	۱۳/۴
تبخیر-تعرق واقعی پسته دوره رشد (فلاح و همکاران،۱۳۹۸)	بدون پوشش	–	۵۵۶	۱۹۵	-	-	-
	سنگریزه	۵۸	۴۴۳	۸۲	۱۱۳	۱۱۳۰	۸/۵
	کنجاله کنجد	۴۱	۴۷۶	۱۱۵	۸۰	۸۰۰	۶/۰
	ضایعات پسته	۳۷	۴۸۴	۱۲۳	۷۲	۷۲۰	۵/۴

*مقدار تبخیر به طور متوسط معادل ۳۵ درصد تبخیر-تعرق در نظر گرفته شده و ضریب کاهش تبخیر به دلیل کاربرد خاکپوش نیز در آن اعمال شده است.

نتیجه‌گیری

امروزه محدودیت منابع آب در مناطق خشک و نیمه خشک به عنوان یک چالش بزرگ مطرح می‌باشد. لذا هر اقدامی هر چند کوچک که بتواند باعث صرفه‌جویی در مصرف آب شود، مهم است. در شرایط عدم وجود پوشش گیاهی یا متراکم نبودن پوشش، سطح خاک در معرض مستقیم تابش و باد قرار گرفته و تبخیر از آن قابل توجه است. اگر خاک یا آب نیز شور باشند در پی فرآیند تبخیر، پدیده شور شدن خاک نیز اتفاق می‌افتد. اگر فرآیند تبخیر کنترل نشود آب قابل ملاحظه‌ای از اراضی فاریاب و یا دیم‌زارها تلف می‌شود. استفاده از انواع خاکپوش‌های طبیعی در دسترس در این شرایط می‌تواند بهترین گزینه برای کاهش تلفات تبخیر از سطح خاک و یا در گام بعدی جلوگیری از شور شدن خاک باشد. از سوی دیگر حفظ و نگهداری رطوبت موجود در خاک برای دیم‌کاری که محدودیت آب از مهمترین عوامل مؤثر بر تولیدات این شیوه‌ی کشاورزی است نیز بسیار حائز اهمیت است. در پژوهش حاضر نتایج بررسی تبخیر سطحی خاک در حضور استفاده از خاکپوش‌های مختلف نشان داد که سنگریزه بیشترین تأثیر را در کاهش تبخیر داشته و در سطح پایین‌تری کنجاله کنجد و ضایعات پسته نیز در کاهش تبخیر از سطح خاک مؤثر بوده‌اند. همچنین نتایج نشان داد که در حضور خاکپوش، تفاوت چندانی در تبخیر در سطوح مختلف شوری آب آبیاری وجود ندارد و حتی در مورد خاک بدون پوشش نیز در یک بار کاربرد آب شور به دلیل عدم تشکیل لایه تجمع یافته نمک در سطح خاک، تبخیر در سطوح مختلف شوری معنی‌دار نمی‌باشد. برای استفاده بهینه آب برای آبیاری پسته که گیاه غالب در الگوی کشت منطقه اردکان است، توصیه می‌شود که از پوشش‌هایی مثل سنگریزه، کنجاله کنجد یا ضایعات پسته بر روی سطح خاک استفاده گردد و اثر کاهش تبخیر با کاربرد آنها در طولانی‌تر شدن دور آبیاری نیز در برنامه‌بندی آبیاری درنظر گرفته شود. به طورکلی می توان گفت که با تعیین برنامه‌بندی مناسب آبیاری در منطقه در کنار کاربرد خاکپوش به منظور کاهش تبخیر از سطح خاک می‌توان ضمن افزایش بهره‌وری آب در تعادل بخشی سفره‌های آب زیرزمینی منطقه نیز سهیم بود.

با توجه به نتایج بدست آمده در منطقه اردکان توصیه می‌شود که

کشاورزان در درجه اول برای کاهش هدررفت آب به صورت تبخیر، از پوشش سنگریزه بر روی خاک اطراف درخت استفاده نمایند و اگر امکان استفاده از سنگریزه وجود ندارد، استفاده از کنجاله کنجد و ضایعات پسته که به وفور در منطقه یافت می‌شود به صورت لایه‌ای به عمق حداقل ۵ سانتی‌متر بر روی خاک نیز می‌تواند تا حدود ۴۰٪ از تبخیر را کاهش دهد و در فصول رشد بعدی با شخم سطحی این ضایعات به زیر خاک رفته و باعث افزایش مواد آلی و بهبود خواص فیزیکی خاک نیز می‌شود.

منابع

آقارضی، ح و داودی راد، ع.ا. ۱۳۹۸. بررسی نقش فیلتر در افزایش ذخیره رطوبت خاک در سامانه‌های آبگیر باران در اراضی شیب‌دار. سامانه‌های سطوح آبگیر باران. ۲۱. ۷: ۲۴-۱۵.

جهاد کشاورزی استان یزد. ۱۳۹۸. مکاتبه شخصی.

خاشعی سیوکی، ع و باربد، م. ۱۳۹۴. بررسی تاثیر پوشش‌های مختلف سطح خاک در کاهش میزان تبخیر. مجله محیط زیست و مهندسی آب. ۱. ۱: ۱۲۲-۱۱۱.

دستورانی، م.ت.، پورمحمدی، س و رحیمیان، م.ح. ۱۳۹۱. تخمین تبخیر-تعرق واقعی باغات پسته منطقه اردکان به کمک سنجش از دور. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۲۶. ۱: ۱۲-۱.

راحمی، ع.، یداللهی، ع و شریعتی، ش. ۱۳۹۳. بادام‌کاری دیم. نشر آموزش کشاورزی، معاونت آموزش و ترویج سازمان تات.

سلاح‌ورزی، م.، قهرمان، ب.، انصاری، ح و داوری، ک، ۱۳۹۷. محاسبه تبخیر (مرحله اول و دوم) از خاک شور بدون پوشش. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۳۲. ۲: ۲۲۹-۲۳۷.

شاهی، ز.، شعبانی، ع.، زارعی ورزنه، م و سپاسخواه، ع.ر. ۱۳۹۷. تبخیر از سطح خاک سنگریزه‌ای بدون پوشش، متاثر از مقدار سنگریزه و بافت خاک. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۲. ۳: ۷۳۱-۷۲۲.

فلاح، م.، شایان نژاد، م و رحیمیان، م.ح. ۱۳۹۸. مقایسه آب مصرفی باغات پسته در شرایط شور با نیاز آبی و تبخیر-تعرق واقعی برآورد شده به روش سبال در دشت بهادران در استان یزد. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۳. ۲: ۱۷۳-۱۶۳.

Al-Shammiri, M. 2002. Evaporation rate as a function of water salinity. Desalination. 150.2: 189-203.

Bezborodov, G.A., Shadmanov, D.K., Mirhashimov, R.T., Yuldashev, T., Qureshi, A.S., Noble, A.D. and Qadir, M. 2010. Mulching and water quality effects on soil salinity and sodicity dynamics and cotton productivity in Central Asia. Agriculture, Ecosystems and Environment. 138: 95-102.

Cai, T., Zhang, C., Huang, Y., Huang, H., Yang, B., Zhao, Z., Zhang, J. and Jia, Z. 2015. Effects of different straw mulch modes on soil water storage and water use efficiency of spring maize (*Zea mays*L.) in the Loess Plateau of China. Plant Soil Environment. 61.6: 253–259.

Demir, Z., Yildiz, O. and Toprak, B. 2009. Water retention ratios of mulching material consisting primarily of pine bark over different soil types. Pakistan Journal of Botany. 41.4: 1851-1859.

Fan, Y.Q., Ding, R.S., Kang, S.Z., Hao, X.M., Du, T.S. and Tong, L. 2017. Plastic mulch decreases available energy and evapotranspiration and improves yield and water use efficiency in an irrigated maize cropland. Agricultural Water Management. 179: 122–131.

Fies, J.C., Delouvegny, N and Chanzy, A. 2002. The role of stones in soil water retention. European Journal of Soil Science. 53.1: 95–104.

Fujimaki, H., Shimano, T and Inoue, M. 2006. Effect of a salt crust on evaporation from a bare saline soil. Vadose Zone Journal. 5: 1246-1256.

Gao, H., Yan, Ch., Liu, Q., Li, Zh., Yang, X. and Qi, R. 2019. Exploring optimal soil mulching to enhance yield and water use efficiency in maize cropping in China: A meta-analysis. Agricultural Water Management. 225.105741: 1-12.

Hillel, D.I. 1998. Environmental soil physics. Chapter 18: Evaporation from bare-surface soils and winds erosion. Academic press. 508-522.

Khetdan, C., Chittamart, N., Tawornpruek, S., Kongkaew, T., Onsamrarn, W. and Garré, S. 2017. Influence of rock fragments on hydraulic properties of Ultisols in Ratchaburi Province, Thailand. Geoderma Regional. 10.1: 21-28.

Liu, C.M., Zhang, X.Y. and Zhang, Y.Q. 2002. Determination of daily evaporation and evapotranspiration of winter wheat and maize by large-scale weighing lysimeter and micro-lysimeter. Agricultural and Forest Meteorology. 11.2: 109-120.

Maurer, T., Herrmann, L and Stahr, K. 2010. Wind erosion characteristics of Sahelian surface types. Earth Surface Process and Landforms. 35: 1386-1401.

McMillen, M. 2013. The effect of mulch type and thickness on soil surface evaporation rate. Horticulture and Crop Science Department, California Polytechnic State University, San Luis Obispo. 14 p.

Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. U. S. Dept. of Agriculture. Agricultural Handbook. No. 60.

Shen, Q., Ding, R., Du, T., Tong, L. and Li, S. 2019. Water use effectiveness is enhanced using film

temperature, evaporation, water use efficiency and yield of watermelon in semi-arid Loess Plateau, China. Acta Ecologica Sinica. 34:261–265.

Xue, Z. and Akae, T. 2010. Effect of soil water content and salinity on daily evaporation from soil column. Journal of American Science. 6.8: 576-580.

Zhang, J.G., Xu, X.W., Lei, J.Q., Li, S.Y., Hill, R.L. and Zhao, Y. 2013. The effects of soil salt crusts on soil evaporation and chemical changes in different ages of Taklimakan Desert Shelterbelts. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 13.4: 1019-1028.

Zhou, Sh., Liu, W. and Lin, W. 2017. The ratio of transpiration to evapotranspiration in a rainfed maize field on the Loss Plateau of China. Water Supply. 17.1: 221-228.

mulch through increasing transpiration and decreasing evapotranspiration. Water. 11.6.1153: 1-16.

Teame, G., Tsegay, A. and Abrha, B. 2017. Effect of organic mulching on soil moisture, yield, and yield contributing components of Sesame (*Sesamum indicum* L.). International Journal of Agronomy. 4767509. 1-6.

Tolk, J.A., Howell, T.A. and Evett, S.R. 1999. Effect of mulch, irrigation and soil type on water use and yield of maize. Soil Tillage Research. 50.2:137-147.

Uzoma, K.C. and Onwuka, B.M. 2018. Effect of organic mulch materials on soil surface evaporation. Notulae Scientia Biologicae. 10.3: 387-391.

Wang, Y., Xie, Z., Malhi, S.S., Vera, C.L. and Zhang, Y. 2014. Gravel-sand mulch thickness effects on soil

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 14, Agu.-Sept. 2020, p. 841-854

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۴، مرداد - شهریور ۱۳۹۹، ص. ۸۵۴-۸۴۱

The Effect of Natural Mulches on Evaporation Reduction of Soil Surface under Different Irrigation Water Salinity

N. Yarami[1*], A.M. Ali Mohammadi Dareh[2], A.M. Tahan Poor Bideh[3]
Recived: Feb.02, 2020 Accepted: Mar.26, 2020

Abstract

Water conservation and increasing water use efficiency is one of the major principles of sustainable agriculture, especially in arid and semi-arid regions. Application of natural eco-friendly mulches is an effective method for reducing soil evaporation and consequently water consumption in agriculture. In this study, the effect of different mulch types on soil evaporation was investigated under saline and non-saline conditions. A factorial pot experiment in a completely randomized design was conducted with four mulch types (C_1: bare soil, C_2: gravel, C_3: sesame residue and C_4: pistachio residue), three levels of irrigation water salinity (S_1: EC=0.8 dS m^{-1} (fresh water), S_2: EC= 6 dS m^{-1} and S_3: EC=12 dS m^{-1}) in three replications. Results showed that the highest evaporation reduction after 3 weeks was observed in soil with gravelly mulch (58%) followed by sesame (41%) and pistachio (37%) residue as compared to the bare soil. Soil evaporation and residual water content in gravelly covered soil were respectively 7% lower and two times higher than those ones of the bare soil even 105 days after irrigation. Although the effect of water salinity on soil evaporation was not significant, however soil moisture in saline treatments was about 1-3% higher than that of non-saline one in any type of mulch. By generalizing the results of the evaporation reduction to the field, irrigation interval become at least 5 days longer and irrigation events of the pistachio orchards in Ardakan region decrease at least one time during the growing season. The amounts of reserved water due to application of gravel, sesame and pistachio mulch were 8.5, 6 and 5.4 Mm^3, respectively. In view of the aquifer balance, these amounts of saving water results in 185 wells with 20 lit/s discharge being off for 27, 19 and 17 days, respectively.

Keywords: Cumulative evaporation, Aquifer balance, Longer irrigation interval, Natural mulch, Salinity

1- Assistant Professor of Water Science and Engineering Department, College of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran
2- B.Sc. Student of Water Science and Engineering Department, Ardakan University, Ardakan, Iran
3- B.Sc. Student of Water Science and Engineering Department, Ardakan University, Ardakan, Iran
(*- Corresponding Author Email: nyarami@ardakan.ac.ir)