Archive of SID
DOI: 10.22059/ijswr.2020.292760.668400 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۵، مرداد ماه ۱۳۹۹ (ص ۱۲۶۴-۱۲۵۵)

Studying the Effects of Biocrusts on Soil Water Dynamic and Evaporation

JALIL KAKEH[1], MANOUCHEHR GORJI[1*], MOHAMMAD HOSSEIN MOHAMMADI[1], HOSSEIN ASADI[1], FARHAD KHORMALI[2], MOHAMMAD SOHRABI[3]

1. Soil Science Department, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
2. Soil Science Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
3. Biotechnology Department, Iranian Research Organization for Science and Technology, Tehran, Iran.

(Received: Jan. 15, 2020- Revised: Feb. 10, 2020- Accepted: Feb. 19, 2020)

ABSTRACT

Biocrusts affect several soil hydrological properties such as soil water dynamic and evaporation. The aim of this study was to explore the effects of biocrusts on soil water dynamic and evaporation as a function of time. Soil sampling carried out from saline soil mass and biocrusts (undisturbed along with 5 cm underneath soil) from Qara Qir rangeland. To conduct experiment in a controlled condition, four plastic columns (20 cm d × 50 cm h) were prepared and filled up to 48 cm and 6 columns up to 43 cm with uniform saline soil mass collected separately from bare soils of study area, then a layer of intact BSCs (with 5 cm thickness) was put on the top of soil columns. Daily evaporation rates were measured with electronic balance weightings during 142 days. soil water content was determined three times in days of 17, 50 and 103 after experiment onset in any columns, at depths of 10 (D1), 20 (D2), 30 (D3) and 40 (D4) cm. The results showed that BSCs prevent water evaporation from soil surface, particularly at high evaporation demand (up to 77 days). The effect of BSCs on the evaporation rate at low atmosphere demand (77 to 142 days) was insignificant. Soil water content followed evaporation trend. According to these findings, it can be concluded that the BSCs as soil surface coverage is a key factor for reducing evaporation and conserving water in the soil.

Keywords: Soil Hydrological Properties, Moss, Lichen, Evaporation, Soil Water Content.

* Corresponding Author's Email: mgorji@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی تأثیر پوسته‌های زیستی بر تبخیر و پویایی آب در محیط خاک

جلیل کاکه[۱]، منوچهر گرجی[۱*]، محمدحسین محمدی[۱]، حسین اسدی[۱]، فرهاد خرمالی[۲]، محمد سهرابی[۳]

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۳. گروه بیوتکنولوژی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۵- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۱/۲۱- تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۱/۳۰)

چکیده

پوسته‌های زیستی ویژگی‌های هیدرولوژیکی خاک از جمله تبخیر و پویایی آب در محیط خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر پوسته‌های زیستی خاک بر تبخیر و پویایی آب در محیط خاک به‌عنوان تابعی از زمان است. بدین منظور از مرتع قره‌قیر استان گلستان اقدام به نمونه‌برداری توده خاک شور و پوسته‌های زیستی (دست‌نخورده به همراه پنج سانتی‌متر خاک زیرین آن) شد. در شش ستون (با ارتفاع ۵۰ و قطر ۲۰ سانتی‌متر) تا ارتفاع ۴۳ سانتی‌متری خاک ریخته شد و سپس لایه پوسته زیستی همراه با پنج سانتی‌متر خاک زیرین آن بر روی آن‌ها قرار داده شد. در چهار ستون بدون پوسته تا ارتفاع ۴۸ سانتی‌متر خاک ریخته شد. میزان تبخیر برای هر ستون با ترازو در طی ۱۴۲ روز اندازه‌گیری شد. همچنین میزان آب خاک در سه زمان ۱۷، ۵۰ و ۱۰۳ روز پس از شروع آزمایش از چهار عمق ۱۰ (D1)، ۲۰ (D2)، ۳۰ (D3) و ۴۰ (D4) سانتی‌متری هر ستون اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که پوسته‌های زیستی موجب کاهش تبخیر از سطح خاک به ویژه در زمان با نیاز تبخیری بالاتر (تا روز ۷۷) نسبت به ستون‌های بدون پوشش پوسته زیستی شدند. اما در طی دوره با نیاز تبخیری کم (روز ۷۷ الی ۱۴۲) تأثیر پوسته‌های زیستی بر تبخیر معنی‌دار نیست. مقدار آب خاک نیز مطابق روند تغییر تبخیر بود. بر اساس این نتایج می‌توان نتیجه گرفت که پوسته‌های زیستی خاک با ایجاد پوشش در سطح خاک تأثیر مهمی بر فرآیند تبخیر و حفظ آب در داخل خاک دارند.

واژه‌های کلیدی: ویژگی‌های هیدرولوژیکی خاک، خزه، گلسنگ، تبخیر، آب خاک.

مقدمه

مناطق خشک و نیمه‌خشک، که بیش از ۴۰ درصد سطح خشکی‌های جهان را شامل می‌شوند با بحران کمبود آب مواجه هستند (Bowker *et al.*, 2008; Belnap *et al.*, 2016). در این مناطق یکی از مهم‌ترین عواملی که منجر به کمبود آب در خاک می‌شود، میزان تبخیر زیاد به ویژه در نواحی با محدودیت بارش است (Chamizo *et al.*, 2013). شرایط اقلیمی و ویژگی‌های هیدرولیکی خاک از جمله عوامل مهم کنترل‌کننده تبخیر از سطح خاک هستند (Xiao *et al.*, 2010). تبخیر همچنین به وسیله عوامل پوششی سطح خاک به ویژه پوشش زنده مانند پوشش گیاهی و دیگر ترکیبات زنده از قبیل پوسته‌های زیستی خاک، کنترل می‌شوند (Chamizo *et al.*, 2013).

خاک مناطق خشک و نیمه‌خشک به طور قابل‌توجهی از دیگر زیست‌بوم‌ها متفاوت‌اند و به جای گیاهان آوندی بیش‌تر تحت تأثیر پوسته‌ها هستند (Chamizo *et al.*, 2012). پوسته‌های خاک به چند نوع پوسته‌های شیمیایی، فیزیکی و زیستی تقسیم‌بندی می‌شوند که در این میان پوسته‌های فیزیکی و زیستی اصلی‌ترین انواع پوسته‌های خاک هستند (Fang *et al.*, 2007). اگرچه پوسته‌های فیزیکی و زیستی تقریباً بخش ناچیزی از پروفیل خاک را شامل می‌شوند (کم‌تر از یک تا چند میلی‌متر ضخامت)، ولی نقش‌های متعددی را به ویژه در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند، بازی می‌کنند (Maestre *et al.*, 2011). پوسته‌های زیستی خاک اجتماعی تنگاتنگ بین ذرات خاک و موجودات زنده‌ای از قبیل سیانوباکتری، جلبک، قارچ، گلسنگ‌ها و خزه‌ها در نسبت‌های مختلف هستند که بر روی سطح خاک یا در داخل چند میلی‌متر فوقانی خاک زندگی می‌کنند که ذرات پراکنده خاک به واسطه حضور و فعالیت این موجودات زنده به همدیگر متصل می‌شوند و در نتیجه پوشش پوسته‌های زیستی به عنوان یک لایه منسجم سطح زمین را می‌پوشانند (Belnap *et al.*, 2016). پوسته‌های زیستی در مقیاس‌های کوچک به عنوان مرزهای اکولوژیکی در نظر گرفته می‌شوند زیرا جریان مواد و

* نویسنده مسئول: mgorji@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

انرژی در فضای بین جو و سطح خاک و بین توده خاک و ریشه-های گیاه را کنترل می‌کنند (Belnap *et al*., 2003). پوسته‌های زیستی خاک می‌توانند ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولوژیکی خاک مانند میکروتوپوگرافی سطح خاک (Rodríguez-Caballero *et al*., 2012)، تخلخل (Miralles-Mellado *et al*., 2011)، جذب و نگهداری آب (Chamizo *et al*., 2016)، نفوذپذیری (Belnap, 2006; Chamizo *et al*., 2016) و تبخیر (Chamizo *et al*., 2016) را تحت تأثیر قرار دهند. پوسته‌های زیستی خاک نه تنها ویژگی‌های سطح خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند، بلکه می‌توانند بسیاری از ویژگی‌های زیرسطحی خاک را با تغییر دادن ویژگی-های هیدرولوژیکی، تحت تأثیر قرار دهند (Belnap, 2006).

Chamizo *et al*., (2016)، با بررسی ۲۳ تحقیق انجام‌شده در ارتباط با تأثیر پوسته‌های زیستی بر وضعیت تبخیر گزارش دادند که ۶۵ درصد از این تحقیقات به این نتیجه رسیدند که پوسته‌های زیستی تبخیر را نسبت به خاک بایر کاهش می‌دهند و تنها دو مطالعه نشان دادند که تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. تأثیر پوسته‌های زیستی بر تبخیر خاک ممکن است به مرحله فرآیند تبخیر بستگی داشته باشد. در این زمینه چهار تحقیق در تپه‌های شنی درشت (Zhang *et al*., 2007; Li *et al*., 2009; Yu *et al*., 2010; Wang *et al*., 2011) دریافتند که میزان تبخیر در طی مراحل اولیه تبخیر در پوسته‌های زیستی نسبت به خاک بایر سریع‌تر است، اما در طی مرحله دوم تبخیر چون که خاک خشک می‌شود به دلیل ظرفیت نگهداری آب بالاتر پوسته‌های زیستی، کندتر است اما Xiao *et al*., (2010) طی یک مطالعه دیگر نتیجه-ای برعکس گزارش دادند؛ به طوری که پوسته‌های زیستی با طولانی کردن زمانی که آب در سطح خاک نگه داشته می‌شود به ویژه در خاک‌های شنی، تبخیر را در مرحله انتهایی فرآیند افزایش می‌دهند. Liu *et al*. (2007) و Li *et al*. (2010) دریافتند که در تپه‌های شنی درشت هیچ تفاوتی در تبخیر از پوسته‌های زیستی و خاک بایر در طی رخداد باران کوچک (دو، پنج و ۱۰ میلی‌متر) وجود ندارد، اما رخدادهای بارش بزرگتر (۲۰ میلی‌متر) منجر به میزان تبخیر بیش‌تر در پوسته‌های زیستی در مقایسه با خاک بایر می‌شود. در پی افزایش نفوذپذیری و کاهش تبخیر، مقدار رطوبت خاک و در نتیجه پویایی رطوبت خاک و عمق جبهه رطوبتی[1] در خاک پوشیده به وسیله پوسته‌های زیستی خاک نسبت به خاک بدون پوسته‌های زیستی تفاوت خواهد داشت که این مسئله بیانگر اهمیت پوسته‌های زیستی خاک برای مناطق خشک و نیمه‌خشک جهت حفظ آب خاک و استقرار گیاهان آوندی و در نتیجه پایداری زیست‌بوم است.

با توجه به منابع علمی بررسی‌شده، با وجود این‌که پوسته-های زیستی خاک بخش کوچکی از پروفیل خاک را در بر می-گیرند، اما نقش مهمی را در فرایندهای هیدرولوژیکی و تبادل مواد بین خاک و جو دارد. بنابراین ضرورت دارد که نقش آن‌ها در مدل‌سازی‌ها و فرآیندهای هیدرولوژیکی لحاظ شود. تاکنون مطالعات زیادی در زمینه نقش پوسته‌های زیستی بر نفوذپذیری و رواناب انجام شده است اما مطالعات محدودتری نقش آن‌ها را بر فرآیند تبخیر به ویژه در طی دوره بلندمدت بررسی کرده‌اند. بدین منظور در این تحقیق بر خلاف تحقیقات گذشته فرآیند تبخیر و وضعیت آبِ خاک را در دو دوره با نیاز تبخیری زیاد و کم مورد بررسی قرار گرفت. هدف از این تحقیق شبیه‌سازی و بررسی تأثیر پوسته‌های زیستی خاک بر تبخیر و پویایی آب خاک به عنوان تابعی از زمان است. در این راستا فرض می‌شود که خاک دارای پوسته زیستی در مقایسه با خاک فاقد آن، موجب کاهش تبخیر آب از سطح خاک در نتیجه حفظ آب خاک می‌شود.

مواد و روش‌ها

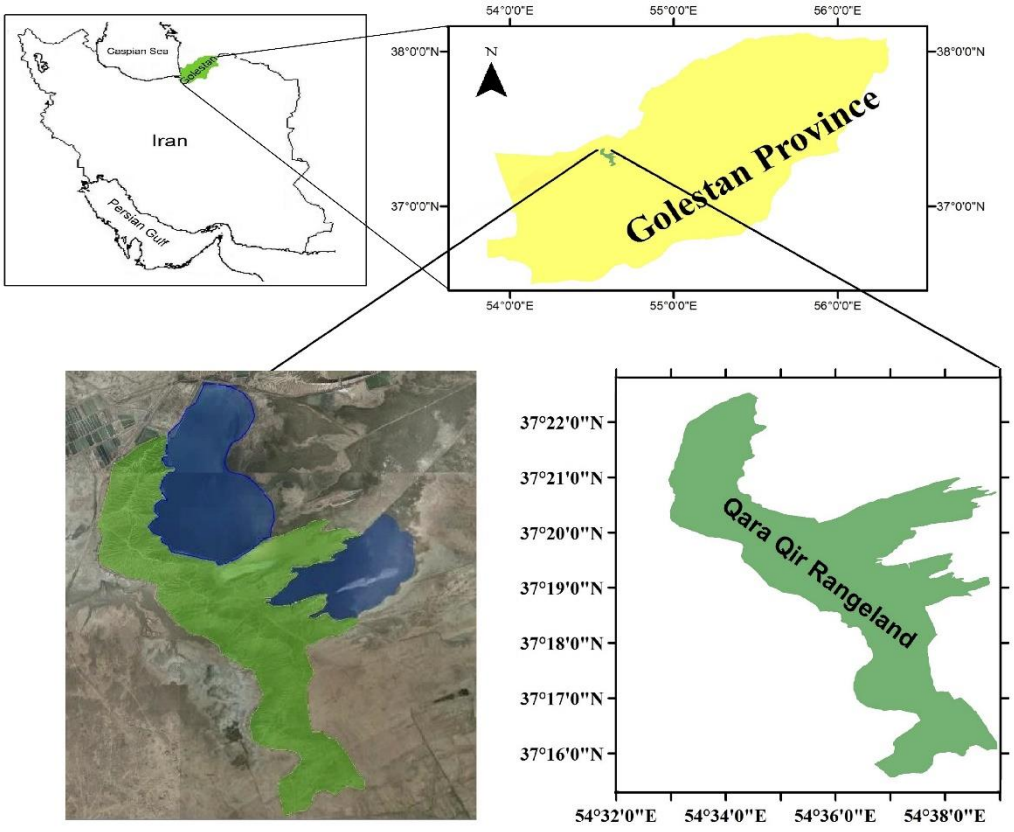
منطقه نمونه‌برداری

برای انجام این تحقیق از مراتع قره‌قیر در شمال استان گلستان و شهرستان آق‌قلا اقدام به نمونه‌برداری خاک شد (شکل ۱). مراتع قره‌قیر دارای شیب عمومی ملایمی بوده و لایه سطحی آن بیش‌تر از جنس لس بوده و حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه از سطح دریای آزاد ۱۵ و ۵۰ متر می‌باشد. مراتع قره‌قیر از مجموعه‌ای از تپه‌های لسی به مساحت تقریبی ۸۵۶۰ هکتار تشکیل شده است که در مجاورت و در قسمت جنوبی و غربی تالاب آلاگل و در۲۰ کیلومتری مرز ایران- ترکمنستان واقع شده‌اند. بر اساس آمار ۳۰ ساله ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه (ایستگاه‌های کلیماتولوژی مزرعه نمونه ارتش و دشت گلستان) میزان متوسط بارش سالانه ۲۷۳ میلی‌متر می‌باشد. بیش‌ترین مقدار بارندگی در ماه‌های بهمن و اسفند و کم‌ترین آن در تیر و مرداد است. میانگین دمای سالیانه منطقه ۱۹/۱ درجه سانتی‌گراد با بیش‌ترین و کم‌ترین دما ۴۰ و ۵/۶- درجه سانتی‌گراد به ترتیب در گرم‌ترین (تیر و مرداد) و سردترین (دی و بهمن) ماه‌های سال می‌باشد. تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه منطقه برابر با ۱۷۰۰ میلی‌متر است.

1. Wetting Front Depth (WFD)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

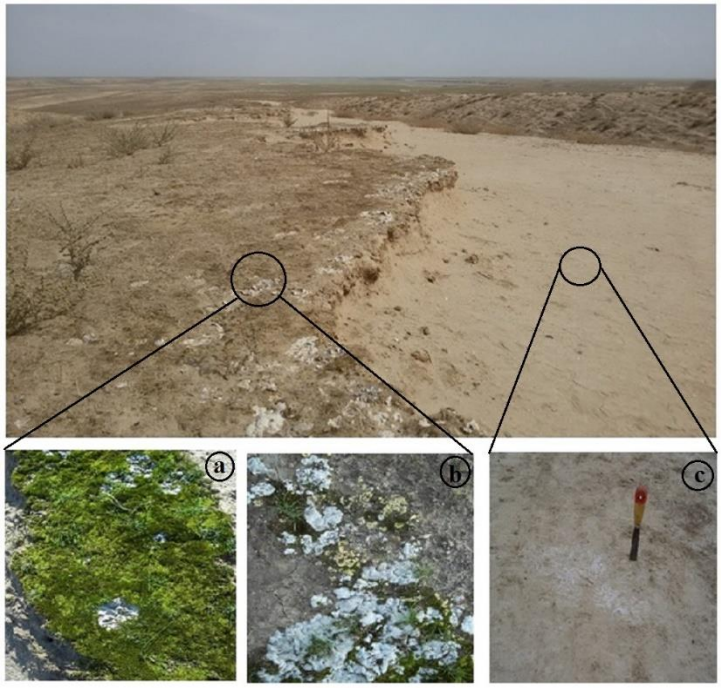
طراحی آزمایش

به منظور ارزیابی دقیق‌تر اثر پوسته‌های زیستی خاک بر تبخیر، پویایی نمک، و آب خاک، آزمایش شبیه‌سازی تبخیر در مقیاس آزمایشگاهی طراحی شد. بدین منظور نمونه‌های پوسته‌های زیستی همراه با پنج سانتی‌متر از خاک زیرین آن به صورت دست‌نخورده (با برش تکه‌های بزرگ از پوسته با خاک زیرین آن و حمل با جعبه‌های مقاوم در برابر دست‌خوردگی) از منطقه مورد مطالعه برداشت شد (شکل ۲ a و b). همچنین توده خاک از نواحی بدون پوسته منطقه مورد مطالعه برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد (شکل ۲ c). تعداد شش ستون برای تیمار ستون دارای پوسته زیستی و چهار ستون برای تیمار بدون پوسته زیستی با ابعاد ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر و قطر ۲۰ سانتی‌متر برای انجام این آزمایش در نظر گرفته شد. سپس توده خاک شور را پس از هوا خشک‌شدن و عبور از الک ۴ میلی‌متر (با توجه به بادرفتی بودن خاک منطقه و عدم خاکدانه‌های بزرگتر از آن در توده خاک) و یکنواخت‌شدن در شش ستون تا ارتفاع ۴۳ سانتی‌متری و با لحاظ جرم ویژه ظاهری مطابق خاک منطقه (متوسط ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب) ریخته شد. سپس لایه پوسته زیستی همراه با پنج سانتی-متر خاک زیرین آن بر روی آن‌ها قرار داده شد. در چهار ستون بدون پوسته تا ارتفاع ۴۸ سانتی‌متر خاک ریخته شد. در بالای ستون‌ها دو سانتی‌متر فضای خالی به منظور اضافه‌کردن آب در ابتدای آزمایش در نظر گرفته شد (شکل ۳). پس از آماده‌نمودن ستون‌ها، به هر کدام از آن‌ها یک لیتر آب به صورت اسپری‌کردن و تدریجی اضافه شد. سپس همه ستون‌ها در فضای آزاد با شرایط طبیعی اقلیمی شهرستان کرج قرار داده شد. دوره انجام این آزمایش از ۱۳۹۶/۴/۳۱ تا ۱۳۹۶/۹/۲۰ (هجری شمسی) به مدت ۱۴۲ روز بود. میزان هدررفت آب در طی فرآیند تبخیر برای هر ستون با توزین ستون‌ها هر روز در طی هفته اول، هر سه روز یک بار از روز هفت تا ۲۵، هر پنج روز یک بار از روز ۲۵ تا ۵۰، و هر هشت روز یک بار از روز ۵۰ تا ۱۴۲ پس از شروع آزمایش انجام شد. در طی انجام این آزمایش صرفاً به مقدار ۴/۸ میلی‌متر و در روزهای ۱۲ و ۱۳ مهر ۱۳۹۶ بارش ثبت شد.

همچنین پس از شروع آزمایش به منظور بررسی پویایی آب خاک در طی فرآیند تبخیر، در سه زمان ۱۷، ۵۰ و ۱۰۳ روز (به ترتیب ۱۶ مرداد، ۱۹ شهریور و ۱۰ آبان ۱۳۹۶) از چهار عمق ۱۰ (D_1)، ۲۰ (D_2)، ۳۰ (D_3) و ۴۰ (D_4) سانتی‌متری از کناره‌های ستون‌ها به‌وسیله مته نمونه‌های خاک تهیه شد (شکل ۳). پس از برداشت نمونه فضای خالی ستون‌ها بلافاصله با خاک توده شور پر شدند و روی آن با چسب طوری پوشانده شد که تبادل هوا از کناره‌های ستون‌ها رخ ندهد (شکل ۳). سپس رطوبت خاک نمونه‌ها به روش وزنی اندازه‌گیری شد (Gardner, 1965). به منظور شبیه‌سازی وضعیت آب خاک در ستون-ها، از نرم‌افزار HYDRUSE 1D استفاده شد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- سیمای کلی نواحی پوشیده از پوسته‌های زیستی و فاقد آن برای نمونه‌برداری برای انجام شبیه‌سازی تبخیر. a) نواحی با غالبیت خزه ، b) نواحی با غالبیت گلسنگ، c) نواحی بدون پوسته زیستی

شکل ۳- ستون‌های خاک دارای پوسته زیستی (الف) و بدون پوسته زیستی (ب) برای آزمایش شبیه‌سازی تبخیر و نمونه‌برداری از چهار عمق از کناره‌های ستون‌ها

www.SID.ir

Archive of SID

روش تجزیه‌وتحلیل آماری

در این تحقیق با توجه به وجود دو نوع پوشش پوسته‌دار و بدون پوسته و چندین عمق نمونه‌برداری برای ویژگی‌های پایه خاک و همچنین دو نوع پوشش، سه زمان و چهار عمق نمونه‌برداری خاک برای سنجش مقدار آبِ خاک در ستون‌ها، برای تجزیه‌وتحلیل آماری از طرح آماری فاکتوریل و برای مقایسه میانگین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۹۵ درصد استفاده شد و برای انجام آن، نرم‌افزار R مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تحت پوشش پوسته‌های زیستی و فاقد آن در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱- مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در عمق‌های متناظر در خاک تحت پوشش پوسته‌های زیستی و فاقد آن در مراتع قره‌قیر

تیمار	عمق (cm)	رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)	کربن آلی (٪)	جرم ویژه ظاهری (gr/cm^3)
پوسته زیستی	۵-۰	۱۱/۵۰±۰/۸۶e	۶۰/۰۷±۱/۷۰a	۲۸/۶۸±۰/۸۴ab	۱/۵۱±۰/۰۹a	۱/۲۸±۰/۰۵e
	۱۰-۵	۱۵/۳۰±۱/۰۱d	۵۷/۳۳±۱/۵۴ab	۲۷/۴۸±۰/۷۸ab	۱/۱۵±۰/۰۷b	۱/۳۲±۰/۰۴e
	۲۰-۱۰	۲۴/۲۸±۰/۹۲ab	۵۲/۲۷±۱/۶۴bc	۲۳/۵۶±۰/۶۹b	۰/۷۸±۰/۰۶d	۱/۴۷±۰/۰۴bcd
	۳۰-۲۰	۲۷/۵۷±۰/۸۵a	۵۰/۷۲±۱/۳۴bc	۲۱/۸۲±۰/۷۹b	۰/۵۸±۰/۰۳f	۱/۴۲±۰/۰۴d
	۵۰-۳۰	۲۴/۷۸±۰/۷۶ab	۵۳/۸۰±۱/۸۰abc	۲۱/۴۰±۰/۸۱b	۰/۵۶±۰/۰۴f	۱/۴۹±۰/۰۴bc
	۸۰-۵۰	۲۳/۵۲±۱/۲۰bc	۵۱/۷۲±۱/۴۳bc	۲۵/۶۷±۰/۹۲ab	۰/۵۴±۰/۰۳f	۱/۴۶±۰/۰۶bcd
بدون پوسته زیستی	۵-۰	۲۴/۹۲±۱/۶ab	۵۱/۷۲±۱/۴۳bc	۲۳/۳۵±۰/۷۹b	۰/۹۵±۰/۰۳c	۱/۶۲±۰/۰۲a
	۱۰-۵	۲۴/۰۳±۱/۲۰ab	۵۱/۷۳±۱/۲۳bc	۲۴/۴۹±۰/۶۴ab	۰/۶۵±۰/۰۳e	۱/۵۱±۰/۰۵b
	۲۰-۱۰	۲۶/۰۶±۰/۹۸ab	۵۱/۹۸±۱/۲۲bc	۲۱/۹۵±۰/۵۶b	۰/۵۷±۰/۰۴f	۱/۴۴±۰/۰۶bcd
	۳۰-۲۰	۲۶/۹۴±۱/۱۰ab	۴۸/۷۰±۰/۹۸c	۲۴/۶۰±۰/۶۳ab	۰/۵۵±۰/۰۳f	۱/۴۵±۰/۰۷bcd
	۵۰-۳۰	۲۴/۵۵±۰/۷۶ab	۴۹/۵۱±۰/۸۷c	۲۶/۳۳±۰/۶۹ab	۰/۵۴±۰/۰۲f	۱/۴۳±۰/۰۴bcd
	۸۰-۵۰	۲۰/۳۷±۰/۶۵c	۴۷/۰۳±۰/۹۱c	۳۲/۷۲±۰/۸۲a	۰/۵۴±۰/۰۲f	۱/۴۶±۰/۰۶bcd

تبخیر

شکل (۴) تبخیر تجمعی را به عنوان تابعی از زمان برای هر ستون پوشیده از پوسته‌های زیستی و فاقد آن در شرایط نیاز تبخیری زیاد (الف) و کم (ب) را از ۱۳۹۶/۴/۳۱ تا ۱۳۹۶/۹/۲۰ (هجری شمسی) به مدت ۱۴۲ روز نشان می‌دهد. این شکل بیانگر این است که تبخیر تجمعی در ستون‌های پوشیده از پوسته‌های زیستی در مقایسه با ستون فاقد پوسته زیستی تا ۷۷ روز پس از شروع آزمایش‌ها به عنوان شرایط نیاز تبخیر زیاد (از ۳۱ تیر تا ۱۳ مهر ۱۳۹۶) به طور معنی‌داری کم‌تر است. سپس اثر پوسته-های زیستی خاک بر روی تبخیر در نیاز تبخیری کم (از ۱۳ مهر تا ۲۰ آذر ۱۳۹۶) کاهش یافته و در مقایسه با خاک بدون پوسته تفاوت معنی‌داری ندارد.

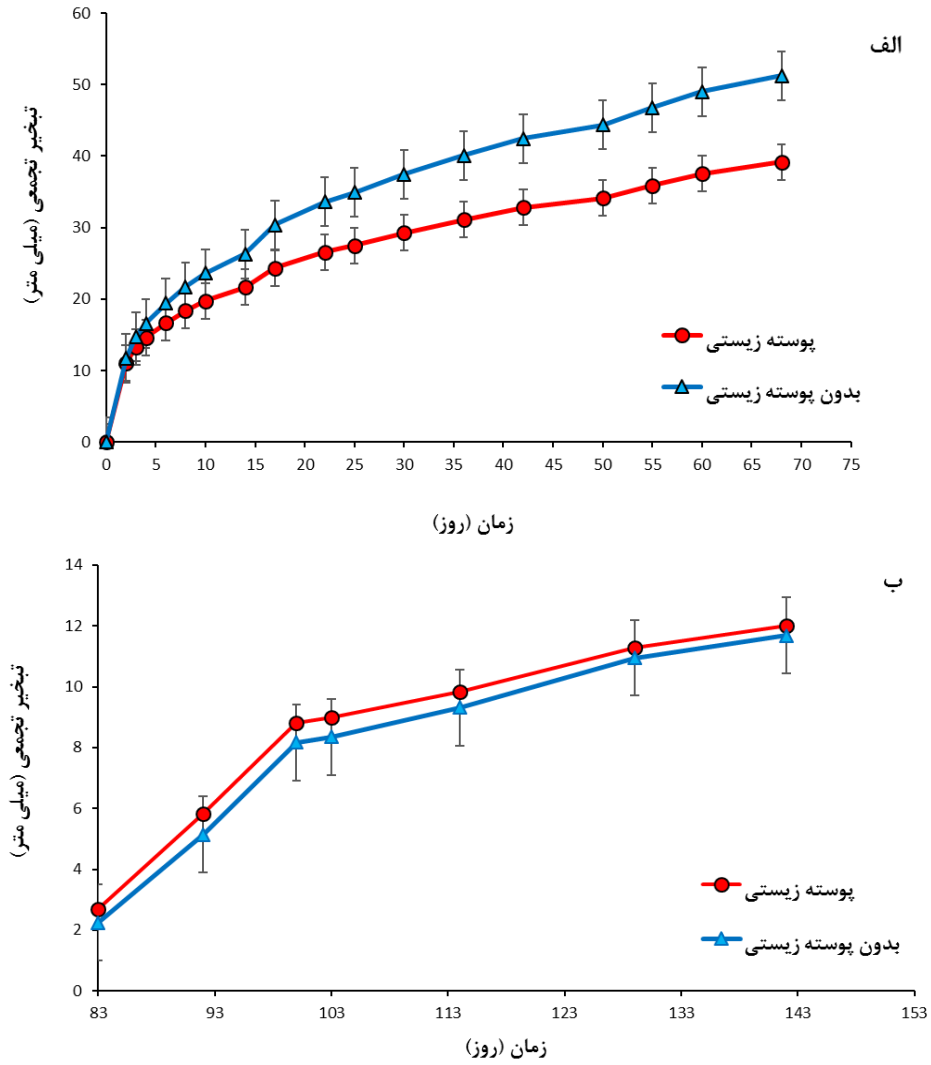
نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایط نیاز تبخیری زیاد، خاک پوشیده از پوسته‌های زیستی نسبت به خاک بدون پوسته هدر رفت آب طی فرآیند تبخیر را کاهش می‌دهد در حالی که در شرایط با نیاز تبخیری کم پوشش سطحی خاک نمی‌تواند عامل مؤثری در تبخیر باشد (شکل ۴). این مسئله بیانگر آن است که در شرایط اقلیمی و ویژگی‌های خاک ثابت، پوسته زیستی به عنوان عامل پوشش سطحی خاک می‌تواند تبخیر را تغییر دهد و در نتیجه در دیگر ویژگی‌های خاکی در عمق‌های پایین‌تر نیز تغییراتی ایجاد نماید. برخی شواهد وجود دارد که پوسته‌های زیستی به وسیله پوشاندن سطح خاک، تبخیر و میزان هدر رفت آبِ خاک را کاهش می‌دهند (Xiao *et al*., 2010; Chamizo *et al*., 2016). در این آزمایش پوسته‌های زیستی در مقایسه با ستون‌های بدون پوسته تبخیر را کاهش داده و احتمالاً از طریق ساختارهای تله‌انداز گلسنگ، خزه و رشته‌های سیانوباکتری با اتصال ذرات خاک به همدیگر و ایجاد حصیر بر روی سطح خاک که آب را حفظ می‌کند، به طور قوی نگهداری آب در سطح خاک را افزایش می‌دهد (Belnap, 2006). علاوه بر این، تورم این حصیر در شرایط مرطوب، منافذ خاک را مسدود نموده و منجر به تأخیر در تبخیر و بهبود شرایط نگهداری رطوبت خاک می‌شود (Zhang *et al*., 2016).

یکی از عوامل که تبخیر را تحت تأثیر قرار می‌دهد، دمای محیط است. برخی مطالعات نشان از عدم تأثیر دمای پوسته‌های

www.SID.ir

Archive of SID

زیستی خاک بر میزان تبخیر هستند اگرچه پوسته‌های زیستی، دمای خاک را در اثر وجود خزه‌های تیره و خشک‌شده افزایش می‌دهند اما به وسیله افزایش ظرفیت نگهداری آب و کاهش جزئی دما هنگام خیسی باعث کاهش میزان تبخیر می‌شوند. خزه‌ها ممکن است یک مانع عایق[۱] با فضاهای پر از هوا تا چند میلی‌متر سطحی خاک ایجاد کنند و به وسیله کاهش هدایت گرمائی، سطح را خنک نگه دارند (Xiao *et al.*, 2010). در این آزمایش چون پوشش غالب خزه می‌باشد، احتمالا باعث کاهش تبخیر در ستون‌های پوشیده از پوسته زیستی نسبت به ستون‌های بدون پوسته شده است. Zhang *et al.* (2016) و Chamizo *et al.* (2013) دریافتند که در شرایط با مقدار بالای رطوبت خاک، در خاک دارای پوسته‌های خزه‌ای در مقایسه با خاک شنی علی‌رغم مقدار رطوبت پیشین بالاتر، تبخیر روزانه و تجمعی کم‌تر بود. اما با کاهش مقدار آب، میزان تبخیر روزانه برای خاک پوسته‌ای دارای خزه به طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد.



شکل ۴- منحنی تبخیر تجمعی برای ستون‌های پوشیده از پوسته‌های زیستی و فاقد آن در شرایط نیاز تبخیر زیاد (الف) و نیاز تبخیری کم (ب)

مقدار آب خاک

مقدار آب خاک در ستون‌های دارای پوسته‌های زیستی نسبت به ستون‌های بدون پوسته به طور معنی‌داری زیادتر است (شکل ۵). مقدار آب خاک در ستون‌های دارای پوسته زیستی نسبت به ستون‌های بدون پوسته در عمق D_2 و D_3 در ۱۷ روز، D_2، D_3 و D_4 در ۵۰ روز پس از شبیه‌سازی به طور معنی‌داری بیش‌تر است اما در ۱۰۳ روز تفاوت معنی‌داری ندارد.

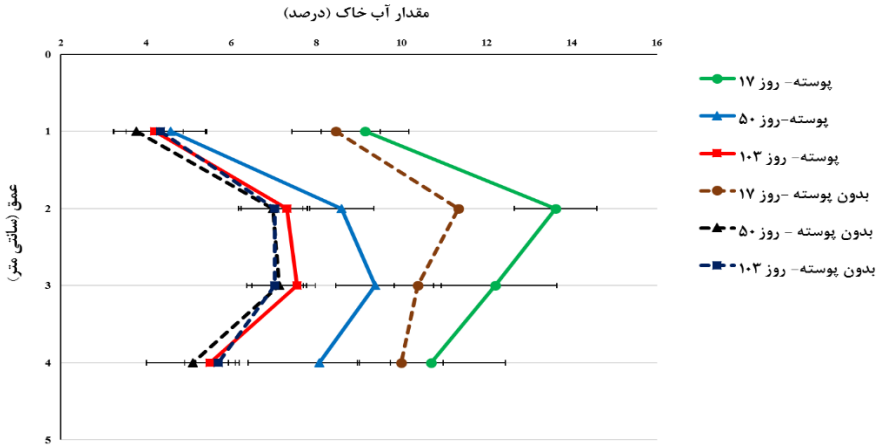
نتایج این پژوهش نشان داد که ستون‌های با پوسته‌های زیستی دارای رطوبت خاک بیش‌تری هستند اما در مقایسه با ستون‌های بدون پوسته تبخیر کم‌تری دارند (شکل ۴ و ۵).

۱. Insulated obstacle

www.SID.ir

Archive of SID

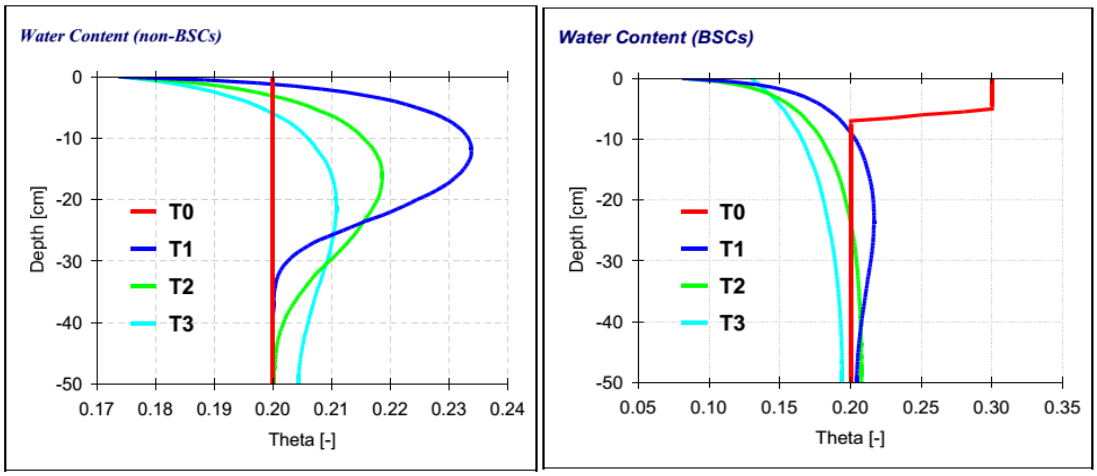
بنابراین ظرفیت نگهداری آب بیش‌تر در خاک دارای خزه ضرورتاً میزان تبخیر در مرحله اولیه با نیاز تبخیری زیادتر را افزایش نمی‌دهد (Zhang *et al.*, 2016). قابل ذکر است که مراتع قره‌قیر دما و نیاز تبخیری بیش‌تری در مقایسه با محل انجام آزمایش دارند. مقدار آب خاک سطحی می‌تواند اثر پوسته‌های زیستی بر تبخیر را تحت تأثیر قرار دهد. هنگامی که مقدار آب خاک سطحی بیش‌تر است، تبخیر کاهش می‌یابد و به دلیل اثرات پوسته بر مسدود کردن منافذ به ویژه در پوسته‌های با توسعه یافتگی بیش‌تر مانند خزه و گلسنگ، مقدار آب خاک به مدت طولانی‌تری حفظ می‌شود. اما هنگامی که مقدار آب خاک کم است، منافذ خاک مسدود نشده در پوسته‌های زیستی منجر به افزایش تبخیر و یکسان‌سازی رطوبت در هر دو خاک دارای پوسته زیستی و بدون پوسته می‌شود (Chamizo *et al.*, 2013).



شکل ۵- مقدار آب خاک در ستون‌های پوشیده از پوسته‌های زیستی و فاقد آن در طی فرآیند تبخیر

مطابق شکل (۶) نتایج شبیه‌سازی آب خاک با نرم افزار HYDRUSE 1D نشان داد که در طول پروفیل ستون برای خاک بدون پوشش پوسته زیستی در زمان صفر (T0) و قبل از افزودن آب برای شبیه‌سازی، رطوبت خاک مقداری ثابت است (برابر با ۰/۲ سانتی‌مترمکعب بر سانتی‌متر مکعب) اما با گذر زمان، توزیع آن متفاوت بوده و در ۱۷ روز پس از شبیه‌سازی (T1) مقدار آب خاک در عمق ۱۰ سانتی‌متر سطح خاک حداکثر مقدار است که در زمان ۵۰ (T2) و ۱۰۳ (T3) روز پس از شبیه‌سازی مقدار آن کم‌تر شده و توزیع آب به سمت اعماق پایین‌تر پروفیل خاک هدایت شده است. الگوی شبیه‌سازی با الگوی اندازه‌گیری شده مقدار آب خاک تقریباً روندی یکسان دارند (شکل ۵ و ۶).

در طول پروفیل ستون خاک دارای پوشش پوسته زیستی، در زمان صفر (T0) و قبل از افزودن آب برای شبیه‌سازی، مقدار آب خاک در لایه پنج سانتی‌متری حاوی پوسته زیستی، بیش‌تر از لایه زیرین است (برابر با ۰/۳ سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب). اما با گذر زمان پس از ۱۷ (T1) روز روند آب خاک در طی پروفیل ستون خاک تغییر کرده و در سطح کاهش یافت اما در عمق حدود ۲۰ سانتی‌متر به حداکثر مقدار خود و در اعماق پایین‌تر تقریباً به حد ثابتی رسید. این روند برای زمان‌های ۵۰ و ۱۰۳ روز (T3 و T4) با شدت کم‌تری ادامه داشت.



شکل ۶- مقدار آب خاک در ستون‌های پوشیده از پوسته‌های زیستی و فاقد آن در طی فرآیند تبخیر

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که به طور کلی پوسته‌های زیستی موجب کاهش تبخیر از سطح خاک نسبت به سطوح بدون پوسته زیستی به ویژه در فاز اول تبخیر با نیاز تبخیری زیاد می‌شود که احتمالاً به دلیل موجب مسدودشدن منافذ سطح خاک ناشی پوسته‌های زیستی و کاهش تبخیر نسبت به سطوح بودن پوسته باشد. پس علاوه بر وجود پوسته‌های زیستی به عنوان عامل پوششی، شرایط اقلیمی نیز بر فرآیند تبخیر تأثیرگذار است. همچنین روند تغییرات مقدار آب خاک در ستون‌های دارای پوسته زیستی و فاقد آن، در درجه اول متأثر از تأثیر پوسته‌های زیستی بر روند تبخیر و در درجه دوم متأثر از رفتار پوسته‌های زیستی در نگهداری آب و توزیع مجدد آن در طی زمان است. لحاظکردن تغییرات دمای خاک و خود لایه پوسته‌های زیستی نیز می‌تواند نتایج دقیق‌تری از وضعیت تبخیر و تغییرات آن با دما همزمان با وجود رطوبت ناشی از حضور پوسته‌های زیستی را در طی زمان نمایان سازد و همچنین زمان‌های غالب‌بودن اثر پوسته‌های زیستی (با حفظ رطوبت و انسداد سطحی) بر اثر جو (دما) و متأثر ساختن تبخیر را مشخص نماید. با تعمیم این نتایج در سطوح وسیع می‌توان استنباط نمود که در نواحی با وجود پوسته‌های زیستی، شرایط هیدرولوژیکی و فیزیکی خاک جهت رشد و توسعه بیش از پیش پوسته‌های زیستی و همچنین گیاهان آوندی فراهم می‌شود که در نتیجه سطح خاک پایدارتر شده و مقاومت آن در برابر تخریب ناشی از فرسایش افزایش می‌یابد. با توجه به جدیدبودن این موضوع در کشور پیشنهاد می‌شود که در این زمینه تحقیقات بیشتر و به ویژه در شرایط صحرایی و با روش-های دستگاهی و دقیق‌تر انجام شود.

سپاس‌گزاری

این تحقیق با حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری با شماره طرح ۹۶۰۰۴۵۵۱ انجام شده است، لذا نویسندگان از این نهاد کمال تشکر و قدردانی را دارند.

REFERENCES

Belnap, J. (2006). The potential roles of biological soil crusts in dryland hydrologic cycles. *Hydrological Processes*, 20(15), 3159-3178.

Belnap, J., Büdel, B., Lange, O. (2003). Biological soil crusts: characteristics and distribution. in: *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management*, (Eds.) J. Belnap, O. Lange, Springer-Verlag: Berlin, pp. 3-30.

Belnap, J., Weber, B., & Büdel, B. (2016). Biological soil crusts as an organizing principle in drylands. In: *Biological soil crusts: an organizing principle in drylands* (pp. 3-13). Springer.

Bowker, M. A., Koch, G. W., Belnap, J., & Johnson, N. C. (2008). Nutrient availability affects pigment production but not growth in lichens of biological soil crusts. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(11): 2819-2826.

Chamizo, S., Belnap, J., Eldridge, D.J., Cantón, Y., Issa, O.M. (2016). The Role of Biocrusts in Arid Land Hydrology. in: *Biological Soil Crusts: An Organizing Principle in Drylands*, Springer, pp. 321-346.

Chamizo, S., Cantón, Y., Lázaro, R., Domingo, F. (2013). The role of biological soil crusts in soil moisture dynamics in two semiarid ecosystems with contrasting soil textures. *Journal of Hydrology*, 489, 74-84.

Chamizo, S., Cantón, Y., Miralles, I., Domingo, F. (2012). Biological soil crust development affects physicochemical characteristics of soil surface in semiarid ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*. 49, 96–105.

Fang, H. Y., Cai, Q. G., Chen, H., & Li, Q. Y. (2007). Mechanism of formation of physical soil crust in desert soils treated with straw checkerboards. *Soil & Tillage Research*, 93(1): 222-230.

Gardner, W. H. (1965). Water Content Agronomy Monograph, *Methods of Soil Analysis*. Part 1. Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling, 9.1:82-127.

Li, X-R., He, M-Z., Zerbe, S., Li, X-J., Liu, L-C. (2010). Micro-geomorphology determines community structure of biological soil crusts at small scales. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35:932–940.

Li, X. R., Zhang, Z. S., Huang, L., Liu, LC., Wang, XP. (2009). The ecohydrology of the soil–vegetation system restoration in arid zones: a review. *Journal of Desert Research*, 1:0199–0206.

Liu, L. C., Song, YX., Gao, YH., Wang, T., Li, XR. (2007). Effects of microbiotic crusts on evaporation from the revegetated area in a Chinese desert. *Soil Research*, 45:422–427.

Maestre, F. T., Bowker, M. A., Cantón, Y., Castillo-Monroy, A. P., Cortina, J., Escolar, C., Escudero, A., Lázaro, R., & Martínez, I. (2011). Ecology and functional roles of biological soil crusts in semi-arid ecosystems of Spain. *Journal of Arid Environments*, 75(12): 1282-1291.

Miralles-Mellado, I., Cantón, Y., Solé-Benet, A. (2011). Two-dimensional porosity of crusted silty soils: indicators of soil quality in semiarid rangelands? *Soil Science Society of America Journal*, 75(4), 1330-1342.

Rodríguez-Caballero, E., Cantón, Y., Chamizo, S., Afana, A., & Solé-Benet, A. (2012). Effects of biological soil crusts on surface roughness and

www.SID.ir

Archive of SID

desert ecosystems. *Hydrological Processes*, 24:87–95.

Zhang, Y. F., Wang, X. P., Pan, Y. X., & Hu, R. (2016). Comparison of diurnal dynamics in evaporation rate between bare soil and moss-crusted soil within a revegetated desert ecosystem of northwestern China. *Journal of Earth System Science*, 125(1), 95-102.

Zhang, ZS., Zhu, HM., Tan, HJ., Chen, YW., Pan, YX. (2007). Evaporation from soils covered with biological crusts in revegetated desert: a case study in Shapotou Desert research and experiment station. *Acta Pedologica Sinica*, 44:404–410.

implications for runoff and erosion. *Geomorphology*, 145, 81-89.

Wang, CP., Zhou, HS., Liao, CY., Sun, CZ., Han, XH. (2011). Effects of soil algae crust on soil evaporation in the Loess Plateau. *Journal of Northwest Forestry University*, 26:8–13.

Xiao, B., Zhao, Y. G., & Shao, M. A. (2010). Characteristics and numeric simulation of soil evaporation in biological soil crusts. *Journal of Arid Environments*, 74(1), 121-130.

Yu, Z., Lu, H., Zhu, Y., Drake, S., Liang, C. (2010). Long-term effects of revegetation on soil hydrological processes in vegetation-stabilized

www.SID.ir