Archive of SID
DOI: 10.22059/ijswr.2018.248788.667826 (ص ۹۸-۸۹) تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۱، فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۸

Simultaneous Effect of Soil Salinity and Matric Suction on Evaporation and Redistribution of Moisture and Salinity in Two Soils with Different Textures

MAHNAZ KHATAAR[*1], MOHAMMAD HOSSEIN MOHAMMADI[2]
1. Ph.D Student, Department of Soil Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran
2. Associate Professor. Department of Soil Science, University of Tehran, Karaj, Iran
(Received: Dec. 30, 2017- Revised: Feb. 2, 2018- Accepted: June. 2, 2018)

ABSTRACT

Daily increasing salinity is one of the main problems of agricultural lands, especially in arid and semi-arid regions, with high evapotranspiration rates. The purpose of this research was to investigate the simultaneous effect of salinity at five levels 2, 4, 8, 16 and 20 dSm^{-1} for wheat and 0.7, 2, 4, 6 and 8 dSm^{-1} for bean and matric suction at four levels 2, 6, 10 and 33 kPa, on evaporation rate and redistribution of moisture and salinity in the soil profiles of sandy loam and clay loam. This study was conducted in greenhouse conditions in pots by compeletly randomized factorial desigh with 3 replicates. It was found that evaporation rate decreased by time in the saline and water stress treatments, especially in the clay loam soils, and this reduction was more in the high suction and salinity levels. The lowest evaporation reduction was observed in treatments with the highest soil moisture content. Because, water availability reduced the salinity effect on evaporation. As, at the 2kPa matric suction, the evaporation rate was approximately the same at all levels of salinity and the highest throughout the day after treatment. In the 15th day after treatment and at the 33kPa suction, different salinity levels (from 0.7 to 20 dSm^{-1}) reduced the evaporation rate by 19% in both soils. Also, the results showed that the ECe of the drained soils with 10kPa constant suction increased exponentially with moisture reduction. This trend was more in the clay loam soils. Because the evaporation/drainage ratio of the clay loam soil is more than the one in the sandy loam soil. The salinity redistribution in the both soil profiles and for the two plants were almost constant over time. Also, moisture reduction over the time was higher in the clay loam soil than the one in the sandy loam soil, especially under low salinities.

Keywords: Salinity redistribution, Moisture redistribution, Evaporation, Drainage, Matric suction

*Corresponding author: mahnazkhataar@znu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

اثر هم‌زمان شوری و مکش ماتریک خاک بر میزان تبخیر و توزیع مجدد رطوبت و شوری در دو خاک با بافت متفاوت

مهناز ختار*[۱]، محمدحسین محمدی[۲]

۱. دانشجوی دوره دکتری، گروه خاکشناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲. دانشیار، گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۹-تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۱۱/۱۳- تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۳/۱۲)

چکیده

افزایش روزافزون شوری، یکی از مشکلات اصلی زمین‌های کشاورزی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد که نرخ تبخیر-تعرق زیادی دارند. هدف از این پژوهش بررسی اثر هم‌زمان شوری در پنج سطح ۲، ۴، ۸، ۱۶ و ۲۰ دسی زیمنس بر متر برای گندم و ۰/۷، ۲، ۴، ۶ و ۸ دسی زیمنس بر متر برای لوبیا، با مکش ماتریک در چهار سطح ۲، ۶، ۱۰ و ۳۳ کیلو پاسکال، بر نرخ تبخیر و توزیع مجدد رطوبت و شوری در دو خاک لوم شنی و لوم رسی بود که به صورت آزمایش فاکتوریل و با طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار به‌صورت کشت گلدانی اجرا شد. نتایج نشان داد تیمارهای شوری و مکش ماتریک به‌ویژه در خاک لوم رسی، روند تبخیر را با گذشت زمان تحت تأثیر قرار داده و این اثر در مکش‌ها و شوری‌های زیاد بیشتر بود. کمترین اثر شوری بر میزان تبخیر، در بیشترین سطح رطوبتی خاک مشاهده شد، زیرا به دلیل فراهمی آب، شوری نتوانست بر میزان تبخیر مؤثر باشد. به طوری که در مکش ماتریک ۲ کیلو پاسکال، نرخ تبخیر در همه سطوح شوری تقریباً یکسان بود و بیشترین میزان تبخیر را در تمام روزهای بعد از اعمال تیمار داشت. در روز پانزدهم بعد از اعمال تیمار و تحت مکش ۳۳ کیلو پاسکال، افزایش شوری از ۰/۷ تا ۲۰ دسی زیمنس بر متر، میزان تبخیر را ۱۹ درصد در هردو خاک کاهش داد. همچنین نتایج نشان داد که شوری عصاره اشباع خاک‌هایی که تحت مکش ثابت ۱۰ کیلو پاسکال زهکشی شدند به صورت نمایی با کاهش رطوبت افزایش یافت و این روند در خاک لوم رسی به دلیل زیاد بودن نسبت بین میزان تبخیر به زهکشی این خاک در مقایسه با خاک لوم شنی، تغییرات بیشتری داشت. توزیع مجدد شوری با گذشت زمان در هر دو خاک و برای هر دو گیاه تقریباً یکسان و به صورت افزایشی بود. همچنین با گذشت زمان، کاهش رطوبت، مخصوصاً در شوری‌های پایین در خاک لوم رسی بیشتر از خاک لوم شنی بود.

واژه‌های کلیدی: توزیع مجدد شوری، توزیع مجدد رطوبت، تبخیر، زهکشی، مکش ماتریک

مقدمه

یکی از عوامل کاهنده میزان تولید در واحد سطح، شور شدن اراضی است که باعث کاهش محصول تا ۹۰ درصد می‌شود (Zhang *et al*., 2011). مساحت خاک‌های شور به شدت در حال افزایش است، به‌طوری که وسعت آن‌ها تقریباً به ۱۹۰ میلیون هکتار در جهان رسیده است (FAO, 2010). بر اساس تعریف Shannon and Grieve (1999) شوری خاک عبارت است از حضور بیش از اندازه نمک‌های قابل‌حل و عناصر معدنی در محلول خاک که منجر به تجمع نمک در ناحیه ریشه شده و گیاه برای جذب آب کافی از محلول خاک با مشکل روبرو می‌شود. زیرا نمک‌های محلول در خاک باعث افزایش فشار اسمزی و کاهش پتانسیل کل آب خاک می‌شوند. بنابراین، میزان آب قابل دسترس گیاه محدود شده و جذب آب توسط ریشه گیاهان کاهش می‌یابد (Munns and Tester, 2008; Cha-Um *et al*., 2011).

عامل مهم تجمع نمک در سطح خاک تبخیر است. مادامی‌که آب از سطح خاک تبخیر می‌شود، یک جریان دائمی آب از خاک زیرین به سطح خاک برقرار شده و بسیاری از نمک-های محلول در خود را به سطح خاک انتقال می‌دهد و بنابراین باعث برجای ماندن نمک در سطح خاک می‌شود (Li *et al*. 2013). عمق سطح ایستابی و غلظت نمک‌های موجود در آب-های زیرزمینی منطقه، از جمله شرایط اساسی تعیین‌کننده مقدار و سرعت تجمع نمک‌ها در ناحیه رشد ریشه به شمار می-آیند. آب زیرزمینی نواحی خشک و نیمه خشک معمولاً حاوی مقادیر زیادی املاح محلول می‌باشد، لذا تجمع املاح در خاک، گاهی اوقات به‌اندازه‌ای زیاد است که فقط گیاهان مقاوم به شوری قادر به رویش در آن هستند. حال هر چه سفره آب زیرزمینی نزدیکتر به سطح خاک باشد، تجمع املاح نیز سریعتر

* نویسنده مسئول: mahnazkhataar@znu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

صورت می‌گیرد (Gowing *et al*., 2006; Zarei *et al*. 2010). از طرف دیگر تعرق آب از طریق برگ‌های گیاه و متعاقباً از دست رفتن آب و برجای ماندن نمک، عامل دیگر افزایش شوری خاک است (Gowing *et al*., 2006; Zarei *et al*. 2010). بنابراین در طی زمان، با کاهش رطوبت و به‌تبع آن افزایش مکش اسمزی، پتانسیل آب خاک به شدت کاهش یافته و این اثر در رطوبت‌های کم تشدید می‌شود (Schwabe *et al*., 2013; Devkota *et al*., 2015; Ha *et al*., 2015). با کاهش پتانسیل آب خاک، میزان تبخیر از سطح خاک کاسته شده و توزیع مجدد شوری و رطوبت در پروفیل خاک با گذشت زمان تغییرات کمتری می‌یابد (Slama *et al*., 2007; Wani *et al*., 2013). Zarei *et al* (2008) نشان دادند که علاوه بر پتانسیل آب خاک و کیفیت آب آبیاری، تواتر آبیاری نیز بر توزیع مجدد شوری مؤثر است. آن‌ها سه تیمار مختلف آب آبیاری (۱- مخلوط آب شور و معمولی (۷/۵ دسی زیمنس بر متر)، ۲- نیمی از آبیاری با آب شور (۱۴ دسی زیمنس بر متر) و نیم دیگر بلافاصله پس از نفوذ نیم اول با آب معمولی (یک دسی زیمنس بر متر) و ۳- آبیاری به صورت یک در میان و متناوب، یک نوبت با آب تیمارهای معمولی و بار بعد با آب شور) را مورد بررسی قرار داده و نشان دادند تیمار یک در میان در لایه‌های سطحی (۰ تا ۳۰ سانتی‌متر) شوری کمتری ایجاد کرده بود و در اعماق پایین‌تر (۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر) تیمار مخلوط وضعیت بهتری از نظر شوری داشت.

در این رابطه باید به تغییرات شوری در فاصله بین دو آبیاری نیز توجه داشت. معمولاً آبیاری زمانی انجام می‌گیرد که رطوبت سهل‌الوصول خاک تخلیه شده باشد، بنابراین بررسی تغییرات شوری خاک از رطوبت‌های نزدیک اشباع تا حد پایین رطوبت سهل‌الوصول خاک، می‌تواند در بررسی توانایی جذب آب توسط ریشه و تغییرات زمانی آن مؤثر باشد (Mohammadi and Khataar, 2018). به‌ویژه که Mohammadi *et al*. (2016) و Meskini *et al* (2015) نشان دادند نه تنها گیاهان قادرند آب خاک را در مکش‌های کمتر از نقطه ظرفیت زراعی جذب کنند، بلکه در دامنه رطوبتی ۶ تا ۱۰ کیلو پاسکال بیشترین مقدار جذب را دارند. از طرف دیگر تاکنون مطالعات محدودی در زمینه تأثیر متقابل شوری با رطوبت‌های بیشتر از ظرفیت زراعی انجام شده است (Khataar *et al*. 2017a, b). بنابراین بخشی از اهداف این پژوهش، مطالعه اثر هم‌زمان شوری و مکش ماتریک در این محدوده رطوبتی بر میزان جذب آب و به‌تبع آن میزان تعرق است تا مشخص شود که آیا شوری می‌تواند علی‌رغم بالا بودن پتانسیل آب خاک، میزان جذب آب و متعاقباً میزان تعرق را تحت تاثیر قرار دهد یا خیر. همچنین نقش شوری در کاهش میزان تبخیر خالص در این محدوده مکش‌ها نیز بررسی شود و معلوم گردد که در چه سطحی از رطوبت خاک، شدت اثر شوری بیشتر بوده و در چه رطوبت‌هایی، اثر آن به کمترین مقدار رسیده و یا از بین می‌رود. اهداف این پژوهش عبارتند از بررسی الف) تأثیر سطوح مختلف شوری بر توزیع مجدد آب و نمک در دو خاک لوم شنی و لوم رسی و تغییرات زمانی آن و ب) نقش شوری آب آبیاری بر تغییرات نرخ تبخیر در دو خاک مذکور

مواد و روش‌ها

دو خاک با بافت‌های لوم رسی و لوم شنی غیر شور، از لایه‌های ۳۰-۰ سانتی‌متری زمین‌های زراعی دانشگاه زنجان نمونه‌برداری شد. منحنی توزیع اندازه ذرات خاک (PSD) به روش هیدرومتری و الک تعیین گردید (Gee and Or, 2002). همچنین با استفاده از ستون آویزان آب (مکش‌های ماتریک ۰/۱- ۱۰ کیلو پاسکال)، دستگاه صفحه فشار (۲۰- ۳۰۰ کیلو پاسکال) و دستگاه غشای فشار (h>۳۰۰ کیلو پاسکال)، منحنی مشخصه رطوبتی خاک تعیین شد (Dane and Hopmans 2002) (شکل ۱). برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در جدول (۱) آورده شده است.

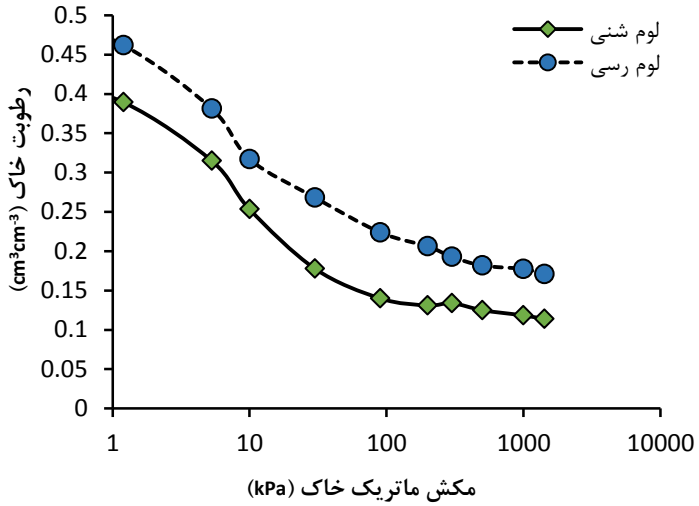
جدول ۱. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی

بافت	سیلت	رس	BD	pH 1:1	EC 1:1	Ca	Na	N	P	K	Fe	Zn
	%	%	(gcm^{-3})		($dS\ m^{-1}$)	$mgkg^{-1}$						
لوم شنی	۱۵	۱۴	۱/۵	۷/۷۱	۰/۳	۸۵۴	۱۰۰	۱۱۸۰	۲۶/۹	۴۲۴/۷	۵/۸	۱/۱
لوم رسی	۳۳	۳۰	۱/۲۵	۷/۷۲	۰/۴	۹۳۰	۷۰	۹۰۰	۱۳/۳	۲۱۱	۴/۳	۰/۸

BD: جرم مخصوص ظاهری

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. منحنی مشخصه رطوبتی دو خاک لوم شنی و لوم رسی

کشت گیاهان

کشت در گلخانه تحقیقاتی گروه خاکشناسی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۴ با حدود ۸ ساعت تاریکی و ۱۴ ساعت روشنایی، در دامنه دمای ۵±۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی حدود ۱۰± ۴۰ درصد انجام شد. خاک‌های مورد بررسی در گلدان‌هایی به ارتفاع ۲۷ سانتی‌متر و قطر ۲۶ سانتی‌متر، با جرم مخصوص ظاهری ۱/۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب برای خاک لوم شنی و ۱/۲۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب برای خاک لوم رسی ریخته شدند. کودهای شیمیایی مورد نیاز به‌صورت محلول در سه دوره رشد گیاهان به خاک گلدان‌ها افزوده شد. دانه‌های گیاهان لوبیا رقم سی او اس ۱۶ (*Phaseoulus vulgaris cv.* COS16) و گندم رقم مهدوی (*Triticum aestivum cv.* Mahdavi) به دلیل تفاوت در خصوصیات مورفولوژی ریشه، میزان سطح و سایه‌انداز برگ و مقاومت به تنش شوری، جهت اجرای این پژوهش انتخاب شده (FAO, 2002) و به‌صورت مجزا در داخل گلدان‌ها کشت شدند و پس از استقرار کامل، ۴ گیاهچه لوبیا و ۸ گیاهچه گندم در گلدان‌های مربوطه حفظ گردید و تیمارهای شوری و مکش ماتریک بر روی آن‌ها اعمال شد.

تیمارهای شوری

تیمارهای شوری آب آبیاری، بر اساس دامنه تحمل شوری هر گیاه بر اساس جداول ارائه شده توسط فائو انتخاب شد (FAO, 2002) که شامل ۵ سطح، معادل شوری‌های ۰/۷، ۲، ۴، ۶ و ۸ دسی زیمنس بر متر برای آب آبیاری گیاه لوبیا و ۲، ۴، ۸، ۱۶ و ۲۰ دسی زیمنس بر متر برای آب آبیاری گیاه گندم بودند. به‌منظور تهیه محلول‌های مذکور از نمک کلرید کلسیم و کلرید سدیم به نسبت ۱:۳ استفاده شد تا از اثر تخریبی سدیم بر ساختمان خاک جلوگیری شود.

تیمارهای مکش ماتریک

بر اساس هدف آزمایش تیمارهای مکش ماتریک ۲، ۶، ۱۰ و ۳۳ کیلو پاسکال در نظر گرفته شد. مکش‌های ماتریک ۱۰-۲ کیلو پاسکال با استفاده از تانسیومترهای دست‌ساز و مکش ماتریک ۳۳ کیلو پاسکال توسط تانسیومتر معمولی اعمال شد. تانسیومتر دست‌ساز برگرفته از دستگاه جعبه شن بود، به این نحو که یک کلاهک متخلخل در داخل خاک گلدان توسط یک لوله (شیلنگ) به مخزن آبی با سطح پایه مشخص وصل می‌شد. بنابراین اختلاف ارتفاع مشخصی بین سطح آب پایه و وسط کلاهک داخل خاک وجود داشت. در صورت وجود رطوبت اضافی در داخل گلدان نسبت به سطح پایه، آب از طریق ستون آویزان آب خارج می‌شد و یا هنگام کم بودن رطوبت خاک، آب از داخل بطری وارد گلدان می‌شد و به این ترتیب مکش ماتریک خاک کنترل می‌شد (جزئیات بیشتر در مقاله Mohammadi *et al.*, 2016 آورده شده است).

اندازه‌گیری نرخ تبخیر- تعرق

گلدان‌های تحت مکش‌های ۶-۲ کیلو پاسکال روزانه با محلول‌های مشخص، آبیاری شده (شستشو شده) و با استفاده از تانسیومترهای دست‌ساز، رطوبت گلدان‌ها در مکش مورد نظر کنترل گردید. بنابراین تغییرات رطوبت و به‌تبع آن تغییرات شوری خاک وجود نداشت و شوری محلول خاک به‌طور پیوسته در تعادل با شوری محلول آب آبیاری بود. میزان آب مصرفی روزانه هر گلدان (میزان تبخیر-تعرق، ET) با توجه به اختلاف میزان آب آبیاری و زهکشی بدست آمد (Khataar *et al.* 2017a,b,c). در مکش ماتریک ۳۳ کیلو پاسکال به دلیل عدم زهکشی، ابتدا گلدان‌ها با شوری‌های مشخص آبیاری شدند.

www.SID.ir

Archive of SID

هنگامی‌که شوری خاک به میزان مورد نظر رسید، ادامه آبیاری با آب مقطر صورت گرفت. در کنار این گلدان‌ها، گلدان‌های کاملاً مشابهی با شرایط مذکور، اما فاقد گیاه تهیه شد و با توجه به اندازه‌گیری میزان آب مصرفی و آب زهکشی شده که در بطری‌ها تجمع یافته بود، میزان تبخیر (E) محاسبه و میزان تعرق خالص (T) مطابق رابطه زیر برآورد گردید (Khataar *et al*. 2018):

$$T \approx ET-E$$

مجموعاً ۲۴۰ گلدان برای دو گیاه (لوبیا و گندم)، دو نوع بافت مختلف خاک (لوم شنی و لوم رسی) با ۵ سطح شوری و ۴ سطح مکش ماتریک با سه تکرار آماده شد.

بررسی و ارزیابی توزیع مجدد آب و نمک

در یک آزمایش مکمل و جهت بررسی توزیع مجدد آب و نمک، گلدان‌های کاشته شده با شرایطی که در بالا بیان گردید، تهیه شد و مکش ۱۰ کیلو پاسکال بر روی آن‌ها اعمال گردید. سپس گلدان‌ها با محلول‌های مشخص (شوری‌های ۰/۷، ۲، ۴، ۶ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر برای لوبیا و ۲، ۴، ۸، ۱۶ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر برای گندم) به‌طور پیوسته شستشو شدند تا میزان شوری آب آبیاری با شوری آب خروجی برابر شود. سپس با اندازه‌گیری دقیق میزان رطوبت خاک، میزان مشخصی محلول به گلدان‌ها اضافه شد (تا خاک‌ها به حد اشباع رسند) و پس از آن آبیاری متوقف گردید. در ادامه مقدار آب و شوری زهکشی، در فواصل زمانی کوتاه اندازه‌گیری شد. زمانی که خروج آب از گلدان‌ها متوقف گشت، در فواصل زمانی مشخص، توسط یک مینی‌آگر از سه عمق مشخص گلدان، خاک‌ها نمونه‌برداری شده و مقدار شوری و رطوبت وزنی آن‌ها تعیین شد. نمونه‌برداری تا خشک شدن کامل خاک ادامه داشت.

تجزیه‌های آماری

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل و با طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. برای تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات بدست آمده، از نرم‌افزار SAS 9.1.3 استفاده شد. اثر تیمارها و همچنین اثر متقابل بین آن‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن بررسی شد. نمودارها با نرم‌افزار Excel 2013 رسم گردید.

نتایج و بحث

شکل (۲) تغییرات میزان تبخیر را به‌صورت تابعی از زمان تحت مکش‌ها و شوری‌های مختلف نشان می‌دهد. در هر دو خاک تحت مکش‌های کمتر از ۱۰ کیلو پاسکال و در همه سطوح شوری، میزان تبخیر بسیار نزدیک به هم بوده و تفاوت در روند افزایشی آن نیز با گذشت زمان بسیار ناچیز است. به عبارت دیگر می‌توان بیان کرد که در h<۱۰ کیلو پاسکال، افزایش شوری و مکش ماتریک منجر به کاهش معنی‌دار تبخیر نمی‌شود. این هم‌پوشانی میزان تبخیر در شرایط مذکور، در خاک لوم شنی بسیار بیشتر از خاک لوم رسی است.

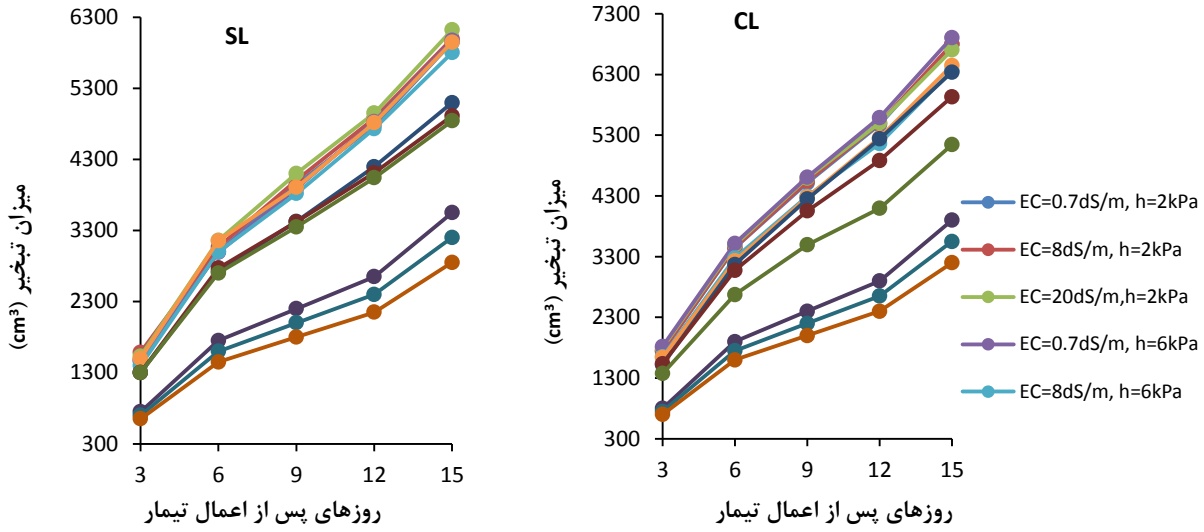
در مکش‌های بالاتر از ۱۰ کیلو پاسکال با افزایش مکش، به دلیل افت فراهمی آب جهت تبخیر و در عین حال افزایش نیروی جذب آب توسط ذرات خاک و یون‌های موجود در آن، پتانسیل آب نیز کاسته می‌شود و نهایتاً موجب کاهش تبخیر می‌گردد (Sepaskhah, and Ghasemi. 2008;Slama *et al*., 2007; Wani *et al*., 2013). لذا کمترین میزان تبخیر از سطح هر دو خاک و در همه سطوح شوری در بالاترین سطح مکش (۳۳ کیلو پاسکال) مشاهده می‌شود و این اختلاف در خاک لوم شنی و زمان‌های طولانی، بارزتر است. همچنین در این مکش، اثر شوری به حداکثر میزان رسیده و موجب افت ۱۹ درصدی نرخ تبخیر در هر دو خاک شده است (شکل ۲).

مقایسه دو خاک نشان می‌دهد که در خاک لوم رسی در مکش ۱۰ کیلو پاسکال و در شوری ۲۰ دسی زیمنس بر متر، میزان تبخیر در حد فاصل بین میزان تبخیر در سطوح مکش‌های ۳۳ کیلو پاسکال و سایر مکش‌ها (h ≤۱۰ کیلو پاسکال) می‌باشد. با کاهش شوری در این مکش، میزان تبخیر افزایش یافته و به مقدار تبخیر در مکش‌های کوچکتر از ۱۰ کیلو پاسکال نزدیک می‌شود و شیب آن نیز با گذشت زمان بیشتر می‌گردد. اما در خاک لوم شنی و در مکش ۱۰ کیلو پاسکال، نرخ و مقدار تغییرات تبخیر در همه سطوح شوری شبیه به هم است (شکل ۲).

شکل (۳) نشان می‌دهد که نسبت بین نرخ تعرق به تبخیر با افزایش شوری کاهش می‌یابد و شیب کاهشی آن با افزایش مکش ماتریک کاسته می‌شود. به طوری که تحت مکش ۳۳ کیلو پاسکال، نسبت بین نرخ تعرق به تبخیر به‌ویژه برای گیاه گندم تحت همه سطوح شوری تقریباً ثابت است. در مکش‌های کم، شوری به شدت میزان عملکرد و به‌تبع آن نرخ تعرق را کاهش می‌دهد (Khataar *et al*. 2017a)، در حالی که اثر معنی‌داری بر نرخ تبخیر ندارد (شکل ۲)، بنابراین نسبت بین تعرق به تبخیر به شدت کاهش می‌یابد (شکل ۳). اما با افزایش مکش ماتریک و تشدید اثر شوری بر نرخ تبخیر (شکل ۲)، شیب کاهشی نسبت بین تعرق به تبخیر کاهش یافته و به سمت یک سوق می‌یابد (شکل ۳).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. تغییرات میزان تبخیر تجمعی از سطح خاک به‌صورت تابعی از زمان تحت مکش‌های ماتریک و شوری‌های مختلف در خاک لوم شنی (SL) و لوم رسی (CL)

مقایسه دو خاک نشان می‌دهد که میزان نسبت بین تعرق به تبخیر در خاک لوم شنی بسیار بیشتر (تقریباً دو برابر) از خاک لوم رسی است که نشان‌دهنده کم بودن نرخ تبخیر در این خاک است. همچنین در هر دو خاک و تحت همه سطوح شوری، بیشترین نسبت بین تعرق به تبخیر، در مکش ۳۳ کیلو پاسکال مشاهده می‌شود و کمترین میزان آن نیز مربوط به مکش ۲ کیلو پاسکال است (شکل ۳). میزان تعرق رابطه مستقیمی با میزان عملکرد دارد. بنابراین می‌توان بیان کرد که احتمالاً تحت همه سطوح شوری، با کاهش رطوبت میزان کارایی مصرف آب افزایش یافته است. Ebrahimi and Hasanpour darvishi(2015) نیز گزارش کردند که با کم آبیاری و حذف آن قسمت از آب آبیاری که تأثیر معنی‌داری بر افزایش عملکرد ندارد، میزان تبخیر کاهش یافته و کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد. Sepaskhah, and ،Rafiee, and Shakarami. 2010 Ghasemi. 2008 و Sepaskhah, and Khajehabdollahi. 2005 نیز نتایج مشابهی را ارائه کردند و نشان دادند که با کم آبیاری می‌توان تا حدود زیادی بر شدت و میزان تبخیر فائق آمد و در عین حال میزان راندمان عملکرد را تا حدود زیادی حفظ کرد. در خاک‌های ریزبافت به دلیل بالا بودن هدایت هیدرولیکی در مکش‌های زیاد نسبت به خاک‌های سبکتر، این اثر مشهودتر است (Chorbanian *et al*. 2014).

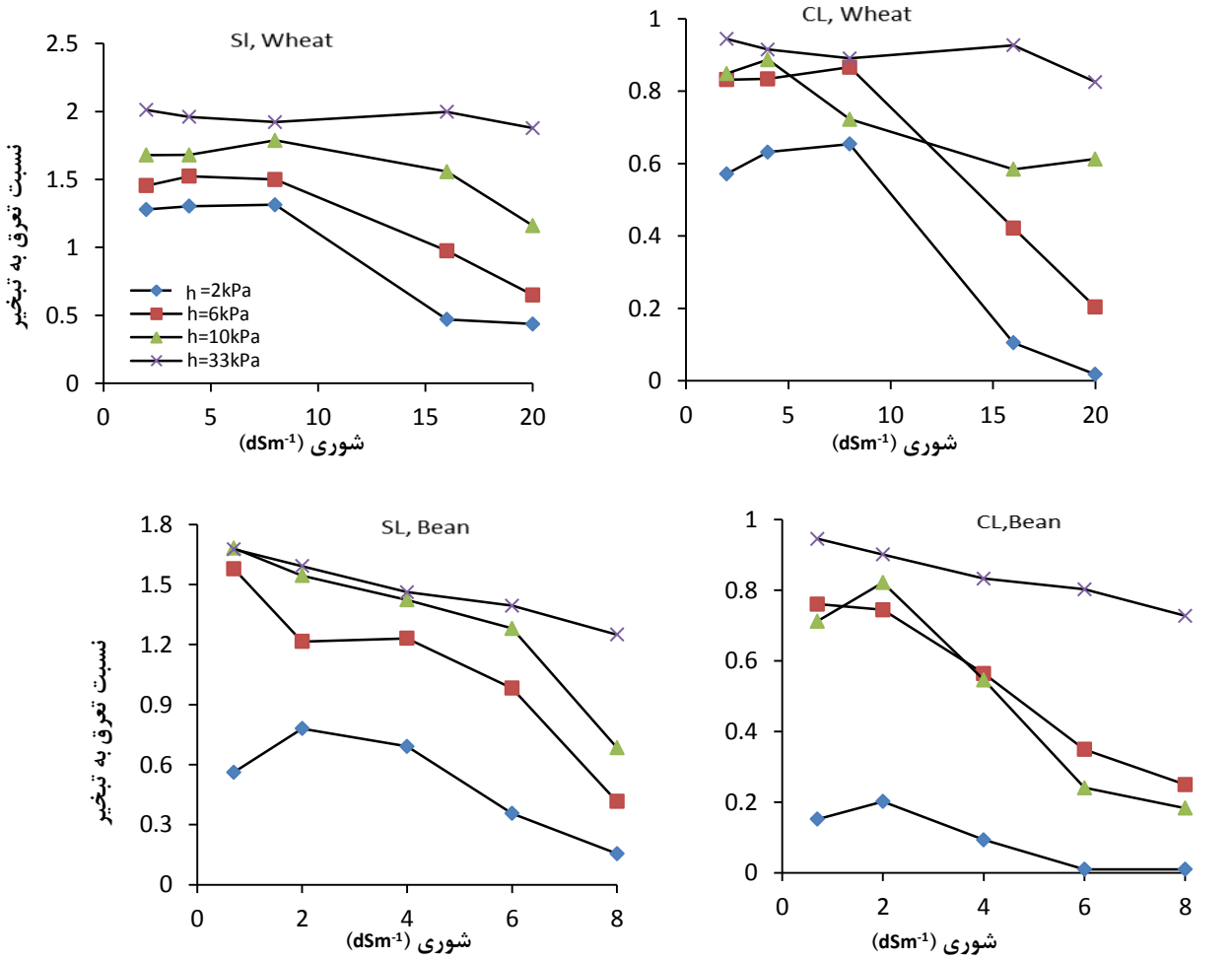
شکل (۴) نشان می‌دهد که با کاهش رطوبت، میزان شوری خاک به‌صورت غیرخطی افزایش می‌یابد. میزان افزایش شوری، بستگی به ویژگی‌های هیدرولیکی خاک دارد و با افزایش سرعت زهکشی از مقدار آن کاسته می‌شود، چرا که زهکشی موجب خروج نمک از ناحیه گسترش ریشه می‌شود. این در حالی است که در فرایند تبخیر به دلیل کاهش رطوبت و به‌تبع آن افزایش غلظت نمک محلول خاک، شوری خاک روند افزایشی دارد (Mohammadi and Khataar 2017). سرعت زهکشی در خاک لوم شنی بیشتر است و بنابراین رطوبت آن، کمتر از خاک لوم رسی، تحت تأثیر تبخیر که عامل افزایش شوری خاک می‌باشد، قرار می‌گیرد. برای مثال در دامنه رطوبتی ۰/۳۵- ۰/۲۵ و در شوری ۸ دسی زیمنس بر متر، میزان افزایش شوری، در خاک لوم شنی ۲۸ درصد و در خاک لوم رسی ۳۵ درصد می‌باشد.

جدول (۲) توزیع مجدد نمک را با گذشت زمان برای گیاه گندم و لوبیا در پروفیل خاک لوم رسی و لوم شنی نشان می‌دهد. در ابتدا (۷ روز پس از اشباع) شوری عصاره خاک لوم رسی و لوم شنی، برای هر دو گیاه گندم و لوبیا و در همه عمق‌های مختلف خاک، کمتر از شوری آب آبیاری اولیه (EC_0) می‌باشد. با گذشت زمان به دلیل کاهش رطوبت از طریق تبخیر، شوری عصاره خاک افزایش یافته و در نهایت ۳۰ روز پس از اشباع خاک، شوری به بیشترین مقدار خود رسیده و بیشتر از شوری‌های اولیه می‌شود. برای مثال برای گندم در خاک لوم رسی تحت شوری ۸ دسی زیمنس بر متر، ابتدا (روز ۷ پس از اشباع) شوری خاک در عمق ۲/۵ سانتی‌متر حدود ۶/۳۶ دسی زیمنس بر متر است ولی در ۳۰ روز پس از اشباع، شوری عصاره خاک به ۱۳/۵۲ دسی زیمنس بر متر افزایش یافته است. میزان بالا

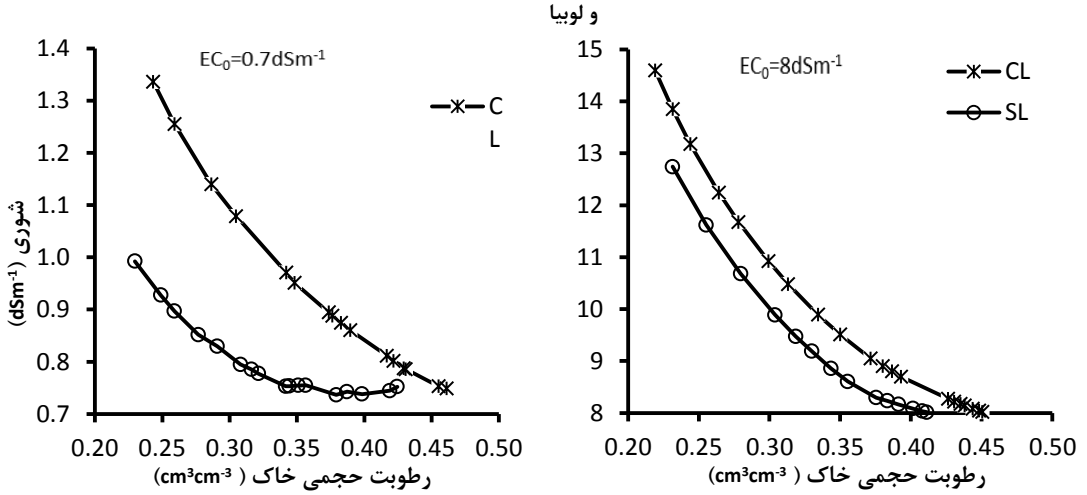
www.SID.ir

Archive of SID

رفتن شوری خاک با گذشت زمان، کاملاً وابسته به شوری آب آبیاری است و با افزایش شوری‌های اولیه روند افزایشی شوری خاک شدیدتر است. برای مثال در شرایط مذکور و تحت شوری ۲ دسی زیمنس بر متر ابتدا شوری خاک حدود ۴ دسی زیمنس بر متر است و پس از گذشت ۳۰ روز مقدار آن به ۵/۲ دسی زیمنس بر متر افزایش یافته است که این اختلاف (۱/۲ دسی زیمنس بر متر) بسیار کمتر از مقدار نظیر آن در تیمار تحت شوری ۸ دسی زیمنس بر متر (۷/۱۶ دسی زیمنس بر متر) می‌باشد. به عبارت دیگر برای هر دو گیاه و در هر دو خاک، تحت شوری اولیه کم، با گذشت زمان تغییرات شوری در عمق-های مختلف خاک نزدیک به هم است اما هنگامی‌که شوری اولیه افزایش می‌یابد تفاوت نیز چشمگیرتر می‌شود (جدول ۲).



شکل ۳. تغییرات میزان نسبت تعرق به تبخیر به‌صورت تابعی از شوری تحت مکش‌های ماتریک مختلف در خاک لوم شنی (SL) و لوم رسی (CL) برای گیاه گندم و لوبیا



شکل ۴. تغییرات شوری خاک به‌صورت تابعی از رطوبت خاک لوم شنی(SL) و لوم رسی (CL)، تحت شوری‌های اولیه (EC_0) ۰/۷ و ۸ دسی زیمنس بر متر

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. تغییرات توزیع مجدد نمک در پروفیل خاک لوم شنی (SL) و لوم رسی (CL) با گذشت زمان، تحت شوری‌های اولیه آب آبیاری (EC_0) برابر ۲ و ۸ دسی زیمنس بر متر برای گیاه گندم و ۰/۷ و ۴ دسی زیمنس بر متر برای گیاه لوبیا

	روزهای پس از اشباع	۷ روز			۱۰ روز			۱۶ روز			۲۳ روز			۳۰ روز		
	عمق پروفیل cm	۲/۵	۱۲/۵	۲۲/۵	۲/۵	۱۲/۵	۲۲/۵	۲/۵	۱۲/۵	۲۲/۵	۲/۵	۱۲/۵	۲۲/۵	۲/۵	۱۲/۵	۲۲/۵
شوری پروفیل dSm^{-1}	Wheat, CL, EC0=2dSm^{-1}	۴/۱۲	۳/۱۹	۲/۵۸	۳/۱۱	۳/۱۹	۳/۱۴	۵/۰۵	۴/۴۷	۴/۳۲	۵/۲	۴/۹۳	۴/۷۴	۵/۲	۴/۹۳	۵/۰۶
	Wheat, CL, EC0=8dSm^{-1}	۶/۳۶	۴/۸۴	۴/۸۰	۸/۳۶	۷/۴۸	۵/۶۲	۱۰/۰	۱۰/۰	۹/۳۰	۱۰/۰	۹/۹۷	۹/۳۰	۱۳/۵	۱۴/۳	۱۳/۶
	Wheat, SL, EC0=2dSm^{-1}	۲/۹۲	۲/۴۸	۲/۴۷	۲/۴۸	۲/۴۸	۱/۹۱	۳/۹۱	۳/۸۱	۳/۴۷	۴/۳۳	۴/۰۳	۳/۷۰	۴/۳۳	۳/۸۱	۳/۴۷
	Wheat, SL, EC0=8dSm^{-1}	۴/۳۸	۶/۷۶	۸/۶۴	۴/۹۹	۵/۰۴	۶/۵۸	۹/۲۶	۸/۸۷	۹/۲۱	۷/۸۴	۸/۸۷	۹/۷۲	۹/۲۶	۱۰/۱	۱۳/۴
	Bean, CL, EC0=0.7dSm^{-1}	۲/۹۲	۳/۰۴	۲/۴۴	۴/۱۶	۴/۲۳	۳/۹۱	۳/۸۳	۴/۲۳	۳/۹۷	۴/۳۰	۳/۹۵	۳/۹۷	۴/۳۰	۴/۴۹	۳/۹۷
	Bean, CL, EC0=4dSm^{-1}	۵/۹۵	۴/۱۳	۴/۴۸	۶/۶۲	۵/۳۰	۵/۱۶	۶/۳۶	۵/۵۹	۶/۳۱	۷/۶۳	۷/۲۳	۶/۰۴	۸/۴۵	۷/۹۴	۷/۵۸
	Bean, SL, EC0=0.7dSm^{-1}	۱/۵۴	۱/۶۳	۱/۶۱	۱/۷۷	۱/۸۶	۱/۹۱	۳/۳۴	۲/۷۳	۲/۳۹	۳/۳۴	۳/۳۲	۳/۲۱	۳/۵۷	۳/۱۶	۳/۰۵
	Bean, SL, EC0=4dSm^{-1}	۳/۷۲	۳/۶۶	۲/۷۸	۴/۴۲	۴/۲۳	۴/۴۳	۶/۹۳	۶/۵۹	۶/۰۰	۷/۳۱	۷/۳۹	۷/۰۷	۷/۳۱	۷/۳۹	۷/۰۷

جدول (۲) نشان می‌دهد که برای گیاه گندم در خاک لوم رسی در همه عمق‌ها، به دلیل بیشتر بودن نرخ تبخیر، افزایش شوری بیشتر از خاک لوم شنی است. برای نمونه در خاک لوم رسی تحت شوری ۲ دسی زیمنس بر متر شوری نهایی در عمق ۲/۵ سانتی‌متر برابر ۵/۲ دسی زیمنس بر متر است. در حالی که در همین شرایط برای خاک لوم شنی شوری عصاره خاک در روز ۳۰ برابر ۴/۳۳ دسی زیمنس بر متر می‌باشد. تغییرات توزیع شوری برای گیاه گندم در هر دو خاک تحت شوری اولیه کم، با افزایش عمق تقریباً ثابت است. اما در شوری اولیه زیاد در خاک لوم شنی با افزایش عمق شوری خاک نیز افزایش می‌یابد. احتمالاً در خاک لوم شنی به دلیل درشت‌تر بودن منافذ آن نسبت به خاک لوم رسی، نفوذ عمقی آب راحت‌تر صورت گرفته و متعاقباً املاح نیز به عمق بیشتری انتقال یافته‌اند. همچنین این خاک به دلیل دارا بودن منافذ ریز کمتر که عامل اصلی انتقال آب از طریق تبخیر می‌باشد، تجمع شوری را در سطح خود کمتر ایجاد می‌کند (Khataar *et al*. 2012). همچنین جدول (۲) نشان می‌دهد که برای گیاه گندم به‌ویژه در شوری اولیه کم، در زمان‌های اولیه پس از اشباع (روزهای ۷ و ۱۰)، شوری عصاره در هر دو خاک بسیار نزدیک است و با گذشت زمان این افزایش چشمگیرتر می‌شود. زیرا در زمان‌های اولیه، نرخ زهکشی بسیار بیشتر از نرخ تبخیر تعرق است. بنابراین به دلیل عدم افزایش شوری از طریق زهکشی، تفاوت شوری عصاره‌ها در زمان‌های اولیه ناچیزتر از زمان‌های طولانی‌تر است که تبخیر بر میزان زهکشی غالب می‌شود.

تغییرات توزیع مجدد شوری برای گیاه لوبیا مانند گندم نشان می‌دهد که در خاک لوم رسی در همه عمق‌ها، افزایش شوری بیشتر از خاک لوم شنی است. برای مثال در خاک لوم رسی تحت شوری ۰/۷ دسی زیمنس بر متر، شوری نهایی در عمق ۲/۵ سانتی‌متر برابر ۴/۳ دسی زیمنس بر متر است در حالی که در همین شرایط برای خاک لوم شنی شوری عصاره خاک در روز ۳۰ برابر ۳/۵۷ می‌باشد. تغییرات توزیع شوری با افزایش عمق برای گیاه لوبیا، در هر دو خاک تحت همه شوری‌های اولیه، تقریباً ثابت است.

جدول ۳. تغییرات توزیع مجدد رطوبت در پروفیل خاک لوم شنی (SL) و لوم رسی (CL) با گذشت زمان، تحت شوری‌های اولیه آب آبیاری (EC_0) برابر ۲ و ۸ دسی زیمنس بر متر برای گیاه گندم و ۰/۷ و ۴ دسی زیمنس بر متر برای گیاه لوبیا

	روزهای پس از اشباع	۷ روز			۱۰ روز			۱۶ روز			۲۳روز			۳۰روز		
	عمق پروفیل cm	۲/۵	۱۲/۵	۲۲/۵	۲/۵	۱۲/۵	۲۲/۵	۲/۵	۱۲/۵	۲۲/۵	۲/۵	۱۲/۵	۲۲/۵	۲/۵	۱۲/۵	۲۲/۵
رطوبت پروفیل ٪	Wheat, CL, EC0=2dSm^{-1}	۲۱/۰	۲۱/۴	۲۳/۱	۲۱/۰	۲۱/۴	۲۲/۶	۱۵/۳	۱۵/۲	۱۵/۴	۱۰/۰	۱۰/۸	۱۱/۵	۷/۶	۸/۳	۸/۳
	Wheat, CL, EC0=8dSm^{-1}	۲۲/۳	۲۴/۶	۲۵/۳	۲۲/۳	۲۳/۱	۲۳/۶	۱۶/۸	۱۹/۱	۱۹/۶	۱۲/۵	۱۳/۸	۱۵/۲	۸/۵	۸/۲	۹/۱
	Wheat, SL, EC0=2dSm^{-1}	۹/۶	۹/۲	۹/۶	۵/۹	۶/۰	۵/۸	۴/۶	۴/۵	۴/۲	۳/۹	۳/۹	۴/۲	۳/۲	۳/۵	۳/۴
	Wheat, SL, EC0=8dSm^{-1}	۱۱/۹	۱۳/۱	۱۳/۹	۱۰/۱	۱۰/۶	۱۰/۴	۶/۵	۷/۲	۷/۳	۵/۵	۵/۳	۵/۵	۳/۲	۳/۷	۴/۴
	Bean, CL, EC0=0.7dSm^{-1}	۲۱/۷	۲۰/۳	۲۴/۹	۱۸/۴	۱۸/۳	۱۸/۵	۱۵/۵	۱۵/۰	۱۶/۲	۱۰/۵	۱۱/۴	۱۲/۰	۷/۲	۷/۸	۷/۸
	Bean, CL, EC0=4dSm^{-1}	۲۱/۳	۲۱/۷	۲۳/۹	۱۹/۶	۲۱/۷	۲۱/۳	۱۷/۶	۱۸/۶	۱۸/۹	۱۲/۱	۱۲/۹	۱۳/۲	۹/۰	۱۰/۹	۹/۳
	Bean, SL, EC0=0.7dSm^{-1}	۱۵/۷	۱۷/۸	۱۸/۹	۱۵/۷	۱۷/۰	۱۸/۰	۱۱/۸	۱۳/۳	۱۳/۴	۹/۰	۸/۸	۹/۰	۵/۴	۵/۹	۵/۷
	Bean, SL, EC0=4dSm^{-1}	۱۰/۹	۱۳/۵	۱۴/۷	۹/۵	۱۲/۲	۱۳/۵	۸/۲	۱۰/۵	۱۰/۹	۷/۳	۷/۷	۸/۲	۵/۱	۶/۱	۶/۱

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۳) توزیع مجدد رطوبت را با گذشت زمان، برای گیاه گندم و لوبیا در پروفیل خاک لوم رسی و لوم شنی نشان می‌دهد. با افزایش زمان به دلیل تبخیر و زهکشی میزان رطوبت خاک کاهش می‌یابد. تغییرات رطوبت به دلیل بالا بودن تبخیر در خاک لوم رسی بیشتر از خاک لوم شنی است. برای مثال برای گیاه لوبیا در شوری ۰/۷ دسی زیمنس بر متر میزان رطوبت در زمان اولیه (۷روز پس از اشباع) برابر با ۲۱/۷ و ۱۵/۷ درصد و در زمان پایانی (۳۰روز پس از اشباع) برابر ۷/۲ و ۵/۴ درصد به ترتیب برای خاک لوم رسی و لوم شنی در عمق ۲۵ سانتی‌متر است. مقایسه شوری‌های اولیه نیز نشان می‌دهد که تفاوت کاهش رطوبت با زمان در شوری‌های اولیه زیاد کمتر از شوری‌های اولیه کم است. برای نمونه در شرایط مذکور و در خاک لوم شنی تفاوت رطوبت با گذشت زمان (بین روز ۷ تا ۳۰ پس از اشباع) در شوری ۰/۷ دسی زیمنس بر متر برابر ۱۰/۳ درصد و در شوری ۴ دسی زیمنس بر متر برابر ۵/۸ درصد می‌باشد. میزان تغییرات رطوبت خاک لوم شنی و لوم رسی با عمق برای هر دو گیاه گندم و لوبیا بسیار ناچیز است و با گذشت زمان، رطوبت تقریباً در تمامی عمق‌های پروفیل خاک یکسان است. به بیان دیگر می‌توان بیان کرد که نرخ نفوذ عمقی آب و سرعت تبخیر- تعرق تا حدودی برابر بوده و موجب تعادل رطوبتی در پروفیل خاک شده است. این نتایج برای هر دو گیاه تقریباً یکسان است و تفاوتی بین توزیع رطوبتی خاک این دو گیاه مشاهده نمی‌شود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تغییرات میزان تبخیر تحت مکش‌ها و شوری‌های مختلف و همچنین توزیع مجدد نمک و رطوبت با گذشت زمان در پروفیل دو خاک لوم رسی و لوم شنی مورد بررسی قرار گرفت. با گذشت زمان، رطوبت خاک از طریق زهکشی و تبخیر- تعرق کاهش می‌یابد. کاهش رطوبت از طریق زهکشی، بر روند تغییرات شوری خاک تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای ندارد درحالی‌که تبخیر، موجب افزایش شوری خاک می‌شود. بنابراین با گذشت زمان و کاهش رطوبت، نرخ تبخیر بر میزان زهکشی غالب شده و افزایش شوری تشدید می‌شود. این اثر با سنگین‌تر شدن بافت خاک و متعاقباً افزایش احتمالی فراوانی منافذ ریز خاک، بیشتر می‌گردد. شوری آب آبیاری نرخ تبخیر را کاهش می‌دهد و این اثر در رطوبت‌های کمتر چشمگیرتر است. زیرا در رطوبت‌های زیاد خاک ($h\leq 6$ کیلو پاسکال)، میزان آب کافی جهت تبخیر فراهم است و علی‌رغم شوری زیاد، آب با سرعت زیادی از سطح خاک تبخیر می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات توزیع مجدد رطوبت و نمک در عمق‌های کم خاک (عمق ۲۵ سانتی‌متر مورد بررسی در این پژوهش) قابل‌ملاحظه نیست و احتمالاً تعادلی بین میزان زهکشی و تبخیر- تعرق در پروفیل خاک حاکم است. در شوری‌های اولیه کم، تغییرات توزیع شوری و رطوبت با گذشت زمان بسیار کم است در حالی که با افزایش شوری آب آبیاری، این تفاوت‌ها به‌ویژه با افزایش درصد رس خاک، بسیار چشمگیرتر می‌شود. اثر نوع گیاه بر توزیع مجدد نمک و رطوبت پروفیل خاک ناچیز است و می‌توان بیان کرد که نسبت به نوع خاک و میزان شوری، نوع گیاه نقش مهمی در این راستا ایفا نمی‌کند. با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان بیان کرد که به‌منظور کاهش نرخ تبخیر و به‌تبع آن کاهش شوری خاک، باید رطوبت خاک در حداقل میزانی حفظ شود که در عین داشتن عملکرد مناسب بتوان به ایده‌آل‌ترین میزان کارایی مصرف آب دست‌یافت. یکی از راهکارهای رسیدن به این مهم، اجتناب از آبیاری‌های سطحی و متواتر از جمله قطره‌ای و بارانی است، که سطح خاک را نزدیک اشباع نگاه می‌دارد و حجم وسیعی از آب را صرف تبخیر می‌کند. همچنین با استفاده از این راهکار در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران، می‌توان نقش نوع خاک و کیفیت آب آبیاری را به کمترین میزان رساند. بنابراین مدیریت منابع آب و خاک بهبود یافته و کمک شایانی در حفظ این منابع می‌شود.

REFERENCES

Cha-um, S., Pokasombat, Y. and Kirdmanee, C. (2011). Remediation of salt-affected soil by gypsum and farmyard manure − Importance for the production of Jasmine rice. *Australian Journal of Crop Science*. 5, 458-465.

Chorbanian, M,, Liaghat, A.M. and Nouri, H. (2014). Effect of soil compaction and texture on evapotranspiration and Crop coefficient corn fodder. *Journal of Water Research in Agriculture*. 28:453-463.

Dane, J.H. and Hopmans, J. (2002). Water retention and storage: Laboratory, Introduction. In Dane, J. H. and Topp, G. C. (ed.) Methods of soil analysis. Part 4: Physical Methods. Soil Science Society of American. Book Ser 5. *Soil Science Society of American Madison*, USA. Pp, 675–680.

Devkota, M., Martius, C., Gupta, R.K., Devkota, K.P., McDonald, A.J. and Lamers, J.P.A. (2015). Managing soil salinity with permanent bed planting in irrigated production systems in Central Asia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 202, 90–97.

Ebrahimi H. Hasanpour Darvishi . H. (2015). The

www.SID.ir

Archive of SID

Relationship Between Corn Yield and Water Consumption (Computational water demand and lack of soil moisture). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 9,605-613.

FAO; Food and Agriculture Organization. (2002). Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas. Annex 1. Crop salt tolerance data. FAO, Rome.

FAO; Food and Agriculture Organization. (2010). Fish Stat fishery statistical collections: aquaculture production (1950–2008; released March 2010). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.

Gee, G. W. and Or, D. (2002). Particle-size analysis. In Dane, J. H., and Topp, G. C. (ed.) Methods of soil analysis. Part 4. Book Ser. 5. *Soil Science Society American Journal*. Pp, 255–293.

Gowing, J. W., Konukcu. F., and Rose, D. A. (2006). Evaporative flux from a shallow water table: The influence of a vapour–liquid phase transition. *Journal of Hydrology*. 321, 77–89.

Ha, T.K.T., Maeda, M., Fujiwara, T. and Nagare, H. (2015). Effects of soil type and nitrate concentration on denitrification products (N2O and N2) under flooded conditions in laboratory microcosms. *Soil Science and Plant Nutrition*. 61, 999-1004.

Khataar, M., Mohammadi, H.M., Shekari, F. (2017a). Effect of Soil Salinity and Aeration Stresses on the Root and Yield Components in Wheat and Bean . *Iranian journal of soil and water research*. 4, 440-429. (In Farsi).

Khataar, M., Mohammadi, H.M., Shekari, F. (2017b). Effect of Soil Salinity on the Wheat and Bean Nutrients in Low Matric Suctions. *Iranian journal of soil and water research.* 1, 38-25. (In Farsi).

Khataar, M., Mohammadi, H.M., Shekari, F. (2017c). Some physiological responses of wheat and bean to soil salinity at low matric suctions. *International Agrophysics*. 31, 83-91.

Khataar, M., Mosadedghi, M.R., Mahboubi, A.A. (2012). Water Quality Effect on Plant-Available Water and Pore Size Distribution of Two Texturally-Different Calcareous Soils. 16, 159-172. (In Farsi).

Khataar, M., Mohammadi, MH., and Shabani, F. (2018). The effects of soil salinity and matric suction interaction on water use, water use efficiency and yield response factor of bean and wheat. Scientific Reports (Nature Research). (Accepted).

Li, X., Chang, S. X. and Salifu, K. F. (2013). Soil texture and layering effects on water and salt dynamics in the presence of a water table: a review. *Environmental Reviews*. 21, 1-10.

Mohammadi, M.H., Khataar, M. Shekari, F. (2016). Effect of soil salinity on the wheat and bean root respiration rate at low matric suctions, *Paddy and water environment*. 15,639-648.

Mohammadi, M.H., Khataar, M. (2017). A simple numerical model to estimate water availability in saline soils. *Australian journal of soil research.* https://doi.org/10.1071/SR17081

Munns, R. and Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 59, 651-681

Rafiee, M. and G. Shakarami. (2010). Water Use Efficiency of Corn as Affected by Every Other Furrow Irrigation and Planting Density. *World Applied Sciences Journal.* 11, 8265829.

Schwabe, K., Albiac, J., Connor, J., Hassan, R. and Meza, L. (2013). Drought in arid and semi-arid regions: A multi-disciplinary a nd cross-country perspective, Springer, Dordrecht.

Shannon M.C. and Grieve C.M. (1999). Tolerance of vegetable crops to salinity. *Horticultural Science.* 78, 5–38

Sepaskhah, A. R. and M. Ghasemi. (2008). Every 5 other 5 furrow irrigation with different intervals for sorghum. *Pak. J. Biol. Sci.* 11(9): 123451239. 24.

Sepaskhah, A. R and M. H. Khajehabdollahi. 2005. Alternate furrow irrigation with different irrigation intervals for maize (ZeamaysL.). Plant Production Science. 8, 5925600.

Slama, I., Ghnaya, T., Messedi, D., Hessini, K., Labidi, N., Savoure, A. and Abdelly, C. (2007). Effect of sodium chloride on the response of the halophyte species Sesuvium portulacastrum grown in mannitol-induced water stress. *Journal of Plant Research*. 120, 291–299.

Wani, A. S., Ahmad, A., Hayat, S. and Fariduddin, Q. (2013). Salt-induced modulation in growth, photosynthesis and antioxidant system in two varieties of *Brassica juncea*. Saudi. *International Journal of Biological Sciences.* 20, 183–193.

Zarei, M.A., Tabatabaei, H., Shayan nejad, M. and Beigi Harchegani, H. (2008). Salinity distribution pattern in soil profile under three irrigation regimes in Karty irrigation in the eastern Isfahan lands. *Journal of research in agricultural science.* 3, 196-206.

Zarei, G., Homaee, M. Liaghat, A. M., and Hoorafar, A. H. (2010). A model for soil surface evaporation based on Campbell's retention curve. *Journal of Hydrology*. 380, 356-361.

Zhang, H. J., Dong, H. Z., Li, W. J. and Zhang, D. M. (2011). Effects of soil salinity and plant density on yield and leaf senescence of field grown cotton. *Journal of Agronomy and Crop Science.* 198, 27–37.

www.SID.ir