تحقیقات آب و خاک ایران، دورهٔ ۴۸، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۶ (ص ۴۴۰-۴۲۹)

اثر تنش شوری و تهویه خاک بر نمود ریشه و عملکرد و اجزای آن در گندم و لوبیا

مهناز ختار[۱]، محمدحسین محمدی[۲*]، فرید شکاری[۳]

۱. دانشجوی دکتری، گروه خاکشناسی دانشگاه زنجان، زنجان

۲. دانشیار، گروه مهندسی علوم خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۳. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه زنجان، زنجان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۵/۶- تاریخ بازنگری: ۱۰/ ۶/ ۱۳۹۵- تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۷/۴)

چکیده

در این پژوهش اثر مکش ماتریک و شوری بر اجزای عملکرد و توسعه ریشه گندم و لوبیا در شرایط گلخانه‌ای بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش مکش از ۲ kPa، اجزای عملکرد و وزن خشک ریشه گندم و لوبیا افزایش یافتند و در مکش ماتریک ۱۰-۶ kPa به بیشترین مقدار رسیدند. در مکش‌های بیشتر از ۱۰kPa، کلیه اجزای عملکرد گیاهان گندم و لوبیا (به‌غیر از وزن هزار دانه) که تحت شوری‌های کم تا متوسط بودند ($EC\leq ۸dSm^{-1}$ برای گندم و $EC\leq ۴dSm^{-1}$ برای لوبیا) کاهش یافتند، در حالی‌که در شوری‌های بالاتر، میزان آن‌ها تقریباً ثابت باقی ماند. وزن هزار دانه گندم و لوبیا در مکش‌های بالاتر از ۱۰kPa در تمام سطوح شوری ثابت باقی ماند. شوری در سطوح پایین تا متوسط اثر مشخصی بر عملکرد و گسترش ریشه هر دو گیاه نداشت. کمترین مقدار چگالی ریشه گندم و لوبیا در مکش ماتریک ۶ kPa بود و در سایر مکش‌ها (۲، ۱۰ و ۳۳ kPa) مقادیر آن تقریباً برابر بود. شوری اثر واضحی بر چگالی ریشه گندم و لوبیا نداشت. در $EC\leq ۸dSm^{-1}$، با افزایش مکش ماتریک تا ۱۰kPa، نسبت وزنی بخش هوایی به ریشه گندم کاهش یافت. در حالی‌که در ECهای بالاتر این نسبت با مکش ماتریک روند افزایشی داشت. در مکش ۱۰kPa مقادیر نسبت وزنی به هم نزدیک شدند و سپس با افزایش بیشتر مکش ماتریک، تقریباً ثابت ماندند. بنابراین مشخص گردید که نوع پاسخ گیاه به تنش شوری بستگی به شرایط تهویه‌ای حاکم بر محیط ریشه دارد و کمبود تهویه در خاک می‌تواند اثر شوری را تشدید کند.

واژه‌های کلیدی: تنش تهویه، تنش شوری، عملکرد، مکش ماتریک خاک

مقدمه

گیاهان موجود در طبیعت، طی دوره رشد معمولاً تحت تنش‌های محیطی زیادی قرار می‌گیرند (Jaleel *et al*., 2009). در این میان، شوری یکی از تنش‌های اصلی و عمده محدودکننده رشد گیاهان در جهان می‌باشد (Zhang *et al*., 2011). افزایش غلظت نمک‌ها در محیط رشد ریشه به میزان بیش از آستانه تحمل گیاه، منجر به کاهش کیفیت و کمیت محصولات می‌گردد (Zhu, 2007). مهم‌ترین واکنش گیاه به شوری خاک، کاهش رشد است که می‌تواند به دلیل اختلال در جذب آب و املاح، بسته شدن جزئی یا کلی روزنه‌ها و کاهش کارایی فتوسنتز باشد (Razzaghi *et al*., 2011). همچنین تنش شوری سبب تخریب سیستم متابولیسمی و بی‌نظمی غشایی (Zhu, 2007) شده و با افزایش لیگنین و ضخامت دیواره سلولی، قابلیت ارتجاعی آن را کاهش می‌دهد و منجر به کاهش تقسیم و گسترش سلولی و در نهایت افت رشد، توسعه و درصد بقای گیاهان می‌گردد (Reginato *et al*., 2016).

در بسیاری از مناطق، شوری خاک به دلیل بالا بودن سطح آب زیرزمینی می‌باشد و بنابراین بخش وسیعی از زمین‌های شور با مشکل تهویه دائمی یا موقتی مواجه‌اند (Velmurugan *et al*., 2016). هنگامی‌که تنش شوری و تهویه هم‌زمان رخ دهند، سبب تشدید آثار هم و محدودیت شدید جذب آب و رشد رویشی و زایشی گیاه می‌شوند (Shi *et al*., 2011; Hasanuzzaman *et al*., 2013). به‌طوری که کمترین طول و عرض برگ، ساقه و ریشه و کمترین درصد جوانه‌زنی در بالاترین سطح شوری و طولانی‌ترین زمان تنش تهویه یافت می‌شوند (Manosalva *et al*., 2009; Mott and Wang, 2007). کاهش تشکیل میان‌گره، ریزش و پیری زودرس برگ‌ها و شاخه‌ها از علل کاهش رشد و در نهایت ریشه‌کن شدن گیاهان می‌باشند (Velmurugan *et al*., 2016). اثر تنش شوری و تهویه بستگی به نوع گیاه داشته و با افزایش حساسیت آن‌ها، کاهش زیست‌توده با شدت بیشتر و در زمان کوتاه‌تری اتفاق می‌افتد (Carter *et al*., 2006).

* نویسنده مسئول: mhmohmad@ut.ac.ir

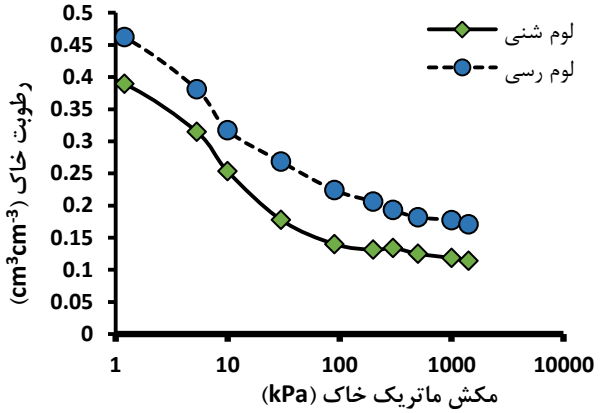
Archive of SID
www.SID.ir

گیاه گندم (Triticum aestivum)، به‌عنوان عمده‌ترین محصول غذائی، بیش از نیمی از زمین‌های زیر کشت کشور را دربر می‌گیرد. همچنین لوبیا، مهمترین گونه حبوبات، دومین منبع غذایی انسان پس از غلات و عمده‌ترین منبع پروتئین گیاهی به شمار می‌آید (Bagheri *et al*., 2006; Abedi *et al*., 2005). بنابراین به دلیل اثر بالای تنش‌های شوری و تهویه بر میزان عملکرد و همچنین اهمیت اقتصادی گیاهان گندم و لوبیا، مطالعه روند تغییرات عملکرد بخش هوایی و نمود ریشه این گیاهان تحت تنش‌های مذکور بسیار ضروری می‌باشد.

اهداف این پژوهش عبارتند از: ۱- بررسی اثر هم‌زمان شوری و مکش ماتریک خاک، در دامنه رطوبتی نزدیک اشباع تا ظرفیت زراعی، بر عملکرد و اجزای آن و همچنین نمود ریشه در دو گیاه گندم و لوبیا ۲- بررسی تغییرات نسبت بخش هوایی به ریشه گندم در شرایط هم‌زمان تنش شوری و تهویه در دو خاک با بافت متفاوت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل و با طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. دو خاک غیر شور با بافت‌های متفاوت (لوم رسی و لوم شنی) از لایه‌های ۳۰-۰ سانتی‌متری زمین‌های زراعی دانشگاه زنجان نمونه‌برداری شدند. سپس نمونه‌ها از الک ۲ میلی‌متر گذرانده شده و مقادیر ازت،N، به روش کجلدال (Chapman and Pratt, 1982)، فسفر،P، مطابق روش Olsen *et al*. (1954)، پتاسیم، K، به روش استات آمونیوم (Chapman and Pratt, 1982) و رسانایی الکتریکی (EC) و pH خاک‌ها در عصاره ۱:۱ (Thomas, 1996) تعیین شد. منحنی توزیع اندازه ذرات خاک (PSD) به روش هیدرومتر و الک اندازه-گیری گردید (Gee and Or, 2002). منحنی مشخصه رطوبتی خاک با استفاده از ستون آویزان آب (مکش‌های ماتریک (h) ۰-۱۰kPa)، دستگاه صفحه فشاری (۳۰-۳۰۰ kPa) و دستگاه غشاء فشاری (h>۳۰۰kPa) تعیین شد (Dane and Hopmans, 2002). برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های موردبررسی در جدول (۱) و منحنی رطوبتی دو خاک در شکل (۱) آمده است.



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

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های موردبررسی

بافت	سیلت	رس	شن	BD	pH	EC	N	P	K
	%	%	%	(Mgm^{-3})		($dS\ m^{-1}$)		$mgKg^{-1}$	
لوم شنی	۱۵	۱۴	۷۱	۱/۵	۷/۷۱	۰/۳	۱۱۸۰	۲۶/۹	۴۲۴/۷
لوم رسی	۳۳	۳۰	۳۷	۱/۲۵	۷/۷۲	۰/۴	۹۰۰	۱۳/۳	۲۱۱

BD: جرم مخصوص ظاهری

کشت گیاهان

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۳ با ۸ ساعت تاریکی و ۱۴ ساعت روشنایی، با شدت تابش ۱۴-۱۱ کیلو لوکس، رطوبت نسبی حدود ۴۰ درصد و دمای ۵±۲۵ درجه سانتی گراد انجام شد. خاک‌های موردبررسی از الک ۸ میلی‌متر گذرانده شده و در گلدان‌هایی به ارتفاع ۰/۲۷ m، قطر ۰/۲۶ m و سطح ۰/۰۵ m^2، با جرم مخصوص ظاهری Mgm^{-3} ۱/۵ برای خاک لوم شنی و Mgm^{-3} ۱/۲۵ برای خاک لوم رسی ریخته شدند. بر اساس نتایج تجزیه خاک (جدول ۱) و نیاز گیاهی، کودهای شیمیایی موردنیاز به‌صورت محلول، در زمان‌های کاشت، گلدهی و پرشدن دانه به خاک گلدان‌ها افزوده شد تا گیاهان در مدت رشد با محدودیت غذایی مواجه نشوند. دانه‌های گیاهان لوبیا (*Phaseoulus* vulgaris cv. COS16) و گندم (*Triticum aestivum* cv. Mahdavi) به‌صورت مجزا در داخل گلدان‌ها در رطوبت نزدیک به ظرفیت زراعی کشت شده و پس از جوانه زدن گیاهان، ۴ گیاهچه لوبیا و ۸ گیاهچه گندم در گلدان‌های مربوطه حفظ گردید. بعد از استقرار کامل گیاهان، تیمارهای شوری و مکش ماتریک خاک بر گیاهان اعمال شد.

تیمارهای مکش ماتریک

بر اساس هدف آزمایش تیمارهای مکش ماتریک ۲، ۶، ۱۰ و ۳۳kPa در نظر گرفته شد. مکش‌های ماتریک ۱۰-۲ kPa با استفاده از تانسیومترهای دست‌ساز (Meskini *et al*., 2015) و

Archive of SID

www.SID.ir

مکش ماتریک ۳۳ kPa توسط تانسیومتر معمولی اعمال شد. تانسیومتر دست‌ساز شامل یک کلاهک متخلخل در داخل خاک گلدان‌ها و یک لوله (شیلنگ) که از بالا متصل به کلاهک و از انتها، در مخزن آبی با سطح پایه مشخص قرار داشت، بود. اختلاف ارتفاع مشخصی بین سطح آب پایه و وسط کلاهک داخل خاک وجود داشت که مکش ماتریک خاک را کنترل می‌کرد (Meskini *et al*., 2015).

تیمارهای شوری

تیمارهای شوری آب آبیاری، بر اساس دامنه تحمل شوری هر گیاه بر اساس جداول ارائه‌شده توسط فائو انتخاب شد (FAO, 2002) که شامل ۵ سطح، معادل ECهای ۰/۷، ۲، ۴، ۶ و dSm^{-1} ۸ برای آب آبیاری گیاه لوبیا و ECهای ۲، ۴، ۸، ۱۶ و dSm^{-1} ۲۰ برای آب آبیاری گیاه گندم بودند. جهت تهیه محلول‌های مذکور از نمک کلرید کلسیم و کلرید سدیم به نسبت ۱:۳ استفاده شد. 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.

گلدان‌ها تحت مکش‌های ۲-۶kPa به‌صورت روزانه با محلول‌های مشخص آبیاری شده و با استفاده از تانسیومترهای دست‌ساز، رطوبت گلدان‌ها در مکش موردنظر کنترل گردید. تانسیومترهای دستی علاوه بر تنظیم مکش خاک امکان شستشوی املاح را فراهم نموده و بنابراین شوری محیط خاک را نیز در میزان مشخصی ثابت نگه می‌داشتند. در مکش ماتریک ۳۳ kPa به‌دلیل عدم زهکشی و استفاده از تانسیومترهای معمولی، ابتدا گلدان‌ها با شوری‌های مشخص آبیاری شدند. هنگامی‌که شوری خاک به میزان موردنظر رسید، ادامه آبیاری با آب مقطر صورت گرفت.

اندازه‌گیری عملکرد و اجزاء آن و نمود ریشه

در پایان فصل رشد (پس از رسیدگی کامل دانه‌ها)، قسمت هوایی گیاهان برداشت شده و طول بوته، تعداد سنبله، تعداد دانه و وزن هزار دانه برای گیاه گندم در خاک لوم شنی و لوم رسی و وزن خشک بوته، تعداد نیام، طول نیام، تعداد دانه و وزن هزار دانه برای لوبیا در خاک لوم شنی اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در داخل آون، با دمای ۷۰ درجه، سلسیوس به مدت حداقل ۷۲ ساعت خشک و وزن خشک آن‌ها به دست آمد. همچنین خاک گلدان‌ها که حاوی ریشه گیاهان بود بر روی الک ۸ mm قرار گرفته و به‌آرامی با آب شسته شدند تا از اطراف ریشه‌ها خارج شوند. در ادامه جهت پراکنده‌سازی و جدا شدن کامل خاک از سطوح ریشه‌ها از کالگن استفاده شد (Aggarwal *et al*., 2006). سپس ریشه‌ها وزن شده و حجم آن‌ها توسط یک استوانه مدرج اندازه‌گیری شد. در نهایت ریشه‌ها در دمای ۷۰° سانتی‌گراد به مدت حداقل ۷۲ ساعت خشک شده و جرم خشک آن‌ها نیز به دست آمد.

چگالی ریشه (Root tissue density)، (gcm^{-3}) مطابق رابطه (۱) محاسبه شد.

$$RTD = \frac{W_r}{V_r} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

W_r وزن ریشه و V_r حجم ریشه می‌باشند.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که اثر مکش ماتریک و شوری خاک بر وزن خشک بخش هوایی، تعداد دانه، وزن هزار دانه، طول بوته، تعداد سنبله و وزن خشک ریشه گندم در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل مکش ماتریک و شوری نیز بر همه پارامترهای ذکرشده (به جزء وزن خشک ریشه) در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار بود. تیمارهای شوری و مکش ماتریک خاک، اثر معنی‌داری بر چگالی ریشه گندم نداشتند (جدول ۲).

همچنین اثر مکش ماتریک و شوری خاک بر وزن خشک بخش هوایی، تعداد دانه، وزن هزار دانه، تعداد نیام، طول نیام، وزن خشک ریشه و چگالی ریشه لوبیا در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل مکش ماتریک و شوری نیز بر تعداد دانه، وزن هزار دانه، تعداد نیام و طول نیام لوبیا در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر شوری (EC) و مکش ماتریک خاک (h) بر وزن خشک بخش هوایی (Ws)، تعداد دانه (Ns)، وزن هزار دانه (TKW)، طول بوته (Hs)، تعداد سنبله (Nsp)، وزن ریشه (Wr) و چگالی ریشه (RTD) در گیاه گندم

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		Ws	Ns	TKW	Hs	Nsp	Wr	RTD
مکش ماتریک	۳	۵۳۰/۲۳**	۱۱۹۷۸۰**	۷۳۳/۶۴**	۱۴۴۵**	۱۳۲/۷۴**	۱۵/۲۵**	۰/۱۷۳
شوری	۴	۲۴۲۲/۶۲**	۵۰۹۳۵۹**	۷۹۸/۵۳**	۳۷۳۸**	۵۳۳/۲۷**	۴۹/۸۶**	۰/۱۷۴
شوری×مکش ماتریک	۱۲	۱۵۹/۴۳۳**	۳۶۴۳۱**	۱۳۳/۳۷**	۵۱۴**	۵۴/۱۰**	۱/۳۱	۰/۱۷۷
خطا		۱۰/۳۶	۴۲۴۸	۱۵/۵۳	۲۶/۰۴	۵/۲۸	۰/۵۶	۰/۶۴
CV		۱۴/۸۸	۲۲/۴۲	۱۸/۶۲	۹/۳۶	۱۸/۷۰	۱۷/۵۸	۴۳/۹۱

** و * به ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد می‌باشند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر شوری (EC) و مکش ماتریک خاک (h) بر وزن خشک بخش هوایی (Ws)، تعداد دانه (Ns)، وزن هزار دانه (TKWs)، تعداد نیام (Np)، طول نیام (Hp)، وزن ریشه (Wr) و چگالی ریشه (RTD) در گیاه لوبیا

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		Ws	Ns	TKW	Np	Hp	Wr	RTD
مکش ماتریک	۳	۷۲۴/۶۷**	۲۹۱۷/۷۶**	۱۱۹۱۸**	۶۲۴/۸۶**	۳۳/۷۳**	۲۳/۸۱**	۰/۰۰۸**
شوری	۴	۶۸۸/۹۶**	۲۶۶۵/۱۸**	۱۴۲۳۹**	۴۰۰/۹۱**	۴۶/۳۳**	۳۱/۸۷**	۰/۰۲۲**
شوری ×مکش ماتریک	۱۲	۲۳/۰۳	۲۱۶/۰۱**	۱۶۸۶**	۳۰/۴۷*	۲/۴۱**	۰/۵۵	۰/۰۰۱
خطا		۳۴/۵۹	۶۹/۱۴	۳۸/۴۸	۱۷/۴۷	۰/۴۹	۰/۸۷	۰/۰۰۱
CV		۳۵/۰۲	۳۱/۶۳	۲۴/۷۷	۳۴/۷۲	۱۵/۱۷	۲۶/۲۶	۳۹/۹۲

** و * به ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد می‌باشند.

عملکرد بخش هوایی

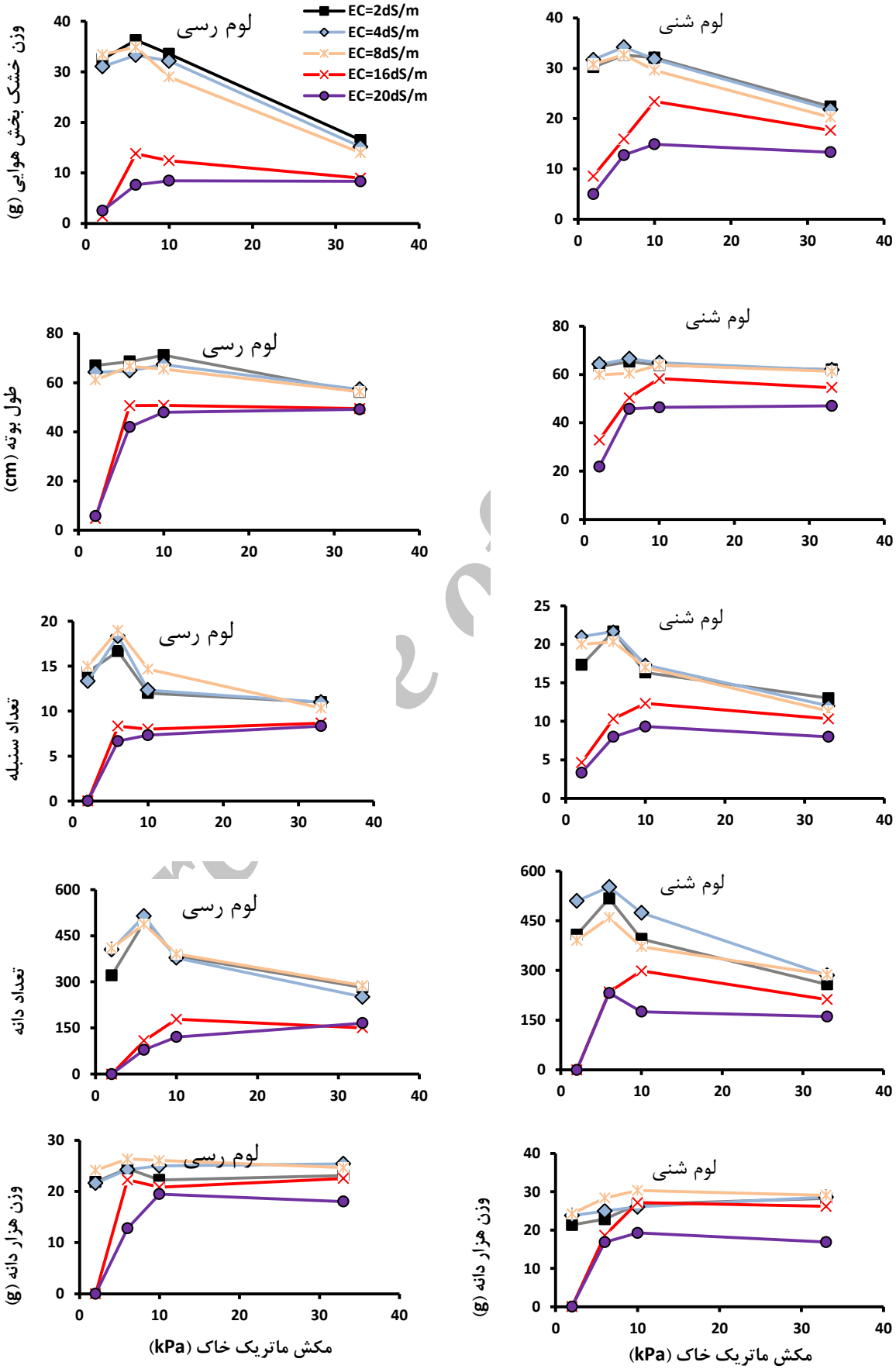
شکل (۲) تغییرات عملکرد بخش هوایی گندم را به‌صورت تابعی از مکش ماتریک خاک نشان می‌دهد. در دو خاک لوم شنی و لوم رسی، همه اجزای عملکرد گندم در مکش ۲ kPa، نسبت به مکش‌های ۶-۱۰kPa در EC≤۸dSm^{-1} و مکش‌های ۶-۳۳kPa در EC> ۸ dSm^{-1} کمتر بود. در مکش‌های ماتریک پایین، اغلب منافذ خاک را آب پر کرده و به همین دلیل انتقال و پخشیدگی اکسیژن به‌سختی صورت می‌گیرد. بنابراین گیاه با کمبود اکسیژن مواجه شده و جهت ذخیره انرژی، متابولیسم و سایر فعالیت‌های حیاتی خود را کاهش می‌دهد (Barrett-Lennard, 2003). در این شرایط، کاهش جذب آب و بسته شدن روزنه، منجر به افت شدت فتوسنتز و نفوذپذیری ریشه شده و رشد رویشی و زایشی گیاه را محدود می‌کند (Barrett-Lennard, 2003). نسبت به سایر اجزای عملکرد، اختلاف مقدار وزن دانه، در مکش۲ kPa با سایر مکش‌ها بیشتر بود (شکل ۲). به عبارت دیگر مشکل کمبود تهویه، تأثیر بیشتری بر وزن دانه داشت. دلیل این امر حساسیت بالای مرحله رشد زایشی و پر شدن دانه به شرایط تنش، نسبت به مراحل دیگر رشد می‌باشد (Liu *et al*., 2016). همچنین پر شدن دانه، آخرین مرحله رشد گندم است (Liu *et al*., 2016). بنابراین در این مرحله گیاه مدت زمان زیادی تحت تنش تهویه‌ای قرار گرفت و به شدت متأثر شد. تغییرات اجزای عملکرد نشان داد که با افزایش شوری، تأثیر تنش تهویه تشدید شد. برای مثال تعداد سنبله و وزن هزار دانه در مکش ۲kPa و در EC>۸dSm^{-1} به شدت کمتر از سایر مکش ها بود. زیرا در این شرایط (تنش هم‌زمان شوری و تهویه) قابلیت جذب عناصر تحت تأثیر قرار می‌گیرد و مقدار و نسبت یون‌ها در بافت‌های گیاهی تغییر می‌کند (Sairam and Tyagi, 2004). در ادامه به دلیل کاهش عناصر ضروری و سمیت یون-هایی نظیر سدیم، کلر و سولفات، رشد و عملکرد محصول کاهش می‌یابد (Barrett-Lennard, 2003). با افزایش مکش ماتریک و بهبود تهویه، میزان همه اجزای عملکرد گندم در هر دو خاک و در همه سطوح شوری به‌خصوص در شوری‌های بالاتر از ۸ dSm^{-1} افزایش یافت و در مکش‌های ۶-۱۰kPa به بیشترین مقدار رسید. در این دامنه رطوبتی، منافذ درشت خاک پر از هوا بوده و نسبت مناسبی از آب و هوا برای رشد گندم و لوبیا وجود دارد. Brzezinska *et al* (2004) نیز نسبت مناسب بین درصد آب و هوا در خاک سیلتی را در مکش ماتریک ۱۶ kPa گزارش کرده‌اند. در ادامه و با افزایش بیشتر مکش ماتریک (h>۱۰kPa) اجزای عملکرد گندم در شوری‌های بیشتر از ۸ dSm^{-1} تقریباً ثابت ماند. درحالی‌که در مکش‌های بالاتر از ۱۰kPa و تحت شوری‌های پایین‌تر (EC> ۸ dSm^{-1})، به دلیل دور شدن از شرایط بهینه رطوبتی و کاهش آب سهل‌الوصول، همه اجزای عملکرد به جزء طول بوته و وزن هزار دانه در هر دو خاک کاهش یافت (شکل ۲). نتایج نشان داد که در شوری‌های کمتر از ۸ dSm^{-1}، تغییرات طول بوته با مکش ماتریک تقریباً ناچیز بود. به‌بیان‌دیگر در شوری‌های کمتر از آستانه، تنش تهویه‌ای (در مکش ۲kPa) و یا کاهش آب قابل‌دسترس خاک برای گیاه (در مکش‌های بالاتر از ۱۰kP) اثر مشخصی بر طول بوته گندم نداشتند.

شوری‌های کمتر از آستانه اثر مشخصی بر اجزای عملکرد نداشت، در حالی‌که در سطوح بالاتر (EC>۸dSm^{-1})، موجب کاهش شدید همه اجزای عملکرد گندم، به‌خصوص در مکش ۲kPa شد. با افزایش مکش ماتریک، اثر شوری بر اجزای عملکرد، کاهش یافت و در مکش ۳۳ kPa، به کمترین مقدار رسید. Kotula *et al*. (2015) نیز اثر شوری (NaCl) بر گیاه نخود را مورد مطالعه قرار داده و گزارش کردند که میزان گلدهی، تعداد غلاف، وزن و اندازه دانه به‌طور معنی‌داری در سطوح بالای شوری (۵۰ میلی مولار NaCl) کاهش یافت و به درصد خالی بودن غلاف‌ها افزوده شد.

مقایسه کلی تغییرات اجزای عملکرد گندم در دو خاک لوم شنی و لوم رسی نشان داد که الگوی تغییرات در هر دو خاک تقریباً یکسان بود و بافت خاک تأثیر عمده‌ای بر روند تغییرات اجزای عملکرد با شوری و مکش ماتریک خاک نداشت.

Archive of SID

www.SID.ir

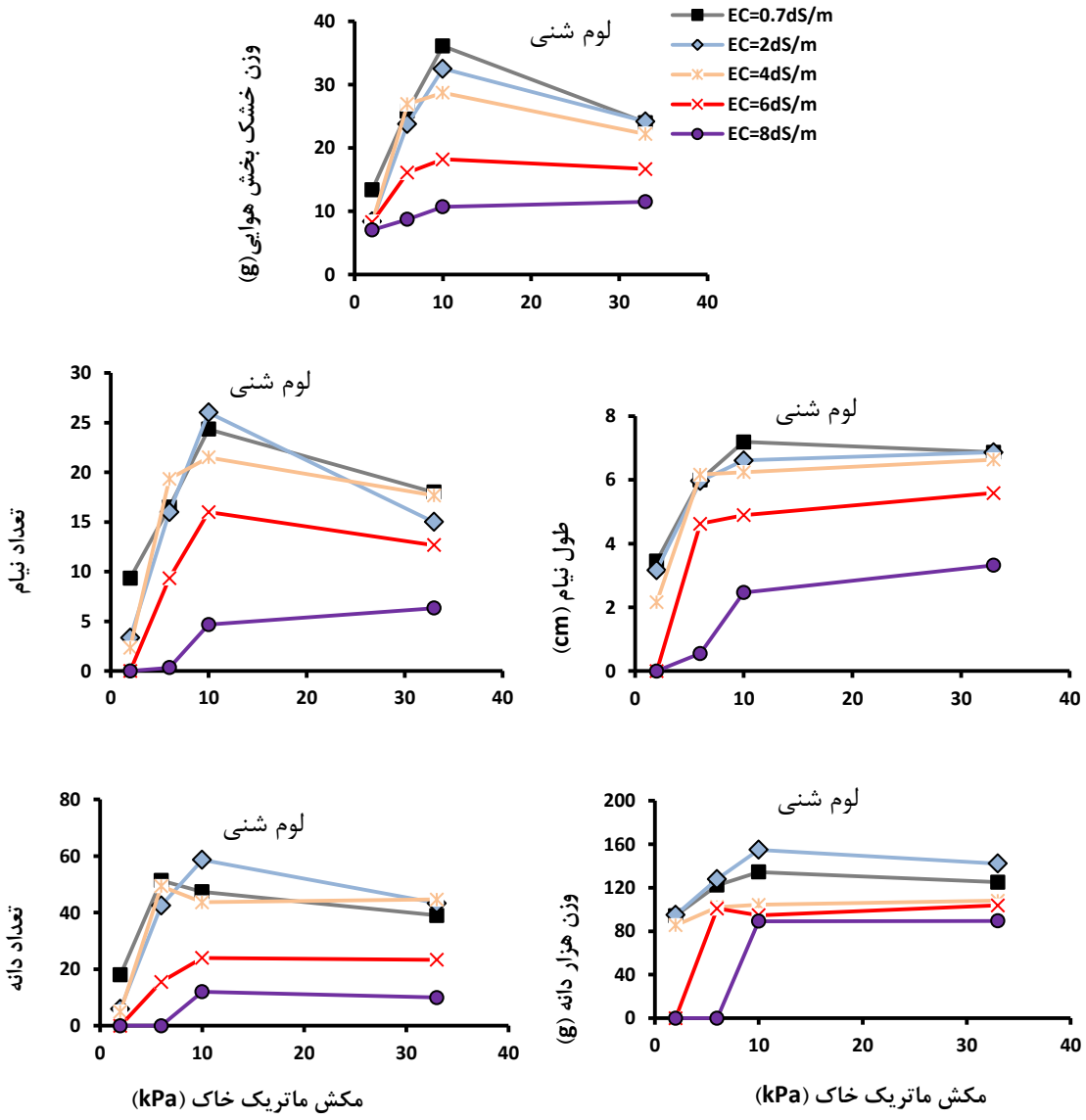


شکل ۲. تغییرات اجزای عملکرد بخش هوایی گندم به‌صورت تابعی از مکش ماتریک خاک تحت شوری‌های مختلف، در خاک لوم شنی و لوم رسی

www.SID.ir

شکل (۳) تغییرات عملکرد بخش هوایی لوبیا را به‌صورت تابعی از مکش ماتریک، در خاک لوم شنی نشان می‌دهد. مشابه گندم، همه اجزای عملکرد لوبیا با افزایش مکش ماتریک (از ۲kPa) افزایش یافتند و طول نیام در مکش ۳۳kPa و سایر اجزای عملکرد لوبیا در مکش ماتریک ۱۰ kPa-۶ به بیشترین مقدار رسیدند. زیرا با افزایش مکش ماتریک، شدت پخشیدگی اکسیژن در خاک و متعاقباً جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه افزایش می‌یابد و منجر به افزایش قابل‌توجه عملکرد می‌شود (Promkhambut *et al.*, 2011). در مکش‌های بیشتر از ۱۰ kPa، همه اجزای عملکرد لوبیا (به غیر از طول نیام و وزن هزار دانه) که تحت $EC\leq 4dSm^{-1}$ بود کاهش یافت، در حالی‌که در شوری‌های بالاتر، میزان آن‌ها تقریباً ثابت باقی ماند. وزن هزار دانه لوبیا در مکش‌های بالاتر از ۱۰kPa در همه شوری‌ها ثابت بود (شکل ۳). این امر نشان می‌دهد که کاهش رطوبت تا مکش ۳۳kPa اثر قابل‌توجهی بر وزن هزار دانه لوبیا نداشت. کاهش اجزای عملکرد لوبیا در مکش‌های بالاتر از ۱۰ kPa، می‌تواند به دلیل کم شدن مقدار انتقال‌پذیری آب خاک برای جذب توسط گیاه باشد. Kiani, and Raeisi (2013) نیز نشان دادند که با کم شدن رطوبت خاک میزان تمام اجزای عملکرد از جمله ارتفاع بوته، تعداد غلاف و وزن دانه سویا کاهش یافت.

تیمار شوری در سطوح کم تا متوسط ($EC\leq 4dSm^{-1}$)، اثر مشخصی بر تعداد نیام، تعداد دانه و وزن هزار دانه لوبیا نداشت. ولی در سطوح بالاتر منجر به کاهش آن‌ها شد. در حالی که شوری (در تمام سطوح) وزن خشک و طول نیام لوبیا را در همه مکش‌ها کاهش داد. شکل (۳) نشان می‌دهد که کمترین مقادیر اجزای عملکرد لوبیا در $EC=8dSm^{-1}$ بود.



شکل ۳. تغییرات اجزای عملکرد بخش هوایی لوبیا به‌صورت تابعی از مکش ماتریک خاک تحت شوری‌های مختلف، در خاک لوم شنی

www.SID.ir

شکل‌های (۲ و ۳) نشان می‌دهند که به دلیل حساسیت بالای لوبیا به تنش تهویه‌ای، کمترین مقدار وزن خشک لوبیا در مکش kPa ۲ بود. درصورتی‌که به دلیل مقاومت بیشتر گندم به شرایط کمبود تهویه و توانایی سازگاری آن با این شرایط، کمترین مقدار وزن خشک گندم در مکش kPa ۳۳ مشاهده شد.

همچنین در بیشترین سطح شوری، وزن خشک گندم ۵۶ درصد و وزن خشک لوبیا ۵۴ درصد کمتر از وزن خشک در شوری پایه ($EC=۲\ dSm^{-1}$ برای گندم و $EC=۰/۷\ dSm^{-1}$ برای لوبیا) بود (شکل ۲ و ۳). از مهمترین علل کاهش رشد گیاه در شوری‌های بالا، سمیت یونی است (Zhu, 2007). به‌علاوه 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 کاهش می‌یابد (Munns and Tester, 2008; Cha-um *et al*., 2011). جذب بسیاری از عناصر غذایی مانند کلسیم همراه با آب صورت می‌گیرد، بنابراین با کاهش جذب آب، جذب آن‌ها نیز کاسته می‌شود. بعلاوه، افزایش غلظت نمک‌ها بیش از آستانه تحمل گیاه، از ساخت ملکول‌های کلروفیل جلوگیری کرده و موجب کاهش کارایی فتوسنتز به عنوان مهم‌ترین عامل تولید می‌شود.

در همه مکش‌ها، کمترین مقدار همه اجزای عملکرد، تحت $EC=۲۰dSm^{-1}$ برای گندم و $EC=۸dSm^{-1}$ برای لوبیا بود. این افت مقدار در مکش ماتریک kPa ۲ بیشتر بود (شکل ۲ و ۳). در مکش‌های ماتریک کم، اثر شوری بر اجزای عملکرد گندم بارزتر از لوبیا بود (شکل ۲ و ۳). به‌طوری که در مکش ماتریک kPa ۲، تفاوت زیادی بین میزان عملکرد گندم تحت ECهای کم تا متوسط (۲-۸dSm-1) و میزان عملکرد آن تحت ECهای بالا (۲۰dSm-1-۱۶) دیده شد. با افزایش مکش این تفاوت کمتر شده و در مکش ماتریک kPa ۳۳ به حداقل رسید. تفاوت اجزای عملکرد گندم و لوبیا در مکش ماتریک کم، احتمالاً به این دلیل بود که گیاه گندم تحت دامنه وسیع‌تری از شوری رشد کرد ($۲-۲۰dSm^{-1}$ برای گندم و $۰/۷-۸dSm^{-1}$ برای لوبیا) و درنتیجه اثر تشدیدی شوری بر تنش تهویه، برای گندم بارزتر بود (شکل ۲ و ۳).

نمود ریشه

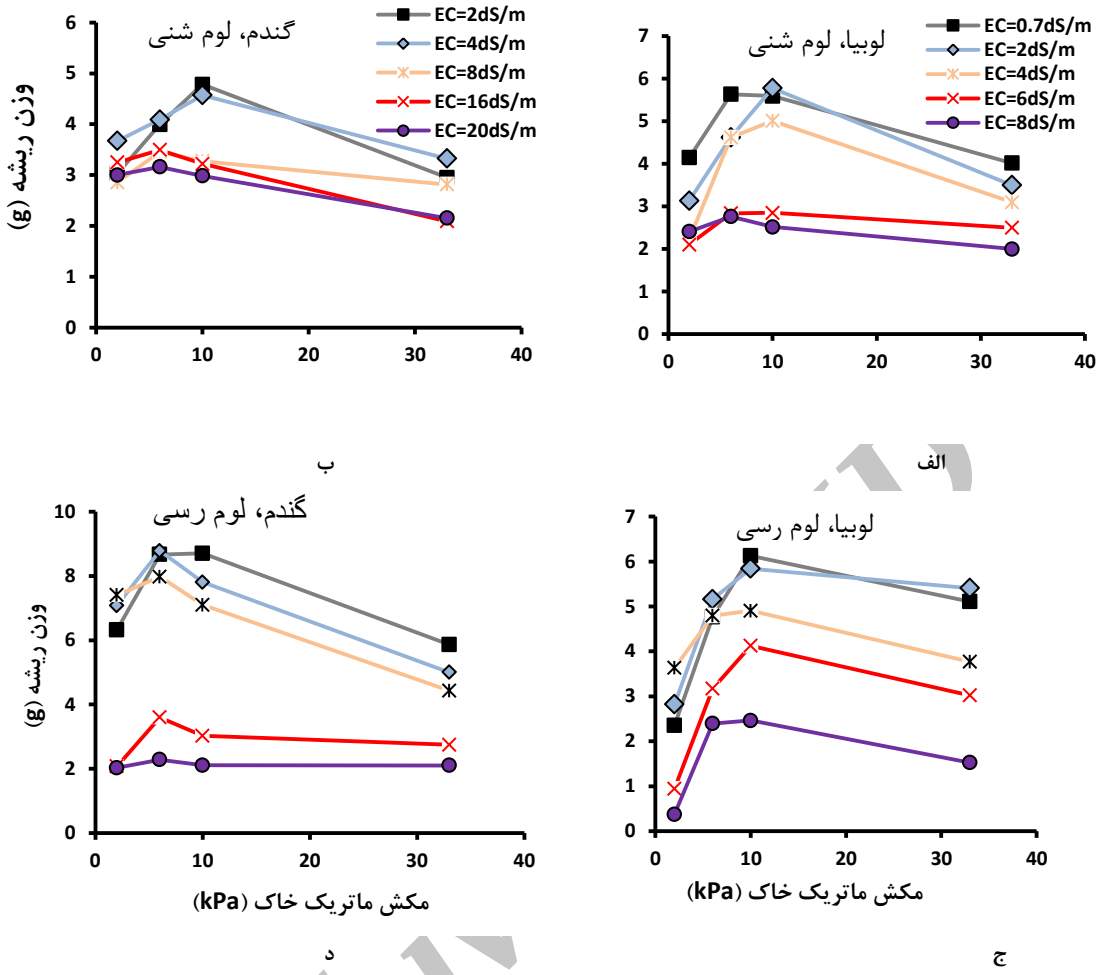
تغییرات وزن ریشه گندم و لوبیا، به‌صورت تابعی از مکش ماتریک و شوری خاک در شکل (۴) آورده شده است. مقایسه عملکرد بخش هوایی با وزن ریشه گندم و لوبیا نشان داد که تغییرات آن‌ها با مکش ماتریک و شوری بسیار شبیه هم بود. در مکش ماتریک ۲kPa، وزن ریشه گندم و لوبیا، در هر دو خاک لوم شنی و لوم رسی، کم بود (شکل ۴). این مکش تقریباً معادل نقطه ورود هوا در هر دو خاک است (شکل ۱). در این شرایط به دلیل سرعت کم انتشار اکسیژن در خاک (Jarecke *et al*., 2016)، مقدار اکسیژن برای فعالیت‌های گیاهی، تأمین انرژی، متابولیسم، تنفس و رشد ریشه ناکافی است (Conaty *et al*., 2008). بنابراین ریشه جهت کاهش متابولیسم و افزایش انرژی ذخیره‌ای، انشعابات و ریشه‌های مویین کمتری تولید می‌کند (Bhattarai *et al*., 2005). در ادامه، با افزایش مکش ماتریک و منافذ پر از هوا، میزان وزن ریشه افزوده شد و در مکش‌های ۶-۱۰kPa به بیشترین مقدار رسید. از آنجایی‌که در این مکش‌ها، رشد ریشه بیشترین مقدار را داشت، بنابراین تخلخل تهویه‌ای در این مکش را می‌توان به‌عنوان تخلخل تهویه بحرانی معرفی کرد که معادل تخلخل تهویه $۰/۱۸\ cm^3cm^{-3}$ (مکش ۱۰kPa) در خاک لویم شنی و $۰/۱۶\ cm^3cm^{-3}$ (مکش ۶kPa) در خاک لوم رسی بود (شکل ۱). این مقادیر مشابه مقادیر گزارش‌شده توسط Liu *et al*.(2006) برای گندم بهاره و سویا بود. بنابراین تخلخل تهویه ۰/۱ که به‌عنوان تخلخل تهویه بحرانی معرفی شده است، در همه خاک‌ها و برای تمام گیاهان صادق نبوده و بستگی به نرخ مصرف اکسیژن، عمق منطقه ریشه و خصوصیات فیزیکی خاک دارد (Mohammadi *et al*., 2010). در این دامنه رطوبتی (مکش ۱۰kPa برای خاک لوم شنی و ۶kPa برای خاک لوم رسی)، تهویه بهبود یافته و نسبت مناسبی از آب و هوا جهت رشد و فعالیت‌های ریشه وجود داشت. در مکش ۱۰-۶ kPa، رشد ریشه گندم و لوبیا در خاک لوم رسی بالاتر از خاک لوم شنی بود. زیرا خاک ریزبافت دارای چگالی ظاهری کمتر و منافذ متوسط تا ریز بیشتری است. بنابراین در مکش‌های متوسط دارای آب قابل دسترس بیشتری برای گیاه بوده و می‌تواند بر رشد و گسترش ریشه مؤثر باشد (Andrenelli *et al*., 2016).

در مکش‌های بالاتر از ۱۰kPa، به دلیل دور شدن از شرایط مناسب رطوبتی، کاهش قابلیت انتقال آب به طرف ریشه و افت جذب آب و عناصر غذایی، رشد ریشه گندم و لوبیا در هر دو خاک لوم رسی و لوم شنی کاهش یافت (شکل ۴).

نتایج نشان داد که شوری منجر به کاهش وزن ریشه گندم و لوبیا در هر دو خاک شد. به‌طوری که در همه مکش‌ها، کمترین مقادیر آن‌ها در $EC=۲۰dSm^{-1}$ برای گندم و $EC=۸\ dSm^{-1}$ برای لوبیا (در مکش kPa ۲) دیده شد. زیرا شوری از طریق کاهش گسترش سلولی، جذب آب و مواد غذایی، سطح انرژی ATP و فتوسنتز، رشد ریشه را کاهش می‌دهد (Hasanuzzaman, *et al*., 2013). Jiang *et al*.(2016) گزارش کردند که شوری بیشترین اثر را بر ریشه‌های مویین دارد و به‌ویژه رشد طولی آن‌ها را به‌شدت کاهش می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۴. تغییرات وزن ریشه به‌صورت تابعی از مکش ماتریک خاک تحت شوری‌های مختلف در خاک لوم شنی و لوم رسی

به‌طور کلی به نظر می‌رسد در خاک لوم رسی (شکل ج و د ۴)، اثر شوری بر وزن خشک ریشه بیشتر از خاک لوم شنی بود (شکل الف و ب ۴). دلیل احتمالی این تفاوت را می‌توان به پروفیل توزیع نمک در دو خاک نسبت داد.

مقایسه دو گیاه نشان داد که به دلیل حساسیت بالای لوبیا به تنش تهویه‌ای، کمترین مقدار وزن ریشه لوبیا در مکش ۲kPa دیده شد. درحالی‌که در گیاه گندم به‌ویژه در خاک لوم شنی، کمترین وزن ریشه در مکش ۳۳kPa دیده شد (شکل ۴). زیرا در مکش‌های پایین و تنش تهویه‌ای خاک، گندم با تولید ریشه‌های نابجا و بافت آئرانشیمی، می‌تواند تا حدودی خود را با شرایط سازگار کند (Steffens and Rasmussen, 2016). بنابراین وزن ریشه این گیاه در مکش ۲kP، بیشتر از سایر مکش‌ها بود (شکل ۴).

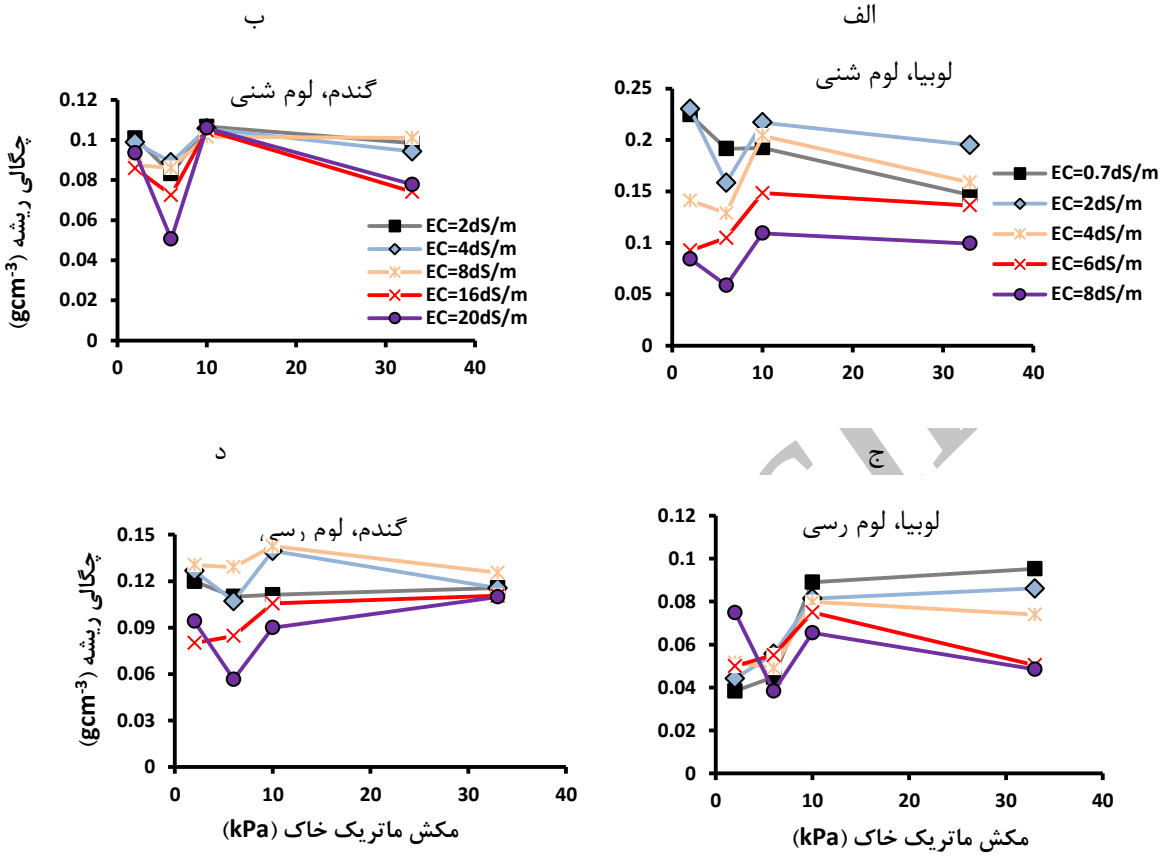
چگالی ریشه

شکل (۵) نشان می‌دهد که کمترین مقدار چگالی ریشه گندم و لوبیا در مکش ماتریک ۶ kPa بود که نشان‌دهنده افزایش حجم و تخلخل بافت ریشه‌ای، به دلیل رطوبت و تهویه مناسب در این مکش بود. در سایر مکش‌ها به دلیل دور شدن از شرایط بهینه، حجم ریشه و تخلخل بین سلولی کاهش یافت و در نتیجه چگالی ریشه بالاتر بود. همچنین افزایش چگالی ریشه در رطوبت‌های بالاتر، ناشی از گسترش سیستم ریشه‌ای و ایجاد ریشه‌های فرعی، جهت جذب آب بیشتر است (Meskini *et al.*, 2016). Coohi Chelecaran *et al.* (2015) گزارش کردند که با کاهش رطوبت و افزایش عمق خاک، چگالی ریشه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین Pordel *et al.* (2014) اثر تنش غرقابی (۰، ۲ و ۴ روز غرقاب) بر گیاه استویا را بررسی کرده و گزارش کردند که به دلیل کاهش رشد و متراکم شدن ریشه، چگالی ریشه به‌طور خطی با افزایش زمان غرقابی کاهش یافت.

نتایج نشان داد که شوری موجب کاهش چگالی ریشه شد و کمترین مقادیر آن در شوری ۸ dSm^{-1} برای لوبیا و ۲۰ dSm^{-1} برای گندم به‌ویژه در مکش ۶ kPa بود (شکل ۵). زیرا با افزایش شوری، رشد ریشه و گسترش ریشه‌های مویین به‌شدت کاهش

Archive
www.SID.ir

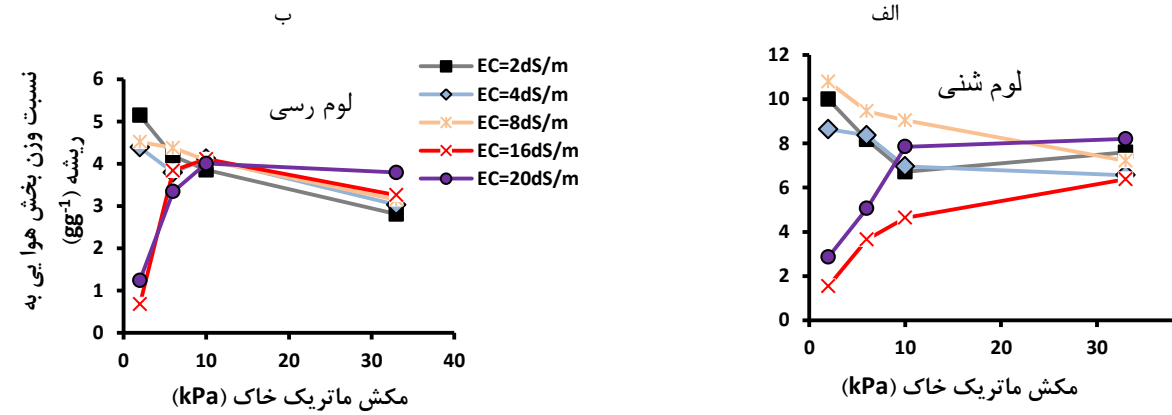
یافت و این امر موجب افت شدید وزن ریشه شد (شکل ۴)، درصورتی‌که در این شرایط، حجم ریشه کمتر تحت تأثیر شوری قرار گرفت (نتایج آورده نشده است) و این امر منجر به کاهش چگالی ریشه گردید. Razavi Nasab *et al.* (2011) نیز گزارش کردند که شوری به دلیل کاهش رشد ریشه موجب کاهش معنی‌دار چگالی ریشه پسته شد.



شکل ۵. تغییرات حجم ریشه به‌صورت تابعی از مکش ماتریک خاک تحت شوری‌های مختلف در خاک لوم شنی و لوم رسی

نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه

نتایج نشان داد که روند تغییرات نسبت وزن بخش هوایی به ریشه در گیاه گندم با تیمارهای آزمایشی، تقریباً مشابه وزن بخش هوایی این گیاه بود. در مکش‌های ماتریک کم (۱۰kPa- h<۶) و تحت شرایط تنش تهویه‌ای، تغییرات نسبت وزنی گندم با مکش ماتریک، بستگی به سطوح شوری داشت. به‌این‌ترتیب که این نسبت، تحت $EC \leq 8 dSm^{-1}$ با افزایش مکش ماتریک کاهش یافت. در حالی‌که در ECهای بالاتر، با افزایش مکش ماتریک روند افزایشی داشت (شکل ۶). محل تلاقی این دو روند در خاک لوم شنی تحت مکش ۱۰kPa و در خاک لوم رسی تحت مکش ۳۳kPa بود که معادل تخلخل تهویه‌ای بحرانی این خاک‌ها است. در مکش‌های بالاتر از تخلخل تهویه‌ای بحرانی و تحت همه سطوح شوری، وزن نسبی با مکش ماترک تغییر نکرد و تقریباً ثابت ماند.



شکل ۶. تغییرات نسبت وزن بخش هوایی به ریشه در گیاه گندم به‌صورت تابعی از مکش ماتریک خاک تحت شوری‌های مختلف در خاک لوم شنی و لوم رسی

Archive of SID
www.SID.ir

شوری نیز بر میزان نسبت بخش هوایی به ریشه گندم در هر دو خاک لوم رسی و لوم شنی موثر بود. در مکش‌های ماتریک کمتر از تخلخل تهویه‌ای بحرانی، شوری‌های کمتر از آستانه، اثر مشخصی بر میزان این نسبت نداشتند. این درحالی است که شوری‌های بالاتر از $^{-1}$۸dSm اثر کمبود تهویه را تشدید کردند و موجب کاهش شدید نسبت وزنی شدند. با افزایش سطح شوری، توسعه برگ‌ها با سرعت بیشتری نسبت به سایر اجزای گیاه، متوقف می‌شود (Parida and Das, 2005) و به دنبال آن، میزان جذب نور و فتوسنتز کاهش می‌یابد. این امر سبب کمبود فرآورده‌های فتوسنتزی جهت رشد و گسترش ساقه و تولید برگ‌های جدید شده و نهایتاً عملکرد بخش هوایی را کاهش می‌دهد (Parida and Das, 2005). از طرف دیگر در این شرایط و تحت تنش تهویه‌ای، به دلیل ایجاد ریشه‌های نابجا، سیستم ریشه‌ای گسترش می‌یابد. بنابراین نسبت وزنی بین این دو بخش در گیاه گندم به‌شدت کاهش یافت (شکل ۶).

در مکش‌های بالاتر از تخلخل تهویه‌ای بحرانی، به دلیل بهبود تهویه، رشد هر دو بخش هوایی و ریشه گندم افزایش یافت (شکل۶). در این شرایط رطوبتی، در شوری‌های بالاتر از آستانه، احتمالاً گیاه ترجیح داد که فرآورده‌های فتوسنتزی را در بخش هوایی اندوخته کند، لذا بخش هوایی گندم نسبت به ریشه، با سرعت بیشتری گسترش یافت و بنابراین در مکش ۳۳kPa، نسبت وزنی بخش هوایی به ریشه گندم، تحت dSm^{-} ۲۰=EC^{1}، در هر دو خاک بیشتر از سایر شوری‌ها شد (شکل ۶). Sun *et al.*, (۲۰۱۶) نیز گزارش کردند که در سطوح بالای شوری (۲۲۵ مولار NaCl) نسبت ساقه به ریشه یونجه ۲۳ درصد کاهش یافت درصورتی‌که تحت سطوح پایین تا متوسط (۱۵۰-۰ مولار NaCl) فراورده‌های فتوسنتزی در ریشه ذخیره شد و این نسبت روند کاهش داشت. کاهش سرعت رشد ریشه، در شوری‌های بالا را می‌توان به تغییرات مورفولوژیکی و آناتومی ریشه نسبت داد (Najafi and Sarhangzade, 2012). Maghsoudi Moud, and Maghsoudi (2008) نیز نتایج مشابهی را ارائه دادند و بیان کردند که به دلیل تماس مستقیم ریشه با خاک، کاهش رشد آن با شوری بیشتر از بخش هوایی است.

روند تغییرات نسبت بخش هوایی به ریشه گندم مانند سایر پارامترهای موردبررسی، در هر دو خاک مشابه بود. دلیل این امر را می‌توان به یکسان بودن شرایط هر دو خاک برای رشد گیاهان نسبت داد. همچنین احتمال دارد، به دلیل اثر شدید مکش ماتریک و شوری بر رشد گندم و لوبیا، اثر بافت خاک تحت تأثیر قرار گرفته باشد.

نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان داد که در مکش‌های پایین خاک (h≥۲kPa)، تنش تهویه‌ای، مهمترین عامل محدودکننده رشد و فعالیت‌های گیاهی گندم و لوبیا می‌باشد. با افزایش مکش، گسترش ریشه و بخش هوایی گندم و لوبیا افزایش یافت و در تخلخل تهویه‌ای بحرانی، به بیشترین مقدار رسید. این امر نشان‌دهنده وجود شرایط بهینه رطوبتی و نسبت مناسب بین میزان آب و هوا جهت رشد در این شرایط بود. تخلخل تهویه‌ای بحرانی برای گندم و لوبیا برابر ۰/۱۸ cm^3cm^{-3} (مکش ۱۰kPa) در خاک لوم شنی و ۰/۱۶ cm^3cm^{-3} (مکش ۶۰kPa) در خاک لوم رسی به دست آمد. بنابراین نتیجه گرفته شد که تخلخل تهویه‌ای بحرانی ۱۰ درصد قابل تعمیم به تمام گیاهان و خاک‌ها نمی‌باشد. در مکش‌های بیشتر از تخلخل تهویه‌ای بحرانی، رشد ریشه و عملکرد گیاهان، به دلیل دور شدن از شرایط رطوبتی بهینه و کاهش آب سهل‌الوصول، کاهش یافت. شوری، در سطوح پایین‌تر از آستانه، اثر معنی‌داری بر ویژگی‌ها و فعالیت‌های گندم و لوبیا نداشت. هر چند که در رطوبت‌های بالای خاک، مکش ماتریک خاک کم (h≥۲kPa) بود و انتظار می‌رفت که به دلیل بالا بودن سطح انرژی آب خاک، جذب آن در شرایط شور بهبود یابد، ولی مشاهده گردید که شوری، تأثیر سوء تنش تهویه‌ای حاکم بر محیط ریشه را تشدید می‌نماید. بنابراین در مکش‌های پایین و تحت شوری‌های بالا، بدترین شرایط تهویه و کمترین شدت تنفس ریشه‌ای وجود دارد. در مکش‌های ماتریک بالاتر، اثرات توأم شوری و کمبود تهویه کاهش یافت. با وجود تفاوت مقاومت گندم و لوبیا به تنش، روند پاسخ آن‌ها به شوری و مکش ماتریک یکسان بود. اما شدت اثر تیمارها بر گیاه لوبیا، به‌دلیل حساسیت بالای آن بیشتر از گندم بود. به دلیل این‌که در مقادیر کمتر از تخلخل تهویه‌ای بحرانی و شوری آستانه، الگوی اثرات متقابل شوری و رطوبت خاک با الگوی همین اثرات در مقادیر بیشتر از تخلخل تهویه‌ای بحرانی و شوری آستانه، کاملاً تفاوت داشت. بنابراین جهت کم کردن اثر شوری و کیفیت پایین آب آبیاری بر رشد گیاه و رسیدن به حداکثر عملکرد، توصیه می‌شود که رطوبت خاک در مکش‌های معادل تخلخل تهویه‌ای بحرانی کنترل شود. بعلاوه پیشنهاد می‌شود، در مطالعات آینده، اثر شوری در دامنه‌های رطوبتی کمتر نیز مورد بررسی قرار گیرد تا درصورت نبود آب کافی و متناسب با منابع آبی مختلف (از نظر کیفی و کمّی) بهترین شرایط رطوبتی برای گیاهان مختلف در خاک‌های متفاوت مشخص گردد.

Archive of SID

www.SID.ir

REFERENCES

Abedi, R.A., Tadayyon, A. and Aminian, R. (2005). Economic Investigation of Common Bean in Chaharmohal and Bakhtiari. The first conference of national grain. Ferdowsi university of mashhad. 172-176. (In Farsi).

Aggarwal, P.K., Kalra, N., Singh, A.K. and Singha, S.K. (1994). Analyzing the limitations set by climatic factors, genotype, and water and nitrogen availability on productivity of wheat I. The model description, parameterization and validation. *Field Crops Research.* 38, 73-91.

Andrenelli, M.C., Mocali, S., Pellegrini, S. and Vignozzi, N. (2016). Modification of hydrological properties in a fine textured soil following field application of pelletized biochar: investigation of the mechanism involved. EGU General Assembly in Vienna Austria. p. 12847.

Bagheri, A., Nezami, A. and Persa, H. (2006). An Analysis to Strategy of Pulse Research in Iran Based Upon the *First National Pulse Symposium Approaches*. Iranian agricultural research. Science information database, 4, 1-13. (In Farsi).

Barrett-Lennard, E. G. (2003). The interaction between waterlogging and salinity in higher plants: causes, consequences and implications. *Plant and Soil.* 253, 35-54.

Bhattarai, S. P., Su, N. and Midmore, D. J. (2005). Oxygen unlocks yield potential of crops in oxygen-limited soil environments. *Advances in Agronomy.* 88, 313-377.

Brzezinska, M., Wodarczyk, T. and Glinski, J. (2004). Effect of methane on soil dehydrogenase activity. *International Agrophysics.* 18, 213–216.

Carter, J. L., Colmer, T. D. and Veneklaas, E. J. (2006). Variable tolerance of wetland tree species to combined salinity and waterlogging is related to regulation of ion uptake and production of organic solutes. *New Phytologist.* 69, 123–134.

Chapman, H. D. and Pratt, F. P. (1982). Determination of Minerals by Titration Method Methods of Analysis forSoils,Plants and Water 2(Edn.), CalifforniandUniversity, Agriculture Division, USA., PP: 169-170.

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.

Conaty, W. C., Tan, D. K. Y., Constable, G. A., Sutton, B. G., Field, D.J., Mamum, E. A. (2008). Genetic variation for waterlogging tolerance in cotton. *Journal of Cotton Science.* 12, 53–61.

Coohi Chelecaran, N., Alizade, A., Davari, K. (2015). The effect of different amounts of irrigation on root length density and corn yield in drip *irrigation and. J. Water research in Agriculchur*. 29, 331-340. (In Farsi).

Dane, J. H., 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 Sci. Soc. Am. Book Ser 5. Soil Science Society of America, USA. pp: 675–680.

FAO (Food and Agriculture Organization), (2002). Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas. Annex 1. Crop salt tolerance data. FAO, Rome. Available from http://www.fao.org/docrep/005/y4263e/y4263e0e.htm.

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 of America Journal*. Pp, 255–293.

Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Fujita, M. (2013). Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages. In: Ahma, P.; Azooz, M. M.; Prasad, M. N. V. (Eds.), Ecophysiology and Responses of Plants Under Salt Stress. Springer. New York. 25-87.

Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R. (2009). Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 11, 100–105.

Jarecke, K.M., Loecke, T.D. and Burgin, A.J. (2016). Coupled soil oxygen and greenhouse gas dynamics under variable hydrology. *Soil Biology and Biochemistry*. 95, 164-172.

Jiang, H., Du, H., Bai, Y., Hu, Y., Rao, Y., , Chen, C.,, and Cai, Y. (2016). Effects of spatiotemporal variation of soil salinity on fine root distribution in different plant configuration modes in new reclamation coastal saline field. *Environmental Science and Pollution Research.* 23, 6639-6650.

Kiani, A.R. and Raeisi, S. (2013). Assessment of water use efficiency in some soybean cultivars under different amount of irrigation. *Journal of Water and Soil Conservation*. 20, 179-192.

Kotula, L., Khan H. A., Quealy, J., Turner, N. C., Vadez, V., Siddique, K. H., *et al*. (2015). Salt sensitivity in chickpea (*Cicer arietinum L.*): ions in reproductive tissues and yield components in contrasting genotypes. Plant Cell Environ. 38 1565–1577.

Liu, H., Li, F. and Jia, Y. (2006). Effects of shoot removal and soil water content on root respiration of spring wheat and soybean. *Environmental and Experimental Botany.* 56, 28–35.

Liu, B., Asseng, S., Liu, L., Tang, L., Cao, W. and Zhu, Y. (2016). Testing the responses of four wheat crop models to heat stress at anthesis and grain filling. *Global Change Biology*. 22, 1890-1903.

Maghsoudi Moud, A. and Maghsoudi, K. (2008). Salt Stress Effects on Respiration and Growth of Germinated Seeds of Different Wheat (Triticum aestivum L.) Cultivars. *World Journal of Agricultural Sciences*. 4, 351-358.

Archive of SID

www.SID.ir

Manosalva, P. M., Davidson, R. M. Liu, B., Zhu, X., Hulbert, S. H. Leung, H. and Leach, J. E. (2009). A germin-Like protein gene family functions as a complex quantitative trait locus conferring broad-spectrum disease resistance in rice. *Plant Physiolgy*. 149, 286–296.

Meskini-Vishkaee F, Mohammadi M H, Neishaboori M R, Shekari F. (2016). Effect of soil moisture on Wheat and Canola root respiration rates in two soil textures. *Plant Process and Function*. 4 , 177-188.

Meskini-Vishkaee, F., Mohammadi, M. H., Neyshabouri, M. R. and Shekari, F. (2015). Evaluation of canola chlorophyll index and leaf nitrogen under wide range of soil moisture. *International Agrophysics.* 29, 83-90.

Mohammadi, M. H., Asadzadeh, F. and Vanclooster, M. (2010). Refining and unifying the upper limits of the least limiting water range using soil and plant properties. *Plant and Soil*, 334, 210-222.

Mott, I. W. and Wang, R. R. C. (2007). Comparative transcriptome analysis of salt-tolerant wheat germplasm lines using wheat genome arrays. *Plant Science*. 173, 327-339.

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

Najafi, N. and Sarhangzade, A. (2012). The effect of NaCl salinity and soil waterlogging on the growth characteristics of maize under greenhouse conditions. *Journal of Greenhouse Culture Science and Technology. 3*, 1-15.

Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S. and Dean, L. A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular. 939.

Parida, A. K., Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 60, 324–349.

Pordel, R., Esfehani, M., Kafi, M., Nezami, A. (2014). Effect of waterlogging stress on root and shoot growth of stevia. 13th Conferences of Iranian Crop Sciences and 2th Conferences of Science and Technology Seed (In Farsi with English abstract). http://www.civilica.com/Paper-Nabatat13-Nabatat13_0771.

Promkhambut, A., Polthanee, A., Akkasaeng, C. and Younger, A. (2011). A flood-free periodcombined with early planting is required to sustain yield of pre-rice sweet sorghum (Sorghum bicolorL. Moench). *Acta Agriculture Scandinavica*. 61, 345-355.

Razavi Nasab, A., Shirani, H., Tajabadi pour, A., Dashti, H. (2011). Effect of salinity and organic matters on chemical composition and root morphology of pistachio seedlings. *Journal Crop Improvement.* 13,31-42. (In Farsi with English abstract).

Razzaghi, F., Ahmadi, S. H., Adolf, V. I., Jensen, C. R., Jacobsen, S. E. and Andersen, M. N. (2011). Water relations and transpiration of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) under salinity and soil drying. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197, 348–360.

Reginato, M., Travaglia, C., Reinoso, H., Garello, F., Luna, V., 2016. Salt mixtures induce anatomical modifications in the halophyte Prosopis strombulifera (Fabaceae: Mimosoideae). *Flora*. 218, 75–85.

Sairam, R. K. and Tyagi, A. (2004). Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Current Science.* 86, 407-421.

Steffens, B., and Rasmussen, A. (2016). The Physiology of Adventitious Roots. Plant Physiology. 170:603-617.Shi, H., Chen, F. and Wang, H. (2011). Using the energy integral of soil water retention curve to evaluate the soil water availability, IEEE. Pp, 1632-1635.

Sun, J., Yang, G., Zhang, W. and Zhang, Y. (2016). Effects of heterogeneous salinity on growth, water uptake, and tissue ion concentrations of alfalfa. Plant and soil. DOI: 10.1007/s11104-016-2922-1.

Velmurugan, A., Swarnam, T.P., Ambast, S.K. and Kumar, N. (2016). Managing waterlogging and soil salinity with a permanent raised bed and furrow system in coastal lowlands of humid tropics. *Agriculture Water Managment.* 168, 56-67.

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 Agronomy Crop Science*. 198: 27–37.

Zhu, J. K. (2007). *Operator theory in function spaces.* First edition.

Archive of SID

www.SID.ir