

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: ۱۳۹۵/۶/۱۰ - 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 ۱۰ kPa، کلیه اجزای عملکرد گیاهان گندم و لوبیا (به غیر از وزن هزار دانه) که تحت شوری‌های کم تا متوسط بودند ($EC \leq 4 dSm^{-1}$ برای گندم و $EC \leq 4 dSm^{-1}$ برای لوبیا) کاهش یافتند، در حالی که در شوری‌های بالاتر، میزان آن‌ها تقریباً ثابت باقی ماند. وزن هزار دانه گندم و لوبیا در مکش‌های بالاتر از ۱۰ kPa 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 $EC \leq 4 dSm^{-1}$ با افزایش مکش ماتریک تا ۱۰ kPa، نسبت وزنی بخش هوایی به ریشه گندم کاهش یافت. در حالی که در EC‌های بالاتر این نسبت با مکش ماتریک روند افزایشی داشت. در مکش ۱۰ kPa 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

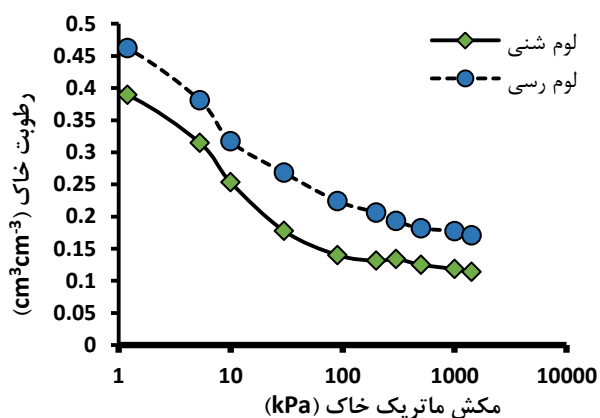
(Reginato *et al.*, 2016).

مقدمه

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). هنگامی که 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.*, 2013; Hasanuzzaman *et al.*, 2011). به طوری 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).

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

روش کج‌جدال (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 اندازه‌گیری گردید (Gee and Or, 2002). منحنی مشخصه رطوبتی خاک با استفاده از ستون آویزان آب (مکش‌های ماتریک ۰-۱۰ kPa) ، دستگاه صفحه فشاری (۳۰-۳۰۰ kPa) و دستگاه غشاء فشاری (۳۰۰ kPa) تعیین شد (Dane and Hopmans, 2002). برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی 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

گیاه گندم (*Triticum aestivum*)، به‌عنوان عمده‌ترین محصول غذایی، 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 ۳۰-۵۰ سانتی‌متری زمین‌های زراعی دانشگاه زنجان نمونه‌برداری شدند. سپس نمونه‌ها از الک ۲ میلی‌متر گذرانده شده و مقادیر ازت، N، به

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

| بافت | سیلت % | رس % | شن % | BD (Mgm ⁻³) | pH | EC (dS m ⁻¹) | N | P mgKg ⁻¹ | K |
|---------|--------|------|------|-------------------------|------|--------------------------|------|----------------------|-------|
| 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

شد تا گیاهان در مدت رشد با محدودیت غذایی مواجه نشوند. دانه‌های گیاهان لوبیا (*Phaseolus 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 ۳۳ kPa در نظر گرفته شد. مکش‌های ماتریک ۱۰-۲۰ kPa با استفاده از تانسئومترهای دست‌ساز (Meskini *et al.*, 2015) و

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۳ با ۸ ساعت تاریکی و ۱۴ ساعت روشنایی، با شدت تابش ۱۱-۱۴ کیلو لوکس، رطوبت نسبی حدود ۴۰ درصد و دمای ۲۵±۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد. خاک‌های مورد بررسی از الک ۸ میلی‌متر گذرانده شده و در گلدان‌هایی به ارتفاع ۰/۲۷ m قطر ۰/۲۶ m و سطح ۰/۰۵ m²، با جرم مخصوص ظاهری ۱/۲۵ Mgm⁻³ و برای خاک لوم شنی و ۱/۲۵ Mgm⁻³ برای خاک لوم رسی ریخته شدند. بر اساس نتایج تجزیه خاک (جدول ۱) و نیاز گیاهی، کودهای شیمیایی مورد نیاز به‌صورت محلول، در زمان‌های کاشت، گلدهی و پرشدن دانه به خاک گلدان‌ها افزوده

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 به آرامی 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.

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

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 ذکر شده (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).

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} برای آب آبیاری گیاه لوبیا و ECهای ۲، ۴، ۸، ۱۶ و dSm^{-1} برای آب آبیاری گیاه گندم بودند. جهت تهیه محلول‌های مذکور از نمک کلرید کلسیم و کلرید سدیم به نسبت ۳:۱ 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 به صورت 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 به دلیل عدم زهکشی و استفاده از تانسیومترهای معمولی، ابتدا گلدان‌ها با شوری‌های مشخص آبیاری شدند. هنگامی که 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

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

| | | میانگین مربعات | | | | | درجه آزادی | منبع تغییرات |
|-------|---------|----------------|--------|----------|----------|-----------|----------------------|--------------|
| RTD | Wr | Nsp | Hs | TKW | Ns | Ws | | |
| ۰/۱۷۳ | ۱۵/۲۵** | ۱۳۲/۷۴** | ۱۴۴۵** | ۷۳۳/۶۴** | ۱۱۹۷۸۰** | ۵۳۰/۲۳** | ۳ مکش ماتریک | |
| ۰/۱۷۴ | ۴۹/۸۶** | ۵۳۳/۲۷** | ۳۷۳۸** | ۷۹۸/۵۳** | ۵۰۹۳۵۹** | ۲۴۲۲/۶۳** | ۴ شوری | |
| ۰/۱۷۷ | ۱/۳۱ | ۵۴/۱۰** | ۵۱۴** | ۱۳۳/۳۷** | ۳۶۴۳۱** | ۱۵۹/۴۳۳** | ۱۲ شوری × مکش ماتریک | |
| ۰/۶۴ | ۰/۵۶ | ۵/۲۸ | ۲۶/۰۴ | ۱۵/۵۳ | ۴۲۴۸ | ۱۰/۳۶ | خطا | |
| ۴۳/۹۱ | ۱۷/۵۸ | ۱۸/۷۰ | ۹/۳۶ | ۱۸/۶۲ | ۲۲/۴۲ | ۱۴/۸۸ | CV | |

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

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

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

** و * به ترتیب بیانگر اثر معنی دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد می باشد.

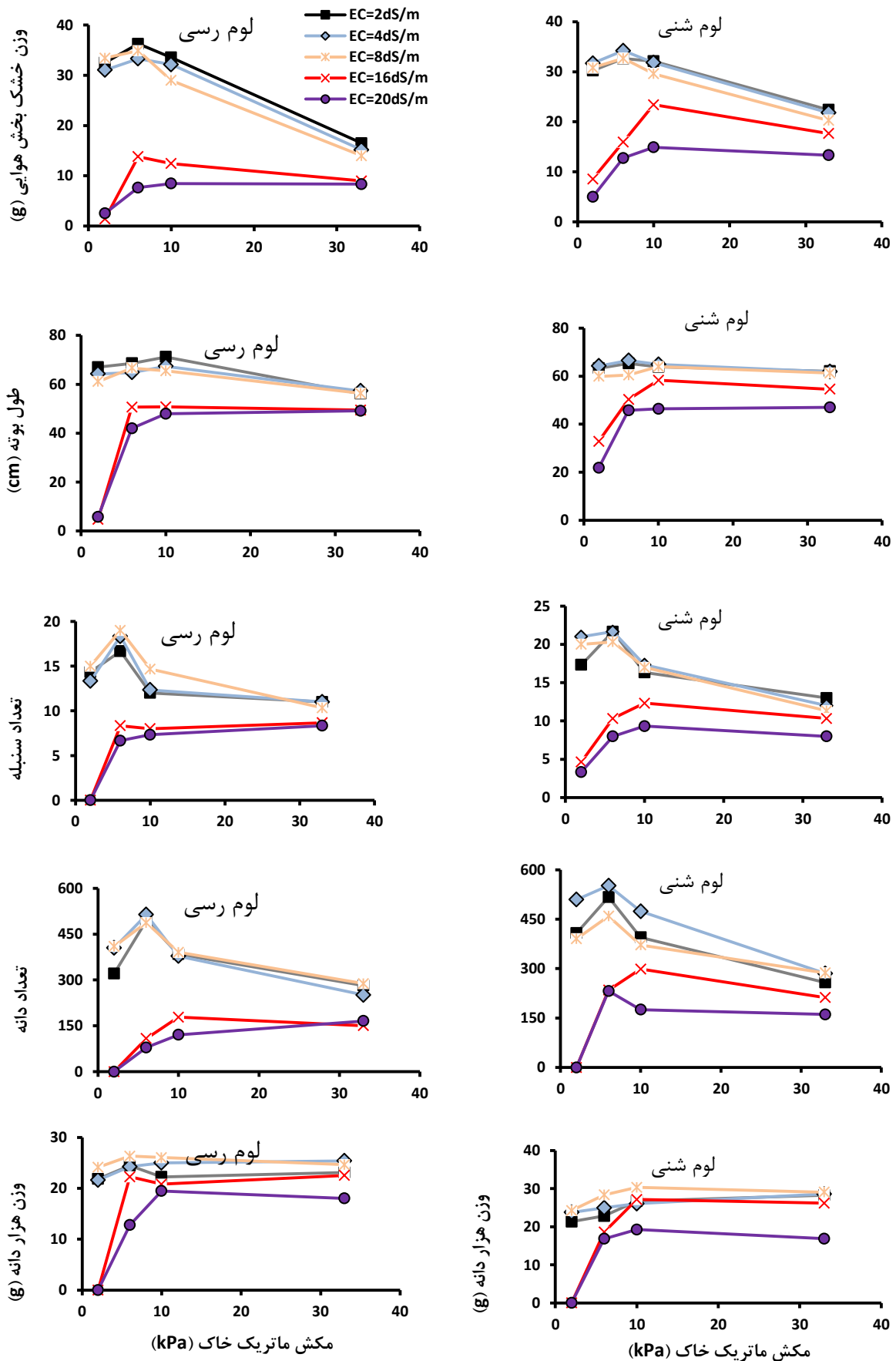
عملکرد بخش هوایی

شکل (۲) تغییرات عملکرد بخش هوایی گندم را به صورت تابعی از مکش ماتریک خاک نشان می دهد. در دو خاک لوم شنی و لوم رسی، همه اجزای عملکرد گندم در مکش ۲ kPa، نسبت به مکش های ۱۰-۶ kPa در $EC \leq 8 \text{ dSm}^{-1}$ و مکش های ۳۳-۶ kPa در $EC > 8 \text{ dSm}^{-1}$ کمتر بود. در مکش های ماتریک پایین، اغلب منافذ خاک را آب پر کرده و به همین دلیل انتقال و پخشیدگی اکسیژن به سختی صورت می گیرد. بنابراین گیاه با کمبود اکسیژن مواجه شده و جهت ذخیره انرژی، متابولیسم و سایر فعالیت های حیاتی خود را کاهش می دهد (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 می کند (Barrett-Lennard, 2003). نسبت به سایر اجزای عملکرد، اختلاف مقدار وزن دانه، در مکش ۲ kPa با سایر مکش ها 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 می باشد (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 تهویه ای 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 ۲ kPa در $EC > 8 \text{ dSm}^{-1}$ به شدت کمتر از سایر مکش ها بود. زیرا در این شرایط (تنش هم زمان شوری و تهویه) قابلیت جذب عناصر تحت تأثیر قرار می گیرد و مقدار و نسبت یون ها در بافت های گیاهی تغییر می کند (Sairam and Tyagi, 2004). در ادامه به دلیل کاهش عناصر ضروری و سمیت یون های نظیر سدیم، کلر و سولفات، رشد و عملکرد محصول کاهش می یابد (Barrett-Lennard, 2003). با افزایش مکش ماتریک و بهبود تهویه، میزان همه اجزای عملکرد گندم در هر

دو خاک و در همه سطوح شوری به خصوص در شوری های بالاتر از 8 dSm^{-1} افزایش یافت و در مکش های ۱۰-۶ kPa 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 کرده اند. در ادامه و با افزایش بیشتر مکش ماتریک ($h > 10 \text{ kPa}$) اجزای عملکرد گندم در شوری های بیشتر از 8 dSm^{-1} تقریباً ثابت ماند. در حالی که در مکش های بالاتر از ۱۰ kPa و تحت شوری های پایین تر ($EC > 8 \text{ dSm}^{-1}$)، به دلیل دور شدن از شرایط بهینه رطوبتی و کاهش آب سهل الوصول، همه اجزای عملکرد به جزء طول بوته و وزن هزار دانه در هر دو خاک کاهش یافت (شکل ۲). نتایج نشان داد که در شوری های کمتر از 8 dSm^{-1} ، تغییرات طول بوته با مکش ماتریک تقریباً ناچیز بود. به بیان دیگر در شوری های کمتر از آستانه، تنش تهویه ای (در مکش ۲ kPa) و یا کاهش آب قابل دسترس خاک برای گیاه (در مکش های بالاتر از ۱۰ kPa) اثر مشخصی بر طول بوته گندم نداشتند.

شوری های کمتر از آستانه اثر مشخصی بر اجزای عملکرد نداشت، در حالی که در سطوح بالاتر ($EC > 8 \text{ dSm}^{-1}$)، موجب کاهش شدید همه اجزای عملکرد گندم، به خصوص در مکش ۲ kPa 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 به طور معنی داری در سطوح بالای شوری (۵۰ میلی مولار NaCl) کاهش یافت و به درصد خالی بودن غلافها افزوده شد.

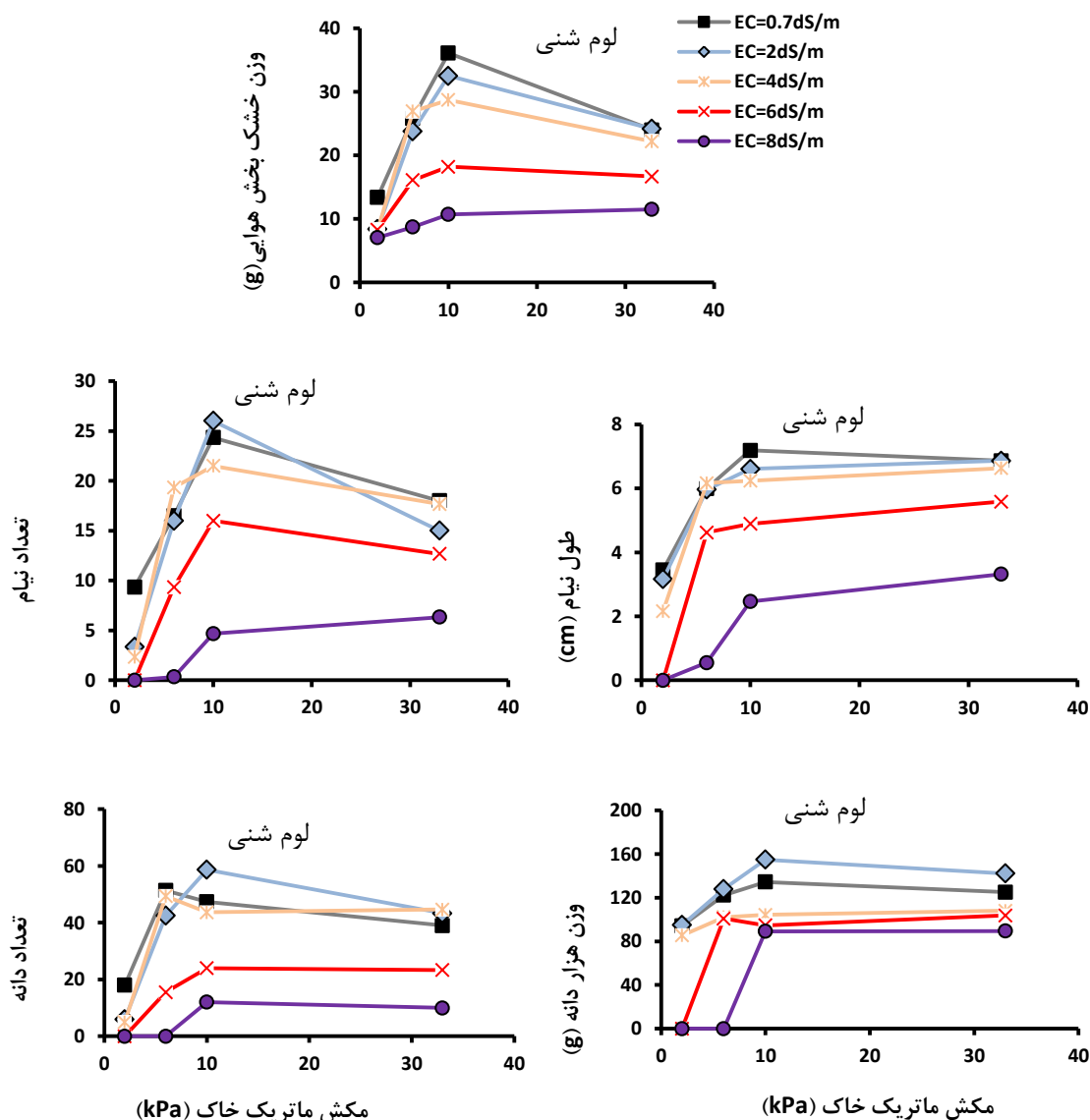
مقایسه کلی تغییرات اجزای عملکرد گندم در دو خاک لوم شنی و لوم رسی نشان داد که الگوی تغییرات در هر دو خاک تقریباً یکسان بود و بافت خاک تأثیر عمده ای بر روند تغییرات اجزای عملکرد با شوری و مکش ماتریک خاک نداشت.



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

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 ($EC \leq 4 dSm^{-1}$)، 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 $EC = 8 dSm^{-1}$ بود.

شکل (۳) تغییرات عملکرد بخش هوایی لوبیا را به صورت 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 ۱۰-۶ kPa 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 $EC \leq 4 dSm^{-1}$ بود کاهش یافت، در حالی که در شوری‌های بالاتر، میزان آن‌ها تقریباً ثابت باقی ماند. وزن هزار دانه لوبیا در مکش‌های بالاتر از ۱۰kPa در همه شوری‌ها ثابت



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

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 موپین 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 ۱۰-۶ kPa به بیشترین مقدار رسید. از آنجایی که در این مکش‌ها، رشد ریشه بیشترین مقدار را داشت، بنابراین تخلخل تهویه-ای در این مکش را می‌توان به‌عنوان تخلخل تهویه بحرانی معرفی کرد که معادل تخلخل تهویه $0.118 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (مکش ۱۰ kPa) در خاک لوپم شنی و $0.116 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (مکش ۶ kPa) در خاک لوم رسی بود (شکل ۱). این مقادیر مشابه مقادیر گزارش شده 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 ۱۰ kPa برای خاک لوم شنی و ۶ kPa 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 ریزافت 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).

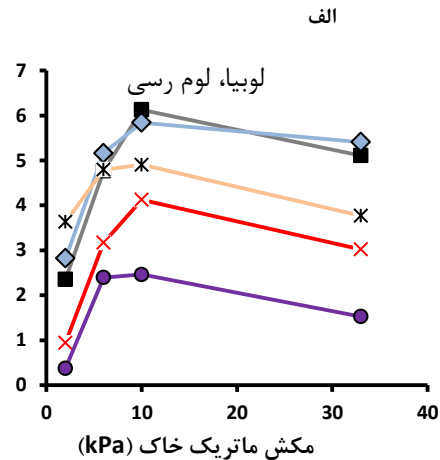
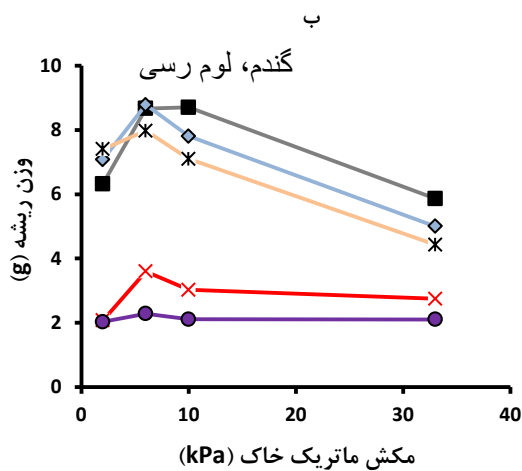
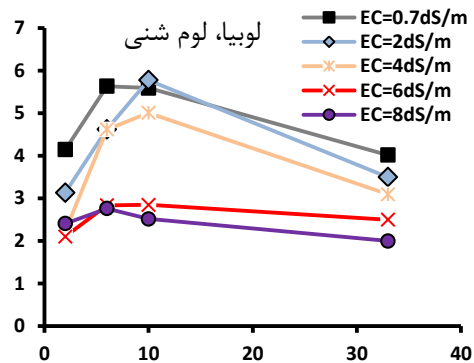
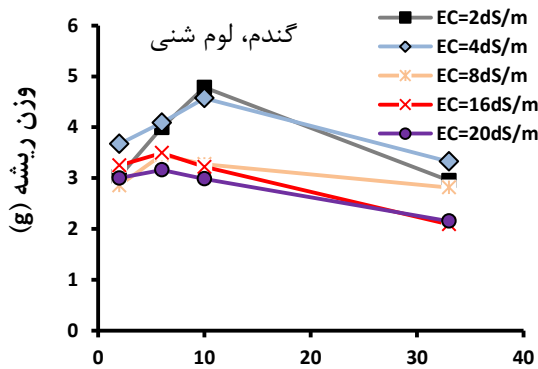
در مکش‌های بالاتر از ۱۰ kPa، به دلیل دور شدن از شرایط مناسب رطوبتی، کاهش قابلیت انتقال آب به طرف ریشه و افت جذب آب و عناصر غذایی، رشد ریشه گندم و لوبیا در هر دو خاک لوم رسی و لوم شنی کاهش یافت (شکل ۴).

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 $EC = 2.0 \text{ dSm}^{-1}$ برای گندم و $EC = 1.8 \text{ dSm}^{-1}$ برای لوبیا (در مکش ۲ kPa) دیده شد. زیرا شوری از طریق کاهش گسترش سلولی، جذب آب و مواد غذایی، سطح انرژی ATP و فتوسنتز، رشد ریشه را کاهش می‌دهد (Jiang *et al.*, 2016; Hasanuzzaman *et al.*, 2013). کردند که شوری بیشترین اثر را بر ریشه‌های موپین دارد و به-ویژه رشد طولی آن‌ها را به‌شدت کاهش می‌دهد.

شکل‌های (۲ و ۳) نشان می‌دهند که به دلیل حساسیت بالای لوبیا به تنش تهویه‌ای، کمترین مقدار وزن خشک لوبیا در مکش ۲ kPa بود. در صورتی که به دلیل مقاومت بیشتر گندم به شرایط کمبود تهویه و توانایی سازگاری آن با این شرایط، کمترین مقدار وزن خشک گندم در مکش ۳۳ kPa 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 ($EC = 2 \text{ dSm}^{-1}$ برای گندم و $EC = 0.7 \text{ dSm}^{-1}$ برای لوبیا) بود (شکل ۲ و ۳). از مهمترین علل کاهش رشد گیاه در شوری‌های بالا، سمیت یونی است (Zhu, 2007). به‌علاوه نمک-های 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. به‌علاوه، افزایش غلظت نمک‌ها بیش از آستانه تحمل گیاه، از ساخت ملکول‌های کلروفیل جلوگیری کرده و موجب کاهش کارایی فتوسنتز به‌عنوان مهم‌ترین عامل تولید می‌شود. در همه مکش‌ها، کمترین مقدار همه اجزای عملکرد، تحت $EC = 2.0 \text{ dSm}^{-1}$ برای گندم و $EC = 1.8 \text{ dSm}^{-1}$ برای لوبیا بود. این افت مقدار در مکش ماتریک ۲ kPa 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 ۲ kPa، تفاوت زیادی بین میزان عملکرد گندم تحت EC ‌های کم تا متوسط ($1-2.0 \text{ dSm}^{-1}$) و میزان عملکرد آن تحت EC ‌های بالا ($1-2.0 \text{ dSm}^{-1}$) دیده شد. با افزایش مکش این تفاوت کمتر شده و در مکش ماتریک ۳۳ kPa 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 ($2.0-2.0 \text{ dSm}^{-1}$) برای گندم و $0.7-1.8 \text{ dSm}^{-1}$ برای لوبیا) و در نتیجه اثر تشدید 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 ۲ kPa، 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



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

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 به طور 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 به طور خطی با افزایش زمان غرقابی کاهش یافت. نتایج نشان داد که شوری موجب کاهش چگالی ریشه شد و کمترین مقادیر آن در شوری 8 dSm^{-1} برای لوبیا و 20 dSm^{-1} برای گندم به‌ویژه در مکش ۶ kPa بود (شکل ۵). زیرا با افزایش شوری، رشد ریشه و گسترش ریشه‌های موئین به شدت کاهش

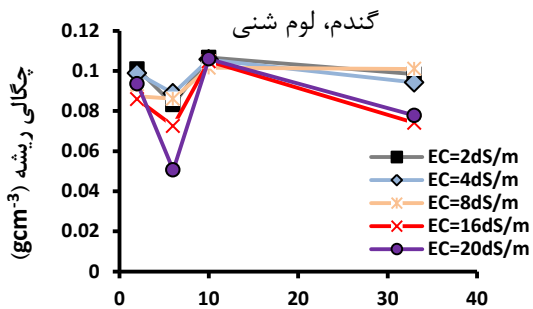
به‌طور کلی به نظر می‌رسد در خاک لوم رسی (شکل ج و د ۴)، اثر شوری بر وزن خشک ریشه بیشتر از خاک لوم شنی بود (شکل الف و ب ۴). دلیل احتمالی این تفاوت را می‌توان به پروفیل توزیع نمک در دو خاک نسبت داد. مقایسه دو گیاه نشان داد که به دلیل حساسیت بالای لوبیا به تنش تهویه‌ای، کمترین مقدار وزن ریشه لوبیا در مکش ۲ kPa دیده شد. در حالی که در گیاه گندم به‌ویژه در خاک لوم شنی، کمترین وزن ریشه در مکش ۳۳ kPa دیده شد (شکل ۴). زیرا در مکش‌های پایین و تنش تهویه‌ای خاک، گندم با تولید ریشه‌های نابجا و بافت آثراننشیمی، می‌تواند تا حدودی خود را با شرایط سازگار کند (Steffens and Rasmussen, 2016). بنابراین وزن ریشه این گیاه در مکش ۲ kPa، بیشتر از سایر مکش‌ها بود (شکل ۴).

چگالی ریشه

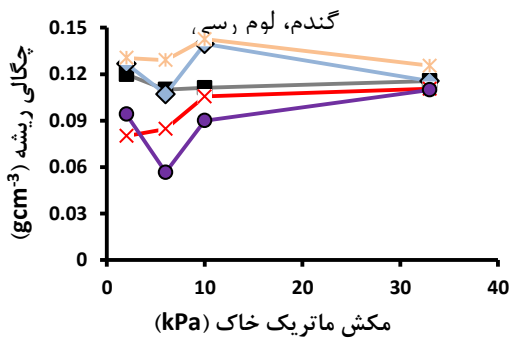
شکل (۵) نشان می‌دهد که کمترین مقدار چگالی ریشه گندم و لوبیا در مکش ماتریک ۶ kPa بود که نشان‌دهنده افزایش حجم

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.

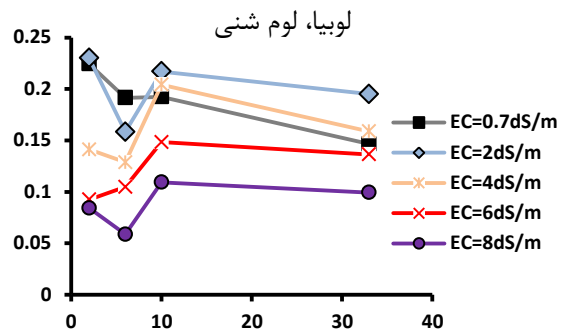
ب



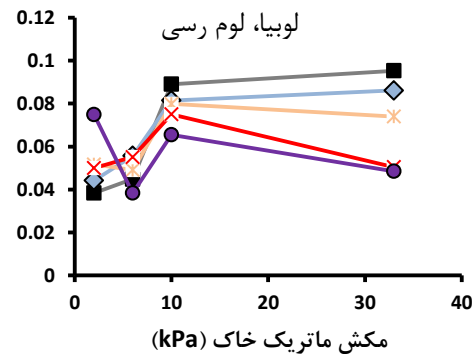
د



الف



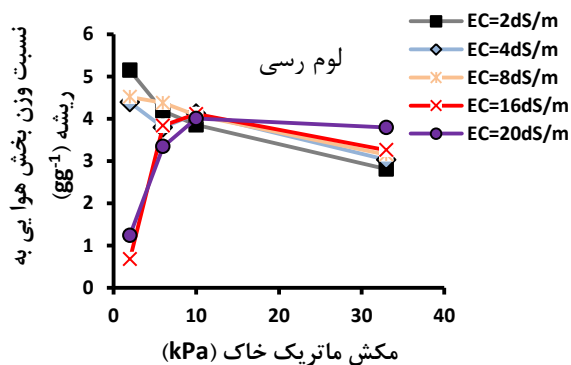
ج



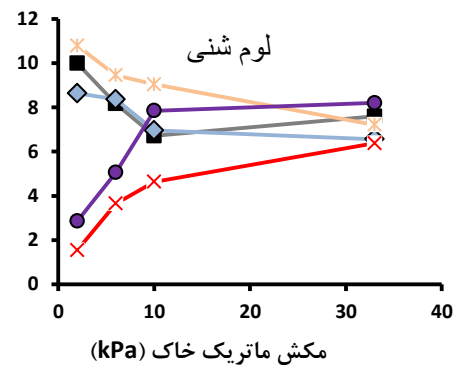
شکل ۵. تغییرات حجم ریشه به صورت تابعی از مکش ماتریک خاک تحت شوری‌های مختلف در خاک لوم شنی و لوم رسی

کاهش یافت. در حالی که در ECهای بالاتر، با افزایش مکش ماتریک روند افزایشی داشت (شکل ۶). محل تلاقی این دو روند در خاک لوم شنی تحت مکش ۱۰ kPa و در خاک لوم رسی تحت مکش ۳۳ kPa 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 ماتریک تغییر نکرد و تقریباً ثابت ماند.

ب



الف



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

نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان داد که در مکش‌های پایین خاک ($h \geq 2 \text{ kPa}$)، 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 $0.118 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (مکش 10 kPa) در خاک لوم رسی و $0.16 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (مکش 60 kPa) 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 ($h \geq 2 \text{ kPa}$) 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، به دلیل 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 در صورت نبود آب کافی و متناسب با منابع آبی مختلف (از نظر کیفی و کمی) بهترین شرایط رطوبتی برای گیاهان مختلف در خاک‌های متفاوت مشخص گردد.

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 dSm^{-1} 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 به شدت 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 (شکل ۶). 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 3.3 kPa ، نسبت وزنی بخش هوایی به ریشه گندم، تحت 1 dSm^{-1} EC، در هر دو خاک بیشتر از سایر شوری‌ها شد (شکل ۶). Sun et al., (2016) نیز گزارش کردند که در سطوح بالای شوری (۲۲۵ مولار NaCl) نسبت ساقه به ریشه یونجه ۲۳ درصد کاهش یافت در صورتی‌که تحت سطوح پایین تا متوسط (۱۵۰-۰ مولار NaCl) فرآورده‌های 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.

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 for Soils, Plants and Water 2(Edn.), CaliforniandUniversity, 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.
- Coochi 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.

- 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 Physiology*. 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., Esfehiani, 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., Polthane, A., Akkasaeng, C. and Younger, A. (2011). A flood-free period combined with early planting is required to sustain yield of pre-rice sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. 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 Management*. 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.