

## اثر شوری خاک بر غلظت عناصر غذایی بخش هوایی گندم و لوبیا در مکش‌های ماتریک پایین

مهناز ختار<sup>۱</sup>، محمد حسین محمدی<sup>۲\*</sup>، فرید شکاری<sup>۳</sup>

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

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

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

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱/۲۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۳/۲۹)

### چکیده

در این پژوهش اثر تیمارهای مکش ماتریک (۲-۳۳۰ kPa) و شوری (ECهای ۲-۲۰ dSm<sup>-1</sup> برای گندم و ۰/۷-۸ dSm<sup>-1</sup> برای لوبیا) بر غلظت عناصر غذایی گندم و لوبیا در دو خاک لوم رسی و لوم شنی به صورت کشت گلدانی بررسی شد. در هر دو گیاه، با افزایش مکش ماتریک، غلظت پتاسیم افزایش و غلظت سدیم کاهش یافت. با افزایش مکش ماتریک، غلظت نیتروژن و کلسیم گندم و لوبیا افزایش یافته و در مکش‌های ۱۰-۶ kPa به بیشترین مقدار رسید. در مکش‌های بالاتر، غلظت نیتروژن کاهش یافت و غلظت کلسیم تقریباً ثابت ماند. همچنین، بیشترین میزان آهن و روی در هر دو گیاه در مکش ماتریک ۲ kPa مشاهده شد. هنگامی که، مکش ماتریک افزایش یافت (۶-۲ kPa)، غلظت آهن و روی به شدت کاهش پیدا کرد و در مکش‌های بالاتر در هر دو خاک تقریباً ثابت ماند. شوری موجب افزایش غلظت کلسیم و آهن و کاهش غلظت پتاسیم گندم و لوبیا گردید ولی اثر مشخصی بر میزان غلظت نیتروژن، سدیم و روی نداشت. مکش‌های کم، با ایجاد کمبود تهویه، تنش شوری را تشدید کردند. به علاوه، مقایسه دو گیاه گندم و لوبیا، نشان داد که به دلیل حساسیت بالای لوبیا، تغییرات غلظت عناصر آن با تیمارهای شوری و مکش ماتریک خاک بیشتر از گندم بود.

واژه‌های کلیدی: تخلخل تهویه‌ای، تنش شوری، تنش تهویه، مکش ماتریک خاک

### مقدمه

شوری یکی از تنش‌های اصلی و عمده محدود کننده رشد گیاهان در جهان می‌باشد (Zhang et al., 2011). مساحت خاک‌های شور به شدت در حال افزایش است، به طوری که وسعت آن‌ها تقریباً به ۱۹۰ میلیون هکتار در جهان رسیده است (FAO, 2010). 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). همچنین شوری هدایت هیدرولیکی سلول‌های ریشه را متأثر کرده و منجر به کاهش قابل توجه در جذب آب می‌گردد (Azaizeh et al., 1992). از آنجایی که جذب عناصر غذایی همراه با آب صورت می‌گیرد، بنابراین با کاهش جذب آب، جذب آن‌ها نیز کاسته می‌شود. با افزایش شوری، دیواره سلولی گیاهان سخت شده و به تبع آن جذب آب و مواد غذایی کاهش می‌یابد (Davis and Zhang, 1991). به

علاوه شوری باعث سمیت یون‌های ویژه (Romero and Maranon, 1996)، رقابت آن‌ها با جذب سایر عناصر غذایی و عدم تعادل یون‌ها در گیاه می‌شود (Zhu, 2002). عدم تعادل یون‌ها در گیاه نیز حمل و نقل و تفکیک عناصر غذایی در بخش‌های مختلف گیاه را مختل کرده و منجر به غیرفعال کردن واکنش‌های فیزیولوژیکی بعضی از عناصر غذایی و تجمع آن‌ها در گیاه می‌گردد (Grattan and Grieve, 1998). مطالعات متعدد، نشان داده است که در شرایط شور، غلظت و نسبت یون‌های سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، کلر و نترات در برگ‌ها تغییر می‌کنند (Sholi, 2012). Essa (2002) اثر سطوح مختلف شوری بر غلظت عناصر غذایی موجود در برگ سه رقم سویا را مطالعه و گزارش کرد که کمترین غلظت عناصر غذایی در تمام ارقام، تحت بیشترین سطح شوری بود. غلظت بالای یون سدیم و کلرید در محلول خاک، باعث افزایش غلظت یون سدیم نسبت به یون‌های پتاسیم، کلسیم، منیزیم و غلظت یون کلرید نسبت به یون نترات می‌شود. در نتیجه گیاه، مستعد تنش اسمزی، آسیب اختصاصی یونی و اختلالات تغذیه‌ای می‌گردد (Grattan and Grieve, 1998).

\* نویسنده مسئول: mhmohmad@ut.ac.ir

شدت بیشتری کاهش می‌یابد (PessaraKli, 2010). Przywara *et al.* (2001) کمترین مقدار جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در شرایط کمبود اکسیژن را ۲۰ تا ۴۰ درصد مقدار جذب این عناصر در شرایط حضور اکسیژن کافی گزارش نمودند. Trought and Drew (1980) مشاهده کردند که غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم قسمت‌های هوایی گیاه گندم بلافاصله پس از آغاز غرقاب شدن خاک کاهش یافت.

در مجموع نیمی از اراضی زیر کشت کشور ایران تحت کشت گندم (*Triticum a.*)، به عنوان محصول عمده غذایی می‌باشد. همچنین لوبیا مهم‌ترین گونه حبوبات نیز به عنوان دومین منبع غذایی بشر پس از غلات و عمده‌ترین منبع پروتئین گیاهی محسوب می‌شود (Bagheri *et al.*, 2006; Abedi *et al.*, 2005). به همین دلیل، با توجه به اثر بالای تنش‌های شوری و تهویه بر میزان غلظت عناصر غذایی گیاهان و همچنین اهمیت اقتصادی گیاهان گندم و لوبیا، مطالعه روند تغییرات غلظت عناصر غذایی در این گیاهان تحت تنش‌های مذکور بسیار ضروری می‌باشد. اهداف این پژوهش عبارتند از: ۱) بررسی اثر دامنه رطوبتی نزدیک اشباع تا ظرفیت زراعی خاک بر غلظت عناصر غذایی بخش هوایی گندم و لوبیا در دو خاک با بافت متفاوت، ۲) بررسی اثر شوری خاک بر تغییرات غلظت عناصر غذایی بخش هوایی گندم و لوبیا، و ۳) مقایسه اثر هم‌زمان شوری و مکش ماتریک خاک بر غلظت عناصر غذایی مختلف دو گیاه

### مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل و با طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. دو خاک با بافت‌های لوم رسی و لوم شنی غیر شور، از لابه‌های ۳۰-۰ سانتی‌متری زمین‌های زراعی دانشگاه زنجان نمونه‌برداری شد. میزان کربنات کلسیم ( $\text{CaCO}_3$ ) معادل، نیتروژن (N)، فسفر (P)، پتاسیم (K)، سدیم (Na) و کلسیم (Ca)، آهن (Fe) و روی (Zn)، رسانایی الکتریکی در عصاره ۱:۱ (EC) و PH خاک در عصاره ۱:۱ به ترتیب مطابق روش‌های خنثی‌سازی با HCl (Allison and Moodi, 1965)، کج‌دال (Chapman, and Pratt, 1982)، Olsen *et al.* (1954)، استات آمونیوم (Chapman and Pratt, 1982)، با عصاره‌گیر DTPA (Lindsay and Norvell, 1978) و Thomas (1996) اندازه‌گیری شد. منحنی توزیع اندازه ذرات خاک (PSD) به روش هیدرومتر و الک تعیین گردید (Gee and Or, 2002).

همچنین جهت تعیین منحنی مشخصه رطوبتی خاک، از ستون آویزان آب (مکش‌های ماتریک ۰/۱ - ۱۵KPa)، دستگاه

قسمت وسیعی از زمین‌های شور با مشکل تهویه دائمی یا متناوب مواجه‌اند (Barrett-Lennard, 2003). در خاک‌های شور با تهویه نامناسب، اثر شوری تشدید شده و به علت تغییر قابلیت جذب عناصر، مقدار و نسبت یون‌ها در بافت‌های گیاهی تغییر می‌کند (Sairam and Tyagi, 2004). به عنوان مثال Barrett-Lennard (2003) نشان داد که در خاک اشباع، با افزایش شوری سمیت یون‌هایی نظیر سدیم، کلر و سولفات تشدید شد. ورود بیش از حد یون‌های سدیم و کلر به ریشه و انتقال سریع آن‌ها به ساقه از علل این امر بود. Allen *et al.* (1994) دریافتند که اثر ترکیبی تنش‌های شوری و تهویه‌ای بر زیست توده بخش هوایی بیشتر از ریشه بود. به صورتی که در شوری‌های پایین، نسبت سدیم به کلسیم و پتاسیم بافت ریشه‌ای ثابت ماند. البته در شوری‌های بالا این نسبت‌ها در ریشه نیز افزایش چشم‌گیری نشان داد که نشان دهنده عدم تعادل یونی و تخریب غشای سلولی در بافت ریشه بود (Allen *et al.*, 1994). Najafi *et al.* (2013) اثر سطوح مختلف شوری در زمان‌های مختلف غرقابی را بر گیاه ذرت بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که غلظت آهن بخش هوایی و ریشه به مدت غرقاب و یا تنش تهویه‌ای بستگی داشت و بیشترین غلظت آن در شرایط غیر غرقاب و بدون شوری بود. کاهش غلظت آهن در شرایط تنش شوری و تهویه‌ای به علت کاهش سرعت تنفس ریشه، کاهش تولید ATP و در نتیجه مختل شدن جذب فعال آهن به وسیله ریشه می‌باشد (Marschner, 1995a). Najafi (2015) مشاهده کرد که در تیمارهای شوری، غلظت پتاسیم، کلسیم و منیزیم ذرت کاهش و غلظت سدیم افزایش یافت. در حالی که در تیمارهای غرقاب، غلظت کلسیم کاهش و غلظت پتاسیم، منیزیم و سدیم افزایش پیدا کرد.

در خاک‌هایی با تخلخل تهویه‌ای پایین، بعلا پیچیدگی و انتقال کم اکسیژن، سرعت جذب آب توسط گیاه محدود است (PromKhambut *et al.*, 2011; Mohammadi *et al.* 2010). در این شرایط، هدایت هیدرولیکی ساقه و ریشه پایین بوده و موجب کاسته شدن فشار تورمی می‌شود (Else *et al.*, 1995). بنابراین منافذ روزنه‌ای بسته شده و در ادامه جذب عناصر غذایی در گیاه مختل می‌گردد (Pedersen *et al.*, 2009). به علاوه شدت جذب آب و مواد غذایی توسط گیاه به قطر و طول ریشه و میانگین تراکم ریشه‌های موئین بستگی دارد. در شرایط تنش اکسیژن، به دلیل نبود انرژی کافی و آسیب دیدن فیزیولوژی گیاه، رشد ریشه کم شده و کاهش جذب آب و املاح تشدید می‌شود (Bhattarai *et al.* 2005). در این شرایط، غلظت عناصر غذایی پر مصرف در گیاه به خصوص نیتروژن، فسفر و پتاسیم با

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی در جدول (۱) و منحنی رطوبتی دو خاک در شکل (۱) آمده است.

صفحه فشار (۳۰-۳۰۰ kPa) و دستگاه غشای فشار (Dane and Hopman, 2002) استفاده شد (h>۳۰۰kPa) (شکل ۱).

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

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

BD: جرم مخصوص ظاهری

استقرار کامل گیاهان، تیمارهای شوری و مکش ماتریک خاک بر گیاهان اعمال شد.

#### تیمارهای مکش ماتریک

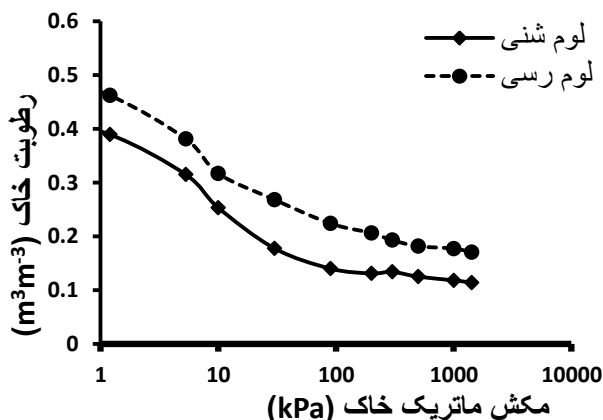
بر اساس هدف آزمایش که بررسی تغییرات غلظت عناصر غذایی گیاهان در خاک‌های خیس (نزدیک اشباع تا ظرفیت زراعی) بود، تیمارهای مکش ماتریک خاک ۲، ۶، ۱۰ و ۳۳kPa انتخاب شدند. جهت اعمال مکش‌های ماتریک ۱۰-۲ kPa از تانسیمترهای دست‌ساز (Meskini et al., 2015) و برای مکش ماتریک ۳۳ kPa از تانسیمتر استاندارد استفاده شد. تانسیمتر دست‌ساز متشکل از یک کلاهک متخلخل در داخل خاک گلدان‌ها و یک لوله (شیلنگ) که از بالا متصل به کلاهک و از انتها، در بطری آبی با سطح پایه مشخص قرار داشت، بود. اختلاف ارتفاع مشخصی بین سطح آب پایه و وسط کلاهک داخل خاک وجود داشت که بر اساس اصول ستون آویزان آب، مکش ماتریک خاک را (بر گرفته از دستگاه جعبه شن Sand box) کنترل می‌کرد (Meskini et al., 2015).

#### تیمارهای شوری

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

در کل 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.

هر روز گلدان‌ها (مکش‌های ۲-۶kPa) با محلول‌های مشخص آبیاری شده (شستشو شده) و با استفاده از تانسیمترهای دست‌ساز، رطوبت گلدان‌ها در مکش مورد نظر کنترل می‌شد. بنابراین تغییرات رطوبت و به تبع آن تغییرات



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

#### کشت گیاهان

کشت در گلخانه تحقیقاتی گروه خاکشناسی دانشگاه زنجان (36°41' N 48°24' E) و ارتفاع ۱۶۵۱ متر) در دو سال متوالی (۱۳۹۳ و ۱۳۹۴) با ۸ ساعت تاریکی و ۱۶ ساعت روشنایی با شدت تابش ۱۱ تا ۱۴ کیلو لوکس، بسته به ساعات روز با نور طبیعی یا توسط نور لامپ و رطوبت نسبی ۴۰ درصد انجام شد. در طول دوره رشد دمای گلخانه در دامنه ۱۸ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد حفظ گردید. خاک‌های مورد بررسی در گلدان‌هایی به ارتفاع ۰/۲۷ m و قطر ۰/۲۶ m با جرم مخصوص ظاهری مشخص ۱/۵ و ۱/۲۵ Mgm<sup>-3</sup> به ترتیب برای خاک لوم شنی و لوم رسی) ریخته شدند. بر اساس نتایج تجزیه خاک (جدول ۱) و نیاز گیاهی، کودهای شیمیایی مورد نیاز به صورت محلول، قبل از کاشت، زمان گلدهی و زمان پرشدن دانه به خاک گلدان‌ها افزوده شد تا گیاهان بدون وجود محدودیت غذایی رشد کنند. دانه‌های گیاهان لوبیا (*Phaseolus vulgaris* cv. *COS16*) و گندم (*Triticum aestivum* cv. *Mahdavi*) به صورت مجزا در داخل گلدان‌های مذکور در درجه اشباع ۳۸ درصد برای خاک لوم شنی و ۵۰ درصد برای خاک لوم رسی (در ظرفیت زراعی) کشت شده و پس از جوانه‌زدن گیاهان، ۴ گیاهچه لوبیا و ۸ گیاهچه گندم در گلدان‌های مربوطه حفظ گردید. پس از

بین آن‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن بررسی شد. نمودارها با نرم‌افزار Excel 2013 رسم گردید.

## نتایج و بحث

### عملکرد بخش هوایی

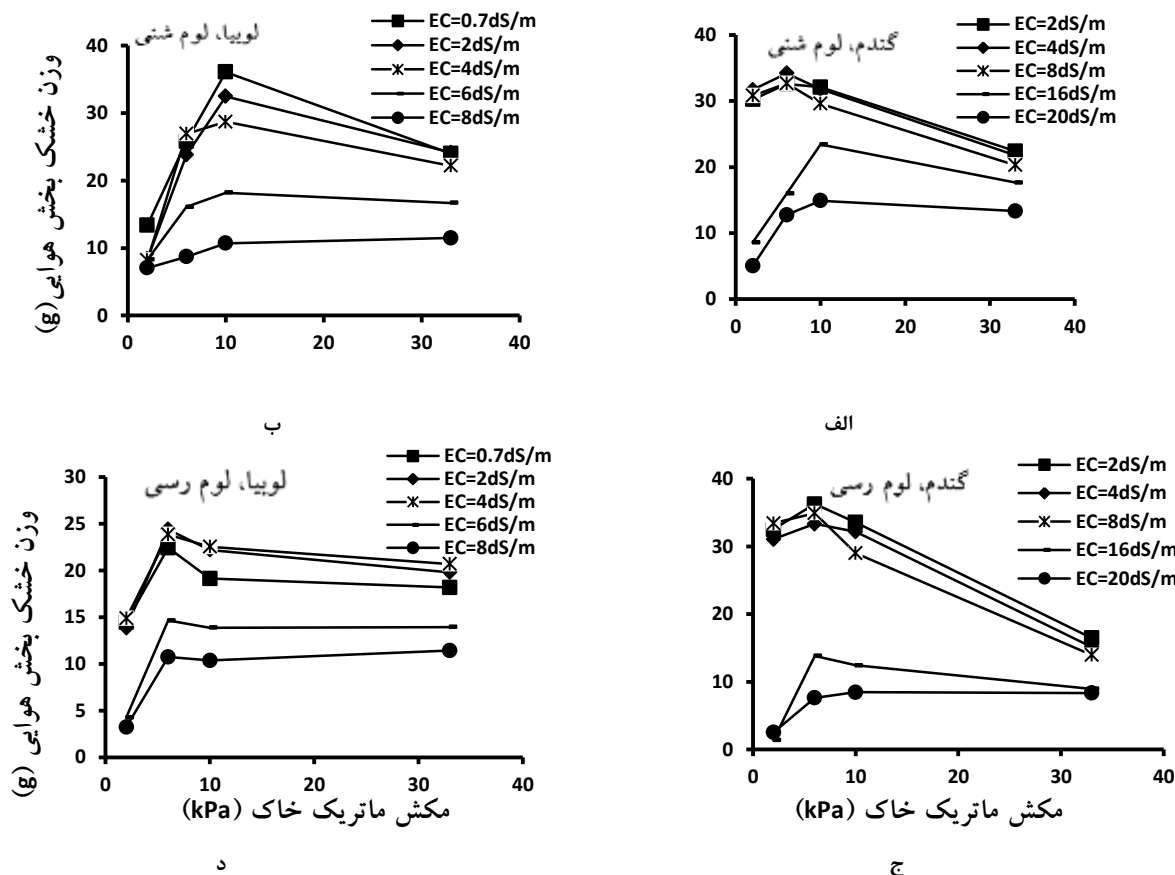
تغییرات وزن خشک بخش هوایی گندم و لوبیا به صورت تابعی از مکش ماتریک خاک در شکل (۲) آمده است. نتایج نشان داد که در مکش ۲ kPa به دلیل کمبود اکسیژن، عملکرد گندم و لوبیا در خاک لوم شنی و لوم رسی پایین بود. در این شرایط، کاهش جذب آب و بسته شدن استومات، منجر به افت نرخ فتوسنتز و نفوذپذیری ریشه شده و رشد رویشی و زایشی گیاه را محدود می‌کند (Brown *et al.*, 1960). بنابراین در این شرایط، به ویژه تحت شوری‌های بالا، بخش هوایی هر دو گیاه به شدت زرد شده و علائم سوختگی در برگ‌های آن‌ها مشاهده شد. با افزایش مکش و بهبود تهویه، عملکرد گندم و لوبیا افزایش یافت و در مکش ماتریک ۱۰-۶ kPa به بیشترین مقدار رسید. لازم به ذکر است که بیشترین شدت سبزی‌نگی در همه سطوح شوری، در این مکش‌ها دیده شد.

شوری خاک وجود نداشت. در مکش ماتریک ۳۳ kPa به دلیل عدم زهکشی و استفاده از تانسومتر استاندارد، ابتدا گلدان‌ها با شوری‌های مشخص آبیاری شدند. هنگامی که شوری خاک به میزان مورد نظر رسید، ادامه آبیاری با آب مقطر صورت گرفت.

### اندازه‌گیری عناصر غذایی گیاه

در پایان فصل رشد و پس از رسیدگی کامل دانه‌ها، قسمت هوایی گیاهان برداشت شده و در داخل آون، با دمای ۷۰ درجه، سلسیوس به مدت حداقل ۷۲ ساعت خشک و وزن شدند. سپس نمونه‌ها با اسید سولفوریک هضم شد و عصاره‌های گیاهی آن‌ها تهیه شد (Cresser and Parsons, 1979). در ادامه، غلظت پتاسیم عصاره‌ها با دستگاه فلیم فتومتر (Jenway, PFP-7, UK) و غلظت کلسیم، سدیم، روی و آهن آن‌ها توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر (SpectraAA.20 Varian) اندازه‌گیری گردید (Cresser and Parsons, 1979). همچنین جهت اندازه‌گیری نیتروژن گیاهان، عصاره نمونه‌ها، تقطیر و با اسید سولفوریک تیترو شد و غلظت نیتروژن بخش هوایی گیاهان محاسبه گردید (Bremner and Mulvaney, 1982).

برای تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات بدست آمده، از نرم-افزار SAS 9.1.3 استفاده شد. اثر تیمارها و همچنین اثر متقابل



شکل ۲- تغییرات وزن خشک بخش هوایی به صورت تابعی از مکش ماتریک خاک تحت شوری‌های مختلف، الف- گندم و ب- لوبیا در خاک لوم شنی و ج گندم و د- لوبیا در خاک لوم رسی.

متوسط ( $2-8 \text{ dSm}^{-1}$ ) و میزان عملکرد آن تحت ECهای بالا ( $16-20 \text{ dSm}^{-1}$ ) دیده شد. با افزایش مکش این تفاوت کمتر شد و در مکش ماتریک  $33 \text{ kPa}$  به حداقل رسید. تفاوت اجزای عملکرد گندم و لوبیا در مکش ماتریک کم، به این دلیل بود که گیاه گندم تحت دامنه وسیعتری از شوری رشد کرد و در نتیجه اثر تشدید آن بر تنش تهویه مشهودتر بود (شکل ۲).

#### غلظت عناصر غذایی بخش هوایی

تجزیه واریانس اثر شوری و مکش ماتریک خاک بر غلظت عناصر غذایی بخش هوایی گندم و لوبیا به ترتیب در جدولهای ۲ و ۳ آورده شده است. نتایج نشان داد که اثر مکش ماتریک خاک بر غلظت کلسیم در اندامهای هوایی لوبیا در سطح آماری ۵ درصد و بر میزان سایر عناصر غذایی لوبیا و همچنین بر تمام عناصر غذایی گندم در سطح آماری ۱ درصد معنی دار بود.

اثر شوری بر میزان غلظت پتاسیم، کلسیم و آهن گندم و پتاسیم و آهن لوبیا در سطح آماری ۱ درصد و همچنین بر غلظت کلسیم لوبیا در سطح آماری ۵ درصد معنی دار بود. اثر متقابل مکش ماتریک و شوری نیز بر غلظت کلسیم، نیتروژن و آهن گندم و کلسیم لوبیا در سطح آماری ۱ درصد و بر غلظت سدیم لوبیا در سطح آماری ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۲ و ۳).

در خاک لوم شنی و لوم رسی و در مکشهای بیشتر از  $10 \text{ kPa}$ ، عملکرد گیاهان گندم و لوبیا در ECهای کم تا متوسط ( $2-8 \text{ dSm}^{-1}$  برای گندم و  $0.7-4 \text{ dSm}^{-1}$  برای لوبیا) کاهش یافت در حالی که در ECهای بالاتر ( $16-20 \text{ dSm}^{-1}$  برای گندم و  $16-20 \text{ dSm}^{-1}$  برای لوبیا)، میزان آنها تقریباً ثابت باقی ماند. کاهش عملکرد گندم و لوبیا در مکشهای بالاتر از  $10 \text{ kPa}$  را می توان به دور شدن از شرایط مکش بهینه خاک نسبت داد. تیمار شوری در سطوح پایین تا متوسط ( $EC=2-8 \text{ dSm}^{-1}$ ) برای گندم و  $EC=0.7-4 \text{ dSm}^{-1}$  برای لوبیا) اثر مشخصی بر عملکرد هر دو گیاه نداشت. ولی در سطوح بالاتر ( $EC>8 \text{ dSm}^{-1}$ ) برای گندم و  $EC>4 \text{ dSm}^{-1}$  برای لوبیا)، منجر به کاهش عملکرد گندم و لوبیا در هر دو خاک شد. این نتیجه قابل مقایسه با مشاهدات *Razzaghi et al.* (2011) می باشد. از مهمترین علل کاهش رشد گیاه در شوریهای بالا، سمیت یونی و کاهش جذب آب و عناصر غذایی است (Zhu, 2007). در همه مکشها، کمترین مقدار عملکرد، تحت  $EC=20 \text{ dSm}^{-1}$  برای گندم و  $EC=8 \text{ dSm}^{-1}$  برای لوبیا بود. این اثر در مکش ماتریک  $2 \text{ kPa}$  بیشتر بود (شکل ۲). زیرا شوری، اثر کمبود تهویه را تشدید کرد. در مکشهای ماتریک کم، اثر شوری بر اجزای عملکرد گندم بارزتر از لوبیا بود (شکل ۲). به طوری که در مکش ماتریک  $2 \text{ kPa}$ ، تفاوت زیادی بین میزان عملکرد گندم تحت ECهای کم تا

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر شوری (EC) و مکش ماتریک خاک بر میزان غلظت پتاسیم (%K)، کلسیم (%Ca)، سدیم ( $\text{mgg}^{-1}$ , Na)، آهن ( $\text{mgKg}^{-1}$ , Fe)، روی ( $\text{mgKg}^{-1}$ , Zn) و نیتروژن (%N) در بخش هوایی گندم

میانگین مربعات						درجه آزادی	منبع تغییرات
N	Zn	Fe	Na	Ca	K		
۵/۲۵**	۵۶۱/۸۵**	۱۰۲۶۵/۵۹**	۴۰/۱۷**	۲/۴۷**	۰/۳۴**	۳	مکش ماتریک
۰/۲۳	۳۰/۵۲	۴۰۸۳/۶۸**	۰/۲۸	۴/۶۴**	۰/۶۶**	۴	شوری
۰/۳۶**	۲۳/۱۶	۲۸۹۱/۳۲**	۰/۱۴	۰/۳۱**	۰/۰۳	۱۲	شوری × مکش ماتریک
۰/۰۶	۱۷/۸۰	۷۷/۰۳	۰/۳۸	۰/۱۱	۰/۰۳		خطا
۱۶/۲۰	۱۸/۲۴	۱۶/۳۵	۲/۴۰	۲۱/۷۵	۱۰/۰۹		ضریب تغییرات

\*\* و \* به ترتیب بیانگر اثر معنادار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد می باشند.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر شوری (EC) و مکش ماتریک خاک بر میزان غلظت پتاسیم (%K)، کلسیم (%Ca)، سدیم ( $\text{mgg}^{-1}$ , Na)، آهن ( $\text{mgKg}^{-1}$ , Fe)، روی ( $\text{mgKg}^{-1}$ , Zn) و نیتروژن (%N) بخش هوایی لوبیا

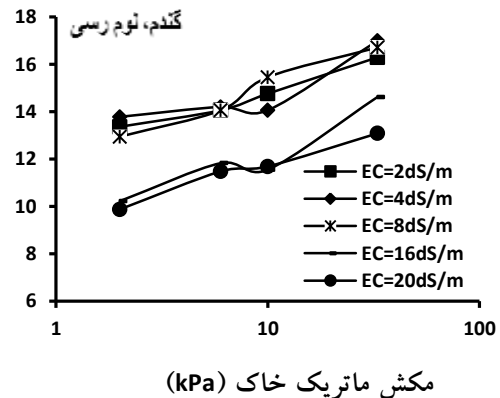
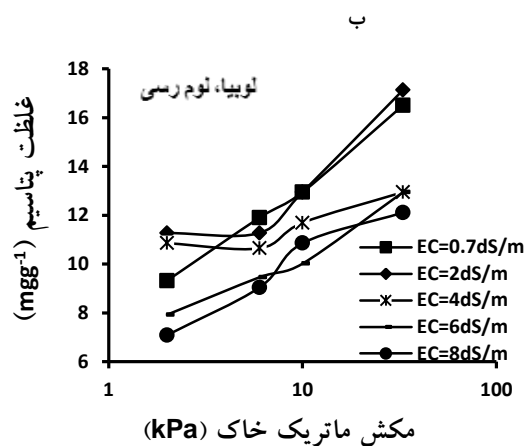
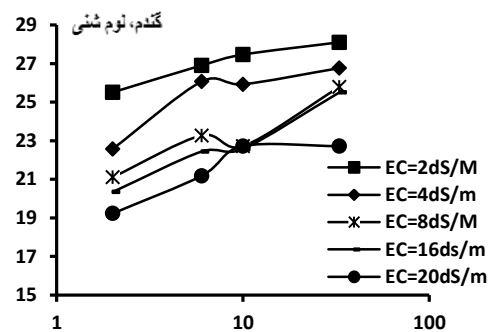
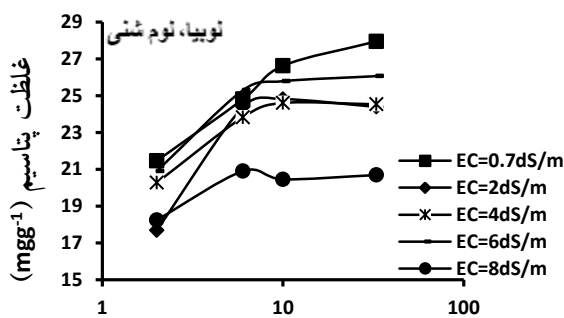
میانگین مربعات						درجه آزادی	منبع تغییرات
N	Zn	Fe	Na	Ca	K		
۱۱/۶۳**	۵۸۵/۴۲**	۳۵۳۵/۵۰**	۱۶۵/۱۲**	۰/۱۷*	۱/۰۲**	۳	مکش ماتریک
۰/۵۸	۱۲۱/۵۴۱	۳۸۴۰/۲۷**	۰/۴۳	۰/۱۱*	۰/۶۵**	۴	شوری
۰/۱۹	۴۴/۲۱	۵۹۴/۸۸	۱/۶۵*	۰/۱۲**	۰/۰۳	۱۲	شوری × مکش ماتریک
۰/۰۲	۱/۵۵	۵۹/۹۳	۰/۹۱	۰/۰۴	۰/۰۶		خطا
۹/۶۳	۹/۴۶	۱۱/۲۱	۴/۱۹	۱۰/۱۱	۱۵/۳۵		ضریب تغییرات

\*\* و \* به ترتیب بیانگر اثر معنادار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد می باشند.

غلظت پتاسیم

درصد) بود. *Teakle et al.* (2006) هم نتایج مشابهی را گزارش کردند و نشان دادند که اثر تنش شوری و تهویه بر غلظت پتاسیم گیاهان حساس بیشتر از گیاهان مقاوم بود. تیمار شوری نیز غلظت پتاسیم را متاثر کرده و موجب کاهش غلظت آن در هر دو گیاه گندم و لوبیا شد (شکل ۳). کمترین غلظت پتاسیم در مکش ماتریک ۲ kPa تحت  $dSm^{-1}$   $EC = 20^{-1}$  برای لوبیا در خاک لوم شنی و لوم رسی مشاهده شد (شکل ۳).

تغییرات غلظت پتاسیم به صورت تابعی از مکش ماتریک خاک در شکل (۳ الف-د) آمده است. بررسی شکل (۳) نشان می‌دهد که غلظت پتاسیم بخش هوایی گندم و لوبیا با مکش ماتریک خاک افزایش یافت و در مکش ۳۳ kPa به بیشترین مقدار ( $mgg^{-1}$  ۲۹ برای هر دو گیاه در خاک لوم شنی و ۱۷ و  $mgg^{-1}$  ۱۷/۵<sup>۱</sup> به ترتیب برای گندم و لوبیا در خاک لوم رسی) رسید. به دلیل حساسیت بیشتر لوبیا به تنش تهویه‌ای، افزایش غلظت پتاسیم آن با مکش ماتریک (۲۳ درصد) بیشتر از گندم (۱۳)



شکل ۳- تغییرات غلظت پتاسیم به صورت تابعی از مکش ماتریک خاک تحت شوری‌های مختلف، الف- گندم و ب- لوبیا در خاک لوم شنی و ج- گندم و د- لوبیا در خاک لوم رسی.

توسط ریشه می‌شود (Cha-um, et al., 2011). همچنین به دلیل تشابه روابط ترمودینامیکی، شعاع یونی و انرژی هیدراسیون سدیم و پتاسیم که عامل تعیین کننده ورود این دو یون از طریق پروتئین‌های غشایی به درون سلول هستند، سدیم از کانال‌های پتاسیمی جذب شده و موجب کاهش غلظت پتاسیم در گیاه می‌شود (Kaya et al., 2006). مقایسه دو خاک لوم شنی و لوم رسی نشان داد که روند تغییرات غلظت پتاسیم گندم و لوبیا در دو خاک مشابه بود. اما غلظت این عنصر در

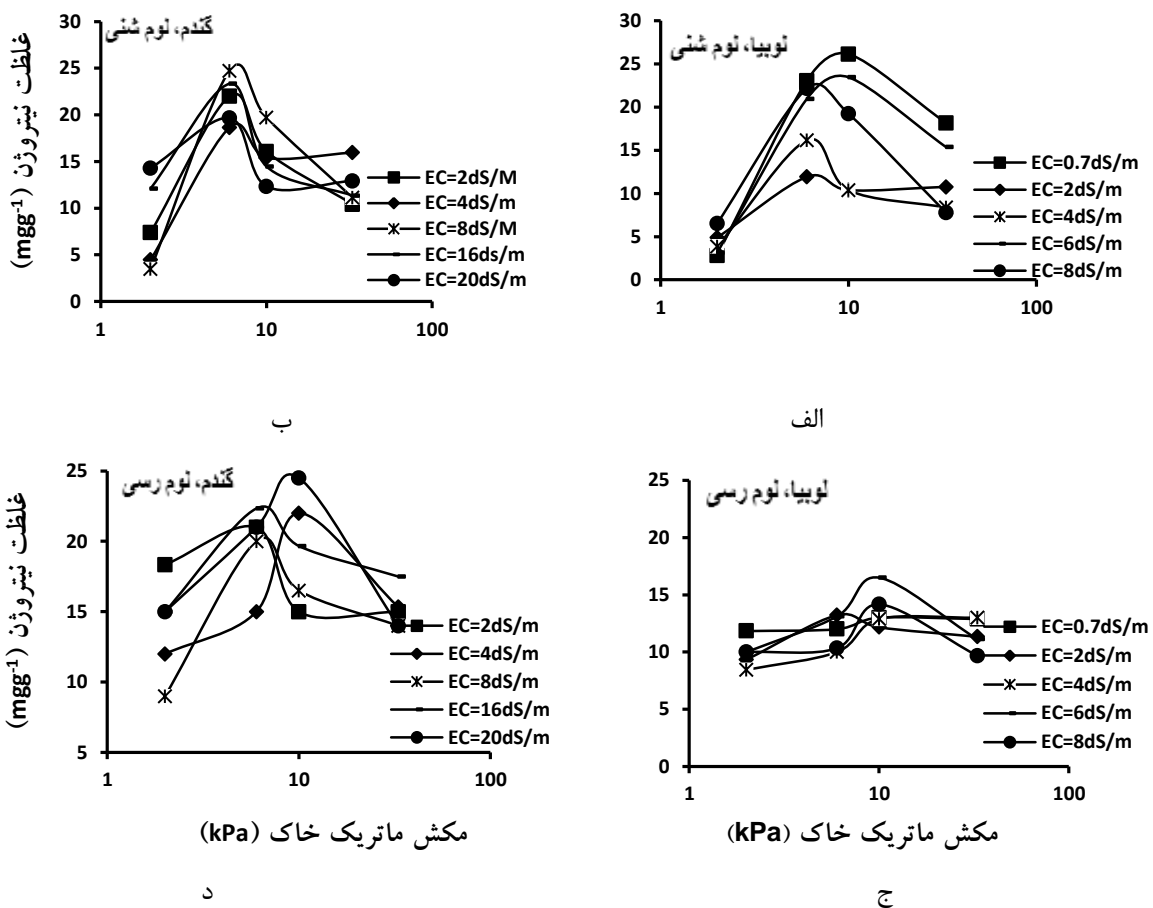
کاهش غلظت پتاسیم در شرایط کمبود اکسیژن ممکن است به علت تغییر فرآیندهای حرکت املاح در غشاء، پتانسیل غشاء و جذب آب و مواد غذایی باشد. زیرا در این شرایط، جذب پتاسیم توسط ریشه و انتقال آن از غشاء مختل می‌گردد و موجب کاهش جذب فعال پتاسیم و نشت این یون از ریشه به محیط می‌شود (Kozlowski, 1997). تنش شوری از طریق کاهش مقدار آب قابل دسترس برای گیاه موجب کاهش جذب آب و عناصر غذایی از جمله پتاسیم

ناحیه اول منحنی رطوبتی بود (شکل ۱). در این ناحیه به دلیل پایین بودن تخلخل تهویه‌ای و انتشار کم اکسیژن، جذب آب و املاح کاهش یافته و متعاقباً غلظت عناصر غذایی از جمله نیتروژن در گیاه کاسته می‌شود. به‌علاوه در این شرایط رطوبتی، رشد و گسترش ریشه نیز متاثر شده که موجب کاهش بیشتر جذب نیتروژن می‌گردد. همچنین در رطوبت‌های بالای خاک، به‌دلیل نیترات‌زدایی (Valé *et al.*, 2007) و شسته شدن نیتروژن خاک، کاهش غلظت آن در گیاه تشدید می‌شود (Nishihara *et al.* 2001). نتایج مشابهی توسط Meskini *et al.* (2015) برای گیاه گندم گزارش شد.

بخش هوایی گندم و لوبیا در خاک لوم شنی به دلیل بالاتر بودن غلظت پتاسیم در این خاک بیشتر از خاک لوم رسی بود (شکل ۳ ج - د). نتایج نشان داد که با وجود کاهش عملکرد در شرایط تنش تهویه‌ای یا شوری (شکل ۲)، اثر رقت بر غلظت پتاسیم واضح نبود. به عبارت دیگر کاهش ماده خشک در شرایط تنش تهویه یا شوری موجب تغلیظ این عنصر در هر دو گیاه در خاک لوم شنی و لوم رسی نشد.

### غلظت نیتروژن

در خاک لوم شنی و لوم رسی کمترین غلظت نیتروژن در بخش هوایی گندم (به ترتیب  $38$  -  $mgg^{-1}$ ) و لوبیا ( $2$  -  $8$   $mgg^{-1}$ ) در مکش  $2$  kPa مشاهده شد (شکل ۴). مکش  $2$  kPa مربوط به



شکل ۴- تغییرات غلظت نیتروژن به‌صورت تابعی از مکش ماتریک خاک تحت شوری‌های مختلف، الف- گندم و ب- لوبیا در خاک لوم شنی و ج- گندم و د- لوبیا در خاک لوم رسی

با افزایش مکش ماتریک و بهبود تهویه، غلظت نیتروژن هر دو گیاه افزایش یافت و در مکش‌های  $6$  -  $10$  kPa (تقریباً معادل تخلخل تهویه‌ای  $0.11$  -  $0.16$   $m^3 m^{-3}$  به ترتیب در خاک لوم رسی و لوم شنی) به بیشترین مقدار رسید (شکل ۴ الف-د). افزایش غلظت نیتروژن لوبیا با مکش ماتریک (۶۷ درصد)، به‌دلیل حساسیت بیشتر آن نسبت به تهویه، بارزتر از گندم (۴۶

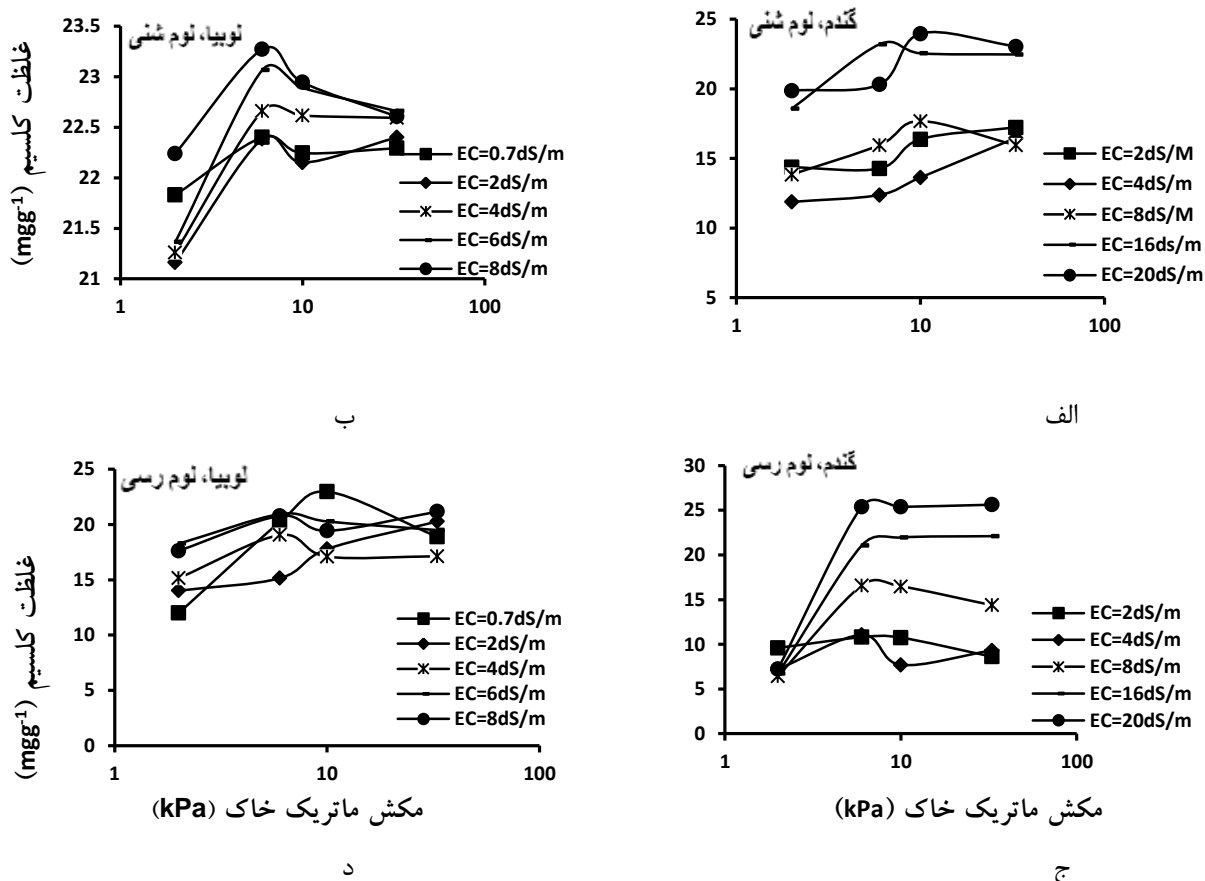
درصد) بود. در مکش‌های بالاتر ( $10$  kPa) به دلیل کاهش میزان آب قابل دسترس و کاهش حرکت توده‌ای در خاک، جذب نیتروژن و متعاقباً غلظت آن در گیاه کاهش یافت (Schlemmer *et al.*, 2005).

شکل (۴ الف-د) نشان می‌دهد که شوری اثر مشخصی بر غلظت نیتروژن گندم و لوبیا در هر دو خاک نداشت. از آنجایی-

غلظت کلسیم

شکل (۵ الف-د) نشان می‌دهد که غلظت کلسیم در مکش kPa ۲ کمترین مقدار بود، به طوری که غلظت آن در بخش هوایی گندم برابر ۱۱/۵ و  $6 \text{ mgg}^{-1}$  و در بخش هوایی لوبیا برابر ۲۱/۲ و  $12 \text{ mgg}^{-1}$  به ترتیب در خاک لوم شنی و لوم رسی بود (شکل ۵). در این مکش به دلیل کمبود تهویه، جذب کلسیم محدود شد و غلظت آن در گیاه تحت تاثیر قرار گرفت. با افزایش مکش ماتریک از ۲ تا ۶-۱۰ kPa به دلیل بهبود تهویه و شرایط رطوبتی خاک جهت تنفس، رشد و گسترش ریشه، جذب و غلظت کلسیم گندم و لوبیا افزایش یافت و در مکش‌های بالاتر (۱۰ kPa) تقریباً ثابت ماند. Ponnampetuma (1972) نیز نتایج مشابهی را برای گیاه برنج ارائه داد.

که نمک مورد استفاده در این پژوهش شامل درصد بالایی از نمک کلرید کلسیم بود، احتمال دارد که کلسیم با یون نیترات و کلر با یون آمونیوم در جذب توسط ریشه رقابت کرده و جذب نیتروژن تحت تاثیر قرار گرفته باشد. از طرفی به علت پایین بودن مقدار نیتروژن در هر دو خاک (جدول ۱) جذب آن توسط ریشه در تمام سطوح شوری تقریباً به طور یکسانی متاثر شد و بنابراین تغییرات غلظت کلسیم گندم و لوبیا با شوری، روند مشخصی را نشان نداد. مقایسه دو شکل (۲ و ۴) نشان می‌دهد که روند تغییرات غلظت نیتروژن و عملکرد با مکش ماتریک، یکسان بود و بنابراین اثر رقت بر میزان غلظت نیتروژن موثر نبود. به عبارت دیگر سرعت جذب و انتقال نیتروژن به بخش هوایی در تمام مکش‌ها و سطوح شوری متناسب با سرعت رشد هر دو گیاه در خاک لوم شنی و لوم رسی بود.



شکل ۵- تغییرات غلظت کلسیم به صورت تابعی از مکش ماتریک خاک تحت شوری‌های مختلف، الف- گندم و ب- لوبیا در خاک لوم شنی و ج- گندم و د- لوبیا در خاک لوم رسی

مقایسه اثر متقابل شوری و مکش ماتریک خاک نشان می‌دهد که بیشترین غلظت کلسیم در مکش ۱۰-۳۳ kPa تحت  $EC=20 \text{ dSm}^{-1}$  برای گندم و تحت  $EC=10 \text{ dSm}^{-1}$  برای لوبیا بود (شکل ۵). مقایسه دو شکل (۲ و ۴) نشان می‌دهد که روند تغییرات غلظت کلسیم و عملکرد با مکش ماتریک، تقریباً مشابه

افزایش شوری موجب افزایش غلظت کلسیم گندم و لوبیا در هر دو خاک شد. به دلیل این که نمک مورد استفاده در این پژوهش، حاوی مقدار زیادی کلسیم بود، بنابراین با افزایش شوری و غلظت کلسیم در خاک لوم شنی و لوم رسی، جذب و غلظت آن در هر دو گیاه افزایش یافت.

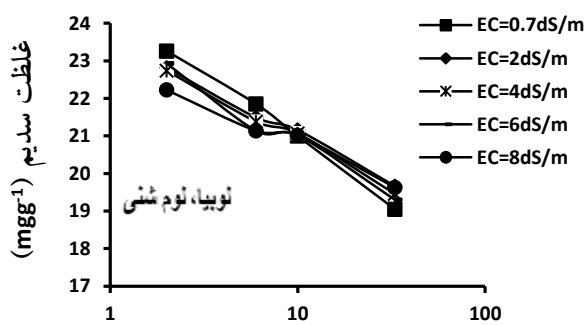


منیزیم (دو ظرفیتی) و آهن (دو ظرفیتی) محلول در خاک افزایش می‌یابد، بنابراین این یون‌ها، به جایگاه‌های تبادلی حمله کرده و سدیم را به محلول خاک آزاد می‌کنند (Narteh and Sahrawat, 1999). نتیجه این امر افزایش غلظت سدیم در محلول خاک و به تبع آن در گیاه می‌باشد. همچنین غلظت پایین اکسیژن، مانع از خروج فعال یون‌های سدیم توسط ریشه-ها شده و مقدار آن در گیاه بالا می‌رود (Gutierrez et al., 1996). این نتایج برای آفتابگردان (Marschner, 1995b)، پنبه (Milroy et al., 2009)، انگور (Stevens and Prior, 1994) و یونجه (Smethurst et al. 2005) نیز گزارش شد. با افزایش مکش ماتریک و درصد منافذ پر از هوا، اثر این عوامل کم شده و غلظت سدیم گندم (۹ درصد) و لوبیا (۲۱ درصد) کاهش یافت و کمترین مقدار آن در مکش ۳۳ kPa دیده شد. Najafi et al. (2012a) نیز نتایج مشابهی را برای گیاه آفتابگردان مشاهده نمودند.

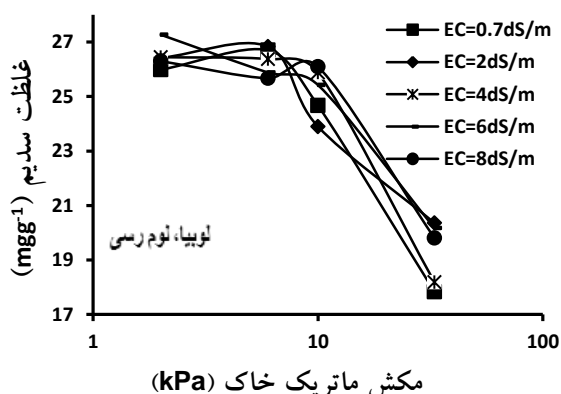
بود و بنابراین همانند غلظت نیتروژن، اثر رقت بر میزان غلظت کلسیم نیز موثر نبود. به عبارت دیگر سرعت جذب و انتقال کلسیم به بخش هوایی در تمام مکش‌ها و سطوح شوری، متناسب با سرعت رشد بود و کاهش ماده خشک، موجب تغلیظ این عنصر در هر دو گیاه نشد.

#### غلظت سدیم

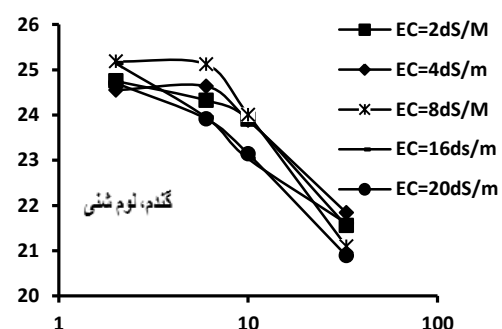
تغییرات غلظت سدیم به صورت تابعی از مکش ماتریک خاک در شکل (۶ الف-د) آمده است. بیشترین غلظت سدیم برابر ۲۵/۳ و  $29 \text{ mgg}^{-1}$  برای گندم و ۲۳/۵ و  $27/2 \text{ mgg}^{-1}$  برای لوبیا به ترتیب در خاک لوم شنی و لوم رسی، در مکش ۲ kPa مشاهده شد (شکل ۶). بالا بودن غلظت سدیم در مکش ۲ kPa را می‌توان به اثر رقت نسبت داد. زیرا در این مکش به دلیل کاهش عملکرد، میزان زیادی از غلظت سدیم در مقدار کمی از وزن خشک هر دو گیاه گزارش شد (شکل ۲ و ۶). همچنین در خاک‌های اشباع و نزدیک اشباع، غلظت یون‌های آمونیوم،



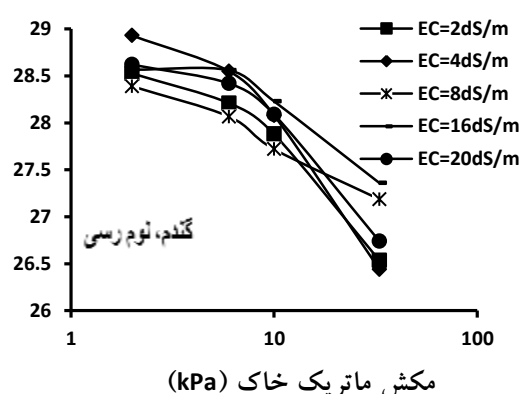
ب



د



الف



ج

شکل ۶- تغییرات غلظت سدیم به صورت تابعی از مکش ماتریک خاک تحت شوری‌های مختلف، الف- گندم و ب- لوبیا در خاک لوم شنی و ج- گندم و د- لوبیا در خاک لوم رسی.

این پژوهش حاوی نسبت ۳:۱ کلسیم به سدیم بود. این امر موجب افزایش رقابت در جذب سدیم و کلسیم توسط ریشه

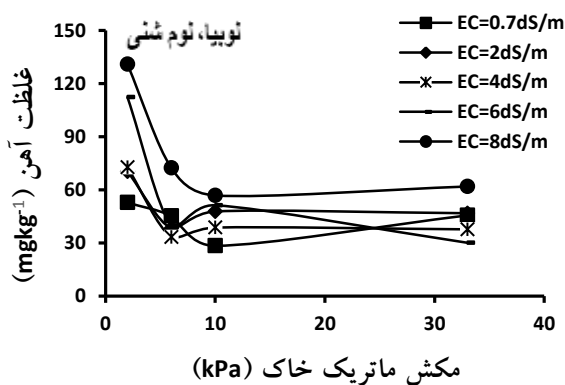
نتایج نشان می‌دهد، که شوری بر غلظت سدیم بخش هوایی گندم و لوبیا اثر مشخصی نداشت. نمک مورد استفاده در

خاک تغییر کرده و از حالت قلیایی به سمت خنثی سوق داده می‌شود و موجب رهاسازی بیشتر آهن از بخش تبادل می‌گردد (Najafi and Towfighi, 2006). بنابراین در این مکش غلظت آهن در بخش هوایی گندم و لوبیا به‌طور چشم‌گیری بالاتر از سایر مکش‌ها بود. با افزایش مکش ماتریک و بهبود تهویه در هر دو خاک (۲-۱۰ kPa)، غلظت آهن به شدت کاهش یافت و در مکش‌های بالاتر ( $h > 10$  kPa) مقدار آن تقریباً ثابت باقی ماند (شکل ۷). Valizade *et al.* (2012) نتایج مشابهی را مشاهده کرده و گزارش کردند که با زهکشی خاک غرقاب، میزان آهن محلول در خاک و همچنین غلظت آن در گیاه برنج کاهش یافت.

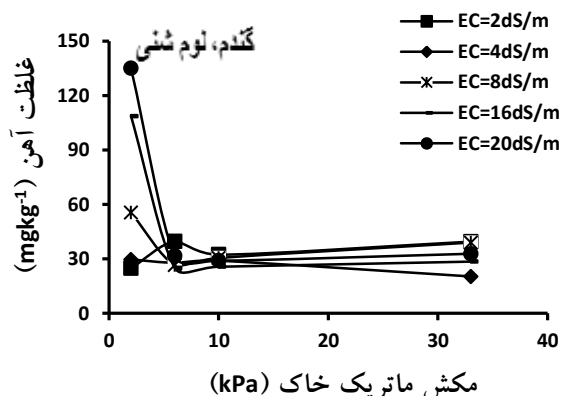
شده و به‌ویژه در شوری‌های بالا، جذب سدیم تحت تاثیر قرار گرفت. بنابراین افزایش غلظت سدیم در شوری‌های بالا دیده نشد (شکل ۶).

### غلظت آهن

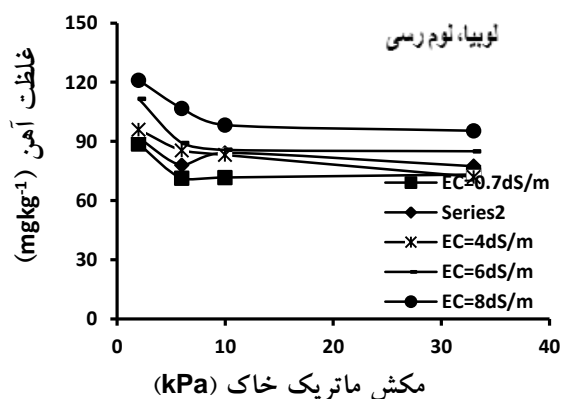
شکل (۷ الف-د) نشان می‌دهد که در هر دو خاک لوم رسی و لوم شنی، بیشترین غلظت آهن در مکش ۲ kPa تحت  $dSm^{-1}$  برای  $EC=20$  (۱۳۵۱۶۰-  $mgKg^{-1}$ ) و  $EC=8$  برای لوبیا (۱۲۳-۱۳۵  $mgKg^{-1}$ ) بود. در خاک‌های اشباع و نزدیک اشباع، به دلیل ایجاد شرایط احیا، آهن سه ظرفیتی تبدیل به آهن دو ظرفیتی شده و حلالیت و قابلیت استفاده آن توسط گیاه به شدت افزایش می‌یابد. همچنین در این شرایط pH



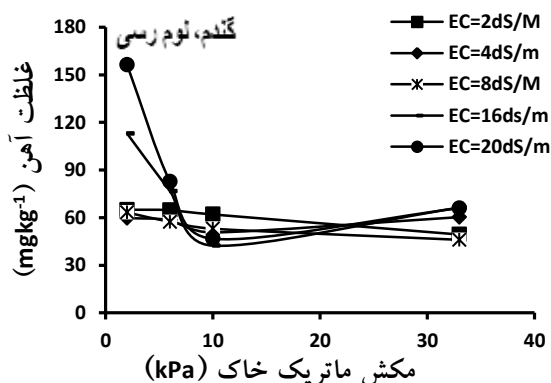
ب



الف



د



ج

شکل ۷- تغییرات غلظت آهن به صورت تابعی از مکش ماتریک خاک تحت شوری‌های مختلف، الف- گندم و ب- لوبیا در خاک لوم شنی و ج- گندم و د- لوبیا در خاک لوم رسی.

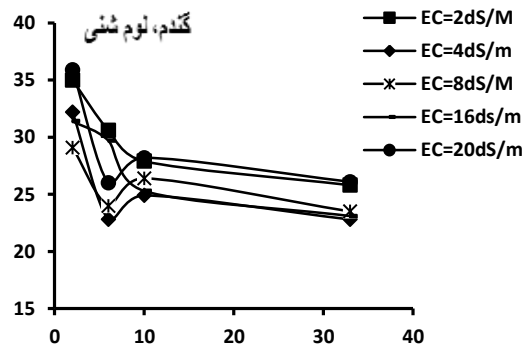
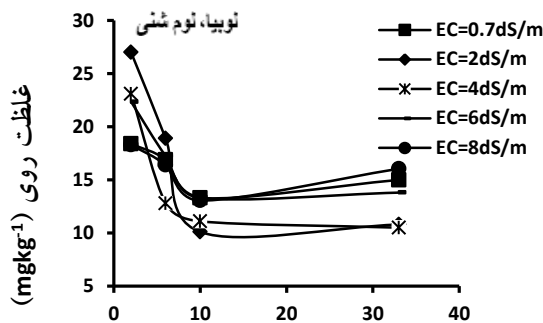
بالا بودن غلظت آهن در شوری‌های بالا را می‌توان به تغلیظ این عنصر در بخش هوایی هر دو گیاه نسبت داد (شکل ۲ و ۷). زیرا در شرایط تنش شوری به دلیل کاهش عملکرد، میزان زیادی از غلظت آهن در مقدار کمی از وزن خشک هر دو گیاه گزارش شد. همچنین ممکن است که در مکش ماتریک کم (۲ kPa)، آهن احیا شده و حلالیت آن بالا می‌رود. از طرفی با

تیمار شوری موجب افزایش غلظت آهن گندم و لوبیا در هر دو خاک به‌ویژه در مکش ۲ kPa شد. این اثر برای گیاه لوبیا بارزتر از گندم بود. گیاه لوبیا به تنش شوری حساستر بوده و بنابراین غلظت آهن آن بیشتر از گندم تحت تاثیر شوری قرار گرفت. به طوری که در همه مکش‌ها، بیشترین غلظت آهن لوبیا، در  $EC=8 dSm^{-1}$  مشاهده شد.

**غلظت روی بخش هوایی**

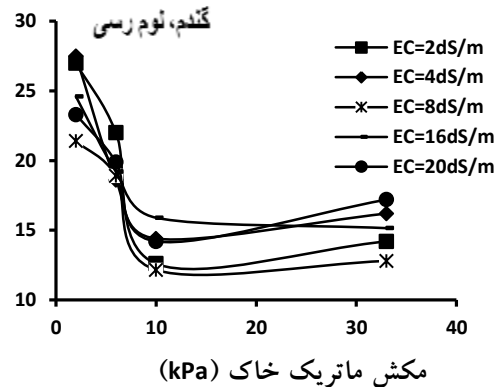
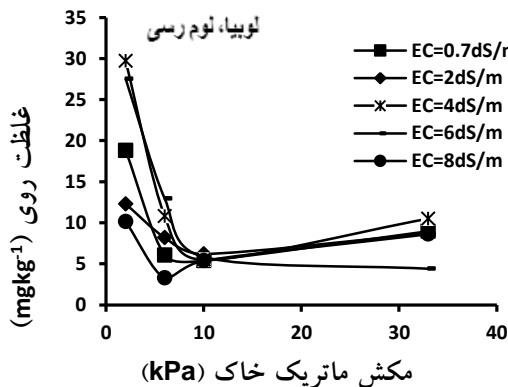
روند تغییرات غلظت روی گندم و لوبیا با مکش ماتریک خاک تقریباً مشابه غلظت آهن بود. به طوری که بیشترین غلظت روی گندم و لوبیا در خاک لوم شنی و لوم رسی، تحت مکش ماتریک ۲ kPa مشاهده شد. با افزایش مکش ماتریک خاک تا ۱۰ kPa، غلظت روی گندم (۳۳ درصد) و لوبیا (۴۱ درصد) کاهش یافت و در مکش‌های بالاتر ( $h > 10$  kPa) تقریباً ثابت ماند (شکل ۸ الف-د).

افزایش شوری و غلظت کلسیم، آهن جذب شده در سطوح کلوئیدی توسط کلسیم آزاد شده و در نتیجه میزان آهن محلول در خاک و قابل جذب توسط ریشه افزایش می‌یابد (شکل ۷). Najafi *et al.* (2012b) اثر سطوح مختلف شوری در زمان‌های مختلف غرقابی را بر گیاه ذرت بررسی کرده و نشان دادند که غلظت آهن بخش هوایی و ریشه به مدت آب‌گرفتگی بستگی داشت.



ب

الف



د

ج

شکل ۸- تغییرات غلظت روی به صورت تابعی از مکش ماتریک خاک تحت شوری‌های مختلف، الف- گندم و ب- لوبیا در خاک لوم شنی و ج- گندم و د- لوبیا در خاک لوم رسی.

افزایش روی در مکش‌های پایین خاک را می‌توان به تغلیظ میزان این عنصر در گیاه نسبت داد (Valizade *et al.*, 2012). در مکش ماتریک ۲kPa، به دلیل کمبود اکسیژن، رشد گیاه تحت تاثیر قرار گرفت و حجم و وزن بخش هوایی آن به شدت کاهش یافت. لذا میزان یون روی نسبت به وزن خشک بخش هوایی گندم و لوبیا افزایش یافت (شکل ۲ و ۸). همچنین در شرایط غرقابی، به دلیل وجود شرایط احیا، pH خاک تغییر کرده و از شرایط قلیایی به سمت خنثی سوق داده می‌شود، این امر موجب افزایش حلالیت روی در خاک می‌گردد (Huang and WilKinson, 2000; Havlin *et al.*, 2005). بنابراین جذب و غلظت این عنصر در گیاهان گندم و لوبیا افزایش یافت. Valizade *et al.* (2012) نتایج مشابهی را ارائه کرده و نشان دادند که شرایط غرقابی، میزان روی برنج را افزایش داد. Najafi *et al.* (2012b) نیز افزایش غلظت روی ریشه آفتابگردان را بعد از شرایط غرقابی گزارش کردند. Najafi *et al.* (2013) نشان دادند که در بخش هوایی ذرت، غلظت روی بعد از ۲۲ روز اعمال شرایط غرقابی، از ۵/۲۹ به ۵/۹۸ mgKg<sup>-1</sup> رسید و با تغییر شرایط غرقابی، غلظت قابل استخراج و محلول روی کاهش

افزایش روی در مکش‌های پایین خاک را می‌توان به تغلیظ میزان این عنصر در گیاه نسبت داد (Valizade *et al.*, 2012). در مکش ماتریک ۲kPa، به دلیل کمبود اکسیژن، رشد گیاه تحت تاثیر قرار گرفت و حجم و وزن بخش هوایی آن به شدت کاهش یافت. لذا میزان یون روی نسبت به وزن خشک بخش هوایی گندم و لوبیا افزایش یافت (شکل ۲ و ۸). همچنین در شرایط غرقابی، به دلیل وجود شرایط احیا، pH خاک تغییر کرده و از شرایط قلیایی به سمت خنثی سوق داده می‌شود، این امر موجب افزایش حلالیت روی در خاک می‌گردد (Huang and WilKinson, 2000; Havlin *et al.*, 2005). بنابراین جذب و غلظت این عنصر در گیاهان گندم و لوبیا افزایش یافت. Valizade *et al.* (2012) نتایج مشابهی را ارائه کرده و نشان دادند که شرایط غرقابی، میزان روی برنج را افزایش داد. Najafi *et al.* (2012b) نیز افزایش غلظت روی ریشه آفتابگردان را بعد از شرایط غرقابی گزارش کردند. Najafi *et al.* (2013) نشان دادند که در بخش هوایی ذرت، غلظت روی بعد از ۲۲ روز اعمال شرایط غرقابی، از ۵/۲۹ به ۵/۹۸ mgKg<sup>-1</sup> رسید و با تغییر شرایط غرقابی، غلظت قابل استخراج و محلول روی کاهش

مکش ماتریک خاک بیشتر از گندم بود. مشاهدات نشان داد که به‌طور معنی‌داری، در مکش‌های ماتریک بین  $10\text{-}1\text{ kPa}$ ، بهترین شرایط رطوبتی برای هر دو گیاه در تمام سطوح شوری وجود داشت. همچنین در کمترین سطوح شوری ( $0.7\text{ dSm}^{-1}$ ) برای لوبیا و  $2\text{ dSm}^{-1}$  برای گندم) هر دو گیاه در بهترین شرایط درون تغذیه‌ای بودند. به‌علاوه این مطالعه نشان داد که مکش‌های کم خاک، علی‌رغم فراهمی مناسب آب، تنش تهویه‌ای ایجاد کرده و این تنش اثر تنش شوری را تقویت می‌کند. بنابراین جهت حداکثر عملکرد و بیشترین جذب عناصر غذایی، توصیه می‌شود که از آب آبیاری با کیفیت مناسب استفاده شود و در صورت نبود این شرایط برای به حداقل رساندن اثر شوری، رطوبت خاک در دامنه مکش ماتریک مذکور کنترل شود. به‌علاوه پیشنهاد می‌شود، در مطالعات آینده، اثر شوری در دامنه‌های رطوبتی کمتر نیز مورد بررسی قرار گیرد، تا در صورت نبود آب کافی، متناسب با منابع آبی مختلف (از نظر کیفی و کمی) بهترین شرایط رطوبتی و سطوح شوری، برای گیاهان مختلف مشخص گردد.

یافت. شکل (۸) نشان می‌دهد که شوری اثر مشخصی بر میزان غلظت روی در گندم و لوبیا نداشت.

#### نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش تغییرات غلظت عناصر غذایی گندم و لوبیا به‌صورت تابعی از مکش ماتریک و شوری خاک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در خاک‌های نزدیک به اشباع، تخلخل تهویه‌ای، مهم‌ترین فاکتور موثر بر میزان غلظت عناصر غذایی گیاهان می‌باشد. در محدوده آزمایش حاضر، در مکش‌های پایین خاک و تحت شرایط تنش تهویه‌ای، میزان غلظت آهن، روی و سدیم گیاه افزایش یافت در حالی که از غلظت پتاسیم، کلسیم و نیتروژن گیاه کاسته شد. شوری اثر اندکی بر میزان غلظت عناصر سدیم، نیتروژن و روی گیاهان داشت که احتمالاً به دلیل بالا بودن اثر تهویه بر میزان جذب این عناصر بود. با این حال، شوری موجب کاهش غلظت پتاسیم و افزایش غلظت کلسیم و آهن گردید که بیان‌کننده حساسیت بالای جذب این عناصر به شوری بود. مقایسه دو گیاه، نشان داد که به دلیل حساسیت بالای لوبیا، تغییرات غلظت عناصر آن با تیمارهای شوری و

#### REFERENCES

- Abedi, R.A., Tadayyon, A. and Aminian, R. (2005). Economic Investigation of Common Bean in Chaharmahal and Bakhtiari. *The first conference of national grain. Ferdowsi university of mashhad*, 172-176. (In Farsi).
- Allen, J. A., Chambers, J. L. and Mckinney, D. (1994). Intraspecific variation in the response of *Taxodium distichum* seedlings to salinity. *Forst Ecology Management*, 70, 203-214.
- Allison, L. E. and Moodi, C. D. (1965). Carbonate. In: *Methods of Soil Analysis, Black, C.A. (Ed.). Part 2, American Society Agronomy, Madison, W. I., USA*, pp, 1379-1396.
- Azaizeh, H., Gunse, B., Steudle, E. (1992). Effects of NaCl and CaCl<sub>2</sub> on water transport across root cells of maize (*Zea mays*L.). *seedlings. Plant Physiology*, 99, 886-894.
- 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.
- Bremner, J. M. and Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen total. In: page, A. L., Miller, R. H. and Keeney, D. R. (eds). *Methods of soil analysis. Part. Chemical analysis. American Society of Agronomy Inc. and Soil Science Society of American. Inc. Madison, WI*, pp, 595-624.
- Brown, D. A., Place, G. A. and Pettiet, J. V. (1960). The effect of soil moisture upon cation exchange in soils and nutrient uptake by plants. *Paper presented at the Seventh Congress, Int. Society. Science. Madison, Wisconsin*, 3, 443-449.
- Chapman, H. D. and Pratt, P. F. (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.
- Cresser, M. S. and Parsons, J. W. (1979). Sulfuric - perchloric acid digestion of plant material for the determination of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium. *Analytica Chimica Acta*, 109, 431-436.
- 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 America Book Ser 5. Soil Science Society of America Madison, USA*, pp, 675-680.
- Davis, W. J. and Zhang, J. (1991). Root signals and the regulation of growth and development in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 42, 55-76.
- Else, M. A., Davies, W. J., Malone, M. and Jackson,

- M. B. (1995). A Negative Hydraulic Message from Oxygen-Deficient Roots of Tomato Plants. *Plant Physiology*, 109, 1017-1024.
- Essa, T. A. (2002). Effect of salinity stress on growth and nutrient composition of three soybean (*Glycine max*L. Merrill) cultivars. *Journal Agronomy Crop Science*, 188, 86-93.
- 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>.
- Food and Agriculture Organization, (2010). FishStat fishery statistical collections: aquaculture production (1950-2008; released March 2010). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. See <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstat/en>.
- 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.
- Grattan, S. R. and Grieve, C. M. (1998). Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Science Horticultur*, 78, 127-157.
- Gutierrez, B. F., Lavado, R. and Porcelli, C. (1996). Note on the effects of winter and spring waterlogging on growth, chemical composition and yield of rapeseed. *Field crops Research*, 47, 175-179.
- Havlin, J. L., Beaton, A., Tisdale, S. and Nelson, W. (2005). *Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management. Seventh Edition. Peason Prentis Hall. New Jersey.*
- Huang, B. and WilKinson, R. E. (2000). Plant Environment Intractions. *Manhattan, Kansas*, pp, 263-280.
- Kozłowski, T. 1997. Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Phsiology Monograph*, 1, 1-17.
- Lindsay, WL and Norvell, WA, (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society American Journal*, 42, 421-428.
- Marschner, H. (1995)a. Function of mineral nutrients: micronutrients. In *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 2nd Edition. Edited by Marschner H. Academic Press. New York, pp, 299-312.
- Marschner, H. (1995)b. *Mineral nutrition of higher plants* (2<sup>nd</sup> ed). Institute of plant nutrition university of Hohenheim Germeny, Academic Press.
- 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 Agrophys*, 29, 83-90.
- Milroy, S. P., Bange, M. P. and Thongbai, P. (2009). Cotton leaf nutrient concentrations in response to waterlogging under field conditions. *Field Crops Research*, 113, 246-255.
- 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.
- Munns, R. and Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu Rev. Plant Biology*, 59, 651-681.
- Najafi, N. and Towfigi, H. (2006). Effects of rhizosphere of rice plant on the inorganic phosphorous fractions in the paddy soils of north of Iran: 1-Native soil phosphorus fractions. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 5, 919-935.
- Najafi, N., Mardomi, S. and Oustan, Sh. (2012)a. The Effect of Waterlogging, Sewage Sludge and Manure on Selected Macronutrients and Sodium Uptake in Sunflower Plant in a Loamy Sand Soil. *Journal of Water and Soil*, 26, 619-636. (In Farsi with English abstract).
- Najafi, N., Mardomi, S. and Oustan, Sh. (2012)b. Influence of Waterlogging, Sewage Sludge and Manure on The Heavy Metals Concentrations in Roots and Shoots of Sunflower in a loamy Sand Soil. *JWSS - Isfahan University of Technology*, 15,139-157. (In Farsi with English abstract).
- Najafi, N., Sarhangzadeh, E. and Oustan, Sh. (2013). Effects of NaCl Salinity and Soil Waterlogging on the Concentrations of Some Micronutrients in Corn, Single Cross 704. *Journal of Water and Soil*, 23, 205-225. (In Farsi with English abstract).
- Najafi, N. (2015). Effects of Soil Salinization and Waterlogging on the Concentrations of Some Macronutrients and Sodium in Corn Root. *Journal of Crop Ecophysiology*, 1, 21-40. (In Farsi with English abstract).
- Narteh, L. T. and Sahrawat, K. L. (1999). Influence of flooding on electrochemical and chemical properties of West African soils. *Geoderma*, 87, 179-207.
- Nishihara, E., Inoue, M., Kondo, K., Takahashi, K., and Nakata, N. (2001). Spinach yield and nutritional quality affected by controlled soil water matric head. *Agric. Water Managment*, 51, 217-229.
- 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.
- Pedersen, O., Rich, S.M., Colmer, T.D. (2009). Surviving floods: leaf gas films improve O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> exchange, root aeration, and growth of completely submerged rice. *The Plant Journal*, 58, 147-156.
- Pessarakli, M. (2010). *Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker, New York*, 440-820.
- Ponnamperuma, F.N. (1972).The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy*, 24, 29-96.
- 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 Agriculturae Scandinavica*, 61, 345-355.
- Przywara, G., Stepniewski, W., Stepniewska, Z., Brzezinska, M. and Wlodarczyk, T. (2001). Influence of oxygen conditions on the yield and mineral composition of triticale cv, Jago. *International Agrophysics*, 15, 273-277.
- 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. Agronomy. Crop Science*, 197, 348-360.
- Romero, J. M. and Maranon, T. (1996). Allocation of biomass and mineral elements in *Melilotus segetalis* (annual sweet-clover): effects of NaCl salinity and plant age. *New Phytologist*, 132, 565-573.
- Sairam, R. K. and Tyagi, A. (2004). Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Current Science*, 86, 407-421.
- Schlemmer, M. R., Francis, D. D., Shanahan, J. F. and Schepers, J. S. (2005). Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. *Agronomy Horticulture, Faculty Publications*, 97, 106-112.
- Sholi, N. J. Y. (2012). Effect of salt stress on seed germination, plant growth, photosynthesis and ion accumulation of four tomato cultivars. *American Journal of plant physiology*, 7, 269-275.
- Smethurst, C. F., Garnett, T. and Shabala, S. (2005). Nutritional and chlorophyll fluorescence responses of lucerne (*Medicago sativa*) to waterlogging and subsequent recovery. *Plant and Soil*, 270, 31-45.
- Stevens, R. M. and Prior, L. D. (1994). The effect of transient waterlogging on the growth, leaf gas exchange, and mineral composition of *potted Sultana grapevines*. *American Journal Enology and Viticulture*, 45, 285-290.
- Teakle, N. L., Real, D. and Colmer, T. D. (2006). Growth and ion relations in response to combined salinity and waterlogging in the *perennial forage legumes Lotus corniculatus* and *Lotus tenuis*. *Plant and Soil*, 289, 369-383.
- Thomas, G. W. (1996). Soil pH and soil acidity. In *Methods of Soil Analysis*. Klut, A. (ed). *Part 3. Chemical methods. Madison, Wisconsin, USA*, PP, 475-490.
- Trought, M. C. T. and Drew, M. C. (1980). The development of waterlogging damage in wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.). II. Accumulation and redistribution of nutrients by the shoot. *Plant and Soil*, 56, 187-199.
- Valé, M., Mary, B. and Justes, E. (2007). Irrigation practices may affect denitrification more than nitrogen mineralization in warm climatic conditions. *Biological Fertility Soils*, 43, 641-651.
- Valizade fard, F., Reyhani tabar, A., Najafi, N. and Oustan, S. (2012). Effects of Combined Application of Cd and Zn on the Growth Characteristics of Rice Plant and Zinc, Cadmium, Iron and Manganese Concentration in Soil under Flooded vs. Nonflooded Conditions. *Iranian Journal of Soil and Water Researcher*, 43, 195-205. (In Farsi with English abstract).
- 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. (2002). Salt and drought signal transduction in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 53: 247-73.
- Grattan, S. R., Grieve, C. M. 1998. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Science Horticulture*, 78, 127-157.
- Zhu, J. K. (2007). Operator theory in function spaces. Second Edition. Vol. 138. 348pp.