

The Effect of - Equal Osmotic and Matric Potential on Water Uptake and Yield of Corn in Complete and Partial Root Irrigation System

SAEEDAH MARZVAN¹, MOHAMMAD HOSSEIN MOHAMMADI^{2*}, FARID SHEKARI³

1. Ph.D. student of Department of Soil Science Zanjan University, Zanjan, Iran.

2. Associate Professor of Soil Science and Engineering Department, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

3. Associate Professor of Department of Agronomy and Plant Breeding, Zanjan University, Zanjan, Iran.

(Received: June. 17, 2018- Revised: Aug. 12, 2018- Accepted: Sep. 29, 2018)

ABSTRACT

In this study, the effect of equal matric and osmotic potentials was investigated separately and simultaneously on water uptake and yield of corn. A factorial experiment with two factors; potential type (osmotic, matric and combined) and potential levels (-0.46, -1.12, -1.91, and -3.63 bar) was performed on the basis of completely randomized design with 4 replications in greenhouse conditions. Increasing in osmotic stress (from -0.46 to -3.63 bar) resulted a reduction in water uptake by 36.6%. Potential reduction reduced root dry mater 40 and 36.6% in osmotic and combined potential treatments, respectively. Slight drought stress increased root dry matter by %26. Among the treatments and potential levels, the highest water use efficiency was observed with 1.12 g/l for the potential level of -1.12 bar in the combined stress. The results showed under the same levels of osmotic and matric potential, the salinity stress causes more damage to plant growth with decreasing water uptake. At low potential levels (-0.46 to -1.12) of combined treatments, the partially irrigation system increases water use efficiency, due to relative improvement in root growth. At low potential level (-3.63 bar) of combined treatment (with equal suction at two sides of the root), the plant uptakes less water than the condition where total root experiences the same level of potential by salinity. At least for low salinity leves, the osmotic and matric potential values cannot be considered as two additive parameters; On the other hand, the summation of them cannot show the real stress conditions of the root environment. The results of such studies can be used to accurately manage the quantity and quality of irrigation water under the salinity and drought stress in arid and semi-arid regions.

Key words: root division, salinity stress, drought stress, water uptake, partial root-zoon irrigation technique

اثر پتانسیل اسمزی و ماتریک یکسان بر جذب آب و عملکرد گیاه ذرت در سیستم آبیاری کامل و بخشی ریشه ذرت

سعیده مرزوان^۱، محمدحسین محمدی^{۲*}، فرید شکاری^۳

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

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

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

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۲۷ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۵/۲۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۷/۷)

چکیده

در این تحقیق اثر پتانسیل ماتریک و اسمزی برابر به طور جداگانه و هم‌زمان، بر روی تغییرات جذب آب و عملکرد گیاه ذرت مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور نوع پتانسیل (اسمزی، ماتریک و توأم) و سطوح پتانسیلی (۰/۴۶، -۱/۱۲، -۱/۱۹ و -۳/۶۳ بار) در ۴ تکرار به صورت کشت گلخانه‌ای انجام شد. کاهش سطوح پتانسیل از ۰/۴۶ تا -۳/۶۳ بار سبب کاهش ۳۶/۶ درصدی جذب آب در تیمار پتانسیل اسمزی گردید. کاهش سطوح پتانسیلی به ترتیب سبب کاهش ۴۰ و ۳۶/۶ درصدی جرم خشک ریشه در تیمار پتانسیل اسمزی و توأم و افزایش ۲۶ درصدی در تیمار پتانسیل ماتریک شد. در بین تیمارها و سطوح پتانسیلی مورد بررسی بیشترین راندمان مصرف آب با مقدار ۱/۱۲ گرم بر لیتر در سطح -۱/۱۲ بار تیمار توأم مشاهده گردید. نتایج نشان داد که تحت سطوح یکسان پتانسیل اسمزی و ماتریک، تنش شوری با کاهش بیشتر جذب آب صدمه بیشتری بر رشد گیاه وارد می‌کند. این در حالی است که در تیمار توأم در سطوح بالای پتانسیلی (۰/۴۶ تا -۱/۱۲ بار) استفاده از سیستم آبیاری بخشی با بهبود نسبی وضعیت رشد ریشه (در بخش پتانسیل اسمزی)، سبب افزایش راندمان مصرف آب خواهد شد. با کاهش سطح پتانسیل در سطح -۳/۶۳ بار در تیمار توأم با وجود مکش برابر در دو سمت ریشه، گیاه آب کمتری را نسبت به زمانی که کل دو نیمه ریشه تحت شوری معادل این سطح پتانسیل قرار می‌گیرد، دریافت می‌کند. حداقل برای شوری‌های کم، مقادیر پتانسیل اسمزی و ماتریک قابل جمع نیستند و یا به عبارت دیگر مجموع آن‌ها نمی‌تواند مبین شرایط واقعی حاکم بر محیط ریشه باشد. نتایج چنین مطالعاتی می‌تواند در مدیریت دقیق کمیت و کیفیت آب آبیاری تحت تنش هم‌زمان شوری و خشکی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد استفاده قرار بگیرد.

واژه‌های کلیدی: تقسیم ریشه، تنش شوری، تنش خشکی، جذب آب، سامانه آبیاری بخشی ریشه.

مقدمه

تغییر اقلیم سبب افزایش گرمایش جهانی، تغییر در چرخه هیدرولوژی، بالا آمدن سطوح آب دریاها، تشدید کاهش منابع آب، افزایش شوری خاک‌ها و مشکلات فراوان در بسیاری از نقاط جهان، از جمله اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک شده است (IPCC, 2008). منابع آبی با کیفیت مطلوب و تجدیدپذیر محدود بوده و نیاز آبی جمعیت رو به رشد، بیش از منابع موجود است (Malash *et al.*, 2005). در نتیجه تقاضا برای استفاده از آب‌های غیرمعتاد از جمله منابع آبی با کیفیت پایین و آب‌های شور، مانند آب‌های زیرزمینی، آب‌های زهکشی و پساب‌ها، برای آبیاری محصولات کشاورزی افزایش یافته است و استفاده از این آب‌ها با کیفیت پایین یکی از عوامل اصلی محدودکننده برای توسعه کشاورزی به

شمار می‌رود (Martinez-Alvarez *et al.*, 2016; Cao *et al.*, 2016). فراوانی روزافزون دوره‌های خشک در بسیاری از مناطق جهان و مشکلات مربوط به شوری در مناطق تحت آبیاری اغلب باعث وقوع خشکسالی و شوری در اراضی کشاورزی می‌شود (Hu and Schmidhalter, 2005).

گیاهان برای کاهش اثرات زیان‌بار تنش‌ها مکانیسم‌هایی نظیر تقسیم‌بندی یون‌ها، سنتز متابولیت‌ها، ترشح هورمون‌ها و تغییر ساختار غشا را در پیش می‌گیرند (Torabi, 2014). برخی از گیاهان برای مقابله با تنش شوری، سدیم و کلر را به بیرون دفع می‌کنند و برخی دیگر با تجمع سدیم و کلر در بافت‌های خود با تنش مقابله می‌کنند (Munns and Tester, 2008). کاهش مقدار رطوبت خاک، موجب افزایش غلظت نمک در ناحیه ریشه و شور شدن خاک شده و این امر کاهش جذب آب توسط گیاه را در پی

گیاه می‌شود. برخی از محققین عنوان می‌کنند که تحت سامانه آبیاری بخشی ریشه، گیاه آب بیشتری را از سمتی از ریشه که تحت شوری کم و یا فاقد شوری آب آبیاری است، جذب می‌کند (Koushafar *et al.*, 2011; Reef *et al.*, 2015) و این پدیده سبب افزایش عملکرد و جرم خشک گیاه می‌گردد (Dong *et al.*, 2005; Lycoskoufis *et al.*, 2010). با وجود مشخص بودن کاهش جذب آب توسط ریشه در اثر کاهش پتانسیل ماتریک و پتانسیل اسمزی، هنوز چگونگی اثر متقابل این دو تنش بر جذب آب توسط ریشه، به خوبی مشخص نیست و چالش اصلی، چگونگی تلفیق تنش‌های شوری و خشکی است (Abbasi, 2014). با توجه به این نکته که آب مهم‌ترین بستر انتقال مواد آلی و معدنی در خاک به گیاه است، شناخت بهتر تأثیر تنش توأم خشکی و شوری بر جذب آب و عملکرد ضروری است. در اکثر مطالعات صورت گرفته در زمینه تنش‌های شوری و خشکی، کل ریشه گیاه به‌طور هم‌زمان تحت تنش شوری و خشکی قرار می‌گیرد و در صورت اعمال تقسیم ریشه به دو بخش، گیاه تحت محدوده‌های متفاوتی از شوری و خشکی قرار می‌گیرد و با توجه به شدت‌های متفاوت تنش‌های شوری و خشکی اظهار نظر در این زمینه که گیاه از کدام یک از این تنش‌ها آسیب بیشتری خواهد دید، را با دشواری همراه می‌کند. بنابراین استفاده از پتانسیل اسمزی و ماتریک برابر تا حدودی می‌تواند سبب تسهیل این مقایسه‌ها گردد. اهداف این تحقیق عبارتند از: الف) بررسی تغییرات جذب آب و عملکرد در یک پتانسیل اسمزی و ماتریک برابر به‌صورت جداگانه و توأم (سامانه آبیاری بخشی ریشه) در شرایط گلخانه‌ای و ب) ارزیابی پاسخ سیستم ریشه زمانی که بخش‌های مختلف آن تحت تنش‌های متفاوت و مستقل شوری و خشکی قرار می‌گیرند

مواد و روش‌ها

آنالیز خاک و آماده‌سازی بستر کشت

مطالعه حاضر در تابستان ۱۳۹۶ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه زنجان در دامنه دمایی ۲۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد در روز و ۱۰ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد در شب و رطوبت نسبی ۲۵ تا ۵۰ درصد انجام گرفت. خاک مورد مطالعه از افق Ap از مزرعه دانشگاه زنجان با بافت لوم شنی برداشته شد. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک پس از خشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری به شرح زیر اندازه‌گیری گردید (جدول ۱). بافت خاک به روش هیدرومتری با قرائت کامل، هدایت الکتریکی در سوسپانسیون ۱ به ۵ خاک به آب، ماده آلی خاک به روش والکلی‌بلک، درصد کربنات کلسیم معادل خاک به روش خنثی‌سازی با اسید و تیتر با سود، ازت به روش کج‌لدال، فسفر به روش اولسن و پتاسیم به روش

دارد. این کاهش، زمانی تشدید خواهد شد که گیاه تحت تأثیر تنش توأم خشکی و شوری قرار گیرد (Brown *et al.*, 2006). برخی از محققین معتقدند که شوری و خشکی از راه‌های مشابهی بر گیاهان تأثیر می‌گذارند (Bernstein and Hayward, 1958). کاهش پتانسیل آب و مکانیسم‌های مشابه کمبود آب و اثر اسمزی که در نهایت منجر به کاهش رشد گیاه می‌گردد، در هر دو تنش آبی و شوری دیده شده و بنابراین برای تمایز مکانیسم‌های فیزیولوژیکی دو تنش مطالعاتی در هر دو شرایط خشکی و شوری ضروری است (Hu *et al.*, 2007).

پاسخ به تغییرات وضعیت آب ناشی از تنش شوری و کم‌آبی هنوز به‌خوبی مشخص نشده است (Katerji *et al.*, 2003). وضعیت آبی، تنظیمات هورمونی و واکنش‌های فتوسنتزی در شرایط تنش شوری و کم‌آبی که بر رشد گیاه مؤثرند، از جمله موضوعات قابل‌بحثی هستند که هنوز حل نشده‌اند (Munns, 2002). به عنوان مثال تحت تنش خشکی ریشه گیاه سیگنال‌های را به اندام هوایی می‌فرستد تا با باز و بسته شدن روزنه‌ها این موقعیت را مدیریت کند، با این حال ماهیت این سیگنال‌ها هنوز به درستی شناخته نشده است (Comstock, 2002). بسته شدن روزنه‌ها در اثر تنش شوری نیز گزارش شده است که این مکانیسم سبب بالا رفتن دمای برگ و افزایش طول ساقه می‌شود (Raiendran *et al.*, 2009; Sirault *et al.*, 2009). قرار گرفتن گیاهان تحت تنش‌های غیرزنده همچون شوری و کم‌آبی سبب تجمع گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) نظیر رادیکال‌های هیدروکسیل، یون‌های سوپر اکسید و محصولات متابولیسم سلولی مانند پراکسید هیدروژن شده که از آن‌ها تحت عنوان آسیب‌های اکسیداتیو یاد می‌شود (Gechev *et al.*, 2006). با توجه به اینکه در شرایط طبیعی شوری و رطوبت در خاک معمولاً غیریکنواخت است (Dong *et al.*, 2010)، گیاه تحت تأثیر هم‌زمان دو تنش قرار می‌گیرد. بنابراین مطالعه در زمینه اقداماتی که تا حدود زیادی قابلیت شبیه‌سازی این موقعیت را داشته باشد مانند سامانه‌های آبیاری بخشی ریشه، سبب بهبود شناخت مکانیسم‌های گیاه در شرایط توأم تنش شوری و کم‌آبی خواهد شد.

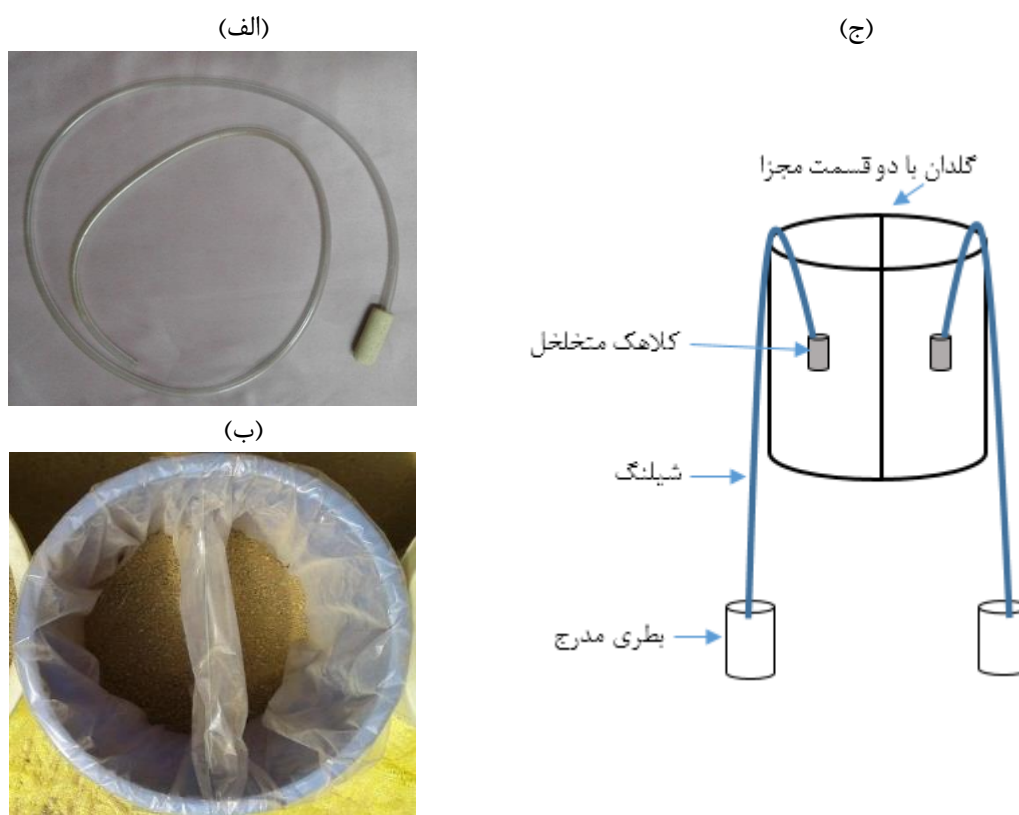
ارتباط بین دو بخش ریشه تحت محیطی با شوری ناهمگن از طریق یک شار خالص انتقال پتاسیم بین دو بخش توسط Redwan *et al.* (2017) مشاهده شده است. آن‌ها هم‌چنین وجود ژن‌هایی که باعث پاسخ‌های سیستماتیک برای کنترل تنش می‌شود، را نیز گزارش نمودند (Feng *et al.*, 2017) با بررسی تأثیر شوری بر نیمی از ریشه در گیاه چوبی *Lycium chinensse* دریافتند که افزایش ریشه‌های ریز تحت شوری کم و نیز غلظت متوسط سدیم و کلر عامل جلوگیری از تنش و افزایش عملکرد

داده شده پر شدند تا جرم مخصوص ظاهری خاک همه گلدان‌ها به جرم مخصوص ظاهری خاک در مزرعه (۱/۳۸ گرم بر سانتی‌مترمکعب) برسد. گلدان‌ها توسط یک غشاء ناتراوا مستقر در میانه آن‌ها به دو قسمت کاملاً مساوی تقسیم شدند.

استات آمونیوم تعیین گردید. برای بستر کشت از گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۲۹ سانتی‌متر و قطر ۲۵ سانتی‌متر استفاده شد. گلدان‌ها تا ارتفاع ۲۵ سانتی‌متری با ۱۷ کیلوگرم از خاکی که از الک ۶ میلی‌متری عبور

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

| بافت خاک | شن (%) | سیلت (%) | هدایت الکتریکی (dS/m) | جرم مخصوص ظاهری (kg/m ³) | کربن آلی (g/kg) | آهک (g/kg) | نیترژن (g/kg) | فسفر (mg/kg) | پتاسیم (mg/kg) |
|----------|--------|----------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------|------------|---------------|--------------|----------------|
| لوم شنی | ۷۹/۵ | ۱۰/۲ | ۰/۳۹ | ۱۳۸۰ | ۷/۳ | ۲۰۹ | ۱/۹ | ۲۳ | ۲۴۴/۵ |



شکل ۱- تانسیمتر دست‌ساز برای ثابت نگهداشتن مکش ماتریک و تخلیه آب اضافی درون گلدان (الف) و نمای فوقانی از محیط کشت گلدانی که توسط غشاء نایلونی به دو قسمت تقسیم شده است (ب) و نمای شماتیک از بستر کشت و اجزای مختلف تانسیمتر (ج).

مشخصی از آب پر شده است) در پایین سکو قرار گرفت. کلاهک در وسط گلدان درون خاک قرار داده شد و بعد از هر آبیاری، آب اضافی توسط شیلنگ (به دلیل مکش ناشی از وزن آب آویزان) به داخل بطری مدرج تخلیه گردید (شکل ۱-ج). مقداری خاک به ارتفاع حدود ۵ سانتی‌متر بر روی مرز بین دو بخش گلدان قرار گرفت و بذور ذرت دانه‌ای زودرس سینگل کراس ۲۶۰ بر روی این مرز کشت شد، تا پس از رشد، نیمی از ریشه به سمت راست و نیمی دیگر به سمت چپ هدایت گردد. بعد از رسیدن گیاه به مرحله چهار برگی اعمال تیمارها آغاز گردید.

به منظور شستشوی خاک، زهکشی آب اضافی، ثابت نگه‌داشتن EC خاک و اندازه‌گیری مقدار آب جذب‌شده توسط گیاه در هر روز، در تیمارهای تنش شوری از تانسیمترهای دست‌ساز استفاده شد (شکل ۱) (Meskini-Vishkae et al., 2015). این تانسیمترها شامل یک کلاهک سفالی متخلخل، شیلنگ اتصال و بطری مدرج بودند. یک سمت شیلنگ به کلاهک تانسیمتر و سمت دیگر آن به بطری مدرج متصل بود. ابتدا کلاهک تانسیمتر اشباع شده و سپس داخل شیلنگ تانسیمتر با آب مقطر جوشیده و سرد شده پر شد و انتهای شیلنگ در داخل بطری مدرج (که تا ارتفاع

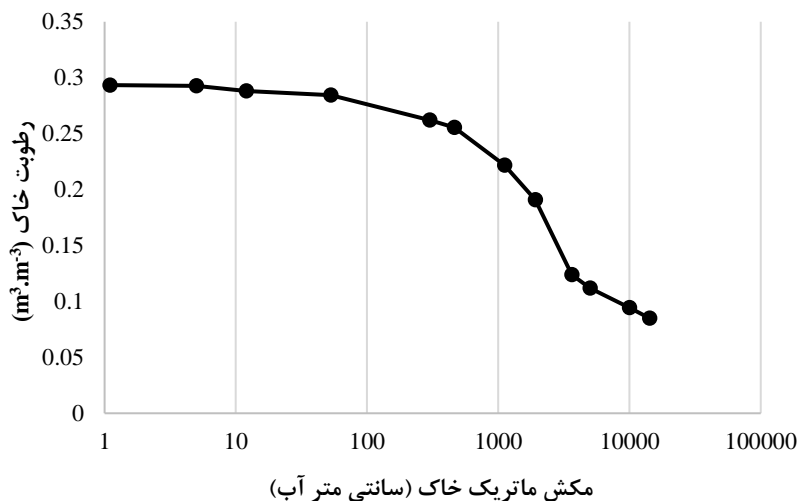
جهانی گازها (۰/۰۸۲۰۶) (l.MPa/K.mol) و T دمای مطلق بر حسب کلون می‌باشد. طبق این رابطه پتانسیل اسمزی معادل سطوح شوری ۱، ۳، ۵ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر اعمال شده برابر ۰/۴۶، -۱/۱۲، -۱/۹۱ و -۳/۶۳ بار محاسبه گردید. برای اعمال تنش خشکی در تیمارهای پتانسیل ماتریک با سطوح پتانسیلی یکسان (۰/۴۶، -۱/۱۲، -۱/۹۱ و -۳/۶۳ بار)، منحنی رطوبتی خاک توسط صفحات فشاری و غشای فشاری اندازه‌گیری شد (Dane and Hopmans, 2002) (شکل ۲) و درصد رطوبت جرمی معادل این پتانسیل‌ها مشخص گردید که به ترتیب ۱۸/۵، ۱۶، ۱۳/۸ و ۹ درصد جرمی می‌باشد. گلدان‌های تنش خشکی به صورت روزانه توزین و آبیاری گردید تا درصد رطوبت مورد نظر در تیمارها حفظ گردد.

اعمال پتانسیل‌های هم‌بار اسمزی و ماتریک

دامنه تحمل به شوری ذرت دانه‌ای ۱/۷ تا ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد (Tanji and Kielen, 2002). برای اعمال تنش شوری از دو نمک کلرید سدیم و کلرید کلسیم با نسبت دو به یک استفاده شد (Cicek and Cakilar, 2002). بدین‌صورت که ابتدا محلول مادر با نسبت ۲ به ۱ کلرید سدیم به کلرید کلسیم ساخته شد و سپس محلول‌هایی با هدایت الکتریکی ۱، ۳، ۵ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر با استفاده از محلول مادر، تهیه گردید. سپس با استفاده از رابطه وانت هوف (رابطه ۱) فشار اسمزی معادل سطوح شوری فوق تعیین شد.

$$OP = RT \frac{n_s}{V} \quad (\text{رابطه ۱})$$

OP فشار اسمزی بر حسب مگاپاسکال، n_s تعداد مول‌های ماده حل‌شونده، V حجم حلال بر حسب مترمکعب، R ثابت



شکل ۲- منحنی مشخصه آب خاک مورد استفاده در آزمایش‌های گلخانه‌ای

به گلدان‌ها و خروجی از تانسیموترهای دست‌ساز، برابر آب جذب- شده توسط گیاه لحاظ شد. در تیمارهای خشکی از روش وزنی برای رساندن مقدار رطوبت خاک (مکش ماتریک) به یک حد مشخص استفاده گردید. بدین ترتیب که هر روز گلدان‌ها وزن گردید و با محاسبه درصد کاهش رطوبت، حجم آب مورد نیاز به خاک اضافه گردید. در تیمارهای تنش توأم شوری و کم‌آبی که نصف ریشه تحت تنش شوری و نصف دیگر تحت تنش کم‌آبی قرار داشت، از روش جذب آب برابر استفاده شد. بدین‌صورت که میزان حجم آب جذب‌شده در نیمه تحت تنش شوری به سهولت تعیین و مقدار معادل آن به نیمه تحت تنش خشکی اضافه گردید. در این تیمارها، اعمال تنش شوری و خشکی تحت سامانه آبیاری بخشی به‌صورت دائمی تا نزدیکی زمان برداشت صورت گرفت. اعمال تیمار ده روز بعد از کشت در مرحله چهار برگی گیاه انجام

اندازه‌گیری جذب آب، عملکرد

اندازه‌گیری مقدار آب جذب‌شده در تیمارهای شوری به کمک تانسیموترهای دست‌ساز انجام گردید. با توجه به جذب آب روزانه توسط گیاه در تیمارهای خشکی و بهم‌خوردن تعادل رطوبتی و از دست دادن حجم مشخص رطوبت در این تیمارها و همچنین لزوم برقراری شرایط یکسان در دور آبیاری در تمامی تیمارهای مورد مطالعه، آبیاری به صورت روزانه انجام شد. بدین ترتیب که گلدان‌ها روزانه به مقدار حجمی مشخصی آبیاری گردید. مکش اعمال‌شده توسط تانسیموتر به‌سرعت آب اضافی را تخلیه و پتانسیل ماتریک خاک را به مقدار مشخصی می‌رساند. در این تحقیق مکش ماتریک خاک در تیمارهای شوری در حدود ۰/۱ بار ثابت نگه‌داشته شد. آب اضافی خروجی حاصل از تانسیموترهای دست‌ساز نیز ثبت شد و تفاضل مقدار آب ورودی

گردید و پس از ظهور گل‌آذین نر یا تاسل در کلیه تیمارها، برداشت انجام شد.

پس از قطع اندام هوایی محتویات گلدان‌ها (خاک گلدان و ریشه داخل آن) بر روی الک ۲ میلی‌متری قرار گرفته و خاکدانه‌های اطراف ریشه شسته شد. ریشه‌ها توزین گردید و سپس بر روی سطحی تیره به صورت کاملاً مسطح پهن گردید و تصویر دیجیتالی از آن‌ها تهیه شد و سپس توسط نرم‌افزار ImageJ سطح ریشه محاسبه گردید (Stefanelli et al., 2009). حجم ریشه‌ها نیز با استفاده از حجم آب بالآمده در استوانه مدرج تعیین شد. بعد از شستشوی اندام هوایی و ریشه با کالگون و آب مقطر، نمونه‌ها در داخل آون، با دمای 70 درجه، سلسیوس به مدت حداقل ۷۲ ساعت خشک شده و وزن خشک ریشه‌ها نیز توزین گردید.

تیمارهای آزمایشی و طرح آزمایشات

این تحقیق به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل سطوح پتانسیل در ۴ سطح ۰/۴۶، ۰/۱۲، ۰/۹۱، ۰/۶۳- بار و فاکتور دوم نوع پتانسیل در سه سطح شامل پتانسیل اسمزی، پتانسیل ماتریک و توأم (ترکیب پتانسیل ماتریک و اسمزی) می‌باشد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح ۵ درصد توسط نرم‌افزار SPSS و کلیه نمودارها و جداول با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

جذب آب و عملکرد

شکل (۳) تغییرات جذب آب گیاه ذرت را به عنوان تابعی از مقادیر تنش‌های مختلف اسمزی، ماتریک و توأم نشان می‌دهد. در تنش اسمزی، مقدار جذب آب از ۱۵۶۲۰ میلی‌لیتر در پتانسیل اسمزی ۰/۴۶- بار شروع شده و به ترتیب در پتانسیل‌های ۰/۱۲، ۰/۹۱- و ۰/۶۳- بار به ۱۴۰۳۰، ۱۲۸۸۵ و ۹۶۸۸ میلی‌لیتر می‌رسد. این کاهش جذب به صورت خطی و در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. با افزایش دو واحد در سطح شوری از ۱ به ۳ دسی‌زیمنس بر متر و همچنین از ۳ به ۵ دسی‌زیمنس بر متر، تقریباً ۸/۲ درصد کاهش جذب آب ایجاد شده است. اما با افزایش سطح شوری از ۵ به ۹ دسی‌زیمنس بر متر کاهش ۲۴/۸ درصدی جذب آب مشاهده گردید. افزایش شوری موجب کاهش سطح انرژی آب خاک و در نتیجه کاهش شدت جذب آن توسط ریشه می‌شود. از طرفی با افزایش سطح شوری تجمع املاح در گیاه سبب سمیت یونی و در نتیجه کاهش شدت فعالیت‌های متابولیکی گیاه و در پی آن تعرق می‌گردد (Munns and Tester., 2008).

Babazadeh et al (2017) نیز مشاهده کردند که کاهش جذب آب رابطه خطی با افزایش سطح شوری دارد.

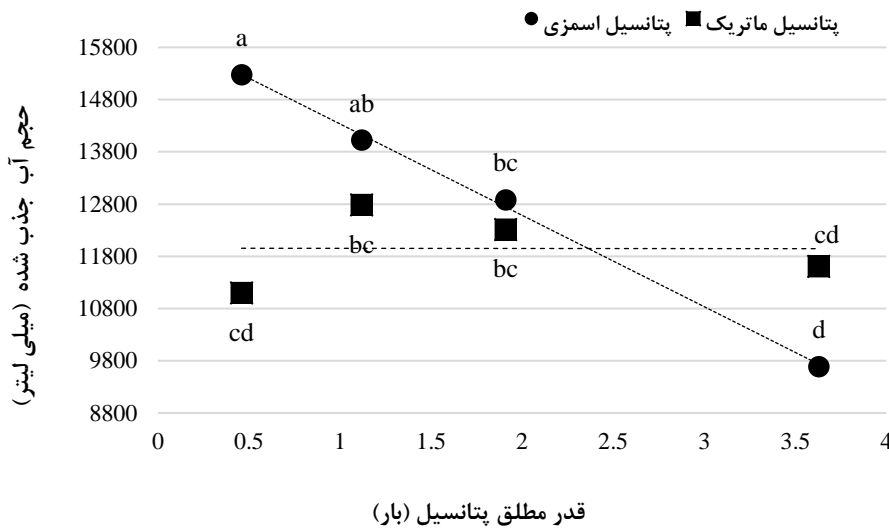
در سطوح برابر پتانسیلی تحت تیمار پتانسیل ماتریک، کاهش جذب آب با کاهش سطح پتانسیل معنی‌دار نگردید. اما این تغییرات جذب آب در تیمارهای تنش کم‌آبی کماکان مشابه تیمارهای تنش شوری است، با این تفاوت که در پتانسیل ماتریک ۰/۴۶- بار (رطوبتی حجمی ۰/۲۴ و ۰/۲۵٪) مقدار جذب آب کمترین بوده و رطوبت این مکش به میزان رطوبت اشباع خاک مورد مطالعه (۲۹٪) نزدیک است. به عبارت دیگر کمبود تخلخل تهویه‌ای (۰/۴) و عدم تبادل مناسب گازهای خاک و کمبود اکسیژن می‌تواند دلیل احتمالی کاهش جذب آب در این وضعیت رطوبتی باشد. این مقدار تخلخل تهویه‌ای کمتر از مقدار تخلخل تهویه‌ای بحرانی است که Meskini et al. (2016) در خاک لوم شنی برای گندم (۱۳٪) و کلزا (۱۶٪) و در خاک لوم رسی برای کلزا (۱۷٪) و نیز Mohammdi et al. (2017) برای لوبیا (۱۸٪) گزارش نموده‌اند. حالت غرقاب مهم‌ترین فاکتور تأثیرگذار بر قابلیت دسترسی اکسیژن خاک است (Bennett et al., 2009). اما در سه پتانسیل ماتریک ۰/۱۲، ۰/۹۱، ۰/۶۳- تغییرات کاهشی منظم ($p \leq 0.09$) جذب آب مشاهده می‌گردد.

شکل (۳) نشان می‌دهد که در سطح پتانسیلی ۰/۴۶- بار اختلاف معنی‌داری بین دو تیمار پتانسیل اسمزی و ماتریک وجود دارد. جذب آب تحت تیمار پتانسیل ماتریک نسبت به پتانسیل اسمزی ۲۹ درصد کاهش داشته است و در سایر سطوح پتانسیلی اختلاف معنی‌داری بین دو تیمار مشاهده نگردید. در سطح پتانسیل اسمزی ۰/۶۴- بار جذب آب نسبت به پتانسیل ماتریک معادل آن کاهش پیدا می‌کند با وجودی که گیاه آب کافی در دسترس دارد اما به علت وجود املاح زیاد (سمیت یونی) قادر به جذب آب مورد نیاز و مطلوب خود نیست. در واقع تحت تنش شوری کاهش ظرفیت جذب آب توسط سامانه ریشه‌ای و از دست دادن آب از طریق برگ‌ها به دلیل تنش اسمزی ناشی از شوری بالا در خاک و گیاه اتفاق می‌افتد (Munns, 2005). از طرف دیگر سه سطح پتانسیل ماتریک ۰/۴۶، ۰/۱۲ و ۰/۹۱- بار به عنوان تنش کم‌آبی ملایم تا متوسط برای گیاه محسوب شده و به گیاه صدمه زیادی وارد نمی‌کنند و سطح پتانسیلی ۰/۶۳- که (معادل تقریباً ۴۸ درصد ظرفیت زراعی است) می‌تواند گیاه را دچار تنش کم‌آبی شدید نماید.

مقایسه روند جذب آب تیمارهای پتانسیل اسمزی و ماتریک نشان می‌دهد، در مقادیر یکسان پتانسیل اسمزی و ماتریک، شیب تغییرات جذب آب در تنش‌های شوری بیشتر از تنش‌های کم‌آبی است. تنش شوری در مقادیر برابر موجب کاهش

که در تنش خشکی وجود ندارد و یا بیانگر مکانیسم‌های متفاوت مواجهه گیاه با تنش‌های مختلف باشد.

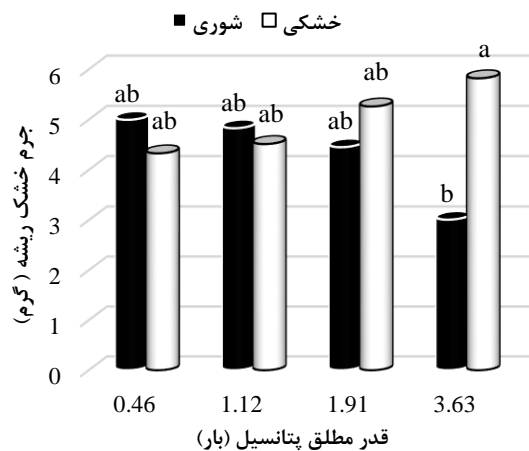
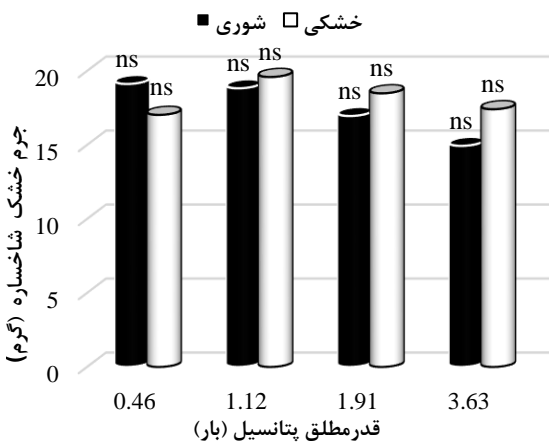
جذب آب بیشتری نسبت به تنش خشکی شده است. این امر می‌تواند مؤید اثرات سمیت یون ویژه حاصل از تنش اسمزی باشد



شکل ۳- مقایسه میانگین مقدار کل جذب آب در دوره اعمال تیمارهای پتانسیل اسمزی و ماتریک

عملکرد تأیید می‌گردد. در تیمار پتانسیل اسمزی، با کاهش سطح پتانسیل از $-۰/۴۶$ تا $-۳/۶۳$ بار جرم خشک ریشه ۴۰ درصد کاهش و در تیمار پتانسیل ماتریک ۲۶ درصد افزایش داشته است. بنابراین می‌توان گفت که شدت تغییرات جرم ریشه در سطوح پتانسیلی یکسان با کاهش سطوح پتانسیل، تحت تنش شوری بیش از تنش خشکی است و هر چه سطح پتانسیل اسمزی کاهش یابد، جرم ریشه با شدت بیشتری کاهش می‌یابد.

شکل (۴) مقایسه میانگین جرم خشک قسمت‌های هوایی و ریشه در تیمار پتانسیل اسمزی و ماتریک را نشان می‌دهد. روند تغییرات جرم خشک اندام هوایی با شوری و خشکی همانند روند تغییرات جذب آب است (شکل ۳). با این حال به دلیل کاهش اختلاف جرم خشک شاخساره، بین سطوح مختلف پتانسیلی در دو تیمار پتانسیل اسمزی و ماتریک اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. عملکرد رابطه بسیار نزدیکی با مقدار جذب آب دارد و به عبارت دیگر نتایج حاصله از شکل (۳) توسط تغییرات مقدار



شکل ۴- مقایسه میانگین جرم خشک اندام هوایی و ریشه تیمارهای پتانسیل ماتریک و اسمزی

پتانسیل اسمزی و ماتریک می‌باشد. بیشترین سطح و حجم ریشه به ترتیب با مقادیر $۲۸۴/۵$ سانتی‌متر مربع و $۹۷/۸$ سانتی‌متر

جدول (۲) نشان می‌دهد که روند تغییرات شاخص‌های سطح و حجم ریشه کماکان مشابه جرم خشک ریشه در دو تیمار

پتانسیل اسمزی به ترتیب با مقادیر ۱۷۶/۳ سانتی‌متر مربع و ۴۴/۵ سانتی‌متر مکعب مشاهده گردید.

مکعب متعلق به سطح ۳/۶۳- بار از تیمار پتانسیل ماتریک می- باشد و کمترین سطح و حجم ریشه نیز در همین سطح در تیمار

جدول ۲- میانگین برخی از شاخص‌های ارزیابی ریشه در تیمار پتانسیل اسمزی و ماتریک

| سطوح پتانسیلی (bar) | نوع پتانسیل | سطح ریشه (cm ²) | حجم ریشه (cm ³) |
|---------------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|
| -۰/۴۶ | اسمزی | ۲۷۴/۵ | ۹۶/۲۵ |
| | ماتریک | ۲۴۰ | ۵۳/۷۵ |
| -۱/۱۲ | اسمزی | ۲۴۵ | ۶۹/۲۵ |
| | ماتریک | ۲۳۲/۲ | ۵۴/۷۵ |
| -۱/۹۱ | اسمزی | ۲۵۲/۲ | ۶۰ |
| | ماتریک | ۲۶۹ | ۶۳/۷۵ |
| -۳/۶۳ | اسمزی | ۱۷۶/۳ | ۴۴/۵ |
| | ماتریک | ۲۸۴/۵ | ۹۷/۸ |

هر دو نیمه گیاه تحت تنش اسمزی ۳/۶۳- بار قرار می‌گرفت، نسبت به حالتی که نصف ریشه در این تنش قرار می‌گیرد و نصف دیگر نیز به اندازه نیمه قبلی آب شیرین دریافت می‌کند، آب کمتری مصرف می‌کند. دلیل احتمالی آن می‌تواند به کم شدن یون‌های انباشته‌شده در مجموع اندام‌های گیاهی و در نتیجه کاهش اثرات سمی آن‌ها نسبت داده شود. *Sadrinasab et al.* (2014) نیز عنوان کردند زمانی که گیاه در سیستم آبیاری بخشی به مقدار ۰/۷۵ نیاز آبی خود آب دریافت می‌کند ۱۷/۳ درصد جذب آب در آن نسبت به سیستم آبیاری کامل ریشه کاهش می‌یابد. این در حالی است که این تیمار با توسعه یک سیستم ریشه‌ای مناسب در برابر کاهش جذب آب احتمالاً راندمان مصرف آب را افزایش می‌دهد.

مقدار جذب آب در سه سطح پتانسیلی ۰/۴۶-، ۱/۱۲- و ۱/۹۱- بار تفاوت‌های اندکی دارند (شکل ۵ الف). با وجود عدم تغییرات معنی‌دار روند نزولی جرم خشک شاخساره با کاهش سطوح پتانسیلی، این پارامتر همواره مقدار بیشتری را نسبت به تیمار پتانسیل اسمزی و ماتریک در تمامی سطوح پتانسیلی دارا می‌باشد (شکل ۵ ب). احتمالاً وجود آب با کیفیت مطلوب (هر چند با پتانسیل پایین) در نیمه از ریشه با وجود افزایش سطح شوری در نیم دیگر ریشه، به گیاه کمک خواهد کرد تا بر شرایط نامساعد محیطی تا حدود زیادی غلبه کند. *Zekri and Parsons.* (1990) عنوان کردند که تحت سامانه آبیاری بخشی، ریشه قادر به جذب آب اضافی از سمت بدون تنش نمی‌باشد اما مطالعات اخیر (Kong et al., 2011; Sun et al., 2016) نشان داد که افزایش جذب آب توسط ریشه از سمتی با شوری کمتر یا فاقد شوری باعث افزایش جذب آب در کل گیاه و بهبود عملکرد شده است. *Zakerinia et al.* (2009) عنوان کردند که تحت شرایط

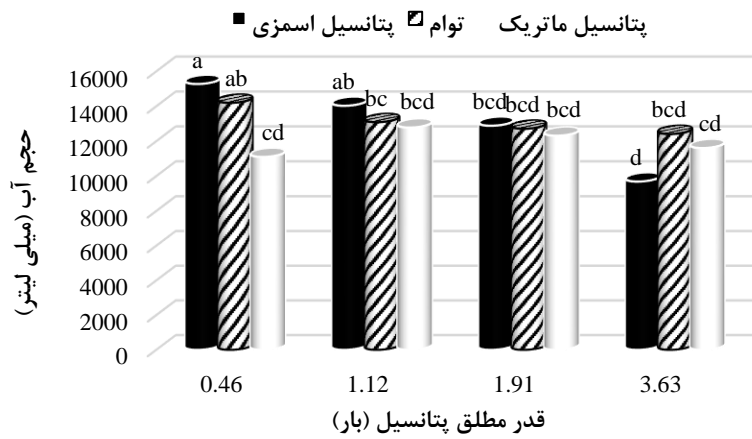
بنابراین شاید بتوان گفت که در یک پتانسیل برابر اسمزی و ماتریک، ریشه گیاه بیشتر از اندام هوایی تحت تأثیر عوامل تنش‌زا قرار می‌گیرد. بعضی از گیاهان تحت تنش خشکی با افزایش طول و حجم ریشه، آب را از اعماق پایین خاک جذب می‌کنند (Hu and Xiong, 2014). این در حالی است که تحت تنش شوری جرم خشک ریشه کاهش می‌یابد (Raghav and Pal, 1994).

شکل (۵-الف) نشان می‌دهد، زمانی که نیمه از ریشه تحت تیمار پتانسیل اسمزی با سطوح ۰/۴۶-، ۱/۱۲-، ۱/۹۱- و ۳/۶۳- و نیمه دوم ریشه تحت آبیاری روزانه با آب مقطر و مقداری برابر با جذب آب سمت اول قرار می‌گیرد، مقدار جذب آب در سه سطح پتانسیلی ۰/۴۶-، ۱/۱۲- و ۱/۹۱- بار به ترتیب کم‌تر از زمانی است که ریشه تحت تیمار پتانسیل اسمزی است ولی بیشتر از زمانی است که گیاه تحت تنش کم‌آبی تنها قرار دارد. با این حال افزایش معنی‌دار جذب آب در تیمار توأم فقط در سطح ۰/۴۶- بار نسبت به پتانسیل ماتریک مشاهده می‌گردد. این افزایش ۲۲ درصدی جذب آب در سطح ۰/۴۶- بار احتمالاً به دلیل وجود تنش تنفسی در بخشی از ریشه بوده و نمی‌توان تمام تغییرات را به تنش‌های شوری و کم‌آبی نسبت داد. با کاهش سطوح پتانسیلی در تیمارهای توأم، از سطح ۰/۴۶ تا ۳/۶۳- بار، کاهش ۱۲/۶ درصدی جذب آب مشاهده می‌گردد. هرچند که این روند نزولی کاهش جذب آب معنی‌دار نیست. این در حالی است که کاهش سطوح پتانسیلی از ۰/۴۶- تا ۳/۶۳- بار در تیمارهای شوری با کاهش معنی‌دار ۳۶/۶ درصدی جذب آب همراه بوده است. بنابراین می‌توان گفت که شدت کاهش جذب آب تحت تنش شوری بیش از تیمارهای توأم می‌باشد. مقایسه شکل (۵-الف) و شکل (۲) نشان می‌دهد که اگر

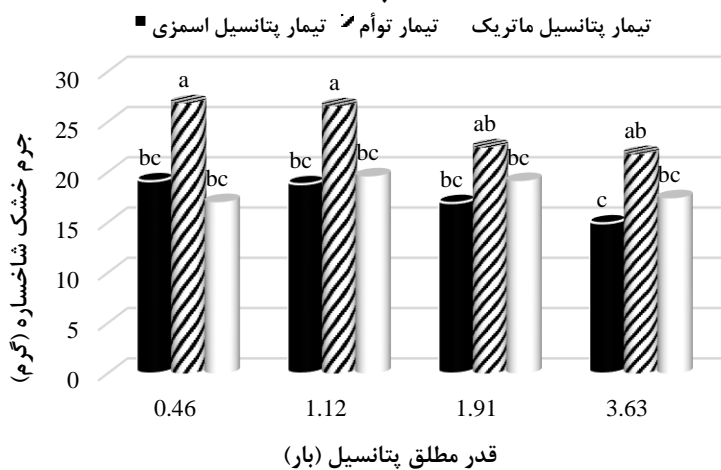
جذب آب به منظور جبران تنش آبی می‌تواند نتایج قابل قبول تری را در مقادیر جذب آب ارائه دهد.

غیریکنواخت رطوبتی، ریشه گیاه به منظور جبران تنش آبی از بخشی‌های با رطوبت بیشتر آب بیشتری جذب خواهد کرد. آن‌ها عنوان کردند که به کار بردن یک ضریب اصلاحی در معادلات

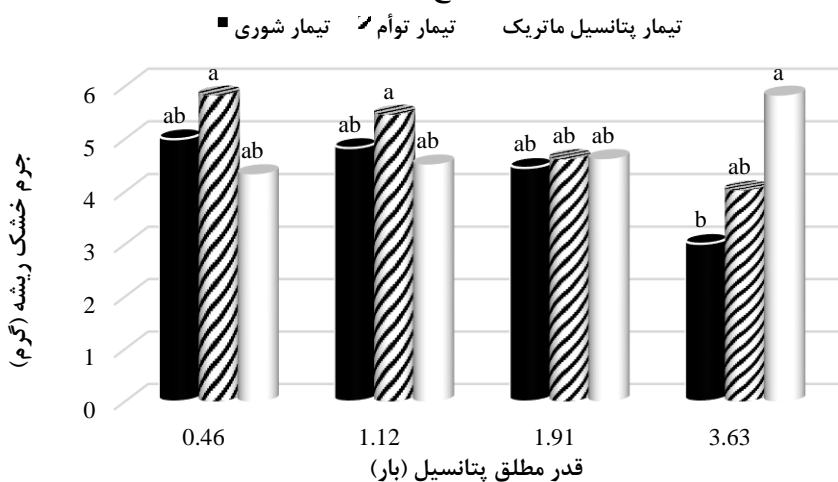
(الف)



(ب)



(ج)



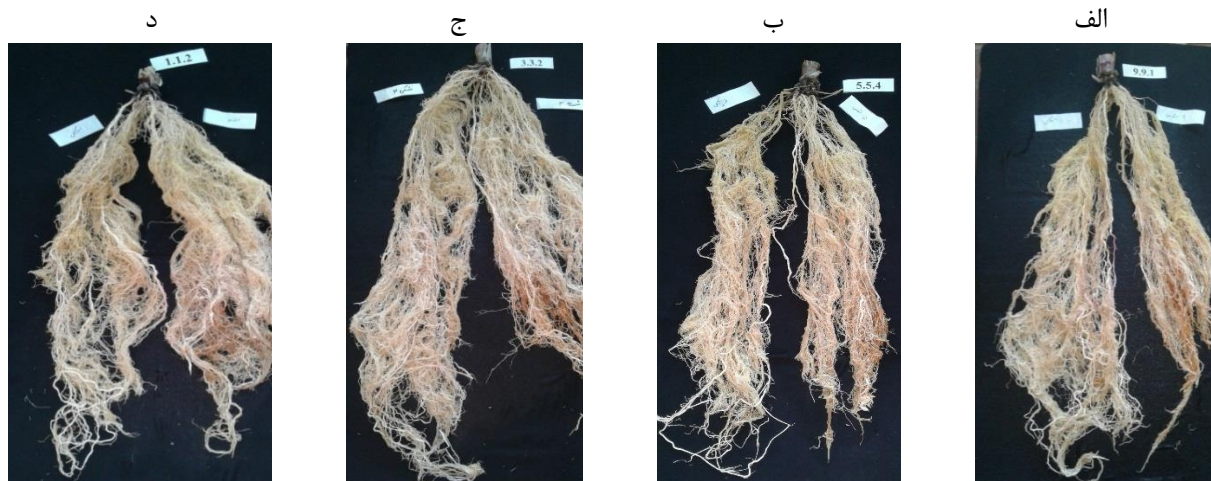
شکل ۵- مقایسه میانگین جذب آب (الف)، جرم خشک اندام هوایی (ب) و ریشه (ج) در تیمارهای اسمزی، ماتریک و توأم در سطوح مختلف پتانسیلی

کاهش یافته است. افزایش جرم خشک ریشه در تمامی سطوح پتانسیلی تیمارهای توأم نسبت به تیمارهای پتانسیل اسمزی

شکل (۵-ج) نشان می‌دهد که با کاهش سطح پتانسیل از ۰/۴۶ تا ۳/۶۳- بار در تیمار توأم، جرم خشک ریشه ۳۱ درصد

این وجود تغییرات جرم خشک ریشه در تیمار توأم نسبت به دو تیمار پتانسیل اسمزی بسیار اندک بوده و سبب تغییرات معنی-داری در تیمارها نشده است. با افزایش سطح شوری بر نیمی از ریشه، جرم خشک کل ریشه به شدت کاهش پیدا می‌کند. این امر به‌وضوح در شکل (۶ الف-د) نشان داده شده است.

معادل آن دیده می‌شود و هم‌چنین در تیمار پتانسیل ماتریک در دو سطح پتانسیلی ۰/۴۶- و ۱/۱۲- بار این افزایش وجود دارد. اما در سطح پتانسیلی ۱/۹۱- بار، جرم خشک ریشه در تیمار توأم تا حدودی برابر با تیمار پتانسیل ماتریک است و با افزایش سطح شوری بر نیمی از ریشه در سطح پتانسیلی ۳/۶۳- بار، مقدار جرم خشک ریشه نسبت به تیمار پتانسیل ماتریک کاهش می‌یابد.



شکل ۶- مقایسه دو سمت ریشه در تیمارهای توأم. الف) سطح پتانسیلی ۳/۶۳- (ب) ۱/۹۱- (ج) ۱/۱۲- (د) ۰/۴۶- بار. نیمه سمت راست در هر تصویر تحت تیمار پتانسیل اسمزی و نیمه سمت چپ تحت تیمار پتانسیل ماتریک قرار گرفته است.

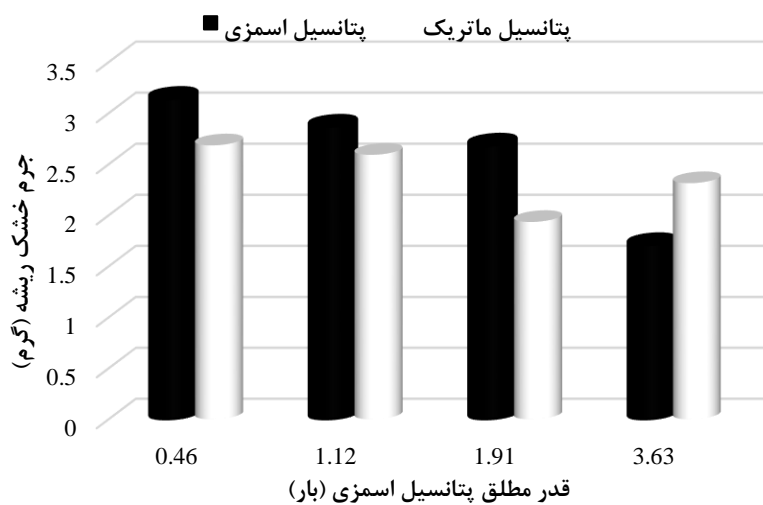
معنی‌دار در سطح ۵ درصد، در دو سمت ریشه یک گیاه، مجموع جرم خشک دو سمت مقدار بیشتری را نسبت به تیمار پتانسیل اسمزی (تیمار فاقد سامانه آبیاری بخشی) داشته است. یعنی این سامانه آبیاری سبب بهبود وضعیت سامانه ریشه‌ای گردیده است. تنظیم اسمزی (Greenway and Munns, 1980) و تشریح آنزیم-های تنش (Reddy et al., 2004)، تولید متابولیت‌هایی مانند پرولین (Seki et al., 2007) و افزایش جذب سدیم (Sun et al., 2016) به دلیل تنش شوری و خشکی گزارش شده است. احتمال داده می‌شود در دامنه پتانسیل‌های اسمزی و ماتریک مورد مطالعه، در شرایطی که نیمی از ریشه تحت یک تنش و نیم دیگر تحت تنش دیگری قرار دارد برخی از اثرات سوء دو تنش نیز بتواند تا حدودی توسط دیگری متعادل گردد. به عبارت دیگر اثر کمی توأم تنش‌های شوری و خشکی کمتر از مجموع اثرات هر یک از تنش‌ها به تنهایی می‌باشد (Kiani et al., 2006).

بالا بودن مقدار جرم خشک ریشه در سطح پتانسیل ۳/۶۳- بار شاید به دلیل پاسخ‌های گیاه به کم‌آبی باشد که در آن بخش غالب زیست‌توده گیاه به ریشه اختصاص داده می‌شود. توسعه سامانه ریشه‌ای به خصوص افزایش طول، چگالی و نسبت ریشه به اندام هوایی برای جذب آب بیشتر یکی از راه‌کارهای اجتناب از خشکی در گیاهان تحت تنش کم‌آبی می‌باشد (Sawidis et al.,

بررسی جرم خشک ریشه در دو سمت سامانه آبیاری بخشی نشان‌دهنده بهبود وضعیت رشد ریشه در بخش تنش شوری نسبت به بخش تنش کم‌آبی می‌باشد (شکل ۷). دامنه مقادیر بیشترین و کمترین جرم خشک ریشه در بخش تیمار اسمزی از تنش توأم ۳/۱۴- بار برابر با ۱/۷ گرم و در بخش تیمار پتانسیل ماتریک ۱/۹- بار برابر با ۲/۶ گرم است. با وجود شدت تغییرات بیشتر جرم خشک ریشه با کاهش سطوح پتانسیلی از ۰/۴۶- تا ۳/۶۳- بار در بخش تنش شوری (۱/۴۴ گرم) نسبت به بخش تنش خشکی (۰/۷ گرم)، بهبود وضعیت ریشه در بخش تنش شوری نسبت به تنش خشکی مشاهده می‌گردد. شکل (۴-الف) نشان می‌دهد زمانی که کل ریشه گیاه تحت پتانسیل اسمزی ۱/۹۱- بار قرار دارد جرم خشک ریشه ۰/۸۱ گرم نسبت به تیمار پتانسیل ماتریک کاهش می‌یابد و با کاهش سطح پتانسیل به ۳/۶۳- بار این مقدار به ۲/۸۱ گرم می‌رسد. اما همان‌طور که در شکل (۷) مشاهده می‌گردد در سطح پتانسیلی ۱/۹۱- بار زمانی که نیمی از ریشه تحت تیمار پتانسیل اسمزی قرار می‌گیرد جرم خشک ریشه در بخش تنش شوری ۰/۷۴ گرم نسبت به تیمار پتانسیل ماتریک افزایش می‌یابد و با کاهش سطح پتانسیل در ۳/۶۳- بار فقط ۰/۶ گرم کاهش در مقدار جرم خشک ریشه نسبت به بخش پتانسیل ماتریک مشاهده می‌شود. با وجود عدم تفاوت

دیگر ریشه که تحت تنش نیست، نیز ارسال شده و سبب بهبود وضعیت فیزیولوژیکی گیاه می‌گردد. بهبود وضعیت ریشه تحت سیستم آبیاری بخشی ریشه نسبت به سیستم آبیاری کامل توسط Sepaskhah and Ahmadi (2010) نیز گزارش گردیده است. Hassanpour *et al.* (2017) نیز عنوان کردند که در تیمار تحت سیستم آبیاری بخشی ریشه با تناوب آبیاری با آب شور و معمولی خصوصیات کمی و کیفی محصول و شاخصه‌های رشد نسبت به آبیاری کامل ریشه با آب معمولی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و بیشترین مقدار روغن آفتاب‌گردان متعلق به این تیمار بود.

(Ogburn and Edward, 2010; 2005). برای مثال افزایش ورود سدیم به اندام‌های هوایی که در اثر تنش شوری بر یک نیمه از گیاه اتفاق می‌افتد می‌تواند به دلیل توزیع سدیم در کل اندام‌های هوایی گیاهی که نیم آن تحت تنش شوری نیست، تا حدودی متعادل گردد (Dong *et al.*, 2010). به عبارت دیگر کاهش نسبت ریشه به شاخساره در اثر شوری نیز می‌تواند به این صورت برای کل گیاه تا حدودی تعدیل شود. مطالعات Redwan *et al.* (2017) نشان داد که تحت سامانه آبیاری بخشی ریشه با آب شور، سیگنال‌هایی از قسمت ریشه تحت تنش ارسال می‌شود، این سیگنال‌ها نه تنها به سمت اندام هوایی گیاه بلکه به سمت نیم

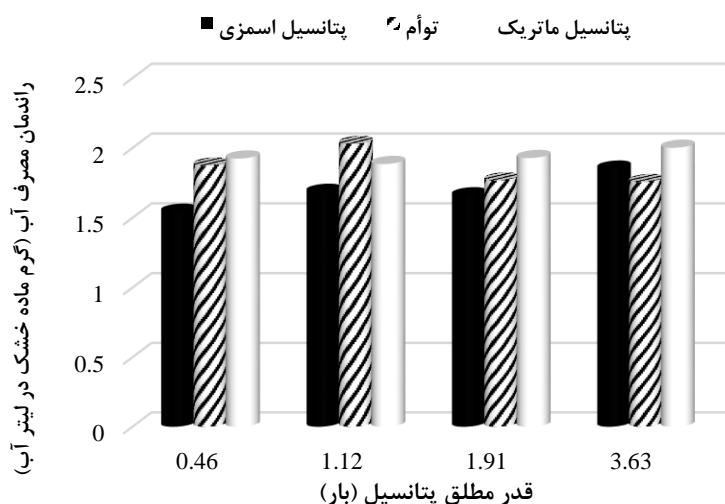


شکل ۷- مقایسه میانگین جرم خشک دو سمت ریشه در تیمار توأم

توأم در سطح ۱/۱۲- بار مشاهده می‌گردد. این در حالی است که با وجود اختلاف معنی‌دار جرم خشک ریشه، تفاوتی در جذب آب در تیمارهای توأم دیده نشد. بنابراین احتمالاً بین رشد ریشه و راندمان مصرف آب یک مبادله ساختاری وجود دارد. Jerszurki *et al.* (2017) نیز با بررسی ایزوتوپ‌های اکسیژن و هیدروژن آب برگ مشاهده نمودند که یک رابطه غیرمستقیم بین رشد ریشه و راندمان مصرف آب وجود دارد. آن‌ها عنوان کردند که تغییرات راندمان مصرف آب تحت شرایط تنش خشکی تا حدود زیادی تحت تأثیر کاهش تعرق گیاه اتفاق می‌افتد و این کاهش تعرق به دلیل کمبود آب ناشی از رشد کم ریشه تحت شرایط تنش می‌باشد. باین حال Vrugt *et al.* (2001) عنوان می‌کند که جذب آب توسط گیاه فقط تحت تأثیر عملکرد و توزیع ریشه تغییر نخواهد کرد و عوامل دیگری مانند مقدار آب قابل دسترس و شوری خاک نیز جذب آب را تحت تأثیر قرار خواهد داد.

افزایش جرم خشک اندام هوایی و جذب کمتر آب در تیمارهای پتانسیل ماتریک نسبت به پتانسیل اسمزی سبب افزایش راندمان مصرف آب در تیمار پتانسیل ماتریک شده است (شکل ۸). اگرچه این افزایش در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیست با این حال می‌توان عنوان کرد که در یک پتانسیل هم‌بار راندمان مصرف آب تحت تنش خشکی بیشتر از تنش شوری است و با توجه به عملکرد، شوری صدمه بیشتری به گیاه وارد می‌کند.

تیمار توأم در سامانه آبیاری بخشی ریشه با وجود جذب آب کمتر در سه سطح پتانسیلی ۰/۴۶، ۱/۱۲- و ۱/۹۱- بار نسبت به تیمار پتانسیل اسمزی، عملکرد بیشتری داشته است. ولی در سطح پتانسیل ۳/۶۳- بار جذب آب در تیمار توأم افزایش داشته ولی جرم خشک کل کمتری نسبت به تیمارهای ماتریک تولید کرده است و این امر سبب کاهش راندمان مصرف آب تیمار توأم شده است. با وجود عدم تفاوت معنی‌دار سامانه آبیاری بخشی، بیشترین مقدار راندمان مصرف آب با ۱/۱۲ گرم در لیتر در تیمار



شکل ۸- مقایسه میانگین راندمان مصرف آب در تیمارهای پتانسیل اسمزی، توأم و ماتریک

پتانسیل اسمزی و ماتریک قابل جمع نیستند و یا به عبارت دیگر مجموع آن‌ها نمی‌تواند مبین شرایط واقعی حاکم بر محیط ریشه باشد. بررسی‌ها نشان داد که اگر هر دو نیمه گیاه تحت شوری معادل ۹ dS/m قرار گیرد، نسبت به حالتی که نصف ریشه در این تنش قرار می‌گیرد و نصف دیگر نیز به اندازه نیمه قبلی آب دریافت می‌کند، آب کمتری مصرف می‌کند که احتمالاً به دلیل کاهش اثرات سمی یون ویژه باشد. سیستم آبیاری بخشی در سطوح پتانسیلی مورد مطالعه سبب می‌شود رشد ریشه گیاه در بخش تنش شوری کمتر کاهش یابد و اختلاف بین رشد دو بخش ریشه حداقل گردد. این کاهش اختلاف رشد ریشه با کاهش سطح پتانسیلی در سیستم آبیاری بخشی نسبت به سیستم آبیاری کامل ریشه کاهش می‌یابد. وجود آب غیر شور در نیمه از ریشه با وجود افزایش سطح شوری در نیم دیگر ریشه به گیاه کمک خواهد کرد تا با بهبود وضعیت ریشه در بخش شوری تا حدودی بر شرایط نامساعد محیطی غلبه کند، هرچند آب غیر شور در نیمه‌ای از گیاه دارای مکش برابر با نیم دیگر ریشه (بخش واقع در شوری) باشد. سطوح پتانسیل اسمزی و ماتریک اعمال شده بر تغییرات جذب آب و عملکرد و روابط آن‌ها به شدت تأثیرگذار است. شاید افزایش دامنه سطوح پتانسیلی به کار برده شده (به کار بردن شوری بیشتر از ۹ دسی‌زیمنس و به تبع آن کاهش پتانسیل ماتریک) اطلاعات بیشتری را نسبت به روابط آبی گیاه تحت تأثیر همزمان دو تنش در اختیار ما قرار دهد. زیرا رابطه بین جذب آب و عملکرد در سطوح بالای پتانسیل و تنش‌های شدید در سامانه آبیاری بخشی ریشه خطی نیست. با این حال نتایج قطعی‌تر نیازمند بررسی‌های بیشتری در این زمینه می‌باشد.

وجود هم‌زمان دو تیمار پتانسیل اسمزی و ماتریک در سطوح بالای پتانسیلی سبب بهبود جذب آب و وضعیت مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه شده ولی با کاهش سطح پتانسیل راندمان مصرف آب کاهش پیدا می‌کند. با افزایش سطح شوری بر نیمه از ریشه، تجمع سدیم بر نیم دیگر ریشه با وجود آبیاری با آب معمولی افزایش می‌یابد (Kong et al., 2011) و این خود سبب می‌شود، تحت تنش شدید در آبیاری بخشی، با وجود بهبود وضعیت گیاه نسبت به سامانه آبیاری کامل، عملکرد کاهش یابد. از طرف دیگر جذب آب بخشی از ریشه که تحت تنش شوری قرار دارد به شدت کاهش یافته و در نهایت مجموع جذب آب توسط گیاه نیز کاهش می‌یابد. نرخ کاهش جذب آب کمتر از کاهش جرم خشک گیاه بوده در نتیجه راندمان مصرف آب نیز کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری کلی

اثر پتانسیل ماتریک و اسمزی برابر به طور جداگانه و نیز به صورت اعمال هر کدام از تیمارها بر نیمه از ریشه بر روی تغییرات جذب آب و عملکرد بر اندام هوایی و ریشه گیاه ذرت در یک کشت گلخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد در دامنه پتانسیل‌های برابر مورد مطالعه شیب تغییرات جذب آب و جرم خشک ریشه تحت تیمار تنش شوری بیش از تنش خشکی است. بنابراین تنش شوری در یک پتانسیل یکسان صدمه بیشتری را نسبت به تنش خشکی بر رشد گیاه وارد می‌کند. مکش ماتریک معادل سطوح شوری ۱، ۳، ۵ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر شرایط بدون تنش تا تنش متوسط را موجب می‌شوند. این مشاهدات نشان می‌دهند که حداقل برای دامنه‌های کم شوری، مقادیر

REFERENCES

- Abbasi, F. (2014) *Advanced Soil Physics*. (2th Ed.). Tehran University: Institute of Publishing and Printing, Tehran University. 320 p. (In Farsi)
- Babazadeh, H., Tabrizi, M.S. and Homaei, M. (2017). Assessing and Modifying Macroscopic Root Water extraction basil (*Ocimum basilicum*) models under simultaneous water and salinity stresses. *Soil Science Society of America Journal*, 81(1), 10-19.
- Bennett, S.J., Barrett-Lennard, E.G. and Colmer, T.D. (2009). Salinity and waterlogging as constraints to saltland pasture production: a review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129(4), 49-360.
- Bernstein, L. and Hayward, H.E. (1958). Physiology of salt tolerance. *Annual Review of Plant Physiology*, 9(1), 25-46.
- Brown, C.E., Pezeshki, S.R. and DeLaune, R.D. (2006). The effects of salinity and soil drying on nutrient uptake and growth of *Spartina alterniflora* in a simulated tidal system. *Environmental and Experimental Botany*, 58(1-3), 140-148.
- Cao, Y., Tian, Y., Gao, L. and Chen, Q. (2016). Attenuating the negative effects of irrigation with saline water on cucumber (*Cucumis sativus* L.) by application of straw biological-reactor. *Agricultural Water Management*, 163, 169-179.
- Cicek, N. and Cakirlar, H. (2002). The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 28(1-2), 66-74.
- Comstock, J.P. (2002). Hydraulic and chemical signalling in the control of stomatal conductance and transpiration. *Journal of Experimental Botany*, 53(367), 195-200.
- Dane, J.H. and Hopmans, J.W. (2002) 3.3. 1 Introduction. *Methods of Soil Analysis: Part 4 Physical Methods*, (methodsofsoilan4). (pp. 671-973).
- Dong, H., Kong, X., Luo, Z., Li, W. and Xin, C. (2010). Unequal salt distribution in the root zone increases growth and yield of cotton. *European Journal of Agronomy*, 33(4), 285-292.
- Feng, X., AN, P., Guo, K., Li, X., Liu, X. and Zhang, X. (2017). Growth, root compensation and ion distribution in *Lycium chinense* under heterogeneous salinity stress. *Scientia Horticulturae*, 226, 24-32.
- Gechev, T.S., Van Breusegem, F., Stone, J.M., Denev, I. and Laloi, C. (2006). Reactive oxygen species as signals that modulate plant stress responses and programmed cell death. *Bioessays*, 28(11), 1091-1101.
- Greenway, H. and Munns, R. (1980). Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annual review of plant physiology*, 31(1), 149-190.
- Hassanpour, F., Shahnazari, A., Karandish, F. and Khaleghi, M. (2017). Effects of Partial Root-Zone Drying Irrigation Management with the Use of a Combination of Sea Water on Quantitative and Qualitative Characteristics of Sunflower (*Helianthus annuus* L.)(Case Study: Mazandaran Province. (Doctoral dissertation, university of Zabol).
- Hu, H. and Xiong, L. (2014). Genetic engineering and breeding of drought-resistant crops. *Annual review of plant biology*, 65, 715-741.
- Hu, Y. and Schmidhalter, U. (2005). Drought and salinity: a comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168(4), 541-549.
- Hu, Y., Burucs, Z., von Tucher, S. and Schmidhalter, U. (2007). Short-term effects of drought and salinity on mineral nutrient distribution along growing leaves of maize seedlings. *Environmental and Experimental Botany*, 60(2), 268-275.
- IPCC, Climate Change and Water Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC Secretariat, Geneva, 2008. *J. 57*, 483-486.
- Jerszurki, D., Couvreur, V., Maxwell, T., Silva, L.D.C.R., Matsumoto, N., Shackel, K., de Souza, J.L.M. and Hopmans, J. (2017). Impact of root growth and hydraulic conductance on canopy carbon-water relations of young walnut trees (*Juglans regia* L.) under drought. *Scientia Horticulturae* 226, 342-352.
- Katerji, N., van Hoorn, J.W., Hamdy, A. and Mastrorilli, M. (2003). Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods. *Agriculture Water Management*. 62, 37-66.
- Kiani, A.R., Homaei, M. and Mirlatifi, M. (2006). Evaluating yield reduction functions under salinity and water stress conditions. *Soil and Water Sciences*. 20(1), 73-83. (In Farsi)
- Kong, X., Luo, Z., Dong, H., Eneji, A.E. and Li, W. (2011). Effects of non-uniform root zone salinity on water use, Na⁺ recirculation, and Na⁺ and H⁺ flux in cotton. *Journal of experimental botany*, 63(5), 2105-2116.
- Koushafar, M., Khoshgoftarmansh, A.H., Moezzi, A. and Mobli, M. (2011). Effect of dynamic unequal distribution of salts in the root environment on performance and Crop per Drop (CPD) of hydroponic-grown tomato. *Scientia horticulturae*, 131, 1-5.
- Lycoskoufis, I.H., Savvas, D. and Mavrogianopoulos, G. (2005). Growth, gas exchange, and nutrient status in pepper (*Capsicum annum* L.) grown in recirculating nutrient solution as affected by salinity imposed to half of the root system. *Scientia Horticulturae*, 106(2), 147-161.
- Malash, N., Flowers, T.J. and Ragab, R. (2005). Effect of irrigation systems and water management practices using saline and non-saline water on tomato production. *Agricultural Water Management*, 78(1-2), 25-38.

- Martinez-Alvarez, V., Martin-Gorriz, B. and Soto-García, M. (2016). Seawater desalination for crop irrigation-A review of current experiences and revealed key issues. *Desalination*, 381, 58-70.
- Meskini-Vishkaee, F., Mohammadi, and Shekari, F. (2016). Effect of soil moisture on wheat and canola root respiration rates in two soil texture. *Journal of plant process and function*, 14(4), 177-188. (In Farsi)
- 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(1), 83-90.
- Mohammadi, M.H., Khataar, M. and Shekari, F. (2017). Effect of soil salinity on the wheat and bean root respiration rate at low matric suctions. *Paddy and Water Environment*, 15(3), 639-648.
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, cell & environment*, 25(2), 239-250.
- Munns, R. (2005). Genes and salt tolerance: bringing them together. *New phytologist*, 167(3), 645-663.
- Munns, R. and Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review Plant Biology*, 59, 651-681.
- Ogburn, R.M. and Edwards, E.J. (2010). The ecological water-use strategies of succulent plants. In *Advances in botanical research*, 55, 179-225. Academic Press.
- Raghav, C.S. and Pal, B. (1994). Effect of saline water on growth, yield and yield contributory characters of various wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Annals of Agricultural Science*, 15(3), 351-356.
- Rajendran, K., Tester, M. and Roy, S.J. (2009). Quantifying the three main components of salinity tolerance in cereals. *Plant, cell & environment*, 32(3), 237-249.
- Reddy, A.R., Chaitanya, K.V. and Vivekanandan, M. (2004). Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of plant physiology*, 161(11), 1189-1202.
- Redwan, M., Spinelli, F., Marti, L., Bazihizina, N., Azzarello, E., Mancuso, S. and Masi, E. (2017). Investigation of root signaling under heterogeneous salt stress: A case study for *Cucumis sativus* L. *Environmental and Experimental Botany*, 143, 20-28.
- Reef, R., Markham, H.L., Santini, N.S. and Lovelock, C.E. (2015). The response of the mangrove *Avicennia marina* to heterogeneous salinity measured using a split-root approach. *Plant and soil*, 393(1-2), 297-305.
- Sadranbas, Z., Shahanzari, A., Ziatbar Ahmadi, M.kh. and Karandish, F. (2014). Study on the growth trend of corn root in two methods of low irrigation. *Water Research in Agriculture*, 28 (2), 409-418.
- Sepaskhah, A.R. and Ahmadi, S.H. (2010). A review on partial root-zone drying irrigation. *International Journal of Plant Production*. 4 (4), 241-258.
- Stefanelli, D., Fridman, Y. and Perry, R.L. (2009). DigiRoot™: new software for root studies. *European Journal Horticulture Science*. 74(4), 169-174.
- Sawidis, T., Kalyva, S. and Delivopoulos, S. (2005). The root-tuber anatomy of *Asphodelus aestivus*. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 200(4), 332-338.
- Seki, M., Umezawa, T., Urano, K. and Shinozaki, K. (2007). Regulatory metabolic networks in drought stress responses. *Current opinion in plant biology*, 10(3), 296-302.
- Sirault, X.R., James, R.A. and Furbank, R.T. (2009). A new screening method for osmotic component of salinity tolerance in cereals using infrared thermography. *Functional Plant Biology*, 36(11), 970-977.
- 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*, 408(1-2), 211-226.
- Tanji, K.K. and Kielen, N.C. (2002). Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome (Italy) [Corporate Author].
- Torabi, M. (2014). Physiological and biochemical responses of plant to salt stress. The 1st international conference on New Ideas in agriculture. Islamic Azad University Khorasan Branch. 26-27 Jan, Isfahan, Iran.
- Zakerinia, M., Sohrabi, T., Neyshaburi, M.R. and Shahabifar, M. (2009). Root uptake compensation factor for non-uniform soil moisture conditions. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 16(1-A).
- Zekri, M. and Parsons, L.R. (1990). Response of split-root sour orange seedlings to NaCl and polyethylene glycol stresses. *Journal of Experimental Botany*, 41(1), 35-40.