

عکس‌العمل نهال زیتون (*Olea europaea* L.) به تنش توام شوری و تراکم خاک در شرایط کمبود اکسیژن خاک

تورج خوش زمان^{۱*}، احمد گلچین^۲، مهدی طاهری^۳، محمود عظیمی^۴، داود زارع حقی^۵

۱. دانشجوی دکتری فیزیک و حفاظت خاک، گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان، زنجان

۲. استاد، دانشگاه زنجان، گروه علوم خاک، زنجان

۳. استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی زنجان، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان

۴. مربی بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی زنجان، سازمان

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان

۵. استادیار، گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز، تبریز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۴ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۱۱/۱۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۱۲/۱۶)

چکیده

پاسخ نهال‌های زیتون رقم زرد به شوری آب آبیاری و تراکم خاک در رطوبت ۰/۹ اشباع، مطالعه گردید. خاکی با بافت لومی‌شنی پس از عبور از الک ۴/۷۵ میلی‌متری به نحوی داخل استوانه‌هایی از جنس پی‌وی‌سی ریخته شد که سطوح مختلف تراکم (جرم مخصوص ظاهری ۱/۳، ۱/۵ و ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب) در آن‌ها ایجاد گردد. نهال‌های زیتون به استوانه‌ها انتقال داده شدند و با آب‌هایی با شوری ۲، ۵، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به مدت پنج ماه آبیاری شدند. کارآیی لحظه‌ای مصرف آب، نشت یونی، شاخص سبزی‌نگی و تعداد برگ تا شوری ۸ و فاکتورهای فتوسنتز، هدایت روزنه-ای، ترق و اختلاف دمای برگ با محیط تا شوری آب ۵ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت آماری معنی‌دار نداشتند. کمبود اکسیژن خاک موجب کاهش توانایی مکانیسم‌های تحمل به شوری شد. در خاک با بافت شن لومی، جرم مخصوص ظاهری ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب مناسب رشد نهال‌های زیتون بود.

واژه‌های کلیدی: دمای برگ، زیتون، فتوسنتز، کارآیی لحظه‌ای مصرف آب و میزان کلروفیل

مقدمه

زیتون عمده‌ترین درخت منطقه طارم بوده و به عنوان درخت نیمه متحمل به شوری محسوب می‌شود، گرچه تحمل به شوری در درخت زیتون به شدت وابسته به رقم است (Tattini *et al.*, 1995; Chartzoulakis, 2005). در حالی که تعدادی از ارقام زیتون بدون تأثیرپذیری از آبیاری با آب شور (۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر) عملکرد مطلوبی دارند (Dag *et al.*, 2008)، برخی ارقام دیگر در مواجهه با شوری‌های بالا دچار محدودیت‌های شدید در عملکرد فیزیولوژیکی، رشد و عملکرد می‌شوند (Chartzoulakis, 2005; Rossi *et al.*, 2015). تحمل زیتون به شوری بیشتر به توانایی این گیاه در جلوگیری از جابجایی نمک‌ها به سمت شاخه‌ها مربوط می‌شود، در نتیجه اثرات سمیت در بخش‌های هوایی درختان کاهش می‌یابد (Tattini *et al.*, 1995; Kchaou, 2010; Cimato *et al.*, 2002; Chartzoulakis *et al.*, 2010). تفاوت‌های مهمی در ظرفیت دفع یونی پنج رقم

زیتون در غلظت‌های زیاد نمک گزارش کردند و نشان دادند متحمل‌ترین رقم در بین ارقام مورد آزمایش، یعنی رقم شمالی، بطور مؤثرتری نمک‌ها را از بافت‌های هوایی دفع می‌کند. غرقاب شدن خاک به عنوان یک تنش غیرزنده، دیرزمانی است که شناسایی شده و محدودیت‌هایی که بر ریشه اعمال می‌کند موجب اثرات شدید بر رشد و توسعه گیاه می‌شود. اطلاع از عکس‌العمل گیاهان در مواجهه با تنش توأم شوری و غرقابی در اراضی با آب زیرزمینی بالا ضروری است. در سطح جهانی نیز علاقه وافری به حفاظت گیاهان تحت تنش غرقابی وجود دارد (Azizi *et al.*, 2017). در بین تنش‌های غیرزنده، غرقاب شدن یکی از مهمترین فاکتورهای مؤثر در الگوی پراکنش گیاهان است (Azizi *et al.*, 2017). غرقاب طولانی مدت منجر به تنش فیزیولوژیکی شدید در گیاهان آوندی می‌شود، جذب آب در این گیاهان کاهش یافته و با اثرگذاری بر پتانسیل آب برگ‌ها و متعاقباً بر هدایت روزنه‌ای، موجب کاهش جذب کربن و کاهش فتوسنتز می‌شود (Colmer and Voesenek, 2009). غلظت عناصر غذایی در برگ‌ها در پاسخ به غرقاب بر حسب تحمل

* نویسنده مسئول: t_khoshzaman@znu.ac.ir

گونه گیاهی و خصوصیات خاک تغییر می‌کند (Pezeshki, 2001). اولین نتیجه غرقاب شدن، یعنی کمبود اکسیژن خاک، به دلیل ممانعت آب از انتشار هوا در منافذ خاک بوجود می‌آید. انتشار گاز در آب ده‌هزار مرتبه کمتر از انتشار در هوا است. این مشکل باعث می‌شود اندک اکسیژن وارد شده به خاک به همراه آب، به سرعت توسط ریشه گیاهان و موجودات میکروبی خاک مورد استفاده قرار گرفته و حالت کمبود اکسیژن یا فقدان اکسیژن در خاک پیش آید.

در باغ‌های زیتون وضعیت به‌گونه دیگری است. الگوی توزیع باغ‌های زیتون از توزیع رطوبت خاک یا الگوی غرقاب شدن مناطق تبعیت نمی‌کند اما به دلیل مشکلات پیش‌آمده در برخی مناطق کشور، از جمله افزایش سطح ایستابی به دلیل مشکلات زهکشی، نفوذپذیری خاک‌های با بافت سنگین و غیره، رشد و باردهی درختان میوه در چنین اراضی با مشکل روبرو شده است. مطالعات مرتبط با عکس‌العمل گیاهان به تنش توأم شوری و غرقابی در گیاهان زراعی انجام شده و اطلاعاتی در مورد درختان و به‌خصوص زیتون در دست نیست. چندین پژوهش در مورد پاسخ زیتون به تنش شوری (Tattini et al., 1995؛ Chartzoulakis et al., 2002؛ Chartzoulakis, 2005)، تنش خشکی (Giorio et al., 1999؛ Moreno et al., 2006؛ Ben Ahmed et al., 2007) و انواع خاک‌های نامناسب (Ben Rouina et al., 2007) انجام شده است. به همین دلیل هدف از تحقیق حاضر بررسی اثرات شوری آب آبیاری و تراکم خاک به عنوان تنش‌های غیرزنده بر ویژگی‌های فتوسنتزی، کارایی لحظه‌ای مصرف آب، میزان جذب و تجمع یون‌های سدیم، پتاسیم و کلسیم در برگ نهال‌های زیتون رقم زرد در شرایط کمبود اکسیژن خاک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی پاسخ نهال‌های زیتون رقم زرد (*Olea europaea* L. cv Zard) به سطوح شوری آب آبیاری و تراکم خاک، یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش.

فسفر	پتاسیم	شوری (گل اشباع)	عصاره آهک	اسیدیته	رطوبت اشباع (وزنی)	شن	سیلت	رس	بافت	کربن آلی
(mg kg ⁻¹)		(dS m ⁻¹)	(%)	(-)	(%)	(%)			(-)	(%)
۵	۷۱	۲/۵۶	۷/۷	۷/۷۷	۳۷	۷۶	۱۹	۵	لوم شنی	۰/۰۵

گلخانه به اجرا درآمد. از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری خاک ایستگاه تحقیقات زیتون طارم برای پر کردن گلدان‌ها استفاده شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش در جدول (۱) ارائه شده است. ابتدا خاک با استفاده از الک ۴/۷۵ میلی‌متری سرنده و سپس داخل گلدان‌هایی از جنس PVC به قطر ۱۵ و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر به آرامی ریخته و فشرده شد تا جرم مخصوص ظاهری مورد انتظار (۱/۳، ۱/۵ و ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب، به ترتیب ρ_{b3} و ρ_{b2} ، ρ_{b1}) بدست آید. متراکم کردن خاک به روش (Zarehaghghi et al., 2012) به‌این‌ترتیب انجام شد که ارتفاع ۵۰ سانتی‌متری استوانه‌ها به ۱۰ قسمت مساوی ۵ سانتی‌متری تقسیم شد. با در دست داشتن حجم قسمت‌های ۵ سانتی‌متری و جرم مخصوص ظاهری خشک مورد نظر، جرم خاک لازم محاسبه شده و خاک پس از توزین داخل استوانه که پایین آن توسط صفحه فلزی کاملاً مسدود شده بود ریخته شد. برای فشرده کردن خاک یک صفحه فلزی متصل به یک میله روی خاک قرار داده شد. یک وزنه ۲/۵ کیلوگرمی که در طول میله بتواند سقوط آزاد داشته باشد، از ارتفاع ۶۰ سانتی‌متری بر روی صفحه فلزی به تعداد لازم رها گردید تا خاک ریخته شده در استوانه به حجم از قبل تعیین شده برسد. این عمل برای پر شدن استوانه‌ها تا ارتفاع ۳۵ سانتی‌متری ادامه یافت. سپس نهال‌های ریشه‌دار و یک ساله زیتون رقم زرد به استوانه‌ها منتقل و استوانه‌ها تا ارتفاع ۴۵ سانتی‌متری با خاک پر شدند. برای جلوگیری از بهم‌خوردگی سطح خاک در حین آبیاری، به سطح خاک هر استوانه یک سانتی‌متر سنگریزه ریز اضافه شد. با در نظر گرفتن چهار سطح شوری، سه سطح تراکم خاک و سه تکرار، در مجموع ۳۶ استوانه آماده گردید و استوانه‌ها بصورت تصادفی روی یک شاسی در گلخانه قرار داده شدند. قبل از اعمال تیمارهای آزمایش، استوانه‌ها با استفاده از آب شیرین به مدت یک ماه تا استقرار کامل نهال‌ها در گلدان‌ها آبیاری شدند.

دستیابی به محلول‌هایی با شوری‌های ۲، ۵، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر (تیمارهای شوری S1، S2، S3 و S4) محاسبه

اعمال تیمار شوری بر روی نهال‌ها

با استفاده از روابط (۱ و ۲)، میزان نمک NaCl لازم برای

شمارش مستقیم بر روی نهال تعیین شد. به این منظور قبل از اعمال تیمار، انتهای شاخه‌ها علامت‌گذاری شده بود. نتایج بدست آمده از آزمایش در محیط نرم‌افزار Excel مرتب‌سازی شد. تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون دانکن و تنها برای ویژگی‌هایی که در تجزیه واریانس (جدول تجزیه واریانس ارائه نشده است) از نظر آماری معنی‌دار بودند، انجام شد.

نتایج و بحث

تعرق از سطح برگ (E)

مقادیر تعرق از سطح برگ (E) تفاوت معنی‌داری بین سطوح شوری آب ۲ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر نداشت با این حال میزان این ویژگی در شوری آب ۲ دسی‌زیمنس بر متر بیشترین مقدار در بین تیمارها بود. مقادیر مشاهده شده تعرق از سطح برگ در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر کمترین میزان در بین تمام سطوح شوری بود و تفاوت آماری معنی‌دار با بقیه سطوح شوری داشت (جدول ۲). تغییرات تعرق از سطح برگ با سطوح تراکم خاک از نظر آماری معنی‌دار بود. کمترین میزان تعرق از سطح برگ در تراکم ۱/۷ و بیشترین میزان آن در تراکم ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب مشاهده شد (جدول ۳). اثر متقابل شوری آب آبیاری و تراکم خاک بر میزان تعرق از سطح برگ از نظر آماری معنی‌دار نبود. تحقیقات نشان داده است که با افزایش شوری آب آبیاری، هدایت روزنه‌ای و تعرق گیاهان کاهش می‌یابد (Olyaii *et al.*, 2015؛ Chavez *et al.*, 2009؛ Ouzounidou *et al.*, 2016). با کاهش هدایت روزنه‌ای، غلظت دی‌اکسید کربن و بخارآب در فضای زیر روزنه نیز کاهش می‌یابد (Qiu *et al.*, 2007). کاهش تعرق از سطح برگ به دلیل بسته شدن روزنه‌ها در پاسخ به جبران کاهش جذب آب در اثر کاهش پتانسیل اسمزی آب خاک و افزایش شوری محیط است (Aparicio *et al.*, 2014؛ Loreto *et al.*, 2003). مصرف آب شور موجب کاهش پتانسیل آب خاک شده و جذب آب را کاهش می‌دهد. کاهش جذب آب در درختان زیتون متأثر از شوری توسط Loreto *et al.* (1995)، Tattini *et al.* (1997) و Gucci *et al.* (1997) و Loreto *et al.* (2003) گزارش شده است.

هدایت روزنه‌ای (gs)

هدایت روزنه‌ای (gs) با افزایش شوری آب آبیاری کاهش یافت. بیشترین و کمترین میزان این ویژگی به ترتیب در شوری‌های آب آبیاری ۲ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (جدول ۲).

گردید (Grattan, 2002؛ Motesharezadeh *et al.*, 2016). برای کنترل شوری محلول‌ها، از یک دستگاه هدایت الکتریکی سنج قابل حمل استفاده شد.

$$\text{TDS} = 0.640 \times \text{EC} \quad \text{when EC} < 5 \text{ dS}^{\text{m}^{-1}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$\text{TDS} = 0.800 \times \text{EC} \quad \text{when EC} > 5 \text{ dS}^{\text{m}^{-1}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در روابط بالا، TDS مقدار نمک بر حسب گرم بر لیتر و EC شوری، بر حسب دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. میزان رطوبت گلدان‌ها در رطوبت معادل ۰/۹ رطوبت اشباع توسط توزین آن‌ها در حین اجرای آزمایش، حفظ و نگهداری شد. این آزمایش به مدت پنج ماه پس از اعمال تیمار نهایی شوری ادامه یافت.

اندازه‌گیری پارامترهای گیاهی

برای اندازه‌گیری میزان فتوسنتز گیاه از دستگاه فتوسنتز متر قابل حمل LCi (ADC Bio Scientific Ltd.) استفاده شد. توسط این دستگاه ویژگی‌هایی مانند تعرق از سطح برگ (E)، فتوسنتز (An) و هدایت روزنه‌ای (gs) اندازه‌گیری شد. فاکتور کارایی لحظه‌ای مصرف آب^۱ از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$\text{Ins. WUE} = \text{An} / \text{gs} \quad (\text{رابطه ۳})$$

برای تعیین غلظت عناصر سدیم و پتاسیم برگ بعد از هضم تر نمونه‌ها از دستگاه فلیم‌فوتومتر مدل ۴۱۰ شرکت CORNING استفاده گردیده و اندازه‌گیری کلسیم به کمک دستگاه جذب اتمی GBC-Avanta بعد از هضم خشک نمونه‌های برگ صورت پذیرفت. نشت یونی^۲ برگ‌ها به روش Azzarello *et al.* (2009) و به ترتیب زیر انجام شد: نمونه‌های برگ به وزن ۰/۵ تا ۰/۵۵ گرم پس از توزین، از وسط برش داده شدند و داخل لوله‌های تمیز درب دار قرار گرفتند. مقدار ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به نمونه‌ها اضافه شد و نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و هدایت الکتریکی آن‌ها (EC₁) توسط دستگاه شوری سنج مدل ۴۳۳۰ شرکت JenWay قرائت شد. سپس نمونه‌ها به یخچالی با دمای ۲۵- درجه سانتی‌گراد منتقل و پس از ۲۴ ساعت، نمونه‌ها از یخچال بیرون آورده شدند و پس از رسیدن دمای آن‌ها به دمای محیط، میزان هدایت الکتریکی آن‌ها مجدداً قرائت شد (EC₂). با تقسیم EC₁ بر EC₂ و ضرب نمودن مقدار حاصل در ۱۰۰، میزان نشت یونی نمونه‌ها بدست آمد. پتانسیل آب ساقه‌ها با استفاده از دستگاه اتاقت فشاری مدل ELE ARIMAD 3000 (ELE International) اندازه‌گیری شد. تعداد برگ‌های جدید، با

1 - Instantaneous Water Use Efficiency

2 - Electrolyte Leakage

نیز کاهش می‌یابد. Olyaii *et al.* (2015) نشان دادند با افزایش شوری میزان هدایت روزه‌ای برگ ارقام زیتون کاهش یافت. این محققین نتیجه گرفتند انسداد روزه‌ها تحت شرایط تنش شدید، عامل کاهش هدایت روزه‌ای بوده است. Qiu *et al.* (2007) به کمک تکنیک اسکن میکروسکوپ الکترونی نشان دادند افزایش شوری موجب کاهش تعداد روزه در واحد سطح برگ شد. نتایج این تحقیق (جدول ۲) نشان داد علی‌رغم افزایش شوری آب آبیاری تا سطح ۸ دسی‌زیمنس بر متر، هدایت روزه‌ای تغییری نداشت. این امر نشان داد که در شوری‌های بیشتر از ۸ دسی‌زیمنس بر متر، روزه‌ها برای حفظ رطوبت بافت‌ها بسته شده و هدایت روزه‌ای کاهش می‌یابد، یا اینکه گیاه در پاسخ به افزایش شوری اقدام به کاهش تعداد روزه در واحد سطح برگ‌های جوان می‌نماید که این اقدام نیز باعث کاهش میزان تعرق و هدایت روزه‌ای می‌شود (Qiu *et al.*, 2007). تغییرات تراکم روزه در تنش‌های شوری و خشکی توسط محققین ثابت شده است (Zhang *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2008; Xu and Zhou, 2006; Meng *et al.*, 1999).

مقدار این ویژگی در شوری ۵ تفاوت آماری معنی‌داری با سطوح شوری ۲ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر نداشت. هدایت روزه‌ای با افزایش تراکم خاک، کاهش یافت. بیشترین مقدار هدایت روزه‌ای در تراکم ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب مشاهده شد. بین مقادیر مشاهده شده برای هدایت روزه‌ای در سطوح تراکم ۱/۵ و ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت و مقادیر هدایت روزه‌ای در این سطوح تراکم خاک کمتر از تراکم ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب بودند (جدول ۳). اثر متقابل شوری آب آبیاری و تراکم خاک بر میزان هدایت روزه‌ای از نظر آماری معنی‌دار نبود. Rivelli *et al.* (2002) نشان دادند پس از اعمال شوری بر گیاه آفتابگردان، هدایت روزه‌ای کاهش یافت درحالی که مقدار دی‌اکسید کربن زیر روزه‌ای تغییر معنی‌داری نشان نداد. نتایج این تحقیق مشابه نتایج Rivelli *et al.* (2002) بود. کاهش هدایت روزه‌ای در گیاهان تحت تنش شوری عکس‌العمل تطابقی در برابر کاهش محتوای آب سلول‌ها است (Loreto *et al.*, 2003)، در نتیجه می‌توان چنین استنباط کرد که با افزایش تراکم خاک و کاهش رشد ریشه و کاهش جذب آب، محتوای آب سلول‌ها کاهش یافته و هدایت روزه‌ای

جدول ۲- مقایسه میانگین خصوصیات گیاهی متأثر از شوری آب آبیاری.

Elec. Leak (%)	Ψ_w stem (bar)	InstantWUE $\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$	An $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$	gs $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$	E	شوری (dS m ⁻¹)
۵۳/۴۲a	-۱۷/۲۲a	۹۸/۲۹b	۴/۵۶a	۰/۰۴۸a	۳/۸۲a	۲
۵۳/۵۳a	-۱۸/۸۱b	۹۰/۶۳b	۴/۰۸ab	۰/۰۴۶ab	۳/۶a	۵
۵۸/۰۴a	-۲۱/۰۴c	۱۰۶/۸۸b	۳/۶۷b	۰/۰۳۸b	۲/۷۵b	۸
۶۸/۶۷b	-۲۲/۵۷c	۱۵۶/۴۳a	۲/۶۱c	۰/۰۱۹c	۱/۸۹c	۱۲

ادامه جدول ۲- مقایسه میانگین خصوصیات گیاهی متأثر از شوری آب آبیاری.

Leaf Count (-)	Na/K (-)	K (mg kg ⁻¹)	Na (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	SPAD (-)	Δ Temp (°C)	شوری (dS m ⁻¹)
۶۹/۲۲a	۰/۰۱c	۱/۵۹a	۰/۰۲c	۰/۷۸b	۷۳/۷۹a	-۱۰/۴۴a	۲
۷۵/۴۴a	۰/۰۱c	۱/۴۵b	۰/۰۲c	۰/۹۲ab	۷۴/۲۳a	-۱۰/۳۱a	۵
۶۶/۸۹a	۰/۰۳b	۱/۳۹b	۰/۰۵b	۰/۹۹a	۷۳/۲۱a	-۹/۳۳b	۸
۴۷/۷۸b	۰/۰۶a	۱/۳c	۰/۰۷a	۰/۹ab	۶۴/۶b	-۸/۰۲c	۱۲

در هر ستون و فاکتور، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

E: تعرق، gs: هدایت روزه‌ای، An: سرعت فتوسنتز، Ins. WUE: کارآیی لحظه‌ای مصرف آب، Ψ_w stem: پتانسیل آب ساقه، Elec. Leak: نشت یونی، Δ Temp: اختلاف درجه حرارت برگ و محیط، SPAD: شاخص سبزیگی برگ، Ca: غلظت کلسیم برگ، Na: غلظت سدیم برگ، K: غلظت پتاسیم برگ، Na/K: نسبت غلظت سدیم به پتاسیم در برگ، Leaf Count: تعداد برگ.

سرعت فتوسنتز (An)

(جدول ۲). مقدار این ویژگی در شوری آب آبیاری ۵ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت آماری معنی‌داری با سطوح ۲ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر نداشت. تغییرات این ویژگی با افزایش تراکم خاک نیز روند کاهشی داشت. گرچه بین سطوح تراکم ۱/۳ و

سرعت فتوسنتز (An) با افزایش میزان شوری آب آبیاری کاهش یافت. بیشترین و کمترین سرعت فتوسنتز به ترتیب در سطوح شوری آب آبیاری ۲ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شدند

شدن آب، هیدراسیون خود را حفظ کنند (Ben Ahmed *et al.*, 2008). حفظ فعالیت فتوسنتزی در برگ‌های جوان در غلظت‌های زیاد NaCl، احتمالاً نتیجه دفع نمک از طریق ریشه‌ها و انتقال بیشتر نمک‌های دریافت شده به برگ‌های پیر بوده است. تفسیرها و نتایج مشابهی نیز توسط Munns (2002) و Loreto *et al.* (2003) ارائه شده است و مشاهده شده که تفاوت‌هایی بین ارقام وجود دارد. Chartzoulakis *et al.* (2002) به تفاوت‌های زیاد ارقام یونانی در ظرفیت دفع نمک اشاره کردند. Gucci *et al.* (1997) اشاره کردند که این مکانیسم با کارایی بیشتری در زیتون رقم فرانتویو نسبت به رقم لچینو عمل می‌کند. Ben Ahmed *et al.* (2008) نتیجه گرفتند شدت فتوسنتز بیشتر در رقم شمالی در شوری ناشی از NaCl با غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار در مقایسه با رقم متحمل کالاماتا (Chartzoulakis *et al.*, 2002) به دلیل مقاومت بیشتر رقم شمالی به شوری بوده است.

۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب تفاوت آماری معنی‌دار وجود نداشت اما سرعت فتوسنتز در تراکم ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب بیشترین مقدار بین سطوح تراکم بود (جدول ۳). کمترین میزان این ویژگی در تراکم ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب مشاهده شد و اختلاف این سطح تراکم با بقیه سطوح تراکم خاک از نظر آماری معنی‌دار بود. اثر متقابل شوری آب آبیاری و تراکم خاک بر سرعت فتوسنتز از نظر آماری معنی‌دار نبود. کاهش سرعت فتوسنتز در نهال‌های زیتون تحت تنش، می‌تواند به عنوان یک مکانیسم اجتناب از دهیدراسیون تلقی شود که تلفات آب از طریق تعرق را کاهش داده و گیاه را قادر می‌سازد تا ضمن فعال نگهداشتن فتوسنتز برگ‌ها هر چند با سرعت کمتر، هیدراسیون خود را حفظ کند. مکانیسم اخیر یک مکانیسم سازگاری با شرایط تنش شوری محسوب می‌شود. زمانی که درختان با کمبود آب ناشی از شوری مواجه می‌شوند، میزان باز بودن روزنه‌ها را تنظیم می‌کنند تا با جلوگیری از تلف-

جدول ۳- مقایسه میانگین خصوصیات گیاهی متأثر از تراکم خاک.

ElecLeak	Ψw stem	An	gs	E	تراکم خاک
(%)	(bar)	μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	μmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹		g cm ⁻³
۵۳/۷۸a	-۱۸/۸۴a	۴/۱۴a	۰/۰۵a	۳/۳۵a	۱/۳
۵۵/۹۷a	-۲۱/۰۴b	۳/۹۳a	۰/۰۳b	۲/۹۸b	۱/۵
۶۵/۴۹b	-۱۹/۸۵ab	۳/۱۳b	۰/۰۳b	۲/۷۱c	۱/۷

ادامه جدول ۳- مقایسه میانگین خصوصیات گیاهی متأثر از تراکم خاک.

Leaf Count	Na/K	K	Na	Ca	SPAD	Δ Temp	تراکم خاک
(-)	(-)	(mg kg ⁻¹) dry weight	(-)	(-)	(-)	(°C)	g cm ⁻³
۷۶/۶۷a	۰/۰۲b	۱/۶a	۰/۰۳b	۰/۷۶b	۷۷/۱۳a	-۱۱/۸۸a	۱/۳
۶۳/۴۲ab	۰/۰۲b	۱/۴۴b	۰/۰۳b	۰/۸۷b	۷۲/۱۷b	-۸/۹۸b	۱/۵
۵۴/۴۲b	۰/۰۴a	۱/۲۷c	۰/۰۵a	۱/۰۷a	۶۵/۰۸c	-۷/۷۲c	۱/۷

در هر ستون و فاکتور، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

E: تعرق، gs: هدایت روزنه‌ای، An: سرعت فتوسنتز، Ψw stem: پتانسیل آب ساقه، Elec. Leak: نشت یونی، ΔTemp: اختلاف درجه حرارت برگ و محیط، SPAD: شاخص سبزیگی برگ، Ca: غلظت کلسیم برگ، Na: غلظت سدیم برگ، K: غلظت پتاسیم برگ، Na/K: نسبت غلظت سدیم به پتاسیم در برگ، Leaf Count: تعداد برگ.

کارایی لحظه‌ای مصرف آب (Ins. WUE)

(Ins. WUE) قابلیت استفاده به عنوان ابزاری برای بهینه‌سازی استراتژی آبیاری در شرایط کمبود آب را دارد. تحقیقات آنها نشان داد که بیشترین مقدار An/gs در گیاه ذرت با استراتژی‌های صرفه‌جویی آب بدست آمد. همچنین نتایج آنها نشان داد اختلاف آماری معنی‌داری بین تیمارهای مختلف شوری و کود نیتروژن وجود نداشت. در گیاه *Nicotiana glauca* (نوعی تنباکو) بسته شدن شدید روزنه‌ها در شرایط مزرعه‌ای و گلخانه‌ای اتفاق افتاد و مشاهده شد که کارایی لحظه‌ای مصرف آب در شرایط مزرعه‌ای و نه در شرایط کم آبیاری گلخانه‌ای افزایش

تغییرات کارایی لحظه‌ای مصرف آب (Ins. WUE = An / gs) (رابطه ۳) تا شوری آب آبیاری ۸ دسی‌زیمنس بر متر از نظر آماری معنی‌دار نبود. میزان این ویژگی در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بیشتر از بقیه سطوح شوری بوده و تفاوت آماری معنی‌دار با بقیه سطوح شوری داشت (جدول ۲). این ویژگی در سطوح تراکم خاک و در برابر اثرات متقابل شوری آب آبیاری و تراکم خاک فاقد تغییرات آماری معنی‌دار بود. Azizian and Sepaskhah (2014) نشان دادند که کارایی لحظه‌ای مصرف آب

یافت (González et al., 2012). این محققین چنین نتیجه گرفتند که اثر توام کمبود آب و شوری موجب افزایش کارایی لحظه‌ای مصرف آب در شرایط مزرعه شد. در این تحقیق نیز کاهش شدت فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای مشاهده شد و تغییرات هر دو ویژگی تا شوری آب آبیاری ۸ دسی‌زیمنس بر متر از نظر آماری معنی‌دار نبود. اما با افزایش شوری به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر میزان کاهش در هدایت روزنه‌ای بیشتر از سرعت فتوسنتز (۶۰/۴ درصد کاهش هدایت روزنه‌ای در مقابل ۴۲/۷ درصد کاهش در سرعت فتوسنتز) بود. نتایج نشان داد گیاه با کاهش هدر رفت آب از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای سعی دارد سطح فعالیت فتوسنتزی خود را حفظ نماید.

پتانسیل آب ساقه (Ψ_{stem})

پتانسیل آب ساقه با افزایش شوری آب آبیاری، کاهش یافت و اختلافات مشاهده شده بین تمام سطوح شوری، از نظر آماری معنی‌دار بود. بیشترین پتانسیل آب ساقه در نهال‌های زیتون در شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین میزان آن در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (جدول ۲). پتانسیل آب ساقه با افزایش تراکم خاک، کاهش یافت. بیشترین مقدار پتانسیل آب ساقه در تراکم ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب و کمترین مقدار آن نیز در تراکم ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب بدست آمد (جدول ۳). مقدار مشاهده شده برای پتانسیل آب ساقه در تراکم ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب تفاوت آماری معنی‌داری با دو سطح دیگر تراکم خاک نداشت. اثرات متقابل سطوح شوری آب آبیاری و تراکم خاک بر پتانسیل آب ساقه از نظر آماری معنی‌دار نبود.

Bolaños and Longstreth (1984) نشان دادند با افزایش شوری آب آبیاری پتانسیل کل آب ساقه کاهش یافت. آنها همچنین نشان دادند کاهش پتانسیل اسمزی ساقه موجب حفظ گرادیان آب از خاک به ریشه و ساقه و برگ شده و در نتیجه گیاهان ضمن حفظ قابلیت جذب آب، توانسته‌اند پتانسیل فشاری سلولها (فشار تورمی) را نیز در مقادیر مثبت نگهدارند. Duarte and Souza (2016) نیز نشان دادند با افزایش هدایت الکتریکی آب آبیاری از یک به ۹ دسی‌زیمنس بر متر، پتانسیل آب کل ساقه کاهش شدید یافت. Gomez et al. (2002) نشان دادند افزایش تراکم خاک موجب کاهش پتانسیل آب در ساقه گیاهان کاج شد و مقدار کاهش در کاج‌های کاشته شده در خاک‌های با بافت لوم و رس بیشتر از بافت لوم شنی بود.

نشت یونی (Electrolyte Leakage)

تغییرات نشت یونی با افزایش شوری آب آبیاری تا سطح ۸ دسی‌زیمنس بر متر فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بود. مقدار

مشاهده شده برای این ویژگی در شوری آب ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت آماری معنی‌داری با سطوح شوری پایین‌تر نشان داد (جدول ۲). مقادیر بدست آمده برای نشت یونی در تیمارهای تراکم ۱/۵ و ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. مقدار بدست آمده برای این ویژگی در تراکم ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب، بیشتر از سطوح تراکم ۱/۵ و ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب بوده و اختلاف مشاهده شده از نظر آماری، معنی‌دار بود (جدول ۳). اثرات متقابل سطوح شوری آب آبیاری و تراکم خاک بر نشت یونی از نظر آماری معنی‌دار نبود. اندازه‌گیری نشت یونی در بافت‌های گیاهی روش مرسوم در ارزیابی سلامت غشای سلولی در پاسخ به تنش‌های محیطی، پیری، رسیدن میوه و غیره است (Rolny et al., 2011). در سلول‌های زنده، الکترولیت‌ها درون اندام‌های داخل غشای سلولی محدود هستند. در طول پیر شدن و یا تحت تنش، پروتئین‌ها و لیپیدهای غشای سلولی تخریب یا اکسید شده و در نتیجه تغییرات ساختاری در دیواره و غشای سلولی اتفاق افتاده و تراوش پذیری غشا افزایش می‌یابد (Campos et al., 2003). Azzarello et al. (2009) از ویژگی نشت یونی برای تعیین قابلیت تحمل به سرما در ارقام مختلف زیتون استفاده کردند و مشاهده نمودند که با سردتر شدن هوا و کاهش بیشتر دما، میزان خسارت به شاخ و برگ همزمان با نشت یونی افزایش یافت. بر اساس نتایج، سلامتی ساختار غشای سلولی تا شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر حفظ شد و با افزایش شوری به میزان ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مقاومت غشای سلولی شکسته شده و ساختار آن تخریب یافته و در نتیجه میزان نشت یونی افزایش یافته است. به نظر می‌رسد افزایش تراکم خاک در شرایط کمبود اکسیژن رخ داده در این آزمایش نیز اثر مشابهی داشته زیرا نشت یونی با افزایش تراکم خاک به صورت معنی‌دار افزایش یافته است.

اختلاف دمای برگ با محیط ($\Delta Temp$)

اختلاف دمای برگ با محیط با افزایش شوری آب کاهش یافت. بیشترین اختلاف دمای برگ با محیط در شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (جدول ۲)، گرچه اختلاف آماری معنی‌داری بین سطوح شوری ۲ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر وجود نداشت. کمترین مقدار این ویژگی نیز در شوری آب ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد و اختلاف این سطح شوری با بقیه سطوح از نظر آماری معنی‌دار بود. تغییرات اختلاف دمای برگ با محیط با افزایش تراکم خاک، کاهش یافت و اختلافات مشاهده شده از نظر آماری معنی‌دار بود. بیشترین اختلاف دمای برگ‌ها با

محیط که در حقیقت به معنی افزایش دمای برگ است با افزایش شوری و افزایش تراکم خاک مشاهده شد. با افزایش شوری و تراکم خاک، میزان جذب آب توسط گیاه کاهش یافته و با کاهش تعرق و بسته شدن روزنه‌ها دمای برگ افزایش یافته است.

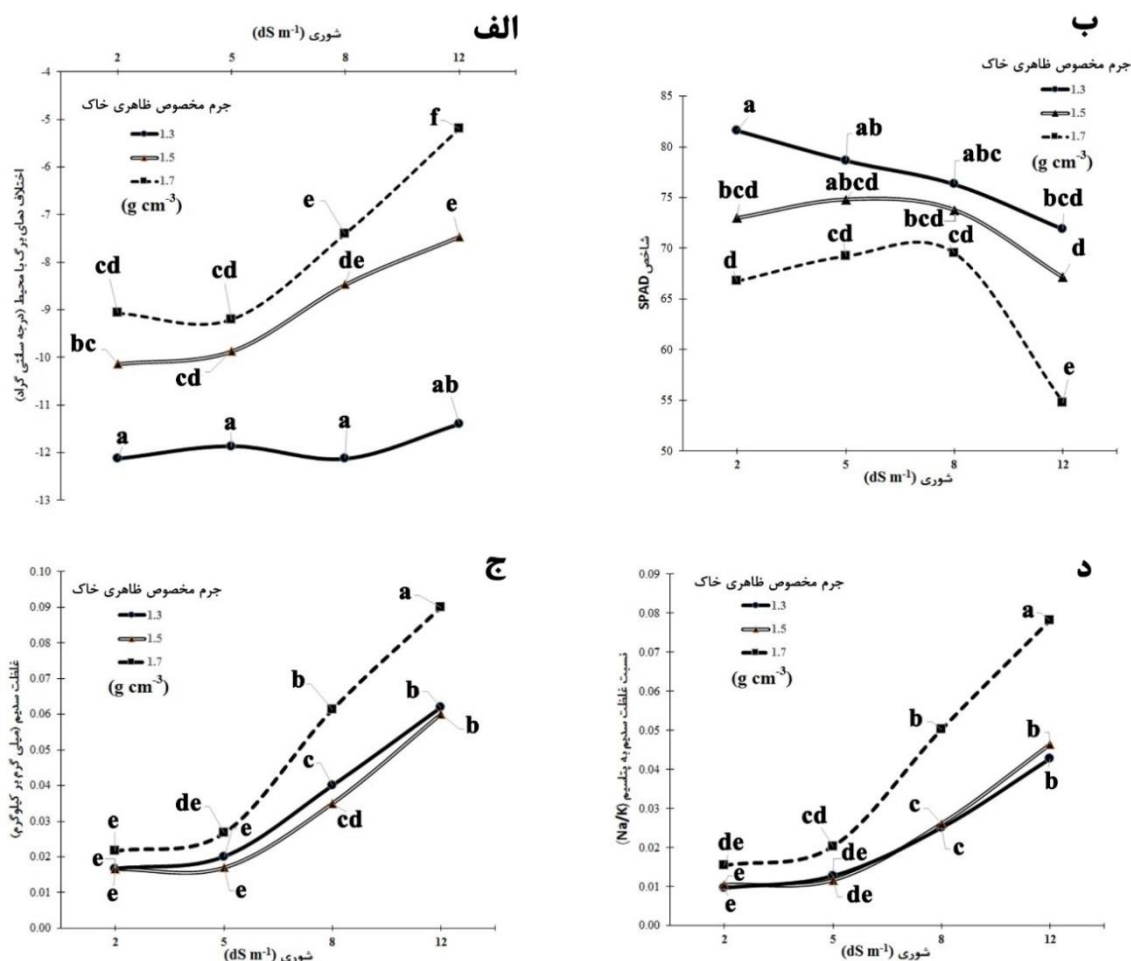
شاخص سبزی‌نگی برگ (SPAD)

با افزایش شوری آب آبیاری تا میزان ۸ دسی‌زیمنس بر متر، مقادیر مشاهده شده برای شاخص SPAD فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بود. مقدار این ویژگی در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بطور معنی‌دار کمتر از بقیه سطوح شوری بود (جدول ۲). شاخص SPAD با افزایش تراکم خاک، کاهش یافت و اختلافات مشاهده شده از نظر آماری معنی‌دار بود. بیشترین شاخص سبزی‌نگی در تراکم ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب و کمترین میزان آن در تراکم ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب مشاهده شد (جدول ۳). با افزایش سطوح اثرات متقابل شوری آب آبیاری و تراکم خاک، شاخص SPAD کاهش یافت. در سطح تراکم ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب افزایش شوری موجب کاهش شاخص SPAD شد (شکل ۱-ب). در این سطح تراکم، اختلاف تیمارهای $\rho b1xS1$ و $\rho b1xS4$ از نظر آماری معنی‌دار بود و تیمارهای حد واسط $\rho b1xS2$ و $\rho b1xS3$ اختلاف آماری معنی‌داری با دو سطح بالا و پایین شوری آب آبیاری نداشتند. مقدار شاخص SPAD در تیمار $\rho b1xS1$ بیش‌ترین مقدار در بین کلیه تیمارها بود و اختلاف آن با بقیه تیمارهای اثر متقابل از نظر آماری معنی‌دار شد. در تراکم ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، با افزایش میزان شوری آب آبیاری، شاخص SPAD ابتدا اندکی افزایش یافت اما در ادامه با افزایش شوری آب آبیاری، شاخص SPAD کاهش یافت (شکل ۱-ب). علی‌رغم این مسئله تغییرات شاخص SPAD در این سطح تراکم خاک فاقد تغییرات آماری معنی‌دار بود. مقادیر شاخص SPAD در سطح تراکم ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب با افزایش شوری ابتدا افزایش و سپس کاهش یافتند. تفاوت‌های مشاهده شده بین سطوح $\rho b3xS1$ ، $\rho b3xS2$ و $\rho b3xS3$ از نظر آماری معنی‌دار نبود و علاوه بر آن با سطوح متناظر از سطح تراکم ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب نیز تفاوت آماری معنی‌دار وجود نداشت. مقدار شاخص SPAD در $\rho b3xS4$ کمترین مقدار در بین تمام تیمارها بود و اختلاف آن با بقیه از نظر آماری معنی‌دار بود (شکل ۱-ب). در سطوح مختلف شوری آب آبیاری، افزایش تراکم خاک موجب کاهش شاخص SPAD شد. اختلاف شاخص SPAD با افزایش تراکم خاک در سطوح شوری ۵ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر کمتر از سایر سطوح شوری آب بود. بیش‌ترین میزان اختلاف با افزایش تراکم خاک در سطح

محیط در تراکم ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب و کمترین مقدار این ویژگی در تراکم ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب مشاهده شد (جدول ۳). بررسی اثرات متقابل سطوح شوری آب آبیاری و تراکم خاک نشان داد در سطح تراکم ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب، افزایش میزان شوری آب آبیاری اثر آماری معنی‌داری بر اختلاف دمای برگ‌ها با محیط نداشت (شکل ۱-الف). در این سطح تراکم خاک، مقدار این ویژگی در هر سطح شوری آب آبیاری از مقادیر متناظر در سایر سطوح تراکم خاک، بیش‌تر بود و اختلاف مشاهده شده از نظر آماری معنی‌دار بود. در سطح تراکم ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، افزایش شوری آب آبیاری موجب کاهش اختلاف دمای برگ با محیط شد (شکل ۱-الف). مقادیر مشاهده شده برای این ویژگی در سطوح مختلف شوری آب آبیاری و در تراکم ۱/۵ و ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب به جز بالاترین سطح شوری، اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند. در بالاترین سطح تراکم خاک (جرم مخصوص ظاهری ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب) بین سطوح شوری ۲ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت آماری معنی‌دار وجود نداشت اما با افزایش میزان شوری به ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، اختلاف دمای برگ با محیط بسیار کاهش یافت و اختلافات مشاهده شده از نظر آماری معنی‌دار بود (شکل ۱-الف). به این ترتیب بیشترین اختلاف دمای برگ با محیط در تمام سطوح شوری آب آبیاری از سطح تراکم خاک و کمترین مقدار اختلاف دمای برگ با محیط در سطح $\rho b3xS4$ مشاهده شد. در سطوح مختلف شوری آب آبیاری، افزایش تراکم خاک موجب کاهش اختلاف دمای برگ با محیط شد (شکل ۱-الف). در تمام سطوح شوری آب آبیاری، بیش‌ترین اختلاف دمای برگ با محیط در سطح تراکم ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب مشاهده شد. با افزایش تراکم خاک به سطوح ۱/۵ و ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب، اختلافات مشاهده این ویژگی در سطوح شوری آب آبیاری تا سطح ۸ دسی‌زیمنس بر متر از نظر آماری معنی‌دار نبود اما در شوری آب ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر کمترین مقدار اختلاف دمای برگ با محیط در تراکم ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب مشاهده شد که اختلاف آن با سایر سطوح تیمارهای اثر متقابل از نظر آماری معنی‌دار بود (شکل ۱-الف). اثر تعرق بر کاهش دمای برگ دیرزمانی است که شناخته شده است (Pallas et al., 1967). Pallas et al. (1967) نشان دادند که همبستگی مثبت بین تعرق و سطح تشعشع، کمبود فشار بخار و پتانسیل آب خاک وجود دارد. همچنین نشان دادند بین دمای برگ با شدت نور همبستگی مثبت و بین دمای برگ و تعرق، کمبود فشار بخار هوا و میزان آب خاک، همبستگی منفی وجود دارد. کاهش اختلاف دمای برگ با

کرد که گزارش شده بستگی به مقدار یون‌ها دارد. با افزایش غلظت یون‌های سدیم و کلر در محیط ریشه و جذب آنها توسط گیاه، جذب عناصر دیگری مانند پتاسیم، کلسیم و منیزیم کاهش می‌یابد و در نتیجه ساخت کلروفیل کاهش یافته و به دنبال آن سرعت فتوسنتز گیاه کاهش می‌یابد (Askary *et al.*, 2013). تحقیقات انجام شده بر روی گوجه‌فرنگی نشان داد میزان کلروفیل برگ‌ها در تیمارهای خاک بدون تهویه کاهش یافت (Bhattarai *et al.*, 2006). نتایج تحقیق انجام شده بر روی نهال‌های پسته در شرایط شور نیز نشان داد با افزایش شوری میزان کلروفیل a و b و کلروفیل کل کاهش یافت (Mozaffari *et al.*, 2015).

تراکم ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب مشاهده شد. Ling *et al.* (2011) نشان دادند دستگاه SPAD متر دستی، اندازه‌گیری دقیقی از میزان کلروفیل برگ به عمل می‌آورد. لذا می‌توان نتیجه‌گیری کرد با افزایش شوری آب آبیاری، میزان کلروفیل برگ نهال‌های زیتون کاهش یافت. نتایج Lutts *et al.* (1996) نیز نشان داد افزایش NaCl آب آبیاری موجب کاهش غلظت کلروفیل برگ در تمامی ارقام برنج آزمایشی شد. نتایج Askary *et al.* (2013) نشان داد با افزایش سطوح شوری، میزان شاخص SPAD در ارقام ذرت کاهش یافت. Kaya *et al.* (2001) و (2002) گزارش کردند که با افزایش شوری آب آبیاری، میزان کلروفیل برگ کاهش یافت. از دلایل این مسئله می‌توان به سست شدن اتصال کلروفیل و پروتئین‌های کلروپلاست اشاره



شکل ۱- اثر متقابل شوری آب آبیاری و تراکم خاک بر ویژگی‌های گیاه، الف: اختلاف دمای برگ با محیط؛ ب: شاخص SPAD؛ ج: غلظت سدیم برگ؛ د: نسبت غلظت سدیم به پتاسیم در برگ، در هر ویژگی، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

متر تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند و غلظت سدیم برگ در این دو سطح شوری، کمتر از بقیه سطوح شوری بود (جدول ۲). بیشترین غلظت سدیم برگ در شوری ۱۲ دسی-

غلظت سدیم (Na) برگ با افزایش شوری آب آبیاری، افزایش یافت. اختلاف مشاهده شده بین سطوح شوری ۲ و ۵ دسی‌زیمنس بر

غلظت پتاسیم برگ با افزایش شوری آب آبیاری، کاهش یافت. بیشترین غلظت پتاسیم برگ در شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین غلظت پتاسیم برگ در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (جدول ۲). مقادیر بدست آمده برای این ویژگی در سطوح شوری ۵ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند اما با سایر سطوح شوری، اختلاف آماری معنی‌داری داشتند. غلظت پتاسیم برگ با افزایش تراکم خاک، کاهش یافت و اختلافات مشاهده شده از نظر آماری معنی‌دار بودند. بیشترین و کمترین غلظت پتاسیم برگ به ترتیب در سطوح تراکم ۱/۳ و ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب بدست آمد (جدول ۳). اثر متقابل سطوح شوری آب آبیاری و تراکم خاک بر غلظت پتاسیم برگ از نظر آماری معنی‌دار نبود. Ghaily Kylaneh *et al.* (2014) نشان دادند غلظت پتاسیم بخش هوایی گیاه ترخون در مواجهه با تنش‌های سایه‌دهی و شوری کاهش یافت. بین مقاومت به شوری و غلظت پتاسیم گیاهان رابطه مثبت وجود دارد. Najafi and Sarhangzadeh (2014) نشان دادند در گیاه ذرت با افزایش شوری غلظت پتاسیم بخش هوایی افزایش یافت. آنها چنین نتیجه‌گیری کردند که افزایش غلظت پتاسیم در بخش هوایی بر اثر پدیده تغلیظ می‌باشد. در شرایط شور، سرعت جذب و انتقال پتاسیم به بخش هوایی بیشتر از سرعت رشد بخش هوایی بوده و در نتیجه غلظت پتاسیم بخش هوایی افزایش یافت.

غلظت کلسیم (Ca)

غلظت کلسیم برگ با افزایش شوری آب آبیاری افزایش یافت. کمترین غلظت کلسیم برگ در شوری آب آبیاری ۲ دسی‌زیمنس بر متر و بیشترین غلظت کلسیم برگ در شوری آب ۸ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد و غلظت کلسیم برگ در سطوح شوری آب آبیاری ۵ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت آماری معنی‌داری با سطوح شوری ۲ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر نداشت (جدول ۲). افزایش تراکم خاک تا حد ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب اثر معنی‌داری بر غلظت کلسیم برگ نداشت و تفاوت‌های مشاهده شده بین غلظت‌های کلسیم برگ در سطوح تراکم ۱/۳ و ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۳). غلظت کلسیم برگ در تراکم ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب بطور معنی‌دار از بقیه سطوح تراکم خاک بیشتر بود. اثرات متقابل شوری آب آبیاری و تراکم خاک بر غلظت کلسیم برگ از نظر آماری معنی‌دار نبود. نشان داده شده است که غلظت کلسیم در بخش هوایی گیاه ذرت با افزایش شوری خاک ابتدا کاهش و سپس افزایش یافته است

زیمنس بر متر مشاهده شد. تغییرات غلظت سدیم برگ با افزایش تراکم خاک، افزایش یافت. بیشترین مقدار غلظت سدیم برگ در تراکم ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب بدست آمد و کمترین مقدار آن در تراکم ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب مشاهده شد گرچه بین دو سطح تراکم خاک ۱/۳ و ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب تفاوت آماری معنی‌دار وجود نداشت (جدول ۳). نتایج اثر متقابل شوری آب آبیاری و تراکم خاک بر غلظت سدیم نشان داد در سطوح تراکم ۱/۳ و ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، با افزایش شوری آب آبیاری، غلظت سدیم برگ نیز افزایش یافت (شکل ۱- ج). در سطوح شوری ۲ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر در این دو سطح تراکم، غلظت سدیم برگ تفاوت آماری معنی‌دار نداشت. با افزایش شوری به ۸ و سپس به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، غلظت سدیم برگ افزایش یافته و تفاوت‌های مشاهده شده با سایر سطوح شوری آب آبیاری از نظر آماری معنی‌دار بودند ولی بین دو سطح تراکم خاک، تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت. در سطح تراکم ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب نیز با افزایش شوری، غلظت سدیم برگ افزایش یافت (شکل ۱- ج). در این سطح تراکم نیز بین غلظت سدیم برگ در تیمارهای pb3xS2 و pb3xS1 تفاوت آماری معنی‌دار وجود نداشت اما با افزایش شوری، تفاوت‌های مشاهده شده معنی‌دار شدند. غلظت سدیم برگ در تیمار pb3xS4 بیش‌ترین مقدار مشاهده شده این ویژگی در بین تمام تیمارها بوده و اختلاف آن نیز با بقیه تیمارها از نظر آماری معنی‌دار بود (شکل ۱- ج). در سطوح شوری مختلف غلظت سدیم برگ با افزایش تراکم خاک افزایش یافت اما اختلافات مشاهده شده در مقدار این ویژگی تنها در سطوح شوری ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در تراکم ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب با سطوح دیگر تراکم خاک اختلاف آماری معنی‌دار داشتند. یافته‌های این تحقیق مشابه نتایج Kaya *et al.* (2002) در مورد افزایش غلظت سدیم در برگ‌های گیاه توت فرنگی آبیاری شده با آب حاوی NaCl زیاد بود. تنظیم اسمزی در برگ‌های زیتون تحت تنش شوری، علی‌رغم اثر اسمزی کربوهیدرات‌های محلول، در مرحله اول توسط تجمع یون‌های معدنی صورت می‌گیرد (Gucci *et al.*, 1997). Gucci *et al.* (1997) نشان دادند غلظت کلر برگ بسیار نزدیک به غلظت سدیم بود و بیان نمودند که اثرهای اسمزی این دو یون قابل ملاحظه است. تحقیقات Bhattarai *et al.* (2006) نشان داد غلظت سدیم برگ در تیمارهای فاقد تهویه مناسب افزایش یافت.

غلظت پتاسیم (K)

(Najafi and Sarhangzadeh, 2014). این محققین گزارش کردند که غلظت کلسیم در بخش هوایی ذرت با غرقاب شدن نیز اثرهای مشابهی نشان داد و غلظت کلسیم در بخش هوایی ذرت ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. آنها دلیل این امر را کاهش رشد بخش هوایی و وقوع اثر تغلیظ دانستند. Bhattarai *et al.* (2006) نتیجه گرفتند که در شرایط نامناسب از نظر تهویه خاک، غلظت کلسیم برگ‌های گوجه‌فرنگی افزایش یافت.

نسبت غلظت Na/K

نسبت غلظت Na/K، با افزایش شوری آب آبیاری، افزایش یافت. این نسبت در سطوح شوری آب آبیاری ۲ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند، اما با افزایش شوری به ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، میزان این نسبت به ترتیب ۳ و ۶ برابر افزایش یافت و تفاوت‌های مشاهده شده از نظر آماری معنی‌دار بودند (جدول ۲). بیشترین میزان این نسبت در شوری آب آبیاری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. نسبت Na/K با افزایش تراکم خاک تا سطح ۱/۵ گرم بر سانتی-متر مکعب بدون تغییر بود و در سطح تراکم ۱/۷ گرم بر سانتی-متر مکعب با افزایش دو برابر مواجه شد و تغییرات مشاهده شده نیز از نظر آماری معنی‌دار بودند (جدول ۳). نتایج اثر متقابل شوری آب آبیاری و تراکم خاک بر نسبت غلظت Na/K نشان داد بین دو سطح تراکم ۱/۳ و ۱/۵ گرم بر سانتی-متر مکعب از نظر این ویژگی تفاوت آماری معنی‌داری وجود ندارد (شکل ۱-د). در این دو سطح تراکم خاک، با افزایش شوری آب آبیاری تا ۵ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت آماری معنی‌دار مشاهده نشد ولی با افزایش بیش‌تر شوری آب آبیاری تفاوت آماری معنی‌دار در نسبت غلظت Na/K در برگ مشاهده شد. در سطح تراکم ۱/۷ گرم بر سانتی-متر مکعب نیز بین سطوح شوری آب آبیاری ۲ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت آماری معنی‌دار وجود نداشت و با افزایش شوری آب آبیاری مقدار این ویژگی افزایش یافت و تفاوت‌های مشاهده شده نیز از نظر آماری معنی‌دار بودند (شکل ۱-د). کمترین میزان نسبت غلظت Na/K در تیمارهای $pb1xS1$ ، $pb1xS2$ ، $pb2xS1$ ، $pb2xS2$ و $pb3xS1$ بیش‌ترین مقدار آن نیز در تیمار $pb3xS4$ مشاهده شد. در سطوح مختلف شوری، با افزایش تراکم خاک، مقدار نسبت غلظت Na/K افزایش نشان داد گرچه در سطوح شوری ۲ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر این تفاوت‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبودند. در سطوح شوری ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بین سطوح تراکم ۱/۳ و ۱/۵ گرم بر سانتی-متر مکعب تفاوت آماری معنی‌دار وجود نداشت اما اختلاف این دو تیمار با سطح تراکم ۱/۷ گرم بر سانتی-متر

مکعب از نظر آماری معنی‌دار بود (شکل ۱-د). کاهش غلظت K و افزایش نسبت غلظت Na/K در تحقیقات مشابه دیگر نیز نشان داده شده است (Rush and Epstein, 1978; Devitt *et al.*, 1981; Jackson and Volk, 1997). افزایش غلظت نمک‌ها در ریشه به‌دنبال افزایش شوری ناحیه ریشه، حاکی از فرآیند دفع نمک است. Chartzoulakis *et al.* (2002) بیان کردند این فرآیند بیشتر در شوری‌های کم و متوسط عمل می‌کند. تفاوت-های ژنوتیپی در انتقال سدیم به برگ در میان ارقام زیتون وجود دارد، بر همین اساس غلظت سدیم در برگ‌های رقم میشن حتی در غلظت‌های زیاد سدیم نیز در حد پایین نگهداشته می‌شود. این فرآیند و همچنین قابلیت کاهش جذب یا انتقال یون‌های شوری در درختان زیتون، می‌تواند به‌عنوان تحمل به شوری محسوب شود. Tabatabaei (2006) نشان داد با افزایش شوری در محیط ریشه، نسبت Na/K در بافت‌های گیاهی افزایش یافت. کمترین غلظت پتاسیم در تحقیق ایشان در تیمار دارای بالاترین غلظت سدیم مشاهده شد، در این تیمار غلظت سدیم نیز بیشتر از سایر تیمارها بود. در تحقیقی مشاهده شد، در تیمارهایی که مشکل تهویه وجود داشت، نسبت Na/K کاهش یافت (Bhattarai *et al.*, 2006).

تعداد برگ

تعداد برگ در نهال با افزایش شوری آب آبیاری کاهش یافت. کمترین تعداد برگ در نهال در شوری آب آبیاری ۱۲ دسی-زیمنس بر متر مشاهده شد و اختلاف آن با بقیه سطوح شوری آب آبیاری از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۲). گرچه اختلافات تعداد برگ در نهال در سطوح شوری آب ۲، ۵ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر از نظر آماری معنی‌دار نبود اما بیشترین تعداد برگ در نهال در شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. با افزایش تراکم خاک تعداد برگ در نهال کاهش یافت. بیشترین و کمترین تعداد برگ در نهال به ترتیب در سطوح تراکم ۱/۳ و ۱/۷ گرم بر سانتی-متر مکعب مشاهده شد و اختلاف بین آنها نیز از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۳). مقدار این ویژگی در تراکم ۱/۵ گرم بر سانتی-متر مکعب، تفاوت آماری معنی‌داری با بقیه سطوح تراکم خاک نداشت. اثرات متقابل شوری آب آبیاری و تراکم خاک بر تعداد برگ در نهال از نظر آماری معنی‌دار نبود. نتایج تحقیقات Bhattarai *et al.* (2006) نیز نشان داد که شاخص‌های رشد اندازه‌گیری شده نظیر تعداد برگ، سطح برگ، طول شاخه و غیره در گیاه گوجه‌فرنگی با افزایش میزان شوری خاک کاهش یافت.

نداشتند. بر اساس نتایج، به نظر می‌رسد مکانیسم‌های تحمل به شوری از قبیل دفع نمک، تجمع نمک در واکوئل‌ها، پایین آوردن پتانسیل کل آب سیستم گیاه و غیره در شرایط کمبود اکسیژن خاک حاکم بر شرایط این تحقیق، توانایی خود را اندکی از دست داده باشند. در شرایط اجرای این آزمایش و در خاک با بافت لومی‌شنی، جرم مخصوص ظاهری $1/3$ گرم بر سانتی‌متر مکعب از نظر رشد نهال‌های زیتون مناسب تشخیص داده شد زیرا پاسخ نهال‌های زیتون در جرم مخصوص ظاهری بالاتر از این حد مناسب نبود.

نتیجه‌گیری کلی

ویژگی‌های اندازه‌گیری شده نهال‌های زیتون مانند کارایی لحظه‌ای مصرف آب، نشت یونی، شاخص SPAD و تعداد برگ با افزایش شوری آب آبیاری تا سطح ۸ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت آماری معنی‌داری نداشتند. نهال‌های زیتون رقم زرد به کمک مکانیسم‌های مختلف تحمل به شوری توانستند سطح فعالیت‌های مورد بررسی را در حد قابل توجه و مطلوب نگهدارند. ویژگی‌های دیگر از قبیل سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، شدت تعرق، اختلاف دمای برگ با محیط اطراف تا شوری آب ۵ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت آماری معنی‌دار

REFERENCES

- Aparicio, C., Urrestarazu, M. and Cordovilla, M. D. (2014) Comparative physiological analysis of salinity effects in six olive genotypes. *HortScience* 49(7), 901-904.
- Askary, M., Maghsoudi Moud, A. A. and Saffari, V. R. (2013) Investigation of Some Physiological Characteristics and Grain Yield of Corn (*Zea mays* L.) Hybrids under Salinity Stress. *Journal of Crop Production and Processing*, 3(9), 93-104. (In Farsi)
- Azizi, S., Tabari, M. and Striker, G. G. (2017) Growth, physiology, and leaf ion concentration responses to long-term flooding with fresh or saline water of *Populus euphratica*. *South African Journal of Botany*, 108, 229-236.
- Azizian, A. and Sepaskhah, A. R. (2014) Maize response to water, salinity and nitrogen levels: physiological growth parameters and gas exchange. *International Journal of Plant Production*, 8(1), 131-162.
- Azzarello, E., Muganai, S., Pandolfi, C., Masi, E. and Marone, E. (2009) Comparing image (fractal analysis) and electrochemical (impedance spectroscopy and electrolyte leakage) techniques for the assessment of the freezing tolerance in olive. *Trees* 23, 159-67.
- Ben Ahmed, C., Ben Rouina, B. and Boukhris, M. (2007) Effects of water deficit on olive trees cv. Chemlali under field conditions in arid region in Tunisia. *Scientia Horticulturae*, 113, 267-277.
- Ben Ahmed, C., Ben Rouina, B. and Boukhris, M. (2008) Changes in water relations, photosynthetic activity and proline accumulation in one-year-old olive trees (*Olea europaea* L. cv. Chemlali) in response to NaCl salinity. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30, 553-560.
- Ben Rouina, B., Trigui, A., d'Andria, R., Boukhris, M. and Chaïeb, M. (2007) Effects of water stress and soil type on photosynthesis, leaf water potential and yield of olive trees (*Olea europaea* L. cv Chemlali Sfax). *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47(12), 1484-1490.
- Bhattacharai, S. P., Pendergast, L. and Midmore, D. J. (2006) Root aeration improves yield and water use efficiency of tomato in heavy clay and saline soils. *Scientia Horticulturae*, 108, 278-288.
- Bolaños, J. A. and Longstreth, D. J. (1984) Salinity effects on water potential components and bulk elastic modulus of *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb. *Plant Physiology*, 75, 281-284.
- Campos, P. S., Quartin, V., Ramalho, J. C. and Nunes, M. A. (2003) Electrolyte leakage and lipid degradation account for cold sensitivity in leaves of *Coffea* sp. Plants. *Journal of Plant Physiology*, 160, 283-292.
- Chartzoulakis, K. (2005) Salinity and olive: growth, salt tolerance, photosynthesis and yield. *Agricultural Water Management*, 78, 108-121.
- Chartzoulakis, K., Loupassaki, M., Bertaki, M. and Androulakis, I. (2002) Effects of NaCl salinity on growth, ion content and CO₂ assimilation rate of six olive cultivars. *Scientia Horticulturae*, 96, 235-247.
- Chavez, M. M., Flexas, J. and Pinheiro, C. (2009) Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell, review. *Annals of Botany*, 103, 551-560.
- Cimato, A., Castelli, S., Tattini, M. and Traversi, M. L. (2010) Anecophysiological analysis of salinity tolerance in olive. *Environmental and Experimental Botany*, 68, 214-221.
- Colmer, T. D. and Voesenek, L. A. J. C. (2009) Flooding tolerance: suites of plant traits in variable environments. *Functional Plant Biology*, 36, 665-681.
- Dag, A., Tugendhaft, Y., Yogeve, U. and Shatzkin, N. (2008) Commercial cultivation of olive (*Olea europaea* L.) with saline water under extreme desert conditions. *Acta Horticulturae*, 791, 279-284.
- Devitt, D., Jarrell, W. M. and Steven, K.L. (1981) Sodium-potassium ratios in soil solution and plant response under saline conditions. *Soil Science Society of America Journal*, 34, 80-86.
- Duarte, H. H. F. and Souza, E. R. (2016) Soil water potentials and capsicum annum L. under salinity. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40, 1-12.

- Ghoily Kylaneh, M., Tabatabaie, S. J. and Bolandnazar, S. (2014) Effects of Light Intensity and NaCl Salinity on Yield and Uptake of Some Elements in French Tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). *Water and Soil Science*, 24(2), 147-159. (In Farsi)
- Giorio, P., Soventino, G. and d'Andria, R. (1999) Stomatal behavior, leaf water status and photosynthetic response in field-grown olive trees under water deficit. *Agricultural Water Management*, 42, 95-104.
- Gomez, G. A., Singer, M. J., Powers, R. F. and Horwath, W. R. (2002) Soil compaction effects on water status of ponderosa pine assessed through $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ composition. *Tree Physiology*, 22, 459-467.
- González, A., Tezara, W., Rengifo, E. and Herrera, A. (2012) Ecophysiological responses to drought and salinity in the cosmopolitan invader *Nicotiana glauca*. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 24(3), 213-222.
- Grattan, S. R. (2002) Irrigation Water Salinity and crop production. Retrieved March 7, 2017, Agriculture and Natural Resources Department. University of California. USA. Publication No. 8066. From <http://anrcatalog.ucanr.edu/pdf/8066.pdf>.
- Gucci, R., Lombardini, L. and Tattini, M. (1997) Analysis of leaf water relations in leaves of two olive (*Olea europaea*) cultivars differing in tolerance to salinity. *Tree Physiology*, 17, 13-21.
- Jackson, W. A. and Volk, R. J. (1997) Role of potassium in photosynthesis and respiration. In Kilmer, V. J., Younts, S. E. and Brady, N. C. (Eds), *The role of potassium in agriculture*. (pp. 109-188). American Society of Agronomy.
- Kchaou, H., Larbi, A., Gargouri, K., Chaieb, M., Morales, F. and Msallem, M. (2010) Assessment of tolerance to NaCl salinity of five olive cultivars based on growth characteristics and Na^+ and Cl^- exclusion mechanisms. *Scientia Horticulturae*, 124, 306-315.
- Kaya, C., Higgs, D. and Kirnak, H. (2001) The effects of high salinity (NaCl) and supplementary phosphorus and potassium on physiology and nutrition development of spinach. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 27, 47-59.
- Kaya, C., Kirnak, H., Higgs, D. and Satali, K. (2002) Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. *Scientia Horticulturae*, 93, 65-74.
- Ling, Q., Huang, W. and Jarvis, P. (2011) Use of a SPAD-502 meter to measure leaf chlorophyll concentration in *Arabidopsis thaliana*. *Photosynthesis Research*, 107(2), 209-214.
- Liu, S., Liu, J., Cao, J., Bai, C. and Shi, R. (2006). Stomatal distribution and character analysis of leaf epidermis of jujube under drought stress. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 34, 1315-1318.
- Loreto, F., Centritto, M. and Chantzoulakis, K. (2003). Photosynthetic limitations in olive cultivars with different sensitivity to salt stress. *Plant Cell and Environment*, 26, 595-601.
- Lutts, S., Kinet, J. M. and Bouharmont, J. (1996) NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, 78, 389-398.
- Meng, L., Li, L., Chen, W., Xu, Z. and Liu, L. (1999) Effect of water stress on stomatal density, length, width and net photosynthetic rate in rice leaves. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 30, 477-480.
- Moreno, F., Conejero, W., Martin-palomo, M. J., Giron, I. E. and Torecillas, A. (2006) Maximum daily trunk shrinkage reference values for irrigation scheduling in olive trees. *Agricultural Water Management*, 84, 290-294.
- Motesharezadeh, B., Navabzadeh, M. and Liyaghat, A. M. (2016) Modeling phytoremediation of cadmium contaminated soil with sunflower (*Helianthus annuus*) under salinity stress. *International Journal of Environmental Research*, 10(1), 109-118.
- Mozaffari, V., Asadollahi, Z., Tajabadi Pour, A. and Akhgar, A. R. (2015) Effects of Salinity and Manganese on Physiological and Ecophysiological Characteristics of Pistachio Seedlings (in Sand Culture). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 44(1), 81-94. (In Farsi)
- Munns, R. (2002) Comparative physiology of salt and water stress, *Plant Cell Environment*, 20, 239-250.
- Najafi, N. and Sarhangzadeh, E. (2014) Effects of soil alinization and waterlogging on the concentrations of some macronutrients and sodium in corn shoot. *Water and Soil Science*, 24(3), 259-275. (In Farsi)
- Olyaii, F., Baninasab, B. and Ghobadi, S. (2015) Effect of salinity on gas exchange parameters in four olive cultivars. *Journal of Plant Process and Function*, 4(12), 51-59. (In Farsi)
- Ouzounidou, G., Giannakoula, A., Ilias, I. and Zamanidis, P. (2016) Alleviation of drought and salinity stresses on growth, physiology, biochemistry and quality of two *Cucumis sativus* L. cultivars by Si application. *Brazilian Journal of Botany*, 39(2), 531-539.
- Pallas, Jr. J. E., Michel, B. E. and Harris, D. G. (1967) Photosynthesis, transpiration, leaf temperature, and stomatal activity of cotton plants under varying water potentials. *Plant Physiology*, 42, 76-88.
- Pezeshki, S. R. (2001) Wetland plant responses to soil flooding. *Environmental and Experimental Botany*, 46, 299-312.
- Qiu, D. L., Lin, P. and Guo, S. Z. (2007) Effects of salinity on leaf characteristics and $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ exchange of *Kandelia candel* (L.) Druce seedlings. *Journal of Forest Science*, 53(1), 13-19.
- Rivelli, A. R., Lovelli, S. and Perniola, M. (2002) Effects of salinity on gas exchange, water relations and growth of sunflower (*Helianthus*

- annuus*). *Functional Plant Biology*, 29, 1405-1415.
- Rolny, N., Costa, L., Carrión, C. and Guiamet, J. J. (2011) Is the electrolyte leakage assay an unequivocal test of membrane deterioration during leaf senescence? *Plant Physiology and Biochemistry*, 49, 1220-1227.
- Rossi, L., Francini, A., Minnocci, A. and Sebastiani, L. (2015) Salt stress modifies apoplastic barriers in olive (*Olea europaea* L.): a comparison between a salt-tolerant and a salt-sensitive cultivar. *Scientia Horticulturae*, 192: 38-46.
- Rush, D. W. and Epstein, E. (1978) Genotypic response to salinity difference between salt-sensitive and salt tolerance genotypes of tomato. *Plant Physiology*, 57, 162-166.
- Tabatabaei, S. J. (2006) Effects of salinity and N on the growth, photosynthesis and N status of olive (*Olea europaea* L.) trees. *Scientia Horticulturae*, 108, 432-438.
- Tattini, M., Gucci, R., Coradeschi, M. A., Ponzio, C. and Everard, J. D. (1995) Growth, gas exchange and ion content in *Olea europaea* plants during salinity stress and subsequent relief. *Physiologia Plantarum*, 95, 203-210.
- Xu, Z. and Zhou, G. (2008) Responses of leaf Stomatal density to water status and its relationship with photosynthesis in a grass. *Journal of Experimental Botany*, 59(12), 3317-3325.
- Zarehaghghi, D., Neyshabouri, M. R., Gorji, M., Monirifar, H. and Shorafa, M. (2012) Determination of Non-Limiting Water Range for Seedling Growth of Pistachio at Two Levels of Soil Compaction. *Water and Soil Science*, 22(3), 59-71. (In Farsi)
- Zhang, Y. P., Wang, Z. M., Wu, Y. C. and Zhang, X. (2006) Stomatal characteristics of different green organs in wheat under different irrigation regimes. *Acta Agronomica Sinica*, 32, 70-75.