

تغییرات روابط آبی و شاخص‌های فتوسنتزی نهال زیتون رقم زرد در پاسخ به شوری آب آبیاری و تراکم خاک

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

۱- دانشجوی دکترای فیزیک و حفاظت خاک، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

۲- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

۳- عضو هیئت علمی، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران

۴- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۵- عضو هیئت علمی، بخش تحقیقات اصلاح بذر و نهال، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: t_khoshzaman@znu.ac.ir

چکیده

پاسخ نهال‌های زیتون رقم زرد (*Olea europaea* L. cv. Zard) به سطوح مختلف شوری آب آبیاری و تراکم خاک در رطوبت ظرفیت مزرعه، در گلخانه بررسی شد. خاکی با بافت شن لومی رد شده از الک ۴/۷۶ میلی‌متری به نحوی داخل استوانه‌هایی از جنس پی‌وی‌سی با قطر ۱۵ سانتی‌متر ریخته شد که سطوح مختلف تراکم در آن‌ها ایجاد گردد. نهال‌های یکساله ریشه‌دار زیتون به استوانه‌ها انتقال داده شدند و پس از استقرار نهال‌ها، با آب‌هایی با هدایت الکتریکی مختلف به مدت پنج ماه و هر سه روز یکبار، آبیاری شدند. برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نهال‌ها اندازه‌گیری شد. با افزایش شوری آب آبیاری میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز، محتوای نسبی آب برگ، پتانسیل آب ساقه، اختلاف دمای برگ با محیط و شاخص کلروفیل به خاطر حفظ آب در بافت‌های گیاه، کاهش یافتند، کارایی لحظه‌ای مصرف آب، نشت یونی و غلظت سدیم به دلیل کاهش تعرق و عکس‌العمل ساز و کارهای تحمل به شوری، افزایش یافتند. با افزایش تراکم خاک محتوای نسبی آب برگ، پتانسیل آب ساقه و اختلاف دمای برگ با محیط به دلیل کاهش جذب آب کاهش یافتند. شاخص‌های فتوسنتزی نهال زیتون رقم زرد در هدایت الکتریکی بیشتر از ۸ دسی‌زیمنس بر متر بطور معنی‌داری کاهش نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: تراکم خاک، تنش شوری، روابط آب خاک و گیاه، زیتون، فتوسنتز

Changes in Water Relations and Photosynthetic Indices of Olive Self-Rooted Cuttings of Zard cv. in Response to Irrigation Water Salinity and Soil Compaction

T. Khoshzaman^{1*}, A. Golchin², M. Taheri³, D. Zarehaghi⁴, M. Azimi⁵

¹- Ph. D. Student of Soil Physics and Conservation, Dept. of Soil Science, Faculty of Agric., University of Zanjan, Iran

²- Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agric., University of Zanjan, Iran

³- Scientific Board Member, Soil and Water Research Department, Zanjan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zanjan, Iran

⁴- Assist. Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agric., University of Tabriz, Iran

⁵- Scientific Board Member, Seed and Plant Improvement Institute, Zanjan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zanjan, Iran

*- Corresponding Author, Email: t_khoshzaman@znu.ac.ir

Abstract

Responses of olive self-rooted cuttings of Zard cultivar (*Olea europaea* L. cv. Zard) to different levels of soil compaction and irrigation water salinity at the field capacity under greenhouse condition were studied. A loamy sand soil passed through a 4.76mm sieve, was poured into the PVC cylinders with diameter of 15cm and then they were compacted to be achieved the desired compaction levels. One-year-old rooted olive cuttings were transplanted into the PVC cylinders. After stabilization of cuttings, cylinders were irrigated by waters having different electrical conductivities at three days' intervals, for five months. Some morphological and physiological properties of the olive plants were measured. As the salinity levels of irrigation water increased transpiration, stomatal conductance, photosynthetic rate, relative water content, water potential of stem, temperature difference between leaf and the environment and chlorophyll index decreased, for preserving plant internal water balance. Instantaneous WUE, electrolyte leakage and Na concentration of leaves increased as the salinity levels of irrigation water increased because of the decrease in transpiration and due to the plant's salinity tolerance mechanisms. The relative water content of leaf, water potential of stem and temperature difference between leaf and environment decreased as the soil compaction increased due to decrease in water uptake. Photosynthetic indices of olive cuttings of Zard cultivar significantly decreased beyond the EC of 8 dS m⁻¹.

Keywords: Olive, Photosynthesis, Salinity stress, Soil compaction, Water relations of plant and soil

مقدمه

ضرورت اجتناب ناپذیر است. مطالعات نشان داده است که درختان زیتون نسبتاً متحمل به شوری هستند (تاتینی و همکاران ۱۹۹۵، چارتزولاکیس ۲۰۰۵). تحمل به شوری در زیتون به ساز و کارهای دفع یونی و نگهداری یون-های سدیم و کلر در بخش ریشه مربوط می‌شود (تاتینی ۱۹۹۴، چارتزولاکیس ۲۰۰۵). تنش شوری با کاهش

کشت زیتون که مختص شرایط مدیترانه ای است، در اراضی تحت آبیاری منطقه طارم استان زنجان نیز گسترش یافته است. برای فائق آمدن بر کمبود آب و نیل به حفظ و گسترش اراضی تحت کشت زیتون، استفاده از آب‌های شور و لب شور یا با کیفیت نامطلوب یک

به منظور بررسی پاسخ نهال‌های زیتون رقم زرد به سطوح شوری آب آبیاری و تراکم خاک، یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه به اجرا درآمد. از عمق ۲۰ - ۰ سانتی‌متری خاک اراضی 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 ۴/۷۶ میلی‌متری سرند و سپس داخل گلدان‌هایی از جنس پلی وینیل کلراید به قطر ۱۵ و ارتفاع ۵۰ سانتی متر به آرامی ریخته و فشرده شد تا جرم مخصوص ظاهری مورد انتظار (۱/۳، ۱/۵، ۱/۷ و ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب) بدست آید (زارع حقی و همکاران ۱۳۹۱) انجام شد. سپس نهال‌های ریشه دار و یک ساله زیتون رقم زرد (*Olea europaea L. cv Zard*) به استوانه‌ها منتقل و استوانه‌ها تا ارتفاع ۴۵ سانتی‌متری با خاک پر شدند. برای جلوگیری از بهم خوردگی 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 سکو در گلخانه قرار داده شدند. قبل از اعمال تیمار-های آزمایش، همه استوانه‌ها با استفاده از آب شیرین به مدت یک ماه تا استقرار کامل نهال‌ها در گلدان‌ها آبیاری شدند.

پتانسیل آب مانع از فتوسنتز گیاه می‌شود (پاریدا و داس ۲۰۰۵) و این عمل بوسیله دهیدراسیون (آبزدایی) غشای سلولی و بسته شدن روزنه‌های حساس به کمبود آب که موجب کاهش نفوذپذیری دی اکسید کربن می‌شود، قابل توضیح است (لوریتو و همکاران ۲۰۰۳). نگهداری وضعیت مطلوب آب گیاه در شرایط تنش، بوسیله تنظیم روزنه (چارتزولاکیس ۲۰۰۵، تاتینی و همکاران ۲۰۰۸) و تجمع املاح سازگار در برگ‌ها یا ریشه‌ها (اشرف و همکاران ۲۰۰۸) انجام می‌شود. تراکم خاک، یکی از انواع تخریب فیزیکی خاک است که با کاهش تخلخل تهویه ای، تخلخل کل، ایجاد محدودیت برای تبدلات گازی ریشه با اتمسفر، ایجاد مقاومت مکانیکی در برابر رشد و گسترش ریشه، باعث بروز مشکل در رشد گیاه می‌شود (بیتی ۲۰۰۹).

بررسی پاسخ گیاه زیتون رقم زرد به شوری آب آبیاری و تراکم خاک دارای اهمیت ویژه ای است زیرا رقمی است که بطور گسترده در منطقه طارم استان زنجان و سایر مناطق زیتون خیز کشور کاشت می‌شود. هدف از تحقیق حاضر بررسی اثرات شوری و تراکم خاک به عنوان تنش‌های غیر زنده بر ویژگی‌های فتوسنتزی، روابط آبی گیاه، میزان جذب و تجمع یون‌های سدیم، پتاسیم و کلسیم در برگ نهال‌های زیتون رقم زرد می‌باشد.

مواد و روش‌ها

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

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

اعمال تیمار شوری بر روی نهال‌ها

میزان نمک NaCl لازم برای تهیه محلول‌هایی با شوری-های ۲، ۵، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر با رابطه ۱ محاسبه گردید (رودس ۱۹۹۶). شوری محلول‌ها، با یک دستگاه شوری سنج قابل حمل کنترل شد.

$$TDS = 0.640 \times EC \quad [1]$$

در رابطه ۱، TDS غلظت نمک بر حسب گرم بر لیتر و EC شوری محلول، بر حسب دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. مقدار رطوبت در ظرفیت مزرعه و پژمردگی دایم با دستگاه صفحه فشاری در فشارهای به ترتیب ۰/۰۳۳ و ۱/۵ مگا پاسکال اندازه‌گیری شد. رطوبت گلدان‌ها در سطح رطوبت ظرفیت مزرعه به روش توزین حفظ و

سدیم برگ در سطح احتمال یک درصد و اثر تراکم خاک بر ویژگی‌های کارایی لحظه‌ای مصرف آب و غلظت پتاسیم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. نتایج تجزیه واریانس همچنین نشان داد اثر متقابل فاکتورهای شوری آب آبیاری و تراکم خاک بر ویژگی‌های نشت یونی و غلظت کلسیم برگ در سطح احتمال یک درصد و بر غلظت پتاسیم برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود.

تعرق از سطح برگ (E)

بررسی تغییرات ناشی از تعرق از سطح برگ در تیمارهای شوری مختلف نشان داد با افزایش میزان شوری آب آبیاری مقدار تعرق از سطح برگ کاهش یافت (جدول ۳)، به طوری که بیشترین مقدار تعرق در شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین میزان آن در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده گردید.

هدایت روزنه‌ای (gs)

کمترین میزان هدایت روزنه‌ای در تیمار شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده گردید که از نظر آماری با سایر سطوح شوری اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۳)، اما بین تیمارهای ۲، ۵ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. لوریتو و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند کاهش هدایت روزنه‌ای در گیاهان تحت تنش شوری عکس العمل تطابقی در برابر کاهش محتوای آب سلول‌ها است. علیایی و همکاران (۱۳۹۴) نشان دادند با افزایش شوری، میزان هدایت روزنه‌ای برگ زیتون کاهش یافت. این محققین نتیجه گرفتند انسداد روزنه‌ها تحت شرایط تنش شدید، عامل کاهش هدایت روزنه‌ای بوده است. نتایج این تحقیق (جدول ۳) نشان داد علی‌رغم افزایش شوری تا سطح ۸ دسی‌زیمنس بر متر، هدایت روزنه‌ای تغییری نداشت. این امر نشان داد که در شوری‌های بیشتر از ۸ دسی‌زیمنس بر متر، روزنه‌ها برای حفظ رطوبت بافت‌ها بسته شده و هدایت روزنه‌ای کاهش می‌یابد، یا اینکه گیاه در پاسخ به افزایش شوری اقدام به کاهش تعداد روزنه در واحد سطح برگ‌های

نگهداری شد. این آزمایش به مدت پنج ماه پس از اعمال تیمار نهایی شوری ادامه یافت.

اندازه‌گیری پارامترهای گیاهی

برای اندازه‌گیری میزان فتوسنتز (An) گیاه از دستگاه فتوسنتز متر^۱ LCI استفاده شد. ویژگی‌های تعرق از سطح برگ (E) و هدایت روزنه‌ای (gs) نیز با دستگاه مذکور اندازه‌گیری شد. فاکتورهای کارایی ذاتی مصرف آب^۲ از رابطه ۲ و کارایی لحظه‌ای مصرف آب^۳ از رابطه ۳ محاسبه می‌شود (مدرانو و همکاران ۲۰۱۵):

$$IntWUE = \frac{An}{gs} \quad [2]$$

$$InsWUE = \frac{An}{E} \quad [3]$$

برای تعیین غلظت عناصر سدیم و پتاسیم برگ بعد از هضم تر نمونه‌ها از دستگاه فلیم فتومتر مدل ۴۱۰ شرکت CORNING استفاده گردیده و اندازه‌گیری کلسیم به کمک دستگاه جذب اتمی GBC-Avanta بعد از هضم خشک نمونه‌های برگ انجام شد. نشت یونی^۴ برگ‌ها به روش آزارلو و همکاران (۲۰۰۹)، پتانسیل آب ساقه‌ها با استفاده از دستگاه اتاقک فشاری مدل ARIMAD 3000 (ELE International) اندازه‌گیری شد. محتوای نسبی آب برگ (RWC) به روش گوچی و همکاران (۱۹۹۷) تعیین شد. تجزیه‌های آماری به کمک نرم افزار SPSS و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد (هو ۲۰۰۶).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد اثر شوری آب آبیاری بر هدایت روزنه‌ای، تعرق از سطح برگ، سرعت فتوسنتز، کارایی ذاتی مصرف آب، محتوای نسبی آب برگ، پتانسیل آب ساقه، نشت یونی، اختلاف دمای برگ با محیط، شاخص کلروفیل برگ، غلظت عناصر کلسیم، سدیم و پتاسیم برگ در سطح احتمال یک درصد، معنی‌دار بود. اثر تراکم خاک بر ویژگی‌های محتوای نسبی آب برگ، پتانسیل آب ساقه، نشت یونی، اختلاف دمای برگ با محیط، غلظت عناصر کلسیم و

3 -Instantaneous water use efficiency

4 -Electrolyte leakage

1 -ADC Bio Scientific Ltd.

2 -Intrinsic water use efficiency

جوان می‌نماید که این اقدام نیز باعث کاهش میزان تعرق و هدایت روزنه‌ای می‌شود (کیو و همکاران ۲۰۰۷).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر شوری و تراکم خاک بر خصوصیات و ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در نهال زیتون.

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
Ψw stem	RWC	Int. WUE	Ins. WUE	An	gs	E		
۵۴/۷۸**	۰/۰۴**	۱۲۱۴۲۰/۱۳۹**	۰/۰۸ ^{ns}	۸/۸۹**	۰/۰۲**	۱۰/۰۴**	۳	شوری
۱۴۷/۰۶**	۰/۰۴**	۲۹۹۰۵۹/۷۵ ^{ns}	۰/۲۲*	۱/۴۶ ^{ns}	۰/۰۰۰ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	۲	تراکم
۱/۲۷ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۱۶۷۵۱۲/۱ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۴۳ ^{ns}	۰/۰۰۰ ^{ns}	۰/۳۲ ^{ns}	۶	شوری × تراکم
۳/۹	۰/۰۰۱	۱۰۰۱۸۹/۲	۰/۰۵	۱/۰۳	۰/۰۰۰	۰/۶۱	۲۴	خطا
۱۰/۳۷	۴/۸۱	۲۸/۱۳	۱۳/۸۱	۲۴/۶۵	۲۸/۵۴	۱۹/۵۷		ضریب تغییرات

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس اثر شوری و تراکم خاک بر خصوصیات و ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در نهال زیتون.

میانگین مربعات								درجه آزادی	منابع تغییر
Na/Ca	Na/K	K	Na	Ca	SPAD	Δ Temp	Elec. Leak.		
۲۵۶/۳۹ ^{ns}	۳۲۳/۸۴ ^{ns}	۰/۱۵**	۰/۰۲**	۰/۳۲**	۳۹۴/۳**	۱۴/۵**	۵۰۸۲۳۱۶/۲**	۳	شوری
۱۸۲/۵۸ ^{ns}	۱۰۶/۰۲ ^{ns}	۰/۰۵*	۰/۰۲**	۰/۲۲**	۱۵/۶ ^{ns}	۳۲/۸۲**	۱۷۹۷۹۶۸/۹**	۲	تراکم
۲۶۴/۴۹ ^{ns}	۸۳/۵ ^{ns}	۰/۰۴*	۰/۰۰۰ ^{ns}	۰/۳**	۴۴/۹ ^{ns}	۰/۶۳ ^{ns}	۵۷۸۶۶۳/۹**	۶	شوری × تراکم
۲۰۶/۱	۱۲۷/۹۷	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰	۰/۰۳	۲۲/۱	۱/۸۱	۱۲۲۳۶۴/۳	۲۴	خطا
۲۱/۱۵	۲۴/۳۸	۶/۹۳	۲۶/۸۶	۱۴/۲۰	۱۰/۵۴	۱۳/۵۲	۱۵/۹۱		ضریب تغییرات

*, ** و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ درصد و غیر معنی‌دار

E: تعرق، gs: هدایت روزنه‌ای، An: سرعت فتوسنتز، Int. WUE: کارایی ذاتی مصرف آب، Ins. WUE: کارایی لحظه‌ای مصرف آب، RWC: محتوای نسبی آب، 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، Na/Ca: نسبت غلظت سدیم به کلسیم برگ.

سرعت فتوسنتز (An)

نتایج نشان داد با افزایش میزان شوری آب آبیاری سرعت فتوسنتز کاهش یافت (جدول ۳). کمترین میزان سرعت فتوسنتز در تیمار شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده گردید که از نظر آماری با بقیه سطوح شوری تفاوت معنی‌دار داشت. بین بقیه سطوح شوری آب آبیاری اختلاف معنی‌دار وجود نداشت با اینحال بالاترین سرعت فتوسنتز در تیمار ۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. با وجود اینکه تراکم خاک اثر آماری معنی‌داری بر سرعت فتوسنتز نداشت (جدول ۲)، با این حال بیشترین سرعت فتوسنتز در تراکم ۱/۵ و کمترین آن در تراکم ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب مشاهده شد (جدول ۴).

محققان نشان داده‌اند که کاهش تعرق گیاه به دلیل بسته شدن روزنه‌ها در پاسخ به جبران کاهش جذب آب در اثر کاهش پتانسیل اسمزی آب خاک و افزایش شوری محیط است (آپاریسیو و همکاران، ۲۰۱۴؛ لوریتو و همکاران،

۲۰۰۳). 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 تاتینی و همکاران (۱۹۹۵)، گوچی و همکاران (۱۹۹۷) و لوریتو و همکاران (۲۰۰۳) گزارش شده است. در حقیقت 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، دهیدراسیون خود را حفظ کند. مکانیسم اخیر یک مکانیسم سازگاری با شرایط تنش بوده و یک واکنش صرفاً منفی به تنش شوری محسوب نمی‌شود. زمانی که درختان با کمبود آب ناشی از شوری مواجه می‌شوند، میزان باز بودن روزنه‌ها را تنظیم می‌کنند تا با جلوگیری از تلف شدن آب، دهیدراسیون خود را حفظ کنند (بن احمد و همکاران ۲۰۰۸). 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.

جدول ۳- مقایسه میانگین خصوصیات گیاهی متأثر از شوری آب آبیاری.

Ψw stem	RWC	Int. WUE	An	gs	E	شوری
(MPa)	(%)	($\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$)	($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	(dS m^{-1})
-۱/۸۸ ^b ±۰/۳۳	۹۰ ^a ±۰/۰۶	۹۶/۵ ^b ±۲۹/۴۷	۳/۸ ^a ±۰/۹۴	۰/۰۳ ^a ±۰/۰۱	۳/۸ ^a ±۰/۵۷	۲
-۱/۶۲ ^a ±۰/۴۰	۹۳ ^a ±۰/۰۵	۱۰۷/۷ ^b ±۲۸/۶۲	۳/۳۸ ^a ±۱/۰۳	۰/۰۳ ^a ±۰/۰۲	۳/۶۴ ^{ab} ±۱/۰۱	۵
-۲/۰۱ ^b ±۰/۳۵	۸۴ ^b ±۰/۰۵	۲۵۲/۵ ^b ±۴۶۰/۱۴	۲/۷۲ ^a ±۱/۱۹	۰/۰۳ ^a ±۰/۰۲	۲/۹ ^b ±۰/۷۶	۸
-۲/۲۱ ^c ±۰/۳۲	۷۷ ^c ±۰/۰۷	۸۷۲/۹ ^a ±۵۳۶/۲۴	۱/۱۵ ^b ±۰/۶۳	۰/۰۰۳ ^b ±۰/۰۱	۱/۴۸ ^c ±۰/۴۱	۱۲

ادامه جدول ۳- مقایسه میانگین خصوصیات گیاهی متأثر از شوری آب آبیاری.

K	Na	Ca	SPAD	Δ Temp	Elec Leak	شوری
(mg kg ⁻¹) dry weight			(-)	(°C)	(%)	(dS m^{-1})
۱/۲۲ ^b ±۰/۱۴	۰/۰۵ ^d ±۰/۰۳	۰/۹۱ ^b ±۰/۱۵	۶۹/۲۷ ^a ±۶/۲۷	۸/۹۳ ^a ±۱/۹۸	۲۱/۸۳ ^c ±۱/۲۵	۲
۱/۳۴ ^a ±۰/۱۱	۰/۰۹ ^c ±۰/۰۳	۱/۲۵ ^a ±۰/۳۹	۷۲/۳۱ ^a ±۳/۴۹	۸/۳۱ ^a ±۱/۴۹	۲۶/۰۶ ^{bc} ±۲/۷۹	۵
۱/۳۷ ^a ±۰/۱۷	۰/۱۱ ^b ±۰/۰۵	۱/۳۵ ^a ±۰/۱۹	۶۹/۶۲ ^a ±۴/۰۶	۸/۰۲ ^a ±۱/۴۶	۲۸/۸۷ ^b ±۲/۱۷	۸
۱/۰۹ ^c ±۰/۱۴	۰/۱۷ ^a ±۰/۰۴	۱/۲۱ ^a ±۰/۰۴	۵۷/۴۴ ^b ±۵/۹۸	۶ ^b ±۲/۴۱	۴۵/۳۷ ^a ±۳/۷۳	۱۲

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

کارایی ذاتی مصرف آب (Ins. WUE)

با افزایش شوری آب آبیاری کارایی ذاتی مصرف آب افزایش یافت (جدول ۳)، بالاترین میزان آن در تیمار شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بدست آمد. با اینکه بین نتایج بدست آمده برای کارایی ذاتی مصرف آب در تیمارهای شوری ۲، ۵ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت آماری معنی‌دار مشاهده نشد ولی کمترین میزان آن به تیمار ۲ دسی‌زیمنس بر متر تعلق داشت. کارایی ذاتی مصرف آب (An/gs) به دنبال کاهش هدایت روزنه‌ای در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، به یکباره افزایش یافت. علی‌رغم اینکه در این سطح شوری، فتوسنتز کاهش معنی‌داری نشان داد، اما میزان کاهش هدایت روزنه‌ای بسیار شدیدتر بوده و همین امر باعث افزایش معنی‌دار کارایی ذاتی مصرف آب شد.

کارایی لحظه‌ای مصرف آب (Int. WUE)

کارایی لحظه‌ای مصرف آب (An/E) با افزایش میزان تراکم خاک تا حد ۱/۵ گرم بر سانتی متر مکعب، افزایش یافت (جدول ۴). بیشترین کارایی لحظه‌ای مصرف آب در تیمار ۱/۵ و کمترین مقدار آن در تیمار ۱/۳ گرم بر سانتی متر مکعب مشاهده شد و اختلاف بین این دو تیمار معنی‌دار بود. اما مقدار کارایی لحظه‌ای مصرف آب در تیمار تراکم ۱/۷ گرم بر سانتی متر مکعب اختلاف معنی‌داری با سطوح تراکم ۱/۳ و ۱/۵ گرم بر سانتی متر مکعب نداشت. فاکتور تراکم خاک، فاقد اثرات آماری معنی‌دار بر ویژگی‌های سرعت فتوسنتز و تعرق روزنه‌ای بود، با این حال سرعت فتوسنتز در تراکم ۱/۵ گرم بر سانتی متر مکعب بیشتر از بقیه تیمارها بود. این اختلاف اندک موجب تغییر معنی‌دار کارایی لحظه‌ای مصرف آب در سطوح تراکم خاک گردید.

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

1 -Relative water content

آن با تیمار ۲ دسی‌زیمنس بر متر معنی‌دار نبود، جدول ۳). شاخص SPAD و سرعت فتوسنتز نیز در تیمار ۵ دسی‌زیمنس بر متر بیشتر از بقیه تیمارها بودند (گرچه اختلاف آماری معنی‌داری نیز بین تیمارهای شوری ۲، ۵ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر وجود نداشت). چنانچه نتایج بن احمد و همکاران (۲۰۰۸)، چارتزولاکیس (۲۰۰۵) و تاتینی و همکاران (۱۹۹۵) نیز نشان داد میزان فتوسنتز بیشتر از اینکه وابسته غلظت یون‌های سدیم و کلر در برگ‌ها باشد، وابسته به وضعیت آبی گیاه متأثر از تنش شوری است.

با افزایش تراکم خاک، پتانسیل آب ساقه کاهش یافت (جدول ۴). بیشترین مقدار پتانسیل آب ساقه در تیمار تراکم ۱/۳ و کمترین مقدار آن در تراکم ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب مشاهده شد و اختلاف بین تیمارها از نظر آماری معنی‌دار بود. کاهش پتانسیل آب برگ‌ها به واسطه برقراری شیب پتانسیل آب از خاک به ریشه، ساقه، برگ و اتمسفر به منظور تضمین حرکت آب در سیستم خاک، گیاه و اتمسفر است. اگر چه شدت کاهش پتانسیل آب ساقه تحت کنترل گیاه می‌باشد، ولی تجمع یون‌های سمی سدیم و کلر در واکنش سلول‌های برگ نیز می‌تواند با کاهش پتانسیل اسمزی پروتوپلاسم سلول‌ها، موجب کاهش پتانسیل کل آب برگ و ساقه‌ها شود. بن احمد و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند حفظ فعالیت فتوسنتز در برگ‌های پیر تحت تیمارهایی با مقادیر زیاد یون‌های Na^+ و Cl^- ، نشان می‌دهد که محدودیت‌های فتوسنتزی در درختان زیتون تحت تنش فقط به خاطر تجمع یون‌های نمک نبوده و به وضعیت آب گیاه نیز ارتباط دارد. این دیدگاه توسط همبستگی قویتر بدست آمده بین فتوسنتز و پتانسیل آب برگ در مقایسه با همبستگی بین فتوسنتز و غلظت سدیم در گیاهان تحت تنش شوری، بدست آمد (بن احمد و همکاران، ۲۰۰۸). وجود همبستگی منفی (جدول همبستگی ارائه نشده است) بین قدر مطلق پتانسیل آب ساقه، شدت تعرق (E) و هدایت روزنه‌ای (gs) نشان داد با کاهش بیشتر پتانسیل آب ساقه، شدت تعرق و هدایت روزنه‌ای نیز کاهش می‌یابد.

محتوای نسبی آب برگ با افزایش شوری آب آبیاری، کاهش یافت (جدول ۳). کمترین میزان RWC در تیمار شوری ۱۲ و بیشترین مقدار آن در تیمار ۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد و بین تیمارهای ۲ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر از این لحاظ تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت. با افزایش تراکم خاک، RWC کاهش یافت (جدول ۴). بیشترین مقدار RWC در تیمار ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب و کمترین مقدار آن در تراکم ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب مشاهده شد. بررسی همبستگی صفات (جدول همبستگی ارائه نشده است) نشان داد رابطه بسیار قوی بین محتوای نسبی آب برگ‌ها و شدت تعرق از سطح برگ‌ها وجود دارد. با افزایش تدریجی شوری آب آبیاری و کاهش جذب آب توسط گیاه و بدنبال انجام تعرق از سطح برگ‌ها، محتوای نسبی آب برگ کاهش یافته است. بن احمد و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند کاهش RWC در نهال‌های زیتون دچار تنش می‌تواند به دلیل غلظت زیاد نمک در محلول خاک باشد. افزایش غلظت نمک در محلول خاک باعث ایجاد تنش اسمزی و دهیدراسیون نهال‌ها در سطح سلولی شده است. آن‌ها نتیجه گرفتند مقادیر بالای RWC ($>70\%$) در گیاهان تحت تنش شوری، نتیجه اعمال مکانیسم‌های محدود کردن تلفات آب از طریق بستن روزنه‌ها است.

پتانسیل آب ساقه (Ψ_w stem)

پتانسیل آب ساقه نهال‌های زیتون با افزایش شوری آب آبیاری کاهش یافت (جدول ۳). کمترین میزان پتانسیل آب ساقه در تیمار ۱۲ و بیشترین مقدار آن نیز در تیمار ۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد و بین تیمارهای ۲ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت. به دنبال افزایش تنش شوری در محیط، تجمع یون سدیم در گیاه و برگ‌ها اتفاق می‌افتد. تجمع یون‌ها در گیاه به جهت تنظیم اسمزی و حفظ جریان آب به داخل گیاه می‌باشد. نتایج محتوای نسبی آب برگ‌ها (RWC) نیز نشان داد مقدار آب برگ‌ها در تیمار ۵ دسی‌زیمنس بر متر بیشتر از بقیه تیمارها بود (گرچه اختلاف

جدول ۴- مقایسه میانگین خصوصیات گیاهی متأثر از تراکم خاک.

Ψ_w stem	RWC	Ins. WUE	An	تراکم خاک
---------------	-----	----------	----	-----------

(MPa)	(%)	($\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$)	($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	(g cm^{-3})
$-1/6^{a\pm} \cdot 0/28$	$91/4^{a\pm} \cdot 0/06$	$0/74^{b\pm} \cdot 0/25$	$2/31^{a\pm} \cdot 1/36$	۱/۳
$-1/89^{b\pm} \cdot 0/33$	$85/6^{b\pm} \cdot 0/06$	$0/99^{a\pm} \cdot 0/19$	$2/98^{a\pm} \cdot 1/27$	۱/۵
$-2/3^c \cdot 0/23$	$80/2^c \cdot 0/09$	$0/82^{ab\pm} \cdot 0/19$	$2/47^{a\pm} \cdot 1/2$	۱/۷

ادامه جدول ۴- مقایسه میانگین خصوصیات گیاهی متأثر از تراکم خاک.

K	Na	Ca	ΔTemp	Elec. Leak	تراکم خاک
(mg kg ⁻¹) dry weight			(°C)	(%)	(g cm ⁻³)
$1/29^{a\pm} \cdot 0/24$	$0/07^c \cdot 0/05$	$1/3^{a\pm} \cdot 0/35$	$8/9^{a\pm} \cdot 2/14$	$24/32^{b\pm} \cdot 2/08$	۱/۳
$1/18^{b\pm} \cdot 0/14$	$0/09^{b\pm} \cdot 0/04$	$1/31^{a\pm} \cdot 0/41$	$8/6^{a\pm} \cdot 1/23$	$35/20^{a\pm} \cdot 3/72$	۱/۵
$1/28^{a\pm} \cdot 0/1$	$0/15^{a\pm} \cdot 0/05$	$1/04^{b\pm} \cdot 0/17$	$5/92^{b\pm} \cdot 1/47$	$32/08^{a\pm} \cdot 3/62$	۱/۷

در هر ستون و فاکتور، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، در سطح احتمال 5 درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

غلظت سدیم برگ

غلظت سدیم در برگ نهال‌های زیتون بطور مشخص با افزایش شوری آب آبیاری، افزایش یافت (جدول ۳). کمترین میزان غلظت سدیم برگ در تیمار ۲ و بیشترین غلظت سدیم در تیمار ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بوده و تفاوت‌های مشاهده شده بین تمام تیمارها از نظر آماری معنی‌دار بود. غلظت سدیم برگ نهال‌های زیتون با افزایش تراکم خاک افزایش یافت (جدول ۴). کمترین و بیشترین غلظت سدیم برگ به ترتیب در تیمارهای ۱/۳ و ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب مشاهده شد. نتایج ما نشان داد که غلظت سدیم در برگ‌ها کمتر از حد سمیت سدیم در برگ‌ها بود.

غلظت کلسیم برگ

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری آب آبیاری و تراکم خاک (جدول ۵ و شکل ۱-الف) نشان داد در تراکم ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب با افزایش شوری آب آبیاری غلظت کلسیم برگ ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. بیشترین غلظت کلسیم برگ در تراکم ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب در شوری آب آبیاری ۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که اختلاف آماری معنی‌داری نیز با سایر سطوح شوری آب آبیاری در این سطح تراکم خاک داشت (جدول ۵). در تراکم ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب با افزایش شوری آب آبیاری غلظت کلسیم در برگ افزایش یافت. غلظت کلسیم در تیمارهای S3xp2 و S4xp2 تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند اما

این دو تیمار با سطوح شوری ۲ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر در تراکم سطح ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب اختلاف آماری معنی‌دار داشتند (شکل ۱-الف). غلظت کلسیم در سطوح شوری ۵، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در تراکم خاک ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند اما اختلاف موجود بین این سه سطح شوری و شوری آب ۲ دسی‌زیمنس بر متر از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۵). بیشترین غلظت کلسیم برگ در سطوح میانی شوری در هر سه سطح تراکم خاک بود (شکل ۱-الف) و غلظت کلسیم برگ در تیمارهای اثر متقابل S2xp1، S3xp2 و S4xp2 بیشترین بوده و تفاوت آماری معنی‌دار با یکدیگر نداشتند. به نظر می‌رسد افزایش غلظت کلسیم در برگ نهال‌های زیتون که یک مکانیسم تحمل به شوری نیز است (گوچی و همکاران، ۱۹۹۷). در تراکم خاک ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب نسبت به سطوح تراکم کمتر و بیشتر از این حد، به دلیل حمایت فیزیکی بهتر و تامین شرایط فیزیکی مناسب‌تر برای رشد ریشه‌ها، موفق‌تر بوده است. نتایج تعداد برگ و سرعت فتوسنتز بدست آمده در این آزمایش تایید کننده این مطلب هستند (جدول ۴). در سطوح شوری ۲ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر، اثر تراکم کمتر خاک بر میزان غلظت کلسیم برگ بیشتر بود ولی آزمایش نشان داد با افزایش شوری آب آبیاری به ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر غلظت کلسیم در سطح میانی تراکم خاک (۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب) بیشتر بود.

جدول ۵- مقایسه میانگین خصوصیات گیاهی متاثر از اثر متقابل شوری آب آبیاری و تراکم خاک.

ردیف	تراکم خاک	شوری	Elec. Leak	Ca	K	Ca/K
	(g cm ⁻³)	(dS m ⁻¹)	(-)	(mg kg ⁻¹) dry weight	(mg kg ⁻¹) dry weight	(mg kg ⁻¹) dry weight
۱	۱/۳	۲	۱۹/۱۹ ^a ±۱/۰۵	۰/۹۷ ^{abc} ±۰/۲۷	۱/۱۷ ^{abc} ±۰/۲۵	۷۰/۰۴ ^a ±۰/۱۷
۲	۱/۳	۵	۱۸/۲۳ ^a ±۳/۱۴	۱/۶۷ ^d ±۰/۲۳	۱/۴۱ ^{de} ±۰/۱۹	۱۱۹/۱۷ ^{bc} ±۰/۰۱
۳	۱/۳	۸	۲۸/۱۹ ^{abc} ±۰/۲۴	۱/۲۵ ^c ±۰/۰۵	۱/۵۳ ^c ±۰/۰۸	۸۱/۰۲ ^{ab} ±۰/۰۱
۴	۱/۳	۱۲	۳۱/۶۵ ^{bc} ±۴/۲۸	۰/۹۱ ^{ab} ±۰/۱	۱/۰۸ ^{ab} ±۰/۱۳	۹۸/۷۹ ^{ab} ±۰/۱۶
۵	۱/۵	۲	۲۲/۳۶ ^{ab} ±۰/۶۸	۰/۸۷ ^a ±۰/۰۴	۱/۲۶ ^{bcd} ±۰/۰۶	۶۶/۲۵ ^a ±۰/۰۳
۶	۱/۵	۵	۳۳/۵۵ ^c ±۴/۸۷	۱/۰۶ ^{abc} ±۰/۳۹	۱/۳۱ ^{cd} ±۰/۰۳	۸۱/۰۲ ^{ab} ±۰/۲۸
۷	۱/۵	۸	۳۱/۲۹ ^{bc} ±۳/۹۵	۱/۵۸ ^d ±۰/۰۳	۱/۱۷ ^{abc} ±۰/۰۴	۱۴۰/۲۱ ^c ±۰/۰۶
۸	۱/۵	۱۲	۵۳/۶ ^d ±۱/۹۸	۱/۷۳ ^d ±۰/۰۶	۰/۹۹ ^a ±۰/۰۹	۲۰۴/۴۳ ^d ±۰/۲
۹	۱/۷	۲	۲۳/۹۴ ^{abc} ±۳/۳۹	۰/۹۱ ^{ab} ±۰/۰۹	۱/۲۴ ^{bcd} ±۰/۰۳	۷۳/۸۵ ^a ±۰/۰۷
۱۰	۱/۷	۵	۲۶/۴۱ ^{abc} ±۱/۰۳	۱/۰۱ ^{abc} ±۰/۰۲	۱/۳۱ ^{cd} ±۰/۰۴	۸۰/۷۹ ^{ab} ±۰/۰۲
۱۱	۱/۷	۸	۲۷/۱۲ ^{abc} ±۶/۰۲	۱/۲۳ ^{bc} ±۰/۱۹	۱/۴ ^{de} ±۰/۰۷	۸۸/۹۴ ^{ab} ±۰/۰۹
۱۲	۱/۷	۱۲	۵۰/۸۵ ^d ±۱/۴۶	۰/۹۹ ^{abc} ±۰/۱۶	۱/۲ ^{abcd} ±۰/۱۳	۸۴/۹ ^{ab} ±۰/۲۲

در هر ستون و فاکتور، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، در سطح احتمال 5 درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

غلظت پتاسیم برگ

نتایج مقایسه میانگین اثرهای متقابل شوری آب آبیاری و تراکم خاک بر غلظت پتاسیم برگ نشان داد در همه سطوح تراکم خاک، افزایش شوری آب آبیاری ابتدا موجب افزایش و سپس کاهش غلظت پتاسیم برگ شد و بیشترین غلظت پتاسیم برگ در همه سطوح تراکم، با سطوح میانی فاکتور شوری بدست آمد (شکل ۱-ب). در تراکم ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب بیشترین غلظت پتاسیم در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. در تراکم ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب بیشترین غلظت پتاسیم برگ در شوری آب ۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد، گرچه بین سطوح شوری آب ۲، ۵ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت آماری معنی‌دار وجود نداشت. در تراکم ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب نیز بیشترین غلظت پتاسیم برگ در شوری آب ۸ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد و بین سطوح شوری آب ۵، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت آماری معنی‌دار وجود نداشت. بیشترین غلظت

پتاسیم در بین تیمارها در تیمار S3xp_b1 مشاهده شد گرچه بین تیمارهای S3xp_b1، S2xp_b1، S3xp_b3 اختلاف آماری معنی‌داری از نظر این ویژگی وجود نداشت. در شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر غلظت پتاسیم برگ در تراکم ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب بیشتر از بقیه سطوح تراکم بود گرچه اختلاف آماری معنی‌داری نیز بین آنها وجود نداشت. با افزایش شوری این روند تغییر کرد و در شوری آب آبیاری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر غلظت پتاسیم برگ در تراکم ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب بیشتر از بقیه سطوح تراکم بود ولی اختلاف آماری معنی‌داری نیز بین سطوح تراکم خاک در این سطح شوری وجود نداشت (شکل ۱-ب).

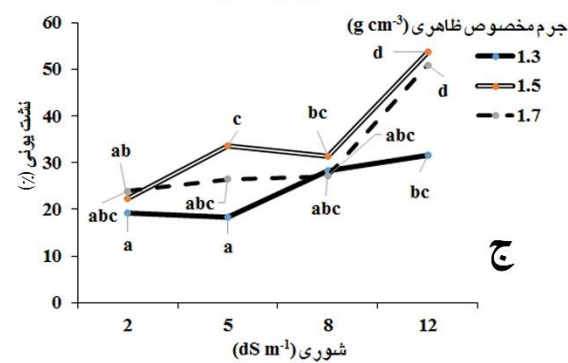
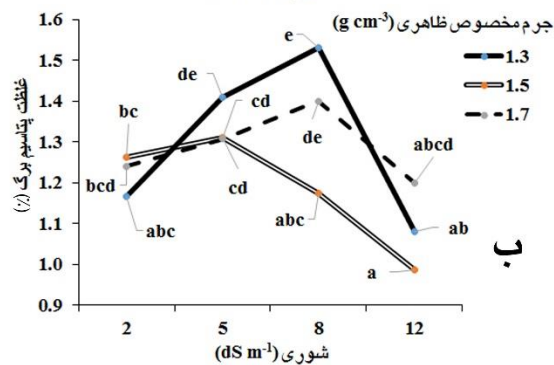
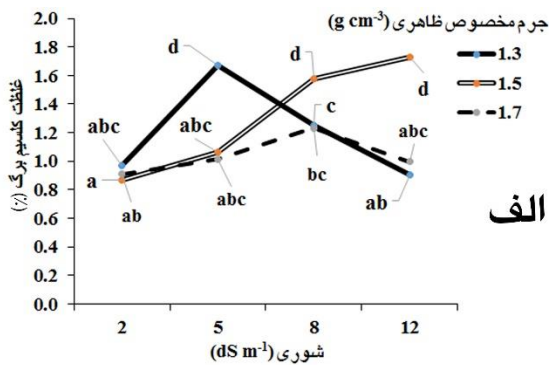
با افزایش شوری آب آبیاری، غلظت سدیم برگ نهال‌های زیتون افزایش یافت و اختلافات مشاهده شده همگی معنی‌دار بود. افزایش غلظت سدیم در برگ‌ها به حد سمیت نرسید و در بیشترین غلظت نیز میزان سدیم برگ کمتر از ۰/۲ درصد وزن خشک برگ بود. یافته‌های این

نشست یونی

نتیجه مقایسه میانگین اثرهای متقابل شوری آب آبیاری و تراکم خاک نشان داد در تراکم $1/3$ گرم بر سانتی‌متر مکعب با افزایش شوری میزان نشست یونی افزایش می‌یابد (جدول ۵). بیشترین میزان نشست یونی در این سطح تراکم خاک، در شوری آب 12 دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد و گرچه اختلاف آن با شوری 8 دسی‌زیمنس بر متر معنی‌دار نبود اما اختلاف نشست یونی در شوری آب 12 دسی‌زیمنس بر متر با شوری‌های 2 و 5 دسی‌زیمنس بر متر از نظر آماری معنی‌دار بود (شکل ۱-ج). نشست یونی در تراکم $1/5$ گرم بر سانتی‌متر مکعب نیز با افزایش شوری افزایش یافت و بیشترین مقدار نشست یونی مشاهده شده در تیمار 12 دسی‌زیمنس بر متر بود که با سطوح شوری کمتر، اختلاف آماری معنی‌داری داشت. در تراکم $1/7$ گرم بر سانتی‌متر مکعب با افزایش شوری آب به میزان 12 دسی‌زیمنس بر متر به یکباره مقدار نشست یونی افزایش یافته و اختلاف آماری معنی‌داری با سطوح شوری کمتر از 12 دسی‌زیمنس بر متر نشان داد. بیشترین مقدار نشست یونی در تیمار $S4xp_2$ مشاهده شد گرچه بین تیمارهای $S4xp_2$ و $S4xp_3$ اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۱-ج).

افزایش غلظت سدیم در سلول‌های برگ بدنبال افزایش شوری آب آبیاری، موجب تخریب دیواره سلولی شده و در نتیجه میزان نشست یونی سلول‌های برگ نیز افزایش یافت. نتایج بررسی همبستگی (جدول همبستگی ارائه نشده است) نیز یک رابطه قوی و مثبت بین نشست یونی و غلظت سدیم برگ‌ها را نشان داد. همچنین این نتایج نشان دادند همبستگی منفی بین نشست یونی و غلظت پتاسیم برگ‌ها وجود داشته و به نظر می‌رسد پتاسیم می‌تواند نقش حفاظتی در ساختار دیواره سلول‌های برگ داشته باشد. نتایج منوچهری و صالحی (۲۰۱۴) نشان داد در گیاهان علف پنجه مرغی تحت تیمارهای تنش شوری یا تنش خشکی، نشست یونی افزایش یافت. نتایج لوتز و همکاران (۱۹۹۶) نیز نشان داد با افزایش غلظت NaCl در آب آبیاری، میزان نشست یونی برگ‌های ارقام برنج، افزایش یافت و این افزایش در برگ‌های پیر ارقام مقاوم‌تر نسبت به برگ‌های جوان‌تر بیشتر بود و بر عکس در برگ‌های جوان ارقام حساس‌تر بیشتر از برگ‌های پیر بود.

تحقیق مشابه نتایج کایا و همکاران (۲۰۰۲) در مورد افزایش غلظت سدیم در برگ‌های گیاه توت‌فرنگی آبیاری شده با آب حاوی NaCl زیاد بود. دفع یونی و پراکنده‌سازی در سطح ریشه، با تعدیل غلظت یون در شیره آوند چوبی، از تجمع یون‌های بالقوه سمی در بخش‌های هوایی جلوگیری می‌کند. به نظر می‌رسد این مکانیسم در شوری‌های کم تا متوسط (تا غلظت 50 میلی‌مول NaCl) عمل می‌نماید، اما بطور قابل توجهی سرعت رشد گیاه را کم می‌کند. تجمع Na^+ در ریشه‌ها سازوکاری برای مبارزه با شوری ناحیه ریشه در زیتون فراهم آورده و نشان می‌دهد یک مکانیسم مهار کننده برای جلوگیری از انتقال Na^+ به برگ‌ها وجود دارد. در ارقام حساس به نمک، در شوری‌های بالا، Na^+ در بخش‌های هوایی تجمع یافته و علایم سمیت نشان می‌دهد. ارقام متحمل به شوری، مکانیسم کارآتری برای تعدیل انتقال نمک به شاخه‌ها دارند. غلظت Na^+ برگ در رقم متحمل به نمک کالاماتا، حتی در شوری‌های 200 میلی‌مول NaCl در مقادیر کم نگهداشته می‌شود که نشانه‌ای از وجود یک مکانیسم مهار کننده انتقال Na^+ به برگ‌ها است (چارترزولاکیس، ۲۰۰۵). روند تغییرات غلظت عناصر پتاسیم و کلسیم در برگ‌ها مشابه هم بود. غلظت این دو عنصر در سطوح میانی شوری بیشتر بوده و در بالاترین سطح شوری، غلظت عناصر پتاسیم و کلسیم گرچه کاهش یافت اما بیشتر از غلظت این عناصر در کمترین سطح شوری آب آبیاری بود. اثر کمی این دو عنصر در سطوح میانی شوری قابل توجه بوده و با افزایش شوری آب، از قابلیت این مکانیسم تحمل به شوری در زیتون کاسته شد. بر خلاف نتایج این تحقیق، کایا و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند با افزایش غلظت NaCl در آب آبیاری گیاه توت‌فرنگی، غلظت کلسیم برگ کاهش اما غلظت کلسیم ریشه افزایش یافت. کاهش غلظت کلسیم برگ در گندم و جو (اهرت و همکاران ۱۹۹۰) گزارش شده و به نظر می‌رسد این مساله، یک مشکل تغذیه‌ای است. افزایش غلظت کلسیم در برگ زیتون یک مکانیسم کمکی در مواجهه با تنش شوری است (گوچی و همکاران ۱۹۹۷) و در گیاهان توت‌فرنگی، گندم و جو این مکانیسم وجود ندارد.



شکل ۱- اثر متقابل شوری آب آبیاری و تراکم خاک بر ویژگی‌های گیاه، الف، غلظت کلسیم برگ؛ ب، غلظت پیتاسیم برگ؛ ج، نشت یونی برگ.

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

با افزایش شوری آب آبیاری، اختلاف دمای برگ با محیط افزایش یافت (جدول ۳). کمترین میزان اختلاف دمای برگ با محیط در تیمار ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد و این تیمار تفاوت آماری معنی‌داری با بقیه تیمارها داشت. مقادیر بدست آمده برای این ویژگی در تیمارهای ۲، ۵ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند، با این حال مقدار آن در تیمار ۲ دسی‌زیمنس بر متر بیشتر از بقیه تیمارها بود. تراکم خاک در بالاترین سطح (۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب) با کاهش اختلاف دمای برگ با محیط همراه بود (جدول ۴) و تا قبل از این سطح، تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. در شوری‌های کم آب آبیاری، تعرق با سرعت بیشتری انجام می‌شود.

در شوری‌های بالاتر که سرعت تعرق به واسطه بسته شدن روزنه‌ها برای کاهش تلفات آب، کاهش یافته است، مکانیزمی برای کاهش دمای برگ وجود نداشته و در نتیجه با بالا رفتن دمای برگ، اختلاف دمای برگ با محیط نیز کاهش یافته است. همبستگی مثبت بین اختلاف دمای برگ و شدت تعرق و هدایت روزنه‌ای برگ‌ها وجود دارد (جدول همبستگی ارائه نشده است). علی‌رغم عدم مشاهده تغییرات معنی‌دار در میزان تعرق برگ در ارتباط با سطوح تراکم خاک، به نظر می‌رسد، افزایش تراکم خاک، با کاهش آب در دسترس، گیاه را دچار تنش نموده و گیاه

نتوانسته است توسط مکانیزم‌های تنظیمی که عمدتاً باز و بسته کردن روزنه‌ها و به تبع آن کنترل تعرق، دمای برگ را کاهش دهد. افزایش تراکم خاک، اثرات سوء خود را با افزایش غلظت سدیم برگ‌ها به نمایش گذاشته است. حسن پور و همکاران (۱۳۹۳) مشاهده کردند گرچه اثر تراکم خاک بر غلظت سدیم برگ‌های ذرت معنی‌دار نبود ولی با افزایش جرم مخصوص ظاهری (تراکم) خاک، غلظت سدیم برگ‌ها افزایش یافت.

تراکم خاک با اثرگذاری بر مقاومت مکانیکی خاک از رشد و افزایش طول ریشه جلوگیری می‌کند. سیگل-ایسم و

نتیجه‌گیری کرد با افزایش شوری آب آبیاری، میزان کلروفیل برگ نهال‌های زیتون کاهش یافت. نتایج لوتز و همکاران (۱۹۹۶) نشان داد افزایش NaCl آب آبیاری موجب کاهش غلظت کلروفیل برگ ارقام برنج شد.

نتیجه‌گیری کلی

تغییرات آماری معنی‌داری در میزان برخی ویژگی‌های بررسی شده گیاه زیتون مانند شدت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، کارآیی لحظه‌ای مصرف آب، شاخص کلروفیل و اختلاف دمای برگ با محیط اطراف با افزایش شوری آب آبیاری تا سطح ۸ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده نشد. نهال‌ها تا شوری‌های پایین‌تر از این حد، به کمک مکانیسم‌های مختلف دفع نمک، تجمع نمک در واکوئل‌ها، پایین آوردن پتانسیل کل آب سیستم گیاه و غیره، توانستند فعالیت‌های حیاتی را در حد قابل توجه و مطلوب نگهدارند ولی بعد از این سطح شوری، توانایی تحمل گیاه بسیار کاهش یافت و فاکتورهای حیاتی گیاه نظیر تبادلات گازی، سرعت فتوسنتز و تولید گیاهی افت شدیدی را نشان دادند. جرم مخصوص ظاهری ۱/۵ گرم بر سانتی-متر مکعب نیز در خاکی با بافت شن لومی، مطلوب تشخیص داده شد زیرا پاسخ نهال‌های زیتون در جرم مخصوص ظاهری پایین‌تر و بالاتر از این حد چندان مناسب نبود.

همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که مقاومت مکانیکی خاک و تهویه ضعیف، عوامل احتمالی محدودیت رشد در تراکم بالای خاک هستند. رشد گیاه وابسته به رشد ریشه بوده و جذب آب از طریق ریشه‌های موئین که در انتهای ریشه‌ها قرار دارند، انجام می‌شود. نتایج نشان داد با افزایش درجه تراکم خاک محتوای نسبی آب برگ و پتانسیل آب ساقه کاهش یافتند. کاهش محتوای نسبی آب برگ و پتانسیل آب ساقه در پاسخ به کاهش آب قابل دسترس خاک اتفاق می‌افتند. نتایج گرزسیاک (۲۰۰۹) نشان داد افزایش مقاومت مکانیکی خاک موجب کاهش تعداد و طول ریشه گیاه و کاهش پتانسیل آب برگ در گیاهان ذرت و تربیتکاله شد.

شاخص کلروفیل برگ (SPAD)

شاخص SPAD با افزایش شوری، کاهش یافت (جدول ۳). مقدار این شاخص در تیمار ۱۲ کمترین و در تیمار ۵ دسی‌زیمنس بر متر بیشترین مقدار شاخص کلروفیل برگ بود. مقادیر این شاخص در تیمارهای شوری ۲، ۵ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت آماری معنی‌دار با یکدیگر نداشتند. همبستگی منفی بین غلظت سدیم برگ و شاخص SPAD و همچنین همبستگی مثبت بین غلظت پتاسیم برگ و شاخص SPAD در این مطالعه مشاهده شد (جدول همبستگی ارائه نشده است). لینگ و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند دستگاه SPAD متر دستی، اندازه‌گیری دقیقی از میزان کلروفیل برگ به عمل می‌آورد. لذا می‌توان

منابع مورد استفاده

- Aparicio C, Urrestarazu M and Cordovilla MD, 2014. Comparative physiological analysis of salinity effects in six olive genotypes. Hort Science 49(7): 901-904.
- Ashraf M, Athar HR, Harris PJC and Kwon TR, 2008. Some prospective strategies for improving crop salt tolerance. Adv Agron 97: 45-109.
- Azzarello E, Mughanai 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 – 167.
- Batey T, 2009. Soil compaction and soil management-A review. Soil Use Manage 25: 335-345.
- 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 Physiol Plant 30:553-560.
- Chartzoulakis K, 2005. Salinity and olive: growth, salt tolerance, photosynthesis and yield. Agric Water Manage 78:108-121.
- Ehret DL, Remann RE, Harvey BL and Cipywnyk A, 1990. Salinity - induced calcium deficiencies in wheat and barley. Plant Soil 128: 143-151.

- Grzesiak MT, 2009. Impact of soil compaction on root architecture, leaf water status, gas exchange and growth of maize and triticale seedlings. *Plant Root* 3:10-16.
- 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 Physiol* 17:13–21.
- Hassanpour R, Neyshabouri MR and Zarehaggi D, 2015. Effect of soil salinity and compaction on some physiological characteristics of corn (*Zea mays* L.). *J. Soil Manag Sustain Prod* 4(4): 275-293.
- Ho R, 2006. General linear model (GLM) multivariate analysis. Chapter 8, Pp. 85-116. In: Ho R, (ed.), *Handbook of Univariate and Multivariate Data Analysis and Interpretation with SPSS*. Chapman & Hall/CRC, Taylor & Francis Group.
- Kaya C, Kimak H, Higgs D and Saltali K, 2002. Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. *Sci Hortic-Amsterdam* 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*. *Photosynth Res* 107(2): 209-214.
- Loreto F, Centritto M and Chartzoulakis K, 2003. Photosynthetic limitations in olive cultivars with different sensitivity to salt stress. *Plant Cell Environ* 26:595–601.
- Lutts S, Kinet JM and Bouharmont J, 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *ANN BOT-LONDON* 78:389-398.
- Manuchehri R and Salehi H, 2014. Physiological and biochemical changes of common bermudagrass (*Cynodon dactylon* [L.] Pers.) under combined salinity and deficit irrigation stresses. *S AFR J BOT* 92: 83-88.
- Medrano H, Tomás M, Martorell S, Flexas J, Hernández E, Rosselló J, Pou A, Escalona JM and Bota J. 2015. From leaf to whole-plant water use efficiency (WUE) in complex canopies: Limitations of leaf WUE as a selection target. *Crop J* 3: 220-228.
- Olyaii F, Baninasab B and Ghobadi S, 2015. Effect of salinity on gas exchange parameters in four olive cultivars. *J Plant Process Funct* 4(12): 51-59.
- Qiu DL, Lin P and Guo SZ, 2007. Effects of salinity on leaf characteristics and CO₂/H₂O exchange of *Kandelia candel* (L.) Druce seedlings. *Forest Sci* 53(1):13-19
- Parida AK and Das B, 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotox Environ Safe* 60:324–349.
- Rhoades JD, 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. Pp. 417-435. In: Bigham JM (ed. in chief). *Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods*. Soil Science Society of America, Inc.
- Siegel-Issem CM, Burger JA, Powers RF, Ponder F and Patterson SC, 2005. Seedling root growth as a function of soil density and water content. *Soil Sci Soc Am J* 69(1): 215-226
- Tattini M, 1994. Ionic relations of aeroponically grown olive plants during salt stress. *Plant Soil* 161:251–256.
- Tattini M, Gucci R, Coradeschi MA, Ponzio C and Everard JD, 1995. Growth, gas exchange and ion content in *Olea europaea* plants during salinity stress and subsequent relief. *Physiol Plantarum* 95:203–210.
- Tattini M, Melgar JC and Traversi ML, 2008. Responses of *Olea europaea* to high salinity: a brief ecophysiological - review. *Adv Hort Sci* 22 (3):159-173.
- Zarehaghghi D, Neyshabouri MR, 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 Soil Sci- University of Tabriz* 22(3): 59-71.

