پاسخ‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نهال‌های دو رقم زیتون به تنش شوری ناشی از کلرور سدیم

عباس حسنی [۱]*، حبیب شیرزاد[۲]، رسول جلیلی مرندی[۳]، عباس صمدی [۴]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۱۵ تاریخ پذیرش:۱۳۹۹/۱/۲۷)

چکیده

شوری یکی از تنش‌های مهم محیطی است که رشد و تولید محصول را در ایران محدود ساخته است. زیتون (*Olea europea* L.) یکی از مهم‌ترین و گسترده‌ترین درختان میوه در ناحیه مدیترانه می‌باشد. در سال‌های اخیر، سطح باغ‌های زیتون در ایران گسترش قابل توجهی یافته است. به‌علاوه، اغلب ارقام مورد استفاده در این باغ‌ها ارقام خارجی می‌باشند که اطلاعات کمی در مورد رفتار آن‌ها در شرایط ایران و به‌ویژه تحمل آن‌ها در برابر شوری وجود دارد. از این رو، به‌منظور مطالعه اثرات شوری کلرور سدیم بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نهال‌های یک ساله دو رقم زیتون، یکی رقم میشن (یک رقم خارجی) و دیگری رقم ماری (یکی از مهم‌ترین ارقام ایرانی)، یک آزمایش گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با چهار تکرار اجرا گردید. تیمارهای شوری به‌وسیله آبیاری با آب حاوی غلظت‌های صفر، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار نمک کلرور سدیم اعمال گردیدند. نتایج نشان داد که شوری کلرور سدیم اثر معنی‌داری بر صفات مورد ارزیابی دارد. با افزایش غلظت نمک در آب آبیاری، ویژگی‌های رشدی (ارتفاع نهال، تعداد و سطح برگ‌ها، تعداد و طول شاخه‌های جانبی، قطر ساقه، وزن تر و خشک برگ و ساقه و وزن خشک ریشه)، محتوی نسبی آب برگ، میزان کلروفیل و غلظت پتاسیم برگ کاهش یافت، در حالی‌که میزان انباشت پرولین و قندهای محلول کل و غلظت سدیم و کلر در برگ‌ها افزایش نشان داد. در مجموع، یافته‌های این تحقیق نشان داد که رقم میشن به‌واسطه‌ی داشتن مقادیر پتاسیم، میزان کلروفیل و RWC بیشتر، انباشت بیشتر پرولین و قندهای محلول و تجمع کمتر یون‌های سدیم و کلر در برگ‌ها، از میزان مقاومت بیشتری نسبت به رقم ماری در برابر شوری برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: پرولین، زیتون، شوری، صفات رشدی، محتوی نسبی آب

حسنی ع.، شیرزاد ح.، جلیلی مرندی ر.، صمدی، ع. ۱۴۰۰. پاسخ‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نهال‌های دو رقم زیتون به تنش شوری ناشی از کلرور سدیم. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۹، شماره ۱. صفحه: ۸۸-۱۰۱.

۱- استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه
۲- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه
۳- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه
۴- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه
* پست الکترونیک: a.hassani@urmia.ac.ir

مقدمه

گیاهان همواره در معرض ترکیبی از تنش‌های محیطی شامل کمبود آب قابل دسترس، شوری، تغییرات دما، کمبود مواد غذایی و ... قرار دارند و این تنش‌های محیطی از عوامل عمده محدودیت تولیدات محصولات زراعی و باغی محسوب می‌شوند (Ashraf, 2004). شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که رشد و نمو طبیعی گیاه و تولید محصولات کشاورزی را کاهش می‌دهد. اثرهای منفی شوری بر رشد گیاه ناشی از اختلال در فرآیند جذب آب توسط گیاهان به علت پتانسیل اسمزی پایین محلول خاک (تنش اسمزی)، تجمع یونهایی نظیر سدیم و کلر در بافت‌های گیاهی و عدم تعادل عناصر غذایی و یا مجموعه این عوامل می‌باشد (Heidari Sharif Abad, 2001; Ashraf & McNeilly, 2004). کاهش پایداری غشاء سلولی، کاهش فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی، کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی، بسته‌شدن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش فتوسنتز، کاهش تورژسانس سلول‌ها و در نتیجه کاهش توسعه برگ‌ها، تجمع یون سدیم در برگ و در نهایت کاهش عملکرد، عمده‌ترین خسارت‌های ناشی از تنش شوری در گیاهان باغی و زراعی هستند (Ashraf, 2004). شوری آب و یا خاک، سبب کاهش پتانسیل آب و در نتیجه کاهش توانایی گیاه در جذب آن (خشکی فیزیولوژیکی) می‌گردد. در چنین شرایطی، بسیاری از گیاهان با جذب و انباشت مواد تنظیم‌کننده اسمزی از محلول خاک و یا سنتز و انباشت ترکیباتی با وزن مولکولی پایین نظیر قندهای محلول (به‌ویژه قندهای ساده) و اسیدهای آمینه (نظیر پرولین و گلایسین بتائین) در سیتوپلاسم، ضمن پایین آوردن پتانسیل اسمزی بافت‌های خود، تداوم جذب آب از خاک و در نتیجه رشد و توسعه سلول‌ها را تأمین می‌کنند (Tester & Davenport, 2003; Ashraf & Foolad, 2007). زیتون (*Olea europea* L.) یکی از محصولات مهمی است که به‌عنوان منبع روغن و یا جهت مصارف غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سال‌های گذشته، یکی از برنامه‌های مهم وزارت جهاد کشاورزی، افزایش سطح زیرکشت این محصول با ارزش بوده است. اما در این راستا، شوری آب و خاک یکی از عوامل مهم محدودکننده گسترش سطح زیر کشت و کاهش عملکرد کمی و کیفی زیتون در بسیاری از مناطق کشور می‌باشد (Nouri Roudsari, 2012). پاسخ درختان زیتون به تنش شوری بیشتر به‌صورت کاهش میزان رشد، کاهش جذب خالص دی‌اکسید کربن در برگ‌ها، تغییرات در راندمان مصرف آب، کاهش میزان کلروفیل، کاهش محتوی نسبی آب، تغییرات مورفولوژیک برگ‌ها و کاهش جذب عناصری مثل پتاسیم و کلسیم بروز می‌کند (Bongi & Loreto, 1989; Seilsepour *et al*., 2016; Rahemi *et al*., 2017; Khoshzaman *et al*., 2018). تحمل به شوری در درختان زیتون به‌واسطه وجود برخی خصوصیات مانند توانایی در کاهش پتانسیل اسمزی برگ‌ها، مکانیسم‌های دفع یون‌های سدیم و کلر در برگ‌ها، مکانیسم نگهداری نمک‌ها در ریشه‌ها و جلوگیری از تجمع آن‌ها در ساقه‌ها است (Gucci & Tattini, 1997; Kchaou *et al*., 2010). پریکا و همکاران (Perica *et al*., 2004)، ضمن بررسی اثر شوری نمک کلرور سدیم بر ارقام مختلف زیتون، گزارش نمودند ارقامی که از رشد بهتری در شرایط شوری برخوردار بودند، کمترین میزان انباشت یون سدیم را در برگ‌های خود داشتند. چارتزولاکیس و همکاران (Chartzoulakis *et al*., 2002) با بررسی عکس‌العمل شش رقم زیتون به شرایط شوری (غلظت‌های صفر، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرور سدیم همراه محلول غذایی هوگلند) بیان کردند که کاهش رشد در سطوح شوری بالا مربوط به بازدارنده‌های فتوسنتزی می‌باشد. آن‌ها همچنین نشان دادند که وجود اختلاف‌های ژنتیکی در مقاومت این شش رقم، وابسته به قابلیت آن‌ها در جلوگیری از ورود یون‌ها به ساقه در هنگام کاربرد کلرید سدیم در ناحیه ریشه می‌باشد. در شوری‌های پایین تا متوسط (تا حد ۵۰ میلی‌مولار)، بیشتر ارقام قابلیت جلوگیری از ورود یون سدیم را نشان دادند و لذا آن‌ها تجمع سدیم در ریشه را به‌عنوان یک ساز و کار مقاومت برای زیتون در شرایط تنش شوری مورد تأکید قرار دادند. یکی از راه‌های مقابله با تنش شوری، انتخاب و کشت ارقام مقاوم می‌باشد. خوشبختانه در زیتون محدوده وسیعی از ارقام با قابلیت‌های مختلف وجود دارد. به همین دلیل، بررسی اثر تنش شوری بر روی این گیاه و معرفی ارقام مقاوم به شوری، در ادامه گسترش و بهره‌برداری از زیتون ضروری می‌باشد. در این راستا، تحقیق حاضر با هدف بررسی و مقایسه پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ارقام میشن و ماری زیتون به تنش شوری و

شناخت ساز و کارهای احتمالی مقاومت به شوری در این ارقام انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر تنش شوری ناشی از کلرور سدیم بر برخی صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ارقام ماری (یکی از مهم‌ترین ارقام ایرانی) و میشن (یک رقم خارجی) زیتون، یک آزمایش گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی و آزمایشگاههای گروههای علوم باغبانی و علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل دو رقم زیتون (ماری و میشن) و پنج سطح تنش شوری (صفر، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار نمک کلرور سدیم) بودند. نهال‌های یکساله ارقام مورد آزمایش، پس از انتقال به گلخانه در داخل گلدان‌های پلاستیکی (با قطر دهانه ۲۳ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر) حاوی دو قسمت خاک مزرعه و یک قسمت ماسه کشت گردیدند. نمونه‌ای از خاک مورد استفاده در گلدان‌ها در آزمایشگاه تجزیه خاک مورد آنالیز قرار گرفت (جدول ۱). حدود سه ماه پس از استقرار نهال‌ها در گلخانه، تیمارهای شوری به‌صورت آبیاری گلدان‌ها با آب حاوی غلظت‌های مورد نظر نمک کلرور سدیم شروع گردیده و به مدت سه ماه ادامه یافتند. جهت جلوگیری از شوک ناگهانی ناشی از شوری آب آبیاری، تیمارهای شوری از کمترین مقدار (۲۵ میلی‌مولار) شروع شده و غلظت‌های بیشتر به‌تدریج در طی چند روز به گلدان‌ها افزوده شد. همچنین، جهت جلوگیری از انباشت نمک و تغییرات EC و pH ناشی از آن در گلدان‌ها، ضمن این‌که در هر بار آبیاری سعی گردید حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد بیشتر از ظرفیت زراعی آبیاری انجام گردد، هر ده روز یکبار نیز گلدان‌ها با آب معمولی مورد آبشویی قرار می‌گرفتند. در طول مدت آزمایش، دمای کمینه و بیشینه گلخانه به‌طور متوسط ۱۸/۶ و ۳۰/۳ درجه سانتی‌گراد بود و روشنایی مورد نیاز گیاهان نیز با نور طبیعی آفتاب تأمین می‌شد. هر واحد آزمایشی متشکل از دو گلدان و بنابراین، در مجموع ۸۰ گلدان مورد استفاده قرار گرفت.

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

Table 1. Some physical and chemical properties of studied soil

Soil Texture	pH	EC	O.M	$CaCO_3$	K	P	N
		$dS\ m^{-1}$		%	$mg\ kg^{-1}$		%
Sandy-Clay-Loam	7.6	2.6	1.6	16.1	334	13	0.15

در زمان شروع تیمارهای شوری و نیز در انتهای آزمایش (سه ماه پس از اعمال تنش شوری)، ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد شاخه‌های جانبی، مجموع طول شاخه‌های جانبی و قطر ساقه اندازه‌گیری شد. از آنجایی که سرعت رشد ارقام در شرایط عادی متفاوت بود، طبیعی است که در شرایط تنش نیز رشد متفاوتی داشته باشند. لذا برای جلوگیری از این خطا، میزان رشد هر صفت در شرایط شاهد (بدون تنش) برای هر دو رقم ۱۰۰٪ فرض شد و میزان رشد در تیمار تنش به صورت درصدی از رشد شاهد (X) به روش زیر محاسبه گردید (Javadi & Bahram Nezhad, 2011):

$X= 100\times A/B$

A= رشد نهال در شرایط تنش، B= رشد نهال در تیمار شاهد

همچنین در انتهای آزمایش، در هر تیمار متشکل از دو گلدان، نهال موجود در یکی از گلدان‌ها به همراه ریشه از خاک خارج گردید و هر نهال به سه جزء شامل برگ‌ها، ساقه و ریشه تفکیک شده و وزن تر و خشک اندام‌های یادشده مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. برای تعیین وزن خشک، اندام‌های مختلف به مدت ۷۲ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

ویژگی‌های فیزیولوژیکی شامل شاخص کلروفیل (SPAD) توسط دستگاه کلروفیل سنج (Minolta SPAD-502 Chlorophyll Meter) و محتوی نسبی آب برگ (RWC) با تهیه دیسک‌های برگی به روش ترنر (Turner, 1981) و با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100$$

RWC: محتوی نسبی آب برگ‌ها، FW: وزن تر دیسک-های برگی، DW: وزن خشک دیسک‌های برگی، TW: وزن آماس دیسک‌های برگی

برای اندازه‌گیری عناصر غذایی، نمونه‌های برگی خشک شده در آون، به کمک آسیاب پودر شده و نهایتاً عصاره آن‌ها به روش سوزاندن خشک تهیه گردید. مقادیر پتاسیم و سدیم به روش نشر شعله‌ای و با کمک دستگاه فلیم فتومتر (Emami, 1996) و مقدار کلر به روش تیتراسیون (Johnson & Ulrich, 1975) اندازه‌گیری شد.

همچنین، برای اندازه‌گیری میزان انباشت متابولیت‌های سازگار (اسید آمینه پرولین و قندهای محلول) در برگ‌ها، ابتدا اقدام به تهیه عصاره الکلی از برگ‌های کاملاً توسعه یافته انتهایی نموده و سپس میزان قندهای محلول به روش ایریگوین و همکاران (Irigoyen *et al*., 1992) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۵ نانومتر و میزان اسید آمینه پرولین به روش پاکوین و لیچاسور (Paquin & Lechasseur, 1979) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۵ نانومتر اندازه-گیری شد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن (در سطح پنج درصد) انجام گرفت.

نتایج و بحث

ویژگی‌های رویشی

طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، سطوح شوری اثر معنی‌داری بر کلیه صفات رشدی مورد اندازه‌گیری داشته است. همچنین، اثر نوع رقم بر تغییرات تعداد برگ، سطح برگ، تغییرات تعداد و طول شاخه‌های جانبی و وزن خشک ریشه و نیز اثرات متقابل شوری و رقم بر تغییرات تعداد برگ، سطح برگ، تغییرات تعداد شاخه‌های جانبی، تغییرات قطر ساقه و وزن خشک ریشه معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) نشان می‌دهد که با افزایش سطح شوری، درصد افزایش ارتفاع و درصد افزایش طول شاخه‌های جانبی نسبت به تیمار شاهد و نیز وزن تر و خشک برگ و ساقه کاهش یافته است. همچنین مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) نشان می‌دهد که درصد افزایش طول شاخه‌های جانبی نسبت به شاهد، در رقم ماری به-طور معنی‌داری بیشتر از رقم میشن بوده است. مقایسه میانگین‌های مربوط به اثرات متقابل شوری و رقم بر تغییرات تعداد برگ نشان می‌دهد که اگرچه در هر دو رقم با افزایش سطح شوری درصد افزایش تعداد برگ نسبت به تیمار بدون تنش کاهش یافته است، اما رقم ماری در تمام سطوح بجز سطح شوری ۲۰۰ میلی‌مولار از درصد افزایش تعداد برگ بیشتری نسبت به شاهد برخوردار بوده است. به‌طور مشابه، ملاحظه می‌گردد که در هر دو رقم، با افزایش سطح شوری، سطح برگ‌ها دچار کاهش شده است و رقم ماری بجز در سطح شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، از سطح برگ بیشتری برخوردار بوده است (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات متقابل شوری و رقم بر تغییرات تعداد شاخه‌های جانبی (جدول ۴) نشان می‌دهد که در هر دو رقم با افزایش سطح شوری، درصد افزایش تعداد شاخه‌های جانبی نسبت به شاهد کاهش یافته است. البته رقم ماری در تمام سطوح شوری از درصد افزایش تعداد شاخه‌های جانبی کمتری نسبت به شاهد برخوردار بود و تنها در سطح شوری ۲۰۰ میلی‌مولار اختلاف بین دو رقم معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین اثرات متقابل شوری و رقم بر تغییرات قطر ساقه (جدول ۴) نشان می-دهد که در هر دو رقم، با افزایش سطح شوری، درصد افزایش قطر ساقه نسبت به شاهد کاهش یافته است و دو رقم بجز در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، تفاوت معنی-داری با یکدیگر نداشتند. مقایسه میانگین اثرات متقابل شوری و رقم بر وزن خشک ریشه (جدول ۴) نیز نشان می‌دهد که اگرچه در مجموع رقم ماری از وزن خشک ریشه بیشتری برخوردار بود، اما فقط در سطح شوری ۲۵ میلی‌مولار اختلاف دو رقم معنی‌دار بود. همچنین، در رقم ماری با افزایش شوری تا حد ۵۰ میلی‌مولار و در رقم میشن با افزایش شوری تا حد ۱۰۰ میلی‌مولار، بر میزان وزن خشک ریشه افزوده شد.

بر اساس نتایج این پژوهش، سطوح مختلف شوری بر تمامی شاخص‌های رشدی نهال‌های زیتون تأثیر معنی‌داری گذاشت که البته این تأثیر بسته به سطوح شوری و رقم متفاوت بود. اگرچه با افزایش سطح شوری، صفات رویشی در هر دو رقم مورد مطالعه کاهش یافت، اما در اکثر صفات رشدی، دو رقم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند.

جدول ۲- تجزیه واریانس ویژگی‌های رشدی در ارقام ماری و میشن زیتون تحت تأثیر تنش شوری

Table 2. Variance analysis of growth parameters of olive cultivars (Mary and Mission) in response to salinity stress

Source of variation	df	Mean Square					
		Increasing height	Increasing leaf number	Leaf area	Increasing axillary shoots number	Increasing axillary shoots length	Increasing stem diameter
Block	3	0.005 ^{ns}	0.003 ^{ns}	190.308 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.023 *	0.006 ^{ns}
Salinity (a)	4	1.742 **	2.387 **	1763.43 **	2.183 **	1.656 **	1.66 **
Cultivar (b)	1	0.019 ^{ns}	0.185 **	1217.27 **	0.198 **	0.062 **	0.016 ^{ns}
a×b	4	0.035 ^{ns}	0.068 **	241.614 *	0.032 **	0.006 ^{ns}	0.06 **
Error	27	0.021	0.007	70.015	0.007	0.006	0.013
CV (%)		17.87	13.01	6.04	10.88	9.31	13.56

^{ns}, * and ** are non-significant, significant at $p\leq0.05$ and $p\leq0.01$, respectively.

ادامه جدول ۲-

Table 2. Continued

Source of variation	df	Mean Square				
		Leaf fresh weight	Leaf dry weight	Stem fresh weight	Stem dry weight	Root dry weight
Block	3	14.052 ^{ns}	5.771 ^{ns}	124.6 ^{ns}	25.161 ^{ns}	5.277 ^{ns}
Salinity (a)	4	272.229 **	126.903 **	678.932 **	256.706 **	39.857 **
Cultivar (b)	1	46.053 ^{ns}	14.292 ^{ns}	41.392 ^{ns}	6.472 ^{ns}	55.248 **
a×b	4	29.482 ^{ns}	5.921 ^{ns}	44.053 ^{ns}	20.908 ^{ns}	10.291 *
Error	27	16.463	7.356	68.113	20.656	3.079
CV (%)		11.92	15.25	18.21	17.55	12.64

^{ns}, * and ** are non-significant, significant at $p\leq0.05$ and $p\leq0.01$, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های اثرات سطوح مختلف شوری بر ویژگی‌های رشدی

Table 3. Means comparison of effect of different salinity levels on growth parameters

Parameter / Treatment	Increasing height (%)	Increasing axillary shoot length (%)	Leaf fresh weight (gr)	leaf dry weight (gr)	Stem fresh weight (gr)	Stem dry weight (gr)
T1	100 ^{a}	100 ^{a}	39.45 ^{a}	22.82 ^{a}	55.98 ^{a}	32.38 ^{a}
T2	75.04 ^{b}	79 ^{b}	38 ^{a}	19.77 ^{b}	50.74 ^{a}	27.97 ^{a}
T3	72.67 ^{b}	55.93 ^{c}	35.56 ^{ab}	17.94 ^{bc}	47.27 ^{ab}	28.56 ^{a}
T4	45.21 ^{c}	52.62 ^{c}	32.46 ^{b}	16.28 ^{c}	40.23 ^{bc}	22.79 ^{b}
T5	31.96 ^{d}	43.59 ^{d}	24.75 ^{c}	12.14 ^{d}	32.4 ^{c}	17.82 ^{c}

The means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different using Duncan's test ($p\leq0.05$).
T1, T2, T3, T4 and T5= 0, 25, 50, 100 and 200 mM of NaCl salinity, respectively.

تنش شوری همانند بسیاری از تنش‌های غیرزیستی دیگر، رشد گیاه را محدود می‌کند و کاهش رشد یک نوع سازگاری برای زنده ماندن گیاه تحت شرایط تنش محسوب می‌گردد. تجمع نمک در ناحیه ریشه باعث ایجاد تنش اسمزی (اثر اسمزی) و اختلال در هموستازی یونی از طریق ممانعت از جذب عناصر ضروری (نظیر یون‌های پتاسیم، کلسیم و نیترات) و تحریک انباشت یون‌های سدیم و کلر تا سطوح سمیت در داخل سلول‌ها (اثر ویژه یونی) می‌گردد (Zhu, 2001). کاهش رشد برگ اولین عکس‌العمل گیاهان در برابر شوری است. این کاهش ممکن است نتیجه اثر مستقیم نمک بر سرعت تقسیم سلولی و یا نتیجه کاهش طول مدت توسعه سلولی باشد. همچنین، به‌نظر می‌رسد که در گلیکوفیت‌ها، عدم توانایی برگ‌ها برای جای دهی و قسمت‌بندی نمک انتقال یافته از ریشه در سرعتی متناسب با دریافت آن، باعث کند شدن آهنگ رشد برگ و نهایتاً مرگ برگ شود (Volkmar *et al.*, 1998). به دنبال کاهش سطح برگ، جذب نور نیز کاهش یافته که باعث افت ظرفیت فتوسنتزی گیاه و در نتیجه کاهش تأمین فرآورده‌های فتوسنتزی لازم برای رشد می‌گردد.

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نوع رقم زیتون و سطوح مختلف شوری بر ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی

Table 4. Means comparison of interaction of olive cultivar and different salinity levels on growth and physiological parameters

Parameter / Treatment	Increasing leaf number (%)	Leaf area (cm^2)	Increasing axillary shoot number (%)	Increasing stem diameter (%)	Root dry weight (gr)	Cl (%)
T1Ma	100 ^{a}	172.7 ^{a}	100 ^{a}	100 ^{a}	16.28 ^{ab}	0.955 ^{e}
T1Mi	100 ^{a}	144.8 ^{bc}	100 ^{a}	100 ^{a}	12.75 ^{bc}	0.44 ^{e}
T2Ma	76.03 ^{b}	154.4 ^{b}	72.61 ^{c}	76.43 ^{b}	17.85 ^{a}	2.731 ^{d}
T2Mi	45.67 ^{c}	141.4 ^{bcd}	82.98 ^{b}	84.18 ^{b}	12.57 ^{bc}	0.527 ^{e}
T3Ma	59.69 ^{c}	137 ^{cde}	46.74 ^{d}	68.67 ^{b}	17.34 ^{a}	5.571 ^{c}
T3Mi	41.2 ^{c}	130.9 ^{cde}	73.46 ^{c}	68.47 ^{b}	14.69 ^{ab}	0.722 ^{e}
T4Ma	39.48 ^{d}	135.7 ^{cde}	30.18 ^{e}	69.97 ^{b}	13.13 ^{bc}	7.238 ^{b}
T4Mi	27.3 ^{d}	125.4 ^{de}	42.99 ^{d}	43.35 ^{c}	13.63 ^{bc}	1.028 ^{e}
T5Ma	13.58 ^{d}	120.2 ^{e}	21.53 ^{e}	34.99 ^{c}	10.68 ^{c}	10.47 ^{a}
T5Mi	20.45 ^{d}	122.2 ^{e}	28.5 ^{e}	35.34 ^{c}	9.88 ^{c}	1.611 ^{de}

The means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different using Duncan's test ($p\leq0.05$). Ma= Mary; Mi= Mission; T1, T2, T3, T4 and T5= 0, 25, 50, 100 and 200 mM of NaCl salinity, respectively.

به‌علاوه، پیرشدن سریع برگ‌ها در اثر تنش شوری به کاهش دوام سطح برگ‌ها منجر می‌گردد. رشد برگ‌های جدید به‌وسیله انتقال کربن از برگ‌های بالغ پشتیبانی می‌شود. هنگامی که توانایی برگ‌های مسن‌تر برای حمایت رشد برگی جدید کاهش می‌یابد، تولید و رشد برگ‌های جدید با مشکل مواجه می‌شود (Volkmar *et al*., 1998; Heidari Sharif Abad, 2001). لازم به ذکر است که با کاهش تعداد و سطح برگ و تعداد و طول شاخه‌های جانبی، گیاه آب کمتری را از طریق تعرق از دست می‌دهد و بنابراین، محدود شدن سطح تعرق کننده را شاید بتوان به عنوان یکی از مکانیسم‌های دفاعی گیاه زیتون برای اجتناب از اثرات اسمزی تنش شوری در نظر گرفت. محققین چندی گزارش کرده‌اند علیرغم این‌که ریشه‌ها مستقیماً در معرض شوری خاک می‌باشند، اما کمتر از اندام‌های هوایی تحت تأثیر شوری قرار می‌گیرند. به عبارت دیگر، بخش ریشه گیاهان بسیار متحمل‌تر از بخش هوایی در برابر شوری بوده و با افزایش شوری در محیط رشد، نسبت ریشه به اندام‌های هوایی بالا می‌رود. این امر به احتمال زیاد یک مکانیسم سازگاری در محیط‌های شور می‌باشد (Graiffenberg *et al*., 1996). چارتزولاکیس و همکاران (Chartzoulakis *et al*., 2002) ضمن بررسی اثر شوری ناشی از کلرور سدیم (صفر، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) بر شش رقم زیتون گزارش نمودند که میزان کاهش رشد ناشی از شوری در ارقام مختلف متفاوت بود. همچنین اظهار داشتند که در شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار، رشد اندام‌های هوایی بیشتر از رشد ریشه‌ها تحت تأثیر قرار گرفت که نتیجه آن افزایش نسبت ریشه به شاخساره بود.

در تحقیق حاضر نیز مشاهده گردید که در رقم ماری تا سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار و در رقم میشن تا سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، وزن خشک ریشه نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. بنابراین، می‌توان اظهار داشت که ارقام مورد مطالعه در این تحقیق نیز از مکانیسم افزایش نسبت ریشه به اندام‌های هوایی برای سازگاری با شرایط شوری بهره گرفته‌اند. کاهش شاخص‌های رشدی در اثر تنش شوری که در این تحقیق مشاهده شد، توسط سایر محققان و در ارقام دیگر زیتون نیز گزارش گردیده است (Perica *et al*., 2004; Kchaou *et al*., 2010; Seilsepour *et al*., 2016; Olyaei *et al*., 2016; Pouri *et al*., 2017).

شاخص کلروفیل (SPAD)

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر سطوح مختلف شوری و نوع رقم بر شاخص کلروفیل معنی‌دار (در سطح ۱٪) بوده است، در حالی‌که برهمکنش این دو عامل اثر معنی‌داری بر شاخص کلروفیل نداشت (جدول ۶).

مقایسه میانگین‌های مربوط به اثر شوری بر شاخص کلروفیل (جدول ۷) نشان می‌دهد که با افزایش سطح شوری، مقدار کلروفیل کاهش یافته است. به‌طوری که بیشترین و کمترین مقدار این صفت، به‌ترتیب در تیمار شاهد و شوری ۲۰۰ میلی‌مولار مشاهده گردید. قابل ذکر است که از نظر شاخص کلروفیل، اختلاف معنی‌داری بین سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار شوری وجود نداشت.

همچنین، نتایج بیانگر آن است که رقم میشن از میزان کلروفیل بیشتری نسبت به رقم ماری برخوردار بود (جدول ۵).

مشابه نتایج این تحقیق، در بررسی اثر سطوح مختلف شوری کلرور سدیم بر چهار رقم زیتون (آمیگدال، زرد، شیراز و دکل) مشاهده شده است که با تشدید شوری، میزان کلروفیل کاهش یافته است. همچنین ارقام آمیگدال و زرد به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقادیر کلروفیل بودند (Olyaei *et al*., 2016). سیلسپور و همکاران (Seilsepour *et al*., 2016)، نیز ضمن بررسی اثر سطوح مختلف شوری بر ارقام میشن و زرد زیتون، نتیجه گرفتند که اگرچه در هر دو رقم با افزایش سطح شوری شاخص کلروفیل کاهش یافته است، اما رقم میشن از کاهش کلروفیل کمتری برخوردار بود. خوش زمان و همکاران (Khoshzaman *et al*., 2018) نیز گزارش نمودند که در رقم زیتون زرد تحت شرایط تنش شوری، بین غلظت سدیم برگ و شاخص کلروفیل همبستگی منفی وجود دارد. به‌طوری که با افزایش سطح شوری، این شاخص دچار کاهش گردید. آپاریسیو و همکاران (Aparicio *et al*., 2014) و راحمی و همکاران (Rahemi *et al*., 2017) نیز ضمن بررسی اثر شوری بر ارقام مختلف زیتون ملاحظه نمودند که ارقام مورد مطالعه درجات متفاوتی از تحمل به شوری را نشان دادند و بیشترین میزان کاهش کلروفیل در ارقام حساس مشاهده گردید. طبق اظهار پاریدا و همکاران (Parida *et al*., 2004)، در اثر شوری مقدار اتیلن برگ افزایش و میزان کلروفیل گیاه به دلیل فعالیت آنزیم کلروفیلاز به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. از دلایل دیگر کاهش کلروفیل در تیمارهای تحت تنش شوری، اختلال در جذب عناصری مثل منیزیم و آهن می‌باشد که در ساخت کلروفیل نقش اساسی دارند و با کاهش جذب آنها، سنتز کلروفیل و در نتیجه فتوسنتز گیاه کاهش می‌یابد (Munns, 2002). همچنین گزارش شده است که تنش شوری باعث باز شدن حلقه‌های پورفیرینی کلروفیل شده و مواد سمی حاصل از این تجزیه به واکوئل‌ها منتقل و باعث از بین رفتن رنگ سبز برگ‌ها می‌شوند (Parida *et al*., 2004). تحت شرایط تنش شوری، گونه‌های فعال اکسیژن تولید شده می‌توانند آسیب‌های جدی (تنش اکسیداتیو) به مولکول‌های زیستی مثل لیپیدها، پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و کلروفیل وارد نمایند (Yasar *et al*., 2008). همچنین، افزایش در میزان انباشت اسید آمینه پرولین در اثر شوری و رقابت آن با کلروفیل برای پیش ماده مشترک گلوتامات، می‌تواند از علل دیگر کاهش میزان کلروفیل در اثر تنش شوری باشد (Heidari Sharif Abad, 2001).

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های اثر نوع رقم زیتون بر ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی تحت تأثیر تنش شوری

Table 5. Means comparison of effect of olive cultivar on growth and physiological parameters in response to salinity stress

Parameter / Cultivar	Increasing axillary shoot length (%)	Chlorophyll content (SPAD)	Proline (µmol g^{-1} fw)	Total soluble solids (mg g^{-1} fw)	K (%)	Na (%)
Mary	69.39 [a]	69.24 [b]	5.52 [b]	59.51 [b]	1.179 [b]	0.797 [a]
Mission	63.06 [b]	72.9 [a]	6.34 [a]	65.37 [a]	1.298 [a]	0.614 [b]

The means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different using Duncan's test ($p \leq 0.05$).

محتوی نسبی آب برگ (RWC)

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که فقط اثر سطوح مختلف شوری بر محتوی نسبی آب برگ معنی‌دار (در سطح ۱٪) بوده است. در حالی‌که نوع رقم و برهمکنش این دو عامل، اثر معنی‌داری بر این صفت نداشته است (جدول ۶). طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها، با افزایش سطح شوری، محتوی نسبی آب برگ کاهش یافته است. به‌طوری که بیشترین میزان این صفت در تیمار شاهد و کمترین میزان آن در تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۷). محتوی نسبی آب گیاه، معیار مناسبی جهت بررسی وضعیت آبی گیاه است. در شرایط شوری، کاهش محتوی نسبی آب می‌تواند در نتیجه کاهش دسترسی به آب در اثر کاهش پتانسیل اسمزی ناشی از وجود نمک باشد (Heidari Sharif Abad, 2001). شوری عمدتاً دو فرآیند گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد: روابط آبی و روابط یونی. در ابتدای قرار گرفتن در معرض شوری، گیاهان تنش آبی را تجربه می‌کنند که به نوبه خود رشد و توسعه برگ را کاهش می‌دهد.

جدول ۶- تجزیه واریانس ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در ارقام ماری و میشن زیتون تحت تأثیر تنش شوری

Table 6. Variance analysis of physiological and biochemical parameters of olive cultivars (Mary and Mission) in response to salinity stress

Source of variation	df	Mean Square						
		Chlorophyll content	RWC	Proline	Total soluble solids	K	Na	Cl
Block	3	1.394 ^{ns}	6.064 ^{ns}	3.77 *	6.17 ^{ns}	0.064 **	0.26 **	3.316 *
Salinity (a)	4	192.717 **	28.21 **	17.77 **	52.8 ^{ns}	0.069 **	1.441 **	35.292 **
Cultivar (b)	1	134.506 **	0.737 ^{ns}	6.718 *	348.74 *	0.14 **	0.828 **	204.937 **
a×b	4	6.965 ^{ns}	2.033 ^{ns}	0.483 ^{ns}	42.97 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.009 ^{ns}	21.598 **
Error	27	3.886	4.161	1.127	44.195	0.011	0.048	0.891
CV (%)		2.77	2.7	17.91	6.82	8.57	24.63	30.16

^{ns}, * and ** are non-significant, significant at $p\leq0.05$ and $p\leq0.01$, respectively.

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های اثرات سطوح مختلف شوری بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی

Table 7. Means comparison of effect of different salinity levels on physiological parameters

Parameter / Treatment	Chlorophyll content (SPAD)	RWC (%)	Proline (µmol g^{-1} fw)	K (%)	Na (%)
T1	77.57 ^{a}	78.79 ^{a}	3.94 ^{c}	1.392 ^{a}	0.518 ^{c}
T2	74.32 ^{b}	75.21 ^{b}	5.61 ^{b}	1.235 ^{b}	0.608 ^{c}
T3	70.5 ^{c}	75.3 ^{b}	6.31 ^{b}	1.235 ^{b}	0.703 ^{c}
T4	67.21 ^{d}	74.59 ^{b}	5.69 ^{b}	1.164 ^{b}	1.092 ^{b}
T5	65.76 ^{d}	73.97 ^{b}	8.09 ^{a}	1.165 ^{b}	1.544 ^{a}

The means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different using Duncan's test ($p\leq0.05$).
T1, T2, T3, T4 and T5= 0, 25, 50, 100 and 200 mM of NaCl salinity, respectively.

با قرار گرفتن طولانی مدت در معرض شوری، گیاهان تنش یونی را تجربه می‌کنند که می‌تواند منجر به پیری زودرس برگ‌های بالغ و در نتیجه کاهش سطح فتوسنتز کننده شود (Sultana *et al*., 1999). در اثر شوری مقدار آب مصرفی گیاه کاهش پیدا می‌کند که می‌تواند مربوط به کاهش پتانسیل آب محیط ریشه و کاهش توان گیاه در جذب آب، افزایش مقاومت در مسیر جریان آب در داخل گیاه و یا افزایش مقاومت روزنه‌ای و کاهش تعرق باشد (Heidari Sharif Abad, 2001). شواهد و مدارک زیادی وجود دارند مبنی بر این که شوری پارامترهای فتوسنتزی شامل پتانسیل اسمزی و آبی برگ، سرعت تعرق، دمای برگ و میزان نسبی آب برگ را تغییر می‌دهد (Sultana *et al*., 1999). مگدیچه و همکاران (Megdiche *et al*., 2008) بیان نمودند که کاهش هدایت روزنه‌ای و به‌دنبال آن کاهش تعرق در شرایط تنش شوری، به‌عنوان یک مکانیسم سازگاری برای غلبه بر تنش شوری تلقی می‌شود که به احتمال زیاد این کاهش تعرق، باعث حفظ محتوی نسبی آب برگ می‌شود.

نتایج به‌دست آمده نشان داد که تنش شوری باعث کاهش معنی‌داری در محتوی نسبی آب برگ، در هر دو رقم زیتون گردیده است. به‌نظر می‌رسد که قسمتی از صدمه وارد آمده به گیاهان تحت تنش شوری، ناشی از نوعی کم آبی یا خشکی فیزیولوژیکی باشد (تنش اسمزی) که منجر به کاهش محتوی نسبی آب برگ در هر دو رقم شده است. بن احمد و همکاران (Ben Ahmad *et al*., 2008) نیز گزارش کردند کاهش محتوی نسبی آب برگ در نهال‌های زیتون دچار تنش، می‌تواند به دلیل غلظت زیاد نمک در محلول خاک، ایجاد تنش اسمزی و در نتیجه دهیدراسیون نهال‌ها در سطح سلولی شد. در تحقیق مشابهی، علیایی و همکاران (Olyaei *et al*., 2016) ضمن بررسی تأثیر سطوح مختلف شوری بر نهال‌های چهار رقم زیتون (آمیگدال، زرد، شیراز و دکل)، نتیجه گرفتند که محتوی نسبی آب برگ‌ها در هر چهار رقم با افزایش سطح شوری کاهش یافت و ارقام زرد و آمیگدال به ترتیب از کمترین و بیشترین میزان کاهش برخوردار بودند. کاهش محتوی نسبی آب برگ در اثر تنش شوری توسط سیلسپور و همکاران (Seilsepour *et al*., 2016) و خوش زمان و همکاران (Khoshzaman *et al*., 2018) نیز در ارقام زرد و میشن زیتون گزارش گردیده است.

انباشت اسید آمینه پرولین

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر سطوح مختلف شوری (در سطح ۱٪) و نوع رقم (در سطح ۵٪) بر میزان تجمع اسید آمینه پرولین معنی‌دار بوده است. در حالی‌که برهمکنش این دو عامل اثر معنی‌داری بر این صفت نداشته است (جدول ۶). طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها، اگرچه با افزایش سطح شوری، میزان انباشت پرولین در برگ‌ها افزایش یافته است، اما از این نظر بین سطح شوری ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۷). همچنین، در مقایسه بین ارقام مورد آزمایش مشاهده گردید که رقم میشن (۶/۳۴ میکرو مول در گرم وزن تر) از میزان پرولین بیشتری نسبت به رقم ماری (۵/۵۲ میکرو مول در گرم وزن تر) برخوردار بود (جدول ۵). حفظ یک وضعیت آبی مناسب تحت شرایط تنش برای ادامه رشد گیاه ضروری است. این فرآیند می‌تواند با تنظیمات روزنه‌ای (Tattini *et al*., 2008) و انباشت محلول‌های سازگار در برگ‌ها و ریشه‌ها تحقق پیدا کند (Ashraf *et al*., 2008). یکی از مکانیسم‌های کارآمدی که گیاه برای حفظ فشار آماس در شرایط کمبود آب از آن بهره می‌برد، پدیده‌ای موسوم به تنظیم یا تعدیل اسمزی است. به‌طور کلی تنظیم اسمزی به کاهش پتانسیل اسمزی در اثر تجمع مواد محلول در شرایط تنش‌های خشکی و شوری اطلاق می‌گردد و شدت انجام آن به سرعت و میزان توسعه تنش، نوع و سن اندام و تنوع ژنتیکی درون و بین گونه‌ای بستگی دارد (Bajji *et al*., 2001). تنظیمات اسمزی به سلول‌ها اجازه می‌دهد که تورم خود را حفظ کنند و فرآیندهای تحت نظارت تورم، شامل انبساط و رشد سلولی، بازشدن سلول‌های روزنه، فتوسنتز و همچنین شیب پتانسیل آب حفظ گردد. بدین ترتیب، آب وارد گیاه می‌شود و سلول را در افزایش سرعت توسعه خود کمک می‌نماید (Evelin *et al*., 2009).

اسید آمینه پرولین یکی از مهم‌ترین اسمولیت‌های تجمع یافته تحت شرایط شوری است. تجمع پرولین جذب آب را بهبود بخشیده و تلفات آب را کاهش می‌دهد و علاوه بر تنظیم اسمزی، ذخیره‌ای از کربن و نیتروژن را برای زمانی که گیاه بخاطر تنش رشد آرام‌تری دارد، تأمین می‌کند. همچنین، با حذف رادیکال‌های اکسیژن و نشان دادن فعالیت آنتی‌اکسیدانی، باعث ثبات و پایداری غشاها و ماکرومولکول‌ها شده و به حفظ ساختار سلول در شرایط تنش کمک می‌کند (Ashraf & Foolad, 2007; Iqbal *et al*., 2014). میسرا و ساکسنا (Misra & Saxena, 2009) بیان نمودند که در شرایط تنش شوری، فعالیت آنزیم پرولین اکسیداز کاهش‌یافته و در نتیجه تجزیه پرولین کم می‌شود. از طرفی فعالیت آنزیم پرولین-۵-کربوکسیلات سنتتاز بالا رفته، در نهایت میزان پرولین افزایش می‌یابد. می‌توان اظهار داشت که ارقام زیتون مورد مطالعه در تحقیق حاضر نیز برای مقابله با اثرات خشکی فیزیولوژیکی و تنش اکسیداتیو ناشی از تنش شوری، میزان انباشت پرولین را به عنوان یک اسمولیت سازگار و یک ترکیب محفظ اسمزی افزایش داده‌اند که البته میزان این افزایش در رقم میشن به‌طور معنی‌داری بیشتر از رقم ماری بوده است. مشابه نتایج تحقیق حاضر، بن احمد و همکاران (Ben Ahmad *et al*., 2008)، علیایی و همکاران (Olyaei *et al*., 2016) و راحمی و همکاران (Rahemi *et al*., 2017)، نیز افزایش انباشت پرولین را در پاسخ به افزایش سطوح شوری در ارقام مختلف زیتون گزارش نموده‌اند.

انباشت قندهای محلول کل

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۶) نشان می‌دهد که فقط اثر نوع رقم بر میزان تجمع قندهای محلول کل معنی‌دار (در سطح ۵٪) بوده است. اگرچه با افزایش سطح شوری میزان انباشت قندهای محلول افزایش یافت، اما این افزایش معنی‌دار نبود. در مقایسه بین ارقام مورد آزمایش مشاهده گردید که رقم میشن (۶۵/۳۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر) از میزان قندهای محلول بیشتری نسبت به رقم ماری (۵۹/۵۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر) برخوردار بود (جدول ۵). طبق اظهار چارتزولاکیس (Chartzoulakis, 2005)، انباشت کربوهیدرات‌های محلول (عمدتاً گلوکز و مانیتول) در پاسخ به افزایش شوری محیط خارجی، بر شرکت و نقش این ترکیبات در پدیده تنظیم اسمزی دلالت دارد. این کربوهیدارت‌ها علاوه بر تنظیم اسمزی در حفاظت اسمزی، ذخیره‌ی کربن و حذف رادیکال‌های آزاد (تخفیف تنش اکسیداتیو) نیز نقش دارند (Parvaiz & Satyawati, 2008). مشابه تحقیق حاضر در سایر پژوهش‌ها نیز وابستگی انباشت قندهای محلول به نوع رقم مورد تاکید قرار گرفته است. پوری و همکاران (Pouri *et al*., 2017) در بررسی سطوح مختلف شوری کلرید سدیم بر نهال‌های سه رقم زیتون (آربکین، آربوسانا و

کرونایکی) نتیجه گرفتند که میزان قندهای محلول تنها در رقم آربوسانا در اثر شوری افزایش یافت و در دو رقم دیگر در اکثر سطوح شوری دچار کاهش گردید. راحمی و همکاران (Rahemi *et al*., 2017) نیز گزارش نمودند که با افزایش سطح شوری، میزان قندهای محلول برگ‌ها در ارقام مقاوم (آمیگدالیلولیا و دکل) افزایش، در ارقام نیمه-مقاوم (دزفول، زرد و تخم کبکی) بدون تغییر و در ارقام حساس (شیراز و کانزروالیا) کاهش یافت. آن‌ها اظهار داشتند که انباشت قندها در ارقام مقاوم می‌تواند ناشی از کاهش مصرف کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای باشد. همچنین در ارقام حساس، محتوی نشاسته و قندهای محلول پایین بود که این موضوع می‌تواند با کاهش فتوسنتز و بدنبال آن مصرف کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای مرتبط باشد.

عناصر غذایی برگ

پتاسیم

طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۶)، سطوح مختلف شوری و نوع رقم بر میزان پتاسیم اثر معنی‌داری (در سطح ۱٪) داشته‌اند، در حالی‌که اثرات متقابل این دو عامل بر این صفت معنی‌دار نبوده است. مقایسه میانگین‌های اثر شوری بر غلظت پتاسیم (جدول ۷) نشان می‌دهد که اگرچه با افزایش سطح شوری، میزان پتاسیم برگ‌ها نسبت به شاهد کاهش یافته است، اما از این نظر اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی-مولار مشاهده نگردید. همچنین در مقایسه بین ارقام مورد آزمایش مشاهده گردید که رقم میشن (۱/۲۹۸ درصد) از میزان پتاسیم بیشتری نسبت به رقم ماری (۱/۱۷۹ درصد) برخوردار بود (جدول ۵).

سدیم

نتایج تجزیه واریانس، نشان می‌دهد که سطوح مختلف شوری و نوع رقم اثر معنی‌داری (در سطح ۱٪) بر میزان سدیم داشته‌اند، در حالی‌که اثرات متقابل این دو عامل بر این صفت معنی‌دار نبوده است (جدول ۶). مقایسه میانگین‌های اثر شوری بر غلظت سدیم (جدول ۷) نشان می‌دهد که با افزایش سطح شوری، میزان سدیم برگ‌ها نسبت به شاهد افزایش یافته است. به‌طوری که بیشترین (۱/۵۴۴ درصد) و کمترین (۰/۵۱۸ درصد) میزان سدیم برگ‌ها به ترتیب در سطوح شوری ۲۰۰ و صفر میلی‌مولار مشاهده گردید و اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای صفر، ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار مشاهده نگردید. همچنین، در مقایسه بین ارقام مورد آزمایش ملاحظه گردید که رقم میشن (۰/۶۱۴ درصد) از میزان سدیم کمتری نسبت به رقم ماری (۰/۷۹۷ درصد) برخوردار بود (جدول ۵).

کلر

طبق نتایج تجزیه واریانس، اثر سطوح مختلف شوری، نوع رقم و نیز اثرات متقابل این دو عامل بر میزان کلر معنی‌دار (در سطح ۱٪) بوده است (جدول ۶). مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل شوری و رقم بر غلظت کلر (جدول ۴) نشان می‌دهد که اگرچه در هر دو رقم با افزایش سطح شوری میزان کلر برگ‌ها افزایش یافته است، اما میزان این افزایش در رقم میشن به‌مراتب کمتر بوده است. به‌طوری که در رقم میشن از ۰/۴۴ درصد در شوری صفر به ۱/۶۱۱ درصد در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار و در رقم ماری از ۰/۹۵۵ درصد در شوری صفر به ۱۰/۴۷ درصد در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار رسیده است.

ارتباط میان شوری و تغذیه معدنی گیاهان، امری پیچیده است. در شرایط افزایش غلظت نمک در محلول خاک، جذب عناصر غذایی به‌وسیله گیاهان می‌تواند یا به‌واسطه رقابت مستقیم بین یون‌ها و یا در اثر افزایش پتانسیل اسمزی محلول خاک که باعث کاهش جریان توده‌ای عناصر معدنی به سطح ریشه می‌گردد، کاهش یابد (Grattan & Grieve, 1999). تحت شرایط شوری، غلظت یون K^+ در اکثر گلیکوفیت‌ها شدیداً کاهش می‌یابد. در زیتون، بیشترین کاهش در غلظت یون K^+ در بافت‌های ریشه و برگ‌های پیر اتفاق می‌افتد، در حالی‌که برگ‌های جوان قادر به حفظ سطوح بالای K^+ هستند (Chartzoulakis, 2005). به نظر می‌رسد کده‌بندی سدیم در واکوئول روش بسیار موثری برای سلول‌ها باشد تا با کارآیی بالا، غلظت‌های شوری را مدیریت نموده و از اثرات سمی آن‌ها بر سیتوپلاسم جلوگیری نمایند. طبق نظر بونگی و لورتو (Bongi & Loreto, 1987) مکانیسم تحمل به شوری در ارقام زیتون ممکن است با ظرفیت انباشت نمک در واکوئول‌های برگ مرتبط باشد. تحمل به شوری در درختان زیتون به‌واسطه وجود برخی خصوصیات مانند توانایی در کاهش قابلیت اسمزی برگ‌ها، مکانیسم‌های دفع یون‌های سدیم و کلر در برگ‌ها، مکانیسم نگهداری نمک‌ها در ریشه‌ها و جلوگیری از تجمع آن‌ها در ساقه‌ها می‌باشد. شاید به همین دلیل است که برخی از ارقام

زیتون مانند کروناکی به علت تجمع مقادیر کم‌تر کلر و سدیم در برگ و همچنین داشتن زیست‌توده بالاتر در سطوح شوری بالا، به عنوان ارقام متحمل به شوری شناخته شده‌اند (Gucci & Tattini, 1997). چارتزولاکیس (Chartoulakis, 2005) اظهار داشت که در زیتون تجمع Na^+ در ریشه‌ها، یک مکانیسم مهارکننده برای جلوگیری از انتقال این یون‌ها به برگ‌ها است. به‌نظر می‌رسد این مکانیسم در شوری‌های کم تا متوسط (تا غلظت ۵۰ میلی‌مولار نمک) عمل نماید و در ارقام حساس به نمک در شوری‌های بالا، تجمع Na^+ در بخش‌های هوایی و بروز علائم مسمومیت اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. در ارقام متحمل زیتون، حتی در شوری‌های بالا (۲۰۰ میلی‌مولار نمک) غلظت Na^+ برگ در مقادیر کم نگهداشته می‌شود که نشان دهنده وجود یک مکانیسم مهارکننده انتقال Na^+ به برگ‌ها است. به‌نظر می‌رسد که در تحقیق حاضر نیز عدم افزایش معنی‌دار غلظت سدیم برگ‌ها تا سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار نشانه توانایی ارقام مورد مطالعه در تجمع یونهای Na^+ در ریشه و مهار انتقال آن‌ها به برگ‌ها باشد.

خوش‌زمان و همکاران (Khoshzaman *et al*., 2018)، ضمن بررسی اثر سطوح مختلف شوری (۲، ۵، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) بر رقم زرد زیتون نتیجه گرفتند که با افزایش شوری تا حد ۸ دسی‌زیمنس بر متر، میزان پتاسیم برگ‌ها افزایش یافت؛ اما در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، به کمترین مقدار خود رسید. میزان سدیم برگ‌ها نیز در پاسخ به افزایش سطح شوری افزایش یافت. آپاریسیو و همکاران (Aparicio *et al*., 2014) ضمن بررسی اثر شوری ۲۰۰ میلی‌مولار بر شش رقم زیتون نتیجه گرفتند که ارقام اوکال و پیکودو به علت دارا بودن توان انباشت Na^+ در ریشه‌ها و ممانعت از انتقال آن به برگ‌ها و همچنین نشان دادن کمترین کاهش در نسبت K^+/Na^+، متحمل‌ترین ارقام بودند. در مقابل، رقم پیکوال که دارای غلظت مشابهی از یون Na^+ در برگ و ریشه و نیز بیشترین کاهش در نسبت K^+/Na^+ بود، به عنوان کم تحمل‌ترین رقم در نظر گرفته شد. تاتینی (Tattini, 1994) گزارش نمود که مکانیسم مقاومت در ارقام متحمل زیتون، احتمالاً با توانایی حفظ نسبت‌های مناسب K^+/Na^+ در بافت‌های در حال رشد فعال مرتبط باشد.

کچائو و همکاران (Kchaou *et al*., 2010) ضمن بررسی سطوح مختلف شوری (۰/۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرور سدیم) بر پنج رقم زیتون مشاهده کردند که با افزایش شوری، غلظت یون‌های سدیم و کلر در بخش‌های مختلف گیاه (ریشه، ساقه و برگ) افزایش یافت. آن‌ها همچنین گزارش نمودند که غلظت سدیم ریشه بیشتر از شاخساره و برگ‌ها بود. ارقام مورد مطالعه، از نظر توان انباشت یون‌های شوری در ریشه و ممانعت از انتقال آن‌ها به اندام‌های هوایی، با همدیگر تفاوت داشتند. به‌گونه‌ای که رقم چملالی به عنوان رقمی با توان بالای انباشت یون‌های سدیم در ریشه‌ها و نیز دارا بودن توان ممانعت از انتقال این یون‌ها به بخش‌های هوایی شناخته شد. در حالی‌که رقم چتویی، غلظت‌های مشابهی از یون سدیم را در بخش‌های مختلف گیاه نشان داد. تنش شوری همچنین باعث ممانعت از جذب کاتیون پتاسیم و در نتیجه کاهش غلظت آن در بخش‌های مختلف گیاه گردید. در اکثر ارقام مورد مطالعه و در سطوح شوری بالا (۱۰۰ میلی‌مولار)، غلظت یون‌های سدیم و کلر در برگ‌های پیر بیشتر از برگ‌های جوان بود که این نشان‌دهنده انباشت ترجیحی یون‌های سدیم و کلر در برگ‌های پیر است تا از اثرات تخریبی شوری بر برگ‌های جوان و نوک ساقه‌ها اجتناب گردد. به‌طور مشابه، می‌توان استنباط نمود که در تحقیق حاضر، رقم میشن به‌واسطه دارا بودن غلظت پتاسیم بیشتر و غلظت سدیم و کلر کمتر در برگ‌های خود نسبت به رقم ماری، از توان تحمل بیشتری در برابر شوری برخوردار باشد.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این پژوهش، سطوح مختلف شوری بر تمامی شاخص‌های رشدی (ارتفاع نهال، تعداد و سطح برگ‌ها، تعداد و طول شاخه‌های جانبی، قطر ساقه، وزن تر و خشک برگ و ساقه و وزن خشک ریشه) تأثیر معنی‌داری گذاشت که البته این تأثیر بسته به سطوح شوری و رقم، متفاوت بود. اگرچه با افزایش سطح شوری، صفات رویشی در هر دو رقم مورد مطالعه کاهش یافت، اما در اکثر صفات رشدی، دو رقم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. با افزایش سطح شوری، مقادیر کلروفیل و RWC کاهش یافت که مقدار کاهش این دو صفت در رقم میشن نسبت به رقم ماری کمتر بود. همچنین با

افزایش سطح شوری، غلظت پرولین و قندهای محلول برگ‌ها افزایش یافت که البته میزان این افزایش در رقم میشن به‌طور معنی‌داری بیشتر از رقم ماری بود. همچنین، نتایج این تحقیق نشان داد که در هر دو رقم، با افزایش سطح شوری، میزان پتاسیم برگ‌ها کاهش و مقادیر سدیم و کلر برگ‌ها افزایش یافت. رقم میشن از مقدار پتاسیم بیشتر و مقادیر سدیم و کلر کمتری نسبت به رقم ماری برخوردار بود. در مجموع می‌توان اظهار داشت که رقم میشن به‌واسطه داشتن میزان کلروفیل و RWC بیشتر، انباشت بیشتر پرولین و قندهای محلول، داشتن مقادیر بیشتر پتاسیم و انباشت کمتر یون‌های سدیم و کلر در برگ‌ها از میزان مقاومت بیشتری نسبت به رقم ماری در برابر شوری برخوردار است. در نهایت، قابل ذکر است که نتایج گرفته شده در شرایط گلخانه‌ای بوده و قطعاً اظهار نظر نهایی درخصوص مقاومت بیشتر رقم میشن نسبت به رقم ماری، نیازمند مطالعات تکمیلی درشرایط مزرعه‌ای خواهد بود.

References

Aparicio C., Urrestarazu M., and Cordovilla M.P. 2014. Comparative physiological analysis of salinity effects in six olive ggenotypes. *HortScience*, 49(7): 901–904.

Ashraf M. 2004. Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. *Flora*, 199: 361-376.

Ashraf M., and McNeilly T. 2004. Salinity tolerance in *Brassica* oilseeds. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 23: 157-174.

Ashraf M., and Foolad M.R. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59: 207- 216.

Ashraf M., Athar H.R., Harris P.J.C., and Kwon T.R. 2008. Some prospective strategies for improving crop salt tolerance. *Advances in Agronomy*, 97: 45-110.

Bajji M., Lutts S., and Kinet J.M. 2001. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Science*, 160(4): 669-681.

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.

Bongi G., and Loreto F. 1989. Gas-exchange properties of salt stressed olive (*Olea europaea* L.) leaves. *Plant Physiology*, 90:1408-16.

Chartzoulakis K.S. 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 CO_2 assimilation rate of six olive cultivars. *Scientia Horticulturae*, 96: 235-247.

Emami A. 1996. Plant Analysis Methods. No. 982. Vol. 1. *Soil and Water Research Institute Publication*, Tehran. (In Persian)

Evelin H., Kapoor R., and Giri B. 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. *Annals of Botany*, 104(7): 1263-1280.

Grattan S.R., and Grieve C.M. 1999. Salinity mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 78: 127-157.

Gucci R., and Tattini M. 1997. Salinity tolerance in olive. *Horticultural Reviews*, 21: 177–214.

Heidari Sharif Abad H. 2011. Plants and salinity. *Research Institute of Forests and Rangelands Publications*, Tehran, 199 p. (In Persian)

Iqbal N., Umar S., Khan N.A., and Kha M.I.R. 2014. A new perspective of phytohormones in salinity tolerance: Regulation of proline metabolism. *Environmental and Experimental Botany*, 100: 34-42.

Irigoyen J.J., Emerich D.W., and Sanchez-Diaz M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*, 84(1): 55-60.

Javadi T., and Bahram Nezhad B. 2011. Effect of water stress on growth and some biochemical traits of three pear genotypes from Kurdistan province. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 41(4): 327-335. (In Persian)

Johnson J.M., and Ulrich A. 1975. Analytical methods for use in plant analysis. Bulletin 766. Berkeley: University of California, Agricultural Experiment Station, pp. 26-78.

Kchaou H., Larbi A., Gargouri K., Chaieb 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.

Khoshzaman T., Golchin A., Taheri M., Zarehaghi D., and Azimi M. 2018. Changes in water relations and photosynthetic indices of olive self-rooted cuttings of Zard cv. in response to irrigation water salinity and soil compaction. *Water and Soil Science*, 28(2): 163-175. (In Persian)

Megdiche W., Hessini K., Gharbi F., Jaleel C.A. Ksouri R., and Abdelly C. 2008. Photosynthesis and photosystem-efficiency of two salt adapted halophytic seashore Cakile maritime ecotypes. *Photosynthetica*, 46: 410–419.

Misra N., and Saxena P. 2009. Effect of salicylic acid on proline metabolism in lentil grown under salinity stress. *Plant Science*, 177(3): 181-189.

Munns R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environment*, 25: 239-250.

Nouri Roudsari O. 2012. Evaluation of olive (*Olea europea* L.) adaptability on the sloping lands of Tarom region province using remote sensing (RS) and geographical information system (GIS). Ph. D Thesis, Tarbiat Modares University, 123 p. (In Persian)

Olyaei F., Baninasab B., and Ghobadi C. 2016. Effect of salinity on growth and physiological parameters of four Olive (*Olea europaea* L.) cultivars under greenhouse conditions. *Journal of Horticulture Science*, 30(1): 1-10. (In Persian)

Paquin R. and Lechasseur P. 1979. Observationssur une methode de dosage de la proline libre les extraits de plantes. *Canadian Journal of Botany*, 57: 1851-1854.

Parida A.K., Das A.B., and Mittra B. 2004. Effects of salt on growth, ion accumulation, photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove. *Trees*, 18(2): 167-174.

Parvaiz A., and Satyawati S. 2008. Salt stress and phyto-biochemical responses of plants. A review. *Plant Soil and Environment*, 54(3): 89-99.

Perica S., Brkljaca M., Goreta S., and Romic M. 2004. Vegetative growth and salt accumulation of six olive cultivars under salt stress. *Acta Horticulturae*, 664: 555-560.

Pouri N., Seifi S., and Alizadeh M. 2017. The effect of salt stress and proline on some morphological, physical and phytochemical traits of leaf in three olive cultivars. *Eco-Phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 5(2): 69-84. (In Persian)

Rahemi M., Karimi S., Sedaghat S., and Ali Rostami A. 2017. Physiological responses of olive cultivars to salinity stress. *Advances in Horticultural Science*, 31(1): 53-59.

Seilsepour M., Golchin A., and Roozban M.R. 2016. Evaluation of salt tolerance in two olive rootstocks based on growth characteristics and regression analysis to salinity. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 6(2): 83-100. (In Persian)

Sultana N., Ikeda T., and Itoh R. 1999. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. *Environmental and Experimental Biology*, 42: 211-220.

Tattini M. 1994. Ionic relations of aeroponically-grown olive plants during salt stress. *Plant and Soil*, 161: 251-256.

Tattini M., Melgar J.C., and Traversi M.L. 2008. Responses of *Olea europaea* to high salinity: a brief ecophysiological-review. *Advances in Horticultural Science*, 22(3): 159-173.

Tester M., and Davenport R. 2003. Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. *Annals of Botany*, 91: 503-527.

Turner N.C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil*, 58: 339-366.

Volkmar K.M., Hu Y., and Steppuhn H. 1998. Physiological response of plants to salinity: A review. *Canadian Journal of Plant Science*, 78(1): 19-27.

Yasar F., Ellialtioglu S., and Yildiz K. 2008. Effect of salt stress on antioxidant defense systems, lipid peroxidation, and chlorophyll content in green bean. *Russian Journal of Plant Physiology*, 55(6): 869-873.

Zhu J.K. 2001. Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science*, 6(2): 66-71.

Morphological and Physiological Responses of Two Olive (*Olea europea* L.) Cultivars Saplings to NaCl Salinity Stress

Abbas Hassani[1*], Habib Shirzad[2], Rasoul Jalili Marandi[3], Abbas Samadi[4]

(Received: December 2019 Accepted: April 2019)

Abstract

Salinity is a major environmental stress that limits plant growth and productivity in Iran. Olive (*Olea europea* L.) is one of the most valuable and widespread fruit trees in the Mediterranean area. In the last years, the surface of olive orchards has increased considerably in Iran. Furthermore, cultivars used in these orchards are often foreign and little is known about their behavior under Iran climate conditions, especially about their tolerance to salinity. Hence, in order to study the effects of NaCl salinity on some morphological and physiological properties of one-year-old rooted cuttings of two olive cultivars (Mission (a foreign cultivar) and Mary (one of the most important Iranian cultivars)), a pot experiment was conducted in factorial based on randomized complete blocks design with four replications. Saline treatments were imposed by irrigation with water containing 0, 25, 50, 100 and 200 mM of NaCl. The results showed that NaCl salinity has significant effects on the parameters. The plants grow parameters (plant height, number and area of leaves, number and length of axillary shoots, stem diameter, fresh and dry weight of leaves and stems, dry weight of root) were decreased by increasing of NaCl concentration in irrigation water. Relative water content (RWC), chlorophyll content and leaf potassium concentration were decreased as well. However, converse effect was found in proline, total soluble sugars (TSS), and concentration of Na and Cl in leaves. Overall, the findings of this study showed that cv. Mission because of higher potassium concentration, chlorophyll content and RWC, higher accumulation of proline and TSS and lower concentration of Na and Cl in leaves was more resistant to salinity than cv. Mary.

Keywords: Growth parameters, Olive (*Olea europea*), Proline, Relative water content, Salinity stress

Hassani A., Shirzad H., Jalili Marandi R. and Samadi A. 2021. Morphological and physiological responses of two olive cultivars saplings to NaCl salinity stress. *Applied Soil Research*, 9(1): 88-101.

1. Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
2. Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
3. Associate Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
4.Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
* Corresponding Author Email: a.hassani@urmia.ac.ir