

شاخص‌های تحمل به خشکی در برخی ارقام زیتون (*Olea europaea* L.)

Drought Tolerance Indices in some Olive Cultivars (*Olea europaea* L.)

سیده زهرا حسینی^۱، علی سلیمانی^۲، مهدی طاهری^۳ و افشین توکلی^۴

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

۲ و ۴- استادیار، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان

۳- مربی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی زنجان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۳/۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۸/۱۸

چکیده

حسینی، س. ز.، سلیمانی، ع.، طاهری، م. و توکلی، ا. ۱۳۹۲. شاخص‌های تحمل به خشکی در برخی ارقام زیتون (*Olea europaea* L.). مجله به‌نژادی نهال و بذر ۱-۲۹: ۲۲۶-۲۱۱.

به منظور ارزیابی تحمل به تنش خشکی در ارقام زیتون، آزمایشی در گلخانه به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمار تنش خشکی در سه سطح شاهد، تنش ملایم و تنش شدید (به ترتیب ۹۰، ۵۵ و ۳۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی) روی نهال‌های یک‌ساله دوازده رقم زیتون اعمال شد. نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ و هدایت روزنه‌ای در همه ارقام شد. نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در همه ارقام در شرایط تنش نسبت به شاهد افزایش یافت. با توجه به این که شاخص‌های تحمل به تنش (STI)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) و میانگین هارمونیک (HARM) بیشترین همبستگی را با درصد رشد نسبی در شرایط شاهد و تنش شدید داشتند، به عنوان شاخص‌هایی مناسب جهت گزینش ارقام متحمل به خشکی نهال زیتون شناخته شدند. بر اساس این شاخص‌ها و تجزیه به مولفه‌های اصلی، ارقام میشن، کنسروالیا و سویلانا دارای پایداری رشد در شرایط تنش و متحمل به خشکی بودند. مطابقت نسبتاً زیادی بین ارزیابی ارقام بر اساس شاخص‌های محاسبه شده و سایر صفات مورد مطالعه وجود داشت.

واژه‌های کلیدی: زیتون، تنش خشکی، شاخص‌های مقاومت به خشکی، هدایت روزنه‌ای.

Guerfel et al., 2009

(Ben Ahmed et al., 2009). مسلماً تعداد محدودی از ارقام گزینش شده در سطح نهال برای آزمایش‌های تکمیلی در شرایط باغ و در سطح گیاه بالغ، قابل توصیه خواهند بود.

از مسائل مهم در ارزیابی تحمل به خشکی گونه‌های مختلف گیاهی، اندازه‌گیری کمی معیارهای تحمل به خشکی است. در مناطق نیمه‌خشک که پراکنش بارندگی در طول فصل متناسب نیست، پایداری عملکرد و مقایسه آن در شرایط تنش و مطلوب معیار مناسبی برای ارزیابی مقاومت ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی است (Malekshahi et al., 2009). در مطالعه‌ای، با بررسی مقدار عملکرد در دو محیط تنش و بدون تنش، ارقام ماش (*Vigna radiata* L. Wilczek) به چهار گروه تقسیم‌بندی شدند: الف) ژنوتیپ‌هایی که تظاهر یکسانی را در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارا بودند (گروه A)، ب) ژنوتیپ‌هایی که فقط تظاهر خوبی در محیط بدون تنش داشتند (گروه B)، ج) ژنوتیپ‌هایی که عملکرد بالایی در محیط تنش داشتند (گروه C) و د) ژنوتیپ‌هایی که تظاهر ضعیفی را در هر دو محیط داشتند (گروه D). مناسب‌ترین معیار انتخاب برای تنش، شاخصی است که قادر به تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها باشد (Fernandez, 1992). شاخص‌های متعددی از قبیل شاخص تحمل (Tolerance: TOL)، شاخص متوسط بهره‌وری (Mean Productivity: MP) و شاخص

محدودیت منابع آبی و تنش خشکی یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تاثیرگذار بر رشد و عملکرد گیاهان است (Vinocur and Altman, 2005). زیتون یکی از مهم‌ترین گونه‌های اقتصادی درختان میوه است که برای مصرف میوه آن به صورت کنسروی و روغنی عمدتاً در کشورهای حوزه مدیترانه کشت می‌شود. تحمل به تنش خشکی زیتون در مقایسه با اکثر درختان میوه بالاست. توانایی سازگاری درخت زیتون در برابر کمبود آب، به دلیل مکانیسم‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مانند تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها و تعرق (Nogues and Baker, 2000)، تنظیم تبادل گازی (Xiloyannis et al., 1999) و افزایش نسبت رشد ریشه به اندام‌های هوایی (Fernandez et al., 1997) است. با این حال، پاسخ به تنش وابسته به رقم بوده و تنوع ژنتیکی زیادی از این نظر در بین ارقام زیتون وجود دارد (Guerfel et al., 2009). تلاش برای دستیابی به ارقام متحمل به خشکی با حفظ سایر ویژگی‌های مطلوب گیاه، از اهداف به‌نژادگران زیتون است. به دلیل مشکلات زیاد از قبیل نیاز به مکان، زمان و صرف هزینه بالا جهت اعمال تنش روی درختان بالغ در شرایط باغ، اکثر کارهای علمی برای گزینش مقدماتی به‌ویژه برای تعداد زیادی ارقام، در سطح نهال و در فضای کمتر گلخانه انجام می‌شود (Ennajeh et al., 2010; Sofu et al., 2007)

شاخص در مقایسه با شاخص MP قدرت بالاتری در تفکیک گروه A از سایر گروه‌ها دارد. از این رو شاخص STI بر اساس GMP بنا گذاشته شد (Fernandez, 1992). با توجه به بررسی منابع علمی در مطالعه حاضر، ارزیابی تحمل به تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های مقاومت در درختان میوه انجام نشده است، لذا هدف از این تحقیق، مقایسه تحمل به تنش خشکی ارقام زیتون با استفاده از پارامترهای رشدی و شاخص‌های کمی مقاومت در سطح نهال بود. همچنین برای اولین بار در مورد درختان میوه، بحث پیرامون کارایی این شاخص‌ها در برآورد صحیح دامنه تحمل به تنش در سطح نهال انجام شده است.

مواد و روش‌ها

نهال‌های یک‌ساله حاصل از قلمه دوازده رقم زیتون شامل زرد، روغنی، کرونایکی، آربکین، بلیدی، میشن، کنسروالیا، آمیگدالولیا، آسکولانا، سویلانا، مانزانایلا و فدک تهیه و به گلخانه گروه علوم باغبانی دانشگاه زنجان منتقل شد. نهال‌ها بعد از انتقال به گلدان‌های چهار لیتری حاوی ماسه شسته، خاک مزرعه، پرلیت و کود دامی پوسیده به ترتیب به نسبت ۱:۱:۱:۱/۵ به مدت شش ماه در شرایط آبیاری و تغذیه کامل با کود فوسامکو (غلظت ۵ در هزار به فاصله هر دو هفته یک‌بار) قرار گرفتند. بافت خاک مورد استفاده بر اساس اندازه‌گیری به روش هیدرومتری از نوع لوم شنی بوده و شامل

حساسیت به خشکی (Stress Susceptibility Index: SSI) بر اساس روابط ریاضی بین عملکرد در شرایط تنش و شاهد برای این منظور ارائه شده است (Rossielle and Hamblin, 1981؛ Fischer and Maurer, 1978). مقدار بالای TOL نشانه حساسیت ژنوتیپ به تنش است، بنابراین انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس مقادیر کم TOL مناسب است. از طرفی مقدار کمتر SSI نمایان‌گر تغییرات کم عملکرد رقم در شرایط تنش و بدون تنش بوده و ژنوتیپ‌هایی با SSI کمتر از واحد، به خشکی مقاوم‌ترند و کاهش عملکرد آن‌ها در شرایط خشکی کمتر از کاهش عملکرد متوسط کل ارقام است. شاخص تحمل تنش (Stress Tolerance Index: STI) از دیگر شاخص‌های مهم ارزیابی عملکرد گیاهان در شرایط شاهد و تنش است. ژنوتیپ‌های پایدارتر دارای مقادیر بالاتر STI هستند و در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی دارند. بنابراین شاخص STI قادر به تفکیک و شناسایی ژنوتیپ‌های گروه A از گروه‌های B و C است و هر قدر میزان STI برای یک ژنوتیپ در محیط تنش بالاتر باشد، پتانسیل عملکرد و تحمل به تنش آن بالاتر است (Fernandez, 1992). شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (Geometric Mean Productivity: GMP) حساسیت کمتری نسبت به مقادیر متفاوت عملکرد در محیط تنش و بدون تنش دارد. این

۲۴ ساعت محاسبه شد. جهت به دست آوردن وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شدند. هدایت روزنه‌ای در پایان دوره اعمال تنش با استفاده از دستگاه فتوستر متر قابل حمل (مدل LCI) روی برگ‌های کاملاً توسعه یافته گره سوم تا پنجم گیاهان مورد آزمایش در فاصله زمانی ساعت ۹ صبح الی ۱۲ ظهر اندازه‌گیری شد (Ben Ahmed *et al.*, 2009). شاخص‌های مقاومت به خشکی شامل SSI، STI، MP، GMP و HARM بر اساس صفت درصد رشد طولی نسبی نهال‌ها با استفاده از روابط ریاضی زیر محاسبه شد (Fernandez, 1992؛ Jafari *et al.*, 2009)؛ Rosielle and Hamblin, 1981؛ Fischer and Maurer, 1978).

$$SSI = \frac{1 - (Y_s / Y_p)}{1 - (Y_s / Y_p)}$$

$$TOL = Y_p - Y_s$$

$$MP = \frac{Y_s + Y_p}{2}$$

$$STI = \frac{Y_s \times Y_p}{Y_p^2}$$

$$GMP = \sqrt{Y_s \times Y_p}$$

$$HARM = \frac{2(Y_s \times Y_p)}{Y_s - Y_p}$$

در این روابط Y_p : رشد طولی نسبی هر ژنوتیپ در محیط بدون تنش، Y_s : رشد طولی نسبی هر

۵/۹ درصد رس، ۹/۱ درصد سیلت و ۸۵ درصد شن بود (Mahmoodi, 2007). در آزمایش متوسط دمای روزانه و شبانه گلخانه به ترتیب ۳۵ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط رطوبت نسبی ۶۰ درصد بود. به منظور بررسی اثر تنش خشکی روی نهال ارقام زیتون، آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمار تنش در سه سطح شاهد (۹۰ درصد ظرفیت زراعی)، تنش ملایم (۵۵ درصد ظرفیت زراعی) و تنش شدید (۳۵ درصد ظرفیت زراعی) با استفاده از روش بیلان آبی بر اساس رطوبت ظرفیت زراعی خاک گلدان‌ها به مدت ۶۰ روز اعمال شد (Deh-Mardeh *et al.*, 2012). صفات رشدی شامل درصد رشد نسبی نهال‌ها، از تقسیم میزان رشد گیاه در طی دوره اعمال تنش بر طول اولیه گیاه و سپس ضرب عدد حاصله در عدد ۱۰۰، وزن خشک ریشه، اندام‌های هوایی و نسبت وزن خشک ریشه به اندام‌های هوایی اندازه‌گیری شد. صفات فیزیولوژیکی از قبیل محتوای نسبی آب برگ (RWC) با استفاده از رابطه $(FW-DW/TW-DW) \times 100$ به دست آمد که در این رابطه، FW، DW و TW به ترتیب وزن تر، خشک و آماس نمونه‌های برگ‌ی تهیه شده هستند. به این منظور بعد از تهیه نمونه‌های برگ‌ی، بلافاصله وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. وزن آماس نمونه‌های برگ‌ی، بعد از خیساندن آن‌ها در آب مقطر به مدت

ژنوتیپ در محیط تنش، Y_p : میانگین رشد طولی نسبی هر ژنوتیپ در محیط بدون تنش و

Y_s : میانگین رشد طولی نسبی هر ژنوتیپ در

محیط تنش

نتایج و بحث

در جدول ۱ نام و شماره ارقام زیتون استفاده شده در آزمایش نشان داده شده است.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.0، مقایسه‌های میانگین با آزمون چنددامنه‌ای دانکن و تجزیه به مولفه‌های

جدول ۱- اسامی و شماره ارقام زیتون مورد آزمایش

Table 1. Name and number of olive cultivars used in the experiment

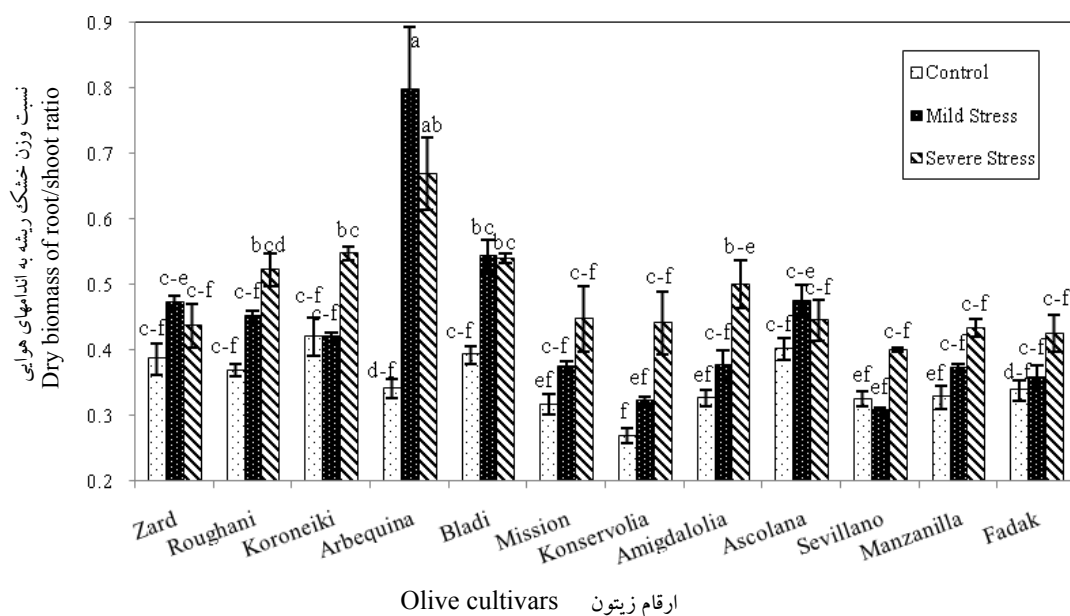
شماره رقم	Cultivar Name	نام رقم
1	Zard	زرد
2	Roughani	روغنی
3	Koroneiki	کرونایکی
4	Arbequina	آربکین
5	Bladi	بلیدی
6	Mission	میشن
7	Konservolia	کنسروالیا
8	Amigdalolia	آمیگدالولیا
9	Ascolana	آسکولانا
10	Sevillano	سویلانا
11	Manzanilla	مانزانایلا
12	Fadak	فدک

مطالعه متفاوت بود. در شرایط تنش شدید ارقام آربکین، کنسروالیا، روغنی و میشن (به ترتیب ۹۶/۹۶، ۶۴/۷۳، ۴۲/۰۶ و ۴۱/۳۸ درصد

نسبت وزن خشک ریشه به اندام‌های هوایی در همه ارقام در شرایط تنش نسبت به شاهد افزایش یافت. اما میزان افزایش در ارقام مورد

افزایش را نشان دادند (شکل ۱). با توجه به نتایج، افزایش در این نسبت بیشتر از طریق

افزایش) بیشترین افزایش و ارقام آسکولانا و زرد (۱۰/۸۱ و ۱۳/۱۲ درصد افزایش) کمترین



شکل ۱- مقایسه میانگین نسبت وزن خشک ریشه به اندامهای هوایی ارقام مختلف زیتون در تنش خشکی
خط عمودی روی هر ستون نشان‌دهنده مقادیر خطای معیار توزیع میانگین‌ها (\pm SE) است

Fig.1. Mean comparison of dry biomass of root: shoot ratio in different olive cultivars under drought stress
Vertical lines on each bar show standard error (\pm SE) of means

موضوع به توزیع بیشتر ماده خشک در ریشه در مقایسه با اندامهای هوایی مربوط می‌شود (Arji and Arzani, 2003).

با توجه به اثر بازدارندگی تنش شدید بر رشد هر دو اندام ریشه و بخش هوایی گیاه، روند افزایشی در نسبت وزن خشک ریشه به اندامهای هوایی در سطح تنش ملایم بیشتر از تنش شدید بود. این روند افزایشی در برخی ارقام متحمل‌تر مثل میشن، کنسروالیا و سویلانا در تنش شدید نیز حفظ شد (شکل ۱).

تنش خشکی موجب کاهش محتوای نسبی

کاهش ماده خشک در اندامهای هوایی و افزایش آن در ریشه بود (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی برای رشد و گسترش ریشه جهت افزایش جذب آب در شرایط تنش، همچنین کاهش رشد اندامهای هوایی به منظور کاهش سطوح تعرقی گیاه از جمله راهکارهای مقابله زیتون با تنش خشکی است (Boughalleb and Mhamdi, 2011). مطالعه‌ای روی نهال‌های دوساله زیتون، نشان داد که رشد ریشه در مقایسه با قسمت‌های هوایی کمتر تحت تاثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد. این

آب برگ (RWC) برگ شد و با افزایش شدت تنش این کاهش بیشتر بود (جدول ۲). کاهش RWC برگ نهال‌های زیتون در ارقام زرد، روغنی و ماری (Arji and Arzani, 2003) و ارقام چمالالی و مسکی (Ennajeh *et al.*, 2010) در شرایط تنش خشکی گزارش شده است.

جدول ۲- مقایسه میانگین محتوای نسبی آب برگ و هدایت روزنه‌ای سطوح مختلف تنش خشکی ارقام زیتون

Table 2. Mean comparison of relative water content (RWC) and stomatal conductance for different levels of drought stress in olive cultivars

Treatment	تیمار	محتوای نسبی آب برگ	هدایت روزنه‌ای
		RWC (%)	Stomatal Conductance (mmol/m ² s)
Control	شاهد	71.13±1.7a	0.088±0.003a
Mild-stress	تنش ملایم	68.69±1.5b	0.068±0.003b
Severe-stress	تنش شدید	64.29±1.6c	0.053±0.003c
ارقام			
Cultivars No.			
	1	68.16±3.44abc	0.062±0.005cd
	2	64.96±4.13bc	0.079±0.007abc
	3	63.17±2.82c	0.067±0.005cd
	4	67.99±4.33abc	0.056±0.006d
	5	62.89±2.42c	0.071±0.004a-d
	6	71.01±3.36abc	0.086±0.008ab
	7	71.99±2.91abc	0.087±0.009a
	8	62.92±2.11c	0.063±0.007cd
	9	67.58±2.93abc	0.07±0.008cd
	10	74.09±1.37ab	0.055±0.007d
	11	74.68±2.57a	0.067±0.008cd
	12	66.98±4.58abc	0.068±0.007bcd

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

Means in each column, followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using Duncan's multiple ranges test.

For name of cultivars see Table 1.

برای نام ارقام به جدول ۱ مراجعه شود.

در بین ارقام مورد مطالعه، میشن، کنسروالیا، سویلانا و مانزانایلا دارای بیشترین محتوای نسبی آب برگ بودند (جدول ۲). تنش خشکی موجب کاهش هدایت روزنه‌ای شد (جدول ۲). سیگنالینگ ریشه- برگ ایجاد شده توسط تنش خشکی، بر جریان تعرق تاثیر گذاشته و موجب

بودند (جدول ۲).
 ارقام مورد مطالعه از نظر صفت درصد رشد نسبی در شرایط شاهد (GN)، درصد رشد نسبی در شرایط تنش شدید (GS) و کلیه شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی، دارای اختلاف معنی‌داری بودند که این مسئله بیانگر وجود تنوع ژنتیکی بالا در بین ارقام مورد مطالعه است (جدول ۳)، لذا از این صفت برای ارزیابی کمی تحمل به خشکی ارقام استفاده شد.

بستن روزنه‌ها می‌شود که یک سازگاری مهم در شرایط کمبود آب است. آبسزیک اسید انتقال یافته از ریشه به برگ، باعث خروج جریان یون‌های پتاسیم از سلول‌های همراه می‌شود که موجب کاهش فشار تورژانس و منجر به بسته شدن روزنه‌ها می‌شود (Anjum *et al.*, 2011). ارقام مورد مطالعه از نظر صفت هدایت روزنه‌ای دارای اختلاف معنی‌دار بودند و ارقام میشن و کنسروالیا بیشترین و رقم آرکین کمترین مقدار را دارا

جدول ۳- تجزیه واریانس شاخص‌های کمی تحمل به خشکی ارقام مختلف زیتون
 Table 3. Analysis for variance of quantitative drought tolerance indices in different olive cultivars

S. O. V.	منابع تغییرات	df.	میانگین مربعات MS							
			درصد رشد نسبی در شرایط شاهد	درصد رشد نسبی در شرایط تنش شدید	شاخص حساسیت به تنش	شاخص تحمل	شاخص میانگین بهره‌وری	میانگین هندسی بهره‌وری	شاخص تحمل به تنش	میانگین هارمونیک بهره‌وری
			GN	GS	SSI	TOL	MP	GMP	STI	HARM
Cultivar	رقم	11	1329.42**	143.19**	0.03*	979.90**	491.33**	476.67**	0.083**	269.53**
Error	اشتباه	24	155.51	33.20	0.01	160.10	54.33	103.88	0.008	77.76

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

GN: Growth percent in normal condition; GS: Growth percent in stress condition; SSI: Stress Susceptibility Index; TOL: Tolerance; MP: Mean Productivity; GMP: Geometric Mean Productivity; STI: Stress Tolerance Index; HARM: Harmonic mean.

مهم‌ترین معیارهای انتخاب شاخص‌های مناسب برای ارزیابی تحمل به تنش ژنوتیپ‌ها است (Poordad *et al.*, 2008)؛
 (Sio-Se Mardeh *et al.*, 2006).

نتایج مقایسه میانگین شاخص‌های مختلف (جدول ۵) نشان داد که ارقام میشن، کنسروالیا و سویلانا دارای رشد مطلوب در هر دو شرایط تنش و شاهد و مقادیر بالای شاخص‌های MP،

بر اساس نتایج هم‌بستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی و درصد رشد نسبی در محیط تنش شدید و شاهد شاخص‌های MP، GMP، STI و HARM به عنوان بهترین شاخص‌ها جهت انتخاب ارقام متحمل شناسایی شدند (جدول ۴). داشتن هم‌بستگی بالا بین شاخص‌های مقاومت و عملکرد در هر دو شرایط تنش و شاهد، از

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش و درصد رشد نسبی ارقام زیتون در شرایط شاهد و تنش خشکی شدید

Table 4. Correlation coefficients between drought tolerance and susceptibility indices and relative growth percent in olive cultivars under control and severe drought stress conditions

Index	شاخص	درصد رشد نسبی در		شاخص حساسیت	شاخص تحمل	شاخص میانگین		شاخص تحمل
		شرایط شاهد	شرایط تنش شدید	به تنش		بهره‌وری	بهره‌وری هندسی	به تنش
		GN	GS	SSI	TOL	MP	GMP	STI
GS	درصد رشد نسبی در تنش شدید	0.463**						
SSI	شاخص حساسیت به تنش	-0.015 ^{ns}	-0.842**					
TOL	شاخص تحمل	0.934**	0.116 ^{ns}	0.322 ^{ns}				
MP	شاخص میانگین بهره‌وری	0.965**	0.680**	-0.263 ^{ns}	0.807**			
GMP	میانگین هندسی بهره‌وری	0.621**	0.960**	-0.732**	0.309 ^{ns}	0.799**		
STI	شاخص تحمل به تنش	0.768**	0.884**	-0.560**	0.504**	0.898**	0.928**	
HARM	میانگین هارمونیک بهره‌وری	0.467**	0.983**	-0.842**	0.128 ^{ns}	0.679**	0.969**	0.869**

ns و * : به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

ns and **: Not significant and significant at 1% probability level, respectively.

GN: Growth percent in normal condition; GS: Growth percent in stress condition; SSI: Stress Susceptibility Index; TOL: Tolerance; MP: Mean Productivity; GMP: Geometric Mean Productivity; STI: Stress Tolerance Index; HARM: Harmonic mean.

جدول ۵- مقایسه میانگین شاخص‌های مقاومت به خشکی بر اساس صفت درصد رشد نسبی در ارقام زیتون

Table 5. Mean comparison of drought resistance indices based on relative growth percent in olive cultivars

شماره رقم	درصد رشد نسبی در شرایط شاهد	درصد رشد نسبی در شرایط تنش شدید	شاخص حساسیت به تنش	شاخص تحمل	شاخص میانگین بهره‌وری	میانگین هندسی بهره‌وری	شاخص تحمل به تنش	میانگین هارمونیک بهره‌وری
Cultivar No.	GN	GS	SSI	TOL	MP	GMP	STI	HARM
1	41.67±6.76 c	9.1±1.64 bc	0.91±0.04 c-e	32.57±5.76 f	25.38±3.99 cd	19.36±3.11 bcd	0.097±0.03 cd	14.84±2.57 bcd
2	70.04±5.99 b	8.96±3.22 bc	1.02±0.05 a-e	61.07±6.5 bcd	39.5±3.51 bc	24.31±4.44 bc	0.156±0.05 cd	15.49±4.89 bcd
3	106.66±5.37 a	10.58±6.02 bc	1.06±0.06 a-d	96.07±5.22 a	58.62±5.07 a	31.11±9.97 b	0.389±0.08 b	18.39±9.74 bc
4	48.97±8.6 bc	2.98±1.83 c	1.11±0.03 abc	45.99±7.5 c-f	25.97±4.93 cd	10.88±4.87 cd	0.041±0.02 d	5.45±3.26 cd
5	43.19±4.59 c	4.92±2.37 c	1.02±0.08 a-e	38.27±6.07 d-f	24.06±2.03 d	13.12±3.91 bcd	0.05±0.02 d	8.32±3.76 cd
6	100.16±10.56 a	26.31±2.61 a	0.85±0.04 de	73.84±10.19 b	63.24±5.76 a	51.12±4.27 a	0.584±0.04 a	35.67±0.64 a
7	57.54±4.44 bc	16.6±3.41 b	0.83±0.06 e	40.93±4.42 c-f	37.07±3.29 bcd	30.66±3.7 bc	0.239±0.05 bc	25.47±4.17 ab
8	54.04±7.85 bc	0.37±0.37 c	1.16±0.009 a	53.67±8.07 b-f	27.2±3.82 bcd	2.35±2.35 d	0.004±0.004 d	0.72±0.72 d
9	45.86±3.01 c	9.52±4.71 bc	0.91±0.12 c-e	36.34±7.7 ef	27.69±0.9 bcd	17.33±7.36 bcd	0.101±0.05 cd	14.32±7.04 bcd
10	60.24±2.55 bc	11.35±1.32 bc	0.95±0.02 b-e	48.88±2.44 c-f	35.79±1.62 bcd	26.06±1.82 bc	0.17±0.02 cd	19.03±1.93 bc
11	72.13±9.22 b	9.08±5.12 bc	1.02±0.07 a-e	63.4±10.12 bc	40.67±5.48 b	21.42±10.13 bcd	0.164±0.1 cd	15.16±8.42 bcd
12	61.42±11.07 bc	3.19±2.34 c	1.0±0.03 ab	58.22±9.25 b-e	32.3±6.53 bcd	11.82±7.03 bcd	0.059±0.04 d	5.88±4.24 cd

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

Means in each column, followed by similar letters are not significantly different at the 5% probability level using Duncan's multiple ranges test.

GN: Growth percent in normal condition; GS: Growth percent in stress condition; SSI: Stress Susceptibility Index; TOL: Tolerance; MP: Mean Productivity; GMP: Geometric Mean Productivity; STI: Stress Tolerance Index; HARM: Harmonic mean.

For name of cultivars see Table 1.

برای نام ارقام به جدول ۱ مراجعه شود.

شرایط تنش بود و شاخص تحمل به خشکی بالایی داشت. بقیه ارقام در ناحیه D قرار گرفتند که دارای رشد ضعیفی در هر دو محیط تنش و شاهد و مقادیر پایین شاخص تحمل به خشکی بودند. از نمودار سه‌بعدی مربوط به شاخص STI برای شناسایی ارقام متحمل به خشکی کلزا (Monajem *et al.*, 2011)، سویا (Abdipoor *et al.*, 2008) و جو (Hesadi, 2006) استفاده شده است.

تجزیه به مولفه‌های اصلی (Principal Components Analysis) بر اساس شاخص‌ها و صفت درصد رشد نسبی در شرایط تنش شدید و شاهد، نشان داد که دو مولفه اول با داشتن مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک، مجموعاً ۹۸/۳ درصد از تغییرات کل داده‌ها را بیان کردند (جدول ۶). اولین مولفه ۷۴/۱ درصد از تغییرات کل داده‌ها را بیان کرد و هم‌بستگی منفی بالایی با شاخص‌های STI، GMP، MP، HARM و GS داشت. با توجه به این که مقادیر بالای این شاخص‌ها مطلوب هستند، بنابراین اگر میزان مولفه اول پایین باشد، ارقامی انتخاب می‌شوند که دارای عملکرد بالا در شرایط تنش و تحمل بالا هستند، از این رو مولفه اول را می‌توان به عنوان مولفه پایداری عملکرد و تحمل به خشکی نام‌گذاری کرد. مولفه دوم ۲۴/۴ درصد از تغییرات کل داده‌ها را تبیین کرد و هم‌بستگی مثبت بالایی با شاخص‌های SSI، TOL و GN داشت، بنابراین

GMP، STI و HARM بودند، لذا این ارقام به‌عنوان ارقامی با پتانسیل و پایداری رشد بالا به ترتیب در شرایط شاهد و تنش مطرح می‌شوند. به علاوه پایین بودن مقادیر شاخص‌های حساسیت به خشکی (SSI و TOL) برای این ارقام، این نتیجه را تایید می‌کند. هر چه مقدار شاخص‌های حساسیت TOL و SSI کمتر باشد نشان‌دهنده تحمل بیشتر ژنوتیپ نسبت به خشکی است (Dastfal *et al.*, 2011)؛ گروه‌بندی ارقام (Malekshahi *et al.*, 2009) بر اساس نمودارهای سه‌بعدی این شاخص‌ها انجام شد، لیکن به خاطر هم‌بستگی بالای این شاخص‌ها با یکدیگر، تنها به ارائه نمودار سه‌بعدی بر اساس شاخص STI اکتفا شد.

بر اساس نمودار سه‌بعدی مربوط به شاخص STI (شکل ۲)، رقم میشن در ناحیه A قرار گرفت و دارای رشد بالا در هر دو شرایط تنش شدید و شاهد و دارای STI بالایی بود که این خود نشان‌دهنده سودمندی این شاخص در تشخیص گروه A است. رقم کرونائیکی در ناحیه B قرار گرفت و بالاترین رشد را در شرایط معمولی داشت، اما در شرایط تنش دارای رشد متوسط به پایین و شاخص تحمل به خشکی آن نسبتاً بالا بود، بنابراین این رقم نسبت به رقم میشن در شرایط شاهد، دارای کارایی رشد بهتری بود، لیکن تحمل به خشکی کمتری داشته و در شرایط تنش، پایداری رشد ندارد. رقم کنسروالیا در ناحیه C، دارای رشد بالایی در

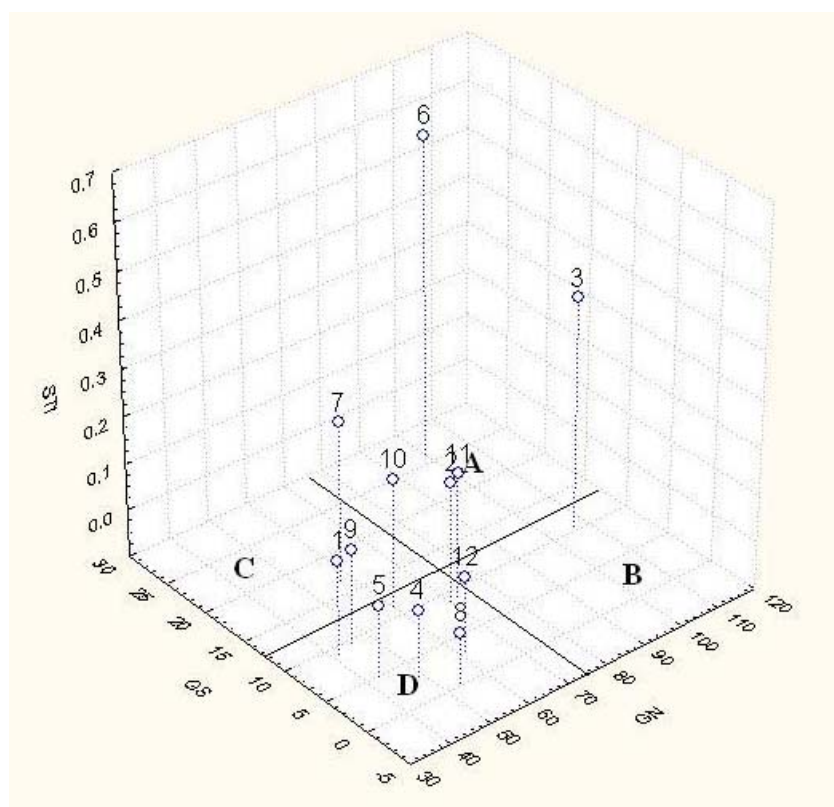
جدول ۶- مقادیر ویژه و بردارهای ویژه برای هشت شاخص حساسیت و تحمل به خشکی برای دوازده

رقم زیتون

Table 6. Eigene values and special borders for eight drought susceptibility and tolerance indices for twelve olive cultivars

مؤلفه	مقادیر ویژه	وارانس تجمعی (%)	درصد	درصد	شاخص	شاخص	شاخص	میانگین	شاخص	میانگین
			در شرایط شاهد	در تنش شدید	حساسیت به تنش	تحمل	میانگین بهره‌وری	هندسی بهره‌وری	تحمل به تنش	هارمونیک بهره‌وری
Factor	Eigenvalue	Cumulative variance	GN	GS	SSI	TOL	MP	GMP	STI	HARM
1	5.93	74.1	-0.346	-0.377	0.23	-0.258	-0.386	-0.401	-0.406	-0.38
2	1.93	98.3	0.386	-0.272	0.57	0.553	0.244	-0.133	0.039	-0.261

GN: Growth percent in normal condition; GS: Growth percent in stress condition; SSI: Stress Susceptibility Index; TOL: Tolerance; MP: Mean Productivity; GMP: Geometric Mean Productivity; STI: Stress Tolerance Index; HARM: Harmonic mean.



شکل ۲- نمودار سه بعدی جهت گزینش ارقام متحمل به خشکی بر اساس شاخص تحمل به خشکی (STI)

Fig.2. Three dimension graph for selection of drought tolerant cultivars by means of Stress Tolerance Index (STI).

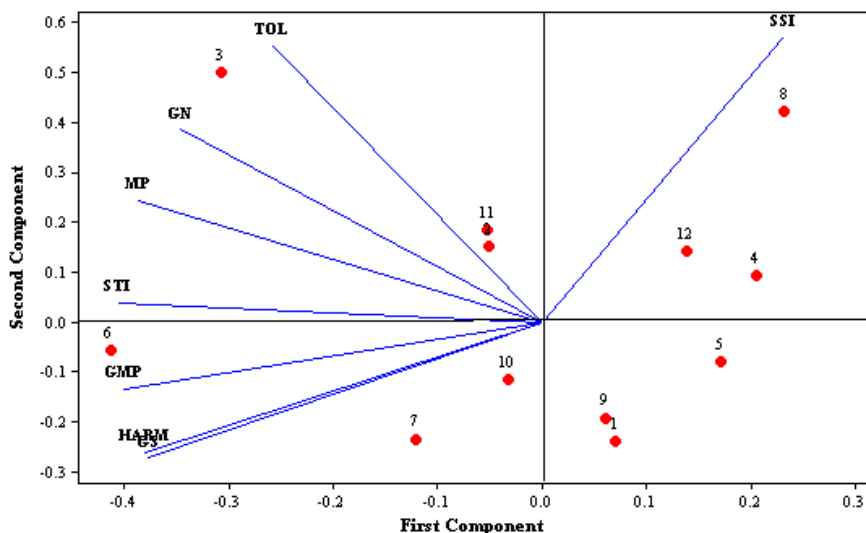
اعداد داخل شکل شماره ارقام هستند (به جدول ۱ مراجعه شود).

Figures inside the graph are genotype No. (See Table 1).

TOL و GN و مقادیر نسبتاً بالای شاخص‌های تحمل (قرار گرفتند. ارقام زرد، آسکولانا، بلیدی آمیگدالولیا، آربیکن و فدک در ناحیه نیمه حساس نمودار بای‌پلات (دارای مقادیر بالای مولفه اول و شاخص‌های حساسیت TOL و SSI و مقادیر پایین شاخص‌های تحمل، GS و GN) قرار گرفتند. لیکن ارقام آمیگدالولیا، آربیکن و فدک با مقادیر بالاتر مولفه دوم و شاخص‌های حساسیت به تنش (TOL و SSI) جزو ارقام حساس گروه بندی شدند (شکل ۳).

به‌عنوان مولفه پتانسیل عملکرد و حساسیت به تنش بود و ارقامی با عملکرد پایین و حساسیت بالا به تنش را مشخص کرد.

نمودار بای‌پلات حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که هر سه رقم میشن، کنسروالیا و سویلانا در ناحیه تحمل به تنش (دارای مقادیر پایین مولفه اول، بالاترین مقادیر شاخص‌های تحمل و GS) و ارقام کرونائیکی، روغنی و مانزانیلا در ناحیه نیمه متحمل (دارای مقادیر پایین مولفه اول، مقادیر بالای شاخص



شکل ۳- نمایش بای‌پلات شاخص‌های مقاومت به خشکی در دوازده رقم زیتون بر اساس دو مولفه اول

Fig. 3. Biplot for drought resistance indices in twelve cultivars of olive based on first two components

اعداد داخل شکل شماره ارقام هستند (به جدول ۱ مراجعه شود).

Figures inside the graph are genotype No. (See Table 1).

فیزیولوژیکی ارقام مورد مطالعه به تنش خشکی مطابقت زیادی داشت. ارقام میشن، کنسروالیا و سویلانا که با استفاده از شاخص‌های مقاومت به

گروه‌بندی ارقام با استفاده از شاخص‌های کمی مقاومت به خشکی بر اساس صفت درصد رشد نسبی با دیگر پاسخ‌های مورفولوژیکی و

نشانگر واقعی از فتوسنتز خالص نبوده و بهتر است شاخص‌های مقاومت بر اساس بیوماس خشک تولید شده (نمودی از فتوسنتز خالص) محاسبه شود. همچنین مطالعه حاضر در سطح نهال بوده و امکان تعیین شاخص‌ها بر اساس عملکرد واقعی درخت زیتون (میوه یا درصد روغن) فراهم نبود و شاخص‌های مقاومت محاسبه شده تنها نمودی از رشد رویشی گیاه در شرایط شاهد و تنش بوده و مسلماً قابل تعمیم به عملکرد واقعی درختان در شرایط باغ نخواهند بود. با همه این مسائل، به نظر می‌رسد که استفاده از شاخص‌های مقاومت، افق جدیدی در پیش‌روی به‌نژادگران درختان میوه به ویژه برای غربال‌گری تعداد زیادی ژنوتیپ یا ارقام در سطح نهال و با دقت بیشتر فراهم خواهد ساخت.

خشکی، به عنوان ارقام متحمل به خشکی طبقه‌بندی شدند، دارای هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب بالایی نسبت به سایر ارقام بودند و افزایش نسبت وزن خشک ریشه به اندام‌های هوایی در پاسخ به تنش در این ارقام قابل ملاحظه بود. بنابراین این ارقام در شرایط کمبود آب توانستند شاخص‌های فیزیولوژیکی و رشدی خود را در حد مطلوب نگه دارند به طوری که کمترین کاهش درصد رشد نسبی را در شرایط تنش نشان دادند.

اگرچه در مطالعه حاضر، شاخص‌های مقاومت محاسبه شده بر اساس صفت درصد رشد نسبی در توافق با فاکتورهای فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شده، توانست ارقام را در گروه‌های مجزا از نظر تحمل به تنش خشکی قرار دهد، لیکن باید توجه داشت که درصد رشد نسبی

References

- Abdipoor, M., Rezaie, A., Hooshmand, S., and Bagherifard, G. 2008. Evaluation of drought tolerance of unlimited growth soybean genotypes in flowering and aggregation stages. *Research in Agricultural Science* 4: 140-150 (in Persian).
- Anjum, S. A., Xie, X. Y., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C., and Lei, W. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research* 6: 2026-2032.
- Arji, I., and Arzani, K. 2003. Evaluation of the growth responses and proline accumulation of three Iranian native olive cultivars under drought stress. *Agricultural Sciences and Natural Resources* 10 (2): 91-101 (in Persian).
- Ben Ahmed, C., Ben Rouina, B., Sensoy, S., Boukhris, M., and Ben Abdallah, F. 2009. Changes in gas exchange, proline accumulation and antioxidative enzyme activities in three olive cultivars under contrasting water availability regimes.

- Environmental and Experimental Botany 67: 345–352.
- Boughalleb, F., and Mhamdi, M. 2011.** Possible involvement of proline and the antioxidant defense systems in the drought tolerance of three olive cultivars grown under increasing water deficit regimes. Agricultural Journal 6: 378-391.
- Dastfal, M., Barati, V., Emam, Y., Haghight-Nia, H., and Ramezanpour, M. 2011.** Evaluation of grain yield and its components in wheat genotypes under terminal drought stress conditions in Darab region. Seed and Plant Production Journal. 27-2 (2): 195-217 (in Persian).
- Deh-Mardeh, K., Neshat, A., Yazdan-panah, N., and Piri, J. 2012.** Study and comparison of estimated evapotranspiration from pan evaporation with lysimeter ET₀ values in the Sistan region. Eleventh Seminar on Irrigation and Reduce Evaporation. Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran (in Persian).
- Ennajeh, M., Vadel, A. M., Cochard, H., and Khemira, H. 2010.** Comparative impacts of water stress on the leaf anatomy of a drought-resistant and a drought-sensitive olive cultivar. Horticultural Science & Biotechnology 85: 289–294.
- Fernandez, G. C. J. 1992.** Effective selection criteria for assessing stress tolerance. pp. 257-270. In: Kuo, C. G. (ed.). Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress. AVRDC Publication, Tainan, Taiwan.
- Fernandez, J. E., Moreno, F., Giron, I. F., and Blazquez, O. M. 1997.** Stomatal control of water use in olive tree leaves. Plant and Soil 190: 179–192.
- Fischer, R. A., and Maurer, R. 1978.** Drought resistance in spring wheat cultivars. I: grain yield response. Australian Journal of Agricultural Research 29: 897- 912.
- Guerfel, M., Baccouri, M., Boujnah, D., Chaibi, W., and Zarrouk, M. 2009.** Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. Scientia Horticulturae 119: 257–263.
- Hesadi, P. 2006.** Selection for drought resistance in lines of barley (*Hordeum vulgare*) in Kermanshah region. Agricultural Sciences 12: 143-153 (in Persian).
- Jafari, A., Paknejad, F., and AL-Ahmadi, M. 2009.** Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. International Journal of Plant Production 3: 33-38.

- Mahmoodi, S. 2007.** Fundamentals of Soil Science. Tehran University Publications, Tehran, Iran (in Persian).
- Malekshahi, F., Dehghani, H., and Alizadeh, B. 2009.** Study of drought tolerance indices in some winter rapeseed varieties (*Brassica napus* L.). Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 48: 77-89 (in Persian).
- Monajem, S., Mohammadi, V., and Ahmadi, A. 2011.** Evaluation of drought tolerance in some rapeseed cultivars based on stress evaluation indices. Electronic Journal of Crop Production 4 (1): 151-169 (in Persian).
- Nogues, S., and Baker, N. R. 2000.** Effects of drought on photosynthesis in Mediterranean plants grown under enhanced UV-B radiation. Experimental Botany 51: 1309-1317.
- Poordad, S. S., Alizadeh, K., Azizi-Najad, R., Shariati, A., and Eskandari, M. 2008.** Study of drought resistance of spring sofflower in different regions. Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 12: 403-415 (in Persian).
- Rosielle, A. A., and Hamblin, A. J. 1981.** Theoretical aspects of selection for stress and non-stress environment. Crop Science 21: 943-946.
- Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., and Mohammadi, V. 2006.** Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crops Research 98: 222-229.
- Sofo, A., Manfreda, S., Dichio, B., Fiorentino, M., and Xiloyannis, C. 2007.** The olive tree: a paradigm for drought tolerance in Mediterranean climates. Hydrology and Earth System Sciences Discussions 4: 2811-2835.
- Vinocur, B., and Altman, A. 2005.** Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: achievements and limitations. Current Opinions in Biotechnology 16: 123-132.
- Xiloyannis, C., Dichio, B., Nuzzo, V., and Celano, G. 1999.** Defense strategies of olive against water stress. Acta Horticulturae 474: 423-426.