

بررسی تغییرپذیری برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک کلزا (*Brassica napus* L.) تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری

راحله قاسم‌زاده^۱، علیرضا طالعی^{۲*}، قاسم حسینی سالکده^۳، سید علی پیغمبری^۲ و محمدرضا نقوی^۲

۱ و ۲. دانشجوی دکتری و استادان، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

۳. دانشیار، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۴/۲۲ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۲)

چکیده

در این بررسی واکنش ۹ ژنوتیپ کلزا (*Brassica napus* L.) به سطوح مختلف آبیاری (۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) در مراحل اولیه رشد گیاهچه‌ها ارزیابی شدند. آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در تابستان ۱۳۹۲ در گلخانه‌های تحقیقاتی دانشگاه ارومیه اجرا شد. برخی صفات فیزیولوژیکی شامل محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ای، تعرق، نورساخت (فتوستنتز)، کارایی مصرف آب، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و میزان قندهای محلول و نامحلول ارزیابی شد. نتایج پژوهش نشان داد که با کاهش سطوح آبیاری، میزان محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ای، تعرق، نورساخت، کارایی مصرف آب، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و میزان قندهای نامحلول برگ‌ها کاهش و میزان دمای برگ، عدد SPAD و قندهای محلول افزایش پیدا کرد. در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، بالاترین میزان نورساخت خالص مربوط به ژنوتیپ‌های زرفام و لیکورد بود. بیشترین کاهش میزان نورساخت خالص با افزایش تنش خشکی (۵۰ درصد ظرفیت زراعی)، در ژنوتیپ لیکورد مشاهده شد. با اعمال تنش شدید خشکی، بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی در ژنوتیپ زرفام و کمترین میزان در ژنوتیپ‌های ظفر و لیکورد مشاهده شد. بر پایه نتایج تجزیه خوشه‌ای در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، ژنوتیپ‌های مورد بررسی در دو گروه ژنوتیپ‌های به نسبت مقاوم (زرفام، کرج ۲، اکاپی و کرج ۳) و حساس (ساری گل، اپرا، ظفر، اس ال ام و لیکورد) قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، تعرق، نورساخت، کارایی مصرف آب و قندهای محلول، کلزا.

Study the changes of some physiological properties of rapeseed (*Brassica napus* L.) under different irrigation levels

Rahleh Ghasemzadeh¹, Alireza Taleei^{2*}, Ghasem Hosseini Salekdeh³, Seyed Ali Peyghambari² and Mohammadreza Naghavi²

1, 2. Ph. D. Student and Professors, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

3. Associate Professor, Agricultural Biotechnology Research Institute, Karaj, Iran

(Received: Jul. 13, 2015 - Accepted: Dec. 14, 2016)

ABSTRACT

In this study the response of 9 rapeseed genotypes were evaluated at the seedling stage using different irrigation levels (50, 70 and 100% FC). A factorial experiment based on RCBD was conducted in the research greenhouses of Urmia University with four replications during summer of 2013. Some physiological traits such as relative water content, stomatal conductance, transpiration, photosynthesis, water use efficiency, shoot fresh and dry weight; root dry weight and the amount of soluble and insoluble sugars were evaluated. The results of this study showed that with decreasing irrigation levels, relative water content, stomatal conductance, transpiration, photosynthesis, water use efficiency, shoot fresh and dry weight, root dry weight and insoluble sugars decreased, however the amount of leaf temperature, SPAD number and soluble sugars increased. The highest rate of net photosynthesis was observed in Zarfam and Licord genotypes at 100% of field capacity. The maximum decreasing in net photosynthesis was observed in Licord genotype by increasing water stress level (50% field capacity). Under severe drought stress, maximum shoot fresh and dry weight was observed in Zarfam genotype while it was lowest in the Zafar and Licord genotypes. Using cluster analysis in 50% FC, the genotypes were located in two groups of semi resistant (Zarfam, Karaj 2, Okapi and Karaj 3) and sensitive (Sarigol, Opera, Zafar, SLM, and Licord).

Keywords: canola, drought stress, photosynthesis, transpiration, water use efficiency and soluble sugars.

مقدمه

خشکی یک واژه هواشناسی است که به طور معمول به عنوان یک دوره بدون بارندگی قابل توجه، تعریف می شود. تنش خشکی هنگامی رخ می دهد که آب قابل دسترس در خاک کاهش یابد و از سوی دیگر شرایط جوی باعث از دست رفتن پیوسته آب توسط تبخیر و تعرق شود. کمبود آب و تنش شوری یک مسئله جهانی تهدیدکننده تولید پایدار محصولات کشاورزی است (Jaleel et al., 2007a-b). افزایش بی رویه جمعیت جهان، قرار گرفتن بیش از ۱۶ درصد از مناطق قابل استفاده کره زمین در معرض خشکی (Demirevska et al., 2008) و نیز کمبود آب شیرین، تهدیدهای جدی برای تولید محصولات کشاورزی جهانی و امنیت غذایی به شمار می آیند (Garg et al., 2002).

استفاده از رقم های مقاوم و به کارگیری سازوکارهایی که بتواند مقاومت گیاهان را نسبت به کمبود آب در مناطق خشک و نیمه خشک افزایش دهد، می تواند نکته بسیار با اهمیتی باشد (Dichio et al., 2002). مقاومت به تنش در همه گیاهان به طور معمول مشاهده می شود ولی میزان آن از گونه ای به گونه دیگر و حتی درون گونه ها نیز متفاوت است (Chaves et al., 2002). گیاهان از سازوکارهای گریز و تحمل برای رویارویی با خشکی استفاده می کنند. نشان داده شده است که میزان کارایی این روش ها در رویارویی با تنش خشکی در ژنوتیپ های مختلف متفاوت است (Chaves et al., 2002). تنش آبی می تواند به غشاهای گیاه آسیب رسانده، نفوذپذیری غشاء را افزایش دهد و تجمع رادیکال های آزاد اکسیژن^۱ را در گیاهان القاء کند. این رادیکال ها از راه پراکسیداسیون چربی ها و در نتیجه تخریب غشاء (Mittler et al., 2002)، تخریب پروتئین ها (Takeda et al., 1995)، غیرفعال کردن آنزیم ها (Tu et al., 2003) و تخریب رنگدانه ها (Chen et al., 2000) ایجاد تنش ثانویه اکسایش (اکسیداتیو) کرده که منجر به آسیب جدی به ساختارهای یاخته ای و گیاهی

می شوند. شدیدترین اثرگذاری خشکی تحت تأثیر قرار دادن جوانه زنی و استقرار گیاهچه است (Harris et al., 2006; Kaya et al., 2002). در نخود، خشکی جوانه زنی و رشد گیاهچه های زودرس را تحت تأثیر قرار می دهد (Oku et al., 2005). در یونجه (*Medicago sativa*) قابلیت جوانه زنی، طول محور ریزله (هیپوکوتیل)، وزن خشک و تر ساقه و ریشه به وسیله خشکی القاء شده توسط PEG کاهش می یابد در حالی که طول ریشه افزایش پیدا می کند (Zeid & Shedeed, 2006). در برنج تنش خشکی در مرحله رویشی به شدت رشد و نمو گیاه را تحت تأثیر قرار داده و باعث کاهش آن می شود (Tripathy et al., 2000).

کلزا (Rapeseed) با نام علمی *Brassica napus* L. یک گیاه دانه روغنی عمده در نواحی معتدل و دومین محصول دانه روغنی در جهان است که ۱۳ درصد از تولید روغن نباتی در جهان را به خود اختصاص داده است. در سال های اخیر کشت و کار کلزا به دلیل مصارف و کاربردهای زیاد آن در تولید روغن نباتی، تولیدات غذایی، دارویی (مدر، آنتی اسکوربوت، ضدالتهاب مثنانه، درمان قلنج کبدی و کلیوی و تصفیه کننده برونش)، منبع پروتئین برای غذای دام و از سوی دیگر به عنوان منبع جدیدی از انرژی تجدیدپذیر (بیودیزل) در آسیا، اروپا، آمریکای شمالی و استرالیا به سرعت در حال افزایش است (Mohammadi et al., 2012). در طول سه دهه اخیر تولید این دانه روغنی در جهان ۵ برابر (کمتر از ۱۲ میلیون تن در سال ۱۹۸۰ به ۶۱/۵ میلیون تن در ۲۰۱۲) و در اروپا ۱۰ برابر شده است. در ایران بخش بزرگی از روغن نباتی مورد نیاز مصرف کنندگان وارداتی است، از این رو کشت و مدیریت مناسب دانه های روغنی برای افزایش عملکرد بسیار مهم است (Omidi, 2010).

عملکرد کلزا به طور شایان ملاحظه ای تحت تأثیر عامل های چندی از محیط زیست از جمله خشکسالی، دمای پایین و بالا و شوری قرار می گیرد. فرآیندهای مهمی از جمله نورساخت (فتوسنتز)، هدایت روزنه ای، تعرق، درخشندگی (فلورسانس) سبزینه (کلروفیل)، ساخت (سنتز) پروتئین و تجمع متابولیت ها به شدت

تنظیم شد. همه گلدان‌ها تا چهار هفته پس از کشت به‌صورت روزانه وزن شده و تا حد ظرفیت زراعی آبیاری شدند. چهار هفته پس از کشت بذر، تیمارهای مختلف آبیاری به مدت ۲۱ روز روی آن‌ها اعمال شد. در پایان ۲۱ روز اعمال تنش، صفات مورد بررسی ارزیابی شدند.

جدول ۱. نام ژنوتیپ‌های کلزای مورد بررسی
Table 1. Name of studied rapeseed genotypes

Num.	Genotypes	Growth habit
1	Karaj 3	Winter Canola
2	Karaj 2	Winter Canola
3	Zarfam	Winter Canola
4	Okapi	Winter Canola
5	Zafar	Spring Canola
6	Licord	Winter Canola
7	SLM046	Winter Canola
8	Opera	Winter Canola
9	Sarigol	Spring Canola

محتوای نسبی آب برگ

برای تعیین محتوای نسبی آب برگ (RWC) (Relative Water Content) در روز ۲۱ پس از تنش و بین ساعت‌های ۱۰/۵ صبح تا ۱۲ ظهر، از یک برگ کامل و بالغ ۱۰ دیسک برگ به قطر ۱۰ میلی‌متر تهیه شد و بی‌درنگ وزن تر (Fresh Weight (FW) آن‌ها محاسبه شد. دیسک‌های وزن شده به مدت ۲۴ ساعت درون آب مقطر و در یخچال در دمای ۴ درجه سلسیوس در یک محیط تاریک (برای کاهش میزان تنفس) قرار داده شدند. پس از ۲۴ ساعت آب آن‌ها به‌دقت خشک و با توزین آن‌ها وزن متورم (Turgid Weight) (TW) (Dry Weight) (DW) محاسبه شد. وزن خشک دیسک‌ها (DW) پس از ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد و در نهایت محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$RWC = (FW - DW) / (TW - DW) * 100$$

تعرق، هدایت روزنه‌ای، نورساخت خالص و کارایی مصرف آب (نورساختی)

اندازه‌گیری میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای و نورساخت خالص با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری نورساخت (Model HCM-1000) در سطح ۵ سانتی‌متر مربع از برگ شاهد بین ساعت‌های ۱۰/۵ صبح تا ۱۲ ظهر انجام شد و صفت کارایی نسبی مصرف آب (WUE)

تحت تأثیر خشکی قرار می‌گیرند (Shirani Rad *et al.*, 2010; Sangtarash *et al.*, 2009). شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی برای استفاده از زمین‌های حاشیه‌ای به دلیل کمبود آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده می‌شود (Sangtarash *et al.*, 2009)، از سوی دیگر شناسایی شاخص‌های فیزیولوژیکی که در سازگاری کلزا به کمبود آب مؤثر هستند می‌تواند در اصلاح ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مؤثر باشد (Zhu *et al.*, 2002).

با توجه به اهمیت کلزا به‌عنوان منبع تولید روغن و پروتئین (به‌عنوان غذای دام)، حساسیت کلزا در مراحل اولیه رشد گیاهچه به تنش خشکی و اهمیت تنش خشکی به‌عنوان مهم‌ترین تنش غیر زیستی در ایران، این پژوهش با هدف بررسی واکنش‌های مورفوفیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های مختلف کلزا در مرحله گیاهچه در رویارویی با رژیم‌های مختلف آبیاری بررسی شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل با دو عامل سطوح آبیاری در سه سطح (۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و ۹ ژنوتیپ (کرج ۲، کرج ۳، زرفام، اکاپی، ظفر، لیکورد، اس ال ام، اوپرا و ساری گل) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در تابستان ۱۳۹۲ در گلخانه‌های تحقیقاتی دانشگاه ارومیه اجرا شد. در این آزمایش ۹ ژنوتیپ تجاری کلزا که از دو تیپ بهاره و پاییزه بودند (جدول ۱) بررسی شد. بذر این ژنوتیپ‌ها از بخش دانه‌های روغنی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شد. بذرهای سالم و یک اندازه کلزا پس از ضدعفونی شدن با محلول هیپوکلریت سدیم ۵ درصد در عمق ۲/۵ سانتی‌متری گلدان‌های پلاستیکی ۸ کیلوگرمی که با خاک مزرعه و ماسه به نسبت ۲ به ۱ پر شده بودند، کشت شدند. عملیات داشت به‌طور دقیق و یکسان برای همه گلدان‌ها انجام شد. پس از سبز شدن و رشد گیاهچه‌ها عملیات تنک انجام شد و در هر گلدان چهار گیاهچه نگهداری شد. دمای گلخانه به‌طور میانگین روزانه و شبانه به ترتیب ۲۲-۲۸ و ۲۰-۱۴ درجه سلسیوس و میزان روشنایی سیزده ساعت (از ساعت ۷ تا ۲۰)

(Water Use Efficiency) از نسبت میزان نورساخت به میزان تعرق به دست آمد.

دمای برگ

دمای برگ با استفاده از دستگاه دماسنج (ترموتر) از فاصله ۱۰ سانتی متری برگ اندازه گیری شد. برای هر واحد آزمایشی از میانگین پنج بار اندازه گیری استفاده شد.

میزان سبزینه

میزان سبزینه با استفاده از دستگاه سبزینه سنج (کلروفیل متر) (SPAD-502, Minolta, Japan) و به صورت غیر تخریبی اندازه گیری شد. از میانگین چهار داده برای هر واحد آزمایشی استفاده شد.

وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه

وزن تر اندام هوایی و وزن تر ریشه بی درنگ پس از برداشت با استفاده از ترازوی دیجیتالی اندازه گیری شد و برای اندازه گیری وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه نمونه ها به مدت ۴۸ ساعت پس از قرار دادن در آون در دمای ۷۲ درجه سلسیوس اندازه گیری شد.

قندهای محلول و غیر محلول (نشاسته) در آب قندهای محلول و نشاسته از روش فنل- اسید سولفوریک در طول موج ۴۹۵ نانومتر با استفاده از دستگاه طیف سنج نوری (اسپکتوفوتومتری) تعیین شد (Dubois et al., 1956).

تجزیه های آماری

پس از اندازه گیری صفات مختلف، داده ها وارد نرم افزار Excel شده و با استفاده از نرم افزارهای SAS و SPSS، تجزیه های مورد نظر روی آن ها انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در رژیم های مختلف آبیاری نشان داد که تأثیر رژیم های مختلف آبیاری بر همه صفات مورد بررسی معنی دار بود. بین ژنوتیپ های مورد بررسی برای همه صفات به غیر از دمای برگ تفاوت معنی داری وجود داشت. از سوی دیگر اثر متقابل ژنوتیپ در رژیم آبیاری نیز برای بیشتر صفات به غیر از دمای برگ، محتوای نسبی آب برگ، وزن خشک ریشه و تعرق معنی دار بود (جدول ۲).

جدول ۲. میانگین مربعات صفات مختلف در ژنوتیپ های مورد بررسی تحت سطوح مختلف آبیاری

Table 2. Mean squares for different traits of studied rapeseed genotypes under different irrigation levels

Source of variation	df	Mean squares							
		RWC	Stomatal conductivity	Transpiration	Net photosynthesis	Water Use Efficiency (photosynthetic)	Leaf Temperature	Shoot Fresh Weight	Shoot Dry Weight
Block	3	287.55 ^{**}	4.44 ^{ns}	0.128 ^{**}	0.73 ^{ns}	0.193 ^{ns}	14.59 ^{**}	4.29 ^{ns}	0.43 ^{ns}
Irrigation levels	2	3197.12 ^{**}	2579.66 ^{**}	0.78 ^{**}	217.14 ^{**}	142.26 ^{**}	43.83 ^{**}	1129.84 ^{**}	36.67 ^{**}
Genotype	8	128.37 ^{**}	107.53 ^{**}	0.080 ^{**}	11.98 ^{**}	8.1 ^{**}	0.48 ^{ns}	30.19 ^{**}	0.82 ^{**}
Genotype × Irrigation levels	16	34.02 ^{ns}	34.39 ^{**}	0.021 ^{ns}	3.46 ^{**}	2.73 ^{**}	0.43 ^{ns}	24.72 ^{**}	0.90 ^{**}
Error	78	22.21	5.71	0.0126	0.48	0.54	0.58	3.69	0.185
CV (%)		5.97	13.08	11.08	19.34	22.18	3.67	10.48	13.23

***, * and ns: به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۱، ۰/۰۵ و غیر معنی داری

***, * and ns: significant at 1%, 5% probability level and not significant, respectively.

ادامه جدول ۲. میانگین مربعات صفات مختلف در ژنوتیپ های مورد بررسی تحت سطوح مختلف آبیاری

Continued table 2. Mean squares for different traits of studied rapeseed genotypes under different irrigation levels

Source of variation	df	Mean squares			
		Root Dry Weight	SPAD	Soluble sugar	Insoluble sugar (Starch)
Block	3	0.3 [*]	6.5 [*]	3.52 ^{ns}	38.7 [*]
Irrigation levels	2	3.39 ^{**}	1480.94 ^{**}	581.06 ^{ns}	3201.48 ^{**}
Genotype	8	0.034 ^{**}	16.44 ^{**}	21.15 ^{**}	109.1 ^{**}
Genotype × Irrigation levels	16	0.011 ^{ns}	3.62 ^{**}	17 ^{**}	125.36 ^{**}
Error	78	0.011	1.8	6.76	14.02
CV (%)		12.55	3.46	7.22	9.6

***, * and ns: به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و بدون معنی داری.

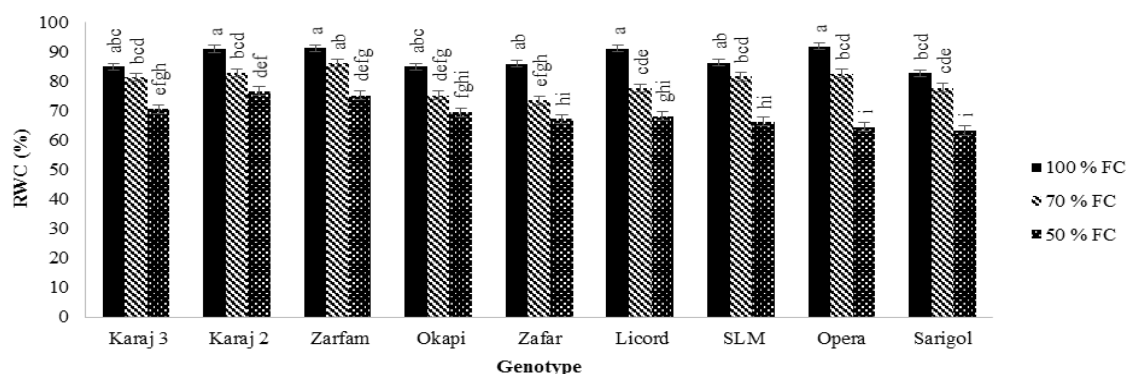
***, * and ns: significant at 1%, 5% probability level and not significant, respectively.

زراعی، بیشترین کاهش را برای این صفت ژنوتیپ لیکورد و کمترین کاهش را کرج ۳ داشت و با کاهش سطح آب از ۱۰۰ به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی کمترین کاهش در ژنوتیپ کرج ۲ و بیشترین کاهش در اپرا مشاهده شد. در این آزمایش بالاترین میزان در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی برای ژنوتیپ اپرا، در ۷۰ درصد ظرفیت زراعی برای زرفام و در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی برای کرج ۲ وجود داشت. محتوای نسبی آب برگ، به‌عنوان شاخصی برای نشان دادن آسیب‌های ناشی از تنش خشکی معرفی شده و مقادیر بالا برای آن در شرایط تنش، می‌تواند بیانگر تحمل بیشتر ژنوتیپ در شرایط یادشده باشد (Farooq *et al.*, 2009).

رابطه‌های آبی و گازی گیاه

محتوای نسبی آب برگ

نتایج مقایسه میانگین برای این صفت نشان داد که رژیم‌های مختلف آبیاری در همه ژنوتیپ‌ها، به شدت این صفت را تحت تأثیر قرار داده و هنگامی که میزان آب خاک کاهش پیدا می‌کند این صفت نیز کاهش می‌یابد (شکل ۱). در همه ژنوتیپ‌ها کمترین میزان محتوای نسبی آب برگ در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. Nautiyal *et al.* (2002) گزارش کرده‌اند که کاهش محتوای نسبی آب برگ در اثر تنش خشکی همبستگی مثبت و بالایی با محتوای رطوبتی خاک دارد. با کاهش سطح آب از ۱۰۰ به ۷۰ درصد ظرفیت



شکل ۱. مقایسه میانگین محتوای نسبی آب برگ در ژنوتیپ‌های مورد بررسی تحت سطوح مختلف آبیاری

Figure 1. Means comparison of relative water content in the studied genotypes under different levels of irrigation

هدایت روزنه‌ای (۷۴/۶ درصد) را داشتند. بستن روزنه‌ها توسط گیاه نخستین پاسخ دفاعی است که گیاه برای حفظ و نگهداری آب در رویارویی به کمبود آب از خود نشان می‌دهد (Chaves *et al.*, 2003; Mahajan *et al.*, 2005).

تعرق

نتایج تجزیه واریانس برای صفت تعرق نشان داد که تأثیر سطوح مختلف آبیاری و ژنوتیپ برای این صفت معنی‌دار است (جدول ۲). نرخ تعرق با کاهش سطح آب خاک در همه ژنوتیپ‌ها کاهش چشمگیری داشته است مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های مورد بررسی در سه سطح آبیاری نشان داد که در ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی بالاترین مقادیر را ژنوتیپ‌های زرفام، اپرا و زرفام و کمترین مقادیر را ژنوتیپ‌های لیکورد،

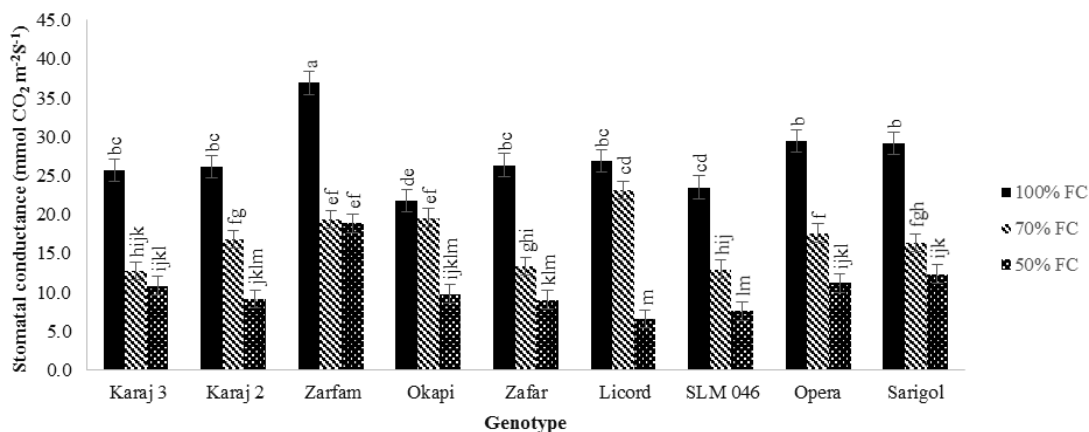
هدایت روزنه‌ای

بنابر نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس برای این صفت تأثیر سطوح مختلف آبیاری، تأثیر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در رژیم آبیاری معنی‌دار بود. در همه ژنوتیپ‌ها با کاهش سطح آب میزان این صفت به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد (شکل ۲). در ۱۰۰، ۷۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، ژنوتیپ‌های زرفام، لیکورد و زرفام به ترتیب بالاترین میزان را برای این صفت داشتند. با کاهش سطح آب از ۱۰۰ به ۷۰ درصد ظرفیت زراعی ژنوتیپ کرج ۳ بیشترین کاهش (۵۰/۴۵ درصد) و ژنوتیپ اکاپی کمترین کاهش (۱۰/۷ درصد) را داشتند و با کاهش سطح آب از ۱۰۰ به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی ژنوتیپ زرفام کمترین کاهش (۴۸/۹ درصد) و ژنوتیپ لیکورد بیشترین کاهش

تفاوت معنی‌داری نداشت ولی هنگامی که سطح آب خاک به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی کاهش یافت با وجود اینکه همه ژنوتیپ‌ها با افت در این صفت روبه‌رو بودند ولی برخی از ژنوتیپ‌ها از جمله لیکورد افت بسیار شدیدتری داشت (شکل ۴).

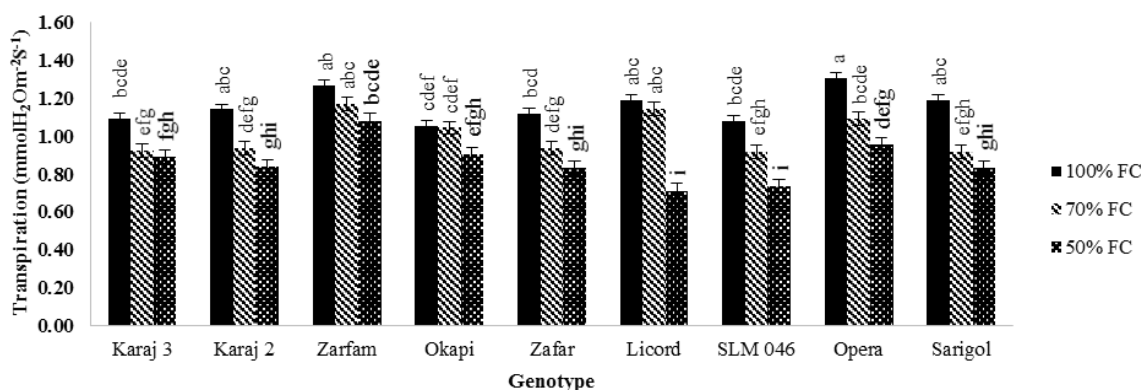
گزارش شده است که در شرایط تنش خشکی میزان نورساخت کاهش پیدا می‌کند (Flexas & Medrano, 2002). کاهش نورساخت در شرایط تنش خشکی می‌تواند به دلیل محدودیت‌های روزنه‌ای یا بدون روزنه‌ای رخ دهد (Farooq et al., 2009). همان‌طور که در نتایج نشان داده شده است در شرایط

اکاپی و لیکورد و ساری گل (به‌طور مشترک) داشتند (شکل ۳). کاهش در میزان تعرق تحت شرایط تنش خشکی در بررسی‌های دیگر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Mahmoudi Sorestani & Omidbeigi,)



شکل ۲. مقایسه میانگین صفت هدایت روزنه‌ای در ژنوتیپ‌های مورد بررسی تحت سطوح مختلف آبیاری

Figure 2. Mean comparison of stomatal conductance trait in the studied genotypes under different levels of irrigation



شکل ۳. مقایسه میانگین صفت تعرق در ژنوتیپ‌های مورد بررسی تحت سطوح مختلف آبیاری

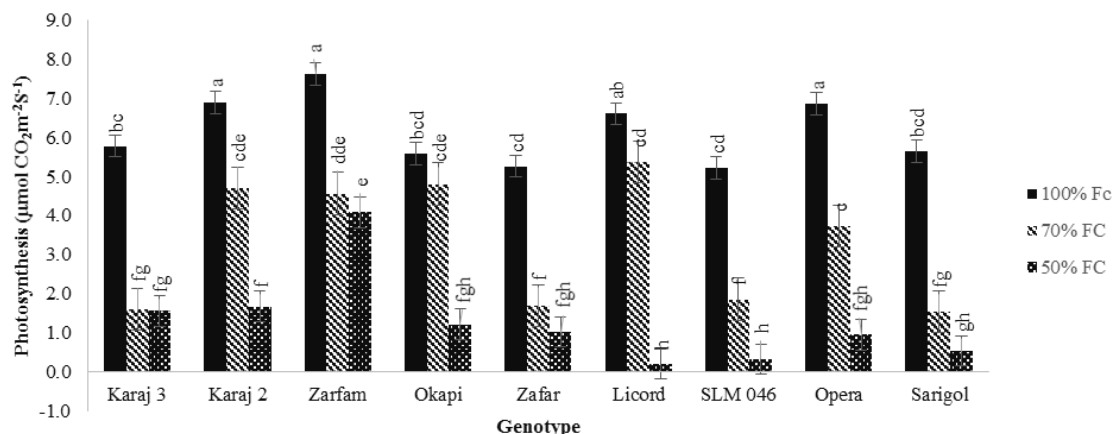
Figure 3. Mean comparison of transpiration trait in the studied genotypes under different levels of irrigation

نورساخت خالص

نتایج تجزیه واریانس برای صفت نورساخت خالص نشان داد که اثر سطوح مختلف آبیاری، ژنوتیپ و اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار است. میزان نورساخت با کاهش سطح آب در خاک کاهش یافت ولی ژنوتیپ‌های مختلف واکنش‌های مختلفی به این کاهش نشان دادند. در این آزمایش بالاترین میزان نورساخت خالص را در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، ژنوتیپ زرفام به خود اختصاص داد که با ژنوتیپ لیکورد تفاوت معنی‌داری نداشت. در ۷۰ درصد ظرفیت زراعی بالاترین میزان برای این صفت، در ژنوتیپ لیکورد بود که با رقم زرفام

که به احتمال نشان‌دهنده ارتباط صفات بالا در زیاد بودن تحمل این ژنوتیپ نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها است.

تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) رقم‌هایی چون زرفام که بالاترین هدایت روزنه‌ای و تعرق را داشت نسبت به دیگر رقم‌ها نورساخت بیشتری داشته



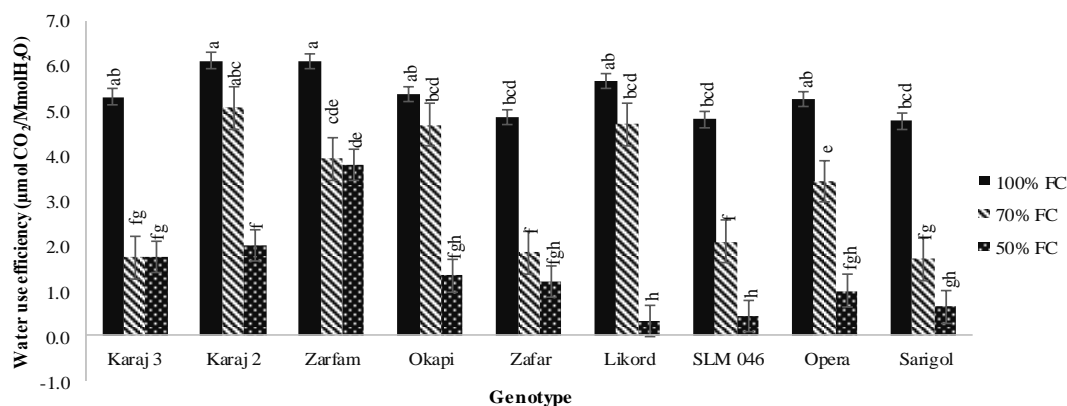
شکل ۴. مقایسه میانگین صفت نورساخت خالص در ژنوتیپ‌های مورد بررسی تحت سطوح مختلف آبیاری

Figure 4. Mean comparison of net photosynthesis trait in the studied genotypes under different levels of irrigation

در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، ژنوتیپ زرفام بیشترین کارایی مصرف آب و ژنوتیپ‌های لیکورد و اس ال ام کمترین میزان کارایی مصرف آب را داشتند. بررسی‌های پیشین نیز تأیید می‌کند که گیاه کلزا در روبرویی با تنش آبی کارایی مصرف آب نورساختی کمتری نسبت به شرایط نرمال دارد (Sangtarash *et al.*, 2009).

کارایی مصرف آب نورساختی

نتیجه تجزیه واریانس برای صفت کارایی مصرف آب نشان داد که تأثیر سطوح مختلف آبیاری، ژنوتیپ و اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار است (جدول ۲). باوجوداینکه واکنش ژنوتیپ‌ها برای این صفت متفاوت است ولی کاهش سطح آب، شاخص کارایی مصرف آب نورساختی را در همه ژنوتیپ‌ها کاهش داد (شکل ۵).



شکل ۵. مقایسه میانگین کارایی مصرف آب نورساختی در ژنوتیپ‌های مورد بررسی تحت سطوح مختلف آبیاری

Figure 5. Mean comparison of water use efficiency in the studied genotypes under different levels of irrigation

کارایی مصرف آب می‌تواند به‌عنوان یک صفت در برنامه‌های اصلاحی استفاده شود. انتخاب برای ژن‌های پاسخ‌دهنده به اسید آبسزیک که می‌توانند زودتر

ژنوتیپ‌هایی که در شرایط کاهش آب دارای کارایی مصرف آب بالایی باشند، می‌توانند زیست‌توده (بیوماس) بیشتری در شرایط کم‌آبی تولید کنند. لذا

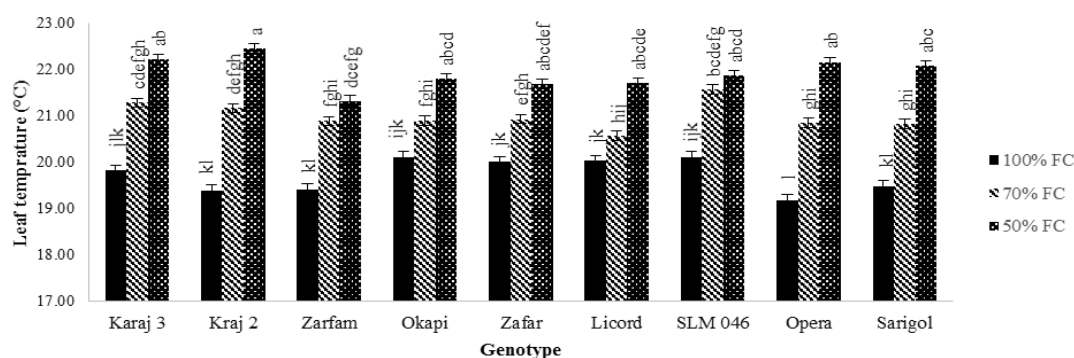
آب در خاک، دمای برگ افزایش یافته به طوری در سطح آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بالاترین میزان دمای برگ مشاهده شد (شکل ۶).

دمای برگ یکی از روش‌های جدید برای برآورد میزان تنش در گیاهان زراعی است (Mannini & Anconeli, 2002; Jalili Marandi et al., 2011). در شرایط کاهش پتانسیل آب خاک در اثر خشکی یا شوری، گیاهان با به‌کارگیری سازوکارهای مختلفی از جمله افزایش مقاومت روزنه‌ای یا کاهش هدایت روزنه‌ای و حتی بستن کلی روزنه‌ها از انجام پدیده تهرق جلوگیری می‌کنند. بسته شدن روزنه‌ها و در پی آن کاهش تهرق باعث بالا رفتن دمای تاج‌پوشش (کانوپی) گیاه می‌شود (Levitt, 1980).

روزنه‌ها را ببندند می‌تواند باعث افزایش بازده تولید در شرایط محدودیت آب شوند (Wang et al., 2005). رنگ سبز مایل به آب برگ که از واکنش اپی کوتیلی برگ ناشی می‌شود در شرایط محدودیت آب می‌تواند تولید ماده خشک را از راه تأثیر بر کارایی مصرف آب افزایش دهد (Richard et al., 2002).

دمای برگ

نتایج تجزیه واریانس برای این صفت نشان داد که سطوح مختلف آبیاری با هم تفاوت معنی‌داری دارند ولی تفاوت بین ژنوتیپ‌ها و اثر متقابل ژنوتیپ در سطوح آبیاری معنی‌دار نبود. نتایج مقایسه میانگین سطوح مختلف آبیاری نشان داد که با کاهش سطح



شکل ۶. مقایسه میانگین دمای برگ در ژنوتیپ‌های مورد بررسی تحت سطوح مختلف آبیاری

Figure 6. Mean comparison of leaf temperature in the studied genotypes under different levels of irrigation

نتایج صفات مرتبط با زیست‌توده

وزن تر و خشک اندام هوایی

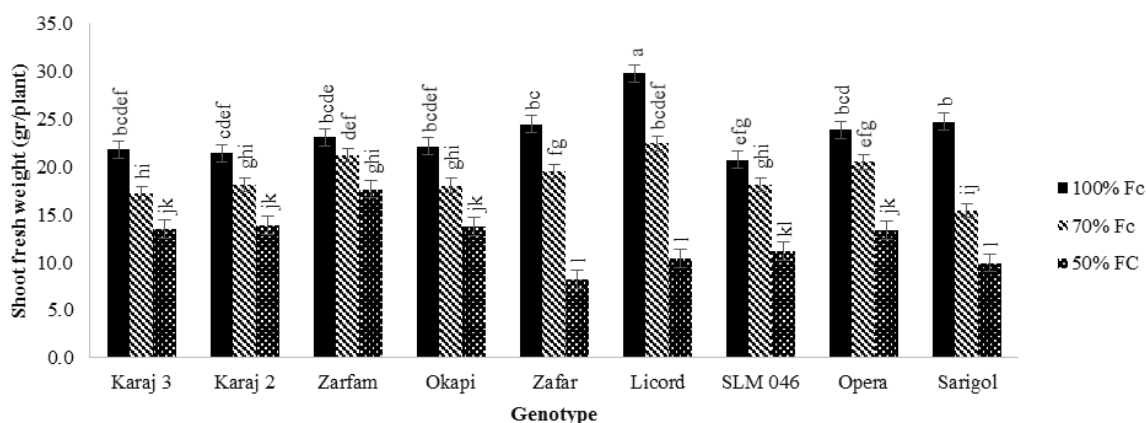
نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که برای صفت وزن تر و خشک اندام هوایی، سطوح مختلف آبیاری، ژنوتیپ و اثر متقابل سطوح آبیاری در ژنوتیپ در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری دارند (جدول ۲). در هر ژنوتیپ به ترتیب که میزان آب خاک از ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به ۷۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی کاهش می‌یابد مقادیر این دو صفت نیز کاهش شایان‌ملاحظه‌ای پیدا می‌کنند (شکل‌های ۷ و ۸). در ۱۰۰ و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، ژنوتیپ لیکورد بالاترین میزان را برای این صفات داشت ولی هنگامی که سطح آب به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی کاهش پیدا می‌کرد، افت بسیار شدیدی در وزن تر و

محتوای نسبی آب برگ، پتانسیل آب برگ، مقاومت روزنه‌ای، تهرق، دمای برگ و دمای تاج‌پوشش ویژگی‌های بسیار مهمی هستند که روابط آبی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. محتوای نسبی آب برگ گندم در مراحل اولیه توسعه برگ بالاتر بوده و با افزایش تجمع ماده خشک و بالغ شدن برگ کاهش پیدا می‌کند (Siddique et al., 2001). گزارش شده است که در گیاهان گندم و برنجی که تحت تنش خشکی بودند، محتوای آب برگ پائین‌تری نسبت به گیاهان شاهد وجود داشت. قرار گرفتن در معرض تنش خشکی در این گیاهان به‌طور شایان‌ملاحظه‌ای باعث کاهش محتوای نسبی آب، پتانسیل آب برگ، نرخ تهرق و به‌طور همزمان باعث افزایش در دمای برگ می‌شود (Siddique et al., 2001).

تولید برگ‌های جدید بیشتر از تأثیر آن روی رشد برگ‌ها است. همچنین با اعمال تنش در گیاهان شمار برگ‌ها به دلیل ریزش برگ‌های پیرتر کاهش می‌یابد که خود می‌تواند در وزن تر و خشک اندام‌های هوایی گیاه مؤثر باشد (Levitt, 1980). کاهش زیست‌توده در شرایط تنش خشکی در آفتابگردان گزارش شده است، هرچند که یک‌چند از ژنوتیپ‌ها تحمل بیشتری در برابر تنش نشان دادند (Tahir & Mehdi, 2001). در چغندرقد، تنش ملایم وزن خشک اندام‌های هوایی را بیشتر از ریشه تحت تأثیر قرار می‌دهد (Mohammadian *et al.*, 2005). کاهش زیست‌توده در تنش خشکی در سویا (Spetch *et al.*, 2001) و لوبیا (Webber *et al.*, 2006) نیز گزارش شده است.

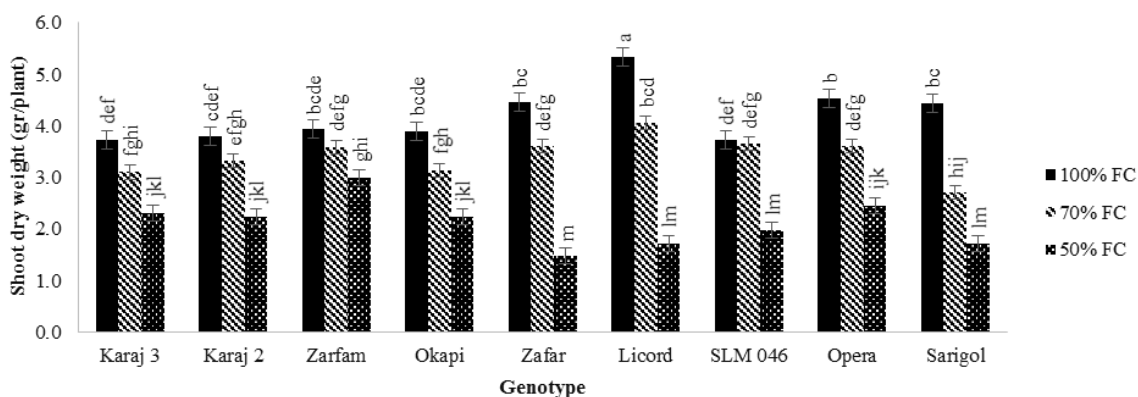
خشک اندام‌های هوایی بروز می‌کرد. در شرایط ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بالاترین میزان را برای این صفات ژنوتیپ زرفام و کمترین میزان را ژنوتیپ‌های ظفر و لیکورد داشتند (شکل‌های ۷ و ۸).

کاهش در وزن تر اندام‌های هوایی گیاه تحت شرایط تنش خشکی می‌تواند در نتیجه دسترسی نداشتن کافی به آب برای آماس یاخته‌ها باشد (Farooq & Bano, 2006). از سوی دیگر کمبود آب در خاک باعث افزایش اسید آبسزیک و کاهش اکسین و سایتوکینین گشته، در نتیجه رشد قسمت‌های هوایی گیاه در مقایسه با گیاهان شاهد کاهش می‌یابد (Seeley, 1990). در شرایط تنش نه تنها رشد برگ‌ها متأثر می‌شود بلکه تولید برگ جدید نیز متوقف می‌شود. تأثیر تنش خشکی در جلوگیری از



شکل ۷. مقایسه میانگین وزن تر اندام‌های هوایی ژنوتیپ‌های مورد بررسی تحت سطوح مختلف آبیاری

Figure 7. Mean comparison of shoot fresh weight in the studied genotypes under different levels of irrigation



شکل ۸. مقایسه میانگین وزن خشک اندام‌های هوایی ژنوتیپ‌های مورد بررسی تحت سطوح مختلف آبیاری

Figure 8. Mean comparison of shoot dry weight in the studied genotypes under different levels of irrigation

وزن خشک ریشه

برای وزن خشک ریشه تأثیر سطوح مختلف آبیاری و تأثیر ژنوتیپ در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با کاهش سطح آب، میزان این صفت در ژنوتیپ‌های مختلف به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۹).

بررسی‌ها نشان داده است که سرعت رشد ریشه به‌طور مستقیم به میزان آب خاک بستگی دارد. در شرایط کمبود آب در آغاز رشد برگ و ساقه متوقف شده و به دنبال آن رشد ریشه نیز متأثر می‌شود و این امر باعث کاهش وزن خشک ریشه در مقایسه با گیاهان شاهد می‌شود (Mian et al., 1994).

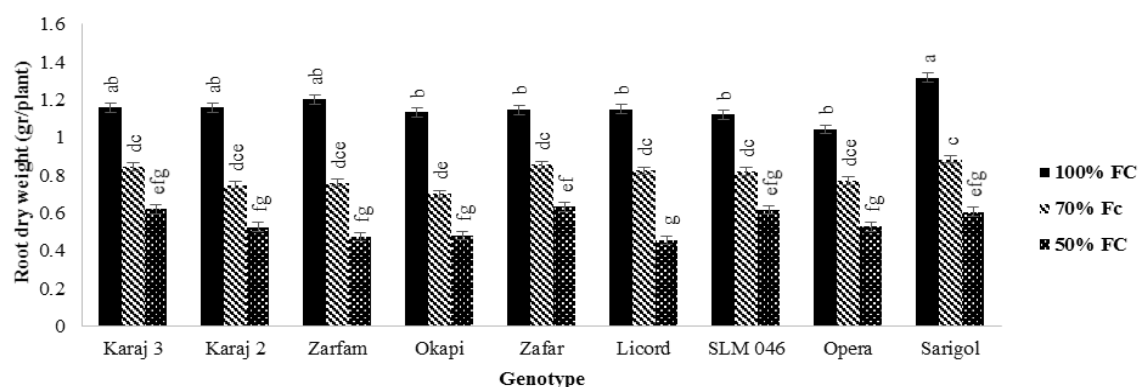
عدد SPAD

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برای صفت SPAD تأثیر سطوح مختلف آبیاری، ژنوتیپ و اثر متقابل آبیاری در ژنوتیپ در سطح ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۲). با کاهش سطح آب در کلزا میزان عدد

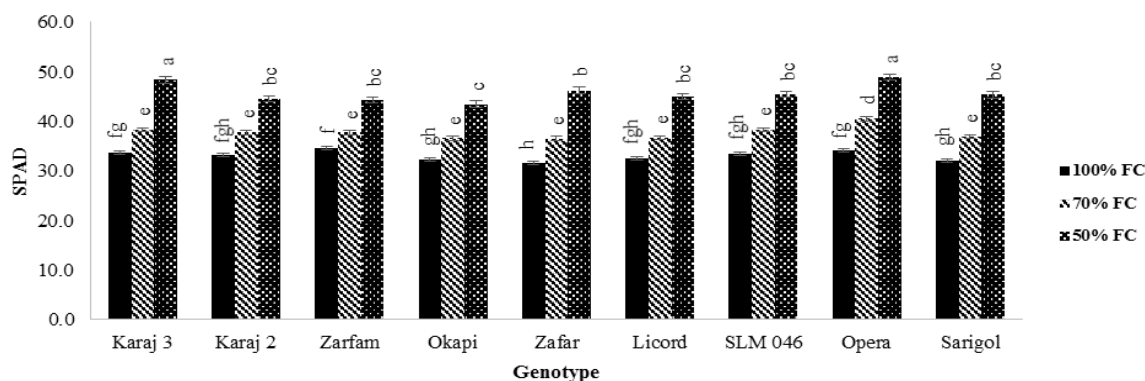
SPAD به‌طور معنی‌داری در همه ژنوتیپ‌ها افزایش یافت (شکل ۱۰). به نظر می‌رسد افزایش میزان سبزینه در اثر تنش به دلیل افزایش وزن مخصوص برگ باشد، رخداد تنش میزان سطح برگ را کاهش می‌دهد که ناشی از کاهش اندازه یاخته است. بنابراین در فرآیند بروز تنش به دلیل وجود یاخته‌های بیشتر در واحد وزن برگ میزان سبزینه نیز افزایش می‌یابد (Nonami et al., 1997).

Ommen et al. (1999)، در گیاه گندم ارتباط بسیار نزدیکی بین عدد SPAD و غلظت سبزینه کل برگ گزارش کرده‌اند.

با توجه به نتایجی که در این بررسی به دست آمد، می‌توان بیان داشت که در اثر کاهش سطح آب، محتوای نسبی آب برگ کاهش یافته و این امر باعث بالا رفتن غلظت سبزینه برگ شده است و طبیعی است که در چنین شرایطی عدد SPAD در شرایط تنش بالاتر از شرایط نرمال خواهد بود.



شکل ۹. مقایسه میانگین وزن خشک ریشه در ژنوتیپ‌های مورد بررسی تحت سطوح مختلف آبیاری
Figure 9. Mean comparison of root dry weight in the studied genotypes under different levels of irrigation



شکل ۱۰. مقایسه میانگین شاخص سبزینه در ژنوتیپ‌های مورد بررسی تحت سطوح مختلف آبیاری
Figure 10. Mean comparison of root dry weight in the studied genotypes under different levels of irrigation

قندهای محلول و غیر محلول

قندهای محلول

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح مختلف آبیاری، تأثیر ژنوتیپ‌ها و اثر متقابل ژنوتیپ و سطوح مختلف آبیاری تفاوت معنی‌داری در سطح ۱ درصد با هم دارند. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری در ژنوتیپ (شکل ۱۱) نشان داد که کاهش سطح آب، میزان قندهای محلول را به‌طور معنی‌داری افزایش داد و بیشترین میزان قندهای محلول، به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین آن به ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی تعلق داشت. کمترین میزان افزایش قندهای محلول در شرایط تنش (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) مربوط به ژنوتیپ‌های ساری گل، اس ال ام و لیکورد بود (شکل ۱۱).

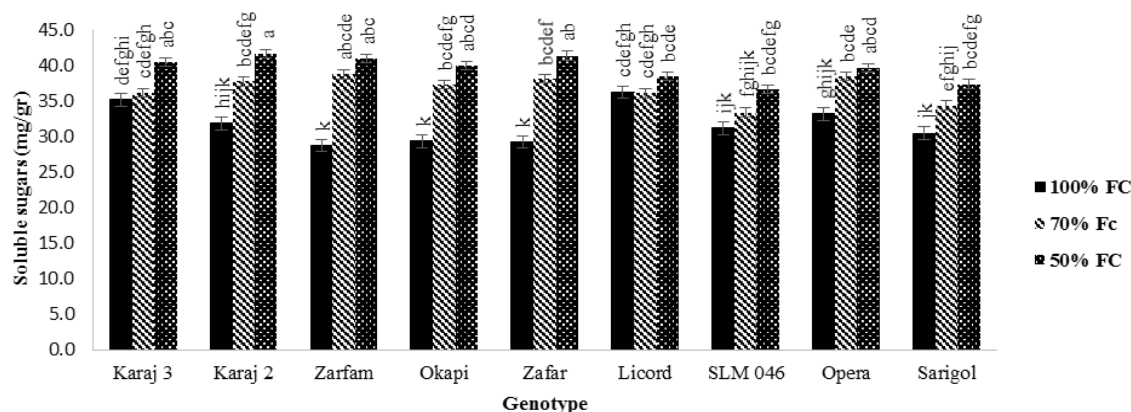
قندهای محلول به‌عنوان محافظت‌کننده‌های اسمزی در تنظیم اسمزی یاخته نقش داشته و در پاسخ به تنش‌های محیطی تجمع می‌یابند. تعیین میزان قندهای محلول ممکن است روشی سودمند در انتخاب گونه‌های مقاوم به شوری و خشکی باشد (Pagter *et al.*, 2005). افزایش قندهای محلول در شرایط خشکی می‌تواند به جابه‌جایی کمتر آن‌ها از برگ، مصرف کمتر آن‌ها در اثر کاهش رشد و تغییرهای دیگری چون آبکافت (هیدرولیز) نشاسته نسبت داده شود (Kameli & Losel, 1996). تفاوت ژنوتیپ‌ها در میزان افزایش قندهای محلول تحت شرایط تنش خشکی در بررسی‌هایی (Merajipoor *et al.*, 2012) روی ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ نیز گزارش شده است.

قندهای غیر محلول در آب (نشاسته)

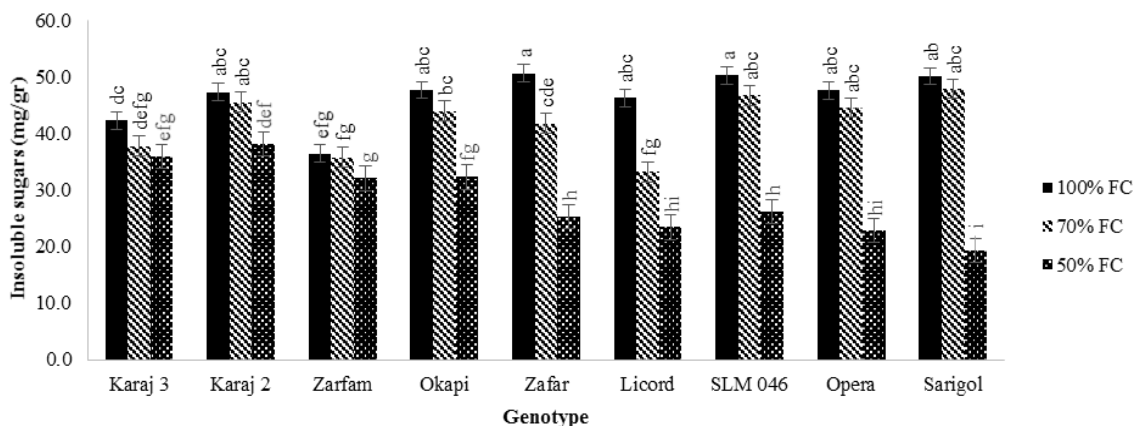
نتایج تجزیه واریانس برای این صفت نشان داد که تأثیر سطوح مختلف آبیاری، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در سطح آبیاری در سطح ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در سطوح مختلف آبیاری نیز نشان داد که با کاهش سطح آب در خاک میزان قندهای غیر محلول در آب (نشاسته) به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد ولی میزان این افزایش در بین ژنوتیپ‌های مختلف متفاوت بود (شکل ۱۲).

افزایش شایان‌ملاحظه‌ای که در محتوای قندهای غیرمحلول در شرایط تنش خشکی رخ می‌دهد می‌تواند نقش مهمی در تنظیم اسمزی بازی کند (Mousavi *et al.*, 2009) از سوی دیگر تجمع کربوهیدرات‌های محلول مقاومت گیاه به تنش خشکی را افزایش دهد (Keyvan, 2010) ذخیره‌سازی کربوهیدرات‌های محلول در آب در ساقه غلات و در پی آن انتقال دوباره آن‌ها به دانه به‌طور مستقیم می‌تواند سبب افزایش شاخص برداشت به‌ویژه در مرحله گلدهی شود (Hosseini Salekdeh *et al.*, 2009).

تجزیه مسیره‌های بیوشیمیایی از راه بررسی‌های ترانسکریپتوم نشان می‌دهد که تنش خشکی باعث افزایش بیان چندین جز از تثبیت‌کننده‌های کربن از جمله زیست‌ساخت (بیوسنتز) گلیکولیز و فلاونوئید و کاهش سوخت‌وساز (متابولیسم) نشاسته و سوکروز در شرایط تنش خشکی می‌شود (Lenka *et al.*, 2011).



شکل ۱۱. مقایسه میانگین میزان قندهای محلول برگ در ژنوتیپ‌های مورد بررسی تحت سطوح مختلف آبیاری
Figure 11. Mean comparison of leaf soluble sugars amount in the studied genotypes under different levels of irrigation

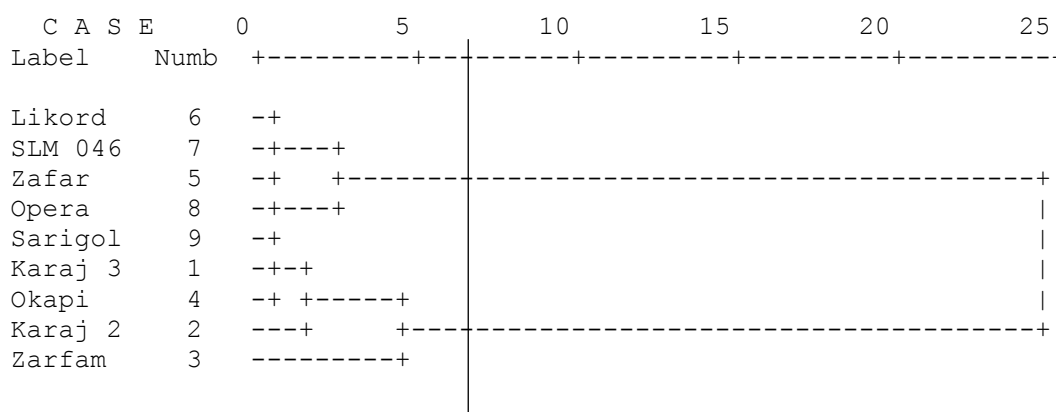


شکل ۱۲. مقایسه میانگین میزان قندهای نامحلول برگ در ژنوتیپ‌های مورد بررسی تحت سطوح مختلف آبیاری
Figure 12. Mean comparison of leaf insoluble sugars amount in the studied genotypes under different levels of irrigation

(شکل ۱۳)، در سطح آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، ژنوتیپ‌ها در سه گروه قرار گرفتند که در گروه اول، ژنوتیپ زرفام و لیکورد، در گروه دوم ژنوتیپ‌های کرج ۳، ظفر، اکاپی و در گروه سوم ژنوتیپ‌های ساری گل، اپرا، اس ال ام و کرج ۲ قرار گرفتند (شکل ۱۴) و در سطح آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، ژنوتیپ‌ها در دو گروه قرار گرفتند. در گروه اول ژنوتیپ زرفام، کرج ۲، اکاپی و کرج ۳ و در گروه دوم ژنوتیپ‌های ساری گل، اپرا، ظفر، اس ال ام و لیکورد قرار داشتند (شکل ۱۵).

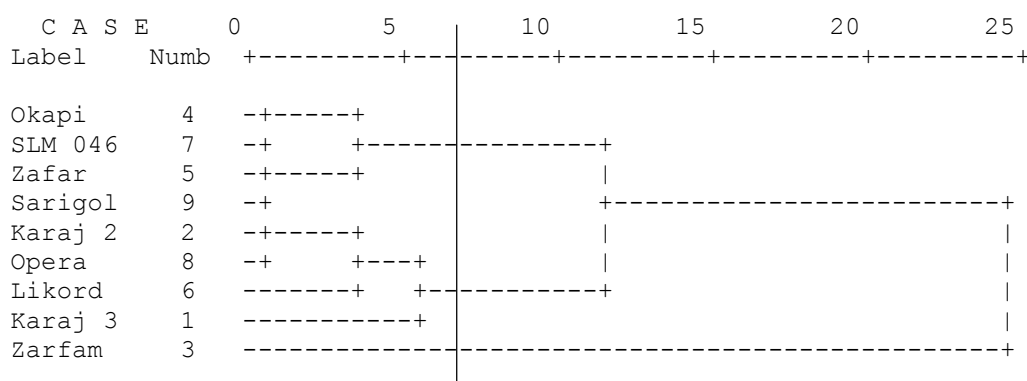
تجزیه خوشه‌ای

تجزیه خوشه‌ای بر پایه میانگین همه صفات در سه سطح آبیاری انجام شد (شکل‌های ۱۳، ۱۴ و ۱۵). و در هر سطح آبیاری ژنوتیپ‌ها گروه‌بندی شدند تا تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر رفتار ژنوتیپ‌ها بهتر مشخص شود. در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، ژنوتیپ‌ها در سه گروه قرار گرفتند که در گروه اول ژنوتیپ زرفام، در گروه دوم ژنوتیپ‌های کرج ۳، لیکورد، اپرا و کرج ۲ و در گروه سوم ژنوتیپ‌های ساری گل، ظفر، اس ال ام ۰۴۶ و اکاپی قرار داشتند



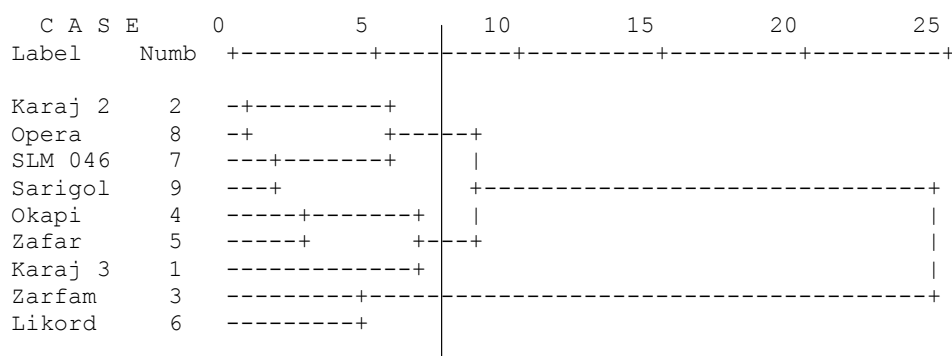
شکل ۱۳. نمودار درختواره‌ای تجزیه خوشه‌ای به‌دست‌آمده از کاربرد روش وارد برای صفات ارزیابی شده در رقم‌های مورد بررسی در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی

Figure 13. Dendrogram of cluster analysis based on ward's method on the evaluated traits in 100% FC in studied rapeseed genotypes



شکل ۱۴. نمودار درختواره‌ای تجزیه خوشه‌ای به‌دست‌آمده از کاربرد روش وارد برای صفات ارزیابی‌شده در رقم‌های مورد بررسی در سطح آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی

Figure 14. Dendrogram of cluster analysis based on ward's method on the evaluated traits in 70% FC in studied rapeseed genotypes



شکل ۱۵. نمودار درختواره‌ای تجزیه خوشه‌ای به‌دست‌آمده از کاربرد روش وارد برای صفات ارزیابی‌شده در رقم‌های مورد بررسی در سطح آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی

Figure 15. Dendrogram of cluster analysis based on ward's method on the evaluated traits in 50% FC in studied rapeseed genotypes

بالاترین مقادیر برای این صفات در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد.

واکنش ژنوتیپ‌های مورد بررسی به سطوح مختلف آبیاری متفاوت بود. در بین ژنوتیپ‌ها، زرفام پایداری بیشتری در سه سطح آبیاری برای بیشتر صفات مورد بررسی نشان داد و نتایج تجزیه خوشه‌ای نیز این امر را تأیید کرد. در بین ژنوتیپ‌ها، لیکورد با وجود اینکه در شرایط ۱۰۰ و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی از نظر بیشتر صفات مورد بررسی در سطح مطلوبی بود ولی تغییرهای شدیدی در بسیاری از صفات در روبرویی با کمبود شدید آب (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) داشت، که نشان می‌دهد این ژنوتیپ برای کشت در شرایطی که کمبود آب مشکل‌ساز است، مناسب نیست.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایجی که از این پژوهش به دست آمد، می‌توان نتیجه گرفت که صفات مهم ریخت‌شناختی (مورفولوژیکی) و فیزیولوژیکی در گیاه کلزا در ژنوتیپ‌های مورد بررسی، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح آبیاری قرار می‌گیرد و با کاهش سطح آب در خاک گلدان بسیاری از صفات از جمله محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای، تعرق، نورساخت، کارایی مصرف آب (نورساختی)، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه، و محتوای نشاسته از سطح آبیاری ۱۰۰ به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی روند کاهشی داشته و به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا می‌کنند. در مقابل صفات دمای برگ، عدد SPAD و قندهای محلول در آب با کاهش سطح آب در خاک روند افزایشی داشته و

REFERENCES

1. Chaves, M.M., Junica, M. & Pereira, J.S. (2003). Understanding plant responses to drought-from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30, 239-264.
2. Chaves, M.M., Pereira, J.S., Maroco, J., Rodrigues, M.L., Ricardo, C.P.P., Osorio, M.L., Carvalho, I., Fauria, T. & Pinheiro, C. (2002). How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. *Annals of Botany*, 89, 907-916.
3. Chen, W.P., Li, P.H. & Chen, T.H.H. (2000). Glycinebetaine increases chilling tolerance and reduces chilling-induced lipid peroxidation in *Zea mays* L. *Plant Cell Environ*, 23, 609-618.
4. Demirevska, K., Samina, L., Vassileva, V., Vanesa, I., Grigorova, B. & Feller, U. (2008). Drought-induced leaf protein alterations in sensitive and tolerant wheat varieties. *General and Applied Plant Physiology*, 34, 79-102.
5. Dichio, B., Romano, M., Nuzzu, V., and Xiloyannis, C. (2002). Soil water availability and relationship between canopy and roots in young olive trees cv. Coratana. *Acta Horticulturae*, 586, 419-422.
6. Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J. K., Rebers, P.A. & Smith, F. (1956). Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Analytical Chemistry*, 28, 350-356.
7. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N. Fujita, D. & Basra, S.M.A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy and Sustainable Development*, 29, 185-212.
8. Farooq, U. and Bano, A. (2006). Effect of abscisic acid and chlorocholine chloride on nodulation and biochemical content of *Vega radiata* L. under water stress. *Pakistan Journal of Botany*, 38, 1511-1518.
9. Flexas, J. & Medrano, H. (2002). Drought-inhibition of photosynthesis in C3- plants: Stomatal and nonstomatal limitation revisited. *Annals of Botany*, 183, 183-189.
10. Garg, A.K., Owens, T.G., Ranwala, A.P., Choi, Y.D., Kochian, L.V. & Wue, R.J. (2002). Treehouse accumulation in rice plants confers high tolerance levels to different abiotic stresses. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99, 15898-15907.
11. Harris, D., Tripathi, R.S. & Joshi, A. (2002). On-farm seed priming to improve crop establishment and yield in dry direct-seeded rice. In: Pandey S, Mortimer M, Wade L, Tuong TP, Lopes K, Hardy B (eds) *Direct Seeding: Research Strategies and Opportunities*. International Research Institute, Manila, pp 231-240.
12. Hosseini Salekdeh, G.R., John, R., Boyer, E. & John, M. (2009). Conceptual framework for drought phenotyping during molecular breeding. *Trends in Plant Science*, 14, 1360-1385.
13. Jaleel, C.A., Manivannan, P., Sankar, B., Kishore Kumar, A., Sankari, S. & Panneerselvam, R. (2007a). Paclobutrazol enhances photosynthesis and ajmalicine production in *Catharanthus roseus*. *Process Biochem*, 42, 1566-1570.
14. Jaleel, C.A., P. Manivannan, B. Sankuru, A. Kishore Kumar, R. Gopi, R. Somasundaram and R. Panneerselvam, 2007b. Water deficit stress mitigation by calcium chloride in *Catharanthus roseus*; effects on oxidative stress, proline metabolism and indole alkaloid accumulation. *Colloids Surf. B: Bio interfaces*, 60, 110-116.
15. Jalili Marandi, R., Hassam, A., Dowlety Baneh, H., Azizi, H. & Hajitaghiloo, R., (2011). Effect of different levels of soil moisture on morphological and physiological characteristics of three grape cultivars (*Vitis vinifera* L.). *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 42(1), 31-40.
16. Kameli, A. & Losel, D.M. (1996). Growth and sugar accumulation in durum wheat plants under water stress. *New Phytologist*, 132, 57-62.
17. Kaya, M.D., Okcu, G., Ataka, M., Cikili, Y. & Kolsarca, O. (2006). Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal of Agronomy*, 24, 291-295.
18. Keyvan, S. (2010). The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 8(3), 1051-1060.
19. Lenka, S.K., Katiyar, A., Chinnusamy, V. & Bansal, K.C. (2011). Comparative analysis of drought-responsive transcriptome in Indica rice genotypes with contrasting drought tolerance. *Plant Biotechnology Journal*, 9, 315-327.
20. Levitt, J. (1980). *Responses of plants to environmental stresses. II. Water, radiation, salt, and other stresses*. Academic Press, New York. PP: 3-53.
21. Mahajan, S. & Tuteja, N. (2005). Cold, salinity and drought stresses: an overview. *Archives of biochemistry and biophysics*, 444(2), 139-158.
22. Mahmoudi Sorestani, M. & Omidbeigi, R. (2009). The effect of drought stress on photosynthesis, transpiration and stomatal conductance of Mexican flowering plant (*Agastache foeniculum*), the Sixth Congress of Horticultural Sciences, University of Gilan, Rasht. (in Farsi)

23. Mannini, P. & Anconeli, S. (2002). Leaf temperature and water stress in strawberry. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53, 138-143.
24. Mehrjerdi, d., Bagheri, A., Bahrami, A., Nabati, J. & Masoumi, A. (2012). Effects of drought stress on photosynthetic characteristics, phenolic compounds and active radical scavenging capacity of different genotypes of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in hydroponic culture. *Journal of Science and Technology of Greenhouse culture*, 3, 59 - 77. (in Farsi)
25. Merajipoor, M., Movahedi Denair, M., Dehdari, Faraji, H. & Merajipoor, M. (2012). Effects of drought stress on some physiological characteristics of four different varieties of safflower in Yasouj. *Journal of environmental stresses in crop sciences*, 5(2), 125-134. . (in Farsi)
26. Mian, M.A.R., Nafziger, E.D., Kolb, F.L. & Tanker, R.H. (1994). Root size and distribution of field grown wheat genotypes. *Crop Science*, 34, 810-812.
27. Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7, 405-410.
28. Mohammadi, P.P., Moieni, A. & Komatsu, S. (2012). Comparative proteome analysis of drought-sensitive and drought-tolerant rapeseed roots and their hybrid F1 line under drought stress. *Amino Acids*, 43, 2137-2152.
29. Mohammadian, R., Moghaddam, M., Rahimian, H. & Sadeghian, S.Y. (2005). Effect of early season drought stress on growth characteristics of sugar beet genotypes. *Turkish Journal of Botany*, 29, 357-368.
30. Mousavi, E. A., Kalantari, K. M. & Jafari, S. R. (2009). Change of some osmolytes accumulation in water stressed colza (*Brassica napus* L.) as affected by 24-epibrassinolide. *Iranian Journal of Science and Technology*, Transaction A, 33: A1.1-11.
31. Nautiyal, P.C., Rachaputi, N.R. & Joshi, Y.C. (2002). Moisture-deficit-induced changes in leaf water content, leaf carbon exchange rate and biomass production in groundnut cultivars differing in specific leaf area. *Field Crop Research*, 74, 67-79.
32. Nonami, H., Wu, Y. & Matthewse, M. A. (1997). Decreased growth-induced water potential a primary cause of growth inhibition at low water potentials. *Plant Physiology*, 114, 501-509.
33. Okcu, G., Kaya, M. D. & Ataka, M. (2005). Effects of Salt and Drought Stresses on Germination and Seedling Growth of Pea (*Prism sativum* L.). *Turkish Journal of Agriculture*, 29, 237-242.
34. Omidi, H. (2010). Change of proline content and activity of antioxidative enzymes in Two Canola Genotype under drought stress. *American Journal of Plant Physiology*, 5, 338-349.
35. Ommen, O.E. & Donnelly, A. (1999). Chlorophyll content of spring wheat flag leaves grown under elevated CO2 concentrations and other environmental stresses within the 'ESPACE-wheat' project. *European Journal of Agronomy*, 10, 197-203.
36. Pagter, M., Bragato, C. & Brix, H. (2005). Tolerance and physiological responses of *Phragmites australis* to water deficit. *Aquatic Botany*, 81, 285-299.
37. Richards, R. A., Rebetzke, G. J., Condon, A. G. & Van Herwaarden, A. F. (2002). Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Science*, 42(1), 111-121.
38. Sangtarash, M. H., Qaderi, M. M., Chinnappa, C. C. & Reid, D. M. (2009). Differential sensitivity of canola (*Brassica napus*) seedlings to ultraviolet-B radiation, water stress and abscisic acid. *Environmental and Experimental Botany*, 66, 212-219.
39. Seeley, S. (1990). Hormonal transduction of environmental stresses. *Hort Science*, 25, 1369-1376.
40. Shirani Rad, A.H., Naeemi, M. & Esfahani, S.N. (2010). Evaluation of terminal drought stress tolerance in spring and winter rapeseed genotypes. *Iranian Journal of Crop Science*, 12, 112-126.
41. Siddique M.R.B., Hamid, A. & Islam, M.S. (2001) Drought stress effects on water relations of wheat. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 41, 35-39.
42. Specht, J.E., Chase, K., Macrander, M., Graef, G.L., Chung, J., Markwell, J.P., Germann, M., Orf, J.H. & Lark, K.G. (2001). Soybean response to water. A QTL analysis of drought tolerance. *Crop Science*. 41, 493-509.
43. Tahir, M.H.N. & Mehid, S.S. (2001). Evaluation of open pollinated sunflower (*Helianthus annuus* L.) populations under water stress and normal conditions. *International Journal of Agriculture and Biology*, 3, 236-238.
44. Takeda, T., Yokota, A. & Shigeoka, S. (1995). Resistance of photosynthesis to hydrogen peroxide in algae. *Plant and Cell Physiology*, 36, 1089-1095.
45. Tripathy, J. N., Zhang, J. Robin, S. & Nguyen, T. T. (2000). QTLs for cell-membrane stability mapped in rice (*Oryza sativa* L.) under drought stress. *Theoretical and Applied Genetic*, 100, 1197-1202.
46. Tu, J., Shen, W.B. & Xu, L.L. (2003). Regulation of nitric oxide on the aging process of wheat leaves. *Acta Botanica Sinica*, 45, 1055-1062.
47. Wang, Y., Ying, J., Kuzma, M., Chalifoux, M., Sample, A., McArthur, C., Uchacz, T., Sarvas, C., Wan, J., Dennis, D.T. & McCourt, P. (2005). Molecular tailoring of farnesylation for plant drought tolerance and yield protection. *The Plant Journal*, 43(3), 413-424.

48. Webber, M., Barnett, J., Finlayson, B. & Wang, M. (2006). *Pricing China's Irrigation Water*. Working Paper, School of Anthropology, Geography and Environmental Studies, the University of Melbourne, Victoria, Australia.
49. Zeid, I.M. & Shedeed, Z.A. (2006). Response of alfalfa to putrescine treatment under drought stress. *Biologia plantarum*, 50, 635-640.
50. Zhu, J.K. (2002). Salt and drought stress signal transduction in plant. *Annual journal of Plant Biology*, 53, 247-273.