Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 53, No 2, Summer 2022 (45-55)
DOI: 10.22059/IJFCS.2021. 312462.654768

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۳، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۱ (ص۵۵-۴۵)

Effect of drought stress on morphological and biochemical characteristics of soybean genotypes in the second crop

Saeed Amiri[1], Masoud Rafiee[*2], Jahanfar Daneshian[3], Ali Khorgamy[4]
1,4. Department of Agronomy and Plant Breeding, Khorramabad Branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran, 2. Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran, 3 Seed and Plant Improvement Institute, AREEO, Karaj, Iran.

(Received: December 15, 2020 - Accepted: March 3, 2021)

ABSTRACT

In order to investigate the morphophysiological response of soybean (*Glysin max* L.) to drought stress as second crop, an experiment was conducted in Lorestan Agricultural Research Center in the summer of 2017 and 2018 in two environments including normal and drought stress condition. In each environment, 19 soybean genotypes were studied in a randomized complete block design with three replications. The results showed that all traits except leaf temperature decreased due to drought stress. Mean comparison showed that the highest leaf temperature was obtained from genotype No. 9 in the stressed environment and the lowest was obtained from genotypes No. 4 and 15 in the normal environment (27.5 and 13.2 ° C, respectively). The highest (4894 kg/ha) and lowest (275 kg/ha)grain yield was obtained from genotype No. 7 in normal environment and genotype No. 19 in stress environment, respectively. The analysis of biochemical traits of shoots showed that the amount of unstructured soluble sugars and free proline increased with drought stress from 1.87 and 0.0028 mg, respectively in normal environment to 3.77 and 0.0054 mg/g fresh weight, respectively in stressed environment. Among the genotypes, the highest and lowest amounts of shoot proline (0.043 and 0.03777 mg/g fresh weight) were obtained from No. 4 and. 1 genotypes, respectively. In addition, genotypes No. 7 and 9 can be recommended for normal and stressed conditions in moderate region such as Khorramabad.

Keywords: Drought stress, grain yield, morphological traits, proline, unstructured soluble sugars.

اثر تنش خشکی بر خصوصیات مورفولوژیک و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های سویا در کشت دوم

سعید امیری[۱]، مسعود رفیعی*[۲]، جهانفر دانشیان[۳]، علی خورگامی[۴]
۱و٤- دانشجوی دکتری زراعت و دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ۲- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ۳- استاد پژوهش، مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۹/۲۵ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۳)

چکیده

به‌منظور بررسی واکنش‌های مورفولوژیک و بیوشیمیایی گیاه سویا (*Glysin max* L.) به تنش خشکی در کشت دوم، آزمایشی در مرکز تحقیقات کشاورزی لرستان در تابستان سال‌های ۱۳۹٦ و ۱۳۹۷ در دو محیط نرمال و تنش خشکی اجرا شد و در هر محیط، ۱۹ ژنوتیپ سویا در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار بررسی شد. نتایج نشان داد که کلیه صفات به‌جز درجه حرارت برگ در اثر تنش خشکی کاهش یافتند. مقایسهٔ میانگین نشان داد که بیشترین درجه حرارت برگ از ژنوتیپ شماره نه در محیط تنش و کمترین آن از ژنوتیپ‌های شماره چهار و ۱۵ در محیط نرمال (به‌ترتیب ۲۷/۵ و ۱۳/۲ درجه سانتی‌گراد) به‌دست آمد. بیشترین و کمترین عملکرد دانه در محیط نرمال در ژنوتیپ‌های شماره هفت و ۱۹ (به‌ترتیب ٤۸۹٤ و ۲۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) و در محیط تنش در ژنوتیپ‌های شماره نه و ۱۹ (به‌ترتیب ۲۸۷۳ و ۲۷۵ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. نتایج خصوصیات بیوشیمیایی اندام هوایی نشان داد که میزان قندهای محلول غیر ساختاری و پرولین با اعمال تنش افزایش یافت و به‌ترتیب از ۱/۸۷ و ۰/۰۰۲۸ در محیط نرمال به ۳/۷۷ و ۰/۰۰٥٤ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه در محیط تنش افزایش یافت. در میان ژنوتیپ‌ها، بیشترین میزان پرولین اندام هوائی از ژنوتیپ شماره چهار و کمترین آن از ژنوتیپ شماره یک (به‌ترتیب ۰/۰٤۳ و ۰/۰۳۷۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) به‌دست آمد. در مجموع و براساس میزان تولید دانه، ژنوتیپ شماره هفت برای شرایط نرمال و ژنوتیپ شماره نه برای شرایط تنش در شرایط اقلیمی معتدل مانند خرم‌آباد قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: **پرولین، تنش خشکی، صفات مورفولوژیک، عملکرد دانه، قندهای محلول غیرساختاری.**

* Corresponding author E-mail: m.rafiee@areeo.ac.ir

مقدمه

کمبود آب مشکل بزرگی است که تولید گیاهان زراعی را در زمین‌های زراعی دنیا به شدت کاهش می‌دهد (Mahajan Tuteja, 2005) و بحران آن در کشور جدی است. تنش خشکی را می‌توان به‌صورت نبود آب کافی مورد نیاز برای رشد طبیعی و تکمیل چرخه زندگی گیاه تعریف نمود (Moosavi *et al.*, 2011; Jabereldar *et al.*, 2017). تنش خشکی روی فرایندهای رشد و نمو مؤثر است و به‌صورت تغییرات بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی بروز می‌کند (Wang *et al.*, 2001; Parida & Das, 2005)، اما مکانیسم‌های دفاعی متعددی در گیاهان همچون تنظیم اسمزی، هومئوستازی یون و سیستم‌های آنتی اکسیدانی و هورمونی (Mahajan & Tuteja, 2005) وجود دارد که موجب تحمل به تنش کمبود آب می‌شوند که به بقا و رشد گیاهان در شرایط محیطی شدید پیش از مرحله رشد زایشی‌شان کمک می‌کنند. این مکانیسم‌های دفاعی در گیاهان حساس ضعیف‌ترند و سبب کاهش رشد و عملکرد می‌شوند (Cha-um & Kirdmanee, 2009).

بروز تنش خشکی بر سبز شدن، رشد و تولید گیاهان زراعی تأثیر منفی دارد (Belayet *et al.*, 2010). کاهش در کلروفیل‌های a و b و کل، محتوی نسبی آب برگ، شاخص سطح برگ، نشت الکترولیت و عملکرد ناشی از تنش خشکی گزارش شده است (Karimi *et al.*, 2016). همچنین گزارش شده است که تنش خشکی از طریق کاهش توانایی فتوسنتزی و اختلال در فرآیند انتقال فتوسنتزی، باعث کاهش عملکرد دانه ارقام سویا می‌شود (Ohashi *et al.*, 2000). با کاهش رطوبت خاک، مقدار پرولین برگ‌ها افزایش می‌یابد که نقش کلیدی در تنظیم اسمزی بازی می‌نماید (Ghorbanli & Niakan, 2006; Cha-um & Kirdmanee, 2009). تنظیم اسمزی یک فرآیند فیزیولوژیکی است که در آن گیاه با انباشت یک‌سری مواد اسمزی مانند پرولین و قندهای محلول در سلول‌ها، پتانسیل اسمزی بافت‌های تحت تنش را کاهش می‌دهد تا فشار تورژسانس سلول‌ها در حد مطلوب باقی بماند (Bahramichegeni *et al.*, 2013). افزایش محتوای قند ممکن است ناشی از کاهش نیاز به مواد فتوسنتزی به دلیل کاهش رشد باشد (Ehdaie *et al.*, 2006).

سویا گیاهی است حساس به تنش خشکی که کمبود رطوبت قابل دسترس ریشه به‌ویژه در مرحله گل‌دهی تا تشکیل دانه، عملکرد دانه را به شدت کاهش می‌دهد، اما باید توجه نمود که واکنش سویا به تنش خشکی مانند سایر گیاهان به ژنوتیپ، شدت تنش و زمان وقوع تنش بستگی دارد (Munns, 2002). کاهش عملکرد دانه سویا در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Abdipour *et al.*, 2010). با بررسی واکنش ارقام و لاین‌های سویا به تنش خشکی مشاهده شد که تنش خشکی با اثر منفی بر وزن دانه، تعداد دانه در غلاف و تعداد شاخه فرعی، سبب کاهش عملکرد دانه سویا شد (Zareh *et al.*, 2004). در بررسی اثر تنش خشکی آخر فصل بر عملکرد دانه ارقام سویا گزارش شد که در شرایط تنش خشکی شدید، شاخص تحمل خشکی ارقام متفاوت بود. تنش خشکی سبب کاهش عملکرد دانه شد و در شرایط تنش خشکی شدید، بیشترین عملکرد دانه سویا در رقم ویلیامز و کمترین آن در ارقام همیلتون و صفی‌آباد مشاهده شد (Farhoudi *et al.*, 2014).

یکی از مشکلات اصلی در استان لرستان همانند دیگر مناطق، کاهش سطح آب‌های زیر زمینی و حتی خشک شدن بسیاری از چاه‌ها در اثر مصرف زیاد آب است. در این خصوص، بررسی دامنه تحمل به خشکی سویا به‌منظور حداکثر صرفه جوئی در مصرف آب آبیاری ضروری است؛ بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر تنش خشکی بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک، اجزای عملکرد و عملکرد دانه در گیاه سویا انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی واکنش‌های مورفوفیزیولوژیک گیاه سویا (*Glysin max* L.) به تنش خشکی در کشت دوم، آزمایشی در تابستان سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در دو محیط نرمال (S1: آبیاری هفتگی) و تنش (S2: آبیاری

هر دوهفته یکبار) اجرا شد و در هر محیط، ۱۹ ژنوتیپ (G1-G19) سویا ارسالی از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. نام ژنوتیپ‌های مورد بررسی در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- نام ژنوتیپ‌های مورد بررسی

Table 1. Names of genotypes

Number	Genotype
1	L504-14
2	L504-6
3	Col. × Fora-6
4	Clean
5	Dellsoy×Willo82-2
6	LH 2500
7	Dellsoy×Willo82-5
8	Stress Land
9	AVRDC-25
10	AVRDC-21
11	Col. × Fora-13
12	Cheleston ×Mustang -1
13	AVRDC-15
14	Cheleston ×Mustang -5
15	AVRDC-3
16	Col. × Fora-3
17	M9
18	TMS
19	Habit

محل اجرای آزمایش، ایستگاه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان واقع در منطقه سراب چنگایی شهرستان خرم‌آباد با مختصات جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی و ۱۱۷۱ متر ارتفاع از سطح دریا بود. مشخصات هواشناسی محل آزمایش بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی خرم آباد در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- آمار هواشناسی سال‌های اجرای آزمایش (۱۳۹۶ و ۱۳۹۷)

Table 2. Climatological statistics during the experimental years (2016 and 2017).

Month- Year	Min.Temp (˚C)	Max.Temp (˚C)	Mean.Temp (˚C)	Act.Min.Temp (˚C)	Act.Max.Temp (˚C)	Precipitation (mm)
23 Jun- 22 Jul, 2016	20.1	40.7	30.4	13.1	44.0	0.0
23 Jul- 22 Aug, 2016	21.8	41.5	31.6	17.7	44.2	0.0
23 Aug- 22 Sep, 2016	18.5	39.2	28.8	14.7	42.7	0.0
23 Sep- 22 Oct, 2016	11.0	29.9	20.4	4.6	35.7	0.0
23 Jun- 22 Jul, 2017	20.6	41.2	30.9	15.2	44.5	0.0
23 Jul- 22 Aug, 2017	20.8	41.8	31.3	16.4	45.3	0.0
23 Aug- 22 Sep, 2017	17.60	38.2	27.9	12.0	42.7	0.0
23 Sep- 22 Oct, 2017	13.6	30.7	22.2	10.1	36.8	0.0

act. min و act. max: به‌ترتیب دمای حداقل مطلق و حداکثر مطلق.

Act. min and act. max: actual minimum temperature and actual maximum temperature, respectively

هیچ‌گونه بارشی در طول دوره رشد گیاه در دو سال مشاهده نشد. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، منطقه خرم آباد دارای اقلیم نیمه گرمسیری با تابستان گرم و خشک می‌باشد. بر اساس آمار بلندمدت، میانگین حداقل و حداکثر و میانگین دمای منطقه به‌ترتیب ۹/۲، ۲۵/۲ و ۱۷/۲ درجه سانتیگراد بود و منطقه دارای اقلیم معتدل با میانگین بارش سالیانه ۵۲۵ میلیمتر و میانگین رطوبت نسبی ۴۶/۷ درصد می‌باشد.

قبل از کاشت از خاک مزرعه که در سال قبل از

آزمایش به‌صورت آیش بود، نمونه‌برداری مرکب به عمل آمد و در آزمایشگاه تجزیه شد. نتایج مربوط به برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق صفر تا ۳۰ سانتی متر) در جدول ۳ نشان داده شده است. بافت خاک مزرعه لومی سیلتی بود.

جدول ۳- خصوصیات شیمیایی خاک مزرعه

Table 3. Chemical traits of experimental field soil

Year	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	pH	EC (ds/m)
2017	0.31	12.1	332	7.6	1.27
2018	0.42	13.5	361	7.5	1.25

عملیات آماده‌سازی زمین در اواخر بهار هر سال صورت گرفت. بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۳)، ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره به همراه ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات آمونیوم و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم بصورت یکنواخت پاشیده شد و به‌وسیله دیسک سبک مخلوط شد و سپس خطوط کاشت به فاصله ۵۰ سانتیمتر از یکدیگر با استفاده از دستگاه فاروئر ایجاد شد. هر کرت مشتمل بر چهار خط کاشت به طول پنج متر بود. فاصله بین کرت‌های اصلی دو متر، کرت‌های فرعی یک متر و بین تکرارها سه متر در نظر گرفته شد. کلیه عملیات زراعی مطابق معمول منطقه و بر اساس توصیه‌های تحقیقاتی انجام پذیرفت.

عملیات کاشت بذر ژنوتیپ‌های سویا به‌صورت دستی و در وسط شیار ایجاد شده روی هر پشته و به عمق حدود پنج سانیتمتر در هفته اول تیر ماه انجام شد. در مرحله سه تا پنج برگ حقیقی، عملیات تنک کردن انجام شد، به‌این صورت که در هر ۱۰ سانتی‌متر، یک بوته سالم و قوی نگهداری و بقیه حذف شدند و بدین ترتیب تراکم ۲۰ بوته در متر مربع به‌دست آمد. پس از عمل تنک، بقیه کود نیتروژنه به میزان ۵۰ کیلوگرم کود اوره به‌صورت سرک بین ردیف‌های کاشت پاشیده شد و زمین آبیاری شد. بسته به نیاز، وجین علف‌های‌هرز به‌صورت دستی صورت گرفت.

برای اعمال تیمارهای تنش خشکی، دو محیط در دو طرف آب‌پاش‌های سیستم آبیاری بارانی نیمه متحرک قرار گرفتند و یک هفته با نازل‌های دو طرفه هر دو محیط و یک هفته با نازل‌های یک طرفه تنها محیط نرمال آبیاری شد. شروع تیمارهای تنش خشکی بعد از استقرار کامل بوته‌ها در مرحله چهار برگ حقیقی بود. درصد رطوبت خاک در فواصل زمانی بین دو آبیاری اندازه‌گیری شد. میزان آب آبیاری برای رسیدن درصد رطوبت خاک به ظرفیت مزرعه (۲۷ درصد) و زمان آبیاری با توجه به حداکثر عمق نفوذ ریشه در خاک محاسبه شد. میزان آب داده شده به هر کرت بر اساس توزیع آب با راندمان ۹۰ درصد با استفاده از پمپ آب کنترل شد.

نمونه‌هایی از برگ‌های جوان گیاه (برگ‌های کاملاً توسعه یافته دو گره آخر پنج بوته از هر کرت) در مرحله شروع گل‌دهی از دو بوته از ردیف‌های میانی هر کرت با رعایت حاشیه جهت انجام آنالیزهای بیوشیمیائی جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شدند و ترکیبات اسمزی روی آن‌ها اندازه‌گیری شد. سنجش میزان قندهای محلول به روش Kochert (1978) و پرولین به روش Bates *et al.* (1973) صورت گرفت. در هر سال در مرحله گلدهی، درجه حرارت برگ توسط دما سنج تفنگی مدل Gun 2-ds ساخت کشور سوئیس روی برگ‌های جوان پنج بوته از هر کرت اندازه‌گیری شد. در زمان برداشت، ۱۰ بوته از هر کرت با رعایت حاشیه انتخاب و اجزای عملکرد دانه شامل تعداد غلاف پر در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد. همچنین عملکرد دانه دو ردیف وسط هر کرت آزمایشی با رعایت نیم متر حاشیه از طرفین از مساحت معادل چهار مترمربع اندازه‌گیری و بر اساس ۱۲ درصد رطوبت محاسبه شد.

پس از آزمون بارتلت و اطمینان از یکنواختی واریانس خطای آزمایش، تجزیه واریانس مرکب دو ساله برای صفات مورفوفیزیولوژیک و تجزیه واریانس ساده یک

ساله برای صفات کیفی و بیوشیمیایی انجام ش؛ همچنین مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 صورت گرفت.

نتایج و بحث

درجه حرارت برگ

درجه حرارت برگ در مرحله گلدهی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر ساده تنش خشکی و اثر متقابل تنش خشکی در ژنوتیپ قرار گرفت (جدول ۴). مقایسهٔ میانگین دو ساله نشان داد که بیشترین درجه حرارت برگ از ژنوتیپ شماره نه در محیط تنش با میانگین ۲۷/۵ درجه سانتی‌گراد و کمترین آن از ژنوتیپ‌های شماره چهار و ۱۵ در محیط نرمال با میانگین ۱۳/۲ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد (جدول ۵). دمای پائین در ژنوتیپ‌های شماره چهار و ۱۵ می‌تواند ناشی از محتوی آب بیشتر در این ژنوتیپ‌ها باشد که نشان‌دهنده مقاومت به خشکی بیشتر است (Rafiee, 2014). تنش خشکی با کاهش محتوی نسبی آب در گیاه، موجب افزایش درجه حرارت سایه انداز می‌شود (Khalilzadeh *et al.*, 2016). افزایش دمای برگ ناشی از تنش، به بسته شدن روزنه‌ها نسبت داده شده است (Zandalinas *et al.*, 2018).

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب صفات زراعی سویا

Table 4. Combined variance analysis of soybean agronomic traits

S.O.V.	df	MS				
		Leaf temprature	Pods No. per plant	Grain No. per pod	1000-grains Weight	Grain yield
Year (Y)	1	0.147ns	557.4*	5.22**	220**	2330342**
Stress invironment (S)	1	4210**	154341**	4.92**	18797**	149154711**
Y × S	1	0.005ns	0.152ns	0.002ns	0.08ns	35.8ns
Replication (Y × S)	8	98.66	33.19	0.004	17.44	18479.7
Genotype	18	9.18ns	13741**	0.46**	2487.6**	3561224**
Y × G	18	0.001ns	0.053ns	0.195*	0.032ns	119.6ns
S × G	18	14.8**	6707**	0.14**	2096.6**	2853731**
Y×S×M	18	0.12ns	0.048ns	0.012ns	0.024ns	8123.9ns
Error (b)	144	6.83	102.56	0.008	23.51	92104.2
C.V. (%)		12.9	9.47	3.83	3.97	14.13

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

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

تعداد غلاف پر در بوته

تعداد غلاف پر در بوته به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات ساده سال، تنش خشکی و ژنوتیپ قرار گرفت. اثر متقابل تنش خشکی در ژنوتیپ بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسهٔ میانگین دو ساله نشان داد که بیشترین تعداد غلاف پر در بوته از ژنوتیپ شماره شش در محیط نرمال با میانگین ۲۲۱ غلاف و کمترین آن از ژنوتیپ شماره ۱۹ در محیط تنش با میانگین ۲۵/۵ غلاف به‌دست آمد (جدول ۵). در شرایط تنش خشکی بر اساس ۷۰ درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس در مقایسه با شاهد، تعداد غلاف در بوته سویا حدود ۲۹ درصد کاهش یافت (Issazadeh Panjali Kharabsi, 2012). در بررسی بر هم‌کنش تنش خشکی و رقم سویا در زاهدان، بیشترین تعداد غلاف در بوته در تیمار آبیاری کامل و رقم M9 مشاهده شد (Mehraban *et al.*, 2016).

تعداد دانه در غلاف

تعداد دانه در غلاف به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات ساده سال، تنش خشکی و ژنوتیپ قرار گرفت. اثر متقابل سال در ژنوتیپ و تنش خشکی در ژنوتیپ بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسهٔ میانگین دو ساله نشان داد که بیشترین تعداد دانه در غلاف از ژنوتیپ‌های شماره پنج و هفت در محیط نرمال با میانگین ۲/۷۳ دانه و کمترین آن از ژنوتیپ شماره ۱۸ در محیط تنش با میانگین ۱/۶ دانه به‌دست آمد (جدول ۵). در تحقیقی معلوم شد که با کاهش آب

قابل دسترس برای گیاه، تعداد دانه در غلاف سویا به شدت کاهش یافت و در تیمارهای آبیاری شاهد و ۷۰ درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس، به‌ترتیب بیشترین (۳/۲۳) و کمترین (۲/۹۵) دانه در غلاف تولید شد (Issazadeh Panjali Kharabsi, 2012).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی در ژنوتیپ روی صفات سویا

Table 5. Mean comparison of drought stress and genotype intraction effects on soybean traits

Stress invironment	Genotype	Leaf temprature (°C)	Grain No. per pod	Pods No. per plant	1000-grains weight (g)	Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	Grain protein (%)
S1	G1	15.7d-g	108hi	2.55a-e	109.6n	2123nop	29.15l-p
	G2	17.7de	207bc	2.46c-g	105.5n	3434cd	29.25l-p
	G3	16.4def	112hi	2.56a-e	150.8b	3320cde	29.45k-o
	G4	13.1g	217ab	2.6a-d	91.4pq	3587bc	29.51h-o
	G5	14.1fg	124f	2.73a	135.5c-g	2941f-i	29.70g-m
	G6	17.5de	221a	2.66abc	94.8opq	3778bc	29.16l-p
	G7	15.02d-g	201c	2.73a	132.3f-i	4893a	29.04nop
	G8	14.8efg	106hij	2.68ab	139.7c-g	3026e-h	29.57h-o
	G9	17.5de	113gh	2.68ab	127.7ij	2835g-j	30.38c-f
	G10	14.1fg	123fg	2.06lmn	137.8cde	2389k-n	29.6h-o
	G11	16.7def	110hi	2.53a-e	134.4c-g	2697h-k	29.28l-p
	G12	16.8def	132f	2.46c-g	135.3c-g	2609i-l	29.07m-p
	G13	15.8d-g	139f	2.53a-e	137.1c-f	3197def	30.04e-k
	G14	16.0d-g	94kl	2.46c-g	162.8a	2615i-l	29.34l-p
	G15	13.1g	89lm	2.38e-j	135.9c-g	2317l-o	28.72p
	G16	17.9d	106.5hij	2.65a-d	133.3e-h	3048efg	29.49i-o
	G17	16.4def	101.3ijk	2.66abc	139.3cd	2596jkl	29.48j-o
	G18	16.6def	131.6ef	2.01no	147.3b	2581j-m	29.46k-o
	G19	15.5d-g	80.1m	2.53a-e	137.5cde	2120nop	28.94op
S2	G1	24.4abc	62.8n	2.13k-n	128.1ij	1199uv	30.65cde
	G2	22.6c	166.1d	1.81o	90.3q	1733qrs	30.22d-g
	G3	25.1abc	108.5hi	2.31f-k	90.6q	1589st	30.14d-h
	G4	26.0ab	112.4h	2.23j-m	98.1opq	1655rst	31.69a
	G5	24.5abc	83.5m	2.68ab	128.3hij	1934pqr	30.62cde
	G6	26.1ab	58.0no	2.03mn	118.9lm	985vwx	29.77f-l
	G7	25.3abc	63.4n	2.28g-k	116.0m	824wx	30.13d-i
	G8	23.2bc	51.7op	2.48b-g	134.7c-g	1191uv	30.69bcd
	G9	27.4a	132.5ef	2.36e-j	151.5b	2872f-j	31.31ab
	G10	24.98abc	40.5q	2.28g-k	131.0g-j	761wxy	31.52a
	G11	23.1bc	97.2ijk	2.25i-l	127.6ij	2014opq	30.36c-f
	G12	23.2bc	68.2n	2.45d-i	122.5kl	1392tu	30.16d-h
	G13	23.3c	133.1ef	2.15k-n	96.0op	2248m-p	31.88a
	G14	22.6c	44.4pq	2.26h-l	126.3jk	664xy	30.01e-k
	G15	26.1ab	65.7n	2.31f-k	91.8pq	1019vw	30.57cde
	G16	23.9bc	109.8hi	2.5b-f	69.0r	1235uv	29.77f-l
	G17	25.1abc	65.5n	2.21j-n	91.5pq	900vwx	30.11
	G18	23.5bc	46.1pq	1.56p	121.6kl	431yz	30.87bc
	G19	23.8bc	25.4r	2.06lmn	109.1n	275z	30.36c-f
LSD (5%)		3.08	1.329	0.21	0.0375	337.1	0.646

S1 و S2: به‌ترتیب محیط نرمال و تنش خشکی؛ G1 تا G19: به‌ترتیب ژنوتیپ شماره یک الی ۱۹. میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشند.

S1 & S2: normal and drought stress invironments, respectively; G1 to G19: genotype 1 to 19. Means with the similar letter(s) in the same column are not significantly different based on LSD test at 5% of probability levels.

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات ساده سال، تنش خشکی و ژنوتیپ قرار گرفت و اثر متقابل تنش خشکی در ژنوتیپ بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسهٔ میانگین دو ساله نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه از ژنوتیپ شماره چهار در محیط تنش با میانگین ۱۶۳ گرم و کمترین آن از ژنوتیپ شماره ۱۶ در محیط تنش با میانگین ۶۹/۱ گرم به‌دست آمد (جدول ۵) که این اختلافات مربوط به‌تفاوت‌های ژنتیکی می‌باشد. افزایش وزن هزار دانه ژنوتیپ شماره چهار در محیط تنش می‌تواند ناشی از کاهش سایر اجزای عملکرد دانه یعنی تعداد غلاف در

بوته و تعداد دانه در غلاف باشد (جدول ۵) که موجب تسهیم بیشتر مواد فتوسنتزی به دانه‌ها و در نتیجه افزایش وزن هزار دانه شده است (Mehraban *et al.*, 2016; Sabokdast *et al.*, 2017). کاهش در وزن هزار دانه سویا در اثر تنش خشکی گزارش شده است (Issazadeh Panjali Kharabsi, 2012). نتایج یک تحقیق نشان داد که در برهم‌کنش تنش خشکی و رقم سویا، رقم سحر و M7 در شرایط نرمال به‌ترتیب بیشترین و کمترین وزن هزار دانه را داشتند (Mehraban *et al.*, 2016).

عملکرد دانه

عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات ساده سال و ژنوتیپ قرار گرفت و اثر متقابل تنش خشکی در ژنوتیپ بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسهٔ میانگین دو ساله نشان داد که بیشترین و کمترین عملکرد دانه در محیط نرمال از ژنوتیپ‌های شماره هفت و ۱۹ (به‌ترتیب با میانگین ۴۸۹۴ و ۲۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) و در محیط تنش از ژنوتیپ‌های شماره نه و ۱۹ (به‌ترتیب با میانگین ۲۸۷۳ و ۲۷۵ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (جدول ۵) که این اختلافات مربوط به‌تفاوت‌های ژنتیکی است. در شرایط تنش خشکی، با کاهش میزان هدایت روزنه‌ای، سرعت سوخت و ساز کربن کم می‌شود؛ در نتیجه ضمن کاهش دوره مؤثر پر شدن دانه، میزان سقط غلاف افزایش می‌یابد و در نهایت موجب کاهش عملکرد می‌شود (Pourmousavi *et al.*, 2009). عملکرد دانه سویا با تعداد غلاف‌های پر در واحد سطح همبستگی دارد و تعداد غلاف‌های پر نیز با تعداد گل-هایی که به غلاف تبدیل می‌شوند متناسب است. بنابراین عملکرد دانه وابسته به گل‌های بارور است و با ریزش گل یا غلاف، رابطه عکس دارد. با توجه به حساسیت ارقام سویا به تنش خشکی، تعداد گل‌های ریزش‌یافته و غلاف‌های تولید شده متفاوت است (Mc Callum *et al.*, 2000). در آزمایشی مشابه گزارش شده است که تنش خشکی با کاهش شمار غلاف در بوته، وزن صد دانه و شمار دانه در غلاف، عملکرد دانه لوبیا را کاهش داد (Sabokdast *et al.*, 2017).

قندهای محلول غیر ساختاری اندام هوایی

میزان قندهای محلول غیرساختاری اندام هوایی به‌طور معنی‌داری تنها تحت تأثیر اثر ساده تنش خشکی قرار گرفت (جدول ۶). مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد که کمترین میزان قندهای محلول غیر ساختاری اندام هوائی در محیط نرمال (با میانگین ۱/۸۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) و بیشترین آن در محیط تنش (با میانگین ۳/۷۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) به‌دست آمد (جدول ۷). در آزمایشی روی سویا مشاهده شد که بیشترین و کمترین میزان کربوهیدرات به‌ترتیب در تیمارهای تنش خشکی و شاهد به‌دست آمد (Issazadeh Panjali Kharabsi, 2012). در یک بررسی معلوم شد که تنش خشکی در زمان پر شدن دانه سویا، تغییری در غلظت فروکتوز و گلوکز برگ‌ها ایجاد نمی‌کند (Brevedan & Egli, 2003)، درصورتی‌که تحقیقات دیگر نشان داد که تنش خشکی، باعث افزایش فروکتوز و گلوکز در برگ‌ها و گل‌ها و غلاف سویا می‌شود (Liu *et al.*, 2004).

پرولین اندام هوایی

میزان پرولین اندام هوائی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات ساده تنش خشکی و ژنوتیپ قرار گرفت (جدول ۶). مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد که کمترین میزان پرولین اندام هوائی در محیط نرمال با میانگین ۰/۰۲۸ میکرومول بر گرم وزن تازه و بیشرین آن در محیط تنش با میانگین ۰/۰۵۴ میکرومول بر گرم وزن تازه مشاهده شد. در میان ژنوتیپه،ا بیشترین میزان پرولین اندام هوائی از ژنوتیپ شماره چهار با میانگین ۰/۰۴۳ میکرومول بر گرم وزن تازه و کمترین آن از ژنوتیپ شماره یک با میانگین ۰/۰۳۷۷ میکرومول بر گرم وزن تازه به‌دست آمد (جدول ۷).

پرولین اسید آمینه‌ای است که معمولاً در شرایط تنش افزایش می‌یابد و با مشارکت در تنظیم اسمزی، موجب تعدیل تنش می‌شود؛ در میان ارقام نیز از نظر تولید پرولین تفاوت وجود داشت. به‌عبارت دیگر، تغییرات میزان پرولین در اندام هوایی تحت تأثیر هر دو عامل ژنتیک و محیط قرار گرفته است. تنش خشکی شدید، مقدار پرولین محلول را افزایش داد. تجمع قند به

عنوان یک مکانیسم دفاعی جهت تنظیم اسمزی در گیاهان ذرت (Rafiee, 2012)، ماش (Naresh *et al.*, 2013; Fateminejhad *et al.*, 2017)؛ سورگوم (Karimi *et al.*, 2016) و سویا (Ghorbanli & Niakan, 2006) گزارش شده است.

جدول ۶- تجزیه واریانس ساده صفات بیوشیمیایی سویا در سال اول

Table 6. Analysis of variance of soybean biochemical traits in first year

		MS			
S.O.V.	df	shoot proline	shoot sugar	Grain oil	Grain protein
Stress invironment (S)	1	0.0192**	103.1**	0.588*	38.85**
Replication (S)	4	0.0000008	0.029	0.072885	0.065297
Genotype (G)	18	0.00001*	0.073ns	0.763**	1.22**
S × G	18	0.000001ns	0.081ns	0.2291ns	0.397**
Error	72	0.0000007	0.086	0.191201	0.15767
C.V. (%)		6.57	10.4	2.14	1.32

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

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

روغن دانه

میزان روغن دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات ساده تنش خشکی و ژنوتیپ قرار گرفت (جدول ۶). مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان روغن دانه در محیط نرمال با میانگین ۲۰/۵۰ درصد و کمترین آن در محیط تنش با میانگین ۲۰/۳۵ درصد به‌دست آمد. در میان ژنوتیپ‌ها، بیشترین میزان روغن دانه از ژنوتیپ شماره ۱۴ با میانگین ۲۰/۹ درصد و کمترین آن از ژنوتیپ شماره چهار با میانگین ۱۹/۶ درصد به‌دست آمد (جدول ۷) که این اختلافات ناشی ازتفاوت‌های ژنتیکی می‌باشد (Zareh *et al.*, 2004; Farhoudi *et al.*, 2014). درصد روغن، تحت کنترل ویژگی‌های ژنتیکی رقم است، ولی با توجه به این‌که منشأ تولید روغن از ترکیبات حاصل از فرایند فتوسنتز (قندها) است و این فرایند در شرایط بروز تنش خشکی و در مراحل بحرانی به‌شدت کاهش می‌یابد، بنابراین تنش خشکی باعث کاهش درصد روغن می‌شود (Ma *et al.*, 2006).

پروتئین دانه

اثرات ساده محیط و ژنوتیپ و اثرمتقابل محیط در ژنوتیپ بر میزان پروتئین دانه معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان پروتئین دانه در محیط نرمال از ژنوتیپ شماره نه با میانگین ۳۰/۳۸ درصد و کمترین آن در محیط تنش از ژنوتیپ شماره ۱۵ با میانگین ۲۸/۷۲ درصد به‌دست آمد (جدول ۵). تغییر در میزان روغن و پروتئین دانه ناشی از تنش خشکی و ناشی از تفاوت ژنتیکی میان ارقام توسط Zareh *et al.* (2004) و Farhoudi *et al.* (2014) گزارش شده است. تنش خشکی از دو طریق بر مقدار و کیفیت دانه سویا تأثیر می‌گذارد؛ یا با بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز، آسیمیلات کمتری به دانه‌ها منتقل و عملکرد دانه کاهش می‌یابد و یا این‌که با تأثیر منفی بر تثبیت نیتروژن، میزان نیتروژن مورد نیاز گیاه تأمین نمی‌شود که نتیجه آن، کاهش عملکرد دانه و درصد روغن و پروتئین دانه خواهد بود (Rostami *et al.*, 2016). کاهش قابل ملاحظه غلظت پروتئین در شرایط تنش شدید می‌تواند به کاهش زیر واحدهای روبیسکو و افزایش اکسیداسیون پروتیین مرتبط باشد (Tahkokorpi, 2010).

نتیجه‌گیری کلی

تنش خشکی موجب افزایش دمای برگ و کاهش درصد روغن شد و با کاهش اجزای عملکرد، موجب کاهش عملکرد دانه شد. بیشترین عملکرد دانه از ژنوتیپ شماره هفت در محیط نرمال و کمترین آن از ژنوتیپ شماره ۱۹ در محیط تنش به‌دست آمد. با افزایش میزان قندهای محلول غیر ساختاری و پرولین، خسارت ناشی از تنش خشکی از طریق تنظیم اسمزی بوته‌های سویا تعدیل شد؛ در این خصوص ژنوتیپ

شماره چهار بیشترین میزان پرولین را داشت. در مجموع و براساس میزان تولید دانه، ژنوتیپ شماره هفت برای شرایط نرمال (آبیاری هفتگی) و ژنوتیپ شماره نه برای شرایط تنش خشکی (آبیاری دو هفته یک‌بار) تحت شرایط اقلیمی معتدل مانند خرم‌آباد قابل توصیه است. استفاده از رقم مناسب با توجه به نوع شرایط نرمال یا تنش خشکی، امکان بهره‌گیری از حداکثر پتانسیل تولید رقم را فراهم می‌سازد.

جدول ۷- مقایسه میانگین یک ساله صفات بیوشیمیایی سویا

Table 7. One year mean comparison of biochemical traits in soybean

Treatment	Shoot proline (µmol. g^{-1} FW)	Shoot sugar (mg. g^{-1} FW)	Grain oil (%)
Stress invironment			
S1	0.028b	1.870b	20.50a
S2	0.054a	3.772a	20.35b
Genotype			
G1	0.0378d	2.833	20.47a-d
G2	0.0396cd	2.849	20.66abc
G3	0.0427abc	2.861	20.5a-d
G4	0.0431a	2.882	19.57g
G5	0.0397bcd	2.768	20.64a-d
G6	0.0425abc	2.794	20.85ab
G7	0.0427ab	2.752	20.37b-e
G8	0.0405a-d	2.943	20.48a-d
G9	0.0399bcd	3.008	20.15def
G10	0.0405a-d	2.651	19.81fg
G11	0.0428ab	2.764	20.50a-d
G12	0.0401a-d	2.698	20.27c-f
G13	0.0397bcd	2.819	19.88efg
G14	0.0397bcd	2.853	20.91a
G15	0.0425abc	2.975	20.49a-d
G16	0.0427ab	2.919	20.41a-d
G17	0.0399a-d	2.717	20.78ab
G18	0.0409abc	2.591	20.72abc
G19	0.0424abc	2.929	20.58a-e
LSD (5%)	0.0031		0.503

S1 و S2: به¬ترتیب محیط نرمال و تنش خشکی؛ G1 تا G19: به¬ترتیب ژنوتیپ شماره یک الی ۱۹. میانگین¬هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشند.

S1 & S2: normal and drought stress invironments, respectively; G1 to G19: genotype 1 to 19. Means with the similar letter(s) in the same column are not significantly different based on LSD test at 5% of probability levels.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از بخش تحقیقات دانه‌های روغنی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر که مواد آزمایشی را در اختیار گذاشتند و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان به‌خاطر همکاری در اجرای آزمایش صمیمانه تشکر می‌شود.

REFERENCES

1. Abdipour, M., Rezaei, A. H., Hooshmand, S. & Raisi, F. (2010). The effect of drought stress on yield and yield components of three soybean cultivars. *Journal of Agricultural Sciences*, 14, 29-20. (In Persian)
2. Bahramichegeni, Z., Amiri, H. & LariYazdi, H. (2013). Effect of drought stress on some physiological parameters of basil. *Agricultural Science and Technology*, 419-430. (In Persian)

3. Bates, L. S., Waldren, R. P. & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.
4. Belayet, H. M., Rahman, W., Rahman, M. N., Noorul Anwar, A. H. M. & Hossen, A. K. M. M. (2010). Effects of water stress on yield attributes and yield of different mungbean genotypes. *African Journal of Biochemistry Research*, 5, 19-24.
5. Brevedan, R. & Egli, B. (2003). Short periods of water stress during seed filling, leaf senescence and yield of soybean. *Crop Science*, 43, 2083-2088.
6. Cha-um, S. & Kirdmanee, Ch. (2009). Proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plantlets in response to iso-osmotic salt and water-deficit stress. *Agricultural Science in China*, 8(1), 51-58.
7. Ehdaie, B., Alloush, G. A., Madore, M. A. & Waines, J. G. (2006). Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: I. postanthesis changes in internode dry matter. *Journal of Crop Science*, 46, 735- 746.
8. Farhoudi, R., Madhaj, A. & Payende, K. (2014). Effect of end-of-season drought stress on photosynthesis, grain yield and seed vigor of five soybean cultivars. *Journal of Crop Physiology*, 6(24), 55-41. (In Persian)
9. Ghorbanli, M. & Niakan, M. (2006). The effect of drought stress on soluble sugar, total protein, proline, phenolic compound, chlorophyll content and rate reductase activity in soybean (*Glycine max* L. cv. Gorgan3). *Materials and Energy*, 18(56), 537-550. (In Persian)
10. Jabereldar, A. A., El Naim, A. M., Abdalla, A. A. & Dagash, Y. M. (2017). Effect of Water Stress on Yield and Water Use Efficiency of Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) in Semi-Arid Environment. *International Journal of Agriculture and Forestry*, 7(1), 1-6.
11. Karimi, R., Hadi, H. & Tajbakhsh Shishavan, M. (2016). Exploring the possibility of reducing deficit water stress damage on yield of forage sorghum by foliar application of salicylic acid and zinc sulphate. *Agricultural crop management (Journal of Agriculture)*, 18(2), 507-520. (In Persian)
12. Khalilzadeh, R., Seyed Sharifi, R. & Jalilian, J. (2016). Antioxidant status and physiological responses of wheat (*Triticum aestivum* L.) to cycocel application and bio fertilizers under water limitation condition. *Journal of Plant Interactions*, 11(2), 130–137.
13. Kochert, G. (1978). *Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method*. In: Helebust, Journal of Agricultural Craig, J.S.(ed): Hand book of Physiological Method, 56-97, Cambridge University Press, Cambridge.
14. Liu, F., Jensen, R. & Andersen, N. (2004). Drought stress effect on carbohydrate concentration in soybean leaves and pods during early reproductive development: Its implicationin altering pod set. *Field Crops Research*, 86, 1-13.
15. Ma, Q., Niknam, S. R., & Turner, D. W. (2006). Responses of osmotic adjustment and seed yield of Brassica napus and B.juncea to soil water deficit at different growth stages. *Australian Journal of Agricultural Research* 57(2): 221-226.
16. Mahajan, S. & Tuteja, N. (2005). Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Archieve in Biochemistry and Biophysics*, 444, 139-158.
17. Mc Callum, M. H., Peoples, M. B. & Connor, D. J. (2000). Contribution of nitrogen by field pea (*pisum sativum* L.) in a continuous cropping sequence compared with lucene (*Medicago sativa* L.) Based pature ley in the Victorian Wimmera. *Australian Journal of Agricultural Research*, 51, 13-22.
18. Mehraban, A., Azizian Sharmeh, A. & Kamali Deljoo, A. (2016). Drought stress study on yield and quality of eight soybean cultivars in Sistan region. *Journal of Plant Environment and Physiology*, 11(43), 90-99.
19. Mirakhori, M., Paknejad, F., Moradi, F., Ardakani, M., Zahedi, H. & Nazeri, P. (2009). Effect of drouht stress and methanol on yield and yield components of soybean max (L17). *American Journal of Biochemestry and Biotechnology*, 5(4), 162-169.
20. Moosavi, S. G., Seghatoleslami, M. J., Javadi, H. & Ansari-nia, E. (2011). Effect of irrigation intervals and planting patterns on yield and qualitative traits of forage Sorghum. *Advance in Environment Biology*, 5(10), 3363-3368.
21. Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, 25, 239-250.
22. Ohashi, Y., Saneoka, H. & Fujita, K. (2012). Effect of water stress on growth, photosynthesis, and photoassimilate translocation in soybean and tropical pasture legume siratro. *Soil Science and Plant Nutrition*, 46 (2), 417-425.
23. Parida, A. K. & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60, 324-349.

24. Pourmousavi, S. M., Gaooie, M., Daneshian, J., Ghanbari, A., Basirani, N. & Jonoobi, P. (2009). The effect of manure on quantitative and qualitative yield of L17 soybean line under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Science*, 40(1), 133-145. (In Persian)
25. Rafiee, M. (2014). *Corn: proceeding*. 1st Ed. Sarva Press. 244 p. (In Persian)
26. Rostami, A., Asgharipour, M. R., Ghanbari, A., Judy, M. and Khorami Wafa, M. (2016). Yield response, yield components, morphological and qualitative characteristics of soybean cultivars to cessation of irrigation at different growth stages. *Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology*. 3(1), 1-16. (In Persian)
27. Sadeghipour, O. (2009). The Influence of water stress on biomass and harvest index in three mungbean (*Vigna Radiata* L., *Wilczek*) varieties. *Asian Journal of Science*, 8(3), 245-249. (In Persian)
28. Tahkokorpi, M. 2010. Anthocyanins under drought and drought-related stresses in bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.). Faculty of Science. Department of Biology. University of Oulu. Oulu. 46 P.
29. Wang, W., Vinocur, B., Shoseyov, O. & Altman, A. (2001). Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations. *Acta Horticulture*, 560, 285-292.
30. Zadeh-Bagheri, M., Javanmardi, Sh., Alozadeh, O. & Kamelmanesh, M. M. (2014). Effects of drought on grain yield and some physiological characteristics of red bean genotypes. *Plant Ecophysiology*, 6(18), 2-11. (In Persian)
31. Zandalinas, S. I., Mittler, R., Balfagón, D., Arbona, V. & Gómez-Cadenas, A. (2018). Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. *Physiology of Plant*, 162, 2-12.
32. Zareh, M., Zinali Khaneghah, H. & Daneshian, J. (2004). Evaluation of tolerance of some soybean genotypes to drought stress. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 35(4), 867-859. (In Persian)