Archive of SID

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد سیزدهم، شماره اول، بهار ۱۳۹۹
۴۰-۲۷
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.1656.1371

مقاله پژوهشی

شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی گیاه سویا با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه کلاستر

علیرضا رهی[۱]، حمید نجفی زرینی[۲*]، غلامعلی رنجبر[۳]، مهدی قاجار سپانلو[۴]
۱. دانشجوی دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲. دانشیار گروه بیوتکنولوژی و به نژادی گیاهی دانشگاه علوم کشاورزی ساری
۳. دانشیار گروه اصلاح نباتات. دانشکده علوم زراعی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴. دانشیار گروه علوم خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۳/۰۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۵/۱۶

چکیده

به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی گیاه سویا آزمایشی گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۶ در شهرستان دماوند انجام شد. فاکتورهای موردبررسی شامل ۵۰ ژنوتیپ سویا و دو سطح آبیاری نرمال و قطع آبیاری در زمان غلاف دهی بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که واکنش ژنوتیپ‌های سویا به شرایط تنش خشکی و بدون تنش متفاوت بود. ژنوتیپ‌های ۲، ۱۴، ۲۱، ۳۸ و ۴۹ در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش و ژنوتیپ‌های ۲۵ و ۱۴ فقط در شرایط تنش عملکرد بالایی را نشان دادند. برای تعیین مناسب‌ترین شاخص‌ها از همبستگی شاخص‌های تحمل به خشکی با عملکرد دانه‌ها در شرایط تنش و بدون تنش استفاده شد و بر این اساس از ۱۷ شاخص ۱۰ شاخص قابل‌اعتماد معین شد و ژنوتیپ‌های برتر این شاخص‌ها نیز مشخص گردید. ژنوتیپ برتر برای میانگین تولید شاخص بهره‌وری، میانگین هندسی، میانگین هارمونیک و شاخص تحمل خشکی ژنوتیپ شماره ۱۴ بود و ژنوتیپ‌های ۱۴ و ۲۵ برای شاخص عملکرد، ژنوتیپ‌های ۲۵ و ۳۴ برای شاخص پایداری عملکرد، ژنوتیپ ۲۵ برای شاخص مقاومت به خشکی و شاخص تولید غیر تنشی تنش و ژنوتیپ‌های ۱۴ و ۴۹ برای شاخص تحمل غیر زیستی و شاخص تحمل تنش تعدیل‌شده برتر بودند. کلیه شاخص‌های تحمل به خشکی در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی وارد شدند و نتایج نشان داد که مولفه-های اول و دوم درمجموع ۹۷/۹۹٪ واریانس کل را تبیین کردند. شاخص‌هایی که بالاتر بودن مقادیر آن‌ها نشانه متحمل بودن گیاه به خشکی است، در مؤلفه اول و شاخص‌هایی که بیشتر بودن آن‌ها مبین حساسیت گیاه به خشکی است در مؤلفه دوم قرار گرفتند. تجزیه کلاستر ژنوتیپ‌ها را به ۸ گروه تقسیم نمود و ژنوتیپ‌های ۲، ۱۴، ۲۱، ۲۳، ۴۲ و ۴۹ در یک گروه قرار داد این ژنوتیپ‌ها بر اساس میانگین در هر دو محیط عملکرد خوبی دارند.

واژه‌های کلیدی: **آبیاری، تجزیه همبستگی، تنش غیر زیستی، عملکرد**

مقدمه

ایران در حدود یک‌سوم میانگین جهانی (۲۳۵-۲۶۰ میلی-متر) بارش سالانه دارد. ۸۵٪ از مساحت ایران را شرایط آب و هوایی خشک، نیمه‌خشک، فراخشک و بیابانی در بر می‌گیرد که ناشی از بارش کم در مناطق مرکزی و جنوبی است (Arab Khadri and Kamali, 2017). تحقیقات نشان داد است کل کشور با خشکی روبرو است که بر کشاورزی اثرات زیادی دارد (Isaac Zadeh et al., 2014). تولید محصولات کشاورزی ازجمله سویا با ادامه این وضع قطعاً با مشکل روبرو خواهد شد.

در حال حاضر تولید جهانی سویا بالغبر ۳۱۰ میلیون تن به ارزش ۸۰ میلیارد دلار است (FAO, 2017) و در ایران سطح زیر کشت ۸۰ هزار هکتار با تولید حدود ۱۱۰ تا ۱۳۰

* نگارنده پاسخگو: حمید نجفی زرینی. پست الکترونیک: najafi316@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

هزار تن در سال است و استان‌های گلستان، مازندران و اردبیل به ترتیب رتبه‌های اول تا سوم را به خود اختصاص داده‌اند (Ahmadi et al., 2017).

ازنظر ارزش غذای، پروتئین‌های موجود در سویا نسبت به سایر دانه‌های مشابه بیشتر و شباهت زیادی به پروتئین‌های حیوانی دارد و ازلحاظ اسیدآمینه متیونین، سویا نسبت به کنجد اسیدآمینه متیونین کمتری دارد، ولی اسیدآمینه لیزین بیشتری دارد. روغن سویا دارای ۴۹ درصد لینولئیک اسید و ۲۵ درصد اسیداولئیک است میزان پروتئین سویا ۵۰-۳۰ درصد، کلزا ۲۵-۱۸ درصد، آفتابگردان ۲۵-۱۵ درصد، گلرنگ ۲۵-۱۵ درصد، کنجد ۲۵-۱۹ درصد و بادام‌زمینی ۲۵-۳۵ درصد است. از دیگر مزایای سویا وجود پروتئین زیاد و استفاده از کنجاله برای تغذیه انسان و دام است (Melazadeh, 2012).

تنش خشکی مهم‌ترین تنش زیست‌محیطی است که به‌شدت باعث کاهش اندازه و طول عمر برگ، سرکوب فتوسنتز، کاهش توزیع مواد فتوسنتزی، تغیر در کربوهیدرات‌های گیاه، تغیر در هورمون‌های گیاهی، تجمع پرولین و کاهش عملکرد گیاهان بیش از هر عامل دیگر محیطی شده است (Shao et al., 2009; Kafi et al., 2009). بنابراین برای تأمین امنیت غذایی، بهداشت محیط‌زیست و خاک لازم هست تا گیاهان متحمل شناسایی شوند و کشت آن‌ها توسعه یابند. روش‌های متعددی برای انتخاب ارقام پر محصول تحت شرایط تنش در شرایط مزرعه و گلخانه مورداستفاده گرفته است (Khan et al., 2013). با توجه به اینکه پایه ژنتیکی تحمل به تنش خشکی از پیچیدگی‌های زیادی برخوردار است ارزیابی فنوتیپی گسترده و مناسب در مزرعه همراه باشناسایی صفات فیزیولوژیکی مطلوب در محیط‌های طبیعی مفید خواهد بود (Fernandez, 1992). بر این مبنا اصل و اساس گزینش و اصلاح در بهنژادی تنوع گیاهی است. وقتی تنوع ژنتیکی گسترش می‌یابد به قدرت انتخاب افزوده می‌شود. هر چه تنوع بیشتر باشد احتمال موفقیت هم بیشتر می‌شود. عموما تنوع دست بشر را برای اصلاح باز می‌گذارد (Mohammadi and Abooei Mehrizi, 2014).

روش‌های آماری چند متغیره ابزار مفیدی برای استخراج الگوهای اثر متقابل ژنوتیپ‌ها در محیط هستند استفاده از روش‌های تجزیه چند متغیره نظیر تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای در گیاهان مختلف زراعی به‌منظور شناسایی ارقام و ژنوتیپ‌های متحمل کاربرد دارد (Abd El-Mohsen et al., 2015).

در این رابطه کارگر و همکاران (Kargar et al., 2004) دو شاخص تحمل خشکی[1] (STI) و میانگین هندسی[2] (GMP) را به عنوان بهترین شاخص‌ها در جداسازی ژنوتیپ‌های متحمل سویا معرفی کردند و با استفاده از روش ترسیمی بای پلات بر روی ۳۹ ژنوتیپ، ۸ ژنوتیپ متحمل شناسایی شد. همچنین زینالی خانقاه و همکاران (Zeinaly KHanghah et al., 2004) و دادرس و همکاران (Dadres et al., 2016) شاخص‌های میانگین تولید شاخص بهره‌وری[3] (MP)، میانگین هندسی (GMP)، میانگین هارمونیک[4] (HARM) و شاخص تحمل خشکی (STI) را مناسب جداسازی ژنوتیپ‌های سویا دانستند و بر اساس نتایج ترسیم بای پلات و تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی معرفی شدند. سلیمی و همکاران (Salimi et al., 2012) با استفاده از تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به مولفه های اصلی در شرایط تنش خشکی، ۱۹ ژنوتیپ سویا را در ۷ گروه قرار دادند. ال هشاش (El-Hashash, 2016) بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای، ۱۰ ژنوتیپ سویا را تحت تنش خشکی به چهار گروه تقسیم نمود و ژنوتیپ‌های گروه متحمل به خشکی را معرفی نمود.

این تحقیق با هدف ارزیابی عکس العمل ژنوتیپ‌های سویا در برابر تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی، روش‌های آماری چند متغیره، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه کلاستر و معرفی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی عکس العمل ژنوتیپ‌های سویا در برابر تنش خشکی آزمایشی بر روی ۵۰ ژنوتیپ سویا درسال ۱۳۹۶ در شهرستان دماوند با موقعیت جغرافیایی ″۷/۹، ′۴۳، °۳۵ عرض شمالی و ″۴۱/۲، ′۳، °۵۲ طول شرقی در ۳ تکرار در گلخانه اجرا شد. الگوی آماری مورداستفاده به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی بود. عامل اول شامل ۵۰ ژنوتیپ سویا (جدول ۱) و عامل دوم شامل دو سطح آبیاری نرمال (هر چهار روز یکبار) و قطع آبیاری از زمان

[1] Stress Tolerance Index
[2] Geometric Mean Productivity
[3] Mean Productivity
[4] Harmonic Mean

www.SID.ir

Archive of SID

غلاف‌دهی تا زمان دانه بندی بود. عملکرد بر اساس گرم در واحد گلدان اندازه‌گیری شد.

ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی شامل میانگین تولید شاخص بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی (GMP)، میانگین هارمونیک (HARM)، شاخص تحمل خشکی (STI)، شاخص حساسیت به تنش[۵] (SSI)، شاخص تحمل[۶] (TOL)، شاخص عملکرد[۷] (YI)، شاخص عملکرد خشکی[۸] (DYI)، شاخص پایداری عملکرد[۹] (YSI)، شاخص مقاومت به خشکی[۱۰] (DI)، شاخص تحمل غیرزیستی[۱۱] (ATI)، شاخص درصد حساسیت به تنش[۱۲] (SSPI)، شاخص تولید غیر تنشی تنش[۱۳] (SNPI)، شاخص تحمل تنش تعدیل شده[۱۴] (MSTI)، درصد کاهش (%Reduction)، نرخ کاهش عملکرد[۱۵] (YR) و شاخص خشکی نسبی[۱۶] (RDI) صورت گرفت.

جدول ۱. نام و شماره هر ژنوتیپ

Table 1. Name and number assigned to each genotype

شماره ژنوتیپ Genotype number	نام انگلیسی English name	تیپ رشدی Maturity group	منشاء Origin	شماره ژنوتیپ Genotype number	نام انگلیسی English name	تیپ رشدی Maturity group	منشاء Origin
1	A100	I		**26**	Mandarin Ottawa	I	France
2	lindarin	II	USA	**27**	N8	I	
3	williams	III	USA	**28**	Soysota	I	Italy
4	Mandarin	I	China	**29**	6063	II	
5	Wayne	III	USA	**30**	II	Soviet	W
6	kanrich	II	USA	**31**	Fifth Moon	III	China
7	Wisconsin Early	I	France	**32**	Williams 82	III	USA
8	Cayuga	I	China	**33**	Williams	III	USA
9	Mukden	II	China	**34**	Sprite	III	USA
10	Chestnut	III	Russia	**35**	Will	III	USA
11	Leslie	I	USA	**36**	Harper 87	III	
12	Tokio	I	France	**37**	Mercury	III	USA
13	Chippewa	I	USA	**38**	7492	III	
14	Harosoy 63	II	USA	**39**	arc1338	III	
15	Harman	III		**40**	6476	III	
16	Ohio FG2	III	USA	**41**	Japonica	III	France
17	Peking	II	China	**42**	No. 118	III	
18	Wayne	III	USA	**43**	Petten	III	Japan
19	Cayuga	I	China	**44**	Senrya	III	Japan
20	Peking	II	China	**45**	Mikuri 46	III	Japan
21	Giant Green	I	Japan	**46**	Peking	II	China
22	I	Russia	P	**47**	Er-hej-jan	III	
23	Jack	II	USA	**48**	Kinbee	III	Japan
24	Saline	III	USA	**49**	Peking	II	China
25	Kenwood	II	USA	**50**	Laredo	III	USA

ابعاد گلدان‌ها حدود ۳۵ در ۴۵ سانتی‌متر بود و خاک درون آن‌ها شامل خاک، ماسه و کود به نسبت ۱:۱:۳ بود. در هر گلدان پنج بذر در تاریخ ۱۳۹۶/۳/۵ کاشته شد. آبیاری هر چهار روز یک‌بار صورت گرفت. هنگامی که حدوداً ۵۰٪ غلاف-ها تشکیل‌شدند قطع آبیاری اجرا شد و تا زمان دانه‌بندی ادامه یافت.

برای ارزیابی اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از تجزیه واریانس، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD%5)، برای ارتباط بین متغیرها، از تجزیه همبستگی و برای تبیین بین متغیرها، از تجزیه رگرسیون استفاده شد. به کمک تجزیه به مؤلفه‌های اصلی چند مؤلفه اول که درمجموع بیشترین درصد واریانس کل را توجیه می‌کنند، مشخص

[5] Stress Susceptibility Index
[6] Tolerance Index
[7] Yield Index
[8] Drought Yield Index
[9] Yield Stability Index
[10] Drought Resistance Index
[11] Abiotic Tolerance Index
[12] Stress Susceptibility Percentage Index
[13] Stress Non-Stress Production Index
[14] Modified Stress Tolerance Index
[15] Yield Reduction
[16] Relative Drought Index

www.SID.ir

Archive of SID

گردید. با استفاده از تجزیه خوشه‌ای گروه بندی ژنوتیپ‌ها از طریق صفات مشابه انجام شد. تجزیه آماری با نرم افزارهای SAS9.1 و JMP 3.1.2 انجام شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها برای کلیه صفات مورد بررسی تفاوت معنی‌دار وجود دارد (جدول ۳).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴)، بیشترین عملکرد در شرایط عدم تنش به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های ۲، ۱۴، ۲۱، ۳۸ و ۴۹ می‌باشد. همچنین بیشترین عملکرد در شرایط اعمال تنش خشکی به ترتیب به ژنوتیپ‌های ۲، ۱۴، ۲۱، ۲۳، ۲۵ و ۴۹ اختصاص دارد. ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۱۴، ۲۱، ۲۳، ۲۵ و ۴۹ دارای بیشترین میانگین تولید شاخص بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی (GMP)، میانگین هارمونیک (HARM) و شاخص تحمل خشکی (STI) می‌باشند. عدد بالای میانگین هارمونیک (HARM) نشان دهنده تحمل به خشکی ژنوتیپ است (Farshadfar et al., 2013). میانگین تولید شاخص بهره‌وری (MP) نشان می‌دهد در شرایط عادی، ژنوتیپ‌ها عملکرد بالایی دارند ولی تحمل آن‌ها به تنش پایین است و قادر به جداسازی ژنوتیپ‌ها از گروه A و B نمی‌باشد. میانگین هندسی (GMP) در مقایسه با میانگین تولید شاخص بهره‌وری (MP) قدرت بالاتری در

جدول ۲. فرمول‌های مورداستفاده در شاخص‌های تحمل به خشکی

Table 2. Formulas used in drought tolerated indices

شاخص Index	فرمول Formula	شاخص Index	فرمول Formula
میانگین تولید شاخص بهره‌وری Mean Productivity	$MP = (Y_S + Y_P)/2$	شاخص مقاومت به خشکی Drought Resistance Index	$DI = Y_S \times [(Y_S/Y_P)/\bar{Y}_S]$
میانگین هندسی Geometric Mean Productivity	$GMP = \sqrt{(Y_S \times Y_P)}$	شاخص تحمل غیر زیستی Abiotic Tolerance Index	$ATI = \left[(Y_P - Y_S)/(\frac{\bar{Y}_S}{\bar{Y}_P})\right] \times \sqrt{Y_S \times Y_P}$
میانگین هارمونیک Harmonic Mean	$HARM = [(2(Y_P \times Y_S)/(Y_P + Y_S)]$	شاخص درصد حساسیت به تنش Stress Susceptibility Percentage Index	$SSPI = [Y_P - Y_S/2(\bar{Y}_P)] \times 100$
شاخص حساسیت به تنش Stress Susceptibility Index	$SSI = [(1 - (Y_S/Y_P))/(1 - (\bar{Y}_S/\bar{Y}_P)]$	شاخص تولید غیر تنشی تنش Stress Non-Stress Production Index	$SNPI = \left[\frac{(Y_P + Y_S)}{Y_P - Y_S}\right]^{\frac{1}{3}} \times [Y_P \times Y_S \times Y_S]^{\frac{1}{3}}$
شاخص تحمل خشکی Stress Tolerance Index	$STI = (Y_S \times Y_P)/\bar{Y}_P^2$	شاخص تحمل تنش تعدیل شده Modified Stress Tolerance Index	$MSTI = K_i \times STI$, $K_1 = \frac{Y_P^2}{\bar{Y}_P^2}$ $K_2 = \frac{Y_S^2}{\bar{Y}_S^2}$
شاخص تحمل Tolerance Index	$TOL = Y_P - Y_S$		
شاخص عملکرد Yield Index	$YI = Y_S/\bar{Y}_S$	درصد کاهش	$\%\ \text{Reduction} = [(Y_P - Y_S)/Y_P] \times 100$
شاخص عملکرد خشکی Drought Yield Index	$DYI = (\bar{Y}_P/\bar{Y}_S)/(G_P/G_S)$	نرخ کاهش عملکرد Yield Reduction	$YR = 1 - (Y_S/Y_P)$
شاخص پایداری عملکرد Yield Stability Index	$YSI = Y_S/Y_P$	شاخص خشکی نسبی Relative Drought Index	$RDI = (Y_S/Y_P)/(\bar{Y}_S/\bar{Y}_P)$

Y_S: عملکرد گیاه در شرایط تنش، Y_P: عملکرد گیاه در شرایط بدون تنش، $\bar{Y}_S$: میانگین عملکرد ارقام در شرایط تنش، $\bar{Y}_P$: میانگین عملکرد ارقام در شرایط بدون تنش، در شاخص MSTI مقدار K_i ضریب تصحیح کننده مدل STI است که توجه به شرایط محیطی و احتمال بروز شرایط مطلوب یا نامطلوب در آن محیط محاسبه می‌شود، K_1: نسبت مجذور عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط مطلوب به مجذور میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در آن شرایط است. K_2: نسبت مجذور عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط تنش به مجذور میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در آن شرایط است.

Y_S: Yield in stress condition, Y_P: Yield potential, $\bar{Y}_S$: Mean yield in stress condition, $\bar{Y}_P$: Mean yield potential, In the MSTI index (Modified stress tolerance index), Ki is the correction factor of the STI ()Stress tolerance index) model, which is calculated according to the environmental conditions and the probability of favorable or unfavorable conditions in that environment, K_1: Squared ratio yield potential to mean yield potential normal condition, K_2: Squared ratio yield in stress condition to mean yield in stress condition.

www.SID.ir

Archive of SID

تفکیک گروه A از سایر گروه‌ها دارد. شاخص تحمل خشکی (STI) برای معرفی ژنوتیپ‌هایی که برای هر دو محیط عملکرد بالا دارند و از طرفی متحمل به خشکی هستند کاربرد دارد و گروه‌های B و C را مشخص می‌کند و چون شدت تنش و مقادیر عملکرد را در دو محیط در نظر می‌گیرد ژنوتیپ‌های گروه A را نیز می‌تواند شناسایی کند (Fernandez, 1992). بالاترین مقادیر شاخص تحمل (TOL)، به ژنوتیپ ۱، ۴ و ۳۸ و SSI به ژنوتیپ‌های ۴، ۷، ۱۶ و ۲۴ مربوط است و کمترین این شاخص‌ها به ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های ۵ و ۲۵ می‌باشند. با توجه به شاخص TOL، تحمل بیشتر مربوط به ژنوتیپی است که، از شاخص کوچکتری برخوردار باشد همچنین این شاخص اختلاف بین گروه A و C را نمی‌تواند تشخیص دهد (Fischer and Maurer, 1978).

جدول ۳. تجزیه واریانس شاخص‌های تحمل به خشکی

Table 3. Analysis of variance of drought tolerance indexes.

Drought tolerance indexes	شاخص‌های تحمل به خشکی	تکرار Replication df=2	ژنوتیپ genotype df=49	خطا error df=98	ضریب تغییرات CV%
YP	عملکرد گیاه در شرایط بدون تنش	5.08*	21.53**	0.21	13.4
YS	عملکرد گیاه در شرایط تنش	0.67ns	11.12**	1.5	16.98
MP	میانگین تولید شاخص بهره‌وری	1.49ns	14.59**	0.49	11.38
GMP	میانگین هندسی	1.16ns	14.73**	0.47	12.11
HARM	میانگین هارمونیک	1.07ns	14.96**	0.55	13.68
SSI	شاخص حساسیت به تنش	0.11ns	0.21**	0.04	20.08
STI	شاخص تحمل خشکی	0.05ns	0.49**	0.017	22.95
TOL	شاخص تحمل	5.55*	6.89**	1.44	29.54
YI	شاخص عملکرد	0.03ns	0.64**	0.02	16.97
YSI	شاخص پایداری عملکرد	0.02ns	0.052**	0.01	20.13
DI	شاخص مقاومت به خشکی	0.031ns	0.21**	0.018	20.66
ATI	شاخص تحمل غیر زیستی	0.03ns	0.42**	4.36	21.28
SSPI	شاخص درصدحساسیت به تنش	5.34ns	7.36**	1.38	17.6
SNPI	شاخص تولید غیر تنشی تنش	2.69ns	42.66**	2.53	20.01
MSTIk1	شاخص تحمل تنش تعدیل شده	0.16*	0.8**	0.038	24.9
MSTIk2	شاخص تحمل تنش تعدیل شده	0.108ns	1.78**	0.057	27.92
Reduction%	درصد کاهش	275.84ns	521.15**	100.82	20.09
YR	نرخ کاهش عملکرد	0.069ns	0.052**	0.01	20.16
RDI	شاخص خشکی نسبی	0.107ns	0.203**	0.039	20.08

ns,**, *non significant and significant at 1% and 5%, respectively ns, **، * به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی داری در سطح ۱ و ۵٪

ژنوتیپ‌های ۲، ۱۴، ۲۱، ۲۳، ۲۵ و ۴۹ بیشترین شاخص YIرا به دست آورده‌اند. این شاخص نشان دهنده عملکرد بالای گیاه در دو محیط است (Jabari et al., 2007). ژنوتیپ ۲۵ و ۳۴ بیشترین شاخص پایداری عملکرد (YSI) را دارند. این شاخص نشان‌دهنده مقاومت بالای ژنتیکی رقم است. با توجه به همبستگی بالای شاخص پایداری عملکرد (YSI) با عملکرد دانه در شرایط تنش، انتظار می‌رود ژنوتیپ‌هایی که شاخص پایداری عملکرد (YSI) بالاتری دارند، عملکرد بیشتری در شرایط تنش داشته باشند (Jabari et al., 2007). بالاترین شاخص مقاومت به خشکی (DI) به ژنوتیپ ۱۴، ۲۱، ۲۳ و ۲۵ مربوط است. این شاخص نه تنها توان ژنوتیپ‌ها برای تولید عملکرد بالا در شرایط تنش را درنظر می‌گیرد بلکه عملکرد مناسب در شرایط مطلوب را نیز ملاک

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. میانگین شاخص‌های تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های سویا

Table 4. Mean of drought tolerance index of soybean genotypes

ژنوتیپ genotype	YP	YS	MP	GMP	HARM	SSI	STI	TOL	YI	YSI	DI	ATI	SSPI	SNPI	MSTI k1	MSTI k2	Reduction %	YR	RDI
1	10.82	3.59	7.21	6.17	5.31	1.35	0.57	7.23	0.86	0.33	0.31	87.27	43.87	6.61	1.00	0.51	66.40	0.67	0.66
2	12.59	6.86	9.73	9.28	8.87	0.91	1.27	5.73	1.65	0.55	0.90	105.98	34.77	12.66	3.05	3.48	45.21	0.45	1.08
3	5.90	2.05	3.98	3.47	3.02	1.32	0.19	3.85	0.49	0.35	0.18	28.46	23.38	3.73	0.14	0.06	65.07	0.65	0.69
4	10.29	2.39	6.34	4.95	3.87	1.55	0.36	7.90	0.57	0.23	0.14	77.38	47.92	4.56	0.58	0.13	76.68	0.77	0.46
5	2.94	1.02	1.98	1.72	1.50	1.30	0.04	1.92	0.24	0.36	0.09	6.67	11.67	1.85	0.01	0.00	64.19	0.64	0.71
6	7.38	2.51	4.95	4.26	3.69	1.34	0.28	4.87	0.60	0.34	0.22	40.54	29.55	4.59	0.24	0.14	66.37	0.66	0.67
7	5.83	1.37	3.60	2.79	2.19	1.52	0.12	4.45	0.33	0.25	0.09	25.48	27.02	2.62	0.07	0.01	75.07	0.75	0.49
8	8.47	3.32	5.90	5.12	4.52	1.19	0.40	5.15	0.80	0.41	0.40	48.83	31.25	6.43	0.41	0.37	58.94	0.59	0.81
9	9.75	5.44	7.60	7.26	6.94	0.87	0.78	4.31	1.31	0.57	0.75	63.46	26.15	10.25	1.17	1.33	42.78	0.43	1.13
10	8.79	3.79	6.29	5.75	5.27	1.15	0.49	5.00	0.91	0.43	0.40	56.52	30.32	6.86	0.56	0.42	56.69	0.57	0.85
11	7.28	2.75	5.02	4.45	3.96	1.26	0.29	4.54	0.66	0.38	0.26	39.37	27.53	4.99	0.23	0.14	62.27	0.62	0.75
12	5.11	2.06	3.59	3.18	2.85	1.20	0.16	3.06	0.49	0.41	0.22	18.52	18.55	3.79	0.06	0.05	59.47	0.59	0.80
13	7.87	3.78	5.83	5.46	5.11	1.05	0.44	4.09	0.91	0.48	0.44	44.20	24.80	6.85	0.41	0.38	51.99	0.52	0.95
14	14.52	8.25	11.3	10.91	10.46	0.84	1.76	6.27	1.98	0.58	1.15	138.97	38.02	15.64	5.87	6.91	41.70	0.42	1.15
15	5.89	2.25	4.07	3.64	3.25	1.25	0.19	3.63	0.54	0.38	0.21	26.15	22.05	4.07	0.10	0.06	61.63	0.62	0.76
16	6.88	2.10	4.49	3.78	3.20	1.40	0.21	4.78	0.50	0.31	0.16	35.51	29.02	3.86	0.15	0.06	69.24	0.69	0.61
17	4.96	3.40	4.19	4.10	4.03	0.64	0.25	1.56	0.82	0.68	0.57	12.51	9.44	6.89	0.09	0.17	31.33	0.32	1.36
18	8.38	5.78	7.08	6.95	6.83	0.63	0.71	2.60	1.38	0.69	0.96	35.45	15.78	11.60	0.74	1.40	31.09	0.31	1.36
19	10.19	4.68	7.44	6.87	6.36	1.05	0.75	5.51	1.12	0.48	0.54	84.84	33.41	8.56	1.79	1.21	51.84	0.52	0.95
20	3.96	1.87	2.92	2.71	2.53	1.07	0.11	2.09	0.45	0.47	0.21	11.25	12.68	3.39	0.03	0.02	52.87	0.53	0.93
21	11.59	7.17	9.38	9.11	8.85	0.77	1.22	4.42	1.72	0.62	1.07	79.42	26.84	13.68	2.42	3.65	38.11	0.38	1.22
22	6.92	2.32	4.62	4.01	3.47	1.34	0.24	4.60	0.56	0.34	0.19	36.53	27.93	4.21	0.17	0.08	66.46	0.66	0.66
23	11.68	7.89	9.78	9.59	9.40	0.65	1.36	3.78	1.90	0.68	1.29	72.04	22.96	15.68	2.77	4.92	32.20	0.32	1.34
24	6.68	1.90	4.30	3.56	2.96	1.45	0.19	4.78	0.46	0.28	0.13	33.62	29.01	3.52	0.12	0.04	71.58	0.72	0.56
25	10.12	8.30	9.21	9.16	9.12	0.36	1.24	1.82	1.99	0.82	1.63	32.96	11.04	19.19	1.86	4.89	17.98	0.18	1.62
26	8.75	5.15	6.95	6.71	6.48	0.83	0.67	3.60	1.24	0.59	0.73	47.86	21.83	9.65	0.76	1.03	41.08	0.41	1.16
27	5.13	3.05	4.10	3.95	3.81	0.82	0.23	2.08	0.73	0.59	0.44	16.18	12.62	5.80	0.09	0.13	40.38	0.41	1.18
28	5.05	2.40	3.73	3.48	3.25	1.07	0.18	2.65	0.58	0.48	0.28	18.31	16.06	4.36	0.07	0.07	52.64	0.52	0.94
29	9.53	5.50	7.52	7.24	6.97	0.85	0.77	4.03	1.32	0.58	0.76	57.57	24.43	10.25	1.03	1.35	42.26	0.42	1.14
30	9.45	5.14	7.30	6.96	6.65	0.92	0.72	4.31	1.23	0.54	0.67	59.11	26.15	9.50	0.95	1.13	45.65	0.46	1.07
31	6.76	3.50	5.13	4.86	4.60	0.97	0.35	3.26	0.84	0.52	0.44	31.21	19.75	6.42	0.24	0.25	48.09	0.48	1.03
32	8.53	3.14	5.84	5.17	4.59	1.28	0.39	5.40	0.75	0.37	0.28	55.15	32.74	5.66	0.43	0.22	63.22	0.63	0.73
33	10.60	5.85	8.22	7.87	7.53	0.91	0.92	4.75	1.40	0.55	0.77	74.06	28.82	10.78	1.53	1.81	44.79	0.45	1.09
34	6.06	4.08	5.07	4.89	4.73	0.60	0.35	1.98	0.98	0.70	0.73	18.15	12.02	9.50	0.19	0.37	29.88	0.30	1.38
35	9.16	5.49	7.32	7.07	6.83	0.81	0.74	3.67	1.32	0.60	0.81	50.45	22.25	10.49	0.92	1.36	40.09	0.40	1.18
36	9.52	5.17	7.35	7.01	6.68	0.92	0.73	4.35	1.24	0.54	0.68	59.82	26.40	9.61	0.97	1.17	45.61	0.46	1.07
37	7.93	2.53	5.23	4.41	3.74	1.39	0.30	5.40	0.61	0.31	0.22	45.78	32.79	4.68	0.29	0.17	68.53	0.69	0.62
38	12.36	5.32	8.84	8.04	7.33	1.12	0.96	7.03	1.27	0.44	0.59	112.01	42.68	9.74	2.23	1.63	55.45	0.56	0.88
39	8.36	5.18	6.77	6.55	6.33	0.74	0.63	3.19	1.24	0.64	0.80	41.79	19.34	10.28	0.67	0.97	36.40	0.36	1.25
40	9.61	5.25	7.43	7.10	6.79	0.92	0.74	4.36	1.26	0.55	0.69	61.19	26.46	9.69	1.01	1.19	45.32	0.45	1.08
41	8.46	5.63	7.05	6.88	6.71	0.65	0.70	2.82	1.35	0.68	0.92	38.51	17.13	11.67	0.74	1.28	32.31	0.32	1.34
42	10.96	6.70	8.83	8.56	8.29	0.78	1.08	4.25	1.61	0.61	1.00	71.49	25.81	12.85	1.91	2.84	38.61	0.39	1.21
43	2.46	1.34	1.90	1.81	1.73	0.92	0.05	1.12	0.32	0.54	0.18	4.00	6.80	2.48	0.00	0.00	45.56	0.46	1.07
44	10.68	5.22	7.95	7.43	6.95	1.04	0.83	5.46	1.25	0.49	0.63	78.57	33.13	9.61	1.41	1.48	51.32	0.51	0.96
45	5.58	2.89	4.24	4.01	3.80	0.98	0.24	2.68	0.70	0.52	0.36	21.24	16.28	5.31	0.11	0.12	48.22	0.48	1.02
46	9.17	5.37	7.27	7.00	6.75	0.84	0.72	3.80	1.29	0.59	0.77	51.98	23.06	10.20	0.90	1.26	41.35	0.41	1.16
47	6.29	3.02	4.66	4.33	4.03	1.06	0.28	3.27	0.72	0.48	0.37	27.32	19.86	5.60	0.17	0.19	52.42	0.52	0.94
48	8.42	4.69	6.56	6.28	6.02	0.90	0.60	3.73	1.12	0.56	0.63	47.30	22.63	8.69	0.70	0.85	44.40	0.44	1.10
49	13.68	7.25	10.47	9.95	9.47	0.95	1.46	6.43	1.74	0.53	0.92	126.30	39.02	13.30	4.04	4.47	47.01	0.47	1.05
50	4.69	2.80	3.75	3.60	3.46	0.82	0.19	1.90	0.67	0.60	0.43	12.93	11.51	5.62	0.06	0.10	40.20	0.40	1.18
LSD	*1.78*	*1.14*	*1.15*	*1.13*	*1.20*	*0.32*	*0.21*	*1.94*	*0.27*	*0.16*	*0.28*	*31.72*	*11.83*	*2.58*	*0.96*	*0.77*	*16.28*	*0.16*	*0.32*

www.SID.ir

Archive of SID

قرار می‌دهد. شاخص مقاومت به خشکی (DI) در شناسایی ارقامی که در هر دو محیط تنش و عدم تنش عملکرد مطلوب دارند، به‌کار می‌رود (Lan 1998). ژنوتیپ‌های ۲، ۱۴، ۳۸ و ۴۹ بیشترین شاخص تحمل غیر زیستی (ATI) را به دست آورده‌اند. این شاخص با توجه به اینکه هم از اختلاف بین دو محیط و هم از نسبت بین دو محیط برای یافتن ژنوتیپ‌های متحمل و حساس استفاده کرده، بنابراین تا حدود زیادی با تحمل و حساسیت واقعی منطبق شده است و همراه با نتایج سایر شاخص‌های می‌تواند طیف گسترده تری از رقم ها را گزینش کند (Moosavi et al., 2008). بالاترین شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI) به ژنوتیپ ۱، ۲، ۴، ۱۴، ۳۸ و ۴۹ اختصاص دارد. این شاخص نشان دهنده حساسیت بیشتر ژنوتیپ به خشکی می‌باشد (Moosavi et al., 2008). ژنوتیپی‌هایی که بیشترین شاخص تولید غیر تنشی تنش (SNPI) را دارند، به ترتیب ژنوتیپ‌های ۲، ۱۴، ۲۱، ۲۳، ۲۵، ۴۲ و ۴۹ می‌باشند. این شاخص می‌تواند ژنوتیپ‌های گروه Aرا از سایر گروه‌ها تفکیک نماید و بر عملکرد بالا و پایدار در هر دو شرایط تاکید دارد (Moosavi et al., 2008).

بیشترین شاخص MSTIK1 به ژنوتیپ ۲، ۱۴، ۲۱، ۲۳، ۲۵، ۳۸، ۴۲ و ۴۹ اختصاص دارد. ژنوتیپ‌های ۲، ۱۴، ۲۱، ۲۳، ۲۵ و ۴۹ بیشترین شاخص MSTIK2 را دارا می‌باشند. بالاترین شاخص درصد کاهش (Reduction٪) به ژنوتیپ ۴، ۷، ۱۶، ۲۴ و ۳۷ مربوط است. بیشترین نرخ کاهش عملکرد (YR)، به ژنوتیپ ۴، ۷، ۱۶، ۲۴ و ۳۷ اختصاص دارد. ژنوتیپ‌های ۱۷، ۱۸، ۲۳، ۲۵ و ۳۴ به ترتیب بیشترین شاخص خشکی نسبی (RDI) را دارند. این شاخص برای گزینش ارقام پایدار در هر دو شرایط تنش و بدون تنش کاربرد دارد و کاربرد زیادی برای نشان دادن تحمل به تنش دارد (Fischer and Maurer, 1978). نکته قابل توجه اینکه یک ژنوتیپ مطلوب علاوه بر عملکرد خوب در شرایط معمول باید در شرایط نامطلوب هم عملکرد مناسبی داشته باشد، پس اگر شاخص‌های حساسیت به تنش برای ژنوتیپی پایین پایینی نسبت به تنش خشکی می‌باشند، اما پتانسیل عملکرد پایینی نیز دارند (Farshadfar et al., 2013). باید توجه داشت پایین بودن اعداد شاخص‌های حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل (TOL) بود این شرط کافی بر بالا بودن عملکرد در شرایط عدم تنش یا تنش نیست، زیرا ژنوتیپ‌هایی یافت می‌شوند که دارای حساسیت بسیار و شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI) بیشتر جنبه فیزولوژیک دارد تا زراعی و انتخاب بر اساس این سه شاخص احتمال عملکرد کم در شرایط تنش را بالا می‌برد (Moghaddam and Hadizade, 2002). شاخص حساسیت به تنش (SSI) به نفع ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد پایین در شرایط بدون تنش و عملکرد بالا تحت شرایط تنش می‌باشد. شاخص تحمل (TOL)، تحمل بیشتر ژنوتیپ‌ها در تنش را نشان می‌دهد (Fernandez, 1992). و انتخاب بر پایهٔ شاخص تحمل (TOL) به سود ژنوتیپ‌های دارای عملکرد پایین در شرایط فاقد تنش و عملکرد بالا در شرایط تنش است. شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل (TOL)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، شاخص تحمل غیر زیستی (ATI)، شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI)، نرخ کاهش عملکرد (YR) و شاخص خشکی نسبی (RDI) وابسته به تفاوت دو محیط بوده و در صورت افزایش شدت تنش بیانگر تحمل و حساسیت نبوده، بلکه گویای پایداری ژنوتیپ‌هایی بوده که در هر دو محیط عملکردکم و اختلاف عملکرد پایینی دارند، برای گزینش رقم‌هایی که عملکرد بالایی در دو محیط دارند از شاخص‌های میانگین تولید شاخص بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی (GMP)، میانگین هارمونیک (HARM)، شاخص تحمل خشکی (STI)، شاخص عملکرد (YI) و شاخص تحمل تنش تعدیل شده (MSTIK1,K2) می‌توان استفاده کرد. این شاخص‌ها ژنوتیپ‌های متحمل‌تر و حساس‌تر در تنش خشکی شدید را مشخص می‌کنند. شاخص‌های نرخ کاهش عملکرد (YR)، شاخص خشکی نسبی (RDI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI) و شاخص حساسیت به تنش (SSI)، برای شرایط تنش خشکی مناسب‌تر بوده و بیشتر برای انتخاب ژنوتیپ‌هایی با سازگاری بیشتر و پایدارتر در تنش خشکی متوسط به‌کار می‌آیند، شاخص‌های شاخص خشکی نسبی (RDI)، شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI)، شاخص تحمل غیر زیستی (ATI) و شاخص تحمل (TOL) بیشتر در تنش‌های ملایم استفاده می‌شوند و دیگر شاخص‌ها مانند شاخص مقاومت به خشکی (DI) و شاخص تولید غیر تنشی تنش (SNPI)، نیز بیشتر متأثر از محیط تنش بوده و در محیط بدون تنش کارایی ندارند (Goodarzvand Chegini et al., 2017). در این رابطه بسیاری از پژوهشگران کشور با اعمال انواع تنش خشکی بر ژنوتیپ‌های سویا و با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی، ژنوتیپ‌های حساس و متحمل را شناسایی نمودند (Kargar et al., 2012; Vahdi et al., 2015; Dadres et al., 2016; Faraji,

www.SID.ir

Archive of SID

2016)؛ بنابراین نتایج این پژوهش در مقایسه با نتایج این محققین تا حدود مطابقت دارد.

بر اساس شاخص‌هایی که تاکنون بررسی شد شناسایی ژنوتیپ‌هایی که واقعا به تنش خشکی متحمل باشند کار آسانی نخواهد بود و حتی در مواردی جواب‌ها متناقض است؛ بنابراین شاخص‌هایی که بیشترین همبستگی را با وزن دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارد مناسب خواهند بود (Fernandez, 1992). برای درک بهتر روند تغییرات شاخص‌ها از محاسبه ضریب همبستگی بین شاخص‌ها و عملکرد درشرایط تنش و بدون تنش استفاده شد. نتایج تجزیه همبستگی (جدول ۵) نشان داد که همبستگی عملکرد در شرایط نرمال با شاخص‌های YS(۰/۸۳)، MP (۰/۹۷)، GMP (۰/۹۳)، HARM (۰/۸۹)، SSI (۰/۲۱)، STI (۰/۹۱)، TOL (۰/۷۱)، YI (۰/۸۳)، DI (۰/۶۶)، ATI (۰/۹۵)، SSPI (۰/۷۱)، SNPI (۰/۷۸)، MSTIk1 (۰/۹۴) و MSTIk2 (۰/۷۹) مثبت و معنی‌دار است و با شاخص YSI (۰/۲۲) مثبت و با شاخص‌های Reduction% (۰/۲۱-)، YR (۰/۲۱-) و RDI (۰/۲۲-) منفی و غیر معنی‌دار است. همبستگی عملکرد در شرایط تنش با شاخص‌های MP (۰/۹۴)، GMP (۰/۹۷)، HARM (۰/۹۹)، STI (۰/۹۶)، YI (۰/۹۹)، YSI (۰/۷۱)، DI (۰/۹۳)، ATI (۰/۶۹)، SNPI (۰/۹۸)، MSTIk1 (۰/۹۱)، MSTIk2 (۰/۹۱) و RDI (۰/۷۱) مثبت و معنی‌دار است و با شاخص‌های SSI (۰/۷۰-)، Reduction% (۰/۷۰-) و YR (۰/۷۱-) منفی و معنی‌دار است و با دو شاخص SSPI (۰/۲۱) و TOL (۰/۲۱) مثبت و غیرمعنی‌دار است. شاخص‌های SSI، درصد کاهش (Reduction٪) و YR همبستگی منفی با عملکرد در هر دو شرایط تنش و عدم دارند. شاخص‌های TOL و SSPI همبستگی کم و غیر معنی‌داری با عملکرد در شرایط تنش دارند و شاخص RDI همبستگی کم و غیر معنی‌داری با عملکرد در شرایط عدم تنش دارد. همبستگی بالا و معنی دار اغلب هر یک از شاخص‌های HARM، GMP، MP، STI، YI، ATI، DI، YSI، SNPI، MSTIk1 و MSTIk2 با یکدیگر و همچنین همبستگی مثبت و معنی‌دار این شاخص‌ها با عملکرد در شرایط تنش و عدم تنش مبین شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی به‌خصوص چهار شاخص اول در تفکیک گروه A از دیگر گروه‌ها است (Ganjeali et al., 2005). شاخص‌های TOL، SSI و SSPI نشان دهنده شرایط یکنواخت این سه شاخص در شناسایی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها است (Rezaei et al., 2010; Jabbari et al., 2009). همبستگی عملکرد در شرایط تنش با شاخص‌های TOL و SSPI غیر معنی دار بود و با تحقیق گنجی (Ganjali et al., 2005) مطابقت داشت همچنین همبستگی عملکرد با SSI معنی‌دار و منفی می‌باشد که با نتایج پژوهش گودرزوند چگینی (Goodarzvand Chegini et al., 2017) مطابقت دارد و مقادیر کمتر این شاخص‌ها نشان دهنده تحمل بیشتر به شرایط تنش خشکی می‌باشد و وجود همبستگی مثبت و بالا بین آن‌ها قابل توجیه است (Mohseni et al., 2015).

وجود ضریب همبستگی بزرگ بین یک جفت متغیر مستقل، نشان از رابطه خطی قوی میان آن‌ها و وجود هم-راستایی دارد. با استفاده از تحلیل مولفه‌های اصلی مساله چند هم‌راستایی پیش نمی‌آید و تاثیر گذارترین متغیرها را می‌توان شناسایی نمود (Rezaei and soltani, 2003). همچنین تجزیه به مولفه‌های اصلی نقش اساسی در نتایج تجزیه خوشه‌ای دارد و اهمیت نسبی متغییرهایی که در تجزیه خوشه‌ای وجود دارند را آشکار می‌سازد (Jackson, 1991).

ضرایب بردارهای ویژه مشخص کردند که با ترکیبات متفاوتی از خصوصیات و صفات می‌توان عملکرد دانه را افزایش داد؛ بنابراین طبق نتایج به دست آمده (جدول ۶) مولفه‌های اول و دوم درمجموع ۹۷/۹۹٪ واریانس کل را تبیین می‌نمایند به‌طوری که سهم مولفه اول ۶۹/۲۰ و مولفه دوم ۲۸/۷۹٪ می‌باشد.

عدد بالای شاخص‌های MP، GMP، HARM، STI، YI، YSI، DI، SNPI، MSTIk1، MSTIk2 وRDI در مولفه اول نشان دهنده متحمل بودن گیاه به خشکی می‌باشد؛ بنابراین این مولفه به نام مولفه مقاومت به خشکی معرفی می‌شود. در مولفه دوم شاخص‌های SSI، TOL، ATI، SSPI، YRو درصد کاهش وجود دارند که هرچه عدد بیشتری نشان دهند مبین حساسیت گیاه به خشکی است؛ بنابراین این مولفه به نام مولفه حساسیت گیاه به خشکی نامیده می‌شود.

از آنجایی که دو مولفه اول و دوم مستقل هستند، می‌توان دو مولفه را به‌صورت محور عمود برهم و به شکل یک نمودار بای پلات (شکل ۱) رسم کرد (Firoozi et al., 2012) تا جهت تعیین تنوع بین ژنوتیپ‌های مختلف و تعیین ژنوتیپ-های دور و نزدیک استفاده شود. در سایر تحقیقات مشابه با استفاده از نمودار دو بعدی اقدام به گروه بندی ژنوتیپ‌های

www.SID.ir

Archive of SID

شده است و ژنوتیپ‌هایی با بیشترین و کمترین تحمل معرفی شده‌اند (Kargar et al., 2012; Mohseni et al., 2015; Malek Mhammadi et al., 2017 Mohamadi et al., 2016).

جدول ۵. ضریب همبستگی ساده بین شاخص‌های تحمل به خشکی

Table 5. Simple correlation coefficients between drought tolerance indices

Variables	متغیرها	YP	YS	MP	GMP	HARM	SSI	STI	TOL	YI
YP	عملکرد گیاه در شرایط نرمال	1								
YS	عملکرد گیاه در شرایط تنش	0.83**	1							
MP	میانگین تولید شاخص بهره‌وری	0.97**	0.94**	1						
GMP	میانگین هندسی	0.93**	0.97**	0.99**	1					
HARM	میانگین هارمونیک	0.89**	0.99**	0.97**	0.99**	1				
SSI	شاخص حساسیت به تنش	-0.21ns	-0.70**	-0.43**	-0.53**	-0.60**	1			
STI	شاخص تحمل خشکی	0.91**	0.96**	0.97**	0.98**	0.98**	-0.52**	1		
TOL	شاخص تحمل	0.71**	0.21 ns	0.53**	0.42**	0.34*	0.50**	0.39**	1	
YI	شاخص عملکرد	0.83**	0.99**	0.94**	0.97**	0.99**	-0.70**	0.96**	0.21 ns	1
YSI	شاخص پایداری عملکرد	0.22 ns	0.71**	0.44**	0.54**	0.61**	-0.99**	0.53**	-0.50**	0.71**
DI	شاخص مقاومت به خشکی	0.66**	0.96**	0.82**	0.88**	0.91**	-0.85**	0.88**	-0.1 ns	0.96**
ATI	شاخص تحمل غیر زیستی	0.95**	0.69**	0.88**	0.83**	0.78**	-0.01ns	0.83**	0.81**	0.69**
SSPI	شاخص درصدحساسیت به تنش	0.71**	0.21 ns	0.53**	0.42**	0.34*	0.50**	0.39**	0.99**	0.21 ns
SNPI	شاخص تولید غیر تنشی تنش	0.78**	0.99**	0.90**	0.94**	0.96**	-0.75**	0.93**	0.13 ns	0.99**
MSTIk1	شاخص تحمل تنش تعدیل شده	0.94**	0.91**	0.96**	0.96**	0.94**	-0.39**	0.98**	0.52**	0.91**
MSTIk2	شاخص تحمل تنش تعدیل شده	0.79**	0.91**	0.87**	0.89**	0.90**	-0.55**	0.95**	0.24 ns	0.91**
Reduction%	درصد کاهش	-0.21 ns	-0.70**	-0.43**	-0.53**	-0.60**	0.98**	-0.53**	0.51**	-0.70**
YR	نرخ کاهش عملکرد	-0.22 ns	-0.71**	-0.42**	-0.55**	-0.61**	0.99**	-0.52**	0.50**	-0.71**
RDI	شاخص خشکی نسبی	0.22 ns	0.71**	0.44**	0.54**	0.61**	-0.99**	0.53**	-0.50**	0.71**

Table 5. Continued

جدول ۵. ادامه

variables	متغیرها	YSI	DI	ATI	SSPI	SNPI	MSTIk1	MSTIk2	Reduction %	YR
YSI	شاخص پایداری عملکرد	1								
DI	شاخص مقاومت به خشکی	0.84**	1							
ATI	شاخص تحمل غیر زیستی	0.04 ns	0.48**	1						
SSPI	شاخص درصدحساسیت به تنش	-0.50**	-0.1 ns	0.81**	1					
SNPI	شاخص تولید غیر تنشی تنش	0.75**	0.98**	0.62**	0.13 ns	1				
MSTIk1	شاخص تحمل تنش تعدیل شده	0.40**	0.79**	0.90**	0.52**	0.87**	1			
MSTIk2	شاخص تحمل تنش تعدیل شده	0.55**	0.87**	0.71**	0.24 ns	0.90**	0.93**	1		
Reduction%	درصد کاهش	-0.99**	-0.85**	-0.1 ns	0.50**	-0.75**	-0.39**	-0.55**	1	
YR	نرخ کاهش عملکرد	-0.98**	-0.85**	-0.1 ns	0.50**	-0.75**	-0.40**	-0.56**	0.99**	1
RDI	شاخص خشکی نسبی	0.99**	0.84**	0.04	-0.50**	0.74**	0.40**	0.55**	-0.98**	-0.99**

**، * به ترتیب در سطح ۱ و ۵٪ معنی‌دار است و ns اختلاف معنی‌دار وجود ندارد

ns,**, * non significant and significant at 1% and 5% respectively

بررسی نمودار دو بعدی نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۱۴، ۲۱، ۲۳، ۴۲ و ۴۹ در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم تحمل به خشکی مانند STI، MP، GMP و HARM قرار دارند. این ژنوتیپ‌ها دارای قدرت تولید

www.SID.ir

Archive of SID

پتانسیل بالا و حساسیت پایین به خشکی می‌باشند. این شاخص‌ها با عملکرد دانه در شرایط رطوبتی معمول و تنش خشکی همبستگی مثبت نشان دادند، پس بهترین شاخص‌ها برای تفکیک ژنوتیپ‌های حساس و متحمل می‌باشند. ژنوتیپ شماره ۲۵ در راستای بردار SNPI، YI و YS قرار دارد این ژنوتیپ فقط در شرایط تنش دارای عملکرد خوبی بود. ژنوتیپ‌های ۱ و ۴ در راستای بردار SSI، YR و درصد کاهش قرار دارند و به تنش خشکی حساس هستند.

تجزیه کلاستر بر روی متغیرهای مورداستفاده در این آزمایش براساس فاصله اقلیدسی و روش وارد در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی انجام گرفت و مشخص شد که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی ژنوتیپ‌ها به ۸ گروه جدا تفکیک شدند.

جدول ۶. نتایج تجزیه مولفه‌های اصلی برای شاخص‌های تحمل به خشکی

Table 6. Decomposition of principal components for drought tolerance indices.

مولفه Component	مقدار ویژه Eigenvaluue	واریانس variance	واریانس تجمعی Variance comulativ	عملکرد گیاه در شرایط بدون تنش Yield potential YP	عملکرد گیاه در شرایط تنش Yield in stress condition YS	میانگین تولید شاخص بهره‌وری Mean Productivity MP	میانگین هندسی Geometric Mean Productivity GMP	میانگین هارمونیک Harmonic Mean HARM
1	13.14	69.20	69.20	0.22	0.27	0.26	0.27	0.27
2	5.47	28.79	97.99	0.24	0.007	0.15	0.10	0.06

جدول ۶. ادامه

Table 6. Continued

مولفه Component	شاخص حساسیت به تنش Stress Susceptibility Index SSI	شاخص تحمل خشکی Stress Tolerance Index STI	شاخص تحمل Tolerance Index TOL	شاخص عملکرد Yield Index YI	شاخص پایداری عملکرد Yield Stability Index YSI	شاخص مقاومت به خشکی Drought Resistance Index DI	شاخص تحمل غیر زیستی Abiotic Tolerance Index ATI
1	-0.19	0.26	0.05	0.27	0.20	0.26	0.19
2	0.30	0.09	0.41	0.008	-0.28	-0.09	0.29

جدول ۶. ادامه

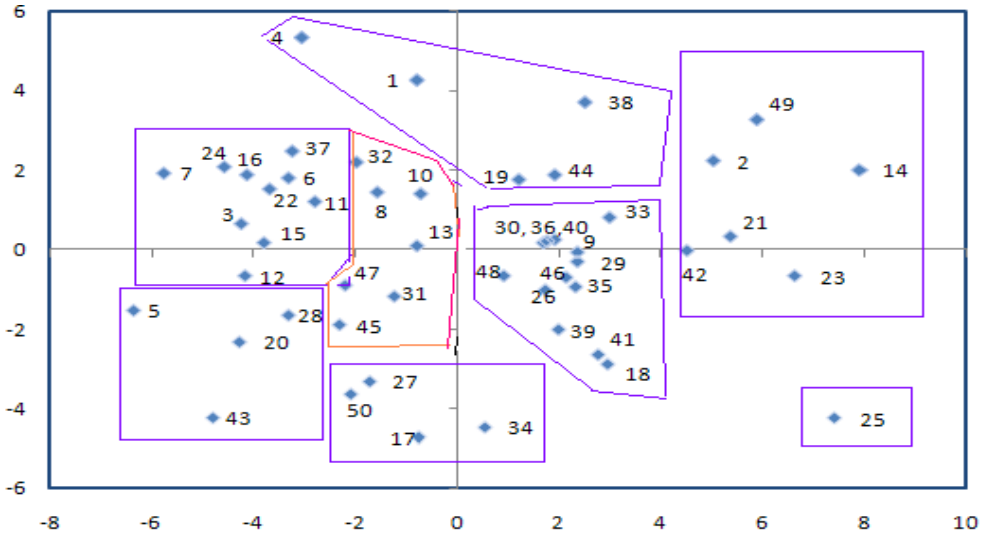
Table 6. Continued

مولفه Component	شاخص درصد حساسیت به تنش Stress Susceptibility Percentage Index SSPI	شاخص تولید غیر تنشی تنش Stress Non-Stress Production Index SNPI	شاخص تحمل تنش تعدیل شده Modified Stress Tolerance Index MSTI k1	شاخص تحمل تنش تعدیل شده Modified Stress Tolerance Index MSTI k2	درصد کاهش Reduction%	نرخ کاهش عملکرد Yield Reduction YR	شاخص خشکی نسبی Relative Drought Index RDI
1	0.05	0.27	0.25	0.25	-0.19	0.20	0.20
2	0.41	-0.02	0.15	0.05	0.29	0.29	-0.28

این ۸ گروه در فاصله دورتری از یکدیگر به هم وصل شده‌اند که نشان دهنده تفاوت بین ژنوتیپ‌های هر گروه می‌باشد. ژنوتیپ‌های ۲، ۱۴، ۲۱، ۲۳، ۴۲ و ۴۹ گروه اول را تشکیل می‌دهند این ژنوتیپ‌ها با عملکرد خوب در هر دو محیط بدون تنش و تنش خشکی قرار می‌گیرند. گروه دو ژنوتیپ ۲۵ است. گروه سوم ژنوتیپ‌های ۹، ۱۸، ۲۶، ۲۹، ۳۰، ۳۳، ۳۵، ۳۶، ۳۹، ۴۰، ۴۱، ۴۶ و ۴۸ قرار دارند. در گروه چهارم ژنوتیپ‌های ۱، ۴، ۱۹، ۳۸ و ۴۴ قرار دارند. در گروه پنجم ژنوتیپ‌های ۸، ۱۰، ۱۳، ۳۱، ۳۲، ۴۵ و ۴۷ مستقر شده‌اند. ژنوتیپ‌های ۳، ۶، ۷، ۱۱، ۱۲، ۱۵، ۱۶، ۲۲، ۲۴ و ۳۷ در ششمین گروه هستند. در گروه هفتم ژنوتیپ‌های ۱۷، ۲۷، ۳۴ و ۵۰ قرار دارند و در هشتمین گروه که ژنوتیپ‌های حساس به تنش خشکی هستند شامل ژنوتیپ‌های ۵، ۲۰، ۲۸ و ۴۳ می‌باشند.

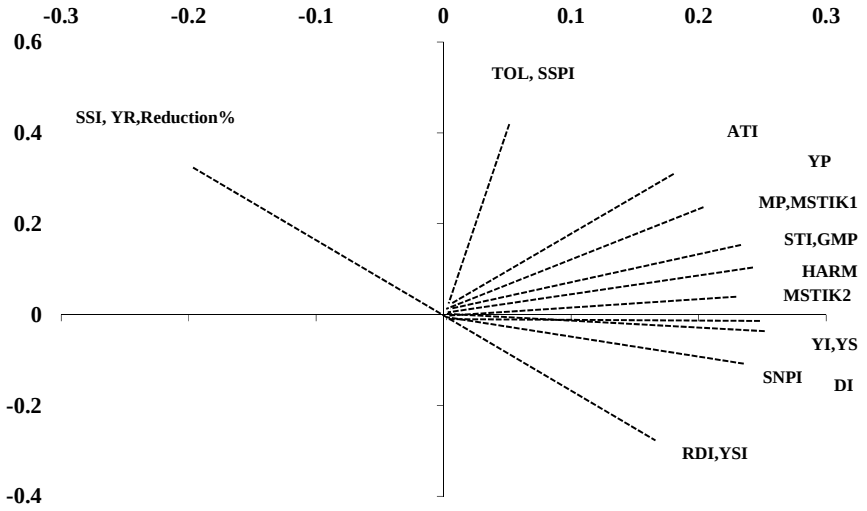
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. نمودار دووجهی عملکرد۵۰ ژنوتیپ سویا بر پایهٔ مولفه های اصلی اول و دوم

Fig. 1. Dual graph of yield of 50 soybean genotypes based on primary and secondary



شکل ۲. نمودار دووجهی ۱۹ شاخص تحمل به خشکی بر پایهٔ مولفه های اصلی اول و دوم.

Fig. 2. The biplot display of 19 drought tolerance indices based on the first and second main factors

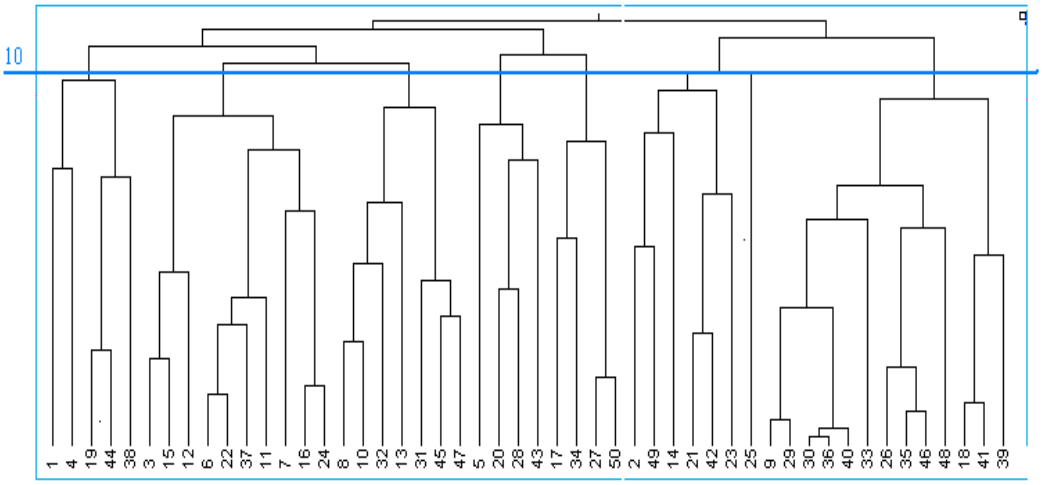
نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که بین ژنوتیپ‌های سویا تنوع قابل توجهی وجود دارد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها ژنوتیپ‌های ۲، ۱۴، ۲۱، ۳۸ و ۴۹ درهر دو محیط و ژنوتیپ-های ۲۳ و ۲۵ فقط در شرایط تنش عملکرد بالایی را نشان دادند. برای تعیین مناسب‌ترین شاخص‌ها از همبستگی شاخص‌های تحمل به خشکی با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش استفاده شد. شاخص‌های میانگین تولید شاخص بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی (GMP)، میانگین هارمونیک (HARM)، شاخص تحمل خشکی (STI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، شاخص تحمل غیر زیستی (ATI)، شاخص مقاومت به خشکی (DI)، شاخص عملکرد (YI)، شاخص تحمل تنش تعدیل شده (MSTIK1,K2) و شاخص تولید غیر تنشی تنش (SNPI) بیشترین همبستگی معنی‌دار را با عملکرد در شرایط نرمال و تنش داشتند. تجزیه

www.SID.ir

Archive of SID

به مولفه‌های اصلی توانست بین شاخص‌های معرفی کننده ژنوتیپ‌های متحمل با شاخص‌های معرفی کننده ژنوتیپ‌های حساس تفاوت قائل شود و بر این اساس تجزیه کلاستر ۸ گروه از بین ۵۰ ژنوتیپ را مشخص کرد. در نهایت ژنوتیپ‌های ۲، ۱۴، ۲۱، ۲۳، ۴۲ و ۴۹ در یک گروه قرار گرفتند. این ژنوتیپ‌ها در هر دو محیط عملکرد مناسبی دارند.



شکل۳. نمودار درخت‌واره گروه بندی ژنوتیپ‌های سویا بر پایهٔ شاخص‌های تحمل خشکی

Fig. 3. Denderogram display of Soybean genotypes based on drought tolerance indices

منابع

Abd El-Mohsen, A.A., Abd El-Shafi, M.A., Gheith, E.M.S., Suleiman, H.S., 2015. Using different statistical procedures for evaluating drought tolerance indices of bread wheat genotypes. Advance in Agriculture and Biology. 4, 19-30.

Ahmadi, K., Ghalizadeh, H., Abadzadeh, H., Hosseinpour, R., Abdshah, E., Kazimian, A., Rafiee, M., 2017. Agricultural Statistics. Vol.1. Ministry of Jihad-e-Agriculture Department of Planning and Economics, Information and Communication Technology Center. 420p. [In Persian]

Arab Khadri, M., Kamali, K., 2017. Bondsar, Traditional Soil Conservation Methods. Agricultural Research, Training and Promotion Organization. 70 p. [In Persian]

Dadres, A., Samyazadeh, H., Sabouri, H., 2016. Evaluation and grouping of soybean cultivars and lines in non stress and drought stress conditions using multivariate statistical methods in two regions of Rasht and Gonbad-Kavoos. Electronic journal of crop production. 9, 105-115. [In Persian with English Summary].

El-Hashash, E.F., 2016. Genetic diversity of soybean yield based on cluster and principal cmponent analyses. Journal of Advances in Biology and Biotechnology. 10, 1-9.

Faraji, A., 2016. Evaluation of some soybean genotypes (*Glycine max*) under salt stress. Journal of Crop Breeding. 8, 30-36. [In Persian with English Summary].

Farshadfar, E., Poursiahbidi, M.M., Safavi, S. M., 2013. Assessment of drought tolerance in land races of bread wheat based on resistance/ tolerance indices. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research 2, 143-158.

Fernandez, G.C.I., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C.G. (ed.), Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. Proceedings of the international symposium on adaptation of vegetables and other food crops in temperature and water stress, Publication, Tainan, Taiwan, 13-18 Aug. Chapter 25. pp: 257-270

Firoozi B., Potters, A., Shakerpour, M., Rasoul Zadeh, A., Ahmadpour, F., 2012. Evaluation of spring wheat genotypes using drought tolerance indices and principle component

www.SID.ir

Archive of SID

analysis. Environmental Stresses in Crop Sciences. 5, 99-113. [In Persian with English Summary].

Fischer, R.A., Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research. 29, 897-912.

Ganjali, A., Kafi, A., Bagheri, A., Shahriyari, F., 2005. Screening for drought tolerance in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.). Iranian Journal of Agricultural Sciences. 3, 103-122. [In Persian with English Summary].

Food and Agriculture Organization. 2017. The impact of disasters and crises on agriculture and food security in FAO. Retrieved Feb 15, 2018, from http://www.fao.org/biodiversity.

Goodarzvand Chegini, Kh., Fotovat, R., Bihamta, M.R., Omidi, M., Shahnejant Boushehri, A., 2017. Grouping of tolerance indices and response of Kabuli and Desi type chickpea genotypes to drought stress. Iranian Journal of Field Crop Science. 48, 647-664. [In Persian with English Summary].

Isaac Zadeh, M., Ahmadzadeh, H., Freddy Fred, A., 2014. Meteorological drought deterioration zone of the country according to Herbst index using Kriging methods. Second National Conference on Water Crisis. 562-571. Shahrekord. [In Persian with English Summary].

Jabari, H., Akbari, GA., Daneshian, J., Allahdadi, I., Shahbazian, N., 2007. Effect of water deficit stress on agronomic characteristics of Sunflower hybrids. Australian Journal of Agricultural. 9, 13-22.

Jabbari, H., Akbari, G.A., Daneshian, J., Alahdadi, I., Shahbazian, N., 2009. Utilization ability of drought resistance indices in sunflower (*Heliantus annus* L.) hybrids. Electronic Journal of Crop Production, 1, 1-17. [In Persian with English Summary].

Jackson, J.E., 1991. A User's Guide to Principal Components.Wily, New York

Kargar, M., Mostafaei, A., Majidi, I., Saeed Pourdad, H., 2012. Investigation of Correlation and Path Analysis of Traits of Soybean Genotypes under Drought Stress.Crop Production under Environmental Conditions. 4, 46-31. [In Persian with English Summary].

Kafi, M., Borzoee, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masumi, A., Nabati, J., 2009. Physiology of Environmental Stresses in Plants. Mashhad Academic Publications, Mashhad, Iran [In Persian].

Khan, M.I., Shabbir, G., Akram, Z., Shah, M.K.N., Ansar, M., Cheema, N.M., Iqbal, M.S., 2013. Character association studies of seedling triats in different wheat genotypes under moisture stress conditions. Sabrao Journal of Breeding and Genetics. 45, 458-467.

Lan, J., 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. Acta Agriculturae Bor-occid Sinica. 7, 85-87.

Malek Mohamadi, Z., Sabori, H., Biabani, A., Hezarjaribi, E., 2017. Study of Genetic Diversity of Soybean (*Glycine max*) using ISSR Markers. Journal of Crop Breeding. 8(19), 123-133. [In Persian with English Summary].

Melazadeh, M., 2012. Comprehensive Reference of Crops. Volume II. Agricultural Research, Education and Extension Organization. 120P. [In Persian].

Moghaddam, A., Hadizade, M.H., 2002. Response of corn (*Zea mays* L.) hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. Seed and Plant.18, 255-272. [In Persian with English Summary].

Mohammadi, V., Abooei Mehrizi, F., 2014. Abiotic Stresses, Plant Resistance through Breeding and Molecular Approaches. Academic Jihad. 345p. [In Persian]

Mohseni, M., Mortazavian, S., Ramshini, H., Foghi, B., 2015. Evaluation of drought tolerance in some wheat genotypes based on selection indices. Iranian Journal of Field Crops Research. 13, 524-542.

Moosavi, S.S., Yazdi Samadi, B., Naghavi, M.R., Zali, A.A., Dashti, H., Pourshahbazi, A., 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. Desert, 12, 165-178.

Rezaei, A., soltani, A., 2003. An Introduction to Applied Regression Analysis. The Esfehan University, 227p. [In Persian]

Rezaei, M., Motamed, M.K., Yousefi, A., Amiri, E., 2010. Evaluation of different irrigation management on rice yield. Journal of Water and Soil. 24, 565-573.

Salimi, S., Samiezade Lahiji, H., Mohsen Abadi, G., Salimi, S., Moradi, S., 2012. Genetic diversity in soybean genotypes under drought stress condition using factor analysis and

www.SID.ir

Archive of SID

cluster analysis. World Applied Sciences Journal, 16, 474-478.

Shao H.B., Chu L.Y., Jaleel C.A., Manivannan P., Panneerselvam R., Shao, M.A, 2009. Understanding water deficit stress-induced changes in the basic metabolism of higher plants-biotechnologically and sustainably improving agriculture and the Eco environment in arid regions of the globe. Critical Reviews in Biotechnology. 29, 131-151.

Vahdi, V., Gholinezhad, E., Mansourifard, S., Arani, L.G., Rahimi, M., 2015. Effect of drought stress on seed yield, oil and protein of soybean (*Glycine max* L.) different cultivars. Journal of Oil Plant Production. 2, 99-113. [In Persian with English Summary].

Zeinaly Khanghah, H., Izanloo, A., Hosein Zadeh, A., Majnoon Hoseini, N., 2004. Determination of the suitable drought resistance indices in commercial soybeans varieties. Journal of Agricultural Science. 2, 875-885. [In Persian with English Summary].

www.SID.ir