دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

شاخص انتخاب برای بهبود عملکرد آفتابگردان در شرایط نرمال و تنش شوری

سهیلا احمدپور[۱]، رضا درویش‌زاده[۲] و امید سفالیان[۳]

۱ و ۳- دانشجوی دکتری و دانشیار اصلاح نباتات، گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی
۲- استاد گروه اصلاح و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، (نویسنده مسوول: r.darvishzadeh@urmia.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۵/۸/۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۸

چکیده

یکی از روش‌های مؤثر انتخاب غیرمستقیم جهت بهبود عملکرد دانه به همراه صفات مؤثر بر آن، استفاده از شاخص‌های انتخاب می‌باشد. در این تحقیق، ۱۰۰ لاین خالص آفتابگردان روغنی که از نقاط مختلف جهان تهیه شده‌اند، در دو شرایط تنش و بدون تنش شوری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. شاخص‌های انتخاب اسمیت-هیزل و پسک-بیکر بر اساس ٦ صفت شامل ارتفاع بوته، قطر طبق، تعداد برگ، وزن صد دانه، وزن طبق و عملکرد دانه، همچنین پاسخ‌های مستقیم و همبسته این صفات، برای هر یک از شرایط نرمال و شوری محاسبه شدند. پاسخ همبسته برای صفت ارتفاع بوته از طریق عملکرد دانه در شرایط نرمال (۳۲/۱٦) و در شرایط تنش شوری برای صفت عملکرد دانه از طریق قطر طبق (١٤/۲۱) بیشترین مقدار را داشت. بیشترین پاسخ همبسته عملکرد دانه در هر دو شرایط نرمال (١٦/۱۵) و شوری (١٤/۲۱) از طریق قطر طبق بود. همچنین نتایج نشان داد که در شرایط غیر تنش ارتفاع بوته و در شرایط تنش وزن طبق بالاترین پاسخ مستقیم به انتخاب را داشتند. شاخص سوم اسمیت-هیزل و شاخص سوم پسک-بیکر دارای بیشترین وراثت‌پذیری (۰/۷۸ و ۰/۷٦)، بیشترین همبستگی ژنتیکی (۰/۸۷ و ۰/۸۸)، بالاترین کارایی نسبی انتخاب نسبت به عملکرد دانه (۰/۸۷ و ۰/۸۸) و بیشترین تعداد ژنوتیپ برتر مشترک با عملکرد دانه (به تعداد ۱۸ و ١٦) بودند. بنابراین انتخاب بر اساس این شاخص‌ها باعث انتخاب ارقام با عملکرد بالا در شرایط نرمال و شوری خواهد شد. لاین ۷۱ به‌عنوان ژنوتیپ برتر در شرایط نرمال و تنش شوری معرفی می شود.

واژه‌های کلیدی: انتخاب مستقیم و غیرمستقیم، تجزیه مسیر، تنش شوری، آفتابگردان، شاخص‌انتخاب

مقدمه

آفتابگردان زراعی با نام علمی *Helianthus annuus* L. گیاهی یک‌ساله از خانواده Compositea بوده و خاستگاه اولیه‌ی آن آمریکای مرکزی می‌باشد. بر اساس آمار موجود تنش شوری پس از خشکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی در سطح جهان بوده و بالغ بر ۸۰۰ میلیون هکتار از زمین‌های جهان تحت تأثیر تنش شوری قرار دارند (۱۵). بر اساس گزارش‌های خان و گلزار (۱۲) از مجموع کل مساحت کشور حدود ۲۵ میلیون هکتار که معادل ۱۵ درصد کل مساحت کشور است را خاک‌های شور تشکیل می‌دهد. متأسفانه به علت عدم مدیریت صحیح آبیاری اراضی زراعی، سالیانه بر مقدار آن افزوده می‌شود (۲). ارزش اقتصادی یک رقم به صفات مختلف آن بستگی دارد، بنابراین چگونگی اعمال انتخاب برای چندین صفت به‌منظور حصول حداکثر ارزش اقتصادی همواره مورد نظر به‌نژادگران بوده است. روش‌های مختلفی به‌منظور انتخاب توأم صفات ارائه شده است. از جمله این روش‌ها: انتخاب نوبتی، انتخاب بر مبنای سطوح مستقل صفات و انتخاب بر مبنای شاخص می‌باشد. شاخص انتخاب معادله یا رابطه‌ای است خطی در قالب مدل رگرسیون چند متغیره بر مبنای اطلاعات یا خصوصیات قابل اندازه‌گیری که برای برآورد ارزش اصلاحی یک لاین یا رقم ارائه می‌شود، به‌طوری‌که همبستگی بین شاخص ارائه شده و ارزش اصلاحی به حداکثر رسیده و بیشترین بازدهی یا پیشرفت مورد انتظار از انتخاب به‌دست آید؛ بنابراین هدف شاخص انتخاب برآورد ارزش ژنتیکی واقعی یا ارزش ارثی با استفاده از یک ترکیب خطی از ارزش‌های فنوتیپی می‌باشد. شاخص انتخاب توانایی اصلاحگر را در انتخاب لاین‌ها، هیبریدها یا واریته‌های برتر، بر مبنای بیش از یک صفت، به‌ویژه در مراحل اولیه برنامه‌های اصلاحی افزایش می‌دهد. بیکر (۳) مقاله جامعی در مورد شاخص‌های انتخاب جهت اصلاح گیاهان ارائه کرده است. سوان تارادوان و همکاران (۲۶) برای بهبود توأم هفت صفت در لاین‌های S ذرت، انواع شاخص‌های انتخاب از قبیل شاخص انتخاب بهینه[۱]، شاخص انتخاب پایه[۲] و شاخص تغییریافته پسک و بیکر[۳] را مورد مقایسه قرار دادند. آن‌ها دریافتند که شاخص بهینه و پایه نتایج مشابهی داشته و چنین نتیجه گرفتند که به دلیل سهولت استفاده از شاخص پایه، در صورتی که ارزش‌های اقتصادی دقیقاً مشخص باشند، استفاده از این شاخص ترجیح داده می‌شود، اما زمانی که ارزش‌های اقتصادی صفات نامشخص باشند استفاده از شاخص تغییریافته پسک و بیکر پیشنهاد می‌شود. بر اساس گزارش گبره و لورتر (۱۰)، شاخص‌های مختلفی از قبیل شاخص اسمیت-هیزل[۴]، شاخص بدون وزن[۵] و شاخص پیشرفت مطلوب[۶] می‌توانند به‌منظور پیشرفت توأم در عملکرد دانه و درصد پروتئین در گندم به کار روند. ربیعی و همکاران (۱۷) بیست شاخص گزینشی مختلف را برای اصلاح شکل دانه در برنج در یک جمعیت F_2 مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که گزینش غیرمستقیم بر مبنای سه صفت طول دانه، عرض دانه و ارتفاع بوته با استفاده از ضرایب علیت آن‌ها به‌عنوان ارزش‌های اقتصادی در دو شاخص

---

[1] Optimum selection index
[2] Base index
[3] Modified Pesek and Baker's index
[4] Smith and Hazel's index
[5] Weight- free index
[6] Desired genetic gain

بهینه و پایه، برای اصلاح شکل دانه مؤثرتر از گزینش مستقیم خواهد بود آن‌ها همچنین شاخص‌های بهینه و پایه را مورد مقایسه قراردادند و استفاده از شاخص پایه را به دلیل سادگی ساختار و سهولت محاسباتی توصیه نمودند. فضلعلی‌پور و همکاران (۷) شاخص‌های بهینه و پایه را مورد مقایسه قرار دادند و نشان دادند که گزینش بر مبنای شاخص‌های بهینه می‌تواند پاسخ بیشتری را نسبت به شاخص‌های پایه منجر شود، اما این برتری معنی‌دار نبوده و در نهایت استفاده از شاخص پایه را به دلیل سادگی ساختار و سهولت محاسباتی توصیه نمودند. فضلعلی‌پور و همکاران (۷) در گیاه برنج نشان دادند که گزینش بر مبنای صفاتی نظیر عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت که به‌عنوان صفات مؤثر بر عملکرد دانه در تجزیه علیت ژنتیکی مشخص‌شده بودند، با توجه به اثرات مستقیم ژنتیکی (ضرایب علیت ژنتیکی) آن‌ها به عنوان ارزش‌های اقتصادی، می‌تواند مفید باشد. در مطالعه دیگری فضلعلی‌پور و همکاران (۸) گزینش هم‌زمان برای چند صفت به‌منظور حصول حداکثر ارزش اقتصادی جمعیت برنج استفاده نمودند و نتیجه گرفتند که استفاده از یک شاخص گزینش بر مبنای صفات عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، تعداد دانه پر در خوشه، وزن صد دانه و تعداد خوشه در بوته می‌تواند موجب افزایش ارزش اقتصادی جمعیت شود. بلوچ زهی و کیانی (۴) با استفاده از ۲۵ رقم برنج ارتباط بین عملکرد دانه با اجزای آن را بررسی و در نهایت صفات تعداد پنجه بارور و تعداد کل دانه در خوشه را به عنوان شاخص‌های بهبود عملکرد دانه در برنج معرفی کردند. رضایی و یوسفی آذر (۱۸) کارایی انتخاب مستقیم و غیرمستقیم صفات برای بهبود عملکرد در گندم در شرایط تنش خشکی و نرمال را با استفاده از ۲۳ لاین مورد ارزیابی قرار دادند و با محاسبه و ارزیابی شاخص‌های مختلف برای انتخاب هم‌زمان چند صفت، به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های اسمیت-هیزل بازده انتخاب بالاتری نسبت به شاخص پسک-بیکر در هر دو شرایط تنش و غیرتنش دارد. در مطالعه صالحی و سعیدی (۲۲) نیز راندمان انتخاب بر اساس شاخص اسمیت-هیزل برای بهبود هم‌زمان صفات تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن دانه از شاخص پسک-بیکر کمی بیشتر بود. صبوری و همکاران (۲۱) با محاسبه و ارزیابی شاخص‌های مختلف برای بهبود عملکرد در برنج نشان دادند که مقادیر همبستگی ژنتیکی صفات با عملکرد دانه بسیار مهم‌تر از وراثت‌پذیری صفات در ساخت یک شاخص می‌باشد. این مطالعه به‌منظور ارزیابی کارایی انتخاب مستقیم و غیرمستقیم صفات برای بهبود عملکرد دانه آفتابگردان، برآورد ضرایب شاخص‌های انتخاب، مقایسه کارایی آنها برای انتخاب هم‌زمان چند صفت در شرایط معمول و تنش شوری و معرفی مناسب‌ترین شاخص انتخاب در هر یک از شرایط تنش اجرا شد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و صفات مورد مطالعه

صفات مختلف ۱۰۰ لاین خالص آفتابگردان روغنی (جدول ۱)، در هر یک شرایط معمول و شوری ۸ دسی زیمنس بر متر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط گلدانی ارزیابی شد. آزمایش در بهار و تابستان سال ۱۳۹۴ در مزرعه‌ی تحقیقاتی گروه اصلاح و بیوتکنولوژی گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، واقع در منطقه نازلو با عرض جغرافیایی ''۳۷°۳۲ شمالی و طول جغرافیایی ''۴۵°۵ شرقی و ارتفاع از سطح دریای آزاد ۱۳۱۳ متر انجام شد. ابتدا بذور هر لاین در ۶ گلدان ۲۴×۲۴ سانتی‌متری کاشته شدند و پس از رسیدن گیاهچه‌ها به مرحله ۸ برگی به ۳ گلدان شوری ۸ دسی زیمنس بر متر اعمال و به سه گلدان شوری اعمال نشد. جهت دست‌یابی به شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، بر اساس مقدار شوری اولیه خاک هر گلدان، مقدار ۱۲ گرم نمک NaCl در ۵۰۰ سی‌سی آب حل و پس از رسیدن گیاهچه‌ها به مرحله ۸ برگی به هر گلدان اضافه شد. کنترل مقدار شوری خاک گلدان‌ها به وسیله دستگاه EC سنج[1] انجام گرفت. جهت جلوگیری از تنش اسمزی، اعمال شوری در دو مرحله انجام گرفت به این ترتیب که ۲۵۰ سی‌سی از محلول نمک، صبح و ۲۵۰ سی‌سی نیز بعدازظهر همان روز اعمال گردید. سیستم آبیاری به‌صورت قطره‌ای و کوددهی در چندین نوبت در طول دوره رشد رویشی گیاه انجام گرفت. در موقع آبیاری دقت می‌شد تا آب از زهکش گلدان‌ها خارج نشود. بعد از مرحله گلدهی صفات مختلف زراعی از قبیل روز تا گلدهی، تعداد برگ، قطر ساقه، ارتفاع بوته، قطر طبق، طول و عرض برگ پایینی، میانی و بالایی، طول دمبرگ برگ پایینی، میانی و بالایی، وزن طبق، وزن صد دانه، میزان کلروفیل و عملکرد مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. اندازه‌گیری میزان کلروفیل برگ‌ها با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD) در مرحله پر شدن دانه‌ها بر روی جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه یافته در هر بوته و در ۳ نقطه مختلف از برگ انجام گرفت.

---

[1] 1- Electrical conductivity (EC)

جدول ۱- مشخصات لاین‌های آفتابگردان روغنی مورد مطالعه در شرایط نرمال و تنش شوری
Table 1. Characteristics of oily sunflower lines studied under normal and salt stress conditions

نام مرکز تحقیقاتی	نام کشور	نام لاین	کد	نام مرکز تحقیقاتی	نام کشور	نام لاین	کد
NOVARTIS	فرانسه	NSF$_1$-A$_4$*R$_5$	37	ASGROW	فرانسه	H100A/83HR4	1
SPII	ایران	28	38	ASGROW	فرانسه	H209A/LC1064	2
SPII	ایران	30	39	ASGROW	فرانسه	H205A/H543R	3
–	مجارستان	F1250/03	40	ENSAT	فرانسه	AS5306	4
USDA	امریکا	SDR18	41	USDA	امریکا	RHA858	5
ENSAT	فرانسه	LP-CSYB	42	ASGROW	فرانسه	H209A/83HR4	6
IFVC	صربستان	803-1	43	ENSAT	فرانسه	AS3211	7
ENSAT	فرانسه	1009370-1(100K)	44	ENSAT	فرانسه	254-ENSAT	8
Caussade semences	فرانسه	CSWW2X	45	ASGROW	فرانسه	AS5304	9
ENSAT	فرانسه	1009370-3(100K)	46	ENSAT	فرانسه	1009329.2(100K)	10
ASGROW	فرانسه	H158A/H543R	47	ENSAT	فرانسه	270-ENSAT	11
ASGROW	فرانسه	H100A	48	ASGROW	فرانسه	AS613	12
ASGROW	فرانسه	15031	49	NOVARTIS	فرانسه	A-F1POPA	13
ASGROW	فرانسه	H205A/83HR4	50	INRAMONT	فرانسه	OES	14
USDA	امریکا	RHA265	51	ASGROW	فرانسه	H100A/LC1064	15
USDA	امریکا	PM1-3	52	USDA	امریکا	RHA266	16
RUSTICA	فرانسه	RT948	53	ENSAT	فرانسه	PAC2	17
-	-	283-ENSAT	54	ASGROW	فرانسه	H157A/LC1064	18
INRAMONT	فرانسه	QHP-1	55	BRN	فرانسه	5DES20QR	19
USDA	امریکا	SDR19	56	ENSAT	فرانسه	1009337(100K)	20
USDA	امریکا	HA337B	57	ENSAT	فرانسه	AS3232	21
ASGROW	فرانسه	H100B	58	ASGROW	فرانسه	12ASB3	22
–	مجارستان	B454/03	59	ASGROW	فرانسه	8ASB2	23
USDA	امریکا	HA304	60	Caussade semences	فرانسه	9CSA3	24
RUSTICA	فرانسه	RT931	61	–	فرانسه	H049+FSB	25
USDA	امریکا	HA335B	62	ASGROW	فرانسه	SSD-580	26
NOVARTIS	فرانسه	NS_B5	63	ASGROW	فرانسه	5AS-F$_1$/A$_2$*R$_2$	27
USDA	امریکا	SDB3	64	C.F	فرانسه	7CR16=PRH6	28
ASGROW	فرانسه	LC1064C	65	ENSAT	فرانسه	ENSAT699	29
NOVARTIS	فرانسه	NS-R5	66	ASGROW	فرانسه	SSD-581	30
USDA	امریکا	DM-2	67	INRAMONT	فرانسه	TMB-51	31
ASGROW	فرانسه	H156A/RHA274	68	SPII	ایران	۱-۵۹	32
USDA	امریکا	SDB1	69	SPII	ایران	110	33
USDA	امریکا	HAR-4	70	INRAMONT	فرانسه	H603R	34
ASGROW	فرانسه	AS5305	71	SPII	ایران	4	35
USDA	امریکا	RHA274	72	ENSAT	فرانسه	703-CHLORINA	36
ASGROW	فرانسه	H156A/H543R	87	ASGROW	فرانسه	H158A/H543R	73
ASGROW	فرانسه	H543R/H543R	88	ASGROW	فرانسه	H100A/RHA274	74
–	فرانسه	H543R	89	ASGROW	فرانسه	H209A/H566R	75
ASGROW	فرانسه	15038	90	ENSAT	فرانسه	ASO-1-POP-A	76
ENSAT	فرانسه	SF076	91	ENSAT	فرانسه	AS6305	77
-	-	8A*LC1064C*	92	NOVARTIS	فرانسه	B-F1POPB	78
ENSAT	فرانسه	SF085	93	USDA	امریکا	D34	79
		SF092	94	ENSAT	فرانسه	CAY	80
SPII	ایران	HC91	95	SPII	ایران	346	81
SPII	ایران	1-59	96	NOVARTIS	فرانسه	NS-F$_1$-A$_5$*R$_5$	82
		H-100A-90RL8	97	SPII	ایران	36	83
ENSAT	فرانسه	SF109	98	SPII	ایران	38	84
ENSAT	فرانسه	SF105	99	INRAMONT	فرانسه	SDB2	85
		SF-023	100	-	-	H158A/LC1064	86

محاسبات آماری

توزیع نرمال اشتباهات آزمایشی هر یک از صفات مورد مطالعه بررسی شد. ماتریس واریانس-کواریانس فنوتیپی و ژنوتیپی صفات بر اساس امید ریاضی میانگین مربعات برآورد شد. رگرسیون گام به گام به‌منظور شناسایی صفات مؤثر بر عملکرد دانه انجام گرفت. بر اساس اطلاعات بدست آمده از رگرسیون گام به گام در هر از یک شرایط معمولی و تنش شوری، ۵ صفت ارتفاع بوته، قطر طبق، تعداد برگ، وزن صد دانه و وزن طبق به همراه عملکرد دانه در طبق در تشکیل شاخص‌های انتخاب به کار برده شدند. شاخص‌های انتخاب با توجه به رابطه ۱ به‌طور جداگانه برای هر از یک شرایط معمولی و شوری محاسبه شدند. در این رابطه b_i وزنی است که به هر صفت بر اساس ارزش آن داده می‌شود و p_i ارزش فنوتیپی آن صفت می‌باشد (۶). برای شاخص اسمیت-هیزل بردار b از رابطه ۲ محاسبه شد (۶) که در آن P و G به ترتیب ماتریس‌های واریانس- کوواریانس فنوتیپی و

ژنتیکی می‌باشند و a ارزش اقتصادی نسبی صفات است که برای همه صفات برابر یک در نظر گرفته شد. به دلیل محدودیت شاخص اسمیت- هیزل (۲۳) از لحاظ نسبت دادن ارزش‌های نسبی اقتصادی به صفات کمی شاخص پسک–بیکر نیز محاسبه شد (۱۶). در این شاخص به جای ارزش‌های اقتصادی (a)، از بازده ژنتیکی مطلوب (g) یا بردار جذر واریانس فنوتیپی هر صفت استفاده می‌شود، بنابراین ضریب b مطابق رابطه ۳ محاسبه شد.

$$(1)\ I=\sum b_i p_i$$

$$(2)\ b= P^{-1}Ga$$

$$(3)\ b= G^{-1}g$$

هر دو شاخص در دو شکل بدون عملکرد (اسمیت–هیزل: شاخص اول، دوم و چهارم، پسک–بیکر: شاخص اول، دوم و چهارم) و همراه با عملکرد (اسمیت–هیزل: شاخص سوم، پسک- بیکر: شاخص سوم) محاسبه شدند. با قرار دادن ارزش‌های فنوتیپی در شاخص‌ها، مقدار هر شاخص برای هر ژنوتیپ به دست آمد و مانند یک صفت ساده مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و همبستگی آن با عملکرد دانه محاسبه شد. واکنش به انتخاب (Response to selection) برای هر صفت از رابطه ۴ محاسبه شد. در این رابطه σ_{gi} انحراف معیار ژنتیکی هر صفت، h_i جذر وراثت‌پذیری و K شدت انتخاب ۱۰ درصد (۱/۷۵۵) می‌باشد (۱۴) پاسخ همبسته برای انتخاب یک صفت از طریق گزینش برای صفات دیگر از رابطه ۵ بدست آمد (۶). در این رابطه r ضریب همبستگی ژنتیکی بین صفت مورد نظر برای بهبود و صفتی است که انتخاب بر مبنای آن انجام می‌شود. کارایی نسبی انتخاب (RSE: Relative selection efficiency) یا به عبارتی پاسخ غیرمستقیم انتخاب برای عملکرد (CRy) نسبت به انتخاب مستقیم برای عملکرد (Ry) از رابطه ۶ محاسبه شد.

$$(4)\ Ri=Kh_i\sigma_{gi}$$

$$(5)\ CRi=Kh_i r_{gij}\sigma_{gi}$$

$$(6)\ RSE=CRy/Ry$$

در نهایت برای هر صفت موجود در شاخص بازده مورد انتظار (ΔG) براساس انتخاب بر مبنای شاخص، طبق رابطه ۷ محاسبه گردید (K با در نظر گرفتن شدت انتخاب ۱۰ درصد برابر ۱/۷۵۵ در نظر گرفته شد). در این رابطه σ_{Ii} همبستگی شاخص با هر صفت می‌باشد که توسط رابطه ۸ بدست آمد. σ_{gi} همبستگی ژنتیکی صفات i و j می‌باشد. همچنین σ_I، انحراف معیار شاخص است و برای هر شاخص از رابطه ۹ محاسبه گردید. بهره مورد انتظار (ΔH) طبق رابطه ۱۰ برای هر شاخص محاسبه شد.

$$(7)\ \Delta G=K\sigma_{li}/\sigma_l$$

$$(8)\ \sigma_{li}=\sum b_i\sigma_{gij}$$

$$(9)\ \sigma_I = \sqrt{b'}\ pb$$

$$(10)\ \Delta H= \sum \Delta G_i$$

همبستگی‌های بین عملکرد و شاخص‌ها محاسبه شد و در نهایت ژنوتیپ‌ها بر اساس هر کدام از شاخص‌ها و عملکرد رتبه بندی شدند و ۲۵ درصد از بهترین ژنوتیپ‌ها از لحاظ شاخص با بهترین ژنوتیپ‌ها بر مبنای عملکرد مقایسه شدند. تجزیه و تحلیل‌های آماری به کمک نرم‌افزار SAS و Excel انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج رگرسیون گام به گام برای عملکرد دانه در هر یک از شرایط معمول و تنش شوری، تعداد ۵ صفت شامل ارتفاع بوته، قطر طبق، تعداد برگ، وزن صد دانه و وزن طبق به همراه عملکرد در تشکیل شاخص‌های انتخاب بکار برده شد. هر دو شاخص اسمیت–هیزل و پسک–بیکر در چهار شکل (شاخص اول و پنجم شامل ارتفاع بوته، قطر طبق، تعداد برگ، وزن صد دانه و وزن طبق) شاخص دوم و ششم شامل (ارتفاع بوته، قطر طبق، وزن صد دانه و وزن طبق) شاخص سوم و هفتم شامل (ارتفاع بوته، قطر طبق، وزن صد دانه، وزن طبق و عملکرد) شاخص چهارم و هشتم شامل (قطر طبق، تعداد برگ، وزن صد دانه و وزن طبق) محاسبه شدند.

پاسخ مستقیم و همبسته به انتخاب

مقادیر پاسخ به انتخاب و پاسخ همبسته بر اساس مقادیر وراثت‌پذیری، واریانس ژنتیکی، همبستگی ژنتیکی صفات و شدت انتخاب ۲۵ درصد (K=1.755) در هر یک از شرایط معمول و تنش شوری محاسبه و در جداول ۲ و ۳ آورده شده است. ارتفاع بوته در شرایط معمول و عملکرد دانه در شرایط تنش شوری به ترتیب با مقادیر ۵۱/۰۵ و ۱۸/۷۰ بیشترین پاسخ مستقیم به انتخاب را نشان دادند. این صفات بالاترین واریانس ژنتیکی را نسبت به سایر صفات داشتند. در هر دو شرایط معمول و تنش شوری وزن صد دانه کمترین پاسخ مستقیم به انتخاب (در شرایط معمول ۴/۶۸ و در شرایط تنش شوری ۳/۲۹) را نشان داد. کمترین واریانس ژنتیکی در وزن صد دانه مشاهده شد.

جدول ۲- مقادیر انحراف معیار ژنتیکی (S_{gi})، وراثت‌پذیری (h^2) و پاسخ مستقیم به انتخاب (R_i) برای صفات آفتابگردان تحت شرایط معمول و تنش شوری

Table 2. Estimation of genotypic standard deviation, heritability and direct response to selection for sunflower traits under normal and salt stress conditions

شرایط تنش شوری			شرایط نرمال			صفت
R_i	h^2	S_{gi}	R_i	h^2	S_{gi}	
۱۰/۸۲	۰/۶۶	۷/۵۷	۵۱/۰۵	۰/۸۷	۳۱/۰۹	ارتفاع بوته
۴/۴۸	۰/۷۱	۳/۰۲	۶/۰۸	۰/۷۹	۳/۸۸	قطر طبق
۹/۳۷	۰/۷۷	۶/۰۷	۹/۳۲	۰/۷۷	۶/۰۳	تعداد برگ
۳/۲۹	۰/۶۳	۲/۳۵	۴/۶۸	۰/۸۶	۲/۸۶	وزن ۱۰۰ دانه
۱۵/۴۲	۰/۷۳	۱۰/۲۶	۱۷/۴۳	۰/۷۶	۱۱/۳۶	وزن طبق
۱۸/۷	۰/۶۷	۱۲/۹۸	۲۰/۷	۰/۷۴	۱۳/۶۷	عملکرد دانه

بطور کلی پاسخ مستقیم صفات به انتخاب در مقایسه با پاسخ همبسته آنها از طریق صفات دیگر، بیشتر بود (جدول ۲). بیشترین پاسخ همبسته در شرایط معمول برای ارتفاع بوته از طریق عملکرد دانه (۳۲/۱۶) و در شرایط شوری برای عملکرد دانه از طریق قطر طبق (۱۴/۲۱) مشاهده شد (جدول ۳). در مرتبه بعدی در شرایط معمول، پاسخ همبسته بیشتر برای ارتفاع بوته از طریق قطر طبق و در شرایط شوری برای وزن طبق از طریق قطر طبق مشاهده شد. لذا انتخاب بر اساس قطر طبق می‌تواند باعث بهبود صفات ارتفاع بوته در شرایط نرمال و بهبود وزن طبق در شرایط شوری شود. در مقایسه پاسخ‌های همبسته عملکرد از طریق صفات وزن صد دانه، وزن طبق، ارتفاع بوته، تعداد برگ و قطر طبق با انتخاب مستقیم برای عملکرد مشاهده شد که پاسخ همبسته در شرایط معمول بیشتر از شرایط شوری است. پاسخ همبسته برای عملکرد دانه در هر دو شرایط محیطی از طریق صفات وزن صد دانه، وزن طبق، ارتفاع بوته، تعداد برگ و قطر طبق مثبت بود؛ یعنی با افزایش این صفات عملکرد دانه افزایش می‌یابد. البته در هر دو شرایط محیطی و مخصوصاً در شرایط معمول، بیشترین پاسخ همبسته برای عملکرد دانه از طریق قطر طبق مشاهده شد؛ بنابراین می‌توان قطر طبق را به‌عنوان صفتی مناسب برای انتخاب غیرمستقیم برای بهبود عملکرد معرفی نمود. رزیل و فرای (۱۹) انتخاب مستقیم و غیرمستقیم برای بهبود عملکرد در جمعیتی متشکل از ۱۲۰۰ لاین F_9 یولاف را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که انتخاب غیرمستقیم از طریق شاخص برداشت باعث بهبود ۷۰ درصدی عملکرد دانه می‌شود. ساندهو و همکاران (۲۳) در نخود، کارایی انتخاب غیرمستقیم از طریق شاخص برداشت را بیشتر از سایر صفات و همچنین بیشتر از انتخاب مستقیم برای عملکرد گزارش کردند. بیسواس و همکاران (۵) در سورگوم انتخاب همبسته از طریق تعداد خوشه در گیاه و تعداد دانه در خوشه را برای بهبود عملکرد مؤثر دانستند. مک‌نیل و همکاران (۱۳) انتخاب غیرمستقیم از طریق وزن دانه و تعداد دانه در سنبله را برای بهبود عملکرد گندم معرفی کردند. در مطالعه الکساندر و همکاران (۱) روی گندم انتخاب مستقیم بر اساس عملکرد و انتخاب همبسته از طریق وزن هزار دانه از بقیه اجزای عملکرد موثرتر بود. آن‌ها پیشنهاد کردند که چون وزن هزار دانه معمولاً با دقت بیشتری اندازه‌گیری می‌شود، انتخاب بر اساس آن می‌تواند برای بهبود عملکرد مؤثر باشد. اگر چه پاسخ همبسته بین عملکرد و سایر صفات مهم است، ولی توجه به واکنش‌های همبسته بین صفات نیز حائز اهمیت است. پاسخ همبسته برای صفت قطر طبق از طریق وزن طبق هم در شرایط معمول و هم در شرایط تنش نسبت به سایر صفات بیشتر بود لذا از طریق انتخاب برای وزن طبق بیشتر می‌توان باعث بهبود صفت قطر طبق شد. پاسخ همبسته برای صفت وزن صد دانه از طریق وزن طبق هم در شرایط معمول و هم در شرایط تنش نسبت به سایر صفات بیشتر بود لذا از طریق انتخاب برای وزن طبق بیشتر، می‌توان باعث بهبود وزن صد دانه شد. وزن صد دانه در شرایط معمول و قطر طبق در شرایط تنش بیشترین پاسخ همبسته به انتخاب برای بهبود صفت تعداد برگ را نشان دادند. در کل شاخصی که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد باشد به‌عنوان بهترین شاخص معرفی می‌شود (۹).

جدول ۳- مقایسه مقادیر پاسخ همبسته به انتخاب برای بهبود (تغییر) صفت Y از طریق انتخاب برای صفت X در شرایط معمول و تنش شوری در آفتابگردان

Table 3. Comparison of correlated response to selection for improving character Y via selection for X in sunflower under normal and salt stress conditions

شرایط تنش شوری		شرایط معمول		صفتX	صفتY
همبستگی ژنتیکی	پاسخ همبسته	همبستگی ژنتیکی	پاسخ همبسته		
۰/۶۵	۲/۹۱	۰/۵۹	۳/۵۹	وزن صد دانه	قطر طبق
۰/۸۵	۳/۸۱	۰/۹۲	۵/۵۹	وزن طبق	
۰/۲۶	۱/۱۶	۰/۵۹	۳/۵۹	ارتفاع بوته	
۰/۶۱	۲/۷۳	۰/۴۶	۲/۸۰	تعداد برگ	
۰/۷۶	۳/۴۰	۰/۷۸	۴/۷۴	عملکرد دانه	
۰/۶۵	۲/۱۳	۰/۵۹	۲/۷۶	قطر طبق	وزن ۱۰۰ دانه
۰/۷۵	۲/۴۶	۰/۶۹	۳/۲۲	وزن طبق	
۰/۲۱	۰/۶۹	۰/۳۰	۱/۴۰	ارتفاع بوته	
۰/۴۸	۱/۵۷	۰/۵۵	۲/۵۷	تعدادبرگ	
۰/۵۷	۱/۸۷	۰/۵۵	۲/۵۷	عملکرد دانه	
۰/۷۵	۱۱/۵۷	۰/۶۹	۱۲/۰۳	وزن صد دانه	وزن طبق
۰/۸۵	۱۳/۱۱	۰/۹۲	۱۶/۰۴	قطر طبق	
۰/۳۲	۴/۹۳	۰/۵۷	۹/۹۴	ارتفاع بوته	
۰/۸۰	۱۲/۳۴	۰/۵۴	۹/۴۱	تعداد برگ	
۰/۶۰	۹/۲۵	۰/۴۸	۸/۳۷	عملکرد دانه	
۰/۲۱	۲/۲۷	۰/۳۰	۱۵/۳۲	وزن صد دانه	ارتقاع بوته
۰/۳۲	۳/۴۶	۰/۵۷	۲۹/۱۰	وزن طبق	
۰/۲۶	۲/۸۱	۰/۵۹	۳۰/۱۲	قطر طبق	
۰/۴۲	۴/۵۴	۰/۵۰	۲۵/۵۳	تعداد برگ	
۰/۴۱	۴/۴۴	۰/۶۳	۳۲/۱۶	عملکرد دانه	
۰/۴۸	۴/۵۰	۰/۵۵	۵/۱۳	وزن صد دانه	تعداد برگ
۰/۸۰	۷/۵۰	۰/۵۴	۵/۰۳	وزن طبق	
۰/۴۲	۳/۹۴	۰/۵۰	۴/۶۶	ارتفاع بوته	
۰/۶۱	۵/۷۲	۰/۴۶	۴/۲۹	قطر طبق	
۰/۵۶	۵/۲۵	۰/۴۶	۴/۲۹	عملکرد دانه	
۰/۵۷	۱۰/۶۶	۰/۵۵	۱۱/۳۹	وزن صد دانه	عملکرد دانه
۰/۶۰	۱۱/۲۲	۰/۴۸	۹/۹۴	وزن طبق	
۰/۴۱	۷/۶۷	۰/۶۳	۱۳/۰۴	ارتفاع بوته	
۰/۵۶	۱۰/۴۷	۰/۴۶	۹/۵۲	تعداد برگ	
۰/۷۶	۱۴/۲۱	۰/۷۸	۱۶/۱۵	قطر طبق	

شاخص‌های انتخاب

ضرایب هر یک از صفات در شاخص‌های اسمیت-هیزل و پسک-بیکر (b_i) در جدول ۴ آورده شده است. با جایگذاری ارزش‌های فنوتیپی هر یک از ژنوتیپ‌ها در معادله شاخص‌ها، مقدار شاخص برای هر یک از آنها محاسبه شد. ژنوتیپ‌های انتخاب شده بر اساس عملکرد و شاخص‌ها، واریانس ژنتیکی و وراثت‌پذیری شاخص‌ها، همبستگی ژنتیکی شاخص‌ها با عملکرد، پاسخ همبسته برای عملکرد پس از انتخاب ژنوتیپ‌ها با شاخص‌ها، کارایی انتخاب برای هر شاخص در جدول ۵ آورده شده است. بررسی ضرایب در شاخص‌های اسمیت-هیزل و پسک-بیکر (b_i) در ۸ حالت همراه با عملکرد و بدون عملکرد نشان می‌دهد که صفات در شاخص‌ها و همچنین در شرایط معمول و تنش شوری از ضرایب مختلفی برخوردار هستند. در شرایط معمول در شاخص هشتم صفت قطر طبق (۰/۰۰۳-) و در شرایط تنش شوری در شاخص اول صفات قطر طبق و تعداد برگ (به ترتیب ۱/۸۲- و ۰/۱۸-) ضرایب منفی داشتند. علامت منفی حاکی از اثر کاهنده این صفات در شاخص‌ها می‌باشد. در شرایط معمول قطر طبق بیشترین ضریب را نسبت به سایر صفات در شاخص‌های اول و دوم و سوم و صفت وزن صد دانه بیشترین ضریب را نسبت به سایر صفات در شاخص دیگر داشت که نشان‌دهنده اثر افزاینده این صفات در شاخص‌های فوق می‌باشد. در شرایط تنش شوری در شاخص‌های اول، پنجم و ششم ارتفاع بوته بالاترین ضریب را داشت و در شاخص‌های دوم، سوم، چهارم، هفتم و هشتم وزن صد دانه بالاترین ضریب را داشت. لذا صفت وزن صد دانه در هر دو شرایط معمول و تنش شوری بیشترین اثر افزاینده را در اکثر شاخص‌های اسمیت-هیزل و پسک-بیکر داشت.

جدول ۴- ضرایب هر یک از صفات مورد بررسی در شاخص‌های انتخاب در شرایط نرمال و تنش شوری در آفتابگردان
Table 4. Coefficients of investigated traits in the constructed indices in sunflower under normal and salt stress conditions

شرایط معمول								
	شاخص اسمیت- هیزل				شاخص پسک-بیکر			
صفت	I_1	I_2	I_3	I_4	$I_۵$	$I_۶$	$I_۷$	$I_۸$
قطر طبق	۱/۵۲	۱/۴۶	۱/۸۲	۱/۲۲	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۱۰
وزن ۱۰۰ دانه	۱/۲۶	۱/۱۱	۱/۷۸	۱/۳۴	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۱۷
وزن طبق	۰/۵۶	۰/۵۷	۰/۴۴	۰/۶۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	-۰/۰۱
ارتفاع بوته	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۹۲	-	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	-
تعداد برگ	۰/۶۸	-	-	۰/۷۸	۰/۰۶	-	-	۰/۰۹
عملکرد دانه	-	-	۰/۵۹	-	-	-	۰/۰۲	-
شرایط تنش شوری								
قطر طبق	-۱/۸۲	-۲/۳۱	۰/۸۷	۰/۶۰	-۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۰	۱۰
وزن طبق	۰/۹۰	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۷۳	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۵	-۰/۰۱
وزن ۱۰۰ دانه	۰/۷۸	۰/۶۶	۰/۹۹	۱/۱۰	۰/۱۱	۰/۲۱	۰/۱۵	۰/۳۲
ارتفاع بوته	۱/۹۹	۱/۲۳	۰/۲۶	-	۰/۱۶	۰/۰۴	۰/۰۱	-
تعداد برگ	-۰/۱۸	-	-	۱/۰۰	-۰/۰۸	-	-	۰/۱۳
عملکرد دانه	-	-	۰/۷۴	-	-	-	۰/۰۴	-

شاخص‌های I_1 و I_5 شامل ارتفاع بوته، قطر طبق، تعداد برگ، وزن صد دانه و وزن طبق. I_2 و I_6 شامل ارتفاع بوته، قطر طبق، وزن صد دانه و وزن طبق. I_3 و I_7 شامل ارتفاع بوته، قطر طبق، وزن صد دانه، وزن طبق و عملکرد. I_4 و I_8 شامل قطر طبق، تعداد برگ، وزن صد دانه و وزن طبق

در شرایط معمول شاخص سوم اسمیت-هیزل که شامل عملکرد بود نسبت به شاخص‌های دیگر اسمیت-هیزل دارای واریانس ژنتیکی، وراثت‌پذیری، پاسخ همبسته و کارایی نسبی بالاتری بود. شاخص‌های پسک-بیکر دارای پاسخ همبسته کمتری بودند که می‌تواند به علت پایین بودن واریانس ژنتیکی این شاخص‌ها باشد. شاخص سوم پسک-بیکر همانند شاخص سوم اسمیت-هیزل شامل عملکرد بود. وراثت‌پذیری (۰/۸۲)، همبستگی ژنتیکی (۰/۸۲) و کارایی انتخاب این شاخص در مقایسه با سایر شاخص‌ها نیز بالا است و می‌تواند همراه با شاخص سوم اسمیت-هیزل با انتخاب بیشترین تعداد لاین برتر (۱۴ لاین) به‌عنوان شاخص برتر معرفی شود. نتایج این تحقیق با یافته‌های یوسف (۲۷) و منیری‌فر (۱۴) که بیان کردند شاخص‌هایی که شامل عملکرد هستند بهترین پاسخ به انتخاب را دارند مطابقت دارد. برترین ژنوتیپ ها از لحاظ شاخص سوم اسمیت-هیزل و شاخص سوم پسک-بیکر ژنوتیپ‌های ۹۵ و ۷۱ بودند که از نظر عملکرد دانه نیز در رتبه‌های بالا قرار داشتند.

نتایج در شرایط تنش شوری مشابه با نتایج در شرایط معمول است. در شرایط تنش شوری همانند شرایط معمول شاخص سوم اسمیت-هیزل و شاخص سوم پسک-بیکر، دارای بیشترین وراثت‌پذیری (۰/۷۸ و ۰/۷۶)، بیشترین همبستگی ژنتیکی (۰/۸۷ و ۰/۸۸)، بالاترین کارایی نسبی انتخاب نسبت به عملکرد دانه (۰/۸۷ و ۰/۸۸) و بیشترین تعداد ژنوتیپ برتر مشترک با عملکرد دانه (به تعداد ۱۸ و ۱۶) بودند. در شرایط تنش شوری برترین ژنوتیپ از نظر شاخص‌های فوق لاین ۷۱ می‌باشد که از نظر عملکرد دانه نیز در رتبه اول قرار داشت. برترین ژنوتیپ بر اساس سایر شاخص‌ها به غیر از شاخص چهارم پسک-بیکر نیز همان لاین ۷۱ بود. بر اساس شاخص چهارم پسک-بیکر لاین برتر ژنوتیپ ۸ بود که از نظر عملکرد در رتبه ۱۲ قرار داشت. در مجموع در شرایط تنش شوری نیز مانند شرایط معمول شاخص سوم اسمیت-هیزل و شاخص سوم پسک-بیکر به‌عنوان شاخص‌های مناسب برای انتخاب ژنوتیپ های برتر معرفی می‌شوند. یودین و همکاران (۲۵) در مطالعه‌ای روی

گندم در شرایط تنش خشکی و غیر تنش، با استفاده از شاخص اسمیت-هیزل که در آن عملکرد در هر دو محیط با وزن‌های متفاوت منظور شده بودند، توانستند حالتی که بازده مورد انتظار برای محیط حداکثر است را تعیین نمایند. آن‌ها نشان دادند که انتخاب جداگانه در هر محیط ممکن است در افزایش عملکرد در شرایط تنش مؤثر نباشد.

جدول ۵- عملکرد دانه، مقادیر شاخص‌های انتخاب و پارامترهای وابسته در آفتابگردان تحت شرایط تنش شوری
Table 5. Grain yield, the value of selection indices and other parameters in sunflower under salt stress conditions

رتبه لاین‌های برتر	عملکرد	شاخص اسمیت-هیزل				شاخص پسک-بیکر			
		I۱	I۲	I۳	I۴	I۵	I۶	I۷	I۸
۱	۳۸/۹(۷۱)	۲۳۶/۹(۷۱)	۱۵۹/۰(۷۱)	۱۰۹/۳(۷۱)	۶۸/۲(۷۱)	۱۷/۸(۷۱)	۷/۸(۷۱)	۵/۵(۷۱)	۷/۵(۸)
۲	۳۶/۹(۴۸)	۲۱۴/۶(۹۵)	۱۴۲/۰(۸)	۸۹/۲(۸)	۶۴/۲(۸)	۱۶/۹(۹۵)	۷/۴(۸)	۴/۸(۸)	۶/۵(۷۱)
۳	۳۵/۴(۵۷)	۲۰۹/۸(۸)	۱۳۶/۹(۹۵)	۸۶/۲(۶۰)	۴۹/۴(۶۰)	۱۶/۵(۱۸)	۷/۱(۱۸)	۴/۵(۶۰)	۵/۸(۶۰)
۴	۳۳/۰(۱۴)	۲۰۸/۹(۱۸)	۱۳۴/۸(۱۸)	۸۱/۰(۱۸)	۴۸/۶(۷۷)	۱۵/۷(۴۱)	۶/۹(۹۵)	۴/۲(۵۸)	۵/۸(۵۸)
۵	۳۲/۷(۹۴)	۱۹۸/۰(۹۴)	۱۲۳/۸(۹۴)	۸۰/۵(۹۵)	۴۸/۴(۵۵)	۱۵/۷(۸)	۶/۸(۶۰)	۴/۱(۱۸)	۵/۷(۱۸)
۶	۳۲/۵(۶۰)	۱۹۵/۶(۴۱)	۱۲۲/۷(۷۷)	۸۰/۳(۷۷)	۴۸/۱(۱۸)	۱۵/۷(۹۴)	۶/۶(۵۸)	۴/۱(۱۱)	۵/۶(۴۰)
۷	۳۲/۲(۹۷)	۱۹۳/۰(۹۲)	۱۲۱/۱(۴۱)	۷۹/۲(۹۴)	۴۷/۸(۲۵)	۱۵/۴(۹۲)	۶/۴(۷۷)	۳/۹(۹۵)	۵/۴(۱۱)۵.۴
۸	۳۱/۷(۲۶)	۱۹۱/۰(۳۸)	۱۲۱/۰(۳۸)	۷۹/۲(۱۱)	۴۷/۲(۱۱)	۱۵/۰(۴۴)	۶/۳(۹۴)	۳/۹(۹۴)	۵/۳(۴)۵.۳
۹	۳۱/۷(۳۷)	۱۸۹/۰(۷۷)	۱۲۰/۶(۹۲)	۷۶/۹(۵۸)	۴۶/۱(۹۵)	۱۴/۹(۵۳)	۶/۲(۹۲)	۳/۹(۷۷)	۵/۲(۷۷)
۱۰	۳۱/۶(۴۹)	۱۸۵/۰(۴۴)	۱۱۶/۱(۸۳)	۷۶/۵(۴۸)	۴۶/۱(۵۹)	۱۴/۸(۳۸)	۶/۲(۵۹)	۳/۹(۴۸)	۵/۲(۵۹)
۱۱	۳۱/۵(۱۱)	۱۸۳/۶(۵۳)	۱۱۴/۴(۵۸)	۷۵/۷(۵۹)	۴۵/۷(۴۰)	۱۴/۷(۴۳)	۶/۱(۴۱)	۳/۸(۵۹)	۵/۲(۶۳)
۱۲	۳۰/۹(۸)	۱۸۳/۳(۸۳)	۱۱۳/۹(۵۳)	۷۵/۶(۸۳)	۴۴/۷(۸۳)	۱۴/۵(۷۷)	۶/۱(۴۴)	۳/۸(۱۴)	۵/۱(۲۵)
۱۳	۳۰/۶(۶۸)	۱۸۲/۹(۴۳)	۱۱۳/۷(۴۴)	۷۴/۹(۹۷)	۴۴/۴(۵۸)	۱۴/۵(۴۶)	۶/۱(۸۳)	۳/۷(۵۷)	۵/۰(۱۳)
۱۴	۳۰/۵(۶۷)	۱۸۲/۰(۴۶)	۱۱۳/۴(۴۳)	۷۴/۷(۱۴)	۴۴/۳(۹۷)	۱۴/۳(۸۳)	۶/۰(۱۱)	۳/۷(۹۷)	۵/۰(۷۸)
۱۵	۳۰/۵(۵۸)	۱۷۶/۹(۶۱)	۱۱۲/۹(۴۶)	۷۴/۰(۵۵)	۳۴/۴(۳۸)	۱۴/۱(۶۱)	۵/۹(۳۸)	۳/۶(۵۵)	۵/۰(۱۴)
۱۶	۳۰/۳(۵۰)	۱۷۵/۰(۱۷)	۱۱۰/۸(۱۳)	۷۳/۷(۵۷)	۴۳/۰(۱۴)	۱۴/۱(۱۹)	۵/۹(۹۱)	۳/۶(۸۳)	۵/۰(۹۶)
۱۷	۲۹/۸(۴۴)	۱۷۴/۸(۱۳)	۱۱۰/۳(۵۹)	۷۳/۰(۴۴)	۴۲/۹(۷۸)	۱۴/۰(۵۸)	۵/۹(۴۶)	۳/۶(۹۱)	۵/۰(۹۵)
۱۸	۲۹/۴(۱۳)	۱۷۴/۶(۵۸)	۱۰۹/۷(۱۷)	۷۱/۹(۹۲)	۴۲/۵(۲۷)	۱۳/۹(۱۷)	۵/۸(۱۳)	۳/۶(۱۵)	۵/۰(۹۱)
۱۹	۲۹/۳(۴۰)	۱۷۴/۶(۷۳)	۱۰۹/۲(۶۱)	۷۱/۶(۳۷)	۴۲/۴(۱۳)	۱۳/۷(۲۰)	۵/۸(۶۳)	۳/۵(۳۷)	۴/۹(۲۸)
۲۰	۲۹/۳(۴۱)	۱۷۴/۴(۱۹)	۱۰۸/۸(۶۰)	۷۱/۵(۱۵)	۴۲/۱(۱۲)	۱۳/۶(۱۳)	۵/۸(۱۷)	۳/۵(۴۴)	۴/۹(۵۵)
۲۱	۲۸/۹(۹۱)	۱۷۲/۱(۲۰)	۱۰۸/۳(۷۸)	۷۱/۱(۱۳)	۴۱/۴(۶۳)	۱۳/۶(۷۳)	۵/۷(۵۵)	۳/۵(۱۳)	۴/۹(۱۶)
۲۲	۲۸/۲(۱۸)	۱۷۱/۸(۵۹)	۱۰۸/۳(۱۹)	۷۰/۷(۳۸)	۴۱/۲(۴)	۱۳/۵(۶۰)	۵/۷(۸۴)	۳/۵(۶۸)	۴/۹(۹۴)
۲۳	۲۷/۳(۷۰)	۱۶۹/۸(۷۸)	۱۰۸/۳(۱۱)	۶۹/۷(۲۵)	۴۱/۱(۹۶)	۱۳/۵(۵۹)	۵/۷(۱۹)	۳/۵(۴۰)	۴/۹(۹۰)
۲۴	۲۷/۲(۳)	۱۶۸/۴(۸۰)	۱۰۸/۰(۹۱)	۶۹/۷(۴۱)	۴۱/۰(۳۳)	۱۳/۴(۹۱)	۵/۷(۷۸)	۳/۴(۴۱)	۴/۹(۳۳)
۲۵	۲۶/۹(۹۵)	۱۶۸/۳(۴۷)	۱۰۷/۶(۱۲)	۶۹/۵(۴۶)	۴۰/۶(۹۴)	۱۳/۴(۴۷)	۵/۷(۶۱)	۳/۴(۶۳)	۴/۸(۸۳)
واریانس ژنتیکی	۱۸۷/۰	۳۴۶۶/۳	۶۷۱۰/۷	۳۱۹۹/۳	۳۰۱۰/۶	۳۸/۵	۸۷/۷	۴۹/۶	۱۹۵/۰
وراثت‌پذیری	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۶	۰/۷۸	۰/۷۹	۰/۷۴	۰/۷۵	۰/۷۶	۰/۷۵
همبستگی ژنتیکی با عملکرد دانه		۰/۴۴	۰/۴۶	۰/۸۷	۰/۶۸	۰/۳۹	۰/۶۱	۰/۸۸	۰/۶۶
پاسخ همبسته		۱۰۰۰/۶۶	۵۹/۶۳	۱۳۰/۴	۱۵/۲۷	۰/۹۱	۱/۲۲	۱/۷۶	۱/۵۳
کارایی نسبی انتخاب نسبت به عملکرد دانه		۰/۴۴	۰/۴۶	۰/۸۷	۰/۶۸	۰/۳۹	۰/۶۱	۰/۸۸	۰/۶۶
تعداد لاین برتر*		۹	۱۲	۱۶	۱۲	۱۱	۱۲	۱۸	۱۱

*: تعداد ژنوتیپی که جزو ۲۵ درصد ژنوتیپ های برتر از نظر عملکرد و شاخص می‌باشند. اعداد داخل پارانتز شماره ژنوتیپ می‌باشد

کارایی انتخاب از طریق شاخص (ΔH) و پاسخ صفات به انتخاب بر اساس شاخص (ΔG) در شرایط معمول و تنش شوری در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در شرایط معمول ارتفاع بوته و در شرایط تنش شوری وزن طبق بالاترین پاسخ به انتخاب را نشان می‌دهند. عملکرد دانه در شاخص‌های سوم و هفتم دارای بیشترین پاسخ به انتخاب بود. در شرایط معمول ارتفاع بوته و بعد از آن عملکرد دانه بالاترین بهره را در شاخص سوم اسمیت-هیزل و شاخص سوم پسک-بیکر داشتند. در شرایط تنش، وزن طبق و عملکرد دانه بالاترین بهره را در شاخص‌های سوم و هفتم به خود اختصاص دادند. لذا انتخاب بر اساس این شاخص‌ها در شرایط معمول باعث انتخاب لاین‌های با ارتفاع بوته بیشتر و عملکرد بالاتر و در شرایط تنش باعث انتخاب لاین‌های با وزن طبق بیشتر و عملکرد بالاتر می‌گردد.

جدول ۶- کارایی انتخاب از طریق شاخص (ΔH) و پاسخ صفات به انتخاب بر اساس شاخص (ΔG) در شرایط معمول و تنش شوری در آفتابگردان

Table 6. Efficiency of selection through index (ΔH) and response of traits to selection based on index (ΔG) in sunflower under normal and salt stress conditions

ΔH	عملکرد دانه	تعداد برگ	ارتفاع بوته	وزن طبق	وزن ۱۰۰ دانه	قطر طبق	شاخص	شرایط
				ΔG				
				شرایط نرمال				
۱۳۰/۷۲	–	۱۰/۸۲	۸۴/۰۴	۲۳/۳۲	۳/۹۸	۸/۵۶	I_1	شاخص اسمیت-هیزل
۱۲۰/۵۹	–	–	۸۴/۹۰	۲۳/۳۰	۳/۸۰	۸/۵۹	I_2	
۱۴۶/۹	۲۷/۹۳	–	۸۲/۰۰	۲۳/۰۱	۴/۳۴	۸/۸۱	I_3	
۵۶/۱۸	–	۱۱/۶۹	–	۲۹/۱۲	۵/۹۰	۹/۴۷	I_4	
۱۱۹/۷۲	–	۱۳/۰۸	۶۷/۳۹	۲۴/۶۱	۶/۲۱	۸/۴۳	I_5	شاخص پسک-بیکر
۱۱۰/۳۰	–	–	۶۹/۷۰	۲۵/۴۶	۶/۴۳	۸/۷۱	I_6	
۱۳۷/۵۶	۲۹/۹۱	–	۶۸/۰۴	۲۴/۸۴	۶/۲۷	۸/۵	I_7	
۵۴/۲۹	–	۱۳/۵۷	–	۲۵/۵۳	۶/۴۵	۸/۷۴	I_8	
				شرایط تنش شوری				
۶۷/۲۴	–	۱۵/۴	۱۸/۴۳	۲۳/۴۶	۴/۱۳	۵/۸۲	I_1	شاخص اسمیت-هیزل
۴۹/۶۷	–	–	۱۷/۳۷	۲۴/۵۹	۴/۵۳	۳/۱۸	I_2	
۷۹/۴۹	۲۷/۹۸	–	۱۶/۹۶	۲۳/۰۴	۴/۵۵	۶/۹۶	I_3	
۵۰/۷۳	–	۱۳/۲۵	–	۲۶/۸	۴/۰۸	۶/۶	I_4	
۶۴/۲۹	–	۱۳/۳۳	۱۶/۶۲	۲۲/۵۳	۵/۱۶	۶/۶۵	I_5	شاخص پسک-بیکر
۵۲/۲۰	–	–	۱۷/۰۳	۲۳/۰۸	۵/۲۸	۶/۸۱	I_6	
۷۸/۱۸	۲۸/۰۵	–	۱۶/۳۵	۲۲/۱۷	۵/۰۷	۶/۵۴	I_7	
۴۳/۹۹	–	۱۲/۳۰	–	۲۰/۷۹	۴/۷۶	۶/۱۴	I_8	

شاخص های I_1 و I_5 شامل ارتفاع بوته، قطر طبق، تعداد برگ، وزن صد دانه و وزن طبق. I_2 و I_6 شامل ارتفاع بوته، قطر طبق، وزن صد دانه و وزن طبق. I_3 و I_7 شامل ارتفاع بوته، قطر طبق، وزن صد دانه، وزن طبق و عملکرد. I_4 و I_8 شامل قطر طبق، تعداد برگ، وزن صد دانه و وزن طبق

در مجموع نتایج این بررسی نشان داد که انتخاب بر اساس شاخص سوم اسمیت-هیزل و شاخص سوم پسک-بیکر که بالاترین کارایی انتخاب (ΔH) را در هر دو شرایط معمول و تنش شوری داشتند باعث افزایش عملکرد در شرایط معمول و شوری خواهد شد. قطر طبق بیشترین پاسخ همبسته را در هر دو شرایط محیطی نسبت به سایر صفات برای عملکرد دانه نشان داد و می‌توان آن را به‌عنوان صفتی مناسب برای انتخاب غیرمستقیم برای بهبود عملکرد دانه معرفی نمود. بر اساس شاخص‌های مناسب لاین ۷۱ به‌عنوان لاین برتر در شرایط معمول و تنش شوری معرفی می‌گردد.

منابع

1. Alexander, W.L., E.L. Smith and C. Dhanasobhan. 1984. A comparison of yield and yield component selection in winter wheat. Euphytica, 33(3): 953-961.
2. Allakhverdiev, S.I., A. Sakamoto, Y. Nishiyama, M. Inaba and N. Murata. 2000. Ionic and osmotic effects of NaCl-inactivation of photosystems I and II in *Synechococcus* spp. Journal of Plant Physiology, 123(3): 1047-1056.
3. Baker, R. J. 1986. Selection indices in plant breeding. Boca Raton, FL, CRC Press, 218 pp
4. Balouchzaehi, A.B. and G.H. Kiani. 2013. Determination of selection criteria for yield improvement in rice through path analysis. Journal of Crop Breeding, 5(12): 75-84.
5. Biswas, B.K., M. Hasanuzzaman, F.El. Taj, M.S. Alam and M.R. Amin. 2001. Simultaneous selection for fodder and grain yield in sorghum. Journal of Biological Sciences, 1(5): 321-323.
6. Falconer, D.S. 1989. Introduction to quantitative genetics. (Third edition). Longman Scientific and Technical, New York, 415 pp.
7. Fazlalipour, M., B. Rabiei, H. Samizadeh and H. Rahim Souroush. 2007a. Use of coefficient path analysis for base and optimum selection indices in rice. Journal of Agricultural Science 17(4): 97-112 (In Persian).
8. Fazlalipour, M., B. Rabiei, H.A. Samizadeh Lahijih and H. Rahim Souroush. 2007b. Index selection in an F_3 rice population. Iranian Journal of Agricultural Sciences (Journal of Agriculture), 38-1(2): 385-397 (In Persian).
9. Hashemzehi, M., A. Moradgholi and A. Ghasemi. 2013. Evaluation of responses of mung bean (*Vigna radiata*) genotypes to drought stress using different stress tolerance indices. Journal of Crop Breeding 5(12): 112-122.
10. Gebre, M.H. and E.N. Lorter. 1996. Genetic response to index selection for grain yield, kernel weight and percent protein in four wheat crosses. Plant Breeding, 115: 459-464.
11. Hazel, L. 1943. The genetic basis for constructions selection indices. Genetics, 28: 476-490.
12. Khan, M.A. and S. Gulzar. 2003. Germination responses of *Sporobolus ioclados*: A saline desert grass. Journal of Arid Environments, 55: 453-464.
13. McNeal, F.H., C.O. Qualset, D.E. Baldrigge and V.R. Stewart. 1978. Selection for yield and yield components in wheat. Crop Science, 18(5): 795-799.
14. Monirifar, H. 2010. Evaluation of selection indices for Alfalfa (*Medicago sativa* L.). Notulae Scientia Biologicae, 2(1): 84-87.
15. Munns, R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. New Phytologist, 167(3): 645-663.

16. Pešek, J. and R.J. Baker. 1969. Desired improvement in relation to selection indices. Canadian Journal of Plant Science, 49(6): 803-804.
17. Rabiei, B., M. Valizadeh, B. Gharayazie and M. Moghaddam. 2004. Evaluation of selection indices for improving rice grain shape. Field Crops Research, 89(2): 359-367.
18. Rezai, A.M. and M. Yousofi Azar. 2008. Comparison of direct and indirect selection methods based on selection indices in wheat lines in drought and non-drought conditions. Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources), 12(45): 21-32 (In Persian).
19. Rosielle, A.A. and K.J. Frey. 1975. Application of restricted selection indices for grain yield improvement in oats. Crop Science, 15(4): 544-547.
20. Saburi, H., GH. Mohamadinejhad and M. Fazlalipour. 2012. Selection for rice yield improving by using multivariate statistical analysis methods. Iranian Journal of Field Crops Research, 10(1): 150-162 (In Persian).
21. Sabouri, H., A. Biabani, M. Fazlalipour and A. Sabouri. 2011. Determination of best selection indices for facilitating selection in rice. Journal of Plant Production, 17(4): 1-25.
22. Salehi, M. and Gh. Saeedi. 2013. Selection index for seed yield improving in *Sesamum indicum*. Iranian Journal of Field Crops Research, 10(4): 667-673 (In Persian).
23. Sandhu, B.S., K.L. Khera, S.S. Prihar and B. Singh. 1980. Irrigation needs and yield of rice on a sandy-loam soil as affected by continuous sub-emergence. Indian Journal of Agricultural Science 50(6): 492-496.
24. Smith, H.F. 1936. A discriminant function for plant selection. Annals of Eugenics 7(3): 240-250.
25. Ud-Din, N., B.F. Carver and A.C. Clutter. 1992. Genetic analysis and selection for wheat yield in drought-stressed and irrigated environments. Euphytica, 62(2): 89-96.
26. Suwantaradon, K., S.A. Eberhart, J.J. Mock, J.C. Owens and W.D. Guthrie. 1975. Index selection for several agronomic traits in the BSSS2 maize population. Crop Science, 15(6): 827-833.
27. Yosaf, M. 1977. The use of selection indices in maize (*Zea mays* L). *In*: Muhammed, A. Aksel, R. and Von Borstel, R.C. (Eds.), Genetic Diversity in Plants, Plenum Press, New York, 259 pp.

Selection Indices for Yield Improvement of Sunflower under Normal and Salt Stress Conditions

Soheila Ahmadpour[1], **Reza Darvishzadeh**[2] **and Omid Sofalian**[3]

1 and 3- Ph.D. Student and Associate Professor in Plant Breeding, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2- Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, (Corresponding Author: r.darvishzadeh@urmia.ac.ir)

Received: October 28, 2016 Accepted: February 26, 2017

Abstract

One of the effective indirect selections methods for improving grain yield and its components is the selection index. In order to develop a suitable selection index for simultaneously increasing yield and its related traits, 100 sunflower inbred lines from different geographical origins were evaluated in randomized complete block designs with three replications at Urmia University in 2015 under normal and salt stress (8 dS/m) conditions. Smith-Hazel and Pesek-Baker indices based on 6 traits including plant high, head diameter, leaf number, one hundred seed weight, head dried weight and grain yield, as well as direct and correlated response of these traits were calculated in each one of salt stress conditions. Correlations between grain yield and selection indices were computed. The highest correlated responses were observed for plant height via seed yield (32.16) and for grain yield via head diameter (14.21) at normal and salt stress conditions, respectively. Head diameter with the highest correlated response for seed yield at normal and salt stress conditions can be considered as a suitable indirect trait for improving seed yield under both conditions. Smith-Hazel's third indices and Pesek-Bakker's third indices showed high heritability (0.76, 0.78), genetic correlations (0.87, 0.88) and relative efficiency (0.87, 0.88) and they help to identify the most superior genotypes same to direct selection by grain yield (16, 18) under both conditions. So, selection based on these indices potentially screens the high yielding lines. Based on results, the line '71' is introduced as superior line in normal and salt stress conditions.

Keywords: Direct and indirect selection, Path analysis, Salt stress, Selection index, Sunflower