ارزیابی تحمل به تنش خشکی در برخی ارقام گندم نان با استفاده از شاخص‌های قدیم و جدید

Evaluation of Tolerance to Drought Stress in Some Bread Wheat Cultivars Using Old and New Indices

سمیه جلالی فر[۱]، سید سعید موسوی[۲*]، محمدرضا عبدالهی[۲]، مهرداد چایچی[۳] و حجت‌اله مظاهری‌لقب[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۲/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۸/۱۶

چکیده

به منظور ارزیابی اثر تنش خشکی آخر فصل بر ۵ رقم گندم نان (که به‌طور متداول در استان همدان کشت می‌شوند)، و جهت تعیین تحمل نسبی آن‌ها با استفاده از کارایی انتخاب شاخص‌های قدیم (SSI، TOL، MP، GMP، STI، HARM، RDI) و جدید (SSPI و SNPI)، دو آزمایش جداگانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط تنش و عدم تنش انجام شد. با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه در شرایط عدم تنش و تنش با شاخص‌های SNPI، STI، MP ، GMP و HARM این شاخص‌ها به عنوان مطلوب‌ترین شاخص مقاومت نسبی انتخاب شدند. بر اساس نتایج شاخص‌ها، ارقام پیشگام و توس به‌طور نسبی به‌عنوان ارقام مقاوم، سایسون به‌عنوان رقم نیمه مقاوم و الوند و نوید هم به‌عنوان ارقام نسبتا حساس شناخته شدند. همچنین نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که دو شاخص SNPI و RDI بهترین شاخص جهت شناسایی ارقام مقاوم بودند. در واقع شاخص SNPI بهتر از دیگر شاخص‌ها، ارقام مقاوم را شناسایی کرد و ژنوتیپ گروه A را از دیگر گروه‌ها مجزا ساخت.

کلمات کلیدی: گندم، تنش خشکی آخر فصل، شاخص درصد حساسیت به تنش، شاخص میزان محصول محیط غیرتنش و تنش

۱، ۲ و ۴. به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیاران و دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
۳. مربی پژوهشی موسسه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، همدان
*: نویسنده مسئول E-mail: moosaviss@gmail.com

مقدمه

گندم مهم‌ترین غله‌ایست که بیش‌ترین سطح زیر کشت را در بین گیاهان زراعی، به خود اختصاص داده است و اغلب در نواحی خشک و نیمه خشک با تغییرات زیاد آب و هوای سالانه، رشد می‌کند (آهنگری و همکاران، ۱۳۸۸ و *دنگ*[1] و همکاران، 2006). ایران با میانگین بارندگی حدود ۲۴۰ میلی‌متر در سال در زمره مناطق خشک و نیمه خشک جهان قرار دارد، که در این شرایط، مهم‌ترین عامل محدود کننده عملکرد این گیاه، تنش خشکی می‌باشد (رازقی یدک و همکاران، ۱۳۸۹). یکی از راه‌کارهای اساسی غلبه بر مشکلات ناشی از این تنش، انتخاب ارقام مقاوم و اصلاح ژنوتیپ‌های سازگار می‌باشد (*بریگل*[2]، 1987). در این راستا، روش‌های مختلفی برای انتخاب ارقام مقاوم به خشکی پیشنهاد شده است. به‌طوری‌که، برخی از محققین انتخاب تحت شرایط عدم تنش را برای بهبود تحمل و مقاومت نسبی پیشنهاد کرده‌اند (*راجارام*[3] و همکاران، 1990و *ریچارد* و *لوکاس*[4]، 2002)، دیگر محققین انتخاب تحت شرایط تنش را ارائه داده‌اند (*گرندو* و *سکارلیس*[5]، 1995 و *راتجن*[6]، 1994) در حالی‌که تعدادی دیگر از آن‌ها راه بینابین، یعنی انتخاب تحت شرایط عدم تنش و تنش را پیشنهاد کرده‌اند (موسوی و همکاران، 2008؛ *کلارک*[7] و همکاران، 1992؛ *فرناندز*[8]، 1992؛ *فیشر* و *مورر*[9]، 1978). علیرغم این‌که *ریچارد* و *لوکاس* (2002) به انتخاب براساس عملکرد در شرایط مطلوب آبیاری به عنوان یک روش مفید برای بهبود عملکرد در شرایط تنش معتقداند ولی *بلوم*[10] (1996) اظهار داشت که ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط عدم تنش ممکن است که مقاوم به تنش نباشند چرا که افزایش عملکرد در این ژنوتیپ‌ها ممکن است به‌خاطر مکانیسم مقاومت به تنش نباشد بلکه صرفا به دلیل عملکرد پتانسیل بالای آن‌ها باشد. در همین راستا پژوهشی بر روی گندم (سی و سه مرده و همکاران، 2006) نشان داد که عملکرد دانه تحت شرایط عدم تنش با عملکرد دانه تحت شرایط دیم به‌طور معکوس همبسته بود که بر این اساس، نتیجه‌گیری شد که داشتن عملکرد پتانسیل بالا در شرایط مطلوب آبیاری حتما منتج به بهبود عملکرد در شرایط دیم نمی‌گردد. در تحقیقی دیگر (موسوی و همکاران، 2008) انتخاب تحت هر دو شرایط پیشنهاد گردید، به‌طوری‌که تنش بیان پتانسیل حداکثر ژن را کم‌تر می‌کند و در نتیجه سرعت پیشرفت ژنتیکی در شرایط عدم تنش بیش‌تر از شرایط تنش می‌گردد. بنابراین می‌توان اظهار داشت که انتخاب بر اساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش تنها مناسب شرایط تنش است اما انتخاب بر اساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط عدم تنش ممکن است که مناسب هر دو شرایط باشد (*بلوم*، 1996 و موسوی و همکاران، 2008). *سینگ*[11] (2002) بیان کرد که انتخاب و غربال شدید نسل‌های اولیه در شرایط تنش خشکی شدید، کاری اشتباه است چرا که تظاهر قدرت رویشی و عملکرد ژنوتیپ‌ها در محدوده زمانی کوتاه و در شرایط محدودیت شدید محیطی می‌باشد و این شرایط برای تظاهر کامل پتانسیل عملکرد کافی نیست. بنابراین بهتر است که برای مقایسه ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در نسل‌های اولیه از محیط‌های با تنش ملایم استفاده گردد. قدسی و همکاران (۱۳۸۳) اظهار داشتند که اعمال تنش در هر مرحله از نمو گندم باعث کاهش عملکرد می‌گردد ولی مراحل گرده افشانی و پر شدن دانه حساسیت بیش‌تری نشان می‌دهند.

تاکنون شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی میزان تحمل و مقاومت نسبی گیاهان زراعی نسبت به انواع تنش‌ها غیرزنده مورد استفاده قرار گرفته است. در این راستا؛

۱) شاخص حساسیت به تنش[12] (SSI) توسط *فیشر* و *مورر* در سال ۱۹۷۸ پیشنهاد شد:

$$SSI = [(1- (Y_S/ Y_P))] / [(1- (\bar{Y}_S / \bar{Y}_P))]$$

۲) شاخص تحمل[13] (TOL) و میانگین بهره‌وری[14] (MP)، که توسط *روزیل* و *همبلین*[15] (۱۹۸۱) به صورت زیر تعریف شد:

$$MP = [Y_P + Y_S] / 2 \qquad TOL = [Y_P - Y_S]$$

۳) شاخص تحمل تنش[16] (STI) و شاخص میانگین هندسی محصول[17] (GMP) که *فرناندز* در سال ۱۹۹۲ معرفی کرد و عبارتند از:

$$GMP == [Y_P \times Y_S]^{0.5} \quad STI = [Y_P \times Y_S] / [\bar{Y}_P \times \bar{Y}_P]$$

۴) شاخص HARM[1] شاخص دیگریست که به صورت میانگین هارمونیک تعریف شد و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

1. Deng
2. Briggle
3. Rajaram
4. Richards and Lukacs
5. Grando and Ceccarelli
6. Rathjen
7. Clarke
8. Fernandez
9. Fischer and Maurer
10. Blum
11. Singh
12. Stress Susceptibility Index
13. Tolerance Index
14. Mean Productivity
15. Rosielle and Hamblin
16. Stress Tolerance Index
17. Geometric Mean Productivity

$$HARM = [Y_P \times Y_S)] / [Y_P + Y_S]$$

۵) بیدینگر[2] و همکارانش در سال ۱۹۷۸ شاخص پاسخ به خشکی[3] (DRI) را ارائه دادند که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$RDI = [Y_S / Y_P] / [\bar{Y}_S / \bar{Y}_P]$$

شاخص‌های بالا در مطالعات زیادی استفاده شده‌اند ولی بیش‌تر آن‌ها معایبی دارند، خصوصا نمی‌توانند گروه‌های فرناندزی را به راحتی مجزا سازند (*راجارام* و همکاران، 1990). در این راستا موسوی و همکاران (2008) برای اولین بار از اصطلاح "تحمل و مقاومت نسبی" به جای اصطلاح "تحمل و مقاومت" استفاده کردند و اظهار داشتند که عبارت "تحمل و مقاومت" مفهوم تحمل و مقاومت کامل را دارد و در عمل چنین تحمل و مقاومتی وجود ندارد بلکه تحمل و مقاومت همواره به صورت نسبی است. به عبارت دیگر، وقتی یک ژنوتیپ به طور کامل متحمل یا مقاوم است باید تغییرات عملکردش در دو شرایط تنش و غیرتنش معنی‌داری نباشد که در عمل چنین ژنوتیپی وجود ندارد. همچنین تعاریفی به این صورت ارائه دادند که ژنوتیپی که تغییرات عملکردش در دو شرایط تنش و غیرتنش نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها کم‌ترین مقدار باشد یک ژنوتیپ نسبتا متحمل[4] است، در حالی‌که، ژنوتیپی که تغییرات عملکردش در دو شرایط تنش و غیرتنش کم یا حداقل است و دارای عملکرد بالا و قابل قبول در دو شرایط تنش و عدم تنش باشد یک ژنوتیپ نسبتا مقاوم[5] است. بنابراین یک ژنوتیپ نسبتا مقاوم ممکن است که که یک ژنوتیپ نسبتا متحمل هم باشد ولی یک ژنوتیپ نسبتا متحمل یک ژنوتیپ نسبتا مقاوم نیست. در این تحقیق آن‌ها سه شاخص جدید با کارایی نسبی بهتر معرفی کردند که عبارت بودند از:

۶) شاخص تحمل تنش‌های غیر زنده[6] (ATI).

۷) شاخص درصد حساسیت به تنش[7] (SSPI).

که این دو شاخص، توانایی جداسازی ژنوتیپ‌های نسبتا متحمل از غیرمتحمل‌ها را بهتر از شاخص‌های قبلی داشتند و همچنین؛

۸) شاخص میزان محصول محیط غیرتنش و تنش[8] (SNPI).

که قادر به جداسازی ژنوتیپ های گروه A است و تاکید بر عملکرد بالا و پایدار در دو محیط، به ویژه عملکرد محیط تنش را دارد، معرفی شد که از طریق روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$SSPI = \left[\frac{(Y_P - Y_S)}{2(\bar{Y}_P)}\right] * [100]$$

$$SNPI = \left[\sqrt[3]{(Y_P + Y_S)/(Y_P - Y_S)}\right] * \left[\sqrt[3]{Y_P * Y_S * Y_S}\right]$$

$$ATI = \left[(Y_P - Y_S)/(\bar{Y}_P - \bar{Y}_S)\right] * \left[\sqrt{Y_P * Y_S}\right]$$

در روابط بالا Y_S، Y_P، $\bar{Y}_S$ و $\bar{Y}_P$ به ترتیب عملکرد در شرایط تنش و غیرتنش برای هر ژنوتیپ و میانگین عملکرد در شرایط تنش و غیرتنش برای کلیه ژنوتیپ‌ها است. مقدم و هادی‌زاده (۱۳۸۱) اظهار داشتند که شاخص STI از مزایای بیش‌تری جهت انتخاب ارقام مطلوب در هر دو شرایط برخوردار است. در تحقیقی دیگر (سنجری، ۱۳۷۷) بیان شد که بر اساس شاخص‌های GMP و STI ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو محیط تنش و عدم تنش و با استفاده از SSI ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا صرفا در شرایط تنش انتخاب می‌گردند. شفازاده و همکاران (۱۳۸۳) نتیجه‌گیری کردند که شاخص‌های MP، GMP و STI بهترین شاخص جهت ارزیابی تحمل نسبی ژنوتیپ‌ها می‌باشند. در تحقیقی دیگر بر روی گندم دوروم (صادق‌زاده اهری، ۱۳۸۵) شاخص‌های MP، GMP و STI به عنوان بهترین شاخص جهت شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم توصیه گردید. همچنین محمدی و همکاران (۱۳۸۷) اظهار داشتند که ژنوتیپ‌های با میزان بالای شاخص‌های GMP و STI و میزان کم SSI به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناخته شدند. در تحقیقی چند ساله بر روی ارقام مختلف گندم نان و دوروم (موسوی و همکاران، 2008) بهترین شاخص برای تحمل نسبی SSPI و بهترین شاخص برای مقاومت نسبی SNPI معرفی و کارایی شاخص‌های جدید و قدیم با هم مقایسه و بررسی گردید.

با توجه به اهمیت گندم به عنوان یک محصول استراتژیک در ایران و نظر به محدودیت‌های آبی رو به رشد در کشور، هدف این پژوهش ارزیابی واکنش برخی از ارقام تجاری مورد کشت در استان همدان به تنش خشکی آخر فصل، شناسایی ارقام متحمل و تعیین مناسب‌ترین شاخص تحمل در این شرایط آب و هوایی می‌باشد.

1. Harmonic Mean
2. Bidinger
3. Drought Response Index
4. Relatively Tolerant Genotype
5. Relatively Resistance Genotype
6. Abiotic Tolerance Index
7. Stress Susceptibility Percentage Index
8. Stress Non-stress Production Index

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی اثر تنش خشکی آخر فصل بر ۵ رقم گندم نان(که به طور متداول توسط کشاورزان کشت می-شوند و دارای مراحل فنولوژیکی تقریبا مشابه و نزدیکی هستند) و جهت تعیین میزان تحمل نسبی آن‌ها با استفاده از شاخص‌های جدید (SNPI و SSPI) و قدیم (SSI، TOL، MP، GMP، STI، HARM، RDI) ، این پژوهش به صورت دو آزمایش جداگانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط تنش و عدم تنش در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات استان همدان اجرا شد. پس از انجام عملیات آماده سازی زمین، هر رقم در هر تکرار به صورت دو خط سه متری با فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر در اواخر آبان ماه کشت گردید و در هر شرایط، دو خط کشت کناری، به عنوان حاشیه کشت در اطراف محوطه کشت، در نظر گرفته شد و عملکرد کل، از طریق برداشت کامل هر دو خط سه متری کشت شده، محاسبه گردید. به منظور سبز شدن و رشد گیاهچه‌ها در هر دو شرایط، عمل آبیاری به صورت متداول، هفته‌ای یکبار پس از کشت صورت گرفت (البته به جز زمان بارندگی) و برای ایجاد شرایط تنش، عمل آبیاری از زمان شروع مرحله سنبله‌دهی به‌طور کامل قطع گردید. همچنین پس از استقرار کامل گیاهان، برای مبارزه با علف‌های هرز از سموم 2,4-D و Granstar استفاده شد.

پس از محاسبه عملکرد ارقام، علاوه بر شاخص‌های ذکر شده در فوق، شاخص درصد تغییرات عملکرد هر رقم به شرح زیر محاسبه شد:

(عملکرد عدم تنش)] = درصد تغییرات عملکرد هر رقم

۱۰۰× [(عملکرد عدم تنش) / (عملکرد تنش) -

بعد از محاسبه شاخص‌های مختلف، جهت تعیین بهترین شاخص، همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط تنش و عدم‌تنش (Y_S و Y_p) با شاخص‌های تحمل به تنش محاسبه گردید و شاخصی‌هایی که همبستگی بالا و معنی-داری با عملکرد دانه در هر دو شرایط داشت به عنوان بهترین شاخص معرفی شدند (نورمند موید، ۱۳۷۶). همچنین برای ارزیابی دقیق‌تر ارقام متحمل به خشکی عمل تجزیه به مولفه‌های اصلی برای شاخص‌های مورد مطالعه انجام شد و با توجه به روابط مولفه‌ها و شاخص‌های مورد بررسی، نمودار بای‌پلات برای شناسایی ارقام نسبتا متحمل ترسیم شد و در پایان، ارقام نسبتا متحمل به تنش رطوبتی آخر فصل برای شرایط آب و هوایی این آزمایش شناسایی گردید. جهت تجزیه داده‌ها از نرم افزارهای Excel، Minitab و GGBi-plot استفاده شد.

نتایج و بحث

در این تحقیق، مهم‌ترین صفت مورد بررسی عملکرد دانه در واحد سطح در دو شرایط تنش (Y_S) و عدم تنش (Y_P) بود که با اندازه‌گیری آن میزان تغییرات آن برای هر رقم و شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی محاسبه گردید.

درصد تغییرات عملکرد برای هر رقم

درصد تغییرات عملکرد، یک شاخص مهم جهت ارزیابی میزان تغییرات عملکرد یک رقم در شرایط تنش نسبت به عملکرد آن در شرایط عدم تنش می‌باشد. در واقع هر چقدر مدت و شدت تنش بیش‌تر و رقم حساستر باشد درصد این تغییر بیش‌تر است و هر چقدر این درصد در رقمی کم‌تر باشد آن رقم متحمل‌تر می‌باشد. نتایج (جدول ۱) نشان داد که از نظر این معیار، دو رقم توس و پیشگام با درصد تغییری حدود ۴۰ درصد (توس با ۳۹/۳۶ درصد و پیشگام با ۴۰/۱۸ درصد) دارای کم‌ترین درصد تغییر و دو رقم الوند و نوید با درصد تغییری بیش از ۵۰ درصد (الوند با ۵۷/۶۱ درصد و نوید با ۵۰/۳۷ درصد) دارای بیش‌ترین درصد تغییرات بودند و این در حالی بود که رقم نیمه متحمل سایسون درصد تغییرات بینابین داشت (۴۸/۶۶ درصد). بنابراین بر اساس این معیار می‌توان ارقام توس و پیشگام را متحمل‌تر، الوند و نوید را حساس‌تر و سایسون را نیمه مقاوم معرفی کرد. چوگان و همکاران (۱۳۸۵) و محمدی و همکاران (۱۳۸۷) نیز، درصد تغییرات صفات مختلف را محاسبه کردند و این شاخص را جهت شناسایی ارقام با تحمل نسبی مناسب پیشنهادکردند.

جدول ۱: درصد تغییرات صفت عملکرد در دو شرایط تنش و عدم تنش برای ارقام مختلف

Table 1: The percentage of yield changing in stress and non-stress conditions for different cultivars.

ارقام (cultivars)	Y_P (g/area unit)	Y_S (g/area unit)	درصد تغییرات عملکرد Percentage of yield changing
توس	1336.75	810.49	39.36
سایسون	1667.68	856.03	48.66
الوند	1334.77	565.68	57.61
نوید	1562.18	775.16	50.37
پیشگام	1435.03	858.38	40.18

همبستگی ساده بین شاخص‌های مختلف و عملکرد دانه در شرایط تنش و عدم تنش

طبق نظر فرناندز (1992) ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکردشان در محیط‌های تنش و عدم تنش به چهار گروه تقسیم می‌شوند. گروه A: ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تظاهر مطلوب و نسبتا یکسانی دارند؛ گروه B: ژنوتیپ‌هایی که فقط در محیط عدم تنش تظاهر خوبی دارند؛ گروه C: ژنوتیپ‌هایی که فقط در محیط تنش تظاهر خوبی دارند و گروه D: ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تظاهر ضعیف دارند. طبق معیار فرناندز، مناسب‌ترین معیار برای تنش باید بتواند ژنوتیپ‌های گروه اول را از سایر گروه‌ها تفکیک نماید. بنابراین با توجه به این که بهترین شاخص‌ها آن‌هایی هستند که دارای همبستگی بالا با عملکرد تحت هر دو شرایط تنش و عدم تنش باشند و بتوانند ژنوتیپ‌های گروه A را از سایر گروه‌ها تمیز دهند، لذا به منظور تعیین بهترین شاخص، همبستگی بین عملکرد دانه ارقام در شرایط تنش و غیرتنش با شاخص‌های تحمل به خشکی محاسبه گردید (جدول ۲). نتایج نشان داد که بین عملکرد دانه در شرایط تنش و غیرتنش با شاخص‌های تحمل به خشکی، همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد به‌طوری‌که شاخص‌های MP، STI، GMP، HARM و SNPI به عنوان بهترین شاخص تحمل به خشکی برای گندم نان در شرایط این تحقیق انتخاب شدند. بنابراین ارقامی که مقدار بالایی از این شاخص‌ها را داشته باشند به عنوان ارقام نسبتا مقاوم شناخته می‌شوند. نکته قابل توجه در مورد شاخص SNPI است که این شاخص با عملکرد شرایط عدم تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۵ درصد (۰/۴۲*) داشت و این در حالیست که با عملکرد شرایط تنش، همبستگی بالاتری در سطح ۱ درصد (۰/۹۹**) دارد. مفهوم این رابطه این است که انتخاب بر اساس این شاخص تاکید به عملکرد بالا در هر دو شرایط، به ویژه عملکرد بالا در شرایط تنش دارد. بیش‌ترین همبستگی عملکرد در شرایط تنش با شاخص جدید SNPI است که نشان دهنده اهمیت این شاخص، برای انتخاب ارقام مقاوم به خشکی با عملکرد بالا و مطلوب در شرایط تنش، می‌باشد.

جدول ۲: همبستگی شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد در دو شرایط تنش و عدم تنش خشکی

Table 2: Correlation of drought tolerance indices and yield in stress and non-stress conditions

	Y_P	Y_S	SSI	TOL	MP	STI	GMP	HARM	RDI	SSPI	SNPI
Y_S	0.52**	1									
SSI	0.1	-0.79**	1								
TOL	0.62	-0.34	0.84**	1							
MP	0.89**	0.84**	-0.35	0.21	1						
STI	0.82**	0.90**	-0.47	0.08	0.99**	1					
GMP	0.80**	0.92**	-0.5	0.04	0.98**	0.99**	1				
HARM	0.71**	0.96**	-0.62*	-0.10	0.95**	0.98**	0.99**	1			
RDI	-0.10	0.79**	-1**	-0.84*	0.34	0.46	0.5	0.61*	1		
SSPI	0.62*	-0.34	0.84**	1**	0.21	0.08	0.04	-0.10	-0.84**	1	
SNPI	0.42*	0.99**	-0.85**	-0.44*	0.78**	0.85**	0.87**	0.93**	0.85**	-0.44	1

کرمی و همکاران (۱۵) و صادق‌زاده اهری (۷) شاخص‌های MP، STI و GMP را به عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی کردند و این در حالیست که موسوی و همکاران (2008) مطلوبترین شاخص جهت انتخاب ژنوتیپ‌های گروه A را، شاخص SNPI معرفی کردند. بایستی ذکر کرد که بخشی از نتایج این تحقیق با تحقیقات قبلی مطابقت دارد (اهدایی، ۱۳۷۲ و سنجری، ۱۳۷۷). نتایج گلپرور و همکاران (۱۳۸۳) نشان داد که سه شاخص MP، STI و GMP همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد در شرایط تنش و عدم تنش دارد. در مورد شاخص‌های دیگر نظیر SSI، TOL و SSPI با توجه به اینکه این شاخص‌ها همبستگی منفی با عملکرد در شرایط تنش دارند، لذا ارقامی که دارای مقادیر کوچک‌تری از این شاخص هستند بایستی به عنوان ارقام نسبتا متحمل انتخاب شوند. ارقامی که بر اساس این شاخص‌ها انتخاب می‌شوند دارای عملکرد بالایی در شرایط تنش می‌باشند ولی عملکرد آن‌ها در شرایط غیرتنش پایین است لذا انتخاب بر اساس این شاخص‌ها خیلی توصیه نمی‌شود.

تعیین ارقام متحمل بر اساس مقدار عددی هر شاخص

با توجه به داده‌های جدول ۳، ارقام سایسون و نوید بیش‌ترین عملکرد را در شرایط عدم تنش و ارقام پیشگام و سایسون بیش‌ترین عملکرد را در شرایط تنش دارا بودند. گندم پیشگام، به عنوان یک رقم جدید برای کاشت در شرایط آبیاری معمولی وکم آبیاری آخر فصل در اقلیم سرد در سال ۱۳۸۸ معرفی گردیده است. هدف ازدورگ‌گیری آن، انتقال مقاومت به انواع زنگ‌ها به ویژه زنگ زرد و نیز تحمل نسبی به تنش خشکی بوده است (محفوظی و همکاران، ۱۳۸۸).

شاخص SSI، ژنوتیپ‌هایی را با مقدار عملکرد نسبتا کم در شرایط عدم تنش اما مقدار عملکرد نسبتا زیاد در شرایط تنش انتخاب می‌کند. مقدار بیش‌تر این شاخص نشانگر حساسیت بیش‌تر یک ژنوتیپ به تنش است. مهم‌ترین نقص این شاخص این است که توانایی تفکیک گروه A از گروه C را ندارد (*فیشر و موورر*، 1978). به‌طوری‌که در گروه A کاهش مقدار SSI به خاطر افزایش محصول در هر دو شرایط و در پایان کاهش مقدار SSI است، در حالی‌که علت این کاهش در گروه C به خاطر زیاد بودن مقدار نسبی محصول در شرایط تنش نسبت به شرایط غیرتنش می باشد (*راجارام* و همکاران، 1990). در واقع با استفاده از این شاخص و شاخص TOL صرفا ژنوتیپ‌های حساس و متحمل، بدون توجه به پتانسیل عملکرد آن‌ها شناسایی می‌گردد و جهت انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل این دو شاخص کارایی زیادی دارند (۱۳). بنابراین بر اساس این شاخص (جدول ۳)، ارقام توس و پیشگام به‌عنوان متحمل‌ترین ارقام شناخته شدند. نکته قابل توجه این است که هر دو رقم دارای عملکرد بالا و قابل قبولی در شرایط تنش می‌باشند. از طریق TOL، ژنوتیپ‌هایی با عملکرد کم در شرایط عدم تنش ولی با عملکرد بالا در تنش انتخاب می‌گردند (گروه C). از اینرو مانند شاخص قبلی نقص این شاخص هم عدم توانایی در تمایز گروه A از گروه C می‌باشد (*فیشر و موورر*، 1978). برای شاخص TOL، که مقدار کم آن نشان دهنده تحمل نسبی به تنش خشکی است، ارقام توس و پیشگام با کم‌ترین میزان تغییرات انتخاب گردیدند. SSPI شاخص جدیدی است که تحمل نسبی ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی را نشان می‌دهد. ماهیت این شاخص بر اساس مکانیسم بقای یک ژنوتیپ در شرایط تنش می‌باشد خواه این‌که این ژنوتیپ عملکردی زیاد و یا اینکه عملکردی کم در دو شرایط تنش و غیرتنش داشته باشد. SSPI نشان می‌دهد که هر چقدر درصد تغییرات عملکرد یک ژنوتیپ کم‌تر باشد، آن ژنوتیپ متحمل‌تر است (*راجارام* و همکاران، 1990). بر اساس این شاخص جدید، که ماهیتا شبیه دو شاخص فوق است با این تفاوت که درصد تغییرات عملکرد ارقام را واضح‌تر نشان می‌دهد، دو رقم توس و پیشگام، با کم‌ترین درصد تغییرات، به‌عنوان متحمل‌ترین ارقام معرفی می‌گردد. این شاخص جهت انتخاب ژنوتیپ‌های با تحمل نسبی بالا معرفی گردید (موسوی و همکاران، 2008). MP، میانگین عملکرد برای یک ژنوتیپ در دو شرایط تنش و غیرتنش است. MP می‌تواند ژنوتیپ‌هایی با مقدار زیاد Y_P ولی مقدار نسبتا کم Y_S (گروه B) را انتخاب کند و عیب عمده آن عدم توانایی تشخیص بین گروه A و B است (*سینگ*، 2002). براساس این شاخص، ارقام سایسون و نوید به عنوان ارقام برتر انتخاب شدند. نکته قابل بحث این است که علت انتخاب دو رقم فوق در این شاخص، مقدار بالای عملکرد آن‌ها در شرایط عدم تنش است پس ارقام توس و پیشگام علیرغم تغییرات کم عملکرد آن‌ها، از نظر رتبه‌ای بعد از این ارقام قرار گرفته‌اند. بنابراین نتیجه‌گیری می‌گردد که رقم نوید با عملکرد نسبتا کم در شرایط تنش انتخاب می‌شود در حالی که رقم پیشگام با بیش‌ترین عملکرد در تنش بعد از نوید قرار می‌گیرد که مفهوم این انتخاب این است که این شاخص تاکید زیادی به عملکرد شرایط تنش ندارد و شاخص خیلی مطلوبی برای انتخاب ارقام نسبتا مقاوم نیست.

GMP یعنی میانگین هندسی محصول دو شرایط تنش و غیرتنش، برای تفکیک کردن گروه A از گروه‌های

دیگر، ازMP قوی‌تر است و بر اساس خاصیت میانگین هندسی که کم‌تر تحت تاثیر داده‌های پرت قرار می‌گیرد لذا GMP کم‌تر تحت تاثیر مقادیر متفاوت Y_P و Y_S قرار می‌گیرد. در مورد STI، مقدار بزرگ این شاخص نشان دهنده یک تحمل نسبی زیاد است و بهترین مزیت این شاخص توانایی آن در مجزا کردن گروه A از گروه‌های دیگر می‌باشد (*راجارام* و همکاران، 1990). برای HARM، مقدار بزرگ‌تر این شاخص باعث تحمل نسبی بیش‌تر می‌شود و برای شاخص RDI، اگر مقدار این شاخص برای یک ژنوتیپ بزرگ‌تر از یک باشد، ژنوتیپ نسبتا تحمل خوبی به خشکی دارد ولی اگر میزان عددی این شاخص کوچک‌تر از یک باشد در این صورت این ژنوتیپ حساس است (*گرندو* و *سکارلیس*،1995). بر اساس شاخص‌های ITS، GMP وHARM ارقام سایسون ، پیشگام و نوید به عنوان ارقام برتر انتخاب شدند و این در حالیست که شاخص جدید SNPI این تفکیک را بهتر انجام داد و با تاکید بیش‌تر بر عملکرد شرایط تنش، و با در نظر گرفتن عملکرد بالا و قابل قبول شرایط عدم تنش، ارقام پیشگام (بیش‌ترین عملکرد در شرایط تنش)، سایسون (بعد از پیشگام، بیش‌ترین عملکرد تنش) و توس را انتخاب کرد. حال اگر از نظر عملکرد دو شرایط و تغییرات عملکرد، ارقام انتخابی توسط شاخص‌های قدیمی فوق و شاخص جدید SNPI با هم مقایسه گردد می‌بینیم که هم ترتیب ژنوتیب‌های انتخابی و هم نوع آن‌ها توسط شاخصSNPI بهتر بوده است. SNPI ژنوتیپ‌ها را بر اساس داشتن دو خصوصیت به طور هم‌زمان، یعنی داشتن عملکرد بالا و قابل قبول نسبی در شرایط تنش و عدم تنش و همچنین پایداری عملکرد (با تاکید بیش‌تر بر عملکرد شرایط تنش نسبت به عملکرد شرایط غیرتنش) مجزا و بررسی می‌کند و همبستگی قوی و معنی‌دار این شاخص با عملکرد در شرایط تنش نشان دهنده اهمیت دادن این شاخص به مقدار عملکرد شرایط تنش در حین توجه به میزان عملکرد شرایط غیرتنش است. هر چقدر مقدار عددی این شاخص بیش‌تر باشد ژنوتیپ مورد نظر مطلوب تر یا مقاوم‌تر است (موسوی و همکاران، 2008). بر اساس شاخص‌های RDI هم درست مثل SSPI رقم‌های توس و پیشگام انتخاب شدند ولی ترتیب انتخاب یکسان نبود.

تعیین ارقام متحمل بر اساس مقدار عددی کلیه شاخص‌ها با استفاده از تجزیه به مولفه‌های اصلی

در صورتی که بخواهیم روابط بیش‌تر از سه متغیر را به‌طور یک‌جا بررسی نماییم باید از ترسیم گرافیکی بای‌پلات استفاده کنیم. تجزیه به مولفه‌های اصلی[1] نشان داد که بیش‌ترین واریانس در میان داده‌ها به واسطه دو مولفه اول توجیه می‌شود. به‌طوری‌که مولفه اول به تنهایی بیش از ۷۵ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه می‌نماید و هر چه مقدار این مولفه بیش‌تر باشد مطلوب‌تر است. مولفه دوم حدود ۲۴ درصد از تغییرات کل را توجیه کرد. بر اساس داده‌های جدول ۴، مولفه اول با YS، YP، MP، STI،GMP، HARM، RDI و SNPI همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد که با توجه به این همبستگی مثبت، مولفه اول "مولفه مقاومت به خشکی" نامیده می‌شود که هر چقدر مقدار این مولفه بیش‌تر باشد مطلوب‌تر است. با توجه به اینکه مولفه دوم با شاخص SNPI و عملکرد در شرایط تنش (Y_S) همبستگی منفی و با SSI و TOL همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت، از این رو این مولفه "مولفه حساسیت به تنش" نامیده شد که در این حالت هر چه مقدار این مولفه کم‌تر باشد مطلوب‌تر است. حال بر اساس رابطه مولفه‌ها و شاخص‌های مورد بررسی مقادیر بالاتر مولفه اول (مقاومت به خشکی) و مقادیر کم‌تر مولفه دوم (حساسیت به تنش) مد نظر می‌باشد. از این رو ناحیه چهارم نمودار بای‌پلات (شکل ۱) مد نظر می‌باشد و ارقام و شاخص‌هایی که در این ناحیه قرار می‌گیرند به عنوان مطلوب‌ترین ارقام و شاخص معرفی می‌شوند. بر اساس نتایج نمودار بای پلات، ارقام پیشگام و توس ارقام نسبتا متحمل و الوند و نوید ارقام نسبتا حساس معرفی شدند و شاخص‌های RDI و SNPI به‌عنوان بهترین شاخص‌های مورد بررسی انتخاب می‌گردند. در کل بهترین شاخص دو شاخص فوق و مقاوم‌ترین ارقام پیشگام و توس بودند.

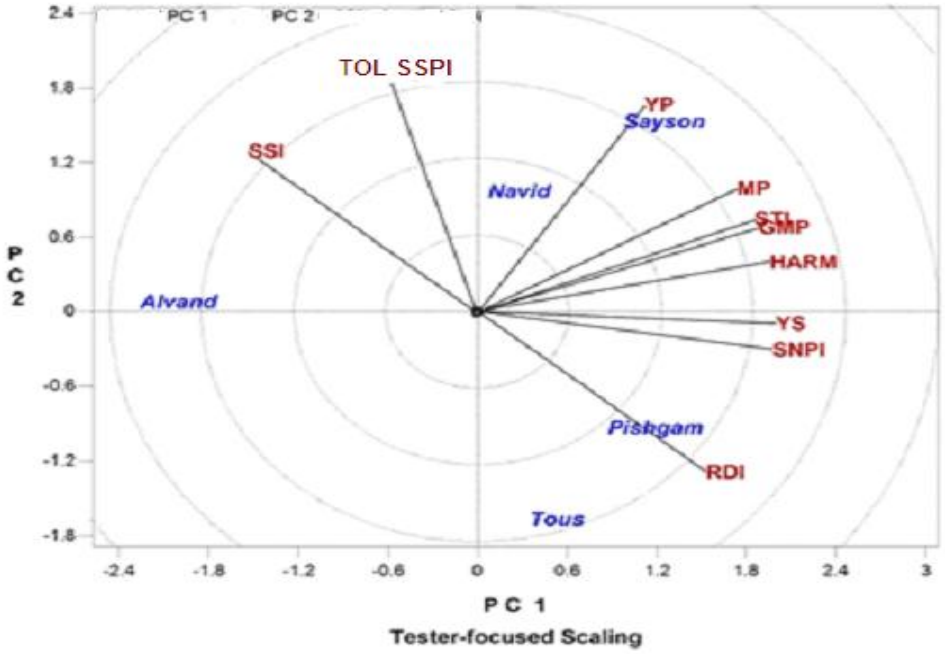
1. Principal Component Analysis

جدول ۳: مقادیر شاخص های مختلف تحمل به خشکی برای ارقام
Table 3: The amount of different drought tolerance indices for cultivars

cultivar	Y_P	Y_S	SSI	Rank	TOL	Rank	MP	Rank	STI	Rank	GMP	Rank	HARM	Rank	RDI	Rank	SSPI	Rank	SNPI	Rank
Toocc	1336.75	810.49	0.83	1	526.27	1	1073.62	3	0.50	4	1040.88	4	1009.13	4	1.15	1	17.93	1	1421.98	3
Sison	1667.68	856.03	1.03	3	811.65	5	1261.86	2	0.66	1	1194.82	1	1131.34	1	0.97	3	27.66	5	1449.85	2
Alvand	1334.77	565.68	1.22	5	769.09	3	950.23	5	0.35	5	868.94	5	794.61	5	0.80	5	26.21	3	950.02	5
Navid	1562.18	775.16	1.06	4	787.02	4	1168.68	1	0.56	3	1100.43	3	1036.17	3	0.94	4	26.82	4	1308.99	4
Pishgam	1435.03	858.68	0.85	2	576.65	2	1146.71	4	0.57	2	1109.87	2	1074.21	2	1.14	2	19.65	2	1499.18	1

جدول ۴: مقادیر دو مولفه اول برای شاخص های تحمل به خشکی و عملکرد در شرایط تنش، عدم تنش
Table 4: The amounts of two first components for indices and yield in stress and non-stress conditions

مولفه ها (components)	1	2
درصد از واریانس کل (total variance)	75.6	24.4
Y_P	0.292	0.571
Y_S	0.356	-0.119
SSI	0.00	0.001
TOL	-0.064	0.689
MP	0.324	0.226
STI	0.00	0.00
GMP	0.357	0.129
HARM	0.384	0.041
RDI	0.00	-0.001
SSPI	-0.002	0.024
SNPI	0.635	-0.339



شکل ۱: نمودار بای پلات ۵ رقم گندم با ۹ شاخص تحمل به خشکی

Fig 1: Bi-plot graph for 5 wheat cultivar and 9 drought tolerance indices.

منابع

اهدایی، ب. ۱۳۷۲. انتخاب برای مقاومت به خشکی در گندم. مقالات کلیدی اولین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران. انتشارات دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران. ص ۴۳-۶۲.

آهنگری، ع.، رسولی، م. و نادری، م. ۱۳۸۸. بررسی صفات موثر در مقاومت به تنش خشکی در گندم. مجموعه مقالات کشاورزی زراعت و اصلاح نباتات، سازمان جهاد کشاورزی استان مرکزی.

چوگان، ر.، طاهرخانی، ت.، قنادها، م. ر. و خدارحمی، م. ۱۳۸۵. ارزیابی تحمل به خشکی در لاین‌های ذرت دانه‌ای با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش خشکی. مجله علوم زراعی ایران. جلد ۸ شماره ۱ ص ۸۹-۷۹.

رازقی یدک، ف.، حیدری، ش. و سوری، ک. ۱۳۸۹. بررسی اثر تنش خشکی بر فعالیت آنزیم های فسفاتاز اسیدی و قلیایی در محور جنینی بذر دو رقم گندم نان در مراحل اولیه جوانه زنی. مجله علوم گیاهان زراعی ایران، جلد ۴۱ شماره ۲ ص ۳۹۳-۳۸۵.

سنجری، ا. ق. ۱۳۷۷. ارزیابی منابع متحمل به تنش خشکی و پایداری عملکرد ارقام و لاین‌های گندم در منطقه نیمه خشک کشور. چکیده پنجمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران. نشر آموزش کشاورزی . ص ۲۴۳-۲۴۴.

شفازاده، م. ف.، یزدان‌سپاس، ا.، امینی، ا. و قنادها، م. ر. ۱۳۸۳. بررسی تحمل به تنش خشکی آخر فصل در ژنوتیپ‌های امید بخش گندم زمستانه و بینابین با استفاده از شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش، مجله نهال و بذر، جلد ۲۰ شماره ۱ ص ۷۱-۵۷.

صادق‌زاده اهری، د. ۱۳۸۵ . ارزیابی تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های امید بخش گندم دوروم دیم. مجله علوم زراعی ایران. جلد ۸ شماره ۱ ص ۴۵-۳۰.

قدسی، م.، چایچی، م.، جلال کمالی، م. و مظاهری، د. ۱۳۸۳. تعیین حساسیت مراحل نمو گندم نان به تنش رطوبتی و تاثیر آن بر عملکرد و اجزای عملکرد، مجله نهال و بذر،جلد ۲۰ شماره ۴ ص ۵۰۹- ۴۸۹.

گلپرور، ا. ر.، مجیدی هروان، ا. و قاسمی پیربلوطی، ع. ۱۳۸۳. بهبود ژنتیکی پتانسیل عملکرد و مقاومت به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های گندم نان. فصل نامه علمی ترویجی خشکی و حشکسالی کشاورزی. ص ۲۳-۱۳.

محفوظی، س.، اکبری، ع.، چایچی، م.، سنجری، ا.، ناظری، س. م.، عابدی اسکویی، س.، امین زاده، غ. و رضایی، م. ۱۳۸۸ . پیشگام، رقم جدید گندم نان برای کاشت در شرایط آبیاری معمولی وکم آبیاری آخر فصل در اقلیم سرد. مجله بهنژادی نهال و بذرجلد۲۵ شماره۳ ص ۱۵۱۶-۵۱۳.

محمدی، آ.، بی‌همتا، م. ر.، سلوکی، م. و دری، ح. ر. ۱۳۸۷. بررسی صفات کمی و کیفی ژنوتیپ‌های لوبیا سفید و رابطه آنها با عملکرد در شرایط آبیاری بهینه و محدود. مجله علوم زراعی ایران. جلد ۱۰ شماره ۳ ص ۲۴۳-۲۳۱.

مقدم، ع.، و. هادی‌زاده. ۱۳۸۱. عکس‌العمل هیبریدهای ذرت و لاین‌های والدی آن‌ها به خشکی با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به تنش. مجله نهال و بذر، جلد ۱۸ شماره ۳ ص ۲۷۲- ۲۵۵.

نادری، ا.، مجیدی هروان، ا.، هاشمی دزفولی، ا.، رضایی، ع. و نورمحمدی، ق. ۱۳۷۸. تحلیل کارایی شاخص‌های ارزیابی کننده تحمل گیاهان زراعی به تنش‌های محیطی و معرفی یک شاخص جدید. مجله نهال و بذر. جلد ۵ شماره ۴ ص ۴۰۲-۳۹۰.

نورمند موید، ف. ۱۳۷۶. بررسی تنوع صفات کمی و روابط آن‌ها با عملکرد گندم نان در شرایط دیم و آبی و تعیین بهترین شاخص مقاومت به خشکی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

کرمی، ع.، قنادها، م. ر.، نقوی، م. ر. و مردی، م. ۱۳۸۵. شناسایی ارقام متحمل به خشکی در جو. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۳۷ شماره ۲ ص ۳۷۹-۳۷۱.

Bidinger, F. R., Mahalakshmi, V., Rao, G. D. P. 1978. Assessment of drought resistance in millet. Factors effecting yields under stress. Australian Journal of Agriculture Research. 38: 37- 48.

Blum, A. 1996. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. Plant Growth Regul. 20, 135 - 148.

Briggle, L. W. and Curtis, B. C. 1987. Wheat and wheat Improvement .Agronomy Journal .13, P. 4-13.

Clarke, J. M., DePauw, R. M. and TownleySmith, T. F. 1992. Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. Crop Science. 32: 723 -728.

Deng, X. P., Shan, L., Kang, S. Z., Inanaga, S. and Mohanmed, E. K. 2006. Improvement of wheat water use efficiency in semiarid area of China. Agricultural Science. China. Two: 35- 44.

Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In Kuo CG, (Ed), Proceeding of an International Symposium on Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. Asian Vegetable Research and Development Center, Shanhua Taiwan, Publ. No 93-410, 257-270.

Fischer, R. A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat .I:grain yield responses. Australian Journal of Agriculture Research. 29: 897-912.

Grando, S. and Ceccarelli,S. 1995. Seminal root morphology and coleoptile length in wild (*Hordeum vulgare* ssp. Spontaneum) and cultivated (*Hordeum vulgare* ssp. Vulgare) barley. Euphytica, 73 - 85.

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.

Rajaram, S., Villareal, R. L. and Mujeeb - Kazi, A. 1990. The global impact of 1B/1R spring wheat. In: Agronomy abstracts. ASA, Madison, WI, p. 105.

Rathjen A. J. 1994. The biological basis of genotype - environment interaction: its definition and management. Proceedings of the Seventh Assembly of the Wheat Breeding Society of Australia, Adelaide, Australia.

Richards, R.A. and Lukacs, Z. 2002. Seedling vigor in wheat - sources of variation for genetic and agronomic improvement. Australian Journal of Agriculture Research. 53: 41- 50.

Rosielle, A. A. Hamblin, J. 1981. Theoritical aspects of selection for yield in stress and non – stress environment. Crop Science. 21: 943-946.

Singh, S. P. 2002. Comparison of sources and lines selected for drought resistance in common bean. Crop Breeding genetics and cytology. Crop Science. High-Bean research.

Sio-Se Mardeh, Ahmadi, A., Postini, K. and Mohammadi, V. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crop Research. 98: 222-229.

Evaluation of Tolerance to Drought Stress in Some Bread Wheat Cultivars Using Old and New Indices

Jalalifar, S.[1], Moosavi[2*], S. S. Abdollahi[2], M. R. Chaichi[3], M. and Mazaherylaghab[4], H.

Abstract

In order to evaluation the effect of terminal drought stress on 5 bread wheat cultivars and for determining their relative tolerance using old (SSI ،TOL ،MP ،GMP ،STI ،HARM ،RDI) and new (SSPI and SNPI) indices, two separate experiments bases on randomized complete block design (RCBD) with 3 replications, were conducted. The results showed positive and significant correlation among stress and non-stress yield (Y_S and Y_p) and indices of SNPI, STI, MP, GMP and HARM. Therefore, the above-mentioned indices are the best and suitable index for relative resistance selection. These results indicated that, Pishgam and Tous were relatively resistant, Sayson was semi-resistant and Alvand and Navid were semi-sensitive cultivars. The results of principal component analysis demonstrated that SNPI and RDI were the best indices and SNPI could select resistant cultivars better than the other ones.

Keywords: Wheat, Terminal drought stress, Stress susceptibility percentage index, Stress non-stress productivity index

1, 2 and 4. M.sc. Student, Assistant Professors and Associate Professor respectably, Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, BU-Ali Sina University, Hamedan

3. M.sc. of Agricultural and Natural Resources Research Center of Hamedan

*: Corresponding author E-mail: moosaviss@gmail.com