نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد هفتم، شماره اول، بهار ۹۳
۷۹-۹۳
http://ejcp.gau.ac.ir

استفاده از شاخص‌های تحمل تنش برای ارزیابی تحمل اکوتیپ‌های *Aegilops triuncialis* به خشکی انتهایی

زهرا تقی‌پور[۱]، *رسول اصغری‌زکریا[۲]، ناصر زارع[۳] و پریسا شیخ‌زاده مصدق[۳]

[۱و۲و۳]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، دانشیار و استادیار گروه اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۸/۱۹

چکیده

به‌منظور ارزیابی تحمل به تنش خشکی تعدادی از اکوتیپ‌های *Aegilops triuncialis*، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در شرایط بدون تنش و تنش خشکی آخر فصل (آبیاری تا مرحله ۵۰ درصد ظهور سنبله) در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۰ اجرا شد. شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی برای عملکرد دانه محاسبه و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نیز بر اساس آن‌ها انجام شد. نتایج نشان داد که بر اساس شاخص حساسیت به تنش (SSI) و شاخص تحمل تنش (TOLI) اکوتیپ‌های هوراند و کرج حساسیت کمتری به تنش خشکی دارند. از نظر شاخص‌های تحمل تنش (STI) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) که مقادیر بالای آن‌ها نشان‌دهنده تحمل اکوتیپ‌های مورد بررسی می‌باشد، اکوتیپ هشترود به‌عنوان اکوتیپ متحمل شناسایی شد. گروه‌بندی اکوتیپ‌ها در نمودار سه بعدی بر اساس عملکرد در شرایط بدون تنش (Yp)، عملکرد در شرایط تنش خشکی (Ys) و شاخص تحمل تنش (STI)، نشان داد که اکوتیپ‌های هشترود و ماکو در شرایط بدون تنش و تنش خشکی، و اکوتیپ هوراند در شرایط تنش دارای عملکرد بالایی هستند. با انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و ترسیم نمودار بای‌پلات، اکوتیپ‌های هشترود، ماکو و هوراند، اکوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی معرفی شدند. با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار شاخص‌های STI، GMP، MSTI1 و MSTI2 با عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش، می‌توان از این شاخص‌ها به‌عنوان شاخص‌های مناسب در شناسایی اکوتیپ‌های متحمل استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، شاخص‌های تحمل، *Aegilops triuncialis*

*مسئول مکاتبه: r-asghari@uma.ac.ir

مقدمه

خشکی یکی از مهم‌ترین تهدیدهای جهانی برای تولید مواد غذایی است. علاوه‌بر این، تغییرات آب و هوا و افزایش جمعیت جهان ابعاد این مشکل را گسترده‌تر می‌نمایند. یکی از راه حل‌های این مشکل ایجاد ارقام جدید با تحمل بیشتر نسبت به تنش خشکی است (تاکدا و ماتسوکا، ۲۰۰۸). توسعه ارقام متحمل یکی از راه‌های امیدوار کننده برای حفظ و افزایش عملکرد گندم تحت تنش خشکی است. گونه‌های آژیلوپس تأمین کننده دو ژنوم از سه ژنوم گندم نان بوده و منبع ژنتیکی مهمی برای افزایش پتانسیل ژنتیکی گندم برای مقاومت در برابر تنش‌های زنده و غیر زنده محسوب می‌شوند (فریبه و همکاران، ۱۹۹۱؛ ژیل و همکاران، ۲۰۰٦). شناخت تنوع ژنتیکی موجود در توده‌های بومی و خویشاوندان وحشی یک گیاه زراعی در برنامه‌های اصلاحی آن از اهمیّت زیادی برخوردار است (هاردون و همکاران، ۱۹۹٤). گونه‌های آژیلوپس از خویشاوندان گندم زراعی با دارا بودن تعداد زیادی از ژن‌های مهم، منبع با ارزشی برای مقاومت به بیماری‌ها و آفات و تنش‌های غیر زیستی به‌شمار می‌روند که این ژن‌ها را می‌توان از طریق تلاقی به داخل ژنوم گندم انتقال داد (ایشنایدر و مولنارلانگ، ۲۰۰۸).

تحمل به خشکی صفت کمی است و روش اندازه‌گیری مستقیمی برای آن وجود ندارد. این امر باعث مشکل شدن شناسائی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی می‌شود (تاکدا و ماتسوکا، ۲۰۰۸). بررسی صفات مختلف و از جمله عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی و بدون تنش نقطه شروعی برای شناخت فرآیند تحمل خشکی و انتخاب ژنوتیپ‌ها برای اصلاح در محیط‌های خشک است (فرناندز، ۱۹۹۲). رزیل و هامبلین (۱۹۸۱) بر اساس شاخص تحمل (TOLI) (تفاوت عملکرد یک ژنوتیپ در دو محیط بدون تنش و تنش) و متوسط تولید (MP) (میانگین عملکرد هر ژنوتیپ در دو محیط بدون تنش و تنش) بیان کردند که مقدار بالای TOLI نشان‌دهنده حساسیت ژنوتیپ‌ها به تنش است. با این حال، هنگامی که اختلاف زیادی بین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش موجود باشد، شاخص MP به سمت عملکرد در شرایط بدون تنش اریب پیدا می‌کند. بنابراین، برای رفع این مشکل شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP)- میانگین هندسی عملکرد ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش و بدون تنش- توسط فرناندز (۱۹۹۲) پیشنهاد گردید. این شاخص در مقایسه با MP در تفکیک ژنوتیپ‌ها از قدرت بالاتری برخوردار است. فرناندز (۱۹۹۲) همچنین شاخص تحمل تنش (STI) را به‌عنوان معیاری برای گزینش ارقام تحمل کننده تنش خشکی پیشنهاد کرد که مقادیر بالای این شاخص

نشان‌دهنده تحمل زیاد تنش و عملکرد بالقوه بالا در ژنوتیپ موردنظر است. یکی دیگر از شاخص‌های انتخاب، شاخص حساسیت به تنش (SSI) است، که فیشر و مورر (۱۹۷۸) آن را پیشنهاد دادند. این محققین نشان دادند که ژنوتیپ‌هایی با SSI کمتر، به خشکی مقاوم‌تر بوده و کاهش عملکرد آن‌ها در شرایط خشکی کمتر از کاهش عملکرد متوسط کل ژنوتیپ‌ها است. شاخص پایداری عملکرد (YSI) که توسط بوسلاما و شاپاگ (۱۹۸٤) معرفی شد، عملکرد در شرایط تنش یک رقم را بسته به عملکرد بدون تنش آن ارزیابی می‌کند و می‌تواند شاخص مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی باشد. ژنوتیپ‌هایی با YSI بالا انتظار می‌رود که دارای عملکرد بالا تحت شرایط تنش و عملکرد پایین تحت شرایط بدون تنش باشند (احمدی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۲). شاخص عملکرد (YI) ارقام را فقط بر اساس عملکرد تنش رتبه‌بندی می‌کند، بنابراین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را تشخیص نمی‌دهد (سی‌وسه‌مرده و همکاران، ۲۰۰٦). لان (۱۹۹۸) شاخص مقاومت به خشکی (DI) را معرفی نمود، که معمولاً برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش است. DI و STI نه تنها عملکرد ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش بلکه عملکرد مناسب در محیط بدون تنش را نیز در نظر می‌گیرند (فرشادفر و همکاران، ۲۰۱۲). فرشادفر و سوتکا (۲۰۰۲) برای ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌ها به تنش رطوبتی شاخص‌های K_1STI و K_2STI را معرفی و استفاده نمودند. K_1 و K_2 به‌ترتیب ضرایب تعدیل کننده شاخص STI برای شرایط بدون تنش و تنش رطوبتی هستند. طبق نظر فرناندز (۱۹۹۲) شاخص‌هایی که در دو محیط تنش و بدون تنش همبستگی بالایی با عملکرد دارند، شاخص‌های بهتری هستند چرا که قادر به تفکیک و شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو محیط می‌باشند. بر این اساس با استفاده از تحلیل همبستگی بین عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش و شاخص‌های کمی مقاومت به خشکی، می‌توان شاخص‌های مقاومت را غربال و مناسب‌ترین شاخص را انتخاب می‌گردد.

با توجه به اهمیت گونه‌های آژیلوپس در اصلاح گندم، شناسایی ژن‌های مقاومت در برنامه‌های پیش اصلاحی از اولویت خاصی برخوردار است، بنابراین، هدف از این پژوهش ارزیابی تحمل تنش خشکی اکوتیپ‌های *Aegilops triuncialis* با استفاده از شاخص‌های تحمل خشکی و انتخاب اکوتیپ‌های متحمل این گونه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌صورت آزمایش گلخانه‌ای در پاییز سال ۱۳۹۰ به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در دانشگاه محقق اردبیلی اجرا گردید. هشت اکوتیپ مختلف از گونه *Ae. triuncialis* شامل اکوتیپ‌های ماکو، مرند، هشترود، نمین، هوراند، کرج، مشکین و اهر در دو سطح مختلف آبیاری شامل آبیاری کامل (براساس نیاز گیاه) به‌عنوان شاهد و آبیاری تا ۵۰ درصد ظهور سنبله (مرحله رشدی ۵۵ زادوکس[1]) به‌عنوان تنش خشکی آخر فصل مورد ارزیابی قرار گرفتند. بذر اکوتیپ‌ها ابتدا با هیپوکلریت سدیم یک درصد به‌مدت ۱۵ دقیقه ضدعفونی شده و پس از شستشو در آب مقطر، درون ظروف پتری استریل شده که کف آن با کاغذ صافی استریل پوشانده شده بود، قرار گرفتند. بعد از جوانه‌زنی بذرها در دستگاه ژرمیناتور در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، گیاهچه‌های یکنواخت به داخل گلدان‌های پلاستیکی (به ابعاد ۴۰×۳۰×۱۰ سانتی‌متر پر شده از ماسه، خاک زراعی و خاکبرگ به نسبت مساوی) منتقل شدند. تنظیمات گلخانه شامل رطوبت‌نسبی ۴۰ درصد، دمای دوره روشنایی ۳±۲۰ درجه سانتی‌گراد و دمای دوره تاریکی ۳±۱۶ درجه سانتی‌گراد و طول روز و شب به‌ترتیب ۱۶ و ۸ ساعت بود. کلیه عملیات داشت و برداشت برای هر دو تیمار به‌صورت یکسان اجرا شد. برای بررسی اکوتیپ‌ها از لحاظ واکنش به تنش خشکی، عملکرد به‌صورت وزن دانه‌های موجود در سنبله اصلی بر حسب گرم با استفاده از ترازوی یک هزارم اندازه‌گیری گردید. با استفاده از این صفت برای هر یک از اکوتیپ‌ها در آزمایش، شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی مطابق معادله‌های زیر محاسبه شدند:

۱- شاخص تحمل (TOLI)، (روزیل و هامبلین، ۱۹۸۱):

$$TOLI = Y_p - Y_s$$

۲- شاخص میانگین تولید (MP)، (روزیل و هامبلین، ۱۹۸۱):

$$MP=(Y_p+Y_s)/2$$

۳- شاخص حساسیت به خشکی (SSI)، (فیشر و مورر، ۱۹۷۸):

$$SSI=(1-(Y_s/Y_p))/SI\ ,$$

$$SI = 1 - (\overline{Y_s}/\overline{Y_p})$$

۴- میانگین هندسی عملکرد در دو محیط (GMP)، (فرناندز، ۱۹۹۲):

1- Half of Spike Visible Z55

$GMP=\sqrt{Y_p \times Y_s}$

۵- شاخص تحمل به تنش (STI)، (فرناندز، ۱۹۹۲):

$STI = (Y_p \times Y_s)/(\overline{Y_p})^2$

٦- شاخص عملکرد (YI) (گاوازی و همکاران، ۱۹۹۷):

$YI=Y_s/\overline{Y}_s$

۷- شاخص پایداری عملکرد (YSI)، (بوسلاما و شاپاگ، ۱۹۸٤):

$YSI=Y_s/Y_p$

۸- شاخص مقاومت به خشکی (DI)، (لان، ۱۹۹۸):

$DI=Y_s \times (Ys/Yp)/\overline{Y}_s$

۹- شاخص تحمل به تنش تعدیل یافته (MSTI)، (فرشادفر و سوتکا، ۲۰۰۲):

$MSTI= ki \times STI \ , k_1= Yp^2/\overline{Y}p^2 \ , k_2= Y_S^2/\overline{Y}s^2$

۱۰- درصد کاهش عملکرد (Re%)، (چوکان و همکاران، ۲۰۰٦):

$Reduction\ \% = ((Y_p - Y_s)/Y_p)\times 100$

که در آن Y_p (عملکرد در شرایط بدون تنش)، Y_s (عملکرد در شرایط تنش)، $\overline{Y}p$ (میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش)، $\overline{Y}s$ (میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش) و SI (شدت تنش) می‌باشند. نمودار سه بعدی بر حسب عملکرد در شرایط تنش (Y_s)، عملکرد در شرایط بدون تنش (Y_p) و شاخص تحمل به تنش (STI) رسم گردید. همبستگی بین شاخص‌های محاسبه شده و عملکرد تحت دو شرایط تنش و بدون تنش با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ١٦) انجام شد. به‌منظور ارزیابی بهتر روابط بین شاخص‌ها با عملکرد و گروه‌بندی اکوتیپ‌ها بر اساس همه شاخص‌های تحمل تنش، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام و نمودار بای پلات رسم شد، که برای این منظور از نرم‌افزارهای STATISTICA (نسخه ٦) و Minitab (نسخه ١٦) استفاده گردید.

نتایج و بحث

مقادیر شاخص‌های تحمل به خشکی اکوتیپ‌ها و میزان عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش خشکی در مرحله ۵۰ درصد ظهور سنبله در جدول (۱) آورده شده‌اند. براساس شاخص TOLI

اکوتیپ‌های هوراند، کرج و مشکین‌شهر به‌عنوان اکوتیپ‌های متحمل و اکوتیپ نمین به‌عنوان اکوتیپ حساس معرفی گردید. براساس شاخص SSI، اکوتیپ‌های هوراند، کرج و هشترود به‌عنوان اکوتیپ‌های متحمل و اکوتیپ‌های نمین، اهر و مرند اکوتیپ‌های حساس به شرایط تنش رطوبتی بودند. شیرین‌زاده و همکاران (۲۰۰۹) اعلام کردند که بهتر است از شاخص‌های TOLI و SSI در شناسایی ارقام حساس و نه گزینش ارقام متحمل به تنش استفاده کرد. ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از شاخص SSI مواد آزمایشی را فقط بر اساس حساسیت به تنش دسته‌بندی می‌کند و به‌عبارت دیگر با استفاده از این شاخص می‌توان ژنوتیپ‌های حساس و متحمل را بدون توجه به پتانسیل عملکرد آن‌ها مشخص کرد (نادری و همکاران، ۲۰۰۰). به‌طور مثال، در این پژوهش بر اساس شاخص SSI، اکوتیپ ماکو به‌عنوان اکوتیپ متحمل شناسایی نگردید، در صورتی‌که با مقایسه عملکرد این اکوتیپ در شرایط تنش و بدون تنش مشاهده می‌شود که اکوتیپ مذکور از نظر میزان عملکرد در شرایط تنش در رتبه سوم در مقایسه با دیگر اکوتیپ‌ها قرار دارد. به‌طوری‌که، اکوتیپ ماکو نه به‌دلیل تولید عملکرد کم در شرایط تنش، بلکه به علت بالا بودن میزان کاهش عملکرد آن در شرایط تنش، توسط شاخص SSI به‌عنوان ژنوتیپ متحمل شناسایی نشد (جدول ۱). این در حالی است که در شرایط تنش، اکوتیپ ماکو در کنار اکوتیپ‌های هوراند، کرج و هشترود دارای عملکرد بالایی نسبت به سایر اکوتیپ‌ها می‌باشد.

استفاده از شاخص بهره‌وری متوسط (MP) که مقادیر بالای عددی آن نشان‌دهنده تحمل نسبی به تنش می‌باشد، اغلب منجربه گزینش ارقامی با عملکرد بالا در شرایط بدون تنش و متحمل به شرایط تنش می‌گردد (روزیل و هامبلین، ۱۹۸۱). بر اساس شاخص MP اکوتیپ‌های هشترود، نمین و ماکو به‌عنوان اکوتیپ‌های متحمل به تنش شناسایی شدند. با توجه به عملکرد اکوتیپ‌ها در شرایط تنش (جدول ۱) مشاهده می‌شود که عملکرد اکوتیپ هوراند بیشتر از اکوتیپ‌های نمین و ماکو می‌باشد ولی به جهت پایین بودن شاخص MP آن، به‌عنوان اکوتیپ متحمل شناسایی نگردید. اکوتیپ‌های نمین و ماکو نیز تنها به واسطه تولید عملکرد بالا در محیط بدون تنش دارای مقادیر بالاتر این شاخص گردیده‌اند و در شرایط تنش به‌ترتیب عملکرد خیلی کم و متوسط تولید کرده‌اند. بنابراین، شاخص MP برای گزینش اکوتیپ‌هایی که در شرایط تنش عملکرد بالایی تولید می‌کنند چندان مناسب نمی‌باشد و تحت تاثیر عملکرد در شرایط بدون تنش قرار می‌گیرد (فرناندز، ۱۹۹۲). سی‌وسه‌مرده و همکاران (۲۰۰۶) اعلام کردند که شاخص MP زمانی برای انتخاب ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش

کارایی دارد که شدت تنش زیاد نبوده و اختلاف بین عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش نیز خیلی زیاد نباشد.

از نظر شاخص STI و GMP که مقادیر بالای آن‌ها، نشان‌دهنده تحمل ژنوتیپ‌ها می‌باشد، اکوتیپ هشترود به عنوان اکوتیپ متحمل شناسایی شد. شاخص STI قادر است اکوتیپ‌هایی را که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش عملکرد بالایی دارند را تفکیک نماید (سنجری و یزدان‌سپاس، ۲۰۰۸). شیری و همکاران، (۲۰۱۰) اعلام کردند که بهتر است از شاخص‌های $MSTI_1$ و $MSTI_2$ همراه شاخص STI هنگام معرفی ژنوتیپ‌ها به شرایط بدون تنش و تنش استفاده شود. با توجه به جدول (۱)، اکوتیپ هشترود که در دو شرایط بدون تنش و تنش عملکرد بالایی داشته است، بیشترین مقدار $MSTI_1$ و $MSTI_2$را نیز داشت و به‌عنوان اکوتیپ متحمل شناسایی گردید.

مقدار بالای شاخص پایداری عملکرد (YSI) و مقدار پایین شاخص درصد کاهش عملکرد (%Re) نشان دهنده تحمل بالای اکوتیپ موردنظر در برابر تنش خشکی می‌باشد. به‌عبارت دیگر اکوتیپی که توسط شاخص YSI به‌عنوان اکوتیپی با پایداری بالای عملکرد در شرایط تنش معرفی می‌شود، از پائین‌ترین میزان کاهش عملکرد (%Re) در شرایط تنش برخوردار است. در این پژوهش، اکوتیپ هوراند بالاترین مقدار را از نظر شاخص YSI و.کمترین مقدار را از نظر شاخص کاهش عملکرد (%Re) نسبت به سایر اکوتیپ‌ها داشت که نشان می‌دهد از لحاظ این دو شاخص اکوتیپ هوراند متحمل به خشکی می‌باشد. اکوتیپ‌های نمین، اهر و مرند دارای بیشترین درصد کاهش عملکرد (%Re) بودند که نشانه حساسیت بالای آن‌ها نسبت به تنش خشکی می‌باشد (جدول ۱). شاخص SSI هم مؤید این امر بود. شاخص عملکرد (YI) از نسبت عملکرد رقم در شرایط تنش به میانگین عملکرد کلیه ارقام تحت شرایط تنش محاسبه می‌گردد. بنابراین، این شاخص ارقام را بر حسب میزان عملکرد تولیدی آن‌ها در محیط تنش رتبه‌بندی می‌کند (سی‌وسه‌مرده و همکاران، ۲۰۰۶). توسط این شاخص، اکوتیپ‌های هشترود، ماکو و هوراند به‌عنوان اکوتیپ‌هایی با بالاترین میزان عملکرد در محیط تنش شناسایی شدند. شاخص مقاومت به خشکی (DI)، ژنوتیپ‌هایی را شناسایی می‌کند که با شرایط تنش و شرایط بدون تنش سازگاری دارند. اکوتیپ هشترود و هوراند توسط این شاخص به‌عنوان اکوتیپ‌های متحمل شناسایی شدند (جدول ۱).

جدول ۱- برآورد شاخص‌های تحمل به تنش از روی عملکرد در شرایط بدون تنش خشکی (Yp) و عملکرد در شرایط تنش خشکی (Ys) در اکوتیپ‌های *Ae. triuncialis*

	Yp	Ys	TOLI	SSI	MP	GMP	STI	$MSTI_1$	$MSTI_2$	YSI	%Re	YI	DI
اهر	۵۸/۶۱	۹/۴۳	۵۲/۱۵	۱/۰۹	۳۵/۵۰	۲۳/۸۱	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۱۶	۸۳/۲۹	۰/۵۰	۰/۰۸
مشکین‌شهر	۶۴/۰۰	۱۵/۶۶	۴۸/۳۳	۰/۹۰	۳۹/۸۳	۲۸/۱۱	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۲۱	۰/۳۰	۶۹/۲۷	۰/۸۳	۰/۴۱
ماکو	۹۰/۶۰	۲۱/۵۰	۶۹/۱۶	۰/۹۴	۵۶/۰۸	۴۲/۴۶	۰/۲۸	۰/۳۹	۰/۴۰	۰/۲۷	۷۲/۱۰	۱/۱۴	۰/۳۶
مرند	۷۳/۷۳	۱۳/۷۰	۶۰/۰۳	۱/۰۶	۴۳/۷۱	۲۹/۴۰	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۱۸	۸۱/۱۸	۰/۷۲	۰/۱۸
هشترود	۱۱۴/۶۰	۴۱/۰۰	۷۳/۶۶	۰/۸۴	۷۷/۸۳	۶۸/۵۳	۰/۷۹	۲/۱۷	۴/۹۴	۰/۳۵	۶۴/۲۶	۲/۱۷	۰/۷۸
نمین	۱۰۸/۵۰	۵/۳۳	۱۰۳/۲۳	۱/۲۴	۵۶/۹۵	۲۳/۹۷	۰/۰۹	۰/۱۷	۰/۰۱	۰/۰۴	۹۵/۰۰	۰/۲۸	۰/۰۱
هوراند	۵۸/۶۶	۲۷/۰۰	۳۱/۶۶	۰/۶۸	۴۲/۸۳	۳۹/۳۵	۰/۲۴	۰/۱۳	۰/۵۳	۰/۴۷	۵۲/۱۸	۱/۴۳	۰/۷۲
کرج	۶۵/۳۳	۱۷/۰۰	۴۸/۳۳	۰/۸۰	۴۱/۱۶	۳۱/۷۶	۰/۱۷	۰/۲۱	۰/۱۳	۰/۳۸	۶۱/۳۱	۰/۹۰	۰/۳۶

YP (عملکرد در محیط بدون تنش)، YS (عملکرد در محیط تنش)، TOLI (شاخص تحمل)، SSI (شاخص حساسیت به خشکی)، MP (شاخص میانگین تولید)، GMP (شاخص میانگین هندسی عملکرد در دو محیط)، STI (شاخص تحمل تنش)، $MSTI_1$ (شاخص تحمل تنش تعدیل شده برای شرایط بدون تنش)، $MSTI_2$ (شاخص تحمل تنش تعدیل شده برای شرایط تنش رطوبتی)، YSI (شاخص پایداری عملکرد)، Re (درصد کاهش)، YI (شاخص عملکرد)، DI (شاخص مقاومت خشکی).

ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی (جدول ۲)، نشان داد که بین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Y_p) و تنش خشکی (Y_s) همبستگی معنی‌داری وجود ندارد...بنابراین، اکوتیپ‌های با عملکرد بالا در محیط بدون تنش، در محیط دارای تنش عملکرد بالایی نشان ندادند که با گزارش سلیمانی‌فرد و همکاران (۲۰۱۰) در گندم دوروم و محمدی و فتحی (۲۰۰۳) در جو مطابقت دارد. شاخص‌های MP و TOLI دارای همبستگی مثبت بسیار بالا و معنی‌دار با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش بودند. شاخص SSI نیز همبستگی منفی و معنی‌دار با عملکرد دانه تحت تنش خشکی نشان داد.

شاخص‌های GMP، STI، YI، DI، $MSTI_1$ و $MSTI_2$ همبستگی بسیار بالا و معنی‌دار با عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی داشتند که بیانگر توانایی این شاخص‌ها برای گزینش اکوتیپ‌ها تحت شرایط تنش خشکی می‌باشد. شاخص SSI دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با درصد کاهش عملکرد (%Re) بود، و درصد کاهش عملکرد (%Re) نیز بیشترین همبستگی منفی را

با شاخص YSI داشت. در واقع، اکوتیپی که بر اساس YSI به‌عنوان اکوتیپ متحمل انتخاب می‌شود، ثبات عملکرد بالاتری داشته و حداقل کاهش عملکرد را نشان می‌دهد (یارنیا و همکاران، ۲۰۱۱).

جدول ۲- همبستگی بین شاخص‌های ارزیابی تحمل و حساسیت به تنش خشکی

	YP	YS	SSI	TOLI	MP	GMP	STI	%Re	YI	YSI	DI	$MSTI_1$
YS	۰/۳۰											
SSI	۰/۳۵	-۰/۷۱*										
TOLI	۰/۸۷**	-۰/۲۱	۰/۷۳*									
MP	۰/۹۲**	۰/٦٤	-۰/۰۱	۰/٦۱								
GMP	۰/۵۳**	۰/۹۵**	-۰/۵۱	۰/۰۵	۰/۸۲*							
STI	۰/۵۹**	۰/۹۲**	-۰/٤۱	۰/۱۳	۰/۸٤**	۰/۹۸**						
%Re	۰/۳۵	-۰/۷۱*	۱/۰۰ **	۰/۷۳*	-۰/۰۱	-۰/۵۱	-۰/٤۱					
YI	۰/۳۰	۱/۰۰**	-۰/۷۱*	-۰/۲۱	۰/٦٤	۰/۹۵**	۰/۹۲**	-۰/۷۱*				
YSI	-۰/۳۵	۰/۷۱*	-۱/۰۰**	-۰/۷۳*	۰/۰۱	۰/۵۱	۰/٤۱	-۱/۰۰**	۰/۷۱*			
DI	۰/۰۵	۰/۹۳**	-۰/۸۷**	-۰/٤۳	۰/٤۱	۰/۸۰*	۰/۷٤*	-۰/۸۷**	۰/۹۳**	۰/۸۷**		
$MSTI_1$	۰/٦۸*	۰/۸۲*	-۰/۲٤	۰/۲۸	۰/۸۸**	۰/۹۲**	۰/۹۷**	-۰/۲٤	۰/۸۲*	۰/۲٤	۰/٦۰	
$MSTI_2$	۰/٦۱*	۰/۸۵**	-۰/۳۱	۰/۱۸	۰/۸۳**	۰/۹۳**	۰/۹۷**	-۰/۳۱	۰/۸۵**	۰/۳۱	۰/٦۷	۰/۹۹**

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

YP (عملکرد در محیط بدون تنش)، YS (عملکرد در محیط تنش)، TOLI (شاخص تحمل)، SSI (شاخص حساسیت به خشکی)، MP (شاخص میانگین تولید)، GMP (شاخص میانگین هندسی عملکرد در دو محیط)، STI (شاخص تحمل تنش)، $MSTI_1$ (شاخص تحمل تنش تعدیل شده برای شرایط بدون تنش)، $MSTI_2$ (شاخص تحمل تنش تعدیل شده برای شرایط تنش رطوبتی)، YSI (شاخص پایداری عملکرد)، Re (درصد کاهش)، YI (شاخص عملکرد)، DI (شاخص مقاومت خشکی).

نمودار سه بعدی ترسیم شده (شکل ۱) بر اساس عملکرد در شرایط بدون تنش (Yp)، تنش خشکی (Ys) و شاخص تحمل به تنش (STI)، نشان داد که اکوتیپ هشترود و در مرتبه بعدی اکوتیپ ماکو متحمل به تنش خشکی هستند و عملکرد آن‌ها هم در شرایط بدون تنش و هم در تنش خشکی بالاست. برای گروه‌بندی اکوتیپ‌ها بر اساس اطلاعات همه شاخص‌های محاسبه شده، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام گرفت. نتایج نشان داد که دو مؤلفه اول با داشتن مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک مجموعاً ۹٦/٦٤ درصد از تغییرات کل داده‌ها را بیان نمودند (جدول ۳). در مؤلفه اول که ٦۳/۳۲

درصد از تغییرات کل داده‌ها را بیان نمود، همه شاخص‌ها به غیر از TOLI، SSI و Re٪ ضرایب بزرگ و منفی داشتند. از این رو مؤلفه اول را می‌توان به‌عنوان مؤلفه تحمل خشکی نامگذاری کرد. با توجه به این‌که مقادیر بالای MSTI، STI، YI، GMP، Y_S، DI و مقادیر پائین SSI و TOLI مطلوب هستند اگر مؤلفه اول افزایش یابد اکوتیپ‌هایی که دارای عملکرد مناسب در شرایط تنش و متحمل هستند انتخاب می‌گردد. در مؤلفه دوم که ۳۳/۳۱ درصد از کل تغییرات داده‌ها را بیان نمود شاخص‌های TOL، SSI، Y_P، MP و Re ضرایب مثبت و بزرگ داشتند. بنابراین مؤلفه دوم را می‌توان به‌عنوان مؤلفه حساسیت به تنش خشکی و پتانسیل عملکرد نامگذاری کرد. از آن‌جا که مؤلفه اول تغییراتی را در بر می‌گیرد که توسط مؤلفه دوم تبیین نمی‌شود و بالعکس می‌توان تغییرات دو مؤلفه را به‌صورت عمود بر هم نمایش داد به گونه‌ای که اکوتیپ‌ها بر اساس این دو مؤلفه در سطح نمودار با نقاطی در چهار ناحیه مجزا و مشخص قرار می‌گیرند که با میانگین عملکرد و تحمل به تنش آن‌ها ارتباط دارد. براساس نمودار بای‌پلات (شکل ۲)، اکوتیپ‌های هشترود و ماکو در مجاورت شاخص‌های تحمل به تنش STI، GMP، MSTI و MP قرار گرفته‌اند که نشان می‌دهد این اکوتیپ‌ها دارای مقادیر بالای این شاخص‌ها می‌باشند. اکوتیپ‌های نمین و مرند در ناحیه با عملکرد پایین و حساسیت بالا به تنش و در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های تحمل (TOL) و حساسیت به تنش (SSI) قرار گرفته‌اند. اکوتیپ‌های کرج، مشکین‌شهر و اهر دارای مقادیر بالا از مؤلفه دوم بوده و در ناحیه با حساسیت بالا به تنش قرار گرفتند. بر اساس مؤلفه اول اکوتیپ هشترود دارای عملکرد مناسب در شرایط تنش و متحمل می‌باشد. نمودار بای‌پلات هم‌چنین زاویه بین شاخص‌های انتخابی GMP، STI و MSTI را حاده نشان می‌دهد که دلالت بر وجود همبستگی بالا بین این شاخص‌ها است. همچنین دو شاخص SSI و Re٪ منطبق بر هم بودند که نشان می‌دهد اطلاعات یکسانی را فراهم می‌کنند. استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار بای‌پلات برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل توسط طالبی و همکاران (۲۰۰۹) و فرشادفر و همکاران (۲۰۱۲) مورد تاکید قرار گرفته است.

نتیجه‌گیری

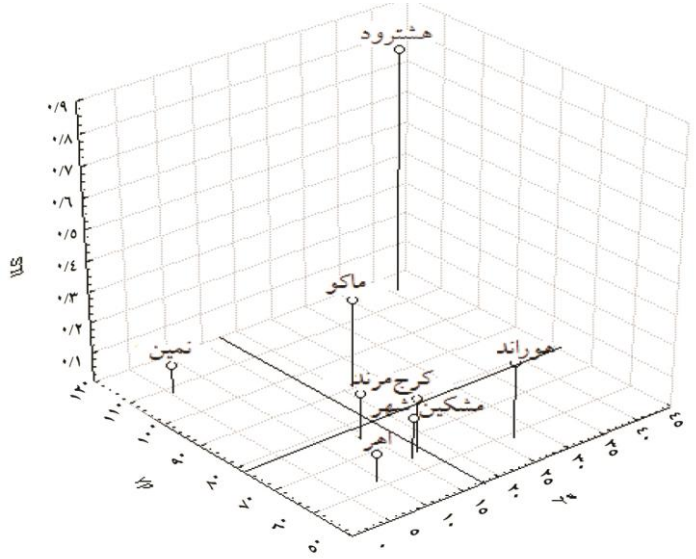
مطابق نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، اکوتیپ‌های هشترود، ماکو و هوراند با توجه به تولید عملکرد دانه بیشتر در شرایط تنش برتر از سایر اکوتیپ‌ها بودند. علاوه‌بر این، شاخص تحمل به تنش بیشتری نیز نسبت به بقیه داشتند که به نوعی خود حاکی از تحمل بیشتر این اکوتیپ‌ها به تنش خشکی

است، بنابراین به‌عنوان اکوتیپ‌های متحمل گزینش شدند و می‌توان آن‌ها را جهت استفاده در برنامه‌های اصلاح نباتات معرفی نمود.

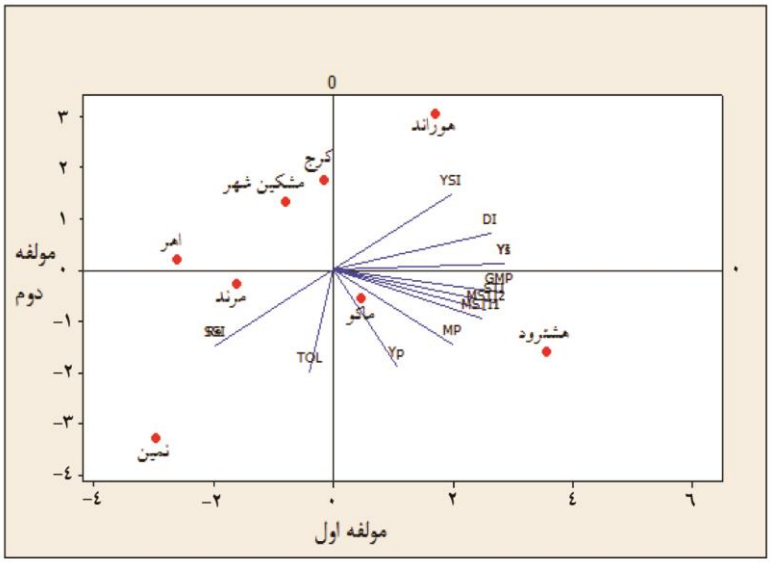
جدول ۳- نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس مقادیر عملکرد در دو محیط و شاخص‌های تحمل خشکی

شاخص	عامل اول	عامل دوم
Y_P	-۰/۳۶	۰/۹۰
Y_S	-۰/۹۹	-۰/۰۶
SSI	۰/۶۸	۰/۷۱
TOLI	۰/۱۳	۰/۹۵
MP	-۰/۶۹	۰/۶۹
GMP	-۰/۹۷	۰/۲۰
STI	-۰/۹۴	۰/۳۰
Re	۰/۶۸	۰/۷۰
YI	-۰/۹۹	-۰/۰۶
YSI	-۰/۶۸	-۰/۷۱
DI	-۰/۹۱	-۰/۳۴
$MSTI_1$	-۰/۸۶	۰/۴۵
$MSTI_2$	-۰/۸۹	۰/۳۷
درصد مقدار واریانس	۶۳/۳۲	۳۳/۳۱
درصد سهم تجمعی	۶۳/۳۲	۹۶/۶۴
مقادیر ویژه	۸/۲۳	۴/۳۳

YP (عملکرد در محیط بدون تنش)، YS (عملکرد در محیط تنش)، TOLI (شاخص تحمل)، SSI (شاخص حساسیت به خشکی)، MP (شاخص میانگین تولید)، GMP (شاخص میانگین هندسی عملکرد در دو محیط)، STI (شاخص تحمل تنش)، $MSTI_1$ (شاخص تحمل تنش تعدیل شده برای شرایط بدون تنش)، $MSTI_2$ (شاخص تحمل تنش تعدیل شده برای شرایط تنش رطوبتی)، YSI (شاخص پایداری عملکرد)، Re (درصد کاهش)، YI (شاخص عملکرد)، DI (شاخص مقاومت خشکی).



شکل ۱- نمودار سه بعدی پراکنش اکوتیپ‌ها بر اساس **Yp** (عملکرد در محیط بدون تنش)، **YS** (عملکرد در محیط تنش) و شاخص تحمل **STI**.



شکل ۲- نمایش بای‌پلات شاخص‌های تحمل به خشکی و اکوتیپ‌ها بر اساس مؤلفه‌های اول و دوم.

منابع

1.Ahmadizadeh, M., Valizadeh, M., Shahbazi, H., and Nori, A. 2012. Behavior of durum wheat genotypes under normal irrigation and drought stress condition in the greenhouse. African. J. Biotech., 11:1912-1923.
2.Bouslama, M., and Schapaugh, W.T. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Sci., 24: 933-937.
3.Choukan, R., Taherkhani, T., Ghannadha, M.R., and Khodarahmi, M. 2006. Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. J. Agric. Sci., 8:79-89.
4.Farshadfar, E., Jamshidi, B., and Aghaee, M. 2012. Biplot analysis of drought tolerance in bread wheat landraces of Iran. J. Agric. and Crop Sci., 4: 226-233.
5.Farshadfar, E., and Sutka, J. 2002. Screening drought tolerance criteria in maize. Acta. Agron. Hung., 50: 411–416.
6.Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Kuo C.G. (ed), Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress. Public Tainan Taiwan. 257–270.
7.Fisher, R.A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Grain yield response. Aust. J. Agric. Res., 29: 897-912.
8.Friebe, B., Mukai, Y., Dhaliwal, H.S., Martin, T.J., and Gill, B.S. 1991. Identification of alien chromatin specifying resistance to wheat streak mosaic and green bug in wheat germplasm by C-banding and in situ hybridization. Theor. Appl. Genet., 81: 381–389.
9.Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R.G., Ricciardi, G.L., and Borghi, B. 1997. Evaluation of field and laboratory of drought and heat stress in winter cereals. Can. J. Plant Sci., 77:523-531.
10.Gill, B.S., Friebe, B., Raupp, W.J., Wilson, D.L., Stan, C.T., Sears, R.G., Brown-Guedira, G.L., and Fritz, A.K. 2006. Wheat genetics resource center: the first 25 years. Adv. Agron., 89:73–136.
11.Hardon, J.J., Vosman, B., and Van Hintum, T.J.L. 1994. Identifying genetic resources and their ordination: The capabilities and limitations of modern biochemical and legal systems. Background Study Paper No.4 E. (FAO).
12.Lan, J. 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. Acta Agri. Bor-occid Sinic., 7:85–87.
13.Mohamadi, M., and Fathi, G. 2003. Comparison of selection tolerance and high yielding genotypes of barley in normal and normal conditions. J. Agri. Sci., 26: 2, 25-31.
14.Naderi, A., Majidi-Hervan, E., Hashemi-Dezfoli, A., Rezaei, A., and Nour mohammadi, G. 2000. Efficiency analysis of indices for tolerance to

environmental stresses in field crops and introduction of a new index. Seed and Plant., 15: 390-402.
15. Rosielle, A.A., and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selections for yield in stress and non-stress environments. Crop Sci., 21: 943-946.
16. Sanjari-Pirevatlou, A., and Yazdansepas, A. 2008. Evaluation of wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes under pre- and post-anthesis drought stress conditions. J. Agric. Sci. Technol., 10:109-121.
17. Schneider, A., and Molnar-Lang, M. 2008. Utilization of *Aegilops* (goatgrass) species to widen the genetic diversity of cultivated wheat. Euphytica., 163:1-19.
18. Shiri, M., Valizadeh, M., Magjidi, E., Sanjari, A., and Gharib-Eshghi, A. 2010. Evaluation of wheat tolerance indices to moisture stress condition. (EJCP)., 3: 153-171.
19. Shirinzadeh, A., Zarghami, R., and Shiri, M. 2009. Evaluation of drought tolerance in late and medium maize hybrids- using stress tolerance indices. J. Crop. Sci., 10: 416-427.
20. Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., and Mohammadi, V. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditioning. Field Crops Res., 98: 222-229.
21. Soleymanifard, A., Fasihi, Kh., Nasirirad, H., and Naseri, R. 2010. Evolution of stress tolerance indices in durum wheat genotypes. J. Plant Prod., 17: 39-58.
22. Takeda, S., and M., Matsuoka. 2008. Genetic approaches to crop improvement: responding to environmental and population change. Nature., 9: 444-457.
23. Talebi, R., Fayaz, F., and Mohammad-Naji, A. 2009. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Tritcum aestivum* L.). Plant Physiol., 35: 64-74.
24. Yarnia, M., Arabifard, N., Rahmizadeh Khoei, F., and Zandi, P. 2011. Evaluation of drought tolerance indices among some winter rapeseed cultivars. African J. Biotech., 10:10914-10922.

EJCP., Vol. 7 (1): 79-93
http://ejcp.gau.ac.ir

The application of stress tolerance indices for evaluation of *Aegilops triuncialis* ecotypes to terminal drought tolerance

Z. Taghipour[1], R. Asghari Zakaria[2], N. Zare[3] and P. Shaikh Zadeh Mosadegh[3]

[1,2,3]M.Sc. Graduated, Associate Prof. and Assistant Prof., Dept. of Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil. Iran

Accepted: 2013/02/03 ; Received: 2013/11/10

Abstract

In order to evaluate drought tolerance of some *Aegilops triuncialis* ecotypes a factorial experiment based on a completely randomized design was conducted under non-stress and terminal drought stress (irrigation until 50% of heading) condition in the greenhouse of Mohaghegh Ardabili University in 2012. Drought tolerance and susceptibility indices for grain yield were calculated and principal component analysis was performed based on these indices. The results showed that based on the stress susceptibility index (SSI) and stress tolerance index (TOLI) Horand and Karaj ecotypes are less sensitive to water stress. In terms of stress tolerance index (STI) and geometric mean productivity index (GMP) which a high values of them indicates tolerance of studied ecotypes, Hashtrood ecotype were identified as a tolerant ecotype. Clustering of ecotypes in a three dimensional graph based on the yield in non-stress (Yp), in stress condition (Ys) and stress tolerance index (STI), showed that Maku and Hashtrood ecotypes under both non-stress and drought stress conditions, and Horand ecotype under stress condition have higher performance. With principal components analysis and biplot diagram, Hashtrood, Maku and Horand ecotypes were identified as drought tolerant. According to significant correlation among STI, GMP, MSTI1 and MSTI2 indices with yield under stress and non-stress conditions, these indices could be used for determination of tolerant ecotypes.

Keywords: *Aegilops triuncialis*, Drought stress, Stress tolerance indices

*Corresponding author; r-asghari@uma.ac.ir