

عکس‌العمل هیبریدهای ذرت (*Zea mays* L.) و لاین‌های والدی آن‌ها
به خشکی با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به تنش
Response of Corn (*Zea mays* L.) Hybrids and Their Parental Lines to
Drought Using Different Stress Tolerance Indices

علی مقدم و محمدحسن هادی‌زاده

مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر

تاریخ دریافت: ۸۰/۳/۲۲

چکیده

مقدم، ع. و هادی‌زاده، م.ح. ۱۳۸۱. عکس‌العمل هیبریدهای ذرت (*Zea mays* L.) و لاین‌های والدی آن‌ها به خشکی با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به تنش. نهال و بذر ۱۸: ۲۷۲-۲۵۵.

به منظور بررسی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های مختلف ذرت، آزمایشی به مدت دو سال (۷۶-۱۳۷۵) در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج به اجرا درآمد. قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود که سه هیبرید تجارتي دپرس به نام‌های SC711، SC704 و SC704M همراه با لاین‌های والدی مربوطه به نام‌های B73 × B84، B73، MO17 و L105 در چهار رژیم آبیاری شامل آبیاری به شکل عادی (بدون تنش)، قطع دو دور آبیاری در مراحل رویشی (۷-۶ برگه‌ای)، گلدهی (تنش دوره گلدهی) و پر شدن دانه (تنش دوره پر شدن دانه) مورد مطالعه قرار گرفتند. خاک مزرعه از نوع لوم رسی با اسیدیته ۷/۹ بود. از میان چهار شاخص محاسبه شده به نام‌های شاخص بهره‌وری متوسط (MP)، شاخص تحمل (TOLI)، شاخص حساسیت به تنش (SSI) و شاخص تحمل به تنش (STI)، شاخص اخیر از مزایای بیشتری جهت گزینش ارقام مطلوب در شرایط تنش و بدون تنش برخوردار بود. همچنین از میان ژنوتیپ‌های مورد آزمون، هیبرید SC704 با پتانسیل عملکرد بالا، بیشتر مناسب شرایط بدون تنش و هیبرید SC704M بیشتر مناسب شرایط تنش بود. تغییر شرایط محیطی بر هیبرید اخیر تأثیر کمتری نسبت به SC704 داشت. هیبرید SC711 وضعیت بینابینی دو هیبرید دیگر در آزمایش را داشت. به جز لاین والدی B73 × B84 که عملکرد بالایی داشت، لاین متحمل به تنش در این آزمایش MO17 تشخیص داده شد. همبستگی میان هیبریدها و لاین‌های والدی در شرایط عادی منفی و ضعیف بود که با تغییر شرایط به حالت تنش، همبستگی‌ها مثبت و قوی‌تر شد.

واژه‌های کلیدی: ذرت، تنش خشکی، نمودار سه بعدی، هیبرید سه طرفه (TWC)، همبستگی.

مقدمه

پیشنهاد شده است. روزیلی و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981) شاخص تحمل به تنش (Tolerance Index = TOL) را به شکل تفاوت میان عملکرد در شرایط تنش (Y_s) و بدون تنش (Y_p) و شاخص بهره‌وری متوسط (Mean Productivity = MP) را به صورت متوسط عملکرد Y_s و Y_p معرفی کردند:

$$TOL = Y_p - Y_s \quad [1]$$

$$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2} \quad [2]$$

شاخص حساسیت به تنش (Stress Susceptibility Index = SSI) توسط فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978) بر طبق روابط ذیل بیان شد.

$$SSI = \frac{1 - \left[\frac{Y_s}{Y_p} \right]}{SI} \quad [3]$$

$$SI = 1 - \left[\frac{Y_s}{Y_p} \right] \quad [4]$$

در روابط فوق Y_p و Y_s به ترتیب، عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش، Y_s و Y_p به ترتیب، متوسط عملکرد کلیه ژنوتیپ‌های تحت تنش و ژنوتیپ‌های در شرایط بدون تنش بوده و SSI و SI به ترتیب شاخص حساسیت به تنش و سختی محیط (شدت تنش) هستند. همبستگی ژنتیکی بین Y_p , Y_s و نسبت واریانس‌های ژنتیکی بین $\sigma^2_{Y_p}$ و $\sigma^2_{Y_s}$ تعیین کننده نتیجه گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های TOL و MP است (Rosielle and Hamblin, 1981)

متوسط کاهش عملکرد سالیانه محصولات کشاورزی بواسطه خشکی در جهان حدود ۱۷٪ بوده که تا بیش از ۷۰٪ در هر سال می‌تواند افزایش یابد (سرمدنیا، ۱۳۷۲؛ Edmeads et al., 1994). آزمایش‌های تحمل به خشکی و گزینش ژنوتیپ‌های متحمل باید بر اساس شرایط موجود هر منطقه انجام شود. ابتدا باید نوع تنش و مدت زمان مربوط به آن را شناسایی و با توجه به نوع گیاه مورد پژوهش، آزمایش‌ها را مطابق با آن طراحی کرد. در مناطقی مانند کشورمان که نیاز رطوبتی برای ذرت از طریق آب آبیاری تأمین می‌گردد هدف اصلاح برای تحمل به خشکی، دستیابی به ارقامی است که دوره‌های آبیاری بلند مدت یا قطع آبیاری برای دو تا سه دور را در مراحل حساس رشد بتوانند تحمل کنند. به این ترتیب می‌توان از طریق جلوگیری از کاهش شدید عملکرد در واحد سطح یا افزایش سطح زیر کشت به مناطقی که کمبود نسبی آب را دارا هستند، بر تولید افزود. گزینش ژنوتیپ‌هایی که هم به شرایط تنش و هم بدون تنش سازگاری دارند هدف اصلی آزمایش‌های آزمون عملکرد است. این راهکار هنگامی مناسب است که ژنوتیپ‌ها در شرایط مطلوب رشد می‌کنند ولی تنش‌های زنده و غیرزنده به شکل دوره‌ای اتفاق می‌افتند (Fernandez, 1992). معیارهای مختلفی جهت گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس نمودشان در محیط‌های واجد یا فاقد تنش

بالاخره گروه (D) که در محیط تنش و بدون تنش خوب نیستند. بهترین معیار گزینش آن است که قادر به تفکیک گروه (A) از سه گروه دیگر باشد.

SI یا شدت تنش عددی است که بین صفر تا ۱ تغییر می‌کند و هر چه عدد آن بزرگتر باشد شدت تنش بیشتر است. شاخص MP در جهت بالا بردن پتانسیل عملکرد عمل کرده و در اکثر آزمایش‌های عملکرد، همبستگی میان MP با Y_S نیز مثبت بود (Rosielle and Hamblin, 1981). بنابراین گزینش بر اساس MP عمدتاً منجر به بهبود میانگین عملکرد در محیط تنش و بدون تنش شده ولی قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A از گروه B نیست. این امر به دلیل ویژگی میانگین حسابی بوده که در صورت اختلاف نسبتاً زیاد بین Y_P و Y_S حاصل آن به سمت بالا اریب است. در مطالعه سنجری (۱۳۷۷) و قاجار سپانلو و همکاران (۱۳۷۹) بر روی گندم همبستگی بالا و مثبت میان شاخص مذکور و عملکرد بالقوه و با عملکرد در شرایط تنش به دست آمد. شاخص TOL هر چه کوچکتر باشد نشانه تحمل بیشتر به تنش است. گزینش بر اساس شاخص TOL منجر به کاهش پتانسیل عملکرد در شرایط بدون تنش و عملکرد بیشتر در شرایط تنش می‌شود، همبستگی میان ROL و Y_P در اغلب آزمایش‌های عملکرد منفی ولی میان TOL و Y_S مثبت بود (مقدم، گزارش منتشر نشده). به

تحت اکثر شرایط آزمایش‌های عملکرد، همبستگی میان Y_P و Y_S بین صفر تا ۰/۵ و نسبت واریانس ژنتیکی کمتر از یک است.

$$\left(\frac{\partial^2 Y_S}{\partial^2 Y_P} \right) < 1$$

از این رو در گزینش یک ژنوتیپ برای صفت عملکرد تحت شرایط بدون تنش، متوسط عملکرد در شرایط بدون تنش افزایش یافته و با گزینش ژنوتیپ در شرایط تنش، متوسط عملکرد تحت تنش افزایش می‌یابد. به عبارت بهتر ژنوتیپ‌های گزینش شده در شرایط تنش در بهبود عملکرد در همان شرایط کارایی داشته و در شرایط بدون تنش دارای نمود ضعیفی هستند (Fernandez, 1992). فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص تحمل به تنش (STI: Stress Tolerance Index) را بر طبق فرمول ذیل پیشنهاد کرد:

$$STI = \left(\frac{Y_P}{Y_{\bar{P}}} \right) \left(\frac{Y_S}{Y_{\bar{S}}} \right) \left(\frac{Y_{\bar{S}}}{Y_{\bar{P}}} \right) = \frac{(Y_P)(Y_S)}{(Y_{\bar{P}})^2} \quad [5]$$

هر یک از شاخص‌های مذکور دارای مزایا یا معایبی است که بعد از این به آن اشاره می‌شود. به طور کلی ژنوتیپ‌ها را بر اساس نمودشان در محیط‌های تنش و بدون تنش به چهار گروه می‌توان تقسیم کرد: گروه (A) ژنوتیپ‌هایی هستند که هم در محیط تنش و هم بدون تنش عملکرد خوبی دارند. گروه (B) را ژنوتیپ‌هایی تشکیل می‌دهند که فقط در محیط بدون تنش خوبند؛ اما ژنوتیپ‌های گروه (C) در محیط تنش نسبتاً بهتر از محیط بدون تنش هستند و

نمود. SSI در گزینش ارقام متحمل به خشکی ولی با عملکرد بالقوه پایین موفق بود، اما بهترین شاخص، STI بود که گروه A را از سایر گروه‌ها تفکیک کرد.

در مطالعه مقدم و هادی‌زاده (۱۳۷۹) مشخص گردید که شاخص تحمل به تنش (STI) نسبت به شاخص حساسیت به تنش (SSI) از کارایی بیشتری در گزینش ژنوتیپ‌های ذرت متحمل به تنش برخوردار بود، و شاخص اخیر فقط جهت حذف ژنوتیپ‌های حساس و نه گزینش ژنوتیپ‌های متحمل در شرایط دشوار کارایی قابل قبولی داشت.

احمدزاده (۱۳۷۶) در تحقیق خود با استفاده از روش بای‌پلات (Biplot)، شاخص‌های مختلف SSI، TOL، STI، GMP و MP در شرایط تنش و بدون تنش در سه گروه رسیدگی دیررس، متوسط رس و زودرس ذرت محاسبه کرد. نتایج حاکی از آن بود که در گروه دیررس سه شاخص اخیر قادر به شناسایی لاین‌های پرمحصول و متحمل به خشکی بوده ولی دو شاخص اول کارایی خوبی نداشتند. از آنجا که همبستگی دو شاخص GMP و MP با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش بالا بود، این شاخص‌ها به عنوان شاخص برتر شناخته شدند. در گروه زودرس شاخص‌های MP، GMP و STI همگی در شناسایی لاین‌های مورد نظر موفق بوده و کارایی دو شاخص SSI

این دلیل شاخص مذکور در تفکیک گروه A از C ناموفق است.

هر چه مقدار عددی شاخص SSI کوچکتر باشد حاکی از تحمل بیشتر به تنش است. همبستگی مثبتی اغلب بین SSI و TOL وجود دارد. این شاخص نیز مانند TOL قادر به تفکیک گروه A و C از هم نیست شاخص STI برعکس شاخص SSI بر مبنای میانگین هندسی طراحی شده است. در میانگین هندسی که از فرمول ذیل تبعیت می‌کند حساسیت کمتری به مقادیر بسیار متفاوت Y_P و Y_S وجود دارد:

$$GMP = \sqrt{(Y_S \times Y_P)} \quad [6]$$

STI و GMP به لحاظ همبستگی رتبه در یک مرتبه قرار می‌گیرند و هر چه مقدار STI بزرگتر باشد. تحمل به تنش و پتانسیل عملکرد ژنوتیپ هم بالاتر است، در شاخص STI شدت تنش نیز شرکت داشته و انتظار می‌رود که شاخص مذکور در تفکیک گروه A از گروه B و گروه C موفق باشد (Fernandez, 1992). فرناندز (۱۹۹۲)، در مطالعه خود بر روی ماش، دو وضعیت تنش متوسط ($SI = 0.23$)، و تنش شدید ($SI = 0.76$) را ملاک گزینش ارقام متحمل به تنش خشکی با عملکرد بالا قرار داد. گزینش بر اساس شاخص TOL، منجر به گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالقوه پایین شد، در حالی که گزینش بر اساس شاخص MP ژنوتیپ‌هایی را با عملکرد بالقوه بالا گزینش

دیگری بر روی چغندر قند نیز شاخص STI برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها مناسب‌تر از بقیه تشخیص داده شد و پیشنهاد گردید برای توسعه ارقام متحمل چغندر قند باید گزینش ژنوتیپ‌ها در دو محیط متفاوت انجام شود (پرویزی آلمانی و همکاران، ۱۳۷۷).

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی مقدماتی تحمل به خشکی در هیبریدهای تجاری دیررس ذرت و والدین آن‌ها، تحقیقی در طی دو سال ۷۶-۱۳۷۵ در مزرعه چهارصد هکتاری مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج به شکل چهار آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مورد اجرا گذاشته شد. آزمایش اول با رژیم آبیاری معمول (هر ۷ روز یک بار)، آزمایش دوم با قطع آبیاری به مدت دو دور در مرحله رویشی (۷-۶ برگ ذرت)، آزمایش سوم با قطع آبیاری به مدت دو دور در مرحله گلدهی و در آزمایش چهارم قطع آبیاری به مدت دو دور در مرحله پر شدن دانه انجام شد. برخی داده‌های هواشناسی در دوره اعمال تنش در جدول ۱ آمده است.

هیبریدهای تجاری مورد بررسی که قسمت اعظم سطح زیر کشت ذرت در کشور را به خود اختصاص داده‌اند به همراه والدین آن‌ها به ترتیب عبارت از سینگل کراس ۷۰۴ و والدین آن MO17 × B73، سینگل کراس ۷۱۱ و

TOL نیز به علت وجود همبستگی مثبت بین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش افزایش یافت. مظفری و همکاران (۱۳۷۵)، بهترین شاخص ارزیابی تحمل به خشکی را در ژنوتیپ‌های آفتابگردان، شاخص تحمل به تنش (STI) دانستند. آن‌ها متوجه شدند که هیبرید ایرانی گلشید از نظر شاخص‌های MP، GMP و STI، بهترین ژنوتیپ بود، در حالی که از نظر شاخص TOL هیبرید دیگری گزینش شد. همچنین اظهار داشتند که هیبرید انتخابی بر اساس STI و GMP در هر دو شرایط تنش و عادی رتبه اول را کسب نمود. در آزمایش‌هایی که توسط نورمند مؤید و همکاران (۱۳۷۷)، قاجار سپانلو و همکاران (۱۳۷۹)، و سنجرى (۱۳۷۷)، انجام شد بهترین شاخص‌ها را برای گزینش ژنوتیپ‌های گندم متحمل به تنش با عملکرد بالقوه بالا GMP و STI ذکر کردند. سمیع‌زاده و همکاران (۱۳۷۷)، در آزمایشی برای تعیین بهترین شاخص تحمل به خشکی در ارقام نخود نشان دادند که شاخص GMP و STI برای برآورد پایداری عملکرد و همچنین دستیابی به ارقام پرمحصول در دو محیط تنش‌زا و بدون تنش مناسبند. بر اساس نتایج آن‌ها، ضریب همبستگی بین عملکرد در شرایط عادی و تنش ۰/۰۶۱- و نسبت واریانس ژنتیکی عملکرد محاسبه شده در دو محیط برابر ۰/۱۲۷ بود. در این شرایط میزان میانگین هندسی کمتر از میانگین حسابی برآورد گردید. در مطالعه

جدول ۱- برخی پارامترهای آب و هوایی در مراحل مختلف نمو ژنوتیپ‌های ذرت

برای سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۷۶

Table 1. Some climatological parameters at different developmental phases of corn genotypes for years 1996 and 1997

Developmental phase	مرحله نمو	سال Year	بارندگی Precipitation (mm)	رطوبت نسبی Relative humidity %	درجه حرارت Temperature (°C)		
					Max.	Min.	
Vegetative (6th leaf)	رویشی (۶-۷ برگه)	۱۳۷۵	1996	5.6	40.5	33.1	18.2
		۱۳۷۶	1997	0.9	35.0	34.4	17.4
Anthesis	گلدهی	۱۳۷۵	1996	0	40.3	34.0	19.2
		۱۳۷۶	1997	0	43.3	37.1	18.6
Kernel filling	پر شدن دانه	۱۳۷۵	1996	0	36.3	33.5	18.6
		۱۳۷۶	1997	0	32.0	38.0	18.3

کپه بذر در هر ردیف کشت شد. جهت اعمال تیمارهای تنش خشکی، از روش قطع آبیاری به مدت ۲۱ روز (دو دور) در مراحل مورد نظر استفاده شد. کود شیمیایی فسفات آمونیوم ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار و اوره ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت و کود سرک اوره ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در زمان هفت برگی ذرت مصرف گردید. میزان عملکرد دانه بر اساس ۱۴ درصد رطوبت تصحیح گردید. بر اساس فرمول‌های (۱) تا (۵) قسمت مقدمه، چهار شاخص ارزیابی تحمل به خشکی با عناوین شاخص تحمل (TOLI)، شاخص بهره‌وری متوسط (MP)، شاخص حساسیت به تنش (SSI) و شاخص تحمل به تنش (STI) محاسبه

والدین آن L105 × B73، و سینگل کراس تغییر شکل یافته 704M (برحسب نسامگذاری درون بخش‌های ذرت) و والدین آن MO17 × (B73 × B84). به این ترتیب سه هیبرید تجارتي متعلق به گروه دیررس و چهار لاین والدی مورد بررسی تحمل به خشکی قرار گرفتند. بر اساس نمونه مرکب از خاک مزرعه بافت خاک از نوع لوم رسی با ضریب هدایت الکتریکی $E_c = 0.9 \times 10^{-3}$ میلی‌موس بر سانتی‌متر و $pH = 7.9$ تعیین شد.

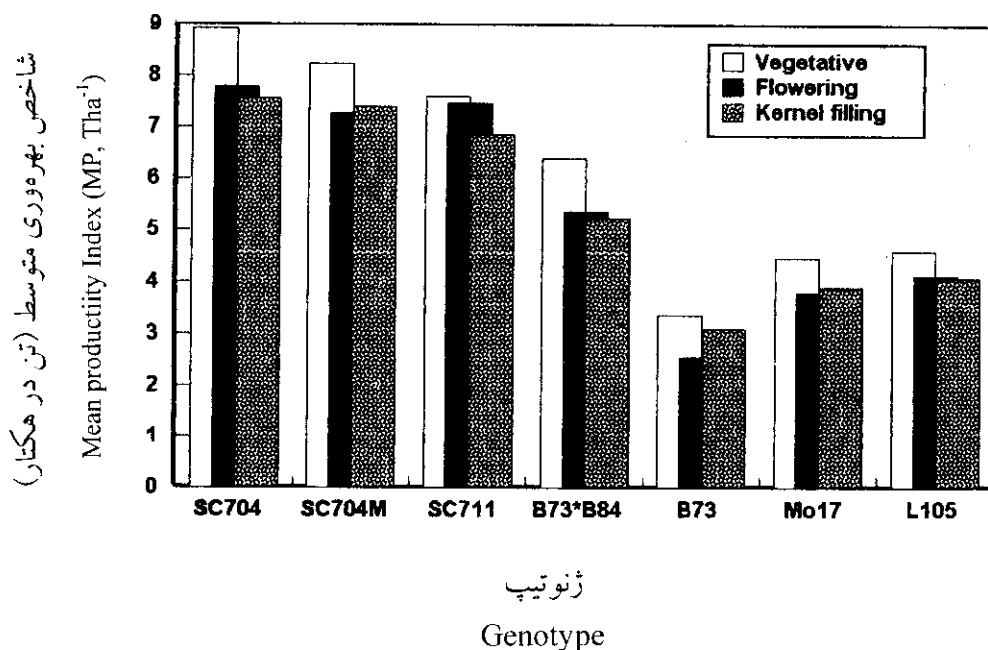
هر کرت آزمایشی در این تحقیق شامل ۵ ردیف به فواصل ۷۵ سانتی‌متر و به طول ۵/۵ متر و فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود. برای رسیدن به تراکم ۶۵۰۰۰ بوته در هکتار تعداد ۲۷

عملکرد بالا در شرایط تنش هستند مناسب نیست (Fernandez, 1992). در مقایسه والدین با استفاده از شاخص MP، تحمل نسبی تنش متعلق به والد (B73 × B84) بود و لاین‌های L105، MO17 و B73 در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۱). والد B73 × B84 یک هیبرید خویشاوند بوده و عملکرد بالاتر همراه با تحمل نسبی بیشتر آن نیز به همین دلیل است. بنابراین مقایسه آن با سایر لاین‌های والدی که اینبرد می‌باشند شاید چندان صحیح نباشد. در مقایسه بین لاین MO17 و L105، لاین اخیر دارای عملکرد کمتر ولی شاخص بهره‌وری متوسط بالاتر در شرایط تنش بود که باز حاکی از عدم قابلیت شاخص مذکور جهت گزینش در شرایط تنش بود. یادآور می‌شود که یک شاخص مناسب برای گزینش آن است که منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش گردد (مقدم، ۱۳۷۷). علیرغم نتیجه این آزمایش، مطالعه احمدزاده (۱۳۷۶)، حاکی از مطلوب بودن شاخص MP در شناسایی لاین‌های پر محصول و متحمل به خشکی ذرت بود. همچنین در مقایسه ضرایب همبستگی Y_p و Y_s با شاخص‌های اندازه‌گیری شده MP، GMP، STI، SSI و TOL سه شاخص اول از ضرایب همبستگی بالاتری نسبت به سایرین برخوردار بودند (قاجار سپانلو و همکاران، ۱۳۷۹).

گردید و ضرایب همبستگی فنوتیپی ($n = 6$) بین والدین و هیبریدهای آزمایش از لحاظ شاخص‌های مذکور و صفت عملکرد تعیین شد.

نتایج و بحث

الف) شاخص بهره‌وری متوسط (MP) از میان هیبریدهای مورد آزمون، سینگل کراس ۷۰۴ (SC704) بر اساس شاخص MP از تحمل نسبی بیشتری برخوردار بود (شکل ۱). با توجه به نحوه محاسبه شاخص MP (رجوع به قسمت مقدمه) واضح است که هر چه میزان عددی این شاخص بیشتر باشد تحمل نسبی به تنش بیشتر است. مقدار عددی این شاخص در تیمار تنش در مراحل رویشی، گلدهی و پر شدن دانه نیز حاکی از برتری هیبرید SC704 در کلیه زمان‌های اعمال تنش نسبت به سایر هیبریدها بود (شکل ۱). در مقایسه عملکرد بین دو هیبرید SC704 و SC704M مشاهده شد که هیبرید اخیر از عملکرد بیشتری نسبت به SC704 در تمام زمان‌های اعمال تنش برخوردار بود (رجوع به شکل ۱-a, b, c)، ولی از لحاظ شاخص MP در مرتبه پایین‌تری قرار گرفت که دلیل آن را می‌توان به اختلاف عملکرد بیشتر هیبرید SC704 در دو وضعیت تنش و عدم تنش نسبت به SC704M نسبت داد به نحوی که بالاتر بودن عملکرد SC704 در شرایط عادی باعث بالا رفتن میزان شاخص MP برای آن گردید. به این ترتیب می‌توان گفت که شاخص MP در گزینش ارقامی که دارای



شکل ۱- مقایسه ژنوتیپ‌های ذرت از نظر شاخص بهره‌وری متوسط (MP)

در زمان‌های مختلف اعمال تنش خشکی (متوسط دو ساله)

Fig.1. Comparison of corn genotypes for mean productivity index (MP) in different drought stress treatments (average of two years)

و بدون تنش دارای عملکرد مناسب بودند توفیق چندانی نداشت.

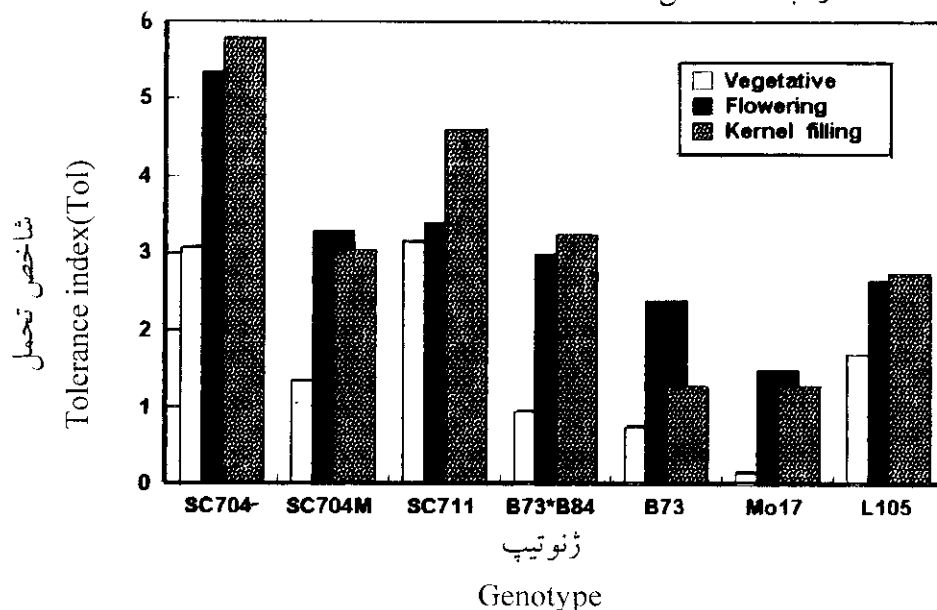
با استفاده از شاخص TOL برای والدین مورد آزمون، متحمل‌ترین آن‌ها، لاین MO17 بود و لاین‌های B73، L105 و والد (B73 × B84) در مرتبه‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۲). شاخص TOL به نوعی حاکی از تغییرات عملکرد در شرایط عادی و تنش است و به عبارت دیگر، ژنوتیپ‌هایی که دارای شاخص TOL کمتر می‌باشند تغییرات کمتر یا ثبات بیشتری در تغییر شرایط تنش به عدم تنش و بالعکس از لحاظ عملکرد دارند. در حقیقت یکی از معیارهای پایداری، واریانس است و به

(ب) شاخص تحمل (TOLI)

تحمل نسبی بیشتر، بر اساس این شاخص متعلق به ژنوتیپی است که شاخص کوچکتری داشته باشد. که از میان هیبریدهای مورد آزمون، هیبرید SC704M در هر سه زمان اعمال تنش از تحمل بیشتری برخوردار بود (شکل ۲) و حساس‌ترین آن‌ها، هیبرید SC704 بود. با مراجعه به مقادیر عملکرد هیبریدهای مذکور (شکل ۶-a, b, c) روشن شد که شاخص TOL در گزینش ژنوتیپ‌هایی موفق بوده که عملکرد آن‌ها در شرایط تنش مناسب است و لسی در گزینش ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش

عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط عادی پایین باشد و در شرایط تنش با افت اندک باعث کوچک شدن شاخص TOL شود. برای مثال لاین B73 که از لحاظ محاسبه شاخص TOL در مرتبه دوم در تمام زمان‌های اعمال تنش قرار گرفت، صاحب کمترین عملکرد در کلیه شرایط بود. نتیجه این که استناد به شاخص TOL هنگامی قابل اطمینان است که همراه با عملکرد در نظر گرفته شود.

اعتقاد بلام (Blum, 1979) یک ژنوتیپ با عملکرد مناسب تحت شرایط مطلوب، عملکرد خوبی هم در شرایط کمتر مساعد نیز باید داشته باشد تا به عنوان یک رقم اصلاح شده برای شرایط تنش در نظر گرفته شود و به عبارت دیگر واریانس یا تغییرات عملکرد آن باید کم باشد. نکته در خور توجه آن است که پایین بودن شاخص TOL (یا کم بودن تغییرات عملکرد) لزوماً بر بالا بودن عملکرد در شرایط عادی یا تنش دلالت ندارد بلکه ممکن است



شکل ۲- مقایسه ژنوتیپ‌های ذرت از لحاظ شاخص تحمل (TOLI) در زمان‌های مختلف اعمال تنش خشکی (متوسط دو ساله)

Fig.2. Comparison of corn genotypes for tolerance index (TOLI) in different drought stress treatments (average of two years)

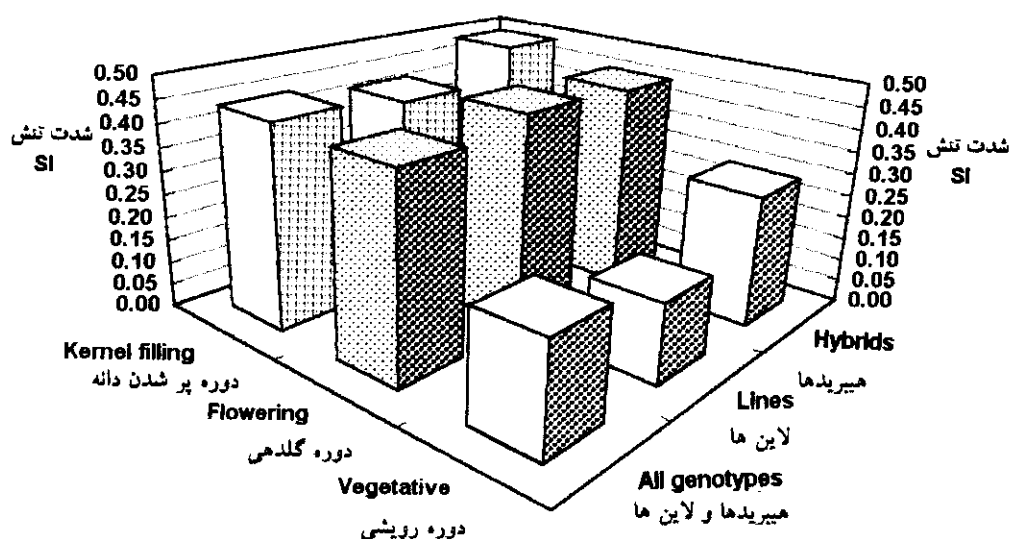
نسبی ژنوتیپ به تنش بیشتر است. در محاسبه شاخص حساسیت به تنش، یک جزء بنام SI وجود دارد که به عنوان سختی محیط نامیده می‌شود، (رجوع به قسمت مقدمه). هر چه میزان SI بزرگتر باشد حاکی از شرایط محیطی

ج) شاخص حساسیت به تنش (SSI) این شاخص توسط فیشر و مورر (Fisher and Maurer, 1978) معرفی گردید. هر چه مقدار عددی شاخص حساسیت به تنش کوچکتر باشد، حساسیت به تنش کمتر و تحمل

آزمایش حاکی از اختلاف جزئی سختی محیط برای تنش دوره گلدهی و پر شدن دانه بود و برای دوره رویشی کمترین شدت تنش را نشان داد.

از میان هیبریدهای مورد آزمون، هیبرید SC704M نسبت به سایرین در هر سه زمان اعمال تنش تحمل نسبی بیشتری داشت (شکل ۴). در مورد هیبرید SC704، براساس محاسبه شاخص SSI همانند نتیجه شاخص TOL به عنوان حساس ترین هیبرید شناخته شد.

سخت تر است. مقدار عددی SI بین صفر و ۱ تغییر می کند. در این آزمایش، سختی محیط با به تأخیر افتادن تنش از ابتدای فصل در هیبریدهای مورد آزمون افزایش یافت (شکل ۳)، به نحوی که تنش دوره رویشی کمترین و تنش دوره پر شدن دانه بیشترین شدت را داشت. در مورد لاین ها سخت ترین شرایط مربوط به تنش دوره گلدهی بود ولی همانند هیبریدها کمترین شدت تنش در زمان رشد رویشی واقع گردید. محاسبه SI بر اساس کل ژنوتیپ های



شکل ۳- شدت تنش (سختی محیط) برای ژنوتیپ های ذرت در زمان های مختلف اعمال تنش خشکی (متوسط دو ساله)

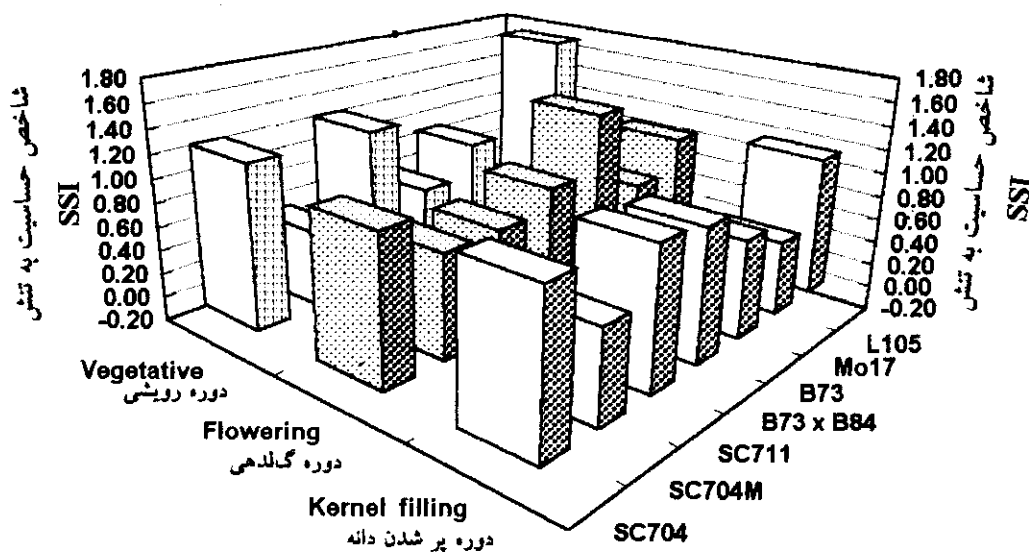
Fig. 3. Stress intensity (SI) for corn genotypes in different drought stress treatments (average of two years)

همبستگی بالای میان شاخص SSI و شاخص TOL در تیمار تنش در دوره پر شدن دانه، که شدت تنش از زمان های دیگر بیشتر است ($r = 0.85^*$) شاهد این مدعاست.

در اینجا نیز مانند شاخص TOL گزینش ژنوتیپ هایی که در شرایط تنش دارای عملکرد خوبی بوده ولی در شرایط عادی ممکن است عملکرد خوبی نداشته باشند صورت می گیرد.

درجه‌بندی نمی‌شود. در آزمایش فعلی نیز والد B73 × B84 که در کلیه شرایط بیشترین عملکرد را احراز کرد ولی با توجه به تغییرات زیاد عملکرد نسبت به لاین MO17 (شکل ۶-a,b,c)، از لحاظ رتبه‌بندی تحمل به تنش پس از لاین مذکور قرار گرفت. در مجموع می‌توان اظهار داشت که شاخص SSI نسبت به دو شاخص MP و TOL در رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها از موفقیت بیشتری برخوردار بود ولی هنوز در تفکیک ژنوتیپ‌های A از B و C کارآیی لازم را ندارد.

در مقایسه لاین‌های آزمایش با یکدیگر با استفاده از شاخص SSI، لاین MO17 در تمام زمان‌های اعمال تنش دارای تحمل نسبی به خشکی و لاین L105 دارای حساسیت نسبی بود. شاخص SSI علاوه بر میزان عملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش به تغییرات عملکرد در اثر جابجایی شرایط عادی به تنش (و برعکس) نیز عکس‌عمل نشان می‌دهد. برای مثال اگر ژنوتیپی دارای تغییرات عملکردی زیاد از شرایط عادی به تنش بوده هر چند که صاحب عملکرد بالا در هر دو محیط باشد باز بر اساس شاخص SSI جزو ژنوتیپ‌های متحمل

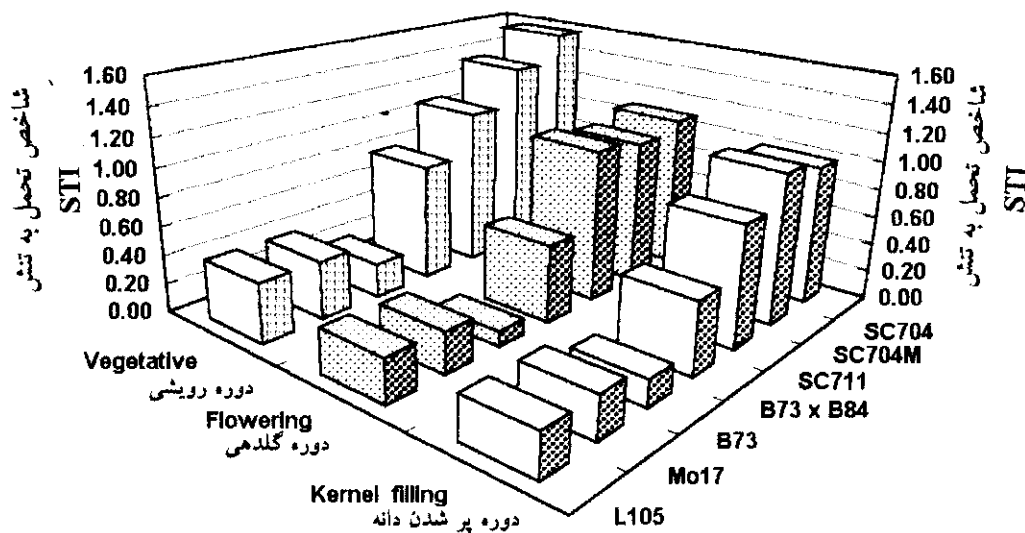


شکل ۴- مقایسه ژنوتیپ‌های آزمایش از نظر شاخص حساسیت به تنش (SSI) در زمان‌های مختلف اعمال تنش خشکی (متوسط دو ساله)

Fig. 4. Comparison of corn genotypes for stress susceptibility index (SSI) in different drought stress treatments (average of two years)

تنش در دوره پر شدن دانه اتفاق افتاد هیبرید SC704M تحمل بیشتری داشت ولی در تنش دوره رویشی هیبرید SC704 متحمل تر بود. هیبرید SC711 به طور مشترک با SC704 در تنش دوره گلدهی تحمل مناسبی داشتند (شکل ۵). از میان والدین آزمایش، بالاترین تحمل نسبی بر اساس شاخص STI مربوط به والد B73 × B84 در تمام زمان‌های اعمال تنش بود و لاین‌های L105، MO17 و B73 به ترتیب در مرتبه‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۵).

د- شاخص تحمل به تنش STI این شاخص برای اولین بار توسط فرناندز (Fernandez, 1992) معرفی شد و اساس آن بر میانگین هندسی استوار است (رجوع به قسمت مقدمه). مقدار بالای این شاخص حاکی از تحمل بیشتر ژنوتیپ به تنش است که در آزمایش فعلی متعلق به هیبرید SC704 برای میانگین هر سه زمان تنش بود و هیبریدهای SC704M و SC711 در مرتبه‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۵). طبق این شاخص هنگامی که



شکل ۵- مقایسه ژنوتیپ‌های ذرت از نظر شاخص تحمل به تنش (STI) در زمان‌های مختلف اعمال تنش خشکی (متوسط دو ساله)

Fig. 5. Comparison of corn genotypes for stress tolerance index (STI) in different drought stress treatments (average of two years)

نشان داد (شکل ۶). تقسیم صفحه XY نمودار به چهار قسمت A، B، C و D، برای تشخیص ژنوتیپ‌های متحمل با عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش نشان داد که هیبرید SC704

با استفاده از نمودار سه بعدی می‌توان ارتباط بین عملکرد در شرایط تنش (Y_s در محور X)، عملکرد در شرایط عادی (Y_n در محور Y) و شاخص تحمل به تنش (STI در محور Z) را

شرایط عادی (پتانسیل عملکرد) این هیبرید از شاخص STI بالاتری برخوردار بود (شکل ۶-a). در مجموع می‌توان چنین نتیجه گرفت که شاخص STI زمانی قابل اعتماد است که با عملکرد بالا در شرایط تنش در نظر گرفته شود. از میان لاین‌های مورد مقایسه صرف‌نظر از والد هیبرید $B73 \times B84$ ، نمودار سه بعدی مورد بحث (شکل ۶-a, b, c) حاکی از برتری لاین L105 از لحاظ شاخص STI بود ولی با در نظر گرفتن مطلب فوق می‌توان قضاوت کرد که لاین MO17 که عملکرد بیشتری نیز در شرایط تنش داشت، برتر بود. به طور کلی عکس‌العمل گیاهان زراعی و ارزیابی آنها برای حداکثر عملکرد در شرایط محیطی متنوع وابسته به توانایی متفاوت آنها در استفاده از شرایط محیطی است. این امر از طریق تنظیم اجزاء عملکرد و اثرات متقابل ژنوتیپ‌ها به هنگام بروز شرایط مطلوب و نامطلوب در هر مرحله از رشد و نمو گیاه امکان‌پذیر است (Entz and Flower, 1990). بر این اساس نادری و همکاران (۱۳۷۸) ضرورت تغییر شاخص‌های موجود را با حفظ دو ویژگی پایداری و میانگین عملکرد بالا متذکر شدند. آنها در بررسی خود با توجه به احتمال بروز شرایط مطلوب و نامطلوب در سال‌های مختلف در هر منطقه ضریبی را برای تصحیح شاخص فرناندز پیشنهاد نمودند که به اعتقاد نگارندگان قادر به گزینش ژنوتیپ‌های سازگار با عملکرد

در تنش ابتدای فصل (دوره رویشی) نسبت به دو هیبرید دیگر از تحمل بیشتری برخوردار بود (شکل ۶-a)، علاوه بر این که عملکرد آن در شرایط عادی نیز بیشتر از دو هیبرید دیگر بود. برخلاف شاخص SSI که هیبرید SC704 را به عنوان حساس‌ترین هیبرید تعیین می‌نماید، در اینجا به عنوان یک هیبرید متحمل شناخته شد. چون شاخص STI بر اساس عملیات ضربی ($Y_{PX} Y_S$) طراحی شده است به دلیل خاصیت ضرب اعداد ممکن است برای جفت‌هایی از اعداد که با یکدیگر تفاوت ماهوی دارند، مربع میانگین هندسی یکسان باشد (نادری و همکاران، ۱۳۷۸). بر پایه این استدلال، ممکن است شاخص STI بالا ناشی از عملکرد زیاد ژنوتیپ تحت شرایط بدون تنش باشد ولی عملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش کاهش داشته باشد چنانکه در مورد هیبرید SC704 چنین بود. در مقایسه داخلی میان سه هیبرید مورد مطالعه در تنش ابتدایی که یک تنش سبک (بر مبنای SI) تلقی می‌شد، عملکرد در تنش هیبرید SC704 نزدیک به SC704M بود ولی با افزایش شدت تنش (با تغییر زمان اعمال تنش) عملکرد در تنش هیبرید SC704 افت زیادتری را نسبت به SC704M نشان داد (شکل ۶-a). در مقایسه هیبرید SC711 و والد $B73 \times B84$ با این که هر دو در تنش دوره رویشی دارای عملکرد در تنش یکسانی بودند ولی به دلیل بالا بودن عملکرد SC711 در

کمتر به شرایط متنوع به عنوان یک هیبرید مطلوب در شرایط تنش و عدم تنش با ثبات بیشتر و صرف تغییرپذیری کمتر مطرح گردید. همچنین قبل از دستیابی به یک هیبرید سینگل کراس پر محصول (با پتانسیل عملکرد زیاد) می‌توان مبادرت به تولید هیبریدهای تری وی کراس نمود تا نتایج حاصله علاوه بر این که پتانسیل عملکرد بالایی دارند خصوصیات متحمل هیبریدهای تری وی کراس را نیز را به ارث برده باشند. از میان والدین مورد مطالعه والد $B73 \times B84$ در کلیه شرایط دارای بیشترین عملکرد بود که می‌توانست به این دلیل باشد که والد مذکور یک هیبرید خویشاوند بوده و قدری از خود هتروزیس نشان می‌دهد. صرف نظر از لاین مذکور، لاین MO17 از تحمل به تنش بیشتر و ثبات عملکرد بالاتری برخوردار بود. همبستگی میان عملکرد لاین‌های والدی و هیبریدها در شرایط تنش مثبت بود ولی با توجه به کامل نبودن این همبستگی و حذف لاین‌ها بدون توجه به میزان هتروزیس آن‌ها در تلاقی، باید دقت کافی در گزینش لاین‌ها برای تولید هیبریدهای متحمل به تنش صرف گردد.

از آنجا که آزمایش فعلی بر پایه ژنوتیپ‌های محدودی طراحی شده بود پیشنهاد می‌شود که لاین‌های بیشتری که اخیراً تولید شده‌اند مجدداً در یک آزمایش کامل‌تر مورد بررسی قرار گیرند.

بالا بر حسب احتمال بروز شرایط مطلوب و نامطلوب بود.

همبستگی میان هیبریدها و لاین‌های مورد بررسی

بر اساس ضرایب همبستگی فنوتیپی محاسبه شده برای صفات عملکرد و شاخص‌های ارزیابی مقاومت به تنش بین هیبریدها و والدین آن‌ها (جدول ۲) چنین استنباط گردید که همبستگی میان لاین‌ها و نتایج آن‌ها ضعیف و در اکثر موارد منفی بود. این همبستگی ضعیف و منفی با اعمال تنش به همبستگی‌های قوی‌تر و مثبت تبدیل شد. سایر محققین نیز نشان دادند که در شرایط تنش، بین لاین‌ها و نتایج مربوطه همبستگی قوی‌تری نسبت به شرایط بدون تنش ایجاد گردید، (El-Lakany and Russell, 1971; Beck *et al.*, 1996) در کلیه زمان‌های اعمال تنش همبستگی میان عملکرد لاین‌های والدی و هیبریدها مثبت بود ولی این همبستگی مثبت فقط در تنش دوره پر شدن دانه از قوت بیشتری برخوردار بود.

نتایج این آزمایش نشان داد که هیبرید SC704 به عنوان مطلوبترین هیبرید برای کشت در شرایط بدون تنش و هیبرید SC704M به عنوان بهترین هیبرید از میان ژنوتیپ‌های مورد آزمون برای کشت در شرایط تنش قابل توصیه بود. از آنجا که هیبرید SC704M در حقیقت یک هیبرید سه طرفه یا تری وی کراس بود (TWC)، بواسطه تنوع ژنی بیشتر و در نتیجه حساسیت

جدول ۲- ضریب همبستگی فنوتیپی عملکرد و شاخص‌های مقاومت به خشکی بین هیبریدها و والدین مربوطه در تنش رویشی (Veg.)، تنش گلدهی (FL.) و تنش دوره پر شدن دانه (KF.)

Table 2. Phenotypic correlation coefficient of yield and stress tolerance susceptibility indices between hybrids and their parental lines under different stress treatments

Hybrids ► Parental lines ▼	Y _p	Y _s	STI	SSI	TOL	MP	
Y _p	Veg.	-0.51	0.16	-0.16	-0.50	-0.56	-0.22
	FL.	-0.51	0.36	-0.57	-0.46	-0.47	-0.57
	KF.	-0.51	0.56	0.33	-0.60	-0.59	-0.04
Y _s		-0.39	0.54	0.18	-0.77+	-0.77+	0.09
		-0.39	0.20	-0.68	-0.31	-0.33	0.50
		-0.28	0.79+	0.77+	0.67	-0.57	0.47
MP		-0.47	0.35	0.003	-0.65	-0.69	-0.07
		-0.47	0.31	-0.64	-0.41	-0.43	-0.56
		-0.47	0.66	0.48	-0.66	-0.63	0.11
TOL		-0.31	-0.62	-0.61	0.38	0.25	-0.58
		-0.35	0.41	-0.02	-0.38	-0.37	-0.28
		-0.51	0.32	0.04	-0.43	-0.47	-0.28
SSI		-0.17	-0.73+	-0.61	0.58	0.46	-0.56
		0.11	0.07	0.51	0.04	0.06	0.24
		-0.44	0.04	-0.26	-0.20	-0.29	-0.48
STI		-0.45	0.40	0.05	-0.69	-0.71	-0.04
		-0.47	0.29	-0.68	-0.40	-0.42	-0.57
		-0.46	0.71	0.55	-0.69	-0.64	0.17

Y_p = Yield in potential

Y_s = Yield in stress

MP = Mean Productivity Index

TOL = Tolerance Index

SSI = Stress Susceptibility Index

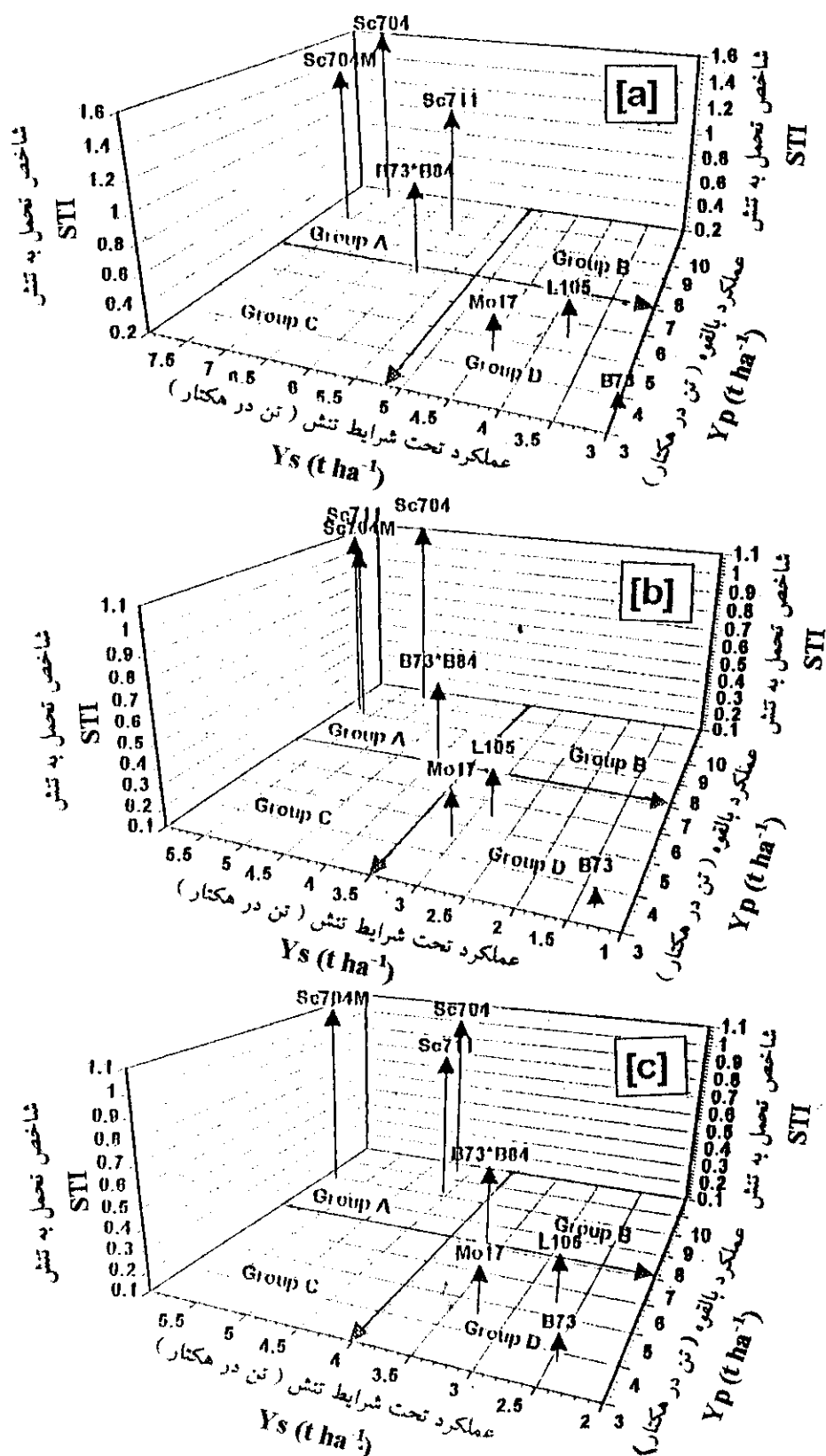
STI = Stress Tolerance Index

+ Significant in 10%

Sample size = 6

Veg. = Vegetative, FL. = Flowering

KF. = Kernel Filling



شکل ۶- نمودار سه بعدی میان شاخص تحمل به تنش (STI)، عملکرد بالقوه (Y_p) و عملکرد تحت شرایط تنش (Y_s) برحسب تن در هکتار برای سه وضعیت تنش دوره رویشی [a]، تنش گلدهی [b] و تنش پر شدن دانه [c] در ژنوتیپ‌های مورد آزمون (میانگین دو ساله)

Fig. 6. The 3-D plots among stress tolerance index (STI), yield potential (Y_p) and yield under stress (Y_s) for stress treatments at vegetative [a], anthesis [b], and kernel filling phase [c] of corn genotypes (average of two years)

References

منابع مورد استفاده

- احمدزاده، ا. ۱۳۷۶. تعیین بهترین شاخص مقاومت به خشکی در لاین‌های برگزیده ذرت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد اصلاح نباتات. دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران. ۲۳۸ صفحه.
- پرویزی آلمانی، م.، صادقیان، س.ی.، فتح‌اله طالقانی، د.، و محمدیان، ر. ۱۳۷۷. بررسی شاخص‌های تحمل به خشکی برای صفات مهم چغندر قند. چکیده مقالات پنجمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران، کرج. صفحه ۲۸۵.
- سومدنیا، غ. ۱۳۷۲. اهمیت تنش‌های محیطی در زراعت. مقالات کلیدی اولین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران. دانشکده کشاورزی کرج.
- سمیع‌زاده، ح.، طاعی، ع.، گرامی، ع.، و پوردوایی، ح. ۱۳۷۷. بررسی و تعیین مناسبترین شاخص حساسیت به خشکی در ارقام نخود. چکیده مقالات پنجمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران، کرج. صفحه ۲۴۸.
- سنجری، ا.ق. ۱۳۷۷. ارزیابی منابع تحمل به تنش خشکی و پایداری عملکرد ارقام و لاین‌های گندم در منطقه نیمه خشک کشور. چکیده مقالات پنجمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران، کرج. صفحه ۲۴۴-۲۴۳.
- قاجار سپانلو، م.، سیادت، ح.، میرلطیفی، م.، و میرنیا، س.خ. ۱۳۷۹. اثر قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و کارایی مصرف آب و مقایسه چند شاخص مقاومت به خشکی در چهار رقم گندم، خاک و آب ۱۲(۱۰): ۶۴-۷۵.
- مظفری، ک.، عرشی، ی.، و زینالی خانقاه، ح. ۱۳۷۵. بررسی اثر تنش خشکی در برخی از صفات مورفوفیزیولوژیکی و اجزای عملکرد آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) نهال و بذر. ۱۲(۳): ۲۴-۳۳.
- مقدم، ع.، و هادی‌زاده، م.ح. ۱۳۷۹. بررسی استفاده از تنش تراکم در گزینش ارقام متحمل به تنش خشکی در ذرت. مجله علوم زراعی ایران ۲(۳): ۲۵-۳۸.
- نادری، ا.، مجیدی هروان، ا.، هاشمی دزفولی، ا.، رضایی، ع.، و نورمحمدی، ق. ۱۳۷۸. تحلیل کارایی شاخص‌های ارزیابی‌کننده تحمل گیاهان زراعی به تنش‌های محیطی و معرفی یک شاخص جدید. نهال و بذر ۱۵: ۳۹۰-۴۰۲.
- نورمند مؤید، ف.، رستمی، م.ع.، و قنادها، م.ر. ۱۳۷۷. تعیین بهترین شاخص مقاومت به خشکی در گندم نان. چکیده مقالات پنجمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران، کرج. صفحه ۲۴۳-۲۴۲.

- Beck, D., Betran, F.J., Banzinger, M., Willcox, M., and Edmeades, G.O. 1996.** From landrace to hybrid: Strategies for the use of source populations and lines in the development to drought tolerance cultivars. pp. 369-382. In: Edmeades, G.O., and Banzinger, M. (eds). Proceedings of Symposium of Developing Drought and Low N-tolerant maize CIMMYT. Mexico.
- Blum, A. 1979.** Genetic improvement of drought resistance in crop plants: A case of sorghum. pp. 429-445. In: Mussell, H., and Staples, R.C. (eds). Stress Physiology in Crop Plants, Wiley Inter. Sci. New York.
- Edmeades, G.O., Chapman, S.C. Bolanos, J., Banzinger, M., and Lafitte, H.R. 1994.** Recent evaluation of progress in selection for drought tolerance in tropical maize. Fourth Eastern and Southern Regional Maize Confrenu Herare, Zimbabwe.
- El-Lakany, M.A., and Russell, W. 1971.** Relationship of maize characters with yield in testcrosses of inbreds at different plant densities. Crop Science 11: 698-701.
- Entz, M.H., and Flower, D.B. 1990.** Differential agronomic responses of winter wheat cultivars to preanthesis environmental stress. Crop Science 30: 1119-1123.
- Fernandez, G.C.J. 1992.** Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. pp. 257-270. In: Kuo, C.G. (ed). Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops to Temperature Water Stress. Taiwan.
- Fischer, R.A., and Maurer, R. 1978.** Drought resistance in spring wheat cultivar. I. Grain yield responses Australian Journal of Agricultural Research 29: 897-912.
- Rosielle, A.A., and Hamblin, J. 1981.** Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science 21: 943-946.

آدرس نگارندگان:

علی مقدم- بخش تحقیقات ذرت و گیاهان علوفه‌ای، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، صندوق پستی ۴۱۱۹، کرج ۳۱۵۸۵.
محمد حسن هادی‌زاده- بخش تحقیقات علفهای هرز، مؤسسه تحقیقات آفات و بیماریهای گیاهی، صندوق پستی ۱۴۵۴، تهران ۱۹۳۹۵.