

"مجله علوم زراعی ایران"  
جلد دوم، شماره ۳، ۱۳۷۹

## بررسی استفاده از تنش تراکم در گزینش ارقام متحمل به تنش خشکی در ذرت

### Study on density stress in selection of drought tolerant varieties of corn (*Zea mays* L.)

علی مقدم<sup>۱</sup> و محمد حسن هادی زاده<sup>۲</sup>

#### چکیده

به منظور تعیین وجود یا عدم وجود رابطه بین تنش تراکم‌های بالا و خشکی، آزمایشی در مزرعه چهارصد هکتاری مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در سال زراعی ۱۳۷۶ به مدت یک سال انجام شد. آزمایش به صورت طرح بلوک خرد شده (نواری) در قالب بلوک کامل تصادفی در سه تکرار به اجراء گذاشته شد. عامل عمودی در چهار سطح، تراکم عادی ۷۰، ۱۰۰ و ۱۴۰ هزار بوته در هکتار و بالاخره تراکم ۷۰ هزار بوته در هکتار + تنش خشکی در مرحله گلدهی بود. تنش خشکی از طریق دو دور قطع آبیاری متوالی در مرحله گلدهی اعمال شد. عامل افقی در شش سطح شامل ارقام تجارتهی و امید بخش ذرت بود. خاک مزرعه از نوع لوم رسی شنی با واکنش هشت بود. جهت تعیین ارتباط بین تنش تراکم و خشکی علاوه بر صفت عملکرد دانه، دو شاخص حساسیت به تنش (SSI) و شاخص تحمل به تنش (STI) محاسبه و همبستگی ساده و رتبه‌ای بین آن‌ها مشخص شد. نتایج به دست آمده حاکی از ارتباط بین عملکرد دانه و شاخص‌های محاسبه شده در تنش تراکم‌های بالا و خشکی بود. تراکم ۱۴۰ هزار بوته در هکتار بیشترین ضریب همبستگی را با تنش خشکی از لحاظ عملکرد و شاخص‌های محاسبه شده داشت و به نظر می‌رسد با توجه به شدت تنش (SI) محاسبه شده تراکم‌های بالاتر از ۱۴۰ هزار بوته در هکتار در گزینش ارقام مقاوم به خشکی مطلوب و مؤثرتر باشند. از میان شاخص‌های یاد شده، شاخص تحمل به تنش، همبستگی بهتری را با عملکرد دانه تراکم ۱۴۰ هزار بوته و تنش خشکی نشان داد. با این وجود هر دو شاخص SSI و STI برای حذف ارقام نامطلوب و گزینش ارقام مطلوب توصیه می‌گردند. به نظر می‌رسد که بهتر است با استفاده از تراکم‌های بالا، فقط حذف ژنوتیپ‌های نامطلوب و حساس صورت گرفته و جهت گزینش ارقام متحمل و مطلوب بررسی‌های تکمیلی انجام شود.

واژه‌های کلیدی: ذرت، تراکم، تنش، شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش.

#### مقدمه

قطع آبیاری در مرحله گلدهی به عنوان حساس‌ترین مرحله برای مدت زمان مشخص است (مقدم، ۱۳۷۵). با وجود این، غیر یکنواختی در گلدهی مواد اصلاحی، هزینه بالای آزمایش‌های تکراردار خشکی و احتمال زیاد وقوع اشتباه بویژه توسط آبیاریها، نیاز به استفاده از روش‌های جایگزین را برای گزینش مواد ژنتیکی مقاوم توجیه می‌کند. روش جایگزین

یکی از روش‌های کاهش خسارت ناشی از تنش‌ها، گزینش ارقام متحمل در شرایط تنش القایی یا عادی در خزانه‌های اصلاحی است. مهم‌ترین تیمار مورد استفاده برای ایجاد تنش خشکی در این خزانه یا در آزمایش‌های تکراردار

تاریخ پذیرش: ۱۸/۱۲/۷۹

تاریخ دریافت: ۲۰/۲/۱۳۷۹

۲- کارشناس ارشد مؤسسه تحقیقات آفات و بیماری‌های گیاهی

۱- عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر

آمریکای شمالی مبادرت به گزینش مواد ژنتیکی برای مقاومت به خشکی با غربال کردن هیبریدهای امیدبخش در تراکم‌های گیاهی بالا می‌نمایند. فرض بر این است که ژنوتیپ‌های متحمل به تنش سایه می‌توانند نمود خوبی نیز تحت تنش خشکی داشته باشند. از آن جا که هم سایه اندازی و هم خشکی با کاهش تولید مواد فتوسنتزی برای متابولیسم گیاهی روی عملکرد دانه مؤثرند، امکان این ارتباط از نظر فیزیولوژیکی حداقل در ویژگی‌های گیاهی بالای سطح خاک مورد انتظار است (Dow et al., 1984). مکانیزم‌هایی که گیاه را قادر می‌سازند تا تحت یک نوع تنش مواد بیشتری را به داخل دانه انتقال دهد، تحت تنش دیگر نیز می‌تواند به همان ترتیب کارا و مؤثر باشد (Jensen, 1971; Moss and Stinson, 1961). انجام آزمایش‌های معمول تکراردار برای صفاتی که می‌توانند به راحتی در خزانه‌های بدون تکرار ارزیابی شوند، هزینه بر و وقت گیر است. یکی از انواع این خزانه‌ها، خزانه تراکم بالا یا خزانه تنش می‌باشد. گیاهان در این خزانه ۲۰-۱۵ روز زودتر از قطعه اصلاحی که دارای تراکم عادی است کشت می‌شوند. نتاج با ۶۰ تا ۱۰۰ درصد تراکم بالاتر کاشته شده و برای صفاتی همچون هم زمانی ظهور گل تاجی (تاسل) و کاکل، کیفیت ساقه و نیز درصد گیاهان فاقد بلال ارزیابی می‌شوند. در استفاده از تراکم گیاهی بالا، نتاج با یک تنش تعمیم یافته ارزیابی می‌شوند. بر اساس عملکرد نتاج تحت تراکم بالا، نتاج انتخابی در قطعه اصلاحی با تراکم عادی کشت شده و گرده افشانی می‌شوند (Singh, 1987).

چنین گزارش شده است که گزینش ظاهری اینبرد لاین‌ها در تراکم بالا می‌توانند به اندازه زودآزمونی در تشخیص لاین‌های با ترکیب پذیری متوسط به بالا مؤثر بوده و ارتباط بین اینبرد لاین و هیبرید در محیط‌های تنش (تراکم بالا) قوی‌تر است (EL-Lakany and Russell, 1971). موضوع اخیر توسط بک و همکاران (Beck et al., 1996) نیز تأیید شده است. از نتیجه آزمایش‌ها در ارتباط با کاربرد تراکم‌های بالا برای آزمون‌های مقایسه عملکرد ذرت چنین بر می‌آید که علاوه بر کاهش عملکرد، بوته‌های بدون بلال، شکستگی ساقه و ریزش بلال‌ها و هم چنین تفاوت بین ژنوتیپ‌ها افزایش یافته که

علاوه بر همبستگی مورد قبول با تنش خشکی، باید به سهولت قابل اجرا و کم هزینه باشد. از این میان می‌توان به تنش گرما (Williams et al., 1967; Kilen and Andrew, 1969) و محلول‌هایی با پتانسیل اسمزی متفاوت (Williams et al., 1967) اشاره کرد.

تراکم گیاهی در ذرت محیطی است که می‌توان آن را در ارتباط با گزینش موفق و مؤثر تغییر داد. تراکم‌های بالا برای تولید تنش‌هایی همانند رقابت برای نور، رطوبت و مواد غذایی قابل استفاده هستند (Troyer and Rosenbrook, 1983) و یکی از روش‌های گزینش برای مقاومت به خشکی تلقی می‌شود. تغییرات فنوتیپی ناشی از ایجاد تنش خشکی مشابه تراکم بالا است. برای مثال تنش خشکی باعث تأخیر در ظهور کاکل و افزایش فاصله بین گرده افشانی و ظهور کاکل (Anthesis-Silking Interval) می‌شود. در تنش‌های شدید، ظهور کاکل ممکن است تا پایان دوره گرده افشانی به تأخیر بیفتد که به خاطر عدم قابلیت دسترسی به آب کافی جهت رشد سلول‌های کاکل است (Castleberry and Lerette, 1980; Hall et al., 1982; Fischer et al., 1983; Hall et al., 1980; Edmeades, 1984).

تنش خشکی هم چنین باعث کاهش وزن ماده خشک کل و عملکرد دانه می‌شود (Edmeades, 1984; Hall et al., 1981; Sinclair et al., 1990) که عمدتاً به خاطر تغییر در تعداد دانه در گیاه است (Castleberry and Lerette, 1980; Edmeades, 1984). پژوهشگران زیادی نیز اثرات تراکم‌های بالای گیاهی را بر روی رشد گیاه ذرت بررسی کرده‌اند که از آن میان نکات زیر قابل ذکر است: (Troyer, 1996; Edmeades, 1984; Troyer et al., 1983; Moss and Downey, 1971; EL-Lakany and Russell, 1971).

عملکرد دانه در گیاه و جمعیت گیاهی به طور معکوس با هم مرتبط هستند، افزایش در تراکم گیاهی سبب کاهش قطر ساقه اصلی و اندازه بلال و افزایش مشخص در بوته‌های فاقد بلال، ارتفاع بوته و ارتفاع بلال از سطح زمین می‌شود. تأخیر در ظهور کاکل و طولانی شدن فاصله بین ظهور کاکل و گرده افشانی نیز گزارش شده است. به نژادگران ذرت در

تصادفی در سه تکرار اجراء گردید. عامل عمودی (S) شامل چهار سطح به ترتیب زیر بود:

S1= تراکم ۷۰ هزار بوته در هکتار (تراکم عادی)

S2= تراکم ۱۰۰ هزار بوته در هکتار (تراکم زیاد)

S3= تراکم ۱۴۰ هزار بوته در هکتار (تراکم خیلی زیاد)

S4= تراکم ۷۰ هزار بوته در هکتار + قطع آبیاری

به مدت ۲۱ روز در مرحله گلدهی (تیمار تنش خشکی)

عامل افقی (G) دارای شش سطح شامل هیبریدهای

تجارتی و امیدبخش به ترتیب زیر بود:

G1 = 1259/4 x B 73 = K

G2 = 17.2-3 x K 722 = XL

G3 = 17.2-1 x MO17 = XL

G4 = 1263.8 x K 722 = K

G5 = 1264.1 x K 722 = K

G6 = 704 = KSC

بر اساس نمونه مرکب از خاک مزرعه از دو عمق ۳۰-۴۰ و ۶۰-۳۰ سانتیمتری، بافت خاک از نوع متوسط تا سبک با ضریب هدایت الکتریکی  $10^3 \times 68/10$  و  $pH=8$  و  $EC=10/68$  تعیین شد. نتایج تعیین دو ویژگی فیزیکی ظرفیت زراعی (FC) و نقطه پژمردگی (PWP) در جدول (۱) و درصد رطوبت وزنی در انتهای دوره تنش در جدول (۲) آورده شده است.

هر کرت آزمایش در این تحقیق شامل چهار خط به فاصله ۷۵ سانتیمتر از هم بود. بین واحدهای آزمایشی یک خط با تراکم ۱۰۰ هزار بوته در هکتار از رقم SC 704 جهت جلوگیری از نفوذ نور و رطوبت و حفظ اثر تراکم و تیمار خشکی در نظر گرفته شد. فاصله بوته‌ها روی ردیف برای تراکم‌های ۷۰، ۱۰۰ و ۱۴۰ هزار بوته در هکتار به ترتیب برابر با ۱۹، ۱۳ و ۹/۵ سانتیمتر بود. برای ایجاد تنش خشکی، آبیاری به مدت ۲۱ روز (یا دو دور قطع آبیاری) انجام نشد. قطع آب تقریباً یک هفته قبل از ظهور کاکل صورت گرفت. کود شیمیایی فسفر به مقدار ۱۴۵ کیلوگرم از منبع فسفات آمونیوم و مقدار ۱۵۵ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره قبل از کاشت و ۹۲ کیلوگرم ازت در هکتار از منبع اوره به صورت سرک در زمان هفت برگی شدن استفاده گردید. کلیه

بدین وسیله سهولت گزینش علیه صفات یاد شده نیز افزایش می‌یابد (Troyer and Rosenbrook, 1983). کاهش فاصله بین گرده افشانی و کاکل دهی (ASI) نیز از طریق آزمایش‌های یاد شده امکان‌پذیر است (Vasal et al., 1996).

تروییر و روزنبروک (Troyer and Rosenbrook, 1983) بیان داشتند که آزمایش در تراکم‌های بالا، تعداد آزمون مورد نیاز برای تمایز بین لاین و هیبریدها را کاهش داد و بدین ترتیب برای استخراج لاین‌های مطلوب خودگشنی به همراه تراکم بالا می‌تواند بدون نیاز به هزینه‌های اضافی و یا محیط‌های خاص وارد برنامه‌های اصلاحی ذرت گردند. هیبریدهای جدید ذرت نسبت به ارقام قدیمی تحمل بیشتری به تنش تراکم گیاهی بالا دارند. تروییر (Troyer, 1996) بیان داشت که دو هیبرید مشهور تجاری ذرت به نام ۳۷۸۰ و ۳۷۳۲ نتیجه آزمون‌های وسیع منطقه‌ای، گزینش اینبرد لاین‌ها و غربال کردن هیبریدها در تراکم‌های بالای گیاهی و استفاده از اطلاعات جدید مدیریتی است. بورن و همکاران (Buren et al., 1974) با توجه به ضرایب همبستگی و رگرسیون چند متغیره چنین نتیجه گرفتند که ژنوتیپ‌های متحمل به تنش تراکم را می‌توان با خروج سریع کاکل، انطباق گرده افشانی با خروج کاکل، رشد سریع اولین بلال و کاکل اولین بلال، چند بلالی بودن و تاسل کوچک مشخص نمود. آن‌ها در تراکم ۹۸۸۰۰ بوته در هکتار همبستگی بین فاصله گرده افشانی و ظهور کاکل (ASI) با عملکرد دانه را در سه آزمایش به ترتیب  $0.66^{**}$ ،  $0.92^{**}$  و  $0.86^{**}$  به دست آوردند.

با توجه به مطالب ذکر شده، هدف از انجام این آزمایش بررسی امکان استفاده از تنش تراکم در گزینش ارقام متحمل به خشکی و هم چنین تعیین سطح مطلوب تراکم برای غربال مواد ژنتیکی در برنامه‌های تحقیقاتی بخش ذرت و گیاهان علوفه‌ای بود.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۷۶ در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج به صورت طرح کرت خرد شده نواری (Strip block) در قالب طرح پایه بلوک کامل

جدول ۱- میانگین دو ویژگی فیزیکی ظرفیت مزرعه (FC) و نقطه پژمردگی (PWP) خاک مزرعه آزمایشی در اعماق ۶۰-۰ سانتیمتر

Table 1. Average of two physical characters field capacity (FC) and permanent wilting point (PWP) of experimental field at 0-60 cm depth

| پتانسیل ماتریک (اتمسفر)<br>Matrix potential (At) | درصد رطوبت<br>Humidity (%) |
|--|----------------------------|
| *(FC)-0.1  | 18.35                      |
| -0.3   | 16.58                      |
| -1   | 12.93                      |
| -3   | 10.75                      |
| -5   | 9.55                       |
| (PWP)-15   | 7.2                        |

\* به علت سبک بودن خاک مزرعه نقطه ظرفیت زراعی (FC) در پتانسیل -0.1 در نظر گرفته شد.

\* Field capacity was given -0.1 (At) because of the lightness of soil.

جدول ۲- میانگین درصد وزن رطوبت در اعماق ۶۰-۰ سانتیمتری برای تیمارهای مختلف در انتهای اعمال دوره تنش

Table 2. Average of humidity weight percentage at 0-60 cm depth for different treatments at the end of stress period

| تیمار<br>Treatment         | درصد رطوبت وزنی (متوسط در عمق ۶۰-۰ سانتی متر)<br>Humidity weight percentage<br>(0-60 cm depth) |
|----------------------------|--|
| 70.000 pl/ha               | 7.59   |
| 100.000 pl/ha              | 7.31   |
| 140.000 pl/ha              | 7.22   |
| تنش خشکی<br>Drought stress | 5.64   |

صفات مورد نظر پس از حذف دو خط حاشیه و تعداد ۵، ۷ و ۱۰ بوته از ابتدا و انتهای دو خط میانی به ترتیب برای تراکم‌های ۷۰، ۱۰۰ و ۱۴۰ هزار بوته در هکتار یادداشت برداری گردید. صفات مورد اندازه‌گیری بر اساس ده بوته از هر کرت مشتمل بر قطر ساقه، کل تعداد برگ، برگ‌های بالای بلال، ارتفاع بوته، ارتفاع بلال، طول تاسل، تعداد روز تا ظهور ۵۰٪ کاکل، تعداد روز تا ۷۵٪ رسیدگی فیزیولوژیکی، فاصله بین ۵۰٪ گرده افشانی و ۵۰٪ ظهور کاکل (Anthesis) (Silking Interval=ASI) و هم چنین از میان اجزاء عملکرد، تعداد دانه در ردیف بلال، تعداد ردیف بلال، وزن صد دانه و نهایتاً میزان عملکرد دانه بود که صفت اخیر نسبت به درصد چوب بلال و مبنای ۱۴٪ رطوبت تصحیح گردید.

شاخص حساسیت به تنش: (SSI=Stress Susceptibility Index) و تحمل به تنش (STI=Stress Tolerance Index) با توجه به فرمول‌های ارائه شده برای ارقام آزمایش در مورد تراکم‌های ۱۰۰ و ۱۴۰ هزار بوته در هکتار و تیمار خشکی محاسبه شد:

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

شاخص حساسیت به تنش: (Fischer and Maurer, 1978)

$$SI = 1 - \frac{Y_s}{Y_p} \quad [2]$$

$$STI = \frac{(Y_s * Y_p)}{(Y_p)^2} \quad [3]$$

شاخص تحمل به تنش: (Fernandez, 1992)

در معادله‌های یاد شده در بالا:

$Y_s$  = عملکرد رقم تحت شرایط تنش

$Y_p$  = عملکرد رقم تحت شرایط عادی

دو شاخص حساسیت به تنش

(Moss and Downey, 1971) متذکر شدند که تنش شدید رطوبتی قبل از گلدهی می‌تواند باعث از بین رفتن تخمک‌های در حال نمو شود. تعداد روز تا رسیدگی با افزایش تراکم کاهش یافت و این کاهش حداکثر مقدار خود را در تیمار قطع آبیاری نشان داد (شکل ۱). تأثیر معنی دار تنش (تراکم یا قطع آبیاری)، بر صفات فنولوژیک (روز تا ظهور کاکل، روز تا رسیدگی و ASI) توسط محققین مختلف نیز گزارش شده است. (Edmeades, 1984; Moss and Downey, 1971;

Pendelton and Hammond, 1969; Early et al, 1967).

عملکرد دانه و دو جزء عملکرد دانه یعنی تعداد دانه در ردیف بلال و وزن صد دانه با افزایش تراکم کاهش یافتند (شکل‌های ۲ و ۳)، ولی کاهش ناشی از قطع آبیاری در مرحله گلدهی از کاهش ناشی از بالاترین تراکم نیز به طور معنی داری بیشتر بود. از آنجا که تعداد ردیف بلال در اثر تیمارهای تنش تغییری نداشت، و با توجه به همبستگی مثبت و بالای عملکرد دانه با تعداد دانه در ردیف  $^{**}(0.82)$  و وزن صد دانه  $^{**}(0.53)$  می‌توان نتیجه گرفت که بلال‌های کشیده‌تر در افزایش عملکرد نقش بسزایی داشته‌اند. عدم تلقیح دانه‌های انتهایی بلال در اثر افزایش فاصله بین ظهور تاسل و کاکل و یا عدم پر شدن مؤثر دانه‌های انتهایی، دلیلی بر کاهش عملکرد از طریق کاهش دو جزء مذکور است. شواهد اخیر در مورد هیریدهای مناطق معتدله حاکی از آن است که اثرات مستقیم فراهمی دانه‌گرده بر تعداد دانه در بوته فقط هنگامی که تولید گرده تا ۸۰٪ کاهش یافته و یا ASI به ۸ روز برسد قابل انتظار است (Westgate and Bassetti, 1990).

البته در مورد ارقام آزادگرده افشان با تاریخ گلدهی متغیرتر فاصله ۱۰ تا ۱۲ روز بین ظهور تاسل و کاکل، احتمالاً قبل از این که وجود دانه‌های گرده محدودکننده دانه بندی باشد تحمّل‌پذیر است. درجه حرارت‌های ۳۸-۴۰ درجه سانتیگراد، زنده مانی دانه‌های گرده را تا حد زیادی کاهش می‌دهند (Schoper et al., 1986). هنگامی که در اثر تنش پیش از گلدهی، کاکل‌های ذرت که با تأخیر ظاهر شده‌اند گرده افشانی شوند، تلقیح صورت می‌گیرد ولی نمو دانه اندکی پس از آن متوقف می‌شود (Westgate and Boyer, 1986)

$\bar{Y}_s$  = متوسط عملکرد کلیه ارقام تحت تنش

$\bar{Y}_p$  = متوسط عملکرد کلیه ارقام تحت شرایط عادی

SSI = شاخص حساسیت به تنش

STI = شاخص تحمّل به تنش

SI = شدت تنش

تجزیه واریانس صفات مورد بررسی بر اساس موازین طرح کرت خرد شده نواری صورت پذیرفت. جهت مقایسه میانگین منابع تغییرات معنی دار در سطح ۵٪، از روش چند دامنه‌ای دانکن (DMRT) استفاده شد. ضرایب همبستگی ساده و رتبه‌ای بین عملکرد دانه و شاخص‌های حساسیت و تحمّل به تنش به دست آمد.

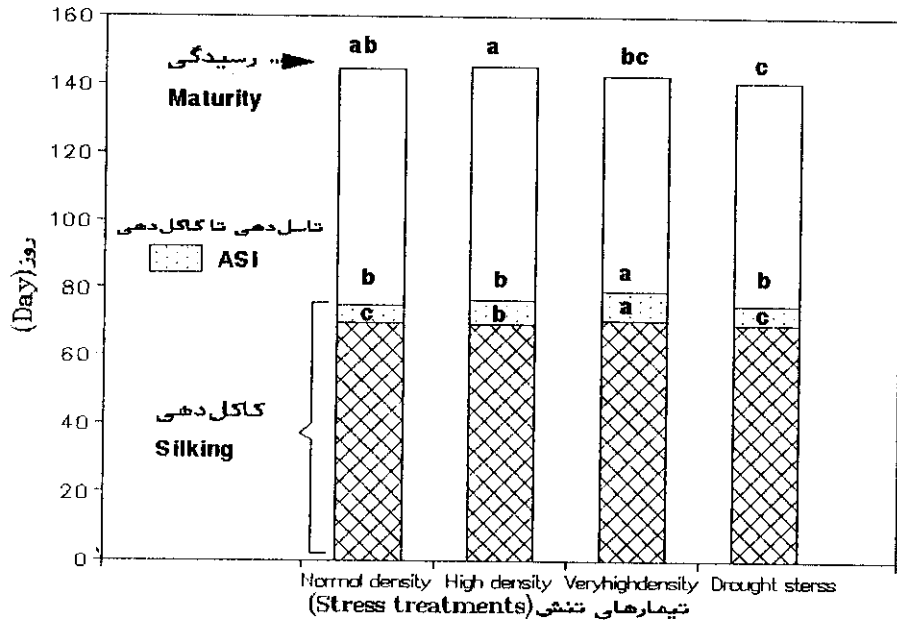
## نتایج و بحث

الف) اثر تنش:

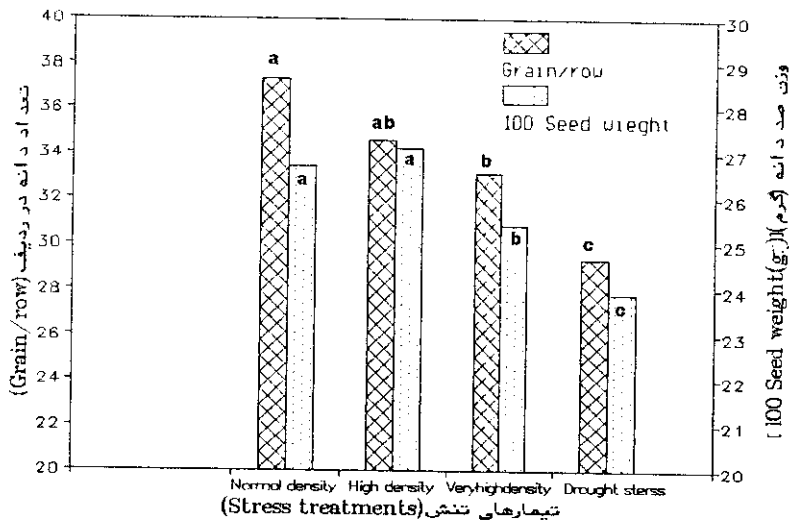
تأثیر تنش که در قالب تراکم یا قطع آبیاری در زمان گلدهی (عامل عمودی) ارزیابی شد، بر هیچ یک از صفات مورفولوژیک مشاهده نشد، اما صفات فنولوژیک مانند تعداد روز تا ظهور کاکل، تعداد روز تا رسیدگی و هم چنین فاصله بین گرده افشانی و کاکل دهی (ASI) Anthesis Silking Interval به طور معنی داری تحت تأثیر قرار گرفتند. از میان اجزاء عملکرد فقط تعداد ردیف بلال بدون تأثیر باقی ماند ولی عملکرد، تعداد دانه در ردیف بلال و وزن صد دانه کاملاً تأثیر پذیرفتند. با افزایش تراکم تعداد روز تا ظهور کاکل افزایش یافت و بیشترین تراکم نسبت به تراکم عادی تقریباً ۴ روز تأخیر در ظهور کاکل را نشان داد (شکل ۱). البته تیمار تراکم عادی + تنش چنین تأخیری را نشان نداد که علت آن احتمالاً اعمال تیمار تنش در هنگام گلدهی است. در صورتی که اگر تنش مذکور در دوره رشد رویشی اعمال می‌شد، احتمال مشاهده چنین تأخیری نیز وجود داشت. این موضوع در مورد صفت فاصله بین ظهور تاسل و ظهور کاکل (ASI) نیز صادق است. چنان که با افزایش تراکم این فاصله افزایش یافته ولی در مورد تیمار قطع آبیاری چنین چیزی مشهود نیست. نتیجه دیگر این است که واکنش گیاه در ورود به رشد زایشی متأثر از تنش‌های دوره رشد رویشی است. ماس و دانی

افزایش نیافته است، تولید دانه کرده و فراهمی آن نمی تواند تأثیری بر عملکرد داشته باشد، بلکه احتمالاً توقف نمو تخمک های تلقیح شده است که اثر سوء خود را بر عملکرد دانه اعمال می کند.

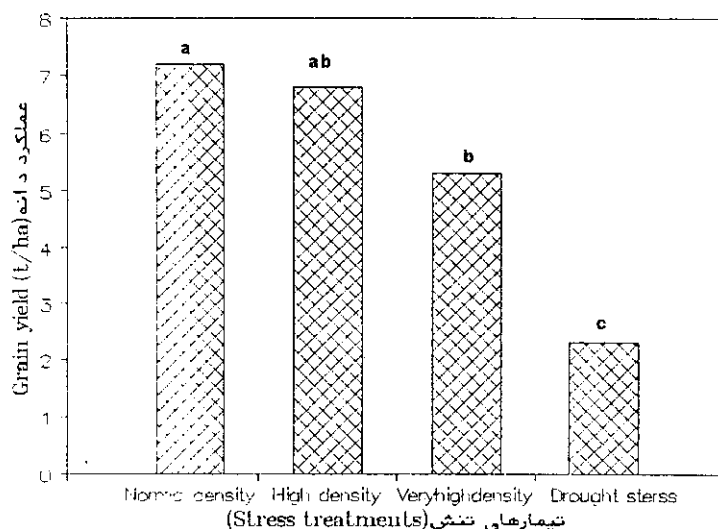
نتیجه این عمل تشکیل غیر یکنواخت دانه روی بلال، بلال هایی با نوک بی دانه یا عدم تشکیل دانه بر روی بلال (بلال لخت) است. از آن جا که در تحقیق فعلی ASI در تیمار قطع آبیاری



شکل ۱- تأثیر تیمارهای تنش تراکم (۷۰، ۱۰۰ و ۱۴۰ هزار بوته در هکتار) و خشکی بر خصوصیات فنولوژیک ذرت  
 Fig. 1. Effect of density stress (70, 100 & 140 thousand pl/ha) and drought stress at flowering on phenological traits of corn



شکل ۲- تأثیر تیمارهای تنش تراکم (۷۰، ۱۰۰ و ۱۴۰ هزار بوته در هکتار) و خشکی بر تعداد ردیف و وزن دانه ذرت  
 Fig. 2. Effect of density stress (70, 100 & 140 thousand pl/ha) and drought stress at flowering on row number of ear and seed weight of corn



شکل ۳- تأثیر تیمارهای تنش تراکم (۷۰، ۱۰۰ و ۱۴۰ هزار بوته در هکتار) و خشکی بر عملکرد دانه ذرت  
 Fig. 3. Effect of density stress (70, 100 & 140 thousand pl/ha) and drought stress at flowering on grain yield of corn

معنی دار شدند ولی تعداد دانه در ردیف و عملکرد دانه اختلاف معنی داری را نشان نداد. عدم اختلاف عملکرد دانه با توجه به معنی دار نشدن تعداد دانه در ردیف بلال برای ژنوتیپ‌های مختلف دور از انتظار نیست. اگرچه وزن دانه در ژنوتیپ‌های مختلف متفاوت بوده ولی به دلیل محدود بودن اندازه دانه‌ها و هم چنین ارتباط منفی (معنی دار در سطح ۱۰٪) وزن دانه با تعداد ردیف بلال (۳۶/۰-) این صفت نتوانسته در افزایش عملکرد نقشی را ایفا کند. به عبارت دیگر ژنوتیپ‌هایی که بلال قطورتری دارند زمانی عملکرد بیشتری تولید می‌کنند که طول بلال هم در آن‌ها زیادتر باشد.

#### پ) اثر متقابل ژنوتیپ در تنش:

اثر متقابل ژنوتیپ در تنش در هیچ یک از صفات به جز وزن صد دانه و تعداد روز تا رسیدگی معنی دار نبود. این بدان معنی است که ژنوتیپ‌های این آزمایش از لحاظ وزن دانه و طول دوره رسیدگی در محیط تنش یا عدم تنش متفاوت عمل کرده‌اند ولی با وجود این عملکرد دانه آن‌ها روند مشابهی را با افزایش تراکم یا قطع آبیاری در تمام ژنوتیپ‌ها دارا بوده است.

ادمیدز و همکاران (Edmeades et al., 1992) نتیجه گرفتند که ادامه یافتن نمو تخمک‌های تلقیح شده در ذرت بستگی بیشتر به شدت جریان مواد فتوسنتزی جاری نسبت به تجمع کربوهیدرات‌ها در ساقه یا حتی دانه‌های در حال نمو دارد. با افزایش تراکم بوته تا ۱۴۰ هزار، ASI افزایش یافت و این افزایش حاکی از اثرات تجمعی تنش تراکم بر سرعت ظهور کاکل (تأخیر در ظهور کاکل) است. به عبارت دیگر در مقایسه با تنش ناشی از قطع آبیاری که اثرات تنش عمدتاً در اواخر دوره گرده افشانی مشاهده می‌شود، اثر تنش تراکم در تمام طول فصل ادامه دارد.

#### ب) اثر ژنوتیپ:

ژنوتیپ‌های مختلف از لحاظ ویژگی‌های مورفولوژیک تعداد برگ، برگ‌های بالای بلال و ارتفاع بلال با هم اختلاف معنی دار در سطح ۱٪ داشتند (جدول ۳). از میان صفات فنولوژیک فقط صفت روز تا ظهور کاکل برای ژنوتیپ‌های آزمایش به طور معنی داری متفاوت بود. تعداد ردیف بلال و وزن صد دانه نیز دو صفتی بودند که در ژنوتیپ‌های مختلف

جدول ۳- میانگین و مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی در ژنوتیپ‌های مختلف آزمایش

Table 3. Mean and mean comparison of assessed characters of different genotypes in experiment

| ژنوتیپ          | تعداد ردیف/مسطح | تعداد دره/ردیف | تعداد دانه در ۱۰۰ دانه | وزن صدانه         | قطر ساقه | تعداد برگ         | برگ بالای پلان    | طول تassel       | ارتفاع پلان    | ارتفاع پلان         | ارتفاع پلان    | ظهور کامل   | رسیدگی | ASI** |
|-----------------|-----------------|----------------|------------------------|-------------------|----------|-------------------|-------------------|------------------|----------------|---------------------|----------------|-------------|--------|-------|
| Genotype        | Row/ear         | Seed/row       | 100 seed weight(g)     | Stem diameter(mm) | Leaf no. | Leaf no. over ear | Tassel length(cm) | Plant height(cm) | Ear height(cm) | Silk emergence(day) | Maturity (day) | ASI** (day) |        |       |
| K 1259/B 73     | 18.0 c          | 35.3           | 24.5 c                 | 25.7 a            | 14.4 cd  | 5.1 cd            | 41.6              | 180.9            | 99.7 d         | 80.0 a              | 149.52 a       | 7.1         |        |       |
| XL 17/2-3*K 722 | 21.4 a          | 33.2           | 25.6 bc                | 23.4 ab           | 15.1 b   | 5.5 bc            | 43.7              | 198.8            | 1101.1 b       | 78.2 ab             | 146.9 a        | 8.2         |        |       |
| XL 17/2-1*MO 17 | 15.5 d          | 35.0           | 29.5 a                 | 23.2 ab           | 14.1 d   | 4.9 d             | 42.2              | 192.0            | 103.3 cd       | 76.0 ab             | 147.8 a        | 5.7         |        |       |
| K 1263/8*K 722  | 19.5 b          | 33.5           | 24.0 c                 | 23.2 ab           | 14.5 cd  | 5.8 b             | 40.8              | 198.4            | 94.2 e         | 70.6 c              | 134.3 b        | 5.9         |        |       |
| K 1264/1*K 722  | 19.4 b          | 31.0           | 24.5 c                 | 20.6 b            | 16.3 a   | 6.6 a             | 36.5              | 206.6            | 106.2 bc       | 74.2 bc             | 140.9 ab       | 7.5         |        |       |
| K SC 704        | 15.4 d          | 33.7           | 26.6 b                 | 23.1 ab           | 14.7 bc  | 5.2 cd            | 37.1              | 205.3            | 118.8a         | 79.8 a              | 142.1 ab       | 5.6         |        |       |

\* Mean comparison was done by Ducan's test at the 1% level of probability.

\*\*ASI: Anthesis-silking interval

\* مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۱٪ انجام شده است.

\*\*ASI: فاصله بین گرده افشانی و کامل دمی



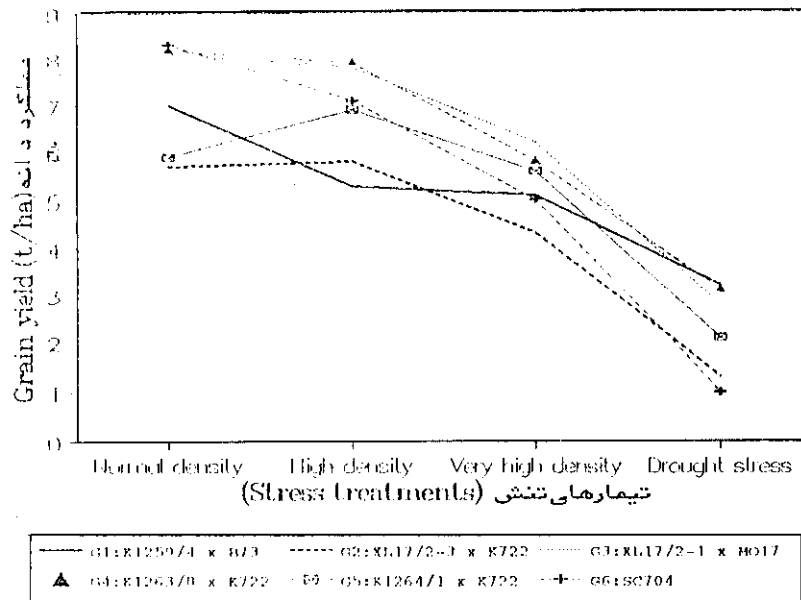
روش‌ها برای هر یک از هیبریدهای آزمایش در شرایط مختلف تنش محاسبه شد. شدت تنش یا سختی محیط که با (SI) نشان داده می‌شود و در فرمول شاخص حساسیت به تنش آمده است حداکثر می‌تواند ۱ باشد و در این آزمایش برای تراکم‌های ۱۰۰ و ۱۴۰ هزار بوته به ترتیب ۰/۰۵۶ و ۰/۲۶۴ و برای تیمار قطع آبیاری ۰/۶۸۱ محاسبه شد. شاخص حساسیت در تراکم ۱۰۰ هزار بوته در هکتار برای دو هیبرید (XL 17/2-3xK722) (K 1264/1xK 722) منفی محاسبه شد که به معنی عملکرد بالاتر ژنوتیپ‌های یاد شده در شرایط تنش (۱۰۰ هزار بوته در هکتار) نسبت به شرایط عادی است. به تعبیر دیگر تراکم مطلوب بوته برای این دو هیبرید احتمالاً در حدود ۱۰۰ هزار بوته در هکتار است و این شرایط نسبت به ۷۰ هزار بوته یا ۱۴۰ هزار بوته در هکتار برای این دو هیبرید مطلوب‌تر (عادی‌تر) است (شکل ۵- سمت چپ، ژنوتیپ‌های G2 و G5 مقایسه بین قسمت [a]، [b] و [c] نمودار).

اگرچه اثرات متقابل ژنوتیپ در تنش برای عملکرد معنی‌دار نشده است اما با توجه به واکنش ژنوتیپ‌های مختلف نسبت به تنش تراکم یا قطع آبیاری مشاهده می‌شود که رقم تجارتي SC 704 در شرایط تراکم عادی بیشترین عملکرد و در شرایط تنش خشکی کمترین عملکرد را دارا بوده، ولی در مورد بقیه ارقام این روند کاهشی متعادل‌تر است که می‌تواند حاکی از ثبات نسبی آن‌ها در شرایط تنش و عدم تنش باشد (شکل ۴).

البته یک رقم غیرحساس (متحمل) به تنش علاوه بر اینکه در آن شیب کاهش عملکرد در اثر افزایش تنش باید متعادل باشد باید در شرایط عدم تنش نیز از عملکرد قابل قبولی برخوردار باشد. برای مثال هیبرید XL 17.2-3xK722 از شیب کاهش عملکرد کمتری نسبت به SC 704 برخوردار است ولی عملکرد آن در شرایط تراکم عادی چندان قابل قبول نیست (شکل ۴).

شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش:

شاخص حساسیت به تنش (SSI)، طبق فرمول [1] مواد و

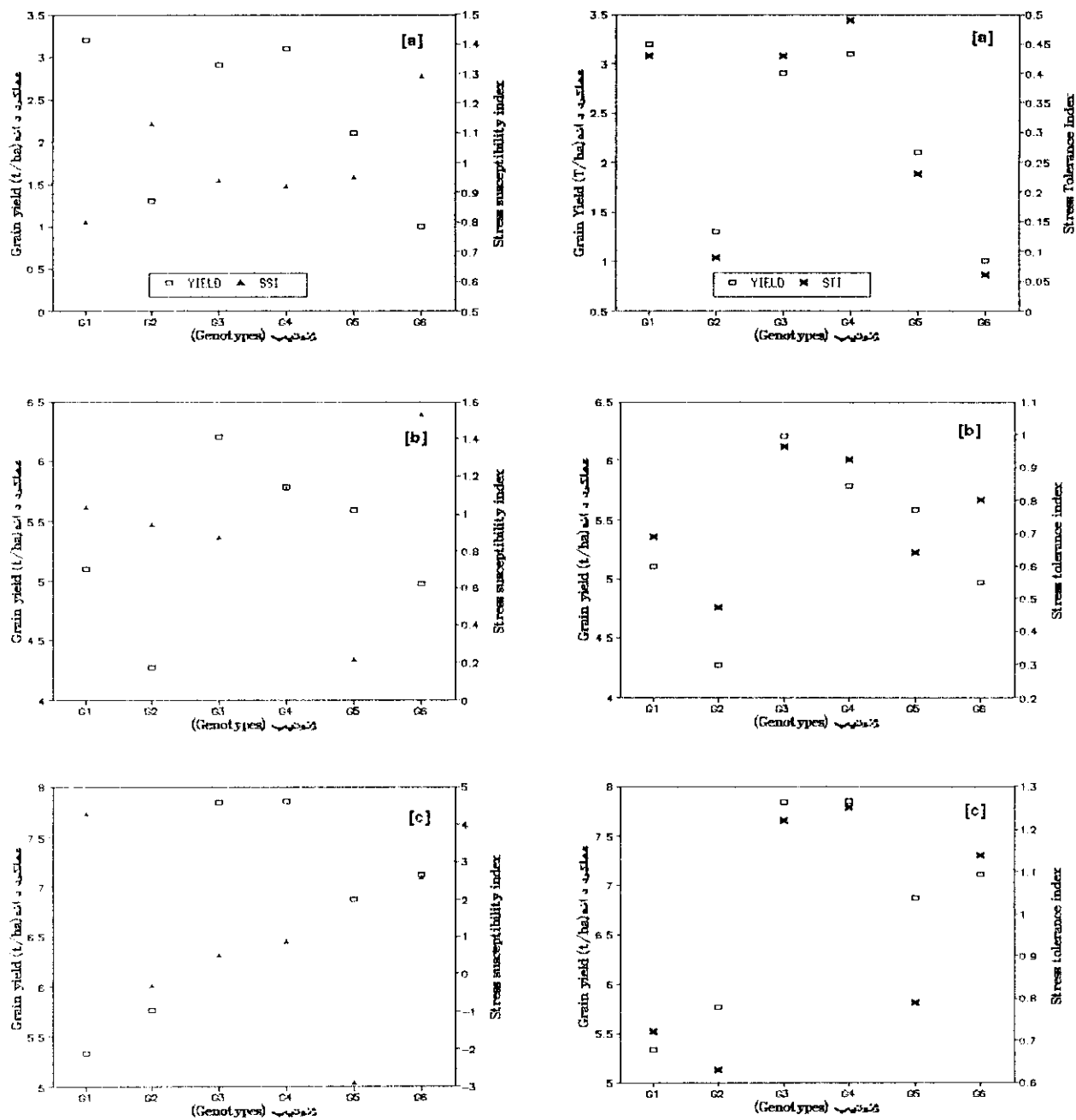


شکل ۴- روند تغییرات عملکرد دانه با تیمار تنش تراکم و خشکی در ژنوتیپ‌های مختلف آزمایش

Fig. 4. Variation trend of grain yield with density and drought stress for different genotypes

محاسبه شده، کاهش یافته است که در وهله اول حاکی از کاهش حساسیت آن‌ها در اثر سختی شرایط (SI) است.

در مورد دو هیبرید K1259/4x B73 (G1) و SC 704 (G6) با افزایش تراکم و هم چنین در تیمار قطع آبیاری SSI



شکل ۵- روند تغییرات عملکرد دانه و شاخص حساسیت به تنش (سمت چپ) و شاخص تحمل به تنش (سمت راست) در ژنوتیپ‌های مختلف ذرت برای [a] تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی، [b] تراکم خیلی زیاد (۱۴۰ هزار بوته در هکتار) و [c] تراکم زیاد (۱۰۰ هزار بوته در هکتار) ذرت

Fig. 5. Trend of grain yield and SSI (left) and STI (right) in different genotypes for [a] drought stress at flowering; [b] very high plant population (140,000 pl/ha) and [c] high plant population (100,000 pl/ha) of corn

جدول ۴. ضرایب همبستگی ساده و رتبه‌ای (به ترتیب عدد بالا و پائین جدول) بین عملکرد ارقام و شاخص‌های حساسیت و مقاومت به تنش محاسبه شده در تیمارهای مختلف تنش

Table 4. Simple and ranked correlation coefficients (above and below number respectively) between yield of genotypes and SSI and STI for different stress treatments

| صفات                          | عملکرد                 |                               |                               |                  |         |         |        |           |           |         |
|-------------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|---------|---------|--------|-----------|-----------|---------|
|                               | Yield (normal density) | Yield (10 pl/m <sup>2</sup> ) | Yield (14 pl/m <sup>2</sup> ) | (drought stress) | SSI 100 | SSI 140 | SSI(D) | STI (100) | STI (140) | STI (D) |
| Traits                        |                        |                               |                               |                  |         |         |        |           |           |         |
| Yield(10 pl/m <sup>2</sup> )  | 0.73+                  |                               |                               |                  |         |         |        |           |           |         |
| Yield (14 pl/m <sup>2</sup> ) | 0.77+                  | 0.86*                         |                               |                  |         |         |        |           |           |         |
| Yield (drought stress)        | 0.31                   | 0.77+                         | 0.68                          |                  |         |         |        |           |           |         |
| SSI 100 <sup>(1)</sup>        | 0.26                   | 0.43                          | 0.2                           | 0.21             |         |         |        |           |           |         |
| SSI 140 <sup>(2)</sup>        | -0.03                  | 0.51                          | 0.05                          | -0.16            | 0.77+   |         |        |           |           |         |
| SSI (D) <sup>(3)</sup>        | 0.6                    | 0.14                          | -0.09                         | 0.37             | 0.77++  | 0.47    |        |           |           |         |
| STI 100 <sup>(4)</sup>        | 0.67                   | 0.03                          | -0.27                         | -0.21            | -0.06   | 0.09    |        |           |           |         |
| STI 140 <sup>(5)</sup>        | 0.71                   | 0.26                          | -0.31                         | -0.09            | -0.37   | 0.12    | 0.11   |           |           |         |
| STI (D) <sup>(6)</sup>        | 0.09                   | -0.22                         | -0.51                         | -0.93**          | -0.14   | 0.26    | -0.20  |           |           |         |
|                               | 0.03                   | -0.2                          | -0.54                         | -1.00**          | 0.24    | 0.31    | -0.19  | 0.94**    |           |         |
|                               | 0.91*                  | 0.79*                         | 0.69                          | 0.23             | 0.37    | 0.26    | -0.31  | 0.89*     |           |         |
|                               | 0.77+                  | 1.00**                        | 0.77+                         | 0.20             | 0.29    | -0.01   | -0.80* | 0.47      | 0.70      |         |
|                               | 0.91*                  | 0.87*                         | 0.83*                         | 0.51             | 0.26    | 0.03    | -0.77+ | 0.77+     | 0.77+     |         |
|                               | 0.77+                  | 0.89*                         | 0.77+                         | 0.31             | 0.26    |         |        |           |           |         |
|                               | 0.5                    | 0.56                          | 0.75+                         | 0.96**           |         |         |        |           |           |         |
|                               | 0.43                   | 0.77+                         | 0.89*                         | 0.77+            |         |         |        |           |           |         |

(1) SSI 100: Stress susceptibility Index for 100000 pl/ha density.  
 (2) SSI 140: Stress Susceptibility Index for 140000 pl/ha density.  
 (3) SSI (D): Stress Susceptibility drought stress treatment.  
 (4) STI 100: Stress Tolerance Index for 100000 pl/ha density.  
 (5) STI 140: Stress Susceptibility Index for 140000 pl/ha density.  
 (6) STI (D): Stress Susceptibility drought stress treatment.  
 +, \* and \*\*: Significant at the 7.5 and 1% levels of probability, respectively  
 +, \* \*\*, به ترتیب معنی دار در سطح احتمال 7.5/ و 1/ و 0.1/

البته رقم SC 704 در تراکم های ۱۴۰ هزار بوته و قطع آبیاری نسبت به سایر هیبریدها همواره حساسیت بیشتری نشان داد. مقایسه شاخص SSI برای دو تیمار تنش تراکم ۱۴۰ هزار بوته و قطع آبیاری با توجه به همبستگی پایین و غیر معنی دار این دو (۰/۴۷) نتایج متناقضی را در رابطه با هیبرید مقاوم به دست می دهد. برای مثال در تراکم ۱۴۰ هزار بوته طبق شاخص SSI، مقاوم ترین هیبرید K1264/1xK722 و در تیمار قطع آبیاری K1259/4xB73 می باشد.

محاسبه شاخص مقاومت به تنش (STI) که بر اساس میانگین هندسی عملکردها تحت شرایط عادی و تنش محاسبه می شود، می تواند برخی تناقض های شاخص قبلی را تا حد زیادی رفع کند (شکل ۵- سمت راست). مبنای ریاضی این شاخص طوری بنا شده که در صورت اختلاف زیاد بین دو مقداری که میانگین گیری می شوند (یعنی دامنه اعداد بزرگ باشد) میانگین هندسی به سمت عدد کوچک تر متمایل می شود از این رو در انتخاب ژنوتیپ های متحمل به تنش کارایی زیادی دارد (Fernandez, 1992) چرا که هر چه میزان شاخص تحمل بزرگ تر باشد ژنوتیپ مورد نظر متحمل تر است.

مزیت دوم شاخص تحمل این است که با عملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش و هم در شرایط عادی دارای همبستگی بالایی است (جدول ۴). در حالی که شاخص حساسیت از چنین مزیتی

برخورداری کاملی ندارد.

سوّمین مزیت شاخص تحمل در گزینش همزمان ژنوتیپ برای تنش های تجمعی (تراکم) و ناگهانی (قطع آبیاری در مرحله بحرانی) است به طوری که با استفاده از همبستگی رتبه بین شاخص تحمل در تراکم ۱۴۰ هزار بوته (۰/۷۷<sup>+</sup>) می توان دریافت که این دو تیمار در یک رتبه قرار می گیرند و بنابراین در گزینش ارقام متحمل به تنش رطوبتی می توان از تنش تراکم بهره جست.

از آنجا که حساسیت شاخص حساسیت به تنش (SSI) در تنش تراکم اصولاً پایین است (تنش تراکم یک تنش عمومی که گیاه تا حدی به آن در طول فصل، سازگاری می یابد تلقی می شود) و فقط از حساسیت قابل قبولی در شرایط تنش ناگهانی (مانند قطع آبیاری در مرحله گلدهی) برخوردار است (شاهد مدعا همبستگی منفی بالای میان شاخص حساسیت در تیمار قطع آبیاری با عملکرد (\*\*۰/۹۳-) و هم چنین با شاخص تحمل در شرایط مذکور (\*۰/۸۰-) است)، از این شاخص می توان در گزینش ارقام متحمل زمانی استفاده نمود که تنش واقعاً شدید باشد و به عبارت دیگر بهتر است از شاخص مذکور جهت حذف ارقام حساس و نه گزینش ارقام متحمل به تنش استفاده شود.

## منابع مورد استفاده

- مقدم، ع. ۱۳۷۵. بررسی تحمل به خشکی در هیبریدهای دیررس تجارتهی ذرت در لاین های والدی مربوطه. گزارش پژوهشی طرح های تحقیقاتی. مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر - کرج.
- Beck, D., F. J. BETREN, M. BANZINGER, M. WILLCOX, and G.O. EDMEDS. 1996. From landrace to hybrid: Strategies for the use of source populations and lines in the development of drought tolerance cultivars. 369-382. In Edmeades G.O. and M. Banzinger (ed). Proc. Sym. Developing drought and N tolerant maize. CIMMYT, Mexico.
- BUREN, L.L., J.J. MOCK and I.C. ANDERSON. 1974. Morphological and physiological traits in maize associated with tolerance to high plant density. Crop Sci. 14:426-429.
- CASTLEBERRY, R.M., and R.J. LERETTE. 1980. Latente, a genotype of drought tolerance? PP-46-56. In: Proc. 34th Annual Corn and Sorghum Res. Conf., A.S.T.A., Washington D.C., USA.
- DOW, E.W., T.B. DAYNARD, J.F. MULDOON, D.J. MAJOR, and G.W. THURTELL. 1984. Resistance to

- drought and density stress in Canadian and European maize (*Zea mays* L.) Hybrids. *Can. J. Plant Sci.* **64**:575-585.
- EARLY, E.B., W.D. MERLLATH., R.D. SELF, and R.H. HAGEMAN. 1967. Effect of shade applied at different stages of plant development on corn (*Zea mays* L.) production. *Crop Sci.* **7**:151-156.
- EDMEADES, G.O. 1984. Characterization of environmental stress and development of selection techniques. U.S. University/CIMMYT. Maize Workshop, ELBATAN. Mexico.
- EDMEADES, G.O., J. BOLANOS, and H.R. LAFITTE. 1992. Progress in breeding for drought tolerance in maize. PP. 1-33. In: Proc. of 47th Corn and Sorghum Research Conf., Dec. 9-10, Chicago. IL.
- EL-LAKANY, M.A., and W.R. RUSSELL. 1971. Relationship of maize characters with yield in test crosses of inbreds at different plant densities. *Crop Sci.* **11**:698-701.
- FERNANDEZ, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. PP. 257-270. In: C.G. KUO (ed). Adaptation of food to temperature and water stress. Proc. of Intrl. Symp. Tawian.
- FISCHER, K.S., E.C. JOHNSON, and G.O. EDMEADES. 1983. Breeding and selection for drought resistance in tropical maize. CIMMYT, Batan, Mexico.
- FISCHER, R.A., and R. MAURER. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I-Grain yield responses. *Austral. J. Agr. Res.* **29**:897-917.
- HALL, A.J., H.D. GINZO, J.H. LEMCOFF, and A. SORIANO. 1980. Influence of drought during pollen shedding on flowering, growth and yield of maize. *Z. Acher. Pflanzenb.* **149**:287-298.
- HALL, A.J., J. H. LEMOCOFF, and N. TRAPANI. 1981. Water stress before and during flowering in maize and its effects on yield, its components and their determinates. *Maydica* **26**:19-38.
- HALL, A.J., F. VILLELA, N. TRAPANI, and C. CHIMENTI. 1982. The effects of water stress and genotype on the dynamics of pollen shedding and silking in maize. *Field Crops Res.* **5**:349-363.
- JENSEN, S.D. 1971. Breeding for drought and heat tolerance in corn. PP. 198-208. In: Proc. 26th Annual Corn and Sorghum Res. Cong. A.S.T.A., Washington D.C., U.S.A.
- KILEN, T.C., and R. H. ANDREW. 1969. Measurement of drought resistance in corn, *Agron. J.* **61**:669-672.
- MOSS, D.N., H.T. STINSON. 1961. Differential responses of corn hybrids to shade. *Crop Sci.* **1**:416-418.
- MOSS. G.I., L.A. DOWNEY. 1971. Influence of drought stress on females gametophyte development in corn (*Zea mays* L.) and subsequent grain yield. *Crop Sci.* **11**:368-372.
- PENDELTON, J.W., and J.J. HAMMOND. 1969. Relative Photosynthetic potential for grain yield of various leaf canopy level of corn. *Agron. J.* **61**:911-913.
- SCHOPER, J.B., R.T. LAMBERT, and B.L. VASILAS. 1986. Maize pollen viability and ear receptivity under water and high temperature stress. *Crop Sci.* **26**:1029-1033.
- SINCLAIR, T.R., J.M. BENNETT, and R.C. MUCHOW. 1990 Relative sensitivity of grain yield and biomass accumulation to drought in field grown maize. *Crop Sci.* **30**:690-693.

- SIGH, J. 1987. Field manual of maize breeding procedures. FAO. Rome. Italy.
- TROYER, A.F. 1996. Breeding widely adapted, popular maize hybrids. *Euphytica*, **92**:163-174.
- TROYER, A.F., and R.W. ROSENBROOK. 1983. Utility of higher plant density of corn performance testing. *Crop Sci.* **23**:863-867.
- VASAL. S.K., H. CORDOVA, D.I. BECK, and G.O. EDMEADES. 1996. Choices among breeding procedures and strategies for developing stress tolerant maize germplasm. 336-347. In: EDMEADES. G.O. and M.BANZEGGER (eds). Proc. Symp.
- WASTGATE, M.E., and J.S. BOYER. 1986. Reproduction at low silk and pollen water potentials in maize. *Crop Sci.* **26**:951-956.
- WESTGATE, M.E., and P. BASSETTI. 1990. Heat and drought stress in corn: What really happens to the corn plant at pollination? PP:12-18. In: WILKINSON, D. (ed). Proc. 45th Annual corn and sorghum Res. Conf., Chicago, Dec. 5-6, 1990. ASTA, Washington. D.C.
- WILLIAMS, T.V., R.S. SNELL, and J.F. ELLTS. 1967. Methods of measuring drought tolerance in corn. *Crop Sci.* **7**:179-181.