"نهال و بذر"

جلد ۲۴ ، شماره ۱، سال ۱۳۸۷

ارزیابی تحمل به شوری ارقام تجاری و امیدبخش نیشکر در شروع رشد رویشی با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به تنش

Evaluation of Salt Tolerance in Commercial and Promising Sugarcane Cultivars at the Beginning of Growth Using Different Stress Tolerance Indices

مهدی سلطانی حویزه[۱]، احمد ارزانی[۲] و سیدعلی‌محمد میرمحمدی میبدی[۲]

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- به ترتیب استاد و دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۱۳۸۵/۴/۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶/۶/۱۵

چکیده

سلطانی حویزه، م.، ارزانی، ا.، و میرمحمدی میبدی، س.ع.م. ۱۳۸۷. ارزیابی تحمل به شوری ارقام تجاری و امیدبخش نیشکر در شروع رشد رویشی با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به تنش. **نهال و بذر ۲۴**: ۱۵۹-۱۴۵.

نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) یکی از گیاهان قندی مهم است که بخش اصلی شکر مصرفی مردم جهان را تأمین می‌کند. کشت این گیاه به دلیل افزایش تقاضا برای شکر و فرآورده‌های جانبی آن در مناطق نیمه گرمسیری خشک و نیمه خشک از جمله جنوب غربی ایران رو به گسترش است. شوری تنش غیر زیستی مهمی است که عملکرد نیشکر را در استان خوزستان به دلیل شور و سدیمی بودن زیاد خاک و وجود آب زیرزمینی بسیار شور در عمق کم، به شدت تحت تاثیر قرار داده است. در این تحقیق تحمل به شوری هفت رقم تجاری و امیدبخش نیشکر در مرحله ابتدای رشد رویشی با استفاده از غلظت‌های صفر (شاهد)، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ درصد نمک کلرید سدیم (NaCl) از طریق شاخص‌های مختلف تحمل به تنش و ترسیم نمودارهای سه بعدی و بای‌پلات پراکنش ژنوتیپ‌ها و شاخص‌ها با استفاده از یک طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در محیط کشت هیدروپونیک در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان در سال ۱۳۸۱ ارزیابی شد. با بررسی شاخص‌های مختلف برای عملکرد وزن خشک ارقام نیشکر مشخص شد که ژنوتیپ NCO-310 دارای پتانسیل تولید ماده خشک بالا در تمامی سطوح تنش بود. علاوه بر این رقم CP82-1592 در شدت تنش‌های متوسط و زیاد پتانسیل تولید ماده خشک نسبتاً بالا و حساسیت کم و تحمل زیاد به تنش شوری را دارا بود. بر اساس شاخص تحمل به تنش (STI) به عنوان بهترین شاخص گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش و با عملکرد بالا می‌توان نتیجه گرفت که رقم تجاری NCO-310 و رقم امیدبخش CP82-1592 در کلیه سطوح تنش از جمله متحمل‌ترین ارقام بودند.

واژه‌های کلیدی: نیشکر، تنش شوری، شاخص‌های تحمل به تنش، ارقام تجاری و امیدبخش.

نویسنده مسئول: soltanimah@yahoo.com

مقدمه

نیشکر گیاه زراعی سازگار به مناطق گرمسیری مرطوب است، اما به دلیل تقاضای روز افزون برای شکر، کشت و کار آن به سرعت به مناطق نیمه‌گرمسیری خشک و نیمه خشک گسترش یافته است (Bernstein *et al.*, 1966). خاک بسیاری از این مناطق به دلیل بالا آمدن سطح آب زیرزمینی شور، کاربرد آب آبیاری شور و تجمع نمک در سطح خاک با مشکل شوری مواجه است (Heinz, 1987). این در حالی است که ماس و هافمن (Maas and Hoffman, 1977)، نلسون و هام (Nelson and Ham, 2000) و هینز (Heinz, 1987) معتقدند که نیشکر گیاهی نیمه حساس به شوری است. این مطلب به خوبی در بازنگری مقالات منتشر شده صد سال اخیر توسط رزف (Rozeff, 1995) نیز بیان شده است. برخی از محققین طیفی از حساسیت تا تحمل را در ارقام مختلف نیشکر گزارش کرده‌اند. به عنوان مثال بلک‌بارن (Blackburn, 1984) نیشکر را متحمل‌تر از بسیاری از گیاهان زراعی معرفی کرد. پرامنه و همکاران (Prammanee *et al.*, 1999) نیشکر را در مقایسه با گیاهان دیگر نیمه متحمل به شوری می‌دانند، در حالی که نور و همکاران (Nour *et al.*, 1989) و وحید و همکاران (Wahid *et al.*, 1997) نیشکر را در مراحل مختلف رشد حساس به شوری ذکر کرده‌اند. معیار اساسی انتخاب در اصلاح گیاهان، میانگین عملکرد و پایداری عملکرد در محیط‌های مختلف است. آزمایش‌های متعددی برای ارزیابی عملکرد در شرایط تنش انجام شده است. در تمام این آزمایش‌ها، انتخاب ژنوتیپ‌هایی که به هر دو محیط تنش و بدون تنش سازگاری داشته باشند، از اهداف مهم اصلاحی بوده است. به همین منظور شاخص‌های مختلفی برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر برای شرایط تنش و براساس عملکرد آن‌ها پیشنهاد شده است (Fernandez, 1998). روزیل و همبلین (Rosielle, and Hamblin, 1981) شاخص تحمل (Tolerance : TOL)، که از رابطه TOL = (Yp - Ys) و شاخص میانگین تولید (Mean Productivity : MP)، که از رابطه $MP = \frac{Yp + Ys}{2}$ بدست می‌آید، را معرفی کردند. در روابط مذکور، Yp = پتانسیل عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط بدون تنش و Ys = عملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش هستند. مقادیر زیاد TOL بیان کننده حساسیت بیشتر به تنش است. انتخاب بر مبنای مقادیر کمتر TOL منجر به گزینش ژنوتیپ‌هایی می‌شود که پتانسیل عملکرد آن‌ها در محیط دارای تنش نسبت به محیط بدون تنش کاهش کمتری نشان می‌دهد. شاخص میانگین تولید (MP) منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا ولی با تحمل به تنش پایین می‌شود. انتخاب بر اساس MP، متوسط عملکرد را در هر دو محیط تنش و بدون تنش افزایش می‌دهد (Fernandez, 1998). فیشر و مورر

شاخص (Fischer and Maurer, 1978) حساسیت (Stress Susceptibility Index: SSI) به تنش را معرفی کردند. این شاخص انجام مقایسات در شرایطی که متوسط جمعیت بیانگر نسبت عملکرد در شرایط تنش و غیر تنش به نسبت میانگین کل ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و غیر تنش می‌باشد را امکان پذیر می‌کند. مقدار این شاخص بر اساس فرمول زیر به دست می‌آید:

$$SSI= \frac{1-[Y_S / Y_P]}{SI}$$

$$SI = 1-\left(\overline{Y}_S \,/\, \overline{Y}_P\right)$$

در رابطه بالا، SI = شدت تنش (Stress Intensity) و $\overline{Y}s$ = متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش رطوبتی و $\overline{Y}p$ = متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش است. مقادیر کوچک‌تر SSI نشان دهنده تحمل بیشتر ژنوتیپ به تنش است. انتخاب بر اساس SSI منجر به گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش ولی با پتانسیل عملکرد کم می‌شود (Fernandez, 1998). شاخص‌های تحمل به تنش (Stress Tolerance Index : STI) و میانگین هندسی تولید (Geometric Mean Productivity : GMP) توسط فرناندز (Fernandez, 1998) پیشنهاد شد، که از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$GMP = \sqrt{Yp \times Ys}$$

$$STI = \left(\frac{Yp}{\overline{Y}p}\right)\left(\frac{Ys}{\overline{Y}s}\right)\left(\frac{\overline{Y}s}{\overline{Y}p}\right) = \frac{(Yp)(Ys)}{(\overline{Y}p)^2}$$

شاخص STI بدین منظور معرفی شده است که قادر به گزینش ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا و تحمل بیشتر به تنش است. مقادیر بالای STI برای یک ژنوتیپ، نشان دهنده تحمل بیشتر به تنش و پتانسیل عملکرد بالاتر است. بر اساس روش فرناندز (Fernandez, 1998) ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر پتانسیل عملکرد و تحمل به تنش به چهار گروه A ، B، C و D تفکیک می‌شوند. ژنوتیپ‌های گروه A ژنوتیپ‌هایی هستند که در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی دارند، ژنوتیپ‌های گروه B ژنوتیپ‌هایی هستند که عملکرد بالایی فقط در شرایط محیطی بدون تنش دارند و ژنوتیپ‌های گروه C ژنوتیپ‌هایی هستند که عملکرد نسبتاً بالایی فقط در شرایط تنش دارند و ژنوتیپ‌های گروه D ژنوتیپ‌هایی هستند که عملکرد پایینی در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارند. با توجه به این که یک شاخص مناسب، شاخصی است که بتواند ژنوتیپ‌های گروه A را از گروه‌های B و C تفکیک کند، لذا تفکیک دقیق‌تر ژنوتیپ‌ها بر اساس نمودار سه بعدی (x ، y و z) صورت می‌گیرد. در این نمودار x ، y و z به ترتیب عملکرد در شرایط تنش (Ys)، عملکرد در شرایط بدون تنش(Yp) و شاخص تحمل به تنش (STI) هستند.

با گسترش روزافزون اراضی شور و هزینه‌های سنگین اصلاح این اراضی و نهایتاً غیرقابل کشت شدن آن‌ها، تهیه لاین‌های

پرمحصول و متحمل به شوری در نیشکر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار خواهد بود. باید توجه داشت که رقابت در صنعت نیشکر در حد بالایی است، لذا چنانچه شوری باعث کاهش محصول بیش از ده درصد عملکرد فعلی باشد سود اقتصادی را زیر سئوال خواهد برد (Valdivia, 1977)، بنابراین شناسایی و معرفی ژنوتیپ‌های متحمل می‌تواند در حفظ عملکرد ساقه و کیفیت محصول مؤثرتر واقع شود. در این بررسی تحمل به شوری ارقام تجاری و امیدبخش نیشکر، با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان (با دمای حداقل ۲۵ و حداکثر ۳۵ درجه سانتی گراد) در سال ۱۳۸۱ انجام شد. در این آزمایش فاکتورهای تیمار شوری با چهار سطح (۰، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ درصد) نمک طعام (NaCl) و گیاه نیشکر با هفت رقم که شامل ارقام CO-1148 (رقم امیدبخش)، CP48-103 (رقم تجاری)، CP70-321 (رقم امیدبخش)، CP72-2086 (رقم امیدبخش)، CP82-1592 (رقم امیدبخش)، NCO-310 (رقم تجاری) و SP70-1143 (رقم امیدبخش) بودند، مورد مطالعه قرار گرفتند. ارقام از مرکز تحقیقات نیشکر وابسته به شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان واقع در ۳۵ کیلومتری جنوب اهواز در اسفند ماه ۱۳۸۰ تهیه شد. ارقام مورد نظر پس از برداشت از مزرعه با سموم قارچ کش (بنومیل یک در هزار با ماده موثر ۵۰ درصد و تبوکونازول یک درهزار با ماده موثر ۲۵ درصد) ضدعفونی شدند. پس از انتقال کلون‌ها به گلخانه، قلمه‌ها به قطعات تک جوانه‌ای تقسیم شدند. این قطعات در گلدان‌های پلاستیکی حاوی یک دوم ماسه، یک چهارم خاک، یک چهارم کود حیوانی و خاک برگ پوسیده در گلخانه کاشته شدند. تعداد قطعات بذری تک جوانه‌ای کاشته شده برای هر رقم ۴ تا ۵ برابر بیشتر از تعداد مورد نیاز بود. علت این امر امکان وجود انتخاب برای یکنواختی گیاهچه‌ها در هنگام انتقال به محیط هیدروپونیک بود. پس از جوانه‌زنی و سبز شدن قلمه‌ها، گیاهانی که دو برگ کامل داشتند و از نظر ظاهری شبیه به هم بودند در تاریخ ۲۰ اسفندماه ۱۳۸۰ به محیط هیدروپونیک حاوی محلول غذایی منتقل شدند. در هر ظرف یک گیاه در هفت لیتر محلول غذایی تهیه شده براساس روش تانیموتو (Tanimoto, 1969) قرار گرفت. پس از انتقال گیاهچه‌ها به ظروف کشت هیدروپونیک (۸۴ ظرف)، جهت سازگاری با محلول غذایی و اطمینان از رشد در این شرایط گیاهچه‌ها به مدت سه هفته نگهداری شدند. تیمارهای شوری در تاریخ ۱۵ فروردین ۱۳۸۱ اعمال شد. برای جلوگیری از وارد شدن تنش ناگهانی به گیاهان، اعمال تیمارهای شوری به صورت تدریجی و در

طـول شـش روز انجـام شـد. بـه منظـور حفـظ غلظت‌های نمک و مواد غذایی، محلول‌ها هر دو هفته یک بار تعویض شـدند. در طـول آزمـایش pH محلول غذایی به طور روزانـه وEC بـه طـور هفتگی تنظیم شد. برای تنظیم EC ، با قرار دادن ظروفی کـاملاً مـشابه ظـروف اصـلی و بـا حجـم مشخص محلول غذایی ولی بدون گیاه در کنـار ظروف اصلی آزمایش، میـزان تبخیـر از ظـروف آزمایش و میزان مصرف محلول غـذایی توسـط گیاه اندازه‌گیری شد و بر همین اسـاس مقـداری آب مقطـر و محلـول غـذایی پایـه بـه ظـروف آزمایش افزوده شد و سپس بـه وسـیله دسـتگاه، EC محلـول انـدازه‌گیـری و در صـورت نیـاز مقداری محلول نمک اضافه شد. محلول غـذایی در طول روز به وسیله پمپ هـوا تهویـه مـی‌شـد. گیاهـان در تـاریخ اول تیرمـاه ۱۳۸۱ برداشـت شدند و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیـری شـد. در این تحقیق از شاخص‌های تحمل و حساسیت بـه تنش برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌هـای برتـر در مقابله با تنش شوری اسـتفاده شـد. شـدت تـنش (SI) از رابطه $SI = 1 - \left(\overline{Y}_S \middle/ \overline{Y}_P \right)$ محاسبه شد. با توجـه بـه ایـن کـه تیمـار شـوری دارای چهـار سطح شامل، شاهد و سه سطح شـوری بـود، سـه شدت تنش برابر بـا ۰/۲۴، ۰/۴۴ و ۰/۶۳محاسـبه شـد و بـرای هـر شـدت تـنش تمـام شـاخص‌هـا محاسبه شـد. ایـن شـاخص‌هـا عبـارت بودنـد از: شـاخص تحمـل(TOL)، میـانگین تولیـد(MP)، حـساسیت بـه تـنش(SSI)، میـانگین هندسـی تولیـد(GMP) و تحمـل بـه تـنش(STI). تجزیـه مؤلفـه‌هـای اصـلی بـا اسـتفاده از دسـتور Proc PRINCOMP در نرم افزار آماری SAS انجـام شد. با رسم بای پلات دو مؤلفه اول، ارتباط بـین شاخص‌ها و سهم هـر شـاخص در مؤلفـه، مـورد بررسی قـرار گرفـت و بـر ایـن اسـاس مؤلفـه‌هـا نام‌گذاری شدند. رسم نمـودار سـه بعـدی بـرای پراکنش ژنوتیپ‌ها و نمودار بای پلات به کمک نرم‌افزار Sigma plot انجام شد.

نتایج و بحث

در ایـــن آزمـــایش ارقـــام CO-1148، SP70-1143 و CP70-321 در تیمـار شـوری ۰/۷۵ درصد نمک NaCl از بین رفتند، بنـابراین در شدت تنش‌های ۰/۲۴ و ۰/۴۴ هفت رقم و در شدت تنش ۰/۶۳ تنها چهار رقم باقی‌مانده با هـم مقایسه شدند (جدول‌های ۱ و ۲).

نتایج نشان داد که بـر اسـاس وزن خـشک ارقـام نیشکر مورد مطالعه، تفـاوت شـاخص‌هـای MP، GMP، TOL، SSI و STI در تمـام سـطوح شدت تنش معنی‌دار بـود (جـدول ۱). در شـدت تـنش ۰/۲۴ بـین ارقـام مـورد بررسـی، رقـم NCO-310 بیشترین و رقم CO-1148 کمترین مقادیر میانگین تولیـد (MP) و میـانگین هندسـی تولید (GMP) را داشتند. از نظر شـاخص تحمـل (TOL) بیـشترین مقـدار متعلـق بـه رقـم‌هـای NCO-310 وCP82-1592 و کمتـرین مقـدار آن متعلـق بـه رقـم CO-1148 بـود. بیـشترین شـاخص حـساسیت بـه تـنش (SSI) متعلـق بـه

جدول۱- تجزیه واریانس شاخص‌های مختلف تحمل به تنش شوری برای شدت تنش‌های مختلف

Table 1. Analysis of variance of different stress tolerance indices at different stress intensities

شدت تنش Stress intensity	منابع تغییرات S.O.V.		درجه آزادی df.	MP	GMP	TOL	SSI	STI
0.24	Cultivar	رقم	6	219.13 **	216.04 **	34.32 **	0.525 **	1.25 **
	Error	خطا	12	1.34	1.36	6.01	0.096	0.009
0.44	Cultivar	رقم	6	146.58 **	131.60 **	131.74 **	0.462 **	0.52 **
	Error	خطا	14	1.34	0.95	4.16	1.220	0.003
0.63	Cultivar	رقم	3‡	66.13 **	26.16 **	314.09 **	0.223 **	0.042 **
	Error	خطا	8	1.29	0.95	6.96	0.003	0.001

** : معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

MP: میانگین تولید؛ GMP: میانگین هندسی تولید؛ TOL: شاخص تحمل؛ SSI: شاخص حساسیت به تنش؛ STI: شاخص تحمل به تنش.

‡ به دلیل از بین رفتن سه رقم در شدت تنش داده شده تنها چهار رقم باقی ماندند.

**: Significant at 1% level.

MP: mean productivity; GMP: geometric mean productivity; TOL: tolerance index; SSI: stress susceptibility index; STI: stress tolerance index.

‡ Because of the mortality of 3 cultivars under given stress intensity only 4 cultivars remained.

رقم‌های CP82-1592 و CP70-321 و کمترین مقدار آن متعلق به ژنوتیپ SP70-1143 بود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲) نشان داد که رقم‌های NCO-310 و CO-1148 به ترتیب با مقدار شاخص تحمل به تنش (STI) برابر ۲/۲۰ و ۰/۱۶ متحمل‌ترین و حساس‌ترین رقم‌ها به تنش بودند. در شدت تنش ۰/۴۴ رقم CO-1148 کمترین و رقم NCO-310 بیشترین مقادیر را برای تمامی شاخص‌ها داشتند. رقم CP82-1592 بیشترین مقدار میانگین هندسی تولید (GMP) را به همراه رقم NCO-310 داشت (جدول ۲). در شدت تنش ۰/۶۳ نیز رقم NCO-310 بیشترین مقادیر را برای تمامی شاخص‌ها داشت، و رقم‌های CP72-2086 و CP48-103 کمترین مقادیر را برای شاخص‌های MP، GMP و STI داشتند. در این شدت تنش رقم CP72-2086 کمترین مقدار را برای شاخص‌های TOL و SSI دارا بود (جدول ۲). هر چند بر اساس شاخص‌های TOL و SSI رقم‌های CO-1148 و SP70-1143 در

شدت تنش ۰/۲۴، رقم CO-1148 در شدت تنش ۰/۴۴ و رقم‌های CP72-2086 و CP48-103 در شدت تنش ۰/۶۳ دارای بیشترین تحمل و کمترین حساسیت به تنش شوری بودند، ولی از نظر شاخص‌های MP و GMP جزء بهترین رقم‌ها نبودند. از طرف دیگر رقم NCO-310 از نظر شاخص‌های MP و GMP در کلیه شدت تنش‌ها بیشترین مقادیر را داشت، اما از نظر شاخص‌های TOL و SSI کمترین تحمل و بیشترین حساسیت به تنش شوری را در شدت تنش‌های ۰/۴۴ و ۰/۶۳ دارا بود و در شدت تنش ۰/۲۴ نیز کمترین تحمل و حساسیت نسبتاً بالایی داشت (جدول ۲).

اشنایدر و همکاران (Schnider *et al.*, 1997) معتقدند ژنوتیپ‌هایی که از نظر ژنتیکی عملکرد پایینی دارند و از نظر زراعی نامطلوب هستند دارای مقادیر SSI کمتری هستند. برای مثال ارقام CP72-2086 و SP70-1143 در شدت تنش ۰/۲۴ دارای عملکرد کم در شرایط بدون تنش بوده ولی مقادیر SSI کمی داشتند (جدول ۲). با توجه به این موضوع شاخص SSI نمی‌تواند ژنوتیپ‌های متحمل به تنش را از ژنوتیپ‌هایی که پتانسیل عملکرد پایینی دارند متمایز کند (Ramirez-Vallejo and Kelly, 1998). یکی از معایب شاخص SSI این است که بر اساس این شاخص نسبت عملکرد در شرایط تنش به شرایط بدون تنش برای هر ژنوتیپ در مقایسه با نسبت کل ژنوتیپ‌های موجود مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، بنابراین دو ژنوتیپ با عملکرد بالا و پایین می‌توانند مقدار SSI یکسانی داشته باشند، به شرط آن که اختلاف عملکرد بین شرایط تنش و فاقد تنش برای هر دو ژنوتیپ یکسان باشد. انتخاب بر اساس SSI باعث کاهش پتانسیل عملکرد در محیط‌های مناسب و بدون تنش می‌شود (Clark *et al.*, 1992). این حالت به خوبی برای رقم CO-1148 در شدت تنش ۰/۴۴ و رقم CP72-2086 در شدت تنش ۰/۶۳ دیده شد (جدول ۲).

Acosta-Gallegos and Adams (1991) بیان کردند که ترتیب طبقه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس GMP با ترتیب طبقه‌بندی آن‌ها بر اساس شاخص SSI متفاوت بود. انتخاب برای تحمل به تنش زمانی ارزشمند است که محیط مورد نظر دارای شرایط تنش باشد (Ud-Din *et al.*, 1992). انتخاب براساس MP باعث گزینش ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا می‌شود. شاخص GMP برخلاف MP به مقادیر نسبتاً زیاد Ys و Yp حساسیت ندارد و در مقایسه با MP دارای اثر اریبی به سمت بالا نیست. بر اساس شاخص تحمل به تنش (STI) ژنوتیپ‌هایی گزینش می‌شوند که در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی دارند. برای مثال رقم NCO-310 در شدت تنش ۰/۲۴ دارای بالاترین مقدار شاخص تحمل به تنش (STI)، بالاترین عملکرد در شرایط تنش و بالاترین عملکرد در شرایط بدون تنش بود (جدول ۲). بر اساس نظر فرناندز

جدول ۲- مقایسه ارقام نیشکر از نظر شاخص‌های تحمل به تنش شوری و عملکرد وزن خشک در محیط تنش و بدون تنش در شدت تنش‌های ۰/۲۴، ۰/۴۴ و ۰/۶۳

Table 2. Comparison of sugarcane cultivars for stress tolerance indices and dry matter yield in stressed and non-stressed conditions at 0.24, 0.44 and 0.63 stress intensity

شدت تنش Stress intersity	شماره رقم Cultivar No.	رقم Cultivar	Y_P	Y_S	MP	GMP	TOL	SSI	STI
0.24	1	CO 1148	11.9e	8.8d	10.4e	10.2e	3.13d	1.09ab	0.16e
	2	CP 82-1592	31.5b	20.5b	26.0b	25.4b	11.02a	1.49a	0.97b
	3	CP 48-103	25.4c	19.9b	22.6c	22.5c	5.56bvd	0.93b	0.76c
	4	CP 72-2086	20.4d	16.3c	18.3d	18.2d	4.05cd	0.82bc	0.49d
	5	SP 70-1143	23.5cd	21.6b	22.5c	22.5c	1.91d	0.34c	0.76c
	6	CP 70-321	25.5c	16.4c	20.9c	20.5c	9.13ab	1.53a	0.63cd
	7	NCO-310	42.7a	34.5a	38.6a	38.3a	8.21abc	0.76bc	2.20a
		LSD (0.5)	3.16	2.74	2.03	2.05	4.29	0.54	0.17
0.44	1	CO 1148	11.9e	10.4d	11.3e	11.2d	1.4e	0.25c	0.19e
	2	CP 82-1592	31.5b	24.3a	27.9b	27.7a	7.2d	0.52b	0.14b
	3	CP 48-103	25.4c	11.4cd	18.4c	17.0b	13.9b	1.26a	0.43c
	4	CP 72-2086	20.4d	10.4d	15.4d	14.6c	9.9cd	1.12a	0.32d
	5	SP 70-1143	23.5cd	12.4c	17.9c	17.0b	11.0bc	1.07a	0.44c
	6	CP 70-321	25.5c	12.9c	19.2c	18.2b	12.6bc	1.13a	0.49c
	7	NCO-310	42.7a	19.7b	31.2a	29.0a	23.0a	1.22a	1.26a
		LSD (0.5)	3.16	1.83	1.86	1.71	3.57	0.21	0.10
0.63	1	CO 1148	-‡	-	-	-	-	-	-
	2	CP 82-1592	31.5b	11.9ab	21.7b	19.4b	19.5b	0.99b	0.42b
	3	CP 48-103	25.4c	8.7c	17.1c	14.9c	16.7b	1.05b	0.25c
	4	CP 72-2086	20.4d	13.3a	16.8c	16.4c	7.1c	0.56c	0.30c
	5	SP 70-1143	-	-	-	-	-	-	-
	6	CP 70-321	-	-	-	-	-	-	-
	7	NCO-310	42.7a	10.8bc	26.7a	21.4a	31.9a	1.19a	0.51a
		LSD (0.5)	4.10	2.16	2.14	1.84	4.97	0.11	0.07

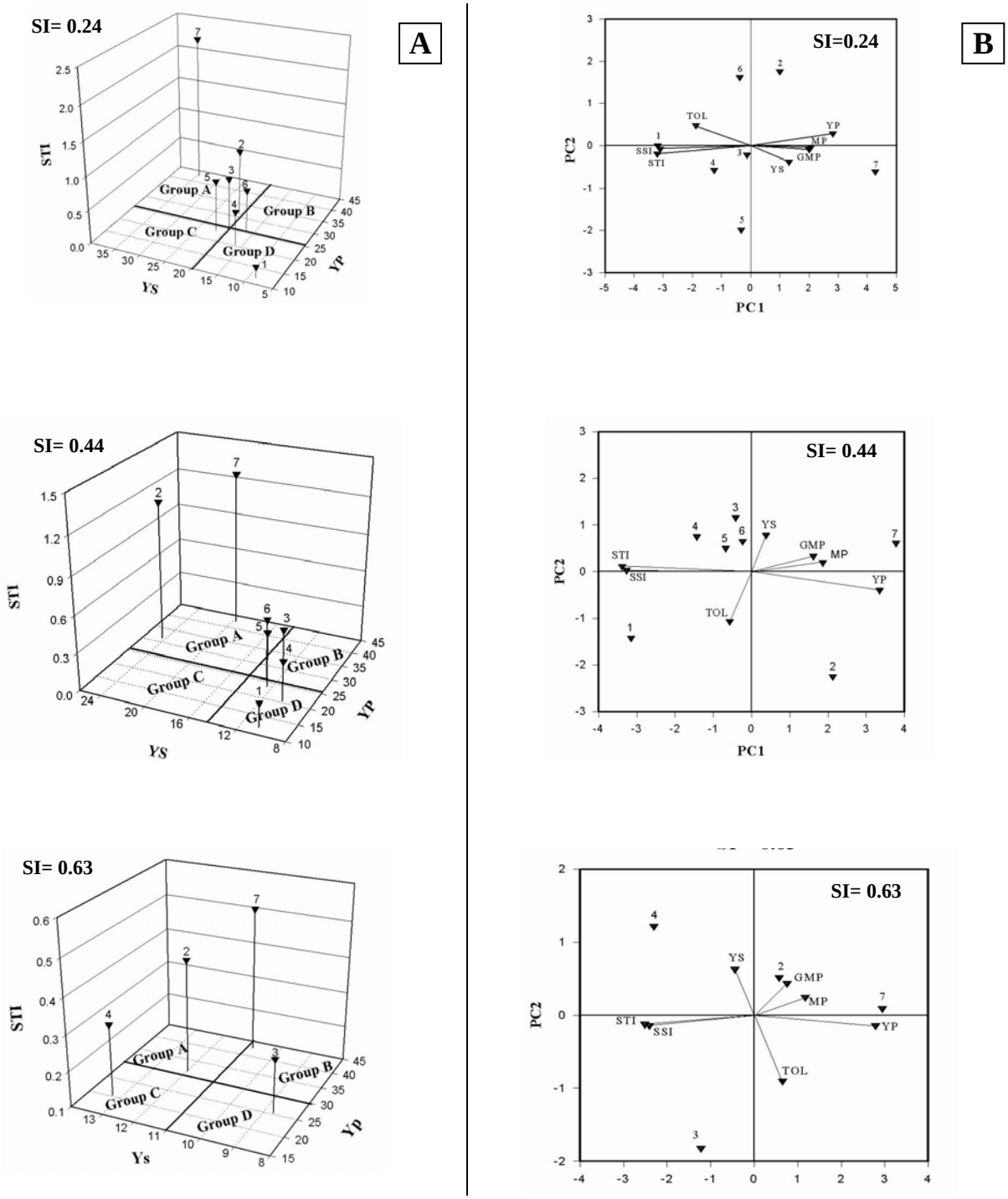
در هر ستون اعدادی که دارای حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ی ندارند.

YP : عملکرد در شرایط بدون تنش؛ YS : عملکرد در شرایط تنش؛ MP : میانگین تولید؛ GMP : میانگین هندسی تولید؛ TOL : شاخص تحمل؛ SSI : شاخص حساسیت به تنش؛ STI : شاخص تحمل به تنش.

‡ ---- خانه‌های خالی نشان دهنده از بین رفتن رقم در آن شدت تنش است.

Within each column figures sharing same letter are non-significantly ($P < 0.05$) different.
YP: yield in potential; YS: yield in stress; MP: mean productivity;
GMP: geometric mean productivity; TOL: tolerance index; SSI: stress susceptibility index; STI: stress tolerance index.
‡-----Missing cells indicate the mortality of cultivar under given stress intensity.

(Fernandez, 1998) بهترین شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌ها، شاخص STI است، چون بر اساس این شاخص ژنوتیپ‌های گروه A از گروه B و C قابل تمایزند. بر اساس تقسیم بندی فرناندز (شکل ۱ قسمت A) در شدت تنش ۰/۲۴ رقم‌های NCO-310 (شماره ۷) و CP82-1592 (شماره ۲) در گروه A، رقم‌های CP48-103 (شماره ۳) و SP70-1143 (شماره ۵) در گروه C و سایر رقم‌ها در گروه D قرار گرفتند. در این شدت تنش هیچ رقمی در گروه B قرار نگرفت. در شدت تنش ۰/۴۴ رقم‌ها به دو گروه تقسیم شدند. رقم‌های NCO-310



1: CO 1148; 2: CP 82-1592; 3: CP 48-103; 4: CP 72-2086; 5:SP 70-1143; 6: CP 70-321; 7: NCO-310

شکل ۱ - A) نمودار سه بعدی میان شاخص تحمل (STI) وعملکرد وزن خشک در محیط‌های تنش(YS) و بدون تنش(YP) در شدت تنش‌های ۰/۲۴، ۰/۴۴ و ۰/۶۳ B) نمایش بای‌پلات واکنش ارقام (که با شماره نشان داده شده‌اند) و ۵ شاخص تحمل و حساسیت به تنش و عملکرد وزن خشک در محیط‌های تنش و بدون تنش در شدت تنش‌های ۰/۲۴، ۰/۴۴ و ۰/۶۳

Fig. 1. A) The 3-D plots among stress tolerance index (STI), yield potential (Y_P) and yield under stress (Y_S) at 0.24, 0.44 and 0.63 stress intensity B) The bi-plots of cultivars (showed by figures) and five stress tolerance susceptibility indices at 0.24, 0.44 and 0.63 stress intensity

(شماره ۷) و CP82-1592 (شماره ۲) در گروه A و سایر رقم‌ها در گروه D قرار گرفتند. در شدت تنش ۰/۶۳ چهار رقم باقی مانده در چار گروه مختلف قرار گرفتند. رقم CP82-1592 (شماره ۲) در گروه A ، رقم NCO-310 (شماره ۷) در گروه B، رقم CP72-2086 (شماره ۴) در گروه C و رقم CP48-103 (شماره ۳) در گروه D قرار گرفتند. به طور کلی می‌توان گفت که رقم‌های NCO-310 و CP82-1592 در تمامی سطوح تنش دارای شاخص تحمل به تنش (STI) بالا و Ys و Yp بالایی بودند.

در این تحقیق از تجزیه مؤلفه‌های اصلی به منظور درک بیشتر ارتباط بین شاخص‌ها استفاده شد. درکلیه شدت تنش‌ها دو مؤلفه اول ۹۹ درصد از تغییرات مربوط به شاخص‌ها را توجیه کردند. در شدت تنش ۰/۲۴ مؤلفه اول ۷۴ درصد از کل تغییرات شاخص‌ها را تبیین کرد. در این مؤلفه شاخص‌های Yp، MP، GMP و Ys بیشترین ضرایب را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). بنابراین این مؤلفه به عنوان مؤلفه پتانسیل تولید معرفی شد. انتخاب براساس این مؤلفه، رقم‌هایی را گزینش می‌کند که عملکرد بالایی در هر دو محیط تنش و غیر تنش دارند. مؤلفه دوم ۲۵ درصد از کل تغییرات شاخص‌ها را توجیه کرد. در این مؤلفه شاخص‌های SSI و TOL نقش بیشتری داشتند. بنابراین، این مؤلفه را می‌توان مؤلفه حساسیت نامید. انتخاب بر اساس این مؤلفه موجب گزینش رقم‌هایی با تحمل پایین و حساسیت به تنش شوری بالا می‌شود. همان طور که در شکل ۱ قسمت B-(SI=0.24) مشاهده می‌شود رقم NCO-310 (شماره۷) بالاترین مقدار مولفه اول و رقم SP70-1143 (شماره ۵) کمترین مقدار مولفه دوم را داشتند. در شدت تنش ۰/۴۴ نیز مؤلفه اول ۷۵ درصد از کل تغییرات شاخص‌ها را تبیین نمود. در این مؤلفه شاخص‌های Yp، MP، GMP و Ys بیشترین ضرایب را به خود اختصاص دادند (جدول ۳)، بنابراین مانند شدت تنش قبلی این مؤلفه به عنوان مؤلفه پتانسیل تولید معرفی شد. مؤلفه دوم در این شدت تنش ۲۴ درصد از کل تغییرات شاخص‌ها را توجیه کرد. در این مؤلفه نیز شاخص‌های SSI و TOL نقش بیشتری داشتند، بنابراین این مؤلفه را می‌توان مؤلفه حساسیت نامید. همان‌طور که در شکل ۱ قسمت B-(SI=0.44) مشاهده می‌شود رقم NCO-310 (شماره۷) بالاترین مقدار مولفه اول و رقم CP82-1592 (شماره۲) کمترین مقدار مولفه دوم را داشتند. در شدت تنش ۰/۶۳ نیز مؤلفه اول ۷۵ درصد از کل تغییرات شاخص‌ها را تبیین نمود. در این مؤلفه شاخص‌های Yp، MP، GMP، STI و SSI بیشترین ضرایب را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). بنابراین این مؤلفه به عنوان مؤلفه پتانسیل تولید و حساسیت به تنش معرفی شد. مؤلفه دوم در این شدت تنش ۲۴ درصد از کل تغییرات شاخص‌ها را توجیه کرد. در این مؤلفه شاخص‌های Ys و SSI (به صورت منفی) نقش

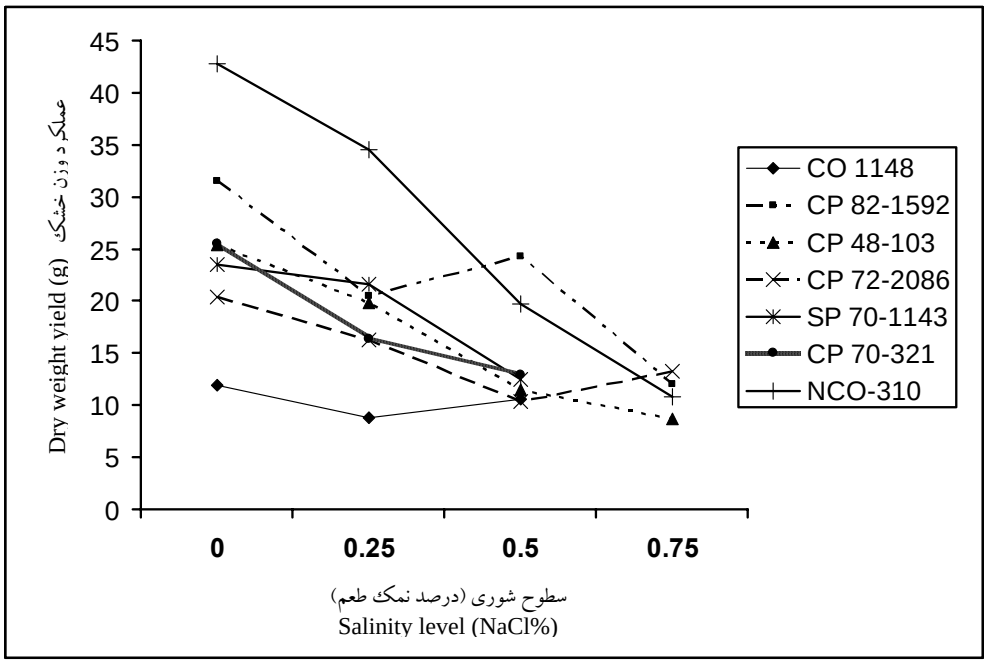
جدول ۳ - سهم هر مولفه اصلی از کل تغییرات شاخص‌ها و مقادیر ضرایب شاخص‌ها برای هر مولفه اصلی در شدت تنش‌های ۰/۲۴، ۰/۴۴ و ۰/۶۳

Table 3. Value of each principle component from total variation of indices and value of coefficient of indices for each principle component at 0.24, 0.44 and 0.63 stress intensity

شدت تنش Stress intensity	مولفه‌ها Principle components	سهم هر مولفه Value of pronciple components	ضرایب شاخص‌ها Coefficient of indices						
			Y_P	Y_S	MP	GMP	TOL	SSI	STI
0.24	PC1	0.74	0.44	0.43	0.44	0-44	0.25	-0.04	0.43
	PC2	0.25	0.07	-0.18	-0.44	-0.06	0.62	0.75	-0.08
0.44	PC1	0.75	0.43	0.37	0.43	0.43	0.32	0.15	0.42
	PC2	0.24	0.12	-0.41	-0.07	-0.14	0.50	0.71	-0.19
0.63	PC1	0.75	0.43	-0.08	0.43	0.39	0.42	0.35	0.40
	PC2	0.24	-0.03	0.75	0.13	0.33	-0.17	-0.44	0.29

PC1: مولفه اصلی اول؛ PC2: مولفه اصلی دوم؛ YP : عملکرد در شرایط بدون تنش؛ YS: عملکرد در شرایط تنش؛ MP: میانگین تولید؛ GMP: میانگین هندسی تولید؛ TOL: شاخص تحمل؛ SSI: شاخص حساسیت به تنش؛ STI: شاخص تحمل به تنش.

PC1: first principle component; PC2: second principle component; YP: yield in potential; YS: yield in stress; MP: mean productivity; GMP: geometric mean productivity; TOL: tolerance index; SSI: stress susceptibility index; STI: stress tolerance index.



شکل ۲- عملکرد وزن خشک ارقام نیشکر در سطوح شوری مختلف

Fig. 2. Dry weight yield of sugarcane cultivars at different salinity levels

بیشتری داشتند. بنابراین این مؤلفه را می‌توان مؤلفه تحمل نامید. همان طور که در شکل ۱ قسمت B-(SI=0.63) مشاهده می‌شود رقم NCO-310 (شماره۷) بالاترین مقدار مولفه اول و رقم CP72-2086 (شماره۴) بیشترین مقدار مولفه دوم را داشتند. به طور کلی می‌توان گفت رقم NCO-310 دارای پتانسیل تولید ماده خشک بالا در تمامی سطوح تنش است (شکل۲). ولی حساسیت نسبی و تحمل نسبی به تنش شوری دارد. رقم CP82-1592 در شدت تنش‌های متوسط و زیاد دارای پتانسیل تولید ماده خشک نسبتاً بالا و حساسیت کم و تحمل زیاد به تنش شوری بود.

ضرایب همبستگی رتبه بین شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش و عملکرد در محیط‌های تنش و بدون تنش در شدت تنش‌های مختلف مورد آزمایش در جدول ۴ نشان داده شده است. همبستگی رتبه بین شاخص‌های MP با شاخص‌های Yp و Ys مثبت بود. همچنین همبستگی رتبه بین شاخص‌های GMP با شاخص‌های Yp و Ys مثبت بود، لذا می‌توان نتیجه گرفت که انتخاب براساس شاخص‌های MP و GMP باعث افزایش عملکرد در هر دو محیط تنش و بدون تنش می‌شود. همبستگی رتبه بین شاخص‌های TOL و Yp منفی و معنی‌دار و همبستگی رتبه بین شاخص‌های TOL و Ys منفی و غیر معنی‌دار بود. بنابراین انتخاب بر مبنای TOL موجب گزینش رقم‌هایی با پتانسیل عملکرد پایین در شرایط بدون تنش می‌شود. روزیل و همبلین (Rosielle, and Hamblin, 1981) نیز نتایج مشابهی را گزارش دادند. همبستگی رتبه بین شاخص‌های TOL و MP منفی بود. بنابراین انتخاب بر مبنای TOL منجر به کاهش MP می‌شود. همبستگی رتبه بین شاخص‌های TOL وGMP نیز منفی بود. هر چند این همبستگی در شدت تنش ۰/۲۴ غیرمعنی‌دار بود اما با افزایش شدت تنش معنی‌دار شد، بنابراین شاخص تحمل (TOL) باعث گزینش رقم‌هایی می‌شود که پتانسیل عملکرد پایینی دارند. همبستگی رتبه بین شاخص‌های SSI و Yp منفی و همبستگی رتبه بین شاخص‌های SSI و Ys مثبت بود. هرچند در شدت تنش‌های ۰/۲۴ و ۰/۴۴ این همبستگی‌ها غیر معنی‌دار بود اما با افزایش شدت تنش (۰/۶۳) این همبستگی‌ها معنی‌دار شد. بنابراین انتخاب بر اساس مقادیر پایین SSI باعث افزایش عملکرد در شرایط تنش و کاهش عملکرد در شرایط بدون تنش می‌شود. فیشر و مورر (Fischer and Mourer, 1978) نیز بیان کردند که انتخاب براساس SSI باعث افزایش عملکرد در شرایط تنش می‌شود. همبستگی رتبه بین شاخص‌های SSI و TOL مثبت و معنی‌دار بود. هر دو شاخص TOL و SSI باعث گزینش رقم‌های با پتانسیل عملکرد پایین در شرایط بدون تنش می‌شوند. همبستگی رتبه بین شاخص‌های STI و شاخص‌های MP و GMP مثبت و تقریباً کامل بود. این مطلب با توجه به ماهیت شاخص STI قابل توجیه است، زیرا این

جدول۴ - ضرایب همبستگی رتبه بین شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش شوری و عملکرد وزن خشک در محیط های تنش و فاقد تنش در شدت تنش‌های ۰/۲۴، ۰/۴۴ و ۰/۶۳

Table 4. Rank correlation coefficient of stress tolerance and susceptibility indices and dry matter yield in stressed and non-stressed conditions at 0.24, 0.44 and 0.63 stress intensity

شدت تنش Stress intensity	شاخص‌ها Indices	Y_P	Y_S	MP	GMP	TOL	SSI	STI
0.24	YS	0.77^{**}						
	MP	0.93^{**}	0.92^{**}					
	GMP	0.90^{**}	0.95^{**}	0.99^{**}				
	TOL	-0.68^{*}	-0.13^{ns}	-0.44^{*}	-0.38^{ns}			
	SSI	-0.25^{ns}	0.36^{ns}	0.02^{ns}	0.09^{ns}	0.82^{**}		
	STI	0.93^{**}	0.93^{**}	1.00^{**}	0.99^{**}	-0.43^{ns}	0.03^{ns}	
0.44	YS	0.81^{**}						
	MP	0.98^{**}	0.88^{**}					
	GMP	0.95^{**}	0.91^{**}	0.99^{**}				
	TOL	-0.65^{*}	-0.20^{ns}	-0.58^{**}	-0.52^{*}			
	SSI	-0.42^{ns}	0.08^{ns}	-0.33^{ns}	-0.27^{ns}	-0.90^{**}		
	STI	0.96^{**}	0.90^{**}	0.99^{**}	0.99^{**}	-0.53^{*}	-0.28^{ns}	
0.63	YS	-0.27^{ns}						
	MP	0.92^{**}	0.06^{ns}					
	GMP	0.84^{**}	0.21^{ns}	0.97^{**}				
	TOL	-0.96^{**}	0.38^{ns}	-0.83^{**}	-0.76^{*}			
	SSI	-0.77^{**}	0.73^{**}	-0.53^{ns}	-0.42^{ns}	0.82^{**}		
	STI	0.83^{**}	0.22^{ns}	0.95^{**}	0.97^{**}	-0.75^{**}	-0.43^{ns}	

ns، * و** : به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

YP : عملکرد در شرایط بدون تنش؛ YS : عملکرد در شرایط تنش؛ MP : میانگین تولید؛ GMP : میانگین هندسی تولید؛ TOL : شاخص تحمل؛ SSI : شاخص حساسیت به تنش؛ STI : شاخص تحمل به تنش.

ns, * and ** ; Not significant, significant at 5% and 1% levels, respectively.

YP: yield in potential; YS: yield in stress; MP: mean productivity; GMP: geometric mean productivity; TOL: tolerance index; SSI: stress susceptibility index; STI: stress tolerance index.

شاخص براساس GMP است، بنابراین همبستگی رتبه بین STI و GMP باید برابر یک باشد (Fernandez, 1998). از طرف دیگر همبستگی بین MP با Yp و Ys مثبت بود. با توجه به این که محاسبه STI بر اساس Yp و Ys است، انتظار می‌رود همبستگی MP با STI مثبت و تقریباً کامل باشد. با توجه به این که بر اساس شاخص تحمل به تنش (STI) در مقایسه با شاخص‌های دیگر، ژنوتیپ‌های گروه A از سایر گروه‌ها قابل تشخیص هستند، بنابراین مناسب‌ترین شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش است. با بررسی شاخص‌های متفاوت تحمل و حساسیت به تنش شوری برای عملکرد وزن خشک ارقام نیشکر می‌توان نتیجه گرفت که رقم NCO-310 دارای پتانسیل تولید ماده خشک زیادتر در تمامی سطوح تنش بود، ولی حساسیت نسبی و تحمل نسبی به تنش شوری داشت. رقم CP82-1592 در شدت تنش‌های متوسط و زیاد دارای پتانسیل تولید ماده خشک نسبتاً زیاد و حساسیت کم و تحمل زیاد به تنش شوری است.

References

Acosta-Gallegos, J. A., and Adams, M. W..1991. Plant traits and yield stability of dry bean cultivars under drought stress. Journal of Agricultural Science 117: 213-219.

Bernstein, L., Franconis, L. E., and Clark, R. A. 1966. Salt tolerance of N.Co. varieties of sugar cane, I. Sprouting, growth and yield. Agronomy Journal 58: 489-493.

Blackburn, F. 1984. Sugarcane. Longman. Group Limited (Tropical Agriculture Series)London. 414 pp.

Clark, J. M., Depauw, R. M., and Townley-Smith, T. F. 1992. Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. Crop Science 32: 723-728.

Fernandez, G. C. J. 1998. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C. C. (ed.), Proceedings of an International Symposium on Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. AVRDC, Shanhua, 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.

Heinz, D. 1987. Sugarcane Improvement through Breeding. Elsevier Science Publisher. 603 pp.

Maas, E. V., and Hoffman, G. J. 1977. Crop salt tolerance - current assessment. Journal of Irrigation and Drainage Div. ASCE (IR2) 103: 115-134.

Nelson, P. N., and Ham, G. J. 2000. Exploring the response of sugarcane to sodic and saline conditions through natural variation in the field. Field Crops Research 66: 245-255.

Nour, A. H., El-Wakeel, A. F. and Allam, A. L. 1989. Effect of soil salinity on sugarcane yield. Proceeding of the International Society of Sugar Cane Technology, 20th Congress. pp. 532-535.

Prammanee, S., Naritoom, K., Wongmaneeroj, M., Prammanee, P., and Iamsupasit, N. 1999. Plant regeneration selected from high degree salt tolerant callus cell lines of sugarcane. Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technology 23rd Congress, pp. 262-265.

Ramirez-Vallejo, P., and Kelly, J. D. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. Euphytica 99: 127-136.

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

Rozeff, N. 1995. Sugarcane and salinity – a review paper. Sugar cane 5: 8-18.

Schnider, K. A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriques, B. Acosta-Gallegos, J. A. , Ramirez-Vallejo, p., Wassimi, N., and Kelly, J. D. 1997. Improving common bean performance under drought stress. Crop Science 37: 43-50.

Tanimoto, T. T. 1969. Differential physiological response of sugar cane varieties to osmotic pressures of saline media. Crop Science 9: 683-688.

Ud-Din, N., Carver, B. F. and Clutter, A. C. 1992. Genetic analysis and selection for wheat yield in drought- stressed and irrigated environments. Euphytica 62: 89-96.

Valdivia, V. S. 1977. Effect of excess sodium on sugarcane yield. Proceedings of the International Sugar Cane Technology, 16th Congress. pp. 861-866.

Wahid, A., Rao, A. R.and Rasul, E. 1997. Identification of salt tolerance traits in sugarcane lines. Field Crops Research 54: 9-17.