

ارزیابی شاخص‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های توتون تیپ ویرجینیا (*Nicotiana tabacum* L.)

Evaluation of drought tolerance indices in Virginia tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) genotypes

سیدرضا علوی^۱، رضا درویش‌زاده^{۲*}، مرداویج شعاعی‌دیلمی^۳، اشکان بصیرنیا^۴، علیرضا پیرزاد^۵

۱- محقق مرکز تحقیقات توتون ارومیه

۲- دانشیار گروه اصلاح و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۳- محقق مرکز تحقیقات توتون رشت

۴- دانش آموخته کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۵- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

*نویسنده مسئول: r.darvishzadeh@urmia.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۱۵

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۲/۲۰

چکیده

در این مطالعه ۸ ژنوتیپ توتون (*Nicotiana tabacum* L.) تیپ ویرجینیا در شرایط آبیاری بهینه و تنش خشکی با طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار تحت شرایط مزرعه‌ای مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر عملکرد برگ خشک در شرایط بدون تنش و تنش خشکی اختلاف معنی‌دار وجود دارد. بر مبنای عملکرد برگ خشک (kg/ha) در شرایط تنش و بدون تنش خشکی، شاخص‌های کمی تحمل به خشکی از قبیل میانگین بهره‌وری، شاخص تحمل، میانگین هندسی بهره‌وری، میانگین هارمونیک، شاخص حساسیت به تنش و شاخص تحمل تنش محاسبه گردیدند. بالاترین میزان عملکرد برگ خشک هم در شرایط تنش و هم در شرایط بدون تنش خشکی متعلق به ژنوتیپ PVH19 بود. بیشترین میانگین شاخص تحمل به تنش، میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری، میانگین هارمونیک، شاخص حساسیت به تنش و شاخص تحمل به ژنوتیپ PVH19 تعلق داشت. تجزیه همبستگی بین شاخص‌ها و میانگین عملکرد برگ خشک در شرایط تنش و بدون تنش خشکی نشان داد که شاخص‌های تحمل به تنش، میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری و میانگین هارمونیک مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی می‌باشند. با استفاده از روش ترسیمی بای‌پلات، PVH19 به عنوان ژنوتیپ پرمحصول و متحمل و NC100 به عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ نسبت به تنش خشکی شناسایی شدند. در گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها به روش UPGMA بر مبنای شاخص‌های میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری، میانگین هارمونیک و شاخص تحمل تنش، ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل به خشکی PVH19، C319 و VE1 در یک گروه و ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین در شرایط تنش و بدون تنش خشکی و حساس به خشکی C347، NC100 و NC71، C258×MC944 در گروه دیگر قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، تجزیه خوشه‌ای، توتون تیپ ویرجینیا، شاخص‌های تحمل به خشکی، عملکرد.

مقدمه

گیاهان در شرایط مزرعه اغلب با تنش‌های مختلفی مواجه هستند که یکی از مهمترین آن‌ها تنش خشکی است. بر طبق گزارش‌های مختلف تاثیر کمبود رطوبت خاک بر عملکرد، بیشتر از سایر تنش‌ها است (Ashraf, 2010; Boy, 1996). کشور ایران با متوسط نزولات آسمانی ۲۴۰ میلی‌متر در زمره مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان طبقه بندی می‌گردد. در کشاورزی، تحمل به خشکی به توانایی یک گیاه زراعی در تولید محصول اقتصادی با کمترین مقدار آب در محیط اشاره دارد. تنش خشکی، عملکرد گیاهان زراعی را از طریق ممانعت از تولید بالقوه محصول محدود می‌کند. اثرات خشکی روی یک گیاه پیچیده و متغیر است و به وسیله عوامل متعددی از جمله نوع خاک، الگوی ریشه‌دهی، تراکم بوته و عوامل بیماری‌زا تحت تاثیر قرار می‌گیرد (Boyer, 1996).

توتون با نام علمی (*Nicotiana tabacum* L.) از تیره سیب‌زمینی، یکساله، روزکوتاه، خودگشن و $2n=48$ کروموزومی است. کمبود شدید رطوبت خاک در دوره رشد سریع که منطبق با ماه‌های گرم سال (خرداد تا مرداد ماه) می‌باشد، سبب کاهش کمیّت و کیفیت برگ‌های توتون می‌شود. تنش خشکی در توتون، باعث کاهش رشد، افزایش درصد روزه‌های بسته شده در سطح آناتومیکی و کاهش تبخیر و تعرق می‌شود. همچنین، میزان آلکالوئیدهای کل افزایش و میزان نشاسته با توجه به تغییرات نامنظم در مقدار کربوهیدرات‌ها کاهش می‌یابد (Davis & Nielson, 1999; Chang & Chou, 1975).

گزینش ژنوتیپ‌هایی که هم به شرایط تنش و هم بدون تنش سازگاری دارند، هدف اصلی آزمایش‌های آزمون عملکرد است (Fernandez, 1992). معیارهای مختلفی برای انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس نمودشان در محیط‌های واجد یا فاقد تنش پیشنهاد شده است. فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص حساسیت به تنش (STI) را پیشنهاد کرد که براساس عملکرد هر گیاه در دو شرایط مطلوب و تنش و مربع میانگین عملکرد تمامی گیاهان مورد آزمایش در شرایط

مطلوب می‌باشد. هر چه مقدار STI بیشتر باشد نشانه بیشتر بودن تحمل گیاه به تنش است. رزبل و هامبلین (Rosielle & Hamblin, 1981) شاخص تحمل (TOL) و شاخص بهره‌وری متوسط (MP) را معرفی نمودند که TOL تفاوت عملکرد گیاه در دو شرایط متفاوت و MP میانگین تولید در شرایط تنش و عدم تنش است. مقدار بیشتر شاخص TOL نشانه حساسیت گیاه به تنش بوده و اساساً انتخاب بر مبنای مقادیر کم TOL انجام می‌شود. ولی زیاد بودن MP تحمل بیشتر به تنش را نشان می‌دهد. فرناندز (Fernandez, 1992) و کریستین و همکاران (Kristin et al., 1997) شاخص دیگری تحت عنوان میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) را پیشنهاد نمودند. فیشر و مورر (Fischer & Maurer, 1978) نیز شاخص حساسیت به تنش (SSI) را معرفی کردند که در آن عملکرد گیاه تحت شرایط مطلوب و تنش اندازه‌گیری و شدت تنش نیز براساس میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها تحت شرایط مطلوب و تنش تعیین می‌شود. مقادیر کم SSI حاکی از تغییرات کم عملکرد گیاه در شرایط تنش در مقایسه با شرایط عدم تنش و در نتیجه تحمل بیشتر گیاه است.

حسنی و همکاران (Hassani et al., 2008) در مطالعه بر روی ارقام توتون ویرجینیا شاخص‌های STI، MP و GMP را به عنوان بهترین شاخص در تفکیک ارقام توتون متحمل به خشکی معرفی کردند. ایشان با استفاده از روش ترسیمی بای‌پلات روی شش رقم، مقایسه مقادیر شاخص‌های برتر برای هر رقم و مشاهده وضع قرار گرفتن ارقام در بای‌پلات مذکور، رقم کنتاکی‌اف 326 را به عنوان رقم پرمحصول و متحمل و رقم کوکر 347 را به عنوان حساس‌ترین رقم نسبت به تنش خشکی شناسایی کردند. هدف از این پژوهش ارزیابی تنوع ژنتیکی ارقام توتون از نظر تحمل به خشکی، انتخاب مناسب‌ترین شاخص یا شاخص‌های تحمل به خشکی و تعیین فاصله ژنتیکی ارقام جهت استفاده در برنامه‌های دورگ‌گیری به منظور بهره‌مندی از حداکثر هتروزیس می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مختصات جغرافیایی ۱۶'، ۴۹° طول جغرافیایی و ۱۶'، ۳۷° عرض جغرافیایی و ارتفاع صفر از سطح دریا اجرا گردید. حداقل، حداکثر و میانگین دما، مجموع بارندگی و متوسط رطوبت نسبی محل اجرای آزمایش در جدول ۱ آمده است.

این آزمایش با استفاده از ۸ ژنوتیپ توتون تیپ ویرجینیا شامل: R30 × N2، C319، C347، VE1، NC100، NC71، C258 × MC944 و PVH19 در دو محیط تنش خشکی و بدون تنش، در قالب دو طرح بلوک‌های کامل تصادفی هر یک با سه تکرار در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات توتون رشت با جدول ۱- مشخصات و شرایط جوی در مدت بررسی در مرکز تحقیقات توتون رشت.

Table 1- Atmospheric situations during conducting the present experiment in the Rasht Tobacco Research Center.

ردیف Row	ماه Month	میانگین رطوبت نسبی (درصد) Mean relative humidity (%)	مجموع بارندگی (میلی‌متر) Total Precipitation (mm)	درجه حرارت (Temperature °C)		
				حداکثر Min.	حداقل Max.	میانگین Average
1	فروردین (April)	87.57	85	6.42	14.8	11.81
2	اردیبهشت (May)	82.83	45	8.82	12.3	11.70
3	خرداد (June)	84.62	17	12.1	29.6	25.50
4	تیر (July)	87.41	10.5	17.5	39.8	25.25
5	مرداد (August)	81.51	37.5	18.5	39.5	26.40
6	شهریور (September)	90.45	240	14.5	29.2	21.89

جدول ۲- شاخص‌های کمی تحمل به خشکی.

Table 2- Quantitative drought tolerance indices.

نام شاخص (Index name)	معادله (Equation)	منبع (Reference)
شاخص حساسیت به تنش Stress Susceptibility Index (SSI)	$SSI = \frac{1 - (\frac{Y_s}{Y_p})}{SI}$, $SI = 1 - (\frac{Y_s}{Y_p})$	(Fischer and Maurer, 1978)
شاخص تحمل Tolerance index (TOL)	$TOL = Y_p - Y_s$	(Rosielle and Hamblin, 1981)
میانگین بهره روی Mean Productivity (MP)	$MP = \frac{Y_s + Y_p}{2}$	(Rosielle and Hamblin, 1981)
میانگین هندسی بهره روی Geometric Mean Productivity (GMP)	$GMP = \sqrt{(Y_s)(Y_p)}$	(Kristin et al., 1997)
شاخص تحمل تنش Stress Tolerance Index (STI)	$STI = \frac{(Y_s)(Y_p)}{(Y_p)^2}$	(Fernandez, 1992)
میانگین همساز Harmonic Mean (HM)	$HM = \frac{2(Y_p \times Y_s)}{Y_p + Y_s}$	(Kristin et al., 1997)

Y_p : عملکرد یک ژنوتیپ در محیط بدون تنش. Y_s : عملکرد یک ژنوتیپ در محیط تنش دار. \bar{Y}_p : متوسط عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش.

\bar{Y}_s : متوسط عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط تنش دار. SI : شدت تنش.

Y_p : Yield of a given genotype in well-watered (potential) conditions. Y_s : Yield of a given genotype in drought stressed conditions. \bar{Y}_s and \bar{Y}_p are average yield of all genotypes under drought stressed and well-watered (potential) conditions, respectively.

اساس فاصله مربع اقلیدسی استفاده و نتایج به صورت دندروگرام ارائه گردید.

نتایج و بحث

دامنه تغییرات قند های احیا کننده بین ژنوتیپهای توتون در شرایط بدون تنش بین ۲/۷۵ در ژنوتیپ Coker347 تا ۱۴/۱۳ در ژنوتیپ Coker319 بود. در شرایط تنش خشکی دامنه قند بین ۲/۸ در ژنوتیپ VE1 تا ۶/۵ در ژنوتیپ NC71 بود. در حالت کلی در تنش خشکی قندهای احیا کننده در ژنوتیپهای توتون مورد بررسی نسبت به شرایط بدون تنش کاهش نشان داد. دامنه تغییرات نیکوتین بین ژنوتیپ ها در شرایط بدون تنش بین ۲/۰۷ در ژنوتیپ VE1 تا ۳/۹۹ در ژنوتیپ MC944×C258 بود. در شرایط تنش خشکی دامنه نیکوتین بین ۲/۲۹ در ژنوتیپ PVH19 تا ۳/۶۷ در ژنوتیپ MC944×C258 بود. در تنش خشکی مقدار نیکوتین در ژنوتیپهای توتون نسبت به شرایط بدون تنش افزایش نشان داد. دامنه تغییرات کلر بین ژنوتیپها در شرایط بدون تنش و تنش خشکی بین ۰/۰۹۴ تا ۰/۰۹۶ بود و تغییرات بین ژنوتیپها محسوس نبود (جدول ۳). اختلاف بین ژنوتیپهای توتون مورد بررسی از نظر عملکرد برگ خشک در شرایط بدون تنش و تنش خشکی معنی دار ($P < 0.01$) بود که حاکی از تنوع ژنتیکی بالا بین ژنوتیپها بوده و امکان انتخاب ژنوتیپهای مقاوم به خشکی را نشان می‌دهد. مقایسه میانگین عملکرد در شرایط آبیاری بهینه و تنش خشکی نشان داد که ژنوتیپ PVH19 در شرایط آبیاری بهینه با میانگین ۱۸۷۱ و در شرایط تنش خشکی با ۱۳۲۲ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد برگ خشک را دارد (جدول ۴). بیشترین مقدار STI، MP و TOL به ترتیب با مقادیر ۱/۰۳، ۱۵۹۷ و ۵۴۸ به ژنوتیپ PVH19، میانگین هارمونیک با مقادیر ۱۵۴۹، ۱۴۶۸ و ۱۴۴۳ کیلوگرم به ترتیب به ژنوتیپهای PVH19، C319 و VE1 و کمترین مقدار شاخص حساسیت به

هر کرت شامل چهار خط کاشت به طول ۳ متر با فضای بوته ۵۰×۱۰۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌ها و بلوک‌ها به ترتیب ۱۵۰ و ۴۰۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کوددهی بر اساس توصیه مرکز تحقیقات توتون رشت با ۱۵۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم، ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل و ۲۰۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم در هکتار انجام گرفت. مقدار یک سوم کودها به صورت پایه و بقیه هنگام خاک‌دهی پای بوته اعمال گردید. عملیات کاشت، داشت و برداشت برای کلیه ژنوتیپها در دو محیط یکسان انجام گردید. آبیاری در محیط بدون تنش ۱۰-۷ روز یک بار تا برداشت و در محیط تنش خشکی فقط هنگام کاشت آبیاری انجام و بقیه دوره رشد به صورت دیم اداره گردید و آبیاری صورت نگرفت. درصد قند، نیکوتین، کلر (صفات مرتبط با کیفیت شیمیایی برگ) و عملکرد برگ خشک در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی بر اساس دستورالعمل سازمان جهانی توتون (CORESTA: <http://www.coresta.org/>) اندازه‌گیری شدند. چندین معیار گزینش برای انتخاب ژنوتیپهای متحمل بر اساس عملکرد برگ خشک در شرایط بدون تنش و تنش خشکی که توسط محققان بکار می‌روند محاسبه شد (جدول ۲). در این جدول SI (Stress intensity) شدت تنش بوده و مقدارش بین صفر و یک است. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین عملکرد ارقام در شرایط بدون تنش و تنش خشکی با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 و آزمون SNK انجام گرفت. همبستگی بین میانگین شاخص‌های محاسبه شده و عملکرد در شرایط آبیاری بهینه و تنش خشکی در نرم افزار SPSS16 محاسبه شد. به منظور انتخاب ژنوتیپ با شاخص تحمل بالا و عملکرد مناسب، از روش تجزیه به مولفه‌های اصلی و نمودار بای‌پلات استفاده شد. برای ارزیابی تنوع ژنتیکی ژنوتیپهای توتون و انتخاب ژنوتیپهای مطلوب جهت دورگ-گیری از تجزیه خوشه ای به روش UPGMA بر

جدول ۳- میانگین مقدار صفات مهم شیمیایی در ژنوتیپ‌های توتون در شرایط آبیاری بهینه و تنش خشکی.

Table 3- Mean value of some important chemical characteristics of tobacco genotypes under well-watered and drought stressed conditions.

ژنوتیپ Genotype	محیط بدون تنش (Well-watered condition)			محیط تنش (Drought stressed condition)		
	قند احیاء کننده (%) Reducing sugar (%)	نیکوتین (%) Nicotine (%)	کلر (%) Chlorine (%)	قند احیاء کننده (%) Sugar (%)	نیکوتین (%) Nicotine (%)	کلر (%) Chlorine (%)
VE1	2.98	3.82	0.096	2.80	3.36	0.094
Coker 347	2.75	3.65	0.094	4.07	3.58	0.094
Coker 319	14.13	3.43	0.096	5.90	3.56	0.096
N2×R30	5.08	2.19	0.096	5.49	2.97	0.094
MC944×C258	4.43	3.99	0.094	4.48	3.67	0.094
NC100	7.38	2.45	0.094	5.14	2.78	0.096
NC71	7.58	3.50	0.094	6.50	3.08	0.094
PVH19	7.46	2.07	0.096	6.20	2.29	0.096

گاهی اوقات با نتایج متناقض همراه است (Farshadfar *et al.*, 2000). بنابراین با استفاده از تحلیل همبستگی بین عملکرد در شرایط آبیاری بهینه و تنش خشکی و شاخص‌های کمی تحمل به خشکی می‌توان شاخص‌های تحمل را غربال و مناسب‌ترین شاخص (ها) را انتخاب نمود. مناسب‌ترین شاخص آن است که در هر دو شرایط آبیاری و تنش خشکی با عملکرد همبستگی معنی‌داری داشته باشد (Fernandez, 1992).

خشکی با میزان ۰/۶ به ژنوتیپ NC71 تعلق داشتند (جدول ۴). ژنوتیپ PVH19 با در نظر گرفتن عملکرد مطلوب در دو شرایط آبیاری بهینه و تنش خشکی و همچنین با کمترین حساسیت به تنش خشکی بر اساس شاخص‌ها می‌تواند به عنوان ژنوتیپ مناسب تحت شرایط تنش خشکی باشد. با توجه به اینکه تحمل به خشکی یک صفت پیچیده بوده و عوامل مختلفی در آن دخالت دارند، لذا قضاوت پیرامون ژنوتیپ‌ها از نظر این صفت، پیچیده و

جدول ۴- میانگین شاخص‌های کمی تحمل به خشکی و عملکرد در شرایط آبیاری بهینه و تنش خشکی در ژنوتیپ‌های توتون.

Table 4- Mean of drought tolerance indices and yield under well-watered and drought stressed conditions in tobacco genotypes.

ژنوتیپ (Genotype)	Yp	Ys	TOL	MP	SSI	GMP	HM	STI
VE1	1706 ^{ab}	1251 ^{abc}	455	1479	1.0	1461	1443	0.88
C347	1357 ^b	1105 ^{abc}	252	1231	0.7	1224	2676	0.62
C319	1709 ^{ab}	1295 ^{ab}	414	1502	0.9	1485	1468	0.9
R30×N2	1320 ^b	1059 ^{cd}	260	1190	0.73	1181	1172	0.58
C258×MC944	1546 ^{ab}	1084 ^{bcd}	462	1315	1.1	1291	1267	0.69
NC71	1519 ^{ab}	1025 ^d	494	1272	0.6	1242	1214	0.64
NC100	1504 ^{ab}	1020 ^d	484	1262	1.2	1231	1201	0.62
PVH19	1871 ^a	1322 ^a	548	1597	1.1	1573	1549	1.03
5% LSD	91.98	58.51	111.9	15.02	0.22	49.76	325.50	1.03

Yp: عملکرد یک ژنوتیپ در محیط بدون تنش. Ys: عملکرد یک ژنوتیپ در محیط تنش‌دار.

حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار است (آزمون SNK، $\alpha=5\%$).

TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌روی، SSI: شاخص حساسیت به تنش، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، HM: میانگین همساز و STI: شاخص تحمل تنش.

Yp: Yield of a given genotype in well-watered conditions. Ys: Yield of a given genotype in drought stressed conditions.

Different letters at each column show significant difference at 5% probability level (SNK).

TOL: tolerance index, MP: mean productivity, SSI: stress susceptibility index, GMP: geometric mean productivity, HM: harmonic mean, STI: stress tolerance index.

نتایج حاصل از تجزیه همبستگی شاخص‌ها با عملکرد در شرایط آبیاری (Yp) و تنش خشکی (Ys) نشان داد که بین شاخص‌های MP، HM، GMP و STI با عملکرد برگ خشک در شرایط آبیاری بهینه و تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد همبستگی معنی داری وجود دارد (جدول ۵). بنابراین می‌توان این شاخص‌ها را به عنوان مناسب‌ترین شاخص، برای غربال ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی که در شرایط آبیاری بهینه و تنش خشکی عملکرد بالایی دارند در نظر گرفت. فرناندز (Fernandez, 1992) دو شاخص STI و MP را برای غربال ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در لوبیا در نظر گرفت. کریستین و همکاران (Kristin *et al.*, 1997) در مطالعه بر روی ژنوتیپ‌های لوبیا شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) را به عنوان شاخص مطلوب انتخاب نمودند. در مطالعه انجام گرفته توسط فرشادفر و همکاران (Farshadfar *et al.*, 2000) بر روی لاین‌های نخود شاخص‌های MP، HM، GMP و STI بعنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها در نظر گرفته شدند. حسنی و همکاران (Hassani *et al.*, 2008) در مطالعه بر روی ژنوتیپ‌های توتون ویرجینیا شاخص‌های STI، MP و GMP را به عنوان بهترین شاخص‌ها در تفکیک ژنوتیپ‌های توتون متحمل به خشکی معرفی کردند.

نتایج حاصل از تجزیه همبستگی شاخص‌ها با عملکرد در شرایط آبیاری (Yp) و تنش خشکی (Ys) نشان داد که بین شاخص‌های MP، HM، GMP و STI با عملکرد برگ خشک در شرایط آبیاری بهینه و تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد همبستگی معنی داری وجود دارد (جدول ۵). بنابراین می‌توان این شاخص‌ها را به عنوان مناسب‌ترین شاخص، برای غربال ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی که در شرایط آبیاری بهینه و تنش خشکی عملکرد بالایی دارند در نظر گرفت. فرناندز (Fernandez, 1992) دو شاخص STI و MP را برای غربال ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در لوبیا در نظر گرفت. کریستین و همکاران (Kristin *et al.*, 1997) در مطالعه بر روی ژنوتیپ‌های لوبیا شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) را به عنوان شاخص مطلوب انتخاب نمودند. در مطالعه انجام گرفته توسط فرشادفر و همکاران (Farshadfar *et al.*, 2000) بر روی لاین‌های نخود شاخص‌های MP، HM، GMP و STI بعنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها در نظر گرفته شدند. حسنی و همکاران (Hassani *et al.*, 2008) در مطالعه بر روی ژنوتیپ‌های توتون ویرجینیا شاخص‌های STI، MP و GMP را به عنوان بهترین شاخص‌ها در تفکیک ژنوتیپ‌های توتون متحمل به خشکی معرفی کردند.

جدول ۵- ضرایب همبستگی شاخص‌های تحمل خشکی با عملکرد در شرایط آبیاری بهینه و تنش خشکی در ژنوتیپ‌های توتون.

Table 5- Correlation coefficient between drought tolerance indices and yield under well-watered and drought stressed conditions in tobacco genotypes.

	Yp	Ys	TOL	MP	SSI	GMP	HM
Ys	0.83 **						
TOL	0.73 **	0.28 ns					
MP	0.97 **	0.94 **	0.6 ns				
SSI	0.53 ns	-0.02 ns	0.95 **	0.6 *			
GMP	0.96 **	0.96 **	0.54 ns	1 **	0.27 ns		
HM	0.94 **	0.97 **	0.5 ns	0.99 **	0.22 ns	1 **	
STI	0.95 **	0.96 **	0.55 ns	1 **	0.3 ns	1 **	1 **

Ys عملکرد در شرایط تنش، Yp عملکرد در شرایط آبیاری بهینه، TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، SSI: شاخص حساسیت به تنش، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، HM: میانگین همساز و STI: شاخص تحمل تنش.

Yp: Yield of a given genotype in well-watered (potential) conditions. Ys: Yield of a given genotype in drought stressed conditions. TOL: tolerance index, MP: mean productivity, SSI: stress susceptibility index, GMP: geometric mean productivity, HM: harmonic mean, STI: stress tolerance index.

گروه‌های مشخصی قرار گرفتند که مرتبط با میانگین عملکرد و تحمل آنها به کمبود آب است (شکل ۱). در این بررسی اولین مولفه اصلی ۷۸/۱۸ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد و همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش و نیز شاخص‌های STI، HM، GMP و MP داشت (جدول ۶). با توجه به اینکه میزان بالای این شاخص‌ها مطلوب می‌باشد اگر میزان مولفه اول بالا باشد، ژنوتیپ‌هایی انتخاب می‌شوند که دارای عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش و همچنین STI، HM، GMP و MP بالایی هستند.

در صورت نیاز به بررسی روابط هم‌زمان بیش از سه متغیر، از ترسیم گرافیکی بای‌پلات استفاده می‌شود و بای‌پلات ابزار مفیدی برای تجزیه اطلاعات و ارزیابی نظری ساختار یک ماتریس بزرگ دوطرفه می‌باشد (Gabriel, 1979). نتایج حاصل از این تجزیه با استفاده از ماتریس ضرایب همبستگی شاخص‌ها با عملکرد برگ خشک در شرایط آبیاری بهینه و تنش خشکی و با توجه به مقادیر ویژه بزرگتر از یک نشان داد که بیشترین تغییرات بین داده‌ها توسط دو مولفه اول و دوم (۹۹/۹۴ درصد از واریانس صفات) توجیه می‌شود (جدول ۶). در فضای بای‌پلات ژنوتیپ‌ها در

جدول ۶- مقادیر ویژه، بردارهای ویژه و واریانس‌های نسبی دو مولفه اصلی شاخص‌های کمی تحمل به خشکی برای ژنوتیپ‌های توتون.

Table 6- Eigen values, eigen vectors and variances of two first PCA of drought tolerance indices for tobacco genotypes.

مولفه اصلی Principal component	مقادیر ویژه Eigen value	درصد از واریانس کل Percent of the total variance	Y _p	Y _s	TOL	MP	SSI	GMP	HM	STI
مولفه اول PCA 1	6.25	78.18	0.4	0.361	0.226	0.39	0.132	0.395	0.392	0.394
مولفه دوم PCA 2	1.74	21.82	0.113	-0.325	0.564	-0.064	0.72	-0.109	-0.15	-0.113

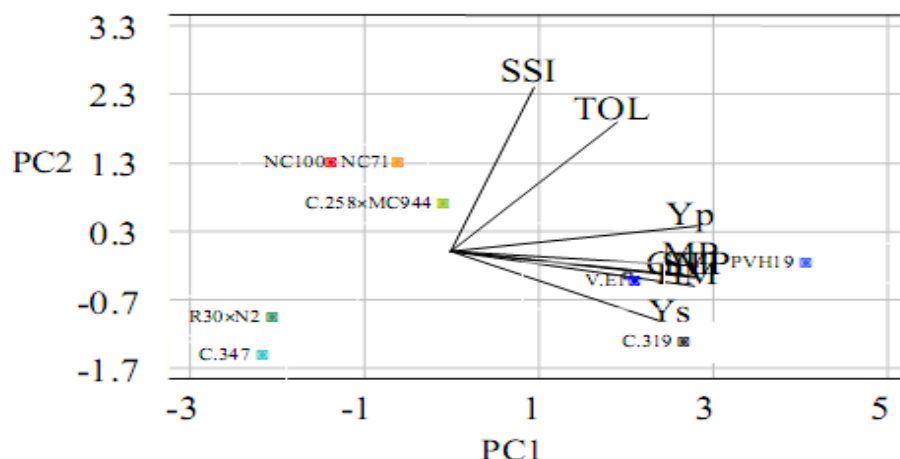
Y_s: عملکرد در شرایط تنش، Y_p: عملکرد در شرایط آبیاری بهینه، TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، SSI: شاخص حساسیت به تنش، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، HM: میانگین همساز و STI: شاخص تحمل تنش.

Y_p: Yield of a given genotype in well-watered conditions, Y_s: Yield of a given genotype in drought stressed conditions. TOL: tolerance index, MP: mean productivity, SSI: stress susceptibility index, GMP: geometric mean productivity, HM: harmonic mean, STI: stress tolerance index.

نسبت به تنش خشکی دانست. در حالت کلی ژنوتیپ PVH19 هم بر اساس نتایج بای‌پلات و هم بر اساس مقایسات میانگین در دو حالت تنش خشکی و بدون تنش می‌تواند به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ نسبت به تنش خشکی در این مطالعه در نظر گرفته شود.

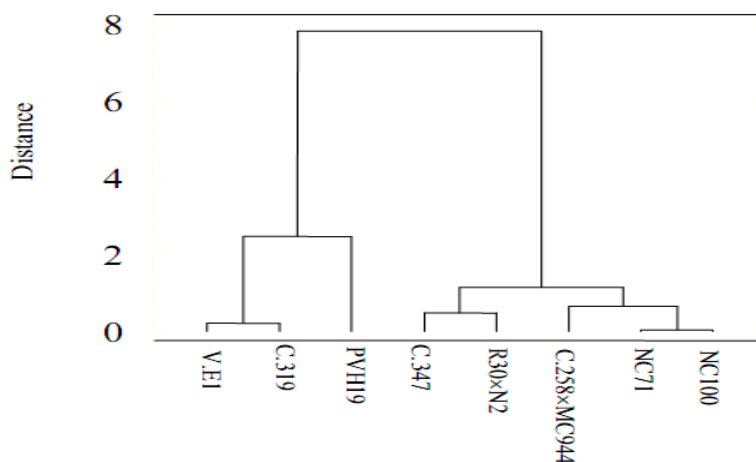
تشکیل زاویه حاده بین شاخص‌های انتخابی HM، STI، GMP و MP دلالت بر وجود همبستگی بالا بین این شاخص‌ها است. نتایج حاصل از نمودار چند متغیره بای‌پلات نشان می‌دهد که مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها، همان ژنوتیپ‌های PVH19، C319 و VE1 می‌باشند. در بین ژنوتیپ‌های انتخابی ژنوتیپ PVH19 دارای بالاترین عملکرد در شرایط آبیاری عادی (Y_p) و بالاترین سطح عملکرد در شرایط تنش خشکی (Y_s) بود، بنابراین می‌توان آنرا به عنوان بهترین ژنوتیپ در نظر گرفت. استفاده از تجزیه مؤلفه-های اصلی و نمودار بای‌پلات برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل در نخود (Farshadfar *et al.*, 2001)، گندم (Fischer & Maurer, 1978)، لوبیا (Fernandez, 1992)، نخود (Kanouni *et al.*, 2002)، توتون (Hassani *et al.*, 2008)، آفتابگردان روغنی (Abdi *et al.*, 2013; Darvishzadeh *et al.*, 2010) و آفتابگردان آجیلی (Gholinezhad *et al.*, 2014) مورد توجه قرار گرفته است.

بنابراین مولفه اول را می‌توان به عنوان مولفه پتانسیل عملکرد و تحمل به خشکی نامگذاری کرد. دومین مولفه ۲۱/۷۶ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه می‌کرد و همبستگی منفی با عملکرد در شرایط تنش و همچنین همبستگی مثبت با شاخص‌های SSI و TOL داشت (جدول ۶). بنابراین مولفه دوم را می‌توان به عنوان مولفه حساسیت به تنش نامگذاری کرد. با توجه به اینکه مقادیر پایین این شاخص‌ها مطلوبند بنابراین، اگر میزان مولفه دوم بالا باشد ژنوتیپ‌هایی انتخاب می‌شوند که دارای SSI و TOL بالا هستند، به عبارتی حساس به خشکی‌اند. بنابراین مقدار پایین این مولفه منتهی به انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و با عملکرد بالا در شرایط تنش خواهد شد. نمودار بای‌پلات نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های PVH19، C319 و VE1 در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم تحمل به خشکی یعنی HM، STI، GMP و MP قرار دارند (شکل ۱). همچنین نمودار بای‌پلات نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های C347، PVH19، C319 و VE1 در مجاورت مؤلفه اول یعنی مؤلفه پتانسیل عملکرد قرار دارند. ژنوتیپ‌های NC100 و NC71، C.258×MC944 در مجاورت بردار مربوط به شاخص SSI قرار گرفته که به معنی بالا بودن عملکرد آنها در شرایط تنش آبی و در عین حال حساسیت آنها به کمبود آب می‌باشد. به طور کلی این نوع نحوه توزیع ژنوتیپ‌ها در فضای بای‌پلات را می‌توان حاکی از وجود تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌ها



شکل ۱- نمودار بای پلات ۸ ژنوتیپ توتون در شش شاخص تحمل به خشکی بر اساس مؤلفه‌های اول و دوم در شرایط آبیاری بهینه و تنش خشکی.

Fig 1- Biplot display of 8 tobacco genotypes on 8 drought tolerance indices based on two first PCAs under well-watered (potential) and drought stressed conditions.



شکل ۲- دندوگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای به روش UPGMA برای ژنوتیپ‌های توتون بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی.

Fig 2- Dendrogram resulting from cluster analysis via UPGMA for tobacco genotypes based on drought tolerance indices.

دیگر قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های این گروه دارای Ys و Yp پایین و در عین حال حساس به خشکی هستند.

نتیجه گیری

جمع‌بندی نتایج حاصل نشان می‌دهد شاخص‌های میانگین بهره‌وری، شاخص تحمل به تنش، میانگین هندسی بهره‌وری و میانگین هارمونیک مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی می‌باشند. تجزیه خوشه‌ای نشان داد بیشترین فاصله ژنتیکی بین ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی

گروه‌بندی ارقام بر اساس ضریب فاصله مربع اقلیدسی و به روش UPGMA با استفاده از شاخص‌های میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین هارمونیک (HM) و شاخص تحمل تنش (STI) صورت گرفت (شکل ۲). ژنوتیپ‌های PVH19، C.319 و VE1 در یک گروه قرار گرفتند که همان ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا و متحمل به خشکی بودند. ژنوتیپ‌های C.347، NC71 و NC100 در گروه

ژنوتیپ پرمحصول و متحمل و NC100 به عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ نسبت به خشکی شناسایی شدند.

PVH19، C319 و VE1 و ژنوتیپ‌های حساس به خشکی C347، C258×MC944، NC71 و NC100 هست. بر اساس روش بای‌پلات، PVH19 به عنوان

References

- Abdi, N., Darvishzadeh, R. and Hatami Maleki H. 2013. Effective selection criteria for screening drought tolerant recombinant inbred lines of sunflower. *Genetika*. 45: 153-166.
- Ashraf, M. 2010. Inducing drought tolerance in plants: Recent advances. **Biotech Adv.** 28: 169-183.
- Boyer, J. S. 1996. Advance in drought tolerance in plants. **Adv. Agron.** 56: 187-218.
- Chang, C. S. and Chou, D. S. 1975. Studies on the mechanism of drought resistance in tobacco plant. *Bulletin of Taiwan Tobacco Research Institute* P. 9AI.
- Darvishzadeh, R., Pirzad, A., Hatami Maleki, H., Poormohammad Kiani, S. and Sarrafi A. 2010. Evaluation of the reaction of sunflower inbred lines and their F1 hybrids to drought conditions using various stress tolerance indices. **Span. J. Agric. Res.** 8: 1037-1046.
- Davis, D. L. and Nielson, M. T. 1999. **Tobacco: Production, Chemistry and Technology**. Blackwell Science: Malden, MA, pp 467.
- Farshadfar, E., Motalebi, M. and Imamjomeh, A. 2000. Selection for drought resistance in chickpea lines. **Iranian J. Agric. Sci.** 32: 65-77 (In Farsi with English abstract).
- Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: **Proceedings of the International Symposium on "Adaptation of vegetables and other food crops in temperature and water stress**. AVRDC Publication. Tainan, Taiwan, 13-18 August. PP. 257-27.
- Fischer, R. A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars: I. Grain yield responses. **Aust. J. Agric. Res.** 29: 897-912.
- Gabriel, K. R. 1971. The biplot graphical display of matrices with applications to principal component analysis. **Biometric** 58: 453-467.
- Gholinezhad, E., Darvishzadeh, R. and Bernousi I. 2014. Evaluation of Drought Tolerance Indices for Selection of Confectionery Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Landraces under Various Environmental Conditions. **Not. Bot. Horti. Agrobo.** 42: 187-201.
- Hassani, S., Pirdashti, H., Mesbah R. and Babaeian Jelodar N. 2008. Evaluation of drought tolerance indices in yield of six cultivars of Virginia tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). **Seed Plant** 42: 129-144 (In Farsi with English abstract).
- Kanouni, H., Kazemi Arbat H., Moghaddam, M. and Neyshabouri, M. R. 2002. Selection of chickpea entries for drought resistance. **Agric. Sci.** 12:109-122 (In Farsi with English abstract).
- Kristin, A. S., Serna, R. R., Perez, F. I., Enriquez, B. C., Gallegos, J. A. A., Vallejo, P. R., Wassimi, N. and Kelley, J. D. 1997. Improving common bean performance under drought stress. **Crop Sci.** 37: 43-50.
- Rosielle, A. A. and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. **Crop Sci.** 21: 943-946.

Evaluation of drought tolerance indices in Virginia tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) genotypes

Seyed Reza Alavi¹, Reza Darvishzadeh^{2*}, Mardavich Shoeai Deylami³, Ashkan Basirnia⁴,
Alireza Pirzad⁵

1- Staff Member of Urmia Tobacco Research Center, Urmia, Iran.

2-Associate Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Urmia University, Urmia, Iran.

3-Staff Member of Rasht Tobacco Research Center, Rasht, Iran.

4-MSc., Department of Plant Breeding and Biotechnology, Urmia University Urmia, Iran.

5-Associate Professor, Department of Agronomy, Urmia University, Urmia, Iran.

*Corresponding author: r.darvishzadeh@urmia.ac.ir

Received: 2013.05.10

Accepted: 2014.01.05

Abstract

In this study, eight flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) genotypes were evaluated in both drought stressed and well-watered conditions. In each condition, the genotypes were evaluated using a randomized complete block design with three replications. Analysis of variance revealed significant difference among tobacco genotypes for cured leaves yield in well-watered and drought stressed conditions. Based on the cured leaves yield in the drought stressed and well-watered conditions, quantitative drought tolerance indices such as mean of productivity, geometric mean of productivity, harmonic mean, tolerance index, stress susceptibility index and stress tolerance index were calculated. Genotype PVH19 had the highest cured leaves yield in well-watered and drought stressed conditions. This genotype also showed the high mean value for the different tolerance indices including stress tolerance, mean of productivity, geometric mean of productivity, harmonic mean, stress susceptibility and tolerance indices. Correlation analysis between the tolerance indices and cured leaves yield in well-watered and drought stressed conditions demonstrated that stress tolerance, mean of productivity, geometric mean of productivity and harmonic mean indices are the reliable indices for screening drought tolerant genotypes. Based on biplot analysis, PVH19 and NC100 were identified as the tolerant and susceptible genotypes to drought stress, respectively. UPGMA clusters analysis based on mean productivity, geometric mean productivity, harmonic mean, and stress tolerance indices clustered tobacco genotypes into 2 clusters. Cluster 1 includes 3 high yielding and drought tolerant genotypes: PVH19, C319 and VE1 and cluster 2 include 4 genotypes, C347, C258×MC944, NC71 and NC100 with contrast characteristic compared to cluster 1 genotypes.

Keywords: Biplot, Cluster analysis, Drought tolerance indices, Virginia tobacco, Yield.