مجله علمی ـ پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد ششم، شماره ۲(۲۲)، ۱۳۹۱، صفحه ۱۸۴-۱۷۱

بررسی عملکرد و شاخص‌های ارزیابی تنش در ژنوتیپ‌های پیشرفته جو تحت تنش خشکی انتهای فصل

حمید تجلی[۱]، سید غلامرضا موسوی[۲] و الیاس آرزمجو[۳]

چکیده

به منظور بررسی تاثیر تنش خشکی آخر فصل بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های ارزیابی تنش در ۲۰ ژنوتیپ پیشرفته جو، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بیرجند در سال زراعی ۸۷-۸۶ به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش، شامل تنش خشکی در دو سطح شاهد (آبیاری کامل) و قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد ظهور سنبله، و ژنوتیپ‌های جو شامل ۲۰ ژنوتیپ در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که قطع آبیاری به ترتیب موجب کاهش ۱۴/۶۴ و ۸/۱۲ درصدی عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک جو نسبت به تیمار آبیاری کامل گردید. بر اساس شاخص SSI ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۳، ۷، ۹، ۱۰ و ۱۵، از نظر شاخص STI و GMP ژنوتیپ‌های شماره ۵، ۸، ۱۸ و ۲۰، بر اساس شاخص MP ژنوتیپ‌های شماره ۸، ۱۸ و ۲۰ و بر اساس TOL ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۳، ۷، ۹ و ۱۰ به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی آخر فصل انتخاب شدند. جمع‌بندی نتایج حاصل از بررسی همبستگی نشان می‌دهد که شاخص‌های MP، GMP و STI بهترین شاخص‌ها برای گزینش و تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی آخر فصل در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی جو می‌باشند. با بررسی کلیه شاخص‌ها و با توجه به این که بهترین ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط عادی و حداقل کاهش عملکرد در شرایط تنش است، ژنوتیپ‌های 26216/4/Arar و 5th EBYTM83-4 به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها انتخاب گردیدند.

واژگان کلیدی: اجزای عملکرد، تنش خشکی، جو، شاخص‌های تنش، عملکرد.

۱- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان جنوبی- بیرجند (نگارنده‌ی مسئول) hamidtajali@yahoo.com
۲- عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند
تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۲۸
تاریخ پذیرش: ۹۱/۴/۲۸
۳- کارشناس ارشد زراعت، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان جنوبی- بیرجند

مقدمه

خشکی، مهم‌ترین عامل محدود کننده تولید موفقیت‌آمیز محصولات زراعی در سراسر جهان به حساب می‌آید و این عامل زمانی ایجاد می‌شود که ترکیبی از عوامل فیزیکی و محیطی باعث تنش در داخل گیاه شده و در نتیجه تولید را کاهش می‌دهد. خشکی، همچنین یک عامل کاهش دهنده عملکرد می‌باشد که این حالت حتی در مواردی که صدمه وارده مشهود نباشد، صادق است (Sarmadnia and Koochaki, 1991). انتخاب و جداکردن ژنوتیپ‌های متحمل به تنش به دو روش مستقیم (سنجش عملکرد) و غیر مستقیم (بر اساس صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک) که با تحمل تنش همبستگی دارند انجام می‌شود (Singh, 2000). در مطالعه روند رشد پنج رقم گندم دوروم به تنش خشکی، تنش خشکی قبل از گرده افشانی رشد رویشی را به تاخیر انداخت در حالی که تنش خشکی بعد از گرده‌افشانی وقوع تاریخ رسیدگی را تسریع کرد. همچنین، زمان تنش خشکی، در مدت مراحل رشد و نمو اثرات مختلفی گذاشت. تنش اول فصل، زمان گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک را به تاخیر انداخت، ولی تنش در مرحله گلدهی و انتهایی (در زمان دانه‌بندی) دوره پر شدن دانه را ۱۰ تا ۱۱ روز کوتاه‌تر کرد (Simane *et al.*, 1993). به طور کلی، اثر تنش بلافاصله قبل از مرحله گرده‌افشانی باعث کاهش تعداد سنبله در واحد سطح و تعداد دانه در سنبله می‌شود. تنش بعد از آن در گندم و جو روی اندازه دانه موثر می‌باشد و حذف آبیاری در این دوره موجب کاهش وزن هزار دانه و عملکرد دانه در هکتار می‌شود (Bidinger, 1978). جو، بیشترین حساسیت را به تنش خشکی در طول دوره ساقه‌دهی، گرده‌افشانی و ظهور سنبله دارد. چنانچه وقوع تنش خشکی قبل و در طول دوره سنبله‌دهی رخ دهد، موجب بیشترین کاهش عملکرد دانه می‌شود و نشان می‌دهد که زمان‌های گلدهی و گرده‌افشانی، حساس‌ترین دوره رشد و نمو جو به خشکی می‌باشند (Bouder, 2002).

فرناندز (Fernandez, 1992) ژنوتیپ‌ها را بر اساس عملکرد در شرایط محیطی تنش‌دار و بدون تنش به چهار گروه تقسیم‌بندی می‌کند که عبارتند از: ۱- ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط، برتر بوده و عملکرد دانه بیشتری دارند (گروه A)، ۲- ژنوتیپ‌هایی که فقط در محیط مطلوب برتر بوده و در محیط دارای تنش جزو ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین هستند (گروه B)، ۳- ژنوتیپ‌هایی که در محیط تنش دارای عملکرد نسبتاً بالا بوده و چنانچه تحت محیط بدون تنش قرار گیرند در گروه ارقام دارای عملکرد پایین قرار می‌گیرند (گروه C) و ۴- ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین در هر دو محیط بدون تنش و تنش‌دار(گروه D). هفت شاخص کمی تحمل به خشکی توسط محققان مختلف، معرفی و به کار گرفته شده‌اند که هر یک از آنها دارای مزایا و معایبی هستند.

فیشر و ماور (Fischer and Maurer, 1978) شاخص‌های تحمل SSI را برای ارزیابی ارقام متحمل پیشنهاد دادند. شاخص تحمل (TOL) و بهره‌وری متوسط (MP) توسط روزیلی و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1984) به منظور انتخاب ارقام متحمل به تنش ارایه شدند. آنها اظهار داشتند که انتخاب معیار گزینش، به هدف اصلاح‌گر بستگی دارد. اگر افزایش عملکرد در شرایط تنش مدنظر باشد، شاخص TOL می‌تواند مفید باشد، اما اگر افزایش عملکرد در هر دو محیط عادی و تنش مورد نظر اصلاح‌گر باشد، بهتر است گزینش بر اساس MP انجام شود. در بررسی سی و سه‌مرده و همکاران (Sio-Se Mardeh *et al.*, 2006) که برای ارزیابی مقاومت به خشکی ۱۱ رقم گندم نان انجام شده بود، مشخص

گردید که انتخاب ارقام بر اساس شاخص تحمل TOL، موجب کاهش عملکرد در شرایط عادی می‌شود. شاخص‌های تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) نیز توسط فرناندز (Fernandez, 1992) برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط عادی و تنش عملکرد مطلوبی تولید می‌کنند، پیشنهاد شدند. محققان در بررسی این شاخص‌ها به این نتیجه رسیدند که کارآمدی شاخص‌های انتخاب، به شدت تنش محیط هدف بستگی دارد (Blum, 1996; Panthuwan *et al.*, 2002). شاخص SSI برای اصلاح تحت تنش‌هایی با شدت کم مناسب می‌باشد، در صورتی که شاخص‌های STI، GMP و MP برای تنش‌هایی با شدت بالا پیشنهاد می‌شوند (Sio-Se Mardeh *et al.*, 2006).

با توجه به نیاز روز افزون کشور به تولید بیولوژیک و همچنین بروز خشکسالی‌های مکرر، شناسایی ارقام و ژنوتیپ‌هایی که در شرایط محدودیت آب بتوانند عملکرد قابل قبولی را تولید کنند از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. لذا هدف از این تحقیق، ارزیابی تحمل به خشکی در مرحله انتهایی رشد با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی و انتخاب بهترین معیار گزینش و ژنوتیپ‌های برتر جو می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۸۶ در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی بیرجند واقع در ۲۰ کیلومتری جاده بیرجند- خوسف با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۲ دقیقه و ارتفاع ۱۴۹۱ متر از سطح دریا به مرحله اجرا درآمد. در این آزمایش تعداد ۱۹ ژنوتیپ پیشرفته جو به همراه شاهد (جو نصرت) به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار مورد بررسی قرار گرفت (اسامی ژنوتیپ‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است). در طول دوره رشد، صفات تعداد روز تا خوشه‌دهی و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی، تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک اندازه‌گیری شدند. زمین انتخابی در سال قبل از اجرای طرح آیش بود، و بافت لومی رسی دارد. تیمارهای آزمایش، تنش خشکی در دو سطح شامل شاهد (آبیاری کامل) و قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد ظهور سنبله و ژنوتیپ‌های جو شامل ۲۰ ژنوتیپ پیشرفته در نظر گرفته شدند. در هر کرت، هر لاین بر روی ۶ ردیف به فاصله ۲۰ سانتی‌متر به طول ۶ متر کشت شد که مساحت کاشت هر کرت ۷/۲ متر مربع بود. در شرایط مطلوب رطوبتی بر اساس نیاز گیاه در مراحل مختلف نمو بر طبق عرف معمول ایستگاه، آبیاری به طریق نشتی انجام و سعی شد گیاه در مراحل حساس نمو با تنش رطوبت مواجه نشود. در شرایط تنش رطوبتی انتهایی، آبیاری از مرحله گرده‌افشانی تا انتهای دوره رشد و نمو (مرحله رسیدگی کامل) قطع شد و قبل از آن، آبیاری همانند شرایط مطلوب رطوبتی انجام شد.

ژنوتیپ‌های پیشرفته جو مورد استفاده در این طرح از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شدند. با توجه به این که غالباً همه ساقه‌های منشعب شده از بوته به خوشه‌دهی نمی‌رسد در زمان برداشت برای تعیین تعداد سنبله بارور از هر کرت به طور تصادفی یک ردیف انتخاب و به طول ۵۰ سانتی‌متر تعداد سنبله بارور را شمارش نموده و سپس از راه تناسب، تعداد سنبله بارور در ۱ متر مربع محاسبه گردید. برای تعیین تعداد دانه در سنبله با استفاده از ۲۰ سنبله که به صورت تصادفی از هر کرت برداشت شد تعداد دانه در هر سنبله شمارش و سپس میانگین تعداد دانه درسنبله محاسبه گردید. برداشت پس از رسیدگی کامل بوته، در ۱۷ خرداد ماه

۱۳۸۷ انجام شد. این عمل به کمک داس و از هر کرت نیم متر از ابتدا و انتها (به خاطر کم کردن اثر حاشیه) حذف گردید، بر این اساس مساحت برداشت هر کرت ۶ مترمربع بود. به کمک ترازوی معمولی با دقت ۰/۱، عملکرد بیولوژیک (عملکرد کل ماده خشک اندام‌های هوایی) توزین و پس از خرمن‌کوبی، عملکرد دانه هر کرت به دقت توزین شد. با شمارش تعداد هزار دانه از دانه‌های به دست آمده از هر کرت پس از برداشت و توزین آنها با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱، وزن هزار دانه مربوط به هر کرت آزمایشی تعیین گردید.

داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار SAS تجزیه و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام پذیرفت.

شاخص‌های کمّی تحمل به تنش نیز به شرح زیر محاسبه گردید:

شدت تنش: $SI = 1 - \frac{\overline{Y}_S}{\overline{Y}_P}$ (Fischer and Maurer, 1978).

شاخص حساسیت به تنش: $SSI = \frac{1 - \frac{Y_s}{Y_p}}{SI}$ (Fischer and Maurer, 1978).

شاخص تحمل: $TOL = Yp - Ys$ (Rosielle and Hamblin, 1984).

شاخص تحمل به تنش: $STI = \frac{(Y_P)(Ys)}{(\overline{Y}_p)^2}$ (Fernandez, 1992).

شاخص بهره وری متوسط: $MP = \frac{(Y_P + Y_S)}{2}$ (Rosielle and Hamblin, 1984)

شاخص میانگین هندسی بهره وری: $GMP = \sqrt{Y_P \times Y_S}$ (Fernandez, 1992).

در روابط فوق، $\overline{Y}_p$ و $\overline{Y}_s$ به ترتیب میانگین عملکرد دانه کلیه ارقام در شرایط آبیاری و تنش خشکی و Yp و Ys نیز میانگین عملکرد دانه هر یک از ارقام در این دو شرایط می‌باشد. در پایان پس از تعیین عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش، شاخص‌های MP، GMP، TOL، STI و SSI محاسبه شده و با استفاده از نرم‌افزار SAS، همبستگی بین شاخص‌ها برای تعیین بهترین شاخص محاسبه گردید. به دنبال آن با استفاده از نرم افزار STATISTICA، نمودار سه بعدی هر یک از ژنوتیپ‌ها در محدوده‌های A، B، C و D ترسیم گردید.

نتایج و بحث

اجزای عملکرد

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تنش خشکی تاثیر معنی‌داری بر تعداد سنبله در متر مربع و وزن هزار دانه (در سطح احتمال یک درصد) و تعداد دانه در سنبله (در سطح احتمال پنج درصد) داشته است؛ اثر ژنوتیپ بر تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ولی تعداد سنبله در متر مربع تحت تاثیر ژنوتیپ قرار نگرفت. در بین اثرات متقابل نیز تنها تعداد دانه در سنبله در سطح احتمال پنج درصد تحت تاثیر قرار گرفت (جدول ۲).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که قطع آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار اجزای عملکرد می‌گردد. بیشترین تعداد سنبله در متر مربع و تعداد دانه در سنبله با میانگین‌های ۵۳۴/۵ و ۴۴/۴ از تیمار شاهد یا آبیاری کامل حاصل شد. بیشترین وزن هزار دانه نیز با میانگین ۳۹/۵ گرم از همین تیمار به دست آمد، به عبارت دیگر قطع آبیاری به ترتیب باعث کاهش ۲۱/۲۷، ۳/۸۲ و ۱۲/۶۵ درصدی تعداد سنبله در متر

مربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۳). اعمال تنش خشکی در مرحله گرده افشانی موجب عقیم شدن دانه‌های گرده و اختلال در فتوسنتز جاری و انتقال مواد ذخیره شده به دانه ها می‌گردد (Richard *et al.*, 2001) که می‌تواند دلیلی برای کاهش تعداد دانه در ژنوتیپ‌ها باشد. در این تحقیق نیز تنش خشکی انتهایی (پس از ۵۰ درصد گلدهی) باعث شده که میانگین تعداد دانه در سنبله در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش کاهش یابد. به طور کلی، تعداد سنبله در متر مربع تا زمان گلدهی برای هر ژنوتیپ تعیین گردیده و تنش خشکی بعد از آن تنها می‌تواند بر باروری سنبله‌هایی که نسبتاً دیر به گل می‌روند، تاثیر گذاشته و باعث کاهش تعداد سنبله در واحد سطح گردد (Sarmadnia and Koochaki, 1991).

تنش خشکی بعد از گلدهی موجب کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش شد که این موضوع احتمالاً به دلیل کوتاه‌تر شدن طول دوره پر شدن دانه و دمای بالا طی روزهای پایانی دوره رشد بوده است. از آنجا که در شرایط گرما تعرق گیاه افزایش می‌یابد، احتمال رویارویی گیاه با تنش خشکی زیادتر می‌شود. در این صورت طول دوره رشد کاهش پیدا کرده و دانه‌ها ریزتر می‌شوند (Warrington *et al.*, 1997). در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، ژنوتیپ شماره ۱۸ دارای بیشترین تعداد سنبله در متر مربع (با میانگین ۵۳۰ سنبله در متر مربع) و کمترین وزن هزار دانه (با میانگین ۳۳/۱ گرم) در بین سایر ژنوتیپ‌ها بود. بیشترین تعداد دانه در سنبله نیز با میانگین ۵۲/۳ و ۵۲/۱ عدد مربوط به ژنوتیپ‌های شماره ۱۲ و ۱۴ بود. بیشترین وزن هزار دانه با میانگین ۴۳/۲ و ۴۲/۸ گرم مربوط به ژنوتیپ‌های شماره ۲ و ۱۱ بود (جدول ۳).

عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۲ نشان می‌دهد که تنش خشکی تاثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک جو داشته است. مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که قطع آبیاری پس از ۵۰ درصد گلدهی منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و بیولوژیک می‌گردد، بیشترین عملکرد دانه و بیولوژیک با میانگین‌های ۲۹۳۲/۳ و ۶۱۷۵ گرم در پلات از تیمار آبیاری کامل و کمترین آنها با میانگین‌های ۲۵۰۲/۹ و ۵۶۷۳ گرم در پلات از تیمار قطع آبیاری در ۵۰ درصد گلدهی حاصل شد (جدول ۳). به عبارت دیگر، قطع آبیاری به ترتیب موجب کاهش ۱۴/۶۴ و ۸/۱۲ درصدی عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک جو نسبت به تیمار آبیاری کامل گردید.

همان‌طوری که مشاهده می‌گردد، عملکرد بیولوژیک جو نسبت به عملکرد دانه کمتر تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفت، با توجه به این که تنش خشکی در مرحله ظهور سنبله اعمال گردیده است در عمل، گیاه تقریباً به مراحل انتهایی رشد خود رسیده و بنابراین تنش خشکی در این مرحله نمی‌تواند اثر چندانی بر عملکرد بیولوژیک گیاه داشته باشد، در حالی که عملکرد دانه در این مرحله شکل می‌گیرد و بروز خشکی به هنگام پر شدن دانه باعث کاهش طول دوره پر شدن دانه می‌گردد و این موضوع باعث می‌شود که عملکرد دانه به شدت تحت تاثیر تنش خشکی قرار گیرد. کمبود آب در مرحله گرده‌افشانی، کاهش تعداد دانه را به دنبال دارد و در بسیاری از غلات بیشترین کاهش عملکرد، در تنش مرحله گرده‌افشانی اتفاق می‌افتد. در مورد عدم معنی‌دار شدن شاخص برداشت در بین تیمارهای آبیاری نیز نتایج برخی محققین نشان از ثبات نسبی این شاخص

در شرایط رطوبتی مختلف دارد (Turk and Hall, 1980).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این آزمایش تفاوت معنی‌داری از لحاظ عملکرد بیولوژیک وجود ندارد ولی تفاوت معنی‌داری از لحاظ عملکرد دانه در سطح یک درصد بین این ژنوتیپ‌ها مشاهده گردید (جدول ۲). ژنوتیپ ۱۱ بیشترین عملکرد بیولوژیک (با میانگین ۶۷۱۶/۷ گرم در پلات) و ژنوتیپ ۲ کمترین عملکرد بیولوژیک (با میانگین ۵۰۸۳/۳ گرم در پلات) را داشتند، از لحاظ عملکرد دانه نیز ژنوتیپ ۱۸ بیشترین (۳۵۹۸/۳ گرم در پلات) و ژنوتیپ ۱۶ کمترین عملکرد دانه (۲۰۵۲/۵ گرم در پلات) را به خود اختصاص دادند. اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر عملکرد دانه و بیولوژیک معنی‌دار نبود (جدول ۲).

شاخص‌های ارزیابی تنش

مقادیر عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Yp) و عملکرد دانه در شرایط تنش (Ys) و شاخص‌های ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در جدول ۴ آورده شده است. در این پژوهش، شدت تنش (SI) برابر ۰/۱۷ برآورد شد. در این آزمایش تنش خشکی آخر فصل باعث کاهش ۱۷ درصدی عملکرد دانه گردید. بر اساس شاخص حساسیت به تنش (SSI) که مقادیر پایین عددی آن نشان‌دهنده تحمل بالاتر رقم نسبت به تنش می‌باشد (Choukan *et al.*, 2006)، ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۳، ۷، ۹، ۱۰ و ۱۵ به ترتیب با عملکردهای ۴/۸۷، ۵/۴۱، ۵/۱، ۵/۰۰، ۵/۰۴ و ۴/۶۰ تن در هکتار، به عنوان ارقام متحمل به تنش شناخته شدند (جدول ۴). ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از شاخص SSI، مواد آزمایشی را فقط بر اساس مقاومت و حساسیت به تنش دسته‌بندی می‌کند و به عبارت دیگر با استفاده از این شاخص می‌توان ژنوتیپ‌های حساس و متحمل به تنش را بدون توجه به پتانسیل عملکرد آنها مشخص نمود (Naderi *et al.*, 2000). مشاهدات فوق بیان‌گر این حقیقت است که این ژنوتیپ‌ها نه به دلیل تولید عملکرد مناسب در شرایط تنش، بلکه صرفاً به علت پایین بودن درصد تغییر عملکرد، توسط این شاخص به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ ها به تنش شناسایی شد. یکی از معایب شاخص SSI این است که این شاخص نسبت عملکرد در شرایط دارای تنش به شرایط بدون تنش را برای هر ژنوتیپ در مقایسه با همین نسبت برای کل ژنوتیپ‌های موجود در آزمایش اندازه‌گیری می‌کند؛ بنابراین دو ژنوتیپ با عملکرد زیاد و کم می‌توانند مقدار SSI یکسانی داشته باشند (Clarke and Mc Caig, 1982).

نمودار سه بعدی پراکنش ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص STI در شدت تنش ۰/۱۷ در شکل ۱ نشان داده شده است. از نظر شاخص تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) که مقادیر بالای شاخص، نشان‌دهنده متحمل‌تر بأأودن ارقام می‌باشد، ژنوتیپ‌های ۵، ۸، ۱۸ و ۲۰ به ترتیب با عملکردهای ۵/۳، ۵/۰۵، ۶/۲۳ و ۵/۷۳ تن در هکتار به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش تعیین شدند (جدول ۴). طبق نظر فرناندز (Fernandez, 1992)، بهترین شاخص برای گزینش ارقام، شاخص تحمل به تنش (STI) می‌باشد چون قادر است ارقامی را که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش بالا، عملکرد بالایی دارند (گروه A) را از دو گروه ارقامی که فقط در شرایط بدون تنش (گروه B) و یا فقط در شرایط تنش (گروه C) عملکرد نسبتاً بالایی دارند تفکیک نماید. شاخص تحمل به تنش (STI) ژنوتیپ‌هایی را گزینش می‌کند که در هر دو محیط دارای تنش و بدون تنش، عملکرد بالایی دارند (Fernandez, 1992).

استفاده از شاخص بهره‌وری متوسط (MP) که مقادیر بالای عددی آن نشان‌دهنده تحمل نسبی به تنش می‌باشد، اغلب منجر به گزینش ارقامی با عملکرد بالا در شرایط عادی ولی کم تحمل به شرایط تنش می‌گردد. در این بررسی، شاخص MP، ژنوتیپ‌های ۸، ۱۸ و ۲۰ را به عنوان ارقام متحمل به تنش شناسایی کرد (جدول ۴). اگرچه احمدزاده (Ahmadzadeh, 1997) این شاخص را معیار مناسبی برای گزینش لاین‌های پرمحصول و متحمل به خشکی ذرت معرفی کرده ولی سی و سه مرده و همکاران (Sio-Se Mardeh *et al.*, 2006) گزارش دادند که شاخص MP زمانی برای انتخاب ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش بازده دارد که شدت تنش زیاده نبوده و اختلاف بین عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش نیز خیلی زیاد نباشد.

در شاخص تحمل (TOL) نیز مقادیر عددی پایین، نشان‌دهنده تحمل نسبی ارقام می‌باشد. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها از نظر این شاخص مشخص کرد که ژنوتیپ‌های ۲، ۳، ۷، ۹ و ۱۰ به ترتیب با عملکردهای ۴/۸۷، ۵/۴۱، ۵/۱، ۵/۰۰ و ۵/۰۴ تن در هکتار، ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی شدند (جدول ۴). انتخاب بر اساس شاخص TOL اغلب موجب انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که در شرایط بدون تنش عملکرد پایین‌تری دارند (Rosielle and Hamblin, 1984). در حقیقت شاخص TOL به نوعی بیان‌گر تغییر حاصل از اعمال تنش می‌باشد، به عبارتی ژنوتیپ‌هایی که دارای شاخص TOL کمتری هستند در محیط تنش تغییر عملکرد کمتری از خود نشان می‌دهند. نکته قابل ذکر دیگر در مورد این شاخص این است که پایین بودن شاخص TOL الزاماً به معنای بالا بودن عملکرد رقم در محیط بدون تنش نمی‌باشد چرا که ممکن است عملکرد رقمی در شرایط عادی پایین باشد و در شرایط تنش نیز با افت کمتری همراه باشد که باعث کوچک شدن شاخص TOL شود و در نتیجه این رقم به عنوان رقم متحمل معرفی شود (Naeemi *et al.*, 2008) که در مورد ژنوتیپ شماره ۲ در این آزمایش صدق می‌کند.

همبستگی بین شاخص‌ها و عملکرد دانه

مناسب‌ترین شاخص برای گزینش ارقام متحمل به تنش، شاخصی است که دارای همبستگی نسبتاً بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط بدون تنش و تنش باشد، بنابراین با ارزیابی میزان همبستگی بین شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد دانه در دو محیط بدون تنش و تنش، شناسایی مناسب‌ترین شاخص امکان‌پذیر می‌باشد (Naeemi *et al.*, 2008). نتایج حاصل از بررسی همبستگی بین شاخص‌های ذکر شده و عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل و تنش در جدول ۵ آورده شده است. عملکرد در شرایط تنش (Ys) با شاخص‌های MP، GMP، STI همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و با شاخص TOL و SSI ارتباط منفی داشته که این رابطه با شاخص SSI در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. عملکرد دانه در شرایط بدون تنش یا Yp با شاخص‌های STI، GMP، TOL و MP همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و با شاخص SSI همبستگی معنی‌داری در سطح ۵ درصد نشان داد (جدول ۵). در نتایج بررسی شفازاده و همکاران (Shafazadeh *et al.*, 2004) چنین عنوان شده است که سه شاخص STI، GMP و MP، همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد ژنوتیپ‌های گندم در هر دو محیط تنش و بدون تنش داشته و به همین دلیل شاخص‌های مناسبی برای غربال کردن ژنوتیپ‌های دارای پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به تنش خشکی می‌باشند که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد.

به اعتقاد فرناندز (Fernandez, 1992)، انتخاب بر اساس MP موجب گزینش ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا و انتخاب بر پایه SSI باعث گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش ولی با پتانسیل عملکرد پایین می‌گردد و این که بهترین شاخص برای

گزینش ژنوتیپ‌ها، شاخص‌های STI و GMP می‌باشند چراکه قادر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش، عملکرد بالایی تولید می‌کنند، هستند.

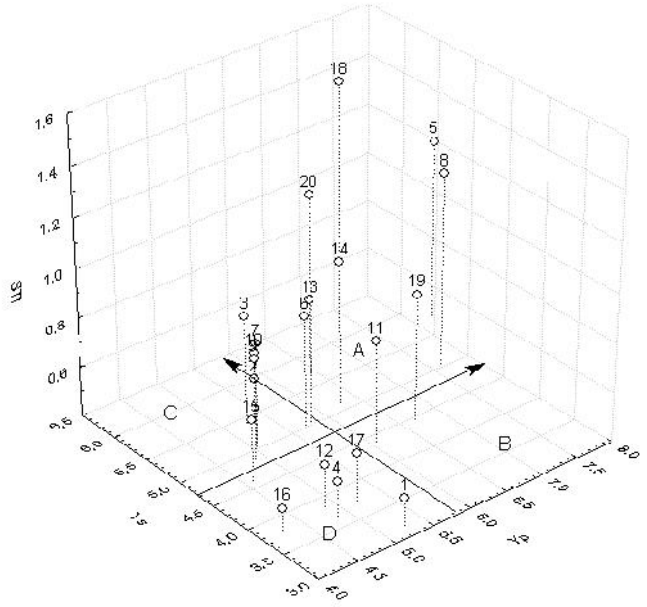
نتیجه‌گیری کلی

جمع‌بندی نتایج حاصل از بررسی عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی انتهای فصل رشد گیاه و بدون تنش می‌دهد که شاخص‌های MP، GMP، STI بهترین شاخص‌ها برای گزینش و تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش آخر فصل در بین ژنوتیپ‌های جو می‌باشند. ژنوتیپ‌های ۱۸ و ۲۰، توسط شاخص‌های مختلف به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی آخر فصل شناسایی گردیدند.

جدول ۱- نام ژنوتیپ‌های جو استفاده شده در آزمایش

Table 1- Names of barley genotypes used in the experiment

ژنوتیپ‌ها genotypes	نام و شجره ژنوتیپ‌ها genotypes name and pedigree	تعداد پر number of rows
1	MB73-6 (nosrat-control)	6
2	Felicie/4/WI2269/3/Roho//Alger/Ceres362-1-1	2
3	Courlis/Rhn-03	6
4	VIOLETA/MJA/7/ABN-B/6/BA/GAL//FZA-….A*3/4/TRY/GAL	6
5	Lignee527/NK1272//JLB70-63	6
6	Manal/Alanda-01	6
7	Comp.Cr229//As46/Pro/3/Srs/4/Express	6
8	Gob96Dh/3/ND10277/Shyri/ND11231/Shyri/4/Azaf	6
9	ATACO/COMINO//ALELI	6
10	CABUYA/4/GLORIA-BAR/COPAL//BEN.4D/3/S.P-B/8/….N/7/MJA	6
11	AYAROSA/BLLU//CALI92	6
12	CLN-B/80.5138//GLORIA-BAR/COPAL/3/CARDO/4/CABUYA	6
13	AYAROSA/BLLU//CALI92	6
14	CABUYA/4/GLORIA-BAR/COPAL//...2/TERN-B//H272/6/SEN/7/MJA	6
15	ANTARTICA 6/3/MPYT169.1...LORIA-BAR/COPAL/3/SUTTER	6
16	Alanda//Lignee527/Arar/4/.../Alanda/5/TunLB-923137/Noor17	6
17	NK1207/3/Api/CM67//Mona/4/Aths/Lignee686	6
18	26216/4/Arar/3/Mari/Aths*2//M-Att-73-337-1	6
19	ND155.77//MATNAN/EH165/3/POLEO//BREA/DL70/4/IBTA80/5/BLLU	6
20	5th EBYTM83-4(24569/3/L.640/Bgs//Cel)	6



شکل ۱- پراکنش ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد دانه در شرایط تنش آخر فصل و بدون تنش و شاخص STI

Figure 1- Genotypes scattering based on seed yield in end- season drought stress, non-stress conditions and STI index

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد ۲۰ ژنوتیپ پیشرفته جو تحت تنش خشکی آخر فصل

Table 2- Analysis of variance for yield and yield components of 20 promising genotypes under end season drought stress

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Means of square				
		وزن هزار دانه 1000 Seed weight	تعداد دانه در سنبله no. seed per spike	تعداد سنبله در متر مربع no. spike per m^2	عملکرد بیولوژیک biological yield	عملکرد دانه seed yield
تکرار replication	2	2.65	55.03	14390.8	2264333.3	198171.6
تنش خشکی drought stress	1	762.04**	85.01*	387603.3**	7550083.3**	5531530.7**
خطای اصلی main error	2	35.02	3.23	19800.8	2842333.3	31117.3
ژنوتیپ genotype	19	46.88**	405.21**	8128.7 ns	618153.5 ns	1108268.3**
تنش خشکی× ژنوتیپ genotype×drought stress	19	11.81 ns	34.32*	6671.7 ns	711486.8 ns	535698.6 ns
خطای فرعی sub error	76	10.62	17.85	96440.07	708333.3	370098.3
ضریب تغییرات CV (%)		8.79	9.70	20.55	14.20	22.38

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

ns, * and **: non significant, significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده تحت تنش خشکی آخر فصل

Table 3- Mean comparisons of measured traits under end- season drought stress condition

تیمارها treatments	تعداد روز تا سنبله‌دهی day to spike emergence	تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی day to physiological maturity	تعداد دانه در سنبله no. seed per spike	تعداد سنبله در متر مربع no. spike per m^2	وزن هزار دانه 1000 seed weight (g)	عملکرد بیولوژیک biological yield ($g.plot^{-1}$)	عملکرد دانه seed yield ($g\ plot^{-1}$)
			تنش خشکی drought stress				
شاهد control	100.3 a	139.8 a	44.4 a	534.5 a	39.5 a	6175 a	2932.3 a
قطع آبیاری withholding irrigation	99.7 b	134.5 b	42.7 b	420.8 b	34.5 b	5673 b	2502.9 b
			ژنوتیپ genotype				
1	100.1 bcdef	137.6 bcd	47.6 abc	425 ab	35.3 bcde	5833.3 ab	2210 cd
2	99.5 def	137 bcd	42.3 cd	513.3 ab	43.2 a	5083.3 b	2833.3 abcd
3	99.3 def	136.6 bcd	45.6 bcd	493.3 ab	39.1 abc	6300 a	2618.3 cd
4	100.3 bcde	136.8 bcd	40.6 d	383.3 b	33.8 ed	5883.3 ab	2212.5 cd
5	98.1 f	134.6 cd	48.6 ab	468.3 ab	37.6 bcd	6016.7 ab	3535.8 ab
6	102 b	140.1 ab	49.5 ab	505 ab	34.8 cde	5683.3 ab	2566.7 cd
7	100.5 bcde	137.5 bcd	46.6 abc	431.6 ab	34.8 cde	6333.3 a	3541.7 ab
8	100.3 bcde	138.1 bc	48.3 ab	498.3 ab	39.6 ab	6050 ab	3541.7 ab
9	98.8 ef	138.8 bc	50 ab	435 ab	36.8 bcde	6000 ab	2782.5 cde
10	99 ef	135.8 bcd	29.3 ef	465 ab	38.4 bc	5783.3 ab	2623.2 cd
11	99.3 def	132.5 d	26 f	488.3 ab	42.8 a	6716.7 a	2593.3 cd
12	99.1 ef	136.1 bcd	52.3 a	488.3 ab	38.6 bc	5883.3 ab	2367.5 cd
13	99.8 cdef	135 bcd	27.5 ef	475 ab	39.5 ab	5800 ab	2680 cd
14	96.3 g	135 bcd	52.1 a	511.6 ab	36.2 bcde	5666 ab	2987.5 abc
15	99 ef	136.3 bcd	46.8 abc	455 ab	34.7 cde	6066 ab	2532.5 cd
16	100.5 bcde	137.1 bcd	48.1 ab	475 ab	35.9 bcde	5750 ab	2052.5 d
17	101.8 bc	136.3 bcd	31.5 e	508.3 ab	35.1 cde	5733.3 ab	2391.7 cd
18	104.6 a	144.3 a	46.8 abc	530 a	33.1 e	6066.7 ab	3598.3 a
19	100.8 bcde	137.8 bc	44.6 bcd	516.6 ab	34.9 cde	5866.7 ab	2845.8 abcd
20	101.3 bcd	140.1 ab	46.3 bc	486.6 b	36.6 bcde	5966.7 ab	2698.3 cd

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد نمی‌باشند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5%, level of probability using Duncan's test.

جدول ۴- مقادیر عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش، شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی

Table 4- Yields of genotypes under end- season stress and non-stress drought conditions; tolerance and susceptibility indices to drought stress

ژنوتیپ‌ها genotypes	Yp (ton ha^{-1})	Ys (ton ha^{-1})	SSI	TOL	STI	MP	GMP
1	5.28	3.17	2.31	2.10	0.51	4.22	4.09
2	4.88	4.87	0.009	0.008	0.73	4.87	4.87
3	5.25	5.41	0.009	0.008	0.84	5.24	5.24
4	4.87	3.67	1.42	1.20	0.54	4.27	4.23
5	7.75	5.30	1.83	2.45	1.26	5.52	6.40
6	5.67	4.99	0.69	0.68	0.86	5.33	5.32
7	5.12	5.10	0.02	0.025	0.80	5.11	5.11
8	7.66	5.05	1.97	2.08	1.18	6.36	6.22
9	5.01	5.01	0.009	0.008	0.77	5.01	5.01
10	5.05	5.04	0.009	0.008	0.78	5.04	5.04
11	6.08	4.39	1.61	1.69	0.81	5.23	5.16
12	4.88	3.86	1.20	1.01	0.57	4.37	4.34
13	5.80	5.05	0.74	0.74	0.90	5.42	5.41
14	6.28	5.12	1.06	1.12	0.98	5.70	5.67
15	4.61	4.60	0.01	0.01	0.65	4.61	4.61
16	4.26	3.80	0.63	0.46	0.49	4.03	4.02
17	5.20	3.75	1.24	1.45	0.59	4.47	4.41
18	7.33	6.23	0.87	1.10	1.40	6.78	6.76
19	6.69	4.46	1.92	2.22	0.91	5.57	5.46
20	6.43	5.73	0.63	0.7	1.13	6.08	6.07
میانگین Means	5.70	4.72					

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل، حساسیت به خشکی و عملکرد دانه

Table 5- Correlation coefficients between tolerance and susceptibility indices and seed yield

	Yp	Ys	TOL	SSI	STI	MP	GMP
Yp	1.00	0.54**	.69**	0.51*	0.90**	0.91**	0.89**
Ys		1.00	-0.22 ns	-0.42*	0.85**	0.83**	0.86**
TOL			1.00	0.96**	0.31 ns	0.34 ns	0.28 ns
SSI				1.00	0.10 ns	0.12 ns	-0.06 ns
STI					1.00	0.99**	0.99**
MP						1.00	0.99*
GMP							1.00

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

ns, * and **: non significant, significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively.

References منابع مورد استفاده

- Ahmadzadeh, A. 1997. Definition of the best drought tolerant index in corn selective lines. M.Sc thesis in plant improvement. College of Agriculture, University of Tehran. 238 p. (in Persian).
- Bidinger, F.R., 1978. Yield physiology under drought stress: Comparative response of wheat and barley. *Dissertation Abstracts International*. 4573-4574. (in Persian).
- Blum, A. 1996. Crop response to drought and the interpretation of adaptation. *J. Plant. Growth. Regul*. 20: 135-148.
- Choukan, R., T. Taherkhani, M.R. Ghannadha, and M. Khodarahmi. 2006. Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. *Iranian. J. Agric. Sci*. 8 (1): 79-89. (in Persian).
- Clarke, J.M., and T.N. Mc Caig. 1982. Evaluation of techniques for screening for drought resistance in wheat. *Crop Sci*. 22: 503-506.
- Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C.G. (Ed), Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress, Publication, Tainan, Taiwan.
- Fischer, R.A., and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Part 1: grain yield response. *Aust. J. Agr. Res*. 29: 897- 912.
- Naderi, A., E. Majidi-Hervan, A. Hashemi-Dezfoli, A. Rezaei, and G. Nour mohammadi. 2000. Efficiency analysis of indices for tolerance to environmental stresses in field crops and introduction of a new index. *Plant and Seed J.* 15 (4): 390-402. (in Persian).
- Naeemi, M., Gh.A. Akbari, A.H. Shirani Rad, S.A.M. Modares Sanavi, S.A. Sadat Nuri, and H. Jabari. 2008. Evaluation of drought tolerance in different canola cultivars based on stress evaluation indices in terminal growth duration. *EJCP*. 1 (3): 83-98
- Panthuwan, G., S. Fokai, M. Cooper, S. Rajatasereekul, and J.C. O,Toole. 2002. Yield response of rice genotypes to different types of drought under rainfed lowlands. Part1: grain yield and yield components. *Field Crops Res*. 41: 45-54.
- Richard, R.A., A.G. Condon, and G.J. Rebetzke. 2001. Traits to improve yield in dry environments. In: Reynolds, M. P., J.U. Ortiz-Monasterio, and A., Mcnab (ds). Application of physiology in wheat breeding. Mexico: CIMMYT.
- Rosielle, A.A., and J. Hamblin. 1984. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Sci*. 21: 943-946.
- Sadeghzade-Ahari, D. 2006. Evaluation for tolerance to drought stress in dryland promising durum wheat genotypes. *Iranian J. Crop. Sci*. 8 (1): 30-45. (in Persian).
- Sarmadnia Gh., and A. Koochaki. 1991. Physiological aspects of dry land cultivation. 2th edition. University of Mashhad Publication. 426 pp. (in Persian).

- Shafazadeh, M.K., A. Yazdansepas, A. Amini, and M.R. Ghannadha. 2004. Study of terminal drought tolerance in promising winter and facultative wheat genotypes using stress susceptibility and tolerance indices. *Plant and Seed J*. 20 (1): 57-71. (in Persian).
- Simane, B., J.M. Peacock, and P.C. Struik. 1993. Differences in developmental plasticity and growth rate among drought resistant and susceptible cultivars of durum wheat. *Plant and Soil*. 157: 155-166.
- Singh, B.D. 2000. Plant breeding-principles and methods. Kalyani Publisher. 896pp.
- Sio-Se Mardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini, and V. Mohammadi. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Res*. 98: 222-229.
- Turk, J., and A.E. Hall. 1980. Drought adaptation of cowpea. III. Influence of drought on plant growth and relations with seed yield. *Agron. J.* 72 (3): 428-433.
- Warrington, I.J., R.I. Dunstone, and L.M. Green. 1997. Temperature effects at three development stages on the yield of the wheat ear. *Aust. J. Agric. Res*. 28: 11-27.

Evaluating Yield and Drought Stress Indices under End Season Drought Stress in Promising Genotypes of Barley

Tajalli, H.[1]*, S.Gh. Mousavi[2], and E. Arazmjo[3]

Abstract

To study the effects of end season drought stress on yield, yield components and drought stress indices in barley, a split plot experiment arranged in randomized complete block design with three replications was conducted at the Agricultural Research Center of Birjand in 2008-2009 crop years. Drought stress, in 2 levels, consists of control (complete irrigation) and stopping irrigation at the 50% of heading stage, and 20 promising genotypes of barley were the treatments of the experiment. Results revealed that stopping irrigation lead to declining of 14.64 and 8.12 percent of seed and forage yields against control condition, respectively. Using stress susceptibility index (SSI) indicated that genotypes 2, 3, 7, 9, 10 and 15; using STI and GMP indices, genotypes 5, 8, 18 and 20 using MP, genotypes 8, 18 and 20, and TOL, genotypes 2, 3, 7, 9, and 10, were the most drought tolerant genotypes. Correlation between seed yield and stress evaluation indices showed that MP, GMP and STI are the best indices to be used in selection and introducing drought tolerant genotypes of barley. Considering all indices, and given that the best genotypes are those with high yield under normal condition and minimum yield reduction under drought stress, No. 18 and 20 could be introduced as the most tolerant barley genotypes to drought.

Keyword: Barley, Drought indices, Drought stress, Yield, Yield components.

1- Staff member, Southern Khorasan Agriculture and Natural Resources Research Center, Birjand, Iran.
2- Staff member, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran.
3- Msc. of Southern Khorasan Agriculture and Natural Resources Research Center, Birjand, Iran.
***Corresponding Author**: hamidtajali@yahoo.com*