نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵، ص. ۶۱۷-۵۹۹

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 14, No. 4, Winter. 2017, p. 599-617

تأثیر تنش رطوبتی بر صفات زراعی و مورفولوژیک لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم

حامد نوری‌زاده[۱]- محمد حسین اهتمام[۲]*- احمد ارزانی[۳]- محسن اسماعیل‌زاده مقدم[٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۳۱

چکیده

به‌منظور ارزیابی آثار تنش رطوبتی بر صفات زراعی و مورفولوژیک لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم، مطالعه‌ای با استفاده از ۱۶۹لاین در قالب دو طرح لاتیس جداگانه (تنش رطوبتی و شاهد) اجرا شد. دو رژیم رطوبتی مشتمل بر آبیاری بر اساس ۷۰ و ۱۳۰میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A و همین‌طور درصد رطوبت وزنی خاک استفاده شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تفاوت بین لاین‌ها در شرایط عادی رطوبتی برای کلیه صفات به‌جزء تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله، طول سنبله، تعداد روز تا گرده‌افشانی و تعداد روز تا رسیدگی معنی‌دار بوده است. در شرایط تنش رطوبتی نیز تفاوت لاین‌ها برای همه صفات به‌جزء تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه و طول سنبله معنی‌دار بود. تنش رطوبتی موجب کاهش تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا گرده‌افشانی، تعداد روز تا رسیدگی، تعداد سنبله در واحد سطح، طول سنبله، ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت گردید. وراثت‌پذیری خصوصی شاخص برداشت در شرایط عدم تنش رطوبتی کمتر از شرایط اعمال تنش بود. بیش ترین وراثت پذیری خصوصی در شرایط معمول رطوبتی به تعداد سنبله در واحد سطح (۷۷درصد) و در شرایط تنش رطوبتی به عملکرد دانه (۸۴درصد) اختصاص داشت. نتایج رگرسیون مرحله‌ای در شرایط تنش رطوبتی نشان داد که تعداد سنبله در واحد سطح اولین متغیر وارد شده به مدل بوده است که به‌تنهایی ۶۵درصد از تغییرات عملکرد دانه را تبیین نمود.

واژه‌های کلیدی: اجزاء عملکرد، تنش خشکی، عملکرد دانه، شاخص تحمل به خشکی، طرح لاتیس

مقدمه

تنش رطوبتی که از عمده ترین تنش های محیطی می باشد و خسارت سنگینی را بر محصولات عمده کشاورزی در بسیاری از نقاط جهان وارد می نماید، ممکن است در هر مرحله از رشد گیاه از جوانه زنی تا رسیدگی رخ داده و میزان تولید را تحت تأثیر قرار دهد (Richards *et al.*, 2001). با توجه به گستردگی سطح زیر کشت گندم و متفاوت بودن محیط‌های کشت آن از نظر خصوصیات اقلیمی هر منطقه، شناسایی مرحله یا مراحل بحرانی رشد و نمو یا زمان حساسیت شدید گیاه به خشکی از اهمیت زیادی برخوردار است. مراحل گرده‌افشانی و پُرشدن دانه‌ها جزء بحرانی‌ترین مراحل نمو گندم و حساس‌ترین زمان‌ها نسبت به تنش رطوبتی می‌باشد (Pierre *et al.*, 2008).

نتایج مطالعات نشان داده است که تحت شرایط تنش رطوبتی، کاهش در عملکرد و اجزاء عملکرد در گونه‌های گندم نان و دوروم وجود دارد. تردیدی نیست که این پدیده حتی عملکرد ژنوتیپ‌هایی که تحمل بیش‌تری دارند را نیز کاهش می‌دهد (Johnson and Wichern, 2007). افزایش عملکرد در شرایط کمبود آب به مدیریت لازم برای حداکثر کردن آب قابل‌دسترس نیاز دارد (Abdolshahy *et al.*, 2010) . با توجه به ابعاد و مشکلات ناشی از تنش رطوبتی، ارائه راه‌کارهای به‌نژادی و به‌زراعی برای کاهش خسارت به محصول حائز اهمیت است. مواجه‌بودن بخش زیادی از اراضی زیر کشت گندم ایران با تنش رطوبتی باعث شده است که تولید این محصول محدود گردیده و بنابراین اصلاح برای تحمل به خشکی به عنوان یک هدف مهم در طرح‌های اصلاحی غلات مدّ نظر می‌باشد (Arzani, 2002). در این راستا شناسایی و گزینش خصوصیاتی از گندم که در شرایط تنش رطوبتی در افزایش عملکرد دانه مؤثر هستند باید مورد توجه جدّی قرار گیرند. Gooding *et al.*, 2003 در آزمایش بررسی شدت و زمان اعمال تنش رطوبتی در گندم گزارش دادند که تنش رطوبتی با کوتاه‌کردن دوره پُرشدن دانه، باعث کاهش عملکرد دانه، وزن هزار دانه و وزن هکتولیتر شده و بیش‌ترین تأثیر آن در دوره پُرشدن دانه، بین روزهای اول تا چهارم بعد از گرده‌افشانی می‌باشد.

تولید گندم را می‌توان از طریق ایجاد ارقامی که ظرفیت عملکرد بالاتری در تنش‌های مختلف از جمله تنش رطوبتی دارند، افزایش داد (Gouranga *et al.*, 2007). این موضوع از اهداف درازمدت

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اصلاح نباتات
۲- استادیار دانشگاه صنعتی اصفهان، دکتری علوم گیاهی، گرایش بیوسیستماتیک گیاهی
۳- استاد دانشگاه صنعتی اصفهان، دکتری اصلاح غلات و دانه‌های روغنی
۴- عضو هیأت علمی مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، اصلاح نباتات
(*- نویسنده مسئول: Email: hehtemam@cc.iut.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v14i4.31822

به‌نژادگران گیاهی بـوده اسـت (Mozaffari and Asadi, 2006) و موفقیت این امر زمانی حاصل می شود که تنوع ژنتیکـی مطلـوبی در اختیار باشد (Akram *et al*., 2008). گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی به‌طور مستقیم با سنجش عملکرد و یا به‌طور غیر مستقیم بر اساس صفات مورفوفیزیولوژیک همبسته با تحمل به خشـکی انجـام می‌شود (Fischer and Mourer, 1978). کنتـرل ژنتیکـی صـفات مرتبط با خشکی مشکل بوده و نمی‌توان از آن به آسانی در برنامه‌های به‌نژادی استفاده نمود، بنابراین به روش‌هایی برای تأکید بیش‌تـر بـر روی جنبه‌های ژنتیکی و مدیریت ژن‌های سـازگار بـا شـرایط تـنش رطوبتی نیاز می‌باشد. با توجه به معضل کمبود بارندگی و آب آبیاری، جایگاه گندم در کشور و خشک‌سـالی‌هـای پیـاپی سـال‌هـای اخیـر، شناسایی لاین‌های متحمل به خشکی و آگاهی از روابـط صـفات بـا عملکرد دانه در شرایط تـنش رطـوبتی حـائز اهمیـت خاصـی اسـت. بنابراین مطالعه حاضر با هدف ارزیابی تحمل به خشـکی لایـن‌هـای اینبرد نوترکیب گندم از لحاظ صفات زراعی، مورفولوژیک و فنولوژیک انجام شده است.

مواد و روش‌ها

۱۶۹ لاین اینبرد نوترکیب گندم از مرکز بین‌المللی اصلاح گندم و ذرت (سیمیت)، واقع در کشور مکزیـک تهیـه و مـورد اسـتفاده قـرار گرفت. لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم از تلاقی دو والد Seri M82 و Babax (Leinbos and Bergm, 1995) حاصل شده بودند که نتاج حاصل از آن‌ها پس از هشت نسل خودگشـنی (F_9)، در ایـن مطالعـه مورد استفاده قرار گرفت. آزمایش در اواخر آبـان‌مـاه سـال ۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در لـورک نجـف‌آبـاد، در ۴۰کیلـومتـری جنـوب غربـی اصـفهان بـا عـرض‌جغرافیـایی ۲۲درجـه و ۳۲دقیقـه شـمالی و طـول جغرافیـایی ۵۱درجه و ۳۲دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۶۳۰متر از سـطح دریـا صـورت گرفت.

لاین ها در یک طرح لاتیس سـاده ۱۳×۱۳ بـا دو تکـرار تحـت شرایط شاهد و تنش رطوبتی مورد بررسی قرار گرفتند. بذور هر لاین در یک ردیف به طول سه متر با فاصله ردیـف‌هـای ۳۰سـانتی‌متـر، به‌عنوان یک واحد آزمایش کشت گردید. عملیات داشت شامل آبیاری، مصرف کود و کنترل علف‌های‌هرز در طی آزمایش صورت گرفـت و جهت تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه، بر اساس تجزیه خاک، کود اوره به‌میزان ۱۰۰کیلوگرم در هکتار در دو نوبت پس از رشد در اوایل فصل بهار به زمین اضافه گردید. دو آزمایش شامل دو رژیم رطوبتی مختلف آبیاری، بر اساس ۷۰ و ۱۳۰میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A اعمال گردید (Fayaz and Arzani, 2011) . ضمن این‌که رطوبـت خاک در هنگام آبیاری در دو تیمار رژیم آبیاری مورد اندازه گیری قرار می‌گرفت. هر دو تیمار رطوبتی تا اواسط مرحله طویل شدن سـاقه‌هـا به‌طور یکسان و هم‌زمان آبیاری شدند و از آن پس آبیاری بر اسـاس تشت تبخیر کلاس A انجام شد.

مقدار آب آبیاری بر مبنای رسیدن رطوبت خاک تا عمق موردنظر به حد ظرفیت مزرعه حساب شد و مقدار آب لازم در هر کرت در هر آبیاری طبق رابطه زیر محاسبه گردید.

$$W = (FC-\theta)\,\rho DA \qquad (۱)$$

که در آن:

W = حجم آب مصرفی بر حسب متر مکعب،

FC = رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت مزرعه بر حسب درصد،

θ = رطوبت وزنی نمونه خاک بر حسب درصد،

ρ = وزن مخصوص ظاهری خاک (ضریب ۱/۵)،

D = عمق مؤثر توسعه ریشه بر حسب متر و

A = مساحت کرت بر حسب مترمربع می‌باشد.

برای اندازه گیری مقدار آب مصرفی در هنگام آبیـاری از پارشـال فلوم شماره ۳ استفاده گردید. دبی آب پارشال فلوم پس از ثابت شدن جریان آب سرریز با استفاده از معادله زیر اندازه‌گیری شد.

$$Q = 0.0294H^{2.102} \qquad (۲)$$

که در آن:

Q= دبی آب ورودی به پارشال فلوم بر حسب لیتر در ثانیه و

H= ارتفاع آب در پارشال فلوم برحسب سانتی‌متر می‌باشد.

پس از تقسیم حجم کل آب لازم بر دبی پارشال فلوم مدت زمان ورود آب به هر کرت مشخص شد. زمان لازم برای آبیاری هر کـرت با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید.

$$t = W/Q \qquad (۳)$$

که در آن:

W= حجم آب لازم (لیتر)،

Q= دبی آب ورودی (لیتر در ثانیه) و

t= مدت زمان آبیاری (ثانیه) می‌باشد.

در این مطالعه راندمان ۱۰۰ درصد فرض شده است.

صفات مورد اندازه‌گیری شامل تعداد روز تا ظهور سنبله (از زمـان شروع اولین آبیاری تا زمانی که ۵۰درصد بوته‌ها دارای سنبله بودند)، تعداد روز تا گرده‌افشانی (از زمان شروع اولین آبیـاری تـا زمـانی‌کـه ۵۰درصد بوته‌ها عمل گرده‌افشانی را داشتند)، تعداد روز تا رسیدگی (از زمان شروع اولین آبیاری تا زمانی که بذور دارای رنگ زرد در بالاترین میانگره ساقه بودند)، تعداد سنبله در واحد سطح، طول سنبله، ارتفـاع بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکـرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت بودند.

به‌منظور تعیین ارقام متحمل به تـنش خشـکی از شـاخص‌هـای

تحمل و حساسیت به تنش خشکی استفاده گردید. شاخص‌های محاسبه شده عبارتند از: معادلات ۴ الی ۸

(۴) شاخص تحمل (TOL) روزیل و هاملین (Rosielle and Hamblin, 1981)

$$TOL = Yp - Ys$$

(۵) میانگین تولید (MP) روزیل و هاملین (Rosielle and Hamblin, 1981)

$$MP = (Yp + Ys) / 2$$

(۶) شاخص حساسیت به تنش (SSI) فیشر و مورر (Fischer and Mourer, 1978)

$$SSI = 1 - (Ys/Yp) / SI$$

(۷) شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP) فرنانـدز (Fernandez, 1992)

$$GMP = \sqrt{Yp \,.\, Ys}$$

(۸) تحمل به تنش (STI) فرنانـدز (Fernandez, 1992)

$$STI = (Yp \,.\, Ys) / \overline{Y}^2p$$

در روابط بالا:

Yp: عملکرد ژنوتیپ در شرایط معمولی

Ys: عملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش

$\overline{Yp}$: میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط معمولی

$\overline{Ys}$: میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش

SI: شدت تنش $SI = 1 - (\overline{Ys}/\overline{Yp})$

برای تعیین بهترین شاخص‌ها از همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط معمولی و تنش رطوبتی با شاخص‌های تحمل به تنش استفاده شد و شاخص‌هایی که همبستگی بالا و معنی‌داری با عملکرد دانه در هر دو شرایط داشتند، به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی شدند.

وراثت پذیری (h2) از نسبت واریانس ژنتیکی (σ_g^2) به واریانس فنوتیپی (σ_{ph}^2) محاسبه شد. واریانس ژنتیکی و فنوتیپی با استفاده از امید ریاضی مجموع مربعات در تجزیه واریانس به‌دست آمد.

$$h2 = \sigma_g^2/(\sigma_g^2 + \sigma_e^2) = \sigma_t^2/(\sigma_t^2 + \sigma^2) \qquad (۹)$$

با توجه به امید ریاضی برای به‌دست آوردن وراثت‌پذیری از رابطه زیر استفاده شد:

$$h2 = \frac{\left(\left(\sigma^2 + \left(\frac{k}{k+1}\right) r\sigma_t^2\right) - \sigma^2\right)(k+1)}{\left(\left(\sigma^2 + \left(\frac{k}{k+1}\right) r\sigma_t^2\right) - \sigma^2\right)(k+1) + (rk\sigma^2)} \qquad (۱۰)$$

جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزارهای SAS و MSTATC استفاده شد. میانگین لاین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح پنج درصد انجام و مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

آمار توصیفی صفات اندازه‌گیری شده در لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم در شرایط تنش و عدم تنش رطوبتی (معمولی) در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج نشان داد که مقادیر میانگین تمام صفات (تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا گرده‌افشانی، تعداد روز تا رسیدگی، تعداد سنبله در واحد سطح، طول سنبله، ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت) در شرایط معمولی بیش تر از شرایط تنش رطوبتی بوده است. دامنه تغییرات برای کلیه صفات در هر دو شرایط رطوبتی (معمولی و تنش رطوبتی)، دارای طیف نسبتاً بالایی بود که نشان‌دهنده تنوع بالا بین ارقام مورد مطالعه می باشد. در مقایسه شرایط معمولی و تنش رطوبتی دامنه تغییرات برای صفات فنولوژیک و نیز برخی صفات مورفولوژیک مانند طول سنبله و ارتفاع بوته بسیار نزدیک به شرایط تنش بود. به‌طور کلی برای تمامی صفات در هر دو شرایط، ضریب تغییرات فنوتیپی از ضریب تغییرات ژنتیکی بالاتر بود که علت آن وجود اثرات محیطی بر این صفات می باشد. اختلاف ضرایب تغییرات فنوتیپی و ژنتیکی برای صفات فنولوژیک بسیار کم بود که حاکی از اثر اندک محیط در برآورد این صفات بوده است.

میزان بازدهی انتخاب برای یک صفت به تأثیر نسبی عوامل ژنتیکی و غیر ژنتیکی در بروز تفاوت‌های فنوتیپی آن صفت بستگی دارد که با وراثت‌پذیری بیان می‌گردد (Arzani, 2001). وراثت‌پذیری هر صفت نسبت واریانس ژنتیکی به کل واریانس را نشان می‌دهد (Hoshmand, 2001). میزان وراثت‌پذیری دیدگاه مناسبی در تعیین روش مطلوب جهت اصلاح یک صفت در برنامه‌های اصلاحی و هم چنین شاخصی از نحوه تأثیر روش‌های انتخاب برای آن صفت می‌باشد(Saeedi *et al.*, 2003). البته باید توجه نمود که برآورد وراثت پذیری منحصراً در مورد آن جامعه خاص، نحوه نمونه‌برداری و محیطی که در آن رشد یافته است، صادق است. به‌طور کلی وراثت پذیری را می‌توان به سه گروه، کمتر از ۲۰درصد، بین ۲۰ تا ۵۰درصد و بیش‌تر از ۵۰درصد تقسیم کرد(Farshadfar, 1997) . مقادیر وراثت پذیری خصوصی برآورد شده نشان داد که در شرایط معمولی صفات تعداد روز تا ظهور سنبله، سنبله در واحد سطح، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه و در شرایط تنش رطوبتی صفات تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا گرده‌افشانی، تعداد روز تا رسیدگی، تعداد سنبله در واحد سطح، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت دارای مقادیر بالای وراثت پذیری بودند، که حاکی از نقش عمده آثار ژنتیکی در اداره این صفات بوده است. در شرایط معمولی صفت تعداد سنبله در واحد سطح (۷۷درصد) دارای بالاترین وراثت‌پذیری و صفت عملکرد دانه (۸۴درصد) در شرایط تنش رطوبتی بیش‌ترین میزان وراثت‌پذیری را به‌خود اختصاص داد.

جدول ۱- آمار توصیفی، برآورد ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنتیکی و وراثت‌پذیری خصوصی برای صفات زراعی و مورفولوژیک در لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم به تفکیک معمولی و تنش رطوبتی

Table 1- Descriptive statistics of estimated coefficients of phenotypic and genotypic variation and narrow-sense heritability for agronomical and morphological traits of recombinant inbred lines of wheat under normal and water stress conditions

صفت Trait	وراثت‌پذیری خصوصی (%) narrow-sense heritability (%)		ضریب تنوع ژنتیکی (%) genotypic variation coefficient (%)		ضریب تنوع فنوتیپی (%) phenotypic variation coefficient (%)	
	تنش stress	شاهد Control	تنش stress	شاهد Control	تنش stress	شاهد Control
تعداد روز تا ظهور سنبله Days to heading	0.81	0.76	0.01	0.01	0.01	0.01
تعداد روز تا گرده‌افشانی Days to anthesis	0.77	0.01	0.01	0.01	0.01	0.33
تعداد روز تا رسیدگی Days to maturity	0.75	0.09	0.01	0.01	0.01	0.03
تعداد سنبله در واحد سطح Number of spike per m^2	0.78	0.77	0.23	0.26	0.26	0.30
طول سنبله Spike length(cm)	0.04	0.02	0.03	0.11	0.14	0.71
ارتفاع بوته Plant height(cm)	0.63	0.38	0.06	0.04	0.07	0.07
تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike	0.08	0.01	0.07	0.06	0.25	0.48
وزن دانه در سنبله spike(gr)Grain weight per	0.44	0.33	0	0	0	0
وزن هزاردانه 1000-grain weight(gr)	0.06	0.64	0.08	0.08	0.34	0.11
عملکرد بیولوژیک biological yield(kg ha^{-1})	0.78	0.68	0.02	0.02	0.02	0.02
عملکرد دانه grain yield(kg ha-1)	0.84	0.76	0.04	0.03	0.04	0.03
شاخص برداشت harvest index(%)	0.74	0.35	0.14	0.07	0.16	0.12

مطالعه ۱۶۹لاین اینبرد نوترکیب گندم در شرایط معمولی و تنش رطوبتی با استفاده از نتـایج حاصـل از تجزیـه واریـانس و مقایسـات میانگین (جداول ۲، ۳ و ۴)، حاکی از وجـود اخـتلاف قابـل توجـه در شرایط آزمایشی (شـرایط معمـولی و تـنش) بـود بـه‌طـوری‌کـه وزن هزاردانه در لاین‌های مـورد بررسـی تحـت شـرایط معمـولی بسـیار معنی‌دار ($p<0.01$) بوده است، در حالی‌که لاین‌های مورد آزمایش در شرایط تنش رطوبتی از لحـاظ وزن هـزاردانـه اخـتلاف معنـی داری نداشته و جزء عملکردی دیگر (وزن دانه در سنبله) اهمیت بیش‌تـری داشته است. این امر بیان‌گر اهمیت بیش‌تر وزن دانه در واحد سنبله در شرایط تنش نسبت به وزن دانه به‌خودی خود (یا ۱۰۰۰دانه) در شرایط تنش رطوبتی داشـته اسـت. ضـمن ایـن‌کـه تنـوع ژنتیکـی زیـاد در لاین‌های مورد آزمایش در شرایط معمولی برای وزن دانه بـه منصـه ظهور یافته است. به‌عبارت دیگر در شرایط معمولی ژن‌های مربوطـه بیان شده و در شرایط تنش بیان نشده‌اند.

نتایج حاصل از این آزمایش با نتـایج Paknejad *et al*., 2007 مبنی بر کاهش عملکرد و اجزاء عملکرد در سه رقم گندم تحت تنش خشکی مطابقت دارد. هم‌چنین Imam *et al*., 2007 کاهش عملکرد و اجزاء عملکرد ژنوتیپ‌های مختلـف گنـدم را در اثـر تـنش خشـکی گزارش کردند که با نتایج آزمایش حاضر هـم‌خـوانی دارد. Sanjari and Yazdansepas 2008 در مطالعـه اثـر تـنش خشـکی بـر روی ۱۲رقم گندم زمستانه نشان دادند که وزن هزاردانه در شـرایط تـنش خشکی به شدت کاهش می‌یابد.

با توجه به اهمیت تعداد سنبله در شکل‌گیری عملکـرد دانـه کـه عمدتاً از تراکم بوته و نیز تعداد پنجه‌های بارور حاصل می‌شود، در این آزمایش نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جداول ۲ و ۳) نشان داد که اختلاف بسیار معنی‌داری بین تعداد سنبله ۱۶۹لاین گندم وجود داشته است ($p<۰/۰۱$). در شرایط عدم تنش رطوبتی، لاین‌هـای ۷۴ و ۱۵۷ به‌ترتیب کمترین و بیش‌ترین تعداد سنبله در واحد سطح را داشتند. اما در شرایط تنش رطوبتی لاین های ۸۱ و یک به ترتیب دارای کمترین و بیش‌ترین تعداد سنبله در واحد سطح بودند. از نتایج به‌دسـت آمـده چنین اسـتنباط شـد کـه تـنش غیـر زیسـتی (خشـکی) احتمـالاً بـر فرآیندهای فیزیولوژیک مؤثر بوده و منجر به کاهش در میزان گلدهی شده که به‌علت کمبود آب و نیز انتقال مواد فتوسـنتزی بـوده اسـت. Garcya *et al*., 2003 و Saleem, 2003 نیز نقش رژیم رطوبتی را

در طی فصل رشد بر تعداد سنبله که دارای ارتباط مستقیم با عملکرد دانه می‌باشد، مهم بیان می‌دارند.

عملکرد دانه و پایداری آن در مناطق متعددی که تنش‌های محیطی وجود دارد، همیشه به‌عنوان معیار مهمی در گزینش و معرفی ارقام مدّ نظر قرار می‌گیرد (Taleei and Nourmohamadi, 1994). محققان بسیاری با اشاره به تفاوت در میزان تأثیرپذیری مراحل مختلف رشد و نمو گیاه، مرحله دانه‌بندی را به‌دلیل کاهش عملکرد دانه و وزن هزاردانه، حساس‌ترین دوره رشد و نمو از نظر مواجه شدن با تنش دانسته‌اند Ehdaie *et al*., 2008; Ghodsi *et al*., 2004.

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها (جداول ۲، ۳ و ۴) نشان داد که در شرایط معمولی بین لاین های اینبرد نوترکیب برای صفات تعداد سنبله در واحد سطح، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، ارتفاع بوته و تعداد روز تا ظهور سنبله در سطح یک درصد اختلاف بسیار معنی‌داری وجود داشت ($p<0/01$). در شرایط اعمال تنش رطوبتی نیز مشابه با شرایط معمولی اختلاف بسیار معنی‌داری برای صفات تعداد سنبله در واحد سطح، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، ارتفاع بوته، تعداد روز تا ظهور سنبله و تعداد روز تا گرده‌افشانی در سطح یک درصد مشاهده گردید ($p<0/01$)، اما عملکرد در لاین های تحت تنش رطوبتی به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از شرایط معمولی بود. بین کمترین عملکرد دانه در شرایط معمولی و تنش رطوبتی ۱۹/۹ درصد اختلاف مشاهده شد، به‌عبارتی عملکرد در شرایط تنش به‌میزان ۱۹/۹ درصد کمتر از عملکرد در شرایط عدم تنش بود. هم‌چنین اختلاف درصدی ۸۷درصد مشاهده شد که بیانگر کاهش عملکرد در شرایط تنش رطوبتی بود. Ghodsi *et al*., 2004به کاهش عملکرد دانه و وزن هزاردانه در شرایط تنش اشاره می کنند که نتایج حاصل از این آزمایش را تائید می‌کند.Shah and Paulsen, 2003 بیان داشتند خشکی انتهای فصل میزان فتوسنتز را به سرعت کاهش داده و آسیمیلات‌های جاری برای پُر شدن دانه کافی نخواهد بود. بنابراین نتایج این آزمایش با نتایج حاصل از آزمایشات این محققین مطابقت دارد. هم‌چنین Pierre *et al*., 2008 گزارش کردند که تنش رطوبتی در مرحله پُرشدن دانه در ۹ژنوتیپ گندم نان، باعث کاهش عملکرد، وزن هزاردانه و ضخامت دانه می‌شود. بر این اساس Lobnani and Arzani, 2011 کاهش عملکرد دانه برای همه ژنوتیپ ها را در گذر از شرایط عادی به تنش رطوبتی گزارش کردند. بنابرین با توجه به برآیند اجزاء عملکرد، می‌توان نتیجه گرفت که لاین شماره یک دارای بیش‌ترین تولید در شرایط تنش رطوبتی و بنابراین قابلیت تحمل به تنش بیش‌تری داشته و لذا می توان به عنوان لاین برتر معرفی شود و به عبارتی بیانگر خسارت‌پذیری کمتر این لاین از شرایط تنش رطوبتی می‌باشد.

اختلاف آماری بسیار معنی‌داری بین عملکرد بیولوژیک لاین‌ها در شرایط تنش و عدم تنش رطوبتی بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس مشاهده شد (جدول ۲ و ۳). نتایج حاصل نشان داد که لاین شماره یک از لحاظ عملکرد بیولوژیک در هر دو رژیم رطوبتی برتری داشته است. بین کمترین و بیش ترین عملکرد بیولوژیک اختلاف ۹۹/۳درصدی موجود بود. بنابراین تنش رطوبتی باعث شد تا عملکرد بیولوژیک به علت کاهش بیوماس (اندام هوایی) اُفت قابل توجهی را نشان دهد. نتایج این آزمایش با گزارش‌های Farid and Ehsanzadeh, 2006و Gouranga *et al*., 2007مبنی بر کاهش وزن خشک کل گیاه در اثر تنش خشکی مطابقت دارد.

شاخص برداشت در برآورد میزان انتقال مواد فتوسنتزی به دانه از بخش رویشی حائز اهمیت است. نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس (جداول ۲ و ۳) نشان داد که بین لاین‌های اینبرد نوترکیب در شرایط تنش رطوبتی در سطح احتمال یک درصد اختلاف وجود دارد، اما در شرایط عدم تنش رطوبتی بین لاین‌های گندم در سطح احتمال پنج درصد این اختلاف مشاهده شد. کمترین و بیش‌ترین شاخص برداشت در لاین‌های تحت شرایط نرمال رطوبتی به لاین‌های ۱۱ و ۱۶۰ تعلق داشت (به‌ترتیب ۲۱/۷ و ۵۸/۳درصد) که بین این دو شاخص برداشت اختلاف ۳۷درصدی برآورد شد، اما لاین‌های شماره ۱۰۰ و ۱۴۳ با شاخص برداشتی برابر با ۱۶/۸ و ۴۳/۸درصد کمترین و بیش ترین را در شرایط اعمال تنش رطوبتی به‌خود نسبت دادند. گزارشAhmadi *et al*., 2006 مبنی بر کاهش ۲۴/۴درصدی شاخص برداشت در شرایط تنش در مقایسه با شرایط نرمال رطوبتی، با نتایج این آزمایش هماهنگی دارد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع بوته در لاین‌های تحت تنش رطوبتی دارای اختلاف بسیار معنی‌دار ($p<0/01$) و در لاین‌های تحت شرایط نرمال رطوبتی (شاهد) اختلاف معنی‌دار ($p>0/01$) وجود داشت (جداول ۲ و ۳) که نشان دهنده متفاوت بودن روند تغییرات ارتفاع بوته در دو مکان آزمایشی بود. نتایج نشان داد که ارقام متحمل به تنش رطوبتی از کاهش ارتفاع بوته کمتری نسبت به لاین‌های حساس برخوردار بودند. همچنین نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که تنوع ژنتیکی بین لاین ها برای انتخاب از نظر این صفت به‌اندازه کافی وجود داشت. نتایج حاصل از این آزمایش با نتایج Shahbazi, 2012 مبنی بر روند تغییرات ارتفاع بوته تحت تأثیر تنش رطوبتی مطابقت دارد. Huyuan *et al*., 2007 در گندم تحت شرایط تنش خشکی، شاهد کاهش ارتفاع بوته بودند. هم‌چنین Sio-Se Mardeh *et al*., 2006نیز در مطالعه تأثیر خشکی بر روی گندم گزارش کردند که تنش رطوبتی سبب کاهش ارتفاع بوته از شرایط بهینه به تنش رطوبتی شده است که با نتایج مطالعه حاضر هماهنگی دارد.

با توجه به این‌که تعداد روز تا رسیدگی در رشد و نمو و در نهایت بر عملکرد گیاهان زراعی حائز اهمیت است، در این آزمایش اختلاف معنی‌داری بین لاین‌های متأثر از شرایط معمولی (عدم تنش رطوبتی)

مشاهده نشد (p>۰/۰۵). اما نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲ و ۳) نشان داد که لاین های تحت تأثیر تنش رطوبتی در سطح یک درصد دارای اختلاف بسیار معنی‌دار بودند (p<۰/۰۱). نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین‌ها این اختلاف را در بین لاین‌های دارای تنش و عدم تنش رطوبتی نشان می‌دهد. Blum, 2005 نشان داد که در شرایط تنش رطوبتی سطوح فتوسنتزی (برگ ها) و نیز ارتفاع ساقه کاهش می یابد و این امر می تواند منجر به کاهش طول دوره رشد به دلیل اعمال شرایط سخت زیستی و در نهایت گریز گیاه از این شرایط برای بقاء و تولید باشد.

در مورد صفت تعداد روز تا گرده‌افشانی بر اساس نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده ها در شرایط معمولی اختلاف آماری معنی داری مشاهده نشد (p>۰/۰۵) اما این اختلاف در شرایط تنش رطوبتی بسیار معنی‌دار بود (p<۰/۰۱)، (جدول ۲ و ۳). به‌طور میانگین تعداد روز تا گرده‌افشانی برای لاین‌های ۱۴۳ و ۱۵ برابر ۱۴۰/۵ و ۱۴۰روز به‌ترتیب در شرایط معمولی و وجود تنش بود که بین آن‌ها ۰/۵روز اختلاف مشاهده شد. هم‌چنین بیش‌ترین تعداد روز تا گرده‌افشانی به لاین ۱۳۱ برابر با ۱۵۲روز تعلق داشت. در رژیم رطوبتی تنش رطوبتی، تعداد روز تا گرده‌افشانی کاهش بیش‌تری را نسبت به شرایط عادی نشان داد. Doorenbos and Kassam, 1992 تأثیرپذیری عملکرد گندم را از کمبود آب به‌شدت زمان تنش و مرحله نمو گیاه نسبت می‌دهند و بیان می‌دارند که این شرایط می‌تواند بر فنولوژی، سایر ویژگی‌های سلولی گیاه و در نهایت عملکرد و اجزاء عملکرد مؤثر باشد.

برای صفت تعداد روز تا ظهور سنبله در هر دو رژیم رطوبتی (تنش و عدم تنش) بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲ و ۳) اختلاف بسیار معنی‌دار بین ۱۶۹لاین مورد مطالعه مشاهده شد (p<۰/۰۱). بین کمترین تعداد روز تا ظهور سنبله (در شرایط معمولی و تنش رطوبتی) ۰/۱۴روز و بین بیش‌ترین آن‌ها ۲/۵۸روز اختلاف مشاهده شد.

هم‌چنین نتایج نشان داد که تنش رطوبتی موجب کاهش تعداد روز تا ظهور سنبله در لاین متحمل به تنش رطوبتی نسبت به شرایط معمولی می شود، در حالی که لاین های حساس از نظر این صفت فنولوژیک در شرایط طبیعی رشد قرار داشتند و به عبارتی دورهٔ طولانی‌تری را طی نمودند.Paknejad *et al.*, 2007 در بررسی اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد در سه رقم گندم نشان دادند که اعمال تنش در مرحله گلدهی تا پایان دورهٔ رشد منجر به کاهش این دوره و در نهایت عملکرد می‌شود و حساس‌ترین مرحله نمو گندم را به تنش خشکی مرحله گلدهی معرفی کردند.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم در شرایط معمولی

Table 2- Results of analysis of variance of studied traits in recombinant inbred lines of wheat under normal conditions

منابع تغییرات Source of variaton	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square: شاخص برداشت Harvest index	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	وزن هزاردانه 1000-grain weight	وزن دانه در سنبله Grain weight in the spike	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike	تعداد سنبله در واحد سطح Number of spike per m^2
تکرار Replication	1	116.21	72307	1058	10.59	0.12	6.53	151207
تیمار Treatment								
تصحیح نشده Non-adjusted treatment	168	35.48*	338121 ns	54335 ns	36.53**	0.04 ns	196.66 ns	82902 ns
تصحیح شده Adjusted treatment	168	37.32*	405632**	81817**	26.21**	0.03 ns	192.02 ns	127923**
بلوک تنظیم شده در تکرار Adjusted block within replication	24	42.34	2173871	310104	64.06	0.18	296.86	501824
خطا داخل بلوک Error within block	144	24.58	132432	20100	9.63	0.02	195	31013
بازدهی نسبت به RCBD Efficiency overRCBD (%)		104.08	282.34	270.03	161.12	170.41	102.44	279.42

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns، * and ** , respectively represent non-significant and significant at probability levels of 5 and 1%

ادامه جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم در شرایط معمولی
Table 2- continued: Results of analysis of variance of studied traits in recombinant inbred lines of wheat under normal conditions

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	تعداد روز تا رسیدگی Days to maturity	تعداد روز تا گرده‌افشانی Days to anthesis	تعداد روز تا ظهور سنبله Days to heading	ارتفاع بوته Plant height	طول سنبله Spike length	تعداد دانه در واحد سطح Number of seed per m^2
		میانگین مربعات Mean Square					
تکرار Replication	1	39.12	5890	12.11	689.23	6.80	61708493
تیمار تصحیح نشده Non-adjusted treatment	168	98.96^{ns}	5033^{ns}	16.06^{**}	238.26^{ns}	109.89^{ns}	146359270^{ns}
تیمار تصحیح شده Adjusted treatment	168	93.28^{ns}	4900^{ns}	12.19^{**}	77.41^{**}	111.62^{ns}	188158853^{*}
بلوک تنظیم شده در تکرار Adjusted block within replication	24	208.52	4730	38.63	1267.35	144.88	403707429
خطا داخل بلوک Error within block	144	84.92	4975	3.01	49.03	108.81	125325650
بازدهی نسبت به (%)RCBD Efficiency overRCBD (%)		111.36	105.11	237.35	399.99	101.14	119.92

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد
ns، * and ** non-significant and significant at probability level of 5 and 1%, respectively

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم در شرایط تنش رطوبتی
Table 3- Results of analysis of variance of studied traits in recombinant inbred lines of wheat under water stress conditions

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	تعداد سنبله در واحد سطح Number of spike per m^2	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike	وزن دانه در سنبله Grain weight in the spike)	وزن هزاردانه 1000-grain weight)	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield)^2	شاخص برداشت Harvest index
		میانگین مربعات Mean Square						
تکرار Replication	1	12286	319.22	0.15	169.74	232461	3722836	103.56
تیمار تصحیح نشده Non-adjusted treatment	168	77042^{ns}	44.58^{ns}	0.02^{ns}	180.52^{ns}	37364^{ns}	245445^{ns}	30.92^{ns}
تیمار تصحیح شده Adjusted treatment	168	79462^{**}	34.58^{ns}	0.019^{**}	180.55^{ns}	49513^{**}	231855^{**}	41.55^{**}
بلوک تنظیم شده در تکرار Adjusted block within replication	24	320392	137.66	0.12	198.62	242175	1720322	130.46
خطا داخل بلوک Error within block	144	18227	31.82	0.01	170.19	8370.55	51615	11.38
بازدهی نسبت به (%)RCBD Efficiency overRCBD (%)		296.82	132.91	251.3	100.33	438.54	493.47	220.64

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد
ns، * and ** , respectively represent non-significant and significant at probability levels of 5 and 1%

ضرایب همبستگی صفات زراعی، مورفولوژیک و فنولوژیک

با توجه به اهمیت همبستگی در روابط فنوتیپی و ژنوتیپی بین صفات در برنامه‌های اصلاحی، می‌توان به ارتباط بین متغیرهای غیر مستقل (وابسته) پی برده، مقدار و نوع وابستگی بین این متغیرها را تعیین نمود. بنابراین، این همبستگی‌ها به متخصصان اصلاح‌نباتات در گزینش غیر مستقیم برای صفات مهم زراعی از طریق صفات دیگر که اندازه‌گیری آن‌ها آسان است کمک می‌کنند. از ضرایب همبستگی ساده برای آگاهی از رابطه بین عملکرد و اجزای آن و هم‌چنین بین

عملکرد و سایر صفات به‌طور گسترده‌ای استفاده شده است (Zeinali abadi, 1998).

ادامه جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم در شرایط تنش رطوبتی

Table 3- continued: Result of analysis of variance of studied traits in recombinant inbred lines of wheat under water stress conditions

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square تعداد دانه در واحد سطح Number of seed per m^2	طول سنبله Spike length	ارتفاع بوته Plant height	تعداد روز تا ظهور سنبله Days to heading	تعداد روز تا گرده‌افشانی Days to anthesis	تعداد روز تا رسیدگی Days to maturity
تکرار Replication	1	505308220	9.81	52.73	28.41	171.83	117.16
تیمار تصحیح نشده Non-adjusted treatment	168	70862032^{ns}	4.22^{ns}	285.38^{ns}	13.34**	14.51**	22.06*
تیمار تصحیح شده Adjusted treatment	168	65120900**	4.10^{ns}	73.25**	9.47**	10.35**	9.47**
بلوک تنظیم شده در تکرار Adjusted block within replication	24	295881725	5.84	1574.06	41.40	36.96	94.61
خطا داخل بلوک Error within block	144	30807978	3.92	28.18	1.90	2.44	2.49
بازدهی نسبت به RCBD(%) Efficiency overRCBD (%)		197.62	102.20	774.73	349.03	266.56	551.87

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns، * and ** , respectively represent non-significant and significant at probability levels of 5 and 1%

جدول ٤- مقایسه میانگین صفات زراعی و مورفولوژیک لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم در شرایط تنش و عدم تنش رطوبتی

Table 4- Mean comparison of agronomic and morphologic traits of recombinant inbred lines in wheat under normal and water stress conditions

تیمار treatment	صفات مورد مطالعه Traits تعداد سنبله در واحد سطح Number of spike per m^2	شاخص برداشت Harvest index(%)	عملکرد بیولوژیک Biological yield(kg/ ha)	عملکرد دانه Grain yield (kg/ ha)	وزن هزاردانه 1000-grain weight(gr)	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike
نرمال(شاهد) Normal	867.15 ±16^{a}	33.75 ±0.31^{a}	16346 ±33.53^{a}	5574 ±13.07^{a}	33.33 ±0.29^{a}	20.18 ±0.77^{a}
تنش Stress	785.6 ±14^{b}	28.50 ±0.29^{b}	11999 ±28.67^{b}	3557 ±10.89^{b}	27.34 ±0.72^{b}	16.57 ±0.37^{b}

میانگین‌های با حروف غیر مشترک دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند (P<۰/۰۵).

Means with different letters are significantly different (P < 0.05)

ادامه جدول ٤- مقایسه میانگین صفات زراعی و مورفولوژیک لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم در دو شرایط تنش و عدم تنش رطوبتی

Table 4- continued: Mean comparison of agronomic and morphologic traits of recombinant inbred lines in wheat under normal and water stress conditions

تیمار treatment	صفات مورد مطالعه Traits وزن دانه در سنبله Grain weight in the spike	طول سنبله Spike length	ارتفاع بوته Plant height	تعداد روز تا ظهور سنبله Days to heading	تعداد روز تا گرده‌افشانی Days to anthesis	تعداد روز تا رسیدگی Days to maturity
نرمال(شاهد) Normal	0.65 ±0.05^{a}	10.44 ±0.57^{a}	86.56 ±0.83^{a}	139.23 ±0.19^{a}	150.76 ±3.85^{a}	173.07 ±0.55^{a}
تنش Stress	0.44±0.008^{b}	9.73 ±0.11^{a}	78.49 ±0.89^{b}	138.98 ±0.18^{b}	145.77 ±0.18^{a}	169.77 ±0.24^{b}

میانگین‌های با حروف غیر مشترک دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند (P<۰/۰۵)

Means with different letters are significantly different (P < 0.05)

همبستگی بین صفات زراعی، مورفولوژیک و فنولوژیک ۱۶۹لاین مورد آزمایش، در جداول ۵ و ۶ ارائه شده است. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که در دو شرایط آزمایشی (معمولی و تنش رطوبتی) روابط بین متغیرهای وابسته دارای تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای می‌باشد. در شرایط تنش رطوبتی، تعداد سنبله در واحد سطح (به‌عنوان یک جزء مهم عملکرد) با تمام صفات اندازه‌گیری شده همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت و فقط با وزن هزاردانه این همبستگی معنی‌دار نبود. همبستگی تعداد سنبله در واحد سطح در شرایط معمولی با تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت معنی‌دار شد، ولی با سایر صفات زراعی و فنولوژیک معنی‌دار نشد. بین تعداد روز تا رسیدگی و وزن هزاردانه، در هر دو رژیم رطوبتی همبستگی مثبت اما معنی‌دار نبود، در شرایط تنش رطوبتی همبستگی بین تعداد روز تا رسیدگی با سایر صفات مثبت و بسیار معنی‌دار بود، اما در شرایط معمولی با تعداد روز تا گرده‌افشانی، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه فاقد ارتباط معنی‌دار بود. بنابراین با توجه به همبستگی بین تعداد روز تا رسیدگی با صفات مؤثر در عملکرد دانه می توان چنین بیان داشت که لاین های مورد آزمایش، کمبود رطوبت (تنش رطوبتی) را در مراحل مختلف رشد خود به‌صورتی تقسیم کرده‌اند که روابط بین آلومتری گیاه در جهت حصول عملکرد و به عبارتی به‌منظور کاهش اثرات تنش رطوبتی، تعادل بین رشد و نمو (مراحل رویشی و زایشی) ایجاد شده است، در حالی که این وضعیت در لاین‌های تحت شرایط معمولی کمتر مشاهده شد، بنابراین یکی از دلایل تولید و یا ثبات عملکرد را در این لاین ها می توان به حفظ تعداد سنبله و تعداد دانه در سنبله به‌عنوان اجزاء مهم عملکرد نسبت داد، بر این اساس نیز Schillinger, 2005 نقش ویژگی‌های سنبله در گندم را تحت تأثیر تنش خشکی بر عملکرد دانه، تعیین کننده می‌دانند. وزن هزاردانه در شرایط تنش رطوبتی با طول سنبله، تعداد روز تا گرده‌افشانی و تعداد روز تا ظهور سنبله همبستگی معنی دار نداشت و با تعداد دانه در سطح و تعداد دانه در سنبله همبستگی منفی و معنی دار نشان داد، اما در شرایط عادی با تعداد روز تا گرده‌افشانی (۶۰درصد=r) و طول سنبله (۸۳درصد=r) فاقد همبستگی معنی‌دار بود. Imam *et al*., 2007 نقش وزن هزار دانه را در عملکرد دارای بیش ترین اهمیت تلقی می کنند.

بین عملکرد دانه با تعداد روز تا گرده‌افشانی و طول سنبله در شرایط معمولی همبستگی مشاهده نشد، اما در شرایط تنش رطوبتی همبستگی عملکرد دانه با تمام صفات مثبت و بسیار معنی‌دار بود. در این آزمایش در شرایط معمولی بین عملکرد بیولوژیک با تعداد روز تا گرده‌افشانی و طول سنبله همبستگی وجود نداشت، اما در شرایط تنش همبستگی عملکرد بیولوژیک با سایر صفات اندازه گیری شده مثبت و معنی‌دار بود. ارتفاع بوته با تعداد روز تا گرده‌افشانی، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و شاخص برداشت در شرایط معمولی معنی‌دار نشد، اما این صفت (ارتفاع بوته) در شرایط تنش با تمام صفات زراعی و فنولوژیک اندازه‌گیری شده همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد.

نتایج به دست آمده از ارتباط طول سنبله با وزن دانه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، تعداد روز تا گرده‌افشانی و تعداد روز تا ظهور سنبله در دو رژیم رطوبتی، کاملاً معکوس بود، به این‌صورت که این ارتباط در شرایط معمولی غیر معنی‌دار و در شرایط اعمال تنش رطوبتی معنی‌دار بود، اما در هر دو شرایط با شاخص برداشت همبستگی معنی‌دار نداشت. همچنین شاخص برداشت در دو رژیم رطوبتی با تعداد روز تا ظهور سنبله و تعداد روز تا گرده‌افشانی معنی‌دار نشد. همبستگی بین وزن دانه در سنبله و تعداد دانه در سنبله با تعداد روز تا گرده‌افشانی و تعداد روز تا ظهور سنبله در شرایط تنش رطوبتی مثبت و بسیار معنی‌دار بود، اما در شرایط نرمال بین تعداد دانه در سنبله با تعداد روز تا ظهور سنبله و تعداد روز تا گرده‌افشانی همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد. همبستگی بین تعداد روز تا گرده‌افشانی با تعداد روز تا ظهور سنبله در تنش رطوبتی مثبت و بسیار معنی‌دار و در در شرایط معمولی منفی و غیر معنی‌دار بود.

شاخص‌های تحمل به خشکی

در تقسیم‌بندی فرناندز ژنوتیپ‌های مختلف را بر اساس واکنش در شرایط محیطی مطلوب و تحت تنش رطوبتی می‌توان تشخیص داد. در این آزمایش کمترین و بیش‌ترین عملکرد دانه به‌ترتیب در دو لاین ۶۹ و یک معادل ۱۱۹۹ و ۹۷۸۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. بنابراین با توجه به روابط ریاضی مورد استفاده در محاسبه شاخص‌های مقاومت به تنش، نتایج به‌دست آمده در ارتباط با شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی تولید یا شاخص میانگین بهره‌وری (GMP) در متحمل‌ترین و حساس‌ترین لاین‌ها و میانگین کل در جدول ۷ ارائه شده است. با تطبیق سه شاخص SSI، STI و GMP می توان مشخص نمود که لاین شماره یک در شرایط تنش رطوبتی و در ارتباط با تولید، ارزش اقتصادی بیش‌تری خواهد داشت.

تجزیه به عامل‌ها

هدف از تجزیه به عامل ها، توجیه تغییرات موجود در تعدادی از متغیر های اولیه با استفاده از تعداد کمتری می باشد. در این روش عامل‌ها بر پایه یک مدل نسبتاً ویژه استوار است.

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم در شرایط معمولی

Table 5- Correlation coefficients of studied traits in recombinant inbred lines of wheat under normal conditions

	صفت Trait	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	تعداد روز تا ظهور سنبله Days to heading	1											
2	تعداد روز تا گرده‌افشانی Days to anthesis	-0.01^{ns}	1										
3	تعداد روز تا رسیدگی Days to maturity	0.40^{**}	0.002^{ns}	1									
4	تعداد سنبله در واحد سطح Number of spike per m^2	0.21^{**}	-0.02^{ns}	0.15^{**}	1								
5	طول سنبله Spike length(cm)	-0.01^{ns}	0.01^{ns}	-0.02^{ns}	0.01^{ns}	1							
6	ارتفاع بوته Plant height (cm)	0.40^{**}	0.05^{ns}	0.26^{**}	0.48^{**}	0.01^{ns}	1						
7	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike	0.02^{ns}	0.04^{ns}	0.03^{ns}	-0.05^{ns}	0.02^{ns}	0.15^{**}	1					
8	وزن دانه در سنبله Grain weight in the spike(g)	0.20^{**}	0.11^{*}	0.14^{**}	-0.09^{ns}	-0.02^{ns}	0.45^{**}	0.41^{**}	1				
9	وزن هزاردانه 1000-grain weight (g)	-0.04^{ns}	0.04^{ns}	0.06^{ns}	0.02^{ns}	0.03^{ns}	0.17^{**}	-0.05^{ns}	0.44^{**}	1			
10	عملکرد بیولوژیک Biological yield(kg ha^{-1})	0.39^{**}	0.06^{ns}	0.22^{**}	0.73^{**}	0.08^{ns}	0.73^{**}	0.18^{**}	0.52^{**}	0.28^{**}	1		
11	عملکرد دانه در واحد سطح Grain yield(kg/ ha)	0.30^{**}	0.06^{ns}	0.20^{**}	0.70^{**}	0.08^{ns}	0.64^{**}	0.24^{**}	0.61^{**}	0.35^{**}	0.94^{**}	1	
12	شاخص برداشت Harvest index(%)	-0.07^{ns}	0.02^{ns}	0.05^{**}	0.12^{*}	0.01^{ns}	0.08^{ns}	0.23^{**}	0.47^{**}	0.25^{**}	0.16^{**}	0.44^{**}	1

ns، * و ** به‌ترتیب نشان دهنده غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns، * and ** , non-significant and significant at probability level of 5 and 1%, respectively

جدول ٦- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم در شرایط تنش رطوبتی

Table 6- Correlation coefficients of studied traits in recombinant inbred lines of wheat under water stress conditions

	صفت Trait	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	تعداد روز تا ظهور سنبله Days to heading	1											
2	تعداد روز تا گرده‌افشانی Days to anthesis	0.94^{**}	1										
3	تعداد روز تا رسیدگی Days to maturity	0.80^{**}	0.82^{**}	1									
4	تعداد سنبله در واحد سطح Number of spike per m^2	0.34^{**}	0.32^{**}	0.49^{**}	1								
5	طول سنبله Spike length(cm)	0.15^{**}	0.19^{**}	0.22^{**}	0.13^{*}	1							
6	ارتفاع بوته Plant height (cm)	0.58^{**}	0.57^{**}	0.73^{**}	0.65^{**}	0.27^{**}	1						
7	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike	0.28^{**}	0.32^{**}	0.45^{**}	0.24^{**}	0.18^{**}	0.49^{**}	1					
8	وزن دانه در سنبله Grain weight in the spike(g)	0.27^{**}	0.31^{**}	0.48^{**}	0.34^{**}	0.25^{**}	0.65^{**}	0.64^{**}	1				
9	وزن هزاردانه 1000-grain weight (g)	0.05^{ns}	0.04^{ns}	0.04^{ns}	0.08^{ns}	0.03^{ns}	0.14^{*}	-0.19^{**}	0.20^{**}	1			
10	عملکرد بیولوژیک Biological yield(kg ha^{-1})	0.49^{**}	0.51^{**}	0.68^{**}	0.77^{**}	0.27^{**}	0.82^{**}	0.54^{**}	0.77^{**}	0.15^{**}	1		
11	عملکرد دانه در واحد سطح Grain yield(kg/ ha)	0.38^{**}	0.39^{**}	0.57^{**}	0.80^{**}	0.22^{**}	0.74^{**}	0.51^{**}	0.80^{**}	0.17^{**}	0.94^{**}	1	
12	شاخص برداشت Harvest index(%)	-0.02^{ns}	-0.05^{ns}	0.14^{**}	0.54^{**}	0.09^{ns}	0.38^{**}	0.32^{**}	0.61^{**}	0.14^{**}	0.47^{**}	0.70^{**}	1

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns، * and ** , non-significant and significant at probability levels of 5 and 1%, respectively

جدول ۷- شاخص‌های تحمل به خشکی در متحمل‌ترین و حساس‌ترین لاین‌ها و میانگین کل آن‌ها

Table 7- Drought tolerance index in the most tolerant and in the most sensitive lines and their overall means

ژنوتیپ Genotype	GMP	STI	SSI
لاین 69 (حساس‌ترین) Line69(sensitive)	230.01	0.17	1.58
لاین 1 (متحمل‌ترین) Line1(tolerant)	1112.95	3.98	0.35
میانگین کل Overall mean	665	2.1	0.98

از تجزیه به عامل‌ها به‌منظور تفسیر روابط موجود میان صفات و گروه‌بندی آن‌ها بر مبنای این روابط استفاده می‌گردد، تا بدین‌طریق عوامل پنهانی که موجب پدید آمدن ساختار خاص ماتریس همبستگی یا کواریانس گردیده‌اند شاخص شوند. در تجزیه به عامل ها انتظار می‌رود که متغیرها را بتوان به‌وسیله همبستگی بین آن‌ها گروه‌بندی نمود. در این صورت منطقی است که بیان شود متغیر های هر گروه ساختار خاصی دارند که عاملی موجب ایجاد آن ساختار گشته و به‌عبارت دیگر سبب ایجاد همبستگی بالا بین آن ها شده است (Huyuan et al., 2007).

نتایج حاصل از تجزیه به عامل ها در شرایط معمولی برای صفات زراعی، مورفولوژیک و فنولوژیک لاین های اینبرد نوترکیب گندم در جدول ۸ آمده است. جهت توجیه بهتر، عامل ها را به روش واریمکس دوران داده و نهایتاً در حالت معمولی (شاهد)، چهار عامل استخراج گردید که در مجموع ۶۷/۰۹درصد از تنوع کل بین داده ها را توجیه کرد. هر چه میزان واریانس عاملی بیش‌تر باشد به اعتبار آن عامل در تفسیر تغییرات داده‌ها افزوده می‌شود (Moghadam, 1994).

عامل اول که ۲۳/۴۳درصد از تغییرات را توجیه می کند بیش‌تر تحت تأثیر صفات تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد روز تا رسیدگی، عملکرد دانه در واحد سطح، عملکرد بیولوژیک، ارتفاع بوته و تعداد روز تا ظهور سنبله در جهت مثبت می باشد. می توان این عامل را مرتبط با صفات افزایش دهنده عملکرد دانست. عامل دوم که ۲۲/۹۷درصد از تغییرات را توجیه می کند بیش‌تر تحت تأثیر صفات عملکرد دانه در واحد سطح، وزن هزار دانه، شاخص برداشت و وزن دانه در سنبله و در جهت مثبت بوده که می‌توان این عامل را عامل مؤثر بر عملکرد دانه نام نهاد.Leilah and AL-Khateebs, 2005 در بررسی عوامل مؤثر بر عملکرد دانه گندم تحت شرایط خشکی سه عامل را شناسایی کردند که عامل اول مؤثر بر عملکرد و اجزای عملکرد، عامل دوم مؤثر بر ارتفاع بوته و عامل سوم بر شاخص برداشت تأثیر گذار بود. عامل سوم که ۱۰/۷۸درصد از تغییرات کل را توجیه می کند، بیش‌تر تحت تأثیر صفت وزن هزاردانه در جهت مثبت و صفت تعداد دانه در سنبله در جهت منفی قرار داشت. عامل چهارم ۹/۹۰درصد از تغییرات کل را توجیه می کند که تحت تأثیر صفت تعداد روز تا گرده‌افشانی در جهت مثبت و صفت تعداد سنبله در واحد سطح در جهت منفی می‌باشد. Golabadi and Arzani 2003برای ویژگی‌های زراعی گندم دوروم (*Triticum durum*)از تجزیه به عامل‌ها استفاده کرده و شش عامل را شناسایی نمودند که عامل اول مؤثر بر عملکرد دانه، عامل دوم و چهارم مؤثر بر اجزای عملکرد و عامل های سوم، پنجم و ششم بار عاملی بزرگتر برای صفات مرتبط با رشد رویشی گیاه مانند عملکرد بیولوژیک و ارتفاع بوته داشتند.

نتایج تجزیه به عامل ها تحت شرایط تنش رطوبتی در جدول۹ نشان داده شده است. در این شرایط نیز چهار عامل پنهانی شناسایی که در مجموع ۸۴/۲۶درصد از تغییرات کل را به‌خود اختصاص دادند. عامل اول که به تنهایی۳۲/۲۷درصد از تغییرات را توجیه می کند، تحت تأثیر صفات تعداد سنبله در واحد سطح، عملکرد دانه در مترمربع، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت و در جهت مثبت بوده که این عامل را می توان عامل عملکرد نامید. عامل دوم ۲۹/۱۲درصد تغییرات کل را توجیه می‌نماید و تحت تأثیر صفات تعداد روز تا رسیدگی، تعداد روز تا گرده‌افشانی و تعداد روز تا ظهور سنبله در جهت مثبت بوده، که این عامل را می توان عامل فنولوژی نامید. عامل سوم که ۱۲/۸۷درصد از کل تغییرات را توجیه نموده، تحت تأثیر طول سنبله، وزن دانه در سنبله و تعداد دانه در سنبله در جهت مثبت می باشد و عامل خصوصیات سنبله نام دارد. عامل چهارم که ۹/۹۸درصد از کل تغییرات را توجیه می کند، تحت تأثیر صفت وزن هزاردانه در جهت مثبت می‌باشد. Nourmohamadi, Taleei and 1994در بررسی روابط بین عملکرد و اجزاء آن در گندم‌های بومی غرب ایران نشان دادند که هفت عامل به‌ترتیب خصوصیات برگ پرچم، خصوصیات پدانکل، عملکرد و اجزاءآن، زمان لازم تا رسیدگی و دوره پُرشدن دانه، عملکرد و شاخص برداشت، خصوصیات سنبله و دوره رویشی رشد گیاه حدود ۸۲/۲درصد تغییرات داده‌ها را توجیه می‌کنند.

جدول ۸- نتایج تجزیه به عامل‌های صفات مورد اندازه گیری در ۱٦۹لاین اینبرد نوترکیب گندم در شرایط معمولی

Table 8- Results of the factor analysis of studied traits in 169 recombinant inbred lines of wheat under normal conditions

صفات Traits	بار عامل اول first factor	بار عامل دوم second factor	بار عامل سوم third factor	بار عامل چهارم fourth factor
تعداد سنبله در واحد سطح number of spike per m^2	0.63	0.17	0.24	-0.59
تعداد روز تا رسیدگی Days to maturity	0.54	-0.06	-0.14	0.06
وزن هزاردانه 1000-grain weight (g)	-0.14	0.66	0.53	0.09
عملکرد دانه grain yield(kg/ ha)	0.59	0.74	0.06	-0.19
عملکرد بیولوژیک biological yield(kg ha-1)	0.77	0.53	0.13	-0.13
ارتفاع بوته plant height (cm)	0.69	0.30	-0.08	0.15
طول سنبله Spike length(cm)	-0.02	0.01	0.40	0.15
شاخص برداشت harvest index(%)	-0.11	0.74	-0.22	-0.16
وزن دانه در سنبله Grain weight in the spike(g)	0.21	0.81	-0.19	0.37
تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike	0.09	0.28	-0.77	0.17
تعداد روز تا گرده‌افشانی Days to anthesis	0.19	0.03	0.18	0.70
تعداد روز تا ظهور سنبله Days to heading	0.73	-0.22	-0.08	0.13
واریانس توجیه شده variance explained	23.43	22.97	10.78	9.90
واریانس توجیه شده تجمعی cumulative variance explained	23.43	46.40	57.19	67.09

با استفاده از روش تجزیه به عامل‌ها و بر اساس واکنش ژنوتیپ‌ها در هر دو محیط (معمولی و تنش رطوبتی)، لاین‌های ۴۰، ۲۷ و چهار که از نظر عوامل ذکر شده در مجموع شرایط بهتری داشتند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی شدند.

رگرسیون مرحله‌ای

زمانی که تعداد متغیر های مستقل زیاد باشد، برای پیدا کردن تأثیرگذارترین آن‌ها بر متغیر تابع (به‌طور مثال عملکرد) و برآورد معادله رگرسیون روش‌های متعددی وجود دارد که متداول‌ترین آن ها رگرسیون گام‌به‌گام می‌باشد. در این روش ابتدا مهم‌ترین متغیر مستقل رگرسیون که باعث افزایش هر چه سریع‌تر R^2 می‌شود، وارد معادله رگرسیون می‌گردد و به همین‌ترتیب متغیرهای بعدی وارد می شوند (Dofing and Knight, 1992; Zakizadeh *et al*., 2010). به این‌ترتیب با استفاده از روش رگرسیون مرحله‌ای می‌توان سهم هر صفت و میزان تأثیر بر عملکرد را تعیین کرد و صفاتی که بیش‌ترین تأثیر بر عملکرد را دارند، در برنامه اصلاحی برای بهبود ژنتیکی عملکرد مورد توجه قرار داد (Lobnani and Arzani 2011).

نتایج رگرسیون مرحله‌ای برای لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم نشان داد که در شرایط معمولی از میان صفات اندازه‌گیری شده، تعداد سنبله در واحد سطح نخستین متغیر وارد شده به مدل بود که ۶۴درصد تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمود. در مرحله بعدی وزن دانه در سنبله به مدل وارد شد که این دو صفت در مجموع ۹۵درصد تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمودند. ارتفاع بوته متغیر بعدی بود که به مدل وارد شد و تنها یک درصد از تغییرات را توجیه نمود. بنابراین، می توان صفات تعداد سنبله در واحد سطح و وزن دانه در سنبله را به عنوان مهم‌ترین عوامل اصلی تبیین‌کننده تغییرات عملکرد دانه لاین‌های نوترکیب گندم در شرایط بدون تنش رطوبتی معرفی نمود.

در شرایط تنش رطوبتی، نتایج رگرسیون مرحله‌ای برای عملکرد دانه در هکتار در لاین های گندم بیانگر این است که صفت تعداد سنبله در واحد سطح ۶۵درصد تغییرات عملکرد دانه را توجیه نموده است. پس از آن صفت وزن دانه در سنبله وارد مدل شد که این دو صفت در مجموع ۹۵درصد تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمودند. در

مرحله بعد ارتفاع بوته و روز تا گرده افشانی وارد مدل شدند کـه ایـن صفات همراه صفات قبلی توانستند جمعاً ۹۶درصد تغییـرات عملکـرد دانه را توجیه نمایند. نتایج حاصل از رگرسیون مرحله‌ای در دو محیط بدون تنش و تنش رطوبتی در جداول شماره ۱۰ و ۱۱ ارائه شده است.

جدول ۹- نتایج تجزیه به عامل‌های صفات مورد اندازه‌گیری در ۱۶۹لاین اینبرد نوترکیب گندم در شرایط تنش رطوبتی

Table 9- Results of the factor analysis of studied traits in 169 recombinant inbred lines of wheat under water stress conditions

صفات Traits	بار عامل اول first factor	بار عامل دوم second factor	بار عامل سوم third factor	بار عامل چهارم fourth factor
تعداد سنبله در واحد سطح number of spike per m^2	0.81	0.29	-0.29	0.05
تعداد روز تا رسیدگی Days to maturity	0.27	0.86	0.19	-0.10
وزن هزاردانه 1000-grain weight (g)	0.16	-0.03	0.20	0.88
عملکرد دانه grain yield(kg/ ha)	0.92	0.27	0.13	0.01
عملکرد بیولوژیک biological yield(kg ha-1)	0.78	0.52	0.18	-0.001
ارتفاع بوته plant height (cm)	0.65	0.54	0.31	0.04
طول سنبله Spike length(cm)	-0.04	0.17	0.72	0.12
شاخص برداشت harvest index(%)	0.80	-0.37	0.11	-0.004
وزن دانه در سنبله Grain weight in the spike(g)	0.63	0.13	0.64	-0.05
تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike	0.35	0.21	0.50	-0.61
تعداد روز تا گرده‌افشانی Days to anthesis	0.08	0.94	0.12	-0.07
تعداد روز تا ظهور سنبله Days to heading	0.10	0.94	0.08	-0.02
واریانس توجیه شده variance explained	32.27	29.12	12.87	9.98
واریانس توجیه شده تجمعی cumulative variance explained	32.27	61.39	74.27	84.26

جدول ۱۰- نتایج رگرسیون مرحله‌ای برای عملکرد دانه به‌عنوان متغیر تابع و سایر صفات به‌عنوان متغیرهای مستقل در لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم در شرایط معمولی

Table 10- Results of stepwise regression on grain yield as dependent variable and other triats as independent variables in recombinant inbred lines of wheat under normal conditions

مدل‌ها models	متغیرهای اضافه شده به مدل Variables added to the model	عرض از مبدأ Intercept	ضرایب رگرسیون Regression coefficients					R^2مدل	F
			b_1	b_2	b_3	b_4	b_5		
1	تعداد سنبله در واحد سطح number of spike per m2	88.09	0.54					0.64	134.92^{**}
2	وزن دانه در سنبله Grain weight in the spike	-465.95	0.59	778.96				0.95	1812.72^{**}
3	ارتفاع بوته plant height	-391.64	0.63	-1.66	840.87			0.96	32.27^{**}
4	تعداد روز تا ظهور سنبله Days to heading	-576.00	0.62	-1.79	842.25	1.41		0.96	2.15^{ns}
5	وزن هزاردانه 1000-grain weight	-678.71	0.62	1.26	-1.72	821.87	1.92	0.96	3.46^{ns}

ns و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

ns and ** , non-significant and significant at probability levels of 1%, respectively

جدول ۱۱- نتایج رگرسیون مرحله‌ای برای عملکرد دانه به‌عنوان متغیر تابع و سایر صفات به‌عنوان متغیرهای مستقل در لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم در شرایط تنش رطوبتی

Table 11- Results of stepwise regression on grain yield as dependent variable and other triats as independent variables in recombinant inbred lines of wheat under water stress conditions

مدل‌ها models	متغیرهای اضافه شده به مدل Variables added to the model	عرض از مبدأ Intercept	ضرایب رگرسیون Regression coefficients b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	R^2 مدل	F
1	تعداد سنبله در واحد سطح number of spike per m2	-86.82	0.56					0.65	316.16**
2	وزن دانه در سنبله Grain weight in the spike	-352.28	0.47	773.01				0.95	1094.38**
3	ارتفاع بوته plant height	-317.05	0.51	-1.35	866.79			0.95	18.29**
4	تعداد روز تا گرده‌افشانی Days to anthesis	-750.45	0.51	-1.92	866.03	3.18		0.96	11.22**
5	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike	-810.74	0.51	-1.95	-919.39	-1.24	3.65	0.96	4.98ns

ns و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

ns and ** , non-significant and significant at probability levels of 1%, respectively

نتیجه‌گیری

نتایج تجزیه واریانس بیانگر اثر معنی دار تنش رطوبتی بر صفات زراعی، مورفولوژیک و فنولوژیک (تعداد روز تا رسیدگی، تعداد روز تا گرده‌افشانی و تعداد روز تا ظهور سنبله) بود و تنها بر تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه و طول سنبله معنی‌دار نشد. بنابراین، اختلاف وراثتی در لاین های مورد مطالعه نشان‌دهنده تأثیرپذیری متفاوت آن‌ها از شرایط محیطی بود. هم‌چنین با توجه به وراثت‌پذیری بالا در این صفات نتیجه گرفته شد که صفات مذکور کمتر از محیط متأثر می شوند. وراثت پذیری شاخص برداشت در شرایط عدم تنش رطوبتی کمتر از شرایط اعمال تنش رطوبتی بود. هم‌چنین تعداد دانه در سنبله در دو رژیم رطوبتی از وراثت پذیری پایینی برخوردار بود. بر اساس وراثت‌پذیری خصوصی، بیش‌ترین وراثت‌پذیری در شرایط معمول رطوبتی به تعداد سنبله در واحد سطح (۷۷درصد) و در شرایط تنش رطوبتی، عملکرد دانه (۸۴درصد) بالاترین میزان وراثت‌پذیری را نشان داد.

کمترین بازدهی طرح لاتیس ساده نسبت به طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در شرایط تنش رطوبتی مربوط به صفات وزن هزاردانه (۱۰۰/۳۳درصد) و طول سنبله (۱۰۲/۲درصد) و در شرایط مطلوب رطوبتی (شاهد) به صفات روز تا رسیدگی (۱۱۱/۳۶درصد)، طول سنبله (۱۰۱/۱۴درصد)، شاخص برداشت (۱۰۴/۰۸درصد)، تعداد دانه در سنبله (۱۰۲/۴۴درصد) و تعداد روز تا گرده‌افشانی (کمتر از ۱۰۰درصد) تعلق داشت. اثر متقابل رقم×تیمار رطوبتی برای صفات مورد بررسی از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری را نشان نداد.

ضرایب همبستگی صفات زراعی، مورفولوژیک و عملکرد دانه در هر دو شرایط آزمایشی (تنش رطوبتی و عدم تنش رطوبتی) با وزن هزاردانه غیر معنی‌دار بود. در شرایط معمولی با طول سنبله ارتباط معنی داری نداشت، اما با سایر صفات مؤثر در عملکرد این ارتباط مثبت و معنی‌دار بود. ضرایب همبستگی صفات فنولوژیک با عملکرد دانه در شرایط تنش رطوبتی مثبت و بسیار معنی‌دار بود. همبستگی عملکرد در شرایط معمولی (شاهد) با تعداد روز تا گرده‌افشانی معنی‌دار نبود، اما با تعداد روز تا ظهور سنبله مثبت و بسیار معنی‌دار بود. بر اساس تقسیم‌بندی فرناندز لاین‌های شماره یک و ۶۹ به‌ترتیب متحمل‌ترین و حساس‌ترین لاین‌ها نسبت به تنش رطوبتی تشخیص داده شدند. بنابراین لاین شماره یک از نظر رشد در شرایط خشک و تولید اقتصادی، مقرون به‌صرفه خواهد بود.

تجزیه به عامل‌ها در شرایط معمولی چهار عامل و در شرایط تنش رطوبتی نیز چهار عامل معرفی نمود، که به‌ترتیب ۶۷/۰۹ و ۸۴/۲۶درصد از تنوع کل داده ها را توجیه کردند. در شرایط معمولی عامل اول به شدت تحت تأثیر صفات تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد روز تا رسیدگی، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، ارتفاع بوته و تعداد روز تا ظهور سنبله در جهت مثبت بود، در حالی‌که در شرایط تنش رطوبتی عامل اول به شدت تحت تأثیر تعداد سنبله در واحد سطح، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در جهت مثبت بود.

با استفاده از رگرسیون مرحله ای جهت گزینش صفات توجیه

کننده عملکرد دانه، در شرایط معمولی رطوبتی تعداد سنبله در واحد سطح نخستین متغیر وارد شده به مدل بود که ۶۴درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمود. در مرحله بعد وزن دانه در سنبله وارد مدل شد. این صفات در مجموع ۹۵درصد از تغییرات عملکرد دانه را تبیین نمودند. هم چنین در شرایط تنش رطوبتی نیز تعداد سنبله در واحد سطح اولین متغیر وارد شده به مدل بود که به‌تنهایی ۶۵درصد از تغییرات عملکرد دانه را تبیین نمود. در مرحله بعد وزن دانه در سنبله وارد مدل شد. این دو متغیر در مجموع ۹۵درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمودند.

References

1. Abdolshahy, R., Taleei, A.R., Omidi, M., and Yazdi Samadi, B. 2010. Study of the physiological and morphological characteristics associated with stress tolerance in bread wheat. Iranian Journal of Field Crop Science 41: 247-258. (in Persian).
2. Ahmadi, A., Ysvndh, R., and Poshiny, k. 2006. The interaction between stress and timing of nitrogen fertilizer on yield and physiological characteristics associated with wheat. Iranian Journal of Agricultural Sciences 37: 113-123. (in Persian).
3. Akram, Z., Ajmal, S., and Munir, M. 2008. Estimation of correlation coefficient among some yield parameters of wheat under rainfed conditions. Pakistan Journal of Botany 40: 1777-1781.
4. Arzani, A. 2001. Modified crops (translation). Second Edition, published by the Isfahan University of Technology. (in Persian).
5. Arzani, A. 2002. Grain yield performance of durum wheat germplasm under Iraninan dry land and irrigated field conditions. Sabrao Journal of Breeding and Genetics 34: 9 - 18.
6. Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency and yield potential–are they compatible, dissonant or mutually exclusive? Australian Journal of Agricultural Research 56: 1159-1168.
7. Dofing, S.M., and Knight, C.W. 1992. Alterneative model for path ananlysis of small-grain yield. Crop Science 32: 487-489.
8. Doorenbos, J., and Kassam, A.H. 1992. Yield response to water. FAO irrigation and drainage paper 33.
9. Ehdaie, B., Alloush, G.A., and Waines, J.G. 2008. Genotypic variation in linear rate of grain growth and contribution of stem reserves to grain yield in wheat. Field Crops Research 106: 34-43.
10. Farid, N., and Ehsanzadeh, P. 2006. Yield and yield components of safflower genotypes and their response to treatment inflorescence and leaf shading on the side, in the spring planting in Isfahan. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 10: 189-197 (in Persian).
11. Farshadfar, A. 1997. Identify methods of plant breeding, publications Razi University in Kermanshah (in Persian).
12. Fayaz, N., and Arzani, A. 2011. Moisture stress tolerance in reproductive growth stages in triticale (*X Tritcosecale* Wittmack) cultivars under field conditions. Crop Breeding Journal 1: 1- 12.
13. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. pp: 257-270. In: C. G. Kuo (Ed.). Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. AVRDC, Shanhue, Taiwan.
14. Fischer, R.A., and Mourer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural. Research 29: 897-912.
15. Garcya, Del., Moral, L.F., Rharrabti, Y., Villegas, D., and Royo, C. 2003. Evaluation of grain yield and its components in durum wheat under Mediterranean Condition: An onotogenic approach. Agronomy Journal 95:266-274.
16. Ghodsi, M., Chaychi, M., Jalal-Kamali, M.R., and Mazaheri, D. 2004. Determination of susceptibility of developmental stages in bread wheat to water stress and its effects on yield and yield components. Seed Plant Journal 20: 489-509 (in Persian).
17. Golabadi, M., and Arzani, A. 2003. Genetic and functional analysis of agronomic traits in durum wheat, Journal Of Science And Tenhnology Of Agriculture And Natural Resource 1: 115-126 (in Persian).
18. Golabadi, M., Arzani, A., and Maibody, S.M.M. 2005. Evaluation of variation among durum wheat F_3 families for grain yield and its components under normal and water stress field conditions. Czech Journal of Genetics and Plant Breeding 41: 263-267.
19. Gooding, M.J., Ellis, R.H., Shewry, P.R., and Schofield, J.D. 2003**.** Effect of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, draying and quality of winter wheat, Journal of Cereal Science 37:295-309.
20. Gouranga, K., Ashwani, A., and Martha, M. 2007. Water use efficiency and crop coefficients of dry season oilseed crops. Agricultural Water Management 87: 73-82.
21. Hoshmand, S. 2001. Genetic analysis of quantitative traits (translation), Shahrekord University Press (in Persian).
22. Huyuan, F., Xue, L.S., and Wang, L.X. 2007. The interactive effects of enhanced UV-B radiation and soil drought on spring wheat. South African Journal of Botany 73: 429-434.

23. Imam, Y., Ranjbaran, G., and Bohrani, M. 2007. Evaluation of grain yield and its components in wheat genotypes under drought conditions after flowering. , Journal Of Science And Tenhnology of Agriculture And Natural Resources 11: 317-327. (in Persian).
24. Inamullah, H., Ahmad, F., Sirajuddin, M., Hassan, G., and Gul, R. 2006. Diallel analysis of the inheritance pattern of agronomic traits of bread wheat. Pakistan Journal of Botany 38: 1169-1175.
25. Johnson, R.A., and Wichern, D.W. 2007. Applied multivariate statistical analysis. (4^{th} ed.), Prentice Hall International, INC. New Jersey.
26. Leilah, A., and AL-Khateebs, A. 2005. Statistic analysis of wheat yield under drought condition. Journal of Arid Environments 61: 483-490.
27. Leinbos, V., and Bergm, H. 1995. Changes in yield, ligin content and protein patterns of barley (*Hordeum vulgare* CV. Alexis) induced by drought stress. Angewandie Botanik. 69: 206-210.
28. Lobnani, M., and Arzani, A. 2011. Morpho-physiological traits associated with terminal drought-stress tolerance in triticale and wheat. Agronomy Research 9:315-329.
29. Lynnemclntyre, C., Mathews, K.L., Rattey, A., Chapman, C.S., Drenth, J., Ghaderi, M., Reynolds, M., and Shorter, R. 2010. Molecular detection of genetic regions associated with grain yield and yield–related components in an elite bread cross evaluted under irrigated and rainfed conditions. Theoretical and Applied Genetics 120: 527-541.
30. Moghadam, M. 1994. An introduction to multivariate statistical methods (translation), a leading publisher of science, Tabriz (in Persian).
31. Mozaffari, K., and Asadi, A.A. 2006. Relationships among traits using correlation, principal components and path analysis international safflower mutants sown in irrigated and drought stress condition. Asian Journal of Plant Sciences 5: 977-983.
32. Paknejad, F., Majidi, E., Seadat, A., and Vazan, S. 2007. Evaluation of drought stress on effective traits at accumulative assimilate of grain in different cultivars of wheat. International Journal of Agricultural Science and Research 11: 137-149 (in Persian).
33. Pierre, C.S., Petersona, J., Rossa, A., Ohma, J., Verhoevena, M., Larsona, M., and Hoefera, B. 2008. White wheat grain quality changes with genotype, nitrogen fertilization, and water stress. Agronomy Journal 100: 414-420.
34. Porch, T.G. 2006. Application of stress indices for heat tolerance screening of common bean. J.Agron. Crop Science 192, 390-394.
35. Richards, R.A., Condon, A.G., and Rebetzkej, G. 2001. Traits to improve yield in dry environments. p. 240. In: Reynolds, M. P., J. I. Ortiz-Monasterio, and A. McNab. (Eds.), Application of physiology in wheat breeding. Mexico, D. F. CIMMYT.
36. Rosielle, A.A., and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selections for yield in stress and non-stress environments. Crop Science 21: 943-946.
37. Saeedi, G., Abbasi, Z., and Mirlohi, A. 2003. Genetic variation, heritability and relationships between agronomic traits in genotypes of flax seed with yellow and brown colors, Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 10: 99-144 (in Persian).
38. Saleem, M. 2003. Respons of durum and breed wheat genotypes to drought stress. Asian Journal of Plant Science 2: 290-293.
39. Sanchez-Blanco, M.J., Rodringuez, P., Olmos, E., Morales, M.A., and Torrecillas, A. 2004. Differences in the effects of simulated sea aerosol on water relations, mineral content and ultrastructural in *Cistus albidus* and *Cistus monspeliensis* Plants. Journal of Environmental Quality 33: 1369-1375.
40. Sanjari, P.A., and Yazdansepas, A. 2008. Mobilization of dry matter and its relation with drought stress in wheat genotypes. Journal of Agricultural Science and Technology 11: 121-129.
41. Schillinger, W.F. 2005. Tillage method and sowing rate relations for dry land spring wheat, barley and oat. Crop Science 45:2636-2643.
42. Shahbazi, H. 2012. Evaluation of the tolerance in wheat recombinant inbred lines under field conditions, MSc thesis Plant Breeding, Faculty of Agriculture. Isfahan University of Technology. (in Persian).
43. Shah, N.H., and Paulsen, G.M. 2003. Interaction of drought and high temperature on photosynthesis and grain-filling of wheat. Plant Soil 257:219-226.
44. Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., and Mohammadi V. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crops Research 98: 222-229.
45. Taleei, A., and Nourmohamadi, S. 1994. The heritability of public and private, for agronomic traits in three crossed of bread wheat. Journal of Agricultural Science 25: 79-86. (in Persian).
46. Trethowan, R.M., and Reynolds, M. 2007. Drought resistance: Genetic approaches for improving productivity under stress. pp: 289-299 In: Buck H. R. (ed.): Wheat production in stressed environments, Springer, the Netherlands.
47. Zakizadeh, M., Esmaeilzadeh, M., and Kahrizi, D. 2010. Study on genetic variation and relationship between

plant characteristics and grain yield in long spike bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes-using multivariate analysis. Iranian Journal of Crop Sciences 12: 18-30. (in Persian).

48. Zeinali abadi, H. 1998. Evaluation of phenotypic and genotypic diversity and evaluation of yield and its components in wheat breeding MSc thesis, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology. (in Persian).

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 14, No. 4, Winter. 2017, p. 599-617

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵، ص. ۶۱۷-۵۹۹

Effect of Moisture Stress on Agronomic and Morphological Characteristics of Recombinant Inbred Lines in Wheat (*Triticum aestivum* L.)

H. Nourizadeh[1]- M. H. Ehtemam[2*]- A. Arzani[3]- M. Esmailzadeh-Moghadam[4]

Received: 01-02-2014
Accepted: 22-09-2015

Introduction

Drought stress as the most important abiotic stress plays an important role in yield reduction of crops worldwide. Considering the extends and problems caused by the moisture stress, agronomic and breeding strategies in reducing yield loss are essential. In this regard, the identification and selection of effective characteristics of wheat under drought stress in increasing yield, is essential. Determining the most important morphological characteristics affecting wheat yield under stress, in order to achieve the criteria for selection to improve the performance of this plant always has been important in breeding programs. Due to the variation in drought tolerance in wheat genotypes, it is necessary for efficient water usage in each region, cultivars with higher performance and better compatibility under lower irrigation requirement should be determined for efficient water use particularly in regions with scarce water resources. Improvement of a complex trait such as yield possessing low heritability, requires indirect selection using simpler traits viz morph-physiological traits.

Materials and Methods

This study was conducted to evaluate the effects of water stress on the agronomic and morphological traits of 169 recombinant inbred lines (RILs) in wheat *(Triticum aestivum* L.), using two separate lattice design (drought and control) at Research Farm of Isfahan University of Technology in 2011-2012. Recombinant inbred lines of wheat were obtained from the International Center for Wheat and Maize Improvement (CIMMYT) in Mexico. The recombinant inbred lines used in this study were derived from a cross between two Seri M82 and Babax parents after being selfed for 8 generations (F9). Seeds of each line were planted in a three meter row with a row distance of 30 cm. Irrigation, fertilization and control weeds in the experimental was conducted and to provide plant requirement N, based on soil analysis, urea fertilizer at the rate of 100 kg per hectare in two stages of growth were added to the ground in early spring. Two moisture regimes of 70 and 130 mm evaporation from evaporation pan class A (16% and 20% moisture by weight of soil, respectively) were employed, and soil moisture was measured during two irrigation treatments. In both experiments normal irrigation was conducted till middle of jointing stage, and were irrigated afterward based on class of the evaporation pan.

Results and Discussion

Drought stress significantly reduced days to heading, days to pollination, days to maturity, spike length, plant height, the number of spikes per m^2, the number of grains per spike, grain weight in the spike, 1000-grain weight, biological yield, grain yield and harvest index. Results of analysis of variance revealed significant differences among lines for all studied traits under normal conditions with the exception of number of grains per spike, grain weight in the spike, spike length, days to pollination and days to maturity. Under moisture stress conditions, the RILs significantly varied between the studied traits with the exception of number of grains per spike, 1000-grain weight and spike length. The correlation coefficients in the normal conditions showed that all traits had a positively correlated with grain yield with the exception of spike length and days to pollination. Under the moisture stress conditions the grain yield was correlated with all traits positively. The results of the factor analysis in both normal and stress moisture conditions showed that the measured traits have appeared either in a hidden factors which explained 67.09% and 84.26% of the total variation of the yield, respectively. Using three dimensional profiles, lines 4, 27 and 40 as the superior genotypes were introduced in terms of three factors. Based on the Fernandez's drought tolerance index lines 1 and 69 were identified as the most drought

1- Former MSc student of Plant Breeding
2-Assist. Prof. Isfahan University of Technology, College of Agriculture, Department of Agronomy and Plant Breeding
3-Professor of Isfahan University of Technology, College of Agriculture, Department of Agronomy and Plant Breeding
4- Resarcher, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Plant Breeding PhD
(*- Corresponding Author Email: hehtemam@cc.iut.ac.ir)

tolerant and the most drought sensitive ones, respectively. The results of stepwise regression on the grain yield under normal and moisture-stress conditions revealed that the number of spikes per m^2 and the grain weight in spike contributed 95% of the grain yield variations in both environmental conditions.

Conclusions

The results showed significant effects of drought on crop yield, morphological and phenological (days to maturity, days to pollination and days to heading), and only on the number of grains per plant, grain weight and spike were not significant. Therefore, in spite of inheritance variation in the studied lines supported by their effects from the environmental conditions. Also, considering the high heritability of these traits, it was concluded that these traits were less affected by the environment. Under normal compared to water stress conditions, the narrow-sense heritability of harvest index was lower. In normal conditions, the highest narrow-sense heritability belonged to the number of spike per m^2 (77%), but under water stress conditions, belonged to the grain yield (84%). According to the results, it can be concluded that the number of spikes per m^2 and the grain weight in spike have been the two most important components of gain yield under both normal and drought stress conditions. Moreover, the superior drought tolerance lines have the potential to improve the grain yield in both environmental conditions in the breeding programs.

Keywords: Drought stress, Drought tolerance index, Grain yield, Lattice design, Yield components