نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۶۰-۴۶

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 46-60

بررسی ضرایب همبستگی، تجزیه علیت صفات و شاخص‌های تحمل به خشکی ارقام مختلف گندم تحت شرایط کم‌آبیاری در اصفهان

حمیدرضا سالمی[۱]- علیرضا توکلی[۲*]- داود افیونی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۸/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۷/۰۲

چکیده

به‌منظور بررسی ضرایب همبستگی، تجزیه علیت صفات، شاخص‌های تحمل به خشکی و بهره‌وری آب ارقام مختلف گندم آبی تحت سطوح مختلف کم‌آبیاری، تحقیقی بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت اسپلیت پلات (کرت‌های خرد شده) در سه تکرار و به مدت سه سال زراعی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوترآباد اصفهان به اجرا درآمد. سه سطح تنش شامل: آبیاری کامل، تأمین آب به میزان ۸۰ درصد آبیاری کامل (۲۰ درصد کم‌آبیاری)، تامین آب به میزان ۶۰ درصد آبیاری کامل (۴۰ درصد کم‌آبیاری) در کرت‌های اصلی و شش رقم گندم شامل: پیشتاز، شیراز، سپاهان، مرودشت، مهدوی و بک‌کراس روشن در کرت‌های فرعی مورد مطالعه قرار گرفت. عملکرد دانه، بهره‌وری آب، عملکرد کاه و کلش، زیست توده، شاخص برداشت، درجه باردهی، ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در متر مربع، طول سنبله و وزن هزار دانه اندازه‌گیری و برآورد گردید. نتایج نشان داد که عملکرد دانه به ترتیب با درجه باردهی، تعداد سنبله در مترمربع، زیست توده، شاخص برداشت و ارتفاع بوته دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار بود. همبستگی عملکرد دانه با بهره‌وری آب، کاه وکلش و وزن هزار دانه غیرمعنی‌دار بود. نتایج تجزیه علیت و تعیین اثر مستقیم و غیر مستقیم اجزای موثر بر عملکرد دانه نشان داد که صفت تعداد سنبله در متر مربع مهم‌ترین عامل موثر در افزایش عملکرد دانه ارقام گندم بود. نتایج همچنین نشان داد که با اعمال تیمار ۴۰ درصد کم‌آبیاری مقادیر شاخص تحمل، شاخص بهره‌وری متوسط، میانگین هندسی بهره‌وری، شاخص تحمل تنش و میانگین هارمونیک برای رقم پیشتاز به‌ترتیب ۰/۷۱- ، ۱/۹۴، ۱/۹۲، ۱/۸۲ و ۱/۰۶ و برای رقم سپاهان به‌ترتیب ۰/۶۳- ، ۱/۸۳، ۱/۷۹، ۱/۵۹ و ۰/۹۲ و بالاترین مقادیر بودند. اعمال کم‌آبیاری به میزان ۴۰ درصد آبیاری کامل با دارا بودن برتری نسبی از لحاظ بهبود بهره‌وری آب مصرفی (آب آبیاری) بر دیگر تیمارها نیز برتری داشت. لذا در شرایط کم‌آبیاری بایستی از ارقامی استفاده شود که از تعداد پنجه بارور و تعداد سنبله در متر مربع بیشتری برخوردار باشند تا بتوانند جبران افت عملکرد در واحد سطح ناشی از اعمال کم‌آبیاری را بنمایند.

واژه‌های کلیدی: آبیاری کامل، اجزای عملکرد، بهره‌وری آب، تنش، شاخص تحمل

مقدمه

در مناطق خشک، آب و نه زمین، عامل محدودکننده در بهبود و افزایش تولیدات کشاورزی است، به حداکثر رساندن بهره‌وری از آب در تولید محصول، راهبردی موثرتر و بهتر برای مدیریت مصرف آب در چنین شرایطی است (Oweis and Hachum, 2004) و از آنجا که بخش اعظمی از اراضی زراعی ایران در نواحی خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند تعیین تحمل نسبی به خشکی در گیاهان زراعی از اهمیت ویژه برخوردار است. از سوی دیگر یکی از اهداف کشاورزی نوین، بهینه‌سازی مصرف آب از طریق اعمال مدیریت کم آبیاری تنظیم شده و تعیین حد بهینه آن می‌باشد. هر عامل رشدی که میزان محصول را افزایش دهد، بازده (کارآیی) مصرف آب را نیز بهبود می‌بخشد، این عوامل عبارتند از: رقم ، فاصله کاشت، دفع آفات و بیماری‌ها و علف‌های هرز، زمان کاشت و تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه. بهبود شیوه‌های عملیات زراعی همچون انتخاب ارقام مناسب، تعیین فاصله مناسب و عمق کاشت، کنترل آفات، بیماری‌ها و مبارزه با علف‌های هرز، تعیین زمان کاشت مناسب و تأمین عناصر

۱- استادیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
۲- دانشیار، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳- استادیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: art.tavakoli@gmail.com
DOI: 10.22067/gsc.v15i1.33241

غذایی مورد نیاز گیاه، سبب بهبود عملکرد و افزایش بهره‌وری آب مصرفی گردیده است (Tavakoli *et al.,* 2010). معمولاً عملکرد محصول تحت شرایط تنش کمتر از عملکرد آن در شرایط مطلوب است اما بهره‌وری از آب تحت شرایط تنش به مراتب بیشتر از شرایط آبیاری کامل است (Oweis *et al.,* 1999; Tavakoli, 2003; Tavakoli *et al.,* 2003).

یکی از اهداف کشاورزی نوین، بهینه‌سازی مصرف آب از طریق اعمال مدیریت کم‌آبیاری و انتخاب ارقامی می‌باشد که توان تولید در شرایط محدود آب را داشته باشند. اجزای عملکرد و صفات زراعی محصول تحت تاثیر سطوح کم‌آبیاری قرار می‌گیرند، اما بایستی بررسی شود که کدام‌یک از اجزای عملکرد و به چه میزان در بهبود عملکرد نقش دارند. بعضی مطالعات نشان می‌دهد که تنش رطوبتی در هر مرحله از رشد باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود (Day and Intalap, 1970; Ehlig and Lamert, 1976). بررسی ضرایب همبستگی عملکرد دانه با عملکرد کاه و کلش، زیست توده، شاخص برداشت، درجه باردهی، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله، طول سنبله، تعداد سنبله در متر مربع، تعداد روز تا گل‌دهی، تعداد روز تا رسیدن و دوره پر شدن دانه با اهمیت است. مشاهده گردید که عملکرد عمدتاً به تعداد پنجه‌های بارور در هر گیاه، تعداد دانه در هر سنبله و وزن هزار دانه بستگی دارد (Sarmadnia and Kochaki, 1994). نتایج یک بررسی نشان داده است که مهم‌ترین جزء محدودکننده عملکرد، تعداد دانه در سنبله است (Singh, 1981). تعداد دانه در هر سنبله شاخص مهمی است و تحت شرایط محیطی معین حداکثر عملکرد تولیدی حد مشخصی دارد و تولید بیشتر از آن ممکن نیست. از سوی دیگر افزایش تعداد دانه به ناچار کاهش وزن هزار دانه را به همراه خواهد داشت و بر عکس (Kochaki, 1997). در مطالعات به‌نژادی و مقاومت به خشکی گندم، مشاهده شده است در حالتی که رطوبت خاک کافی است، تعداد سنبله در واحد سطح بیشترین اثر را در تولید محصول دارد (Kochaki, 1997). در صورت وجود تنش رطوبتی، میزان مصرف نهاده‌ها نیز بایستی بهینه شود به نحوی که مصرف بیش از اندازه نیتروژن در زراعت گندم (*Triticum aestivum L.*) باعث افت عملکرد دانه از طریق کاهش تعداد سنبله‌ها می‌شود. اجزای عملکرد تحت تاثیر اعمال مدیریت، ژنوتیپ و محیط قرار می‌گیرند و غالباً در توجیه علت کاهش عملکرد به‌کار می‌روند. با توجه به روابط پیچیده صفات با یکدیگر، قضاوت نهایی نمی‌تواند صرفاً بر مبنای ضرایب همبستگی ساده انجام گیرد (Tousi-Mojarad and Bihamta, 2007). یکی از روش‌های بسیار مفید وکاربردی برای تجزیه همبستگی و پی بردن به اثر مستقیم و غیرمستقیم عوامل تولید، استفاده از تجزیه علیت[1] است. تجزیه علیت یکی از روش‌های مطالعه اصل علیت در میان مجموعه‌ای از متغیرها می‌باشد. تجزیه علیت یا ضرایب مسیر از روش‌های بسیار مفید و کاربردی برای تجزیه همبستگی و پی بردن به اثرات مستقیم و غیرمستقیم عوامل و اجزای تولید در گیاهان زراعی است. لذا از آنجایی که غالباً یک صفت، علاوه بر اثر مستقیم بر صفت دیگر، از طریق سایر صفات نیز به‌طور غیر مستقیم بر آن اثر خواهد گذاشت، لذا در این موارد، تجزیه ضرایب مسیر، روش مناسبی برای تعیین سهم اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات بر یکدیگر می‌باشد (Rafiei and Saeidi, 2005).

اگر چه اجزای اصلی عملکرد در گندم شامل تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه می‌باشد، اما وزن دانه یکی از اساسی‌ترین مولفه‌های عملکرد به شمار می‌رود. وزن دانه به سرعت رشد و طول دوره پرشدن دانه بستگی دارد، بنابراین هر عاملی که سرعت و یا طول دوره پرشدن دانه را تقلیل دهد، کاهش وزن هزاردانه را در پی خواهد داشت. معمولا افزایش تعداد سنبله در مترمربع، که موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود، کاهش تعداد دانه در سنبله را به‌همراه دارد. تعداد دانه در سنبله بیشترین اثر مستقیم و مثبت را بر عملکرد دانه داشته (Lotfali Aeeineh, 1997) و مهم‌ترین جزء مؤثر بر عملکرد بوده است (Mobasser, 1994).

شاخص‌های زیادی در ارزیابی تحمل به خشکی مورد توجه است که می‌توان به شاخص تحمل[2] (TOL)، شاخص بهره‌وری متوسط[3] (MP)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری[4] (GMP)، شاخص تحمل تنش[5] (STI) و شاخص میانگین هارمونیک[6] (HM) اشاره کرد که توسط محققین زیادی مورد استفاده قرار گرفت (Abd-Alshahi *et al.,* 2010; Farshahfar *et al.,* 2001; Fernandez, 1992; Kristin *et al.,* 1997; Rosielle and Hambling, 1981; Tavakoli and Mahdavi Moghadam, 2013; Veici-Mal-Amiri *et al.,* 2010; Yousefi-Azar and Rezai, 2007). شاخص تحمل و بهره‌وری متوسط توسط روزیلی و هامبلین (Rosielle and Hambling, 1981) برای شرایط تنش و بدون تنش تعریف شده‌اند و مقادیر بالای TOL بیانگر حساسیت بیشتر به خشکی است لذا مقادیر پایین آن مناسب است (Tavakoli and Mahdavi Moghadam, 2013). هنگامی که اختلاف نسبی زیادی بین YS و YP وجود داشته باشد شاخص MP دارای یک اریب به طرف پتانسیل عملکرد خواهد بود، لذا جهت رفع این مشکل شاخص GMP که بر اساس میانگین هندسی عملکرد تیمارها و ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش و بدون تنش محاسبه می‌شود توسط فرناندز

1- Path analysis

2- Tolerance Index = TOL
3- Mean Productivity = MP
4- Geometric Mean Productivity = GMP
5- Stress Susceptibility Index = STI
6- Harmonic Mean = HM

(Fernandez, 1992) ارائه گردید. شاخص تحمل تنش STI و میانگین هندسی بهره‌وری GMP توسط فرناندز (Fernandez, 1992) بیان شده و اشاره دارد که مقادیر بالای شاخص STI نشان دهنده تحمل بیشتر گیاه به خشکی است. در نهایت شاخص تحمل تنش به عنوان مناسب‌ترین شاخص شناخته شد (Zebarjadi *et al.*, 2013).

هدف از این تحقیق تعیین ضرایب همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد تحت شرایط کم‌آبیاری، تعیین اثر مستقیم و غیر مستقیم صفات مؤثر بر عملکرد دانه با استفاده از روش تجزیه علیت و مطالعه شاخص‌های تحمل به خشکی ارقام گندم تحت رژیم‌های مختلف آبیاری بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوترآباد اصفهان و بر روی شش رقم گندم نان در شرایط فاریاب انجام شد. تحقیق بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت اسپلیت پلات با سه سطح آبیاری (کرت اصلی) شامل: آبیاری کامل، تأمین آب به میزان ۸۰ درصد آبیاری کامل (۲۰ درصد کم‌آبیاری)، تامین آب به میزان ۶۰ درصد آبیاری کامل (۴۰ درصد کم‌آبیاری) و شش رقم گندم نان (کرت های فرعی) شامل: پیشتاز، شیراز، سپاهان، مرودشت، مهدوی و بک‌کراس روشن به اجرا درآمد. ابعاد هر کرت فرعی ۱/۲×۶ متر بود که شامل شش خط ۶ متری بر روی دو پشته با فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود. تاریخ کاشت در سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۳ به ترتیب ۱۹ آبان، ۲۸ آبان و ۲۵ آبان بود. به‌منظور جلوگیری از اثر سطوح آبیاری کرت‌های اصلی بر یکدیگر ضمن در نظر گرفتن حاشیه در طرفین آنها، فواصل ۱/۵متری برای جداسازی آنها از یکدیگر در نظر گرفته شد. میزان بذر بر اساس وزن هزار دانه و با تراکم ۴۰۰ دانه در متر مربع تعیین و با دستگاه بذر کار آزمایشی وینتر اشتایگر در عمق ۵-۳ سانتی‌متری کشت گردید. کودهای شیمیایی (نیتروژن، فسفر و پتاس) بر اساس تجزیه شیمیایی خاک و با در نظر داشتن توصیه مؤسسه تحقیقات خاک و آب مصرف شد. نیتروژن در سه تقسیط و فسفر و پتاس تماماً در زمان کاشت مصرف شد. در طول دوره رشد، مراقبت‌های زراعی لازم از قبیل مبارزه با علف‌های هرز (با استفاده از علفکش توفوردی) انجام و تیمارهای آبیاری به طور منظم اعمال گردید. نحوهٔ آبیاری به‌صورت جویچه‌ای با اسپایل بوده و اندازه‌گیری حجم آب مصرفی توسط فلوم WSC انجام شد.

پس از حذف حاشیه‌ها، نمونه‌هایی از هر کرت تیمارها و به مساحت یک مترمربع به‌صورت دستی برداشت و به آزمایشگاه منتقل و صفات مورد نظر اندازه‌گیری و برآورد شد. صفات یادداشت‌برداری و اندازه‌گیری شده شامل: عملکرد دانه، کاه و کلش و زیست توده، شاخص برداشت، درجه باردهی، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در مترمربع بود. ضرایب همبستگی عملکرد دانه با صفات اندازه‌گیری و محاسبه شده (کاه و کلش، زیست توده، شاخص برداشت، درجه باردهی، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع و ارتفاع بوته) تعیین گردید. از طریق تجزیه علیت (Path Analysis) نقش و اثر مستقیم و غیرمستقیم اجزای عملکرد بر عملکرد دانه (تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه) مشخص گردید.

برای بررسی شاخص‌های تحمل به خشکی پنج شاخص تحمل (TOL) (Tavakoli, 2012)، شاخص بهره‌وری متوسط (MP)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص تحمل تنش (STI) و شاخص میانگین هارمونیک (HM) مورد ارزیابی قرار گرفتند که از طریق روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$TOL=\hat{Y}_{P\&S}-Y_S \quad (۱)$$

$$MP=\frac{Y_S+Y_P}{2} \quad (۲)$$

$$STI=\frac{Y_S\times Y_P}{\left(\bar{Y}_P\right)^2} \quad (۳)$$

$$GMP=(Y_S\times Y_P)^{0.5} \quad (۴)$$

$$HM=\frac{2\times Y_S\times Y_P}{\hat{Y}_S+\hat{Y}_P} \quad (۵)$$

که در آن:

Y_S: عملکرد تحت شرایط تنش، کیلوگرم در هکتار

$\hat{Y}_{P\&S}$: متوسط عملکرد تیمارهای تحت تنش (۲۰ یا ۴۰ درصد) و بدون تنش، کیلوگرم در هکتار

Y_P: عملکرد تحت شرایط بدون تنش یا آبیاری کامل، کیلوگرم در هکتار

$\hat{Y}_P$: متوسط عملکرد تحت شرایط بدون تنش، کیلوگرم در هکتار

$\hat{Y}_S$: متوسط عملکرد تحت هر یک از شرایط تنش، کیلوگرم در هکتار

تحلیل داده‌ها با این شاخص‌ها در گزینش تیمار برتر کم‌آبیاری و رقم مناسب به محقق کمک خواهد کرد. از میان شاخص‌های مورد مطالعه، منفی‌تر بودن شاخص تحمل (TOL) و بزرگتر (مثبت) بودن دیگر شاخص‌ها مطلوبیت دارد. علامت منفی شاخص تحمل بیانگر این است که سطوح کم‌آبیاری دارای بهره‌وری از آب آبیاری بیشتری نسبت به آبیاری کامل برخوردارند.

با توجه به اینکه هدف نهایی کشاورز تولید دانه است، مبنای نتیجه‌گیری عملکرد دانه است. با این توضیح که یک نوبت از عملکرد دانه و نوبت دیگر از شاخص بهره‌وری از آب مصرفی (Water Productivity=WP) به‌جای عملکرد دانه استفاده شد که این صفت

بیانگر اهمیت مصرف آب در تولید به ازای واحد آب مصرفی است (Tavakoli and Mahdavi Moghadam, 2013).

$$IWP = \frac{Y_G}{IWU} \quad (۶)$$

که در آن:

IWP: شاخص بهره‌وری آب آبیاری در تولید دانه، کیلوگرم بر مترمکعب

Y_G: عملکرد دانه، کیلوگرم در هکتار

IWU: آب آبیاری، مترمکعب در هکتار

پس از تجزیه و تحلیل نتایج سه سال، با استفاده از نرم‌افزار SPSS، Excel و STATISTICA، ضرایب همبستگی عملکرد دانه با کاه و کلش، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، شاخص برداشت، زیست توده، درجه باردهی (عملکرد دانه بر حسب تن در هکتار+ زیست توده بر حسب تن در هکتار+ شاخص برداشت بر حسب درصد)، (Kochaki, 1997) و بهره‌وری آب به دست آمد.

نتایج و بحث

ضرایب همبستگی و تجزیه علیت

با توجه به اینکه روابط بین پارامترها در هر سه سال دارای همبستگی معنی‌داری بود، لذا روابط این صفات تکرارپذیر بوده و روابط آنها تحت تاثیر اثر سال قرار نگرفت، بنابراین استفاده از میانگین آنها برای تعیین ضرایب همبستگی و تجزیه علیت توجیه‌پذیر است. بر این اساس نتایج نشان می‌دهد عملکرد دانه به ترتیب با درجه باردهی ($r=۰/۷۹۸^{**}$)، تعداد سنبله در متر مربع ($r=۰/۷۱^{**}$)، زیست توده ($r=۰/۶۲۹^{**}$)، شاخص برداشت ($r=۰/۵۳۸^{**}$) و ارتفاع بوته ($r=۰/۲۸۴^{*}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. همبستگی عملکرد دانه با بهره‌وری آب ($r=۰/۱۶۸$)، کاه وکلش ($r=۰/۰۵۹$) و وزن هزار دانه ($r=-۰/۰۱۵$) غیرمعنی‌دار بود (جدول ۱).

بین عملکرد دانه و وزن هزار دانه همبستگی منفی و غیر معنی‌دار موجود بود (جدول ۱). این نتایج با گزارش اهدایی و همکاران (Ehdaei *et al.,* 1994) مطابقت اما با نتایج حسین‌پور و همکاران (Hosseinpor *et al.,* 2001)، محمدی (Mohammadi, 1998)، سنجری (Sanjari, 1993)، خباز صابری و همکاران (Khabbaz-Saberi *et al.,* 1993) و شری‌واستانا و همکاران (Shrivastana *et al.,* 1980) مغایرت دارد. عملکرد دانه با شاخص برداشت همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار داشت (جدول ۱). نتیجه تحقیق حاضر توسط اهدایی و همکاران (Ehdaei *et al.,* 1994)، توکلی و همکاران (Tavakoli *et al.,* 2003)، محمدی (Mohammadi, 1998) و حسین‌پور و همکاران (Hosseinpor *et al.,* 2001) تأیید شده است اما برخی گزارش کردند که بین شاخص برداشت و عملکرد دانه همبستگی وجود ندارد (Sanjari, 1993). شاخص برداشت که به نوعی بیانگر اثربخشی تعرق در تولید محصول است، یکی از صفات بسیار مهم و موثر در افزایش عملکرد دانه ارقام جدید بوده و نقش مهمی در پیشرفت ژنتیکی ارقام گندم داشته است.

برآورد عملکرد دانه به وسیله برآورد اولیه تعداد سنبله در واحد سطح و سپس تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه ممکن می‌شود (James and Rojer, 1991). تعداد سنبله در واحد سطح (متر مربع) با محصول دانه همبستگی مثبت نشان داد (جدول ۱). این نتیجه توسط مبصر (Mobasser, 1994)، توکلی و همکاران (Tavakoli *et al.,* 2003)، اهدایی و همکاران (Ehdaei *et al.,* 1994) و هامپتون و همکاران (Hampton *et al.,* 1981) تأیید شده است. مشاهده شده در حالتی که رطوبت خاک کافی باشد، تعداد سنبله در واحد سطح بیشترین تاثیر را در تولید محصول دارد (Kochaki, 1997). عملکرد دانه با زیست توده همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار داشت (جدول ۱). این نتیجه توسط محققین دیگر همچون توکلی و همکاران (Tavakoli *et al.,* 2003) و محمدی (Mohammadi, 1998) تأیید شده است. عملکرد دانه با ارتفاع بوته همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (جدول۱). وجود رابطه معنی‌دار بین عملکرد دانه و ارتفاع توسط توکلی و همکاران (Tavakoli *et al.,* 2003)، اهدایی و همکاران (Ehdaei *et al.,* 1994) و محمدی (Mohammadi, 1998) تأیید شده است، اما سنجری (Sanjari, 1993) نشان داد که عملکرد دانه گندم با ارتفاع گیاه رابطه معنی‌داری ندارد. اگر چه صفت تعداد دانه در هر سنبله مهم است اما حداکثر عملکردی که در شرایط محیطی معین می‌توان تولید کرد، مقداری مشخص است (Kochaki, 1997). چنین رابطه‌ای بین تعداد سنبله در متر مربع و تعداد دانه در سنبله نیز وجود دارد و با افزایش تعداد سنبله، تعداد دانه بیشتری در واحد سطح تولید می‌شود و بدین واسطه بین دانه‌ها برای جذب اسمیلات‌ها رقابت ایجاد می‌شود.

در بررسی ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و اجزای آن (جدول ۱) نشان داده شدکه بین عملکرد دانه و تعداد دانه در سنبله همبستگی منفی و غیرمعنی‌دار وجود داشت. حسین‌پور و همکاران (Hosseinpor *et al.,* 2001) نیز از وجود همبستگی بسیار ضعیف منفی خبر دادند، اما اهدایی و همکاران (Ehdaei *et al.,* 1994)، محمدی (Mohammadi, 1998)، سنجری (Sanjari, 1993)، توکلی و همکاران (Tavakoli *et al.,* 2003)، شری‌واستانا و همکاران (Shrivastana *et al.,* 1980) و هانچینال و همکاران (Hanchinal *et al.,* 1994) وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه و تعداد دانه در سنبله را گزارش کردند که با نتایج این تحقیق مغایرت دارد.

جدول ۱- ضرایب همبستگی عملکرد دانه با صفات مورد مطالعه

Table 1- Correlation coefficients of grain yield with related traits

صفات Factor	کاه وکلش Straw	زیست توده[1] Biomass[a]	شاخص برداشت[2] Harvest index[b]	درجه بارهی[3] Productivity degree[c]	تعداد سنبله در مترمربع Spike.m^{-2}	ارتفاع بوته Plant Height	تعداد دانه در سنبله Grain/spike	وزن هزار دانه TGW[d]	بهره‌وری آب WP[e]
Grain Yield	0.059 ns	0.629 **	0.538 **	0.798 **	0.71 **	0.284 *	- 0.066 ns	- 0.015 ns	0.168 ns
Straw	1	0.813 **	- 0.363 **	- 0.005 ns	0.247 ns	0.377 **	0.31 *	- 0.075 ns	- 0.316 *
Biomass		1	0.031 ns	0.461 **	0.606 **	0.459 **	0.202 ns	- 0.068 ns	- 0.148 ns
Harvest index			1	0.894 **	0.277 *	- 0.073 ns	- 0.306 *	- 0.083 ns	0.393 **
Productivity degree				1	0.539 **	0.131 ns	- 0.166 ns	- 0.093 ns	0.29 *
Spike.m^{-2}					1	0.198 ns	- 0.049 ns	- 0.036 ns	0.225 ns
Plant Height						1	0.114 ns	0.275 *	- 0.319 *
Grain/spike							1	- 0.131 ns	- 0.503 **
TGW								1	- 0.594 **

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns: غیر معنی‌دار

* and ** : Significant at the 5 and 1% levels of probability, respectively

ns : Non- significant

a: Biomass yield b: Harvest index c: Productivity degree d: Thousand Grain weight (TGW) e: Water Productivity

شاید یکی از دلایل این مغایرت مربوط بـه همبسـتگی مثبـت و معنی‌دار بین عملکرد و تعداد سنبله در مترمربـع و رابطـه معکـوس و منفی بین تعداد دانه در سنبله با وزن دانه باشد.

ضرایب همبستگی به خودی خود گویای تمام واقعیت‌ها نیسـت، لذا با توجه به تجزیه علیت به تفکیک اثر مستقیم و غیر مستقیم این صفات پرداخته می‌شود. با استفاده از اثـر مسـتقیم صـفات و ضـرایب همبستگی ساده (جدول ۱) برای تعیین اثـر غیـر مسـتقیم صـفات از روابط تعریف شده در تعیین اثـرات غیـر مسـتقیم بـر اسـاس اثـرات مستقیم و ضرایب همبستگی استفاده شد که روشی ساده در محاسـبه اثر غیرمستقیم محسوب می‌شود.

در چهار وضعیت داده‌هـا تنظـیم و تجزیـه و تحلیـل شـدند ۱- به‌کارگیری کل داده‌ها ۲- داده‌های مربوط به شرایط آبیاری کامل ۳- داده‌های مربوط ۸۰٪ آبیاری کامل و ۴- داده‌هـای مربـوط بـه ۶۰٪ آبیاری کامل. در هر چهار حالت میانگین تکرار هر سال و بـرای سـه سال آزمایش مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج نشان داد که در حالت استفاده کل داده‌ها (جدول ۲) تعـداد سنبله در متر مربع (۰/۷۰۸) بر عملکرد دانه موثر بـوده اسـت. بـرای شرایط آبیاری کامل (جدول ۳) که شرایط غیر تنش محسوب می‌شود، تعداد سنبله در متر مربع (۰/۶۰۳) دارای اثـر مثبـت و تعـداد دانـه در سنبله (۰/۳۴۵-) و وزن هزار دانه (۰/۴۳-) دارای اثـر منفـی بودنـد، تحت شرایط این آزمایش مشخص شد، با افزایش تعداد سنبله در متر مربع، رقابت بین بوته افزایش یافته و تعداد دانه در سنبله یا وزن هزار دانه کاهش یافت.

در حالت سوم و تحت شرایط ۸۰ درصد آبیاری کامل (جدول ۴)، شرایطی مشابه آبیاری کامل برقرار بود با این تفاوت کـه اثـر منفـی تعداد دانه در سنبله (۰/۴۳۸-) بـه مراتـب بیشـتر از وزن هـزار دانـه (۰/۲۹۴-) بود، اما هم‌چنان بیشترین اثر مربوط به تعداد سنبله در متر مربع (۰/۶۵) می‌باشد. در حالـت چهـارم و تحـت شـرایط ۶۰ درصـد آبیاری کامل (جدول ۵)، روندی مشابه شرایط فوق وجود داشت، یعنی اثر مثبت تعداد سنبله در متر مربع (۰/۴۵۴) و اثر منفی تعداد دانـه در سنبله (۰/۵۲-) و وزن هزار دانه (۰/۵۹۴-) مشهود بود.

با توجه به جدول ۶ و با مقایسه شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری چنین استنباط می‌شود که در شرایط آبیاری کامل عملکرد ارقام گندم دارای نوسان (انحراف معیـار) کـم بـود، در صـورتی کـه بـا اعمـال کم‌آبیاری اختلاف عملکرد به‌طور چشمگیری افزایش یافـت. صـفات میانگین تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع و وزن هزار دانه با اعمال کم‌آبیاری کاهش پیدا کرد. آرمینیان و همکاران (Arminian *et al.*, 2010) طی تحقیقی در ارزیابی روابـط بـین عملکـرد دانـه و برخی صفات ارقام گندم از طریق تجزیه ضرایب مسیر نشان دادند که طول سنبله و تعداد دانه در سنبله بیشترین اثر مستقیم و معنی‌دار بـر عملکرد دانه داشت. طی تحقیقـی بـرای تعیـین اثـر مسـتقیم و غیـر

مستقیم صفات مؤثر بر عملکرد دانه گندم آبی از طریق تجزیه علیت نشان داده شد که به ترتیب تعداد سنبله در متر مربع و تعداد دانه در سنبله، مهم‌ترین عامل مؤثر در عملکرد دانه بودند و ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و تعداد سنبله در متر مربع با عملکرد، ناشی از اثرات مثبت غیرمستقیم کاه وکلش و تعداد دانه در سنبله بود (Tavakoli, 2012).

جدول ۲- تفکیک ضرایب همبستگی اجزای عملکرد دانه گندم به اثر مستقیم و غیرمستقیم، بر مبنای کل داده‌ها (n =٥٤)

Table 2- Partitioning of correlation coefficients to direct and indirect effects by path analysis method, based on total data (n=54)

به کارگیری کل داده‌ها Total data	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیر مستقیم Indirect effect			ضرایب همبستگی با عملکرد دانه § Corr. Coeff. with grain yield
		تعداد سنبله در متر مربع Spike.m^{-2}	تعداد دانه در سنبله Grain/spike	وزن هزار دانه TGW (g)	
تعداد سنبله در متر مربع Spike.m^{-2}	0.708**	-	0.002^{ns}	0.000^{ns}	0.71**
تعداد دانه در سنبله Grain/spike	– 0.031^{ns}	- 0.035^{ns}	-	-0.001	0.066^{ns}
وزن هزار دانه TGW	- 0.006^{ns}	– 0.025^{ns}	0.004^{ns}	–	-0.015^{ns}

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد ns: غیر معنی‌دار P: بیانگر اثر مستقیم $R = 0.71$ $R^2 = 0.51$ $R^2adj = 0.475$

* and **: Significant at the 5% and 1% level of probability respectively, $R = 0.71$, $R^2 = 0.51$, $R^2adj = 0.48$

§: ضریب همبستگی هر کدام از صفات با عملکرد دانه برابر مجموع اثرات مستقیم و غیر مستقیم می‌باشد.

§: R^2 (correlation coefficients) = Direct effect + Indirect effect

جدول ۳- تفکیک ضرایب همبستگی اجزای عملکرد دانه گندم به اثر مستقیم و غیرمستقیم، بر مبنای آبیاری کامل (n =۱۸)

Table 3- Partitioning of correlation coefficients to direct and indirect effects by path analysis method, based on full irrigation (n=18)

۲- داده‌های مربوط به شرایط آبیاری کامل 2 – Full irrigation	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیر مستقیم Indirect effect			ضرایب همبستگی با عملکرد دانه § Corr. Coeff. with grain yield
		تعداد سنبله در متر مربع Spike.m^{-2}	تعداد دانه در سنبله Grain/spike	وزن هزار دانه TGW (g)	
تعداد سنبله در متر مربع Spike m^{-2}	0.603**	-	– 0.01^{ns}	0.126^{ns}	0.719 **
تعداد دانه در سنبله Grain/spike	– 0.345^{ns}	0.017^{ns}	-	0.199^{ns}	– 0.13^{ns}
وزن هزار دانه TGW	- 0.43 *	– 0.177^{ns}	0.159^{ns}	–	-0.447^{ns}

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد ns: غیر معنی‌دار $R = 0.82$ $R^2 = 0.67$ $R^2adj = 0.6$

* and **: Significant at the 5% and 1% level of probability respectively, $R = 0.82$, $R^2 = 0.67$, $R^2adj = 0.60$

§: ضریب همبستگی هر کدام از صفات با عملکرد دانه برابر مجموع اثرات مستقیم و غیر مستقیم می‌باشد.

§: R^2 (correlation coefficients) = Direct effect + Indirect effect

جدول ٤- تفکیک ضرایب همبستگی اجزای عملکرد دانه گندم به اثر مستقیم و غیر مستقیم، بر مبنای ۸۰٪ آبیاری کامل (n =۱۸)

Table 4- Partitioning of correlation coefficients to direct and indirect effects by path analysis method, based on 80% full irrigation (n=18)

۳- داده‌های مربوط به شرایط ۸۰٪ آبیاری کامل 3 –80% Full irrigation	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیر مستقیم Indirect effect			ضرایب همبستگی با عملکرد دانه § Corr. Coeff. with grain yield
		تعداد سنبله در متر مربع Spike.m^{-2}	تعداد دانه در سنبله Grain/spike	وزن هزار دانه TGW (g)	
تعداد سنبله در متر مربع Spike m^{-2}	0.65 **	-	0.018^{ns}	0.059^{ns}	0.727**
تعداد دانه در سنبله Grain/spike	–0.438 **	- 0.027^{ns}	-	0.081^{ns}	– 0.384^{ns}
وزن هزار دانه TGW	- 0.295	– 0.129^{ns}	0.121^{ns}	–	-0.302^{ns}

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد ns: غیر معنی‌دار $R = 0.85$ $R^2 = 0.73$ $R^2adj = 0.67$

* and **: Significant at the 5% and 1% level of probability respectively, $R = 0.85$, $R^2 = 0.73$, $R^2adj = 0.67$

§: ضریب همبستگی هر کدام از صفات با عملکرد دانه برابر مجموع اثرات مستقیم و غیر مستقیم می‌باشد.

§: R^2 (correlation coefficients) = Direct effect + Indirect effect

جدول ۵- تفکیک ضرایب همبستگی اجزای عملکرد دانه گندم به اثر مستقیم و غیر مستقیم، بر مبنای ۶۰٪ آبیاری کامل (n =۱۸)

Table 5- Partitioning of correlation coefficients to direct and indirect effects by path analysis method, based on 60% full irrigation (n=18)

٤- داده‌های مربوط به شرایط ۶۰٪ آبیاری کامل 4 –60% Full irrigation	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیر مستقیم Indirect effect			ضرایب همبستگی با عملکرد دانه § Corr. Coeff. with grain yield
		تعداد سنبله در متر مربع Spike.m^{-2}	تعداد دانه در سنبله Grain/spike	وزن هزار دانه TGW (g)	
تعداد سنبله در متر مربع Spike m^{-2}	0.454**	-	0.266 ns	– 0.004 ns	0.717**
تعداد دانه در سنبله Grain/spike	–0.52**	- 0.23 ns	-	0.25 ns	– 0.502*
وزن هزار دانه TGW	- 0.594**	0.003	0.219 ns	–	– 0.373 ns

* و ** : به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد ns: غیر معنی‌دار P: بیانگر اثر مستقیم R = 0.9 R^2 = 0.81 R^2adj = 0.77

* and **: Significant at the 5% and 1% level of probability respectively, R = 0.90, R^2 = 0.81, R^2adj = 0.77

§: ضریب همبستگی هر کدام از صفات با عملکرد دانه برابر مجموع اثرات مستقیم و غیر مستقیم می‌باشد.

§: R^2 (correlation coefficients) = Direct effect + Indirect effect

جدول ٦- میانگین و انحراف معیار اجزای عملکرد در چهار حالت تجزیه علیت داده‌ها

Table 6- The mean and standard deviation of yield components under four status of path analysis

		تعداد داده‌ها n	عملکرد دانه Grain yield (kgha^{-1})	تعداد دانه در سنبله Grain/spike	تعداد سنبله در متر مربع Spike.m^{-2}	وزن هزار دانه TGW (g)
حالت اول First	میانگین Avg.	54	6825	34	592	37.4
	انحراف معیار SE		972	4	85	3.5
حالت دوم Second	میانگین Avg.	18	7500	36	617	39.2
	انحراف معیار SE		787	4	90	3.5
حالت سوم Third	میانگین Avg.	18	6720	33.8	588	38.0
	انحراف معیار SE		796	4	85	2.5
حالت چهارم Fourth	میانگین Avg.	18	6254	32.4	570	35.0
	انحراف معیار SE		923	3	78	3.0

در تمام این حالات مشاهده می‌شود که اثر مثبت مستقیم و غیرمستقیم تعداد سنبله در مترمربع بر عملکرد دانه و صفات دیگر مشهود و برجسته است. لذا می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که در شرایط کم‌آبیاری بایستی از ارقامی استفاده نمود که بتوانند تعداد پنجه بارور و تعداد سنبله در متر مربع بیشتری تولید نمایند و از این طریق افت عملکرد در واحد سطح ناشی از اعمال کم‌آبیاری را جبران نمایند.

در این قسمت به نتایج تحقیقات برخی محققین اشاره می‌شود و ممکن است نتایج به دست آمده در برخی موارد با گزارشات دیگر محققین در برخی موارد همسو نباشد که با توجه به ماهیت کم‌آبیاری تیمارهای آزمایشی که بر این تحقیق حاکم بوده، منطقی و قابل قبول است. دوفینگ و نایت (Dofing and Knight, 1992) اثر مستقیم تعداد دانه در سنبله را روی عملکرد دانه مثبت و مهم گزارش نموده‌اند و اهدایی و همکاران (Ehdaei *et al.,* 1994) بیشترین اثر مستقیم روی عملکرد دانه را مربوط به تعداد دانه در سنبله دانسته‌اند، اما کومار و گوپتا (Kumar and Gupta, 1984) اثر تعداد دانه در سنبله را بر روی عملکرد دانه مثبت و کم گزارش نمودند. افزایش عملکرد دانه از طریق افزایش وزن هزار دانه به‌طور مستقیم توسط دوفینگ و نایت (Dofing and Knight, 1992)، مقدم و همکاران (Moghaddam *et al.,* 1993)، اهدایی و وینز (Ehdaei and Waines, 1987)، شمس‌الدین (Shamsuddin, 1987)، موندال و همکاران (Mondal *et al.,* 1997) و حسین‌پور و همکاران (Hosseinpor *et al.,* 2001) گزارش شده است. در تحقیقات انجام شده توسط موندال و همکاران

(Mondal *et al.*, 1997) ضرایب تجزیه علیت نشان داد که تعداد دانه در سنبله، وزن دانه و تعداد پنجه اثر مستقیم مثبت روی عملکرد دانه داشته‌اند، ضمن اینکه ارتفاع بوته و زمان رسیدن فیزیولوژیک اثر مستقیم منفی روی عملکرد داشته‌اند. شمس‌الدین (Shamsuddin, 1987) اثر مستقیم تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در بوته و وزن دانه روی عملکرد دانه گندم را مثبت تعیین نمود. از طریق تجزیه علیت نشان داده شد که به ترتیب تعداد سنبله در متر مربع و تعداد دانه در سنبله، مهم‌ترین عوامل موثر بر عملکرد دانه گندم بودند و ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و تعداد سنبله در متر مربع با عملکرد، ناشی از اثرات مثبت غیرمستقیم کاه وکلش و تعداد دانه در سنبله بوده است (Tavakoli and Mahdavi Moghadam, 2013).

توکلی و مهدوی مقدم (Tavakoli and Mahdavi Moghadam, 2013) نشان دادند که با افزایش میزان مصرف آب از ۱۶۰ میلی‌متر به ۲۲۰ میلی‌متر (آبیاری کامل) تفاوت معنی‌داری در افزایش کاه وکلش، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و وزن هزار دانه مشاهده نشد، اما سبب افزایش ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در متر مربع گردید. ایشان توصیه نمودند، جهت افزایش عملکرد دانه در شرایط تنش رطوبتی، از بین اجزای عملکرد دانه ابتدا تعداد سنبله در واحد سطح، سپس تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه و شاخص برداشت را بایستی افزایش داد. اما برای افزایش عملکرد دانه دانه در شرایط معمولی از بین اجزای عملکرد دانه، به ترتیب تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در واحد سطح و وزن هزار دانه را بایستی افزایش داد و در شرایط عدم محدودیت آب بهتر است با افزایش دوره رشد رویشی، میزان شاخ و برگ، افزایش یابد، چون در پرشدن دانه و تغذیه دانه دخالت دارد.

شاخص‌های تحمل به خشکی

شاخص‌های تحمل به خشکی بر اساس متوسط داده‌های سه سال تحقیق برآورد شد و در جداول ۷ الی ۱۰ به ترتیب برای عملکرد دانه، کاه و کلش، زیست توده و شاخص بهره‌وری آب آبیاری در تولید دانه نشان داده شده است.

داده‌های جدول ۷ نشان می‌دهد که در هر دو سطح ۲۰ و ۴۰ درصد کم‌آبیاری و بر مبنای عملکرد دانه، ابتدا رقم پیشتاز و سپس رقم سپاهان به دلیل دارا بودن مقادیر بیشتر شاخص‌های MP، GMP، STI و HM و مقدار منفی‌تر شاخص TOL برتری داشت. این برتری با میزان عملکرد دانه نیز همسو بود.

بدیهی است که مقادیر کمتر TOL مناسب‌تر است و بیانگر پایداری عملکرد می‌باشد. البته بالا بودن شاخص‌های GMP، MP و HM نیز مطلوب بیان شده است (Maleki *et al.*, 2009). توکلی (Tavakoli, 2012) گزارش کرد که شاخص‌های TOL، MP، GMP، STI و HM در سطح ۶۶ درصد آبیاری کامل گندم آبی و ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، نسبت به دیگر تیمارها برتری داشت (Tavakoli, 2012). نادری و همکاران (Naderi *et al.*, 2013) نشان دادند که ژنوتیپ‌های گزینش شده در شرایط بدون محدودیت آب، در شرایط تنش ملایم کمبود آب نیز عملکرد بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارند. همچنین نتایج حاصل از مطالعه همبستگی بین شاخص‌ها و میانگین عملکرد دانه در شرایط کم‌آبیاری و آبیاری کامل نشان داد که مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال کردن لاین‌ها، شاخص‌های بهره‌وری متوسط، تحمل تنش، میانگین هندسی بهره‌وری و میانگین هارمونیک هستند (Fallahi *et al.*, 2011).

بر اساس میزان عملکرد در واحد سطح و شاخص‌های تحمل به خشکی مبتنی بر عملکرد، تیمار ۲۰ درصد کم‌آبیاری، برتری نشان می‌دهد اما بایستی بررسی شود که از منظر بهره‌وری آب و شاخص‌های تحمل به خشکی مبتنی بر بهره‌وری نیز، این برتری حفظ خواهد شد یا خیر؟

جدول ۸ و ۹ نشان می‌دهند که ۲۰ درصد کم‌آبیاری برای کلیه ارقام به دلیل دارا بودن مقادیر بیشتر شاخص‌های MP، GMP، STI و HM و مقدار منفی‌تر شاخص TOL برتری داشت، اما بر اساس کاه و کلش نمی‌توان برتری رقم خاصی را به اثبات رساند که به خصوصیات و ویژگی‌های خاص رقم مربوط می‌شود. ولی بر مبنای زیست توده، ابتدا رقم پیشتاز و بعد از آن سپاهان به دلیل دارا بودن مقادیر بیشتر شاخص‌های MP، GMP، STI و HM و مقدار منفی‌تر شاخص TOL برتری دارند اگر چه این برتری با مقادیر کمی زیست توده همسو نیست.

آنچه که در شرایط کشور بسیار اهمیت دارد محدودیت منابع آب و فراوانی نسبی اراضی است و آب، و زمین عامل محدودکننده تولید به شمار نمی‌رود، لذا شاخص بهره‌وری آب یعنی تولید به ازای واحد آب مصرفی ملاک و معیار اساسی در تعیین تیمار برتر کم‌آبیاری محسوب می‌شود. بر اساس جدول ۱۰ تیمار ۶۰ درصد آبیاری کامل در بهره‌وری از آب دارای برتری بارزی نسبت به سطح ۸۰ درصد آبیاری کامل و سطح آبیاری کامل دارد به‌طوری که مقدار شاخص بهره‌وری آب برای رقم پیشتاز و تحت تیمارهای آبیاری کامل، ۸۰ و ۶۰ درصد آبیاری کامل به‌ترتیب ۱/۶۳، ۱/۷۶ و ۲/۲۶ کیلوگرم بر میلی‌متر و برای رقم سپاهان و برای تیمارهای فوق به‌ترتیب ۱/۴۸، ۱/۷ و ۲/۱۷ کیلوگرم بر میلی‌متر به دست آمد که نشان‌دهنده برتری سطح ۴۰ درصد کم‌آبیاری برای ارقام پیشتاز و سپاهان است.

جدول ۷- شاخص‌های تحمل به خشکی برای عملکرد دانه در مقایسه دو سطح کم‌آبیاری با آبیاری کامل

Table 7- Drought tolerance indices under different deficit irrigation levels based on grain yield

	پیشتاز Pishtaz	شیراز Shiraz	سپاهان Sepahan	مرودشت Marvdasht	مهدوی Mahdavi	بک‌کراس روشن BC-Roshan
			عملکرد دانه Grain Yield (kg ha^{-1})			
I 60% ($S_{60\%}$)	6852	6098	6600	6073	5569	6331
I 80% ($S_{80\%}$)	7135	6747	6887	6363	6204	6985
I 100%	8250	7568	7494	7508	6690	7490
			۲۰ درصد کم‌آبیاری 20% deficit irrigation			
TOL	-25	363	223	747	906	125
MP	7693	7158	7191	6936	6447	7238
GMP	7672	7146	7184	6912	6442	7233
STI	1.05	0.91	0.92	0.85	0.74	0.93
HM	4143	3594	3633	3363	2922	3683
			٤٠ درصد کم‌آبیاری 40% deficit irrigation			
TOL	258	1012	510	1037	1541	779
MP	7551	6833	7047	6791	6130	6911
GMP	7519	6793	7033	6752	6104	6886
STI	1.01	0.82	0.88	0.81	0.66	0.85
HM	4117	۳۳۵۹	3600	3318	2714	3451

۶۸۷۷ $\hat{Y}_{P\& 60\%}$=۷۱۱۰ $\hat{Y}_{P\& 80\%}$ = ۶۲۵۴ $\hat{Y}_{60\%}$ =۶۷۲۰ $\hat{Y}_{80\%}$ =۷۴۸۶ $\hat{Y}_P$ =

$\hat{Y}_{P\&60\%}$=6877 $\hat{Y}_{P\&80\%}$=7110 $\hat{Y}_{60\%}$ = 6254 $\hat{Y}_{80\%}$ = 6720 $\hat{Y}_P$ =7486

جدول ۸- شاخص‌های تحمل به خشکی برای عملکرد کاه در مقایسه دو سطح کم‌آبیاری با آبیاری کامل

Table 8- Drought tolerance indices under different deficit irrigation levels based on straw yield

	پیشتاز Pishtaz	شیراز Shiraz	سپاهان Sepahan	مرودشت Marvdasht	مهدوی Mahdavi	بک‌کراس روشن BC-Roshan
			عملکرد کاه Straw Yield (kg.ha^{-1})			
I 60% ($S_{60\%}$)	7289	8010	8177	8734	8489	9112
I 80% ($S_{80\%}$)	7869	7864	8614	9061	8464	8981
I 100%	7907	8845	10289	9359	7880	10643
			۲۰ درصد کم‌آبیاری 20% deficit irrigation			
TOL	-1915	859	864	111	-333	234
MP	9275	7888	8355	9453	9210	8187
GMP	9174	7888	8340	9416	9209	8181
STI	1.07	0.79	0.89	1.13	1.08	0.85
HM	4778	3532	3949	5033	4814	3800
			٤٠ درصد کم‌آبیاری 40% deficit irrigation			
TOL	1876	2630	2128	2564	3159	2396
MP	7551	7174	7084	6784	6538	6511
GMP	7518	7093	7068	6747	6466	6508
STI	1.0	0.89	0.89	0.81	0.74	0.75
HM	4109	3657	3631	3309	3039	3079

۶۹۴۰ $\hat{Y}_{P\& 60\%}$=۸۷۲۸ $\hat{Y}_{P\& 80\%}$ = ۶۲۵۴ $\hat{Y}_{60\%}$ =۸۷۵۸ $\hat{Y}_{80\%}$ =۸۸۵۶ $\hat{Y}_P$ =

$\hat{Y}_{P\&60\%}$=6940 $\hat{Y}_{P\&80\%}$=8728 $\hat{Y}_{60\%}$ = 6254 $\hat{Y}_{80\%}$ = 8758 $\hat{Y}_P$ =8856

اما آنچه که بسیار اهمیت دارد همسویی شاخص‌های تحمل به خشکی با نتیجه ناشی از شاخص بهره‌وری آب می‌باشد، به‌طوری که مقادیر شاخص TOL، MP، GMP، STI و HM تحت تیمار ۶۰ درصد کم‌آبیاری برای رقم پیشتاز به‌ترتیب ۰/۷۱-، ۱/۹۴، ۱/۹۲، ۱/۸۲ و ۱/۰۶ و برای رقم سپاهان به‌ترتیب ۰/۶۳-، ۱/۸۳، ۱/۷۹، ۱/۵۹ و ۰/۹۲ و بالاترین مقادیر بودند.

مقدار کمتر شاخص تحمل مطلوبیت دارد (Tavakoli and Mahdavi Moghadam, 2013) و علامت منفی شاخص تحمل نشانگر این است میزان این شاخص در ۶۰ درصد کم‌آبیاری و برای رقم پیشتاز و سپاهان بیشتر از شرایط آبیاری کامل می‌باشد. ضمن اینکه مقادیر بیشتر شاخص‌های بهره‌وری متوسط، میانگین هندسی بهره‌وری، شاخص تحمل تنش (Fernandez, 1992) و میانگین

هارمونیک در انتخاب گزینه برتر مطلوبیت دارد. شیوه آنالیز نتایج این تحقیق که روشی برای تعیین گزینه برتر و بهینه آبیاری است مورد تأیید محققین دیگر نیز می‌باشد.

جدول ۹- شاخص‌های تحمل به خشکی برای عملکرد بیوماس در مقایسه دو سطح کم‌آبیاری با آبیاری کامل

Table 9- Drought tolerance indices under different deficit irrigation levels based on biomass yield

	پیشتاز Pishtaz	شیراز Shiraz	سپاهان Sepahan	مرودشت Marvdasht	مهدوی Mahdavi	بک‌کراس روشن BC-Roshan
			عملکرد بیوماس Biomass Yield (kg ha^{-1})			
I 60% ($S_{60\%}$)	14140	14109	14777	14808	14058	15444
I 80% ($S_{80\%}$)	15004	14611	15504	15424	14698	15966
I 100%	16157	16413	17783	16867	14570	18133
			۲۰ درصد کم‌آبیاری 20% deficit irrigation			
TOL	-2199	940	1332	439	519	1254
MP	17145	15581	15512	16644	16145	14634
GMP	17117	15570	15486	16605	16129	14634
STI	1.09	0.91	0.90	1.03	0.97	0.80
HM	9179	7594	7513	8638	8150	6709
			٤۰ درصد کم‌آبیاری 40% deficit irrigation			
TOL	1803	1835	1166	1136	1885	500
MP	15149	15133	15595	16295	15462	15007
GMP	15115	15098	15574	16227	15399	15001
STI	0.85	0.85	0.91	0.98	0.89	0.84
HM	7390	7374	7846	8518	7670	7279

۱۵۴۴۰ $\hat{Y}_{P\&\ 60\%}$=۱۵۹۴۴ $\hat{Y}_{P\&\ 80\%}$= ۱۴۵۵۶ $\hat{Y}_{60\%}$ =۱۵۵۶۳ $\hat{Y}_{80\%}$ =۱۶۳۵۸$\hat{Y}_P$ =

$\hat{Y}_{P\&60\%}$ =15440 $\hat{Y}_{P\&80\%}$ =15944 $\hat{Y}_{60\%}$ = 14556 $\hat{Y}_{80\%}$ = 15563 $\hat{Y}_P$ =16358

جدول۱۰- شاخص‌های تحمل به خشکی برای بهره‌وری آب در مقایسه دو سطح کم‌آبیاری با آبیاری کامل

Table 10- Drought tolerance indices under different deficit irrigation levels based on water productivity

	پیشتاز Pishtaz	شیراز Shiraz	سپاهان Sepahan	مرودشت Marvdasht	مهدوی Mahdavi	بک‌کراس روشن BC-Roshan
			بهره‌وری از آب مصرفی (WP) ناشی ازآب آبیاری Irrigation water productivity (kg mm^{-1})			
I 60% ($S_{60\%}$)	2.26	2.01	2.17	2.00	1.83	2.09
I 80% ($S_{80\%}$)	1.76	1.67	1.70	1.57	1.53	1.73
I 100%	1.63	1.50	1.48	1.48	1.32	1.20
			۲۰ درصد کم‌آبیاری 20% deficit irrigation			
TOL	-0.21	-0.12	-0.15	-0.02	0.02	-0.18
MP	1.70	1.58	1.59	1.53	1.43	1.46
GMP	1.69	1.58	1.59	1.53	1.42	1.44
STI	1.42	1.23	1.24	1.15	1.00	1.02
HM	0.93	0.81	0.82	0.76	0.66	0.67
			٤۰ درصد کم‌آبیاری 40% deficit irrigation			
TOL	-0.71	-0.46	-0.63	-0.45	-0.29	-0.54
MP	1.94	1.75	1.83	1.74	1.58	1.64
GMP	1.92	1.73	1.79	1.72	1.56	1.58
STI	1.82	1.48	1.59	1.46	1.20	1.24
HM	1.06	0.86	0.92	0.85	0.70	0.72

۱/۷۵ $\hat{Y}_{P\&\ 60\%}$=۱/۵۵ $\hat{Y}_{P\&\ 80\%}$= ۲/۰۶ $\hat{Y}_{60\%}$ =۱/۶۶ $\hat{Y}_{80\%}$ =۱/۴۲$\hat{Y}_P$ =

$\hat{Y}_{P\&60\%}$ =15440 $\hat{Y}_{P\&80\%}$ =15944 $\hat{Y}_{60\%}$ = 14556 $\hat{Y}_{80\%}$ = 15563 $\hat{Y}_P$ =16358

احمدی و سی و سه مرده (Ahmadi and Sio-Se-Mardeh, 2003) طی تحقیقی بر روی کولتیوارهای گندم اصلاح شده گزارش کردند که شاخص‌های تحمل به تنش و متوسط محصول دهی نسبت به دیگر شاخص‌ها موثرتر هستند. هم‌چنین فرشادفر و همکاران (Farshadfar *et al.,* 2001) شاخص‌های MP، GMP، STI و HM و کرمی و همکاران (Karami *et al.,* 2005) و ملکی و

همکاران (Maleki *et al.,* 2009) شاخص‌های MP، GMP و STI را مناسب‌ترین شاخص دانسته‌اند. بدیهی است که مقادیر کمتر TOL مناسب‌تر است و بیانگر پایداری عملکرد می‌باشد. البته بالا بودن شاخص‌های GMP، MP و HM نیز مطلوبیت دارد (Maleki *et al.,* 2009). بررسی توکلی و مهدوی مقدم (Tavakoli and Mahdavi Moghadam, 2013) نشان می‌دهد که شاخص‌های تحمل به خشکی شامل شاخص تحمل، شاخص بهره‌وری متوسط، میانگین هندسی بهره‌وری، شاخص تحمل تنش و شاخص میانگین هارمونیک نشان داد که ۶۶ درصد آبیاری کامل و ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص در بهبود بهره‌وری آب آبیاری برتری دارد.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق مشاهده شد که عملکرد دانه با درجه باردهی، تعداد سنبله در متر مربع، زیست توده، شاخص برداشت و ارتفاع بوته همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت و بیشترین اثر مستقیم مربوط به صفت تعداد سنبله در مترمربع بود. همچنین بر اساس نتایج مکتسبه از این تحقیق، و با هدف بهبود شاخص بهره‌وری آب، اعمال ۲۰ درصد کم‌آبیاری نسبت به آبیاری کامل قابل توصیه است. در شرایط کمبود شدید آب قابل دسترس، حداکثر می‌توان تا ۴۰ درصد کاهش آب مصرفی نسبت به آبیاری کامل را برای گندم رقم پیشتاز و سپاهان اعمال کرد و در این شرایط افت عملکرد قابل توجه خواهد بود. سطوح کم‌آبیاری از نظر شاخص‌های تحمل به خشکی شامل شاخص تحمل، شاخص بهره‌وری متوسط، میانگین هندسی بهره‌وری، شاخص تحمل تنش و میانگین هارمونیک و همچنین شاخص بهره‌وری آب آبیاری ارقام گندم قابل توجیه است. این نتایج می‌تواند مورد توجه و استفاده در مطالعات به‌نژادی قرار گیرد.

References

1. Abd-Alshahi, R., Omidi, M., Taleei, A. R., and Yazdi-Samadi, B. 2010. Evaluation of bread wheat genotypes for drought tolerance. Electronic Journal of Crop Production 3 (1):159-171. (in Persian with English abstract).
2. Ahmadi, A., and Sio-Se-Mardeh, A. 2003. Relationships among growth indices, drought resistance and yield in wheat cultivars of different climates of Iran under stress and non stress conditions. Iranian Journal of Agricultural Sciences 34 (3): 667-679. (in Persian with English abstract).
3. Arminian, A., Houshmand, S., and Shiran, B. 2010. Evaluation the relationships between grain yield and some of its related traits in a doubled-haploid bread wheat population. Electronic Journal of Crop Production 3 (1): 21-38. (in Persian with English abstract).
4. Day, A. D., and Intalap, S. 1970. Some effects of soil moisture on the grown of wheat. Agronomy Journal 62: 27-29.
5. Dofing, S. M., and Knight, C. W. 1992. Alternative model for path analysis of small – grain yield. Crop Science 32 (2): 487-489.
6. Ehdaei, B., and Waines J. C. 1987. Genetic variability, heritability and path analysis in land races of bread wheat from south western of Iran. Euphytica 41: 1183-1190.
7. Ehdaei, B., Normohammadi, Gh., and Vala, A. 1994. Environment sensitive and correlations of yield and its components for Doroum wheat varieties under different environmental conditions. The Scientific Journal of Agriculture 17: 15-31. (in Persian with English abstract).
8. Ehlig, C. F., and, Lamert, R. D. 1976. Water use and productivity of wheat under five irrigation treatments. Soil Science Society American Journal 40: 750-755.
9. Fallahi, H. A., Jafarbye, J. A. and Sayyedi, F. 2011. Evaluation of drought tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. Seed and Plant Improvement Journal 27 (1): 15-22. (in Persian with English abstract).
10. Farshadfar, E., Zamani, M., Motallebi, M., and Imamjomeh, A. 2001. Selection for drought resistance in chickpea lines. Iranian Journal of Agricultural Science 32 (1): 65-77. (in Persian with English abstract).
11. Fernandez, G. C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In proceeding of the symposium, Taiwan, 13-18 Aug.1992.
12. Hampton, J. B., Mecloy, B. L., and Memillan, D. R. 1981. Ear population and wheat production. Journal of Experimental Agriculture 185-189.
13. Hanchinal, R. R., Tandon, J. P., and Salimath, P. M. 1994. Variation and adaptation of wheat varieties for heat tolerance in peninsular India. Pp.175-183.
14. Hosseinpor, T., Siadat, A., and Mamaghani, R. 2001. Study correlation of physiological characteristics of ten wheat genotypes with grain yield due to path analysis under rainfed condition of Kohdasht region. Azad University of Dezfol Branch, 156 pp. (in Persian with English abstract).
15. James, R. C., and Roger, J. V. 1991. Wheat health management, APS press the American phytopathological experimentation design and analysis, John Willy and Sons.

16. Karami, E., Ghanadha, M. R., Naghavai, M. R., and Mardi, M. 2005. Identifying of drought tolerant varieties in barley. Iranian Journal of Agricultural Sciences 37: 371-379. (in Persian with English abstract).
17. Khabbaz-Saberi, H., Ghomi, S., and Chraghali, A. 1993. Study and determination of suitable density of advanced wheat varieties. Journal of Seed and Plant. 9 (3&4): 26-29. (in Persian with English abstract).
18. Kochaki, A. 1997. Production and crop breeding at rainfed farming. Jahad e Daneshgahi press of Ferdowsi University, 302pp. (in Persian with English abstract).
19. Kristin, A. S., Serna R. R., Perez F. I., Enriquze B. C., Gallegos J. A. A., Vallejo P. R., Wassimi N., and Kelley J. D. 1997. Improving common performance under drought stress. Crop Science 37: 43-50.
20. Kumar, D., and S.C., Gupta, 1984. Correlation and path coefficient analysis in barley grown on normal and salin soils. Indian journal of agricultural sciences 54 (4): 356-358.
21. Lotfali Aeeineh, Gh. 1997. Study phonological and physiological characteristics of five durum wheat genotypes under four levels of nitrogen fertilizer and Ahvaz climate condition. College of Agriculture, Shahid Chamran University, 137pp. (in Persian with English abstract).
22. Maleki, A., Majidi-Hrvan, I., Heidari-Sharif-Abad, H., and Nur-Mohammadi, Gh. 2009. Evaluation of drought tolerance in bread wheat landraces and improved water conditions and drought stress. Iranian journal of agricultural sciences 5 (16): 81-91. (in Persian with English abstract).
23. Mobasser, S. 1994. Study correlation of yield and its components and some morphological characteristics of barley due to path analysis. College of Agriculture, Shahid Chamran University, 71pp. (in Persian with English abstract).
24. Moghaddam, M., Basirat, M., Rahimzadeh, F., and Shakiba, M. 1993. Path analysis of yield and its components and some morphological characters on winter wheat. Journal of Agricultural Sciences 4 (1 & 2): 48-73. (in Persian with English abstract).
25. Mohammadi, M. 1998. Study correlation between agronomic characters and wheat yield under rainfed condition. Agricultural Research Center of Kohgiloyeh and Boyer Ahmad, No 77/232, 11pp. (in Persian with English abstract).
26. Mondal, A. B., Sadhu, D. P., and Asrkar, K. K. 1997. Correlation and path analysis in bread wheat. Environment and Ecology, 15: 537-539.
27. Naderi, A., Akbari Moghaddam, H., and Mahmoodi, K. 2013. Evaluation of bread wheat genotypes for terminal drought stress tolerance in south-warm regions of Iran. Seed and Plant Improvement Journal 29 (3): 601-616. (in Persian with English abstract).
28. Oweis, T., and Hachum, A. 2004. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity of dry farming systems in West Asia and North Africa. 4th international crop science congress 26th. September to 1st October 2004, Queensland, Australia.
29. Oweis, T., Hachum, A., and Kijne, J. 1999. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water use efficiency in dry areas. SWIM paper no.7. 38pp.
30. Rafiei, F., and Saeidi, Gh. 2005. Phenotypic and genotypic relationships between agronomic traits and yield components of Safflower. Journal of Science Agriculture 28: 137-147.
31. Rosielle, A. A., and Hambling, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non- stress environments. Crop Science 21: 943-946.
32. Sanjari, A. Gh. 1993. Study effects of yield components on yield of wheat varieties. Journal of Seed and Plant, 9(1&2): 15-20. (in Persian with English abstract).
33. Sarmadnia, G. H., and Kochaki, A. 1994. Physiological aspects of rainfed farming. Jahad e Daneshgahi press of Ferdowsi University, 424pp. (in Persian with English abstract).
34. Shamsuddin, A. K. 1987. Path analysis in bread wheat. Indian Journal of Agricultural Sciences 57: 478-490.
35. Shrivastana, S. N., Sadar D. K., and Mallick M. H. 1980. Association analysis in rainfed wheat. Indian Journal of Genetics and Plant Breeding 40: 512-514.
36. Singh, S. D. 1981. Moisture sensitive growth stages of dwarf wheat and optimal sequencing of evapotranspiration deficits. Agronomy Journal 73: 387-391.
37. Tavakoli, A. R. 2003. Effects of supplemental irrigation and nitrogen rates on yield and yield components of rainfed wheat. Journal of Crop and Seed. 19 (3): 367–381. (in Persian with English abstract).
38. Tavakoli, A. R. 2012. Correlation coefficient, path analysis and drought tolerance indices for wheat under deficit irrigation conditions and nitrogen levels. Iranian Journal of Field Crop Research 10 (1): 198-206. (in Persian with English abstract).
39. Tavakoli, A. R., and Mahdavi Moghadam, M. 2013. Path analysis, drought tolerance indices and yield and yield components for wheat under deficit irrigation and nitrogen conditions. International Journal of Agriculture: Research and Review 4 (22): 1681-1687.
40. Tavakoli, A.R., Belson, V., Ferri. F. and Razavi, R. 2003. Response of rainfed wheat to supplemental irrigation and nitrogen rates. Final Research Report, Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Maragheh, 114pp. (in Persian with English abstract).
41. Tavakoli, A. R., Oweis, T., Ashrafi, Sh., Asadi, H., Siadat, H. and Liaghat, A. 2010. Improving rainwater

productivity with supplemental irrigation in upper Karkheh river basin of Iran. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria, 123pp.
42. Tousi-Mojarad, M. and Bihamta, M. R. 2007. Investigating grain yield and related quantitative characters of wheat using factor analysis. Journal of Agricultural Sciences 17: 97-107. (in Persian with English abstract).
43. Veici-Mal-Amiri, I., Haghparast, R., Aghaei Sarbarzeh, M., Farshadfar, E., and Rajaba, R. 2010. Evaluation of drought tolerante of barley (*Hordeum vulgare L.,*) genotypes using physiological charateristics and drought tolerante indices. Seed and Plant Production Journal 26-1: 43-60. (in Persian with English abstract).
44. Yousefi-Azar M., and Rezai A. 2007. Evaluation of drought tolerance in wheat lines. Journal of Soil and Water Sciences 11 (42-A): 113-121. (in Persian with English abstract).
45. Zebarjadi, A. R., Tavakoli Shadpey, S., Etminan, A. R., and Mohammadi, R. 2013. Evaluation of drought stress tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. Seed and Plant Improvement Journal 29 (1):1-12. (in Persian with English abstract).

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 46-60

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۶۰-۴۶

Correlation Coefficient, Path Analysis and Drought Tolerance Indices for Different Wheat Cultivars under Deficit Irrigation Conditions of Isfahan Region

H. R. Salemi[1]- A. R. Tavakoli[2*]- D. Afiuni[3]

Received: 03-03-2013
Accepted: 21-04-2016

Introduction

Water crisis as a main factor of agronomy limitation exists in all over the arid and semiarid regions such as Isfahan province which is located in the central part of the Zayandehrud River Basin. This study aimed to use path analysis and indices of drought to evaluate the correlation coefficients between main physiological parameter (grain yield) with yield components and water use efficiency of winter wheat under three water conditions.

Materials and Methods

The experiment was carried out in Kaboutar Abad Agricultural Research Station, Isfahan in the central region of Iran (32º 31'N, 51º 51'E is located at the altitude of 1545 m above the sea level) with a split plot in a randomized complete block design (RCBD) with three replications in three cropping seasons on irrigated wheat cultivars. The treatments were included three levels of irrigation (60%FI, 80%FI and full irrigation) as main plots and six wheat cultivars (Pishtaz, Shiraz, Sepahan, Marvdasht, Mahdavi and BC-Roshan) as sub plots. Grain yield, straw and stubble, biological yield, harvest index (H.I.), productivity degree (P.D.), water use efficiency (WUE), plant height, grain number per spike, spike number per m^2 and TGW were determined. Winter wheat cultivars were sown at the beginning of November and harvested in mid-June of the following year. The seed rate was 400 seed m^{-2}, with a row spacing of 0.75 m. The first irrigation was by furrow method, implemented one day after seeding. Seeds emergence was observed about 5 days later. The N application was 250, 200 and 300 $kgha^{-1}$ of N (urea at 46% N) for each year divided into installments (10 days before planting, 30 days after planting, and every 30 days until the last irrigation). The P_2O_5 (phosphate ammonium and super-phosphate triple) application to soil was 200, 100 and 50 kg ha^{-1} during the 3 years, respectively. At this stage, cultivation was done to mix the fertilizers with top soil manually. Pests and weeds were controlled, following the recommendations given by Isfahan Pest Management Department. At harvest, the final total grain yield per plot was determined. The amount of evapotranspiration for irrigation scheduling was determined by using a crop coefficient (KC), ETpan from measured daily open Class A pan evaporation data, and pan coefficient values from FAO 24 (Doorenbos & Pruitt, 1977). Irrigation water requirement was calculated as the difference between ETc (=KC times ET0) and the effective rainfall amount. In this study, pan evaporation and rainfall amount data collected from the Kabutar Abad meteorological station located at the agricultural research center were used for calculating irrigation water application quantities. The irrigation schedule was timed to meet the crop water requirement. The depth of irrigation water and consequently the volume of water were applied weekly and irrigation amounts equaled the previous week's evapotranspiration (ETc) from the crop. Then, taking into consideration the discharge of the irrigation siphons, the relevant irrigation duration for each treatment was also determined. For path analysis and determining direct and indirect effects of yield components on grain yield, three years data were used (3 Irr * 6 cultivars * 3 years).

Results and Discussion

1- Assistant Professor of Agricultural Engineering Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Esfahan, Iran
2- Associate Professor of Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
3- Assistant Professor of Seed and Plant Improvement Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Esfahan, Iran
(*- Corresponding Author Email: art.tavakoli@gmail.com)

Results showed significant correlations of grain yield with: productivity degree (r=0.798**), spike number per m^2 (r=0.71**), biological yield (r=0.629**), harvest index (r=0.538**), and plant height (r=0.284*), respectively, and there was not significant correlation between grain yield with water use efficiency, straw yield, TGW and grain number per spike. On based of indices of drought tolerance (Tolerance Index=TOL, Mean Productivity=MP, Geometric Mean Productivity=GMP, Stress Susceptibility Index=STI and Harmonic Mean=HM), %60 of full irrigation for Pishtaz wheat cultivar was substantially increased water productivity (WP). Amounts of TOL, MP, GMP, STI, HM and WP for Pishtaz cultivar were -0.71, 1.94, 1.92, 1.82, 1.06 and 2.26 kg mm^{-1} and for Sepahan cultivar were -0.63, 1.83, 1.79, 1.59, 0.92 and 2.17 kg mm^{-1}, respectively. Path analysis results showed that increase in grain yield was resulted from increase of spike number per square meter.

Conclusions

The results showed that there is positive and significant correlation between grain yield and productivity degree, the number of spikes per square meter, biomass, harvest index and plant height. The most direct effect is related to the grain number per spike per square meter.

The 60% of full irrigation treatment for Pishtaz and Sepahan cultivars in terms of indices of drought tolerance (Tolerance Index, Mean Productivity, Geometric Mean Productivity, Stress Susceptibility Index, and Harmonic Mean) was preferred. These results can be considered in future breeding studies.

Keywords: Full irrigation, Stress, Tolerance index, Water productivity, Yield components