

آماده انتشار

اثر آبیاری تکمیلی و کود نیتروژن بر ضرایب همبستگی صفات و شاخص‌های تحمل به خشکی گندم نان در زراعت دیم

چکیده

تعیین و شناسایی عوامل مؤثر بر عملکرد گندم در شرایط آبیاری محدود و کاربرد کود نیتروژن سبب استفاده بهینه از منابع پایه آب و خاک می‌شود. لذا برای بررسی اثر آبیاری تکمیلی و نیتروژن بر شاخص‌های تحمل به خشکی و همبستگی برخی صفات فیزیومورفولوژیکی با عملکرد دانه گندم دیم، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و به مدت سه سال زراعی انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح آبیاری تکمیلی (دیم، ۹۵، ۱۵۱ و ۲۰۷ میلی‌متر آب آبیاری) و پنج میزان کود نیتروژن خالص (صفر، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) به کار رفت. نتایج نشان داد که عملکرد دانه به ترتیب با عملکرد زیست توده (**۰/۹۶)، ارتفاع بوته (**۰/۹۳)، کاه و کلش (**۰/۹۲)، تعداد دانه در سنبله (**۰/۸۷)، تعداد سنبله در متر مربع (**۰/۸۴)، وزن هزار دانه (**۰/۵۲) و شاخص برداشت (**۰/۴۹) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. تجزیه علیت نشان داد که تعداد دانه در سنبله، ارتفاع بوته، میزان کاه و کلش و تعداد سنبله در متر مربع، مهم‌ترین عوامل مؤثر در عملکرد دانه هستند. بررسی شاخص‌های تحمل به خشکی (شاخص تحمل، بهره‌وری متوسط، میانگین هندسی بهره‌وری، تحمل تنش و میانگین هارمونیک) نشان داد که تیمار ۹۵ میلی‌متر آبیاری تکمیلی و ۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص با دارا بودن بیشترین میزان بهره‌وری آب آبیاری بر دیگر تیمارها برتری داشت که حاکی از کفایت کاربرد حداقل آب در شرایط آبیاری تکمیلی است.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، تنش خشکی، زراعت دیم، عملکرد، کود

مقدمه

انجام آبیاری تکمیلی توأم با کود و تعیین حد بهینه آن، از جمله شیوه‌های کاربردی و مؤثر در کاهش خطرپذیری زراعت دیم می‌باشد (توکلی و همکاران، ۲۰۰۳). بهبود شیوه‌های عملیات زراعی همچون

انتخاب ارقام و وارسته‌های مناسب، تعیین فاصله مناسب و عمق کاشت، کنترل آفات، بیماری‌ها و مبارزه با علف‌های هرز، تعیین زمان کاشت مناسب و تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، سبب بهبود عملکرد و افزایش بهره‌وری آب مصرفی گردیده است (توکلی و همکاران، ۲۰۱۰). توجه به اثر متقابل مواد غذایی و رطوبت خاک برای مدیریت مصرف کود، ضروری است، به طوری که در شرایط بارندگی محدود و غیر قابل پیش‌بینی، مصرف کودهای شیمیایی باید به اندازه‌ای محدود شود که موجب رشد رویشی بیش از حد گیاه نگردد و گیاه با استفاده از رطوبت موجود به مرحله رشد زایشی برسد (سرمدنیا و کوچکی، ۱۹۹۴). برخی مطالعات نشان می‌دهد که تنش رطوبتی در هر مرحله از رشد، باعث کاهش عملکرد دانه بیشتر گیاهان می‌گردد (دی و ایتلپ، ۱۹۶۹؛ اهلینگ و لیمرت، ۱۹۷۶). توکلی (۲۰۰۳) نشان داد که در صورت وجود تنش‌های رطوبتی، مصرف بیش از اندازه نیتروژن در زراعت گندم، باعث نقصان عملکرد دانه می‌شود. برخی از محققین همبستگی بین عملکرد دانه و صفاتی نظیر تعداد پنجه، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه، طول سنبله و شاخص برداشت را در گندم گزارش کردند (یلدریم و همکاران، ۱۹۹۳؛ حیدری و همکاران، ۲۰۰۷). با توجه به روابط پیچیده صفات با یکدیگر، قضاوت نهایی نمی‌تواند صرفاً بر مبنای ضرایب همبستگی ساده انجام گیرد (طوسی‌مجرد و بی‌همتا، ۲۰۰۷). تجزیه علیت^۱ یا ضرایب مسیر از روش‌های بسیار مفید و کاربردی برای تجزیه همبستگی و پی بردن به اثرات مستقیم و غیر مستقیم 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 به طور غیر مستقیم بر آن اثر خواهد گذاشت، لذا در این موارد، تجزیه ضرایب مسیر، روش مناسبی برای تعیین سهم اثرات مستقیم و غیر مستقیم صفات بر یکدیگر می‌باشد (رفیعی و سعیدی، ۲۰۰۵).

اجزای عملکرد تحت تاثیر شیوه‌های مدیریت زراعی، ژنوتیپ و محیط قرار می‌گیرند و غالباً در توجیه علت تغییرات عملکرد به کار می‌روند. در زمانی که رطوبت خاک کافی و مناسب است، تعداد سنبله در واحد سطح بیشترین اثر را در تولید محصول دانه گندم دارد و در شرایط تنش خشکی، سهم اثر تعداد دانه در سنبله و متوسط وزن دانه، بر عملکرد کل یکسان است (سرمدنیا و کوچکی، ۱۹۹۴؛ کوچکی، ۱۹۹۷). تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه به عنوان معیار انتخاب ارقام گندم دیم توصیه شده است (آسانا، ۱۹۶۱). تعداد دانه در سنبله به عنوان مهمترین شاخص جهت انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم پیشنهاد گردید (هانچینال و همکاران، ۱۹۹۴). نتایج لطفعلی آیین (۱۹۹۷) و مبصر (۱۹۹۴) نشان داد که تعداد دانه در سنبله بیشترین اثر مستقیم و مثبت را روی عملکرد دانه داشت و مهم‌ترین جزء مؤثر بر عملکرد بود. تحقیقات حاکی از آن است که عملکرد دانه گندم با عملکرد زیست توده، وزن هزار دانه و تعداد دانه در واحد سطح رابطه مثبت و معنی‌دار داشت (سنجری، ۱۹۹۳). برآورد عملکرد دانه به وسیله برآورد اولیه تعداد سنبله در واحد سطح و

سپس تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه امکان‌پذیر است (سیمیت، ۱۹۹۱؛ کوک و وست، ۱۹۹۱). صفت تعداد دانه در سنبله از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا حداکثر عملکردی که در شرایط محیطی معین می‌توان تولید کرد حدی دارد که بیشتر از آن ممکن نیست. بنابراین افزایش تعداد دانه به ناچار کاهش وزن دانه را به همراه خواهد داشت و البته عکس این مورد نیز مصداق دارد (کوچکی، ۱۹۹۷). بررسی اجزای عملکرد دانه تحت شرایط آبیاری تکمیلی در گرگان نشان داده است که وزن هزار دانه، بیشترین ارتباط را با عملکرد دانه داشت (خبازصابری و همکاران، ۱۹۹۳).

هر چند که عملکرد محصول تحت شرایط تنش، کم‌تر از عملکرد آن در شرایط مطلوب است، اما بهره‌وری آب تحت شرایط تنش ملایم، به مراتب بیشتر از شرایط آبیاری کامل می‌باشد (توکلی، ۲۰۰۳؛ اویس و همکاران، ۱۹۹۹؛ توکلی و همکاران، ۲۰۱۰). شاخص‌های زیادی در ارزیابی تحمل به خشکی مورد توجه است که می‌توان به شاخص تحمل^۱، شاخص بهره‌وری متوسط^۲، (روزی‌یلی و هامبلینگ، ۱۹۸۱)، شاخص تحمل تنش^۳، میانگین هندسی بهره‌وری^۴، (فرناندز، ۱۹۹۳) و میانگین هارمونیک^۵ اشاره کرد که توسط محققین فراوانی مورد استفاده قرار گرفته است (توکلی، ۲۰۱۲؛ عبدالشاهی و همکاران، ۲۰۱۰؛ ویسی‌مال امیری و همکاران، ۲۰۱۰؛ یوسفی‌آذر و رضایی، ۲۰۰۷). مطالعه همبستگی بین عملکرد در شرایط تنش، بدون تنش و شاخص‌های مقاومت به خشکی نشان داد که شاخص تحمل تنش، شاخص میانگین بهره‌وری و شاخص میانگین هندسی بهره‌وری برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی مناسب هستند، که در بین آن‌ها شاخص تحمل تنش به عنوان مناسب‌ترین شاخص شناخته شد (زبرجدی و همکاران، ۲۰۱۳). تحلیل همبستگی عملکرد بین دو محیط و شاخص‌های مقاومت به خشکی نشان داد که شاخص‌های میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری، شاخص تحمل تنش و میانگین هارمونیک مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال‌سازی ژنوتیپ‌های گندم نان می‌باشند (کریمی زاده و همکاران، ۲۰۱۳).

آذربایجان شرقی از مناطق دیم‌خیز شمال غرب کشور است که افزون بر ۳۴۰ هزار هکتار سطح زیر کشت گندم دیم با عملکردی کمی بیشتر از یک تن در هکتار دارد و در بسیاری از مناطق آن امکان تأمین آب و انجام آبیاری محدود وجود دارد. لذا پژوهش پیرامون آبیاری تکمیلی و تعیین حد مناسب کاربرد کود نیتروژن در منطقه دارای اهمیت فراوان است.

هدف از این تحقیق، بررسی شاخص‌های مقاومت به خشکی، تجزیه علیت و ضرایب همبستگی صفات و پارامترهای مؤثر بر عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی و نیتروژن گندم دیم است.

1 - Tolerance Index (TOL)

2- Mean Productivity = MP

3 - Stress Susceptibility Index = STI

4 Geometric Mean Productivity = GMP

5 Harmonic Mean = HM

مواد و روش‌ها

این تحقیق در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه (عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۷۲۵ متر) به عنوان نمونه ایستگاه مناطق سردسیر انجام شد. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار رژیم آبیاری (کرت اصلی) شامل: آبیاری کامل ($I_{100\%}$)، تأمین آب به میزان ۶۶ درصد آبیاری کامل ($I_{66\%}$)، تأمین آب به میزان ۳۳ درصد آبیاری کامل ($I_{33\%}$) و بدون آبیاری (شرایط دیم، I_0) و پنج میزان کود نیتروژن (کرت فرعی) شامل: صفر، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص بود. آزمایش در سه تکرار و به مدت سه سال (۸۱-۱۳۷۸) بر روی گندم دیم رقم سبلان به اجرا درآمد. خاک محل آزمایش رس سیلتی بود و نقطه ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دائم و جرم مخصوص ظاهری آن به ترتیب ۳۸ درصد حجمی، ۲۰ درصد حجمی و ۱/۱۷۵ گرم بر سانتی متر مکعب بوده است. نتیجه آزمون خاک در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- متوسط نتیجه تجزیه خاک طی سال‌های تحقیق در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه

هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (ds/m)	واکنش گل اشباع pH	درصد کربن آلی	درصد ازت	فسفر آبل جذب P(ava.) ppm	پتاسیم قابل جذب K(ava.) ppm	درصد د شن	درصد د سید ت	درصد د رس
۰/۵۲	۷/۴	/۵۷	/۰۶	۱۰/۷	۵۷۱	۱۹	۳۵	۴۶

نیمی از نیتروژن همراه با کل کود فسفره (۳۰ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص) در زمان کاشت و بقیه نیتروژن در بهار به صورت سرک مصرف شد. ابعاد کرت‌های فرعی ۴ × ۵ متر بود. میزان بذر بر اساس وزن هزار دانه و با تراکم ۴۰۰ دانه در متر مربع تعیین و با دستگاه بذر کار آزمایشی ویتراشتایگر در پاییز (مهر ماه) با فاصله خطوط کاشت ۲۰ سانتی‌متر و در عمق ۵-۳ سانتی‌متری کشت گردید. میانگین آب آبیاری کاربردی سه سال برای شرایط آبیاری کامل، تأمین آب به میزان ۶۶ درصد آبیاری کامل، تأمین آب به میزان ۳۳ درصد آبیاری کامل و بدون آبیاری (شرایط دیم) به ترتیب برابر ۲۰۷، ۱۵۱، ۹۵ و صفر میلی‌متر بود. اولین آبیاری در پاییز برای تمام تیمارها به جز تیمار دیم به طور یکسان و برابر ۴۰ میلی‌متر بوده و سطوح آبیاری ۱۰۰ درصد، ۶۶ درصد و ۳۳ درصد در آبیاری‌های بهار منظور گردید. منبع تأمین آب چاه بوده و دارای کیفیت مناسب بود (میزان اسیدیته، هدایت الکتریکی و میزان سدیم قابل تبادل به ترتیب برابر ۷/۶، ۱ دسی‌زیمنس و ۱/۵ است). فاصله تکرارها از یکدیگر ۳ متر و فاصله بین تیمارها، یک متر منظور گردید. مساحت برداشت در تیمار فرعی (نیتروژن) برابر ۳/۶ متر مربع بود که پس از رسیدن محصول و با استفاده از کمباین آزمایشی انجام شد. به منظور تعیین میزان کاه و کلش، عملکرد زیست توده و شاخص برداشت، نمونه‌هایی از هر کرت و از مساحت یک متر مربع به صورت دستی برداشت و به آزمایشگاه منتقل و صفات

مورد نظر، اندازه‌گیری و برآورد شد. صفات مورد بررسی شامل عملکرد دانه، کاه و کلش، زیست توده، شاخص برداشت، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، تعداد سنبله در مترمربع و تعداد دانه در سنبله بود. ضرایب همبستگی عملکرد دانه با صفات مذکور تعیین گردید و از طریق تجزیه علیت اثر مستقیم و غیر مستقیم پارامترهای مؤثر بر عملکرد دانه مشخص گردیدند. اثر مستقیم صفات و ضرایب همبستگی ساده با استفاده از نرم‌افزار SPSS به دست آمد.

برای بررسی شاخص‌های تحمل به خشکی پنج شاخص تحمل (TOL)، شاخص بهره‌وری متوسط (MP)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص تحمل تنش (STI) و شاخص میانگین هارمونیک (HM) مورد ارزیابی قرار گرفتند که به صورت زیر تعریف می‌شوند (روزی‌یلی و هامبلینگ، ۱۹۸۱؛ فرناندز، ۱۹۹۳):

$$TOL = (Y_P)_{N60} - Y_S \quad (۱)$$

$$MP = \frac{Y_S + Y_P}{2} \quad (۲)$$

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

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

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

که در آن Y_S : عملکرد تحت شرایط تنش (کیلوگرم در هکتار)، Y_P : عملکرد تحت شرایط بدون تنش (آبیاری کامل) (کیلوگرم در هکتار)، $(Y_P)_{N60}$: عملکرد تحت شرایط بدون تنش در سطح نیتروژن N_{60} (کیلوگرم در هکتار)، $\hat{Y}_P$: متوسط عملکرد تحت شرایط بدون تنش (کیلوگرم در هکتار) و $\hat{Y}_S$: متوسط عملکرد تحت هر یک از شرایط تنش (کیلوگرم در هکتار) می‌باشند. برای محاسبه این شاخص‌ها، یک بار از عملکرد دانه و بار دیگر از شاخص بهره‌وری آب آبیاری^۱ در هر یک از سطوح کودی استفاده شد که بیانگر اهمیت آب در تولید به ازای واحد آب مصرفی است.

$$IWP = \frac{Y_G}{IWU} \quad (۶)$$

که در معادله فوق، IWP: شاخص بهره‌وری آب مصرفی در تولید دانه بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب، Y_G : عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار و IWU: کل آب آبیاری کاربردی بر حسب متر مکعب است.

نتایج و بحث

بر اساس متوسط داده‌های سه سال تحقیق و تیمارهای آبیاری کامل ($I_{100\%}$) یا سطح بدون تنش و دو سطح تنش ۳۳ درصد ($I_{66\%}$) و سطح تنش ۶۶ درصد آبیاری کامل ($I_{33\%}$) و سطوح نیتروژن، شاخص‌های تحمل به خشکی برآورد شد (جداول ۲ و ۳). در این جدول‌ها، عملکرد دانه و شاخص بهره‌وری آب آبیاری در دو سطح تنش رطوبتی (۶۶ درصد و ۳۳ درصد آبیاری کامل) و سطح بدون تنش (آبیاری کامل) و تحت سطوح مختلف نیتروژن مقایسه شدند.

جدول ۲- عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل به خشکی در مقایسه دو سطح تنش رطوبتی با شرایط بدون تنش و سطوح نیتروژن

	N_0	N_{30}	N_{60}	N_{90}	N_{120}
عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)					
$I_{0\%}$	۱۱۵۴	۱۰۲۱	۹۴۰	۸۱۳	۷۰۱
$I_{33\%}$	۲۲۹۶	۲۵۳۱	۲۸۴۸	۲۶۴۷	۲۶۲۵
$I_{66\%}$	۲۵۳۴	۲۷۵۰	۳۲۳۷	۳۳۵۰	۳۲۴۸
$I_{100\%}$	۲۵۶۲	۳۱۳۷	۳۵۶۶	۳۸۵۷	۳۶۱۹
$I_{66\%}$					
TOL	۱۰۳۲	۸۱۶	۳۲۹	۲۱۶	۳۱۸
MP	۲۵۴۸	۲۹۴۴	۳۴۰۲	۳۶۰۴	۳۴۳۴
GMP	۲۵۴۸	۲۹۳۷	۳۳۹۸	۳۵۹۵	۳۴۲۸
STI	۰/۶	۰/۸	۱	۱/۲	۱
HM	۲۰۳۸	۲۷۰۸	۳۶۲۳	۴۰۵۶	۳۶۸۹
$I_{33\%}$					
TOL	۱۲۷۰	۱۰۳۵	۷۱۸	۹۱۹	۹۴۱
MP	۲۴۲۹	۲۸۳۴	۳۲۰۷	۳۲۵۲	۳۱۲۲
GMP	۲۴۲۵	۲۸۱۸	۳۱۸۷	۳۱۹۵	۳۰۸۲
STI	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۰/۹	۰/۸
HM	۱۹۸۱	۲۶۷۴	۳۴۲۱	۳۴۳۹	۳۲۰۰

جدول ۳- بهره‌وری آب و شاخص‌های تحمل به خشکی در مقایسه دو سطح تنش رطوبتی با شرایط بدون تنش و سطوح نیتروژن

	N_0	N_{30}	N_{60}	N_{90}	N_{120}
بهره‌وری آب آبیاری (IWP) (کیلوگرم بر متر مکعب)					
$I_{33\%}$	۲/۴۲	۲/۶۶	۳	۲/۷۹	۲/۷۶
$I_{66\%}$	۱/۶۸	۱/۸۲	۲/۱۴	۲/۲۲	۲/۱۵
$I_{100\%}$	۱/۲۴	۱/۵۲	۱/۷۲	۱/۸۶	۱/۷۵
$I_{66\%}$					
TOL	۰/۰۴	-۰/۱	-۰/۴۲	-۰/۵	۰/۴۳
MP	۱/۴۶	۱/۶۷	۱/۹۳	۲/۰۴	۱/۹۵

GMP	۱/۴۴	۱/۶۶	۱/۹۲	۲/۰۳	۱/۹۴
STI	۰/۷۹	۱/۰۵	۱/۴۱	۱/۵۸	۱/۴۴
HM	۱/۱۵	۱/۵۲	۲/۰۴	۲/۲۸	۲/۰۸
I _{33%}					
TOL	-۰/۶۹	-۰/۹۴	-۱/۲۸	-۱/۰۶	-۱/۰۴
MP	۱/۸۳	۲/۰۹	۲/۳۶	۲/۳۲	۲/۲۶
GMP	۱/۷۳	۲/۰۱	۲/۲۷	۲/۲۸	۲/۲
STI	۱/۱۴	۱/۵۴	۱/۹۷	۱/۹۸	۱/۸۵
HM	۱/۳۸	۱/۸۶	۲/۳۸	۲/۳۹	۲/۲۲

تحلیل داده‌ها با این شاخص‌ها، منجر به گزینش تیمار برتر آبیاری و نیتروژن شد. از میان پنج شاخص، منفی‌تر بودن شاخص تحمل و بزرگ‌تر (مثبت) بودن دیگر شاخص‌ها مطلوبیت دارد. علامت منفی شاخص تحمل بیانگر این است که سطوح تنش دارای بهره‌وری آب آبیاری بیشتری نسبت به سطح بدون تنش هستند. اگرچه شاخص بهره‌وری آب آبیاری به تنهایی برای تعیین تیمار برتر کفایت می‌کند اما شاخص‌های مورد بررسی در این تحقیق تاییدی مجدد بر گزینه برتر به شمار می‌رود (توکلی و همکاران، ۲۰۰۳).

در جدول ۲ عملکرد تحت شرایط آبیاری کامل، متوسط عملکرد تحت تیمار ۶۶ درصد آبیاری کامل و عملکرد تحت تیمار ۳۳ درصد آبیاری کامل به ترتیب ۳۳۴۸، ۳۰۲۴ و ۲۵۸۹ کیلوگرم در هکتار بود. با توجه به مقادیر بیشتر شاخص‌های HM، STI، GMP و MP و مقدار کمتر TOL، در تیمار ۶۶ درصد آبیاری کامل، سطح کودی N₉₀ کیلوگرم در هکتار و در تیمار ۳۳ درصد آبیاری کامل، سطح کودی N₆₀ کیلوگرم در هکتار مطلوب است. اما در خصوص اینکه کدام سطح تنش برتری دارد نمی‌توان فقط به عملکرد دانه در واحد سطح اتکا کرد، بلکه بایستی بر اساس شاخص بهره‌وری آب گزینش نمود. در شرایط کشور ایران، میزان آب و نه زمین عامل محدودکننده در تولید محصولات کشاورزی محسوب می‌شود، لذا مقایسه عملکرد به ازای واحد آب مصرفی بر عملکرد در واحد سطح ارجحیت دارد (توکلی و همکاران، ۲۰۱۰).

در جدول ۳ میزان بهره‌وری آب تحت شرایط بدون تنش یا آبیاری کامل، تیمار ۶۶ درصد آبیاری کامل و تیمار ۳۳ درصد آبیاری کامل به ترتیب ۱/۶۲، ۲ و ۲/۷۳ کیلوگرم بر متر مکعب بود. جدول ۳ نشان می‌دهد که تیمار ۳۳ درصد آبیاری کامل بر تیمار ۶۶ درصد آبیاری کامل، کاملاً برتری داشت.

بر اساس این جدول، اولاً تیمار ۳۳ درصد آبیاری کامل در بهره‌وری آب دارای برتری خاصی از نظر شاخص‌های تحمل به خشکی نسبت به تیمار ۶۶ درصد آبیاری کامل و سطح بدون تنش (آبیاری کامل) بود. ثانیاً در تیمار ۳۳ درصد آبیاری کامل، کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص نسبت به سطوح دیگر نیتروژن برتری نشان داد. به طوری که در سطح نیتروژن N₆₀، مقادیر شاخص تحمل برابر با ۱/۲۸- کمترین مقدار و شاخص بهره‌وری متوسط، میانگین هندسی بهره‌وری، شاخص تحمل تنش و میانگین هارمونیک به ترتیب ۲/۳۶، ۲/۲۷، ۱/۹۷ و ۲/۳۸ بالاترین مقادیر بودند (جدول ۳). طی تحقیقی بر روی کولتیوارهای گندم اصلاح شده گزارش گردید که شاخص‌های تحمل به تنش و متوسط محصول دهی نسبت به دیگر شاخص‌ها

مؤثرتر بودند (احمدی و سی‌وسه مرده، ۲۰۰۳). هم‌چنین برخی محققین، شاخص‌های MP، GMP، STI و HM (فرشادفر و همکاران، ۲۰۰۱) و برخی دیگر، شاخص‌های MP، GMP، STI (ملکی و همکاران، ۲۰۰۹) را مناسب‌ترین شاخص‌ها دانسته‌اند.

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 (ملکی و همکاران، ۲۰۰۹). توکلی (۲۰۱۲) گزارش کرد که شاخص‌های TOL، MP، GMP، STI و HM در سطح تنش ۶۶ درصد آبیاری کامل گندم آبی و ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، نسبت به دیگر تیمارها برتری داشت (توکلی، ۲۰۱۲). نادری و همکاران (۲۰۱۳) 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 تنش و بدون تنش نشان داد که مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال کردن لاین‌ها در شرایط تنش و بدون تنش، شاخص‌های بهره‌وری متوسط، تحمل تنش، میانگین هندسی بهره‌وری و میانگین هارمونیک هستند (فلاحی و همکاران، ۲۰۱۱).

ضرایب همبستگی ساده بین صفات زراعی که بر اساس داده‌های سه ساله سطوح مختلف آبیاری (چهار سطح آبیاری) و مقادیر نیتروژن (پنج میزان) به دست آمد، بیانگر این است که عملکرد دانه به ترتیب با عملکرد زیست توده (۰/۹۶)، ارتفاع بوته (۰/۹۳)، کاه و کلش (۰/۹۲)، تعداد دانه در سنبله (۰/۸۷)، تعداد سنبله در مترمربع (۰/۸۴)، وزن هزار دانه (۰/۵۲) و شاخص برداشت (۰/۴۹) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۴).

جدول ۴- ضرایب همبستگی ساده پیرسونی عملکرد دانه گندم با اجزای آن (n=۶۰)

شاخص	عملکرد	تعداد سنبله	تعداد دانه در	وزن هزار	ارتفاع بوته	کاه و کلش	
برداشت	زیست توده	در مترمربع	سنبله	دانه			
۰/۴۹ **	۰/۹۶ **	۰/۸۴ **	۰/۸۷ **	۰/۵۲ **	۰/۹۳ **	۰/۹۲ **	عملکرد دانه
۰/۱۳ ns	۰/۹۹ **	۰/۷۸ **	۰/۷۲ **	۰/۵۷ **	۰/۹۲ **		کاه و کلش
۰/۳۱ *	۰/۹۴ **	۰/۸۳ **	۰/۷۳ **	۰/۵۸ **			ارتفاع بوته
-۰/۰۶ ns	۰/۵۶ **	۰/۱۶ ns	۰/۵۱ **				وزن هزار دانه
۰/۶۳ **	۰/۷۸ **	۰/۶۲ **					تعداد دانه در سنبله
۰/۴۳ **	۰/۸۱ **						تعداد سنبله در مترمربع
۰/۲۵ ns							عملکرد زیست توده

ns: P>0.05 غیر معنی‌دار * P<0.05 و ** P<0.01 به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد،

در بررسی همبستگی بین عملکرد دانه و اجزای آن (جدول ۴) نشان داده شد که بین عملکرد دانه و تعداد دانه در سنبله همبستگی مثبت و معنی‌دار (P<0.01) وجود داشت. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه و تعداد دانه در سنبله با نظرات برخی محققین، مطابقت داشته (سنجری، ۱۹۹۳؛ محمدی، ۱۹۹۸؛ اهدایی و همکاران، ۱۹۹۴؛ هانچینال و همکاران، ۱۹۹۴؛ شری‌واستاوا و همکاران، ۱۹۸۰) دارد، اما

محققینی نظیر حسین پور و همکاران (۲۰۰۱) همبستگی ضعیف و منفی را بین عملکرد دانه و تعداد دانه در سنبله نشان دادند. اثر مستقیم تعداد دانه در سنبله بر عملکرد دانه مثبت و مهم گزارش شده است (دوفینگ و نایت، ۱۹۹۲).

عملکرد دانه با شاخص برداشت همبستگی مثبت و معنی دار ($P < 0.01$) نشان داد (جدول ۴)، این نتیجه توسط تعدادی از محققین، تأیید شده است (اهدایی و همکاران، ۱۹۹۴؛ حسین پور و همکاران، ۲۰۰۱؛ محمدی، ۱۹۹۸). نتیجه تحقیقات برخی از محققین از عدم وجود همبستگی بین عملکرد دانه و شاخص برداشت حکایت دارد (سنجری، ۱۹۹۳) البته از آنجایی که شاخص برداشت از آزمایشی به آزمایش دیگر متغیر است و این تغییرات همسو با تغییرات عملکرد دانه نیست، لذا نمی توان از شاخص برداشت به عنوان صفتی مناسب در ارزیابی عملکرد استفاده کرد.

بین عملکرد دانه و وزن هزار دانه همبستگی معنی دار ($P < 0.01$) وجود داشت (جدول ۴). وجود همبستگی مثبت و معنی دار بین عملکرد دانه و وزن هزار دانه توسط برخی محققین تأیید شده است (حسین پور و همکاران، ۲۰۰۱؛ خباز صابری و همکاران، ۱۹۹۳؛ محمدی، ۱۹۹۸؛ شری و استاوا و همکاران، ۱۹۸۰، ۹، ۱۱، ۱۹ و ۴۳)، اما با نتیجه به دست آمده با برخی دیگر مغایرت داشت (اهدایی و همکاران، ۱۹۹۴). افزایش عملکرد دانه از طریق وزن هزار دانه به طور مستقیم در گزارشات زیادی مشاهده شده است (حسین پور و همکاران، ۲۰۰۱؛ دوفینگ و نایت، ۱۹۹۲؛ اهدایی و همکاران، ۱۹۹۴؛ گارسیا دل مورال و همکاران، ۲۰۰۳؛ موندال و همکاران، ۱۹۹۷؛ شمس الدین، ۱۹۸۷).

همچنین تعداد سنبله در واحد سطح با محصول دانه همبستگی مثبت و معنی دار ($P < 0.01$) نشان داد (جدول ۴) و این نتیجه توسط برخی از محققان تأیید شده است (اهدایی و همکاران، ۱۹۹۴؛ مبصر، ۱۹۹۴؛ هامپتون و همکاران، ۱۹۸۱). عملکرد دانه با عملکرد زیست توده، همبستگی مثبت و معنی دار داشت (جدول ۴). این نتیجه توسط محققین دیگر هم حاصل شده است (محمدی، ۱۹۹۸).

عملکرد دانه با ارتفاع بوته همبستگی مثبت و معنی دار ($P < 0.01$) داشت (جدول ۴). این نتیجه توسط برخی از محققان تأیید شده است (اهدایی و همکاران، ۱۹۹۴؛ محمدی، ۱۹۹۸). در یک تحقیقی گزارش شده که عملکرد دانه گندم با ارتفاع گیاه همبستگی معنی داری نداشت (سنجری، ۱۹۹۳).

ضرایب همبستگی ساده پیرسونی به خودی خود گویای تمام واقعیت ها نبوده و تصمیم گیری فقط بر اساس ضرایب همبستگی نمی تواند قابل قبول و مطلوب باشد. لذا با کمک تجزیه علیت، به تفکیک ضرایب همبستگی به اثرات مستقیم و غیر مستقیم پرداخته می شود. برای تعیین اثر غیر مستقیم صفات از روابط تعریف شده در جدول ۵ استفاده شد که روشی ساده در محاسبه اثر غیر مستقیم محسوب می شود.

جدول ۵- روابط تعریف شده برای تفکیک ضرایب همبستگی صفات مؤثر بر عملکرد دانه گندم به اثر مستقیم و غیر مستقیم

ضرایب همبستگی (r) با عملکرد دانه ^{§§}	اثر غیر مستقیم					اثر مستقیم	(n=۴۰§)
	(۵)	(۴)	(۳)	(۲)	(۱)		

r_1	$P_5 * r_{51}$	$P_4 * r_{41}$	$P_3 * r_{31}$	$P_2 * r_{21}$	-	P_1	کاه و کلش (۱)
r_2	$P_5 * r_{52}$	$P_4 * r_{42}$	$P_3 * r_{32}$	-	$P_1 * r_{12}$	P_2	ارتفاع بوته (۲)
r_3	$P_5 * r_{53}$	$P_4 * r_{43}$	-	$P_2 * r_{23}$	$P_1 * r_{13}$	P_3	وزن هزار دانه (۳)
r_4	$P_5 * r_{54}$	-	$P_3 * r_{34}$	$P_2 * r_{24}$	$P_1 * r_{14}$	P_4	تعداد سنبله در متر مربع (۴)
r_5	-	$P_4 * r_{45}$	$P_3 * r_{35}$	$P_2 * r_{25}$	$P_1 * r_{15}$	P_5	تعداد دانه در سنبله (۵)

P: بیانگر اثر مستقیم S: تعداد تیمار آبیاری * تعداد سطوح نیتروژن * دو سال SS: ضریب همبستگی هر کدام از صفات با عملکرد دانه برابر مجموع اثرات مستقیم و غیر مستقیم می‌باشد.

جدول ۶- تفکیک ضرایب همبستگی صفات به اثر مستقیم و غیر مستقیم (n=۶۰)

ضرایب همبستگی با عملکرد دانه	اثر غیر مستقیم					اثر مستقیم	
	(۵)	(۴)	(۳)	(۲)	(۱)		
۰/۹۲ **	۰/۲۷۱	۰/۱۵۳	۰/۰۰۷	۰/۲۴۱	-	۰/۲۴۵	کاه و کلش (۱)
۰/۹۳ **	۰/۲۷۷	۰/۱۶۲	۰/۰۰۷	-	۰/۲۲۴	۰/۲۶۳	ارتفاع بوته (۲)
۰/۵۲ **	۰/۱۹۱	۰/۰۳	-	۰/۱۵۲	۰/۱۳۹	۰/۰۱۲	وزن هزار دانه (۳)
۰/۸۴ **	۰/۲۳۲	-	۰/۰۰۳	۰/۲۱۸	۰/۱۹۱	۰/۱۹۶	تعداد سنبله در متر مربع (۴)
۰/۸۷ **	-	۰/۱۲۱	۰/۰۰۶	۰/۱۹۳	۰/۱۷۶	۰/۳۷۷	تعداد دانه در سنبله (۵)

**P<0.01 معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

جدول ۶ نشان می‌دهد که بیشترین اثر مستقیم بر عملکرد به ترتیب مربوط به تعداد دانه در سنبله، ارتفاع بوته، عملکرد کاه و کلش و تعداد سنبله در مترمربع است. اگر چه وزن هزار دانه دارای ضریب همبستگی بالایی با عملکرد دانه هست اما تجزیه علیت نشان داد که بخش عمده‌ی این مقادیر متأثر از تعداد دانه در سنبله، ارتفاع بوته و کاه و کلش بود (جدول ۶). آرمینیان و همکاران (۲۰۱۰) طی تحقیقی در ارزیابی روابط بین عملکرد دانه 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 بر عملکرد دانه داشت. طی تحقیقی برای تعیین اثر مستقیم و غیر 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 غیر مستقیم کاه و کلش و تعداد دانه در سنبله بود (توکلی، ۲۰۱۲). همچنین در بررسی تجزیه علیت نشان داده شد که ارتفاع بوته و زمان رسیدن اثر مستقیم منفی روی عملکرد داشت (موندال و همکاران، ۱۹۹۷).

بدین ترتیب نقش و اثر صفات مورد مطالعه بر ضریب همبستگی به صورت جدول ۷ خلاصه می‌شود و نشان می‌دهد که این صفات بر عملکرد دانه و روی همدیگر چه اثری (مثبت یا منفی) داشته‌اند:

جدول ۷- اولویت‌بندی اثر صفات در تجزیه علیت بر صفات مورد مطالعه

اولویت‌بندی اثر صفات	صفت مورد مطالعه
$P_5 * r_{51} > P_1 > P_2 * r_{21} > P_4 r_{41}$	کاه و کلش :
$P_5 * r_{52} > P_2 > P_1 * r_{12} > P_4 * r_{42}$	ارتفاع بوته :

: وزن هزار دانه	$P_5 r_{53} > P_2 * r_{23} > P_1 * r_{13}$	(۹)
: تعداد سنبله در مترمربع	$P_5 r_{54} > P_2 * r_{24} > P_4 > P_1 * r_{14}$	(۱۰)
: تعداد دانه در سنبله	$P_5 > P_2 r_{25} > P_1 r_{15} > P_4 * r_{45}$	(۱۱)

P: بیانگر اثر مستقیم x ضرایب همبستگی

برخی از محققین از میان اجزای عملکرد دانه، تعداد سنبله در متر مربع و تعداد دانه در سنبله را عوامل مؤثر بر عملکرد دانه دانسته‌اند (دونالدسون و همکاران، ۲۰۰۱) و برخی دیگر اثر تعداد دانه در سنبله بر روی عملکرد دانه را مثبت و کم گزارش نمودند (کومار و گوپتا، ۱۹۸۴). گزارش گردید که در مزارع تحت زراعت دیم موجود در مناطق سردسیر، صفات مؤثر بر عملکرد دانه به ترتیب تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در متر مربع و وزن هزار دانه بودند (گاریسادل‌مورال و همکاران، ۲۰۰۳) و در شرایط آبیاری مناطق سردسیر، بیشترین اثر مربوط به وزن هزار دانه داشت. در تحقیقات انجام شده، ضرایب تجزیه علیت نشان داد که تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه و تعداد پنجه اثر مستقیم مثبت روی عملکرد دانه داشت (موندا و همکاران، ۱۹۹۷). اثر مستقیم تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در بوته و وزن صد دانه روی عملکرد دانه گندم، مثبت گزارش گردید (شمس‌الدین، ۱۹۸۷). اسلامی و همکاران (۲۰۱۲) در آزمایش تنش خشکی نشان دادند که صفات شاخص برداشت، تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه دارای تفاوت معنی‌داری بین ارقام بودند، ولی صفات عملکرد زیست توده و عملکرد دانه معنی‌دار نبودند. تجزیه واریانس مرکب برای شرایط تنش و بدون تنش نشان داد که تنش خشکی، باعث کاهش معنی‌دار شاخص برداشت، تعداد سنبله در مترمربع و وزن هزاردانه گردید، اما بر عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله و عملکرد زیست توده تاثیر معنی‌داری نداشت.

نتیجه‌گیری

بر اساس مجموع نتایج به دست آمده، مشخص می‌شود که برای شرایط آبیاری تکمیلی و نیتروژن، بین عملکرد دانه با صفات مورد مطالعه (کاه و کلش، عملکرد زیست توده، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در متر مربع و ارتفاع بوته) همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت و بیشترین اثر مستقیم، مثبت و معنی‌دار مربوط به تعداد دانه در سنبله، ارتفاع بوته، عملکرد کاه و کلش و تعداد سنبله در متر مربع بود. مطابق با نتایج این تحقیق و برای ارزیابی تیمارهای آبیاری تکمیلی بر اساس شاخص بهره‌وری آب آبیاری، می‌توان از شاخص‌های تحمل و بهره‌وری متوسط استفاده نمود. بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی، تیمار حداقل آب آبیاری (۹۵ میلی‌متر) و ۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص در بهبود بهره‌وری آب آبیاری بر دیگر تیمارها برتری داشت. این نتایج می‌تواند مورد توجه و استفاده مطالعات به‌نژادی قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی شماره ۷۸۱۴۳-۲۱-۱۰۰ است که با اعتبارات و امکانات موسسه تحقیقات کشاورزی دیم اجرا گردید، بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- Abd-Alshahi, R., Omid, M., Taleei, A.R. and Yazdi-Samadi, B. 2010. Evaluation of bread wheat genotypes for drought tolerance. *Elec. J. Crop prod.* 3(1):159-171.
- 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 j. Agric. Sci.* 34(3): 667-679.
- 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. *Elec. J. Crop Prod.* 3 (1): 21-38.
- Asana, R.D. 1961. Analysis of drought resistance in wheat, In: *Plant water relations in arid and semi-arid conditions.* *Arid Zone Res.*16: 183-190.
- CIMMYT Wheat Production, Agronomy. 1991. Diagnosing factors limiting productivity, in wheat production, the wheat plant system.
- Cook, R.J. and Veseth, R.J., 1991. *Wheat Health Management.* APS Press, The American Phytopathological Society, St. Paul, MN, USA. 152 pp.
- Day, A.D. and Intalap, S. 1969. Some effects of soil moisture on the grown of wheat. *Agron. J.* 62(1): 27-29.
- Dofing, S.M. and Knight, C.W. 1992. Alternative model for path analysis of small – grain yield. *Crop Sci.* 32(2): 487-489.
- Donaldson, E., Schillinger, W.F. and Dofing, S.M. 2001. Straw production and grain yield relationships in winter wheat. *Crop Sci.* 41(1): 100-106.
- Ehdaei, B., Normohammadi, Gh. and Vala, A. 1994. Environment sensitive and correlations of yield and its components for Doroom wheat varieties under different environmental conditions. *The Scientific J. Agric.* 17: 15-31. (in Persian).
- Ehlig, C.F. and LeMert, R.D. 1976. Water use and productivity of wheat under five irrigation treatments. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40:750-755.
- Eslami, R., Tajbakhsh, M., Ghaffari, A.A., Roustaei, M. and Barnousi, I. 2012. Evaluation of drought tolerance in dry lands wheat genotypes under different moisture conditions. *Electronic J. of Crop Production*, 5(2): 129-143. (in Persian).
- Fallahi, H.A., Jafarby, J.A. and Sayyedi F. 2011. Evaluation of Drought Tolerance in Durum Wheat Genotypes Using Drought Tolerance Indices. *Seed and Plant Improvement J.*, 27 (1):15-22. (in Persian).
- Farshadfar, E., Zamani, M., Motallebi, M. and Imamjomeh, A. 2001. Selection for drought resistance in chickpea lines. *Iranian J. Agric. Sci.* 32(1): 65-77.
- Fernandez, G.C. 1993. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerant. In: *Adaptation of food crops to temperature and water stress*, Kuo, GC (ed.) *Proc. International Symposium*, 13-18 Aug. 1992. Taiwan. AVRDC P.O. BO 205, Taipei 10099. pp. 257-270
- Garcia-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. *Crop Sci.* 95: 266-274.
- Hampton, J.B., Mecloy, B.L. and Memillan, D.R. 1981. Ear population and wheat production. *N.Z. J. Exp. Agric.* 185-189.
- Hanchinal, R.R., Tandon, J.P. and Salimath, P.M. 1994. Variation and adaptation of wheat varieties for heat tolerance in peninsular India. P 175-183. In DA Saunders and GP Hettel (ed.) *Wheat in heat-stressed environments: Irrigated, dry areas, and rice–wheat systems.* CIMMYT, Mexico.
- Heydari, B., Saeidi, Gh. and Seyed-Tabatabaei, B.I. 2007. Factor analysis for quantitative traits and path coefficient analysis for grain yield in wheat. *Agric. Nat. Res. Sci. Tech. J.* 11: 135-143.

- Hosseinpour, 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, 156pp. (in Persian).
- Karimizadeh, R., Mohammadi, M. and Tajodini, E. 2013. Determining the best tolerance indices against drought stress in bread wheat genotypes in Gachsaran. *Plant and Ecosystem*, 9(34-1): 97-110. (in Persian).
- Khabbaz-Saberi, H., Ghomi, S. and Chraghali, A. 1993. Study and determination of suitable density of advanced wheat varieties. *J. of Seed and Plant*. 9(3&4): 26-29. (in Persian).
- Kochaki, A. 1997. Production and crop breeding at rainfed farming. Jahad e Daneshgahi press of Ferdowsi University, 302pp. (in Persian).
- Kumar, D. and Gupta, S. 1984. Correlation and path coefficient analysis in barley grown on normal and saline soils. *Indian J. Agric. Sci.*, 45: 356-358.
- Lotfali Aeeineh, Gh. 1997. Study phonological and physiological characteristics of five doroom wheat genotypes under four levels of nitrogen fertilizer and Ahvaz climate condition. College of Agriculture, Shahid Chamran University, 137pp. (in Persian).
- 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. *J. Agric. Sci.* 5 (16): 81-91.
- 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).
- Moghaddam, M., Basirat, M., Rahimzadeh, F. and Shakiba, M. 1993. Path analysis of yield and its components and some morphological characters on winter wheat. *J. Agric. Sci.* 4(1 & 2): 48-73. (in Persian).
- Mohammadi, M. 1998. Study correlation between agronomic characters and wheat yield under rainfed condition. Agricultural Research Center of Kohgiluyeh and Boyer Ahmad, No 77/232, 11pp. (in Persian).
- Mondal, A.B., Sadhu, D.P. and Sarkar, K.K. 1997. Correlation and path analysis in bread wheat. *Envir. & Ecolo.* 15(3): 537-539.
- 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 J.*, 29 (3):601-616. (in Persian).
- 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, Colombo, Sri Lanka, International Water Management Institute (IWMI), 38pp.
- Rafiei, F. and Saeidi, Gh. 2005. Phenotypic and genotypic relationships between agronomic traits and yield components of Safflower. *J. Sci. Agric.* 28: 137-147.
- Rosielle, A.A. and Hambling, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Sci.* 21: 943-946.
- Sanjari, A.Gh. 1993. Study effects of yield components on yield of wheat varieties. *J. Seed and Plant*, 9(1&2): 15-20. (in Persian).
- Sarmadnia, G.H. and Kochaki, A. 1994. Physiological aspects of rainfed farming. Jahad e Daneshgahi press of Ferdowsi University, 424pp. (in Persian).
- Shah, S.A., Harrison, S.A., Boquet, D.J., Colyer, P.D. and Moore, S.H. 1994. Management effects on yield and yield components of late planted wheat. *Crop Sci.* 34: 1298-1303.
- Shamsuddin, A.K. 1987. Path analysis in bread wheat. *Indian J. Agric. Sci.* 57(1): 47-49.
- Shrivastava, S.N., Sarkar, D.K. and Mallick, M.H. 1980. Association analysis in rainfed wheat. *Indian J. Gen. & Plant Breed.* 40(3): 512-514.
- Tavakoli, A.R. 2003. Effects of supplemental irrigation and nitrogen rates on yield and yield components of rainfed wheat. *J. Crop and Seed.* 19(3): 367-381. (in Persian)
- Tavakoli, A.R. 2012. Correlation Coefficient, Path Analysis and Drought Tolerance Indices for Wheat under Deficit Irrigation conditions and Nitrogen levels. *J. Iranian Field Crop Res.* 10(1): 198-206.
- 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).

- 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.
- Tousi-Mojarad, M. and Bihamta, M.R. 2007. Investigating grain yield and related quantitative characters of wheat using factor analysis. J. Agric. Sci. 17: 97-107.
- Veici-Mal-Amiri, I., Haghparast, R., Aghaei Sarbarzeh, M., Farshadfar, E. and Rajaba, R. 2010. Evaluation of drought tolerance of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes using physiological characteristics and drought tolerance indices. Seed and Plant Prod. J. 26-1: 43-60.
- Yildirim, M., Budak, N. and Arshas, Y. 1993. Factor analysis of yield and related traits in bread wheat. Turkish J. Field Crops. 1: 11-15.
- Yousefi-Azar M. and Rezai A. 2007. Evaluation of drought tolerance in wheat lines. J. Soil and Water Sci. 11 (42-A): 113-121.
- 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 J., 29 (1):1-12. (in Persian).

Effects of Supplemental Irrigation and Nitrogen on Correlation Coefficient and Drought Tolerance Indices for Rainfed bread Wheat

ABSTRACT

In order to study correlation coefficients and path analysis for grain yield, an experiment was conducted as a split-plot in a randomized complete block design (RCBD) with three replications during three crop seasons (1999-2002) on rain fed wheat cultivar at Maragheh agricultural research station of DARI, Iran. The treatments were included four levels of supplemental irrigation (rainfed, 95, 151 and 207mm of irrigation) as main plots and five nitrogen rates (0, 30, 60, 90 and 120-kg.N.ha⁻¹) as sub plots. Grain yield, straw and stubble, biological yield, harvest index (H.I.), plant height, kernel number per spike, spike number per square meter and Thousand kernel weight (TKW) were determined. The results showed that positive and significant correlations of grain yield with all traits: biological yield ($r = 0.96^{**}$), plant height ($r = 0.93^{**}$), straw yield ($r = 0.92^{**}$), kernel number per spike ($r = 0.87^{**}$), spike number per square meter ($r = 0.84^{**}$), TKW ($r = 0.52^{**}$) and harvest index ($r = 0.49^{**}$) respectively. Path analysis results showed that increase in grain yield was resulted from increase in kernel number per spike, plant height, straw and spike number per square meter. Drought tolerance indices of (Tolerance Index, Mean Productivity, Geometric Mean Productivity, Stress Tolerance Index and Harmonic Mean) showed that 33% of full irrigation treatment combined with 60 Kg-N.ha⁻¹ substantially increased water productivity.

Key words: Fertilizer, Rainfed farming, Stress, Water productivity, Yield