

تجزیه همبستگی برخی صفات اگروفیزیولوژیک و تعداد دستجات آوند چوبی با عملکرد دانه گندم نان تحت شرایط دیم

شهلا توانا^{۱*}، جلال صبا^۲، فرید شکاری^۲

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان.

۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان.

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۶/۰۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۹/۲۳

چکیده

با افزایش جمعیت دنیا و نیاز به تأمین غذا، افزایش عملکرد گیاهان زراعی اهمیت زیادی پیدا کرده است. یکی از مهم‌ترین اقدامات برای نیل به این هدف، شناسایی عوامل مؤثر بر افزایش عملکرد است. تحقیق حاضر به منظور تعیین مؤثرترین صفات بر عملکرد دانه و اجزای آن در گندم نان تحت شرایط دیم انجام گرفت. آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در قالب طرح لاتیس مربع با دو تکرار در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ اجرا گردید. صفات مورد ارزیابی عبارت از عملکرد دانه، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، محتوای نسبی آب برگ، سرعت از دست دادن آب از برگ‌های بریده، دمای کانوپی، اختلاف دمای کانوپی با محیط، قطر ساقه و تعداد دستجات آوند چوبی بودند. تعداد سنبله در بوته و تعداد دانه در سنبله همبستگی مثبت و معنی داری با عملکرد دانه نشان دادند. از سوی دیگر، صفات محتوای نسبی آب برگ و قطر ساقه با تعداد دانه در سنبله همبستگی مثبت و معنی داری داشتند. نتایج تجزیه همبستگی نشان داد که گزینش لاین‌های با تعداد سنبله بارور بیشتر که تعداد دانه در سنبله آن‌ها کم نباشد، می‌تواند به‌عنوان رهیافت گزینش غیرمستقیم برای اصلاح عملکرد دانه در گندم نان تحت شرایط دیم توصیه شود. گزینش برای تعداد دانه در سنبله بیشتر در تعداد سنبله محدود با در نظر گرفتن عدم کاهش وزن هزار دانه به‌عنوان رهیافت دوم قابل توصیه است. گزینش برای قطر ساقه بیشتر نیز می‌تواند با افزایش تعداد دانه در سنبله منجر به بهبود غیرمستقیم عملکرد دانه گردد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه علیت، سیستم آوندی، شرایط دیم، محتوای نسبی آب.

مقدمه

(Farsharadfar et al., 1995; Moustafa et al., 1996; Golestani Araghi and Assad, 1998). به همین دلیل بررسی فرآیندهای فیزیولوژیک مرتبط با مقاومت به خشکی در این مناطق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اوکایاما و همکاران (Okuyama et al., 2004)، نشان دادند که عملکرد دانه گندم با زیست‌توده، تعداد سنبله و تعداد دانه در سنبله همبستگی مثبتی دارد. همچنین بر اساس گزارش این محققان، تعداد سنبله و تعداد دانه در سنبله آثار مستقیم و مثبتی بر عملکرد دانه داشتند. ارقامی که تعداد پنجه‌های بیشتری دارند، تعداد سنبله در واحد سطح آن‌ها

گندم جزء اصلی غذای نزدیک به دو میلیارد نفر یعنی ۳۶ درصد جمعیت جهان است و حدود ۵۵ درصد کربوهیدرات و ۲۰ درصد کالری مصرفی مردم در دنیا از گندم و فرآورده‌های آن تأمین می‌شود (Sami et al., 2010). در مناطق خشک و نیمه‌خشک میزان بارندگی اندک (معمولاً کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر) و توزیع آن از سالی به سال دیگر متفاوت بوده و بنابراین پیش‌بینی میزان و توزیع آن بسیار مشکل است. در چنین شرایطی عملکرد در سال‌های متوالی نوسانات زیادی دارد و به همین دلیل اصلاح ارقام برای مناطق خشک و نیمه‌خشک ضروری به نظر می‌رسد

وزن هزار دانه را باید افزایش داد (Nourmand Moayyed et al., 2002). هدف از این تحقیق، استفاده از تجزیه علیت جهت بررسی روابط عملکرد و اجزای آن و همچنین روابط صفات RWC و تعداد دستجات آوند چوبی در محور ساقه با اجزای عملکرد دانه گندم نان در شرایط دیم می‌باشد.

مواد و روش‌ها

۶۰ لاین پیشرفته حاصل از ۱۶ لاین و رقم گندم جدول (۱) با هم تلاقی داده شده و ۸ جمعیت F₁ را تشکیل دادند. این جمعیت‌ها به صورت بالک پیش رفته و چندین نسل به صورت شجره‌ای مورد گزینش قرار گرفتند. آزمایش حاضر با چهار رقم شاهد سرداری، آذر ۲، اوحدی و Unknown در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان واقع در ۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۷ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۶۲۰ متر از سطح دریا، در قالب طرح لاتیس مربع (۸×۸) با دو تکرار اجرا گردید.

هر واحد آزمایشی شامل سه ردیف یک متری بود. عملیات کاشت در ۱۵ مهر و اولین بارندگی در آبان ماه سال ۹۱ انجام و کل مراحل آزمایش در شرایط دیم کامل سپری شد. میزان بارش و میانگین دما در فصل رشد ۹۲-۱۳۹۱ زنجان در جدول (۲) آمده است.

اندازه‌گیری صفات مختلف در طی مراحل مختلف رشد گیاه انجام پذیرفت. تعداد سنبله بارور در پنج بوته شمارش و سپس میانگین‌گیری به عمل آمد. تعداد دانه در سنبله بارور در پنج بوته توسط دستگاه بذرشمار لیزری شمارش و میانگین آن‌ها به‌عنوان تعداد دانه در سنبله ثبت گردید. برای اندازه‌گیری وزن ۱۰۰۰ دانه، پنج تکرار صدتایی از هر تیمار جدا و پس از توزین با ترازوی با دقت یک‌صدم وزن و میانگین آن‌ها به‌عنوان وزن هزار دانه هر کرت برحسب گرم تعیین گردید. برای اندازه‌گیری عملکرد تک بوته، زمانی که بوته‌ها در رسیدگی کامل بودند با در نظر گرفتن اثر حاشیه، اقدام به برداشت تصادفی پنج بوته تصادفی از هر لاین گردید. جهت اندازه‌گیری RWC، نمونه‌برداری دو هفته بعد از گلدهی انجام گرفت. به این منظور تعداد پنج برگ پرچم از هر کرت با رعایت اثرات حاشیه دو انتها انتخاب شد. این برگ‌ها به طول سه سانتی‌متر بریده شده و در داخل کیسه‌های نایلونی به‌سرعت به آزمایشگاه منتقل شدند. وزن تر اولیه برگ‌ها با دقت یک‌هزارم اندازه‌گیری شد. سپس

نیز افزایش می‌یابد (Ghobadi et al., 2007). وزن هزار دانه به‌سرعت و دوام پر شدن دانه بستگی دارد، بنابراین هر عاملی که سرعت و دوام پر شدن دانه را تقلیل دهد، کاهش وزن دانه را نیز در پی خواهد داشت (Kanemasu and Hiebsch, 1975; Johnson et al., 1981). مانیت و همکاران (Manette et al., 1988)، اختلاف معنی‌داری را برای ارقام گندم مورد مطالعه از نظر محتوای نسبی آب برگ (RWC)^۱ گزارش کردند. ارزیابی RWC مناسب‌ترین روش برای اندازه‌گیری مقدار آب در بافت‌های گیاه بوده و به همین دلیل کاربرد آن بیش از سایر روش‌هاست. در واقع RWC شاخص کلیدی جهت نشان دادن پسابیدگی سلول و بافت است (De Marcelo et al., 2007).

بهبود ظرفیت پر شدن دانه‌ها با استفاده از ذخایر ساقه، یکی از مهم‌ترین اهداف به‌نژادی گندم تحت تنش‌های محیطی (مانند خشکی و گرما) می‌باشد. استفاده از ذخایر ساقه در پر شدن دانه گندم مخصوصاً در شرایط تنش خشکی تحت تأثیر عوامل ژنتیکی است (Ruuska et al., 2006). اعمال تنش خشکی از طریق کاهش اندازه دستجات آوندی بخش‌های مختلف محور سنبله گندم و همچنین تعداد دستجات آوندی ورودی به داخل محور سنبله باعث کاهش تعداد دانه‌ها و همچنین وزن آن‌ها در تمامی بخش‌های تشکیل‌دهنده سنبله می‌شود. از این رو پیرو گزارش لویز و همکاران (Lopez et al., 2001)، افزایش اندازه دستجات آوندی از طریق کارهای به‌نژادی می‌تواند روشی در جهت افزایش دو جزء مهم عملکرد در گیاه گندم یعنی تعداد دانه در سنبله و وزن دانه‌ها در نتیجه دستیابی به پتانسیل بالقوه تولید باشد.

همبستگی ساده بین عملکرد و اجزای آن به‌تنهایی برای درک اهمیت صفات در تعیین عملکرد کافی نیست. در مطالعات صفات مربوط به عملکرد از روش تجزیه علیت برای بررسی اثرات صفات بر عملکرد و رابطه بین صفات استفاده می‌شود. با کمک این روش می‌توان همبستگی عملکرد و اجزای آن را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و اثرات مستقیم و غیرمستقیم را مشخص نمود (Ali and Shakor, 2012). نتایج حاصل از همبستگی رگرسیون گام‌به‌گام و تجزیه علیت بر روی ۲۰ لاین گندم نان نشان داد که برای افزایش عملکرد دانه به ترتیب تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله و

^۱. Relative water content

کارمن زاجی (برای رنگ‌پذیری بافت‌های پارانشیمی و استحکامی) گذاشته‌شده و پس از شستشو با آب مقطر در ادامه به مدت ۳۰ ثانیه در محلول بلودومیتیلن (برای رنگ‌پذیری بخش‌های چوبی) قرار داده‌شده و مجدداً با آب مقطر شستشو شدند. در نهایت نمونه‌ها زیر میکروسکوپ (Leice Gaie III) با بزرگ‌نمایی ۴۰ قرار گرفته و تعداد دستجات آوندی آن‌ها شمارش گردید (Peterson et al., 2008). پس از اندازه‌گیری و یادداشت‌برداری صفات محاسبه صفات مربوط به عملکرد، تجزیه واریانس ساده در قالب طرح مربع لاتیس انجام و ضرایب همبستگی ساده بین کلیه صفات تعیین شد. با استفاده از تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام صفات دارای بیشترین تأثیر بر عملکرد دانه مشخص شد. بر مبنای تجزیه علیت بر اساس همبستگی ساده، نحوه تأثیر صفات و اجزای عملکرد دانه تعیین و دلایل علت و معلولی ارائه گردید. داده‌های جمع‌آوری‌شده برای صفات موردبررسی در نرم‌افزار Excel وارد شده، قبل از تجزیه داده‌ها عمل نرمال بودن داده‌ها انجام گرفته و پس از اطمینان از مفروضات برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزارهای SAS و SPSS استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد با Excel انجام گرفت.

نمونه‌ها به مدت ۱۰ ساعت در دمای اتاق، در داخل آب مقطر درون ظرف پتری قرار داده شدند. پس‌ازاین مدت سطح آن‌ها به آرامی با استفاده از کاغذ خشک‌کن خشک‌شده و وزن آماس آن‌ها تعیین شد. سپس نمونه‌های برگ در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک‌شده و وزن خشک آن‌ها با ترازوی حساس اندازه‌گیری گردید. در نهایت RWC از طریق رابطه (۱) محاسبه شد (Regan et al., 1992).

$$RWC = \{(FW - DW) / (TW - DW)\} 100 \quad [1]$$

که در آن FW، DW و TW به ترتیب معادل وزن برگ تازه، وزن برگ خشک‌شده در آون و وزن برگ اشباع می‌باشند.

اندازه‌گیری تعداد دستجات آوند چوبی در پنج نمونه تصادفی از هر لاین در مرحله ۵۰ درصد گلدهی انجام شد. برای رنگ‌آمیزی نمونه‌ها از هر ساقه گندم پنج برش عرضی از قسمت میانی پدانکل تهیه شد. جهت جلوگیری از خشک شدن، نمونه‌ها در آب مقطر قرار داده شدند. سپس به مدت ۱۵ دقیقه در آب‌ژاول قرار گرفته و در ادامه با آب مقطر شستشو داده شدند. بعداً این مرحله نمونه‌ها به مدت یک دقیقه داخل اسید استیک یک درصد قرار داده‌شده و با آب مقطر شسته شدند. پس‌از آن به مدت ۲۰ دقیقه در محلول

جدول ۱. شجره لاین‌های مورد مطالعه.

Table 1. Pedigree of lines under study.

شماره No.	نام Name	منشأ Origin	شماره No.	نام Name	منشأ Origin
1	14 Gene Bank Material	URBYI 81	9	Turkey/3/TG10//Maya	BWYT-B ₂ Zanjan
2	C-75-5	—	10	Fengek 15/Sefid	On farm
3	Sabalan	—	11	288 Gene Bank Material	BWYT-A ₂ Zanjan
4	Azar 2	—	12	Arman	11th FAWWON
5	Sardari	—	13	288 Gene Bank Material	BWYT-A ₃ Zanjan
6	Son64/4/WRSL/MIDA /...	On farm	14	F6 Maragheh	PWYT(u)
7	Bows/Gene//Shahi	URBYT 78	15	F6 Maragheh	PWYT(u)
8	Tan 200/Kauz	5 th WON-SA	16	Ogusta/Sefid	On farm

جدول ۲. میانگین دما و میزان بارش دانشگاه زنجان در سال ۹۲-۱۳۹۱.

Table 2. Mean of temperature and precipitation in the University of Zanjan during 2012-2013.

	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر
	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.
میزان بارش (میلی‌متر) Precipitation (mm)	58.2	17.4	18.5	50.3	29.8	13.9	48.3	6.1	00
میانگین دما (سانتی‌گراد) Mean temp. (°C)	9.8	3.9	-0.3	4.7	6.0	10.6	12.7	19.0	22.3

نتایج و بحث

ارزیابی شده به‌عنوان متغیر مستقل جدول (۴)، تعداد سنبله در بوته نخستین متغیر وارد شده به مدل بود که در حدود ۱۵ درصد از تغییرات عملکرد دانه را تبیین نمود. در مرحله دوم، تعداد دانه در سنبله به مدل اضافه شد و ضریب تبیین مدل را به ۵۷ درصد افزایش داد. در گام سوم وزن هزار دانه به همراه دو صفت قبلی در مدل قرار گرفت؛ و این سه متغیر توانستند مجموعاً ۸۷ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمایند. در همین ارتباط کافی و همکاران (Kafi et al., 2005) گزارش نمودند که بهبود عملکرد دانه در گندم در درجه اول ناشی از افزایش تعداد دانه در سنبله است.

تجزیه علیت با توجه به اینکه همبستگی ساده نمی‌تواند گویایی روابط علت و معلولی باشد به‌منظور تفسیر جامع‌تر نتایج حاصل از همبستگی ساده و رگرسیون مرحله‌ای از تجزیه علیت استفاده شد. ضرایب علیت اهمیت نسبی هر یک از عوامل مؤثر بر عملکرد دانه را مشخص می‌کند (Dewey and Lu 1959)؛ بنابراین با توجه به اینکه در شرایط دیم میزان انتقال آب از خاک به بافت گیاهی مهم می‌باشد و در این انتقال تعداد دستجات آوند چوبی و همچنین قطر ساقه نقش دارند؛ بنابراین با انجام تجزیه علیت تأثیر این صفات بر روی عملکرد و اجزای آن بررسی شد. با توجه به نتایج رگرسیون گام‌به‌گام تعداد دستجات آوند چوبی و قطر ساقه به‌طور مستقیم با عملکرد دانه رابطه نداشتند؛ بنابراین تأثیر این صفات از طریق اجزای عملکرد دانه بررسی شد. در مرحله اول تجزیه علیت رابطه عملکرد دانه، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه بررسی شد. این صفات در مجموع ۸۷ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه نمودند. آثار مستقیم و غیرمستقیم تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه بر عملکرد دانه در جدول (۵) آمده است. آثار

در بررسی مقایسه میانگین صفات با توجه به تعداد زیاد لاین‌ها از نوشتن جدول مقایسه میانگین‌ها صرف‌نظر شده است. برای تعیین معنی‌دار یا غیر معنی‌دار بودن تفاوت لاین‌ها، لاین‌های دارای بالاترین میانگین و همچنین لاین‌های دارای پایین‌ترین میانگین برای صفات مورد مطالعه، مشخص شدند، تفاضل لاین‌های مذکور با والدین به‌دست‌آمده و برای مقایسه لاین‌های مورد ارزیابی با ارقام شاهد از LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. در جدول (۳) ضرایب همبستگی ساده صفات ارائه شده است. عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار با تعداد سنبله و تعداد دانه در سنبله ($r=0.41^{**}$ ، $r=0.36^{**}$) داشت. اکثر اجزای عملکرد با عملکرد همبستگی مثبت و معنی‌دار داشتند. در مطالعه گورتین و بیلی (Guertin and Bailey., 1985) نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد و اجزای آن گزارش شده است. دوفینگ و نایت (Dofing and Knight, 1992) و شمس‌الدین (Shamsadin, 1987) همبستگی مثبت و معنی‌دار بین تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه گزارش کردند. آن‌ها همچنین اثرات مستقیم این صفت را زیاد گزارش کرده‌اند. عاید و همکاران (Ayed et al., 2010) نیز وجود همبستگی مثبت عملکرد دانه با وزن هزار دانه و ارتفاع بوته را گزارش کردند. بین عملکرد دانه و تعداد سنبله در مترمربع همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد (Kahrizi et al., 2010). همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه و وزن هزار دانه در شرایط عادی گزارش شده است (Shahryari et al., 2008; Aliu and Fetahu., 2010)

تجزیه رگرسیون در تجزیه رگرسیون چندگانه خطی برای عملکرد دانه به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات

جدول ۳. ضرایب همبستگی بین صفات مختلف در لاین‌های گندم.

Table 3. Correlation coefficient between different traits of wheat lines.

صفات	تعداد سنبله در بوته	تعداد دانه در سنبله	تعداد دانه در هزار دانه	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	محتوای نسبی آب	سرعت از دست دادن آب از برگ‌های بریده	دمای کانوپی	اختلاف دمای کانوپی	تعداد دستجات آوند چوبی	قطر ساقه
Traits	Number of spike per plant	Grain number per spike	Thousand grain weight	Grain yield	Relative water content	Rate water loss	Canopy temperature	Canopy temperature difference	Number xylem bundles	Stem diameter	
تعداد سنبله در بوته	1										
تعداد دانه در سنبله	-0.49**	1									
وزن هزار دانه	0.15	-0.57**	1								
عملکرد دانه	0.41**	0.36**	0.13	1							
محتوای نسبی آب	-0.15	0.33**	-0.14	0.14	1						
سرعت از دست دادن آب از برگ‌های بریده	-0.11	0.04	-0.08	-0.14	0.36**	1					
دمای کانوپی	-0.08	0.04	-0.08	-0.13	0.10	0.11	1				
اختلاف دمای کانوپی	0.10	-0.10	0.16	0.15	-0.09	-0.09	-0.72**	1			
تعداد دستجات آوند چوبی	-0.01	0.18	-0.39**	-0.02	0.05	0.02	-0.23	0.04	1		
قطر ساقه	-0.19	0.46**	-0.20	0.23	0.12	0.03	-0.27*	0.18	0.35**	1	

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

* and **: significant at the 0.05 and 0.01 levels of probability respectively.

دیم توصیه شود. به‌عنوان رهیافت دوم، گزینش برای تعداد دانه در سنبله بیشتر در تعداد سنبله محدود حتماً باید با در نظر گرفتن عدم کاهش وزن هزار دانه انجام گیرد تا بتواند منجر به افزایش عملکرد دانه شود. درنهایت، رهیافت سوم عبارت از گزینش لاین‌های دارای دانه‌های درشت در تعداد سنبله‌های محدود است. با این حال، بدیهی است اخذ نتایج معتبرتر منوط به تکرار آزمایش در چند سال با شرایط دیم متفاوت خواهد بود.

در مرحله دوم تجزیه علیت ابتدا رابطه رگرسیون گام‌به‌گام صفات قطر ساقه، RWC و تعداد دستجات آوند چوبی بر تعداد سنبله در بوته بررسی شد، ولی هیچ‌یک از این صفات نتوانستند رابطه رگرسیون خطی با تعداد سنبله برقرار کنند. سپس رابطه رگرسیون گام‌به‌گام این صفات بر تعداد دانه در سنبله بررسی گردید که در این بررسی صفات قطر ساقه و RWC وارد مدل شدند جدول (۶). نتایج نشان داد که همبستگی ساده بین قطر ساقه و تعداد دانه در سنبله مثبت و معنی‌دار و اثر مستقیم آن نیز مثبت و زیاد است. اثر غیرمستقیم این صفت از طریق RWC ناچیز و مثبت بود. اثر مستقیم محتوای نسبی آب برگ و تعداد دانه در سنبله مثبت و معنی‌دار بود و اثر غیرمستقیم این صفت از طریق قطر ساقه کم و ناچیز بود. همبستگی ساده این صفت ۳۳ درصد و عمدتاً ناشی از اثر مستقیم این صفت بود. به‌عبارت‌دیگر در شرایط آب و هوایی آزمایش حاضر افزایش قطر ساقه و RWC می‌تواند تا حدودی باعث افزایش تعداد دانه در سنبله گردد.

مستقیم این اجزا بر عملکرد دانه مثبت و به ترتیب برابر با ۰/۸۹، ۱/۱۸ و ۰/۶۷ بود. بیشترین اثرات مستقیم مربوط به تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در بوته بود که با نتایج (Deniz et al., 2009; Deniz, 2007) مطابقت داشت. چنین به نظر می‌رسد که با افزایش تعداد سنبله، سطح برگ یا منبع فتوسنتز کننده و نیز مخزن یا محل ذخیره مواد در گیاه افزایش می‌یابد که درنهایت باعث افزایش عملکرد دانه می‌گردد؛ بنابراین با توجه به همبستگی مثبت بین تعداد سنبله در بوته و تعداد دانه در سنبله، انتظار می‌رود که انتخاب مستقیم این صفات منجر به افزایش عملکرد دانه گردد و از این صفات بتوان برای انتخاب ارقام پر محصول گندم استفاده نمود. با این حال اثرات غیرمستقیم این عوامل نیز قابل توجه است. اثر غیرمستقیم تعداد سنبله در بوته از طریق تعداد دانه در سنبله منفی و زیاد ولی اثر غیرمستقیم این صفت از طریق وزن هزار دانه ناچیز بود. اثر غیرمستقیم تعداد دانه در سنبله از طریق وزن هزار دانه نیز قابل تأمل بود. اثر مستقیم وزن هزار دانه بر عملکرد مثبت و معنی‌دار ولی رابطه منفی آن با تعداد سنبله منجر به همبستگی ضعیف آن با عملکرد دانه شده بود؛ بنابراین در کل می‌توان چنین نتیجه گرفت که افزایش تعداد سنبله در بوته مشروط به عدم کاهش تعداد دانه در سنبله می‌تواند بدون کاهش چشمگیر وزن هزار دانه منجر به افزایش عملکرد دانه گردد. به‌عبارت‌دیگر نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که گزینش لاین‌های با تعداد سنبله بارور بیشتری که تعداد دانه در سنبله آن‌ها کم نباشد می‌تواند به‌عنوان رهیافت گزینش غیرمستقیم برای اصلاح عملکرد دانه در گندم تحت شرایط

جدول ۴. رگرسیون گام‌به‌گام برای عملکرد دانه و اجزای آن.

Table 4. Stepwise regression analysis for yield and its components.

Model	مدل	ضریب رگرسیون استاندارد نشده Unstandardized Coefficients	ضریب تبیین تصحیح شده Adjusted R Square
	تعداد سنبله در بوته	0.71**	0.15
Number of spike per plant			
	تعداد سنبله در بوته - تعداد دانه در سنبله	0.20**	0.57
Number of spike per plant- grain number per spike			
	تعداد سنبله در بوته - تعداد دانه در سنبله - وزن هزار دانه	0.13**	0.87
Number of spike per plant- grain number per spike- Thousand grain weight			

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

* and **: significant at the 0.05 and 0.01 levels of probability respectively.

جدول ۵. تجزیه علیت، اثرات مستقیم و غیرمستقیم اجزای عملکرد با عملکرد دانه.

Table 5. Path analysis, the direct and indirect effects of yield components on grain yield.

صفات	اثر مستقیم	اثر غیرمستقیم		همبستگی	
		تعداد سنبله در بوته	تعداد دانه در سنبله		
Traits	Direct effect	Number of spike per plant	Grain number per spike	Thousand grain weight	Correlation
تعداد سنبله در بوته	0.89**	-	-0.58	0.10	0.41
Number of spike per plant					
تعداد دانه در سنبله	1.18**	-0.44	-	-0.38	0.36
Grain number per spike					
وزن هزار دانه	0.67**	-0.67	0.13	-	0.13
Thousand grain weight					
اثرات باقیمانده	0.34				
Residuals					

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

*and **: significant at the 0.05 and 0.01 levels of probability respectively.

جدول ۶. اثرات مستقیم و غیرمستقیم محتوای نسبی آب و قطر ساقه بر تعداد دانه در سنبله.

Table 6. Direct and indirect effects of relative water content and stem diameter on grain number per spike.

صفات	اثر مستقیم	اثر غیرمستقیم		همبستگی
		قطر ساقه	محتوای نسبی آب برگ	
Traits	Direct Effect	Stem diameter	Relative Water Content	Correlation
قطر ساقه	0.42**	-	0.04	0.46
Stem diameter				
محتوای نسبی آب برگ	0.28**	0.05	-	0.33
Relative Water Content				
اثرات باقیمانده	0.84			
Residuals				

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

*and **: significant at the 0.05 and 0.01 levels of probability respectively.

ضمن اینکه می‌تواند باعث توسعه بیشتر سطح برگ و کانوپی شود، موجبات تخلیه رطوبت خاک در مرحله قبل از گل‌دهی و پر شدن دانه را فراهم می‌کند (Baljain and Shekari., 2012).

همبستگی بین عملکرد و اجزاء آن یعنی تعداد سنبله در بوته و تعداد دانه در سنبله در شرایط نامساعد محیطی مثبت و معنی‌دار گزارش شده است (Al-tabbal, 2011). نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه علیت نشان داد که تحت شرایط کمبود آب تعداد سنبله در مترمربع اثر منفی روی تعداد دانه در سنبله دارد که عمدتاً به خاطر وابستگی درونی منفی بین

در مرحله سوم از تجزیه علیت، رابطه صفات قطر ساقه، RWC و تعداد دستجات آوند چوبی بر وزن هزار دانه بررسی شد. صفت تعداد دستجات آوند چوبی تنها صفتی بود که در مدل وارد شده و به‌تنهایی ۳۹ درصد از تغییرات وزن هزار دانه را توجیه نمود. رابطه مستقیم این صفت با وزن هزار دانه منفی و معنی‌دار بود. به نظر می‌رسد در لاین‌هایی که دارای تعداد دستجات آوند چوبی بیشتری هستند، احتمالاً مقاومت هیدرولیکی کمتری در زمان رشد رویشی و توسعه بخش هوایی داشته و در نتیجه آب بیشتری را به بخش هوایی انتقال می‌دهند (Nobel, 2012). این مسئله

مقاومت در برابر حرکت آب در این مسیر بسیار کم است، وقتی که قطر ساقه بیشتر می‌شود، تعداد دستجات آوند چوبی بیشتری نیز از محور ساقه عبور می‌کند، در نتیجه آب و املاح بیشتری به محور سنبله وارد شده و از آنجا به دانه‌ها منتقل می‌شود. وقتی RWC لاین‌ها بالا شد ناشی از دو مورد است: یا این لاین‌ها با خصوصیاتی که دارند با بستن نسبی روزنه‌های خود و تعرق کم‌تر در شرایط تنش خشکی RWC خود را در سطح بالایی نگه می‌دارند و یا اینکه به لحاظ داشتن سیستم ریشه‌ای قوی‌تر می‌توانند آب را از اعماق خاک جذب کرده و به اندام‌های هوایی منتقل کنند و علی‌رغم از دست دادن آب، RWC برگ‌های خود را در سطح بالایی حفظ کنند (Levitt, 1972). اگر انتقال مواد غذایی به داخل دانه‌های در حال توسعه تحت تأثیر سیستم آوندی باشد، بنابراین ممکن است به دانه رفتن دانه‌های سوم و چهارم و ... در روی هر سنبله‌چه و نیز وزن و تعداد دانه‌های بخش‌های مختلف محور سنبله مربوط به انتقال یا عدم انتقال مواد توسط دستجات آوندی باشد (Khalkhali and Eradatmand, 2011).

نتیجه‌گیری

در نهایت با توجه به برآورد ضرایب همبستگی، نتایج حاصل از رگرسیون مرحله‌ای و اثرات مستقیم و غیرمستقیم، نتیجه‌گیری می‌شود که صفات تعداد سنبله و تعداد دانه در سنبله مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد دانه می‌باشند و بخش عمده‌ای از تنوع عملکرد را توجیه می‌کنند و گزینش برای قطر ساقه بیشتر نیز می‌تواند با افزایش تعداد دانه در سنبله منجر به بهبود غیرمستقیم عملکرد دانه گردد. همچنین با توجه به میزان بارندگی و دمای هوا که در فروردین و اردیبهشت سال ۹۱-۹۲ در شرایط آب و هوایی زنجان صورت گرفته است، احتمالاً در این لاین‌ها مقدار آب کمتری در زمان پر شدن دانه‌ها موجود بوده که می‌تواند با کاهش میزان فتوسنتز جاری موجب کاهش وزن دانه‌ها شود؛ و به این دلیل در این شرایط آب و هوایی به دلیل محدودیت میزان آب خاک نباید در برنامه‌های اصلاحی سعی در افزایش تعداد دستجات آوندی در جهت انتقال بیشتر آب نمود.

تولید پنجه و تکامل سنبله می‌باشد (Garcya del moral et al., 2005). مرحله گل شکفتگی از حساس‌ترین مراحل زندگی گندم به تنش خشکی است در این زمان کمبود آب باعث عدم تلقیح و ناباروری گلچه‌ها در سنبله می‌گردد، همچنین تعدادی از تخمک‌های تلقیح شده، در اثر تنش خشکی سقط می‌شوند و در نهایت تعداد دانه در سنبله کاهش می‌یابد. اعمال تنش در مرحله گرده‌افشانی باعث عقیم شدن دانه‌های گرده (Siani and Aspinall, 1981) و اختلال در فتوسنتز جاری و انتقال مواد ذخیره‌شده به دانه‌ها می‌گردد (Wang et al., 2001) که می‌تواند دلیلی برای کاهش دانه در سنبله‌ها باشد. همچنین وزن دانه در سنبله اثر مستقیم مثبتی روی عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی دارد (Yagdi, 2009). اگرچه وزن هزار دانه، اثر مستقیم مثبت بر روی عملکرد دانه دارد، ولی از طریق کاهش تعداد سنبله به صورت غیرمستقیم تأثیر منفی بر عملکرد داشته و موجب کاهش عملکرد می‌شود. افزایش وزن دانه‌ها با کاهش میزان پنجه‌ها رابطه مستقیمی دارد که منجر به افزایش عملکرد به ازای سطح زیر کشت می‌شود (Richards, 1997). با بررسی همبستگی بین تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه نیز می‌توان دریافت که افزایش تعداد دانه باعث کاهش وزن هزار دانه می‌شود. با وجود اینکه افزایش تعداد دانه در سنبله تا حدود زیادی افزایش تعداد دانه در مترمربع را توجیه می‌نماید. به نظر می‌رسد، اگرچه به‌نژادی عملکرد تا حدود زیادی باعث افزایش تعداد دانه در مترمربع شده است، اما کاهش وزن هزار دانه تا اندازه‌های موجب خنثی کردن این تلاش‌ها گردیده است. با توجه به اینکه تنش خشکی باعث کاهش سهم پر شدن دانه به دلیل کاهش فتوسنتز، پیری برگ و محدودیت در منبع می‌شود (Wei et al., 2010)؛ بنابراین کمبود آب در اوایل تشکیل دانه منجر به کاهش اندازه دانه به خاطر کاهش در سرعت و طول پر شدن دانه می‌گردد (Saini and Westgate, 2000). آب موجود در بافت‌ها و سلول‌های گیاهی به تدریج از دست‌رفته و در متابولیسم طبیعی بافت‌ها و سلول‌ها اختلال به وجود می‌آید و در نتیجه عملکرد به شدت کاهش می‌یابد (Moayedi et al., 2009). در گیاهان تقریباً ۹۹ درصد مسیر انتقال آب در داخل گیاه از طریق آوندهای چوبی است. دلیل عمده‌ای که آب از طریق آوندهای چوبی جابجا می‌شود آن است که با توجه به ساختار سلولی آوندها

منابع

- Adams, M.W., 1967. Bases of yield components compensation in crop plants with special reference to field bean, *Phaseolus vulgaris*. *Crop Science*. 7, 505-510.
- Al-Tabbal, J.A., 2011. Effect of water stress on the yield and yield component of durum wheat cultivars (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). *International Journal of Academic Research*. 3(6), 98-113.
- Ali, I.H., Shakor, E.F., 2012. Heritability, variability, genetic correlation and path analysis for quantitative traits in durum and bread wheat under dry farming conditions. *Mesopotamia Journal Agricultural*. 40, 27-39.
- Aliu, S., Fetahu, S., 2010. Determination on genetic variation for morphological traits and yield components of new winter wheat (*Triticum aestivum* L.) lines. *Notulae Sciences Biology*. 2, 121-124.
- Aycicek, M., Yildirim, T., 2006. Path coefficient analysis of yield and yield components in bread wheat (*Triticum aestivum* L) genotypes. *Pakistan Journal of Botany*. 38, 417 - 424 .
- Ayed, S., Karmous, C., Trifa, Y., Slama-Ayed, O., Slim-Amara, H., 2010. Phenotypic diversity of Tunisian durum wheat landraces. *African Crop Sciences Journal*. 18, 35-42.
- Baljain, R., Shekari, f., 2012. Effects of priming by salicylic acid on yield and growth indices of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) plants under and season drought stress. *Journal of Agricultural and Sustainable Production*. 22, 93-94.
- De-Marcelo, A.S., Jifon, J.L., Silva, J.A.G.D., Sharma, V., 2007. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 19(3), 193-201.
- Deniz, B., 2007. Selections for yield and earliness in mutated genotypes of spring barley (*Hordeum vulgare*) in cool and short-season environment. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 35, 441-447.
- Deniz, B., Kavurmaci, Z., Mehmet, T., 2009. Determination of ontogenetic selection criteria for grain yield in spring barley by path analysis. *African Journal of Biotechnology*. 8(11), 2616-2622.
- Dewey, D.R., Lu, K.H., 1959. A correlation and path coefficient analysis of components of crested wheatgrass seed production. *Agronomy Journal*. 51, 515-518.
- Dofing, S.M., Knight, C.W., 1992. Alternative model for path analysis of small grain yield. *Crop Science*. 32, 487-489.
- Farshadfar, E., Koszegi, B., Tischner, T., Sutki, J., 1995. Substitution analysis of drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Breeding*. 114, 542-544. [In Persian with English summary.]
- Garcya del moral, L.F., Rharrabti, Y., Elhani, S., Martos, V., Royo, C., 2005. Yield Formation in Mediterranean durum wheats under two contrasting water regimes based on path-coefficient analysis. *Euphytica*. 146, 203-212.
- Ghobadi, M., Kashani, A., Mamghani, S.A., Egbal-Ghobadi, M., 2007. Studying tillering trend and its relationship with grain yield in wheat under different plant densities. *Journal of Agricultural Sciences*. 3, 23- 36. [In Farsi with English summary].
- Golestani Araghi, S., Assad, M.T., 1998. Evaluation of four screening techniques for drought resistance and their relationship to yield reduction ratio in wheat. *Euphytica*. 103, 293-299.
- Guertin, W. H., Bailey, J. P., 1985. *Introduction to Modern Factor Analysis*. Edward Brothers Inc., Michigan.
- Johnson, R.C., Witters, R.E., Ciha, A.J., 1981. Daily patterns of apparent photosynthesis and evapotranspiration in developing winter wheat crop. *Agronomy Journal*. 73, 414-418.
- Kafi, M., Jafarnejad, A., Jami Al-Ahmadi, M., 2005. *Wheat, Ecology, Physiology and Yield Estimate*. Ferdowsi University of Mashhad Press. 478 p. [In Persian].
- Kahrizi, D., Mahdi, M., Mohammadi, R., Cheghamirza, K., 2010. Estimation of genetic parameters related to morpho-agronomic traits of durum wheat (*Triticum turgidum durum*). *Biharean Biology*. 4, 93-97.
- Kanemasu, E.T., Hiebsch, C.K., 1975. Net carbon dioxide exchange of wheat, sorghum and soybeans. *Canadian Journal of Botany*. 53, 382-389.

- Khalkhali, S.M.R., Eradatmand, D., 2011. The effect of vascular system of rachis on yield components of barley var. Reyhan. 1st National Conference Modern Topic in Agriculture. Islamic Azad University Of Saveh. [In Persian].
- Levitt, J., 1972. Response of Plants to Environmental Stresses. Vol.I. Academic Press. New York. USA.
- Lopez, E., Garrido Molina, S., 2001. Quantification of vascular tissues in peduncle of durum wheat cultivars improved during the twentieth century. International Journal of Developmental Biology. 45(1), 47-48.
- Manette, A.S., Richard, C.J., Carre, B., Morhinweg, B., 1988. Water relations in winter wheat as drought indicators. Crop Science. 28, 256-531.
- Moayedi, A.K., Boyce, A.N., Barakbah, S.S., Ghodsi, M., 2009. Tillering behaviors of promising durum wheat genotypes and bread wheat cultivar under different water deficit conditions. In: Mohammadi, R., Haghparast, R., (Eds.), Plant Science in Iran, Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology 3: 15-19.
- Moustafa, M.A., Boersma, L., Kronstand, W.E., 1996. Response of four spring wheat cultivars to drought stress. Crop Science. 36, 982-986.
- Nobel, P. S., 2012. Physicochemical and Environmental Plant Physiology. Academic Press. New York. USA.
- Nourmand Moayyed, F., Rostami, M. A., Ghannadha, M. R., 2002. Evaluation of drought resistance indices in bread wheat (*T. aestivum* L.). Journal of Agricultural Sciences. 4, 795- 805. [In Persian with English summary].
- Okuyama, L.A., Ferizzi, L.C., Neto, J.F.B., 2004. Correlation and path analysis of yield and its components components and plant traits in wheat. Ciencica Rural, Santa Maria. 34(6), 1701- 1708.
- Peterson, R.L., Peterson, C.A., Melville, L.H., 2008. Teaching Plant Anatomy through Creative Laboratory Exercises. Canadian Science Publishing.
- Regan, K. L., Siddique, K.H.M., Turner, N. C., Whan, B.R., 1992. Potential for increasing early vigor and total biomass in spring wheat II characteristics associated with early vigor. Australian Journal of Agricultural Research. 43, 541-553.
- Richards, R.A., 1997. Defining selection criteria to improve yield under drought. In: Belhassen, E., (Ed.), Drought Tolerance in Higher Plants. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 79-88.
- Ruuska, S., Rebetzke, G.J., Van Herwaarden, A.F., Richards, R.A., Fettell, N.A., Tabe, L., Jenkins, C., 2006. Genotypic variation for water soluble carbohydrate accumulation in wheat. Functional Plant Biology. 33, 799–809.
- Sami, U.A., Khan, A.S., Raza, A., Sadique, S., 2010. Gene action analysis of yield and yield related traits in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). International Journal of Agriculture and Biology. 12, 125–128.
- Saini, H.S., Westgate, M.E., 2000. Reproductive development in grain crops during drought. Advances in Agronomy. 68, 59–96.
- Shahryari, R., Gurbanov, E., Gadimov, A., Hassanpanah, D., 2008. Tolerance of 42 bread wheat genotypes to drought stress after anthesis. Pakistan Journal of Biological Sciences. 11, 1330-1335.
- Shamsadin, A.K., 1987. Path analysis in bread wheat. Indian Journal Agriculture Science. 57, 47-50 .
- Siani, H.S., Aspinall, D., 1981. Effects of water deficit on sporogenesis in wheat. Annals of Botany. 43, 623-633.
- Wang, Z.M., Wei, A.L., Zheng, D.M, 2001. Photosynthetic characteristic of non-leaf organs of winter wheat cultivar differing in ear type and their relationship with grain mass per ear. Photosynthetica. 39, 239-244.
- Wei, T.M., Chang, X.P., Min, D.H., Jing, R.L., 2010. Analysis of genetic diversity and trapping elite alleles for plant height in drought-tolerant wheat cultivars. Acta Agronomica Sinica. 36, 895–904.
- Yagdi, K., 2009. A Path Coefficient analysis of some yield component in durum wheat (*Triticum durum*). Pakistan Journal. 41(2), 745-751.