



ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم نان تحت شرایط تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای با استفاده از شاخص‌های خشکی

رقیه خوجم‌لی^۱، خلیل زینلی‌نژاد^{۲*}، علی‌اصغر نصراله‌نژاد قمی^۳، سعید باقری‌کیا^۲

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. استادیار گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳. استادیار بخش تحقیقات زراعی-باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۱/۲۰

چکیده

وجود تنش خشکی در ابتدای فصل رشد یکی از مهم‌ترین عوامل تهدیدکننده تولید گندم کشور است. طول کلئوپتیل مهم‌ترین صفت مورفولوژیک در تعیین عمق کاشت، قدرت سبز کردن و استقرار گیاهچه است. به‌منظور ارزیابی تعدادی از ژنوتیپ‌های بومی گندم نان تحت تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای، آزمایشی با ۳۵ لاین خالص در سه شرایط رطوبتی (شاهد، تنش خشکی با پلی‌اتیلن گلیکول ۶ هزار در غلظت‌های ۱۰ و ۱۵ درصد) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. اجرا شد. صفت طول کلئوپتیل پس از هشت روز اندازه‌گیری شد. بر اساس مقادیر طول کلئوپتیل در شرایط شاهد (Yp) و شرایط تنش (Ys) شاخص‌های MP, GMP, STI, HM, YI, TOL, RSI و YSI محاسبه شدند. ضرایب همبستگی شاخص‌های تحمل به خشکی نشان داد که شاخص‌های MP, GMP, STI و HM مناسب‌ترین شاخص‌ها برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی بودند. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که دو مؤلفه اول در مجموع ۹۹/۷۸ درصد تغییرات را در شرایط تنش خشکی ۱۰ درصد و ۹۹/۸۰ درصد را در شرایط تنش خشکی ۱۵ درصد توجیه کردند. بر اساس شاخص‌ها و نمودار سه‌بعدی، ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۶، ۱۱ و ۲۴ (به ترتیب بومی کشورهای ترکیه، افغانستان، ایران و افغانستان) به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای شناسایی شدند در حالی که ژنوتیپ‌های شماره ۱۴، ۱۵، ۲۱، ۳۰ و ۳۵ به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها معرفی شدند. نمودار چند متغیره بای پلات نیز نشان داد که ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در مجاورت بردارهای مربوط به بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی قرار داشتند. از ژنوتیپ‌های بومی شناسایی‌شده در این پژوهش می‌توان در برنامه‌های اصلاحی گندم نان تحت شرایط تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای بهره برد.

واژه‌های کلیدی: پلی‌اتیلن گلیکول، بای پلات، کلئوپتیل، گندم نان، ژنوتیپ‌های بومی

مقدمه

گندم نان مهم‌ترین محصول راهبردی و تأمین‌کننده غذای اصلی کشور است و نقش مهمی در امنیت غذایی ایفا می‌کند، اما متأسفانه میزان تولید آن، به‌شدت تحت تأثیر عوامل محیطی به‌ویژه تنش خشکی قرار می‌گیرد. راهکار اصلاحی در برابر تنش خشکی انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش است که به دو روش سنجش عملکرد و صفات مورفولوژیک که

باتحمل به تنش همبستگی دارد انجام می‌شود که این کار با استفاده از بررسی تنوع ژنتیکی و همچنین شناسایی QTL‌های کنترل‌کننده تحمل به خشکی صورت می‌گیرد (Hang et al., 2002). مطالعه و ارزیابی صفات مرتبط با تنش خشکی در گندم یکی راهکارهای مقابله با کاهش تولید در شرایط تنش است؛ چراکه می‌توان با بررسی این صفات که

شناسایی ارقام تحت تنش کمبود آب در برنامه‌های اصلاحی معرفی کرده‌اند (Taghian and Abo-Elwafa, 2003). شیرازی و همکاران (Shirazi et al., 2016) با استفاده از داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صفات (به‌خصوص وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه) در شرایط نرمال و تنش خشکی ناشی از استفاده از پلی‌اتیلن گلیکول ۶ هزار، شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی را محاسبه و بر این اساس ژنوتیپ‌های مقاوم و حساس را در مرحله گیاهچه‌ای معرفی نمودند و همچنین همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری بین شاخص‌های MP، GMP، HM و STI مشاهده کردند.

ظهور گیاهچه با طول کلئوپتیل همبستگی نزدیکی دارد. طول کلئوپتیل گندم مهم‌ترین صفت مورفولوژیک در تعیین عمق کاشت، قدرت سبز کردن و استقرار گیاهچه‌ها است و به‌عنوان معیاری مؤثر برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کم‌آبی در برنامه‌های اصلاحی استفاده شده است (Reynolds et al., 2006). بر اساس گزارش درویش نیا و همکاران (Darvishnia et al., 2020) ضریب همبستگی طول کلئوپتیل با برخی صفات کمی در شرایط تنش نسبت به شرایط عدم تنش کم‌آبی از نظر اندازه و جهت تغییر نمود که ناشی از نقش مؤثر طول کلئوپتیل در موازنه گیاه و شرایط رطوبتی است.

در ایران در سالیان اخیر بیشتر مطالعات و فعالیت‌های به‌نژادی و به‌زراعی روی تنش خشکی در انتهای فصل رشد متمرکز بوده است اما بسیاری از مناطق گندم‌کاری کشور (حتی در مناطق پرباران که از ارقام آبی استفاده می‌شود) با توجه به تغییر اقلیم و کمبود بارندگی سالیان اخیر در پاییز نسبت به میانگین بلندمدت ضروری است که تنش خشکی در ابتدای فصل و در مرحله گیاهچه‌ای مورد مطالعه قرار گیرد چراکه اگر مرحله سبز خوبی نداشته باشیم تمامی فعالیت‌های به‌زراعی و به‌نژادی بعدی تحت تأثیر قرار می‌گیرند. از این رو هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی برخی ژنوتیپ‌های بومی گندم نان از نظر طول کلئوپتیل تحت تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای بود.

با پایداری عملکرد در شرایط تنش مرتبط هستند، صفات مناسب را انتخاب و از طریق آن‌ها اقدام به گزینش ژنوتیپ‌ها و در نهایت توسعه ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا تحت شرایط تنش خشکی نمود (Amiri et al., 2013). امروزه اهمیت واریته‌های بومی به‌واسطه دارا بودن ژن‌ها و صفات مفید بر متخصصان آشکار است، چراکه به اعتقاد چکارلی و همکاران (Ceccarelli et al., 1998) استفاده از ژرم‌پلاسما محلی و سازگار با هر منطقه و در نهایت گزینش در محیط‌های مورد هدف، یکی از مؤثرترین روش بهبود تولید گیاهان زراعی است؛ بنابراین از ظرفیت ژرم‌پلاسما بومی به‌عنوان منبع ژن‌های متحمل به خشکی می‌توان بهره جست (Haddadin, 2015). در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در خصوص به دست آوردن ژنوتیپ‌های سازگار گندم در شرایط کم‌آبی از طریق واریته‌های بومی و خویشاوندان وحشی به‌عنوان منابع اصلی تحمل به خشکی انجام شده است (Mohammadi., 2008; Farshadfar and Amiri, 2017).

شاخص‌های متفاوتی برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی مختلف و تعیین تحمل و حساسیت آن‌ها ارائه شده است (Srivastava et al., 1987). محققان بسیاری شاخص‌های بهره‌وری متوسط^۱ (MP)، بهره‌وری متوسط هندسی^۲ (GMP) و تحمل به تنش^۳ (STI) را مؤثرترین شاخص‌ها جهت شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی معرفی کرده‌اند (Murri et al., 2013; Shafazadeh et al., 2001; Saba et al., 2004; Golbadi et al., 2006). میانگین هارمونیک^۴ (HM) نیز از شاخص‌هایی است که در ارزیابی تحمل به تنش مورد استفاده قرار می‌گیرد (Farshadfar., 2000). GMP و STI در بسیاری از پژوهش‌ها مناسب‌ترین شاخص‌ها برای گزینش ژنوتیپ‌های مورد مطالعه شناسایی شدند (Farayed, 2004; Kargar et al., 2004; Sundari et al., 2005). ساندری و همکاران (Sundari et al., 2005) علاوه بر GMP و STI، شاخص MP را نیز شاخص بهتر برای تعیین تحمل به تنش ارقام معرفی کردند. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌دار Yp (عملکرد در شرایط شاهد) و Ys (عملکرد در شرایط تنش) با MP، GMP و STI را در گندم گزارش شده و شاخص‌های MP، GMP و STI را مناسب‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی و

³ Stress Tolerance Index

⁴ Harmonic Mean

¹ Mean Productivity

² Geometric Mean Productivity

مواد و روش‌ها

لاین‌های خالص حاصل از توده‌های محلی و ارقام اصلاح‌شده گندم نان برای تحمل به تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای بررسی شدند (جدول ۱).

این آزمایش در سال ۱۳۹۷ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. در این مطالعه ۳۵ ژنوتیپ شامل

جدول ۱. منشأ و مشخصات ژنوتیپ‌های گندم نان مورد مطالعه

Table 1. Origin and specifications of the bread wheat genotypes

شماره NO.	نام Name	منشأ	Origin	شماره NO.	نام Name	منشأ	Origin
1	ATRI 527	هند	India	19	HTRI 5896	ایران	Iran
2	ATRI 571	افغانستان	Afghanistan	20	HTRI 6640	ایران	Iran
3	ATRI 1495	ترکیه	Turkey	21	ATRI 9687	مکزیک	Mexico
4	ATRI 2441	نپال	Nepal	22	ATRI 12922	چین	China
5	ATRI 2603	افغانستان	Afghanistan	23	01C0204938	جمهوری چک	Czechia
6	ATRI 2675	افغانستان	Afghanistan	24	ICBW 85545	افغانستان	Afghanistan
7	ATRI 2781	افغانستان	Afghanistan	25	ICBW 43075	ترکیه	Turkey
8	ATRI 2818	افغانستان	Afghanistan	26	ICBW 42741	ترکیه	Turkey
9	ATRI 2899	افغانستان	Afghanistan	27	ICBW 42689	سوریه	Syria
10	ATRI 2956	افغانستان	Afghanistan	28	ICBW 141350	آذربایجان	Azerbaijan
11	ATRI 5721	ایران	Iran	29	ICBW 138380	آذربایجان	Azerbaijan
12	ATRI 5887	ایران	Iran	30	Atrak	ایران - تجاری	Iran-Commercial
13	ATRI 5895	ایران	Iran	31	SARC 1	نامشخص	unknown
14	ATRI 6112	ایران	Iran	32	SARC 4R	نامشخص	unknown
15	ATRI 16073	عراق	Iraq	33	SARC 4W	نامشخص	unknown
16	ATRI 16076	عراق	Iraq	34	Ehsan	ایران - تجاری	Iran-Commercial
17	ATRI 16079	عراق	Iraq	35	Kalateh	ایران - تجاری	Iran-Commercial
18	ATRI 19231	هند	India				

اسمزی ۲/۹۵- (بار) و برای شاهد آب مقطر اتوکلاو شده به میزان پنج میلی‌لیتر به پتری‌های موردنظر اضافه شد. پس‌از آن لیوان‌های یک‌بارمصرف متوسط را که قبلاً با اشعه UV استریل شده بودند، روی هر پتری قرار داده شدند به‌نحوی که سر لیوان‌ها به داخل پتری‌ها فرورفته و کاملاً محکم شود. پتری‌های حاوی بذر به انکوباتور انتقال داده شدند و دمای آن روی ۲۵ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید. این پتری‌ها به مدت هشت روز درون انکوباتور قرار داده شدند. مراقبت روزانه از پتری‌ها صورت گرفت. طول کلئوپتیل ۱۰ گیاهچه برتر هر واحد آزمایشی برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد (Darvishnia et al., 2020).

نه شاخص برای صفات اندازه‌گیری شده برای تنش خشکی محاسبه شد که با استفاده از Yp (طول کلئوپتیل در

این آزمایش با استفاده از پلی‌اتیلن گلیکول (PEG 6000) حاوی فشار اسمزی ۱/۴۸- بار (۱۰ درصد) و ۲/۹۵- بار (۱۵ درصد) و تیمار شاهد در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در انجام گردید (Michel and Kaufmann, 1973).

به‌منظور اعمال تنش خشکی ابتدا آب مقطر اتوکلاو شده، کاغذهای صافی و تمام وسایل موردنیاز برای انجام کار، زیر اشعه UV قرار داده شدند تا کاملاً استریل شوند.

از هر ژنوتیپ ۶۰ بذر سالم و هم‌اندازه انتخاب و با آب مقطر شستشو داده شدند؛ به‌منظور ضدعفونی نمودن، بذرها به مدت پنج دقیقه در هیپوکلرید سدیم یک درصد غوطه‌ور و پس‌از آن با آب مقطر آبشویی شدند. به‌منظور اعمال تنش از محلول پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ (PEG 6000) در دو غلظت ۱۰ درصد (با فشار اسمزی ۱/۴۸- بار) و ۱۵ درصد (با فشار

شاخص‌ها، همبستگی آن‌ها، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، رسم نمودارهای سه‌بعدی و بای پلات با استفاده از توابع مربوطه در نرم‌افزار آنالیز محاسبه شاخص‌های مربوط به تنش‌های غیرزیستی (iPASTIC) انجام شد (Pour-Aboughadareh et al., 2019).

شرایط شاهد) و Y_S (طول کلئوپتیل در شرایط تنش) به دست آمد (جدول ۲). این شاخص‌های شامل شاخص تحمل، بهره‌وری متوسط، بهره‌وری متوسط هندسی، میانگین هارمونیک، تحمل به تنش، حساسیت به تنش، شاخص عملکرد، شاخص ثبات عملکرد، شاخص تنش نسبی بودند که منابع هریک از آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. محاسبه

جدول ۲. فرمول محاسبه شاخص‌های مورد مطالعه

Table 2. Formula calculation of the studied indicators

شاخص	Indice	فرمول	فرمول	منبع	Reference
شاخص تحمل	TOL		$TOL = Y_P - Y_S$		Rosielle and Hamblin (1981)
بهره‌وری متوسط	MP		$MP = \frac{Y_P + Y_S}{2}$		Rosielle and Hamblin (1981)
بهره‌وری متوسط هندسی	GMP		$GMP = \sqrt{Y_S * Y_P}$		Fernandez (1992)
میانگین هارمونیک	HM		$HM = \frac{2(Y_P * Y_S)}{(Y_S + Y_P)}$		Bidinger et al (1987)
تحمل به تنش	STI		$STI = \frac{Y_S * Y_P}{(\bar{Y}_P)^2}$		Fernandez (1992)
حساسیت به تنش	SSI		$SSI = \frac{1 - (\frac{Y_S}{\bar{Y}_P})}{1 - (\frac{\bar{Y}_S}{\bar{Y}_P})}$		Fischer and Maurer (1978)
شاخص عملکرد	YI		$YI = \frac{Y_S}{\bar{Y}_S}$		Gavuzzi et al. (1997)
شاخص ثبات عملکرد	Yield Stability Index (YSI)		$YSI = \frac{Y_S}{\bar{Y}_P}$		Bousslama and Schapaugh (1984)
شاخص تنش نسبی	Relative Stress Index (RSI)		$RSI = \frac{(\frac{Y_S}{\bar{Y}_P})}{(\frac{\bar{Y}_S}{\bar{Y}_P})}$		Fischer and Wood (1979)

نتایج و بحث
 بررسی شاخص‌های تحمل به تنش
 در دو شرایط شاهد و تنش خشکی ۱۰ درصد، بیشترین طول کلئوپتیل مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۱ و ۲ بود. همچنین تحت تنش خشکی ۱۵ درصد، ژنوتیپ‌های ۳ و ۶ بیشترین طول کلئوپتیل را داشتند. از طرف مقابل تحت شرایط شاهد و تنش خشکی ۱۵ درصد، ژنوتیپ‌های ۳۰ و ۳۵ کمترین طول کلئوپتیل را داشتند در حالی که تحت تنش خشکی ۱۰ درصد، کمترین طول کلئوپتیل مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۵ و ۲۱ بود (جدول ۳).
 در بررسی شاخص‌های تحمل به تنش، کمترین مقادیر در شاخص‌های TOL, SSI, YSI, RSI مربوط به متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها است در حالی که در شاخص‌های GMP, MP, HM, STI, YI و ۲ و ۱۱ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل و

نتایج و بحث
 بررسی شاخص‌های تحمل به تنش
 در دو شرایط شاهد و تنش خشکی ۱۰ درصد، بیشترین طول کلئوپتیل مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۱ و ۲ بود. همچنین تحت تنش خشکی ۱۵ درصد، ژنوتیپ‌های ۳ و ۶ بیشترین طول کلئوپتیل را داشتند. از طرف مقابل تحت شرایط شاهد و تنش خشکی ۱۵ درصد، ژنوتیپ‌های ۳۰ و ۳۵ کمترین طول کلئوپتیل را داشتند در حالی که تحت تنش خشکی ۱۰ درصد، کمترین طول کلئوپتیل مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۵ و ۲۱ بود (جدول ۳).
 در بررسی شاخص‌های تحمل به تنش، کمترین مقادیر در شاخص‌های TOL, SSI, YSI, RSI مربوط به متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها است در حالی که در شاخص‌های GMP, MP, HM, STI, YI و ۲ و ۱۱ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل و

جداشده از کلئوپتیل گندم به‌منظور بررسی نقش آن در رشد و توسعه گیاه، به تنباکو منتقل شده است و افزایش رشد گیاهی در نتیجه تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول، همراه با افزایش غشای پلاسمایی و دیواره مشاهده شده است (Xing et al., 2009).

خاک‌های سخت و فشرده باعث کندی رشد کلئوپتیل شده و گاهی از جوانه‌زنی نیز جلوگیری به عمل می‌آورند از طرف دیگر مرحله گیاهچه‌ای از مراحل حساس به تنش خشکی است (Whan, 1995)؛ بنابراین داشتن کلئوپتیل طویل وضعیت استقرار گیاهچه را تحت تنش خشکی یا وجود لایه فشرده در سطح خاک بهبود می‌بخشد. در استان گلستان، وجود خاک‌های سخت و فشرده به دلیل تناوب برنج-گندم و تنش خشکی در ابتدای فصل به دلیل کاهش بارندگی در فصل کاشت گندم (آبان و آذر) از عوامل محدودکننده سبز شدن طبیعی گندم بوده‌اند؛ بنابراین از امکان استفاده از ژنوتیپ‌های متحمل معرفی‌شده در این پژوهش می‌توان در برنامه‌های اصلاحی وجود دارد. رانا و همکاران (Rana et al., 2017) در بررسی پاسخ ۲۰ ژنوتیپ گندم تحت تنش کم‌آبی با استفاده از پلی اتیلن گلیکول سه سطح پتانسیل آب شامل کنترل، منفی دو بار و منفی چهار بار در مراحل جوانه‌زنی و رشد گیاهچه به این نتیجه رسیدند که با افزایش تنش آب، طول کلئوپتیل، طول ریشه‌چه و وزن خشک گیاهچه ۱۰ روزه کاهش یافت. کمبود آب موجب کاهش تورژسانس سلولی می‌شود و در نهایت کاهش رشد و توسعه سلول به‌خصوص در ساقه و برگ‌ها را به دنبال خواهد داشت. با کاهش رشد سلول اندازه اندام محدود می‌شود به همین دلیل، اولین اثر محسوس کم‌آبی بر گیاه را می‌توان از روی کاهش اندام هوایی تشخیص داد (Salarpour Gharba and Farahbakhsh, 2015).

ضرایب همبستگی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی

تحت هر سه شرایط رطوبتی طول کلئوپتیل، بیشترین ضرایب همبستگی مثبت و معنی‌دار را در سطح احتمال یک درصد با شاخص‌های MP, GMP, HM و STI داشت. همچنین بین شاخص‌های MP, GMP, HM و STI همبستگی مثبت و معنی‌دار مشاهده شد (شکل ۱). همبستگی معنی‌دار بین این شاخص‌ها نشان می‌دهد که آن‌ها می‌توانند به‌عنوان مبنایی برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل مورد استفاده قرار گیرند و برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مناسب هستند (Zebarjadi et al., 2016).

ژنوتیپ‌های ۱۵، ۲۱ و ۳۰ به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس تحت تنش خشکی ۱۰ درصد شناخته شدند (جدول ۳).

در شرایط تنش خشکی ۱۵ درصد، شاخص‌های TOL, SSI, YSI و RSI ژنوتیپ‌های ۲۱ و ۳۴ را به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های ۲ و ۵ را به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها معرفی کردند. همچنین بر اساس شاخص‌های MP, GMP, HM, STI و YI ژنوتیپ‌های ۶، ۱۱ و ۳ ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و ژنوتیپ‌های ۳۰ و ۳۵ ژنوتیپ‌های حساس به خشکی شناخته شدند (جدول ۴). به‌طور کلی برای صفت طول کلئوپتیل ژنوتیپ‌های ۲، ۱۱، ۳ و ۶ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی شناخته شدند (جدول‌های ۳ و ۴) که ژنوتیپ‌های ۲ و ۶ بومی افغانستان، ژنوتیپ ۳ بومی ترکیه و ژنوتیپ ۱۱ بومی ایران بودند (جدول ۱).

طول کلئوپتیل مهم‌ترین صفت مورفولوژیک در تعیین عمق کاشت و افزایش قدرت سبز شدن گندم است. طول کلئوپتیل محدودکننده عمق کاشت بذر گندم است و طول آن تحت تأثیر ژنوتیپ گیاه است (Mohan et al., 2013). ارقامی که کلئوپتیل بلندتری دارند پتانسیل کاشت عمیق‌تری در خاک دارند و با بهره‌گیری از رطوبت اعماق خاک، در شرایط تنش خشکی موفق‌تر هستند. حداکثر عمق کاشت گندم به توانایی کلئوپتیل در طویل شدن و مقاومت مکانیکی خاک بستگی دارد (Narayanan et al., 2014). زمانی عمق کاشت از طول کلئوپتیل هر وارسته تجاوز نماید، سبز شدن آن به‌طور مشهودی کاهش می‌یابد (Whan, 1995).

کلئوپتیل کوتاه به حضور دو ژن Rht-B1b و Rht-D1b وابسته است (Matsui et al., 2002). هر دو ژن با ترشح جیبرلین، باعث کاهش رشد و اندازه سلول در بافت‌های رویشی حساس می‌شوند. این دو ژن در اغلب گندم‌های پاکوتاه باعث کاهش طول کلئوپتیل می‌شوند. این ژن‌ها ارتفاع بوته را، بدون تأثیر بر روی طول کلئوپتیل در کشت‌های عمیق کاهش می‌دهند (Rebetzke et al., 2014). ژن‌های پاکوتاهی حساس به جیبرلین Rht4, Rht8, Rht9, Rht12 و Rht13 ارتفاع گیاه را حدود ۵۰ درصد کاهش می‌دهند در حالی که تأثیر بسیار ناچیزی بر روی طول کلئوپتیل دارند (Ellis et al., 2004). با این حال، مطالعات ژنتیکی و زراعی نقش مؤثر ژن‌های Rht4 و Rht9 را در افزایش عملکرد گندم به‌وسیله افزایش طول کلئوپتیل و کاهش ارتفاع نشان داد (Rebetzke and Richards, 2000). ژن TaEXPB23

جدول ۳. مقادیر شاخص‌های تحمل تحت تنش خشکی ۱۰ درصد در ژنوتیپ‌های گندم برای طول کلئوپتیل

Table 3. The values of drought tolerance indices under 10%-drought stress conditions in wheat genotypes for coleoptile length

Genotype	Yp عملکرد ژنوتیپ	Ys عملکرد تنش	TOL شاخص تحمل	MP بهره‌وری متوسط	GMP بهره‌وری متوسط	HM میانگین هارمونیک	SSI شاخص حساسیت تنش	STI شاخص تحمل به تنش	YI شاخص عملکرد	YSI	
										شاخص ثبات	شاخص عملکرد
G1	7.22	5.52	1.70	6.37	6.31	6.26	2.12	0.93	0.95	0.76	0.86
G2	8.22	7.73	0.49	7.98	7.97	7.97	0.54	1.48	1.33	0.94	1.06
G3	7.61	6.26	1.35	6.94	6.90	6.87	1.59	1.11	1.08	0.82	0.93
G4	6.59	6.38	0.21	6.49	6.48	6.48	0.29	0.98	1.10	0.97	1.09
G5	7.95	6.76	1.19	7.36	7.33	7.31	1.35	1.25	1.16	0.85	0.96
G6	7.67	7.40	0.27	7.54	7.53	7.53	0.32	1.32	1.27	0.96	1.09
G7	7.96	5.76	2.20	6.86	6.77	6.68	2.48	1.07	0.99	0.72	0.81
G8	6.71	6.21	0.50	6.46	6.46	6.45	0.67	0.97	1.07	0.93	1.04
G9	6.75	6.12	0.63	6.44	6.43	6.42	0.84	0.96	1.05	0.91	1.02
G10	6.99	6.63	0.36	6.81	6.81	6.81	0.46	1.08	1.14	0.95	1.07
G11	9.05	8.85	0.20	8.95	8.95	8.95	0.20	1.87	1.52	0.98	1.10
G12	6.32	6.00	0.32	6.16	6.16	6.16	0.46	0.88	1.03	0.95	1.07
G13	6.90	6.00	0.90	6.45	6.43	6.42	1.17	0.97	1.03	0.87	0.98
G14	4.83	4.58	0.25	4.71	4.70	4.70	0.47	0.52	0.79	0.95	1.07
G15	4.68	3.98	0.70	4.33	4.32	4.30	1.34	0.43	0.68	0.85	0.96
G16	7.79	6.65	1.14	7.22	7.20	7.18	1.32	1.21	1.14	0.85	0.96
G17	5.45	5.00	0.45	5.23	5.22	5.22	0.74	0.64	0.86	0.92	1.03
G18	6.93	6.05	0.88	6.49	6.48	6.46	1.14	0.98	1.04	0.87	0.98
G19	7.28	6.32	0.96	6.80	6.78	6.77	1.19	1.07	1.09	0.87	0.98
G20	7.33	6.50	0.83	6.92	6.90	6.89	1.02	1.11	1.12	0.89	1.00
G21	4.86	4.14	0.72	4.50	4.49	4.47	1.33	0.47	0.71	0.85	0.96
G22	7.02	5.28	1.74	6.15	6.09	6.03	2.23	0.86	0.91	0.75	0.85
G23	4.73	4.58	0.15	4.66	4.65	4.65	0.29	0.51	0.79	0.97	1.09
G24	8.27	7.25	1.02	7.76	7.74	7.73	1.11	1.40	1.25	0.88	0.99
G25	6.90	6.85	0.05	6.88	6.87	6.87	0.07	1.10	1.18	0.99	1.12
G26	6.94	5.53	1.41	6.24	6.20	6.16	1.83	0.90	0.95	0.80	0.90
G27	7.45	6.49	0.96	6.97	6.95	6.94	1.16	1.13	1.12	0.87	0.98
G28	5.92	4.70	1.22	5.31	5.27	5.24	1.85	0.65	0.81	0.79	0.89
G29	6.64	6.53	0.11	6.59	6.58	6.58	0.15	1.01	1.12	0.98	1.11
G30	4.62	4.15	0.47	4.39	4.38	4.37	0.91	0.45	0.71	0.90	1.01
G31	5.34	4.46	0.88	4.90	4.88	4.86	1.48	0.56	0.77	0.84	0.94
G32	5.14	4.83	0.31	4.99	4.98	4.98	0.54	0.58	0.83	0.94	1.06
G33	4.97	4.64	0.33	4.81	4.80	4.80	0.60	0.54	0.80	0.93	1.05
G34	5.48	5.03	0.45	5.26	5.25	5.25	0.74	0.64	0.86	0.92	1.03
G35	4.64	4.50	0.14	4.57	4.57	4.57	0.27	0.49	0.77	0.97	1.09

جدول ۴. مقادیر شاخص‌های تحمل تحت تنش خشکی ۱۵ درصد در ژنوتیپ‌های گندم برای طول کلئوتیل

Table 4. The values of drought tolerance indices under 15%-drought stress conditions in wheat genotypes for coleoptile length

Genotype	Yp عملکرد ژنوتیپ	Ys عملکرد تنش	TOL شاخص تحمل	GMP		SSI	STI	YSI		RSI	
				MP بهره‌وری متوسط	HM میانگین هارمونیک	شاخص حساسیت تنش	شاخص تحمل به تنش	شاخص ثبات عملکرد	شاخص تنش نسبی		
G1	7.22	5.13	2.09	6.18	6.09	6.00	2.25	0.88	0.91	0.71	0.82
G2	8.22	5.00	3.22	6.61	6.41	6.22	3.05	0.98	0.89	0.61	0.70
G3	7.61	7.40	0.21	7.51	7.50	7.50	0.21	1.34	1.31	0.97	1.12
G4	6.59	6.32	0.27	6.46	6.45	6.45	0.32	0.99	1.12	0.96	1.10
G5	7.95	5.42	2.53	6.69	6.56	6.45	2.48	1.03	0.96	0.68	0.78
G6	7.67	7.67	0.31	7.83	7.82	7.82	0.30	1.46	1.36	0.96	1.10
G7	7.96	6.04	1.92	7.00	6.93	6.87	1.88	1.15	1.07	0.76	0.87
G8	6.71	6.07	0.64	6.39	6.38	6.37	0.74	0.97	1.08	0.90	1.04
G9	6.12	5.80	0.32	5.96	5.96	5.96	0.41	0.85	1.03	0.95	1.09
G10	6.99	5.40	1.59	6.20	6.14	6.09	1.77	0.90	0.96	0.77	0.89
G11	9.05	6.98	2.07	8.02	7.95	7.88	1.78	1.51	1.24	0.77	0.88
G12	6.32	5.80	0.52	6.06	6.05	6.05	0.64	0.87	1.03	0.92	1.05
G13	6.90	5.49	1.41	6.20	6.15	6.11	1.59	0.90	0.97	0.80	0.91
G14	4.83	4.43	0.40	4.63	4.63	4.62	0.64	0.51	0.79	0.92	1.05
G15	4.68	4.30	0.38	4.49	4.49	4.48	0.63	0.48	0.76	0.92	1.05
G16	7.79	6.98	0.81	7.39	7.37	7.36	0.81	1.30	1.24	0.90	1.03
G17	5.45	5.25	0.20	5.35	5.35	5.35	0.29	0.68	0.93	0.96	1.11
G18	6.93	6.57	0.36	6.75	6.75	6.75	0.40	1.09	1.16	0.95	1.09
G19	7.28	6.18	1.10	6.73	6.71	6.69	1.18	1.07	1.10	0.85	0.97
G20	7.33	6.39	0.94	6.86	6.84	6.83	1.00	1.12	1.13	0.87	1.00
G21	4.86	4.81	0.05	4.84	4.83	4.83	0.08	0.56	0.85	0.99	1.14
G22	7.02	6.47	0.55	6.75	6.74	6.73	0.61	1.08	1.15	0.92	1.06
G23	4.73	4.56	0.17	4.65	4.64	4.64	0.28	0.51	0.81	0.96	1.11
G24	8.27	7.34	0.93	7.81	7.79	7.78	0.88	1.45	1.30	0.89	1.02
G25	6.90	5.70	1.20	6.30	6.27	6.24	1.35	0.94	1.01	0.83	0.95
G26	5.53	5.13	0.40	5.33	5.33	5.32	0.56	0.68	0.91	0.93	1.06
G27	6.49	5.61	0.88	6.05	6.03	6.02	1.06	0.87	0.99	0.86	0.99
G28	5.92	5.30	0.62	5.61	5.60	5.59	0.82	0.75	0.94	0.90	1.03
G29	6.64	5.86	0.78	6.25	6.24	6.23	0.91	0.93	1.04	0.88	1.01
G30	4.62	3.93	0.69	4.28	4.26	4.25	1.16	0.43	0.70	0.85	0.98
G31	5.34	4.75	0.59	5.05	5.04	5.03	0.86	0.61	0.84	0.89	1.02
G32	5.14	4.98	0.16	5.06	5.06	5.06	0.24	0.61	0.88	0.97	1.11
G33	4.97	4.82	0.15	4.90	4.89	4.89	0.23	0.57	0.85	0.97	1.11
G34	5.62	5.48	0.14	5.55	5.55	5.55	0.19	0.73	0.97	0.98	1.12
G35	4.64	4.13	0.51	4.39	4.38	4.37	0.86	0.46	0.73	0.89	1.02

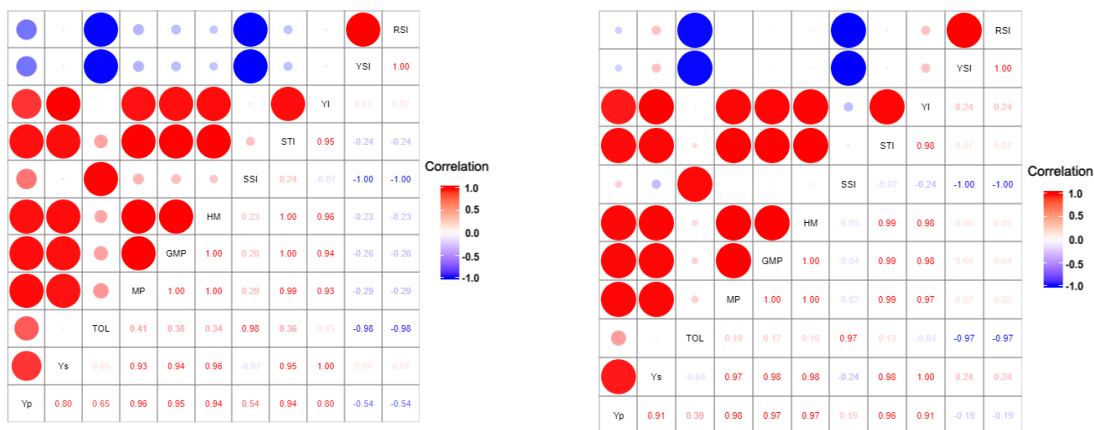
هستند (Basafa and Taherian, 2010; Naghavi et al., 2016). در تنش خشکی ۱۰ درصد ژنوتیپ‌های ۲، ۳، ۶، ۱۱، ۱۶، ۱۹، ۲۰، ۲۴ و ۲۷ در قسمت A و ژنوتیپ‌های ۱۴، ۱۵، ۱۷، ۲۱، ۲۲، ۲۸، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴ و ۳۵ در قسمت D قرار داشتند (شکل ۲). همچنین در تنش خشکی ۱۵ درصد، ژنوتیپ‌های ۳، ۶، ۷، ۱۱، ۱۶، ۱۹، ۲۰، ۲۲، ۲۴ و در قسمت A و ژنوتیپ‌های ۱۴، ۱۵، ۱۷، ۲۱، ۲۶، ۲۸، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳ و ۳۵ در قسمت D قرار گرفتند (شکل ۳)؛ بنابراین ژنوتیپ‌های ۳، ۶، ۱۱، ۱۶، ۱۹، ۲۰ و ۲۴ در هر دو سطح

نمودار سه‌بعدی بر اساس شاخص‌های *MP*، *GMP*، *HM* و *STI*

با استفاده از نمودار سه‌بعدی ژنوتیپ‌ها به چهار گروه A، B، C و D تقسیم شدند، مناسب‌ترین شاخص آن است که بتواند گروه A را از سایر گروه‌ها تشخیص دهد (Fernandez, 1992). گروه A ژنوتیپ‌هایی را گزینش می‌کند که در هر دو محیط شاهد و تنش دارای عملکرد بالا، گروه B دارای عملکرد بالا فقط در شرایط شاهد، گروه C دارای عملکرد بالا فقط در شرایط تنش و گروه D دارای عملکرد پایین در هر دو شرایط

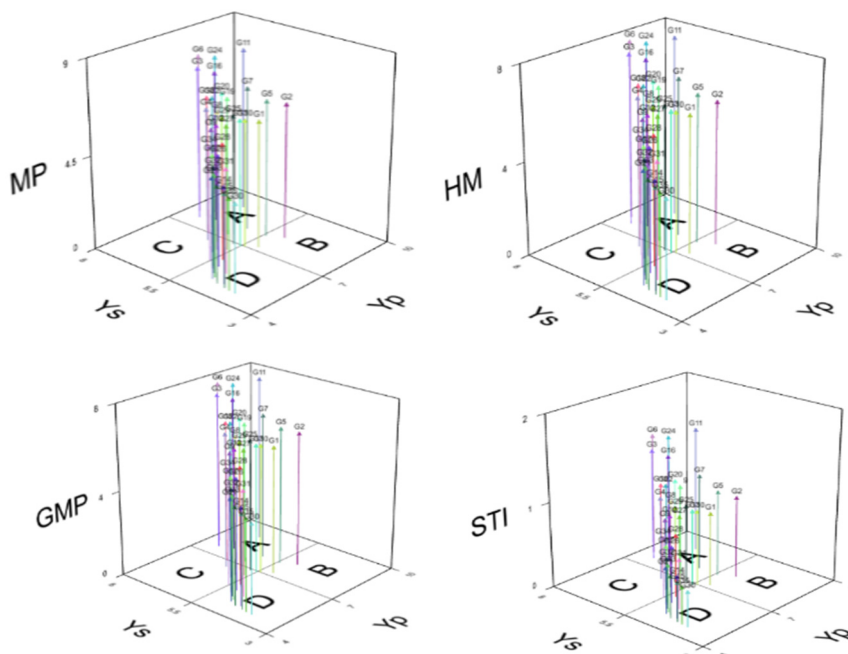
تحمل به خشکی در گروه A قرار گرفتند (شکل‌های ۲ و ۳). نکته قابل توجه حضور ژنوتیپ‌های ۳۰، ۳۴ و ۳۵ که در گروه D بود که از ارقام تجاری کشور هستند؛ این امر نشان‌دهنده عدم توجه کافی به تنش خشکی ابتدای فصل بوده است در حالی که

تنش خشکی در گروه A قرار گرفتند (شکل‌های ۲ و ۳). نکته قابل توجه حضور ژنوتیپ‌های ۳۰، ۳۴ و ۳۵ که در گروه D بود که از ارقام تجاری کشور هستند؛ این امر نشان‌دهنده عدم توجه کافی به تنش خشکی ابتدای فصل بوده است در حالی که



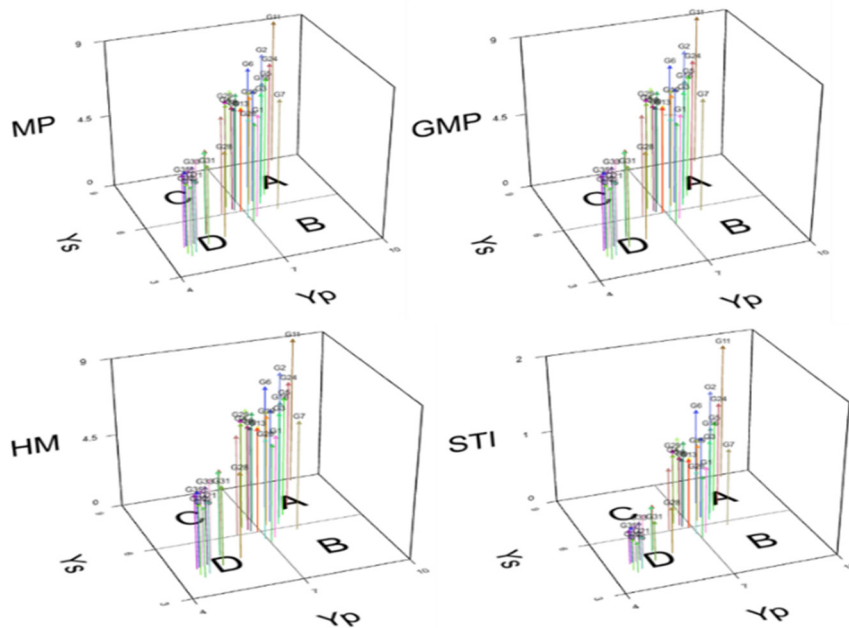
شکل ۱. ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به تنش در صفت طول کلئوپتیل تحت تنش خشکی ۱۰ درصد (راست) و ۱۵ درصد (چپ)

Fig. 1. Correlation coefficients between drought tolerance indices for coleoptile length under 10%-(right) and 15%-(left) drought stress



شکل ۲. نمودار سه‌بعدی صفت طول کلئوپتیل در شرایط تنش خشکی ۱۰ درصد با شاخص‌های STI، HM، GMP و MP

Fig. 2. Three-dimensional plot of coleoptile length traits under 10%-drought stress conditions with STI, HM, GMP and MP indices



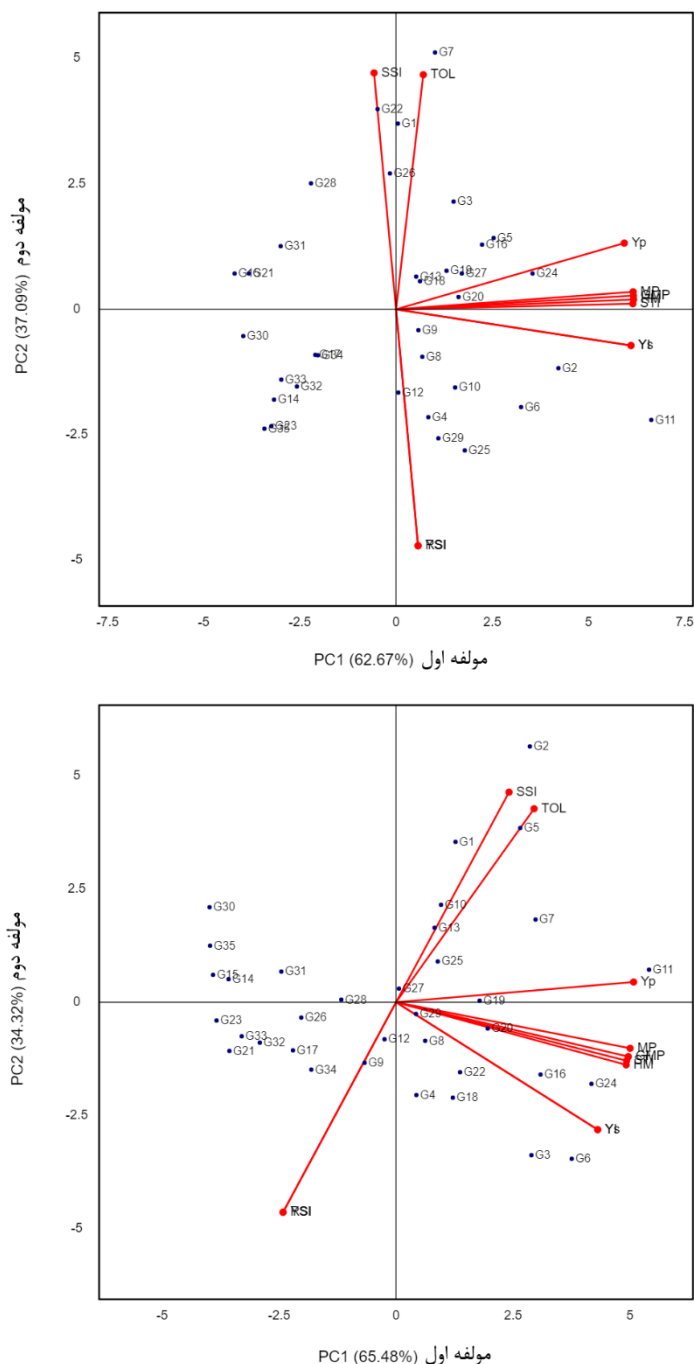
شکل ۳. نمودار سه‌بعدی صفت طول کلئوپتیل در شرایط تنش خشکی ۱۵ درصد با شاخص‌های MP و GMP، HM، STI

Fig. 3. Three-dimensional plot of coleoptile length traits under 15%-drought stress conditions with STI, HM, GMP and MP indices

همبستگی مثبت و بالایی داشته و از آنجایی که مقادیر پایین این شاخص‌ها مورد توجه است لذا این مؤلفه، بر حساسیت به تنش تأکید داشته و هر چه مقدار این مؤلفه بیشتر شود ژنوتیپ‌های با حساسیت بالا به تنش انتخاب خواهند شد (Zebarjadi et al., 2016). توزیع ژنوتیپ‌ها روی بای‌پلات‌ها نشان‌دهنده وجود تنوع در پاسخ به تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای بین لاین‌ها بود (شکل ۴). شاخص‌های MP، GMP، HM و STI دارای زوایای تند نسبت به هم در شکل بای‌پلات بودند که این نشان‌دهنده همبستگی بالای این شاخص‌ها با یکدیگر بود (Zebarjadi et al., 2016). ژنوتیپ‌هایی که بر اساس نمودار سه‌بعدی و مقادیر شاخص‌ها به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناخته شدند در مجاورت شاخص‌های MP، GMP، STI و HM قرار داشتند (شکل ۴). با توجه به زوایای خطوط شاخص‌ها در نمایش گرافیکی بای‌پلات در هر دو سطح تنش مشخص شد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین طول کلئوپتیل در شرایط شاهد (Yp) و تنش (Ys) با MP، GMP، STI و HM وجود داشت که نشان‌دهنده کارایی بالای شاخص‌های مذکور در دو شرایط شاهد و تنش خشکی است. همچنین در هر دو شرایط تنش ۱۰ و ۱۵ درصد، همبستگی منفی بین شاخص‌های SSI و TOL با شاخص‌های RSI و YSI مشاهده شد (شکل ۴).

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس مقادیر شاخص‌های تحمل به تنش

تحت تنش خشکی ۱۰ درصد، سهم مؤلفه اول و دوم در تبیین تغییرات کل شاخص‌ها به ترتیب برابر با ۶۲/۶۷ و ۳۷/۰۹ درصد بود. از آنجاکه مؤلفه اول تغییراتی را در برمی‌گیرد که توسط مؤلفه دوم تبیین نمی‌شود و بالعکس، می‌توان تغییرات دو مؤلفه را به‌صورت عمود بر هم نمایش داد، به‌گونه‌ای که ژنوتیپ‌ها بر اساس این دو مؤلفه در سطح نمودار با نقاطی مشخص گردند و در مجموع ۹۹/۷۸ درصد تغییرات توسط دو مؤلفه اول و دوم توجیه شدند (شکل ۴). تحت تنش خشکی ۱۵ سهم مؤلفه اول و دوم در تبیین تغییرات کل شاخص‌ها به ترتیب برابر با ۶۵/۴۸ و ۳۴/۳۲ درصد بود و در مجموع ۹۹/۸۰ درصد تغییرات توسط دو مؤلفه اول و دوم توجیه شدند (شکل ۴). مؤلفه اصلی اول دارای همبستگی مثبت و بالا با عملکرد در شرایط بدون تنش (Yp) و شاخص‌های MP، GMP و STI بوده، لذا این مؤلفه، تحمل به تنش نامیده می‌شود. از آنجایی که مقدار بالای این شاخص‌ها مطلوب است هرچقدر مؤلفه اول افزایش یابد ژنوتیپ‌هایی که دارای عملکرد بالا با تحمل بیشتر هستند انتخاب می‌شوند. مؤلفه دوم نیز با شاخص‌های SSI، TOL و عملکرد در شرایط تنش (Ys)



شکل ۴. نمودار بای پلات دو مؤلفه اصلی اول در شرایط تنش خشکی ۱۰ درصد (بالا) و تنش خشکی ۱۵ درصد (پایین) در صفت طول کلئوپتیل

Fig. 4. Biplot plot of the first two principal components for coleoptile length under 10%-(top) and 15%-(bottom) drought stress conditions

تجاری ایرانی بودند (جدول ۵). از طرف مقابل ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۲۷ و ۱۹ کمترین عملکرد دانه را داشتند (به ترتیب ۲۳۶۴، ۲۶۷۵ و ۲۹۵۱ کیلوگرم در هکتار) که به ترتیب بومی کشورهای هند، سوریه و ایران بودند (جدول ۵). بالاتر بودن عملکرد دانه ارقام تجاری نسبت به ژنوتیپ‌های بومی با توجه

عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط مزرعه

مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط مطلوب رطوبتی در مزرعه نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۳۵، ۳۴ و ۳۰ به ترتیب بیشترین عملکرد دانه را داشتند (به ترتیب ۵۶۶۸، ۴۹۸۸ و ۴۶۳۰ کیلوگرم در هکتار) که همگی جز ارقام

به تنش خشکی در مجاورت بردارهای مربوط به بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی یعنی MP، GMP، HM و STI قرار داشتند.

جدول ۵. مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم نان

Table 5. Mean comparison of grain yield for bread wheat genotypes

شماره No	عملکرد Yield (kg ha ⁻¹)	شماره No	عملکرد Yield (kg ha ⁻¹)
1	2364	19	2951
2	3764	20	3617
3	3718	21	3500
4	3992	22	3102
5	3811	23	4136
6	3260	24	4370
7	3967	25	3064
8	3659	26	3969
9	4142	27	2675
10	3936	28	3939
11	3135	29	3832
12	3715	30	4630
13	3532	31	3804
14	3872	32	3114
15	3728	33	3931
16	3550	34	4988
17	3798	35	5668
18	4209		

LSD 1%=129.8; LSD 0.05%=88.6

به تجمع آل‌های مفید برای مقاومت به طیف وسیعی از آفات، بیماری‌ها و تنش‌های غیر زیستی مانند خشکی و گرمای انتهای فصل در ارقام تجاری قابل‌انتظار بود. با توجه به اینکه ارقام تجاری نسبت به برخی ژنوتیپ‌های بومی دارای طول کلنوپتیل کمتری بودند از ژنوتیپ‌های بومی شناسایی شده در این پژوهش می‌توان در برنامه‌های اصلاحی گندم نان تحت شرایط تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای بهره برد.

نتیجه‌گیری نهایی

به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که بر اساس اندازه‌گیری شاخص‌ها و نمودار سه‌بعدی، ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۶، ۱۱ و ۲۴ (به ترتیب بومی کشورهای ترکیه، افغانستان، ایران و افغانستان) به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای شناسایی شدند در حالی که ژنوتیپ‌های شماره ۱۴، ۱۵، ۲۱، ۳۰ و ۳۵ به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها معرفی شدند. Yp و Ys بیشترین همبستگی را با شاخص MP، GMP، HM و STI نشان دادند و به‌عنوان شاخص‌های برتر برای اندازه‌گیری تحمل به خشکی شناخته شدند. بر اساس نمودار بای پلات ژنوتیپ‌های متحمل

منابع

- Amiri, R., Bahraminejad, S., Sasani, S., 2013. Evaluation of genetic diversity of bread wheat genotypes based on physiological traits in nonstress and terminal drought stress conditions. *Cereal Research*. 2, 289-305. [In Persian with English Summary].
- Basafa, M., Taherian, M., 2010. Evaluation of drought tolerance in alfalfa (*Medicago sativa*) ecotypes using drought tolerance indices. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 3, 69-81. [In Persian with English Summary].
- Bidinger, F. R., V. Mahalakshmi, G., Rao, D., 1987. Assessment of drought resistance in pearl millet (*Pennisetum americanum* L. Leeke). II. Estimation of genotype response to stress. *Australian Journal of Agricultural Research*. 38, 49-59.
- Bousslama, M., Schapaugh, W. T., 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*. 24, 933-937.
- Darvishnia, F., Pahlevani, M., Zaynali Nezhad, K., Azizi, K., 2020. Analysis of grain yield and its attributes in bread wheat and their associations with coleoptile length under water deficit conditions', *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13 41-56. [In Persian with English Summary].
- Ellis, M.H., Rebetzke, G.j., Spielmeier, W., Richards, R.A., Bonnett, D.G. 2004. Gibberellin responsiveness and early growth of alternative dwarfing genes in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Functional Plant Biology*. 31, 583-589.
- Farayed, Y., 2004. Evaluation of drought tolerance in Kabuli chickpea genotypes. *Iranian Journal of Agriculture*. 6, 27-38. [In Persian].
- Farshadfar, E., Amiri, R. 2017. Assessment of drought resistance in different bread wheat lines using agro-physiological traits and integrated selection index. *Environmental Stresses in Crop Science*. 11, 79-91. [In Persian with English Summary].

- Fernandez, G. C. J., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In C. G. Kuo [ed.], *Adaptation of food crops to temperature and water stress*. 257-270.
- Fischer, R. A., R. Maurer., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*. 29, 897-912.
- Fischer, R. A., T. Wood., 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars III. Yield association with morphological traits. *Australian Journal of Agricultural Research*. 30, 1001-1020.
- Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M. R., Campalino, G., Ricciardi, G. L., Borghi, B., 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*. 77, 523-531.
- Golabadi, M., Arzani, A., Mirmohammadi Maibody, S.M. 2006. Assessment of drought tolerance in segregation population in drum wheat. *African Journal of Agricultural Research*. 1, 162-171.
- Haddadin, M.F., 2015. Assessment of drought tolerant barley varieties under water stress. *International Journal of Agriculture and Forestry*. 5, 131-137.
- Huang, X.Q., Börner, A., Röder, M.S., Ganai, M.W., 2002. Assessing genetic diversity of wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm using microsatellite markers. *Theor Appl Genet*. 105, 699-707
- Kargar, S.M.A., Ghannadha, M.R., Bozorgi-Pour, R., Atari, A.A., Babaei, H.R., 2004. Investigation of drought tolerance indices in some soybean genotypes under restricted irrigation condition. *Iranian Journal of Agricultural Science*. 35, 97-111. [In Persian].
- Matsui, T., Inanaga, S., Shimotashiro, T., An, P., Sugimoto, Y. 2002. Morphological characters related to varietal differences in tolerance to deep sowing in wheat. *Plant Production Science*. 5, 169-174.
- Michel, B.E., Kaufmann, M.R. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant physiology*. 51, 914-916.
- Mohammadi, M., 2008. Study of the possibility of using synthetic wheat derivatives under warm and dry conditions. *Seed and Plant Improvement Journal*. 24, 487-500. [In Persian with English summary].
- Mohan, A., Schillinger, W.F., Gill, K.S. 2013. Wheat seedling emergence from deep planting depths and its relationship with coleoptile length. *PLoS One*, 8(9).
- Murri, S., Emam, Y., Surshojani, H., 2013. Evaluation of terminal drought tolerance in wheat using yield, yield components and quantitative indices of drought tolerance. *Journal of environmental stress in Crop Science*. 5, 19-32.
- Naghavi, M.R., Moghadam, M., Toorchi, M., Shakiba, M.R. 2016. Evaluation of Spring Wheat Cultivars Based on Drought Resistance Indices. *Journal of Crop Breeding*. 8, 192-207.
- Narayanan, S., Mohan, A., Gill, K.S., Prasad, P.V., 2014. Variability of root traits in spring wheat germplasm. *PLoS One*, 9(6).
- Pour-Aboughadareh, A., Yousefian, M., Moradkhani, H., Moghaddam Vahed, M., Poczai, P., Siddique, K.H., 2019. IPASTIC: An online toolkit to estimate plant abiotic stress indices. *Applications in plant sciences*. 7, p.e11278.
- Rana, M.S., Hasan, M.A., Bahadur, M.M., Islam, M.R., 2017. Effect of poly ethylene glycol induced water stress on germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum*). *The Agriculturists*. 15, 81-91.
- Rebetzke, G.J., Richards, R.A. 2000. Gibberellic acid-sensitive dwarfing genes reduce plant height to increase kernel number and grain yield of wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*. 51, 235-245.
- Rebetzke, G.J., Verbyla, A.P., Verbyla, K.L., Morell, M.K., Cavanagh, C.R. 2014. Use of a large multiparent wheat mapping population in genomic dissection of coleoptile and seedling growth. *Plant Biotechnology Journal*. 12, 219-230.
- Reynolds, M.P., Mujeeb-Kazi, A., Sawkins, M. 2005. Prospects for utilising plant-adaptive mechanisms to improve wheat and other crops in drought- and salinity-prone environments. *Annals of Applied Biology*. 146, 239-259.
- Rosielle, A. A., Hamblin, J., 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*. 21, 943-946.
- Saba, J., Moghaddam, M., Ghassemi, M., Nishabouri, M.R., 2001. Genetic properties of

- drought resistance indices. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 3, 43-49.
- Salarpour Gharba, F., Farahbakhsh, H., 2014. Effect of Salicylic Acid Drought Stress on Physiological and Physical Characteristics of Fennel. For agricultural purposes. 3, 765-778.
- Shirazi, E., Fazeli-nasab, B., Ramshin. H.A., Fazel Najafabadi, M., Izadi darbandi, A., 2016. Evaluation of Drought Tolerance in wheat Genotypes under Drought Stress at Germination Stage. *Journal of Crop Breeding*. 8, 207-219. [In Persian with English Summary].
- Shafazadeh, M.K., YazdanSepas, A., Amini, A., Ghanadha, M. R., 2004. Study of terminal drought tolerance in promising winter and facultative wheat genotypes using stress susceptibility and tolerance indices. *Seed and Plant*. 20, 57-71. [In Persian with English Summary].
- Srivastava, J.P., Acevedo, E., Varma, S., 1987. *Drought Tolerance in Winter Cereal*. 2ed. John Wiley Pub., USA. 678 pp.
- Sundari, T., Tohari, S., Mangoendidjojo, W., 2005. Yield performance and tolerance of mungbean genotypes to shading. *Journal Pertanian*. 12, 12-19.
- Taghian, A.S., Abo-Elwafa, A., 2003. Multivariate and rapid analysis of drought tolerance in spring wheat. *Assiut Journal of Agricultural Science*. 34, 1-25.
- Whan, B.R. 1995. The emergence of semidwarf and standard wheats, and its association with coleoptile length. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 16, 411-416.
- Xing, S.C., Li, F., Guo, Q.F., Liu, D.R., Zhao, X.X., Wang, W. 2009. The involvement of an expansin gene TaEXPB23 from wheat in regulating plant cell growth. *Biologia Plantarum*. 53, 429-434.
- Zebarjadi, A., Asgar, S., Najafi, A., Rezaiezd, A. 2016. Evaluation of drought tolerance of rapeseed genotypes using drought resistance indices. *Environmental Stresses in Crop Science*. 8, 345-348. [In Persian with English Summary].