

ارزیابی تغییرات عملکردی و مورفولوژیکی توده‌های مختلف شنبلیله تحت شرایط تنش کم‌آبی

بهنام حسینی^۱، حمید دهقانی^{۲*} و مصطفی خدادادی^۱

۱ و ۲. دانشجوی دکتری و استاد، گروه ژنتیک و بهنژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۱۸ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۴/۱۳)

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی روابط بین صفات ریشه با عملکرد دانه در توده‌های شنبلیله انجام شد. تعداد ۱۵ توده شنبلیله در دو محیط رطوبتی (عدم‌تنش و تنش خشکی)، در قالب طرح کاملاً تصادفی در سیستم لایسمتر در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه تربیت مدرس، مورد بررسی قرار گرفت. تنش کم‌آبی بر روی تمام صفات، به‌جز درصد ریشه، به اندام هوایی و تعداد شاخه‌های جانبی ریشه تأثیر معنی‌داری داشت. میانگین عملکرد دانه از ۲/۷۱ گرم در بوته (شرایط عدم‌تنش) به ۱/۱۹ گرم در بوته (تنش خشکی) کاهش ۵۶ درصدی داشت. ضرایب تنوع ژنتیکی صفات از ۸/۱۲ تا ۵۰/۵۹ درصد متغیر بود که حاکی از وجود تنوع ژنتیکی گسترده در مواد ژنتیکی مورد بررسی بود. نتایج نمودارهای بای‌پلات نشان داد که دو مؤلفه اصلی، به‌ترتیب در شرایط عدم‌تنش و تنش خشکی، ۶۴ و ۸۰ درصد تغییرات داده‌ها را توجیه کردند. همچنین بر اساس این نمودارها، در هر دو شرایط رطوبتی، صفات کارایی تعرق، عملکرد دانه، طول ریشه و وزن خشک ریشه، همبستگی مثبت و بالایی با هم داشتند. توده تیرانچی و شیراز، بهترین توده‌ها در هر دو شرایط رطوبتی از نظر اکثر صفات، به‌ویژه عملکرد دانه، بودند.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، کارایی تعرق، لایسمتر.

Evaluation of yield and morphological changes in some Iranian endemic fenugreek ecotypes under non-stress and drought stress conditions

Behnam Hosseini¹, Hamid Dehghani^{2*} and Mostafa Khodadadi¹

1, 2. Former Ph.D. Student and Professor, Plant Genetics and Breeding Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

(Received: Apr. 7, 2017 - Accepted: Jul. 4, 2017)

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the relationship between root traits and grain weight in fenugreek ecotypes. Fifteen fenugreek ecotypes were evaluated under two moisture environments (non-stress and drought stress conditions). The experiment was carried out as a split plot based on a completely randomized design with three replications in lysimetric system at the research glasshouse of Tarbiat Modares University. Water treatment had significant effect on all traits except for percent of root to shoot ratio and root number. Grain weight per plant was decreased 56 % from non-stressed condition (2.71 g) to drought stressed condition (1.19 g). Genotypic coefficients of variation ranged from 8.12 to 50.59 % indicates that there was high genetic variation in studied germplasm. Results of Biplot analysis showed that two main principal components were explained 64 and 80% of the data variation under non-stressed and drought stressed conditions, respectively. Also, results of biplot graphs revealed that there was high positive correlation between transpiration efficiency, grain weight, root length and root dry weight in both water treatments. Tiranchi and Shiraz ecotypes were favorable for many of traits especially for grain weight in both water treatments.

Keywords: Biplot, Lysimeter, Transpiration efficiency.

مقدمه

شنبلیله (*Trigonella foenum-graceum* L.) از جنس *Trigonella* و گونه *T. foenum-graecum* گیاهی علفی یک‌ساله، نهاندانه از راسته گل سرخ، تیره بقولات (Fabaceae) است. این جنس دارای گونه‌های مختلفی است؛ به‌طوری که بیشتر آن‌ها دیپلوئید هستند ($2n=2x=16$) و سایر گونه‌های جنس *Trigonella* دارای تعداد کروموزوم‌های هاپلوئید ۸، ۹، ۱۱ و ۱۴ می‌باشند (Darlington & Wylie, 1955). ریشه، دانه و اندام هوایی شنبلیله از لحاظ میزان متابولیت‌های ثانویه، بسیار غنی است (Xue et al., 2007). مراکز تنوع و خاستگاه شنبلیله، شامل یمن، منطقه قفقاز اوراسیا، آفریقا، افغانستان، چین، ایران و هند است (Furry, 1952). همچنین، گزارش شده که توده‌های محلی شنبلیله در قاره‌های آسیا، اروپا، آفریقا و استرالیا پیدا شده است و در بخش‌هایی از اروپا، شمال آفریقا، شرق و جنوب آسیا، شمال و جنوب آمریکا و استرالیا کشت می‌شود (Acharya et al., 2006). رویشگاه‌های طبیعی این گیاه در ایران، استان‌های آذربایجان غربی، اصفهان، لرستان، جنوب فارس، کرمان، بلوچستان، زاهدان، خراسان و سمنان گزارش شده است (Najafpour Navaei, 1994).

اندام مورد استفاده این گیاه، دانه و برگ گیاه می‌باشد که از نظر دارویی حائز اهمیت می‌باشد و در درمان بسیاری از بیماری‌ها از جمله دیابت، کاهش‌دهنده کلسترول خون، ضد سرطان و ضد میکروب، نقرس، سل و زخم معده مؤثر بوده و با توجه به درصد بالای آهن در این گیاه، مورد استفاده بیماران خونی است (Yadav et al., 2004). همچنین شنبلیله می‌تواند به‌عنوان یک گیاه از تیره حبوبات، در تناوب‌های کوتاه‌مدت، تهیه علوفه خشک و تر در تغذیه دام، تثبیت نیتروژن در خاک و حاصلخیزی آن، بسیار مفید باشد (Acharya et al., 2006; McCurmick et al., 2009). با توجه به اینکه هم میوه و هم برگ‌های سبز گیاهان دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ بنابراین وارپته‌هایی که دارای عملکرد میوه و پیکره رویشی بیشتر باشند، بسیار مطلوب هستند. اصلاح برای افزایش عملکرد و حفظ کیفیت در گیاهان،

توسط به‌نژادی آن‌ها صورت می‌گیرد که موفقیت آن کاملاً وابسته به انتخاب دقیق والدین تلاقی است (Blank et al., 2012). از طرفی عملکرد میوه و تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی، تحت کنترل ژنتیک است، ولی عوامل محیطی تنش‌زا، به‌ویژه تنش خشکی، نقش عمده‌ای در کمیت و کیفیت این مواد به عهده دارند (Ferrat & Lovatt, 1999).

ریشه، اندام کلیدی گیاه برای سازگاری با تنش خشکی است، زیرا تنها منبع برای به‌دست‌آوردن آب از خاک است، در نتیجه، رشد ریشه و اندازه آن، از جمله پاسخ‌های کلیدی گیاهان به تنش خشکی می‌باشد (Kavar et al., 2007). ساختار سیستم ریشه، مبنای اصلی تنوع ژنتیکی است که با جذب آب و حفظ وضعیت آب، گیاه را در شرایط مطلوب‌تر قرار می‌دهد (Nguyen et al., 1997). انعطاف‌پذیری رشد و توسعه ریشه در پاسخ به تغییر رطوبت و مواد مغذی موجود در خاک، این فرصت را برای کاوش تنوع طبیعی برای شناسایی صفات ریشه، به‌منظور افزایش بهره‌وری از گیاهان و نباتات در سیستم‌های کشاورزی فراهم می‌کند (Grossman et al., 2012). با توجه به سخت‌بودن بررسی سیستم ریشه، اصلاح و بررسی ارتباط ریشه با عملکرد، تغییر صفات ریشه و انتخاب گیاه مطلوب از نظر صفات ریشه و عملکرد، با وجود اهمیت سیستم‌های ریشه برای افزایش جذب آب و مواد مغذی از خاک، محدود بوده است (Zhu et al., 2011) لذا سیستم گلخانه با شرایط کنترل‌شده، به محققان اجازه می‌دهد تا با بررسی صفات ریشه، بتوانند مکانیسم‌های درگیر در پاسخ به تنش‌های غیرزنده را بهتر بشناسند (Mohsenzadeh et al., 2009). طول ریشه، یکی از صفاتی است که اغلب ارزیابی می‌شود، زیرا گیاهان با ریشه‌های عمیق‌تر، به آب و مواد غذایی موجود در خاک می‌توانند دسترسی داشته باشند (Wasson et al., 2012). همچنین افزایش تراکم ریشه جانبی، با جذب مواد مغذی بیشتر و جذب آب در ارتباط است، که این به در دسترس بودن یا نبودن آب و مواد غذایی در خاک در محدوده توسعه ریشه گیاهان مرتبط می‌باشد (Robbins & Dinneny, 2015) هنگامی که تعرق گیاه از مقدار آب

شنی، ماسه و پرلیت، به ترتیب با نسبت ۱: ۲: ۲ بود، رشد داده شدند. برای جلوگیری از تبخیر آب از سطح خاک، روی لوله‌ها با ورق آلومینیومی پوشانده شد. همچنین جهت اندازه‌گیری آب زهکشی‌شده و جلوگیری از تبخیر آن، سطل پلاستیکی در انتهای لوله‌ها گذاشته و محل اتصال آن با لوله، سلفون‌کشی شد (Khodadadi *et al.*, 2016b). این آزمایش به صورت اسپلیت‌پلات، در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. گیاهان در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی، تا مرحله به ساقه‌رفتن، مشابه هم آبیاری شدند؛ به طوری که در هر مرحله آبیاری، مقدار آب داده شده به گیاهان یادداشت‌برداری شد. بعد از آن، گیاهان در شرایط تنش خشکی، در شرایط ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه، تا قبل از شروع گلدهی نگاه داشته شدند و سپس آبیاری آن‌ها قطع شد. حداکثر تنش از شروع گلدهی و بعد از آن اعمال شد (Aliabadi Farahani *et al.*, 2008).

صفات اندازه‌گیری شده شامل روز تا گلدهی (d)، روز تا رسیدگی (d)، وزن خشک اندام هوایی (g)، وزن خشک ریشه (g)، درصد ریشه به اندام هوایی (%)، تعداد ریشه‌های جانبی (No.)، طول ریشه اصلی (cm)، عملکرد دانه (g) و کارایی تعرق ($g\ I^{-1}$) بود. به منظور سهولت در استخراج ریشه‌ها از محیط کشت درون لوله‌ها، لوله‌ها به مدت ۲ ساعت، در مخزنی از آب قرار داده شد و پس از آن، ریشه‌ها به همراه محیط کشت، به آرامی به درون آب لغزنده شده و به آرامی شستشو داده شدند. شاخه‌های جانبی ریشه اصلی شمارش شده و به عنوان تعداد ریشه جانبی بیان شد. وزن خشک ریشه‌ها و اندام هوایی پس از قراردادن نمونه‌ها در دمای $70^{\circ}C$ به مدت ۲۴ ساعت، اندازه‌گیری شدند (Ratnakumar & Vadez, 2011). بر اساس Vadez *et al.* (2011)، کارایی تعرق به عنوان نسبتی از کل زیست‌توده به مجموع آب تعرق یافته، توسط هر گیاه در هر لوله، در سراسر آزمایش محاسبه شد (رابطه ۱).

$$TE = \frac{DM}{TW} \quad (1)$$

که در آن DM و TW به ترتیب نشان‌دهنده آب تعرق یافته (l) و زیست‌توده گیاه (g) هستند. برآورد

جذب شده بیشتر باشد، پتانسیل آب در گیاه کم می‌شود (Schonfeld *et al.*, 1988) لذا گیاهان با کارایی تعرق بالاتر، در شرایط تنش خشکی مطلوب خواهند بود (Jyostna-Devi *et al.*, 2009).

برای افزایش تحمل به خشکی، معمولاً از گزینش بر اساس خود عملکرد استفاده شده است. از آنجایی که وجود اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط، پیشرفت ژنتیکی حاصل از گزینش برای افزایش عملکرد محصولات زراعی را در محیط‌های کم‌آب، کند نموده است، انتخاب بر اساس اجزای عملکرد و صفات ثانویه مورد تأکید قرار گرفته است (Chen *et al.*, 2012). گزینش جهت حصول عملکرد بیشتر، با استفاده از صفات مؤثر بر عملکرد هنگامی مؤثر است که این صفات وراثت‌پذیری بالایی داشته باشند و از لحاظ ژنتیکی و فیزیولوژیکی به طور مستقل عمل نمایند یا رابطه (همبستگی) مثبت با هم داشته باشند (Blum, 2011). بر اساس نمودارهای بای‌پلات، کسینوس زاویه بین دو صفت، نمایانگر ارتباط و همبستگی بین دو صفت است؛ به طوری که اگر زاویه بین دو صفت صفر باشد کسینوس زاویه برابر ۱ شده و همبستگی کامل و مثبت بین دو صفت وجود خواهد داشت و هر چه زاویه از صفر بیشتر شود میزان همبستگی مثبت، کاهش می‌یابد.

از آنجایی که مطالعات انجام شده بر روی صفات ریشه گیاه شنبلیله و ارتباط آن با عملکرد و تحمل به خشکی محدود می‌باشد، این آزمایش با هدف بررسی ارتباط بین صفات ریشه با عملکرد دانه، در توده‌های شنبلیله تحت شرایط عدم تنش و تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در فصل بهار سال ۱۳۹۵ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس اجرا گردید. مواد ژنتیکی مورد مطالعه شامل تعداد ۱۵ توده شنبلیله (جنس *Trigonella* و گونه *foenum-graceum*) جمع‌آوری شده از مناطق مختلف ایران بودند (جدول ۱). گیاهان در سیستم لایسیمتر، شامل لوله‌های پی‌وی‌سی (قطر ۲۰ سانتی‌متر و ۱۰۰ سانتی‌متر ارتفاع) که حاوی مخلوطی از خاک لوم-

اثر متقابل ژنوتیپ و محیط روی تولید ترکیبات فیتوشیمیایی شنبليله می‌باشد (Acharya *et al.*, 2006).

نتایج مقایسه میانگین (جدول ۳) نشان داد که در شرایط تنش خشکی، عملکرد دانه کاهش یافته است به طوری که میانگین عملکرد دانه از ۲/۷۱ گرم در بوته (شرایط عدم تنش)، به ۱/۱۹ گرم در بوته (تنش خشکی) کاهش یافت. همچنین وزن خشک ریشه و طول ریشه، به ترتیب کاهش ۱۶ و ۹ درصدی را در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط عدم تنش نشان دادند. در حالی که کارایی تعرق در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط عدم تنش، افزایش ۳۷ درصدی را نشان داد.

نتایج ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنتیکی برای صفات مورد بررسی (جدول ۴) نشان داد که در بین صفات اندازه‌گیری شده، دامنه ضرایب تنوع فنوتیپی از ۹/۷۰ برای روز تا رسیدگی تا ۵۴/۱۲ برای عملکرد دانه متغیر بود. همچنین دامنه ضرایب تنوع ژنتیکی نیز بین ۸/۱۲ تا ۵۰/۵۹ به ترتیب برای دو صفت روز تا رسیدگی و عملکرد دانه متغیر بود. در مورد اکثر صفات، در هر دو شرایط رطوبتی، تفاوت ناچیزی بین ضریب تنوع فنوتیپی و ضریب تنوع ژنتیکی مشاهده شد که نشان‌دهنده اثرات کم محیط در برآورد این پارامترها می‌باشد. اختلاف ناچیز این دو ضریب در مطالعه Majidi *et al.* (2009) نیز گزارش شده است.

نتایج ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنتیکی برای صفات مورد بررسی (جدول ۴) نشان داد که در بین صفات اندازه‌گیری شده، دامنه ضرایب تنوع فنوتیپی از ۹/۷۰ برای روز تا رسیدگی تا ۵۴/۱۲ برای عملکرد دانه متغیر بود. همچنین دامنه ضرایب تنوع ژنتیکی نیز، بین ۸/۱۲ تا ۵۰/۵۹ به ترتیب برای دو صفت روز تا رسیدگی و عملکرد دانه متغیر بود. در مورد اکثر صفات، در هر دو شرایط رطوبتی، تفاوت ناچیزی بین ضریب تنوع فنوتیپی و ضریب تنوع ژنتیکی مشاهده شد که نشان‌دهنده اثرات کم محیط در برآورد این پارامترها می‌باشد. اختلاف ناچیز این دو ضریب در مطالعه Majidi *et al.* (2009) نیز گزارش شده است.

وراثت‌پذیری و ضرایب همبستگی ژنوتیپی و فنوتیپی، به ترتیب با استفاده از روش‌های تک‌متغیره و چندمتغیره با رویکرد حداکثر درست‌نمایی^۱ انجام شد (Holland, 2006). ضریب تنوع فنوتیپی^۲، ضریب تنوع ژنوتیپی^۳ و پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار^۴ بر اساس فرمول Johnson *et al.* (1955) محاسبه شد. برای مطالعه روابط بین صفات و مقایسه توده‌ها از روش گرافیکی GGEbiplot استفاده شد که ترسیم بای‌پلات بر اساس دو مؤلفه اصلی اول و دوم صورت گرفت (Yan *et al.*, 2000).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که تنش خشکی بر روی صفات مورد بررسی، به جز درصد ریشه، به اندام هوایی و تعداد ریشه‌های جانبی تاثیر معنی‌دار داشت. توده‌های مورد مطالعه در سطح احتمال ۰/۱ درصد، برای همه صفات، به جز تعداد ریشه‌های جانبی، اختلاف معنی‌دار نشان دادند. همچنین اثر متقابل تنش و ژنوتیپ برای صفات عملکرد دانه و روز تا رسیدگی، معنی‌دار نبود، ولی برای سایر صفات معنی‌دار بود که نشان می‌دهد نحوه واکنش توده‌ها در بروز این‌گونه صفات در محیط‌های مختلف، یکسان نمی‌باشد.

به‌نژادی گیاهان از لحاظ عملکرد، نیازمند داشتن اطلاعات کافی در مورد تنوع ژنتیکی و پارامترهای ژنتیکی به‌عنوان معیاری جهت انتخاب، تحت شرایط محیطی متفاوت می‌باشد (Babaei *et al.*, 2011). وجود تنوع ژنتیکی در توده‌های بومی شنبليله ایران از نظر صفات مورفولوژیکی و تحمل تنش خشکی (Sadeghzadeh Ahari *et al.*, 2009) و از نظر سیتوژنتیکی و مولکولی، با نشانگر AFLP (Sadeghzade Ahari *et al.*, 2015) گزارش شده است. مطالعات دیگر نیز نشان داده است که ممکن است در مکان‌های متفاوت و شرایط متفاوت، ترکیبات موجود در دانه شنبليله متفاوت باشند؛ که بیانگر تاثیر

1. Restricted maximum likelihood
2. Phenotypic coefficient of variation; PCV
3. Genotypic coefficient of variation; GCV
4. Expected genetic advance; EGA

جدول ۱. نام توده‌های شنبلیه (*Trigonella foenum-graceum* L.) مورد مطالعه و محل جمع‌آوری آن‌ها

No	Landrace name / Collection site	No	Landrace name / Collection site	No	Landrace name / Collection site
1	Kerman	6	Neyshabur	11	Isfahan
2	Mashhad	7	Shiraz	12	Ardestan
3	Yazd	8	Yasuj	13	India
4	Birjand	9	Nourabad	14	Tiranchi
5	Tehran	10	Hamedan	15	Jahrom

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در توده‌های شنبلیه (*Trigonella foenum-graceum* L.) ایران تحت تیمارهای مختلف آبی

Table 2. Analysis of variance for studied traits of Iranian fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) ecotypes under different water treatments (WT)

S.O.V	df	DTF	DTR	SDW	RDW	PRTSR	RN	RL	GW	TE
WT	1	739.6**	2423.2*	12.1*	0.083*	11.5 ^{ns}	16.04 ^{ns}	728.1**	51.7**	1.45**
Replication (WT)	4	5.95	99.38	1.3	0.002	9.9	1.3	13.8	2.5	0.022
Ecotype	14	472.5**	196.25**	3.9**	0.095**	77.9**	17.4 ^{ns}	765.4**	5.9**	0.33**
WT × Ecotype	14	22.3**	14.1 ^{ns}	2.1**	0.012**	14.1**	12.3**	145.6**	0.13 ^{ns}	0.08**
Error	56	5.5	12.38	0.09	0.001	1.2	0.83	6.8	0.14	0.01
C.V. (%)		6.20	5.18	10.15	7.14	9.55	13.53	3.93	19.33	11.21

*, **, ns: وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود اختلاف معنی‌دار.

DTF، روز تا گلدهی؛ DTR، روز تا رسیدگی؛ SDW، وزن خشک اندام هوایی؛ RDW، وزن خشک ریشه؛ PRTSR، درصد ریشه به اندام هوایی؛ RN، تعداد ریشه‌های جانبی؛ RL، طول ریشه؛ GW، عملکرد دانه و TE، کارایی تعرق.

* **, ns: Significant differences at 5 and 1% of probability levels, and non-significantly differences, respectively.

Days to flowering (DTF), days to ripening (DTR), shoot dry weight (SDW), root dry weight (RDW), percent of root to shoot ratio (PRTSR), root number (RN), root length (RL), grain weight (GW) and transpiration efficiency (TE).

است که وراثت‌پذیری آن صفات بالا باشد. بنابراین تعیین ارتباط بین عملکرد و صفات وابسته به آن، می‌تواند منجر به انتخاب غیرمستقیم تحت شرایط عدم تنش و تنش خشکی گردد.

بر اساس نتایج نمودار بای‌پلات، مشخص شد که در شرایط عدم تنش (شکل ۱-a)، دو مؤلفه اصلی اول، در مجموع ۶۴ درصد و در شرایط تنش خشکی، دو مؤلفه اصلی اول، در مجموع ۸۰ درصد تغییرات کل داده‌ها را توجیه کردند. با بررسی همبستگی ژنتیکی بین صفات مورد مطالعه در شرایط عدم تنش (نتایج نشان داده نشده است)، فقط همبستگی صفت کارایی تعرق با عملکرد، مثبت و معنی‌دار (۰/۹۹) بود و بین عملکرد دانه با سایر صفات، همبستگی بالایی مشاهده نشد. همچنین در شرایط تنش خشکی، با بررسی همبستگی ژنتیکی بین صفات (نتایج نشان داده نشده است)، مشخص شد که صفات روز تا رسیدگی، وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی، درصد ریشه به اندام هوایی، تعداد ریشه‌های جانبی، طول ریشه و کارایی تعرق، با عملکرد دانه همبستگی مثبت دارند. براساس نتایج نمودارهای بای‌پلات، در شرایط عدم تنش، توده‌های تیرانچی، شیراز، مشهد و یاسوج، از

وراثت‌پذیری عمومی بین ۰/۱۵ تا ۰/۸۸ متغیر بود. همچنین صفات عملکرد دانه، کارایی تعرق، طول ریشه، وزن خشک ریشه و درصد ریشه به اندام هوایی، دارای وراثت‌پذیری عمومی مطلوبی بودند (جدول ۴) که نشان‌دهنده کم‌بودن اثرات محیطی، در برآورد این پارامترها می‌باشد که می‌تواند به علت انجام آزمایش در شرایط کنترل‌شده باشد (Szira et al., 2008). با توجه به این‌که میزان بازدهی برای انتخاب یک صفت، به تأثیر نسبی عوامل ژنتیکی و غیرژنتیکی در بروز تفاوت‌های فنوتیپی آن صفت بستگی دارد که با وراثت‌پذیری بیان می‌گردد؛ در واقع، میزان وراثت‌پذیری دیدگاه مناسبی در تعیین روش مطلوب، جهت اصلاح یک صفت در برنامه‌های اصلاحی و همچنین شاخصی از نحوه تأثیر روش‌های انتخاب، برای آن صفت می‌باشد (Halluer et al., 2010). البته باید توجه نمود که برآورد وراثت‌پذیری، منحصرأ در مورد آن جامعه خاص، نحوه نمونه‌برداری و محیطی که در آن رشد یافته است صادق است. همچنین Blum (2011) گزارش کرد که انتخاب غیرمستقیم، به‌وسیله اجزای عملکرد و سایر صفات، می‌تواند موثرتر از انتخاب مستقیم برای عملکرد باشد، این در صورتی

ریشه، وزن خشک ریشه، همبستگی مثبت و بالایی با هم داشتند و توده تیرانچی، بهترین توده در هر دو شرایط رطوبتی، از نظر اکثر صفات به‌ویژه عملکرد دانه بود. همچنین توده اردستان، در هر دو شرایط رطوبتی، با داشتن کارایی تعرق بالا و وزن خشک اندام هوایی، توده‌ای مناسب جهت تولید شاخساره بود. عملکرد یک ژنوتیپ در یک محیط، متشکل از اثر اصلی ژنوتیپ، اثر محیط و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط است؛ بنابراین گزینش عملکرد به‌همراه صفات ثانویه که همبستگی بالایی با عملکرد داشته و وراثت‌پذیر باشند، در سرعت‌بخشیدن به پیشرفت برنامه به‌نژادی، موثر خواهد بود. در همین راستا، روش بای‌پلات توسط محققان زیادی، در گزینش ژنوتیپ‌های برتر و متحمل به تنش استفاده شده است (Yan *et al.*, 2000; Dehghani *et al.*, 2008; Khodadadi *et al.*, 2016).

نظر صفات کارایی تعرق، طول ریشه، درصد ریشه به اندام هوایی، عملکرد دانه و وزن خشک ریشه، مطلوب بودند که توده شیراز، بیشترین درصد ریشه به اندام هوایی را نشان داد و برای سایر صفات نیز، توده تیرانچی بیشترین مقدار را نشان داد. توده‌های کرمان و اردستان از نظر صفات روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی، وزن خشک اندام هوایی و تعداد ریشه‌های جانبی، مطلوب بودند و توده‌های نورآباد، بیرجند، تهران، جهرم و یزد، از نظر هیچ صفتی مطلوب نبودند. در شرایط تنش خشکی (شکل 1-b)، توده‌های تیرانچی و شیراز، بر اساس صفات کارایی تعرق، عملکرد دانه، طول ریشه، تعداد ریشه‌های جانبی و وزن خشک ریشه، مطلوب بودند؛ به‌طوری که بهترین توده‌ها از نظر عملکرد دانه، این دو ژنوتیپ بودند. به‌طور کلی، صفات کارایی تعرق، عملکرد دانه، طول

جدول ۳. میانگین صفات در توده‌های شنبليله (*Trigonella foenum-graceum* L.) تحت شرایط عدم تنش و تنش خشکی
Table 3. Mean of traits in fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) ecotypes under non- stress and drought stress conditions

Ecotype	DTF		DTR		SDW		RDW		PRTSR		RN		RL		GW		TE	
	Non-stressed	Stressed	Non-stressed	Stressed	Non-stressed	Stressed	Non-stressed	Stressed	Non-stressed	Stressed	Non-stressed	Stressed	Non-stressed	Stressed	Non-stressed	Stressed	Non-stressed	Stressed
Kerman	63.00	54.33	80.33	72.33	3.99	3.20	0.23	0.17	5.87	5.37	6.67	5.00	77.33	71.33	1.48	0.44	0.59	1.00
Mashhad	32.67	30.33	71.67	63.67	3.57	2.17	0.46	0.43	13.04	19.72	5.00	6.67	79.33	79.33	3.01	1.50	0.72	0.92
Yazd	37.67	30.33	70.67	54.00	2.87	1.12	0.18	0.11	6.51	9.92	8.67	3.33	47.67	48.00	2.18	0.27	0.61	0.38
Birjand	35.00	28.00	65.67	57.67	2.69	2.67	0.30	0.23	11.04	8.52	4.67	2.67	58.67	61.67	2.13	0.51	0.55	0.92
Tehran	43.67	29.67	71.00	60.67	2.28	1.40	0.28	0.23	12.34	15.68	4.00	5.00	45.33	53.67	1.95	0.59	0.46	0.54
Neyshabur	42.23	32.00	76.67	65.67	4.11	2.31	0.54	0.20	13.52	8.80	9.00	8.00	82.33	70.67	2.11	0.93	0.71	0.78
Shiraz	39.33	38.33	70.33	62.33	2.94	3.00	0.47	0.55	16.34	18.29	7.00	11.00	75.67	72.00	4.02	2.43	0.80	1.34
Yasuj	40.00	37.00	69.33	61.33	3.44	4.13	0.40	0.33	11.84	8.21	10.00	7.67	73.47	73.67	3.59	1.73	0.78	1.30
Nourabad	30.00	26.67	69.33	61.33	2.40	2.36	0.35	0.41	14.48	17.54	5.00	7.33	73.67	70.00	2.49	1.26	0.58	0.89
Hamedan	34.67	34.00	77.00	65.33	3.22	2.78	0.28	0.26	8.74	9.33	7.33	6.33	81.67	57.00	3.16	1.45	0.67	0.99
Isfahan	40.33	33.33	71.33	61.33	3.42	3.54	0.54	0.47	16.07	13.46	11.00	8.00	79.00	71.00	1.51	0.50	0.56	0.99
Ardestan	62.33	52.67	87.33	78.00	4.05	3.29	0.46	0.40	11.56	12.15	6.67	7.67	61.67	54.00	4.13	2.21	0.97	1.25
India	33.67	29.00	69.67	54.00	4.13	2.14	0.26	0.19	6.43	8.85	9.00	5.00	71.67	45.33	2.05	0.45	0.63	0.70
Tiranchi	40.33	38.67	74.00	66.00	3.74	3.32	0.50	0.49	13.41	14.94	5.67	8.67	78.67	84.00	5.05	3.34	1.01	1.54
Jahrom	33.33	29.00	71.67	56.70	2.84	1.24	0.22	0.11	8.03	9.18	7.00	2.67	57.33	46.67	1.71	0.22	0.51	0.43
mean	40.62	34.89	73.07	69.62	3.32	2.58	0.37	0.31	11.28	12.00	7.18	6.33	69.58	63.89	2.71	1.19	0.68	0.93
LSD (5%)	5.56		8.19										1.15		0.59			
LSD (5%)	2.71				0.34		0.03		1.28		1.05		3.02				0.10	

a و b: نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در هر دو شرایط مقایسه‌شده با هم می‌باشند.

DTF: روز تا گلدهی؛ DTR: روز تا رسیدگی؛ SDW: وزن خشک اندام هوایی؛ RDW: وزن خشک ریشه؛ PRTSR: درصد ریشه به اندام هوایی؛ RN: تعداد ریشه‌های جانبی؛ RL: طول ریشه؛ GW: عملکرد دانه و TE: کارایی تعرق.

Note: a, b represents significant difference between the traits in both conditions is compared to each other.

Days to flowering (DTF), days to ripening (DTR), shoot dry weight (SDW), root dry weight (RDW), percent of root to shoot ratio (PRTSR), root number (RN), root length (RL), grain weight (GW) and transpiration efficiency (TE).

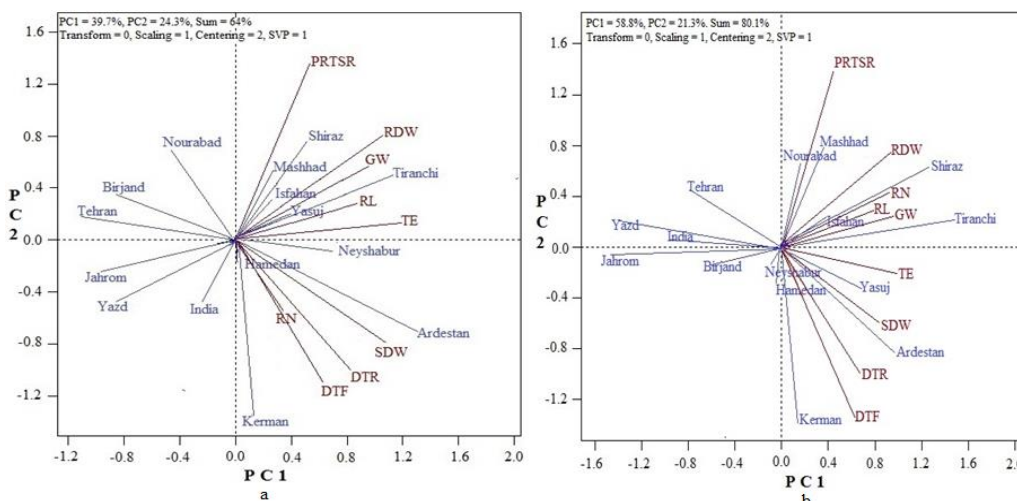
جدول ۴. ضرایب تنوع ژنتیکی و فنوتیپی و وراثت پذیری صفات در توده های شنبليله (*Trigonella foenum-graceum* L.) تحت تیمارهای مختلف آبی

Table 4. Phenotypic and genotypic coefficients of variation and heritability for traits in fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) ecotypes under different water treatments

Traits	Phenotypic coefficient of variation	Genotypic coefficient of variation	Broad-sense heritability
DTF	24.58	22.94	0.87
DTR	9.70	8.12	0.70
SDW	26.91	16.26	0.37
RDW	40.05	35.32	0.77
PRTSR	34.55	28.01	0.66
RN	34.77	13.57	0.15
RL	18.74	15.23	0.66
GW	54.12	50.59	0.88
TE	33.83	25.49	0.57

DTF، روز تا گلدهی؛ DTR، روز تا رسیدگی؛ SDW، وزن خشک اندام هوایی؛ RDW، وزن خشک ریشه؛ PRTSR، درصد ریشه به اندام هوایی؛ RN، تعداد ریشه های جانبی؛ RL، طول ریشه؛ GW، عملکرد دانه و TE، کارایی تعرق.

Days to flowering (DTF), days to ripening (DTR), shoot dry weight (SDW), percent of root to shoot ratio (PRTSR), root number (RN), root length (RL), grain weight (GW) and transpiration efficiency (TE).



شکل ۱. بای پلات همبستگی بین صفات و توده های شنبليله (*Trigonella foenum-graceum* L.) در شرایط عدم تنش (a) و تنش خشکی (b)

Figure 1. Biplot correlation between measured traits and the masses of fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) ecotypes under non-stressed (a) and drought stressed (b) conditions

نام نهاد. همچنین عامل سوم را می توان عامل صفات ریشه و زیست توده گیاه نامگذاری کرد. در تیمار تنش خشکی می توان عامل اول را صفات درگیر در تولید عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی نامگذاری کرد. همچنین عامل دوم با وجود اینکه شامل سه صفت روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی و وزن خشک اندام هوایی بود، ولی با توجه به اینکه وزن خشک اندام هوایی در این گیاه، به طور مستقیم تحت تاثیر صفات فنولوژی قرار دارد، لذا این عامل به عنوان فنولوژی گیاه در نظر گرفته شد. در تنش خشکی، بهبود عامل اول می تواند منجر به افزایش عملکرد دانه شنبليله، در محیط های دارای مشکل کم آبی شود.

نتایج تجزیه به عامل ها بر روی کلیه صفات مورد اندازه گیری، در جدول ۵، برای دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی نشان داده شده است. برای سهولت تفسیر نتایج تجزیه عاملی، دوران عامل ها، به روش واریمکس انجام شد و در نهایت، در دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی، به ترتیب ۳ و ۲ عامل بیش از ۸۰ درصد تغییرات کل داده ها را توجیه کردند (جدول ۵). در شرایط عدم تنش، عامل اول شامل صفات وزن خشک ریشه، درصد ریشه به اندام هوایی، عملکرد دانه و کارایی تعرق بود، لذا می توان این عامل را عملکرد و اجزای عملکرد نامگذاری کرد. عامل دوم بیشتر تحت تاثیر صفات روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی بود که می توان آن را مؤلفه فنولوژی گیاه

جدول ۵. ضرایب عاملی صفات مورد مطالعه در توده‌های شنبليله (*Trigonella foenum-graceum* L.) ایران تحت تیمارهای مختلف آبی

Table 2. Coefficients of factor for studied traits in Iranian fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) ecotypes under different water treatments (WT)

Traits	Non-stressed			Stressed	
	Component			Component	
	1	2	3	1	2
DTF	-0.050	0.859	0.034	-0.011	0.923
DTR	0.098	0.907	0.103	0.204	0.831
SDW	0.165	0.628	0.668	0.447	0.748
RDW	0.857	0.001	0.364	0.950	0.173
PRTSR	0.805	-0.372	0.014	0.811	-0.395
RN	-0.163	0.054	0.846	0.837	0.331
RL	0.500	0.021	0.668	0.731	0.310
GW	0.808	0.312	-0.231	0.783	0.393
TE	0.758	0.541	0.053	0.695	0.655
Cumulative Explained Variance %	39.706	64.010	80.561	58.840	80.140

طریق تعرق جلوگیری می‌کنند (Wanjura *et al.*, 2004). گیاه در مراحل ابتدایی تنش، سعی در تکمیل چرخه حیاتی خود دارد، بدین ترتیب با افزایش مقدار کلروفیل، سعی در تولید ماده فتوسنتزی بیشتر و تسریع در دوران پرشدن دانه دارد (Ebrahimiyan *et al.*, 2013)؛ لذا انتقال آسمیلاتها به دانه، مرحله حیاتی و مهم در پرشدن دانه می‌باشد (Asch *et al.*, 2005). از طرفی، در شرایط تنش خشکی، گیاهان با مکانیسم تخصیص ماده خشک تولیدشده در گیاه به سمت ریشه‌ها، می‌توانند با گسترش ریشه و کاهش پتانسیل آب ریشه نسبت به خاک، آب بیشتری را از خاک جذب کنند (Leport *et al.*, 2006). بالا بودن محتوای نسبی آب در شرایط کم‌آبی، می‌تواند با رفتار روزه‌ها و سیستم ریشه‌ای گیاه در ارتباط باشد، زیرا حفظ محتوای رطوبتی درونی یک گیاه، نیاز به داشتن ریشه عمیق جهت جذب آب دارد (Hirayama *et al.*, 2006). در واقع افزایش در کارایی تعرق، می‌تواند هم به دلیل افزایش میزان فتوسنتز و هم به دلیل کاهش هدایت روزه‌ای باشد (Polley, 2002). کاهش شدید هدایت روزه‌ای، با تغییر جزئی محتوای آب نسبی، بیان‌گر آن است که ممکن است سیگنال‌های ارسالی از ریشه در شرایط تنش خشکی، عامل بسته‌شدن روزه و کاهش فتوسنتز باشد که این سیگنال شیمیایی، همان اسیدآبسیزیک (ABA) می‌باشد (Ritchie *et al.*, 1990).

نتیجه‌گیری

در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که بین توده‌های

نتایج حاکی از آن است که در شرایط تنش خشکی، ارتباط بین عملکرد دانه، طول ریشه، وزن خشک ریشه و کارایی تعرق، قوی‌تر بوده، به طوری که در توده‌هایی که توانسته‌اند با انتقال آسمیلاتها به ریشه و گسترش طول ریشه خود آب و مواد غذایی بیشتری از خاک جذب کنند، با داشتن کارایی تعرق بالا، بین هدایت روزه‌ای، حفظ آماس درون سلولی و تعرق از سطح برگ تعادل بیشتری را برقرار کنند، واکنش بهتری به شرایط تنش خشکی نشان دادند.

سیستم ریشه‌ای گسترده که توانایی گیاه را برای مصرف آب افزایش می‌دهد، مکانیزم اساسی سازگاری به خشکی است (Jaleel *et al.*, 2008). نسبت بالاتر ریشه به اندام‌های هوایی (اندام‌های جذب‌کننده آب نسبت به اندام‌های مصرف‌کننده)، توان گیاه را برای افزایش مقاومت به خشکی بهبود می‌بخشد، لذا اغلب متخصصان فیزیولوژی، این نسبت را به عنوان یک معیار برای گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی معرفی کرده‌اند. به طور کلی، فرض بر این است که تنش خشکی، به علت تأثیر در بسته‌شدن روزه‌ها و در نتیجه کاهش دسترسی به CO₂ در مزوفیل، باعث کاهش فتوسنتز گیاه می‌شود (Yordanov *et al.*, 2001). با اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی و پرشدن دانه، سرعت فتوسنتز به طور معنی‌داری کاهش نشان می‌دهد که ناشی از اثرات روزه‌ای و غیرروزه‌ای می‌باشد؛ و عموماً پذیرفته شده است که محدودیت روزه‌ای، عامل اصلی تعیین‌کننده کاهش فتوسنتز، در شرایط تنش خشکی است و گیاهان تحت تنش، توسط تنظیم روزه‌ای، از اتلاف زیاد آب از

علاوه بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک می‌باشد. توده‌های تیرانچی و شیراز در هر دو شرایط رطوبتی، از نظر صفات کارایی تعرق، عملکرد دانه، طول ریشه و وزن خشک ریشه، مطلوب بودند. همچنین توده اردستان از نظر تولید شاخساره مطلوب بود.

شنبلیله مورد مطالعه، از نظر صفات ریشه مورد بررسی، در شرایط عدم‌تنش و تنش خشکی تنوع بالایی وجود داشت، که این تنوع بالا نویدبخش کارایی روش‌های انتخاب، به منظور به‌نژادی و ایجاد ارقام متحمل به خشکی با عملکرد بالا، با در نظر گرفتن صفات ریشه،

REFERENCES

- Acharya, S., Srichamroen, A., Basu, S., Ooraikul, B. & Basu, T. (2006). Improvement in the nutraceutical properties of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Journal of Science and Technology*, 28, 1-9.
- Aliabadi Farahani, H., Lebaschi, M. H., Shiranirad, A. H., Valadabadi, A. R. & Daneshian, J. (2008). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi, different levels of phosphorus and drought stress on water use efficiency, relative water content and proline accumulation rate of Coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Medicinal Plants Research*, 2, 125-131.
- Asch, F., Dingkuhn, M., Sow, A. & Audebert, A. (2005). Drought-induced changes in rooting patterns and assimilate partitioning between root and shoot in upland rice. *Field Crops Research*, 93, 223-236
- Babaei, K., Amini, M., Modares, E. & Jabari, R. (2011). Effect of drought stress on morphological traits, proline and thymol in thyme (*Thymus vulgaris* L.), *Medicinal and Aromatic Plants Research of Iran*, 29, 239-251. (in Farsi)
- Blank, A. F., Rosa, Y. R. S., Filho, J. L. S. C., Santos, C. A., Blank, M. F. A., Niculau, E. S. & Alves, P. B. (2012). A diallel study of yield components and essential oil constituents in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Industrial Crops and Products*, 38, 93-98.
- Blum, A. (2011). *Plant breeding for water limited environments*. New York, Springer.
- Chen, X., Min, D., Yasir, T. A. & Hu, Y. G. (2012). Evaluation of 14 morphological, yield-related and physiological traits as indicators of drought tolerance in Chinese winter bread wheat revealed by analysis of the membership function value of drought tolerance (MFVD). *Field Crops Research*, 137, 195-201.
- Darlington, C. D. & Wylie, A. P. (1955). *Chromosome atlas of flowering plants*. (2nd edn.). Allen, G. and Unwin, L. p 519, London, UK.
- Dehghani, H., Omid, H. & Sabaghnia, N. (2008). Graphic analysis of trait relations of rapeseed using the biplot method. *Agronomy Journal*, 100, 1443-1449.
- Ebrahimiyan, M., Majidi, M. M., Mirlohi, A. & Noroozi, A. (2013). Physiological traits related to drought tolerance in tall fescue. *Euphytica*, 190, 401- 414.
- Ferrat, I. L. & Lovatt, C. J. (1999). Relationship between relative water content, nitrogen pools, and growth of (*Phaseolus vulgaris* L.) and (*P. Acutifolius*) a gray during water deficit. *Crop Science*, 39, 467-74.
- Furry, A. (1952). *Les Cahiers de la Recherche Agronomique*. Soil Science.
- Grossman, J. D. & Rice, K. J. (2012). Evolution of root plasticity responses to variation in soil nutrient distribution and concentration. *Evolutionary Applications*, 5, 850-857.
- Halluer, A. R., Marcelo, J. C. & Miranda, J. B. (2010). *Quantitative genetic in maize breeding*. Iowa State Univ, Press, Ames Iowa.
- Hirayama, M., Ada, Y. W. & Nemoto, H. (2006). Estimation of drought tolerance based on leaf temperature in upland rice breeding. *Breeding Science*, 56, 47-54.
- Holland, J. B. (2006). Estimating genotypic correlations and their standard errors using multivariate restricted maximum likelihood estimation with SAS Proc MIXED. *Crop Science*, 46, 642-654.
- Jaleel, C. A., Gopi, R., Sankar, B., Gomathinayagam, M. & Panneerselvam, R. (2008). Differential responses in water use efficiency in two varieties of *Catharanthus roseus* under drought stress. *Comptes Rendus Biologies*, 331, 42-47.
- Johnson, H. W., Robinson, H. & Comstock, R. (1955). Estimates of genetic and environmental variability in soybeans. *Agronomy Journal*, 47, 314-318.
- Jyostna-Devi, M., Sinclair, T. R., Vadez, V. & Krishnamurthy, L. (2009). Peanut genotypic variation in transpiration efficiency and decreased transpiration during progressive soil drying. *Field Crops Research*, 114, 280-285.
- Kavar, T., Maras, M., Kidric, M., Sustar-Vozlic, J. & Meglic, V. (2007). Identification of genes involved in the response of leaves of *Phaseolus vulgaris* to drought stress. *Molecular Breeding*, 21, 159-172.

21. Khodadadi, M., Dehghani, H., Jalali Javaran, M. & Christopher, J. T. (2016b). Fruit yield, fatty and essential oils content genetics in coriander. *Industrial Crops and Products*, 94, 72-81.
22. Khodadadi, M., Dehghani, H., Jalali Javaran, M., Rashidi Monfared, S. & Christopher, J. (2016a). Numerical and graphical assessment of relationships between traits of the Iranian *Coriandrum sativum* L. core collection by considering genotype \times irrigation interaction. *Scientia Horticulturae*, 200, 73-82.
23. Leport, L., Turner, N. C., French, R. J., Barr, M. D., Duda, R. & Davies, S. L. (2006). Physiological responses of chickpea genotypes to terminal drought in a Mediterranean-type environment. *European Journal of Agronomy*, 11, 279-291.
24. Majidi, M. M., Mirlohi, A. & Amini, F. (2009). Genetic variation, heritability and correlations of agro-morphological traits in tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.). *Euphytica*, 167, 323-331.
25. McCurmick, K. M., Norton, R. M. & Eagles, H. A. (2009). Phenotypic variation within a fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) germplasm collection. II. Cultivar selection based on traits associated with seed yield. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 56, 651-661.
26. Mohsenzadeh, S., Sadeghi, S., Mohabatkar, H., Niazi, A. (2009). Some responses of dry farming wheat to osmotic stresses in hydroponics culture. *Journal of Cell and Molecular Research*, 1, 84-90
27. Najafpour Navaei, M. (1994). Regarding Fenugreek. *Research Institute of Forest and Rangelands*, 6, 3-11. (In Farsi)
28. Nguyen, H. T., Babu, R. C. & Blum, A. (1997). Breeding for drought resistance in rice: Physiology and molecular genetics considerations, *Crop Science*, 37, 1426-1434.
29. Polley, H. W. (2002). Implication of atmospheric and climatic change for crop yield and water use efficiency. *Crop Science*, 42, 131-140.
30. Ratnakumar, P. & Vadez, V. (2011). Groundnut (*Arachis hypogaea*) genotypes tolerant to intermittent drought maintain a high harvest index and have small leaf canopy under stress. *Functional Plant Biology*, 38, 1016-1023.
31. Ritchie, S. W., Nguyen, H. T. & Holaday, A. S. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30, 105-111.
32. Robbins, N. E. & Dinneny, J. R. (2015). The divining root: Moisture-driven responses of roots at the micro-and macro-scale. *Journal of Experimental Botany*, 66, 2145-2154.
33. Sadeghzade Ahari, D., Hassandokht, M., Kashi, E. & Amri, A. (2015). Evaluation of the masses of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) native to Iran with markers AFLP. *Seed and Plant Improvement Journal*, 30, 155-171. (in Farsi)
34. Sadeghzadeh-Ahari, D., Kashi, A. K., Hassandokht, M. R., Amri, A. & Alizadeh, K. H. (2009). Assessment of drought tolerance in Iranian fenugreek landraces. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 7, 414-419.
35. Schonfeld, M. A., Johnson, R. C., Carver, B. F. & Mornhinweg, D. W. (1988). Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Science*, 28, 526-531.
36. Szira, F., Bálint, A., Börner, A. & Galiba, G. (2008). Evaluation of drought related traits and screening methods at different developmental stages in spring barley. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194, 334-342.
37. Vadez, V., Deshpande, S. P., Kholova, J., Hammer, G. L., Borrell, A. K., Talwar, H. S. & Hash, C. T. (2011). Stay-green quantitative trait loci's effects on water extraction, transpiration efficiency and seed yield depend on recipient parent background. *Functional Plant Biology*, 38, 553-566.
38. Wanjura, D. F., Mass, S. J., Winslow, J. C. & Upchurch, D. R. (2004). Scanned and spotmeasured canopy temperatures of cotton and corn. *Computers and Electronics in Agriculture*, 44, 33-48.
39. Wasson, A., Richards, R., Chatrath, R., Misra, S., Prasad, S. S., Rebetzke, G., Kirkegaard, J., Christopher, J. & Watt, M. (2012). Traits and selection strategies to improve root systems and water uptake in water-limited wheat crops. *Journal of Experimental Botany*, 63, 3485-3498.
40. Xue, W. L., Li, X. S., Liu, J., Wang, Y. H., Zhang, Z. L. & Zhang, R. J. (2007). Effect of *Trigonella foenum-graecum* (fenugreek) extract on blood glucose, blood lipid and streptozocin-induced diabetic rats. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 16, 422-426.
41. Yadav, U. C., Moorthy, K. & Baquer, N. Z. (2004). Effects of sodium-orthovanadate and *Trigonella foenum-graecum* seed on hepatic and renal lipogenic enzymes and lipid profile during alloxan diabetes. *Journal of Biosciences*, 29, 81-91.
42. Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q. & Szlavnic, Z. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGEBiplot. *Crop Science*, 40, 597-605.
43. Yordanov, I., Tsonko, T., Velikova, V., Georgieva, K., Ivanov, P., Tsenov, N. & Petrova, T. (2001). Change in CO₂ assimilation, transpiration and stomatal resistance to different wheat cultivars expressing drought under field conditions. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 27, 20-33.
44. Zhu, J., Ingram, P. A., Benfey, P. N. & Elich, T. (2011). From lab to field, new approaches to phenotyping root system architecture. *Current Opinion in Plant Biology*, 14, 310-317.