

## ارزیابی تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های باقلا با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی و ترکیبات بیوشیمیایی

مرتضی معماری<sup>۱</sup>، محمدرضا داداشی<sup>۲</sup>، فاطمه شیخ<sup>۲</sup> و حسین عجم نوروزی<sup>۴</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۵)

### چکیده

در این بررسی ژنوتیپ‌های مختلف باقلا تحت شرایط تنش خشکی از نظر ترکیبات بیوشیمیایی و شاخص‌های تحمل به تنش مورد ارزیابی قرار گرفتند. ۲۱ ژنوتیپ باقلا در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو محیط آبیاری نرمال و تنش خشکی طی سال‌های زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر اساس عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی برخی شاخص‌ها نظیر: شاخص تحمل به تنش (STI)، حساسیت به تنش (SSI)، تحمل (TOL)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی (GMP)، شاخص عملکرد (YI) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) برای کلیه ژنوتیپ‌ها محاسبه شد. طبق نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی بر کلیه صفات معنی‌دار بود. در شرایط تنش خشکی میزان تانن پوست ۳۱/۵ درصد، تانن آندوسپرم ۱۹/۷ درصد و نشاسته ۱/۹۶ درصد نسبت به شرایط نرمال بیشتر بود. بر اساس برش‌دهی اثر متقابل تنش و ژنوتیپ در محیط نرمال ژنوتیپ‌های G-faba-62، G-faba-65، G-faba-66، G-faba-292، G-faba-294، G-faba-523، G-faba-525 و G-faba-20 و در تنش خشکی ژنوتیپ‌های G-faba-62، G-faba-65، G-faba-66، G-faba-67، G-faba-72، G-faba-75، G-faba-62 و G-faba-65 بیشترین عملکرد دانه را داشتند. بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش و میزان ترکیبات بیوشیمیایی تحمل به تنش ژنوتیپ G-faba-65 نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بالاتر بود.

واژه‌های کلیدی: تانن، حبوبات، شاخص تحمل (TOL)، میانگین هندسی، نشاسته

۱، ۲ و ۴. به ترتیب دانشجوی دکتری، استادیار و دانشیار، گروه کشاورزی، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان-ایران

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

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: sheikhfatemeh@yahoo.com

## مقدمه

تنش خشکی یکی از عوامل محدود کننده برای تولید موفقیت آمیز محصولات زراعی است (۱۴ و ۲۱). به نژادگران با هدف صرفه جویی در مصرف آب، بر اساس فنولوژی و فیزیولوژی گیاه ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کمبود آب را در مرحله رشد زایشی انتخاب می‌کنند (۱۵ و ۱۶).

شناخت اساس فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تحمل به تنش خشکی و استفاده از آنها در بهبود تحمل به خشکی بسیار مهم است (۳ و ۲۱). در تنش خشکی پتانسیل آب خاک کاهش می‌یابد، به همین علت گیاه به منظور ادامه جذب آب، از طریق تجمع ترکیبات اسمزی (کربوهیدرات محلول و پرولین) پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهد و به عبارتی تنظیم اسمزی صورت می‌گیرد. در فرایند تنظیم اسمزی، تورژسانس و فرایندهای وابسته به آن تحت شرایط کمبود آب ادامه می‌یابد. از این رو تنظیم اسمزی به توسعه سلولی و رشد گیاه در تنش آبی کمک می‌کند (۱۹ و ۲۱). پژوهش‌ها نشان داده است که تحت شرایط تنش خشکی، افزایش میزان ساکاروز به نشاسته و تجزیه نشاسته صورت می‌گیرد که نقش مهمی در تنظیم اسمزی ایفا می‌کند (۱۰).

پایداری عملکرد و مقایسه میزان عملکرد در شرایط تنش و عدم تنش، به عنوان معیارهای مناسب تری برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی است. به همین منظور روش‌های مختلف و متعددی برای ارزیابی واکنش محصولات زراعی نسبت به تنش‌های محیطی توسط پژوهشگران مورد استفاده قرار گرفته است. فیشر و مورر (۱۲) شاخص حساسیت به تنش (SSI)، روزیل و هامبلین (۲۵) شاخص تحمل (TOL) و شاخص بهره‌وری متوسط (MP) و فراندز (۱۱) شاخص تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) را برای غربال کردن ژنوتیپ‌های مقاوم و یا حساس پیشنهاد کرد. در مطالعه بسحاق و همکاران (۴) دو سطح آبیاری نرمال و تنش خشکی در ۱۶ ژنوتیپ باقلا مورد بررسی قرار گرفت. به طور کلی بر اساس شاخص‌های SSI، TOL، MP، GMP، STI و TOL،

ژنوتیپ‌های ۱۲۱۴ و شاهد (محلی خرم آباد) بیشترین و ژنوتیپ‌های ۱۲۲۴ و ۱۲۰۴ کمترین مقادیر را داشتند، همچنین شاخص GMP بیشترین همبستگی با عملکرد دانه در باقلا را داشت. آنها این شاخص را برای شناسایی ارقام متحمل به تنش معرفی کردند.

تنش خشکی، عملکرد و سطح زیر کشت باقلا را در بسیاری از مناطق ایران کاهش داده است. بنابراین معرفی ارقام مقاوم به خشکی در باقلا ضرورت دارد. با توجه به تنش خشکی و گرمای آخر فصل در شرق و شمال استان گلستان، کشت باقلا تنها به مناطق غربی استان محدود شده است. چنانچه ارقام متحمل به تنش خشکی و گرمای آخر فصل معرفی شود، سطح زیر کشت باقلا نه تنها در استان گلستان، بلکه در سایر مناطق با شرایط مشابه افزایش خواهد یافت. ژنوتیپ‌های مختلفی در باقلا وجود دارد که جنبه‌های زراعی آن بررسی نشده است با توجه به تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های باقلا، اجرای آزمایش‌های مختلف در هنگام وقوع تنش خشکی و سایر تنش‌ها ضروری به نظر می‌رسد. لذا هدف از این پژوهش شناسایی ژنوتیپ‌های برتر باقلا به تنش خشکی از طریق میزان تجمع ترکیبات بیوشیمیایی و شاخص‌های تحمل به خشکی است.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان اجرا شد. ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان در ۵ کیلومتری شمال گرگان با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی واقع شده است. ارتفاع از سطح دریا ۵ متر و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۷ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه ۴۵۰ میلی‌متر است. قبل از اجرای آزمایش به منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش، از عمق‌های ۰-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتی متری نمونه برداری شد و نمونه‌ها توسط آزمایشگاه خاک تجزیه شدند، بر اساس نتایج این آزمون، نوع بافت خاک سیلتی کلی لوم بود.

جدول ۱. اسامی، شجره، مبدأ و اندازه بذر ژنوتیپ‌های باقلای مورد ارزیابی

ردیف	ژنوتیپ	اندازه بذر	شجره Pedigree	مبدأ
۱	G-faba-67	متوسط	DT/B7/7486/0405-HBP/DS0/2000	ICARDA
۲	G-faba-66	متوسط	DT/B7/7327/0405-HBP/DS0/2000	ICARDA
۳	G-faba-75	متوسط	DT/A11/9032/2005/06	ICARDA
۴	G-faba-72	متوسط	DT/A11/9012/2005/06	ICARDA
۵	G-faba-65	متوسط	DT/B7/7038/0405-HBP/DS0/2000	ICARDA
۶	G-faba-62	متوسط	selection from ILB1814	ICARDA
۷	G-faba-61	متوسط	DT/B7/7380/0405-HBP/DS0/2000	ICARDA
۸	G-faba-398	متوسط	55/08/F8/7349/06-HBP/S0E/2000	ICARDA
۹	G-faba-411	متوسط	56/08/F8/7350/06-HBP/S0E/2000	ICARDA
۱۰	G-faba-401	متوسط	93/08/F8/7711/06-S 97112(ILB4365×BPL2282)	ICARDA
۱۱	G-faba-335	متوسط	S 2007,057	ICARDA
۱۲	G-faba-293	درشت	Aquadulce	Spain
۱۳	G-faba-294	درشت	Reiana Blanca	North Africa
۱۴	G-faba-290	متوسط	Lattakia 2	ICARDA
۱۵	G-faba-292	متوسط	line 1/46	Syria
۱۶	G-faba-523	درشت	Barkat × ILB 4720	Agricultural research center of Golestan
۱۷	G-faba-524	درشت	Barkat × BPL 465	Agricultural research center of Golestan
۱۸	G-faba-525	درشت	Barkat × 98 264-1	Agricultural research center of Golestan
۱۹	G-faba-520	درشت	Barkat × New momomoth	Agricultural research center of Golestan
۲۰	G-faba-296	متوسط	Hudiba 93	Sudan
۲۱	G-faba-20	درشت	Barkat	شاهد

\* بذره‌های ژنوتیپ‌های مورد بررسی از بخش تحقیقات زراعی و باغی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان تهیه شده است.

رشد هیچ گونه آبیاری انجام نشد اطراف محیط تنش خشکی داربست فلزی تعبیه شد و با توجه به پیش‌بینی هواشناسی ساعتی قبل از بارندگی نایلون روی داربست کشیده می‌شد، تا آب باران وارد محیط تنش خشکی نشود. عملیات داشت از قبیل وجین علف‌های هرز و مبارزه با آفات و بیماری‌ها بسته به نیاز محصول در طول فصل زراعی انجام شد.

داده‌های هواشناسی نشان داد (جدول ۲) که میانگین دمای حداقل در سال دوم (۹۷-۱۳۹۶) نسبت به سال اول و آمار ۲۰ ساله، به ویژه در ماه‌های ابتدایی (از ماه‌های آبان تا فروردین)

آزمایش بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. ۲۱ ژنوتیپ باقلا در هر واحد آزمایشی، با فاصله بین ردیف ۶۵ و فاصله بوته روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر در تاریخ ۲۰ آبان (در هر دو سال تاریخ کاشت یکسان) کشت شدند. برخی از ویژگی‌های این ژنوتیپ‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. در محیط آبیاری نرمال در مواقع لزوم بر اساس شرایط آب و هوایی و نیاز آبی گیاه (در زمان کاشت، قبل از گل‌دهی، آغاز گل‌دهی، و دوره پر شدن دانه) آبیاری انجام شد و گیاه با تنش خشکی مواجه نشد. اما در تنش خشکی از مرحله قبل از آغاز گل‌دهی تا پایان فصل

جدول ۲. میانگین ماهانه دماهای حداقل، دماهای حداکثر و مجموع بارندگی در سالهای زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ در مقایسه با آمار ۲۰ ساله در گرگان (منبع: اداره کل هواشناسی استان گلستان- ایستگاه هواشناسی گرگان)

ماه	مجموع بارندگی (mm)			میانگین حداکثر دما (°C)			میانگین حداقل دما (°C)		
	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۶-۹۷	۲۰ ساله	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۶-۹۷	۲۰ ساله	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۶-۹۷	۲۰ ساله
آبان	۶۱/۲	۱۷	۵۴/۵	۱۸/۸۶	۲۳/۷	۲۰/۸	۹/۱۸	۱۱/۸	۱۰/۱
آذر	۳۲/۲	۷۱/۸	۵۱/۴	۱۲/۳۶	۱۵/۱	۱۵/۲	۱/۲۴	۱۰	۵/۵
دی	۳/۸	۶۰	۴۵/۵	۱۳/۷۱	۱۴	۱۱/۴	۱/۸۵	۵/۲	۳/۱
بهمن	۷۶/۲	۴۱/۵	۵۰/۹	۱۱	۱۲/۷	۱۲/۴	۱/۶	۴/۴	۲/۷
اسفند	۱۹/۴	۳۱/۷	۵۶/۱	۱۶/۹۹	۱۷/۸	۱۴/۵	۴/۱۶	۷/۳	۴/۷
فروردین	۳۷/۵	۳۵/۵	۴۶/۸	۱۹/۸۶	۲۱/۳	۱۸/۸	۸/۳۵	۹/۶	۸/۵
اردیبهشت	۲۵/۰	۲۳/۵	۵۱/۶	۲۷/۵۶	۲۷/۱	۲۴/۴	۱۴/۶۱	۱۴/۱	۱۳/۶
خرداد	۰/۷	۱۰/۵	۲۲/۲	۳۲/۷۹	۳۱/۸	۳۰/۲	۱۸/۲۳	۱۹/۷	۱۸/۴
مجموع	۲۵۶	۲۹۱/۵	۳۷۹	-	-	-	-	-	-

در ماههایی از فصل رشد که بارندگی کافی نبود، آبیاری صورت گرفت و کاهش بارندگی جبران شد. در این بررسی صفات بیوشیمیایی ژنوتیپهای باقلا شامل؛ تانن پوست، تانن آندوسپرم و نشاسته اندازه گیری شد. نمونه برداری از برگ و دانه ژنوتیپهای باقلا در مرحله غلاف سبز به روش زیر انجام شد.

#### اندازه گیری میزان تانن

به یک میلی لیتر از عصاره استخراج، یک میلی لیتر آب مقطر و ۱۰۰ میلی گرم پلی وینیل پیرولیدون افزوده و پس از ورتکس به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگه داشته و به مدت ۱۰ دقیقه در ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. تانن قابل استخراج با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر و در طول موج ۷۲۵ نانومتر قرائت شد. محلول استاندارد به کار برده شده ترکیبی از اسیدگالیک در غلظت های صفر تا ۱۰۰ میلی گرم در میلی لیتر بود (۱۸).

#### اندازه گیری میزان نشاسته

رسوبات و تفاله بافت گیاهی، به مدت دو ساعت درون دستگاه آون

دوره رشد باقلا، از مقدار بیشتری برخوردار است به طوری که میانگین دمای حداقل در آذر ماه سال دوم حدود ۹ درجه بیشتر از آذرماه سال اول بود. از نظر دمای حداکثر سال اول و دوم تقریباً مشابه بودند. اختلاف دمای حداکثر در ماه های سال اول و دوم حدود یک یا دو درجه بود. بیشترین اختلاف دمای حداکثر در ماه آبان اتفاق افتاد به طوری که دمای حداکثر در آبان ماه سال دوم حدود ۴/۸۴ درجه سانتی گراد بیشتر از آبان ماه سال اول بود.

در ابتدای فصل رشد در سال اول میزان بارندگی و دما برای کشت و سبز شدن بذر مناسب بود. آمار هواشناسی نشان داد که میزان بارندگی برخی ماهها، در سال اول، نه تنها از سال دوم بلکه از میانگین آمار ۲۰ ساله نیز کمتر بود. به همین علت در مواقعی که میزان بارش کمتر از نیاز آبی گیاه باقلا بود، مزرعه آبیاری شد (محیط آبیاری نرمال).

آب و هوا در دو سال کشت از نظر دمای حداکثر در سال اول و دوم آزمایش تقریباً مشابه بود، اما میزان بارندگی در سال دوم مقداری بیشتر بود با این حال به دلیل پراکنش نامناسب (آذرماه میزان بارش ۷۱/۸ میلی متر) بارش ها نتوانست تأثیر مثبتی در رشد و افزایش عملکرد داشته باشد. در محیط نرمال،

## نتایج و بحث

طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) اثر ساده تنش، ژنوتیپ و اثر متقابل تنش  $\times$  ژنوتیپ برای تمامی صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. معنی‌داری اثر ژنوتیپ بر صفات بیوشیمیایی ناشی از تنوع ژنتیکی بوده و معنی‌داری اثر متقابل نشان‌دهنده واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها به محیط (تنش خشکی و آبیاری نرمال) از نظر تولید ترکیبات بیوشیمیایی در شرایط تنش است.

به‌طور کلی (به‌استثنای ژنوتیپ G-faba-335) میزان تانن هر ژنوتیپ در شرایط تنش خشکی بیشتر از میزان تانن آن در محیط آبیاری نرمال بود. میانگین تانن ژنوتیپ‌ها در تنش خشکی ۵۷۸ و در آبیاری نرمال ۴۳۹ بود (جدول ۵). طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها در شرایط آبیاری نرمال ژنوتیپ G-faba-335 با ۶۶۴ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک بیشترین و ژنوتیپ‌های G-faba-525 و G-faba-520 به ترتیب با مقادیر ۳۲۰ و ۳۲۸ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک به‌طور مشترک کمترین میزان تانن پوست را داشتند. در تنش خشکی ژنوتیپ‌های G-faba-65 و G-faba-411 به ترتیب با مقادیر ۶۹۷ و ۶۷۸ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک به‌طور مشترک بالاترین میزان تانن پوست را داشتند و کمترین آن (۴۷۳ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) به ژنوتیپ G-faba-520 تعلق یافت.

در شرایط آبیاری نرمال ژنوتیپ G-faba-335 با ۱۲۰۸ و ژنوتیپ G-faba-293 با ۴۶۲/۳۶ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک به ترتیب بیشترین و کمترین تانن آندوسپرم را به‌خود اختصاص دادند. در تنش خشکی ژنوتیپ G-faba-66 با ۱۲۱۱ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک بالاترین مقدار را تولید کرد در حالی که ژنوتیپ‌های G-faba-525، G-faba-520 به ترتیب با ۶۹۳ و ۶۶۵ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک کمترین مقادیر را تولید کردند. میانگین تانن آندوسپرم ژنوتیپ‌ها در تنش خشکی ۹۳۲ و در آبیاری نرمال ۷۳۹ بود (جدول ۵). این نتایج نشان‌دهنده افزایش میزان تانن در شرایط تنش خشکی است با تولید این ترکیبات تحمل به تنش را برای گیاهان امکان‌پذیر می‌سازد. پژوهشگران بر این باورند که گیاهان با تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی از ساختارهای سلولی خود در برابر رادیکال‌های

در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. ۱/۵ میلی‌لیتر آب مقطر و دو میلی‌لیتر پرکلریک اسید ۵۲ درصد به رسوبات خشک شده (این مراحل تا ۳ بار انجام شد تا رسوبات شسته شود) اضافه شد. در مرحله بعدی ۴/۵ میلی‌لیتر آب مقطر و ۶ میلی‌لیتر پرکلریک اسید به نمونه‌ها اضافه و پس از آن در دمای صفر درجه قرار داده شد، سپس نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه با ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند، پس از جداسازی فاز رویی محلول در لوله آزمایش مناسب ریخته شد و با آب مقطر به حجم ۳۰ میلی‌لیتر رسانده شد. پس از برداشتن یک میلی‌لیتر از محلول مذکور و ریختن درون ویال، نیم میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و ۲/۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۸ درصد به محلول اضافه شد. پس از ۴۵ دقیقه میزان جذب نوری نمونه‌ها در طول موج ۴۸۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفومتر خوانده شد. میزان نشاسته با استفاده از منحنی استاندارد با غلظت‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ میلی‌مولار گلوکز تعیین شد (۸).

در بخش دیگر این مطالعه، ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های تحمل تنش از نظر میزان تحمل به خشکی مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۳).

در روابط فوق شاخص تحمل به خشکی (STI)، حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل (TOL)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی (GMP)، شاخص عملکرد (YI) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) با استفاده از عملکرد دانه در شرایط تنش (YS) و عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال (YP)، میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش ( $\bar{Y}_s$ ) و میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در شرایط آبیاری نرمال ( $\bar{Y}_p$ ) محاسبه شد. در پایان تجزیه واریانس داده‌ها با نرم افزار آماری SAS انجام شد. داده‌های مربوط به عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل به تنش بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی بر اساس میانگین دوساله و صفات بیوشیمیایی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی بر اساس داده‌های یک‌ساله انجام شد. مقایسه میانگین‌ها و برش‌دهی فیزیکی اثر متقابل با آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

جدول ۳. شاخص‌های تحمل به تنش استفاده شده برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های باقلا در مقایله با شرایط تنش خشکی

منبع	رابطه	شاخص‌های تحمل به تنش خشکی
روسیل و هامبلین (۲۵)	$TOL=YP-YS$	تحمل
روسیل و هامبلین (۲۵)	$MP=YP+Ys/2$	میانگین بهره‌وری
فرناندز (۱۱)	$GMP= \sqrt{Y_p \times Y_s}$	میانگین هندسی
بوسلاما و شاپاگ (۷)	$YSI=YS/YP$	شاخص پایداری عملکرد
گاووزی و همکاران (۱۳)	$YI=YS/\bar{Y}s$	شاخص عملکرد
فرناندز (۱۱)	$STI=(Y_p \times Y_s) / \bar{Y}_p^2$	تحمل به تنش
فیشر و مورر (۱۲)	$SSI= (1-(Ys/YP))/(1(\bar{Y}s/\bar{Y}p))$	حساسیت به تنش

$\bar{Y}p$ : میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در شرایط عدم تنش؛  $\bar{Y}s$ : میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در شرایط تنش؛  $Yp$ : عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب؛  $Ys$ : عملکرد دانه در شرایط تنش؛

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس صفات بیوشیمیایی - باقلا سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵

منابع تغییرات	درجه آزادی	تائین پوست	تائین آندوسپرم	نشاسته
تنش (a)	۱	۶۰۶۷۶۲**	۱۱۷۰۳۳۰**	۰/۰۰۷**
خطای ۱	۴	۶۴۴	۱۵۲۴	۰/۰۰۰۲
ژنوتیپ (b)	۲۰	۲۳۰۳۱**	۹۹۱۴۳**	۰/۰۰۲۸**
اثر متقابل (a×b)	۲۰	۱۴۴۰۸**	۸۲۱۴۲**	۰/۰۰۲۲**
خطای ۲	۸۰	۳۳۳	۱۶۷۲	۰/۰۰۰۳۵
ضریب تغییرات (درصد)		۳/۵۹	۴/۸۹	۳/۶۹
ضریب تبیین ( $R^2$ )		۹۸/۰	۹۷/۲	۷۹/۵

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

خشکی می‌تواند به دلیل کاهش فتوسنتز یا افزایش سرعت تجزیه نشاسته باشد (۲۰). در یک بررسی تنش خشکی منجر به کاهش میزان نشاسته در دانه ذرت شد و دلیل آن اختلال در فعالیت‌های آنزیمی دخیل در بیوسنتز نشاسته گزارش شد (۱۷). پژوهش‌ها نشان داده است که تحت شرایط تنش خشکی، افزایش میزان ساکارز به نشاسته و تجزیه نشاسته صورت می‌گیرد که نقش مهمی در تنظیم اسمزی ایفا می‌کند (۱۰).

#### شاخص‌های تحمل به تنش

با توجه به اینکه بیشترین و کمترین عملکرد در شرایط آبیاری

فعال تولید شده در شرایط تنش محافظت کنند (۵ و ۲۱). در شرایط آبیاری نرمال ژنوتیپ G-faba-67 با ۰/۵۶ بالاترین و ژنوتیپ G-faba-335 با ۰/۴۴ کمترین میزان نشاسته را تولید کردند. در شرایط تنش خشکی دامنه تغییرات میزان نشاسته از ۰/۴۲ (G-faba-523) تا ۰/۵۶ (G-faba-411) متغیر بود (جدول ۵). در شرایط تنش خشکی میزان نشاسته برخی ژنوتیپ‌ها نسبت به شرایط نرمال کمتر بود. در شرایط تنش خشکی به دلیل اینکه تجزیه نشاسته صورت می‌گیرد باعث کاهش کربوهیدرات ذخیره (نشاسته) در نهایت منجر به کاهش عملکرد دانه خواهد شد (۲۴). کاهش میزان نشاسته در تنش

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ‌های باقلا برای صفات بیوشیمیایی بر اساس داده‌های سال اول (یک‌ساله)

نشاسته		تانن آندوسپرم		تانن پوست		ژنوتیپ
محیط خشکی	آبیاری نرمال	محیط خشکی	آبیاری نرمال	محیط خشکی	آبیاری نرمال	
۰/۵۰	۰/۵۶	۷۸۷	۵۹۶	۵۰۵	۴۰۸	G-faba-67
۰/۵۰	۰/۵۴	۱۲۱۱	۱۰۳۰	۶۲۷	۶۲۸	G-faba-66
۰/۴۹	۰/۵۲	۸۵۵	۶۳۳	۵۵۴	۳۹۶	G-faba-75
۰/۵۱	۰/۵۰	۸۱۱	۷۶۸	۵۴۸	۴۴۵	G-faba-72
۰/۴۷	۰/۵۰	۱۱۰۱	۸۰۹	۶۹۷	۴۲۱	G-faba-65
۰/۴۸	۰/۵۲	۹۴۵	۷۳۵	۵۸۱	۴۷۸	G-faba-62
۰/۴۸	۰/۵۱	۷۹۹	۵۵۸	۵۲۹	۳۷۸	G-faba-61
۰/۴۵	۰/۵۲۳	۸۶۹	۸۲۳	۵۳۸	۴۶۷	G-faba-398
۰/۵۶	۰/۵۳	۹۸۶	۱۰۰۸	۶۷۸	۶۰۲	G-faba-411
۰/۵۴	۰/۵۱	۹۶۳	۷۳۰	۵۸۷	۳۹۵	G-faba-401
۰/۴۹	۰/۴۴	۷۴۱	۱۲۰۸	۵۱۱	۶۶۳	G-faba-335
۰/۴۸	۰/۵۲	۱۱۰۹	۴۶۲	۵۱۲	۳۶۸	G-faba-293
۰/۴۶	۰/۵۲	۹۶۶	۱۰۱۴	۵۹۶	۵۴۱	G-faba-294
۰/۴۸	۰/۵۲	۹۸۸	۶۳۵	۶۱۰	۳۸۵	G-faba-290
۰/۵۱	۰/۴۹	۹۰۲	۶۰۰	۶۳۷	۴۱۹	G-faba-292
۰/۴۲	۰/۵۰	۱۲۶۸	۷۰۰	۶۳۳	۳۸۵	G-faba-523
۰/۵۲	۰/۵۰۶	۹۱۴	۷۰۷/۰۵	۵۵۹	۴۱۰	G-faba-524
۰/۵۲	۰/۵۲	۶۹۳	۵۳۱/۴۳	۵۲۴	۳۲۰	G-faba-525
۰/۴۹	۰/۴۷	۶۶۵	۶۹۸/۹۵	۴۷۳	۳۲۸	G-faba-520
۰/۵۱	۰/۴۸	۱۰۵۹	۶۵۷/۱۰	۶۳۶	۳۹۲	G-faba-296
۰/۵۴	۰/۵۲	۹۴۰	۶۲۳/۱۸	۵۹۵	۳۹۰	G-faba-20
۰/۰۲۳	۰/۰۳۶	۷۵/۶۸	۵۸/۲۷	۳۳/۵۴	۲۶/۳۰	LSD

محیط آبیاری نرمال و تنش خشکی همبستگی معنی‌داری با عملکرد دانه داشته باشد. بنابراین، به دلیل همبستگی بالای شاخص‌های STI، MP و GMP با عملکرد دانه در شرایط خشکی و آبیاری نرمال با استفاده از این شاخص می‌توان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش را شناسایی کرد (جدول ۷).

در شاخص تحمل به تنش (STI) هر چه مقدار عددی ژنوتیپ بالاتر باشد نشان‌دهنده تحمل به خشکی است. بنابراین بین ژنوتیپ‌های باقلای مورد بررسی در این آزمایش ژنوتیپ

نرمال و تنش خشکی متعلق به ژنوتیپ ثابتی نبود، محاسبه شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش در ارزیابی و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر ضروری بود. وجود اختلاف معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها (جدول ۶) از نظر شاخص‌های کمی مقاومت به خشکی و عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی، بیانگر وجود تنوع ژنتیکی و امکان انتخاب برای مقاومت به خشکی است (۴ و ۱۶).

به عقیده بلوم (۶) بهترین شاخص آن است که در هر دو

جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص‌های تحمل به خشکی در باقلا سال زراعی ۱۳۹۵-۹۷ (میانگین داده‌های دو ساله)

TOL	YSI	YI	GMP	MP	SSI	STI	Ys	Yn	درجه آزادی	منابع تغییرات
۱۳۴۷۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۳ <sup>ns</sup>	۱۰۲۲۶ <sup>ns</sup>	۹۹۶۶۷۴*	۰/۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۴ <sup>ns</sup>	۱۳۳۷ <sup>ns</sup>	۱۱۰۶۹۹۵ <sup>ns</sup>	۲	بلوک (a)
۱۰۶۵۷۹۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۱۹ <sup>**</sup>	۶۶۵۶۲۰ <sup>**</sup>	۱۱۵۱۴۵۹ <sup>**</sup>	۰/۰۹ <sup>**</sup>	۰/۰۴ <sup>**</sup>	۸۴۶۹۵۷ <sup>**</sup>	۶۹۹۴۲۶ <sup>**</sup>	۲۰	ژنوتیپ (b)
۶۴۹۱۸۳	۰/۰۱	۰/۰۳	۶۵۴۱۶	۲۵۶۰۲۰	۰/۰۳	۰/۰۰۳	۱۴۵۶۳۵	۳۱۴۲۵۷	۴۰	خطای
۲۶/۱	۲۵/۷	۱۸/۳	۷/۸	۸/۱	۱۹/۲	۱۵/۷	۱۸/۳	۱۰/۸		ضریب تغییرات (درصد)
۴۸/۰	۵۹/۱	۷۴/۴	۸۳/۷	۷۰/۹	۵۶/۸	۸۵/۳	۷۴/۴	۵۶/۳		ضریب تبیین (R <sup>2</sup> )

\*ns و \*\*: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۷. ضرایب همبستگی خطی بین صفات عملکرد دانه باقلا و شاخص‌های مقاومت به تنش خشکی

TOL	YSI	YI	GMP	MP	SSI	STI	Ys	Yn	عملکرد دانه در آبیاری نرمال دوساله =yn
									عملکرد دانه در تنش خشکی دوساله =ys
									شاخص تحمل به تنش =STI
									شاخص حساسیت به تنش =SSI
									میانگین بهره‌وری =MP
									میانگین هندسی =GMP
									شاخص عملکرد =YI
									شاخص پایداری عملکرد =YSI
									شاخص تحمل =TOL

\*\* . ns: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد



گزارش شده است (۴، ۱۱ و ۲۵).

تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها از نظر شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد دانه، بیانگر تنوع ژنتیکی و امکان انتخاب برای مقاومت به خشکی و دورگ‌گیری در مطالعات و برنامه‌های اصلاحی است. اشکانی (۲) در بررسی که روی ارقام گلرنگ بهاره در شرایط آبیاری محدود و مطلوب انجام داد، شاخص تحمل به تنش (STI)، میانگین هندسی بهره وری (GMP) و میانگین بهره‌وری (MP) را مناسب‌ترین شاخص کمی مقاومت به خشکی در انتخاب ارقام مقاوم به خشکی معرفی کرد. پژوهشگران دیگر نیز، شاخص‌های یاد شده را برای گزینش ژنوتیپ‌های (گندم و کلزا) متحمل به تنش تأیید کردند (۳۰ و ۳۱). هر چه مقدار این شاخص بالاتر باشد، ژنوتیپ پایدارتر و به خشکی مقاوم‌تر خواهد بود. در بررسی‌های دیگر برای گیاه گندم نیز این سه شاخص نسبت به سایر شاخص‌های تحمل به تنش برتر شناخته شدند (۹، ۲۸ و ۲۹).

### نتیجه‌گیری

این مطالعه به منظور ارزیابی تأثیر تنش خشکی بر ترکیبات بیوشیمیایی و شاخص‌های تحمل برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی باقلا انجام شد. طبق نتایج این آزمایش بین ژنوتیپ‌های باقلا از نظر کلیه صفات مورد بررسی اختلاف معنی‌دار وجود داشت که نشان‌دهنده تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های باقلا است. از نظر ترکیبات بیوشیمیایی (تانن آندوسپرم، تانن پوست، نشاسته) ژنوتیپ‌های G-faba-411، G-faba-20، G-faba-66 و G-faba-523 بالاترین مقادیر را نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارا بودند. بیشترین و کمترین شاخص STI به ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های G-faba-65 و G-faba-296 بیشترین و کمترین GMP به ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های G-faba-65 و G-faba-296 است. از نظر شاخص MP بیشترین و کمترین آن به ترتیب به ژنوتیپ‌های G-faba-65 و G-faba-401 متعلق داشت. از بین ۷ شاخص بررسی شده، شاخص‌های STI، MP و GMP به دلیل همبستگی بالا با

G-faba-65 با ۰/۷۳ بالاترین و پس از آن ژنوتیپ‌های G-faba-67، G-faba-66، G-faba-62 و G-faba-72، به ترتیب با ۰/۵۷، ۰/۵۶، ۰/۵۵ و ۰/۵۰ از بیشترین میزان تحمل به خشکی برخوردار بودند (جدول ۸). شیبانی‌راد و همکاران (۲۶) نیز معتقدند شاخص STI در انتخاب ژنوتیپ‌های گندم نان متحمل به تنش خشکی مناسب است. پژوهشگران دیگر نیز استفاده از شاخص STI را به عنوان مهم‌ترین شاخص‌ها معرفی کرده‌اند (۲۳). گروهی از پژوهشگران معتقدند شاخص تحمل به تنش به دلیل همبستگی بالای آن با عملکرد دانه نسبت به سایر شاخص‌ها در گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی موفق‌تر عمل می‌کند (۱ و ۴). مقادیر بالای شاخص STI برای یک ژنوتیپ حاکی از آن است که آن ژنوتیپ تحمل به تنش بالاتر و پتانسیل عملکرد بیشتری دارد (۲۲). ژنوتیپ‌های دارای مقادیر بالاتر شاخص‌های تحمل به تنش می‌توانند به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل‌تر در مقابل تنش کم‌آبی انتخاب شوند (۲۷).

از نظر شاخص GMP ژنوتیپ G-faba-65 و از نظر شاخص میانگین هندسی (MP) ژنوتیپ‌های G-faba-65 و پس از آن ژنوتیپ‌های G-faba-66 به دلیل برخوردار بودن از بیشترین MP به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ شناخته شدند. از نظر دو شاخص MP و GMP ژنوتیپ‌های G-faba-401، G-faba-335، G-faba-293، G-faba-296، G-faba-524، G-faba-411، G-faba-525 و G-faba-294 از جمله حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند (کمترین مقادیر). عملکرد ژنوتیپ‌های گفته شده در شرایط تنش خشکی به شدت کاهش یافت به طوری که کمترین عملکرد دانه را نسبت به سایر ژنوتیپ‌های باقلا تولید کردند. ژنوتیپ‌هایی که دارای مقادیر بالایی از نظر شاخص‌های MP، GMP و STI بودند عملکرد بالاتری نیز تولید کردند. با توجه به نتایج همبستگی و وجود رابطه قوی مثبت و معنی‌دار بین این شاخص‌ها با عملکرد دانه به نظر می‌رسد رابطه‌ای بین این شاخص‌ها وجود دارد که این امر می‌تواند به شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش منتهی شود. وجود رابطه بین عملکرد دانه و شاخص‌های ارزیابی مقاومت توسط پژوهشگران متعددی

جدول ۸. نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های باقلا برای صفات عملکرد دانه در شرایط عدم تنش و تنش خشکی (میانگین دوسال)، شاخص مقاومت به تنش خشکی (STI)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)

ژنوتیپ	عملکرد دانه در شرایط عدم تنش	عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی	STI	MP	GMP
G-faba-67	۴۸۷۶	۳۱۹۳	۰/۵۷	۶۴۷۳	۳۹۱۹
G-faba-66	۵۸۷۳	۲۷۳۴	۰/۵۶	۷۲۴۱	۳۹۲۸
G-faba-75	۵۰۷۲	۲۷۰۹	۰/۵۰	۶۴۲۶	۳۶۸۴
G-faba-72	۴۷۲۳	۲۳۱۳	۰/۴۰	۵۸۷۹	۳۲۹۶
G-faba-65	۶۴۱۰	۳۱۳۶	۰/۷۳	۷۹۷۸	۴۴۴۰/۴
G-faba-62	۵۵۷۳	۲۷۵۴	۰/۵۵	۶۹۵۰	۳۹۰۸
G-faba-61	۵۰۱۱	۲۱۸۵	۰/۳۹	۶۱۰۴	۳۲۹۸
G-faba-398	۵۰۵۲	۱۹۵۴	۰/۳۵	۶۰۲۹	۳۱۳۸
G-faba-411	۴۶۱۸	۱۹۲۱	۰/۳۲	۵۵۷۹	۲۹۴۶
G-faba-401	۴۲۵۱	۱۸۷۱	۰/۳۰	۵۱۸۷	۲۸۱۷
G-faba-335	۴۹۵۵	۱۸۱۲	۰/۳۳	۵۸۶۱	۲۹۷۵
G-faba-293	۵۰۵۷	۱۵۳۷	۰/۲۸	۵۸۲۶	۲۷۶۹
G-faba-294	۵۵۴۸	۱۸۸۱	۰/۳۶	۶۳۸۹	۳۱۹۹
G-faba-290	۵۱۲۱	۱۹۳۵	۰/۳۶	۶۰۸۹	۳۱۴۴
G-faba-292	۵۴۱۱	۱۶۵۵	۰/۳۲	۶۲۳۹	۲۹۸۹
G-faba-523	۵۲۸۲	۱۹۴۱	۰/۳۷	۶۲۵۳	۳۲۰۰
G-faba-524	۴۶۴۷	۱۸۴۷	۰/۳۱	۵۵۷۱	۲۹۲۵
G-faba-525	۵۴۶۶	۱۴۰۸	۰/۲۸	۶۱۶۹	۲۷۶۵
G-faba-520	۵۱۷۶	۱۸۴۱	۰/۳۵	۶۰۹۶	۳۰۸۴
G-faba-296	۴۷۱۳	۱۶۱۸	۰/۲۷	۵۵۲۲	۲۷۵۵
G-faba-20	۵۶۲۵	۱۴۰۲	۰/۲۹	۶۳۲۶	۲۸۰۸
LSD	۹۲۵	۶۲۹	۰/۱۰	۸۳۵	۴۲۲

401 حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها، نسبت به تنش خشکی هستند. بنابراین این ارقام می‌توانند به‌عنوان والدین مناسب برای تهیه جمعیت‌های ژنتیکی مناسب برای ترسیم نقشه ژنتیکی استفاده شوند. بدین ترتیب امکان شناسایی QTL‌های کنترل‌کننده صفات کمی مؤثر در تحمل خشکی فراهم خواهد شد. در مجموع از نتایج حاصل می‌توان در برنامه‌های به‌نژادی استفاده کرد و با ترکیب و انتخاب صفات مطلوب به اهداف مورد نظر دست یافت.

### سپاسگزاری

از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و مرکز تحقیقات و

عملکرد دانه در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی مناسب‌تر بودند و ژنوتیپ G-faba-65 به‌عنوان ژنوتیپ متحمل به تنش خشکی شناسایی شد. همچنین ژنوتیپ‌های G-faba-67، G-faba-66، G-faba-75، G-faba-65 و G-faba-62 در محیط تنش خشکی بالاترین عملکرد را نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها تولید کردند. ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی را می‌توان در اصلاح نباتات برای انتقال صفات تحمل خشکی به ارقام پر محصول و حساس به تنش استفاده کرد. در این مطالعه با توجه به شاخص‌های STI، MP و GMP و صفات بیوشیمیایی، ژنوتیپ G-faba-65 متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های G-faba-296 و G-faba-

آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان بذر بابت تهیه بذور تشکر و قدردانی می‌شود.  
ژنوتیپ‌ها و به جهت حمایتی که در طول اجرای طرح کردند،

### منابع مورد استفاده

1. Aliakbari, M., H. Razi and S. A. Kazemini. 2014. Evaluation of drought tolerance in rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars using drought tolerance Indices. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research* 2(3): 696-705.
2. Ashkani, J. 2002. Determination of drought tolerance in spring safflower cultivars (*Carthamus tinctorius*) and evaluation of several indices of drought resistance. MSc Thesis. Shiraz University. Shiraz, Iran. (In Farsi).
3. Ashraf, M. 2010. Inducing drought tolerance in plants: some recent advances. *Journal of Biotechnology Advances* 28: 169-183.
4. Beshagh, B., K. Sadat Esilan and P. Pezeshkpour. 2018. Evaluation of Faba bean genotypes using drought tolerance indices and multivariate statistical methods. *Journal of Crop Breeding* 10(27): 1-9. (In Farsi).
5. Bettaieb, I., I. Hamrouni-Sellami, S. Bourgou, F. Limam and B. Marzouk. 2010. Drought effects on polyphenol composition and antioxidant activities in aerial parts of *Salvia officinalis* L. *Acta Physiologiae Plantarum* 33(4): 1103-1111.
6. Blum, A. 1988. Plant Breeding for Stress Environments. CRC Press, Inc.
7. Bouslama, M. and W. T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybean. I: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science* 24: 933-937.
8. Burgoyne, T. W. and J. M. Hayes. 1998. Quantitative production of H<sub>2</sub> by pyrolysis of gas chromatographic effluents. *Analytical Chemistry* 70: 5136- 5141.
9. Ebrahimiyan, M., M. M. Majidi, A. Mirlohi and M. Gheysari. 2012. Drought-tolerance indices in a tall fescue population and its polycross progenies. *Crop and Pasture Science* 63: 360-369.
10. Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita and S. M. A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 185-212.
11. Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress Tolerance. Asian Vegetable Research and Development Centre, Taiwan.
12. Fischer, R. A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Crop and Pasture Science* 29(5): 897-912.
13. Gavuzzi, P., F. Rizza, M. Palumbo, R. G. Campaline, G. L. Ricciardi and B. Borghi. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science* 77: 523-531.
14. Hu, Y. Y., Y. L. Zhang, X. P. Yi, D. X. Zhan, H. H. Luo, W. S. Chow and W. F. Zhang. 2013. The relative contribution of non-foliar organs of cotton to yield and related physiological characteristics under water deficit. *Journal of Integrative Agricultural* 13: 975-988.
15. Khan, H. R., J. G. Paull, Kh. M. Siddique and F. L. Stoddard. 2010. Faba bean breeding for drought-affected environments. A physiological and agronomic perspective. *Field Crops Research* 115: 279-286.
16. Link, W., A. A. Abdelmula, E. Kittlitz, S. Bruns, H. Riemer and D. Stelling. 2008. Genotypic variation for drought tolerance in *Vicia faba* L. *Plant Breeding* 118. 477-484. Doi.10.1046/j.1439-0523.1999.00412.x.
17. Mahrookh, A., M. Nabipour, H. Roshanfekar Dezfoli and R. Choukan. 2018. The effects of auxine and cytokinin hormones on maize grain quality under drought stress condition. *Plant Ecophysiology* 27: 191-201.
18. Makkar, H. P. S., M. Blummel, N. K. Borowy and K. Becker. 1993. Gravimetric determination of tannins and their correlation with chemical and protein precipitation methods. *Journal of Science and Food Agriculture* 61: 161-165.
19. Mansour, E., E. M. Desoky, M. A. Ali, M. I. Abdul-Hamid, H. U. Ahmed Attia and A. Datta. 2021. Identifying drought-tolerant genotypes of faba bean and their agro-physiological responses to different water regimes in an arid Mediterranean environment. *Agricultural Water Management*, Available online at: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106754>. Accessed 14 January 2021.
20. Mirshekari, M., A. Einali and M. Valizadeh. 2017. Physiological and biochemical responses of *Hibiscus sabdariffa* to drought stress in the presence of salicylic acid. *Iranian Journal of Plant Biology* 23: 2-38. (In Farsi).
21. Muktedir, M. D., A. Adhikari, N. Kedar, A. Merchant, K. Belachew, Y. Vandenberg, A. Stoddard, L. Frederick and H. Khazaei. 2020. Physiological and biochemical basis of Faba bean breeding for drought adaptation. *Agronomy* 9: 1345.

22. Naser Gadimi, F., S. Jahanbakhsh, M. Gaffari and A. Ebadi. 2017. Evaluation of some agronomic traits and estimation of drought resistance indices for seed yield in sunflower inbred lines under with and without water stress. *Iranian Journal of Dryland Agriculture* 5: 225-239. (In Farsi).
23. Peighambri, S. A., M. Taleb Khani, H. R. Babaei and H. Alipour. 2017. Evaluation of tolerance to water deficit stress in diverse soybean genotypes. *Iranian Journal of Field Crop Science* 48(4): 933-943. (In Farsi).
24. Pessaraki, M. 1999. Hand Book of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker. Inc. New York.
25. Rosielle, A. A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science* 21: 943- 946.
26. Sheibanirad, A., E. Farshadfar and A. Najafi. 2015. Evaluation of drought stress tolerance in some bread wheat genotypes using drought tolerance indices. *Plant Ecophysiology* 9(31): 1-14. (In Farsi).
27. Singh, C., V. Kumar, I. Prasad, V. R. Patil and B. K. Rajkumar. 2016. Response of upland cotton (*G.hirsutum* L.) genotypes to drought stress using drought tolerance indices. *Journal of Crop Science Biotechnology* 19(1): 53-59.
28. Soorninia, F., M. Toorchi, M. Norouzi and M. R. Shakiba. 2012. Evaluation of Sunflower Inbred Lines under Drought Stress. *Universal Journal of Environmental Research and Technology* 2: 70-76.
29. Talebi, R., F. Fayaz and A. M. Naji. 2009. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *General and Applied Plant Physiology* 35: 64-74.
30. Teymouri, M., M. R. Ardakani, A. H. Shiranirad, M. Alavi Fazel and P. Nejatkhah Nanavi. 2020. Evaluation of drought tolerance indices of promising canola lines (*Brassica napus* L.) at changes in planting date. *Plant Ecophysiology* 43: 149-159. (In Farsi).
31. Yasir, T. A., X. Chen, L. Tian, A. G. Condon and Y. G. Hu. 2013. Screening of Chinese bread wheat genotypes under two water regimes by various drought tolerance indices. *Australian Journal of Crop Science* 7(13): 2015-2021.

## Evaluation of Drought Stress Tolerance in Some Faba Bean Genotypes Using Drought Tolerance Indices and Biochemical Compounds

M. Memari<sup>1</sup>, M. R. Dadashi<sup>2</sup>, F. Sheikh<sup>2, 3\*</sup> and H. Ajamnoruzi<sup>4</sup>

(Received: April 13-2020; Accepted: February 13-2021)

### Abstract

In this study, different genotypes of faba bean were evaluated for Tolerance index and biochemical compounds under drought stress. 21 Genotypes of faba bean were studied based on RCBD design with three replications in two irrigation treatments (including normal irrigation and drought stress) during two cropping years (2018-2019) at Gorgan Agricultural Research Station. Based on the potential ( $Y_p$ ) and stress ( $Y_s$ ) yields, drought tolerance including Stress Tolerance Index (STI), Tolerance Index (TOL), Stress Susceptibility index (SSI), Mean Productivity (MP), Geometric Mean Productivity (GMP), Yield Index (YI) and Yield Stability Index (YSI), stress Susceptibility Percentage Index (SSPI) were calculated for each genotype. According to data combined analysis, drought stress has significant effect on all studied traits. In drought stress, seed hull tannin, Endosperm tannin, and starch were 31.5, 19.7 and 1.96% more than normal conditions, respectively. Genotype×drought interaction showed the G-faba-66, G-faba-65, G-faba-62, G-faba-294, G-faba-292, G-faba-523, G-faba-525, and G-faba-20 genotypes in normal irrigation and the G-faba-67, G-faba-66, G-faba-75, G-faba-72, G-faba-65, and G-faba-62 genotypes in drought stress had the highest seed yield. G-faba-65 genotype showed the highest resistance to drought stress based on Tolerance index and biochemical compounds content.

**Keywords:** Geometric Mean Productivity (GMP), Legumes, Starch, Tannin, Tolerance Index (TOL).

1, 2, 4. PhD Student, Assistant professor and Associate Professor, Respectively, Department of Agriculture, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran.

3. Assistant Professor Crop and Horticultural Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: sheikhfatemeh@yahoo.com