تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد پانزدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۱

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3507.1867

مقاله پژوهشی

ارزیابی اکوتیپ‌های چاودار (*Secale cereale* L.) بومی ایران در شرایط تنش خشکی آخر فصل

شکیبا شاهمرادی[1*]، ویدا قطبی[1]

۱. استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
تحمل
شاخص تنش
علوفه
عملکرد
منابع ژنتیکی

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۰۴/۱۱

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹/۰۷/۰۷

تاریخ انتشار:
بهار ۱۴۰۱
۱۵(۱): ۱۹-۲۹

چکیده

به‌منظور بررسی تحمل به تنش خشکی در اکوتیپ‌های چاودار و شناسایی منابع ژنتیکی متحمل، تعداد ۹ اکوتیپ چاودار، به همراه رقم تجاری چاودار دانکو، مورد ارزیابی قرار گرفتند. تحمل به تنش خشکی در دو آزمایش جداگانه در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی متوالی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر ارزیابی شد. آزمایش نرمال تا پایان دوره رشد آبیاری شد، درحالی‌که آزمایش تنش تنها در دو مرحله کاشت و استقرار گیاه، آبیاری شد. صفات روز تا ظهور سنبله، روز تا گلدهی، سطح برگ‌پرچمی، عملکرد دانه، عملکرد علوفه، وزن هزار دانه و شاخص‌های تحمل به تنش در اکوتیپ‌ها ارزیابی شد. تجزیه واریانس مرکب صفات نشان داد، تیمار تنش خشکی اثر معنی‌داری بر صفات فنولوژیکی داشت و بر اساس مقایسات میانگین، باعث تسریع مراحل فنولوژیکی گیاه شد. از سوی دیگر صفات عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی نیز کاهش معنی-داری را تحت شرایط تنش خشکی نشان دادند (به ترتیب ۸۳/۲۹ و ۲۹/۶۶ درصد). نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، نشان داد در هر دو سال اکوتیپ‌هایی که دارای مقادیر پایین‌تری در صفت روز تا ظهور سنبله بودند و یا به‌عبارت‌دیگر زودرس‌تر بودند شاخص تحمل بالاتری داشتند. درمجموع نتایج نشان داد که اکوتیپ‌های شماره ۴ (KC13139)، 119 (TN06-243) و رقم دانکو نسبت به سایر اکوتیپ‌های چاودار تحمل بالاتری نسبت به تنش خشکی اعمال‌شده داشتند، لذا اکوتیپ‌های برتر این آزمایش بودند؛ بنابراین در راستای شناسایی و معرفی منابع ژنتیکی متحمل نسبت به تنش خشکی، می‌توان از اکوتیپ‌های مذکور جهت ارزیابی‌های تکمیلی و به‌کارگیری در برنامه‌های به‌نژادی بهره جست.

مقدمه

چاودار گیاهی علوفه‌ای و دانه‌ای از خانواده گندمیان (Poaceae) است و ارتباط نزدیکی با گندم و جو دارد. چاودار زراعی گیاهی یک‌ساله، دیپلوئید، روزبلند و بسیار حساس به طول روز است. پروتئین چاودار کمتر از گندم است (۶/۵ تا ۱۴/۵ درصد) و آرد آن تشکیل گلوتن حقیقی نمی‌دهد، لیکن دارای پروتئین‌هایی است که خاصیت تخمیر به خمیر آن می-دهد. علاوه بر این چاودار گیاه علوفه‌ای مناسبی برای چرای دام است که در دو مرحله پاییزه و بهاره قابل‌استفاده است (Wilson, 1955). دامنه وسیع سازگاری چاودار و توانایی رشد و بازدهی بالا در همه شرایط حتی در خاک‌های فقیر باعث شده است تا امکان بهره‌برداری از اراضی غیر حاصلخیز و ماسه‌ای نامناسب برای سایر غلات فراهم گردد (Tajbakhsh and Poormirza, 2003).

سطح زیر کشت گیاه چاودار در جهان ۴ میلیون هکتار است و سه کشور روسیه، لهستان و آلمان بیشترین سطح زیر کشت و بالاترین میزان تولید این گیاه را به خود اختصاص داده‌اند (FAO, 2018). در کشور ایران در طی سال‌های اخیر کشت چاودار به‌شدت کاهش یافته است به‌طوری‌که از سطح ۳۵۰۰ هکتار در سال ۱۳۷۰ به ۵۵۶ هکتار در سال ۱۳۹۸

* نگارنده پاسخگو: شکیبا شاهمرادی. پست الکترونیک: shakibashahmoradi@gmail.com

تقلیل یافته است (FAO, 2018). این امر لزوم توجه بیشتر به این گیاه دارای قابلیت سازگاری بالا را یادآوری می‌کند.

خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که عملکرد را در نواحی خشک و نیمه‌خشک، کاهش می‌دهد. گیاهان با تغییر فرآیندهای فیزیولوژیکی کلیدی نظیر فتوسنتز، تنفس، نسبت‌های آبی گیاه، متابولیسم آنتی‌اکسیدان‌ها و هورمون‌ها، با تنش خشکی سازگار می‌شوند. غلات استراتژی‌های خاصی را برای تطابق و سازگاری با تنش خشکی از خود نشان می‌دهند که از صفات ساده مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی که به‌عنوان نشانگر تنش محسوب می‌شوند تا تحولات اساسی در بیان ژن را شامل می‌شود (Schlegel, 2014).

چاودار در خاک‌های ماسه‌ای غیر حاصلخیز با زهکشی پایین پتانسیل عملکرد بالاتری نسبت به گندم دارد. این در حالی است که در خاک‌هایی با حاصلخیزی متوسط و بالا، عملکرد گندم بالاتر است (Schlegel, 2014). بنابراین چاودار اغلب در زمین‌های حاشیه‌ای با حاصلخیزی پایین که سایر غلات قابلیت رشد در آن را ندارند، کشت می‌شود (Miedaner et al., 2012). این گیاه به‌عنوان متحمل‌ترین غله نسبت به تنش خشکی شناخته شده است و علت آن سیستم ریشه‌ای گسترده و منشعب آن است که جذب آب را به‌طور مؤثرتری انجام می‌دهد (Schlegel, 2014; Starzycki, 1976). علاوه بر این، چاودار به ازای واحد وزن خشک، ۲۰ تا ۳۰ درصد آب کمتری نسبت به گندم مصرف می‌کند (Starzycki, 1976).

ارزیابی تنوع ژنتیکی در نمونه‌های چاودار بومی در تحقیقات قبلی (Person and Bothmer, 2002) نشان داده است که تنوع ژنتیکی بالایی در نمونه‌های چاودار وجود دارد که می‌تواند سازگاری بالای این گیاه را در شرایط نامساعد محیطی توجیه کند. ارزیابی صفات زراعی و مورفولوژیکی و بررسی تنوع ژنتیکی در اکوتیپ‌های چاودار کلکسیون ژرم‌پلاسم بانک ژن گیاهی ملی ایران (Shahmoradi, 2010; Shahmoradi and Mozafari, 2016) نشان‌دهنده دامنه وسیع تنوع صفات مورفولوژیکی، فنولوژیکی و زراعی در این منابع بود که احتمال می‌رود ناشی از تفاوت‌های اقلیمی در زیستگاه اصلی آن‌ها بوده و حاصل از سیر تکاملی آن‌ها در طی سال‌ها باشد.

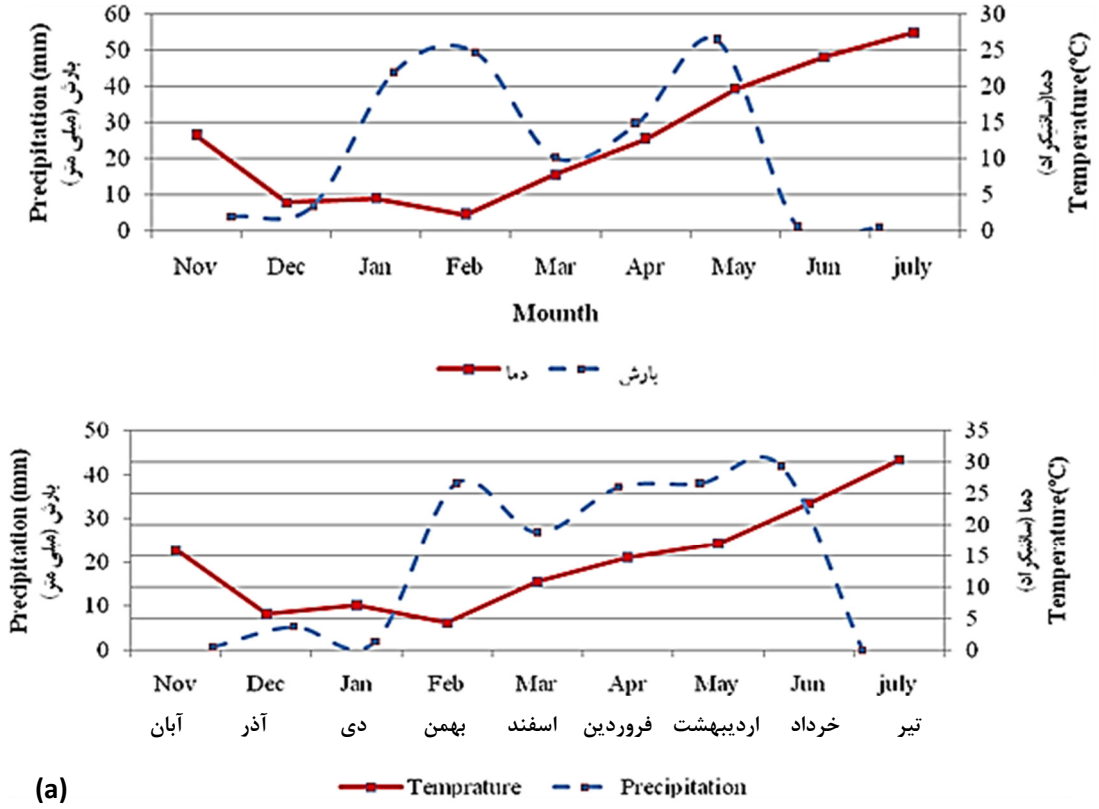
بررسی تعدادی از اکوتیپ‌های چاودار، در شرایط تنش خشکی (Shahmoradi, 2019)، نشان داد تیمار تنش خشکی باعث تسریع مراحل فنولوژیکی گیاه شد. اگرچه تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار در صفت وزن صد دانه و عملکرد دانه در اغلب اکوتیپ‌های موردبررسی شد اما میزان افت عملکرد در برخی ژنوتیپ‌ها به‌طور معنی‌داری کمتر بود.

ازآنجاکه چاودار گیاهی بومی ایران است، لذا پیش‌بینی می‌شود که اکوتیپ‌های آن منابع ژنتیکی ارزشمندی برای سازگاری نسبت شرایط اقلیمی این منطقه باشند. با توجه به نتایج ارزیابی‌های قبلی مبنی قابلیت سازگاری بالا در این گیاه، این تحقیق با هدف تعیین اثرات تنش خشکی بر عملکرد دانه و علوفه در اکوتیپ‌های چاودار زمستانه در مقایسه با رقم تجاری دانکو و بررسی ارتباط احتمالی صفات مورد ارزیابی و تحمل به تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش تعداد ۹ اکوتیپ از کلکسیون ژرم‌پلاسم چاودار در بانک ژن گیاهی ملی ایران، بر اساس پتانسیل عملکرد انتخاب شدند (Shahmoradi and Mozafari, 2016) و به همراه تنها رقم تجاری چاودار دانکو (با مبدأ آلمان) که سازگار با اقلیم البرز است، ازنظر میزان تحمل نسبت به تنش خشکی مورد ارزیابی قرار گرفتند (جدول ۱). تحقیق با اجرای دو آزمایش جداگانه در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی ۹۶-۹۵ و ۹۷-۹۶ در مزرعه تحقیقاتی بخش ژنتیک موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در کرج اجرا شد. اطلاعات مربوط به ویژگی‌های خاک مزرعه تحقیقاتی (جدول ۲) و روند دما و بارندگی در ماه‌های مختلف سال‌های زراعی در کرج (شکل ۱) نشان داده شده است.

اکوتیپ‌ها در کرت‌هایی شامل ۴ خط سه متری به‌صورت دستی کشت‌شده در دو آزمایش جداگانه شامل نرمال و قطع آبیاری پس از استقرار گیاه، مورد ارزیابی قرار گرفتند. در آزمایش آبیاری بهینه اکوتیپ‌ها بر اساس نیاز آبی تا پایان دوره رشد آبیاری شدند، درحالی‌که اکوتیپ‌های آزمایش تنش خشکی تنها در دو مرحله کاشت و استقرار گیاه، آبیاری شدند. آغاز مرحله ساقه رفتن (Z30) به‌عنوان زمان مناسب برای برداشت علوفه در نظر گرفته شد تا حداکثر علوفه بدون آسیب به جوانه‌های سنبله به دست آید (Kottmann et al., 2013). عملکرد علوفه و دانه از یک مترمربع بخش وسطی از دو خط میانی کرت برداشت شد.



شکل ۱. روند تغییرات دما و بارندگی در ماه‌های مختلف سال‌های زراعی ۹۶-۱۳۹۵ (a) و ۹۷-۱۳۹۶ (b) در کرج

Fig. 1. Pattern of temperature and precipitation change in 2016-2017(a) 2017-2018 (b) cropping season in Karaj

جدول ۱. اطلاعات مربوط به اکوتیپ‌ها و ارقام موردبررسی در آزمایش تنش خشکی

Table1. Information of rye ecotypes evaluated in drought stress experiment

شماره Number	اکوتیپ/ رقم Ecotype/Cultivar	شماره بانک ژن TN	استان province	کشور Origin
1	4	110026	Unknown	Iran
2	19	110072	Unknown	Iran
3	26	110085	Unknown	Iran
4	35	KC13139	Unknown	Iran
5	40	TN06-3	Fars	Iran
6	46	TN06-22	Azarbaijan Sharghi	Iran
7	78	TN06-91	Azarbaijan Sharghi	Iran
8	108	TN06-220	Kerman	Iran
9	119	TN06-243	Hamedan	Iran
10	Danko	-		-

جدول ۲. نتایج آزمون تجزیه خاک مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (کرج)

Table 2. Soil analysis results for research field of Seed and Plant Improvement Institute (Karaj)

عمق depth	هدایت الکتریکی EC	pH	کربن آلی OC	فسفر P	پتاس K	بافت Texture	K^+	Na^+	Mg^{++}	Ca^{++}	SO_4^{--}	Cl^-	HCO_3^-	SAR
cm	$dS.m^{-1}$		٪	----$mg.kg^{-1}$-----			---------- $meq.l^{-1}$ ----------							
0-30	1.26	8.5	0.47	5.29	228	C.L	0.03	3.4	3.3	6.3	3.6	5.3	3.7	1.55

صفات اندازه‌گیری شده شامل برخی از صفات زراعی، فنولوژیکی و مورفولوژیکی روز تا ظهور سنبله، روز تا گلدهی، سطح برگ پرچم، عملکرد دانه، عملکرد علوفه و وزن هزار دانه بود. قبل از انجام تجزیه‌های آماری ابتدا نرمال بودن خطاهای آزمایشی با آزمون کلموگروف-اسمیرنوف و همگن بودن واریانس‌ها بررسی شد. به‌منظور بررسی واکنش اکوتیپ‌ها در دو سال و در دو شرایط تنش و آبیاری بهینه (به‌عنوان مکان)، تجزیه واریانس مرکب صورت گرفت و سال به‌عنوان عامل تصادفی و مکان به‌عنوان عامل ثابت در نظر گرفته شد. مقایسه میانگین صفات به روش LSD، با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام شد. همبستگی صفات مورد ارزیابی قرار گرفت و به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر داده‌ها و تفسیر بهتر نتایج، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، به‌وسیله نرم‌افزار Stat Graphics plus 2.1 انجام شد. با استفاده از شاخص‌های حساسیت و تحمل تنش (Fernandez, 1992)، واکنش اکوتیپ‌ها نسبت به تنش اعمال‌شده بررسی گردید. به‌منظور گزینش اکوتیپ‌های متحمل به خشکی و با عملکرد بالا در هر دو محیط تنش و محیط بدون تنش، نمودار سه‌بعدی ترسیم گردید.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب داده‌های صفات فنولوژیکی، مورفولوژیکی و زراعی در اکوتیپ‌های چاودار مورد ارزیابی در دو سال زراعی و دو شرایط آبیاری بهینه و تنش خشکی نشان داد اثر تیمار تنش خشکی بر همه صفات به‌جز صفت سطح برگ پرچم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول ۳. تجزیه واریانس مرکب صفات در اکوتیپ‌های چاودار در دو سال زراعی و در شرایط تنش خشکی و بدون تنش

Table3. Combined analysis of variance for traits in rye ecotypes in two growing seasons under normal and stress conditions

منابع تغییر S.O.V	d.f درجه آزادی	روز تا ظهور سنبله Days to Heading	روز تا گلدهی Days to flowering	سطح برگ پرچم Flag leaf area	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield	وزن هزار دانه 1000 Grain weight	عملکرد دانه Grain yield
سال Year (Y)	1	1470**	1366.87**	1647158**	1002081.1**	4.88*	626716.8**
تنش خشکی Drought (D)	1	83.33^{ns}	60.21^{ns}	107249.1^{ns}	868203.7^{ns}	46.16^{ns}	1678284.4*
سال×تنش خشکی Y * D	1	2.7^{ns}	81.67**	96657.8^{ns}	6298.62^{ns}	25.49**	2864.564^{ns}
تکرار (سال× تنش) Rep (Y * D)	8	2.83	5.83	35676.6	25554.45	0.49	2313.8
اکوتیپ Ecotype (E)	9	40.33**	57.88^{ns}	70071.24^{ns}	13215.06^{ns}	0.76^{ns}	8751.8^{ns}
اکوتیپ * سال E * Y	9	4.70^{ns}	18.97**	35724.88^{ns}	20810.97^{ns}	0.46**	6833.1**
اکوتیپ×تنش خشکی E * D	9	5.52^{ns}	7.37^{ns}	19084.72^{ns}	14506.43^{ns}	0.09^{ns}	2663.5^{ns}
سال*تنش*اکوتیپ Y * D * E	9	4.99^{ns}	10.21*	35111.55^{ns}	19618.69^{ns}	0.09^{ns}	1215.02^{ns}
خطا Error	72	6.87	3.95	20018.6	10475.6	0.11	1942.02
ضریب تغییرات CV%		*1.67*	*1.18*	*15.19*	*16.9*	*8.58*	*13.03*

**and* significant at the 1% and 5% probability levels, respectively. ** و* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

اثر عامل سال بر همه صفات مورد ارزیابی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. درحالی‌که اثر متقابل این دو عامل در صفت روز تا گلدهی و صفات زراعی وزن هزار دانه و عملکرد دانه معنی‌دار شد. عامل اکوتیپ اثر معنی‌داری بر صفت روز تا ظهور سنبله نشان داد که در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل سال و اکوتیپ نیز اثر معنی-داری بر صفات روز تا گلدهی و عملکرد دانه نشان داد که در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. این امر نشان می‌دهد در سال‌های مختلف اکوتیپ‌ها ازنظر عملکرد دانه واکنش متفاوتی نشان دادند. لذا به نظر می‌رسد که تغییرات عوامل اقلیمی در هرسال می‌تواند اثرات معنی‌داری بر صفات زراعی اکوتیپ‌های چاودار داشته باشد. اثر متقابل اکوتیپ و تنش و اثر متقابل سه‌گانه سال، تنش و اکوتیپ بر صفات معنی‌دار نشد. مقایسه میانگین صفات در شرایط آبیاری بهینه و تنش خشکی بر اساس آزمون LSD (جدول ۴)، نشان داد که صفت فنولوژیکی روز تا ظهور سنبله در اثر تنش خشکی کاهش معنی‌داری یافت و تیمار تنش خشکی باعث تسریع مراحل فنولوژیکی (روز تا ظهور سنبله و روز تا گلدهی) گیاه شد.

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی در اکوتیپ‌های چاودار در دو سال زراعی تحت تنش خشکی و آبیاری بهینه(LSD ۵٪)

Table 4. Mean comparison of traits in rye ecotypes in 2 years study under drought and normal condition (LSD 5%)

Condition	شرایط	روز تا ظهور سنبله Days to Heading	عملکرد علوفه خشک Dry Forage yield	وزن هزار دانه 1000 Grain weight	عملکرد دانه yield Grain
		kg/ha	g	kg/ha	
Normal	**نرمال**	157.48	5735.5	44.59	4040.1
Drought	**تنش خشکی**	155.51	4034.3	32.19	674.8
LSD		*17.03*	*1007.9*	*52.3*	*554.9*

نتایج این تحقیق نشان داد که تیمار تنش خشکی باعث تسریع در آغاز دوره زایشی در مقایسه با شرایط رطوبتی نرمال شد که به نظر علت آن تغییرات فیزیولوژیکی ناشی از تنش خشکی و تأثیرات آن در نمو گیاه باشد. از سوی دیگر صفات زراعی عملکرد علوفه، عملکرد دانه و وزن هزار دانه کاهش معنی‌داری را در شرایط تنش خشکی نشان داد.

با توجه به ماهیت پیچیده تحمل به خشکی و تأثیر عوامل مختلف در آن، قضاوت پیرامون ژنوتیپ‌ها بر اساس یک صفت مشکل بوده و گاهی با نتایج متناقض همراه است، بنابراین با استفاده از ضرایب همبستگی بین صفات در شرایط آبی و تنش و شاخص‌های کمی تحمل به خشکی، می‌توان شاخص-های مناسب را تعیین کرد (Farshadfar et al., 2001). همبستگی میان صفت مورد ارزیابی و شاخص‌های تنش به-طور جداگانه برای شرایط آبیاری بهینه و تنش خشکی در سال‌های اول و دوم آزمایش مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۵ و ۶). در سال اول آزمایش، در شرایط آبیاری بهینه صفت عملکرد دانه با هیچ‌یک از صفات همبستگی معنی‌داری نشان نداد (جدول ۵ بالای قطر)، اما در شرایط تنش خشکی این صفت با صفات سطح برگ پرچم و وزن هزار دانه همبستگی معنی‌داری در سطح احتمال ۵درصد نشان داد (جدول ۵ پایین قطر) بررسی ضرایب همبستگی میان عملکرد در شرایط نرمال و تنش با شاخص‌های تنش: MP، TOL، GMP و STI در سال اول (جدول ۵) نشان داد در شرایط نرمال همبستگی عملکرد با شاخص میانگین عملکرد (MP) و تحمل (TOL) در سطح احتمال ۱ درصد و با شاخص تحمل تنش (STI) و میانگین هندسی عملکرد (GMP) در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود، این در حالی است که در شرایط تنش عملکرد تنها با شاخص تحمل تنش (STI) و میانگین هندسی عملکرد (GMP) همبستگی معنی‌دار نشان داد. ضرایب همبستگی میان شاخص‌های تحمل به تنش با صفات مورد ارزیابی در دو شرایط رطوبتی آبیاری بهینه و تنش خشکی در سال دوم آزمایش در جدول ۶، نشان داد صفت عملکرد دانه در شرایط نرمال بالاترین ضریب همبستگی را با دو شاخص میانگین عملکرد (MP) و شاخص تحمل تنش (STI) در سطح احتمال ۱ درصد داشت. این در حالی است که در شرایط تنش خشکی، بالاترین ضریب همبستگی عملکرد با دو شاخص تحمل تنش (STI) و شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP) در سطح احتمال ۱ درصد مشاهده شد.

جدول ۵. ضرایب همبستگی صفات در شرایط آبیاری بهینه (بالای قطر) و تنش خشکی (پایین قطر) در سال اول بر اساس روش پیرسون

Table 5. Correlation coefficients of traits in normal (above diagonal) and stress condition (below diagonal) in first year

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	روز تا ظهور سنبله Days to Heading	1	0.809**	-0.008	-0.010	-0.704*	0.429	0.192	0.639*	-0.402	-0.375
2	روز تا گلدهی Days to Flowering	-0.130	1	0.237	0.135	-0.828**	0.300	0.054	0.537	-0.506	-0.462
3	سطح برگ پرچم Leaf area	-0.454	0.654*	1	0.886**	0.017	0.564	0.567	0.487	0.326	0.375
4	عملکرد علوفه خشک Dry Forage Yield	-0.368	-0.263	0.024	1	0.092	0.349	0.384	0.266	0.283	0.320
5	وزن هزار دانه Grain Weight	-0.568	-0.166	0.248	0.901**	1	-0.255	-0.102	-0.393	0.272	0.245
6	عملکرد دانه Grain yield	-0.493	0.337	0.716*	0.594	0.703*	1	0.946**	0.932**	0.636*	0.675*
7	میانگین عملکرد Mean Productivity	0.189	0.371	0.593	-0.186	-0.105	0.482	1	0.763*	0.704*	0.734*
8	تحمل Tolerance	0.576	0.166	0.135	-0.646*	-0.636*	-0.198	0.763*	1	0.080	0.123
9	میانگین هندسی عملکرد Geometric MeanProductivity	-0.361	0.418	0.769**	0.409	0.516	0.959**	0.703*	0.079	1	0.99**
10	شاخص تحمل تنش Stress Tolerance Index	-0.308	0.395	0.760*	0.409	0.534	0.950**	0.725*	0.111	0.993**	1

** و* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ .*and* significant at the 1% and 5% probability levels, respectively

جدول ۶. ضرایب همبستگی صفات در شرایط آبیاری بهینه (بالای قطر) و تنش خشکی (پایین قطر) در سال دوم بر اساس روش پیرسون

Table6. Correlation coefficients of traits in normal (above diagonal) and stress condition (below diagonal) in second year using Pearson method

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	روز تا ظهور سنبله Days to Heading	1	0.776**	0.387	-0.195	-0.098	0.070	-0.087	0.383	-0.126	-0.113
2	روز تا گلدهی Days to Flowering	-0.126	1	0.339	0.008	0.309	0.380	0.249	0.464	0.210	0.239
3	سطح برگ پرچم Leaf area	-0.054	0.686*	1	0.372	0.080	-0.109	-0.246	0.257	-0.269	-0.275
4	عملکرد علوفه خشک Dry Forage Yield	0.033	-0.769**	-0.376	1	-0.314	-0.340	-0.259	-0.335	-0.228	-0.258
5	وزن هزار دانه Grain Weight	0.084	-0.352	0.156	0.806**	1	0.682*	0.606	0.478	0.578	0.616
6	عملکرد دانه Grain yield	-0.248	-0.506	-0.662*	0.304	-0.026	1	0.934**	0.601	0.896**	0.914**
7	میانگین عملکرد Mean Productivity	-0.038	-0.674*	-0.616	0.529	0.267	0.898**	1	0.275	0.996**	0.997**
8	تحمل Tolerance	0.456	-0.402	0.069	0.517	0.651*	-0.177	0.275	1	0.185	0.227
9	میانگین هندسی عملکرد Geometric mean productivity	-0.101	-0.647*	-0.628	0.486	0.205	0.944**	0.992**	0.155	1	0.997**
10	شاخص تحمل تنش Stress Tolerance Index	-0.079	-0.678*	-0.644*	0.536	0.257	0.923**	0.996**	0.211	0.996**	1

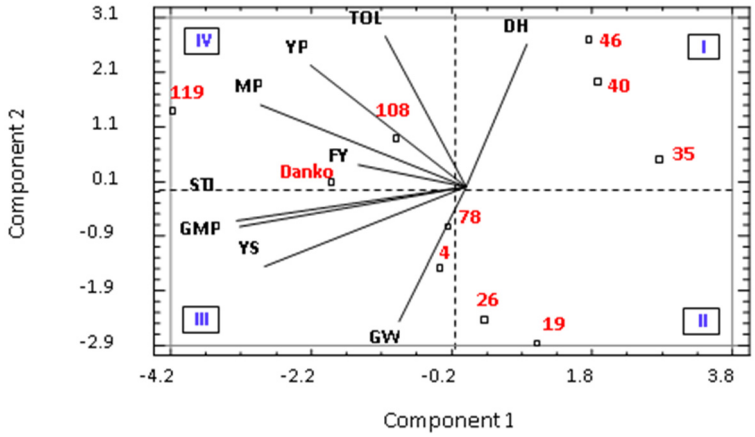
** و* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ .**and* significant at the 1% and 5% probability levels, respectively

بنابراین بر اساس نظر فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص STI بهترین معیار برای مقایسه اکوتیپ‌ها در این آزمایش شناخته شد.

ازآنجاکه در تجزیه واریانس اثر متقابل سال و اکوتیپ در صفت عملکرد دانه معنی‌دار شده است، لذا به نظر می‌رسد در سال‌های مختلف واکنش اکوتیپ‌ها ازنظر میزان تولید عملکرد متفاوت بود، لذا به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر داده‌ها و بررسی ارتباط میان شاخص‌های تنش و صفات مورد ارزیابی، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در هرسال به‌طور جداگانه صورت گرفت. بررسی اطلاعات هواشناسی (شکل ۱) نشان می‌دهد که افت نمودار بارندگی در سال اول در اواخر اردیبهشت‌ماه و در سال دوم آزمایش در اواخر خردادماه اتفاق افتاده است. این امر نشان داد که در سال اول، وقوع تنش خشکی آخر فصل زودتر حادث شده است لذا شدت تنش خشکی بیشتری بر نمونه‌ها اعمال شده است. محاسبات شاخص شدت تنش (SI) نیز نشان داد، شدت تنش در سال اول ۰/۸۶ و در سال دوم آزمایش ۰/۴۵ بود لذا در سال اول تنش خشکی شدیدتر بود.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده از اجرای آزمایش در سال اول (جدول ۷) نشان داد که دو مؤلفه در تشکیل ماتریس ضرایب شرکت کردند که درمجموع ۸۴/۱۱ درصد از کل واریانس موجود در صفات موردبررسی را توجیه کردند. در مؤلفه اول که ۴۶/۳۷ درصد از تغییرات مشاهده‌شده را به خود اختصاص داد، شاخص تحمل تنش (STI) و میانگین هندسی عملکرد (GMP)، عملکرد دانه در تنش (YS) و میانگین عملکرد (MP) بزرگ‌ترین ضرایب را با علامت منفی داشتند (جدول ۷). مؤلفه دوم با واریانس ۳۷/۷۳٪ بزرگ‌ترین ضرایب را به صفت فنولوژیکی تعداد روز تا ظهور سنبله و تحمل تنش (TOL) (با علامت مثبت) اختصاص داد. با توجه به ضریب بالای پتانسیل عملکرد و شاخص تحمل تنش در مؤلفه اول درمجموع می‌توان نتیجه گرفت که در این سال از آزمایش، اکوتیپ‌هایی که دارای مقادیر کوچک‌تر در مؤلفه اول باشند، اکوتیپ‌های متحمل و پرمحصول‌تر نسبت به سایر اکوتیپ‌ها هستند.

مؤلفه اول و دوم درمجموع ۸۴/۱۱ درصد از واریانس را توجیه می‌کنند. نمودار بای‌پلات مؤلفه‌های اصلی اول و دوم بر اساس صفات مورد ارزیابی و شاخص تحمل تنش در سال اول آزمایش (شکل ۲) نشان می‌دهد، صفات عملکرد دانه در شرایط بدون تنش، میانگین عملکرد (MP) به همراه شاخص تحمل تنش (STI) و میانگین هندسی عملکرد (GMP) که دارای بالاترین ضرایب در مؤلفه اول می‌باشند، زاویه تندی با یکدیگر تشکیل داده‌اند که نشان‌دهنده ارتباط نزدیک این صفات با شاخص تحمل تنش است. اکوتیپ‌هایی که در نمودار، نزدیک بردارهای شاخص تحمل تنش قرارگرفته‌اند، دارای عملکرد بالاتری در تنش خشکی می‌باشند، لذا اکوتیپ‌های شماره ۴، شماره ۱۰۸، رقم دانکو و شماره ۱۱۹ که در ربع سوم و چهارم نمودار قرار دارند در این سال نسبت به سایر اکوتیپ‌ها، برتری دارند.



شکل ۲. نمودار بای‌پلات دو مؤلفه اصلی برای صفات مورد ارزیابی و شاخص‌های تنش در اکوتیپ‌های چاودار در شرایط تنش خشکی در سال اول آزمایش (STI: شاخص تحمل تنش؛ GMP: میانگین هندسی عملکرد؛ FY: عملکرد علوفه؛ YP: عملکرد دانه در شرایط بدون تنش؛ YS: عملکرد دانه در شرایط تنش؛ DS: تعداد روز تا ظهور سنبله؛ GW: وزن هزار دانه)

Fig.2. Bi-plot of first two principal components for characters and stress indices in rye ecotypes in water stress condition in first year (STI: stress tolerance index, GMP: geometric mean productivity, TOL: Tolerance, MP: Mean productivity, FY: Forage yield, YS: Stress grain yield, YP: Non stress grain yield, DH: days to Heading GW: Grain weight)

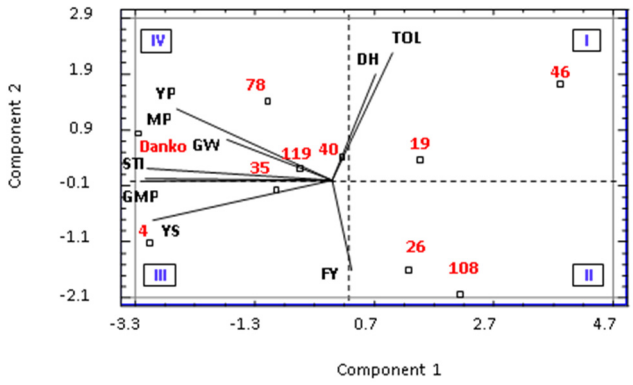
جدول ۷. مقادیر ویژه، واریانس نسبی و ضرایب متغیرها برای دو مؤلفه اصلی در اکوتیپ‌های چاودار در شرایط تنش خشکی سال اول

Table 7. Eigen values, relative variance and coefficients of principle components in rye ecotypes under water stress condition in first year

Traits	صفات	Component 1	Component 2
Days to Heading	روز تا ظهور سنبله	0.1249	0.4687
Forage Yield	عملکرد علوفه	-0.2208	-0.0731
Grain Weight	وزن هزار دانه	-0.1361	-0.4443
Stress Grain Yield	عملکرد دانه در تنش	-0.4139	-0.2615
Non stress Grain Yield	عملکرد دانه بدون تنش	-0.3199	0.4011
Mean Productivity	میانگین عملکرد	-0.4209	0.2705
Tolerance	تحمل	-0.1656	0.4954
Geometric Mean Productivity	میانگین هندسی عملکرد	-0.4648	-0.1310
Stress Tolerance Index	شاخص تحمل تنش	-0.4717	-0.1105
Eigenvalue	مقادیر ویژه	4.17	3.39
Percent of Variance	واریانس نسبی	46.37	37.73
Cumulative Percentage	واریانس تجمعی	46.37	84.11

در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در سال دوم آزمایش (جدول ۸)، سه مؤلفه در تشکیل ماتریس ضرایب شرکت کردند که درمجموع ۸۵/۵۵ درصد از واریانس صفات را توجیه می‌کنند. در مؤلفه اول که ۵۵/۸۵ درصد از تغییرات مشاهده‌شده را به خود اختصاص داده، شاخص تحمل تنش (STI) و میانگین هندسی عملکرد (GMP)، عملکرد دانه در تنش (YS) میانگین عملکرد (MP) بزرگ‌ترین ضرایب را با علامت منفی دارند (جدول ۸). مؤلفه دوم با واریانس ۱۷/۲۳٪ بزرگ‌ترین ضرایب را به صفت فنولوژیکی تعداد روز تا ظهور سنبله و تحمل تنش (TOL) اختصاص داده است. بزرگ‌ترین ضریب در مؤلفه سوم، صفت عملکرد علوفه است. با توجه به ضریب بالای پتانسیل عملکرد و شاخص تحمل تنش در مؤلفه اول، درمجموع می‌توان نتیجه گرفت که در این سال از آزمایش، اکوتیپ‌های که دارای مقادیر منفی‌تر در مؤلفه اول بودند، اکوتیپ‌های متحمل و پرمحصول‌تر نسبت به سایر اکوتیپ‌ها هستند.

نمودار دوبعدی بای‌پلات به‌منظور بررسی مؤلفه‌های اصلی اول و دوم درمجموع ۷۳/۰۹ درصد واریانس را توجیه می‌کنند در سال دوم در شکل ۳ نشان داده‌شده است.



شکل ۳. نمودار بای‌پلات دو مؤلفه اصلی برای صفات مورد ارزیابی و شاخص‌های تنش در اکوتیپ‌های چاودار در شرایط تنش خشکی در سال دوم آزمایش (STI: شاخص تحمل تنش GMP: میانگین هندسی عملکرد FY: عملکرد علوفه YP: عملکرد دانه در شرایط بدون تنش YS: عملکرد دانه در شرایط تنش DS: تعداد روز تا ظهور سنبله GW: وزن هزار دانه)

Fig. 3. Bi-plot of first two principal components for characters and stress indices in rye ecotypes in water stress condition in second year (STI: Stress tolerance index, GMP: geometric mean productivity, TOL: Tolerance, MP: Mean productivity, FY: Forage yield, YS :Stress grain yield, YP :Non stress grain yield, DH: days to Heading GW: Grain weight)

جدول ۸. مقادیر ویژه، واریانس نسبی و ضرایب متغیرها در سه مؤلفه اصلی در اکوتیپ‌های چاودار در شرایط تنش خشکی سال دوم

Table 8. Eigen values, relative variance and coefficients of principle components in rye ecotypes under water stress condition in second year

		Components مؤلفه		
Traits	صفات	1	2	3
Days to Heading	روز تا ظهور سنبله	0.1031	0.5043	-0.1998
Forage Yield	عملکرد علوفه	0.0463	-0.4308	0.5735
Grain Weight	وزن هزار دانه	-0.2510	-0.1945	-0.4845
Stress Grain Yield	عملکرد دانه در تنش	-0.4257	0.1916	-0.0979
Non stress Grain Yield	عملکرد دانه بدون تنش	-0.3681	0.3404	0.3465
Mean Productivity	میانگین عملکرد	-0.4404	0.0580	0.1170
Tolerance	تحمل	0.1426	0.6050	0.4935
Geometric mean productivity	میانگین هندسی عملکرد	-0.4430	-0.0054	0.0707
Stress Tolerance Index	شاخص تحمل تنش	-0.4436	0.0060	0.0658
Eigenvalue	مقادیر ویژه	5.02	1.59	1.12
Percent of Variance	واریانس نسبی	55.85	17.23	2.40
Cumulative Percentage	واریانس تجمعی	55.85	73.09	85.55

اکوتیپ‌هایی که در نمودار نزدیک بردارهای شاخص تحمل تنش قرارگرفته‌اند، دارای عملکرد بالاتری در تنش خشکی می‌باشند، لذا اکوتیپ‌های شماره ۴۰، ۷۸، ۱۱۹، ۳۵، ۴ و رقم دانکو که در ربع سوم و چهارم نمودار قرار دارند در این سال نسبت به سایر اکوتیپ‌ها، برتری دارند. درمجموع نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در هر دو سال آزمایش نشان داد که صفات زراعی در مؤلفه اول بزرگ‌ترین ضرایب را داشتند و در مؤلفه دوم صفت فنولوژیکی روز تا ظهور سنبله و تحمل (TOL) بیشترین ضریب را به خود اختصاص دادند، لذا این نتایج ارتباط نزدیک صفت روز تا ظهور سنبله را با این شاخص نشان می‌دهد. در هر دو سال اکوتیپ‌های شماره ۴، ۱۱۹ و رقم دانکو برتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند.

درمجموع بررسی نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و ارزیابی موقعیت بردارهای صفات نسبت به هم (شکل‌های ۲ و ۳) نشان می‌دهد که در هردو سال بردارهای شاخص تحمل تنش در ربع مقابل صفت فنولوژیکی روز تا ظهور سنبله قرار گرفته است. لذا در هردو سال اکوتیپ‌هایی که دارای مقادیر پایین‌تری در صفت روز تا ظهور سنبله بودند و یا به‌عبارت‌دیگر زودرس‌تر بودند شاخص تحمل بالاتری داشتند. مقایسه اطلاعات هواشناسی شاخص شدت تنش (SI) در سال اول و دوم آزمایش و بررسی واکنش اکوتیپ‌های چاودار نسبت به تنش خشکی در این دو سال نشان می‌دهد که در سال اول آزمایش که تنش خشکی شدیدتری اعمال شده بود اکوتیپ شماره ۱۱۹ نسبت به رقم دانکو برتری داشت. درحالی‌که در سال دوم آزمایش که شدت تنش ملایم‌تر بود، رقم دانکو عملکرد بیشتری تولید کرد.

نتیجه‌گیری نهایی

تغییرات اقلیمی پیش‌رونده، باعث افزایش طول دوره‌های خشکی در فصل رشد گیاهان می‌شود. در حال حاضر نیاز به ارقام متحمل به تنش خشکی احساس می‌شود و مطالعات نشان داده است که حتی ارقام و اکوتیپ‌های مختلف چاودار نیز واکنش‌های متفاوتی نسبت به تنش خشکی نشان می‌دهند (Schlegel, 2014). خشک‌سالی، محدودکننده‌ترین تنش محیطی برای عملکرد است و در تمام مراحل فنولوژی، محصولات زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. میزان از بین رفتن عملکرد دانه بسته به‌شدت و زمان وقوع تنش بستگی دارد زیرا مراحل مختلف نمو ازنظر حساسیت نسبت به تنش خشکی متفاوت است (Cattivelli et al., 2008). عملکرد دانه در حقیقت شامل اجزای عملکرد سنبله در مترمربع، دانه در سنبله و وزن هزار دانه است و این اجزای عملکرد به‌طور قابل‌توجهی نسبت به کمبود آب حساس هستند زیرا در مراحل مختلف رشد گیاه تعیین می‌شوند. (Slafer and Savin, 2004).

ایجاد واریته‌های گیاهی با افزایش مقاومت به خشکی چه از طریق روش‌های اصلاحی سنتی و چه از طریق مهندسی

ژنتیک یکی از مهم‌ترین استراتژی‌ها برای برطرف نمودن تقاضای جهانی غذا در مواجهه با کم‌آبی است. روش‌های اصلاح سنتی نیازمند شناسایی تنوع ژنتیکی برای تحمل در میان واریته‌های گیاهی و استفاده از این صفات متحمل به لاین‌هایی با ویژگی‌های زراعی مناسب است (Naglaa et al., 2014).

تحقیقات بر روی کلکسیون چاودار بانک ژن گیاهی ملی ایران، نشان داده است که این منابع دارای تنوع بالایی در صفات زراعی و مورفولوژیکی می‌باشند (Shahmoradi, 2010). علاوه بر این سازگاری بالای برخی از این منابع نسبت به شرایط محیطی و پتانسیل بالای تولید عملکرد در مقایسه با رقم تجاری دانکو باعث توجه بیشتر به این منابع ارزشمند شده است (Shahmoradi, 2019; Shahmoradi and Mozafari, 2016).

نتایج این تحقیق نشان داد که تیمار تنش خشکی باعث تسریع در آغاز دوره زایشی در مقایسه با شرایط رطوبتی نرمال شد که علت آن می‌تواند تغییرات فیزیولوژیکی ناشی از تنش خشکی در نمو گیاه باشد. گیاهانی که گل‌دهی را سریع‌تر آغاز می‌کنند، در شرایط وقوع تنش‌های محیطی برتری دارند (Shahmoradi et al., 2015). ولیس و همکاران (Volis et al., 2002) گزارش نمودند که گل‌دهی سریع در شرایط محدودیت رطوبت و غیرقابل‌پیش‌بینی بودن بارندگی، مزیت بزرگی برای گیاه محسوب می‌شود. کاهش طول دوره رشد تحت شرایط تنش خشکی در تحقیقات محققین دیگری نیز گزارش شده است (Brisson and casals, 2005; Li et al., 2011; Kottmann et al., 2016). کاهش طول دوره رشد (مکانیسم فرار) یک واکنش دفاعی در برابر وقوع تنش است که به اتمام سریع‌تر مراحل نمو و تولیدمثل و حفظ بقاء در گیاه کمک می‌کند این واکنش شامل توسعه سریع گیاه برای فعال کردن تکمیل چرخه کامل زندگی قبل از وقوع خشک‌سالی است (Shavrukove et al., 2017) و به‌طور گسترده در جمعیت گیاهان بومی مورداستفاده قرار می‌گیرد.

در ارزیابی واکنش گیاهان نسبت به تنش، شدت وقوع تنش از اهمیت بالایی برخوردار است و این امر به‌شدت بر نتایج حاصل از تحقیق اثر می‌گذارد. بررسی واکنش اکوتیپ‌های چاودار نسبت به تنش خشکی در این دو سال نیز نشان داد که در سال اول آزمایش که تنش خشکی شدیدتری اعمال شده بود اکوتیپ شماره ۱۱۹ نسبت به رقم دانکو برتری داشت. درحالی‌که در سال دوم آزمایش که شدت تنش متوسط بود، رقم دانکو عملکرد بیشتری تولید کرد. این امر نشان می‌دهد که پتانسیل تولید در رقم دانکو بالاتر است و در شرایط تنش ملایم باعث برتری آن می‌شود اما در شرایط تنش خشکی میزان تحمل کمتری نسبت به اکوتیپ ۱۱۹ دارد. این تائید کننده سازگاری بالاتر و پایداری عملکرد در اکوتیپ‌های بومی است که حاصل تکامل آن‌ها در طی سالیان در شرایط اقلیمی منطقه است که در تحقیقات سایر محققین نیز گزارش شده است (Volis et al., 2002; Ivandic et al., 2000).

درمجموع ارزیابی اکوتیپ‌ها در شرایط آبیاری بهینه و تنش خشکی در دو سال زراعی نشان داد که اکوتیپ‌های شماره ۴ (KC 13139)، شماره ۱۱۹ (TN06-243) و رقم دانکو نسبت به سایر اکوتیپ‌های چاودار تحمل بالاتری نسبت به تنش خشکی اعمال‌شده داشتند، لذا اکوتیپ‌های برتر این آزمایش بودند؛ بنابراین در راستای شناسایی و معرفی گیاهان دانه‌ای علوفه‌ای متحمل نسبت به تنش خشکی، می‌توان از اکوتیپ‌های مذکور جهت ارزیابی‌های تکمیلی و به‌کارگیری در برنامه‌های به‌نژادی بهره جست.

منابع

International Board for Plant Genetic Resources. 1985. Descriptors for Rye and Triticale. IBPGR Secretariat, Rome.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2018. FAOSTAT Statistical Database. [Rome].

Farshadfar, E., Zamani, M., Motallebi, M., Imamjomeh, A., 2001. Selection for drought resistance in chickpea lines. Iranian Journal of Agricultural Sciences. 32, 65-77 [In Persian with English summary].

Brisson, N., Casals, M.L., 2005. Leaf dynamics and crop water status throughout thegrowing cycle of durum wheat crops grown in two contrasted water budgetconditions. Agronomy for Sustainable Development. 25, 151–158.

Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, F.W., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A.M., Francia, E., Marè, C., Tondelli, A., Stanca, M., 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. Field Crops Research. 105, 1 – 14.

Fernandez, G.C.J., 1992. Effective Selection Criteria for Assessing Plant Stress Tolerance - Genetic resources unit. Annual report for 1991. ICARDA.

Ivandic, V. C., Hackett, A., Zhang, Z. J., Staub, J. E., Nevo, E., Thomas, W. T. B., Forster, B. P., 2000. Phenotypic responses of wild Barley to experimentally imposed to water stress. Journal of Experimental Botany. 51, 2021-2029.

Kottmann, L., Schittenhelm, S., Wittich, K.P., Wilde, P., 2013. Suitability of Canopy Temperature Depression in a Temperate Climate with Drought-Stressed Winter Rye, Determined with Three Infrared Measurement Devices. Journal of Agronomy and Crop Science. 199, 385–394.

Kottmann, L., Wilde, P., Schittenhelm, S., 2016. How do timing, duration, and intensity of drought stress affect the agronomic performance of winter rye? European Journal of Agronomy. 75, 25–32.

Li, P., Chen, J.L., Wu, P.T., 2011. Agronomic characteristics and grain yield of 30spring wheat genotypes under drought stress and nonstress conditions. Agronomy Journal. 103, 1619–1628.

Miedaner, T., Hübner, M., Korzun, V., Schmiedchen, B., Bauer, E., Haseneyer, G., Wilde, P., Reif, J.C., 2012. Genetic architecture of complex agronomic traits examined in two testcross populations of rye (*Secale cereale* L.). BMC Genomics. 13, 706 - 706.

Naglaa, A.A., Vivian, M., Prakash, C.S., 2014. The impact of possible climate changes on developing countries, GM Crops & Food: Biotechnology in Agriculture and the Food Chain. 5:2, 77-80.

Person, K., Bothmer, V., 2002. Genetic diversity amongst landraces of rye from northern Europe. Hereditas. 136, 29-38.

Rao, N.K., Hanson, J., Dulloo, M.E., Ghosh, K., Nowell, D., Larinde, M., 2006. Manual of seed handling in genebanks. Handbooks for Genebanks No. 8. Bioversity International, Rome, Italy

Schlegel, R.H.J., 2014. Rye: Genetics, Breeding, and Cultivation. CRC Press, Boca Raton. 359 pp.

Shahmoradi, Sh., 2010. Regeneration and evaluation of agro morphological traits in rye germplasm of national plant gene bank of Iran. Seed and Plant Improvement Institute Press. 60p. [In Persian].

Shahmoradi, Sh., Chaichi, M.R., Mozafari, J., Mazaheri, D., Sharif Zadeh, F., 2015. Evaluation of some drought adaptation traits in *Hordeum spontaneum* L. ecotypes from different climatic conditions of Iran. Seed Plant Improvement Journal. 31-1, 1-24. [In Persian with English summary].

Shahmoradi, Sh., Mozafari, J., 2016. Regeneration and primary evaluation of rye species (*Secale* spp.) in Iran. Seed and Plant Improvement Institute Press.75p. [In Persian].

Shahmoradi, Sh., Tabatabaie, S.A., Pouresmaeil, M., 2018. Analysis and classification of salt tolerance in native barley (*Hordeum vulgare* L.) germplasm of Iran. Iranian Journal of Crop Science. 19, 319-333. [In Persian with English summary].

Shahmoradi, Sh., 2019. Evaluation of drought stress tolerance in rye (*Secale cereale* L.) genotypes of Iran. Seed and Plant Improvement Institute Press.54p. [In Persian with English summary].

Shakir, H.S., Waines, J.G., 1994. Drought resistance in bread wheat, rye, barley, and dasypyrum. Barley Genetics Newslett. 22: 65.

Shavrukov, Y., Kurishbayev, A., Jatayev, S., Shvidchenko, V., Zotova, L., Koekemoer, F., de Groot, S., Soole, K., Langridge, P., 2017. Early Flowering as a Drought Escape Mechanism in Plants: How Can It Aid Wheat Production? Frontiers in Plant Science. 8, 1950.

Slafer, G.A., Savin, R., 2004. Physiology of crop yield. In: Goodman, R. (Ed.), Encyclopedia of Plant and Crop Science. Taylor & Francis, New York, NY, USA.

Starzycki, S., 1976. Diseases, Pests and Physiology of Rye, in: Bushuk W. (Ed.), Rye: Production, Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, pp. 27-61.

Tajbakhsh, M., Poormirza, A.A., 2003. Agronomy of cereal crops. Uremia Jahad Daneshgahi Publications. 314 Pp. [In Persian].

Volis, S., Mendlinger, A., Turuspekov, Y., Esnazarov, U. 2002. Phenotypic and allozyme variation in Mediterranean and desert populations of wild barley, *Hordeum spontaneum* koch. Evolution, 56, 1403–1415.

Wilson, H. K., 1955. Grain Crops. McGraw – Hill Book Company, inc.