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

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3713.1893

مقاله پژوهشی

ارزیابی تنوع ژنتیکی توده‌های بومی گندم نان (*Triticum aestivum* L.) ایران با استفاده از تجزیه‌های آماری چند متغیره

مرتضی شبان‌نژاد[۱]، محمدرضا بی‌همتا[۲*]، اسلام مجیدی هروان[۳]، هادی علی‌پور[۴]، آسا ابراهیمی[۵]

۱. دانشجوی دکتری، گروه به‌نژادی گیاهی و بیوتکنولوژی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی
۲. استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۳. استاد، گروه به‌نژادی گیاهی و بیوتکنولوژی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی
۴. استادیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه
۵. استادیار، گروه به‌نژادی گیاهی و بیوتکنولوژی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
آنالیزهای چند متغیره
تنوع ژنتیکی
تنش خشکی
صفات زراعی
گندم نان

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۰۶/۲۴

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹/۱۰/۰۸

تاریخ انتشار:
بهار ۱۴۰۱

۱۵(۱): ۱-۱۷

چکیده

یک مجموعه متشکل از ۱۹۹ توده بومی گندم نان ایران در دو استان البرز و زنجان که دارای اقلیم‌های نیمه‌خشک می‌باشند تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل و آبیاری معمولی کشت شدند. شانزده صفت زراعی به‌منظور ارزیابی تنوع ژنتیکی توده‌های بومی ثبت شدند. دامنه تغییرات فنوتیپی تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل در مقایسه با شرایط آبیاری معمولی (به‌غیراز صفت روز تا ظهور سنبله) کمتر بودند. میزان توارث‌پذیری تحت شرایط آبیاری معمولی برای تمامی صفات افزایش یافت. بالاترین ضرایب همبستگی برای صفت‌های روز تا ظهور سنبله و ارتفاع گیاه (۰/۶۵)، عملکرد دانه و تعداد دانه (۰/۶۰) تحت شرایط تنش خشکی و همچنین میان صفت‌های روز تا ظهور سنبله و ارتفاع گیاه (۰/۷۶)، وزن سنبله و تعداد دانه (۰/۶۴) تحت شرایط آبیاری معمولی مشاهده شدند. در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ۰/۴۰ از تغییرات صفات زراعی تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل و ۰/۳۹ از تغییرات صفات زراعی تحت شرایط آبیاری معمولی توسط دو مؤلفه اول توجیه شدند. با استفاده از تجزیه علیت صفات وزن هزار دانه و تعداد بذر تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل و صفات روز تا ظهور سنبله، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، طول دوره ظهور سنبله تا رسیدگی فیزیولوژیک، وزن هزار دانه و تعداد بذر تحت شرایط آبیاری معمولی بیشترین اثر مستقیم را بر روی عملکرد دانه داشتند. دندروگرام به‌دست‌آمده به‌منظور گروه‌بندی توده‌های بومی تطابق بسیار مطلوبی با تجزیه‌های به مؤلفه‌های اصلی داشت درحالی‌که تحت شرایط آبیاری معمولی تعداد بیشتری از توده‌های بومی در گروه‌های با عملکرد بالاتر جای گرفته بودند. نتایج این پژوهش، استفاده از تنوع ژنتیکی موجود در توده‌های بومی گندم نان ایران را در برنامه‌های به‌نژادی کاربردی پیشنهاد می‌نمایند.

مقدمه

تنش خشکی، در بیشتر موارد، خارج از کنترل بوده و منجر به کاهش عملکرد می‌شود (Wang and Qin, 2017). تنش خشکی بر بسیاری از فرآیندهای بیولوژیک حیاتی مانند فتوسنتز، تنفس و متابولیسم در گیاهان تأثیر خواهد گذاشت (Sehgal et al., 2018). گندم یک گونه گیاهی بسیار سازگار است که می‌تواند میان طول‌های جغرافیایی ۳۰ درجه تا ۶۰ درجه شمالی و ۲۷ درجه تا ۴۰ درجه جنوبی رشد یابد (Nuttonson, 1955؛ Shabannejad et al., 2020). در خاورمیانه، معمولاً تنش خشکی در انتهای فصل رشد هنگامی‌که سنبله به‌تازگی ظاهر شده است اتفاق می‌افتد. تنش‌های خشکی و گرما می‌توانند در این مرحله عملکرد را به‌صورت چشمگیری کاهش دهند. در فلات ایران که اقلیم آب‌وهوایی خشک و یا نیمه‌خشک بسیاری دارد، کشاورزها در طی قرن‌ها آموخته‌اند تا آب باران را در طول بهار برای آبیاری

* نگارنده پاسخگو: محمدرضا بی‌همتا. پست الکترونیک: mrghanad@ut.ac.ir

مزارع در انتهای فصل رشد هنگامی‌که در طی مرحله توسعه بذر بارانی وجود ندارد ذخیره نمایند (Shabannejad et al., 2020). کشاورزان ایرانی بعد از ظهور سنبله مزارع خود را ۲ تا ۴ مرتبه با آب ذخیره‌شده به‌منظور اجتناب از کاهش عملکرد به علت تنش خشکی آخر فصل آبیاری می‌نمایند (Shabannejad et al., 2020).

درحالی‌که در سال ۲۰۲۰ تولید گندم در ایران ۱۴ میلیون تن و در جهان ۷۶۱/۵ میلیون تن برآورد شده است (FAO, 2020)، مطابق آخرین آمار اعلام‌شده از سوی وزارت جهاد کشاورزی ایران در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ سطح زیر کشت گندم آبی و دیم در ایران به ترتیب ۱/۹ و ۳/۴ میلیون هکتار، میزان تولید به ترتیب ۸/۳ و ۴/۹ تن در هکتار و میزان عملکرد در واحد سطح به ترتیب ۴/۲ و ۱/۴ کیلوگرم در هکتار بوده است. گندم نان تقریباً ۱۰/۶۷ گرم پروتئین و ۴۷/۵۴ گرم کربوهیدرات (در ۱۰۰ گرم بذر) دارد که در مقایسه با سایر غلات به‌صورت قابل‌ملاحظه‌ای بالا بوده و گندم نان را یکی از محصولات زراعی استراتژیک تبدیل می‌نماید (USDA-ARS, 2020). هرچند، گندم نان به علت کیفیت پایین پروتئین، آمینواسیدهای ضروری را به مقدار کافی به بدن انسان ارائه نخواهد کرد (FAO, 2013).

تحقیقات نشان داده است که صفات زراعی گندم به‌وسیله ژنتیک، محیط و اثرات متقابل میان این دو کنترل می‌شوند (Sehgal et al., 2018). دما و در دسترس بودن آب کافی می‌توانند به‌صورت معنی‌داری کیفیت و کمیت گندم را تغییر دهند (Sehgal et al., 2018). برای مثال، عملکرد دانه یکی از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین صفات در گندم است. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که این صفت می‌تواند به‌صورت قابل‌ملاحظه‌ای تحت تأثیر تنش‌های محیطی قرار گیرد (Arzani and Ashrafi, 2017 ؛Poland et al., 2012). مطالعات ژنتیکی، مکان‌های ژنی کمی[1] (QTL) بسیاری را برای صفات زراعی گندم شناسایی نموده‌اند (triticeaetoolbox.org و plants.ensembl.org). هرچند، به علت تراکم نشانگر محدود و یا مقدار اندک نوترکیبی بسیاری از QTLهای شناخته‌شده اولیه برای شناسایی ژن‌های کاندید و یا حتی انتخاب به کمک نشانگر[2] (MAS) مناسب نبوده‌اند (Zhang et al., 2016).

یکی از مؤثرترین رویکردهای به‌نژادگران گیاهی، استفاده از تنوع ژنتیکی موجود در ژرم‌پلاسم‌ها به‌منظور افزایش عملکرد است. تنوع ژنتیکی به روش‌های گوناگون می‌تواند در برنامه‌های به‌نژادی مورد بهره‌برداری قرار گیرد. به‌عنوان مثال ژنوتیپ‌هایی که دارای تاریخ ظهور سنبله زودتر و یا طول دوره رسیدگی فیزیولوژیک کوتاه‌تر هستند با اجتناب از دوره تنش خشکی آخر فصل موجب افزایش عملکرد می‌شوند (Rahimi et al., 2019 ؛Mohseni et al., 2014). ارقام دارای تعداد بذر بیشتر در سنبله، طول سنبله بیشتر و یا طول میان گره اول بیشتر، متعاقباً دارای عملکرد بالاتری نیز می‌باشند (Sukumaran et al., 2015).

ضرورت بهره‌گیری از تنوع ژنتیکی موجود در توده‌های بومی گندم نان ایران به‌نژادگران گیاهی را بر آن داشته است تا صفات متفاوت را در این ژنوتیپ‌های برای تنش‌های مختلف بررسی نمایند. هدف از مطالعه حاضر، بررسی تنوع ژنتیکی موجود در میان توده‌های بومی گندم نان ایران تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل و آبیاری معمولی در مناطق با آب‌وهوای نیمه‌خشک به‌منظور به‌کارگیری در برنامه‌های به‌نژادی آینده است.

مواد و روش‌ها

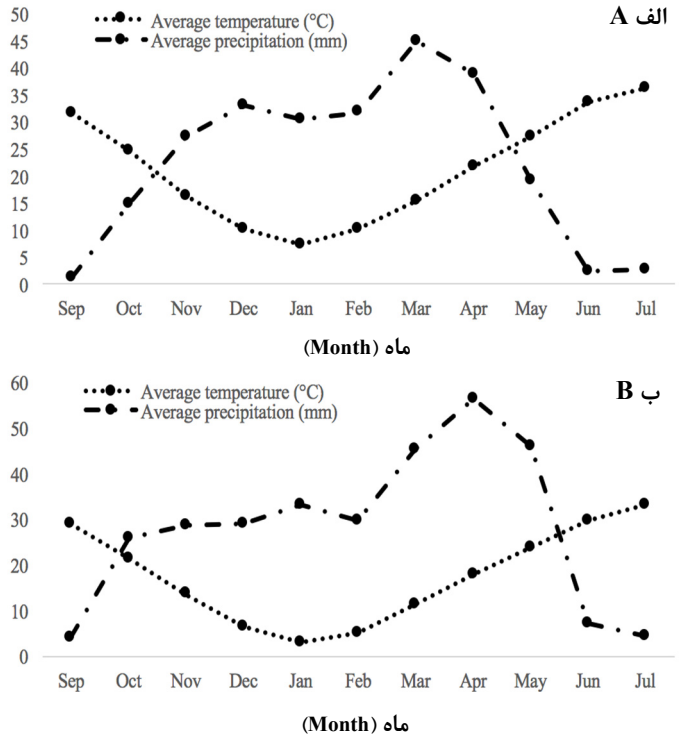
مواد گیاهی و شرایط آزمایش

یک مجموعه متشکل از ۱۹۹ توده بومی (جمع‌آوری‌شده طی سال‌های ۱۹۳۱ تا ۱۹۶۸ میلادی در فلات ایران) و ۸۷ رقم زراعی (معرفی‌شده طی سال‌های ۱۹۴۲ تا ۲۰۱۴ میلادی) از ژرم‌پلاسم گندم نان ایران به‌وسیله دانشگاه تهران و موسسه اصلاح نهال و بذر کرج ایران ارائه شدند که تنها نتایج حاصل از توده‌های بومی در پژوهش حاضر ارائه‌شده‌اند. شماره ثبت توده‌های بومی و سال گردآوری در جدول ۱ ارائه‌شده‌اند. آزمایش‌های میدانی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی خیرآباد (36°31'51.7"N و 48°45'29.9"E) در استان زنجان و مزرعه پژوهش کشاورزی واحد کرج دانشگاه آزاد اسلامی (35°43'44.1"N و 50°49'44.6"E) در استان البرز در طی سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ با استفاده از دو طرح مجزا آلفا لاتیس دارای ۲۲ بلوک و ۱۳ ردیف در هر مکان و با دو تکرار برای هر طرح انجام شدند. پلات‌ها یک متر طول، یک متر عرض و نیم متر فاصله از یکدیگر داشتند. روش آبیاری

[1] Quantitative trait loci

[2] Marker-assisted selection

قطره‌ای برای آب‌رسانی با به‌کارگیری دو نوار برای هر کرت انجام شد. آبیاری هر ده روز تا ظاهر شدن سنبله انجام گرفت. سپس، تنش خشکی آخر فصل به‌وسیله قطع آبیاری برای یک طرح در هر مکان القاء شد درحالی‌که طرح دیگر برای سه مرتبه بیشتر خوب آبیاری گردید. میزان دما و بارندگی ثبت‌شده در هر دو مکان تحقیقاتی در شکل ۱ ارائه‌شده‌اند.



شکل ۱. شرایط آب‌وهوایی ایستگاه‌های تحقیقاتی در طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶. الف) مزرعه تحقیقاتی کشاورزی واحد کرج دانشگاه آزاد اسلامی در استان البرز و ب) ایستگاه تحقیقاتی خیرآباد در استان زنجان. متوسط دما (سانتی‌گراد) و بارندگی (میلی‌متر) به‌ترتیب با استفاده از نقطه خط و خط نقطه برای سال زراعی نشان داده شده‌اند.

Fig. 1. Weather conditions at the research stations during 2017-2018 cropping season. A) Agricultural Research Farm of Karaj Islamic Azad University, Alborz province, and B) Kheirabad Agricultural Research Station located, Zanjan province. The average temperature (°C) and precipitation (mm) are shown for the cropping season using the dotted and dashed lines, respectively.

فنوتیپ‌ها

اندازه‌گیری صفات زراعی مطابق کتابچه راهنمای Pask و همکاران (2012) برای صفات روز تا ظهور سنبله[3] (DTH) و رسیدگی فیزیولوژیک[4] (DTM)، طول مدت ظهور سنبله تا رسیدگی فیزیولوژیک[5] (DHTM) و ارتفاع گیاه[6] (PH)، عملکرد دانه در مترمربع[7] (GY) و وزن هزار دانه[8] (TKW)، طول بذر[9] (SEL) و عرض بذر[10] (SEW)، تعداد بذر در سنبله[11] (SN)، طول سنبله[12] (SPL) و وزن سنبله[13] (SPW)، طول برگ پرچم[14] (FLL)، عرض برگ پرچم[15] (FLW)، فاصله اولین گره تا سنبله[16] (PL)، قطر ساقه[17] (SHD) و طول ریشک[18] (AWL) انجام شد.

[3] Days to heading
[4] Days to maturity
[5] Duration of heading-to-maturity
[6] Plant height
[7] Grain yield/m^2
[8] Thousand kernel weight
[9] Seed length
[10] Seed width
[11] Seed number per spike
[12] Spike length
[13] Spike weight
[14] Flag leaf length
[15] Flag leaf width
[16] Peduncle length
[17] Shoot diameter
[18] Awn length

جدول ۱. نام ۱۹۹ توده‌ی بومی گندم نان ایران استفاده‌شده در پژوهش حاضر.

Table 1. The name of 199 Iran bread wheat landraces used in the present study.

ردیف	سال جمع‌آوری	شماره ثبت در دانشگاه تهران	ردیف	سال جمع‌آوری	شماره ثبت در دانشگاه تهران	ردیف	سال جمع‌آوری	شماره ثبت در دانشگاه تهران
Row	Year of collection	Registered ID in UT	Row	Year of collection	Registered ID in UT	Row	Year of collection	Registered ID in UT
1	1940	2243-1	54	1959	6351-6	107	1959	6073-1
2	1957	5781-8	55	1939	2160-2	108	1957	5783-1
3	1959	6251-2	56	1940	2230-2	109	1961	7002-1
4	1964	7496-2	57	1968	8032-2	110	1964	7499-2
5	1964	7439-2	58	1959	6503-4	111	1966	7685-3
6	1961	7063-3	59	1957	5783-5	112	1961	7262-3
7	1961	7277-2	60	1957	5784-1	113	1961	6960-12
8	1961	6926-5	61	1957	5797-5	114	1957	5791-13
9	1964	7575-3	62	1958	5851-2	115	1959	6154-1
10	1961	7034-1	63	1959	6299-3	116	1959	6154-2
11	1960	6786-2	64	1959	6301-2	117	1959	6353-1
12	1961	6830-3	65	1959	6352-2	118	1966	7706-3
13	1961	6814-4	66	1959	6354-3	119	1966	7708-2
14	1961	6813-2	67	1961	6941-1	120	1966	7709-1
15	1941	3189-8	68	1959	6136-6	121	1966	7709-3
16	1961	6822-2	69	1959	6280-2	122	1940	2660-2
17	1941	3201-2	70	1959	6360-5	123	1959	6482-2
18	1961	7272-5	71	1959	6222-2	124	1959	6482-6
19	1941	3227-6	72	1959	6147-6	125	1959	6472-1
20	1961	7280-3	73	1959	6229-2	126	1940	2852-2
21	1961	7280-2	74	1958	5889-3	127	1968	8032-1
22	1961	7149-2	75	1959	6353-2	128	1957	5783-2
23	1961	6823-2	76	1957	5781-1	129	1959	6166-3
24	1961	6939-2	77	1957	5781-4	130	1959	6242-1
25	1964	7513-5	78	1959	6354-2	131	1959	6234-1
26	1959	6347-2	79	1959	6351-1	132	1931	382-2
27	1961	6943-1	80	1959	6351-2	133	1959	6326-4
28	1961	6943-3	81	1959	6432-3	134	1960	6717-5
29	1960	6779-1	82	1961	7069-1	135	1959	6345-1
30	1960	6780-1	83	1939	1719-1	136	1931	489-8
31	1961	7262-4	84	1950	5418-6	137	1948	5261-3
32	1959	6010-1	85	1950	5418-8	138	1959	6063-1
33	1960	6781-1	86	1956	5758-8	139	1940	2754-1
34	1961	7045-3	87	1966	7705-2	140	1959	6079-6
35	1961	7125-1	88	1959	6358-2	141	1959	5938-2
36	1964	7439-3	89	1966	7701-3	142	1947	5239-1
37	1961	7280-7	90	1961	7149-3	143	1948	5255-1
38	1959	6126-1	91	1966	7694-1	144	1961	6843-2
39	1959	6469-2	92	1964	7518-2	145	1961	6845-2
40	1959	6229-3	93	1964	7518-3	146	1961	6845-3
41	1959	6547-2	94	1964	7518-5	147	1966	7655-2
42	1963	7388-5	95	1957	5806-1	148	1939	2040-2
43	1959	6485-2	96	1961	7003-2	149	1959	5934-2
44	1959	5933-1	97	1964	7607-1	150	1959	6218-1
45	1959	6482-5	98	1939	2180-2	151	1960	6779-5
46	1959	6268-2	99	1960	6778-2	152	1956	5694-2
47	1947	5178-2	100	1960	6778-3	153	1962	7333-4
48	1959	5987-10	101	1959	6269-1	154	1959	6432-4
49	1959	6161-12	102	1959	6269-3	155	1961	7156-3
50	1959	6060-2	103	1961	6835-7	156	1964	7456-1
51	1959	6214-2	104	1939	1756-1	157	1964	7456-2
52	1959	6344-4	105	1960	6779-5	158	1964	7457-1
53	1964	7547-3	106	1961	7102-3	159	1964	7457-2

جدول ۱. ادامه. **Table 1. Continued**

ردیف	سال جمع‌آوری	شماره ثبت در دانشگاه تهران	ردیف	سال جمع‌آوری	شماره ثبت در دانشگاه تهران	ردیف	سال جمع‌آوری	شماره ثبت در دانشگاه تهران
Row	Year of collection	Registered ID in UT	Row	Year of collection	Registered ID in UT	Row	Year of collection	Registered ID in UT
160	1961	7021-1	174	1960	6717-6	188	1956	5747-3
161	1964	7497-4	175	1959	6282-2	189	1957	5778-5
162	1961	6829-6	176	1959	6282-3	190	1959	5938-7
163	1953	5620-2	177	1931	497-1	191	1959	6070-1
164	1957	5788-3	178	1931	484-1	192	1959	6218-1
165	1959	6100-2	179	1946	5164-2	193	1959	6218-2
166	1959	6098-1	180	1948	5251-3	194	1959	6267-4
167	1956	5756-6	181	1931	489-2	195	1959	6291-1
168	1950	5418-7	182	1931	489-3	196	1959	6301-1
169	1956	5758-2	183	1931	500-9	197	1959	6503-2
170	1956	5758-5	184	1964	7556-3	198	1962	7333-1
171	1940	2897-5	185	1939	1761-2	199	1962	7335-1
172	1959	6043-3	186	1947	5208-3			
173	1966	7702-2	187	1948	5255-2			

تجزیه داده‌ها

داده‌های حاصل از فنوتیپ شانزده صفت زراعی در استان‌های زنجان و البرز برای شرایط تنش خشکی آخر فصل و آبیاری معمولی به‌صورت جداگانه تجمیع شدند تا یک دامنه گسترده از تغییرات فنوتیپیک برای محیط‌های نیمه‌خشک (در پژوهش حاضر شامل استان‌های البرز و زنجان) وجود داشته باشد. آنالیز واریانس (ANOVA) به‌صورت جداگانه برای هر دو شرایط آبیاری با استفاده از تابع proc GLM در نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ (SAS Inc., 2016) انجام شد. مدل آنالیز داده‌ها به‌صورت زیر بود:

$$y_{ijmk}=\mu+g_i+l_j+(gl)_{ij}+r_{m(j)}+b_{k(mj)}+\varepsilon_{ijmk} \quad [۱]$$

درحالی‌که μ میانگین کل، g_i اثر ژنتیک ژنوتیپ iام، l_j اثر محیط jام، gl_{ij} اثر متقابل میان ژنوتیپ iام و محیط jام، $r_{m(j)}$ اثر تکرار mام درون محیط jام، $b_{k(mj)}$ اثر بلوک kام درون تکرار mام درون محیط jام و ε_{ijmk} اثرات باقیمانده با فرض $N(0,\sigma_\varepsilon^2)$ بودند. همه اثرات به‌صورت تصادفی در نظر گرفته شدند (Sukumaran et al., 2015؛ Shabannejad et al., 2020). کد استفاده‌شده در نرم‌افزار SAS در پیوست ۱ ارائه‌شده است.

برآوردهای توارث‌پذیری[19] (H^2) بر اساس میانگین هر پلات با فرض استقلال اثرات با استفاده از فرمول پیرو محاسبه شدند:

$$H^2=\sigma_g^2/\left[\sigma_g^2+\sigma_{gl}^2/(k)+\sigma_\varepsilon^2/(rk)\right] \quad [۲]$$

که در آن σ_g^2 واریانس ژنتیک، σ_{gl}^2 واریانس اثرمتقابل ژنتیک در محیط، σ_ε^2 واریانس باقیمانده، k تعداد محیط‌ها و r تعداد تکرارها می‌باشند. برآورد اجزاء واریانس با استفاده از تابع proc varcomp درحالی‌که همه اثرات به‌صورت تصادفی در نظر گرفته شده بودند، انجام شد (Sukumaran et al., 2015; Shabannejad et al., 2020). کد استفاده‌شده در نرم‌افزار SAS در پیوست ۲ ارائه‌شده است.

برآوردهای همبستگی، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و رسم نمودار دوبعدی در نرم‌افزار MINITAB (Minitab Inc., 2013) انجام گردیدند. تجزیه علیت برای عملکرد دانه با استفاده از پکیج Agricolae (de Mendiburu et al., 2014) و رسم دندروگرام به‌وسیله پکیج‌های dendextend (Galili et al., 2015) و Circlize (Gu et al., 2014) با استفاده از فواصل اقلیدسی و به روش Ward در محیط R (R Development Core Team, 2020) انجام گرفتند.

نتایج و بحث

هر دو استان‌های البرز و کرج در یک اقلیم سرد نیمه‌خشک قرار گرفته بودند (شکل ۱). اثر ژنوتیپ معنی‌دار (G) برای همه ۱۶ صفت زراعی تحت هر دو شرایط تنش خشکی آخر فصل و آبیاری معمولی مشاهده شد. درحالی‌که اثر ژنوتیپ در محیط (G×E) برای TKW، SEL، SEW، SPL، SN،

[19] Heritability

SPW، FLL، FLW، PL، SHD و AWL تحت هر دو شرایط تنش خشکی آخر فصل و آبیاری معمولی معنی‌دار نبود (جداول ۲ و ۳). دامنه تغییرات صفات زراعی مقادیر کمتری تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل برای همه صفات به‌جز DTH نشان داده بودند (جدول ۴). با توجه به میزان عملکرد بالاتر تحت شرایط آبیاری معمولی در مقایسه با شرایط تنش خشکی آخر فصل می‌توان نتیجه گرفت که هرچند ژرم‌پلاسم آزمون شده در پژوهش حاضر دارای سازگاری بالایی به تنش خشکی است، آبیاری به میزان ۳ مرتبه پس از ظهور سنبله می‌تواند میزان عملکرد را به‌صورت معنی‌داری افزایش دهد. مقادیر کمتر صفات زراعی تحت کشت دیم در مقایسه با شرایط آبیاری معمولی گزارش شده است (Rahimi et al., 2019).

جدول ۲. آنالیز واریانس برای ۱۶ صفت زراعی در یک مجموعه متشکل از ۱۹۹ توده بومی گندم نان ایران تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل.

Table 2. Analysis of variance for 16 agronomic traits in a collection of 199 Iran bread wheat landraces under late-season drought stress

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	DTH	DTM	DHTM	PH	GY	TKW	SEL	SEW
Location	1	239558**	250576**	123.8**	86753**	3.17**	29367.73**	908.09**	198.8**
Replication/Location	2	11.72	0.08	9.95	0.59	0.00	0.00	0.03	0.03
Block (Replication/Location)	84	3.45	2.71	5.49	0.59	0.00	0.03	0.02	0.03
Genotype	198	174.5**	90.53**	133.16**	778**	0.02**	127.45**	1.92**	0.27**
Genotype × Location	198	25.9**	59.11**	68.19**	150**	0.00**	86.09	0.04	0.01
Error	312	3.31	2.88	6.27	0.81	0.00	0.03	0.02	0.02

جدول ۲. ادامه

Table 2. Continued

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	SN	SPL	SPW	FLL	FLW	PL	SHD	AWL
Location	1	15681**	239**	140**	5483.9**	1216.4**	10754.15**	30.85**	6.02**
Replication/Location	2	3.35	0.05	0.03	1.17	0.26	2.57	0.03	0.10
Block (Replication/Location)	84	2.73	0.11**	0.02	0.68	0.51	1.83	0.03*	0.33
Genotype	198	372.9**	10**	1.85**	37.78**	17.57**	430.54**	0.93**	23.1**
Genotype × Location	198	1.97	0.05	0.02	0.29	0.32	2.96	0.01	0.23
Error	312	3.24	0.07	0.03	0.67	0.44	1.80	0.02	0.28

روز تا ظهور سنبله (DTH)، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (DTM)، طول مدت ظهور سنبله تا رسیدگی فیزیولوژیک (DHTM)، ارتفاع گیاه (PH)، عملکرد دانه در مترمربع (GY)، وزن هزار دانه (TKW)، طول بذر (SEL)، عرض بذر (SEW)، تعداد بذر در خوشه (SN)، طول خوشه (SPL)، وزن خوشه (SPW)، طول برگ پرچم (FLL)، عرض برگ پرچم (FLW)، فاصله اولین گره تا خوشه (PL)، قطر ساقه (SHD) و طول ریشک (AWL). ** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ می‌باشند.

Days to heading (DTH), Days to maturity (DTM), Duration of heading-to-maturity (DHTM), Plant height (PH), Grain yield/m^2 (GY), Thousand kernel weight (TKW), Seed length (SEL), Seed width (SEW), Seed number per spike (SN), Spike length (SPL), Spike weight (SPW), Flag leaf length (FLL), Flag leaf width (FLW), Peduncle length (PL), Shoot diameter (SHD), Awn length (AWL). ** and *: significant at 0.01 and 0.05 probability levels, respectively

جدول ۳. آنالیز واریانس برای ۱۶ صفت زراعی در یک مجموعه متشکل از ۱۹۹ توده بومی گندم نان ایران تحت شرایط آبیاری معمولی.

Table 3. Analysis of variance for 16 agronomic traits in a collection of 199 Iran bread wheat landraces under normal irrigation conditions

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	DTH	DTM	DHTM	PH	GY	TKW	SEL	SEW
Location	1	234725**	272801**	1430**	68775**	5.6**	47470**	1019.8**	161.73**
Replication/Location	2	5.38	4.95	19.47	0.88	0.00	0.02	0.06	0.01
Block (Replication/Location)	84	2.75	1.78	4.68	1.06	0.00	0.02	0.03	0.03
Genotype	198	186.3**	90.61**	162**	725**	0.02**	128.8**	1.68**	0.27**
Genotype × Location	198	24.64**	43.89**	62**	139**	0.01**	87.73	0.02	0.01
Error	312	2.87	2.51	5.41	1.13	0.00	0.03	0.03	0.03

Table 3. Continued **جدول ۳. ادامه**

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	SN	SPL	SPW	FLL	FLW	PL	SHD	AWL
Location	1	16182.06**	49.65**	756.23**	7285.1**	783**	12989**	18.9**	32.36**
Replication/Location	2	4.83	0.02	0.03	0.44	0.65	2.08	0.02	0.38
Block (Replication/Location)	84	6.21	0.10	0.04	0.83	0.28	5.30	0.03	0.19
Genotype	198	374.59**	10.16**	1.78**	38.52**	17.97**	423.03**	0.93**	21.67**
Genotype × Location	198	4.41	0.08	0.03	0.52	0.26	2.87	0.01	0.14
Error	312	6.29	0.11	0.03	0.85	0.41	4.22	0.03	0.23

روز تا ظهور سنبله (DTH)، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (DTM)، طول مدت ظهور سنبله تا رسیدگی فیزیولوژیک (DHTM)، ارتفاع گیاه (PH)، عملکرد دانه در مترمربع (GY)، وزن هزار دانه (TKW)، طول بذر (SEL)، عرض بذر (SEW)، تعداد بذر در خوشه (SN)، طول خوشه (SPL)، وزن خوشه (SPW)، طول برگ پرچم (FLL)، عرض برگ پرچم (FLW)، فاصله اولین گره تا خوشه (PL)، قطر ساقه (SHD) و طول ریشک (AWL). ** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ می‌باشند.

Days to heading (DTH), Days to maturity (DTM), Duration of heading-to-maturity (DHTM), Plant height (PH), Grain yield/m^2 (GY), Thousand kernel weight (TKW), Seed length (SEL), Seed width (SEW), Seed number per spike (SN), Spike length (SPL), Spike weight (SPW), Flag leaf length (FLL), Flag leaf width (FLW), Peduncle length (PL), Shoot diameter (SHD), Awn length (AWL). ** and *: significant at 0.01 and 0.05 probability levels, respectively.

مقادیر H^2 بالاتری برای صفات زراعی تحت شرایط آبیاری معمولی در مقایسه با شرایط تنش خشکی آخر فصل مشاهده شد (جدول ۴). توارث‌پذیری صفات زراعی از ۰/۳۵ (DTM) تا ۰/۸۵(DTH) تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل و از ۰/۴۷ (DTM) تا ۰/۸۶ (DTH) تحت شرایط آبیاری معمولی متغیر بودند (جدول ۴). در بسیاری از تحقیقات DTH، PH و NDVI[20] توارث‌پذیری بالایی نشان داده‌اند (Rutkoski et al., 2016; Haghighattalab et al., 2016; Sun et al. 2019; Crain et al., 2020). توارث‌پذیری صفات فاکتور مهمی به‌منظور به دست آوردن دقت بالاتر پیش‌بینی ژنومیک می‌باشند (Rutkoski et al., 2016). توارث‌پذیری عمومی بالا (>۰/۵۷) برای شاخص‌های سبزینگی با استفاده از سیستم‌های هوایی بدون سرنشین[21] (UAS) مشاهده شده است (Haghighattalab et al., 2016).

ضرایب همبستگی پیرسون تحت هر دو شرایط محاسبه شدند (جدول ۵). PH و DTH (۰/۶۵) بالاترین همبستگی‌های معنی‌دار را تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل نشان دادند (جدول ۵). همچنین، بالاترین همبستگی‌های معنی‌دار میان PH و DTH (۰/۷۶) تحت شرایط آبیاری معمولی مشاهده شد (جدول ۵). تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل GY با SN (۰/۶۰) و SPW (۰/۵۸) و تحت شرایط آبیاری معمولی GY با SN (۰/۶۲) و SPW (۰/۶۱) همبستگی مثبت معنی‌دار داشتند (جدول ۵). همچنین، تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل و آبیاری معمولی SN و SPW همبستگی معنی‌دار مثبت (به ترتیب ۰/۶۰ و ۰/۶۴) داشتند. همبستگی منفی معنی‌دار میان DTH و DHTM تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل و آبیاری

[20] Normalized difference vegetation index

[21] Unmanned aerial systems

معمولی (به ترتیب ۰/۴۲- و ۰/۵۴-) مشاهده شد. همبستگی بالا میان GY، SN و SPW تحت شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی گزارش شده است (Mohseni et al., 2014). همچنین همبستگی میان GY و SN به میزان ۰/۷۱ و همبستگی میان GY و SPW به میزان ۰/۹۸ گزارش شده است (Rahimi et al., 2019). حال اینکه افزایش همبستگی منفی عملکرد دانه با سایر صفات می‌تواند نشانه‌ای از عدم انتقال کربوهیدرات‌ها در شرایط مواجه با تنش خشکی باشد (Barraclough et al., 2014).

جدول ۴. آمار توصیفی و اجزاء واریانس برای ۱۶ صفت زراعی در یک مجموعه متشکل از ۱۹۹ توده بومی گندم نان ایران تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل و آبیاری معمولی.

Table 4. Descriptive analysis and variance parameters for 16 agronomic traits in a collection of 199 Iran bread wheat landraces under late-season drought stress and normal irrigation conditions.

شرایط آبیاری Irrigation conditions	صفت Trait	آمار توصیفی Descriptive statistics			اجزاء واریانس Variance parameters			
		Min	Mean	Max	σ_G^2	$\sigma_{(G\times E)}^2$	σ_E^2	H^2
Late-season drought stress	DTH	156	200.33	230	41.77	13.01	3.38	0.85
Normal irrigation		160	200.53	230	43.12	12.14	2.86	0.86
Late-season drought stress	DTM	192	246.54	276	8.84	31.46	2.83	0.35
Normal irrigation		210	252.3	280	11.46	25.13	2.37	0.47
Late-season drought stress	DHTM	5	46.21	79	19.53	35	6.12	0.51
Normal irrigation		22	51.76	116	24.61	33.34	5.33	0.58
Late-season drought stress	PH	49	105.57	151	173.24	86.23	0.76	0.80
Normal irrigation		64	110.86	157	158.06	79.26	1.11	0.81
Late-season drought stress	GY	0.03	0.22	0.51	0.12	0.12	0.04	0.63
Normal irrigation		0.05	0.29	0.69	0.16	0.09	0.07	0.72
Late-season drought stress	TKW	10.21	31.25	52	10.53	-	0.03	-
Normal irrigation		12.07	37.89	60.65	9.18	-	0.03	-
Late-season drought stress	SEL	3.3	6.51	9.7	0.51	-	0.02	-
Normal irrigation		3.4	6.68	9.9	0.46	-	0.03	-
Late-season drought stress	SEW	1.4	2.78	4	0.07	-	0.02	-
Normal irrigation		1.6	2.99	4.2	0.07	-	0.02	-
Late-season drought stress	SN	12	40.54	84	104.79	-	2.65	-
Normal irrigation		13	43.26	87	105.06	-	5.48	-
Late-season drought stress	SPL	4.2	10.12	15.7	2.8	-	0.07	-
Normal irrigation		5	10.61	15.9	2.79	-	0.1	-
Late-season drought stress	SPW	0.2	2.1	5.1	0.52	-	0.02	-
Normal irrigation		0.7	3.3	6.4	0.49	-	0.03	-
Late-season drought stress	FLL	9.5	22.35	37	10.52	-	0.53	-
Normal irrigation		13	26.3	41.6	10.91	-	0.71	-
Late-season drought stress	FLW	4	9.32	18.5	4.8	-	0.39	-
Normal irrigation		5	10.1	19	4.98	-	0.34	-
Late-season drought stress	PL	9.4	44.77	71.5	117.66	-	1.81	-
Normal irrigation		6.8	49.67	77.1	120.28	-	3.79	-
Late-season drought stress	SHD	2.1	3.37	5.2	0.26	-	0.02	-
Normal irrigation		2.3	3.53	5.3	0.26	-	0.02	-
Late-season drought stress	AWL	0.7	7.26	16.2	6.42	-	0.27	-
Normal irrigation		0.8	7.45	16.6	6.05	-	0.19	-

واریانس ژنتیکی (σ_G^2)، واریانس اثرمتقابل ژنتیک در محیط ($\sigma_{(G\times E)}^2$)، واریانس باقیمانده (σ_E^2)، توارث‌پذیری (H^2)، روز تا ظهور سنبله (DTH)، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (DTM)، طول مدت ظهور سنبله تا رسیدگی فیزیولوژیک (DHTM)، ارتفاع گیاه (PH)، عملکرد دانه در مترمربع (GY)، وزن هزار دانه (TKW)، طول بذر (SEL)، عرض بذر (SEW)، تعداد بذر در خوشه (SN)، طول خوشه (SPL)، وزن خوشه (SPW)، طول برگ پرچم (FLL)، عرض برگ پرچم (FLW)، فاصله اولین گره تا خوشه (PL)، قطر ساقه (SHD) و طول ریشک (AWL).

Genetic variance (σ_G^2), genotype by environment interaction variance ($\sigma_{(G\times E)}^2$), residual variance (σ_E^2), heritability (H^2), Days to heading (DTH), Days to maturity (DTM), Duration of heading-to-maturity (DHTM), Plant height (PH), Grain yield/m^2 (GY), Thousand kernel weight (TKW), Seed length (SEL), Seed width (SEW), Seed number per spike (SN), Spike length (SPL), Spike weight (SPW), Flag leaf length (FLL), Flag leaf width (FLW), Peduncle length (PL), Shoot diameter (SHD), Awn length (AWL).

جدول ۵. ضرائب همبستگی پیرسون برای ۱۶ صفت زراعی در یک مجموعه متشکل از ۱۹۹ توده بومی گندم نان ایران تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل و آبیاری معمولی.

Table 5. Pearson correlation coefficients for 16 agronomic traits in a collection of 199 Iran bread wheat landraces under late-season drought stress and normal irrigation conditions.

Trait صفت	DTH	DTM	DHTM	PH	GY	TKW	SEL	SEW
DTH		0.51**	-0.54**	0.76**	-0.16*	0.01	0.14*	-0.10
DTM	0.46**		0.27**	0.44**	-0.02	0.12	0.18**	-0.06
DHTM	-0.42**	0.24**		-0.40**	0.16*	0.08	-0.01	0.06
PH	0.65**	0.45**	-0.36**		-0.15*	-0.03	0.10	-0.11
GY	-0.15*	0.08	0.24**	-0.10		0.48**	0.10	0.09
TKW	0.01	0.08	0.06	-0.01	0.44**		0.37**	0.22**
SEL	0.10	0.24**	0.08	0.14*	0.11	0.36**		0.28**
SEW	-0.12	0.04	0.17*	-0.09	0.10	0.19**	0.29**	
SN	-0.19**	0.02	0.23**	-0.14*	0.60**	-0.09	-0.16*	-0.05
SPL	0.28**	0.27**	-0.10	0.32**	0.27**	-0.06	0.19**	-0.09
SPW	-0.06	0.20**	0.23**	0.04	0.58**	0.16*	0.30**	0.22**
FLL	0.00	0.12	0.10	0.12	0.26**	-0.02	0.04	0.01
FLW	-0.07	0.13	0.18**	-0.05	0.37**	0.02	0.05	0.08
PL	0.23**	0.17*	-0.12	0.28**	0.10	-0.02	0.13	0.05
SHD	-0.12	0.01	0.14*	-0.02	0.36**	0.01	-0.10	0.12
AWL	-0.21**	-0.17*	0.10	-0.23**	0.07	-0.04	0.06	-0.06

Table 5. Continued **جدول ۵. ادامه**

Trait صفت	SN	SPL	SPW	FLL	FLW	PL	SHD	AWL
DTH	-0.20**	0.26**	-0.03	0.02	-0.06	0.24**	-0.13	-0.17*
DTM	-0.10	0.13	0.10	-0.02	0.03	0.13	-0.08	-0.10
DHTM	0.13	-0.18**	0.11	-0.04	0.08	-0.16*	0.08	0.11
PH	-0.16*	0.27**	0.00	0.08	-0.01	0.23**	-0.03	-0.27**
GY	0.62**	0.30**	0.61**	0.29**	0.38**	0.10	0.36**	0.04
TKW	-0.07	-0.06	0.18**	-0.02	0.01	-0.02	0.01	-0.05
SEL	-0.14*	0.20**	0.30**	0.05	0.01	0.14*	-0.10	0.02
SEW	-0.05	-0.06	0.23**	0.00	0.09	0.08	0.10	-0.06
SN		0.39**	0.64**	0.32**	0.42**	0.14*	0.39**	0.09
SPL	0.37**		0.41**	0.26**	0.19**	0.15*	0.23**	-0.12
SPW	0.60**	0.39**		0.34**	0.41**	0.16*	0.42**	0.10
FLL	0.30**	0.26**	0.30**		0.23**	0.25**	0.34**	0.04
FLW	0.40**	0.18**	0.42**	0.23**		0.25**	0.29**	0.08
PL	0.14*	0.15*	0.15*	0.23**	0.29**		-0.03	-0.01
SHD	0.40**	0.22**	0.43**	0.33**	0.28**	-0.04		-0.01
AWL	0.11	-0.12	0.13	0.05	0.13	0.02	-0.02	

ضرائب همبستگی پیرسون پایین قطر تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل و بالای قطر تحت شرایط آبیاری معمولی می‌باشند. روز تا ظهور سنبله (DTH)، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (DTM)، طول مدت ظهور سنبله تا رسیدگی فیزیولوژیک (DHTM)، ارتفاع گیاه (PH)، عملکرد دانه در متربع (GY)، وزن هزار دانه (TKW)، طول بذر (SEL)، عرض بذر (SEW)، تعداد بذر در خوشه (SN)، طول خوشه (SPL)، وزن خوشه (SPW)، طول برگ پرچم (FLL)، عرض برگ پرچم (FLW)، فاصله اولین گره تا خوشه (PL)، قطر ساقه (SHD) و طول ریشک (AWL). ** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ می‌باشند.

Pearson correlation coefficients below the diagonal are under late-season drought stress conditions and upper the diagonal under normal irrigation conditions. Days to heading (DTH), Days to maturity (DTM), Duration of heading-to-maturity (DHTM), Plant height (PH), Grain yield/m^2 (GY), Thousand kernel weight (TKW), Seed length (SEL), Seed width (SEW), Seed number per spike (SN), Spike length (SPL), Spike weight (SPW), Flag leaf length (FLL), Flag leaf width (FLW), Peduncle length (PL), Shoot diameter (SHD), Awn length (AWL). ** and *: significant at 0.01 and 0.05 probability levels, respectively

به‌منظور تبیین روابط علی و معلولی میان GY و اجزاء عملکرد از تجزیه علیت استفاده شد. ضرایب حاصل از تجزیه علیت تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل اثر مستقیم TKW (۰/۶۰) و SN (۰/۷۹) و تحت شرایط آبیاری معمولی اثر مستقیم DTH (۰/۵۷-)، DTM (۰/۴۰)، DHTM (۰/۵۳-)، TKW (۰/۵۲) و SN (۰/۸۱) را مؤثرترین اثرات بر GY نشان دادند (جداول ۶ و ۷). همچنین، به‌صورت غیرمستقیم SN تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل از طریق SPL (۰/۲۹)، SPW (۰/۵۱)، FLL (۰/۲۴)، FLW (۰/۳۲) و SHD (۰/۳۲) و TKW از طریق SEL (۰/۲۲) بر

GY تأثیر داشتند (جدول ۶). تحت شرایط آبیاری معمولی به‌صورت غیرمستقیم DTH از طریق DTM (۰/۲۶-)، DHTM (۰/۴۲) و PH (۰/۳۸-)، DTM از طریق PH (۰/۱۸)، DHTM از طریق PH (۰/۲۱)، TKW از طریق SEL (۰/۱۹) و SN از طریق SPL (۰/۳۱)، SPW (۰/۵۲)، FLL (۰/۲۶)، FLW (۰/۳۴) و SHD (۰/۳۱) بر GY تأثیر داشتند (جدول ۷). در کشت دیم SN، TKW و SPW و در کشت آبی SN و SPW بیشترین اثر مستقیم را بر روی GY داشتند (Rahimi et al., 2019). همچنین عملکرد بیولوژیک و TKW به‌عنوان صفات با بیشترین تأثیر مستقیم بر روی GY گزارش شده‌اند (Golparvar et al., 2007).

جدول ۶. تجزیه علیت برای ۱۶ صفت زراعی در یک مجموعه متشکل از ۱۹۹ توده بومی گندم نان ایران تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل.

Table 6. Path analysis for 16 agronomic traits in a collection of 199 Iran bread wheat landraces under late-season drought stress conditions.

صفت	اثر مستقیم	Indirect effect			اثر غیرمستقیم			
Trait	Direct effect	DTH	DTM	DHTM	PH	TKW	SEL	SEW
DTH	-0.16		0.06	0.10	0.02	0.01	0.00	0.00
DTM	0.11	-0.08		-0.03	0.02	0.05	0.00	0.00
DHTM	-0.13	0.12	0.03		-0.01	0.04	0.00	0.00
PH	0.04	-0.11	0.05	0.05		-0.01	0.00	0.00
TKW	0.60	0.00	0.01	-0.01	0.00		0.00	0.00
SEL	0.01	-0.02	0.03	-0.01	0.00	0.22		0.00
SEW	0.01	0.02	0.00	-0.02	0.00	0.11	0.00	
SN	0.79	0.03	0.00	-0.03	0.00	-0.05	0.00	0.00
SPL	-0.02	-0.05	0.03	0.01	0.01	-0.04	0.00	0.00
SPW	0.04	0.01	0.02	-0.03	0.00	0.10	0.00	0.00
FLL	0.01	0.00	0.01	-0.01	0.00	-0.01	0.00	0.00
FLW	0.03	0.01	0.01	-0.02	0.00	0.01	0.00	0.00
PL	-0.02	-0.04	0.02	0.02	0.01	-0.01	0.00	0.00
SHD	0.01	0.02	0.00	-0.02	0.00	0.01	0.00	0.00
AWL	0.00	0.03	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02	0.00	0.00

جدول ۶. ادامه **Table 6. Continued**

صفت	اثر مستقیم	Indirect effect				اثر غیرمستقیم			
Trait	Direct effect	SN	SPL	SPW	FLL	FLW	PL	SHD	AWL
DTH	-0.16	-0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DTM	0.11	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DHTM	-0.13	0.18	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
PH	0.04	-0.11	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00
TKW	0.60	-0.07	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SEL	0.01	-0.13	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SEW	0.01	-0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SN	0.79		-0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
SPL	-0.02	0.29		0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
SPW	0.04	0.51	-0.01		0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
FLL	0.01	0.24	0.00	0.01		0.01	0.00	0.00	0.00
FLW	0.03	0.32	0.00	0.02	0.00		-0.01	0.00	0.00
PL	-0.02	0.11	0.00	0.01	0.00	0.01		0.00	0.00
SHD	0.01	0.32	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00		0.00
AWL	0.00	0.09	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	

روز تا ظهور سنبله (DTH)، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (DTM)، طول مدت ظهور سنبله تا رسیدگی فیزیولوژیک (DHTM)، ارتفاع گیاه (PH)، عملکرد دانه در مترمربع (GY)، وزن هزار دانه (TKW)، طول بذر (SEL)، عرض بذر (SEW)، تعداد بذر در خوشه (SN)، طول خوشه (SPL)، وزن خوشه (SPW)، طول برگ پرچم (FLL)، عرض برگ پرچم (FLW)، فاصله اولین گره تا خوشه (PL)، قطر ساقه (SHD) و طول ریشک (AWL). اثر باقیمانده^2 = ۰/۰۳.

Days to heading (DTH), Days to maturity (DTM), Duration of heading-to-maturity (DHTM), Plant height (PH), Grain yield/m^2 (GY), Thousand kernel weight (TKW), Seed length (SEL), Seed width (SEW), Seed number per spike (SN), Spike length (SPL), Spike weight (SPW), Flag leaf length (FLL), Flag leaf width (FLW), Peduncle length (PL), Shoot diameter (SHD), Awn length (AWL). Residual effect^2 = 0.03.

جدول ۷. تجزیه علیت برای ۱۶ صفت زراعی در یک مجموعه متشکل از ۱۹۹ توده بومی گندم نان ایران تحت شرایط آبیاری معمولی.

Table 7. Path analysis for 16 agronomic traits in a collection of 199 Iran bread wheat landraces under normal irrigation conditions.

صفت	اثر مستقیم	Indirect effect اثر غیرمستقیم						
Trait	Direct effect	DTH	DTM	DHTM	PH	TKW	SEL	SEW
DTH	-0.57		0.19	0.39	-0.01	0.01	0.00	0.00
DTM	0.40	-0.26		-0.4	-0.01	0.06	0.00	0.00
DHTM	-0.53	0.42	0.11		0.01	0.04	0.00	0.00
PH	-0.02	-0.38	0.18	0.21		-0.02	0.00	0.00
TKW	0.52	-0.01	0.05	-0.04	0.00		0.00	0.00
SEL	0.01	-0.08	0.07	0.01	0.00	0.19		0.00
SEW	-0.01	0.06	-0.02	-0.03	0.00	0.11	0.00	
SN	0.81	0.11	-0.04	-0.07	0.00	-0.04	0.00	0.00
SPL	-0.02	-0.15	0.05	0.10	0.00	-0.03	0.00	0.00
SPW	0.07	0.02	0.04	-0.06	0.00	0.09	0.00	0.00
FLL	0.02	-0.01	-0.01	0.02	0.00	-0.01	0.00	0.00
FLW	0.01	0.03	0.01	-0.04	0.00	0.01	0.00	0.00
PL	-0.02	-0.14	0.05	0.08	0.00	-0.01	0.00	0.00
SHD	0.01	0.07	-0.03	-0.04	0.00	0.01	0.00	0.00
AWL	-0.02	0.10	-0.04	-0.06	0.00	-0.03	0.00	0.00

Table 7. Continued **جدول ۷. ادامه**

صفت	اثر مستقیم	Indirect effect اثر غیرمستقیم							
Trait	Direct effect	SN	SPL	SPW	FLL	FLW	PL	SHD	AWL
DTH	-0.57	-0.16	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DTM	0.40	-0.08	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DHTM	-0.53	0.10	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PH	-0.02	-0.13	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
TKW	0.52	-0.06	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SEL	0.01	-0.11	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SEW	-0.01	-0.04	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SN	0.81		-0.01	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
SPL	-0.02	0.31		0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SPW	0.07	0.52	-0.01		0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
FLL	0.02	0.26	-0.01	0.02		0.00	0.00	0.00	0.00
FLW	0.01	0.34	0.00	0.03	0.00		0.00	0.00	0.00
PL	-0.02	0.11	0.00	0.01	0.00	0.00		0.00	0.00
SHD	0.01	0.31	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00		0.00
AWL	-0.02	0.07	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	

روز تا ظهور سنبله (DTH)، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (DTM)، طول مدت ظهور سنبله تا رسیدگی فیزیولوژیک (DHTM)، ارتفاع گیاه (PH)، عملکرد دانه در مترمربع (GY)، وزن هزار دانه (TKW)، طول بذر (SEL)، عرض بذر (SEW)، تعداد بذر در خوشه (SN)، طول خوشه (SPL)، وزن خوشه (SPW)، طول برگ پرچم (FLL)، عرض برگ پرچم (FLW)، فاصله اولین گره تا خوشه (PL)، قطر ساقه (SHD) و طول ریشک (AWL). اثر باقیمانده^2 = ۰/۰۴.

Days to heading (DTH), Days to maturity (DTM), Duration of heading-to-maturity (DHTM), Plant height (PH), Grain yield/m^2 (GY), Thousand kernel weight (TKW), Seed length (SEL), Seed width (SEW), Seed number per spike (SN), Spike length (SPL), Spike weight (SPW), Flag leaf length (FLL), Flag leaf width (FLW), Peduncle length (PL), Shoot diameter (SHD), Awn length (AWL). Residual effect^2 = 0.04

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای ۱۶ صفت زراعی تحت هر دو شرایط تنش خشکی آخر فصل و آبیاری معمولی انجام شد (جدول ۸). اولین مؤلفه‌ها به ترتیب ۰/۲۳ و ۰/۲۲ از کل تغییرات صفات زراعی را تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل و آبیاری معمولی توجیه نمودند (جدول ۸). صفات SPW، GY و SN در مؤلفه اول و صفت DTH و PH در مؤلفه دوم تحت هر دو شرایط کشت بیشترین تأثیر را بر روی تغییرات مثبت صفات زراعی داشتند (جدول ۸). درمجموع، دو مؤلفه اول تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل و آبیاری معمولی به ترتیب ۰/۴۰ و ۰/۳۹ از تغییرات صفات زراعی را توجیه نموده بودند (جدول ۸).

جدول ۸. تجزیه به مؤلفه اصلی برای ۱۶ صفت زراعی در یک مجموعه متشکل از ۱۹۹ توده بومی گندم نان ایران تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل و آبیاری معمولی.

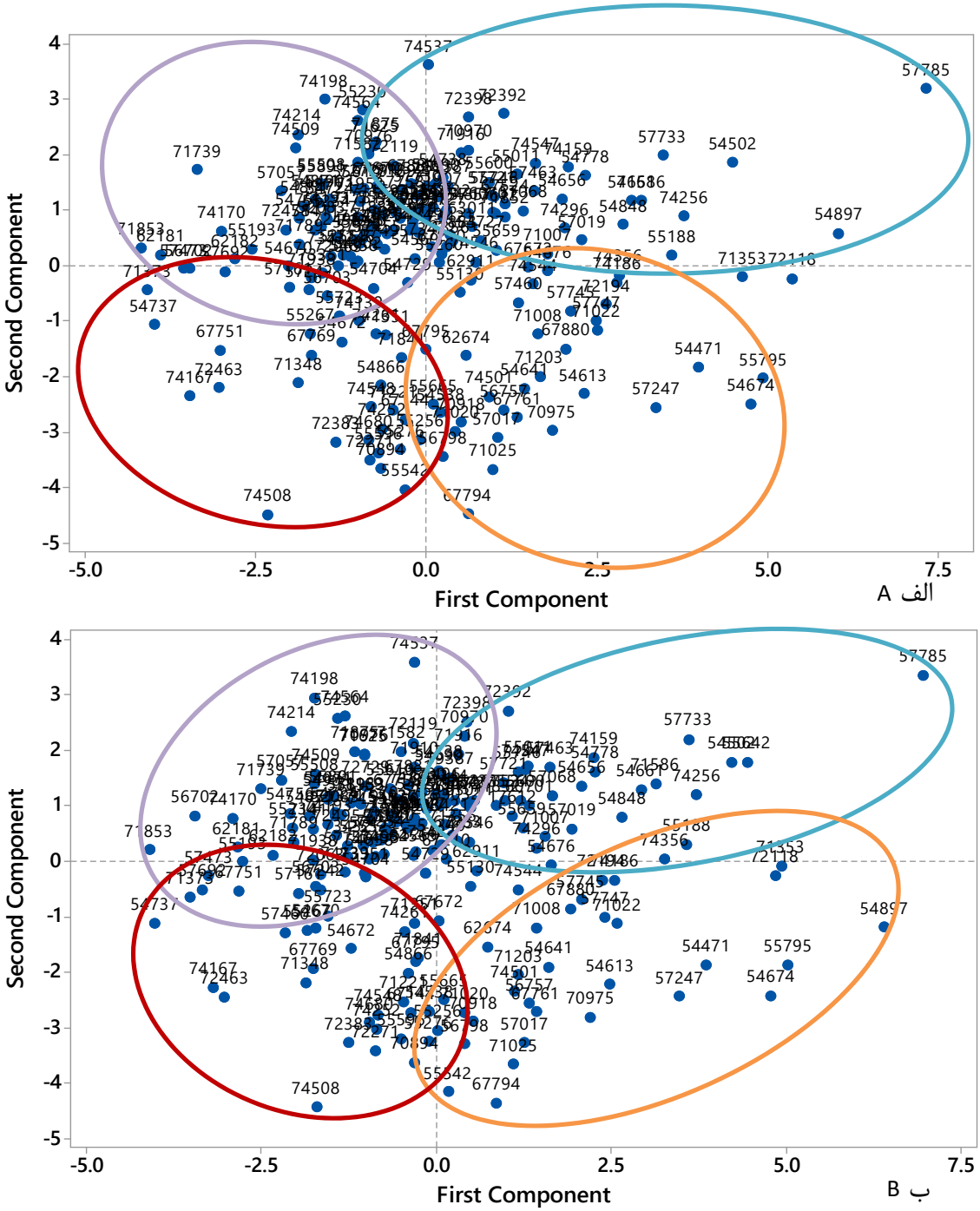
Table 8. Principle component analysis for 16 agronomic traits in a collection of 199 Iran bread wheat landraces under late-season drought stress and normal irrigation conditions.

صفت Trait	تنش خشکی آخر فصل Late-season drought stress			آبیاری معمولی Normal irrigation		
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
DTH	-0.10	0.54	-0.04	-0.10	0.55	0.04
DTM	0.12	0.36	0.19	0.00	0.29	-0.26
DHTM	0.20	-0.32	0.20	0.11	-0.37	-0.24
PH	-0.02	0.50	-0.01	-0.06	0.50	0.04
GY	0.44	-0.05	0.09	0.46	-0.03	-0.10
TKW	0.13	0.01	0.52	0.12	0.03	-0.55
SEL	0.11	0.15	0.53	0.09	0.17	-0.52
SEW	0.10	-0.05	0.42	0.10	-0.04	-0.38
SN	0.42	-0.07	-0.29	0.44	-0.06	0.24
SPL	0.24	0.30	-0.16	0.25	0.29	0.13
SPW	0.45	0.05	0.05	0.45	0.08	-0.10
FLL	0.26	0.09	-0.17	0.27	0.11	0.18
FLW	0.31	0.01	-0.09	0.31	0.03	0.09
PL	0.13	0.25	-0.04	0.12	0.25	0.02
SHD	0.30	-0.04	-0.19	0.31	-0.03	0.18
AWL	0.07	-0.19	-0.04	0.05	-0.19	0.03
Eigenvalue	3.61	2.77	1.76	3.57	2.75	1.77
Proportion	0.23	0.17	0.11	0.22	0.17	0.11
Cumulative	0.23	0.40	0.51	0.22	0.39	0.50

نتایج سه مؤلفه اصلی (PC) اول ارائه شده‌اند. روز تا ظهور سنبله (DTH)، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (DTM)، طول مدت ظهور سنبله تا رسیدگی فیزیولوژیک (DHTM)، ارتفاع گیاه (PH)، عملکرد دانه در متربع (GY)، وزن هزار دانه (TKW)، طول بذر (SEL)، عرض بذر (SEW)، تعداد بذر در خوشه (SN)، طول خوشه (SPL)، وزن خوشه (SPW)، طول برگ پرچم (FLL)، عرض برگ پرچم (FLW)، فاصله اولین گره تا خوشه (PL)، قطر ساقه (SHD) و طول ریشک (AWL).

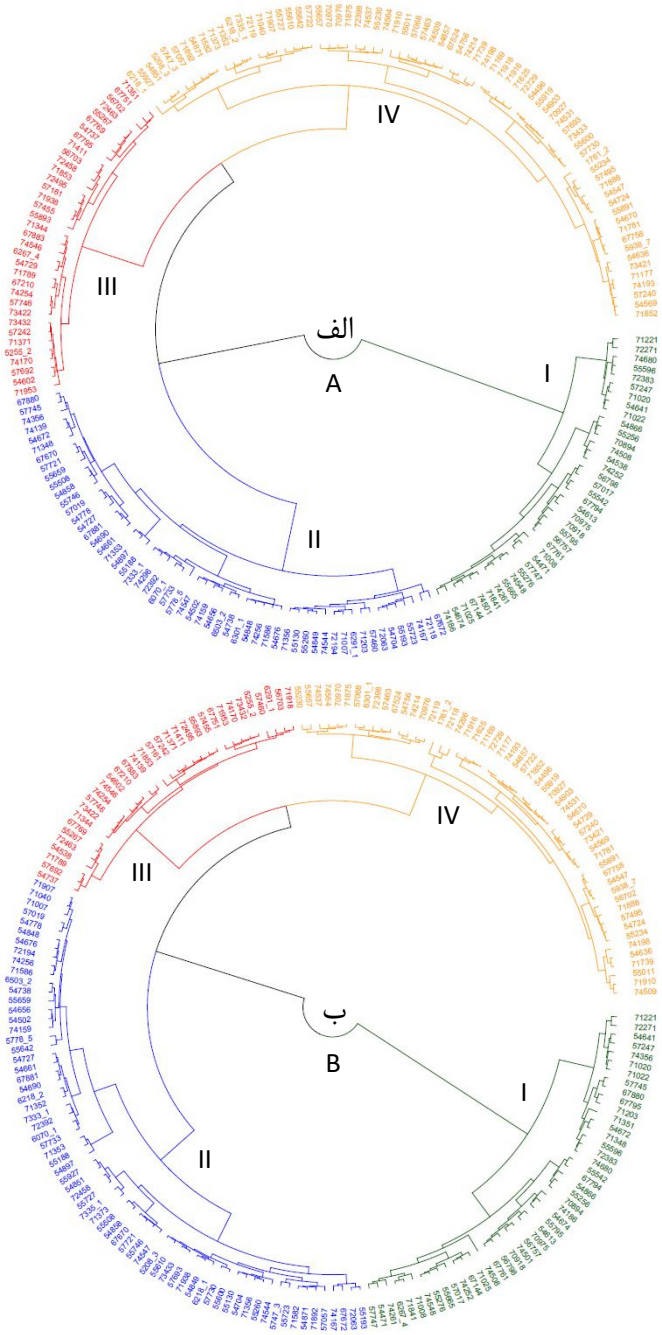
The results of first three principle components (PCs) are given. Days to heading (DTH), Days to maturity (DTM), Duration of heading-to-maturity (DHTM), Plant height (PH), Grain yield/m^2 (GY), Thousand kernel weight (TKW), Seed length (SEL), Seed width (SEW), Seed number per spike (SN), Spike length (SPL), Spike weight (SPW), Flag leaf length (FLL), Flag leaf width (FLW), Peduncle length (PL), Shoot diameter (SHD), Awn length (AWL).

در نمودارهای دوبعدی رسم شده توسط ۲ مؤلفه اول تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل و آبیاری معمولی چهار گروه مورد شناسایی قرار گرفتند (شکل ۲). تحت هر دو شرایط تنش خشکی آخر فصل و آبیاری معمولی گروه‌های اول به‌وسیله صفات DTM، TKW، SEL، SPL، SPW، FLL، FLW و PL تغییرات صفات زراعی را به‌صورت مثبت نشان داده بودند (جدول ۸). تأثیر مثبت صفات SN و DTM در کشت‌های دیم و آبیاری معمولی گزارش شده و از این صفات برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های گندم نان استفاده‌شده است (Rahimi et al., 2019). همچنین تأثیر مثبت صفات DTH، DTM، GY، SN و PL در توجیه داده‌های فنوتیپی ژنوتیپ‌های گندم کشت‌شده در محیط‌های معتدل پیش‌تر گزارش شده است (Sukumaran et al., 2015).



شکل ۲. نمودار دو بعدی با استفاده از دو مولفه اول حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی برای ۱۹۹ توده‌ی بومی گندم نان ایران تحت شرایط (الف) تنش خشکی آخر فصل و (ب) آبیاری معمولی.

Fig. 2. Bi-plot of the principal component analysis using the first two components for the 199 Iran bread wheat landraces under (A) late-season drought stress and (B) normal irrigation conditions.



شکل ۳. دندروگرام ۱۹۹ توده بومی گندم نان ایران با استفاده از ۱۶ صفت زراعی تحت شرایط (الف) تنش خشکی آخر فصل و (ب) آبیاری معمولی.

Fig. 3. Dendrogram of the 199 Iran bread wheat landraces using 16 agronomic traits under (A) late-season drought stress and (B) normal irrigation conditions.

تجزیه خوشه‌ای بر مبنای ۱۶ صفت زراعی اندازه‌گیری‌شده ۱۹۹ توده بومی گندم نان ایران را با استفاده از مربع فاصله اقلیدوسی به چهار گروه بزرگ تحت هر دو شرایط تنش خشکی آخر فصل و آبیاری معمولی دسته‌بندی نمود (شکل ۳). تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل گروه اول ۳۸ توده بومی، گروه دوم ۵۵ توده بومی، گروه سوم ۳۵ توده بومی و گروه چهارم ۷۱ توده بومی را در خود جای داده بودند (شکل ۳). تحت شرایط آبیاری معمولی گروه اول متشکل از ۴۶ و گروه دوم شامل ۶۷ توده بومی، گروه سوم حاوی ۳۳ توده بومی و گروه چهارم دربرگیرنده ۵۳ توده بومی بودند (شکل ۳). نتایج فوق نشان می‌دهند که تحت شرایط آبیاری معمولی توده‌های بومی بیشتری در گروه‌های یک و دو جای گرفته‌اند که این موضوع نشانگر افزایش عملکرد این توده‌های بومی به‌واسطه سه مرتبه آبیاری بیشتر در انتهای فصل رشد است (شکل ۳). گروه‌های سوم و چهارم تحت تنش خشکی در مقایسه با شرایط آبیاری معمولی دارای تعداد بیشتر توده بومی می‌باشند که این موضوع حاکی از قرار گرفتن ژنوتیپ‌های حساس به تنش خشکی در این گروه‌ها بود (شکل ۳). این نتایج مؤید نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی می‌باشند. به‌عنوان‌مثال، توده‌های بومی ۵۷۷۸۵، ۵۷۷۳۳ و ۵۴۵۰۲ با استفاده از هر دو روش آماری و تحت هر دو شرایط آبیاری در گروه ژنوتیپ‌های متحمل با عملکرد بالا قرار گرفته بودند که این موضوع نشان‌دهنده قابلیت به‌کارگیری این توده‌های بومی در برنامه‌های به‌نژادی کاربردی است. همچنین رحیمی و همکاران (Rahimi et al., 2019) با بررسی ۲۱۸ توده بومی گندم نان ایران آن‌ها را در چهار گروه تحت شرایط کشت دیم و پنج گروه تحت شرایط آبیاری معمولی (که یک ژنوتیپ به‌تنهایی یک گروه بوده است) تقسیم‌بندی نموده‌اند. نتایج مذکور نیز مؤید یافته‌های پژوهش حاضر می‌باشند.

نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به اینکه اولین خاستگاه گندم خاورمیانه و فلات ایران باستان است ظرفیت‌های بسیار شگرفی در توده‌های بومی این مناطق نهفته است. استفاده از توده‌های بومی موجود در ژرم‌پلاسم گندم نان ایران توانایی به‌کارگیری این منابع ژنتیکی بی‌بدیل را ارزانی پژوهشگران در برنامه‌های به‌نژادی خواهد نمود. ارزیابی تنوع ژنتیکی موجود در توده‌های بومی گندم نان ایران تحت رژیم‌های آبیاری متفاوت و همچنین در شرایط آب‌وهوایی مختلف می‌تواند روش مؤثری در شناسایی پتانسیل‌های این توده‌های بومی باشد.

بر اساس نتایج پژوهش حاضر جمعیت موردمطالعه دارای تنوع ژنتیکی بالا تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل و آبیاری معمولی بود. صفات TKW و SN تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل و صفات DTH، DTM، DHTM، TKW و SN تحت شرایط آبیاری معمولی بیشترین اثر مستقیم را در تغییرات GY داشتند. همچنین توده‌های بومی مانند ۵۷۷۸۵، ۵۷۷۳۳ و ۵۴۵۰۲ به علت داشتن عملکرد بالا در هر دو شرایط کشت‌شده توانایی به‌کارگیری در برنامه‌های به‌نژادی را دارا می‌باشند.

قدردانی

نویسندگان از جناب آقای دکتر علی مقدم به جهت هماهنگی آزمایش‌های مزرعه‌ای سپاسگزاری می‌نمایند.

منابع

Arzani, A., Ashraf, M., 2017. Cultivated ancient wheats (*Triticum* spp.): a potential source of health-beneficial food products. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 16, 477-488.

Barraclough, P.B., Lopez-Bellido, R., Hawkesford, M.J., 2014. Genotypic variation in the uptake, partitioning and remobilization of nitrogen during grain-filling in wheat. Field Crops Research. 156, 242-248.

Crain, J., Bajgain, P., Anderson, J., Zhang, X., DeHaan, L., Poland, J., 2020. Enhancing crop domestication through genomic selection, a case study of intermediate wheatgrass. Frontiers in Plant Science. 11, 319.

De Mendiburu, F., 2014. Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.2-1.

Food and Agriculture Organization (FAO)., 2013. Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAO expert

consultation. FAO Food Nutriants Paper. 92, 1-79.

Food and Agriculture Organization (FAO), 2020. FAOSTAT. http://www.fao.org/faostat

Galili, T., 2015. Dendextend: an R package for visualizing, adjusting and comparing trees of hierarchical clustering. Bioinformatics. 31, 3718-3720.

Golparvar, A.R., Ghanadha, M.R., Zali, A.A., Ahmadi, A., Harvan, E.M., Ghasemi Pirbalooti, A., 2007. Factor analysis of morphological and morpho-physiological traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under drought and non-drought stress conditions. Pajouhesh and Sazandegi. 72, 52-59. [In Persian with English summary]

Gu, Z., Gu, L., Eils, R., Schlesner M., Brors, B., 2014. Circlize implements and enhances circular visualization in R. Bioinformatics. 30, 2811-2812.

Haghighattalab, A., Gonzalez-Perez, L., Mondal, S., Singh, D., Schinstock, D., Rutkoski, J., Ortiz-Monasterio, I., Singh, R.P., Goodin, D., Poland, J., 2016. Application of unmanned aerial systems for high throughput phenotyping of large wheat breeding nurseries. Plant Methods. 12, 35.

Minitab Inc., 2013. Minitab 16 statistical software. Coventry, United Kingdom.

Mohseni, M., Mortazavian, S.M.M., Ramshini, H.A., Foghi, B., 2014. Evaluation of bread wheat genotypes under normal and post-anthesis drought stress conditions for agronomic traits. Journal of Crop Breeding, 8. 16-29. [In Persian with English summary]

Nuttonson, M.Y., 1995. Wheat-climatic relationships and the use of phenology in ascertaining the thermal and photothermal requirements of wheat. Washington, DC: Amerian Institute of Crop Ecolology.

Pask, A.J.D., Pietragalla, J., Mullan., Reynolds, M.P., 2012. Physiological breeding II: a field guide to wheat phenotyping. International Wheat and Maize Improvement Centre (CIMMYT), DF, Mexico.

Poland, J.A., Endelman, J., Dawson, J., Rutkoski, J., Wu, S., Manes, Y., Dreisigacker, S., Crossa, J., Sanchez-Villeda, H., Sorrells, M.E., Jannink, J.-L., 2012. Genomic selection in wheat breeding using genotyping-by-sequencing. Plant Genome. 5, 103-113.

R Development Core Team. 2020. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.

Rahimi, Y., Bihamta, M.R., Talaei, A., Alipour, H., 2019. Genetic variability assessment of Iranian wheat landraces in term of some agronomic attributes under normal irrigation and rain-fed conditions. Iranian Journal of Field Crop Science. 50, 1-16. [In Persian with English summary]

Rutkoski, J., Poland, J., Mondal, S., Autrique, E., Perez, L.G., Crossa, J., Reynolds, M., Singh, R., 2016. Canopy temperature and vegetation indices from high-throughput phenotyping improve accuracy of pedigree and genomic selection for grain yield in wheat. G3 (Bethesda). 6, 2799-2808.

SAS Institute, 2016. SAS® 9.4. Cary, NC, USA.

Sehgal, A., Sita, K., Siddique, K.H.M., Kumar, R., Bhogireddy, S., Varshney, R.K., HanumanthaRao, B., Nair, R.M., Prasad, P.V.V., Nayyar, H., 2018. Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality. Frontiers in Plant Science. 9, 1705.

Shabannejad, M., Bihamta, M.R., Majidi-Hervan, E. Alipour, H., Ebrahimi, A., 2020. A simple, cost-effective high-throughput image analysis pipeline improves genomic prediction accuracy for days to maturity in wheat. Plant Methods .16, 146.

Sukumaran, S., Dreisigacker, S., Lopes, M., Chavez, P., Reynolds, M.P., 2015. Genome-wide association study for grain yield and related traits in an elite spring wheat population grown in temperate irrigated environments. Theoretical and Applied Genetics. 128, 353-363.

Sun, J., Poland, J.A., Mondal, S., Crossa, J., Juliana, P., Singh, R.P., Rutkoski, J.E., Jannink, J.-L., Crespo-Herrera, L., Velu, G., et al., 2019. High-throughput phenotyping platforms enhance genomic selection for wheat grain yield across populations and cycles in early stage. Theoretical and Applied Genetics. 132, 1705-1720.

United States Department of Agriculture - Agricultural Research Service (USDA-ARS)., 2020. FoodData Central.

Wang, H., Qin, F., 2017. Genome-wide association study reveals natural variations contributing to drought resistance in crops. Frontiers in Plant Science. 8, 1110.

Zhang, J., Song, Q., Cregan, P.B., Jiang, G.L., 2016. Genome-wide association study, genomic prediction and marker-assisted selection for seed weight in soybean (*Glycine max*). Theoretical and Applied Genetics. 129, 117-130.