

## Identification of different drought patterns of dryland wheat in the northwest of Iran by APSIM model

Sajjad Rahimi-Moghaddam<sup>1\*</sup>, Hamed Eyni-Nargeseh<sup>2</sup>

- 1- Assistant Professor Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Natural Resources Lorestan University, Khorramabad, Iran.  
2- Instructor Department of Agricultural science Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

**Citation:** Rahimi-Moghaddam, S., & Eyni-Nargeseh, H. (2022). Identification of different drought patterns of dryland wheat in the northwest of Iran by APSIM model, 45(3), 435-446.

### Abstract

#### Introduction

Improving crop yields can meet the projected demand in developed and developing countries as a key and promising solution. To increase dryland wheat production in arid and semi-arid regions such as Iran, researchers and crop breeders need to understand the drought pattern (in terms of time and intensity) occurring in wheat agro-systems because depending on the time and intensity of drought stress, drought stress impacts on different processes and genes of crops. To accurately study the drought pattern of dryland wheat and different cultivars adapted to these conditions, researchers need to design multi-environmental field experiments, which are time-consuming and costly. Under these circumstances, some essential information is limited in the field experiments, especially when done for only a few years, and basically does not indicate fluctuations in the target environments. In contrast, the modeling and simulation approach is a useful method for comprehensive environmental impact assessment.

#### Materials and Methods

This study was conducted to identify and study different drought patterns in 8 locations including Ardebil, Khalkhal, Maragheh, Marand, Meshginshahr, Sarab, Tabriz, and Urmia in the northwest of Iran. APSIM model was used to simulate the growth and development of dryland wheat in the study locations. The long-term climatic included minimum and maximum temperatures, rainfall, and radiation (1980 to 2016) collected from the Meteorological Organization of Iran. These data were used as input to the crop growth simulation model. Water supply and demand index was used to determine different drought patterns. This index is obtained by dividing soil water content to plant water demand (WSDR). After calculating the water supply and demand index for each year and region, the CLARA clustering method was used to classify and group the index. The number of groups obtained by CLARA method was equal to the type of drought patterns of dryland wheat.

---

\* **Corresponding Author:** Sajjad Rahimi-Moghaddam  
**E-mail:** rahimi.s@lu.ac.ir



## Results and Discussion

The results showed 4 different drought patterns during the dryland wheat growing season in the study locations. Drought pattern 1 showed no drought stress or mild drought stress throughout the growing season of dryland wheat. Under drought pattern 2, drought stress started before flowering and ended during seed filling. For drought pattern 3, water stress started from the time of germination but removed during the vegetative growth period. Drought pattern 4 started in the early stages of growth and continued until the end of the dryland wheat growing season. The frequency of occurrence of 1, 2, 3, and 4 drought patterns was 27.8%, 26%, 8% and 38.2%, respectively. On average across locations, transpiration was 160, 137.1, 31, and 86.7 mm for 1, 2, 3, and 4 drought patterns during the wheat growing season. Also, a significant difference was observed among different drought patterns in terms of biomass that biomass under drought patterns 1, 2, 3, and 4 was equal to 13411, 10076, 2097 and, 6435 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. Grain yield under drought pattern types 1, 2, 3 and 4 were 3738.7, 2949.7, 694.6, and 1456.2 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. The highest percentage of light and mild drought patterns (1 and 2) was related to Marand region with 100% and Sarab region experienced more severe drought patterns (3 and 4) than other regions (88.2%). Under different locations and drought patterns, on average across years, the highest grain yield was simulated for Marand under drought pattern 1 (4759 kg ha<sup>-1</sup>) and the lowest was recorded for Urmia under drought pattern 3 (208.8 kg ha<sup>-1</sup>).

## Conclusion

In general, the simulation results showed that 4 different types of drought patterns were observed during the dryland wheat growing period in the study locations. The frequency of occurrence of 4 drought patterns was various in the study locations and the grain yield varied under the drought patterns. However, the highest occurrence was related to drought pattern 4, under which drought stress begun in the early stages of growth and lasted until the end of the dryland wheat growing season. Accordingly, it is suggested to consider various strategies such as using cultivars with short maturity period to avoid drought stress at the end of the season and using cultivars with high resistance to drought stress (especially in the flowering period).

**Keywords:** Flowering, Grain yield, Growing period, Occurrence of drought, Transpiration.

## شناسایی الگوهای مختلف خشکی گندم دیم در شمال غرب ایران با استفاده از مدل APSIM

سجاد رحیمی مقدم<sup>۱\*</sup>، حامد عینی نرگسه<sup>۲</sup>

۱- استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد ایران.  
۲- مربی گروه علوم کشاورزی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران

### چکیده

این تحقیق در راستای شناسایی و بررسی الگوهای مختلف خشکی در برخی از بوم نظام های تولید گندم دیم در شمال غرب کشور در سال ۱۳۹۷ در ۸ شهرستان انجام شد. در این تحقیق برای شبیه سازی رشد و نمو گندم دیم در مناطق مورد مطالعه از مدل APSIM (The Agricultural Production Systems sIMulator) استفاده شد. داده‌های بلند مدت اقلیمی (۲۰۱۶-۱۹۸۰) شامل بیشینه و کمینه دما، بارش و تابش بودند که از سازمان هواشناسی کشور جمع آوری شدند و به عنوان ورودی مدل شبیه سازی رشد و نمو گیاه زراعی در نظر گرفته شدند. برای تعیین الگوهای مختلف خشکی از شاخص عرضه و تقاضای آب استفاده شد. نتایج نشان داد که ۴ الگوی مختلف خشکی در طول فصل رشد گندم دیم در مناطق مورد مطالعه شناسایی شد. الگوی خشکی ۱ نشان‌دهنده عدم تنش خشکی یا تنش خشکی خفیف در تمام طول فصل رشد گندم دیم بود. الگوی ۲ بیانگر تنش خشکی بود که قبل از گلدهی شروع و در طی پر شدن دانه پایان یافت. تحت الگوی خشکی ۳، تنش آب از زمان جوانه‌زنی شروع شد اما در طول دوره رویشی به بعد برطرف گردید. الگوی خشکی ۴ تنش خشکی در مراحل اولیه رشد شروع شد و تا پایان فصل رشد گندم ادامه یافت. عملکرد دانه تحت الگوی خشکی نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب برابر با ۳۷۳۸/۷، ۲۹۴۹/۷، ۶۹۴/۶ و ۱۴۵۶/۲ کیلوگرم در هکتار بود. بیشترین درصد الگوهای خشکی خفیف (۱ و ۲) مربوط به منطقه مرنده با ۱۰۰ درصد بود و منطقه سراب الگویهای خشکی شدید را بیشتر از مناطق دیگر تجربه کرد (۸۸/۲ درصد). به طور میانگین در تمام سال‌ها، بالاترین عملکرد در شهرستان مرنده تحت الگوی خشکی ۱ با ۴۷۵۹ کیلوگرم در هکتار شبیه سازی شد و کمترین میزان آن در شهرستان ارومیه و الگوی ۳ با ۲۰۸/۸ کیلوگرم در هکتار ثبت شد. در مجموع بیشترین رخدادهای مربوط به الگوی خشکی ۴ (DP4) بود که تحت این الگو، تنش خشکی خفیف در مراحل اولیه رشد شروع می‌شود و تا پایان فصل رشد گندم دیم ادامه دارد. با توجه به این موضوع پیشنهاد می‌شود راهکارهای مختلفی از جمله به کار بردن ارقامی با طول دوره رسیدگی کم که از تنش خشکی آخر فصل اجتناب کنند و استفاده از ارقامی با مقاومت بالا به تنش خشکی به ویژه در دوره گلدهی مورد بررسی قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: تفرق، دوره رشد، رخدادهای خشکی، عملکرد دانه، گلدهی.

\* نویسنده مسئول: سجاد رحیمی مقدم  
rahimi.s@lu.ac.ir



## مقدمه

وقوع پدیده تغییر اقلیم و اثرات منفی آن از یک طرف و افزایش رشد جمعیت و تقاضای آب برای مصارف شهری و صنعتی از طرف دیگر، موجب محدود شدن فراهمی آب برای تولیدات کشاورزی شده است. بهبود عملکرد گیاهان زراعی می‌تواند به عنوان یک راهکار کلیدی و امیدبخش تقاضای پیش‌بینی شده در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه را مرتفع نماید. یکی از این موارد پیشرفت‌ها در زمینه اصلاح و بهبود گیاهان است (OECD, 2014). گندم یکی از محصولات راهبردی در ایران است که سالانه زمین‌های زراعی زیادی زیر کشت این محصول قرار دارند. طبق آخرین گزارش وزارت جهاد کشاورزی ۱۱/۳۸ میلیون هکتار از زمین‌های کشاورزی زیر کشت محصولات مختلف قرار دارد که در این میان گندم حدود ۵۰ درصد (۵/۷ میلیون هکتار) از این سطح را به خود اختصاص داده است و به صورت دیم و آبی مورد کشت و کار قرار می‌گیرد. علیرغم بیشتر بودن سطح زیر کشت گندم دیم (۳/۴۷ میلیون هکتار) در مقایسه با آبی (۲/۲۳ میلیون هکتار)، مقدار تولید گندم آبی (۷/۸۹ میلیون تن) بیش از دو برابر دیم (۳/۶۲ میلیون تن) است. میزان میانگین عملکرد گندم دیم در دنیا برابر با ۳ تن در هکتار است در صورتی که این مقدار در ایران برابر با ۱/۱ تن در هکتار می‌باشد (FAO, 2016). در این راستا چنانچه بتوان با به کارگیری مدیریت بهینه، عملکرد در واحد سطح را افزایش داد، با توجه به سطح زیرکشت قابل توجه آن، می‌توان انتظار دستیابی به تولید بیشتری در هر سال را داشت.

برای افزایش تولید گندم دیم و افزایش کارایی مصرف آب این گیاه در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران، محققان و اصلاح‌گران گیاهان زراعی نیازمند درک صحیح از الگوی خشکی (زمان و شدت آن) در نظام های زراعی هستند چرا که بسته به زمان و شدت تنش، خشکی فرآیندها و ژن‌های مختلفی از گیاهان را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Slafer, 2003; Hammer, 2006; Fischer, 2011). در برخی موارد ممکن است صفات و ژن‌های مفید مرتبط با عملکرد گیاه در محیط‌های دیگر اثرات منفی داشته باشند (Chenu et al., 2009; Tardieu, 2012). در یک منطقه محدود جغرافیایی، تغییرات مکانی و زمانی در بارش همراه با تنوع انواع خاک می‌تواند منجر به ایجاد تعداد نامحدودی از الگوهای خشکسالی شود که محصولات زراعی ممکن است تجربه کنند (Chenu et al., 2013). در مطالعه‌ای، پهنه‌بندی تنش خشکی برای سورگوم شامل ۵/۷ میلیون هکتار در هندوستان صورت گرفت (Kholová et al.,

2013). نتایج این مطالعه نشان که تنش خشکی برای سورگوم شامل پنج نوع الگوی خشکی است و شدیدترین الگوی خشکی که شامل ۲۵ درصد فصل‌های کشت می‌باشد، قبل از دوره گلدهی اتفاق می‌افتد و منجر به کاهش عملکرد گیاه سورگوم می‌شود. بنابراین با شناخت صحیح پهنه‌بندی خشکی گندم دیم از نظر مکانی و زمانی در طول فصل رشد گندم دیم، می‌توان زمینه‌ی مناسبی را برای معرفی ارقام جدید و مناسب گندم دیم با توجه به هر منطقه در کشور ایجاد کرد. نتایج یک مطالعه شبیه‌سازی (Chenu et al., 2013) بر روی ۶۰ سایت و ۲۲ منطقه در ۱۲۳ سال نشان داد که در سراسر کمربند گندم استرالیا چهار نوع الگوی خشکی وجود دارد که شدیدترین الگوی خشکی قبل از گلدهی رخ می‌دهد و شامل ۴۴ درصد از فصل‌های کشت می‌باشد. نتایج این مطالعه مشخص نمود که پهنه‌بندی الگوهای خشکی می‌تواند به اصلاح‌گران کمک کند با توجه به نوع صفت، ژن و محیط هدف رقم‌هایی را برای مقابله با تنش خشکی معرفی و اصلاح کند.

برای بررسی دقیق پهنه‌بندی خشکی گندم دیم و بررسی ارقام مختلف سازگار به این شرایط، محققان نیازمند طراحی آزمایش‌های محیطی و چندگانه هستند که اساساً وقت‌گیر و هزینه‌بر است. در این موارد بعضی اطلاعات ضروری در شرایط آزمایشگاهی محدود می‌شوند به‌ویژه زمانی که در طول تنها چندین سال انجام می‌شوند و اساساً بیانگر نوسان‌های موجود در محیط‌های هدف نیستند (Chenu, 2015). در نقطه مقابل، رهیافت مدل‌سازی و شبیه‌سازی یک روش مفید برای بررسی جامع اثرات محیطی است (Chenu et al., 2013; Chenu, 2015). بررسی اثر مدیریت کشاورزی بر بهره‌وری محصولات زراعی در یک محیط با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی به سادگی امکان‌پذیر است (Brisson et al., 2003; Deihimfard, 2015). این ابزارها رشد، نمو و عملکرد محصولات زراعی را به صورت بلند مدت شبیه‌سازی می‌کنند و همچنین برای بررسی پاسخ محصولات به تغییرات اقلیمی و روش‌های مدیریتی بسیار مناسب هستند (Borras and Otegui, 2001; Rahimi-Moghadam et al., 2018). با استفاده از این رهیافت می‌توان شدت و طول دوره خشکی را از طریق داده‌های بلند مدت اقلیمی برای کمک به تعیین ارقام مناسب برای هر منطقه محاسبه کرد. در این راستا، این تحقیق با استفاده از رهیافت مدل‌سازی به کمک مدل APSIM به شناسایی و بررسی الگوهای مختلف خشکی گندم دیم در شمال غرب کشور پرداخت.

## مواد و روش‌ها

## ایستگاه‌های مورد بررسی

این تحقیق در سال ۱۳۹۷ در ۸ شهرستان از شمال غرب کشور شامل اردبیل، خلخال، مراغه، مرند، مشگین شهر، سراب، تبریز و ارومیه انجام شد (جدول ۱ و شکل ۱). معیار انتخاب این شهرستان‌ها سطح زیرکشت گندم دیم و تنوع آب و هوایی در مناطق شمال غرب کشور بود. در جدول‌های ۱ و ۲ خصوصیات جغرافیایی، اقلیمی و خاکی مناطق مورد مطالعه ارائه شده است.

## جمع‌آوری داده‌های اقلیمی، خاکی و مدیریتی

داده‌های اقلیمی بلندمدت مورداستفاده در این تحقیق شامل دماهای کمینه و بیشینه (درجه سانتی‌گراد)، بارندگی (میلی‌متر) و تعداد ساعات آفتابی (۲۰۱۶-۱۹۸۰) بودند که از سازمان هواشناسی کشور جمع‌آوری شدند. این داده‌ها به‌عنوان ورودی مدل شبیه‌سازی رشد گیاه زراعی مورد استفاده قرار گرفتند. به دلیل این‌که در ایستگاه‌های هواشناسی در بعضی از ماه‌های سال داده‌ی هواشناسی ثبت نشده و در برخی موارد داده‌های پرت وجود داشت، داده‌های پرت و گم شده در ایستگاه‌های مختلف با استفاده از برنامه WeatherMan (Hoogenboom *et al.*, 2003) اصلاح و بازسازی شدند. همچنین با توجه به این‌که در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی کشور، مقدار تابش روزانه ثبت نمی‌شود، با در اختیار داشتن تعداد ساعت آفتابی، تابش روزانه با استفاده از رابطه آنگستروم (Prescott, 1940) به‌صورت زیر تخمین زده شد:

$$R_s = \left(a + b \frac{n}{N}\right) R_a \quad \text{معادله ۱}$$

در این معادله،  $R_s$  تابش روزانه (مگاژول در مترمربع)،  $n$  تعداد ساعات آفتابی،  $N$  حداکثر تعداد ساعات آفتابی ممکن و  $R_a$  تابش فرازمینی (Extraterrestrial radiation) می‌باشد. پارامترهای  $a$  و  $b$  ضرایب آنگستروم کالیبر شده محلی هستند.

در این تحقیق مقدار پارامترهای  $a$  و  $b$  برای مناطق مختلف از تحقیق معینی و همکاران (Moini *et al.*, 2011) استفاده شد. ورودی‌های خاکی مورد نیاز مدل شامل عمق خاک (سانتی‌متر)، وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، ظرفیت نقطه پژمردگی (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب)، ظرفیت نقطه زراعی (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب)، ظرفیت نقطه اشباع (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب)، آب اولیه خاک و کربن آلی (درصد) است. داده‌های مدیریتی شامل تاریخ کاشت، تراکم، میزان کود، عمق کاشت و نوع شخم بودند. اطلاعات مدیریتی و خاکی از مقالات و گزارش‌های مختلف سازمان جهاد کشاورزی و مراکز تحقیقات کشاورزی جمع‌آوری شدند.

برای تعیین تاریخ کاشت و آب اولیه خاک ابتدا یک آزمایش شبیه‌سازی اولیه انجام گرفت. به این صورت که مدل ابتدا با توجه به اطلاعات مدیریتی کشاورزان برای بازه کاشت گندم دیم برای هر منطقه در طول ۳۷ سال (۲۰۱۶-۱۹۸۰) اجرا شد و جوانه زنی گندم دیم شبیه‌سازی شد. برای این منظور چندین فرض در مدل برای جوانه زنی برقرار شد به این صورت که جوانه زنی زمانی رخ می‌دهد که در ۵ روز متوالی حداقل ۵ میلی‌متر بارندگی صورت گیرد و میزان آب خاک برابر با ۳۰ میلی‌متر باشد. این فرض‌ها بر اساس توصیه مراکز تحقیقاتی برای کشت دیم گندم بود. با احتساب ۳۷ سال و ۸ منطقه، در مجموع ۲۹۶ زمان جوانه زنی و همچنین ۲۹۶ مقدار آب خاک متفاوت در زمان این جوانه‌زنی‌ها به صورت خروجی شبیه‌سازی وجود داشت. میانه زمان‌های جوانه‌زنی به عنوان تاریخ کاشت در نظر گرفته شد. همچنین، میانه مقادیر آب اولیه خاک در زمان‌های جوانه‌زنی برای شبیه‌سازی‌های بعدی در نظر گرفته شد. تاریخ‌های کاشت و مقادیر آب اولیه برای مناطق مختلف حاصل از شبیه‌سازی اولیه در جدول ۱ نشان داده شده است.

Table 1. Geographical, climatic, soil, and management properties of study locations.

Location	Longitude	Latitude	Elevation (m)	Area under cultivation (ha)	Sowing date	Soil PAWC* (mm)	Initial soil water (mm)	Annual mean temperature (°C)	Annual cumulative rainfall (mm)
Ardebil	48.2	38.2	1351	16900	8-Oct	117	31	9.4	270
Sarab	47.4	37.9	1650	20000	30-Oct	138	23	8.7	243
Meshginshahr	47.8	38.6	1400	38500	13-Oct	128	27	11	395
Marand	45.7	38.6	1334	7800	6-Oct	182	38	12.4	383
Urmia	44.9	37.7	1332	35500	21-Oct	91.2	28	11.4	322
Tabriz	46.28	38.07	1351	4000	9-Oct	94.8	27	13.1	270
Maragheh	46.3	37.4	1477	31000	23-Oct	125	32	13.3	305
Khalkhal	48.4	37.4	1843	125000	11-Oct	94.8	30	8.4	367

\*PAWC: plant available water capacity.

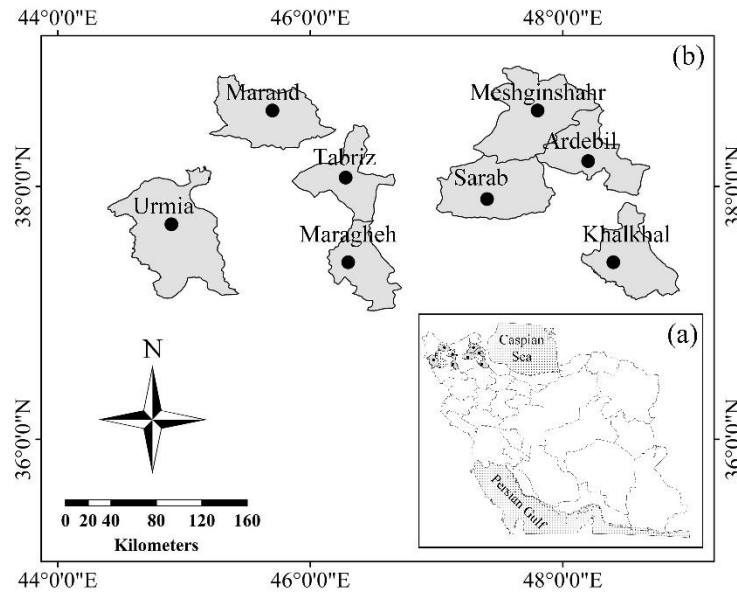


Figure 1. Selected meteorological stations for the study locations (b) in northwest of Iran (a).

Table 2. Monthly mean temperature and cumulative rainfall of study locations during 1980-2016 years.

Location	Mean temperature (°C)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Ardebil	-1.34	-0.10	4.15	10.06	13.40	16.53	18.41	18.45	15.58	11.28	5.73	0.38
Sarab	-5.03	-2.19	3.39	8.85	13.23	16.74	19.92	19.74	16.10	10.91	3.89	-1.87
Meshginshahr	10.36	14.57	18.53	20.91	21.49	17.96	13.02	6.61	2.57	0.39	1.36	4.64
Marand	-1.70	0.81	6.44	11.48	16.41	21.69	25.43	25.86	21.04	14.31	6.53	-0.42
Urmia	-1.82	0.27	5.31	10.94	15.38	20.18	23.58	23.01	18.83	12.94	6.36	0.74
Tabriz	-1.09	1.21	6.03	12.15	17.18	22.89	26.79	26.55	21.92	14.87	7.29	1.19
Maragheh	-0.34	1.43	6.35	12.14	17.02	22.65	26.73	26.33	21.81	15.24	7.94	2.30
Khalkhal	-3.99	-2.32	2.64	8.43	12.36	16.50	19.42	19.52	15.47	9.99	3.63	-0.95
Location	Cumulative rainfall (mm)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Ardebil	22.1	21.6	38.4	34.9	36.6	13.9	5.9	6.5	10.1	28.6	31.9	20.3
Sarab	15.1	13.8	24.6	47.7	41.7	13.7	16.4	10.4	9.5	24.9	20.6	12.6
Meshginshahr	54.2	64.0	36.5	20.5	14.8	22.8	28.1	33.9	20.8	18.3	27.3	41.3
Marand	31.7	31.3	55.1	56.9	40.1	25.6	14.3	8.3	10.8	28.1	43.1	31.4
Urmia	26.2	27.7	47.6	52.6	41.7	10.3	5.1	2.7	4.1	30.7	43.4	27.1
Tabriz	21.0	19.4	32.0	47.3	41.0	12.6	6.1	3.2	8.1	25.5	29.9	24.4
Maragheh	28.5	27.1	44.5	59.9	30.0	6.0	2.2	1.2	3.8	23.8	42.6	32.5
Khalkhal	30.5	42.1	46.4	64.9	55.6	20.8	13.4	5.4	8.2	29.3	47.8	31.4

### مدل گیاه زراعی

تمامی شبیه‌سازی‌ها در شرایط واقعی مزرعه و با توجه به داده‌های مدیریتی کشاورزان در هر منطقه انجام شد. این مدل پیش‌تر برای ارقام مختلف غالب دیم و آبی بهاره و پاییزه کشور در شرایط واقعی مزرعه و مدیریت کشاورزان مورد واسنجی و اعتبارسنجی قرار گرفته است به طوری که مدل APSIM قادر بود عملکرد دانه گندم ( $nRMSE=10.6\%$ ) و آب خاک ( $nRMSE=5.3\%$ ) را با دقت خوبی شبیه‌سازی کند (Deihimfard *et al.*, 2022). در این تحقیق از مدل آماده و ارزیابی شده استفاده شد. همچنین برای شبیه‌سازی از رقم

در این تحقیق از مدل APSIM برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد گندم در دوره پایه و نیز رویه‌های اقلیمی آینده استفاده شد. مدل APSIM توسط محققین استرالیایی طراحی شده است و از قدرت بالایی برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاهان زراعی برخوردار است. زیرمدل گندم در این مدل، رشد و نمو گندم را به صورت روزانه شبیه‌سازی می‌کند و به عوامل مختلف از جمله آب و هوا (دما، بارندگی و تابش)، خاک (آب خاک و نیتروژن خاک)، پارامترهای ژنتیکی و اطلاعات مدیریتی محصول زراعی پاسخ نشان می‌دهد (Keating *et al.*, 2003). در این تحقیق

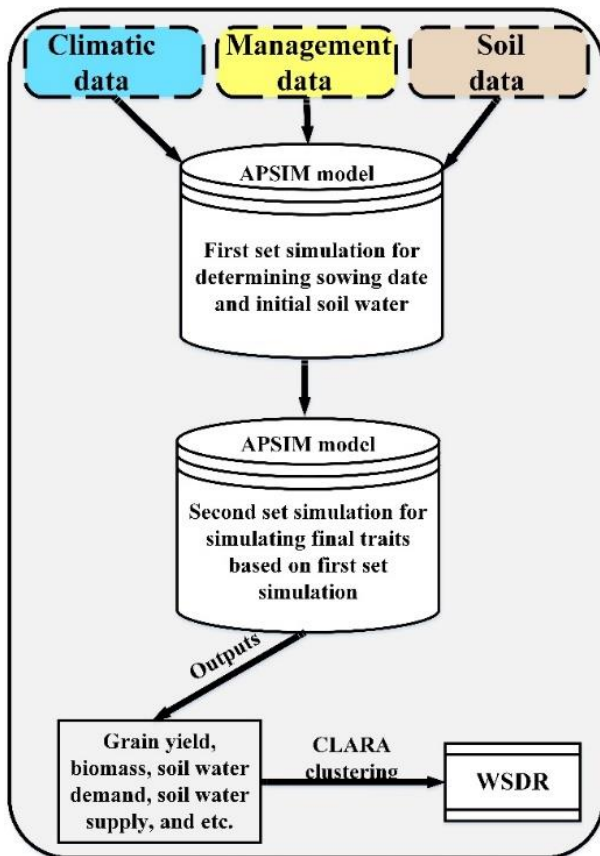


Figure 2. Workflow diagram of describing all simulation processes in the current study.

تحت الگوی خشکی ۳ (DP3)، تنش آب از زمان جوانه زنی شروع شد اما در طول دوره رویشی به بعد برطرف گردید. الگوی خشکی ۴ (DP4) تنش خشکی در مراحل اولیه رشد شروع شد و تا پایان فصل رشد گندم ادامه یافت. به طور میانگین در سراسر سالها و مناطق مختلف، میانگین شاخص خشکی برای الگوهای خشکی ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب برابر با ۰/۹۶، ۰/۸۴، ۰/۶۲ و ۰/۴۵ بود (شکل ۳). میانگین بارندگی تجمعی فصلی تحت الگوهای خشکی ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب برابر با ۳۱۴/۴، ۳۰۹/۹، ۲۲۷/۶ و ۲۱۷ میلی‌متر بود (شکل ۴). از نظر تعرق گیاه گندم در طول فصل رشد، میزان این صفت تحت الگوهای خشکی ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب برابر با ۱۶۰، ۱۳۷/۱، ۳۱ و ۸۶/۷ میلی‌متر بود. از نظر بیوماس تولیدی نیز اختلاف قابل توجهی بین الگوهای مختلف خشکی مشاهده گردید به طوری که میزان این صفت تحت الگوهای خشکی ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب برابر با ۱۳۴۱۱، ۱۰۰۷۶، ۲۰۹۷ و ۶۴۳۵ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۴). به طور کلی نتایج نشان داد که تحت الگوهای خفیف خشکی (الگوهای ۱ و ۲) نسبت به الگوهای شدید خشکی (الگوهای ۳ و

پاییزه آذر-۲ در این تحقیق استفاده شد. ضرایب ژنتیکی این رقم در جدول ۳ مشخص می باشد.

Table 3. Genetic parameters for rainfed wheat Azar-2 cultivar.

Parameter	Value
Thermal time at the end of juvenile stage (°Cd)	380
Number of grain per gram of stem (Kernel/g stem)	25
Thermal time at floral initiation stage (°Cd)	500
Maximum grain size (g)	0.041
Thermal time from start grain filling to maturity (°Cd)	400
Photoperiod sensitivity	2.5
Vernalization sensitivity	2

### تعیین الگوی خشکی و تجزیه و تحلیل‌های آماری

برای تعیین الگوهای مختلف خشکی از شاخص عرضه و تقاضای آب استفاده شد (معادله ۲). شاخص، کسر مقدار آب خاک به تقاضای آب گیاه است (Chenu et al., 2013) که مقدار آن از صفر تا یک متغیر می‌باشد. مقدار صفر برابر با عدم وجود آب در خاک و مقدار یک نشان دهنده عدم وجود تنش آبی برای گیاه می‌باشد:

$$sdr = \frac{SWS}{CWD} \quad \text{معادله ۲}$$

در این معادله،  $sdr$  شاخص عرضه و تقاضای آب،  $SWS$  عرضه آب خاک و  $CWD$  تقاضای آب محصول زراعی می باشد. بعد از محاسبه شاخص عرضه و تقاضای آب برای هر سال و منطقه از روش خوشه‌بندی کلارا (CLARA: Clustering for Large Applications) برای طبقه‌بندی و گروه‌بندی این شاخص استفاده شد. تعداد گروه‌های بدست آمده حاصل از روش کلارا برابر با نوع الگوهای خشکی گندم دیم بودند. در شکل ۲ مراحل انجام کار مشاهده می شود. در این مطالعه برای تمامی تجزیه‌های آماری و رسم شکل‌ها از نرم افزار OriginPro 9.1 (Seifert, 2014) و R (R Core Team, 2016) استفاده شد.

### نتایج و بحث

#### الگوهای خشکی و ویژگی‌های آن‌ها

همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود چهار الگوی مختلف خشکی در طول فصل رشد گندم دیم در مناطق مورد مطالعه مشاهده گردید. الگوی خشکی ۱ (DP1: Drought pattern) نشان دهنده عدم تنش خشکی یا تنش خشکی خفیف در تمام طول فصل رشد گندم دیم بود. الگوی ۲ (DP2) بیانگر تنش خشکی بود که قبل از گلدهی شروع و در طی پر شدن دانه پایان یافت.



الگوی خشکی در مناطق متفاوت بود. به عنوان مثال بیشترین درصد الگوهای خشکی خفیف (۱ و ۲) مربوط به منطقه مرند با ۱۰۰ درصد بود و در واقع در این منطقه الگوی خشکی شدید (۳ و ۴) مشاهده نشد. در نقطه مقابل محصول گندم دیم در منطقه سراب الگوهای خشکی شدید را بیشتر از مناطق دیگر تجربه کرد (۸۸/۲ درصد) (شکل ۶). ایجاد الگوهای خفیف خشکی در منطقه مرند را می‌توان به ظرفیت نگهداری آب خاک و میزان بارندگی در این منطقه مربوط دانست. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود این منطقه در طول سال میزان بارش قابل توجهی (۳۸۳ میلی‌متر) دریافت می‌کند. همچنین این منطقه بیشترین ظرفیت نگهداری آب خاک (۱۸۲ میلی‌متر) را نسبت به مناطق دیگر داشت. در سوی دیگر کمترین میزان بارش مربوط به سراب بود (۲۴۳ میلی‌متر) و این موضوع باعث شد که بیشترین الگوهای خشکی شدید در این منطقه شکل بگیرد. بسیاری از مطالعات نشان می‌دهند که میزان بارش و ویژگی‌های خاک جزو مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار بر تنش خشکی در بوم نظام‌های کشاورزی هستند (Chenu *et al.*, 2013; Kholov'a *et al.*, 2013). به عنوان مثال، در غرب و جنوب استرالیا با ظرفیت نگهداری آب خاک ۱۰۰ میلی‌متر و منطقه شرق با ظرفیت نگهداری آب خاک ۱۵۰ میلی‌متر از لحاظ الگوهای خشکی گندم دیم تفاوت قابل توجهی وجود داشت (Chenu *et al.*, 2013).

(۴)، میزان بیوماس تولیدی به واسطه بارندگی و تعرق بیشتر (به عنوان معیاری از فتوسنتز گیاه) بیشتر می‌باشد.

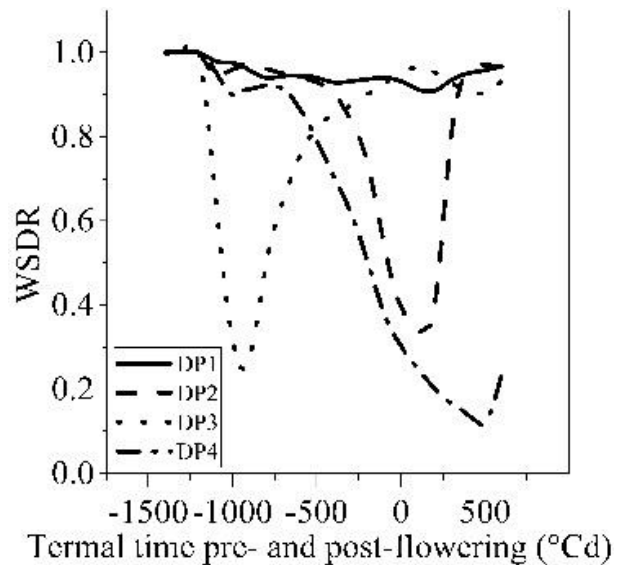


Figure 3. Four drought patterns identified in the study locations using water supply and demand ratio (WSDR) during the rainfed wheat growing season. In the horizontal axis, the number zero indicates the flowering time and the degree of growth days before and after flowering were considered with negative and positive numbers, respectively.

#### الگوهای خشکی در مناطق مختلف

فراوانی رخداد الگوی خشکی نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب برابر با ۲۷/۸، ۲۶، ۸ و ۳۸/۲ درصد بود (شکل ۶). درصد تغییرات

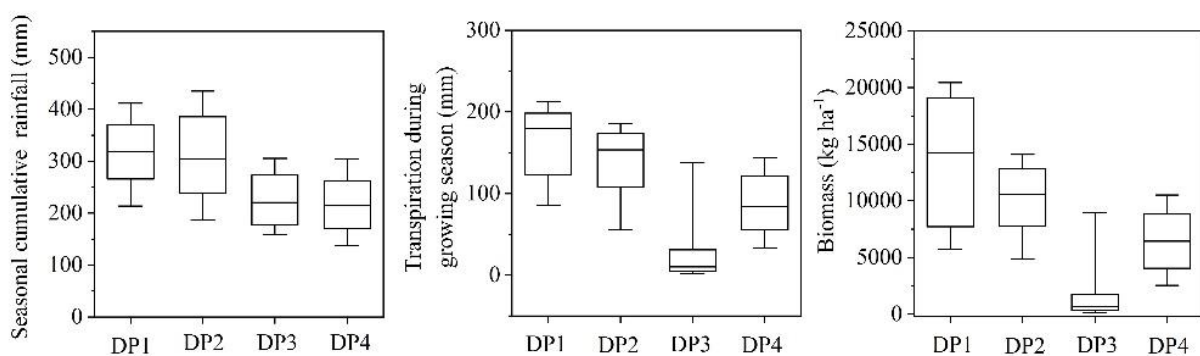


Figure 4. Boxplot of seasonal cumulative rainfall, transpiration growing season, and biomass for four drought patterns in the study locations.



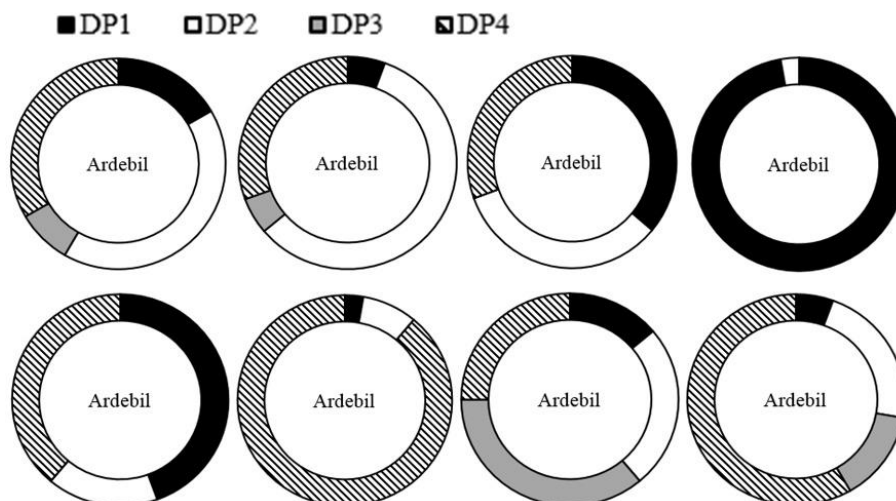


Figure 5. Frequency of occurrence of four drought patterns in the study locations.

و الگوی ۳ با  $208/8$  کیلوگرم در هکتار ثبت شد. الگوهای مختلف خشکی از راه‌های مختلف باعث کاهش عملکرد دانه گندم می‌شوند. به عنوان مثال تحت الگوی خشکی ۲، گیاه گندم با تنش خشکی در زمان گلدهی مواجه می‌شود که تعداد دانه تحت تاثیر قرار گرفته و عملکرد کاهش پیدا می‌کند (Zhang *et al.*, 2018). تعداد دانه یکی از صفات مهم و موثر بر عملکرد نهایی دانه گندم به‌شمار می‌رود و افزایش یا کاهش آن می‌تواند منجر به افزایش یا کاهش در عملکرد دانه شود. در همین راستا طالبی‌فر و همکاران (Talebifar *et al.*, 2015) در تحقیقی روابط بین عملکرد دانه و اجزای عملکرد ارقام مختلف گندم را تحت شرایط تنش خشکی در مراحل مختلف رشدی (پنجه‌زنی، اواسط ساقه رفتن، اواسط گل‌دهی، اواسط دانه‌بندی و آبیاری کامل) با استفاده از روش تجزیه علیت بررسی کرده و گزارش کردند که تعداد دانه در سنبله مهمترین جزء از اجزای عملکرد گندم به‌شمار می‌رود و ارتباط مثبت و مستقیمی با عملکرد دانه ارقام دارد. در این زمینه استفاده کردن از گیاهانی با مقاومت بالا در زمان گلدهی به تنش‌های محیطی می‌تواند به کاهش کمتر و ثبات بیشتر عملکرد دانه کمک کنند (Lobell *et al.*, 2015). تحت الگوی ۳ عملکرد گیاهان از طریق تنش خشکی اول فصل تحت تاثیر قرار می‌گیرد به طوری که گیاهان با مشکل جوانه‌زنی و همچنین استقرار در مزرعه مواجه می‌شوند. تحت این شرایط به راهکارهایی مانند کشت گیاهانی با ساختار ریشه‌ای دارای توزیع یکنواخت، متراکم و دارای طول ریشه بیشتر (که باعث افزایش جذب آب در شرایط خشکی می‌شود) اشاره کرد (Manschadi *et al.*, 2006; Ehdai *et al.*, 2012). همچنین استفاده از گیاهانی با طول کلنوپیتیل بالا

#### عملکرد دانه در الگوهای خشکی و مناطق مختلف

نتایج شبیه سازی نشان داد که به طور میانگین در سراسر الگوهای خشکی و سال‌ها میزان عملکرد دانه گندم در شمال غرب ایران برابر با  $2418/3$  کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۶). در سراسر الگوهای خشکی و سال‌ها بالاترین میزان عملکرد دانه در شهرستان مرند با  $4757/9$  کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار آن در شهرستان سراب با  $1307/3$  کیلوگرم در هکتار ثبت شد. در واقع این مناطق به ترتیب کمترین و بیشترین تنش‌های خشکی را تجربه کردند که به علت ویژگی‌های اقلیمی و خاکی این دو منطقه بود (جدول ۱). همچنین تغییرات زیادی از لحاظ عملکرد دانه در مناطق و سال‌های مختلف مشاهده شد به طوری که کمترین دامنه تغییرات عملکرد دانه مربوط به شهرستان مرند (از  $4246/5$  تا  $5165$  کیلوگرم در هکتار) و بیشترین دامنه تغییرات عملکرد دانه مربوط به شهرستان ارومیه (از  $236$  تا  $4113/5$  کیلوگرم در هکتار) بود. میزان عملکرد دانه تحت الگوهای مختلف خشکی متفاوت بود به طوری که در سراسر مناطق مقدار عملکرد دانه تحت الگوی خشکی نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب برابر با  $3738/7$ ،  $2949/7$ ،  $694/6$  و  $1456/2$  کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۶). در زمینه تغییرات عملکرد تحت الگوهای مختلف خشکی بیشترین تغییرات تحت الگوی ۱ (از  $1836/8$  تا  $5113/6$  کیلوگرم در هکتار) بدست آمد و کمترین تغییرات تحت الگوی ۴ (از  $502/1$  تا  $2435/7$  کیلوگرم در هکتار) بود (شکل ۶). در زمینه عملکرد در مناطق و الگوهای مختلف، به طور میانگین در تمام سال‌ها، بالاترین عملکرد در شهرستان مرند تحت الگوی خشکی ۱ با  $4759$  کیلوگرم در هکتار شبیه‌سازی شد و کمترین میزان آن در شهرستان ارومیه

گرفته شوند (Blum, 2010; Kumar *et al.*, 2010; Dodig *et al.*, 2012). در مطالعه‌ای پایدار عملکرد ۲۸ ژنوتیپ گندم تحت شرایط تنش آبی بررسی و نشان داده شد که بین ارقام مختلف تفاوت معنی‌داری وجود دارد و با در نظر گرفتن میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در چهار محیط، در مجموع ژنوتیپ‌های کریم، آفتاب و روشن جزو ژنوتیپ‌های پایدار و پر محصول شناسایی شدند (Daei Alhagh *et al.*, 2022).

می‌تواند باعث افزایش پوشش اولیه گیاه در سطح زمین شود که از این طریق باعث افزایش استقرار تعداد گیاهچه‌ها و همچنین کاهش تلفات تبخیر از سطح خاک شود (Spielmeyer *et al.*, 2007). تحت الگوی خشکی ۴، گیاه گندم دیم در سراسر دوره با تنش خشکی مواجه می‌شود. بنابراین استفاده از گیاهان مقاوم با خصوصیات مطلوب در سراسر طول دوره رشد مانند طول دوره رشد کوتاه‌تر، برگ‌هایی با ویژگی جمع‌شوندگی و مقاومت بالای برگ پرچم می‌تواند برای مقابله با این نوع الگوی خشکی در نظر

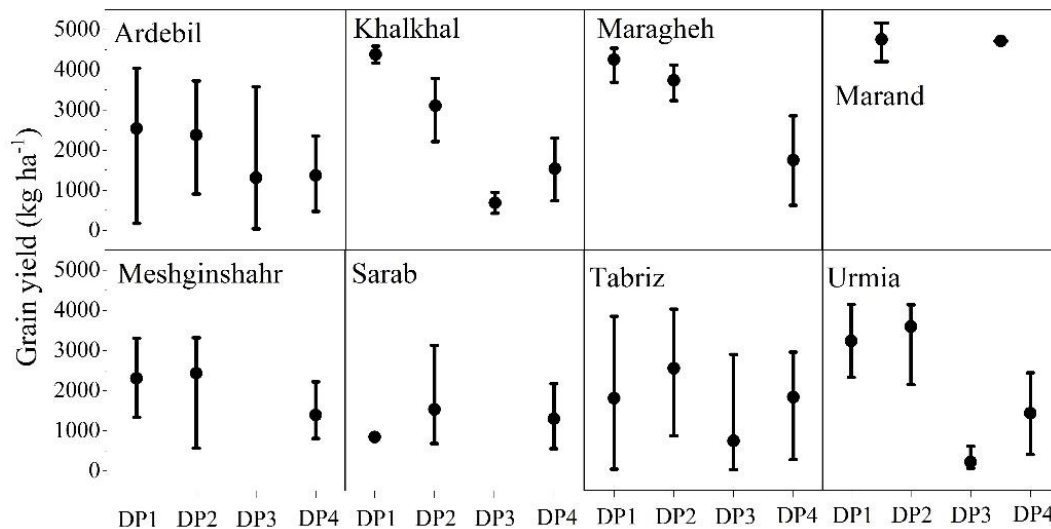


Figure 6. Grain yield for four drought patterns in the study locations.

آبیاری گزارش کرد گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس صفت روز تا رسیدگی در شرایط تنش خشکی می‌تواند به معرفی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد دانه بالا منتج شود.

در زمینه مناطق مورد بررسی می‌توان نشان داد که شدت اثرات الگوهای خشکی در مناطق مورد بررسی متفاوت بود. به‌عنوان مثال استفاده کردن از راهکارهای مقابله با تنش خشکی در مناطقی مانند سراب دارای اهمیت بالایی می‌باشد. چرا که این مناطق در معرض وقوع الگوهای خشکی در سراسر طول دوره رشد گندم دیم هستند. همچنین در مناطقی مانند مرند به کار بردن راهکارهایی برای مقابله با تنش خشکی اهمیت چندانی ندارد چرا که در این مناطق الگوهای خشکی حالت خفیف دارند و می‌توان با استفاده از راهکارهایی از جمله ارقامی با طول دوره رشد و پر شدن دانه بیشتر، سرعت بالاتر پر شدن دانه و پتانسیل عملکرد بیشتر در راستای افزایش تولید گندم دیم در منطقه اقدام نمود، زیرا زمانی که تنش در طول دوره رشد گیاه وجود نداشته باشد، گیاهان با طول دوره رشد و سرعت پر شدن شدن دانه بیشتر می‌توانند فتوسنتز بیشتری داشته

به طور کلی همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود مناطق مورد مطالعه بیشترین میزان بارندگی خود را در طول دوره پاییز و زمستان (۶۰ درصد) نسبت به بهار (۳۲ درصد) دریافت می‌کنند که این موضوع باعث غالبیت الگوی خشکی ۴ و تنش آب در دوره گلدهی و آخر فصل رشد می‌شود و می‌تواند در نهایت باعث کاهش عملکرد گیاه گندم شود. این موضوع در شکل ۶ قابل مشاهده است و کمترین عملکرد تحت این الگوها به دست آمدند. تنش آب در این دوره‌ها از طریق کاهش وزن دانه و تعداد دانه (Zhang *et al.*, 2018; Rahimi, 2019; Moghaddam *et al.*, 2019; Naderi and Eslahi, 2019) می‌تواند عملکرد دانه را کاهش دهد. بنابراین با توجه به غالبیت الگوی ۴ می‌توان از راهکارهای مختلفی استفاده کرد از جمله به کار بردن ارقامی با طول دوره رسیدگی کم که از تنش خشکی آخر فصل اجتناب کنند و همچنین از ارقامی استفاده شود که دارای مقاومت بالایی به تنش خشکی به ویژه در دوره گلدهی باشند. محمدی (Mohammadi, 2014) در بررسی روابط بین عملکرد دانه و اجزای عملکرد ارقام گندم تحت رژیم‌های مختلف

بود. با توجه به این موضوع پیشنهاد می‌شود راهکارهای مختلفی از جمله به کار بردن ارقامی با طول دوره رسیدگی کم که از تنش خشکی آخر فصل اجتناب کنند و استفاده از ارقامی با مقاومت بالا به تنش خشکی به ویژه در دوره گلدهی مورد بررسی قرار گیرد. همچنین در مناطقی با الگوی خشکی ۱ (DP1) که مشکلی از لحاظ بارندگی ندارند می‌توان از ارقامی با دوره رشد و پر شدن دانه بیشتر که سرعت بالایی در پر کردن دانه‌ها دارند استفاده کرد تا با استفاده مناسب از منابع (نور، آب و خاک) عملکرد مطلوبی را تولید کنند.

### سپاس‌گذاری

بدین وسیله از سازمان هواشناسی کشاورزی ایران بخاطر در اختیار قرار دادن داده‌های اقلیمی برای تحقیق حاضر کمال تشکر و قدردانی را داریم.

باشند و در نهایت عملکرد بیشتری تولید خواهند کرد (Asgari *et al.*, 2016).

### نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که در مناطق مورد مطالعه چهار نوع الگوی مختلف خشکی در طول دوره رشد شامل DP1: عدم تنش خشکی یا تنش خشکی خفیف در تمام طول فصل رشد گندم دیم، DP2: بیانگر شروع تنش خشکی قبل از گلدهی و پایان تنش در طی پر شدن، DP3: شروع تنش خشکی از زمان جوانه زنی و رفع تنش در طول دوره رویشی به بعد، DP4: شروع تنش خشکی در مراحل اولیه رشد شروع شد تا پایان فصل رشد گندم دیم مشاهده شد. رخداد الگوهای خشکی در مناطق مورد بررسی متفاوت بود و عملکرد دانه تحت الگوهای به دست آمده مقدار متفاوتی به خود اختصاص داد. با این وجود، بیشترین رخداد مربوط به الگوی خشکی ۴ (DP4)

### References

- Asgari, K., Dastan, S., Ajm Norouzi, H., & Ghanbari Malidarreh, A. 2016. Effects of grain growth characteristic and yield components on Wheat yield in Golestan province's climatic condition. *Journal of Plant Production Science*, 6(2), 33-40. [In Persian].
- Blum, A. 2010. *Plant Breeding for Water-Limited Environments*. Springer, London. pp. 1-210.
- Borras, L., & Otegui, M.E. 2001. Maize kernel weight response to postflowering source-sink ratio. *Crop Science*, 41(6), 1816-1822.
- Brisson, N., Gary, C., Justes, E., Roche, R., Mary, B., Ripoche, D., & Bussiere, F. 2003. An overview of the crop model STICS. *European Journal of Agronomy*, 18(3), 309-332.
- Chenu, K. 2015. Characterizing the crop environment-nature, significance and applications. *Crop Physiology. Applications for Genetic Improvement and Agronomy*.
- Chenu, K., Chapman, S.C., Tardieu, F., McLean, G., Welcker, C., & Hammer, G.L. 2009. Simulating the yield impacts of organ-level quantitative trait loci associated with drought response in maize: a "Gene-to-phenotype" modeling approach. *Genetics*, 183, 1507-1523.
- Chenu, K., Deihimfard, R., & Chapman, S.C. 2013. Large-scale characterization of drought pattern: a continentwide modelling approach applied to the Australian wheatbelt - spatial and temporal trends. *New Phytologist*, 198, 801-820.
- Daei Alhagh, D., Rashidi, V., Aharizad, S., Farahvash, F., & Mirshekari, B. 2022. Yield stability analysis of advanced spring wheat genotypes under non-stress and drought stress conditions. *Plant Productions*, 44(4), 489-502. [In Persian]
- Deihimfard, R., Mahallati, M.N., & Koocheki, A. 2015. Yield gap analysis in major wheat growing areas of Khorasan province, Iran, through crop modelling. *Field Crops Research*, 184, 28-38.
- Deihimfard, R., Rahimi-Moghaddam, S., Collins, B., & Azizi, K. 2022. Future climate change could reduce irrigated and rainfed wheat water footprint in arid environments. *Science of the Total Environment*, 807, 150991.
- Dodig, D., Zorić, M., Kandić, V., Perović, D., & Šurlan-Momirović, G. 2012. Comparison of responses to drought stress of 100 wheat accessions and landraces to identify opportunities for improving wheat drought resistance. *Plant Breeding*, 131, 369-379.
- Ehdaie, B., Layne, A.P., & Waines, J.G. 2012. Root system plasticity to drought influences grain yield in bread wheat. *Euphytica*, 186, 219-232.
- FAO. 2016. United Nations food and Agricultural Organization. Agricultural Data available on world wid. <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>.
- Fischer, R.A. 2011. Wheat physiology: a review of recent developments. *Crop & Pasture Science*, 62, 95-114.
- Hammer, G., Cooper, M., Tardieu, F., Welch, S., Walsh, B., van Eeuwijk, F., Chapman, S., & Podlich, D. 2006. Models for navigating biological complexity in breeding improved crop plants. *Trends in Plant Science*, 11, 587-593.

- Hoogenboom, G., Jones, J.W., Porter, C.H., Wilkens, P.W., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., & Tsuji, G.Y. (Editors). 2003. Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0. Vol. 1: Overview. University of Hawaii, Honolulu, HI.
- Keating, B.A., Carberry, P.S., Hammer, G.L., Probert, M.E., Robertson, M.J., Holzworth, D., Huth, N.I., Hargreaves, J.N.G., Meinke, H., Hochman, Z., McLean, G., Verburg, K., Snow, V., Dimes, J.P., Silburn, M., Wang, E., Brown, S., Bristow, K.L., Asseng, S., Chapman, S., McCown, R.L., Freebairn, D.M., & Smith, C.J. 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy*, 18, 267–288.
- Kholová, J., McLean, G., Vadez, V., Craufurd, P., & Hammer, G.L. 2013. Drought stress characterization of post-rainy season (rabi) sorghum in India. *Field Crops Research*, 141, 38-46.
- Kumar, U., Joshi, A.K., Kumari, M., Paliwal, R., Kumar, S., & Röder, M.S. 2010. Identification of QTLs for stay green trait in wheat (*Triticum aestivum* L.) in the 'Chirya 3'×'Sonalika' population. *Euphytica*, 174, 437–445.
- Lobell, D.B., Hammer, G.L., Chenu, K., Zheng, B., McLean, G., & Chapman, S.C. 2015. The shifting influence of drought and heat stress for crops in northeast Australia. *Global Change Biology*, 21(11), 4115-4127.
- Manschadi, A.M., Christopher, J., & Hammer, G.L. 2006. The role of root architectural traits in adaptation of wheat to water-limited environments. *Functional Plant Biology*, 33, 823–837
- Moini, S., Javadi, S., & Dehghan Manshadi, M. 2011. Feasibility study of solar energy in Iran and preparing radiation atlas. Recent Advances in Environment, Energy Systems and Naval Science: Proceedings of the 4th International Conference on Environmental and Geological Science and Engineering. pp. 1–7.
- Mohammadi, 2014. Evolution of grain yield and its components relationships in bread wheat genotypes under full irrigation and terminal water stress conditions using multivariate statistical analysis. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(1), 99-109. [In Persian].
- Naderi, A., & Eslahi, M.R. 2019. Evaluation of susceptibility of some phenological stages of wheat genotypes in response to drought stress. *Plant Productions*, 42(1), 133-148. [In Persian]
- OECD. 2014. Climate change, water and agriculture: Towards resilient systems. IWA Publishing.
- Prescott, J.A. 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, 64, 114-118.
- R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J., & Deihimfard, R. 2019. Optimal genotype × environment × management as a strategy to increase grain maize productivity and water use efficiency in water-limited environments and rising temperature. *Ecological Indicators*, 107, 105570
- Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J., Deihimfard, R. 2018. Adaptation strategies to lessen negative impact of climate change on grain maize under hot climatic conditions: A model-based assessment. *Agricultural and Forest Meteorology*. 253: 1-14.
- Seifert, E. 2014. OriginPro 9.1: Scientific Data Analysis and Graphing Software—Software Review. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 54, 1552–1552.
- Slafer, G.A. 2003. Genetic basis of yield as viewed from a crop physiologist's perspective. *Annals of Applied Biology*, 142, 117–128.
- Spielmeyer, W., Hyles, J., Joaquim, P., Azanza, F., Bonnett, D., Ellis, M., Moore, C., & Richards, R.A. 2007. A QTL on chromosome 6A in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) is associated with longer coleoptiles, greater seedling vigour and final plant height. *Theoretical and Applied Genetics*, 115, 59–66.
- Talebifar, M., Taghizadeh, R., & Kamal kivi, S.E. 2015. Determination of relationships between yield and yield components in wheat varieties under water deficit stress in different growth stages through Path analysis. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 108, 107-113. [In Persian].
- Tardieu, F. 2012. Any trait or trait-related allele can confer drought tolerance: just design the right drought scenario. *Journal of Experimental Botany*, 63, 25–31.
- Zhang, J., Zhang, S., Cheng, M., Jiang, H., Zhang, X., Peng, C., Lu, X., Zhang, M., & Jin, J. 2018. Effect of drought on agronomic traits of rice and wheat: a meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 15 (5), 839.