

**EXTENDED ABSTRACT**

**The Effect of Climatic Variables on Agriculture  
(Case Study: Rainfed Wheat Yield)**

H. Faghieh<sup>1</sup>, J. Behmanesh<sup>2\*</sup> and H. Rezaie<sup>3</sup>

- 1- Researcher, Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Kurdistan, AREEO, Sanandaj, Iran and Ph.D. Student, Department of Water Engineering, University of Urmia, Urmia, Iran.
- 2\* - Corresponding Author, Professor, Department of Water Engineering, University of Urmia, Urmia, Iran. ([j.behmanesh@urmia.ac.ir](mailto:j.behmanesh@urmia.ac.ir))
- 3 - Professor, Department of Water Engineering, University of Urmia, Urmia, Iran.

Received: 9 June 2017

Revised: 25 September 2017

Accepted: 27 September 2017

**Keywords:** Climate, Resources Management, Planning, Development, Factor Analysis, Kurdistan.  
**DOI:** 10.22055/jise.2017.22306.1598

**Introduction**

The yield of rainfed crops depends on climatic parameters, plant genetic characteristics, soil type and agricultural operations (Hosaini et al., 2007). Among these factors, climatic variables have a stochastic nature. Therefore, it is important to investigate the effect of the mentioned parameters on the variability of the crop plants yield.

The correct identification of the climatic conditions will help farmers to timely sow and supply plant requirement during the growing season (Azizi and Yarahmadi, 2003). Also, predicting the yield of strategic plants (such as wheat) will be possible via identify and quantify the effects of the important climatic variables on crop production in each region (Bazgeer and Kamali, 2008).

Kurdistan is one of the most important rainfed agricultural regions in Iran. Bijar, with a production about 123,000 tons of rainfed wheat per year, is one of the most important regions to product rainfed wheat in Kurdistan. The maximum and minimum yield of rainfed wheat in Bijar during a 25-year period has been between 1380 and 213 (kg/ha), respectively (Anonymous, 2015). This large range of yield changes has had a significant impact on the region's economy. The present research was carried out with the aim of identifying important climatic factors in Bijar region and developing a model for estimating rainfed wheat yield based on these factors. The results of this research can be useful in developing quantitative and qualitative agricultural products and sustainable use of resources.

**Methodology**

Because of existing different effect of climatic variables on each stage of plant growth, wheat growth season (from the sowing (October 8th) to the harvest (July 11th)) was divided into six phenological stages. These stages include the sowing to three leaves unfolded (from October 8th to November 7th), the first stage of vegetative growth (from November 8th to December 12th), dormancy stage (from December 13th to March 15th), the second stage of vegetative growth after dormancy (from March 16th to May 10th), reproductive stage (from May 11th to June 9th) and full maturity (from June 10 th to July 10). The beginning and end of the stages are for Sardari variety, which has the highest area under cultivation in rainfed farms in Kurdistan province. These stages are determined by investigating the references, existing documents and the proposal of the Jihad-e-Agriculture Organization of Kurdistan province (Bazgeer and Kamali, 2008; Bazgeer et al., 2008). The above stages are the mean duration of each growth stage in the region.

In order to achieve the research objectives, the climate variables related to the first five growth stages were used to develop the predictive model of rainfed wheat yield. Variables included precipitation (P), relative humidity (H), maximum and minimum temperature (MinT and MaxT), sunshine (S) and wind speed (W) with the 25-year period (from 1987-1988 to 2011-2012). Daily meteorological data of Bijar synoptic station located in the study area were used. Also, the wheat yield data were obtained from the Jihad-e-Agriculture Organization of Kurdistan.

Due to the large number of climatic variables, principal components analysis was employed to identify main factors. Model was developed to estimate the yield of rainfed wheat using multivariate regression and main factors identified.

### Results and Discussion

The results showed that 85 percent of the total variance of 30 climatic variables related to the five stages of rainfed wheat growth period in Bijar region can be explained by eight components. Calculation results of initial and rotational eigenvalues extracted from the correlation matrix and their percentage of the total variance was presented in Table (1). Eigenvalues was used to calculate the factor load. Factor loading matrix results was presented in Table (2). In this table, the numbers written in parentheses after climatic variable indicate the growth stage number. Based on Table (2) and phenological stages of rainfed wheat, factors were named. The factors included the effect of humidity, precipitation, sunshine, and temperature in the first stage of vegetative growth ( $F_1$ ), the effect of humidity, precipitation, sunshine, and temperature in the second stage of vegetative growth ( $F_2$ ), the effect of humidity, precipitation, sunshine, and maximum temperature in the stage of sowing to three leaves unfolded ( $F_3$ ), The effect of precipitation, humidity, sunshine, and the maximum temperature in reproductive stage ( $F_4$ ), the effect of temperature in dormancy stage ( $F_5$ ), wind effect during growth ( $F_6$ ), the effects of sunshine, precipitation, and humidity in dormancy stage ( $F_7$ ), and the effect of the minimum temperature in the stage of sowing to three leaves unfolded.

At this step, using the multivariate regression, the effect of eight factors ( $F_1$  to  $F_8$ ) as independent variables on rainfed wheat yield (Y) as a dependent variable, was evaluated and a linear model was developed. The model for estimating the rainfed wheat yield on the basis of identified factors was obtained as Equation (1).

$$Y = -0.427F_1 - 0.164F_2 - 0.155F_3 - 0.508F_4 + 0.479F_5 - 0.167F_6 + 0.154F_7 + 0.272F_8 \quad (1)$$

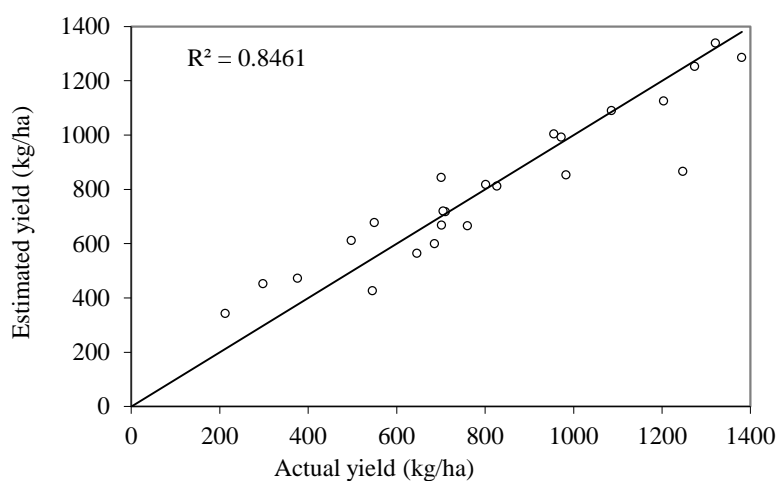
The significant relationship between observed (Actual) and estimated wheat yield using the model is shown in Figure (1). Multivariate regression analysis showed that 84.6 percent of the rainfed wheat yield variations can be explained and modeled by these eight factors ( $R=0.92$ ). The percentages of model error in estimating rainfed wheat yield for 2012, 2013 and 2014 years were obtained 11, 9.68 and 15.8 percent, respectively.

**Table 1- Initial and rotational eigenvalues extracted from the correlation matrix and their percentage of the total variance**

Component	Initial eigenvalues	Percentage of variance	Cumulative (%)	Rotation eigenvalues	Percentage of variance	Cumulative (%)
1	6.781	22.60	22.60	3.817	12.72	12.72
2	4.894	16.31	38.91	3.694	12.31	25.03
3	4.402	14.67	53.58	3.594	11.98	37.01
4	3.017	10.06	63.64	3.419	11.40	48.41
5	2.178	7.259	70.90	2.983	9.943	58.35
6	1.538	5.127	76.03	2.879	9.597	67.95
7	1.454	4.848	80.88	2.203	7.343	75.29
8	1.243	4.145	85.02	2.168	7.225	82.52
9	0.927	3.091	88.11	1.678	5.594	88.11

**Table 2- Rotated factor loading matrix**

Climatic variables (Growth stage number)	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>	F <sub>7</sub>	F <sub>8</sub>
P(1)	-0.059	-0.103	-0.864	0.055	0.078	0.057	0.151	-0.306
P(2)	-0.619	0.198	0.087	-0.177	0.092	-0.450	0.000	-0.083
P(3)	0.207	0.054	-0.130	0.155	-0.166	-0.345	0.701	-0.373
P(4)	-0.175	-0.577	-0.033	-0.414	0.382	0.055	0.226	-0.016
P(5)	-0.195	-0.098	0.043	-0.895	0.055	-0.141	0.043	-0.169
MinT(1)	-0.064	0.070	0.194	-0.124	-0.030	-0.003	-0.147	0.927
MinT(2)	0.657	0.194	0.358	0.210	0.139	-0.080	0.057	-0.022
MinT(3)	-0.140	0.031	0.116	0.037	0.947	0.007	-0.162	-0.009
MinT(4)	0.062	0.683	0.091	0.260	0.186	-0.160	-0.044	0.279
MinT(5)	0.174	0.252	0.074	0.407	0.188	0.241	-0.037	-0.095
MaxT(1)	0.145	0.183	0.730	-0.145	0.080	-0.159	-0.062	0.557
MaxT(2)	0.912	0.095	0.229	0.071	-0.003	-0.023	0.101	-0.021
MaxT(3)	-0.101	0.055	0.083	0.096	0.933	0.040	-0.238	0.015
MaxT(4)	0.105	0.823	0.121	0.310	0.138	-0.059	0.124	0.143
MaxT(5)	0.127	0.439	-0.051	0.654	0.276	0.184	0.001	-0.004
H(1)	-0.073	-0.108	-0.943	-0.140	-0.105	0.077	0.021	0.071
H(2)	-0.905	-0.001	-0.157	-0.034	0.152	-0.020	-0.152	0.163
H(3)	0.034	0.012	-0.123	-0.238	-0.625	0.030	0.675	0.049
H(4)	0.002	-0.895	-0.176	-0.198	0.211	0.075	0.115	0.104
H(5)	-0.124	-0.300	-0.088	-0.805	-0.041	-0.137	-0.007	0.385
S(1)	0.242	0.112	0.923	-0.013	0.161	-0.012	-0.032	-0.086
S(2)	0.875	-0.010	0.017	-0.024	-0.172	0.069	0.110	0.062
S(3)	-0.177	0.132	0.109	0.078	0.218	0.034	-0.871	0.019
S(4)	-0.096	0.838	0.134	0.060	0.116	0.216	0.017	-0.050
S(5)	-0.128	0.255	0.007	0.732	0.155	0.114	-0.001	-0.234
W(1)	-0.015	-0.023	0.059	0.306	-0.152	0.834	0.133	0.234
W(2)	0.335	0.104	0.080	0.285	-0.320	0.055	0.401	-0.177
W(3)	-0.076	-0.185	-0.244	0.177	0.304	0.748	-0.177	-0.041
W(4)	0.170	0.195	-0.177	-0.017	-0.000	0.844	-0.135	-0.226
W(5)	0.264	0.157	0.263	0.134	-0.068	0.555	-0.029	-0.470

**Fig. 1- The significant relationship between observed (Actual) and estimated wheat yield using the model**

### Conclusions

Rainfed wheat production in Bijar region has a high correlation with the weather conditions of each year. This subject has been confirmed in many other areas. Based on the high correlation between rainfed wheat yield and climate variables, researchers have presented appropriate models for predicting this plant yield. The model developed in this study also had a good ability to predict the yield of rainfed wheat in the Bijar region. The results showed that among others, factor related to climatic variables at reproductive stage of rainfed wheat had the most important role in crop production in Bijar district.

### References

- 1- Anonymous, 2015. *Crops census project*. Jihad-e-Agriculture Organization of Kurdistan province. (In Persian).
- 2- Azizi, G. and Yarahmadi, D., 2003. Investigation of relationship between climatic parameters and wheat yield using regression model (case study: Silakhor plain). *Geographic Research*, (44), pp. 23-29. (In Persian).
- 3- Bazgeer, S. and Kamali, G.A., 2008. Wheat yield prediction using agro meteorological indices for some regions of the Western of the country. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 15(2), pp. 113-121. (In Persian).
- 4- Bazgeer, S., Kamali, G., Sedaghatkerdar, A. and Moradi, A., 2008. Pre-harvest wheat yield prediction using agrometeorological indices for different regions of Kurdistan province, Iran. *Research Journal of Environmental Sciences*, 2(4), pp. 275-280.
- 5- Hosaini, M.T., Siosemarde, A., Fathi, P. and Siosemarde, M., 2007. Application of artificial neural network (ANN) and multiple regression for estimating assessing the performance of dry farming wheat yield in Ghorveh region, Kurdistan province. *Journal of Agricultural Research*, 7(1), pp. 41-54. (In Persian).



© 2019 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



## بررسی اثر متغیرهای آب و هوایی بر کشاورزی (مطالعه موردی: عملکرد گندم دیم)

همایون فقیه<sup>۱</sup>، جواد بهمنش<sup>۲\*</sup> و حسین رضایی<sup>۳</sup>

۱- پژوهشگر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران و دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۲- نویسنده مسئول، استاد، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. j.behmanesh@urmia.ac.ir

۳- استاد، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۵

بازنگری: ۱۳۹۶/۷/۳

دریافت: ۱۳۹۶/۳/۱۹

### چکیده

پیش‌بینی عملکرد گیاهان راهبردی و برنامه‌ریزی برای توسعه کشاورزی با شناخت و کمی نمودن میزان اثر متغیرهای مهم آب و هوایی بر تولید محصول در هر منطقه امکان‌پذیر است. هدف این پژوهش تدوین مدل مناسب برای پیش‌بینی عملکرد گندم دیم به کمک متغیرهای آب و هوایی در منطقه بیجار واقع در کردستان می‌باشد. برای این منظور دوره رشد گندم دیم در منطقه به شش مرحله تقسیم و از متغیرهای آب و هوایی مربوط به پنج مرحله اول برای تعیین ساختار مدل استفاده شد. متغیرها شامل بارش، رطوبت نسبی، حداکثر و حداقل درجه حرارت، ساعات آفتابی و سرعت باد با دوره آماری ۲۵ ساله (۱۳۶۶ تا ۱۳۹۰) بودند. با توجه به تعداد زیاد متغیرهای آب و هوایی، برای شناسایی عامل‌هایی که نقش اصلی دارند، از روش تجزیه به مؤلفه اصلی استفاده شد. با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره و عامل‌های اصلی شناسایی شده، مدل تخمین میزان عملکرد گندم دیم تدوین شد. نتایج تحلیل‌ها نشان داد با هشت مؤلفه می‌توان ۸۵ درصد از واریانس کل ۳۰ متغیر آب و هوایی مربوط به پنج مرحله دوره رشد گندم دیم در منطقه بیجار را توجیه نمود. همچنین تحلیل رگرسیون چندمتغیره نشان داد با این هشت عامل می‌توان ۸۴/۶ درصد از تغییرات عملکرد گندم را توجیه و مدل‌سازی نمود ( $R^2=0.92$ ). در میان عامل‌ها نیز عامل مربوط به متغیرهای آب و هوایی مرحله رشد زایشی گندم دیم بیشترین نقش را در تولید محصول منطقه بیجار ایفا نمود. درصد خطای مدل در برآورد عملکرد گندم دیم منطقه برای سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ به ترتیب ۹/۶۸ و ۱۵/۸ درصد به دست آمد.

**کلید واژه‌ها:** آب و هوا، مدیریت منابع، برنامه‌ریزی، توسعه، تجزیه عاملی، کردستان.

تغییرات عملکرد در منطقه اقدام نمود (Bazgeer and Kamali, 2008).

دانشمندان و پژوهشگران علوم آب، کشاورزی و هواشناسی با آرایه روش‌های مختلف سعی بر شناسایی و بیان ارتباط متغیرهای آب و هوایی با کشت و مراحل رشد گیاهان (به‌ویژه دیم) داشته‌اند. Azizi و Yarahmadi (2003) با در نظر گرفتن ارتباط بین متغیرهای آب و هوایی و عملکرد گندم دیم، به آرایه مدل رگرسیونی بین این متغیرها در دشت سیلاخور واقع در لرستان پرداختند. آنان گزارش کردند بین عملکرد گندم دیم و متغیرهای میزان بارش پاییزه، بهار و تعداد روزهای بارانی دوره مرطوب سال، ارتباط مستقیم وجود دارد. همچنین آنان ارتباط معکوس بین عملکرد گندم دیم و متغیرهای تعداد روزهای یخبندان بهاری و تأخیر در اولین بارش پاییزه را گزارش کردند. Sabziparvar et al. (2013) بر اساس مقایسه ضریب‌های آماری گزارش کردند عملکرد گندم دیم در استان همدان

### مقدمه

تولید محصولات دیم، به متغیرهای آب و هوایی، خصوصیات ژنتیکی گیاه، شرایط خاک و عملیات زراعی بستگی دارد (Hosaini et al., 2007). از میان عوامل یادشده متغیرهای آب و هوایی دارای ماهیت تصادفی می‌باشند. بنابراین تعیین اثر آن‌ها بر تغییرپذیری عملکرد محصول گیاهان دیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شناخت صحیح شرایط آب و هوایی هر منطقه، کشاورزان را در انجام به‌موقع کشت و تأمین نیازهای گیاه در طول دوره رشد یاری می‌نماید. بدین‌وسیله می‌توان به توسعه کمی و کیفی تولیدات کشاورزی کمک نمود (Azizi and Yarahmadi, 2003). همچنین با شناسایی و کمی نمودن میزان اثر هر یک از متغیرهای آب و هوایی بر عملکرد محصولات کشاورزی، می‌توان به پیش‌بینی

مقیاس سالانه را بر عملکرد گندم در شهرستان سقز بررسی نمودند. نتایج نشان داد ۵۴ درصد تغییرات عملکرد گندم در شهرستان سقز مربوط به متغیرهای آب و هوایی سالانه می‌باشد. Esfandiary et al. (2009)، ۸۳ درصد از تغییرات عملکرد گندم در منطقه اردبیل را ناشی از تغییرات شاخص‌های هواشناسی کشاورزی دانسته‌اند. Qian et al. (2009) بالاترین میزان تغییرات عملکرد گندم در استان پرایری کانادا براساس میزان رطوبت خاک، درجه‌ی روزهای رشد (GDD) - Growing Degree Days) و چهار متغیر آب و هوایی، ۷۷ درصد گزارش نمودند. Farajzadeh et al. (2011) با استفاده از رگرسیون خطی، داده‌های عملکرد گندم در استان کردستان را به‌وسیله پنج شاخص هواشناسی کشاورزی و ۱۲ متغیر آب و هوایی مدل‌سازی نمودند. آن‌ها درصد تغییرات عملکرد محصول گندم ناشی از این شاخص‌ها و متغیرها را برای مناطق مختلف استان بین ۷۰ تا ۹۱ درصد گزارش نمودند. Vashisth et al. (2014) با استفاده از رگرسیون چندمتغیره و پنج متغیر آب و هوایی مربوط به دوره رشد گندم، عملکرد گندم در دهلی هندوستان را مدل‌سازی نمودند. آن‌ها درصد خطا بین عملکرد مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده را برای این منطقه در حدود هشت درصد گزارش نمودند. Bal et al. (2004) در ایالت پنجاب هندوستان به‌کمک رگرسیون چندمتغیره از متغیرهای آب و هوایی به‌عنوان متغیرهای مستقل مدل آماری برای بررسی عملکرد گندم در استان استفاده نمودند. آن‌ها گزارش کردند ۶۹ درصد تغییرات عملکرد گندم به‌دلیل تغییرات درجه‌حرارت حداقل روزانه و درجه‌ی روزهای رشد می‌باشد. Bazgeer (2005) نشان داد که بیشترین همبستگی بین عملکرد گندم با درجه‌حرارت‌های حداقل و حداکثر، مقدار تجمعی واحدهای حرارتی آفتابی، مقدار تجمعی اختلاف درجه‌حرارت‌های حداکثر و حداقل روزانه و مقدار تبخیر از تشت در شهرهای هوشیارپور و روپنگر ایالت پنجاب هندوستان وجود دارد. در این پژوهش دیده شد که ۶۱ درصد از تغییرات عملکرد محصول گندم به‌دلیل تغییرات پارامترهای مذکور بوده است. Ghorbani et al. (2008) تأثیر مقدار بارش روزانه در مقاطع زمانی مختلف بر عملکرد گندم در استان قزوین مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد متغیرهایی که مجموع بارش شش ماه اول سال زراعی را تا ۲۰ روز بعد از آن شامل شوند، بیشترین همبستگی را برای بیان تغییرات عملکرد با بارش نشان می‌دهند. Talliee و Bahramy (2003) اثر بارش و دما بر عملکرد گندم در استان کرمانشاه بررسی نمودند. نتایج نشان داد بارش بیشتر از دما بر عملکرد گندم مؤثر است و افزایش بارش در اواخر دوره رشد اثر بیشتری نسبت به افزایش بارش در اوایل دوره رشد دارد به‌طوری‌که میزان بارش فروردین و اردیبهشت نیمی از تغییرات عملکرد گندم در این منطقه را توجیه می‌کند.

از بارش‌های بهاره تأثیرپذیری قابل‌ملاحظه‌تری نسبت به سایر فصل‌ها دارد. Hosaini et al. (2007) از شبکه عصبی مصنوعی و مدل رگرسیونی چندمتغیره برای پیش‌بینی عملکرد گندم در دشت قروه براساس متغیرهای هواشناسی استفاده نمودند. آنان گزارش کردند مقدار و نحوه پراکنش بارش و میانگین دمای حداکثر روزانه، به‌ویژه در ماه‌های میانی و انتهایی رشد، در میزان تولید گندم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. Faghieh (2015) اثر تغییرات بارش بر عملکرد گندم در شهرستان سقز را با استفاده از روابط خطی و غیرخطی دومتغیره بررسی نمود. نتایج حاکی از برتری رابطه غیرخطی توانی در شبیه‌سازی عملکرد و بارش بود. همچنین نتایج نشان داد بیشتر تغییرات عملکرد ناشی از بارش فصل بهار و به‌ویژه فروردین ماه می‌باشد. Smith et al. (1995) گزارش کردند که عملکرد پیش‌بینی‌شده گندم در مرحله رشد ساقه و گرده‌افشانی به‌ترتیب ۴۶ و ۵۶ درصد تغییرات عملکرد واقعی را توضیح می‌دهد. به‌عبارت دیگر با پیشرفت دوره رشد و وارد شدن تعداد بیشتری از عوامل مؤثر بر عملکرد در مدل، دقت مدل در پیش‌بینی عملکرد افزایش می‌یابد. Ceglar et al. (2016) با استفاده از مدل‌های رگرسیونی اثرات آب و هوا بر عملکرد گندم در فرانسه را بررسی نمودند. نتایج نشان داد زمان‌های حساسیت (مراحل حساس) گندم نسبت به متغیرهای آب و هوایی در مناطق مختلف فرانسه بسیار متفاوت است. Bazgeer و Kamali (2008) با استفاده از متغیرهای مختلف هواشناسی و شاخص‌های هواشناسی کشاورزی در شهرستان‌های سنندج و قروه اقدام به پیش‌بینی عملکرد گندم نمودند. براساس این پژوهش در سنندج و قروه، ۶۸ درصد از تغییرات عملکرد محصول گندم، متأثر از تغییرات متغیرهای هواشناسی و شاخص‌های منتخب هواشناسی کشاورزی می‌باشد. Azizi و Safarkhani (2002) با مقایسه توزیع بارش‌های فصلی و میزان عملکرد گندم در خشک‌سالی‌های متوالی سال‌های زراعی ۱۳۷۷-۱۳۷۸ و ۱۳۷۹-۱۳۷۸ در استان لرستان گزارش کردند، توزیع نامناسب بارش در طول فصل‌های سال و همچنین کاهش بارش سالانه، موجب کاهش شدید عملکرد گندم در این منطقه شده است. Nassiri et al. (2006) گزارش کردند کاهش عملکرد با کاهش بارش و کوتاه‌تر شدن طول دوره‌ی رشد گندم در ارتباط است. برای مثال افزایش ۴/۷ درجه سلسیوس دمای هوا و کاهش ۱۷/۷ درصد بارش، باعث کاهش ۴۰ درصد عملکرد گندم می‌شود. Lee et al. (2013) با استفاده از مدل‌های رگرسیونی اثرات آب و هوا بر عملکرد گندم در ایالت اوکلاهما آمریکا را بررسی نمودند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد عملکرد گندم به شدت تحت تأثیر آب و هوا قرار دارد. آن‌ها رابطه عملکرد را با بارش، مستقیم و با درجه دمای هوا معکوس بیان نمودند. Rezaie و Faghieh (2016) با استفاده از روش آماری تجزیه عاملی، اثر ۱۸ متغیر آب و هوایی در

است. ۹۴ درصد این زمین‌ها به‌صورت دیم کشت می‌شود. در این شهرستان تقریباً ۸۸ درصد کل زمین‌های زراعی زیر کشت گندم می‌رود و مابقی آن برای کشت سایر گیاهان اختصاص می‌یابد. از این زمین‌ها سالانه ۱۸۲۰۰۰ تن محصولات مختلف برداشت می‌شود که ۷۱ درصد آن گندم می‌باشد. از زمین‌های زیر کشت گندم، ۹۹ درصد دیم و یک درصد آن آبی می‌باشد. به این ترتیب محصول زراعی عمده شهرستان بیجار، گندم دیم با تولید نزدیک به ۱۲۳۰۰۰ تن در سال می‌باشد (Anonymous, 2015). از این‌رو می‌توان گفت به‌دلیل دیم بودن بیشتر زمین‌های بیجار، تولید محصول در آن با تغییرات شدید مواجه می‌باشد. بنابراین این شهرستان برای بررسی اثر متغیرهای آب و هوایی بر عملکرد گندم دیم انتخاب شد.

### داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از داده‌های آب و هوایی ایستگاه هم‌دید بیجار و عملکرد گندم دیم در طول دوره آماری ۲۵ ساله (سال‌های زراعی ۱۳۶۷-۱۳۶۶ تا ۱۳۹۱-۱۳۹۰) استفاده شد. مشخصات آماری متغیرهای آب و هوایی در مراحل مختلف رشد گیاه برای دوره آماری ۲۵ ساله در جدول (۱) ارائه شده است. ایستگاه هم‌دید بیجار دارای مختصات به طول جغرافیایی ۳۷° ۴۷' شرقی، عرض جغرافیایی ۵۳° ۳۵' شمالی و ارتفاع ۱۸۸۳ متر از سطح دریا است. همچنین داده‌های عملکرد گندم دیم از سازمان جهاد کشاورزی کردستان اخذ گردید.

استان کردستان از مناطق مهم کشاورزی دیم در کشور است. شهرستان بیجار با تولید تقریباً ۱۲۳۰۰۰ تن گندم دیم در سال از مناطق کشت عمده گندم دیم در استان کردستان است. حداکثر و حداقل عملکرد گندم دیم در بیجار در یک دوره ۲۵ ساله، به‌ترتیب ۱۳۸۰ و ۲۱۳ کیلوگرم در هکتار بوده است (Anonymous, 2015). این دامنه زیاد تغییرات عملکرد، تأثیر قابل‌توجهی بر اقتصاد منطقه داشته است. پژوهش پیش‌رو با هدف شناسایی عوامل مهم آب و هوایی در منطقه بیجار و تدوین مدل برآورد عملکرد گندم دیم براساس این عوامل انجام شد. نتایج این پژوهش می‌تواند، با شناخت دقیق‌تر واکنش گندم دیم نسبت به متغیرهای آب و هوایی در مراحل مختلف رشد، در زمینه استفاده پایدار از منابع و تصمیم‌گیری مناسب برای انجام عملیات زراعی به‌موقع مفید باشد.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

شهرستان بیجار از نظر جغرافیایی در فاصله بین ۰۶' ۴۷° تا ۱۲' ۴۸° طول شرقی و ۳۰' ۳۵° تا ۲۸' ۳۶° عرض شمالی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. موقعیت بیجار در شکل (۱) آورده شده است. منطقه بیجار براساس روش دومرتن دارای آب و هوای نیمه‌خشک است و براساس آب و هوا نمای آمبرژه در منطقه خشک سرد قرار دارد. حداکثر دمای روزانه در گرم‌ترین ماه سال ۳۸/۲ و حداقل آن در سردترین ماه سال ۲۸/۵- درجه سلسیوس است. میانگین بارش سالانه آن در حدود ۳۳۰ میلی‌متر است. شهرستان بیجار به‌طور میانگین دارای ۱۷۴۲۳۰ هکتار زمین زراعی

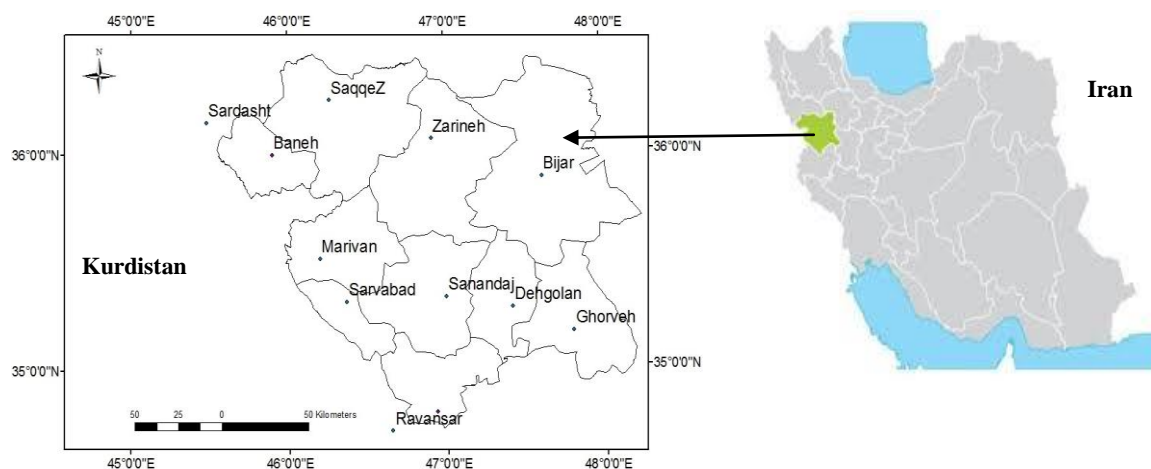


Fig. 1- Kurdistan and Bijar location

شکل ۱- موقعیت کردستان و شهرستان بیجار

جدول ۱- مشخصات آماری متغیرهای آب و هوایی در مراحل مختلف رشد گندم دیم برای دوره آماری ۲۵ ساله (۱۳۶۷-۱۳۶۶ تا ۱۳۹۱-۱۳۹۰)

Table 1- Statistical properties of climate variables in different growth stages of rainfed wheat for the 25-year period (1987-1988 to 2011-2012)

Growth stage (number)	Descriptive statistics	Climate Variable (Variable sign) (Unit)					
		Precipitation (P) (mm)	Minimum temperature (MinT) (°C)	Maximum temperature (MaxT) (°C)	Relative humidity (H) (%)	Sunshine (S) (hr)	Wind speed (W) (m/s)
Sowing to three leaves unfolded (1)	Mean	36.0	6.27	17.2	44.9	7.42	2.96
	Std. deviation	33.5	1.21	1.81	8.99	1.16	0.81
	Skewness	1.02	-0.35	-1.01	0.70	-0.37	-0.01
The first stage of vegetative growth (2)	Mean	42.4	0.01	8.10	59.9	5.88	2.73
	Std. deviation	26.6	1.66	2.45	10.4	1.12	0.78
	Skewness	0.18	0.19	0.93	-0.97	0.46	0.59
Dormancy stage (3)	Mean	109	-4.82	2.69	67.3	5.82	3.10
	Std. deviation	48.4	2.52	2.74	6.59	0.68	0.73
	Skewness	0.18	-0.10	0.03	-0.15	-0.11	0.86
The second stage of vegetative growth (4)	Mean	110	4.25	14.7	48.4	7.71	4.20
	Std. deviation	43.3	1.38	1.86	7.53	0.73	0.84
	Skewness	-0.11	0.12	-0.19	-0.78	0.12	0.60
Reproductive stage (5)	Mean	19.4	10.7	23.7	35.4	10.4	3.50
	Std. deviation	20.5	1.06	1.76	8.90	0.97	0.77
	Skewness	1.01	-0.37	-0.78	0.49	0.37	-0.08
Maturity (6)	Mean	4.48	14.5	29.7	28.9	11.8	3.04
	Std. deviation	8.31	1.27	1.55	4.74	0.81	0.68
	Skewness	-1.00	-0.43	-0.13	-0.23	-0.61	0.49

#### تحلیل عاملی (Factor Analysis)

در تحلیل عاملی کوواریانس یا همبستگی بین متغیرها به وسیله تعداد کمتری متغیر (یا عامل) بیان می‌شوند. در مدل عاملی فرض می‌شود بردار تصادفی  $X$  با میانگین  $\mu$  و ماتریس واریانس-کوواریانس  $\Sigma$  را می‌توان بر حسب یک ترکیب خطی از  $m$  عامل مشترک ( $F$ ) و  $p$  عامل اختصاصی ( $\epsilon$ ) نوشت (رابطه ماتریسی (۱)).

$$X_i - \mu_i = L_{ij} \times F_j + \epsilon_i \quad (1)$$

$(p \times 1)$      $(p \times 1)$      $(p \times m)$      $(m \times 1)$      $(p \times 1)$

ضریب  $L_{ij}$  بار عاملی می‌باشد.  $L_{ij}$  مقدار سهم عامل  $j$ ام را روی متغیر  $i$ ام مشخص می‌کند. براین اساس ماتریس  $L$  ماتریس بار عاملی نامیده می‌شود. برای انجام محاسبات تحلیل عاملی فرض‌های زیر در نظر گرفته می‌شود.

- عامل‌های مشترک دارای میانگین صفر و واریانس یک می‌باشند. به عبارتی عامل‌ها مستقل از یکدیگر می‌باشند (واریانس آن‌ها یک و کوواریانس آن‌ها مساوی صفر است)؛

- عامل‌های اختصاصی دارای میانگین صفر و واریانس  $\Psi$  می‌باشند. به عبارت دیگر عامل‌های اختصاصی نیز مستقل از یکدیگر می‌باشند؛

- عامل‌های مشترک و اختصاصی مستقل از یکدیگر می‌باشند.

#### مراحل رشد گندم دیم

با توجه به متفاوت بودن اثر متغیرهای مختلف آب و هوایی در هر مرحله از رشد گیاه، فصل رشد به شش مرحله‌ی فنولوژیکی مختلف تقسیم شد. این مراحل شامل مرحله‌ی کاشت تا سه برگ‌شدن (۱۶ مهر تا ۱۶ آبان)، مرحله‌ی اول رشد رویشی (۱۷ آبان تا ۲۱ آذر)، مرحله‌ی خواب (۲۲ آذر تا ۲۵ اسفند)، مرحله‌ی دوم رشد رویشی پس از خواب (۲۶ اسفند تا ۲۱ اردیبهشت)، مرحله‌ی زایشی (۲۲ اردیبهشت تا ۲۰ خرداد) و مرحله‌ی رسیدگی کامل (۲۱ خرداد تا ۲۰ تیر) می‌باشند. آغاز و پایان مراحل برای رقم سرداری است که بیشترین سطح کشت را در اراضی دیم استان دارد. این مراحل با بررسی منابع، اسناد موجود و پیشنهاد سازمان جهاد کشاورزی استان کردستان تعیین شده است (Bazgeer and Kamali, 2008)؛

(Bazgeer et al., 2008). مراحل بالا، میانگین طول دوره‌ی هر مرحله رشد در سطح منطقه است. چون هدف این پژوهش تدوین مدل برای پیش‌بینی میزان عملکرد قبل از برداشت بود، بنابراین با مدل‌سازی براساس پنج دوره‌ی رشد اول (یک ماه قبل از برداشت) تلاش شده است که بهترین متغیرهای مستقل برای شهرستان بیجار معرفی شود.



با توجه به رابطه (۱) و فرض‌های بالا رابطه (۲) به‌دست آمد.

$$\Sigma = \lambda_1 e_1 e_1' + \lambda_2 e_2 e_2' + \dots + \lambda_p e_p e_p' \quad (7)$$

$$\Sigma = L \times L' + \Psi \quad (2)$$

(p×p)      (p×m)      (m×p)      (p×p)

#### استاندارد نمودن متغیرها

واحد اندازه‌گیری و دامنه نوسان p متغیر اولیه متفاوت است. از این رو براساس رابطه (۸) داده‌های ورودی به‌نحوی استاندارد می‌شوند که دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک باشند.

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_i}{S_i} \quad (8)$$

که در آن،  $Z_{ij}$  داده استاندارد شده،  $X_{ij}$  داده متناظر با متغیر  $i$ ام و واحد آزمایشی  $j$ ام،  $\bar{X}_i$  میانگین متغیر  $i$ ام و  $S_i$  انحراف معیار متغیر  $i$ ام می‌باشد.

اگر داده‌ها دارای مقیاس متفاوت باشند، لازم است آن‌ها را استاندارد نمود. در این صورت ماتریس واریانس-کوواریانس مساوی ماتریس هم‌بستگی (R) می‌شود. بنابراین رابطه (۲) را می‌توان به‌صورت رابطه (۳) نوشت.

$$R = L \times L' + \Psi \quad (3)$$

(p×p)      (p×m)      (m×p)      (p×p)

در رابطه‌های بالا  $L'$  ترانهاده ماتریس L می‌باشد. در صورت استفاده از متغیر استاندارد در رابطه (۱) میانگین صفر می‌شود و رابطه (۴) به‌دست می‌آید.

$$X_i = I_{i1} \times F_1 + I_{i2} \times F_2 + \dots + I_{im} \times F_m + \varepsilon_i \quad (4)$$

بنابراین واریانس متغیر X مساوی مجموع حاصل‌ضرب توان دوم ضریب (I) در واریانس عامل (F) است. چون واریانس عامل‌ها مساوی یک، واریانس  $\varepsilon$  مساوی  $\Psi$  و کوواریانس عامل‌ها صفر است، بنابراین رابطه (۵) برقرار است.

$$\text{var}(X_i) = \sigma_{ii} = I_{i1}^2 + I_{i2}^2 + \dots + I_{ij}^2 + \dots + I_{im}^2 + \Psi_i \quad (5)$$

آن قسمت از واریانس را که مربوط به عامل‌ها است میزان اشتراک (Communalities) می‌نامند. میزان اشتراک را با  $h^2$  نشان می‌دهند.

$$h^2 = \sigma_{ii} = I_{i1}^2 + I_{i2}^2 + \dots + I_{ij}^2 + \dots + I_{im}^2 \quad (6)$$

برای برآورد میزان اشتراک معمولاً از دو روش مؤلفه اصلی (Principal Component Method (PCA)) و حداکثر درست‌نمایی (Maximum Likelihood Method) استفاده می‌شود (Farshadfar, 2005). در این پژوهش از روش مؤلفه اصلی برای برآورد میزان اشتراک استفاده شده است.

#### روش مؤلفه اصلی

عامل‌ها را در ماتریس واریانس-کوواریانس می‌توان به‌وسیله تجزیه طیفی (Spectral Decomposition) تخمین زد. اگر ماتریس  $\Sigma$  دارای مقادیر ویژه (Eigenvalues)  $\lambda_i$  و بردارهای ویژه (Eigenvectors)  $e_i$  باشد، به‌طوری که  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq 0$  در این صورت رابطه (۷) را می‌توان نوشت (Farshadfar, 2005).

#### رگرسیون چندمتغیره خطی

اگر اثر بیش از یک متغیر مستقل بر یک متغیر وابسته بررسی شود آن را رگرسیون چندمتغیره می‌نامند. رگرسیون چندمتغیره خطی در واقع تعمیم روش‌های رگرسیون ساده خطی می‌باشد. بنابراین رابطه آن بیش از یک متغیر مستقل را شامل می‌شود (رابطه ۹).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (9)$$

در این الگوی احتمالی Y متغیر وابسته است که پیش‌گویی (Predicting) می‌شود. ضرایب  $\beta_0$ ،  $\beta_1$ ،  $\beta_2$ ، ... و  $\beta_k$  ثابت و نامعلوم می‌باشند. برای تخمین ضرایب رگرسیون از روش کمترین مربعات استفاده می‌شود (Farshadfar, 2005).  $X_1$ ،  $X_2$ ، ... و  $X_k$  متغیرهای مستقل (پیش‌گو (Predictor)) می‌باشند که بدون خطا اندازه‌گیری شده‌اند.  $\varepsilon$  خطای تصادفی (Random Error) است و باعث می‌شود که متغیر وابسته به‌اندازه  $\varepsilon$  از میانگین Y انحراف داشته باشد. فرض‌ها را در مورد  $\varepsilon$  می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود.

-  $\varepsilon$ ها مستقل از یکدیگر می‌باشند؛

-  $\varepsilon$ ها دارای میانگین صفر و یک واریانس مشترک برای مجموعه داده‌های  $X_1$ ،  $X_2$ ، ... و  $X_k$  می‌باشند؛

-  $\varepsilon$ ها دارای توزیع نرمال می‌باشند.

در این پژوهش از آزمون‌های کولموگراف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) و دوربین-واتسون (Durbin-Watson) به‌ترتیب برای بررسی درست بودن فرض‌های نرمال بودن و استقلال باقی‌مانده‌ها (خطاها) استفاده شد.

نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل است (Karamouz and Araghinejad, 2005).

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n ((Z_{obs} - \bar{Z}_{obs}) \times (Z_{est} - \bar{Z}_{est}))}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Z_{obs} - \bar{Z}_{obs})^2 \times \sum_{i=1}^n (Z_{est} - \bar{Z}_{est})^2}} \quad (12)$$

$$\%VE = \left( \frac{Z_{obs} - Z_{est}}{Z_{obs}} \right) \times 100 \quad (13)$$

در رابطه‌های (۱۲) و (۱۳)،  $Z_{obs}$  مقادیر مشاهده‌شده (واقعی)،  $\bar{Z}_{obs}$  میانگین مقادیر مشاهده‌شده،  $Z_{est}$  مقادیر برآوردشده (خروجی مدل)،  $\bar{Z}_{est}$  میانگین مقادیر برآوردشده و  $n$  تعداد مشاهدات می‌باشد.

### نتایج و بحث

در این پژوهش از روش تحلیل عاملی برای شناسایی عوامل مهم آب و هوایی در منطقه بیجار استفاده و میزان اثر هر کدام از آن‌ها بر عملکرد گندم دیم تعیین شد. همچنین با به‌کاربردن روش رگرسیون چندمتغیره و عامل‌های اصلی شناسایی‌شده، مدل تخمین میزان عملکرد گندم دیم تدوین گردید. محاسبات با نرم‌افزارهای آماری SPSS و XLSTAT انجام شده است که نتایج در ادامه ارائه می‌شود.

#### ماتریس هم‌بستگی

هر کدام از داده‌های بارش، حداکثر و حداقل درجه‌حرارت، رطوبت نسبی، ساعت آفتابی و سرعت باد در پنج مرحله مختلف رشد به‌عنوان یک متغیر در نظر گرفته شد. بدین ترتیب ۳۰ متغیر برای تجزیه و تحلیل وارد نرم‌افزار شد. ماتریس هم‌بستگی داده‌ها (۳۰×۳۰) بود که به‌وسیله نرم‌افزار SPSS به‌دست آمد. دترمینان ماتریس هم‌بستگی بسیار کم و تقریباً صفر بود و این بدان معنی است که عناصر سطری و ستونی این ماتریس هم‌بستگی دارند و مستقل نمی‌باشند (ماتریس تکین (singular)). این وابستگی متغیرها از نظر تجزیه مؤلفه‌ها و تحلیل عاملی مطلوب است (Farshadfar, 2005). به‌دلیل زیاد بودن تعداد سطر و ستون‌های ماتریس هم‌بستگی، این ماتریس در مقاله ارائه نشده است.

#### مقادیر ویژه و بردارهای ویژه

از ماتریس هم‌بستگی مقادیر ویژه و بردارهای ویژه متناظر آن‌ها محاسبه شد. نتایج محاسبه مقادیر ویژه برای دو حالت عامل‌های چرخش نیافته (اولیه) و چرخشی در جدول (۲) ارائه شده است. از آن‌جا که مقدار ویژه هشت مؤلفه اول بیشتر از یک بود، بنابراین

برای انجام آزمون کولموگراف-اسمیرنوف داده‌ها در گروه‌های مختلف طبقه‌بندی شدند. آماره این آزمون بیشترین اختلاف بین فراوانی‌های مورد انتظار و واقعی (به‌صورت قدرمطلق) اندازه‌گیری شده را در دسته‌های مختلف نشان می‌دهد و به‌صورت رابطه (۱۰) نوشته می‌شود (Karamouz and Araghinejad, 2005).

$$D = \max_{1 \leq i \leq n} \left[ F(x_i) - \frac{i-1}{n}, \frac{i}{n} - F(x_i) \right] \quad (10)$$

در رابطه بالا،  $D$  آماره آزمون،  $F(x_i)$  فراوانی نسبی تجمعی مورد انتظار،  $i$  تعداد کلاس‌ها و  $n$  تعداد کل مشاهدات می‌باشند.  $F(x_i)$  با استفاده توزیع احتمال نرمال محاسبه شد. با انتخاب مقدار  $\alpha$  به‌عنوان میزان خطا و برای تعداد  $n$  مشاهده، مقدار حداکثر مجاز  $D$  (یعنی  $D_\alpha$ ) از جدول ارائه‌شده در Karamouz و Araghinejad (2005) تعیین شد. چنان‌چه  $D$  محاسبه‌شده با رابطه (۱۰) کوچکتر از  $D_\alpha$  بود، فرض تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال پذیرفته و در غیر این صورت رد شد. برای انجام آزمون دوربین-واتسون، آماره آن ( $d$ ) از رابطه (۱۱) به‌دست آمد.

$$d = \frac{\sum_{i=2}^n (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (11)$$

در رابطه (۱۱)،  $e$  مقدار خطا یا باقی‌مانده و برابر تفاضل متغیر وابسته مشاهده‌شده ( $Y$ ) و برآوردشده با رابطه رگرسیون ( $\hat{Y}$ ) می‌باشد. مقدار  $d$  همیشه بین صفر و چهار می‌باشد. چنان‌چه مقدار  $d$  در بازه ۱/۵ تا ۲/۵ قرار داشت، باقی‌مانده‌ها مستقل در نظر گرفته شد. مقدار  $d$  کوچکتر از ۱/۵ و بزرگتر از ۲/۵ به‌ترتیب نشان‌دهنده وجود خودهم‌بستگی مثبت و منفی سری باقی‌مانده‌ها بود (Momeni and Ghayoumi, 2015).

#### ارزیابی مدل

برای ارزیابی دقت مدل در پیش‌بینی مقدار متغیر (عملکرد گندم دیم) از معیارهای آماری ضریب هم‌بستگی ( $R$ ) و درصد خطا (Volume Error in Percent (VE%)) استفاده شد (Karamouz and Araghinejad, 2005). ضریب هم‌بستگی نشان‌دهنده میزان هم‌بستگی بین مقادیر برآوردشده توسط مدل و مقادیر واقعی می‌باشد. این ضریب را می‌توان از رابطه (۱۲) محاسبه نمود. مقدار  $R^2$  ضریب تعیین (Coefficient of Determination) نامیده می‌شود. برای استفاده از معادله‌های رگرسیون در هیدرولوژی حداقل مقدار قابل قبول ( $R^2$ )، ۰/۳۶ توصیه شده است (Patra, 2001). معیار درصد خطا از رابطه (۱۳) به‌دست می‌آید. مقدار کمتر این آماره

ماتریس بار عاملی چرخش یافته در جدول (۳) ارائه شده است. همچنین به وسیله ضرایب عامل‌ها می‌توان مقادیر عاملی را برای هریک از ۲۵ سال در مجموعه داده‌های اولیه به دست آورد. در تجزیه و تحلیل‌ها از این مقادیر عاملی به جای متغیرهای اولیه استفاده شد. در این مرحله معمولاً تلاش می‌شود که عامل‌ها مرتبط با نوع داده‌ها نام‌گذاری شوند.

بر اساس جدول (۳) و مراحل فنولوژی گندم دیم نام‌گذاری عامل‌ها انجام و در جدول (۴) ارائه شده است. در جدول‌های (۳) و (۴) متغیرهای آب و هوایی بارش، درجه حرارت حداکثر و حداقل، رطوبت نسبی، ساعت آفتابی و سرعت باد به ترتیب با  $P$ ،  $MaxT$ ،  $MinT$ ،  $S$ ،  $H$  و  $W$  نشان داده شده‌اند. همچنین اعداد زیرنویس یک تا پنج بعد از عامل آب و هوایی نشان‌دهنده شماره مرحله رشد می‌باشند. همان‌طور که بیان شد چون هدف این پژوهش تدوین مدل برای پیش‌بینی میزان عملکرد قبل از برداشت بود، بنابراین از متغیرهای آب و هوایی مربوط به پنج مرحله اول (از شش مرحله) دوره رشد گندم دیم در منطقه برای تعیین ساختار مدل استفاده شد.

می‌توان گفت که هشت عامل باید بررسی شوند (Farshadfar, 2005). این هشت عامل ۸۵ درصد تغییرات واریانس داده‌ها را بیان می‌کنند. نام‌گذاری و معرفی عامل‌ها پس از محاسبه بار عامل‌ها و براساس آن انجام می‌شود. در بخش بعدی نتایج ماتریس بار عاملی در جدول (۳) و نام‌گذاری عامل‌ها در جدول (۴) ارائه شده است.

### بار عاملی، واریانس اختصاصی و میزان اشتراک

بردار ویژه و مقدار ویژه مرتبط با هر کدام، برای محاسبه بار عاملی و میزان اشتراک (واریانس مشترک هر متغیر با دیگر متغیرها) و واریانس اختصاصی به کار رفتند. پس از بررسی ماتریس بار عاملی اولیه ملاحظه شد که تعدادی از متغیرها با چند عامل هم‌بستگی بالایی دارند و این کار تفسیر را مشکل می‌نمود. بنابراین از روش چرخش واریانس (Farshadfar, 2005) برای چرخش عامل‌ها استفاده شد تا ساختار ساده‌تر و قابل تفسیری به دست آید. بدین ترتیب سعی شد که هریک از متغیرهای اصلی فقط دارای هم‌بستگی زیاد با یک عامل باشند. برای اختصار شرح روش واریانس ارائه نشده است و در صورت نیاز می‌توان به (Farshadfar, 2005) مراجعه نمود. نتایج

جدول ۲- مقادیر ویژه اولیه و چرخشی حاصل از ماتریس هم‌بستگی و درصد آن‌ها از مقدار کل واریانس

Table 2- Initial and rotational eigenvalues extracted from the correlation matrix and their percentage of the total variance

Component	Initial eigenvalues	Percentage of variance	Cumulative (%)	Rotation eigenvalues	Percentage of variance	Cumulative (%)
1	6.781	22.60	22.60	3.817	12.72	12.72
2	4.894	16.31	38.91	3.694	12.31	25.03
3	4.402	14.67	53.58	3.594	11.98	37.01
4	3.017	10.06	63.64	3.419	11.40	48.41
5	2.178	7.259	70.90	2.983	9.943	58.35
6	1.538	5.127	76.03	2.879	9.597	67.95
7	1.454	4.848	80.88	2.203	7.343	75.29
8	1.243	4.145	85.02	2.168	7.225	82.52
9	0.927	3.091	88.11	1.678	5.594	88.11
10	0.819	2.731	90.84			
11	0.747	2.490	93.33			
12	0.584	1.946	95.28			
13	0.339	1.131	96.41			
14	0.291	0.971	97.38			
15	0.267	0.891	98.27			
16	0.161	0.538	98.81			
17	0.113	0.378	99.19			
18	0.105	0.348	99.53			
19	0.051	0.169	99.70			
20	0.038	0.125	99.83			
21	0.019	0.065	99.89			
22	0.015	0.051	99.94			
23	0.009	0.031	99.98			
24	0.006	0.020	100.00			

جدول ۳- ماتریس بار عاملی چرخشی  
Table 3- Rotated factor loading matrix

Climatic variables (Growth stage number)	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>	F <sub>7</sub>	F <sub>8</sub>
P(1)	-0.059	-0.103	-0.864	0.055	0.078	0.057	0.151	-0.306
P(2)	-0.619	0.198	0.087	-0.177	0.092	-0.450	0.000	-0.083
P(3)	0.207	0.054	-0.130	0.155	-0.166	-0.345	0.701	-0.373
P(4)	-0.175	-0.577	-0.033	-0.414	0.382	0.055	0.226	-0.016
P(5)	-0.195	-0.098	0.043	-0.895	0.055	-0.141	0.043	-0.169
MinT(1)	-0.064	0.070	0.194	-0.124	-0.030	-0.003	-0.147	0.927
MinT(2)	0.657	0.194	0.358	0.210	0.139	-0.080	0.057	-0.022
MinT(3)	-0.140	0.031	0.116	0.037	0.947	0.007	-0.162	-0.009
MinT(4)	0.062	0.683	0.091	0.260	0.186	-0.160	-0.044	0.279
MinT(5)	0.174	0.252	0.074	0.407	0.188	0.241	-0.037	-0.095
MaxT(1)	0.145	0.183	0.730	-0.145	0.080	-0.159	-0.062	0.557
MaxT(2)	0.912	0.095	0.229	0.071	-0.003	-0.023	0.101	-0.021
MaxT(3)	-0.101	0.055	0.083	0.096	0.933	0.040	-0.238	0.015
MaxT(4)	0.105	0.823	0.121	0.310	0.138	-0.059	0.124	0.143
MaxT(5)	0.127	0.439	-0.051	0.654	0.276	0.184	0.001	-0.004
H(1)	-0.073	-0.108	-0.943	-0.140	-0.105	0.077	0.021	0.071
H(2)	-0.905	-0.001	-0.157	-0.034	0.152	-0.020	-0.152	0.163
H(3)	0.034	0.012	-0.123	-0.238	-0.625	0.030	0.675	0.049
H(4)	0.002	-0.895	-0.176	-0.198	0.211	0.075	0.115	0.104
H(5)	-0.124	-0.300	-0.088	-0.805	-0.041	-0.137	-0.007	0.385
S(1)	0.242	0.112	0.923	-0.013	0.161	-0.012	-0.032	-0.086
S(2)	0.875	-0.010	0.017	-0.024	-0.172	0.069	0.110	0.062
S(3)	-0.177	0.132	0.109	0.078	0.218	0.034	-0.871	0.019
S(4)	-0.096	0.838	0.134	0.060	0.116	0.216	0.017	-0.050
S(5)	-0.128	0.255	0.007	0.732	0.155	0.114	-0.001	-0.234
W(1)	-0.015	-0.023	0.059	0.306	-0.152	0.834	0.133	0.234
W(2)	0.335	0.104	0.080	0.285	-0.320	0.055	0.401	-0.177
W(3)	-0.076	-0.185	-0.244	0.177	0.304	0.748	-0.177	-0.041
W(4)	0.170	0.195	-0.177	-0.017	-0.000	0.844	-0.135	-0.226
W(5)	0.264	0.157	0.263	0.134	-0.068	0.555	-0.029	-0.470

جدول ۴- نام‌گذاری عامل‌ها

Table 4- Naming factors

Factor	Climate variable with a positive coefficient		Climate variable with a negative coefficient		Factor name
	Large	Relatively large	Large	Relatively large	
F <sub>1</sub>	MaxT <sub>2</sub> and S <sub>2</sub>	MinT <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	The effect of humidity, precipitation, sunshine, and temperature in the first stage of vegetative growth
F <sub>2</sub>	S <sub>4</sub> and MaxT <sub>4</sub>	MinT <sub>4</sub>	H <sub>4</sub>	P <sub>4</sub>	The effect of humidity, precipitation, sunshine, and temperature in the second stage of vegetative growth
F <sub>3</sub>	S <sub>1</sub>	MaxT <sub>1</sub>	H <sub>1</sub> and P <sub>1</sub>		The effect of humidity, precipitation, sunshine, and maximum temperature in the stage of sowing to three leaves unfolded
F <sub>4</sub>		S <sub>5</sub> and MaxT <sub>5</sub>	P <sub>5</sub> and H <sub>5</sub>		The effect of precipitation, humidity, sunshine, and the maximum temperature in reproductive stage
F <sub>5</sub>	MinT <sub>3</sub> and MaxT <sub>3</sub>				The effect of temperature in dormancy stage
F <sub>6</sub>	W <sub>4</sub> and W <sub>1</sub>	W <sub>3</sub> and W <sub>5</sub>			Wind effect during growth
F <sub>7</sub>		P <sub>3</sub> and H <sub>3</sub>	S <sub>3</sub>		The effects of sunshine, precipitation, and humidity in dormancy stage
F <sub>8</sub>	MinT <sub>1</sub>				The effect of the minimum temperature in the stage of sowing to three leaves unfolded

جدول (۳) ارایه شده است) و ۳۰ متغیر آب و هوایی اولیه (مربوط به ۵ مرحله رشد) محاسبه و در رابطه (۱۴) قرار داده شد.

$$Y = -0.427 \times F_1 - 0.164 \times F_2 - 0.155 \times F_3 - 0.508 \times F_4 + 0.479 \times F_5 - 0.167 \times F_6 + 0.154 \times F_7 + 0.272 \times F_8 \quad (14)$$

در این جا ضریب هم‌بستگی چندمتغیره برابر با ۰/۹۲۰ می‌باشد. این مقدار ضریب نشان دهنده رابطه معنی‌دار بین عملکرد گندم و عامل‌های آب و هوایی می‌باشد. ضریب تعیین برابر با ۰/۸۴۶ و بیان‌گر این حقیقت است که ۸۴/۶ درصد تغییرات عملکرد گندم در شهرستان بیجار مربوط به عامل‌های آب و هوایی پنج مرحله رشد از دوره رشد (از کاشت تا یک ماه قبل از برداشت) و ۱۵/۴ درصد مربوط به عامل‌های دیگر می‌باشد. از رابطه (۱۴) مشاهده می‌شود نقش فاکتور چهارم (اثر بارش، رطوبت، تابش و دمای حداکثر در مرحله زایشی) به‌مراتب بیشتر از سایر عامل‌ها بوده است. سه عامل مهم دیگر دارای نقش اساسی در میزان عملکرد گندم دیم، به‌ترتیب شامل عامل‌های پنجم (اثر دما در مرحله خواب)، اول (اثر رطوبت، بارش، تابش و دما در مرحله اول رشد رویشی) و هشتم (اثر دمای حداقل در مرحله کاشت تا سه برگی) بودند. به‌طوری که ۷۴/۴ درصد

#### رگرسیون چندمتغیره خطی

در این مرحله با استفاده از رگرسیون چندمتغیره اثر هشت عامل (F<sub>1</sub> تا F<sub>8</sub>) به‌عنوان متغیر مستقل بر متغیر وابسته یعنی عملکرد گندم دیم (Y) بررسی و مدل خطی تدوین شد. مدل برآورد عملکرد گندم دیم براساس عامل‌های آب و هوایی به‌صورت رابطه (۱۴) به‌دست آمد. خلاصه نتایج آماری این مدل در جدول (۵) ارایه شده است. از این جدول مشاهده می‌شود که مقدار آماره دوربین-واتسون (d) برابر با ۱/۹۶ می‌باشد و چون در بازه ۱/۵ تا ۲/۵ قرار دارد، بنابراین باقی‌مانده‌های رگرسیون مستقل می‌باشند (Momeni and Ghayoumi, 2015). هم‌چنین مقدار آماره کولموگراف-اسمیرنوف (D) برابر با ۰/۱۰۸ به‌دست آمد که از مقدار بحرانی آن (D<sub>α</sub>) برابر با ۰/۲۹۵۱۶ کوچکتر و فرض نرمال بودن باقی‌مانده‌ها نیز صحیح بود (Karamouz and Araghinejad, 2005).

از آن جا که متغیرهای اولیه نسبت به هم معمولاً وابسته بوده و تعدادشان نیز بیشتر از عامل‌ها می‌باشد در تجزیه و تحلیل‌ها از مقادیر عاملی (که مستقل می‌باشند) به‌جای متغیرهای اولیه استفاده می‌شود. بنابراین رابطه (۱۴) نیز براساس عامل‌ها نوشته شده است. برای پیش‌بینی عملکرد گندم دیم (Y) در هر سال زراعی، مقدار عامل‌ها (F<sub>1</sub> تا F<sub>8</sub>) به‌وسیله رابطه (۴) و با استفاده از ضرایب عامل‌ها (که در

این منظور مقدار عملکرد گندم در منطقه برای سال‌های زراعی ۱۳۶۷-۱۳۶۶ تا ۱۳۹۱-۱۳۹۰ با مدل برآورد و در مقابل داده‌های واقعی ترسیم و در شکل (۲) ارایه شده است. ضریب همبستگی داده‌های مشاهده‌شده و برآوردشده برابر ۰/۹۲ به دست آمد (شکل ۲). این میزان ضریب همبستگی‌ها برای تعداد ۲۵ داده در سطح خطا کمتر از یک درصد قابل قبول می‌باشد (Mahdavi, 1998).

هم‌چنین دقت مدل برای پیش‌بینی عملکرد گندم در سال‌های زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴-۱۳۹۳ که از داده‌های آن‌ها در تدوین مدل استفاده نشده بود، مورد آزمون قرار گرفت. مدل عملکرد گندم در منطقه مورد مطالعه برای سال‌های زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۱، ۱۳۹۳-۱۳۹۲ و ۱۳۹۴-۱۳۹۳ به ترتیب ۱۱ درصد بیشتر، ۹/۶۸ درصد و ۱۵/۸ درصد کمتر از مقدار واقعی برآورد نمود. در نهایت براساس مقدار آماره‌های ضریب همبستگی و درصد خطا به دست آمده می‌توان گفت، مدل تدوین شده از توانایی مناسبی برای پیش‌بینی عملکرد گندم در منطقه بیجار برخوردار می‌باشد.

از تغییرات عملکرد گندم را می‌توان با این چهار عامل توجیه و مدل‌سازی نمود (رابطه (۱۵)). نتایج آنالیز واریانس این مدل در جدول (۶) ارایه شده است. از این جدول مشاهده می‌شود اختلاف تاثیر این چهار عامل معنی‌دار می‌باشد ( $F=14/5$ ). بدین ترتیب می‌توان نتیجه‌گیری نمود نقش چهار عامل  $F_2$  (اثر رطوبت، بارش، تابش و دما در مرحله دوم رشد رویشی)،  $F_3$  (اثر رطوبت، بارش، تابش و دمای حداکثر در مرحله کاشت تا سه برگی)،  $F_6$  (اثر باد در دوره رشد) و  $F_7$  (اثر تابش، بارش و رطوبت در مرحله خواب) کم می‌باشد و حذف آن‌ها اثر زیادی بر دقت مدل رابطه (۱۴) ندارد.

$$Y = -0.427 \times F_1 - 0.508 \times F_4 + 0.479 \times F_5 + 0.272 \times F_8 \quad (15)$$

امکان پیش‌بینی عملکرد گندم قبل از فصل برداشت آن در بیجار، با استفاده از مدل تدوین شده مورد بررسی قرار گرفت. برای

جدول ۵- نتایج آماری مدل رگرسیون عملکرد گندم و عامل‌های آب و هوایی موثر در مراحل رشد آن برای شهرستان بیجار

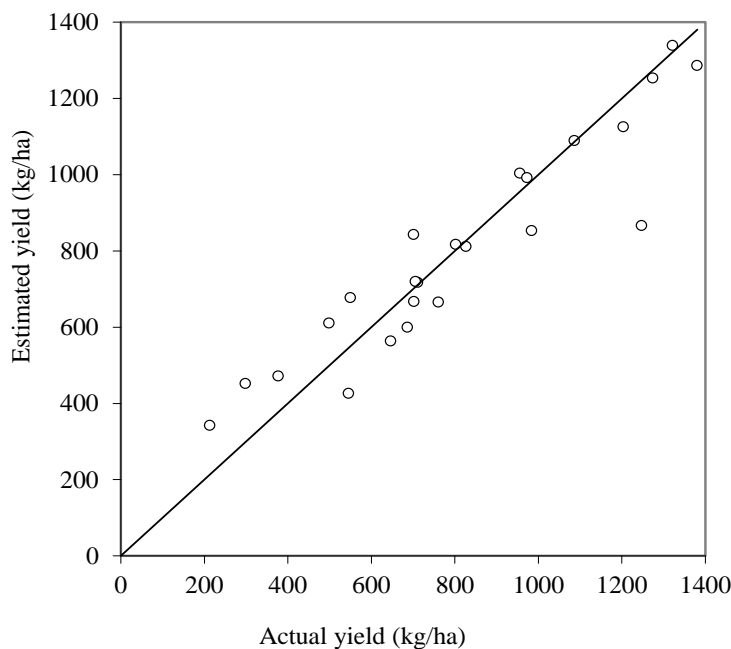
Table 5- The statistical results of the developed regression model based on rainfed wheat yield and effective climatic factors on its growth stages for Bijar county

Model	R	R square	Adjusted R squared	Std. error of the estimate	Durbin-Watson statistic (d)	Kolmogorov-Smirnov statistic (D)	Critical values of D ( $D_{0.01}$ )
Regression	0.920	0.846	0.769	0.48045	1.955	0.108	0.29516

جدول ۶- نتایج آنالیز واریانس مدل رگرسیون عملکرد گندم و چهار عامل آب و هوایی موثر در مراحل رشد آن برای شهرستان بیجار

Table 6- Variance analysis results of the developed regression model based on rainfed wheat yield and effective four climatic factors on its growth stages for Bijar county

Model	Sum of squares	Degrees of freedom (df)	Mean square	F	Sig.
Regression	17.845	4	4.461	14.500	0.000
Residual	6.1530	20	0.308		
Total	23.998	24			



**Fig. 2- The significant relationship between observed (Actual) and estimated wheat yield using the model**  
**شکل ۲- رابطه معنی دار بین عملکرد گندم مشاهده شده (واقعی) و برآورد شده با استفاده از مدل**

در بیجار را می‌توان با این هشت عامل (مؤلفه اصلی) توجیه و مدل‌سازی نمود ( $R=0/92$ ). همچنین تحلیل رگرسیون چندمتغیره نشان‌دهنده رابطه بسیار معنی‌دار بین چهار عامل اصلی به‌عنوان متغیر مستقل و متغیر وابسته یعنی عملکرد گندم دیم بود. به‌طوری‌که  $74/4$  درصد از تغییرات عملکرد گندم را می‌توان با این چهار عامل توجیه و مدل‌سازی نمود ( $R=0/862$ ). از میان این چهار عامل نیز عامل مربوط به متغیرهای آب و هوایی مرحله رشد زایشی گندم دیم بیشترین نقش را در تولید محصول منطقه بیجار ایفا نمود. Farajzadeh et al. (2011) نیز بهترین مرحله‌ی فنولوژیکی برای پیش‌بینی عملکرد گندم دیم در شهرستان بیجار را مرحله‌ی زایشی معرفی نموده‌اند.

مقایسه نتایج این پژوهش با نتایج سایر پژوهش‌ها نشان داد، هرگاه مراحل یا مرحله بحرانی و حساسی نسبت به متغیرهای آب و هوایی دارد. این مراحل حساس در مناطق مختلف نیز متفاوت گزارش شده است (Hosaini؛ Talliee and Bahramy, 2003؛ Bazgeer and Kamali, 2008؛ et al., 2007؛ Sabziparvar et al., 2013؛ Ceglilar et al., 2016). از طریق شناخت این مراحل برای گیاه زراعی امکان تصمیم‌گیری مناسب در انجام عملیات زراعی به‌موقع فراهم می‌شود. بنابراین انجام پژوهش‌های منطقه‌ای برای شناخت دقیق عکس‌العمل هر گیاه

### نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی تاثیر متغیرهای آب و هوایی بر عملکرد گندم دیم در شهرستان بیجار واقع در استان کردستان انجام شد. روش تجزیه به مؤلفه اصلی برای تعیین عامل‌هایی که نقش اصلی دارند به‌کار رفت و میزان اثر هر کدام از آن‌ها تعیین شد. با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره اثر عامل‌های اصلی به‌عنوان متغیر مستقل بر متغیر وابسته یعنی عملکرد گندم دیم بررسی و مدل خطی تدوین شد. نتایج مهم به‌دست‌آمده را می‌توان به‌شرح زیر بیان نمود.

میزان تولید محصولات گندم دیم در منطقه بیجار هم‌بستگی بالایی با شرایط آب و هوایی در هر سال دارد. این مساله در بسیاری دیگر از مناطق داخل و خارج کشورمان تایید شده است. براساس این هم‌بستگی بالای عملکرد گندم دیم با متغیرهای آب و هوایی، پژوهشگران مدل‌های مناسبی برای پیش‌بینی این محصول ارائه نموده‌اند (Bazgeer and Kamali, 2008؛ Bal et al., 2004؛ Farajzadeh et al., 2009؛ Qian et al., 2009؛ Esfandiary et al., 2011).

تحلیل‌ها نشان داد با هشت مؤلفه می‌توان ۸۵ درصد از واریانس کل ۳۰ متغیر آب و هوایی مربوط به پنج مرحله دوره رشد گندم دیم در منطقه بیجار را توجیه نمود.  $84/6$  درصد از تغییرات عملکرد گندم

استفاده شده بود. در پژوهش‌هایی نیز که تعداد متغیرها کمتر بود دقت برآوردشان نسبت به این پژوهش کمتر بود ( Talliee and Bazgeer and Kamali, 2008 ؛Bahramy, 2003 ؛Esfandiary et al., 2009 ؛Ghorbani et al., 2008 ؛Farajzadeh et al., 2011).

زراعی نسبت به متغیرهای آب و هوایی در مراحل مختلف رشد ضروری می‌باشد. تفاوت اساسی این پژوهش با سایر پژوهش‌ها در کم بودن تعداد متغیرهای به‌کاررفته و دقت برآورد مدل تدوین‌شده بود. در بسیاری از پژوهش‌های بررسی‌شده از تعداد بیشتری متغیر و شاخص‌های آب و هوایی برای تدوین مدل در حد دقت مدل تدوین‌شده این پژوهش

### References

- 1- Anonymous, 2015. *Crops census project*. Jihad-e-Agriculture Organization of Kurdistan province. (In Persian).
- 2- Azizi, G. and Safarkhani, E., 2002. Drought evaluation and its effect on dryland wheat yield in Ilam province with an emphasis on recent droughts. *Journal of Modares*, 6(2), pp. 61-76. (In Persian).
- 3- Azizi, G. and Yarahmadi, D., 2003. Investigation of relationship between climatic parameters and wheat yield using regression model (case study: Silakhor plain). *Geographic Research*, (44), pp. 23-29. (In Persian).
- 4- Bal, S., Mukherjee, J., Mallick, K. and Hundal, S.S., 2004. Wheat yield forecasting models for Ludhiana district of Punjab state. *Journal of Agrometeorology*, 6, pp. 161-165.
- 5- Bazgeer, S., 2005. Land use change analysis in the sub mountainous region of Punjab using remote sensing, GIS and agrometeorological parameters. Ph.D. Dissertation. Punjab Agricultural University (PAU), Ludhiana, India, 128p.
- 6- Bazgeer, S. and Kamali, G.A., 2008. Wheat yield prediction using agro meteorological indices for some regions of the Western of the country. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 15(2), pp. 113-121. (In Persian).
- 7- Bazgeer, S., Kamali, G., Sedaghatkardar, A. and Moradi, A., 2008. Pre-harvest wheat yield prediction using agrometeorological indices for different regions of Kurdistan province, Iran. *Research Journal of Environmental Sciences*, 2(4), pp. 275-280.
- 8- Ceglar, A., Toreti, A., Lecerc, R., Van der Velde, M., Dentener, F., 2016. Impact of meteorological drivers on regional inter-annual crop yield variability in France. *Agricultural and Forest Meteorology*, 216, pp. 58-67.
- 9- Esfandiary, F., Aghaie, G. and Dolati Mehr, A., 2009. Wheat yield prediction through agrometeorological indices for Ardebil district. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 49, pp. 32-35.
- 10- Faghih, H., 2015. Investigating the effect of rainfall changes on rainfed wheat performance in Saqqez county. In *1<sup>th</sup> International Congress of Healthy Agriculture, Healthy Nutrition and Sane Society, Agricultural Research, Education And Extention Organization (AREEO), Tehran, Iran*. (In Persian).
- 11- Faghih, H. and Rezaie, H., 2016. Resource Management by Modeling Climate Change. In *2<sup>th</sup> International Conference in New Research on Civil, Architectural and Urban management, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran*. (In Persian).
- 12- Farajzadeh, M., Khorani, A., Bazgeer, S. and Zaeian, P., 2011. Modeling and predicting of rainfed wheat yield in attention to phenological phases of plant growth (a case study for Kurdistan province). *Physical Geography Research*, 43(76), pp. 21-34. (In Persian).



- 13- Farshadfar, E., 2005. *Multivariate principles and procedures of statistics*. Taq-e Bostan. (In Persian).
- 14- Ghorbani, K., Khalili, A. and Iran Nejad, P., 2008. Regional estimation of rainfed wheat yield based on precipitation data. *Journal of Agricultural Research*, 8(1), pp. 89-101. (In Persian).
- 15- Hosaini, M.T., Siosemarde, A., Fathi, P. and Siosemarde, M., 2007. Application of artificial neural network (ANN) and multiple regression for estimating assessing the performance of dry farming wheat yield in Ghorveh region, Kurdistan province. *Journal of Agricultural Research*, 7(1), pp. 41-54. (In Persian).
- 16- Karamouz, M. and Araghejad, S., 2005. *Advanced hydrology*. Tehran Polytechnic. (In Persian).
- 17- Lee, B., Kenkel, P. and Wade Brorsen, B., 2013. Pre-harvest forecasting of county wheat yield and wheat quality using weather information. *Agricultural and Forest Meteorology*, 168, pp. 26-35.
- 18- Mahdavi, M., 1998. *Applied hydrology*. Tehran University. (In Persian).
- 19- Momeni, M. and Ghayoumi, A.F., 2015. *Statistical analysis with SPSS*. New book. (In Persian).
- 20- Nassiri, M., Koochechi, A., Kamali, G. and Shahandeh, H., 2006. Potential impact of climate change on rainfed wheat production in Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 52(0), pp. 1-12.
- 21- Patra, K.C., 2001. *Hydrology and water resources engineering*. New Delhi, Narosa Publishing House.
- 22- Qian, B., Jong, R., Warren, R., Chipanshi, A. and Hill, H., 2009. Statistical spring wheat yield forecasting for the Canadian Prairie provinces. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149, pp. 1022-1031.
- 23- Sabziparvar, A.A., Torkaman, M. and Maryanaji, Z., 2013. Investigating the effect of agroclimatic indices and variables on optimum wheat performance (case study: Hamedan province). *Journal of Water and Soil*, 26(6), pp. 1554-1567. (In Persian).
- 24- Smith, R., Adams, J., Stephens, D. and Hick, P., 1995. Forecasting wheat yield in a Mediterranean-type environment from the NOAA satellite. *Australian Journal of Agriculture Research*, 46(1), pp. 113-125.
- 25- Talliee, A.A. and Bahramy, N., 2003. The effects of rainfall and temperature on the yield of dryland wheat in Kermanshah province. *Journal of Soil and Water Science*, 17(1), pp. 106-112. (In Persian).
- 26- Vashisth, A., Singh, R. and Choudary, M., 2014. Crop yield forecast at different growth stage of wheat crop using statistical model under semi-arid region. *Journal of Agroecology and Natural Resource Management*, 1(1), pp. 1-3.