

Spatial Relations Between Climatic Variables and Wheat Yield in Iran

Hadis Sadeghi¹, Hosein Mohamadi², Aliakbar Shamsipour^{3✉}, Kobra Zarei⁴, Mostafa Karimi⁵

1. Ph.D of Climatology, Physical Geography Department, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

E-mail: hadis.sadeghi@ut.ac.ir

2. Professor of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

E-mail: hmmohammadi@ut.ac.ir

3. Associate Professor of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

✉E-mail: shamsipr@ut.ac.ir

4. Ph.D of Climatology, Physical Geography Department, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

E-mail: K.zarei@ut.ac.ir

5. Assistant Professor of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

E-mail: mostafakarimi.a@ut.ac.ir



How to Cite: Sadeghi, H; Mohamadi, H; Shamsipour, A; Zarei, K; & Karimi, M. (2022). Spatial Relations Between Climatic Variables and Wheat Yield in Iran. *Geography and Development*, 20 (68), 184-214.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22111/J10.22111.2022.7008>

Received:

27 October 2021

Received in revised form:

12 February 2022

Accepted:

23 February 2022

Published online:

25 August 2022

Keywords:

Spatial statistics,
Climate changes,
Geographic weighted
regression, Iran,
Wheat.

ABSTRACT

In this study relation between average minimum and maximum of temperature and rainfall as independent variables of 223 synoptic meteorological stations in Iran and wheat yield as dependent variable in 223 regions during the statistical period of 2017-2017 in the monthly time scale of the growing season and the total growth period was investigated. In data analysis, spatial statistics analysis methods in Arc/GIS 10.4.1 software were used, using Moran autocorrelation test, and geographic weighted regression their spatial relationships were tested. The result of Moran index showed that spatial distribution of wheat yield follows cluster pattern. Analysis Geographic weighted regression has showed rainfall has remarkable effect on wheat yield. In addition, analysis showed rainfall has positive effects on wheat yield especially in dry and warm regions of Central, and Southeastern. The results showed the positive effect of temperature increase on wheat yield, which gradually decreased toward the southern parts in proportion to the decrease in altitude and increase in temperature. So that the effect of increasing daily temperatures (maximum) in cold mountainous areas is positive, while in east, central and southern parts of Iran negative effects of temperature over wheat yield were seen due to heat stress. Therefore, in hot and semi-warm regions of the country, increasing the temperature along with increasing rainfall can have a positive effect on wheat yield. In these areas, it is better to cultivate wheat in the highlands or in cold weather and used irrigation systems to reduce drought stress at critical stages of wheat growth.



© the Author(s).

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

Extended Abstract

1. Introduction

Agriculture is influenced by many human and natural factors. According to the IPCC, global temperatures are rising and regional precipitation patterns are changing. These climate changes in different parts of the world have positive or negative effects on agricultural production. Wheat

is one of the main products of Iran's agricultural sector, which accounts for more than 60% of the area under cultivation.

Wheat cultivation, especially in dry farming, is highly dependent on climatic conditions. In this regard, the study of various sources shows the effect of climate change on wheat yield in different

regions of Iran. Therefore, given that water and food security are the most fundamental challenges ahead, in this study, the effect of climatic variables on wheat yield is investigated using a geographically weighted regression method.

2. Methods and Material

Iran has a warm climate with a continental temperature regime. In this study, two groups of data including agronomic and atmospheric data were used. Crop data used in the study include wheat yield for the statistical period 2000 to 2017, which was prepared from the database of the Ministry of Agriculture. First, by reviewing the data prepared from the database of the Ministry of Agriculture, the area under cultivation of wheat cultivation in Iran was identified. Then, 223 areas with the spatial distribution and appropriate statistical period length (2000-2017) were selected. In addition, the Meteorological Organization collected the minimum and maximum temperature and precipitation data of 223 synoptic stations for the study period (2000 to 2017). This study used the Moran autocorrelation test for wheat yield data. After ensuring the spatial clustering of yield data, aiming to assess the extent of the impact of minimum and maximum temperature and precipitation variables as independent variables with wheat crop yield as a dependent variable on a monthly time scale during the wheat growing period (September to July) and wheat growth period, geographically weighted regression method was used. In this study, the results of local regression coefficients were used to investigate the effect of climatic variables on wheat yield.

3. Results and Discussion

The results of Moran's spatial autocorrelation analysis show that data have spatial autocorrelation. Also, the analysis showed that patterns of high-value yield or positive autocorrelation matched with the main climates of rain-fed wheat cultivation located in the Northeastern regions, Northwestern toward Southwestern parts of the country. The result of local regression coefficients has shown that maximum temperature has a positive effect on wheat yield during growth season throughout different months of the year. The highest number of positive effects is related to high altitude and cold

regions (Zagros and Alborz mountains) as well as the shores of the Caspian Sea.

The lowest positive effect of maximum is related to semi-desert regions in the east toward the south as well as central areas. In addition, the result showed that between the different months of the growing season, the average maximum temperature in November and December $R^2=0.82$ and October $R^2=0.81$ have the greatest effects on wheat yield while the average maximum temperature of June and July with $R^2=0.80$ in the next position. The spatial distribution of the local regression coefficient of minimum temperature indicated that the effect of minimum temperature on wheat yield was different according to geographical location and distribution attitude during different months of the growing season. Spatial distribution of minimum temperature of local regression coefficients in September, October, and November that simultaneously with planting to germination stages, showed a positive and increasing effect of minimum temperature on wheat yield. Local regression coefficients in December indicated there is a negative and inverse relationship between minimum temperature and wheat yield in high and cold regions with a range of regression coefficients were -253.9 to -8.253 and its positive and direct relationship with wheat yield was in low altitude and low area and regression coefficient indicate between 15.3 to 294.8 . In January, a negative relationship between minimum temperature and wheat yield was observed in 61% of the area of Iran corresponding to the altitudes with the range of regression coefficients -16.19 to -14 . Spatial distribution local regression coefficient of minimum temperature in March showed a positive effect of minimum temperature on wheat yield, especially on the shore of the Caspian Sea, parts of northeastern and northwestern west Iran. The lowest positive effect of the minimum temperature in April and May was observed in the warm and dry southern regions with the range of regression coefficients of 68.4 to 220 and 50.9 to 144.1 , respectively. The results showed that among the different months of the wheat growing season, the minimum temperature of July ($R^2 = 0.80$) and June ($R^2 = 0.79$) have the greatest effect on wheat yield. The intensity of the positive effect of the minimum temperature has a high match with the distribution altitude pattern so that the highest positive effect has corresponded with altitude northeastern to the

west and central altitude of Iran with range of regression coefficient 204 to 300.4 and then northern altitude (Alborz heights) and in the western parts with range of regression coefficient was between 18.7 to 204.4. The spatial distribution of local regression coefficients of rainfall effect on wheat yield showed a positive effect of rainfall on wheat yield in all months of the water year. The results showed that the rainfall in March ($R^2 = 0.79$) and April ($R^2 = 0.81$) have the greatest effect on wheat yield among different months of the growing season. The results showed that 78% of changes in Iranian wheat yield were affected by rainfall ($R^2 = 0.78$). The intensity of the positive and increasing effect of rainfall on wheat yield was higher in the central, eastern, southern and southeastern regions with a range of regression coefficients of 5.7 to 26.7.

4. Conclusion

Understanding the relationships between climate variables and crop yield is important for better evaluation of food security, policy, and decision-making in land and water resource management. In some studies, temperature and others, rainfall has been identified as the most important factors affecting agricultural production.

The results of this study showed that the temperature change has a significant role on wheat yield, but its effect was far less than the rainfall

variable ($R^2 = 0.78$), which is consistent with the findings of Luo et al (2005) and Challinor et al. (2003). The results also showed that the distribution of precipitation far more than the amount of precipitation affected wheat yield. The results of this study also showed a positive effect of minimum and maximum temperature on wheat yield. The positive effect of temperature was consistent with the pattern of distribution of the altitude in high and cold regions of the north, northeast, northwest and west (Alborz and Zagros heights) as well as the Caspian Sea coasts was higher, which gradually towards southern Iran, the effect was reduced in proportion to the decrease in altitude and increase in temperature. Based on the results, it can be said that the best time to plant wheat, especially in warm and dry regions of the country, is late September and early October. In general, it can be said that the effect of climatic variables on wheat yield depends on geographical location, altitude, climatic conditions and other environmental factors. In warm and dry regions where there is not possible to supply water resources for the cultivation of water wheat in critical stages of growth and in some cases the whole period of growth, increasing the simultaneous temperature with precipitation can have a positive effect on wheat yield.

Keywords: Spatial statistics, Climate change, Geographic weighted regression, Wheat, Iran.

5. References

- Aggarwal, P.K., Banerjee, B., Daryaei, M.G., Bhatia, A., Bala, A., Rani, S., Chander, S., Pathak, H., and Kalra, N. (2006). InfoCrop: A dynamic simulation model for the assessment of crop yields, losses due to pests, and environmental impact of agro-ecosystems in tropical environments. II. Performance of the model. *Agricultural Systems*, 89: 47-67.(1).
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X05001472>
- Aligani, F., Karbasi, A., Mozafari, M. (2012). Survey of the Effects of Climate Change on Yield of Irrigated Wheat in Iran. *Agricultural Economics and Development*, 19(4), 143-167.
http://aead.agri-peri.ac.ir/article_58750.html
- Alijani, B., James O.B., and Yarnal, B. (2008). Spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 94, 1: 107-124.
<https://www.researchgate.net/publication/227162639>
- Amirnejad, H & Asadpour kordi, M. (2017). Effects of Climate Change on Wheat Production in Iran. *Agricultural Economics Research*, 9(35), 163-182.
http://jae.marvdasht.iau.ir/article_2520.html?lang=en
- Asadi, H., Zamanian, G., Shahiki Tash, M., Ghorbani, M., Jalal Kamali, M. (2020). Determination of Marginal Effects of Climatic and Phenotypic Factors on Risk and Average Yield of Irrigated Wheat Lines in Breeding Research. *Applied Field Crops Research*, 33(02), 1-23.
https://aj.areeo.ac.ir/article_122252.html
- Bannayan, M., Mousavi-Baygi M., Ashraf B., Asadi Oskuei, E. (2016). Assessment of climatic indices limiting rainfed wheat yield. *Ecological Indicators*, 62: 298-305.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X1500638X>

- Bannayan Aval, M., Pooya Nasab, K., Ghorbani, R., Sanjani, S., & Yaghoubi, F. (2018). Temporal and Spatial Variation of Wheat and Bean Yields, Case Study: Khorasan-e Razavi province. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 16(2), 263-282.
https://jcesc.um.ac.ir/article_38112.html?lang=en
- Behmanesh, J., Faghih, H., Rezaie, H. (2019). The Effect of Climatic Variables on Agriculture (Case Study: Rainfed Wheat Yield). *Irrigation Sciences and Engineering*, 42(2), 135-151.
https://jise.scu.ac.ir/article_14348.html?lang=en
- Cai, R.; Yu, D., Oppenheimer, M. (2014). Estimating the Spatially Varying Responses of Corn Yields to Weather Variations using Geographically Weighted Panel Regression. *Agricultural and Resource Economics*, 2: 230-252. <https://www.jstor.org/stable/44131327>
- Challinor, A. J., Slingo J, M., Wheeler T.R., Craufurd P.Q., Grimes D.I.F. (2003). Towards a combined seasonal weather and crop productivity forecasting system determination of the working spatial scale. *J. Appl. Meteorol*, 42, 175-192. <https://journals.ametsoc.org>
- Dashti, G., Ghahremanzadeh, M., Golbaz, M. (2015). The Impact of Climate Variables on Wheat and Corn Yield and Yield Risk in Gazvin Province. *Agricultural Economics*, 8(4), 107-126.
http://www.iranianjae.ir/article_11197.html?lang=en
- Dehim Fard, R., Aini Nargse, H., Sofi Zadeh, S., Haqiq, M., Nouri, O. 2014. Forecasting climate change on wheat yield in Fars province using APSIM model. *Electronic journal of crop production*, 4, 203-224.
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=266554>
- Demirhan, H. (2020). Impact of increasing temperature anomalies and carbon dioxide emissions on wheat production. *Science of the Total Environment*, 741, 1-9.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32615418/>
- Erfanian, M., Hosseinkhah, M., Alijanpour, A. (2012). An introduction to OLS and GWR multivariate regression methods in spatial modeling of land use effects on water quality. *Promotion and development of watershed management*, 1, 33-39. magiran.com/p1668147
- Esmail negad, M., khosravei, M., aliganei, B., masoodeian, S. (2013). Identifying Heat Waves of Iran. *Geography and Development*, 11(33), 39-54.
https://gdij.usb.ac.ir/article_1321.html?lang=en
- Farajzadeh, M., Khorani, A., Bazgeer, S., & Zeaeian, 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 Quarterly*, 43(76), 21-34.
https://jphgr.ut.ac.ir/article_23068.html?lang=en
- Feiziasl, V., Jafarzadeh, J., Abdolrahmani, B., Mosavi, S., & Karimi, E. (2010). Studies on the Effects of Climatic Factors on Dryland Wheat Grain Yield in Maragheh Region. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(1), 1-11. https://jcesc.um.ac.ir/article_31575.html?lang=en
- Geng, X., Wang, F., Ren, W & Hao, Z. (2019). Climate change impacts on winter wheat yield in Northern China. *Advances in Meteorology*, 321: 20-45.
<https://www.hindawi.com/journals/amete/2019/2767018/>
- Guo, B., Wang, Y., Pei, L., Yu, Y., Liu, F., Zhang, D., Wang, X., Su, Y., Zhang, D., Zhang, B & Guo, H. (2021). Determining the effects of socioeconomic and environmental determinants on chronic obstructive pulmonary disease (COPD) mortality using geographically and temporally weighted regression model across Xi'an during 2014-2016. *Science of the Total Environment*, 756: 1-15.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720374003>
- Kambozia, J., Nadi, M., Sufizadeh, S., Mahdavi Damghani, A. (2013). Forecasting climate change on wheat yield in Fars province using APSIM model. *Journal of Agroecology*, 1, 72-85.
magiran.com/p1410754
- Koocheki, A & Nasiri mahalati, M. (2016). Climate Change Effects on Agricultural Production of Iran: II. Predicting Productivity of Field Crops and Adaptation Strategies. *Field Crops Research*, 14(1), 1-20.
https://jcesc.um.ac.ir/article_37503.html
- Kukul, M & Irmak, S. (2018). Climate-Driven crop yield and yield variability and climate change impacts on the U.S. Great Plains agricultural production. *Scientific Reports*, 8: 1-9.
<https://www.nature.com/articles/s41598-018-21848-2>
- Kumar, S., Singh, S. P ., Kumar, M. (2017). Effect of Weather Variables on Wheat Yield. *Int. J. Pure App. Biosci*, 5(6), 971-975. <http://www.ijpab.com>

- Khalilian, S., Rafiee, Z., Mosavi, S. (2019). The Investigation of Climate Change Effect on Agricultural Production Risk; the Case of Wheat in Fars Province. *Agricultural Economics*, 13(3), 87-110. http://www.iranianjae.ir/article_37424.html?lang=en
- Khaledian, M., Zare, N., Pirmoradian, N., Rezaei, M. (2015). Assessment of rice yield under different irrigation treatments over a long-term weather data with CropSyst model. *Water Management in Agriculture*, 2(1), 49-56. http://wmaj.iaid.ir/article_87630.html?lang=en
- Li, S., Wheeler, T., Challinor, A., Lin, E., Ju, H., Xu, Y. (2010). The observed relationships between wheat and climate in China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, 1412-1419. <https://www.researchgate.net>
- Lobell, D. B., Field, C. B. (2007). Global scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environmental Research Letters*, 2, 1-7. <https://scholar.google.com/scholar>
- Luo, Q., Bellotti, W., Williams, M., Bryan, B. (2005). Potential impact of climate change on wheat yield in South Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 132, 273-285. <https://www.researchgate.net/publication/248350866>
- Makari, M., Zohorayan Pordel, M., Javanmardi, M. (2015). The effect of climatic conditions on plantation of wheat crop Dezfoul city. *Geography (Regional Planning)*, 5(4), 25-34. http://www.jgeogeshm.ir/article_54403.html
- Mansouri Daneshvar, M., Bagherzadeh, A., & Khosravi, M. (2013). Assessment of drought hazard impact on wheat cultivation using standardized precipitation index in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*. 6.4463-4473. <https://www.researchgate.net>
- Masoodian, S. (2004). Temperature Trends in Iran during the Last Half Century. *Geography and Development*, 2(3), 89-106. https://gdij.usb.ac.ir/article_3831.html
- Mehnatkesh, A., Ayoubi, S., & Dehghani, A. (2017). Determination of the Most Important Factors on Rainfed Wheat Yield by Using Sensitivity Analysis in Central Zagros. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15(2), 257-266. https://jcesc.um.ac.ir/article_37894.html?lang=en
- Mishra, A., Liu, D & Ray, D. (2020). Sensitivity of global major crop yields to climate variables: Anon-parametric elasticity analysis. *Science of the Total Environment*, 748, 1-12. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720349603>
- Moradi, R., Hossam Arefi, I., Safari, M. (2017). Analysis of wheat yield and factors affecting it in Kerman province. *Agroecology*, 8, 106-123. <https://www.sid.ir/paper/409338/en>
- Mohammadi, G., Jalali, M., Hoseini Sadr, A., Khoshvaghti, H. (2017). The role of spatial and temporal fluctuations of climatic parameters in dry land wheat yield (Case study: Kaleibar and Khodaafarin County). *Physical Geography Quarterly*, 9(34), 105-123. https://jopg.jarestan.iau.ir/article_531684.html
- Moreno, J., Chamorro, L., Izquierdo, J., Masalles, R., Sans, F. X. (2008). Modelling within-field spatial variability of crop biomass-weed density relationships using geographically weighted regression. *Weed Research*, 48, 512-522. <https://dl.wqtxts1.xzle7.cloudfront.net>
- Moulai, M., Sadeghi, M., Javanbakht, O. (2016). The effect of climatic parameters on the yield and yield risk of wheat and barley in West Azarbaijan province. *Agroecology*, 2: 31-45. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=313121>
- Naserin, A., & Mousavi, S. (2017). Determining Climatic Model of Rain-fed Wheat Yield at North of Khouzestan Province. *Irrigation and Water Engineering*, 8(1), 125-138. http://www.waterjournal.ir/article_74214.html?lang=en
- Nazari, M., Hosseini, S., Liaghati, H. (2014). Estimation of climatic response functions of the yield of rainfed crops in the agro-ecological zone of northwest Iran. *Agroecology*, 2, 63-51. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=266214>
- Nohi, K., Kamali, G., Mortazavi, A. (2008). Investigating and analyzing the effect of heat on the wheat crop in the southern provinces of the country. *Geographical research*, 88, 51-74. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=91801>
- Olgun, M., and Erdogan, S. (2009). Modeling Crop Yield Potential of Eastern Anatolia by Using Geographically Weighted Regression. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 55, 255-263. <https://scholar.google.com/scholar>
- Peykani, R., ensan, E., Salami, H., Saleh, I. (2020). Investigation the Effects of Climate Variables on Yield and Yield Risk of Dry-land Wheat Using Moment-Based Models. *Agricultural Economics*, 14(2), 53-82. http://www.iranianjae.ir/article_242348.html?lang=en

- Qadri, N., Bahlul A., Hejazizadeh, Z., & Saligheh, M. (2018). Identifying similar zones of dryland wheat production with micro-climate zoning in Kurdistan. *Physical Geography Quarterly*, 11(41), 65-78.
https://jopg.larestan.iau.ir/article_545701.html
- Rao B.B., Chowdary P.S., Sandeep V.M., Pramod V.P., Rao V.U.M. (2015). Spatial analysis of the sensitivity of wheat yields to temperature in India, *Agricultural and Forest Meteorology*, 200,192-202.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.09.023>
- Sabziparvar, A., Torkaman, M., & Merianji, Z. (2013). Investigating the Effect of Agroclimatic Indices and Variables on Optimum Wheat Performance(Case study:Hamedan Province).*Water & Soil*,26(6),1554-1567.
https://jsw.um.ac.ir/article_36712.html?lang=en
- Sharma, D & Dubey, S. (2018). Assessment of climate change impact on yield of major crops in the Banas River Basin, India. *Science of the Total Environment*, 635, 10-19.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.343>
- Sharma,V., Irmak, A., Kabenge, I., Irmak, S. (2011). Application of GIS and Geographically Weighted Regression to Evaluate the Spatial Non-Stationarity between Precipitations vs. Irrigated and Rainfed Maize and Soybean Yields. *Biological Systems Engineering*, 3,953-972.
<https://www.researchgate.net>
- Shokouhi, M., & Sanaei-Nejad, S. (2014). Determination of Weather Conditions Associated With the Production of Rainfed Barley Crop) Case Study: East Azerbaijan. *Agroecology*, 6(3), 634-644.
https://agry.um.ac.ir/article_34136.html?lang=en
- Sohrabi, S & Bozorg Hadad, A. (2014). Assessment of Precipitation Uncertainty on Annual Yield of Dry Farming Wheat. *Iranian Water Researches Journal*, 8(1), 223-228.
http://iwrij.sku.ac.ir/article_10998.html?lang=en
- Song, Y., Linderholm, H., Wang, Ch., Tian, J., Huo, Z., Gao, P., Song, Y., Guo, A. (2019). The influence of excess precipitation on winter wheat under climate change in China from 1961 to 2017. *Science of the Total Environment*, 690, 189-196.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719329407>
- Sultana, A. (2020). Climate Variability and Wheat Crop Yield in Pakistan: Analyzing Food Security Prospects in Selected Agro Climatic Zones. *Pakistan Social Sciences Review*, IV,16-28.
<https://pssr.org.pk/issues/v4/4>
- Tavakoli, A., Akbari, Z., Liaghat, A. (2014). The role of Climate Parameters on Wheat Yield at Rainfed Regions of Kohdasht and Poldokhtar of Lorestan Province. *Geography and Environmental Planning*, 24(4), 1-14. https://gep.ui.ac.ir/article_18629.html?lang=en
- Tahami Pour, M., Salami, H., Yazdani, S., & Chizari, A. (2013). Determining Spatial Dependency of Systematic Risk of Dryland Wheat Yield in Iran: Application of Spatial Autoregressive Models. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 44(3), 343-356.
https://ijaedr.ut.ac.ir/article_50223.html?lang=en
- Ting, m., Carew, R., Florkowski, w., Klepacka, A. (2017). Analyzing Temperature and precipitation influences on yield distributions of canola and spring wheat in Saskatchewan. *Applied Meteorology and climatology*, 4, 897-913.
<https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/56/4/jamc-d-16-0258.1.xml>
- Yazdan Panah, H. Movahedi, S., Solimani, M., Salehi, M. (2010). Determining the Effect of Climatic Elements on the Yield of Dry Farmed Wheat in East Azarbaijan Province by Using Intelligent Neural Network. *Geography and Development*, 8(20), 133-144.
https://gdij.usb.ac.ir/article_634.html
- Zareabyaneh, D., Bayat Varkeshi, M., Ildoromi, A. (2011). Assessment of the effect of some climatic parameters, and ENSO phenomenon on wheat and barley yield (Case Study: Region of Hamedan). *Iranian Water Researches Journal*, 5(2), 181-192.
http://iwrij.sku.ac.ir/article_10864.html?lang=en
- Zarini Bahadur, M., & Nabiollahi, K. (2012). Qualitative assessment of land suitability for rainy climate in Parodbar watershed, Gilan province. *Agricultural and environmental science conference*.1-17.
<https://civilica.com/doc/250486/>
- Zhang, Ch & Xu, H. (2021). Investigating spatially varying relationships between total organic carbon contents and pH values in European agricultural soil using geographically weighted regression. *Science of the Total Environment*, 752: 1-11.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720355066>



رابطه فضایی متغیرهای آب‌وهوایی با عملکرد گندم در ایران

حدیث صادقی^۱، دکتر حسین محمدی^۲، دکتر علی اکبر شمسی پور^۳

کبری زارعی^۴، دکتر مصطفی کریمی^۵

مقاله پژوهشی

چکیده

آب‌وهوا از عوامل اصلی و تعیین‌کننده در کمیت و کیفیت تولید محصولات کشاورزی است. در این پژوهش ارتباط میان میانگین ماهانه کمینه و بیشینه دما و بارش ۲۲۳ ایستگاه هواشناسی همدید ایران به‌عنوان متغیرهای مستقل با عملکرد گندم ۲۲۳ شهرستان به‌عنوان متغیر وابسته در دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۷ در دو مقیاس زمانی ماهانه فصل رشد و کل دوره رشد واکاوی شد. روابط فضایی با استفاده از روش‌های تحلیل آمار فضایی در نرم‌افزار Arc/GIS 10.4.1 استفاده و با به‌کارگیری آزمون خودهمبستگی موران و رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی آزمون شد. نتایج شاخص موران نشان داد که توزیع فضایی عملکرد گندم از الگوی خوشه‌ای پیروی می‌کند. تحلیل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی حاکی از تأثیر قابل‌توجه بارش بر عملکرد گندم با تأثیرگذاری ۷۸ درصدی بود. همچنین نتایج نشان‌دهنده اثر مثبت بارش بر عملکرد گندم به‌ویژه در مناطق گرم و خشک مرکزی، شرقی، جنوب‌شرقی و جنوبی بود. نتایج نشان‌دهنده اثر مثبت افزایش دما بر عملکرد گندم در تمام سطح منطقه مورد مطالعه بود که به تدریج به سمت بخش‌های جنوبی به تناسب کاهش ارتفاع و افزایش میزان دما، از شدت اثر آن کاسته شد؛ به طوری که اثر افزایش دماهای روزانه (بیشینه) در مناطق سرد کوهستانی مثبت است؛ در حالی که با توجه به دمای بالای مناطق مرکزی به شرق و جنوب ایران به دلیل ایجاد تنش گرمایی در محصول گندم اثر منفی دارد. در مجموع نتایج تحلیل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی نشان داد که در مناطق مرطوب و پر بارش، افزایش در مقدار دما به مطلوب‌تر از افزایش مقدار بارش است، به طوری که با افزایش دما میزان عملکرد افزایش می‌یابد؛ بنابراین می‌توان گفت در مناطق گرم و نیمه‌گرم کشور افزایش دما همراه با افزایش بارش می‌تواند بر عملکرد گندم اثر مثبت داشته باشد. در این مناطق بهتر است کشت گندم در ارتفاعات یا در مواقع سرد سال صورت گیرد و با استفاده از سیستم‌های آبیاری تنش خشکی را در مراحل حساس رشد گندم کاهش داد.

جغرافیا و توسعه، شماره ۶۸، پاییز ۱۴۰۱
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۵
تاریخ بازنگری داوری: ۱۴۰۰/۱۱/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۴
صفحات: ۲۱۴-۱۸۴



واژه‌های کلیدی:

آمار فضایی، خودهمبستگی موران، رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی، گندم، ایران.

مقدمه

کشاورزی تحت تأثیر عوامل انسانی و طبیعی متعددی به‌عنوان مثال، ابل و فیلد (۲۰۰۷) در یک واکاوی جهانی به این نتیجه رسیدند که دما تأثیر قوی‌تری بر عملکرد محصولات دارد، آن‌ها کاهش ۰/۶ تا ۸/۹ درصدی را در متوسط عملکرد محصولات گندم، برنج، ذرت، جو، سویا و سورگوم به‌ازای هر یک درجه سلسیوس افزایش در دمای جهانی گزارش کردند (Lobell & Field, 2007: 2). این در حالی است که

کشاورزی تحت تأثیر عوامل انسانی و طبیعی متعددی (Mishra et al, 2020:8) از جمله، شرایط آب‌وهوایی است. حساسیت آن به عناصر جوی بارش، دما، رطوبت، باد، تابش و دیگر عوامل قابل‌توجه است (Kumar et al, 2017: 972, Sharma & Dubey, 2018:3). دما و بارش که متغیرهای کلیدی مؤثر بر تولید کشاورزی هستند، می‌توانند بسیار تأثیرگذار باشند. در برخی از مطالعات دما را به‌عنوان مهم‌ترین متغیر مؤثر بر تولید

در پژوهش بنیادین اول و همکاران (۱۳۹۷) مشخص شد که ۴۰ تا ۷۷ درصد از تغییرات عملکرد گندم خراسان رضوی با متغیرهای اقلیمی دما و بارش توجیه می‌شود (بنیادین اول و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۸۲). همچنین در مطالعات دیگر مشخص شد که افزایش دما همزمان با کاهش در میزان بارش اثرات منفی بر عملکرد دارد (Demirhan, 2020: 2; Sultana, 2020: 2) و همکاران، ۱۳۹۹: ۵۴).

تکنیک‌های زمین‌آمار و تحلیل‌های خودهمبستگی فضایی از مفیدترین و پرکاربردترین ابزارهای تحلیل فضایی هستند که نقش قابل‌توجهی در کسب آگاهی و کمک به بهبود راهکارهای مدیریتی دارند. در همین زمینه روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی^۱ به‌عنوان شاخه‌ای جدید از تحلیل رگرسیون که توان شناخت و بررسی روابط میان متغیرها را دارد، می‌تواند با برآورد عملکرد محصولات کشاورزی و درک بهتر روابط متقابل‌شان با پارامترهای آب‌وهوایی، برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران را برای ارزیابی زمانی و مکانی عملکرد محصولات کشاورزی و شناخت نواحی با اولویت بهره‌وری محدود قادر سازد. رگرسیون وزنی جغرافیایی شکل گسترش‌یافته رگرسیون معمولی است و به‌طور گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف شامل کشاورزی، شهری، زیست-محیطی و اجتماعی استفاده می‌شود. رگرسیون وزنی جغرافیایی، همان روش حداقل مربعات معمولی است؛ با این تفاوت که به مشاهده‌ها براساس مکان یا مختصات مکانی آن‌ها نسبت به نقاط مرجع وزن داده می‌شود. این روش معادلات رگرسیون جداگانه‌ای را با استفاده از متغیرهای مستقل و وابسته برای هر مشاهده تولید می‌کند که هر معادله با استفاده از وزن مختلف مشاهده‌های موجود در مجموعه داده‌ها کالیبره می‌شود. مشاهده‌های نزدیک وزن بیشتری نسبت به مشاهده‌های دورتر دارند (Zhang & Xu, 2021: 2; Guo et al, 2021: 10; Sharma et al, 2011: 954).

براساس نتایج برخی از مطالعات، درکشوری مانند هند بارش به‌عنوان مهم‌ترین عامل مؤثر بر تولید محصولات کشاورزی گزارش شده است (Li et al, 2010: 1415). در همین زمینه نتایج پژوهش (Chllinor et al, 2003: 189) حاکی از آن بود که ۵۰ درصد تغییرپذیری عملکرد محصولات کشاورزی در کشور هند تحت‌تأثیر تغییرپذیری کل بارش فصلی از ۱۹۶۶ تا ۱۹۹۵ است.

در مطالعات ارتباط بین عناصر و پدیده‌های اقلیمی و عملکرد گندم از داده‌ها و روش‌های تحلیل مختلفی استفاده می‌شود. در بخش روش‌شناسی انجام مطالعات، روش‌های آماری با تأکید بر رگرسیون مورد استفاده بیشتری بوده است. (Bannayan et al, 2016: 298) اثر ۶ شاخص آب و هوایی را در ۵ موقعیت مکانی در شمال شرق ایران در طول دوره ۱۹۸۳ تا ۲۰۰۸ بررسی کردند. نتایج حاکی از این بود که در موقعیت‌های مکانی مختلف، متغیرهای مؤثر بر مراحل مختلف رشد گندم متنوع است. الگوی زمانی بارش و افزایش تبخیر و تعرق محدودکننده‌ترین فاکتورها برای گندم دیم در شمال شرق ایران بودند.

در تحقیق رائو و همکاران (۲۰۱۵) مشخص شد که عملکرد گندم در هند به‌ویژه در طول دوره گلدهی به دمای کمینه حساس است (Rao et al, 2015: 192) و همچنین در مطالعه اگروال و همکاران (۲۰۰۶) اثر افزایش دما به میزان بیش از یک درجه سلسیوس را در عملکرد گندم تا ۳۰ درصد کاهش به‌دست آوردند (Aggarwal et al, 2006: 47).

قادری و همکاران (۱۳۹۷) با تحلیل رگرسیون گام‌به‌گام اثر متغیرهای اقلیمی بر عملکرد گندم استان کردستان به این نتیجه رسیدند که کاشت دیرهنگام سبب تأخیر در گلدهی و مصادف شدن مراحل شیری و دوغی شدن گندم با دوره گرما و خشکی و آفت محصول می‌شود (قادری و همکاران، ۱۳۹۷: ۶۵).

کشور ایران متعلق به مناطق خشک و نیمه‌خشک است که با توجه به ساختارهای محیط زیستی خاص خود نسبت به تغییرات محیطی آسیب‌پذیر است (دیهیم‌فرد و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۰۳).

براساس پژوهش مسعودیان (۱۳۸۳) مشخص شده است که در نیم قرن گذشته دمای شبانه، روزانه و شبانه‌روزی ایران به ترتیب ۳، ۱ و ۲ درجه در هر صد سال افزایش داشته است (مسعودیان، ۱۳۸۳: ۸۹). همچنین نتایج پژوهش منصوری دانشور و همکاران (۲۰۱۳) نیز نشان‌دهنده وقوع خشکسالی‌های مکرر بر بخش بزرگی از پهنه ایران و تأثیر آن بر کشت گندم بوده است؛ به‌طور کلی بررسی مطالعات و منابع مختلف نشان می‌دهد که ایران به‌لحاظ شرایط آب‌وهوایی و منطقه‌ای استعدادهای بالقوه لازم را برای توسعه کشاورزی دارد (Mansouri Daneshvar et al, 2013: 4463). گندم از مهم‌ترین محصولات کشاورزی ایران است و کشت آن به‌ویژه به صورت دیم وابستگی شدیدی به شرایط آب‌وهوایی دارد. در همین زمینه بررسی منابع مختلف نشان‌دهنده اثر تغییرات اقلیمی بر عملکرد گندم در مناطق مختلف ایران است؛ بنابراین با توجه به این نکته که امنیت آب‌و‌غذا، اساسی‌ترین چالش‌های پیش‌رو هستند، در این مطالعه اثر متغیرهای آب‌وهوایی بر عملکرد گندم با استفاده از روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی بررسی می‌شود.

داده‌ها و روش

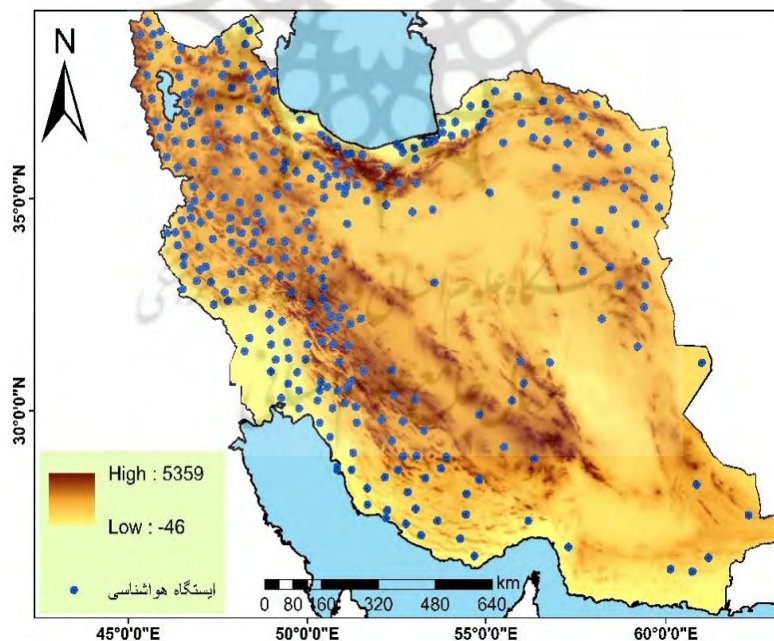
منطقه مورد مطالعه در این پژوهش سرزمین ایران با وسعت ۱۹۵،۶۴۰ کیلومتر مربع در نیمه جنوبی منطقه معتدل شمالی بین ۲۵°۰۳' تا ۴۷°۴۷' عرض شمالی و ۴۴°۱۴' تا ۶۳°۲۰' طول شرقی قرار دارد. وجود عوامل متعدد طبیعی مانند رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس در شمال و غرب، دشت‌های مرکزی و مجاورت با دریای خزر، خلیج فارس و اقیانوس هند موجب شده

شارما و همکاران (۲۰۱۱)، در پژوهشی رابطه بین بارش و عملکرد دیم و آبی دو محصول ذرت و سویا برای ۹۳ ناحیه در نبراسکا در طول دوره ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۸ را با استفاده از رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی مطالعه کردند (Sharma et al, 2011: 953). آن‌ها به این نتیجه رسیدند که به‌دلیل ایجاد درک بهتری از تأثیرات تغییرپذیری مکانی، روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی قابلیت بهتری نسبت به رگرسیون حداقل مربعات معمولی^۱ دارد.

در مطالعات دیگری رابطه بین متغیرهای مختلف اقلیمی به‌ویژه بارش و دما و عملکرد محصولات کشاورزی همچون گندم، ذرت و برنج با استفاده از روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی و رگرسیون پانل مطالعه شد. نتایج نشان داد، الگوی مکانی بارش به‌دلیل وجود سیستم‌های آبیاری پیچیده بود، اما دما بر روی مناطق گرم‌تر تأثیر منفی و بر روی مناطق سردتر تأثیر مثبتی داشت (Olgan & Erdogan, 2009: 256; Cai et al, 2014: 231; Moreno et al, 2008: 513). عرفانیان و همکاران (۱۳۹۲) با معرفی و مقایسه دو روش حداقل مربعات معمولی و رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی، پژوهشی انجام دادند و بر کارایی بالاتر روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی تأکید کردند (عرفانیان و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۴). گندم یکی از محصولات اساسی و عمده بخش کشاورزی ایران است که بیش از ۶۰ درصد از سطح زیر کشت محصولات سالانه را به‌خود اختصاص می‌دهد (تهامی پور و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۴۴ و فرج زاده اصل و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۲). کشاورزی به علت ارتباط بسیار نزدیک با شرایط آب‌وهوایی نسبت به نوسانات آب و هوایی آسیب‌پذیر است؛ زیرا رشد و عملکرد بهینه گیاهان زراعی در دامنه خاصی از متغیرهای آب‌وهوایی امکان‌پذیر است و نوسانات آب‌وهوایی می‌تواند دامنه بهینه در رابطه با دمای موردنیاز برای رشد گیاه را دستخوش تغییر کند (دیهیم‌فرد و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۰۳).

است که ایران از تنوع آب‌وهوایی بالایی برخوردار باشد. میزان دما به تناسب موقعیت جغرافیایی و توزیع ناهمواری بسیار متغیر است. افزون بر این، رخداد بارش در این سرزمین دارای توزیع نامناسب زمانی و مکانی بوده است و گاه نوسانات سالانه بالایی نیز دارد (Alijani et al, 2008: 107) و اسماعیل‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۹). در این پژوهش از دو گروه داده شامل داده‌های زراعی و جوی استفاده شد. داده‌های زراعی مورد استفاده در پژوهش شامل عملکرد گندم برای دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ است که از بانک اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی تهیه شد. ابتدا با بررسی داده‌های تهیه‌شده از بانک اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی نواحی زیر سطح کشت گندم در ایران شناسایی شدند. پس از آن، ۲۲۳ شهرستان که پراکنش مکانی و طول دوره آماری مناسب (۲۰۰۰-۲۰۱۷)

داشتند، انتخاب شد (شکل ۱). همچنین داده‌های کمینه و بیشینه دما و بارش ۲۲۳ ایستگاه سینوپتیک برای دوره زمانی مورد مطالعه (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷) از سازمان هواشناسی گردآوری شدند (شکل ۱). کشت گندم در کشور به صورت پاییزه است و زمان کاشت آن در مناطق مختلف کشور با توجه به شرایط مختلف آب‌وهوایی و متغیر بودن زمان شروع بارندگی مؤثر از اواخر شهریور تا اواخر آبان متغیر است. با توجه به شرایط آب‌وهوایی، برداشت گندم در مناطق معتدل در خرداد و در مناطق سردسیر در نیمه اول تا دوم مرداد انجام می‌شود؛ بنابراین متوسط میزان متغیرهای آب‌وهوایی برای دو مقیاس زمانی ماهانه فصل رشد (سپتامبر تا جولای) و کل دوره رشد در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه محاسبه شد.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده

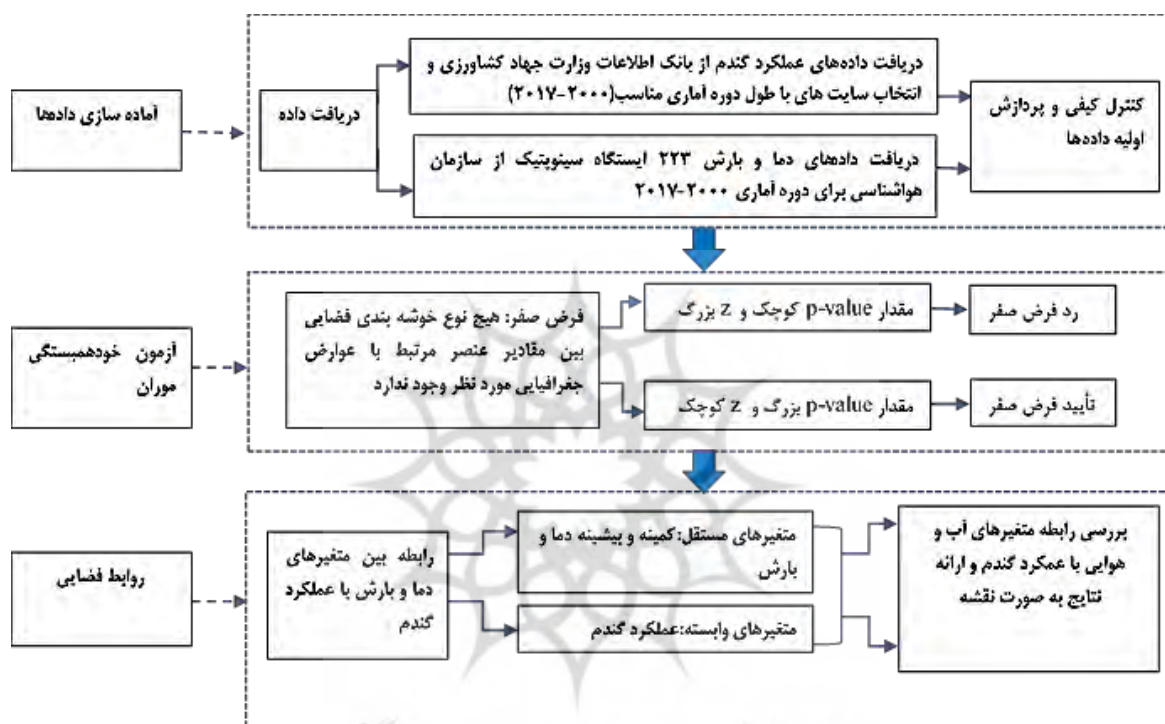
تهیه و ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۰

داده‌های عملکرد گندم استفاده شد. هدف اصلی آزمون خودهمبستگی موران (I) تحلیل درجه خودهمبستگی مکانی بین نقاط مجاور و نحوه توزیع داده‌ها (خوشه‌ای یا تصادفی) است. پس از اطمینان از خوشه‌بندی فضایی

برای پاسخ به اینکه آیا الگوی فضایی داده‌های عملکرد گندم و روندهای حاکم بر آن در منطقه مورد مطالعه از ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی آنجا پیروی می‌کند یا خیر، نخست از آزمون خودهمبستگی موران برای

گندم از روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی استفاده شد. در این پژوهش به منظور بررسی اثر متغیرهای آب‌وهوایی بر عملکرد گندم از نتایج ضرایب محلی استفاده شد. در شکل (۲)، روش‌شناسی مورد استفاده در این پژوهش نشان داده شده است.

داده‌های عملکرد، با هدف سنجش رابطه و میزان تأثیر متغیرهای کمینه و بیشینه دما و بارش به‌عنوان متغیرهای مستقل، با عملکرد محصول گندم به‌عنوان متغیر وابسته در مقیاس زمانی ماهانه طول دوره رشد گندم (سپتامبر تا جولای) و همچنین کل دوره رشد



شکل ۲: روندنمای روش‌شناسی پژوهش

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۰

هستند. همچنین با استناد به بالا و مثبت بودن امتیاز استاندارد Z و بسیار کوچک بودن مقدار P-Value فرضیه نبود خودهمبستگی فضایی بین داده‌ها رد شده و عملکرد گندم در بُعد فضایی دارای خوشه‌بندی با ارزش بالا هستند. چنانچه قرار بود داده‌های عملکرد گندم به‌طور نرمال در فضا پخش شده باشند، شاخص باید مقادیر منفی $-0/000641$ می‌داشت. همچنین در شکل (۳)، توزیع فضایی الگوی حاکم بر عملکرد گندم با استفاده از شاخص موران محلی (LISA) ارائه شده است. در این شکل HH بیانگر عملکرد بالا در تعداد معینی از شهر و شهرهای مجاور آن، HL بیانگر عملکرد

یافته‌های تحقیق

نتایج پژوهش در دو بخش مجزا، محاسبه خودهمبستگی فضایی در عملکرد محصول گندم و تحلیل روابط فضایی عوامل اقلیمی به‌عنوان متغیرهای مستقل با عملکرد گندم انجام شد. در ادامه گزارش هر دو بخش آورده می‌شود.

خودهمبستگی فضایی

در جدول (۱) نتایج خروجی تحلیل خودهمبستگی فضایی موران ارائه شده است. با توجه به اینکه مقدار شاخص موران برای عملکرد گندم مثبت و نزدیک به یک است؛ پس داده‌ها دارای خودهمبستگی فضایی

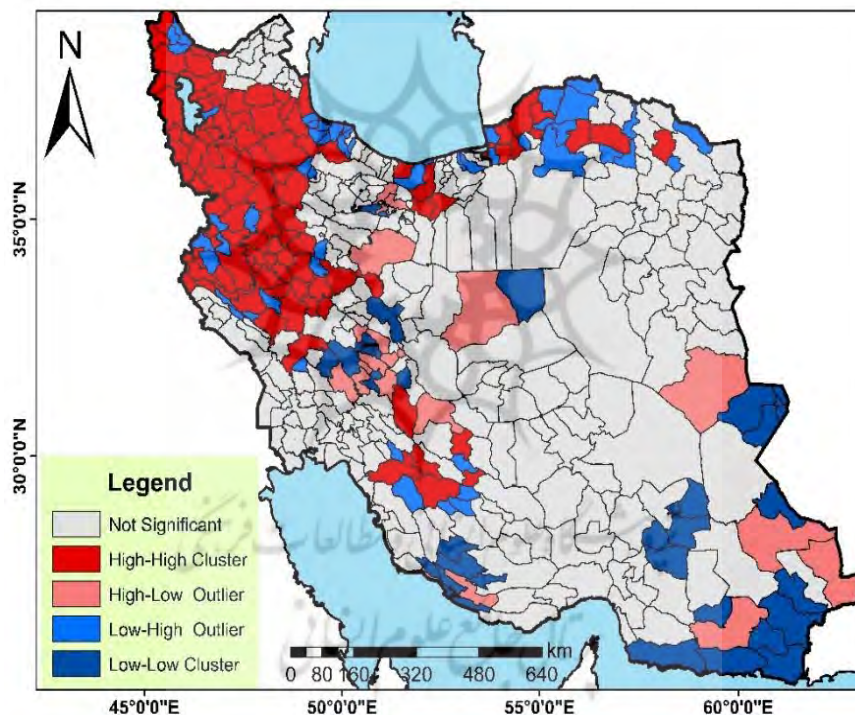
با ارزش زیاد یا خودهمبستگی مثبت HH منطبق بر اقلیم‌های اصلی کشت گندم دیم واقع در بخش‌های شمال غربی تا جنوب غربی و مناطق محدودی از بخش‌های شمال شرقی کشور است.

بالا در تعداد معینی از شهر و عملکرد پایین در شهرهای مجاور آن، LH بیانگر عملکرد پایین در تعداد معینی از شهرها و عملکرد بالا در شهرهای اطراف آن و LL نشان‌دهنده عملکرد پایین در تعداد معینی از شهرها و شهرهای مجاور آن است. الگوی مقادیر عملکرد

جدول ۱: خروجی آماره موران برای عملکرد گندم دیم

محصول	شاخص موران	شاخص مورد انتظار	واریانس	Z-Score	P-value
گندم	۰/۳۱۷۸۲۴	-۰/۰۰۰۶۴۱	۰/۰۰۱۵۵۰	۶/۲۵۴۶۸۴	۰/۰۰۰

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰



شکل ۳: پراکنش الگوی موران محلی برای عملکرد گندم دیم ایران در دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۷

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۰

روابط فضایی

شناخت روابط بین عملکرد و فاکتورهای محیطی مختلف از جمله اقدامات اولیه برای ارزیابی نوسان عملکرد در یک مقیاس منطقه‌ای است. در همین زمینه در پژوهش حاضر با هدف شناخت روابط بین عملکرد گندم به‌عنوان متغیر وابسته و متغیرهای جوی به‌عنوان

متغیرهای مستقل از روش رگرسیون وزنی جغرافیایی استفاده شد.

– رابطه متوسط دمای بیشینه با عملکرد گندم
نتایج ضرایب محلی اثر دمای بیشینه بر عملکرد گندم در طول ماه‌های مختلف فصل رشد گندم حاکی از اثر مثبت دمای حداکثر در تمام ماه‌ها بود (جدول ۲).

محدوده آستانه حرارتی گندم (۳۲ درجه سلسیوس) بوده و شرایط مناسبی برای رشد اولیه و جوانه زنی گندم در این ماهها فراهم است. همچنین نتایج نشان داد که در ماه اکتبر، به طور متوسط ۱۶ درصد از مساحت کشور منطبق بر مناطق نیمه بیابانی شرق، مرکزی و جنوبی دارای دمای بیشینه بالاتر از آستانه تحمل گندم در طول مراحل کاشت تا جوانه زنی (۳۲ درجه سلسیوس) بودند. در همین راستا پایین ترین میزان اثر مثبت دمای بیشینه ماه اکتبر بر عملکرد گندم با دامنه ضرایب محلی ۰/۰۴ تا ۷/۷ در این مناطق مشاهده شد. همچنین در ماه سپتامبر برای ۳۶ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه منطبق بر مناطق گرم و خشک کشور متوسط دمای بیشینه بالاتر از ۳۲ درجه سلسیوس مشاهده شد (جدول ۲).

میزان اثر دمای بیشینه، بسته به شرایط آب و هوایی و توپوگرافی در مناطق مختلف ایران متفاوت بود. با توجه به جدول ۲، بالاترین میزان اثر مثبت دمای بیشینه مربوط به مناطق مرتفع و سردسیر (ارتفاعات البرز و زاگرس) و همچنین کرانه های دریای خزر بود. در همین زمینه بررسی توزیع دمای بیشینه در مناطق مذکور نشان داد که در این مناطق متوسط دمای بیشینه ماه های نامبرده پایین تر از محدوده آستانه حرارتی گندم در طول مراحل کاشت تا جوانه زنی و سبز شدن (۳۲ درجه سلسیوس) است. پایین ترین میزان اثر مثبت بیشینه منطبق بر مناطق نیمه بیابانی شرق تا جنوب و همچنین نواحی مرکزی بود. بررسی توزیع متوسط دمای بیشینه مناطق مذکور نشان داد که متوسط دمای بیشینه ماه های نوامبر و دسامبر در

جدول ۲: دامنه ضرایب محلی دمای بیشینه برای عملکرد گندم در ایران در طول ماه های سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر

مناطق جنوبی	مناطق مرکزی	مناطق شرقی	مناطق غربی	مناطق شمالی
۱/۸ - ۲۰/۸	۰/۰۳ - ۳۷/۵	۲/۳ - ۳۵/۵	۲۱/۷ - ۳۲/۷	۲۴/۱ - ۴۳/۱
۲/۱ - ۲۴/۸	۰/۰۴ - ۴۷/۴	۲/۷ - ۴۴/۷	۲۶ - ۴۵	۳۱/۴ - ۵۴/۵
۲/۷ - ۳۴/۲	۰/۰۶ - ۷۳	۳/۴ - ۶۸/۵	۳۶/۱ - ۷۳/۵	۵۰/۶ - ۸۱/۴
۳/۳ - ۴۳/۷	۰/۰۸ - ۱۰۶/۸	۴/۱ - ۱۰۲/۹	۴۶/۲ - ۱۲۶	۷۴/۵ - ۱۱۶/۷

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰

در جدول ۳ دامنه ضرایب محلی دمای بیشینه در طول ماه های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و می نشان داده شده است. نتایج ضرایب محلی دمای بیشینه در این ماهها نشان دهنده اثر مثبت و مستقیم دمای بیشینه بر عملکرد گندم بود. کمترین میزان اثر مثبت دمای بیشینه ماه های نامبرده در مناطق گرم و خشک شرقی، مرکزی، جنوب شرقی و جنوبی مشاهده شد. بررسی توزیع متوسط دمای بیشینه نشان داد که متوسط دمای بیشینه ماه های ژانویه، فوریه و مارس به ترتیب در ۹، ۱۹ و ۳۲ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه منطبق بر نواحی گرم و خشک جنوب بالاتر از

۱۹ درجه سلسیوس بود که نسبت به حداکثر دمای مطلوب رشد گیاه گندم در مرحله پنجه زنی (۱۸ درجه سلسیوس) نسبتاً تنش زا محسوب می شود. همچنین نتایج نشان داد که در مناطق مرتفع و سردسیر شمالی، شمال شرقی، شمال غربی و غربی (ارتفاعات البرز و زاگرس) و همچنین کرانه های دریای خزر محدودیت دمایی برای رشد گندم وجود ندارد و در همین راستا بیشترین میزان اثر مثبت دمای بیشینه ماه های ژانویه، فوریه و مارس بر عملکرد گندم نیز مربوط به همین مناطق بود. همچنین نتایج نشان داد که الگوی توزیع مکانی ضرایب محلی دمای بیشینه در ماه های آوریل و

و ۳۰ تا ۴۷ مربوط به این مناطق بود. بررسی توزیع دمای بیشینه در دیگر مناطق ایران نشان داد که در ماه آوریل ۱۶ درصد و در ماه می ۳۳ درصد از مساحت مناطق گرم و خشک جنوبی دارای دمای بالاتر از آستانه مطلوب گلدهی (۲۷ تا ۳۲ درجه سلسیوس) بودند؛ اما نظر به اینکه در این مناطق ماه‌های آوریل و می همزمان با مراحل پایانی رشد است، وقوع دماهای بالاتر از ۲۷ درجه سلسیوس آسیب زیادی به عملکرد گندم وارد نمی‌کند. با این حال برخی از سال‌ها هجوم امواج گرمایی موجب بروز خسارت و افت میزان عملکرد گندم می‌شود (جدول ۳).

می مشابه ماه‌های قبلی بوده و به تدریج از شمال به جنوب از شدت اثر مثبت دمای بیشینه بر عملکرد گندم کاسته شده است. ماه‌های آوریل و می در اکثر مناطق ایران، مصادف با دوره حساس گلدهی است. در این مرحله از رشد گندم، دماهای بالاتر از ۲۷ تا ۳۲ درجه سلسیوس، گلدهی را مختل می‌کند. بررسی توزیع متوسط دمای بیشینه نشان داد که مناطق شمالی، غربی، شمال‌غربی و همچنین بخش‌هایی از مناطق شمال‌شرقی در شرایط مطلوب دمای مرحله گلدهی (پایین‌تر از ۲۷ درجه سلسیوس) قرار دارند. بیشترین میزان اثر مثبت دمای بیشینه ماه‌های آوریل و می نیز به ترتیب با دامنه ضرایب محلی ۳۷/۳۸ تا ۶۰/۲

جدول ۳: دامنه ضرایب محلی دمای بیشینه برای عملکرد گندم دیم ایران در طول ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و می

مناطق جنوبی	مناطق مرکزی	مناطق شرقی	مناطق غربی	مناطق شمالی
ژانویه	۰/۰۷ - ۱۲۵/۳	۴/۵ - ۱۱۵/۵	۴۹/۵ - ۱۵۵/۲	۸۵/۴ - ۱۲۹/۴
فوریه	۰/۰۶ - ۹۹/۶	۴/۱ - ۹۷/۲	۴۴/۱ - ۱۱۸/۲	۶۹/۵ - ۱۱۴/۲
مارس	۰/۰۵ - ۶۷/۳	۳/۳ - ۶۳/۱	۳۵/۹ - ۶۹/۹	۴۴/۲ - ۷۸/۷
آوریل	۰/۰۴ - ۵۰/۶	۲/۷ - ۴۶/۶	۲۹/۱ - ۵۱	۳۴ - ۶۰/۲
می	۰/۰۳ - ۴۰/۴	۲/۳ - ۳۷/۱	۲۳/۷ - ۳۹/۱	۲۶/۶ - ۴۷

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰

بررسی توزیع مکانی متوسط دمای بیشینه ماه ژوئن حاکی از آن بود که متوسط دمای بیشینه ماه ژوئن در ۳۶ درصد از گستره مساحت ایران بالای ۳۵ درجه سلسیوس است که عمدتاً منطبق بر مناطق گرم و خشک نواحی جنوبی بود. در ماه جولای پهنه‌های با دمای بالای ۳۵ درجه سلسیوس گسترده‌تر شد؛ به گونه‌ای که در بیش از ۵۲ درصد از مساحت ایران متوسط دمای بیشینه بالای ۳۵ درجه سلسیوس بود. کشت گندم در زمان مناسب به‌ویژه در مناطق گرم و خشک، موجب می‌شود که مراحل رشد گندم در شرایط مطلوب محیطی قرار بگیرد و مانع از همزمانی مراحل انتهایی رشد (پرشدن دانه) با تنش گرمایی انتهایی فصل رشد شود. همچنین نتایج نشان داد که

در جدول ۴ دامنه ضرایب محلی دمای بیشینه در طول ماه‌های ژوئن و جولای در مناطق مختلف منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. با توجه به جدول ۴، بالاترین میزان اثر مثبت دمای بیشینه ماه‌های ژوئن و جولای به ترتیب با دامنه ضرایب محلی ۲۶/۱ تا ۴۰ و ۲۴ تا ۳۷/۶ مربوط به کرانه‌های دریای خزر و مناطق شمال‌غربی تا غربی بود. با توجه به جدول ۴ به تدریج از شدت اثر دماهای بیشینه ژوئن و جولای بر عملکرد گندم به سمت نواحی جنوبی کاسته شده است. در اکثر مناطق ایران، ماه‌های ژوئن و جولای همزمان با مرحله پرشدن دانه است و گرم‌شدن سریع هوا و رخداد دماهای بالای ۳۵ درجه سلسیوس موجب کاهش شدید وزن هزار دانه و افت عملکرد می‌شود.

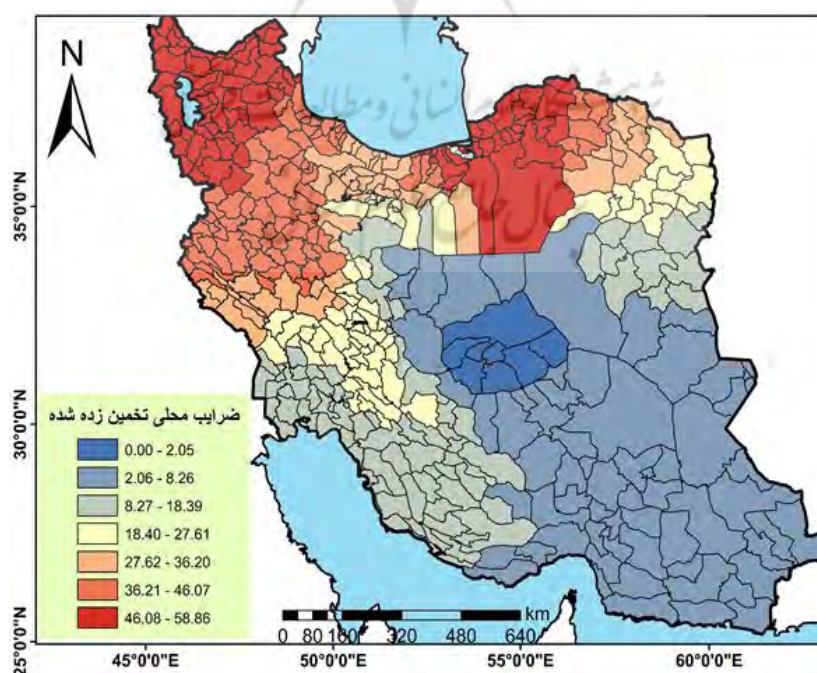
طیف رنگ آبی نشان‌دهنده پایین‌ترین اثر مثبت دمای بیشینه بر عملکرد گندم است. با توجه به شکل ۴، به تدریج از وسعت و شدت اثر متوسط دمای بیشینه بر عملکرد گندم به سمت نواحی مرکزی و جنوبی کاسته شده و بیشترین میزان اثر آن بر مناطق مرتفع و سردسیر نوار شمالی، غربی و شمال‌غربی متمرکز شده است. در مجموع به ازای هر درجه سلسیوس افزایش در دمای بیشینه، به‌طور متوسط میزان عملکرد در مناطق جنوبی، مرکزی، شرقی، غربی و شمالی به ترتیب به‌طور متوسط ۱۲/۱، ۲۰، ۲۰/۸، ۴۳/۶ و ۴۹/۱ کیلوگرم در هکتار افزایش می‌یابد.

در بین ماه‌های مختلف فصل رشد، به ترتیب متوسط دمای بیشینه ماه‌های نوامبر و دسامبر با $R^2=0/82$ ، اکتبر با $R^2=0/81$ و پس از آن متوسط دمای بیشینه ژوئن و جولای با $R^2=0/80$ بیشترین میزان تأثیر را بر عملکرد گندم نشان دادند. در مجموع بررسی توزیع مکانی ضرایب محلی اثر متوسط دمای بیشینه بر عملکرد گندم در طول فصل رشد نشان‌دهنده اثر مثبت متوسط دمای بیشینه بر عملکرد گندم با دامنه ضرایب محلی ۱/۳۸ تا ۱۰۱/۸ بود. در شکل ۴ اثر متوسط دمای بیشینه بر عملکرد گندم در طول دوره رشد نشان داده شده است. در این شکل طیف رنگ قرمز نشان‌دهنده بالاترین اثر مثبت دمای بیشینه و

جدول ۴: دامنه ضرایب محلی دمای بیشینه برای عملکرد گندم دیم ایران در طول ماه‌های ژوئن و جولای

مناطق شمالی	مناطق غربی	مناطق شرقی	مناطق مرکزی	مناطق	
۲۲ - ۴۰	۲۰/۵ - ۳۲	۲/۲ - ۳۱/۲	۰/۰۳ - ۳۴/۵	۱/۷ - ۱۹/۶	ژوئن
۲۰/۵ - ۳۷/۶	۱۹/۴ - ۳۰/۵	۲/۱ - ۲۸/۳	۰/۰۳ - ۳۲/۴	۱/۶ - ۱۸/۷	جولای

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰



شکل ۴: توزیع مکانی ضرایب محلی تخمین‌زده شده متوسط دمای بیشینه برای عملکرد

گندم دیم ایران در کل دوره رشد گندم (تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۰)

ب- رابطه متوسط دمای کمینه با عملکرد گندم

توزیع مکانی ضرایب محلی دمای کمینه گویای این بود که اثر دمای کمینه بر عملکرد گندم به تناسب موقعیت جغرافیایی، توزیع ناهمواری‌ها در طول ماه‌های مختلف فصل رشد متفاوت بوده است. دمای کمینه پایین‌تر از آستانه تحمل گندم در طول مرحله کاشت تا جوانه‌زنی (۳ تا ۴ درجه سلسیوس)، مانع از تأمین حرارت تجمعی و درنهایت همزمانی مراحل پایانی رشد با تنش گرمایی می‌شود. بررسی دامنه ضرایب محلی دمای کمینه در ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر که همزمان با مراحل کاشت تا جوانه‌زنی هستند، حاکی از اثر مثبت و افزایشی دمای کمینه بر عملکرد گندم بود (جدول ۵). با توجه به جدول ۵، در ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر بالاترین میزان اثر مثبت دمای کمینه منطبق بر بخش‌های شمال‌شرقی، شمال‌غربی و پس از آن بخش‌های شمالی و غربی بود. در این بخش‌ها ارتفاعات البرز و زاگرس و همچنین انباشت هوای سرد در دره‌ها موجب وقوع دماهای پایین و سرمای شبانه می‌شود. همچنین در این ماه‌ها کمترین میزان اثر مثبت دمای کمینه بر عملکرد گندم، در بخش‌های گرم و خشک مرکزی، شرقی و جنوبی مشاهده شد که گستره مکانی آن در ماه نوامبر با دامنه ضرایب محلی ۰/۰۸ تا ۴۳/۸ بیشتر بود. تعداد

روز جوانه‌زنی در گیاهان مختلف متفاوت است و بیشتر بستگی به دما دارد. معمولاً هر چه دما بیشتر شود، به‌طوری‌که از حداکثر آستانه تجاوز نکند، گیاه زودتر جوانه می‌زند. ضرایب محلی در ماه دسامبر حاکی از رابطه منفی و معکوس دمای کمینه با عملکرد گندم در مناطق مرتفع و سردسیر با دامنه ضرایب محلی ۲۳۵/۹- تا ۸/۲۵۳- و رابطه مثبت و مستقیم آن با عملکرد گندم در مناطق پست و کم‌ارتفاع با دامنه ضرایب محلی ۱۵/۲۹ تا ۲۹۴/۰۸ بود. تقریباً ۷۵ درصد از اراضی گندم دیم ایران در مناطق مرتفع و سردسیر واقع شده‌اند و وقوع سرمای سخت زمستان خسارت زیادی به محصول گندم وارد می‌کند. در این مناطق، برای ایجاد مقاومت گیاه به سرما، وجود دوره‌های سرمایی ملایم (بالاتر از صفر) در ابتدای رشد گیاه الزامی است. در این حالت پدیده خودسرمایی در گیاه القا می‌شود و گیاه قادر خواهد بود که شرایط سخت زمستان را تحمل کند (شکوهی و ثنائی‌نژاد، ۱۳۹۳: ۶۴۰). همچنین نتایج نشان داد که در ماه دسامبر تنها ۴۹ درصد از تغییرات عملکرد گندم مربوط به متغیر دمای کمینه است؛ این در حالی است که در ماه‌های اکتبر و نوامبر ضرایب محلی نشان‌دهنده تأثیرگذاری ۷۸ درصدی متغیر دمای کمینه بر عملکرد گندم بود (جدول ۵).

جدول ۵: دامنه ضرایب محلی دمای کمینه برای عملکرد گندم دیم ایران در طول ماه‌های سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر

مناطق جنوبی	مناطق مرکزی	مناطق شرقی	مناطق غربی	مناطق شمالی
سپتامبر	۱/۶۳-۳۲/۲	۰/۰۳-۶۴/۱	۲/۷-۶۲/۵	۳۳/۵-۶۵/۸
اکتبر	۳/۱-۴۲/۶	۰/۰۲-۹۹/۵	۴/۲-۹۹/۵	۴۳/۸-۱۰۰
نوامبر	۱/۴-۸۸/۲	۰/۰۸-۱۷۹/۱	۴/۶-۰/۱۷۹	۴۸/۹-۱۶۳/۶
دسامبر	-۵۶/۲-۳۸	-۲۳۵/۹-۲۷۶/۳	-۴۰/۷-۲۴۴/۲	-۱۷۶/۴-۳۲/۹

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰

مشاهده شد (۰/۰۳ تا ۵۲/۵). در این بخش‌ها به‌ویژه دشت‌های بندرعباس، میناب، جاسک و تمام دشت‌های گرم مراحل پایانی رشد (شیری‌شدن و خمیری‌شدن) همزمان با هفته‌های پایانی ماه مارس است (نوحی و همکاران، ۱۳۸۷: ۲۳). در مرحله رشد شیری‌شدن و خمیری‌شدن دماهای کمینه بالاتر از دماهای حدی پایین‌گندم (۹/۲ درجه سلسیوس) اثر منفی دارد. در این مناطق روزهای با دماهای شدید بحرانی برای ماه مارس ثبت نشده است و نتایج حاکی از این بود که دمای کمینه ماه مارس در این مناطق در شرایط مناسبی قرار دارد. گلدھی یکی از حساس‌ترین مراحل فنولوژی گندم است که در مناطق مختلف ایران به تناسب شرایط آب و هوایی در آوریل و می رخ می‌دهد. دمای مناسب برای گلدھی ۹/۵ درجه سلسیوس است و چنانچه دمای هوا به پایین‌تر از آن برسد، تاریخ وقوع گلدھی به تأخیر می‌افتد. دمای کمینه ماه‌های آوریل و می در اکثر مناطق شمال‌غربی، غربی، نوار شمالی (ارتفاعات البرز) و همچنین بخش‌هایی از مناطق مرکزی به‌دلیل قرارگرفتن در ارتفاعات و دامنه رشته‌کوه‌های زاگرس و البرز پایین‌تر از آستانه موردنیاز مناسب برای بازشدن گل‌های گندم است؛ بنابراین در این مناطق افزایش دمای کمینه در طول ماه‌های آوریل و می اثر مثبت و افزایشی بر عملکرد گندم دارد. در همین راستا، بالاترین ضرایب محلی ماه آوریل با دامنه ۶۰ تا ۱۳۰ و ماه می با دامنه ۴۱/۵ تا ۸۳/۴ در این مناطق مشاهده شد. برای دیگر مناطق ایران نیز اثر مثبت دمای کمینه ماه‌های آوریل و می با شدت کمتر مشاهده شد. پایین‌ترین اثر مثبت دمای کمینه ماه‌های آوریل و می در مناطق گرم و خشک جنوبی، مرکزی و شرقی به‌ترتیب با دامنه ضرایب محلی ۰/۰۳ تا ۳۷ و ۰/۰۳ تا ۲۸/۵ مشاهده شد (جدول ۶).

در جدول ۶، دامنه ضرایب محلی دمای کمینه در طول ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و می نشان داده شده است. همانند ماه دسامبر در ماه‌های ژانویه و فوریه نیز الگوی توزیع مکانی و شدت اثر مقادیر ضرایب محلی (از منفی تا مثبت) از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت بود. در ماه ژانویه رابطه منفی میان دمای کمینه و عملکرد گندم در ۶۱ درصد از گستره مساحت ایران منطبق بر ارتفاعات با دامنه ضرایب محلی ۱۶۱/۱۹- تا ۱۴- مشاهده شد. در ماه فوریه گستره مکانی اثر منفی دمای کمینه بر عملکرد گندم کاهش یافته و با دامنه ضرایب محلی ۱۸۳/۴- تا ۲۶/۲۸- محدود به مناطق مرتفع و سردسیر شمالی، شمال‌غربی، غربی و همچنین بخش‌های محدودی از نواحی مرکزی ایران شده است. دماهای پایین در زمستان برای گیاه مضر نیست، بلکه افت ناگهانی و سریع دما قبل از اینکه استراحت زمستانی شروع شود، مضر است. همچنین در ماه ژانویه در بخش‌های ساحلی شمالی و جنوبی ایران رابطه مثبتی میان دمای کمینه و عملکرد گندم حاکم بود. همین‌الگو با گستره مکانی بیشتر در ماه فوریه نیز مشاهده شد؛ به‌گونه‌ای که بر ۶۰ درصد از مساحت ایران واقع در مناطق ساحلی شمالی و جنوبی و همچنین بخش‌های پراکنده‌ای از مناطق مرکزی اثر مثبت دمای کمینه مشاهده شد. دامنه ضرایب محلی دمای کمینه ماه مارس با سه ماه قبلی (دسامبر، ژانویه و فوریه) متفاوت و نشان‌دهنده اثر مثبت دمای کمینه بر عملکرد گندم در تمام مناطق ایران بود. در این ماه بیشترین میزان اثر مثبت دمای کمینه بر عملکرد گندم منطبق بر کرانه‌های دریای خزر، بخش‌های شمال‌شرقی، شمال‌غربی تا غربی ایران با دامنه ضرایب محلی ۸۱/۴۵ تا ۲۱۵/۴۸ بود. در سایر مناطق ایران شامل بخش‌های مرکزی، جنوبی، شرقی و جنوب‌شرقی کمترین میزان اثر مثبت دمای کمینه ماه مارس بر عملکرد گندم

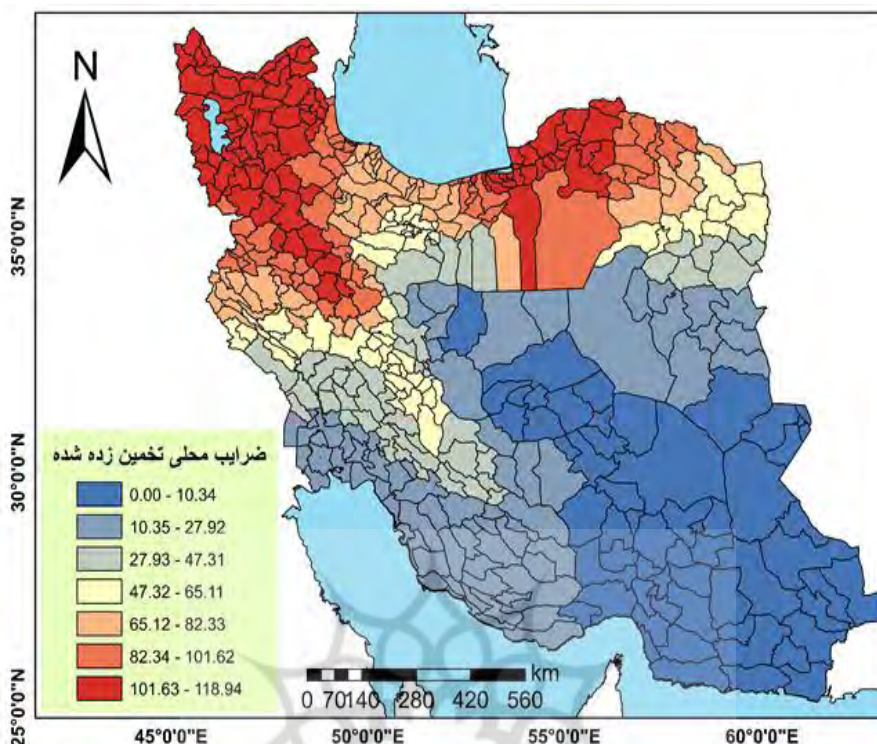
جدول ۶: دامنه ضرایب محلی دمای کمینه برای عملکرد گندم در طول ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و می

مناطق جنوبی	مناطق مرکزی	مناطق شرقی	مناطق غربی	مناطق شمالی	
۲۱/۳-۶۴/۶	۱۶۰/۵-۲۵۴/۲	۵۳/۲-۱۹۵/۹	۱۴-۱۵۱/۶	۸۰-۲۷۵	ژانویه
۰/۵۴-۵۴/۳	۱۸۳/۸-۲۸۸/۲	۱۷/۷-۲۵۳/۹	۱۵۶/۷-۲۰/۶	۶۵/۶-۳۱۲/۵	فوریه
۴/۰۷-۶۸/۶	۰/۰۳-۱۸۲/۲	۶/۵-۱۸۱/۳	۵۴/۹-۲۱۵/۴	۱۰۹/۴-۲۰۲/۸	مارس
۲/۱-۴۹/۱	۰/۰۳-۱۱۶/۱	۳/۶-۹۶	۴۱/۹-۱۳۳/۳	۷۵/۱-۱۱۹/۸	آوریل
۳/۱-۳۳/۸	۰/۰۳-۷۷/۸	۲/۸-۶۳/۹	۳۳/۶-۸۳/۴	۵۱/۲-۸۰/۳	می

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰

ماه جولای ($R^2=0/80$) و ژوئن ($R^2=0/79$) بیشترین تأثیر را بر عملکرد گندم دارند. نتایج ضرایب محلی دمای کمینه در دوره رشد گندم بر عملکرد گویای رابطه مثبت دمای کمینه و عملکرد گندم در تمام سطح منطقه مورد مطالعه بود ($R^2=0/74$). شدت اثر مثبت دمای کمینه تطابق بالایی با الگوی توزیع ناهموازی‌ها دارد؛ به گونه‌ای که بیشترین میزان اثر مثبت آن منطبق بر ارتفاعات شمال‌غربی تا غربی و همچنین ارتفاعات نواحی مرکزی با دامنه ضرایب محلی $۸۲/۳$ تا $۱۱۸/۹$ و پس از آن ارتفاعات نوار شمالی (ارتفاعات البرز) و غربی با دامنه ضرایب محلی ۶۵ تا ۸۲ بود. پایین‌ترین اثر مثبت دمای کمینه بر عملکرد گندم با دامنه ضرایب محلی ($۰/۰۳$ تا $۲۷/۹$) به‌طور یکنواخت مربوط به مناطق نیمه‌بیابانی شرق کشور (زابل و نهبندان) تا مناطق گرم و خشک جنوبی و جنوب‌شرقی بود (شکل ۵). در مجموع نتایج نشان‌دهنده اثر مثبت و افزایشی متوسط دمای کمینه بود و به ازای هر درجه سلسیوس افزایش در دمای کمینه، به‌طور متوسط میزان عملکرد در مناطق جنوبی، مرکزی، شرقی، غربی و شمالی به‌ترتیب به‌طور متوسط $۲۰/۴$ ، $۴۶/۴۷$ ، $۹۶/۷$ و $۱۰۱/۷$ کیلوگرم در هکتار افزایش می‌یابد.

در جدول ۷ دامنه ضرایب محلی دمای کمینه در طول ماه‌های ژوئن، جولای در مناطق مختلف ایران نشان داده شده است. نتایج حاکی از اثر مثبت دمای کمینه ماه‌های ژوئن و جولای بر عملکرد گندم در تمام سطح منطقه مورد مطالعه بود. حد پایین دمای مناسب یا دمای آستانه تنش سرمایی گندم در مراحل پایانی رشد (پرشدن و رسیدن دانه) $۹/۲$ درجه سلسیوس است. بیشترین میزان اثر مثبت دمای کمینه ماه‌های ژوئن و جولای بر عملکرد گندم به‌ترتیب با دامنه ضرایب محلی ۴۲ تا $۶۳/۲$ و $۳۷/۴$ تا $۵۶/۴$ منطبق بر مناطق مرتفع و سردسیر شمال‌غربی و غربی، مناطق شمالی و همچنین بخش‌های پراکنده‌ای از مناطق مرکزی منطبق بر دنباله رشته‌کوه زاگرس مشاهده شد. همچنین پایین‌ترین ضرایب ماه ژوئن ($۰/۰۳$ تا $۲۲/۹$) و ماه جولای ($۰/۰۳$ تا $۲۰/۵$) به‌طور یکنواخت مربوط به مناطق نیمه‌بیابانی شرقی و مرکزی کشور تا مناطق گرم و خشک جنوبی و جنوب‌شرقی بود. در مجموع نتایج بیانگر این است که حد دمای پایین مناسب در طول دوره پرشدن دانه به‌ویژه در ماه جولای فراهم است و افزایش دمای کمینه در طول این ماه‌ها موجب افزایش عملکرد گندم می‌شود. نتایج نشان داد که در بین ماه‌های مختلف فصل رشد گندم، دمای کمینه



شکل ۵: توزیع مکانی ضرایب محلی تخمین زده شده متوسط دمای کمینه برای عملکرد گندم دیم ایران در کل دوره رشد گندم (تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۰)

جدول ۷: دامنه ضرایب محلی دمای کمینه برای عملکرد گندم دیم ایران در طول ماه‌های ژوئن و جولای

مناطق شمالی	مناطق غربی	مناطق شرقی	مناطق مرکزی	مناطق جنوبی	
۳۹/۷ - ۶۳/۲	۳۰/۶ - ۶۰/۶	۲/۵ - ۵۱/۲	۰/۰۳ - ۵۶/۳	۱/۵ - ۲۸/۶	ژوئن
۳۵/۱ - ۵۶/۴	۲۸/۸ - ۵۰/۱	۲/۴ - ۴۶/۶	۰/۰۲ - ۴۸/۳	۱/۵ - ۲۶/۹	جولای

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰

ایران است. با توجه به جدول ۸، در ماه سپتامبر بالاترین میزان اثر مثبت بارش تنها در بخش‌های بسیار پراکنده‌ای از نواحی مرکزی مشاهده شد و در سایر مناطق کشور اثر مثبت بارش بر عملکرد گندم شدت بسیار کمتری داشت. در همین زمینه نتایج نشان داد که ماه سپتامبر کمترین میزان R^2 ($R^2=0/40$) را در بین ماه‌های سال آبی داشت. توزیع مکانی ضرایب بارش در ماه اکتبر نشان داد که در این ماه بر شدت میزان اثر مثبت بارش بر عملکرد گندم افزوده شده است (علاوه بر نواحی مرکزی، بخش‌هایی از مناطق شرقی و

رابطه بارش با عملکرد گندم

نتایج ضرایب محلی اثر بارش بر عملکرد گندم در طول ماه‌های سال نشان‌دهنده اثر مثبت بارش بر عملکرد گندم در تمام ماه‌های سال آبی بود. با توجه به جدول‌های ۸، ۹ و ۱۰ دامنه ضرایب محلی در طول ماه‌های مختلف سال از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت می باشد. میزان بارش در زمان کاشت نقش اساسی روی عملکرد گندم دارد؛ به گونه‌ای که کاشت به موقع و بهره‌برداری از اولین بارش پاییزه تأثیر قابل توجهی در افزایش عملکرد نهایی گندم دارد. ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر همزمان با کاشت گندم دیم در

بخش‌های شمال‌غربی تا جنوب‌غربی با دامنه ضرایب محلی ۱/۱ تا ۵/۹۳ بود. در این مناطق سهم بارش‌های پاییزه در حد مطلوب برای کشت گندم است. ضرایب محلی و میزان R^2 ماه دسامبر ($R^2=0/73$) نشان‌دهنده اثرگذاری مثبت بارش بر عملکرد گندم به‌ویژه در بخش‌های مرکزی، شرقی، جنوبی و جنوب‌شرقی بود. در این ماه پایین‌ترین میزان اثر مثبت بارش بر عملکرد گندم مربوط به بخش‌های مرکزی و غربی ساحل دریای خزر و بخش‌های از مناطق شمال‌غربی تا جنوب‌غربی با دامنه ضرایب محلی ۲ تا ۴/۴ بود. به‌طور کلی مراحل کاشت، جوانه‌زنی، سبزشدن و پنجه‌زنی در فصل پاییز رخ می‌دهد و در منابع مختلف مناسب‌ترین بارش پاییزه بین ۳۰ تا ۹۰ میلی‌متر تعیین شده است.

جنوبی را نیز دربرگرفت. در این ماه کمترین میزان اثر مثبت بارش در بخش‌های شمالی، شمال‌غربی و شمال‌شرقی و غربی با دامنه ضرایب محلی ۰/۵۵ تا ۲۵ مشاهده شد که بیانگر تأمین مطلوب نیاز آبی گندم در زمان کاشت است. ماه نوامبر همزمان با دوره کشت و جوانه‌زدن گندم دیم در مناطق مختلف کشور است و از جمله حساس‌ترین مراحل رشد گندم نسبت به تنش خشکی است. با توجه به جدول ۸، در ماه نوامبر افزایش بارش به‌ویژه در بخش‌های مرکزی، شرقی، جنوبی و جنوب‌شرقی نقش بارز و قابل‌توجهی بر افزایش عملکرد گندم دارد. در این مناطق بارش‌ها از اواخر فصل پاییز آغاز می‌شود و متوسط بارش‌ها پایین‌تر از آستانه موردنیاز گندم برای مراحل اولیه رشد است. همچنین نتایج نشان داد که کمترین میزان اثر مثبت بارش مربوط به کرانه دریای خزر و

جدول ۸: دامنه ضرایب محلی بارش برای عملکرد گندم دیم ایران در طول ماه‌های سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر

مناطق جنوبی	مناطق مرکزی	مناطق شرقی	مناطق غربی	مناطق شمالی
۱۲/۸-۶۲/۸	۰/۳۰-۱۱۱۰۹/۸	۱/۰۵-۵۲	۰/۱۱-۵۳/۳	۰/۲۳-۱/۴۲
۸/۱-۲۱۷/۱	۰/۸۲-۲۸۷/۹	۲/۳-۶۲/۴	۰/۶۸-۸/۶	۰/۵۵-۲/۱
۳/۲-۱۹/۰۵	۱/۵-۲۵/۴	۲/۹-۱۶/۷	۱/۵-۴/۶	۱/۱-۲/۶
۲/۱-۱۱/۶	۲/۲-۱۶	۲/۱-۱۰/۲	۲/۲-۴/۳	۲-۳/۹

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰

مرکزی جلوگیری می‌کند. بارش ماه فوریه ($R^2=0/76$) نسبت به بارش ماه ژانویه و همچنین بارش‌های فصل پاییز اثر بیشتری بر عملکرد گندم داشت. در این ماه بیشترین میزان اثر مثبت بارش، در بخش‌های پراکنده‌ای از نواحی مرکزی تا شرقی با دامنه ضرایب محلی ۵/۳ تا ۳۳/۶ مشاهده شد.

نتایج نشان داد که بارش ماه‌های مارس ($R^2=0/79$) و آوریل ($R^2=0/81$) بیشترین تأثیر را بر عملکرد گندم در بین ماه‌های مختلف فصل رشد دارند. در بیشتر مناطق ایران، ماه مارس همزمان با ساقه‌رفتن و ماه آوریل همزمان با اواخر ساقه‌رفتن، خوشه‌دهی و گلدهی گندم

با توجه به جدول ۸ دامنه ضرایب محلی بارش در ماه ژانویه نیز نشان‌دهنده اثر مثبت بارش بر عملکرد گندم کشور بود. در این ماه کمترین میزان اثر مثبت بارش بر عملکرد گندم در بخش‌های شمالی، شمال‌غربی تا جنوب‌غربی با دامنه ضرایب محلی ۱/۹ تا ۴/۹ مشاهده شد که حاکی از تأمین نیاز آبی گندم از طریق بارش در حد نسبتاً مطلوب بود. بالاتر بودن میزان اثر مثبت بارش بر عملکرد گندم کشور در نواحی مرکزی نشان می‌دهد که با افزایش بارش ماه ژانویه بر میزان عملکرد گندم این نواحی افزوده می‌شود. عمدتاً وجود رشته‌کوه زاگرس از تأثیر سامانه‌های غربی بر نواحی

دوره گلدھی و در مناطق گرمسیری مانند مناطق جنوبی و جنوب‌شرقی همزمان با مراحل پایانی رشد (خمیری شدن و پرشدن دانه) است. با توجه به جدول ۹، بالاترین اثر مثبت بارش ماه می محدود به بخش‌های مرکزی و جنوب‌شرقی با دامنه ضرایب محلی ۲۵ تا ۶۸/۴ بود. در این نواحی میزان دریافت بارش‌های بهاره پایین بوده و افزایش بارش یا آبیاری تکمیلی نقش بارز و قابل توجهی در افزایش عملکرد نهایی دارد. با حرکت به سمت بخش‌های شمالی‌تر به دلیل بالابودن عرض جغرافیایی و نفوذ جریان‌های باران‌آور غربی بر میزان بارش‌های بهاری افزوده می‌شود که موجب تأمین نیاز آبی گندم در حد مطلوب می‌شود.

است و با توجه به گرم‌شدن هوا و افزایش میزان تبخیر و تعرق نیاز رطوبتی گندم نیز افزایش می‌یابد. با توجه به جدول ۹، بالاترین میزان اثر مثبت بارش ماه‌های مارس و آوریل بر عملکرد گندم منطبق بر نواحی مرکزی و پس از آن شرقی، جنوبی و جنوب‌شرقی به ترتیب با دامنه ضرایب محلی ۲/۷ تا ۱۴/۹ و ۶ تا ۱۲/۷ بود. در این مناطق نظر به گرم‌شدن هوا و کاهش میزان بارش در مراحل پایانی رشد گندم، نیاز آبی گندم افزایش می‌یابد؛ بنابراین افزایش بارش موجب می‌شود گیاه مراحل پایانی رشد خود را بدون تنش رطوبتی طی کند و محصول بیشتری به دست آید. ماه می در مناطق سردسیر مانند پهنه شمال غرب و غرب کشور همزمان با

جدول ۹: دامنه ضرایب محلی بارش برای عملکرد گندم دیم ایران در طول ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و می

	مناطق جنوبی	مناطق مرکزی	مناطق شرقی	مناطق غربی	مناطق شمالی
ژانویه	۲/۳ - ۹/۲	۲/۵ - ۱۵/۸	۲/۵ - ۷/۶	۱/۹ - ۵	۲/۱ - ۴/۹
فوریه	۳/۳ - ۷	۳/۳ - ۳۳/۱	۳/۸ - ۷/۱	۲/۱ - ۵/۴	۲/۸ - ۴/۶
مارس	۱/۹ - ۷	۱/۸ - ۱۴/۲	۲/۵ - ۴	۱/۲ - ۲/۲۳	۱ - ۲
آوریل	۱/۷ - ۶/۹	۱/۶ - ۱۲/۷	۲/۲ - ۷	۱/۵ - ۲	۱/۶ - ۲/۹
می	۹ - ۳۱/۴	۷ - ۶۸/۴	۴/۲ - ۳۰/۷	۴/۳ - ۹/۷	۴/۱ - ۹/۹

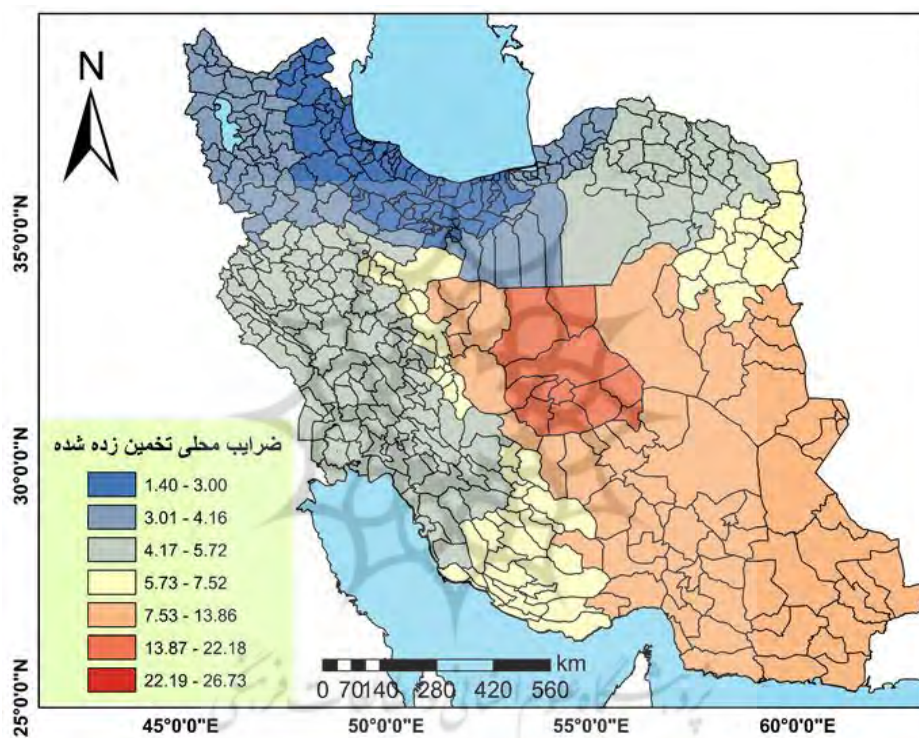
مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰

بر عملکرد گندم بسیار پایین است. ماه جولای همزمان با برداشت گندم در اکثر مناطق کشور است و افزایش بارش نه تنها اثری در افزایش عملکرد محصول ندارد؛ بلکه موجب آسیب به گیاه گندم و کاهش میزان عملکرد می‌شود. در مجموع بررسی توزیع مکانی ضرایب محلی اثر بارش بر عملکرد گندم در طول فصل رشد نشان‌دهنده اثر مثبت بارش بر عملکرد گندم با دامنه ضرایب محلی ۱/۴۰ تا ۲۶/۷ بود. نتایج نشان داد که ۷۸ درصد تغییرات عملکرد گندم ایران تحت تأثیر بارش قرار دارد ($R^2=0/78$). شدت اثر مثبت و افزایشی بارش بر عملکرد گندم در نواحی مرکزی، شرقی، جنوبی و

ماه ژوئن به‌ویژه در مناطق سردسیر کشور همزمان با مرحله پرشدن دانه گندم است و بارش آن بر تعداد و وزن دانه گندم تأثیرگذار است. در این ماه بیشترین میزان اثر مثبت بارش بر عملکرد گندم در بخش‌هایی از نواحی مرکزی ایران با دامنه ضرایب محلی ۵۷/۲ تا ۲۴۷/۵ مشاهده شد (جدول ۱۰). در سایر مناطق ایران به‌ویژه بخش‌های شمالی آن کمترین میزان اثر مثبت بارش با دامنه ضرایب محلی ۱/۷ تا ۵/۸ مشاهده شد. علت آن تمرکز بارش‌های خرداد به سمت ارتفاعات و عرض‌های جغرافیایی بالاتر است. توزیع مکانی ضرایب بارش جولای نشان داد که اثر مثبت و افزایشی بارش

عملکرد معمولی باشد، به طور متوسط نیاز به ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر بارش در طول فصل رشد خود دارد. در این نواحی میزان بارش دریافتی کمتر ۳۰۰ میلی‌متر است و آنچه امکان کشت گندم دیم را در این مناطق فراهم کرده، توزیع بارش در طول مراحل رشد است (شکل ۶).

جنوب شرقی با دامنه ضرایب محلی ۵/۷ تا ۲۶/۷ بالاتر بود. همچنین نتایج نشان داد که به ازای هر میلی‌متر افزایش در میزان بارش به طور متوسط میزان عملکرد در مناطق جنوبی، مرکزی، شرقی، غربی و شمالی به ترتیب به طور متوسط ۶/۲، ۷، ۶/۶، ۳/۸ و ۳ کیلوگرم در هکتار افزایش می‌یابد. گندم برای اینکه دارای یک



شکل ۶: توزیع مکانی ضرایب محلی تخمین زده شده بارش برای عملکرد گندم دیم ایران در کل دوره رشد گندم (تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۰)

جدول ۱۰: دامنه ضرایب محلی بارش برای عملکرد گندم دیم ایران در طول ماه‌های ژوئن و جولای

مناطق شمالی	مناطق غربی	مناطق شرقی	مناطق مرکزی	مناطق جنوبی	
۱/۷ - ۴/۸	۲ - ۴۶/۷	۲/۸ - ۶۱/۳	۲ - ۲۴۷/۵	۶/۷ - ۱۴۱/۹	ژوئن
۱/۲ - ۲/۶	۱/۲ - ۱۰/۲	۱/۲ - ۱۶/۱	۱/۶ - ۱۰۰	۲ - ۲۷/۸	جولای

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰

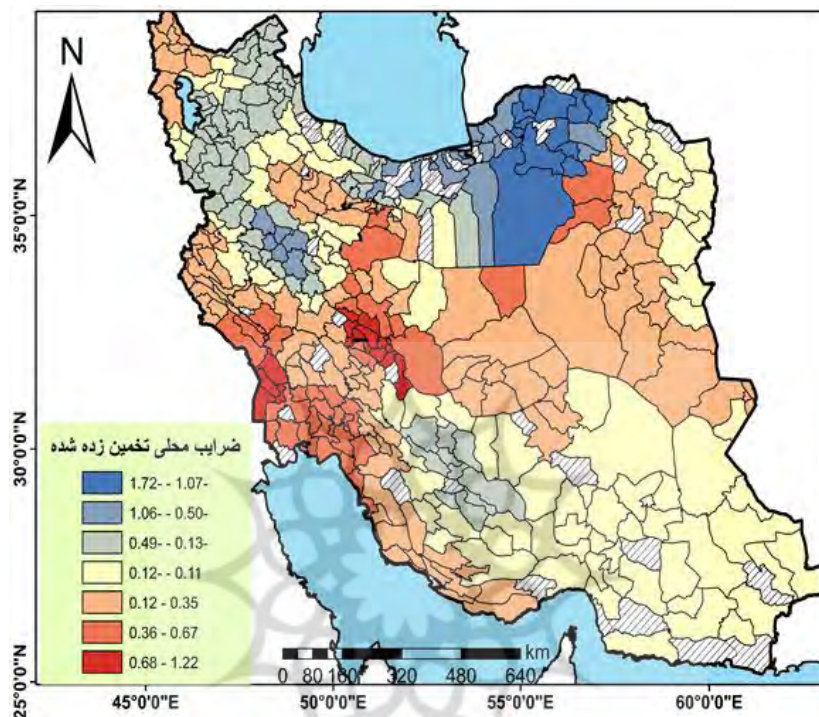
بیجار و کامیاران، همدان به جز شهرستان‌های رزن و فامنین، استان سمنان به جز شهرستان گرمسار، بخش‌های شمال شرقی و جنوبی استان آذربایجان شرقی، بخش‌های جنوبی و جنوب شرقی استان آذربایجان غربی، بخش‌های

—رابطه ارتفاع با عملکرد گندم

در شکل ۷ توزیع مکانی ضرایب محلی ارتفاع نشان داده شده است. برای کرانه‌های ساحلی دریای خزر، استان‌های خراسان شمالی، اردبیل، کردستان به جز شهرستان‌های

شد. برای دیگر مناطق رابطه و اثر مثبت ارتفاع بر عملکرد مشاهده شد.

شرقی استان کرمانشاه، بخش‌های شمالی استان فارس، بخش‌های شمالی استان لرستان و مناطق مرتفع مرکزی و شرقی رابطه و اثر منفی ارتفاع با عملکرد گندم مشاهده



شکل ۷: توزیع مکانی ضرایب محلی تخمین زده شده ارتفاع برای عملکرد گندم دیم ایران

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۰

مربوط به بخش‌های نیمه‌بیابانی شرقی تا جنوبی است. در این نواحی شروع زود فصل گرما در بهار که موجب کوتاه شدن فصل رشد می‌شود، یکی از دلایل پایین بودن میزان عملکرد گندم است. همچنین بخش‌های شرقی استان گیلان نیز پایین‌ترین میزان عملکرد گندم را دارد که براساس یافته‌های خالدیان و همکاران (۱۳۹۴: ۵۵) و زرینی‌بهادر و نبی‌اللهی (۱۳۹۲: ۱۵) بروز تنش خشکی در مراحل پایانی رشد به علت توزیع نامناسب زمانی بارش در اراضی دیم، کاهش آورد رودخانه در محل سد سفیدرود در طول سال‌های اخیر، شیب زیاد زمین در نواحی مرتفع استان گیلان و همین‌طور بافت سبک خاک‌های واقع در حوضه آبخیز پارودبار موجب بروز محدودیت‌های برای کشت گندم و جو در این استان شده است. بارش

بحث

سرزمین ایران به دلایل مختلف محیطی به‌ویژه توپوگرافی از تنوع اقلیمی، خاک و منابع آب برخوردار است. تنوع محیطی شاید از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در تغییرات مکانی میزان عملکرد محصول گندم باشد. توزیع فضایی ارتفاعات و دشت‌ها در کنار دوری و نزدیکی به منابع رطوبتی‌دلیلی بر عدم شکل‌گیری خودهمبستگی فضایی بین محدوده‌های شهرستانی در عملکرد گندم باشد.

در مناطق مختلف آب‌وهوایی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، رخداد تغییرات محسوس در هر یک از متغیرهای آب‌وهوایی بر میزان تولید محصول تأثیر می‌گذارد. پایین‌ترین میزان عملکرد گندم ایران

همکاران (۱۳۹۶: ۲۵۷)، خلیلیان و همکاران (۱۳۹۱: ۸۷) و توکلی و همکاران (۱۳۹۲: ۱) در زاگرس میانی، مکاری و همکاران (۱۳۹۴: ۲۵) و ناصرین و موسوی (۱۳۹۶: ۱۲۵) در جنوب غرب ایران، کامبوزیا و همکاران (۱۳۹۳: ۷۲) و سهرابی و بزرگ حداد (۱۳۹۳: ۲۲۳) در مناطق غربی و همچنین کوچکی و نصیری محلاتی (۱۳۹۵: ۱)، امیرنژاد و اسدپور کردی (۱۳۹۶: ۱۶۳)، اسدی و همکاران (۱۳۹۹: ۱) و علیجانی و همکاران (۱۳۹۰: ۱۴۳) در بررسی اثر متغیرهای اقلیمی بر گندم ایران نیز بر اثر مثبت و افزایشی بارش بر عملکرد گندم تأکید داشتند. توزیع بارش به مراتب نقش مؤثرتری بر میزان عملکرد گندم دارد. در همین راستا نتایج نشان داد که کمترین میزان تأثیر مثبت بارش بر عملکرد گندم مربوط به ماه سپتامبر ($R^2=0/40$) و بیشترین میزان آن مربوط به ماه‌های آوریل ($R^2=0/81$)، مارس ($R^2=0/79$) و می ($R^2=0/79$) است که با یافته‌های سونگ و همکاران (۲۰۱۹: ۱۳۷۹) در مناطق مرکزی-شرقی چین، محمدی و همکاران (۱۳۹۵: ۱۰۵)، نظری و همکاران (۱۳۹۴: ۵۱) و دشتی و همکاران (۱۳۹۳: ۱۰۷) در مناطق شمال غربی ایران، پیکانی‌ماچینی و همکاران (۱۳۹۹: ۵۳) در مناطق شمال شرقی ایران، سهرابی و بزرگ حداد (۱۳۹۳: ۲۲۳)، سبزی‌پرور و همکاران (۱۳۹۱: ۱۵۵۴)، بهمنش و همکاران (۱۳۹۱: ۱۳۵) و زارع ایبانه و همکاران (۱۳۹۰: ۱۸۱) در مناطق غربی ایران مطابقت دارد. همچنین نتایج این پژوهش حاکی از تأثیر مثبت کمینه و بیشینه دما بر عملکرد گندم بود. اثر مثبت دما منطبق با الگوی توزیع ناهمواری‌ها مناطق مرتفع و سردسیر شمالی، شمال شرقی، شمال غربی و غربی (ارتفاعات البرز و زاگرس) و همچنین کرانه‌های دریای خزر بالاتر بود که به تدریج به سمت بخش‌های جنوبی ایران به تناسب کاهش ارتفاع و افزایش میزان دما، از شدت اثر آن کاسته شد. با توجه به اینکه در سطح منطقه مورد مطالعه متوسط دما پایین‌تر یا در محدوده آستانه بهینه برای گندم (۱۸ تا ۲۴ درجه سلسیوس) است،

یکی از متغیرهای مؤثر بر محصولات کشاورزی است که از طریق تحت تأثیر قراردادن میزان رطوبت خاک نقش مهمی در کشت گندم دیم دارد. عمدتاً محصول گندم در مناطقی با میزان بارندگی بین ۳۰۰-۱۰۰۰ میلی‌متر کشت می‌شود. برای اینکه یک عملکرد معمولی به دست آید، به طور متوسط نیاز به ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر بارش در طول فصل رشد گندم است. بارش و دما دو متغیر بسیار مؤثر بر تولیدات کشاورزی هستند. در برخی از مطالعات دما و در برخی دیگر بارش را مهم‌ترین فاکتور مؤثر بر تولید محصولات کشاورزی شناخته شده است؛ به عنوان مثال مرادی و همکاران (۱۳۹۷) در مناطق مرکزی ایران، میسرا و همکاران (۲۰۲۰) در غرب اروپا و شمال آمریکا و لابل و فیلد (۲۰۰۷) بر تأثیر قوی‌تر دما بر تغییرات عملکرد گندم تأکید داشتند. در حالی که کوچکی و نصیری محلاتی (۱۳۹۵)، به این نتیجه دست یافتند که در تمام استان‌های ایران به جز زنجان، گلستان، گیلان و مازندران تأثیر بارش بر میزان عملکرد پتانسیل بیش از دما و تشعشع است. نتایج این پژوهش نشان داد که تغییر در میزان دما نقش قابل توجهی بر میزان عملکرد گندم دارد؛ اما تأثیر آن به مراتب کمتر از متغیر بارش بود ($R^2=0/78$) یافته‌های لو و همکاران (۲۰۰۵: ۲۷۳) و چالینور و همکاران (۲۰۰۳: ۱۷۵) مطابقت دارد. اثر بارش بر عملکرد گندم در طول فصل رشد نشان‌دهنده اثر مثبت بارش بر عملکرد گندم بود. شدت اثر مثبت و افزایشی بارش بر عملکرد گندم در نواحی مرکزی، شرقی، جنوبی و جنوب شرقی با دامنه ضرایب محلی ۷/۴ تا ۲۶/۷ بالاتر بود. در همین زمینه پژوهش‌های انجام شده توسط تینگ و همکاران (۲۰۱۷: ۱۹۷)، گنگ و همکاران (۲۰۱۹: ۲۰) در شمال چین، کوکال و ایلمارک (۲۰۱۸: ۱) در دشت‌های بزرگ آمریکا و در ایران پژوهش‌های مولایی و همکاران (۱۳۹۶: ۳۱)، فیضی اصل و همکاران (۱۳۸۹: ۱) و یزدان‌پناه و همکاران (۱۳۸۹: ۱۳۳) در مناطق شمال غربی ایران، محنت‌کش و

آماري ۲۰۰۰-۲۰۱۷ بررسی شد. براساس نتایج شاخص موران به ترتیب به میزان ۰/۴۳۴۸ مشخص شد که عملکرد گندم در طول دوره آماری مورد مطالعه دارای الگوی خوشه‌ای است. پایین‌ترین میزان اثر مثبت بارش منطبق بر مناطق شمال شرقی، شمالی، شمال غربی تا جنوب غربی بود که میزان بارش در نواحی مرطوب آن واقع در کرانه‌های مرکزی و غربی دریای خزر بین ۶۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر و در دیگر نواحی نیمه‌خشک آن بین ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر است؛ از این رو در این مناطق مقدار آب مورد نیاز برای رشد گندم مناسب است و نیاز رطوبتی گندم تأمین می‌شود. برای ۴۸ درصد دیگر از گستره منطقه مورد مطالعه منطبق بر مناطق گرم و خشک مرکزی، شرقی، جنوب شرقی و جنوبی بالاترین میزان اثر مثبت بارش بر عملکرد گندم مشاهده شد. در این مناطق، به‌ویژه در بخش‌های مرکزی و جنوبی، میزان بارش دریافتی کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر است و آنچه امکان کشت گندم در این مناطق فراهم کرده، توزیع بارش در طول مراحل حساس رشد گندم است. در مجموع نحوه توزیع بارش در طول مراحل رشد گندم بیش از مجموع بارش طول فصل رشد بر عملکرد تأثیر دارد. در همین راستا نتایج نشان داد که افزایش بارش ماه‌های آوریل، می و همچنین مارس که همزمان با مرحله گلدهی در مناطق مختلف ایران است، بیشترین اثر را بر افزایش عملکرد گندم دارند. در اکثر مناطق ایران میزان بارش فصل بهار و تابستان کمتر از دیگر فصل‌های سال است. این مسئله با توجه به افزایش دمای هوا موجب تنش رطوبتی و خشکی در مراحل پایانی رشد گندم و افت عملکرد می‌شود. در چنین شرایطی آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و پرشدن گندم می‌تواند نقش قابل توجهی بر کاهش تنش خشکی داشته باشد.

افزایش دما اثر مثبت بر عملکرد گندم به‌ویژه در بخش‌های مرتفع و سردسیر بخش شمالی ایران داشته باشد. پژوهشگرانی مانند اسدی و همکاران (۱۳۹۹: ۱)، دشتی و همکاران (۱۳۹۳: ۱۰۷) و مولایی و همکاران (۱۳۹۶: ۳۱) به اثر مثبت و افزایشی دما بر عملکرد گندم اشاره کرده‌اند. براساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که بهترین زمان کاشت گندم به‌ویژه در مناطق گرم و خشک کشور، اواخر سپتامبر و اوایل اکتبر است. در مجموع می‌توان گفت که میزان اثر متغیرهای آب‌وهوایی بر عملکرد گندم تابع موقعیت جغرافیایی، ارتفاع، شرایط آب‌وهوایی و دیگر عوامل محیطی متغیر است. بارش و دما عنوان مهم‌ترین فاکتورهای کلیدی مؤثر بر تولید محصولات کشاورزی هستند که از طریق تحت‌تأثیر قراردادن میزان رطوبت و دمای خاک می‌توانند بر عملکرد گندم مؤثر واقع شوند. در مناطق گرم و خشک کشور که امکان تأمین کامل نیاز آبی گندم در مراحل حساس رشد و در برخی موارد در کل دوره فراهم نیست، افزایش دما توأم با افزایش بارش می‌تواند بر عملکرد گندم اثر مثبت داشته باشد. در همین زمینه بهتر است در مناطق گرم و نیمه‌گرم کشور کشت گندم در ارتفاعات یا در مواقع سرد سال صورت گیرد و با استفاده از سیستم‌های آبیاری تنش خشکی را در مراحل حساس رشد گندم کاهش داد.

نتیجه

شناخت روابط بین متغیرهای آب‌وهوایی و عملکرد محصولات کشاورزی برای ارزیابی بهتر امنیت غذایی، سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری در زمینه مدیریت منابع آب و زمین مهم است؛ از این رو در این پژوهش رابطه بین متغیرهای آب‌وهوایی با عملکرد گندم ایران با استفاده از رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی در طول دوره

به دلیل عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر و همچنین قرارگیری در کنار سواحل جنوبی، گرما و رطوبت زیادتری دارند. در این نواحی رطوبت زیاد مانع خروج تابش‌های بلند و حفظ گرما می‌شود. پایین‌ترین میزان اثر مثبت دما بر عملکرد گندم نیز مربوط به این نواحی بود. این در حالی است که در بخش‌های شمالی‌تر به دلیل پایین‌تر بودن دما نسبت به بخش‌های جنوبی‌تر، محدوده دمای بهینه برای گندم فراهم بوده و افزایش دما نه تنها موجب تنش حرارتی و افزایش تنفس نمی‌شود، بلکه موجب افزایش عملکرد می‌شود. در این بخش‌ها که منطبق بر مناطق و دشت‌های مرتفع هستند و جزء مناطق سردسیر محسوب می‌شوند، دما در حد آستانه مطلوب دمای گندم است؛ بنابراین افزایش دما رشد گیاه را افزایش می‌دهد.

دما یکی از عوامل تعیین‌کننده در رشد محصولات کشاورزی است. نتایج نشان‌دهنده اثر مثبت افزایش دما بر عملکرد گندم بود که به تدریج به سمت بخش‌های جنوبی به تناسب کاهش ارتفاع و افزایش میزان دما، از شدت اثر آن کاسته شد. به طور کلی نتایج حاکی از آن بود که افزایش مقدار دما مطلوب‌تر از افزایش مقدار بارش است؛ به طوری که با افزایش دما میزان عملکرد به طور چشمگیرتری افزایش می‌یابد. گندم گیاهی C3 است و از آنجاکه مسیر C3 در غلظت کنونی دی‌اکسید کربن به اشباع نرسیده است، در صورت مناسب بودن شرایط دمایی منطقه در طول فصل رشد می‌تواند موجب افزایش عملکرد می‌شود. بخش‌های جنوبی‌تر به دلیل دمای بالاتر و طول دوره رشد کمتر، فرصت کمتر برای ذخیره کربوهیدرات‌ها، در نهایت میزان عملکرد پایین‌تری را نسبت به بخش‌های شمالی‌تر دارند. مناطق جنوبی کشور

منابع

اسدی، هرمز؛ غلامرضا زمانیان؛ محمدنبی شهیکی تاش؛ محمد قربانی؛ محمدرضا جلال کمالی (۱۳۹۹). تعیین اثر نهایی عوامل اقلیمی و فنوتیپی بر ریسک و میانگین عملکرد لاین‌های گندم آبی در تحقیقات به‌نژادی، پژوهش‌های کاربردی زراعی. شماره ۲. صفحات ۲۳-۱.

https://aj.areeo.ac.ir/article_122252.html

اسماعیل‌نژاد، مرتضی؛ محمود خسروی؛ بهلول علیجانی؛ ابوالفضل مسعودیان (۱۳۹۲). شناسایی امواج گرمایی ایران، جغرافیا و توسعه. شماره ۳۳. صفحات ۵۴-۳۹.

https://gdij.usb.ac.ir/article_1321.html?lang=en

امیرنژاد، حمید؛ مریم اسدپور کردی (۱۳۹۶). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تولید گندم ایران، تحقیقات اقتصاد کشاورزی. شماره ۳. صفحات ۱۸۲-۱۶۳.

http://jae.marvdasht.iau.ir/article_2520.html?lang=en

بنایان‌اول، محمد؛ خدیجه پویا نسب؛ رضا قربانی؛ سارا سنجابی؛ فاطمه یعقوبی (۱۳۹۷). بررسی تغییرات زمانی و مکانی عملکرد گندم و لوبیا. مطالعه موردی: خراسان رضوی، پژوهش‌های زراعی ایران. شماره ۲. صفحات ۲۶۳-۲۸۲.

https://jcesc.um.ac.ir/article_38112.html?lang=en

بهمنش، جواد؛ همایون فقیه؛ حسین رضایی (۱۳۹۸). بررسی اثر متغیرهای آب‌وهوایی بر کشاورزی (مطالعه موردی: عملکرد گندم دیم)، علوم و مهندسی آبیاری. شماره ۲. صفحات ۱۵۱-۱۳۵.

https://jise.scu.ac.ir/article_14348.html?lang=en

پیکانی ماچیان، غلامرضا؛ ابراهیم انسان؛ حبیب‌اله سلام؛ ایرج صالح (۱۳۹۹). بررسی تأثیر دو متغیر مهم اقلیمی بر عملکرد و خطرپذیری تولید محصول گندم دیم با استفاده از الگوهای مبتنی بر گشتاور، اقتصاد کشاورزی. شماره ۲. صفحات ۸۲-۵۳.

http://www.iranianjae.ir/article_242348.html?lang=en

توکلی، علیرضا؛ عبدالمجید لیاقت؛ زینب اکبری (۱۳۹۲). بررسی نقش پارامترهای اقلیمی بر عملکرد دانه گندم در مناطق دیم کوهدشت و پلدختر استان لرستان، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. شماره ۴. صفحات ۱۴-۱.

<http://ensani.ir/fa/article/324857>

تهامی‌پور، مرتضی؛ حبیب‌الله سلامی؛ سعید یزدانی؛ امیرحسین چیدزی (۱۳۹۲). تعیین دامنه وابستگی فضایی ریسک سیستماتیک عملکرد گندم دیم در ایران: کاربرد الگوهای خودرگرسیون فضایی، تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران. شماره ۳. صفحات ۳۵۶-۳۴۳.

https://ijaedr.ut.ac.ir/article_50223.html?lang=en

خالدیان، محمدرضا؛ نرجس زارع؛ نادر پیرمردیان؛ مجتبی رضایی (۱۳۹۴). بررسی عملکرد برنج تحت رژیم‌های مختلف آبیاری در یک دوره آمار هواشناسی طولانی‌مدت با مدل CropSyst، مدیریت آب در کشاورزی. شماره ۱. صفحات ۵۶-۴۹.

http://wmaj.iaid.ir/article_87630.html?lang=en

خلیلیان، صادق؛ حبیب‌الله موسوی؛ زهره رفیعی (۱۳۹۸). تحلیل ارتباط بین تغییرپذیری‌های اقلیم، عملکرد و ریسک تولید محصولات کشاورزی. مطالعه گندم دیم استان فارس، اقتصاد کشاورزی. شماره ۱۱۰-۸۷.

http://www.iranianjae.ir/article_37424.html?lang=en

دشتی، قادر؛ باب‌اله حیاتی؛ مریم گلباز؛ محمد قهرمان‌زاده (۱۳۹۳). اثر متغیرهای اقلیمی بر عملکرد و ریسک عملکرد محصولات گندم و ذرت در استان قزوین، اقتصاد کشاورزی. شماره ۴. صفحات ۱۲۶-۱۰۷.

<https://civilica.com/doc/763276>

دیپیم‌فرد، رضا؛ حامد عینی نرگسه؛ سعید صوفی‌زاد؛ مسعود حقیقت؛ امید نوری (۱۳۹۴). پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی استان فارس با استفاده از مدل APSIM، تولید گیاهان زراعی. شماره ۴. صفحات ۲۲۴-۲۰۳.

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=266554>

زارع ابیانه، حمید؛ مریم بیات‌ورکشی؛ علیرضا ایلدرومی (۱۳۹۰). بررسی تأثیر برخی پارامترهای اقلیمی و پدیده آنسو در عملکرد گندم و جو (مطالعه موردی: منطقه همدان)، مجله پژوهش آب ایران. شماره ۹. صفحات ۱۹۲-۱۸۱.

http://iwrij.sku.ac.ir/article_10864.html?lang=en

زرینی‌بهدار، مسلم؛ کمال نبی‌الهی (۱۳۹۲). ارزیابی کیفی تناسب اراضی برای جو دیم در حوزه آبخیز پارودبار، استان گیلان. کنفرانس علوم کشاورزی و محیط زیست. صفحات ۱۷-۱.

<https://civilica.com/doc/250486/>

سبزی‌پور، علی‌اکبر؛ مجتبی ترکمان؛ زهره مریانچی (۱۳۹۱). بررسی تأثیر شاخص‌ها و متغیرهای هواشناسی کشاورزی در عملکرد بهینه گندم (مطالعه موردی: استان همدان)، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). شماره ۶. صفحات ۱۵۵۴-۱۵۶۷.

https://jsw.um.ac.ir/article_36712.html?lang=en

سهرابی، سمانه؛ امید بزرگ‌حداد (۱۳۹۳). بررسی عدم قطعیت بارش بر میزان عملکرد سالانه گندم دیم، پژوهش آب ایران. شماره ۱۴. صفحات ۲۲۸-۲۲۳.

http://iwrij.sku.ac.ir/article_10998.html?lang=en

شکوهی، مجتبی؛ حسین ثنائی نژاد (۱۳۹۳). تعیین ارتباط شرایط آب و هوایی با تولید محصول جو دیم (مطالعه موردی: آذربایجان شرقی)، نشریه بوم شناسی کشاورزی. شماره ۳. صفحات ۶۴۴-۶۳۴.

https://agry.um.ac.ir/article_34136.html?lang=en

عرفانیان، مهدی؛ مریم حسین خواه؛ احمد علیجان پور (۱۳۹۲). مقدمه‌ای بر روش‌های رگرسیون چندمتغیره OLS و GWR در مدل سازی مکانی اثرات کاربری اراضی بر کیفیت آب، ترویج و توسعه آبخیزداری. شماره ۱. صفحات ۳۹-۳۳.

magiran.com/p1668147

علیجانی، فاطمه؛ علیرضا کرباسی؛ مهدیه مظفری مسن (۱۳۹۰). بررسی اثر درجه حرارت و بارندگی بر عملکرد گندم آبی ایران، اقتصاد کشاورزی و توسعه. شماره ۷۶. صفحات ۱۶۷-۱۴۳.

http://aead.agri-peri.ac.ir/article_58750.html

فرج زاده اصل، منوچهر؛ اسدالله خورانی؛ سعید بازگیر؛ پرویز ضیائیان (۱۳۹۰). مدل سازی و پیش بینی عملکرد گندم دیم با توجه به دوره‌های فنولوژیکی رشد گیاه (مطالعه موردی: استان کردستان)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۷۶. صفحات ۳۴-۲۱.

https://jphgr.ut.ac.ir/article_23068.html?lang=en

فیضی اصل، ولی؛ جعفر جعفرزاده؛ بهمن عبدالرحمنی؛ بهمن موسوی؛ اسماعیل کریمی (۱۳۸۹). مطالعه اثرات عوامل اقلیمی بر روی عملکرد دانه گندم دیم رقم سرداری در منطقه مراغه، پژوهش‌های زراعی ایران. شماره ۱. صفحات ۱۱-۱.

https://jcesc.um.ac.ir/article_31575.html?lang=en

قادری، ناصح؛ بهلول علیجانی؛ زهرا حجازی زاده؛ محمد سلیقه (۱۳۹۷). شناسایی پهنه‌های همسان تولید گندم دیم با ریزپهنه بندی اقلیمی در کردستان، جغرافیای طبیعی. شماره ۴۱. صفحات ۷۸-۶۵.

https://jopg.larestan.iau.ir/article_545701.html

کامبوزیا، جعفر؛ محمدرضا نادى؛ سعید صوفی زاده؛ عبدالمجید مهدوی دامغانی (۱۳۹۳). ارزیابی تأثیر تغییر عامل‌های آب و هوایی بر عملکرد گندم. جو و سیب زمینی در استان همدان، کشاورزی بوم شناختی. شماره ۱. صفحات ۸۵-۷۲.

magiran.com/p1410754

کوچکی، علیرضا؛ مهدی نصیری محلاتی (۱۳۹۵). تأثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی ایران: ۲- پیش بینی تولید محصولات زراعی و راهکارهای سازگاری، پژوهش‌های زراعی ایران. شماره ۱. صفحات ۲۰-۱.

https://jcesc.um.ac.ir/article_37503.html

مسعودیان، ابوالفضل (۱۳۸۳). بررسی روند دمای ایران در نیم سده‌ی گذشته، جغرافیا و توسعه. شماره ۳. صفحات ۱۰۶-۸۹.

https://gdij.usb.ac.ir/article_3831.html

محمدی، غلامحسین؛ مسعود جلالی؛ عاطفه حسینی صدر؛ حسین خوشوقتی (۱۳۹۵). نقش پراکندگی مکانی و نوسان‌های زمانی پارامترهای اقلیمی در عملکرد گندم دیم (مطالعه موردی: شهرستان‌های کلپیر و خداآفرین)، جغرافیای طبیعی. شماره ۳۴. صفحات ۱۲۳-۱۰۵.

https://jopg.larestan.iau.ir/article_531684.html

محنت کش، عبدالمحمد؛ شمس اله ایوبی؛ امیراحد دهقانی (۱۳۹۶). تعیین عوامل مؤثر در تولید گندم دیم به کمک آنالیز حساسیت در زاگرس مرکزی، پژوهش‌های زراعی ایران. شماره ۲. صفحات ۲۶۶-۲۵۷.

https://jcesc.um.ac.ir/article_37894.html?lang=e

مرادی، روح‌اله؛ ایمان حسام‌عارفی؛ مه‌ری صفاری (۱۳۹۷). تجزیه و تحلیل عملکرد گندم و عامل‌های مؤثر بر آن در استان کرمان، مجله کشاورزی بوم‌شناختی. شماره ۸. صفحات ۱۲۳-۱۰۶.

magiran.com/p1846625

مکاری، ماریا؛ منوچهر جوانمردی؛ منیژه ظهوریان‌پردل (۱۳۹۴). تأثیر شرایط اقلیمی بر کشت گندم در شهرستان دزفول، جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای). شماره ۲. صفحات ۳۴-۲۵.

http://www.jgeogeshm.ir/article_54403.html

مولایی، مرتضی؛ منصوره صادقی؛ عذرا جوان‌بخت (۱۳۹۶). اثر پارامترهای اقلیمی بر عملکرد و خطرپذیری عملکرد دو محصول گندم و جو در استان آذربایجان غربی، مجله کشاورزی بوم‌شناختی. شماره ۷. صفحات ۴۵-۳۱.

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=313121>

ناصرین، امیر؛ محمدسعید موسوی (۱۳۹۶). تعیین مدل تولید اقلیمی عملکرد گندم در شمال استان خوزستان، مهندسی آبیاری و آب. شماره ۲۹. صفحات ۱۳۸-۱۲۵.

http://www.waterjournal.ir/article_74214.html?lang=en

نظری، محمدرضا؛ سید صفدر حسینی؛ هومان لیاقتی (۱۳۹۴). برآورد توابع واکنش اقلیمی عملکرد گیاهان زراعی در پهنه زراعی - بوم‌شناختی شمال غرب ایران، کشاورزی بوم‌شناختی. شماره ۲. صفحات ۶۳-۵۱.

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=266214>

نوحی، کیوان؛ غلامعلی کمالی؛ افسانه مرتضوی (۱۳۸۷). بررسی و تحلیل تأثیر تنش گرمایی بر محصول گندم در استان‌های جنوبی کشور، تحقیقات جغرافیایی. شماره ۸۸. صفحات ۲۴-۱.

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=91801>

یزدان‌پناه، حجت‌الله؛ سعید موحدی؛ مریم سلیمانی‌تبار؛ مهدی صالحی (۱۳۸۹). تعیین میزان اثر عناصر اقلیمی بر عملکرد گندم در استان آذربایجان شرقی با استفاده از شبکه‌های عصبی هوشمند، جغرافیا و توسعه. شماره ۲۰. صفحات ۱۴۴-۱۳۳.

https://gdij.usb.ac.ir/article_634.html

References

Alijani, B., O'Brien, J., Yarnal, B. (2008). Spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 94, 1, 107-124.

<https://www.researchgate.net/publication/227162639>

Aggarwal, P.K., Banerjee, B., Daryaei, M.G., Bhatia, A., Bala, A., Rani, S., Chander, S., Pathak, H., Kalra, N. (2006). InfoCrop: A dynamic simulation model for the assessment of crop yields, losses due to pests, and environmental impact of agro-ecosystems in tropical environments. II. Performance of the model. *Agricultural Systems*, 89, 47-67.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X05001472>

Bannayan, M., Mousavi-Baygi, M., Ashraf, B., AsadiOskuei, E. (2016). Assessment of climatic indices limiting rainfed wheat yield. *Ecological Indicators*, 62, 298-305.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X1500638X>

Cai, R., Yu, D., Oppenheimer, M. (2014). Estimating the Spatially Varying Responses of Corn Yields to Weather Variations using Geographically Weighted Panel Regression. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2, 230-252.

<https://www.jstor.org/stable/44131327>

- Challinor, A J., Slingo, JM., Wheeler, TR., Craufurd, PQ., Grimes DIF. (2003). Towards a combined seasonal weather and crop productivity forecasting system: determination of the working spatial scale. *J. Appl. Meteorol*, 42, 175-192.
<https://journals.ametsoc.org>
- Demirhan, H. (2020). Impact of increasing temperature anomalies and carbon dioxide emissions on wheat production. *Science of the Total Environment*, 741, 1-9.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32615418/>
- Geng, X., Wang, F., Ren, W ., Hao, Z. (2019). Climate change impacts on winter wheat yield in Northern China. *Advances in Meteorology*, 321, 20-45.
http://www.iranianjae.ir/article_11197.html?lang=en
- Guo, B., Wang, Y., Pei, L., Yu, Y., Liu, F., Zhang, D., Wang, X., Su, Y., Zhang, D., Zhang, B ., Guo, H. (2021). Determining the effects of socioeconomic and environmental determinants on chronic obstructive pulmonary disease (COPD) mortality using geographically and temporally weighted regression model across Xi'an during 2014-2016. *Science of the Total Environment*, 756: 1-15.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720374003>
- Kukul, M & Irmak, S (2018). Climate-Driven crop yield and yield variability and climate change impacts on the U.S. Great Plains agricultural production. *Scientific-Reports*, 8: 1-9.
<https://www.nature.com/articles/s41598-018-21848-2>
- Kumar, S., Singh, S. P ., Kumar, M. 2017. Effect of Weather Variables on Wheat Yield. *Int. J. Pure App. Biosci*, 5(6), 971-975.
<http://www.ijpab.com>
- Li, S., Wheeler, T., Challinor, A., Lin, E., Ju, H ., Xu, Y (2010). The observed relationships between wheat and climate in China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, 1412-1419.
<https://www.researchgate.net>
- Lobell, D B., Field, C B. (2007). Global scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environmental Research Letters*, 2, 1-7.
<https://scholar.google.com/scholar>
- Luo, Q., Bellotti, W., Williams, M., Bryan, B. (2005). Potential impact of climate change on wheat yield in South Australia. *J. of Agricultural and Forest Meteorology*, 132, 273-285.
<https://www.researchgate.net/publication/248350866>
- Mansouri Daneshvar, M., Bagherzadeh, A ., Khosravi, M. (2013). Assessment of drought hazard impact on wheat cultivation using standardized precipitation index in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 6, 4463-4473.
<https://www.researchgate.net>
- Mishra, A., Liu, D ., Ray, D. (2020). Sensitivity of global major crop yields to climate variables: Anon-parametric elasticity analysis. *Science of the Total Environment*, 748, 1-12.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720349603>
- Moreno, J., Chamorro, L., Izquierdo, J., Masalles, R., Sans, F. (2008). Modelling within-field spatial variability of crop biomass-weed density relationships using geographically weighted regression. *Weed Research*, 48, 512-522.
<https://dl.wqtxts1xzle7.cloudfront.net>
- Olgun, M & Erdogan, S. (2009). Modeling Crop Yield Potential of Eastern Anatolia by Using Geographically Weighted Regression. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 55, 255-263.
<https://scholar.google.com/scholar>

- Rao, B.B., Chowdary, PS., Sandeep, VM., Pramod, VP., Rao, VUM. (2015). Spatial analysis of the sensitivity of wheat yields to temperature in India. *Agricultural and Forest Meteorology*, 200, 192-202.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.09.023>
- Sharma, D & Dubey, S. (2018). Assessment of climate change impact on yield of major crops in the Banas River Basin, India. *Science of the Total Environment*, 635, 10-19.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.343>
- Sharma, V., Irmak, A., Kabenge, I., Irmak, S. (2011). Application of GIS and Geographically Weighted Regression to Evaluate the Spatial Non-Stationarity between Precipitations vs. Irrigated and Rainfed Maize and Soybean Yields. *Biological Systems Engineering*, 3, 953-972.
<https://www.researchgate.net>
- Song, Y., Linderholm, H., Wang, Ch., Tian, J., Huo, Z., Gao, P., Song, Y., Guo, A. (2019). The influence of excess precipitation on winter wheat under climate change in China from 1961 to 2017. *Science of the Total Environment*, 690, 189-196.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719329407>
- Sultana, A. (2020). Climate Variability and Wheat Crop Yield in Pakistan: Analyzing Food Security Prospects in Selected Agro Climatic Zones. *Pakistan Social Sciences Review*, IV, 16-28.
<https://pssr.org.pk/issues/v4/4>
- Ting, m., Carew, R., Florkowski, W., Klepacka, A. (2017). Analyzing Temperature and precipitation influences on yield distributions of canola and spring wheat in Saskatchewan. *Journal of Applied Meteorology and climatology*, 4, 897-913.
<https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/56/4/jamc-d-16-0258.1.xml>
- Zhang, Ch & Xu, H. (2021). Investigating spatially varying relationships between total organic carbon contents and pH values in European agricultural soil using geographically weighted regression. *Science of the Total Environment*, 752, 1-11.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720355066>