

Effect of Drought on Water Quality and Agricultural Land Value

Mehdi Akbari¹, Dr. Hamed Najafi Alamdarlo^{2*}, Dr. Seyed Habibollah Mosavi³

1-M.Sc of Agricultural Economics, University of Tarbiat Modares, Tehran

2-Assistant Professor of Agricultural Economics, University of Tarbiat Modares, Tehran

3-Associated Professor of Agricultural Economics, University of Tarbiat Modares, Tehran



Akbari, M & Najafi Alamdarlo, H & Mosavi, S. H A. (2021). [Effect of Drought on Water Quality and Agricultural Land Value]. *Geography and Development*, 19 (63), 95-118.

doi: <http://dx.doi.org/10.22111/J10.22111.2021.6170>

Received: 04/03/2020

Accepted : 05/09/2020

ABSTRACT

Drought as the most perilous natural disaster is a climatic disorder, Which in addition to water quality affects product performance. Therefore, for the long-term planning, the climatic condition of the regions should be determined. According to this approach, in the present study, the effects of drought on surface water quality (salinity) and the effects of drought and salinity on net income of farmers were studied. For this purpose, firstly, using the SPI index of drought classes in the region was determined, then using the QUAL2K model, simulation of salinity in the Taleghan River was studied. Then, using the Ricardian approach in the form of panel data, were evaluated the effects of climate variables, salinity, economic variables and their interactions on net income of farmers. The results of the QUAL2K model show that the occurrence of drought has a direct and nonlinear relationship with surface water quality. So, with decreasing river debit during moderate, severe and very drought periods, salinity decreases by 20.51, 41.27 and 57.77%, respectively. According to the results of the Ricardian model, salinity and temperature variables have a negative relationship with the net income of farmers and precipitation has a positive relationship with net income. The results of net income changes of farmers based on drought and water quality also showed that during droughts average, severe and very severe, net income was reduced by 17.71, 32 and 42.43 percent. It is recommended to determine the cultivation pattern of the area based on net income of farmers in order to prevent farmers from lowering their income during drought classes.

Keywords:

Land Rent,
Drought,
Water Quality,
Qazvin plain.

Copyright©2021, Geography and Development. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

Extended Abstract

1- Introduction

Drought is a type of climatic anomaly that has adverse effects on plants, animals, ecological environments and human populations (Wilhite and Wood, 2001: 18) and as the most

dangerous natural disaster, affects a wide range of climates & ecosystems (Chenar, 2010: 17). Geographical areas affected by drought have increased sharply in the last four decades and the agricultural sector is most affected by this climatic phenomenon due to extensive interactions with the environment (Khalilian et al., 2014: 292).

This phenomenon is one of the costly natural disasters by reducing the yield of agricultural products (Fontaine et al., 2009: 2; Aslam et al., 2013: 99). A key point in understanding drought is to understand its environmental, economic and social dimensions (Wilhite, 2000: 37), because the occurrence of this phenomenon often causes significant social and economic losses (Chakoshi, 2000: 28). There are

*Corresponding Author:

Dr. Hamed Najafi Alamdarlo

Address: Department of Agricultural Economics,
University of Tarbiat Modares, Tehran

Tel: +98(9171500086)

E-mail: hamed_najafi@modares.ac.ir

different types of drought and it can be divided into four categories: climatic, hydrological, agricultural and socio-economic (Sobhani Nasab, 2009: 796). Drought occurs slowly and has several effects on various resources and sectors, including water, agriculture and natural resources (Malekinejad and Soleimani Motlagh, 2011: 62; Shafiei et al., 2011: 2) and one of the most important effects drought is a decrease in water quality. In drought and water shortage conditions, water quality conditions usually become more critical because pollution loads do not decrease as the discharge decreases.

2-Material and Methods

Taleghan River originates from the Kandovan and Kahar Bozorg mountains in the north of Tehran and then joins the Alamut and Andaj rivers to form the Shahroud River and flows into the Taleghan Dam. The water of this dam is used to supply water to the irrigation network of Qazvin plain.

In the present study, first the drought periods were determined using SPI index and the salinity of water during droughts was simulated using the QUAL-2K simulation model. Then, using Ricardian approach, the effects of salinity and drought (reduced rainfall) on agricultural land rents were determined.

3-Results and Discussion

Since river water quality is affected by discharge and rainfall, SPI index was used to determine drought years for water shortage conditions. Based on this index, the years 2016-17, 2009-10, 1999-2000 and 2008-09 were selected as normal, moderate drought, severe drought and very severe drought, respectively. Using QUAL2K Model, EC simulation was performed in the mentioned years. As expected, the simulation results showed that the EC is a function of its discharge and in addition to the discharge, the amount of runoff in the river also affects the salinity of the river. The results showed that EC increased by 20.5, 41.3 and 57.8% during the periods of moderate, severe drought and very severe drought condition, respectively. Accordingly, precipitation during periods of moderate drought, severe drought and very severe drought decreases by 31.581, 44.033 and 51.331%, respectively. Then, using Ricardian function, the effects of salinity and drought (rainfall reduction) on agricultural land rents were investigated. The results show that salinity has a negative effect and rainfall has a positive effect on agricultural land

rents. Therefore, increasing salinity and decreasing rainfall during droughts leads to a decrease in agricultural land rents and during moderate, severe and very severe droughts decreases by 17.71, 32 and 42.43%, respectively.

4-Conclusion

Due to the importance of drought and salinity and its effect on the agricultural sector, this study aims to investigate the effect of rainfall and salinity variables during droughts on agricultural land rent (net income) of selected crops (wheat, barley, corn and beet) using Ricardian method during the 2001 to 2016. The results of QUAL2K model show that the quality of Taleghan river is a function of its discharge, so that with the onset of drought periods and decrease in discharge, water salinity increases. Also, due to the importance of the effects of temperature, precipitation and salinity on agricultural products, the effects of climatic variables (temperature and precipitation) and water quality (salinity) on agricultural land rents were investigated. The results of this study show that temperature variables have a negative effect, precipitation has a positive effect and salinity has a negative effect on agricultural land rents. Also, agricultural land rents are greatly reduced and in general drought and water quality reduction can have serious risks to farmers' incomes.

Keywords: Land Rent, Drought, Water Quality, Qazvin plain, Ricardian Approach.

5-References

- Attrill, M.J. and Power, M. (2000). Modelling the effect of drought on estuarine water quality. *Water Research*, 34(5): 1584-1594.
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004313549900305X>
- Amirslany, A. (2010). The impact of climate change on Canadian agriculture: A Ricardian approach. *Citeseer*. https://central.bac-lac.gc.ca/item?id=NR92042&op=pdf&app=Library&oclc_number=1019490513
- Aslam, M., Zamir, M., Afzal, I., Yaseen, M., Mubeen, M. and Shoib, A. (2013). Drought stress, its effect on maize production and development of drought tolerance through potassium application. *Cercetări Agronomice în Moldova*, 46(2): 99-114.
- https://www.uaiasi.ro/CERCET_AGROMOLD/CA2-13-09.pdf
- Barnwell Jr, T.O., Brown, L.C. and Whittemore, R.C. (2004). Importance of field data in stream water quality modeling using QUAL2E-UNCAS. *Journal of Environmental Engineering*, 130(6): 643-647. [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2004\)130:6\(643\)](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9372(2004)130:6(643))

- Barros, M.C., Mendo, M.J.M. and Negro, F.C. (1995). Surface water quality in Portugal during a drought period. *Science of the total environment*, 171(1-3): 69-76.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969795046717>
- Benhin, J.K. (2008). South African crop farming and climate change: An economic assessment of impacts. *Global Environmental Change*, 18(4): 666-678.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378008000472>
- Bonaccorso, B., Bordi, I., Cancelliere, A., Rossi, G. and Sutera, A. (2003). Spatial variability of drought: an analysis of the SPI in Sicily. *Water resources management*, 17(4): 273-296.
<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1024716530289>
- Chapra, S.C. (2008). *Surface water-quality modeling*: Waveland press.
https://www.researchgate.net/profile/Steven-Chapra/publication/48447645_Surface_Water-Quality_Modeling/links/0fcfd510a6a96a337b000000/Surface-Water-Quality-Modeling.pdf
- Dracup, J.A., Lee, K.S. and Paulson Jr, E.G. (1980). On the definition of droughts. *Water Resources Research*, 16(2): 297-302.
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/WR016i002p00297>
- Drolc, A. and Končan, J.Z. (1999). Calibration of QUAL2E model for the Sava River (Slovenia). *Water Science and Technology*, 40(10): 111-118.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0273122399006812>
- Edwards, D.C. (1997). Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales: Air Force Inst of Texh Wright- Patterson AFB OH.
<https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA325595>
- Eid, H.M., El-Marsafawy, S.M. and Ouda, S.A. (2007). Assessing the economic impacts of climate change on agriculture in Egypt: a Ricardian approach.
https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1004407
- Fezzi, C. and Bateman, I (2012). Non-linear effects and aggregation bias in Ricardian models of climate change: CSERGE working paper.
<https://www.econstor.eu/handle/10419/121953>
- Fontaine, F.J., Wilcock, W.S., Foustoukos, D. E. and Butterfield, D. A. (2009). A Si-Cl geothermobarometer for the reaction zone of high-temperature, basaltic-hosted mid-ocean ridge hydrothermal systems. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10(5).
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2009GC002407>
- Gbetibouo, G.A. and Hassan, R. (2005). Measuring the economic impact of climate change on major South African field crops: a Ricardian approach. *Global and planetary change*, 47(2-4): 143-152.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921818104001948>
- Gupta, K. and Gupta, M. (2003). The Woes of Women in Drought Social Environmental and Economic Impacts. *Women and Environments International*: 12-13.
https://www.researchgate.net/publication/284099411_The_woes_of_women_in_drought_social_environmental_and_economic_impacts
- Iran Second National Communication to UNFCCC. (2010). Climate change office. Department of environment. Islamic Republic of Iran.
<https://unfccc.int/resource/docs/natc/iran2.pdf>
- Kannel, P.R., Lee, S., Lee, Y.-S., Kanel, S. and Pelletier, G (2007). Application of automated QUAL2Kw for water quality modeling and management in the Bagmati River, Nepal. *ecological modelling*, 202(3-4): 503-517.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304380007000051>
- Kurukulasuriya, P., Mendelsohn, R., Hassan, R., Benhin, J., Deressa, T., Diop, M., Eid, H.M., Fosu, K.Y., Gbetibouo, G. and Jain, S. (2006). Will African agriculture survive climate change? *The World Bank Economic Review*, 20(3): 367-388.
<https://academic.oup.com/wber/article-abstract/20/3/367/1664186>
- Liu, H., Li, X., Fischer, G. and Sun, L. (2004). Study on the impacts of climate change on China's agriculture. *Climatic Change*, 65(1-2): 125-148.
<https://link.springer.com/article/10.1023/B:CLIM.0000037490.17099.97>
- Mathew, M., Yao, Y., Cao, Y., Shodhan, K., Ghosh, I., Bucci, V., Leitao, C., Njoka, D., Wei, I. and Hellweger, F.L. (2011). Anatomy of an urban waterbody: A case study of Boston's Muddy River. *Environmental pollution*, 159(8-9): 1996-2002.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749111000923>
- McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. Paper presented at the Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology.
<https://climate.colostate.edu/pdfs/relationshipofdroughtfrequency.pdf>
- Mendelsohn, R., Nordhaus, W.D. and Shaw, D. (1994). The impact of global warming on agriculture: a Ricardian analysis. *The American Economic Review*: 753-771.
<https://www.jstor.org/stable/2118029>
- Nairizi, S. (2017). Drought and Water Scarcity.
https://www.icid.org/drought_pub2017.pdf
- Pedroni, P. (1999). Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. *Oxford Bulletin of Economics and statistics*, 61(S1): 653-670.
https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1468-0084.0610s1653?casa_token=hHN9NuWljdMAAAAA:VyhuvGJ3sFa21UvJCwgn_VpIlxDP18r8IjF0-CYRker-76tOy13INE24N5js3PwJbIqHlt1Sc5AhZz

- Polsky, C (2004). Putting space and time in Ricardian climate change impact studies: agriculture in the US Great Plains, 1969–1992. *Annals of the Association of American Geographers*, 94(3): 549-564.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1111/j.1467-8306.2004.00413.x>
- Rashed, A.A. and El-Sayed, E. (2014). Simulating agricultural drainage water reuse using QUAL2K Model: case study of the Ismailia canal catchment area, Egypt. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 140(5): 05014001.
[https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000715](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000715)
- Ribeiro, C.H. and Araújo, M. (2002). Mathematical modelling as a management tool for water quality control of the tropical Beberibe estuary, NE Brazil. *Nutrients and Eutrophication in Estuaries and Coastal Waters* (pp. 229-237): Springer.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-2464-7_20
- Ricardo, D. (1817). *On the principles of political economy and taxation*. John Murray, London.
<https://www.econlib.org/library/Ricardo/ricP.html>
- Ricardo, D. (1822). *On the protection in agriculture*. John Murray, London.
https://books.google.de/books?hl=en&lr=&id=y8wxAQAAMAAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=On+the+protection+in+agriculture&ots=YesZoP5mY6&sig=sBCv5Ne2BhQQ3BjhlPJEI7uWcQ&redir_esc=y#v=onepage&q=On%20the%20protection%20in%20agriculture&f=false
- Tsakiris, G. and Vangelis, H. (2004). Towards a drought watch system based on spatial SPI. *Water resources management*, 18(1): 1-12.
<https://link.springer.com/article/10.1023/B:WARM.000015410.47014.a4>
- Van der Molen, M.K., Dolman, A.J., Ciais, P., Eglin, T., Gobron, N., Law, B.E., Meir, P., Peters, W., Phillips, O.L. and Reichstein, M. (2011). Drought and ecosystem carbon cycling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(7): 765-773.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168192311000517>
- Van Loon, A. Laaha, G. (2016). Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. *Journal of Hydrology*, 49(6): 3–14.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169414008543>
- Vlček, O. and Huth, R. (2009). Is daily precipitation Gamma-distributed?: Adverse effects of an incorrect use of the Kolmogorov–Smirnov test. *Atmospheric Research*, 93(4): 759-766.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809509000854>
- Wilhite, D.A. (2000). *Drought: A Global Assessment*, Routledge press, London and New York, Volume I.
<https://www.worldcat.org/title/drought-a-global-assessment-vol-i-and-ii/oclc/959037886>
- Wilhite, D.A. and Wood, D.A. (2001). Revisiting Drought Relief and Management Efforts in the West: Have We Learned from the Past?
<https://digitalcommons.unl.edu/droughtfacpub/52/>
- Wu, H., Svoboda, M.D., Hayes, M.J., Wilhite, D.A. and Wen, F. (2007). Appropriate application of the standardized precipitation index in arid locations and dry seasons. *International Journal of Climatology*, 27(1): 65-79.
<https://core.ac.uk/download/pdf/188114318.pdf>
- Zhang, R., Qian, X., Yuan, X., Ye, R., Xia, B. and Wang, Y. (2012). Simulation of water environmental capacity and pollution load reduction using QUAL2K for water environmental management. *International journal of environmental research and public health*, 9(12): 4504-4521.
<https://www.mdpi.com/1660-4601/9/12/4504>
- Zhang, R., Gao, H., Zhu, W., Hu, W. and Ye, R. (2015). Calculation of permissible load capacity & establishment of total amount control in the Wujin River Catchment—a tributary of Taihu Lake, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(15): 11493-11503.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-015-4311-3>
- Bagheri Seyed Shakeri, S., Alipour, A., Maroofpour, S., Hashemi, M. (2018). Development of Soft Computing Models in Estimating River Water Quality by Using Different Input Combination. *Journal of Geography and Planning*. 22(63): 1-25.
https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_7446.html?lang=fa
- Bahrami, M., Moazed, H., Zarei, H., Sadeghi, H. (2009). Investigation of the effect of Gachsaran Formation on the water quality of Zohreh River in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad. 08th International River Engineering Conference.
<https://civilica.com/doc/86357/>
- Bostani, F., Goharakani, E. (2015). Simulation of water quality of Bashar river in Yasuj city using QUAL2K. *Water Resources Engineering*, 7(23): 85-98.
http://journals.miau.ac.ir/article_736.html
- Chakoshi, B. (2000). Investigating the environmental aspects of drought and flood phenomena. 01st National Conference on Mitigation of Water Crises.
<https://civilica.com/doc/81226/>
- Chenar, A. E. (2009). Drought assessment and monitoring in East and West Azerbaijan and Ardabil provinces using AVHRR images. Master Thesis. Trabiati Modares University. Tehran.
<https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/9436098fea1f7ad2c1f3e0e7fb247290/search/b90af98164e81a9f40ec958787bad16d>

- Ghanbari, S., Bayad, H. (2016). Economic and social consequences of the recent droughts on agriculture, rural areas (Case study: Esmaeli villages, Jiroft Township). *Arid Regions Geographic Studies*. 6 (23): 64-81. http://journals.hsu.ac.ir/jarhs/browse.php?a_code=A-10-944-1&slc_lang=fa&sid=1
- Ghorbani, H., Vali, A., Zarepour, H. (2020). Prediction and Investigation of Meteorological Drought Using SARIMA Time Series and SPI Index in Isfahan Province. *Journal of Water and Soil Science*. 23(4): 313-328. <https://jstnar.iut.ac.ir/article-1-3840-fa.html>
- Hadipour Nicktarash, P., Ghodousi, H., Ebrahimi, K. (2019). Simulation and Evaluation of Seasonal Variations of Water Quality in Taleghan River Using a Mathematical Model. *Journal of Water and Soil Science*. 22(4): 399-410. https://jstnar.iut.ac.ir/browse.php?a_id=3543&sid=1&slc_lang=fa
- Hashemi, H., Ghasemi Ziarani, E., Ranjkesh, Y. (2011). Waste Load Allocation for Sub-basins of Amir Kabir Dam Reservoir Using QUAL2K model. *Journal of Environmental Studies*. 37(57): 1-8. <https://www.sid.ir/Fa/Seminar/ViewPaper.aspx?ID=6400>
- Hatef, B., Ghaffari, A., Danesh Khah, Sh., Imani, R. (2009). Supply and distribution of drinking water in rural areas due to earthquake and drought crises from the perspective of Fars province. *The National Conference on Water Crisis Management*. <https://www.sid.ir/Fa/Seminar/ViewPaper.aspx?ID=6400>
- Isfahan Crisis Management General Office. (2011). Drought situation report of Iran. http://hoshdarisf.ir/index.aspx?page =download&lang=1&tempname=daftarbohnan&sub=44&PageID=285&PageIDF=45&BlockName=tool_download_sample_daftarbohnan_block1464
- Keshavarz, M., Karami, E. (2008). Factors Influencing Drought Management and Impacts: A Structural Equation Modeling Approach. *Journal of Water and Soil Science*. 12 (43): 267-283. https://jstnar.iut.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-2-836&slc_lang=fa&sid=1
- Khalilian, S., Shemshadi, K., Mortazavi, S, A., Ahmadian, M. (2014). Investigating Welfare Effect of Climate Change on the Wheat Products in Iran. *Journal of Agricultural Economics and Development*. 28(3): 292-300. https://jead.um.ac.ir/article_32642.html
- Khodam Mohammadi, M., Boustani, F. (2016). Evaluation of Self-Purification Potency and the Role of Dissolved Oxygen in the Kor River Water Quality (Case study: Downstream of Doroodzan Dam to Tashk-Bakhtegan Lake). *Water Resources Engineering*. 9(30): 87-96. http://journals.miau.ac.ir/article_2119.html
- Khoob, N., Aminnejad, B., Omid, A. (2017). Water Quality Monitoring for an Assessment of Salt Contribution of Four of the QzIouzan's Tributaries for its Contamination Using QUAL2K Numerical Model. *Water Resources Engineering*. 10(32): 33-44. http://wej.miau.ac.ir/article_2300.html?lang=fa
- Kiani, A, R., Khosh Ravesh, M. (2011). Water and food security. *Journal of Olive*. 31(215): 180-201. <http://pr.maj.ir/portal/File/ShowFile.aspx?ID=73c7cb1c-4776-4642-a293-edfc12f235ba>
- Maleki Nejad, H., Soleimani Motlaq, M. (2012). Assessing the severity of climatic and hydrologic droughts in Chaghalvandi basin. *Iranian Water Research Journal*. 5(9): 61-71. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=178384>
- Mojaverian, M., Ahmadi Kaiji, S., Aminravan, M. (2015). Application of the Ricardian approach to investigating the effect of climate change on agricultural land rent. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*. 46(3): 481-491. https://ijaedr.ut.ac.ir/article_55521.html
- Moridi, A., Kerachian, R., Zokaei, M. (2017). Assessment of Iran's Water Resources Quality (2004-2014). *Journal of Iran-Water Resources Research*. 12(4): 3-23. http://iwrr.sinaweb.net/article_42102.html
- Mosaedi, A., Ghabaei, S.M. (2011). Modification of standardized precipitation index (SPI) based on relevant probability distribution function. *Journal of Water and Soil*. 25(2): 1206-1216. https://jsw.um.ac.ir/article_35477.html
- Mosaedi, A., Khalili Zade, A., Mohammadi, A. (2008). Drought monitoring in Golestan Province. *Journal of Agricultural Sciences & Natural Resources*. 15(2):176-182. <https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=82398>
- Mostafazadeh, R., Zabihi, M. (2016). Comparison of SPI and SPEI indices to meteorological drought assessment using R programming (Case study: Kurdistan Province). *Journal of the Earth and Space Physics*. 42(3): 633-643. https://jesphys.ut.ac.ir/article_57881.html
- Nasirahmadi, K., Yousefi, Z., Tarassoli, A. (2012). Zoning of water quality on Haraz river bases on National Sanitation Foundation Water Quality Index. *Journal of Mazandaran University Medicine Science*. 22 (92): 64-71. http://jmums.mazums.ac.ir/browse.php?a_id=1304&sid=1&slc_lang=fa
- No Name. (2007). *Statistics and Information Center of the Ministry of Jihad Agriculture*. <https://daj.maj.ir/Dorsapax/userfiles/Sub65/amarnamehJ1-85-86.pdf>

- Nooshadi, N., Hatami Zadeh, M, R. (2011). Determination and Simulation of Water Quality in The Kor River Using Qul2k Model. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*.4(3): 338-349. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=204748>
- Pish Bahar, E., Darparnian, S., Ghahramanzadeh, M. (2015). Effects of Climate Change on Maize Yield in Iran: Application of Spatial Econometric Approach with Panel Data. *Journal of Agricultural Economics and Research*. 7(26): 83-106. http://jae.miau.ac.ir/article_865.html
- Raziĕi, T., Daneshkar Arasteh, P., Akhtari, R., Saghafian, B. (2007). Investigation of Meteorological Droughts in the Sistan and Balouchestan Province, Using the Standardized Precipitation Index and Markov Chain Model. *Iran- Water Resources Resaerch*. 3(1): 25-35. http://iwrr.sinaweb.net/article_15467.html
- Saedi, Z., Moghaddasi, M., Paimozd, Sh., Farahani, A, H. (2020). Evaluation of Hydrological and Meteorological Drought Relationship and Reservoir Impacts (Case Study: Zayandeh Rood River Basin). *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 50(9): 2341-2353. https://ijswr.ut.ac.ir/article_74717.html
- Shafiei, M., Ghahraman, B., Ansari, H., Sharifi, M, B. (2011). Stochastic Simulation of Drought Severity Based on Palmer Index. *Journal of Water and Irrigation Management*. 1(1): 1-13. https://jwim.ut.ac.ir/article_23381.html?lang=fa
- Sobhani Nasab, Y. (2009). Environmental and socio-economic effects of drought. *Regional Conference on Water Crisis and Drought*. Islamic Azad University of Rasht. 799-795. <https://civilica.com/doc/64602/>
- Soltani GerdFaramarzy, M., Mozafari, Gh., Shafie, Sh. (2018). Analysis of the effects of recent climatic droughts on the salinity of subterranean waters using geostatistical and GIS methods in Yazd- Ardakan Plain. *Journal of Geographical Data (SEPEHR)*. 27(106): 179-199. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=357791>
- Vafakhah, M., Sadeghi, H, R. (2009). Relationship between chemical parameters of water quality and discharge in Haraz river. *National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran (Sustainable Natural Disaster Management)*. <https://www.sid.ir/fa/seminar/ViewPaper.aspx?ID=12637>
- Vaseghi, E., Esmaeili, A. (2008). Investigation of the Economic Impacts of Climate Change on Iran Agriculture: A Ricardian Approach (Case study: Wheat). *Journal of Water and Soil Science*. 12 (45): 685-696. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=94402>
- Vaseghi, E., Esmaeili, A. (2008). The Effect of Climate Change on Agricultural Land Rents: A Case Study of Corn. *Agricultural Economics*. 2(3): 47-67. https://jstnar.iut.ac.ir/browse.php?a_id=952&sid=1&slc_1_ang=fa
- Zarranezhad, M., Anvari, E. (2005). Reviews of Panel Data Application in Econometrics. *Quarterly Journal of Quantitative Economics*. 2(4): 21-52. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=79770>

بررسی اثر خشکسالی بر روی کیفیت آب و ارزش زمین‌های کشاورزی

مهدی اکبری^۱، دکتر حامد نجفی علمدارلو^{۲*}، دکتر سید حبیب‌الله موسوی^۳

چکیده

خشکسالی به‌عنوان مخاطره‌آمیزترین سانحه طبیعی، علاوه بر عملکرد محصول، بر کیفیت آب نیز تأثیر می‌گذارد؛ پس به‌منظور برنامه‌ریزی‌های بلندمدت کشاورزی، می‌بایست وضعیت اقلیمی مناطق نیز مشخص شود؛ از این‌رو در مطالعه حاضر ضمن ارزیابی اثرات خشکسالی بر کیفیت آب‌های سطحی (متغیر شوری)، به بررسی اثرات خشکسالی (بارش) و شوری آب بر رانت زمین‌های کشاورزی پرداخته شد. بدین منظور نخست با استفاده از شاخص SPI طبقات خشکسالی در منطقه مشخص و با استفاده از مدل QUAL2K به شبیه‌سازی شوری در رودخانه طالقان پرداخته شد. در ادامه با استفاده از رهیافت ریکاردین در قالب داده‌های ترکیبی تأثیر متغیرهای اقلیمی، شوری، متغیرهای اقتصادی و اثرات متقابل آن‌ها بر رانت زمین‌های کشاورزی ارزیابی شد. نتایج حاصل از مدل QUAL2K نشان می‌دهد که وقوع خشکسالی رابطه مستقیم و غیرخطی با کیفیت آب‌های سطحی دارد؛ به‌گونه‌ای که با کاهش دبی رودخانه در طی طبقات خشکسالی متوسط، شدید و خیلی شدید، شوری به ترتیب ۲۰،۵، ۴۱،۳ و ۵۷،۸ درصد کاهش می‌یابد. براساس نتایج مدل ریکاردین، متغیرهای شوری و دما با رانت زمین‌های کشاورزی رابطه عکس و با بارش رابطه مستقیم دارد. نتایج حاصل از تغییرات رانت زمین‌های کشاورزی (درآمد خالص) براساس خشکسالی و کیفیت آب نیز نشان داد که در طی طبقات خشکسالی متوسط، شدید و خیلی شدید، رانت به میزان ۱۷،۷، ۳۲ و ۴۲،۴ درصد کاهش می‌یابد. پیشنهاد می‌شود در زمان وقوع خشکسالی، جبران زیان کشاورزان بر مبنای میزان «رانت از دست‌رفته» تعیین شود؛ چراکه برآورد مناسبی از میزان واقعی خسارت خشکسالی ارائه می‌دهد.

جغرافیا و توسعه، شماره ۶۳، تابستان ۱۴۰۰

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۱۴

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۲۰

صفحات: ۹۵-۱۱۸



واژه‌های کلیدی:

رانت زمین، خشکسالی، کیفیت آب، دشت قزوین.

مقدمه

طبیعی بوده (2: Fontaine et al, 2009) و دانش کشاورزی را نیز با چالش مواجه کرده‌است (Aslam et al, 2013: 99). نکته کلیدی در درک خشکسالی، درک ابعاد زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی آن است (37: Wilhite, 2000)؛ زیرا وقوع این پدیده اغلب موجب زیان‌های اجتماعی و اقتصادی قابل‌توجهی می‌شود (چکشی، ۱۳۸۰: ۲۸).

به‌طور کلی بارش، دما، تبخیر، باد و رطوبت نسبی دارای نقشی مهم در وقوع، شدت و تداوم خشکسالی دارند (مصطفی‌زاده و ذبیحی، ۱۳۹۵: ۶۳۳) و کمبود بارش و افزایش دما نسبت به میانگین بلندمدت، علت اصلی خشکسالی‌ها است (ساعدی و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۳۴۲). خشکسالی انواع مختلفی دارد و می‌توان آن را

خشکسالی یک نوع ناهنجاری اقلیمی است که اثرات نامطلوبی بر گیاهان، جانوران، محیط‌های بوم‌شناختی و جمعیت‌های انسانی دارد (Wilhite and Wood, 2001: 18) و به‌عنوان مخاطره‌آمیزترین سانحه طبیعی (چنار، ۱۳۸۰: ۱۷)، طیف گسترده‌ای از اقلیم و اکوسیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مناطق جغرافیایی متأثر از خشکسالی در چهار دهه گذشته به‌شدت افزایش یافته (766: Molen et al, 2011) و بخش کشاورزی به‌دلیل تعاملات گسترده با محیط، بیش‌ترین تأثیر را از این پدیده اقلیمی می‌پذیرد (خلیلیان و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۹۲). این پدیده با کاهش عملکرد محصولات کشاورزی از پرهزینه‌ترین بلاهای

آبی یادشده، تمهیداتی بیندیشند (نصیر احمدی و همکاران، ۱۳۹۱: ۶۵؛ بوستانی و گوهرکائی، ۱۳۹۳: ۸۶)؛ به‌گونه‌ای که تعیین کیفیت آب در مدیریت منابع آب از اهمیت خاصی برخوردار بوده و پایش آن به‌عنوان یک اصل مهم در برنامه‌ریزی‌ها باید مدنظر قرار گیرد (باقری سید شکری و همکاران، ۱۳۹۷: ۲).

به‌طورکلی، حدود ۹۳ درصد از مساحت کشور ایران، دارای اقلیم خشک بیابانی، نیمه‌خشک و فراخشک است و در طول سال‌های گذشته خسارات زیادی را به علت خشکسالی متحمل شده‌است (UNFCCC, 2010: 95) و در چهل سال گذشته، ۲۷ پدیده خشکسالی مختلف در کشور اتفاق افتاده است و بر این اساس، باید خشکسالی را پدیده‌ای رایج در کشور محسوب کرد (هاتف و همکاران، ۱۳۸۸: ۵-۶). همچنین میزان بارندگی سالیانه کشور ایران حدود ۲۶۰-۲۴۰ میلی‌متر است. این مقدار بارش، کمتر از یک‌سوم متوسط بارندگی سالیانه جهان (۸۷۰ میلی‌متر) است. توزیع بارندگی در کشور از نظر زمانی و مکانی یکنواخت نیست، به‌گونه‌ای که فقط ۱۱ درصد از مساحت ایران، بارشی بیش از ۱۰۰۰ میلی‌متر و ۸۲ درصد از سطح کشور، بارش سالیانه کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر دارند و با توجه به محدودیت شدید منابع آب در ایران، تلاش‌های اخیر به‌منظور خودکفایی در تولید، موجب فشار بیشتر بر منابع آب شده‌است و با ادامه روند کنونی، منابع آب بخش کشاورزی دچار آسیب جدی شده‌است؛ به‌طوری‌که خشکسالی‌های اخیر نیز موجب افت و کاهش کیفیت منابع آب شده‌است (کیانی و خوش‌روش، ۱۳۹۰: ۱۸۱؛ سلطانی‌گردفرامرزی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۸۰). روند افت کیفیت منابع آب نیز در ایران در طی سال‌های ۱۳۸۲-۱۳۹۳ تشدید شده است که علاوه بر رشد جمعیت، مهاجرت، شهرنشینی و افزایش پساب‌ها، وجود خشکسالی و تغییر اقلیم و کاهش روان‌آب‌ها تأثیر شدیدی بر کاهش کیفیت منابع

در چهار دسته خشکسالی اقلیمی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اجتماعی-اقتصادی تقسیم‌بندی کرد (صبحانی‌نسب، ۱۳۸۸: ۷۹۶). خشکسالی هیدرولوژیکی به‌عنوان خشکسالی واقعی، جریان‌های سطحی، منابع آب زیرزمینی و ذخایر آبی دریاچه‌ها و سدها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Dracup et al, 1980: 297-298) و عمدتاً تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی قرار می‌گیرد (Van Loon & Laaha, 2016: 3-4). تأثیرات خشکسالی به‌سه‌دسته تأثیرات زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی تقسیم‌بندی (Gupta and Nairizi, 2017: 17-18; Gupta, 2003: 15) و کرمی، ۱۳۸۷: ۲۷۰-۲۶۷؛ قنبری و بیاد، ۱۳۹۵: ۶۵) و نحوه مدیریت خشکسالی در یک منطقه باید به‌گونه‌ای انجام گیرد که اثرات منفی زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و سیاسی حاصل از آن به کمترین میزان برسد (قربانی و همکاران، ۱۳۹۸: ۳۱۴). خشکسالی پدیده‌ای است که به آرامی رخ می‌دهد و اثرات متعددی بر منابع و بخش‌های مختلف، از جمله آب، کشاورزی و منابع طبیعی می‌گذارد (ملکی‌نژاد و سلیمانی‌مطلق، ۱۳۹۰: ۶۲؛ شفیعی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲). یکی از مهم‌ترین اثرات خشکسالی، افت کیفیت آب در منابع برداشت مانند مخازن سدها است (اداره کل مدیریت بحران استانداری اصفهان، ۱۳۹۰: ۱). کیفیت منابع آب تحت تأثیر عواملی چون جنس سازنده‌های زمین‌شناسی، بافت و جنس ذرات آبرفت، وضعیت هیدرودینامیک آبخوان و شرایط اقلیمی قرار دارد (سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۷۵). در شرایط خشکسالی و کم‌آبی، معمولاً شرایط کیفیت منابع آب بحرانی‌تر می‌شود؛ زیرا بارهای آلودگی به همان نسبت کاهش دبی، کم نمی‌شوند (سازمان حفاظت محیط‌زیست، ۱۳۹۵). امروزه، گذشته از وقوع خشکسالی، آلودگی کیفی روان‌آب‌ها نیز سبب شده تا سیاستمداران در راستای حفظ کیفیت منابع

مناسب است. باروس و مندو^۳ (۱۹۹۵) اقدام به بررسی تأثیرات دوره کم‌آبی و پرآبی بر کیفیت آب‌های سطحی جنوب کشور پرتغال کردند و نتایج قابل‌توجهی در رابطه با ارتباط معنی‌دار بین پارامترهای کیفیت آب با دبی شدند. خوب و همکاران (۱۳۹۶) به‌منظور پایش کیفی و تعیین سهم رودخانه‌های واریزی بر افزایش شوری رودخانه قزل‌اوزن در محدوده استان زنجان از نرم‌افزار QUAL2K به این نتیجه رسیدند که به‌دلیل کم‌بودن تواتر آبیاری در کشت دیم در مقایسه با کشت آبیاری، آبشویی خاک کمتر است؛ در نتیجه این مواد پس از هر کشت در خاک تجمع پیدا کرده، باعث افزایش میزان کل جامدات محلول در آب شده و به‌تبع آن باعث افزایش شوری می‌شوند.

بهرامی و همکاران (۱۳۸۸) با بررسی تأثیر سازند شور گچساران بر کیفیت آب رودخانه زهره در کهگیلویه و بویراحمد به این نتیجه رسیدند که شوری آب رودخانه زهره در فصل خشک افزایش یافته‌است که علت را می‌توان به کاهش دبی رودخانه و جریان چشمه‌های شور ناشی از سازند گچساران نسبت داد که اثرات کیفی این چشمه‌ها با کاهش دبی رودخانه نمایان‌تر می‌شود.

گروه دوم مطالعاتی هستند که به بررسی عوامل اقلیمی بر روی رانت زمین‌های کشاورزی پرداخته‌اند؛ برای مثال، پولسکی^۴ (۲۰۰۴) با استفاده از روش ریکاردین، اثر تغییر اقلیم را با در نظر گرفتن زمان و مکان بر کشاورزی آمریکا بررسی کردند. نتایج حاصل از مدل نشان داد که اثرات متغیرهای مکانی همچون فرایندهای ارتباطی فرامحلی، دسترسی آن به مکان آب و قوانین مربوط به آب آبیاری، دارای نقش مهمی در مدل است. اثرات تغییرات آب و هوایی پیش‌بینی شده، با مقیاس زمان و مکان مورد تحلیل، به‌طور معنادار متفاوت است و همچنین با فرض تغییرات آب

داشته‌اند ارزیابی وضعیت هدایت‌الکتریکی آب‌خوان‌های کشور نشان می‌دهد که شوری بیش از ۵۲ درصد از مساحت آب‌خوان‌های کشور، بیش از ۲۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر است (مریدی و همکاران، ۱۳۹۵: ۳۳).

به‌طور کلی، تاکنون مطالعات مختلفی در رابطه با شبیه‌سازی کیفیت (Attrill and Power, 2000; Drolc and Končan, Barnwell et al, 2004; Mathew et al, 2011; Kannel et al, 2007; 1999; Zhang et al, 2012; نوشادی و حاتمی زاده، ۱۳۸۹، ۱۳۹۰) و اثرات متغیرهای آب و هوایی بر رانت محصولات کشاورزی (مجاوریان و همکاران، ۱۳۹۴؛ واثقی و اسماعیلی، ۱۳۸۷؛ پیش‌بهار و همکاران، ۱۳۹۴؛ Mendelsohn Eid et al, 2007; Amiraslany, 2010; et al, 1994) صورت پذیرفته است؛ از این‌رو، ادبیات تحقیق در این پژوهش به دو بخش تقسیم شده‌است که عبارت‌اند از:

گروه اول مطالعاتی هستند که به شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه پرداخته‌اند؛ برای نمونه، ژانگ و همکاران^۱ (۲۰۱۵) در تحقیقی با استفاده از مدل QUAL2K کیفیت آب حوضه آبریز دریاچه تایهو (Taihu) چین را بررسی کردند و حداکثر بار سالانه مجاز برای آلاینده‌های COD، NH₃، نیتروژن کل و فسفر کل را به ترتیب، ۵۲۱۶/۳۱، ۴۹۱/۷۱، ۴۹۸/۵۳ و ۱۰۴/۳۸ تن برآورد کردند. این محققان گزارش کردند که بار آلودگی برای تحقق اهداف کیفیت آب به ترتیب به ۱۳/۳۵، ۲۷/۲۶، ۴۷/۷۵ و ۳۷/۰۸ درصد کاهش نیاز دارد. راشد و ال سید^۲ (۲۰۱۴) با بررسی و اندازه‌گیری چند زه‌کش آب، با استفاده از مدل QUAL2K نشان دادند که مدل QUAL2K به‌عنوان یک ابزار کارآمد برای اندازه‌گیری‌های نسبی برنامه بهبود توان کیفیت آب رودخانه به‌ویژه برای کیفیت پارامترهای مؤثر در آب مورد استفاده در کشاورزی

به‌طور میانگین از ۱۷,۵ درجه سانتی‌گراد و بارندگی از ۲۲,۵ میلی‌متر بیشتر شود، درآمد خالص کشاورزان افزایش می‌یابد و افزایش در دما و بارندگی تا ۱۰۰ سال آینده، باعث کاهش ۲۹ درصدی بازده ذرت می‌شود و در هر هکتار به میزان ۵۸۴ هزار ریال به کشاورزان خسارت وارد خواهد کرد.

با توجه به مطالعات صورت‌گرفته مشخص شد که تأثیر تغییر اقلیم و خشکسالی با استفاده از مدل ریکاردین در مطالعات پیشین مورد واکاوی قرار گرفته‌است؛ اما تاکنون بررسی همزمان تأثیر متغیرهای اقلیمی و کیفیت آب (متغیر شوری) بر درآمد خالص کشاورزان، مورد ارزیابی قرار نگرفته است؛ بنابراین، به‌دلیل نقش مهمی که خشکسالی بر کیفیت منابع آب و به‌دنبال آن سودآوری محصولات کشاورزی دارد، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی اثرات خشکسالی و شوری بر رانت زمین‌های کشاورزی صورت گرفته است.

منطقه مورد مطالعه

در سال زراعی ۱۳۸۵-۱۳۸۶ بالغ‌بر ۲,۱ میلیون تن از محصولات مختلف زراعی در استان قزوین برداشت شده که ۹۱,۵۴ درصد آن از مزارع آب و ۸,۴۶ درصد بقیه از مزارع دیم حاصل شده‌است که بیانگر اهمیت کشت آبی در امنیت غذایی و تولید محصولات زراعی در استان قزوین است و ۵ درصد از نیاز غذایی کشور را تأمین می‌کند (بی‌نام، ۱۳۸۶: ۱۰۳). دشت قزوین با میانگین بارش سالانه ۲۳۱,۴ میلی‌متر (در حدود هشت درصد کمتر از میانگین بارندگی در سطح کشور است)، در بخش میانی استان قزوین واقع شده‌است. براساس اطلاعات سازمان هواشناسی قزوین طی دوره ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۴ دمای متوسط سالانه به میزان ۰,۹ درجه سانتی‌گراد افزایش و بارش به میزان ۳ میلی‌متر کاهش یافته است.

و هوایی، ارزش زمین برای مناطق غربی تا یک‌سوم کاهش می‌یابد؛ درحالی‌که مناطق شرقی تا ۵۰ درصد افزایش می‌یابد.

بن‌هین^۱ (۲۰۰۸) به‌منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم در کشاورزی آفریقای جنوبی با استفاده از روش ریکاردین به این نتیجه رسیدند که فعالیت کشاورزی در آفریقای جنوبی وابستگی زیادی به متغیرهای اقلیمی دارد؛ به‌طوری‌که افزایش یک درصدی درجه حرارت منجر به افزایش ۸۰ دلاری در درآمد خالص و کاهش یک میلی‌متری رطوبت منجر به کاهش ۲ دلاری در درآمد خالص خواهد شد. همچنین، نتایج حکایت از وجود تفاوت معنادار بین اثرات تغییر اقلیم در زمین‌های دیم و آبی دارد. فزی و بیتمن^۲ (۲۰۱۲) به‌منظور بررسی اثرات غیرخطی تغییر اقلیم با استفاده از مدل ریکاردین، ارزش زمین بیش از ۳۰۰۰ مزرعه را در قالب داده‌های ترکیبی بررسی کرده‌اند و به این نتیجه رسیدند که افزایش دما در صورتی منجر به افزایش رانت زمین می‌شود که در کنار آن بارش کافی نیز وجود داشته باشد تا از مشکلات ناشی از خشکسالی جلوگیری شود. نتایج مطالعه مجاوربان و همکاران (۱۳۹۴) حاکی از آن است که با افزایش متوسط دما از ۱۷,۲۵ درجه سانتی‌گراد، رانت زمین‌های کشاورزی در منطقه مورد مطالعه کاهش و با افزایش از ۲۹۵,۷۲ میلی‌متر رانت افزایش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که تغییر اقلیم در آینده دارای تأثیر منفی بر رانت است؛ به‌گونه‌ای که تا سال ۲۱۰۰ موجب کاهش ۳۸ درصدی آن می‌شود. واثقی و اسماعیلی (۱۳۸۷) در مطالعه‌ای با استفاده از روش ریکاردین به بررسی اثرات اقتصادی ناشی از تغییر اقلیم بر تولیدکنندگان ذرت در ایران پرداختند. نتایج نشان داد که اگر دمای کاشت محصول ذرت

1-Benhin

2-Fezzi and Bateman

حاضر، ابتدا با استفاده از شاخص SPI دوره‌های خشکسالی مشخص و با استفاده از مدل شبیه‌سازی کیفیت آب سطحی QUAL-2K به شبیه‌سازی شوری آب در طی دوره‌های خشکسالی پرداخته شد. سپس با استفاده از رهیافت ریکاردین، اثرات شوری و خشکسالی بر رانت زمین‌های کشاورزی مشخص شد. شاخص SPI: یکی از شاخص‌های اساسی در مطالعه خشکسالی، شاخص استاندارد بارش است که به منظور محاسبه آن می‌بایست میانگین و انحراف معیار درازمدت مقادیر بارندگی در دوره مطالعه را داشت (Bonaccorso et al, 2003: 274-275). این شاخص اساساً به منظور تعریف و پایش خشکسالی و ترسالی ارائه شده است (Tsakiris & Vangelis et al, 2004: 3) که این امر موجب می‌شود، تحلیل‌گر وقایع خشکسالی و ترسالی به وقوع پیوسته در هر گام زمانی را شناسایی و تحلیل کند (McKee et al, 1993: 2). در این شاخص ابتدا توزیع آماری مناسب بر آمار بلندمدت بارندگی برازش داده می‌شود که معمولاً برای این کار توزیع گاما در نظر گرفته می‌شود، سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل می‌شود (Edwards et al, 1997: 18; McKee et al, 1993: 2).

در واقع SPI، متغیری از تابع توزیع نرمال استاندارد شده است که مقدار احتمال تجمعی آن با مقدار احتمال تجمعی متغیر موردنظر از توزیع گامای به دست آمده، مساوی باشد (مساعدی و قبايي، ۱۳۹۰: ۱۲۰۱) و به صورت رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$SPI_N = \frac{P_0 + \sum(P_{-1}) - \mu_N}{\sigma_N} \quad (1)$$

که در آن، N تعداد ماه‌هایی که بارندگی تجمعی برای آن‌ها محاسبه شده، P_0 مقدار بارندگی نرمال شده ماه فعلی، P_{-1} مقدار بارندگی نرمال شده ماه قبلی، μ_N میانگین تعداد بارندگی تجمعی برای N

آمارهای موجود نشان می‌دهد، وقوع خشکسالی‌های پی‌درپی در این منطقه امری اجتناب‌ناپذیر است که موجب بروز کاهش حجم آب سطحی و در نتیجه کاهش کیفیت آن در منطقه می‌شود و خسارات جبران‌ناپذیری بر محصولات کشاورزی وارد می‌کند؛ از این رو هرگونه تحقیقی که بتواند این خسارات را جبران کند و موجب کاهش مصرف آب شود، ضرورت دارد.

رودخانه طالقان یکی از رودخانه‌های مهم حوضه آبخیز طالقان است و با طول تقریبی ۷۰ کیلومتر از کوه‌های کندوان و کهار بزرگ در شمال تهران سرچشمه می‌گیرد و سپس با پیوستن به رودخانه‌های الموت و اندج، رود پرآب شاهرود را تشکیل می‌دهد و به سد طالقان می‌ریزند. از آب این سد به منظور تأمین آب شبکه آبیاری دشت قزوین استفاده می‌شود. شبکه آبیاری دشت قزوین با وسعتی معادل ۸۰۰۰۰ هکتار ناخالص به صورت نواری است به طول ۹۴ کیلومتر که از محدوده زیاران شروع شده و به اراضی کهک تاکستان منتهی می‌شود. عرض متوسط این نوار حدود ۷/۸ کیلومتر است. این شبکه به طور عمده اراضی شهرهای قزوین، آبیک و همچنین بخشی از اراضی شهرستان‌های تاکستان و بوئین‌زهرا را دربرمی‌گیرد.

روش تحقیق

وقوع خشکسالی و تأثیر آن بر کمیت و کیفیت آب و عملکرد محصولات کشاورزی موجب وقوع نگرانی در مورد درآمد کشاورزان شده است. به منظور سیاست‌گذاری مؤثر در زمینه مقابله با بحران خشکسالی، برآوردهای صحیح از کاهش درآمد خالص کشاورزان در مواجهه با این بحران نیاز است که در مطالعات قبلی کمتر به چشم می‌خورد. مطالعه حاضر به دلیل استفاده از متغیرهای آب و هوایی و کیفیت آب سطحی (متغیر شوری)، در بین مطالعات خارجی و داخلی دارای اهمیت است. بدین منظور در مطالعه

اصلی و فرعی رودخانه و عواملی چون تخلیه فاضلابها و همچون جریانهای افزایشی را دربرگیرد (Chapra, 2008: 238). مدل QUAL2K دارای سه بخش اصلی است که شامل: هندسه و هیدرولیک مدل، موازنه جریان و معادله جابهجایی-انتشار است. در ابتدا به منظور شناسایی رودخانه طالقان، حوضه آبخیز این رود، زمینهای کشاورزی، راههای دسترسی رود، مراکز جمعیتی اطراف رود از قبیل شهرها، روستاها و آبادیها، از نقشه پستی و بلندی ۱/۲۵۰۰۰ منطقه که توسط سازمان نقشهبرداری کشور تهیه شده بود، استفاده شد. علاوه بر آن، به منظور شناسایی وضعیت اقلیمی منطقه مورد مطالعه، اطلاعات کمیت و کیفیت آب رودخانه، آمار و اطلاعات هواشناسی و آبشناسی از جمله بارش و دمای ماهانه و سالانه و آبدهی رود از سازمان مدیریت منابع آب ایران و اداره هواشناسی ایران گردآوری شد.

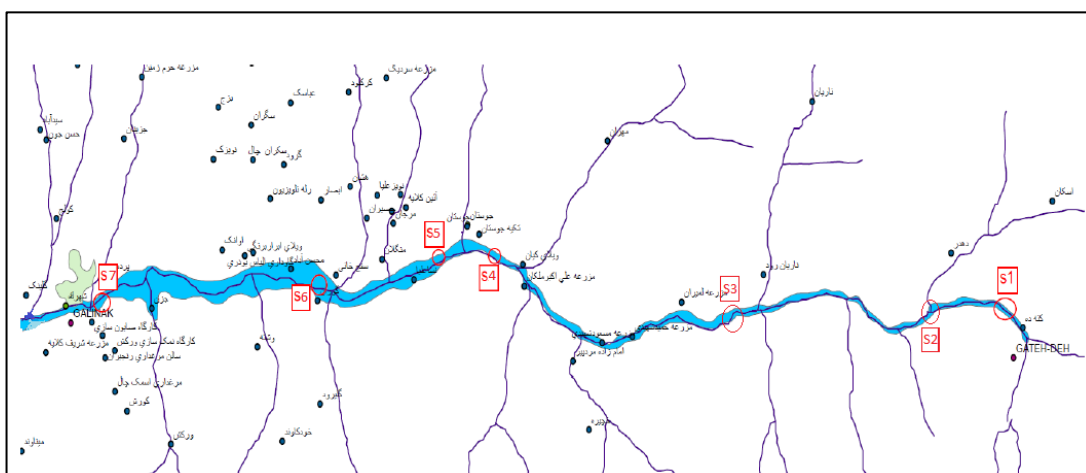
بر اساس اطلاعات به دست آمده از مطالعات مقدماتی و شناسایی رودخانه و تعیین محل های برداشت آب و دفع فاضلاب به رودخانه طالقان، ۷ بازه بر روی رودخانه طالقان از محل پایین دست تا سد طالقان (به طول ۳۴ کیلومتر) انتخاب شد.

ایستگاههای مورد مطالعه به نحوی انتخاب شدند که نتایج به دست آمده از هر ایستگاه بتواند شاخص گویایی از وضعیت بالادست خود بوده و اثر ورود منابع آلاینده را در مقایسه با ایستگاههای پایین دست روشن کند. شکل شماره ۱ موقعیت رودخانه طالقان و ایستگاههای نمونه برداری را نشان می دهد.

ماه، σ_N انحراف معیار برای دادهها است. مک کی و همکاران (۱۹۹۳) این شاخص را به چهار کلاس ۰ تا ۰٫۹۹، نرمال، ۰٫۹۹ تا ۰ خشکسالی ضعیف، ۱- تا ۱٫۴۹- خشکسالی متوسط، ۱٫۵- تا ۱٫۹۹- خشکسالی شدید و ۲- و بالاتر خشکسالی بسیار شدید، تقسیم بندی کردند. بر اساس این شاخص، شدت و تداوم خشکسالیهای هواشناسی در مقیاسهای کوتاه مدت و خشکسالیهای هیدرولوژیک در مقیاسهای بلند مدت توسط این شاخص برآورد می شود. بر اساس این روش دوره خشکسالی هنگامی اتفاق می افتد که SPI به طور مستمر منفی و کمتر از ۱- باشد و زمانی پایان می یابد که SPI مثبت شود (Wu et al, 2007: 17; Vlček & Huth 2009: 761-759؛ رضیعی و همکاران، ۱۳۸۶: ۸۵؛ مساعدی و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۸۴-۱۸۳؛ مساعدی و قبايي، ۱۳۹۰: ۱۲۱۲).

مدل شبیه سازی کیفیت آب سطحی (QUAL2K):

مدل QUAL2K به منظور شبیه سازی کیفیت آب رودخانه به طور گسترده ای مورد استفاده قرار گرفته است. این برنامه قادر است بیش از ۳۰ پارامتر کیفی را در رودخانه هایی را که اختلاط کامل افقی و عمودی در آنها صورت می گیرد، شبیه سازی کند (Chapra, 2008: 18). این برنامه قادر است پخش طولی مواد، اکسیژن مورد نیاز رسوبات، ته نشینی مواد کربنی، هدایت الکتریکی (شوری)، نیتراژزایی و نیتراژدایی را در شبیه سازی پارامترهای آب به حساب آورد. از جمله توانایی های این مدل این است که علاوه بر شبیه سازی یک بعدی جریان در حالت ماندگار و غیریکنواخت، می تواند ترکیبی از شاخه های



شکل ۱: موقعیت رودخانه تالقان و ایستگاهها

مأخذ: هدی پور نیک تراش و همکاران، ۱۳۹۷

(۲)

$$\text{Max } \pi = P_i(Q_i(K_i, E, S)) - C(Q_i, W, E, S) - B_{Li}L_i$$

که در رابطه ۲، i نشان دهنده نوع محصول، Q_i مقدار تولید، K_i نهاده‌های تولید، E فاکتورهای اقلیمی، S فاکتور کیفیت آب و C_i هزینه تولید محصول و W قیمت عوامل تولید است. همچنین، B_{Li} هزینه سالانه زمین و L_i سطح زیرکشت محصول i است. از حل معادله بالا برای B_{Li} رانت زمین به ازای هر هکتار کشت محصول، معادل با درآمد خالص به ازای هر هکتار به دست می‌آید:

(۳)

$$B_{Li} = \frac{P_i(Q_i(K_i, E, S)) - C(Q_i, W, E, S)}{L_i}$$

بر اساس رابطه ۳، درآمد خالص به ازای هر هکتار کشت محصول مورد نظر، به عنوان معیاری از رانت زمین محاسبه می‌شود. برای به دست آوردن درآمد خالص لازم است تمام هزینه‌های تولید (هزینه کاشت، داشت، برداشت و سایر هزینه‌ها به جز هزینه زمین) از درآمد ناخالص (حاصل ضرب قیمت محصول در عملکرد آن) کسر شود (وائقی و اسماعیلی، ۱۳۸۷: ۶۸۷). به طور کلی مدل ریکاردین، رانت زمین را تابعی

رهیافت ریکاردین: در این مطالعه به منظور بررسی اثرات خشکسالی و شوری بر رانت زمین‌های کشاورزی (سود حاصل از کشت محصولات) از رهیافت ریکاردین استفاده شده است. این روش تاکنون در مطالعات متعددی مورد استفاده قرار گرفته است. روش ریکاردین بر اساس نظریات دیوید ریکاردو (۱۸۱۷) و (۱۸۲۲) و همچنین مندلسون و همکاران (۱۹۹۴) است. این مدل برای تخمین تأثیر اقلیمی، اجتماعی-اقتصادی و متغیرهای جغرافیایی بر روی ارزش زمین‌های کشاورزی به کار گرفته می‌شود (Amiraslany, 2010: 24 پیش‌بهار و همکاران، ۱۳۹۴: ۸۶). بر اساس این نظریه، رانت زمین کشاورزی منعکس‌کننده بهره‌وری خالص مزرعه است و درآمد خالص به ازای هر هکتار کشت محصولات منتخب، معیاری برای رانت یا ارزش زمین در نظر گرفته می‌شود (وائقی و اسماعیلی، ۱۳۸۷: ۶۸۷). در واقع این مدل، آثار تغییر آب‌وهوا و دیگر متغیرها بر ارزش زمین یا درآمد خالص را آزمایش می‌کند (Kurukulasuriya et al, 2006:369). مجاوریان و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۸۴). در رهیافت ریکاردین سود به دست آمده از مزرعه باید حداکثر شود.

کرد. روش‌های معمول اقتصادسنجی در کارهای تجربی مبتنی بر فرض‌های مانایی متغیرهای مورد بررسی است؛ به این دلیل که امکان ساختگی بودن برآورد با متغیرهای نامانا وجود دارد و استناد به نتایج چنین برآوردهایی به نتایج گمراه‌کننده‌ای منجر خواهد شد.

با توجه به اطلاعات گفته شده در رابطه با رهیافت ریکاردین و مدل داده‌های ترکیبی، مدل کاربردی در این مطالعه به منظور ارزیابی اثرات متغیرهای آب و هوایی (دما و بارش)، شوری و میزان مصرف نهاده‌های کشاورزی بر رانت زمین کشاورزی در دشت قزوین براساس رهیافت ریکاردین به صورت زیر است:

درجه دوم از متغیرهای اقلیمی یا کیفیت آب در نظر می‌گیرد (Eid et al, 2007: 9).

باتوجه به گستردگی محصولات در منطقه و ماهیت زمانی تغییرات اقلیمی، مدل فوق براساس داده‌های ترکیبی برآورد شد. داده‌های ترکیبی به مجموعه‌ای از مشاهدات اطلاق می‌شود که از بررسی چندین واحد مقطعی در یک دوره زمانی، حاصل می‌شود. مدل‌های رگرسیون مبتنی بر داده‌های ترکیبی، حاوی اطلاعاتی در دو بُعد زمان و مکان هستند و به ارزیابی رفتار مقاطع مختلف در طول زمان می‌پردازند (زرّاء نژاد و انواری، ۱۳۸۴: ۳۵-۳۰). پیش از تحلیل روابط میان متغیرها، بایستی مانایی سری‌های مورد بررسی را به کمک آزمون‌های ریشه واحد بررسی (۴)

$$\ln RN_{it} = \alpha_0 + \beta_1 \ln RN_{it-1} + \beta_2 \ln T_{it} + \beta_3 \ln T_{it}^2 + \beta_4 \ln R_{it} + \beta_5 \ln R_{it}^2 + \beta_6 \ln EC_{it} + \beta_7 \ln LABOR_{it} + \beta_8 \ln SEED_{it} + \beta_9 \ln (LABOR_{it} * SEED_{it}) + \beta_{10} \ln (T_{it} * R_{it}) + \beta_{11} \ln (EC_{it} * R_{it}) + \beta_{11} \ln (EC_{it} * T_{it}) + u_{it}$$

زمان t و $(EC_{it} * T_{it})$ اثر متقابل شوری و دما است. تخمین مدل فوق به صورت لگاریتمی و ضرایب برآوردی بیانگر کشش است. واثقی و اسماعیلی (۱۳۸۷) در مطالعه خود فقط متغیرهای آب و هوایی و اثرات متقابل آن‌ها، جی بیت بیو و حسن (۲۰۰۵) و مجاوریان و همکاران (۱۳۹۴) علاوه بر متغیرهای آب و هوایی و اثرات متقابل آن‌ها از متغیرهای اقتصادی نیز بر درآمد خالص کشاورزان استفاده کردند.

در این مطالعه، اطلاعات مربوط به مقدار بذر و نیروی کار از وزارت جهاد کشاورزی، اطلاعات مربوط به آب‌وهوا از اداره هواشناسی و اطلاعات مربوط به شوری از سازمان مدیریت منابع آب ایران به دست آمده است و تابع موردنظر با استفاده از نرم‌افزار Eviews برآورد شده است.

که در مدل فوق، $t=1,2,\dots,16$ که مشاهدات مربوط به سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۷۹، مقاطع $i=1,2,3,4$ که به ترتیب برای محصولات گندم آبی، جو آبی، چغندر قند و ذرت است. $\ln RN_{it}$ لگاریتم رانت محصول i در زمان t ، $\ln T_{it}$ و $\ln T_{it}^2$ لگاریتم متوسط دمای کل در سطح و مجذور آن در طول دوره رشد محصول i در زمان t ، $\ln R_{it}$ و $\ln R_{it}^2$ لگاریتم متوسط بارش کل در سطح و مجذور آن در طول دوره رشد محصول i در زمان t ، $\ln EC_{it}$ لگاریتم شوری محصول i در زمان t ، $\ln LABOR_{it}$ لگاریتم نیروی کار محصول i در زمان t ، $\ln SEED_{it}$ لگاریتم بذر محصول i در زمان t ، $(LABOR_{it} * SEED_{it})$ اثر متقابل بذر و نیروی کار محصول i در زمان t ، $(T_{it} * R_{it})$ اثر متقابل دما بارش محصول i در زمان t ، $(EC_{it} * R_{it})$ اثر متقابل شوری و بارش محصول i در

نتایج و بحث

تحلیل کیفیت آب رودخانه طالقان

از آنجایی که کیفیت آب رودخانه تحت تأثیر دبی و بارش است؛ بنابراین برای تعیین سال‌های خشکسالی برای شرایط کم آبی از شاخص SPI استفاده شد. براساس این شاخص، سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۹۴، ۱۳۸۸-۱۳۸۷، ۱۳۷۷-۱۳۸۷ و ۱۳۸۶-۱۳۸۷ به ترتیب به عنوان سال‌های نرمال، خشکسالی متوسط، خشکسالی شدید و خشکسالی خیلی شدید انتخاب شدند. با استفاده از نرم‌افزار QUAL2K شبیه‌سازی EC در سال‌های مذکور انجام و پس از واسنجی مدل، شبیه‌سازی در شرایط بحرانی صورت گرفت و با داده‌های واقعی مقایسه شد. همان‌طور که انتظار می‌رفت، نتایج شبیه‌سازی نشان داد که EC رودخانه تابعی از دبی آن است و علاوه بر دبی، مقدار روان‌آب زهکش‌ها نیز بر شوری در رودخانه تأثیر می‌گذارد؛ به طوری که در سال‌های پرآب، EC کاهش یافته و در سال‌های خشکسالی، EC افزایش یافته است. نتایج نشان داد که EC در طی دوره‌های خشکسالی متوسط، خشکسالی شدید و خشکسالی خیلی شدید نسبت به دوره نرمال به ترتیب ۲۰،۵، ۴۱،۳ و ۵۷،۸ درصد افزایش یافته است. سپس درصد تغییرات بارش در طی سال‌های مذکور نسبت به سال نرمال محاسبه شد. بر این اساس، بارش در طی

دوره‌های خشکسالی متوسط، خشکسالی شدید و خشکسالی خیلی شدید نسبت به دوره نرمال به ترتیب ۳۱،۵۸۱، ۴۴،۰۳۳ و ۵۱،۳۳۱ درصد کاهش می‌یابد.

برآورد تابع ریکاردین

به منظور تخمین معادله (۷)، ابتدا با استفاده از آزمون بریتونگ و هادری به بررسی ریشه واحد در این متغیرها پرداخته شد. با توجه به نتایج جدول (۱)، براساس آزمون هادری، کلیه متغیرها در سطح یک درصد معنادار هستند و حکایت از رد فرض صفر مبنی بر وجود ریشه واحد دارد؛ ولی براساس آزمون بریتونگ متغیرهای لگاریتم مجذور دما، لگاریتم شوری و لگاریتم اثرات متقابل دما و بارش با یک تفاضل‌گیری و متغیرهای لگاریتم نیروی کار و لگاریتم اثرات متقابل بذر و نیروی کار با دو تفاضل‌گیری معنادار شدند. پس از آزمون مانایی متغیرها، به منظور تعیین ارتباط بلندمدت میان متغیرهای مدل از آزمون هم‌انباشتگی کائو شد که نتایج آن در انتهای جدول زیر نوشته شده است. این آزمون وجود هم‌انباشتگی بین متغیرها و وجود ارتباط تعادلی بلندمدت بین آن‌ها را تأیید می‌کند و نشان می‌دهد باقی‌مانده متغیرها انباشته از درجه صفر هستند.

جدول ۱: نتایج آزمون مانایی متغیرها

متغیرها	آماره بریتونگ	وضعیت مانایی	آماره هادری	وضعیت مانایی
لگاریتم درآمد خالص	$(0,0379) - 1,775$	I(0)	$(0,0000) 6,143$	I(0)
لگاریتم دما	$(0,9357) 1,520$	I(0)	$(0,0038) 2,666$	I(0)
لگاریتم مجذور دما	$(0,0403) - 1,748$	I(1)	$(0,0049) 2,584$	I(0)
لگاریتم بارش	$(0,0001) - 3,807$	I(0)	$(0,0000) 5,835$	I(0)
لگاریتم مجذور بارش	$(0,0001) - 3,827$	I(0)	$(0,0000) 6,173$	I(0)
لگاریتم شوری	$(0,0000) - 4,273$	I(1)	$(0,0000) 4,712$	I(0)
لگاریتم بذر	$(0,0574) - 1,577$	I(0)	$(0,0359) 1,801$	I(0)
لگاریتم نیروی کار	$(0,0746) - 1,442$	I(2)	$(0,0000) 4,260$	I(0)
لگاریتم اثرات متقابل دما و بارش	$(0,0002) - 3,526$	I(1)	$(0,0000) 7,377$	I(0)
لگاریتم اثرات متقابل شوری و دما	$(0,0321) - 1,851$	I(0)	$(0,0013) 3,022$	I(0)
لگاریتم اثرات متقابل شوری و بارش	$(0,0070) - 2,456$	I(0)	$(0,0000) 5,551$	I(0)
لگاریتم اثرات متقابل بذر و نیروی کار	$(0,0191) - 2,073$	I(2)	$(0,0035) 2,697$	I(0)
آزمون کائو	آماره t (احتمال)	$(0,0000) - 4,465$		

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۴-۱۳۷۹

وارد شده است. همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده، بیشتر متغیرها اعم از خطی و درجه دوم و اثرات متقابل آن‌ها معنادار شده است. براساس نتایج جدول شماره ۳، دما، بارش و شوری در سطح پنج، یک و ده درصد بر رانت زمین کشاورزی تأثیر می‌گذارند؛ به‌گونه‌ای که دما و شوری دارای اثر منفی و بارش دارای اثر مثبت است؛ به عبارت دیگر با افزایش دما و شوری، رانت زمین‌های کشاورزی کاهش و با افزایش بارش، رانت زمین‌های کشاورزی افزایش می‌یابد؛ بنابراین، افزایش شوری و کاهش بارش در طی دوره‌های خشکسالی منجر به کاهش تولید و رانت زمین‌های کشاورزی می‌شود. متغیرهای لگاریتم بذر در سطح پنج درصد و نیروی کار در سطح یک درصد معنادار شده و دارای اثر منفی بر رانت است که نشان از وجود این نهاده‌ها در ناحیه سوم تولید دارد. متغیرهای برآوردی درجه دوم بیانگر رابطه U شکل این متغیرها با رانت است که نقاط بحرانی آن با مشتق‌گیری قابل‌محاسبه است. نتایج تأثیر متقابل متغیرهای شوری و بارش و متغیرهای دما و بارش به ترتیب در سطح ده و پنج درصد

پس از پایایی متغیرها باید نوع مدل مشخص شود. بدین ترتیب، ابتدا با استفاده از آزمون لیمر به انتخاب از بین الگوی پانل و تلفیقی پرداخته شد. براساس نتایج این آزمون در جدول (۲)، مقدار F لیمر، ۸,۴۴۵ و احتمال آن ۰,۰۰۰۱ به دست آمد که نشان‌دهنده رد فرضیه داده‌های تلفیقی و پذیرش مدل به صورت پانل است. در مرحله بعد به منظور تشخیص استفاده از اثرات ثابت یا تصادفی از آزمون هاسمن استفاده شده است. نتایج این آزمون نشان می‌دهد که بین آثار تصادفی و متغیرهای توضیحی همبستگی وجود دارد و استفاده از اثرات ثابت به منظور برآورد مدل مناسب‌تر است.

جدول ۲: نتایج آزمون لیمر و هاسمن

آزمون	مقدار آماره	احتمال
آزمون F لیمر	۸,۴۴۵	۰,۰۰۰۱
آزمون هاسمن	۱۲,۷۲۰	۰,۰۰۵۳

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۴-۱۳۷۹

جدول (۳) نتایج نهایی تخمین مدل را نشان می‌دهد. در این مدل علاوه بر دما و بارش و شوری، اثرات متقابل آن‌ها نیز به دلیل اهمیت آن در مدل

متقابل نهاده‌های مصرفی بذر و نیروی کار و اثرات متقابل شوری و دما در هیچ یک از سطوح معنادار نیست.

معنادار شده و بیانگر تأثیر معنادار همزمان این دو متغیر بر رانت زمین کشاورزی است؛ به بیان دیگر، متغیرهای شوری و بارش و متغیرهای دما و بارش در کنار یکدیگر موجب کاهش رانت زمین می‌شود. اثرات

جدول ۳: نتایج برآورد مدل ریکاردین

متغیرها	ضریب	آماره t	احتمال
عرض از مبدأ	۳,۴۶۲	۳,۹۹۹	* ۰,۰۰۰۱
لگاریتم درآمد خالص (-۱)	۰,۸۳۳	۲۳,۱۴۷	* ۰,۰۰۰۰
لگاریتم دما	-۱,۳۲۲	-۲,۰۰۴	** ۰,۰۴۶۳
لگاریتم مجذور دما	۳,۲۹۰	۲,۱۶۳	** ۰,۰۳۱۶
لگاریتم بارش	۰,۱۹۱	۲,۹۸۰	* ۰,۰۰۳۲
لگاریتم مجذور بارش	-۱,۰۱۷	-۲,۱۹۳	** ۰,۰۲۹۳
لگاریتم شوری	-۰,۶۲۸	-۱,۶۹۹	*** ۰,۰۹۰۷
لگاریتم بذر	-۰,۰۲۷	-۲,۵۳۹	** ۰,۰۱۱۸
لگاریتم نیروی کار	-۰,۰۹۳	-۲,۸۲۰	* ۰,۰۰۵۲
لگاریتم اثرات متقابل شوری و بارش	-۴,۱۸۲	-۱,۸۲۸	*** ۰,۰۶۸۸
لگاریتم اثرات متقابل شوری و دما	۰,۲۲۵	۰,۲۴۶	ns ۰,۸۰۵۷
لگاریتم اثرات متقابل بذر و نیروی کار	۰,۰۱۵	۰,۱۲۶	ns ۰,۹۰۰۲
لگاریتم اثرات متقابل دما و بارش	-۰,۵۲۷	-۲,۱۰۳	** ۰,۰۳۶۵
R ²	۰,۹۲۴		
DW	۲,۴۱		

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۴-۱۳۷۹ (*، ** و *** به ترتیب معنی‌دار در سطح یک، پنج و ده درصد و ns بیانگر عدم معنی‌داری است)

کشاورزی می‌شود. همان‌طور که در جدول شماره ۴ نشان داده شده است، در طی دوره خشکسالی متوسط رانت زمین به میزان ۱۷,۷ درصد کاهش می‌یابد و در طی دوره خشکسالی خیلی شدید، این تغییرات به ۴۲,۴ درصد تغییر می‌کند که رقم قابل توجهی است.

پس از برآورد مدل ریکاردین برای محصولات مورد مطالعه و محاسبه درصد تغییرات شوری و بارش نسبت به دوره نرمال، در ادامه به بررسی اثرات خشکسالی و شوری بر رانت زمین‌های کشاورزی (درآمد خالص) پرداخته شد. خشکسالی و به تبع آن افزایش شوری، موجب تغییر منفی در رانت زمین‌های

جدول ۴: درصد تغییرات رانت زمین‌های کشاورزی ناشی از سناریوهای خشکسالی

درصد تغییر رانت زمین	سناریو خشکسالی		سناریو
	درصد تغییرات شوری	درصد تغییرات بارش	
-۱۷,۷۱	۲۰,۵۱	-۲۹,۰۲	خشکسالی متوسط
-۳۲,۰۰	۴۱,۲۷	-۴۳,۰۲	خشکسالی شدید
-۴۲,۴۳	۵۷,۷۷	-۵۰,۵۷	خشکسالی خیلی شدید

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۴-۱۳۷۹

نتیجه

این مطالعه با توجه به اهمیت خشکسالی و شوری و تأثیر آن بر بخش کشاورزی، با هدف بررسی تأثیر متغیرهای بارش و شوری در طی دوره‌های خشکسالی بر رانت‌زمین‌های کشاورزی (درآمدخالص) محصولات منتخب (گندم آبی، جو آبی، ذرت دانه‌ای و چغندر) به صورت داده‌های ترکیبی با استفاده از روش ریکاردین در طی دوره ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۴ انجام گرفت. ابتدا با استفاده از شاخص SPI دوره‌های خشکسالی مشخص شد و میزان کاهش بارندگی در این دوره‌ها به دست آمد و با استفاده از مدل QUAL2K به شبیه‌سازی شوری آب در این دوره‌ها پرداخته شد.

نتایج حاصل از مدل QUAL2K نشان می‌دهد که کیفیت رودخانه طالقان تابعی از دبی آن است؛ به گونه‌ای که با شروع دوره‌های خشکسالی و کاهش دبی، شوری آب افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از این مطالعه در رابطه با ارتباط دبی رودخانه با کیفیت آب با مطالعات وفاخواه و صادقی (۱۳۸۸) و ریبرو و آراژو (۲۰۰۲) مطابقت دارد.

همچنین به دلیل اهمیت اثرات متغیرهای دما، بارش و شوری بر محصولات کشاورزی، با استفاده از مدل ریکاردین به بررسی اثرات متغیرهای اقلیمی (دما و بارش) و کیفیت آب (شوری) بر رانت زمین‌های کشاورزی پرداخته شد. نتایج این بخش از مطالعه نشان می‌دهد که متغیر دما دارای تأثیر منفی، بارش تأثیر مثبت و شوری نیز تأثیر منفی بر رانت زمین‌های کشاورزی دارد. مجاوریان و همکاران (۱۳۹۴) و واثقی و اسماعیلی (۱۳۸۷) نیز در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که بارش دارای تأثیر مثبت و دما دارای تأثیر منفی بر رانت زمین‌های کشاورزی است. همچنین لیو و همکاران (۲۰۰۴) نیز در تحقیقی مشابه به این نتیجه رسیدند که دما و بارش دارای تأثیر مثبت بر زمین‌های کشاورزی است. همچنین نتایج نشان داد که در سناریوهای وقوع طبقات

خشکسالی (متوسط، شدید و خیلی شدید) و کاهش کیفیت آب، رانت زمین‌های کشاورزی به میزان زیادی کاهش می‌یابد و در مجموع خشکسالی و کاهش کیفیت آب می‌تواند خطرات جدی برای درآمد کشاورزان در پی داشته باشد. با توجه به اینکه رانت فعلی زمین‌های کشاورزی برای بهره‌برداران قابل‌ملاحظه نیست، پیش‌بینی می‌شود پدیده خشکسالی و افزایش شوری در طی سال‌های آینده دارای ابعاد وسیع‌تری شود.

با توجه به یافته‌های تحقیق پیشنهاد می‌شود که چتر بیمه‌ای به منظور در نظر گرفتن اثرات کیفی ناشی از خشکسالی گسترش یابد. در چنین حالتی زیان‌هایی که در نتیجه کاهش در کیفیت منابع بر کشاورز تحمیل شده‌است، قابل‌جبران خواهند بود. همچنین، افزایش کارایی آب در مزرعه به شرط بهبود کارایی آب در سطح حوزه به منظور کاهش آسیب‌پذیری اثرات خشکسالی در دستور کار قرار گیرد. با توجه به اینکه در تحقیق حاضر به منظور بررسی اثرات خشکسالی بر رانت زمین‌های کشاورزی، از مدل داده‌های ترکیبی بهره گرفته شده‌است، توصیه می‌شود در مطالعات آینده در منطقه به صورت مجزا برای هر محصول صورت پذیرد تا محصولاتی که نسبت به متغیرهای اقلیمی و شوری دارای حساسیت بیشتری هستند، مشخص شود. از طرف دیگر، با توجه تغییرات رانت زمین‌های کشاورزی در شرایط خشکسالی و افزایش شوری آب کشاورزی، پیشنهاد می‌شود الگوی کشت منطقه براساس رانت زمین‌های کشاورزی در این مناطق آسیب‌پذیر اعمال شود و گیاهانی که در برابر خشکسالی و شوری مقاوم هستند، در منطقه کشت شود؛ از این رو با توجه به وقوع خشکسالی‌های متعدد در کشور و تأثیر مستقیم آن بر کیفیت آب، تدوین یک برنامه جامع و اقدام عملی در جهت تطبیق و مقابله با این پدیده برای کاهش اثرات آن امری ضروری است.

منابع

- چنار، علیرضا (۱۳۸۸). ارزیابی و نظارت بر خشکسالی در استان‌های آذربایجان شرقی، غربی و اردبیل با استفاده از تصاویر AVHRR، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور و GIS. دانشگاه تربیت مدرس. تهران.
- <https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/9436098feaf7ad2c1f3e0e7fb247290/search/b90af98164e81a9f40ec958787bad16d>
- خدام‌محمدی، محمد مهدی؛ فردین بوستانی (۱۳۹۵). ارزیابی توان خودپالایی و نقش اکسیژن محلول در کیفیت آب رودخانه کر (مطالعه موردی: پایین‌دست سد درودزن تا دریاچه طشک- بختگان)، فصلنامه علمی- پژوهشی مهندسی منابع آب. دوره ۹. شماره ۳۰. صفحات ۹۶-۸۷.
- http://journals.miau.ac.ir/article_2119.html
- خلیلیان، صادق؛ کتایون شمشادی؛ ابوالقاسم مرتضوی؛ مجید احمدیان (۱۳۹۳). بررسی اثرات رفاهی ناشی از تغییر اقلیم بر روی محصول گندم در ایران، نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی. دوره ۲۸. شماره ۳. صفحات ۳۰۰-۲۹۲.
- https://jead.um.ac.ir/article_32642.html
- خوب، نازنین؛ بابک امین‌نژاد؛ امین امید (۱۳۹۶). پایش کیفی و تعیین سهم رودخانه‌های واریزی بر افزایش شوری رودخانه قزل‌اوزن در محدوده استان زنجان با استفاده از نرم‌افزار عددی QUAL2K. فصلنامه علمی- پژوهشی مهندسی منابع آب. دوره ۱۰. شماره ۳۲. صفحات ۳۳-۴.
- http://wej.miau.ac.ir/article_2300.html?lang=fa
- رضیعی، طیب؛ پیمان دانش‌کارآراسته؛ روح‌انگیز اختری؛ بهرام تقفیان (۱۳۸۶). بررسی خشکسالی‌های هواشناسی (اقلیمی) در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه SPI و مدل زنجیره مارکف، نشریه تحقیقات منابع آب ایران. دوره ۳. شماره ۱. صفحات ۳۵-۲۵.
- http://iwrr.sinaweb.net/article_15467.html
- زراعت‌نژاد، منصور؛ ابراهیم انواری (۱۳۸۴). کاربرد داده‌های ترکیبی در اقتصادسنجی، فصلنامه اقتصاد مقداری. دوره ۲. شماره ۴. صفحات ۵۲-۲۱.
- <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=79770>
- اداره کل مدیریت بحران استانداری اصفهان. (۱۳۹۰). گزارش وضعیت خشکسالی کشور.
- http://hoshdarisf.ir/index.aspx?page=download&lang=1&tempname=daftarbohran&sub=44&PageID=285&PageIDF=45&BlockName=tool_download_sample_daftarbohran_block1464
- باقری سیدشکری، سجاده؛ عباس علی‌پور؛ سامان معروف‌پور؛ مصطفی هاشمی (۱۳۹۷). توسعه مدل‌های مناسب نرم در برآورد کیفیت جریان رودخانه با استفاده از ترکیب ورودی‌های مختلف، نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۲. شماره ۶۳. صفحات ۲۵-۱.
- https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_7446.html?lang=fa
- بوستانی، فردین؛ احسان گوهرگانی (۱۳۹۳). شبیه‌سازی کیفیت آب رود بشار در محدوده شهر یاسوج با استفاده از شبیه QUAL2K. نشریه مهندسی منابع آب. دوره ۷. شماره ۲۳. صفحات ۹۸-۸۵.
- http://journals.miau.ac.ir/article_736.html
- بی‌نام (۱۳۸۶). مرکز آمار و اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی.
- https://daj.maj.ir/Dorsapax/userfiles/Sub65/amarna_mehJ1-85-86.pdf
- بهرامی، مهدی؛ هادی معاضد؛ حیدر زارعی؛ عدنان صادقی لاری (۱۳۸۸). بررسی تأثیر سازند گچساران بر کیفیت آب رودخانه زهره در کهگیلویه و بویراحمد، هشتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه. اهواز. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- <https://civilica.com/doc/86357/>
- پیش‌بهار، اسماعیل؛ سیامک دارپرنیان؛ محمد قهرمان‌زاده (۱۳۹۴). بررسی آثار تغییرات اقلیمی بر عملکرد ذرت دانه‌ای در ایران: کاربرد رهیافت اقتصادسنجی فضایی با داده‌های پانلی، مجله تحقیقات اقتصاد کشاورزی. دوره ۷. شماره ۲. صفحات ۱۰۶-۸۳.
- http://jae.miau.ac.ir/article_865.html
- چکشی، بهاره (۱۳۷۹). بررسی جنبه‌های زیست‌محیطی پدیده خشکسالی و سیل، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب. جلد اول.
- <https://civilica.com/doc/81226/>

-قنبری، سیروس؛ حبیب‌الله بیاد (۱۳۹۵). تحلیل پیامدهای اقتصادی و اجتماعی خشکسالی سال ۱۳۸۶ بر کشاورزی مناطق روستایی (مطالعه موردی: روستاهای دهستان اسماعیلی سفلی، شهرستان جیرفت)، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. دوره ۶. شماره ۲۳. صفحات ۸۸-۶۴.

http://journals.hsu.ac.ir/jarhs/browse.php?a_code=A-10-944-1&slc_lang=fa&sid=1

-کشاورز، مرضیه؛ عزت‌الله کرمی (۱۳۸۷). سازه‌های اثرگذار بر مدیریت خشکسالی کشاورزان و پیامدهای آن: کاربرد مدل معادلات ساختاری، نشریه علوم آب‌و خاک. دوره ۱۲. شماره ۲۳. ۲۸۳-۲۶۷.

https://jstnar.iut.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-2-836&slc_lang=fa&sid=1

-کیانی، علیرضا؛ مجتبی خوش‌روش (۱۳۹۰). آب و امنیت غذایی. مجله علمی تخصصی کشاورزی زیتون. دوره ۳۱. شماره ۲۱۵. صفحات ۲۰۱-۱۸۰.

<http://pr.maj.ir/portal/File/ShowFile.aspx?ID=73c7cb1c-4776-4642-a293-edfc12f235ba>

-مجاوریان، مجتبی؛ سینا احمدی کلیجی؛ مرضیه امین روان (۱۳۹۴). کاربرد روش ریکاردین در بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر رانت زمین‌های کشاورزی، مجله تحقیقات و اقتصاد کشاورزی ایران. دوره ۴۶. شماره ۳. صفحات ۴۹۱-۴۸۱.

https://ijaedr.ut.ac.ir/article_55521.html

-مساعدی، ابوالفضل؛ مجتبی خلیلی‌زاده؛ امین محمدی استادکلایه (۱۳۸۷). پایش خشکسالی هواشناسی در سطح استان گلستان، نشریه علوم کشاورزی و منابع طبیعی. دوره ۱۵. شماره ۲. صفحات ۱۸۲-۱۷۶.

<https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=82398>

-مساعدی، ابوالفضل؛ محمد قبائی سوق (۱۳۹۰). تصحیح شاخص بارش استاندارد شده (SPI) براساس انتخاب مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال، نشریه علوم و صنایع کشاورزی. دوره ۲۵. شماره ۲. صفحات ۱۲۱۶-۱۲۰۶.

https://jsw.um.ac.ir/article_35477.html

-ساعدی، زهرا؛ مهنوش مقدسی؛ شهلا پایمزد؛ امیرحسین فراهانی (۱۳۹۸). بررسی رابطه خشکسالی هیدرولوژیکی در واکنش به خشکسالی هواشناسی و اثرات مخزن (مطالعه موردی: حوضه آبریز زاینده‌رود)، نشریه تحقیقات آب و خاک ایران دوره ۵۰. شماره ۹. ۲۳۵۳-۲۳۴۱.

https://jswr.ut.ac.ir/article_74717.html

-سلطانی گردفرامری، مهدیه؛ غلامعلی مظفری؛ شهاب شفیعی (۱۳۹۷). تحلیل اثرات خشکسالی‌های اقلیمی اخیر بر میزان شوری آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین‌آماري و GIS در دشت یزد- اردکان، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی. دوره ۲۷. شماره ۱۰۶. صفحات ۱۹۹-۱۷۹.

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=357791>

-سلیمانی، سمیه؛ محمدحسین محمودی قرایی؛ فرشته قاسم‌زاده؛ علیرضا سیاره (۱۳۹۲). بررسی تغییرات کیفی منابع آب باختر کوهسرخ با استفاده از شاخص کیفی GQI در محیط GIS. فصلنامه علمی- پژوهشی علوم زمین. دوره ۲۳. شماره ۸۹. صفحات ۱۸۲-۱۷۵.

http://www.gsjournal.ir/article_53601.html

-شفیعی، مجتبی؛ بیژن قهرمان؛ حسین انصاری؛ محمدباقر شریفی (۱۳۹۰). شبیه‌سازی تصادفی شدت خشکسالی براساس شاخص پالمر، مجله مدیریت آب و آبیاری. دوره ۱. شماره ۱. صفحات ۱۳-۱.

https://jwim.ut.ac.ir/article_23381.html?lang=fa

-صبحانی‌نسب، یوسف (۱۳۸۸). اثرات زیست‌محیطی و اقتصادی- اجتماعی خشکسالی، مجموعه مقالات همایش منطقه‌ای بحران آب و خشکسالی، رشت، دانشگاه آزاد اسلامی رشت. صفحات ۷۹۹-۷۹۵.

<https://civilica.com/doc/64602/>

-قربانی، حمید؛ عباسعلی ولی؛ هادی زارع‌پور (۱۳۹۸). پیش‌بینی و بررسی روند خشکسالی با استفاده از سری زمانی SARIMA و شاخص SPI در استان اصفهان، نشریه علوم آب و خاک. دوره ۲۳. شماره ۴. صفحات ۳۲۸-۳۱۳.

<https://jstnar.iut.ac.ir/article-1-3840-fa.html>

- مصطفی‌زاده، رئوف؛ محسن ذبیحی (۱۳۹۵). تحلیل و مقایسه شاخص‌های SPI و SPEI در ارزیابی خشکسالی هواشناسی با استفاده از نرم‌افزار R (بررسی موردی: استان کردستان)، نشریه فیزیک زمین و فضا. دوره ۴۲. شماره ۳. صفحات ۶۴۳-۶۳۳.
https://jesphys.ut.ac.ir/article_57881.html
- ملکی‌نژاد، حسین؛ مهدی سلیمانی مطلق (۱۳۹۰). بررسی شدت خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک در حوضه چغلوندی، مجله پژوهش آب ایران. دوره ۵. شماره ۹. صفحات ۷۱-۶۱.
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=178384>
- نصیر احمدی، کامران؛ ذبیح‌الله یوسفی؛ احمد ترسلی (۱۳۹۱). پهنه‌بندی کیفیت آب رودخانه هراز براساس شاخص NSFQI. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران. دوره ۲۲. شماره ۹۲. صفحات ۷۲-۶۴.
http://jmums.mazums.ac.ir/browse.php?a_id=1304&sid=1&slc_lang=fa
- نوشادی، مسعود؛ محمدرضا حاتمی‌زاده (۱۳۸۹). اندازه‌گیری و شبیه‌سازی کیفی رودخانه کر با استفاده از مدل QUAL2K. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. دوره ۴. شماره ۳. صفحات ۳۴۹-۳۳۸.
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=204748>
- واثقی، الهه؛ عبدالکریم اسماعیلی (۱۳۸۷). بررسی اثر اقتصادی تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی ایران: روش ریکاردین: مطالعه موردی گندم، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. دوره ۱۲. شماره ۴۲. صفحات ۶۹۶-۶۸۵.
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=94402>
- واثقی، الهه؛ عبدالکریم اسماعیلی (۱۳۸۷). اثر تغییرات اقلیم بر رانت زمین کشاورزی: مطالعه موردی ذرت، نشریه اقتصاد کشاورزی. دوره ۲. شماره ۳. صفحات ۶۷-۴۷.
https://jstnar.iut.ac.ir/browse.php?a_id=952&sid=1&slc_lang=fa
- وفاخواه، مهدی؛ حمیدرضا صادقی (۱۳۸۸). ارتباط بین پارامترهای شیمیایی کیفیت و دبی آب رودخانه هراز. همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران (مدیریت پایدار بلایای طبیعی). دوره ۵.
<https://www.sid.ir/fa/seminar/ViewPaper.aspx?ID=12637>
- مریدی، علی؛ رضا کراچیان؛ محمد ذکایی (۱۳۹۵). تحلیل وضعیت کیفیت منابع آب ایران (دوره ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳)، نشریه تحقیقات منابع آب ایران. دوره ۱۲. شماره ۴. صفحات ۲۳-۳.
http://iwrr.sinaweb.net/article_42102.html
- هاتف، بهادر؛ ابوذر غفاری؛ شراره دانشخواه؛ راضیه ایمانی (۱۳۸۸). تأمین و توزیع آب شرب در مناطق روستایی با توجه به بحران‌های زلزله و خشکسالی با دیدگاه بررسی استان فارس، همایش ملی مدیریت بحران آب.
<https://www.sid.ir/Fa/Seminar/ViewPaper.aspx?ID=6400>
- هدی پورنیک‌تراش، پگاه؛ حسام قدوسی؛ کیومرث ابراهیمی (۱۳۹۷). شبیه‌سازی و بررسی تغییرات فصلی کیفیت آب رودخانه طالقان با استفاده از مدل ریاضی، نشریه علون آب و خاک. دوره ۲۲. شماره ۴. صفحات ۴۱۰-۳۹۹.
https://jstnar.iut.ac.ir/browse.php?a_id=3543&sid=1&slc_lang=fa
- هاشمی، حسین؛ الهام قاسمی زیارانی؛ یوسف رنجکش (۱۳۹۰). سهم‌بندی بار آلودگی ورودی از زیرحوضه‌ها به مخزن سد امیرکبیر با استفاده از مدل QUAL2K، نشریه محیط‌شناسی. دوره ۳۷. شماره ۵۷. صفحات ۸-۱.
<https://www.sid.ir/Fa/Seminar/ViewPaper.aspx?ID=6400>
- Amiraslany, A. (2010). The impact of climate change on Canadian agriculture: A Ricardian approach. Citeseer.
https://central.bac-lac.gc.ca/item?id=NR92042&op=pdf&app=Library&oclc_number=1019490513
- Aslam, M., Zamir, M., Afzal, I., Yaseen, M., Mubeen, M. and Shoaib, A. (2013). Drought stress, its effect on maize production and development of drought tolerance through potassium application. Cercetări Agronomice în Moldova, 46(2): 99-114.
https://www.uaiasi.ro/CERCET_AGRMOLD/CA_2-13-09.pdf
- Attrill, M.J. and Power, M. (2000). Modelling the effect of drought on estuarine water quality. Water Research, 34(5): 1584-1594.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004313549900305X>
- Barnwell Jr, T.O., Brown, L.C. and Whittemore, R.C (2004). Importance of field data in stream water quality modeling using QUAL2E-UNCAS. Journal of Environmental Engineering, 130(6): 643-647.
[https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2004\)130:6\(643\)](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9372(2004)130:6(643))

- Gbetibouo, G.A. and Hassan, R. (2005). Measuring the economic impact of climate change on major South African field crops: a Ricardian approach. *Global and planetary change*, 47(2-4): 143-152.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921818104001948>
- Gupta, K. and Gupta, M. (2003). The Woes of Women in Drought Social Environmental and Economic Impacts. *Women and Environments International*: 12-13.
https://www.researchgate.net/publication/284099411_The_woes_of_women_in_drought_social_environmental_and_economic_impacts
- Iran Second National Communication to UNFCCC. (2010). Climate change office. Department of environment. Islamic Republic of Iran.
<https://unfccc.int/resource/docs/natc/iran2.pdf>
- Kannel, P.R., Lee, S., Lee, Y.-S., Kanel, S. and Pelletier, G. (2007). Application of automated QUAL2Kw for water quality modeling and management in the Bagmati River, Nepal. *ecological modelling*, 202(3-4): 503-517.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304380007000051>
- Kurukulasuriya, P., Mendelsohn, R., Hassan, R., Benhin, J., Deressa, T., Diop, M., Eid, H.M., Fosu, K.Y., Gbetibouo, G. and Jain, S. (2006). Will African agriculture survive climate change? *The World Bank Economic Review*, 20(3): 367-388.
<https://academic.oup.com/wber/article-abstract/20/3/367/1664186>
- Liu, H., Li, X., Fischer, G. and Sun, L. (2004). Study on the impacts of climate change on China's agriculture. *Climatic Change*, 65(1-2): 125-148.
<https://link.springer.com/article/10.1023/B:CLIM.0000037490.17099.97>
- Mathew, M., Yao, Y., Cao, Y., Shodhan, K., Ghosh, I., Bucci, V., Leitao, C., Njoka, D., Wei, I. and Hellweger, F.L. (2011). Anatomy of an urban waterbody: A case study of Boston's Muddy River. *Environmental pollution*, 159(8-9): 1996-2002.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749111000923>
- McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. Paper presented at the Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology.
<https://climate.colostate.edu/pdfs/relationshipofdroughtfrequency.pdf>
- Mendelsohn, R., Nordhaus, W.D. and Shaw, D. (1994). The impact of global warming on agriculture: a Ricardian analysis. *The American Economic Review*: 753-771.
<https://www.jstor.org/stable/2118029>
- Barros, M.C., Mendo, M.J.M. and Negro, F.C. (1995). Surface water quality in Portugal during a drought period. *Science of the total environment*, 171(1-3): 69-76.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969795046717>
- Benhin, J.K. (2008). South African crop farming and climate change: An economic assessment of impacts. *Global Environmental Change*, 18(4): 666-678.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378008000472>
- Bonaccorso, B., Bordi, I., Cancelliere, A., Rossi, G. and Sutera, A. (2003). Spatial variability of drought: an analysis of the SPI in Sicily. *Water resources management*, 17(4): 273-296.
<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1024716530289>
- Chapra, S.C. (2008). *Surface water-quality modeling*: Waveland press.
https://www.researchgate.net/profile/Steven-Chapra/publication/48447645_Surface_Water-Quality_Modeling/links/0fcfd510a6a96a337b000000/Surface-Water-Quality-Modeling.pdf
- Dracup, J.A., Lee, K.S. and Paulson Jr, E.G. (1980). On the definition of droughts. *Water Resources Research*, 16(2): 297-302.
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/WR016i002p00297>
- Drolc, A. and Končan, J.Z. (1999). Calibration of QUAL2E model for the Sava River (Slovenia). *Water Science and Technology*, 40(10): 111-118.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0273122399006812>
- Edwards, D.C. (1997). Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales: AAIR FORCE INST OF TECH WRIGHT-PATTERSON AFB OH.
<https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA325595>
- Eid, H.M., El-Marsafawy, S.M. and Ouda, S.A. (2007). Assessing the economic impacts of climate change on agriculture in Egypt: a Ricardian approach.
https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1004407
- Fezzi, C. and Bateman, I. (2012). Non-linear effects and aggregation bias in Ricardian models of climate change: CSERGE working paper.
<https://www.econstor.eu/handle/10419/121953>
- Fontaine, F.J., Wilcock, W.S., Foustoukos, D. E. and Butterfield, D.A. (2009). ASI- CI geothermobarometer for the reaction zone of high- temperature, basaltic- hosted mid- ocean ridge hydrothermal systems. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10(5).
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2009GC002407>

- Van der Molen, M.K., Dolman, A.J., Ciais, P., Eglin, T., Gobron, N., Law, B.E., Meir, P., Peters, W., Phillips, O.L. and Reichstein, M. (2011). Drought and ecosystem carbon cycling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(7): 765-773.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168192311000517>
- Van Loon, A. Laaha, G. (2016). Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. *Journal of Hydrology*, 49(6): 3-14.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S022169414008543>
- Vlček, O. and Huth, R. (2009). Is daily precipitation Gamma-distributed?: Adverse effects of an incorrect use of the Kolmogorov–Smirnov test. *Atmospheric Research*, 93(4): 759-766.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809509000854>
- Wilhite, D.A. (2000.) *Drought: A Global Assessment*, Routledge press, London and New York, Volume I.
<https://www.worldcat.org/title/drought-a-global-assessment-vol-i-and-ii/oclc/959037886>
- Wilhite, D.A. and Wood, D.A. (2001). Revisiting Drought Relief and Management Efforts in the West: Have We Learned from the Past?
<https://digitalcommons.unl.edu/droughtfacpub/52/>
- Wu, H., Svoboda, M.D., Hayes, M.J., Wilhite, D.A. and Wen, F. (2007). Appropriate application of the standardized precipitation index in arid locations and dry seasons. *International Journal of Climatology*, 27(1): 65-79.
<https://core.ac.uk/download/pdf/188114318.pdf>
- Zhang, R., Qian, X., Yuan, X., Ye, R., Xia, B. and Wang, Y (2012). Simulation of water environmental capacity and pollution load reduction using QUAL2K for water environmental management. *International journal of environmental research and public health*, 9(12): 4504-4521.
<https://www.mdpi.com/1660-4601/9/12/4504>
- Zhang, R., Gao, H., Zhu, W., Hu, W. and Ye, R. (2015). Calculation of permissible load capacity and establishment of total amount control in the Wujin River Catchment—a tributary of Taihu Lake, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(15): 11493-11503.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-015-4311-3>
- Nairizi, S. (2017). *Drought and Water Scarcity*.
https://www.icid.org/drought_pub2017.pdf
- Pedroni, P. (1999). Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. *Oxford Bulletin of Economics and statistics*, 61(S1): 653-670.
https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1468-0084.0610s1653?casa_token=hHN9NuWJjdMAAAAA:VyhuwGJ3sFa21UvJCwgn_VpIIXDp18Ir8IjF0-CYRker-76tQy13INE24N5js3PwJ_bIqHlt1Sc5AhZz
- Polsky, C (2004). Putting space and time in Ricardian climate change impact studies: agriculture in the US Great Plains, 1969–1992. *Annals of the Association of American Geographers*, 94(3): 549-564.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1111/j.1467-8306.2004.00413.x>
- Rashed, A.A. and El-Sayed, E. (2014). Simulating agricultural drainage water reuse using QUAL2K Model: case study of the Ismailia canal catchment area, Egypt. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 140(5): 05014001.
[https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000715](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000715)
- Ribeiro, C.H. and Araújo, M. (2002). Mathematical modelling as a management tool for water quality control of the tropical Beberibe estuary, NE Brazil. *Nutrients and Eutrophication in Estuaries and Coastal Waters* (pp. 229-237): Springer.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-2464-7_20
- Ricardo, D. (1817). *On the principles of political economy and taxation*. John Murray, London.
<https://www.econlib.org/library/Ricardo/ricP.html>
- Ricardo, D. (1822). *On the protection in agriculture*. John Murray, London.
https://books.google.de/books?hl=en&lr=&id=y8wxAQAAMAAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=On+the+protection+in+agriculture&ots=YesZoP5mY6&sig=sBCv5Ne2BhQQ3BjhIPJEI7uWcQ&redir_esc=y#v=onepage&q=On%20the%20protection%20in%20agriculture&f=false
- Tsakiris, G. and Vangelis, H. (2004). Towards a drought watch system based on spatial SPI. *Water resources management*, 18(1): 1-12.
<https://link.springer.com/article/10.1023/B:WARM.0000015410.47014.a4>

