

EXTENDED ABSTRACT

Investigation of drought time steps and effects of land use changes on quantitative and qualitative water parameters of Plasjan river

N. Bahrami-Damaneh¹, S. Soltani-Gerdefaramarzi^{2*}, M. Gheysouri³ and A. Azizian⁴

1- M.Sc. Student of Irrigation and Drainage, Department of Water Sciences and Engineering, Collage of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.

2*- Corresponding Author, Associate Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Collage of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran, (ssoltani@ardakan.ac.ir).

3- PhD graduated student in watershed management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.

4- Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Collage of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 6 June 2022

Revised: 1 January 2023

Accepted: 4 January 2023

Keywords:

Correlation, Drought index, Land use, Lag time.

TO CITE THIS ARTICLE:

Bahrami Demneh, N., Soltani-Gerdefaramarzi, S., Gheysouri, M., Azizian, A. (2023). 'Investigation of drought time steps and effects of land use changes on quantitative and qualitative water parameters of Plasjan river', *Irrigation Sciences and Engineering*, 46(3), pp. 103-120. doi: 10.22055/jise.2023.40898.2030.

Introduction

Drought refers to the lack of rainfall in the long term, which is one of the most important natural disasters due to its spatial extent and short-term and long-term economic, social and environmental consequences (Nikbakht and Moradi, 2019). Factors affecting the physical, chemical and microbial properties of surface waters: precipitation, geographical location, climate, geology, industrial activities, domestic wastewater, agriculture, mineral pollutants, etc. can be mentioned (Mishra et al., 2017). In addition to drought, land use changes change the hydrological cycle of the basin and upset the balance between rainfall, evaporation, soil permeability and runoff (Farokhzadeh et al., 2016). Land use is one of the most important factors affecting the quality of surface water resources, especially rivers, as land population changes, land use patterns change. Therefore, runoff from rainfall as well as urban wastewater discharge leads to an increase in the amount of nutrients and other pollutants into rivers and surface water sources (Moradi et al., 2012). Tahiru et al. (2020) investigated the impact of land use change and land cover on water quality in a catchment area in the northern region of Ghana. Their results showed that there is a positive relationship between land use change and land cover and water quality parameters. Soltani-Gerdefaramarzi et al., (2021) investigated the effect of land use on surface water quality under both wet and dry periods in the Godarkhosh watershed. The results showed that barren and residential lands had the greatest impact on surface water quality and rangeland and forest land use showed a negative correlation with water quality parameters. Also, a strong significant relationship was found between water quality parameters and land use in dry years. Lei et al. (2021) investigated the effects of land cover, topography, and soil on water flow quality at multiple and seasonal spatial scales in a German lowland catchment. Overall changes in water quality on larger scales were estimated better in the summer. Due to the location of Iran in the dry land belt, most of its area will experience drought during most days of the year, which will cause changes in water and environmental resources. Biology, economic growth and development, agricultural activities, etc. are essential; on the other hand, land use changes have

a significant impact on surface water quality. This effect can improve or reduce the quality of surface water. These changes have a great adverse effect on the environment and water resources, so the control and monitoring of surface water for various uses is necessary to make water of good quality available to the public. One of the main sources of drinking water, agriculture and industry in Isfahan province is the Eskandari watershed and the Plasjan river. Therefore, paying attention to water resources is one of the appropriate and necessary management measures at the level of the entire basin. Therefore, in the current research, land use changes during two periods of drought and drought have been investigated on the quantitative and qualitative parameters of the Plasjan River.

Methodology

Plasjan river basin is located in the west of Isfahan province in the range of longitude 50°32' and 50° 04' north and latitude 32° 41' and 32° 58' east. The study area is one of the sub-basins of Zayandehrood Dam, which is located in the northern part of this basin. The Zayandehrood Dam watershed is one of the sub-basins of the Central catchment area of Iran, which includes two major sub-basins, the Plasjan River and the main branch of the Zayandehrood. Its average annual discharge is 131 million cubic meters. In this study, to determine the drought period of long-term statistics, 20 years (2000-2020), using the data of synoptics station located in Plasjan watershed, was extracted standard precipitation index (SPI)) and Standardized Discharge Index (SDI). Data from TM and ETM sensors obtained from the USGS site were also used to study land use change. In order to investigate land use changes on quality parameters, were used data recorded by the Isfahan Regional Water Organization. In this study, land use changes during the two years 2006 and 2018 were extracted which indicate wet and dry years respectively.

Results and Discusspn

According to the Standardized Discharge Index (SDI), the trend of drought change has started to increase in the eighties and in a period of 12 months, hydrological drought has occurred one year after meteorological drought and has reduced the quantity of water resources of Plasjan River. Based on the results, there is the highest correlation between the hydrological drought index of the river in the time step of 6 months and the qualitative parameters, so the hydrological drought index of the river in the time step of 6 months has a significant relationship with the qualitative parameters. The correlation coefficient at this time step is positive, indicating that the concentration of some parameters increases with increasing hydrological drought. During the wet season, shrub land and pasture lands were concentrated around the area, which were destroyed by drought and water stress and became barren and urban areas. In the wet period, there is a positive and significant correlation between agricultural use and some water salts such as electrical conductivity of water, water-soluble solids, absorption ratio of sodium, calcium, magnesium, bicarbonate, chlorine and sulfate, which means that with increasing percentage of agricultural area Their concentration has also increased, which in some salts, while it can be useful, causes water hardness, which limits its use in drinking and industry. There is no significant relationship between other land uses and water quality parameters. In the dry season, there is a significant inverse correlation between pasture land use, chlorine and sodium at the level of 5% and was observed a significant inverse correlation between pasture land use and sodium at the level of 1%. This means that by reducing the percentage of pasture area, the amount of sodium, sulfate, chlorine and sodium uptake ratio also increase and reduce water quality. There is also a positive and significant correlation between barren land use and sodium. Urban use has also led to an increase in water-soluble solids. The relationship between land use patterns and surface water quality parameters during dry and wet years in Watershed Plasjan is shown in Table (1).

Table 1- Pearson correlation coefficient between land use area and surface water quality parameters during dry and wet years in Watershed Plasjan

Year 2006 (Wet)					
parameter	Agriculture	Shrubs	Range	Barren	Urban
EC	0.534*	-0.057	-0.087	0.120	-0.381
pH	0.208	-0.077	0.238	0.008	0.171
TDS	0.590**	-0.049	-0.150	0.195	0.366
SAR	-0.634**	-0.266	-0.041	-0.225	0.308
Ca ₂ ⁺	0.494*	-0.244	0.051	0.095	-0.329
Na ⁺	0.000	-0.284	-0.088	0.211	0.324
Mg ₂ ⁺	0.611**	0.0570	-0.317	0.133	0.207
K	0.109	-0.166	0.452	0.095	0.297
CO ₃ ²⁻	-0.139	-0.171	-0.185	0.093	0.181
HCO ₃ ²⁻	0.460*	-0.136	-0.240	0.210	-0.073
Cl ⁻	0.615**	-0.063	0.225	-0.049	0.396
SO ₄ ⁻	0.484*	-0.194	-0.175	0.102	0.222
Year 2018 (Drought)					
EC	0.083	-0.137	0.245	-0.138	-0.212
pH	-0.163	-0.103	0.005	0.099	0.149
TDS	0.066	0.104	-0.238	0.097	0.590**
SAR	-0.012	-0.005	-0.446*	0.402*	0.165
Ca ₂ ⁺	-0.069	0.189	-0.283	0.175	-0.236
Na ⁺	0.002	-0.004	-0.491**	0.176	0.018
Mg ₂ ⁺	0.307	-0.141	-0.109	0.153	0.281
K	-0.101	-0.125	-0.162	0.205	0.333
CO ₃ ²⁻	-0.121	-0.131	-0.459*	0.104	-0.133
HCO ₃ ²⁻	0.249	-0.001	-0.031	0.079	0.252
Cl ⁻	0.271	0.177	-0.461*	-0.319	0.203
SO ₄ ⁻	-0.121	-0.050	-0.404*	0.050	-0.137

(* and ** Respectively significant at the 95% and 99% levels)

Conclusions

Given that there is a water crisis in the developed countries of the world and a large part of surface water is controlled in them, the managers realized that the most appropriate way to deal with the water crisis is to use water optimally and prevent its pollution. Due to the water crisis, the phenomenon of drought can be mentioned, one of the results of drought is a sharp decline in surface and groundwater resources. Today, the availability of sustainable water resources around the world is one of the factors of sustainable economic and social development. The results of meteorological and hydrological droughts indicate an increase in the intensity and persistence of droughts, especially hydrological droughts in the following years of meteorological droughts with a time delay of 12 months. The results show a decrease in the percentage of shrub area (16 percent) and pasture (51 percent) and an increase in agricultural (nine percent), barren (eight percent), and urban and residential (four percent) areas. The reason for the decrease in the percentage of the area of pasture and hand-planted shrubs in 2017 can be mentioned the occurrence of meteorological and hydrological drought during this period in the region and the development of residential and barren areas. The results of this research and similar researches can be effective in improving the quantitative and qualitative status of water resources and help managers to manage water resources before the occurrence of supply and allocation problems.

Acknowledgments

The present research was carried out with the assistance of Isfahan Regional Water Organization, Meteorological Organization, Natural Resources Department in Isfahan Province, which is necessary to express our gratitude to all those who have accompanied us on this path.

References

- 1- Farokhzadeh, B. Ildoromi, A. Attaeian, B. and Nourouzi, M., 2016. Evaluation of the Effects of Land Use Changes on Suspended Load Using SWAT Model (Case Study: Yalfan Watershed Hamadan Province). *Environmental Erosion Research*, 3(19), PP. 28-46. Dor: 20.1001.1.22517812.1394.5.3.5.5. (In Persian).
- 2- Lei, C., Wagner, P. D., and Fohrer, N. (2021). Effects of land cover, topography, and soil on stream water quality at multiple spatial and seasonal scales in a German lowland catchment. *Ecological Indicators*, 120, 106940. Doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106940.
- 3- Mishra, B. K., Regmi, R. K., Masago, Y., Fukushi, K., Kumar, P., Saraswat, C. 2017. Assessment of Bagmati river pollution in Kathmandu Valley: Scenario-based modeling and analysis for sustainable urban development. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 9, PP. 67-77. Doi: 10.1016/j.swaqe.2017.06.001
- 4- Moradi, H., Taghavi, N., and Bahramifar, N. 2012. Effect of Different Land Use On Surface Water Quality Case Study: Siahrood Ghaemshahr Watershed. *Environmental Erosion Researches*, 1(4), PP. 23-32. (In Persian).
- 5- Nikbakht, J., and Moradi, O. 2019. Effect of Drought on Hashtgerd Plain Groundwater Quantity and Quality Considering Irrigation Use. *Iran-Water Resources Research*, 14(4), 120-131.
- 6- Soltani-Gerdefaramarzi, S. Gheisouri, M., Saberi, A. and Yarami, N. 2021. The effect of land use change on surface water quality under the wet and dry years in a semi-arid catchment (case study: Godarkhosh catchment). *Environment, Development and Sustainability*, 23(4), PP. 5371-5385.
- 7- Tahiru, A. A., Doke, D. A., and Baatuuwie, B. N. 2020. Effect of land use and land cover changes on water quality in the Nawuni Catchment of the White Volta Basin, Northern Region, Ghana. *Applied Water Science*, 10(8), PP. 1-14.





بررسی گام‌های زمانی خشک‌سالی و اثر تغییرات کاربری اراضی بر پارامترهای کمی و کیفی آب رودخانه پلاسجان

نرگس بهرامی دمنه^۱، سمیه سلطانی گردفرامزنی^{۲*}، مرتضی قیصوری^۳ و ابوالفضل عزیزیان^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان.

۲- نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان sstolani@ardakan.ac.ir

۳- دانش آموخته دکتری، مدیریت حوضه های آبخیز، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۴- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۴

بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱

دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۶

چکیده

خشک‌سالی و تغییرات کاربری اراضی از جمله پدیده‌هایی هستند که می‌توانند بر کاهش کمیت و کیفیت آب‌های سطحی در حوضه‌های آبخیز تأثیرگذار باشند. این پژوهش با هدف بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر پارامترهای کمی و کیفی آب رودخانه پلاسجان صورت گرفت. بدین منظور از آمار بارش و دمای ایستگاه سینوپتیک داران و داده‌های دبی و کیفیت آب حوضه اسکندری واقع در خروجی حوضه طی دوره آماری ۲۰ ساله (۲۰۲۰-۲۰۰۰) استفاده شد. به منظور تحلیل خشک‌سالی در منطقه مورد مطالعه از شاخص بارش استاندارد و شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیک رودخانه در چهار گام زمانی (شش، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه) استفاده گردید. نتایج بررسی تغییرات کاربری اراضی بر پارامترهای کیفی، نشان دهنده این است که در دوره ترسالی بین کاربری کشاورزی و املاح آب هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد. به عبارت دیگر با افزایش درصد مساحت کاربری کشاورزی غلظت املاح افزایش می‌یابد. در دوره خشک‌سالی نیز بین کاربری مرتع و غلظت برخی املاح هم‌بستگی معکوس و معنی‌دار و بین کاربری بایر و شهری و برخی پارامترهای کیفی هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد؛ بدین معنی که با کاهش درصد مساحت مرتع و افزایش مساحت کاربری شهری و بایر مقدار املاح آب افزایش پیدا کرده که سبب کاهش کیفیت آب می‌شوند. نتایج کلی نشان داد که افزایش فعالیت‌های انسانی با تغییر کاربری اراضی و نوسانات آب و هوایی از عوامل مؤثر بر کمیت و کیفیت آب رودخانه پلاسجان می‌باشند. بنابراین، اجرای برنامه‌های صحیح مدیریتی در حوضه مورد پژوهش برای کنترل تغییرات کاربری اراضی و مدیریت منابع آبی در مواقع خشک‌سالی مورد نیاز می‌باشد.

کلید واژه‌ها: تأخیر زمانی، شاخص خشک‌سالی، کاربری اراضی، هم‌بستگی.

مقدمه

پدیده خشک‌سالی به کمبود بارش در دوره بلند اطلاق می‌شود که به علت گستردگی مکانی و در پی داشتن تبعات کوتاه‌مدت و بلندمدت اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی از مهم‌ترین بلاهای طبیعی به شمار می‌آید (Nikbakht and Moradi, 2019). از طرفی افزایش جمعیت، توسعه شهرها و رشد فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی سبب آلودگی منابع آب و ایجاد بحران در مناطق مختلف دنیا شده است. از جمله عوامل تأثیرگذار بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و میکروبی آب‌های سطحی بارش، موقعیت جغرافیایی، اقلیم، زمین‌شناسی، فعالیت‌های صنعتی، فاضلاب‌های خانگی، کشاورزی، آلاینده‌های معدنی و غیره می‌توان نام برد که در نهایت بر کیفیت آب سطحی تأثیر می‌گذارند (Mishra et al., 2017). بنابراین بررسی آثار خشک‌سالی در یک منطقه خاص بر کیفیت آب ضروری است تا

مهندسان و دانشمندان برای سال‌های آتی به درستی برنامه‌ریزی کنند. علاوه بر خشک‌سالی تغییرات کاربری اراضی تغییراتی در چرخه هیدرولوژیکی حوضه ایجاد می‌کند و باعث برهم خوردن تعادل بین بارش، تبخیر، نفوذپذیری خاک و مقدار رواناب می‌شود (Farokhzadeh et al., 2016). کاربری اراضی یکی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر کیفیت منابع آب سطحی و به خصوص رودخانه‌ها می‌باشد. هم‌زمان با افزایش جمعیت، الگوهای کاربری زمین تغییر می‌کند. بنابراین رواناب ناشی از بارندگی‌ها و نیز تخلیه پساب‌های شهری، منجر به افزایش میزان مواد مغذی و دیگر آلاینده‌ها به داخل رودخانه‌ها و منابع آب سطحی می‌گردد (Moradi et al., 2012). تاکنون مطالعه‌های زیادی در خصوص تأثیر خشک‌سالی و تغییرات کاربری اراضی بر پارامترهای کیفی آب سطحی صورت گرفته است. برای مثال Gheysouri et al., (2018) به ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی و

رودخانه هند را بررسی کردند و احتمال وقوع خشک‌سالی متوسط و شرایط مرطوب در هر دو ایستگاه را نسبتاً بیشتر دانستند. et al Salimi (2021) پایش خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از چندین شاخص خشک‌سالی را مورد بررسی قرار دادند. روابط بین مدت و شدت خشک‌سالی در بازه زمانی نه ماهه در حوضه آبخیز نارود دقیق‌تر بوده است. et al Lei (2021) اثرات پوشش اراضی، توپوگرافی و خاک روی کیفیت جریان آب در مقیاس‌های مکانی چندگانه و فصلی در حوضه آبریزی در آلمان را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که کیفیت آب در زمستان، در زمین‌های زراعی و زمین‌های مرطوب با کاهش روبه‌رو بوده است. et al Soltani-Gerdefaramarzi (2021) تأثیر کاربری اراضی را بر کیفیت آب‌های سطحی تحت دو دوره تر و خشک در حوضه آبخیز گذارخوش بررسی کردند. نتایج نشان داد که اراضی بایر و مسکونی بیشترین تأثیر را بر کیفیت آب‌های سطحی داشت و کاربری اراضی مرتع و جنگلی با پارامترهای کیفیت آب یک همبستگی منفی نشان داد. همچنین رابطه قوی معنی‌داری بین پارامترهای کیفیت آب و کاربری اراضی در سال‌های خشک به دست آمد. Chithra و Jincy Rose (2022) برقراری ارتباط آماری بین شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی رودخانه‌ای در هند را بررسی کردند. بر اساس یافته‌ها، قوی‌ترین همبستگی بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با تأخیر زمانی سه ماهه در یک دوره زمانی ۱۲ ماهه مشاهده شد. et al Lotfirad (2022) پایش و پیش‌بینی خشک‌سالی با استفاده از مدل شاخص بارندگی استاندارد و شاخص بارش-تبخیر تعرق در اقلیم‌های مختلف ایران را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بیان‌گر این بود که با افزایش مقیاس زمانی، دقت پیش‌بینی شاخص بارش استاندارد و شاخص استاندارد بارش-تبخیر تعرق بهبود می‌یابد و توانایی شاخص بارش-تبخیر تعرق برای پیش‌بینی خشک‌سالی بیشتر از شاخص بارش استاندارد مشاهده گردید.

با توجه به فرارگیری کشور ایران در کمربند خشک زمین، قسمت عمده از مساحت آن در بیشتر ایام سال خشک‌سالی را تجربه می‌کند که این رخداد باعث ایجاد تغییراتی در کمیت و کیفیت منابع آبی و زیست کشور می‌شود. از این‌رو داشتن منابع آب سالم و کافی برای حفظ محیط‌زیست، رشد و توسعه اقتصادی، فعالیت‌های کشاورزی و غیره ضروری می‌باشد. در این بین تغییرات کاربری اراضی تأثیر چشم‌گیری بر کیفیت آب سطحی داشته و می‌تواند موجبات بهبود یا کاهش کیفیت آب سطحی را فراهم نماید. این تغییرات اثر نامطلوب زیادی به محیط‌زیست و منابع آب وارد کرده لذا کنترل و پایش آب‌های سطحی برای مصارف مختلف امری لازم و ضروری است تا آب باکیفیت مناسب به‌هنگام و به مقدار در دسترس عموم قرار گیرد. یکی از منابع اصلی تأمین‌کننده آب شرب، کشاورزی و صنعت در استان اصفهان، حوضه آبخیز اسکندری و رودخانه پلاسجان است. اهمیت

هیدرولوژیکی و تأثیر آن بر کیفیت آب رودخانه گذارخوش پرداختند و بیان کردند که با کاهش دبی رودخانه، مقدار کاتیون‌ها و آنیون‌ها در سال‌های خشک افزایش می‌یابد. et al Shahrokhi (2019) اثر خشک‌سالی بر کیفیت آب‌های سطحی حوزه هلیل رود را بررسی و بیان کردند که بین پارامترهای کیفی آب و خشک‌سالی همبستگی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود دارد. et al Nazarnezhad (2019) اثرات تغییرات کاربری اراضی بر کیفیت آب حوضه آبخیز زرینه‌رود آذربایجان غربی را بررسی کردند. نتایج بیان‌گر افزایش پارامترهای هدایت الکتریکی، کل مواد جامد محلول و نسبت جذب سدیم در سال ۱۳۸۳ و به‌تبع کاهش کیفیت آب رودخانه در نتیجه تغییر کاربری اراضی می‌باشد که با وقوع خشک‌سالی در سال ۸۳-۸۴ مطابقت داشت. et al Heshmatpour (2020) تأثیر خشک‌سالی بر کیفیت منابع آب‌های سطحی استان گلستان را مورد بررسی قرار داده و بیان کردند خشک‌سالی تأثیر به‌سزایی بر پارامترهای کیفی آب در مقایسه با تغییرات پارامترهای کیفی در طولانی‌مدت دارد. به‌طوری‌که کاهش بارندگی و دبی رودخانه در دوره خشک‌سالی باعث کاهش کیفیت آب کشاورزی شده است. et al Sebenik (2017) استاندارد (Standardized Precipitation Index, SPI) در شمال شرق کشور اسلوواکی مورد بررسی قرار داده و عنوان داشتند که بین دبی رودخانه و شاخص خشک‌سالی همبستگی معنی‌داری وجود دارد. et al Tahiru (2020) تأثیر تغییر کاربری و پوشش زمین بر کیفیت آب در حوضه آبریز ناوونی در منطقه شمالی غنا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد یک رابطه مثبت بین تغییرات کاربری و پوشش زمین و پارامترهای کیفیت آب وجود دارد. et al Azhar (2021) ارتباط استفاده از زمین و کیفیت آب رودخانه‌ای در مالزی را بررسی کردند. نتایج بیان‌گر ارتباط ضعیف بین کیفیت آب و استفاده از زمین برای نیترات و کلسیم در تمام مناطق موردبررسی بود. et al Ding (2021) گسترش خشک‌سالی هواشناسی و خشک‌سالی هیدرولوژیکی در مناطق مختلف آب و هوایی در چین را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در محیط‌های خشک، گسترش خشک‌سالی کمتری نسبت به محیط‌های مرطوب وجود دارد و بین دو نوع خشک‌سالی در تابستان و پاییز رابطه قوی‌تری نسبت به بهار و زمستان وجود داشت. et al NafiShehab (2021) تغییرات فضایی الگوهای مناظر و استفاده از زمین بر کیفیت آب در طول یک حوزه شهری مالزی را مطالعه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که وجود جنگل‌های گرمسیری در تمیز کردن آب حیاتی بود. در نتیجه، جنگل‌های گرمسیری می‌توانند شاخص خوبی از کیفیت آب را در نظر بگیرند و می‌توانند اثرات شیوه‌های انسانی را بر خدمات اکوسیستم کاهش دهند. et al Malik (2021) خشک‌سالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص خشک‌سالی جریان رودخانه (Standardized Discharge Index, SDI) در ناوولا و کیدار در حوضه آبریز

سانتی‌گراد در مردادماه می‌باشد. میانگین بارش سالانه در این منطقه ۳۳۹ میلی‌متر است که مقدار آن از ۳۰۰ میلی‌متر در شرق تا ۵۴۳ متر در غرب اختلاف دارد و از غرب به شرق مقدار آن کاهش می‌یابد. میانگین رطوبت نسبی سالانه نیز ۴۸/۳ درصد، میانگین تبخیر سالانه ۱۶۰۶، فشار بخار اشباع جو ۱۱/۱۲ میلی بار، فشار بخار واقعی جو ۱۴/۵ میلی بار و تعداد روزهای یخبندان ۱۵۲ روز می‌باشد. بارندگی این حوضه متأثر از جریان‌های جوی مدیترانه‌ای می‌باشد که از غرب، شمال غرب و جنوب غرب وارد منطقه شده و به مدت هشت ماه از اوایل مهر تا اوایل خرداد حوضه را تحت شعاع قرار می‌دهد. اغلب ریزش‌های آن در زمستان به صورت برف می‌باشد (Organization of Agriculture (Jahad Isfahan, 2011).

در این مطالعه به منظور بررسی تغییر پارامترهای کمی و کیفی منابع آبی، از داده‌های ثبت شده توسط شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان استفاده شد. سپس به منظور تعیین دوره خشک‌سالی از آمار طولانی‌مدت، ۲۰ ساله (۲۰۰۰-۲۰۲۰) استفاده شد. شاخص‌های مختلفی برای تعیین روند تغییرات آب‌های سطحی و تغییرات دمایی و تحلیل کمی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک وجود دارد که در این مطالعه با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک داران واقع در حوضه آبخیز پلاسجان، شاخص بارش استاندارد (SPI) و با استفاده از داده دبی ایستگاه هیدرومتری اسکندری واقع در خروجی حوضه شاخص خشک‌سالی جریان رودخانه (SDI) استخراج شد. به منظور بررسی گام زمانی مؤثر بر پارامترهای کمی و کیفی منابع آب سطحی رودخانه پلاسجان، از گام‌های زمانی شش، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ بهره گرفته شد. بر اساس نتایج از شاخص بارش استاندارد در منطقه، سال‌های تر و خشک به ترتیب سال ۱۳۸۵ و ۱۳۹۷ مشخص شدند. برای بررسی تغییر کاربری اراضی، از داده ماهواره‌ای سنجنده TM و ETM که از سایت USGS به دست آمده، استفاده شد. در این پژوهش تغییرات کاربری اراضی طی دو سال ۱۳۸۵ و ۱۳۹۷ استخراج و سپس تأثیر آن بر تغییرات پارامترهای کمی بررسی شد.

این حوضه در تأمین نیاز آبی یا حبابه محیط‌زیستی رودخانه زاینده رود است و با توجه به نتایج مرور منابع و شواهد در سال‌های اخیر، تغییرات زیادی در کمیّت و کیفیت منابع آب حوضه صورت گرفته است. لذا توجه به منابع آبی یکی از اقدامات مدیریتی مناسب و ضروری در سطح کل حوضه در مواجه با بلایای طبیعی و انسانی می‌باشد. براین اساس پژوهش حاضر به بررسی گام‌های زمانی خشک‌سالی و اثر آن بر پارامترهای کمی و کیفی رودخانه پلاسجان پرداخته است. همچنین تغییرات کاربری اراضی و تعیین کاربری مؤثر طی دو دوره خشک‌سالی و ترسالی بر پارامترهای کمی و کیفی رودخانه پلاسجان بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز رودخانه پلاسجان واقع در غرب استان اصفهان در محدوده طول جغرافیایی ۳۲° ۵۰' و ۴۱° ۵۰' شمالی و عرض جغرافیایی ۵۸' ۳۳° و ۴۱' ۳۲° شرقی می‌باشد. منطقه مورد مطالعه از زیر حوزه‌های سد زاینده‌رود بوده که در قسمت شمالی این حوزه قرار دارد. حوضه آبخیز سد زاینده‌رود از زیر حوزه‌های، حوزه آبریز مرکزی ایران می‌باشد که شامل دو زیر حوزه عمده، رودخانه پلاسجان و شاخه اصلی زاینده‌رود است. رودخانه پلاسجان در غرب شهرستان داران و شرق شهرستان فریدون‌شهر و جنوب و غرب شهرستان خوانسار جاری است. رودخانه پلاسجان متشکل از سه شاخه رودخانه شامل دامنه، دهق، نهر خلیج می‌باشد که در نزدیکی روستای سواران به یکدیگر ملحق می‌شوند. متوسط آبدهی سالانه آن ۴/۱۵ مترمکعب در ثانیه می‌باشد. مساحت این حوزه ۱۶۴۴ کیلومترمربع و محیط آن حوزه ۵۴۴ کیلومتر می‌باشد. حداکثر ارتفاع منطقه مورد مطالعه ۲۶۱۸ متر و حداقل ارتفاع ۲۰۷۰ متر می‌باشد در شکل (۱) موقعیت حوضه آبخیز پلاسجان نشان داده شده است. منطقه مورد مطالعه دارای میانگین دمای سالانه برابر با ۹/۸ درجه سانتی‌گراد، میانگین حداکثر و حداقل دما با ۱/۶۵ و ۱۷/۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. حداقل مطلق دما ۲۵- درجه سانتی‌گراد در دی‌ماه و حداکثر مطلق آن ۳۸/۵ درجه

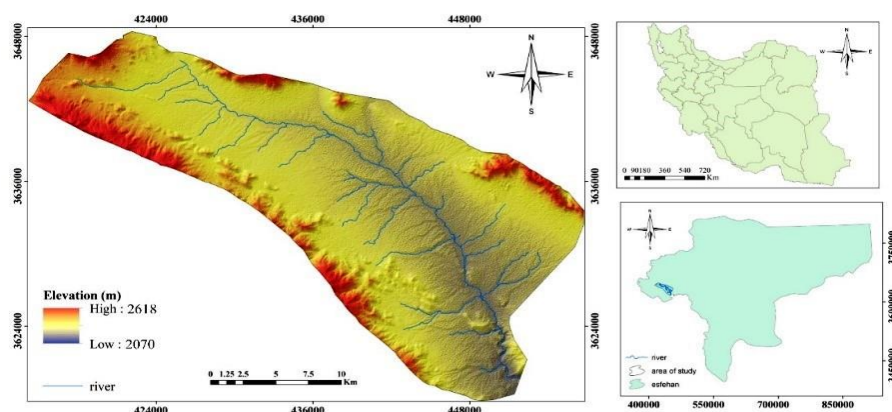


Fig. 1- The Study Watershed Location

شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز مورد مطالعه

شاخص بارندگی استاندارد (SPI)

این شاخص بر اساس بارندگی‌های طولانی‌مدت برای هر منطقه به‌دست می‌آید. در ابتدا توزیع آماری مناسب بر آمار طولانی‌مدت بارندگی برازش داده شد که معمولاً از توزیع گاما استفاده می‌شود (Mckee et al., Sonmez et al., 2005). شدت خشک‌سالی و تداوم خشک‌سالی‌های هواشناسی در 1995. مقیاس‌های کوتاه‌مدت و خشک‌سالی‌های هیدرولوژیک در مقیاس‌های بلندمدت توسط این شاخص حاصل می‌شود. چنانچه سری‌های زمانی بارندگی ماهانه منطقه به‌صورت P_{ij} معرفی شوند که در آن اندیس i سال ایستگاه‌های هیدرولوژیک و اندیس j ماه مربوط به سال هیدرولوژیک را تعیین کند ($i=1$ مهر و $j=2$ شهریور) سری‌های زمانی بارندگی با مدت‌های مختلف با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$R_{ik} = \sum_{j=1}^k p_{ik} \quad (1)$$

$i=1, 2, \dots$
 $j=1, 2, \dots, 12$
 $k=1, 2, 3, 4, 5, 6$

شاخص بارش استاندارد (SPI) بر اساس ارتفاع بارش تجمعی (Rik) برای دوره مینا (k) مربوط ب (i) سال هیدرولوژیک به‌صورت رابطه (۲) به‌دست می‌آید.

$$SPI_{ik} = \frac{R_{ik} - R^-_k}{S_K} \quad (2)$$

R^-_k میانگین ارتفاع بارش تجمعی و S انحراف معیار بارش تجمعی برای دوره مینا (k) است. طبقه‌بندی وضعیت آب و هوا بر اساس شاخص بارش در جدول (۱) بیان شده است.

شاخص خشک‌سالی جریان رودخانه (SDI)

چنانچه سری‌های زمانی از حجم جریان‌های رودخانه‌ای (Qij) وجود داشته باشد، در این صورت i سال هیدرولوژیک و j ماه مربوط به سال هیدرولوژیک را مشخص می‌کند ($i=1$ مهر و $j=2$ شهریور) این سری‌ها را می‌توان با استفاده از رابطه (۳) به‌دست آورد:

$$V_{ik} = \sum_{j=1}^{3K} Q_{ij} \quad (3)$$

$i=1, 2, \dots$
 $j=1, 2, \dots, 12$
 $k=1, 2, 3, 4, 5, 6$

که در آن V_{ik} حجم تجمعی جریان‌های رودخانه‌ای می‌باشد. به‌عنوان مثال در $k=1$ برابر حجم تجمعی جریان‌های رودخانه‌ای در سه ماه اول سال آبی برای i سال هیدرولوژیک و k دوره مینا است ($k=1$ مهر تا آذر، $k=2$ مهر تا اسفند، $k=3$ مهر تا تیر، $k=4$ مهر تا شهریور) شاخص خشک‌سالی جریان‌ات رودخانه‌ای بر اساس حجم تجمعی جریان‌ات رودخانه‌ای (V_{ik}) برای دوره مینای (k) مربوط به i سال هیدرولوژیک به‌صورت رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$SDI_K = \frac{V_{ik} - V_K}{S_K} \quad (4)$$

$i=1, 2, \dots$
 $k=1, 2, 3, 4, 5, 6$

که در آن: V_k و S_K به ترتیب میانگین مجموع حجم دبی و انحراف معیار حجم جریان‌ات تجمعی برای دوره مینا (K) در یک مدت طولانی است. جدول (۲) حالت‌های مختلف خشک‌سالی را طبق شاخص خشک‌سالی جریان رودخانه (SDI) نشان می‌دهد (Nalbantis and Tsakiris, 2008).

جدول ۱- طبقه‌بندی وضعیت آب‌وهوا بر اساس مقادیر شاخص بارش استاندارد (SPI) (WMO, 2012)

Table 1- Classification of the weather status based on Standardized Precipitation Index values (WMO, 2012)

Class	SPI Values
Extremely wet	<2
Very wet	1.5 to 1.99
Medium Wet	1 to 1.49
Mild moist	0.5 to -0.99
Approximately normal	-0.49 to -0.49
Mild dry	-0.5 to -0.9
Medium dry	-1 to -1.49
Very dry	-1.5 to 1.99

جدول ۲- حالت‌های مختلف خشک‌سالی جریان رودخانه (SDI) (Nalbantis and Tsakiris, 2008)

Table 2 - Different Modes of Standardized Discharge Index (Nalbantis and Tsakiris, 2008)

Drought situation	Range	Percentage probability
0 No drought	$0 \leq SDI$	51.6
1 Mild drought	$-1 \leq SDI \leq 0$	25
2 Medium drought	$-1.5 \leq SDI \leq -1$	12.5
3 Severe drought	$-2 \leq SDI \leq -1.5$	10.9
4 Very severe drought	$SDI < -2$	0

کیفیت آب رودخانه

به منظور بررسی کیفی جریان سطحی رودخانه پلاسجان، پارامترهای کیفی مورد بررسی شامل؛ کل جامدات محلول (TDS)، هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته (pH)، یون‌های بی‌کربنات (HCO_3^-)، سولفات (SO_4)، کلر (Cl)، کربنات (CO_3)، منیزیم (Mg)، سدیم (Na)، پتاسیم (K)، کلسیم (Ca)، همچنین نسبت جذب سدیم (SAR) و درصد سدیم تبادل (Na%) می‌باشد. افزایش یا کاهش هر کدام از این عناصر کیفیت آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاتیون‌های سدیم، منیزیم و کلسیم از جمله مهم‌ترین کاتیون‌ها و آنیون‌های بی‌کربنات، سولفات و کلر از جمله مهم‌ترین آنیون‌ها می‌باشند که خشک‌سالی و کاهش آبدهی رودخانه‌ها سبب تغییر غلظت آن‌ها در آب می‌شود. افزایش یا کاهش هر کدام از این عناصر به نوبه خود باعث تغییراتی در کیفیت آب می‌شود، به گونه‌ای که وجود کلسیم در آب باعث نفوذ بیشتر آب در خاک می‌شود، از نظر آبیاری هر چه میزان کلسیم بیشتر باشد، آب مطلوبیت بیشتری دارد. اما افزایش همین عنصر سبب سختی آب می‌شود که برای استفاده در صنعت و شرب مشکل‌ساز می‌شود (Alizade, 2004). بی‌کربنات مهم‌ترین آنیون موجود در آب‌های طبیعی می‌باشد. از دیگر آنیون‌هایی که در تمام آب‌های طبیعی وجود دارد کلر می‌باشد. در صورتی که غلظت کلر در آب افزایش پیدا کند به لحاظ رشد گیاه سمی خواهد بود. وجود سولفات نیز در آب باعث از بین بردن سازه‌های آبی می‌شود، در این صورت سازه‌های آبی بایستی با مصالح ضد سولفات ساخته شوند (Alizade, 2004).

تغییرات کاربری کاربری اراضی

ضمن بررسی گزارش‌های مختلف و بازدید از منطقه، اطلاعات پایه از جمله نقشه‌های موضوعی، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و سایر اطلاعات مورد نیاز جمع‌آوری گردید. پس از تهیه تصاویر ماهواره‌ای برای محدوده مورد مطالعه، مراحل مختلف پردازش تصویر از نرم‌افزار انوی (ENVI) مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر این در راستای بررسی تغییرات پوشش روش درست‌نمایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش مذکور فرض بر این است که همه مناطق آموزشی دارای پراکنش نرمال می‌باشند. در واقع نمونه کلاس‌های آموزشی باید معرف آن کلاس باشند، بنابراین تا حد امکان باید از تعداد نمونه‌های بیشتری استفاده کرد تا تغییرات بسیاری از ویژگی‌های طیفی در این گستره پیوسته به وجود آید. در طبقه‌بندی حداکثر احتمال پیکسل مورد نظر به کلاسی اختصاص می‌یابد که بیشترین احتمال وابستگی پیکسل به آن کلاس هست (Alavipanah and Masoudi, 2000). قبل از تجزیه و تحلیل اطلاعات ماهواره‌ای لازم است، اصلاحاتی روی تصاویر خام انجام شود. در سنجش از دور خطاهای داده‌های خام، خطاهای ناشی از سنجنده و اثرات جوی است که برای تصحیح خطا نیز، روش تصحیح پراکنش اتمسفری و تصحیح

هندسی از نوع سیستماتیک استفاده می‌شود (Shalaby and Tateishi, 2007). از آنجایی که تصاویر مربوط به زمان‌های مختلف است و بازایی ارتفاعی و نحوه تهیه آن‌ها مختلف است، نیاز است که اصلاحات رادیومتریک و جوی روی تصاویر انجام شود. پس از اعمال تصحیح اتمسفریک، وضوح تصویر به میزان قابل ملاحظه‌ای بیش‌تر می‌شود. پس از انجام اصلاحات، برای تفسیر تصاویر از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده مورد استفاده قرار گرفت. به این صورت که ابتدا کلاس‌های کاربردی موجود در منطقه، با انجام عملیات میدانی و بررسی مطالعه‌های قبلی و استفاده از نقشه‌های توپوگرافی شناسایی شدند. بعد از این مراحل ترکیب رنگی کاذب در نرم‌افزار ایجاد و پس از برش محدوده با استفاده از نقاط آموزشی پنج کاربری کشاورزی، مرتع، جنگل، شهری و مسکونی و اراضی بایر مشخص و با انتقال به نرم‌افزار آرک جی آی اس درصد مساحت مربوط به هر کاربری برای دو سال، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۷ به دست آمد.

نتایج و بحث

نتایج شاخص خشک‌سالی هواشناسی (SPI)

شاخص بارش استاندارد (SPI) در گام‌های زمانی شش، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه محاسبه شد. شکل (۲) بیانگر نتایج این شاخص برای ایستگاه داران می‌باشد. به منظور تشخیص مقیاس زمانی مناسب برای بررسی تغییرات اقلیمی بر پارامترهای مورد بررسی، از مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت و بلندمدت استفاده شد. بر اساس شکل (۲) بیشترین شدت خشک‌سالی شهریور تا آبان ۹۵ و آبان تا فروردین ۹۶ تا ۹۷ می‌باشد. در مقیاس زمانی شش ماهه بیشترین مدت زمان وقوع خشک‌سالی در شش ماهه اول سال ۱۳۹۱، پنج ماهه اول سال ۱۳۹۴، سه‌ماهه دوم سال، ۱۳۸۱، ۱۳۹۲، ۱۳۹۶، دو ماهه دوم سال ۱۳۹۱ و دو ماهه اول ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ وجود داشته است. در مقیاس‌های زمانی بالاتر تحلیل دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی با وضوح بیشتری صورت می‌گیرد. در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه از شهریور ۸۶ تا اسفند ۸۷ مقدار شاخص خشک‌سالی حدود ۰/۹-، سه‌ماهه دوم سال ۱۳۸۹، مقدار شاخص خشک‌سالی حدود ۰/۹-، شش ماهه اول سال ۱۳۸۹، ۱۳۹۱، ۱۳۹۲، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۶ خشک‌سالی مداوم داشته است و بیشترین رقم برآوردی شاخص خشک‌سالی مربوط به سال ۱۳۹۶ و ۲/۹- می‌باشد. در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه نیز شاهد خشک‌سالی در شش ماهه اول ۱۳۹۵، ۱۳۹۷ در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه شاهد خشک‌سالی در سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۰، ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۲ و ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۸ بوده است. بر اساس شاخص بارش استاندارد منطقه مورد مطالعه در مقیاس ۴۸ ماهه در محدوده خشک‌سالی تا نرمال قرار دارد. این مطلب بیان‌گر نقصان نزولات جوی و کاهش ذخیره رواناب داخل حوضه و به تبع آن منجر به وقوع پدیده خشک‌سالی هیدرولوژیکی می‌گردد. با توجه به نتایج این بخش به‌طور کلی، سال ۱۳۸۵ به‌عنوان سال تر و سال ۱۳۹۷ به‌عنوان سال خشک انتخاب شد. به‌منظور بررسی تأثیر گام زمانی خشک‌سالی بر تغییرات پارامترهای کیفی آب سطحی

افزایش گام‌های زمانی از شش ماه به ۴۸ ماه، از تعداد پارامترهای کیفی آب که دارای همبستگی معنی‌دار هستند، کاسته می‌شود. ضریب همبستگی معکوس در این گام زمانی گویای این است، با افزایش SPI و در دوره ترسالی غلظت برخی پارامترها کاهش می‌یابد و بالعکس. مقدار پارامترهای شوری، املاح محلول، نسبت جذب سدیم، سدیم و پتاسیم با افزایش شاخص بارش استاندارد کاهش می‌یابد و بین سایر پارامترها ارتباط معنی‌داری مشاهده نگردد.

در منطقه مورد مطالعه، از آزمون همبستگی بین شاخص بارش استاندارد (SPI) در گام‌های زمانی شش، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ و پارامترهای کیفی رودخانه پلاسجان استفاده شد. بر اساس جدول (۳) بین گام‌های زمانی پارامترهای کیفی رودخانه پلاسجان و شاخص بارش استاندارد در گام زمانی شش ماهه بیشترین ضریب همبستگی در سطح اطمینان ۹۹ درصد وجود دارد. لذا شاخص بارش استاندارد در گام زمانی شش ماهه دارای ارتباط معنی‌دار با پارامترهای کیفی آب می‌باشد. همانطور که نتایج نشان می‌دهد با

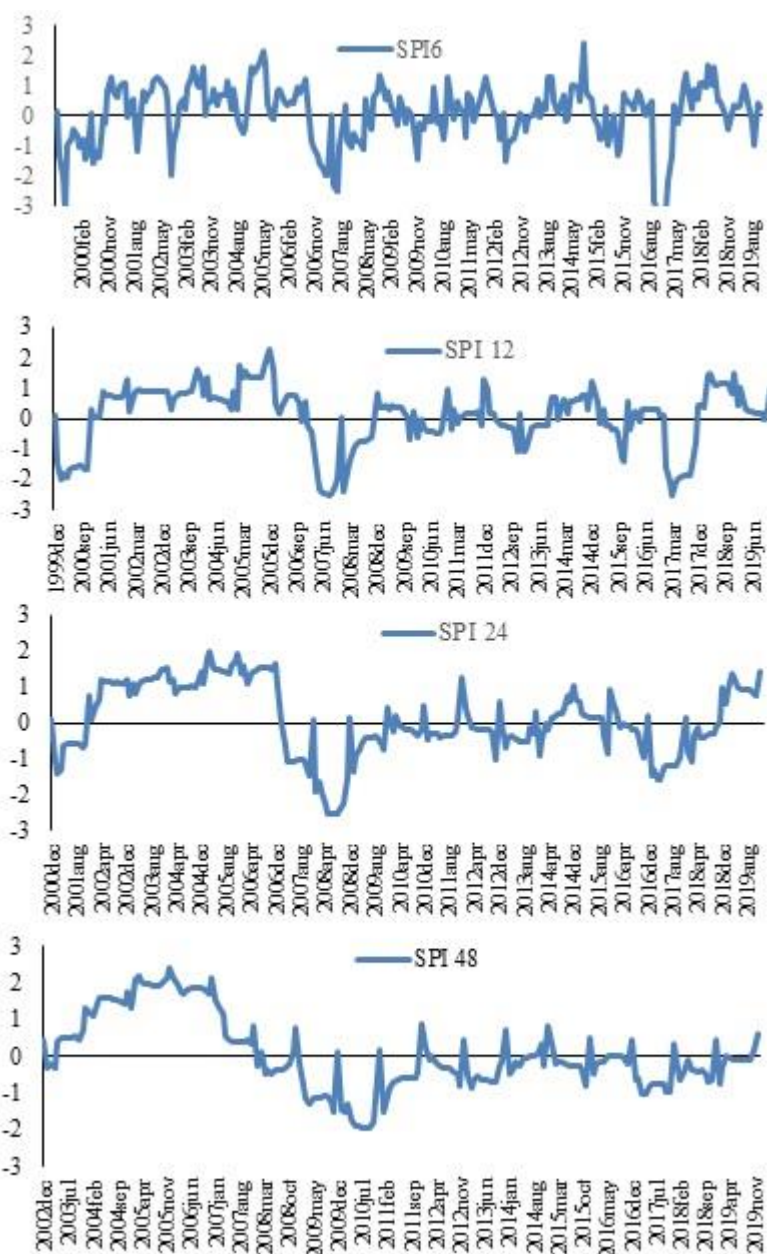


Fig. 2- Changes in the standard precipitation index at different time scales of synoptic station Daran

شکل ۲- تغییرات شاخص بارش استاندارد در مقیاس‌های زمانی مختلف ایستگاه سینوپتیک داران

جدول ۳- بررسی ارتباط خشک‌سالی هواشناسی در گام‌های زمانی مختلف بر پارامترهای کیفی رودخانه پلاسجان
Table 3- Investigation of the effect of meteorological drought in time steps on the qualitative parameters of Plasjan River

	SPI 6	SPI12	SPI 24	SPI 48
pH	0.367*	0.196	0.289	0.31
EC	-0.429*	-0.434*	-0.419*	-0.424*
TDS	-0.565**	-0.38	-0.36	-0.263
SAR	-0.541**	-0.372*	-0.381*	-0.261
%Na	-0.572**	-0.361*	-0.389*	-0.272
HCO ₃	-0.002	-0.369*	-0.34	-0.380*
CO ₃	0.242	0.179	0.234	0.179
Cl	-0.152	-0.053	-0.225	-0.086
SO ₄	-0.347	-0.176	-0.158	-0.103
Na	-0.498**	-0.397*	-0.397*	-0.29
Ca	-0.229	-0.159	-0.185	-0.231
Mg	-0.193	-0.552**	-0.474**	-0.447*
K	-0.530**	-0.268	-0.326	-0.238

مسکونی (۰/۹۳ درصد) می‌باشد (جدول ۵). نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز پلاسجان در سال ۱۳۹۷ نیز به عنوان سال خشک در شکل (۵) نشان داده است. که در این نقشه نیز پنج کاربری درختچه‌ای (دست‌کاشت)، مرتع، کشاورزی، بایر و شهری و مسکونی مشخص شده است که بیشترین مساحت کاربری مربوط به اراضی بایر (۳۵۲/۴۹ کیلومتر مربع) و کمترین مساحت مربوط به کاربری شهری و مسکونی (۲۵/۹ کیلومتر مربع) بوده است (جدول ۶). از دلایل تغییر مساحت کاربری‌ها در این دو سال، می‌توان به گسترش شهرنشینی اشاره کرد که برای تأمین غذای این جمعیت مجبور به زیر کشت بردن اراضی بیشتری است؛ در نتیجه کاربری‌های کشاورزی و شهری و مسکونی در طول مدت مورد مطالعه افزایش و کاربری‌های مرتع و درختچه‌های دست‌کاشت کاهش یافته‌اند. بر اساس نتایج بیشترین تغییرات کاربری اراضی در حوضه مورد مطالعه مربوط به کاربری مرتع با کاهش ۵۱/۵ درصد و بعد از آن کاربری درختچه‌ای با کاهش ۱۶ درصد می‌باشد. همچنین کمترین تغییرات کاربری در این دوره مربوط به کاربری شهری و مسکونی با افزایش چهار درصد می‌باشد. کاربری‌های کشاورزی و بایر نیز به ترتیب حدود نه و هشت درصد در طول مدت مورد مطالعه افزایش مساحت داشته‌اند. با توجه به این‌که کشاورزی و دامداری از مشاغل اصلی ساکنان این منطقه است، به دلیل بارندگی‌های مناسب در این ناحیه، دیم‌کاری مورد توجه ساکنین قرار گرفته است، لذا اقدام به تغییر کاربری مرتع و جنگل‌های دست‌کاشت به کاربری دیم کرده و سبب تخریب این اراضی و تبدیل آن‌ها به زمین‌های بایر شده‌اند. در نهایت می‌توان گفت بیش‌ترین تغییرات مربوط به اراضی مرتع است که در اثر چرای بیش از حد از ظرفیت دام در مراتع و تغییر کاربری مراتع به کشت دیم با حداقل راندمان میانگین تولید در واحد سطح موجب افزایش رسوب، رواناب و شستشوی کودهای شیمیایی و املاح خاک به رودخانه‌ها شده است. در دوره ترسالی اراضی درختچه‌ای و مرتع در اطراف منطقه متمرکز بوده که با رخ دادن خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی از بین رفته و تبدیل به زمین‌های بایر و شهری شده‌اند.

وضعیت آب‌های سطحی بر اساس شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیک (SDI)

بر اساس شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیک (SDI)، در طول مدت زمان دهه هشتاد رخداد خشک‌سالی هیدرولوژیکی روند افزایشی را نشان می‌دهد و از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ اکثراً بین شرایط خشک‌سالی تا نرمال بوده و بعد از تقریباً طی یکسال شرایط ترسالی شاخص بارش استاندارد، از اسفند سال ۱۳۹۷ ترسالی هیدرولوژیکی آغاز شده است (شکل ۳). با هدف بررسی تأثیر گام زمانی خشک‌سالی هیدرولوژیک بر تغییرات پارامترهای کیفی آب سطحی در منطقه مورد مطالعه، آزمون همبستگی بین شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیک در گام‌های زمانی شش، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ و پارامترهای کیفی رودخانه پلاسجان بکار برده شد. بر اساس جدول (۴) نیز بین شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیک رودخانه در گام زمانی شش ماهه با پارامترهای کیفی بیشترین ضریب همبستگی وجود دارد. لذا شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیک رودخانه در گام زمانی شش ماهه دارای ارتباط معنی‌داری با پارامترهای کیفی آب می‌باشد. ضریب همبستگی در این گام زمانی مثبت است، بیانگر این است که با افزایش خشک‌سالی هیدرولوژیک غلظت برخی پارامترها افزایش می‌یابد. مقدار پارامترهای شوری، املاح محلول، نسبت جذب سدیم، سولفات و پتاسیم با افزایش خشک‌سالی هیدرولوژیک افزایش می‌یابد و بین سایر پارامترها ارتباط معنی‌داری وجود ندارد. همچنین با افزایش گام زمانی به ۲۴ و ۴۸ ماه تنها پارامتر pH همبستگی معنی‌دار مثبت با شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیک دارد.

بررسی تغییرات کاربری اراضی

شکل (۴) نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز پلاسجان در سال ۱۳۸۵ به عنوان سال تر را نشان می‌دهد. در این نقشه، پنج کاربری درختچه‌ای (دست‌کاشت)، مرتع، کشاورزی، بایر و شهری و مسکونی مشخص شده است که بیشترین مساحت کاربری در این سال به ترتیب مربوط به کاربری بایر (۶۰ درصد)، درختچه‌ای (۱۸ درصد)، مرتع (۱۳ درصد)، کشاورزی (۸/۲۴ درصد) و شهری و

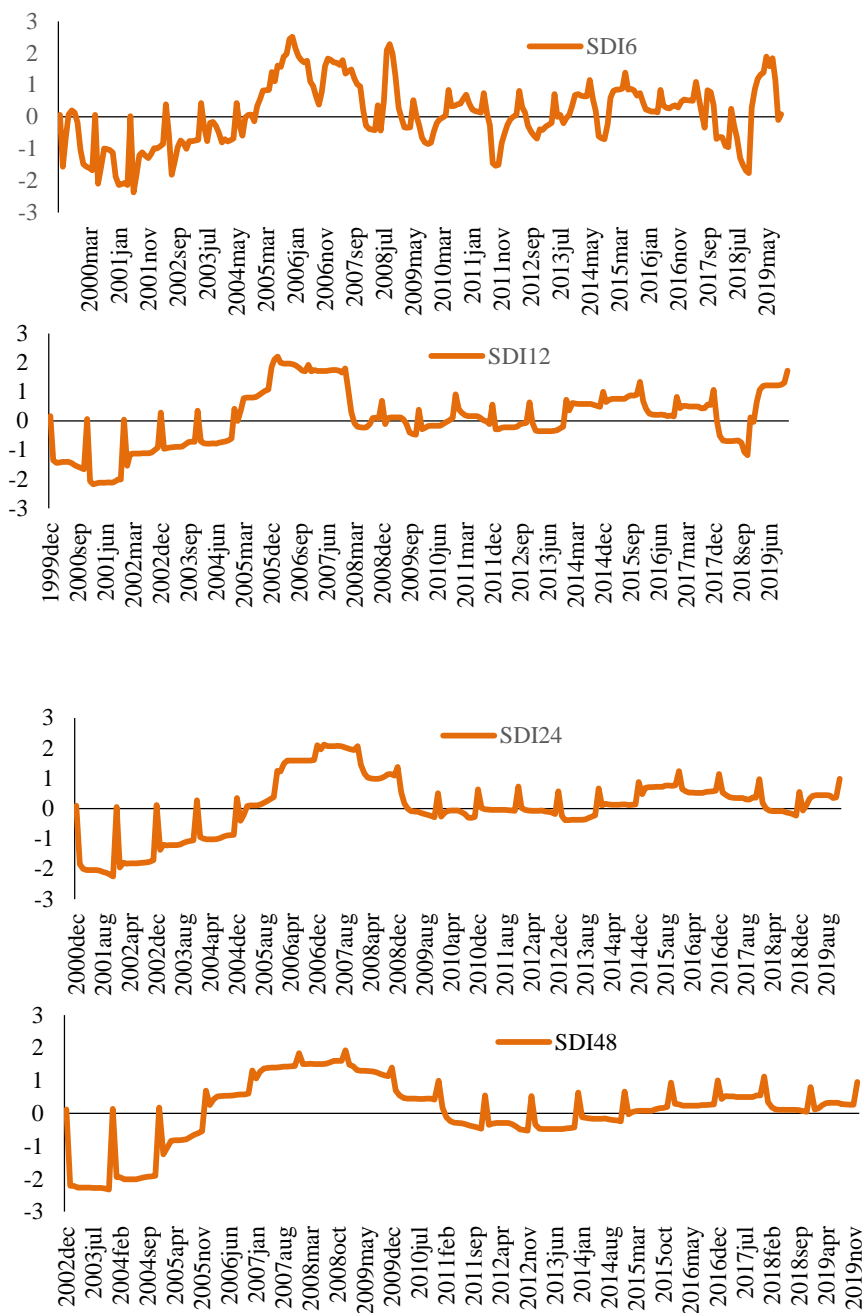


Fig. 3- Investigation of the impact of the temporal steps hydrological drought

شکل ۳- بررسی تأثیر گام‌های زمانی خشک‌سالی هیدرولوژیک

جدول ۴- بررسی ارتباط خشک سالی هیدرولوژیک در گام‌های زمانی بر پارامترهای کیفی رودخانه پلاسجان
 Table 4- Investigation of the effect of hydrological drought in time steps on the qualitative parameters of Plasjan River

	SDI 6	SDI 12	SDI 24	SDI 48
pH	-0.261	0.183	0.468*	0.491*
EC	0.684**	0.506*	0.033	-0.005
TDS	0.623*	0.317	-0.001	-0.065
SAR	0.501*	0.468*	0.258	0.197
%Na	0.448*	0.409	0.264	0.206
HCO ₃	0.094	0.152	0.03	0.069
CO ₃	0.089	0.181	0.223	0.224
SO ₄	0.591**	0.336	-0.078	-0.143
Cl	0.342	0.467*	0.089	0.068
Na	0.444*	0.4	0.121	0.063
Ca	0.586**	0.336	-0.148	-0.181
Mg	0.026	0.262	-0.075	-0.071
K	0.497*	0.161	0.042	-0.015

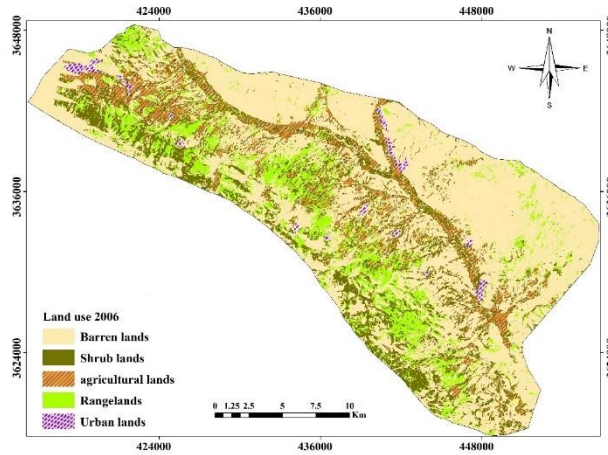


Fig. 4- Land use distribution map in the year 2006 (Wet Year)
 شکل ۴- نقشه توزیع کاربری اراضی در سال ۱۳۸۵ (ترسالی)

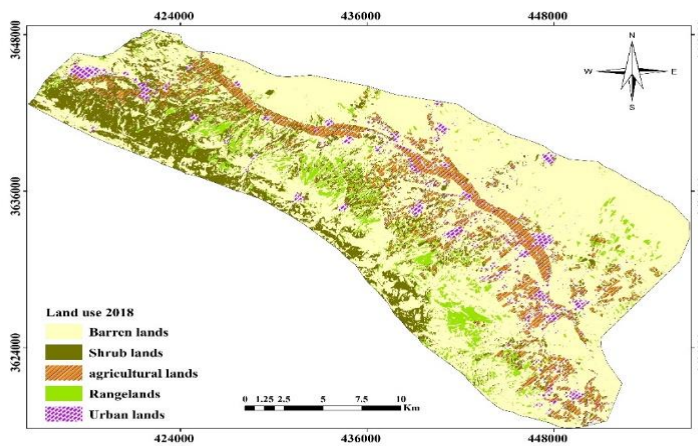


Fig. 5- Land use distribution map in the year 2018 (drought)
 شکل ۵- نقشه توزیع کاربری اراضی در سال ۱۳۹۷ (خشک سالی)

جدول ۵- مساحت و درصد مساحت کاربری‌های مختلف در ترسالی سال ۱۳۸۵
Table 5- Area and percentage of different land uses in the year 2006

Land users	Percentage of area	Area (Km ²)
Rangelands	13	70.72
Shrubs lands	17.89	97.31
Agriculture lands	8.24	44.81
Barren lands	59.92	325.94
Urban lands	0.93	5.09

جدول ۶- مساحت و درصد مساحت کاربری‌های مختلف در خشک‌سالی سال ۱۳۹۷
Table 6- Area and percentage of different land uses in the year 2018

Land users	Percentage of area	Area (Km ²)
Rangelands	6.3	34.75
Shrubs lands	15	81.6
Agriculture lands	9	49.03
Barren lands	64.8	352.49
Urban lands	4.7	25.9

خشک نیز بین کاربری مرتع و کلر، نسبت جذب سدیم و سولفات در سطح پنج درصد و سدیم در سطح یک درصد همبستگی معکوس و معنی‌دار وجود دارد. همچنین بین کاربری بایر و نسبت جذب سدیم همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد، کاربری شهری نیز در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد سبب افزایش مواد جامد محلول در آب شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد بیشترین همبستگی معنی‌دار بین کاربری مرتع و پارامترهای کیفی آب در سال خشک وجود دارد. به‌طور کلی در سال‌های تر و خشک بین کاربری مرتع و درختچه‌های دست کاشت و اکثر پارامترهای کیفی آب ارتباط منفی و بین کاربری‌های بایر و شهری و پارامترهای کیفیت آب ارتباط مثبت وجود داشت هرچند به صورت آماری معنی‌دار نبود. به این ترتیب تاثیر مثبت کاربری‌های مرتع و جنگل‌های دست کاشت و تاثیر منفی کاربری‌های بایر و شهری بر کیفیت منابع آب سطحی مشخص می‌شود.

ارتباط بین الگوهای کاربری زمین و پارامترهای کیفیت آب سطحی

بر اساس جدول (۷) در دوره ترسالی بین کاربری کشاورزی و برخی املاح آب مانند هدایت الکتریکی آب، مواد جامد محلول در آب، نسبت جذب سدیم، کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات، کلر و سولفات همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. بدین معنی است که با افزایش درصد مساحت کشاورزی غلظت آن‌ها نیز افزایش پیدا کرده، که این افزایش در برخی املاح درعین حال که می‌تواند مفید باشد، سبب سختی آب شده که استفاده از آن را در شرب و صنعت محدود می‌سازد. بین سایر کاربری‌های دیگر با پارامترهای کیفیت آب ارتباط معنی‌داری وجود ندارد. بدین معنی است که با کاهش درصد مساحت مرتع و جنگل دست کاشت مقدار شوری، املاح محلول، سدیم، سولفات، بی‌کربنات و نسبت جذب سدیم نیز افزایش یافته است و سبب کاهش کیفیت آب می‌شوند. همچنین بین اکثر شاخص‌های کیفیت آب با کاربری‌های بایر و شهری ارتباط مثبت ولی غیرمعنی‌دار مشاهده گردید. در سال

جدول ۷- ضریب همبستگی پیرسون میان مساحت کاربری اراضی و پارامترهای کیفیت آب سطحی در طول سال‌های خشک و تر در حوضه آبخیز رودخانه پلاسجان

Table 7- Pearson correlation coefficient between land use area and surface water quality parameters during dry and wet years in Watershed Plasjan

Year 2006 (Wet)					
parameter	Agriculture	Shrubs	Range	Barren	Urban
EC	0.534*	-0.057	-0.087	0.120	-0.381
pH	0.208	-0.077	0.238	0.008	0.171
TDS	0.590**	-0.049	-0.150	0.195	0.366
SAR	-0.634**	-0.266	-0.041	-0.225	0.308
Ca ²⁺	0.494*	-0.244	0.051	0.095	-0.329
Na ⁺	0.000	-0.284	-0.088	0.211	0.324
Mg ²⁺	0.611**	0.0570	-0.317	0.133	0.207
K	0.109	-0.166	0.452	0.095	0.297
CO ₃ ²⁻	-0.139	-0.171	-0.185	0.093	0.181
HCO ₃ ²⁻	0.460*	-0.136	-0.240	0.210	-0.073
Cl ⁻	0.615**	-0.063	0.225	-0.049	0.396
SO ₄ ⁻	0.484*	-0.194	-0.175	0.102	0.222
Year 2018 (Drought)					
EC	0.083	-0.137	0.245	-0.138	-0.212
pH	-0.163	-0.103	0.005	0.099	0.149
TDS	0.066	0.104	-0.238	0.097	0.590**
SAR	-0.012	-0.005	-0.446*	0.402*	0.165
Ca ²⁺	-0.069	0.189	-0.283	0.175	-0.236
Na ⁺	0.002	-0.004	-0.491**	0.176	0.018
Mg ²⁺	0.307	-0.141	-0.109	0.153	0.281
K	-0.101	-0.125	-0.162	0.205	0.333
CO ₃ ²⁻	-0.121	-0.131	-0.459*	0.104	-0.133
HCO ₃ ²⁻	0.249	-0.001	-0.031	0.079	0.252
Cl ⁻	0.271	0.177	-0.461*	-0.319	0.203
SO ₄ ⁻	-0.121	-0.050	-0.404*	0.050	-0.137

(* and ** Respectively significant at the 95% and 99% levels)

هشت درصد) و شهری و مسکونی (چهار درصد) می‌باشد. از علت کاهش درصد مساحت کاربری مرتع و درختچه‌های دست کاشت در سال ۱۳۹۷ می‌توان به وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک در طول این مدت در منطقه و توسعه مناطق با کاربری مسکونی و بایر (Rahdari et al., 2019) اشاره کرد. تحقیقی در حوضه آبخیز پلاسجان نشان داد که رهاسازی ۱۳۵۰ هکتار از اراضی کشاورزی دیم و تبدیل آن‌ها به اراضی بایر به علت از دست دادن قابلیت کشت و به‌ویژه بالا آمدن لایه آهک زیرین در اثر فعالیت‌های خاک ورزی بوده است (Rahdari et al., 2019) که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. نکته قابل توجه دیگر این است که هم در دوره ترسالی و هم در دوره خشکسالی بین اکثر پارامترهای کیفی آب و مساحت کاربری‌های شهری و بایر ارتباط مثبت و بین این پارامترها و

نتیجه‌گیری

نتایج بررسی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک حاکی از افزایش شدت و تداوم خشکسالی‌ها به‌ویژه خشکسالی هیدرولوژیک در سال‌های بعد از خشکسالی هواشناسی با تأخیر زمانی ۱۲ ماهه است. در بررسی گام زمانی خشکسالی مؤثر بر کمیت و کیفیت منابع آبی مشخص شد، خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک در تأخیرهای زمانی شش ماهه، اثرات خود را بر پارامتر کیفی منابع آبی رودخانه پلاسجان گذاشته است و با افزایش گام‌های زمانی هر دو شاخص خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک از شش ماه به ۴۸ ماه از تعداد پارامترهای کیفی آب که دارای همبستگی معنی‌دار هستند، کاسته می‌شود. نتایج نشان‌دهنده کاهش درصد مساحت درختچه‌ای (۱۶ درصد) و مرتع (۵۱ درصد) و افزایش مساحت کاربری کشاورزی (نه درصد)، بایر

خشک‌سالی و افزایش کاربری کشاورزی در ترسالی بود. بررسی تغییرات کاربری اراضی نشان می‌دهد در سال ۱۳۸۵ افزایش کاربری کشاورزی، افزایش برخی پارامترها سبب کاهش کیفیت آب رودخانه پلاسجان شده و در سال ۱۳۹۷ کاهش کاربری مرتع سبب افزایش برخی پارامترهای کیفی رودخانه پلاسجان شده است. نتیجه این پژوهش با Karimirad et al. (2019); Ghafari et al. (2020); Akbari et al. (2020); Malekpurlark et al. (2020) مطابقت دارد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که کیفیت منابع آب سطحی تحت تاثیر مدیریت کاربری اراضی و استفاده صحیح از زمین خصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک قرار دارد. تحقیقات مشابه می‌تواند در راستای بهبود وضعیت کمی و کیفی منابع آبی اثرگذار باشد و به مدیران برای مدیریت منابع آبی قبل از وقوع مشکلات تأمین و تخصیص کمک نماید.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر با مساعدت شرکت آب منطقه‌ای اصفهان- سازمان هواشناسی استان اصفهان- اداره منابع طبیعی استان اصفهان صورت گرفته، که بدین وسیله لازم است تا از تمامی کسانی که ما را در این مسیر همراهی نموده‌اند، قدردانی به عمل آوریم.

کاربری‌های مرتع و درختچه‌های دست کاشت رابطه منفی مشاهده می‌گردد. به عبارت دیگر کاربری‌های مرتع و درختچه‌ای اثر مثبت و کاربری‌ای بایر و شهری تاثیر منفی بر کیفیت آب سطحی منطقه مورد مطالعه داشته است و در دوره خشک‌سالی این تاثیر منفی بیشتر وجود دارد. در دوره خشک‌سالی و با افزایش مساحت کاربری‌های بایر، کشاورزی و شهری و کاهش مساحت کاربری مرتع و درختچه‌های دست‌کاشت، تغییراتی در همبستگی پارامترهای کیفی آب و کاربری در مقایسه با دوره ترسالی بوجود آمد و کیفیت آب سطحی با برداشت بیشتر منابع آب سطحی و تغییرات شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک کاهش یافت و بیشترین همبستگی معنی‌دار بین کاربری مرتع و شاخص‌های کیفیت آب مشاهده گردید. به عبارت دیگر کاربری مرتع و تغییرات مساحت آن بیشترین تاثیر را بر کیفیت آب در منطقه مورد مطالعه داشته است. همانطور که Allen (2004) نشان داد که کاربری‌های جنگل و مرتع به کاهش رواناب سطحی و رسوب در حوضه‌های آبخیز کمک می‌کنند. نتیجه این پژوهش با تحقیقات Gheysouri et al. (2019); Rajabzadeh et al. (2018); Boudad et al. (2021); Katipoğlu et al. و MesbahZadeh و SoleimaniSardoo (2018) همسو است. در بررسی تغییرات کاربری اراضی بر کیفیت منابع آبی، نتایج گویای کاهش کیفیت آب در پی کاهش کاربری مرتع و افزایش کاربری شهری در

References

- 1- Akbari, J., Kazemzadeh, M., and Alipour, H. 2020. Surface Water Quality Evaluation under Land Use Changes (Case study: Mahabad Chai Watershed). *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 7(4), PP. 41-54. (In Persian).
- 2- Alavipanah, S. K. and Masoudi, M. 2000. Land Use Mapping Using Landsat TM and Geographic Information System (GIS), a Case Study: Mouk Region of Fars Province. *Journal of Agriculture Science Natural Resources*, 8(1). PP.65-75.
- 3- Allen, J. D. 2004. The influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 35, 257-284.
- 4- Alizadeh, A. 2004. *Principles of Applied Hydrology*. Imam Reza University.942 p. (In Persian).
- 5- Azhar, S. C. 2021. Land Use and River Water Quality Relationships in the Muda River Basin, Malaysia. *Educatum Journal of Science, Mathematics and Technology*, 8(1), PP. 36-48. Doi: 10.37134/ejsmt.vol8.1.5.2021.
- 6- Boudad, B., Sahbi, H., and Mansouri, I. 2018. Analysis of meteorological and hydrological drought based in SPI and SDI index in the Inaouen Basin (Northern Morocco). *Journal of Materials and Environmental Science*, 9(1). PP. 219-227. Doi: 10.26872/jmes.2018.9.1.25.
- 7- Ding, Y., Xu, J., Wang, X., Cai, H., Zhou, Z., Sun, Y., and Shi, H. 2021. Propagation of meteorological to hydrological drought for different climate regions in China. *Journal of Environmental Management*, 283, PP.111980-111980. doi:10.1016/j.jenvman.2021.111980.
- 8- Farokhzadeh, B. Ildoromi, A. Attaeian, B. and Nourouzi, M., 2016. Evaluation of the Effects of Land Use Changes on Suspended Load Using SWAT Model (Case Study: Yalfan Watershed Hamadan

- Province). *Environmental Erosion Research*, 3(19), PP. 28-46. Dor: 20.1001.1.22517812.1394.5.3.5.5. (In Persian).
- 9- Ghafari, S., Moradi, H. R., and Moddares, R. 2020. The impact of Land Use Change on Groundwater Level in Isfahan-Borkhar, Najafabad and Chadegan Plains. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(9), PP. 2355-2371. Doi: 10.22059/IJSWR.2019.275564.668126. (In Persian).
 - 10- Gheysouri, M., Soltani-Gerdefaramarzi, S., and Ghasemi, M. 2018. Assessment of Meteorological and Hydrological Drought and its Effect on Water Quality: (Case Study: Godarkhosh River). *Irrigation Sciences and Engineering*, 41(4), PP. 91-105. Doi: 10.22055/JISE.2017.20927.1499. (In Persian).
 - 11- Heshmatpour, A., Jandaghi, N., Pasand, S., and Ghareh Mahmoodlu, M. 2020. Drought effects on surface water quality in Golestan province for Irrigation Purposes, Case study: Gorganroud River. *Journal of Physical Geography Quarterly*, 12(48), PP. 75-88. Dor: 20.1001.1.20085656.1399.13.48.6.0. (In Persian).
 - 12- Jincy Rose, M. A., and Chithra, N. R. 2022. Establishing a statistical relation between meteorological and hydrological drought indices. *Water Supply*, 22(4), PP.4262-4277. Doi: 10.2166/ws.2022.048.
 - 13- Karimirad, I., Ebrahimi, K., and Araghnejad, S. 2019. Assessing the Impact of Land-use Changes on Recharging of a Multilayer Aquifer. *Jornal of Watershed Management Science&Engineering*, 12(43), PP. 50-60. Dor: 20.1001.1.20089554.1397.12.43.5.8. (In Persian).
 - 14- Katipoğlu, O. M., Acar, R., and Şenocak, S. 2021. Spatio-temporal analysis of meteorological and hydrological droughts in the Euphrates Basin, Turkey. *Water Supply*, 21(4), PP. 1657-1673. Doi: 10.2166/ws.2021.019.
 - 15- Lei, C., Wagner, P. D., and Fohrer, N. (2021). Effects of land cover, topography, and soil on stream water quality at multiple spatial and seasonal scales in a German lowland catchment. *Ecological Indicators*, 120, 106940. Doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106940.
 - 16- Lotfirad, M., Esmaili-Gisavandani, H., and Adib, A. 2022. Drought monitoring and prediction using SPI, SPEI, and random forest model in various climates of Iran. *Journal of Water and Climate Change*, 13(2), PP.383-406. Doi: 10.2166/wcc.2021.287.
 - 17- Malekpurlarki, S., Khorsandi Kouhanstani, Z., and Faraji, M. 2020. Evaluation of impacts of land use change on Shavoor River water quality. *Watershed Engineering and Management*, 12(2), PP.580-592. Doi: 10.22092/ijwmse.2018.109145.1265. (In Persian).
 - 18- Malik, A., Kumar, A., Salih, S.Q. and Yaseen, Z.M., 2021. Hydrological drought investigation using streamflow drought index. *intelligent data analytics for decision-support systems in Hazard mitigation: theory and practice of hazard mitigation*, pp.63-88. Doi: 10.1007/s11269-012-0026-0.
 - 19- McKee, T.B., Doesken, N. J., and Kleist, J., 1995. Drought monitoring with multiple time scales. *In Proceedings of the 9th Conference on Applied Climatology*, pp. 233-236.
 - 20- MesbahZadeh, T., and SoleimaniSardoo, F. 2018. Temporal trend study of hydrological and meteorological drought in Karkheh watershed. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 12(40), PP.105-114. Dor: 20.1001.1.20089554.1397.12.40.12.9. (In Persian).
 - 21- Mishra, B. K., Regmi, R. K., Masago, Y., Fukushi, K., Kumar, P., Saraswat, C. 2017. Assessment of Bagmati river pollution in Kathmandu Valley: Scenario-based modeling and analysis for sustainable urban development. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 9, PP. 67-77. Doi: 10.1016/j.swaqe.2017.06.001
 - 22- Moradi, H., Taghavi, N., and Bahramifar, N. 2012. Effect of Different Land Use On Surface Water Quality Case Study: Siahrood Ghaemshahr Watershed. *Environmental Erosion Researches*, 1(4), PP. 23-32. (In Persian).

- 23- NafiShehab, Z., Jamil, N. R., Aris, A. Z., and Shafie, N. S. 2021. Spatial variation impact of landscape patterns and land use on water quality across an urbanized watershed in Bentong, Malaysia. *Ecological Indicators*, 122, PP.107254. doi:10.1016/j.ecolind.2020.107254.
- 24- Nalbantis, G., and Tsakiri, S. 2008. Assessment of Hydrological Drought Revisited. *Water Resources Management*, 23(5), pp. 881-891.
- 25- Nazarnezhad, H., Irani, T., and Miryaghobzadeh, M. 2019. Investigation of land use change effects on water quality of Zarrinehroud Basin (West Azarbaijan). *Watershed Engineering and Management*, 11(1), PP.76-87. (In Persian).
- 26- Nikbakht, J., and Moradi, O. 2019. Effect of Drought on Hashtgerd Plain Groundwater Quantity and Quality Considering Irrigation Use. *Iran-Water Resources Research*, 14(4), 120-131.
- 27- Organization of Agriculture Jihad Isfahan, 2011. (In Persian).
- 28- Rahdari, V., Safianian, A.R. Pourmanafi, S. Qayumi Mohammadi, H., Maleki, S. and Pormardan, V. 2019. Multi-criteria assessment of land capability for rainfed farming (case study: Plasjan watershed sub-basin). *Journal of Soil and Water Sciences*, 23(4), 297-285. (In Persian).
- 29- Rajabzadeh, S., Masaedi, A., and Qabaei Souq, M. 2019. Investigation of Temporal Variatiom and Relationship between Meteorological and Hydrological Droughts of Kashmar and Bardaskan Plain. *8th National conference on Rainwater Catchment systems, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*. (In Persian).
- 30- Salimi, H., Asadi, E. and Darbandi, S., 2021. Meteorological and hydrological drought monitoring using several drought indices. *Applied Water Science*, 11, pp.1-10.
- 31- Šebenik, U., Brilly, M. and Šraj, M., 2017. Drought analysis using the standardized precipitation index (SPI). *Acta geographica Slovenica*, 57(1), pp.31-49. doi.org/10.3986/AGS.729.
- 32- Shahrokhi, Z., Zare, M., Maybodi, A. M., and Aliabad, F. A. 2019. The effect of drought on surface water quality of the Halil-Rood basin, Kerman. *Journal of Water and Soil Science*, 23(3), PP. 367-379. (In Persian).
- 33- Shalaby, A., and Tateishi, R. 2007. Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. *Applied geography*, 27(1), PP. 28-41. Doi: 10.1016/j.apgeog.2006.09.004.
- 34- Soltani-Gerdefaramarzi, S. Gheisouri, M., Saberi, A. and Yarami, N. 2021. The effect of land use change on surface water quality under the wet and dry years in a semi-arid catchment (case study: Godarkhosh catchment). *Environment, Development and Sustainability*, 23(4), PP. 5371-5385.
- 35- Sonmez, F.K., Komuscu, A.U., Erkan, A., and Turgu, E., 2005. An analysis of spatial and temporal dimension of drought vulnerability in Turkey using the standardized precipitation index. *Natural Hazards*, 35, PP. 243–264.
- 36- Tahiru, A. A., Doke, D. A., and Baatuuwie, B. N. 2020. Effect of land use and land cover changes on water quality in the Nawuni Catchment of the White Volta Basin, Northern Region, Ghana. *Applied Water Science*, 10(8), PP. 1-14.
- 37- WMO. 2012. *Standardized Precipitation Index User Guide*. No. 1990. Geneva 2, Switzerland. 16 P.