Investigation of Hydrological and Morphological Changes in Givi chay Due to the Construction of Givi Dam

Elnaz Piroozi[1], Dr. Aghil Madadi[2*], Dr. Sayyad Asghari Saraskanrood[3]

1- Ph.D Student of Geomorghology, University of Mohaghegh Ardabili
2- Professor of Geomorghology, University of Mohaghegh Ardabili
3- Associate Professor of Geomorghology, University of Mohaghegh Ardabili

Piroozi, E & Madadi, A & Asghari Saraskanrood, S. (2021). [Investigation of Hydrological and Morphological Changes in Givi chay Due to the Construction of Givi Dam]. *Geography and Development*, 18 (61), 29-58, http://dx.doi.org/10.22111/J10.22111.2021.5833

doi: http://dx.doi.org/10.22111/J10.22111.2021.5833

Received:27/12/2019
Accepted:12/05/2020

ABSTRACT

In this research, we have used images of eight and seven Landsat, topography and geology maps, hydrological and field data. First, in order to investigate the hydrological changes in the study area, the data between the two Abgarm and Firouzabad stations, using the 27 hydrologic indicators, was investigated. In the next step, the t-test was used to analyze the significance of hydrologic changes. Then, using water indicators, the river route was extracted from satellite imagery. In the next step, the river was divided into four intervals and eight routes, and river geomorphology parameters including curvature coefficient, central angle and sinusoidal coefficient of path were measured.According to the results of this study, the construction of the Givi dam and its associated implications have exacerbated the hydrological changes followed by river morphological changes. The maximum effect of dam construction was on maximum flow changes, which decreases peak flow after water absorption, and decreases the amount of sediment input downstream in the second interval by sediment trapping by Givi dam. Therefore, reducing the sediment load increases the transfer capacity by the outlet water from the dam, resulting in increased wear and tear strength and substrate digging in the second interval. In the third interval, the erosion is increasing, leading to the formation and development of the meander pattern. In the fourth interval and at a distance from the dam, the depth and width of the bed decreases due to sedimentation.

Keywords:
River changes,
Central angle,
Bending Coefficient,
Hydrological indices.

Extended Abstract

1- Introduction

Metamorphosis of rivers can be gradual and continuous in the long-term approach, or it can be sporadic and sudden if considered under certain circumstances in the short-run. The effects of river adjustment caused by the natural factors require much longer time span to reveal. However, there are few exceptions that the natural factors such as river floods, landslide or earthquake can induce channel adjustments in a very short time. In contrast, human activities can have a significant and rapid impact on natural processes and trends, resulting in a compressed time scale for river adjustments. Since these disturbances cause substantial changes to the flow and sediment regimes, at present few rivers are in a natural or semi-natural condition. Givi Chay River is one of the permanent rivers of Ardebil province in northwest of Iran. This study attempts to investigate the changes of geomorphological indices of the Givi Chay River over the period of time (2000-2019), and considering that the dams affect the flow regime and sediment load and one of the factors that

***Corresponding Author:**
Dr. Aghil Madaddi
Address: Department of Geomorghology University of Mohaghegh Ardabili
Tel: +98(9143533026)
E-mail: a_madadi@uma.ac.ir

can strongly disrupt the stability of rivers is the construction of dams. Evaluation of hydrological conditions, especially regarding the construction of Givi Dam and its effects on conduit morphology is also discussed.

Methods and Material

In this research, the topography map with a scale of 1: 50000, geology map with a scale of 1: 100000, and google earth and Landsat Eight images, including OLI sensor (2019), Landsat seven including ETM + sensor (2000), bedrock maps and the Givi-chay River privacy at a scale of 1:2000 hydrological data from two Abegharm stations (upstream of the dam) and Firoozabad (downstream of the dam) and field data are used. Also to control the results obtained by quantitative methods it is used from field studies for confirmation and verification. ENVI 5.3, Arc GIS 10.5, Excel and SPSS software were also used for image processing and data analysis. Then, in order to study the hydrological conditions of the study area, the data of Abegharm and Firoozabad stations were studied using 27 hydrological indices. Then, paired T-test was used for statistical analysis of indices in order to study the significance of indices changes between upstream and downstream dam and consequently study the effect of dam construction. Then the geomorphological parameters of the river and their variations including bending coefficient and central angle were measured.

Results and Discussion

According to the results of hydrological indices calculation and T-test analysis, between two Abegharm stations (upstream) and Firoozabad station (downstream), in terms of Q5, Q10, Q15, Q35, Q45, Q50, Q65 indices there was a significant difference between the two stations in the 19-year period, Q90, normal water flow, maximum flow, mean flow, intermediate flow, mode flow and annual flow. It can be stated that the construction of Givi Dam and the changes in the flow by the dam can affect the amount, timing and it affects the duration of upstream and downstream currents and can provide a suitable bedding for intensifying hydrological changes and subsequently, river morphological changes. Behind the dam, sedimentation activity is dominant due to dewatering, volume and high water content, and downstream of the dam, all inbound and all or part of the suspended load in the reservoir is deposited. Downstream changes include sedimentation and erosion in parts of the river, displacement of meanders, flooring and wall demolition. In general, trap deposition by the Givi Dam reduces the amount of downstream deposition in the second interval. The results show that the bights increased from 75 to 100 during this time, indicating morphological and instability changes in the river. According to Table 5, the mean curvature coefficient for the first period in 2000 was 1.48 and decreased to 1.40 in 2019. But in other periods in 2019 the bending coefficient has increased compared to 2000. In both periods, the first and the third intervals were highly developed in the form of Meander and the fourth period were of the developed Meander type. However, during the second period during the study period, the type of the rift from the developed Meander changed to the highly developed Meander and the central angle reached from 143.82 in 2000 to 163/50 in 2019. In the first interval, the central angle of the riverbed has decreased in 2019 compared to 2000, and with the decrease of the central angle of the river, the mean radius of tangent to the riverbed has also decreased, and in other intervals has witnessed an increasing trend of the central angle during the study period. Increasing the central angle indicates that the river meanders are active and the morphology of the river has changed to a highly developed rudimentary twist. On routes 6 and 7, with a sinuosity of more than 1.5, this indicates that the river has a high potential for displacement in these areas. Also, it can be said that the sinuosity of more than 2, on the sixth path, represents the evolution of most meanders in that part.

Conclusion

According to the results of the study, it can be said that the construction of the Givi Dam and its related consequences has created a suitable bed for intensifying river hydrological and morphological changes. The maximum impact of dam construction on maximum flow changes was that it reduced the peak flow after dehydration and reduced the amount of downstream sediment entrapment by trapping sediment by Givi Dam. Therefore, decreasing the sediment load increases the transfer capacity by the water outlet from the dam, resulting in increased abrasion strength and drilling of the bed in the second interval. In the plain, the main factor affecting the river meandering is the alluvial formation, the slope is low and the meanders are inscribed and plain, whereas in the mountainous part the river changes are subject to valley changes and the meandering state is seen throughout the valley. In general, changes in the Givi-chay River Plans have been attributed to the expansion of existing meanders, displacement of the river path, and increased curvature and formation of small meanders. Hydrological processes are caused by the process of supply of sediment and sediment discharge, dam construction and lithological resistance and construction of the Givi Dam, in the upstream and downstream flow regime, a fundamental change has occurred and this change has somehow altered the natural balance of the river and influenced its geomorphological features.

Keywords: River changes, Hydrological indices, Central angle, Bending coefficient.

Refrences

- Alizadeh, A. (2015). Principles of Applied Hydrology, 39th Edition, Ferdowsi University of Mashhad, 946 p. (In persian)
- Ardabil Regional Water Authority. (2017). (In persian) http://www.arrw.ir/old/
- Asghari saraskanrood, S. (2017). Analysis of the channel shape of the Kolghan Chay River (the distance between Kolghan and its annexation to the Garanqou River), Quantitative geomorphology research, Year 6, Number 2, PP.116-132. (In persian) http://www.geomorphologyjournal.ir/article_78088.html
- Aswath, M. V., Satheesh, V. R. (2008). Factors Influencing the Sinuosity of Pannagon. River Kottayam, Kerala, India: An assessment using remote and GIS. Environmental Monitoring and Assessment, 138(1-3), PP. 173-180. https://doi.org/10.1007/s10661-007-9755-6
- Ayaz, S., and Dhali, M.K., 2019. Longitudinal profiles and geomorphic indices analysis on tectonic evidence of fluvial form, process and landform deformation of Eastern Himalayan Rivers, India. Geology, Ecology, and Landscapes, PP. 1-12. https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1568130
- Bandyopadhyay, Sh., and KumarDe, S., 2018. Anthropogenic impacts on the morphology of the Haora River, Tripura, India. Geomorphology relief processes environment, 24 (2), PP. 151-166. https://doi.org/10.4000/geomorphologie.12019
- Batalla, R.J., Iroume, A., Hernandez, M., Lena, M., Vericat, D. (2018). Recent geomorphological evolution of a natural river channel in a Mediterranean Chilean basin, Geomorphology, Vol 303, PP. 322-337. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.12.006.
- Brandt,S.A. (2000). Classification of geomorphological effects downstream of dams, journal of Catena, No: 40, PP.375- 401.
- Casado, A., Peiry, J. L., Campo, A. M. (2016). Geomorphic and vegetation changes in a meandering dryland river regulated by a large dam, Sauce Grande River, Argentina. Geomorphology, 268, PP. 21-34. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.05.036
- Chen, F., Chen, L., Zhang, W., Han, J., Wang, J., (2019). Responses of channel morphology to flow-sediment variations after dam construction: a case study of the Shashi Reach, middle Yangtze River, Hydrology Research, 50 (5), PP.1359-1375. https://doi.org/10.2166/nh.2019.066
- Clarke, K.D., Pratt, T.C., Randall, R.G., Dave, A., Smokorowski, K.E. (2008). Validation of the Flow Management Pathway: Effects of Altered Flow on Fish Habitat and Fishes Downstream from a Hydropower Dam. Tech. rep., Northwest Atlantic Fisheries Center, St. John’s. http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/332113.pdf
- Esmali Ouri, A., Amini , H., Mostafazadeh , R., Sharari, M., Zabihi, M. (2019). Hydrological drought response of regulated river flow under the influence of dam reservoir in Ardabil Province, Journal of the Earth and Space Physics, Vol 45, Issue 2, PP: 473 – 486. (In persian) https://doi.org/10.22059/jesphys.2019.272671.1007078
- Fasahat, V., Sadatinejad, J., Honarbakhsh, A., Samadi Boroujeni, H. (2015). Influence of Storage Dam Construction on Downstream Flood Reduction, Journal of Watershed Management Research, Vol 5, Issue 10, PP. 44- 55. (In persian) http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-412-fa.html
- Gard, R.J. (2006). River morphology. New Age Internatiomal (P) Ltd., Publishers, 479 p. https://www.worldcat.org/title/rivermorphology/oclc/647881451
- Gordon, E., Meentemeyer, R.K. (2006). Effects of Dam Operation and Land Use on Stream Channel Morphology and Riparian Vegetation, Geomorphology, Vol. 82, No. 3/4, PP. 412-429. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.001
- Gregory, K. J. (2006). The human role in changing river channels, Geomorphology, 79(3), PP. 172-191. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.018.
- Graf. W. L. (2006). Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers, journal of Geomorphology, No.79, PP.336-360. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.022
- Hmmerling, M.H., Walczak, N., Nowak, A., Mazur, R., Chmist, J., (2019). Modelling Velocity Distributions and River Bed Changes Using Computer Code SSIIM below Sills Stabilizing the Riverbed, Original Research, 28 (3), PP.1165-1179. https://doi.org/10.15244/pjoes/85224.

- Kibet Langat, F., Kumar, L., Koech, R. (2019). Monitoring river channel dynamics using remote sensing and GIS techniques, Geomorphology, Vol 325, PP.92-102. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.10.007
- Kheirizadeh, M. (2015). Morphodynamic analysis and lateral changes in the duct of the Zarrineh Rood River (from Shahin Dezh to Lake Urmia), Doctoral dissertation, Tabriz University, Supervisor: Mohammad Hosein Rezaimogaddam, Advisor: Rasol Daneshfaraz, 192 p. (In persian). https://ganj.irandoc.ac.ir/viewer/7088dffb724bbc881818469668c3e58c
- Kondolf, M., Piegay, H (2003). Tools in fluvial geomorphology. John Wiley & Sons Ltd. 688 P. https://doi.org/10.1002/0470868333
- KHoshraftar,R.,Ahmadi Torkamanay,A.,Feyzollahpour, M., Hamedi, N. (2019). A Study of Gezel Ozan River Meanders in Mahneshan County-Zanjan province, 7 (4), PP.15-30. (In persian) http://www.geomorphologyjournal.ir/article_88308.html
- Lauer, J., Parker, G. (2008). Net local removal of floodplain sediment by river meander migration. Geomorphology, Vol 96, PP.123-149. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.08.003
- Liaghat, A., Adib, A., Gafouri, H.R. (2017). Evaluating the Effects of Dam Construction on the Morphological Changes of Downstream Meandering Rivers (Case Study: Karkheh River), Engineering, Technology & Applied Science Research, Vol.7, No.2,PP.1515-1522. https://www.etasr.com/index.php/ETASR/article/view/969
- Minear, J. T. (2010). The Downstream Geomorphic Effects of Dams: A Comprehensive and Comparative Approach, requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Landscape Architecture &Environmental Planning University of California, Berkeley, 201 p. https://escholarship.org/uc/item/1f8612f9
- Minh Hai, D., Umeda Sh., Yuhi, M., (2019). Morphological Changes of the Lower Tedori River, Japan, over 50 Years, water, 11, 1852, pp 2-17. https://doi.org/10.3390/w11091852.
- Mostafazadeh, R., Esfandyari Darabad, Shahmoradi, R., Nasiri Khiavi, A., Ebadi, A. (2019). Investigating the Effect of Bukan's Dam Construction on Hydrological Indices of Zarrinehrood River Based on the Flow Duration Curve, Water and soil science, Vol. 29, Issue. 4, PP. 147-159. (In persian) https://watersoil.tabrizu.ac.ir/article_10306.html
- Nelson, N.C., Erwin, S.O., Schmidt, J. (2013). Spatial and Temporal Patterns in Channel Change on the Snake River Downstream from Jackson Lake Dam, Wyoming, Geomorphology, Vol 20, PP.132-142. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.03.019
- Ollero, A. (2010). Channel changes and floodplain management in the meandering middle Ebro River, Spain, Geomorphology, 117(3), PP.247-260. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.01.015
- Oorschot, M. V, Kleinhans M, Buijse. T, Geerling, G., Middelkoop, H. (2018). Combined effects of climate change and dam construction on riverine ecosystems, Ecological Engineering, 120, PP. 329-344. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.05.037
- Overeem, I., Kettner, A.J., Syvitski, J.P.M. (2013). Impacts of Humans on River Fluxes and Morphology, Treatise on Geomorphology, Vol. 9, No. 1, PP.828-842. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00267-0.
- Petit, F. (1987). the relationship between shear stress and the shaping of a pebble-loaded river La Rulles-Ardenne, Catena, 14(5), PP.453-468 https://doi.org/10.1016/0341-8162(87)90015-4
- Petrovszki, J., Timar, G. (2009). Channel sinuosity of the Koros River system, Hungary/Romania, as possible indicator of the neotectonic activity، Elsevier، department of Geophysics and space science. Geomor-03140; no of page8. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.11.009.
- Remondo, J., Soto, J., Gonzalez-Diez, A., de Teran, J. R. D., Cendrero, A. (2005). Human impact on geomorphic processes and hazards in mountain areas in northern Spain, Geomorphology, 66(1). PP. 69-84. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.09.009.
- Sadodin, A., Khosravi, GH., Ownegh, M., Bahremand, A.,Mostafav,H. (2019). Classification and identification of changes in river flow regime using the Indicators of Hydrologic Alteration (IHA)Case study: (The Khormarud River- Tilabad Watershed- Golestan Province), Iranian Journal of Eco Hydrology, Vol 6, Issue 3. PP. 651- 671. (In persian)
- Schumm, S. A. (1985). Patterns of alluvial rivers, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 13, PP. 5-27.https://doi.org/10.1146/annurev.ea.13.050185.000253
- Snoussi, M, Haida, S, Imassi, S. (2002). Effects of the construction of dams on the water and sediment fluxes of the Moulouya and the Sebou Rivers, Morocco, Reg Environ Change, 3. PP. 5-12. https://doi.org/ 10.1007/s10113-001-0035-7.
- Surian, N., Rinaldi, M. (2003). Morphological Response to River Engineering and Management in Alluvial Channels in Italy, Geomorphology, Vol. 50, No. 4, PP. 307-326. https://doi.org/10.1016/S0169-555X (02)00219-2.
- Surian, N, Rinaldi, M, Peliegrinl, L. (2011). Channel adjustments and Implications for river management and restoration, Geogr. Fis. Dinam. Quat, 34, PP. 145-152. https://www.researchgate.net/publication/ 261358713
- Vikrant J. & R. Sinha. (2005). Response of active tectonics on alluvial Baghmati River Himalayan foreland basin, eastern India، Elsevier. PP. 339-356. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.02.012
- Yu, F., Price, K.P., Ellis, J., Kastens, D. (2004). Satellite Oservations of Seasonal Vegatation Growth in Central Asia: 19821990",Photogrammetric Engineering and Remot Sensing, Vol.70(4).PP.461-469 https://doi.org/10.14358/PERS.70.4.461

بررسی تغییرات هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی رودخانهٔ گیوی‌چای ناشی از احداث سد گیوی

الناز پیروزی[۱]، دکتر عقیل مددی[۲]*، دکتر صیاد اصغری سراسکانرود[۳]

جغرافیاوتوسعه، شماره ۶۱، زمستان ۱۳۹۹

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۰۶

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۲۳

صفحات : ۵۸- ۲۹

واژه‌های کلیدی:
تغییرات رودخانه، زاویه مرکزی، شاخص‌های هیدرولوژیکی، ضریب خمیدگی.

چکیده

مسیر رودخانه‌ها تحت‌تأثیر عوامل مختلف، در معرض تغییر و تحول هستند و این تغییرات می‌تواند بر سازه‌های بناشده در حاشیهٔ رودخانه‌ها، زمین‌های کشاورزی و غیره آثار منفی بگذارد. هدف پژوهش حاضر، بررسی تغییرات شاخص‌های آب‌شناختی و ریخت‌شناسی گیوی‌چای، به‌ویژه در رابطه با احداث سد، در طی دورهٔ زمانی (۲۰۱۹- ۲۰۰۰)، با استفاده از تصاویر لندست هفت و هشت، نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، داده‌های هیدرولوژیکی و میدانی است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از محاسبهٔ شاخص‌های هیدرولوژیکی و تحلیل آزمون آماری T، ازلحاظ ۱۵ شاخص، شامل: Q5، Q10، Q35،Q15 ، Q45، Q50، Q65، Q90، دبی نرمال پرآبی، دبی حداکثر، دبی میانگین، دبی عادی، دبی میانه، دبی مد و دبی سالانه، تفاوت معناداری، بین دو ایستگاه آبگرم (در بالادست) و ایستگاه فیروزآباد (در پایین‌دست)، در بازهٔ زمانی مورد مطالعه دیده می‌شود. نتایج حاصل از محاسبهٔ شاخص‌های مورفولوژیکی نیز نشان داد، میانگین ضریب خمیدگی در بازهٔ اول در سال ۲۰۰۰، ۱/۴۸ بوده و در سال ۲۰۱۹ به مقدار ۱/۴۰ کاهش یافته‌است؛ اما در بازهٔ دوم مقدار ضریب خمیدگی از ۱/۲۳ به ۱/۲۵ و در بازهٔ سوم از ۱/۸۵ به ۱/۸۶ و در بازهٔ چهارم از ۱/۱۵ به ۱/۱۸ افزایش یافته‌است. در بازهٔ اول زاویهٔ مرکزی پیچان‌رودها از ۲۱۹/۹۹ به ۱۸۹/۷۳ کاهش یافته‌است و در سایر بازه‌ها شاهد روند افزایشی زاویهٔ مرکزی در طی دورهٔ مطالعاتی هستیم. بازهٔ اول و سوم در هر دو دوره، به‌صورت پیچان‌رود بسیار توسعه‌یافته و بازهٔ چهارم، از نوع پیچان‌رود توسعه‌یافته است؛ ولی در بازهٔ دوم، نوع بازه از پیچان‌رود توسعه‌یافته به بسیار توسعه‌یافته تغییر یافته‌است و زاویهٔ مرکزی از ۱۴۳/۸۲ به ۱۶۳/۵۰ رسیده‌است. درحالت‌کلی،تغییرات پلان‌فرم رودخانهٔ گیوی، به‌صورت گسترش مئاندرهای موجود، جابه‌جایی مسیر، افزایش انحنا و تشکیل مئاندرهای کوچک بوده و شکل‌گیری الگو و دینامیک مجرا، تحت‌تأثیر دبی، دبی رسوبی ناشی از احداث سد و مقاومت لیتولوژیکی بستر و کنارهٔ رودخانه است.

مقدمه

تغییرات رودخانه‌ها نمود و نمادی از تغییرات شکل زمین[۴] در چشم‌اندازهای ژئومورفولوژی و در سیستم‌های حوضه‌های آبریز است. در طی زمان تغییرات فراوانی در مورفولوژی و دینامیک سیستم‌رودخانه می‌تواند، صورت گیرد (*Kondolf & Pieg, 2003:105*). تغییرپذیری رودخانه در کوتاه‌مدت ممکن است تدریجی و پیوسته باشد؛ ولی در درازمدت یا تحت شرایط خاص ناپیوسته و ناگهانی است (*Remondo et al, 2005: 72*).

تغییرات درون‌زاد به‌صورت ذاتی در رژیم رودخانه وجود دارند و شامل مهاجرت کانال، میان‌برها و تغییرات مسیر مجرا است. تغییرات برون‌زاد در پاسخ به تغییرات خارجی ازقبیل نوسانات اقلیمی یا تغییر رژیم‌های آب و رسوب درنتیجهٔ مداخلات انسانی به‌وجود می‌آید (*Gard, 2006: 315*)؛ بنابراین می‌توان گفت که مورفولوژی رودخانه به عوامل مختلفی وابسته است؛

۱- دانشجوی دکتری مخاطرات ژئومورفولیک دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران e.pirouzi@uma.ac.ir

۲- استاد ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (نویسنده مسئول) a_madadi@uma.ac.ir

۳- دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران s.asghari@uma.ac.ir

به‌عنوان‌مثال: شوم (۱۹۸۵)، باتالا و همکاران (۲۰۱۸)، جنس و لیتولوژی مواد دیواره‌ها و بستر (*Schumm, 1985: 5; Batalla et al, 2018: 322*)، ویکرانت و سینها (۲۰۰۵)، پتروسکی و تیمار (۲۰۰۹)، ایاز و دهایل (۲۰۱۹)، فعالیت‌های تکتونیکی (*Vikrant & Sinha, 2005: 339; Petrovszki & Timar, 2009: 1; Ayaz & Dhali, 2019:1*)؛ گریگوری (۲۰۰۶)، سورین و همکاران (۲۰۱۱)، باندی‌اپاده‌ای و کوماره (۲۰۱۸)، دخالت‌های‌انسانی مانند تغییرات استفاده از زمین، شهرنشینی، برداشت شن و ماسه (*Gregory, 2006: 172; Surian & Rinald, 2011: 145; Bandyopadhyay & Kumar De, 2018: 151*) و گوردن و مینت مایبر (۲۰۰۶)، گراف (۲۰۰۶)، اولرو (۲۰۱۰)، کاسادو و همکاران (۲۰۱۶)، چن و همکاران (۲۰۱۹)، هملینگ و همکاران (۲۰۱۹)، مینهای و همکاران(۲۰۱۹)،تغییرات هیدرولوژیکی ناشی از احداث سد را در تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ها به‌عنوان عامل مهم معرفی کرده‌اند (*Gordon & Meentemeyer, 2006: 412; Graf, 2006: 336; Ollero, 2010:247; Casado et al,2016:21; Chen et al,2019:1359; Hmmerling et al, 2019:1156; Minh Hai et al, 2019: 2*). در حالت کلی، تغییر در مورفولوژی رودخانه ممکن است مشکلات بسیاری ازجمله: تغییر مسیر رودخانه، طغیان مناطق اطراف، تخریب کناره‌ها و زمین‌های زراعی، عریض‌شدگی شدید رودخانه، تخریب جاده‌های ارتباطی، گودافتادن بستر، آسیب‌رساندن به سازه‌های هیدرولیک و شستگی‌پل‌ها و همچنین برخی از اثرات زیست‌محیطی را ایجاد کند؛ ازاین‌رو بررسی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه در زمینه‌های بسیاری اهمیت داشته و می‌تواند در روند مدیریت علمی رودخانه‌ها و فرایندهای‌رودخانه‌ای مدیران را از اطلاعات بهنگام مطلع کند (*Yu et al, 2004:462*).

از آن نظر که رودخانهٔ گیوی‌چای از رودخانه‌های پرآب و دائمی استان اردبیل است و هنوز مطالعهٔ جامع و کاملی توسط پژوهشگران بر روی این رودخانه انجام نشده‌است و با توجه به اینکه سدها رژیم جریانی و بارِ رسوبی رود را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند (*Nelson et al, 2013: 132; Overeem et al, 2013: 832; Surian & Rinaldi, 2003: 309*) و یکی از عواملی که می‌تواند ثبات رودخانه‌ها را به‌شدت مختل سازد، ساخت سدها است (*Liaghat et al, 2017: 1515*).

در این‌تحقیق سعی بر آن است تا به تحلیل مورفولوژی بستر رودخانهٔ گیوی‌چای پرداخته شود و تمامی عوامل ایجادکنندهٔ تغییرات مورفولوژیکی ازجمله عوامل زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی مورد بررسی قرار گیرد. در رابطه با پیشینهٔ پژوهش می‌توان گفت که محققان زیادی در رابطه با تغییرات مورفولوژی و ویژگی‌های هیدرولوژیکی رودخانه به مطالعه پرداخته‌اند؛ به‌عنوانِ مثال: اسنویسی و همکاران (۲۰۰۲)، به بررسی شرایط مورفولوژی و هیدرولوژیکی ناشی از ساخت سدها در دو رودخانهٔ مولویا و سبو واقع در مراکش پرداختند و به این نتیجه رسیدند که پیامد فعالیت‌های سدسازی در منطقه کاهش شدید آب و رسوب رودخانه‌ها است (*Snoussi et al, 2002: 5*).

آسواس و ساتیش (۲۰۰۸)، به ارزیابی عوامل مؤثر بر انحراف رود کوتایام در هند پرداختند. مطابق‌با نتایج به‌دست‌آمده، میانگین شاخص سینوسیتی در رودخانه در سال ۱۹۶۷، ۱/۶ و در سال ۲۰۰۴، ۱/۸ بوده‌است و مقاطع پیچشی بیش‌تر در پایین‌ترین سطح رودخانه قرار دارند (*Aswathy & Satheesh, 2008:173*).

ماینیر (۲۰۱۰)، در بررسی اثرات ژئومورفیک در پایین‌دست سدها در کالیفرنیا به این نتیجه دست یافتند که حمل‌ونقل سالیانه رسوب پس از احداث سد، به‌طور متوسط ۴۵ درصد کاهش یافته و مجموع رسوب‌گذاری ذرات بزرگ‌تر از ۸ میلی‌متر، به میزان ۴۲ درصد کاهش یافته‌است و به‌طورکلی، از نتایج و پیامدهای ساخت‌وساز سدها، تغییر در فرایندهای

طبیعی هیدرولوژیکی و رسوب، تغییر طول و فرکانس جریان و آزادشدن جریان‌های بدون رسوب بوده‌است (Minear, 2010: 10). لیاقت و همکاران (۲۰۱۷)، به ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی در قسمت پایین‌دست سد در رودخانهٔ کرخه پرداختند. نتایج نشان داد که عرض متوسط رودخانه از ۲۷۳ متر قبل از احداث سد، به ۶۰ متر پس از ساخت سد کاهش یافته‌است. به‌طور متوسط، هر سال نرخ مهاجرت جانبی در رودخانه ۳۴ متر است که نشان‌دهندهٔ بی‌ثباتی در منطقه است (Liaghat et al, 2017: 1515).

کیبت‌لنگت و همکاران (۲۰۱۹)، در مطالعه‌ای دینامیک و تحول رودخانه تانا را بررسی کرده و بیان کرده‌اند که نیروهای حرکتی بالقوه درجهت تغییرات مورفولوژیکی رودخانه، شامل: تغییرات رژیم هیدرولوژیکی، کاربری اراضی، گرادیان کانال و تغییرات پوشش گیاهی حاشیهٔ رودخانه است (Kibet Langat, 2019: 92). فصاحت، ساداتی‌نژاد، هنربخش و صمدی بروجنی (۱۳۹۳)، با انجام روندیابی جریان، میزان تأثیر احداث سدها بر کاهش سیلاب پایین‌دست حوزهٔ آبخیز جونقان-فارسان را مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که با احداث سدها به‌طور متوسط دبی اوج سیل خروجی از حوزه، ۳۴ درصد کاهش می‌یابد. خیری‌زاده (۱۳۹۵)، به‌تحلیل تغییرات مجرای رودخانهٔ زرینه‌رود پرداخته‌است. نتایج مطالعه نشانگر دینامیک بسیار پایین و تنگ‌شدگی مجرا بر اثر کاهش شدید دبی و فعالیت‌های انسانی، برای بازه‌های پایاب سد است.

اصغری سراسکانرود (۱۳۹۶)، به تحلیل شکل مجرا در رودخانهٔ کلقان‌چای پرداخته‌است و نتایج مطالعه نشان داد که میانگین ضریب خمیدگی محدودهٔ مورد مطالعه ۱/۳۱ است و به‌ترتیب ۵۴ و ۴۵ درصد از پیچان‌ها، به‌صورت شبه‌پیچان‌رود و پیچان‌رود توسعه‌نیافته است.

همچنین، شکل‌گیری الگو و دینامیک مجرا در محدودهٔ مطالعاتی تحت‌تأثیر فرایندهای هیدرولوژیکی (به‌ویژه ناشی از احداث سد)، مقاومت لیتولوژیکی بستر و کناره و عوامل انسانی است.

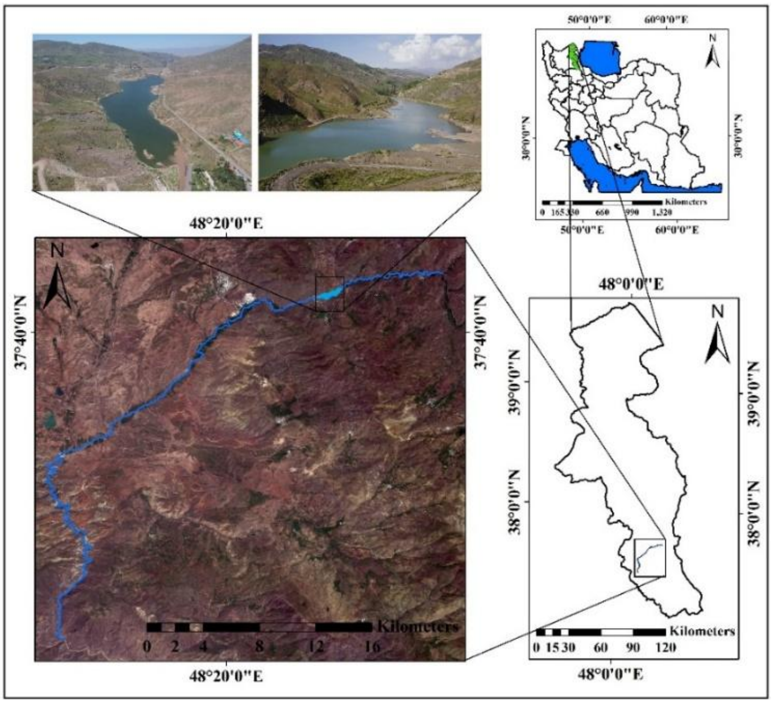
خوش‌رفتار، احمدی ترکمانای، فیض‌الله‌پور و حامدی (۱۳۹۸)، به بررسی پیچان‌رودهای قزل‌اوزن در محدودهٔ شهرستان ماه‌نشان زنجان با استفاده از شاخص‌های هندسی و تصاویر ماهواره‌ای پرداختند. با توجه به نتایج مطالعه، در طی بازهٔ زمانی موردمطالعه (۱۳۹۴-۱۳۷۳)، از مقدار زاویهٔ مرکزی پیچان‌رود خیلی توسعه‌یافته کاسته شده و بیشتر زاویهٔ مرکزی برای سال‌های موردمطالعه در دستهٔ ۱۵۸-۸۵ درجه‌ای که مربوط پیچان‌رود توسعه‌یافته است، قرار می‌گیرد. همچنین با توجه به نتایج مطالعه، تعداد پیچان‌رودهای رودخانهٔ قزل‌اوزن در محدودهٔ موردمطالعه به‌ترتیب از ۵۷ در سال ۱۳۷۳، به ۱۵۶ در سال ۱۳۹۴ افزایش یافته‌است. مصطفی‌زاده، اسفندیاری درآباد، شاهمرادی، نصیری خیاوی و عبادی (۱۳۹۸)، در مطالعه‌ای اثرات احداث سدبوکان بر شاخص‌های هیدرولوژیک رودخانهٔ زرینه‌رود را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه دست یافتند که احداث سد باعث تغییر در شاخص‌های جریان در دوره‌های بعد از احداث سد شده‌است و در مجموع احداث سدبوکان شاخص‌های Flow variability (متنوع جریان) را کاهش و شاخص‌های Flow duration (تداوم جریان) را افزایش داده‌است.

اسمعلی‌عوری، امینی، مصطفی‌زاده، شرری و ذبیحی (۱۳۹۸)، در مطالعه‌ای به ارزیابی اثر احداث سدیامچی و سدسبلان (استان اردبیل)، بر تغییرات رژیم جریان و خشکسالی رودخانه‌های پایین‌دست آن‌ها پرداختند و

به این نتیجه دست‌یافتند که احداث سد یامچی باعث کاهش رژیم جریان در پایین‌دست شده و افزایش وقوع رخدادهای خشکسالی هیدرولوژیک را سبب شده‌است؛ درحالی‌که سد سبلان باعث تعدیل و تنظیم رژیم جریان در پایین‌دست شده و از شدت خشکسالی‌های هیدرولوژیک، کاسته و نقش بیشتری در تنظیم جریان داشته‌است. بر اساس پیشینهٔ مطالعات انجام شده در رابطه با ژئومورفولوژی رودخانه‌ای، ملاحظه می‌شود که بحث مطالعهٔ تغییرات مورفولوژیکی و هیدرولوژیکی، از اهمیت شایانی برخوردار است و هدف‌مطالعهٔ حاضر نیز بررسی تغییرات مورفولوژیکی و هیدرولوژیکی رودخانه گیوی‌چای است.

معرفی رودخانهٔ مورد مطالعه

رودخانهٔ گیوی‌چای به طول تقریبی ۵۴ کیلومتر، ازجمله رودخانه‌های دائمی استان اردبیل است. دو رود هیرو (که از ارتفاعات جنوب شهر خلخال سرچشمه گرفته‌است) و آرپاچای (که از شمال به جنوب جاری است)، در پایین‌دست به هم پیوسته و جریان در نزدیکی روستای (اینالاوا)، به سمت غرب منحرف شده و ارتفاعات ما بین خلخال و گیوی را با درّهٔ تنگ و عمیقی بریده و به شهر گیوی می‌رسد. در این منطقه این رود به نام گیوی‌چای معروف است. این رودخانه پس از گذشتن از شهر گیوی و پیوستن به رودخانهٔ فیروزآباد به قزل‌اوزن می‌ریزد (شکل ۱).



شکل ۱: نقشهٔ موقعیت محدودهٔ مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

سد مخزنی گیوی به‌منظور تنظیم آب رودخانه با هدف کنترل سیلاب و نیز تأمین آب شرب، صنعت و بهبود اراضی منطقه، با ۵۷ میلیون مترمکعب حجم کل مخزنی و ۷۶ میلیون مترمکعب، حجم تنظیمی بر روی رودخانهٔ گیوی‌چای و در ۲۰کیلومتری شمال‌غربی شهرستان خلخال و ۵ کیلومتری شرق شهرستان گیوی پایین احداث شده‌است. این سد دارای ارتفاع ۸۹ متر از کف رودخانه و ۱۰۲ متر از پی، با طول تاج

۳۰۴ متر و عرض تاج ۱۲ متر است. این سد از نوع سنگریزه‌ای با هستهٔ رسی است و دو تونل انحراف و سرریز از نوع آزاد دارد. به‌علاوه سطح دریاچهٔ سد ۴۰ هکتار، تراز تاج سد ۱۵۵۶ متر و تراز نرمال آن ۱۵۴۸ متر است *(سازمان آب منطقه‌ای اردبیل، ۱۳۹۶)*.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از نقشهٔ توپوگرافی، نقشهٔ زمین‌شناسی و تصاویر google earth و لندست هشت، شامل سنجنده OLI (۲۰۱۹)، لندست هفت شامل سنجنده +ETM (۲۰۰۰)، نقشهٔ توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی گیوی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه‌های تعیین حد بستر و حریم رودخانهٔ گیوی‌چای با مقیاس ۱:۲۰۰۰، داده‌های هیدرولوژیکی دو ایستگاه آبگرم (بالادست سد) و فیروزآباد (پایین‌دست سد) و داده‌های میدانی استفاده شده‌است. همچنین برای کنترل نتایج به‌دست‌آمده به‌وسیلهٔ روش‌های کمّی، از مطالعات میدانی به‌منظور انطباق و صحت‌سنجی نتایج استفاده شده‌است. برای پردازش تصاویر و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها نیز نرم‌افزارهای ENVI 5.3، Arc GIS 10.5، Excel و Spss مورد استفاده قرار گرفته‌است.

پارامترهای مورفولوژیکی رودخانه تحت‌تأثیر عوامل متعددی است و پارامترهای هیدرولوژیکی نیروی محرکه برای انجام و ایجاد تغییرات مورفولوژیکی است. ازآن‌نظرکه روش‌های مبتنی‌بر شاخص‌های‌هیدرولوژیکی ساده‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ارزیابی رژیم هیدرولوژیکی و برآورد جریان در سطح جهان هستند و برای مطالعهٔ تغییرات رژیم هیدرولوژیکی ناشی از تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی مانند: تغییر کاربری اراضی، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب سطحی و احداث سد استفاده می‌شوند *(سعدالدین و همکاران، ۱۳۹۸:۶۵۲)*. در مطالعهٔ حاضر نیز به‌منظور بررسی تغییرات هیدرولوژیکی منطقهٔ مطالعاتی، داده‌های بین دو ایستگاه آبگرم و فیروزآباد، با استفاده از ۲۷ شاخص هیدرولوژیکی مورد بررسی قرار گرفت. گروه اول از شاخص‌های مورد استفاده، شاخص‌های مبتنی‌بر FDC، مقدار دبی با درصدهای مختلف احتمال وقوع: Q5، Q10، Q15، Q25، Q35، Q45، Q50، Q55، Q65، Q75، Q85، Q90، Q95، دبی Q90/Q5 و شاخص لین هستند. گروه دیگر از شاخص‌ها، عبارت‌اند از: دبی نرمال پرآبی، دبی نرمال کم‌آبی، دبی عادی، دبی میانگین، دبی میانه، دبی مد، دبی حداقل، دبی حداکثر، دبی سالانه، روزهایی با دبی صفر، دبی صفر به درصد و انحراف معیار دبی‌های جریان (جدول ۱). در این راستا، داده‌های دو ایستگاه که به‌صورت روزانه بودند، برای هر سال مرتب و سورت‌بندی شدند (از بیشترین به کم‌ترین) و بعد با استفاده از فرمول ویبول $Vibol = \frac{M}{N+1} \times 100$، احتمال وقوع‌ها مشخص شد (در این رابطه، M: ستون‌های سورت‌بندی‌شده و N: تعداد روزهای سال یعنی ۳۶۵ است). سپس مقادیر هر یک از شاخص‌ها با توجه به ضرایب و توضیحات مربوط محاسبه شد. در ادامه با آزمون آماری T جفتی نسبت‌به تحلیل آماری شاخص‌ها برای بررسی معناداری تغییرات اقدام شد.

جدول ۱: شاخص‌های هیدرولوژیکی مورداستفاده در پژوهش

شاخص‌ها	واحد	توضیحات
Q5	(m^3s^{-1})	برابر است با میزان دبی جریانی که در ۵ درصد ایام سال دبی مساوی یا بیشتر از مقدار مذکور باشد.
Q10	(m^3s^{-1})	برابر است با میزان دبی جریانی که در ۱۰ درصد ایام سال دبی مساوی یا بیشتر از مقدار مذکور باشد.
Q15	(m^3s^{-1})	برابر است با میزان دبی جریانی که در ۱۵ درصد ایام سال دبی مساوی یا بیشتر از مقدار مذکور باشد.
Q25	(m^3s^{-1})	برابر است با میزان دبی جریانی است که در ۲۵ درصد ایام سال دبی مساوی یا بیشتر از مقدار مذکور باشد.
Q35	(m^3s^{-1})	برابر است با میزان دبی جریانی است که در ۳۵ درصد ایام سال دبی مساوی یا بیشتر از مقدار مذکور باشد.
Q45	(m^3s^{-1})	برابر است با میزان دبی جریانی است که در ۴۵ درصد ایام سال دبی مساوی یا بیشتر از مقدار مذکور باشد.
Q50	(m^3s^{-1})	برابر است با میزان دبی جریانی است که در ۵۰ درصد ایام سال دبی مساوی یا بیشتر از مقدار مذکور باشد.
Q55	(m^3s^{-1})	برابر است با میزان دبی جریانی است که در ۵۵ درصد ایام سال دبی مساوی یا بیشتر از مقدار مذکور باشد.
Q65	(m^3s^{-1})	برابر است با میزان دبی جریانی است که در ۶۵ درصد ایام سال دبی مساوی یا بیشتر از مقدار مذکور باشد.
Q75	(m^3s^{-1})	برابر است با میزان دبی جریانی است که در ۷۵ درصد ایام سال دبی مساوی یا بیشتر از مقدار مذکور باشد.
Q85	(m^3s^{-1})	برابر است با میزان دبی جریانی است که در ۸۵ درصد ایام سال دبی مساوی یا بیشتر از مقدار مذکور باشد.
Q90	(m^3s^{-1})	برابر است با میزان دبی جریانی است که در ۹۰ درصد ایام سال دبی مساوی یا بیشتر از مقدار مذکور باشد.
Q95	(m^3s^{-1})	برابر است با میزان دبی جریانی است که در ۹۵ درصد ایام سال دبی مساوی یا بیشتر از مقدار مذکور باشد.
دبی*Q90/Q5*	(m^3s^{-1})	با تقسیم‌کردن *Q5* و *Q95* به‌دست می‌آید.
شاخص لین	(m^3s^{-1})	با تقسیم‌کردن نتیجهٔ تفاضل لگاریتم‌های *Q5* و *Q95* بر ۳/۲۹ به‌دست می‌آید.
دبی نرمال در حالت پرآبی	(m^3s^{-1})	مقدار جریانی که در ۱/۴ از ایام سال به تعداد ۹۱ روز از سال دبی مساوی یا بالاتر از آن است.
دبی نرمال درحالت کم‌آبی	(m^3s^{-1})	مقدار جریانی که در ۳/۴ از ایام سال به تعداد ۲۷۴ روز از دبی مساوی یا بالاتر از آن است.
دبی عادی	(m^3s^{-1})	مقدار جریانی که در نیمی از ایام سال، یعنی ۱۸۲=۳۶۵*۱/۲ ،روز دبی مساوی یا بالاتر از آن است.
دبی میانگین	(m^3s^{-1})	$Q = \sum v/t$؛ که در آن Q: دبی میانگین، v: مجموع حجم آب، t: زمان است.
دبی مد	(m^3s^{-1})	مقدار جریان یا محدوده‌ای از دبی است که بالاترین فراوانی وقوع را در طول سال داشته باشد.
دبی میانه	(m^3s^{-1})	اگر دبی‌های هر سال را به‌صورت نزولی مرتب کنیم، دبی در روزهای ۱۸۲ و ۱۸۳ دبی میانه خواهد بود.
دبی حداقل	(m^3s^{-1})	کم‌ترین دبی در طول سال است که با مرتب‌کردن دبی مربوط به هر سال به‌دست می‌آید.
دبی حداکثر	(m^3s^{-1})	بیش‌ترین دبی در طول سال است که با مرتب‌کردن دبی مربوط به هر سال به‌دست می‌آید.
دبی سالانه	(m^3s^{-1})	مجموع دبی‌ها در طول یک سال است.
روزهایی با دبی صفر	*(day)*	تعداد روزهایی از داده است که دبی‌ها برابر با صفر باشد.
دبی صفر به درصد	*(%)*	با درصدگیری از داده‌های دبی صفر، از رابطهٔ $100 * 366$/صفر دبی = صفر دبی درصد، به‌دست می‌آید.
انحراف معیار دبی‌های جریان	(m^3s^{-1})	از فرمول $A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Xi-\bar{X})^2}{n-1}}$، به‌دست می‌آید و X_i:مقادیر دبی روزانه،$\bar{X}$: مقادیر متوسط دبی و n: تعداد داده‌های موجود در دورهٔ آماری است.

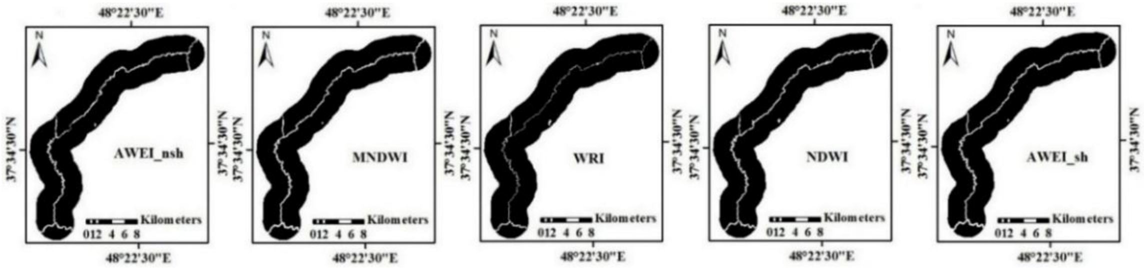
مأخذ: علیزاده، ۱۳۹۴؛ مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸

در مرحلهٔ بعد، در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3، تصحیح اتمسفری با روش FLAASH بر روی تصاویر ماهواره‌ای انجام شد و سپس با استفاده از شاخص‌های آب (جدول۲)، اقدام به استخراج مسیر رودخانه در نرم‌افزار ENVI 5.3، از روی تصاویر شد (شکل ۲ و ۳). با توجه به ضریب کاپا و صحت کلی، مسیر رودخانه استخراج شده توسط شاخص AWEI_sh برای هر دو دورهٔ ۲۰۰۰ و ۲۰۱۹، مورد تأیید و استفاده قرار گرفت (جدول ۳).

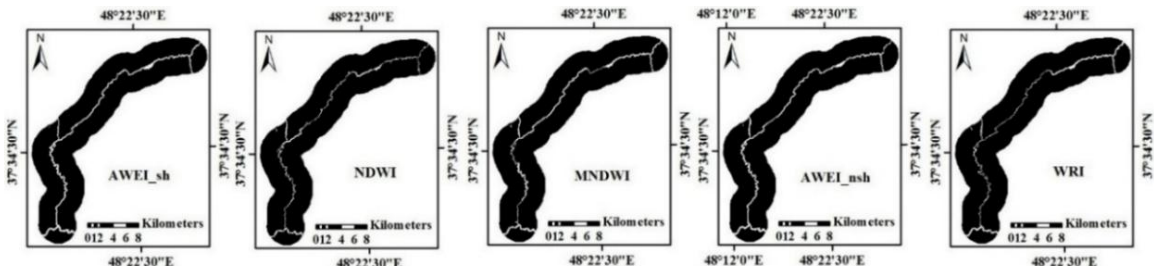
جدول ۲: شاخص‌های مورداستفاده در این تحقیق

شاخص	رابطه	مقدار پیکسل‌های آب	منبع
NDWI	(Green-NIR)/(Green+NIR)	بزرگ‌تر از صفر	McFeeters (1996)
MNDWI	(Green-MIR)/(Green+MIR)	بزرگ‌تر از صفر	Xu (2006)
AWEI_ no shadow	4×(Green-SWIR1)-(0.25×NIR+2.75×SWIR2)	بزرگ‌تر از صفر	Feyisa et al(2014)
AWEI_ shadow	Blue+2.5×Green-1.5×(NIR+SWIR1)-0.25×SWIR2	بزرگ‌تر از صفر	Feyisa et al(2014)
WRI	(Green+Red)/(NIR+SWIR1)	بزرگ‌تر از یک	Shen & Li (2010)

مأخذ: McFeeters (1996), Xu (2006), Feyisa et al(2014), Shen & Li (2010)



شکل ۲: اعمال شاخص‌های مختلف در منطقهٔ مورد مطالعه در سال ۲۰۰۰ (لندست ۷)



شکل ۳: اعمال شاخص‌های مختلف در منطقهٔ مورد مطالعه در سال ۲۰۱۹ (لندست ۸)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

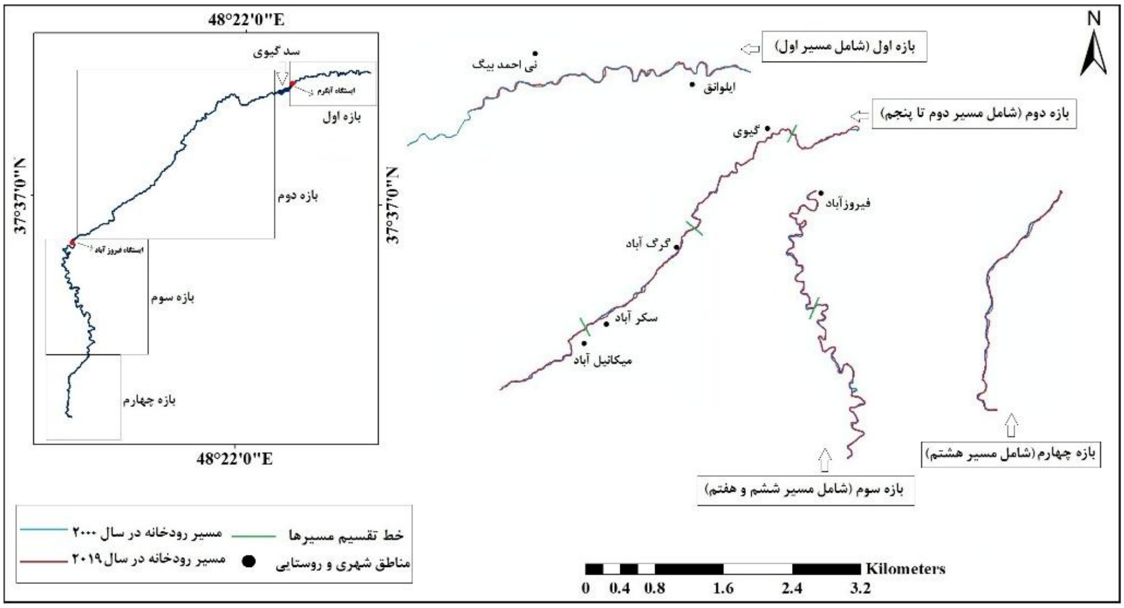
جدول ۳: صحت کلی و ضریب کاپا

	ETM (2000)		OLI (2019)	
	صحت‌کلی (درصد)	ضریب‌کاپا	صحت‌کلی (درصد)	ضریب‌کاپا
NDWI	۹۳/۲۶	۰/۹۱	۹۰/۰۳	۰/۸۹
MNDWI	۹۷/۵۴	۰/۹۵	۹۵/۳۵	۰/۹۳
AWEI_nsh	۹۵/۱۳	۰/۹۳	۹۸/۵۱	۰/۹۷
AWEI_sh	۹۹/۰۵	۰/۹۸	۹۹/۴۲	۰/۹۸
WRI	۹۰/۰۸	۰/۸۹	۹۲/۰۶	۰/۹۰

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

در مرحلهٔ بعد، به‌دلیل مورفولوژی متفاوت رودخانه، پس از استخراج رودخانه با توجه به شاخص‌های طیفی آب، مسیر رودخانهٔ گیوی‌چای ابتدا به دو بخش بالادست و پایین‌دست سد تقسیم شد. سپس، براساس متغیرهای مختلفی ازقبیل: کنترل زمین‌شناسی و توپوگرافی، عرض دشت سیلابی و اثرات آنتروپوژنیک و با توجه به مشاهدهٔ میدانی و استفاده از تصاویر Google Earth و ماهوارهٔ لندست، برای انجام بررسی دقیق‌تر و علمی‌تر، رودخانه براساس شرایط توپوگرافی به چهار بازه تقسیم شد که عبارت‌اند از: بازهٔ ۱ (بازهٔ کوهستانی بالادست سد، از

محل اتصال دو رود هیروچای و آرپاچای تا محل سد)؛ بازهٔ پایین‌دست سد شامل: بازهٔ ۲ (بازهٔ نیمه‌دشتی)، بازهٔ ۳ (بازهٔ کوهستانی) و بازهٔ ۴ (بازهٔ نیمه‌کوهستانی) (شکل۴).بازه‌بندی و مسیربندی به‌صورتی انجام‌شده‌است که هر یک از بازه‌ها و مسیرها ازلحاظ معیارها دارای شرایط مشابه باشد؛ به‌عنوان‌مثال: در بازهٔ کوهستانی، شرایط لیتولوژیکی عرض دست سیلابی را تحت‌تأثیر قرار داده؛ به‌صورتی‌که عرض رودخانه، بسیار کم است و شرایط توپوگرافی شیب تندی به بازه داده که تشکیلات بسیار مقاوم اجازهٔ گسترش بستر رود را نداده‌است و به‌صورت ساده‌تر به‌دلیل صعب‌العبوربودن، در این بازه کم‌ترین تأثیرات انسانی دیده می‌شود؛ درحالی‌که در بازهٔ دشتی، تأثیرات انسانی زیاد است و به‌صورت تجاوز به حریم رودخانه، برداشت شن و ماسه و... دیده می‌شود.



شکل ۴: بازه‌بندی رودخانهٔ گیوی‌چای

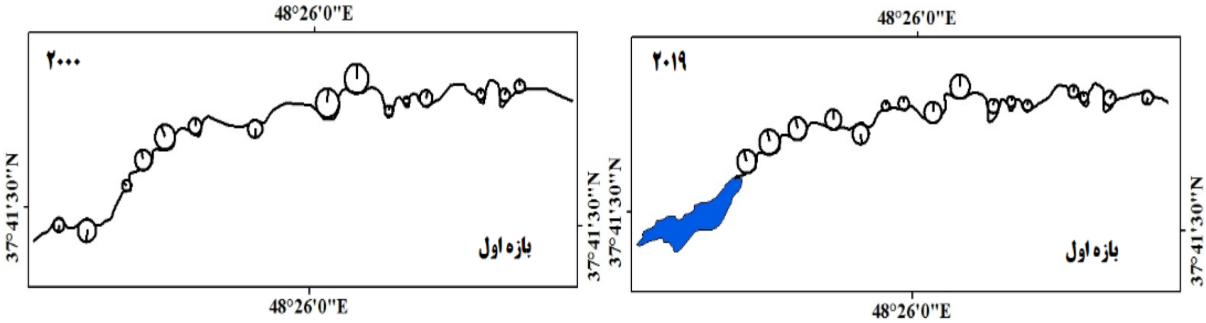
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

سپس پارامترهای ژئومورفولوژی رودخانه و تغییرات آن‌ها شامل ضریب خمیدگی، زاویهٔ مرکزی و ضریب سینوسی مسیر اندازه‌گیری شد. ضریب خمیدگی یکی از معیارهای کمّی است که در تقسیم‌بندی شکل رودخانه مورد استفاده قرار می‌گیرد و با استفاده از رابطهٔ $S = \frac{L}{\lambda/2}$ (ضریب پیتز)، به‌دست آمده‌است که در این رابطه، S: ضریب خمیدگی، L: طول قوس و $\lambda/2$: نصف طول‌موج است. زاویهٔ مرکزی قوس‌های زده‌شده بر روی هر کدام از بازه‌ها، با استفاده از رابطهٔ $A = \frac{180L}{R\pi}$ (ضریب کورنیاس)، محاسبه شد که در این رابطهٔ A: زاویهٔ مرکزی؛ L: طول موج قوس؛ R: شعاع دوایر برازش‌شده است (*اصغری و همکاران، ۱۳۹۶:۱۲۲؛ خوش‌رفتار و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۱-۲۰*). شاخص بعدی میزان سینوزیته مسیر جریان است که در این راستا، رودخانه به ۸ مسیر تقسیم شد و ضریب سینوزیته از رابطهٔ S = T/L محاسبه شد که در این رابطه،

S: میزان سینوزیته؛ T: طول سینوزیته؛ L: مسافت طولی خط مستقیم است *(خطیبی، ۹۱:۱۳۹۱؛ به‌نقل‌از اصغری و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۲۲).*

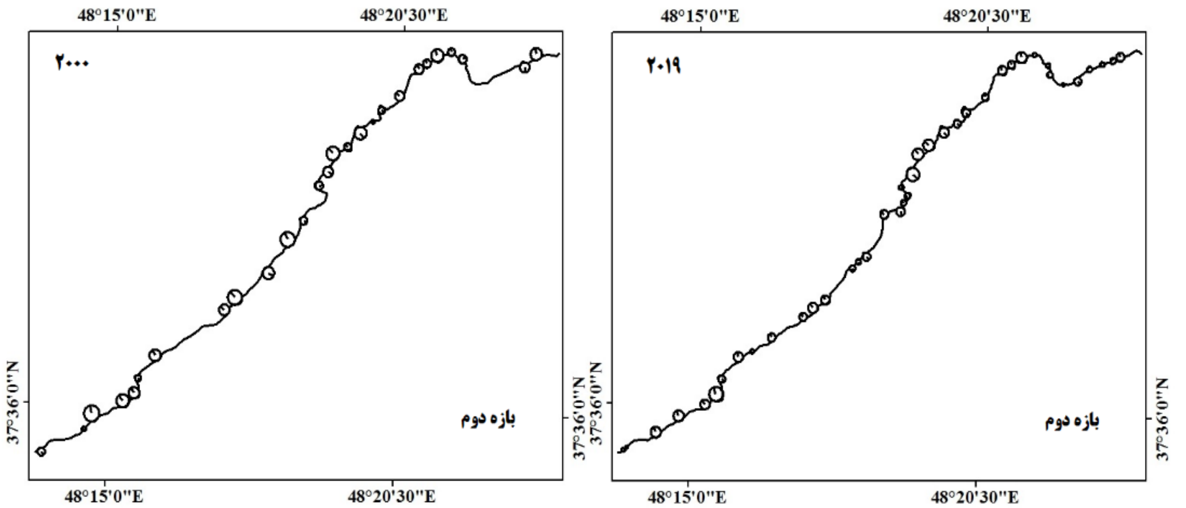
دوایر برازش‌شده بر پیچان‌رودها در دو دورهٔ مورد مطالعه در اشکال ۵ تا ۸ نمایش داده‌شده‌است.

همچنین قابل‌ذکر است که نقشهٔ سازندهای هر کدام از بازه‌ها با توجه به نقشهٔ زمین‌شناسی گیوی تهیه شده‌است و باتوجه‌به این نقشه و همچنین پیمایش‌های میدانی انجام‌شده، لیتولوژی و مقاومت سازندها مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته است.



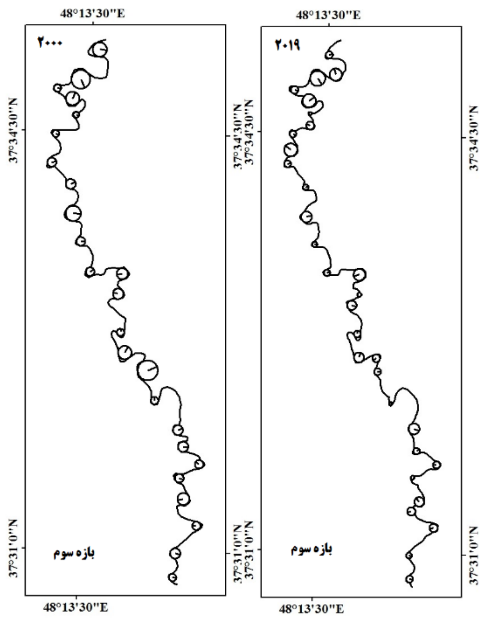
شکل ۵: بازهٔ اول با دوایر برازش‌شده بر پیچان‌رودها

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

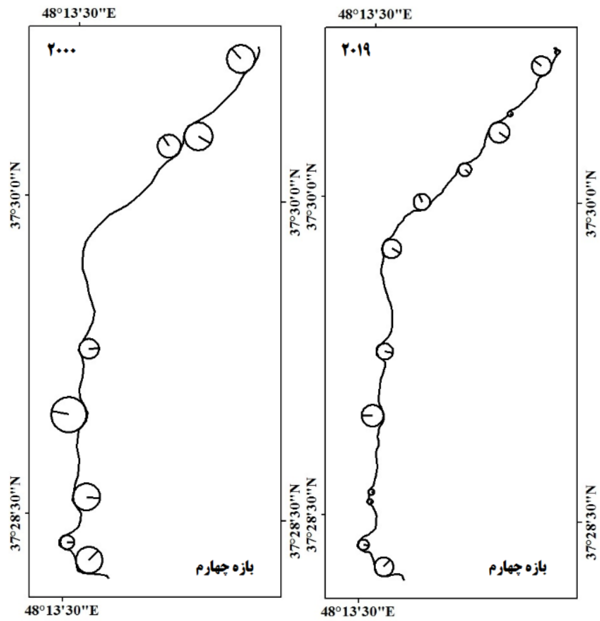


شکل ۶: بازهٔ دوم با دوایر برازش‌شده بر پیچان‌رودها

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸



شکل ۷: بازهٔ سوم با دوایر برازش‌شده بر پیچان‌رودها



شکل ۸: بازهٔ چهارم با دوایر برازش‌شده بر پیچان‌رودها

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

یافته‌های پژوهش

بررسی شاخص‌های هیدرولوژیکی رودخانهٔ گیوی‌چای در بازهٔ زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۰

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از محاسبهٔ شاخص‌های دبی با احتمال وقوع مختلف و تحلیل آزمون آماری T (جدول ۴)، بین دو ایستگاه آبگرم (در بالادست) و ایستگاه فیروزآباد (در پایین‌دست)، می‌توان گفت ازلحاظ شاخص‌های Q5، Q10 و Q15، میان دو ایستگاه، تفاوت معناداری وجود دارد. میانگین شاخص‌های Q5، Q10 و Q15، در ایستگاه آبگرم به‌ترتیب ۷/۴۷۵، ۵/۴۵۶ و ۴/۲۴۸ است و در ایستگاه فیروزآباد مقادیر این شاخص‌ها به‌ترتیب به مقدار ۱۳/۳۲۹، ۹/۷۰۱ و ۸/۲۲۴ افزایش‌یافته‌است. تغییر در شاخص‌های (Q5, Q10, Q15)، می‌توانند بر فراوانی تغییرات رژیم‌های رسوبی نقش داشته‌باشند. همچنین در شاخص‌های، Q35، Q45، Q50، Q65 و Q90 نیز اختلاف معناداری بین دو ایستگاه دیده می‌شود. میانگین مقادیر این شاخص‌ها به‌ترتیب در ایستگاه بالادست ۱/۵۸۰، ۱/۲۷۹، ۱/۶۰۲، ۰/۸۴۷ و ۰/۱۵۵ بوده و در ایستگاه بالادست میانگین مقادیر آن به‌ترتیب، ۲/۲۵۰، ۱/۷۸۲، ۱/۶۰۲، ۰/۹۱۰ و ۰/۱۸۶ است. در مورد این شاخص‌ها نیز قابل‌ذکر است که ازنظر ژئومورفولوژیکی جریان‌های کمینه، فراوانی رژیم‌های رسوب در رودخانه، ذخیره‌سازی و رسوب و انتقال و زمان لازم برای ثبات کانال‌ها و کنار رودخانه را می‌تواند متأثر سازد (شکل‌های A۹ و B۹). همچنین در زمان جریان کم، تنش برشی در کانال‌ها ضعیف است که امکان نهشته‌گذاری رسوبات و سنگ‌های ریز را فراهم می‌کند *(Petit, 1987: 460)*؛ اما در رابطه با شاخص‌های Q25 و Q55، Q85 و Q95، تفاوت معناداری بین دو ایستگاه در بازهٔ زمانی ۱۹ سال دیده نمی‌شود.

جدول ۴: شاخص‌های دبی با احتمال وقوع مختلف در دو ایستگاه آبگرم (بالادست) و فیروزآباد (پایین دست)

شاخص‌ها	ایستگاه‌ها	میانگین	تفاوت میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	خطا یا فاصله میانگین	ضریب t	درجه آزادی	سطح معناداری
Q5	آبگرم	۷/۴۷۵	-۵/۷۶۴	۱۹/۶	۲/۴۰	۴/۹۲۸	۱/۱۹۵	-۲/۳۱۴	۲۴/۷۸۶	۰/۰۳۱
	فیروزآباد	۱۳/۲۳۹		۳۴/۴	۲/۱۴	۹/۰۱۱	۲/۱۸۵			
Q10	آبگرم	۵/۴۵۶	-۴/۲۴۵	۱۴/۱	۲/۱۴	۳/۳۴۱	۰/۸۱۰	-۲/۳۸۵	۲۳/۸۲۸	۰/۰۴۳
	فیروزآباد	۹/۷۰۱		۲۷/۷	۱/۹۲	۶/۵۳۵	۱/۵۸۵			
Q15	آبگرم	۴/۲۴۸	-۳/۹۷۵	۱۱/۵	۱/۳۲	۲/۶۶۶	۰/۶۴۶	-۲/۷۱۶	۲۳/۳۳۰	۰/۰۲۷
	فیروزآباد	۸/۲۲۴		۲۲	۱/۵	۵/۴۱۴	۱/۳۱۳			
Q25	آبگرم	۲/۶۱۷	-۰/۷۶۸	۵/۶۴	۰/۹۶	۱/۴۰۳	۰/۳۴۰	-۱/۴۳۲	۳۰/۸۲۰	۰/۲۷۰
	فیروزآباد	۳/۳۸۶		۷/۲۷	۱/۳۳	۱/۷۱۱	۰/۴۱۵			
Q35	آبگرم	۱/۵۸۰	-۰/۶۷۰	۲/۸	۰/۸	۰/۵۷۱	۰/۱۳۸	-۲/۴۹۴	۲۶/۲۴۶	۰/۰۴۸
	فیروزآباد	۲/۲۵۰		۴/۳۵	۰/۷	۰/۹۴۹	۰/۲۳۰			
Q45	آبگرم	۱/۲۷۹	-۰/۵۰۲	۲/۳۵	۰/۶۶	۰/۴۴۹	۰/۱۰۹	-۲/۲۹۶	۲۵/۵۳۴	۰/۰۴۱
	فیروزآباد	۱/۷۸۲		۳/۶۲	۰/۶۶	۰/۷۸۲	۰/۱۸۹			
Q50	آبگرم	۱/۱۶۹	-۰/۴۳۲	۱/۸۳	۰/۶۶	۰/۳۷۳	۰/۰۹۰	-۲/۱۴۱	۲۳/۵۶۲	۰/۰۲۴
	فیروزآباد	۱/۶۰۲		۳/۴۵	۰/۶۵	۰/۷۴۵	۰/۱۸۰			
Q55	آبگرم	۱/۰۵۶	-۰/۳۲۲	۱/۶۳	۰/۶۰	۰/۳۳۹	۰/۰۸۲	-۱/۶۰۴	۲۲/۲۱۹	۰/۰۰۹
	فیروزآباد	۱/۳۷۸		۳/۲۸	۰/۵۷	۰/۷۵۵	۰/۱۸۳			
Q65	آبگرم	۰/۸۴۷	-۰/۰۶۳	۱/۴۰	۰/۲۲	۰/۳۴۲	۰/۰۸۳	-۰/۳۶۵	۲۴/۶۰۳	۰/۰۰۹
	فیروزآباد	۰/۹۱۰		۱/۹۶	۰/۰۴	۰/۶۳۳	۰/۱۵۳			
Q75	آبگرم	۰/۴۹۳	-۰/۱۰۸	۱/۱۲	۰/۰۸	۰/۳۲۷	۰/۰۷۹	-۰/۷۰۹	۲۶/۳۲۹	۰/۰۲۷
	فیروزآباد	۰/۶۰۱		۱/۶۵	۰/۰۱	۰/۵۴۱	۰/۱۳۱			
Q85	آبگرم	۰/۲۴۴	-۰/۰۲۱	۰/۷۶	۰/۰۱	۰/۲۴۷	۰/۰۶۰	-۰/۲۳۶	۳۱/۷۱۶	۰/۵۸۴
	فیروزآباد	۰/۲۶۵		۰/۸۴	۰	۰/۲۷۲	۰/۰۶۶			
Q90	آبگرم	۰/۱۵۵	-۰/۰۳۱	۰/۴۳	۰	۰/۱۳۳	۰/۰۳۲	-۰/۴۹۴	۲۶//.۱۳۲	۰/۰۴۴
	فیروزآباد	۰/۱۸۶		۰/۷۶	۰	۰/۲۲۳	۰/۰۵۴			
Q95	آبگرم	۰/۰۸۳	۰/۰۰۲	۰/۳۸	۰	۰/۱۱۱	۰/۰۲۷	۰./۰۶۶	۳۱/۲۴۲	۰/۹۹۷
	فیروزآباد	۰/۰۸۰		۰/۳۴	۰	۰/۰۹۵	۰/۰۲۳			

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از محاسبهٔ سایر شاخص‌های هیدرولوژی و تحلیل آزمون آماری T (جدول ۵)، میان شاخص دبی نرمال پرآبی ایستگاه‌ها، اختلاف معناداری دیده می‌شود. میانگین مقدار آن در ایستگاه آبگرم، ۲/۳۴۹ است و به مقدار ۳/۴۵۰ در ایستگاه فیروزآباد افزایش یافته‌است. پس می‌توان نتیجه گرفت که میزان دبی پرآبی در طول دورهٔ آماری در پایین‌دست سد بیش‌تر از بالادست بوده‌است و این امر نشانگر اثرات تنظیمی آب است و این عامل احتمال فرسایش کناری رودخانه (شکل‌های ۹ D, C و E) و تشکیل موانع طولی و جزایر رسوبی را با نهشته‌گذاری رسوبات در رودخانه افزایش می‌دهد (شکل‌های ۹ G و ۹ H) و می‌توان گفت که مورفولوژی کلی کانال و تغییرات سیلاب در پایین‌دست سد، تحت‌تأثیر احداث سد خواهد بود. مقدار دبی حداکثر نیز در ایستگاه پایین‌دست افزایش یافته‌است (میانگین آن در ایستگاه آبگرم ۱۳/۸۴۰ و در فیروزآباد ۲۲/۷۶۰ است) و بین دو ایستگاه تفاوت معناداری وجود دارد. با توجه به مطالعات گراف (۲۰۰۶) که در رابطه با اثرات هیدرولوژیکی و مورفولوژی ناشی از احداث سد انجام شده‌است، دبی حداکثر بر فراوانی تحرک بستر کانال و حمل بار بستری، فرسایش کنار رودخانه و مورفولوژی کلی کانال تأثیر گذاشته و تعداد و اندازهٔ سطوح عملکردی را متحول می‌سازد (شکل ۹ F).

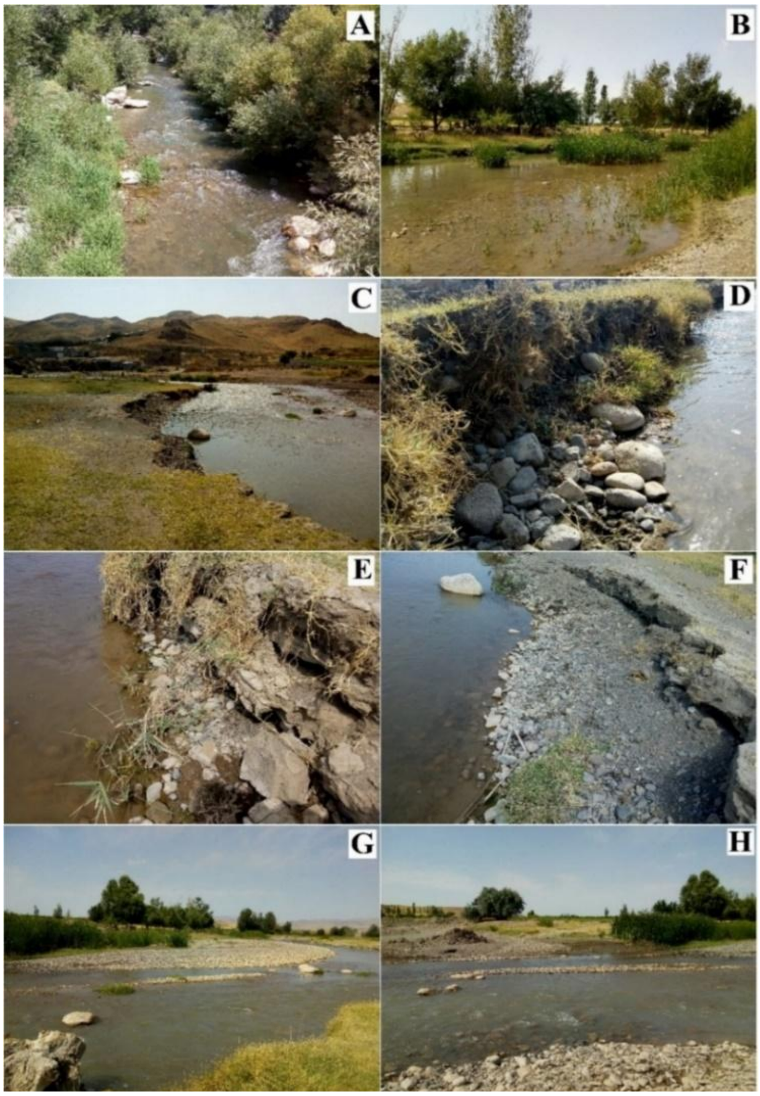
جدول ۵: سایر شاخص‌های هیدرولوژی در دو ایستگاه آبگرم (بالادست) و فیروزآباد (پایین‌دست)

شاخص‌ها	ایستگاه‌ها	میانگین	تفاوت میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	خطا یا فاصله میانگین	ضریب t	درجه آزادی	سطح معناداری
دبی نرمال پرآبی	آبگرم	۲/۳۴۹	-۱/۱۰۰	۳/۸۸	۰/۹۶	۱/۰۰۱	۰/۲۴۲	-۲/۲۴۱	۲۵/۳۷۱	۰/۰۰۷
	فیروزآباد	۳/۴۵۰		۷/۲۷	۱/۳۳	۱/۷۶۰	۰/۴۲۶			
دبی نرمال کم‌آبی	آبگرم	۰/۵۰۰	-۰/۰۱۱	۱/۱۵	۰/۰۸	۰/۳۳۳	۰/۰۸۰	-۰/۰۷۸	۲۸/۴۸۷	۰/۰۷۱
	فیروزآباد	۰/۵۱۱		۱/۶۲	۰/۰۱	۰/۴۸۱	۰/۱۱۶			
دبی عادی	آبگرم	۱/۱۶۹	-۰/۴۳۲	۱/۸۳	۰/۶۶	۰/۳۷۳	۰/۰۹۰	-۲/۱۴۱	۲۳/۵۶۲	۰/۰۲۴
	فیروزآباد	۱/۶۰۲		۳/۴۵	۰/۶۵	۰/۷۴۵	۰/۱۸۰			
دبی میانگین	آبگرم	۲/۰۷۳	-۱/۱۹۱	۴/۶۹	۰/۸۱	۱/۰۵۹	۰/۲۵۶	-۲/۰۳۴	۲۳/۲۰۸	۰/۰۰۸
	فیروزآباد	۳/۲۶۵		۷/۳۱	۰/۸۹	۲/۱۷۱	۰/۵۲۶			
دبی میانه	آبگرم	۱/۱۶۸	-۰/۴۲۷	۱/۸۳	۰/۶۶	۰/۳۷۴	۰/۰۹۰	-۲/۱۰۸	۲۳/۵۳۹	۰/۰۲۳
	فیروزآباد	۱/۵۹۵		۳/۴۵	۰/۶۵	۰/۷۴۷	۰/۱۸۱			
دبی مد	آبگرم	۰/۵۹۰	-۰/۶۰۱	۱/۴۷	۰	۰/۵۲۰	۰/۱۲۶	-۱/۹۶۸	۲۲/۳۳۸	۰/۰۰۵
	فیروزآباد	۱/۱۹۱		۳/۸۲	۰	۱/۱۴۶	۰/۲۷۸			
دبی حداقل	آبگرم	۰/۰۴۳	۰/۰۱۰	۰/۳۱	۰	۰/۰۷۶	۰/۰۱۸	۰/۴۶۱	۲۹/۲۷۶	۰/۴۴۶
	فیروزآباد	۰/۰۳۳		۰/۲۰	۰	۰/۰۵۵	۰/۰۱۳			
دبی حداکثر	آبگرم	۱۳/۸۴۰	-۸/۹۲۰	۳۷/۴	۴/۸۲	۹/۶۸۱	۲/۳۴۸	-۱/۹۹۷	۲۶/۶۶۶	۰/۰۴۶
	فیروزآباد	۲۲/۷۶۰		۶۰/۷	۸/۸	۱۵/۶۶۵	۳/۷۹۹			
دبی سالانه	آبگرم	۷۲۷/۳۸۶	-۳۷۷/۳۸۴	۱۷۱۲/۷۲	۲۹۵/۱۲	۳۵۶/۵۵۰	۸۶/۴۷۶	-۲/۱۳۷	۲۵/۱۸۱	۰/۰۵۰
	فیروزآباد	۱۱۰۴/۷۷۰		۲۶۶۹/۹۴	۳۲۳/۸۶	۶۳۴/۸۳۸	۱۵۳/۹۷۰			
دبی صفر به درصد	آبگرم	۲/۸۶۰	۱/۷۱۹	۱۳/۶۶	۰	۴/۹۹۶	۱/۲۱۱	۱/۰۸۴	۳۱/۱۳۴	۰/۰۶۷
	فیروزآباد	۱/۱۴۱		۱۷/۴۹	۰	۴/۲۲۱	۱/۰۲۳			
روزهایی با دبی صفر	آبگرم	۱۰/۴۷۰	۶/۲۹۴	۵۰	۰	۱۸/۲۸۶	۴/۴۳۵	۱/۰۸۴	۳۱/۱۳۴	۰/۰۶۷
	فیروزآباد	۴/۱۷۶		۶۴	۰	۱۵/۴۵۲	۳/۷۴۷			
انحراف معیار	آبگرم	۲/۸۹۱	-۱/۱۲۳	۷/۹	۰/۸۵	۲/۱۴۶	۰/۵۲۰	-۱/۲۵۵	۲۸/۹۷۲	۰/۳۸۶
	فیروزآباد	۴/۰۱۴		۱۱/۱۹	۰/۸۸	۳/۰۰۲	۰/۷۲۸			
شاخص Q90/Q50	آبگرم	۰/۰۹۳	۰/۰۰۸	۰/۳۱	۰	۰/۰۹۰	۰/۰۲۲	۰/۲۶۷	۳۱/۴۲۸	۰/۹۰۸
	فیروزآباد	۰/۰۸۴		۰/۴۲	۰	۰/۱۰۴	۰/۰۲۵			
شاخص لین	آبگرم	-۰/۶۲۱	۰/۱۳۵	-۰/۳۸۴	-۰/۷۷۶	۰/۱۱۸	۰/۰۳۲	۲/۵۶۲	۲۲/۸۲۵	۰/۳۸۳
	فیروزآباد	-۰/۷۵۶		-۰/۴۱۷	-۱/۰۷۴	۰/۱۴۹	۰/۰۴۱			

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

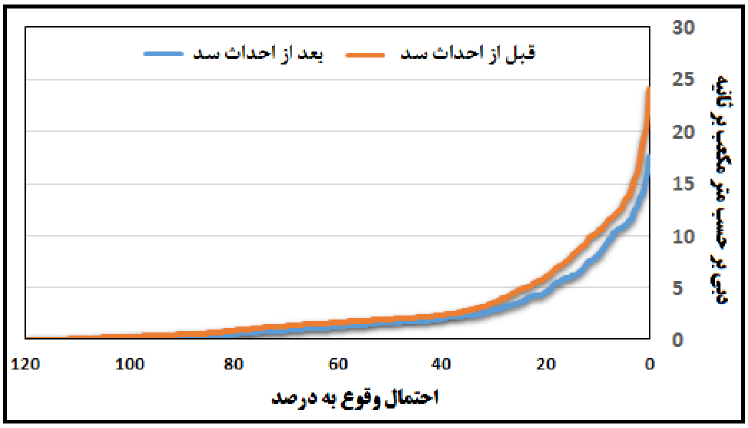
در رابطه با شاخص دبی میانگین نیز بین دو ایستگاه اختلاف معناداری وجود دارد و میانگین آن به‌ترتیب در ایستگاه آبگرم و فیروزآباد، ۲/۰۷۳ و ۳/۲۶۵ است. با توجه به مطالعات گراف (۲۰۰۶) می‌توان گفت که دبی میانگین یا متوسط، حجم فرایندهای تجمع رسوب، اندازهٔ کانال جریان پایین (معمولاً فعال)، الگوی کانال و پیچیدگی ژئومورفیک را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. همچنین ازلحاظ شاخص‌های دبی عادی، دبی میانه، مد و دبی سالانه نیز اختلاف معناداری بین دو ایستگاه وجود دارد و این شاخص‌ها می‌توانند به فراوانی رژیم‌های رسوب در کانال و حمل بار بستری کانال و فرسایش کنار رودخانه منجر شوند (شکل‌های ۹ C، D و E و (شکل‌های G۹ و H). در مورد شاخص‌های دبی کم‌آبی، روزهایی با دبی صفر، دبی صفر به درصد، انحراف‌معیار، Q90/Q50 و شاخص لین، اختلاف معناداری بین دو ایستگاه وجود ندارد. در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت که در طی دورهٔ مطالعاتی، تفاوت معناداری در مورد تعدادی از شاخص‌ها در بین ایستگاه‌های بالادست و

پایین‌دست وجود دارد و همچنین می‌توان اظهار داشت که آبگیری سد گیوی در سال ۱۳۹۲ و تغییرات جریان توسط سد می‌تواند بر میزان، زمان‌بندی و مدت زمان جریان‌های بالا و پایین‌دست تأثیر بگذارد (*Oorschot et al, 2018: 330; Clarke et al, 2008: 3*) و می‌تواند برای تشدید تغییرات هیدرولوژیکی و به دنبال آن، تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ای، بستر مناسبی ایجاد کند. از زمرهٔ این تغییرات می‌توان به رسوب‌گذاری و فرسایش در بخش‌هایی از رودخانه، جابه‌جایی مئاندرها، کف‌کنی و تخریب دیواره‌ها در پایین‌دست و نیز افزایش تراز بستر رودخانه در بالادست اشاره کرد.



شکل ۹: A- جریان کم و استرس برشی ضعیف باعث شده که پوشش گیاهی به‌صورت درختچه‌های چند ساله درحاشیهٔ رودخانه گسترش پیدا کنند. B- عریض‌شدن بستر و کاهش دبی رودخانه باعث رشد پوشش‌های گیاهی در بستر رودخانه و درنتیجه قدرت جریانی کم و تنش برشی ضعیف را موجب شده‌است E, C, E- زیر بری و فرسایش کنار رودخانه. F- تحرک بستر کانال و تغییر در سطوح عملکردی. G, H- نهشته‌گذاری رسوبات و تشکیل موانع طولی *(تهیه و ترسیم: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۸)*

برای بررسی بیشتر تأثیر احداث سد، منحنی تداوم جریان در ایستگاه پایین‌دست سد (فیروزآباد)، برای دو دورهٔ قبل و بعد از احداث سد تهیه شد (شکل ۱۰). با بررسی منحنی تداوم جریان، شاهد هستیم که قبل از احداث سد دبی با شیب بالا (احتمال وقوع ۳۳ درصد)، ۲/۴۲، دبی با شیب متوسط (احتمال وقوع ۶۶ درصد)، ۰/۹۴۷ و دبی با شیب پایین (احتمال وقوع ۱۰۰ درصد) ۰/۰۳۸ است و بعد از احداث، دبی با شیب بالا (احتمال وقوع ۳۳ درصد)، برابر با ۲/۰۹، دبی با شیب متوسط (احتمال وقوع ۶۶ درصد)، ۰/۶۵۷ و دبی با شیب پایین (احتمال وقوع ۱۰۰ درصد)، برابر با ۰/۰۲۰ است؛ بنابراین، کاهش جریان اوج موجب تغییر شاخص‌های مورفولوژیکی مانند نیمرخ عرضی و طولی و شاخص‌های هیدرولیکی مانند عمق آب و سرعت جریان خواهد شد. نتیجهٔ مطالعهٔ حاضر با نتایج مطالعاتی همچون: Snoussi et al (2002), Gordon and Meentemeyer (2006), Graf (2006), Minear (2010) و فصاحت و همکاران (۱۳۹۳)، خیری‌زاده (۱۳۹۵)، اصغری سراسکانرود (۱۳۹۶)، شریفی‌کیا و همکاران (۱۳۹۶)، اسمعیلی عوری و همکاران (۱۳۹۸) و مصطفی‌زاده و همکاران (۱۳۹۸)، مبنی‌بر تأثیر احداث سد بر شرایط هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی رودخانه همخوانی دارد.



شکل ۱۰: منحنی تداوم جریان ایستگاه فیروزآباد، در قبل و بعد از احداث سد

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

با تشکیل دریاچهٔ پشت سد، در بازهٔ اول (بالادست سد)، سطح اساس شاخه‌های فرعی منتهی به دریاچه تغییر می‌کند و سطح اساس بالاتر آمده و موجب کاهش شیب کانال و ظرفیت حمل جریان می‌شود. این تغییرات باعث می‌شود جبههٔ برجاگذاری مواد رسوبی و همچنین جبههٔ کاوشی، هم در شاخهٔ فرعی و هم رودخانهٔ اصلی جابه‌جا شود. از دیدگاه ژئومورفولوژیکی، تغییراتی که در عملکرد فرایندهای فرسایشی در پایین‌دست رودخانه بعد از احداث سد رخ می‌دهد،از اهمیت بالایی برخوردار است.به‌طورکلی، با تله‌اندازی رسوب توسط سد گیوی از میزان رسوب ورودی به پایین‌دست در بازهٔ دوم کاسته می‌شود؛ بنابراین کاهش بار رسوب موجب افزایش ظرفیت انتقال توسط آب خروجی از سد می‌شود و نتیجهٔ آن افزایش قدرت سایشی و حفر بستر است و با توجه به اینکه رود پرآبی به رودخانهٔ گیوی در این بازه متصل نمی‌شود، دبی رودخانه به‌ویژه در ماه‌های گرم تابستان به‌شدت کاهش می‌یابد و با کم‌شدن جریان، رود، تنها بخش‌های عمیق بستر را متأثر می‌سازد و تراس‌های کوچک و بزرگ ایجاد می‌شود. در بازهٔ سوم، الگوی

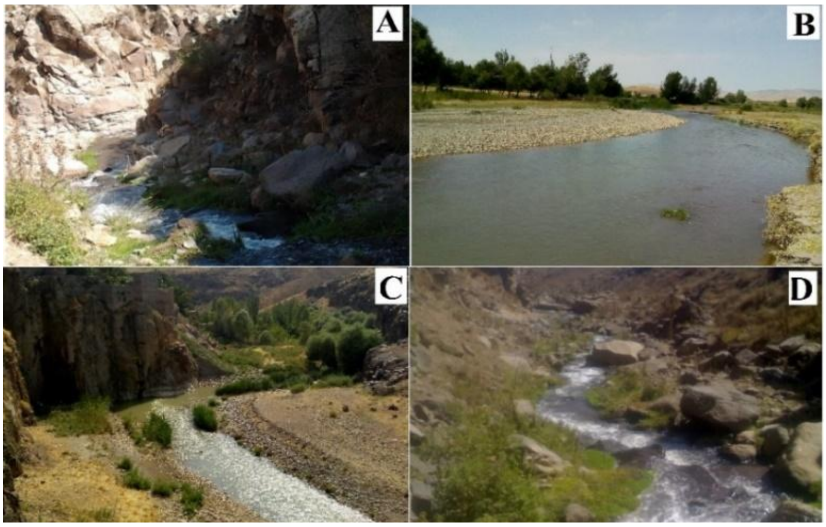
رودخانه به‌صورت پیچان‌رودی است و به‌ویژه در محدودۀ فیروزآباد که در تداوم سیلاب‌دشت بازۀ قبلی قرار دارد و از رسوبات پادگانه‌های آبرفتی جوان تشکیل شده، فرسایش کناره بیشتر شده و چالاب‌های موجود در مسیر ازطریق نهشته‌گذاری پر می‌شود. در بازۀ چهارم و با فاصله‌گرفتن از سد، به‌علت تشکیل پشته‌های رسوبی و رسوب‌گذاری در کنار رودخانه و همچنین به‌علت مقاومت لیتولوژیکی، عمق و پهنای بستر کم می‌شود.

بررسی شاخص‌های مورفولوژیکی رودخانۀ گیوی‌چای در بازۀ زمانی ۲۰۱۹– ۲۰۰۰

نتایج مطالعه نشان می‌دهد که پیچ‌ها از تعداد ۷۵ به ۱۰۰ عدد در طی این مدت افزایش یافته‌است که این امر نشان‌دهندۀ تغییرات مورفولوژی و ناپایداری رودخانه است. براساس جدول ۶، میانگین ضریب خمیدگی در بازۀ اول در سال ۲۰۰۰، ۱/۴۸ بوده و در سال ۲۰۱۹ به مقدار ۱/۴۰ کاهش یافته‌است؛ اما در سایر بازه‌ها در سال ۲۰۱۹ میزان ضریب خمیدگی نسبت‌به سال ۲۰۰۰ افزایش یافته‌است؛ بدین صورت که در بازۀ دوم مقدار ضریب خمیدگی از ۱/۲۳ به ۱/۲۵ و در بازۀ سوم از ۱/۸۵ به ۱/۸۶ و در بازۀ چهارم از ۱/۱۵ به ۱/۱۸ افزایش یافته‌است. به‌طورکلی، کم‌ترین میزان ضریب خمیدگی برای هر دوره مربوط به بازۀ چهارم و در یک مقدار محدود است. ضریب خمیدگی در بازه‌های ۲، ۳ و ۴ که روند افزایشی دارد، تحت‌تأثیر ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی بازه، میزان دبی و رسوب بوده‌است. در مواقعی که میزان دبی کم و رسوب بالا باشد، به‌علت ازبین‌رفتن نیروی خالص رودخانه جزایر در بستر عریض رودخانه ایجاد می‌شود و ضریب خمیدگی افزایش می‌یابد. در بازه‌های اول، دوم و چهارم بخش اعظم بازه در هر دو دورۀ مطالعاتی، دارای ضریب خمیدگی ۱/۵-۱/۰۵ هستند و بنابراین پلان فرم مجرا به‌صورت سینوسی است؛ ولی در بازۀ سوم بیش از ۶۰ درصد از محدودۀ دارای خمیدگی ۱/۵ تا ۲ است و الگوی بازه به‌صورت پیچان‌رودی است. در بازۀ دوم و چهارم، انحراف معیار ضریب خمیدگی کم است و در بازۀ دوم، ۰/۱۹ در سال ۲۰۰۰ و ۰/۱۸ در سال ۲۰۱۹ و در بازۀ چهارم، ۰/۱۴ در سال ۲۰۰۰ و ۰/۱۲ در سال ۲۰۱۹ است که به‌طورکلی، نشان‌دهندۀ وجود قوس‌های شبیه به هم هستند که دارای پتانسیل کم برای تغییرات رودخانه است و به‌علت عدم‌ایجاد قوس‌های جدید و عدم‌تغییرات قوس‌های موجود و رسیدن به حداکثر گسترش ممکن است. در بازه‌های اول و سوم مقدار انحراف معیار برای هر دو دوره نسبتاً زیاد است و این امر بیان‌کنندۀ قوس‌های غیرشبیه به هم هستند.

با ایجاد سد گیوی در بالادست رودخانه و به‌دام افتادن رسوبات در پشت سد و واردشدن دبی به‌صورت تنظیمی به رودخانه، پتانسیل و قدرت رودخانه برای ایجاد تغییرات الگو و شرایط خمیدگی در بازۀ دوم و بلافاصله در پایین‌دست سد، کم است و در بسیاری از مواقع بسیاری از پیچان‌رودهای ایجادشده، مربوط به قبل از احداث سد است و این پیچان‌رودها تثبیت شده‌اند. این محدوده دارای بریدگی بسیار اندک کف بستر بوده و میزان سینوزیته و شیب آن کم‌تر است. اراضی حاشیه‌ای و بستر رودخانه را رسوبات جدید کواترنری دانه‌درشت و دانه‌ریز تشکیل می‌دهد. حجم زیادی از مواد کناره (به‌خصوص در طی سیلاب‌ها) فرسایش یافته و وارد مجرای رود می‌شود و واردشدن این رسوبات مازاد، منجر به ایجاد پشته‌های نقطه‌ای شده‌است. همانند نتایج مطالعۀ (*Lauer & Parker, 2008:123-149*)، می‌توان گفت که در این‌بازه از رودخانۀ گیوی‌چای، کناره‌های سست منجربه عریض‌شدن کانال و پشته‌های داخل مجرا می‌شود. از طرف دیگر، بعد از طی‌شدن مسافتی از محل احداث سد، با الحاق شاخه‌های فرعی، رودخانه تحت‌تأثیر دبی‌های سیلابی می‌تواند تغییرات مورفولوژیکی در طول مجرا ایجاد

کند که این حالت در بازۀ سوم رودخانه و با اتصال سنگورچای دیده می‌شود و در محل تلاقی دو رودخانه، به‌دلیل تغییر در مقدار و جهت سرعت، مقدار دبی جریان و همچنین دبی رسوب پدیده‌هایی چون فرسایش عمیق در بستر، فرسایش سواحل و بالاخره رسوب‌گذاری در پایین‌دست محل تلاقی صورت می‌گیرد و این امر منجر به تغییر در مورفولوژی می‌شود و در بازۀ ۳ توان جریان ناشی از افزایش دبی به‌علت دریافت شاخه‌های بیشتر است. در بازۀ کوهستانی بالادست سد (بازۀ اول) و بازۀ کوهستانی پایین‌دست سد (بازۀ سوم)، مقدار شیب بیشتر است و تقریباً رودخانه در داخل درّه محصور شده و تغییرات رودخانه تابع تغییرات درّه است و حالت مئاندری‌شدن در طول درّه دیده می‌شود (شکل ۱۱). تصاویر گوگل‌ارث مربوط به بخش‌های از هر یک از بازه‌های مطالعاتی نیز در شکل ۱۲، نمایش داده‌شده‌است.



شکل ۱۱: A- بخشی از مسیر رودخانه در بازۀ یک (بازۀ کوهستانی بالادست سد)؛ B- بخشی از مسیر رودخانه در بازۀ دوم (بازۀ نیمه‌دشتی پایین‌دست سد)؛ C- بخشی از مسیر رودخانه در بازۀ سوم (بازۀ کوهستانی پایین‌دست سد)؛ D- بخشی از مسیر رودخانه در بازۀ چهارم (نیمه‌کوهستانی پایین‌دست سد) *(تهیه و ترسیم: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۸)*

شکل ۱۲: الف: بخشی از مسیر سینوسی رودخانه در بازۀ بالادست سد گیوی؛ ب: نمونه‌ای از الگوی سینوسی (گیسوئی) رودخانه در بازۀ دوم؛ ج: الگوی مئاندری رودخانه در بازۀ سوم؛ د: وجود موانع کوهستانی به‌عنوان موانع توسعۀ مئاندر در بازۀ چهارم

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸ (مأخذ: تصاویر گوگل ارث، ۲۰۱۹)

جدول ۶: مشخصه‌های ضریب خمیدگی رودخانهٔ گیوی‌چای

بازه	سال	تقسیم‌بندی رودخانه برحسب ضریب خمیدگی: ۱-۱/۰۵ مستقیم	۱/۰۵-۱/۵ سینوسی	۱/۵-۲ پیچان‌رودی	۲<پیچان‌رودی شدید	حداقل	حداکثر	میانگین	تفاوت میانگین	انحراف معیار	نوع بازه
۱	۲۰۰۰	–	۶۶/۶۷	۲۰	۱۳/۳۳	۱/۰۶	۲/۳۵	۱/۴۸	۰/۰۸	۰/۳۹	سینوسی
	۲۰۱۹	۶/۲۵	۶۸/۷۵	۶/۲۵	۱۷/۷۵	۱/۰۱	۲/۲۹	۱/۴۰		۰/۴۳	سینوسی
۲	۲۰۰۰	–	۸۸/۸۹	۱۱/۱۱	–	۱/۰۶	۱/۹۹	۱/۲۳	-۰/۰۲	۰/۱۹	سینوسی
	۲۰۱۹	–	۸۷/۵	۱۲/۵	–	۱/۰۵	۱/۹۰	۱/۲۵		۰/۱۸	سینوسی
۳	۲۰۰۰	–	۱۲	۶۰	۲۸	۱/۲۴	۲/۹۸	۱/۸۵	-۰/۰۱	۰/۳۹	پیچان‌رودی
	۲۰۱۹	–	۹/۶۸	۶۴/۵۲	۲۵/۸۰	۱/۲۰	۲/۹۹	۱/۸۶		۰/۴۶	پیچان‌رودی
۴	۲۰۰۰	۲۵	۷۵	–	–	۱/۰۳	۱/۴۹	۱/۱۵	-۰/۰۳	۰/۱۴	سینوسی
	۲۰۱۹	–	۱۰۰	–	–	۱/۰۶	۱/۴۷	۱/۱۸		۰/۱۲	سینوسی

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

با توجه به جدول ۷، در هر دو دوره، بازهٔ اول و سوم، به‌صورت پیچان‌رود بسیار توسعه‌یافته و بازهٔ چهارم، از نوع پیچان‌رود توسعه‌یافته‌بوده‌اند؛ ولی در بازهٔ دوم، در طی دورهٔ مطالعاتی، نوع بازه از پیچان‌رود توسعه‌یافته به بسیار توسعه‌یافته تغییر یافته‌است و زاویهٔ مرکزی از ۱۴۳/۸۲ در سال ۲۰۰۰ به ۱۶۳/۵۰ در سال ۲۰۱۹ رسیده‌است. در این بازه، پیچان‌رودی شدید به‌علت شیب کم‌بستر و آبرفتی‌بودن آن است و مئاندرها از نوع آزاد و دشتی است و با افزایش قوس مئاندرها و تمرکز انرژی رودخانه در یک نقطهٔ مشخص، شدت فرسایش به حداکثر خود می‌رسد و در جایی که قوس مئاندر به طرف کناره‌ها متمرکز شده و با دیوارهٔ کنار بستر مماس شده، مقدار انبوهی از مواد کناری به داخل بستر سرازیر شده و با شدت‌گرفتن انرژی مئاندری در محدودهٔ خمیدگی و قوس مئاندر، پهنای دشت سیلابی به‌خاطر فرسایش افزایش یافته‌است.

جدول ۷: مشخصه‌های مقادیر زاویهٔ مرکزی رودخانهٔ گیوی‌چای

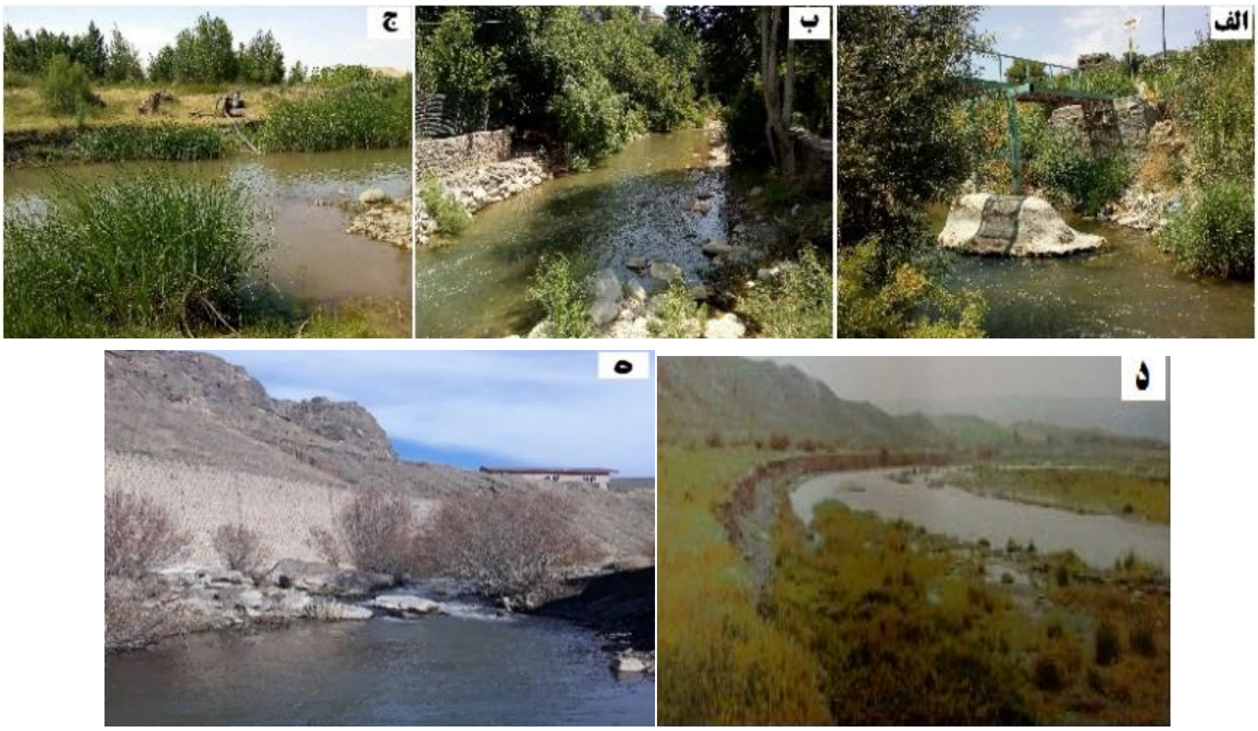
بازه	سال	تقسیم‌بندی رودخانه برحسب زاویهٔ مرکزی: ۰-۴۱ شبه‌پیچان‌رود	۴۱-۸۵ پیچان‌رود توسعه‌نیافته	۸۵-۱۵۸ پیچان‌رود توسعه‌یافته	۱۵۸-۲۹۶ پیچان‌رود بسیارتوسعه‌یافته	۲۹۶< نعل‌اسبی	حداقل	حداکثر	میانگین	تفاوت میانگین	انحراف معیار	نوع بازه
۱	۲۰۰۰	–	–	۳۳/۳۳	۶۶/۶۷	–	۱۲۶/۴۶	۲۹۲/۱۷	۲۱۹/۹۹	۳۰/۲۶	۶۳/۲۰	بسیار توسعه‌یافته
	۲۰۱۹	–	–	۴۳/۷۵	۵۶/۲۵	–	۱۱۲/۹۱	۲۹۴/۷۰	۱۸۹/۷۳		۶۳/۶۹	بسیار توسعه‌یافته
۲	۲۰۰۰	–	۷/۴۱	۷۰/۳۷	۲۲/۲۲	–	۸۴/۶۴	۲۶۹/۰۱	۱۴۳/۸۲	-۱۹/۶۸	۴۰/۹۲	توسعه‌یافته
	۲۰۱۹	–	–	۴۷/۵	۵۲/۵	–	۹۱/۷۴	۲۹۴/۸۱	۱۶۳/۵۰		۴۷	بسیار توسعه‌یافته
۳	۲۰۰۰	–	–	۴	۹۶	–	۱۵۷/۰۴	۲۹۵/۶۹	۲۵۴/۶۰	-۰/۵۲	۳۶/۷۴	بسیار توسعه‌یافته
	۲۰۱۹	–	–	۳/۲۳	۹۶/۷۷	–	۱۴۳/۱۶	۲۹۵/۹۲	۲۵۵/۱۲		۴۲/۷۱	بسیار توسعه‌یافته
۴	۲۰۰۰	–	–	۱۰۰	–	–	۱۰۵/۱۵	۱۵۷/۴۱	۱۲۹/۶۰	-۲۸/۲۴	۱۸/۱۹	توسعه‌یافته
	۲۰۱۹	–	–	۷۶/۹۲	۲۳/۰۸	–	۱۰۶/۲۳	۲۴۷/۸۱	۱۵۷/۸۴		۳۵/۵۷	توسعه‌یافته

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

در بازهٔ اول زاویهٔ مرکزی پیچان‌رودها در سال ۲۰۱۹ نسبت‌به سال ۲۰۰۰ کاهش یافته‌است و با کاهش زاویهٔ مرکزی رودخانه، میانگین شعاع دوایر مماس بر پیچان‌رودها نیز کاهش یافته و از این رو بیشترین تغییر شکل این بازه، تغییرات عرضی بستر است و در سایر بازه‌ها شاهد روند افزایشی زاویهٔ مرکزی در طی دورهٔ مطالعاتی هستیم. وقتی مقدار زاویهٔ مرکزی افزایش می‌یابد، یعنی مورفولوژی رود به سمت رودهای پیچان‌رودی بسیار توسعه‌یافته، تغییر یافته‌است و همچنین میزان تغییر در زاویهٔ‌مرکزی در خمیدگی‌هایی که حذف نشده‌اند و فقط در آن‌ها تغییرات ایجادشده به‌صورت افزایش بوده‌است. در بازهٔ سوم، میانگین زاویهٔ مرکزی در هر دو دوره، نسبت‌به دیگر بازه‌ها زیاد است، در واقع رودخانه در یک مسیر پرپیچ و خم‌دار جریان یافته‌است که به‌علت مقاومت زمین‌شناسی کنار رودخانه و عرض کم منتج از این عامل است. میزان توسعهٔ پیچان‌رودی به‌طورکامل از لیتولوژی بستر و کناره تأثیرپذیرفته و پیچان‌رودهای توسعه‌یافته در سازندهایی با مقاومت‌کم و باتوان بالای برش هیدرولیکی گسترش یافته‌اند؛ ولی چون توپوگرافی منطقه بسیار خشن است و رودخانه در درّه عمیق محاط‌شده‌است؛ ازاین‌رو مرحلهٔ تبدیل به نعل‌اسبی دیده نمی‌شود. همچنین باید گفت که در بازهٔ سوم، میزان سینوزیته بیش از بازه‌های دیگر است و به‌دنبال افزایش سینوزیته، تعداد پیچان‌رودهای خیلی‌توسعه‌یافته، افزایش پیدا کرده (بیش از ۹۰ درصد از تعداد خم‌ها) و در مقابل، از تعداد پیچان‌رودهای توسعه‌یافته به همان میزان کاسته شده‌است.

با توجه به جدول ۸، روند کاهشی طول موج در تمامی بازه‌ها در سال ۲۰۱۹، نسبت‌به سال ۲۰۰۰، نشان‌دهندهٔ کاهش فاصلهٔ پیچان‌رودهای متوالی نسبت‌به هم است؛ یعنی تعداد پیچان‌رودها افزایش یافته‌است که با توجه به افزایش تعداد پیچان‌رودها در تمامی بازه‌ها، این امر تأیید می‌شود. طول موج و طول درّه در دورهٔ دوم نسبت‌به دورهٔ اول کاهش یافته‌است و این امر بیانگر کاهش فرایندهای فرسایشی و برتری‌یافتن فرایندهای رسوب‌گذاری و کاهش نیروی جریان در پایین‌دست است. با توجه به تقسیم‌بندی شن (۱۹۷۱) از دامنهٔ شعاع نسبی، هرچه شعاع بزرگ‌تر باشد، نشانهٔ ملایم‌بودن خمیدگی مربوط و هرچه شعاع نسبی کوچک‌تر باشد، نشانهٔ تحت‌فشار ناپایداری خمیدگی است. به‌طورکلی، میانگین شعاع قوس‌ها از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ در تمامی بازه‌ها روند کاهشی داشته‌است؛ اما اگر بازه‌ها را با یکدیگر مقایسه کنیم، در بازهٔ سوم شعاع قوس خمیدگی‌ها در هر دو دوره، کوچک‌تر از سایر بازه‌ها است و نشانهٔ تحت‌فشار و ناپایداری قوس و انرژی بیشتر پیچان برای فرسایش است؛ یعنی قدرت خمیدگی‌های مسیر جریان در بازهٔ سوم، برای برش و جابه‌جایی بیشتر است. در بازهٔ دوم (بازهٔ نیمه‌دشتی) که درنتیجهٔ جابه‌جایی سریع‌تر شعاع حلقه‌ها از دیگر بازه‌های مطالعاتی زیاد است، نشانگر فرسایش‌پذیری کنارهٔ رودخانه، آزادی عمل و قدرت تحرک رودخانه در تشکیلات سست و آبرفتی مسیر رودخانه و ملایم‌بودن پیچها است؛ بنابراین، شعاع قوس‌های بزرگ‌تر به‌علت فرسایش‌پذیری بستر رودخانه و شعاع کم‌تر به‌علت کوهستانی و لیتولوژی مقاوم است و تغییر در شعاع رودخانه همچنین می‌تواند به‌علت فعالیت‌های انسانی و مهندسی در طول مسیر رودخانه و کاهش رسوب رودخانه در اثر احداث سد باشد که شدیداً رفتار مورفولوژیکی رودخانه را متأثر ساخته‌است. از نمونه‌های دخالت‌های انسانی در رودخانهٔ گیوی‌چای و به‌ویژه در بازه‌های پایین‌دست سد، می‌توان به احداث پل‌ها (مانند: پل‌های پایین‌دست سدگیوی، کورپوقولاغی، روستای میکائیل‌آباد و روستای فیروزآباد) اشاره کرد که پایه‌های پل‌ها مشابه یک سد یا بند عمل کرده و سبب پس‌زدگی آب و رسوب‌گذاری در بالادست می‌شود. از

دیگر عوامل انسانی، ایجاد دیواره‌ها و فنس‌کشی‌ها، جهت جداسازی املاک شخصی و نیز ایجاد رستوران‌ها، تجاوز به حریم رودخانه و تنگ‌کردن بستر رودخانه است. می‌توان گفت که به‌علت وجود پیچ و خم‌های رودخانه، سرعت زیاد جریان آب و تجاوز کشاورزان به حریم رودخانه باعث کناره‌شویی، کف‌کنی و در برخی مناطق دیگر سبب بالاآمدن سطح آب و ورود آب به اراضی و باغ‌های حاشیهٔ رودخانه شده‌است. پمپاژ آب رودخانه، جهت آبیاری اراضی زراعی و باغات موجود در اطراف رودخانه، تخلیهٔ نخاله‌های ساختمانی و برداشت مصالح شن و ماسه از رودخانه، به‌ویژه در روستای گرگ‌آباد (سعیدآباد) و میکائیل‌آباد و همچنین در قسمت پایین‌دست آن (قبل از فیروزآباد)، از دیگر اقدامات انسانی در حواشی رودخانهٔ گیوی‌چای هستند. به‌علاوه قابل‌ذکر است که در بازهٔ دوم و در بعضی از بخش‌های کناره‌های فرسایش‌پذیر، به‌ویژه در مناطق کشاورزی و حواشی مناطق مسکونی، توسط سازمان آب منطقه‌ای، دیواره‌های حفاظتی ساحلی به‌عنوان اقدامات مهندسی در راستای کنترل فرسایش احداث شده‌است (شکل ۱۳).



شکل ۱۳: الف: احداث پل‌ها؛ ب: تجاوز به حریم رودخانه و تنگ‌کردن بستر رودخانه؛ ج: پمپاژ آب رودخانه، د: برداشت مصالح و تغییر مسیر رودخانه؛ ه: نمونه‌ای از دیوارهٔ حفاظتی احداث‌شده در بازهٔ دوم

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۸

ایجاد قوس در مسیر جریان، انرژی لازم برای تغییرات مسیر را فراهم می‌سازد که با اندازه‌گیری شعاع قوس خمیدگی‌ها این عامل قابل‌بررسی است. نتایج مطالعهٔ حاضر نشان‌می‌دهد که اندازهٔ شعاع قوس‌های پیچان‌رودی تشکیل‌شده درطول رودخانهٔ گیوی‌چای بسیار متفاوت است.همچنین می‌توان گفت که کاهش شعاع پیچان‌رودها، در قسمت پایین‌دست رودخانه (بازه‌های ۲،۳ و ۴)، بیانگر افزایش رسوب‌گذاری در محدوده و کاهش فعالیت جریان آب با دخالت زیاد انسان است.

جدول ۸: مشخصات سایر پارامترهای هندسی در رودخانهٔ گیویچای

بازه	سال	تعداد مئاندر	میانگین طول موج (متر)	میانگین طول درّه (متر)	میانگین شعاع دایره (متر)
۱	۲۰۰۰	۱۵	۳۴۳/۳۳	۲۴۱/۸۱	۹۴/۷۶
	۲۰۱۹	۱۶	۲۸۹/۷۹	۲۱۲/۲۳	۹۱/۵۱
۲	۲۰۰۰	۲۷	۳۲۸/۵۶	۲۶۷/۴۱	۱۳۸/۹۴
	۲۰۱۹	۴۰	۲۸۳/۵۷	۲۲۴/۷۹	۱۰۳/۵۴
۳	۲۰۰۰	۲۵	۳۷۸/۸۱	۲۱۰/۳۸	۸۶/۹۷
	۲۰۱۹	۳۱	۲۹۴/۰۲	۱۶۳/۱۸	۶۷/۸۷
۴	۲۰۰۰	۸	۲۶۷/۱۱	۲۳۴/۵۵	۱۱۷/۱۶
	۲۰۱۹	۱۳	۱۷۰/۳۰	۱۴۶/۰۴	۶۵/۹۳

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

شاخص سینوزیته ابزاری برای شناسایی نواحی دارای حرکات‌جوان تکتونیکی است؛به‌طوری‌که هرچه مقادیر عددی به‌دست‌آمده زیاد باشد، حاکی از نزدیک‌شدن رودخانه به حالت تعادل و هرچه کم‌تر باشد، نشانگر فعالیت‌های تکتونیکی در منطقه است؛ بنابراین، در مسیرهای شش و هفت که میزان سینوزیته آن بیش از ۱/۵ است، نشانگر این امر است که در این محدوده‌ها رودخانه از پتانسیل بالایی برای جابه‌جایی برخوردار است. همچنین می‌توان گفت که سینوزیته بیش‌از ۲، در مسیر شمارهٔ شش، نشان‌دهندهٔ تکامل بیشتر پیچان‌رودهای رودخانه در آن قسمت است (جدول ۹).

جدول ۹: نتایج مقادیر تحلیل سینوسی مسیر رودخانهٔ گیویچای

معیار	مسیر / سال	یک	دو	سه	چهار	پنج	شش	هفت	هشت
طول خمیدگی	۲۰۰۰	۱۰۰۲۹/۸۹	۳۶۰۶/۴۰	۷۵۰۳/۵۶	۶۸۰۱/۸۲۱	۴۷۷۰/۷۹	۷۵۱۴/۴۸	۹۳۶۶/۳۴	۵۸۲۵/۸۷
	۲۰۱۹	۸۰۸۳/۱۳	۳۷۶۷/۹۱	۷۶۶۵/۴۲	۶۹۷۵/۵۵	۴۸۷۳/۵۳	۷۶۳۱/۴۸	۹۰۷۵/۵۱	۶۰۳۴/۶۴
طول مستقیم	۲۰۰۰	۷۴۰۱/۱۳	۲۸۴۵/۹۱	۵۶۱۳/۹۵	۶۳۱۲/۶۴	۴۰۶۳/۶۶	۳۵۴۸/۰۸	۵۰۱۶/۲۲	۴۸۱۴/۳۰
	۲۰۱۹	۵۸۸۶/۵۹	۲۸۲۰/۹۱	۵۶۰۰/۳۰	۶۳۱۵/۳۷	۴۰۸۰/۷۸	۳۵۵۸/۲۳	۵۰۱۹/۷۳	۴۸۵۹/۶۳
سینوزیته مسیر	۲۰۰۰	۱/۳۵	۱/۲۶	۱/۳۳	۱/۰۷	۱/۱۷	۲/۱۱	۱/۸۶	۱/۲۱
	۲۰۱۹	۱/۳۷	۱/۳۳	۱/۳۶	۱/۱۰	۱/۱۹	۲/۱۴	۱/۸۰	۱/۲۴
حالت	۲۰۰۰	سینوزیته	سینوزیته	سینوزیته	سینوزیته	سینوزیته	بیش از حد مئاندری	مئاندری	سینوزیته
	۲۰۱۹	سینوزیته	سینوزیته	سینوزیته	سینوزیته	سینوزیته	بیش از حد مئاندری	مئاندری	سینوزیته

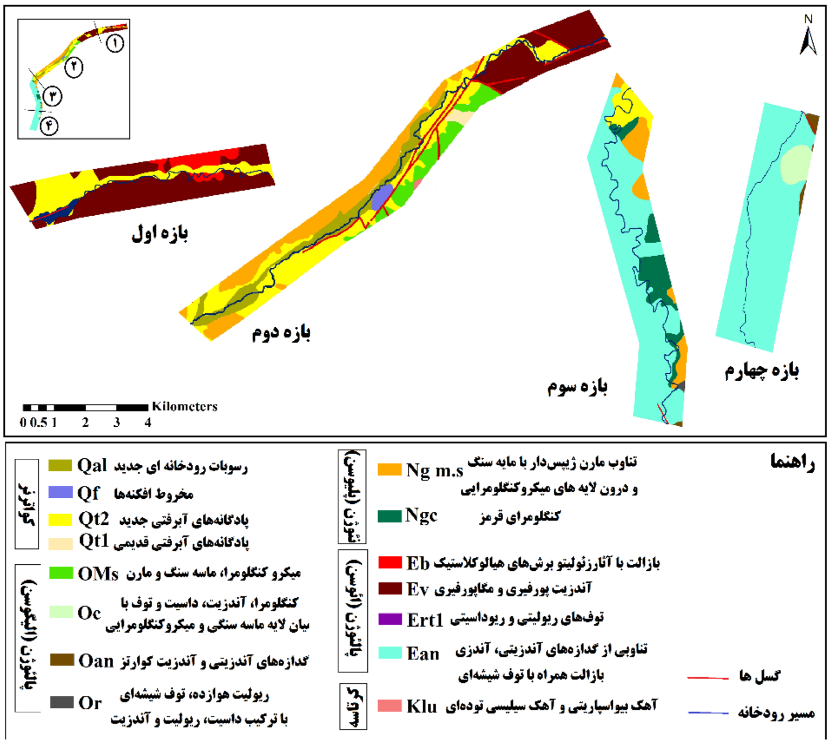
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

بررسی لیتولوژی بازه‌ها

با توجه به نقشهٔ سازندهای زمین‌شناسی بازه‌ها (شکل ۱۴)، می‌توان گفت: در بازهٔ اول، رودخانه در بستر درّه‌ای جریان دارد و بخش‌هایی از مسیر رودخانه که از سازندهای فرسایش‌پذیر تشکیل شده (Qt2: رسوبات پادگانه‌های‌آبرفتی جوان؛ شاملِ رس، رس‌های ماسه‌دار و شن و قلوه‌سنگ) و به‌ویژه در مقاطع نزدیک به سد، فرسایش یافته و عرض رودخانه نیز تقریباً افزایش یافته‌است. به‌علاوه، در بخش‌هایی که از لایه‌های آندزیتی پورفیری و مگاپورفیری ائوسن تشکیل شده‌اند، این‌لایه‌ها در هنگامی که در معرض آب قرار می‌گیرند، مقاومت خود را ازدست‌داده و فرسایش می‌یابند؛ اما میزان فرسایش این سنگ‌ها در مقایسه با میزان فرسایش در لایه‌های آبرفتی یا تراس‌های آبرفتی کم

است. در بازۀ دوم و بلافاصله بعد از سد گیوی، رودخانه از درّه‌های ارتفاعات مشرف‌به شهر گیوی، عبور می‌کند که در این محدوده عرض بستر ناشی از جنس کرانه‌ها (EV: آندزیت، تراکی آندزیت، تراکی بازالت و آندزیت بازالت) کاهش می‌یابد و بستر رودخانه دارای رسوبات درشت و پوشیده از سنگ‌های شکسته حاصل از سقوط از کرانه‌ها و حمل از بالادست است. با عبور از شهر گیوی رودخانه وارد دشت گیوی در پایین‌دست شهر و سیلاب‌دشت اصلی رودخانه، با پهنای بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر و طول بیش از ۱۲ کیلومتر تا فیروزآباد شده و بخش اعظم اراضی زراعی و باغی، در این محدوه در سیلاب‌دشت رودخانه واقع شده‌است و به‌دلیل عبور رودخانه از سازندهای فرسایش‌پذیر (Qt2: رسوبات پادگانه‌های آبرفتی جوان؛ شامل رس، رس‌های ماسه‌دار و شن و قلوه‌سنگ و Qal: رسوبات رودخانه‌ای فعلی و به‌صورت قلوه‌سنگ، شن، ماسه و در برخی مناطق رس و سیلت منفصل) به‌ویژه در حوالی سکرآباد و میکائیل‌آباد، بستر رودخانه عریض شده و پادگانه‌های جوان مشاهده می‌شود. می‌توان گفت که در بخش‌های بعد از شهر گیوی، شرایط فرسایشی حاکم بوده و تراس‌های آبرفتی دچار فرسایش شده و حجم زیادی از مواد کناره (به‌خصوص در طی سیلاب‌ها) فرسایش یافته و کناره‌های سست منجر به عریض‌شدن کانال و پشته‌های داخل مجرا می‌شود و این رسوبات به‌وضوح در خم‌ها، جزایر میانی و اراضی حاشیه‌ای و پرشیب کناری رودخانه مشهود است و به‌طور مداوم توسط جریان‌ها جابه‌جا شده و فرسایش می‌یابند. به‌علاوه، بعد از روستاهای گرگ‌آباد (سعیدآباد)، با کاهش شیب و افزایش عرض رودخانه، مئاندرهایی در ناوۀ اصلی رودخانه، تشکیل می‌شود که رسوب‌گذاری در بخش بیرونی قوس در این مئاندرها صورت می‌گیرد.در ابتدای بازۀ سوم، محدودۀ فیروزآباد در تداوم سیلاب‌دشت بازۀ قبلی قرار دارد و از رسوبات پادگانه‌های آبرفتی جوان تشکیل شده‌است. با الحاق سنگورچای، رود وارد بخش کوهستانی شده و اراضی کرانه دارای درّه‌های عمیق با شیب‌تند است و در مسیر رودخانه به‌دلیل برخورد با ارتفاعات و برونزدهای سنگی تغییر مسیر متناوب داشته و دارای مئاندر است و تغییرات رودخانه تابع تغییرات درّه است و حالت مئاندری‌شدن درطول درّه دیده‌می‌شود و مسیررودخانه در این‌بازه منطبق‌بر واحد زمین‌شناسی Ean (تناوبی از گدازه‌های آندزیتی، آندزی بازالت و بازالت همراه با توف شیشه‌ای با ترکیب آندزیتی)، Ngms (تناوب مارن‌های خاکستری‌وقرمز ژیپس‌دار با ماسه‌سنگ‌های خاکستری و درون‌لایه‌های میکروکنگلومرایی) و Ngc (کنگلومرای قرمز) است.

در بازۀ چهارم نیز از میزان عرض رودخانه کاسته شده و بستر رودخانه پوشیده از رسوبات درشت‌دانه است که این امر تا پیوستن به قزل اوزن امتداد دارد و در برخی مناطق به‌دلیل ریزش مواد سنگی از ارتفاعات پرشدگی آبراهه و تغییر مسیر به‌وجود آمده‌است. در این بازه، شکل‌بندی مقاطع تابع مقاومت لیتولوژیکی بستر و کناره‌های رودخانه است و کاربری زراعی و کشاورزی در آن دیده نمی‌شود. در این بازه مسیر رودخانه، عمدتاً منطبق‌بر واحد زمین‌شناسی Ean (تناوبی از گدازه‌های آندزیتی، آندزی بازالت و بازالت همراه با توف شیشه‌ای با ترکیب آندزیتی)، با روند شمالی- جنوبی است. در بازۀ بعد از فیروزآباد تا اتصال به قزل‌اوزن، رودخانه با توجه به چین‌خوردگی کناره‌های رودخانه پرشیب است و این امر موجب تشکیل بستر سنگی و عریان رودخانه شده‌است؛ ازاین‌رو،در بازه‌های سوم و چهارم، مورفولوژی بستر بیشتر تحت‌تأثیر شرایط سنگ‌شناسی قرار دارد.



شکل ۱۴: نقشهٔ سازندهای زمین‌شناسی بازه‌های مختلف رودخانهٔ گیوی‌چای

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

نتیجه

تغییرات مورفولوژی، الگوی هندسی و هیدرولوژیکی رودخانه‌ها، می‌تواند بر سازه‌های بناشده در حاشیهٔ رودخانه‌ها، زمین‌های کشاورزی و غیره آثار منفی بگذارد و تعیین و شناسایی پارامترهای مورفولوژیکی و شاخص‌های هیدرولوژیکی رودخانه موجب می‌شود تا ضمن آگاهی از رفتار رودخانه‌ها بتوان نسبت‌به برخورد با رودخانه و اجرای طرح‌های ساماندهی در آن‌ها کاملاً هوشیارانه و مبتنی‌بر قواعد حاکم‌بر رودخانه عمل کرد.

در این تحقیق به تحلیل مورفولوژی بستر رودخانه و ارزیابی شرایط هیدرولوژیکی و به‌ویژه در رابطه با احداث سد گیوی و اثرات آن بر مورفولوژی مجرا، در طی یک دورهٔ زمانی ۱۹ ساله (۲۰۱۹-۲۰۰۰)، پرداخته شده‌است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از محاسبهٔ شاخص‌های هیدرولوژیکی و تحلیل آزمون آماری T، بین دو ایستگاه آبگرم (در بالادست) و ایستگاه فیروزآباد (در پایین‌دست)، ازلحاظ شاخص‌های Q5، Q10، Q15، Q35، Q45، Q50، Q65، Q90، دبی نرمال پرآبی، دبی حداکثر، دبی میانگین، دبی میانه، دبی مد و دبی سالانه تفاوت معناداری بین دو ایستگاه در بازهٔ زمانی ۱۹ سال دیده می‌شود. با احداث سد گیوی، در رژیم جریانی بالادست و پایین‌دست، تغییر اساسی همچون کاهش دبی در پایین‌دست در فصل پرآبی و افزایش آن در فصل کم‌آبی، کاهش مواد رسوبی در پایین‌دست، ته‌نشینی مواد معلّق و افزایش تراز بستر رودخانه در بالادست ایجاد شده‌است و این تغییرات تعادل طبیعی رودخانه را دگرگون کرده و بر ویژگی‌های هندسی و ژئومورفولوژیکی رودخانه تأثیر گذاشته‌است. همچنین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از محاسبهٔ شاخص‌های مورفولوژیکی، بازه‌های اول، دوم و چهارم، در هر دو دورهٔ مطالعاتی، دارای پلان فرم سینوسی و در بازهٔ سوم در هر دو دوره، به‌صورت پیچان‌رودی است.

ازنظر شاخص زاویهٔ مرکزی، در بازهٔ دوم در طی دورهٔ مطالعاتی، نوع بازه از پیچان‌رود توسعه‌یافته به بسیارتوسعه‌یافته، تغییر یافته‌است؛ ولی بازهٔ اول و سوم در هر دو دورهٔ مطالعاتی، به‌صورت پیچان‌رود بسیار توسعه‌یافته و بازهٔ چهارم از نوع پیچان‌رود توسعه‌یافته هستند. در بازهٔ دشتی عامل تأثیرگذار بر پیچان‌شدن رودخانه، نوع سازند آبرفتی و شیب کم است و مئاندرها از نوع آزاد و دشتی است و در مقابل، در بخش کوهستانی تغییرات رودخانه تابع تغییرات درّه است و حالت‌مئاندری‌شدن درطول درّه دیده می‌شود.همچنین، نتایج مطالعه نشان می‌دهد که در کل رودخانه تعداد پیچ‌ها در سال ۲۰۱۹ نسبت‌به ۲۰۰۰ افزایش یافته‌است و روند کاهشی طول موج در تمامی بازه‌ها نیز که نشان‌دهندهٔ کاهش فاصلهٔ پیچان‌رودهای متوالی نسبت‌به هم است، این موضوع را تأیید می‌کند و این امر تغییرات‌مورفولوژی و ناپایداری رودخانه را نشان می‌دهد. محاسبهٔ شاخص سینوزیته مسیر نیز نشان می‌دهد، در مسیرهای شش و هفت که میزان سینوزیته آن بیش از ۱/۵ است، رودخانه از پتانسیل بالایی برای جابه‌جایی برخوردار است. در حالت کلی، تغییرات در پلان‌رودخانهٔ گیوی‌چای، به‌صورت گسترش مئاندرهای موجود، جابه‌جایی مسیر رودخانه و افزایش انحنا و تشکیل مئاندرهای کوچک بوده‌است و شکل‌گیری الگو و تغییرات مورفولوژیکی رودخانهٔ گیوی‌چای در بازهٔ زمانی و مکانی موردمطالعه بیشتر تحت‌تأثیر فرایندهای هیدرولوژیکی ناشی از دبی و دبی رسوبی، احداث سد و مقاومت لیتولوژیکی بستر و کناره‌های رودخانه است و با احداث سد گیوی، در رژیم جریانی بالادست و پایین‌دست،تغییر اساسی ایجاد شده‌است و این تغییرات به‌نوعی تعادل طبیعی رودخانه را دگرگون کرده و بر ویژگی‌های هندسی و ژئومورفولوژیکی تأثیر گذاشته است.

منابع

-اسمعلی‌عوری، اباذر؛ حامد امینی؛ رئوف مصطفی‌زاده؛ معراج شرری؛محسن‌ذبیحی(۱۳۹۸).واکنش خشکسالی‌هیدرولوژیک در جریان تنظیمی رودخانه تحت‌تأثیر احداث سد در استان اردبیل، فیزیک زمین و فضا. دورهٔ ۴۵. شمارهٔ ۲. صفحات ۴۷۳-۴۸۶.
https://doi.org/10.22059/jesphys.2019.272671.1007078

-اصغری‌سراسکانرود، صیاد (۱۳۹۶). تحلیل شکل مجرای رودخانهٔ کلقان‌چای (حدفاصل کلقان تا الحاق به رودخانهٔ قرنقو)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی. سال ششم. شمارهٔ ۲. صفحات ۱۳۲- ۱۱۶ .
http://www.geomorphologyjournal.ir/article_78088.html

-خوش‌رفتار، رضا؛ اصغر احمدی‌ترکمانای؛ مهدی فیض‌الله‌پور؛ نسرین حامدی (۱۳۹۸). بررسی پیچان‌رودهای قزل‌اوزن در محدودهٔ شهرستان ماهنشان- زنجان، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی. سال هفتم. شمارهٔ ۴. صفحات ۳۰- ۱۵.
http://www.geomorphologyjournal.ir/article_88308.html

-خیری‌زاده، منصور (۱۳۹۵). تحلیل مورفودینامیک و تغییرات جانبی مجرای رودخانهٔ زرینه‌رود (از شاهین‌دژ تا دریاچهٔ ارومیه)، رسالهٔ دکتری دانشگاه تبریز. ۱۹۲ ص.
https://ganj.irandoc.ac.ir/viewer/7088dffb724bbc881818469668c3e58c

-سازمان آب منطقه‌ای اردبیل، ۱۳۹۶.
http://www.arrw.ir/old/

-سعدالدین، امیر؛ غلامرضا خسروی؛ مجید اونق؛ عبدالرضا بهره‌مند؛ مصطفوی (۱۳۹۸). طبقه‌بندی و تعیین تغییرات رژیم جریان آب رودخانه‌ای با استفاده از شاخص‌های هیدرولوژیکی IHA (مطالعهٔ موردی:رودخانهٔ خرمارود-استان گلستان)، مجلهٔ اکوهیدرولوژی. سال ششم. شمارهٔ ۳. صفحات ۶۷۱-۶۵۱.
https://doi.org/10.22059/ije.2019.269287.982

-علیزاده، امین (۱۳۹۴). اصول هیدرلوژی کاربردی، چاپ سی‌ونهم. دانشگاه فردوسی مشهد. ۹۴۶ ص.

فصاحت، وجیهه؛ جواد ساداتی‌نژاد؛ افشین هنربخش؛ حسین صمدی‌بروجنی (۱۳۹۳). تأثیر احداث سد مخزنی در میزان کاهش دبی اوج سیلاب، پژوهشنامهٔ مدیریت حوزهٔ آبخیز. سال پنجم. شمارهٔ ۱۰. صفحات ۵۵-۴۴.
http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-412-fa.html

مصطفی‌زاده، رئوف؛ فریبا اسفندیاری درآباد؛ رضا شاهمرادی؛ علی نصیری‌خیاوی؛ الهامه عبادی (۱۳۹۸). بررسی اثر احداث سد بوکان بر شاخص‌های هیدرولوژیک رودخانهٔ زرینه‌رود براساس منحنی تداوم جریان، نشریهٔ دانش آب و خاک. جلد ۲۹. صفحات ۱۵۹- ۱۴۷.
https://watersoil.tabrizu.ac.ir/article_10306.html

- Aswathy, M. V., Satheesh, V. R. (2008). Factors Influencing the Sinuosity of Pannagon. River Kottayam, Kerala, India: An assessment using remote and GIS. Environmental Monitoring and Assessment, 138(1-3), PP. 173-180.
https://doi.org/10.1007/s10661-007-9755-6
- Ayaz, S., and Dhali, M.K., 2019. Longitudinal profiles and geomorphic indices analysis on tectonic evidence of fluvial form, process and landform deformation of Eastern Himalayan Rivers, India. Geology, Ecology, and Landscapes, PP 1-12.
https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1568130
- Bandyopadhyay, Sh., and KumarDe, S., 2018. Anthropogenic impacts on the morphology of the Haora River, Tripura, India. Geomorphology relief processes environment, 24 (2), PP 151-166.
https://doi.org/10.4000/geomorphologie.12019
- Batalla, R.J., Iroume, A., Hernandez, M., Lena, M., Vericat, D. (2018). Recent geomorphological evolution of a natural river channel in a Mediterranean Chilean basin, Geomorphology, Vol 303, PP. 322-337.
https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.12.006.
- Casado, A., Peiry, J. L., Campo, A. M. (2016). Geomorphic and vegetation changes in a meandering dryland river regulated by a large dam, Sauce Grande River, Argentina. Geomorphology, 268, PP. 21-34.
https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.05.036
- Chen, F., Chen, L., Zhang, W., Han, J., Wang, J., (2019). Responses of channel morphology to flow-sediment variations after dam construction: a case study of the Shashi Reach, middle Yangtze River, Hydrology Research, 50 (5), PP 1359-1375.
https://doi.org/10.2166/nh.2019.066
- Clarke, K.D., Pratt, T.C., Randall, R.G., Dave, A., Smokorowski, K.E. (2008). Validation of the Flow Management Pathway: Effects of Altered Flow on Fish Habitat and Fishes Downstream from a Hydropower Dam. Tech. rep., Northwest Atlantic Fisheries Center, St. John's, Oceans and Environment Branch Fisheries and Oceans Canada St. John's, NL, Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences, PP. 1-119.
http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/332113.pdf
- Gard, R.J. (2006). River morphology. New Age Internatiomal (P) Ltd., Publishers, 479 p.
https://www.worldcat.org/title/rivermorphology/oclc/647881451
- Gordon, E., Meentemeyer, R.K. (2006). Effects of Dam Operation and Land Use on Stream Channel Morphology & Riparian Vegetation, Geomorphology, Vol. 82, No. 3/4, PP. 412-429.
https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.001.
- Gregory, K. J. (2006). The human role in changing river channels, Geomorphology, 79(3), PP. 172-191.
https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.018.
- Graf. W. L. (2006). Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers, journal of Geomorphology, No.79, PP. 336-360.
https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.022
- Hmmerling, M.H., Walczak, N., Nowak, A., Mazur, R,Chmist, J (2019). Modelling Velocity Distributions and River Bed Changes Using Computer Code SSIIM below Sills Stabilizing the Riverbed, Original Research, 28 (3), PP 1165-1179.
https://doi.org/10.15244/pjoes/85224.
- Kibet Langat, F., Kumar, L., Koech, R (2019). Monitoring river channel dynamics using remote sensing and GIS techniques, Geomorphology, vol 325, PP. 92-102.
https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.10.007
- Kondolf, M., Piegay, H. (2003). Tools in fluvial geomorphology. John Wiley & Sons Ltd. 688 P.
https://doi.org/10.1002/0470868333
- Lauer, J., Parker, G. (2008). Net local removal of floodplain sediment by river meander migration. Geomorphology, Vol 96, PP. 123-149.
https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.08.003

- Petrovszki, J., Timar, G. (2009). Channel sinuosity of the Koros River system,Hungary/Romania, as possible indicator of the neotectonic activity, Geomorphology, 122(3-4), PP. 223-230. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.11.009.
- Remondo, J., Soto, J., Gonzalez-Diez, A., de Teran, J. R. D., Cendrero, A. (2005). Human impact on geomorphic processes and hazards in mountain areas in northern Spain, Geomorphology, 66(1). PP. 69-84. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.09.009.
- Schumm, S.A. (1985). Patterns of alluvial rivers, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 13, PP.5-27. https://doi.org/10.1146/annurev.ea.13.050185.000253
- Snoussi, M, Haida, S, Imassi, S. (2002). Effects of the construction of dams on the water and sediment fluxes of the Moulouya and the Sebou Rivers, Morocco, Reg Environ Change, 3. PP. 5–12. https://doi.org/ 10.1007/s10113-001-0035-7.
- Surian, N., Rinaldi, M. (2003). Morphological Response to River Engineering and Management in Alluvial Channels in Italy, Geomorphology, Vol. 50, No. 4, PP. 307- 326. https://doi.org/10.1016/S0169-555X (02)00219-2.
- Surian, N, Rinaldi, M, Peliegrinl, L. (2011). Channel adjustments and Implications for river management and restoration, Geogr. Fis.Dinam.Quat,34,PP. 45-152. https://www.researchgate.net/publication/ 261358713
- Vikrant J. & R. Sinha. (2005). Response of active tectonics on alluvial Baghmati River Himalayan foreland basin, eastern India، Elsevier. PP. 339-356.

  https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.02.012
- Yu, F., Price, K.P., Ellis, J., Kastens, D. (2004). Satellite Oservations of Seasonal Vegatation Growth in Central Asia: 19821990” Photogrammetric Engineering and Remot Sensing,Vol.70(4).PP.461-469. https://doi.org/10.14358/PERS.70.4.461
- Liaghat, A., Adib, A., Gafouri, H.R. (2017). Evaluating the Effects of Dam Construction on the Morphological Changes of Downstream Meandering Rivers (Case Study: Karkheh River), Engineering, Technology & Applied Science Research, Vol. 7, No. 2, PP. 1515-1522. https://www.etasr.com/index.php/ETASR/article/view/969
- Minear, J. T. (2010). The Downstream Geomorphic Effects of Dams: A Comprehensive and Comparative Approach, requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Landscape Architecture and Environmental Planning University of California, Berkeley, 201 p. https://escholarship.org/uc/item/1f8612f9
- Minh Hai, D., Umeda Sh., Yuhi, M., (2019). Morphological Changes of the Lower Tedori River, Japan, over 50 Years, water, 11, 1852, PP 2-17. https://doi.org/10.3390/w11091852.
- Nelson, N.C., Erwin, S.O., Schmidt, J. (2013). Spatial and Temporal Patterns in Channel Change on the Snake River Downstream from Jackson Lake Dam, Wyoming, Geomorphology, Vol 20, PP.132-142. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.03.019
- Ollero, A. (2010). Channel changes and floodplain management in the meandering middle Ebro River, Spain, Geomorphology, 117(3), PP.247-260. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.01.015
- Oorschot, M. V, Kleinhans M, Buijse. T, Geerling, G., Middelkoop, H. (2018). Combined effects of climate change and dam construction on riverine ecosystems, Ecological Engineering, 120, PP. 329–344. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.05.037
- Overeem, I., Kettner, A.J., Syvitski, J.P.M. (2013). Impacts of Humans on River Fluxes and Morphology, Treatise on Geomorphology, Vol. 9, No.1,PP.828-842. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00267-0.
- Petit, F. (1987). the relationship between shear stress and the shaping of a pebble-loaded river La Rulles-Ardenne, Catena, 14(5), PP. 453-468. https://doi.org/10.1016/0341-8162(87)90015-4