Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Analysis of river water yield concentration index (WYCI) and its spatial changes using GIS in Ardabil province

Amirhosein Ghorbani[1] | Raoof Mostafazadeh[2]✉ | Mohsen Zabihi[3]

1. Department of Survey Engineering-Geographic Information Systems, Faculty of Civil Engineering, Lamei Gorgani Institute of Higher Education, Gorgan, Iran. E-mail: amirhoseynghorbani0551@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir
3. Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: mohsen_zabihi69@yahoo.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: March. 28, 2022

Revised: Feb. 25, 2023

Accepted: May. 23, 2023

Published online: June. 22, 2023

Keywords:
Flow Regime,
Interpolation,
Spatial Distribution,
Surface Water Resource,
Time scale.

ABSTRACT

Estimating the natural flow regime of a river is crucial for water resource management. Understanding the temporal and spatial distribution of river flow can greatly assist decision-makers in water resource management. This study aims to analyze changes in the Water Year Classification Index (WYCI) at 31 hydrological stations in Ardabil province (1974 to 2018) at different time scales and its spatial changes using GIS. The WYCI index was calculated at all hydrological stations, and the map of the spatial changes of the index was prepared using the inverse distance weighting method. According to the results, the maximum and minimum median flow values were related to the spring season (3.7) and summer (0.3) cms, respectively. The median flow values in the winter and autumn seasons were 2.5 and 1.3 cms respectively. The results showed that the average values of the WYCI index in autumn, winter, spring, and summer are 11.9, 10.7, 13.8, and 15.2, respectively. The status of the index for dry and wet periods was highly irregular (21.6) and moderately irregular (14.3), respectively. Based on the research findings, the snow-fed rivers located in the southern of Sabalan (Lay, Nir, Atashgah, and Yamchi stations) have a regular regime, while rivers in the eastern part of the province become more irregular towards summer with an increase in WYCI values. Overall, the analysis of spatial changes in WYCI indicates the existence of a unique spatial pattern at different time scales, and it is necessary to consider it in water resource management planning in Ardabil province.

Cite this article: Ghorbani, A., Mostafazadeh, R., Zabihi, M. (2023) Analysis of River Water Yield Concentration Index (WYCI) and its Spatial Changes using GIS in Ardabil Province, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (4), 579-595. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.354464.669441

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.354464.669441

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۴، شماره ۴ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

تحلیل شاخص تمرکز آبدهی رودخانه (WYCI) و تغییرات مکانی آن با سامانه اطلاعات جغرافیایی در استان اردبیل

امیرحسین قربانی[۱] | رئوف مصطفی‌زاده[۲]✉ | محسن ذبیحی[۳]

۱. گروه مهندسی نقشه‌برداری-سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده عمران، موسسه آموزش عالی لامعی گرگانی، گرگان، ایران، رایانامه: amirhoseynghorbani0551@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، رایانامه: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

۳. گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، رایانامه: mohsen_zabihi69@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۴/۱

واژه‌های کلیدی:
توزیع مکانی،
درون‌یابی،
رژیم جریان،
مدیریت منابع آب سطحی،
مقیاس زمانی.

چکیده

تخمین رژیم جریان طبیعی رودخانه برای برنامه‌ریزی منابع آب در یک حوزه آبخیز از اهمیت زیادی برخوردار است. آگاهی از وضعیت توزیع زمانی و مکانی جریان رودخانه می‌تواند سیاست‌گزاران و تصمیم‌گیران را در مدیریت منابع آب کمک شایانی نماید. در همین راستا، پژوهش حاضر با هدف تحلیل تغییرات شاخص تمرکز آبدهی جریان رودخانه (WYCI) طی سال‌های آماری ۱۳۵۳ تا ۱۳۹۷ در مقیاس‌های زمانی مختلف در ۳۱ ایستگاه هیدرومتری استان اردبیل و تغییرات مکانی آن با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی برنامه‌ریزی شده است. در راستای دستیابی به اهداف، اقدام به محاسبه شاخص WYCI در کلیه ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب در کلیه سال‌های آماری مطالعاتی شد و نقشه تغییرات مکانی شاخص مذکور با استفاده از روش معکوس وزنی فاصله تهیه شد. بر اساس نتایج، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار میانه آبدهی مربوط به فصل بهار (۳/۷) و تابستان (۰/۳) مترمکعب در ثانیه بوده است. در فصل‌های زمستان و پاییز مقادیر میانه آبدهی جریان به‌ترتیب برابر ۲/۵ و ۱/۳ مترمکعب در ثانیه بوده است. نتایج نشان داد که مقادیر میانگین شاخص WYCI در پاییز، زمستان، بهار و تابستان به‌ترتیب برابر با ۱۱/۹، ۱۰/۷، ۱۳/۸ و ۱۵/۲ هستند. علاوه بر این، وضعیت شاخص مورد بررسی برای دوره‌های خشک و مرطوب به‌ترتیب خیلی نامنظم (۲۱/۶) و بی نظمی متوسط (۱۴/۳) تشخیص داده شد. براساس یافته‌های پژوهش، ایستگاه‌های واقع در دامنه جنوبی سبلان (ایستگاه‌های لای، نیر، آتشگاه و یامچی) دارای رژیم منظم هستند و از رژیم برفی تغذیه می‌شوند. در حالی‌که ایستگاه‌های واقع در بخش شرقی استان از فصل پاییز به سمت فصل تابستان با افزایش مقادیر WYCI و در نتیجه بی‌نظمی بیش‌تر رژیم رودخانه متمایز می‌شوند. در مجموع می‌توان گفت که تحلیل تغییرات مکانی WYCI حاکی از وجود الگوی مکانی منحصر به فرد در مقیاس‌های زمانی متفاوت است و نیاز است تا در برنامه‌ریزی استفاده از آب در استان اردبیل مدنظر قرار گیرد.

استناد: قربانی؛ امیرحسین، مصطفی‌زاده؛ رئوف، ذبیحی؛ محسن، (۱۴۰۲) تحلیل شاخص تمرکز آبدهی رودخانه (WYCI) و تغییرات مکانی آن با سامانه اطلاعات جغرافیایی در استان اردبیل، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۴ (۴)، ۵۹۵-۵۷۹. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.354464.669441

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.354464.669441

مقدمه

تخمین رژیم جریان طبیعی رودخانه برای برنامه‌ریزی منابع آب در یک حوزه آبخیز از اهمیت زیادی برخوردار است. با توجه به متغیر بودن میزان جریان رودخانه در زمان‌های مختلف سال ضروری است تا وضعیت پراکندگی آبدهی آن مورد بررسی قرار گیرد. از طرفی، رژیم جریان طبیعی در بیش‌تر رودخانه‌ها در سال‌های اخیر به‌دلیل برداشت‌های غیرمجاز از رودخانه‌ها برای امور کشاورزی، آبزی‌پروری و صنعت و نیز طرح‌های سازه‌ای توسعه منابع آب از جمله احداث سدها مختل شده است. لازم به توضیح است که شرایط اقلیمی، ویژگی‌های زمین‌شناسی و نفوذپذیری و نوع خاک در حوزه‌های آبخیز تأثیر عمده‌ای بر الگوهای جریان رودخانه دارد (Mackay et al. 2019). در همین ارتباط، تغییرات اقلیمی و سیمای سرزمین در مقیاس جهانی رژیم‌های جریان رودخانه را تغییر داده‌اند. بسته به شرایط محلی و موقعیت مکانی در حوضه، جریان رودخانه ممکن است ترکیبی از رژیم‌های هیدرولوژیکی مختلف باشد که برای درک عملکردها و فرآیندهای کلیدی بوم‌سازگان‌های رودخانه‌ای بسیار مهم هستند (Zeiringer et al. 2018). در رودخانه‌های دائمی، دبی آب در بیش‌تر ایام سال جریان داشته و جریان رودخانه‌های متناوب و فصلی در بخشی از ایام سال متوقف می‌شوند (Costigan et al. 2017). در نتیجه، رژیم‌های جریان رودخانه‌های فصلی و موقتی نسبت به رودخانه‌های دائمی بسیار متغیر است. مؤلفه‌های مختلفی در ارزیابی رژیم جریان رودخانه‌ها مدنظر قرار می‌گیرند که از آن جمله می‌توان به فراوانی وقوع، بزرگی، زمان تداوم جریان و زمان‌بندی وقایع اشاره نمود. در طبقه‌بندی رژیم رودخانه‌ها از معیارهای هیدرولوژیک زمان و سرعت اوج‌گیری و فروکش جریان علاوه بر موارد مورد اشاره در بالا استفاده می‌شود. تغییرات رژیم جریان رودخانه‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب، شرایط زیستی، فرآیندهای اکولوژیکی و مدیریتی رودخانه تأثیر قابل توجهی دارد. با توجه به تغییر و تحولات موجود در بوم‌سازگان‌های مختلف در اقصی نقاط دنیا، رژیم جریان اکثر رودخانه‌ها به دلیل تغییر اقلیم، وقوع خشکسالی‌ها و سیلاب‌ها، برداشت آب و هم‌چنین احداث سدها در مسیر جریان در حال تغییر به سمت رودخانه های فصلی است. رژیم‌های هیدرولوژیکی، نقش عمده‌ای در تغییر ساختار و عملکرد فرآیندهای بوم‌شناختی و بوم‌سازگان رودخانه‌ای ایفا می‌کنند. تغییرات قابل ملاحظه در رژیم‌های هیدرولوژیکی جریان رودخانه‌ها، باعث ایجاد ناهمگونی مکانی و زمانی سامانه‌های رودخانه‌ای و تخریب خدمات طبیعی بوم‌سازگان و تهدید تنوع زیستی می‌شود. یکی از عوامل مهم در تغییر رژیم رودخانه‌ها، تغییر در آبدهی جریان در اثر تغییر مولفه‌های اقلیمی است، یکی از این رویکردها، مفهوم الاستیسیته اقلیمی است که برای ارزیابی حساسیت دبی به متغیرهای اقلیمی توسط Schaake در سال ۱۹۹۰ ارائه شد. الاستیسته اقلیم می‌تواند توسط تقسیم دبی بر متغیرهای اقلیمی از جمله بارش، رطوبت نسبی، دما، تبخیر و تعرق پتانسیل، سرعت باد، تابش خاص و غیره محاسبه شود. در بسیاری از مطالعات قبلی، الاستیسیته اقلیم بر پایه متغیرهای اقلیمی برآورد شده است (Sankarasubramanian et al., 2001: Yang & Yang, 2011). الاستیسیته بارش یکی از این ابزارهاست، که میزان حساسیت دبی و تغییرات آن را با توجه به متغیر اقلیمی بارش تشریح می‌کند. بر همین اساس، نیاز است تا وضعیت پراکندگی مقدار جریان در مقیاس‌های زمانی مختلف در رودخانه‌ها بررسی شود تا ضمن آگاهی از میزان منابع آبی در حوضه موردنظر در زمان‌های مختلف سال، مدیریت، برنامه‌ریزی، حفاظت و بهره‌برداری از منابع آبی به درستی انجام شود. شاخص‌های متعددی برای ارزیابی تمرکز و یا توزیع متغیرهای هیدرواقلیمی در ماه‌ها و یا فصول مختلف سال ارائه شده است. در بسیاری از شاخص‌ها مقادیر متغیر مورد نظر در یک مقیاس زمانی (مثلاً ماه و یا فصل) نسبت به مقدار سالانه آن مقایسه می‌شود. در این راستا می‌توان به شاخص فصلی‌بودن، شاخص Markham و یا شاخص‌های مبتنی بر آمار دورانی اشاره نمود (داده و همکاران، ۱۳۹۹). شاخص تمرکز آبدهی ماهیتی مشابه شاخص تمرکز بارش دارد که توزیع مقادیر بارندگی را در ماه‌ها و یا فصول مختلف سال مورد ارزیابی قرار می‌دهد (Li et al. 2020 ،Zhang et al. 2019). قابل ذکر است که پژوهش در زمینه استفاده از شاخص مذکور در زمینه ارزیابی تغییرات آبدهی محدود به مطالعه Roye et al., (2018) است و بیش‌تر پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه ارزیابی تمرکز بارش در مناطق مختلف بوده است. به‌عبارتی شاخص WYCI توزیع مقادیر آبدهی در ماه‌ها و یا فصول مختلف را مشخص می‌نماید و بیان می‌کند که تمرکز وقوع از چه الگویی پیروی می‌کند (Roye et al. 2018). بر اساس مقادیر شاخص محاسباتی یک طبقه‌بندی در خصوص دامنه مقادیر ارائه شده است و قضاوت در خصوص یکنواختی توزیع آبدهی بر اساس مقادیر مذکور است. بر این اساس، انواع توزیع یکنواخت (توزیع یکنواخت آبدهی در ماه‌ها و یا فصول مختلف)، یکنواختی متوسط، نامنظم و بسیار نامنظم (تمرکز آبدهی در یک یا چند ماه از سال) قابل تشخیص است. بر این اساس امکان مقایسه رودخانه‌های مختلف و قضاوت در مورد دوره‌های کم‌آبی و پرآبی فراهم خواهد شد. در همین ارتباط، مطالعات متعددی در اقصی نقاط دنیا به بررسی ابعاد مختلف وضعیت جریان رودخانه پرداخته‌اند. Botter et al. (2013) بر مبنای ویژگی‌های اقلیمی و سیمای سرزمین، شاخصی عددی برای تفکیک رژیم‌های نامنظم از رژیم‌های پایدار ارائه کردند. مطابق یافته‌های پژوهش ایشان، در رودخانه‌هایی با دبی متوسط، بی‌نظمی

در رژیم هیدرولوژیکی بسیار کم‌تر است و این رودخانه‌ها حساسیت کم‌تری نسبت به نوسانات بارش و متغیرهای آب و هوایی دارند. تمایز بین رژیم‌های نامنظم و پایدار چارچوب مناسبی برای توصیف هیدرولوژی بوم‌سازگان‌های رودخانه‌ای و بهبود استراتژی‌های مدیریت آب در شرایط تغییر اقلیم فراهم می‌کند. Roye et al. (2018) شاخص تمرکز دبی جریان در تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب کشور اسپانیا را محاسبه نمودند و به این نتیجه رسیدند که توزیع مکانی–زمانی شاخص تمرکز دبی از نظر جغرافیایی یکنواخت است و بر واحدهای مشابه فیزیوگرافیک و اقلیمی اصلی کشور منطبق است. Sauquet et al. (2021) در مطالعه‌ای به بررسی تنوع مکانی و زمانی جریان فصلی در دوره زمانی ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۸ در چهار کشور (استرالیا، فرانسه، بریتانیا و ایالات متحده آمریکا) پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که شاخص کم‌آبی مؤثرترین عامل در تفسیر جریان فصلی در مقیاس جهانی است. هرچه شرایط اقلیمی خشک‌تر باشد، احتمال وقوع رژیم های جریان فصلی بیش‌تر می‌شود. در ایران نیز، حاجی و همکاران (۱۳۹۸) تغییرات زمانی و مکانی شدت تمرکز دبی و رسوب ماهانه را در تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری استان آذربایجان‌غربی در یک دوره ۲۰ ساله ارزیابی نمودند. بر اساس نتایج ایشان، حداکثر مقادیر دبی و رسوب ایستگاه‌ها در فصل بهار و خصوصاً در ماه اردیبهشت اتفاق افتاده است که دلیل آن را می‌توان با مقادیر بالای بارش بهاره و ذوب برف و اثر آن در میزان آبدهی بالای رودخانه‌ها در فصول مذکور مرتبط دانست. نصیری خیاوی و همکاران (۱۳۹۸) پاسخ دبی جریان به تغییرات بارندگی را در رودخانه‌های استان اردبیل با استفاده از شاخص الاستیسیته اقلیمی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد که تغییرات شاخص الاستیسیته در رودخانه‌های کم آب بیش‌تر است. علاوه بر این، در ماه‌های خشک سال مقدار شاخص الاستیسیته بالاتر از سایر ماه‌هاست که نشان دهنده تأثیر بیش‌تر بارش بر افزایش دبی در ماه‌های خشک سال است. در مجموع ایشان بیان نمودند که شاخص الاستیسیته بارش، امکان مقایسه واکنش آبخیزها را در تولید رواناب و عکس‌العمل نسبت به متغیرهای اقلیمی فراهم می‌نماید.

عوامل مختلفی در رفتار هیدرولوژیکی رودخانه‌ها دخیل و دارای ارتباط دورنی با یک‌دیگر هستند (Berhanu et al. 2015). با توجه به تأثیر متفاوت عوامل مؤثر بر رژیم رودخانه، لازم است تأثیر عوامل کنترل‌کننده طبیعی و انسانی از یک‌دیگر تفکیک شوند. عوامل طبیعی شامل تأثیر مواردی هم‌چون بارش، جریان پایه، نفوذپذیری خاک و توپوگرافی هستند (Herawati et al. 2018). از طرفی عامل تغییرات پوشش گیاهی و کاربری‌های اراضی به عوامل انسانی وابسته هستند که پاسخ هیدرولوژیک رودخانه را تحت‌الشعاع قرار می‌دهند. باید اشاره شود که رژیم طبیعی جریان رودخانه و یا تغییرپذیری فصلی آن از طریق برداشت آب، انحراف در جریان، احداث سد و یا استفاده از آب برای اهداف مختلف تغییر خواهد یافت (Poff et al. 1997). توزیع فراوانی مقادیر دبی روزانه رودخانه تقریباً با توزیع نمایی منفی مطابقت دارد که نشان‌دهنده این واقعیت است که تعداد روزهای با دبی بسیار کم، دارای فراوانی بالایی است و تعداد روزهای با دبی سیلابی، بسیار اندک هستند (Roye et al. 2018). ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی جریان می‌تواند در تعیین مناطق با آبدهی بالا مؤثر باشد و امکان ذخیره و استفاده از آب تولیدی را در زمان‌های مختلف سال فراهم نماید. در همین راستا، ضمن مقایسه رژیم‌های جریان در رودخانه‌های مختلف، می توان نسبت به اولویت‌بندی ماه‌ها و یا زمان‌های مختلف سال از نظر آبدهی اقدام نمود. علاوه بر موارد اشاره شده، ارزیابی تغییرات رژیم آبدهی رودخانه‌ها در تعیین زمان‌های مهم حمل رسوبات و در نتیجه، مدیریت رسوب تولیدی مورد استفاده قرار خواهد گرفت. تعیین هم‌زمانی مقادیر دبی اوج رسوب و دبی اوج جریان از دیگر مواردی است که می‌توان با ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی آبدهی جریان به آن دست یافت و بر همین اساس می‌توان به پیش‌بینی زمان حمل بیش‌ترین رسوب نیز پرداخت. لازم به ذکر است که شاخص تمرکز بارش در ارزیابی توزیع رژیم بارش در پژوهش های متعددی از جمله روشنی و همکاران (۱۳۹۹)، Duan et al. (2014)، Zhang et al. (2019) و Li et al. (2020) به کار گرفته شده است. لکن پژوهش‌های مرتبط با شاخص تمرکز آبدهی بسیار محدود است. شاخص تمرکز آبدهی[1] به‌عنوان یک معیار، رفتار زمانی دبی رودخانه را توصیف می‌کند. به بیان دیگر، با استفاده از شاخص تمرکز آبدهی می‌توان به این موضوع پی برد که توزیع میزان آبدهی در فصول مختلف یک سال به چه صورت است. علاوه بر این، استفاده از شاخص تمرکز آبدهی، امکان تمایز میان انواع رودخانه‌ها را فراهم می‌نماید و روش مناسبی برای تفسیر توزیع جریان است (Roye et al. 2018). باید اشاره شود که آگاهی از وضعیت توزیع مکانی متغیرهای هیدرواقلیمی در یک منطقه یکی از مهم‌ترین مواردی است که می‌تواند در برنامه‌ریزی، سیاست‌گزاری و تصمیم‌گیری‌های مرتبط با مدیریت منابع آب مفید و مؤثر باشد. در همین ارتباط، استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی به‌منظور تهیه نقشه‌های تغییرات مکانی متغیرهایی مانند بارش، دما، تبخیر–تعرق، وقایع حدی (سیلاب و خشکسالی) و آب در دسترس در اولویت‌بندی مناطق مختلف برای اجرای طرح‌های مدیریتی منابع آب همواره مدنظر قرار گرفته است. در این پژوهش نیز از سامانه اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان یک ابزار مفید و کارا به‌منظور بررسی تغییرات مکانی شاخص WYCI استفاده خواهد شد. بر اساس مروز منابع، تاکنون

---

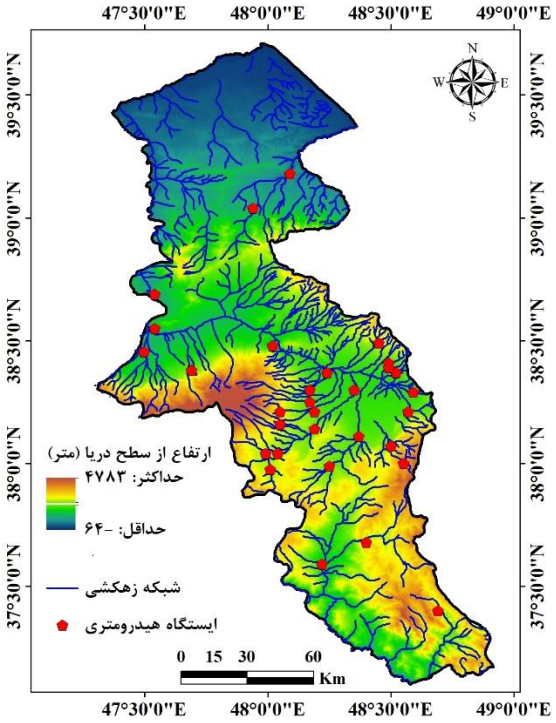
[1]. Water Yield Concentration Index, WYCI

پژوهشی در خصوص تعیین توزیع آبدهی جریان و تغییرات آن در فصل‌های مختلف انجام نشده است. لذا نوآوری پژوهش حاضر محاسبه و تعیین شاخص تمرکز آبدهی جریان در رودخانه‌های جاری در استان اردبیل بر اساس آمار درازمدت است که در شرایط مختلف اقلیمی قرار گرفته‌اند. نتایج می‌تواند در ارزیابی تاثیر اقدامات انسانی و مولفه‌های اقلیمی بر توزیع جریان رودخانه‌ای مورد استفاده قرار گیرد، که این پژوهش را پژوهش‌های قبلی متمایز می‌سازد. در همین خصوص و با توجه به توضیحات ارائه شده در بالا و نظر به اهمیت موضوع حفاظت و بهره‌برداری از منابع آب سطحی در شرایط اقلیمی فعلی، پژوهش حاضر با هدف تعیین و مقایسه شاخص تمرکز آبدهی جریان و تحلیل تغییرات مکانی آن با کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی در مقیاس‌های زمانی فصلی، دوره خشک، دوره مرطوب و سالانه در رودخانه‌های استان اردبیل برنامه‌ریزی شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان اردبیل در شمال غرب ایران به عنوان منطقه مطالعاتی پژوهش حاضر انتخاب شد. ارتفاع منطقه مورد پژوهش بین ۶۴- تا ۴۷۸۳ متر از سطح دریا متغیر است. منطقه مورد پژوهش از تنوع اقلیمی و جغرافیایی برخوردار بوده و در فصول سرد سال تحت تاثیر توده‌های هوای مختلف قرار می‌گیرد (خروشی و همکاران، ۱۳۹۶). منطقه مورد بررسی جزء نواحی سردسیر کوهستانی محسوب می‌شود و میزان نزولات جوی آن به‌طور متوسط بین ۲۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر در تغییر است (مهری و همکاران، ۱۳۹۶). متوسط بارش استان ۳۳۸ میلی‌متر و متوسط دمای استان ۱۱/۲ درجه سانتیگراد گزارش شده است. رودخانه‌های مهم استان نیز شامل قره‌سو، دره‌رود، بالهارود، خیاوچای، گرمی چای، نمین‌چای و کورائیم چای هستند. وضعیت شبکه زهکشی و موقعیت مکانی ایستگاه‌های هیدرومتری در استان اردبیل در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت مکانی ایستگاه‌های هیدرومتری در استان اردبیل

روش پژوهش

به‌منظور انجام پژوهش حاضر، ابتدا داده‌ها و اطلاعات دبی جریان روزانه ثبت شده در کلیه ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل از شرکت آب منطقه‌ای اردبیل اخذ شد. پس از بررسی صحت و درستی داده‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری و در سال‌های آماری ۱۳۵۳ تا ۱۳۹۷، تعداد ۳۱ ایستگاه هیدرومتری به‌منظور بررسی تغییرات مکانی شاخص تمرکز آبدهی رودخانه‌ها با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی

انتخاب شد. قابل ذکر است که با توجه با آمارهای دردسترس، دوره آماری مورد مطالعه از سال ۱۳۵۳ تا ۱۳۹۸ انتخاب شده است. با توجه به ماهیت داده‌ها، تناسب با رابطه مورد استفاده و به‌سبب امکان محاسبه تغییرات شاخص تمرکز آبدهی رودخانه، با در نظر گرفتن واحد زمان در تبدیل واحد، آمار دبی روزانه اخذ شده (مترمکعب بر ثانیه) در ایستگاه‌های هیدرومتری به مقادیر آبدهی ماهانه (مترمکعب) تبدیل شد. مقادیرمیانگین آبدهی جریان رودخانه در ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب در مقیاس‌های زمانی مختلف در استان اردبیل در جدول ۱ آورده شده است. در گام بعد، اقدام به محاسبه شاخص تمرکز آبدهی (WYCI) رودخانه‌ها در محل ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل در مقیاس‌های زمانی مختلف برای هر یک از سال‌های آماری شد. قابل ذکر است که شاخص مورد استفاده توسط Roye و همکاران (۲۰۱۸) با اقتباس از شاخص تمرکز بارندگی در تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب کشور اسپانیا ارائه و مورد آزمون قرار گرفت. در همین راستا، به‌منظور تجزیه و تحلیل توزیع آبدهی جریان و ارزیابی تمرکز آبدهی در مقیاس‌های زمانی مختلف در ایستگاه‌های منتخب منطقه مورد پژوهش، شاخص WYCI در مقیاس‌های زمانی سالانه، فصلی، دوره مرطوب و دوره خشک به‌ترتیب با استفاده از روابط (۱) تا (۳) محاسبه شد. شایان ذکر است که دوره‌های خشک و مرطوب با توجه به وضعیت آبدهی بلندمدت و اقلیم منطقه مطالعاتی به‌ترتیب در ماه‌های خرداد تا آبان و آذر تا اردیبهشت در نظر گرفته شد (روشنی و همکاران، ۱۳۹۹).

$$\mathrm{WYCI}_{\mathrm{Annual}} = 100 * \frac{\sum_{i=1}^{12} \mathrm{wyi}^2}{(\sum_{i=1}^{12} \mathrm{wyi})^2}$$ رابطه ۱)

$$\mathrm{WYCI}_{\mathrm{Seasonal}} = 25 * \frac{\sum_{i=1}^{3} \mathrm{wyi}^2}{(\sum_{i=1}^{3} \mathrm{wyi})^2}$$ رابطه ۲)

$$\mathrm{WYCI}_{\mathrm{Wet\ or\ Dry\ Season}} = 50 * \frac{\sum_{i=1}^{6} \mathrm{wyi}^2}{\left(\sum_{i=1}^{6} \mathrm{wyi}\right)^2}$$ رابطه ۳)

در روابط (۱) تا (۳)، WYCI شاخص تمرکز آبدهی رودخانه در مقیاس‌های مختلف زمانی و wyi مقادیر آبدهی ماه iام هستند. براساس طبقه‌بندی مقادیر منتج از روابط اشاره شده در بالا، مقادیر WYCI کم‌تر از ۱۰، ۱۰ تا ۱۵، ۱۵/۰۱ تا ۲۰، و بیش‌تر از ۲۰ به‌ترتیب نشان‌دهنده توزیع آبدهی یکنواخت (تمرکز آبدهی کم)، متوسط، نامنظم و بسیار نامنظم (تمرکز آبدهی زیاد) هستند (Oliver et al. 1980؛ Ezenwaji et al. 2017؛ Zhang et al. 2019). باید اشاره شود که شاخص تمرکز آبدهی مشابه شاخص تمرکز بارندگی (Precipitation Cooncentration Index) است که توزیع مقادیر بارندگی را در ماه‌ها و یا فصول مختلف سال مورد ارزیابی قرار می‌دهد. به‌عبارتی شاخص WYCI توزیع مقادیر آبدهی در ماه‌ها و یا فصول مختلف را مشخص می‌نماید که در این پژوهش، توزیع آبدهی در فصول مختلف سال و دوره‌های کم‌آبی و پرآبی مورد مقایسه قرار گرفته است. در ادامه، نمودار جعبه‌ای مقادیر شاخص تمرکز آبدهی در هر یک از مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه ترسیم شد. علاوه بر این، مقادیر شاخص WYCI در فصول مختلف، دوره‌های مرطوب و خشک و سالانه مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفت.

به‌منظور نمایش تغییرات مکانی شاخص WYCI در استان اردبیل در مقیاس‌های زمانی مختلف از روش قطعی درون‌یابی استفاده شد. در خصوص درون‌یابی مقادیر شاخص محاسباتی، باید اشاره شود که هدف فقط نمایش تغییرات مکانی در منطقه مورد مطالعه بوده است و هدف برآورد مقادیر در مناطق بدون آمار نبوده است. در همین راستا، در شکل ۴، مقادیر شاخص‌های محاسباتی به‌صورت هیستوگرام و با هدف مقایسه میان فصول و دوره‌های مختلف ارائه شده است. تکنیک‌های قطعی و زمین‌آماری دو گروه اصلی از تکنیک‌های درون یابی مکانی برای ایجاد یک سطح پیوسته از اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای هستند. تکنیک‌های درون‌یابی قطعی مانند وزن‌دهی معکوس فاصله، مقادیر نقاط بدون داده را بر اساس میزان شباهت تخمین می‌زنند (Imanian et al. 2023). تکنیک‌های درون‌یابی تغییرات مکانی متغیرها را با استفاده از توابع ریاضی ایجاد می‌کنند که بر اساس میزان شباهت بین داده‌های اندازه‌گیری شده بنا نهاده شده‌اند. (Hong et al. 2017؛ Bel-Lahbib et al. 2023). در همین راستا، نقشه تغییرات مکانی شاخص تمرکز آبدهی رودخانه در استان اردبیل در مقیاس‌های زمانی سالانه، فصلی، دوره خشک و دوره مرطوب نیز با استفاده از روش معکوس وزنی فاصله[۱] در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی و نرم‌افزار ArcMap 10.8.1 تهیه شد. در روش IDW، با افزایش فاصله از نقطه معلوم، وزن هر یک از نقاط کاهش می‌یابد. علاوه بر این،

---

۱. Inverse Distance Weighting, IDW

تأثیر نقطه معلوم در تخمین نقطه مجهول و محاسبه میانگین نیز با افزایش فاصله، کاهش می‌یابد (روشنی و همکاران، ۱۳۹۹؛ جان‌بزرگی و همکاران، ۱۴۰۰). تخمین‌گر مورد اشاره براساس رابطه (۴) دست می‌آید.

$$Z(S_o) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i Z(S_i)$$

رابطه ۴)

که در آن، $Z(S_o)$ مقدار تخمین در نقطه So، λ_i مقدار وزن اختصاص داده شده به هر نقطه مشاهداتی، N تعداد نقاط مشاهداتی در اطراف نقطه موردنظر و $Z(S_i)$ مقدار مشاهداتی در نقطه S_i هستند. مقدار وزن هر نقطه نیز از روابط (۵) و (۶) محاسبه می‌گردد.

$$\lambda_i = \frac{d_{io}^{-p}}{\sum_{i=1}^{n} d_{io}^{-p}}$$

رابطه ۵)

$$\sum_{i=1}^{N} \lambda_i = 1$$

رابطه ۶)

که در آن، d_{io} فاصله بین نقطه مورد نظر S_o و هر یک از نقاط مشاهداتی S_i است. با افزایش فاصله، مقدار وزن به‌وسیله توان p کاهش می‌یابد.

جدول ۱. مقادیر آبدهی ایستگاه‌های هیدرومتری (میلیون مترمکعب) در مقیاس‌های زمانی مختلف

ایستگاه	ارتفاع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	دوره مرطوب	دوره خشک	سالانه
ارباب کندی	۱۲۹۵	۷۶۳۴۳۸/۲	۴۲۶۳۳۹۶/۵	۱۲/۳۷	۲۶/۵۸	۲۳/۷۹	۱/۰۶	۵۴/۶۸	۹/۱۳	۶۳/۸۱
اکبرداوود	۴۰۵	۷۶۶۹۱۵/۶	۴۳۴۱۳۰۱/۲	۱/۴۰	۱/۸۰	۱/۸۷	۰/۹۹	۳/۳۰	۲/۷۶	۶/۰۶
اهل ایمان	۱۰۰۵	۷۱۷۸۵۳/۸	۴۲۵۹۲۵۰/۶	۱/۰۶	۱/۶۰	۳/۴۷	۰/۵۳	۵/۱۸	۱/۴۸	۶/۶۶
ایریل	۱۵۵۱	۸۱۲۵۸۸/۵	۴۲۳۵۱۴۳/۴	۲/۴۶	۲/۰۲	۲/۲۱	۰/۴۳	۴/۹۶	۲/۱۶	۷/۱۲
آبگرم	۱۶۱۰	۷۹۹۸۴۸/۲	۴۱۷۵۷۵۳/۱	۸/۲۷	۱۵/۳۴	۳۷/۴۲	۴/۵۱	۵۰/۵۴	۱۴/۹۹	۶۵/۵۴
آتشگاه	۱۸۱۵	۷۶۷۰۴۶/۳	۴۲۳۳۵۱۴/۲	۰/۶۸	۱/۰۳	۱/۸۰	۰/۱۵	۲/۹۱	۰/۷۵	۳/۶۶
آلادیزگه	۱۳۳۵	۸۱۳۹۹۵/۳	۴۲۴۴۰۹۱/۹	۱/۹۴	۱/۹۸	۱/۴۸	۱/۰۱	۳/۷۸	۲/۶۲	۶/۴۰
باروق	۱۴۳۶	۷۷۷۲۱۳/۰	۴۲۴۳۸۵۷/۱	۰/۸۰	۱/۹۵	۲/۵۶	۰/۰۷	۴/۸۸	۰/۵۰	۵/۳۹
پل الماس	۱۴۹۳	۷۷۹۵۷۴/۸	۴۲۲۶۱۵۷/۸	۲۱/۷۹	۲۷/۴۰	۳۵/۰۴	۸/۱۶	۶۶/۲۴	۲۶/۱۵	۹۲/۴۰
پل سلطانی	۱۴۹۱	۷۳۴۹۷۰/۹	۴۲۵۱۴۰۴/۲	۴/۸۰	۸/۰۳	۷/۱۹	۱/۰۵	۱۴/۴۴	۶/۶۴	۲۱/۰۸
حاج احمد کندی	۷۸۸	۷۵۴۴۵۹/۷	۴۳۲۵۳۲۹/۵	۰/۸۱	۱/۰۱	۱/۱۸	۱/۳۱	۱/۹۳	۲/۳۹	۴/۳۲
درو	۱۹۲۹	۸۲۶۶۵۳/۵	۴۱۴۵۶۴۱/۰	۱/۷۸	۲/۷۱	۱۳/۲۶	۲/۴۱	۱۳/۹۳	۶/۲۲	۲۰/۱۶
دوست بیگلو	۷۶۵	۷۲۱۳۴۵/۸	۴۲۶۹۹۰۰/۲	۴۲/۹۴	۷۳/۴۶	۷۹/۰۸	۸/۵۹	۱۶۲/۱۵	۴۱/۹۲	۲۰۴/۰۸
سامیان	۱۲۹۸	۷۸۳۰۶۳/۱	۴۲۵۱۸۳۹/۶	۲۹/۰۴	۵۴/۰۱	۶۹/۰۸	۳/۲۲	۱۳۱/۲۱	۲۴/۱۳	۱۵۵/۳۴
سولا	۱۳۴۶	۸۰۴۸۲۶/۳	۴۲۵۴۸۵۷/۱	۱/۱۸	۲/۰۵	۱/۳۵	۰/۲۰	۳/۷۷	۱/۰۲	۴/۷۹
شمس آباد	۱۴۸۶	۷۸۵۴۱۷/۵	۴۲۰۹۶۹۱/۱	۰/۷۹	۲/۰۷	۴/۸۸	۰/۱۰	۷/۰۱	۰/۸۴	۷/۸۴
عموقین	۱۴۳۳	۷۷۷۴۰۳/۴	۴۲۳۸۳۰۷/۳	۱/۰۳	۲/۳۹	۲/۳۷	۰/۰۱	۵/۲۳	۰/۵۸	۵/۸۱
عنبران	۱۶۰۰	۸۰۰۹۱۵/۶	۴۲۶۵۸۲۶/۲	۰/۱۴	۰/۷۳	۱/۲۶	۰/۰۶	۱/۹۵	۰/۲۵	۲/۲۰
فیروزآباد	۱۲۴۲	۷۸۴۳۱۲/۷	۴۱۶۵۲۰۲/۶	۱۳/۹۲	۲۵/۲۸	۶۸/۲۸	۶/۹۷	۹۰/۶۶	۲۳/۷۹	۱۱۴/۴۵
کوزه تپراقی	۱۴۱۳	۷۹۵۴۷۵/۴	۴۲۲۳۳۸۶/۳	۲/۷۶	۶/۵۵	۱۵/۶۰	۰/۳۳	۲۲/۱۵	۳/۱۰	۲۵/۲۵
گیلانده	۱۳۲۰	۷۹۲۹۵۷/۹	۴۲۴۴۴۱۲/۹	۱۲/۶۳	۲۵/۲۷	۲۶/۳۰	۰/۷۰	۵۷/۴۱	۷/۴۹	۶۴/۸۹
لای	۱۶۴۴	۷۶۴۳۵۰/۷	۴۲۰۷۳۴۴/۹	۰/۸۵	۱/۱۲	۱/۱۱	۰/۷۱	۲/۲۸	۱/۵۱	۳/۸۰
مشیران	۷۳۴	۷۲۰۹۱۵/۵	۴۲۸۵۴۳۸/۶	۷۳/۹۰	۱۱۹/۳۵	۱۸۵/۷۷	۱۵/۰۱	۳۰۸/۹۶	۸۵/۰۶	۳۹۴/۰۲
نمین	۱۴۳۴	۸۰۴۷۴۲/۲	۴۲۵۷۰۷۷/۳	۰/۶۶	۰/۸۹	۱/۰۷	۰/۰۹	۲/۱۰	۰/۶۲	۲/۷۲
ننه کران	۱۳۴۰	۸۰۷۵۳۲/۲	۴۲۵۲۷۳۶/۷	۰/۶۷	۰/۸۵	۰/۵۶	۰/۱۸	۱/۵۱	۰/۷۵	۲/۲۶
نوران	۱۴۵۴	۷۷۹۳۰۷/۱	۴۲۳۳۹۲۷/۶	۱/۹۴	۳/۸۷	۳/۰۲	۰/۱۸	۷/۷۵	۱/۲۶	۹/۰۱
نیر	۱۶۴۴	۷۶۲۴۰۰/۳	۴۲۱۴۴۷۴/۳	۸/۵۹	۱۲/۲۲	۱۱/۷۰	۴/۴۵	۲۵/۳۷	۱۱/۵۹	۳۶/۹۶
نئور	۲۵۳۷	۸۱۱۷۲۹/۲	۴۲۱۱۷۶۴/۹	۰/۱۷	۰/۰۳	۱/۵۲	۱/۹۴	۰/۶۰	۳/۰۶	۳/۶۶
هیر	۱۶۵۰	۸۰۷۰۴۴/۵	۴۲۱۹۳۶۸/۶	۱/۳۹	۱/۶۱	۳/۸۵	۲/۲۹	۴/۶۷	۴/۴۷	۹/۱۴
ویلادرق	۱۷۷۱	۷۶۷۲۲۹/۱	۴۲۲۷۹۶۴/۶	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۷۵	۰/۳۸	۱/۲۶	۰/۸۸	۲/۱۳
یامچی	۱۵۷۴	۷۶۶۷۸۹/۲	۴۲۱۴۶۱۶/۸	۱۱/۷۸	۱۹/۳۹	۲۲/۷۶	۶/۸۴	۴۴/۶۳	۱۶/۱۳	۶۰/۷۶

نتایج و بحث

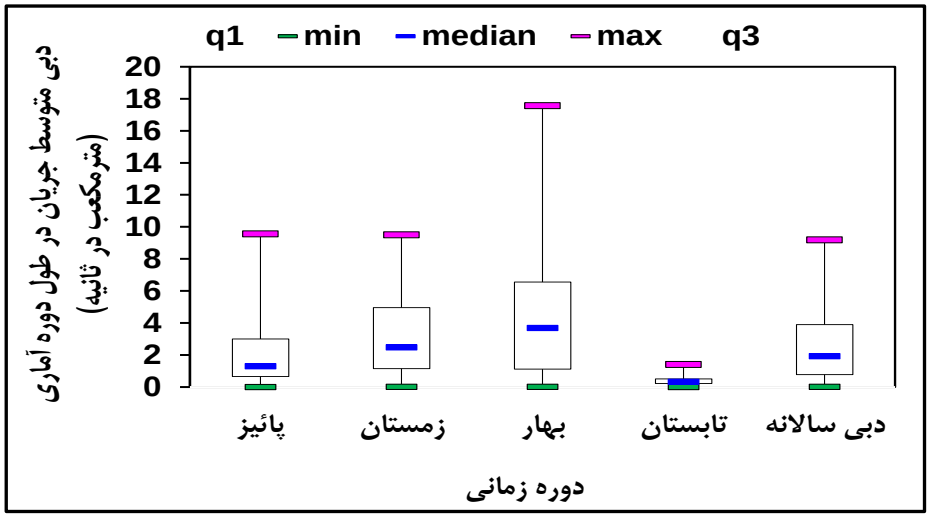
نتایج حاصل از محاسبه آماره‌های توصیفی شاخص تمرکز آبدهی رودخانه در مقیاس‌های مختلف زمانی در استان اردبیل در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. آماره‌های توصیفی مقادیر شاخص تمرکز آبدهی رودخانه (WYCI) در مقیاس‌های زمانی مختلف

آماره	سالانه	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	مرطوب	خشک
میانگین	۲۰/۲۰	۱۱/۹۱	۱۰/۷۲	۱۳/۸۱	۱۵/۲۰	۱۴/۳۱	۲۱/۶۶
خطای استاندارد	۱/۲۵	۰/۴۳	۰/۴۷	۰/۵۵	۰/۷۸	۱/۰۴	۱/۴۹
میانه	۱۹/۱۴	۱۱/۳۸	۹/۶۹	۱۳/۷۹	۱۵/۲۹	۱۳/۲۶	۲۲/۱۲
انحراف معیار	۶/۹۷	۲/۳۹	۲/۶۲	۳/۰۵	۴/۳۲	۵/۸۰	۸/۳۰
واریانس نمونه	۴۸/۵۵	۵/۷۰	۶/۸۷	−۹/۲۹	۱۸/۶۵	۳۳/۶۷	۶۸/۸۷
کشیدگی	۰/۳۵	−۰/۸۰	۵/۴۳	۰/۹۹	−۱/۱۲	۱۵/۹۱	−۱/۰۴
چولگی	۰/۷۰	۰/۵۱	۲/۲۶	۰/۲۰	−۰/۰۳	۳/۵۳	۰/۱۹
دامنه تغییرات	۲۸/۱۵	۸/۲۰	۱۱/۱۵	۱۰/۰۹	۱۳/۹۸	۳۲/۲۹	۲۶/۴۰
حداقل	۹/۸۵	۸/۶۰	۸/۳۹	۹/۰۶	۸/۶۲	۸/۹۹	۹/۳۷
حداکثر	۳۸/۰۰	۱۶/۸۰	۱۹/۵۴	۱۹/۱۵	۲۲/۶۱	۴۱/۲۸	۳۵/۷۷

براساس نتایج ارائه شده در جدول ۲، حداکثر مقدار میانگین شاخص تمرکز آبدهی جریان رودخانه در استان اردبیل برای فصل تابستان محاسبه شده است که نشان دهنده بی‌نظمی زیاد توزیع جریان در این فصل است. فصل زمستان نیز حداقل مقدار میانگین شاخص WYCI را طی دوره مورد مطالعه در استان اردبیل به خود اختصاص داده است و شرایط متوسطی از نظر توزیع زمانی آبدهی جریان دارد. بررسی مقادیر انحراف معیار محاسباتی شاخص WYCI در استان اردبیل نشان می‌دهد که به‌ترتیب مقیاس‌های زمانی فصل تابستان، سالانه و دوره مرطوب دارای بیش‌ترین مقدار هستند. علاوه بر این، دوره مرطوب در استان اردبیل بیش‌ترین مقدار دامنه تغییرات شاخص تمرکز آبدهی جریان رودخانه را با مقدار ۳۲/۲۹ به خود اختصاص داده است. دلیل این امر را می‌توان با نوسانات بالای آبدهی رودخانه‌ها در اثر بارش‌های زمستانه و بهاره مرتبط دانست. حداقل دامنه تغییرات شاخص WYCI نیز برای فصل پاییز محاسبه شد.

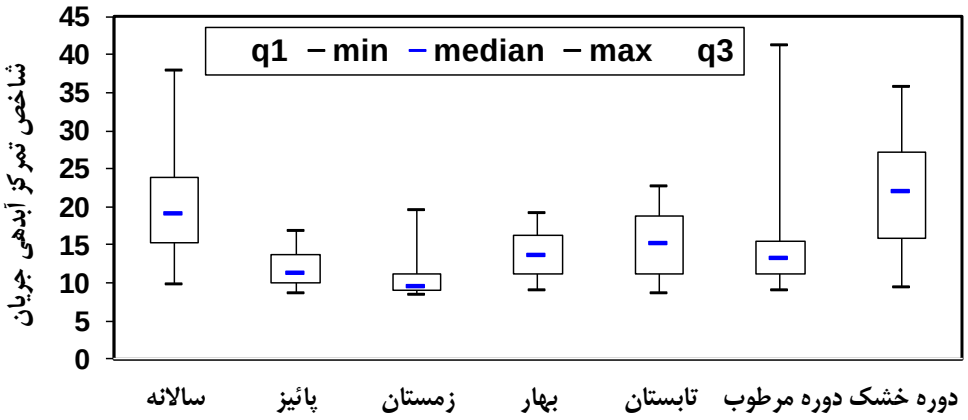
نتایج تغییرات مقادیر آبدهی جریان در مقیاس‌های زمانی مختلف در استان اردبیل با استفاده از نمودار جعبه‌ای در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. نمودار جعبه‌ای مقادیر آبدهی جریان در مقیاس‌های زمانی مختلف

بر اساس اطلاعات ارائه شده در شکل ۲، بیش‌ترین دامنه تغییرات مقادیر فصلی مقادیر آبدهی جریان رودخانه در استان اردبیل در فصل بهار اتفاق افتاده است و کم‌ترین تغییرات مربوط به فصل تابستان است. هم‌چنین بیش‌ترین مقادیر میانه جریان نیز به‌ترتیب در فصل بهار

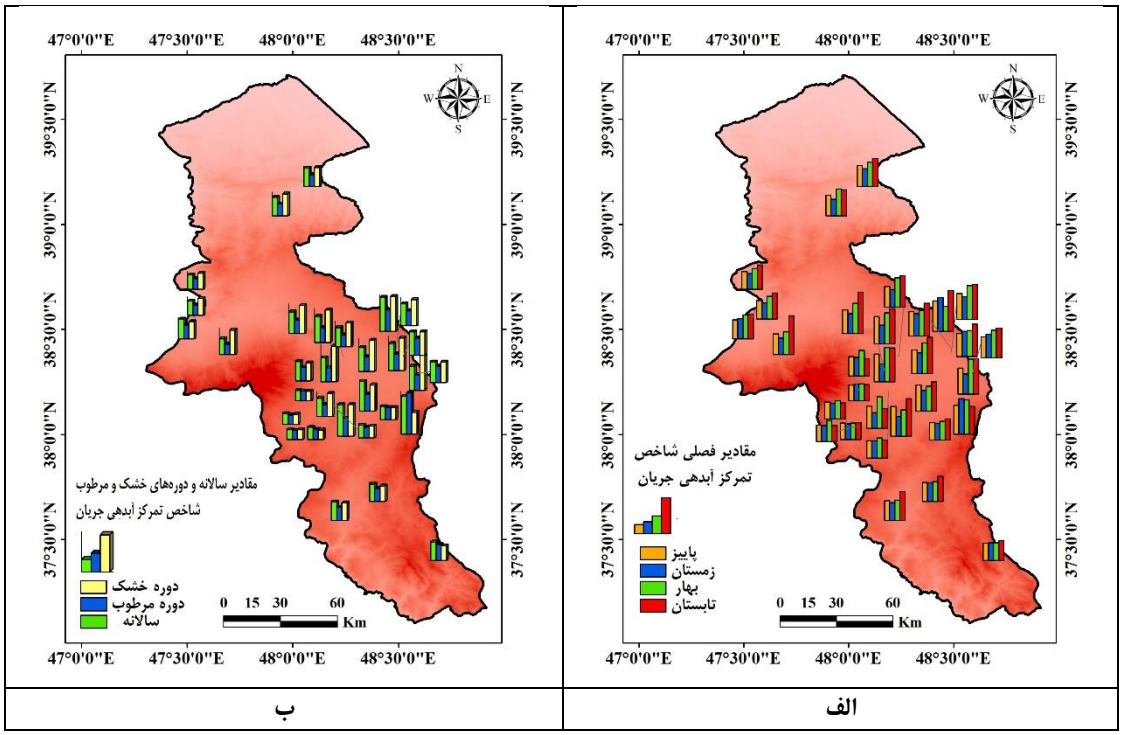
و سپس زمستان مشاهده شده است. بر اساس نتایج، مقادیر میانه آبدهی جریان مربوط به فصل بهار با مقدار ۳/۷ مترمکعب در ثانیه بوده است. در فصل‌های زمستان و پاییز مقادیر میانه آبدهی جریان به‌ترتیب برابر ۲/۵ و ۱/۳ مترمکعب در ثانیه بوده است و کم‌ترین مقدار میانه آبدهی در فصل تابستان با مقدار ۰/۳ مترمکعب در ثانیه مشاهده شده است. یافته‌های حاصل از تغییرات شاخص تمرکز آبدهی جریان رودخانه در مقیاس‌های زمانی مختلف در استان اردبیل با استفاده از نمودار جعبه‌ای در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. نمودار جعبه‌ای مقادیر شاخص تمرکز آبدهی جریان در مقیاس‌های زمانی مختلف

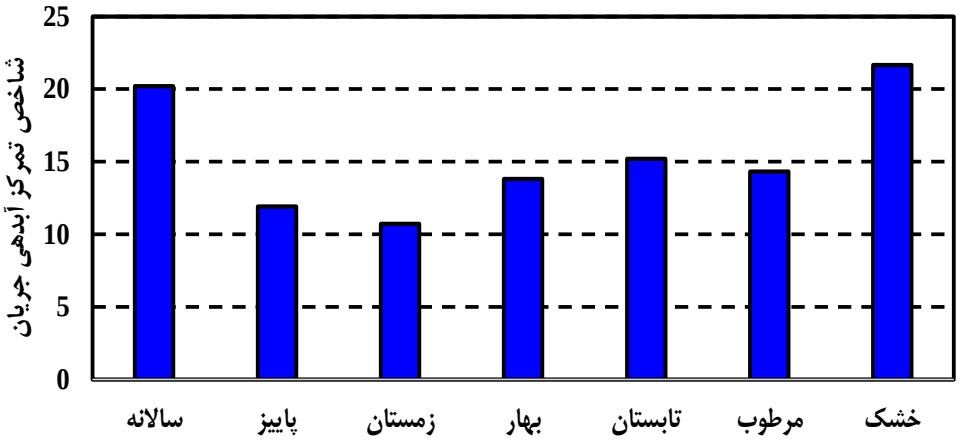
بر اساس اطلاعات ارائه شده در شکل ۳، بیش‌ترین دامنه تغییرات مقادیر فصلی شاخص تمرکز آبدهی جریان رودخانه در استان اردبیل در دوره خشک سال اتفاق افتاده است و کم‌ترین دامنه تغییرات نیز در فصل زمستان مشاهده شده است. بررسی نمودار جعبه‌ای مورد اشاره نشان می‌دهد که کم‌ترین مقدار میانه شاخص WYCI مربوط به فصل زمستان است که بیان‌گر توزیع یکنواخت دبی و نوسانات کم‌تر جریان در فصل مذکور است. با مقایسه دامنه نوسانات شاخص تمرکز آبدهی جریان در شکل ۳ می توان گفت که در دوره‌های پرآب توزیع آبدهی جریان رودخانه از نظم بیشتری برخوردار است.

نتایج حاصل از مقایسه مقادیر شاخص تمرکز آبدهی جریان رودخانه در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد پژوهش در استان اردبیل در مقیاس‌های زمانی فصلی، دوره خشک، دوره مرطوب و سالانه در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ٤. مقایسه مقادیر شاخص تمرکز آبدهی جریان در الف) فصلی و ب) دوره‌های مرطوب و خشک و سالانه

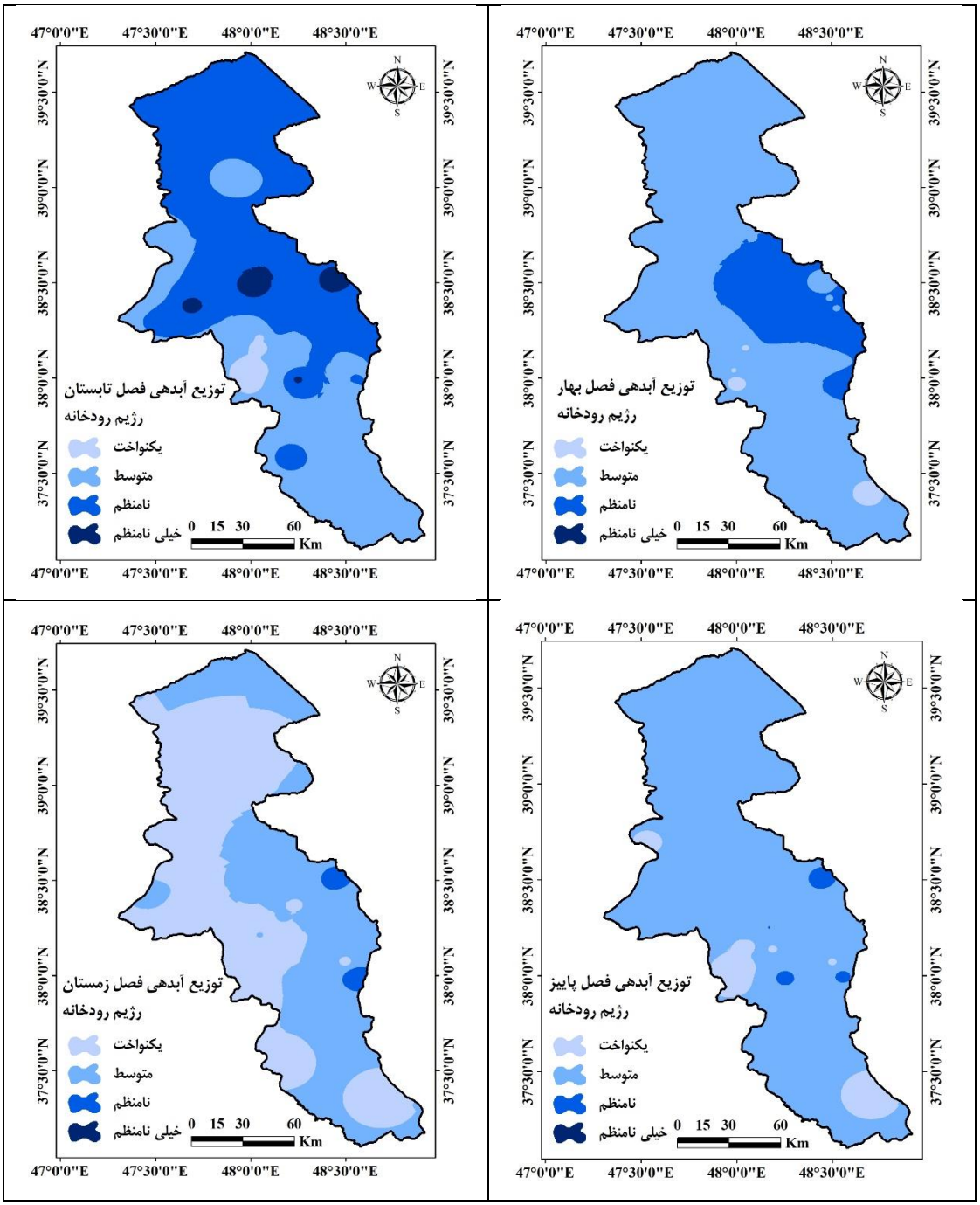
بر اساس اطلاعات ارائه شده در شکل ۴ (الف) می‌توان گفت که ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در دامنه جنوبی کوه سبلان شامل ایستگاه‌های لای، نیر، آتشگاه و یامچی دارای توزیع یکنواخت جریان در فصول مختلف هستند. باید اشاره شود که رودخانه‌های مذکور دارای رژیم برفی بوده و از دامنه‌های سبلان تغذیه می‌شوند. این در حالی است که ایستگاه‌های واقع در بخش شرقی استان از ابتدای سال آبی (فصل پاییز) به سمت انتهای سال آبی (فصل تابستان) مقادیر شاخص مذکور افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده افزایش بی‌نظمی در رژیم رودخانه است. لازم به توضیح است که رودخانه‌های مذکور چون از بخش‌های با کاربری اراضی جنگلی استان تغذیه می‌شوند، لذا در فصل بهار و تابستان دارای تغییرات بیش‌تری خواهند بود. علاوه بر این، باید گفت که رودخانه‌های واقع در بخش مرکزی استان اردبیل به‌دلیل واقع شدن در پایین‌دست رودخانه و نیز تاثیر برداشت جریان و استفاده از آب برای اهداف مختلف دارای الگوی متفاوتی هستند و بالاترین مقدار شاخص تمرکز آبدهی جریان در فصل تابستان مشاهده شده است. براساس نتایج نشان داده شده در شکل ۴ (ب) نیز می‌توان این‌گونه استنباط نمود که در همه ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه مقادیر شاخص تمرکز آبدهی جریان در دوره مرطوب (آذر تا اردیبهشت) کمتر از دوره خشک (خرداد تا آبان) است. علاوه بر این، مقادیر میانگین شاخص WYCI در مقیاس سالانه بیانگر وضعیت متوسطی از دوره خشک و مرطوب است. در همین ارتباط، مقادیر میانگین شاخص تمرکز آبدهی جریان در مقیاس‌های زمانی مختلف در استان اردبیل در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵. مقادیر میانگین شاخص تمرکز آبدهی جریان طی مقیاس‌های زمانی مختلف

تحلیل نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر و ارائه شده در شکل ۵ حاکی از نظم بیش‌تر رژیم آبدهی جریان رودخانه‌های استان اردبیل در دوره‌های پرآبی است. یکی از دلایل این نتیجه را می‌توان به تداوم بارندگی، ذوب برف و در نتیجه تغذیه رودخانه‌ها در دوره‌های پرآبی نسبت داد. باید اشاره شود که در دوره‌های پرآب، برداشت و انحراف آب از رودخانه‌ها حداقل بوده که ناشی از عدم همزمانی فصل نیاز آبی محصولات کشاورزی با فصول پرآبی است. در همین راستا، فصل زمستان با مقدار شاخص برابر با ۱۰/۷۲ مقدار حداقل شاخص WYCI را به خود اختصاص داده است که نشان‌دهنده بیش‌ترین نظم رژیم جریان آبدهی نسبت به سایر مقیاس‌های زمانی مطالعاتی است. دوره خشک (خرداد تا آبان) نیز با مقدار شاخص تمرکز آبدهی جریان برابر با ۲۱/۶۶ بی‌نظم‌ترین وضعیت توزیع آبدهی را در استان اردبیل دارد. در دوره مذکور، آبدهی جریان رودخانه‌ها به کم‌ترین مقدار خود در مقایسه با سایر ماه‌ها خواهد رسید و اختلاف مقادیر آبدهی باعث بی‌نظمی رژیم جریان رودخانه خواهد شد.

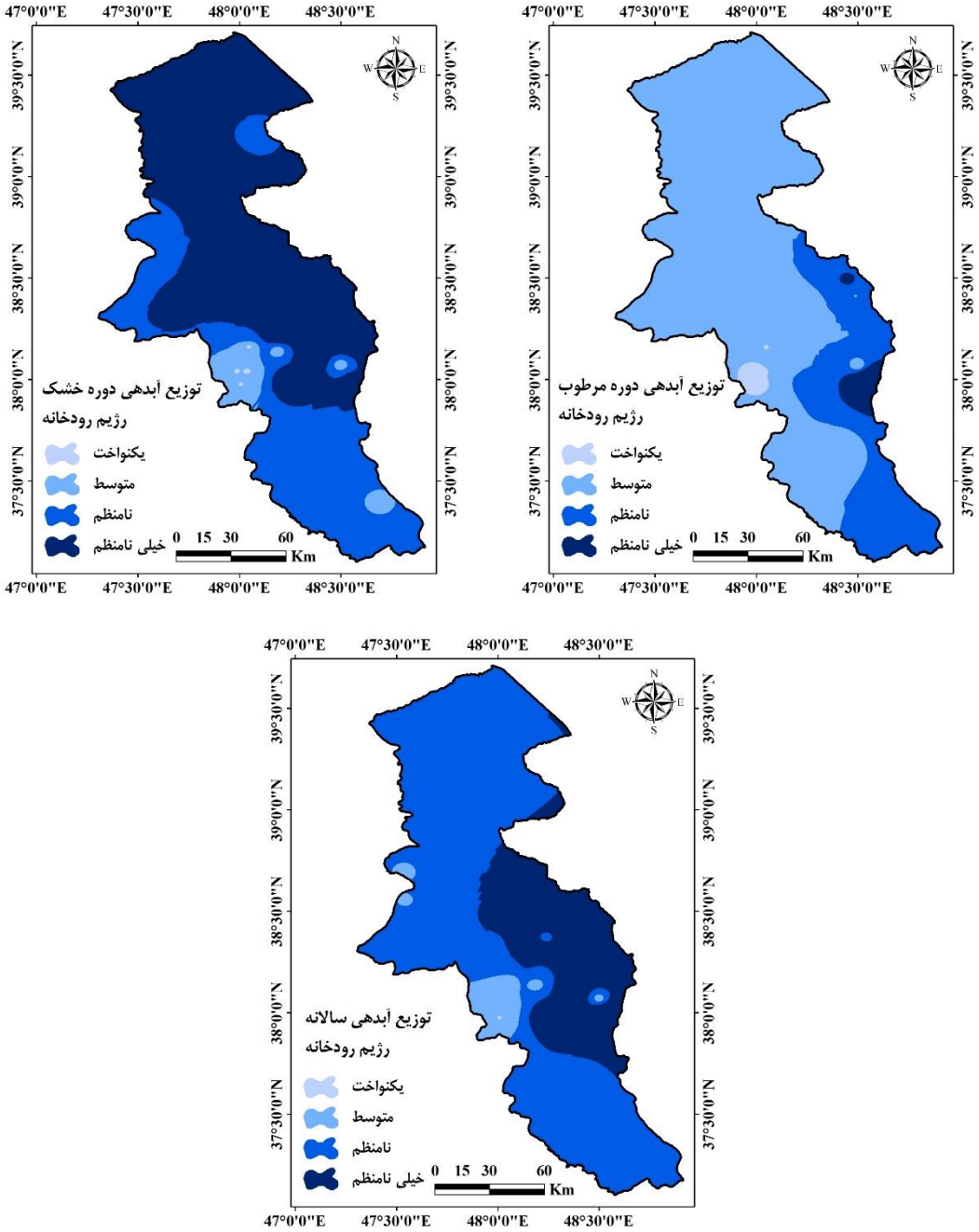
مقادیر شاخص RMSE برای نقشه‌های تهیه شده با استفاده از روش IDW برای فصول بهار، تابستان، پاییز، زمستان، دوره مرطوب، دوره خشک و سالانه به‌ترتیب برابر با ۲/۶۸، ۳/۳۶، ۲/۱۱، ۲/۴۲، ۵/۸۴، ۶/۵۵ و ۶/۶۴ محاسبه شد. یافته‌های حاصل از تهیه نقشه تغییرات مکانی شاخص تمرکز آبدهی جریان رودخانه در فصول مختلف سال در استان اردبیل در شکل ۶ ارائه شده است.



شکل ٦. توزیع آبدهی رژیم جریان در فصول مختلف سال در استان اردبیل

براساس اطلاعات نشان داده شده در شکل ۶ در خصوص تغییرات مکانی شاخص تمرکز آبدهی جریان رودخانه در فصول مختلف سال می‌توان اظهار داشت که علی‌رغم کاهش نزولات جوی و افزایش میزان تبخیر و مصرف آب در فصل تابستان، بی‌نظمی توزیع جریان آبدهی رودخانه‌ها در کلیه ایستگاه‌های هیدرومتری استان مشاهده نمی‌شود. دلیل این امر را می‌توان در منبع تغذیه رودخانه جستجو نمود. چرا که برف انباشته شده در فصول سرد به‌عنوان منبع تغذیه برخی از رودخانه‌های استان است و برخی از رودخانه‌ها از دامنه‌های شرقی پوشیده از جنگل استان سرچشمه می‌گیرند. بر همین اساس بی‌نظمی کم‌تری در این نوع از رودخانه‌ها از نظر تمرکز آبدهی جریان وجود دارد. لازم به توضیح است که بیش‌تر ایستگاه‌هایی که در فصل تابستان از نظر شاخص WYCI در وضعیت نامنظم هستند و در شمال استان قرار دارند، در فصل زمستان در وضعیت یکنواخت قرار گرفته‌اند. دلیل این امر را می‌توان با اثر تنظیمی سدهای یامچی و سبلان مرتبط دانست که بر جریان رودخانه در ایستگاه‌های هیدرومتری اصلی واقع در حوضه‌های قره‌سو و دره‌رود تأثیر می‌گذارند. نتایج حاصل از بررسی تغییرات مکانی شاخص تمرکز آبدهی جریان رودخانه در مقیاس سالانه و هم‌چنین دوره‌های خشک و مرطوب در استان اردبیل در

شکل ۷ ارائه شده است.



شکل ۷. توزیع آبدهی رژیم جریان در دوره‌های مرطوب (آذر تا اردیبهشت)، خشک (خرداد تا آبان) و سالانه

تحلیل نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر در خصوص توزیع مکانی شاخص WYCI در دوره‌های مرطوب و خشک و هم‌چنین سالانه و مندرج در شکل ۷ نشان می‌دهد که الگوی متفاوتی در تغییرات مقادیر شاخص WYCI در استان اردبیل در مقیاس‌های مختلف زمانی قابل تشخیص است. این موضوع نشان دهنده تنوع جغرافیایی و اقلیمی و رژیم هیدرولوژیکی رودخانه‌های استان اردبیل در مقیاس‌های زمانی متفاوت است. تغییرات شاخص WYCI در استان اردبیل نشان می‌دهد که در بخش‌های غربی استان چون رودخانه‌ها از رژیم برفی کوهستان سبلان تغذیه می‌شوند، دارای توزیع آبدهی یکنواخت‌تری هستند و در نتیجه از رژیم منظم‌تر و تغییرات کمتری برخوردار هستند. در همین راستا باید اشاره شود که دامنه‌های شرقی که مشرف به استان گیلان هستند، دارای توزیع غیریکنواخت از نظر مقادیر آبدهی در ماه‌های مختلف سال هستند. این مورد را می‌توان با بارش‌های متاثر از توده‌های هوای ورودی به استان از طرف دریای خزر مرتبط دانست. قابل ذکر است که پوشش گیاهی مرتعی در در بخش‌های جنوب و جنوب غرب استان باعث ایجاد رودخانه‌های دائمی شده است که در

فصول مرطوب سال دارای رژیم منظم آبدهی هستند. نکته حائز همیت دیگر اینکه، در مقیاس‌های متفاوت زمانی، تفاوت جزئی در الگوی تغییرات مکانی شاخص وجود دارد، اما در شرایط مختلف کم‌آبی، پرآبی و نیز سالانه وجود دارد، اما در هر صورت در بخش‌های شرقی استان توزیع مقادیر آبدهی از یک وضعیت نامنظم پیروی می‌کند. به نظر می‌رسد که علاوه بر توزیع ماهانه و فصلی بارش، عوامل متعدد دیگری مانند انحراف جریان و برداشت از رودخانه و نیز تاثیر ناشی از تفاوت در انواع کاربری اراضی بر الگوی تغییرات در مقیاس‌های مختلف زمانی موثر است که ارزیابی جامع در این خصوص نیازمند مطالعات جامع و در نظر گرفتن همه عوامل موثر خواهد بود. این در حالی است که Roye و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه شاخص تمرکز دبی جریان در کشور اسپانیا نشان دادند که توزیع مکانی-زمانی شاخص تمرکز جریان از نظر جغرافیایی یکنواخت است و بر واحدهای مشابه فیزیوگرافیک و اقلیمی اصلی منطقه مطالعاتی منطبق است. تغییرات مکانی در کلیه مقیاس‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که نوع رژیم رودخانه براساس توزیع مقادیر شاخص محاسباتی در دوره‌های خشک (کم بارش) بیش‌تر از دوره‌های مرطوب (پربارش) است. در همین راستا، نصیری خیاوی و همکاران (۱۳۹۸) با ارزیابی پاسخ دبی جریان به تغییرات بارندگی با استفاده از شاخص الاستیسیته نتیجه گرفتند که تغییرات شاخص مذکور در رودخانه‌های کم آب بیش‌تر است و در ماه‌های خشک سال، مقدار شاخص الاستیسیته بیش‌تر از سایر ماه‌ها است که نشان دهنده تأثیر بیش‌تر بارش بر افزایش دبی در ماه‌های خشک سال است. به‌عبارتی می‌توان گفت که شاخص الاستیسیته مشابه شاخص WYCI رژیم رودخانه‌ها را ارزیابی می‌کند. تحلیل یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که بی‌نظمی در رودخانه‌های واقع در بخش مرکزی و شرقی استان قابل مشاهده است. در این خصوص می‌توان اظهار داشت با توجه به تغذیه رودخانه‌های مورد اشاره از رژیم بارانی، واکنش سریع جریان و در نتیجه توزیع نامنظم وقوع جریان در این منطقه به وقوع پیوسته است. عیوضی و همکاران (۱۴۰۱) در ارزیابی هم‌زمانی تغییرات بارش، رواناب و رسوب به این نتیجه رسیدند که تغییرات رواناب و رسوب در ایستگاه‌های دامنه سبلان یکنواخت بوده است. هم‌چنین بر اساس نمودارهای جرم مضاعف نشان دادند که روند تغییرات شیب منحنی در طول دوره آماری در برخی ایشتگاه‌ها ثابت بوده، مقدار رسوب و رواناب متناسب با مقدار بارش است، اما در ایستگاههای ویلادرق و نوران تغییرات روند رسوب و رواناب نسبت به بارندگی مشاهده شد. ایشان بر اساس تشابه نسبی ضریب تغییرات رواناب و رسوب را با تغذیه رودخانه‌ها از ذوب برف، مقیاس زمانی سالانه تحلیل‌ها و نیز پوشش گیاهی مناسب در دامنه‌های سبلان توجیه نمودند.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات مکانی شاخص تمرکز آبدهی جریان رودخانه با کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی در ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل صورت پذیرفت. تغییرات مکانی شاخص WYCI در استان اردبیل حاکی از تفاوت توزیع جریان در مقیاس‌های مختلف زمانی است. در همین خصوص، مقادیر بالای بی‌نظمی رژیم جریان در دوره کم‌آبی (خشک) و فصل تابستان در اکثر مناطق مشاهده شد. شاخص WYCI به نمایش وضعیت توزیع آبدهی جریان رودخانه طی ماه‌های سال می‌پردازد. در همین خصوص، آگاهی از توزیع آبدهی جریان در ماه‌های مختلف سال، می‌تواند در شناسایی دستورالعمل‌های جریان زیست‌محیطی و مدیریت پایدار منابع آب سطحی، تامین نیازهای آبی انسان و بوم‌سازگان‌ها مؤثر باشد. در همین ارتباط، شناسایی و تعیین کمیت تغییرات جریان رودخانه اولین گام برای تعریف دستورالعمل‌های جریان زیست‌محیطی است. یکی از نکات مهم در تخصیص جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها، رعایت زمان‌بندی رهاسازی جریان براساس فصل کم‌آبی و زمانی است که جانداران وابسته به آب در شرایط حاد کم‌آبی هستند. تعیین توزیع رژیم طبیعی در رودخانه‌های مختلف این امکان را فراهم می‌سازد که جریان زیست‌محیطی متناسب با نیاز بوم‌سازگان رودخانه تأمین شود. لازم به توضیح است که تعیین توزیع زمانی آبدهی جریان، امکان برنامه‌ریزی برای استفاده از جریان مازاد آب و مدیریت ذخیره و بهره‌برداری از مخازن سدها را فراهم می‌کند. در صورت تعیین تغییرات رژیم آبدهی رودخانه‌ها در ایستگاه‌های دارای داده‌های ثبت شده، می‌توان نوع رژیم و ویژگی‌های جریان مذکور را برای رودخانه‌های فاقد آمار نیز تعمیم داد. مدیریت و بهره‌برداری از منابع آب به ویژه در شرایط تغییر اقلیم و خشکسالی از اهمیت زیادی برخوردار است. آگاهی از توزیع و مقدار آبدهی جریان رودخانه در ماه‌های مختلف سال، امکان مدیریت میزان مصرف آب در بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعت و شرب را به ویژه در ماه‌های با بارش اندک فراهم می‌نماید. به‌عنوان مثال، در صورت تعیین زمان و مقدار جریان مازاد در رودخانه‌ها می‌توان نسبت به ذخیره‌سازی آب در مخازن سدها و استفاده از آن در بخش کشاورزی براساس تقویم آبیاری اقدام نمود. در همین راستا، پیش‌نهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی تأثیر تنظیم جریان در نتیجه احداث سد، انحراف جریان آب و تغییر کاربری اراضی بر تغییرات آبدهی جریان با استفاده از رویکردهای مختلف ارزیابی شود. علاوه بر این، پیش‌بینی تغییرات آتی با استفاده از مدل‌سازی هیدرولوژیک و سناریوهای تغییرات اقلیمی از مواردی است که می‌تواند به شناخت بهتر روند تغییرات رژیم

رودخانه‌ها در آینده کمک نماید. در نهایت، تفکیک اثرات اقلیمی و انسانی در تغییر رژیم جریان رودخانه به‌سبب اثر همزمان عوامل طبیعی و انسانی در پژوهش‌های آتی از پیشنهادهای پژوهش حاتضر است.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

جان بزرگی، محمد؛ حنیفه‌پور، مهین و خسروی، حسن (۱۴۰۰). تغییرات زمانی خشکسالی هواشناسی – هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: استان گیلان). مدل سازی و مدیریت آب و خاک، ۱(۲)، ۱-۱۳. doi: 10.22098/mmws.2021.1215

حاجی، خدیجه؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ اسمعلی‌عوری، اباذر و میرزایی، شهناز (۱۳۹۸). تغییرات زمانی و مکانی شدت تمرکز دبی و رسوب ماهانه در تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری استان آذربایجان غربی. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۱(۳)، ۶۱۹-۶۳۲. doi: 10.22092/ijwmse.2018.107453.1179

خروشی، سعید؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ اسمعلی عوری، اباذر و رئوف، مجید (۱۳۹۶). ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی شاخص سلامت هیدرولوژیک رودخانه در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل. اکوهیدرولوژی، ۴(۲)، ۳۷۹-۳۹۳. doi: 10.22059/ije.2017.61475

داده، فاطمه؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ اسمعلی عوری، اباذر؛ قربانی، اردوان. (۱۳۹۹). تعیین فصلی‌بودن بارندگی ماهیانه با استفاده از روش Markham در ایستگاه‌های باران‌سنجی استان اردبیل. برنامه‌ریزی فضایی (جغرافیا)، ۹(۴): ۲۳۳-۲۴۶.

روشنی، حمیده؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ اسمعلی‌عوری، اباذر و ذبیحی، محسن (۱۳۹۹). تغییرات مکانی و زمانی الگوی وقوع بارش با استفاده از شاخص‌های PCI و SI در استان گلستان. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۷(۴)، ۲۰۴-۱۸۷.

عیوضی، مرتضی؛ علایی، نازیلا و مصطفی‌زاده، رئوف (۱۴۰۱). تغییرات زمانی رواناب و رسوب جریان رودخانه‌های کوهستانی سبلان. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۳(۲۶)، ۵۷-۴۳.

مهری، سونیا؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ اسمعلی عوری، اباذر و قربانی، اردوان (۱۳۹۶). تغییرات زمانی و مکانی شاخص جریان پایه در رودخانه‌های استان اردبیل. فیزیک زمین و فضا، ۴۳(۳)، ۶۲۳-۶۳۴. doi: 10.22059/jesphys.2017.60293

نادری، مهین؛ شیخ، واحدبردی؛ بهره‌مند، عبدالرضا؛ کمکی، چوقی بایرام و قانقرمه، عبدالعظیم. (۱۴۰۱). تحلیل تغییرات رژیم جریان آب رودخانه‌ای با استفاده از شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز حبله رود). مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، آماده انتشار، doi: 10.22098/mmws.2022.11430.1129

نصیری خیاوی، علی؛ فرجی، علی و مصطفی‌زاده، رئوف (۱۳۹۸). پاسخ دبی جریان به تغییرات بارندگی با استفاده از شاخص الاستیسیته اقلیمی در برخی از ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل. هیدروژئومورفولوژی، ۶(۲۱)، ۱-۲۲.

REFERENCES

Bel-Lahbib, S., Ibno Namr, K., Rerhou, B., Mosseddaq, F., El Bourhrami, B., & Moughli, L. (2023). Assessment of soil quality by modeling soil quality index and mapping soil parameters using IDW interpolation in Moroccan semi-arid. Modeling Earth Systems and Environment. https://doi.org/10.1007/s40808-023-01718-1

Berhanu, B., Seleshi, Y., Demisse, S. S., & Melesse, A. M. (2015). Flow regime classification and hydrological characterization: a case study of Ethiopian rivers. *Water*, 7(6), 3149-3165.

Blythe, T. L., & Schmidt, J. C. (2018). Estimating the natural flow regime of rivers with long-standing development: the northern branch of the Rio Grande. *Water Resources Research*, 54(2), 1212-1236.

Botter, G., Basso, S., Rodriguez-Iturbe, I., & Rinaldo, A. (2013). Resilience of river flow regimes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(32), 12925-12930.

Costigan, K. H., Kennard, M. J., Leigh, C., Sauquet, E., Datry, T., & Boulton, A. J. (2017). Flow regimes in intermittent rivers and ephemeral streams. In Intermittent rivers and ephemeral streams (pp. 51-78). Academic Press.

Döll, P., Fiedler, K., & Zhang, J. (2009). Global-scale analysis of river flow alterations due to water withdrawals and reservoirs. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(12), 2413-2432

Duan, Y. W., Zhu, K. Y., Ma, Z. G., & Yang, Q. (2014). Characteristics of precipitation concentration index (PCI) variations and monthly distribution of annual precipitation in China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 38(6), 1124-1136.

Eyvazi, M., Alaei, N., Mostafazadeh, R. (2022). Temporal changes in runoff and sediment of rivers in Sabalan mountain. *Journal of Watershed Management Research*, 13 (26) :43-57 (i*n Persian*).

Ezenwaji, E.E.; C.P. Nzoiwu, and G.N. Chima. 2017. Analysis of precipitation concentration index (PCI) for Awka Urban Area, Nigeria. *Hydrology: Current Research*, 8(4): 287.

Haji, K., Mostafazadeh, R., Esmali-Ouri, A., & Mirzaei, S. (2019). Spatial and temporal variations of discharge and sediment loads concentration rate over some river gauge stations of West-Azarbaijan Province. *Watershed Engineering and Management*, 11(3), 619-632. doi: 10.22092/ijwmse.2018.107453.1179 (i*n Persian*).

Herawati, H., Suripin, S., Suharyanto, S., & Hetwisari, T. (2018). Analysis of river flow regime changes related to water availability on the Kapuas River, Indonesia. *Irrigation and Drainage*, 67, 66-71.

Hong, M., Zhang, R., Wang, D., Qian, L., & Hu, Z. (2017). Spatial interpolation of annual runoff in ungauged basins based on the improved information diffusion model using a genetic algorithm. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2017.

Imanian, H., Shirkhani, H., Mohammadian, A., Hiedra Cobo, J., & Payeur, P. (2023). Spatial Interpolation of Soil Temperature and Water Content in the Land-Water Interface Using Artificial Intelligence. Water, 15(3), 473.

Janbozorgi, M., Hanifepour, M., & Khosravi, H. (2021). Temporal changes in meteorological-hydrological drought (Case study: Guilan Province). *Water and Soil Management and Modelling*, 1(2), 1-13. doi: 10.22098/mmws.2021.1215 (in Persian)

Khorooshi, S., Mostafazadeh, R., Esmali Ouri, A., & Raoof, M. (2017). Spatiotemporal assessment of the hydrologic river health index variations in Ardabil Province Watersheds. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 4(2), 379-393. doi: 10.22059/ije.2017.61475 (i*n Persian*)

Li, C., Zhang, H., Singh, V. P., Fan, J., Wei, X., Yang, J., & Wei, X. (2020). Investigating variations of precipitation concentration in the transitional zone between Qinling Mountains and Loess Plateau in China: Implications for regional impacts of AO and WPSH. *Plos One*, 15(11), e0238709.

Mackay, J. D., Barrand, N. E., Hannah, D. M., Krause, S., Jackson, C. R., Everest, J., ... & Black, A. R. (2019). Future evolution and uncertainty of river flow regime change in a deglaciating river basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(4), 1833-1865

Mehri, S., Mostafazadeh, R., Esmaliouri, A., & Ghorbani, A. (2017). Spatial and temporal variations of Base Flow Index (BFI) for the Ardabil province river, Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 43(3), 623-634. doi: 10.22059/jesphys.2017.6029 (*in Persian*)

Mostafazadeh, R., Nasiri Khiavi, A. & Ghabelnezam, E.(2023) Temporal changes and flow pattern analysis using Colwell indices in mountainous rivers. Environment, Development and Sustainabiliyu, https://doi.org/10.1007/s10668-023-03033-2

Naderi, M., Sheikh, V., Bahrehmand, A., Komaki, C. B., & Ghangermeh, A. (2022). Analysis of river flow regime changes using the Indicators of Hydrologic Alteration (Case study: Hableroud watershed). *Water and Soil Management and Modelling*, doi: 10.22098/mmws.2022.11430.1129 (i*n Persian*)

Nasiri Khiavi, A., Faraji, A., Mostafazadeh, R. (2020). Streamflow response to rainfall changes using the climate elasticity index in some watersheds of Ardabil province. *Hydrogeomorphology*, 6(21), 1-22. (*in Persian*)

Oliver, J. E. (1980). Monthly precipitation distribution: a comparative index. *The Professional Geographer*, 32(3), 300-309.

Poff, N. L., Allan, J. D., Bain, M. B., Karr, J. R., Prestegaard, K. L., Richter, B. D., ... & Stromberg, J. C. (1997). The natural flow regime. *BioScience*, 47(11), 769-784.

Roshani, H., Mostafazadeh, R., Esmali-Ouri, A., Zabihi, M. (2021). Spatiotemporal variation of precipitation using PCI and SI indices in Golestan province. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 7(4):187-204. (*In Persian*)

Roye, D., Horacio, R., and Ollero, A. (2018). The application of a Concentration Index on river discharge: a case study of selected stations in Spain, The overarching issues of the european space - preparing the new decade for key socio-economic and environmental challenges, Porto, Fac. Letras Univ. Porto. pp. 451-461.

Sankarasubramanian, A, Vogel, R.M, Limbrunner, J.F. 2001. Climate elasticity of streamflow in the United States. Water Resources Research. 37(6): 1771-1781.

Sauquet, E., Shanafield, M., Hammond, J. C., Sefton, C., Leigh, C., & Datry, T. (2021). Classification and trends in intermittent river flow regimes in Australia, northwestern Europe and USA: A global perspective. *Journal of Hydrology*, 597, 126170.

Schaake, J.C. 1990. From climate to flow, in Climate Change and U.S. Water Resources. 1990, edited by P. E. Waggoner, chap. 8, pp., John Wiley, New York: 177–206.

Yang, H and Yang, D. 2011. Derivation of climate elasticity of runoff to assess the effects of climate change on annual runoff. Water Resources Research. 47, W07526: 1-12.

Zeiringer, B., Seliger, C., Greimel, F., & Schmutz, S. (2018). River hydrology, flow alteration, and environmental flow. *Riverine Ecosystem Management: Science for Governing towards a Sustainable Future*, 67-89

Zhang, K., Yao, Y., Qian, X., & Wang, J. (2019). Various characteristics of precipitation concentration index and its cause analysis in China between 1960 and 2016. *International Journal of Climatology*, 39(12), 4648-4658.

Analysis of river water yield concentration index (WYCI) and its spatial changes using GIS in Ardabil province

EXTENDED ABSTRACT

Introduction:

River flow regimes play a major role in changing the structure and function of ecological processes in river ecosystems. Significant changes in the hydrological regimes of river flow cause spatial and temporal heterogeneity of river systems and the destruction of natural ecosystem services and threats to biodiversity. In addition, the evaluation of the changes in the river flow regimes will be used to determine the dominant times in terms of sediment transport. Estimation of natural river flow regime is very important for planning water resources in watersheds. Determining the temporal and spatial distribution of the river flow can help policy makers and decision makers in managing water resources.

Objective:

Evaluating the temporal distribution of river discharge based on long-term data can be useful in determining the dominant regime of rivers and planning the use of surface water. In this regard, the current research is planned with the aim of analyzing the changes in the water yield concentration index (WYCI) in 31 hydrometry stations of Ardabil province (1974-2018) over different time scales and its spatial changes using GIS.

Materials and methods:

Toward this attempt, the WYCI index was calculated in all selected river gauge stations for available recorded data and the spatial variation of the river flow regime has been prepared using the inverse distance weighted method. In this regard, in order to analyze the distribution of water yield concentration index in different time scales in the selected stations of the study area, the WYCI index was calculated in wet and dry periods, seasonal and annual time scales. It should be mentioned that dry and wet periods were considered from June to November and December to May, respectively, according to the long-term river flow regime and the hydroclimatic condition of the study area.

Results and discussion:

According to the box-plot of the river discharge values, the highest range of seasonal changes has been observed in spring season, and the lowest changes is related to summer season. According to the results, the highest median amount of flow discharge was related to the spring season (3.7 cubic meters per second). In addition, the median discharge values of the winter, and autumn seasons were 2.5 and 1.3 cubic meters per second, respectively. Also, the lowest median value of the flow was observed in the summer season with a value of 0.3 cubic meters per second. The results showed that the values of WYCI index in autumn, winter, spring and summer are 11.9, 10.7, 13.8 and 15.2, respectively. In addition, the values of the WYCI for dry and wet periods was detected as very irregular (21.6) and moderate irregularity (14.3). According to the results, the stations located in the southern hillslopes of Sablan (Lai, Nir, Atashgah and Yamchi river gauge stations) had a regular river flow regime, which are fed by snow dominant precipitation. While, the stations located in the eastern part of the province are distinguished from the autumn season towards the summer season with increasing WYCI values and as a result more irregularity of the river flow regime.

Conclusion:

As a concluding remark, it can be said that the analysis of spatial changes of WYCI indicates the existence of a unique spatial pattern in different time scales and it needs to be considered in the planning of water use in Ardabil province. The evaluation of temporal and spatial changes of water yield can be effective in determining areas with high water yield and sound management based on water supply. In this regard, while comparing the flow regimes in different rivers, it is possible to prioritize months or different times of the year in terms of water flow. In addition, predicting future changes using hydrological modeling and climate change scenarios is suggested to a better understanding of river regime changes in the future. Finally, it is suggested to differentiate the climatic and human effects in changing the river flow regime due to their distinct in terms of magnitude and timing.

Keywords: Flow Regime, Interpolation, Spatial Distribution, Surface Water Resource, Time scale.